

남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구

Transport and Biogeochemical Processes
in the Cheju Strait

1997. 12

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “남해대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구” 사업의
1차년도 연차보고서로 제출합니다.

1997. 12

연구책임자 : 홍 기 훈

- | | |
|-----------------|---|
| 해류 및 해수순환 | : 석문식, 장경일, 전동철, 전호경,
남수용, 김충기, 장영석, 김지호 |
| 협기성 내만환경 | : 양동범, 김경태, 유준, 진용현, 이동호 |
| 대륙붕 화학물질수지 및 순환 | : 정창수, 김석현, 박선규, 이상한, 임재희,
이현경, 정지영, 도가영, 서승모, 박준건
정혜운, 최승민, 양성렬(광주대) |
| 저서생물 생화학특성 | : 조기용, 신종현, 서영완, 노정래, 정경화 |
| 세립퇴적물 이동 | : 한상준, 이희일, 신동혁, 신임철, 장석,
김광산, 최현주, 김병권, 김지희 |
| 치자어와 어류군집 | : 유재명, 김성, 이은경, 이태원(충남대) |

요 약 문

I. 제목

남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 필요성

- 남해 대륙붕은 황해, 양자강등 중국연안수와 남방 열대 쿠로시오수가 혼합되어 궁극적으로 동해로 유입되는 길목에 위치한 해류 지배 역으로 우리나라 경제적으로 주요한 해역이나 해양과정 연구 전무
- 남해 동방해류가 뚜렷이 존재하나 그 변동역학 연구 전무
- 남해는 해류 특성으로 한대성과 아열대성 생물종 혼재 특이 해역으로 유용생물 물질자원 개발 가능성이 높은 해역임
- 항만 및 해안산업지대, 수산업의 지속가능 경제 성장을 위하여 물질순환 변동방식 규명 필요
- 남해는 양식어장과 대규모 산업항만 밀집지역으로 적조 및 해상 독성물질 유출 사고 다발지역으로 그간 분지규모의 종합환경연구 전무

2. 연구개발의 1단계 (3년) 최종 목표

- 제주해협을 통한 인접해역간의 물질 및 해수교환의 중·장기 변동성 파악
- 해수순환모델을 이용한 남해의 평균적인 해수순환 재현
- 한반도와 남해 대륙붕과 육지간 물질이동 규명
- 저서생물의 생화학 특성 규명하여 궁극적으로 지속가능한 남해 이용과 개발을 위한 환경보전 종합 시스템 구축을 최종목표로 함

3. 1차년도 연구 목표

- 혐기성 내만환경에서의 중금속원소 거동
- 내만특성 구분별 대륙붕해역과 물질교환 모델 가설 도출
- 제주해협 기준선상의 친생물 화학물질 플럭스 추정
- 남해 대륙붕 유기물 생성과 변천

- 해양 미생물 균주 수집 및 분해능 조사
- 해양환경의 Biomarker 추출, 정제분석 방법의 확립
- 지방성분의 Biomarker 후보물질들의 실제 시료에의 적용
- 남해 대륙붕 및 연안의 현생퇴적물 분포
- 제주도 주변해역과 동해남부해역의 치자어 군집구조 파악
- 아열대성 치자어의 종구성 파악

III. 연구개발의 내용

1. 춘계 종합 해양조사 실시

조사해역 : 한국 남해 대륙붕역 (33° 30'~34° N,
126° 17'~128° 05'E)

조사일정 : 1997년 3월 17일 ~ 3월27일

조사선박 : 한국해양연구소 연구선 이어도호

주요 조사항목 : CTD, 해류, 조석과 조류, 수소이온농도, 용존산소,
주요 용존무기영양염류, 해저퇴적물 유기물
(유기탄소, 유기질소, 생물기원규소), 일차생산력,
라듐 동위체, 산소안정동위원소

2. 추계 종합 해양조사 실시

조사해역 : 한국 남해 대륙붕역 (33° 30'~34° N,
126° 17'~128° 05'E)

조사일정 : 1997년 9월 27일 ~ 10월 3일

조사선박 : 국립해양조사원 조사선 해양2000호

주요 조사항목 : CTD, 해류, 조석과 조류, 수소이온농도, 용존산소,
주요 용존무기영양염류, 해저퇴적물 유기물
(유기탄소, 유기질소, 생물기원규소), 일차생산력,
산소안정동위원소

3. 시계열 해양과정 정점 설치 운영 (time-series station)

장목만 (1997. 10월1일-현재)

4. 남해 대기분진 천연 침적물 연속 채취 관측소 설치운영

한국해양연구소 거제도 장목분소 옥상 (1997년 10월-현재)

5. 해류 및 해수순환

- 제주해협, 제주도-대마도, 남해도 남쪽의 기준선에서 해류 및
해황관측을 통한 정량적 해수교환의 중·장기 변동성 연구

- 남해 성층화의 시·공간 변동 파악
- 해수수송량 변동을 유발하는 요인에 관한 역학적 연구
- 열·염전선의 구조 파악
- 원격탐사자료를 이용한 남해 중규모현상 연구
- 수치모델을 이용한 조석·조류 예보모델 및 해수순환모델 개발

6. 혐기성 내만환경

- 남해 주요내만의 기존자료 분석에 의한 해역의 오염도와 내만의 특성 파악
- 현장조사를 통한 당항만, 진동만, 사천만 등에 대해서는 중금속원소의 거동 관측
- 향후 연구해역은 내만의 특성별로 설정하였으며 내만특성을 고려하여 대륙붕해역과의 물질교환 모델 가설을 도출

7. 대륙붕 화학물질 수지 및 순환

- 친생물원소 분포 특성
- 제주해협 통과 화학물질 수송량
- 정밀 시계열 동계 해양과정
- 남해 대륙붕 유입 대기분진 화학특성
- 대륙붕 해저 친생물원소 초기 속성과정 규명

8. 저서생물 생화학 특성

- 해저퇴적토로부터 지방성분 추출, 분리방법 확립
- 소량의 해수로 부터 지방성분의 추출, 분리방법 확립
- 지방산 조성 및 정량방법 확립
- 일반 탄화수소 조성 및 정량방법 확립
- 유용물질 생산 후보 생물 2종 확인

9. 퇴적물 분포 및 퇴적환경변화

- 남해지역의 퇴적물관련 문헌 및 기존자료 수집·정리
- 해저퇴적물의 특성 및 변동파악

10. 치자어와 어류군집

- 대마난류수역 치자어 군집 특성 파악

- 치자어 군집의 지리적인 분포 특성 파악
- 치자어 군집간 종 다양도 비교 분석

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 해류 및 해수순환

(1) 봄과 가을철 남해해황 분석

1997년 3월 남해의 해황은 연안역은 저온저염수가 분포하며 외해역은 고온고염수가 나타나지만, 대마난류수는 제주동부를 통해 남해로 유입되고 있다.

1997년 9월의 남해 수괴특성은 표층에는 양자강수, 황해 저염수등의 영향을 받은 고온저염수가 분포하며, 저층에만 고염의 특성을 갖는 대마난류수가 동중국해를 통해 남해로 유입되면서 주변수괴에 의해 변형되지 않고 고유의 특성을 유지하고 있다. 가을철에는 연안역을 제외하고 대부분 정점에서 수온역전현상이 나타나는데, 표층혼합층과 중층뿐만 아니라 저층에서도 발견되고 있으며, 수온이 역전되는 층은 항상 고염을 동반한다.

(2) ADCP 왕복관측으로 봄과 가을철의 해류관측

봄철 제주해협외의 해류를 살펴보면 진도연안을 제외하고는 동향류가 우세하게 나타나며 최대유속은 20cm/sec 이상이다.

가을철 제주해협외의 해류는 대부분 북동향을 보이며, 연안역에서는 남동향류가 우세하며, 최대유속은 약 40cm/sec 이다.

봄철 제주해협외의 해수수송량은 0.37 Sv이며, 가을철은 0.67 Sv 이다.

가을철 대한해협 서수도의 해수수송량은 1.76 Sv으로 대한해협 수송량 중 제주해협을 통과해 남해로 유입된 수송량이 약 38%를 차지하고 있다.

(3) 남해 순환모델 개발

- 남해 조석모델 개발
- 새롭게 개발된 개방경계조건을 이용한 순환 (조석+해류)모델을 개발하였다.
- 유출유의 이동-확산 모델 개발하고 1997년 4월 3일 한산도 부근에서 발생한 유출유 사고시 유출유의 이동-확산 궤적 재현

2. 혐기성 내만환경

- 남해의 환경연구에 있어 해양-연안해역의 상호작용은 매우 중요한 의미를 갖는다. 연안해역은 높은 물리적에너지와 생물생산력, 종다양성을 가진 지역으로 인간에 의해 집중적으로 개발된 곳이며 또한 지구환경변화에 대해 매우 예민한 곳이다. 기존자료 분석을 통해 본 내만해역으로의 오염부하는 광양만의 경우 공업시설로 부터의 폐수유입이 높은 비율을 차지하며 마산만도 상대적으로 다소 높은 공업폐수의 비율을 보였다. 국립수산진흥원의 전국연안어장 조사에 따르면 주요연안과 항만의 COD는 평균 $1\sim 2\text{ mg l}^{-1}$ 이며 마산만이 매년증가하는 추세에 있다고 한다. 해저퇴적물시료에서는 COD가 원문만, 진동만에서 특히 높다고 하며 황화물은 0.2 mg g^{-1} 이상을 보인 경우가 많았다.
- 득량만은 연중 수직적으로 잘 혼합되는 해역으로 표층퇴적물은 강한 조류와 얕은 수심으로 인하여 류유이동 및 침전작용을 거듭하는 것으로 보고되었다. 득량만에서 하계에 인산염과 규산염은 담수에 의해 주로 공급되며 나머지 계절에는 무기질소와 규산염의 농도가 높은 외해수가 득량만내로 공급될 가능성이 보고된바 있다. 광양만은 면적이 약 230 km^2 로 여수해만을 통해 남해와의 물질교환이 이루어진다. 섬진강으로 부터 유입된 퇴적물은 여수해만을 통하여 남해 대륙붕으로 운반되며 세립질퇴적물이 광양만내로 유입되어 유속이 약한 지역에 퇴적된다고 알려져 있다. 광양만의 평균 COD는 2 mg l^{-1} 내외로 점차 감소하고 있으나 SS는 근래 10 mg l^{-1} 까지 증가하고 있다. 근래 무기질소는 $1.31\sim 8.16\ \mu\text{M}$, 인은 $0.42\sim 2.67\ \mu\text{M}$ 의 분포를 보였고 광양만의 용존성중금속 농도는 남해안의 다른 내만해역과 비슷하였다. 고성 자란만은 오염부하량은 많지 않으나 만이 반 폐쇄성 해역으로 농축산 및 양식업이 집중되어 있어 비점오염원에 의한 해양오염의 우려가 있고 최근 COD, SS, T-N등이 다소증가하고 있는 것이 특징이다.
- 진해만은 지형적 특성으로 쉽게 성층이 형성되고 하계에 저층수, 퇴적물에서의 유기물 분해가 활발히 일어난다. 마산만 해역과 진해만 서부해역은 표층퇴적물중의 유기탄소가 $25\text{ mg g}^{-1}\text{ dry wt.}$ 을 넘으며 저층수에서의 용존산소 소비가 활발하여 빈산소층이 형성된다. 하계의 환원환경에서 암모니아, 인산염 등은 낮은 pH, DO조건에서 해저

- 퇴적물로 부터 용출된다. 근래 마산만에서의 수질변화양상을 보면 COD, 총질소등이 계속증가하고 있다. 1991년 동계에 조사한 마산 내만의 용존성 카드뮴은 평균 $0.018 \mu\text{g l}^{-1}$, 용존성 구리는 $1.02 \mu\text{g l}^{-1}$ 였고 용존성 납은 평균 $0.019 \mu\text{g l}^{-1}$ 였다. 해수의 경우 입자성 중금속이 용존성 중금속보다 훨씬 높은 값을 나타내 중금속들의 부유물질에 흡착되는 양이 많음을 알 수 있다. 진해만의 영양염농도는 시간, 공간에 따라 큰 변화를 보이는데 질소원의 공급이 상대적으로 많다.
- 97년 5월 현장조사에 의하면 당항만의 Cd는 $0.013 \sim 0.025 \mu\text{g l}^{-1}$ 로 하구에서 상대적으로 높았고 Cu는 $0.45 \sim 0.63 \mu\text{g/l}$ 였다. 97년 8월에는 정점간의 지리적 농도 차이가 5월에 비해 적었고 Zn은 $0.23 \sim 0.89 \mu\text{g l}^{-1}$ 의 분포였다. 진동만의 경우 97년 5월 조사에서 Cu는 $0.42 \sim 0.59 \mu\text{g l}^{-1}$ 였으며 8월에는 Cu가 5월 보다 훨씬 높은 값을 나타냈다. 사천만의 경우는 만내부에서 상대적으로 중금속농도가 높았고 5월과 8월조사치는 차이가 크지 않았다.
 - 연구해역은 진해만의 경우 넓은 해역이 seasonally stratified estuary의 형태로 하계에 강한 성층이 형성되며 대표적인 혐기성 내만이기 때문에 매우 중요하다고 보며 진해만-가덕수로-남해외해역을 연결하여 물질교환에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 광양만은 permanently well-mixed estuary로서의 연구가치가 높다고 본다.
 - 물질교환모델에서 어떠한 사항이 고려되고 검증되어야 하는가를 일차적으로 다음과 같이 정리하였다.
 - 부유물질에 흡착되어 외해역으로 이동하는 물질의 농도는 얼마인가?
 - 이류, 확산에 의해 교환되는 용존성유기물의 총량은 얼마인가?
 - Net flux와 Gross flux의 차이를 구분할 수 있는가?
 - 혐기성 내만환경에서 생성된 황화물이 물질수지에 미치는 영향은?
 - 남해안을 따라 벨트형태로 발생하는 적조는 물질교환에 어떠한 역할을 할 것인가?
 - 단기 기상현상에 따른 물리적에너지 변화가 물질교환에 미치는 영향은?

4. 대륙붕 화학물질 순환 및 수지

- 일반적으로 용존산소, 용존무기영양염류 농도는 저온저염수에서 높고 고온고염수에서 낮다. 반면에 춘계에는 표, 저층이 비교적 균일한 농도분포를 보이고 있고, 추계에 표면혼합층에서 용존무기영양염류는

거의 결핍되어 있고, 밀도약층을 경계로 하여 하부에서 급격하게 증가한다.

- 춘계에 제주해협을 통과하는 입자성부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $3.23 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $1.73 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $12.85 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.16 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $14.55 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$ 이다. 추계의 입자성부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $4.17 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $2.82 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $24.42 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.57 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $35.42 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$ 로서 춘계보다는 높다.
- 표층수 입자성유기탄소 대 유기질소 비는 3.0~12.5 범위로서 유기물의 대부분이 해양기원을 갖는다. 클로로필 a 함량과 입자성유기탄소 함량간에는 비교적 양호한 양의 상관관계 ($r > 0.86$)를 보이고, 클로로필 a 함량과 생물기원규소 함량간의 관계 또한 양호한 양의 상관관계 ($r = 0.84$)를 보여 춘계 및 추계의 남해 대륙붕에서의 입자성 유기탄소 함량은 식물플랑크톤 생체량에 따라 좌우되며, 식물플랑크톤중 대부분은 규조류등 규소를 가진 종들로 구성되어 있다. 남해 대륙붕의 해저 퇴적물의 표층 유기탄소 함량은 0.7 % 정도이다. 이것은 남해는 동향 해류 지배해역으로서 해류를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 상당량의 퇴적물이 유입된 결과로 사료된다. 대륙붕 퇴적물에서의 C/N 비는 대부분이 8 이하로서 주로 해양기원 유기물에 가까운 C/N 비를 갖는다.
- 제주협곡 (trough)의 제주난류 (Cheju Warm Current) 해역에서의 표층 퇴적물의 혼합층이 두껍고 (8cm), 혼합율이 높고 ($> 12.4 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$), 남해안 인접 천해역보다는 퇴적율이 매우 낮다 ($89 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, $< 0.1 \text{ cm yr}^{-1}$). 낙동강 델타역에서의 퇴적물의 축적률은 $207 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로서 가장 높다. 대한 해협에서의 퇴적률은 $65 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 진해만의 내만인 장목만에서는 $146 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다. 표층입자혼합계수는 각각 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 표층혼합층의 두께는 8, 6.5, 4.5, 그리고 9.5 cm 이다. 표층혼합층의 ^{210}Pb 부착입자 혼합계수는 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 각각 > 12.4 , > 40 , > 2.1 그리고 $> 26.2 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 입자가 표층혼합층에 머무르는 기간은 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 각각 51, 10, 34, 34년이다.
- 남해 대륙붕에서 해저에 축적되는 유기물은 $36 \sim 176 \text{ } \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 낮다. 생물기원 규소는 $33 \sim 174 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 가장 낮다. 유기물의 해저 축적율은 표층퇴적물의 혼합계수가 비교적 큼에도 불구하고 퇴적율이 상대적으로 높아서 이류항에 의하여 결정된다.

- 1997년 10월 2일부터 10월 27일까지, 그리고, 11월 1일부터 12월 8일까지 총 2회에 걸쳐 침강입자 자동채취기를 계류 및 회수하여 정량한 2일 간격의 총침강입자 플럭스는 $0 \sim 44.7 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 로서 총 침강플럭스는 평균 $7.2 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이다. 현재까지의 약 2개월여에 걸쳐 수집된 자료로부터 연평균 입자 침강율을 계산하면 $263 \text{ mg cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 이다. 침강입자에서 생물기원물질이 차지하는 부분은 평균 24.2% (20.0 ~ 31.3%) 이며 그외 약 76.2% 가 암석기원 물질로 구성되어 있다. 유기탄소/질소의 원자비는 평균 7.17 로 이곳에 침강되는 입자들의 유기물은 주로 해양기원이다. 유기물, 탄산칼슘과 생물기원 규산의 침강속은 이 기간에 평균 각각 346, 475와 $284 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이며, 총 생물기원 물질의 침강속은 평균 $1.11 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 암석기원 물질의 침강속은 평균 $4.05 \text{ g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이다.
- 일차생산력은 3월에는 $285.8 - 867.9 \text{ mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 9월은 $377.6 \sim 1964.5 \text{ mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이다. 남해에서 일차생산력은 영양염류 농도와 유광대 에서의 광조건에 따라 조절된다.
- 한국남해의 표층해수의 평균 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비는 약 1.33이다. ^{228}Ra 붕괴가 이동과 혼합 (mixing)하는 동안 무시된다고 가정하여 한국남해의 해수중 황해와 동중국해기원의 대륙붕해수 기여율을 추정 한 결과 1997년 춘계 남해의 해수중 20%가 황해와 동중국해의 대륙붕해수로 부터 구성된다. 춘계 한국남해안과 제주도사이의 평균 해수 수송량이 $1.96 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이므로, 대륙붕기원 해수의 플럭스 (flux)는 $0.39 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이다.

5. 저서생물 생화학 특성

- 해저 퇴적물로부터 지방성분의 추출, 분리방법 확립
해저퇴적물과 소량 (200ml)의 해수를 시료로 하여 신속하게 이들로 부터 지방성분의 추출, 분리 방법을 확립하였으며 지방산 및 일반 탄화수소의 조성 및 정량방법을 확립하였다. 이렇게 확립된 방법을 이용하여 실제 시료들로부터 (퇴적물 및 해수) 지방산 및 탄화수소

조성조사를 완료하였다.

- Heterotrophic bacteria 분리

시료들의 전처리 과정에서 heterotrophic bacteria (일반세균 및 방선균)들을 분리하는 과정을 거쳐 200 여주의 균주를 분리 장기보존하였으며 이들의 분해자로서의 역할을 기질 분해 효소 생산정도로서 확인하였다. 여기에는 단백질 분해능, 지방 분해능, 그리고 당 분해능이 포함되며 이러한 분해능은 추후 생명공학 관련 연구에 소재로 사용될 수 있다.

- 유용물질 생산 후보 생물 확인

유용물질 생산 후보 생물 2종을 확인하였는데 해산 갯지렁이의 일종인 *Perinereis aibuhitensis* (Polychaete)로부터 높은 함량 (30%)의 Eicosapentaenoic acid (EPA)와 hydroid의 일종인 *Solanderia secunada*에서 역시 35%의 Docosahexaenoic acid (DHA)의 함량을 확인하였다.

6. 퇴적물 분포 및 퇴적환경 변화

- 남해는 대부분의 수심이 약 200 m 이내로 퇴적물 분포 및 퇴적환경은 기상 및 해황의 영향을 많이 받는다. 퇴적물에 대한 일반적인 연구는 여러번 이루어졌으나 좀 더 정확하고 자세한 연구가 필요하다. 특히 제주도 주변지역은 니질모래로 이루어져 있으며 모래가 제주도 동쪽에 광범위하게 분포되어 있다. 제주도 북쪽해역은 빨로 이루어져있다.

7. 치자어와 어류군집

- 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구 (가을철)

1986년 11월 제주도 주변해역의 총 44개 정점에서 수집된 치자어 자료와 환경자료를 정밀분석 하였다. 치자어는 43개 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 3~259 개체/1,000m³(평균 50 개체/1,000 m³)였다. 우점종은 멸치 (*Engraulis japonicus*), *Champsodon snyderi*, 망둥어과 (Gobiidae), 솜뱅이 (*Sebastiscus marmoratus*), *Synagrops philippinensis*이며 이 종들은 전체 출현량의 56.6%였다.

치자어 군집은 분류군별 출현량 집괴분석 결과 2개의 군집으로 구분되었다. 치자어 군집 I은 전형적인 대마난류수역에 위치하였으며 군집 II는 대마난류수역의 일부와, 한국연안수역, 중국대륙연안수역에 위치하였다. 군집 I의 우점종은 멸치 (*Engraulis japonicus*), 망둥어과

(Gobiidae), *Synagrops philippinensis*, *Aulops japonicus*, *Bregmaceros* spp., *Benthoosema pterotum*, *Lampanctus* spp. 등 대부분 난류수역에 출현하는 종으로 이들의 출현은 대마난류수의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다. 분류군별 출현량 자료를 이용한 집괴분석결과와 환경변수(수온, 염분, 용존산소)를 이용한 정준판별분석결과는 10.5 % 정도의 차이를 보였다.

- 동해남부해역의 치자어 군집에 관한 연구

1993년 8월 자료를 정밀분석하였다. 47개의 조사 정점에서 총 125 분류군의 치자어가 채집되었다. 이 중에서 멸치(*Engraulis japonicus*)는 가장 우점한 종으로 평균 출현량은 3,662 개체/10m²이며 전체 출현량의 84.3%를 차지하고 있고, 다음은 엘퉁이 (*Maurolicus muelleri*)로 평균 출현량은 280 개체/10m²로 전체 출현량의 7.7%였다. 조사해역의 정점은 치자어의 분류군별 출현량(엘퉁이와 출현빈도가 낮은 분류군 분석에서 제외됨) 자료를 이용한 집괴분석결과 2개의 정점군으로 구분되었고, 치자어의 출현량은 군집 I (일본 근해)이 군집 II (한국 근해) 보다 많았으며 두 군집은 북동 - 남서 방향으로 구분되었다. 특히 군집 I의 우점종은 눈퉁멸 (*E. teres*), 꼬치고기 (*Sphyraena pinguis*), 전갱이 (*Trachurus japonicus*), *Parapristipoma trilineatum*, 줄갈돔 (*Lethrinus nematacanthus*), 자리돔과 (Pomacentridae), 놀래기과 (Labridae), *Champsodon snyderi*, *Parapercis snyderi* 등이 있으며 이들은 전형적인 아열대성 어종으로 생각된다. 이 집괴분석 결과는 환경자료 (수온, 염분, 용존산소, 클로로필 a)를 이용한 정준판별분석과 12.7%의 차이를 보이고 있으며 정준상관분석에서는 유의한 1개의 판별함수 ($r=0.88$, $p\leq 0.0002$)가 도출되었다.

SUMMARY

I. Title

Transport and biogeochemical processes in the Cheju Strait

II. Necessity and objective of the study

1. Necessity

- Korean South Sea Shelf (hereafter Cheju-Korea Strait region) waters consists of the Yellow Sea, Yangtz River and East China Sea, and Kuroshio waters, and it enters to the East Sea. Therefore, the Cheju-Korea Straits Region is dominated by the eastward flowing current, Cheju Current. However, shelf processes of material transport and biogeochemical processes have never been studied yet.
- The dynamics of Cheju Current has not received a full scientific investigation.
- The Cheju-Korea Strait region is enriched with benthic animals of structurely unique and/or biologically active metabolites being located in a transition zone from the subtropics to the temperate region in terms of water masses.
- The region is concentrated with commercial and fishing harbors, coastal industrial belt, and fisheries including fin- and shellfish farming, therefore, it is necessary to support the sustainable development with the understanding the important material fluxes.
- The region is also subject to the frequent occurrence of red tides and oil spill accident due to the concentration of commercial harbors and wastes discharge from the land. In order to provide a basic scientific background for environmental protection, the understanding of the oceanic processes occurring in the region.

2. Objectives (1st stage, 3 years)

- to understanding the material fluxes and water dynamics in the Cheju-Korea Strait Region.

- to develop ocean circulation model in the region
- to determine and understand on a regional scale the time-varying fluxes of carbon and associated biogenic elements in the region, and to evaluate the related exchange with the atmosphere, the seafloor and the continental boundaries.
- to determine biochemical characters of benthic organisms.
- to provide scientific background for developing a sustainable and environmentally sound management for the region.

3. Goal of the first year study

- to understand the behavior of the heavy metals in the anoxic inlets and to develop testable hypothesis to determine material exchange between shelf and specific inlets.
- to determine material fluxes across the Cheju Strait.
- to determine products and processes of organic matter in the region,
- to isolate marine bacterial strains and measurement of their degradation rates of organic materials.
- to establish analytical methods for biomarkers from marine environment.
- to apply lipid-derived biomarkers to environmental samples
- to review modern sediment distribution of continental shelf and nearshore area in the region
- to understand larval fish community structure in the sea around of Cheju Island in autumn and Korea Strait in summer

III. General scope of the study

1. Interdisciplinary survey in spring

Survey area : The South Sea of Korea (33° 30' ~34° N,
126° 17' ~128° 05'E)

Observation period : March 17 ~ 27, 1997

Vessel : R/V Eardo of KORDI (546 ton class)

Major items : CTD, current, tide and tidal current, pH, DO,
major inorganic nutrients, sediment organic matter, primary
production, radioisotope (²²⁸Ra & ²²⁶Ra), oxygen stable isotope,

2. Interdisciplinary survey in autumn

Survey area : The South Sea of Korea ($33^{\circ} 30' \sim 34^{\circ} \text{ N}$,
 $126^{\circ} 17' \sim 128^{\circ} 05' \text{ E}$)

Observation period : September 27 ~ October 3, 1997

Vessel : RV Ocean 2000 of NORI

(National Oceanographic Research Institute)

Major items : CTD, current, tide and tidal current, pH, DO,
major inorganic nutrients, sediment organic matter, primary
production, oxygen stable isotope

3. Time-series station

A time-series sediment trap is collecting daily samples in Jangmok Bay.

4. Coastal fixed station for aerosol collection

Natural fallout dust is collecting continuously in Jangmok Bay.

5. Current and circulation

- studying the mid- and long-term variation of quantitative water exchange and current pattern in the Cheju Strait, Cheju-Tsushima section and along the basis line at the south of the Namhae Island
- understanding the time and spacial variation of the stratification in the South Sea water
- studying the dynamical factors causing the variation of the volume transport
- studying the mesoscale phenomina in the South Sea using the remote sensing data
- developing the circulation model and the forecasting model of tide and tidal current using the numerical method

6. Anaerobic coastal inlets

Variety of physical environments and abundant supply of organic energy maintain high rates of many types of biogeochemical transformations in coastal bays. In this study were reviewed characteristics of coastal bays and their environmental status with existing data to provide

a basis for material transport model at the boundaries between coastal bays and open waters of the South Sea of Korea.

7. Shelf biogeochemistry

- Distribution of biologically important elements in the region,
- Determination of transport fluxes of biologically important element across the Cheju Strait,
- Time-series observation of oceanic processes,
- Time-series observation of aerosol inputs,
- Determination of organic carbon fixations and early diagenesis of biogenic elements in the region,

8. Biochemical characters of benthic organisms

- establishment of practical methods for micro-extraction and isolation of lipids from sediment and sea water
- establishment of analytical method for composition of fatty acids
- establishment of analytical method for composition of general hydrocarbons
- selection of two species of benthic organisms for production of industrially available fatty acids

9. Distribution of sediments and changes in sedimentary environment

- Review on the previous works,
- Understanding changes and characteristics of seafloor sediments,

10. Larval fish community

- Studies on the larval fish community structure, distribution and diversity in the Tsushima Current Region

IV. Results and recommendation

1. Current and circulation

- 1) Analysis of the oceanographic conditions in the South Sea in spring

and autumn, 1997

- According to the results of CTD observation in spring 1997, the low temperature and low salinity water is distributed in the coastal region and the high temperature and high salinity water in offshore region, but the Tsushima warm water with high salinity flows only through east of Cheju Island into the South Sea.
 - In autumn 1997, the high temperature and low salinity water affected by the Yangtze River discharge and the low salinity water of the Yellow Sea is distributed at the sea surface. At the bottom layer, there exists the low temperature and high salinity water originated from the Kuroshio. Its characteristics is not changed by the surrounding low salinity water.
 - Temperature inversion phenomena is occurred at all stations of the offshore region in autumn 1997, accompanying with the high saline water always.
- 2) Current measurements by the repeated ADCP observation in spring and autumn 1997
- According to the current data observed in spring 1997, eastward current with the maximum speed of about 20 cm s^{-1} is dominant in the Cheju Strait.
 - Current observed in autumn 1997 shows almost northeastward in the Cheju Strait and its maximum speed is about 40 cm s^{-1} .
 - Volume transport of the Cheju Strait is about 0.37 Sv in spring and 0.67 Sv in autumn, 1997.
 - Volume transport in the western channel of the Korea Strait is 1.76 Sv in autumn, so 62 % of it comes from the east of Cheju Island through the South Sea.
- 3) Development of circulation model of the South Sea
- Development of tide model in the South Sea
 - Development of circulation model using the newly developed open boundary condition
 - Development of oil-spill model and simulating the advection-diffusion characteristics of the oil-spill accident happened around Hansan Island in April 3, 1997.

2. Anaerobic coastal inlets

- Industrial wastewater is the most important among various sources of pollutants load for the case of Kwangyang Bay. COD ranged between 1 and 2 mg l⁻¹ in most coastal bays and ports located along the southern coast. Total sulfides in the surface sediment exceeded 2 mg g⁻¹ in most areas considered.
- Deuyryang bay, a permanently well mixed estuary located on the southwestern coast, sinking and resuspension of sediments are repeated due to strong tidal currents and shallow bottom. In summer silicates and phosphates are reported to be supplied by freshwater inflow whereas offshore waters containing high amounts of inorganic nitrogen and silicates are likely to enter the bay during other seasons. Kwangyang Bay of which total surface area is 230 km² is connected to the South Sea through Yousu Sound. Inflow of fine suspended particles from open waters and its sedimentation inside the bay were observed. Chinhae Bay is characterized by strong seasonal stratification which separates bottom waters from well-oxygenated surface waters. Below steep seasonal pycnocline high oxygen consumption rate by microbial degradation of organic matter leads to a redox environment. Ammonia and phosphates are released from surface sediments to overlying waters during this stratified season. Recent measurements of dissolve trace metals in Chinhae Bay showed average values of dissolved trace metals as following: Cd=0.018 μg l⁻¹, Cu=1.02 μg l⁻¹, Pb=0.019 μg l⁻¹. Particulate trace metal content exceeds largely that of dissolved phase owing to high affinity of trace metals to particles.
- Field studies were made for the behavior of trace metals in Danghang, Chindong, Sachon and Kawngyang Bay in 1997. Trace metal contents were relatively high near pollutants source.
- Kwangyang/Kamag Bay and Chinhae Bay were selected as priority study areas for cross-boundary material transport. For the construction of material exchange model at the boundary of coastal bays-open waters, following points would be considered and tested.
 - In which extent trace metals are transported away to the offshore

area as adsorbed onto suspended particles?

- How much dissolved organic materials are exchanged at the boundary by advective and diffusive fluxes?
- Can net flux be distinguished from gross flux at the boundary?
- Are sulfur compounds transformed under redox environment being carried out to the open waters?
- what are the influence of red tide blooms occurring along the southern coast on material budget and exchange?
- How external forcing due to short term weather change influence the material transport at the boundary between coastal bays and open waters?

3. Shelf biogeochemistry

- Dissolved oxygen and dissolved inorganic nutrients are relatively enriched in the cold and less saline waters in the north and relatively depleted in the warm and more saline waters in the south. Nutrient contents are vertically segregated in the Autumn and homogeneous in the Spring due to the development and destruction of thermocline during Summer–Autumn and Winter–Spring, respectively.
- Transport of material across the Cheju Strait during March is $3.23 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $1.73 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $12.85 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.16 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $14.55 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$ for suspended particulate matter, ammonium ion, nitrate ion, phosphate ion, and silicic acid, respectively. Transport of material across the Cheju Strait during September is $4.17 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $2.82 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $24.42 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.57 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$, $35.42 \times 10^8 \text{ } \mu\text{mol s}^{-1}$ for suspended particulate matter, ammonium ion, nitrate ion, phosphate ion, and silicic acid, respectively. The transport rate of materials in the Autumn is higher than in the Spring.
- Particulate organic matter is characterized low C/N ratios of 3.0~12.5 and largely marine origin. High correlation coefficients of chlorophyll a and particulate organic carbon (POC) ($r > 0.86$) and chlorophyll a and biogenic silicon ($r = 0.84$) were observed. Production of organic matter in the region appears to be dominated by the Si-bearing organisms.

- Sedimentary organic matter content is about 0.7 % and is also characterized as marine origin based on C/N ratio of less than 8. Accumulation rate of sedimentary organic matter is 36~176 $\mu\text{mol C cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ and is relatively high in Naktong Delta and Jangmok Bay and relatively low in Cheju and Korea Straits . Accumulation rate of sedimentary biogenic silicon is 33~174 $\mu\text{mol Si cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ and is relatively high in Naktong Delta and Jangmok Bay and relatively low in Cheju and Korea Straits. The advective burial is much greater than particle mixing.
- Sediment accumulation rate in the region is relatively low in Cheju and Korea Strait regions and high in Naktong delta and Jangmok Bay. Sediment accumulation rate is 89, 207,65, and 146 $\text{mg cm}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ at Cheju Strait, Naktong delta, Korea Strait and Janmok Bay, respectively. Surface mixed layer depth is 8, 6.5, 4.5, and 9.5 cm for Cheju Strait, Naktong delta, Korea Strait and Janmok Bay, respectively. ^{210}Pb -derived particle mixing rate is >12.4, >40, >2.1, and >26.2 $\text{cm}^2\text{ yr}^{-1}$ for Cheju Strait, Naktong delta, Korea Strait and Janmok Bay, respectively. Particle residence time is 51, 10, 34, 34 years for Cheju Strait, Naktong delta, Korea Strait and Janmok Bay, respectively.
- A time-series sampling of settling particulate in Jangmok Bay was made in two-day intervals for the period of 2 October to 8 December 1998. Settling fluxes varied from 0 to 44.7 $\text{g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ with average of 7.2 $\text{g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$. Settling particles consists of biogenic matter (24.2%) and lithogenic matter (76.2%). Mole ratio of C/N is 7.2. Settling flux of particulate organic matter, calcium carbonate, and biogenic silica, and lithogenic matter is 346, 475, 284, and 4050 $\text{mg m}^{-2}\text{ d}^{-1}$.
- Primary productivity in March and September 1997 is 285.8~867.9 $\text{mgC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ and 377.6 - 1964.5 $\text{mgC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$. Primary productivity is controlled by the availability of nutrient and light condition in the euphotic zone.
- Average activity ratio of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ in the region is about 1.33 which is much lower than those in the Yellow and East China Sea (=3.5) and similar to those in the East Sea (1~3) and much higher than

those in the Kuroshio Water (0.5). The contribution of the Yellow and East China Shelf Waters to the South Sea of Korea was estimated to be 20% in spring, assuming ^{228}Ra decay can be neglected during transport and mixing in this current dominated region. Since the total water transport across the Cheju Strait is $1.96 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, the contribution of the shelf water is $0.39 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

4. Biochemical characters of benthic organisms

- Practical methods were established for extraction and isolation of lipids and related materials from marine sediment and small quantity (200ml) of sea water. In addition, analytical methods for composition of fatty acids and general hydrocarbons were developed and applied to environmental samples.
- Isolation of heterotrophic bacteria
Two hundred strains of heterotrophic bacteria including eubacteria and actinomycetes were isolated from marine environment. Their degradation rates of proteins, lipids, and sugars were analysed by measuring the production rates of corresponding degradation enzymes. These methods have a potential to be available for biotechnological research.
- Selection of organisms for production of biomedically available substances
Two species of benthic animals were discovered for production of biomedically available fatty acids: Concentration of EPA (eicosapentenoic acid) from total fatty acids was 30 % for the polychaete *Perinereis aibuhitensis* and that of DHA (docosapentenoic acid) was 35 % for the hydroid *Solanderia secunda*.

5. Distribution of sediments and change in sediment environment

- Muddy sand are the most predominated sediment around Cheju Island. Far eastward from Cheju Island, sands are distributed widely. Mud deposits occur in the northern part of Cheju Island.

6. Fish community

- Studies on the fish larvae community in the sea around Cheju Island in autumn

Fish larvae and environmental variables collected in the sea around Cheju Island of Korea in November 1986 were utilized in this study. Fish larvae were found at the 43 of 44 stations. Abundance of fish larvae ranged from 3 to 259 indiv./1,000 m³(average 50 indiv./1,000m³). Dominant species were *Engraulis japonicus*, *Champsodon snyderi*, Gobiidae, *Sebastiscus marmoratus*, and *Synagrops philippinensis*, which comprised 56.6 % of total fish larvae abundance.

43 stations were classified into two groups using cluster analysis based on the abundance of fish taxa. Most stations within site Group I is located in the middle of Tsushima Current and had higher number of species and abundance than the site Group II which covers the marginal area of Tsushima Current, Korean Coastal Waters, and coastal water of China. The dominant taxa in site Group I were *Engraulis japonicus*, Gobiidae, *Synagrops philippinensis*, *Aulops japonicus*, *Bregmaceros* spp., *Benthosema pterotum*, *Lampanctus* spp. etc. and would be considered as typical Tsushima Current water species. The discriminant analysis using the environmental variables (temperature, salinity, and dissolved oxygen) revealed 10.5 % differences from cluster analysis using the taxa composition and abundance data. In the study area, the Tsushima Current was the most critical factor for the fish larvae community structure.

- The larval fish community structure in the southern part of the East Sea in summer

A study on the community structure of larval fish conducted in the southern part of the East Sea, Korea during August 1993 were utilized in this study. A total of 125 species were found from 47 sampling stations. Among them *Engraulis japonicus* was the most dominant species (3,662 larvae/10m²) comprising 84.3 % of the total fish larvae collected and followed by *Maurolicus muelleri* (280 larvae/10m²) accounting for 7.7 %. Sampling stations were classified

into two groups by a discriminant analysis based on the result of a cluster analysis with the abundance of fish larvae except for *M. muelleri* and rare species. The larval fish were more abundant in the stations within the site Group I, located in offshore of Japan than those in the site Group II which cover the offshore of Korea. Especially, dominant species of Group I were *Eturmeus teres*, *Sphyræna pinguis*, *Trachurus japonicus*, *Parapristipoma trilineatum*, *Lethrinus nematacanthus*, Pomacentridae, Labridae, *Champsodon snyderi* and *Parapercis snyderi* etc., which would be considered as typical warm water species.

Canonical correlation analysis yield one canonical function with correlations significantly greater than zero ($r=0.88$, $p\leq 0.0002$). The difference between a cluster analysis and a canonical discriminant analysis is 12.7 %. Two group showed the general northeast-southwest separation of species closely associated with environmental variables such as temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll a.

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
목 차	25
그림 목차	33
표 목차	41
제 1 장 서론	45
제 2 장 해류 및 해수순환	49
제 1 절 서론	51
제 2 절 관측개요 및 자료처리 방법	54
2.1. CTD 자료	54
2.2. ADCP 자료	56
제 3 절 남해 해황 및 해수수송량 변동	57
3.1. 1997년 3월 CTD 관측결과	57
3.2. 1997년 3월 ADCP 왕복관측결과	60
3.3. 1997년 9월 CTD 관측결과	64
3.4. 1997년 9월 ADCP 왕복관측결과 (국립해양조사원과 공동조사 결과)	67
3.5. 해수면차에 의한 수송량 변동	68
제 4 절 남해 해수순환모델	71
4.1. 모델	71
4.2. 모델 적용	74
4.3. 모델 결과	75
4.4. 유출유 이동-확산 실험	86
제 5 절 결론 및 토의	89
참고문헌	92
제 3 장 혐기성 내만환경	179
제 1 절 서론	181
제 2 절 기존자료 분석에 의한 해역의 오염도와 특성파악	182

제 3 절	중금속 원소의 거동	195
제 4 절	특성별 연구해역의 설정	200
제 5 절	물질교환 가설 도출	201
	참고문헌	204
제 4 장	대륙붕해역 생지화학 플릭스 변화	211
제 1 절	서론	213
제 2 절	재료 및 방법	214
제 3 절	결과 및 고찰	221
	3.1. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성	221
	3.2. 제주해협을 통과하는 화학물질 플릭스	233
	3.3. 표층수에서의 유기물 분포 특성	235
	3.4. 해저퇴적물에서의 유기물 분포 특성	238
	3.5. 해저퇴적물 축적을	244
	3.6. 생물기원 원소 해저 축적을	245
	3.7. 시계열 해양과정 관측 정점 설치 운영 결과	246
	3.8. 일차생산력	250
	3.9. 표층수의 Ra 동위체 방사능 분포	257
	3.10. 남해 대기분진 침적물 연속 채취 관측소 운영	260
제 4 절	결론	263
	참고문헌	266
제 5 장	저서생물 생화학 특성	323
제 1 절	서론	325
제 2 절	재료 및 방법	326
	2.1. 해수 및 해저 퇴적물에서 균주의 분리	326
	2.2. 해수로부터 지방성분의 분리	328
	2.3. 유용물질 생산 후보 생물의 분석	332
	2.4. Biomarker로서의 steroid 화합물의 분석기법 구축	333
제 3 절	실험 결과	334
	3.1. 일반세균 및 방선균의 분리 및 균주 보존	334
	3.2. 해수 시료에서 lipid 추출 및 분석	335
	3.3. 해저 퇴적토에서 lipid 추출 및 분석	337
	3.4. 저서생물의 지방산 조성 및 유용성분 정제	338

참고 문헌	342
제 6 장 퇴적물 분포 및 퇴적환경 변화	363
제 1 절 서론	365
제 2 절 연구 방법	366
2.1. 퇴적구조	366
2.2. 입도분석	366
2.3. 함수율	367
2.4. 유기물 함량	367
2.5. 탄산칼슘 함량	367
제 3 절 표층퇴적물 분포	367
제 4 절 결과 및 토론	368
참고문헌	372
제 7 장 치자어와 어류군집	377
제 1 절 서론	379
1.1. 제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구(가을철)376 ..	379
1.2. 동해남부해역의 치자어 군집에 관한 연구	379
제 2 절 연구방법	380
2.1. 제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구(가을철)	380
2.2. 동해 남부해역의 치자어 군집에 관한 연구	381
제 3 절 결과 및 고찰	382
3.1. 제주도 주변해역의 치자어 군집에 관한 연구(가을철)	382
3.2. 동해 남부해역의 치자어 군집에 관한 연구(여름철)	387
참고문헌	394
제 8장 결 론	423
부 록 :	427
1. 1997년 3월 해양조사 일지	429
2. 1997년 10월 해양조사 일지	435

Contents

Summary	3
Contents	25
List of Figures	33
List of Tables	41
Chapter I. Introduction	45
Chapter II. Current and circulation	49
1. Introduction	51
2. Outline of the survey and the data processing methods	54
a. CTD data	54
b. ADCP data	56
3. Oceanographic conditions and variation of volume transport in the South Sea	57
a. CTD observation results in March 1997	57
b. Repeated ADCP observation results in March 1997	60
c. CTD observation results in September 1997	64
d. Repeated ADCP observation results in September 1997	67
e. Variation of volume transport by the sea level difference	68
4. Circulation model of the South Sea	71
a. Model	71
b. Model configuration	74
c. Model results	75
d. Advection-diffusion experiments of oil spill	86
5. Conclusion and Discussion	89
Reference	92
Chapter III. Anaerobic coastal inlets	179
1. Introduction	181
2. Overview on the characteristics and contamination of coastal inlet	182

3. Behavior of trace elements in some coastal inlets	195
4. Selection of study area by characteristics of inlets	200
5. Hypothesis of material exchange model	201
Reference	204
Chapter IV. Shelf Biogeochemistry	211
1. Introduction	213
2. Material and methods	214
3. Results and discussion	221
a. The distributional characteristics of chemical components in the shelf	221
b. Along-strait material flux in the Cheju Strait	233
c. The distributional characteristics of organic matter in the surface water	235
d. The distributional characteristics of organic matter in the sediment	238
e. ²¹⁰ Pb-derived sedimentation rate	244
f. The accumulation rate of biogenic elements to the bottom	245
g. Time-series ocean process station	246
h. Primary productivity	250
i. The distribution of Ra isotope activity in the surface water	257
j. Time series aerosol collection at coastal fixed station	260
4. Conclusion	263
Reference	266
Chapter V. Biochemical characters of benthic organisms	323
1. Introduction	325
2. Materials and Methods	326
2.1. Isolation of bacterial strains from sea water and sediment	326
2.2. Isolation of lipids from sea water	328
2.3. Analysis of marine organisms for production of biomedically available fatty acids	332

2.4. Establishment of analytical methods of steroids as environmental biomarkers	333
3. Results	334
3.1. Isolation and storage of strains of eubacteria and actinomycetes	334
3.2. Isolation and analysis of lipids from sea water	335
3.3. Isolation and analysis of lipids from marine sediment	337
3.4. Analysis of fatty acid composition of benthic organisms	338
Reference	342

Chapter VI. Distribution of sediments and change in sediment environment

environment	363
1. Introduction	365
2. Method	366
a. Sedimentary structures	366
b. Grain size analysis	366
c. Porosity	367
d. Organic carbon content	367
e. Calcium-carbonate content	367
3. Surface sediment distribution	367
4. Results and discussion	368
Reference	372

Chapter VII. Fish community

1. Introduction	379
a. Studies on the fish larvae community in the sea around Cheju Island in autumn	379
b. The larval fish community structure in the southern part of the East Sea in summer	379
2. Material and methods	380
a. Studies on the fish larvae community in the sea around Cheju Island in autumn	380

b. The larval fish community structure in the southern part of the East Sea in summer	381
3. Results and discussion	382
a. Studies on the fish larvae community in the sea around Cheju Island in autumn	382
b. The larval fish community structure in the southern part of the East Sea in summer	387
Reference	394
 Chapter 8. Conclusion	 423
 Appendices	 427
1. Log sheet of investigation in March 1997	429
2. Log sheet of investigation in October 1997	435

List of Figures

Fig. 2.1. Bottom topography of the South Sea. In here, black circles denote the observation station of tidal elevation and black squares denote the observation station of tidal current for model verification.	95
Fig. 2.2. Location map of CTD stations and ADCP tracks in March, 1997.	96
Fig. 2.3. Location map of CTD stations and ADCP tracks in September, 1997.	97
Fig. 2.4. Flow chart of CTD data processing.	98
Fig. 2.5. T-S Diagram in March, 1997.	99
Fig. 2.6. T-S Diagram for each observation line in March, 1997.	100
Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station.	101
Fig. 2.8. Vertical distributions of temperature, salinity, density in the Cheju Strait.	109
Fig. 2.9. Vertical distributions of temperature, salinity, density along east of Chejudo.	110
Fig. 2.10. Sea surface temperature in March, 1997.	111
Fig. 2.11. Vertical distributions of temperature, salinity, density along south of Namhaedo.	112
Fig. 2.12. Comparison between the repeated ADCP observation time of the Cheju Strait and the sea surface elevation of the Cheju port during the observation period. In here, thin line denotes the sea surface elevation of the Cheju port, number is the repeat number of the ADCP observation and black points denote the averaged elevation of 9-repeated observations.	113
Fig. 2.13. Time plot of current observed by ADCP at 31m depth in the Cheju Strait.	114
Fig. 2.14. Vertical vector plot of detided current in the Cheju Strait (Chejudo-Jindo) in March, 1997.	115
Fig. 2.15. Vertical distributions of east-west and north-south component of current in the Cheju Strait (Chejudo-Jindo) in March, 1997.	116

Fig. 2.16. Vertical distributions of east-west component and geostrophic current in the Cheju Strait.	117
Fig. 2.17. Comparison between the repeated ADCP observation time east of the Cheju and the sea surface elevation of the Cheju port during the observation period. In here, thin line denotes the sea surface elevation of the Cheju port, number is the repeat number of the ADCP observation and black points denote the averaged elevation of 9-repeated observations.	118
Fig. 2.18. Vertical vector plot of detided current east of the Cheju in March, 1997.	119
Fig. 2.19. Vertical distributions of along-component and cross-component of current east of the Cheju in March, 1997.	120
Fig. 2.20. Vertical distributions of cross-component and geostrophic current east of the Cheju.	121
Fig. 2.21. Sea surface temperature in September, 1997.	122
Fig. 2.22. T-S Diagram in September, 1997.	123
Fig. 2.23. T-S Diagram for each observation line in September, 1997. ...	124
Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station.	125
Fig. 2.25. Vertical distributions of temperature, salinity, density of the Cheju Strait.	134
Fig. 2.26. Vertical distributions of temperature, salinity, density of Chejudo- Tsushima section.	135
Fig. 2.27. Vertical distributions of temperature, salinity, density along south of Namhaedo.	136
Fig. 2.28. T-S Diagram of the Korea Strait in October, 1997.	137
Fig. 2.29. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station of the Korea Strait.	138
Fig. 2.30. Vertical distributions of temperature, salinity, density of the Korea Strait.	139
Fig. 2.31. Time plot of current observed by ADCP at 31m depth in the Cheju Strait.	140
Fig. 2.32. Vertical vector plot of detided current of the Cheju Strait in September, 1997.	141

Fig. 2.33. Vertical distributions of east-west and north-south component of current of the Cheju Strait in September, 1997.	142
Fig. 2.34. Vertical distributions of east-west component and geostrophic current east of the Cheju Strait.	143
Fig. 2.35. Vertical vector plot of detided current of the Korea Strait in October, 1997.	144
Fig. 2.36. Vertical distributions of along- and cross-component of current of the Korea Strait in October, 1997.	145
Fig. 2.37. Vertical distributions of cross-component of current and geostrophic current in the Korea Strait.	146
Fig. 2.38. Time variations of monthly mean sea surface elevations in the Cheju port and the Chujado.	147
Fig. 2.39. Time variation of monthly mean sea level difference between the Chejudo and the Chujado.	148
Fig. 2.40. Monthly variation of sea level difference between the Chejudo and the Chujado.	150
Fig. 2.41. Comparison of sea level difference and the volume transport of the Cheju Strait.	153
Fig. 2.42. Model grid configuration and observation transect for ADCP survey.	154
Fig. 2.43. Locations of 37 tidal stations used in model calibration.	155
Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43).	156
Fig. 2.45. Comparison between the observations and the model results in calibration.	162
Fig. 2.46. Model verification results for surface elevation at station T1 to T5 in Fig. 2-1 (+: data, -: model).	163
Fig. 2.47. Model verification results for tidal velocity at station C1 in Fig. 2-1.	164
Fig. 2.48. Model verification results for tidal velocity at station C2 in Fig. 2-1.	165
Fig. 2.49. Tidal current ellipse for M2 tide calculated by model.	166
Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours.	167

Fig. 2.51. Tidal residual current field.	173
Fig. 2.52. Elevation and velocity calculated by mean current model at Gwangdo (station 24 in Fig. 2-43).	174
Fig. 3.1. Occurrences of red tide blooms in 1995.	207
Fig. 3.2. Sampling stations in Danghang/ Jindong Bay.	208
Fig. 3.3. Sampling stations in Sachon Bay.	209
Fig. 3.4. Sampling station in Kwangyang Bay.	210
Fig. 4.1. Location of sampling stations in the South Sea(March, 1997).	270
Fig. 4.2. Location of sampling stations in the South Sea (September, 1997).	270
Fig. 4.3. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section A in March 1997.	271
Fig. 4.4. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section B in March 1997.	274
Fig. 4.5. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section C in March 1997.	277
Fig. 4.6. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section A in September 1997.	280
Fig. 4.7. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section B in September 1997.	283
Fig. 4.8. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section C in September 1997.	286
Fig. 4.9. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) NH_4^+ (d) NO_3^- , (e) PO_4^{3-} , (f) Si(OH)_4 in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in March 1997.	289

Fig. 4.10. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) NH_4^+ (d) NO_3^- , (e) PO_4^{3-} , (f) $\text{Si}(\text{OH})_4$ in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in September 1997.	292
Fig. 4.11. The relationships between salinity and (a) particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$), (b) particulate organic nitrogen ($\mu\text{g/l}$), (c) C/N in the surface water (March 1997).	295
Fig. 4.12. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (March 1997). ...	296
Fig. 4.13. The relationships between suspended sediment (mg/l) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (March 1997).	296
Fig. 4.14. The relationships between salinity and (a) particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$), (b) particulate organic nitrogen ($\mu\text{g/l}$), (c) biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997). ..	297
Fig. 4.15. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).	298
Fig. 4.16. The relationships between suspended sediments (mg/l) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).	298
Fig. 4.17. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).	299
Fig. 4.18. The relationships between suspended sediments (mg/l) and biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997). ..	299
Fig. 4.19. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station A10 in March 1997.	300
Fig. 4.20. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station JM in September 1997.	301
Fig. 4.21. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station SC1 in September 1997.	302

Fig. 4.22. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station SC2 in September 1997.	303
Fig. 4.23. Depth distribution of excess ^{210}Pb from station A10 in March 1997.	304
Fig. 4.24. Depth distribution of excess ^{210}Pb from each stations in September 1997. (a) St. JM, (b) St. SC1, (c) St. SC2	305
Fig. 4.25. An overall view of a Mark 7G-21 sediment trap.	306
Fig. 4.26. Total mass flux of settling particle at station JM.	307
Fig. 4.27. Biogenic, lithogenic mass flux and biogenic composition of settling particle at station JM.	308
Fig. 4.28. Relationships between settling component in station JM.	309
Fig. 4.29. Vertical distribution of temperature, nitrate, primary productivity, chlorophyll a concentration during March, 1997.	310
Fig. 4.30. Vertical distribution of temperature, nitrate, primary productivity, chlorophyll a concentration during September, 1997.	312
Fig. 4.31. The correlation between salinity and temperature in the surface water of the South Sea of Korea.	316
Fig. 4.32. Plots of ^{226}Ra versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.	317
Fig. 4.33. Plots of ^{228}Ra versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.	318
Fig. 4.34. Correlation between ^{226}Ra and ^{228}Ra in the surface waters of the South Sea of Korea.	319
Fig. 4.35. Plots of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratios versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.	320
Fig. 4.36. Enrichment factors(EF) of metals relative to Al and metal flux of atmospheric dust fall at the southern Island(JM) and western coast(Ansan) of Korea.	321
Fig. 5.1. NMR spectrum of Lipid extracted from sea water with SPE method.	343
Fig. 5.2. GC chromatogram of fatty acid methyl ester in sea water.	344
Fig. 5.3. GC chromatogram of hydrocarbon in sea water.	352

Fig. 5.4. GC chromatogram of fatty acid methyl ester extracted from sediment (A) surface layer sediment, (B) 30 cm depth sample.	358
Fig. 5.5. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sediment (A) surface layer sediment, (B) 30 cm depth sample.	359
Fig. 5.6. (A) TLC chromatogram of total lipids from Polychaete <i>Perinereis aibuhitensis</i> , (B) TLC chromatogram of fractions separated by silica flash column chromatography.	360
Fig. 5.7. (A) GC chromatogram of total Fatty acid of Polychaete <i>Perinereis aibuhitensis</i> , (B) purified Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5), and (C) NMR spectrum of purified EPA.	361
Fig. 5.8. GC chromatogram of total Fatty acid of hydroid <i>Solanderia secunda</i> (A), producing Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5), and Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6), and NMR spectrum (B). ..	362
Fig. 6.1. Surface sedimentary distribution and boxcore location in the South Sea of Korea.	374
Fig. 6.2. (a) photograph, (b) x-ray radiograph and (c) core log and facies of boxcore SS 9703-A10.	375
Fig. 6.3. Diagrams of total composition, sorting, mean grain-size, skewness, kurtosis, water content(%), organic content(%) and Maco3 content of boxcore SS9703-A10.	376
Fig. 7.1. Map showing the sampling stations in the sea around Cheju Island.	410
Fig. 7.2. Map showing the sampling stations in the southern part of the East Sea.	411
Fig. 7.3. Distribution of the total fish larvae abundance in the study area.	412
Fig. 7.4. Geographic distribution of 43 sampling stations classified into two groups by discriminant analysis using the five environmental variables(Table 7.2). Dark square (group I) and open circle (group II) designate the two species assemblage by cluster analysis of 41 fish larvae taxa (Table 7.1).	413
Fig. 7.5. Distribution of the dominant fish larvae in the study area.	414

Fig. 7.6. Environmental conditions (temperature, salinity, dissolved oxygen, and chlorophyll a) in the study area(cited from KORDI, 1987). ...	415
Fig. 7.7. Distribution of the number of larval fish species captured at each stations in the study area.	416
Fig. 7.8. Distribution of the total fish larvae abundance in the study area.	417
Fig. 7.9. Distribution of the dominant fish larvae in the study area.	418
Fig. 7.10. Geographic distribution of 47 sampling stations classified into Group I and II based on the species association group (red circles : Group I, blue square : Group II) using 76 larval fish species (Table 7.4).	419
Fig. 7.11. Rarefaction curves for each station groups in the study area.	420
Fig. 7.12. Distribution of four environmental variables in the surface, 30 m and 50 m depth layer in the study area(cited from KORDI, 1994).	421

List of Tables

Table 2.1. Outline of CTD observations.	54
Table 2.2. Outline of vessel-mounted ADCP observations.	56
Table 2.3. Comparison between Volume transports and sea level differences of the Cheju Strait.	71
Table 2.4. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for M2 tide.	77
Table 2.5. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for S2 tide.	78
Table 2.6. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for K1 tide.	79
Table 2.7. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for O1 tide.	80
Table 2.8. Description of measurement stations of time-series data used for model verification.	81
Table 2.9. Spatial mean ARE and ME between tide models with boundary forcing using surface elevation and using tidal velocity.	85
Table 3.1. BOD load to major estuaries.	184
Table 3.2. T-N load to major estuaries.	185
Table 3.3. COD and TS in the sediments of coastal bays.	186
Table 3.4. Annual trends of seawater quality in Kwangyang Bay.	189
Table 3.5. Annual trends of seawater quality in Kosung/Jaran Bay.	190
Table 3.6. Annual trends of seawater quality in Kangjin Bay.	190
Table 3.7. Annual trends of seawater quality in Masan Bay.	193
Table 3.8. Heavy metal contents in the surface waters of Danghang Bay in May 1997.	196
Table 3.9. Heavy metal contents in the surface waters of Chindong Bay in May 1997.	196
Table 3.10. Heavy metal contents in the surface waters of Sachon Bay in May 1997.	197
Table 3.11. Heavy metal contents in the surface waters of Danghang Bay in August 1997.	197
Table 3.12. Heavy metal contents in the surface waters of Chindong Bay in August 1997.	198

Table 3.13. Heavy metal contents in the surface waters of Sachon Bay in August 1997.	199
Table 3.14. Heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997.	199
Table 4.1. Location of stations in March, 1997.	215
Table 4.2. Location of stations in September, 1997.	216
Table 4.3. Water column of biogeochemistry in the South Sea during March 19-27, 1997.	222
Table 4.4. Water column of biogeochemistry in the South Sea during September 27-October 1, 1997.	228
Table 4.5. Along-strait material fluxes in the Cheju Strait in 1997.	235
Table 4.6. The chemical composition of organic matter in the surface water in the South Sea during March, 1997.	236
Table 4.7. The chemical composition of organic matter in the surface water in the South Sea during September, 1997.	237
Table 4.8. The chemical composition in the sediment at station A10 (March, 1997).	240
Table 4.9. The chemical composition in the sediment in the South Sea of Korea (September, 1997).	241
Table 4.10. ²¹⁰ Pb-derived sedimentation rates and sediment parameters in the South Sea of Korea.	244
Table 4.11. The relative importance of sediment mixing to the incorporation rate of biogenic matter into the sediment.	245
Table 4.12. Total mass flux of settling particle at station JM.	248
Table 4.13. Mass flux of settling particle at station JM.	249
Table 4.14. Composition of biogenic matter in the settling particle at station JM.	251
Table 4.15. Primary productivity during the South Sea 9703 Cruise.	252
Table 4.16. Primary productivity during the South Sea 9709 Cruise.	254
Table 4.17. Radium isotope concentration and ²²⁸ Ra/ ²²⁶ Ra ratio of surface water in the East Sea of Korea.	260
Table 4.18. The atmospheric dustfall flux at the southern part of Korea.	260
Table 4.19. Metal composition and flux of atmospheric dust fall at the southern Island(JM) and western coast(Ansan) of Korea.	262

Table 5.1. Condition for Gas chromatography analysis for fatty acid methyl ester and hydrocabon.	331
Table 5.2. Isolation of Bacterial strains with substrate digestion activities.	334
Table 5.3. Amount of extractable lipid from sea water collected at Oct. 1997.	336
Table 5.4. Fatty acid composition of Polychaete <i>Perinereis aibuhitensis</i> and hydroid <i>Solanderia secunda</i>	341
Table 7.1. Mean abundance(N : no./1,000m ³), relative percentage(%), and frequency(F) of larval fish at each station group.	399
Table 7.2. Descriptive statistics for environmental variables of 43 sampling stations in the study area, and results of canonical correlation analysis of species association obtained by cluster analysis. Pooled within canonical structure between the canonical variables and the environmental variables selected by STEPDISC PROCEDURE in SAS.	402
Table 7.3. Classification summary derived from discriminant model used to predict species association group in the study area, based on five environmental variables.	403
Table 7.4. Mean abundance (N : no./10m ²), relative percentage(%), and frequency(F) of larval fish at each station group in August, 1993.	404
Table 7.5. Descriptive statistics for environmental variables of 46 sampling stations in the study area and results of canonical correlation analysis of species association obtained by cluster analysis. Pooled within canonical structure between the canonical variables and the environmental variables in August 1993.	408
Table 7.6. Classification summary from discriminant model used to predict species association group in the study area, based nine environmental variables.	409

제 1 장

서 론

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 동기 및 필요성

진도와 제주사이의 제주해협과 부산과 일본의 대마도 사이의 대한해협을 망라하는 제주도 이북의 남해 대륙붕 해역은 황해와 동중국해수가 제주해협을 거쳐 동해로 연결되는 길목에 위치한 동향 해류 지배해역이다. 또한 한반도로부터 육상기원 물질 및 폐기물을 수용하고 있다. 남해 대륙붕에는 냉수와 난수가 남북으로 대치하여 전선을 이루고 있다. 따라서 이 해역에서는 해류 지배해역에서 나타나는 해양특성과 물질유입 지배해역에서 나타나는 해양 특성이 복합적으로 발생하고 있다. 냉대성과 아열대성의 생물종이 혼재하는 해역으로서 생물화학특성자원의 개발 가능성이 높은 해역이다. 한편 남해 대륙붕은 남해안의 긴 리아스식 해안선과 수많은 도서가 존재하여 양식어장, 대규모 항만, 대단위 공업 단지 등이 밀집되어 우리나라 경제에 차지하는 비중이 매우 높으며 또한 집중적인 경제활동에 따라 적조 및 해상 독성물질 유출사고 다발 해역이다. 그러나 남해 대륙붕의 지속가능 경제 성장을 위한 기초적인 물질순환과 생지화학적 환경연구는 거의 수행되어 지지 못하였다. 이에 따라 남해에서 빈번하게 발생하는 적조 및 유출사고와 해양자원에 대한 효율적인 이용과 보전을 위해서는 물리, 화학, 생물, 지질을 포함한 분지규모의 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다.

남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 과정 연구는 남해 대륙붕의 주요 생지화학 과정에 대한 규명은 물론 남해에 미치는 영향을 파악하기 위한 장기 학제적 연구사업이다.

제 2 절 연구개발 목표와 주요 사업내용

10년간의 연구기간으로 계획된 연구의 최종 목표는 다음과 같다.

최종 연구 목표

- 한반도와 남해 대륙붕간 물질이동 규명

○ 저서생물의 생화학 특성 규명



○ 지속가능한 남해이용과 개발을 위한 환경보전 종합 시스템 구축

최종 연구목표를 달성하기 위한 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 남해 제주 해류 및 해수순환 변동 연구
- 남해 혐기성 내만환경 발달과정의 규명
- 남해 대륙붕 해역 생지화학 플럭스 결정 주요과정 연구
- 남해 저서생물 생화학 특성 파악
- 세립질 퇴적물 이동양상 규명
- 치자어 및 어류군집 구조 연구

제 2 장

해류 및 해수순환

제 2 장 해류 및 해수순환

제 1 절 서론

한국 남해는 서쪽으로는 제주해협을 통해 황해와 연결되고 동쪽으로는 대한해협을 통해 동해와 연결되며 남쪽으로는 동중국해와 연결된다. 남해의 해저지형은 한반도 연안을 따라서는 50 m 이하의 수심으로 완만한 경사를 가지며 제주도연안과 대마도연안에서는 100 m 까지 급한 수심경사를 보인다. 부산과 대마도 사이의 대한해협 서수도에는 200 m 이상의 깊은 골 (trough)이 대마도 쪽으로 해협과 평행하게 발달되어 있으며 제주해협의 제주도 인접해역에도 수심 120 m 이상되는 골이 존재한다. 이러한 골을 중심으로 한국 연안측은 해저지형 경사가 완만하며 대마도 쪽으로는 경사가 비교적 급하다 (Fig. 2.1). 천해인 남해는 기상의 영향으로 겨울철에는 강한 북풍계열의 바람과 표층냉각으로 인하여 전반적으로 수층이 수직적으로 균질해지며, 여름철에는 표면가열, 강우 및 주변대륙으로 부터의 담수유입등으로 수층은 2층구조를 보인다.

남해는 기원을 달리하는 성질이 다른 해수가 존재하며 이러한 상이한 해수의 분포는 계절에 따른 큰 변동을 보인다. 남해에 출현하는 수괴 (water mass)로는 쿠로시오 (Kuroshio) 로부터 분지된 후 제주도 동쪽을 통해 동해로 유입되는 고염, 고온의 대마난류수 (Tsushima Warm Current Water, Lim, 1971; Nitani, 1972; Byun and Chang, 1988; Kim et al., 1991a; Lie and Cho, 1944), 제주도 남쪽에서 대마난류로부터 갈라진 후 제주도 서쪽을 통해 황해로 유입되는 것으로 알려진 황해난류수 (Yellow Sea Warm Current Water, Uda, 1934; Nakao, 1977; Zheng and Klemas, 1982; Suk et al., 1996), 역시 쿠로시오로부터 기원되어 제주도 서쪽을 우회한 후 제주해협으로 유입되는 제주난류수 (Kim, 1980; Lie, 1986; Park, 1986; Kim et al., 1991b; Chang et al., 1995; Chang and Kim, 1995; Suk et al., 1996), 남해연안역에서 겨울철 형성되어 여름철 계절적 수온약층 하부에 분포하는 남해연안수 (South Korean Coastal Water, Lim, 1976), 황해에서 기원되어 남해에 영향을 미치는 (Kim et al., 1991b; KORDI, 1993; KORDI, 1994; Cho and Kim, 1994; Chang et al., 1995) 황해저층냉수 (Yellow Sea Bottom Cold Water) 및 황해연안수 (Yellow Sea Coastal Water), 양자강 하구역의 표층수와 담수의 혼합으로 형성되어 여름철 남해안에 영향을

미치는 양자강 회석수 (Kim, 1986; Kim et al., 1991b) 및 동해에서
기원되는 대한해협 저층냉수 (조, 1988; Cho and Kim, 1994) 등이 있다.
수층이 수직적으로 성층화되는 여름철에는 양자강퇴에서 담수유입에 의해
형성된 저염의 양자강 회석수가 표층에 깔려 제주해협까지 나타나며
하층에는 쿠로시오에서 기원된 고온, 고염의 대마난류수가 나타난다 (Kim
et al., 1991).

제주해협에서 대한해협에 이르는 남해에서 해수유동은 주로 동향류나
북동향류로써 제주해협에서 평균유속은 약 12.5 cm/sec 이며 (Chang and
Kim, 1995; Suk et al., 1996) 대한해협에서는 약 50 cm/sec를 갖는다 (Lie
and Cho, 1997; Mitta and Ogawa, 1984). 기존의 제주해협에서 해류계에
의해 1-2일 정도 단기간 또는 20일간의 장기간 관측된 해류자료에 의하면
제주해협의 평균해류는 북동내지 동쪽방향을 나타내며 (Chang et al., 1995;
Kim, 1980), 인공위성 추적부이에 의한 해류관측 결과는 제주도 서쪽에
투하된 부이가 제주해협을 통과한 후 동해로 유입됨을 보였다 (Beardsley
et al., 1992).

남해의 조석은 일조부등이 크지 않고 1일 2회조가 우세하게 나타난다. M2
분조의 조석파는 부산 부근에서는 약 8시에 도달하여 서쪽으로 진행 하며
서단에서는 11시에 도달하고 등조시선의 형태는 한국남해안에서
남서방향으로 동중국해를 향하고 있다. 대조차는 부산의 1.2m로 부터
서쪽으로 갈수록 커져서 추자도 부근에서 2.9 m에 달하고 제주도 연안
에서는 2.2-2.7m를 나타내고 있다. 제주해협 부근에서 조류는 국부적으로
차이는 보이지만 전반적으로 창조류는 서쪽으로 낙조류는 동쪽으로 흐르며,
대한해협 부근은 반대 방향을 보인다. 조석형태수 (tide form number)는
부산에서 0.1, 삼천포에서 0.2로서 남해의 동부해역은 매일 2개의 고조와
저조가 거의 같은 크기로 일어나는 반일주조형태이다. 추자도와 제주에서는
각각 0.36, 0.4로써 남해 동부해역을 제외한 남해 대부분의 지역에서는
고조와 저조가 하루에 2회씩 일어나지만 높이 및 출현시간의 부등이 존재
하는 반일주조 우세형의 양상을 보인다. 남해를 포함하는 해역에 대한
조석과 조류의 연구는 Ogura (1933), Nishida (1980), JODC (1984) 등에
의해서 북태평양 해역의 주요 분조에 대한 등조시도 (cophase chart)와
등조차도 (coamplitude chart)가 작성되었다.

대부분 정성적인 자료를 근간으로 한 남해의 수괴분포에 관한 기존의
제반 연구는 수괴분포와 연관된 남해의 해수순환을 이해하는데 많은 기여를
하였으나 해수분포 및 해수순환에 관하여 아직 해결되어야 할 문제가 많이

남아있다. 최근에 들어 해상사고시 유출유 및 적조등으로 인한 연안역 오염이 청청해역으로 알려진 남해에서 심각한 문제로 대두되고 있으며 이러한 제반 해양오염에 대처하고 피해를 최소화 하기 위해서는 오염물질 이동, 확산에 관한 실시간 예측이 절대적으로 필요시 되고 있다. 해상사고로 인한 해양으로 유입된 유출유가 해양오염에 미치는 영향 및 경제적 손실은 막대하여 모든 국민들의 관심의 대상이 되고 있다. 우리나라는 연간 300여건에 달하는 크고 작은 유출사고가 발생하며, 남해에서 1995년에 발생한 시프린스호, 유일호, 사파이어호의 유출유 사고로인한 해양환경 피해가 그 대표적인 예이다. 1997년 4월 3일 경남 통영시 한산면 매물도 동남방 2마일 해상에서 유조선 제3오성호가 암초에 부딪쳐 좌초됨으로써 병커C유 187톤이 유출되는 사고가 발생하여 남해 연안부터 대마도 부근해역까지 유출유가 이동·확산되어 많은 해양오염문제를 유발시켰다. 이와같이 국가경제의 성장으로 선박의 대형화가 유출유 사고의 대형화를 유발시키며, 내만보다는 외해역에서 주로 발생하여 유출유로인한 오염범위가 점차 확대되는 추세이다. 이러한 유출유 사고와 더불어 매년 남해안에 적조가 발생하여 수산자원 및 양식업의 피해가 점차 증가하고 있다. 이러한 오염물질의 이동·확산을 예측하기 위해서는 남해전체를 domain으로하는 수치모델에 의해 해수순환이 우선 정량적으로 정확히 재현되어야 한다. 앞서 언급한 바와 같이 남해는 폐쇄된 해역이 아니라 남해안을 제외하고는 전 경계가 개방되어 인접해역과의 해수교환이 활발히 일어나므로 이러한 순환모델의 개발시 개방경계를 통한 해수의 유입과 유출 및 그 시간변동에 관한 정확한 정보는 정량적으로 정확한 해수순환을 재현하는데 필수불가결하다. 남해는 천해이므로 바람등에 의한 기상요인 및 불규칙적인 해저지형과 조류의 상호작용으로 유발되는 조석잔차류에 의한 평균해류의 유발 가능성도 있으나 남해의 순환을 좌우하는 일차적인 요인은 개방경계를 통한 제반 수괴의 유·출입 과정이다 (Chang et al., 1997). 기존의 제한적인 연구 결과는 남해의 해류가 시·공간적으로 변화가 심함을 암시하고 있으며 (Chang and Kim, 1995; Suk et al., 1996), 이러한 해류의 변화는 그 물리적 요인을 규명하기 이전에 우선 충분히 그 변화 양상이 기술되어야 한다.

본 연구는 남해의 지리적인 경계에 해당되는 제주해협, 대한해협 및 제주도-대마도간 연결 선상을 통한 해수의 유·출입 및 그 시간변동을 정량적으로 규명하고 이를 기반으로 남해의 해수순환 모델을 개발하는데 있다. 1차년도에는 남해의 해황과 해협을 통한 인접해역간의 물질 및 해수교환의 중·단기 변동성을 파악하기 위해 CTD를 이용한 남해해황

관측을 실시하였고, 해협에서 해수수송량은 ADCP 왕복관측을 통해 효과적으로 조류성분을 제거한 해류를 측정하여 해수수송량을 계산하였다. 제 3장에서는 봄과 가을에 실시한 해양관측결과를 토대로 남해해황의 특성과 제주해협의 해수수송량의 변동을 살펴보고, 제 4장에서는 관측 결과를 토대로 구성한 해수순환모델을 이용하여 남해의 해류특성과 유출유 이동·확산 실험을 통해 오성호 유출유 사고시 유출유의 이동-확산 특성을 살펴보았다.

제 2 절 관측개요 및 자료처리 방법

2.1 CTD 자료

1997년 3월과 9월에 남해의 해황특성을 파악하기 위해 Table 2.1과 같이 CTD를 이용하여 수온 및 염분 관측을 실시하였다. 3월과 9월의 관측점 위치는 Fig. 2.2와 Fig. 2.3에 각각 표시하였다.

Table 2.1. Outline of CTD observations

관측 기간	정점수	관측기기	조사선	비고
1997 3.19-3.21	29	SBE 9/11	이어도	
1997 9.27-10.2	37	SBE 9/11	해양20 00	국립해양조사원과 공동조사

9월 해양관측은 한국해양연구소와 국립해양조사원이 해양2000호를 이용하여 공동조사를 실시하였다. 또한 남해 전 해역의 해황을 파악하기 위해 한국해양연구소의 관측점외에 Fig. 2.3에서 국립해양조사원의 관측점(관측점 B11-B13)의 일부를 포함시켰다. CTD는 수심에 따라 수온과 전기전도도를 측정하는 장비로서 관측된 전기전도도는 계산에 의해 해수의 염분으로 전환된다. 일반적으로 CTD 관측에는 몇가지의 문제점이 내재되어 있다. 첫 번째가 수온과 전기전도도의 반응시간 차이때문에 관측된 전기전도도의 수직구조에 스파이크가 발생하는데 이와같은 스파이크는 수온과 전기전도도의 반응시간을 일치시키는 필터를 이용하거나 관측된 수온과

전기전도도의 수직구조를 적절히 시간 이동을 시킴으로써 제거할 수 있다. 두 번째는 CTD를 1m/sec 이하로 느리게 움직임으로 인해 압력의 떨림 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제는 압력필터를 이용하여 교정할 수 있다. 세 번째는 CTD의 하강과 상승시에 관측되는 자료에서 차이를 발견하게 되는데 이는 CTD 하강과 상승시 전기전도도 센서가 감지하는 수온의 차이 때문에 생기는 것으로 아직까지 뚜렷한 문제해결 방법이 제시되지 못하고 있는 실정이다.

CTD 자료의 처리과정

현장에서 수집된 CTD 자료는 SeaBird사에서 추천하는 일련의 처리 과정을 거쳤다. 먼저 관측된 binary 자료는 DATCNV 과정을 통해 일차적으로 압력, 수온, 전기전도도등으로 변환되고, 수직적으로 수온변화가 심한곳에서 자료가 심하게 튀는 것은 WILDEDIT를 이용하여 구간크기 (block size)를 크게하여 제거할 수 있다. 이 과정에서도 편차의 범위를 벗어나는 자료는 제거되지 않는 경우가 발생하는데 이때는 구간크기와 편차를 조정하여 제거해야만 한다. 이와같이 튀는 값을 제거한 후에는 FILTER 과정을 통해 low pass filter를 사용하여 압력에 대한 해상도를 증가시킬 수 있다. 이때 일반적으로 사용되는 필터계수 Tc는 0.15이다. 전기전도도 센서가 수직으로 하강하면서 센서 자체가 온도변화를 하게 되므로써 에러가 발생하게 된다. 이러한 에러는 CELLTM 과정을 통해 수정 가능하다. 이러한 과정들을 거치면서도 제거되지 않은 자료는 수작업으로 제거할 수 밖에없다. 이외에도 CTD 하강시 일어날 수 있는 압력의 떨림 현상은 LOOPEDIT 과정에서 제거할 수 있다. 이와 같이 처리과정을 통과한 자료는 DERIVE를 이용하여 수온, 염분 등으로 계산되고, 매 1m 간격의 자료를 얻기 위해서는 BINAvg를 이용하면 간단하다. 지금까지의 모든 과정은 binary 자료를 이용한 것이며 아스키 자료로 바꾸기 위해서 ASCIIOUT을 이용해야한다 (Fig. 2.4).

본 연구에서는 CTD를 하강하면서 관측된 자료만을 이용하여 분석하였다. CTD 자료의 문제점들을 위에서 언급된 자료처리 과정을 거치면서 제거한 후 매 1m 간격의 자료를 얻었다. 이러한 자료는 국제연합 교육과학문화기구 (UNESCO)에서 추천하는 공식을 이용하여 수온, 염분, 밀도를 계산하여, 먼저 각 관측점에서 수온, 염분, 밀도의 수직구조를 조사 하였으며, 각 관측선에서 수직단면도를 이용하여 해황을 분석하였다.

관측기간중에 남해 상층해황은 인공위성으로부터 수신된 해표면 온도 분포를 이용하였다.

2.2 ADCP 자료

해류를 관측하는데에는 해류계를 계류하여 일정한 깊이에서 해류를 장기간 측정하는 Eulerian 방법과, 부표를 투하하여 추적함으로써 해류를 추적하는 Lagrangian 방법이 있다. 그러나 최근에는 수중음향의 Doppler 효과를 이용하여 수직적으로 연속적인 해류를 관측할 수 있는 ADCP가 주로 이용되고 있다. 우리나라 주변해역, 특히 황해와 남해는 왕복성 조류가 강하게 나타나는 해역으로 ADCP를 이용하여 조류성분이 제거된 순수한 해류성분만을 추출하기 위해서는 최소한 한 조석주기에 2번 이상을 왕복 관측한후 평균을 취하여야 일평균 해류성분을 구할 수 있다. 왕복관측횟수를 증가시키면 조류성분을 비교적 정확히 제거할 수 있으며 관측선에 수평·수직한 방향으로 연속적인 해류분포를 구할 수 있는 장점으로 인해 최근에 많이 이용하고 있는 방법이다 (Suk et al., 1996). 특히 이러한 방법은 해류성분이 조류성분만큼 강한 남해와 같은 해역에서 해류성분을 얻는데 적절한 방법이다.

Table 2.2. Outline of vessel-mounted ADCP observations

관측기간	관측위치	관측시간	조사선	왕 복 횟 수	비고
1997. 3.22-3.25	제주-진 도	51시간 40분	이어도	9	2개의 section으로 나누어 관측
1997. 3.25-3.26	제주동부 30마일	25시간 50분	이어도	8	
1997. 9.29-9.30	제주-보 길도	25시간 50분	해양20 00	8	국립해양조사 원과 공동조사
1997. 10.2-10.3	부산-대 마도	25시간 50분	해양20 00	12	국립해양조사 원과 공동조사

제주해협, 제주동부의 해류구조 및 해수수송량을 조사하기 위해 1997년 3월에는 한국해양연구소의 이어도호를 이용하여 CTD 및 ADCP 관측을 수행하였다. 남해는 조류 및 흑조로부터 기인된 대마난류가 제주해협부터 대한해협에 이르기까지 모두 강하게 나타나는 해역이므로 1회에 걸친 ADCP 관측만으로 조류성분이 제거된 해류성분을 얻기가 힘들다. 본 연구에서는 남해의 경계에 해당되는 제주해협, 제주도 동부에서 일평균 해류의 공간적인 분포를 파악하고 경계를 통한 해수 및 물질 flux를 정량적으로 파악하기 위하여 ADCP 관측을 Table 2.2와 같이 반복적으로 실시하였다. 제주해협을 가로 지르는 제주-진도간 단면은 둘로 나누어 1997년 3월 22일-23일에는 진도-추자도 (약 25마일) 단면을 24시간 50분에 걸쳐 9회 왕복관측을 하였고, 3월 24일-25일에는 추자도-제주간을 같은 시간동안 역시 9회 관측을 실시하였다. ADCP 관측시 조사선의 속도는 7-8 노트를 유지하였다. 1997년 9월의 제주해협 (제주-보길도)의 해류관측은 국립해양조사원과 공동으로 25시간 50분동안 각각 8회 및 12회 왕복관측을 실시하였다.

관측된 ADCP 자료중 90% 이상의 percent good을 보인 자료만을 선택하여 동서 방향과 남북 방향으로 모든자료를 분리후 각 CTD 관측점과 각 관측점 가운데에서 매회 관측된 자료를 평균하여 조류가 제거된 일평균 해류성분만을 구하여 해류분포를 분석하였고 해류분포를 이용하여 해수 수송량을 계산하였다.

제 3 절 남해 해황 및 해수수송량 변동

3.1 1997년 3월 CTD 관측 결과

1997년 3월에는 Fig. 2.2의 A, B, C 세 개의 관측선에서 CTD 관측을 수행하였다. 3개의 관측선에서 관측된 해수는 수온 9°C-16°C, 염분 33.90-34.55 psu의 범위를 갖는다 (Fig. 2.5). 관측된 해수는 크게 수온 14 °C 이상, 염분 34.4 psu이상인 고온·고염의 해수와 수온 12 °C 미만, 염분 34.4 psu미만의 상대적으로 저온, 저염인 해수로 구분할 수 있는데 저온, 저염인 해수는 고온, 고염의 해수에 비해 밀도가 높다. 저온, 저염의 해수는 다시 $\sigma_t = 26.25$ 인 등밀도선을 따라 상대적으로 수온과 염분이 높은 해수와 수온 10 °C 미만인 저온, 저염수로 다시 구분된다. 각 관측선에서의 T-S diagram (Fig. 2.6)을 살펴보면, 제주도 동쪽의 관측선

B에서는 전 층에 걸쳐 수온 13 °C 이상, 염분 34.4 psu 이상인 고온, 고염수가 나타나고 있어 다른 관측선의 T-S diagram에 비해 tight 하다. 관측선 C에 출현한 고온, 고염의 해수는 관측선 B에서보다 다소 수온과 염분이 낮고, 표층에서 이러한 고온, 고염의 해수가 나타나는 관측점들에서는 수심이 깊어질수록 수온과 염분이 감소하는 경향을 보인다. 관측선 B의 세 관측점에서는 전 층에 걸쳐 수온이 10 °C 정도로 일정하지만 염분은 수심이 깊어질수록 증가한다. 제주해협 관측선 A에서의 고온, 고염의 해수 역시 관측선 B에서보다 다소 수온과 염분이 낮다. 관측선 A에서는 전층에 걸쳐 고온, 고염인 해수와 전층에 걸쳐 저온, 저염인 해수 및 수심이 깊어짐에 따라 수온과 염분이 점차 낮아지는 관측점들로 구분할 수 있다. 관측선 A에 출현한 전층에 걸쳐 저온, 저염인 해수는 관측선 C에 나타나는 저온, 저염수에 비해 상대적으로 높은 수온값을 보인다.

Fig. 2.7은 각 CTD 관측점에서 관측된 수온, 염분, 밀도에 대한 수직구조를 도시화하였다. 제주해협에서 관측된 12개 관측점의 수직구조를 살펴보면 대부분 관측점이 수직적으로 균질한 분포를 보이고 있지만 관측점 A8, A9에서는 수직 구조가 타 관측점들과 다르게 나타난다. 관측점 A8에서는 수온과 염분이 수심에 따라 감소하다 수심이 60 m 이상이 되는 곳에서는 수온 12 °C 이하의 균질한 해수가 나타나며, 관측점 A9에서는 표층으로부터 수심 60 m 까지는 염분 34.4 psu 이상인 균질한 해수가 나타나고 그보다 수심이 깊은 곳에서는 수심이 깊어짐에 따라 수온과 염분이 감소하는 수직구조를 보인다. 관측점 A8의 수심 60 m 이상되는 곳에 나타나는 균질한 저온수의 수온은 인접한 관측점 A7이나 A9보다 더 낮다. 제주동부의 관측선 B의 8개 관측점들의 수온, 염분 수직구조도에서는 염분은 대체로 수직적으로 균일하지만 수온구조는 관측점에 따라 수직적으로 균일한 분포를 보이거나 (관측점 B8) 2층구조를 보인다. 남해도 남쪽의 관측선 C상의 관측점들의 수직구조를 살펴보면 남해 연안쪽 관측점인 C1과 C2에서는 수온은 수직적으로 균질한데 반해 염분은 저층에서 증가하는 형태를 보이는 반면 관측점 C3부터 외해쪽 관측점에서는 수심이 깊어질수록 점차 수온과 염분이 감소하는 구조를 갖는다. 또한 관측점 C8에서는 표층과 저층에 수온약층이 두 개 나타나는 구조를 보인다.

제주해협 수직단면도

제주해협 (제주도-진도)의 수온, 염분, 밀도에 대한 수직단면도 (Fig. 2.8)를 살펴보면 전반적으로 제주도에서 진도 연안으로 갈수록 수온과 염분이 낮아진다. 그러나 관측점 A7-A8의 저층에는 수직구조에서 살펴본 바와 같이 수온과 염분이 주위의 해수에 비해 낮고 밀도는 높은 해수가 제주해협 골의 북쪽사면에 고립되어 나타난다. 이러한 현상이 일어날 수 있는 가능성은 첫 번째가 겨울철 남해연안에서 생성되는 저온저염수가 해저면을 따라 외해쪽으로 확장하였다가 다시 후퇴하면서 해저면에 저온저염수가 남아있게되어 나타나는 현상이거나 두 번째는 조석혼합에 의해 높은 혼합도를 갖는 황해연안의 저온저염수가 해저면을 따라 제주해협으로 유입되며 나타나는 현상일 수 있다. 밀도분포를 살펴보면 연안이 외해보다는 높은 밀도를 갖으며, 또한 등밀도 분포를 살펴보면 연안에서 외해로 경사진 분포를 보인다. 특히 저층의 등밀도분포는 연안역에서 깊은 골짜기 해저면을 따라 연장되어 있을 가능성이 보이기도 한다. 이러한 밀도분포는 연안역에서 형성되는 밀도가 높은 저온저염수가 해저면을 따라 외해로 확장될 수 있을 가능성을 보이고 있지만 수온과 염분분포에서 연안역 관측점 A4-A5사이에 수직적으로 형성된 수온과 염분에 대한 전선의 존재가 전자의 가능성 보다는 후자일 가능성을 뒷받침하고 있다. 그러나 ADCP 관측결과를 이용한 일평균 해류분포는 관측점 A8의 저층해수가 미약하나 서쪽으로 흐르는 분포를 보이고 있어 (Fig. 2.25) 보다 명확한 결론을 내리기 위해서는 시간에 따른 해수분포의 변화를 파악하고 저층류를 모니터링 할 수 있는 체계적인 관측이 요구된다. 또한 CTD 자료외에 해수의 화학적 특성에 관한 자료가 제주해협에 출현한 저층 저온수의 기원을 규명하는데 유용하리라 사료된다.

제주동부 수직단면도

제주동부의 해황특성 (Fig. 2.9)을 살펴보면 전체적으로 수온은 13°C 이상이며, 염분은 34.4 psu 이상으로 쿠로시오로부터 기원된 고온고염의 대마난류수의 특성을 보인다. 등온선의 분포는 등밀도선의 분포와 유사하며 마치 전선의 사행으로 발생하는 와류에 의해 형성된 듯한 분포를 보인다. 이러한 구조는 관측기간중에 인공위성으로부터 관측된 해수면온도 분포 (Fig. 2.10) 에서도 찾아볼 수 있다. 1997년 3월 4일과 3월 8일에 관측된

해수면 온도 분포에서 제주해협을 가로질러 남해안과 평행하게 전선이 형성되어 있으며, 전선은 사행하는 형태를 보이고 있다. 또한 4일의 시간차를 갖는 두 해수면 온도분포에서 다소 달라진 분포를 발견할 수 있는데, 하나는 3월 4일에 비해 3월8일에는 전선이 다소 연안역으로 북상하였으며, 둘째는 전선의 사행형태도 제주해협부터 제주 동부에 이르기까지 다소 변화되어 있음을 알 수 있다. 이러한 전선의 단기간 변동성은 바람에 의해 변화될 수 있음이 제기되기도 하였다 (Na et al., 1990).

남해도 남부 수직단면도

남해안의 남해도에서부터 정남쪽으로 위치한 관측선 C의 수온, 염분 밀도에 대한 수직단면도를 Fig. 2.11에 도시하였다. 수온분포를 살펴보면 외해 보다는 연안역이 저수온을 보이며, 연안역에서는 수직적으로 균질한 분포를 보이는 반면 외해에서는 약하지만 성층이 되어 있는 형태를 보인다. 염분분포는 연안역이 저염수이며 외해로 갈수록 고염을 보이고, 수심이 깊어질수록 저염의 특성을 보인다. 외해의 해저면 가까이에 나타나는 저온저염수는 연안역에서 형성된 저온저염수가 해저면을 따라 확장되어 분포하는 것으로 사료된다. 이러한 가능성은 밀도분포에서 등밀도선이 연안의 표층에서 외해의 저층으로 연장되어 분포함으로써 뒷받침된다.

3.2. 1997년 3월 ADCP 왕복관측 결과

제주해협

1997년 3월에 ADCP 왕복관측은 제주해협의 제주도-진도사이와 제주도 동부의 제주도-대마도 사이에서 실시하였다 (Fig. 2.2의 점선구간). 제주도-진도구간의 관측길이는 약 55마일이므로 하루에 8회 이상의 왕복관측은 불가능하여 두 section으로 나누어 각 section을 24시간 50분동안 9회 관측하였다. Fig. 2.12는 제주도-진도 구간에서의 ADCP 9회 관측시 조사선이 각 CTD 관측점 및 CTD 관측점 사이를 통과한 시간에서의 조석표에 의한 제주항 조위 및 9회에 걸친 조위의 평균을 나타낸다. 그림에서 숫자는 관측 횟수를 그리고 검은점은 9회 관측동안의 조위 평균치를 나타낸 것이다. 조위의 평균치가 거의 일정한 값을

나타내지만 제주도쪽에서 진도쪽으로 (A1 --> A12) 갈수록 평균치가 감소하여 관측점 A3와 A12의 9회 평균된 조위는 약 5 cm의 차이를 보인다. 전체 관측 횟수는 고조시 횟수와 저조시 관측된 횟수가 같도록 하여야만 평균 조위차가 생기지 않을 것이며 이를 위해서는 짝수번 관측이 이루어져야만 하지만 본 연구에서는 홀수관측이 실시되어 작지만 평균 조위차가 발생한 것으로 보인다.

추자도와 제주도를 9번 왕복관측시 수심 31m에서 관측된 ADCP의 시계열자료 (Fig. 2.13)로부터 해·조류를 살펴보면 제주도 부근해역은 북동향류가 5회 관측된 반면 추자도 부근해역은 4번 관측되었으나 남동향류의 세기가 북서향류보다 크므로 평균된 해류 방향은 남동향을 보인다. 전체적으로 동향류의 최대 유속이 서향류의 최대유속보다 크게 나타나고 있음을 볼 수 있는데, 이는 상단에 그려진 평균 해류방향에서도 잘 나타나고 있다.

ADCP 왕복관측결과에 평균을 취하여 조류성분을 제거한 후 해류를 수직단면상에 도시화하면 Fig. 2.14와 같다. 제주해협 입구에서 유향은 전반적으로 동향이거나 북동향이어서 황해나 동중국해에서 해수가 제주해협을 통해 남해로 유입됨을 알 수 있다. 이러한 동향류는 제주도에서 15 mile 북쪽으로 떨어진 곳까지 강하게 나타나는데 이 해역은 제주해협 깊은 골의 남쪽에 해당되며 최대유속은 20 cm/s에 이른다. 진도 연안역은 약하지만 북서향류 및 서향류가 나타난다. 수심에 따른 유향의 변화는 수심이 깊어질수록 반시계 방향으로 유향이 바뀌는 경향을 보인다.

해류를 동-서, 남-북성분 (Fig. 2.15)으로 나누어 살펴보면 동-서 성분은 진도 연안역, 관측점 A6-A7사이, 해협 깊은 골의 북쪽사면 저층을 제외하고는 대부분 동향성분이 우세하게 나타나며, 최대유속은 관측점 A11번의 표층에서 18 cm/sec로 나타난다. 표층과 저층에서의 동향성분의 유속의 차이는 동향류가 강하게 나타나는 제주도 인접해역에서 최대 약 8 cm/s로 가장 크게 나타나며 관측점 A09의 북쪽으로는 수직적인 유속차이가 크지 않다. 서향류는 CTD 관측 결과에서 (Fig. 2.8) 수온전선과 강한 염분전선이 위치하는 관측점 A04 와 A05 사이의 북쪽해역인 진도 연안역에 나타나는데 최대 4 cm/sec정도의 유속을 보인다. 관측점 A06 과 A07 사이에서도 미약하지만 전층에 걸쳐 서향류가 나타나는데 이는 해류의 사행에 의한 것으로 사료된다. 남북성분은 대부분 4cm/sec 이하로 약하게 나타나며 대부분 북향성분이 우세하다. 관측점 A06 에서는 전층에 걸쳐 4 cm/s 정도의 남향류가 나타난다. ADCP로 관측된 해류 분포로부터

제주해협을 통과하는 동향의 해수수송량은 0.37 Sv으로 1995년 4월에 제주도-보길도 사이를 ADCP로 관측한 수송량 (0.3 Sv)과 비슷한 값을 보인다 (Suk et al., 1996).

제주해협에서 관측된 CTD자료로부터 계산된 지형류와 ADCP 반복관측에 의한 일평균 해류분포를 비교하였다 (Fig. 2.16). 지형류에 의한 해류분포는 강한 동향류가 제주도쪽에 치우쳐 분포하고 그 북쪽으로는 동향류의 유속이 작게 나타나고 있어 전반적으로 관측일시의 차이에도 불구하고 ADCP 관측 결과와 유사하다. 서향류의 분포도 다소 차이를 보이긴 하지만 관측점 A07 과 A08 사이에서 전층에 걸쳐 서향류가 나타나고 제주해협 골의 북쪽사면에서도 서향류가 나타나며 진도에 인접한 관측점 A03 과 A04에서도 전층에 걸쳐 서향류가 나타나는 등 유사성을 보인다. 그러나 전체적으로 유속크기에 있어서 지형류가 약 1/3정도로 약하게 나타나며, 지형류로부터 계산된 수송량은 0.15 Sv으로 ADCP에 의해 관측된 수송량의 약 42% 정도밖에 되지 않는다. 이는 실측된 제주해협 수송량중 50% 이상은 해류의 순압성분이나 ageostrophic한 효과에 기인됨을 시사한다. 해류의 ageostrophic 효과로는 바람과 해저면 마찰을 생각할 수 있는데 해양관측은 비교적 바람이 잔잔했을 때 이루어졌고 해저면 마찰은 해류의 속도를 감소시키는 역할을 하는 반면 실측된 해류는 지형류에 비해 크게 나타나므로, 실측된 유속 및 해수수송량이 지형류에 의한 값보다 크게 나타나는 주된 원인은 해류의 순압성분에 기인하는 것으로 사료된다.

제주동부

제주동부에서 ADCP 관측은 25시간 50분에 걸쳐 약 25마일 되는 transect를 8회 반복 실시하였다. Fig. 2.17은 제주도-대마도 구간에서의 ADCP 8회 관측시 조사선이 각 CTD 관측점 및 CTD 관측점 사이를 통과한 시간에서의 조석표에 의한 제주항 조위 및 8회에 걸친 조위의 평균을 나타낸다. 그림에서 숫자는 관측 횟수를 그리고 검은점은 9회 관측동안의 조위 평균치를 나타낸 것이다. 제주해협에서 9회 왕복관측때와는 달리 조위의 평균치가 전 관측점에 걸쳐 거의 일정한 값을 보인다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 짝수번으로 ADCP를 관측함으로써 고조시와 저조시의 관측횟수가 같고 이때 관측된 해,조류를 평균을 취할 경우 조류성분이 보다 잘 제거될 수 있음을 의미한다.

8회 왕복한 ADCP 자료를 평균을 취하여 해류성분만을 구하여 벡터 plot

한 결과 (Fig. 2.18)를 살펴보면 제주연안역에는 남서향류가 나타나며, 저층으로 갈수록 유향이 시계방향으로 바뀌면서 유속은 증가하는 경향을 보인다. 그 보다 외해역은 북서향류나 북동향류를 보이는데 제주도에서 대마도쪽으로 갈수록 북서향류에서 북동향류로 점차 유향이 바뀌는 것을 알 수 있으며, 최대유속은 20 cm/sec 이상으로 나타난다.

관측된 해류를 관측선에 수직한 방향과 수평한 방향으로 나누어 살펴보면 (Fig. 2.19), 수평방향의 분포는 제주도 연안역에서만 유향이 남서방향 (음의 값)을 보이고 대부분 북동방향이며 대마도 쪽으로 갈수록 점차 북동방향의 유속이 커져 최대 26 cm/sec 이상에 이른다. 제주도 근방의 남서방향의 유속 (음의 값)은 저층으로 갈수록 유속이 증가하여 최대 8 cm/sec 이상에 이른다. 관측선에 수직한 방향의 유속분포는 관측점 B3 근처 상층에서 북서방향의 최대 유속값을 보이며 제주도쪽과 대마도쪽으로 갈수록 점차 유속이 감소하여 제주연안과 관측점 B6-B7에서는 미약한 유속의 남동류가 나타난다.

ADCP 관측선에 수직한 성분의 유속분포와 CTD 자료를 이용하여 계산한 결과 관측선에 수직한 지형류 분포를 비교하면 (Fig. 2.20), 지형류 유속분포는 ADCP에 의해 관측된 유속분포와 정반대의 경향을 보인다. ADCP 유속이 양의 값을 보이는 관측점 B3-B6에서 지형류는 음의 값을 갖으며, 관측점 B6의 외해역에도 반대 방향을 갖는다. 또한 지형류 분포에서는 제주도 근방의 유향이 북서방향인 반면 ADCP 관측에서는 남동방향을 보인다. CTD 관측과 ADCP 관측사이에는 약 5일간의 시간차가 있으며 이러한 두 유속 분포의 차이는 전선역에서의 해류의 단주기 사행운동에 의한 것으로 추정된다. CTD 및 ADCP 관측기간의 인공위성 사진을 이용하여 해수면 수온분포로부터 이러한 해류의 사행을 살펴보려 하였으나 동 기간에는 구름의 영향으로 명확한 사진을 얻을 수 없었고 대신 1997년 3월 4일 과 3월 8일의 인공위성으로부터 관측된 해수면 온도분포를 조사하였다 (Fig. 2.10). 두 그림에서 차이점을 살펴 보면 연안역의 저온수와 외해의 고온수와 접하는 전선이 3월 8일에는 3월 4일보다 남해연안으로 북상하여 나타나며, 또한 제주도와 대마도를 잇는 ADCP 관측선상에서 수온분포에서도 4일 사이에 전선역의 구조가 변화되었음을 볼 수 있다. 제주동부에서 ADCP로 관측된 해류분포를 이용하여 계산한 북서방향의 해수수송량은 약 0.44 Sv 이다.

국립해양조사원에서는 1997년 4월에 부산-대마도간의 대한해협 서수도에서 ADCP 반복관측을 실시하였으며 (국립해양조사원, 1997), 그

결과에 의하면 대한해협을 통해 동해로 유입되는 수송량은 1.22 Sv 이었다. 본 연구의 관측 결과와 국립해양조사원의 관측결과로부터 제주동부에서 관측하지 못한 단면상에서의 해수수송량은 약 0.41 Sv으로 추정된다. 이 경우 남해로부터 대한해협 서수도를 통해 동해로 유입되는 해수수송량의 약 30%는 제주해협에서 기원된 것이며 나머지 70%는 제주도-대마도 사이를 통해 대한해협으로 유입되는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 조 (1988)가 염 보존방정식을 이용하여 박스모델에서 계산한 대한해협에서 제주해협을 통과한 수송량의 비율 (31-36%)과 유사한 결과를 보인다.

3.3 1997년 9월 CTD 관측 결과

(국립해양조사원과 공동조사 결과)

1997년 9월의 남해해황을 살펴보기위해 인공위성으로부터 관측된 1997년 9월 17일의 해수면 온도분포 (Fig. 2.21)를 조사하였다. 해수면 온도분포에 의하면 제주도 남쪽의 동중국해로부터 고온수가 남해로 유입되는 형태를 보이고, 차가운 냉수가 진도 부근해역으로부터 보길도를 거쳐 제주도-대마도 사이까지 유입되는 경향을 보인다. 이러한 표층냉수는 고온수와 접하여 사행하는 형태를 보이고 대한해협으로 띠모양을 갖으며 유입되는 형태를 보인다.

T-S Diagram (Fig. 2.22)상에서 수괴특성을 살펴보면 관측해역의 수온은 5°C-25°C, 염분은 31.5-34.6 psu 사이의 분포를 보이며 표층과 저층에서 각각 2개의 수괴특성이 나타난다. 표층의 수괴는 수온 20°C 이상이며 염분 34.0 psu 이상의 고염의 표층수와 수온은 20°C 이상이지만, 염분이 32.5 psu이하인 저염의 표층수로 구분되며, 저층수도 수온 17°C 이하, 염분이 34.3 psu 이상인 고염의 저층수와 수온이 15-20°C, 염분이 33.0-34.0 psu정도를 갖는 상대적으로 저온저염인 저층수로 구별할 수 있다. 각 관측선별로 수괴특성 (Fig. 2.23)을 살펴보면 제주해협의 A 관측선은 수온 14°C-25°C, 염분은 31.5-33.8 psu의 범위를 보이고 있어 3월에 비해 해수의 염분이 많이 낮아졌고 특히 표층에서의 저염화가 두드러진다. 제주동부의 관측선 B는 수온 (5°C-25°C), 염분 (32.3-34.6 psu) 모두 다른 관측선보다는 넓은 분포를 보이고 있으며, 제주해협과 달리 4개의 수괴특성이 나타난다. 특히 저층의 저온고염수는 표층의 고온고염수보다 염분값이 높으며 또한 염분이 증가할수록 수온도 점차 증가하는 형태를 보인다. 이러한 저온고염수는 고염의 특성이 유지되면서 저층을 통해 남해로 유입되는

대마난류수로 사료된다. 남해도 남쪽의 관측선 C에서의 수괴특성은 표층에서는 관측선 A와 유사하며 저층에서는 관측선 B와 유사한 분포를 보인다.

수온, 염분 수직구조

각 관측점에서 수온, 염분, 밀도에 대한 수직구조는 Fig. 2.24에 도시하였다. 제주해협을 각 관측점에서 수직구조를 살펴보면 보길도 연안역 관측점은 수심이 깊어질수록 수온은 감소하지만 염분은 증가하는 형태를 보이며, 관측점 A5번부터 외해역 관측점에서는 표층혼합층 밑에 수온 역전현상과 염분도 급격한 변화를 보이는 복잡한 구조가 나타난다. 수온 역전현상은 수심 20-40m 사이에서 일어나며, 역전된 수온차가 최대 1°C 이상을 보이기도 한다. 이러한 수온역전이 일어나는 층에서 염분도 급격히 증가하여 최대 1.0 psu 정도가 변하는데, 마치 고염수가 얇은 층으로 만입되어 나타나는 형태를 보인다.

제주도-대마도를 잇는 B 관측선에서 수온, 염분의 수직구조는 대체로 수심이 깊어질수록 수온은 감소하며, 염분도 증가하는 형태를 보인다. 수온역전이 일어나는 관측점도 있지만 대부분 수심 약 20-45m까지 서서히 수온이 증가하였다가 수온약층부터 급격히 감소하는 형태를 보이며, 염분도 수온이 역전되어 고염을 갖는 층에서는 고염을 보인다. 또한 수온약층이 시작되는 층(수심 50-60m)에서는 얇은 두께로 저염분수가 출현하고 있다. 특이한 현상은 해저면(70-100m) 근처에서 수온역전현상이 발견되는데 이곳에서는 표층과 달리 34.2 psu 이상의 고염이 나타난다. 일반적으로 수온역전현상은 겨울철에 급격한 표면 냉각에 의해 발생하거나, 연안용승 해역이나 난류와 한류가 경계를 이루는 전선역에서 발생한다.

제주도-대마도 사이의 관측선은 남쪽에서 북상하는 고온고염의 대마난류수와 연안의 저온저염의 남해연안수와 접하여 전선을 이루는 해역으로 이러한 수온 역전현상은 다른 두 수괴가 접하는 해역에서 나타나는 현상으로 사료된다. 특히 저층에 나타나는 저온고염수는 표층에 나타나는 고온고염수보다 고염을 갖는 대마난류수로 쿠로시오로부터 분기되어 동중국해를 거쳐 남해로 유입되면서 표층의 저염수와 덜 혼합되어 고염의 특성을 유지하고 있는 대마난류수이다. 그러나 관측점 B12의 수심 120m 이심에서 나타나는 10°C 이하의 저온수는 다른 관측점과 달리 저온저염의 특성을 보이는데, 이러한 저온수는 동해로부터 대한해협 깊은

골로 유입되는 저온저염수가 연장되어 분포하는 것으로 사료된다.

남해도 남쪽의 C 관측선의 수온, 염분의 수직구조는 대체로 수심이 증가할수록 수온은 감소하고 염분은 증가하는 분포를 보이지만 외해역(관측점 C6-7)의 수심 30-40m 사이에서는 수온 역전현상이 나타나며, 역시 그 층에서도 높은 염분값을 갖는다. 또한 저층 70m 부근에서도 약하지만 수온역전이 일어나며 중층의 고염수보다도 고염을 갖는다.

제주도-보길도 수직단면도

수심이 50 m 보다 깊은 관측점 A05부터 제주도까지는 계절적 수온, 염분, 밀도약층이 수심 40 - 50 m 에 나타나며 수심이 얇은 보길도쪽으로는 약층의 존재가 뚜렷치 않고 수심에 따른 수온변화가 수심이 깊은 관측점들에 비해 작다. 수온약층 상부에 분포하는 표층수의 수온과 염분은 수심이 얇은 보길도쪽보다 수심이 깊은 해협의 남쪽에서 높다. 보길도에 인접한 관측점 A02-A04의 표층에는 염분 32.0 psu미만의 저염수가 약 10 m 두께로 얇게 분포한다. 해협남쪽의 수온약층 하부에는 수온 13 °C 이상, 염분 33.5 psu이상, σ_t 24.5 이상인 상대적으로 저온, 고염, 고밀도의 해수가 분포한다 (Fig. 2.25).

제주도-대마도 수직단면도

Fig. 2.26은 제주도-대마도 단면의 수온, 염분, 밀도에 대한 수직분포도를 나타낸 것이다. 계절적 수온 및 밀도약층이 제주해협보다는 다소 깊은 수심 약 50 - 70m에 나타나며 대마도쪽으로 갈수록 약층이 나타나는 수심이 다소 깊어지고 약층에서의 수온과 밀도변화도 약화되는 경향을 보인다. 염분분포에서는 약층의 존재가 뚜렷치 않지만 대략 수온약층이 나타나는 수심을 기준으로 하부에는 34.0 psu이상의 고염수가 분포하고 상부에는 34.0 psu이하의 상대적으로 염분이 낮은 해수가 나타난다. 대마도에 인접한 관측점 B12의 저층에는 수온 8°C 미만의 저온수가 나타나며 이 저온수의 염분은 34.0 psu보다 높다. 이 저온수와 가장 유사한 수온, 염분값을 갖는 해수는 대한해협 저층냉수로서 동해에서 기원된 대한해협 저층냉수의 남해로의 유출을 시사 하지만 이러한 저온수가 남쪽의 동중국해에서 기원되었을 가능성도 배제할 수 없다. 염분분포를 살펴보면 관측점 B6-B9 사이에 33.0 psu 이하의 저염수가 표층에 존재하며 관측점 B9와 B10

사이에 염분전선이 나타난다.

남해도 남부 수직단면도

남해도 남쪽의 수온, 염분, 밀도에 대한 수직단면도 (Fig. 2.27)를 살펴보면 제주해협외의 제주도-보길도 단면에서와 유사하게 수심이 깊은 외해역에서는 수온, 염분, 밀도약층이 수심 30 - 50 m 에 나타나지만 수심이 얇은 연안역의 해수는 수직적으로 균질한 분포를 보인다. 외해역의 약층은 남쪽으로 갈수록 수직적으로 넓어지는 경향을 보이며 이는 특히 밀도약층의 분포에서 뚜렷하다. 관측점 C04-C06에 나타나는 표층수는 북쪽과 남쪽의 표층수에 비해 수온과 염분이 낮는데 이러한 표층의 저온, 저염수는 제주도-보길도 단면의 보길도 연안역 표층수의 특성과 유사하다. 이러한 저온수는 인공위성으로부터 관측된 해수면 온도분포에서 살펴본 바와 같이 (Fig. 2.21) 황해 남부연안역인 진도부근에서 띠모양으로 대한해협으로 유입되는 저온수 분포와 연관된 것으로 사료된다. 제주해협 끝에 분포하던 14 °C 이하의 저온수는 관측선 C의 관측점 C04, C05의 저층에도 나타난다. 전반적으로 관측선 C의 수온, 염분분포는 제주해협의 관측선 A의 분포와 유사하여 남해의 평균적인 해류가 주로 북동방향임을 암시한다.

3.4. 1997년 9월 ADCP 왕복관측 결과 (국립해양조사원과 공동조사 결과)

제주해협 (제주도-보길도)

1997년 9월에는 제주해협의 제주도-보길도 구간에서 8회에 걸쳐 ADCP 관측을 반복 수행하였다. 제주해협 수심 31m에서 8회 반복 관측한 결과를 살펴보면 (Fig. 2.28) 제주도 부근에서는 북서향류가 1회, 4회, 5회에 강하게 나타나는 반면 북동향류는 2회, 3회, 6회 7회 관측시 나타난다. 보길도 부근 해역은 강한 남동향류가 4회 관측된 반면 북서향류는 3회 관측되었다. 즉 제주도 부근에서 8회 평균한 해류는 그림 상단에 나타난 바와 같이 북동향류를 보이며, 보길도 연안 부근에서는 남동향류가 우세하다.

제주도-보길도 단면상에서 일평균 해류분포를 살펴보면 (Fig. 2.29) 서향류가 나타나는 관측점 A4-A5 사이를 기점으로 제주도쪽은 동향 또는

북동향류가 우세하며 보길도 연안부근은 남동향류가 강하게 나타난다. 해류의 수직적 구조도 다소 차이를 보이는데, 수심이 깊은 저층에서는 동향류가 우세한 반면 표층에서는 북동향류나 남동향류가 우세하게 나타난다. 유속의 세기가 가장 강하게 나타나는 곳은 관측점 A6-A8 사이의 상층으로 그 크기는 30 cm/sec 이상을 나타낸다.

ADCP에 의해 관측된 평균해류장을 동서, 남북성분 (Fig. 2.30)으로 나누어 살펴보면 동서성분은 관측점 A4-A5 사이를 제외하고는 동향류가 나타나며, 그 크기는 대부분 10-20cm/sec를 보인다. 남북성분은 동서성분보다는 다소 약하지만 3월 관측결과와 달리 북향성분이 강하게 나타나고 있는데 그 크기가 표층에서는 20cm/sec 이상이 나타나기도 한다. 남향성분은 보길도 부근해역에서만 강하게 보인다. 전반적으로 9월의 해류분포는 3월에 비해 noisy하며 동서, 남북성분의 유속이 모두 강화되었고 수직적인 유속의 shear도 증가된 양상을 보인다.

해류의 동서성분과 지형류 분포 (Fig. 2.31) 를 비교하면 그 방향에 있어서는 대체로 유사하지만 그 크기는 다소 차이를 보인다. 또한 관측된 해류분포에서 서향류가 관측점 A4-A5사이에서 관측되는 반면 지형류에서는 관측점 A5-A6에서 보이며, 보길도 부근에서 50 cm/sec 정도의 최대 동향류가 나타난다. 이러한 차이는 ADCP왕복 관측결과에서 해류성분을 구할 때 조류성분이 충분히 제거되지 않았거나 해류의 경압성분만을 나타내는 지형류외에 실제 해류에서는 순압성분 및 ageostrophic한 성분이 포함되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 관측된 해류와 계산된 지형류에 의한 해수수송량을 살펴보면 전자는 0.67Sv이며, 후자는 0.64Sv로서 3월과는 달리 양자간에 거의 차이를 보이지 않으며, 3월에 비해 수송량이 2배정도 증가하였다. 이러한 결과는 9월의 경우 관측된 해류와 지형류 사이에 다소 차이를 보이지만 해류의 대부분이 경압성분으로 구성되어 있고 순압성분은 아주 작은 것임을 시사한다. 9월달 수송량이 3월에 비해 2배 정도 증가하는 이유도 겨울철에서 여름철로 가면서 성층이 발달하고 이에 따라 해류의 경압성분이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

3.5. 해수면차에 의한 수송량 변화

성층화된 해양에서 해류가 지형류 균형을 이룰 경우 x (동서), y (남북) 방향의 운동방정식과 정수압 방정식은 아래와 같이 표시된다.

$$fv = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2-1)$$

$$fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (2-3)$$

위 식에서 u, v 는 x, y 방향의 유속을 나타내며, ρ_0, ρ, p, f, g 는 평균 해수밀도, 해수밀도, 압력, Coriolis 변수, 중력가속도를 각각 나타낸다. 정수압 방정식을 임의의 수심 z 부터 해수면 $z=\eta$ 까지 수직적으로 적분하면 임의의 수심에서 해수 압력은 대기압을 무시할 경우 아래와 같이 표시된다.

$$p = g \int_z^{\eta} \rho dz,$$

위 식과 x 방향의 운동방정식으로부터 x 방향의 유속 u 는

$$u = -\frac{g}{\rho_0 f} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

위 식의 우변의 첫 번째 항은 밀도의 공간분포와 연관된 해류의 경압 성분으로 유속의 수직적인 shear와 연관되며 두 번째 항은 수심에 관계없는 해류의 순압성분으로 y 방향의 해수면 기울기에 의해 결정된다. 표층 ($z=\eta$)에서의 유속은

$$u_0 = -\frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (2-4)$$

와 같이 y 방향의 해수면 기울기와 연관되므로 절대적인 해수면 기울기를 알 경우 표층유속을 구할 수 있고 수직적인 유속분포는 해수의 밀도분포로부터 구할 수 있다. 실질적으로 해양에서 공간적인 해수면 기울기의 절대치를 관측하기는 매우 어려우나 표층유속을 나타내는 u_0 를 나타내는 식 (2-4)는 해협등에서 해류나 해수수송량의 변동성을 모니터링 하는데 유용하게 이용될 수 있다. 즉 장기관측된 해류자료와 해수면 기울기 (상대적인)로부터 상관관계를 도출할 수 있으면 해수면 기울기의

변동성으로부터 해류나 해수 수송량의 변동성을 모니터링 할 수 있다.

제주해협에는 제주항과 추자도에 국립해양조사원에서 운용하는 영구 조위관측소가 있으므로 이 조위관측소 자료를 이용하면 제주해협을 통해 남해로 유입되는 해수수송량의 변동성을 모니터링 할 수 있다.

제주해협에서의 이러한 모니터링은 Chang과 Kim (1995)에 의해 그 가능성이 제시된 바 있다. Chang과 Kim은 추자도에 영구 조위관측소가 설치되기 이전인 1983년 4월에 추자도에 임시 조위관측소를 설치하고 제주해협의 한 군데에서 약 20일간 관측된 저주파 해류의 변동성과 제주항-추자도간 해수면 기울기의 저주파 변동이 통계적으로 의미있는 상관관계가 있음을 보였다. Chang과 Kim의 관측 이후에 추자도에 영구 조위관측소가 설치 되었으나 관측소 설치 이후 장기적인 해류관측이 이루어진 바가 없어 제주해협내 해류와 제주항-추자도간 해수면 기울기의 상관관계가 아직 정립되지 못하고 있다. 향후 장기적인 해류관측이 반드시 이루어져 영구 조위관측망을 이용한 해류 및 해수수송량 모니터링 체계가 구축되어야 한다.

본 연구에서는 일단계로 제주시와 추자도에 위치한 국립해양조사원의 영구 조위관측소에서 측정된 1988-1995년까지 8년동안의 조위자료를 이용하여 해수면 기울기를 조사하였다. 먼저 추자도와 제주시에서 관측된 월평균 해수면 자료 (Fig. 2.32)를 살펴보면 두 자료 모두 계절변동이 두드러져 여름철에 월평균 해수면이 높아지고 겨울철에는 낮아진다. 제주시와 추자도에서의 월평균 해수면 변동은 같은 위상을 보인다. 이러한 계절변동 외에 해수면 변화는 연변동도 포함하고 있어 연평균 해수면이 1993년과 1995년에 현격히 감소하였다.

Fig. 2.33은 제주도-추자도 사이의 월평균 해수면 기울기의 변동을 나타낸 것이며, 그림에서 가는 실선은 연평균 해수면차의 변동성을 보여주고 있다. 해수면 기울기의 변동주기는 수개월-수년주기를 보이며, 8년동안 월평균 해수면의 기울기가 증가하는 보다 장기적인 경향도 볼 수 있다. 해수면 기울기가 큰 해는 1990년, 1994년과 1995년에 나타나며, 특히 1995년에 가장 큰 값을 보인다. 8년간 평균한 월평균 해수면 기울기 (Fig. 2.34)를 살펴보면 1월이 가장 작은 값을 보이며, 점차증가하여 8월에 최대를 보이고 있다. 이와같은 결과는 제주해협에서의 해수수송량이 겨울철보다 여름철에 증가함을 암시하며 3월과 9월에 실측된 유속분포로부터 계산한 해수수송량은 이를 부분적으로 뒷받침 한다.

제주해협에서 지금까지 ADCP 왕복관측으로 측정된 해수수송량은 Table

2.3.과 같다.

Table 2.3. Comparison between Volume transports and sea level differences of the Cheju Strait

	관측시간	해수수송량	해수면 기울기
제주-진도	1995. 4	0.30 Sv	-0.12 cm
제주-보길도	1997. 3	0.37 Sv	-2.01 cm
제주-보길도	1997. 9	0.66 Sv	1.80 cm

제주해협 해수수송량과 해수면 기울기를 비교하면 Fig. 2.35와 같으며, 선형회귀직선을 구하면 다음과 같다.

$$V \text{ (Sv)} = 0.077 * D + 0.46$$

여기서 D는 해수면 기울기이며, V는 해수수송량이다. 지금까지 관측에 의한 제주해협의 해수수송량이 3번에 불과하여 위의 선형식으로부터 관측된 해수면차만으로 수송량을 계산하기에는 부족하지만 앞으로 이와같이 관측된 해수수송량 자료가 축적된다면 해수면 기울기를 이용하여 해수수송량을 모니터링 할 수 있을 것으로 생각된다.

제 4 절 남해 해수순환 모델

4.1 모델

기본방정식

본 연구에 사용된 POM (preceton ocean model)의 지배 방정식은 해면고도 (surface elevation fields)와 속도장 (velocity fields)의 시·공간적인 변화를 표시할 수 있는 연속방정식과 운동방정식으로 구성되어 있다. 계산의 단순화를 위해 비압축성 근사(incompressible approximation) 유체정력학적 근사(hydrostatic approximation), Boussinesq 근사를 사용하였고 공간적인 밀도구배를 무시하였다. 수직방향으로 적분된 연속방정식과 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0 \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{\partial U^2H}{\partial x} + \frac{\partial UVH}{\partial y} - fVH + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - HF_x \\ & = \frac{1}{\rho_0} \tau_x^w - \frac{1}{\rho_0} \tau_x^b \end{aligned} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial VH}{\partial t} + \frac{\partial UVH}{\partial x} + \frac{\partial V^2H}{\partial y} + fUH + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - HF_y \\ & = \frac{1}{\rho_0} \tau_y^w - \frac{1}{\rho_0} \tau_y^b \end{aligned} \quad (2-7)$$

여기서

t : 시간

x, y : 각각 x, y방향의 격자점

$\eta(x,y)$: 해수면 위치

$(U,V) \equiv \frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} (u,v) dz$: 수직 적분된 유속

h : 평균 해수면하 깊이

H : 총 수심

f : Coriolis parameter

g : 중력가속도

ρ_0 : 평균 해수 밀도

HF_x and HF_y : 수평점성항

τ_x^w and τ_y^w : 각각 x, y 방향의 바람응력

τ_x^b and τ_y^b : 각각 x, y 방향의 마찰력

모델 격자보다 작은 크기의 운동은 직접 계산할 수 없고 수평혼합작용으로 매개변수화 된다. 이는 x, y방향에 대해 각각 수평점성항인 HF_x 와 HF_y 로 표기하고 분자규모의 점성작용등과 유사하게 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$HF_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[2 A_M \frac{\partial UH}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial UH}{\partial y} + \frac{\partial VH}{\partial x} \right) \right] \quad (2-8)$$

$$HF_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[2 A_M \frac{\partial VH}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial UH}{\partial y} + \frac{\partial VH}{\partial x} \right) \right] \quad (2-9)$$

여기서

A_M : 수평와동 점성계수

수평와동 점성계수 A_M 은 많은 수치모델 적용에서 상수로 특정지워 사용되었다. 본 연구에서 사용된 수평와동 점성계수는 격자 크기와 속도의 수평적인 shear에 비례한다는 Smagorinsky (1963)의 비선형공식으로 계산하였다.

수치해석 방법

지배방정식은 연립 편미분방정식으로 해석적인 방법으로는 풀 수 없고 격자상의 차분방정식을 사용한 수치적인 계산이 필요하다. 사용된 격자는 조위를 계산하는 격자와 유속을 계산하는 격자가 구분되는 staggered grid의 일종인 Arakawa C-grid를 사용하였다. 유한차분에 앞서 지배방정식을 flux-conservation 형태로 변형하였고 이를 차분화 하는 방법으로 유한체적법을 사용함으로써 질량과 부피보존이 잘 되게 하였다. 이류항과 수평확산항의 공간적인 차분화에 대해서는 centered scheme을 시간에 대해서는 leap frog scheme을 사용하였다. 이러한 유한 차분법은 공간 및 시간적으로 2차의 정확성을 가진다. 시간차분에 사용된 leap frog scheme은 Coriolis 항을 계산하는데는 유용하지만 홀수 번째의 해와 짝수 번째의 해가 점점 달라지는 time-step splitting을 초래한다 (Roache, 1972). 이러한 시간 분리를 해결하기 위하여 해를 매시간 간격마다 Asselin (1972)의 filter를 사용하여 smooth시켜 주었다.

4.2. 모델 적용

모델 영역 및 격자구성

수치실험을 위해 관심해역을 격자로 구성할 때 가능한 작은 격자로 구성하는 것이 실제에 가까운 결과를 보여 줄 것이다. 그러나 격자의 크기가 작아지면 안정도 조건이 더 엄격해져서 계산 시간이 지나치게 커질 수 있다. 그러므로 가장 이상적인 격자 구성은 관심 있는 현상을 잘 재현하면서 경제성과 안정성을 만족시킬 수 있도록 격자를 구성하는 것이다. 이런 조건을 고려하여 남해에서 격자구성은 x, y 방향으로 동일하게 3 km를 사용하여 46×111 개의 격자로 구성하였고 3816개의 격자가 실제 계산에 사용되었다 (Fig. 2.36). 여기서 사용된 좌표축은 x축으로는 제주도에서 대마도로, y축은 제주도에서 추자도 방향으로 증가하는 직교 좌표계를 사용하였다. 연구해역의 평균깊이가 약 70 m, 사용된 격자크기는 3 km이고 최대 유속은 1.5 m/s 정도인 경우 CFL 조건은 약 39.4초 정도이지만 본 모델에서는 20초를 사용하여 CFL 조건을 충분히 만족시켜 주었다.

초기 및 경계조건

지배방정식을 풀기 위한 초기조건은 $t=0$ 에서 해수의 운동은 없다고 가정하였다(cold start). 폐경계면(land boundary)에 대해서는 $(U, V)=0$ 으로 설정하여 육지 경계면을 가로지르는 체적량이 없다고 가정하였다. 해수 표면 $z=\eta(x, y)$ 에서 경계조건인 x, y 방향에 대한 바람의 응력 (τ_x^w, τ_y^w) 은 본 연구에서 고려되지 않았고 해저 경계면에서 마찰항은 유속의 제곱에 비례한다는 quadratic law를 사용하였으며, CD는 0.0025를 사용하였다.

개방경계면에서 유속을 계산할 때 모델 영역 외부 격자에서의 값을 필요로 하는 경우가 있다. 이를 해결하기 위해 수직(normal) 방향의 유속계산은 운동방정식에서 비선형(nonlinear)항과 수평확산(horizontal diffusion)항을 제외하고 계산하였고, 접선(tangential)방향의 유속에 대해서는 외삽법(extrapolation)을 사용하였다.

조석을 위한 경계조건은 개방경계면에서 경계면 선상의 각 격자점에 시간에 따른 조위를 지정하였다. 이때 조위 값은 주요 4개 분조를

사용하여 계산 되었다. 여기서 사용된 반조차(amplitude)와 지각(phase)은 한반도 주변 조석 조화상수 자료집(한국해양연구소, 1996a)을 사용하였고 제주도와 대마도를 가로지르는 경계와 같이 자료를 얻을 수 없는 지역은 Odamaki(1989)의 cotidal chart를 사용하였다.

4.3. 모델 결과

조석모델(tide)

임의의 값을 사용한 초기조건의 영향이 얼마나 오래동안 지속되는지를 점검하기 위해 미조항(Fig. 2.37의 16번 정점)에서 시간에 따른 조위를 살펴보았다 (Fig. 2.38). 미조항의 조위는 3일만 지나면 초기조건과 무관한 해를 보여주지만 충분히 안정된 해를 구하기 위해 앞으로의 모든 결과는 20일 이후의 결과들을 사용하였다. 남해의 해수 순환은 조석 현상에 의한 조류가 지배적이므로 먼저 해류, 바람, 밀도차등에 의한 순환은 무시하고 조석현상만을 재현하였다. 조석이 실제 현상을 잘 재현하는지를 알아보기 위해 37개의 연안 조석관측점의 평균 조화상수를 모델결과와 비교하여 모델보정을 수행하였다. 모델 보정의 신뢰도를 확인하기 위하여 5개 정점에서 관측된 조위에 대한 시계열 자료와 2개 정점에서 관측된 조류에 대한 시계열 자료를 이용하여 모델검증을 실시하였다.

조석에 대한 연안 관측자료와 비교를 용이하게 하기 위해 비교지점을 크게 3개의 지역으로 나누었으며 연안 조석 관측지점은 Fig. 2.37에 표시되어 있다. E-SK지역은 모델의 동쪽 경계지역으로서 울산에서 지세포항를 포함하고, M-SK지역은 거제도에서 고흥반도까지의 모델 중간에 위치한 영역으로 용초도, 대여자도 등을 포함한다. 마지막으로 W-SK지역은 모델의 서쪽경계지역으로 나로도와 추자도, 성산포항 등을 포함하는 영역으로 정의하였다.

Fig. 2.39은 주요 4개분조(M2, S2, K1, O1)에 대한 연안 조석 관측점에서 관측된 조화상수와 모델에서 계산된 값의 비교 그림이다. 만일 관측값과 계산값이 완전히 일치하면 직선상에 모든 점이 위치하게 된다. 반일주조인 M2 분조와 S2 분조의 조위와 위상은 전지역에서 모델이 관측치를 잘 재현하고 있고, 일주조인 K1 분조와 O1 분조의 위상도 관측치와 좋은 일치를 보인다. 그러나 K1 분조의 조위는 동쪽 경계부근에서 다소 크게 계산되었고 O1 분조의 조위에 대해서는 전반적으로 작게 계산되었다 (Fig.

2.39). Fig. 2.39의 모델 보정 결과를 정량적으로 표현하기 위하여 절대상대오차(ARE : absolute relative error)와 평균오차(ME : mean error)를 4개 분조의 조위와 위상에 대하여 계산하여 Table 2.4부터 Table 2.7까지에 제시하였다.

$$ARE(\%) = \frac{|O_i - C_i|}{O_i} \times 100$$

$$ME = C_i - O_i$$

여기서

O_i : 관측자료

C_i : 모델결과

ARE는 오차의 절대적인 크기를 의미하고 ME는 오차의 방향성을 의미한다. ME가 양의 값이면 모델결과가 관측자료보다 크게 계산된 것을 의미하며, 음의 값이면 작게 계산된 것을 말한다. 남해의 전 지역에서 M2, S2 분조의 조위에 대한 평균절대상대오차는 각각 7.2%, 5.4%로 관측자료와 좋은 일치를 보이지만 K1과 O1 분조의 조위에 대해서는 각각 18.4%와 24.5%로 큰 평균 절대 상대오차를 보인다. M2, S2 분조의 위상은 각각 1.8%와 2.3%의 평균 절대상대오차를 가지며, K1과 O1 분조의 위상은 각각 3.6%, 6.8%의 평균 절대상대오차를 보여 관측자료와 잘 일치함을 보여주고 있다. K1과 O1 분조의 조위에 대한 상대적으로 큰 오차는 동쪽 개방경계조건에 기인하는 것으로 생각된다. Odamaki (1989)에서 M2와 S2 분조와는 달리 K1과 O1 분조의 무조점이 각각 울산과 부산 부근에 존재하는 것을 보여주는데, 본 모델 영역의 동쪽 개방경계가 울산을 통과하므로 모델 영역내 동쪽 개방경계 부근에서 관측된 K1과 O1 분조의 조위값이 매우 작다: E-SK 해역에서 K1 분조는 9.5 cm 이하, O1 분조는 5.4 cm 이하의 조위가 관측되었다 (Table 2.6과 2.7). 따라서 모델이 계산한 조위값이 관측치와 조금만 달라도 큰 절대상대오차를 야기하여, K1과 O1 분조의 조위에 대하여 상대적으로 큰 평균절대상대오차를 보인다. E-SK지역에서 오차를 줄이기 위해서는 동쪽 경계부에서 장기간 관측을 통한 조석자료를 수집하거나 대한해협을 포함하는 광역모델을 사용하여 적절한 경계조건을 설정해 주어야 한다. Fig. 2.39과 Table 2.4부터 Table 2.7 까지의 결과는 모델이 남해의 전반적인 조석파의 전파방향과 조위를 잘 재현하고 있음을 나타낸다.

Table 2.4. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for M2 tide.

지역	NO	Anno- tation	Am(obs) cm	Am(cal) cm	ARE %	ME cm	Ph(obs) degree	Ph(cal) degree	ARE %	ME degree
부산(597)	1	●	40	44	9.2	4	236	239	1.5	4
다대포(598)	2	●	45	46	3.8	2	238	240	1.2	3
가덕도(599)	3	●	57	54	5.3	-3	244	243	0.2	-1
진해만(446)	4	●	59	59	0.9	1	242	245	1.5	4
우두포(89)	5	●	65	62	5.5	-4	245	246	0.2	1
견내량(91)	6	●	69	62	10.7	-7	249	246	1.3	-3
성포(avg)	7	●	64	61	4.5	-3	253	246	2.7	-7
고현항(19)	8	●	58	61	6.5	4	248	246	0.9	-2
잠도 (177)	9	●	47	58	25.6	12	256	246	4.0	-10
장승포(avg)	10	●	58	55	4.7	-3	242	245	1.5	4
지세포항(71)	11	●	57	58	2.1	1	244	247	1.2	3
용초도(avg)	12	▲	84	78	7.2	-6	251	255	1.6	4
사량도(avg)	13	▲	94	89	5.5	-5	259	259	0.2	0
욕지항(avg)	14	▲	82	84	1.9	2	253	260	3.0	8
노랑리(235)	15	▲	107	100	5.9	-6	264	268	1.4	4
미조항(84)	16	▲	87	90	3.5	3	256	261	1.9	5
사포(228)	17	▲	111	99	11.2	-12	260	263	1.2	3
여수항(avg)	18	▲	100	97	3.1	-3	259	263	1.5	4
화태리(225)	19	▲	98	113	15.7	15	261	274	4.9	13
우학리(avg)	20	▲	92	94	2.1	2	251	264	5.6	14
낭도항(2)	21	▲	104	113	8.9	9	267	275	2.9	8
대여자도(76)	22	▲	111	121	9.4	10	268	277	3.5	9
나로도 (64)	23	+	98	109	11.4	11	268	280	4.5	12
광도(67)	24	+	89	100	12.1	11	273	277	1.5	4
녹동항(avg)	25	+	115	118	3.2	4	285	290	2.0	6
금당도(avg)	26	+	109	113	3.6	4	285	289	1.6	5
초도(avg)	27	+	94	104	9.9	9	282	286	1.2	3
거문도(avg)	28	+	84	95	13.4	11	283	284	0.5	1
완도(avg)	29	+	106	106	0.6	-1	294	299	1.7	5
청산도(187)	30	+	96	101	5.4	5	296	298	0.6	2
여서도(88)	31	+	90	92	2.8	3	294	296	0.6	2
노화도(182)	32	+	105	99	5.6	-6	307	313	2.0	6
소안도(532)	33	+	102	97	4.4	-5	304	306	0.7	2
추자도(avg)	34	+	87	88	0.7	1	323	319	1.2	-4
제주(avg)	35	+	71	72	2.4	2	312	310	0.6	-2
세화항(179)	36	+	61	76	23.9	15	291	294	1.1	3
성산포항 (avg) A	37	+	67	76	12.8	9	280	289	3.2	9
Total Mean					7.2	2			1.8	3

Table 2.5. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for S2 tide.

지역	NO	Anno-tation	Am(obs) cm	Am(cal) cm	ARE %	ME cm	Ph(obs) degree	Ph(cal) degree	ARE %	ME degree
부산(597)	1	●	19	21	9.1	2	273	279	2.1	6
다대포(598)	2	●	22	22	1.2	0	273	280	2.5	7
가덕도(599)	3	●	26	26	2.9	-1	281	283	0.6	2
진해만(446)	4	●	32	28	9.8	-3	280	286	1.9	5
우두포(89)	5	●	29	30	2.6	1	286	286	0.0	0
견내량(91)	6	●	32	30	6.7	-2	286	286	0.3	1
성포(avg)	7	●	31	29	3.9	-1	284	287	0.9	3
고현항(19)	8	●	27	29	7.9	2	288	287	0.6	-2
잠도 (177)	9	●	28	28	1.7	0	281	286	1.7	5
장승포(avg)	10	●	27	26	3.6	-1	279	285	2.1	6
지세포항(71)	11	●	25	28	8.4	2	285	286	0.4	1
용초도(avg)	12	▲	38	37	3.1	-1	291	294	1.3	4
사량도(avg)	13	▲	43	42	2.9	-1	292	298	2.1	6
욕지항(avg)	14	▲	40	40	0.5	0	291	299	2.9	8
노랑리(235)	15	▲	46	47	4.0	2	305	310	1.6	5
미조항(84)	16	▲	39	42	8.7	3	299	300	0.6	2
사포(228)	17	▲	47	46	1.2	-1	296	303	2.1	6
여수항(avg)	18	▲	45	45	0.4	0	297	303	1.9	6
화태리(225)	19	▲	48	52	7.7	4	301	314	4.5	13
우학리(avg)	20	▲	43	44	1.2	1	293	304	3.4	10
낭도항(2)	21	▲	48	52	8.2	4	300	315	5.0	15
대여자도(76)	22	▲	52	56	8.5	4	301	319	5.8	17
나로도 (64)	23	+	48	49	1.3	1	305	320	4.8	15
광도(67)	24	+	42	45	6.3	3	311	317	1.7	5
녹동항(avg)	25	+	47	52	9.5	4	317	330	4.1	13
금당도(avg)	26	+	48	50	3.4	2	318	329	3.5	11
초도(avg)	27	+	42	46	8.6	4	317	325	2.5	8
거문도(avg)	28	+	38	42	9.5	4	306	323	5.4	17
완도(avg)	29	+	47	45	4.1	-2	324	337	4.1	13
청산도(187)	30	+	40	43	8.0	3	330	336	1.6	5
여서도(88)	31	+	37	40	6.1	2	330	333	0.9	3
노화도(182)	32	+	44	41	7.4	-3	342	349	2.1	7
소안도(532)	33	+	44	40	8.2	-4	341	342	0.3	1
추자도(avg)	34	+	34	35	2.8	1	358	351	1.9	-7
제주(avg)	35	+	30	31	4.1	1	342	341	0.5	-2
세화항(179)	36	+	32	34	6.3	2	323	333	3.2	10
섬산포항 (avg)	37	+	30	34	11.0	3	316	333	5.3	17
Total Mean					5.4	1			2.3	7

Table 2.6. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for K1 tide.

지역	NO	Anno- tation	Am(obs) cm	Am(cal) cm	ARE %	ME cm	Ph(obs) degree	Ph(cal) degree	ARE %	ME degree
부산(597)	1	●	4	9	108.9	5	143	143	0.4	-1
다대포(598)	2	●	6	10	59.8	4	161	147	8.5	-14
가덕도(599)	3	●	8	11	32.6	3	160	157	1.9	-3
진해만(446)	4	●	7	11	55.9	4	163	158	3.3	-5
우두포(89)	5	●	8	11	33.2	3	158	158	0.3	0
견내량(91)	6	●	10	11	16.4	2	169	158	6.3	-11
성포(avg)	7	●	9	11	20.4	2	157	158	0.7	1
고현항(19)	8	●	8	11	38.3	3	155	158	2.1	3
잠도 (177)	9	●	9	11	25.6	2	155	158	2.1	3
장승포(avg)	10	●	8	11	36.5	3	153	162	5.7	9
지세포항(71)	11	●	9	11	29.7	3	163	166	1.9	3
용초도(avg)	12	▲	16	14	12.3	-2	180	185	3.3	6
사랑도(avg)	13	▲	18	16	15.3	-3	205	189	8.0	-16
옥지항(avg)	14	▲	17	15	7.7	-1	180	192	6.7	12
노랑리(235)	15	▲	17	16	6.4	-1	181	193	6.8	12
미조항(84)	16	▲	16	16	2.7	0	177	190	7.6	13
사포(228)	17	▲	18	17	9.6	-2	181	192	6.0	11
여수항(avg)	18	▲	19	17	13.2	-3	187	191	2.6	5
화태리(225)	19	▲	15	19	24.9	4	160	194	21.2	34
우학리(avg)	20	▲	18	17	8.4	-2	206	192	6.9	-14
남도항(2)	21	▲	23	19	16.9	-4	186	194	4.6	9
대여자도(76)	22	▲	22	19	13.4	-3	189	196	3.4	6
나로도(64)	23	+	23	20	12.7	-3	190	194	2.2	4
광도(67)	24	+	23	20	11.7	-3	197	197	0.1	0
녹동항(avg)	25	+	26	23	9.3	-2	195	199	2.4	5
금당도(avg)	26	+	26	23	9.7	-2	198	199	0.5	1
초도(avg)	27	+	26	22	13.3	-3	202	200	1.1	-2
거문도(avg)	28	+	24	21	10.0	-2	192	205	6.3	12
완도(avg)	29	+	25	25	1.6	0	199	204	2.9	6
청산도(187)	30	+	25	25	0.3	0	209	206	1.0	-2
여서도(88)	31	+	24	24	0.6	0	210	209	0.4	-1
노화도(182)	32	+	28	28	0.3	0	211	215	1.8	4
소안도(532)	33	+	27	26	3.0	-1	207	210	1.5	3
추자도(avg)	34	+	26	26	0.5	0	222	220	0.9	-2
제주(avg)	35	+	23	23	1.0	0	219	219	0.2	0
세화항(179)	36	+	21	23	6.2	1	215	215	0.3	-1
성산포항 (avg)	37	+	21	24	14.0	3	210	215	2.3	5
Total Mean					18.4	0			3.6	3

Table 2.7. Comparison of observed and calculated amplitude (cm) and phase (degree referred to Greenwich) for O1 tide.

지역	NO	Anno- tation	Am(obs) cm	Am(cal) cm	ARE %	ME cm	Ph(obs) degree	Ph(cal) degree	ARE %	ME degree
부산(597)	1	●	2	1	44.7	-1	109	137	25.7	28
다대포(598)	2	●	2	1	18.7	0	129	140	8.1	10
가덕도(599)	3	●	4	2	44.9	-2	128	141	10.1	13
진해만(446)	4	●	4	2	37.5	-1	133	139	4.4	6
우두포(89)	5	●	4	2	38.5	-2	111	139	25.4	28
견내량(91)	6	●	5	2	48.8	-2	131	139	6.5	8
성포(avg)	7	●	5	2	48.0	-2	137	139	1.9	3
고현항(19)	8	●	5	2	54.3	-3	135	139	2.9	4
잠도 (177)	9	●	4	2	37.9	-1	106	140	31.6	34
장승포(avg)	10	●	5	3	43.8	-2	133	146	10.0	13
지세포항(71)	11	●	5	7	38.1	2	129	151	17.4	22
용초도(avg)	12	▲	11	8	25.3	-3	148	151	2.4	4
사량도(avg)	13	▲	14	9	40.0	-6	144	151	4.2	6
육지항(avg)	14	▲	11	9	19.8	-2	151	155	2.2	3
노랑리(235)	15	▲	11	9	21.1	-2	154	154	0.0	0
미조항(84)	16	▲	11	9	17.6	-2	150	151	0.6	1
사포(228)	17	▲	15	9	39.0	-6	150	150	0.4	1
여수항(avg)	18	▲	12	12	3.7	0	150	150	0.1	0
화태리(225)	19	▲	20	9	52.1	-10	176	149	15.6	-28
우학리(avg)	20	▲	11	12	7.0	1	149	150	0.4	1
낭도항(2)	21	▲	16	12	23.6	-4	159	149	6.2	-10
대여자도(76)	22	▲	16	12	22.1	-3	157	150	4.5	-7
나로도(64)	23	+	17	14	15.6	-3	153	149	2.3	-4
광도(67)	24	+	17	13	19.0	-3	164	153	6.2	-10
녹동항(avg)	25	+	19	17	12.4	-2	167	155	7.3	-12
금당도(avg)	26	+	21	17	22.7	-5	166	155	6.4	-11
초도(avg)	27	+	17	16	9.6	-2	170	157	7.6	-13
거문도(avg)	28	+	17	15	11.5	-2	170	164	3.5	-6
완도(avg)	29	+	23	19	18.2	-4	181	163	10.0	-18
청산도(187)	30	+	22	19	12.4	-3	177	166	6.2	-11
여서도(88)	31	+	18	18	0.1	0	181	169	6.6	-12
노화도(182)	32	+	23	22	5.3	-1	175	180	2.8	5
소안도(532)	33	+	21	20	3.9	-1	176	171	2.8	-5
추자도(avg)	34	+	20	19	5.5	-1	190	187	1.7	-3
제주(avg)	35	+	17	17	0.6	0	189	187	0.6	-1
세화항(179)	36	+	14	15	5.1	1	181	179	1.1	-2
성산포항 (avg)	37	+	15	16	7.5	1	178	172	3.7	-7
Total Mean					23.7	-2			6.7	1

조석과 조류의 검증을 위해서 5개 정점에서 관측된 해수면 시계열 자료와 2개 정점에서 관측된 유속 시계열 자료를 사용하였다 (한국해양연구소, 1987과 1989). 관측지점에 대한 자세한 정보는 Table 2.8에 수록되어 있고 관측지점은 Fig. 2.1에 표시되어 있다.

Table 2.8. Description of measurement stations of time-series data used for model verification.

Location	Station	Position		Duration
		Longitude	Latitude	
거문도	T1	127° 18' 38"	34° 03' 23"	7.20- 8.21, '86
청산도	T2	126° 51' 50"	34° 09' 00"	4.16- 5.20, '89
홍도	T3	128° 43' 57"	34° 32' 04"	4.13- 5.25, '89
삼천포	T4	128° 08' 57"	34° 49' 57"	9.27- 10.18, '89
거제도	T5	128° 44' 03"	34° 49' 09"	7.13- 8.25, '86
거문도	C1	127° 18' 51"	34° 04' 44"	7.20- 8.23, '86
삼천포	C2	128° 02' 36"	34° 56' 00"	9.27-10.18, '89

본 모델 적용에서는 M2, S2, K1, O1의 주요 4개 분조만이 경계조건으로 고려되었기 때문에 모델결과도 4개 분조에 대한 정보만을 가지고 있다. 그러나 관측된 해수면 및 유속에 대한 시계열자료는 모든 조석분조, 기상조건, 해류성분 등에 의하여 결정된 것이다. 따라서 관측자료와 모델결과의 공평한 비교를 위해서는 관측된 시계열 해수면 자료와 유속자료를 사용하여 조화 상수를 구하고 주요 4개 분조에 대해 재구성된 조위와 조류를 사용하여 비교해야 한다.

조류의 검증을 위해서는 관측된 유속 U, V성분을 각각 모델 구성시 사용된 좌표축을 기준으로 좌표 변환된 유속 U^* , V^* 를 구한후 조화 분해하여 주요 4개 분조에 의한 조류를 재현하였다. T1에서 T5까지의 정점에서 비교된 조석에 대한 검증결과는 모든 비교정점에서 관측값과 모델 결과가 잘 일치하고 있다 (Fig. 2.40). Fig. 2.41은 C1 정점(거문도)에서의 조류에 대한 검증결과이다. U^* 성분의 크기는 동향류 (모델 격자를 구성한 축을 기준으로)의 경우 모델결과가 관측값보다 다소 크게 계산된 경향을 보이며 서향류는 약간 적게 계산되었으나 전체적으로 모델결과가 관측자료를 잘 재현하고 있다. 남북방향의 유속 V^* 성분은 크기와 방향 모두 좋은 일치를 보인다. Fig. 2.42는 C2 정점(삼천포)에서의 검증결과이다. U^* 성분과 V^* 성분 모두 모델결과가 관측치 보다 적게 계산되었다. Fig. 2.36의 모델 격자구성은 C2정점이 위치한 수로를 모델에서 2개의 격자로

표현하고 있음을 보여준다. 내만의 지형변화가 심한곳에서는 본 모델에서 사용된 3 km격자로는 실제 지형과 수심을 잘 재현하지 못하고 있다. 조석보다 지형의 영향을 많이 받는 조류에서 이런 오차의 영향이 크게 나타날 것이다. 조류의 검증시 C1 정점과 같이 연안에서 떨어진 곳은 관측값과 모델결과가 잘 일치하지만 C2 정점과 같이 지형이나 수심변화가 심한 연안으로 갈수록 더 많은 오차를 보이게 된다. 본 연구에서 사용된 3 km 격자로는 남해의 전체적인 순환을 보기에는 적합하지만 내만에 국한된 지역에서 어떤 현상을 살펴보기 위해서는 보다 세밀한 격자로 구성될 필요가 있다

Fig. 2.43은 M2 분조에 대한 조류 타원를 그린 것으로 전체적인 방향은 Odamaki (1989)가 관측자료를 사용하여 작성한 조류타원도와 좋은 일치를 보인다. 관측값과 모델결과 모두 한국연안에서 반시계 방향의 흐름이 있고 제주도 북동쪽에서 시계방향의 흐름이 있으며, 대한해협에서는 등수심선과 평행한 방향으로 강한 왕복성 흐름을 보인다. 남쪽 경계부인 제주도 동쪽에서는 북서, 남동방향으로 왕복성 조류타원을 보여 Odamaki (1989)의 결과와 좋은 일치를 보인다. Fig. 2.38은 60일 모델을 수행하고 마지막 12시간 동안 2시간 간격의 순간유속을 그린것이다. 같은 시간동안 부산에서 3시, 9시에 저조와 고조가 되고 6시와 12시에 최강창조와 낙조가 일어난다. 부산을 기준으로 물이 들어올 때를 밀물, 나갈 때를 썰물로 규정하였다. 대부분의 경우 동쪽과 서쪽에서 조류의 방향이 반대이다. 대한해협에서 조류의 유속은 약 50-70 cm/sec, 제주해협에서 50 cm/sec 이다.

Fig. 2.45는 조석 잔차류를 계산한 것으로 60일 동안 모델수행후 마지막 15일 평균한 유속장이다. 경계지역과 연안의 일부 지역을 제외하고는 5 cm/s 이하의 작은 조석 잔차류를 보인다. 동쪽 경계부와 제주도 동쪽에서 10 cm/s 이상의 큰 잔차류를 보이는데 이는 실제 현상이 아니라 개방경계에서 입력된 조석값의 오차와 모델 격자간 수심의 급격한 변화 때문인 것으로 생각된다. 경계에서 입력되는 조석자료 때문에 생기는 문제를 해결하기 위해서는 동쪽 경계에서 장기간 관측을 통한 조석자료의 수집이 필요하다. Tee (1990)은 지형과 수심의 급격한 변화가 있는 곳에서 불규칙적인 큰 흐름이 있고 이는 수평방향의 해상도가 충분하지 않기 때문이며 해결방법으로는 격자크기를 충분히 작게 하거나 수심 또는 지형을 인위적으로 smooth시킴으로써 제거 될 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 인위적인 유속분포가 특정지역에 국한되며 다른 지역에 영향을 주지 않으므로 수심에 어떤 smoothing도 가하지 않았다. 또한 동쪽경계에서

생기는 비현실적으로 큰 흐름은 해류에 비하여 작은 값으로 해류가 고려된 모델결과에 큰 영향을 미치지 않았다 (Fig. 2.51).

순환모델 (조류+해류)

남해의 해수 순환을 재현하기 위해서는 조석과 해류성분인 대마난류를 고려해야 한다. 본 연구에서는 각 개방경계에서 ADCP 관측에 의해 계산된 수송량을 사용하여 남해의 해수 순환에 중요한 역할을 하고 있는 해류(대마난류)를 고려하였다. 먼저 조석 없이 해류만을 고려한 모델을 수행하여 대마난류에 의한 개방경계에서의 해류 분포를 계산한 후 조석과 해류를 모두 고려한 순환모델을 수행하였다.

해류모델은 해류에 대한 개방경계조건을 계산하기 위해 조석없이 수행되는 중간단계의 모델이다. 1997년 3월과 4월에 제주해협, 제주도 동부, 대한 해협에서 ADCP에 의해 25시간 동안 8회 또는 9회 왕복 관측된 유속자료를 사용하여 유속과 수송량을 계산하였다. ADCP 관측 경로를 따라 계산된 유속분포를 선형보간법을 사용하여 모델의 개방경계를 따라 지정하여 주었다. 이때 관측된 총수송량이 모델 경계에서도 보존되도록 하였다. 그러나 모델경계(대한해협: 울산에서 대마도 동쪽)와 ADCP 관측경로(대한해협: 부산에서 대마도 북단)의 단면적이 심하게 차이를 보이고 있어 관측된 총수송량과 유속분포를 동시에 일정하게 유지 시킬 수 없었다. 그러므로 관측된 총수송량의 변화를 허용하면서 유속분포는 관측자료를 재현하도록 개방경계 격자에서의 유속을 계산한다. 이렇게 계산된 유속을 사용하여 개방경계격자에서 평균해수면일 때의 수송량을 계산한다. 모델 경계를 따라 계산된 수송량을 경계조건으로 일정하게 지정해 줌으로써 해류만에 의한 해류모델을 구성하였다. 이때 서쪽경계인 제주해협과 남쪽경계를 통해 각각 0.4 Sv, 1.15 Sv의 총수송량의 유입이 있고 동쪽경계인 대한해협을 통해 1.55 Sv의 총수송량이 유출되도록 유속을 지정하여 주었다. 제주도 동쪽에서 대마도까지 관측이 이루어지지 않은 남쪽 경계(Fig. 2.36)에서는 모델 영역 내에서 순 수송량이 0이 되도록 각각의 격자마다 일정한 유속을 부여하였다. 개방경계에서의 해수면에 대한 조건은 gradient(GRD) 조건을 사용하였다 (Chapman, 1985).

Fig. 2.46은 광도(Fig. 2.37의 24번 정점)에서 시간에 따른 조위와 유속을 그린 것으로 해류모델결과는 약 10일 이후에 안정된 해를 보인다. Fig. 2.47은 모델이 steady상태에 도달한 30일 쯤의 하루 평균된 개방경계를

따른 유속분포이다. 모델이 일단 평형상태에 도달하면 그 이후부터는 항상 같은 유속분포를 가진다. 이러한 개방경계에서의 유속분포는 순환모델에서 해류에 대한 개방경계조건으로 사용된다. Fig. 2.48은 30일 동안 해류모델을 수행한 후 마지막 하루 동안의 평균 유속 분포로써 조류가 없는 경우의 해류성분에 의한 해수순환을 나타낸다. 연안에 인접한 지역을 제외하고 전 영역에서 약 10-25 cm/s 정도의 강한 해류 분포를 보이며 대한해협에서는 최고 50cm/s의 강한 흐름을 보인다.

조석모델에서 계산된 조류와 순환모델에 의해 계산된 해류를 개방 경계조건으로 하는 순환모델을 구성하였다. Fig. 2.49는 조석에 대한 경계조건으로 조위를 설정하고, 해류에 대한 경계조건으로 유속을 설정하여 주는 모델에 대한 순서도를 보여준다. 경계를 따라 조위를 설정하여 주고 연속방정식과 운동방정식을 계산하여 내부격자의 유속을 계산하게 된다. 이때 해류성분을 고려하기 위해 개방경계 격자의 유속성분에 해류에 대한 경계조건(순환모델의 결과)을 더해주는 경우 연속성(continuity)이 위배된다. 개방경계 격자에서 해수면은 시간에 따른 조석에 대한 정보만을 가지고 있지만 유속은 조류와 해류에 대한 정보를 가지고 있으므로 연속성을 유지할 수 없게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 조석에 대한 forcing을 조류로 설정해주고 해류에 의한 경계에서의 유속을 조류에 더해 줌으로써 조석과 해류를 모두 고려한 순환모델을 구성하였다. 자세한 순환 모델 수행과정은 다음과 같다.

- 1) Run1은 3절에서 보정과 검증이 완료된 조석모델을 나타낸다. 경계에서 조위로서 forcing을 주고 매 시간 간격마다 경계에서 계산된 조류(UT)를 저장한다. UT는 순환모델의 조석에 대한 경계조건으로 사용된다.
- 2) Run2의 해류모델 결과를 사용하여 해류에 대한 경계조건(UMn)을 계산한다.
- 3) Run3는 조석모델(Run1)의 결과인 조류와 해류모델(Run2)의 결과인 해류를 개방경계조건으로 하는 순환모델이다. 순환모델의 경계조건은 다음과 같다.

$$U_n(B) = UT_n(B) + UM_n(B)$$

$$U_t(B) = UT_t(B)$$

여기서

Subscript t, n : 수평, 수직방향을 의미

- $U_n(B), U_t(B)$: 순환모델을 위한 새로운 경계조건
 $UT_t(B), UT_n(B)$: 경계격자의 수평, 수직방향의 조석에 의한 유속
 $UM_n(B)$: 해류에 대한 경계조건

순환모델의 조위에 대한 개방경계조건은 gradient 조건을 사용한다.

조석모델 구성시 조위로써 경계조건을 설정한 경우는 보정과 검정을 통해 조석모델의 신뢰도를 확보할 수 있었다. 그러나 조류로써 경계조건을 설정하는 경우 조석모델의 신뢰도는 검증되지 않았다. Table 2.9는 시간에 따른 조위 또는 조류를 개방경계로 설정하고 조석모델을 수행한 경우 37개의 연안 조석관측지점에서 계산된 두 조석모델의 조화상수를 비교한 것이다.

Table 2.9. Spatial mean ARE and ME between tide models with boundary forcing using surface elevation and using tidal velocity.

오차 분조	Amplitude		Phase	
	ARE(%)	ME(cm)	ARE(%)	ME(cm)
M2 분조	0.23	0.15	0.16	-0.07
S2 분조	0.42	0.05	0.13	-0.13
K1 분조	0.74	0.00	0.18	-0.32
O1 분조	2.49	-0.02	0.62	-0.87

O1분조의 조위에 대한 비교만이 2.5%의 오차를 보이고 나머지 경우는 모두 1%이하의 평균 절대상대오차를 보여 두 모델에 의한 결과의 차이는 무시할 수 있었다. 즉 개방경계를 따라 시간에 따른 조류를 설정하여 조석모델을 구성하여도 신뢰도를 그대로 유지할 수 있었다.

Fig. 2.50은 순환모델에 의한 12시간동안의 2시간 간격의 순간유속장이다. 각각의 유속장은 조석의 경우 (Fig. 2.44)와 같은 시간의 유속장이다. 전체적으로 조석모델의 경우와 비슷한 결과를 보이지만 해류 성분 때문에 동향류의 유속이 강해짐을 볼 수 있다. 대한해협에서 북동향의 해류성분 때문에 남서방향으로 흐르는 창조류의 유속이 감소하였고 (한국해양연구소, 1985) 북동향의 낙조류는 반대로 유속이 증가하는 경향을 보인다. 특히 대마도 서쪽연안을 따라서는 강한 해류의 영향으로 항상 북동향류의 흐름을

보이고 있다.

Fig. 2.51은 순환모델의 유속장을 15일 동안 평균한 잔차류이다. 제주해협을 통해 5-11 cm/s의 유속과 남쪽경계를 통해 15 cm/s 정도의 유속으로 남해로 해수가 유입되고 대한해협을 통해 최고 50 cm/s 이상의 유속으로 동해로 유출되고 있어 기존의 관측자료와 잘 일치하는 결과를 보인다 (Mittan and Ogawa, 1984; Chang and Kim, 1995; Lie and Cho, 1997). 모델영역 내부에 위치한 거문도 북쪽에서도 약 15 cm/s의 동북동향류가 존재하고 있어 역시 관측자료와 일치한다 (한국해양연구소, 1987). 전반적으로 등수심선을 따라 흐르는 경향을 보이고 크기는 조석 잔차류가 매우 작기 때문에 조석이 없는 경우의 해류모델에 의한 결과와 거의 같다. 그러나 제주해협에서 해류만을 개방경계로 한 경우에는 북동향류가 나타나는 반면에 조류와 해류를 모두 고려한 순환모델에서는 두 해류의 상호작용으로 대부분 동향류의 흐름을 보이며, 남북방향으로 강한 왕복성 조류의 영향으로 남해연안 가까운 곳까지 해류의 영향이 나타나고 있다.

4.4. 유출유 이동-확산 실험

해상사고로 인한 해양으로 유입된 유출유가 해양오염에 미치는 영향 및 경제적 손실은 막대하며, 연간 300백여건에 달하는 유출사고가 발생하고 있다. 남해에서 1995년에 발생한 시프린스호, 유일호, 사파이어호의 유출유 사고로 인한 해양환경 피해가 그 대표적인 예이다. 1997년 4월 3일 경남 통영시 한산면 매물도 동남방 2마일 해상에서 유조선 제3오성호가 암초에 부딪쳐 좌초됨으로써 벙커C유 187톤이 유출되는 사고가 발생하여 남해 연안부터 대마도 부근해역까지 유출유가 이동·확산되어 많은 해양오염문제를 유발시켰다.

제3오성호 사고시 유출유 이동경로를 알아보기 위해 random walk방법을 사용하여 passive tracer에 대한 모의 실험을 수행하였다. 이때 유출유가 해표면에서 휘발성으로 대기로 빠져나가거나 해수에 용해되거나 해저로 침전되는 양이 매우 작다고 가정할 때 유출유는 바람에 의해 이동되거나 이류-확산에 의해 이동분포가 결정된다. 유출유 입자의 이동거리는 다음과 같이 표현된다.

$$S_i^n = d_i^n + (V_w^n + V_i^n) \Delta t \quad (2-10)$$

여기서

S_i^n = 입자의 순 이동거리

d_i^n = 확산에 의한 이동거리

$V_i^n \Delta t$ = 이류에 의한 이동거리

$V_w^n \Delta t$ = 바람에 의한 이동거리

i = 입자의 갯수

n = n 번째 시간

오른쪽 2번째항에서 ($V_i^n \Delta t$)는 이류에 의한 이동으로 모델에서 계산된 유속장에 의해 계산되었다. 취송류 ($V_w^n \Delta t$) 계산은 다음과 같은 Madsen 방법 (Venkatesh, 1987)을 사용하였다.

$$U = \left(\frac{\pi}{2}\right) \frac{U_*}{K}$$

$$V = \left(-1.15 + \ln \frac{30D}{K_s}\right) \frac{U_*}{K}$$

$$U_* = 0.04W_{10} (\rho_a/\rho_w)^{1/2}$$

$$D = 3.66 \left(\frac{W_{10}}{\sin \phi}\right)$$

여기서 U, V : 취송류 속도

W_{10} : 10m에서의 풍속

U_* : 마찰속도

D : 마찰수심

K : von Karman 상수 = 0.4

K_s : 해표면의 조도계수 (roughness) = 0.05

ρ_a, ρ_w : 공기와 해수밀도 = 1, 840

ϕ : 위도

식 (2-10)에서 오른쪽 첫 번째항 (d_i^n)은 확산에 의한 입자의 이동을 나타내고 다음과 같은 random walk 방법을 사용하였다 (Ahlstrom, 1975).

$$d = R_1 \times (12 \times D \times \Delta t)^{1/2}$$

$$\theta = R_2 \times 2\pi$$

여기서

d : 확산에 의한 이동거리

R_1, R_2 : Random numbers ($0 < R_1 \& R_2 < 1$)

D : 와동 확산계수

Δt : 단위시간

θ : 확산의 방향

100개의 입자를 1997년 4월 유출유 사고해역인 통영만 부근해역에 순간 방류하고 4일 동안 이동궤적을 추적하였다. 바람은 사고당시 기상청에서 보도된 6m/sec의 남서풍을 모델에 입력하였다. 한국연안 해역에서 염료(dye)나 부표 추적에 의해 관측된 확산계수는 0.01-10 m²/s의 크기를(한국해양연구소, 1993) 보이지만 본 연구에서는 수평 점성계수의 1/5인 4-50 m²/s를 확산계수로 사용하였다. 한국연안에서 관측된 확산계수는 10 m이하의 확산길이에서 관측된 값으로 3 km격자 크기를 가진 모델영역에서 확산을 표현하기 위해서 관측값보다 큰 값을 설정해 주었다.

Fig. 2.52은 유출유의 이동궤적을 유출시기부터 4일까지 나타내었다. 유출유 사고 발생으로부터 6시간 경과후 유출유는 남동방향으로 이동되기 시작하여, 1일후에는 남동방향으로 약 10마일 이동하고 있다. 사고발생 2일후에는 남동방향으로 약 20 마일 이동하여 분포하는 특성을 보이고 있다. Fig. 2.51에서 사고지역 주변의 해류는 대부분 북동향을 보이지만 유속의 크기가 10cm/sec 미만으로 남서풍의 바람에 의한 취송류가 강하게 나타남으로써 유출유의 이동-확산 특성은 해류의 흐름방향인 북동향을 보이지 않고 바람의 영향에 의해 남동향을 보이고 있다. 또한 북동-남서 방향의 왕복성 조류에 의해 유출유는 하루에 두 번씩 북동-남서 방향으로 조석회유 (tidal excursion)만큼 이동하며 분포하고 있다. 유출사고 2일후부터는 유출유가 강한 대마난류의 영향으로 북동향으로 이동하다가 4일후에는 대마도 연안역에 도달하게 된다. 이러한 유출유의 이동특성은 검증할 수 있는 자료가 없는 관계로 정확히 비교할 수는 없었다. 사고발생 5일후 TV 뉴스에서 대마도 연안역에 기름띠 출현을 보도하였는데, 이러한 기름띠의 이동은 본 모델결과로 역추적할 수 있을 것으로 사료된다.

제 5 절 결론 및 토의

남해는 제주해협을 통해 황해와 그리고 제주도과 일본 오도열도 사이를 통해 동중국해와 연결되어 있다. 제주해협과 제주-오도열도 사이를 통해서는 연중 황해 및 동중국해의 서로 성질이 다른 해수가 남해를 통해 동해로 유입된다. 천해인 남해는 겨울철에는 전층에 걸쳐 수층이 균질해지며 여름철에는 강한 성층화가 일어난다. 특히 여름철에는 양자강 유출수에 의해 희석된 해수가 제주도 주변해역을 포함한 남해에까지 그 영향을 미치며 유출수의 양적변동에 의한 남해의 저염화 정도는 주변 어장환경에 큰 영향을 미친다. 남해의 전반적인 해류는 동향류가 우세함이 일부 보고되었으나 장기간에 걸친 해류 관측자료의 결핍으로 해류의 시·공간적인 변동 및 순환역화는 파악되지 못하였다. 남해의 해수순환을 지배하는 요인은 조석, 바람, 연안역으로부터의 담수유입 및 인접해역과의 경계면을 통한 해수 유·출입이며 특히 해수의 유·출입은 남해의 순환을 지배하는 일차적인 요인임에도 불구하고 수치모델링 등의 기존의 연구에서는 대부분 유·출입이 고려되지 않았다. 남해에서 빈번하게 발생하는 적조 및 유류 유출사고에 대비하고 남해의 효율적인 이용과 보존을 위해서는 남해의 해류 및 해수순환이 정량적으로 파악되고 그 변동성이 규명되어야 하며, 해수순환 및 경계면을 통한 유·출입을 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

당해연도의 본 연구에서는 남해의 해황과 해협을 통한 인접해역간의 물질 및 해수교환의 중·단기 변동성을 파악하기 위해 1997년 3월과 9월에 제주해협, 제주도-대마도, 남해도 남쪽의 기준선을 설정하여 CTD를 이용한 남해해황 관측을 실시하였고, 제주해협 그리고 제주동부역에서 ADCP 왕복관측을 통해 효과적으로 조류성분을 제거한 해류를 측정하였다.

해황 관측결과

1997년 3월 제주해협은 해저수심 약 40m를 경계로 남해연안역에는 저온저염수가 분포하며 외해는 고온고염수가 나타나지만, 제주해협의 염분은 34.0 psu 미만을 갖는다. 34.0 psu 이상을 갖는 대마난류수는 제주도 동부단면을 통해 남해로 유입되는 것으로 나타난다. 제주해협의 깊은골 왼쪽사면에 저온저염수가 나타나는데 그 밀도는 연안의 저온저염수와 같지만 연안의 저온저염수의 연장보다는 황해 저온저염수의 유입으로

사료된다. 남해도 남쪽 단면은 연안에 저온저염수와 외해에 고온고염수가 분포하지만 외해의 저층에는 34.0 psu 이하의 저염수가 나타난다. 이러한 저염수는 연안수의 확장에 의한 것으로 사료된다. 제주해협 해류는 진도연안을 제외하고는 동향류가 우세하게 나타나며 최대유속은 20cm/sec 이상을 보인다. 해수수송량은 0.37 Sv으로 1995년 4월 관측결과 (0.3 Sv)와 비슷한 값을 보인다.

1997년 9월의 남해 수괴특성은 표층에는 양자강수, 황해 저염수등의 영향을 받은 고온저염수가 분포하며, 저층에만 고염의 특성을 갖는 대마난류수가 동중국해를 통해 남해로 유입되면서 주변수괴에 의해 변형되지 않고 고염의 특성을 유지하고 있는 저온고염수가 자리하고 있다. 연안역을 제외하고 대부분 정점에서 수온역전현상이 나타나는데, 표층 혼합층 및 중층뿐만 아니라 저층에서도 발견되고 있으며, 수온이 역전되는 층은 항상 고염을 동반하고 있다. 제주해협의 염분분포는 3월과 같이 34.0 psu 이하를 보이고 있으며, 제주도-대마도 단면에서도 저층에만 34.0 psu 이상의 고염수가 나타난다. 제주해협의 해류는 대부분 북동향을 보이며, 연안역에서는 남동향류를 보이고 있다. 해류의 최대속도는 약 40cm/sec 정도로 3월보다는 강한 해류분포를 보이며, 해수수송량도 0.67 Sv을 보인다. 국립해양조사원에서 동년 10월 1-2일에 관측한 대한해협 서수도의 해수수송량은 1.76 Sv으로 대한해협 수송량중 제주해협을 통과해 남해로 유입된 수송량이 약 38%를 차지하고 있다.

제주해협의 해수수송량을 장기적으로 모니터링하기 위해 제주도-추자도 사이의 해수면차와 제주해협에서 관측된 해수수송량을 비교하였다. 8년동안 월평균 해수면차는 지금까지 간접적인 방법으로 계산된 수송량의 계절변동과 유사한 분포를 보이는데, 하계에 최대를 보이고 동계에 최소값을 갖는다. 이러한 해수면차와 1995년 3월, 1997년 3월과 9월에 관측된 해수수송량 자료와 선형회귀직선을 구하면 다음과 같다.

$$V \text{ (Sv)} = 0.077 \times D + 0.46$$

여기서 D는 해수면차이며, V는 해수수송량을 말한다. 만일 관측된 수송량 자료가 보다 많다면 정확한 관계식을 유도할 수 있으며, 이러한 관계식에 실시간으로 관측된 해면자료를 이용한다면 수송량 변동을 장기간 모니터링 할 수 있을 것으로 사료된다.

해수순환 모델 및 유출유 이동-확산 실험

남해의 해수순환을 파악하기 위해 조석과 해류에 의한 수치모델을 구성하여 남해의 해수유동을 재현하고 계산된 유속분포에 의한 유출유의 이동-확산 특성을 살펴보았다. 먼저 국립해양조사원에서 관측한 조석자료와 Odamaki의 조석도를 사용하여 주요 4개분조(M2, S2, K1, O1)에 대한 조화상수를 개방경계에 설정하여 조석모델을 수행하였다. 조석과 조류 모두 모델결과가 관측자료와 잘 일치하지만, K1, O1분조의 조위와 연안역에서 조류와는 다소 차이를 보인다. 조석의 비대칭에 의한 조석잔차류는 일부지역을 제외하고 5 cm/s 이하의 작은 유속분포를 보인다.

순환 (조석+해류)모델의한 결과는 조류성분이 크기 때문에 순간유속분포는 조석모델의 결과와 큰 차이를 보이지 않지만 잔차류성분은 대마난류의 영향으로 조석잔차류보다 훨씬 크며, 등수심선을 따라 동향하는 흐름이 뚜렷하다. 유속의 크기도 제주해협에서 12 cm/sec, 제주도과 대마도를 잇는 남쪽경계에서 15 cm/sec, 대한해협에서 50 cm/sec로 기존의 관측자료 (Mitta and Ogawa, 1984; Chang and Kim, 1995; Lie and Cho, 1997)와도 비슷한 결과를 보이고 있다.

본 연구에서 개발한 순환모델을 검증할 수 있는 기회가 다행히 아래와 같이 주어졌다.

1997년 4월 3일 경남 통영시 한산면 매물도 동남방 2마일 해상에서 유조선 제3오성호가 암초에 부딪쳐 좌초됨으로써 병커C유 187톤이 유출되는 사고가 발생하여 남해 연안부터 대마도 부근해역까지 유출유가 이동·확산되어 많은 해양오염문제를 유발시켰다. 본 순환모델결과를 이용하여 random walk 방법으로 유출유의 이동-확산 실험을 수행하여 당시 유출유의 이동궤적을 재현하였다. 모델결과에 의하면 유출유는 대부분 해류가 취송류의 벡터함에 의해 이동되는 양상을 보인다. 해류가 약한 연안역에서는 취송류에 의해 유출유가 이동되는 양상을 보이며, 해류가 강한 외해역에서는 대부분 해류에 의해 이동되는 특성을 보이고 있다. 유출유는 사고발생 약 4일후에 대마도 연안역까지 이동되는 양상을 보이고 있다. 그러나 유출유의 이동-확산을 정확히 예측하기 위해서는 사고 당시의 정확한 시·공간적 바람자료와 해류에 대한 분포특성이 파악되어야만 가능하리라 사료된다.

Reference

- 조양기 (1988) 남해의 저층수와 유량에 관한 연구. 서울대학교 대학원 이학석사학위논문.
- 한국해양연구소 (1987) 한국해협 종합해양자원도 작성연구(남해). 한국해양연구소, 357 pp.
- 한국해양연구소 (1989) 한국해협 종합해양자원도 작성연구(남해). 한국해양연구소, 555 pp.
- 한국해양연구소 (1993) 해양환경 관리기술: 오염물질 이동·확산 예측기술 개발. 한국해양연구소, 81 pp.
- 한국해양연구소 (1996a) 한반도 주변 조석 조화상수 자료집. 한국해양연구소, 282 pp.
- 한국해양연구소 (1996b) 해양환경 관리기술: 오염물질 이동·확산 예측기술 개발. 환경처, 220 pp.
- Asselin, R. (1972) Frequency filter for time integrations. *Monthly Weather Review*, 100(6): 487-490.
- Ahlstrom, S.W. (1975) A mathematical model for predicting the transport of oil slicks in marine waters. *Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland Wash.*, 70 pp.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, K. Kim and J. Candela (1992) Lagrangian flow observation in the East China, Yellow and Japan Seas. *La mer*, 30: 297-314.
- Blumberg, A.F. and G.L. Mellor (1987) A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, pp. 1-16. In: N. S. Heaps (ed.), *Three Dimensional Coastal Models*. American Geophysical Union, Washington, D.C.
- Chapman D.C. (1985) Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic Coastal Ocean Model. *Journal of Physical Oceanography*, 15: 1060-1075.
- Chang, K.I., K. Kim, S. W. Lee and T. B. Shim (1995) Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in Spring. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 30: 203-215.
- Chang, K.I. and K. Kim (1994) Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. *J.Oceanol. Soc. Korea*,

29: 414-421.

- Chang, K.I. and K. Kim (1995) Sub-tidal flow in the Cheju Strait. The Yellow Sea, 1: 93-103.
- Cho, Y. K. and K. Kim (1994) Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. J.Oceanol.Soc.Korea, 19: 414-421.
- Kantha. L.H. (1995) Barotropic tides in the global oceans from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tides. Journal of Geophysical Research, 100(C12): 25,283-25,308.
- Kim, K. (1980) Ocean currents in southwestern sea off Korea. (unpublished technical report, Seoul National University).
- Kim, K., K.R. Kim, T.S. Rhee, H.K. Rho, R. Limeburner and R.C. Beardsley (1991a) Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. Oceanography of Asian marginal seas, edited by K. Takano. Elsevier, 253-267.
- Kim, K., H.K. Rho and S.H. Lee (1991b) Water masses and circulation around Cheju-Do in summer. J.Oceanol. Soc. Korea, 26: 262-277.
- Lie, H.J. (1986) Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanhae. Progress in Oceanography, 17: 229-242.
- Lie, H.J. and C.H. Cho (1997) Surface Current Fields in the Eastern East China Sea. Journal of the Korean Society of Oceanography, 32: 1-7.
- Mellor G. L. (1996) Users Guide for A Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model. Princeton University. Princeton. NJ, 40 pp.
- Mitta, T. and Y. Ogawa (1984) Tsushima currents measured with current meters and drifters, pp. 67-76. In: T. Ichive (ed.), Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas, Elsevier, Amsterdam.
- Nishida, H (1980) Improved tidal charts for the western part of the north Pacific Ocean. Report of Hydrographic Researches, 15: 55-70.
- Odamaki, M. (1989) Tides and Tidal Currents in the Tusima Strait. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 45: 65-82.
- Ogura, S (1933) The tides in the seas adjacent to Japan. Bulletin of Hydrographic Department, 7: 1-189.

- Park, Y.H. (1986) Water characteristics and movement of the Yellow Sea Warm Current in summer. *Progress in Oceanography*, 17: 243-254.
- Roache, P.J. (1972) *Computational fluid dynamics*. Hermosa Publishers, 434 pp.
- Smagorinsky, J. (1963) General circulation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. *Monthly Weather Review*, 91: 99-164.
- Suk, M.S., Hong, G.H., Chung, C.S., Chang K.I., and Kang D.J. (1996) Distribution and Transport of Suspended Particulate Matter, Dissolved Oxygen and Major Inorganic Nutrients in the Cheju Strait. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 31(2): 55-63.
- Tee, K.T. and D. Lefaiivre (1990) Three-Dimensional Modeling of the Tidally Induced Residual Circulation Off Southwest Nova Scotia. *Coastal and Estuarine Studies*, 38: 79-92.
- Venkatesh, S. (1987) The oil spill behaviour model of the Canadian Atmospheric Environment Service. part 1 : Theory and model evaluation. *Atmosphere-Ocean*, 26(1): 93-108.

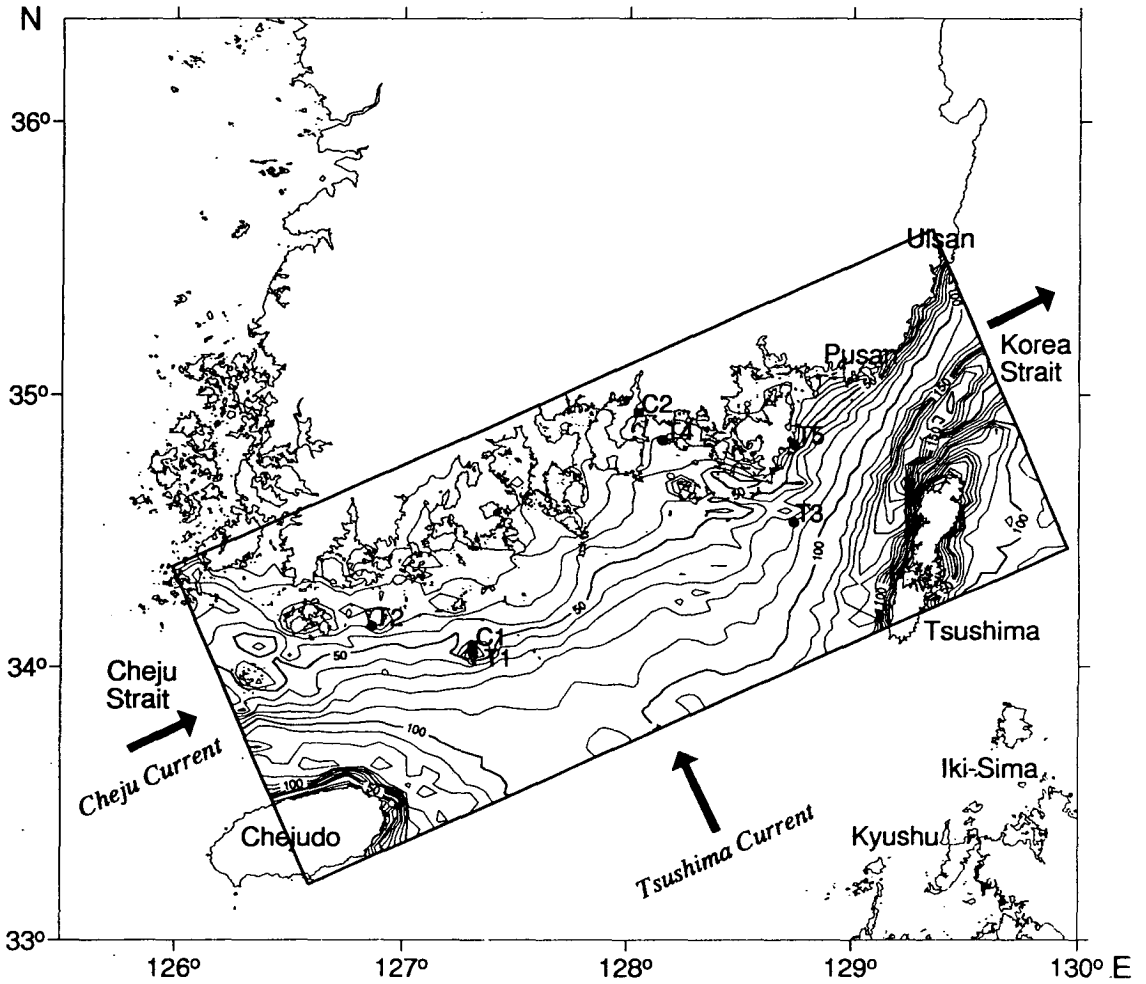


Fig. 2.1. Bottom topography of the South Sea. In here, black circles denote the observation station of tidal elevation and black squares denote the observation station of tidal current for model verification.

'97 03 CTD Position

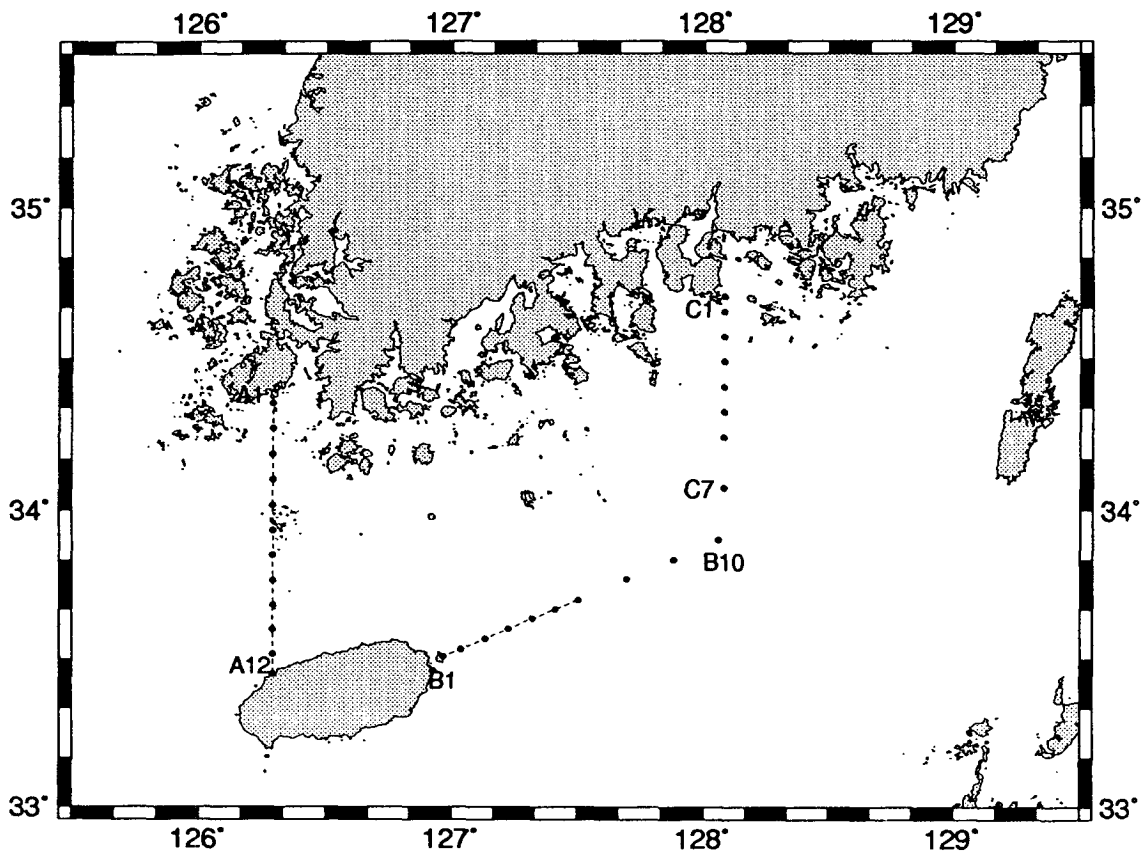


Fig. 2.2. Location map of CTD stations and ADCP tracks in March, 1997.

'97 09 CTD Position

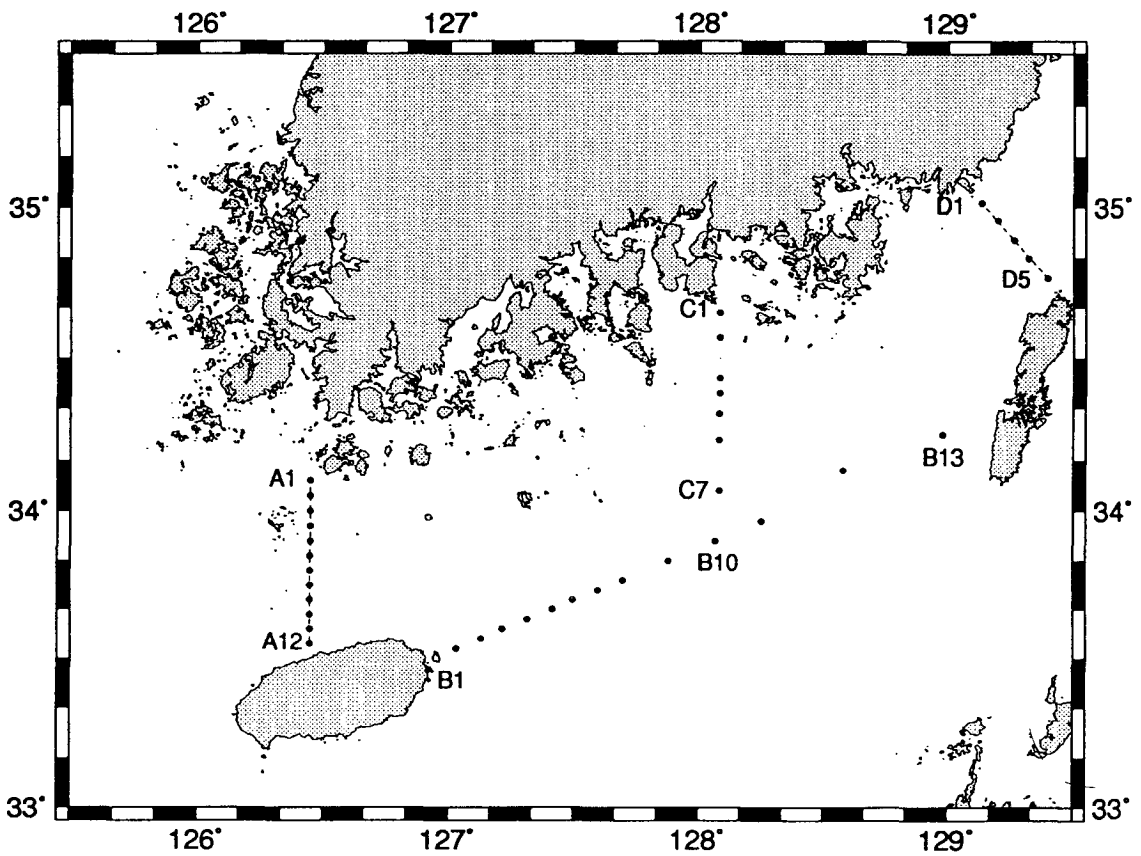


Fig. 2.3. Location map of CTD stations and ADCP tracks in September, 1997.

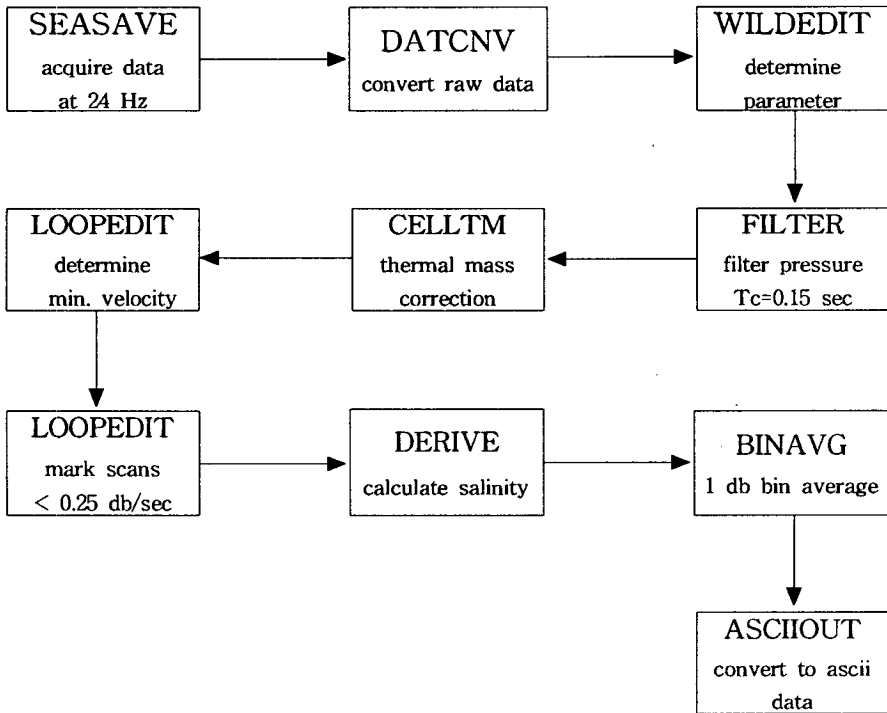


Fig. 2.4. Flow chart of CTD data processing.

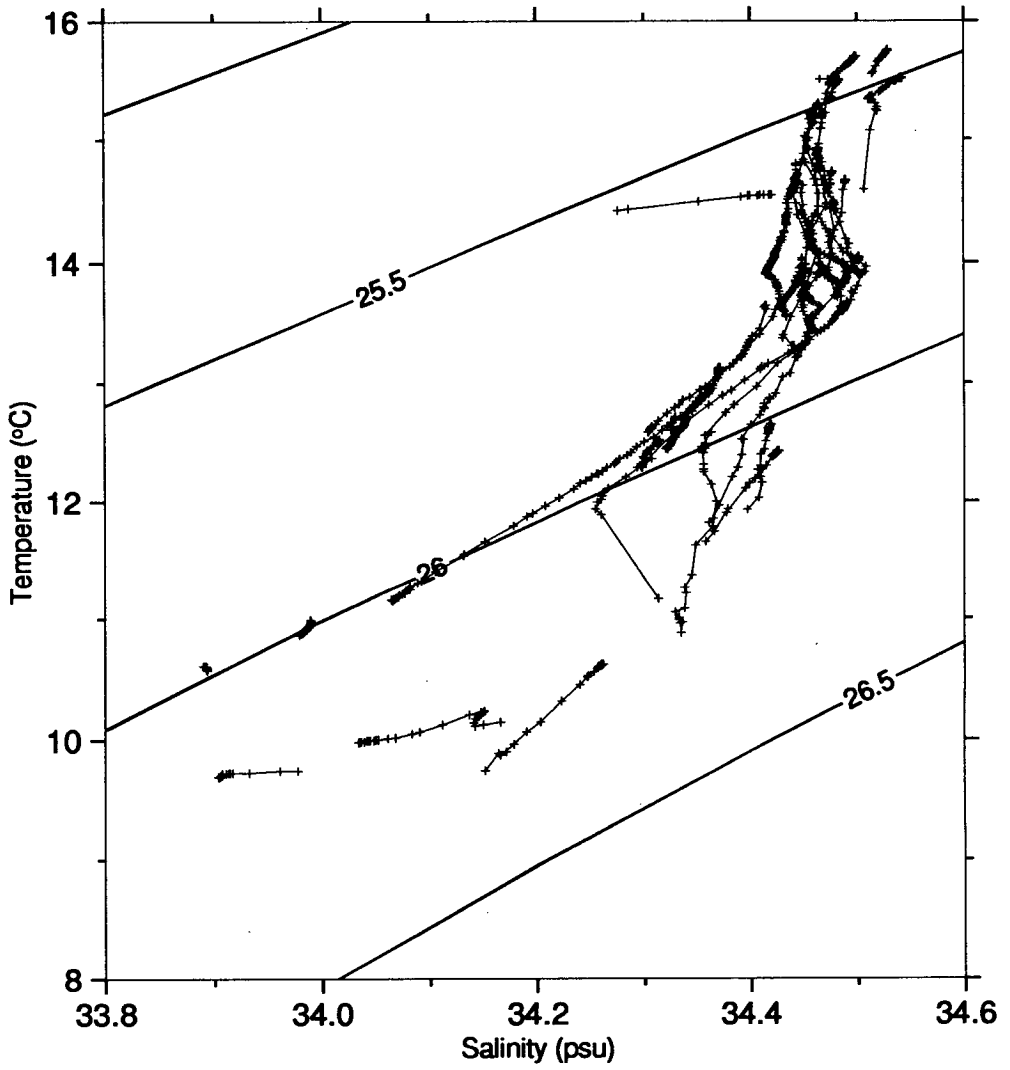


Fig. 2.5. T-S Diagram in March, 1997.

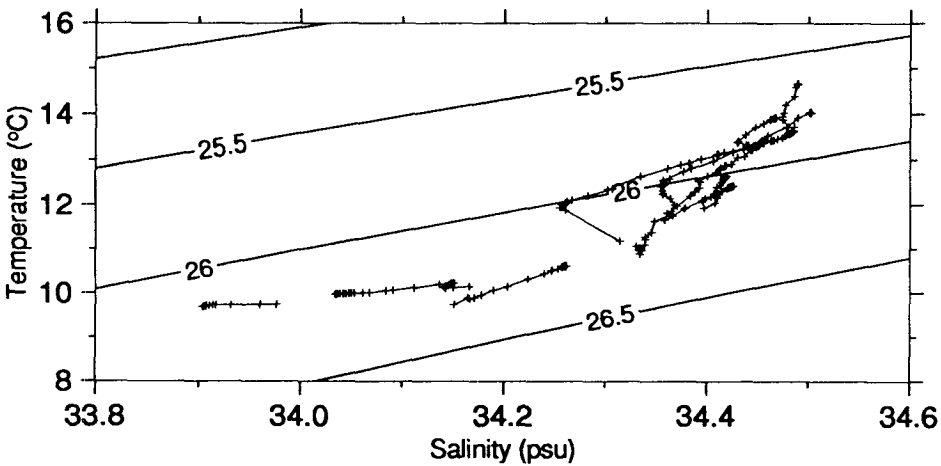
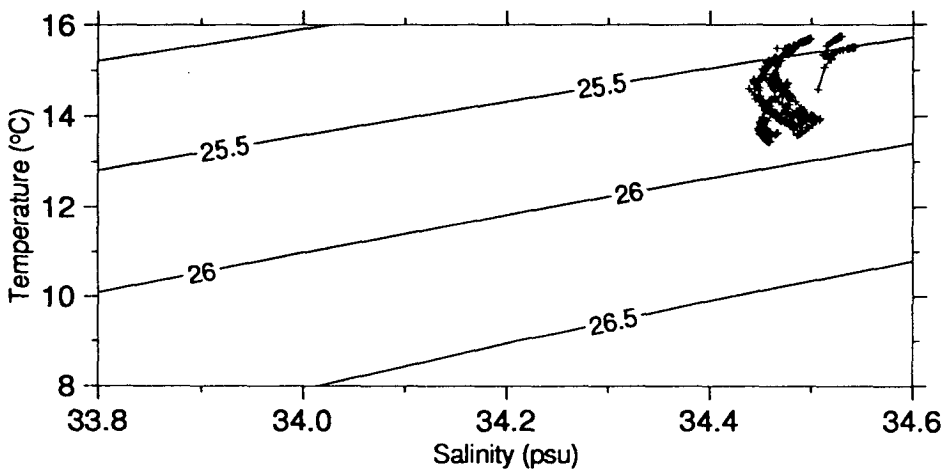
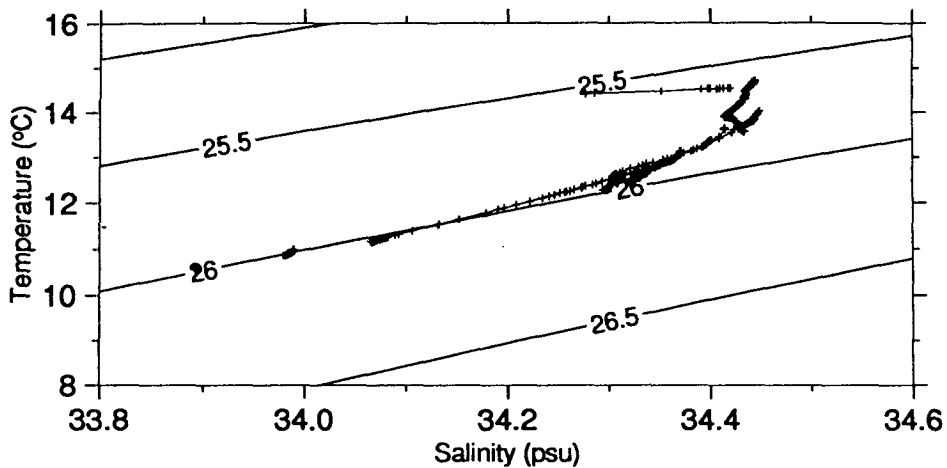


Fig. 2.6. T-S Diagram for each observation line in March, 1997.

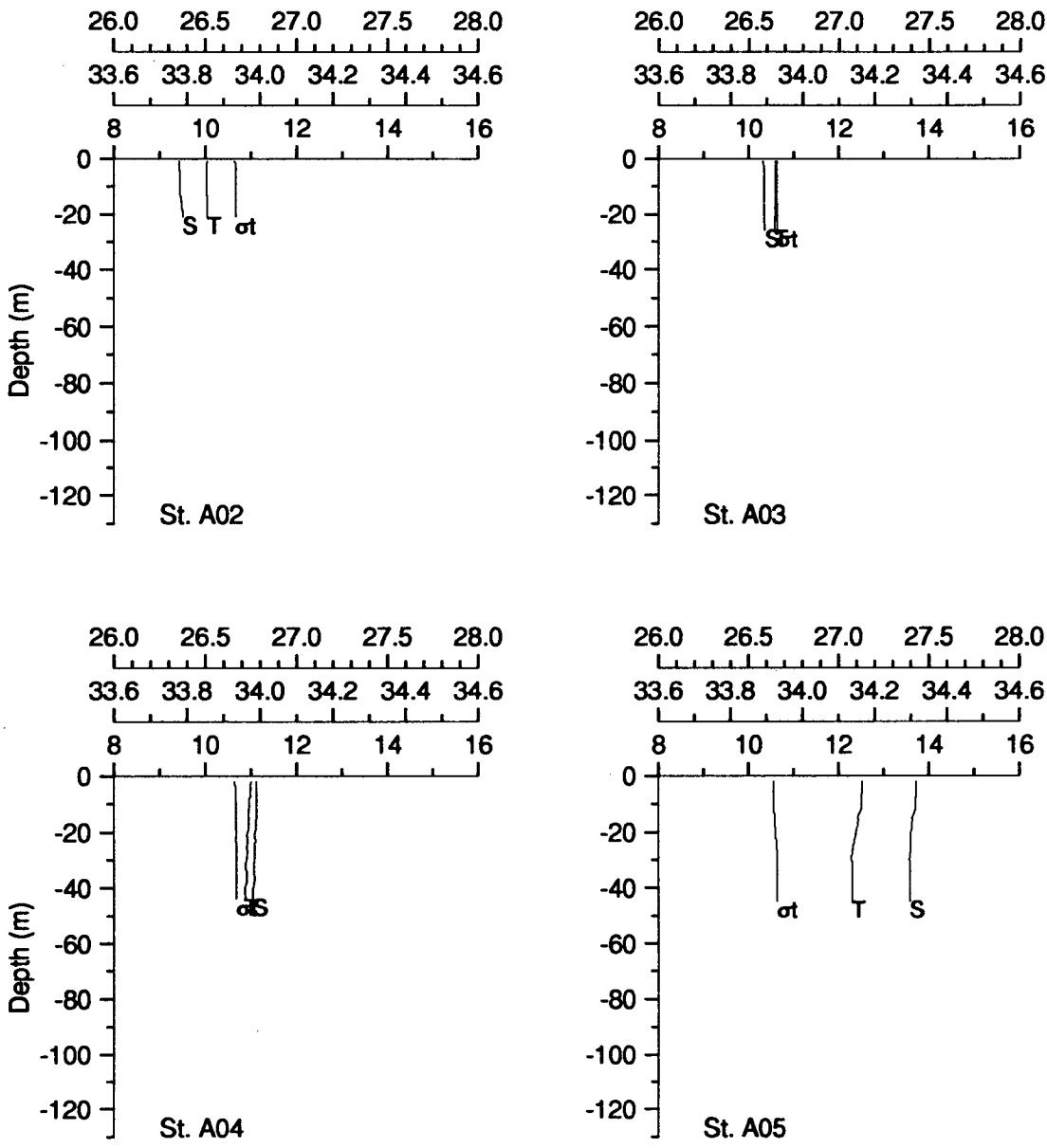


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station.

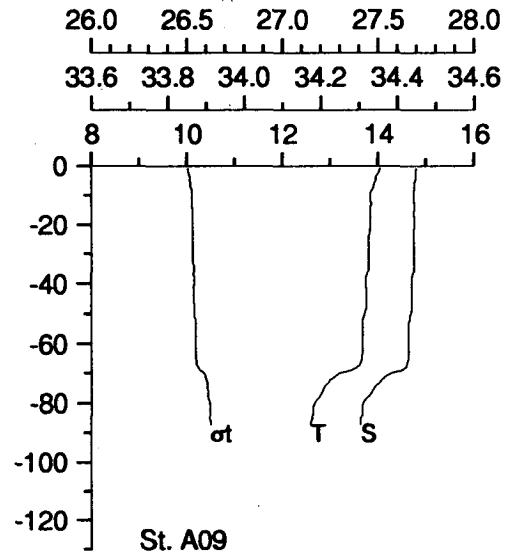
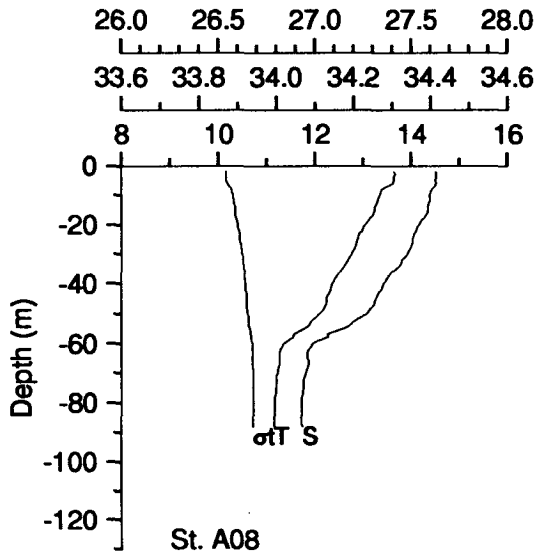
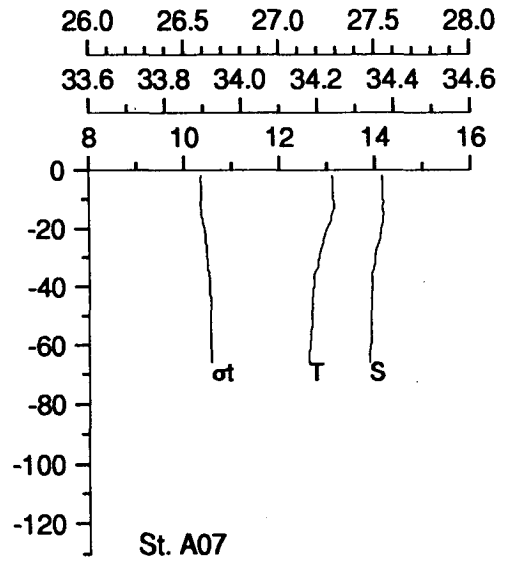
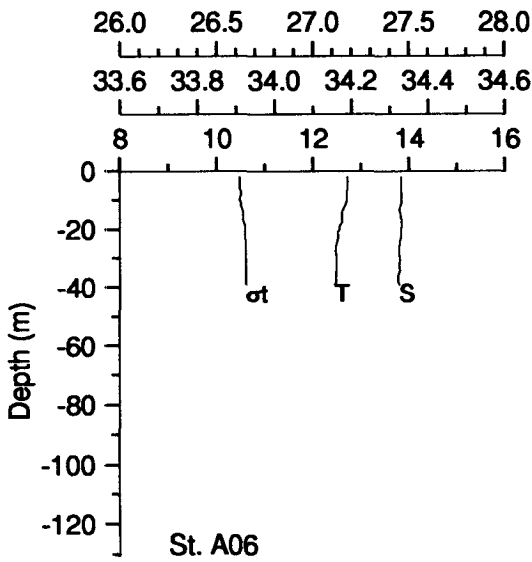


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 2).

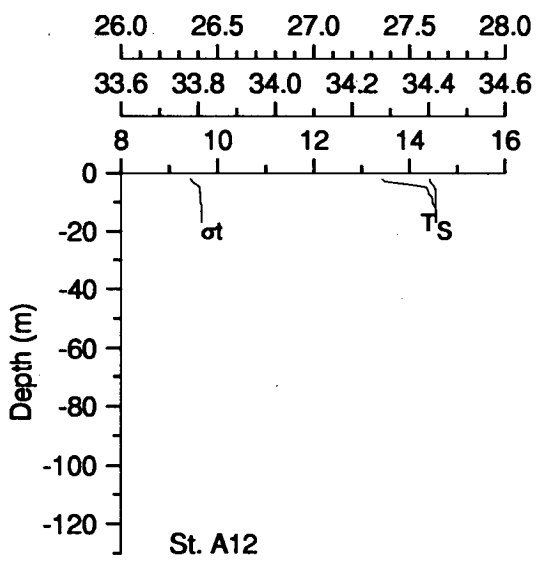
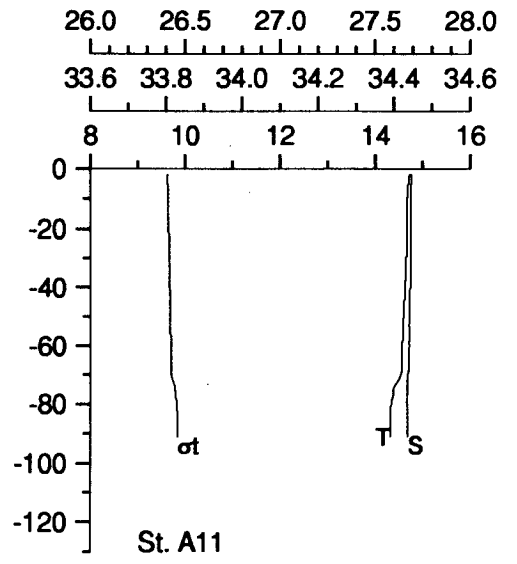
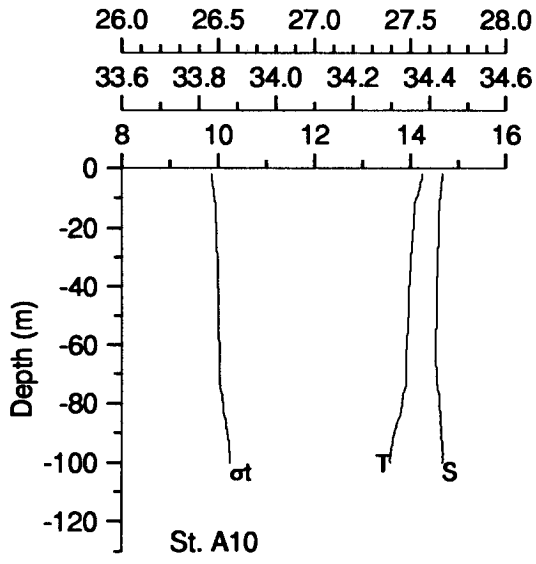


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 3).

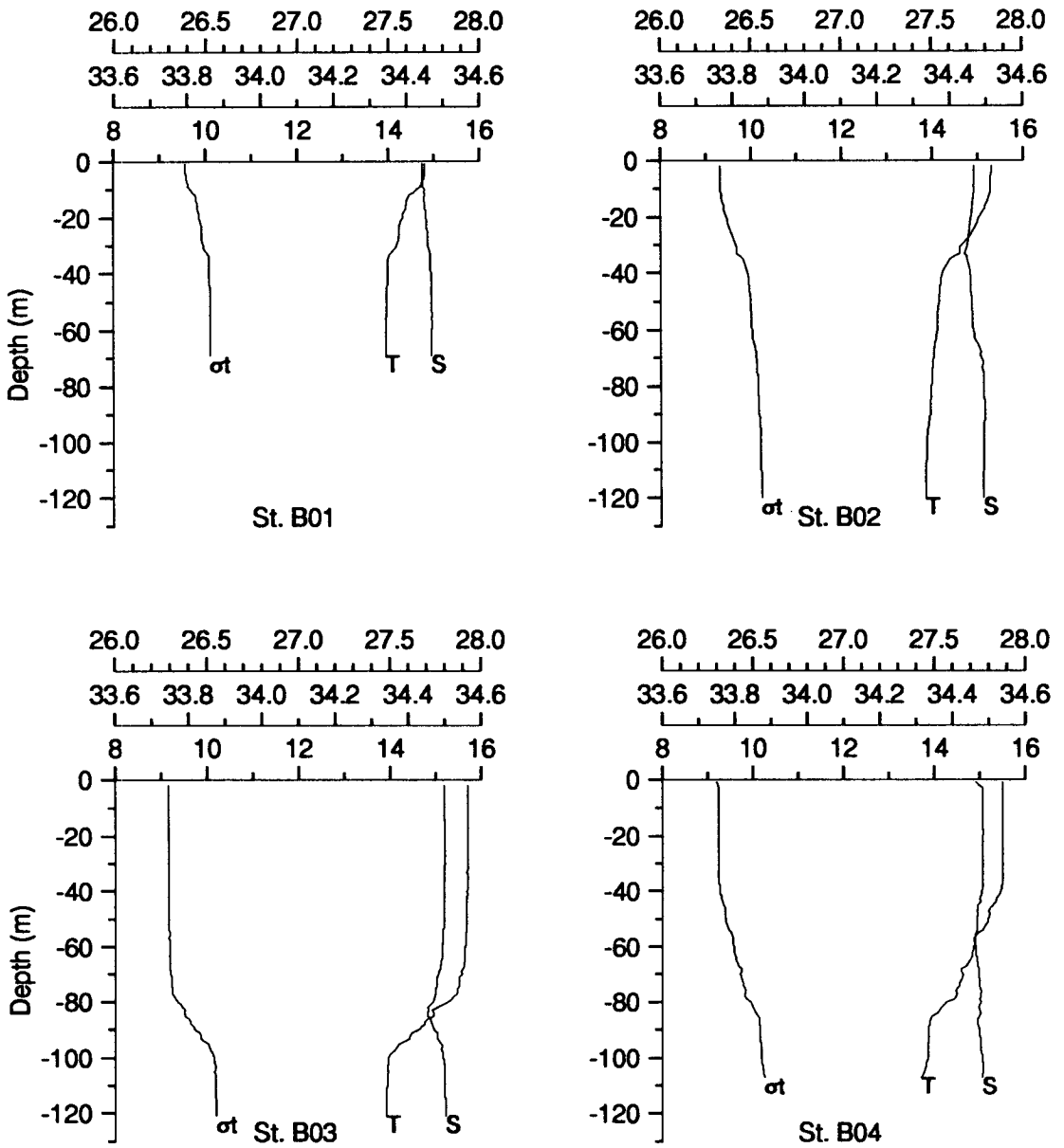


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 4).

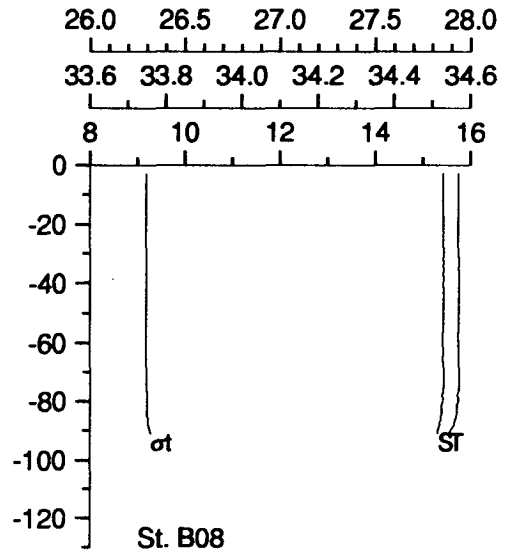
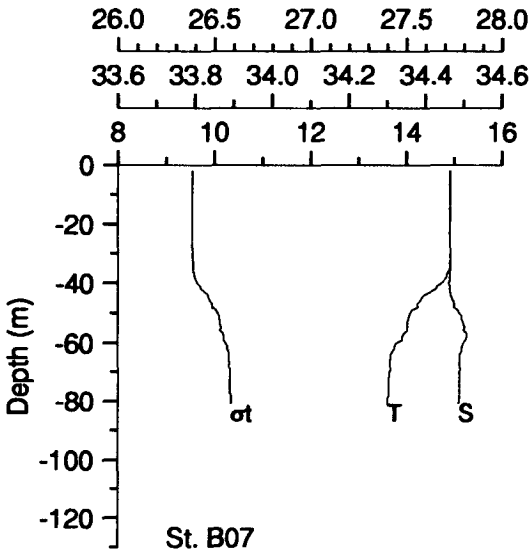
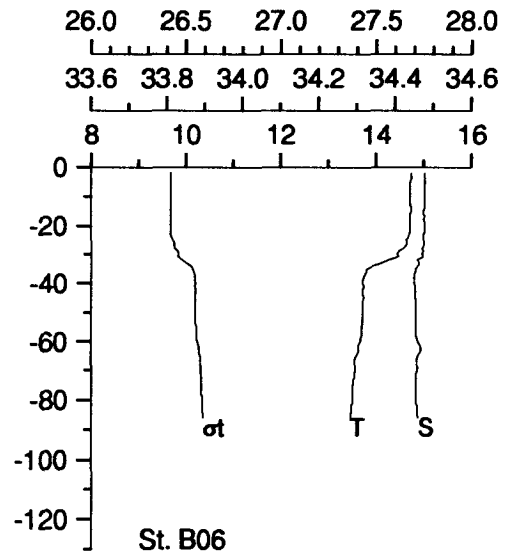
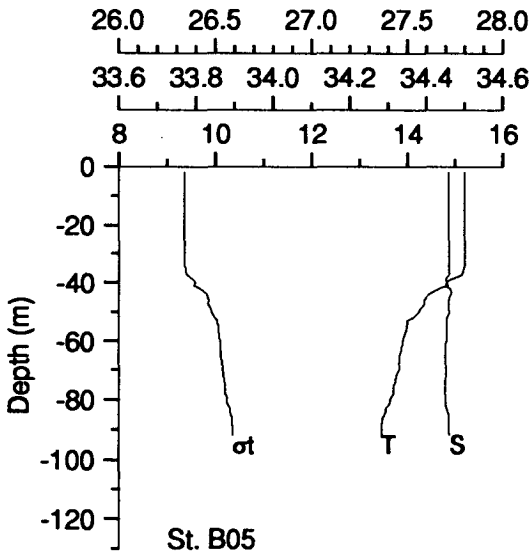


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 5).

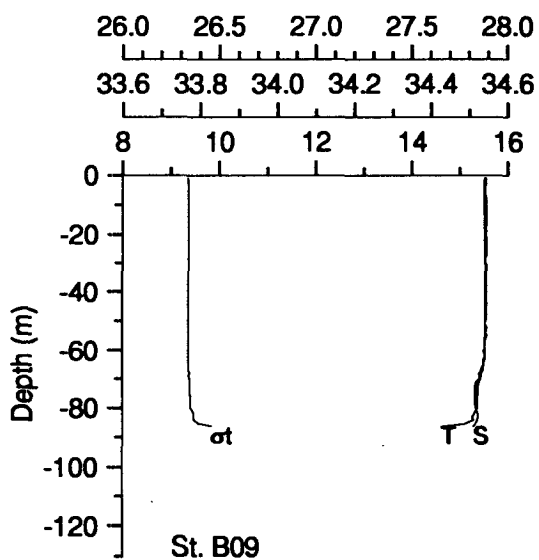


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 6).

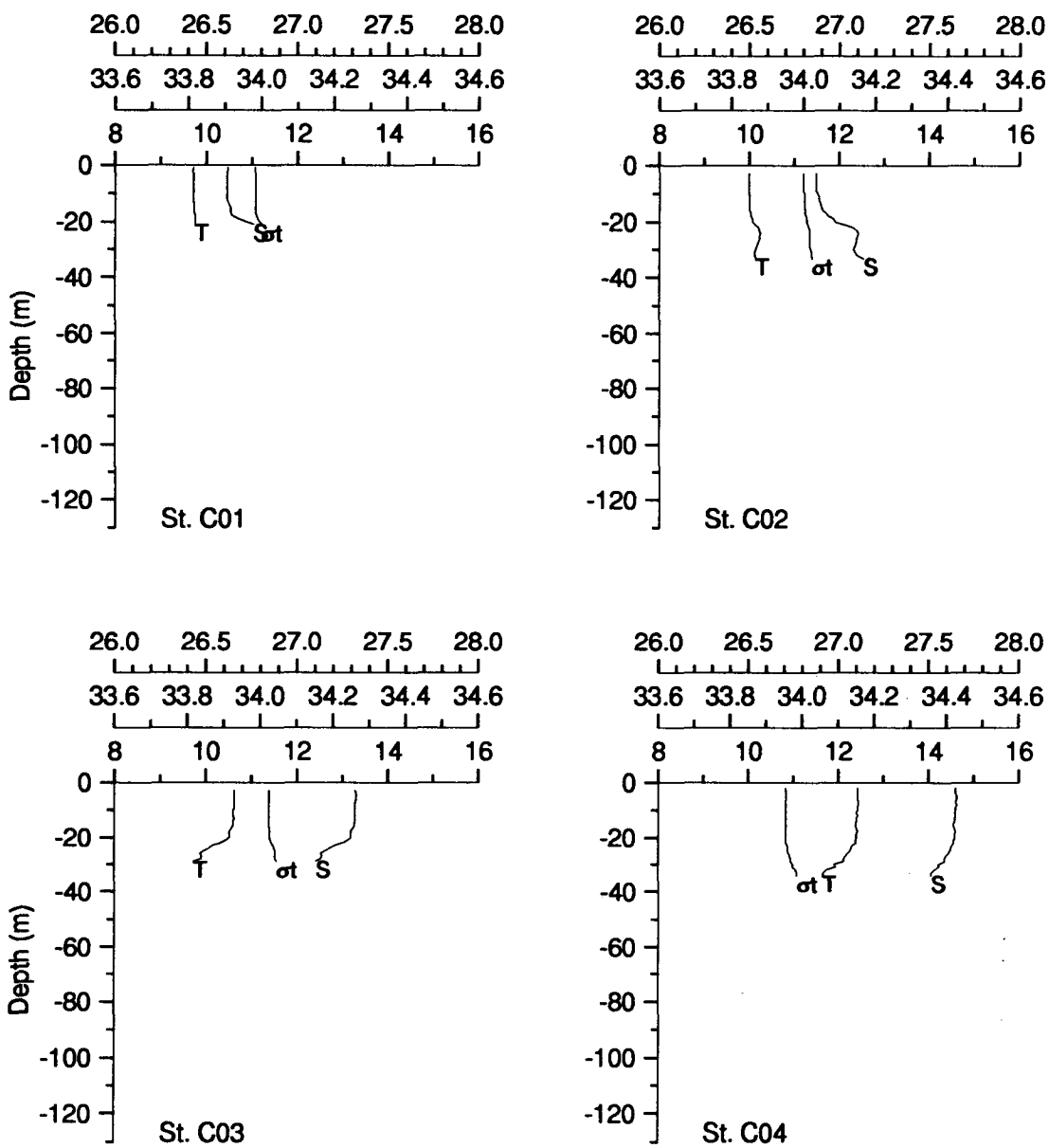


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 7).

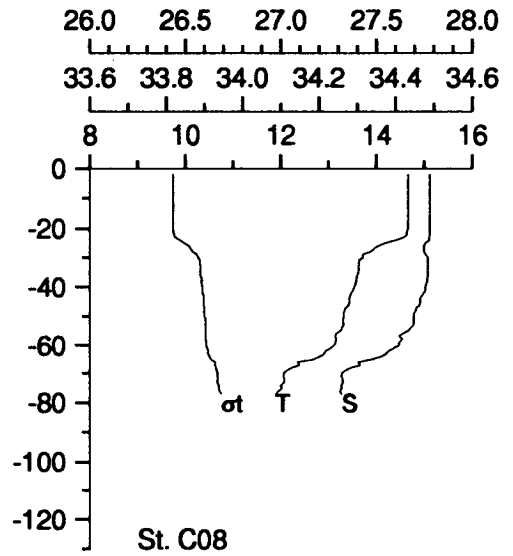
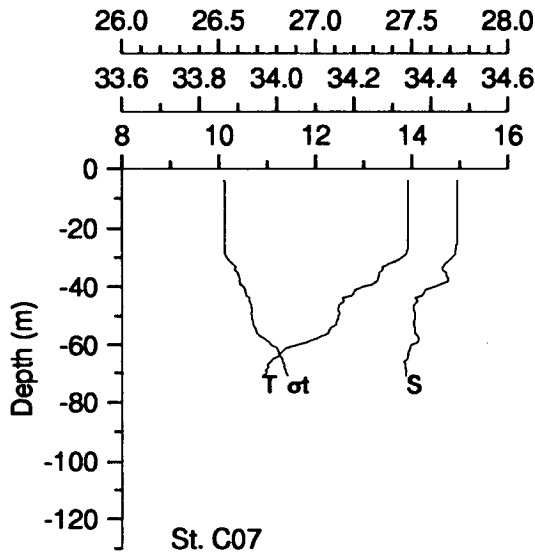
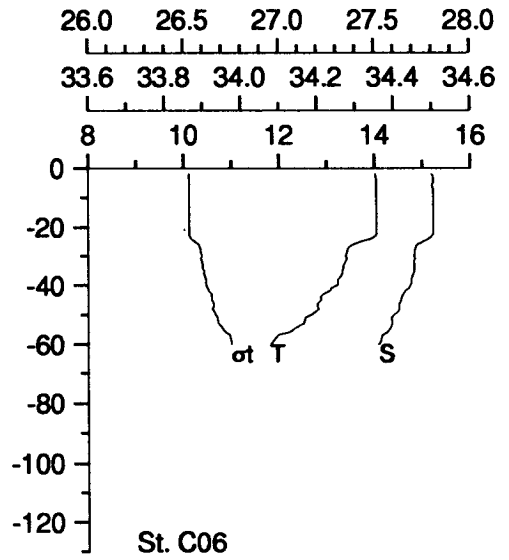
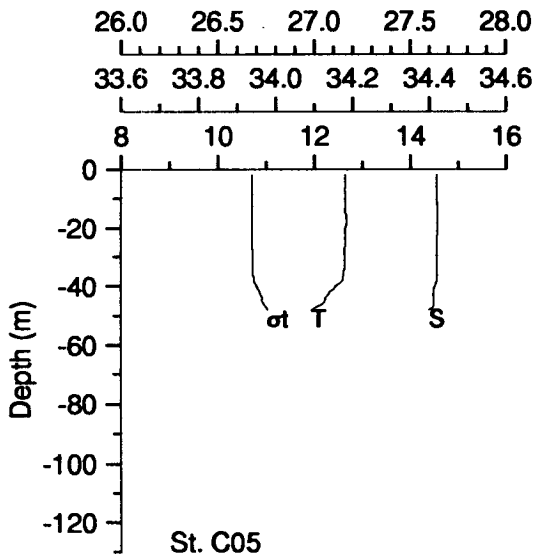


Fig. 2.7. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 8).

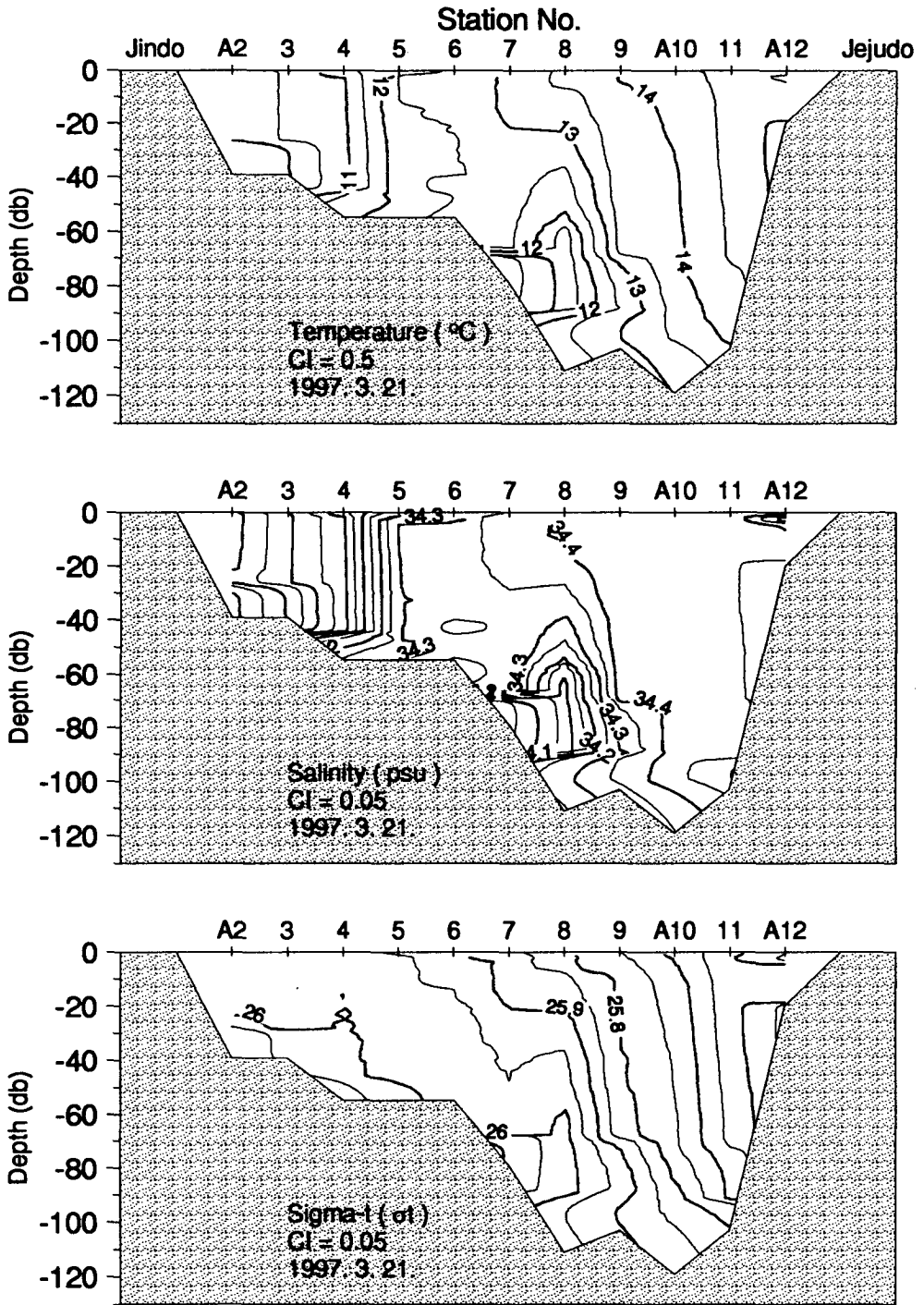


Fig. 2.8. Vertical distributions of temperature, salinity, density in the Cheju Strait

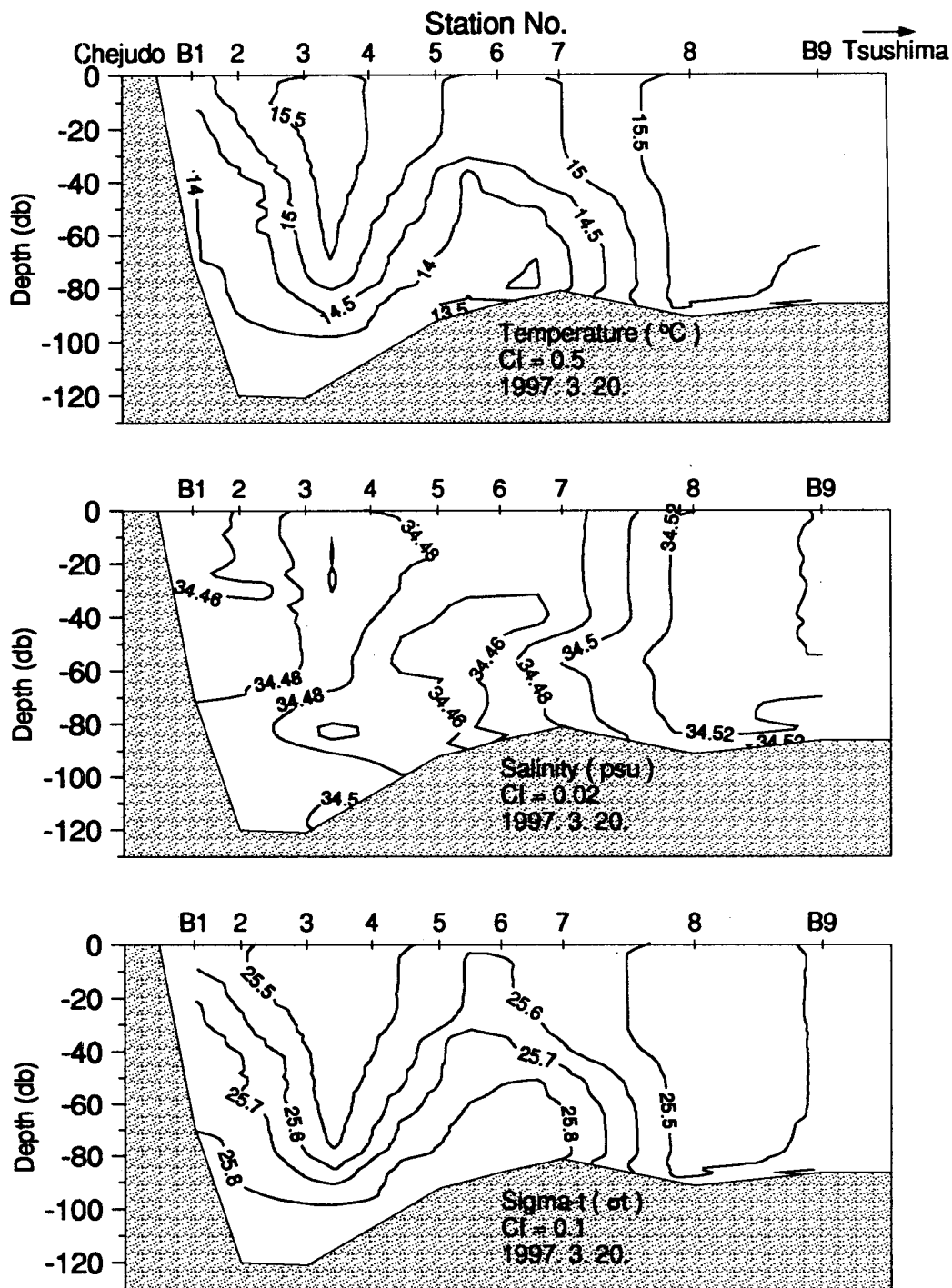
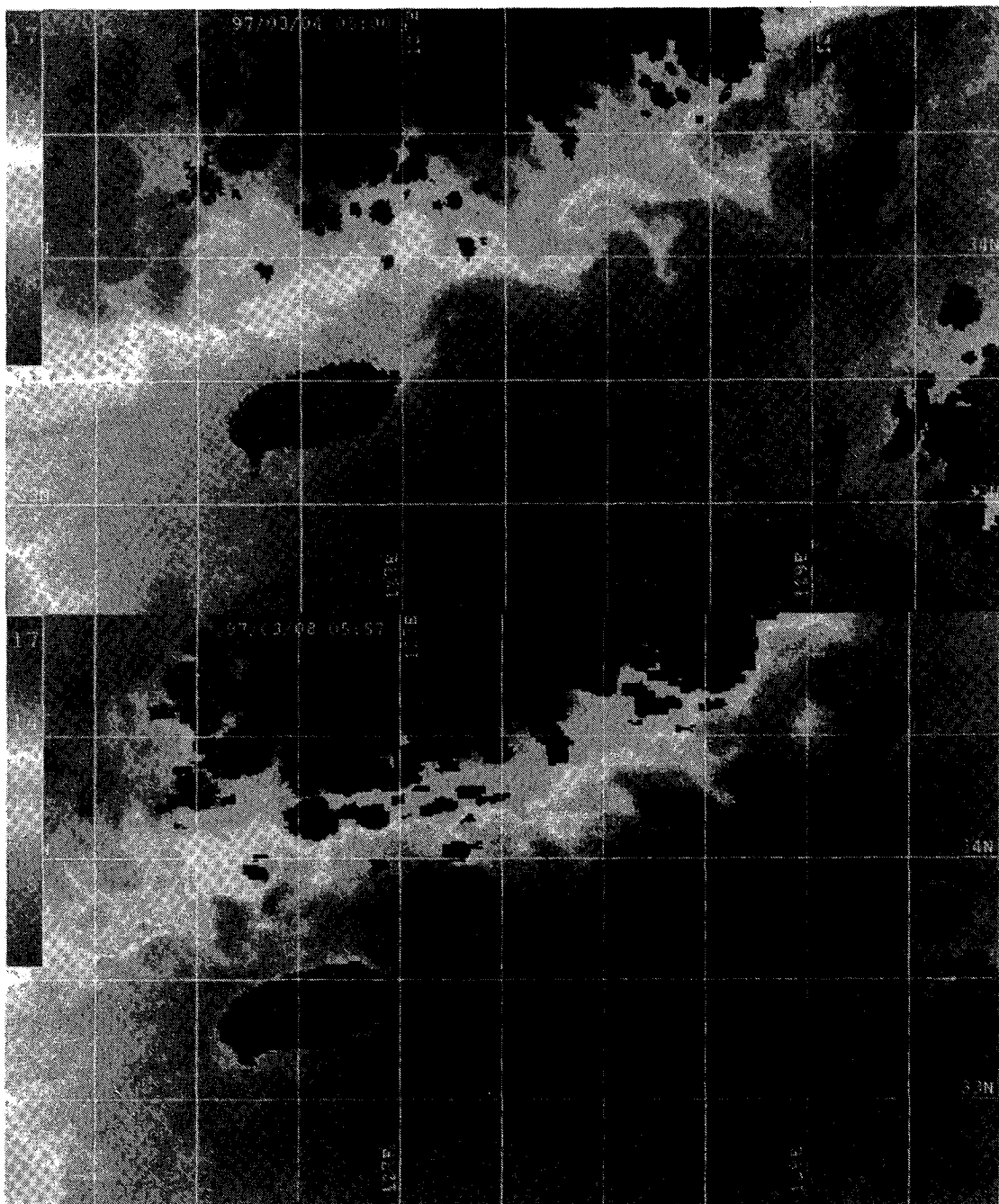


Fig. 2.9. Vertical distributions of temperature, salinity, density along east of Cheju.



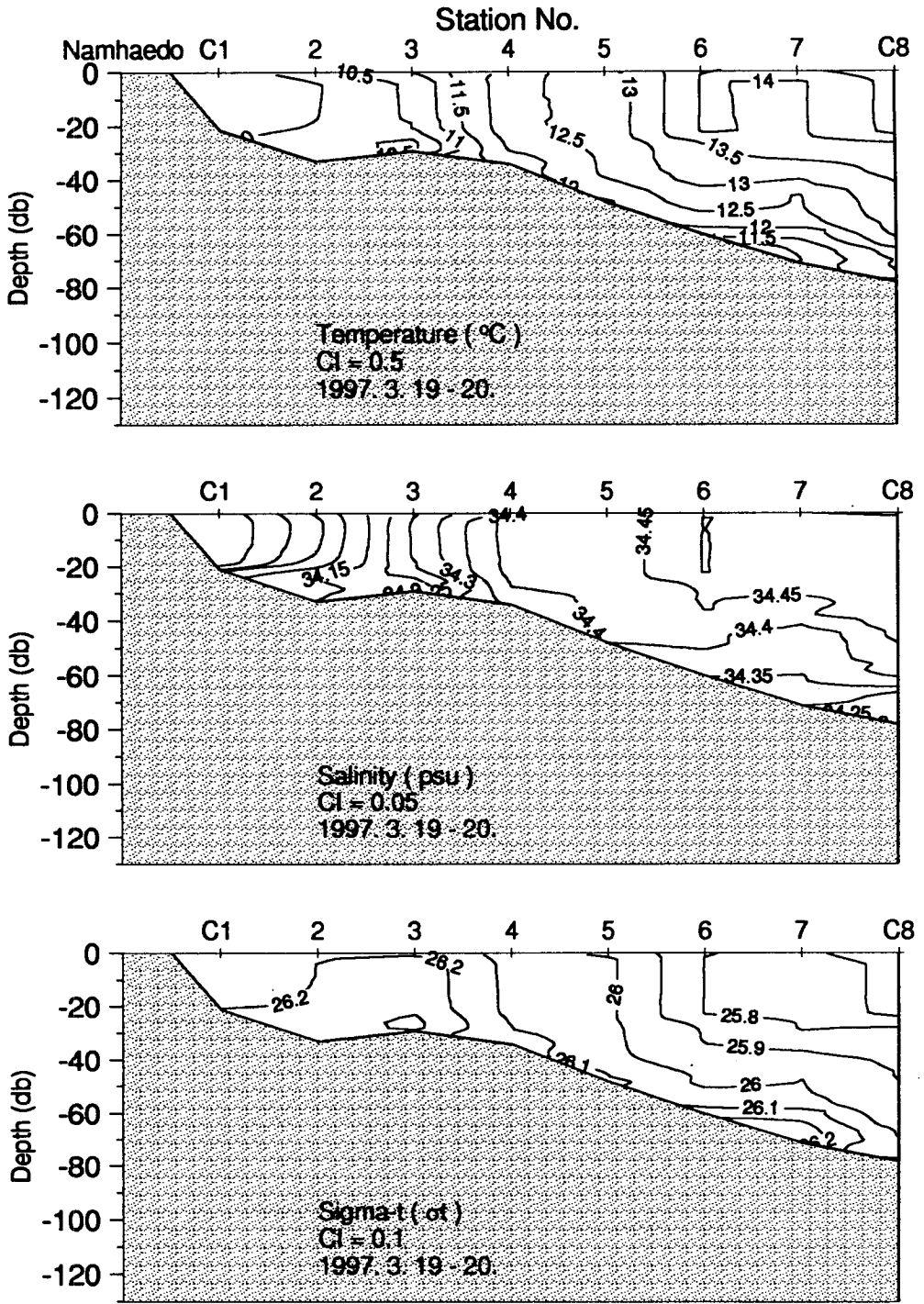


Fig. 2.11. Vertical distributions of temperature, salinity, density along south of Namhaedo

Tide in Cheju strait (Mar, 1997)

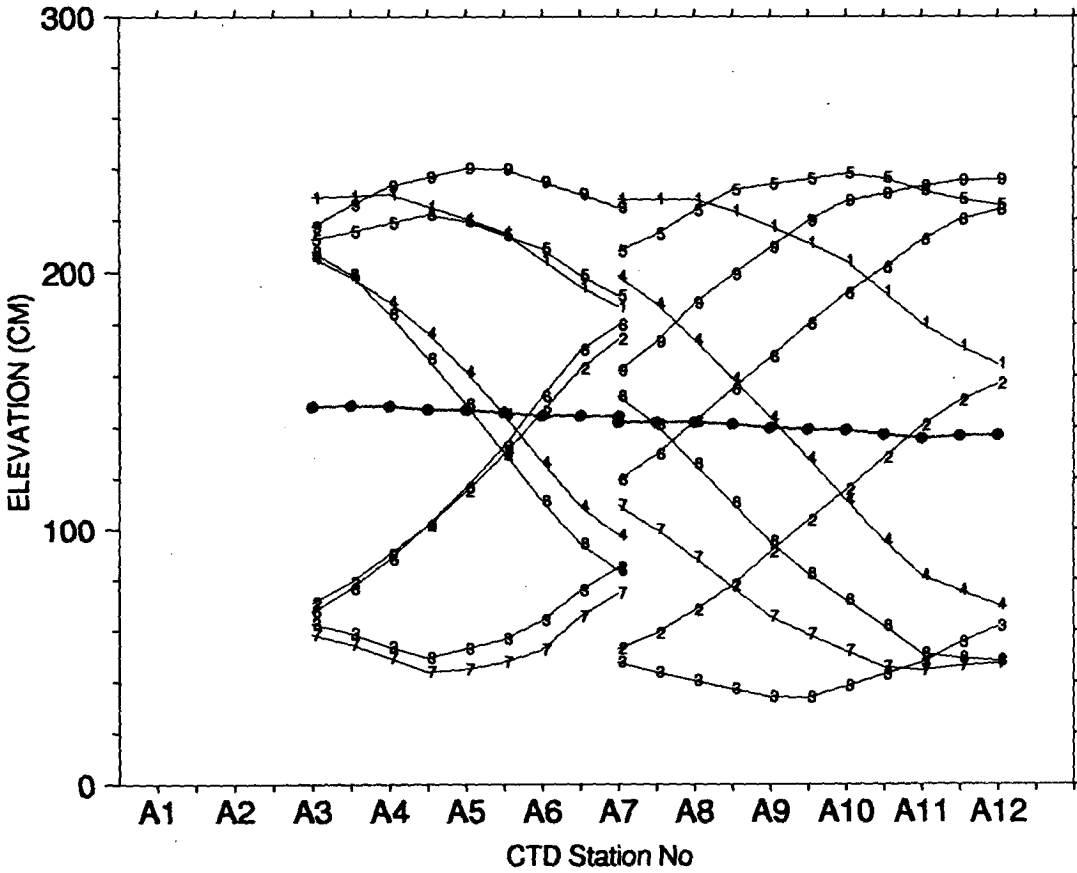


Fig. 2.12. Comparison between the repeated ADCP observation time of the Cheju Strait and the sea surface elevation of the Cheju port during the observation period. In here, thin line denotes the sea surface elevation of the Cheju Strait, number is the repeat number of the ADCP observation and black point denotes the averaged elevation of 9-repeated observations.

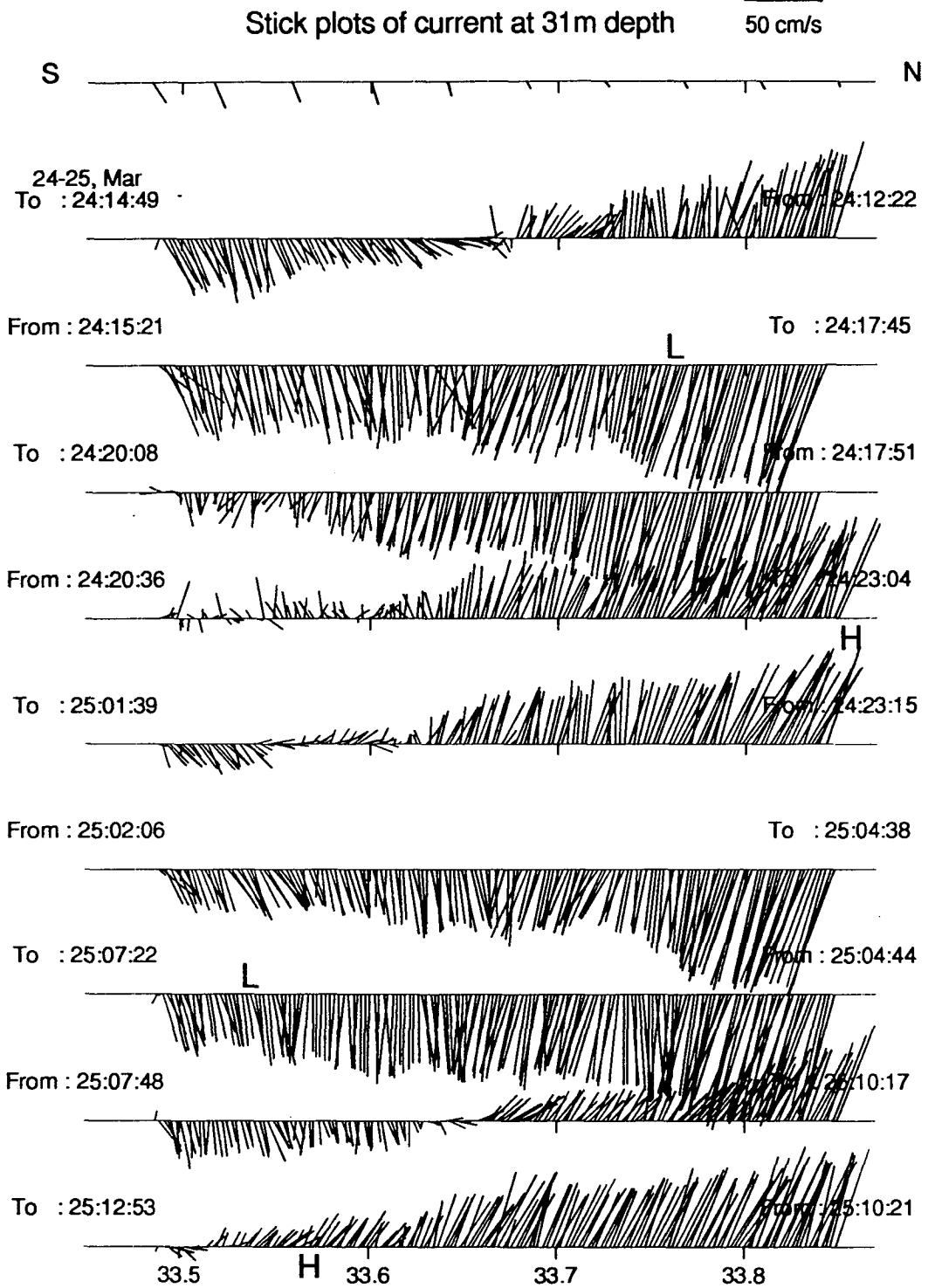


Fig. 2.13. Time plot of current observed by ADCP at 31m depth in the Cheju Strait.

Sectional vector plot of oceanic current Observed by ADCP

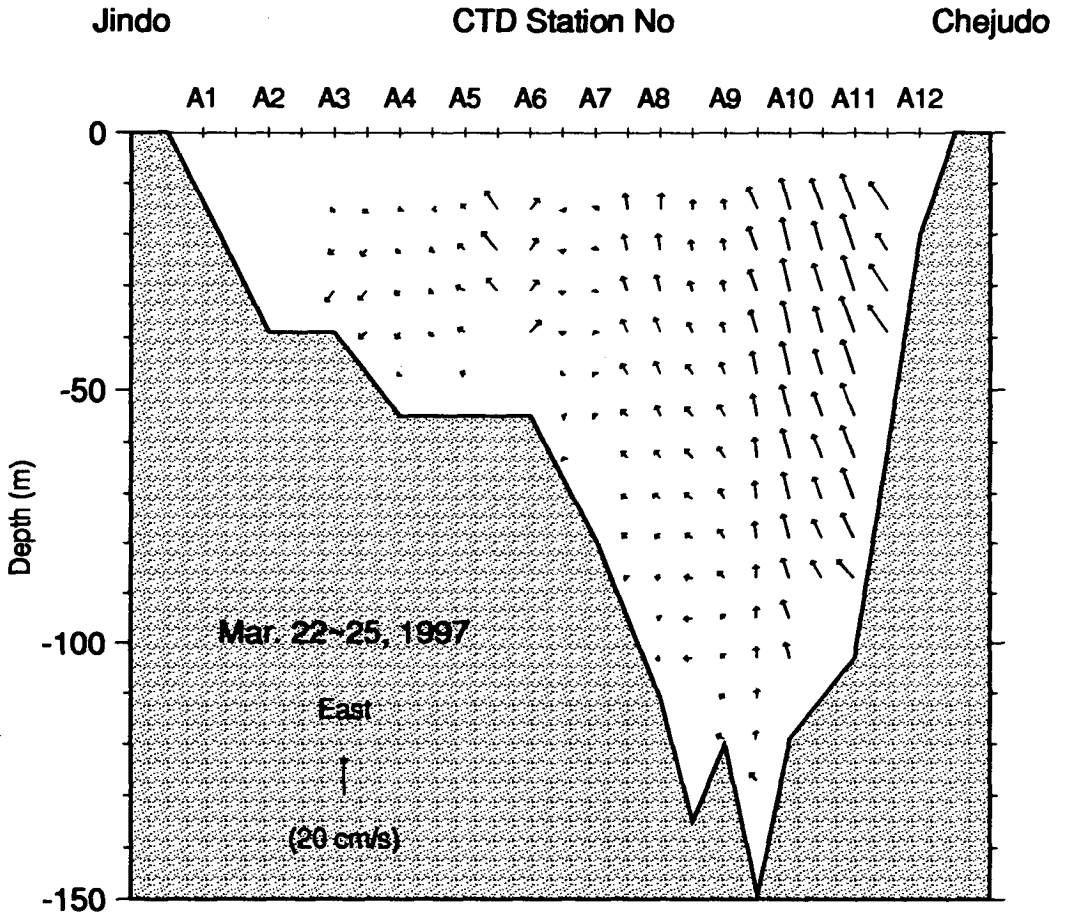


Fig. 2.14. Vertical vector plot of detided current in the Cheju Strait (Chejudo-Jindo) in March, 1997.

Sectional distribution of oceanic current observed by ADCP

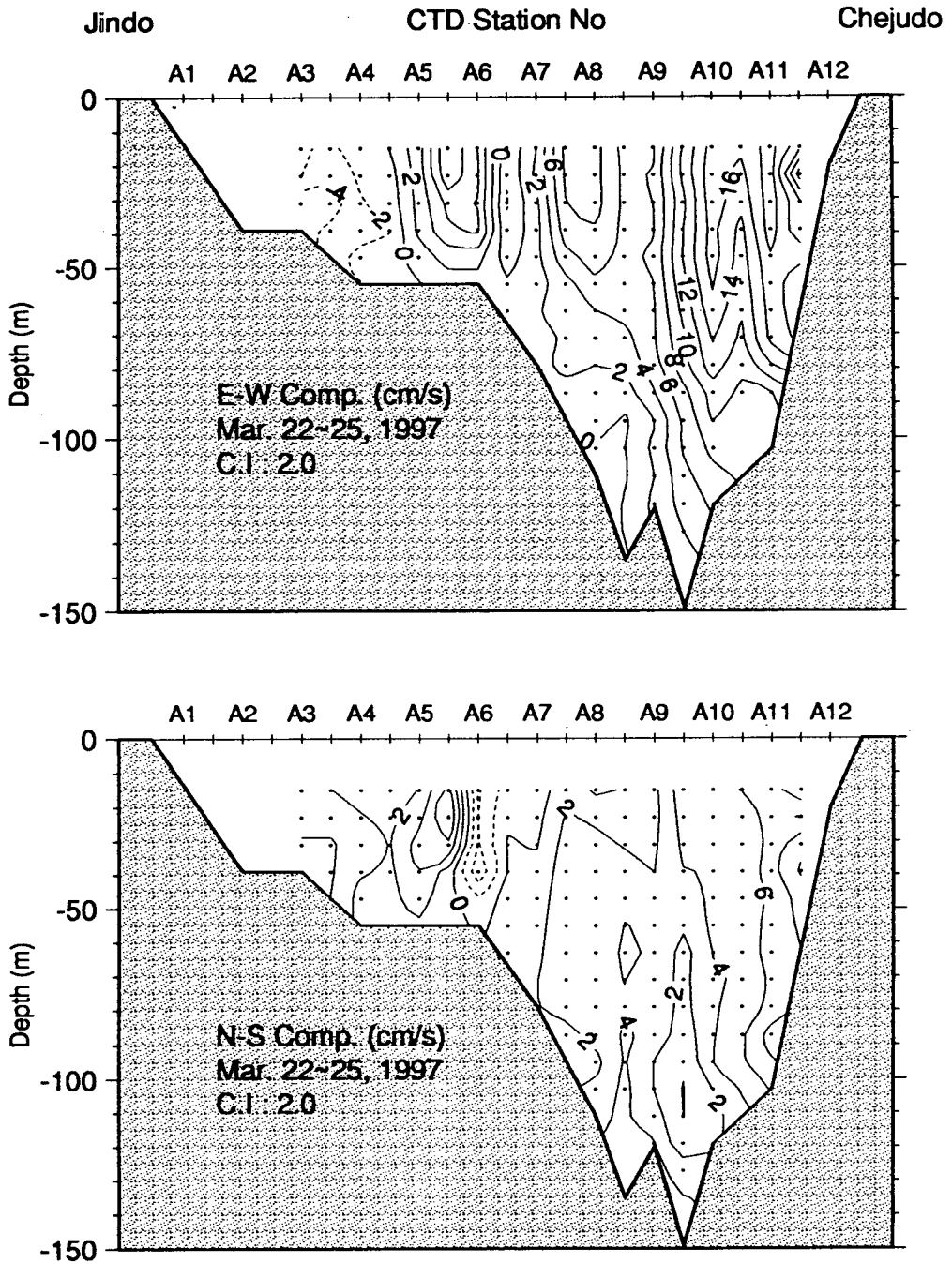


Fig. 2.15. Vertical distributions of east-west and north-south component of current in the Cheju Strait (Chejudo-Jindo) in March, 1997.

Sectional distribution of oceanic current
Observed by ADCP & Geostrophic current

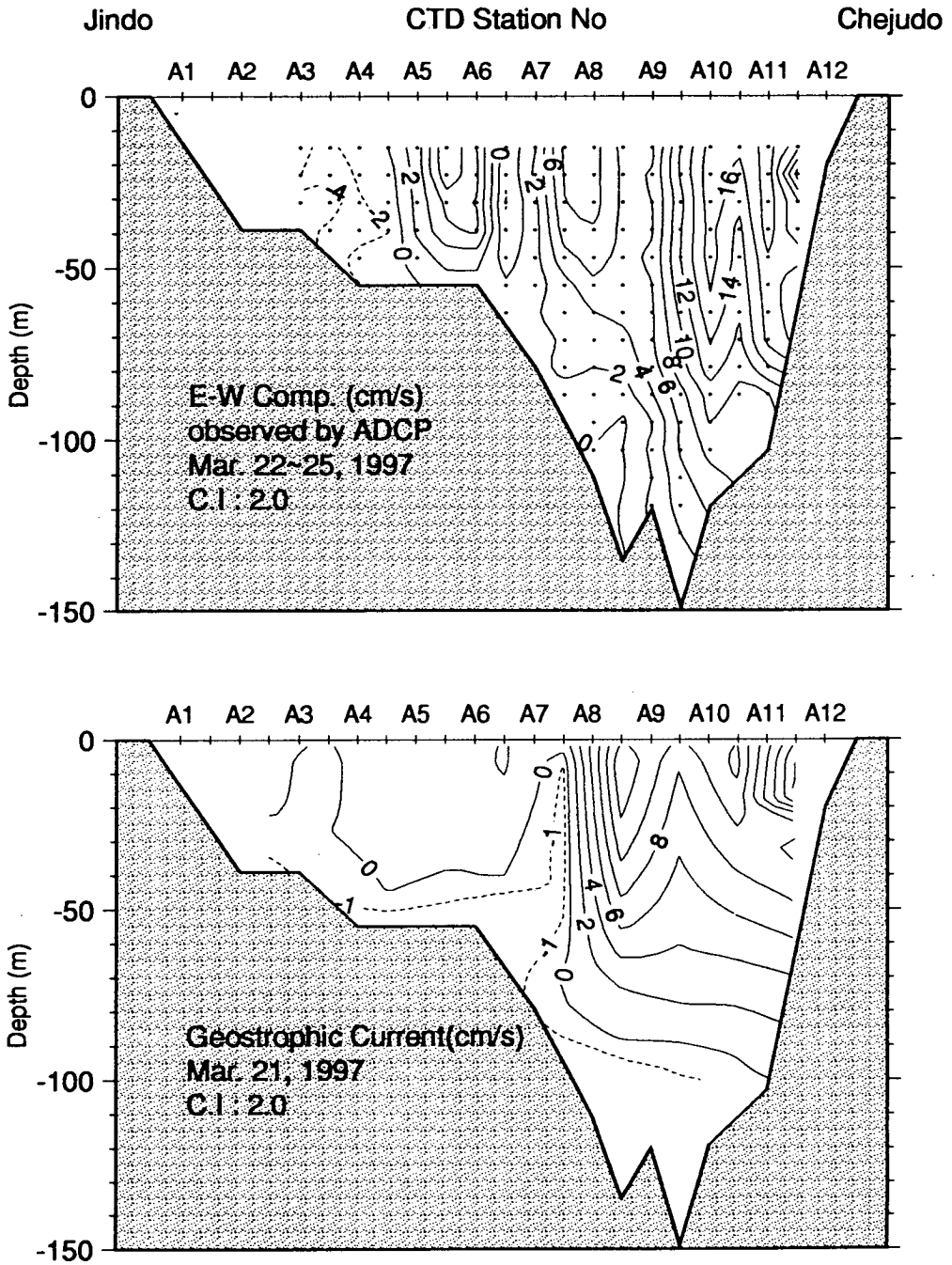


Fig. 2.16. Vertical distributions of east-west component and geostrophic current in the Cheju Strait.

Tide in the eastern section of Chejudo (Mar, 1997)

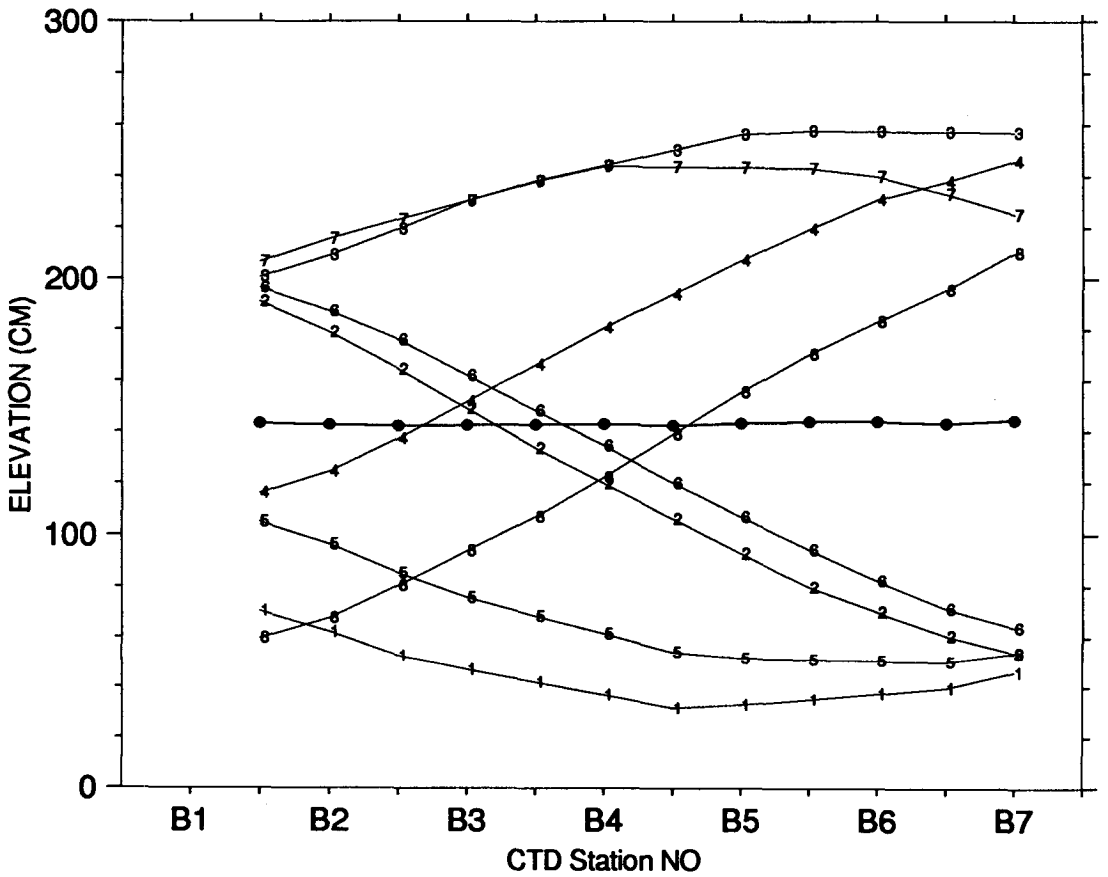


Fig. 2.17. Comparison between the repeated ADCP observation time east of the Cheju and the sea surface elevation of the Cheju port during the observation period. In here, thin line denotes the sea surface elevation of the Cheju port, number is the repeat number of the ADCP observation and black points denote the averaged elevation of 9-repeated observations.

Sectional vector plot of oceanic current Observed by ADCP

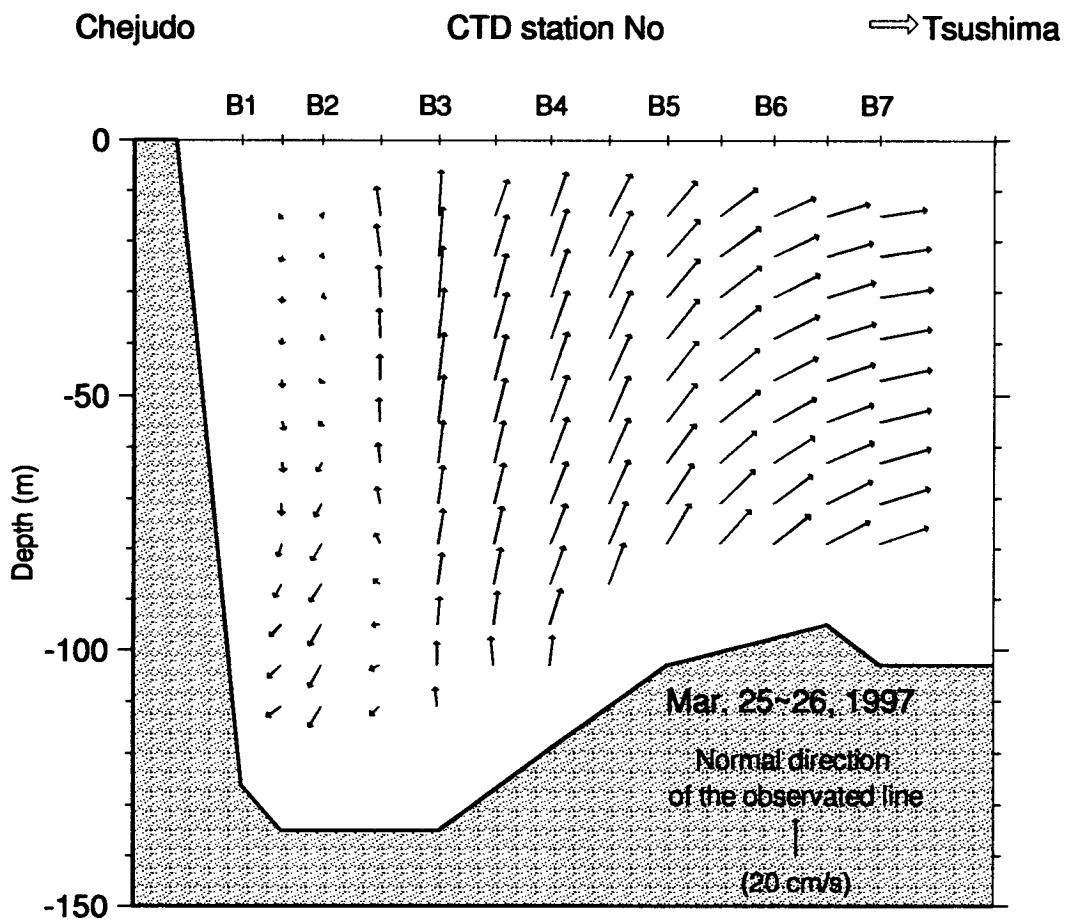


Fig. 2.18. Vertical vector plot of detided current east of the Cheju in March, 1997.

Sectional distribution of oceanic current Observed by ADCP

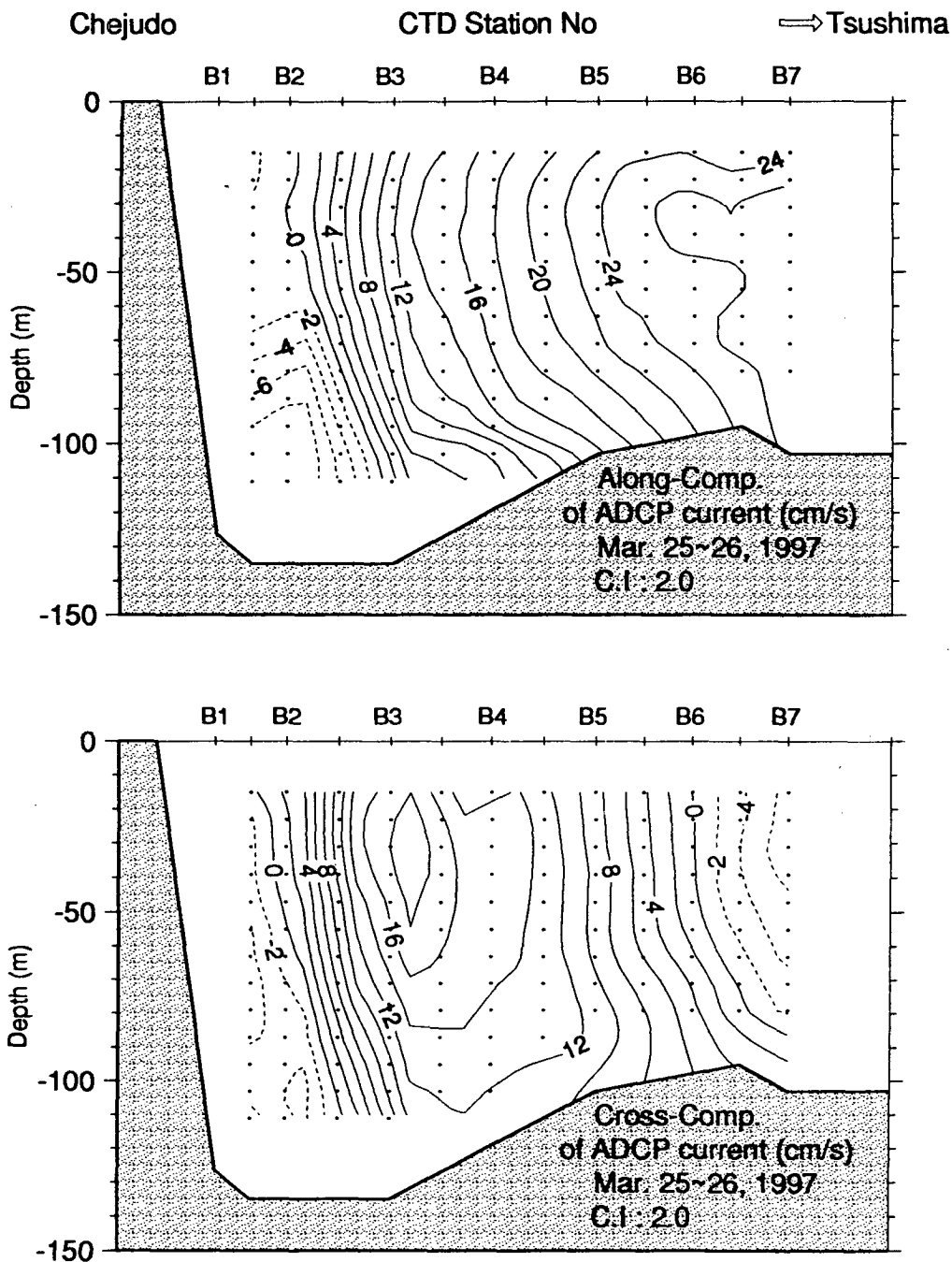


Fig. 2.19. Vertical distributions of along-component and cross-component of current east of the Cheju in March, 1997.

Sectional distribution of oceanic current Observed by ADCP & Geostrophic current

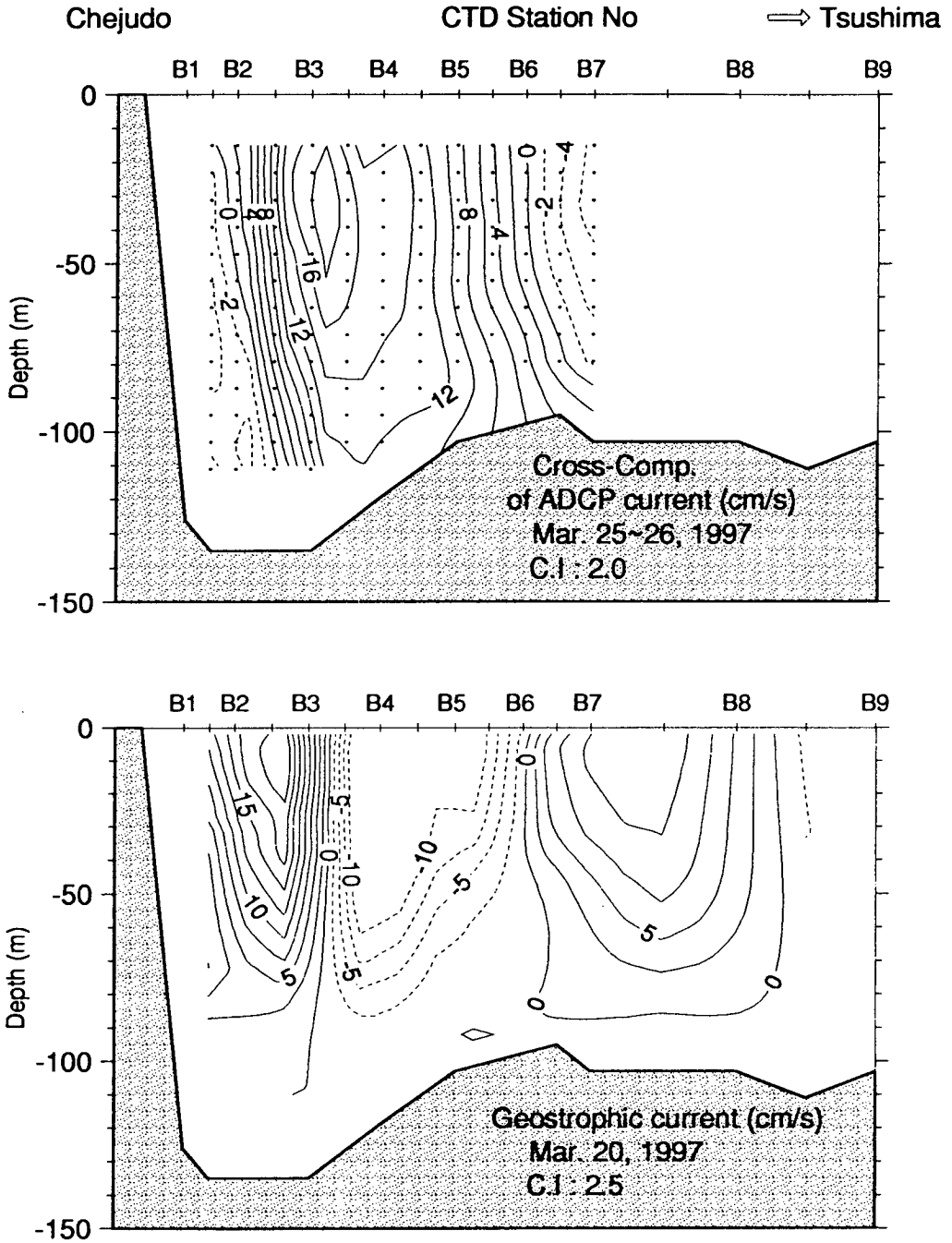


Fig. 2.20. Vertical distributions of cross-component and geostrophic current east of the Cheju.

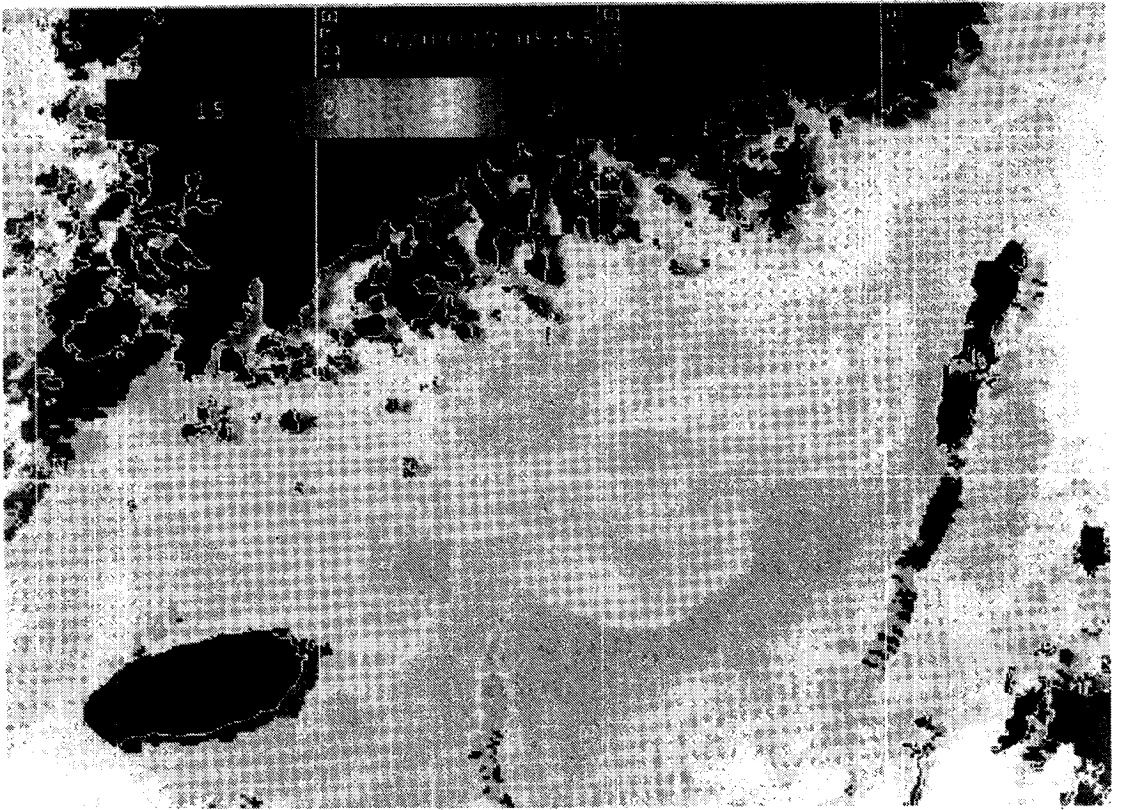


Fig. 2.21. Sea surface temperature in September, 1997.

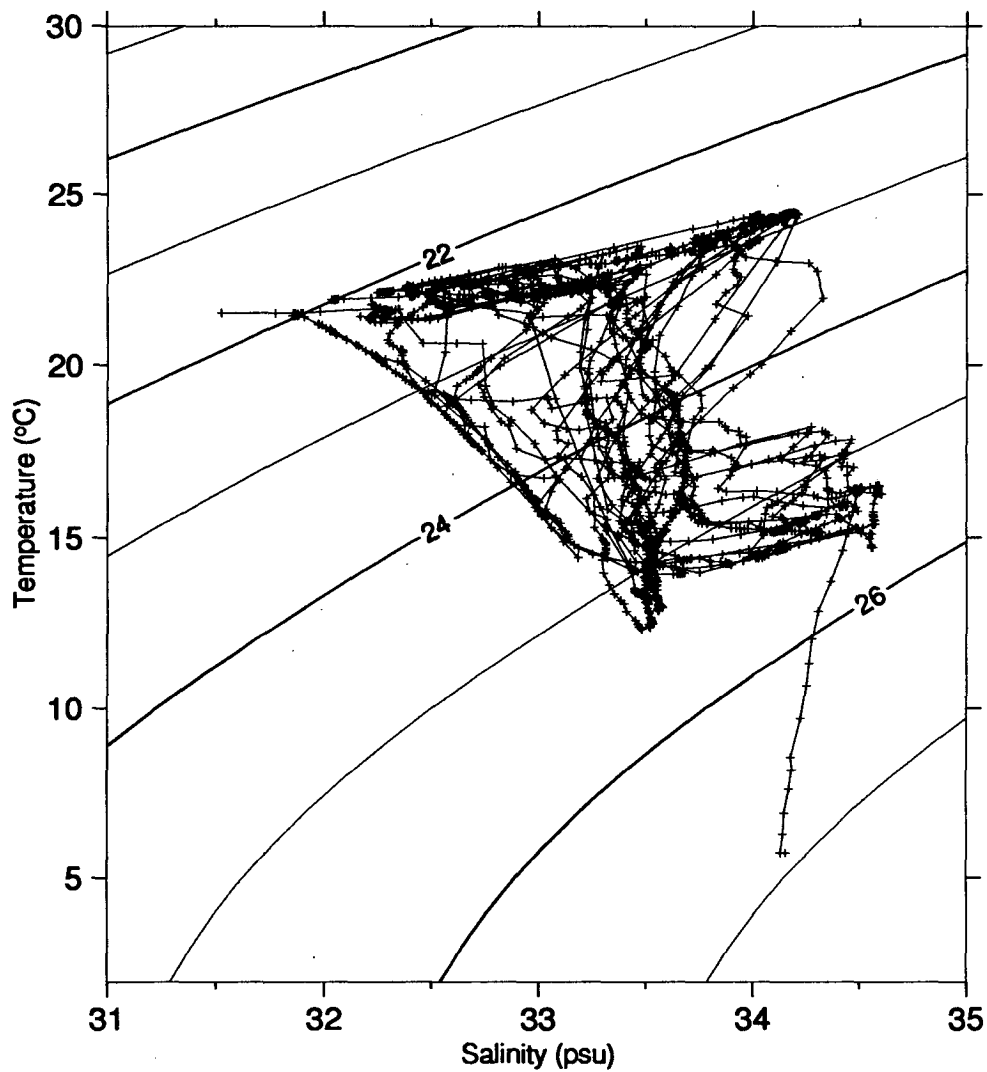


Fig. 2.22. T-S Diagram in September, 1997.

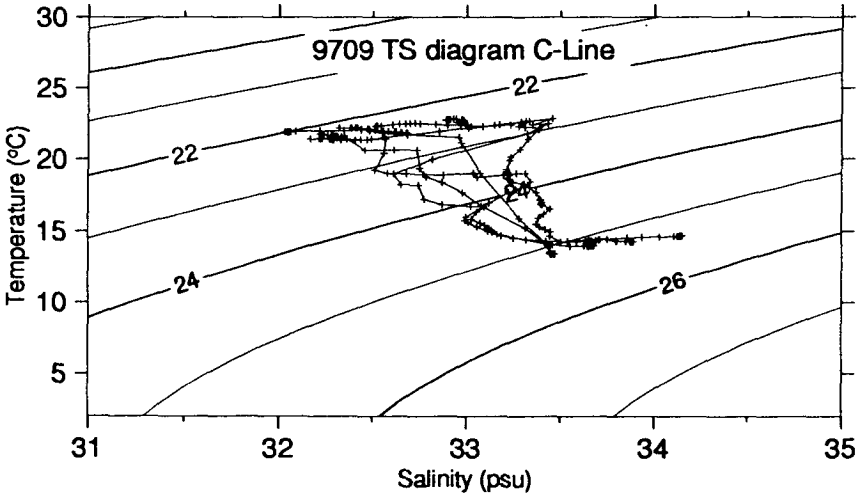
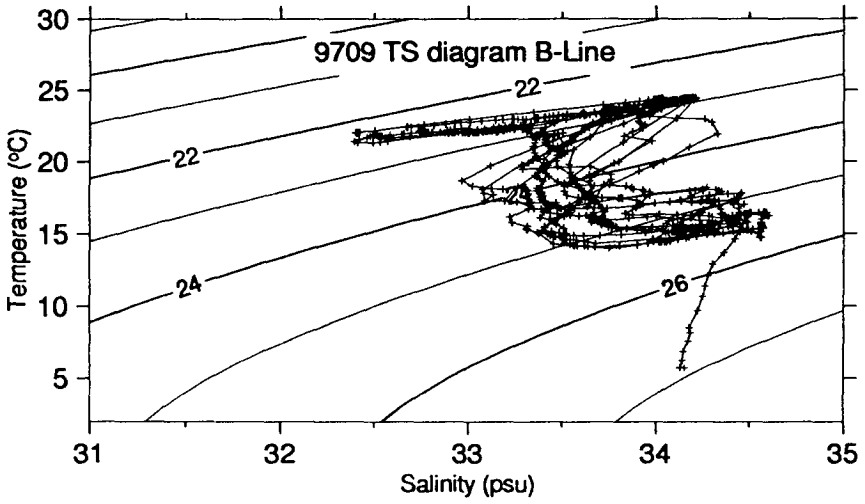
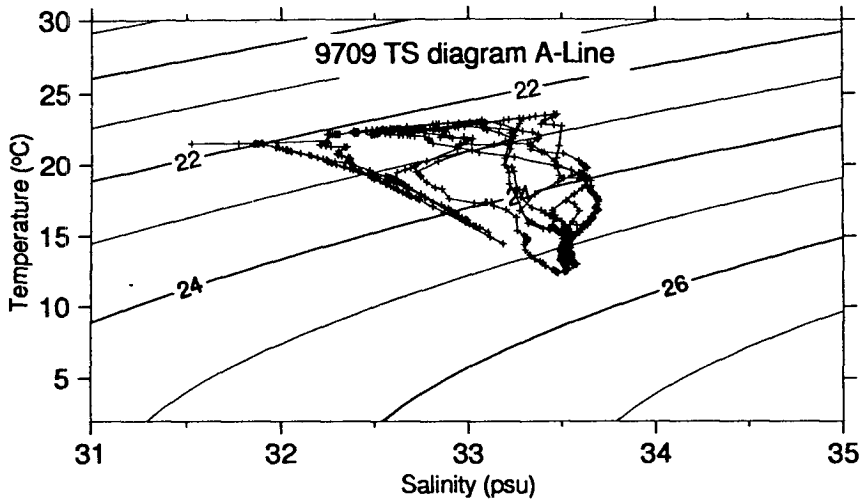


Fig. 2.23. T-S Diagram for each observation line in September, 1997.

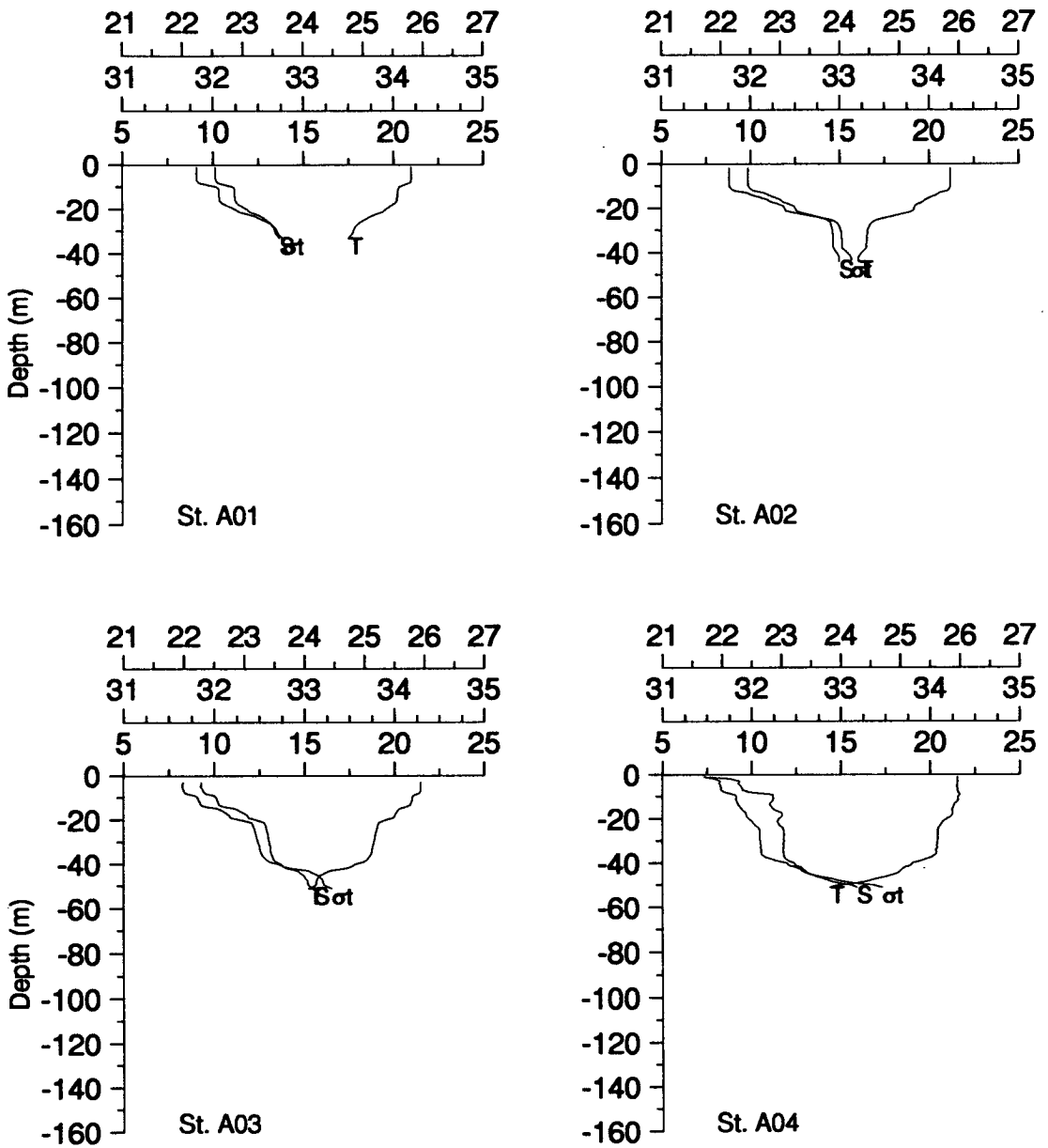


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station.

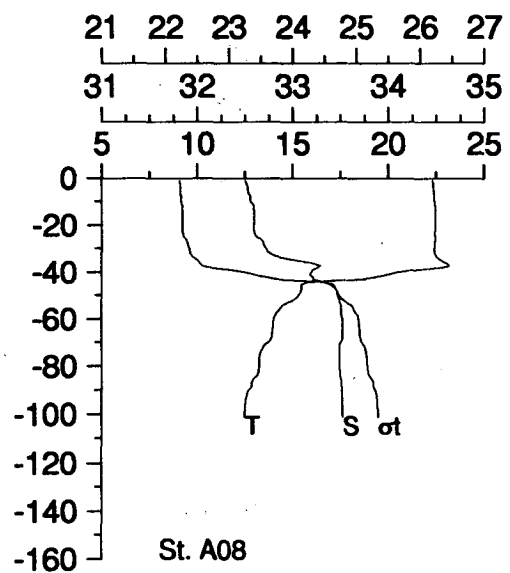
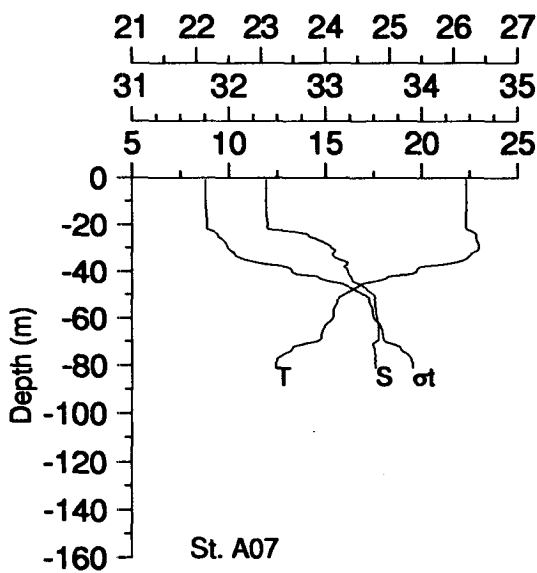
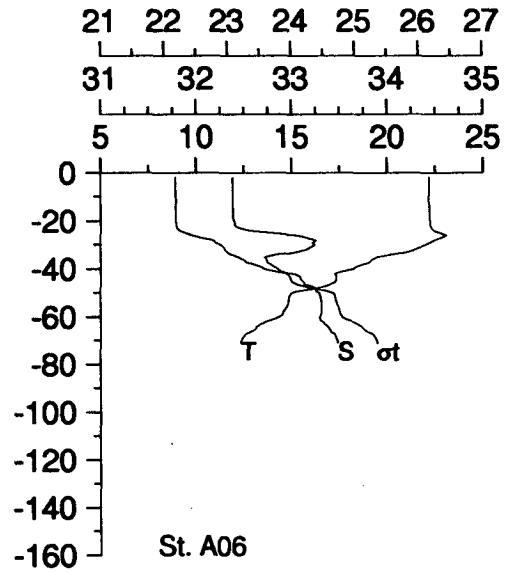
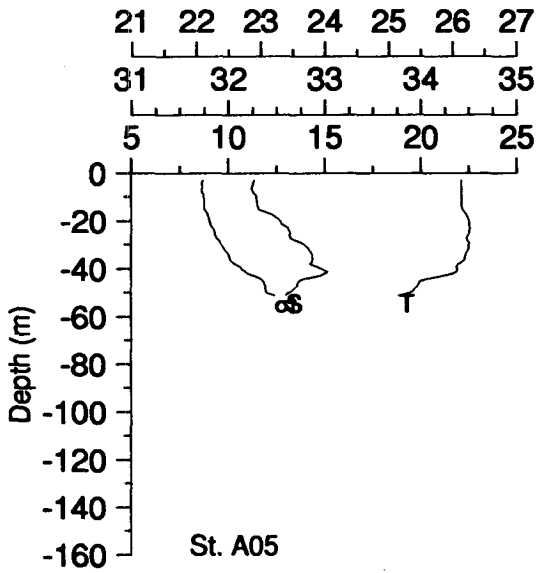


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 2).

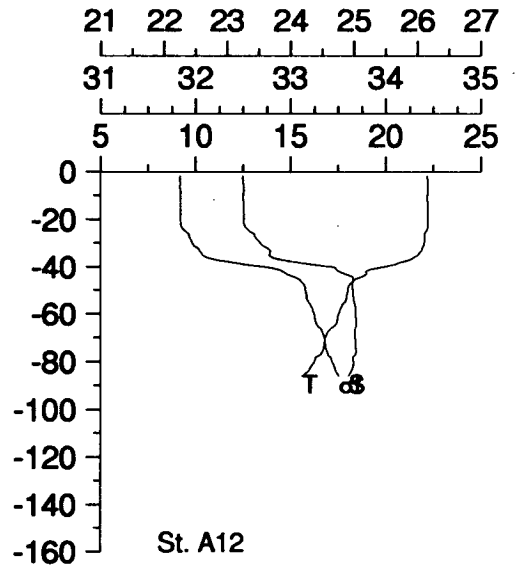
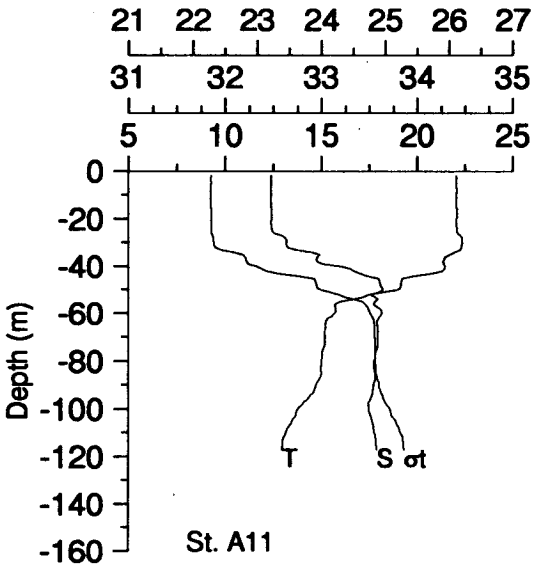
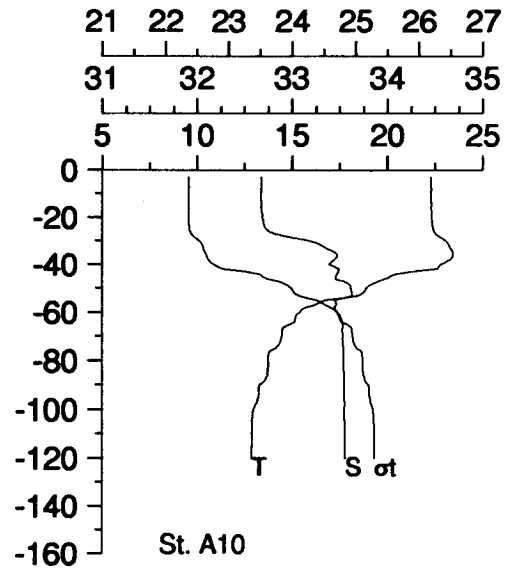
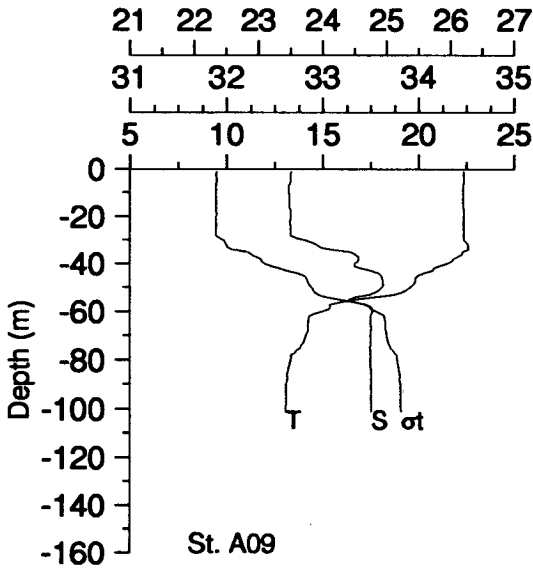


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 3).

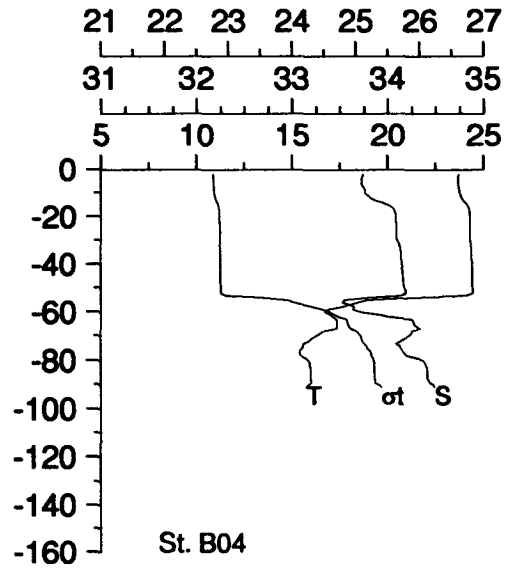
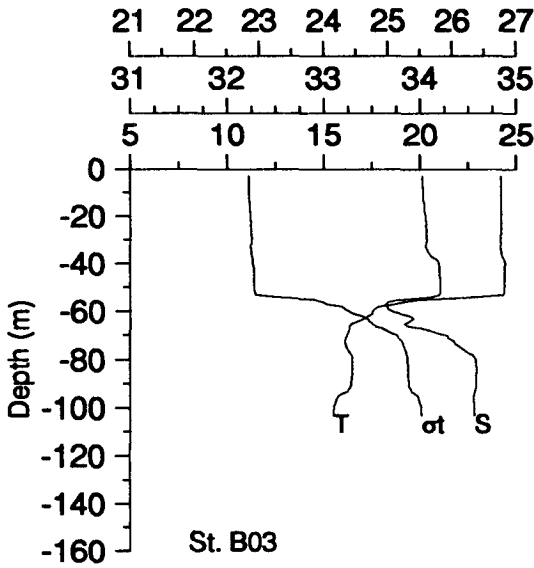
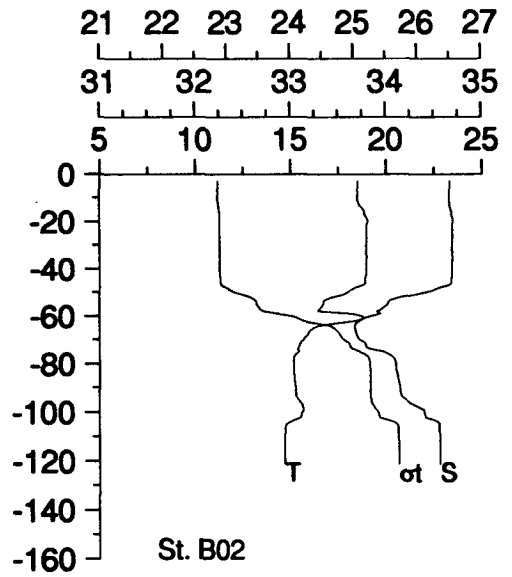
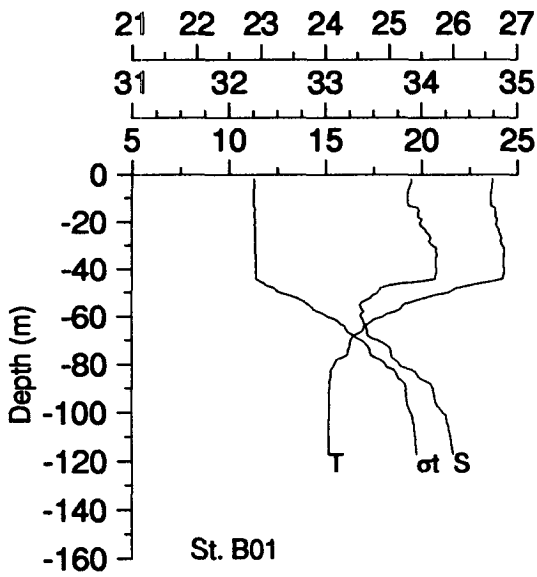


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 4).

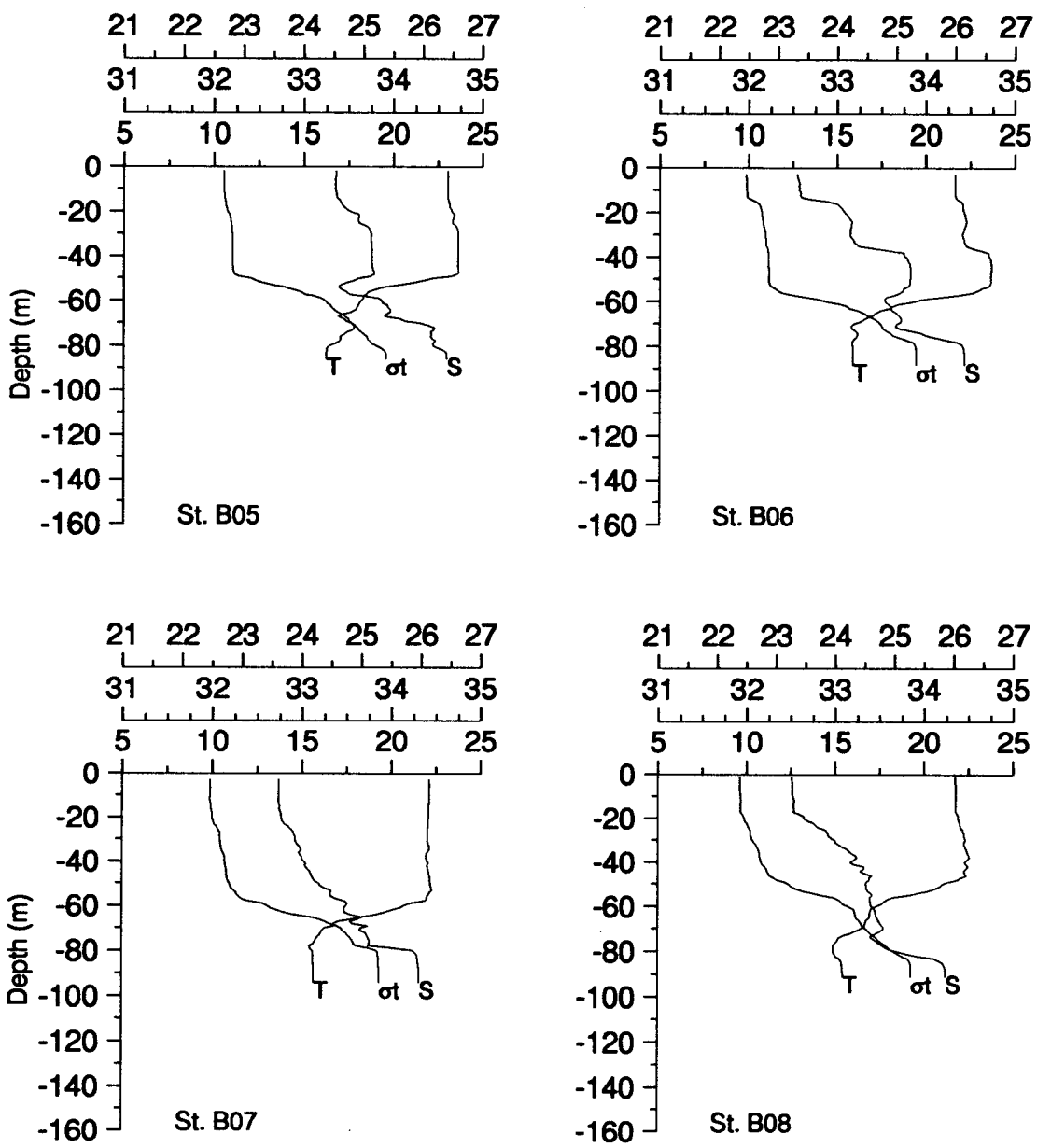


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 5).

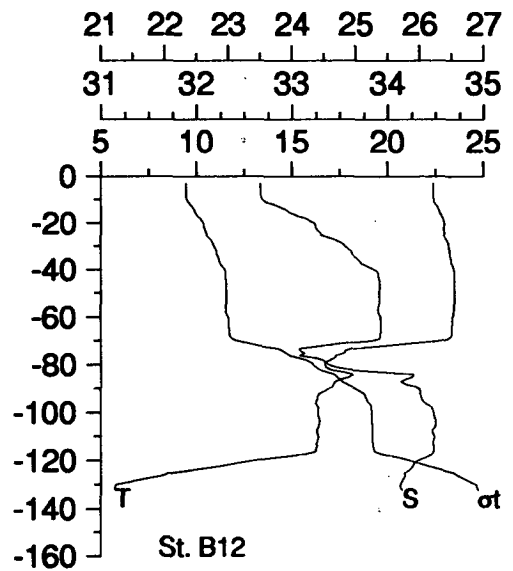
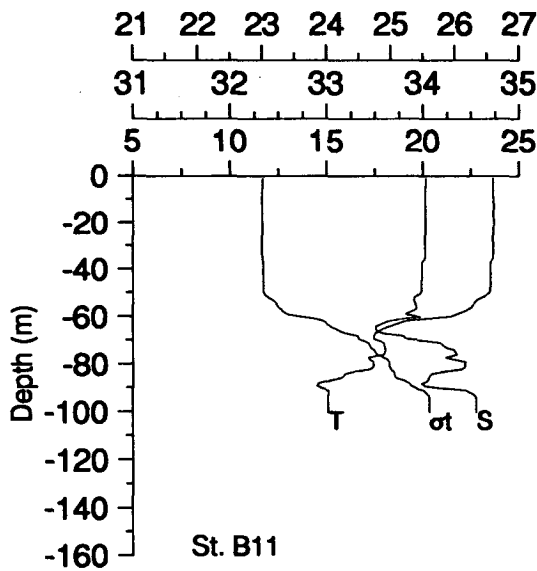
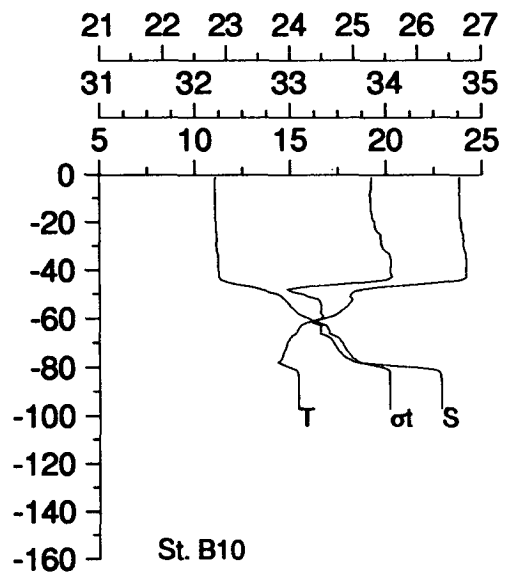
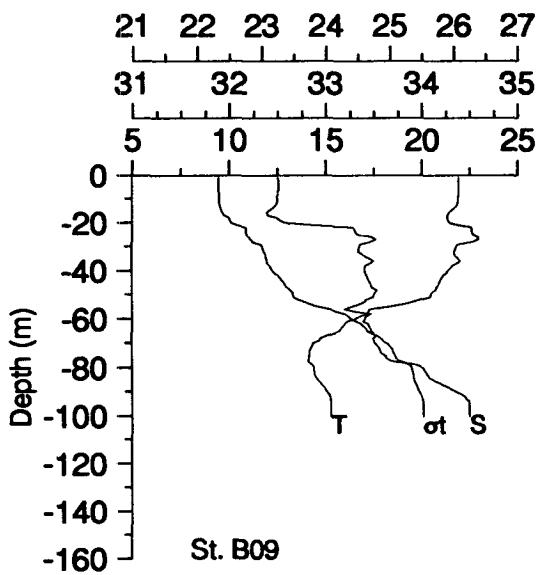


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 6).

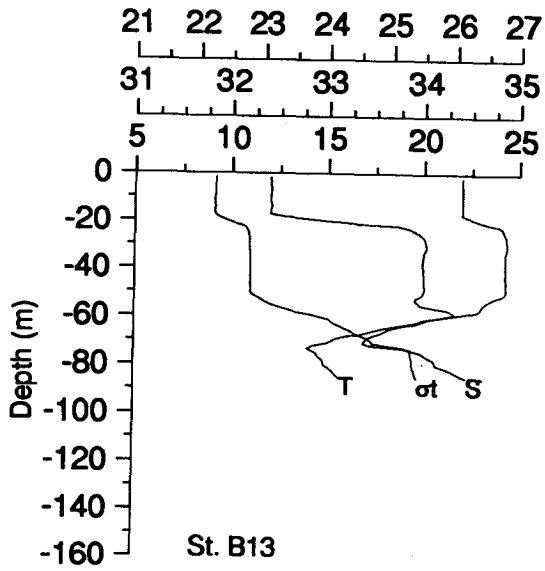


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 7).

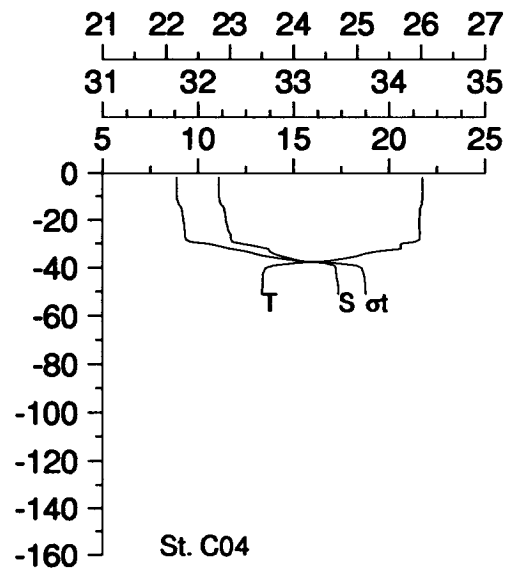
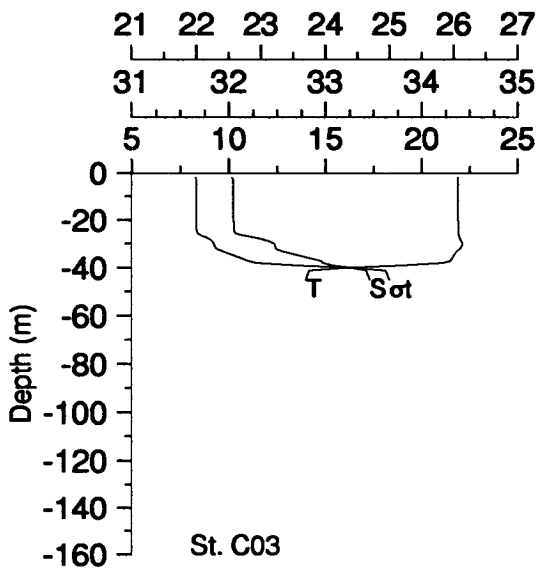
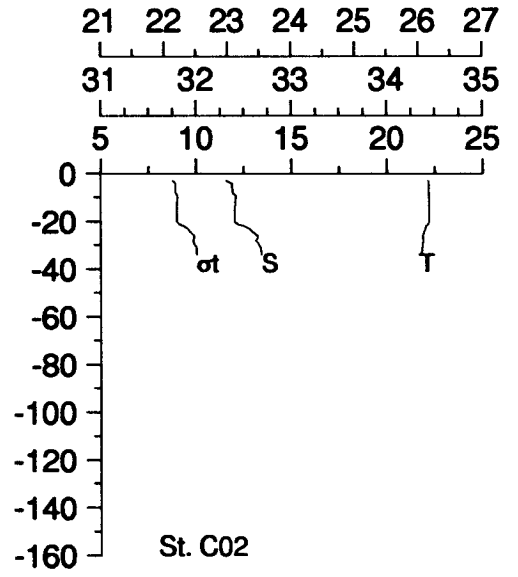
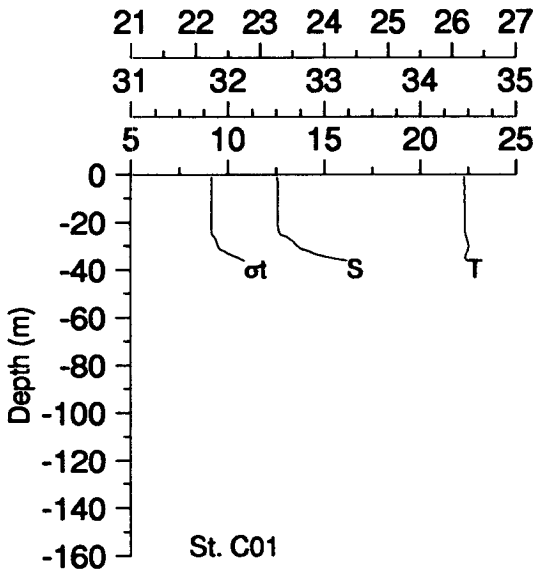


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 8).

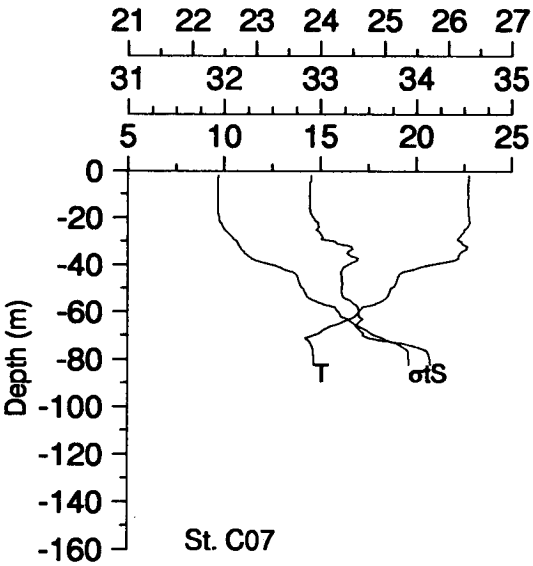
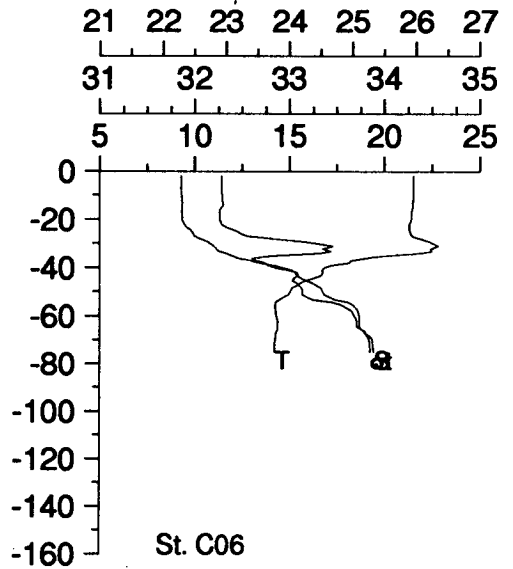
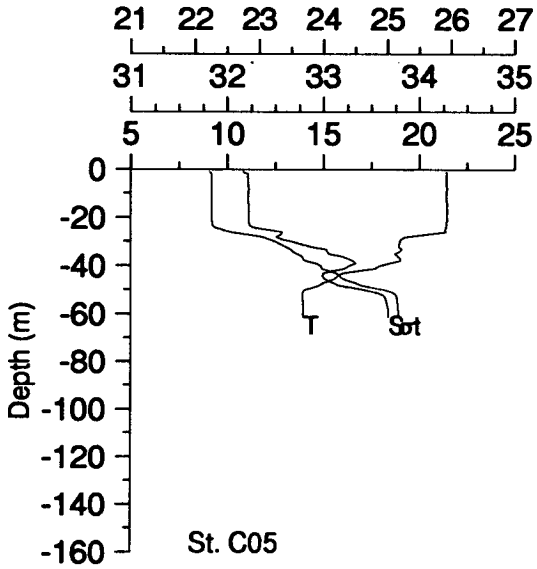


Fig. 2.24. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station(continued 9).

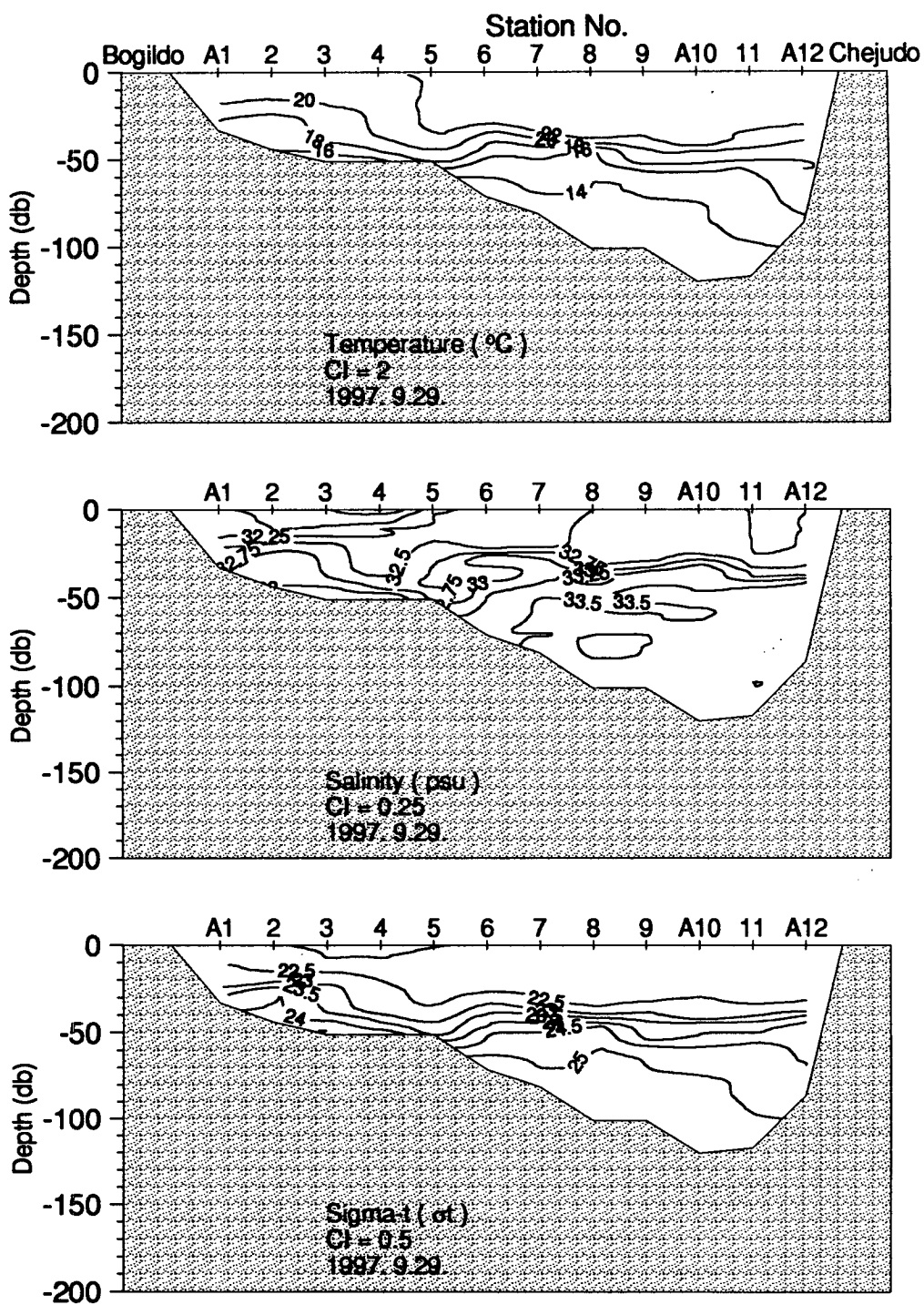


Fig. 2.25. Vertical distributions of temperature, salinity, density of the Cheju Strait

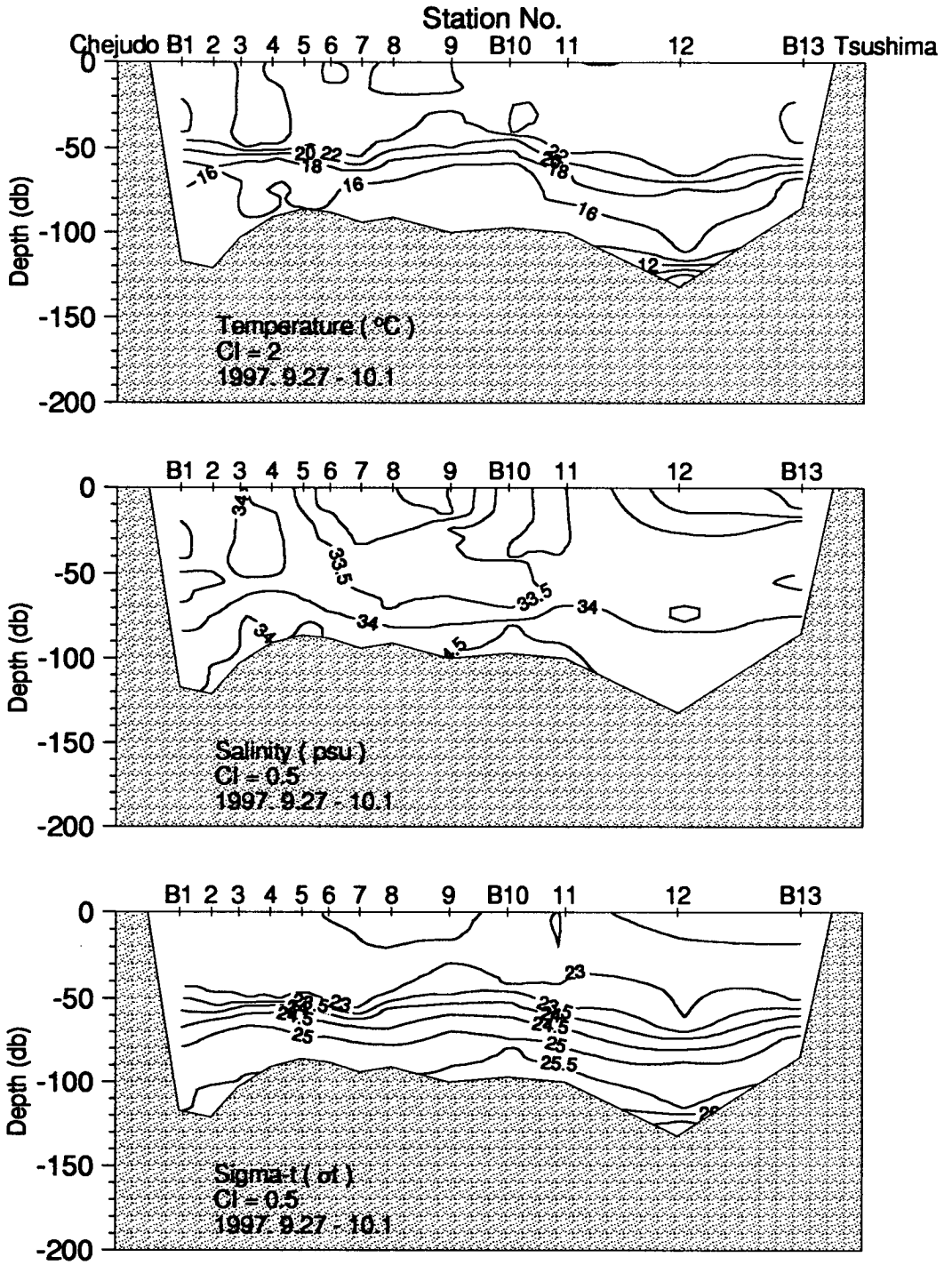


Fig. 2.26. Vertical distributions of temperature, salinity, density of Chejudo-Tsushima section

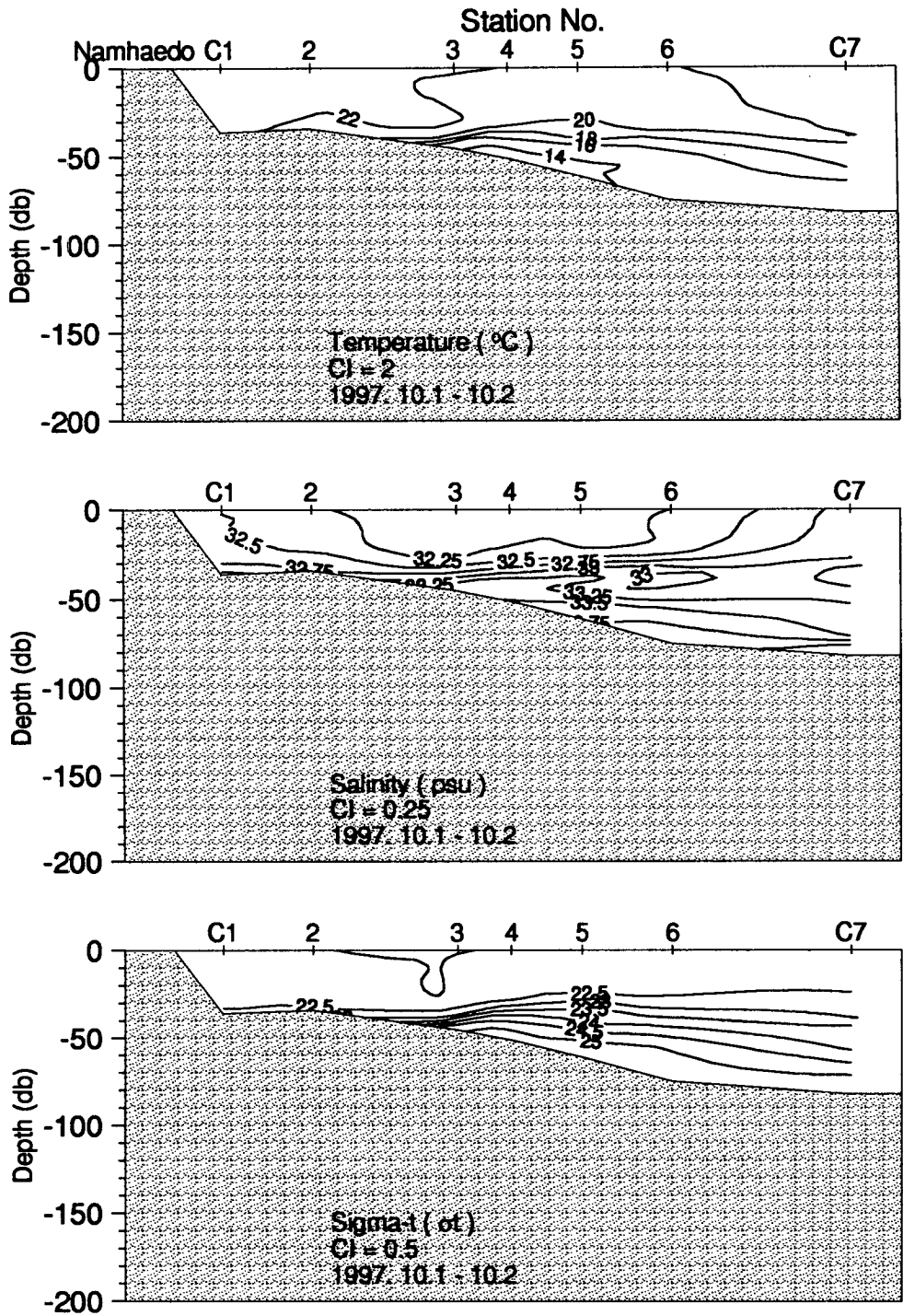


Fig. 2.27. Vertical distributions of temperature, salinity, density along south of Namhaedo

Stick plots of current at 31 m depth 50 cm/s

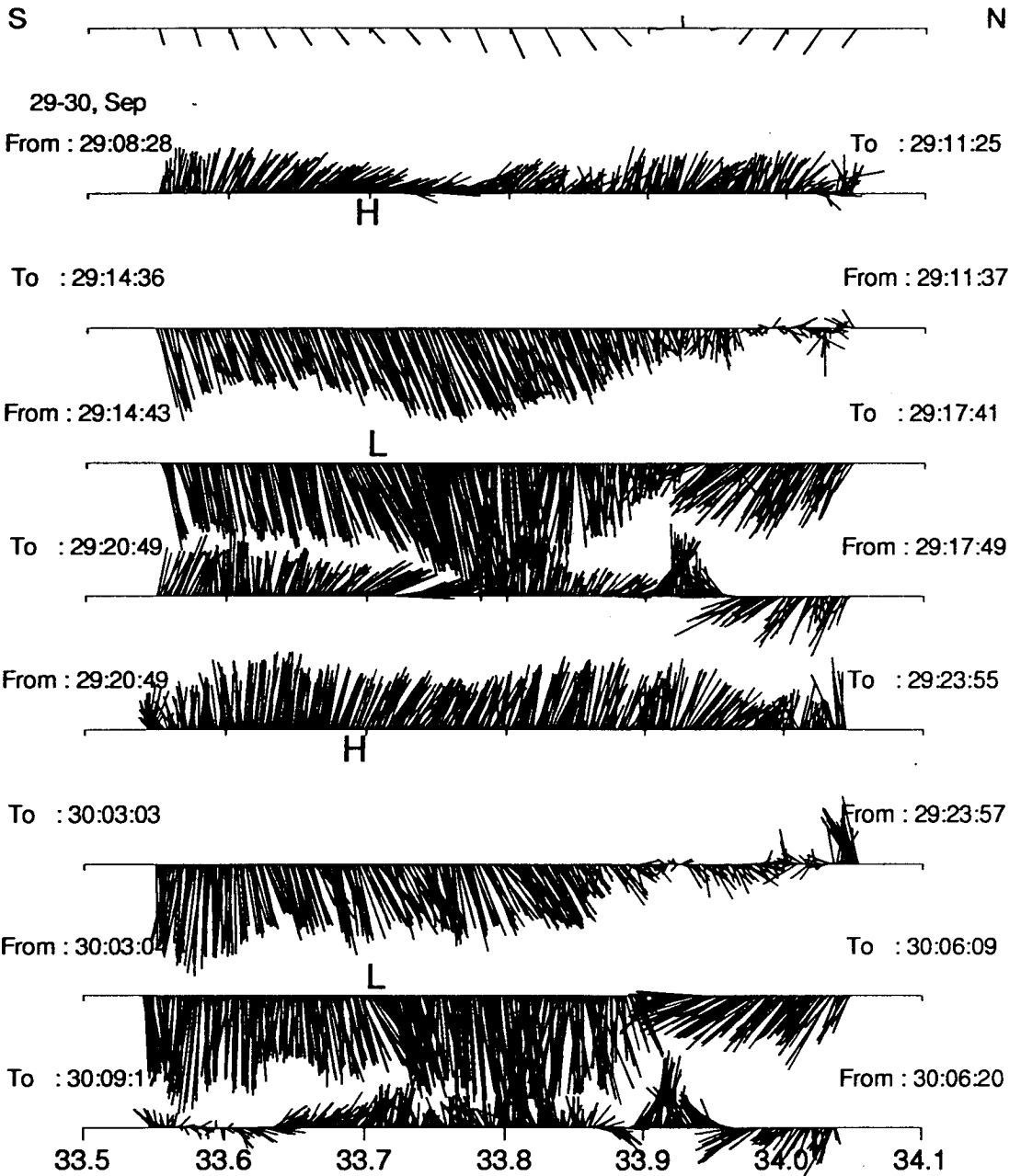


Fig. 2.28. T-S Diagram of the Korea Strait in October, 1997.

Sectional vector plot of oceanic current Observed by ADCP

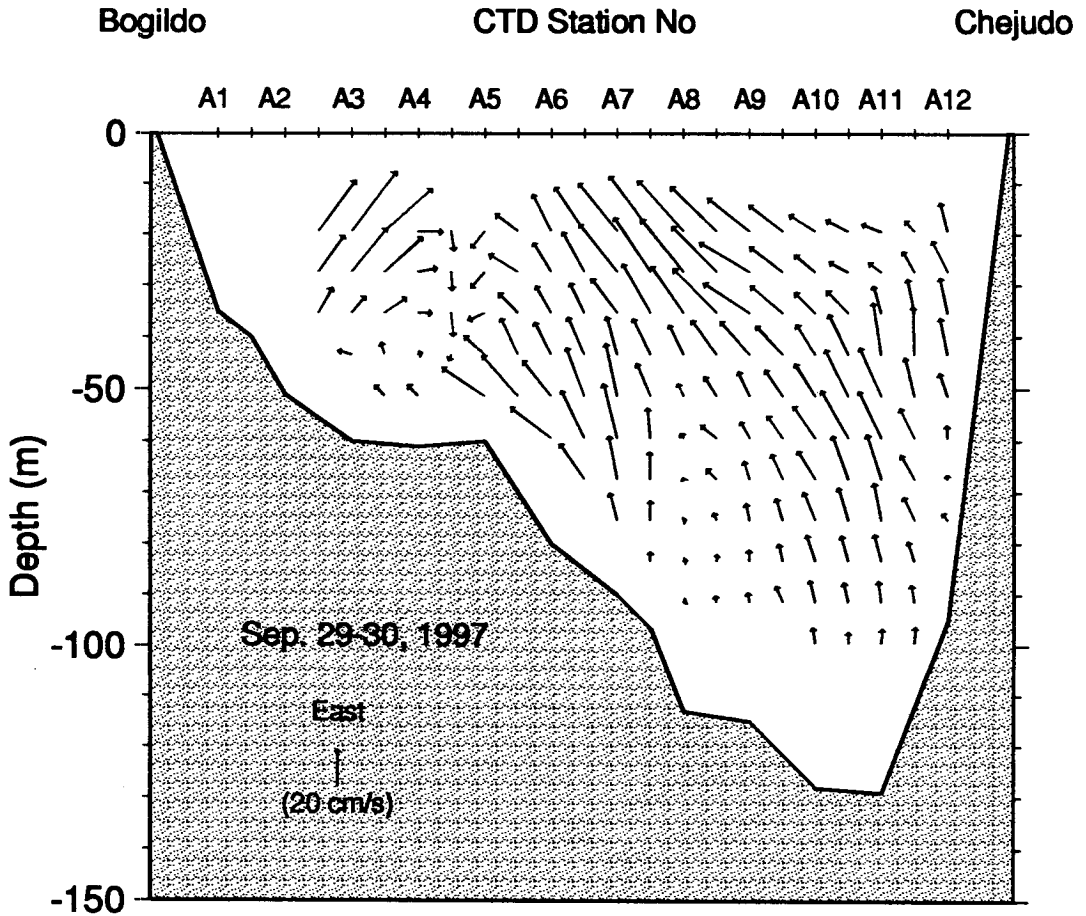


Fig. 2.29. Vertical profiles of temperature, salinity and density at each station of the Korea Strait.

Sectional distribution of oceanic current observed by ADCP

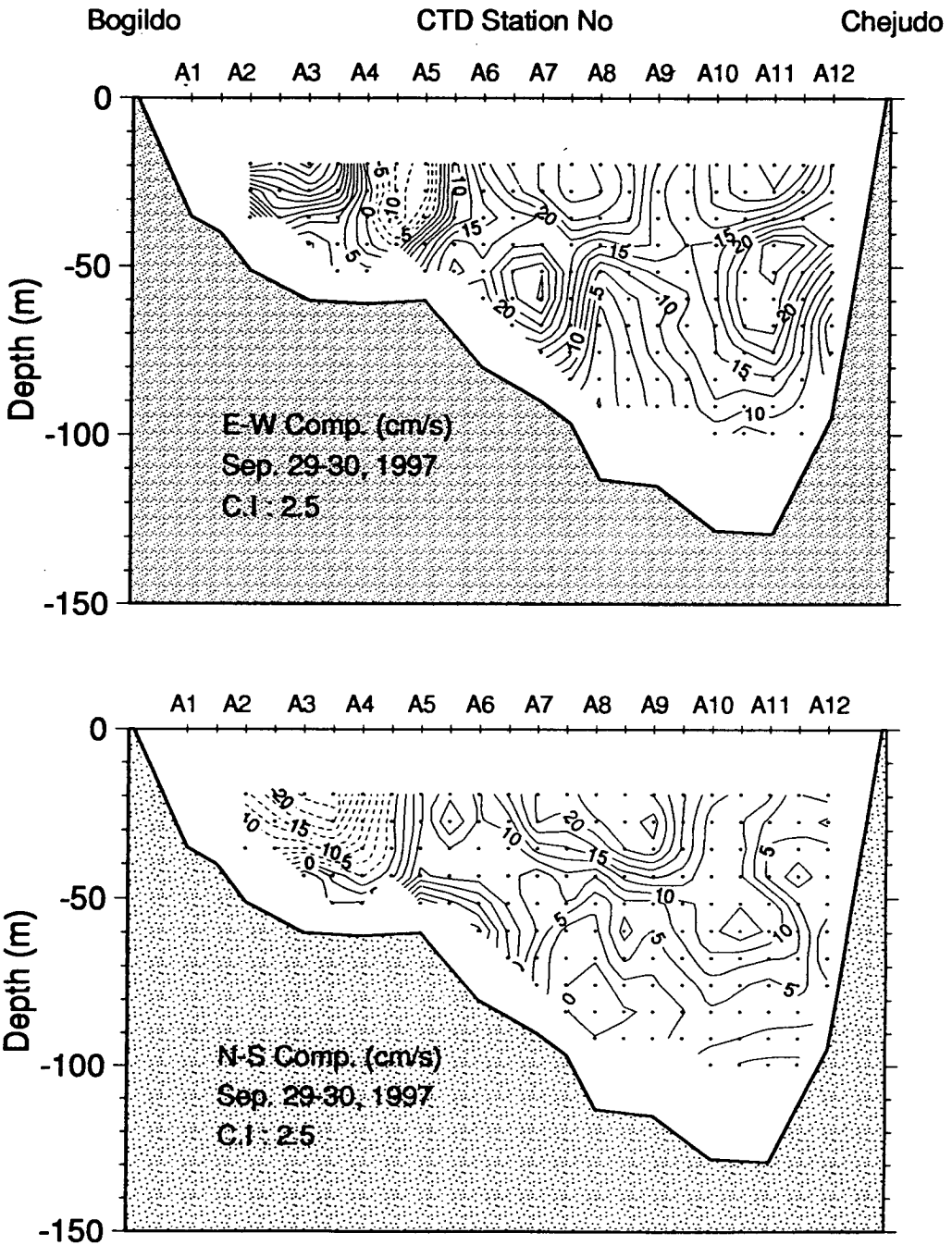


Fig. 2.30. Vertical distributions of temperature, salinity, density of the Korea Strait

Sectional distribution of oceanic current observed by ADCP

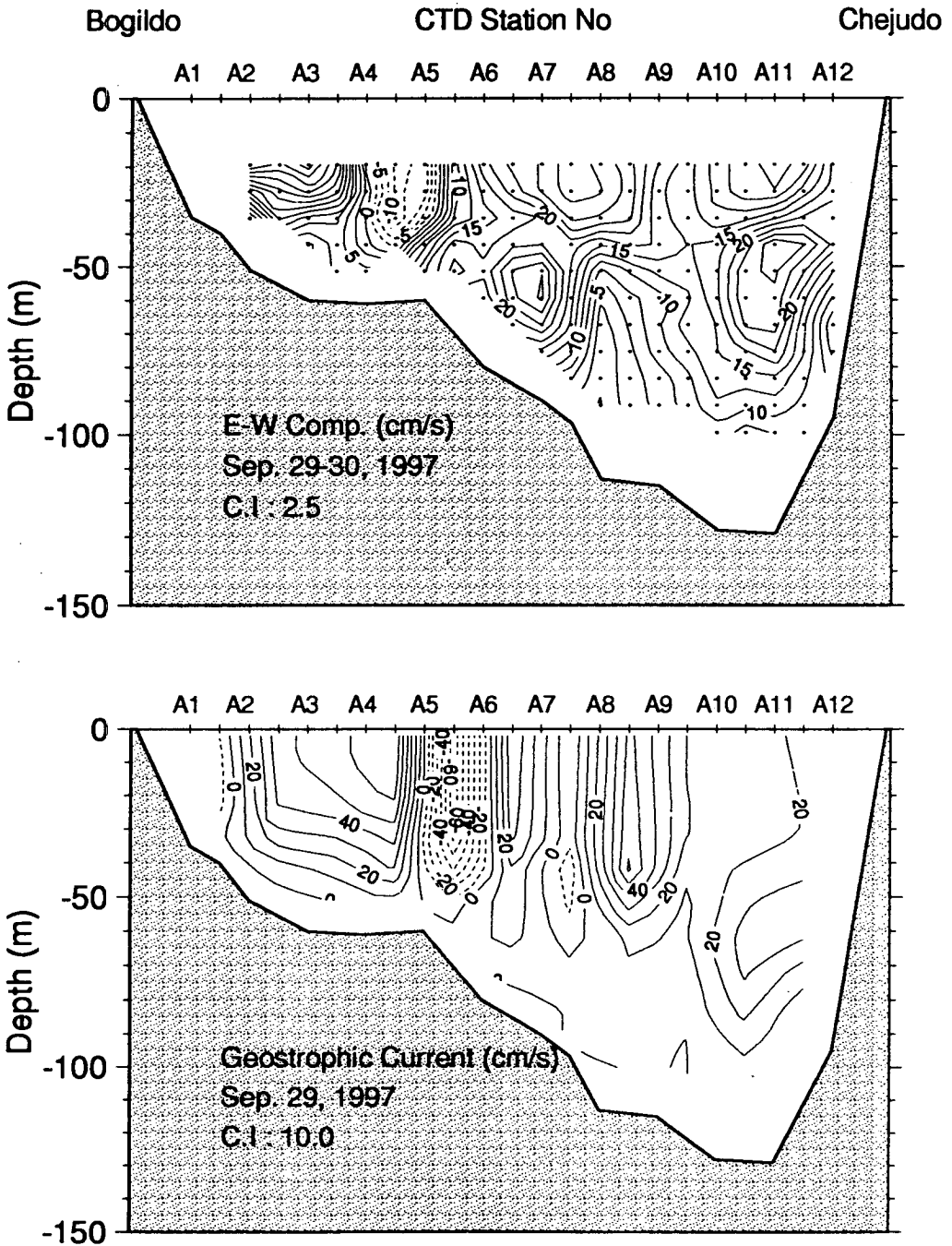


Fig. 2.31. Time plot of current observed by ADCP at 31m depth in the Cheju Strait.

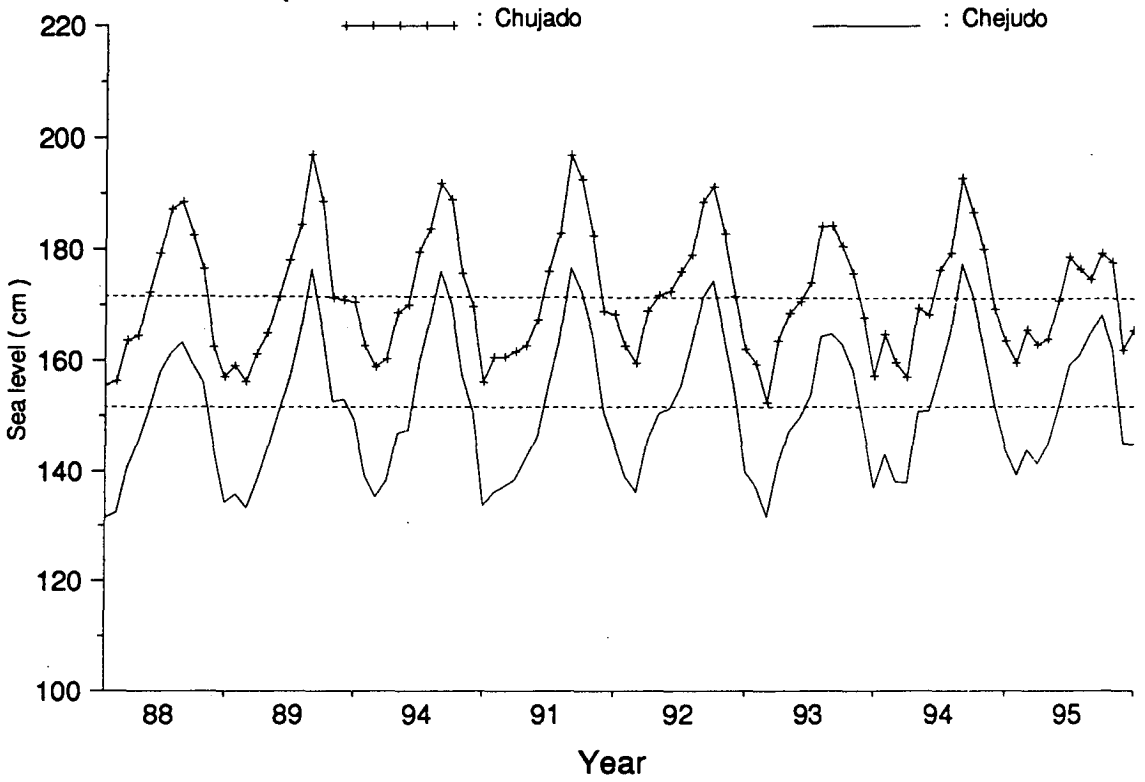


Fig. 2.32. Vertical vector plot of detided current of the Cheju Strait in September, 1997.

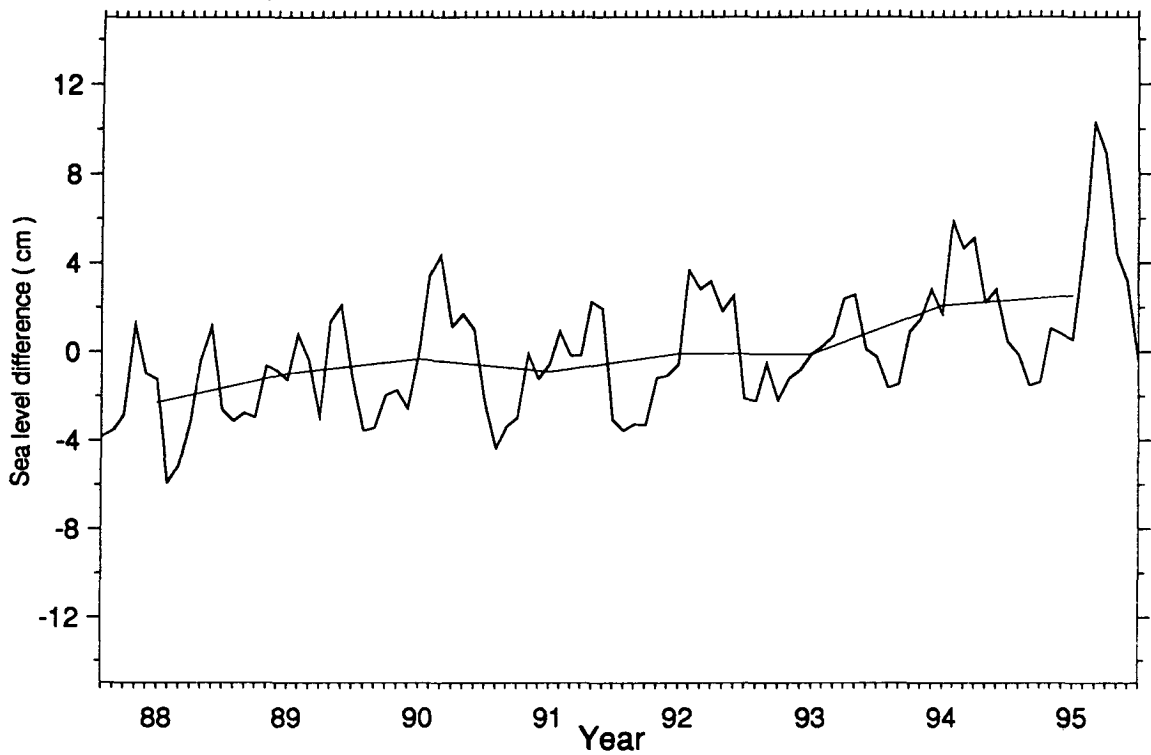


Fig. 2.33. Vertical distributions of east-west and north-south component of current of the Cheju Strait in September, 1997.

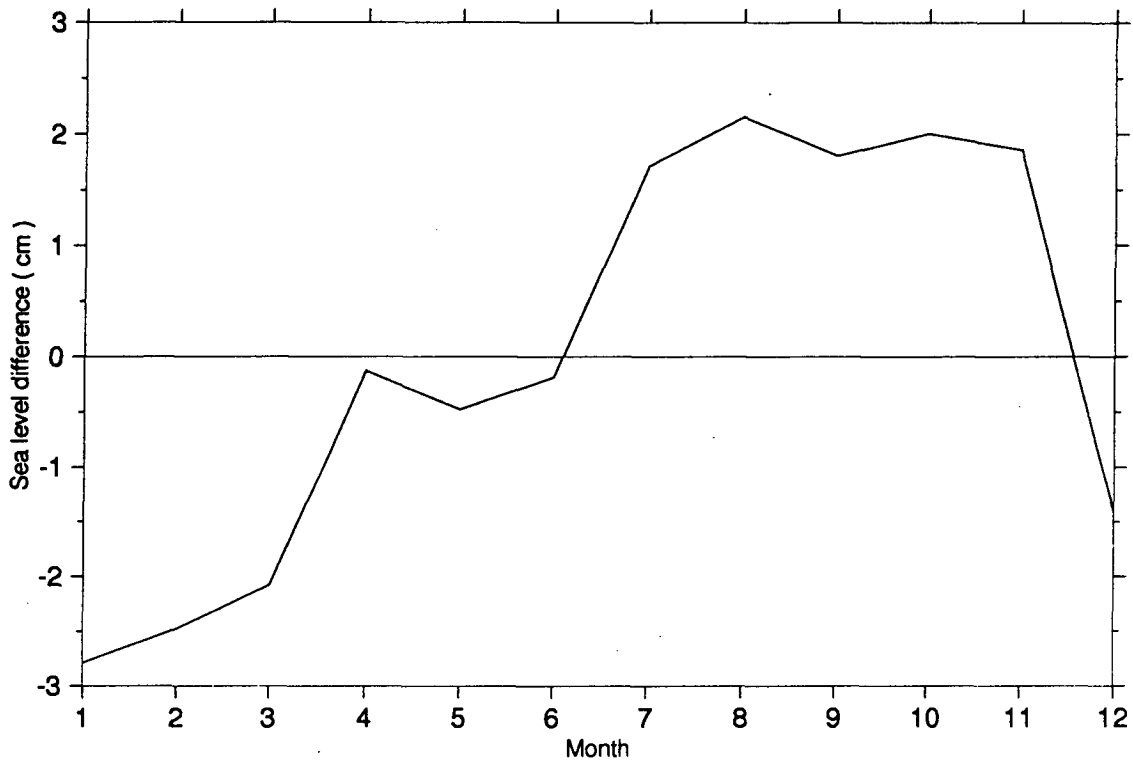


Fig. 2.34. Vertical distributions of east-west component and geostrophic current east of the Cheju Strait.

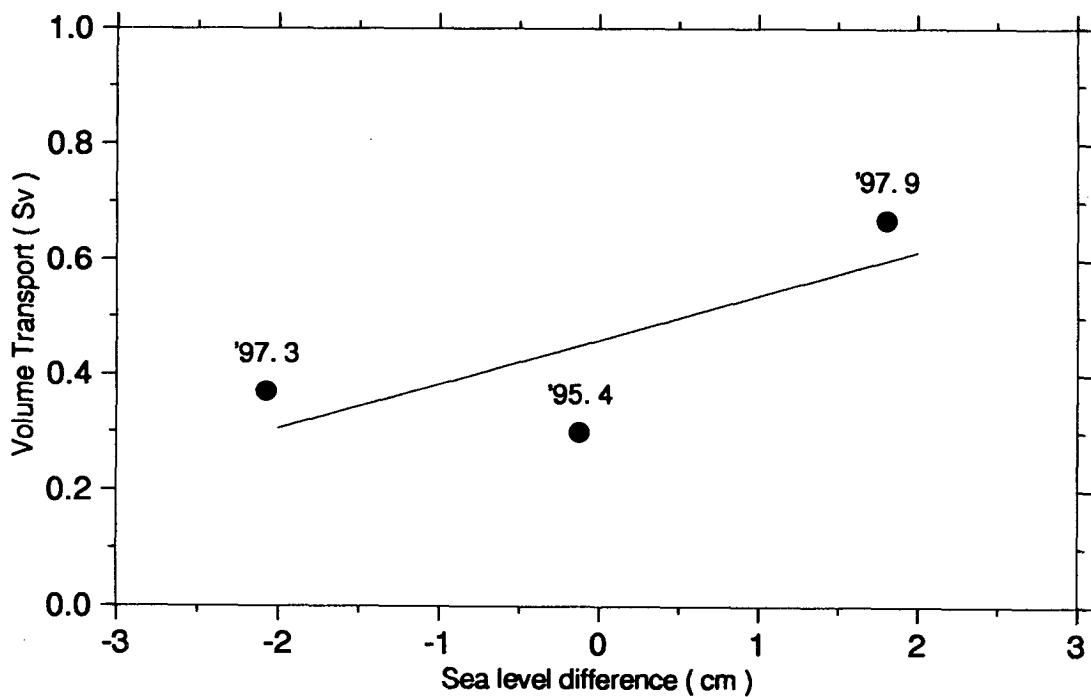


Fig. 2.35. Vertical vector plot of detided current of the Korea Strait in October, 1997.

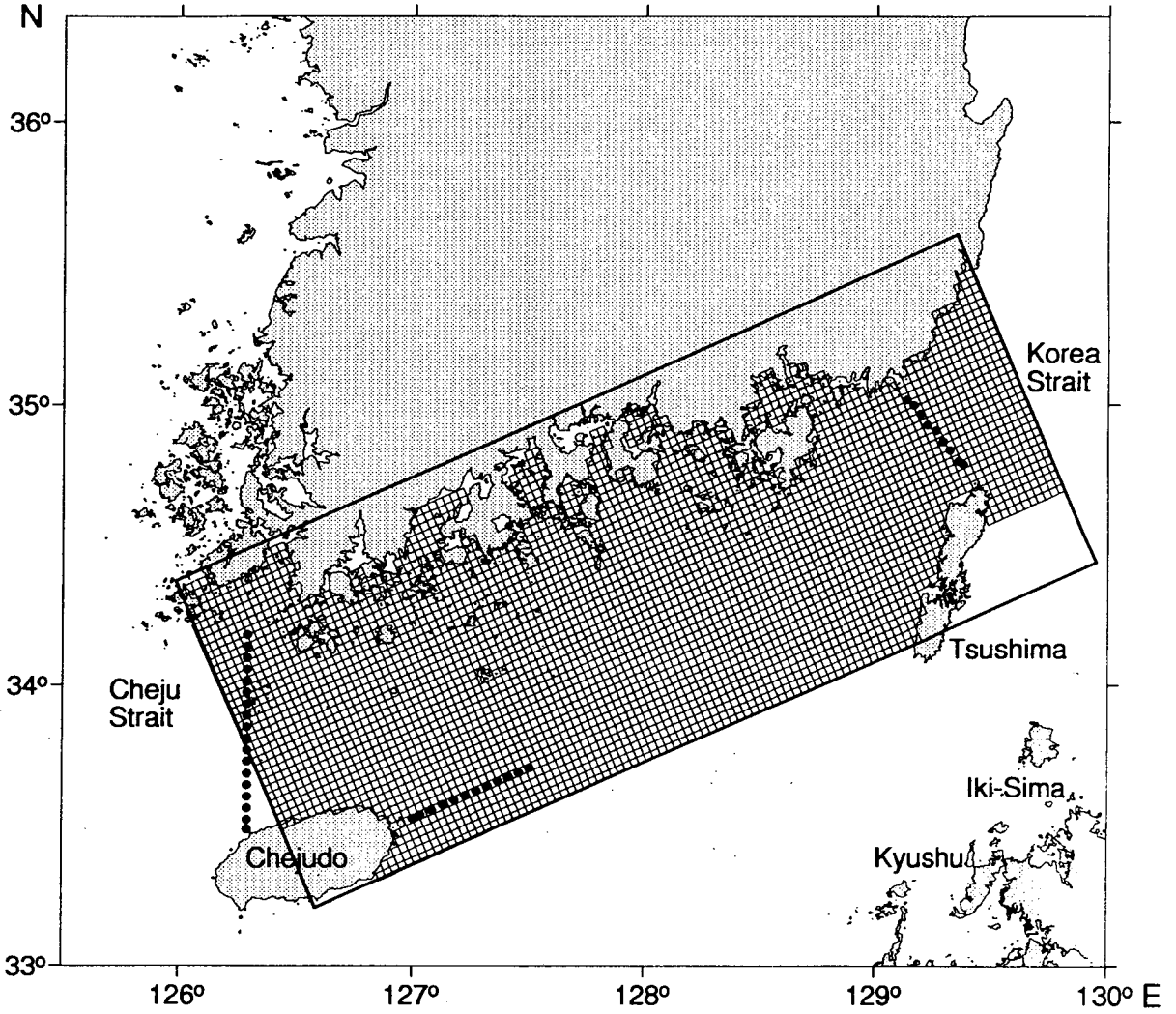


Fig. 2.36. Vertical distributions of along- and cross-component of current of the Korea Strait in October, 1997.

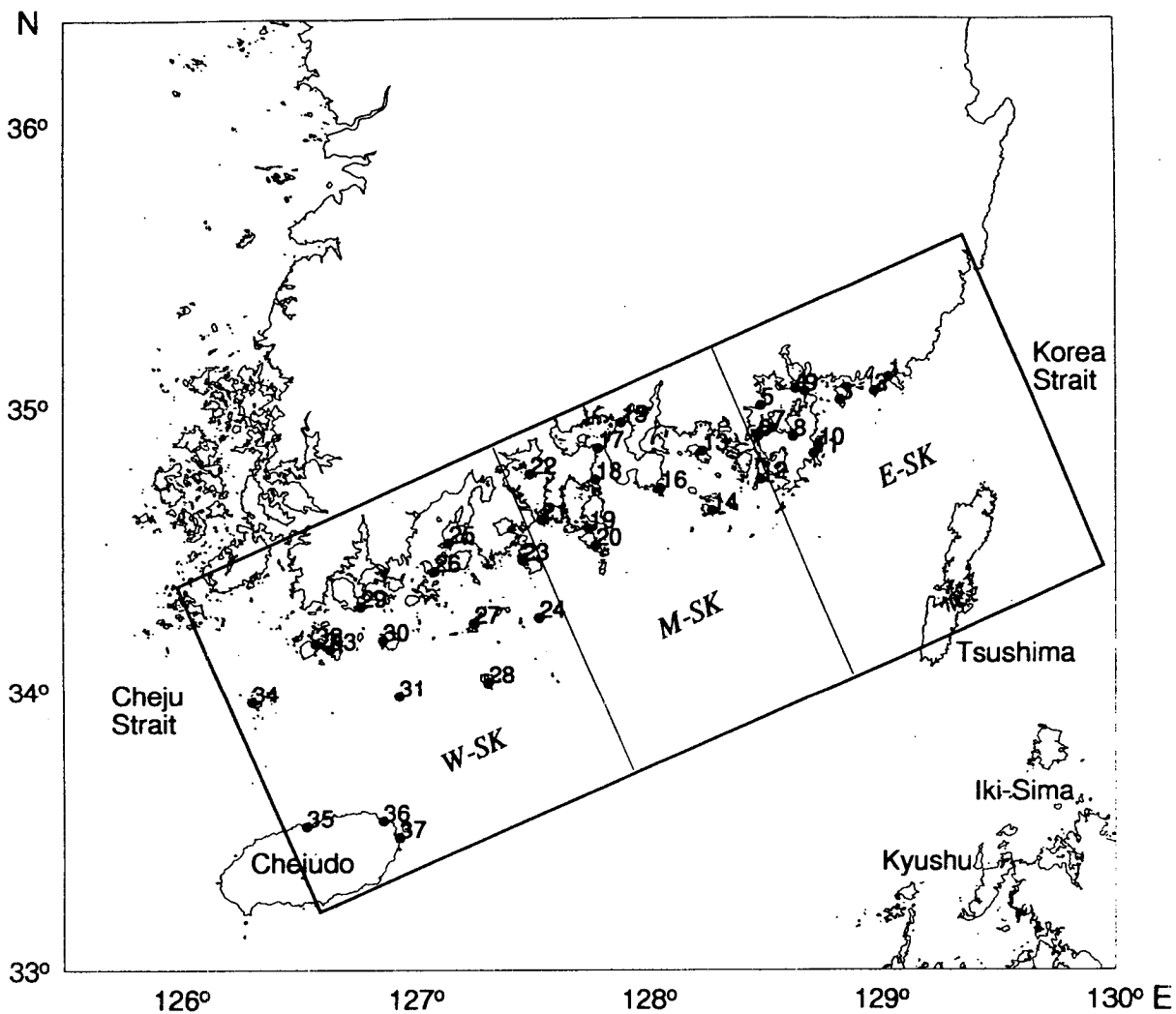


Fig. 2.37. Vertical distributions of cross-component of current and geostrophic current in the Korea Strait.

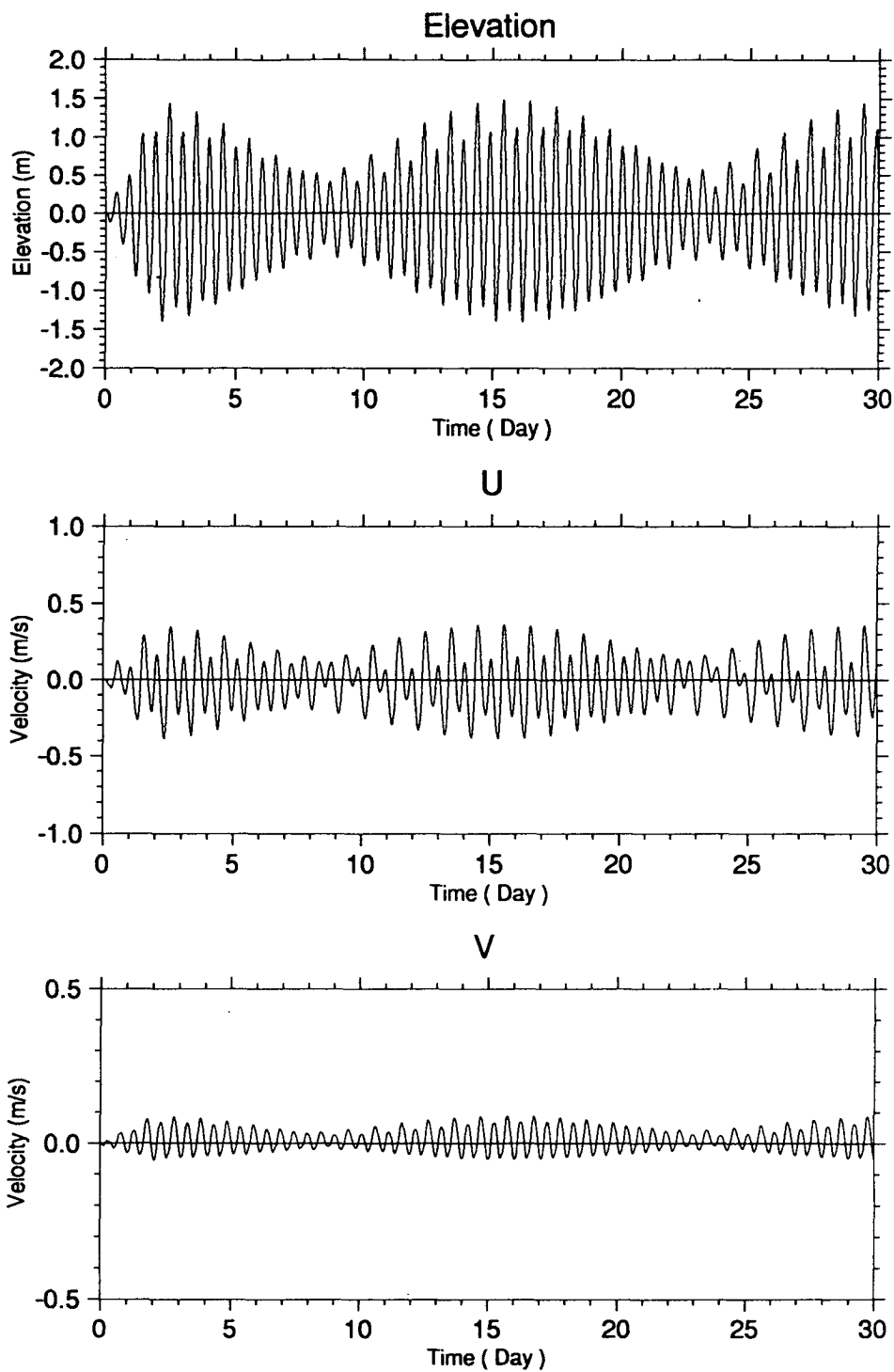


Fig. 2.38. Time variations of monthly mean sea surface elevations in the Cheju port and the Chujado.

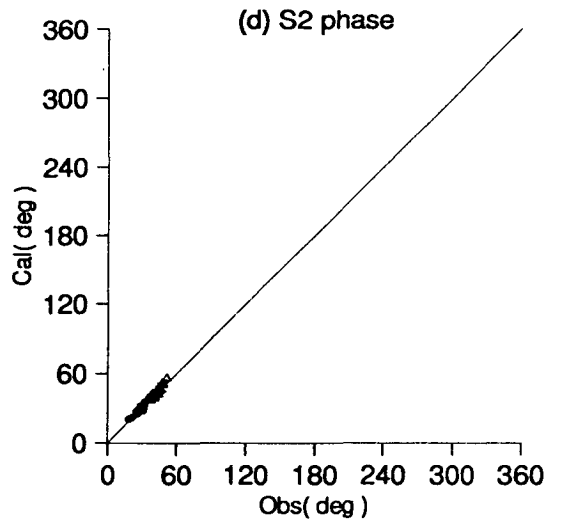
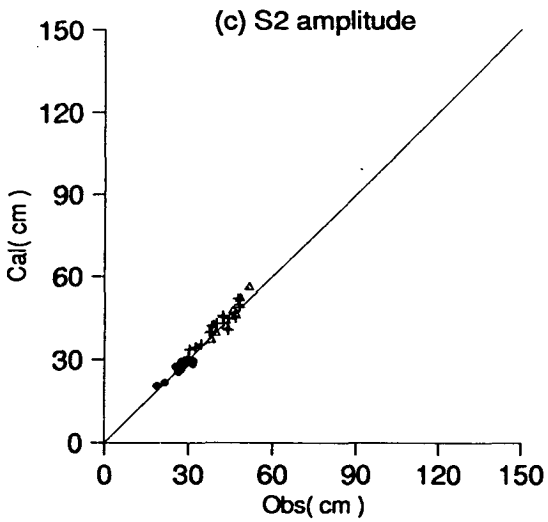
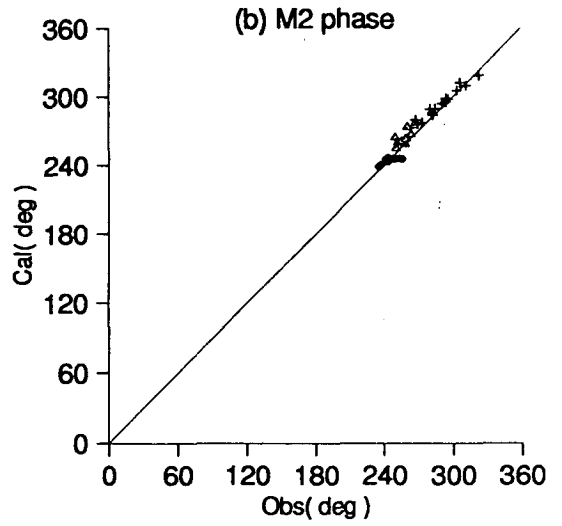
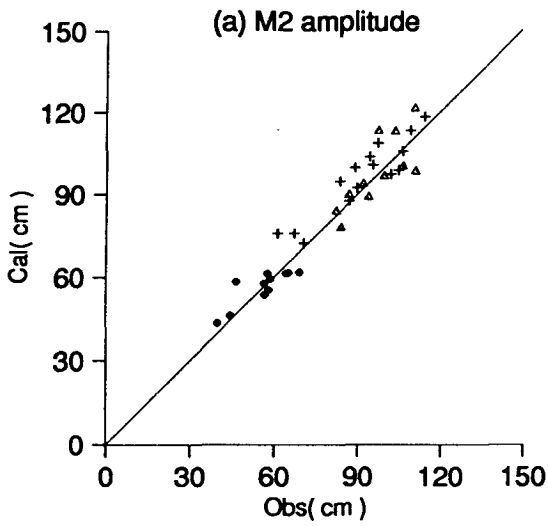


Fig. 2.39. Time variation of monthly mean sea level difference between the Chejudo and the Chujado.

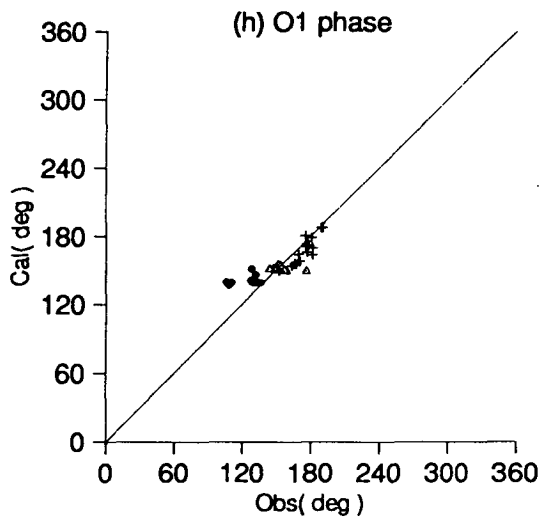
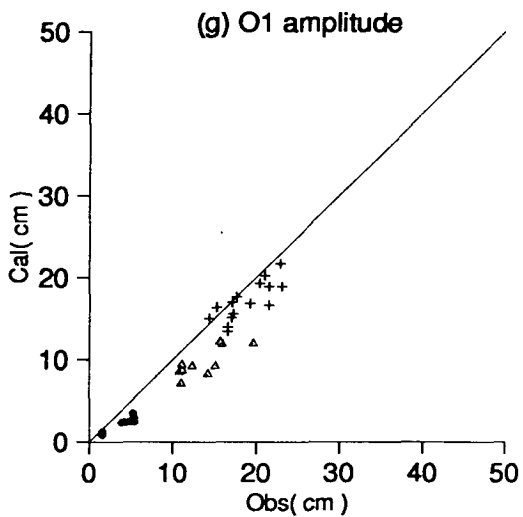
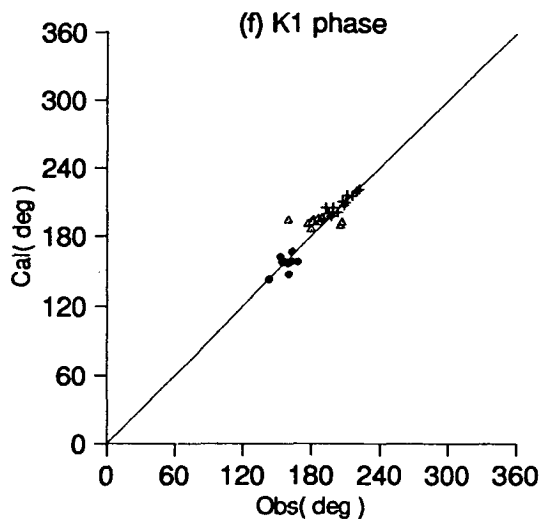
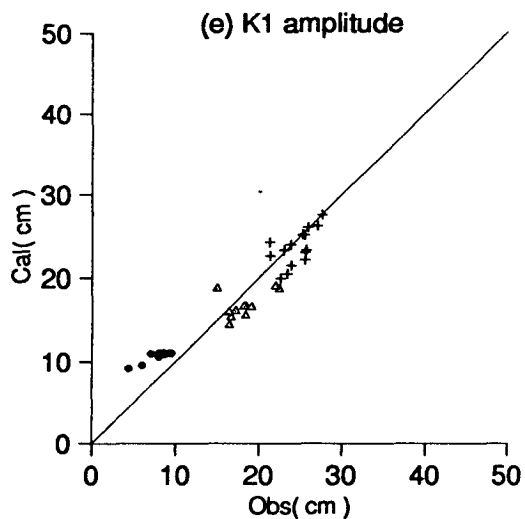


Fig. 2.39. Time variation of monthly mean sea level difference between the Chejudo and the Chujado(continued).

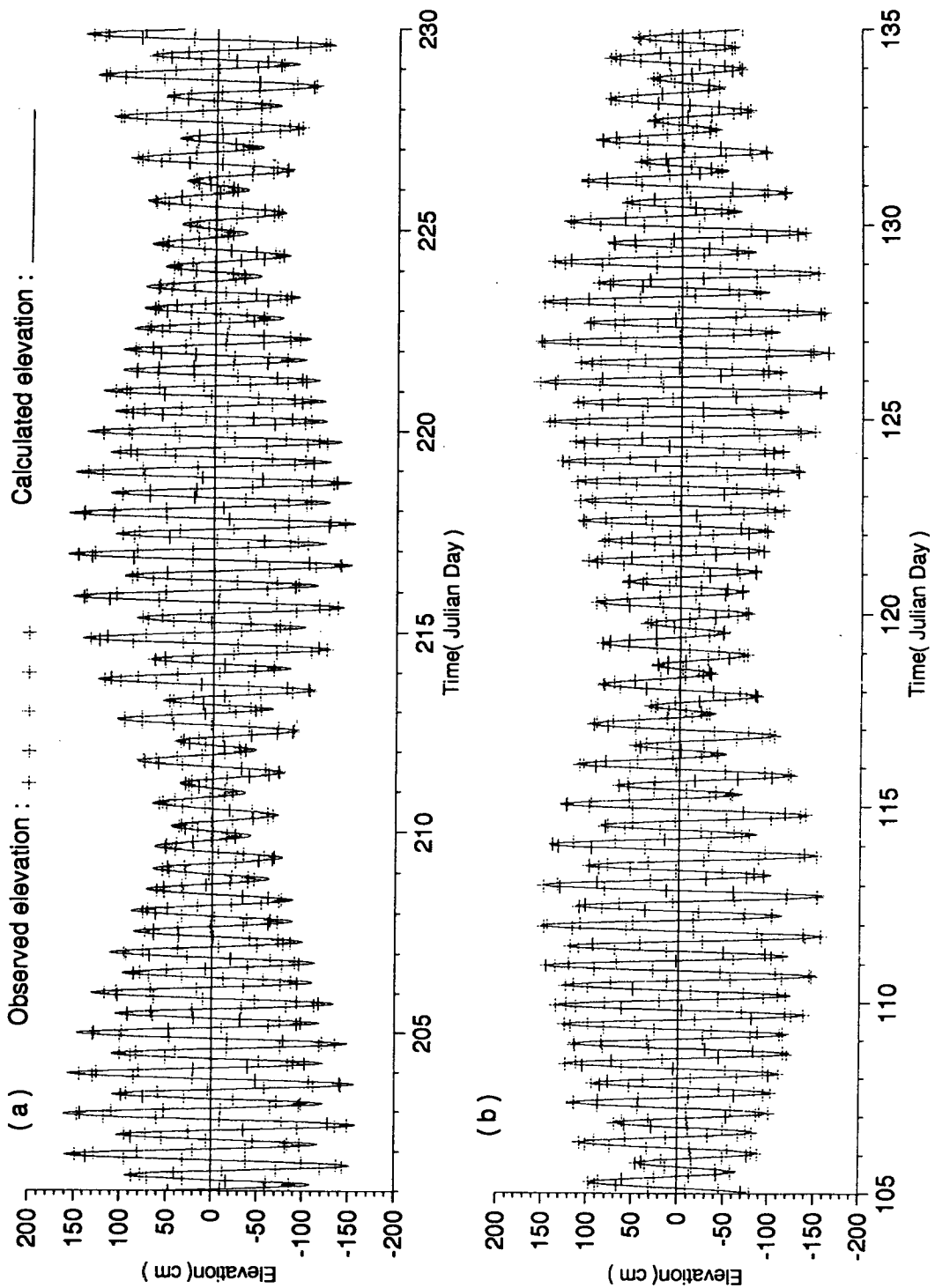


Fig. 2.40. Monthly variation of sea level difference between the Cheju-do and the Chujado.

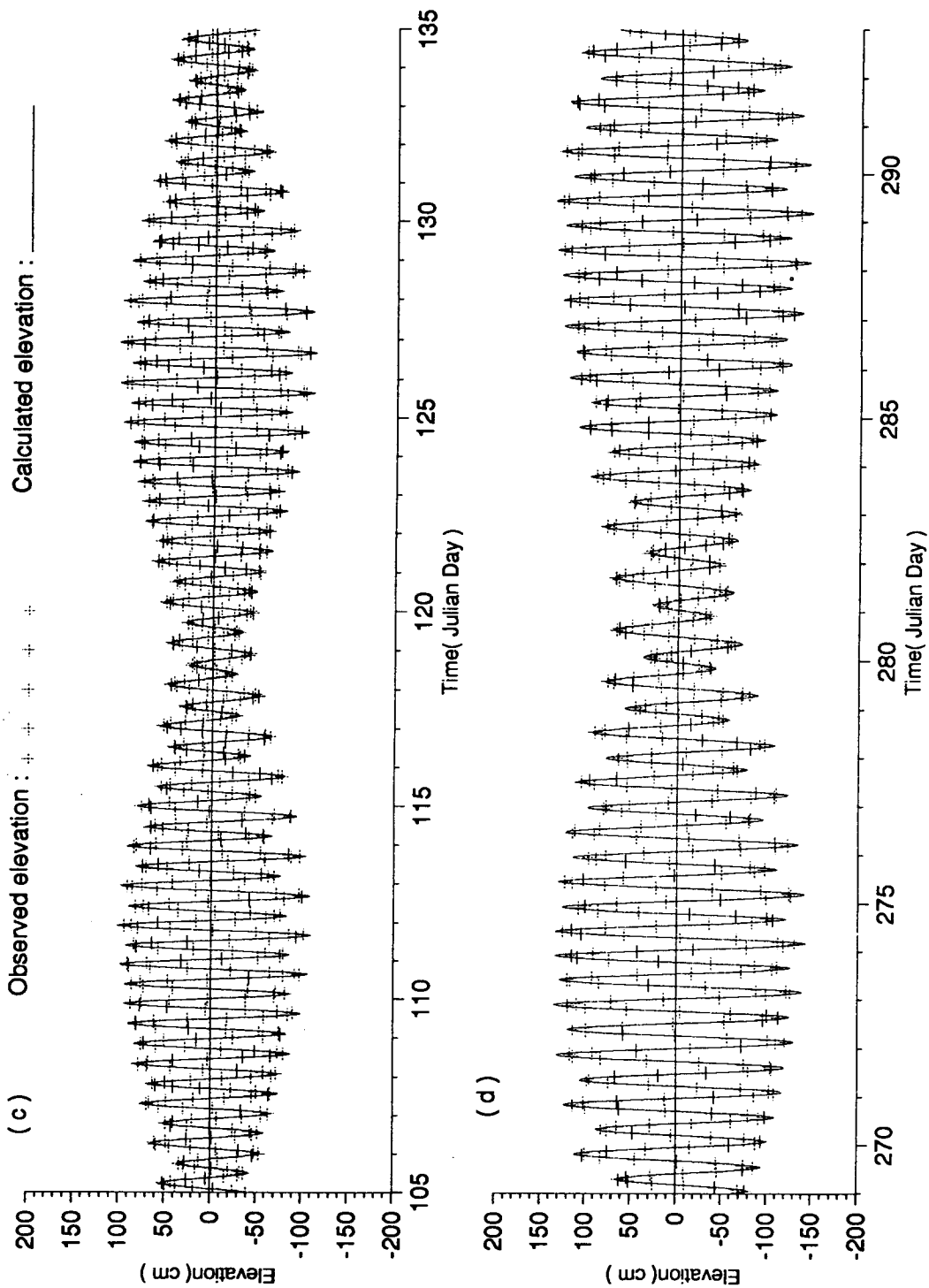


Fig. 2.40. Monthly variation of sea level difference between the Chejudo and the Chujado(continued 2).

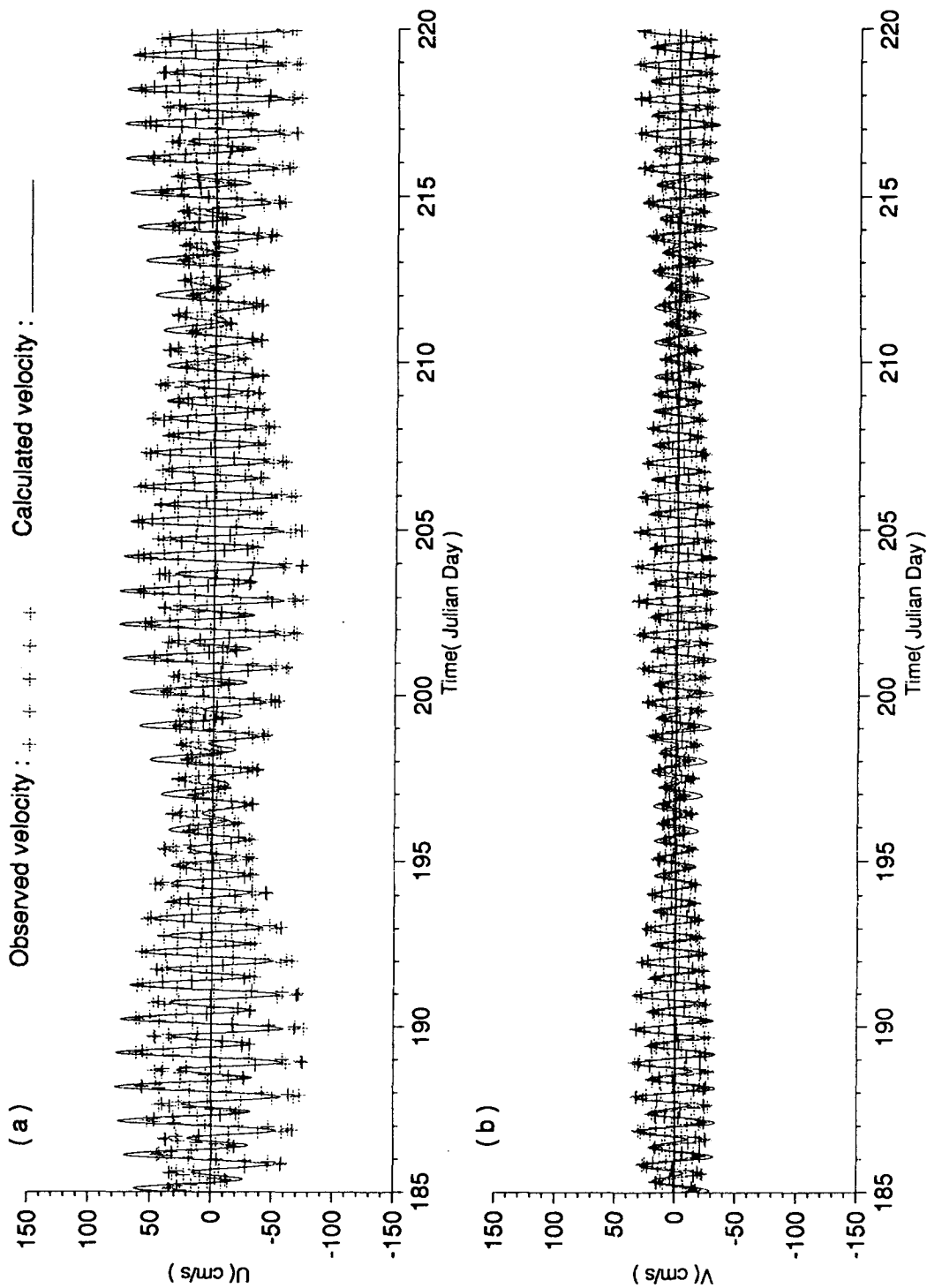


Fig. 2.41. Comparison of sea level difference and the volume transport of the Cheju Strait.

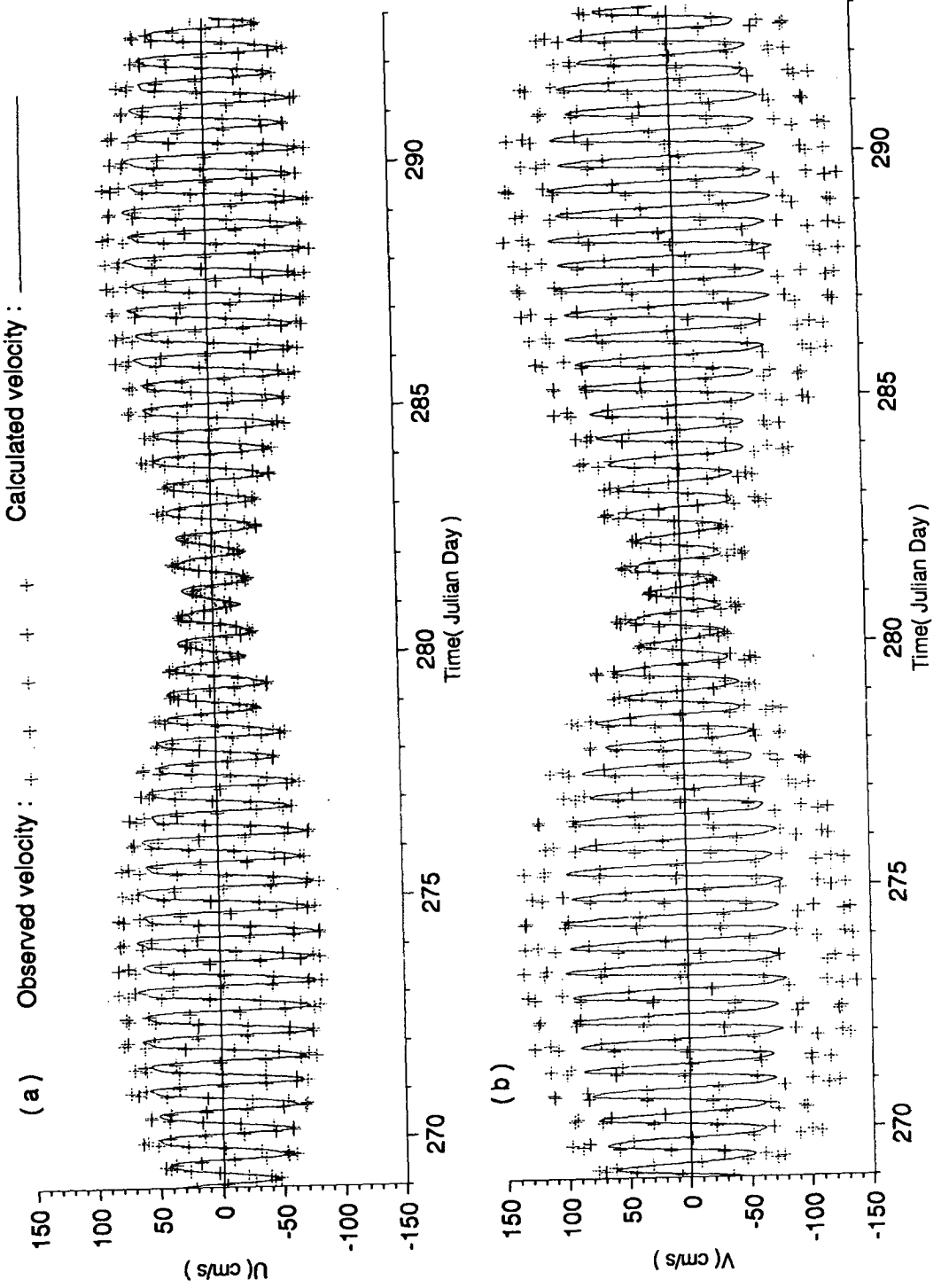


Fig. 2.42. Model grid configuration and observation transect for ADCP survey.

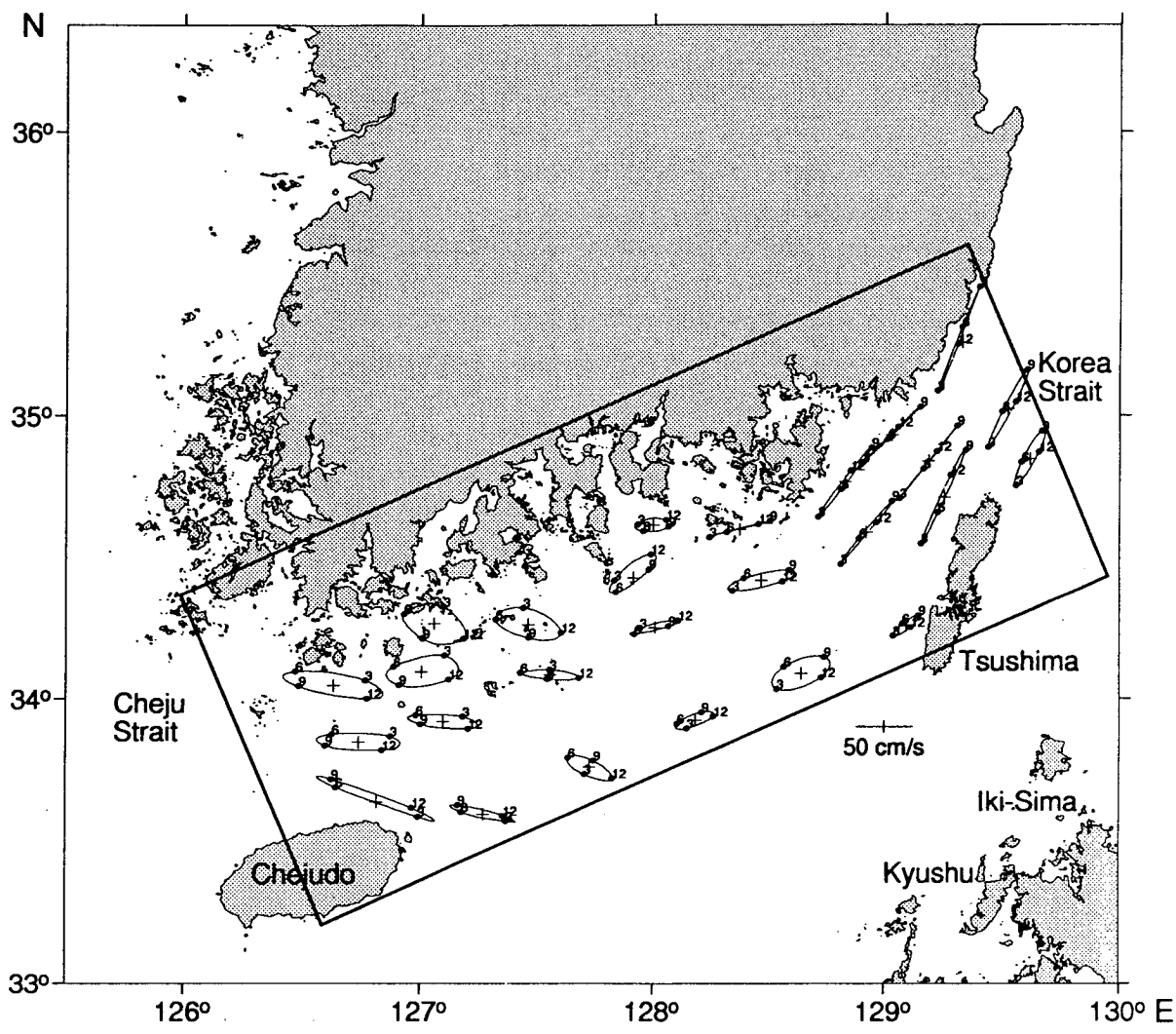


Fig. 2.43. Locations of 37 tidal stations used in model calibration.

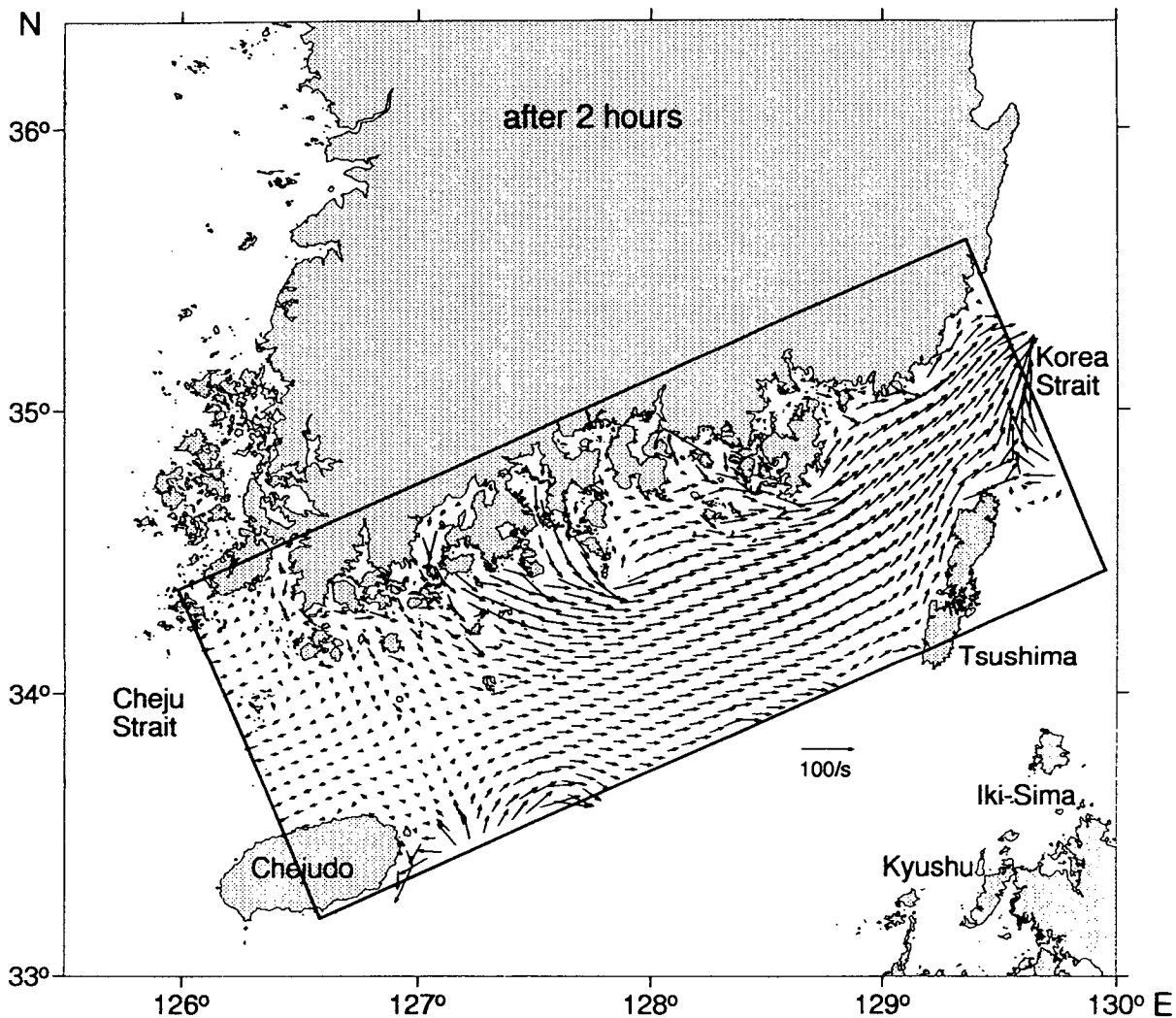


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43).

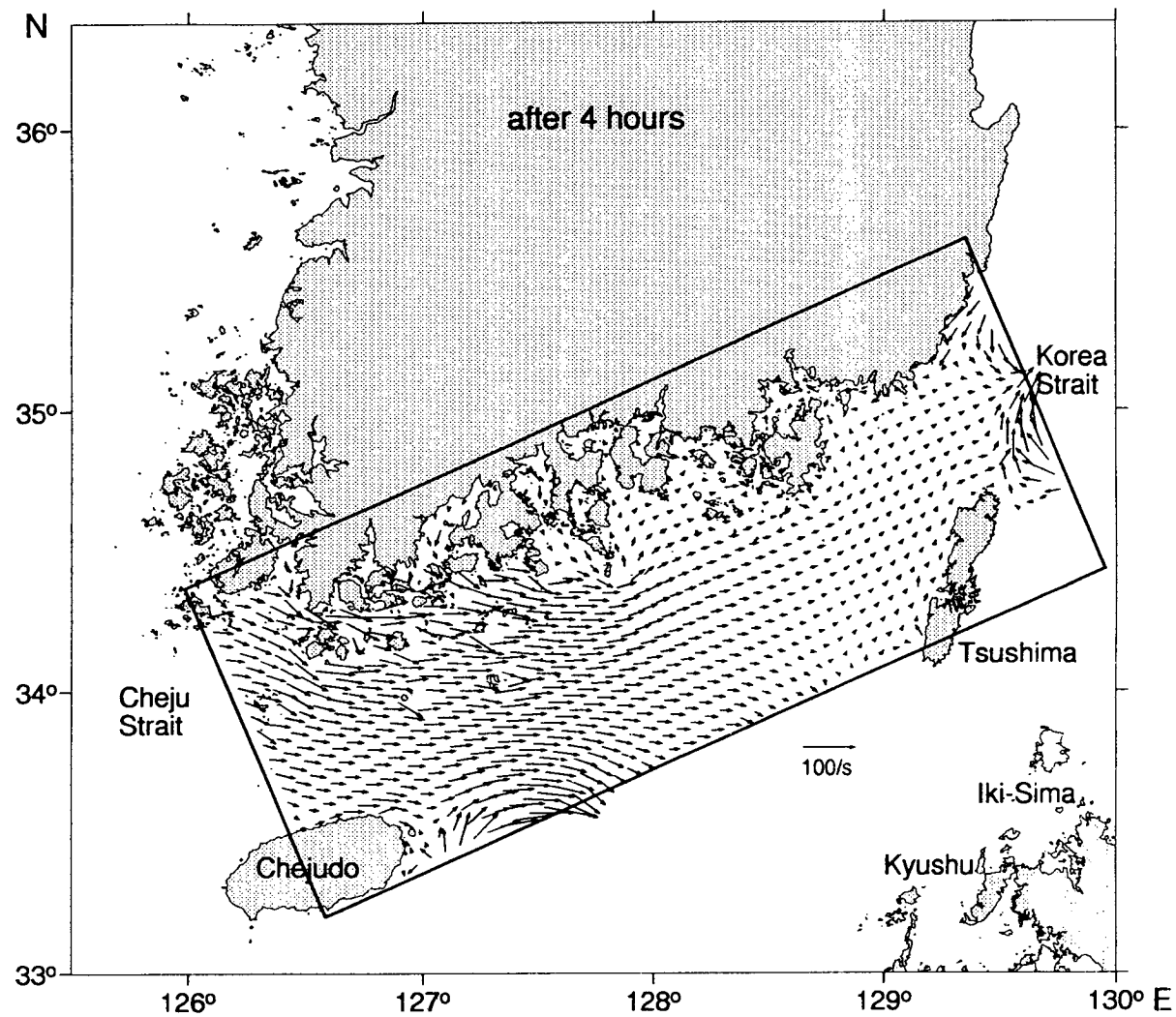


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43)(continued 2).

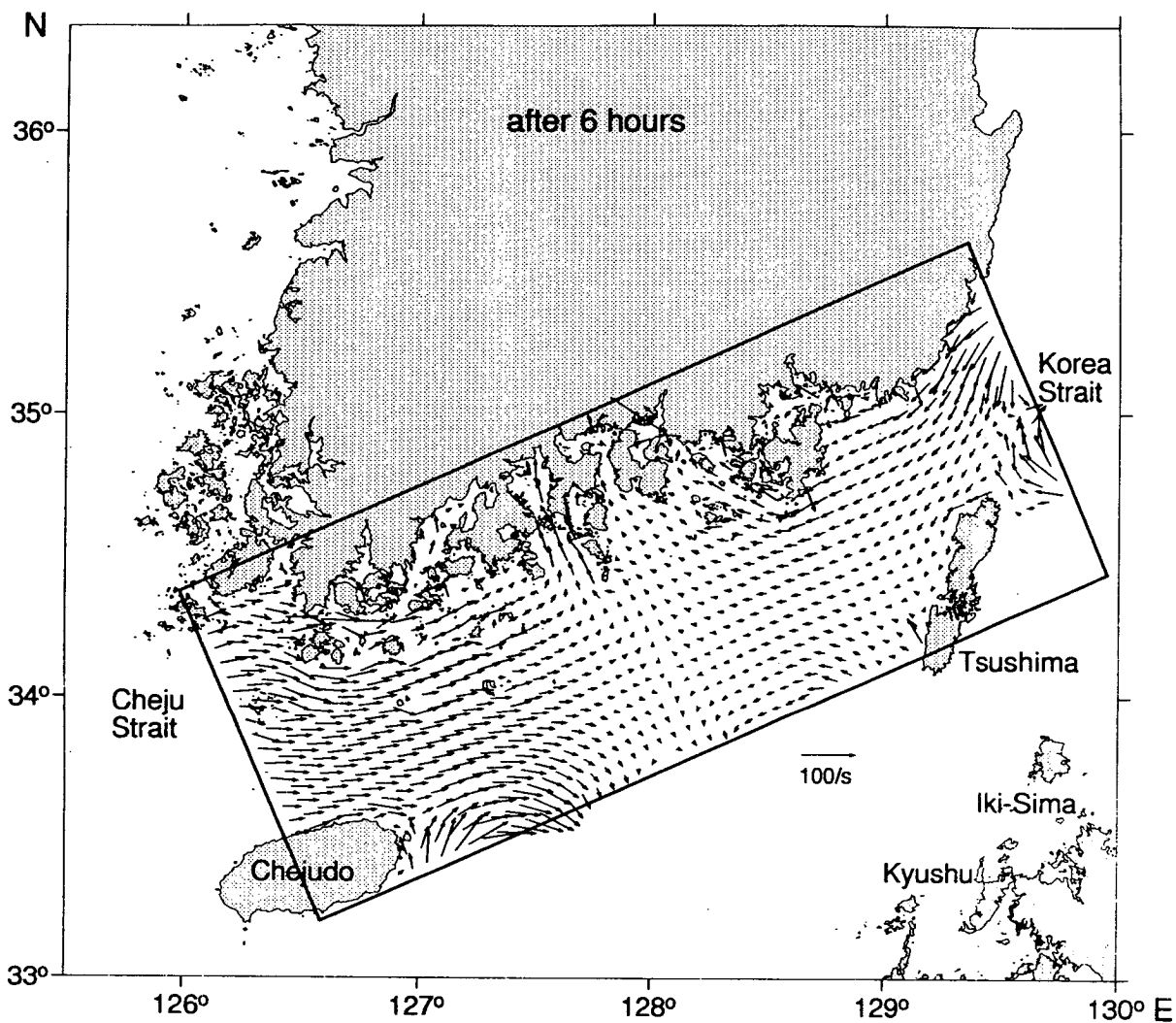


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43)(continued 3).

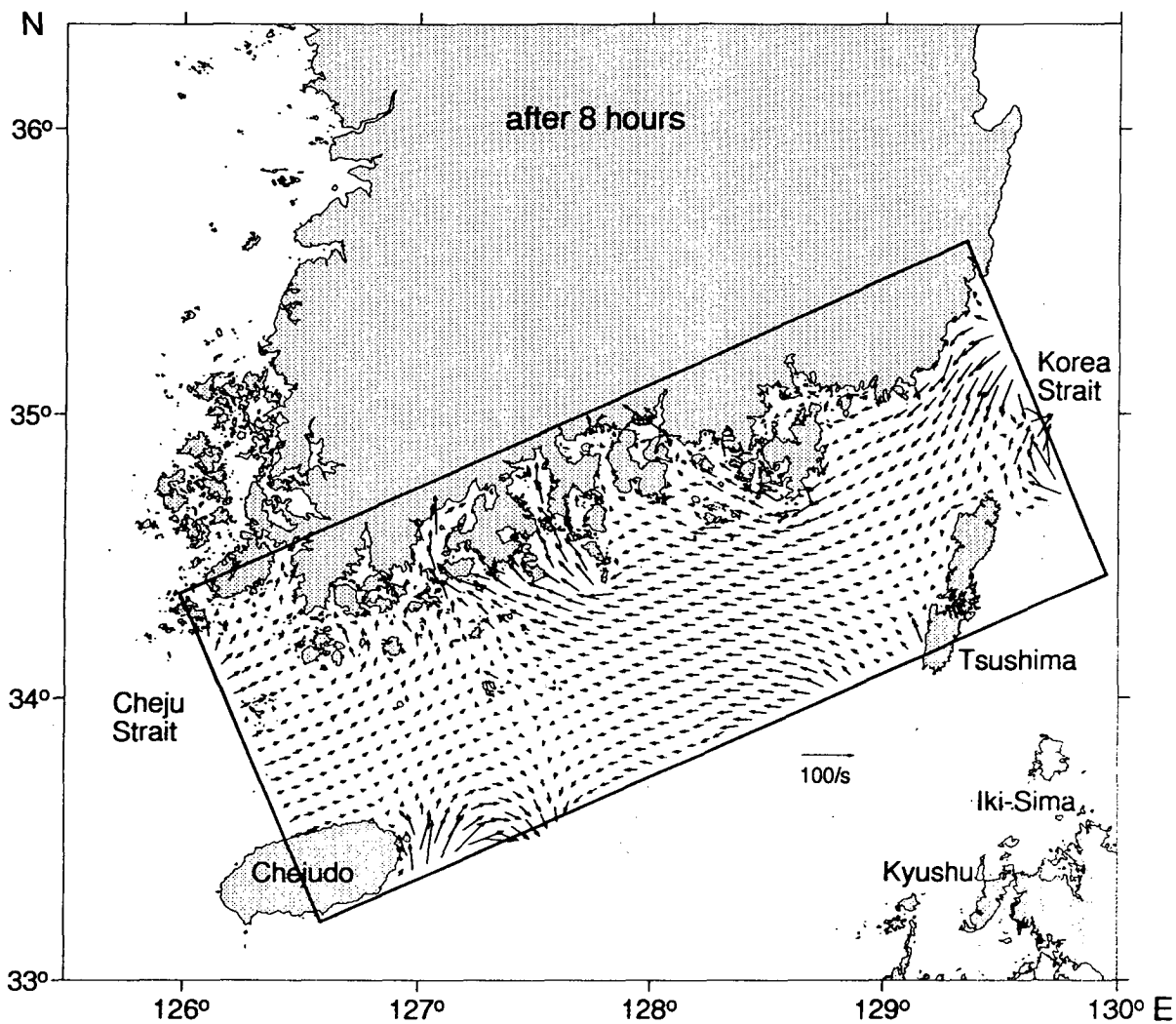


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43)(continued 4).

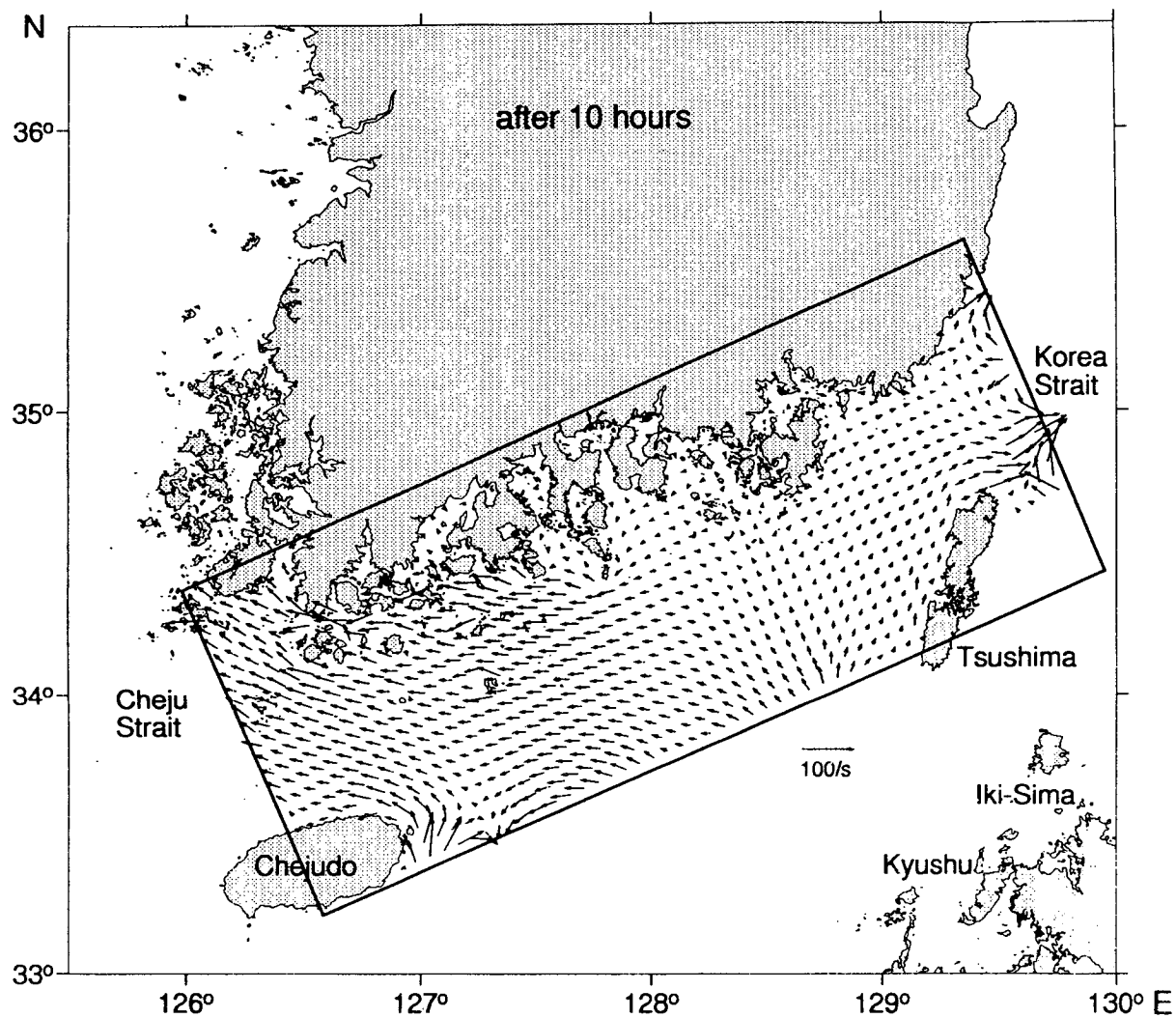


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43)(continued 5).

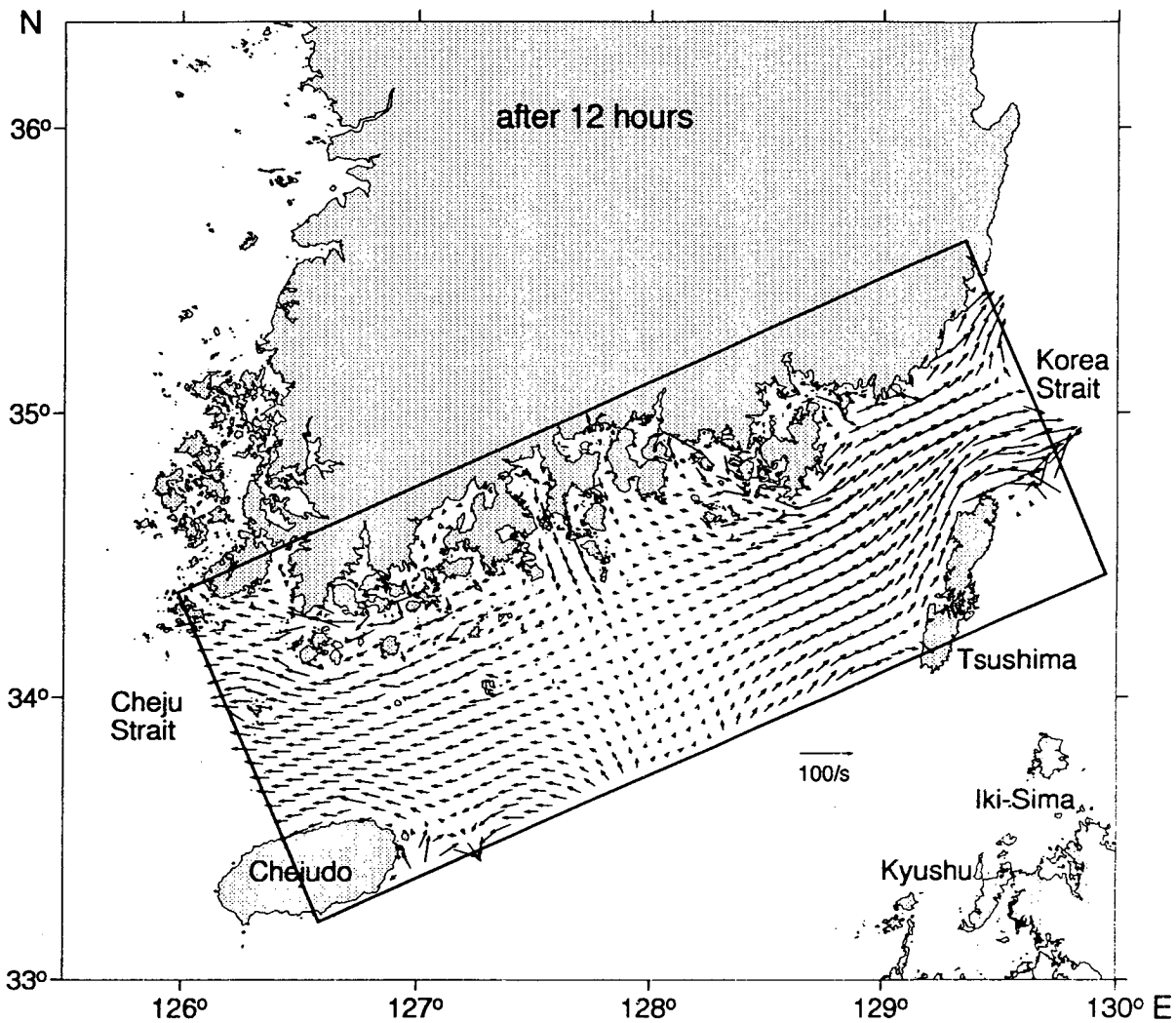


Fig. 2.44. Computed elevation and velocity at Mijo-Hang (station 16 in Fig. 2-43)(continued 6).

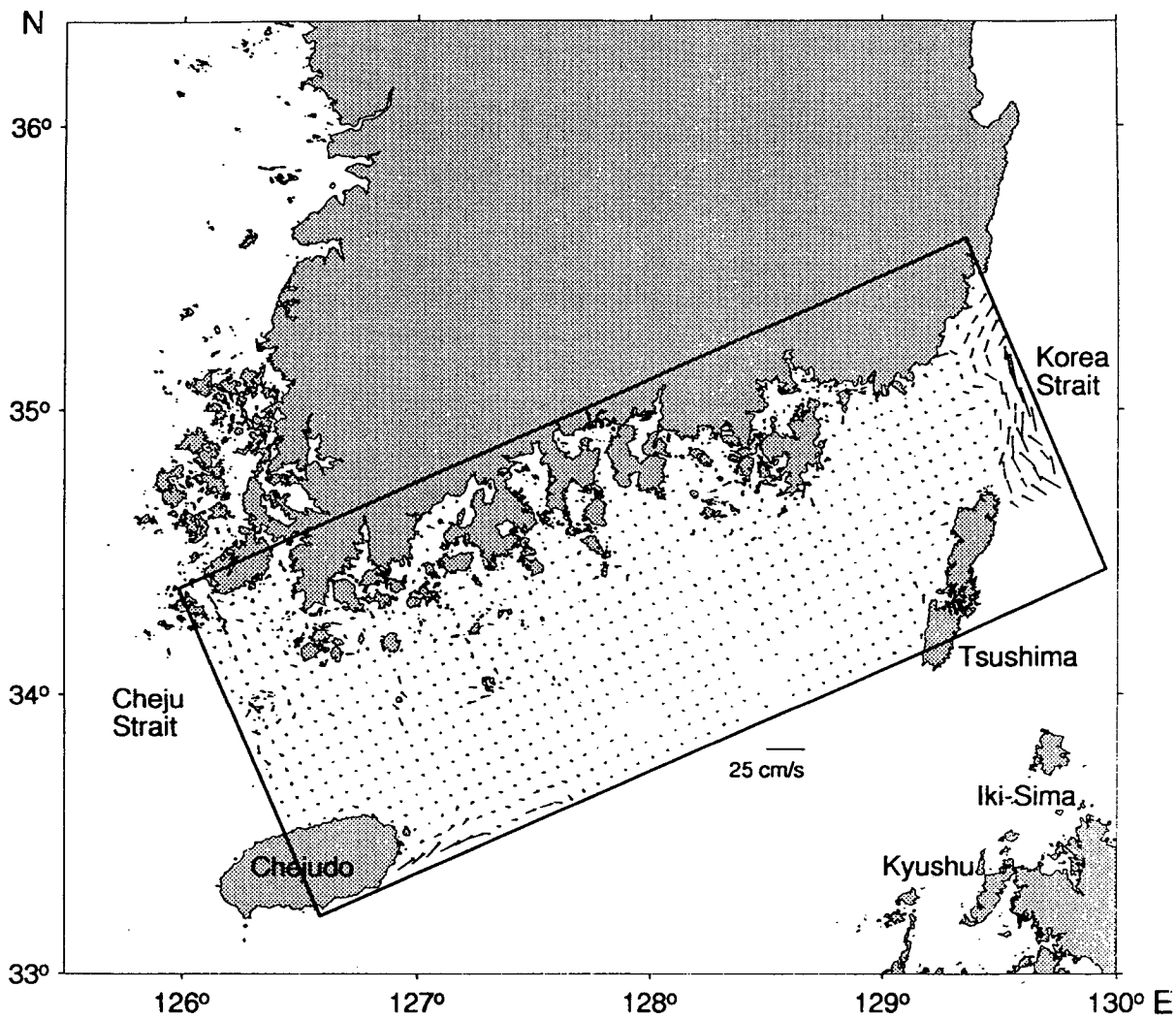


Fig. 2.45. Comparison between the observations and the model results in calibration.

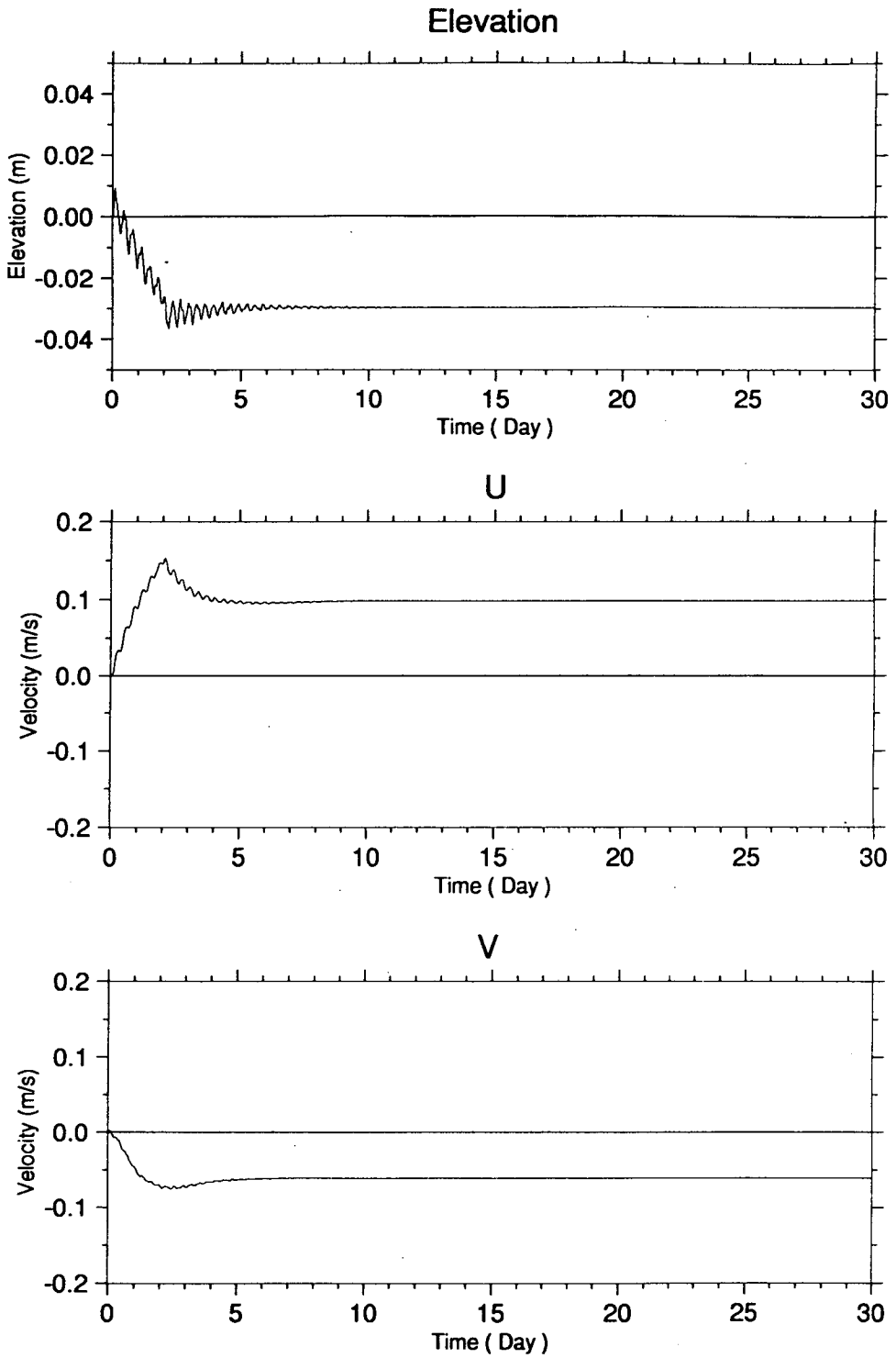


Fig. 2.46. Model verification results for surface elevation at station T1 to T5 in Fig. 2-1 (+: data, -: model).

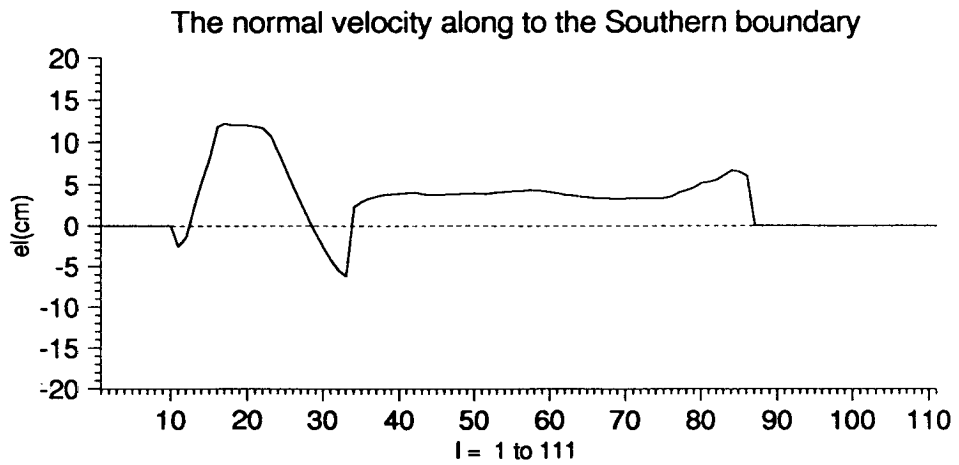
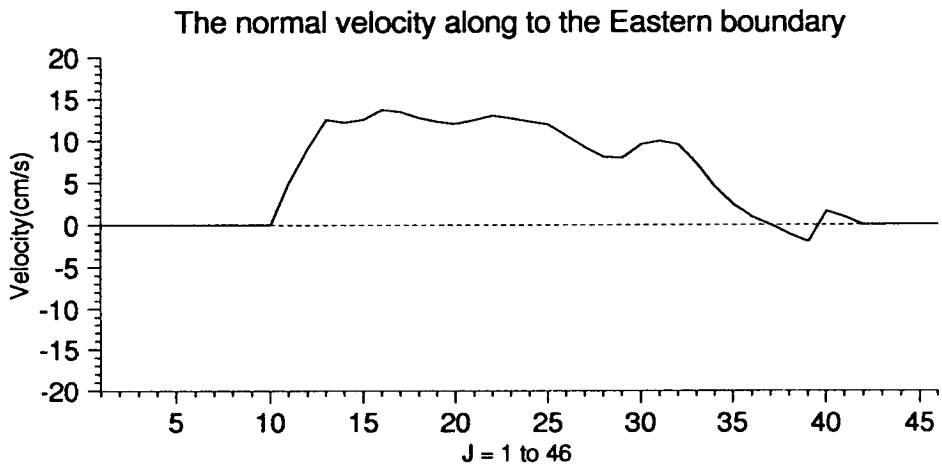
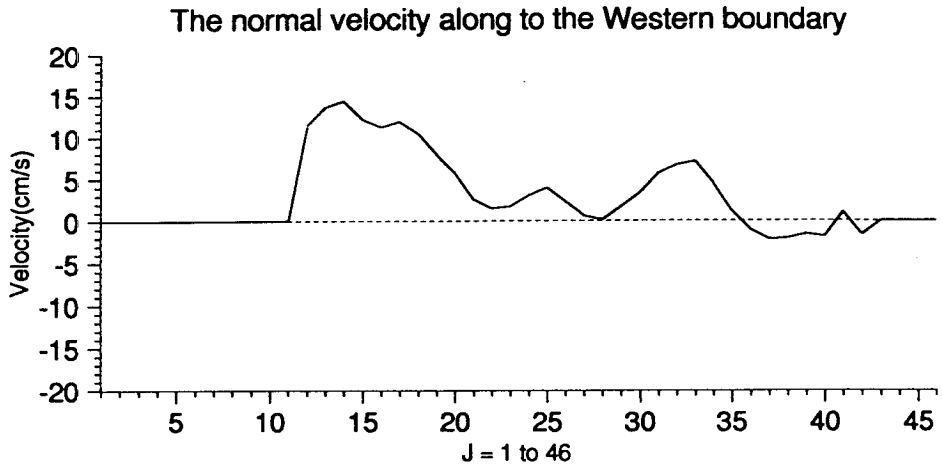


Fig. 2.47. Model verification results for tidal velocity at station C1 in Fig. 2-1.

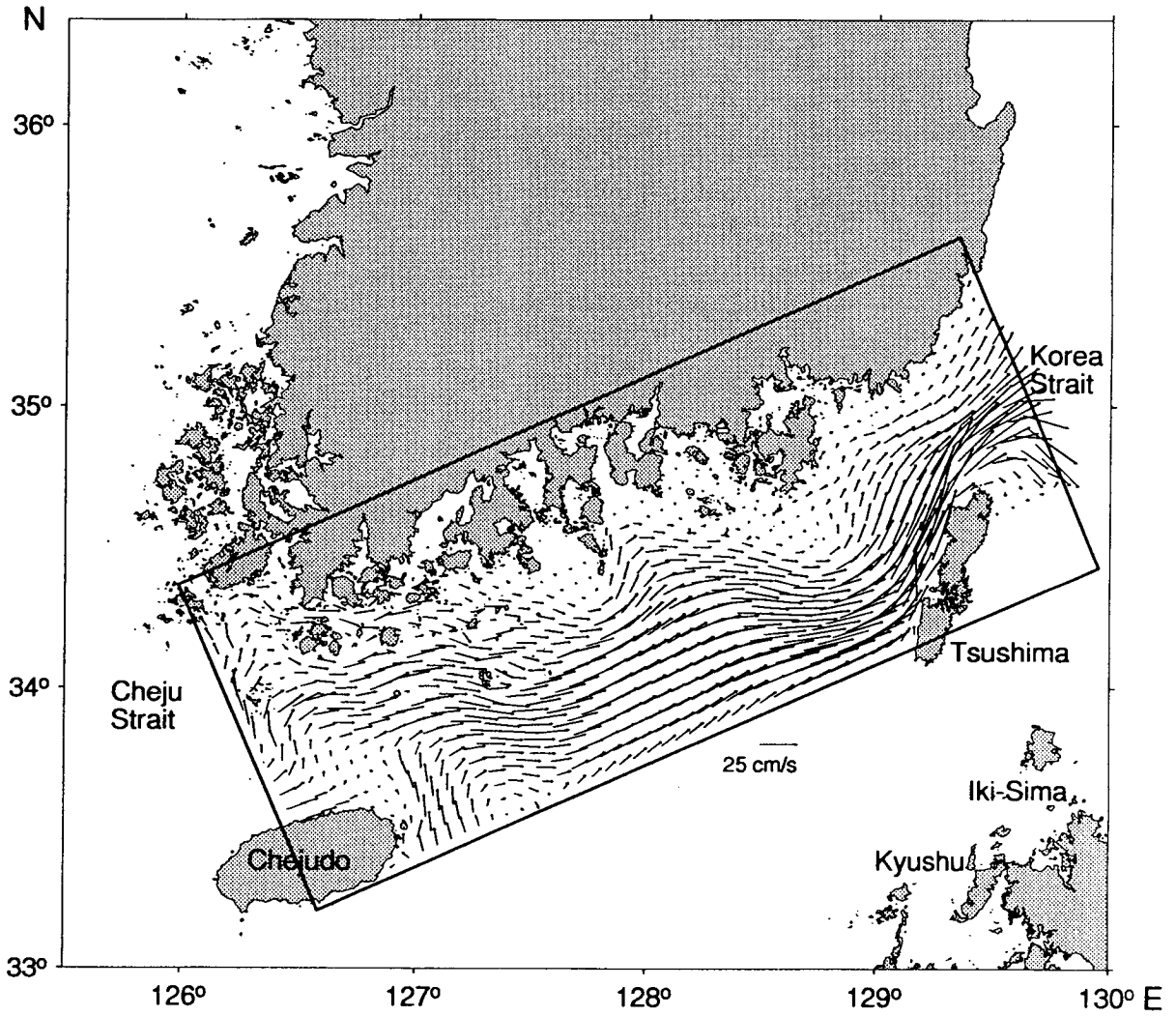


Fig. 2.48. Model verification results for tidal velocity at station C2 in Fig. 2-1.

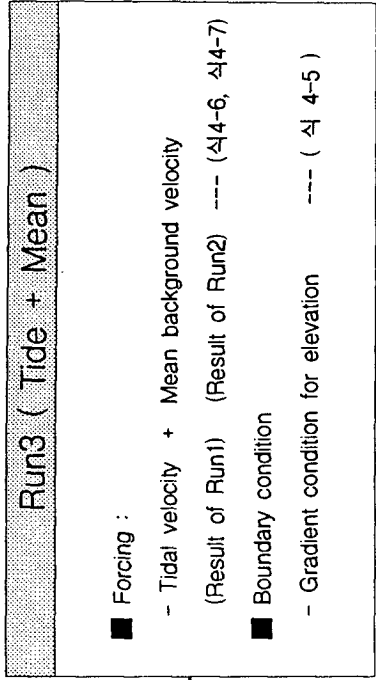
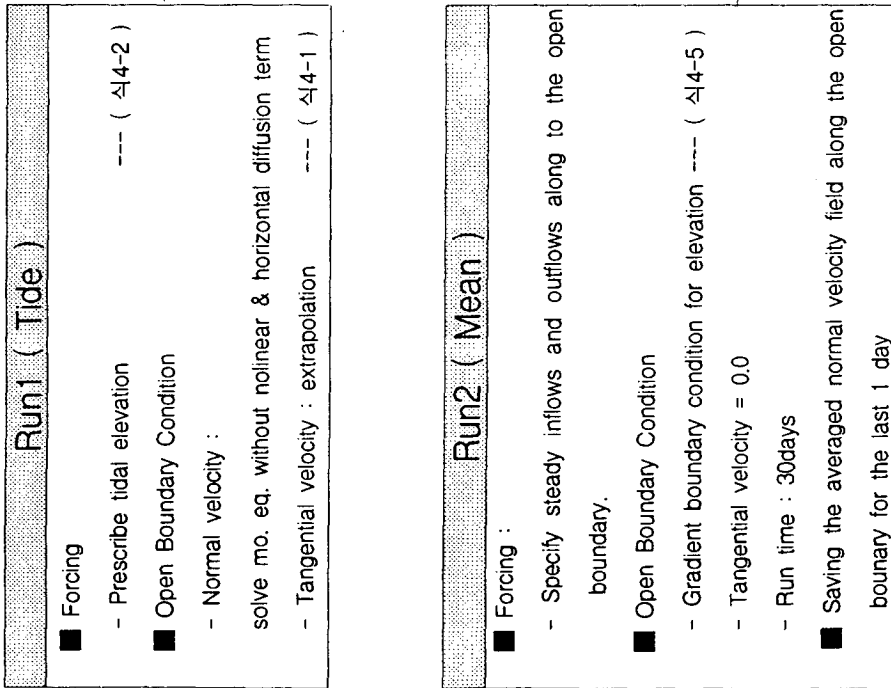


Fig. 2.49. Tidal current ellipse for M2 tide calculated by model.

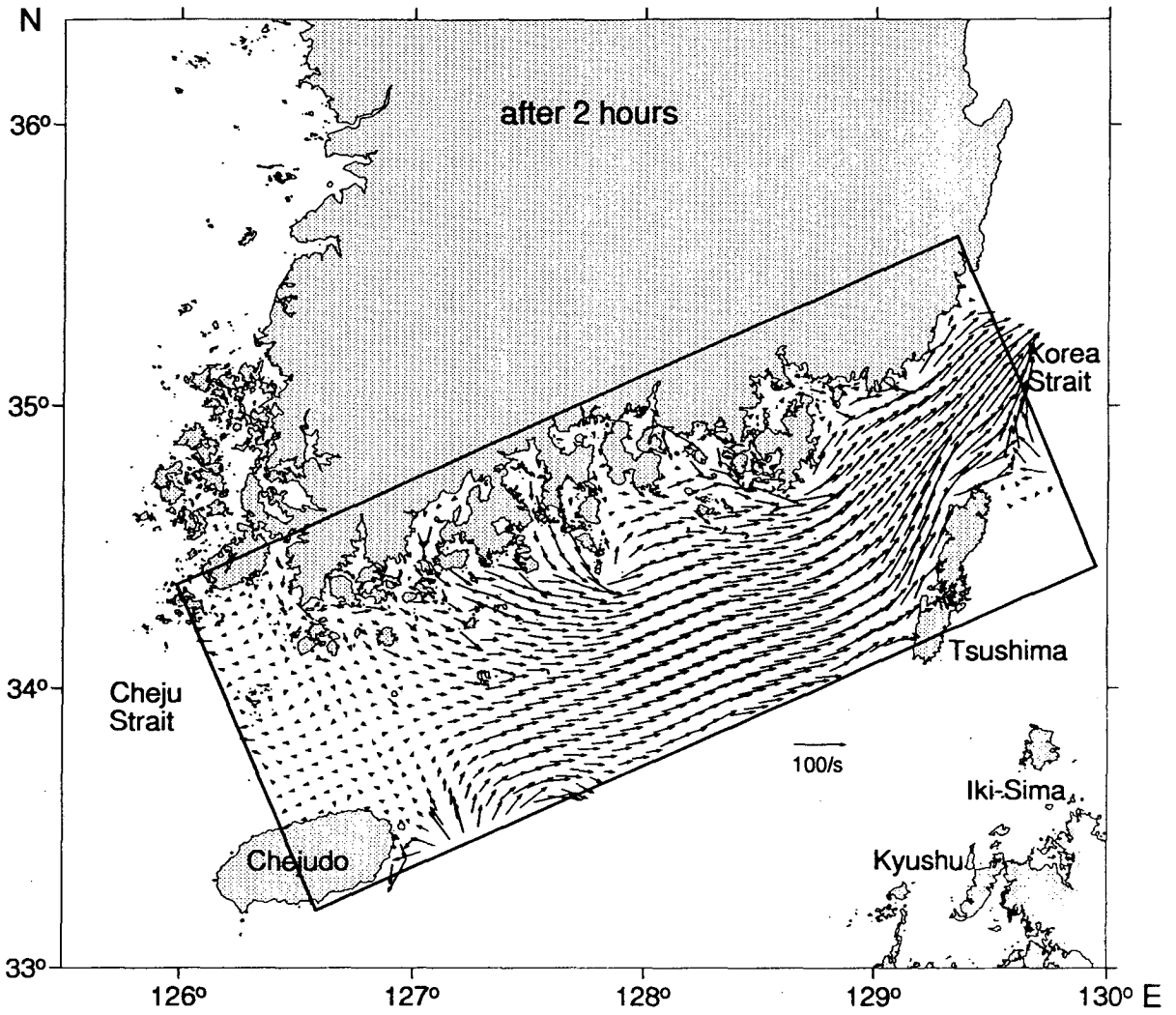


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours.

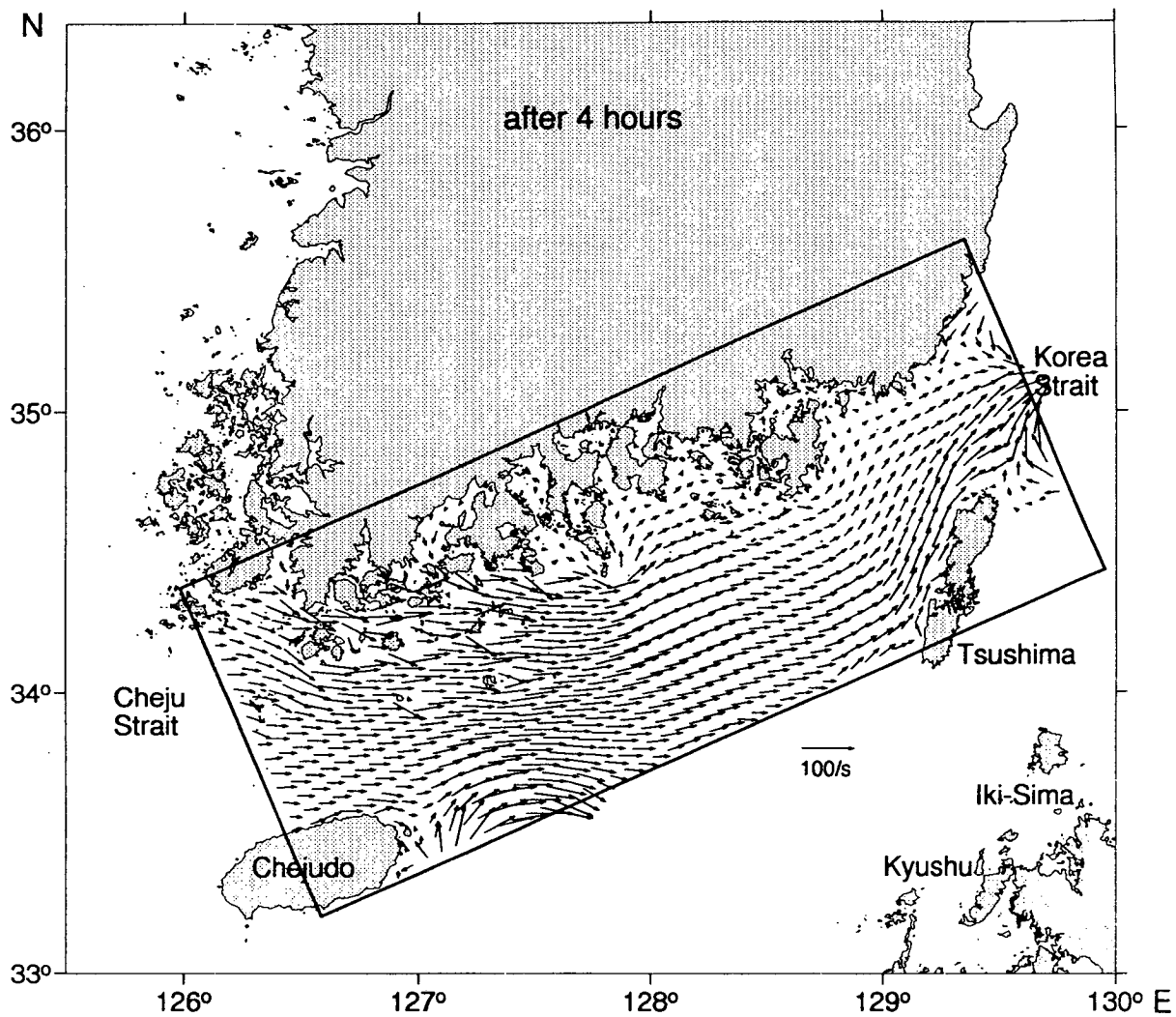


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours(continued 2).

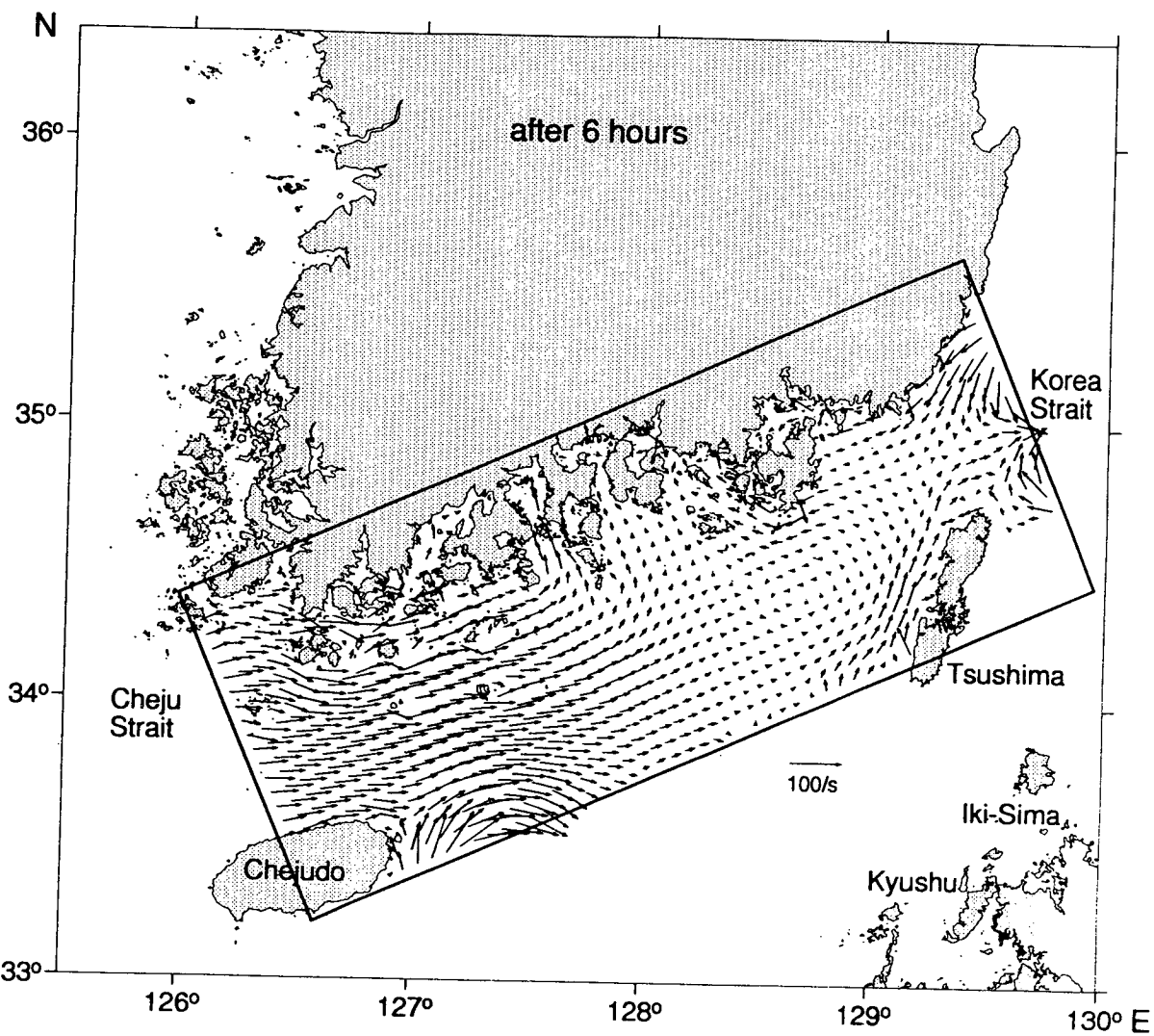


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours(continued 3).

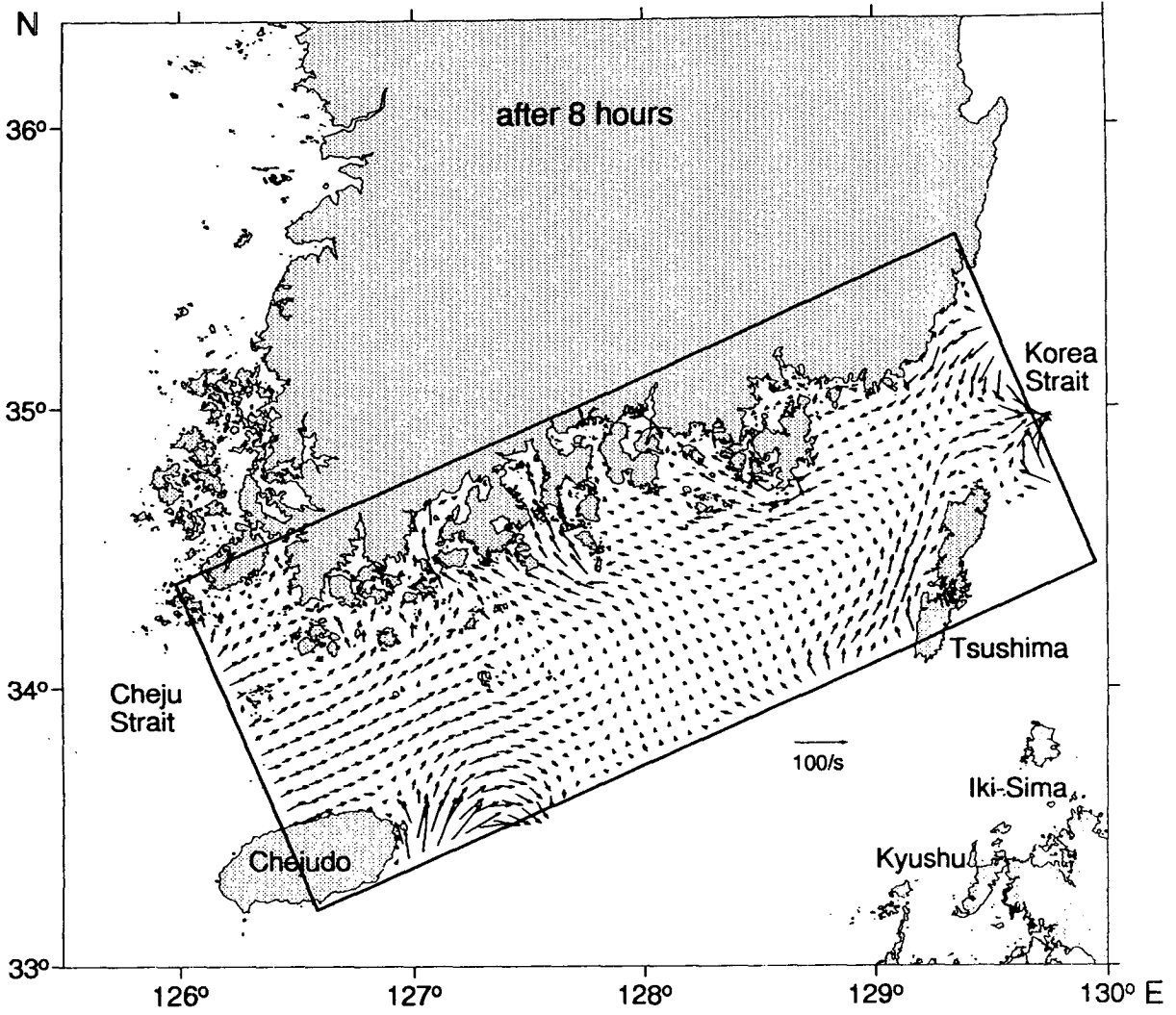


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours(continued 4).

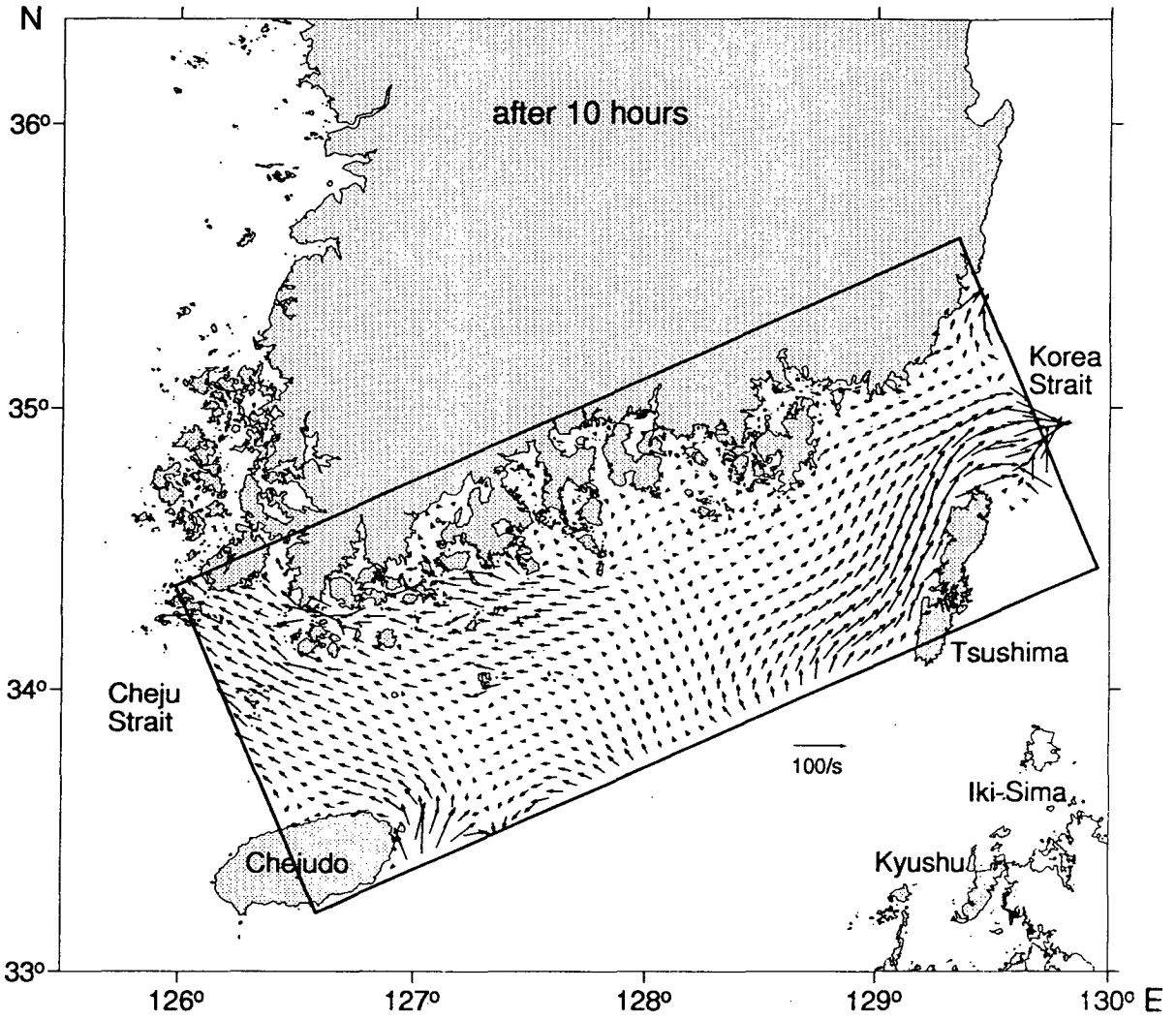


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours(continued 5).

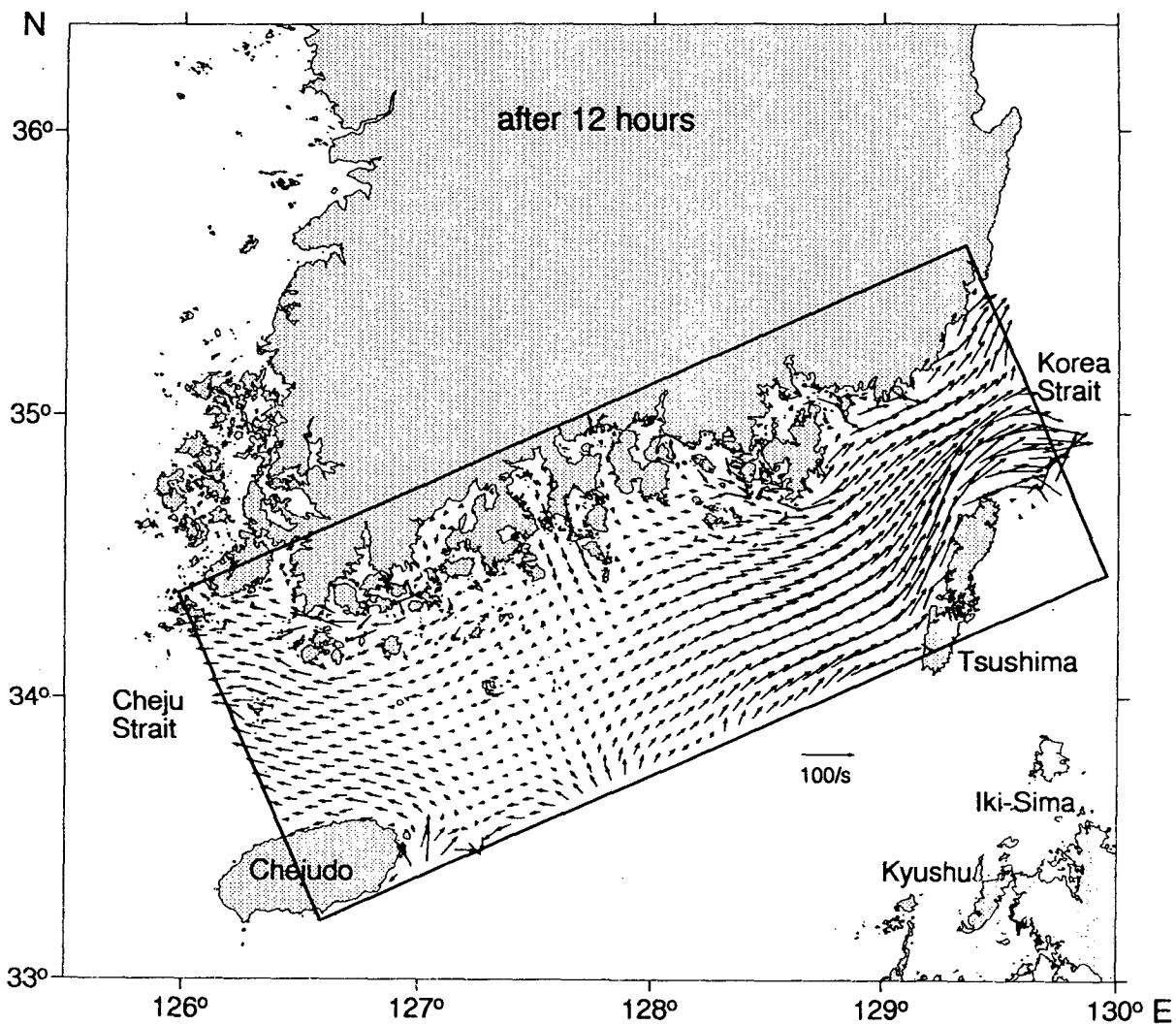


Fig. 2.50. Computed tidal current field every 2 hours(continued 6).

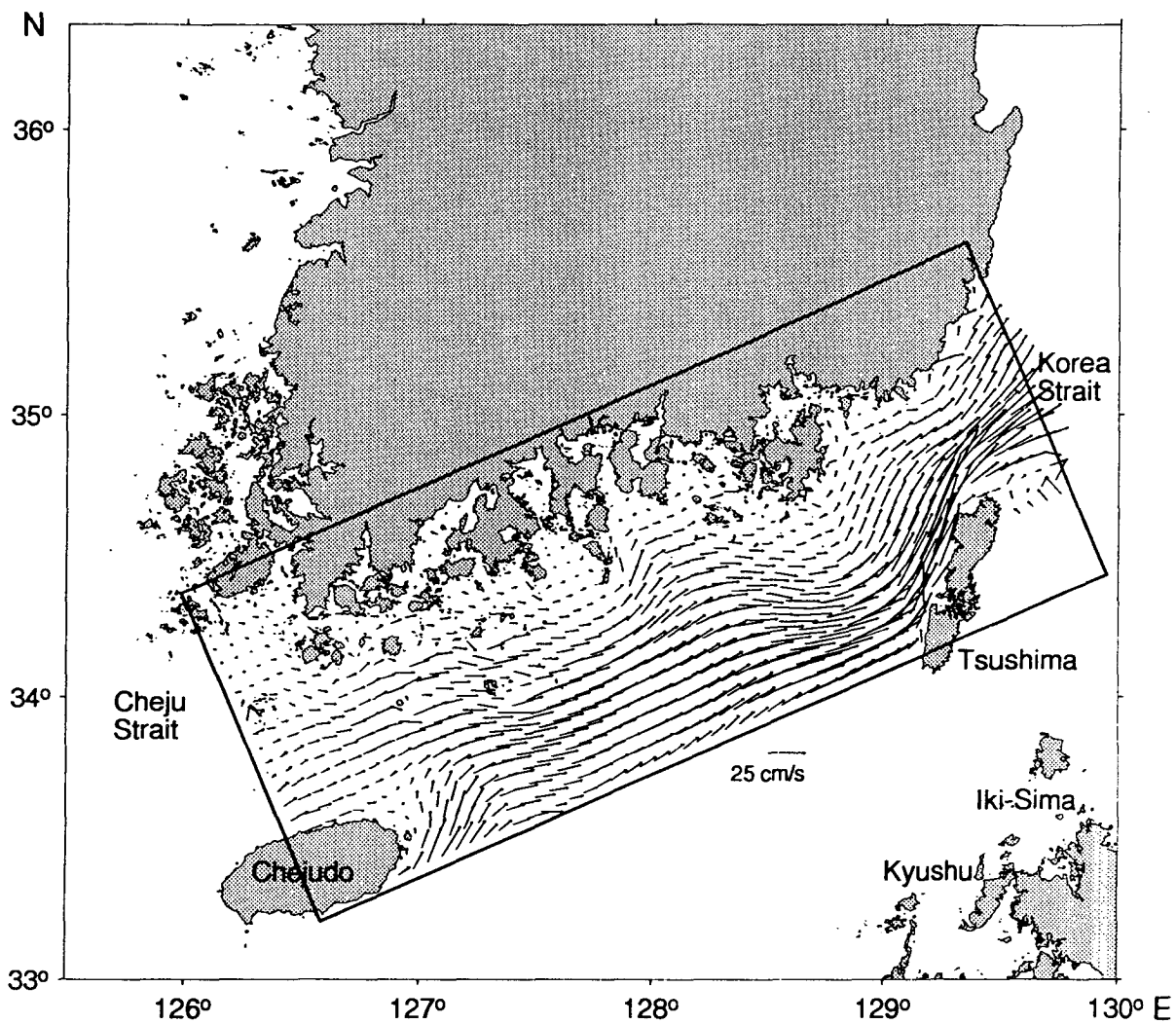


Fig. 2.51. Tidal residual current field.

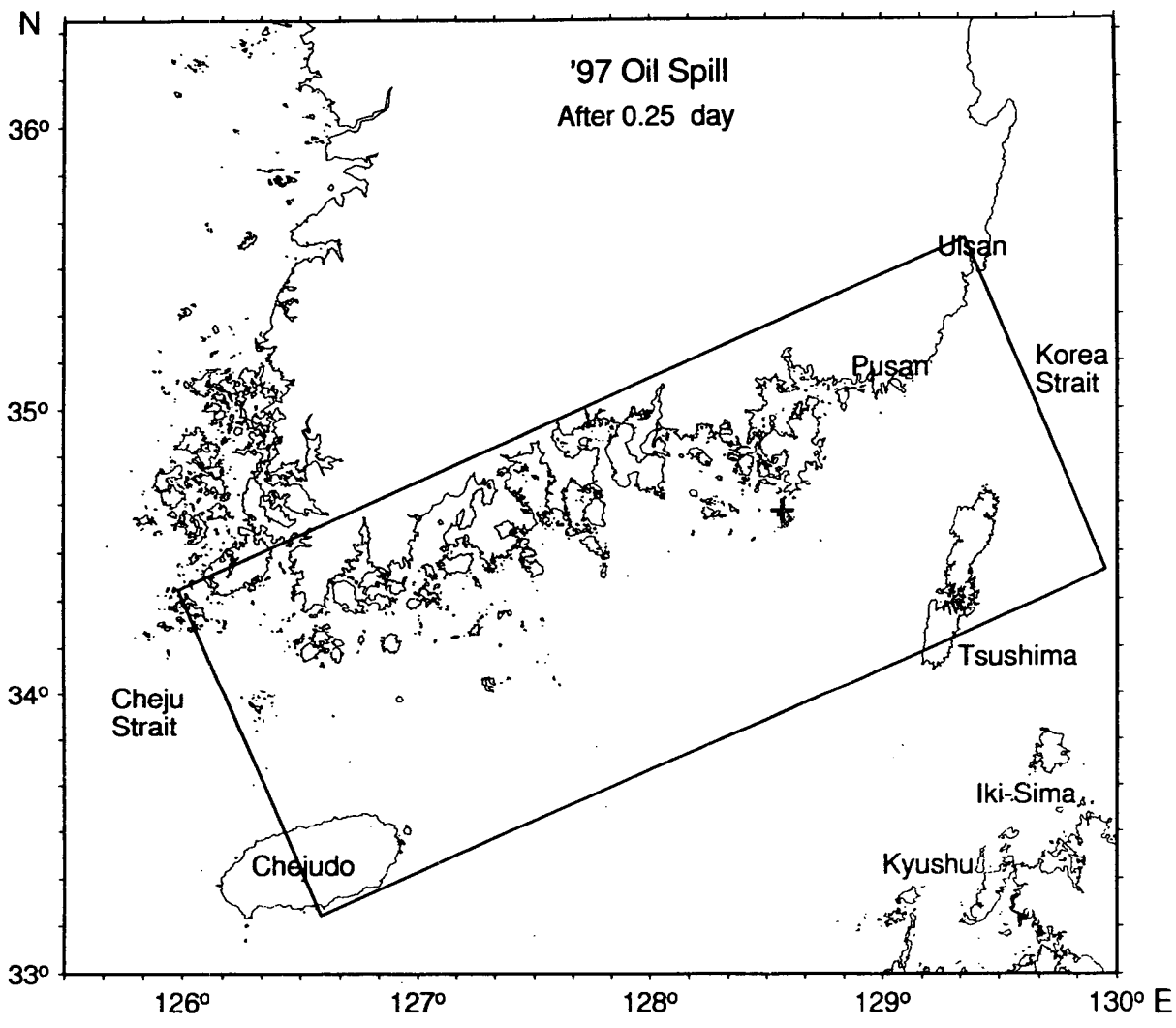


Fig. 2.52. Elevation and velocity calculated by mean current model at Gwangdo (station 24 in Fig. 2-43).

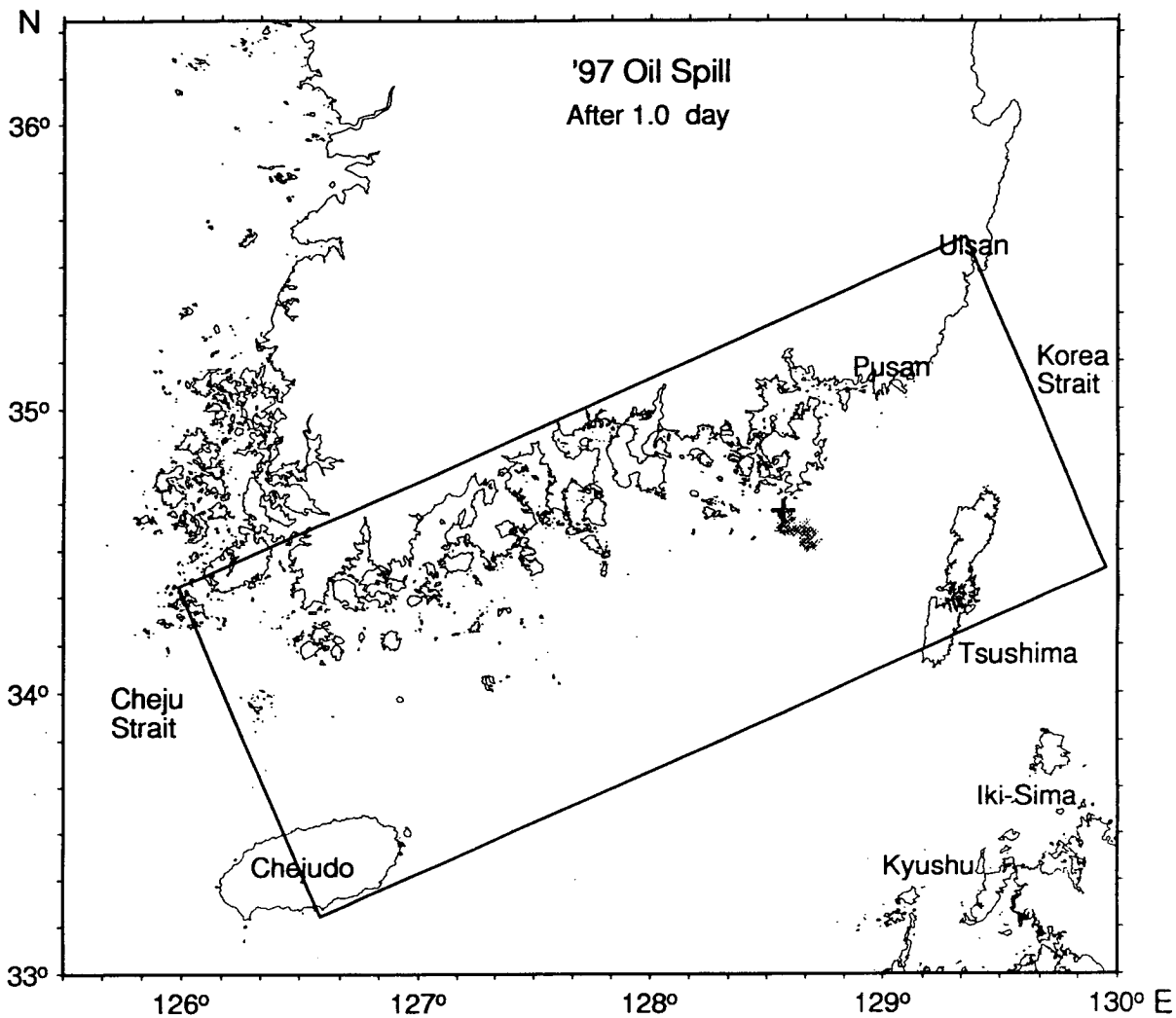


Fig. 2.52. Elevation and velocity calculated by mean current model at Gwangdo (station 24 in Fig. 2-43)(continued 2).

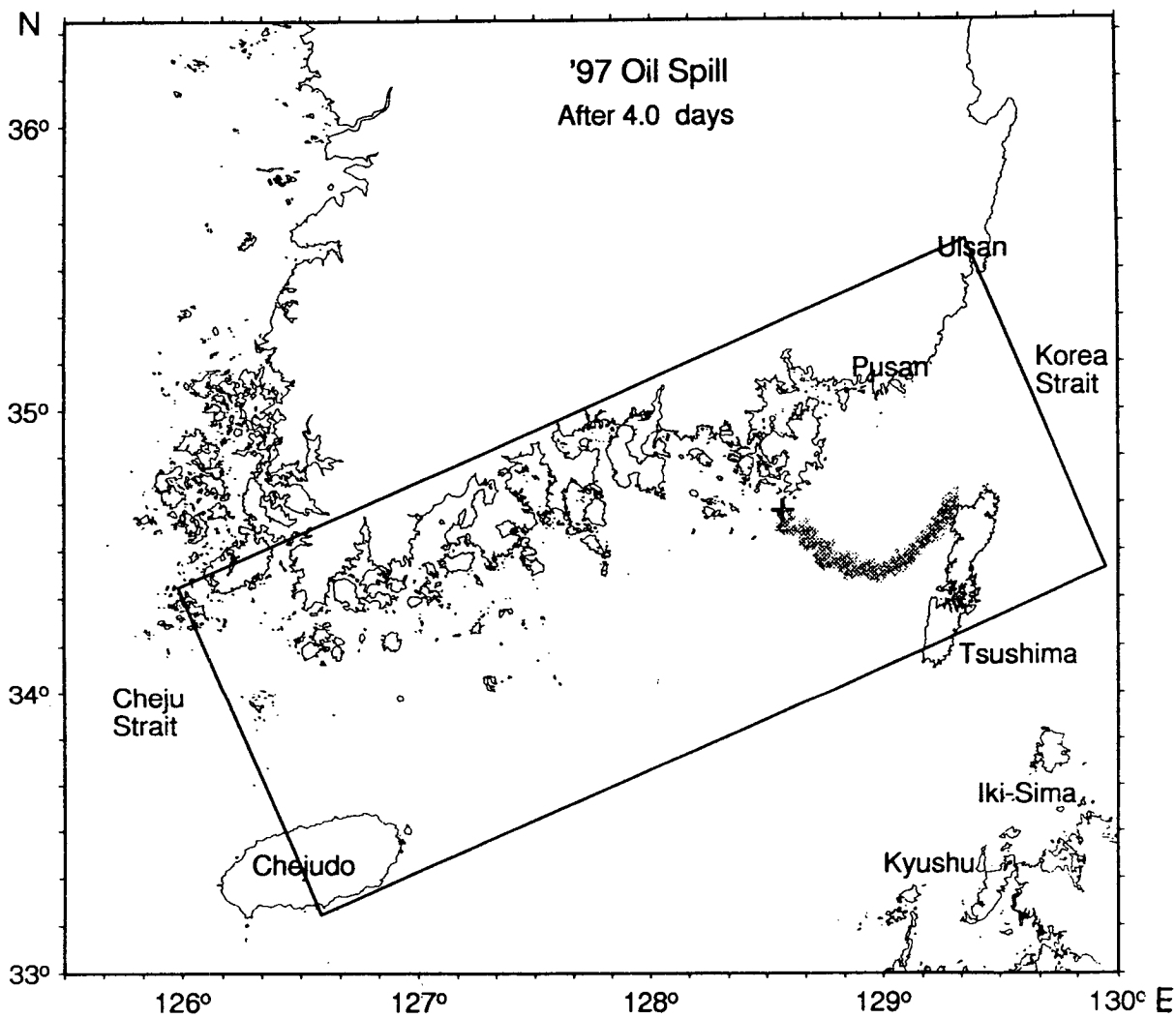


Fig. 2.52. Elevation and velocity calculated by mean current model at Gwangdo (station 24 in Fig. 2-43)(continued 3).

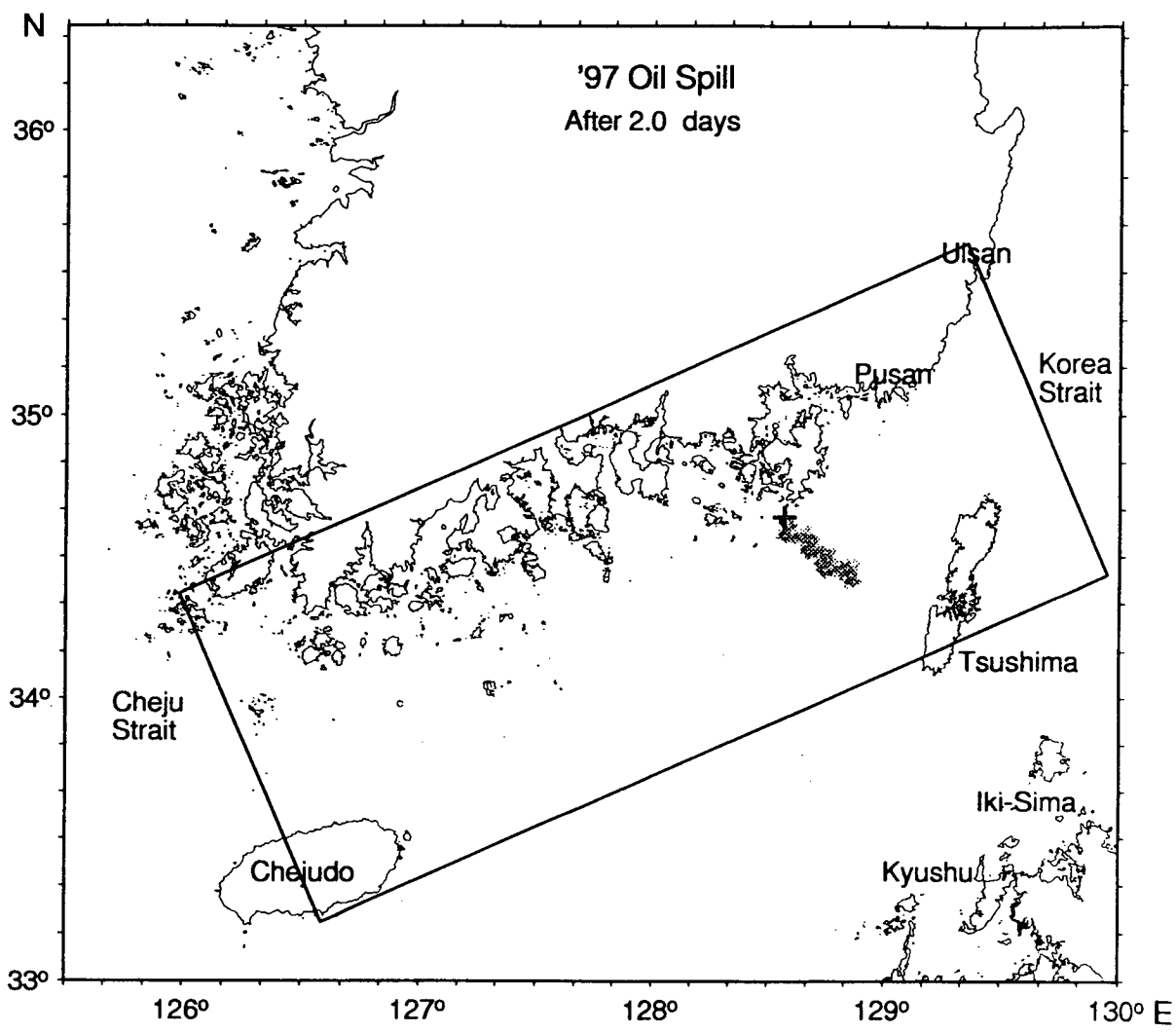


Fig. 2.52. Elevation and velocity calculated by mean current model at Gwangdo (station 24 in Fig. 2-43)(continued 4).

제 3 장

혐기성 내만환경

제 3 장 혐기성 내만환경

제 1 절 서론

우리나라 남해안의 내만들은 복잡한 지형으로 인해 반폐쇄성 특징을 가지며 육상으로부터의 하천유입 및 남해외해역과의 해수교환이 이루어지고 있다. 남해 연안역은 집약적으로 이용되어 많은 산업시설들이 위치하고 있고 항만의 개발도 잘 이루어져 있다. 하천의 배수구역으로부터는 각종 산업활동에 의한 폐수와 함께 도시화에 따른 생활하수의 유입도 많아 연안해역의 생태계를 위협한다. 또한 남해안의 내만들은 많은 수산자원의 요람역할을 할뿐만아니라 연안양식시설이 밀집되어 있어 생물자원의 보호와 인체의 건강문제 까지 고려되어야 할 곳이다. 연안의 간척사업과 매립 및 수산양식활동등은 내만의 자연환경에 여러 가지 변화를 가져오고 있으며 친생물원소의 물질수지에 영향을 미치기도 한다.

남해의 환경연구에 있어 해양-연안해역의 상호작용은 매우 중요한 의미를 갖는다. 연안해역은 높은 물리적에너지와 생물생산력, 종다양성을 가진 지역으로 인간에 의해 집중적으로 개발된 곳이며 또한 지구환경변화에 대해 매우 예민한 곳이다. 해양은 연안해역에 대해 상층 또는 하층에서 염분을 제공하고 조석, 파랑같은 물리적 에너지를 준다. 또한 에어로졸 등으로 부터의 물질유입도 내만환경의 화학물질수지에 영향을 준다. 하천은 대량의 부유물질을 해양으로 이동시킨다. 육지로부터 수송된 물질은 하구에 저장 되기도하고 퇴적물은 해안을 따라 상당한 거리를 이동하여 퇴적 또는 유실의 과정을 거친다.

연안해역은 육상으로부터의 영양염 유입, 충분한 광조건 등으로 일차생산력이 높은 곳이다. 여기에 육상으로부터의 용존성과 입자성 유기물질의 유입은 소비생물에 유기물에너지를 추가하여 준다. 여러과정을 거쳐 내만에 축적되는 유기물질들은 황화물, 기체질소, 용존성이 강한 환원 형태의 철, 망간등의 생물학적 생성과정을 촉진시킨다. 다양한 물리적 환경은 연안해역에서 이러한 물질의 생지화학적 변환을 크게 일어나게 한다.

퇴적물은 유기물을 함유하는데 이것이 미생물 등에 의해 분해될 때 주변의 산소를 소비한다. 산소의 공급이 산소의 소비를 따라가지 못하면 산소이외의 것을 사용하는 생물에 의해 유기물이 분해되는데 이를 혐기성

환경 또는 환원환경이라고 한다. 이 환경은 퇴적물뿐 아니라 유기물의 분해가 많고 산소의 공급이 잘 이루어 지지 않는 저층수에서도 일어난다. 쉽게 환원되고 유기물을 쉽게 산화시키는 것은 pE가 큰것부터 순서대로 인데 대체로 질산염, 망간산화물, 3가의 철, 황산,탄산의 순서대로 환원된다. +4가의 이산화망간(MnO_2)은 질산과 같은 정도로 쉽게 환원되는데 철, 망간 등의 환원은 비생물적 반응으로 진행된다. 해양의 환원환경을 대표하는 것은 황화수소의 발생이다. 퇴적물내의 공극수는 퇴적된후 시간이 경과됨에 따라 퇴적물내에 화학적 환경이 변화하고 이에 따라 그 구성성분도 변하는 속성작용을 받는다. 공극수에 용존하는 성분들은 퇴적물내에서 흡착과 분리, 광물의 형성, 분해와 생성, 그리고 퇴적물 내에서의 이동등 여러 작용을 거쳐 변화한다.

외해역의 환경연구에 있어 내만과의 상호작용은 오염물질의 유입이 식물성플랑크톤의 일차생산을 저해할 수 있다는 좁은 의미에서 생각되는 경우도 있다. 그러나 해양-육지의 상호작용에서 육지로 부터의 작용을 집중적으로 받아 그 변화를 외해역으로 전달하는 내만해역의 중요성은 생지화학적으로 매우 큰 의미를 갖는다. 본 장에서는 육지로부터 심한 환경영향을 받는 우리나라 남해 내만해역의 특성을 중심으로 향후 물질수지 모델개발을 위한 기반연구를 행하였으며 1997년 현장조사에 의한 중금속원소 거동을 논하고자 한다.

제 2 절 기존자료 분석에 의한 해역의 오염도와 특성 파악

남해안의 내만들은 내부에서는 육상으로 부터의 담수와 해수가 혼합되며 외양과의 해수교환이 일어나는 에스취리로 반폐쇄성 해역의 특징을 가진다. Stommel에 의하면 에스취리는 그 수리학적 특성에 따라 vertically mixed, slightly stratified, highly stratified, salt wedge estuaries 등으로 구분될 수 있다. 이는 성층의 정도를 기준으로 분류한 것이며 염분의 분포가 중요한 인자이다. Slightly stratified의 경우 얕은만에서 염분은 하구로 부터 만입구로 가며 증가한다. 이 경우 수층은 염분이 약간 낮은 상층부와 하층부로 구성되며 상·하층 중간에 혼합층이 존재한다. Salt wedge의 경우 고염의 해수가 웨지처럼 해양에서 에스취리 하층부로 향하며 우리나라는 서해안의 금강하구가 대표적이다. 온대해역에서는 계절에 따른 성층형성의 특징을 감안하여 seasonally stratified와 permanently well-mixed 로 다시

세분하기도 한다.

성층은 두가지 면에서 저층 무산소층의 발생을 유도하게 되는데 첫째 해수의 수직혼합을 억제하여 저층으로의 산소공급을 차단하고 또한 표층에서 플랑크톤 증식을 일으켜 이들이 저층으로 가라앉아 분해되면서 저층의 산소소비가 크게 증가하기 때문이다 (Officer et al 1984). 하구에 있어 성층의 생성은 무엇보다 지형적 형태에 우선적으로 제한을 받게 된다. 외해역에 가까운 쪽은 비교적 해수순환이 잘되어 일시적으로 성층이 생성되며 폐쇄성이 큰 내만해역은 외해역과 해수순환이 제한되어 쉽게 성층이 생성된다.

우리나라의 남해안은 해양의 이용이 매우 집약적인 곳으로 내만의 복잡한 지형 때문에 항구의 개발이 많이 이루어 지고 연안 공업시설 및 인구가 밀집해 있는 곳이다. 남해의 내만에는 또한 많은 양식장들이 설치되어 있다. 우리나라의 연안양식생산은 100만톤정도로 전체 어업생산의 30%를 차지한다고 한다.

최근 남해안의 해양환경에서 가장 광범위하고 가장 큰 규모로 나타나는 것은 적조의 발생이다. Fig 3.1에서 볼 수 있는 바와 같이 1995년의 적조발생은 남해안 대부분의 내만에 걸쳐 있으며 내만의 경계밖인 외해역에서도 해안선에 평행하게 적조의 띠를 이루었다 (국립수산진흥원, 1995). 이 적조는 9-10월 거의 2개월간에 걸쳐 장기간 발생하여 연안 양식어업에 큰 타격을 주었다. 적조의 발생원인은 매우 다양 하나 일정 영양염 농도를 유지할 수 있도록 지형적으로 외양과의 해수교환이 적은 폐쇄된 만에서 발생하며 육지로부터의 강우와 해저퇴적물로부터의 용출에 의해 적조생물의 성장과 번식에 필요한 비타민, 철, 망간 등의 미량원소가 공급되는 곳에서 발생한다고 알려져 있다. 이밖에 적조생물의 환경생리학적 특성도 발생원인으로 연구되고 있다.

적조의 발생은 내만에서의 유기탄소 생성이라는 점에서 내만-외해역의 물질수지에 큰 영향을 미친다. 특히 그 발생위치가 내만과의 경계면을 따라 나타나고 있어 육상유입 또는 대기 유입에 의한 무기영양염의 흡수, 영양염 및 탄소의 재순환, 저층 무산소수괴의 형성등 여러 가지 영향을 미치고 이에 따라 물질수지에 변화를 주게된다.

남해의 만과 내 대륙붕에는 현세 세립질 퇴적물층이 최대 30m두께로 두껍게 쌓여 있는데 이 퇴적물층은 과거 약 5000년 동안 퇴적되어온 것으로 여겨지고 있다 (Kang and Chough, 1982). 이 막대한 량의 세립질 퇴적물의 근원지 및 운반경로에 대해서는 아직 구체적인 자료가 많지 않지만 대체로

다음과 같은 두가지가 제시되어 있다. 하나는 주로 황해에 면한 한반도의 하천 유출물이 연안을 따라 남진한 뒤 남해로 들어오는 경로이며 다른 하나는 낙동강에서 유출된 퇴적물이 연안을 따라 서진하는 경로이다 (Lee and Chough, 1989).

Wells (1988)는 북서 계절풍이 강한 겨울철에 한국남서해안을 따라 흐르는 고농도 부유퇴적물 흐름의 존재를 보고하였고 실트와 점토로 구성된 이 고농도의 부유물은 한국남서해안을 따라 대한해협으로 흘러들어오며 일부는 남해연안의 만에 퇴적하는 듯 하다고 주장하였다.

연안오염의 전체적인 개황을 살펴보기 위해 박등 (1996)이 조사한 마산만, 광양만, 고성/자란만, 강진만, 가막만의 BOD오염부하량은 Table 3.1과 같다.

Table 3.1. BOD load to major estuaries (unit : kg/day / rate(%))

	Domestic wastes	Industrial wastes	Stock Farming	Land use (diverse)	Total
Masan Bay	39,122.1	6,163.2	503.8	3,030.5	48,819.6
	80.1	12.6	1.0	6.2	100
Kwangyang Bay	11,959.0	14,317.8	2,395.0	3,114.0	31,785.8
	37.6	45.0	7.5	9.8	100
Kosung/Jaran Bay	1,314.4	54.9	339.2	535.8	2,244.3
	58.6	2.4	15.1	23.9	100
Kangjin Bay	7,735.9	222.9	1,641.9	2,729.1	12,329.8
	62.7	1.8	13.3	22.1	100
Gamag Bay	6,670.3	73.4	502.9	947.7	8,194.3
	81.4	0.9	6.1	11.6	100

전체적인 오염부하는 광양만의 경우 산업폐수에 의한 비율이 높았으나 다른 해역은 생활하수에 의한 비율이 높았다. 오염부하량의 기인별 추산은 남해의 주요 내만들이 특별관리해역으로 지정되어 있어 연안의 하천배수구역을 포함한 연안역 관리에 필수적인 요소이다. T-N의

오염부하에 있어서도 광양만은 전체의 77.7%가 산업폐수에 기인하며 마산만의 경우 산업폐수에 의한 비율이 31.5%로 공업시설이 많은 해역의 특징을 보였다 (Park et al., 1996; Table 3.2).

Table 3.2. T-N load to major estuaries (unit : kg/day / rate (%))

	Domestic wastes	Industrial wastes	Stock Farming	Land use(diverse)	Total
Masan Bay	7,438.2	3,618.3	81.6	324.3	11,457.4
	64.9	31.5	0.7	2.8	100
Kwangyang Bay	1,665.1	9,656.2	381.6	728.1	12,431.0
	13.4	77.7	3.1	5.9	100
Kosung/Jaran Bay	243.8	54.9	56.0	138.1	492.8
	49.5	11.1	11.4	28.0	100
Kangjin Bay	977.1	222.9	257.0	501.4	1,985.4
	49.9	11.4	13.1	25.6	100
Gamag Bay	815.1	73.4	80.0	128.0	1,096.5
	74.3	6.7	7.3	11.7	100

(Park et al, 1996)

국립수산진흥원이 1996년 까지 전국 245개 정점에서 2, 4, 8, 11월의 년 4회 전국연안어장을 조사한바에 따르면 유기오염물질은 적조와 연관이 크고 일부어장에서는 빈산소 수괴를 형성한다고 알려져 있다 (국립수산진흥원, 1997). 우리나라 주요연안과 항만의 COD는 평균 1-2 mg/l 이며 마산만이 매년증가하는 추세에 있다고 한다. 국립수산진흥원의 해저퇴적물주상시료 조사에서는 Table 3.3에서 보는바와 같이 COD가 진동만, 원문만에서 0-15cm의 모든 깊이에서 가장 높았으며 다음으로 자란만과 광양만에서 높았는데 일본수산용수기준 20mg/g dry wt.와 비교해볼 때 원문만에서는 기준치를 초과하고, 진동만에서는 기준치에 육박한다고 한다 (국립수산진흥원, 1997). 황화물은 일본의 저질 오염기준이 0.2 mg/g인데 그 이상을 보인 경우가 많았다.

Table 3.3. COD and TS in the sediments of coastal bays.

depth (cm)	COD (mg/g dry wt.)			TS (mg/g dry wt.)		
	0-5	5-10	10-15	0-5	5-10	10-15
CHINDONG	17.92			0.32	0.16	0.02
WONMUN				0.87	0.20	0.04
HANSAN	9.86			0.02	0.02	0.01
CHARAN	11.28			0.29	0.15	0.09
CHINJU	9.23			0.21	0.04	0.08
KWANGYANG	11.27	5.51	6.59	0.14	0.06	0.07
GAMAG	5.62	2.68	3.43	0.02	0.01	0.01
DEUKRYANG	3.39	3.68	3.73	0.004	0.004	0.01

(NFRDI, 1997)

각 내만별 특성을 살펴보면 다음과 같다.

득량만

득량만은 길이는 약 50 km 폭은 약 11km에 달하며 만 남쪽의 금강도, 거금도, 소록도 등의 섬들이 만드는 폭 2-5km의 해협을 통해 외해와 연결되는 반 폐쇄성 해역이다. 만의 동쪽해안을 따라 수심 30m내외의 좁고 깊은 해저계곡에 의해 외해로 연결되어 있다. 득량만내의 표층퇴적물은 강한 조류와 얇은 수심으로 인하여 부유이동 및 침전작용을 거듭하는 것으로 보고되었다 (공 등 1994). 득량만으로 유입되는 하천들은 10 km 내외로 짧으며 그 유역면적도 약 590 km²로 좁다 (장 등, 1980). Lee (1994) 의 수치모델 연구에 의하면 유속이 35cm/sec이상인 구역이 만의 중심 부분에 넓게 분포하고 부유퇴적물의 이동에 크게 영향을 주는 것으로 보인다고 한다. 득량만은 연중 수직적으로 잘 혼합되는 해역으로 늦여름에 담수의 유입으로 영양염류가 과잉 공급되어 식물플랑크톤의 증식은 가을에 증가하고 겨울에 최고조에 달하며, 질산염이 고갈됨에 따라 식물성 플랑크톤의 증식은 중지된다고 보고되었다 (Hong et al, 1988). 득량만은 또한 남해 서쪽에서의 부유물질 유입을 파악하는데 중요한 곳에 위치하고 있다.

1990년부터 1994년 까지 국립수산진흥원의 조사에 따르면 득량만의 용존무기질소는 0.74-1.56 μM 인은 0.21-1.23 μM 이었다 (국립수산진흥원, 1997). Hong et al. (1988)은 득량만에서 용존성구리와 니켈의 농도범위를 각각 0.43-2.80 $\mu\text{g/l}$, 0.94-2.88 $\mu\text{g/l}$ 로 보고한바 있다. 입자성 구리와 니켈의 농도범위는 각각 0.05-2.01 $\mu\text{g/l}$, 0.06-4.27 $\mu\text{g/l}$ 로 조사되었으며

다른 연안해역에서의 농도와 비슷한 것으로 보고되었다. 양 등(1995)은 득량만에서 하계에 인산염과 규산염은 담수에 의해 주로 공급되며 나머지 계절에는 무기질소와 규산염의 농도가 높은 외해수가 득량만내로 공급될 가능성을 보고하였다.

광양만/가막만

광양만/가막만은 해역의 지형 및 물리적인 특성면에서 반폐쇄성 해역으로 총유역면적이 2518.98 km²이다. 이중 가막만에 직접영향을 주는곳은 여천군, 여천시, 여수시등이고 면적이 약 130km²이다. 광양만은 수리역학적 특성이 지역에 따라 다르기 때문에 지형이 복잡하고 퇴적환경이 다양하다. 광양만은 면적이 약 230km²로 여수해만 (Yeosu Sound)을 통해 남해와의 물질교환이 이루어 진다. 광양만, 여수해만 해역은 섬진강에서 유입되는 약 23톤/초의 하천수 (건설부 1980) 중에 포함되어 있는 퇴적물이 퇴적되고 있는 해역이다. 섬진강으로 부터 유입된 퇴적물은 광양만 및 여수해만을 통하여 남해대륙붕으로 운반되며 이 과정에서 입도에 따른 분급현상이 나타난다고 한다. 여수해만은 저층에서는 부유퇴적물함량이 높고 밀물우세 조류로 인하여 세립질퇴적물이 여수해만을 통로로 유입되어 유속이 약한 광양만 남서부지역에 퇴적된다고 알려져 있다 (Kim and Kang 1991). 이 결과 여수해만의 퇴적환경은 광양만과 남해대륙붕의 연결고리로서 중간적인 특성을 가질것으로 예상된다. 여수해만을 통한 광양만 부유 퇴적물의 수지균형은 Kim and Kang (1991)등에 의해 제시되었다. 광양만의 조석은 1일 2회 간조와 만조를 가지는 반일 주조형이다. 조차는 대조기에 만입구에서 290cm, 만중앙부에서 30cm, 내만에서는 302cm로써 내만으로 갈수록 다소 증가하는 mesotidal 지역이다 (포항종합제철주식회사, 1988). 조류는 노량수도에서 130 cm/sec로 강하게 흐르는 반면 연구해역 내에 산재된 간석지로 인해 전체적으로는 미약한 흐름의 분포를 보인다고 알려져 있다.

광양만으로 유입되는 주요 하천은 섬진강 및 수어천이고 가막만으로 유입되는 주요하천은 준용하천이 몇군데 있을 뿐이다. 광양만은 제 2 제철소를 건설하기 위해 1983-1984년에 이 지역의 삼각주를 매립하는 대규모 간척사업이 실시되었으며 항로를 개설하기 위하여 만의 복수로를 준설하였다. 이러한 환경변화의 전후에 많은 연구가 이루어 졌다 (박동 1984, 최 1984, 신등 1990).

광양만은 광양제철, 여천국가공업단지 등 대단위의 공업단지 조성지역으로 광양만과 가막만의 유역전체의 폐수배출업소는 총 306개 업소로 폐수발생량은 총 162.155m³/day이다. 가막만으로는 수산물가공이나 식료품제조와 같은 소규모의 공장만이 위치하고 있다. 가막만으로 유입되는 폐수배출업소는 총 54개 업소로 1224 m³/day정도이다. 광양만 유역의 주요공단으로는 광양공업단지, 광양제철, 여수오천공업단지, 여천국가공업단지 등이 있고 제철, 석유화학, 금속, 기계산업등이 주를 이룬다. 특히 광양제철의 설비확장과 울촌공단의 입주 및 컨테이너부두 건설로 인한 관련업체 급증으로 폐수발생량이 계속적으로 증가할 것으로 예상된다.

1990년부터 1994년 까지 국립수산진흥원의 조사에 따르면 광양만의 무기질소는 1.31-8.16 μ M, 인은 0.42-2.67 μ M 이었다 (국립수산진흥원, 1997). 1995-1996년 묘도주변 및 그 서쪽을 중심으로한 광양만의 해저 퇴적물조사에서는 (현대에너지, 1997) 저질층의 COD가 평균 17.93 mg/g dry wt.였고 Cu는 평균 4.88mg/kg dry wt. 였으며 같은시기 수질의 경우 질산염은 평균 1.5 μ M, 암모니아는 평균 3.3 μ M, 인은 평균 1.8 μ M였다. 해양경찰청 (1995)에 의하면 광양만의 Cd는 0.10 μ g/l, Cu는 0.41 μ g/l, Pb는 0.12 μ g/l, Zn은 9.21 μ g/l 의 분포를 보였다. 광양만은 1981년 조사에서 표층의 질산염이 8.4 μ M, 인산염이 1.8 μ M로 나타났고 (Lee et al., 1981) 1986년 조사에서는 질산염이 0.59-7.20 μ M, 인산염이 1.37-2.07 μ M로 다른 해역에 비해 인산염이 풍부한 특징을 갖고 있다 (Kim et al., 1988). 진주담치층의 중금속농도는 Cd이 0.97 μ g/g dry wt, Cu가 7.4 μ g/g dry wt, Pb가 1.02 μ g/g dry wt., Zn이 97 μ g/g dry wt, Hg 는 0.019 μ g/g dry wt, 정도였다 (해양연구소, 1990). 광양만은 농업이 활발한 점진강유역으로 부터 유기인계 농약이 유입되는데 1997년 8월의 경우 DDVP가 2.5 ng/l, IBP가 59.2 ng/l, Diazinon이 78.5 ng/l 정도 검출되었다.

1995년 환경부의 환경통계년감 (Yearbook - Ministry of the Environment, 1995)에 따르면 광양만의 해수수질현황은 Table 3.4 와 같다.

Table 3.4. Annual trends of seawater quality in Kwangyang Bay.

	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
1990	-	-	-	-	-
1991	9.6	2.5	7.3	0.244	-
1992	9.1	2.3	7.7	0.287	0.024
1993	8.8	2.0	9.1	0.295	0.029
1994	8.7	1.9	10.1	0.240	0.039
Mean	9.1	2.2	8.6	0.267	0.031

평균 COD는 2mg/l내외로 점차 감소하고 있으나 SS는 근래 10mg/l까지 증가하고 있다.

가막만 중앙부의 경우 해양경찰청 (1995)에 의하면 해수중 용존성 Cd는 평균 0.19 $\mu\text{g/l}$ Cu는 0.42 $\mu\text{g/l}$, Cr은 0.19 $\mu\text{g/l}$, Pb는 0.07 $\mu\text{g/l}$, Zn은 7.48 $\mu\text{g/l}$ 으로 남해안의 다른 내만해역과 비슷하였다. 같은 자료에서 암모니아는 평균 6.0 μM 였고 질산염은 8.3 μM 였다.

고성만/자란만

고성만은 해역의 지형 및 물리적인 특성면에서 전형적인 폐쇄성 해역이며 자란만은 외해역과의 교환이 활발한 해역이다. 총 유역면적은 748.23 km^2 으로 유역의 총 인구는 21만명이다. 고성 자란만은 유역에 대도시나 공업시설이 위치하고 있지 않다. 오염부하량은 많지 않으나 만이 반 폐쇄성 해역으로 농축산 및 양식업이 집중되어 있어 양식장이나 비점 오염원에 의한 해양오염의 우려가 있다.

최근 COD, SS, T-N등이 다소증가하고 있는 것이 특징이다 (Table 3.5).

Table 3.5. Annual trends of seawater quality in Kosung/Jaran Bay

	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
1990	-	-	-	-	-
1991	8.4	1.2	8.5	0.861	0.001
1992	8.5	1.3	8.1	0.053	0.006
1993	8.3	1.3	4.2	0.857	0.008
1994	9.2	2.1	5.9	1.161	0.008
Mean	8.6	1.5	6.68	0.733	0.006

(Yearbook - Ministry of the Environment, 1995)

해양경찰청 (1995)에 의하면 자란만 중앙부에서 Cu는 평균 $0.34 \mu\text{g/l}$, Pb는 $0.10 \mu\text{g/l}$, Zn은 $6.94 \mu\text{g/l}$, Cr은 $0.10 \mu\text{g/l}$ 로 다른해역에 비해 다소 낮은 편이었다.

강진만

강진만은 진주만에 접해 있고 남쪽으로는 남해군에 인접해 있는 전형적인 폐쇄성 해역이다. 남해군에서 배출되는 오염부하량은 주로 농축산 및 비점오염원에 의한 것이나 해수의 흐름에 의하여 사천시와 하동군의 영향을 받는 진주만의 영향으로 Table 3.6에서 볼 수 있는 바와 같이 그 오염도가 점차 증가하는 추세라고 한다 (박등, 1996).

Table 3.6. Annual trends of seawater quality in Kangjin Bay.

	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)
1990	8.84	1.89	-	0.157	0.018
1991	8.33	1.73	-	0.056	0.025
1992	8.46	2.02	-	0.138	0.023
1993	8.13	1.10	-	0.056	0.009
1994	8.39	1.32	-	0.042	0.008
Mean	8.43	1.61	-	0.089	0.017

(Yearbook - Ministry of the Environment, 1995)

기타해역

한산/거제만의 경우 1990년부터 1994년 까지 국립수산진흥원의 조사에 따르면 용존무기질소는 $0.65 - 4.81 \mu\text{M}$ 범위로 8월이 2월 보다 높으며 인은 $0.07-0.94 \mu\text{M}$ 였다. 근년 지속성 적조의 발생이 빈번하고 많은 수산피해를 받는 곳이다.

해양경찰청 (1995)에 의하면 한산만 (통영해역)의 Cd는 평균 $0.09 \mu\text{g/l}$, Cu는 $0.66 \mu\text{g/l}$, Pb는 $0.07 \mu\text{g/l}$ 정도의 분포를 보였다.

사천만은 1990년부터 1994년까지 DIN은 $0.52-6.50 \mu\text{M}$ 범위이고 인산염은 $0.35-2.53 \mu\text{M}$ 정도였다. 사천만의 경우 유기인계농약은 DDVP가 97년 8월에 0.5 ng/l , IBP가 56.3 ng/l , Diazinon이 5.3 ng/l 정도였다.

여사만은 1990년부터 1994년까지 용존무기질소는 $0.66-3.09 \mu\text{M}$ 인은 $0.24-1.16 \mu\text{M}$ 이었다. 해양경찰청(1995)에 의하면 여자만 중앙부에서 Cd는 평균 $0.09 \mu\text{g/l}$ Cu는 $0.59 \mu\text{g/l}$, Pb는 $0.11 \mu\text{g/l}$, Zn은 $9.06 \mu\text{g/l}$ 로 다른 해역과 비슷하였다.

진해만

진해만은 남북방향의 길이가 약 25km 동서방향의 폭이 약 25km 정도로 매우 복잡한 지형의 형태를 이루고 있는 내만이며 마산만, 행암만, 진동만, 당항만, 원문만, 고현성만등 작은 여러 내만을 모두 포함하는 명칭이다.

진해만의 면적은 가덕수로의 일부를 포함할 경우 637km^2 이며 영향을 주는 육지부의 면적은 1008 km^2 에 달한다. 진해만은 한반도의 내만해역중 가장 많은 연구가 이루어진 곳이다. 진해만의 해수교환은 대부분 가덕 수로를 통해 이루어 지기 때문에 만의 수괴구조는 가덕수로에서 유입되는 해수에 의해 크게 영향을 받는다. 또한 하계에는 마산만 주변하천에서 유출되는 하천수의 유량이 만내의 수괴구조에 상당한 영향을 미치고 있다.

진해만의 해수유동은 주로 조석운동에 의하여 야기되는 조류이며 이러한 해수유동 현상을 규명하기 위한 노력이 수치모델을 사용하여 시도되어 왔다 (환경처, 1991). 외해와의 해수교환은 대부분 가덕 수도를 통하여 이루어 지며 견내량을 통한 해수교환은 거의 무시할 정도라고 한다.

천해전선 (shallow water front)은 조차, 하천유량, 열교환등 기상학적 요인에 따라 다소 차이는 있겠지만 수심경사가 급하고 파라메타 log

(H/U3)의 값이 2.0-2.5 인 가덕수로와 진해만 중앙수로에서 형성된다고 한다(김과 이, 1994). 진해만 용존산소 분포는 천해전선의 형성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되며 저산소 및 무산소 수괴는 해수유동이 약하고 양식장이 밀집해 있는 진해만의 서부해역과 육지에서 오폐수의 유입량이 많은 부도의 북쪽해역에서 나타난다. 김과 이 (1994)는 진해만 저산소수괴의 형성은 오염원, 조차, 기상요인, 생물작용등 여러 가지 요인이 있겠지만 M2조류의 진폭이 약 20cm/sec이하 및 $\log(H/U3)$ 의 값이 약 3.5 이상에서 형성된다고 보고하였다.

진해만에 대해서는 많은 연구가 있었으나 아직까지 뚜렷한 환경개선책이 제시되지 못하고 있는 형편이다 (국립수산진흥원, 1989, 1991 ; 박청길, 1975 ; 박주석 , 1982 ; 해양연구소, 1983, 1988, 1989, 1992 ; 환경처, 1991). 진해만은 지형적 특성으로 인하여 제한된 해수순환과 담수유입에 의해 쉽게 성층이 형성되고 하계에 저층수 퇴적물에서의 유기물 분해가 일어난다. 무산소층이 형성되는 진해만에서는 하계에 질산염의 농도가 0에 가깝다 (한국해양연구소, 1983). 이는 유기물들을 분해시키는 미생물들이 산화를 위해 질산염의 산소를 소비하기 때문에 일어나는 denitrification의 결과이다. 질산염이 거의 소모되면 황산염에서 산소를 소비하는 sulphate reduction이 일어나며 H₂S를 발생시키고 이는 금속과 반응하여 표층퇴적물에 까지 검은 황화합물의 침전이 나타난다.

Yang and Hong (1988)에 의하면 1983년 하계에 진해만 전체 497km² 중 26 km² 가 용존산소 2ml/l 이하의 빈산소 해역으로 나타난바 있다. 본 조사에서 마산만 해역과 진해만 서부해역은 표층퇴적물층의 유기탄소가 25 mg/g dry wt.을 넘으며 이들 물질들은 진해만 서부해역의 경우 양식장의 영향이 클것으로 조사되었다. 이 해역은 해수순환이 잘 되지 않고 저층수에서의 용존산소 소비가 활발할 것으로 보여진다. 이러한 하계의 환원환경에서 암모니아, 인산염등은 낮은 pH, DO조건에서 해저퇴적물로부터 용출된다 (해양연구소, 1983 ; 국립수산진흥원, 1997).

1989년 8월의 조사에서 저층수의 산소소비율을 ETS효소측정을 사용하여 조사한 결과 마산내만에서는 약 1320 ml O₂/m²/day 였다. 1986년의 조사에서 해저퇴적물에 의한 용존산소소비율은 ETS효소 측정에 의하면 약 200ml O₂/m²/day 였다. 성층을 거쳐 표층수에서 저층수로 용존산소가 공급되는 속도와 이러한 용존산소 소비속도를 box model을 통해 해석하면 무산소층의 형성속도를 예측할 수 있다 (Yang, 1992).

진해만에서 1993년 조사된 입자상태의 유기탄소, 질소, 인의 농도는 각각

198-4416 $\mu\text{gC/l}$, 24-792 $\mu\text{gN/l}$, 4.50-69.00 $\mu\text{gP/l}$ 였다 (Lee et al., 1994). 입자유기물농도는 식물성 플랑크톤의 성장과 밀접한 관계에 있는 것으로 보인다. 하계에는 높은 POC/PP PON/PP비율을 보여 과다한 질소계 영양염이 육상으로 부터 공급되어 인이 식물성 플랑크톤의 제한요인으로 작용하는 것 같다.

1989년 8월 Sediment trap에 의한 유기물의 침강을 아미노산을 통하여 분석한 결과에 의하면 내만에서도 해수순환이 약한곳에서는 50% 이상이 해저에 침강되지만 마산수로의 경우 표층수의 흐름이 강하기 때문에 6.8%만이 해저에 침강하는 것으로 보고 되었다 (Yang, 1992).

근래 마산만에서의 수질변화양상을 보면 COD, 총질소등이 계속증가하고 있음을 알 수 있다 (Table 3.7).

1987-1988 기간동안의 용존성, 카드뮴, 구리, 납, 아연의 농도분포범위는 각각 0.012-0.103 $\mu\text{g/l}$, 0.22-1.70 $\mu\text{g/l}$, 0.010-0.237 $\mu\text{g/l}$, 0.12-10.58 $\mu\text{g/l}$ 이었다 (김등, 1994). 카드뮴, 구리, 아연의 농도는 염분과 부의 상관관계를 보이고 있으나 납의 경우는 별 상관성이 없는데 이는 납의 대기를 통한 유입때문이라 생각된다. (Chester and Bradshaw, 1991). 위와 같은 농도는 카드뮴의 경우 북해의 Southern Bight나 샌프란시스코만보다 낮지만 그외 세계 다른 해역 보다 높고 구리는 샌프란시스코만을 제외한 모든 해역보다 높았다. 1991년 동계에 조사한 마산내만의 용존성카드뮴의 농도범위는 0.010-0.028 $\mu\text{g/l}$ (평균 0.018 $\mu\text{g/l}$) 였으며 (한국해양연구소, 1992) 용존성 구리의 농도범위는 0.40-4.87 $\mu\text{g/l}$ (평균 1.02 $\mu\text{g/l}$) 였고 용존성 납의 농도범위는 0.008 - 0.041 $\mu\text{g/l}$ (평균 0.019 $\mu\text{g/l}$) 였다. 용존성 아연은 0.49-78.78 $\mu\text{g/l}$ (평균 6.50 $\mu\text{g/l}$) 염분과 부의 상관관계를 보여 육상으로 부터의 유입효과라 보여진다. 해양에서 아연의 주공급원은 하천이라고 알려져 있다 (Duinker, 1982).

Table 3.7. Annual trends of seawater quality in Masan Bay.

	DO	COD	SS	T-N	T-P
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1990	8.7	4.1	7.3	1.355	0.016
1991	6.8	4.3	7.8	1.117	0.012
1992	9.4	3.1	12.2	1.071	0.024
1993	9.4	4.0	7.4	1.127	0.049
1994	10.0	5.6	7.6	1.569	0.036
Mean	8.9	4.2	8.5	1.248	0.027

(Yearbook - Ministry of the Environment, 1995)

진해만의 1995년 1월 조사결과에 의하면 해수의 경우 입자성 중금속이 용존성 중금속보다 훨씬 높은 값을 나타냈다(한국해양연구소, 1996). 하천을 통해 연안으로 유입되는 금속들은 대부분 부유물질에 흡착된채로 들어오고 또 해수중에서도 부유물질의 양이 많으면 그 입자에 흡착되어 존재하는 것을 알 수 있다.

1995년 생물체중의 중금속 농도는 진주담치중의 구리와 아연의 농도가 각각 3.8 - 7.6ppm과 73-182ppm으로 나타났다 (한국해양연구소, 1996). 굴중에서는 구리와 아연의 전체농도범위는 건중량으로 구리가 68-775ppm 아연이 758-2968ppm이었다. 진해만 해저퇴적물의 중금속은 1995년조사의 경우 (한국해양연구소, 1996) 카드뮴은 전체농도범위가 0.13-3.05ppm으로 마산만이 진해만내의 다른 해역보다 높게 나타났다. 크롬은 진해만에서 37-204ppm이며 코발트는 8-15ppm, 구리는 전체농도범위가 25-151ppm 이었다.

진해만은 육상, 해상기인의 각종 유기오염물질도 상당히 많은데 유기주석화합물에 대한 조사에서는 표층해수로부터도 유기주석이 광범위하게 검출되었으며, 항구, 어항, 조선소 주변등 선박활동이 활발한 곳에서 높은 농도를 보였다. 특히 이들해역에서는 예외없이 대수리, 고동등 복족류의 임포섹스현상이 나타났다 (한국해양연구소, 1996). 당항만의 경우 유기인계농약은 DDVP가 97년 8월에 평균 6.6 ng/l, IBP가 118.1 ng/l, Diazinon이 5.4 ng/l정도였다.

진해만의 영양염농도는 시간, 공간에 따라 큰 변화를 보인다. 마산내만에서는 질산염이 $60\mu\text{M}$ 을 넘는 경우도 흔하며 동계에는 수직 혼합에 의해 질산염농도가 수층에 걸쳐 균일하나 하계에 수온약층이 강하고 저층수의 유기물분해가 활발하면 질산염의 농도가 저층으로 가며 감소하기도한다 (해양연구소, 1983). 암모니아의 경우도 마산내만에서는 $50\mu\text{M}$ 을 넘는 경우가 있다. 인산염은 많을 경우 $10\mu\text{M}$ 을 나타낸적도 있으나 마산만에서 대체로 $2\mu\text{M}$ 내외이다. 전체적으로 마산만에서는 질소원의 공급이 매우 많다고 할 수 있으며 여러 질소화합물형태로 활발한 변환작용이 나타난다. 인산염은 흡착되어 퇴적물에 축적되기도 하는데 빈산소환경에서 퇴적물로부터의 용출에 의해 하계에 저층수에서의 증가현상이 뚜렷이 나타난다. 진해만 서부해역에서는 질산염의 농도가 매우 낮아 대체로 $3\mu\text{M}$ 이하이고 암모니아의 농도도 매우 낮다. 이처럼 낮은 농도에서 심한 적조가 발생하는 이유에 대해서는 충분한 연구가 되어 있지 못하다.

제 3 절 중금속 원소의 거동

1997년 5월 21-22일과 8월 21-22일에 당항만, 진동만과 사천만에 대한 중금속농도의 분포를 조사하였다. 시료채취 정점은 Fig. 3.2 및 3.3에 표시하였다.

중금속 분석용 해수 시료는 미리 산으로 세척된 11들이 고밀도 폴리에틸렌 병을 약 6m길이 PVC 막대에 플라스틱관(Tygon Tubing)을 사용하여 매달아 약 1~2노트로 항해하는 동안 병입구를 수면보다 20~30cm 깊이 넣어 채취하였다 (Boyle et al., 1981). 그러나 PVC 막대를 이용한 채취가 불가능한 경우에는 폴리카보네이트 Holder에 시수병을 플라스틱관으로 고정시켜 선수에서 해수의 흐름을 파악한 후 오염이 되지 않게 채취하였다. 채취된 시료는 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 포장하였으며, 시료는 Clean Bench내에서 산으로 세척된 0.4 μ m Nuclepore filter로 여과하여 여과액 500ml에 증류된 염산(6N) 2ml를 가한 다음 분석 때까지 상온에서 보관하였다. 용존성 중금속 분석은 여과된 시료를 APDC-DDTC-Freon 용매추출법으로 50배 농축한 후 비블꽃 원자 흡수 분광기를 이용하여 측정하였다 (Danielsson et al., 1978). 각 원소의 측정 흡수파장은 Cd 228.8nm, Cu 324.8nm, Pb 283.3nm, Zn 213.9nm였다.

당항만은 고성군의 농업배수 및 생활하수의 영향을 받으며 긴 내만으로 좁은 입구를 통해 진해만서부 해역과 연결된다. 당항만의 조사정점은 St.9가 가장 안쪽으로 육상유입 오염원의 영향을 받는 곳이고 St. 1은 만의 입구이다. 당항만의 97년 5월 조사에 의하면 Cd는 0.013-0.025 μ g/l 로 St. 7, 8에서 상대적으로 높았고 Cu는 0.45-0.63 μ g/l로 지리적인 농도분포의 차이가 크지 않았으나 St. 7, 8등 중간에서 육상유입을 받는 곳이 높았다. Pb의 경우 가장 높은 농도는 St.7의 0.028 μ g/l 이었고 Zn은 St. 4에서 0.86 μ g/l로 가장 높았다. Ni는 0.38-0.49 μ g/l로 지리적인 분포의 차이가 크지 않았다. Co는 St. 7부터 안쪽으로 높으며 St. 9에서 0.160 μ g/l로 최대치를 보였다 (Table 3.8).

Table 3.8. Heavy metal contents in the surface waters of Danghang Bay in May 1997.

St	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
1	1.03	0.015	0.45	0.013	0.52	0.4	0.037
2	0.56	0.016	0.48	0.011	0.23	0.4	0.04
3	0.62	0.014	0.58	0.019	0.13	0.38	0.041
4	1.49	0.020	0.59	0.007	0.86	0.45	0.052
5	0.59	0.018	0.58	0.011	0.44	0.47	0.057
6		0.020	0.56	0.014	0.12	0.42	0.054
7	1.11	0.025	0.63	0.028	0.19	0.49	0.111
8	0.57	0.022	0.57	0.013	0.25	0.44	0.127
9	1.02	0.020	0.6	0.016	0.32	0.47	0.160
10	0.7	0.013	0.45	0.011	0.25	0.38	0.0410

진동만의 경우 97년 5월 조사에서 Fe는 0.60-2.64 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 분포를 보였고 Cd는 0.011-0.017 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 분포를 보였다. Cu는 0.42-0.59 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였으며 Pb는 0.056-0.241 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였다. St. 15, 16은 진동천, 태봉천의 하구와 가까운 곳으로 육상기인 오염물질의 유입이 예상되나 용존성 중금속농도에 영향을 주지는 않았고 Fe와 Co의 경우만 다른 정점에서보다 높았다 (Table 3.9).

Table 3.9. Heavy metal contents in the surface waters of Chindong Bay in May 1997.

St	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
11	0.96	0.017	0.52	0.184	0.80	0.47	0.045
12	0.6	0.012	0.43	0.091	0.53	0.35	0.033
13	1.15	0.012	0.42	0.112	0.47	0.36	0.036
14	1.11	0.016	0.54	0.241	0.82	0.39	0.043
15	1.39	0.014	0.59	0.063	0.73	0.38	0.070
16	2.64	0.011	0.44	0.056	0.55	0.38	0.083

사천만의 경우 1997년 5월에 Cd는 0.013-0.016 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 정점간 농도의 차이가 크지 않았고 Cu는 0.51-0.63 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 만 안쪽이 다소 높았으나 큰 차이는 아니었다. Zn은 만의 가장 안쪽인 St. 4에서 0.30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이었고 Co는

만 안쪽의 St. 4에서 $0.071 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 전체적으로 보아 사천만은 육상기인물질이 만 입구로 가며 점차 희석되어가는 과정을 보여주었다 (Table 3.10).

1997년 8월 당항만의 경우 Cd 은 $0.010\text{-}0.017 \mu\text{g/l}$ 로 St. 5에서 가장 높았고 Cu도 이 정점에서 $0.94 \mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 전체적으로 보아 정점간의 지리적 차이가 5월에 비해 적었고 Zn은 $0.23\text{-}0.89 \mu\text{g/l}$ 의 분포로 5월보다 높았으나 다른 중금속의 경우는 5월과 농도가 비슷하였다 (Table 3.11).

진동만에서는 1997년 8월에 Cu는 $0.74\text{-}1.03 \mu\text{g/l}$ 로 5월 보다 훨씬 높은 값을 나타냈다. Zn은 $0.15\text{-}0.47 \mu\text{g/l}$ 로 5월보다 다소 낮았으며 그외의 중금속은 5월과 농도가 비슷하였다 (Table 3.12).

Table 3.10. Heavy metal contents in the surface waters of Sachon Bay in May 1997.

St.	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
1	0.78	0.013	0.54	0.007	0.32	0.3	0.057
2	0.59	0.013	0.57	0.011	0.17	0.35	0.051
3	0.48	0.016	0.63	0.01	0.26	0.37	0.057
4	0.5	0.014	0.59	0.011	0.3	0.39	0.071
5	0.75	0.015	0.54	0.01	0.17	0.28	0.042
6	0.37	0.013	0.51	0.009	0.09	0.27	0.027

Table 3.11. Heavy metal contents in the surface waters of Danghang Bay in August 1997.

St.	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
1	0.94	0.013	0.73	0.014	0.74	0.36	0.044
2	1.19	0.012	0.67	0.012	0.6	0.36	0.039
3	0.84	0.012	0.59	0.006	0.48	0.32	0.016
4	0.63	0.01	0.61	0.006	0.23	0.33	0.028
5	0.4	0.017	0.94	0.016	0.4	0.49	0.029
6	0.41	0.01	0.59	0.006	0.24	0.3	0.037
7	0.5	0.01	0.63	0.01	0.25	0.31	0.037
8	0.82	0.011	0.65	0.033	0.29	0.33	0.051
9	0.47	0.01	0.63	0.007	0.27	0.3	0.047
10	1.91	0.014	0.73	0.028	0.89	0.38	0.047

1997년 8월에 사천만에서는 Cd이 0.015-0.031 $\mu\text{g/l}$ 로 만의 가장 안쪽인 St. 4와 하천의 유입을 받는 St. 1에서 높았다. Cu의 경우는 만 안쪽의 St. 4에서 0.94 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높고 바깥쪽으로 가며 점차 희석되어 간다고 보여진다. Zn의 경우도 만안쪽이 0.50 $\mu\text{g/l}$ 으로 가장 높았다. Pb의 경우는 분포경향이 뚜렷하지 않았고 Ni은 St. 4에서 0.48 $\mu\text{g/l}$ 이었고 바깥쪽으로 가며 점차 감소한다 (Table 3.13).

1997년 8월 광양만에서 Pb는 0.028 - 0.098 $\mu\text{g/l}$ 의 분포를 보였으며 석유화학공단 옆의 St. 6에서 가장 높았다. Cu는 0.43 - 0.57 $\mu\text{g/l}$ 로 정점간 농도의 차이가 크지 않았으며 St. 4, 5, 6, 10 등 묘도 남쪽의 정점들에서 0.5 이상이였다. Zn은 0.24 - 0.58 $\mu\text{g/l}$ 로 St. 6, 10 에서 다른 곳보다 높았다. Cd는 0.010 - 0.016 $\mu\text{g/l}$ 로 St. 6 에서 높았고 Ni는 0.26 - 0.41 $\mu\text{g/l}$ 로 역시 St. 6 에서 가장 높았다. 이상의 중금속들은 여천공단에 가까운 정점에서 상대적으로 높은 특징을 보였다. 그러나 Co는 섬진강 하구인 St. 14, 15 에서 각각 0.082, 0.092 $\mu\text{g/l}$ 로 높은 값이 나타나 하천에 의한 유입이 많음을 보여주고 Fe는 0.12 - 4.81 $\mu\text{g/l}$ 의 분포범위를 보였는데 제철소 주변이 상대적으로 높았다.

Table 3.12. Heavy metal contents in the surface waters of Chindong Bay in August 1997.

St.	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
11	1.18	0.011	0.80	0.015	0.47	0.41	0.063
12	0.83	0.009	0.74	0.02	0.37	0.35	0.050
13	0.87	0.008	0.79	0.017	0.15	0.34	0.047
14	0.88	0.010	0.91	0.019	0.29	0.35	0.071
15	0.91	0.010	1.03	0.028	0.42	0.39	0.079
16	1.35	0.009	0.86	0.013	0.32	0.38	0.070

Table 3.13. Heavy metal contents in the surface waters of Sachon Bay in August 1997.

St.	Fe	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
1	0.2	0.031	0.50	0.022	0.23	0.25	0.032
2	0.17	0.012	0.10	0.002	0.19	0.25	0.034
3	0.25	0.014	0.53	0.027	0.27	0.29	0.04
4	0.18	0.025	0.94	0.019	0.50	0.48	0.035
5	0.20	0.015	0.52	0.017	0.33	0.28	0.022
6	0.45	0.015	0.5	0.011	0.22	0.25	0.024

Table 3.14. Heavy metal contents in the surface waters of Kwangyang Bay in August 1997($\mu\text{g/l}$)

St.	Pb	Cu	Zn	Cd	Co	Ni	Fe
1	0.028	0.44	0.25	0.013	0.020	0.28	0.30
2	0.031	0.41	0.24	0.013	0.020	0.26	0.12
3	0.080	0.45	0.31	0.014	0.023	0.26	0.62
4	0.028	0.52	0.35	0.011	0.035	0.33	0.86
5	0.036	0.51	0.41	0.013	0.023	0.32	0.92
6	0.098	0.55	0.58	0.016	0.022	0.41	0.31
7	0.037	0.46	0.34	0.014	0.040	0.33	0.95
10	0.067	0.57	0.65	0.015	0.017	0.39	4.81
11	0.061	0.46	0.35	0.012	0.030	0.33	0.96
12	0.039	0.48	0.46	0.011	0.031	0.32	1.16
13	0.029	0.43	0.28	0.010	0.027	0.33	0.45
14	0.034	0.44	0.33	0.012	0.082	0.26	0.67
15	0.024	0.45	0.27	0.011	0.092	0.30	0.48

제 4 절 특성별 연구해역 설정

연구해역은 진해만의 경우 넓은 해역이 seasonally stratified estuary의 형태로 하계에 강한 성층이 형성되며 대표적인 혐기성내만이기 때문에 매우 중요하다고 본다. 진해만의 서부해역은 해수의 순환이 약하고 많은 수산양식시설이 밀집되어 있는 곳으로 해수-퇴적물간 물질교환이 활발히 일어나고 하계에 성층형성과 함께 저층수에서는 유기물의 분해로 용존산소의 소비율이 높아진다. 진해만의 경우 단기적인 기상변화 및 외부에서 작용하는 물리적 에너지의 변화가 물질순환에 큰 영향을 준다. 생물의 생산력이 높고 유기물의 유입량 및 저장량이 많은 진해만은 남해의 ocean margin과정을 이해하는데 매우 중요한 곳이라고 본다. 진해만은 가덕수로를 통하여 남해와의 해수교환이 이루어지기 때문에 진해만-가덕수로-남해외해역을 연결하여 물질교환에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

진해만에 대해서는 지금까지의 기존조사가 많이 되어 있어 주로 문헌조사에 의해 물질플럭스를 연구하는 것이 좋을 것이며 새로 조사가 필요한 부분에 대해서만 현장조사를 행할 필요가 있다.

광양만은 permanently well-mixed estuary로서의 연구가치가 높다고 본다. 광양만으로는 섬진강, 수어천에 의한 육지로 부터의 물질유입이 있으며 중급속의 경우 이온강도가 높은 해수환경에서 부유물입자에 흡착되어 퇴적되거나 외해역으로 운송되어진다. 한편 외해역의 퇴적물들이 저층을 따라 광양만 내부에 유입되기도 한다. 광양만은 여수해만을 통해 남해외해역과 연결되며 물질의 교환에 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 가막만은 도서들 사이의 여러 좁은 수로를 통해 외해역과 연결되며 생물생산력이 높아 유기물이 외해역으로 공급될 수 있는 곳이다. 광양/가막만은 기존조사가 충분하지 못했고 그동안 매립, 준설등 인위적변화가 계속되어온 곳으로 향후 실제조사가 필요하며 앞으로 연구시범해역으로서의 가치가 크다고 볼 수 있다.

중점연구해역은 이처럼 진해만-가덕수로-남해와 광양만-여수해만-남해로 설정하며 득량만, 강진만, 도암만, 고성/자란만등 해역은 기존문헌조사에 의존해 계속적으로 관찰할 필요가 있다고 본다.

제 5 절 물질교환 모델 가설 도출

IGBP의 한 중점사업인 Land Ocean Interaction in the Coastal Zone (LOICZ)에서는 연안해역과 외해역의 물질교환연구에 대해 모델링을 통한 접근방법을 효과적으로 적용하고 있다. 육지-해양의 상호작용은 하구에서의 담수와의 혼합, 하천에 의한 부유물질 및 각종 용존성물질 유입, 육상기인 물질의 하구역내 순환작용, 육지로 부터 수송된 물질의 하구내 저장, 퇴적물의 해안을 따른 이동, 퇴적 또는 유실등 여러 작용을 들 수 있다. 물질의 이동 및 생태계에 대한 단순한 모델은 특정한 생지화학적 과정과 퇴적물의 응집 및 물질 흡착에 의한 생물·화학적 영향을 진단하기 위해 개발되어 왔다. 앞으로 물질교환모델은 적절한 시·공간규모를 대상으로 개발되어야 하고 물리적 작용, 생물의 대응, 상호작용등 여러 측면이 포괄적으로 고려되어 개발되어야 한다.

유럽의 북해에서는 ERSEM(European Regional Seas Ecosystem Model)을 개발하고 있는데 생태계 시뮬레이션 모델을 개발함으로써 연안생태계 역학을 좀 더 잘 이해하기 위한 것으로 북해전체를 대상으로 한다. 이는 과거 연안해역의 모델에서 발달된 것으로 SESAME라는 S/W package로 개발중인데 북해를 10개의 박스로 나누고 해수순환은 3차원으로 고려하고 질소, 인, 탄소가 중요한 변수들이며 경계면에서의 교환을 중점적으로 고려하고 있다. 이모델은 해안 가까운 곳에서는 해상도를 더 좋게 하여 해양으로의 물질플럭스 추정을 가능하게 한다.

플럭스에 영향을 주는 인자들로서 이류와 확산, 기상변화, 전선과 용승등 물리적 현상을 고려한다. 중금속 등의 원소가 해수로 들어오며 일어나는 흡착현상, 용존성유기탄소의 역할등도 고려 대상이다. ERSEM은 온대성 대륙붕 해역, 연안해역 등에 적용될 수 있도록한 모델링으로 북해전체에 적용되지만 더 작은 grid로 북해의 세부구역에 대한 자세한 후속연구들이 뒤따를 예정이다.

동경만과 태평양의 물질교환에 대한 연구는 물리적 외부인자의 변화나 경계조건의 변화에 따른 물질교환예측을 위해 세 단계로 구성되어 있다 (LOICZ, 1994). 이는 담수, 영양염, 유기탄소, 미량금속에 대한 물질수지 모델들 (budget models), 그리고 질소의 수지와 퇴적현상등 물질교환을 지배하는 시스템모델, 물질운반의 장래변화를 예측할 수 있는 예측모델 (prognostic model)로 구성되어 있다. 동경만의 경우 물질수지모델은 영양염, 유기탄소, 중금속, 담수유입량등 물질의 유입, 유출을 검토해 모델을

구성하였다. 이에는 유입, 유출량과 현존량을 기준으로한 N, P의 체류시간 산정, 퇴적물과 표층퇴적물의 질소, 인의 함량으로 계산하는 burial flux 등이 포함되어있다. 동경만의 경우 유기탄소의 만내퇴적과 만외로의 유출량은 하천유입에 의한 공급량보다 많은데 이 경우 무기탄소가 대기중으로 부터 공급되어야 하고 생물생산이 이를 뒷받침해야 한다. 물질교환을 지배하는 시스템모델은 물질의 운반을 지배하는 현재상태를 파악함으로써 장래의 변화를 예측하기 위한것이며 물질운송에 관한 물리-화학-생물학적 과정을 고려하여야 한다. 물질운반의 장래변화를 예측할 수 있는 예측모델의 구성은 위에 열거한 사항의 종합이어야 한다.

Yanagi의 결론은 external forcing과 경계조건의 변화에 따른 물질교환 변화예측을 위한 모델 구성을 위해 물리 화학 생물학 분야의 협조이다.

동경만의 경우 저층의 흐름, 중층에서 밖으로 향하는 흐름등이 있다.

영양염, 유기물, 중금속의 육상으로부터의 유입은 연안해역에 대한 인간의 개입중 가장 큰 것이며 이러한 과정을 평가하기 위해 자연계로의 물질유입, 그 안에서의 변화, 그리고 밖으로의 이송에 대해 적절한 모델이 구성되어야 한다. 물질교환모델에서 어떠한 사항이 고려되고 검증되어야 하는가를 일차적으로 다음과 같이 정리하였다.

- 부유물질에 흡착되어 외해역으로 이동하는 물질의 농도는 얼마인가?
(중금속원소 중심)

하천에 의해 유입된 용존성 중금속은 내만해역에서 부유입자에 많은 양이 흡착되어 부유상태로 존재하게 된다. 부유물질은 내만에 퇴적되기도 하지만 외해역과의 해수교환에 의해 내만밖으로 운송되어진다. 따라서 내만해역-해양의 물질교환모델에서는 부유물질에 흡착되어 외해역으로 이동하는 물질의 농도가 정량적으로 파악될 수 있어야 한다.

- 이류, 확산에 의해 교환되는 용존성 유기물의 총량은 얼마인가?

해양에서 용존상태로 존재하는 유기물의 양은 입자상태의 유기물보다 훨씬 많은 량이다. 물론 이들 용존성 유기물중에는 생물체에 의해 흡수되거나 자연분해되는 반응성이 약한 것이 많지만 해양에서의 전체적인 물질순환과정에서 보면 매우 중요하다.

- Net flux와 Gross flux의 차이를 구분할 수 있는가?

Net, Gross Flux는 해양-대기, 해양-해저퇴적물등 경계면이 명확할 때는

구별하기 쉽다. 그러나 경계면이 명확하지 않으면 구분하기 어려우며 어떻게 직접측정에 의한 flux를 물질균형과 관련시킬수 있는가의 문제를 검토해야한다.

- 혐기성 내만환경에서 생성된 황화물이 물질수지에 미치는 영향은?

용존산소가 부족한 내만의 환원환경에서 생성되는 황화물이 얼마나 내만해역의 물질수지에 영향을 주며 남해외해역과의 물질교환에서 차지할 수 있는 중요성은 어떠한가를 검증해야 한다.

- 남해안을 따라 벨트형태로 발생하는 적조는 물질교환에 어떠한 역할을 할 것인가?

최근 남해안의 적조발생은 내만과 남해외해역의 경계면을 따라 나타나고 있어 육상유입 또는 대기 유입에 의한 무기영양염의 흡수, 영양염 및 탄소의 재순환, 저층 무산소수피의 형성등 여러 가지 영향을 미치고 물질수지에 변화를 주게된다. 이에따라 적조에 의한 유기물 생성이 외해역과의 물질교환에서 어떠한 역할을 할 것인가를 검토하여야 한다. 그리고 적조생물의 휴면포자에 대한 사항 등도 가설이 세워지고 검증되어야 한다.

- 단기 기상현상에 따른 물리적에너지 변화가 물질교환에 미치는 영향은?

태풍 등에 의한 하계의 상하층 혼합작용은 퇴적물층의 영양염과 식물성플랑크톤의 증식촉진인자를 표층수에 공급시켜 적조를 유발할 수 있다. 또한 표층수온이 많이 상승하고 수층이 안정된때에도 일차생산력은 높아지고 유기물의 합성, 무기영양염의 흡수, 재순환 등의 작용이 활발해진다. 그 외에도 전선형성 등 외부의 물리적에너지에 의해 진해만의 물질균형은 매년 크게 달라질 수 있다고 본다.

- 내만과의 경계면을 통해 공급되는 용존성 무기질소는 전체 순환량의 몇 % 인가?

내만해역에서의 영양염변화는 일반적으로 식물성플랑크톤에 의한 섭취 + 식물성플랑크톤의 호흡 + 용존태 유기물의 무기화 + 입자태 유기물의 분해 + 계외로 부터의 공급으로 결정된다. 여기에 강수등 대기에 의한 영양염 유입량을 감안해야하고 하계에 빈산소 수피가 형성되는 혐기성내만에서의 영양염 수지가 고려되어야 한다.

Reference

- 건설부, 1980. 수문조사연보.
- 공영세, 이병걸, 1994. 득량만의 퇴적물 및 부유물 특성. 한국해양학회지, 29: 269-277.
- 국립수산진흥원, 1989. 한국연안어장 보전을 위한 환경오염조사연구. 제84호 사업보고, 347pp.
- 국립수산진흥원, 1991. 연안양식어장 환경용량 산정에 관한 연구. 과기처 특정연구보고, 139pp.
- 국립수산진흥원, 1997. 한국연안의 적조.
- 박주석, 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화. 국립수산진흥원 연구보고, 28: 55-88.
- 김경태, 홍기훈, 이수형, 이동수, 김석현, 김은수, 1994. 진해만 표층해수층의 중금속 농도분포. 해양연구, 16(1): 19-27.
- 김차겸, 이필용, 1994. 진해만의 수괴구조와 용존산소 분포. 한국수산학회지, 27: 572-582.
- 박원규, 남영숙, 김성준, 1996. 효과적인 특별관리해역지정 및 관리방안. 한국환경기술개발원, 238pp.
- 박용안, 이창복, 최진혁, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, 19: 82-88.
- 박청길, 1975. 진해만 해수의 부영양화와 클로로필 분포. 한국수산학회지, 8: 121-126.
- 신현출, 고철환, 1980. 광양만 다모류 군집의 시공간적 변화. 한국해양학회지, 25: 205-216.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995. 득량만표층수층 영양염류의 시공간적 분포특성 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한국수산학회지, 28: 475-488.
- 장정해, 이치원, 박관순, 김원식, 신원철, 1980. 득량만 일대의 제4기 해저자원 조사연구. 자원개발연구소 조사연구보고서, 9: 35-63.
- 최진우, 1984. 광양만의 다모류군집에 관한 연구. 서울대학교 대학원 이학석사 학위논문.
- 포항종합제철주식회사, 1988. 종합제철소 부지조성 환경영향 평가.
- 한국해양연구소, 1996. 유류 및 유독물질 오염이 수산자원에 미치는 영향에

- 관한 연구 (I, II). 한국해양연구소 보고서, BSPN 00324-983-4.
- 한국해양연구소, 1992. 연안오염의 진행과정 및 변화예측 연구 해양연구소 보고서. BSPG 0150-466-4.
- 해양경찰청, 1995. 시험연구보. 제8권 281pp.
- 해양연구소, 1990. 연안환경보전기술개발연구. 해양연구소 보고서, BSPG 00112-315-4.
- 해양연구소, 1989. 연안환경보전기술개발연구. 해양연구소 보고서, BSPG 00083-242-4.
- 해양연구소, 1988. 연안환경보전기술개발연구. 해양연구소 보고서, BSPG 00057-148-4.
- 현대에너지주식회사, 1997. 현대울촌LNG복합화력발전사업 환경영향평가서.
- 해양연구소, 1983. 적조 및 오염모니터링연구. 해양연구소보고서, BSPE 00048-80-7, 222pp.
- 현대에너지주식회사, 1997. 현대 울촌 LNG복합화력발전사업 환경영향평가서.
- 환경처, 1991. 진해만일원 오염실태 조사보고서. 502pp.
- Boyle, E.A., Husted, S.S., Jones, S.P., 1981. On the sistribution of copper, nickel and cadmium in the surface waters of the North Atlantic and North Pacific ocean. *J. Geophys. Res.*, 86: 8048-8066.
- Chester, R. and Bradshaw, G.F., 1991. Source control on the distribution of particular trace metals in the North Sea atmosphere. *Mar. Pollut. Bull.*, 22(1): 30-36.
- Danielsson, L.G. Magnusson, B. and Westerlund S., 1978. An improved metal extraction procedure for the determination of trace metal in sea water by atomic absorption spectrophotometry with electro-thermal atomization. *Anal. Chim. Acta.*, 98: 47-57.
- Duinker, J.C. and Nolting, R.F., 1982. Dissolved copper, Zinc and Cadmium in the Southern Bight of the North Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 13: 93-96.
- Hong, G.H., Yang, D.B. and K.W. Lee., 1988. Nutrients and trace metals in permanently well-mixed coastal waters of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 23(4): 159-168.
- Hong, H.H. Yang, D.B. Lee, K.W., 1988. Nutrients and trace metals in

- permanently well-mixed coastal waters of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23: 159-168.
- IGBP, 1990. A study of Global change, The initial core projects IGBP Report No 12.
- Kang, H.J. and Chough, S.K., 1982. Gamagyang Bay, southern coast of Korea : sedimentation on a tide-dominated rocky embayment. *Mar. Geol.*, 48: 197-214.
- Kim D.C. and Kang, H.J., 1991. Suspended sediment budget in Gwangyang Bay through the Yeosu Sound. *Bull Korean Fish. Soc.*, 24(2): 31-38.
- Kim, S.H., Song, C.B., Kahng, S.H. Yang, D.B. and Hong, J.S., 1988 The distribution of nutrients at the cultivation ground of Laver in Kwangyang Bay, 1986. *Ocean Research*, 10: 1-8.
- Lee B.G., 1994. A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical models in summer. Thesis Nat. Fish. Univ. Pusan. 145 pp.
- Lee, H.J. and Chough, S.K., 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 87: 195-205.
- Lee P.Y. Kang, C.K. Park, J.S. and Park J.S., 1994. Annual change and C:N:P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay Korea. *J. Kor. Soc. Ocenogr.*, 29: 107-118.
- Lee, K.W. H.S. Kwak, D.B. Yang and E.S. Kim., 1981. Seawater quality near four industrial-complex areas in Korea. *Bull., KORDI* 3: 75-86.
- LOICZ, 1994. Report of the Workshop Focus 1 : LOICZ Modelling. LOICZ Meeting Report No. 5.
- Officer, C.B., Biggs, R. B., Taft, J.L., Cronin, L.E., Tyler, M.A. and Boynton, W.R., 1984. Chesapeake Bay anoxia : origin, development, and significance. *Science*, 223: 22-27.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea; onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, 83: 273-284.
- Yang, D.B. and Hong, J.S., 1988. On the biochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983.

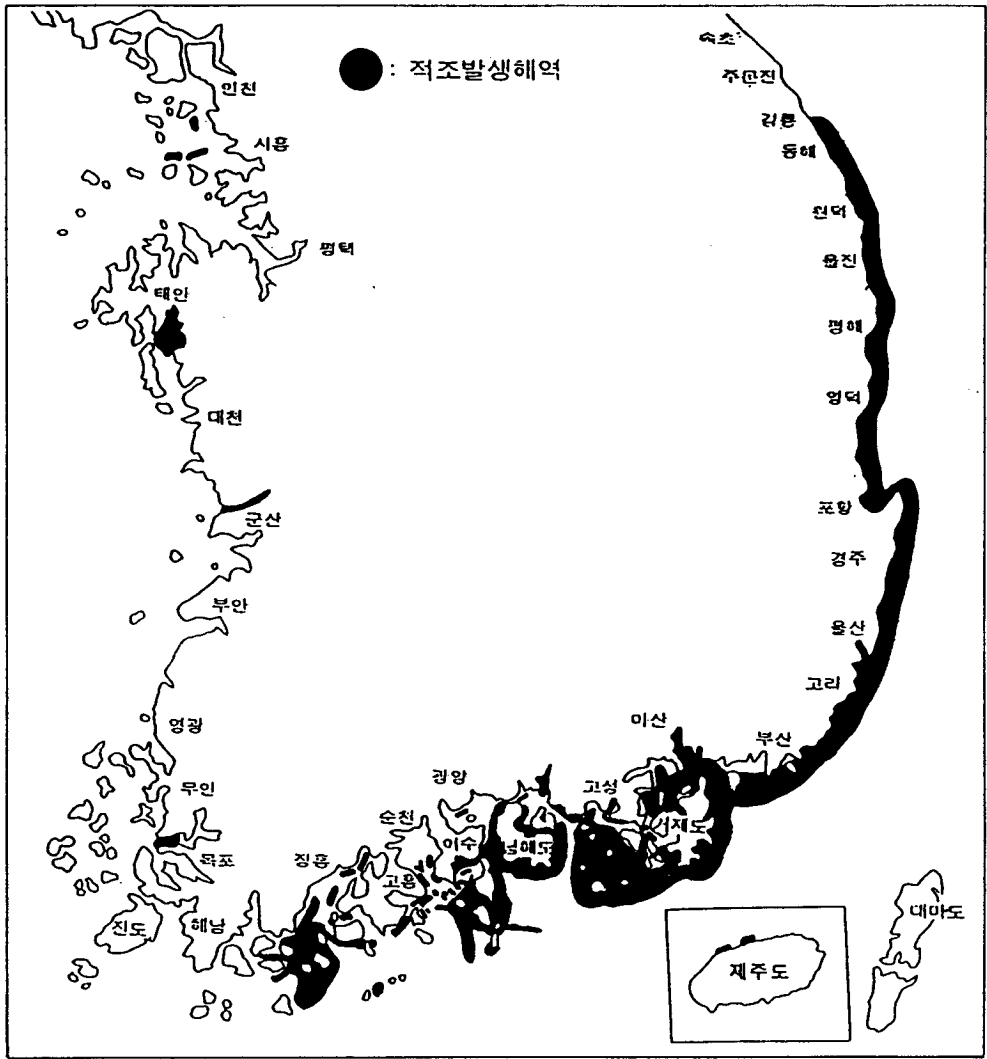


Fig. 3.1. Occurrences of red tide blooms in 1995.

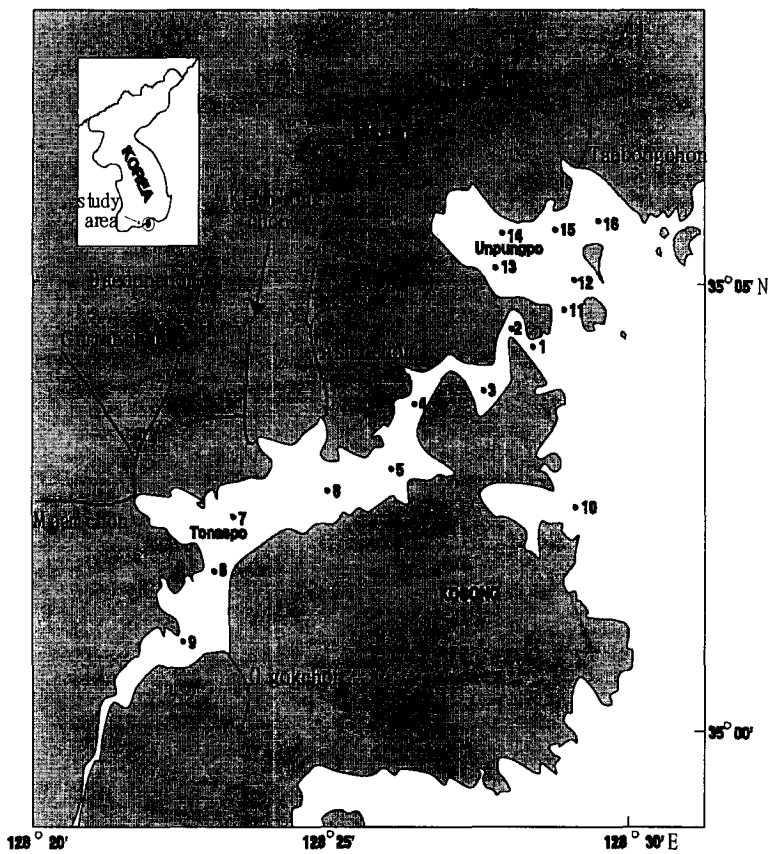


Fig. 3.2. Sampling stations in Danghang/ Jindong Bay.

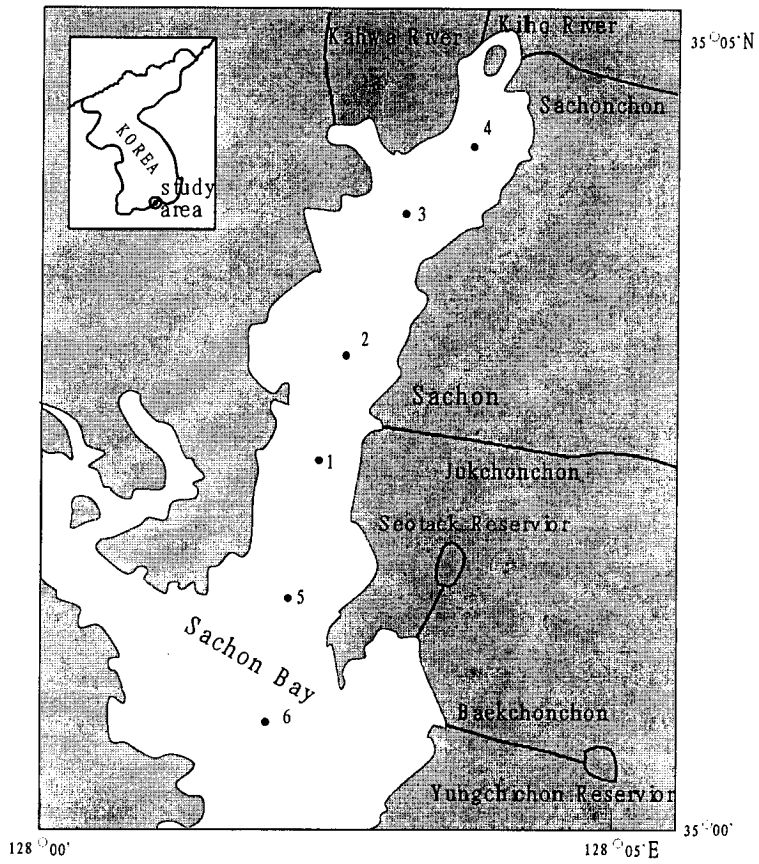


Fig. 3.3. Sampling stations in Sachon Bay.

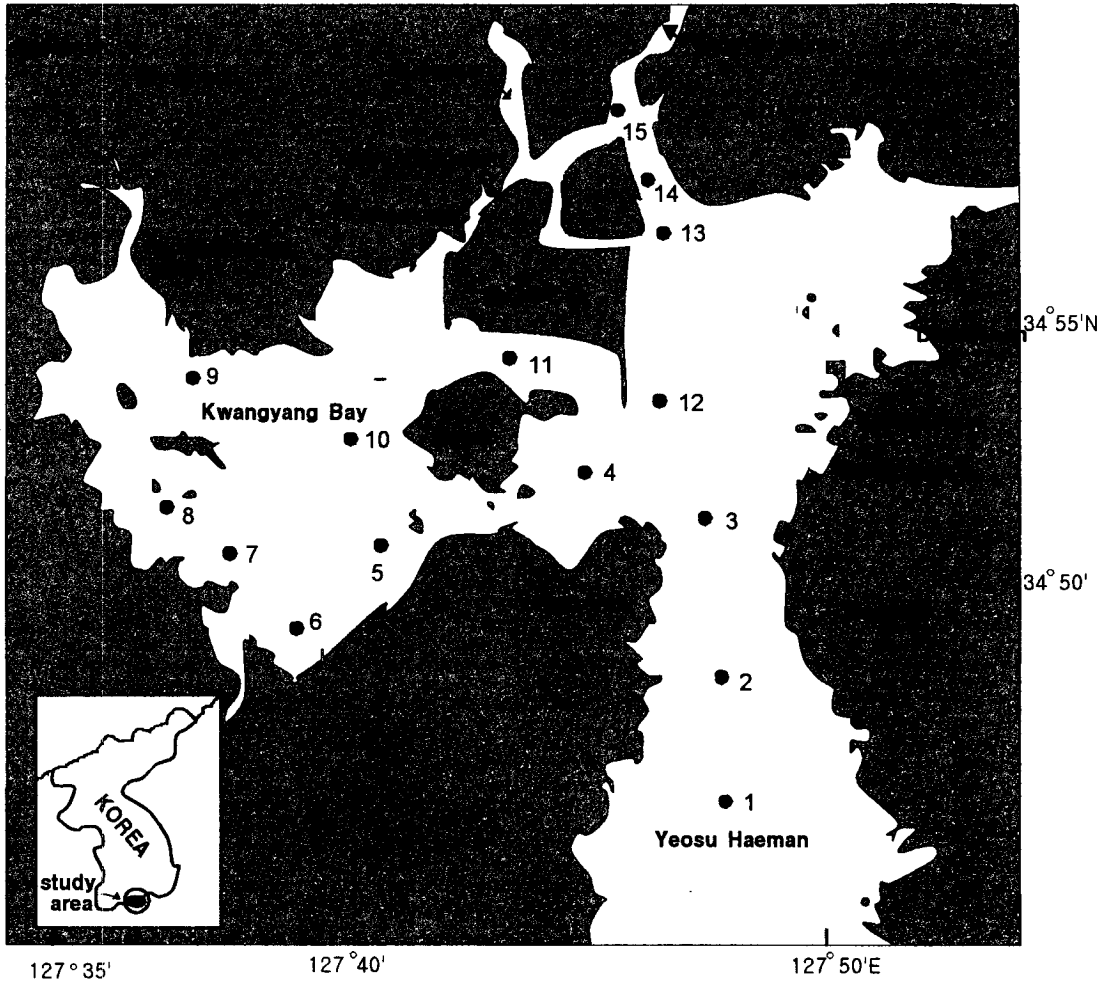


Fig. 3.4. Sampling station in Kwangyang Bay.

제 4 장

대륙붕 화학물질 순환 및 수지

제 4 장 대륙붕 화학물질 순환 및 수지

제 1 절 서론

제주도 이북의 남해 대륙붕 해역은 황해와 동중국해수가 제주해협을 거쳐 동해로 연결되는 길목에 위치한다. 따라서 대마난류, 한국연안수 및 황해 저층냉수등 다양한 수괴들이 존재하여 해양화학적 특성이 매우 독특하다. 또한 리아스식 해안선과 수많은 도서가 존재하여 양식어장 및 다양한 종류의 생물자원이 서식하는 천혜의 어장이다. 해안일대는 대규모의 항만과 임해공업단지등이 밀집되어 하천수로 부터 많은 양의 영양염류를 포함한 화학물질들이 방출된다.

남해로 들어오는 대표적인 해류는 황해의 연안을 따라 제주해협으로 들어오는 서한연안류 (West Korea Coastal Current)와 동중국해로부터 유입되는 대마난류, 즉 2개의 해류축을 가지는 제주한류와 제주난류로 구성되어 있고 이는 모두 동향이다. 따라서 남해 대륙붕은 주된 해류가 있는 해류 지배 해역이다 (Suk et al., 1996; Kim, 1979; Kim et al., 1991; Beardsley et al., 1992; Chang et al., 1995)이다. 이러한 해류를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 퇴적물을 포함한 다양한 화학물질들이 유입되어 (Suk et al., 1996), 남해의 퇴적물 수급에 상당한 영향을 미친다 (Wells and Huh, 1984; Chough, 1983; Lee et al., 1990). 따라서 제주해협을 통과하는 해수 및 화학물질들에 대한 정량적인 플럭스 변동성 규명은 남해의 화학물질 순환과 수지를 추정하는데 필수적이다.

또한 남해는 연간 270 g C m^{-2} 의 높은 일차생산력을 갖고 (Chung and Yang, 1991), 생산된 유기물질들은 해저에 쌓인다. 대양해역에서는 일차생산량의 거의 전부가 물기둥내에서 재분해되어 겨우 1% 미만의 극소량이 해저에 쌓이게 되지만 남해와 같은 천해역에서는 일차생산량의 50% 정도가 해저에 쌓인다 (Suess, 1980). 해저에 가라앉은 유기물들은 퇴적물내에 저장되거나 재부유 및 분해과정을 거쳐 무기물형태로 다시 수주내로 공급되어 높은 일차생산을 지지한다. 이에따라 퇴적물의 유기물 분포특성과 퇴적물등 초기속성과정을 이해하는 것이 중요하다.

대기는 하천과 마찬가지로 육상기원물질을 해양으로 공급하는 주요 매체이다. 일반적으로 연안해양에서 대기를 통한 중금속 유입량은 하천을 통한 유입량의 20배 이상으로 크다. 하천을 통해 해양으로 유입되는 경우는

하구 인접해역에만 국지적으로 영향을 미치나 대기를 통한 유입은 남해 전체에 영향을 미친다.

현재까지 남해대륙붕에서의 해양화학 특성에 관한 연구는 국립수산진흥원에서 매년 실시하는 정선관측에서의 용존산소함량과 1988년부터 1990년까지 3년간 제주도 부근 해역의 영양염, 용존산소 함량 분포위주로 한국해양연구소에서 실시된 한국해역 종합해양자원도 작성연구, 일차생산력 (Chung and Yang, 1991), 표층퇴적물중 중금속 (Cho et al., 1994), 유기탄소 (Kim et al., 1997), 퇴적물 운송 (Wells and Huh, 1984)으로 거의 대부분은 육지에 가까운 연안에 국한되거나 제주해역에 치우쳐 있고, 남해 대륙붕에서의 물질순환과 이동에 대한 연구는 거의 수행되지 못하였다.

이에따라 본연구에서는 첫째, 남해대륙붕에서의 화학성분들에 대한 시·공간적인 분포 특성을 이해하고, 둘째, 제주해협을 통한 해수 및 화학성분들의 운송량을 산출하며, 셋째, 해수에서의 유기물 특성분포를 이해하고, 넷째, 해저퇴적물의 탄소, 질소 및 규소등 생물기원 퇴적과정을 추적하여 퇴적환경의 변화를 파악하고, 다섯째, 해저퇴적물의 축적율을 산출하며 여섯째, 빠른 시간주기로 변화하는 남해 해황을 이해하기 위하여 일정 지점에 시계열 관측기지를 설치·운영하였다. 또한 시계열 대기 경로 화학물질 플럭스 측정등 해양 생지화학 플럭스의 변동성 규명에 주목적을 두었다.

제 2 절 재 료 및 방 법

2.1. 조사해역 및 관측시기

조사해역은 북위 33° 30' ~ 34° , 동경 126° 17' ~ 128° 05' 으로서 진도와 제주사이의 제주해협과 부산과 일본의 대마도 사이의 대한해협을 망라하는 제주도 이북의 남해 대륙붕 해역이다 (Fig. 4.1, 4.2). 춘계조사는 1997년 3월 19일부터 21일까지의 3일간에 걸쳐 한국해양연구소 연구선 이어도호를 사용하여 실시하였고, 추계조사는 1997년 9월 27일부터 10월 1일까지 6일간에 걸쳐 국립해양조사원 조사선인 해양 2000호를 사용하여 실시하였다. 춘계 및 하계 정점들의 위치는 Table 4.1과 4.2에 정리하였다.

침강 입자 (settling particulates) 시료채집을 위해 시계열 sediment trap을 경상남도 장목만 (34° 59.55' N, 128° 40.68' E)의 정점 JM에 계류하여

정기적 (48시간 간격)으로 채집하고 있다 (Fig. 4.2).

대기를 통해 남해로 유입되는 입자중 중금속 유입량을 추정하기 위해 경상남도 거제소재의 한국해양연구소 남해분소에 대기분진 천연낙하물 채집기 (면적: 1.13 m²)를 설치하여 대기분진을 정기적으로 채집하고 있다.

Table 4.1. Location of stations in March, 1997.

Station	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude	
A2	34° 16.03'	126° 17.40'	24
A4	34° 05.99'	126° 17.40'	46
A6	33° 55.96'	126° 17.50'	42
A8	33° 46.02'	126° 17.72'	103
A10	33° 36.09'	126° 17.75'	109
B1	33° 28.21'	126° 58.23'	76
B5	33° 38.34'	127° 19.51'	98
B8	33° 46.33'	127° 41.81'	96
B10	33° 54.24'	128° 03.72'	100
C1	34° 42.36'	128° 05.13'	23
C3	34° 34.43'	128° 04.80'	32
C5	34° 24.29'	128° 04.29'	49
C7	34° 14.33'	128° 04.86'	77
C8	34° 04.35'	128° 04.85'	87

Table 4.2. Location of stations in October, 1997.

Station	Location		Depth (m)
	Latitude	Longitude	
A1	34° 05.86'	126° 27.60'	42
A3	34° 0.06'	126° 27.58'	60
A5	33° 54.03'	126° 27.51'	62
A7	33° 48.01'	126° 27.45'	90
A9	33° 42.03'	126° 27.43'	115
A11	33° 36.36'	126° 27.39'	129
B1	33° 32.00'	127° 02.62'	126
B3	33° 36.22'	127° 13.74'	116
B5	33° 40.30'	127° 25.19'	98
B7	33° 44.41'	127° 36.63'	95
B9	33° 50.43'	127° 53.72'	98
B11	33° 58.51'	128° 15.88'	108
C2	34° 14.47'	128° 04.81'	37
C4	34° 24.02'	128° 04.73'	55
C6	34° 14.47'	128° 04.88'	80
C7	34° 04.40'	128° 04.75'	90
JM	34° 59.55'	128° 40.68'	9
SC1	34° 52.04'	128° 50.01'	43
SC2	35° 12.99'	129° 19.97'	87

2.2. 시료채취, 보존 및 분석방법

용존산소 및 용존무기영양염류 분석용 해수시료 채취는 표준수심 (0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 m)을 기본으로 하여 Rosette에 부착된 5리터 용량의 니스킨 해수채수기를 이용하여 채수하였다.

용존무기영양염류 측정을 위한 시료는 현장에서 구경 0.45 μ m Millipore 막 여과지로 여과한 후 10% 염산으로 미리 세척한 20 ml 고밀도

폴리에틸렌 병에 담아 냉동보관하여 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

일차생산력은 각각의 선택한 깊이의 해수를 니스킨 해수채수기로 채수한 후 현장에서 배양시킨 다음 여과하여 여과지를 드라이아이스로 냉동보관하여 실험실로 옮긴 후 분석하였다.

퇴적물은 단면적이 50×50 cm인 박스코어러를 이용하여 채집한 후 내경 7.0cm인 PVC pipe를 손으로 삽입하여 입자성 유기탄소, 질소, biogenic silica, ²¹⁰Pb 분석용 부시료를 얻었다. 부시료는 절개하여 수분함량, 염함량을 각각 보정하여 순수 퇴적물 함량을 정량하였다.

2.2.1. pH (수소이온 농도)

Orion 920 pH meter를 사용하여 현장에서 측정하였다.

2.2.2. 입자성 부유물질 (Suspended particulate matter; SPM)

건조기를 이용 100℃에서 1시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 전자저울로 무게를 측정한 Nucleo 여과지로 해수시료를 여과한 다음 증류수로 5~6회 세척하여 염분을 제거한 후 냉동보관하여 실험실에서 다시 건조기를 이용 100℃에서 건조하여 여과하기 전의 여과지 무게를 감하여 입자성부유물질의 무게를 얻었다 (precision : $\pm 0.02 \text{ mg l}^{-1}$).

2.2.3. 용존산소 (Dissolved Oxygen)

용존산소함량은 Winkler 방법을 이용하여 현장에서 측정하였고, 겔보기산소소비율 (AOU)은 포텐셜 수온 (potential temperature)과 염분으로부터 계산된 용존산소의 포화농도에서 관측된 용존산소의 농도를 뺀 값으로 정의하였다 (precision : $\pm 0.5\%$ at 250 mmol kg^{-1}).

2.2.4. 용존무기영양염류 (Dissolved Inorganic Nutrients)

용존성 암모늄이온, 질산이온, 규산은 Grasshoff et al. (1983)에 의거 자동분석기 (Aliance AutoAnalyzer)를 사용하여 측정하였으며 분석방법은 다음과 같다.

○ 암모늄이온 (NH_4^+): 시료에 phenol과 sodium nitroprusiate 혼합용액 및 sodium citrate과 sodium dichloroisocyanate 혼합용액을 가하여 발색시켰다 (precision : $\pm 4.8\%$ at $1 \mu\text{M}$).

○ 질산이온 (NO_3^-): 시료를 Cu-Cd Column에 통과시켜서 아질산이온으로 환원시킨 후 아질산이온 분석방법과 같은 방법으로 발색시켰다 (precision :

$\pm 0.5\%$ at $10\ \mu\text{M}$).

○ 인산이온 (PO_4^{3-}): 시료에 ammonium molybdate potassium antimonyl - tartarate와 황산의 혼합시약을 가하고 ascorbic acid로 환원시켜 발색시켰다 (precision : $\pm 0.1\%$ at $1\ \mu\text{M}$).

○ 규산 ($\text{Si}(\text{OH})_4$): 시료에 ammonium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후 oxalic acid와 ascorbic acid를 가하여 발색시켰다 (precision : $\pm 0.5\%$ at $10\ \mu\text{M}$).

2.2.5. 클로로필 α

해수시료 1리터를 GF/F 여과지로 여과하여 냉동한 후 실험실로 옮겼다. 90% 아세톤을 5ml 가하여 24시간 동안 플라스크를 색소를 추출한 후 uv-vis spectrophotometer를 이용하여 흡광도를 측정하였다 (Parson et al., 1984).

2.2.6. 입자성 유기탄소, 질소 (POC and PON)

2.2.6.1. 해수 중 입자성 유기탄소, 질소

GF/F Glass fiber 여과지를 Furnace를 이용하여 550°C 에서 3시간 정도 태운 후 무게를 측정한 여과지로 해수시료를 여과한 다음 증류수로 5-6회 세척하여 염분을 제거한 후 냉동보관하고 실험실로 운반하여 건조기에 넣어 105°C 상태에서 2시간 건조하고, 방냉한 후 무게를 측정하였다.

무게를 측정한 여과지를 진한 염산 (12N HCl)을 이용하여 acid fuming 하여 무기 탄산염상의 탄소를 제거한 후 원소분석기 (Carlo Erba CNS)로 유기탄소, 질소 및 황을 정량 측정하였다 (precision : $\pm 0.3\%$ 이하).

2.2.6.2. 퇴적물 입자성 유기탄소, 질소

퇴적물 시료는 묽은 산 (1N HCl)으로 탄산염 (carbonate) 상의 탄소를 제거하고 난 후 원소분석기 (Carlo Erba CNS)로 유기탄소, 질소 및 황을 정량 측정하였다 (precision : $\pm 0.3\%$ 이하).

2.2.7. 생물기원 규소 (Biogenic Si)

생물기원 규소 함량은 Na_2CO_3 용출 방법 (Motlock and Froelich, 1989)에 의거 분석하였다. 냉동 건조시킨 퇴적물 시료를 분쇄한 후, 시료 100mg을 취하여 50ml polypropylene 원심분리관에 넣은 후 10% H_2O_2 5ml을 넣는다. 30분 후 1N HCl 5ml를 넣고, 초음파 처리시킨 후 뚜껑을 닫고 30분 동안 기다린다. 이차 증류수 20ml을 넣고 10분 동안 6000rpm 에서 원심분리 한

후 상등액을 제거하고 남은 시료를 밤새도록 oven에서 건조시킨다. 건조시킨 시료에 2M Na₂CO₃ 40ml를 넣고 잘 흔들어 초음파를 가하여 잘 혼합시킨다. 이 시료를 85℃로 예열시킨 water bath에 옮긴 후 각각 2시간, 4시간 후에 꺼내어 잘 흔들어 준다. 총 5시간 동안 가열하여 주고 시료를 옮기어 6000rpm에서 5분동안 원심분리한 다음 상등액 20ml를 취한다. 위 상등액을 적당 농도로 희석한 후 molybdate-blue method를 사용하여 착색시킨 후 UV-Vis spectrophotometer로 측정한다 (precision : 7%).

2.2.8. Ra 동위체 분석 (²²⁶Ra, ²²⁸Ra)

해수중 Ra 동위체를 추출하기 위해 선상 Ra 농측장치를 사용하였다. 선박에 설치된 해수펌프를 이용하여 표층해수를 30 L min⁻¹ 속도로 입자여과용 prefilter와 MnO₂ 를 피복시킨 2개의 폴리프로필렌 필터를 이용하여 해수를 1000리터이상 통과시킨다. 시료채취 후 Mn 필터를 회수하여 증류수로 씻어 염분을 제거한다. 필터를 절개하여 전기로에서 550℃의 온도로 태운 후 뿜아 재로 만든 다음 ²³⁴Th 측정을 위해 10 ml 튜브에 넣어 HPGe γ 계수기로 측정하였다. ²²⁸Ra과 ²²⁶Ra 측정을 위하여 20일 경과 후 다시 계수하였다. ²²⁸Ra (반감기; 5.75년) 측정을 위하여 ²²⁸Ra과 영년평형 (secular equilibrium)을 이룬 딸 핵종인 ²²⁸Ac (반감기; 6.13시간)을 측정하였고, ²²⁶Ra 측정은 영년평형을 이룬 딸 핵종인 ²¹⁴Pb (반감기; 26.8분)을 측정하였다.

2.2.9. ²¹⁰Pb에 의한 해저퇴적물의 년대측정

퇴적물의 ²¹⁰Pb 방사능은 ²¹⁰Pb의 딸핵종인 ²¹⁰Pb과의 방사평형 (secular equilibrium) 관계를 이용하여 퇴적물의 ²¹⁰Po을 알파 스펙트로메트리로 정량하였다. 건조한 퇴적물을 HNO₃, HClO₄, HCl으로 연속적으로 digestion 하여 회수를 추적자로 ²⁰⁹Po을 acid digestion 직전에 퇴적물 시료에 첨가하였다. ²¹⁰Po 화학 분리 절차는 Carpenter et al. (1981)에 의하였다.

2.2.9.1. 퇴적물 계산

²¹⁰Pb 근거 퇴적물 축적율은 1차원, 2층, 정상상태 퇴적물 모델에 근거하여 퇴적물 혼합은 표층퇴적물 혼합층 (Surface Mixed Layer, SML)에서만 일어나는 것으로 정하여 계산하였다. ²¹⁰Pb 퇴적물 축적율 정량의 정확성은 다음 조건을 얼마나 만족시키는가에 달려있다. (1) 퇴적물 축적율과 초기과량 ²¹⁰Pb 농도가 과거 150-200년간 일정하게 유지되었다. (2)

퇴적물로부터 ^{210}Pb 손실은 방사능 붕괴에 의하여서만 일어난다 (즉, 퇴적물을 계산하는 구간에서 퇴적물 혼합은 없으며 ^{210}Pb 은 퇴적 후 물리·화학적으로 이동되지 않는다. (3) 입자혼합은 SML에 국한되며 일정하다. (4) 분석에 사용하는 퇴적물 구간 (sediment slice 두께)은 전체 연대 결정기간에 비하여 충분히 짧아야 한다. (5) ^{210}Pb 의 붕괴상수가 정확하게 알려져 있어야 한다. 이러한 5가지 조건이 만족되면 해저퇴적물의 과량 ^{210}Pb 수직분포는 다음과 같은 식으로 기술될 수 있다.

$$Ax = A_0 \exp(-bx) + A'$$

여기서 Ax 는 퇴적물 깊이 (해수-해저 경계면으로부터의 거리) x 에서의 ^{210}Pb 함량, A_0 는 해수-해저 경계면에서의 ^{210}Pb 함량, A' 은 퇴적물의 ^{226}Ra 으로부터 생성되는 ^{210}Pb 함량이다. b 는 과량 ^{210}Pb 방사능의 자연 로그값과 퇴적물 깊이를 최소자승법으로 fit 할때의 기울기이다. SML 이하 $b = \lambda/s$ 이며, s 는 퇴적물 축적율 (sediment accumulation rate)이다. λ 는 ^{210}Pb 붕괴상수로서 0.0311 yr^{-1} 이다. SML에서 b 는 퇴적물 축적율과 혼합율의 미지의 혼합이다.

2.2.10. 일차생산력

기초생산성 (primary productivity) 측정을 위한 시료는 유광층내 (표층광의 1%까지) 6개수심에서 시료를 취하여 $4 \mu\text{Ci } ^{14}\text{C-NaHCO}_3$ 를 주입하여 정오를 기준으로 3 - 6시간 동안 배양하였다. 배양을 위한 해수시료는 Rosette 채수기에 부착된 5 liter Niskin 채수병을 이용하여 100, 49, 30, 15, 3.5, 1% 광투과 수심 (LPD: Light penetration depth)에서 채수하였다. 광도를 채수 수심의 광도로 조절하기 위하여 250 ml polycarbonate bottle을 천공된 nickel screen으로 포장하였다 (Stork Veco, Bedford, MA, U.S.A.). 배양은 표층해수로 냉각한 on-deck incubator에서 행하였다. 배양 후 GF/F 여과지로 시료를 여과한 후 여과지를 산증기(HCl fumes) 처리를 한 다음 건조시켜, 섬광액(scintillation cocktail; Lumagel Safe) 10 ml를 가하여 섬광계수기 (scintillation counter; Wallac Model#)를 이용하여 dpm을 측정, Steeman-Nielson(1952) 방법에 기초한 Parsons et al. (1984)에 따라 ^{14}C 의 흡수율을 구하였다.

2.2.11. 퇴적물 트랩

침강입자 (settling particulates)는 PARFLUX Mark 7G-13 Time-Series Sediment Trap을 이용하여 48시간 간격으로 시료를 채취하도록 프로그램

하여 수심 5m 정도에 (Honjo and Doherty, 1993) 내려 계류시킨 후 회수하였다. 시료는 냉장보관하여 실험실로 옮겨 무기 탄산염상의 탄소를 제거한 후 원소분석기 (Carlo Erba CNS)로 유기탄소, 질소 및 황을 정량 측정하였다 (precision : $\pm 0.3\%$ 이하). 생물기원규소는 앞의 2.2.7절에 명시된 방법으로 분석하였다.

2.2.12. 대기시료분진

건상 강하물과 습상 강하물의 총량인 강하분진 (Dustfall)의 포집을 위하여 1997년 9월부터 경상남도 거제도에 위치한 한국해양연구소 장목분소 ($35^{\circ} 00' N$, $128^{\circ} 45' E$)의 지상 10 m 에 위치한 건물 지붕에 직경 120 cm 인 PVC재질의 채집기 2대를 설치하여 30~40 일 단위로 강하분진을 누적 수거하였다. 수거한 시료는 수분을 증발시켜 제거한 후 냉동건조시키고 막자 사발로 분말을 만든 뒤, 100 mesh 플라스틱 체로 걸렀다.

제 3 절 현장조사 결과

3.1. 대륙붕 해양화학성분 분포 특성

1997년 3월 19일부터 21일까지의 춘계조사와 1997년 9월 27일부터 10월 1일까지의 추계조사 자료는 Table 4.3과 4.4에 수록하였다.

3.1.1. 춘계 조사 (1997년 3월)

3.1.1.1. 관측선 A (진도-제주간 남북횡단면) : 제주해협

수온 및 염분 분포특성에 따라 저온저염 ($<11^{\circ}C$, <34 psu)의 특성을 보이는 내만해역 (정점 A2~A4)인 제주한류해역, 저온저염수와 고온고염수간의 경계역 (정점 A4~A6), 고온고염 ($>14^{\circ}C$, >34.4 psu)의 제주난류해역 (A6~A10)등 3 구역으로 나눌 수 있다.

수소이온농도 (pH)는 8.25~8.36 (평균 8.31) 범위이다. 수평농도분포는 저염 (<33.8 psu)의 정점 A2에서는 8.26 이하이나 수온 및 염분전선을 경계로 급격히 증가하여 고온고염의 외해역에서 8.36의 최대값을 보였다. 외해역에서는 수심에 따라 점차 감소하여 제주해협골의 북쪽사면에 위치한 정점 A8의 저층의 저온저염저산소고영양염 ($10\sim 11^{\circ}C$, $34.0\sim 34.1$ psu)의 특성을 보이는 제주해협골의 북쪽사면에 위치한 정점 A8의 저층에서 8.29로 낮다 (Fig. 4.3a).

Table 4.3. Water column of biogeochemistry in the South Sea during March 19 -27, 1997.

St.	Depth (m)	pH	SS (mg/l)	DO (mg/l)	DO (uM)	Sat-DO (%)	NH4 (uM)	NO3 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH)4 (uM)	Chl-a (ug/l)
A2	0	8.25	26.35	8.73	272.78	96.06	0.34	6.53	0.68	10.01	0.30
A2	10	8.26	29.08	8.87	277.12	97.57	0.50	5.18	0.47	8.39	0.22
A2	20	8.26	9.01	8.56	267.46	94.21	0.42	6.84	0.68	10.27	0.30
A4	0	8.27	5.69	8.65	270.29	97.32	0.43	5.87	0.61	8.58	0.13
A4	10	8.28	5.42	8.52	266.32	95.82	0.52	6.37	0.63	9.37	0.13
A4	20	8.28	2.82	8.34	260.55	93.65	0.68	5.56	0.61	8.73	0.17
A4	30	8.28	3.19	8.68	271.19	97.43	0.47	6.34	0.63	8.92	0.26
A6	0	8.33	0.93	8.25	257.72	96.46	0.63	4.39	0.47	6.13	0.13
A6	10	8.34	2.88	8.34	260.54	97.49	0.38	4.72	0.47	6.36	0.13
A6	20	8.33	1.65	8.13	254.18	94.78	0.45	4.78	0.47	8.28	0.17
A6	30	8.33	1.63	8.18	255.69	95.23	0.64	4.89	0.48	7.04	0.21
A8	0	8.33	0.68	8.09	252.91	96.57	0.48	3.74	0.42	4.70	0.17
A8	10	8.34	0.90	8.12	253.86	96.29	0.57	3.89	0.37	4.52	0.21
A8	20	8.33	0.73	8.26	258.03	97.25	0.45	4.03	0.38	5.31	0.21
A8	30	8.33	0.89	8.10	253.01	94.79	0.50	4.32	0.41	5.68	0.17
A8	50	8.31	1.05	8.17	255.32	94.28	0.54	5.00	0.47	6.96	0.09
A10	0	8.35	0.75	8.40	262.36	101.42	0.47	3.28	0.28	2.60	0.38
A10	10	8.36	0.70	8.13	254.20	98.02	0.52	3.38	0.28	2.75	0.17
A10	20	8.35	0.93	7.96	248.60	95.71	0.47	3.61	0.31	3.39	0.38
A10	30	8.34	0.85	8.02	250.63	96.40	0.61	3.72	0.32	3.61	0.21
A10	50	8.34	1.00	7.92	247.48	95.08	0.52	3.96	0.32	4.29	0.17
A10	75	8.33	1.07	7.97	249.02	95.54	0.68	4.15	0.37	4.89	0.13
A10	100	8.33	-	7.65	239.18	91.19	0.48	4.40	0.42	5.68	0.17
B1	0	8.34	0.32	8.07	252.15	98.58	0.76	3.55	0.30	2.86	0.29
B1	10	8.34	0.36	7.97	249.02	97.01	0.98	3.31	0.30	2.30	0.47
B1	20	8.33	0.59	7.93	247.80	95.94	0.75	4.00	0.36	2.90	0.34
B1	30	8.33	0.55	8.02	250.63	96.77	0.70	3.88	0.33	3.39	0.25
B1	50	8.33	0.45	7.91	247.06	94.96	0.57	4.14	0.36	3.84	0.17

Table 4.3. (Continued).

St.	Depth (m)	pH	SS (mg/l)	DO (mg/l)	DO (μ M)	Sat-DO (%)	NH ₄ (μ M)	NO ₃ (μ M)	PO ₄ (μ M)	Si(OH) ₄ (μ M)	Chl-a (μ g/l)
B5	0	8.32	0.52	7.90	246.85	97.31	0.80	3.12	0.21	1.21	0.29
B5	10	8.34	0.27	8.01	250.27	98.65	0.56	3.14	0.21	1.36	0.43
B5	20	8.33	-	7.95	248.32	97.88	0.64	3.15	0.22	0.98	0.42
B5	30	8.33	-	8.10	253.12	99.76	0.75	3.17	0.21	1.02	0.47
B5	50	8.30	0.27	7.99	249.59	96.47	0.61	3.99	0.34	3.58	0.35
B5	75	8.30	0.46	8.06	251.89	96.28	0.59	4.25	0.36	3.76	0.29
B8	0	8.32	0.33	7.61	237.89	94.83	0.37	3.49	0.30	2.41	0.08
B8	10	8.33	0.31	7.49	234.05	93.30	0.36	3.54	0.26	2.64	0.09
B8	20	8.33	-	7.39	231.03	92.10	0.39	3.54	0.26	2.75	0.13
B8	30	8.34	0.24	7.53	235.17	93.75	0.45	3.58	0.27	2.37	0.13
B8	50	8.34	0.13	7.53	235.19	93.77	0.43	3.59	0.29	3.39	0.17
B8	75	8.34	0.18	7.53	235.21	93.77	0.48	3.59	0.29	2.60	0.17
B10	0	8.35	0.62	7.78	243.26	-	0.21	3.34	0.17	2.30	0.29
B10	10	8.36	1.19	7.89	246.60	-	0.18	3.40	0.17	2.11	0.17
B10	30	8.36	0.69	7.91	247.25	-	0.36	3.44	0.21	1.96	0.22
B10	50	8.36	0.28	8.02	250.71	-	0.21	3.44	0.17	1.36	0.26
B10	75	8.35	0.42	7.55	235.89	-	0.28	3.81	0.17	2.86	0.26
C1	0	8.33	3.20	8.84	276.23	96.68	0.26	2.80	0.33	0.00	0.38
C1	10	8.34	1.70	9.35	292.19	102.20	0.41	2.84	0.35	0.30	0.77
C1	20	8.34	5.59	9.33	291.48	102.10	0.49	2.85	0.39	0.61	0.77
C3	0	8.34	5.21	8.33	260.27	93.11	0.46	3.06	0.29	1.32	0.43
C3	10	8.35	2.95	8.72	272.35	97.41	0.47	3.06	0.29	1.28	0.38
C3	20	8.34	1.44	8.55	267.33	95.40	0.76	3.00	0.33	0.68	0.51
C3	28	8.34	2.72	8.53	266.57	-	1.09	2.95	0.42	1.73	0.35
C5	0	8.35	0.99	9.08	283.87	106.12	0.27	3.04	0.11	0.87	1.32
C5	10	8.37	0.90	9.47	295.82	110.59	0.23	3.05	0.12	1.02	0.64
C5	20	8.37	0.75	9.19	287.18	107.39	0.39	3.04	0.16	0.83	0.60
C5	30	8.37	0.47	9.18	286.82	107.19	0.34	2.99	0.11	0.64	0.38

Table 4.3. (Continued).

St.	Depth (m)	pH	SS (mg/l)	DO (mg/l)	DO (µM)	Sat-DO (%)	NH4 (µM)	NO3 (µM)	PO4 (µM)	Si(OH) ₄ (µM)	Chl-a (ug/l)
C7	0	8.36	0.21	8.44	263.71	101.29	0.59	2.99	0.10	0.12	0.90
C7	10	8.37	0.90	8.53	266.48	102.36	0.22	2.98	0.10	0.68	1.24
C7	20	8.37	0.20	8.39	262.09	100.67	0.27	2.99	0.10	1.17	0.90
C7	30	8.35	0.13	8.18	255.56	97.91	0.37	3.21	0.15	2.37	0.47
C7	50	8.32	0.13	8.14	254.40	94.71	0.58	4.21	0.45	4.25	0.63
C8	0	8.35	0.33	8.05	251.47	98.08	0.43	3.16	0.22	1.02	0.56
C8	10	8.36	0.42	8.17	255.35	99.58	0.69	3.13	0.21	0.94	0.38
C8	20	8.37	0.30	7.22	225.66	87.99	0.37	3.18	0.24	1.24	0.55
C8	30	8.32	-	7.58	236.72	90.57	0.56	4.80	0.45	6.62	0.09
C8	50	8.32	-	7.88	246.21	93.38	0.35	4.89	0.43	6.02	0.13
C8	75	8.30	1.42	8.20	256.40	94.54	0.51	5.62	0.54	7.75	0.13

입자성부유물질 농도는 $0.7 \sim 29.1 \text{ mg l}^{-1}$ (평균 4.4 mg l^{-1})의 범위로서 내만해역 (정점 A2~A4)에서는 5 mg l^{-1} 이상이고, 고온고염의 제주난류 해역에서는 1 mg l^{-1} 이하이다 (Fig. 4.3b). 가장 내만에 위치한 정점 A2의 표층 및 10 m 수심에서의 입자성부유물질농도는 25 mg l^{-1} 이상이나 20 m 수심 이하에서는 9 mg l^{-1} 이다. 따라서 입자성 부유물질들은 주변해수로부터 공급됨을 알 수 있다. 그러나 ADCP 자료에 의하면 내만해역에서는 서향류가 우세하나 높은 입자성 부유물질 농도를 보이는 것이 주목할 만하다. 표층 입자성 부유물질 농도는 1980년과 1981년 11월에 제주해협에서 관찰되었던 최대값 20 mg l^{-1} (Wells and Huh, 1984)보다 높다.

용존산소함량은 $239 \sim 277 \mu\text{M}$ (평균 $258 \mu\text{M}$)으로서 저온저염의 내만해역에서 $270 \mu\text{M}$ 이상이다. 수직분포는 수소이온농도 (pH)와 유사하여 내만해역에서는 수직적으로 균일하며, 고온고염해역에서는 수심증가에 따라 감소하여 정점 A8의 저층에서 $239 \mu\text{M}$ 로 최소값을 보였다 (Fig. 4.3c).

암모늄이온농도는 $0.3 \sim 0.7 \mu\text{M}$ (평균 $0.5 \mu\text{M}$)으로서 질산이온을 포함한 다른 영양염류에 비해 농도변이는 작다 (Fig. 4.3d). 이것은 해양에서 암모늄이온은 해양식물이 질소계 영양염중 가장 선택적으로 먼저 흡수하는 성분이기 때문에 유광대에서 낮은 농도로 존재하기 때문이다 (Spencer, 1975).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 $3.2 \sim 6.5 \mu\text{M}$ (평균 $4.7 \mu\text{M}$), $0.2 \sim 0.7 \mu\text{M}$ (평균 $0.5 \mu\text{M}$), $2.6 \sim 10.3 \mu\text{M}$ (평균 $6.4 \mu\text{M}$)로서 내만해역에서 높고 염분전선역을 경계로 급격히 감소하여 외해역에서는 내만해역의 절반수준이다. 수직분포는 수온 및 염분의 분포와 비슷하여 내만해역에서는 균일하다. 반면에 외해역에서는 수심증가에 따라 농도들이 증가한다 (Fig. 4.3e, 4.3f, 4.3g).

엽록소 a 농도는 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{g l}^{-1}$ (평균 $0.2 \mu\text{g l}^{-1}$)로서 영양염류가 풍부한 내만해역과 비교적 수층이 안정되어 있는 외해역의 표면혼합층내에서 $0.3 \mu\text{g l}^{-1}$ 이상이고, 수심증가에 따라 엽록소 a 농도는 감소한다 (Fig. 4.3h).

3.1.1.2. 관측선 B (제주도-대마도간 동서횡단면)

관측선 A와 C에 비해서 비교적 고온고염 ($>15^\circ\text{C}$, $>34.45 \text{ psu}$)의 특성을 보인다.

수소이온농도 (pH)는 $8.32 \sim 8.36$ (평균 8.33) 범위로서 관측선 A보다는 높다. 수평분포로는 제주인접해역 (정점 B1~B5)에서 $8.32 \sim 8.34$ 이고, 대마도쪽으로 갈수록 약간 증가하여 정점 B10에서 최대값인 8.36을 보였다

(Fig. 4.4a).

입자성부유물질농도는 최소 $0.1 \sim 1.2 \text{ mg l}^{-1}$ (평균 0.4 mg l^{-1})의 범위로서 대부분의 정점들에서 1 mg l^{-1} 이하이다 (Fig. 4.4b).

용존산소함량은 $231 \sim 252 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $244 \text{ } \mu\text{M}$)으로서 수소이온 농도와 마찬가지로 관측선 A보다는 낮다 (Fig. 4.4c).

암모늄이온 농도는 $0.18 \sim 0.98 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $0.52 \text{ } \mu\text{M}$)으로서 관측선 A에서와 마찬가지로 뚜렷한 분포특성 보이지 않는다 (Fig. 4.4d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 $3.1 \sim 4.3 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $3.6 \text{ } \mu\text{M}$), $0.17 \sim 0.36 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $0.26 \text{ } \mu\text{M}$), $1.4 \sim 3.8 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $2.5 \text{ } \mu\text{M}$)로서 정점 B5의 표면혼합층에서 주변정점들보다 낮다 (Fig. 4.4e, 4.4f, 4.4g).

엽록소 a 농도는 $0.17 \sim 0.36 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ (평균 $0.26 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$)로서 관측선 A에서와 비슷한 수준이다 (Fig. 4.4h).

3.1.1.3. 관측선 C (남해도 남북횡단면)

수심 30 m 이내로서 수직적으로 수온 및 염분이 균일한 내만해역 (정점 C1~C4)과 고온고염 ($>13^{\circ}\text{C}$, $>34.4\text{psu}$)의 외해역 (C7~C8)으로 나눌 수 있다.

수소이온농도 (pH)는 $8.30 \sim 8.37$ (평균 8.35) 범위로서 관측선중 평균농도가 가장 크고, 농도변위는 가장 작다. 외해역에 위치한 정점 C8에서는 수심 증가에 따라 pH는 점차 감소하여 저층에서 8.30 으로서 최소값을 보였다 (Fig. 4.5a).

입자성부유물질농도는 $0.13 \sim 5.59 \text{ mg l}^{-1}$ (평균 1.74 mg l^{-1})의 범위로서 내만해역에서 3 mg l^{-1} 이상으로 높은 반면에 외해의 고온고염수해역에서는 1 mg l^{-1} 이하이다 (Fig. 4.5b).

용존산소함량은 $226 \sim 296 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $266 \text{ } \mu\text{M}$)으로서 평균함량은 관측선중 가장 높다. 내만해역에서 $270 \text{ } \mu\text{M}$ 이상이다. 수직분포는 내만해역에서는 수직적으로 균일한 반면에 외해역의 정점 C8의 밀도약층상부에 위치한 수심 20 m에서 $226 \text{ } \mu\text{M}$ 로 최소값을 보였다 (Fig. 4.5c).

암모늄이온농도는 $0.3 \sim 1.1 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $0.5 \text{ } \mu\text{M}$)으로서 뚜렷한 분포특성은 보이지 않는다 (Fig. 4.5d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 $2.8 \sim 5.6 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $3.4 \text{ } \mu\text{M}$), $0.1 \sim 0.5 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $0.3 \text{ } \mu\text{M}$), $0.3 \sim 7.8 \text{ } \mu\text{M}$ (평균 $1.9 \text{ } \mu\text{M}$)이다. 수직적으로는 내만해역에서는 수직적으로 균일한 반면에 외해역에서는 수심에 따라 증가하여 정점 C8의 저층에서 각각 5.6 , 0.5 , $7.8 \text{ } \mu\text{M}$ 로

최대값을 갖는다 (Fig. 4.5e, 4.5f, 4.5g).

엽록소 a 농도는 $0.1 \sim 1.3 \mu\text{g l}^{-1}$ (평균 $0.6 \mu\text{g l}^{-1}$)로서 관측선중 가장 높은 평균값을 보였다. 용존산소 최대값을 보인 정점 C5의 표면혼합층내에서 최대값을 보였다 (Fig. 4.5h).

3.1.2. 추계 조사 (1997년 9월)

3.1.2.1. 관측선 A (보길도-제주간 남북횡단면) : 제주해협

표면혼합층에서는 저염수 (<33 psu)가 넓게 분포하며, 수심이 50 m 이상인 정점들에서는 계절적 수온, 염분 및 밀도약층이 수심 40~50 m에 분포한다 (Fig. 2.25).

수소이온농도 (pH)는 $8.05 \sim 8.29$ (평균 8.20) 범위로서 춘계 (8.31)보다 낮다. 수평농도분포는 $8.25 \sim 8.27$ 범위로서 농도변이가 작다. 그러나 외해로 갈수록 밀도약층을 경계로 수심증가에 따라 수소이온농도는 감소한다. 춘계와 마찬가지로 제주해협골 북쪽사면에 위치하여 저온 ($T < 14^\circ\text{C}$)의 특성을 보이는 정점 A11의 저층에서 8.08의 최소값을 보인다 (Fig. 4.6a).

입자성부유물질농도는 $0.05 \sim 6.53 \text{ mg l}^{-1}$ (평균 1.03 mg l^{-1})의 범위이다. 춘계와는 달리 내만의 정점들의 표면혼합층에서는 1 mg l^{-1} 이하로 낮다. 반면에 밀도약층 하부에서는 퇴적물의 재부유로 인해 2 mg l^{-1} 이상이다 (Fig. 4.6b). 일반적으로 연안에서 부유물질의 양은 조석양태에 따른 유속의 변화, 풍속 및 풍향, 육지로부터의 퇴적물 유입, 해수 표층에서의 일차생산, 수괴의 밀도구조등과 같은 여러 요인에 의해 시공간적으로 변화한다. 춘계에 내만해역 표층은 동향류가 지배적으로 황해로부터 연안을 따라 상당한 퇴적물이 유입된다. 반면에 추계에 표층수에서 낮은 입자성부유물질 농도는 수심 10~20 m 부근에 밀도약층이 형성되어 있고, 해류도 서향류가 지배적인 것에 기인한다.

용존산소 함량은 $137 \sim 280 \mu\text{M}$ (평균 $198 \mu\text{M}$) 범위이다. 수평농도 분포는 내만해역의 표층에서 $250 \mu\text{M}$ 이상으로 높고, 외해쪽으로 갈수록 용존산소 함량은 점차 감소한다. 수직적으로는 밀도약층을 경계로 급격한 농도구배를 보인다. pH가 최소값을 보인 제주해협골 북쪽사면에 위치한 정점 A10의 저층에서 용존산소함량의 최소값을 보인다 (Fig. 4.6c).

암모늄이온 농도는 $0.1 \sim 0.9 \mu\text{M}$ (평균 $0.5 \mu\text{M}$)로서 질산이온등 비교적 영양염류가 다른 정점들에 비해 풍부한 내만에서 농도가 낮다 (Fig. 4.6d). 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 암모늄이온은 해양식물의 질소계 영양염중 가장 선택적으로 먼저 흡수하는 성분 (Spencer, 1975)으로서

Table 4.4. Water column of biogeochemistry in the South Sea during September 27-October 1, 1997.

STAT.	DEP. (m)	Temp (C)	Sal (psu)	Density	pH	DO (μ M)	Sat-DO (%)	SS (mg/l)	NO3 (μ M)	NH4 (μ M)	PO4 (μ M)	Si(OH)4 (μ M)	'Chl-a (μ g/l)
A1	0	21.011	32.026	22.230	8.26	280.16	121.64	0.73	2.47	0.25	0.24	2.36	0.30
	10	20.344	32.221	22.555	8.26	272.07	116.82	1.75	2.47	0.22	0.31	2.62	0.42
	20	19.563	32.379	22.877	8.19	250.21	105.98	2.29	3.31	0.26	0.33	3.29	0.45
	30	17.763	32.686	23.559	8.15	236.85	97.13	3.99	4.62	0.22	0.41	3.45	0.25
A3	0	21.458	31.863	21.986	8.27	210.68	92.14	0.39	1.23	0.48	0.15	3.42	0.38
	10	21.005	32.027	22.233	8.27	204.03	88.58	0.49	1.58	0.55	0.12	3.50	0.19
	20	19.542	32.470	22.952	8.19	187.49	79.43	0.78	3.74	0.35	0.34	4.13	0.06
	30	18.880	32.611	23.227	8.16	178.05	74.56	1.07	4.18	0.30	0.39	4.11	0.09
A5	50	15.556	33.061	24.357	8.13	181.29	71.36	1.64	6.01	0.20	0.46	4.53	0.06
	0	22.133	32.271	22.111	8.26	220.11	97.67	0.54	2.20	0.54	0.11	2.43	0.29
	10	22.144	32.291	22.123	8.27	216.03	95.89	0.49	2.63	0.28	0.28	3.62	0.38
	20	22.501	32.541	22.213	8.26	207.03	92.62	0.29	2.91	0.33	0.07	4.42	0.20
A7	30	22.516	32.794	22.401	8.24	194.66	87.24	0.54	2.40	0.50	0.09	3.47	0.10
	50	19.390	32.619	23.105	8.20	192.96	81.59	0.58	4.43	0.35	0.27	3.50	0.12
	0	22.331	32.383	22.141	8.26	213.00	94.92	0.24	1.86	0.61	0.04	3.12	0.19
	10	22.336	32.383	22.139	8.27	207.94	92.67	0.39	1.47	0.50	0.02	3.99	0.19
A9	20	22.296	32.397	22.160	8.26	201.88	89.92	0.24	2.00	0.46	0.08	4.51	0.03
	30	22.950	33.062	22.481	8.24	187.20	84.68	0.29	2.55	0.67	0.11	4.52	0.07
	50	15.969	33.502	24.603	8.10	154.99	61.68	0.73	6.82	0.20	0.48	8.76	0.00
	75	12.856	33.513	25.270	8.05	162.32	60.62	2.18	10.37	0.09	0.76	8.40	0.00
A9	0	22.374	32.671	22.346	8.25	215.29	96.17	1.07	2.64	0.56	0.05	5.42	0.10
	10	22.337	32.650	22.341	8.27	220.59	98.46	0.19	2.66	0.88	0.04	6.31	0.03
	20	22.372	32.668	22.345	8.25	200.90	89.74	0.05	2.34	0.81	0.06	2.27	0.07
	30	22.365	32.812	22.456	8.23	185.06	82.72	0.19	3.65	0.92	0.80	5.33	0.06
A9	50	19.553	33.618	23.825	8.13	161.13	68.74	0.63	5.88	0.58	0.40	10.29	0.03
	75	13.832	33.496	25.061	8.04	160.32	61.09	2.00	9.94	0.36	0.62	7.66	0.03
	100	13.073	33.509	25.224	8.05	163.56	61.36	6.53	7.22	0.86	0.64	9.30	0.10

Table 4.4. (Continued).

STAT.	DEP.	Temp	Density	pH	DO	DO	SS	NO3	NH4	PO4	Si(OH) ₄	chl-a
	(m)	(C)	(psu)		(uM)	(%)	(mg/l)	(uM)	(uM)	(uM)	(uM)	(ug/l)
A11	0	22.068	32.480	8.29	217.99	96.74	0.10	2.15	0.50	0.01	6.18	0.10
	10	22.081	32.482	8.29	211.09	93.70	0.49	2.30	0.59	0.01	5.69	0.13
	20	22.083	32.484	8.29	210.22	93.32	0.29	2.94	0.71	0.04	5.73	0.10
	30	22.357	32.642	8.27	199.69	89.16	0.63	3.30	0.79	0.08	6.00	0.13
	50	19.007	33.646	8.14	136.60	57.69	0.53	7.38	0.27	0.44	6.83	0.03
	75	15.109	33.578	8.08	136.94	53.59	1.51	6.66	0.88	0.51	12.47	0.00
	100	13.765	33.498	8.08	150.82	57.40	1.27	5.84	0.40	0.54	7.36	0.00
B1	0	23.707	33.894	8.32	217.01	99.96	0.34	1.06	0.68	0.05	2.14	0.16
	10	23.644	33.862	8.33	206.59	95.04	0.39	1.24	0.66	0.03	1.97	0.10
	20	23.905	33.988	8.34	197.88	91.51	0.39	1.13	0.50	0.04	1.35	0.10
	30	24.214	34.118	8.33	207.69	96.64	0.24	1.43	0.49	0.07	2.49	0.06
	50	21.377	33.547	8.23	180.55	79.63	0.34	4.82	0.76	0.31	6.18	0.19
	75	16.160	33.677	8.13	149.73	59.87	0.39	8.71	0.72	0.59	10.78	0.00
	100	15.201	34.222	8.11	141.68	55.76	0.78	10.10	0.43	0.79	9.74	0.00
B3	0	24.233	34.027	8.32	202.91	94.39	0.24	1.10	0.31	0.05	1.91	0.16
	10	24.230	34.031	8.33	207.27	96.42	0.19	1.10	0.45	0.07	2.03	0.16
	20	24.237	34.059	8.33	208.97	97.23	0.39	1.45	0.74	0.05	1.92	0.16
	30	24.212	34.070	8.34	204.05	94.91	0.24	1.02	0.32	0.02	1.89	0.07
	50	24.416	34.213	8.34	167.32	78.17	0.44	1.48	0.24	0.09	1.93	0.06
	75	16.214	34.430	8.15	148.92	59.88	0.44	10.75	0.41	0.70	10.09	0.00
	100	15.527	34.565	8.16	141.37	56.12	0.39	11.08	0.34	0.81	16.77	0.00
B5	0	23.058	33.359	8.33	214.44	97.35	0.29	1.35	0.43	0.04	3.14	0.10
	10	23.057	33.354	8.33	217.20	98.60	0.34	1.27	0.54	0.05	2.89	0.10
	20	23.298	33.529	8.33	212.72	97.07	0.10	1.03	0.76	0.04	1.48	0.13
	30	23.630	33.751	8.33	208.35	95.76	0.39	1.10	0.43	0.03	1.64	0.19
	50	22.226	33.618	8.31	189.81	85.03	0.39	1.99	0.40	0.11	3.01	0.16
	75	17.271	34.430	8.17	151.86	62.34	0.15	9.35	0.31	0.53	9.22	0.03

Table 4.4. (Continued).

STAT.	DEP.	Temp (m)	Temp (C)	Sal (psu)	Density	pH	DO (uM)	Sat-DO (%)	SS (mg/l)	NO3 (uM)	NH4 (uM)	PO4 (uM)	Si(OH) ₄ (uM)	Chl-a (ug/l)
B7	0	22.129	32.738	22.466	8.30	219.83	97.81	0.44	1.81	0.49	0.11	6.00	0.13	
	10	22.128	32.739	22.467	8.31	220.94	98.30	0.24	1.69	0.39	0.06	6.13	0.10	
	20	22.085	32.771	22.504	8.31	213.03	94.73	0.39	2.30	0.64	0.06	5.98	0.32	
	30	22.038	32.928	22.635	8.29	209.65	93.23	0.19	2.61	0.84	0.18	4.25	0.10	
	50	22.197	33.184	22.785	8.29	201.03	89.79	0.05	2.71	0.46	0.14	7.54	0.19	
	75	15.813	33.748	24.827	8.15	158.08	62.80	0.44	10.16	0.53	0.53	19.08	0.03	
	0	21.940	32.508	22.344	8.33	226.52	100.31	0.49	0.41	0.36	0.11	3.80	0.36	
B9	10	21.910	32.503	22.348	8.34	233.33	103.26	0.58	0.01	0.24	0.05	4.04	0.70	
	20	21.448	32.570	22.525	8.28	202.31	88.83	0.15	1.70	0.42	0.15	6.75	0.35	
	30	21.812	33.355	23.022	8.27	191.71	85.12	0.24	2.18	0.74	0.11	4.30	0.23	
	50	20.477	33.501	23.494	8.20	175.53	76.13	0.29	4.58	0.28	0.36	10.23	0.06	
	75	14.175	33.618	25.083	8.11	156.01	59.92	0.83	6.45	0.19	0.56	15.18	0.03	
	0	23.659	34.032	23.010	8.33	214.45	98.77	0.24	0.27	0.48	0.07	2.77	0.16	
	10	23.684	34.028	23.000	8.33	212.50	97.91	0.29	0.04	0.26	0.04	1.91	0.10	
B11	20	23.684	34.028	23.000	8.34	211.09	97.26	0.34	0.08	0.34	0.05	1.80	0.13	
	30	23.684	34.028	23.000	8.34	213.75	98.49	0.34	0.08	0.29	0.06	2.29	0.06	
	50	23.471	33.979	23.025	8.32	216.94	99.56	0.19	0.47	0.40	0.09	2.50	0.10	
	75	18.035	34.340	24.759	8.19	165.35	68.84	0.15	5.80	0.52	0.42	9.19	0.03	
	100	15.106	34.560	25.610	8.15	155.67	61.28	0.63	9.17	0.32	0.69	16.02	0.03	
	0	22.182	32.322	22.135	8.32	217.01	96.42	0.73	0.42	0.50	0.06	6.79	0.48	
	10	22.185	32.419	22.208	8.33	221.38	98.41	0.63	0.34	0.64	0.04	5.42	0.26	
C2	20	22.190	32.406	22.197	8.29	203.29	90.37	1.71	1.37	0.90	0.08	4.30	0.32	
	30	21.851	32.659	22.482	8.28	202.44	89.58	5.47	1.06	0.78	0.17	11.87	0.32	
	0	21.777	32.223	22.172	8.33	220.34	97.12	0.24	0.40	0.40	0.07	6.32	0.13	
	10	21.777	32.220	22.172	8.33	226.55	99.86	0.54	0.48	0.77	0.04	6.40	0.25	
	20	21.611	32.292	22.170	8.33	223.47	98.25	1.41	0.54	0.38	0.03	7.20	0.13	
	30	20.647	32.459	22.270	8.21	170.22	73.60	0.34	2.85	0.51	0.23	9.97	0.13	

Table 4.4. (Continued).

STAT.	DEP.	Temp	Sal	Density	pH	DO	Sat-DO	SS	NO3	NH4	PO4	Si(OH) ₄	Chl-a
(m)	(C)	(psu)	(%)	(uM)	(mg/l)	(uM)	(uM)	(uM)	(uM)	(uM)	(uM)	(ug/l)	
C5	50	13.381	33.474	22.656	8.10	161.94	61.13	6.45	8.99	0.65	0.54	9.96	0.03
C6	0	21.531	32.286		8.32	221.50	97.24	0.39	0.31	0.49	0.01	7.56	0.29
	10	21.518	32.293	22.287	8.32	234.54	102.94	0.29	0.27	0.40	0.01	4.53	0.07
	20	21.433	32.269	22.296	8.32	220.24	96.50	0.05	0.78	0.51	0.01	5.83	0.03
	30	22.598	33.292	22.301	8.28	193.01	86.88	0.92	2.48	0.44	0.08	5.36	0.07
C7	50	15.034	33.137	22.755	8.14	170.32	66.37	0.54	6.02	0.28	0.41	7.98	0.03
	75	14.249	33.891	24.530	8.12	149.22	57.49	3.02	7.25	0.42	0.58	16.44	0.00
	0	22.7634	32.906	22.4152	8.32	216.12	97.35	0.24	0.40	0.93	0.01	3.26	0.58
	10	22.7498	32.8921	22.4085	8.33	211.66	95.31	0.29	0.01	0.47	0.01	2.90	0.58
	20	22.7915	32.931	22.4261	8.32	216.19	97.44	0.63	0.53	0.23	0.05	3.17	0.55
	30	22.3713	33.1506	22.7112	8.29	197.65	88.53	0.44	1.48	0.32	0.07	5.32	0.10
	50	18.7017	33.2242	23.7404	8.18	163.30	68.40	0.39	3.86	0.42	0.32	13.89	0.03
75	14.5971	34.0323	25.3137	8.12	150.09	58.29	0.83	7.02	0.32	0.58	18.75	0.03	

식물플랑크톤에 의한 흡수에 의한 결과로 사료된다.

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 1.2~10.3 μM (평균 3.4 μM), 0.02~0.64 μM (평균 0.27 μM), 2.4~12.5 μM (평균 5.3 μM)이다. 밀도약층을 경계로 수심에 따라 이들 농도들은 증가하여 저온 ($T < 14^\circ\text{C}$)의 특성을 보이는 제주해협 북쪽사면의 저층에서 최대값을 보인다 (Fig. 4.6e, 4.6f, 4.6g.).

엽록소 α 농도는 0.01~0.45 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.14 $\mu\text{g l}^{-1}$)로서 영양염류의 공급이 비교적 원활한 내만해역 ($> 0.3 \mu\text{g l}^{-1}$)은 외해역에 비해 2배 이상 높다 (Fig. 4.6h).

3.1.2.2. 관측선 B (제주도-대마도간 동서횡단면)

수소이온농도 (pH)는 8.11~8.34 (평균 8.27) 범위로서 관측선 A보다는 높다. 수심에 따라 감소하여 수온약층 아래에서는 8.2 이하이다 (Fig. 4.7a).

입자성부유물질농도는 최소 0.1~0.8 mg l^{-1} (평균 0.3 mg l^{-1})의 범위로서 춘계와 비슷한 수준이다. 대부분의 정점들의 표면혼합층에서는 1 mg l^{-1} 이하로 낮다 (Fig. 4.7b).

용존산소함량은 141~233 μM (평균 194 μM)으로서 저온저염의 특성을 보인 정점 B9의 표면혼합층에서 220 μM 이상으로 높고, 수심증가에 따라 급격하게 감소하여 제주인접의 정점B1과 B3의 저층에서 150 μM 이하이다 (Fig. 4.7c).

암모니움이온농도는 0.19~0.76 μM (평균 0.46 μM)으로서 뚜렷한 분포특성은 보이지 않는다 (Fig. 4.7d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 0.1~11.1 μM (평균 3.2 μM), 0.04~0.81 μM (평균 0.21 μM), 1.4~16.8 μM (평균 5.7 μM)로서 표면혼합층에서 이들 영양염 농도들은 거의 결핍되어 있고, 수심에 따라 증가하여 용존산소 최소값을 보인 제주인접의 정점 B3의 저층에서 최대값을 보였다 (Fig. 4.7e, 4.7f, 4.7g).

엽록소 α 농도는 0.01~0.36 $\mu\text{g l}^{-1}$ (평균 0.13 $\mu\text{g l}^{-1}$)로서 저온저염수의 특성을 보인 정점 B9의 표면혼합층에서 최대값을 보였다 (Fig. 4.7h).

3.1.2.3. 관측선 C (남해도 남북횡단면)

수소이온농도 (pH)는 8.10~8.33 (평균 8.27) 범위이다. 수심 20~50 m 에 형성된 수온, 염분 및 밀도약층을 경계로 표면혼합층 내에서는 8.3 범위이나 밀도약층을 경계로 수심 증가에 따라 수소이온농도는 감소한다. 저온

(13.38°C)의 특성을 보이는 정점 C4의 저층에서 최소값 (8.1)을 보였다 (Fig. 4.8a).

입자성부유물질 농도는 0.05~ 6.45 mg l⁻¹ (평균 1.21 mg l⁻¹)의 범위로서 표면혼합층에서는 1 mg l⁻¹ 이하이다. 반면에 수심이 60 m 이내인 내만 (정점 C2, C4)의 저층에서는 해저퇴적물의 재부유로 인해 5 mg l⁻¹ 이상이다 (Fig. 4.8b).

용존산소 함량은 150~234 μM (평균 199 μM)이다. 수평농도 분포는 pH의 분포형태와 유사하여 수온, 염분 및 밀도약층을 경계로 상부에서는 200 μM 이상이나 하부에서는 160 μM 이하로 낮다 (Fig. 4.8c).

암모늄이온 농도는 0.2~0.9 μM (평균 0.5 μM)으로서 다른 관측선과 마찬가지로 뚜렷한 분포특성은 보이지 않는다 (Fig. 4.8d).

질산이온, 인산이온 및 규산 농도는 각각 0.1~9.0 μM (평균 2.2 μM), 0.01~0.58 μM (평균 0.16 μM), 2.9~18.8 μM (평균 7.7 μM)이다. 수평농도 분포는 내만에서 외해역으로 갈수록 점차 감소한다. 수직적으로는 수심에 따라 증가하여 외해역의 정점 C7의 저층에서 최대값을 보였다 (Fig. 4.8e, 4.8f, 4.8g).

엽록소 *a* 농도는 0.03~0.58 μg l⁻¹ (평균 0.21 μg l⁻¹)로서 관측선 A와 마찬가지로 영양염류 공급이 비교적 원활한 내만해역에서 0.3 μg l⁻¹ 이상으로 높다. 수평농도분포는 외해로 갈수록 점차 감소한다. 주변 정점들에 비해 저염을 보인 가장 외해역에 위치한 정점 C7의 표면혼합층에서 최대값을 보인다 (Fig. 4.8h).

3.2. 제주해협을 통과하는 화학물질 플럭스

제주해협을 통과하는 해수 및 화학물질들에 대한 플럭스 규명은 남해 대륙붕에서의 화학물질 균형을 추정하기 위해 필수적이다.

춘계와 추계 제주해협을 통과하는 화학성분들에 대한 플럭스는 이들 평균농도에 해류속도를 곱하여 계산하였다.

춘계 및 추계의 각각의 화학성분들에 대한 단위면적당 플럭스 (flux-density)를 Fig. 4.9와 Fig. 4.10에 나타내었다. 여기서 (-)는 동쪽에서 서쪽으로, (+)는 서쪽에서 동쪽으로의 플럭스를 나타낸다.

춘계 (1997년 3월)에 단위면적당 입자성 부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각 -40~ 165 mg m⁻² s⁻¹, -3.6~104 μmol m⁻² s⁻¹, -50~656 μmol m⁻² s⁻¹, -5.1~55 μmol m⁻² s⁻¹,

-73~710 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 범위이다 (Fig. 4.9). 일반적으로 단위면적당 화학성분들에 대한 플럭스는 유속 (current speed)에 크게 좌우된다. 유속이 16 cm s^{-1} 이상인 제주해협골 북쪽사면에 위치하여 고온고염의 특성을 보이는 정점 A10에서의 단위면적당 화학성분들의 플럭스가 가장 높다. 반면에 유속이 -3 cm s^{-1} 이하인 내만해역에서 가장 낮은 단위면적당 화학성분 플럭스를 보였다.

추계 (1997년 10월)에 단위면적당 입자성 부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산 플럭스는 각각 $-26 \sim 367 \text{ mg m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $-25 \sim 176 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $-200 \sim 1909 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $-6.3 \sim 125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $-221 \sim 2519 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 범위로서 춘계에 비해 2배 이상의 플럭스 값을 갖는다. 또한 춘계에는 유속에 의해 플럭스가 좌우된 반면에 추계에는 농도에 의해 크게 좌우된다. 이에 따라 식물플랑크톤의 흡수에 의해 낮은 용존무기영양염류 농도를 보이는 표면혼합층에서의 플럭스는 낮다. 반면에 높은 영양염류 및 입자성부유물질농도를 보이는 밀도약층 아래 수심에서의 플럭스는 높은 분포 특성을 갖는다 (Fig. 4.10).

Table 4.5에 제주해협을 통과하는 계절별 화학물질 플럭스를 해류 방향을 근거로 하여 구분하여 화학성분들에 대한 gross flux를 나타내었다.

여기서 gross flux는 단위면적당 화학성분 플럭스에 제주해협 총거리로 적분하였다.

수온 및 염분전선을 경계로 하여 연안역을 서향류와 동향류가 우세한 지역을 나누어 2개의 지역으로 구분하였고, 전선 바깥쪽을 외해역으로 명명하였다. 추계에는 해류방향을 근거로 하여 연안역 (동향류), 연안역 (서향류) 및 외해역 (동향류)로 구분하였다.

춘계에 제주해협을 통과하는 입자성부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $3.23 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $1.73 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $12.85 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.16 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $14.55 \times 10^8 \mu\text{mol/s}$ 이다.

이 값은 1995년 4월에 보길도-제주도간의 화학물질 운송량을 추정한 Suk et al. (1996)과 대체로 유사하다.

추계의 입자성부유물질, 암모이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $4.17 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $2.82 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $24.42 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $1.57 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$, $35.42 \times 10^8 \mu\text{mol s}^{-1}$ 로서 춘계보다는 높은 gross flux를 보였다.

Table 4.5. Along-strait material fluxes in the Cheju Strait in 1997

Chemicals	Gross fluxes					
	March			September		
	연안역 (서향류)	연안역 (동향류)	외해역 (동향류)	연안역 (동향류)	연안역 (서향류)	외해역 (동향류)
suspended matter ($\times 10^8$ mg s ⁻¹)	-0.56	0.12	3.67	0.57	-0.11	3.71
Ammonium ($\times 10^8$ μ mol s ⁻¹)	-0.07	0.04	1.76	0.25	-0.09	2.66
Nitrate ($\times 10^8$ μ mol s ⁻¹)	-0.78	0.33	13.30	2.18	-0.64	22.88
Phosphate ($\times 10^8$ μ mol s ⁻¹)	-0.08	0.03	1.21	0.19	-0.04	1.42
Silicate ($\times 10^8$ μ mol s ⁻¹)	-1.16	0.49	15.22	2.56	-0.77	33.63

3.3. 표층수에서의 유기물 분포 특성

해수중 유기물은 용존유기물 (dissolved organic matter)과 고형유기물 (particulate organic matter)의 형태로 구성되어 있다. 수주내에서 고형 유기물은 총유기량중 약 11 % 정도만을 차지하나 동물플랑크톤, 어류 및 저서생물들에게 먹이로 직접 이용되기 때문에 중요하다 (Cauwet, 1978).

1997년 3월과 9월 표층수에서의 입자성유기탄소, 질소 및 생물기원 규소 (biogenic Si) 함량에 관한 결과를 Table 4.6과 4.7에 나타내었다.

3.3.1. 춘계 (1997년 3월)

표층수에서의 입자성 유기탄소 함량은 28~441 μ g l⁻¹ (평균 123 μ g l⁻¹)로서 저염 (<34 psu)의 특성을 보이는 내만해역에서는 150 μ g l⁻¹ 이상으로 높고, 염분 변화에 따른 함량 변이가 크다. 반면에 고염수 (>34.4 psu)의 외해역에서는 140 μ g l⁻¹ 이하로 낮고, 염분에 따른 함량변이는 내만해역보다 작다 (Fig. 4.11a). 입자성 유기질소 함량은 정점 C1을

Table 4.6. The chemical composition of organic matter in the surface water in the South Sea during March 19 -27.

Station	Org.C (%)	Org.N (%)	Org.C (ug/l)	Org.N (ug/l)
A2	2.07	0.19	441.94	41.23
A4	2.69	0.35	155.71	20.31
A6	2.67	1.36	69.55	35.43
A8	4.15	1.05	96.89	24.61
A10	3.48	0.90	79.38	20.45
B1	3.66	-	64.74	-
B5	1.39	7.32	70.69	13.38
B8	3.30	-	28.27	-
B10	11.53	-	71.12	-
C1	5.88	2.16	192.39	70.80
C3	6.77	2.30	152.55	51.81
C5	10.36	3.19	141.69	43.62
C7	16.40	4.57	140.68	39.20
C8	9.18	2.45	88.59	23.63

Table 4.7. The chemical composition of organic matter in the surface water in the South Sea during September 27 - October 1, 1997

Station	Org.C (%)	Org.N (%)	Biogenic Si (%)	Org. C (ug/l)	Org.N (ug/l)	Bio-Si (ug/l)	C/N (atomic)	C/Si (atomic)
A1	10.35	5.86	8.65	81	46	30.7	2.05	6.17
A3	14.26	5.21	8.367	104	38	15.9	3.19	15.34
A5	20.33	4.53	1.716	81	18	4.5	5.25	41.93
A7	14.59	9.87	2.097	51	34	2.4	1.75	48.85
A9	13.92	6.20	0.739	74	33	3.8	2.62	45.01
B1	20.35	21.21	7.623	71	74	12.6	1.12	13.18
B3	12.06	5.25	3.966	65	28	4.6	2.71	32.83
B5	16.33	8.17	-	87	44	-	2.31	-
B9	20.39	7.28	18.426	139	50	43.9	3.24	7.41
B11	16.31	4.40	8.456	87	24	9.9	4.23	20.60
C2	32.46	8.07	7.738	170	42	34.2	4.72	11.62
C7	20.16	3.55	3.355	160	28	55.4	6.67	6.76

제외하고는 대부분의 정점들에서 $40 \mu\text{g l}^{-1}$ 이하이다 (Fig. 4.11b).

유기탄소 대 유기질소 비는 저염 (<34 psu)의 내만해역에서는 3.0~12.5 범위로 염분에 따른 변이가 크나, 고염 (>34.4 psu)의 외해역에서는 4 내외이다 (Fig. 4.11c).

고염 (>34.4 psu)의 외해역에서는 클로로필 a 함량과 입자성 유기탄소 함량간에는 비교적 양호한 양의 상관관계 ($r=0.86$, $n=8$)를 갖는다. 반면에 입자성 부유물질 농도와 입자성 유기탄소 함량간에는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않는다 (Fig. 4.12, 4.13). 이것은 고염의 외해역에서는 식물플랑크톤 생체량에 따라 입자성 유기탄소 함량이 조절된다는 것을 의미한다. 내만해역에 위치한 정점 A2에서는 클로로필 a 함량이 낮음에도 불구하고 입자 성유기탄소 함량은 최대값을 보여 많은 양의 유기쇄설입자 (detritus)가 존재하고 있음을 알 수 있다.

3.3.2. 추계 (1997년 9월)

표층수에서의 입자성 유기탄소 함량은 $51\sim170 \mu\text{g l}^{-1}$ (평균 $97.5 \mu\text{g l}^{-1}$)로서 춘계보다는 낮고, 염분에 따른 뚜렷한 분포특성은 보이지 않는다 (Fig. 4.14a). 유기질소함량 범위는 $18\sim74 \mu\text{g l}^{-1}$ 로서 평균 $38.3 \mu\text{g l}^{-1}$ 이다 (Fig. 4.14b). 생물기원 규소함량은 $4.6\sim55.4 \mu\text{g l}^{-1}$ (평균 $19.6 \mu\text{g l}^{-1}$)로서 유기탄소함량이 높은 정점들에서 $1 \mu\text{g l}^{-1}$ 이상의 높은 함량을 보인다 (Fig. 4.14c).

클로로필 a 함량과 입자성 유기탄소함량간에는 춘계와 마찬가지로 비교적 양호한 양의 상관관계 ($r=0.85$, $n=12$)를 갖는다 (Fig. 4.15). 반면에 입자성 부유물질농도와 입자성유기탄소함량간에는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않는다 (Fig. 4.16). 클로로필 a 함량과 생물기원규소 함량간의 관계 또한 양호한 상관관계 ($r=0.84$, $n=11$)를 갖지만 (Fig. 4.17), 반면에 입자성 부유물질 농도와는 뚜렷한 상관관계가 없다 (Fig. 4.18). 따라서 춘계와 마찬가지로 추계의 남해 대륙붕에서의 입자성 유기탄소 함량은 식물플랑크톤 생체량에 따라 좌우되며, 식물플랑크톤중 대부분은 규조류등 규소를 가진 종들로 구성되어 있는 것으로 판단된다.

3.4. 해저퇴적물에서의 유기물 분포 특성

남해대륙붕의 주요해역별 해저주상퇴적물의 유기탄소, 질소 및

생물기원규소 (biogenic Si) 함량을 Table 4.8과 4.9에 나타내었다.

3.4.1. 제주해협 (정점 A10)

제주해협골 북쪽사면에 위치한 정점 A10의 퇴적물중 유기탄소 함량은 표층에서 $606.7 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 최대값을 보이나 1~3 cm 깊이까지는 급격히 감소한다. 6~7 cm를 경계로 하여 깊이가 증가할수록 유기탄소 함량은 지수함수적으로 감소하여 31 cm 이하 깊이에서의 유기탄소 함량은 표층의 1/2 수준이다 (Fig. 4. 19a). 유기질소 함량은 $61.4\sim 288.6 \mu\text{g g}^{-1}$ 의 범위로 표층에서 최대값을 보인 유기탄소 함량과는 달리 12~13 cm의 깊이에서 최대값을 갖는다 (Fig. 4.19b). 생물기원 규소 함량 분포는 유기탄소함량과 유사하여 표층에서 $370.3 \mu\text{g g}^{-1}$ 으로 최대값을 보이고, 3 cm 깊이까지 급격하게 감소한다. 6~7 cm를 경계로 하여 생물기원규소 함량은 지수함수적으로 감소하고, 30 cm 이하 깊이에서는 균일하다 (Fig. 4. 19c).

3.4.2. 내만 (정점 JM)

장목만에 위치한 정점 JM의 퇴적물중 유기탄소 함량은 표층에서 7 cm 깊이까지 $1200 \mu\text{mol g}^{-1}$ 이상으로 높고, 퇴적 깊이 증가에 따라 급격히 감소하는 경향을 보인다. 25 cm 이하 깊이에서의 유기탄소 함량은 비교적 일정하다 (Fig. 4.20a). 표층에서 7 cm 깊이까지의 유기탄소 함량은 조사 정점중 가장 높으나, 마산만에서 이전에 측정했던 수치와 1/2 수준이다 (한국해양연구소, 1993, 1994).

유기질소 함량은 1~2 cm 깊이에서 $462 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로 최대값을 보이고 9~10 cm의 깊이에서 두번째 피크를 보인다. 13 cm 이하에서는 깊이 증가에 따라 점차 증가하여 유기탄소 함량분포와는 다른 양상을 보인다 (Fig. 4. 20b).

생물기원 규소함량은 표층에서 $1,157 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로 최대값을 보이나 깊이 증가에 따라 급격하게 감소하여 5 cm 깊이에서 최소값 ($495 \mu\text{mol g}^{-1}$)을 보인다. 6~7 cm 깊이를 경계로 하여 생물기원 규소 함량은 점차 감소한다 (Fig. 4. 20c).

Table 4.8. The chemical composition in the sediment at station A10 (March, 1997).

Station	Depth (cm)	Org.C (%)	Org.N (%)	Biogenic Si (%)	Org. C (umol/g)	Org. N (umol/g)	Bio-Si (umol/g)	C/N (atomic)	C/Si (atomic)
A10	0-1	0.73	0.16	1.04	606.67	113.57	370.28	5.34	1.64
	1-2	0.67	0.35	1.01	554.17	252.14	361.17	2.20	1.53
	2-3	0.39	0.09	0.79	326.67	61.43	283.00	5.32	1.15
	4-5	0.58	0.31	1.02	480.00	220.71	361.54	2.17	1.33
	6-7	0.62	0.14	0.98	513.33	96.43	348.46	5.32	1.47
	9-10	0.56	0.21	0.89	470.00	151.43	315.42	3.10	1.49
	12-13	0.51	0.40	0.92	425.00	288.57	326.97	1.47	1.30
	16-17	0.48	0.11	0.94	401.67	80.71	336.20	4.98	1.19
	19-20	0.44	0.16	0.86	365.00	111.43	305.13	3.28	1.20
	24-25	0.46	0.20	0.82	383.33	141.43	293.62	2.71	1.31
	30-31	0.37	0.13	0.70	307.50	95.00	249.28	3.24	1.23
	36-37	0.38	0.12	0.70	316.67	87.86	250.28	3.60	1.27

Table 4.9. The chemical composition in the sediment in the South Sea of Korea (September, 1997).

Station	Depth (cm)	Org.C (%)	Org.N (%)	Biogenic Si (%)	Org.S (%)	Org.C (umol/g)	Org.N (umol/g)	Bio-Si (umol/g)	C/N (atomic)	C/Si (atomic)	
JM	0-1	1.45	0.29	3.25	0.52	1205.0	203.6	1157.2	5.9	1.04	
	1-2	1.42	0.65	1.81	0.57	1185.0	462.1	644.5	2.6	1.84	
	2-3	1.47	0.24	1.69	0.41	1225.8	169.3	601.7	7.2	2.04	
	4-5	1.50	0.23	1.39	0.46	1252.5	161.4	494.9	7.8	2.53	
	6-7	1.46	0.21	1.86	0.51	1216.7	150.7	662.3	8.1	1.84	
	9-10	1.24	0.44	1.79	0.63	1031.7	316.4	637.3	3.3	1.62	
	12-13	1.28	0.19	1.68	0.69	1065.0	134.3	598.2	7.9	1.78	
	16-17	1.23	0.17	1.71	0.70	1020.8	122.9	608.9	8.3	1.68	
	19-20	1.20	0.19	1.68	0.68	1001.7	136.4	598.2	7.3	1.67	
	24-26	1.02	0.21	1.41	0.52	851.7	148.6	502.0	5.7	1.70	
	30-32	1.06	0.21	1.60	0.60	882.5	152.1	569.7	5.8	1.55	
	36-38	1.01	0.23	1.72	0.55	840.0	164.3	612.4	5.1	1.37	
	SC1	0-1	0.82	0.36		0.26	680.0	254.3		2.7	
		1-2	1.01	0.38	1.56	0.31	844.2	271.4	555.4	3.1	1.52
2-3		0.83	0.13	1.84	0.31	691.7	92.9	655.1	7.4	1.06	
4-5		1.15	0.24	1.80	0.32	957.5	174.3	640.9	5.5	1.49	
6-7		0.91	0.22	1.58	0.34	755.8	155.0	562.6	4.9	1.34	
12-13		1.01	0.15	1.73	0.29	840.0	108.6	616.0	7.7	1.36	
16-17		0.85	0.13	1.77	0.31	705.8	95.0	630.2	7.4	1.12	
19-20		0.91	0.48	1.79	0.28	754.2	340.7	637.3	2.2	1.18	
24-26		0.83	0.13	1.61	0.33	691.7	92.9	573.2	7.4	1.21	
30-32		0.95	0.22	1.57	0.31	795.0	158.6	559.0	5.0	1.42	
38-40		1.03	0.16	1.53	0.31	860.8	114.3	544.8	7.5	1.58	

Table 4.9. (Continued).

Station	Depth (cm)	Org.C (%)	Org.N (%)	Biogenic Si (%)	Org.S (%)	Org.C (umol/g)	Org.N (umol/g)	Bio-Si (umol/g)	C/N (atomic)	C/Si (atomic)
SC2	0-1	0.67	0.11	2.30	0.37	555.0	76.4	818.9	7.3	0.68
	1-2	0.63	0.10	1.87	0.38	521.7	70.7	665.8	7.4	0.78
	2-3	0.79	0.14	2.40	0.22	659.2	97.9	854.5	6.7	0.77
	4-5	1.27	0.20	1.95	0.42	1055.0	139.3	694.3	7.6	1.52
	6-7	0.59	0.11	1.85	0.32	487.5	77.1	658.7	6.3	0.74
	8-9	2.55	0.60	1.89	0.49	2128.3	428.6	672.9	5.0	3.16
	9-10	1.59	0.32	1.83	0.36	1324.2	228.6	651.6	5.8	2.03
	12-13	1.87	0.32	2.30	0.50	1554.2	228.6	818.9	6.8	1.90
	16-17	1.51	0.16	1.71	0.28	1255.8	113.6	608.9	11.1	2.06
	19-20	1.11	0.19	2.43	0.23	921.7	136.4	865.2	6.8	1.07
	24-26	1.34	0.20	1.98	0.31	1115.0	141.4	705.0	7.9	1.58
	30-32	0.80	0.13	2.95	0.30	669.2	92.1	1050.4	7.3	0.64

3.4.3. 낙동강 델타 (정점 SC1)

유기탄소 함량 범위는 $680\sim 957 \mu\text{mol g}^{-1}$ 이다. 정점 JM에서와는 달리 표층에서 최소값을 보이고 4~5 cm 깊이에서 최대값을 갖는다. 25 cm 깊이 이하에서는 깊이 증가에 따라 유기탄소 함량은 급격히 증가한다 (Fig. 4. 21a).

유기질소 함량범위는 $93\sim 341 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로서 유기탄소 함량 분포와는 달리 19~20 cm 에서 최대값을 보였다 (Fig. 4. 21b).

생물기원 규소 함량은 0~2 cm와 6~7 cm 깊이를 제외하고는 20 cm 깊이까지 $600 \mu\text{mol g}^{-1}$ 이상의 높은 값을 갖는다. 25 cm 이하에서는 유기탄소 함량 분포와는 달리 깊이 증가에 따라 생물기원 규소함량은 감소한다 (Fig. 4. 21c).

3.4.4. 대한해협 (정점 SC2)

유기탄소 및 유기질소 함량 범위는 각각 $488\sim 2128$, $71\sim 429 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로서 대체로 깊이별 분포양상을 유사하여 8~9 cm 깊이에서 최대값을 보였다. 다른 조사정점들과는 달리 표층 부근 (0~6 cm)에서의 유기탄소 및 유기질소 함량은 그 이하 깊이에서의 함량값의 1/4~1/2 수준으로 낮은 특징을 보인다 (Fig. 4.22a, 4.22b).

생물기원 규소 함량은 유기탄소 및 유기질소의 깊이별 양상과는 달리 30 cm 깊이에서 $1,050 \mu\text{mol g}^{-1}$ 으로 최대를 보인다 (Fig. 4. 22c).

3.4.5. 퇴적물 생물기원 원소간의 상관관계

남해 대륙붕의 해저 퇴적물의 표층 유기탄소 함량은 0.7 % 정도 (Table 4.8, 4.9)로서 동해 해저퇴적물에서의 함량 (1.4~1.9%)보다 낮다 (한국해양연구소, 1996). 이것은 남해는 동향 해류 지배해역 (Suk et al., 1996)으로서 해류를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 상당량의 퇴적물이 유입된 결과로 사료된다. 이에따라 비교적 연안에 가까운 정점 SC1과 SC2의 퇴적물중 유기탄소 대 생물기원규소 함량과의 상관관계는 $r < 0.1$ 이다. 반면에 제주해협 사면골에 위치하여 비교적 고온고염수의 영향을 많이 받는 정점 A10에서는 $r=0.91$ 로서 상당히 양호한 상관관계를 보였다. 따라서 정점 A10에서의 퇴적물에서는 규소를 함유한

식물플랑크톤이 유기탄소 함유량을 조절하는 일차 요인임을 알 수 있다.

퇴적물의 C/N 비 (원자비)는 퇴적물로 공급되는 유기물질의 종류에 따라 값이 달라져 육상기원 및 해양기원 유기물을 구분하는 수단으로 사용할 수 있다. 이것은 해양퇴적물의 질소는 단백질에서 오기때문에 단백질의 양이 적은 고등식물이나 그외의 유기물에 기인하는 육상기원 유기물보다는 해양기원 유기물의 C/N 비가 작다. 반면에 육상식물에는 분해되기 어려운 리그닌이나 셀룰로오스 같은 물질이 함유되어 있으므로 C/N 비가 크다.

본 남해 대륙붕 퇴적물에서의 C/N 비는 대부분이 8 이하로서 주로 해양기원 유기물에 가까운 C/N 비를 갖는다 (Table 4.8, 4.9).

3.5. 해저 퇴적물 축적을

정점 A10은 제주해협 수심이 가장 깊은 제주협곡 (trough)의 제주난류 (Cheju Warm Current) 해역으로 물리적 에너지가 높은 해저이다. 따라서 표층 퇴적물의 혼합층이 두껍고 (8cm), 혼합율이 높고 ($>12.4 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$), 남해안 인접 천해역보다는 퇴적율이 매우 낮다 ($89 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, $<0.1 \text{ cm yr}^{-1}$; Table 4.10, Fig. 4.23). 정점 SC1은 낙동강 델타역으로 퇴적물의 축적률은 $207 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로서 가장 높다 (Fig. 4.24b). 대한해협의 정점은 SC2의 퇴적률은 $65 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Fig. 4.24c), 진해만의 내만인 장목만에서는 $146 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다 (Table 4.10, Fig. 4.24a).

Table 4.10. ^{210}Pb -derived sedimentation rates and sediment parameters in the South Sea of Korea.

Site	Latitude	Longitude	Region	Water depth (m)	Accumulation rate		SML depth (m)	Mixing coeff. (cm^2/yr)	SML residence time (yr)	^{210}Pb flux ($\text{dpm}/\text{cm}^2/\text{yr}$)	Superficial ^{210}Pb (dpm/g)
					$\text{mg}/\text{cm}^2/\text{yr}$	cm/yr					
A10	33°36.09'N	126°17.75'E	Trough	109	89	0.09	8	>12.4	51	0.7	9.3
SC1	34°52.04'N	128°50.01'E	Shelf	43	207	0.35	6.5	>40	10	4.1	15.1
SC2	35°12.99'N	129°19.97'E	Shelf	87	65	0.09	4.5	>2.1	34	1.9	21.9
JM	34°59.55'N	128°40.68'E	Bay	6	146	0.22	9.5	>26.2	34	1.1	4.9

표층입자혼합계수는 각각 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 표층혼합층의 두께는 8, 6.5, 4.5, 그리고 9.5 cm 이다. 표층혼합층의 ^{210}Pb 부착입자 혼합계수는 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 각각 >12.4 , >40 , >2.1 그리고 $>26.2 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 입자가 표층혼합층에 머무르는 기간은 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협,

장목만에서 각각 51, 10, 34, 34년이다.

기존연구결과에 의하면 낙동강 내대륙붕의 퇴적율은 평균 0.2 cm yr^{-1} ($0.1 \sim 0.4 \text{ cm yr}^{-1}$, Park and Chu, 1991) 이다. 진해만 남동부는 $417 \text{ cm}/1000 \text{ yr}$ (14C 법)과 진해만 중부에서는 $0.2 \sim 0.5 \text{ cm yr}^{-1}$ (과량 ^{210}Pb 법) 이다 (Park and Lee, 1996).

3.6. 생물기원 원소 해저 축적율

입자성 유기물 및 생물기원 규소의 해저 축적율은 다음의 식에 의하여 기술될 수 있다.

$$J_s = w p G_o (1 - \phi) + K_p (dG/dz)_{z=0} (1 - \phi)$$

여기서 J_s 는 유기물 (생물기원 규소) 축적율이다. w 는 퇴적율 (cm yr^{-1}), p 는 퇴적물 밀도 2.5 g cm^{-3} , G_o 는 표층퇴적물의 유기탄소(생물기원 규소함량 $\mu\text{mol/g}$), ϕ 는 공극율, K 는 입자혼합계수이다. 전향은 이류향이고 후향은 확산향이다 (Hong et al. 1996). 남해 대륙붕에서 해저에 축적되는 유기물은 $36 - 176 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 낮다. 생물기원 규소는 $33 - 174 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 가장 낮다. 유기물의 해저 축적율은 표층퇴적물의 혼합계수가 비교적 크에도 불구하고 퇴적율이 상대적으로 높아서 이류향에 의하여 결정되고 있다 (Table 4.11).

Table 4.11. The relative importance of sediment mixing to the incorporation rate of biogenic matter into the sediment.

단위 : $\mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$

Station	Particulate Organic Carbon		Biogenic Silicon	
	Advection	Diffusion	Advection	Diffusion
A10	54	0.26	33	0.05
SC1	174	0.98	136	0.09
SC2	36	0.03	53	0.15
JM	176	0.21	169	5.38

3.7. 시계열 해양과정 관측 정점 설치 운영결과

3.7.1. 장비계류 및 시료처리

남해안 연안은 굴곡이 심한 리아스식 해안으로 천연의 양식환경 조건을 가지고 있다. 그러나, 산업화, 양식시설의 밀집 등 인간의 활동 증대로 내만의 해양환경은 진해만과 같이 부영양화 현상으로 인한 혐기성 환경을 초래 등 그 수질이 급속하게 악화되기도 하였다.

본 연구에서는 남해 내만 해역중에서 부영양화의 진행으로 하계에 혐기성 환경을 초래하고 만성적인 적조현상에 시달리는 진해만과 세계적인 청정 해역으로 굴양식장이 산재한 거제 충무 해역의 경계면에서의 단시간 규모의 생지화학원소 물질변이를 추적하기 위하여 한국해양연구소 장목 기지 앞에 시계열 침강입자 자동 채취기를 장기 계류하였다. 장기계류에 사용된 시계열 침강입자 자동 채취기의 특성 및 계류 지점 (정점 JM)은 다음과 같다.

수심 : 9 m

위치 : 34° 59.55' N, 128° 40.68' E

계류시작시간 : 1997. 10. 1. 10:25(KMT)

계류장비 : MK 7-13(7G-21) Sediment Trap(해저면에서 3 m)

시료채취단면적 : 0.5 m²

시료채취 시작시간 : 1997. 10. 2. 00.00(KMT)

시료채취간격 : 매 2일간

1998년 10월 1일 거제도 장목 앞 수심 9 m 되는 지점에 약 300 kg 중량의 기차바퀴에 McLANE 사의 시계열 침강입자 자동채취기와 부력 부이를 연결하여 계류를 시작하였다. 시계열 침강입자 자동채취기는 해저면에서 3 m를 유지하게 하였으며 채취기 위 5 m 에 연결된 부이는 총상승부력이 100 kg 을 되게 하여 채취기가 시료채취면이 수평을 유지하게 하였다.

계류장비는 약 한달 간격으로 회수하여 시료병을 꺼낸 후에 정비하여 재계류하는 방식으로 연속적 계류를 실시하고 있다. 사용된 것과 동종의 채취기의 규격 및 모양은 Fig. 4.25와 같다.

시료채취용기에는 시료의 변질을 방지하기 위하여 여과한 해수에 sodium borate 로 포화시킨 포르말린 용액을 일정량 첨가하였다. 회수된 시료는

실험실로 운반하여 젖은 채로 시료의 분석을 위하여 시료분리기를 이용하여 여러 등분으로 나누었다.

3.7.2. 침강 플럭스 변이

1997년 10월 2일부터 10월 27일까지, 그리고, 11월 1일부터 12월 8일까지 총 2회에 걸쳐 침강입자 자동채취기를 계류 및 회수하여 정량한 2일 간격의 총침강입자 플럭스는 $0 \sim 44.7 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로서 그 변동폭이 매우 컸으며 평균 $7.2 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 의 총침강플럭스를 보였다. 10월 2일에 첫 계류를 시작하고부터 10월 7일까지는 $12.9 \sim 19.7 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 비교적 높은 침강속을 보였으나 그 이후 6일간은 $0 \sim 0.08 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 수층에서의 거의 입자의 수직적 침강이 이루어지지 않은 결과를 보였다. 그리고, 그 이후 10월 14일에서 10월 27일까지는 $0.3 \sim 4.2 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 10월 초순에 비하여 약 1/4 이하의 낮은 침강속을 보였다. 10월 31일 2차 계류 후 11월 1일 부터는 $3.4 \sim 44.7 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 최소값과 최대치간의 차이가 10배 이상으로 역시 변동폭이 컸다 (Table 4.12, Fig. 4.26). 침강입자 자동채취기를 계류한 지점은 수심이 9 m 되는 얇은 곳으로 해황이 기상조건과 조석 등에 따라 영향을 받을 것으로 사료되며 인접한 곳에 설치된 기상관측 부이로부터의 자료를 제공받아 기상조건과 침강플럭스와의 상관관계를 분석할 예정이다. 현재까지의 약 2개월 여에 걸쳐 수집된 자료로부터 연평균 입자 침강속을 계산하면 $263 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 인접한 곳에서 채취한 박스코아 퇴적물 시료에서 ^{210}Pb 방법으로 계산한 퇴적물 $146 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 의 약 1.8 배에 해당된다. 그러나, 이는 약 2개월에 걸친 입자 침강속으로 계산한 것으로 향후 시료채취가 계속되면 더 좋은 결과가 제시될 수 있을 것이다.

1차 침강입자 자동채취기의 회수시료에서 분석된 침강입자들의 구성성분은 유기탄소가 평균 2.48 % (1.86 ~ 3.17 %), 무기탄소가 평균 1.39 % (0.93 ~ 1.94 %), 그리고, 생물기원 규소가 평균 2.63 % (2.27 ~ 3.30 %) 의 함량을 보였다 (Table 4.13). 이들로부터 생물기원물질이 차지하는 비율을 환산하기 위하여 유기탄소로부터 2.8을 곱하여 유기물 함량을 계산하고 (Honjo and Manganini, 1993), 그의 무기탄소와 생물기원 규소로부터 탄산칼슘과 생물기원 규산 (opal)의 함량을 계산하였다. 이들 세성분을 생물기원 물질로 하면, 침강입자에서 생물기원물질이 차지하는 부분은 평균 24.2 % (20.0 ~ 31.3 %)이며 그의 약 76.2 % 가 암석기원

Table 4.12. Total mass flux of settling particle at station JM.

Open (date)	During	Total mass flux (g/d/m ²)	
1st deployment			
10/02	2	12.91 +/-	0.54
10/04	2	18.84 +/-	0.33
10/06	2	19.71 +/-	0.52
10/08	2	0.08 +/-	0.01
10/10	2	0.00 +/-	0.00
10/12	2	0.00 +/-	0.00
10/14	2	1.25 +/-	0.09
10/16	2	4.17 +/-	0.19
10/18	2	2.17 +/-	0.18
10/20	2	1.75 +/-	0.31
10/22	2	1.50 +/-	0.21
10/24	2	4.34 +/-	0.38
10/26	2	0.31 +/-	0.02
2nd deployment			
11/01	2	9.84 +/-	0.33
11/03	2	4.59 +/-	0.27
11/05	2	6.81 +/-	0.83
11/07	2	5.10 +/-	0.08
11/09	2	3.43 +/-	0.11
11/11	2	3.96 +/-	0.27
11/13	2	3.99 +/-	0.27
11/15	2	5.20 +/-	0.10
11/17	2	44.74 +/-	0.71
11/19	2	12.96 +/-	0.28
11/21	2	4.99 +/-	0.09
11/23	2	7.48 +/-	0.23
11/25	2	8.95 +/-	0.38
11/27	2	4.74 +/-	0.16
11/29	2	4.54 +/-	0.11
12/01	2	11.36 +/-	0.38
12/03	2	10.18 +/-	0.22
12/05	2	7.00 +/-	0.19
12/07	2	3.60 +/-	0.22

Table 4.13. Mass flux of settling particle at station JM.

Open (date)	During (day)	Flux									
		Total mass (g/d/m ²)	Org-C (mg/d/m ²)	Inorg-C (mg/d/m ²)	Bio-Si (mg/d/m ²)	Org-M (mg/d/m ²)	CaCO ₃ (mg/d/m ²)	Opal (mg/d/m ²)	Bio-M (g/d/m ²)	Lith-M (g/d/m ²)	
10/02	2	12.91	367.6	119.5	361.5	1029	996	773	2.80	10.11	
10/04	2	18.84	411.2	194.5	465.2	1151	1621	995	3.77	15.07	
10/06	2	19.71	426.1	209.2	502.5	1193	1743	1075	4.01	15.69	
10/08	2	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/10	2	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/12	2	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/14	2	1.25	29.2	17.4	30.3	82	145	65	0.29	0.96	
10/16	2	4.17	102.8	46.8	105.2	288	390	225	0.90	3.27	
10/18	2	2.17	46.8	38.5	58.0	131	321	124	0.58	1.60	
10/20	2	1.75	55.5	32.5	39.8	156	271	85	0.51	1.24	
10/22	2	1.50	43.5	29.1	49.6	122	242	106	0.47	1.03	
10/24	2	4.34	117.8	47.6	108.0	330	397	231	0.96	3.38	
10/26	2	0.31	5.8	5.4	8.6	16	45	18	0.08	0.23	
Average		5.16	123.6	57.0	133.0	346	475	284	1.11	4.05	
Max.		19.71	426.1	209.2	502.5	1193	1743	1075	4.01	15.69	
Min.		0.00	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.00	0.00	
Std.		6.86	156.9	69.0	175.6	439	575	376	1.38	5.49	

Org-C : organic carbon, Inorg-C : inorganic carbon, bio-Si : biogenic silicon,
 Org-M : organic matter, Bio-M : biogenic matter, Lith-M : lithogenic matter

물질로 구성되어 있음을 알 수 있다 (Fig. 4.27). 유기탄소/질소의 원자비는 평균 7.17 로 이곳에 침강되는 입자들의 유기물은 주로 해양기원임을 알 수 있다. 그리고, 유기탄소/무기탄소, 유기탄소/생물기원 규소 의 원자비는 각각 평균 1.9와 2.2 로 이 해역의 유기물 생산은 탄산염보다는 규산염에 의한 것이 다소 우세하였다. 유기물, 탄산칼슘과 생물기원 규산의 침강속은 이 기간에 평균 각각 $346, 475$ 와 $284 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 로 나타났으며, 총 생물기원 물질의 침강속은 평균 $1.11 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, 암석기원 물질의 침강속은 평균 $4.05 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 였다 (Table 4.14). 유기물, 탄산칼슘, 생물기원 규산 및 총 침강속 과의 상관관계는 일차 상관계수 (R^2)가 모두 0.94 이상으로 높아 역시 구성 성분비가 거의 일정함을 나타내었다 (Fig. 4.28). 이는 이 시기의 침강 입자속은 수층에서의 일차생산 활동의 변이와 같은 생지화학적 과정보다는 조석, 기상 등에 의한 해수의 수리적 요인에 의하여 좌우된다고 할 수 있다.

3.8. 일차 생산력

1997년 3월의 기초생산값은 Table 4.15에 나타내었다. 기초생산 값의 범위는 표층(100%와 49% LPD)에서는 1.964 에서 5.163 (mean = 3.164 ± 1.390) $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다. 1997년 9월의 표층 기초생산은 (Table 4.16) 1.443 - 8.667 (mean = 4.687 ± 2.116) $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ 를 나타내어 3월에 비하여 48% 정도의 증가를 보였다. 이는 주로 수온과 일조량의 증가에 기인한 것으로 보인다. 단위면적당 수층적분한 생산성은 97년 3월에는 28.56 - 86.79 (mean = 60.992) $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 의 범위를 보였고, 9월에는 43.44 - 102.29 (mean= 112.108) $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 의 범위를 보여 표층의 생산성과 마찬가지로 9월에 84% 정도 증가된 값을 나타내었다. 이로부터 배양시간과 광량을 고려하여 추정한 일일 단위면적당 생산성은 3월에는 285.8 - 867.9 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이고 9월은 377.6 - 1964.5 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이의 범위를 보였다. 이 값은 Chung and Yang (1991)이 동일한 해역에서 보고한 1989년 4월의 $1,727 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 와 비교하여 약간 낮은 값이나, 4월은 일반적으로 춘계 대증식 (spring bloom)이 일어나는 시기이므로 직접적인 비교는 할 수 없다.

생산성의 수직 profile을 수온, 질산염 농도 및 엽록소 (chlorophyll *a*) 등 다른 parameter와 함께 Fig. 4.29과 Fig. 4.30에 나타내었다. 수온을 보면 3월이 연안역인 C1에서 9.7°C 로 낮게 나타났고, 다른 세 정점은 14°C

Table 4.14. Composition of biogenic matter in the settling particle at station JM.

Open (date)	During (day)	Composition										
		Org-C (%)	Inorg-C (%)	Bio-Si (%)	Org-C/N (atom)	Org-C/Inogr-C (atom)	Org-C/Bio-Si (atom)	Org-M (%)	CaCO3 (%)	Opal (%)	Bio-M (%)	
10/02	2	2.85	0.93	2.80	6.92	3.08	2.38	7.97	7.71	5.99	21.7	
10/04	2	2.18	1.03	2.47	7.17	2.11	2.07	6.11	8.61	5.28	20.0	
10/06	2	2.16	1.06	2.55	7.41	2.04	1.98	6.06	8.85	5.46	20.4	
10/08	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/12	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10/14	2	2.34	1.39	2.42	7.93	1.68	2.26	6.54	11.60	5.18	23.3	
10/16	2	2.46	1.12	2.52	8.03	2.20	2.29	6.89	9.34	5.39	21.6	
10/18	2	2.15	1.77	2.67	7.46	1.22	1.89	6.03	14.76	5.71	26.5	
10/20	2	3.17	1.86	2.27	5.23	1.71	3.26	8.87	15.46	4.86	29.2	
10/22	2	2.90	1.94	3.30	5.64	1.50	2.05	8.11	16.13	7.06	31.3	
10/24	2	2.72	1.10	2.49	7.60	2.48	2.55	7.60	9.14	5.33	22.1	
10/26	2	1.86	1.73	2.76	8.32	1.07	1.58	5.21	14.44	5.90	25.6	
Average		2.48	1.39	2.63	7.17	1.91	2.23	6.94	11.60	5.62	24.2	
Max.		3.17	1.94	3.30	8.32	3.08	3.26	8.87	16.13	7.06	31.3	
Min.		1.86	0.93	2.27	5.23	1.07	1.58	5.21	7.71	4.86	20.0	
Std.		0.39	0.37	0.27	0.96	0.57	0.43	1.10	3.10	0.58	3.6	

Org-C : organic carbon, Inorg-C : inorganic carbon, bio-Si : biogenic silicon,
 Org-M : organic matter, Bio-M : biogenic matter,

Table 4.15. Primary productivity during the South Sea 9703 Cruise.

Stn	%Light	Depth(m)	DPM	Incu.T(h)	mgC m-3 h-1	mgC m-2 h-1	Tir/lir ratio	mgC m-2 d-1
A10	100	0	2376.80	4	2.261	86.79	2.50	867.9
	49	10	3853.60		4.003			
Secchi	30	18	1026.50		0.667			
	15	28	1158.50		0.823			
	3.5	49	1062.20		0.709			
	1	68	1065.90		0.713			
	0		461.30					
B5	100	0	2102.50	4	1.964	72.45	2.50	724.5
	49	10	2597.80		2.565			
Secchi	30	18	2365.40		2.283			
	15	28	1073.30		0.715			
	3.5	49	815.20		0.402			
	1	68	508.1		0.029			
	0		484.00					

Table 4.15. (continued)

Stn	%Light	Depth(m)	DPM	Incu.T(h)	mgC m-3 h-1	mgC m-2 h-1	Tir/Iir ratio	mgC m-2 d-1
C1	100	0	4666.10	4	5.150	56.15	2.50	561.5
	49	4	4677.20		5.163			
Secchi	30	7	2837.40		2.990			
10	15	11	1609.30		1.539			
	3.5	20	993.50		0.812			
	1	27	412.20		0.125			
	0		306.00					
C7	100	0	2062.50	4	2.025	28.58	2.50	285.8
	49	7	2196.90		2.181			
Secchi	30	12	671.70		0.408			
17	15	19	544.40		0.260			
	3.5	34	507.90		0.218			
	1	46	330.00		0.011			
	0		320.40					

Table 4.16. Primary productivity during the South Sea 9709 Cruise.

Stn	%Light	Depth(m)	DPM	Incu.T(h)	mgC m ⁻³ h ⁻¹	mgC m ⁻² h ⁻¹	Tir/lir ratio	mgC m ⁻² d ⁻¹
A1	100	0	7618.7	3.42	7.245	43.34	2.55	377.6
	49	3	6471.0		5.772			
	30	4	5443.9		4.454			
	15	7	3697.0		2.227			
	3.5	12	2533.1		0.724			
A7	1	16	2231.9		0.337			
	0		1972.4					
	100	0	3245.3	3.42	1.443	50.77	2.55	442.3
	49	5	4260.2		2.796			
	30	8	4062.5		2.532			
A11	15	13	2610.9		0.597			
	3.5	24	3511.8		1.799			
	1	33	2654.6		0.669			
	0		2163.2					
	100	0	6135.0	3.42	5.154	102.29	2.55	891.2
Secchi	49	8	4581.3		3.099			
	30	14	4114.5		2.481			
	15	22	3926.1		2.232			
	3.5	39	2676.0		0.580			
	1	54	2634.0		0.541			
0		2239.6						

Table 4.16. (continued)

Stn	%Light	Depth(m)	DPM	Incu. T(h)	mgC m ⁻³ h ⁻¹	mgC m ⁻² h ⁻¹	Tir/lir ratio	mgC m ⁻² d ⁻¹
B1	100	0	6262.2	4.07	4.997	98.37	3.23	1292.2
	49	6	5647.0		4.301			
Secchi	30	11	5852.8		4.533			
	15	17	3721.1		2.148			
	3.5	30	2766.5		1.076			
	1	41	2290.1		0.528			
	0		1815.4					
B5	100	0	3714.5	2.55	2.759	100.97	7.63	1964.5
	49	8	3396.1		2.326			
Secchi	30	14	3274.7		2.161			
	15	22	2961.2		1.744			
	3.5	39	3174.1		2.049			
	1	54	2001.6		0.433			
	0		1685.4					
C2	100	0	8024.6	3.00	8.667	243.87	1.60	1170.6
	49	8	7913.0		8.516			
Secchi	30	14	6795.1		6.999			
	15	22	3509.3		2.540			
	3.5	39	4633.5		4.068			
	1	54	1789.0		0.210			
	0		1637.4					

Table 4.16. (continued)

Stn	%Light	Depth(m)	DPM	Incu.T(h)	mgC m ⁻³ h ⁻¹	mgC m ⁻² h ⁻¹	Tir/lir ratio	mgC m ⁻² d ⁻¹
C4	100	0	5706.5	3.00	4.019	132.76	1.60	637.2
	49	8	5501.9		3.761			
	30	14	5085.7		3.211			
	15	22	4427.0		2.340			
	3.5	39	3909.6		1.671			
	1	54	3746.3		1.453			
C7	100	0	5048.7	3.00	4.375	124.50	1.60	597.6
	49	5	5913.2		5.758			
	30	8	6673.2		6.975			
	15	13	5460.0		5.032			
	3.5	24	3413.8		1.756			
	1	33	3009.7		1.116			
	0		2318.6					

부근의 값을 보였다. 9월에는 표층수온이 21℃에서 24℃정도를 보였으며, 25 m 부근에서 수온약층이 형성되어 있음을 볼 수 있었다. 일반적으로 3월이 9월에 비하여 표층 수온이 10℃ 정도 낮은 수온을 보였으며, 수층 혼합이 활발하여 수직적으로 균질한 수온분포를 나타내었다.

영양염 중 질산염의 농도는 3월에는 표층에서 연안에 위치한 C1 정점의 0.5 μM로 낮게 나타났으며, 다른 정점은 표층에서 3 μM이고 75 m에서 4 μM 정도로 커다란 차이를 보이지 않았다. 반면 9월에는 표층에서 0.2 - 2.5 μM 정도의 낮은 값을 보였으나, 수온약층 부근에서 급격히 증가하기 시작하여 75 m 부근에서는 7 - 10 μM 정도의 비교적 높은 값을 나타내었다. 즉 영양염 농도가 2월에는 수직적인 변화가 작고 표층에서 9월에 비하여 약간 높은 농도를 보이거나, 9월에는 성층화의 영향으로 표층에서는 결핍된 양상을 보이고 수심의 증가에 따른 증가가 뚜렷하여 75 m 수심에서는 2월에 비하여 2배이상 높은 값을 보인다. 이러한 유광층 하부 부근에서의 질산염을 비롯한 다른 영양염 농도의 증가가 9월의 생산성이 3월에 비하여 높게 나타나는 하나의 요인으로 작용하는 것으로 보인다. 다른 요인은 2월의 엽록소 농도가 9월에 비하여 평균 2배 정도 높게 나타나지만, 광조건이 열악하여 생산성이 낮게 나타나는 주요한 요인으로 보인다. 이러한 사실은 2월에는 30% LPD부터 광합성이 급격히 감소하는데 비하여 9월에는 대부분의 정점에서 30% LPD 이하까지 상당한 양의 광합성이 일어나는 것으로 어느 정도 입증된다.

3.9. 표층수중 Ra 동위체 (^{228}Ra , ^{226}Ra) 방사능 분포

해수에서 Ra동위원소분포에 대한 염분효과는 이미 많은 연구가 행하여졌다 (Elsinger and Moore, 1984). 연안에서 Ra동위원소의 주공급원은 저층퇴적물로부터 확산되어 수괴에 유입되거나 강물의 부유물의 탈착(desorption)에 의한 것이다. 이때 퇴적물 입자로부터 탈착에 가장 크게 영향을 주는 요인은 염분이다.

^{228}Ra 은 연안과 육상기원의 모핵종인 ^{232}Th 의 붕괴로 생긴 동위체로 수평 확산이동되고 방사붕괴에 의하여 그 양이 변하는 것으로 알려졌다. 따라서 일반적으로 연안에서는 대양보다 높다.

Ra 동위체 분석 정점의 수온과 염분의 분포 형태는 연안에서 대양으로 갈수록 염분과 수온이 함께 높아지며 수온과 염분은 양의 상관 관계 ($r=0.95$)이다 (Fig. 4.31). ^{228}Ra 농도는 연안에 가까운 정점 A2와 C1에서

각각 0.354 ± 0.032 , 0.262 ± 0.016 dpm l^{-1} 로 가장 높고, 연안에서 가장 멀리 떨어진 정점 A10과 C7, C8에서 가장 낮다 ($0.078 \pm 0.011 \sim 0.090 \pm 0.023$ dpm l^{-1}).

남해표층수중 염분에 대한 ^{228}Ra 과 ^{226}Ra 의 상관관계를 Fig. 4.32, Fig. 4.33에 나타내었다.

$$^{228}\text{Ra} = -328 \times \text{salinity} + 11409 \quad (r=0.94)$$

$$^{226}\text{Ra} = -85 \times \text{salinity} + 3048 \quad (r=0.53)$$

^{226}Ra 에 비하여 ^{228}Ra 이 염분에 대해 좋은 상관성을 나타내며, Ra 동위체는 염분과 역의 상관성을 보인다. 즉 저염의 해수에서 상대적으로 높은 Ra 동위원소의 농도가 나타난다.

한국 남해의 표층에서 ^{228}Ra 의 농도는 동해안 표층수의 ^{228}Ra 농도 (Okubo, 1980)보다 높고 쿠로시오 표층수보다는 수십배 높다. 그러나 황해남부와 동중국해의 ^{228}Ra 농도 (Nozaki, 1989)보다는 낮다. 염분과 Ra은 둘다 보존성 성분 (conservative constituents)으로서 해수의 혼합과정을 이해하는데, 좋은 추적자로 이용된다.

^{228}Ra 동위체의 염분에 대한 기울기는 ^{226}Ra 의 염분에 대한 기울기보다 4배정도 큰데 이는 ^{228}Ra 이 ^{226}Ra 에 비하여 반감기가 짧기 때문이다.

본 조사결과 ^{226}Ra 은 ^{228}Ra 과 같이 지역에 따라 농도구배가 다르게 나타난다. 즉 ^{228}Ra 과 같이 연안에서 대양으로 나아갈수록 농도가 점차 낮아진다. 한국남해에서 관측된 ^{226}Ra 의 농도는 중국연안의 ^{226}Ra 농도보다는 낮고 황해남부와 동중국해의 농도와는 거의 비슷하다. 또한 쿠로시오 해수보다는 훨씬 높다 (Nozaki, 1989).

^{226}Ra 과 ^{228}Ra 동위원소 간의 상관관계 ($r=0.70$)는 다음과 같다(Fig. 4.34).

$$^{228}\text{Ra} = 1.54 \times ^{226}\text{Ra} - 24.76$$

기울기 1.54는 동해의 3.34 (양 등, 1992)보다는 낮고 북서 태평양의 일본쪽 연안의 0.63보다는 훨씬 높다. 동해표층수보다 기울기 값이 작은 것은 남해에서는 동해보다 수심이 낮아 저층 퇴적물로부터의 ^{226}Ra 공급이 용이하게 공급되기 때문이다.

$^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 비 또한 염분과 역의 상관관계 ($r=0.82$)이다 (Fig. 4.33). $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 의 비는 정점 A2와 A4를 제외하고는 대부분의 지역에서 2 이하이다.

한국남해의 표층해수의 평균 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비는 약 1.33으로 황해와 동중국해 (=3.5)보다는 훨씬 낮고 동해표층수의 1~3 값과 비슷하다 (Table 4.17). 또한 쿠로시오표층수 (0.5)보다는 훨씬 높다. 한국남해의

$^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비 값은 크게 두가지 요인으로 결정받을 수 있다. 첫째는 ^{228}Ra 의 기원이 중국연안퇴적물과 양쯔강기원이 아니고 한반도기원의 강물입자와 연안의 저층퇴적물의 ^{232}Th 에서 기인한 것이다. ^{226}Ra 의 값이 황해남부와 동중국해 등의 대륙붕해수와 한국남해안에서 거의 같고 ^{228}Ra 의 경우 황해와 동중국해에서 더 높은 값을 보여주는 것은 이를 뒷받침하는 것으로 사료된다. 두 번째 가정은 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 높은 황해와 동중국해수 ($^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra} \geq 3$)와 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 낮은 쿠로시오 해류 ($^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra} \leq 1$)가 유입되어 남해대륙붕에서 서로 혼합되서 남해의 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비가 결정되는 것이다. 유입원인 대륙붕 해수는 높은 ^{228}Ra 농도를 갖고 있으며 쿠로시오 해류의 영향이 큰 제주도 남쪽에 위치한 정점B05와 정점D08의 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비는 약 1.0으로서 한국남해안보다 낮다. 같은 지역에서 Nozaki (1989)의 조사에서도 같은 동일한 결과가 나왔다.

^{228}Ra 붕괴가 이동과 혼합 (mixing)하는 동안 무시된다고 가정하면 아래식을 통하여 구한 한국남해의 해수중 황해와 동중국해기원의 대륙붕해수 기여율은 다음과 같다.

$$[^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}]_{\text{SSK}} = [f^{228}\text{Ra S} + (1-f)^{228}\text{Ra K}] / [f^{226}\text{Ra S} + (1-f)^{226}\text{Ra K}]$$

f에 대하여 방정식을 정리하면

$$f = \{ (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{K}} \} / \{ (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{K}} + (^{226}\text{RaS}/^{226}\text{RaK}) [(^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{S}} - (^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}}] \}$$

f = a fraction of the Shelf water component in the South Sea of Korea.

SSK = South Sea of Korea

S = The Shelf water

K = The Kuroshio water

본 조사 결과와 Nozaki (1989)의 결과를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

$$(^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{SSK}} = \text{mean } 1.33 \text{ (our data)}$$

$$(^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{S}} = 3.5$$

$$(^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra})_{\text{K}} = 0.2$$

$$^{226}\text{RaS} = 131 \text{ dpm } 10^{-3} \text{ l}^{-1}$$

$$^{226}\text{RaK} = 65 \text{ dpm } 10^{-3} \text{ l}^{-1}$$

$$f = 0.20 \text{ (our data)}$$

위 결과를 통하여 1997년 봄철 남해의 해수중 20%가 황해와 동중국해의 대륙붕해수로부터 구성된 것으로 사료된다. 이 양은 대마난류의 대륙붕기원

해수 와 동일한 유입량이다. 또한 여름철 한국남해안과 제주도사이의 평균 해수 통과 부피가 $1.96 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이고 (이석우, 1994), 두 해수형태가 일정하게 남아 있다고 가정할 때 한국 남해안에서의 대륙붕기원 해수의 플럭스(flux)는 $0.39 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이다.

Table 4.17. Radium isotope concentration and $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ activity ratio of surface water in the South Sea of Korea.

Station	$^{228}\text{Ra}(\text{dpm}^{-1})$	$^{226}\text{Ra}(\text{dpml}^{-1})$	$^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$
A2	0.354 ± 0.032	0.175 ± 0.014	2.03
A4	0.246 ± 0.010	0.114 ± 0.005	2.16
A6	0.161 ± 0.018	0.126 ± 0.009	1.28
A10	0.090 ± 0.023	0.120 ± 0.008	0.75
C1	0.262 ± 0.016	0.185 ± 0.013	1.42
C5	0.193 ± 0.046	0.194 ± 0.019	0.99
C7	0.078 ± 0.011	0.100 ± 0.005	0.77
C8	0.080 ± 0.017	0.063 ± 0.008	1.28

3.10. 남해 대기분진 침적물 연속 채취 관측소 운영

대기중의 화학물질은 습식 침적 (wet deposition)과 건식 침적 (dry deposition)을 통하여 지표에 침적되기때문에 대기를 통한 물질의 이동은 그 물질의 생지화학적 순환에 매우 중요한 이동경로로 작용한다. 특히 우리나라는 아시아대륙의 동쪽에 위치하여 편서풍의 지배하에 놓여 있어 중국대륙 지표토양의 부유에 의한 토양먼지가 우리나라전역과 주변해안에 침적되고 또한 북태평양에도 도달한다.

현재까지 집적된 강하분진의 단위면적당 양은 다음과 같다 (Table 4.18.).

Table 4.18. The atmospheric dustfall flux at the southern Island of Korea.

기간	$\text{mg m}^{-2} \text{ day}$
1997.09.22-10.3	32.3
11.01-12.04	22.3

1997년 9월 22일부터 채취된 대기를 통한 침적시료에 대하여 10월

30일까지의 한 시료에 대하여 Al을 포함한 주요원소와 Pb을 포함한 미량금속 원소를 분석하였다. 이를 1995년 11월부터 1997년 1월까지 매일 서해안 안산 해양연구소 옥상에서 동일한 방법으로 채취한 시료에 대한 분석치와 비교하였다 (Table 4.19, Fig 4.34).

남해안 거제 장목에서 채취한 대기를 통한 침적물중 주요금속원소는 Al, Fe, Na, K, Mg, Ca 과 Ti 이 각각 4.02, 2.93, 3.74, 1.16, 1.24, 4.49 와 0.23 % 로 서해안 안산에서 채취한 침적물에 비하여 Al, Fe와 Ti은 약 2/3 정도의 농도를 보였으나, Na과 Ca은 오히려 약 2배 정도로 높았다. 이는 남해안 장목 채취 지점이 바닷가로 상대적으로 해염에 의한 침적이 많을 것으로 사료된다. 그외 Mn 과 Ni, Co, Cu 는 각각 778과 75.1, 11.8, 286 ppm 으로 안산지역의 평균치와 비슷한 값을 보였다. Zn 은 1,579 ppm 으로 안산의 평균치 835 ± 435 ppm 에 비하여 약 2배 정도 높았으며, Pb 은 1372 ppm 으로 안산의 평균치 $3,764 \pm 2,695$ ppm 에 비하여 약 1/3 수준이었다. 그리고, Cd 은 장목에서 4.2 ppm 으로 안산에서의 평균치 6.3 ± 3.7 ppm 보다 약간 낮은 값이었다. 그러나, 이들 두 원소는 지각에서의 평균농도가 각각 13 과 0.16 ppm 으로 (Fyfe, 1974) 지각에서의 농도에 비하여 거의 100 배 정도 높은 값으로 이들 원소들의 대기를 통한 유입에 의한 오염에 주목하여야 할 것으로 생각되었다.

금속원소의 농축정도를 알기 위하여 각각에 대하여 지각구성성분에 대한 농축계수를 구하였다. 각원소(X)에 대한 농축계수(EF)는 다음과 같이 정의된다.

$$EF_{\text{crust},X} = (X/Y)_{\text{air}} / (X/Y)_{\text{crust}}$$

여기서 Y 는 지각구성성분에 대한 비교원소의 농도이며, $(X/Y)_{\text{air}}$ 및 $(X/Y)_{\text{crust}}$ 는 대기분진시료와 지각구성성분에서의 Y 원소에 대한 X 원소의 각각의 비율이다. 지각구성성분의 각 원소의농도는 Fyfe (1974)의 것을 사용하였다. 여기서, 지각구성성분의 비교원소로는 Al을 사용하였다. 각원소에 대한 지각구성성분에 대하여 계산한 농축계수를 Fig. 4.34에 나타내었으며 안산지역에서의 낙하대기분진에서의 농축계수도 같이 도시하였다. 장목에서는 Na 의 농축계수가 3.4 로 이는 채취장소가 바다에 인접하여 해염의 영향을 많이 받기 때문일 것이다. 그외 Cu, Zn, Cd과 Pb 이 각각 8.7, 43, 54와 218 로 낙하 대기분진에는 이들 원소들의 오염 정도가 심하다는 것을 나타내었다. Cu와 Zn 의 경우는 서해안 안산에서보다

Table 4.19. Metal composition and flux of atmospheric dust fall at the southern Island(JM) and western coast(Ansan) of Korea,

Location		JM	Ansan	
Period		97/10	AVG 95/11 - 97/01	STD
Composition				
Al	(%)	4.02	6.47	0.84
Fe	(%)	2.94	3.85	0.53
Na	(%)	3.74	1.99	1.15
K	(%)	1.16	2.06	0.14
Mg	(%)	1.24	1.40	0.24
Ca	(%)	4.49	2.96	1.40
Ti	(%)	0.23	0.39	0.06
Mn	(ppm)	778	747	571
Ba	(ppm)	375	791	97
Cr	(ppm)	128	313	178
Ni	(ppm)	75.1	89.3	38.5
Co	(ppm)	11.8	14.7	3.1
Cu	(ppm)	286	252	104
Zn	(ppm)	1579	835	435
Cd	(ppm)	4.2	6.3	3.7
Pb	(ppm)	1372	3764	2695
Flux				
Total	(g/m2/month)	1.00	6.78	3.93
Al	(mg/m2/month)	40.3	432	241
Fe	(mg/m2/month)	29.5	254	139
Na	(mg/m2/month)	37.4	138	113
K	(mg/m2/month)	11.6	138	78
Mg	(mg/m2/month)	12.4	100	65
Ca	(mg/m2/month)	45.0	234	195
Ti	(mg/m2/month)	2.3	26.6	16.6
Mn	(mg/m2/month)	0.78	4.59	2.82
Ba	(mg/m2/month)	0.37	5.35	3.16
Cr	(mg/m2/month)	0.13	1.96	1.32
Ni	(mg/m2/month)	0.075	0.63	0.49
Co	(mg/m2/month)	0.012	0.10	0.07
Cu	(mg/m2/month)	0.29	1.97	1.69
Zn	(mg/m2/month)	1.58	6.77	6.19
Cd	(mg/m2/month)	0.0042	0.048	0.044
Pb	(mg/m2/month)	1.37	21.4	13.6

약 2 ~ 3 배 농축계수가 높았으나, 그러나, Pb은 안산에서의 372 에 비하여 약 절반 정도였다.

10월 한달동안의 총침적량은 $1.00 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 서해안 안산지역의 월평균 $6.78 \text{ g m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 에 비해 약 1/7 수준이며 Al 과 Fe 이 각각 40.3, $29.5 \text{ mg m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 Al 은 안산의 약 10 % 정도의 침적을 가졌다. 그의 농축계수가 큰 원소들인 Cu, Zn, Cd 과 Pb 은 각각 0.29, 1.58, 0.0042와 $1.37 \text{ mg m}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 Zn 는 안산지역 월평균의 약 23 %, 그리고, Cd과 Pb 은 각각 10, 6 % 수준의 침적을 보였다. 대기를 통한 해양으로의 기여를 알아보기위하여 인근 장목 정점 JM 에서의 연간퇴적물($146 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)와 비교하였다. 10월 한달 간의 총 대기를 통한 침적은 $0.100 \text{ mg cm}^{-2} \text{ month}^{-1}$ 로 해양에서의 연간 퇴적물 축적에 비하여 0.1% 가 되지 않는 양이었다. 그러나, 대기를 통한 남해안 해역으로의 화학성분의 기여분은 계절적 변동 등을 감안하여 자료가 더 축적되어야 할 것으로 사료되며 현재 계속적인 시료채취가 이루어지고 있다.

제 4 절 결 론

1. 일반적으로 용존산소, 용존무기영양염류 농도는 저온저염수에서 높고 고온고염수에서 낮다. 추계에 표면혼합층에서의 용존 무기영양염류 농도는 거의 결핍되어 있고, 밀도약층을 경계로 하여 하부에서 급격하게 증가한다. 반면에 춘계에는 표, 저층이 비교적 균일한 농도분포를 보이고 있어 3월에 표, 저층수간에 수직혼합이 9월에 비해 활발함을 시사한다.
2. 춘계에 제주해협을 통과하여 동향 이동하는 입자성부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $3.23 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $1.73 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $12.85 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $1.16 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $14.55 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$ 이다. 추계의 입자성부유물질, 암모늄이온, 질산이온, 인산이온 및 규산에 대한 gross flux는 각각 $4.17 \times 10^8 \text{ mg s}^{-1}$, $2.82 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $24.42 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $1.57 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$, $35.42 \times 10^8 \mu \text{mol s}^{-1}$ 로서 춘계보다는 높다.
3. 표층수 입자성유기탄소 대 유기질소 비는 3.0~12.5 범위로서 유기물의 대부분이 해양기원을 갖는다. 클로로필 a 함량과 입자성유기탄소 함량간에는 비교적 양호한 양의 상관관계 ($r > 0.86$)를 보이고, 클로로필 a 함량과 생물기원규소 함량간의 관계 또한 양호한 양의 상관관계

($r=0.84$)를 보여 춘계 및 추계의 남해 대륙붕에서의 입자성 유기탄소 함량은 식물플랑크톤 생체량에 따라 좌우되며, 식물플랑크톤중 대부분은 규조류등 규소를 가진 종들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 남해 대륙붕의 해저 퇴적물의 표층 유기탄소 함량은 0.7 % 정도이다. 이것은 남해는 동향 해류 지배해역으로서 해류를 통해 황해 및 동중국해로부터 남해 대륙붕으로 상당량의 퇴적물이 유입된 결과로 사료된다. 대륙붕 퇴적물에서의 C/N 비는 대부분이 8 이하로서 주로 해양기원 유기물에 가까운 C/N 비를 갖는다.

4. 제주협곡 (trough)의 제주난류 (Cheju Warm Current) 해역에서의 표층 퇴적물의 혼합층이 두껍고 (8cm), 혼합율이 높고 ($>12.4 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$), 남해안 인접 천해역보다는 퇴적율이 매우 낮다 ($89 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, $<0.1 \text{ cm yr}^{-1}$). 낙동강 델타역에서의 퇴적물의 축적률은 $207 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로서 가장 높다. 대한 해협에서의 퇴적률은 $65 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 진해만의 내만인 장목만에서는 $146 \text{ mg cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다. 표층입자혼합계수는 각각 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 표층혼합층의 두께는 8, 6.5, 4.5, 그리고 9.5 cm 이다. 표층혼합층의 ^{210}Pb 부착입자 혼합계수는 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 각각 >12.4 , >40 , >2.1 그리고 $>26.2 \text{ cm}^2 \text{ yr}^{-1}$ 이다. 입자가 표층혼합층에 머무르는 기간은 제주해협, 낙동강 삼각주, 대한해협, 장목만에서 각각 51, 10, 34, 34년이다.
5. 남해 대륙붕에서 해저에 축적되는 유기물은 $36 - 176 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 낮다. 생물기원 규소는 $33 - 174 \mu\text{mol cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이고 장목만과 낙동강 델타에서 높고 제주해협과 대한해협에서 가장 낮다. 유기물의 해저 축적율은 표층퇴적물의 혼합계수가 비교적 큼에도 불구하고 퇴적율이 상대적으로 높아서 이류항에 의하여 결정된다.
6. 1997년 10월 2일부터 10월 27일까지, 그리고, 11월 1일부터 12월 8일까지 총 2회에 걸쳐 침강입자 자동채취기를 계류 및 회수하여 정량한 2일 간격의 총침강입자 플럭스는 $0 \sim 44.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로서 총 침강플럭스는 평균 $7.2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 이다. 현재까지의 약 2개월 여에 걸쳐 수집된 자료로부터 연평균 입자 침강율을 계산하면 $263 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 로서 인접한 곳에서 채취한 박스코아 퇴적물 시료에서 ^{210}Pb 방법으로 계산한 퇴적률 $146 \text{ mg m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 의 약 1.8 배에 해당된다. 그러나, 이는 약 2개월에 걸친 입자 침강속도로 계산한 것으로 향 후

시료채취가 계속되면 더 좋은 결과가 제시될 수 있을 것이다.

침강입자에서 생물기원물질이 차지하는 부분은 평균 24.2 % (20.0 ~ 31.3 %) 이며 그외 약 76.2 % 가 암석기원 물질로 구성되어 있다. 유기탄소/질소의 원자비는 평균 7.17 로 이곳에 침강되는 입자들의 유기물은 주로 해양기원이다. 유기물, 탄산칼슘과 생물기원 규산의 침강속은 이 기간에 평균 각각 346, 475와 284 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이며, 총 생물기원 물질의 침강속은 평균 1.11 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 암석기원 물질의 침강속은 평균 4.05 $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이다.

7. 일차생산력은 3월에는 285.8 - 867.9 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 9월은 377.6 - 1964.5 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이다. 남해에서 일차생산력은 영양염류 농도와 유광대에서의 광조건에 따라 조절된다.
8. 한국남해의 표층해수의 평균 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 비는 약 1.33으로 황해와 동중국해 (=3.5)보다는 훨씬 낮고 동해표층수의 1~3 값과 비슷하다 (Table 4.14). 또한 쿠로시오표층수 (0.5)보다는 훨씬 높다. ^{228}Ra 붕괴가 이동과 혼합 (mixing)하는 동안 무시된다고 가정하여 한국남해의 해수중 황해와 동중국해기원의 대륙붕해수 기여율을 추정 한 결과 1997년 춘계 남해의 해수중 20%가 황해와 동중국해의 대륙붕해수로 부터 구성된다. 여름철 한국남해안과 제주도사이의 평균 해수 통과 부피가 $1.96 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이고, 두 해수형태가 일정하게 남아 있다고 가정할 때 한국 남해안에서의 대륙붕기원 해수의 플럭스(flux)는 $0.39 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 이다.
9. 남해안 거제 장목에서 채취한 대기를 통한 침적량은 10월과 11월에 각각 32.3과 22.3 $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 였으며 구성성분은 10월의 경우 주요금속원소인 Al, Fe, Na, K, Mg, Ca 과 Ti 이 각각 4.02, 2.93, 3.74, 1.16, 1.24, 4.49 와 0.23 % 로 서해안 안산에서 채취한 낙하분진에 비하여 Na 과 Ca 은 약 2배, Al, Fe과 Ti은 약 2/3 정도였다. 그외 미량금속원소로써 Mn 과 Ni, Co, Cu 는 각각 778과 75.1, 11.8, 286 ppm 으로 서해안 안산지역의 평균치와 비슷한 값을 보였다. Zn 은 1579 ppm 으로 안산의 평균치 $835 \pm 435 \text{ ppm}$ 에 비하여 약 2배 정도 높았으며, Pb 은 1372 ppm 으로 안산의 평균치 $3764 \pm 2695 \text{ ppm}$ 에 비하여 약 1/3 수준이었다. 그리고, Cd 은 장목에서 4.2 ppm 으로 안산에서의 평균치 $6.3 \pm 3.7 \text{ ppm}$ 보다 약간 낮은 값이었다. 이들 원소의 지각의 평균농도에 대한 Al 대비 농축계수는 Cu, Zn, Cd과 Pb 이 각각 8.7, 43, 54와 218 로 낙하 대기분진에는 이들 원소들의 오염 정도가 심하다는 것을 나타내었다.

Reference

- Baskaran, M., D. J. Murphy., P. H. Santschi., J. C. Orr., and D. R. Schink, 1993. A method for rapid *in situ* extraction and laboratory determination of Th, Pb, and Ra isotopes from large volumes of seawater. Deep-Sea Research I, Vol. 40, No. 4, 849-865pp.
- Beardsley, R.C., R. Limburner, K. Kim and J. Candela, 1992. Lagrangian flow observations in the East China, Yellow and Japan Seas. La Mer., 30: 297-314.
- Carpenter, R., J.T. Bennet, and M.L. Peterson, 1981. ^{210}Pb activities in and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf. Geochimica et Cosmochimica Acta 45:1155-1172.
- Cauwet, G., 1978. Organic chemistry of sea water particulates. Concepts and developments, Oceanol. Acta, 1: 99-105.
- Chang, K-I., K. Kim, S.W. Lee and T.B. Shim, 1995. Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in spring, 1983. J. Korean Soc. Oceanogr., 30: 203-215.
- Cho, Y.G. C.B. Lee and M.S. Choi, 1994. Characteristics of heavy metal distribution in surface sediments from the South Sea of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr. 29(4): 338-356.
- Chough, S.K., 1983. Marine Geology of Korean Seas. IHRDC Publ. Boston 156p.
- Chung, C.S. and D.B. Yang, 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26(3): 242-254.
- Elsinger, R. J. and W. S. Moore. 1984. ^{226}Ra and ^{228}Ra in the mixing zones of the Pee Dee river-Winyah Bay, Yangtze river and Delaware Bay estuaries. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 18: 601-613.
- Fyfe, W.S., 1974. Geochemistry, Oxford University press, Oxford.

- Grasshoff, K., E. Ehrhardt, and K. Kremling, 1983. Methods of seawater analysis. verlag chemie, p419.
- Hong GH, Park SK, Chung CS, Kim SH, Tkalin AV, Lishavskaya TS., 1996. Biogenic particulate matter accumulation in Peter the Great Bay, East Sea(Japan Sea). J. Korean Society of Oceanography 31: 134-143.
- Hong, G.H., S.H. Kim, C.S. Chung, D.J. Kang, D.H. Shin, and S.J. Han, 1997. ^{210}Pb -derived sediment accumulation rates in the southwestern East Sea (Sea of Japan). Geo-Marine Letters, 17: 126-132.
- Honjo, S. and S.J. Manganini, 1993. Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean: studies at 34° N 21° W and 48° N, 21° W. Deep-Sea Res., 40: 587-607.
- Khim, B.K., D.H. Shin and S.J. Han, 1997. Organic carbon, calcium carbonate, and clay mineral distributions in the Korea Strait Region, the southern part of the East Sea. J. Korean Soc. Oceanogr., 32(3): 128-137.
- Kim, B.K., 1979. A study on the currents in the Jeju Strait. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 25: 7-16.
- Kim, K, K.-R. Kim, T.S. Rhee, H.K. Rho, R. Limeburner and R.C. Beardsley, 1991. Identification of water masses in the Yellow Sea and the East China Sea by cluster analysis. In: Oceanography of Asian Marginal Seas, edited by K. Takano, Elsevier, 253-267.
- Lee, H.J., S.K. Chough and S.J. Han, 1990. Recent sedimentation in the South Sea. Korea. Proceedings of the First International Conference on Asian Marine Geology, Shanghai, September 7-10, 1988. China Ocean Press, Beijing. 367-386.
- Moore, W, S., J. L. Sarmients and R. M. Key, 1986. Tracing the Amazon component of surface Atlantic water using ^{228}Ra , salinity and silica, J. Geophys. Res., 91: 2574-2580
- Motlock, R.A. and Floelich, P.N., 1989. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. Deep Sea Res., 36: 1415-1426.

- Nozaki Y(1989). Mean residence time of the shelf water in the East China and Yellow seas determined by $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ measurements. *Geophysical Research Letters*, Vol.16,No.11.: 1297-1300pp.
- Okubo, T., 1980. ^{228}Ra in the Japan Sea, *J. Oceanogr. Soc. Japan* 36, 263-268,1980.
- Park, S.C. and K.S. Chu, 1991. Dispersal pattern of river-derived fine-grained sediments on the inner shelf of Korea Strait. In *Oceanography of Asian Marginal Seas*. ed. T. Takano, Elsevier Oceanography Series 54: 231-240, Amsterdam.
- Park S.C. and Lee K.W., 1996. Modern sedimentary environment of Jinhae Bay, SE Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.* 31:43-54.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, p173.
- Spencer, C.P., 1975. The micronutrient elements. *Chemical Oceanogr.* 2:245-300.
- Steeman-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perma. Int. Explor. Mer.*, 18, 117.
- Suess, E., 1980. Particulates organic carbon flux in the oceans. : surface productivity and oxygen utilization, *Nature*, 288:260-263.
- Suk, M.S., G.H. Hong, C.S. Chung, K.I. Chang and D.J. Kang, 1996. Distribution and transport of suspended particulate matter, dissolved oxygen and major inorganic nutrients in the Cheju Strait. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 31(2):55-63.
- Wells, J.T. and O.K. Huh, 1984. Fall-season patterns of turbidity and sediment transport in the Korea Strait and southwestern Yellow Sea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Oceanography Series, 39, 387-397.
- 양한섭, 권영안, 김규범, 김성수, 1992. 한국동해 표층수중 ^{226}Ra 과 ^{228}Ra 의 농도 분포. *한국수산학회지*.25(5): 399-405.
- 이 석 우, 1992. 한국 근해 해상지. 집문당 pp 81.

- 한국해양연구소, 1993. 연안 해양환경에서의 탄소·질소·인·규소의 플럭스 변화에 관한 연구. p84.
- 한국해양연구소, 1994. 해저퇴적물에서의 광합성 색소 유도체의 분석에 관한 연구. p73.
- 한국해양연구소, 1996. 한국 대수심해역의 지구적 해저환경 연구 (2-3차년도), p548.

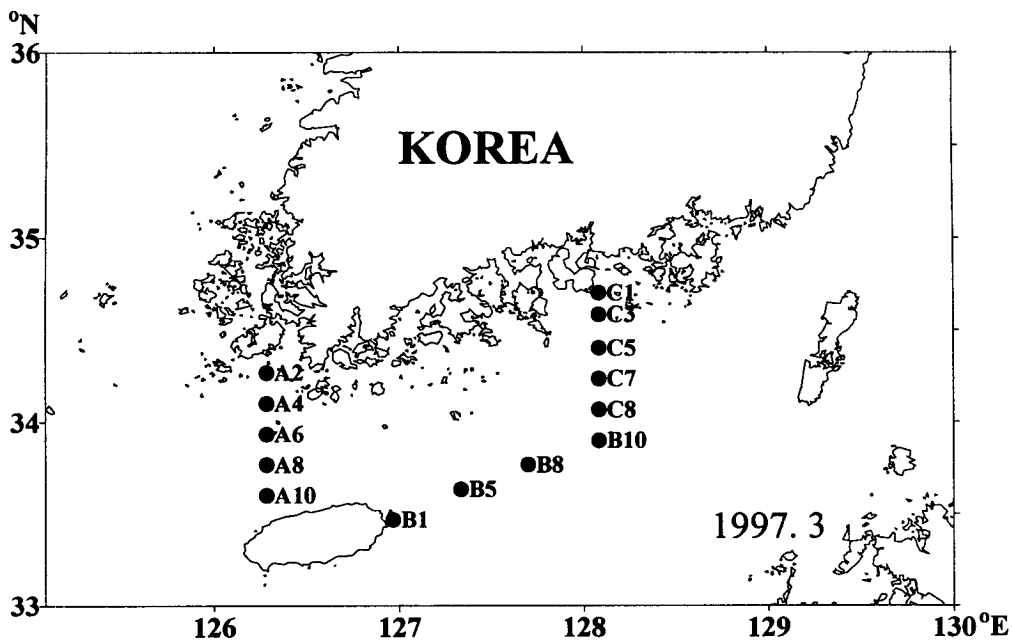


Fig. 4.1. Location of sampling stations in the South Sea (March, 1997).

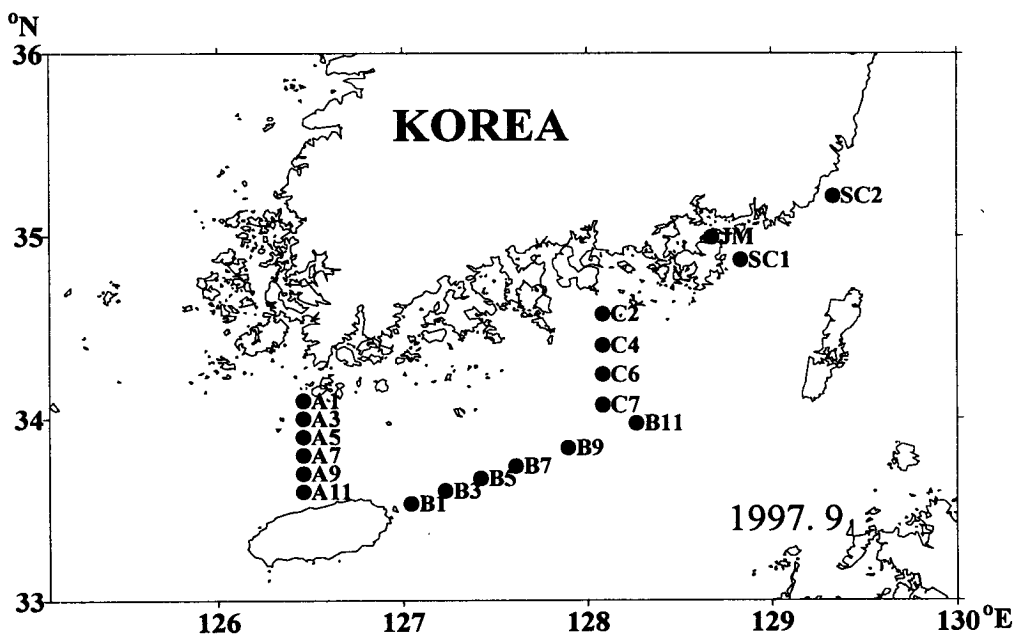


Fig. 4.2. Location of sampling stations in the South Sea (September, 1997).

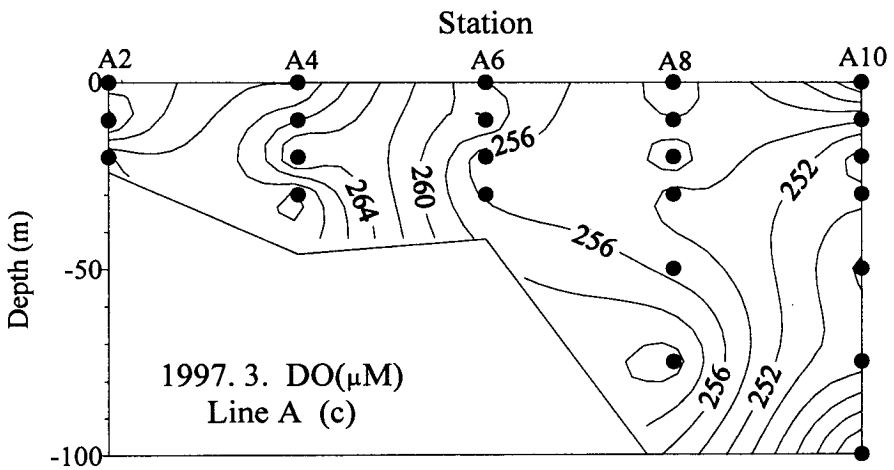
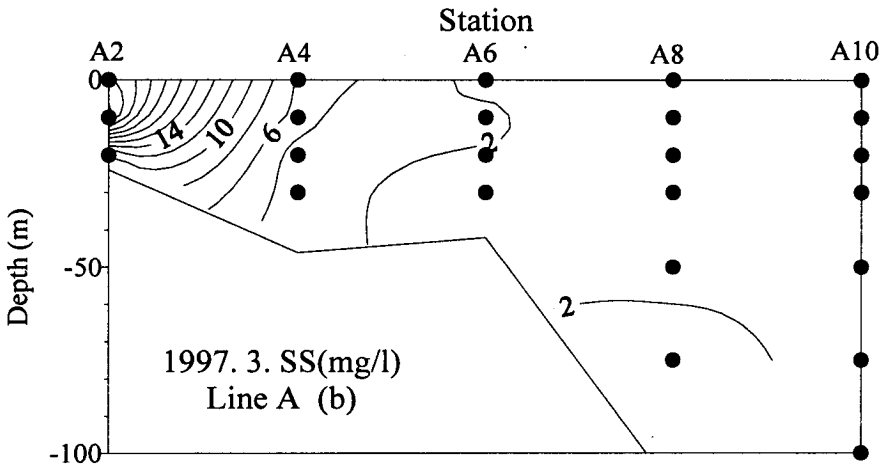
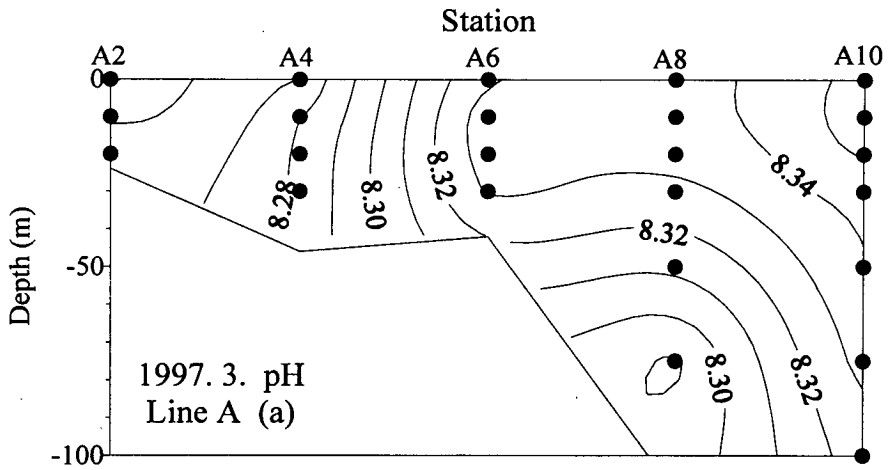


Fig. 4.3. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section A in March 1997.

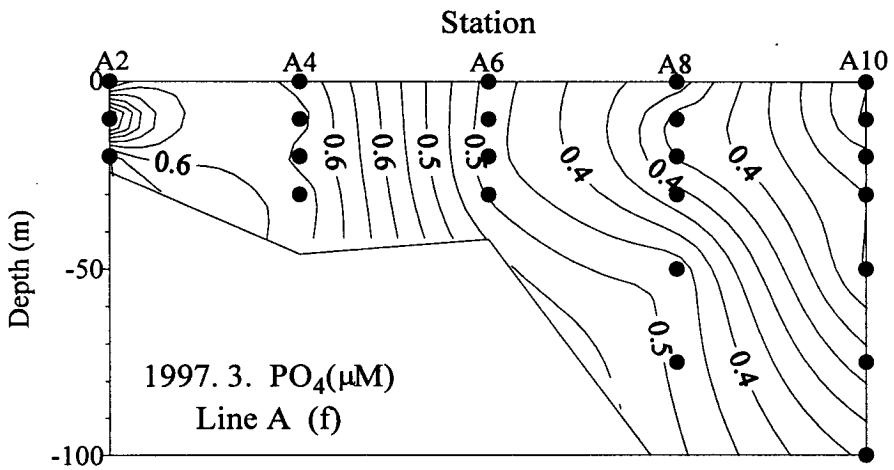
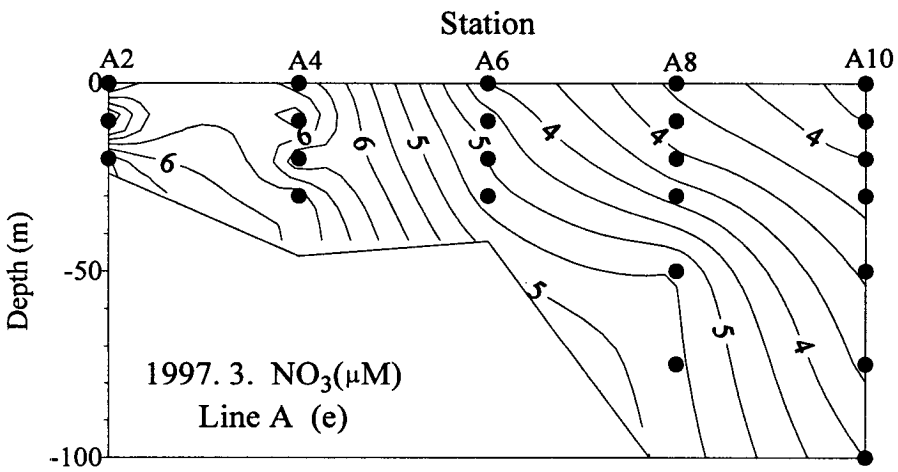
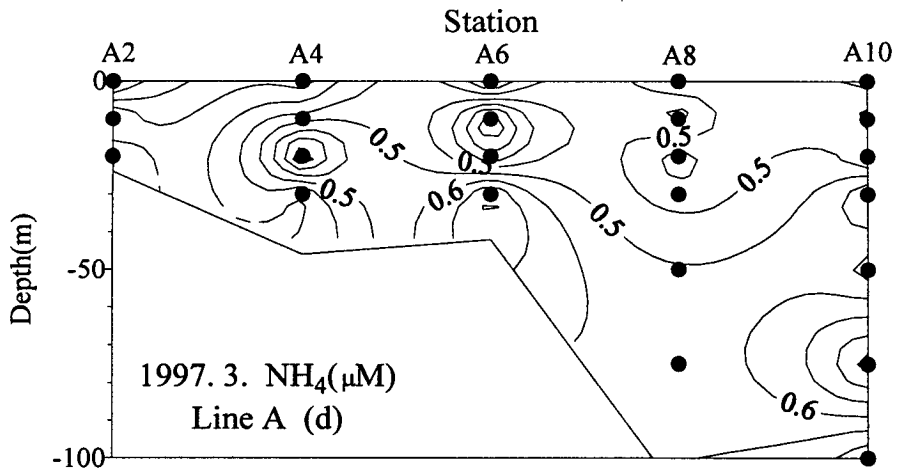


Fig. 4.3. Continued.

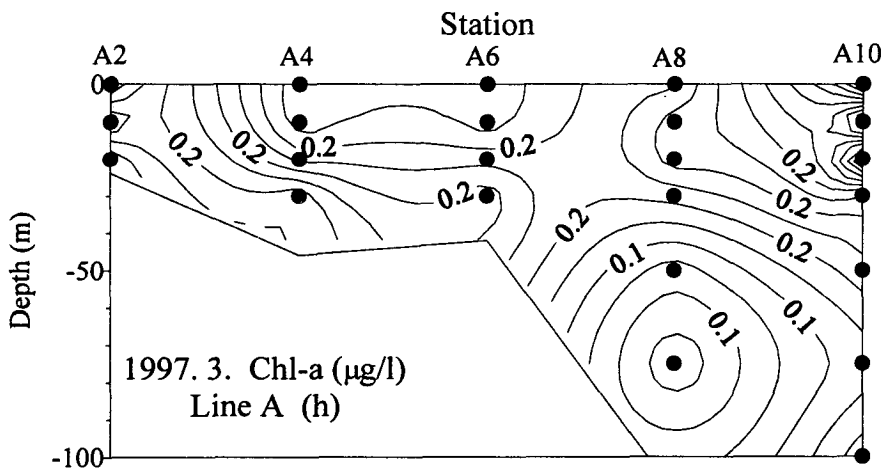
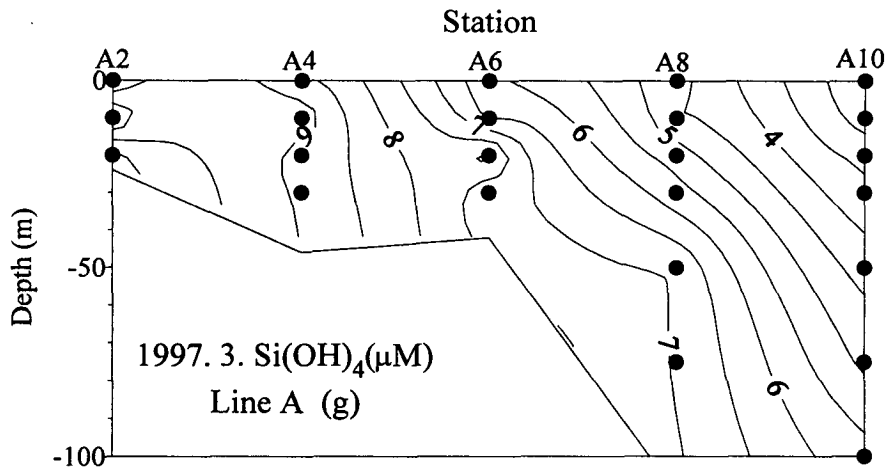


Fig. 4.3. Continued.

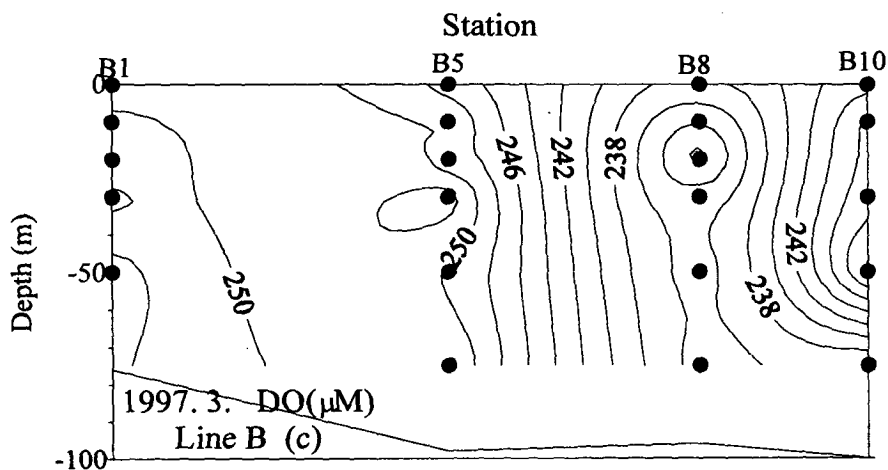
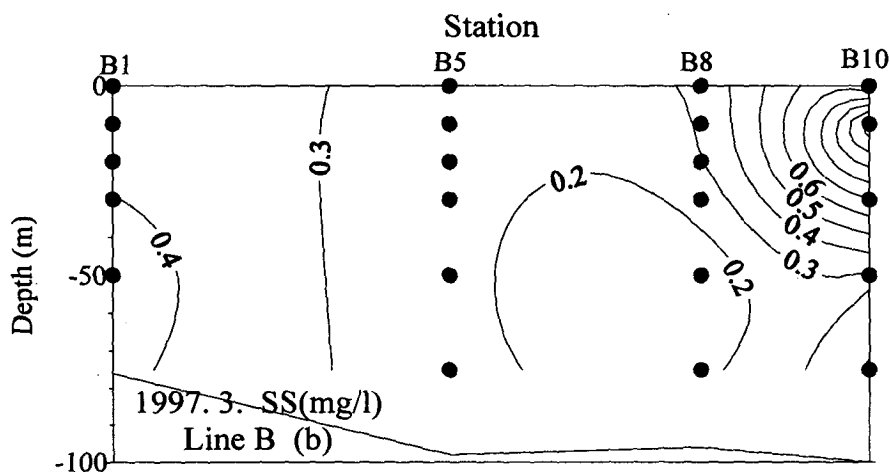
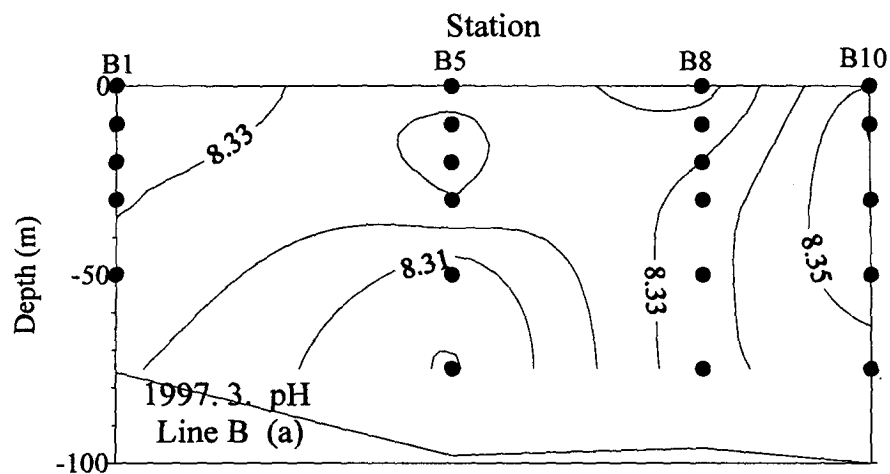


Fig. 4.4. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) $\text{Si}(\text{OH})_4$, (i) Chlorophyll-a along section B in March 1997.

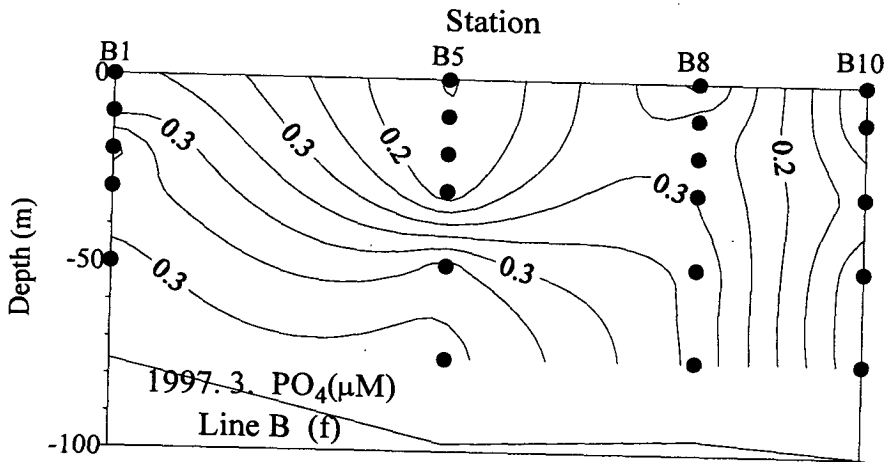
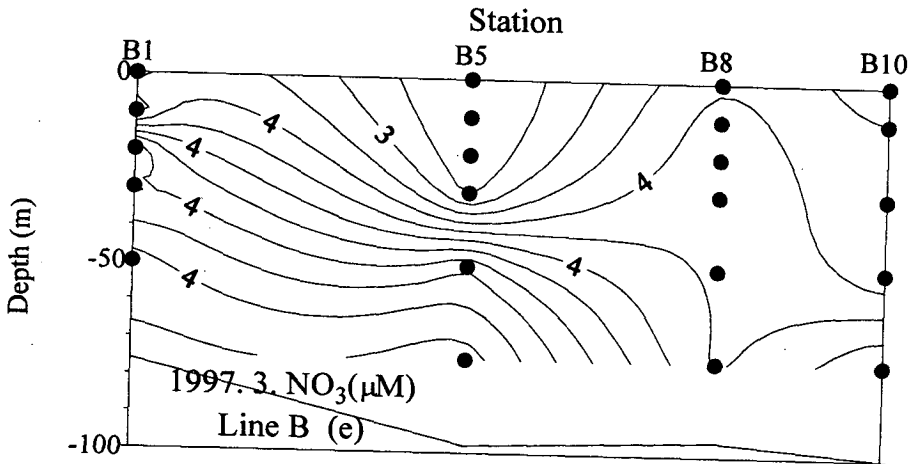
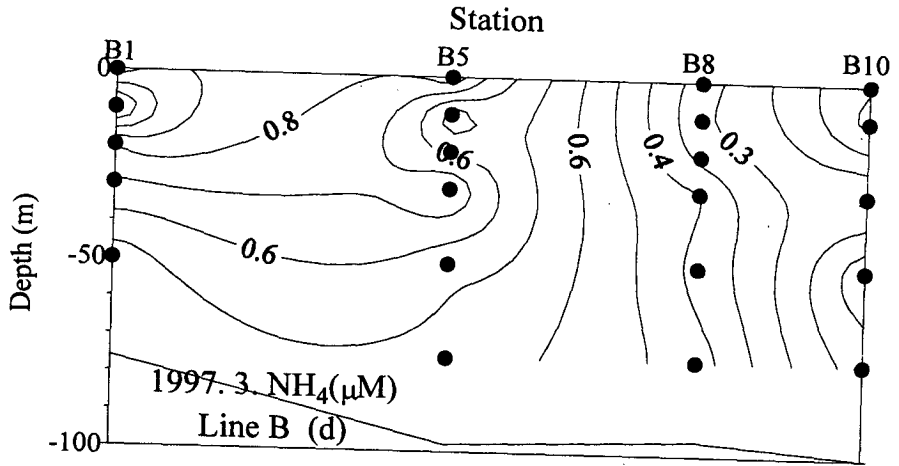


Fig. 4.4. Continued.

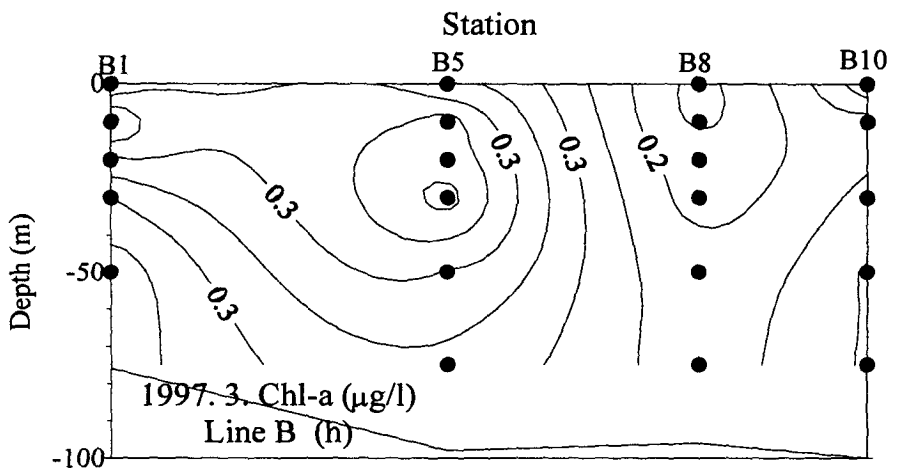
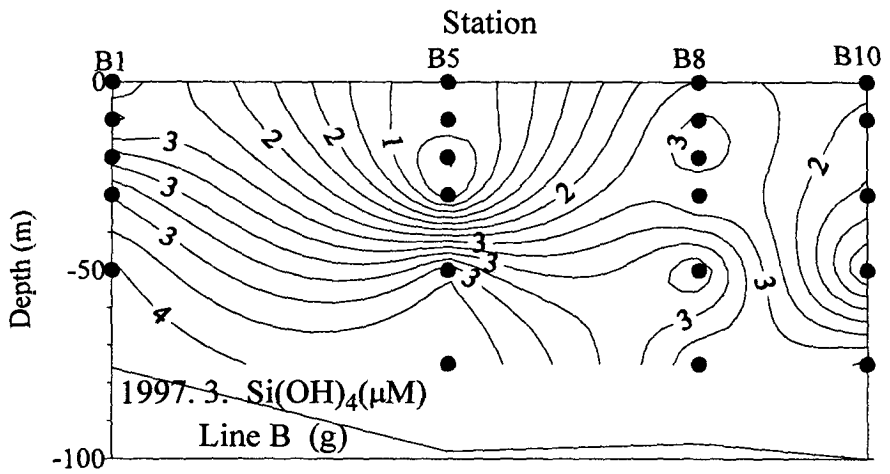


Fig. 4.4. Continued.

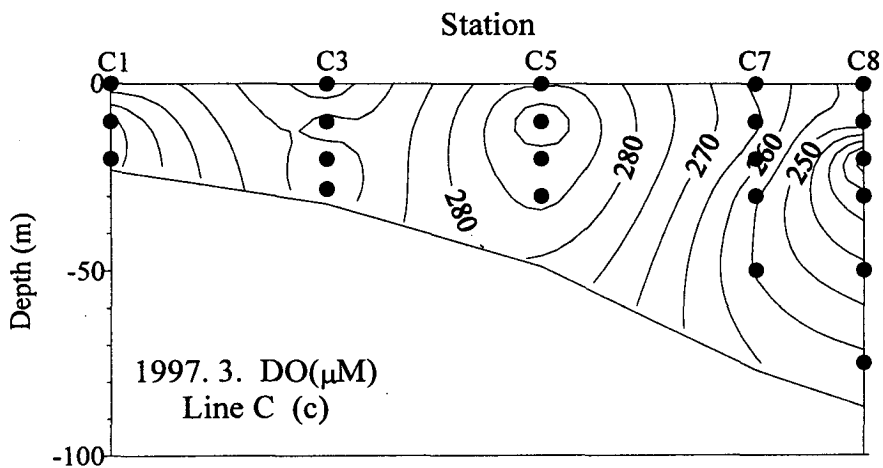
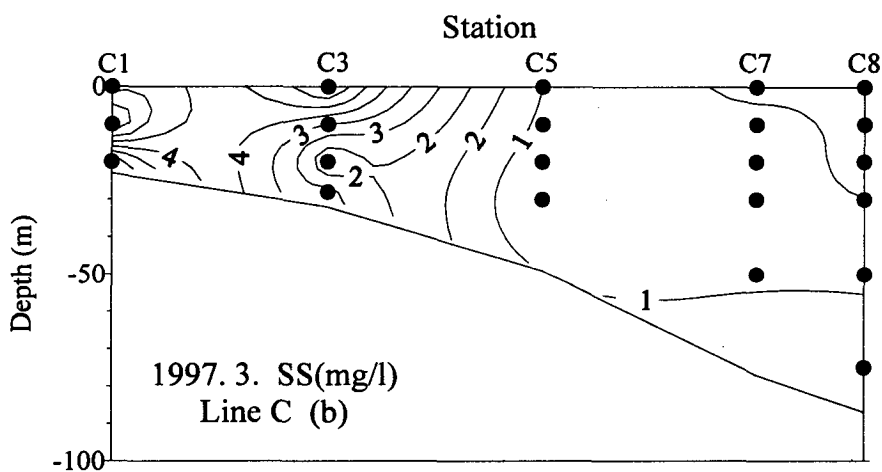
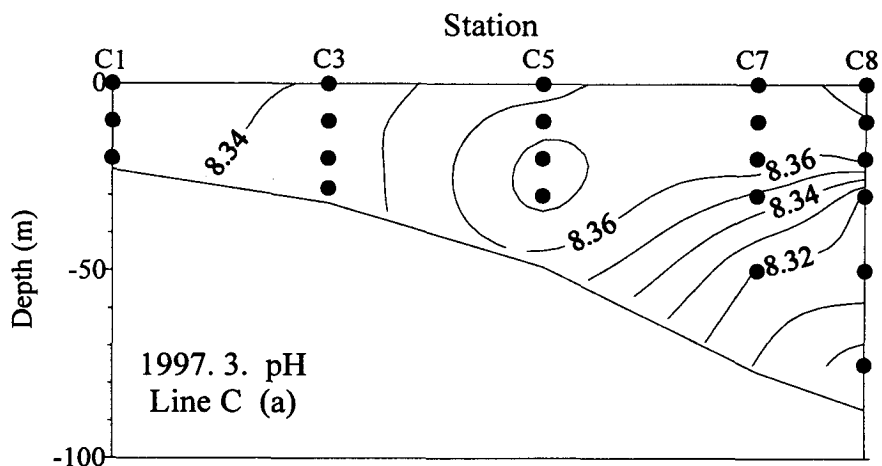


Fig. 4.5. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH_4^+ , (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) Si(OH)_4 , (i) Chlorophyll-a along section C in March 1997.

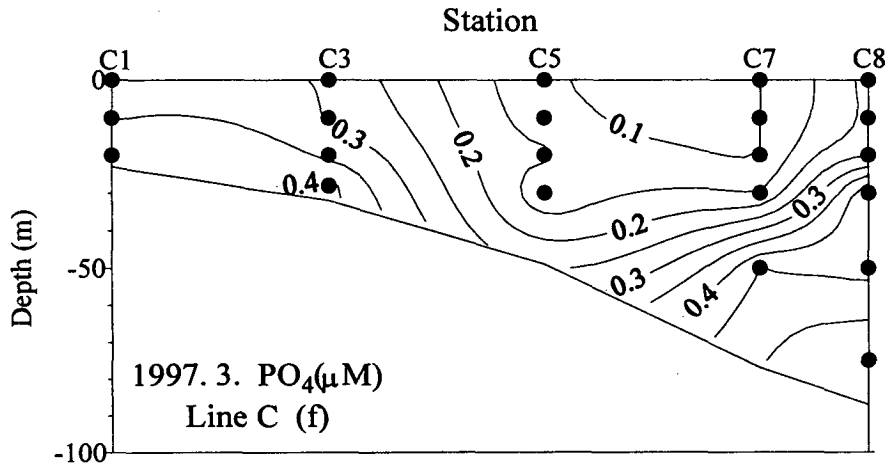
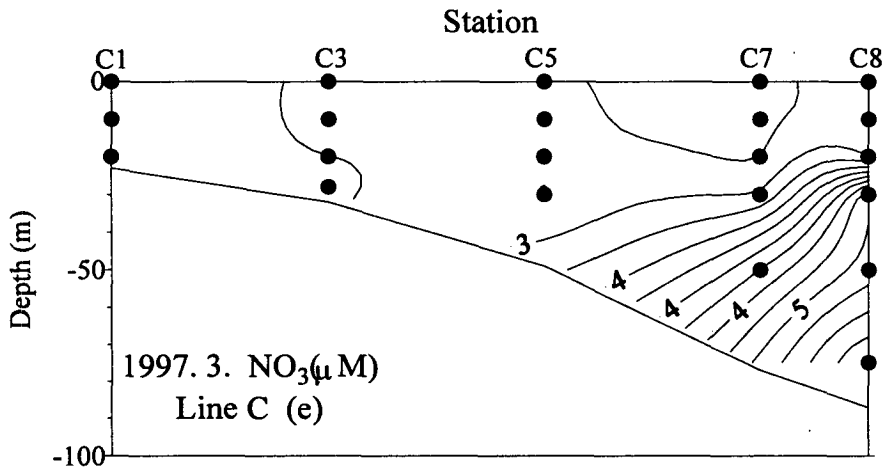
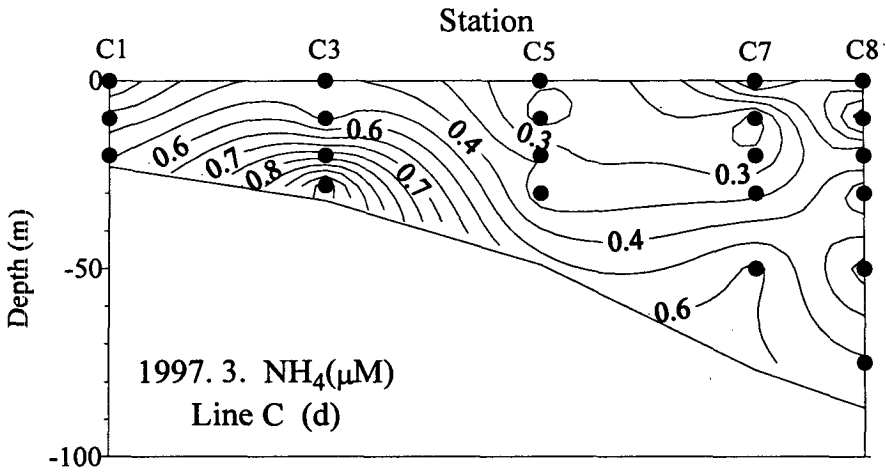


Fig. 4.5. Continued.

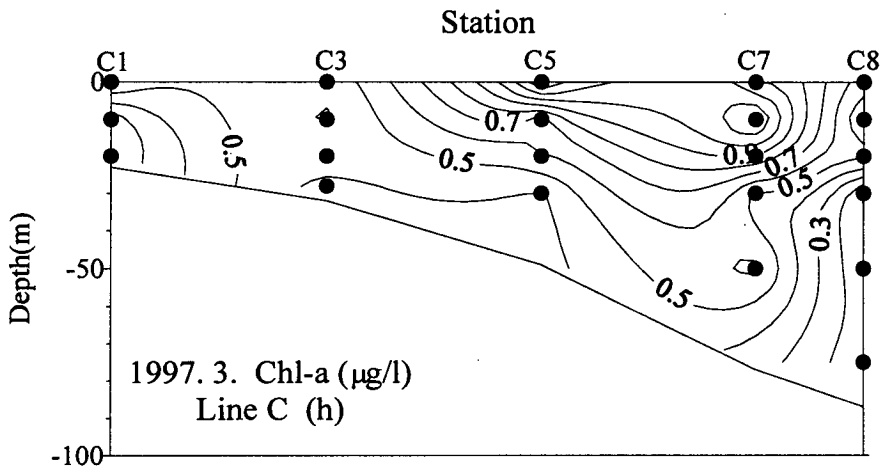
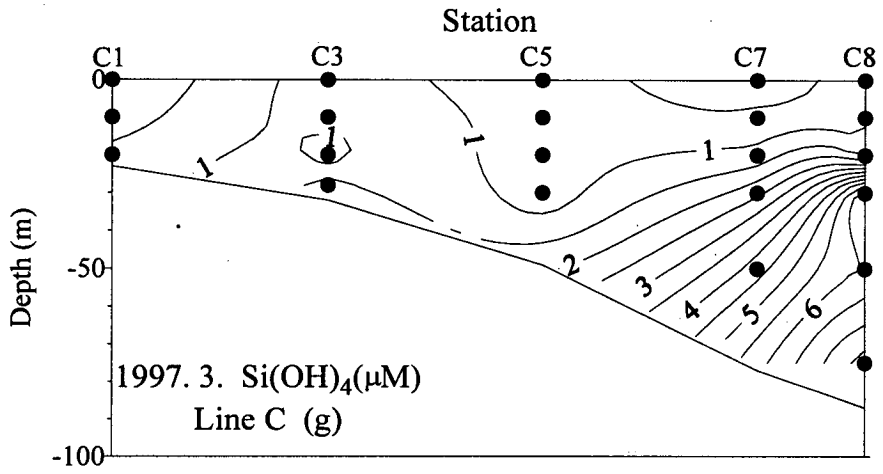


Fig. 4.5. Continued.

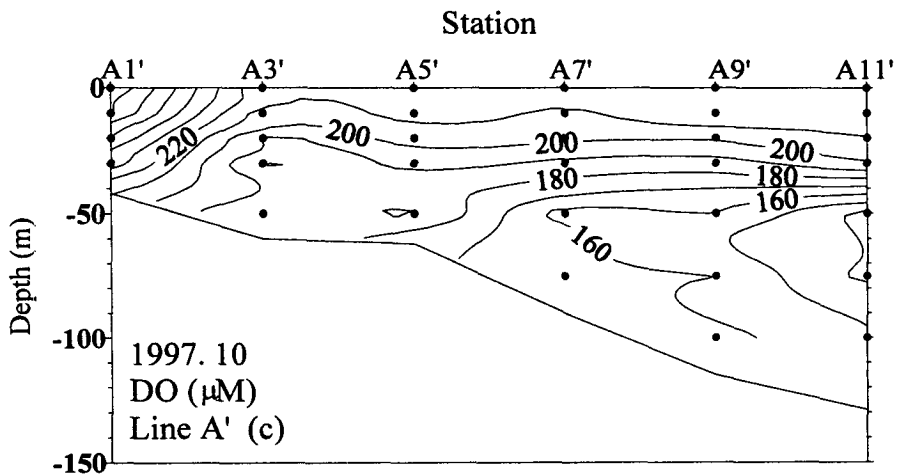
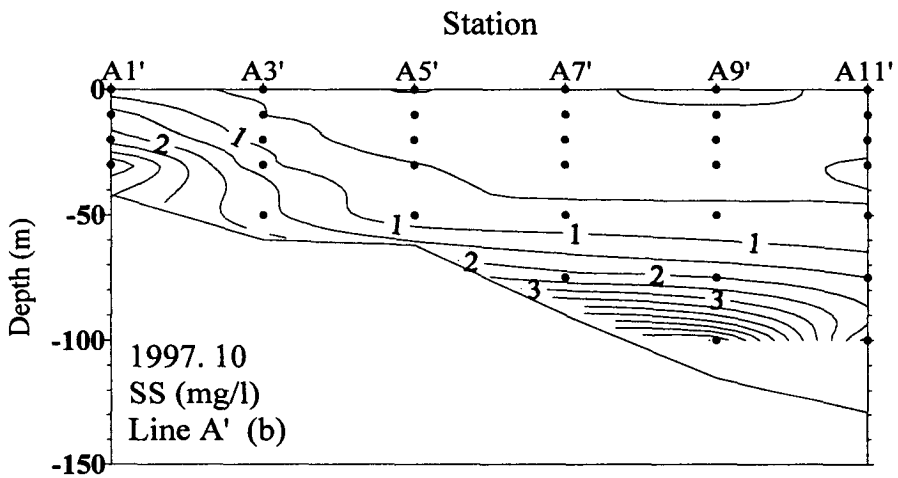
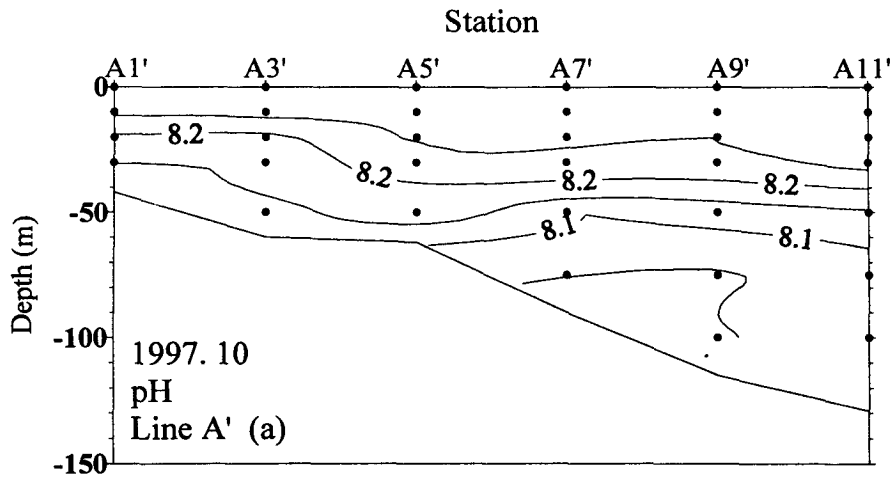


Fig. 4.6. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) $\text{Si}(\text{OH})_4$, (i) Chlorophyll-a along section A in September 1997.

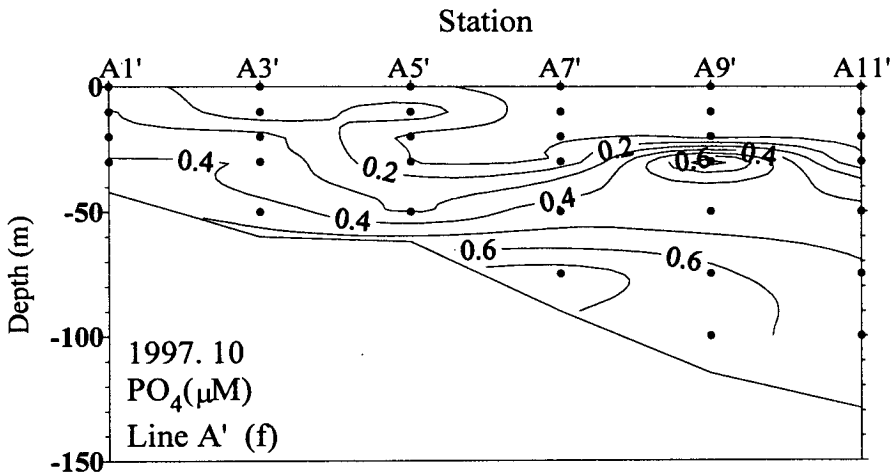
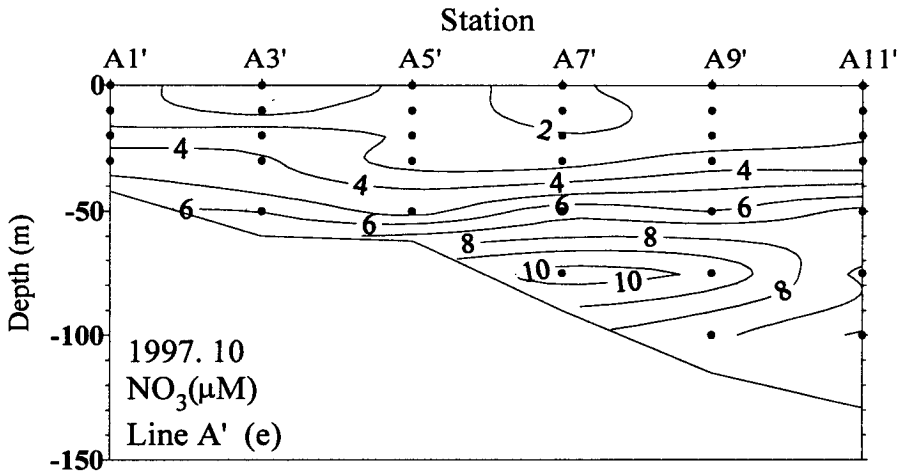
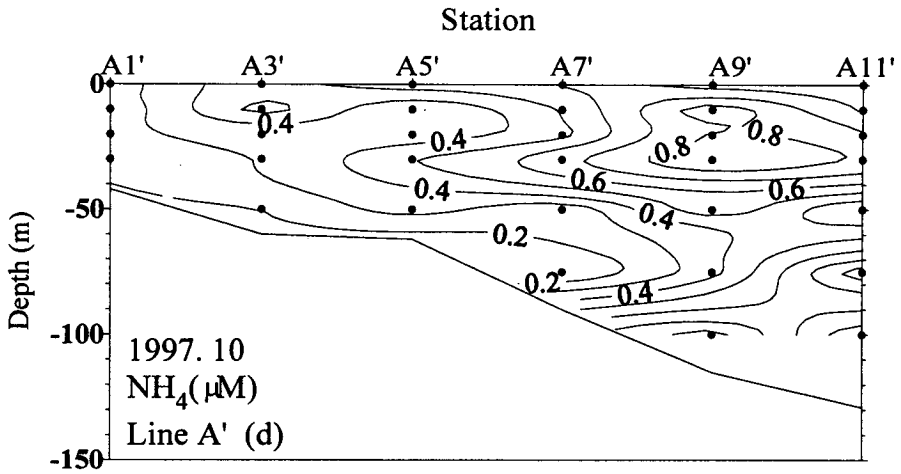


Fig. 4.6. Continued.

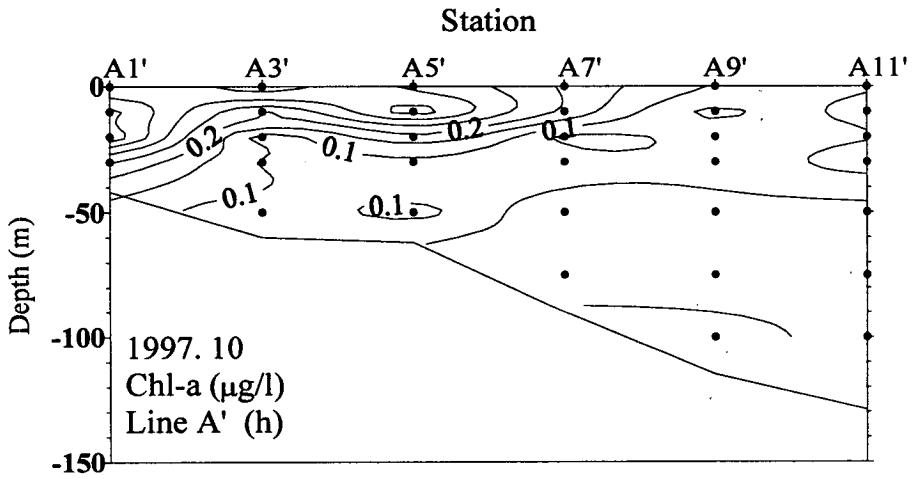
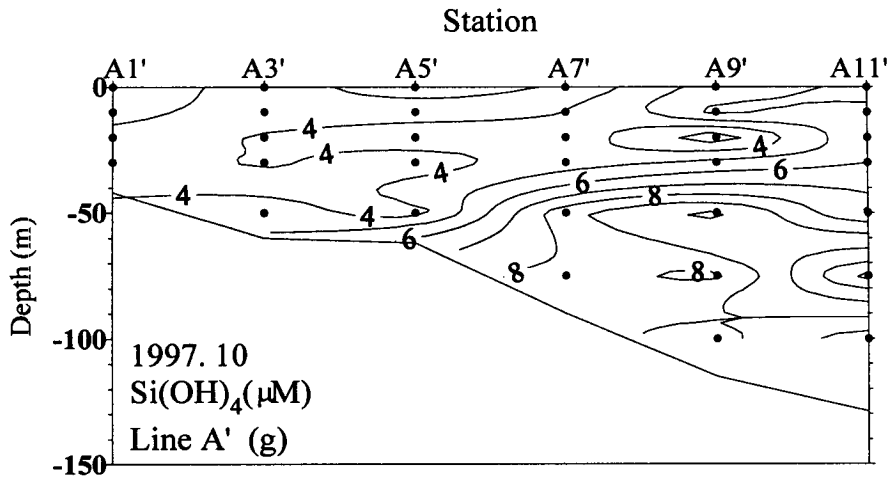


Fig. 4.6. Continued.

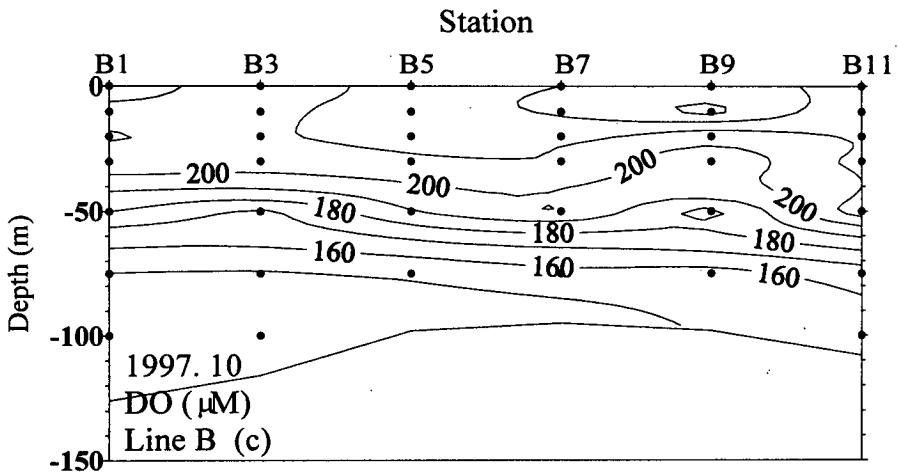
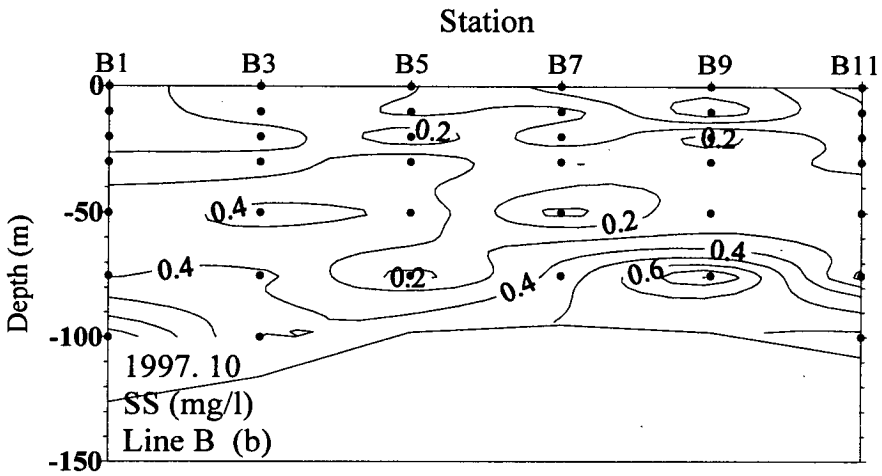
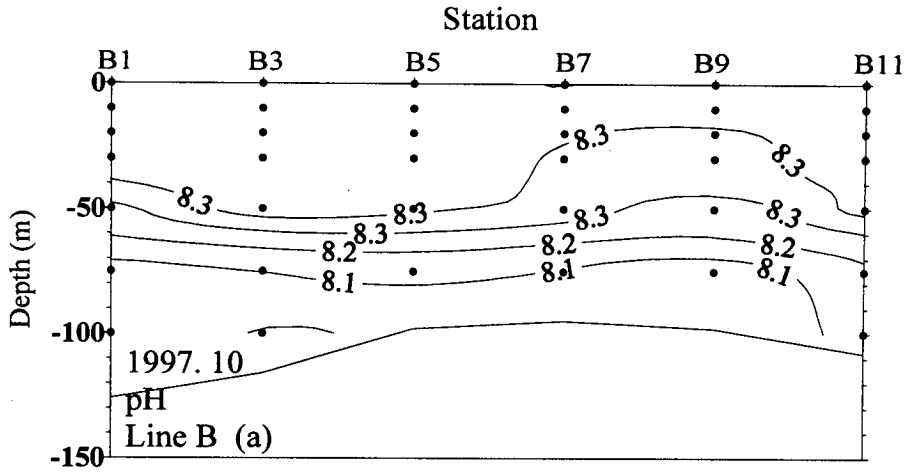


Fig. 4.7. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) $\text{Si}(\text{OH})_4$, (i) Chlorophyll-a along section B in September 1997.

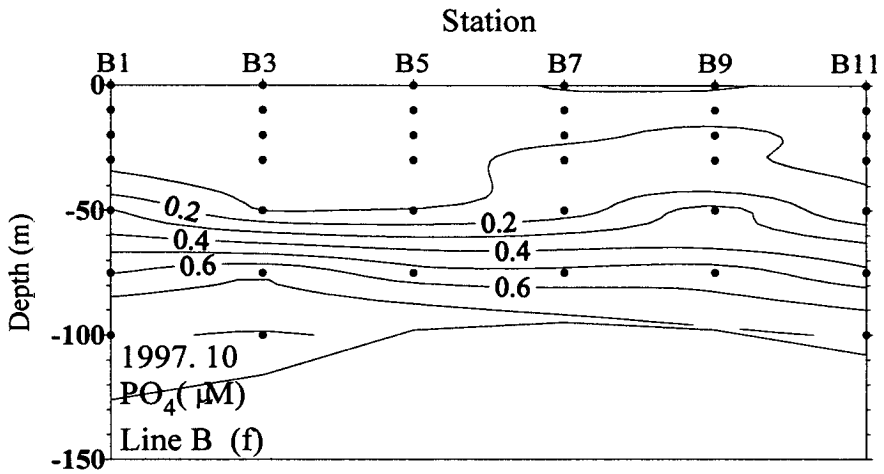
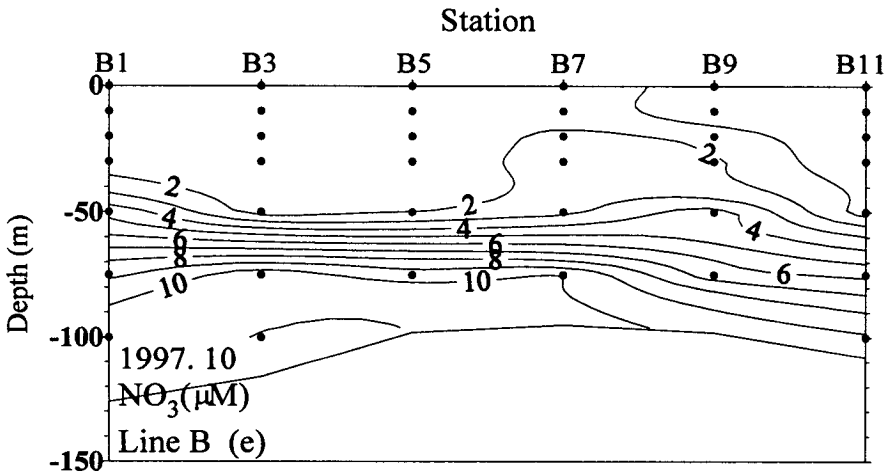
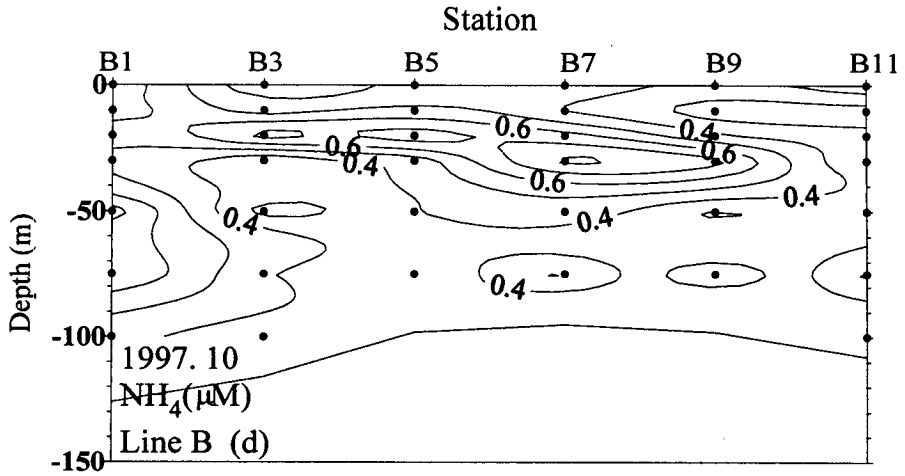


Fig. 47. Continued.

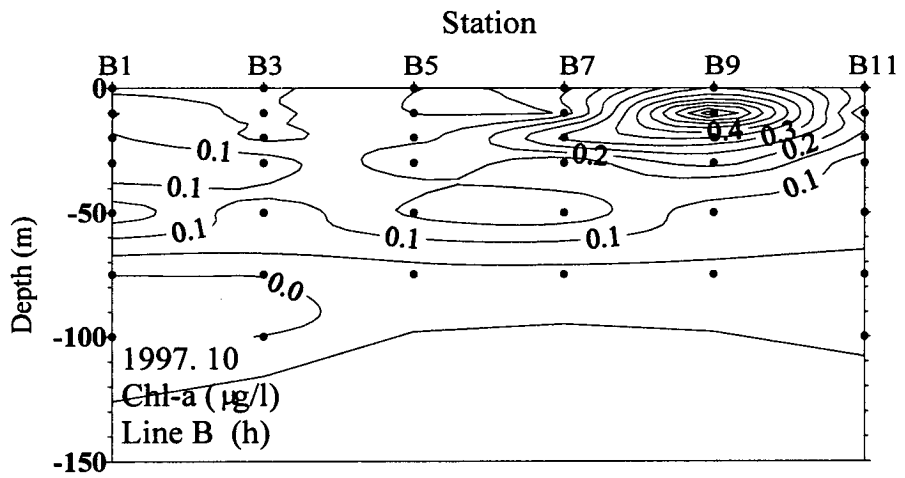
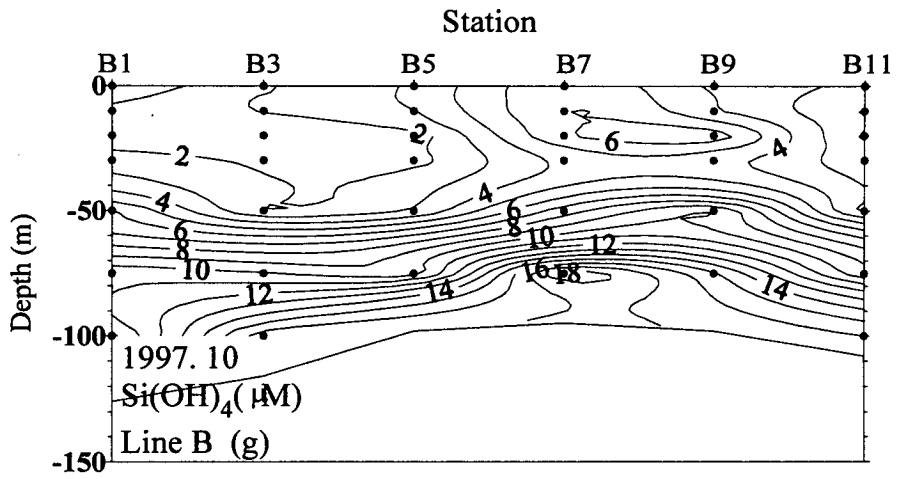


Fig. 4.7. Continued.

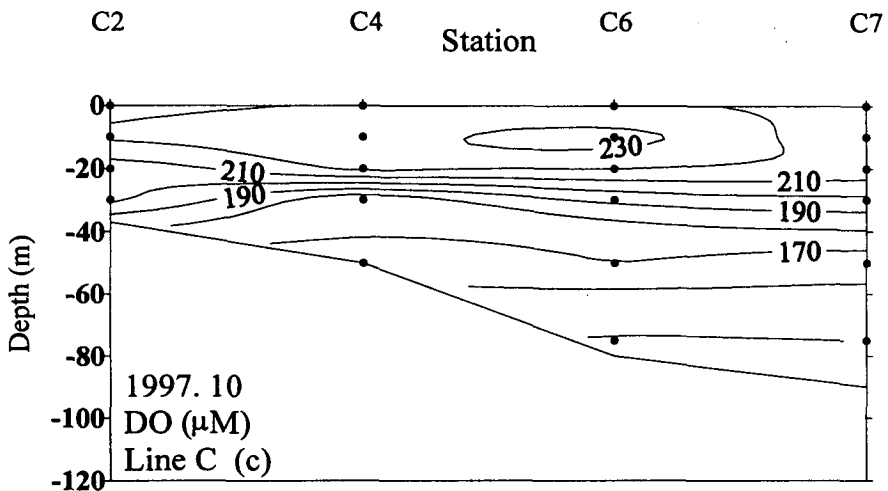
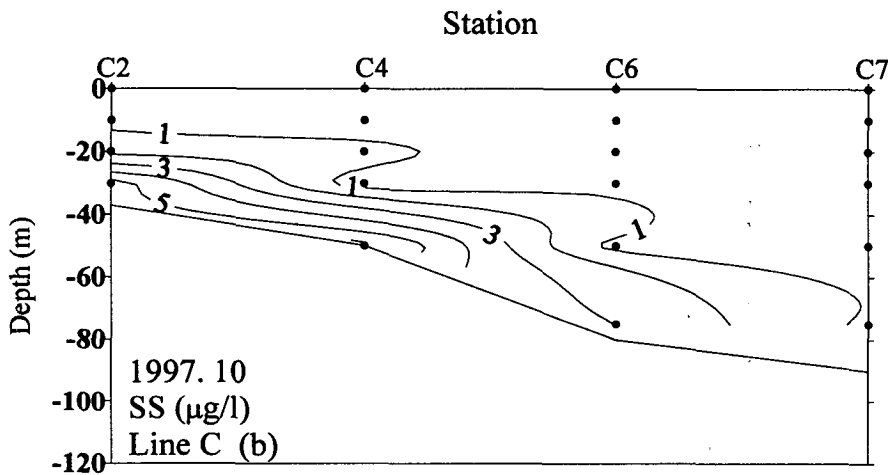
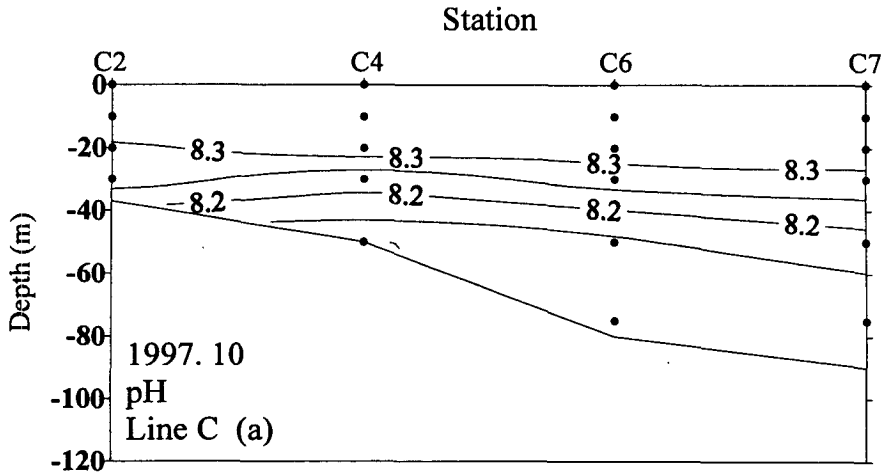


Fig. 4.8. The vertical distribution of (a) pH, (b) SS, (c) DO, (d) Saturated DO, (e) NH^+ (f) NO_3^- , (g) PO_4^{3-} , (h) $\text{Si}(\text{OH})_4$, (i) Chlorophyll-a along section C in September 1997.

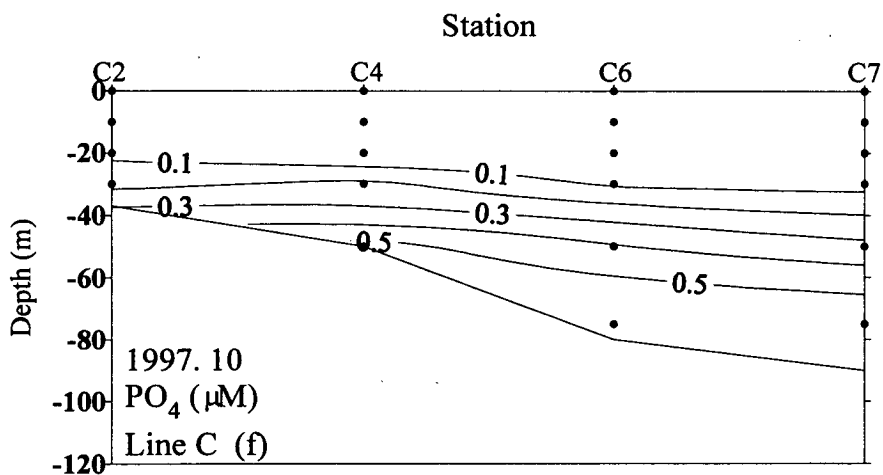
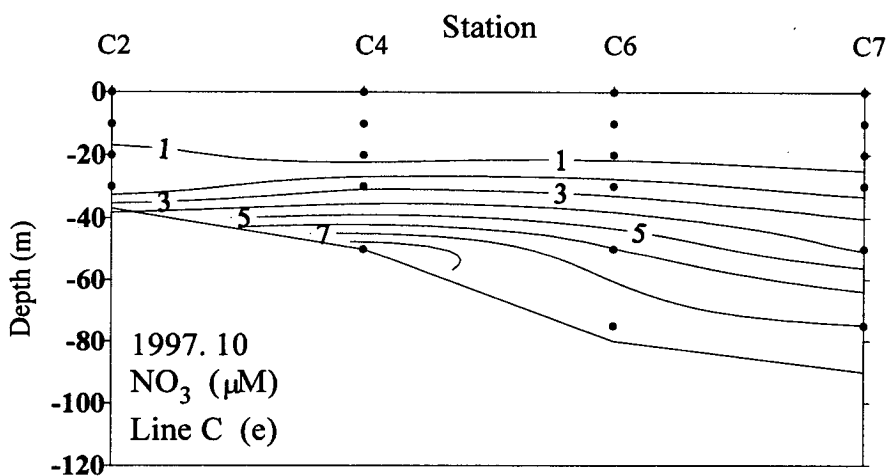
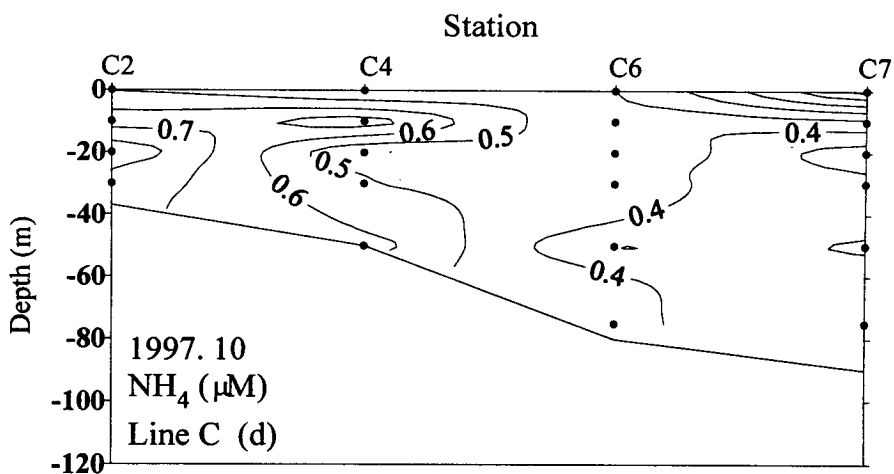


Fig. 4.8. Continued.

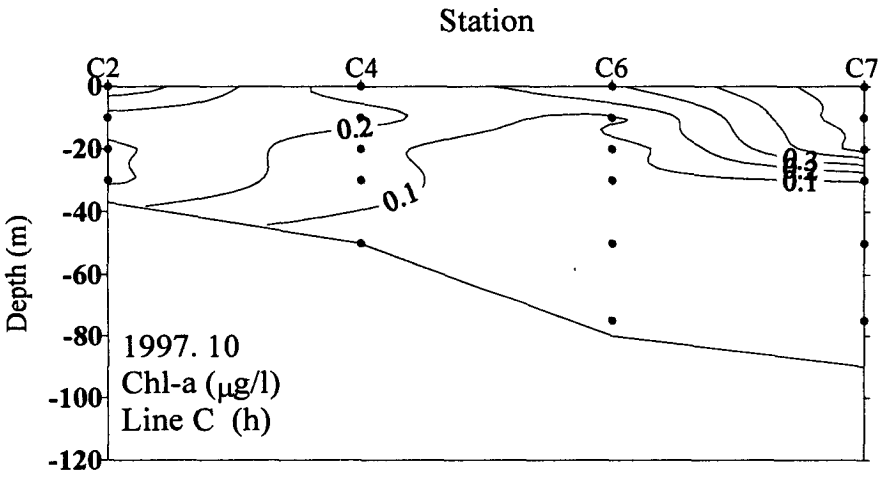
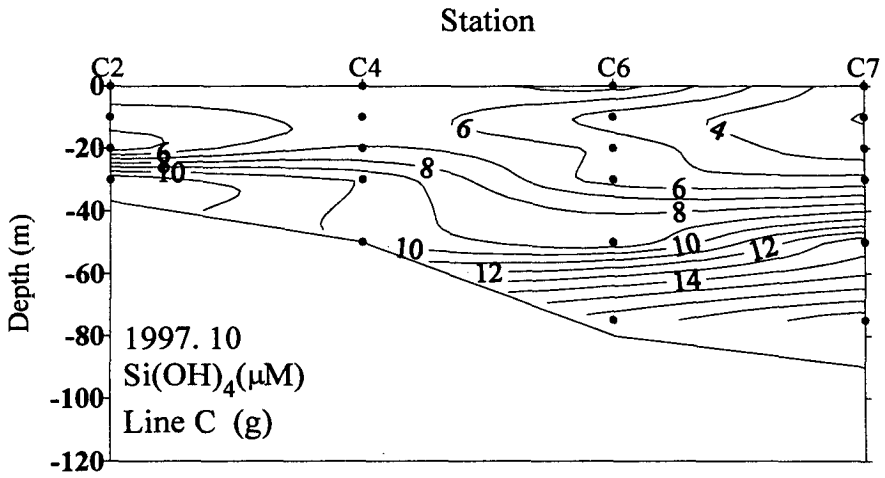


Fig. 4.8. Continued.

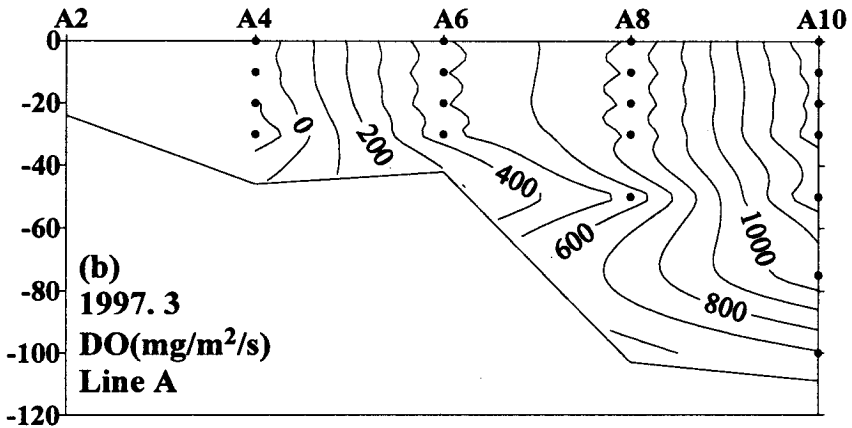
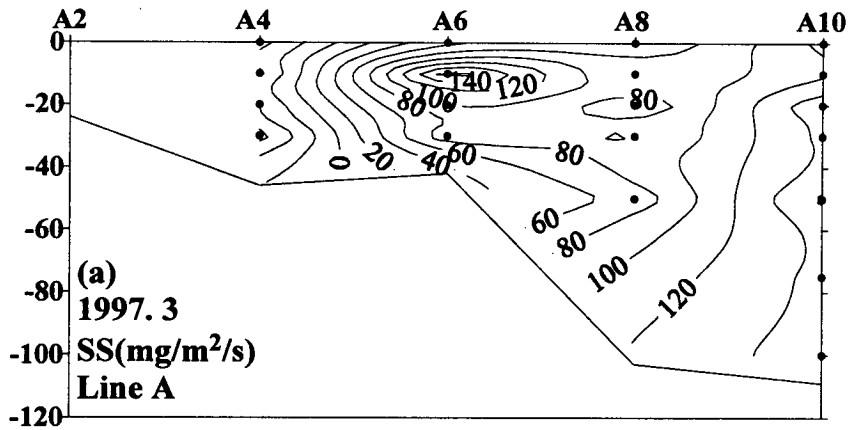


Fig. 4.9. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) NH^+ , (d) NO_3^- , (e) PO_4^{3-} , (f) Si(OH)_4 in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in March 1997.

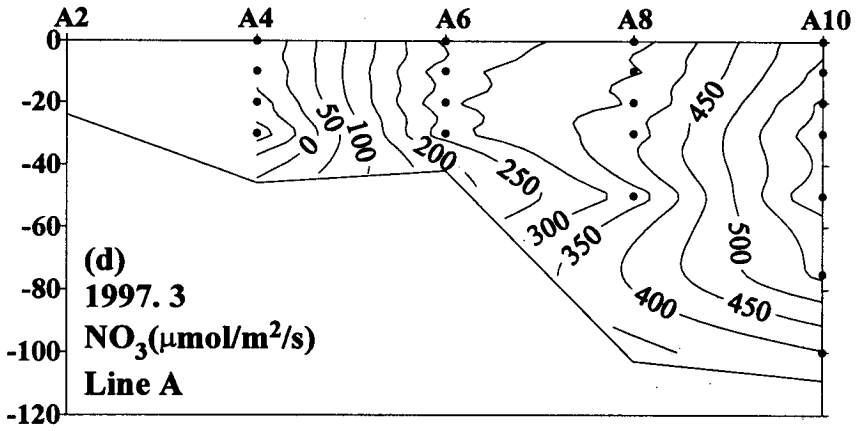
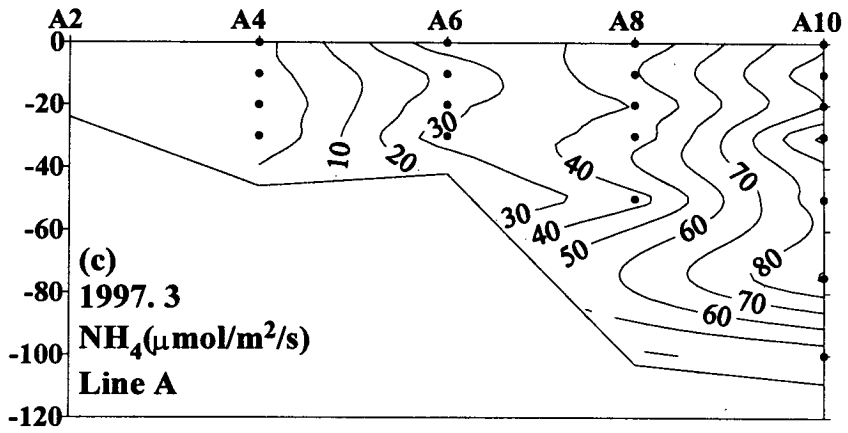


Fig. 4.9. Continued.

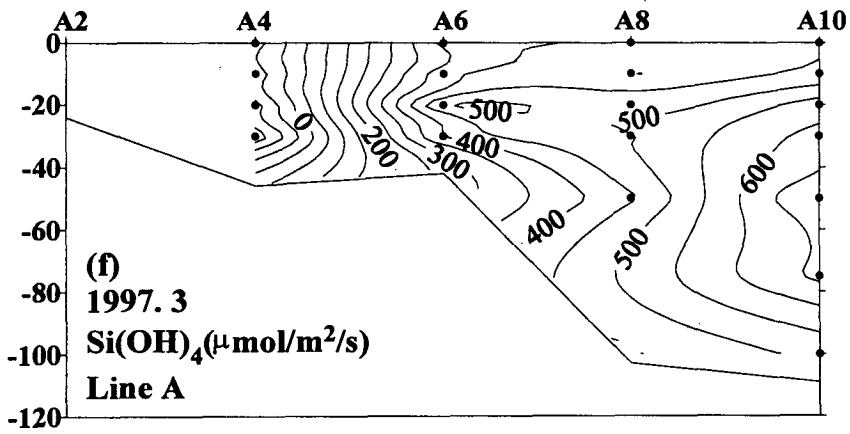
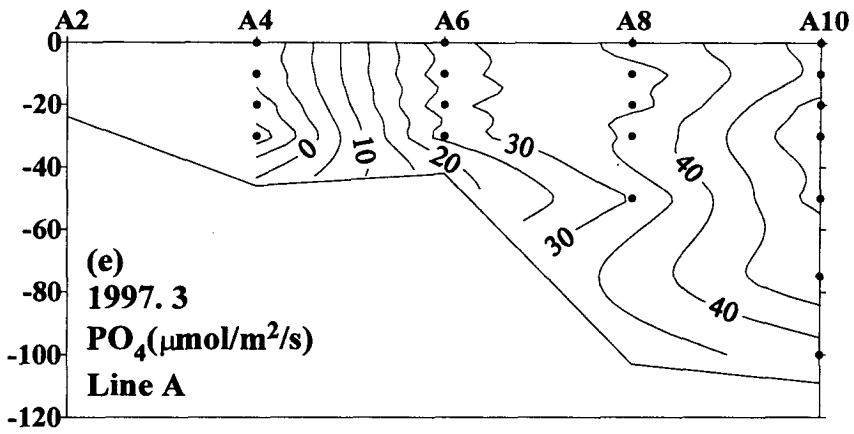


Fig. 4.9. Continued.

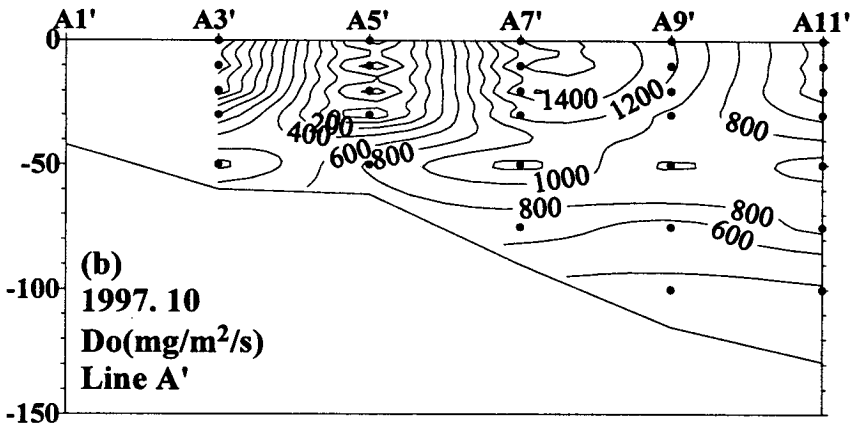
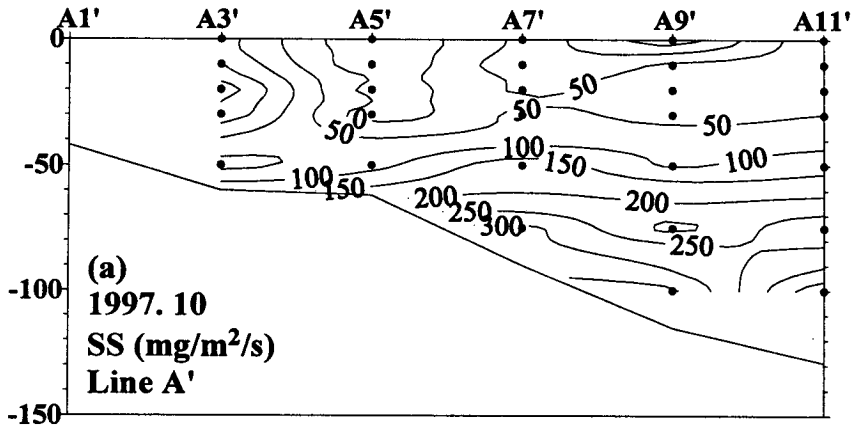


Fig. 4.10. The along-strait material fluxes per unit area (flux-density) of (a) SS, (b) DO, (c) NH^+ (d) NO_3^- , (e) PO_4^{3-} , (f) $\text{Si}(\text{OH})_4$ in the Cheju Strait calculated by multiplying mean current speed by concentration in September 1997.

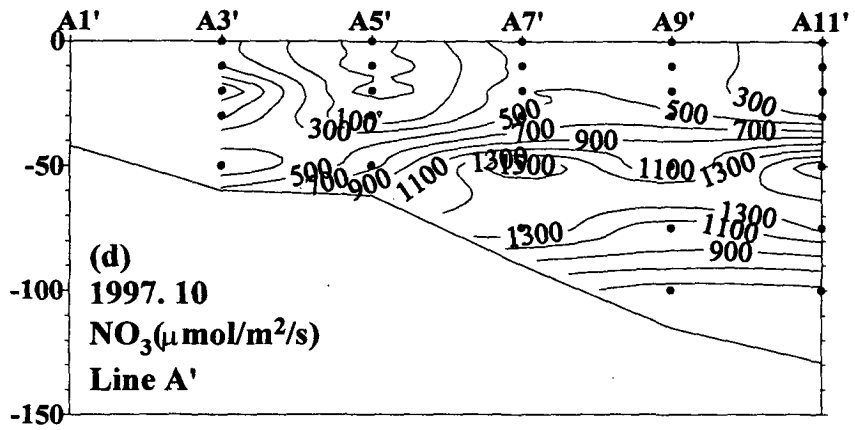
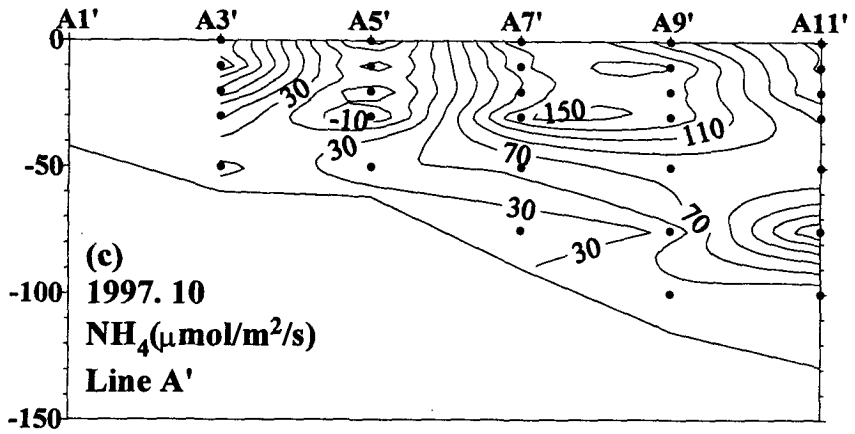


Fig. 4.10. Continued.

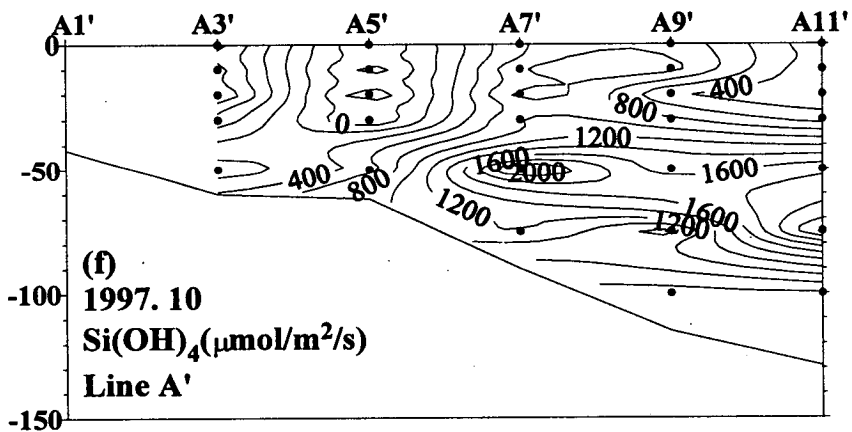
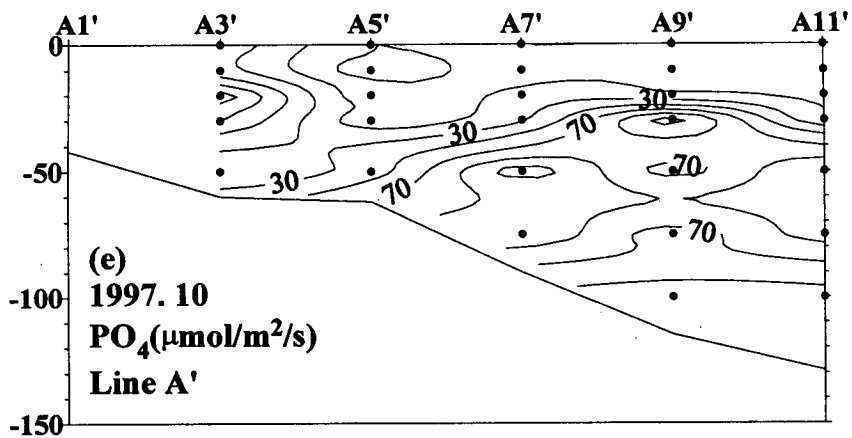


Fig. 4.10. Continued.

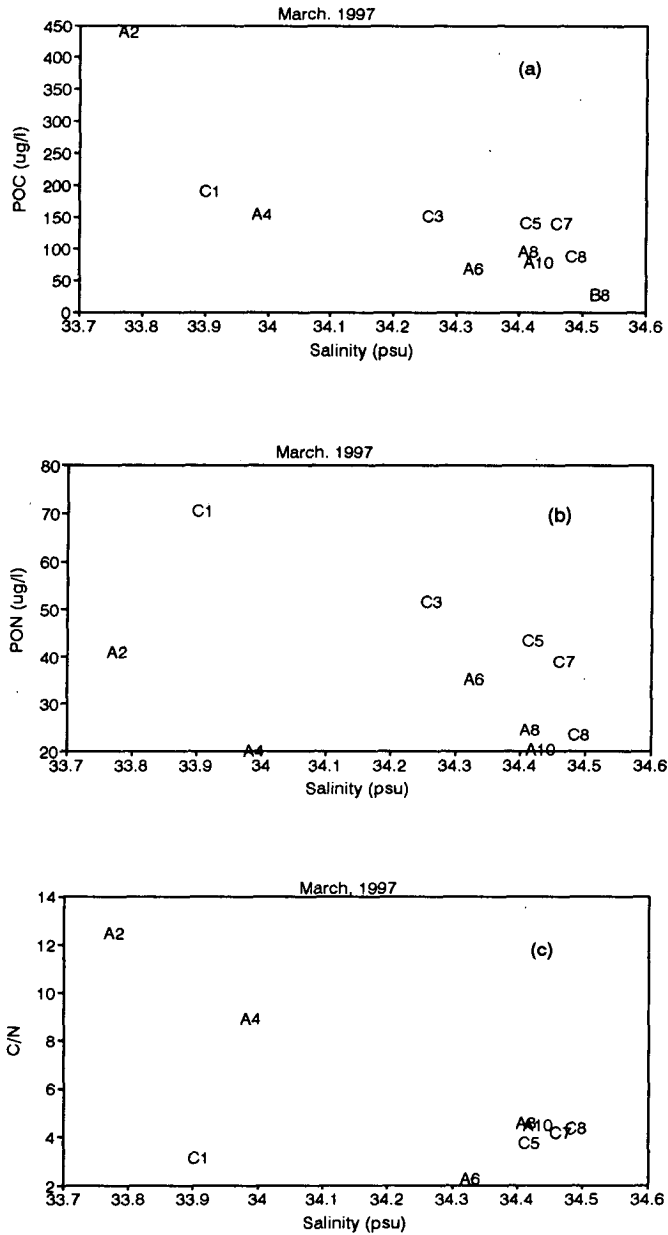


Fig. 4.11. The relationships between salinity and (a) particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$), (b) particulate organic nitrogen ($\mu\text{g/l}$), (c) C/N in the surface water (March 1997).

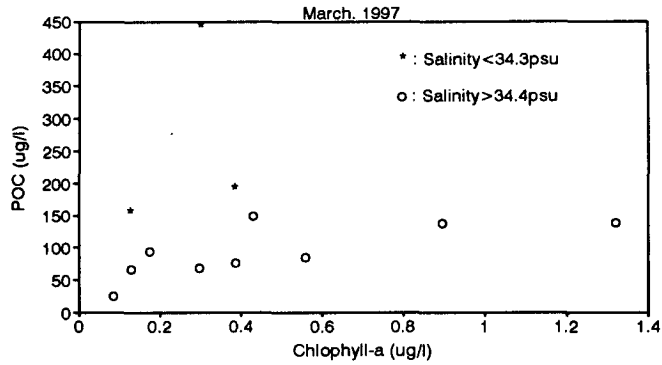


Fig. 4.12. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (March 1997).

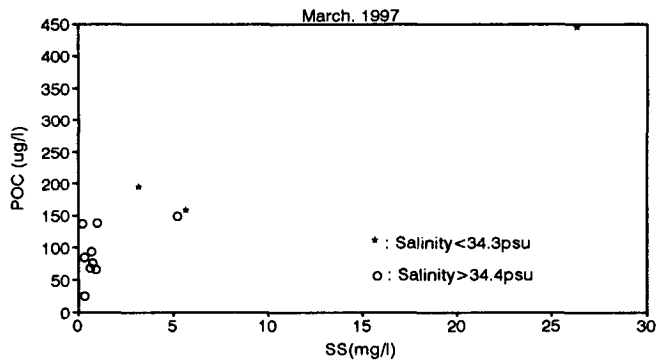


Fig. 4.13. The relationships between suspended sediment (mg/l) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (March 1997).

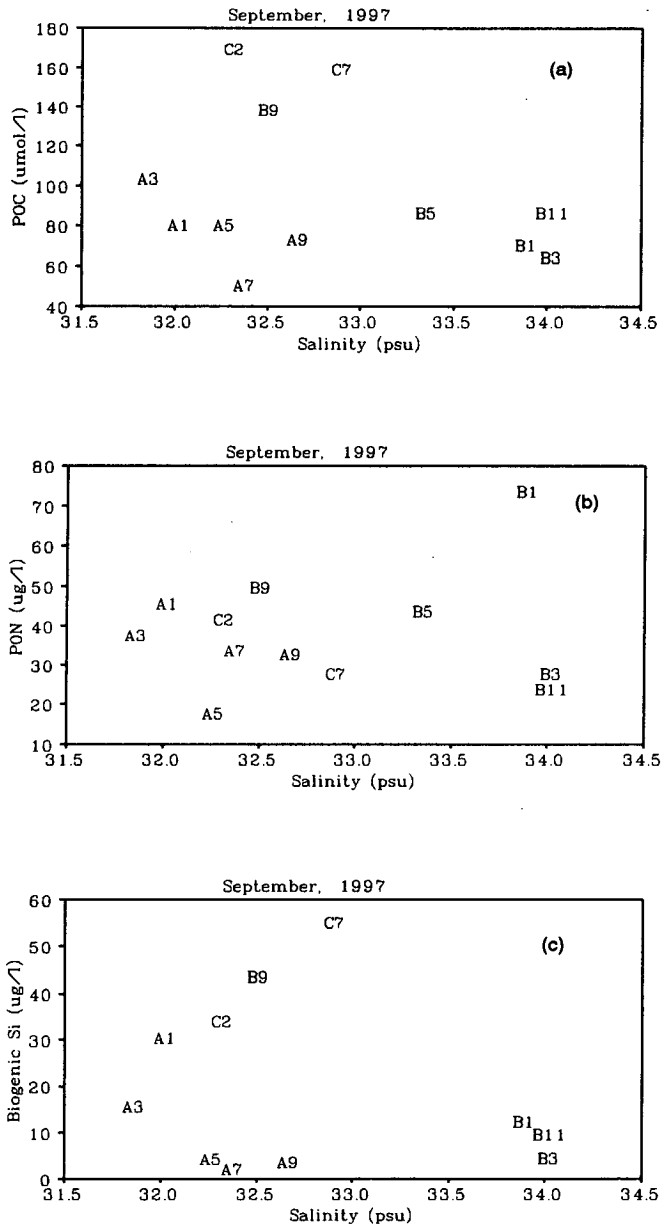


Fig. 4.14. The relationships between salinity and (a) particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$), (b) particulate organic nitrogen ($\mu\text{g/l}$), (c) biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).

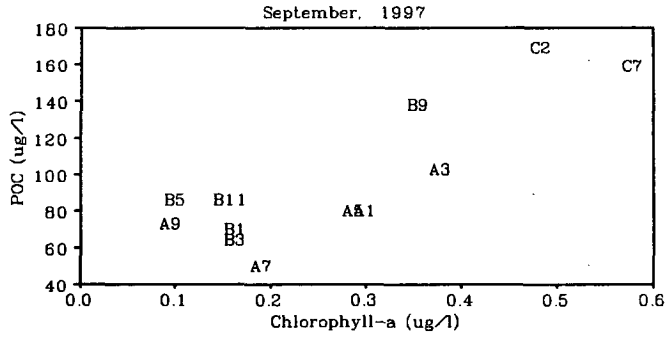


Fig. 4.15. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).

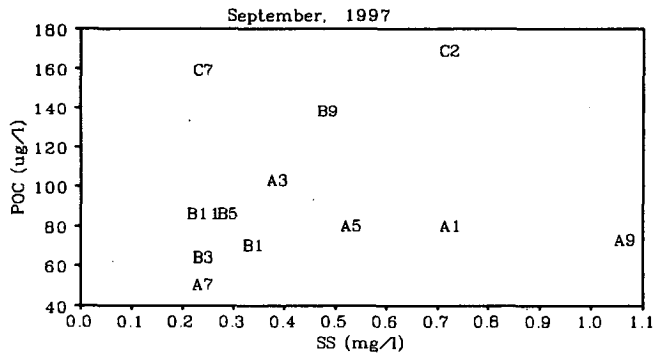


Fig. 4.16. The relationships between suspended sediments (mg/l) and particulate organic carbon ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).

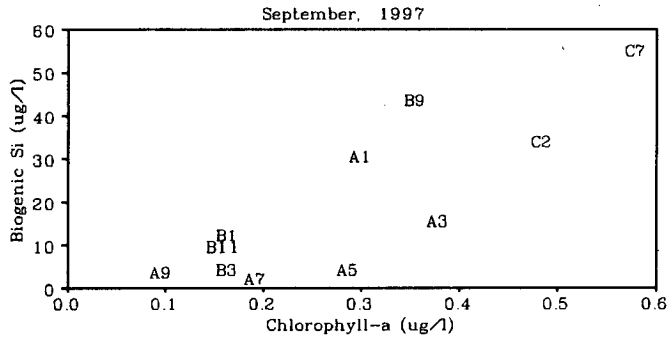


Fig. 4.17. The relationships between chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$) and biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).

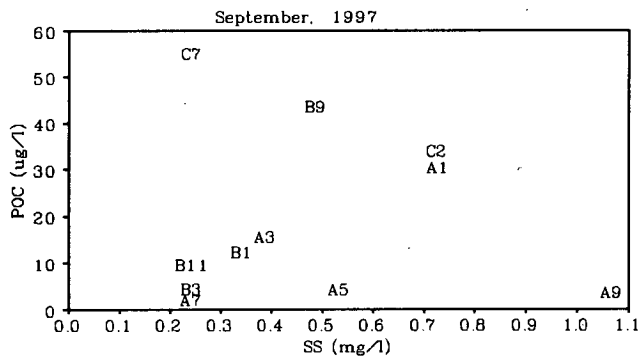


Fig. 4.18. The relationships between suspended sediments (mg/l) and biogenic Si ($\mu\text{g/l}$) in the surface water (September 1997).

**St. 10
(1997. 3)**

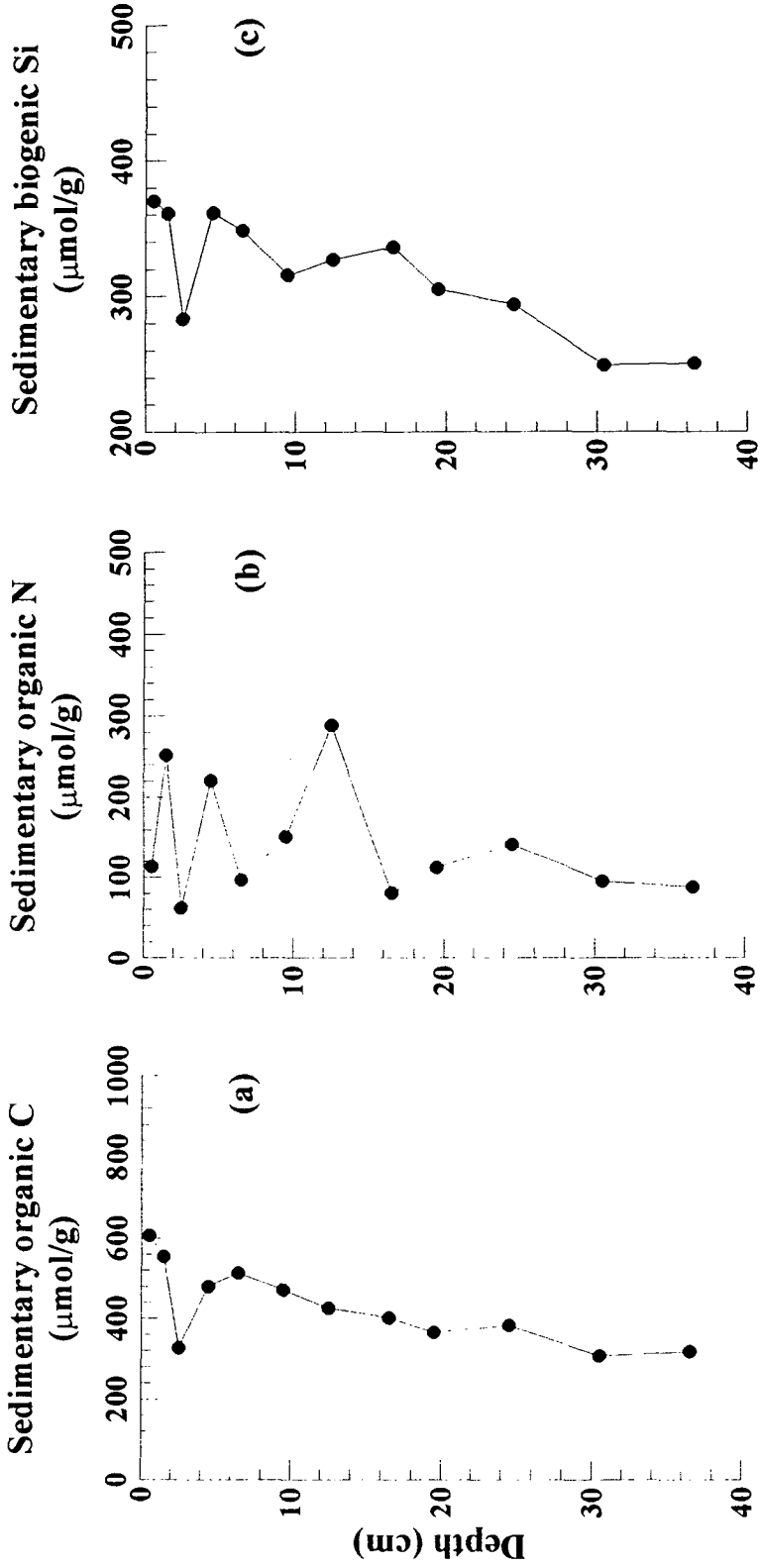


Fig. 4.19. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station A10 in March 1997.

**St. JM
(1997. 3)**

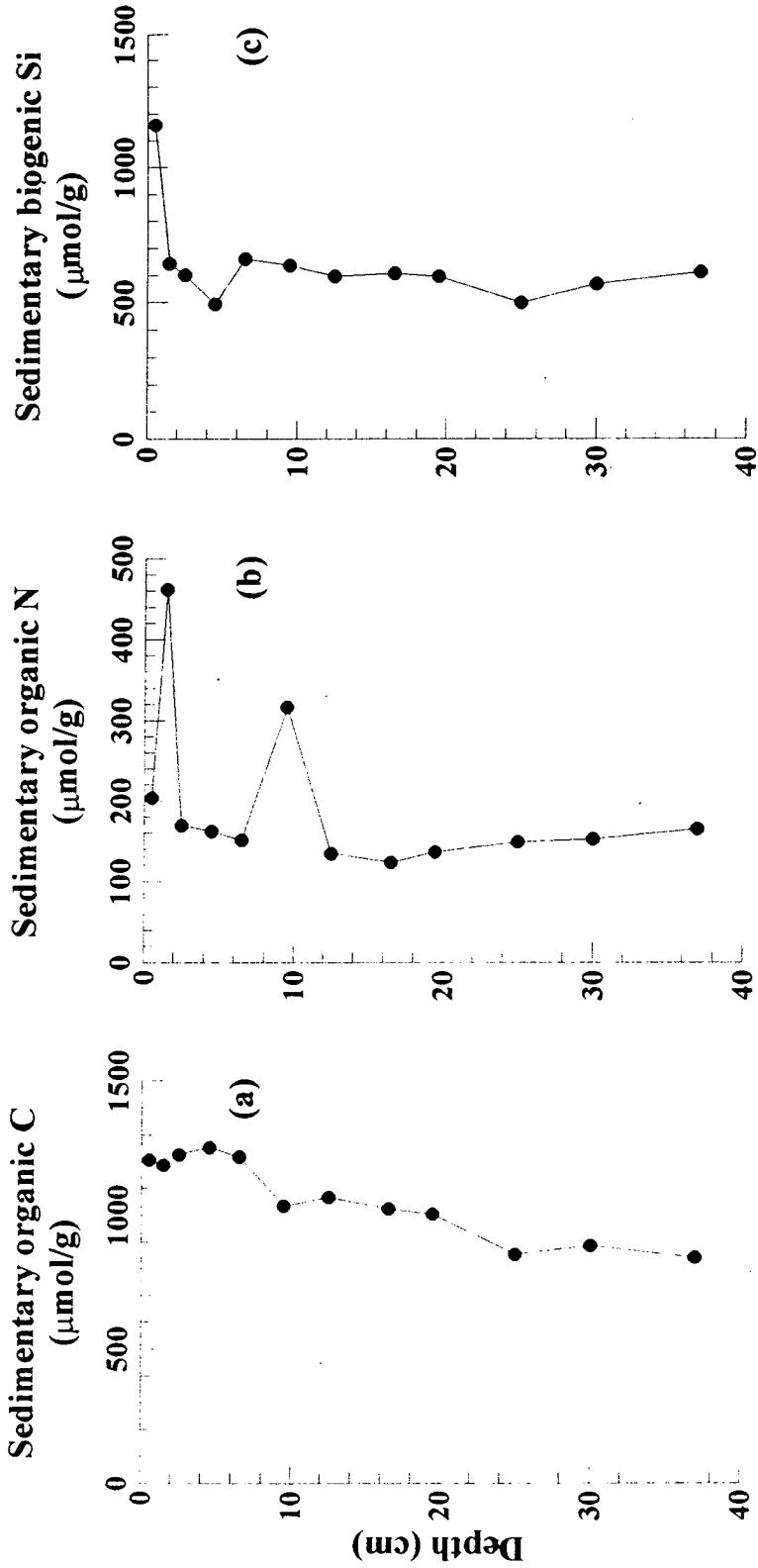


Fig. 4.20. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station JM in September 1997.

**St. SC1
(1997. 3)**

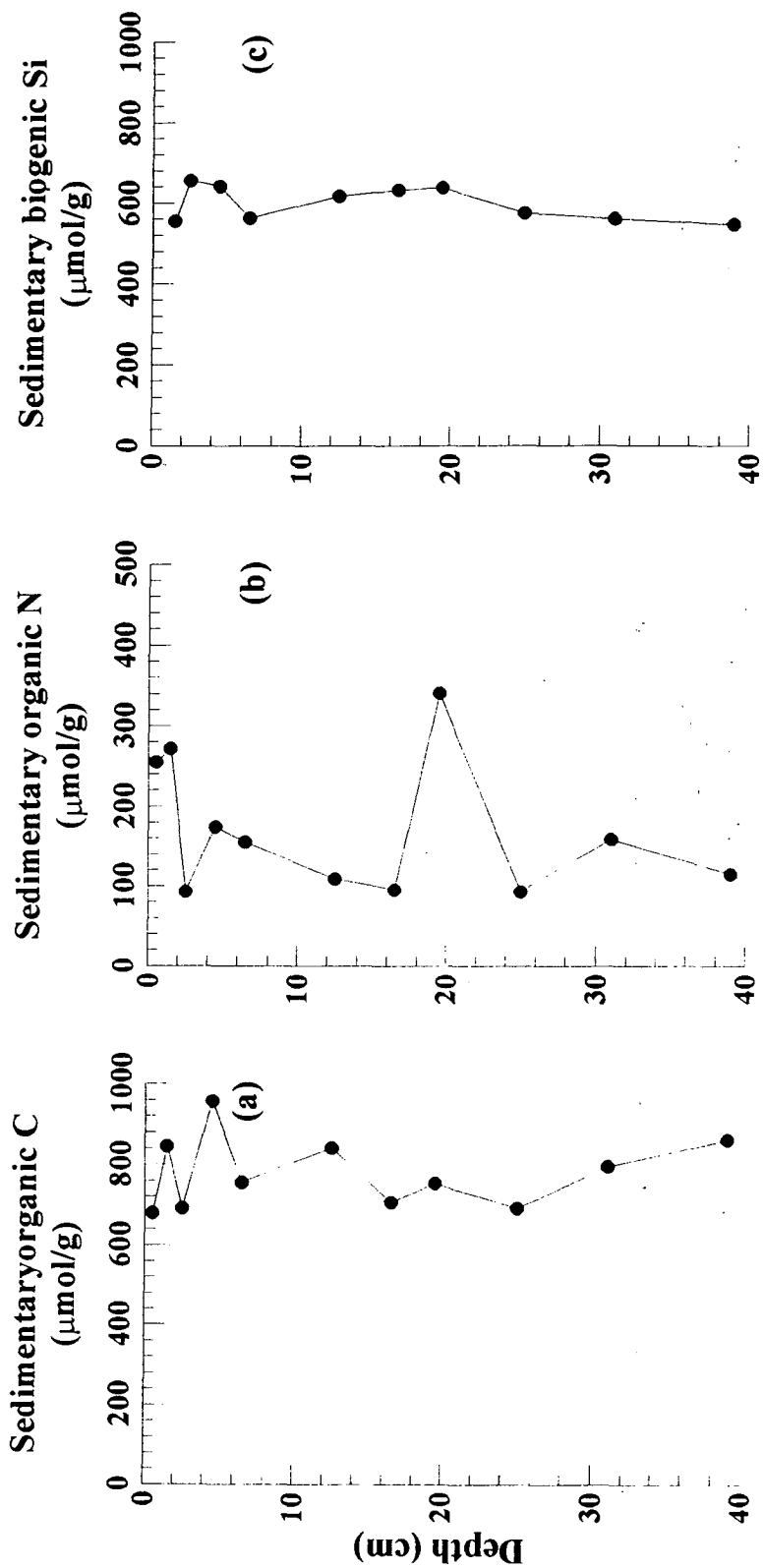


Fig. 4.21. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station SC1 in September 1997.

**St. SC2
(1997.3)**

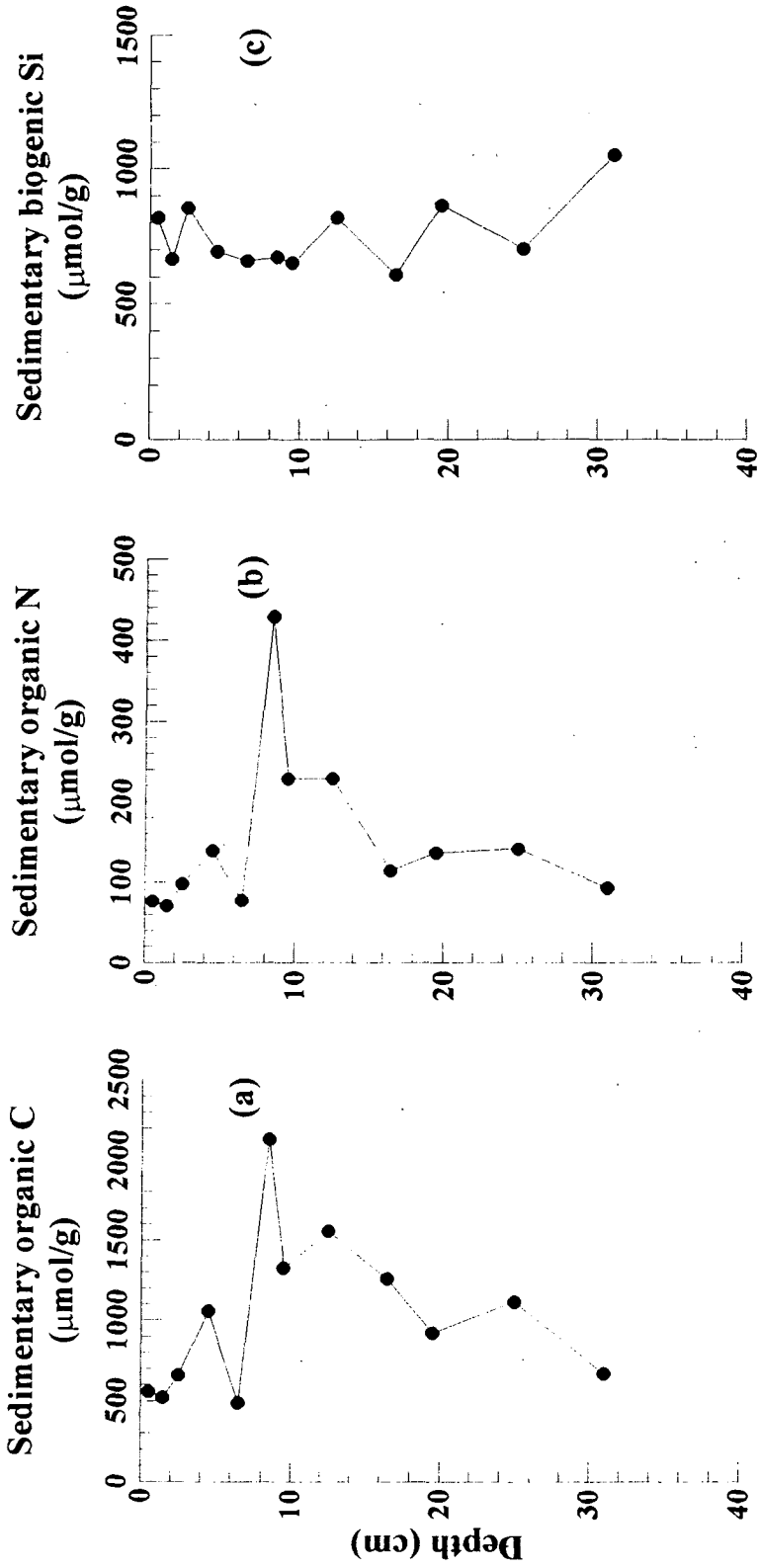


Fig. 4.22. Depth distribution of (a) organic carbon, (b) organic nitrogen, (c) biogenic silica in the sediment from station SC2 in September 1997.

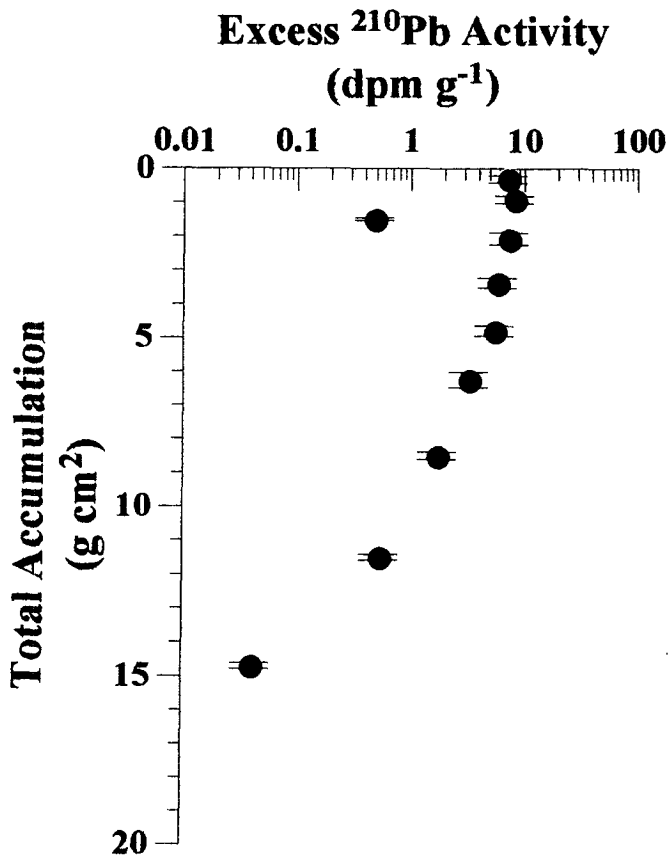


Fig. 4.23. Depth distribution of excess ^{210}Pb from station A10 in March 1997.

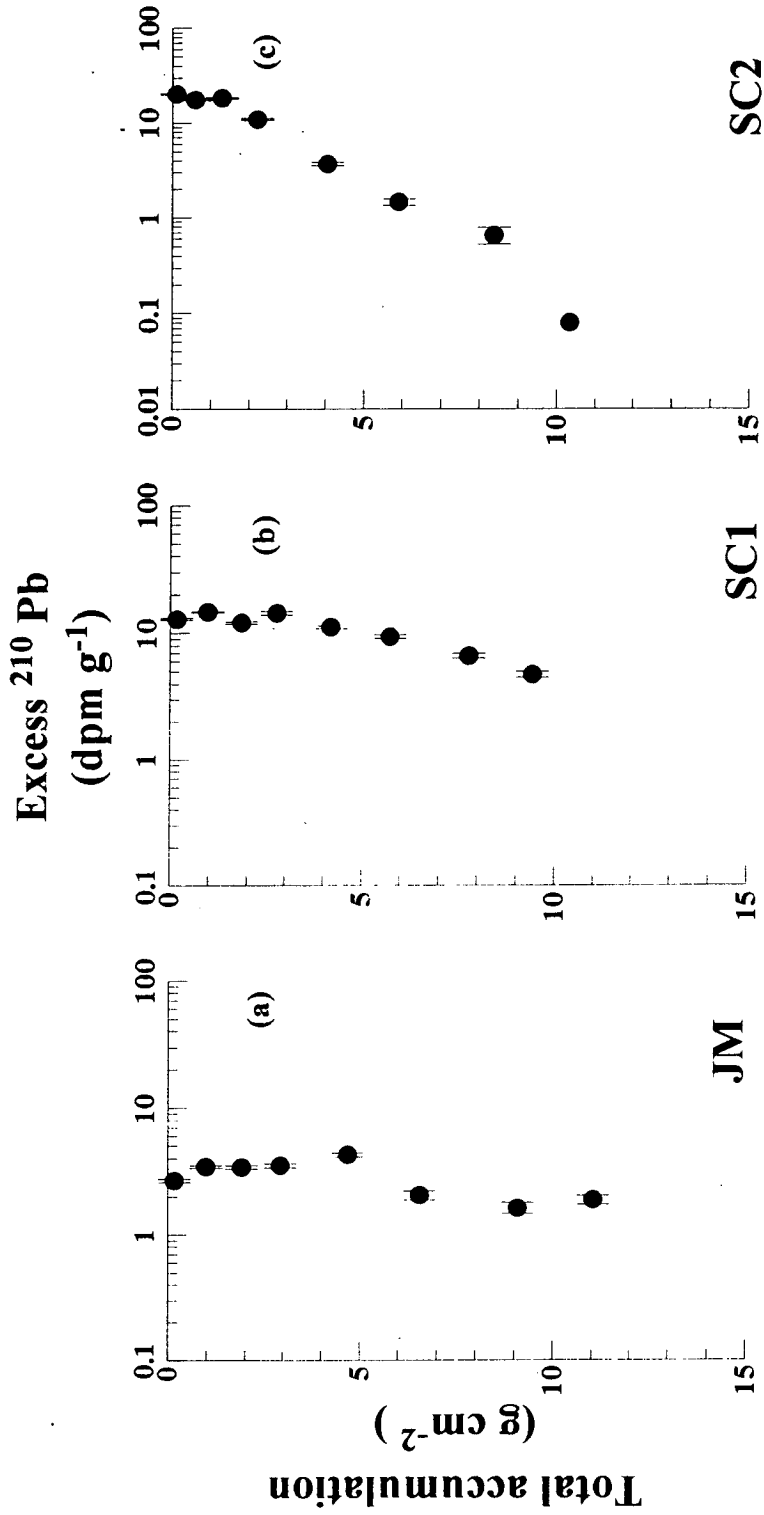


Fig. 4.24. Depth distribution of excess ²¹⁰Pb from each stations in September 1997. (a) St. JM, (b) St. SC1, (c) St. SC2

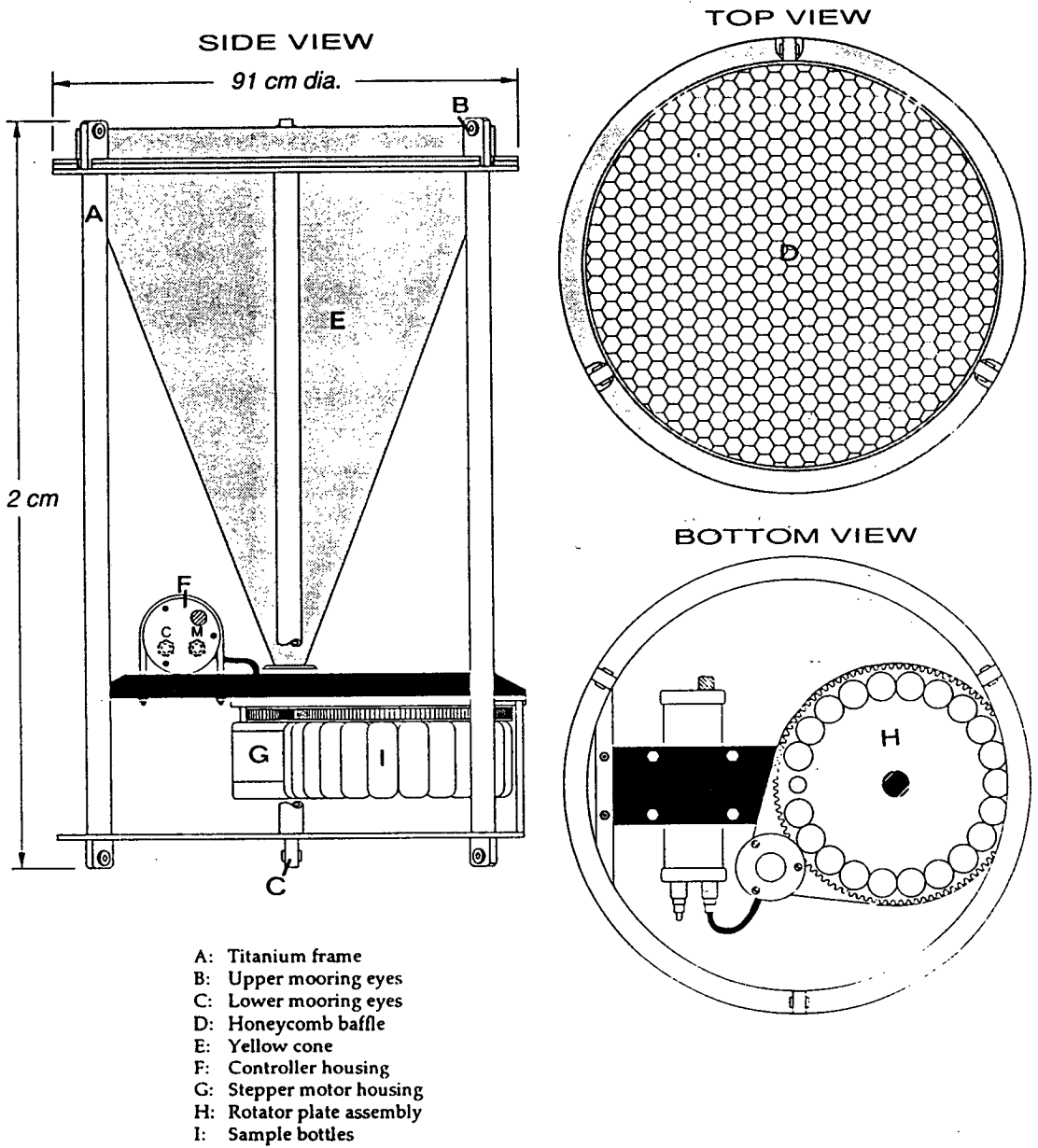


Fig. 4.25. An overall view of a Mark 7G-21 sediment trap.

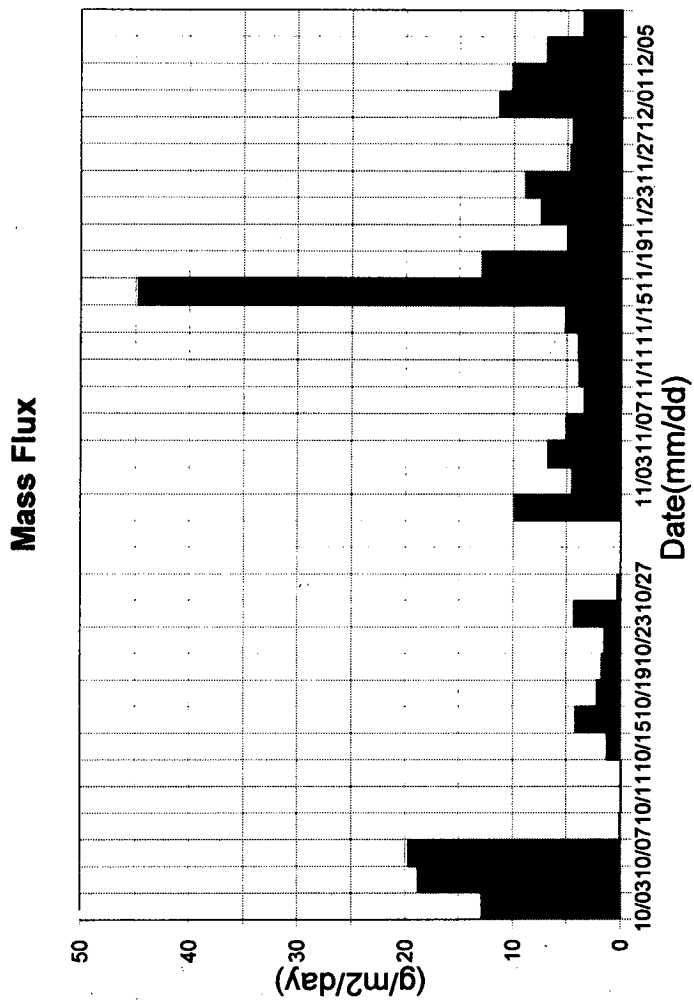


Fig. 4.26. Total mass flux of settling particle at station JM.

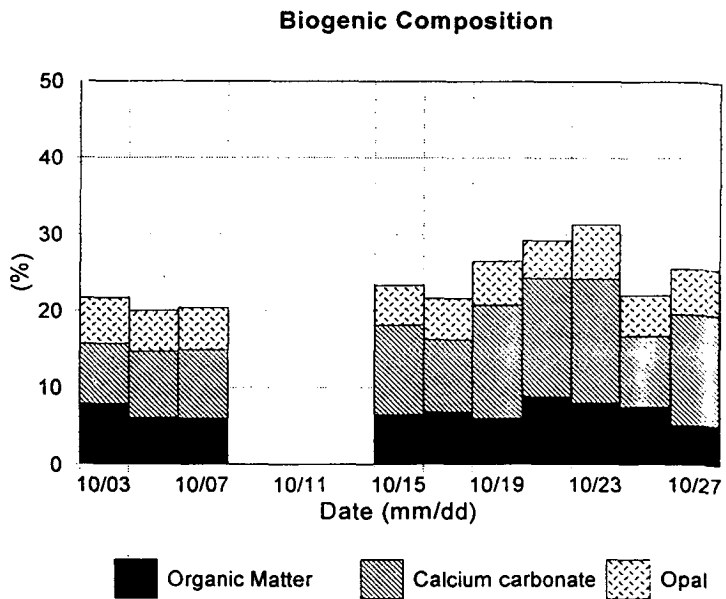
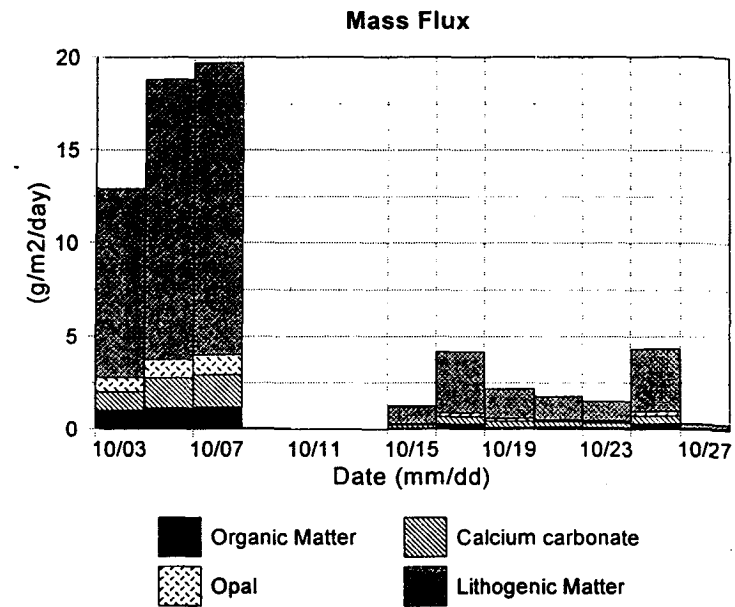


Fig. 4.27. Biogenic, lithogenic mass flux and biogenic composition of settling particle at station JM.

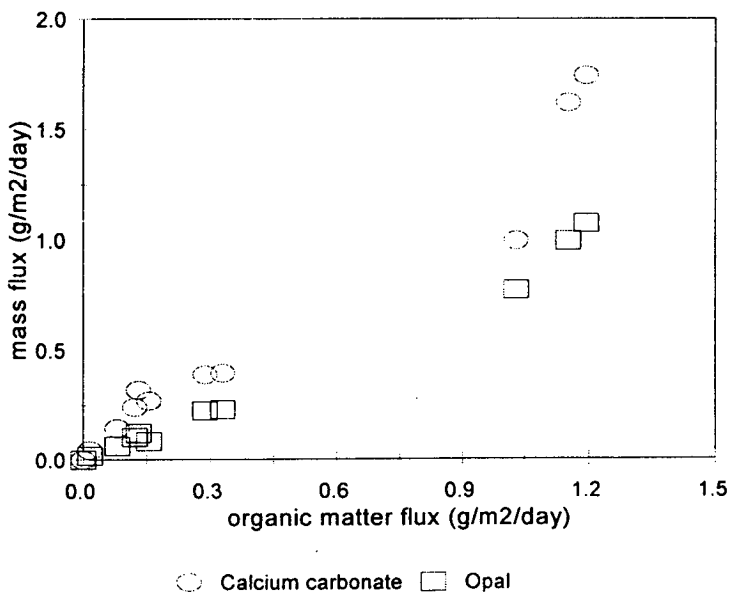
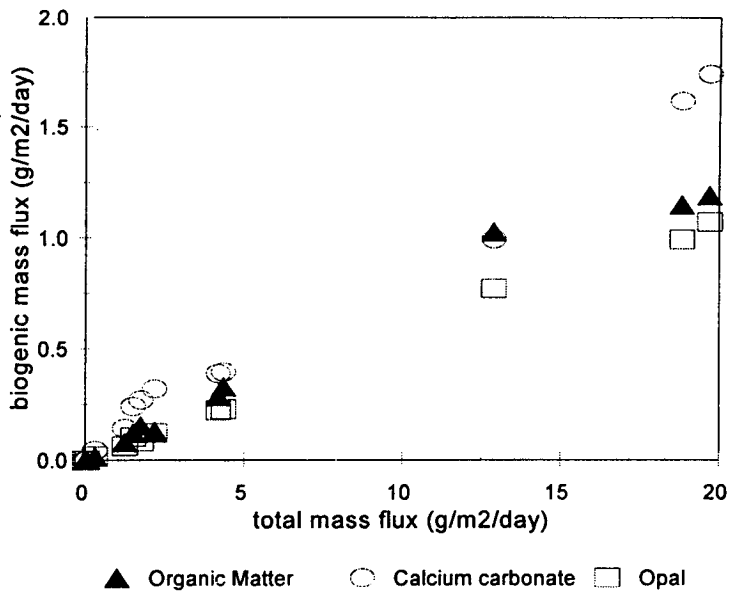


Fig. 4.28. Relationships between settling component in station JM.

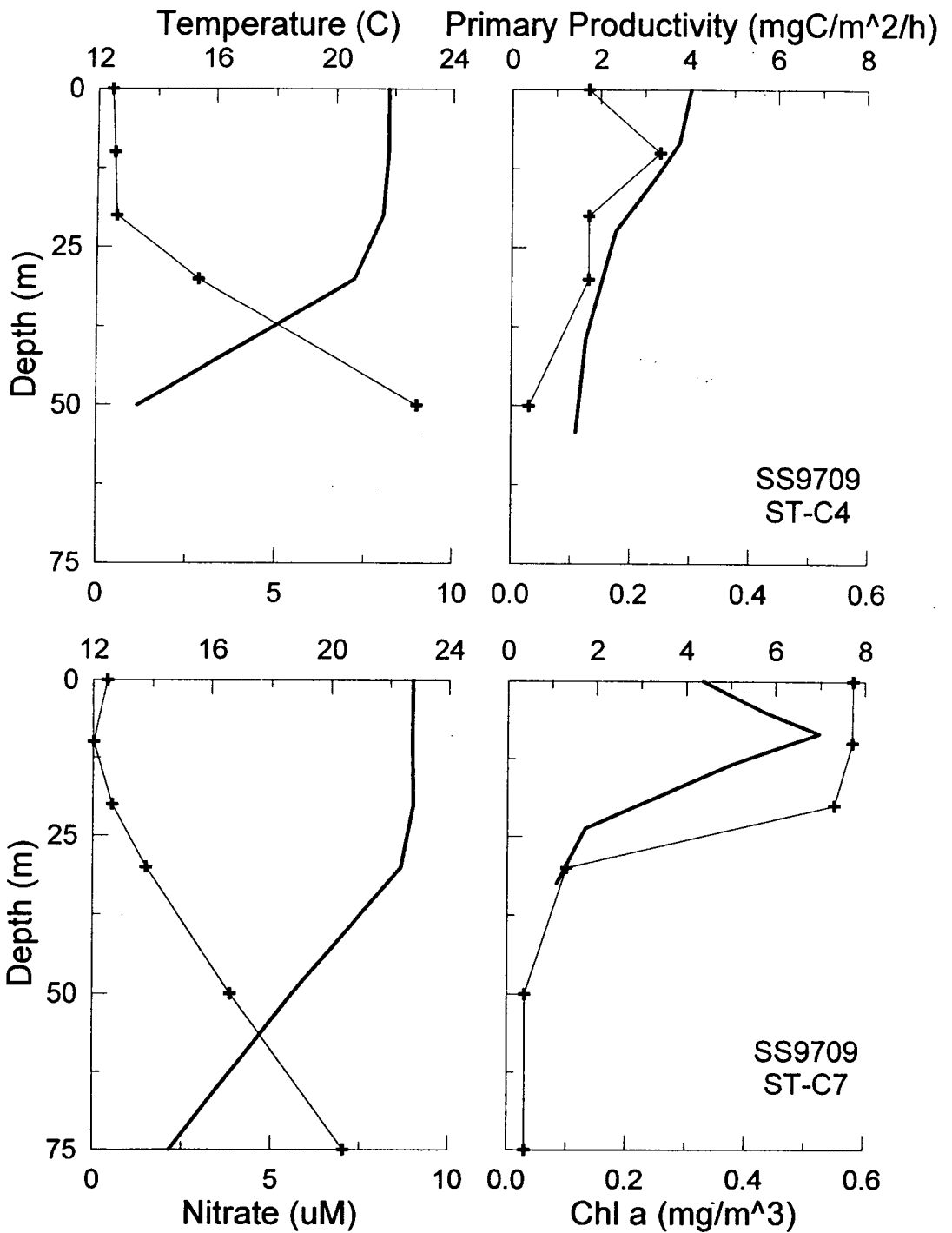


Fig. 4.29. Vertical distribution of temperature, nitrate, primary productivity, chlorophyll a concentration during March, 1997.

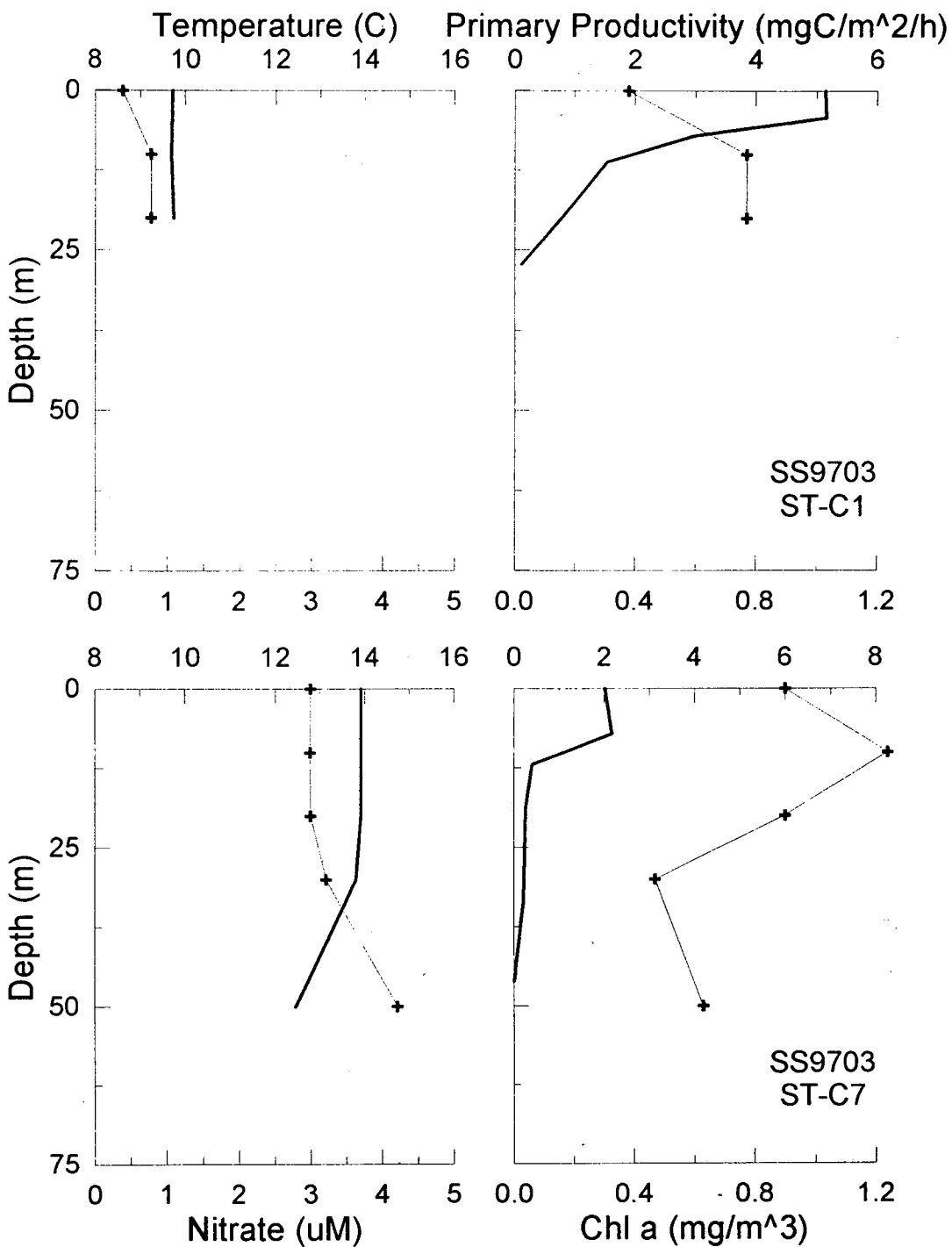


Fig. 4.29. Continued.

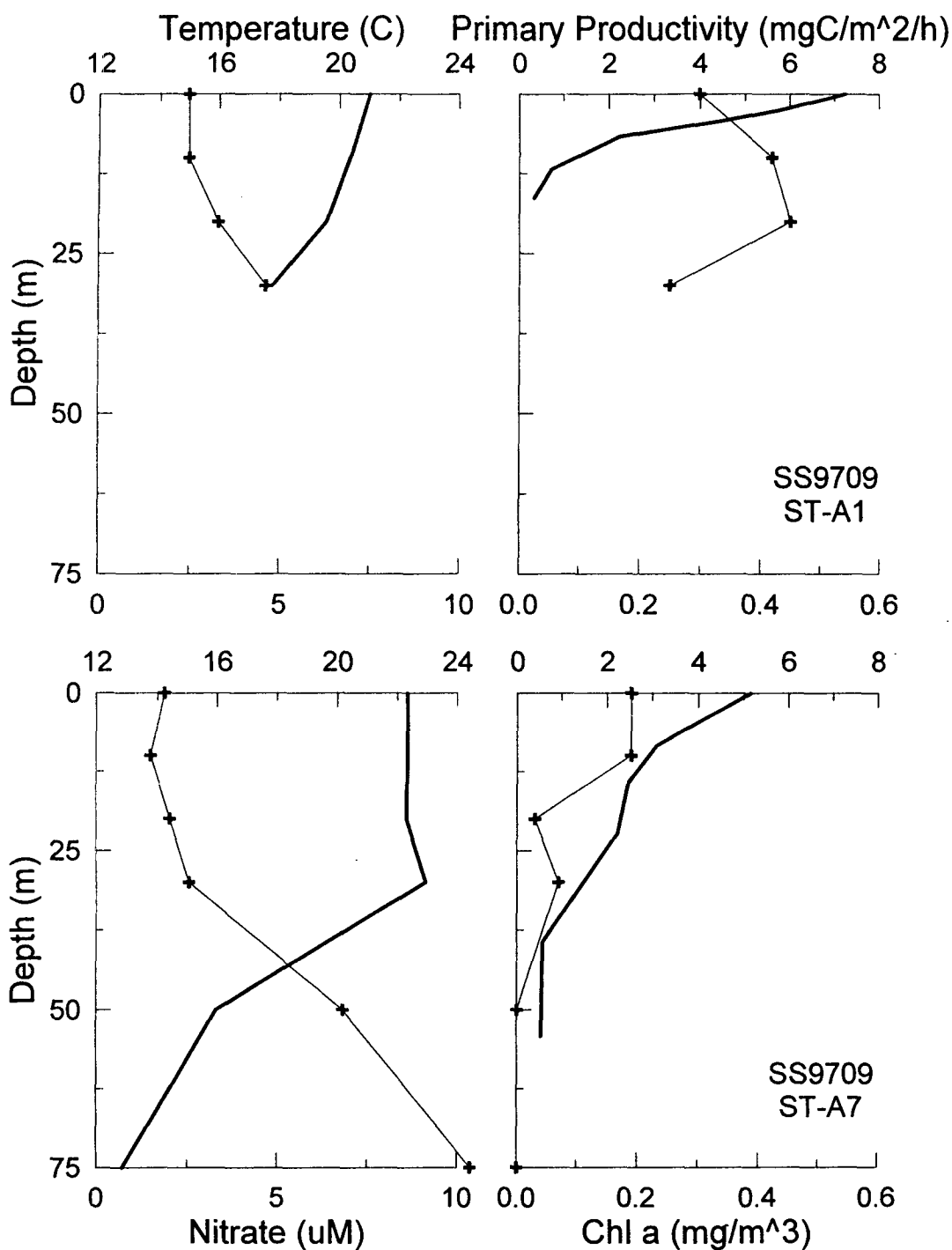


Fig. 4.30. Vertical distribution of temperature, nitrate, primary productivity, chlorophyll a concentration during September, 1997.

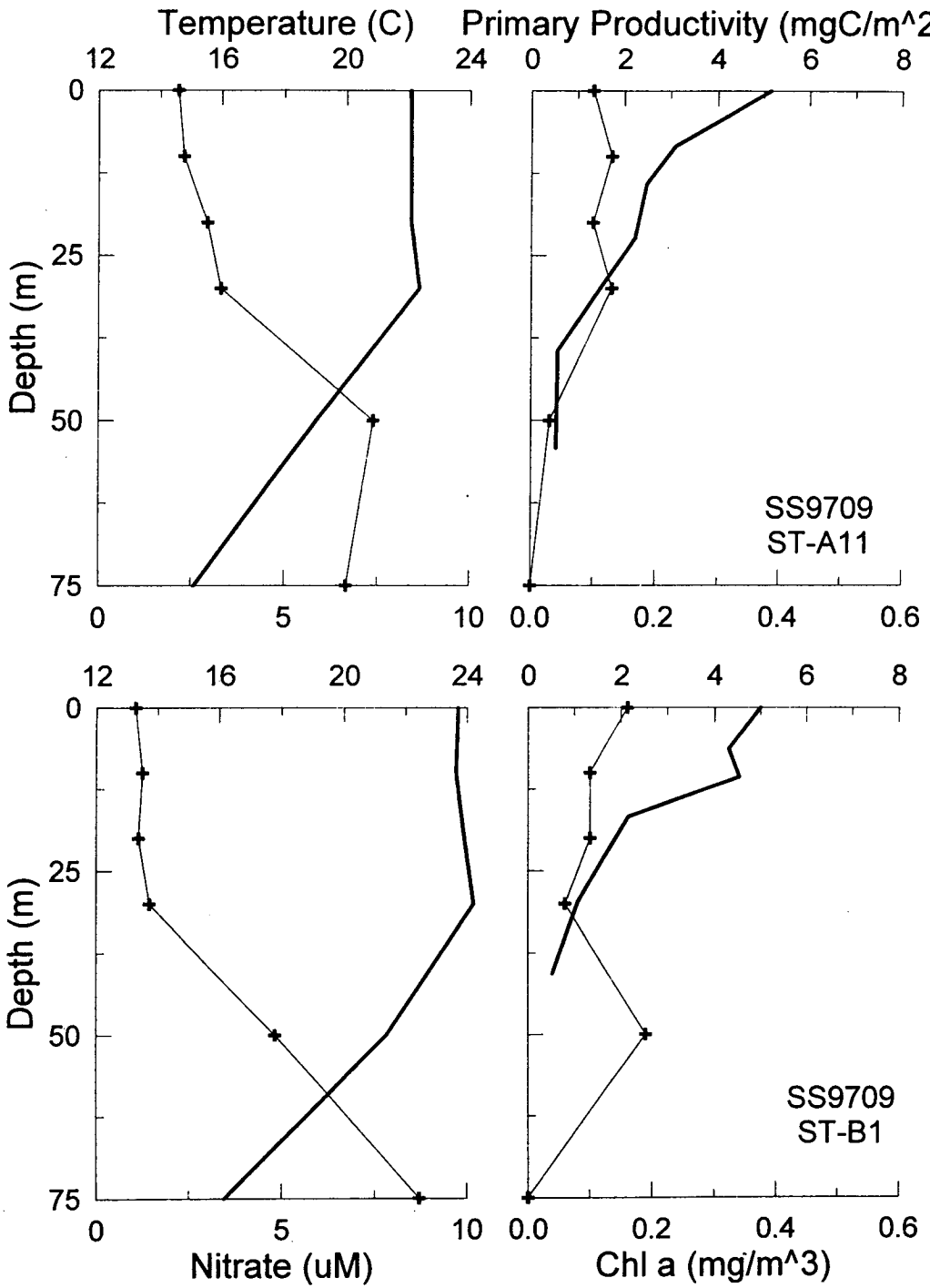


Fig. 4.30. Continued.

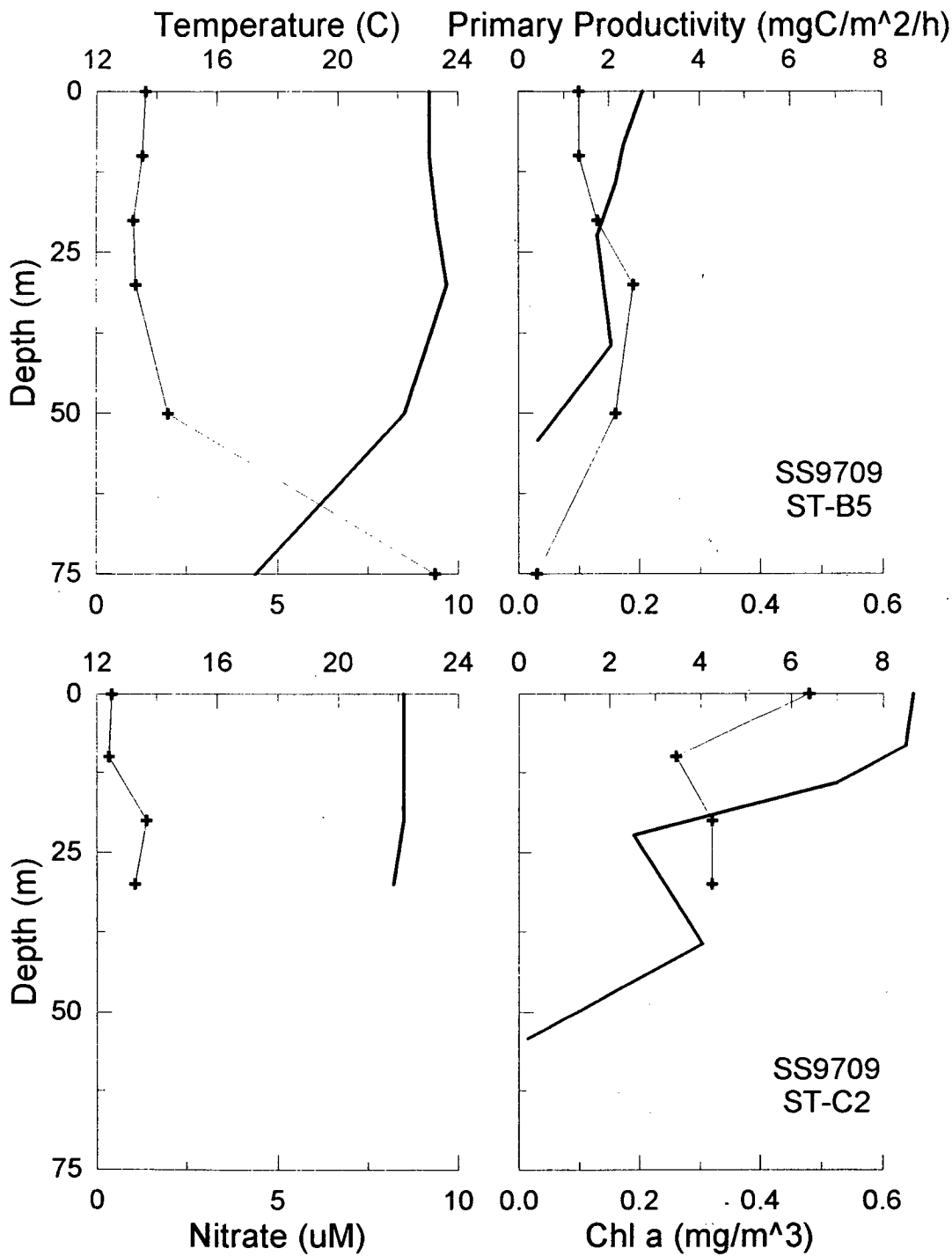


Fig. 4.30. Continued.

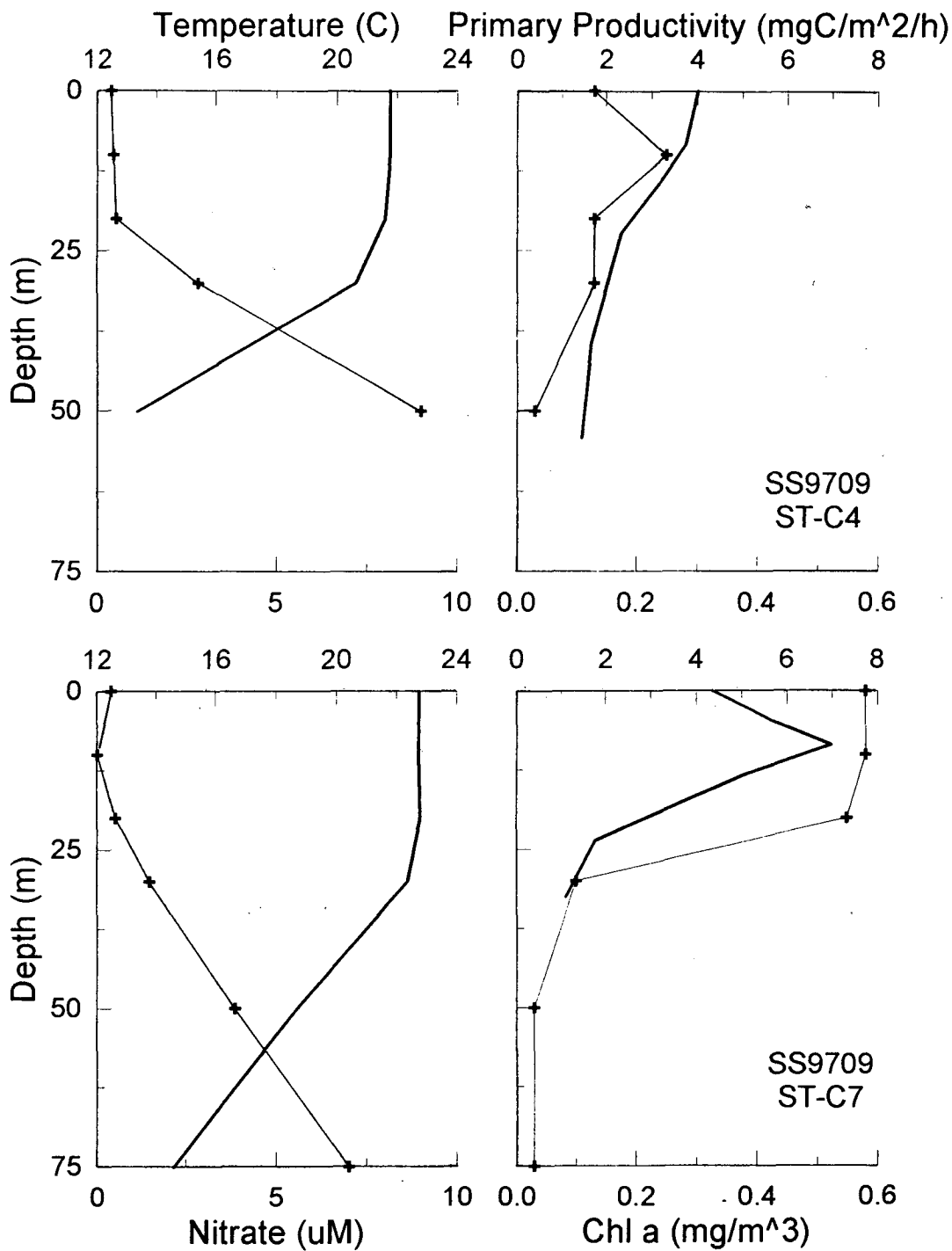


Fig. 4.30. Continued.

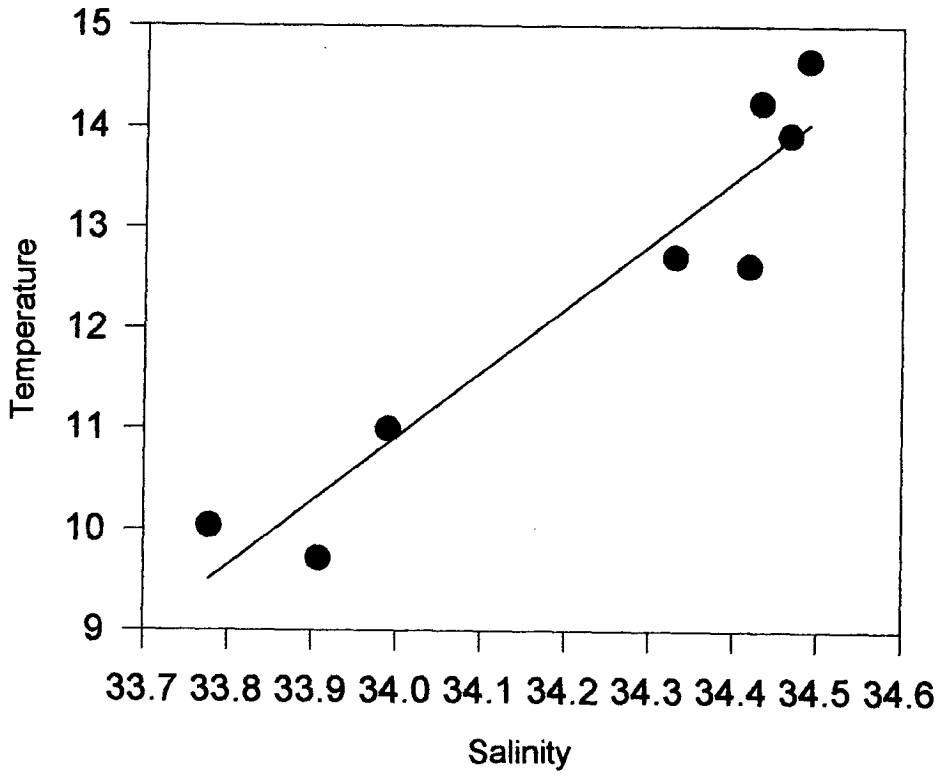


Fig. 4.31. The correlation between salinity and temperature in the surface water of the South Sea of Korea.

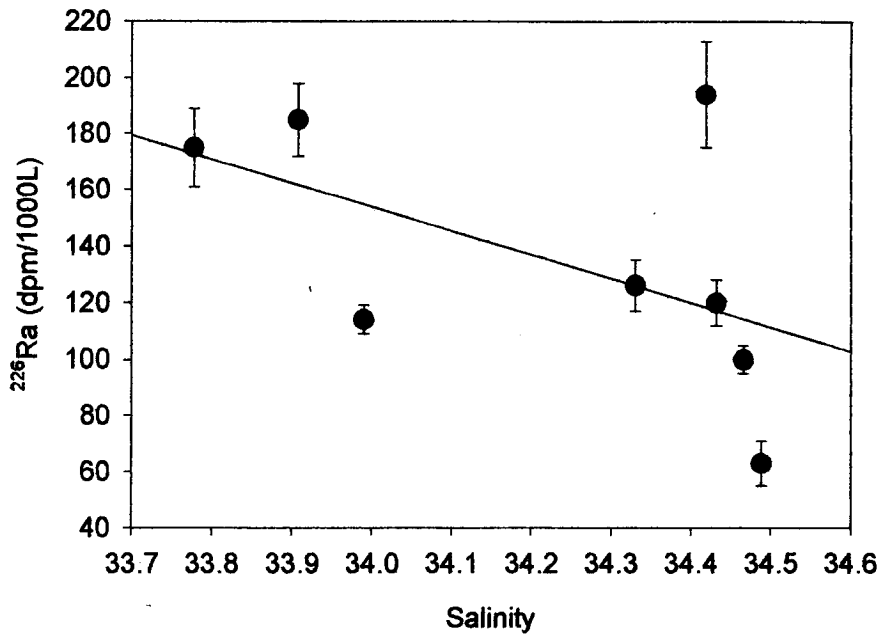


Fig. 4.32. Plots of ^{226}Ra versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.

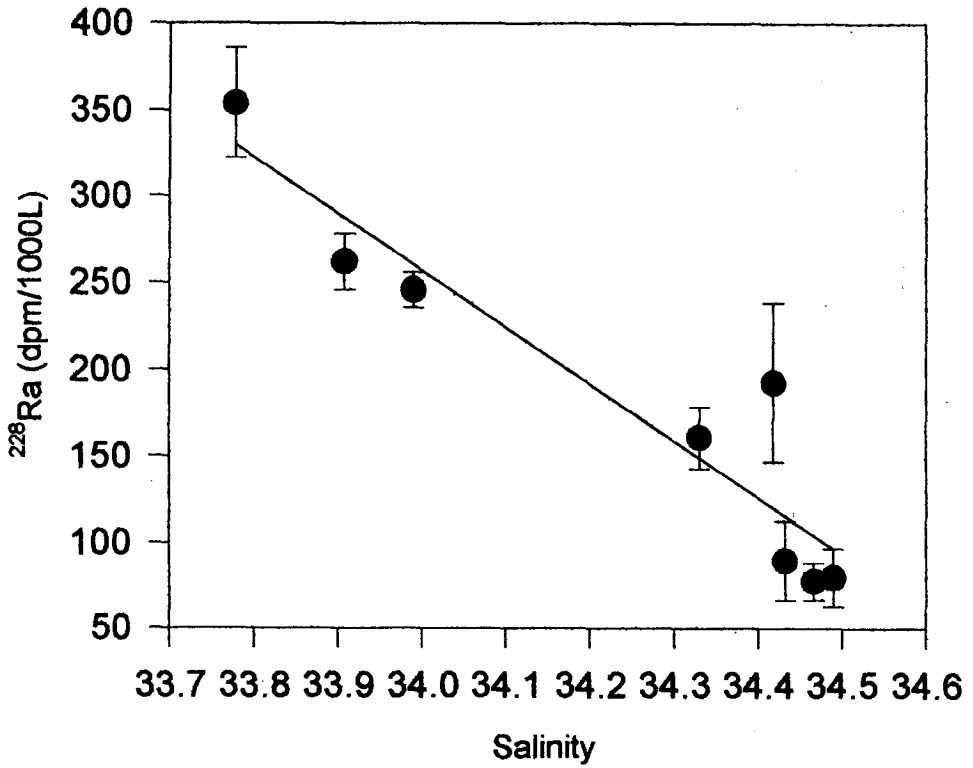


Fig. 4.33. Plots of ^{228}Ra versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.

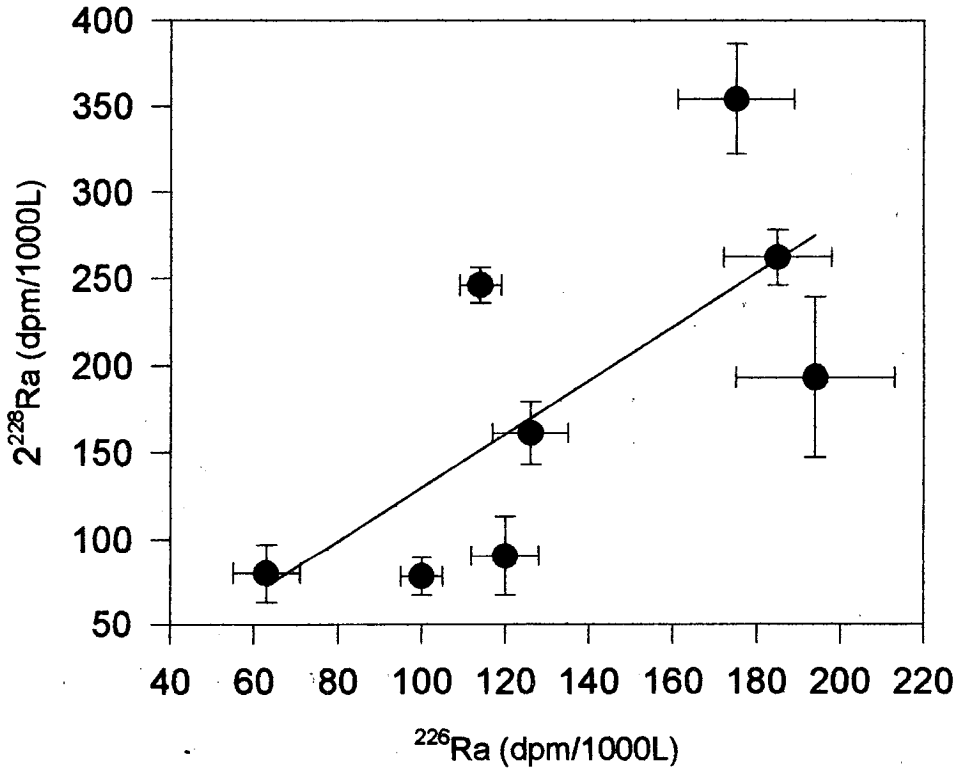


Fig. 4.34. Correlation between ^{226}Ra and ^{228}Ra in the surface waters of the South Sea of Korea.

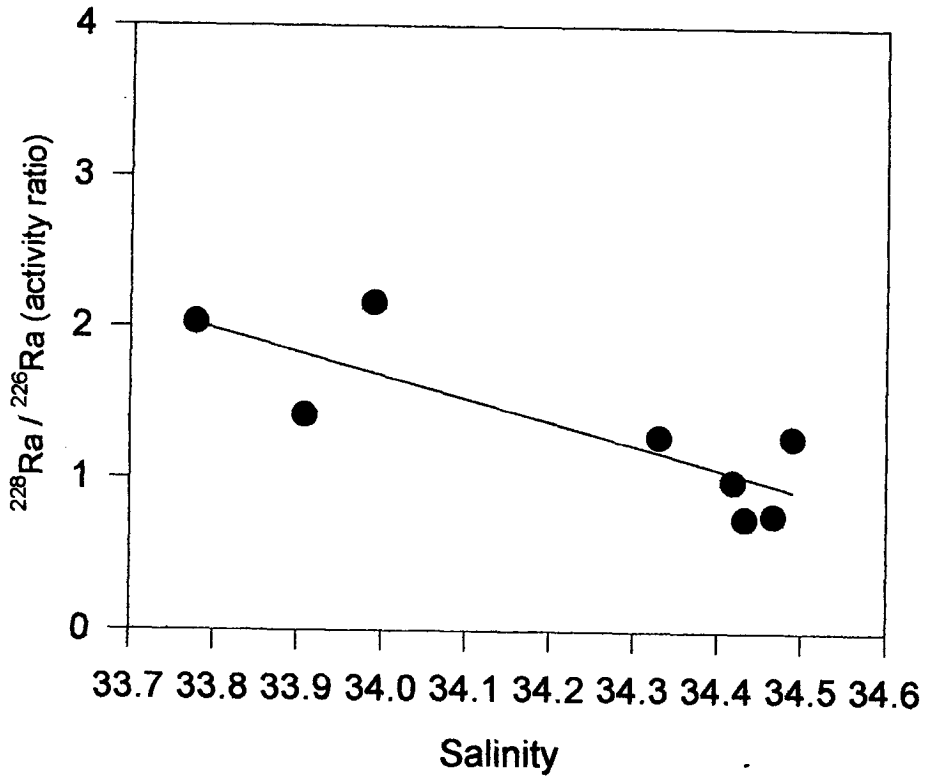


Fig. 4.35. Plots of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ratios versus salinity in the surface waters of the South Sea of Korea.

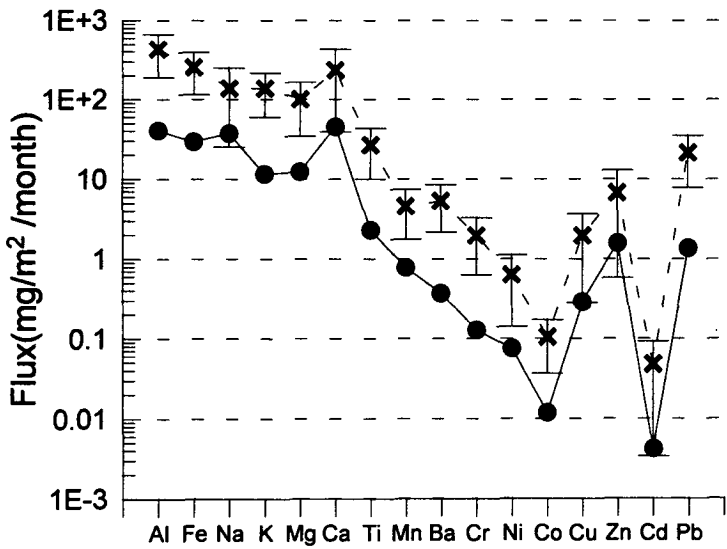
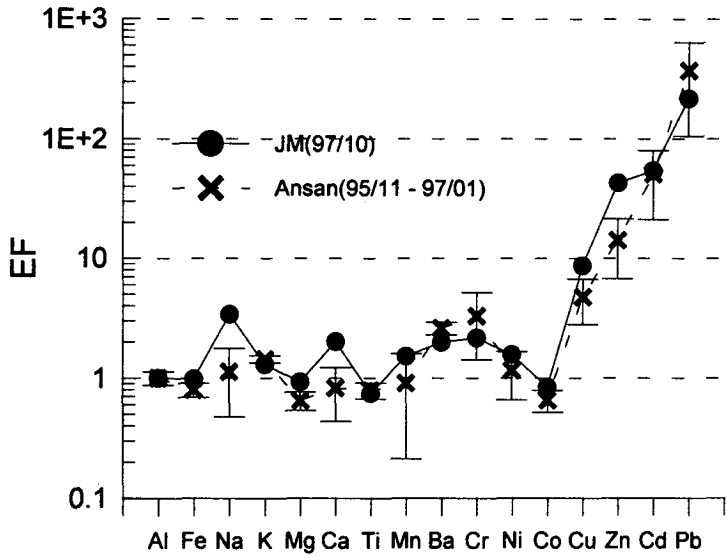


Fig. 4.36. Enrichment factors(EF) of metals relative to Al and metal flux of atmospheric dust fall at the southern Island(JM) and western coast(Ansan) of Korea.

제 5 장

저서생물 생화학 특성

제 5 장 저서생물 생화학 특성

제 1 절. 서 론

대륙붕은 대양과 육지의 경계면에 해당되는 해역으로 양쪽 모두의 특성을 고루 가지고 있는 매우 특이한 해역이다. 대륙붕을 물이 찬 육지로 볼 수도 있는 반면 일부 육지를 물 빠진 대륙붕으로 보아도 된다는 견해도 있다. 복잡한 해안선을 갖고 있는 남해안은 대륙붕이 잘 발달되어 있고 여기에는 많은 하천들이 연결되어 있어 육지로부터의 육수 유출에 따른 육상 물질의 유입, 그리고 공간적으로 육지에 인접하고 있어 하천과 바람 등의 영향에 의한 육상 물질의 유입이 지속적으로 이루어지고 있는 곳이다. 또 육지에 인접한 대륙붕의 경우 항만과 임해 공단의 구성에 의한 여러 가지 산업 부산물들과 폐수들의 유입 또한 심각한 수준에 달하고 있다.

지구과학자들의 견해를 빌지 않더라도 대륙붕은 육지의 성격을 다분히 가지고 있는 해양환경으로서 그 동안 수심이 얕은 탓도 있어 많은 조사가 이루어져 왔다. 특히 대륙붕으로는 앞에서 언급한 바와 같이 육지로부터의 많은 물질의 유입이 있고 이들 중 질소화합물이나 인산염등은 식물플랑크톤의 영양원으로 이용되어 적조등 식물플랑크톤의 대번식의 원인중의 하나로 지목되고 있기도 하다. 이러한 영향은 먹이사슬에 따라서 분해자인 세균이나 저서동물의 번식에도 영향을 주게되 대륙붕은 육상 유래 혹은 해양유래 미생물들이 혼재되어 있고 동시에 수많은 저서 생물들의 서식처가 되고 있다. 이들중 전 해양에 존재하는 동물 종의 약 90 %를 이루고 있는 저서 동물은 비록 그 절대 수에 있어서는 어류 등을 따르지 못하지만 그 종의 다양함에 있어서는 바다의 실질적인 주인이라는 주장도 제기되고 있다.

본 연구에서는 남해 대륙붕의 물질 순환에 관한 생지화학적 연구의 일환으로 생물 유래 물질로서 소위 Biomarker의 가치를 갖는 지방 성분의 물질들 중 특히 일반 탄화수소와 지방산의 종류 및 구성을 각 해역 별로 조사하고 이와 동시에 남해 대륙붕에 서식하는 몇몇 주요 저서 동물들의 생화학 물질의 구성을 밝히고 생물 공학적으로 유용한 성분의 존재 여부를 밝힘으로써 이들의 존재가 새로운 부존자원으로서의 가능성도 타진하였다.

제 2 절. 재료 및 방법

2.1. 해수 및 해저 퇴적물에서 균주의 분리

2.1.1. 균주 분리용 배지 및 조성

균주 분리는 일반 eubacteria와 방선균을 대상으로 하였으며 주로 사용된 배지는 eubacteria의 경우 ZoBell 배지를 사용하였고 방선균의 경우는 Bennet 배지와 M3-I 배지를 사용하였다. Bacto-peptone, Bacto-yeast extract 등 배지 성분은 주로 Difco 제품을 사용하였고 배지에 사용된 해수는 냉암소에서 숙성시킨 해수를 솜을 채운 filter로 여과하여 고형 물질을 제거하고 사용하였다. 기타 배지성분에 들어가는 시약은 Sigma 제품을 사용하였으며 배지의 조성은 아래와 같다.

ZoBell medium

Bacto-peptone	5 g
Bacto-yeast extract	1 g
FePO ₄	10 mg
Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml
(Bacto agar)	20 g : 고체 배지의 경우

M3-I medium

Na ₂ HPO ₄	0.732 g
KH ₂ PO ₄	0.466 g
NaCl	0.29 g
Na-Propionate	0.2 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1 g
CaCO ₃	0.02 g
KNO ₃	0.01 g
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.2 mg
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.18 mg
MnSO ₄ ·4H ₂ O	0.002 mg

Cyclohexamide stock solution	10 ml
Thiamine-HCl solution	10 ml
Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml

(Bacto agar 20 g, 고체 배지의 경우)

Bennet ' s medium

Glucose	2 g
peptone	2 g
Malto extract	1 g
Yeast extract	1 g
Aged sea water	750 ml
Distilled water	250 ml

(Bacto agar 20 g, 고체 배지의 경우)

PH 7.2

2.1.2. 시료 채취 및 접종 방법

퇴적물 시료는 멸균된 50 ml capacity conical tube에 담아 실험실로 운반하였다. 퇴적물 시료에서는 주로 방선균의 분리를 수행하였는데 시료를 멸균 해수에 현탁하여 bath type sonicator로 1 분간 처리한 후 60 °C water bath에서 1 시간 동안 처리하여 일반 세균을 제거하고 10 배씩 희석 시켜 가면서 순차적으로 0.1 ml 씩을 각 배지에 분주한 후 도말하여 colon의 형성을 관찰하였다.

해수 시료는 70 % Ethanol로 멸균된 1 liter 들이 Nalgene bottle에 담아 실험실로 운반하여 처리하였는데 Eubacteria는 10 ml, 50 ml의 해수를 0.22 μ m membrane filter로 여과하여 이 filter를 ZoBell plate에 올려 25 °C에서 3 일 간 관찰하며 배양하여 형성된 colony를 다시 새로운 ZoBell plate에 3 차 streaking하여 순수 분리하였다. 방선균은 일정량의 해수 (100 ml, 500 ml)를 0.22 μ m membrane filter로 여과한 후 젖은 상태의 여과지를 유리 petridish에 넣어 60 °C의 oven에서 1 시간동안 건조시켜 포자를 형성하지 않는 대부분의 일반 세균을 제거한 후 이를 M-3I 혹은 Benette 배지 위에 올려놓고 7 일간 배양하여 형성되는 colony를 분리하였다..

2.1.3. 균주 분리 및 장기보존

각 정점에서 채집된 시료로부터 분리된 균주들은 고체배지에서 순수 배양한 후 30 % glycerol을 함유하는 멸균된 해수에 현탁하여 -70 °C에서 장기 보존하였다.

2.2. 해수 및 해저퇴적물로부터 지방 성분의 분리

2.2.1. 해수로부터 지방 성분의 분리

C-18 Sep-pak cartridge 흡착방법.

채수된 1 liter의 해수는 MFS cellulose nitrate membrane filter paper (pore size 0.22 μ m)로 여과하여 미생물을 포함한 particulate material을 제거한 후 C-18 (ODS) Sep-pak cartridge (Packing volume 5 ml)를 통과하여 유기성분을 흡착시키고 이를 20 ml의 증류수로 세척하여 염분과 약하게 흡착된 비지방성 유기 물질을 제거하고 나서 20 ml의 MeOH을 사용하여 지방 성분을 elution하였다. 강하게 흡착된 성분의 제거를 위하여 n-hexane으로 추가 용출할 경우도 있었으나 이 경우 용출되는 양이 미미하여 정성적인 분석에서는 생략하였다. 용출된 분획은 Rotavapor로 solvent를 제거한 후 Folch solution 5 ml를 가하여 시료를 녹인 후 여기에 녹지 않는 비지방성 물질들을 filtration하여 제거하였다. ODS cartridge에 흡착되는 용존 유기물에는 amino acid, sugar, 일부 nucleic acid 등이 있으나 이들은 Folch solution의 주성분인 chloroform에 용해되지 않으므로 이러한 방식으로 제거할 수 있다. Folch solution에 용해된 지방 성분을 다시 농축한 후 조성을 알기 위하여 TLC 분석을 수행하였다. TLC plate는 Merck사에서 구입한 silica gel F254 plate를 사용하였다.

전개 용매 : 중성지방 : n-hexane : diethyl ether : formic acid
(80:20:0.2)

인지질 : CHCl_3 : MeOH : DW (65:35:5)

전체 지방 : n-Hexane : Diethyl ether (1 : 1)

이와는 별도로 Pyrex 재질의 cap-tube에 옮겨진 총 지방성분에 5 % Methanolic HCl 0.4 ml를 가하고 80 °C에서 1 시간 반응 시켜 complex lipid 상태로 존재하는 지방산 들을 지방산 메틸 에스테르로 transmethylation을 완결하였다. 반응이 종결된 후 이 시료에 0.5 ml의 증류수를 가하고 다시 1 ml의 n-hexane으로 3 회 추출한 후 n-hexane 층을 모두 취하여 이를 silica column (packing volume: 1 ml)에 흘려 fatty

acid methyl ester 성분을 흡착 시킨 후 추가로 3 ml의 n-hexane으로 column을 세척하여 흡착되지 않은 hydrocarbon 성분을 완전히 용출시켰다. Hydrocarbon 성분을 따로 모으고 column을 다시 n-hexane:EtOAc (1:1, V/V)으로 흘려 fatty acid methyl ester 성분을 분리한 후 각각을 speed-vac으로 농축하여 GC로 분석하였다.

2.2.2. 해저퇴적물에서 지방 성분의 분리

시료의 세척 및 건조:

수집된 해저 퇴적물은 멸균된 50 ml capacity conical tube에 담아 실험실로 운반하였다. 함유된 염분을 제거하기 위하여 멸균된 증류수로 3 차례 세척하고 각 세척 단계마다 원심분리기 (5,000 rpm X 10 min)로 회수하였다. 이 과정에서 dissolved 지방성분과 약하게 결합된 여타 수용성 물질들이 염분과 함께 제거되었다. 이를 -70 °C 에서 얼려 동결 건조하여 건조시료를 얻었다.

시료의 추출:

건조 중량 1 gram의 시료를 50 ml 들이 저속원심분리기용 Pyrex 유리 원심분리 관에 넣고 10 ml의 MeOH을 가하여 Homogenizer (15,000 rpm)로 3 분간 처리한 후 이를 다시 ultrasonicator (KFC-400, Sonic and Materials, USA)로 1 분간 처리하고 다시 chloroform 20 ml를 가하여 동일 과정을 반복하였다. 이를 3,000 rpm에서 3 분간 원심 분리하여 층을 분리한 후 상등 액을 취하고 잔여물에 다시 chloroform 20 ml와 MeOH 10 ml (Folch solution)를 가하여 동일한 추출 과정을 반복하였다. 최종적으로 Folch solution 20 ml로 다시 한번 더 추출한 후 추출 액을 모두 합하여 250 ml separatory funnel을 사용하여 합친 액과 동일한 부피의 0.15 M HCl로 1회 역 추출하여 비 지방성분을 제거하였다. 얻어진 유기 용매 층에 무수 sodium sulfate를 더하여 소량 함유된 수분을 제거한 후 미리 무게를 달아둔 pear flask 에 Whatman #1 filter로 여과하였다.

시료의 분획:

Rotary evaporator를 사용하여 감압 증류로 용매를 제거한 후 정밀 저울로 무게를 다시 측정하여 추출된 총 지방성분의 양을 결정하였다. 이를 다시 1 ml의 chloroform에 녹여 2 g (dry weight)의 silica gel이 packing 된

column (Bio-sil A, 200-400 mesh)에 가하여 20 ml의 chloroform으로 씻어내어 중성 및 단순 지방을 분리하고 80 ml의 acetone으로 씻어 당지질 (glycolipid)을 분리한 후 이를 다시 20 ml의 methanol로 씻어 인지질 성분을 분리하였다. 해수 및 퇴적물 중에는 당지질 성분이 거의 나타나지 않아 필요한 경우 이 과정은 생략하기도 하였다. 분리된 분획은 미리 무게를 달아둔 pear flask에 옮겨 rotavapor로 감압 증류하여 용매를 제거하고 무게를 측정하여 함유된 각 지방의 양을 구하였다.

비누화 및 메칠에스테르화:

각 분획을 0.5 M KOH/MeOH 1 ml를 가한 후 80 °C에서 1 시간동안 반응시켜 saponification (비누화)를 완결하고 여기에 5 ml의 증류수를 가하고 Hexane /dichloromethane (10:1) 5 ml로 3 회 추출하여 aliphatic alkane과 aliphatic alcohol 등이 포함된 중성 지방성분을 얻었다. 이를 rotary evaporator로 1 차 농축한 후 다시 Speed-Vac (Vision Co., Korea)로 50 μ l까지 농축하였다. 이를 Gas chromatograph로 분석하였다.

남은 액을 5 N HCl로 pH를 2 정도로 낮춘 후 동일 용매 5 ml로 3 회 추출하여 지방산이 포함된 acidic lipid를 얻었다. 이를 농축하여 0.3 ml의 5 % Methanolic HCl을 가하여 70 °C에서 1 시간동안 반응시켜 Fatty acid methyl ester로 methylation 시켰다. 반응 액에 증류수 0.4 ml를 가하고 n-Hexane 1 ml로 3 회 추출한 후 n-hexane 층을 speed-vac으로 50 μ l 까지 농축하여 GC로 분석하였다.

2.2.3. Gas chromatography 분석

전처리;

분석은 주로 fatty acid와 hydrocarbon을 대상으로 하였다. 시료전체를 transmethylation 시킨 후 이를 silica column에 loading한 후 hexane으로 hydrocarbon을 elution 시키고 다시 50 % EtOAc in hexane solvent로 elution 시켜 fatty acid methyl ester를 얻어 speed-vac으로 농축하여 각각 GC로 분석하였다.

분석 조건:

Gas chromatograph는 Hewlett-packard HP5890II plus를 사용했으며 detector는 FID를 사용하였다. Split-splitless injector를 사용하였으며

injection은 hexane에 녹인 시료 1 μ l를 주입하였다. Column temperature gradient를 사용하였고 (조건은 Table 5.1에 명시) 사용한 column은 fatty acid methyl ester의 경우는 omegawax -320 capillary column (Supelco, USA, 30 m X 0.32 inner diameter)을 사용하였으며 hydrocarbon의 경우는 EC-1 capillary column (Allech Co., USA, 30 m X 0.25 inner diameter)을 사용하였다. Fatty acid methyl ester와 hydrocarbon의 동정은 standard sample의 retention time의 비교와 ECL (equivalent chain length)값을 계산하여 결정하였다. GC 분석에서 standard로 사용된 Eicosapentaenoic acid (EPA)나 Docosahexaenoic acid (DHA) 등의 지방산과 hydrocarbon은 Sigma 제품을 사용하였다.

해수 및 퇴적물에서 분리된 지방 성분의 정성적인 성격확인을 위하여 H-NMR spectrum을 찍어 확인하였다. 이 방법으로는 분리된 지방 성분 중 fatty acid, aromatic 화합물, hydroxyl group의 존재, steroid 화합물의 존재 등을 확인할 수 있으며 특히 aliphatic compound의 존재가 확인될 수 있다.

NMR 측정은 Varian Unity-500을 이용하였다. Proton NMR은 500 MHz에서 측정하였으며 chemical shift는 internal standard 인 TMS (tetramethyl silane)나 $CDCl_3$ 를 이용하여 측정하였다. 모든 NMR 실험은 Varian사에서 공급한 Vnmr software를 이용하였다. Rotavapor는 Buchi RE101과 121을 사용하였고 진공 pump는 재 순환식 aspirator를 사용하였다. 지방성분 추출에 사용된 methanol등 유기 용매는 EP 등급을 재 증류하여 사용하였다.

Table 5.1. Condition for Gas chromatography analysis for fatty acid methyl ester and hydrocarbon.

	FAME	HC
사용 column	Omegawax-320 (0.32 m X 30 m)	EC ⁻¹ (0.25 m X 30 m)
Injector temp (°C)	300	300
Detector Temp (°C)	300	300
Oven temp	Ti (°C)	150
	Tf (°C)	260
	rate (°C/min)	6
Column head pressure (psi)	9	20

2.3. 유용물질 생산 후보 생물의 분석

2.3.1. 생물 시료의 추출 및 분석

2.3.1.1. 추출 및 분획

시료 무게 1 kg 당 1 liter의 MeOH를 사용하여 2 회 추출하고 유기 용매층을 제거하고 남은 고형 물질에 다시 methylene chloride (MC: kg 당 1 liter)를 가하여 2 회 추출하였다. 다시 남아있는 시료를 잘게 갈아서 MC:MeOH (1:1) solution (kg 당 1 liter)으로 최종 추출 하였다. 추출된 유기 용매층을 모두 합한 뒤 rotavapor를 이용하여 유기 용매를 제거하고 여기에 n-BuOH와 물의 혼합 용액 (1:1 (V/V), 2 liter)을 가하여 시료중의 salt를 n-BuOH와 물 사이의 partition을 통하여 제거한다. 여기서 n-BuOH 층을 취하여 solvent를 rotavapor를 이용하여 제거하고 silica flash column chromatography로 각 성분을 분리해낸다. Elution은 100 % n-hexane부터 5 % 씩 EtOAc의 함량을 70 % 까지 증가시켜 가면서 수행하였고 이후에는 100 % EtOAc와 acetone 그리고 최종적으로 methanol (MeOH)로 용출하였다. 각 과정은 vacuum을 걸어서 수행하였으며 elution 시키는 solvent의 양은 각 fraction 별로 500 ml 정도를 사용하였다.

2.3.1.2. TLC 분석

각 분획의 유기 용매를 제거한 후 TLC로 지방 성분의 분석을 수행하였다. 전개 용매로는 n-hexane:diethyl ether (1:1) 용액을 사용하여 전개한 후 plate를 건조시켜 발색 시약 (anisaldehyde- sulfuric acid: anisaldehyde 6 ml, ethanol 108 ml, sulfuric acid 6 ml, glacial acetic acid 1.2 ml의 혼합액)을 뿌린 후 hot plate에서 10 분간 가열하여 나타나는 반점을 관찰하였다. 이 전개 용매 조건에서는 중성 지질만 이동하고 인지질의 경우 원래의 origin에서 이동하지 않으므로 중성 지질과 인지질의 대략적인 조성비를 추정할 수 있다.

2.3.1.3. 분리 정제

EPA의 최종 분리 정제는 HPLC로 수행하였다. Flash chromatography를 수행하여 NMR spectrum 분석 결과 polyunsaturated fatty acid의 함량이 높은 분획들을 모아 농축한 후 Maxi-clean silica cartridge (0.3 g 함유)로 filtration하여 녹지 않는 물질들을 제거하고 30 % EtOAc in

n-Hexane을 solvent로 하여 3 ml/min 정도의 flow rate로 HPLC 수행하였다. 사용된 HPLC는 Spectra-Physics P-1000 mono pump (USA)를 장착하고 detector는 Reflective Index (Shodex RI-71, Japan) detector를 사용하였다. 사용된 column은 YMC-ODS semi-preparative column (1.0 X 30 cm)을 사용하였고 나오는 peak를 분취하여 농축하였다.

2.4. Biomarker로서의 steroid 화합물의 분석 기법 구축

Steroid 화합물에 공통적으로 붙어있는 3-OH group은 물질의 polarity를 높이고 이에 따라 boiling point가 상승하므로 그 상태로는 GC analysis가 불가능하거나 매우 어렵다. 이러한 free OH group은 적당한 nonpolar group으로 protection하여 nonpolar 유도체로 전환 시킨 후 GC로 분석이 가능한데 이러한 유도체전환에는 trimethyl silyl ether로의 전환등 여러 종류가 있다. Pyridine, hexamethyl disilazane, trimethylchlorosilane, Bis(trimethylsilyl) acetamide, t-buthyldimethyl-silyl chloride, imidazole, N,N-dimethyl formamide는 Aldrich (USA) 제품을 사용하였다.

2.4.1. TMS-derivatization

약 10 mg의 hydroxyl 화합물을 0.5 ml의 pyridine에 녹인 후 0.15 ml의 hexamethyl disilazane과 0.05 ml의 trimethylchlorosilane을 가한다. 이 혼합물을 vortex로 30초간 섞어준 후 5 분간 방치하여 반응을 종료한다. 여기서 이 반응 액의 일부 (1 μ l)를 직접 GC에 injection하여 분석할 수 있다. 또는 반응 후 rotavapor로 solvent를 제거하고 반응물을 5 ml의 n-hexane으로 추출한 후 다시 1 ml의 물로 washing한 후 무수 sodium sulfate로 건조시켜 새로운 hexane에 녹여 차후 분석을 위하여 영하 20 $^{\circ}$ C에 보존한다.

2.4.2. t-BDMS (t-buthyl dimethyl silyl)-derivatization

1 mmole의 t-buthyl dimethyl silyl chloride와 2 mmole의 imidazole을 10 ml의 N,N-dimethyl formamide에 녹여 만든 silylation reagent 0.5 ml를 10 mg의 시료에 가하고 60 $^{\circ}$ C에서 30 분간 처리하여 반응을 완결하고 즉시 얼음물에 담가 식힌 후 5 ml의 hexane을 가하여 녹인 후 1 ml의 물로 3 회 추출하여 반응 부산물을 제거한다. 무수 sodium sulfate로 건조시켜 새로운 hexane에 녹여 영하 20 $^{\circ}$ C에 차후 분석을 위하여 보존한다. t-BDMS

(t-buthyl dimethyl silyl)- derivatization은 TMS 방법보다 안정성이 약 10,000배정도 높아 prep TLC에 의한 분리가 가능하다.

제 3 절. 실험결과

3.1. 일반 세균 및 방선균의 분리 및 균주 보존

분리된 균주들은 각각 기질 분해능에 대한 검사를 거쳤으며 -70 °C의 초저온 냉동고에 보존하였다. 균주 분리 현황은 Table 5.2에 명시하였다.

Table 5.2. Isolation of bacterial strains with substrate digestion activities.

기질	분해효소	분리된 세균 수	정점
단백질	Protease	12	불특정
지질	Lipase	21	불특정
당	Agarase	8	B-1

여기서 전체 분리 균주 수 206 종 중에서 기질 분해능을 갖는 것의 함량은 비교적 낮았다. 기질 분해능력은 대개의 경우 일정 농도 이상의 기질의 존재 하에서 유도되는 특성을 갖고 있어 해당 해역에 단백질 등의 기질의 농도가 그리 높지 않음을 시사한다. 이 결과 중 특이한 것은 해양의 대형 해조류의 주요 구성 성분인 한천 (agar)를 분해하는 효소인 agarase를 생산하는 균주가 B-1 해역에서 집중적으로 분리되었다는 점이다. 본 균주는 대형 해조류에 기생하여 번식하고 해조류의 구조 성분인 agarose를 분해함으로써 그 구조를 약화시켜 궁극적으로는 해조류의 사멸 과정에도 기여하는 것으로 의심받고 있다. B-1 해역은 제주도 성산 동쪽 인접 해역으로 다량의 경제적으로 중요한 대형 해조류가 서식하고 있어 이와 관련을 시사하고 있다.

3.2. 해수 시료에서 lipid 추출 및 분석

일반적으로 해수에 용해되어 있는 지방의 양은 매우 적어 이를 분석하기 위하여 회수하는 방법이 적당하지 않다. 추출을 위하여 다량의 해수 시료를 필요로 하는 등 추출 자체에 어려움이 있을 뿐 아니라 존재하는 전체 지방성분 중의 극히 일부만이 추출되는 등의 요인으로 해수 속의 지방 성분 분석은 첫 단계부터 많은 어려움을 내포하고 있다. 일반적으로 사용되는 solvent extraction 방법은 추출이 불완전할 뿐 아니라 다량의 용매를 사용하여야 하고 이 용매를 제거하기 위하여 오랜 evaporation 과정을 거쳐야하는 단점이 있다.

이를 극복하기 위한 방법으로 solid phase extraction (SPE) 방법을 사용하였다. 이 방법은 일종의 hydrophobic interaction chromatography로서 hydrophobic ligand를 갖는 resin에 시료를 강제 이송하여 hydrophobic 물질만을 선택적으로 흡착시킨 후 이를 적당한 소량의 용매로 추출해 내는 방법이다. 본 연구에서는 2 종류의 resin을 사용하여 분리 효율을 비교 분석하였다. 우선 Diaion-20 resin은 bead 형태로 공급되는데 비교적 빠른 flow rate를 가지고 있어 다량의 시료에서 organic compound를 선택적으로 흡착하는데 적당하다. 그러나 Diaion-20 resin은 흔히 사용되는 XAD-2 나 XAD-8 과 같은 resin 등과 마찬가지로 빠른 flow rate를 이용하여 적어도 10 liter 정도의 시료에 존재하는 지방을 흡착하여 추출하는데는 사용되어 왔으나 소량시료의 완전한 흡착에는 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 반면에 ODS (C18, Octadecyl silane)의 경우는 hydrophobicity가 커서 흡착은 매우 강하게 일어나지만 미세 분말 형태 이므로 flow rate를 빠르게 하는데 어려움이 있다. 이 경우 적용하는 시료의 양은 대략 200 ml 정도가 적당하였으며 표층수를 사용할 경우는 대개의 지방 성분이 표층에 film 형태로 layer를 형성하므로 훨씬 적은 양의 해수로도 분석이 가능하였다. 50 ml 정도의 해수로도 fatty acid methyl ester나 일반 hydrocarbon의 양과 조성을 분석 하는데 어려움이 없었다. 해수에 녹아있는 lipid 이외의 유기물들도 어느 정도까지는 ODS column에 흡착되는데 MeOH로 elution 시킨 후 solvent를 제거하고 이를 다시 Folch solution에 용해시키는 방법으로 lipid가 아닌 amino acid등의 유기물질의 제거가 가능하다.

Solid phase extraction 방법에 의한 해수 1 liter 당 함유되어 있는 지방 성분의 양은 Table 5.3과 같다.

Table 5.3. Amount of extractable lipid from sea water collected at Oct. 1997

sampling site	lipid (mg l ⁻¹)	sampling site	lipid (mg l ⁻¹)	sampling site	lipid (mg l ⁻¹)
A-1	8.2	B-1	9.1	C-2	10.1
A-3	5.3	B-3	9.1	C-4	8.6
A-5	7.0	B-5	9.0	C-6	6.4
A-7	4.9	B-7	6.7	C-7	8.7
A-9	4.1	B-8	5.1		
A-11	8.1	B-9	6.3		
		B-11	6.7		

각 시료에서 추출된 지방 성분의 대략적인 조성을 알기위해 H-NMR spectrum을 구하였다 (Fig. 5.1). 거의 모든 시료들의 NMR spectrum은 매우 유사하였는데 주요 구성 성분으로는 0.85 ppm의 terminal methyl group의 존재와 1.3 ppm의 methylene group (-CH₂-)이 매우 크게 나타나는 사슬형 화합물이 대부분임을 알 수 있고 5.3 ppm의 넓은 peak는 이중 결합에 붙어있는 proton들이므로 존재하는 화합물들에는 상당량의 불포화 화합물이 존재함을 알 수 있다. 반면에 고도 불포화 지방산의 경우 2.8 ppm에서 발견되는 이중결합들 사이의 methylene group (-CH₂-)은 거의 발견되지 않아 주요 구성성분은 대개 한 개의 이중결합을 가지고 있는 것으로 추정된다. 또 terminal methyl group의 peak가 여러 peak로 split 되었다는 사실은 iso- 나 anteiso- 계열의 branched chain이 존재함을 시사하고 있다. 3.9 ppm 과 4.1 ppm에서 나오는 작은 multiple peaks 들은 이러한 linear chain이 glycerol에 붙어있는 lipid 형태를 갖고 있음을 보여준다. Benzene 등의 고리형 화합물의 존재는 나타나지 않았다.

추출된 지방 성분을 TLC로 분석한 결과는 origin에서 이동하지 않는 phospholipid와 R_f : 0.7 근처의 triacyl glycerol이 주성분임을 보여주고 있으며 이 phospholipid의 TLC 분석 결과는 대부분의 phospholipid가 choline이나 ethanol amine, serine 등의 head group이 제거된 형태로 나타나는 점도 특이한 데 이는 이러한 phospholipid들이 분해 과정에 있다는 것을 시사하고 있다.

추출된 각 지방 성분을 transmethylation 시켜 fatty acid methyl ester와 조성에 있어서는 전반적으로 평이한 지방산 및 hydrocarbon의 조성을 보였다 (Fig. 5.2). 특히 지방산 조성의 경우 palmitic acid (C16:0,

14±5%)와 stearic acid (C18:0, 26±4%) 그리고 약간의 oleic acid (C18:1, 1~5%)가 주종을 이루는 전형적인 해양생물의 지방산 조성의 특징을 보이고 있으며 이는 앞서의 NMR 결과와 잘 일치하고 있다. 일부 시료의 경우 여기에 해양생물 특유의 eicosanoic acid (C20:0) 계열과 docosanoic acid (C22:0) 계열의 지방산 족이 상당량 포함되어 육상 생물체의 유입과 함께 해양생물의 활동이 매우 활발함을 보여준다. 일부 정점들의 경우 retention time 6.5 근처에서 나오는 iso-pentaenoic acid (i-15:0)의 함량이 여타지역에 비해 높게 나타났는데 본 지방산은 육상 유래 대장균의 특이 물질로 알려져 있다는 사실을 참고할 만하다.

Hydrocarbon의 경우도 이와 유사한 경향을 보여 생체에 의한 이용도가 높은 짧은 사슬형 hydrocarbon과 일부 고리형 hydrocarbon이 주종을 이루고 있으나 A-1 해역과 A-5 (Fig. 5.3) 해역의 해수분석에서는 이와는 달리 hydrocarbon의 조성이 전형적인 oil spill에 의한 오염의 형태를 보이고 있다. 즉 일반적으로 관찰되는 짧은 지방족 화합물들과 함께 retention time 8 분부터 22 분에 걸쳐 일정 간격을 두고 정규 분포의 형태를 보이는 지방족 화합물들의 함유를 보이는데 이는 탄소 수 16-18정도의 hydrocarbon의 함량이 가장 높은 벵커 C 유 등의 공업용 유류의 오염에 의한 것으로 사료된다. 이는 이 해역에 유류 오염이 있었음을 시사해 준다. 이러한 현상은 SC-1과 SC-2 해역의 표층수에서도 발견되는데 이는 이 지역이 선박 출입이 잦은 부산항 입구라는 점을 고려할 때 배에서 유출된 소량의 oil이 해수 표면에 film을 이루는 현상에 기인한다고 사료된다.

3.3. 해저 퇴적물에서 lipid 추출 및 분석

해저퇴적물에는 근간을 이루는 광물질 이외에 여러 종류의 다양한 유기물질이 함유되어 있다. 이들은 유영생물 혹은 부유 생물들의 사멸 시 침강된 잔해를 위시해서 육상에서 유기물질의 형태로 유입된 분진 등 그리고 저서면에 서식하는 저서생물 및 미생물유래의 물질들이다. 해수에서의 경우와 마찬가지로 퇴적물 시료에서 지방성분을 추출 분석하였다. 퇴적물 시료의 경우는 단위 무게당 추출 가능한 지방 성분의 양이 해수보다는 훨씬 많아 건조 중량 약 1 g으로 분석이 가능하다. 추출되는 지방 성분의 양은 해역에 따라 차이를 보이고 있으나 10 mg/g dry weight 이상이다. 단 시료의 염분 제거를 위한 세척과 건조 중량 측정을 위한 동결 건조시 short chain hydrocarbon과 역시 short chain 유리

지방산들 그리고 일부 phospholipid 성분들이 유실될 염려가 있고 이와 같은 현상이 실제로 확인되었다. 따라서 염분의 존재가 지방 추출에 악영향을 주지 않으므로 wet sample을 직접 추출하고 별도로 세척과 동결 건조를 통하여 건조 중량을 확인하는 방법을 사용하였다. 정점 A10의 퇴적물 표층 시료와 30 cm 깊이의 시료를 채취하여 추출, 분석한 결과를 명시하였다 (Fig. 5.4, Fig. 5.5).

우선 지방산의 조성을 분석한 결과 palmitic acid (16:0)와 stearic acid (18:0) 그리고 eicosanoic acid 계열 (20:0)이 주성분으로 나타났다 (Fig. 5.4). 특이한 현상은 palmitic acid가 stearic acid보다 약 4 배정도 높게 나타나고 있는데 (Palmitic to stearic ratio, P/S = 4) 이러한 경향은 30 cm 깊이 시료의 경우도 동일한 형태로 나타났다 (Fig. 5.4-B). 해수 시료 분석의 경우는 이 비율 (P/S ratio)은 다소의 변화가 있지만 2 이하의 값을 보이고 있는데 반하여 매우 높은 값을 보이고 있다. Stearic acid는 지방산 중에서 가장 이용도가 높은 종류로서 특히 세균에 의하여 흡수되어 세균의 주 지방산인 palmitic acid로 전환되는 것으로 알려져 있다. 이들 이외에 eicosanoic acid 계열의 지방산은 해양성 미세조류등의 주요 지방산으로 양쪽 모두에서 높은 비율로 나타나 해양생물의 분해 활동이 매우 활발함을 보여준다. 30 cm 깊이의 시료는 표층시료보다 상대적으로 palmitic acid/eicosanoic acid 비율이 낮고 minor fatty acid들의 함량이 매우 낮은데 이는 시간의 경과에 의한 분해가 진행됨과 분해에 참여하는 분해자의 종류가 단순해 지고 있음을 의미한다.

3.4. 저서생물의 지방산 조성 및 유용성분 정제

남해안에 서식하는 저서 생물 중 2 종류를 선택하여 그 주요 fatty acid 성분을 분석하였다. 대상 생물 선정은 주로 남해안 전 지역에 걸쳐 보편적으로 분포하는 것으로서 그 개체수가 많아 그 유용 성분이 확인되었을 경우 실제 이용가능성이 높은 것을 택하였다. 고려 대상에는 식용으로 이미 많이 사용하고 있는 대형 해조류도 포함되어 있었으나 이들은 지방성분 보다는 주로 당류 성분 및 무기 이온에 그 중요성이 있어 우선적으로 대상에서 제외하였다. 주 대상으로는 해산 갯지렁이로 알려져 있는 환형동물 (Annelida)에 속하는 polychaeta 강의 해산 갯지렁이 (*Perinereis aibuhitensis*)와 강장동물 (hydroid)에 속하는 목산호 (*Solanderia secunda*)를 대상으로 하였다. 주안점을 두고 관찰된 대상 물질로서는 지방

종류중에서 비교적 그 약리학 적 유용도가 높은 것으로 인정되고 있는 linolenic acid (18:3), arachidonic acid (20:4), eicosapentaenoic acid (20:5), docosahexaenoic acid (22:6) 등의 고도불포화 지방산의 생산 여부에 두었으며 2 종류의 해양 저서 동물에서 이와 같은 지방산의 함유가 발견되었다.

3.4.1. 해산 갯지렁이 (*Perinereis aibuhitensis*)의 지방산 조성

이 종류는 전세계적으로 그 종류가 10,000 여종에 달하는 종 다양성을 보이고 있을 뿐 아니라 주로 해저 생태계에서 유기물질을 분해하는 활동을 보이고 있어 생체 내에 흥미 있는 대사물질 혹은 공생 미생물을 가지고 있을 가능성이 매우 높다. 국내에서의 분포는 남해와 서해의 갯벌을 중심으로 매우 널리 분포하고 있으며 쉽게 대량으로 채집할 수 있고 국내에서도 양식이 추진된 바 있는 경제성도 가지고 있는 종류이다.

채집된 시료를 유기 용매로 추출한 후 이 추출물을 n-BuOH과 물 층으로 나누고 n-BuOH층에서 얻어진 잔류물들을 TLC로 분석하였다. 전개 용매는 n-hexane과 diethyl ether (1:1) 혼합 용매를 사용하였는 데 이 경우 triacyl glycerol (TAG), diacyl glycerol (DAG)등 glyceride와 cholesterol, cholesterol ester 등의 steroid 화합물등 중성지질 (neutral lipid) 은 용매를 따라 각각의 성질대로 이동하지만 생체막의 주성분인 phospholipid는 origin에 남게된다 (Fig. 5.6-A).

전체 지방 성분을 silica column에 흡착하고 polarity에 따라 100% hexane부터 에틸아세테이트 (EtOAc) 함량을 5 % 씩 증가시켜 가며 용출시킨 flash chromatography 결과 얻어진 분획을 농축하여 TLC를 수행한 결과를 보면 10 % EtOAc in hexane까지는 주로 triacyl glycerol과 cholesterol ester가 주종을 이루고 있고 15 %부터 45 %까지는 유리 지방산과 유리 steroid, 그리고 diacyl glycerol등이 나타나고 있으며 phospholipid의 함량이 점차 증가하는 것으로 나타나고 있다 (Fig. 5.6-B). 전체 지방산의 조성을 보면 palmitic acid (16:0)와 stearic acid (18:0)가 주종을 이루고 있으나 이와 함께 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5)가 상당히 높은 함량 (18 %)으로 존재함을 알 수 있다 (Fig. 5.7-A, Table 5.4).

EPA는 주로 등 푸른 생선의 지방에 많이 존재하는 고도 불포화지방산으로 혈전 용해, 혈압 감소 등 여러 가지 약리 작용을 보이고 있어 건강 보조 혹은 식품 첨가제로 다양한 용도를 보이고 있는 유용한 물질이다. 여기서 갯지렁이가 이 정도의 높은 EPA 함량을 보이는 것은 이

생물이 EPA 생산 등의 주요 후보 자원이 될 수 있는 가능성을 시사하고 있다. 더욱이 H-NMR spectrum으로 분석한 결과를 보면 주로 phospholipid가 존재하는 50 % 이상의 EtOAc in hexane 용출액에서 EPA의 함량이 높은 것으로 나타나 이 해산 갯지렁이에는 EPA를 함유하는 phospholipid가 다량 존재하는 것을 알 수 있다. 반면에 저장성 지방인 중성 지질 분획에는 상대적으로 EPA의 함량이 적은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이 물질의 동정을 위하여 순수 분리 정제 및 NMR data를 이용한 구조 결정을 수행하였으며 그 결과 90 %이상의 순도를 갖는 EPA를 순수 분리하였고 구조 해석을 통하여 EPA임을 최종 확인하였다 (Fig. 5.7-B, 5.7-C).

3.4.2. 목산호 (*Solanderia secunda*)의 지방 조성

본 종은 외견상 산호류 (Gorgonian)과 매우 유사하여 현지 주민들에게는 목산호라는 이름으로 잘 알려져 있으나 그 이용도는 미미하다. 그러나 그 분포가 남해 거문도, 백도 일원에 다량 분포하고 있는 남해안 일대에서 가장 흔하게 발견되는 강장동물 중의 하나이다. 이 생물은 군체의 길이가 20-40 cm 정도로서 부채살 모양을 하고 있으며 진한 갈색을 띠고 있다. 단 군체의 내부 중심에 gorgonin 이라고 불리는 chitin 질의 골격이 없는 점에서 산호류와 구별된다. 최근 본 연구실에서 이들을 대상으로 수행한 천연물 연구 결과 solandelactone으로 명명된 신규 생리활성 물질이 발견된 바 있는데 이 물질의 구조적 특징이 이 물질의 유래가 docosahexaenoic acid (DHA, 22:6)으로 추정되어 DHA의 원료로서의 가능성을 확인하기 위하여 이 역시 연구 대상에 포함하였다.

*Solanderia secunda*의 전체 지방산 조성은 Fig. 5.4에서 보듯이 일반적으로 흔히 나타나는 palmitic acid (16:0)와 stearic acid (18:0)가 주종을 이루고 있으나 이와 함께 eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5)와 docosahexaenoic acid (DHA, 22:6)가 상당히 높은 함량 (각각 8 %와 21 %)으로 존재함을 알 수 있다 (Fig. 5.8-A, Table 5.4).

이들 중 EPA는 해산 갯지렁이에서도 발견되었으나 DHA는 두뇌기능감퇴를 방지하는 효과가 있는 것으로 알려져 최근 들어 우유, 분유, 스낵 등 여러 가지 식품의 첨가물로서 각광을 받고 있다.

이 생물의 경우 EPA와 DHA가 동시에 나타나므로 각 물질의 분리 정제는 수행되지 않았으나 NMR 결과에서 고도 불포화 지방산의 다량 존재와 GC 결과에서 EPA와 DHA의 존재로부터 이 생물 역시 유용한

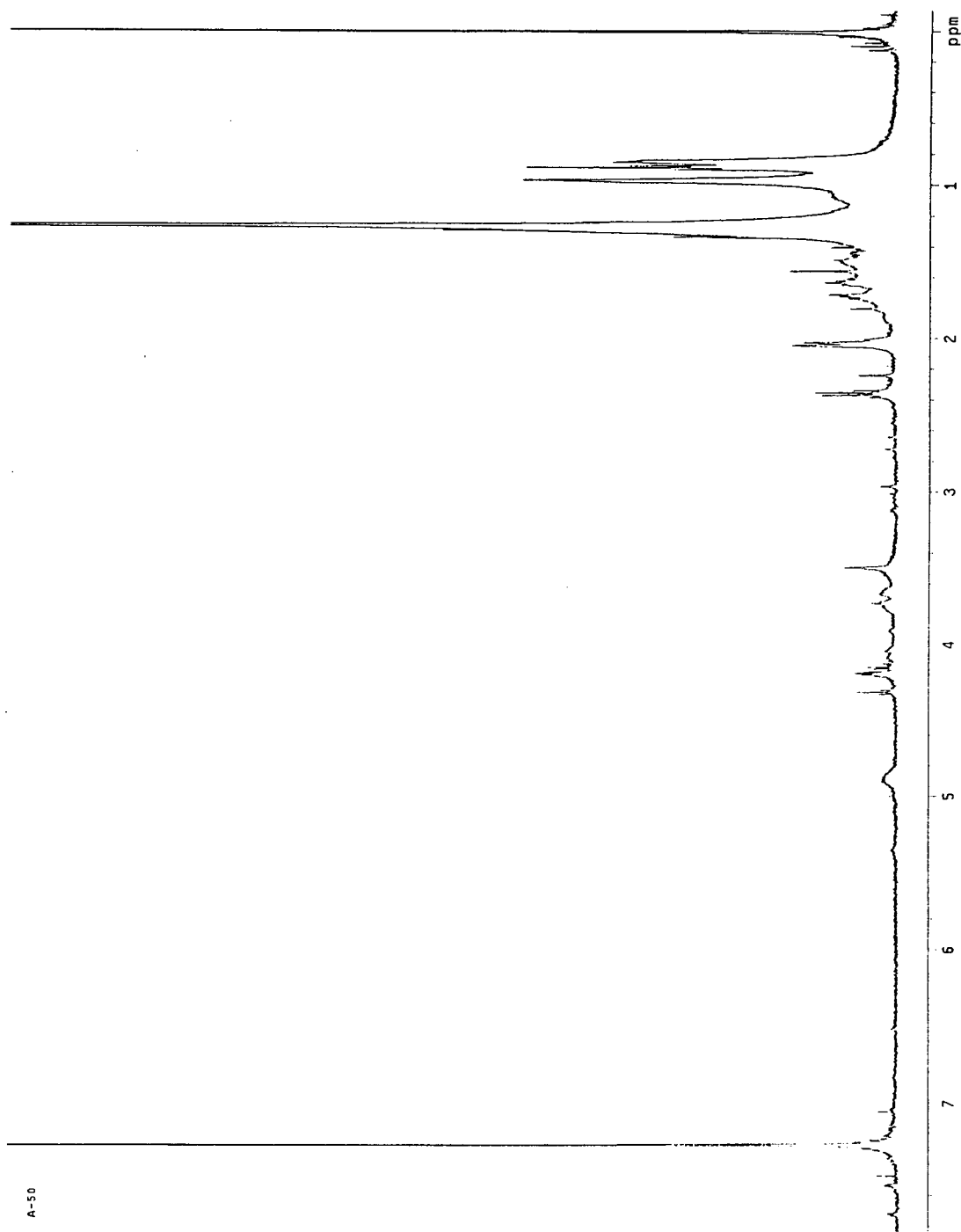
고도불포화 지방산의 원료로서의 가능성이 있다고 할 수 있다 (Fig. 5.8-B). DHA가 EPA와 항상 함께 나타나는 점으로 미루어 DHA의 생합성 경로에 EPA가 전구체로 작용할 가능성도 있다고 사료된다. 이러한 견해는 *Solanderia secunda*의 fatty acid에서 DHA의 직전 전구체로 믿어지는 docosapentaenoic acid (C22:5)의 함량이 7.95 %로서 매우 높은 비율로 나타났다는 사실에서도 뒷받침되고 있다. 이 생물에서는 비단 여기에 언급한 지방산들 이외에도 지방산 유래 secondary metabolite로 간주되는 여러 다른 물질들이 발견됨으로써 지방산의 대사가 매우 활발함을 짐작할 수 있으며 이러한 사실은 내부의 공생 세균의 기여도 상당할 것으로 추정된다.

Table 5.4. Fatty acid composition of Polychaete *Perinereis aibuhitensis* and hydroid *Solanderia secunda*

Fatty acid	<i>Solanderia secunda</i>	<i>Perinereis aibuhitensis</i>
14:0	1.78	6.25
15:0	3.52	2.16
16:0	16.02	23.56
16:1	3.76	2.23
i-16:0	1.00	1.40
17:0	2.28	1.85
18:0	9.44	10.81
18:1 (n-9)	4.18	5.44
18:2 (n-6)	0.82	3.69
18:3 (n-3)	1.28	3.69
18:4 (n-3)	1.70	2.01
20:0	2.19	5.98
20:1 (n-9)	1.51	4.05
20:2 (n-6)	nd	1.62
20:4 (n-3)	6.42	1.23
20:5 (n-3)	13.25	17.58
22:5 (n-3)	7.95	nd
22:6 (n-3)	20.72	nd
other fatty acids (unidentified)	2.18	6.45
total	100.00	100.00

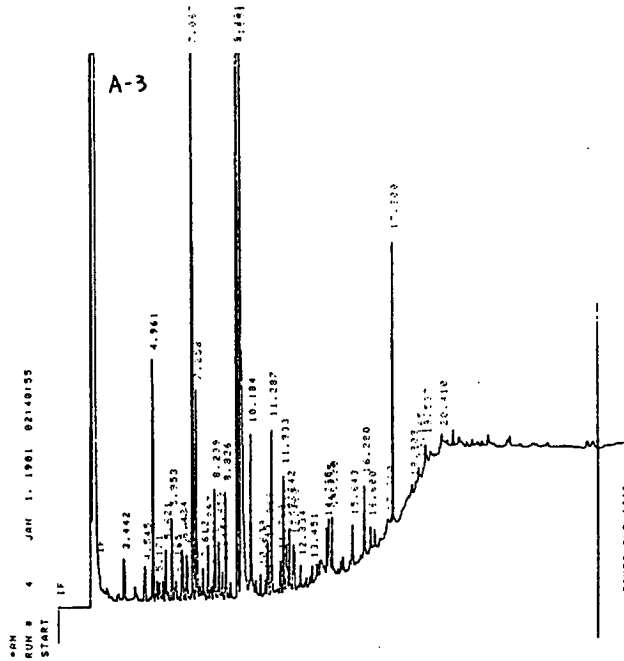
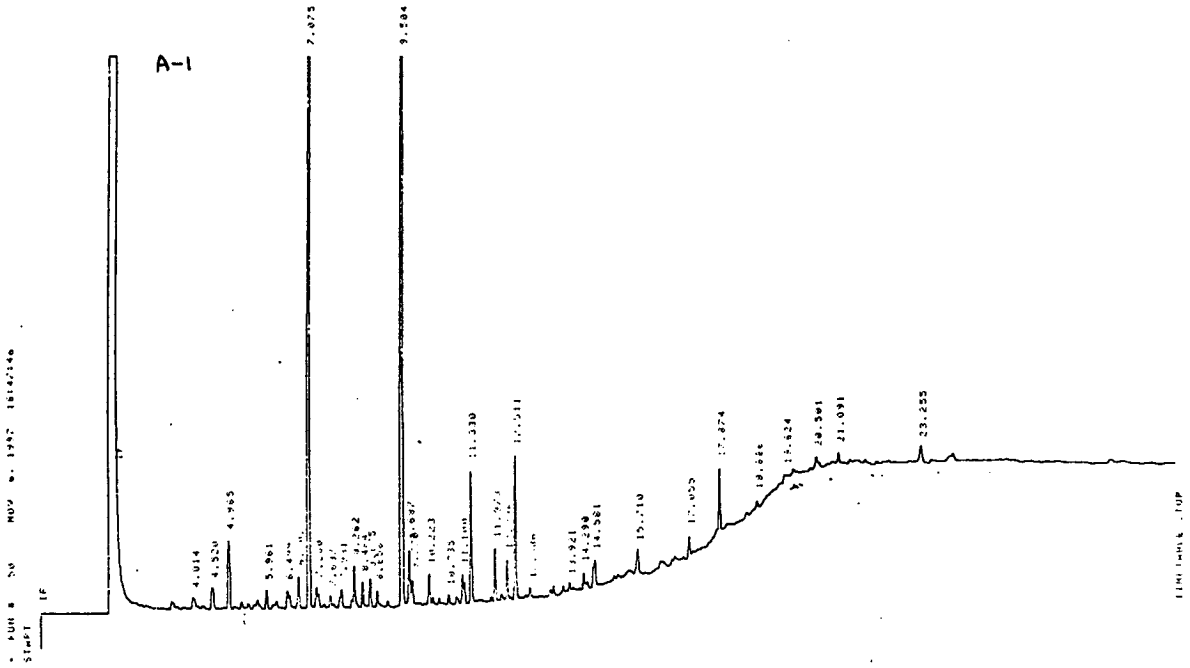
Reference

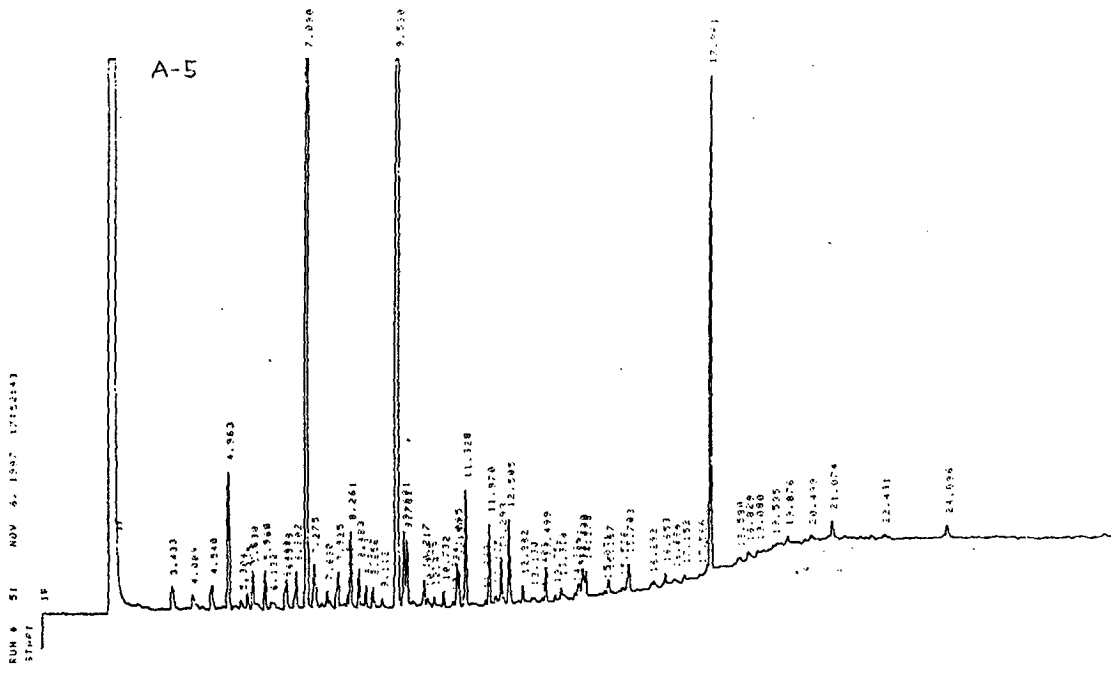
- Christie, W. W. (1987) HPLC and Lipids, pp71-86, Pergamon Press
- Christie, W. W. (1989) Gas Chromatography and Lipids, pp85-128,
Oily Press Ltd
- Christie, W. W. (1982) Lipid analysis (2nd ED), pp17-23, Pergamon
Press
- Findlay, R. H. and F. C. Dobbs (1993) "Quantitative Description of
Microbial communities Using Lipid Analysis" pp271-284. in
Handbook of methods in Aquatic Microbial Ecology, (ED. by
P. F. Kemp, B. F. Sherr, E. B. Sherr, and J. J. Cole), Lewis.
- Folch, J. M. Lee, and G.H.Stanley (1957) J. Biol. Chem. 226,
497-499.
- Gurr M. I. and J. L. Harwood (1992) Lipid Biochemistry (4th ED),
pp23-118, Chapman and Hall.
- Hamilton R.J. and S. Hamilton (1992) Lipid Analysis, a Practical
Approach, pp113-151, Oxford University Press.
- Wakeham S.G. and J.K. Volkman (1991) "Sampling and analysis of
lipids in marine POM", pp181-180, in Marine Particles: Analysis
and Characterization, (ED. by D.C. Hurd and D.W. Spencer)



A-50

Fig. 5.1. NMR spectrum of Lipid extracted from sea water with SPE method.





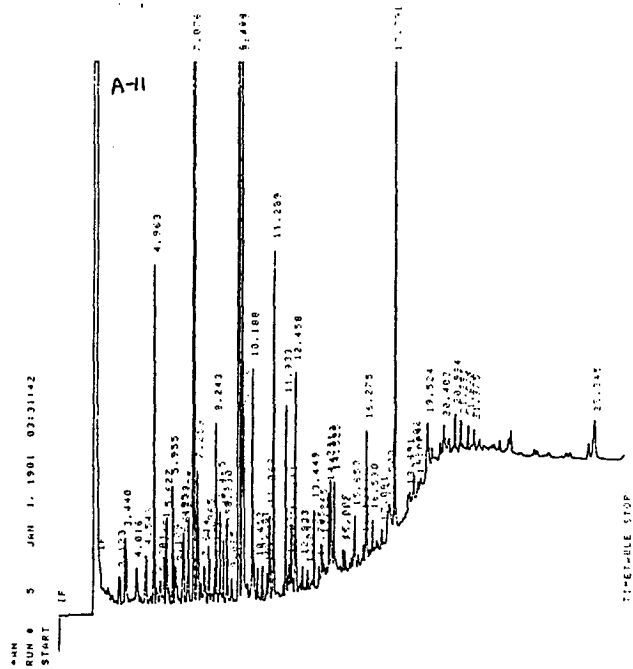
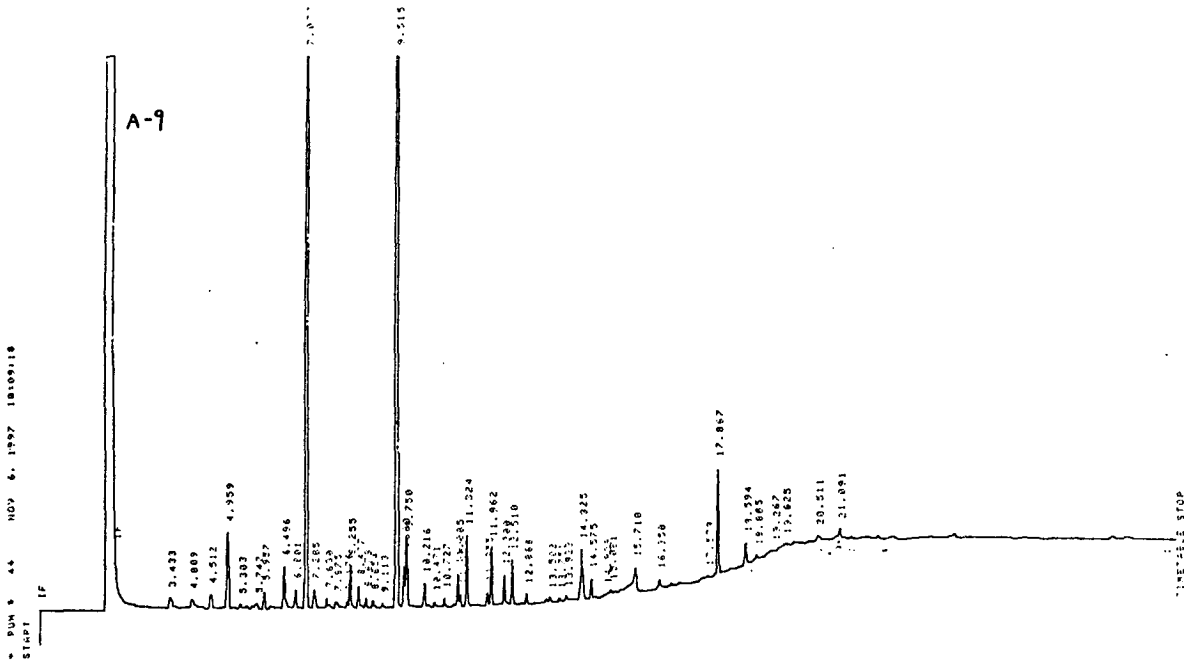


Fig. 5.2. Continued.

69 97/10/1 B-3 (11)

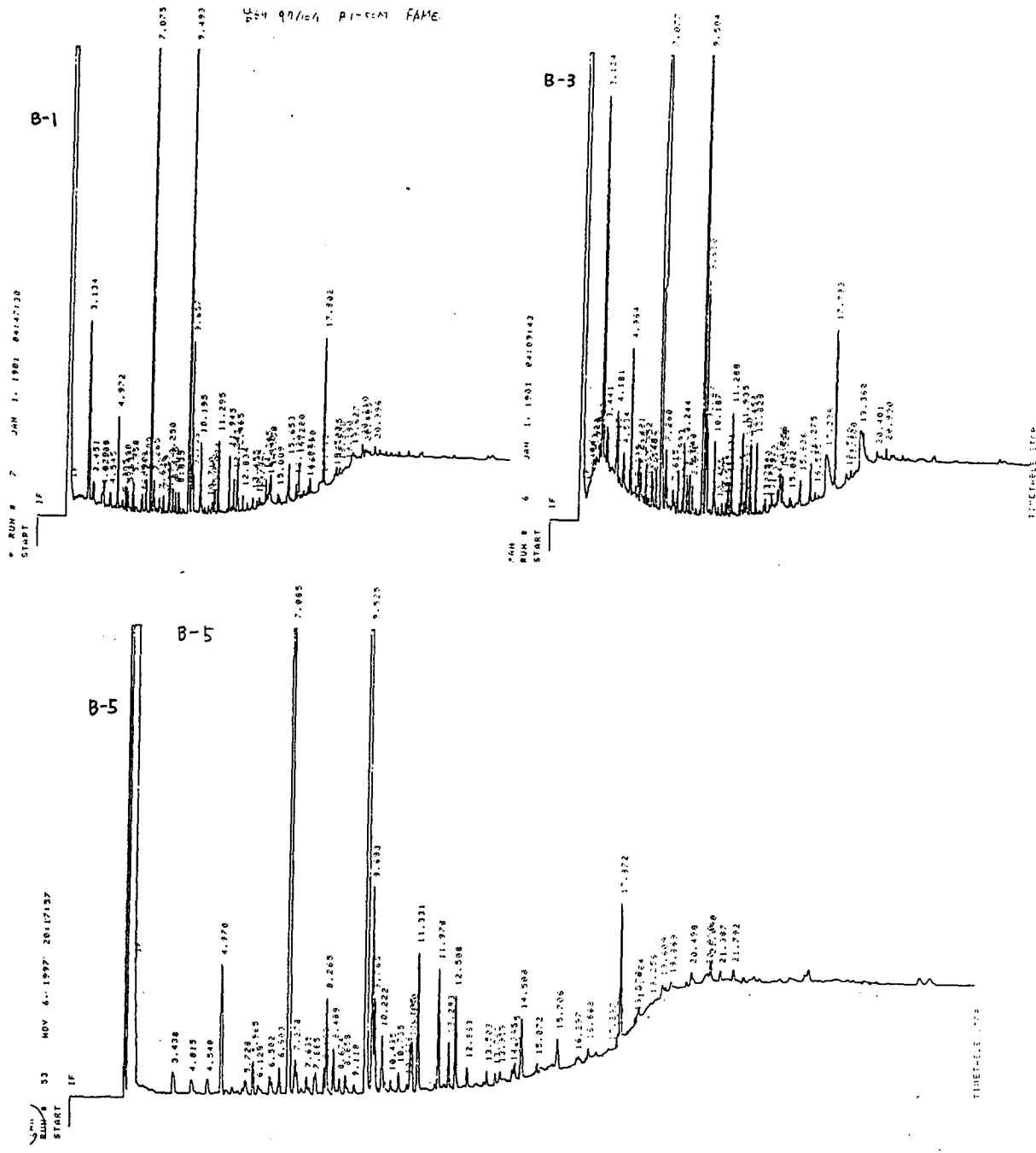


Fig. 5.2. Continued.

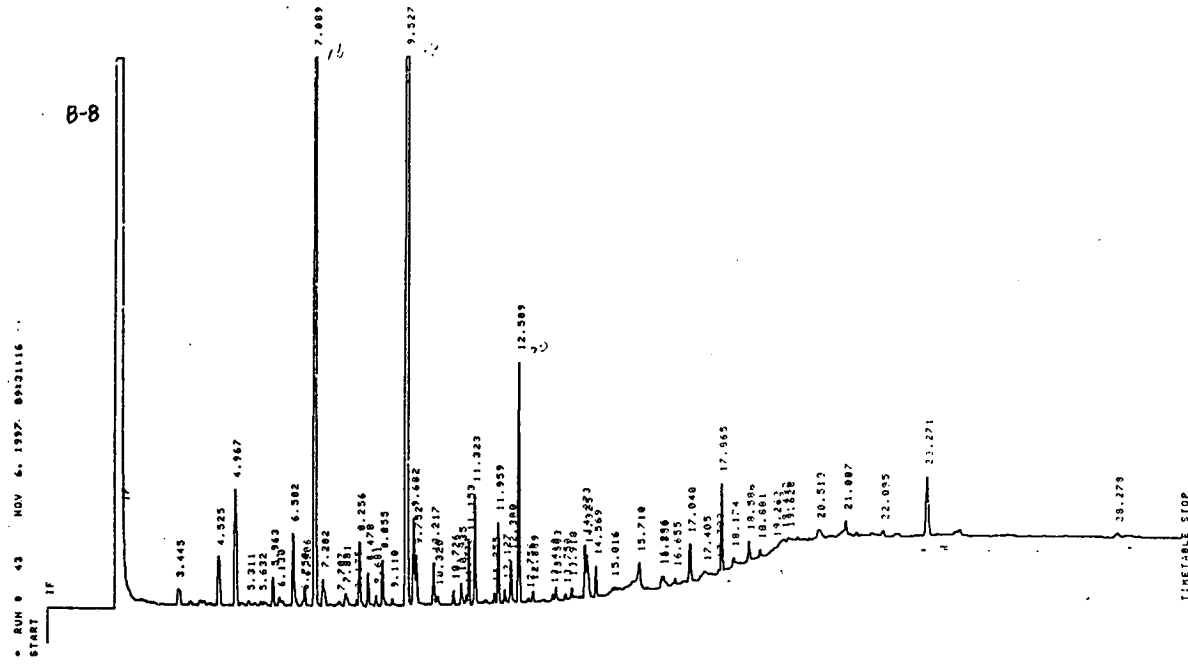
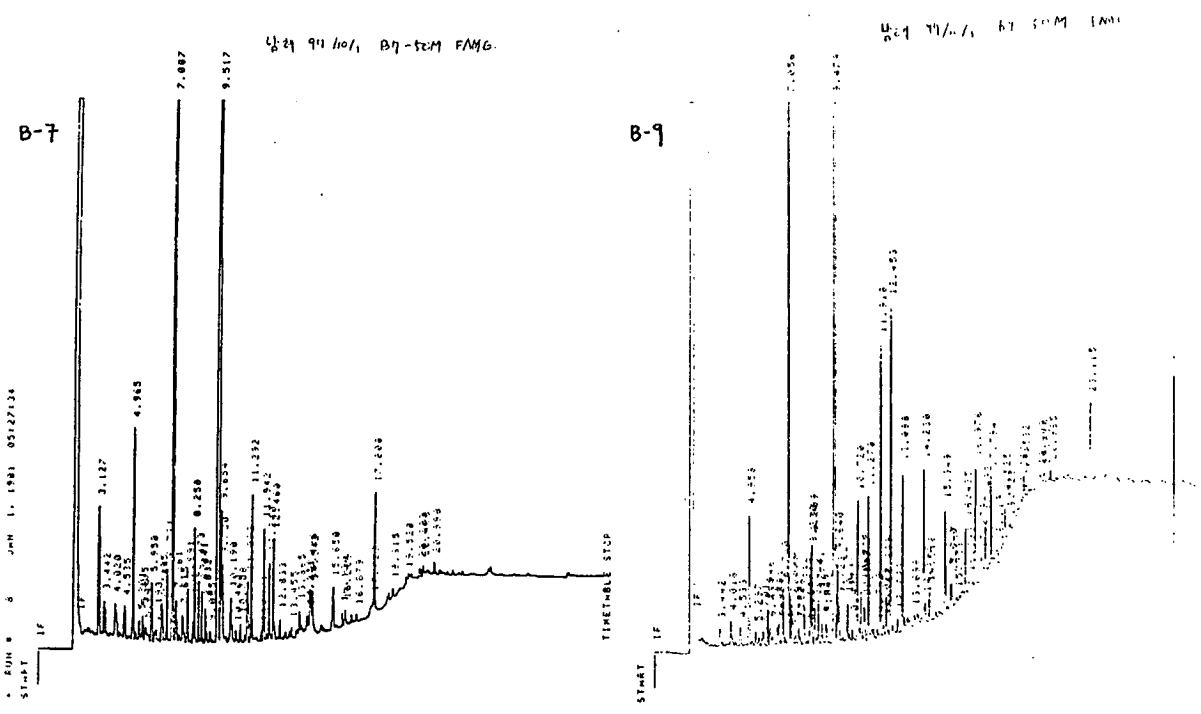


Fig. 5.2. Continued.

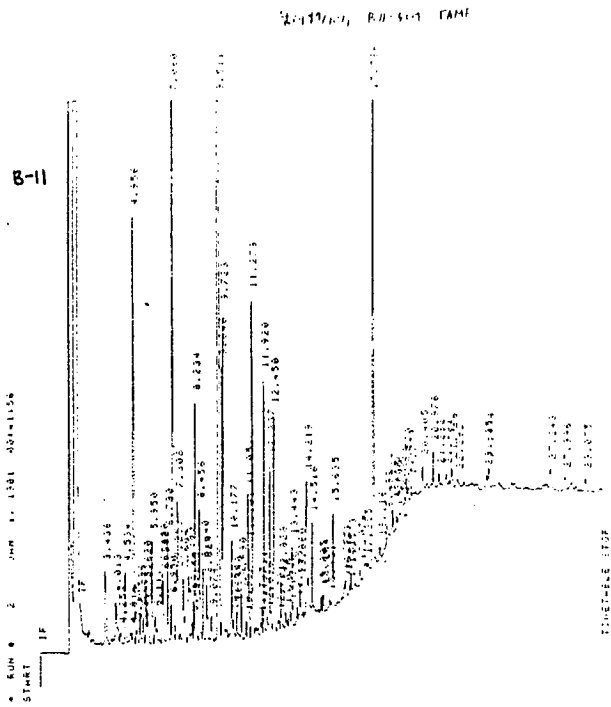


Fig. 5.2. Continued.

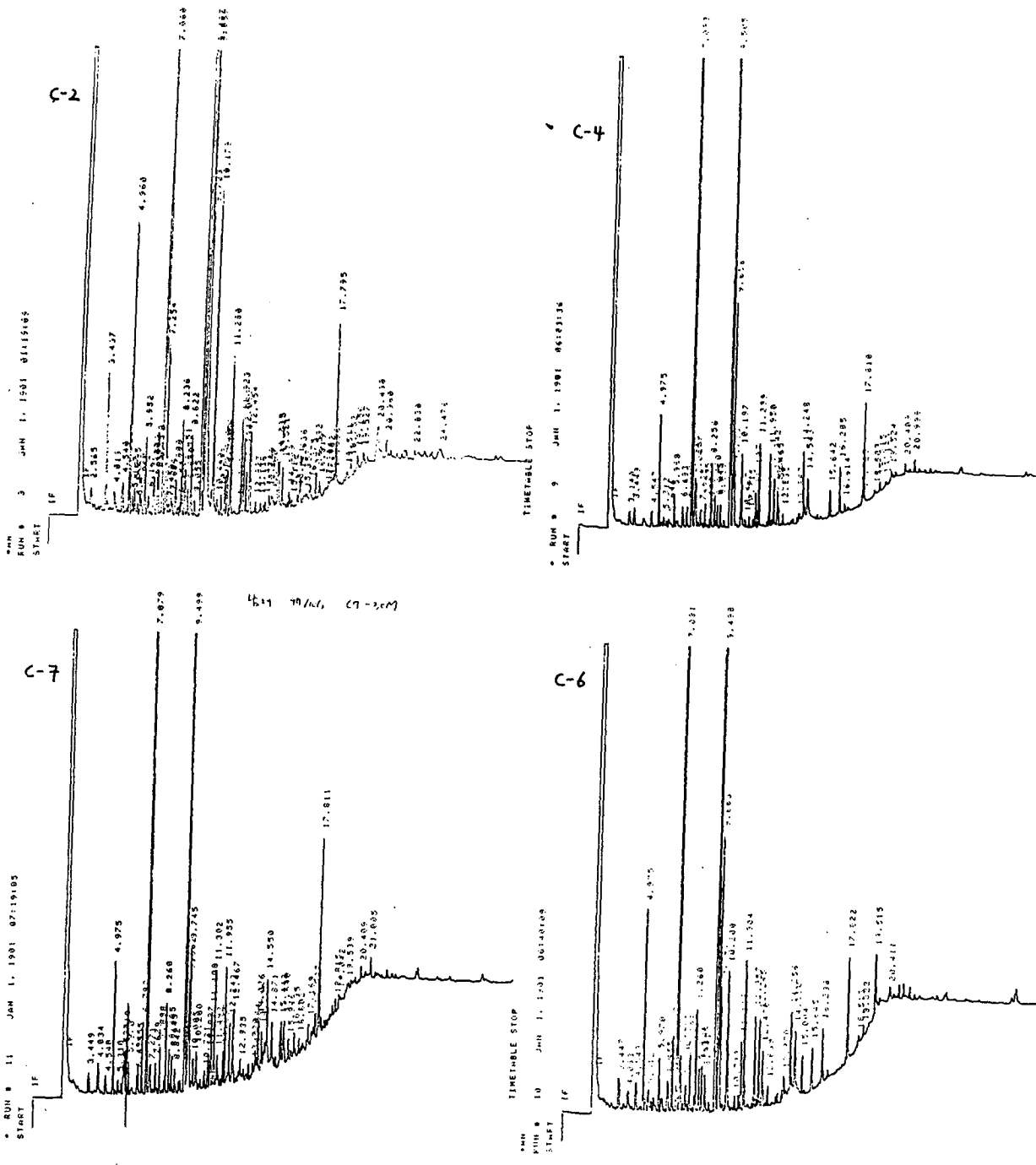


Fig. 5.2. Continued.

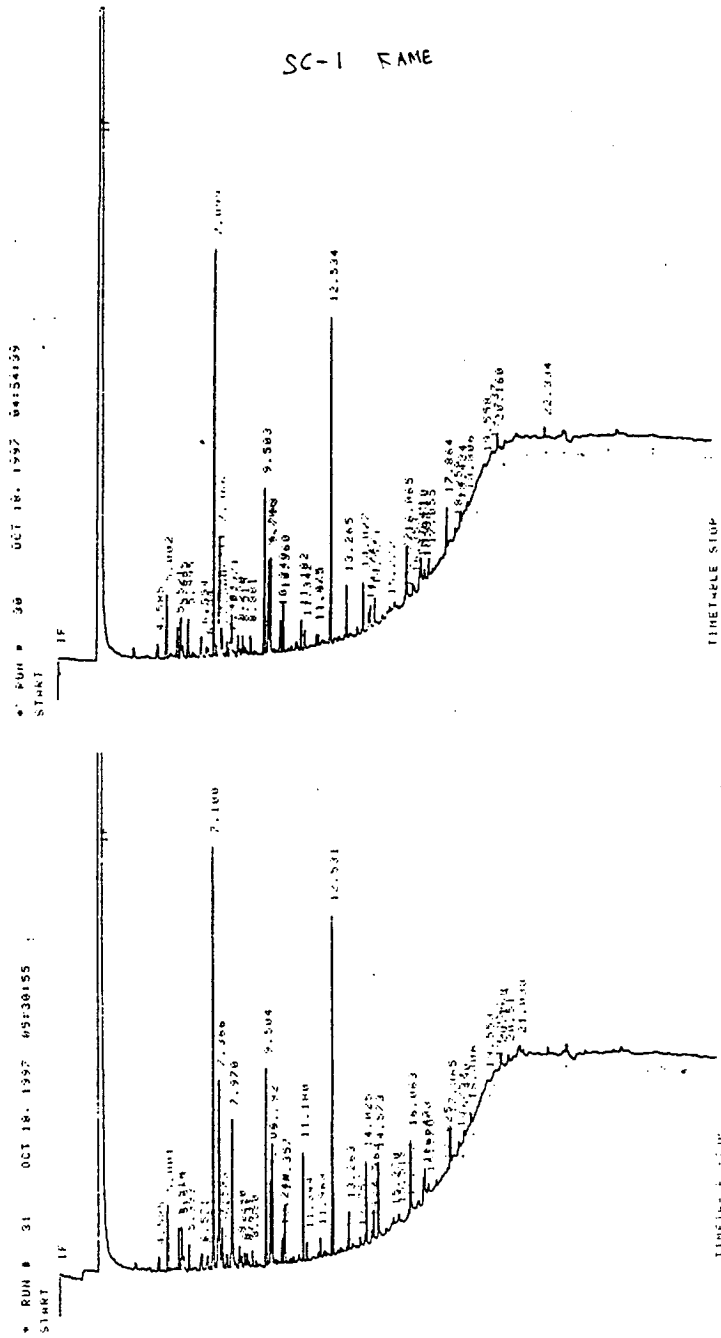


Fig. 5.2. Continued.

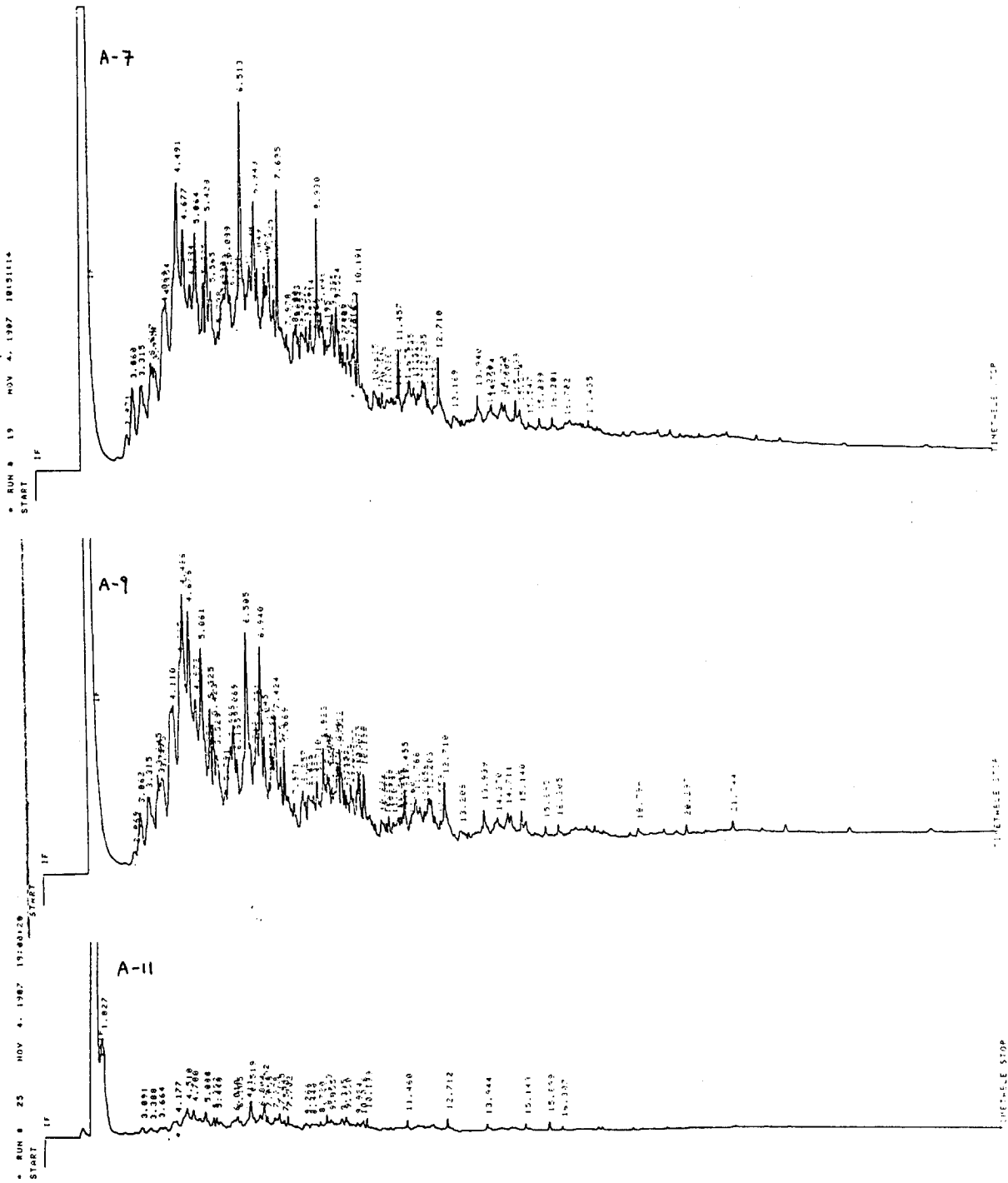
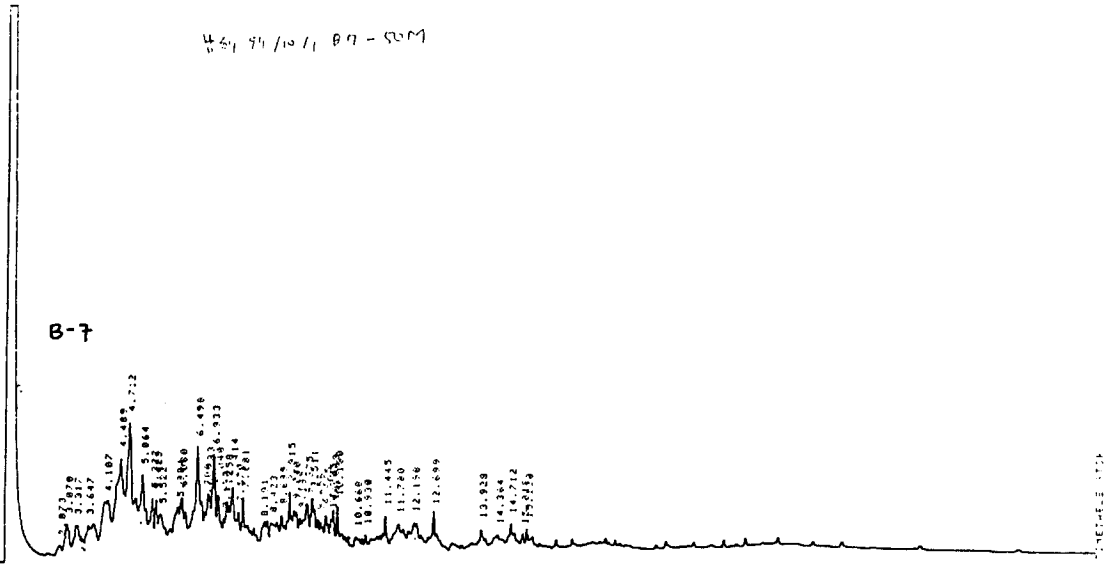


Fig. 5.3. Continued.

U.S. 94/10/11 B-7 - SM

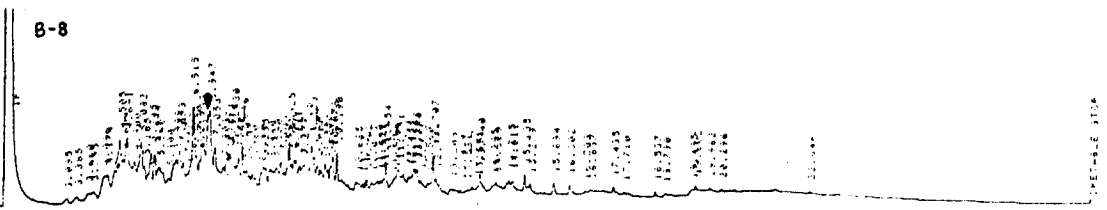
RUN 29 NOV 5 1987 21:23:27
START

B-7



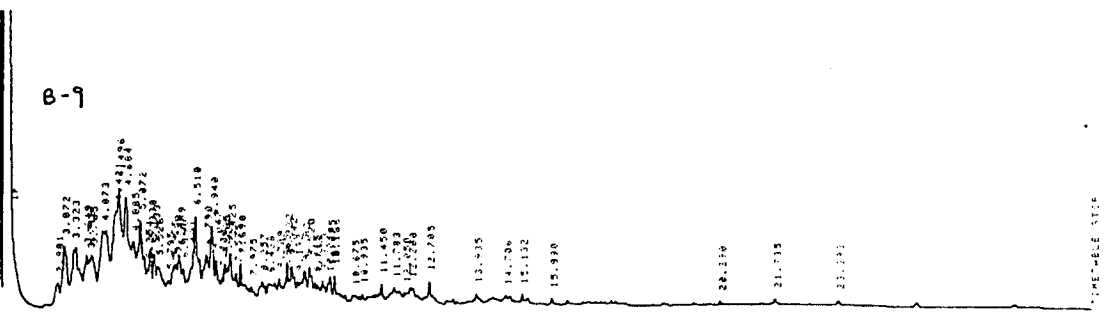
RUN 16 NOV 1 1987
START

B-8



RUN 21 NOV 4 1987 12:27:49
START

B-9



RUN 22 NOV 4 1987 14:47:11
START

B-11

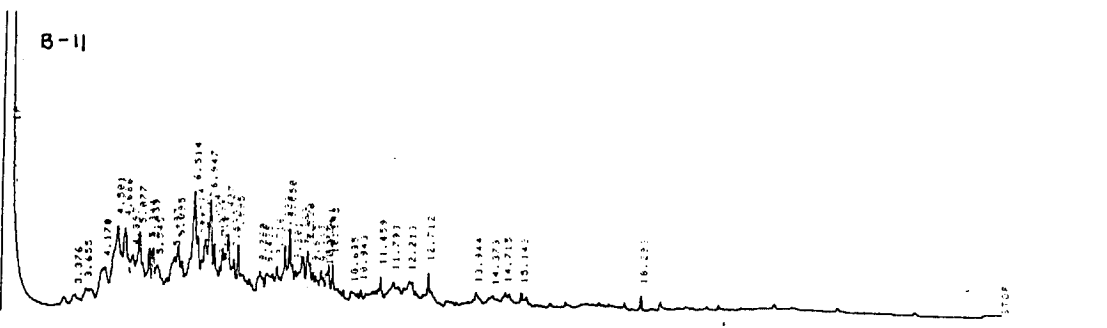


Fig. 5.3. Continued.

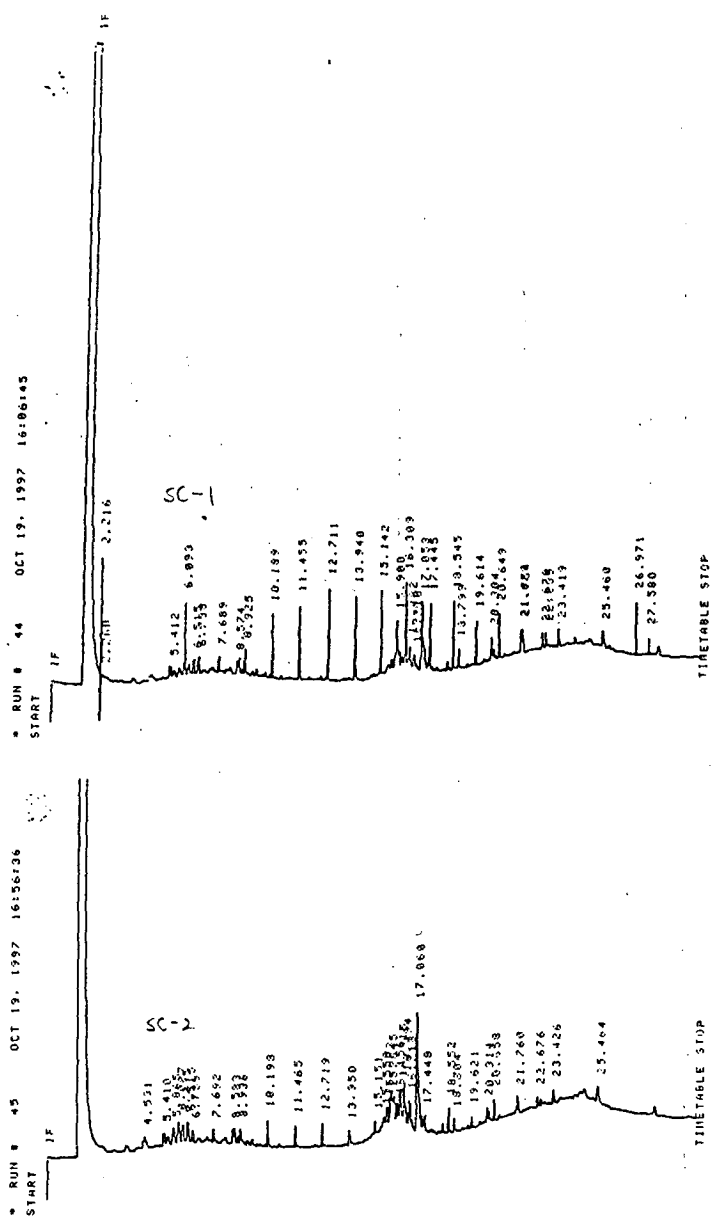


Fig. 5.3. Continued.

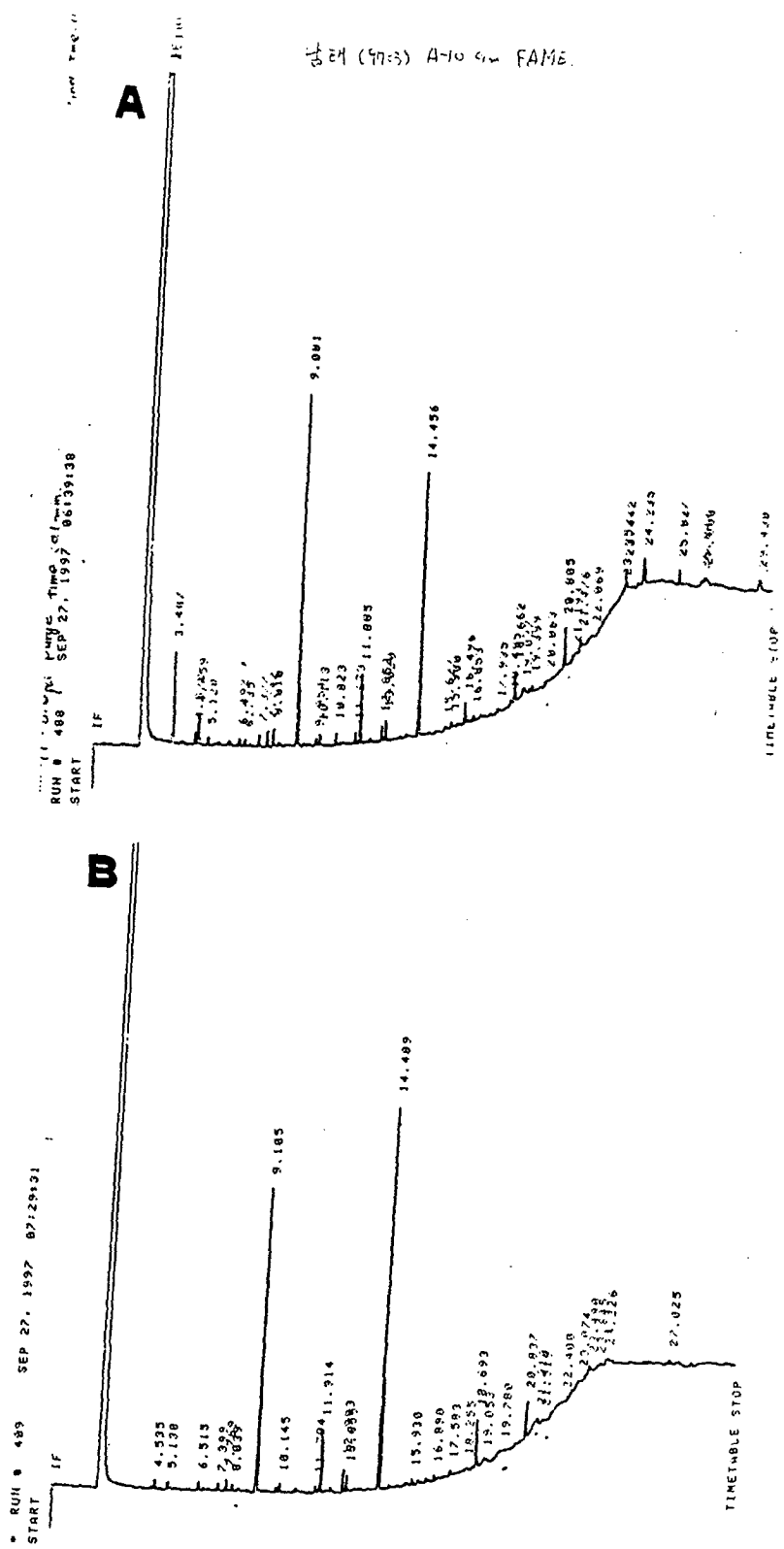


Fig. 5.4. GC chromatogram of fatty acid methyl ester extracted from sediment
 (A) surface layer sediment, (B) 30 cm depth sample

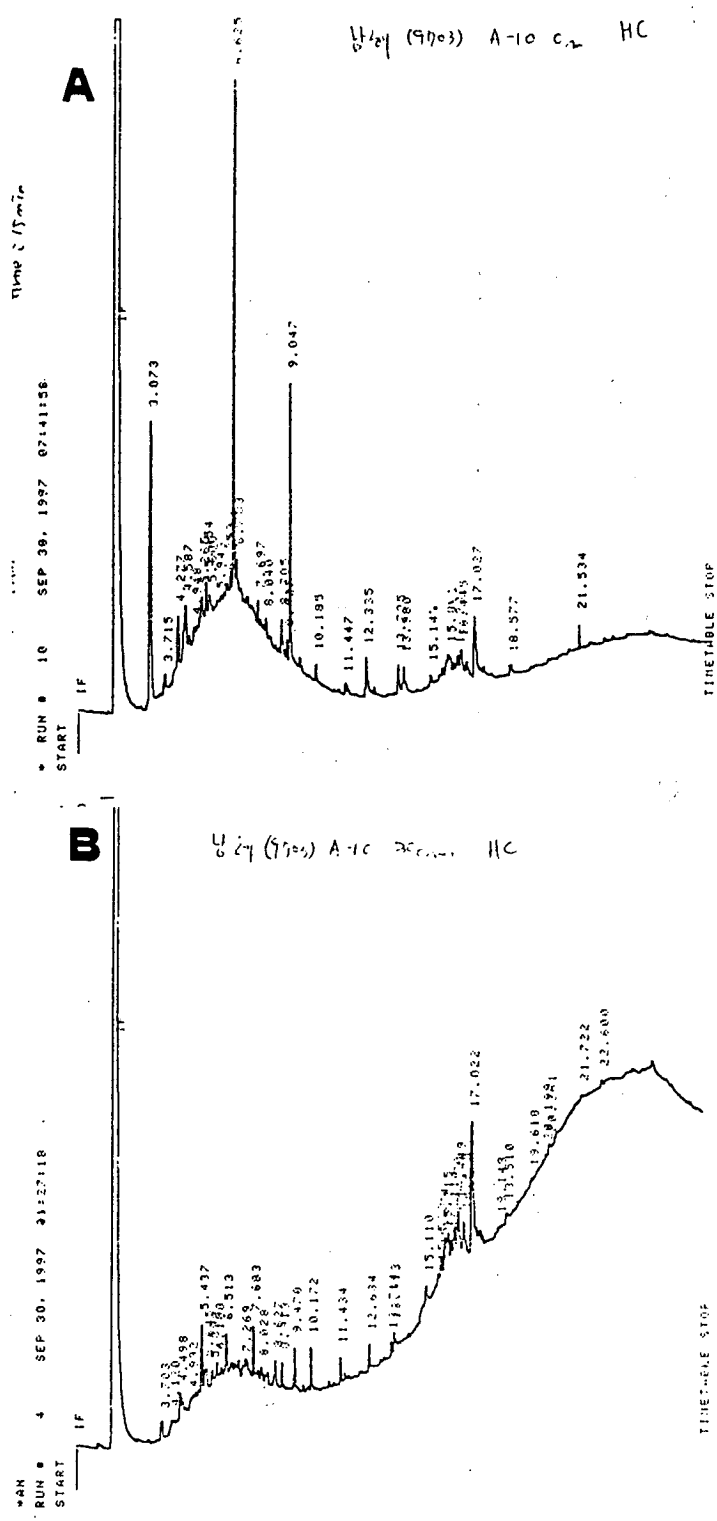


Fig. 5.5. GC chromatogram of hydrocarbon extracted from sediment (A) surface layer sediment, (B) 30 cm depth sample

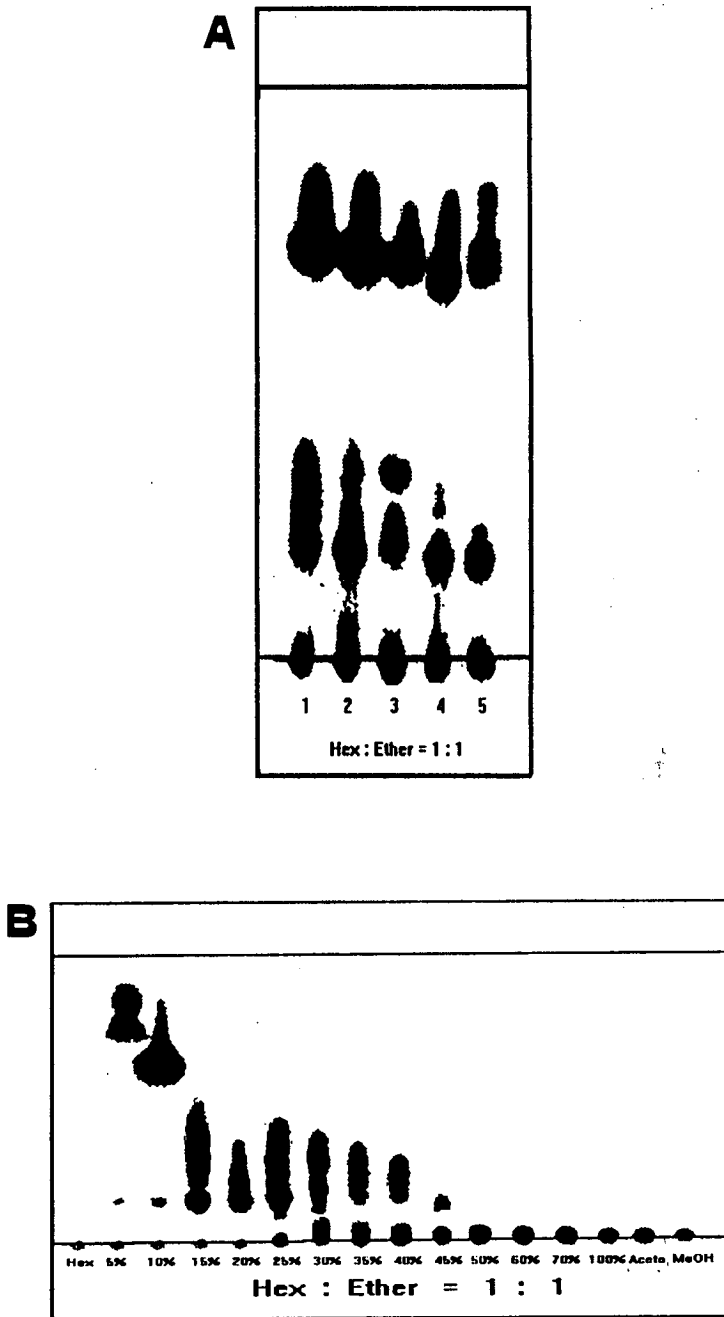


Fig. 5.6. (A) TLC chromatogram of total lipids from Polychaete *Perinereis aibuhitensis*, (B) TLC chromatogram of fractions separated by silica flash column chromatography

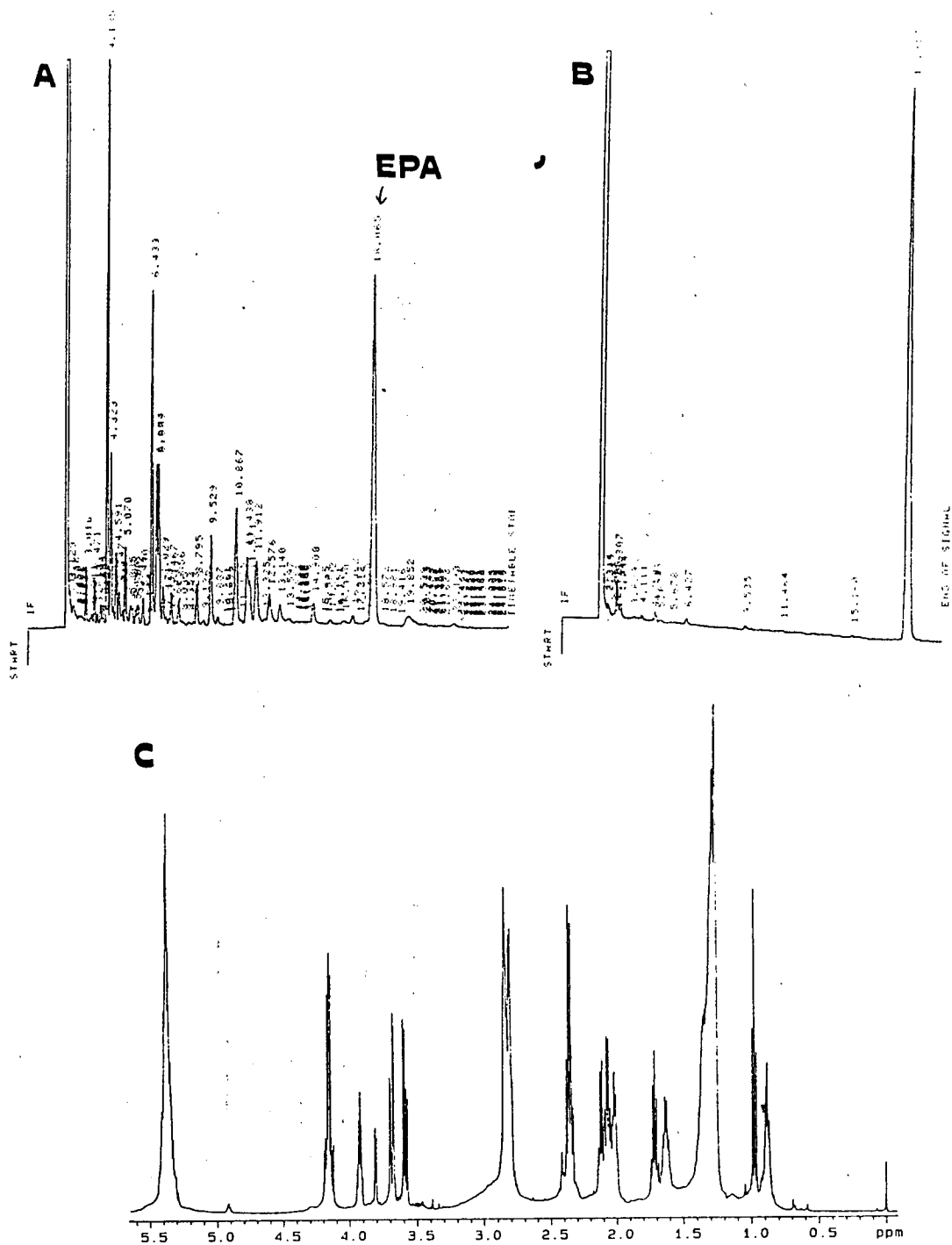


Fig. 5.7. (A) GC chromatogram of total Fatty acid of Polychaete *Perinereis aibuhitensis*, (B) purified Eicosapentaenoic acid (EPA, C_{20:5}), and (C) NMR spectrum of purified EPA.



Fig. 5.8. GC chromatogram of total Fatty acid of hydroid *Solanderia secunda* (A), producing Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5), and Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6), and NMR spectrum (B).

제 6 장

퇴적물 분포

제 6 장 퇴적물 분포

제 1 절 서론

남해는 지리적으로 황해, 동중국해 및 동해를 연결하는 길목으로 쿠로시오난류의 지류인 대마난류가 지나가며 황해와 남해에 걸쳐있는 니질띠(mudbelt) 생성 기원의 기작은 아직 분명하게 밝혀져 있지 않다. 지난 제 4기동안의 해양환경 및 기후의 변화는 쿠로시오난류의 흐름의 변동을 가져왔으며, 빙하기 동안은 황해, 동중국해를 포함한 대륙사면의 일부가 대기에 노출되었으며, 강의 흐름 경로 또한 변화되어 왔다. 따라서 퇴적층에서의 정확한 퇴적환경 및 연대결정을 통한 고기후 및 고환경 복원은 남해환경을 이해하는데 도움이 될 뿐만 아니라 미래 남해환경 변화를 예측하는데 매우 중요하다.

남해는 퇴적환경적으로 대략 동경 128° 를 기준으로 동부해역과 서부해역으로 나뉘어진다. 남해의 해황은 동중국해에서 분지된 대마난류와 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입되는 황해난류에 의해 결정된다.

쿠로시오난류로부터 일본 규슈의 남서쪽에서 분지된 대마난류는 대륙사면을 따라 북향하여 동중국해로 확장하는 중국대륙 연안수와 혼합 되면서 일본的高토열도와 제주도사이를 통과하여 대한해협으로 유입되므로 대마난류는 겨울철에 고온·고염의 특성을 나타내고 여름철에는 동중국해 저염수의 영향으로 인하여 표층에서 저염을 나타낸다. 남해의 조석은 1일 2회조가 우세하게 나타난다. 남해는 수심이 대부분 200 m 이내이며 기상의 변화에 따라 해황이 직접적으로 영향을 받는다.

남해는 작은 만들이 많이 형성되어 있는 리아스식 해안의 특징을 가지고 있다. 남해의 서쪽에서 동쪽으로 가면서 나타나는 주요 만은 도암만, 보성만, 순천만, 해창만, 여수만, 득량만, 가막양, 광양만, 마산만 및 진해만이다.

남해해역에서 퇴적학 (박 등, 1984; Park and Han, 1985, 1987; Lee et al., 1988; Suk, 1989; Kim and Kim, 1991; 김 등, 1996) 고생물학 (Polski, 1959; Yoo and Lee, 1980; Chang, 1983; 장, 1985, 1986; Woo et al., 1995; 김 등 1996), 수괴의 특성 (Lim and Chang 1969; 송, 1992; 이와 송, 1994), 지화학 (Yang and Hong 1982; Suk et al., 1996) 등에 관한 많은 연구가 있다.

제 2 절 연구 방법

2.1. 퇴적구조

퇴적구조는 절개된 시추퇴적물의 육안관찰을 통한 색상, 입도와 이에 따른 퇴적구조를 기술하였다. 그리고 Softex M-1005형 X-선 촬영기를 이용 40 cm 거리에서 퇴적물의 특성 (입도 및 함수율)에 따라 노출시간을 결정 촬영 및 인화를 하였다. 인화된 사진은 입도와 퇴적구조에 의한 퇴적상 분석을 행하는데 사용되었다.

2.2. 입도분석

2.2.1. 습식체질

62.5 μm 체를 사용하여 1,000 ml용 매스실린더로 시료를 걸러낸다. 증류수로 고르게 세척하여 모든 미세입자들이 체를 통과하도록 한다. 체위에 남은 모래들을 모아서 110 $^{\circ}\text{C}$ 로 오븐에서 말린 다음 건조로 넣는다. 일련의 체들을 체공이 큰 것부터 위에서 아래로 쌓아서 입도 분석기인 Ro-Tap mechanical shaker를 약 30분간 작동시킨다. 각각의 체에 남아 있는 입자들을 부드러운 붓을 이용하여 큰 종이에 남김없이 받아내고 각각의 무게를 0.01 g까지 잰다. 맨 밑의 체를 통과한 실트와 점토들은 매스실린더에 넣는다.

2.2.2. 세립질 분석

매스실린더에 분산되어 있는 실트와 점토를 농축시킨 다음 충분히 휘저어서 일부를 취하여 실트와 점토의 입도를 분석할수 있는 자동 입도분석기 (Sedigraph 5000D)의 측정용 용기 (cell)를 채운다. X-ray beam을 용기내로 통과시켜, 시간에 따른 농도감소를 통과된 beam의 강도변화로 추적한다. 이에 따른 전기적 신호를 입자의 침강속도를 나타내는 스토크의 법칙 (Stoke's law)을 이용하여 입도변화로 환산시켜, 실트와 점토의 입도 분석곡선을 그려낸다. 전체시료에 대한 비율을 알기 위해 매스실린더와 용기에 들어 있는 실트와 점토를 말려서 무게를 잰다. 이와같이 모래와 실트, 점토의 상대적 분포곡선과 무게를 이용하여 총체적으로 각 입도별 절대분포곡선을 구한다. 실트와 점토에 대해서는 자동입도분석기를 사용하였다.

2.3. 함수율

퇴적물의 함수율은 퇴적물이 함유하고 있는 해수와 퇴적물과의 무게비로 정의된다. 퇴적물 시료 약 30 g을 취하여 오븐에서 110°C로 하루동안 건조시킨 후 건조로내에서 실온으로 냉각 건조시켜 무게를 측정한 후 함수율을 구하였다.

2.4. 유기물함량

유기물 함량은 퇴적물 분말 시료 2 g을 도가니에 넣고 전기로에서 1시간 30 분 동안 550 °C 로 가열한 후에 그 유실량을 백분율로 표시하였다.

2.5. 탄산칼슘함량

1 g의 시료를 삼각 플라스크에 넣고 작은 용기에 30% 염산을 5 cc 넣어 시료와 닿지 않도록 탄산칼슘 측정장비인 Bernard calcimeter (탄산칼슘과 염산의 반응으로 생성된 가스를 측정하는 장비)에 연결한 후 반응시켜 함량을 측정하였다.

제 3 절 결 과

남해 퇴적물 시료채취 위치는 Fig. 6.1에 나타내었다.

1997년 3월 현장조사에서 채취한 퇴적시료 1정점 (정점 A4)과 박스코어 1정점 (정점 A10)에서 나온 입도 자료를 분석하였다 (Fig. 6.1). 정점 A4는 동경 126° 17.5' , 북위 34° 06.0'로서 남서해 끝점 바로 아래에 위치한다. 정점 A4는 박스코어를 시도하였으나 표층퇴적물만 채취되었다 자갈이 섞이고 패각이 약 20-30% 있는 황갈색 모래로 구성되고 입도 분석은 자갈 4.41%, 모래 95.57%, 실트 0.02% 이며, 점토는 전혀 함유되어 있지 않다. 평균 입도는 0.68 Φ 이다. 정점 A10 은 박스코어 길이 40 cm 인 모래질 벨로 구성되어 있다 (Fig. 6.2). Fig. 2는 코아의 사진, x-ray 사진 및 퇴적상을 모식화한 것이다. 전체적으로 사질니퇴적상 (sandy mud facies; sM facies)이지만 코아깊이 약 22 cm에서 퇴적상의 hiatus가 위치한다. 즉 조개껍질층으로 입도가 증가하여 자갈이 섞인 니질사퇴적상 (gravelly muddy sand facies; (g)mS facies)이다. 이 코아깊이에서 급격한 환경변화의

원인은 구체적으로 알 수 없다. 전체적으로 박스코아 A10의 하부층 (모래, 29-34%; 실트, 9-14%; 점토, 53-61%)에서 상부층 (모래, 14-26%; 실트, 10-31%; 점토, 54-66%)으로 가면서 모래가 감소하고 실트가 증가한다 (Fig. 6.3). 한편으로 수분함량, 유기물함량 및 탄산염함량의 변화는 하부에서 코아깊이 22 cm까지는 수분함량은 증가하고 유기물은 감소, 탄산염은 감소하다가 약 22 cm에서 급격한 증가를 보인다. 탄산염의 급격한 증가는 조개껍질층과 관련이 깊다. 코아깊이 약 22 cm에서 상부로 가면서 수분함량은 다시 감소하고, 유기물함량은 증감을 반복하다가 약간 증가한다. 탄산염함량은 유기물함량과 역관계를 보이고 있다. 코어깊이 22 cm의 hiatus의 생성원인은 구체적으로 현재로서는 알 수 없다.

제 4 절 토 론

현재까지 황해 및 동중국해, 남해를 걸친 전체적인 퇴적연구는 Park and Han (1987), Suk (1989) 의 연구가 있다. 남해의 연안을 따라 니질 퇴적물이 쌓여 있으며 수심 약 100m 까지는 실트질 모래나 모래질 실트가 쌓여있는 혼합 퇴적 상이며, 대륙붕 밖으로는 잔류모래가 쌓여있다. 제주도 남동지역 수심 100-200m 지점에는 길이 약 200-300m, 높이 4-5m 의 모래사구가 쌓여있다. 제주해협에서, 득량만, 가막양 에서의 퇴적물 분포 및 미생물 기원에 관한 연구가 있었으며 (Yi, 1981), 광양만의 퇴적물 분포, 미고생물, 음향특성이 연구되었다 (장, 1986; Kim and Kim, 1991; 김 등, 1996).

과거 해안선 지형변화 및 해수면변동에 대한 문헌은 현재 매우 미약한 편이다. 남해의 해안선의 지형 변화는 지난 홀로세 및 플라이스토세 후기 동안 남해의 퇴적 분포 및 해수면변동을 이해하는 것이 매우 중요하며, 육상기원 퇴적물의 침식 및 유입을 파악하는 것으로 매우 중요하다.

해저퇴적물은 제주도를 중심으로 조립질의 빨질 모래와 모래 퇴적물로 대부분 구성되며 남해연안과 제주도 서부지역은 세립질의 모래질 빨 또는 빨 퇴적물이 분포한다. 간혹 조류가 강한 지역 또는 지형적인 영향으로 퇴적층이 매우 얇거나 암반이 노출된 지역도 있다. 제주도 북부와 남부에 깊은 수로가 있다.

해양에 유입되는 대부분의 퇴적물은 육지에 분포된 암석이 풍화되어 강을 통해서 오거나 주변해역에서 재동된 것이다. Lee et al. (1988)에 의하면 강으로부터의 퇴적물 유입은 낙동강 및 섬진강이 가장 중요하고 그외

소규모 하천으로 부터의 퇴적물 유입은 무시할 정도이다. 연중 약 천만 톤의 퇴적물이 낙동강으로부터 남해로 흘러 들어온다.

세립질퇴적물은 연안을 따라서 많이 나타나며 수심이 약 60 m인 곳까지도 관찰된다. 남해의 서쪽해역에서는 빨이 대부분이지만 모래도 소량 함유되어 있다. 남해의 동쪽부근에서는 110 m의 수심에 좁게 띠를 띤 빨이 나타난다. 수심이 깊어질수록 빨-모래(사질니 또는 니질사)의 혼합형이 나타나며 자갈과 깨어진 조개껍질을 함유한 잔류사가 분포 되어있다. 고해상도 (3.5 kHz) 탄성파단면도 (장 등, 1996)에 의하면 빨질층은 해안지역에서는 약 30-40 m의 두께이며 외해로 갈수록 그 두께가 얇아진다 (Chough, 1983; Park and Yoo, 1988). 가막량만의 조개껍질의 탄소 동위원소값에 의하면 홀로세의 퇴적은 약 4,000년전부터 시작되었다 (Kang and Chough, 1982).

남해의 빨질층의 기원은 아직 정확하게 밝혀지지 않고 있지만(Lee et al., 1988), 그 기원에 대해서 2가지를 제시할 수 있다. 하나는 동중국해로 부터 부유퇴적물의 유입을 들 수 있으며, 또 하나는 황해에 퇴적된 퇴적물이 재부유하여 남해로 유입되는 것을 들 수 있다. 부유퇴적물의 양은 수심이 증가할수록 증가하는 경향을 보인다 (Lee et al., 1988). 저층근처 에서는 6-18 ml/l이며 표층에서는 4-7 ml/l정도이다.

황해에서 남해로 흐르는 해수의 흐름에서 10월에서 11월 사이에 관찰된 부유 퇴적물의 니질띠는 겨울철 북서풍에 의한 재동으로 해석이 되고 있다 (Wells, 1988). 진도 외해역에 두껍게 쌓여 있는 니질층의 형성기원 및 역학은 아직 알려져 있지 않으며 매 겨울철마다 증가하는 부유퇴적물의 기원이 연안 침식과 진도 니질층에서 재동으로 유추되나 정량적으로는 알려져 있지 않다.

Suk (1989)의 연구에 의하면 황해, 동중국해 및 남해 대한해협 해저 퇴적물은 플라이스토세 후기 이후에 해수면상승으로 재동된 잔류모래 및 홀로세 하성층 및 삼각주 퇴적층으로 형성되어 있다고 보고하였다. 지난 제 4기 후기동안 전세계 기후변동은 빙하기와 간빙기가 여러번 교호 하였으므로 퇴적층에 이런 기후에 대한 기록이 저장되었을 것으로 보고 있다.

남해안은 마지막 간빙기에서 해수면이 상승하면서 계곡들이 잠겨서 형성된 리아스식 해안이다. 따라서 작은 만들이 많이 있다. 서쪽에서 동쪽으로 가면서 도암만, 보성만, 순천만, 해창만, 여수만, 득량만, 가막양, 광양만, 마산만, 진해만이 있다. 이 만들은 해류의 흐름이 외해에 비해

약하며, 조류에 의해 대부분 니질 퇴적물이 쌓인다. 큰 강으로는 낙동강과 섬진강이 있다.

광양만의 퇴적물 분포는 섬진강기원 및 외해로부터 들어오는 퇴적물 기원의 둘로 나뉘어진다. 광양만은 1982년 포항종합제철의 설립으로 퇴적환경의 변화가 일어났다 (김 등, 1996).

김 등 (1996)은 광양만 동부해역의 퇴적과정 변화를 연구하였다. 사주지역에서는 모래가 우세하고 대도를 중심으로 한 수로부근에는 세립질과 조립질이 함께 분포하다가 남해부근으로 가면서 세립질이 우세해진다. 광양만에서는 섬진강에서 멀어질수록 입도가 작아지는데 이것은 전형적인 삼각주퇴적물 분포양상이다. 광양만 동부해역의 평균입도 범위는 3-7 ϕ 정도이다. 사주지역은 평균입도가 급격히 변한다. 퇴적물 분급도는 1.5-3.0 ϕ 의 범위로 전체적으로 불량하거나 아주 불량하다. 이는 퇴적물의 공급기원이 섬진강으로 강에 퇴적된 퇴적물은 대체로 분급이 불량한 것과 관계 있는 것으로 생각된다. 더욱이 내만에 속하는 광양만 동부해역은 수로지역을 제외하고는 파도나 조류 등에 의해 퇴적물이 재분포가 되기 어려운 것으로 생각된다. 퇴적물 중 모래의 함량은 광양만 전반에 걸쳐 그 함량이 5-92% 범위를 보인다. 섬진삼각주지역은 수로준설 이전의 사주지역에서 벗어난 지역에까지 모래 함량이 증가되었음을 보이는데 이는 퇴적환경이 바뀌어서 모래의 퇴적이 더 확장되었음을 의미한다. 실트함량은 10-50% 정도이며 점토함량은 평균 30% 정도로 낮게 나타난다. 세립질 퇴적물의 분포는 사주지역에서 낮은 분포를 보이며 하동쪽 해안선과 노랑수로쪽으로 갈수록 증가하는데 이는 외해에서 만내와 노랑수로로 갈수록 약해지는 조류에너지의 분포양상과 유사하다. 광양만은 삼각주, 조간대, 조하대, 수로 등 4가지의 상이한 환경특성을 갖는다 (박 등, 1984). 광양만의 표층 퇴적물의 분포는 서쪽의 세립질 퇴적물이 우세한 저에너지 환경과 동쪽의 조립질 퇴적물이 우세한 고에너지 환경으로 크게 두 개로 환경으로 구분된다. 이것은 다시 섬진삼각주를 중심으로한 사질퇴적상, 만 서부의 저에너지 환경에 발달한 니질퇴적상, 이 두 환경의 접이적 환경에 분포하는 혼합퇴적상 및 여수만쪽입구에서 노랑해협으로 이어지는 수로에 발달하는 역질퇴적상 등으로 세분된다 (박 등, 1984).

마산만과 진해만 또한 많은 연구가 이루어졌다. 낙동강의 퇴적물, 유량에 관한 연구도 시도되었다. 낙동강은 하구가 댐으로 조절되면서 퇴적물의 유입량이 급격히 감소하였다.

남해에서 가장 독특한 환경이면서 주요한 길목이 대한해협이다. 이

해협들은 대마섬을 사이에 두고 있는 좁은 해협으로 수심이 약 130-140m로서 주변에 비해 깊다. 이 해협은 반폐쇄형 후열도분지인 동해분지로 대마난류가 유입되는 유일한 통로이므로 지난 빙하기, 간빙기동안 이 해협을 두고 남해와 동해는 끊임없이 단절과 연결을 반복한 것으로 보나 현재 그 뚜렷한 증거를 찾지 못한 상태이다. 제주해협에서 채취한 박스코어는 이런 의미에서 매우 주요한 정점으로 간주된다.

Reference

- 김신정, 김대철, 이희일, 신임철, 1996. 광양만 동부해역의 퇴적과정 변화와 저서성 유공충 군집분포. 한국해양학회지, v. 1, p. 32-45.
- 박용안, 이창복, 최진혁, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, v. 19, p. 82-88.
- 승영호, 1992. 한반도 주변의 수괴와 해수순환. 한국해양학회지, v. 27, p. 324-331.
- 이홍재, 승영호, 1994. 한국 해양물리 연구의 현황과 발전: 문헌검토. 한국해양학회지, v. 29, p. 64-81.
- 장순근, 1985. 방어진 남쪽 해저표층 퇴적물층의 저서유공충. 해양연구, v. 7, p. 23-30.
- 장순근, 1986. 광양만에서의 현생퇴적 유공충에 관한 연구. 한국해양학회지, v. 21, p. 1-11.
- 장정해, 이치원, 진재화, 김성필, 박영수, 신원철, 박용안, 박수철, 윤혜수, 1996. 황해 제4기 지층 시추 프로그램. 과학기술처, 한국자원연구소, KR-96(T)-18. 595pp.
- Chang, S.K., 1983. Recent benthic foraminifera from Gwangyang Bay, Korea. In: Benthos 2nd Int. Symp. Benthic Foraminifera (Pau, April 1983), p. 141-146.
- Chough, S.K., 1983. Marine geology of Korea Seas. International Human Resources Development Corporation Publishers, Massachusetts, 157 pp.
- Kang, H.J., and Chough, S.K., 1982. Gamagyang Bay, southern coast of Korea: sedimentation on a tide-dominated rocky embayment. Mar. Geology, v. 48, p. 97-214.
- Kim, D.-C., and Kim, G.-Y., 1991. Physical and acoustic properties for unconsolidated sediment in the Kwangyang Bay: In comparison with the continental terrace sediment in the North Pacific. Bulletin of the Korean Fisheries Society, v. 24, p. 289-302.
- Lee, H.J., Chough, S.K., and Han, S.-J., 1988. Recent sedimentation in the South Sea, Korea. Proceedings of the First International Conference on Asian Marine Geology, Shanghai, September 7-10, 1988, China Ocean Press, Beijing, p. 367-386.

- Lim, D.B., and Chang, S.-D., 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanological Society of Korea*, v. 4, p. 71-82.
- Park, B.-K. and S.-J. Han, 1985. The distribution of clay minerals in recent sediments of the Korea Strait, sedimentary. *Geology*, 41:173-184.
- Park, B.-K., and Han, S.-J., 1987. Surface sediments, basin evolution, and sedimentary sequence of the Yellow Sea. *Ocean Research*, v. 9, 51-64.
- Park, S.C., and Yoo, D.G., 1988. Depositional history of Quaternary sediments on the continental shelf off the southeastern coast of Korea (Korea Strait). *Mar. Geol.*, v. 79, p. 65-75.
- Polski, W., 1959. Foraminiferal biofacies off the north Asiatic coast. *J. Paleontology*, v. 33, p. 569-587.
- Suk, B.-C., 1989. Quaternary sedimentation processes, structures and sea level changes history in the East China Sea, the Yellow Sea, and the Korea-Tsushima Strait regions. PhD dissertation, University of Tokyo, 246 pp.
- Suk, M.-S., Hong, G.-H., Chung, C.-S., Chang, K.-I., and Kang, D.-J., 1996. Distribution and transport of suspended particulate matter, dissolved oxygen and major inorganic nutrients in the Cheju Strait. *J. Korean Society of Oceanography*, v. 31, p. 55-63.
- Wells, J.T., 1988. Distribution of suspended sediment in the Korea Strait and southeastern Yellow Sea: onset of winter monsoons. *Mar. Geol.*, v. 83, p. 273-284.
- Woo, K.S., Cheong, D.K., and Park, B.K., 1995. Paleooceanographic investigation from the calcareous skeletons of the Pleistocene Seoguipo Formation, Cheju Island, Korea). *J. Korean Society of Oceanography*, v. 30, p. 216-226.
- Yoo, K.I., and Lee, J.H., 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics. *J. Oceanological Society of Korea*. v. 15, p. 62-65.
- Yang, D.-B., and Hong, G.-H., 1982. Nutrients and chlorophyll a variations at a fixed station during the red tides in the Jinhae Bay. *J. Oceanological Society of Korea*, v. 17, p. 19-26.
- Yi, H.I., 1981. Microbiogenic sediments in Jeju Strait, Deugryang Bay and Gamagyang Bay, Korea, 83 pp.

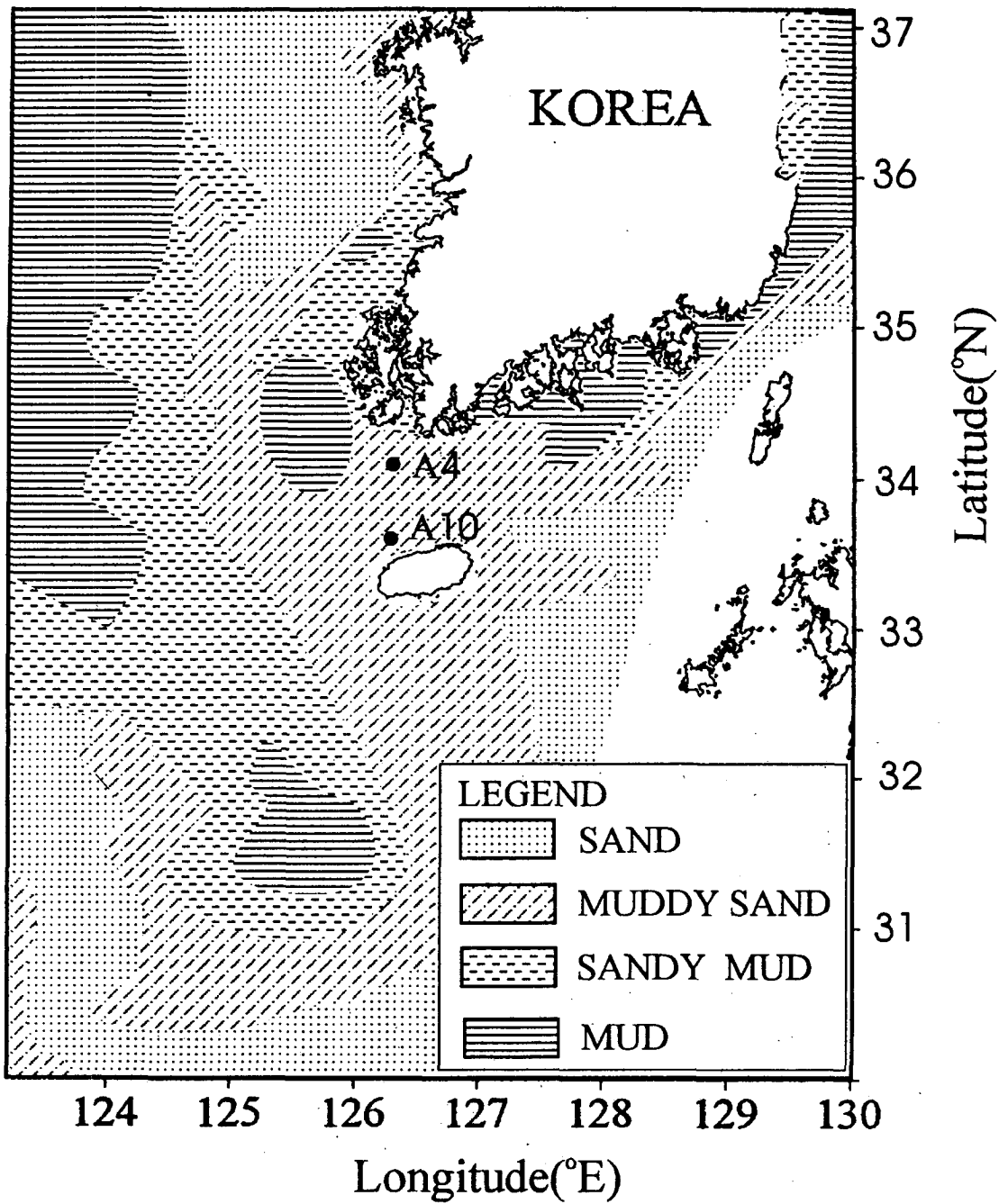


Fig. 6.1. Surface sedimentary distribution and boxcore location in the South Sea of Korea.

SS 9703-A10

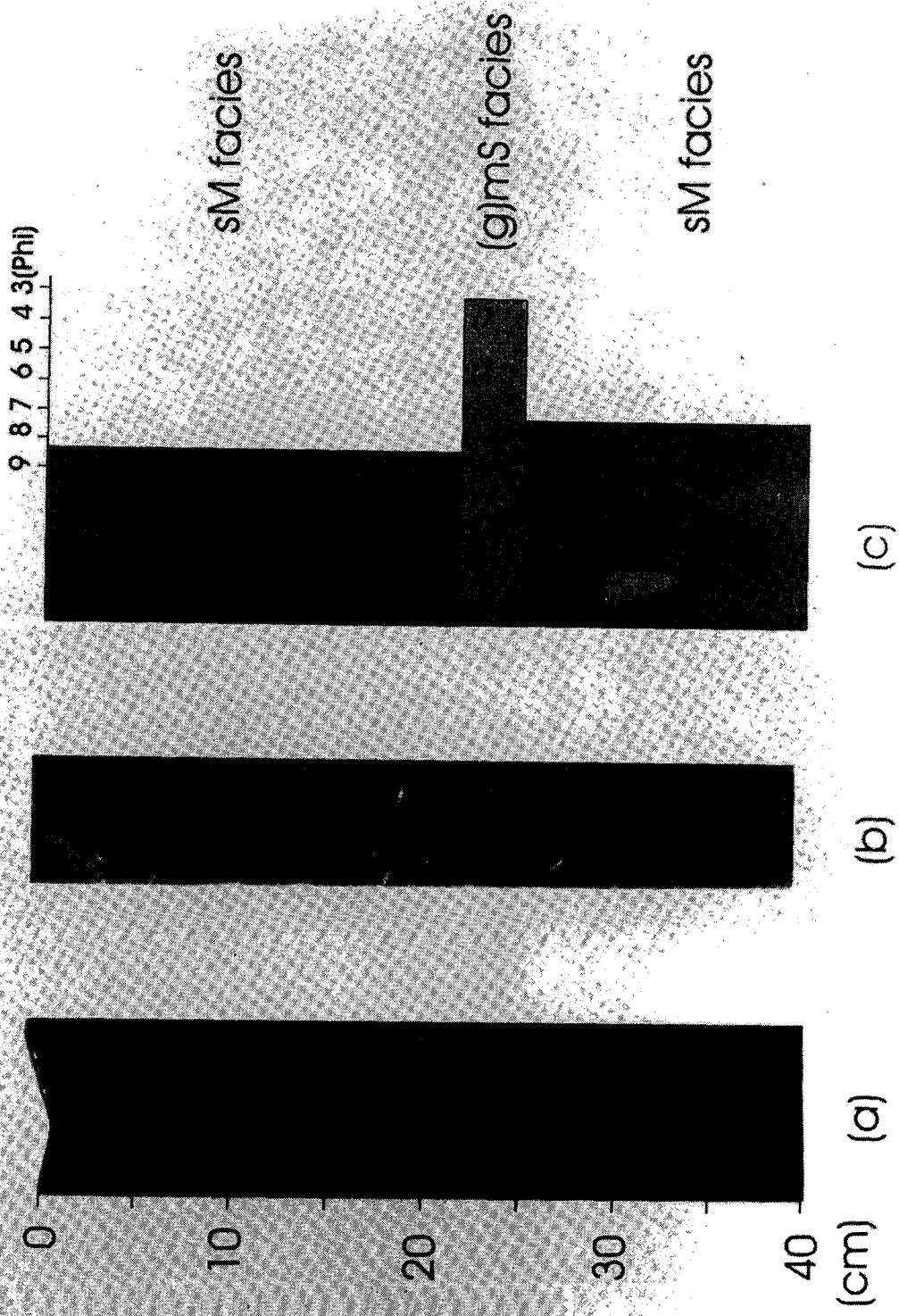


Fig. 6.2. (a) photograph, (b) x-ray radiograph and (c) core log and facies of boxcore SS 9703-A10

SS9703-A10

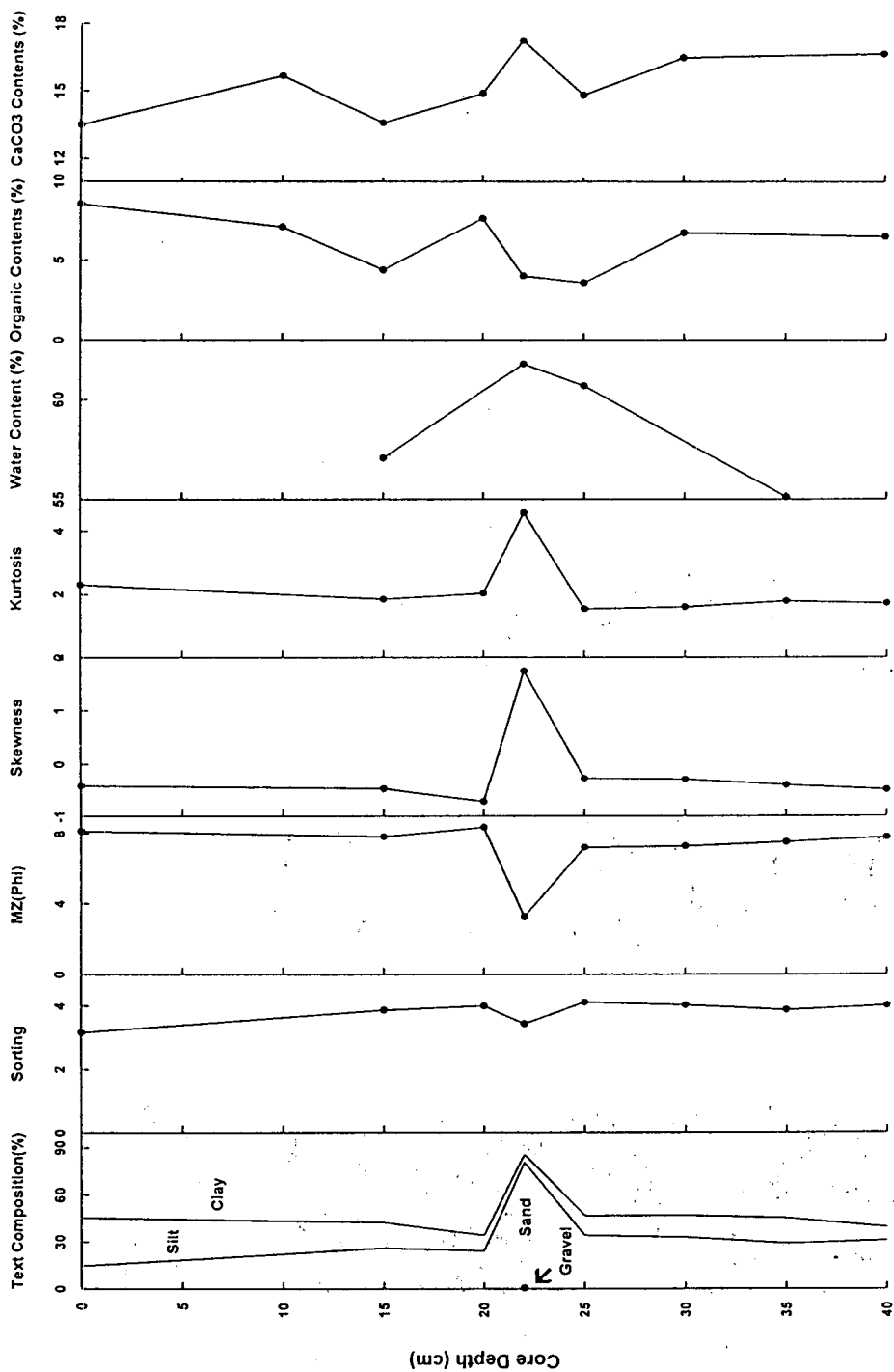


Fig. 6.3. Diagrams of total composition, sortin, mean grain-size, skewness, kurtosis, water content(%), organic content(%), and CaCO3 content of boxcore SS9703-A10.

제 7 장

치자어와 어류군집

제 7 장 치자어와 어류군집

제 1 절 서론

1.1. 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구 -가을철-

제주도 주변 해역은 대부분 수심 200 m 미만의 천해로 다양한 종류의 생물이 서식하고 있는 천해의 어장이며 이 해역은 대마난류수, 중국대륙 연안수, 황해중앙냉수, 한국연안수 등 다양한 수괴가 분포하고 있다 (Kondo, 1985). 이 해역은 고온 고염의 대마난류수의 영향이 매우 큰 것으로 알려져 있으며(Hidaka, 1966), 약 400 여 종의 어류가 서식하는 것으로 밝혀져 있다 (Chung, 1977; Kim and Lee, 1994). 특히 대마난류수는 어업생산성에 크게 기여하는 것으로 알려져 있어서 (Jap. Fish. Agen., 1958; Hattori, 1964; Senta, 1964; Cho, 1984), 대마난류수역을 중심으로 치자어에 관한 많은 연구가 수행되었다 (Shimomura and Fukataki, 1957; Uchida and Dotsu, 1958; Imai, 1958; Takaryu, 1959; Senta, 1962 a,b; Senata, 1964; Okiyama, 1965; Lim et al., 1970; Kim, 1984ab). 이 들 연구는 수온과 염분의 분포 양상에 따른 치자어의 종 구성과 출현량 분포 연구가 대부분이다. 그러나 한국의 남해에는 다양한 수괴가 분포하고 있으며, 이 수괴의 분포양상과 그 세력의 크기는 치자어 종조성과 분포양상 등 치자어 군집구조에 큰 영향을 줄 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 한국의 남해에서 가을철에 출현한 치자어의 종 구성과 출현량 자료를 이용한 집괴 분석과 해양 환경 자료를 이용한 정준상관분석과 정준판별분석 등을 통하여 치자어 군집의 종조성과 특징, 우점종의 생태적인 특징, 치자어 군집과 환경과의 관계 그리고 치자어 군집의 지리적인 분포 등을 연구하였다.

1.2. 동해남부해역의 치자어 군집에 관한 연구

대한해협에는 규슈의 서부해역의 쿠로시오 해류에서 분지된 대마 난류수가 이곳을 통하여 북쪽으로 흐르고 (Pang et al., 1993; Hsueh et al., 1996), 대한해협의 북부는 동해로부터 차가운 저층수가 유입되기도 한다 (Hahn, 1980). 이 해협의 서쪽 수로에는 낙동강의 담수유입, 대마난류수, 거제 연안수, 울산연안수의 4가지 형태의 수괴가 존재한다 (Lee et al.,

1983). 특히 이 해역을 통하여 흐르는 대마난류수는 한국남해연안의 멀치 어장과 회유로에 가장 중요한 요인으로 작용하며 (Chang et al., 1980), 어업생산성에 크게 기여하는 것으로 밝혀져 있다 (Jap. Fish. Agen., 1958; Hattori, 1964; Senta, 1964; Cho, 1984). 이러한 이유로 인하여 대마난류수역을 중심으로 치자어에 관한 많은 연구가 시행되었다 (Shimomura and Fukataki, 1957; Uchida and Dotsu, 1958; Imai, 1958; Takaryu, 1959; Senta, 1962 a,b; Senata, 1964; Okiyama, 1965; Lim et al., 1970; Kim, 1984). 그러나 이들 연구의 대부분은 수온과 염분의 분포에 따른 치자어의 종 조성이나 출현량 분포등에 관한 연구가 대부분이다. 본 연구해역은 대마난류수, 연안수, 그리고 동해저층수 등의 영향을 받기 때문에 이들 수괴의 세력의 크기 및 지리적인 분포는 치자어의 종 조성과 출현량 그리고 이들의 지리적인 분포 특성에 큰 영향을 줄 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 치자어의 종 조성자료의 출현장 자료를 이용한 집괴분석과 해양 환경자료 (수온, 염분, 용존산소, 클로로필 a)를 이용한 정준판별분석과 정준상관분석을 통하여 치자어 군집의 특징과 지리적인 분포 양상, 치자어 군집과 해양환경과의 관계를 연구하였다.

제 2 절 연구방법

2.1. 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구 -가을철-

본 연구는 1986년 11월 제주도 주변해역의 총 44개 정점 (Fig. 7.1)에서 수집한 치자어 자료와 환경자료를 근간으로 시행되었다.

치자어는 대부분은 0 - 50m 사이에 주로 분포하고 있으므로 (Sette, 1943; Ahlstrom, 1959; Oliver, 1990) 수심 0 - 50 m 수층에서 경사 채집되었다. 사용된 기기는 망구직경 60cm, 망목 333 μ m 인 Bongo Net를 이용하였으며 네트를 통과한 물의 양을 파악하기 위하여 네트 입구에 유량계 (General Oceanics, Inc.)를 부착하였고, 네트가 들어간 수심을 파악하기 위하여 수심계 (Benthos Inc.)를 부착하였다. 채집된 표본은 현장에서 중성포르말린으로 최종 농도가 7%되게 고정된 후 실험실로 옮겨 시료 전량에서 치자어를 분리한 후 동정하였다. 동정된 치자어는 종별로 계수한후 1,000m³당 개체수로 환산하였다. 치자어의 동정에는 Okiyama (1988), Russell (1976), Chyung (1977), Lee et al. (1981), Moser et al. (1984), Kim et al. (1986) 등을 참고하였다.

각 정점에서 출현한 치자어의 출현량과 분류군 자료를 이용하여 집괴 분석 (FASTCLUS PROCEDURE : SAS 1996)을 실시하였다. 이 때 사용된 치자어의 분류군 (종 단위까지 분석이 되지 않은 분류군은 속이나 과단위를 사용함) 자료를 대수변환하여 사용하였다. 이 때 2개 정점 이상 출현한 41개 분류군이 분석에 사용되었다. 집괴분석에 의한 군집의 수는 FASTCLUS PROCEDURE (SAS 1996)에서 계산된 CCC (CUBIC CLUSTERING CRITERION)을 이용하였다. 또한 각각의 치자어 군집간 유의한 차이가 있는가를 분석하기 위하여 분산분석 (GLM PROCEDURE : SAS 1996)을 실시하였다.

수은, 염분, 용존산소, 그리고 클로로필 a의 환경자료는 치자어 채집과 동시에 측정되었다. 이들 환경 자료를 이용하여 정준판별분석 (DISCRIM PROCEDURE : SAS 1996), 정준상관분석 (CANDIC PROCEDURE: SAS 1996)을 실시하였다. 이때 사용된 환경자료는 수심 0m, 10m, 20m, 그리고 30m 수 층별 자료를 이용하여 후진적 단계적판별분석 (STEPDISC PROCEDURE : SAS, 1996)을 통하여 선택된 자료만 정준상관분석과 정준판별분석에 사용되었다. 정준상관계수의 검정은 Likelihood ratio를 이용하였다. 이들 모든 환경자료는 프로그램내의 계산과정에서 표준화 되었으며 분석을 위한 자료변환은 하지 않았다.

2.2. 동해남부해역의 치자어 군집에 관한 연구

1993년 8월에 총 47개의 정점 (Fig. 7.2)에서 수집한 치자어 자료와 환경자료를 이용하였다. 치자어는 붕고네트 (망구직경 60cm, 망목 0.505mm)를 이용하여 조사해역의 저층에서부터 표층까지 경사채집 하였다. 치자어를 채집하는 동안 배의 속도는 2 노트 정도로 유지하였으며 통과된 물의 양을 측정하기 위하여 유량계 (General Oceanic, Inc.)를 부착하였다. 채집된 시료는 중성포르말린 (최종 농도 7%)으로 고정후 실험실로 옮겨 시료 전량에서 치자어를 분리한 후 동정하였다. 동정된 치자어는 종별로 계수한후 10m² 당 개체수로 환산하였다. 치자어 동정은 Okiyama (1988), Russell (1976), Chyung (1977), Lee et al. (1981), Moser et al. (1984), Kim et al. (1986) 등을 참고하였다.

각 정점에서 출현한 치자어의 출현량과 분류군 (종 단위까지 분석이 되지 않은 분류군은 속이나 과단위를 사용함) 자료를 이용하여 집괴분석 (FASTCLUS PROCEDURE : SAS 1996)을 실시하였다. 이 때 사용된

치자어의 분류군자료는 대수변환하여 사용하였으며, 77개 분류군 (2개 정점 미만에서 출현한 종과 중층성 어류인 엘통이 (*Maurolicus muelleri*)는 제외)이 통계분석에 사용되었다. 집괴분석에 의한 군집의 수는 FASTCLUS PROCEDURE (SAS 1996)에서 계산된 CCC (CUBIC CLUSTERING CRITERION)을 이용하였다. 각각의 치자어 군집간 유의한 차이가 있는가를 분석하기 위하여 분산분석 (GLM PROCEDURE : SAS 1996)과 군집간 다양도를 비교하기 위하여 RAREFACTION METHOD (Daniel, 1978)를 이용하였다.

수온, 염분, 용존산소, 그리고 클로로필 a의 환경자료는 치자어 채집과 동시에 측정되었다. 이들 환경 자료를 이용하여 정준판별분석 (DISCRIM PROCEDURE : SAS 1996), 정준상관분석 (CANDIC PROCEDURE: SAS 1996)을 실시하였다. 이때 사용된 환경자료는 수심 0m, 10m, 20m, 30m, 그리고 50m 수 층별 자료를 이용하여 후진적 단계적판별분석 (STEPDISC PROCEDURE : SAS 1996)을 통하여 선택된 자료만 정준상관분석과 정준판별분석에 사용되었다. 정준상관계수의 검정은 Likelihood ratio를 이용하였다. 이들 모든 환경자료는 프로그램내의 계산과정에서 표준화되었으며 분석을 위한 자료변환은 하지 않았다.

제 3 절 결과 및 고찰

3.1. 제주도 주변 해역의 치자어 군집에 관한 연구 -가을철-

3.1.1. 치자어의 종 조성

치자어는 총 44개의 조사 정점중 정점 0103을 제외한 43개의 정점에서 총 81 종이 채집었으며 종별 평균 출현량과 출현빈도는 Table 7.1과 같다. 평균 출현량과 출현빈도가 높은 종은 멸치 (*Engraulis japonicus*), *Champsodon snyderi*, 망둥어과 (*Gobiidae*), 썸뱅이 (*Sebastiscus marmoratus*), *Synagrops philippinensis*이었으며 이 종들은 전체 출현량의 56.6%였다. 치자어의 출현량 분포는 Fig. 7.3과 같으며 각 정점당 출현량 개체수는 3 - 259 개체/1,000m³ (평균 50 개체/1,000m³)였다. 치자어는 주로 제주도를 중심으로 동부해역과 남부해역에서 출현량이 비교적 높게 나타났고 제주도의 서부해역에서는 출현량이 비교적 낮게 나타났다 (Fig. 7.3).

3.1.2. 군집분석

정점간 집괴분석을 위해 81개 분류군의 치자어 중 2개 정점 이상 출현한 41 분류군의 출현량 자료를 이용한 집괴분석의 결과는 Fig. 7.4와 같이 2개의 치자어 군집 (Group I, II)으로 구분되었다. 이 군집의 수는 CCC에 의해 2개가 적절한 것으로 나타났다. 이 두 군집내의 모든 분류군의 평균 출현량과 출현량 비율, 출현 빈도는 Table 7.1과 같다. 군집 I (13개 정점)이 군집 II (30개 정점) 보다 정점수는 적지만 분류군의 수와 평균출현량이 높게 나타났다. 그리고 군집간에 차이가 있는가를 분석하기 위해 분산분석을 실시한 결과 두 군집간에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p \leq 0.0001$).

각 군집에 포함된 분류군의 수는 군집 I이 74, 군집 II는 22로 군집 I이 군집 II에 비하여 출현 분류군의 수가 매우 많았다. 또한 두 군집의 평균 출현량은 군집 I (100.6 개체/ $1,000\text{m}^3$)이 군집 II (29.1 개체/ $1,000\text{m}^3$)보다 많고 분류군의 출현빈도는 출현량이 비교적 적은 분류군도 군집 I이 군집 II보다 상대적으로 높게 나타났다.

3.1.3. 주요 분류군의 출현량 분포

출현량 빈도와 출현량 비율이 가장 높은 분류군은 멸치 (*Engraulis japonicus*), *Champsodon snyderi*, 망둥어과 (Gobiidae), 양볼락과 (Scorapenidae)와 셋비늘치과 (Myctophidae) 등이다 (Table 7.2). 이 중에서 망둥어과는 모두 미분류된 종으로 구성되어 있고, 양볼락과(Scorpaenidae)는 미분류군 양볼락과어류를 포함하여 *Sebastes sp.*, *Sebasticus marmoratus* 로 구성되어 있다. 그리고 셋비늘치과 (Myctophidae)에는 *Protomyctophum thompsoni*, *Benthosema pterotum*, *Diogenichthys atlanticus*, *Ceratoscopelus warmingi*, *Lampanyctus sp.*, *Diaphus sp.* *Diaphus pacificus*, *Diaphus theta*로 구성되어 있다 (Table 7.1). 이들 분류군 역시 정점군 I이 정점군 II보다 출현량과 출현빈도가 높았다.

멸치 (*Engraulis japonicus*) 치자어는 25개 정점에서 출현하였다 (Fig. 7.5). 이 종의 출현량 범위가 3 - 74 개체/ $1,000\text{m}^3$ (평균 10.1개체/ $1,000\text{m}^3$)였으며 주로 제주도의 북부해역, 동부해역, 그리고 서부해역에 출현하였다. 제주도 동부해역의 일부 정점에서는 출현하지 않았으며 제주도 남서부 해역에서는 거의 출현하지 않았다.

망둥어과 (Gobiidae) 치자어는 23개 정점에서 출현하였으며 출현량 분포는 Fig. 7.5와 같다. 이 종은 출현량 범위가 3 - 48개체/ $1,000\text{m}^3$ (평균

5.7개체/1,000m³)였으며 주로 제주도의 동부 및 남부해역에 분포하였으며 제주도의 북서해역에는 출현한 정점수가 매우 적었다.

Champsodon snyderi 치자어는 19개 정점에서 출현하였으며 출현량 분포는 Fig.6.5와 같다. 이 종은 출현량 범위는 3 - 69 개체/1,000m³ (평균 6.5 개체/1,000m³)로 주로 제주도 동북부에서 남동부해역까지 분포하였으나 제주도의 서부해역에는 일부 정점만 출현하였다.

그리고 샛비늘치과 (Myctophidae)는 8 종 (Table 7.1)으로 이 과의 치자어는 13개 정점에서 출현하였으며 출현량 분포는 Fig. 7.5와 같다. 이 분류군의 치자어는 대부분 제주도 동부해역과 남부해역에 분포하고 있으며 제주도 북부 연안에서는 2개 정점에서만 출현하였다.

양불낙과 (Scorpaenidae)는 3종 (Table 7.1)으로 이 과의 치자어는 10개 정점에서 출현하였으며 제주도 주변해역과 동부해역이 일부 정점에서 출현하였다 (Fig. 7.5).

3.1.4. 군집의 환경특성

43개 정점에서 측정된 수층별 (수심 0, 10, 20, 30 m) 환경자료 (수온, 염분, 용존산소, 클로로필 a) 중 단계적 판별분석을 통하여 선택된 수온 (수심 10, 30m)과 염분자료 (수심 0, 20m) 그리고 용존산소 (수심 30m)를 이용한 정준상관분석 결과는 Table 7.2와 같다. 군집과 판별함수와의 정준상관계수는 0.77 ($p \leq 0.0001$)로 유의하였다. 그리고 두 군집을 고려한 각각의 환경변수의 판별함수와의 집단내 정준구조계수 (pooled within canonical structure)는 Table 7.2와 같다. 수온 (수심 10, 30m)과 염분 (수심 0, 20m)은 집단내 정준구조계수는 모두 양의 값이며, 그 계수는 적어도 0.63 (군집내의 변이에 39 % 이상 기여함) 이상이다. 그리고 용존산소 (수심 30m)의 집단내 정준구조계수는 -0.39로 음의 값 (군집내의 변이의 기여도는 15 % 정도임)을 보이고 있다.

본 조사해역에서 측정된 각 정점의 수층별 (수심 0, 10, 20, 30m) 환경자료와 각 군집의 환경자료의 범위와 평균은 Table 7.2와 같다.

조사해역의 각 수층별 수온 범위는 13.41 - 20.95 °C로 각 수층의 수온 변화폭은 군집 II가 군집 I보다 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 군집 I의 수층별 평균 수온은 19.95 - 20.02 °C로 수층간 평균 수온은 비슷하였다. 군집 II는 수층별 평균 수온은 16.90 - 17.24 °C로 수층간 평균 수온은 비슷하였으나 수심이 증가함에 따라 수온이 상승하였다. 군집 I 과 II사이의 수층별 평균 수온의 차이는 약 2.71 - 3.11 °C였으며, 모든 수층의 평균

수온은 군집 I이 II보다 높았다 (Table 7.2).

염분의 수층별 범위는 31.27 - 34.58 ‰로 각 수층의 염분 변화폭은 군집 II가 군집 I보다 큰 것으로 나타났다. 군집 I의 수층별 평균 염분은 34.43 - 34.48 ‰로 수층별 평균 염분의 차이는 매우 적었다. 군집 II는 수층별 평균 염분은 32.83 - 33.14 ‰로 수층간 평균 염분은 다소 차이가 있었으며 수심이 증가함에 따라 평균 염분은 상승하였다. 그리고 군집 I과 II사이의 수층별 평균 염분 차이는 약 1.33 - 1.16 ‰였으며, 모든 수층의 평균 염분은 군집 I이 II보다 높았다 (Table 7.2).

용존산소의 수층별 범위는 Table 7.2와 같이 4.90 - 6.10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 각 수층의 용존산소의 변화폭은 군집 II가 군집 I보다 비교적 큰 것으로 나타났다. 군집 I과 II의 수층별 평균 용존산소는 각각 5.06 - 5.09 $\mu\text{g}/\text{l}$ 와 5.32 - 5.48 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였다. 군집 I과 II사이의 수층별 평균 용존산소 차이는 0.26 - 0.40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였으며 모든 수층의 평균 용존산소는 군집 II가 I보다 높았다.

클로로필 a의 수층별 범위는 약 0.40 - 2.70 mg/l 로 각 수층의 변화폭은 군집 II가 군집 I보다 비교적 큰 것으로 나타났다. 군집 I과 II의 수층별 평균 클로로필 a는 각각 0.92 - 1.07 mg/l 와 1.15 - 1.33 mg/l 였으며, 두 군집사이의 수층별 평균 클로로필 a 차이는 0.35 - 0.55 mg/l 로 모든 수층에서 클로로필 a의 평균 값은 군집 II가 I보다 높았다 (Table 7.2).

그리고 Table 7.2의 수층별 환경자료중 수온, 염분, 클로로필 a, 용존산소의 표층 분포는 Fig. 7.6과 같다. 수온은 제주도 동남부해역의 수온이 높고, 북서해역방향으로 갈수록 점점 수온이 낮아졌다. 염분의 경우도 수온의 분포와 같이 제주도를 중심으로 동남해역에서 북서해역으로 가면서 점점 낮아졌다. 그러나 용존산소와 클로로필 a는 수온과 염분의 분포와는 반대로 제주도의 북서해역에서부터 동남해역 방향으로 점점 감소하였다. 특히 군집 I의 위치는 Fig. 7.4와 같이 수온과 염분이 높고, 용존산소와 클로로필 a는 낮은 독특한 환경을 구성하고 있다.

3.1.5. 고찰

정준상관분석은 생물군집 (species association)의 분포와 환경요인과의 관계를 설명하기 위하여 사용되어 왔다 (Poore and Mobley, 1980; Dolman, 1990; Mees and Hamerynck, 1992). 본 조사에서 환경요인 (수온, 염분, 용존산소)을 이용한 정준상관분석결과 (Table 7.2) 치자어 군집과 판별 함수와의 정준상관계수는 0.77 ($p \leq 0.001$)로 유의하였으며, 치자어 군집은 환경요인의 구배에 따라서 치자어 군집이 비교적 잘 구분되는 것으로

생각된다. 특히, 본 연구해역은 대만난류수역 (수온 > 15 °C, 염분 > 34.5‰), 중국대륙연안수역 (수온 15-17°C, 염분 < 32.0 ‰), 한국연안수역 (수온 15-17°C, 염분 32.5-34.0 ‰)등으로 구분할 수 있는데(KORDI, 1987), 본 연구해역의 해양 환경 특성 (Table 7.2, Fig. 7.6)과 정준상관분석 결과 (Table 7.2)를 고려할 때 군집 I은 전형적인 대만난류수역으로 볼 수 있고, 군집 II는 대만난류수역의 일부와 한국연안수역, 중국대륙연안수역 등의 다양한 수역으로 구성된 것으로 생각된다.

치자어의 분류군의 수와 출현종수 그리고 우점종의 출현량은 군집 I이 군집 II에 비해 매우 높다. 이러한 주요 분류군 중 멸치 (*Engraulis japonicus*), *Champsodon snyderi*, 샛비늘치과(Myctophidae), Percichthyidae, 바리과 (Serranidae), 매통이과 (Synodontidae), 날개멸과 (Bregmacerotidae), 놀래기과(Labridae), Gonostomatidae, 갈치과 (Trichiuridae) 등이 있다.

이러한 종류 중에서 멸치 (*Engraulis japonicus*) 치자어는 한국의 남해와 황해의 연근해에 여름철과 가을철에 우점하는 종으로 한국의 전 해역에서 공통적으로 나타나고 있다 (Lim et al., 1970; Kim, 1993; KORDI, 1987; Cha et al., 1990). 본 연구 해역에서도 역시 출현량이 가장 높은 종이었다.

*Champsodon snyderi*는 일본의 남부해역과 동경만, 중국해, 오스트레일리아 동북부 해역에 분포하는 종이다 (Kim, 1984; Masuda et al., 1984; Memeth, 1994). 이 속의 어류들은 저서성 어류로 수심 50 - 400 m에 서식하며, 수심 1,100m의 깊이에서도 채집되는 것으로 알려져 있다 (Klausewitz, 1982; Watson, 1989). 이 속에 관한 생물학적인 연구는 빈약한 것으로 알려져 있다 (Memeth, 1994).

샛비늘치과 (Myctophidae)의 어류는 전세계의 모든 해양에서 발견되는 종으로 230-250여 종이 있다 (Moser et al., 1984). 이 과에 속하는 *Lampanyctus*, *Diaphus*, *Benthosema* 등의 성어는 일주기 수직이동이 매우 심한 것으로 알려져 있다 (Gartner et. al., 1987). *Benthosema pterotum*은 열대와 아열대 해역에서 일년내내 발견되는 종으로 (Gopakumar et al., 1983) 알과 치자어는 수심 200 - 300m에 분포하며 알은 수심 50m에 도달하기 전에 부화하는 종이다.

바리과 (Serranidae), 매통이과 (Synodontidae), 날개멸과 (Bregmacerotidae), 놀래기과 (Labridae), Gonostomatidae, 갈치과 (Trichiuridae) 중 Gonostomatidae와 갈치과 (Trichiuridae)는 군집 I에서만 출현하였고, 나머지 분류군들은 군집 II에서도 출현하였으나 이 분류군들의 출현빈도는 Percichthyidae의 *Synagrops philippinensis* (20%)를 제외하면

군집 II에서는 10% 미만이나 군집 I에서의 출현빈도는 상대적으로 높았다 (Table 7.1).

지금까지 언급한 종들은 대부분 수온과 염분이 높은 군집 I에서 출현하고 있는데 이들의 분포양상과 생태적인 특징을 고려할 때 이 종들은 대마난류수역의 특징적인 종들로 생각된다.

그리고 집괴분석과 정준판별분석의 두 종류의 분석결과의 차이 (Table 7.3) 군집 I이 7.7 %, 군집 II는 13.3 %이며 두 군집의 평균 차이는 10.5 %였다. 이 두 군집의 위치는 Fig. 7.4와 같으며 집괴분석결과 (Fig. 7.4)와 매우 비슷하나 정준판별분석에 의한 군집 I은 집괴분석에 의한 군집 I보다 정점수가 상대적으로 증가하였다. 즉 생물자료를 이용한 집괴분석 결과는 대만난류수역의 중심 수역으로한 군집 I과 기타 수역 (대만난류수의 영향권, 한국연안수역, 중국대륙연안수역 등)에 위치한 군집 II의 두 개의 군집으로 본 연구 해역을 구분하고 있는 것으로 생각된다. 환경자료를 이용한 분석은 생물학적인 자료를 이용한 집괴분석과 다소 차이가 있으나 군집 I은 대만난류수의 중심수역과 그 영향권 그리고 군집 II는 기타 수역 (한국연안수역, 중국대륙연안수역 등)을 설명하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 적절한 해양환경자료를 이용할 경우 치자어의 군집의 크기와 위치를 간접적인 방법으로 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

지금까지의 결과를 종합하면 본 조사해역에서 치자어의 군집에 가장 큰 영향을 주는 요인은 대만난류수역이며 이 수역의 위치와 그 크기에 따라 치자어의 종 조성 및 다양성이 결정되는 것으로 판단된다. 또한 치자어 군집을 해양 환경 요인을 통하여 군집의 크기와 규모를 어느 정도 예측할 수 있는 것으로 판단되므로 선택적인 종별 연구를 수행하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

3.2 동해남부해역의 치자어 군집에 관한 연구 -여름철-

3.2.1. 종 조성과 우점종

치자어는 총 47개의 조사정점에서 12목 63과 125 분류군이 채집되었다. 분류군별 평균 출현량과 출현 빈도는 Table 7.4와 같다. 먼저 멸치 (*Engraulis japonicus*) 치자어는 평균 출현량과 출현량빈도가 가장 높은 우점종으로 전체 출현량의 84.3%를 구성하였고, 다음은 엘통이 (*Maurolicus muelleri*)로 평균 출현량은 280 개체/10m²로 전체 출현량의 7.7%였다. 비교적 출현량 비율이 높은 분류군은 돛양태과 (Callionymidae),

Pomacentridae, 망둥어과 (Gobiidae), 눈퉁멸 (*Etrumeus teres*), *Parapristipoma trilineatum* 등이 있지만 이 분류군들의 출현량 비율은 1% 미만이다. 치자어의 정점별 분류군 수는 1 - 32 (평균 14)이며 분류군의 수는 연구해역의 동부해역과 남부해역이 북부해역과 서부해역보다 많았다 (Fig. 7.7). 치자어의 정점별 출현량 범위는 222 - 19,020 개체/10m² (3,662 개체/10m²)로 치자어의 출현량 밀도는 조사해역의 북서해역이 비교적 낮게 나타났다 (Fig. 7.8).

멸치 (*Engraulis japonicus*) 치자어는 모든 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 67 - 18,144 개체/10m² (평균 3,090 개체/10m²)였다. 멸치는 대마도 서부해역의 출현량 밀도가 상대적으로 높게 나타났으며 조사해역의 북서해역의 출현량 밀도는 상대적으로 낮게 나타났다 (Fig. 7.9). 엘통이 (*Maurolicus muelleri*) 치자어 (평균출현량 280 개체/10m²)는 조사해역의 북부 해역에 대부분이 출현하고 있으며 대마도의 서부해역과 동북해역에 출현하고 있으나 출현 빈도는 매우 낮고 남부해역에서는 전혀 출현하지 않았다 (Fig. 7.9). 돛양태과 (Callionymidae) 치자어는 조사 해역의 전역에서 분포하고 있으며, 특히 한국의 남부 연안해역에서 비교적 출현량 밀도가 높게 나타났고, 조사해역의 북부 해역에서는 출현 빈도가 낮았다 (Fig. 7.9). 망둥어과 (Gobiidae) 치자어는 조사해역의 중부와 남부해역에 출현하고 있으며 한국의 남부연안과 일본의 서부해역에 출현빈도가 높았다 (Fig. 7.9). 자리돔과 (Pomacentridae) 치자어는 대마도를 중심으로 동북에서 서남방향으로 길게 집중적으로 분포하고 있다. 그리고 조사해역의 남부해역에서는 출현 빈도가 매우 낮았고, 북부해역과 북서해역에서는 출현하지 않았다 (Fig. 7.9).

3.2.2. 군집분석

치자어 군집을 이해하기 위해 본 연구해역에서 채집된 총 125개 분류군의 치자어 중 중층성 어류인 엘통이 (*M. muelleri*)와 1개 정점에서 출현한 분류군을 제외한 77개 분류군의 치자어 출현량 자료를 이용한 집괴 분석결과는 Fig. 7.10과 같이 2개의 군집 (Group I, II)으로 구분되었다. 군집의 수는 CCC에 의해 2개가 적절한 것으로 나타났다. 이 두 군집내의 모든 분류군의 평균 출현량과 출현 종 수, 출현 빈도는 Table 7.4와 같다. 두 개의 군집 모두 멸치 (80% 이상)를 제외하면 각 분류의 출현량 비율이 5% 미만이다 (엘통이의 경우 분석에서 제외되었지만 군집 II에서 9.6%로 출현량 비율이 높음). 멸치 (두 개의 군집 모두 출현 빈도가 100%)를

제외하면 두 개의 군집 모두 출현량 비율은 낮지만 출현빈도가 50% 이상인 분류군을 보면 군집 I에는 눈통멸 (*E. teres*), 바다뱀과 (*Ophichthidae*), 꼬치고기 (*Sphyræna pinguis*), 전갱이 (*Trachurus japonicus*), *Parapristipoma trilineatum*, 줄갈돔 (*Lethrinus nematacanthus*), 자리돔과 (*Pomacentridae*), 놀래기과 (*Labridae*), *Champsodon snyderi*, 망둥어과 (*Gobiidae*), *Parapercis snyderi*, 돛양태과 (*Callionymidae*), 군집 II에는 돛양태과가 있다. 특히 위에서 언급된 분류군 중 돛양태과만을 제외하면 이들의 출빈도는 군집 I이 군집 II보다 높았다. 그리고 이러한 분류군 이외에도 매통이과 (*Synodontidae*), 날개멸과 (*Bregmacerotidae*), 옥돔과 (*Branchiostegidae*), 전갱이과 (*Carangidae*), 촉수과 (*Mulliidae*), 고등어과 (*Scombridae*) 등의 과에 속하는 분류군의 출현 빈도는 군집 I이 군집 II보다 높게 나타났다.

군집 I (14개 정점)과 군집 II (33개 정점)의 정점수는 차이가 있지만 각 군집의 분류군 수는 모두 92개 분류군으로 출현 분류군수는 동일하였다. 두 군집간에 차이를 분석하기 위해 분산분석을 실시한 결과 두 군집간에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p \leq 0.0001$). 이 두 군집에 출현한 치자어의 분류군 수는 같지만 군집간에 정점수와 각 분류군별 출현량의 차이가 많아 두 군집을 출현 분류군의 수와 개체수를 바탕으로 한 두 군집의 종 풍부도를 비교하기 위하여 RAREFACTION METHOD (Daniel, 1978)를 적용한 결과 군집 I이 군집 II보다 종 다양도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다 (Fig. 7.11).

3.2.3. 군집의 환경특성

47개의 정점에서 측정된 수층별 (수심 0, 10, 20, 30, 50m) 환경자료 (수온, 염분, 용존산소, 클로로필 a) 중 단계적 판별분석을 통하여 선택된 수온 (0, 20m), 염분 (0, 10, 20, 30m), 용존산소 (50m), 그리고 클로로필 a (0, 30m)를 이용한 정준상관분석의 결과는 Table 7.5와 같다. 판별함수의 유용성을 검증하는데 사용되는 정준상관계수는 (김과 전, 1990) 0.711 ($p \leq 0.0008$)로 유의하였다. 각각의 환경변수와 판별함수와의 상관계수의 상사성의 척도로 사용되는 집단내 정준구조계수 (pooled within canonical structure) (김과 전, 1990)는 Table 7.5와 같이 수온 (0, 20m)과 염분 (표층을 제외한 10, 20, 30m)은 양의 값을, 용존산소 (수심 50m), 클로로필 a (수심 0, 30m), 그리고 염분 (0m)은 음의 값을 가지고 있으며 이 중에서 수심 20m의 수온의 값이 가장 큰 것으로 나타났다. 이들 환경요인중에서 두

군집을 판별하는데 판별변수의 상대적 공헌도를 나타내는 표준정준계수 중 수심 20m의 염분이 가장 크게 작용하는 것으로 나타났다.

집괴분석과 정준판별분석의 두 종류의 분석의 차이 (Table 7.6)는 군집 I이 7.1%, 군집 II가 18.2%로 군집 II가 군집 I보다 군집의 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 두 가지 분석방법의 평균 차이는 12.7%로 비록 두 가지 분석에 차이는 있으나, 군집의 지리적인 위치는 Fig. 7.8과 같이 매우 비슷하게 나타났다.

연구해역에서 조사된 두 군집의 수층별 (수심 0, 10, 20, 30, 50m) 환경자료의 범위와 평균은 Table 7.5와 같다.

용존산소의 경우 각 조사 수층의 농도 범위는 3.95 - 5.83mg/l였다. 평균 농도는 군집 I이 4.53 - 5.18mg/l, 군집 II는 4.71 - 5.20mg/l로 두 군집 모두 수심이 깊어짐에 따라 농도가 점점 감소하였다. 두 군집간 수층별 평균 농도의 차이는 0.01 - 0.18mg/l로 평균 농도는 군집 II가 군집 I보다 높게 나타났다.

클로로필 a의 경우 각 조사 수층의 농도 범위는 0.01 - 1.59 $\mu\text{l/l}$ 였다. 군집 I의 평균 농도는 0.05 - 0.08 $\mu\text{l/l}$, 군집 II는 0.06 - 0.14 $\mu\text{l/l}$ 로 두 군집 모두 수심이 깊어짐에 따라 농도가 점점 감소하였다. 두 군집간 수층별 평균 농도의 차이는 0.01 - 0.06 $\mu\text{l/l}$ 로 평균 농도는 군집 II가 군집 I보다 높았으며 그 차이는 수심이 증가함에 따라 점점 감소하였다.

수온의 각 수층별 범위는 11.05 - 25.34 $^{\circ}\text{C}$ 였다. 군집 I의 평균 수온은 18.86 - 23.17 $^{\circ}\text{C}$, 군집 II는 16.99 - 22.53 $^{\circ}\text{C}$ 로 두 군집 모두 수심이 증가함에 따라 평균 수온은 감소하였다. 두 군집간 수층별 평균 수온의 차이는 0.64 - 1.87 $^{\circ}\text{C}$ 로 수심이 증가함에 따라 그 차이는 점점 증가하였다.

염분의 각 수층별 범위는 29.94 - 34.66psu였다. 군집 I의 평균 염분은 32.74 - 34.28psu, 군집 II는 32.79 - 34.18psu로 두 군집 모두 수심이 증가함에 따라 평균 염분은 점점 증가하였다. 두 군집간 수층별 평균 염분의 차이는 0.05 - 0.17psu 표층의 경우 군집 II가 군집 I보다 평균 염분이 높았고, 그 이외의 수층에서는 군집 I이 군집 II보다 높았으며 수층 20m에서 그 차이가 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 7.5의 환경 요인 중 용존산소, 클로로필 a, 수온, 그리고 염분의 3개 수층 (수심 0, 30, 50m)의 수평 분포는 Fig. 7.12와 같다. 용존산소의 농도는 표층, 30m, 그리고 50m의 3개 수층 모두 조사해역의 북부 해역이 남부 및 동남해역보다 높게 나왔으며 표층의 경우에는 한국연안이 비교적 높게 나타났다. 클로로필 a의 농도는 표층의 경우 한국연안에서 높게

나타났고, 30m 수층에서는 한국의 연안과 대마도의 서남부해역에 국지적으로 높게 나타났고, 50m 수층의 경우 농도가 비슷하게 나타났다. 수온은 표층, 30m, 그리고 50m의 3개 수층이 경우 대마도를 중심으로 서남에서 동북방향으로 수온이 점차 낮아졌으며 이 축을 중심으로 좌우로 갈수록 수온이 낮아졌고, 특히 조사해역의 북서해역과 한국의 연안쪽이 상대적으로 수온이 낮았다. 염분은 표층의 경우 조사해역의 북부해역은 염분도가 가장 높고 한국의 남부해역에서는 염분도가 낮았다. 조사해역의 북동에서 남서방향을 축으로 일본연안에서부터 한국연안방향으로 염분이 점차 감소하는 양상으로 나타났고, 특히 표층의 경우 낙동강부근해의 염분도가 가장 낮았다.

3.2.4. 고찰

정준상관분석은 생물군집 (species association)과 환경요인과의 관계를 이해하기 위해 사용되어 왔다 (Poore and Mobley, 1980; Dolman, 1990; Mees and Hamerynck, 1992). 정준상관계수는 집단과 정준판별함수와의 관계를 묘사하는 이용된다 (김과 전, 1990). 본 연구에서 치자어 군집과 정준판별함수와의 정준상관계수는 0.711 ($p \leq 0.0008$)로 유의하였으며, 치자어 군집은 환경요인의 구배에 따라서 치자어 군집이 비교적 잘 구분되는 것으로 생각된다. 정준상관분석에 사용된 환경 요인중에서 판별함수와 상사성의 척도인 정준구조계수는 수심 20m의 수온의 값이 가장 크고, 판별변수의 상대적인 공헌도를 나타내는 표준정준계수는 수심 20m의 염분의 값이 가장 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과로 보아 치자어 군집을 설명하는데 여러 환경 요인중에서 수심 20m가 다른 수층의 값보다 상대적으로 크게 기여하는 것으로 생각된다.

본 연구해역의 우점종인 멸치 (*E. japonicus*) 치자어는 한국의 남해와 황해의 연근해에 여름철과 가을철에 우점하는 종으로 한국의 전 해역에서 분포한다 (Lim et al., 1970; Kim, 1993; KORDI, 1987; Cha et al., 1990). 이 종은 군집 I이 군집 II보다 출현량이 많지만 출현빈도가 모두 100%로 두 군집의 환경특성을 출현량과 출현빈도만을 가자고는 잘 설명하지 못하는 것으로 생각된다. 멸치 다음으로 출현량이 많은 엘통이 (*M. muelleri*)는 중층성 어류 (Young et al., 1987)로 동해의 남부에 주로 분포하며 수심 100m의 수온 10℃과 밀접한 관련이 있다 (Noda and Moriwaki, 1996). 이 종은 본 연구해역의 통계분석에서 제외 되었지만 이 종의 생태적인 특징으로 보아 동해 저층수의 영향을 설명할수 있을 것으로 생각된다. 이

두 종 이외의 분류군 중 군집 I에서 출현 빈도가 높은 분류군 중 *Parapercis snyderi*는 일본 중부에서부터 한국의 남부해역의 난류역에 분포한다 (Kobayashi et al., 1993). *Champsodon snyderi*는 일본의 남부해역과 동경만, 동중국해, 오스트레일리아 동북부 해역에 분포하는 종이다 (Kim, 1984; Masuda et al., 1984; Memeth, 1994). 이 속의 어류들은 저서성 어류로 수심 50 - 400 m에 서식하며, 수심 1,100m의 깊이에서도 채집되며 (Klauswitz, 1982; Watson, 1989), 이 속에 관한 생물학적인 연구는 빈약한 것으로 알려져 있다 (Memeth, 1994). 눈통멸 (*Etrumeus teres*)은 규슈서부해역, 소말리아 북동해역, 멕시코만, 남아프리카 등의 난류수역에 분포하고 (Chullasorn et al., 1997; Reintjes, 1980; Stroemme, 1984; Crawford, 1981), 꼬치고기 (*Sphyræna pinguis*), 전갱이 (*Trachurus japonicus*), 매통이과 (*Synodontidae*)에 속하는 *Synodus*와 *Saurida*에 속 어류뿐 아니라 자리돔과 (*Pomacentridae*)와 놀래기과 (*Labridae*), 날개멸과 (*Bregmacerotidae*), 옥돔과 (*Branchiostegidae*), 전갱이과 (*Carangidae*), 촉수과 (*Muliidae*), 고등어과 (*Scombridae*) 등의 어류도 역시 대만 북부 해역에서부터 제주도 주변해역의 동중국해의 쿠로시오 난류수역에 분포하고 있다 (Yamadat et al., 1986; Chyung, 1977; Yoo et al., 1992). 줄갈돔 (*Lethrinus nematacanthus*)은 우리나라 동남부해, 일본 혼슈우 중부 이남, 류우큐우, 대만, 필리핀, 인도 등의 연안에 분포하고있고 (Chyung, 1977), *Parapercis snyderi*는 암수 한몸인 종으로 일본 중부에서부터 한국의 남해의 연안의 난류수역에 분포한다 (Kobayashi, et al., 1993). 이들 아열대성 분류군의 출현 빈도는 군집 I이 군집 II보다 높게 나타났다. 이들 아열대성 어종은 대만난류수역에서 산란되어 부화된 종이거나 이에 편승하여 출현한 종으로 생각된다.

지금까지의 환경자료와 치자어 분류군의 생태와 지리적인 분포 특징 등의 분석의 결과를 종합하면 본 연구해역은 크게 대만난류수, 연안수, 그리고 동해고유수로 구분이 되는데 (KORDI, 1994), 특히 아열대성 어종의 출현량과 출현빈도가 높은 군집 I은 전형적인 대만난류수의 영향을 받고 있는 군집으로 생각되고, 군집 II는 군집 I보다 상대적으로 난류성 어류의 출현량과 출현빈도가 낮지만 역시 대만난류수의 영향이 미치는 해역으로 생각된다. 그리고 여러 환경 요인 중에서 표층의 염분을 제외하면 수온과 염분은 군집 I이 군집 II보다 상대적으로 높다. 이러한 환경 요인의 특성과 치자어 군집의 특성을 고려할 때 본 연구해역은 치자어 군집은 대만난류수의 영향이 지배적인 것으로 생각된다. 또한 중층성 어류인

앨통이 (*M. muelleri*)의 출현은 동해저층수의 영향으로 생각된다. 따라서 본 연구해역에서 치자어의 종 조성, 출현량 그리고 종 다양성 등 치자어 군집의 특징은 대마난류수, 동해저층수 그리고 연안수 등의 수괴의 지리적인 분포와 그 세력의 크기 등에 크게 좌우되는 것으로 생각된다. 따라서 치자어 군집의 특징을 규명함으로써 간접적으로 해양환경의 특징을 이해하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

Reference

- Ahlstrom, E.H., 1959. Vertical distribution of pelagic fish eggs and larvae off California and Baja California. *Fish. Bull.*, 60: 107-143
- Cha, S.S., J.M. Yoo and J.M. Kim, 1990. Seasonal variation of fish larval community in the coastal waters of the mid-east Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* 25(2) : 96-105
- Chang, S.D., S.Y. Hong, C.K. Park, P. Chin, B.G. Lee, T.Y. Lee, Y.J. Kang, Y. Gong, 1980. Studies on the migration of anchovy *Engraulis japonica* in Korean waters. *Publ. Inst. Mar. Sci. Natl. Fish. Univ. Busan*, 12 : 1-38
- Cho, K.D., 1984. Environment of the purse-seiner fishing ground in the Tsushima Current. National Fisheries University of Pusan, 58 pp.
- Chullasorn, S., H. Mako, M. Oka and Y. Matsumiya, 1997. Studies on the fishery biology of the round herring in the western sea of Kyushu. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.* 50 : 37-71
- Chyung, M.K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa. Seoul, 727 pp.
- Crawford, R.J.M., 1981. Distribution, availability and movements of round herring *Etrumeus teres* off South Africa, 1964-1976. *Fish. Bull. Sea Fish. Inst.* 14 : 141-181
- D'Ancona, U. and G. Cavinato, 1965. The fishes of the family Bregmacerotidae. *Dana Rep.* 64, 92 pp.
- Daniel S., 1978. Use of rarefaction and related methods in ecology. In *Biological data in water pollution assesment : quantitative and statistical analysis*, ASTM STP 652., edited by Cains, D.J., and R.J. Livingston. *Ame. Soc. for Testing and Materials*, 150-165
- Dolman, W.B., 1990. Classification of Texas reservoirs in relation to limnology and fish community associations. *Tran. of the American Fish. Soc.*, 119: 511-520
- Gatner Jr., J.V., T.L. Hopkins, R.C. Baird and D.M.L. Milliken, 1987. The lanternfishes (Pisces: Myctophidae) of the eastern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.*, 85(1) 81-89.
- Gopakumar, K., K.G.R. Nair, P.G.V. Nair, A.L. Nair, A.G. Radhakrishnan and P.R. Nair, 1983. Studies on lantern fish (*Benthosema pterotum*).

1. Biochemical and microbiological investigations. Fish. Technol. Soc. Fish. Technol., Cochin., 20(1): 17-19.
- Hahn, S.D., 1980. Variability of physical structure in Korea Strait. The Kuroshio 4 proceedings of the fourth symposium for the cooperative study of the Kuroshio and adjacent regions, the Japan Academy, Tokoy. pp. 129-154.
- Hattori, S., 1964. Studies on fish larvae in the Kuroshio and adjacent waters. Bull. Tokai Reg. Fish. Lab., No. 40, 158 pp.
- Hidaka, K., 1966. Japan Sea. In the Encyclopedia of Oceanography, edited by R.W. Fairbridge, Van Nostrand Compony, New York, 417-424
- Hsueh, Y., H.J. Lie and H. Ichikawa, 1996. On the branching of the Kuroshio west of Kyushu. J. Geophys. Res. C. Oceans. 101(2) : 3851-3857
- Imai, S., 1958. Situation of fish eggs and larvae appeared in the southwestern sea of Kyushu, Vol 2. Report of development and research of Tsushima Current Waters (ichthyoplankton), 76-78
- Japan Fisheries Agency, 1958. Report of development and research of Tsushima Current Water. Vol 2. 137 pp.
- Kim, I.S. and W.O. Lee, 1994. Fish fauna from Cheju Island, Korea. Records of Korea Fih Fauna No. 1. 53 pp.
- Kim, J.M., 1984. Studies on the ichthyoplankton in the Tsushima current regions during the autumn season. Ph. D. Thesis. Univ. of Tokyo. 258 pp.
- Kim, J.M., J.M. Yoo, J.K. Myoung and J.Y. Lim, 1986. Guide to the early stages of marine fishes in the Korean waters. KODRI Report, BSPE 00060-98-3. 369 pp.
- Kim, J.Y., 1983. Distribution of anchovy eggs and larvae off the western and southern coasts of Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 16(4): 401-409
- Kim, Y.U., 1984. The distribution of fish larvae in the Korea Strait. Bull. Korean Fish. Soc. 17(3) : 230-243
- Klausewitz, W., 1982. Teifenwasser- und Tiefsee- fische aus dem Roten Meer. V. Uber die vertikale Verbreitung von *Champsodon omanesis* Regan (Pisces: Teleostei: Perciformes: Trachinoidei: Champsodontidae). Senckenb. Mart. 14: 39-45.

- Kobayashi, K., K. Suzuki and Y. Shiobara, 1993. Reproduction and hermaphroditism in *Parapercis snyderi* (Teleostei, Parapercidae) in Suruga Bay, Central Japan. J. Fac. Mar. Sci. 35 : 149-168
- Kondo, M., 1985. Oceanic investigations of fishing grounds in the East China Sea and Yellow Sea-I. Characteristics of the mean temperature salinity distributions measured at 50 m and near the bottom. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., 62: 19-66
- KORDI, 1987. A study on the atlas of marine resources in the adjacent sea to Korea -South Sea (Preliminary Study)-. KORDI Report BSPG 00046-163-7. 357 pp.
- KORDI, 1994. A study on the atlas of marine environments in the adjacent seas to Korea, Korea Strait (Third Year). KORDI report BSPN 00227-733-3, 715p.
- Lee, T.Y., Y.U. Kim, P. Chin and Y.J. Kang, 1981. Fish eggs and larvae of the coastal waters in Korea. Nat. Fish. Univ., 109 pp.
- Lee, W.J., K.D. Cho, and H.S. Choo, 1984. Chemical characteristics of water types in the Korea Strait. Bull. Korean Fish. Soc. 17(3) : 219-229
- Lim, J.Y., M.K. Jo, and M.J. Lee, 1970. The occurrence and distribution of the fish eggs and larvae in the Korean adjacent sea. Rep. Fish. Kes., 8: 7-29.
- Mees, J. and O. Hamerynck, 1992. Spatial community structure of the winter hyperbenthos of the Schelde estuary, the Netherlands, and the adjacent coastal waters. Netherlands J. of Sea Research 29(4): 357-370
- Memeth, D., 1994. Systematics and distribution of fishes of the family Champsodontidae (Teleostei: Perciformes), with descriptions of three new species. Copeia, 1992(2): 347-371
- Moser, H.G., E.H. Ahlstrom and J.R. Paxton, 1984. Myctophidae: Development, p. 218-239. In ontogeny and systematics of fishes, edited by H.G. Moser, W.J. Richards, D.M. Cohen, M.P. Fahay, A.W. Kendall Jr. and S.L. Richardsons. Amer. Soc. of Ichthy. and Herpet. Spec Publ. No. 1. Allen Press. Inc., Lawrence, Kansas.
- Noda, K. and S. Moriwaki, 1996, Acoustic survey of distribution and

- abundance of micronectonic fish, *Maurolicus muelleri*, in the southwestern Japan Sea. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. 60(1) : 1-6
- Okiyama, M., 1965. A preliminary study on the fish eggs and larvae occurring in the Sado Strait, Japan Sea, with some remarks on the vertical distribution of some fishes. Bull. Jap. Sea. Reg. Fish. Res. Lab., 15: 13-37
- Okiyama, M., 1984. Myctophiformes : Development, p. 206-218. In ontogeny and systematics of fishes. edited by H.G. Moser, W.J. Richards, D.M. Cohen, M.P. Fahay, A.W. Kendall Jr. and S.L. Richardsons. Amer. Soc. of Ichthy. and Herpet. Spec Publ. No. 1. Allen Press. Inc., Lawrence, Kansas.
- Okiyama, M., 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press, 1154 pp.
- Oliver, M.P., 1990. Spatial patterns of ichthyoplankton distribution in relation to hydrographic features in the Northern Benguela region. Marine Biology 106: 39-48
- Poore, P.G., and M.C. Mobley, 1980. Canonical correlation analysis of marine macrobenthos survey data. J. of Exp. Mar. Bio. and Eco., 45: 37-50
- Reintjes, J.W., 1980. Marine herring and sardine resources of the northern Gulf of Mexico. in Proceedings of a workshop for potential fishery resources of the Northern Gulf of Mexico edited by Flandorfer, M. and L. Skuplen. 4-17p.
- Richards, W.J., 1981. Kinds and abundance of fish larvae the Caribbean Sea. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 178: 240-241.
- Russell, F.S., 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. Academic Press. London. U.K., 524 pp.
- Senta, T., 1962a. Studies on the occurrence of eggs and larvae of fishes in adjacent waters to the Oki Islands. I. The species occurred. Fish. Exp. St. Tottori Prefecture, Japanes I. Ecology, 12(4): 152-157
- Senta, T., 1962b. Studies on the occurrence of eggs and larvae of fishes in adjacent waters to the Oki Islands. I. The seasonal abundance. Fish. Exp. St. Tottori Prefecture, Japanes I. Ecology, 12(4): 163-166
- Senta, T., 1964. Study on the distribution of eggs and larvae of fishes in

- the adjacent waters to western Japan. Bull. Okayama Reg. Fish. Res. Lab., 80 pp.
- Sette, O.E., 1943. Biology of the Atlantic makerel (*Scomber scombrus*) of North America. Fish. Bull., 50: 148-237
- Shimomura, T. and H. Fukataki, 1957. On the year round occurrence and ecology of egg and larvae of the principal fishes in the Japan Sea. I. Bull. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab., 6: 155-290
- Stroemme, T., 1984. Cruise report R/V Dr. Fridtjof Nansen . Second fisheries resource survey North-east coast of Somalia, 24-30 August 1984., Bergen Norway Institute of Marine Research. 10 p.
- Takaryu, H., 1959. Occurrence and ecology of principal marine fish eggs and larvae occur all the year round in Japan, II. Distribution of fish eggs and larvae of saury in the Tsushima Current Water. Bull. Japan Sea. Reg. Fish Res. Lab., 7: 17-42
- Uchida, K. and Y. Dotsu, 1958. Situations of fish eggs and larvae appeared in the surface layer of Tsushima Current Water. Report of development and research. Vol. 2(ichthyoplankton), 1-61
- Watson, W., 1989. Champsodontidae-gapers, p.245-258. In the larvae of Indo-Pacific shorefishes, edited by J.M. Leis and T. Trnski. Univ. of Hawaii Press, Honolulu.
- Yamada, U., M. Tagawa, S. Kishida and K. Honjo, 1986. Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 501p.
- Yoo, J.M., E.K. Lee and B.S. Oh, 1992. Taxonomical study on Bregmacerotidae larvae in the South Sea, Korea. Ocean Research. 14(1) : 1-10
- Young, J.W., S.J.M. Blaber, R.T.I. Rose, 1987. Reproductive biology of three species of midwater fishes associated with the continental slope of Eastern Tasmania, Australia. Mar. Biol. 95(3) : 323-332
- 김역, 전명식, 1989. SAS 판별 및 분류분석. 자유아카데미. 68p.

Table 7.1. Mean abundance(N : no./1,000m³), relative percentage(%), and frequency(F) of larval fish at each station group.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Clupeiformes						
Clupeidae						
* <i>Etrumeus teres</i>	0.8	0.8	7.7			
Engraulidae						
<i>Engraulis japonicus</i>	10.6	10.5	61.5	10.2	35.1	56.7
Anguilliformes						
Congridae						
* <i>Ariosoma</i> spp.	0.6	0.6	7.7			
* <i>Conger myriaster</i>				0.5	1.7	3.3
<i>Gnathophis nystromi</i>	1.2	1.2	23.1			
Muraenesocidae						
* <i>Muraenesox</i> spp.	0.2	0.2	7.7			
Nettastomatidae						
* <i>Saurenhelys stylurus</i>				0.2	0.7	3.3
Ophichthidae						
* <i>Myrophinae</i> spp.				0.4	1.4	3.3
Ophichthinae spp.	1.0	1.0	23.1	0.7	2.4	13.3
Salmoniformes						
Gonostomatidae						
<i>Vinciguerria nimbaria</i>	0.9	0.9	15.4			
<i>Gonostoma gracile</i>	2.8	2.8	23.1			
* <i>Gonostomatidae</i>	0.2	0.2	7.7			
Myctophiformes						
Synodontidae						
<i>Synodus fuscus</i>	0.5	0.5	15.4			
<i>Synodus macrops</i>	1.2	1.2	38.5			
* <i>Trachinocephalus myops</i>	0.2	0.2	7.7			
<i>Aulopus japonicus</i>	4.7	4.7	69.2			
Myctophidae						
* <i>Protomyctophum thompsoni</i>	0.5	0.5	7.7			
<i>Benthoosema pterotum</i>	2.7	2.7	46.2	0.5	1.7	10.0
<i>Diogenichthys atlanticus</i>	0.5	0.5	15.4			
* <i>Ceratoscopelus warmingi</i>	0.2	0.2	7.7			
<i>Lampanyctus</i> spp.	3.2	3.2	46.2			
* <i>Diaphus pacificus</i>	0.2	0.2	7.7			
<i>Diaphus</i> spp.	0.9	0.9	15.4			
* <i>Diaphus theta</i>	0.5	0.5	7.7			
Paralepididae						
*Paralepididae	0.2	0.2	7.7			
* <i>Lestrolepis intermedia</i>	0.2	0.2	7.7			
* <i>Stemonosudis</i> spp.	0.2	0.2	7.7			
Syngnathiformes						
Macrorhamphosidae						
<i>Macrorhamphosus scolopax</i>	0.5	0.5	15.4			

* : excluded for statistical analysis

Table 7.1. Continued.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Gadiformes						
Moridae						
<i>Laemonema nana</i>	0.5	0.5	7.7	0.4	1.4	6.7
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros atlanticus</i>	0.5	0.5	15.4			
<i>Bregmaceros nectabanus</i>	3.3	3.3	30.8	0.1	0.3	3.3
<i>Bregmaceros neonectabanus</i>	0.9	0.9	15.4			
<i>Bregmaceros japonicus</i>	0.7	0.7	15.4	0.2	0.7	3.3
Ophidiiformes						
Carapodidae						
* <i>Encheliophis sagamianus</i>	0.5	0.5	7.7			
* <i>Pyramodon ventralis</i>	0.5	0.5	7.7			
Ophidiidae						
<i>Neobythites sivicola</i>	0.5	0.5	15.4			
* <i>Sirembo imberbis</i>				0.1	0.3	3.3
Beryciformes						
Berycidae						
* <i>Beryx splendens</i>	0.2	0.2	7.7			
Perciformes						
Percichthyidae						
<i>Doederleinia berycoides</i>	0.5	0.5	7.7	0.2	0.7	3.3
<i>Synagrops philippinensis</i>	6.6	6.6	84.6	1.0	3.4	20.0
Serranidae						
Serranidae	1.9	1.9	38.5			
Callanthiinae spp.				0.4	1.4	6.7
* <i>Epinephelus akaara</i>	0.2	0.2	7.7			
<i>Plectranthias japonicus</i>	0.7	0.7	15.4			
* <i>Plectranthias</i> spp.	0.9	0.9	7.7			
<i>Sacura margaritacea</i>	1.2	1.2	15.4			
Branchiostegidae						
* <i>Branchiostegus japonicus</i>	0.2	0.2	7.7			
Labracoglossidae						
* <i>Labracoglossa argentiventris</i>	0.2	0.2	7.7			
Carangidae						
* <i>Caranx equula</i>	0.2	0.2	7.7			
Sciaenidae						
* <i>Argyrosomus argentatus</i>	0.5	0.5	7.7			
<i>Pseudosciaena crocea</i>	0.2	0.2	7.7	0.6	2.1	3.3
Girellidae						
* <i>Girella melanichthys</i>	0.2	0.2	7.7			
Sparidae						
* <i>Dentex tumifrons</i>	0.2	0.2	7.7			
Pomacentridae						
* <i>Plectroglyphidodon leucozonus</i>	0.2	0.2	7.7			
Cepolidae						
<i>Cepola schlegeli</i>	0.5	0.5	15.4			
Labridae						
* <i>Cheilinus</i> spp.	0.3	0.3	7.7			
<i>Pseudolabrus japonicus</i>	0.7	0.7	23.1	1.6	5.5	10.0
* <i>Vyrichthys</i> spp.	0.2	0.2	7.7			

* : excluded for statistical analysis

Table 7.1. Continued.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Champsodontidae						
<i>Champsodon snyderi</i>	16.7	16.6	92.3	2.4	8.2	23.3
Gempylidae						
* <i>Nealotus tripes</i>	0.3	0.3	7.7			
Trichiuridae						
<i>Benthodesmus elognatus</i>	0.8	0.8	15.4			
<i>Trichiurus lepturus</i>	2.1	2.1	38.5			
Centrolophidae						
* <i>Psenes pellucidus</i>	0.2	0.2	7.7			
Gobiidae						
Gobiidae	11.3	11.2	92.3	3.4	11.7	36.7
Percophidae						
<i>Spinapsaron</i> spp.	3.0	3.0	30.8	0.1	0.3	3.3
Uranoscopidae						
<i>Gnathagnus elongatus</i>	0.5	0.5	15.4			
Zoarcidae						
*Zoarcidae	0.3	0.3	7.7			
Scorpaeniformes						
Scorpaenidae						
<i>Sebastes</i> spp.	0.7	0.7	15.4			
<i>Sebastes marmoratus</i>	1.4	1.4	23.1	4.1	14.1	16.7
Scorpaenidae	0.5	0.5	15.4			
Aploactinidae						
<i>Erisphex potti</i>				1.2	4.1	10.0
Hexagrammidae						
* <i>Hexagrammos agrammus</i>				0.2	0.7	3.3
Platycephalidae						
*Platycephalidae	0.2	0.2	7.7			
Triglidae						
<i>Lepidotrigla</i> spp.	0.9	0.9	15.4			
Gobiesociformes						
Callionymidae						
Callionymidae	1.5	1.5	38.5	0.6	2.1	13.3
Pleuronectiformes						
Bothidae						
<i>Tosarhombus</i> spp.	1.0	1.0	23.1			
* <i>Crossorhombus kobensis</i>	0.2	0.2	7.7			
* <i>Engyprosodon</i> spp.	0.2	0.2	7.7			
Pleuronectidae						
* <i>Tanakius kitaharai</i>	0.2	0.2	7.7			
Soleidae						
*Soleidae	0.5	0.5	7.7			
Cynoglossidae						
* <i>Cynoglossus joyneri</i>	0.2	0.2	7.7			
Total	100.6	100.0		29.1	100.0	
Number of species		74			22	
Number of stations		13			30	

* : excluded for statistical analysis

Table 7.2. Descriptive statistics for environmental variables of 43 sampling stations in the study area, and results of canonical correlation analysis of species association obtained by cluster analysis. Pooled within canonical structure between the canonical variables and the environmental variables selected by STEPDISC PROCEDURE in SAS.

Variables (Depth)	Ranges		Mean		Pooled within Canonical structure	Standardized canonical coefficients
	Group I	Group II	Group I	Group II		
Temperature(°C)						
(0 m)	18.77 - 20.91	13.89 - 20.11	20.01 ± 0.53	16.90 ± 1.64		
(10m)	18.78 - 20.93	13.85 - 20.11	20.02 ± 0.54	16.98 ± 1.61	0.857168	5.30363
(20m)	18.78 - 20.94	13.79 - 20.10	20.02 ± 0.54	17.12 ± 1.60		
(30m)	18.77 - 20.95	13.41 - 20.11	19.95 ± 0.51	17.24 ± 1.70	0.725397	-3.31909
Salinity (%)						
(0 m)	33.94 - 34.58	31.28 - 34.50	34.43 ± 0.16	32.83 ± 1.15	0.643765	-3.11648
(10m)	34.35 - 34.57	31.27 - 34.50	34.48 ± 0.06	32.88 ± 1.12		
(20m)	34.36 - 34.57	31.31 - 34.50	34.48 ± 0.06	33.00 ± 1.09	0.627380	1.94729
(30m)	34.31 - 34.57	31.59 - 34.51	34.47 ± 0.08	33.14 ± 1.06		
Dissolved oxygen (mg/L)						
(0 m)	5.00 - 5.20	4.90 - 5.90	5.09 ± 0.08	5.48 ± 0.31		
(10m)	5.00 - 5.20	5.00 - 5.90	5.07 ± 0.06	5.47 ± 0.29		
(20m)	5.00 - 5.20	4.90 - 6.10	5.08 ± 0.08	5.38 ± 0.31		
(30m)	4.90 - 5.20	4.90 - 5.80	5.06 ± 0.08	5.32 ± 0.31	-0.389850	-0.71057
Chlorophyll a (ug/L)						
(0 m)	0.65 - 1.44	0.58 - 2.49	0.89 ± 0.21	1.44 ± 0.63		
(10m)	0.64 - 1.08	0.66 - 2.49	0.87 ± 0.15	1.37 ± 0.52		
(20m)	0.62 - 1.13	0.69 - 2.49	0.84 ± 0.16	1.31 ± 0.57		
(30m)	0.66 - 1.12	0.40 - 2.70	0.87 ± 0.16	1.22 ± 0.60		
Canonical correlation			0.770216			
Likelihood ratio			0.406767 (p ≤ 0.001)			

Table 7.3. Classification summary derived from discriminant model used to predict species association group in the study area, based on five environmental variables.

Original classification Group	Cross-validation classification group		Total	Number correct(%)
	Group I	Group II		
Group I	12	1	13	12 (92.3)
Group II	4	26	30	26 (86.7)
Total	16	27	43	38 (88.4)

Table 7.4. Mean abundance (N : no./10m²), relative percentage(%), and frequency(F) of larval fish at each station group in August, 1993

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Clupeiformes						
Clupeidae						
<i>Spratelloides gracilis</i>				0.6	-	6.1
<i>Etrumeus teres</i>	28.3	0.6	57.1	1.8	0.1	15.2
Engraulidae						
<i>Engraulis japonicus</i>	3,870.3	85.7	100.0	2,759.1	83.6	100.0
Anguilliformes						
Dysommataidae						
* <i>Dysomma</i> sp.				0.6	-	3.0
Ophichthidae						
Ophichthidae	18.5	0.4	71.4	0.2	-	3.0
Salmoniformes						
Argentinidae						
* <i>Glossanodon semifasciatus</i>				0.2	-	3.0
Gonostomatidae						
* <i>Cyclothone</i> sp.				0.2	-	3.0
* <i>Maurolicus muelleri</i>	189.6	4.2	42.9	318.3	9.6	48.5
*Gonostomatidae	0.4	-	7.1			
Melanostomiidae						
* <i>Melanostomias</i> sp.	0.4	-	7.1			
Myctophiformes						
Synodontidae						
* <i>Saurida elongata</i>				0.3	-	3.0
* <i>Saurida gracilis</i>	0.6	-	7.1			
<i>Synodus macrops</i>	2.0	-	14.3			
<i>Synodus variegatus</i>	0.9	-	14.3			
* <i>Synodus</i> sp.	0.5	-	7.1			
<i>Saurida undosquamis</i>	10.4	0.2	28.6	0.2	-	3.0
<i>Saurida wanieso</i>	0.7	-	7.1	0.6	-	3.0
<i>Saurida</i> sp.	1.2	-	21.4			
*Synodontidae	0.8	-	7.1			
Myctophidae						
* <i>Benthoosema</i> sp.				0.2	-	3.0
<i>Hygophum proximum</i>				0.6	-	6.1
<i>Hygophum</i> sp.	0.7	-	7.1	0.4	-	3.0
<i>Benthoosema pterotum</i>	2.3	0.1	21.4			
<i>Lampadena</i> sp.	0.5	-	7.1	0.3	-	3.0
* <i>Ceratoscopelus warmingi</i>				0.2	-	3.0
* <i>Diaphus</i> sp.				0.2	-	3.0
Myctophidae				1.9	0.1	6.1
Paralepididae						
* <i>Lestidium atlanticum</i>	0.4	-	7.1			
Belontiiformes						
Hemiramphidae						
* <i>Hyporhamphus</i> sp.				0.3	-	3.0
Exocoetidae						
* <i>Cypselurus hiraii</i>	0.9	-	7.1			
Syngnathiiformes						
Syngnathidae						
* <i>Syngnathus schlegeli</i>				0.2	-	3.0
* <i>Trachyrhamphus</i> sp.	0.4	-	7.1			

- : < 0.1%, * : excluded from a faster cluster analysis

Table 7.4. Continued.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Gadiformes						
Moridae						
* <i>Laemonema nana</i>				0.2	-	3.0
Bregmacerotidae						
<i>Bregmaceros neonectabanus</i>	6.1	0.1	14.3			
* <i>Bregmaceros arabicus</i>				0.2	-	3.0
<i>Bregmaceros</i> sp.*	8.8	0.2	42.9	3.9	0.1	18.2
Ophidiiformes						
Ophidiidae						
* <i>Neobythites sivicola</i>				0.3	-	3.0
*Ophidiidae	0.5	-	7.1			
Perciformes						
Sphyracnidae						
<i>Sphyracna pinguis</i>	17.1	0.4	78.6	6.6	0.2	21.2
Percichthyidae						
* <i>Synagrops philippinensis</i>	0.8	-	7.1			
Serranidae						
* <i>Epinephelus</i> sp.				0.2	-	3.0
<i>Callanthias japonicus</i>				0.8	-	9.1
*Serranidae	0.5	-	7.1			
Priacanthidae						
* <i>Priacanthus macracanthus</i>	0.6	-	7.1			
* <i>Priacanthus</i> sp.	0.4	-	7.1			
Apogonidae						
<i>Apogon</i> sp.	2.5	0.1	14.3	2.2	0.1	12.1
Sillaginidae						
<i>Sillago japonica</i>	2.9	0.1	21.4	8.4	0.3	30.3
<i>Sillago</i> sp.	0.6	-	7.1	0.5	-	3.0
Branchiostegidae						
<i>Branchiostegus japonicus</i>	12.1	0.3	42.9	0.4	-	6.1
Carangidae						
<i>Trachurus japonicus</i>	13.0	0.3	64.3	0.9	-	6.1
<i>Decapterus muroadsi</i>	0.5	-	7.1	1.4	-	6.1
* <i>Decapterus</i> sp.	0.3	-	7.1			
<i>Caranx</i> sp.	4.7	0.1	21.4	2.9	0.1	9.1
Carangidae	6.1	0.1	35.7	0.7	-	9.1
Coryphaenidae						
<i>Coryphaena hippurus</i>	1.4	-	21.4	0.6	-	6.1
Leiognathidae						
<i>Leiognathus nuchalis</i>	2.8	0.1	28.6	1.7	0.1	15.2
Leiognathidae	0.4	-	7.1	2.4	0.1	3.0
Sciaenidae						
<i>Argyrosomus argentatus</i>				0.4	-	6.1
<i>Nibea albiflora</i>				2.2	0.1	12.1
<i>Nibea</i> sp.				0.5	-	6.1
Mullidae						
<i>Upeneus bensasi</i>	3.7	0.1	28.6	0.2	-	3.0
Mullidae	8.6	0.2	35.7	3.1	0.1	18.2
Kyphosidae						
<i>Kyphosus cinerascens</i>	3.1	0.1	14.3	0.7	-	3.0
Lutjanidae						
<i>Lutjanus vitta</i>	1.4	-	14.3	0.3	-	3.0
<i>Lutjanus</i> sp.	0.9	-	14.3			

- : < 0.1%. * : excluded from a faster cluster analysis

Table 7.4. Continued.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Pomadasyidae						
<i>Parapristipoma trilineatum</i>	23.1	0.5	78.6	4.1	0.1	18.2
Teraponidae						
<i>Rhyncopelatus oxyrhynchus</i>	4.6	0.1	21.4	0.3	-	3.0
Nemipteridae						
* <i>Nemipterus bathybius</i>	0.5	-	7.1			
*Nemipteridae	0.4	-	7.1			
Sparidae						
* <i>Evynnis</i> sp.				0.3	-	3.0
* <i>Pagrus major</i>				0.9	-	3.0
Sparidae	1.4	-	7.1	0.2	-	3.0
Lethrinidae						
<i>Lethrinus nematacanthus</i>	10.1	0.2	50.0	1.0	-	12.1
Pomacentridae						
<i>Chromis notatus</i>	1.9	-	14.3	1.7	0.1	12.1
Pomacentridae	19.9	0.4	71.4	23.5	0.7	30.3
Cepolidae						
* <i>Cepola schlegeli</i>	0.3	-	7.1			
Labridae						
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	0.4	-	7.1	3.2	0.1	18.2
<i>Halichoeres</i> sp.	7.8	0.2	21.4	3.3	0.1	24.2
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	22.9	0.5	35.7	2.3	0.1	15.2
Labridae	13.9	0.3	57.1	4.5	0.1	33.3
Champsodontidae						
<i>Champsodon snyderi</i>	4.4	0.1	50.0	1.0	-	9.1
Scombridae						
<i>Scomber japonicus</i>	0.4	-	7.1	0.7	-	3.0
* <i>Scomber</i> sp.	1.6	-	7.1			
* <i>Scomberomorus niphonius</i>				0.2	-	3.0
<i>Scomberomorus</i> sp.	5.1	0.1	35.7	0.7	-	9.1
* <i>Auxis thazard</i>	6.0	0.1	7.1			
<i>Auxis</i> sp.	8.8	0.2	35.7	7.8	0.2	21.2
* <i>Thunnus</i> sp.				0.3	-	3.0
Scombridae	4.9	0.1	7.1	1.5	-	6.1
Trichiuridae						
<i>Trichiurus lepturus</i>	5.9	0.1	21.4	1.5	-	9.1
Siganidae						
<i>Siganus fuscus</i>	3.2	0.1	28.6	0.2	-	3.0
* <i>Siganus</i> sp.	0.4	-	7.1			
Cetrolophidae						
* <i>Icichthys lockingtoni</i>	0.4	-	7.1			
Cetrolophidae						
<i>Psenopsis anomala</i>	2.1	-	14.3	0.3	-	3.0
Gobiidae						
* <i>Ctenotryphauchen microcephalus</i>				0.8	-	3.0
Gobiidae	19.2	0.4	78.6	13.7	0.4	45.5
Percophidae						
<i>Spinapsaron</i> sp.	2.5	0.1	28.6			
Mugiloididae						
<i>Parapercis sexfasciatus</i>	1.4	-	7.1	1.3	-	3.0
<i>Parapercis snyderi</i>	18.6	0.4	64.3	2.8	0.1	24.2
* <i>Parapercis pulchella</i>				0.2	-	3.0
* <i>Parapercis</i> sp.				0.3	-	3.0

- : < 0.1%, * : excluded from a faster cluster analysis

Table 7.4. Continued.

Species / Group	Group I			Group II		
	N	%	F(%)	N	%	F(%)
Trichonotidae						
* <i>Trichonotus filamentosus</i>	0.4	-	7.1			
Tripterygiidae						
* <i>Enneapterygius theostomus</i>				0.3	-	3.0
Blennidae						
<i>Pictiblennius yatabei</i>	0.4	-	7.1	0.2	-	3.0
<i>Scartella cristata</i>	0.4	-	7.1	0.4	-	3.0
* <i>Petroscirtes breviceps</i>				0.2	-	3.0
Blennidae				0.7	-	6.1
Scorpaeniformes						
Scorpaenidae						
Scorpaenidae	3.4	0.1	35.7	0.2	-	3.0
Synanceiidae						
<i>Minous monodactylus</i>	5.2	0.1	35.7	1.9	0.1	12.1
Congiopodidae						
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	5.6	0.1	42.9	20.1	0.6	36.4
Platycephalidae						
<i>Platycephalus indicus</i>	0.4	-	7.1	1.7	0.1	12.1
Platycephalidae	0.9	-	14.3			
Hoplichthyidae						
* <i>Hoplichthys</i> sp.				0.2	-	3.0
Triglidae						
<i>Lepidotrigla</i> sp.	4.9	0.1	21.4	0.2	-	3.0
Callionymidae						
Callionymidae	11.9	0.3	57.1	33.6	1.0	63.6
Pleuronectiformes						
Paralichthyidae						
<i>Pseudorhombus penthepthalmus</i>	1.6	-	21.4	6.4	0.2	27.3
Paralichthyidae	1.2	-	14.3	0.2	-	3.0
Bothidae						
<i>Engyprosopon</i> sp.	2.9	0.1	21.4			
Bothidae	0.5	-	7.1	0.2	-	3.0
Pleuronectidae						
* <i>Samaris</i> sp.	0.4	-	7.1			
* <i>Samariscus latus</i>				0.3	-	3.0
Pleuronectidae				0.7	-	9.1
Cynoglossidae						
<i>Cynoglossus</i> sp.	3.0	0.1	35.7	3.8	0.1	24.2
Tetraodontiformes						
Monacanthidae						
* <i>Rudarius ercodes</i>	0.4	-	7.1			
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	2.4	0.1	21.4	1.1	-	12.1
*Unidentified spp.	47.6	1.1	92.9	21.3	0.6	51.5
Total	4,515.2	100.0		3,300.4	100.0	
Number of species	92			92		
Number of stations	14			33		

- : < 0.1%, * : excluded from a faster cluster analysis

Table 7.5. Descriptive statistics for environmental variables of 46 sampling stations in the study area and results of canonical correlation analysis of species association obtained by cluster analysis. Pooled within canonical structure between the canonical variables and the environmental variables in August 1993.

Variables (Depth)	Range		Mean		Pooled within canonical structure	Standardized canonical coefficients
	Group I	Group II	Group I	Group II		
Dissolved oxygen (mg/ℓ)						
(0 m)	4.98~5.63	4.18~5.69	5.18 ± 0.20	5.19 ± 0.29		
(10 m)	4.66~5.73	4.74~5.83	5.10 ± 0.24	5.20 ± 0.23		
(20 m)	4.80~5.28	4.66~5.71	5.08 ± 0.12	5.17 ± 0.24		
(30 m)	4.56~5.24	4.70~5.59	4.98 ± 0.22	5.07 ± 0.21		
(50 m)	3.95~5.02	4.21~5.30	4.53 ± 0.32	4.71 ± 0.28	-0.290853	-0.49312
Chlorophyll a (μℓ/ℓ)						
(0 m)	0.02~0.18	0.01~1.59	0.08 ± 0.06	0.14 ± 0.29		
(10 m)	0.02~0.22	0.01~0.40	0.07 ± 0.05	0.10 ± 0.09		
(20 m)	0.02~0.15	0.01~0.30	0.07 ± 0.04	0.10 ± 0.07		
(30 m)	0.01~0.16	0.01~0.43	0.07 ± 0.04	0.11 ± 0.08		
(50 m)	0.01~0.17	0.01~0.18	0.05 ± 0.04	0.06 ± 0.04	-0.214400	0.68991
Temperature (°C)						
(0 m)	21.80~24.41	20.57~25.34	23.17 ± 0.76	22.53 ± 1.30		
(10 m)	21.64~24.41	19.64~25.34	23.11 ± 0.83	22.01 ± 1.52		
(20 m)	21.35~23.71	18.68~24.82	22.25 ± 0.73	21.24 ± 1.59		
(30 m)	19.62~22.65	16.12~23.17	21.31 ± 0.82	20.00 ± 1.73		
(50 m)	15.69~20.88	11.05~20.75	18.86 ± 1.19	16.99 ± 2.34	0.253026	-0.98807
Salinity (‰)						
(0 m)	31.21~33.36	29.94~33.82	32.74 ± 0.66	32.79 ± 0.80		
(10 m)	32.23~33.59	31.60~33.89	33.06 ± 0.34	33.02 ± 0.59		
(20 m)	32.97~33.96	32.18~34.01	33.48 ± 0.31	33.31 ± 0.44		
(30 m)	33.16~34.35	32.76~34.30	33.76 ± 0.36	33.63 ± 0.38		
(50 m)	33.75~34.66	33.34~34.63	34.28 ± 0.32	34.18 ± 0.32	-0.032899	-0.73313
Canonical correlation I			0.711252		0.032805	-1.58521
Likelihood Ratio			0.494121 (p ≤ 0.0008)		0.191045	3.27775
					0.153732	-0.67001

Table 7.6. Classification summary from discriminant model used to predict species association group in the study area, based nine environmental variables.

Original classification Group	Cross-validation classification group		Total	Number correct(%)
	Group I	Group II		
Group I	13	1	14	13 (92.9)
Group II	6	27	33	27 (81.8)
Total	19	28	47	40 (85.1)

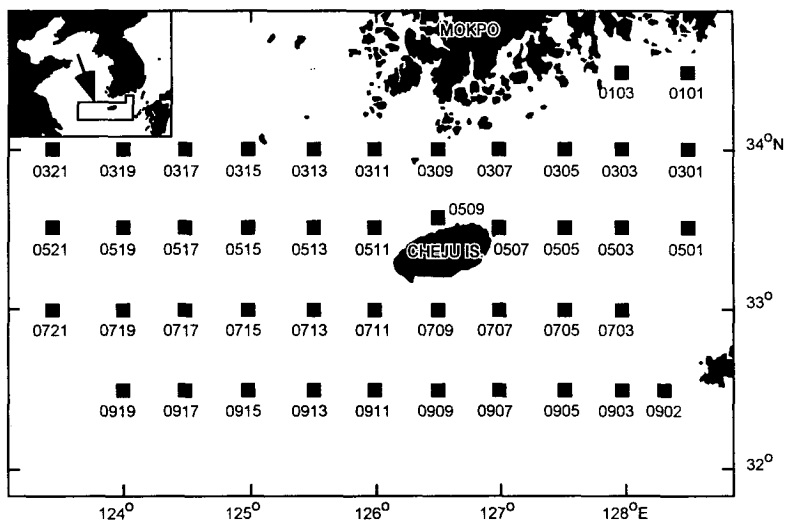


Fig. 7.1. Map showing the sampling stations in the sea around Cheju Island.

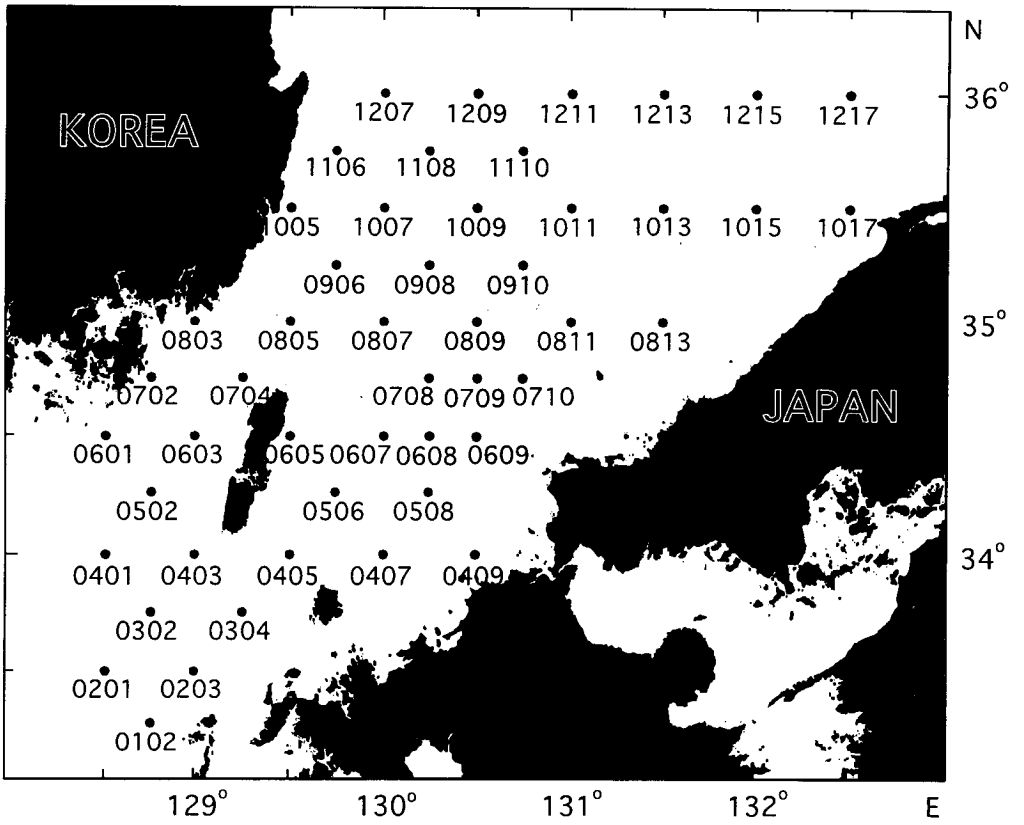


Fig. 7.2. Map showing the sampling stations in the southern part of the East Sea.

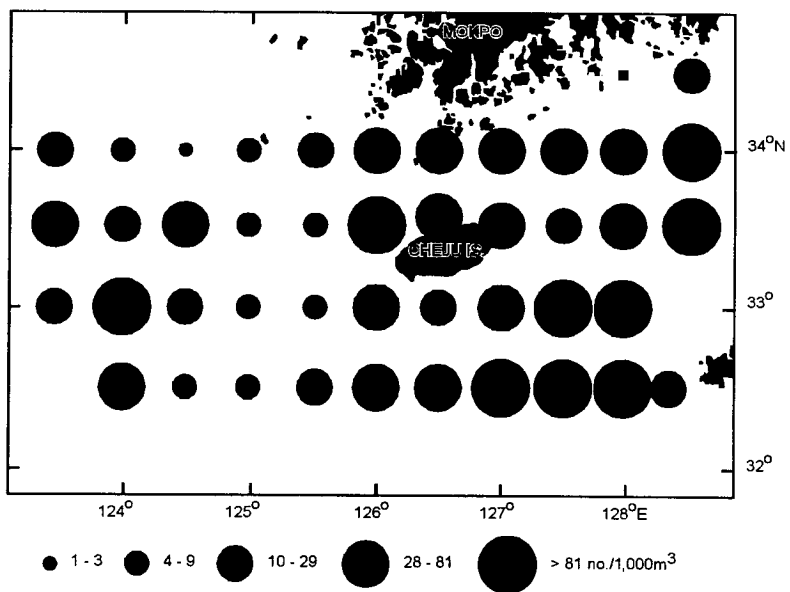


Fig. 7.3. Distribution of the total fish larvae abundance in the study area.

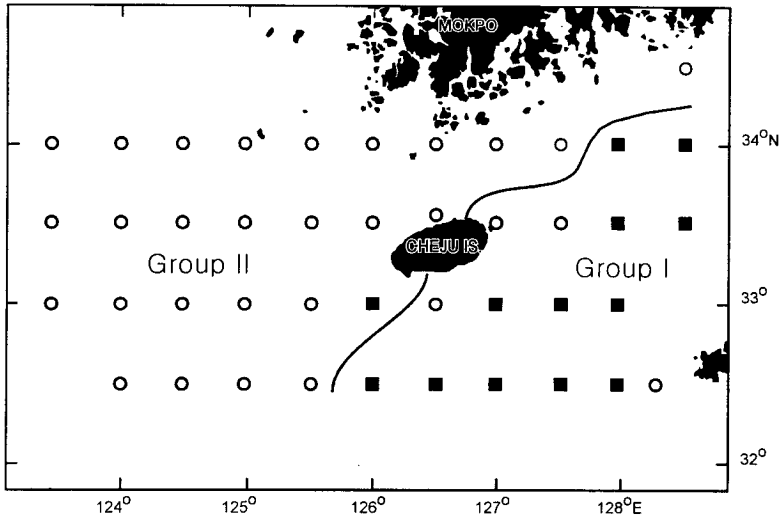


Fig. 7.4. Geographic distribution of 43 sampling stations classified into two groups by discriminant analysis using the five environmental variables (Table 7.2). Dark square (group I) and open circle (group II) designate the two species assemblage by cluster analysis of 41 fish larvae taxa (Table 7.1).

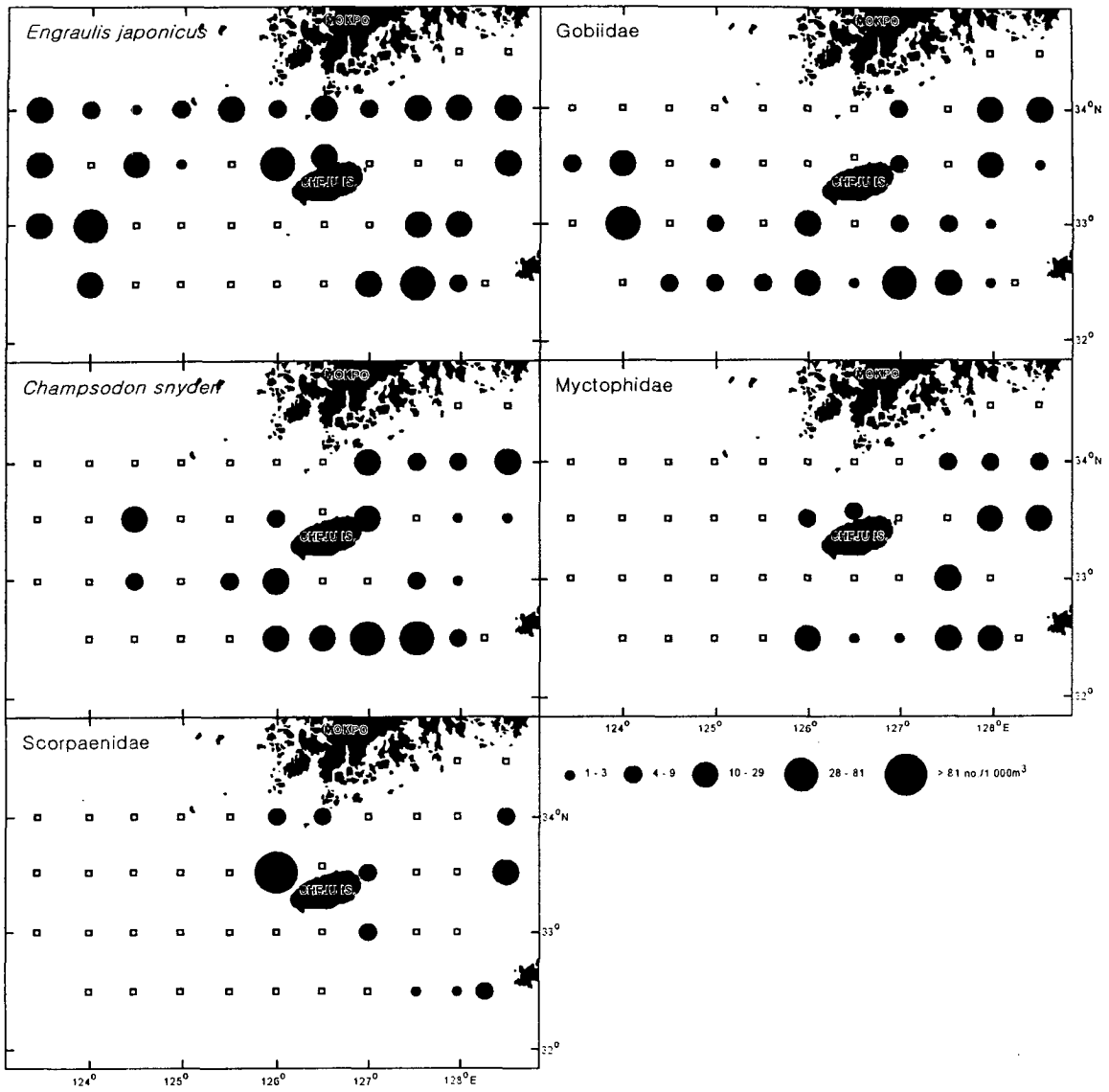


Fig. 7.5. Distribution of the dominant fish larvae in the study area.

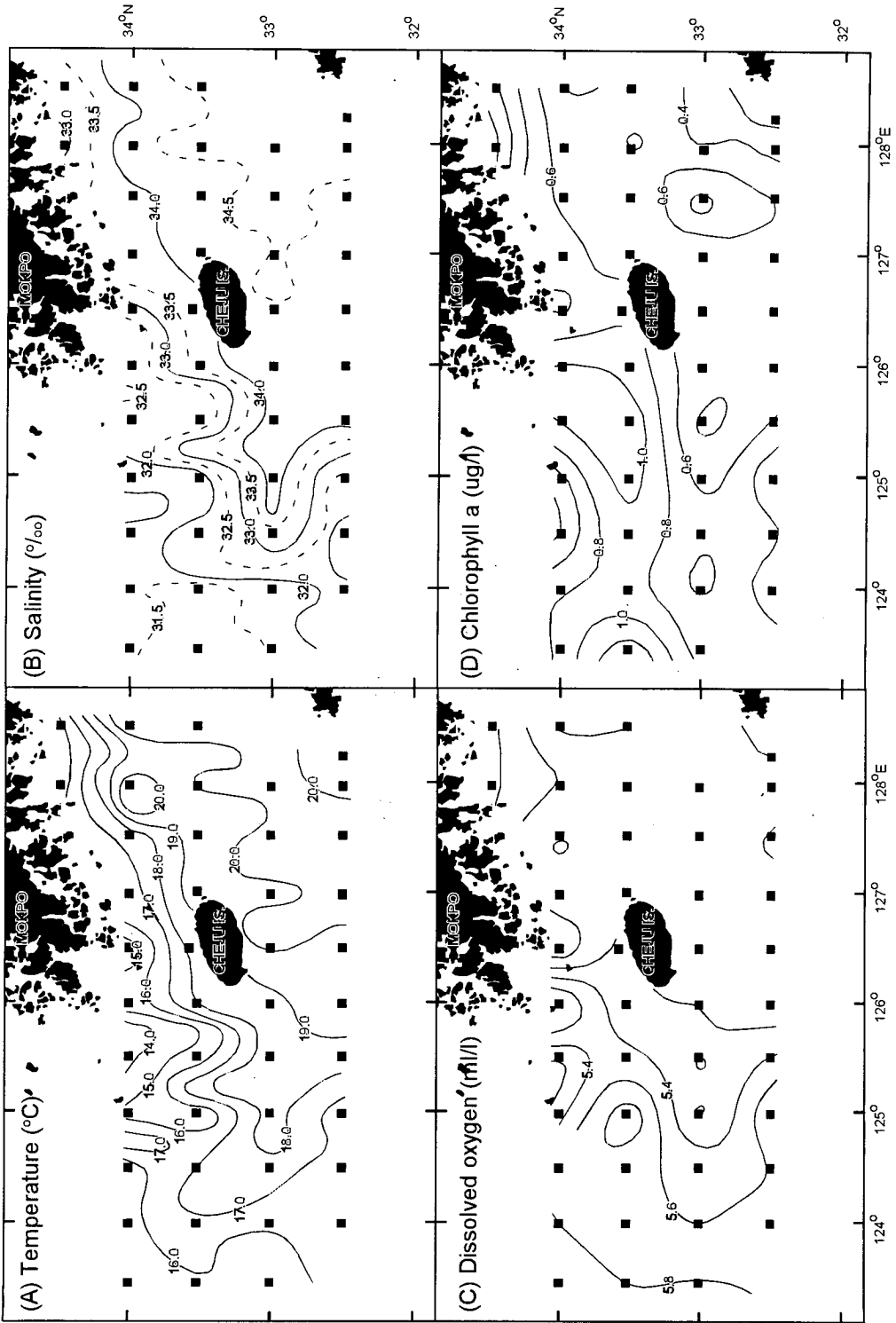


Fig. 7.6. Environmental conditions (temperature, salinity, dissolved oxygen, and chlorophyll a) in the study area(cited from KORDI, 1987).

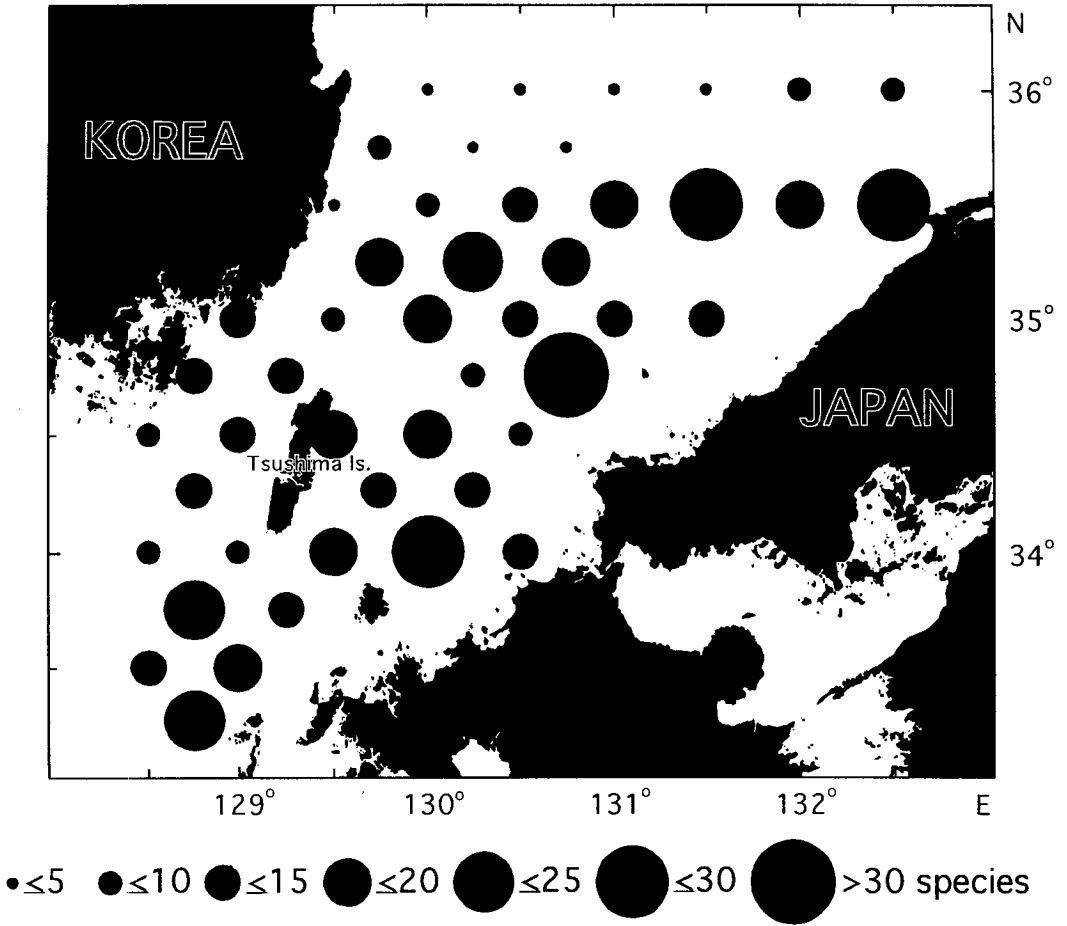


Fig. 7.7. Distribution of the number of larval fish species captured at each stations in the study area.

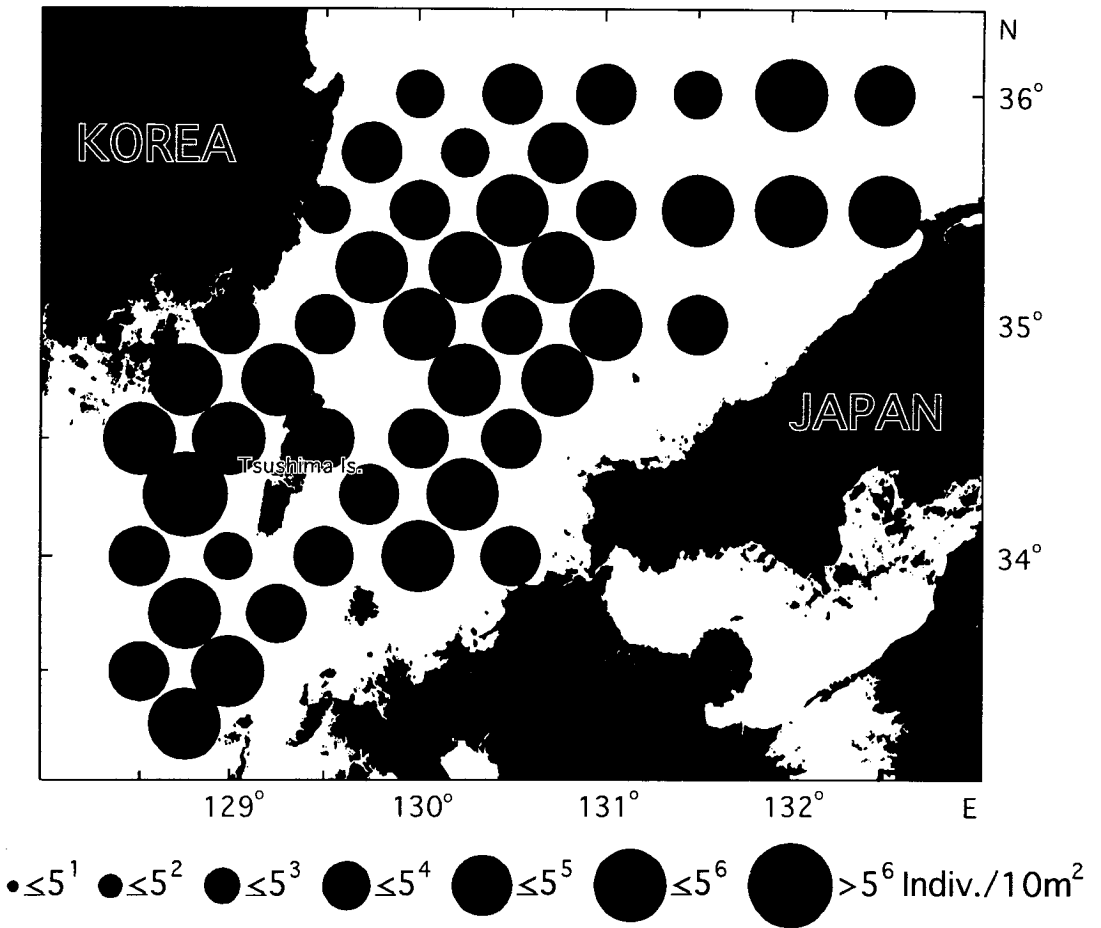


Fig. 7.8. Distribution of the total fish larvae abundance in the study area.

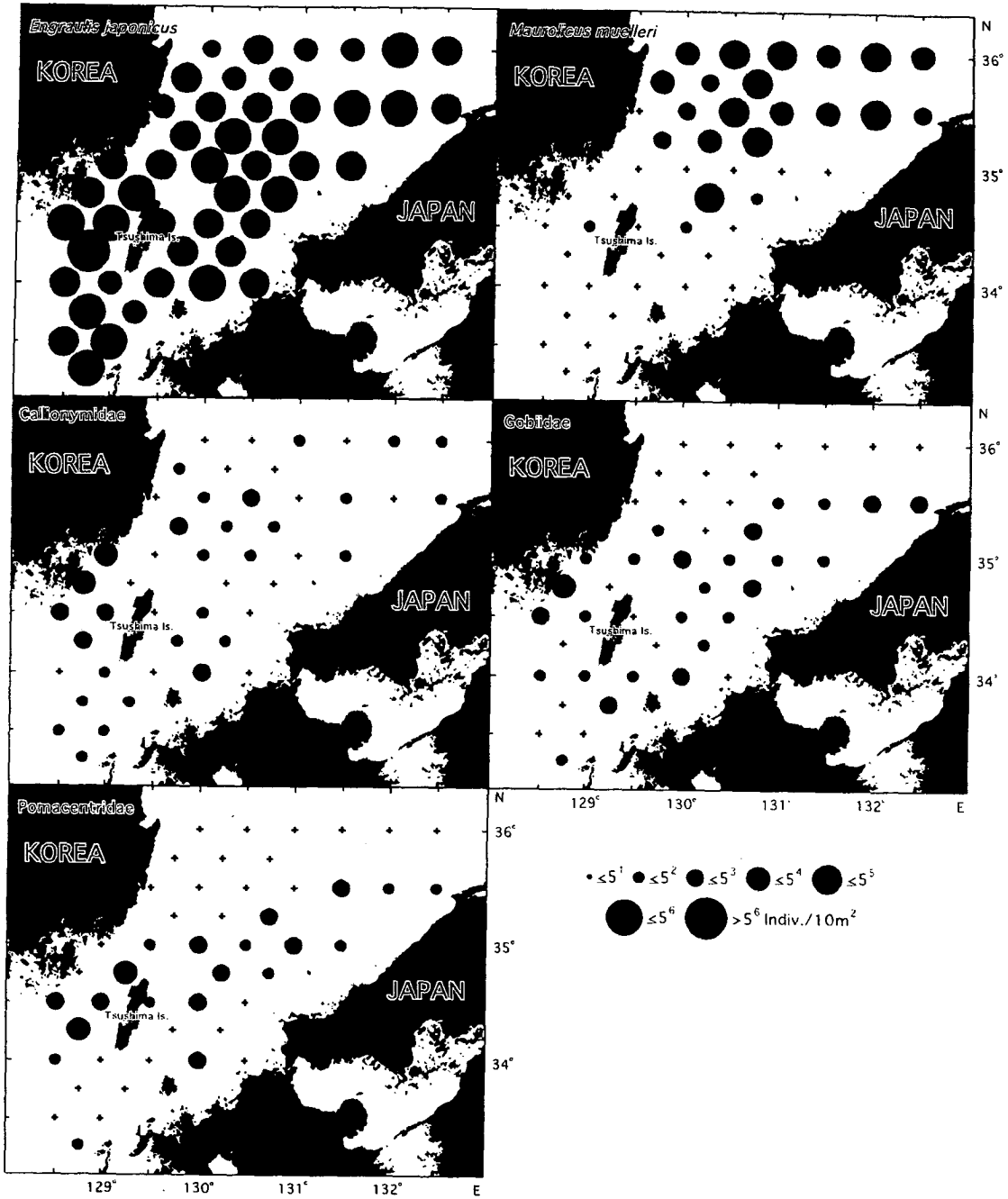


Fig. 7.9. Distribution of the dominant fish larvae in the study area.

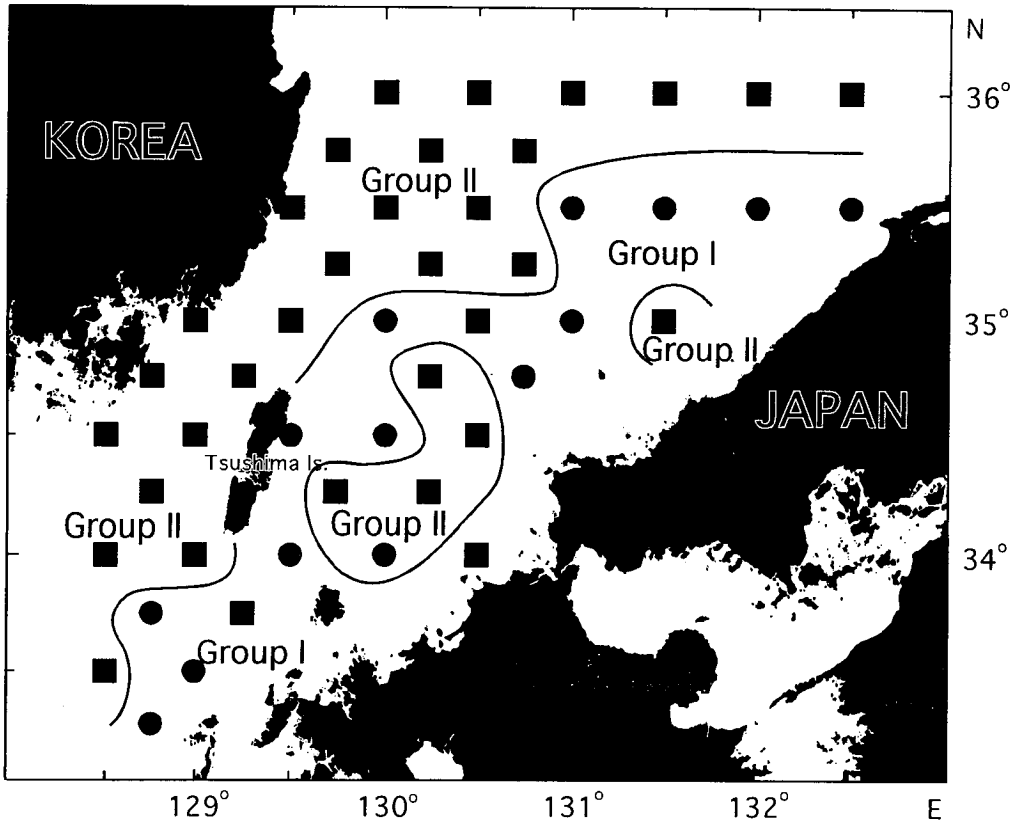


Fig. 7.10. Geographic distribution of 47 sampling stations classified into Group I and II based on the species association group (dark circles : Group I, dark square : Group II) using 76 larval fish species (Table 7.4).

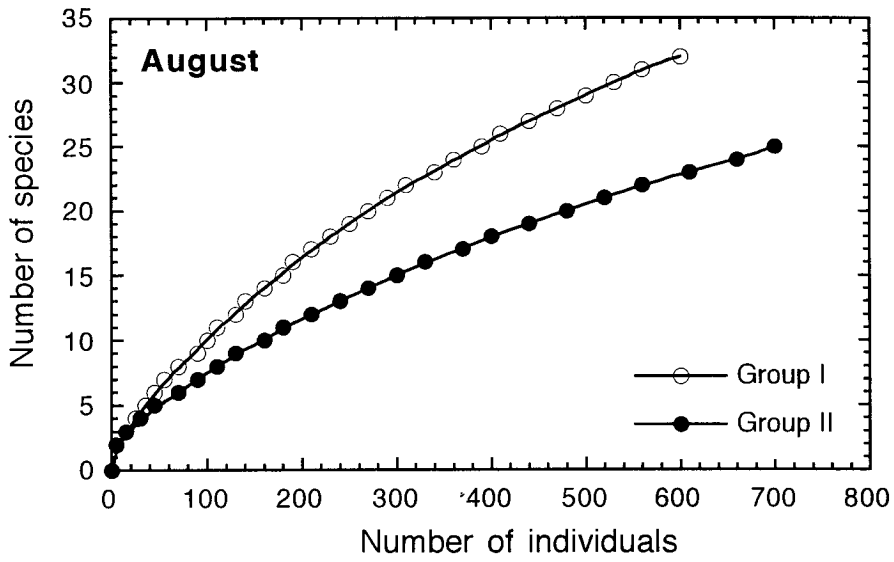


Fig. 7.11. Rarefaction curves for each station groups in the study area.

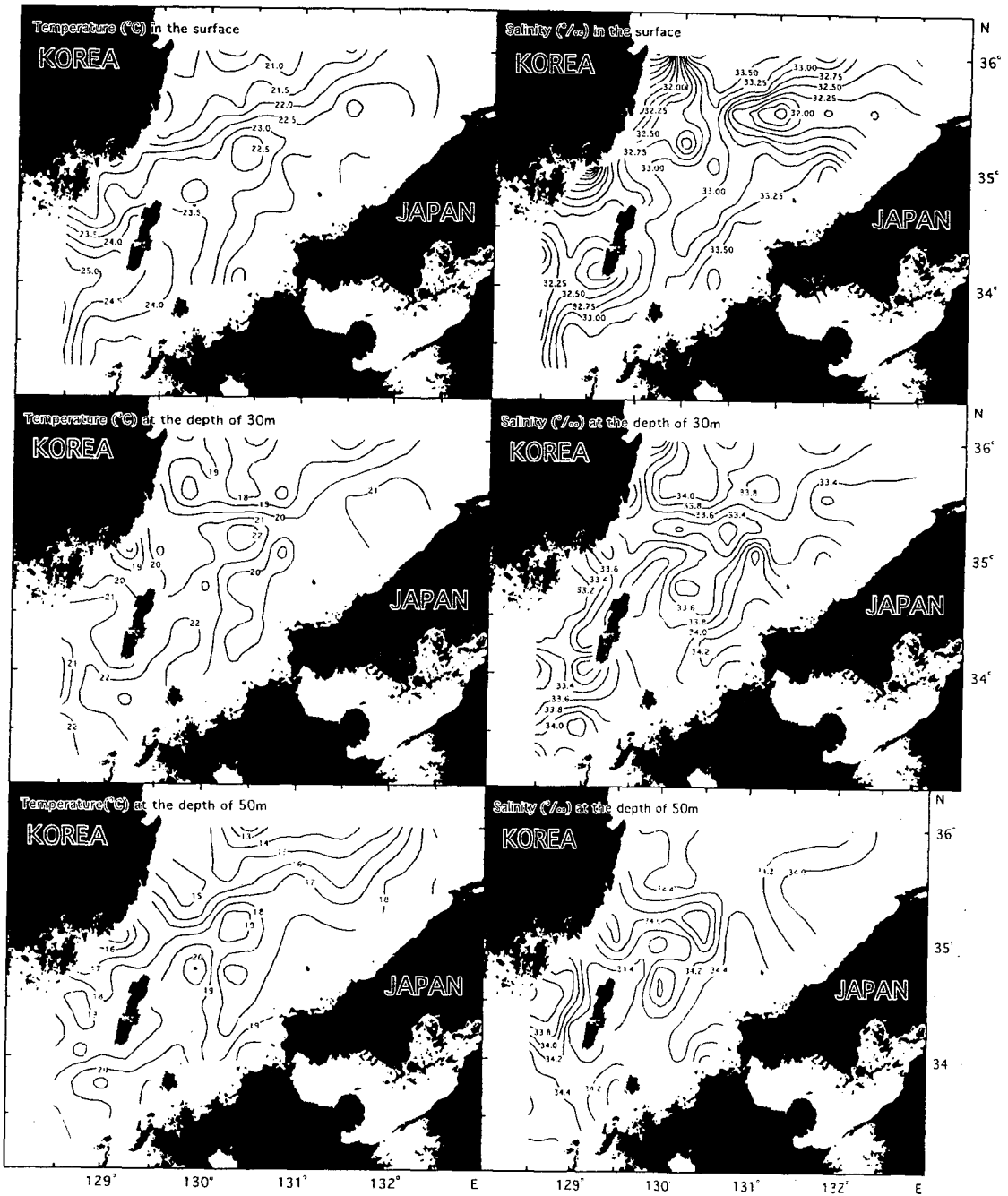


Fig. 7.12. Distribution of four environmental variables in the surface, 30 m and 50 m depth layer in the study area(cited from KORDI, 1994).

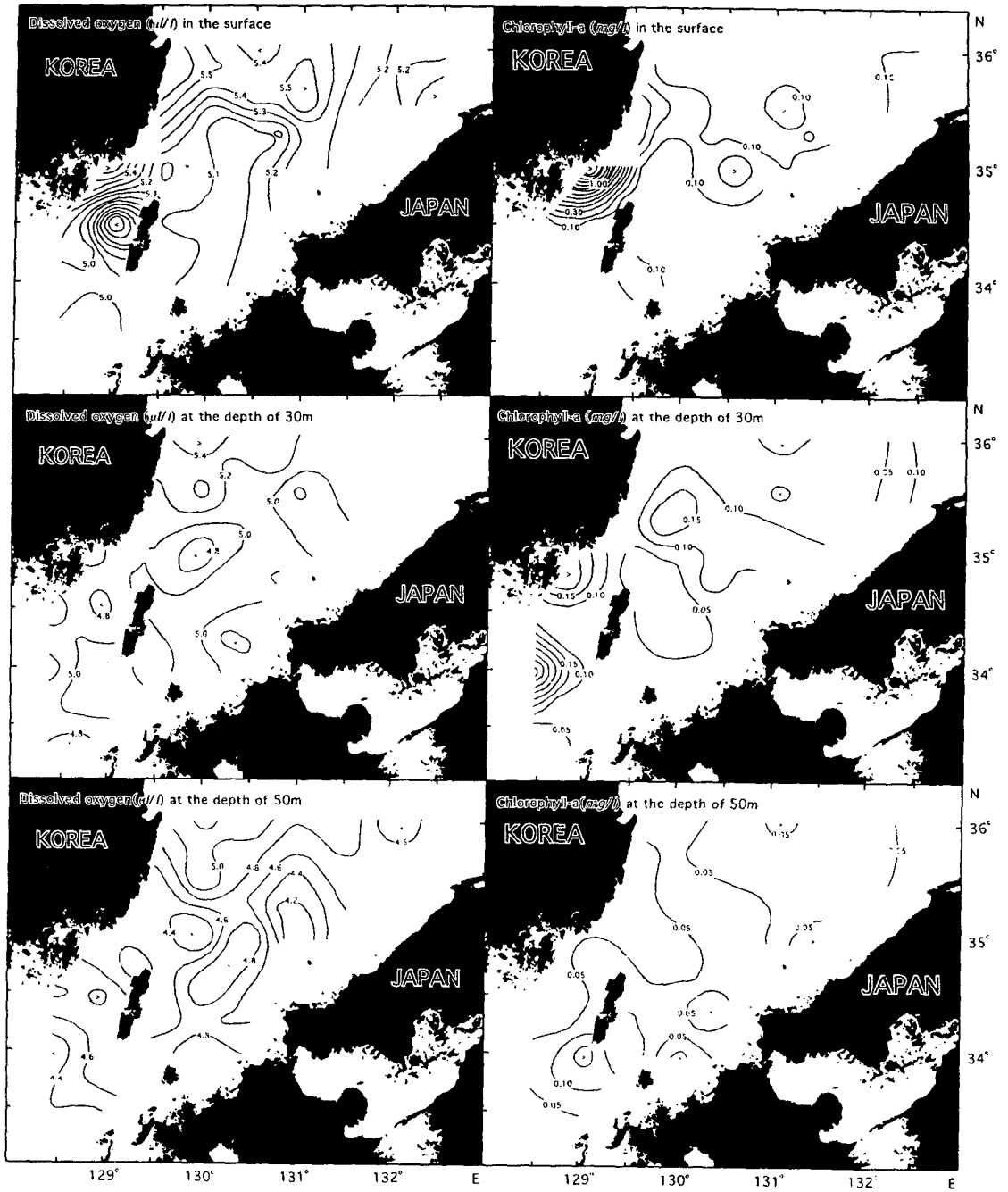


Fig. 7.12. Continued.

제 8 장

결 론

제 8 장 결 론

진도와 제주사이의 제주해협과 부산과 일본의 대마도 사이의 대한해협을 망라하는 제주도이북의 남해대륙붕 해역은 황해와 동중국해수가 제주해협을 거쳐 동해로 연결되는 길목에 위치하고 동향의 제주해류 지배해역이다. 제주해류는 제주난류와 제주한류로 남북으로 위치하여 전선을 이루고 있다. 또한 남해는 한반도로부터 육상기원물질 및 폐기물이 낙동강과 섬진강 등 하천과 해안선을 통하여 대량 유입되는 해역이다. 따라서 남해 대륙붕은 해류지배해역 해양과정과 육상기원 물질 지배 해역 해양과정이 혼재하는 해역으로 학문적으로 매우 흥미있는 해역이다. 또한 냉대성과 아열대성의 생물종이 혼재하는 해역으로 생물화학특성자원의 개발가능성이 높은 해역이다. 한편 남해 대륙붕은 남해안의 긴 리아스식 해안선과 수많은 도서가 존재하여 양식어장, 대규모 항만, 대단위 공업단지 등이 밀집되어 우리나라 경제에서 차지하는 비중이 매우 높다. 집중적인 경제활동의 결과 적조발생 및 유류유출 등 해양재해 다발 해역이다. 남해에서 빈번하게 발생하는 해양재해와 해양자원에 대한 효율적인 이용과 보전을 위하여서는 분지구도의 학제적 종합연구가 필요하다. 그러나 남해 대륙붕의 지속가능 경제성장을 위한 기초적인 물질순환과 생지화학적 환경연구는 거의 수행되어지지 못하였다.

본 연구는 10년간의 장기과제로서 제주해류변동성을 포함하는 남해 대륙붕과 한반도간의 물질이동기구를 규명하고 저서생물화학특성 및 거대물질을 규명개발하여 지속가능한 남해 이용과 개발을 위한 환경보전 종합시스템을 구축하는 것을 최종목표로 한다.

최종목표를 달성하기 위한 주요 연구내용은 다음과 같다. (1) 제주해류 및 남해 해수순환변동연구, (2) 혐기성 내만환경 발달과정규명연구, (3) 대륙붕역 생지화학 플럭스 결정 주요과정연구, (4) 저서생물 생화학 특성규명, (5) 세립퇴적물이동, (6) 치자어 및 어류 군집구조연구이다.

본 1997년은 제 1 차 연도 연구사업기간으로 초기단계의 조사연구가 수행되었다. 주요연구결과는 다음과 같다. (1) ADCP 왕복관측법에 의한 제주해협 해수 수송량은 춘계와 추계에 각각 0.37과 0.67 Sv 이고 대한해협 서수도의 수송량은 추계에 1.76 Sv으로 제주해협통과해수가 약 38%를 차지한다. 남해조석모델을 개발하고 개방경계 조건을 이용한 순환 (조석 + 해류)모델을 개발하였고 이를 1997년 4월 3일 한산도 부근 해난사고로 인한

유류유출의 이동-확산 궤적을 재현함으로써 모델의 유의성을 검증하였다. (2) 진해만 등 남해안 내만의 혐기성화는 해저에 축적된 유기물이 산소 공급에 의하여 과량존재하기 때문이며 육상으로부터의 질소성분의 과다 공급에 의한 부영양화와 계절적인 성층형성으로 매년 가속되는 것으로 사료된다. (3) 남해 대륙붕역은 북쪽의 저온고물질함유수와 남쪽의 고온저물질함유수로 구분된다. 전선역간의 물질함량은 추계에는 수온약층의 발달로 식물플랑크톤 광합성에 의하여 표층에서는 영양염류는 균일하게 결핍되어있다. 제주해협 통과 물질수송량은 춘계보다 추계에 2배 가량높다. 이는 해수수송량의 약 2배 증가에 기인한다. 입자성 유기탄소와 질소, 생물기원 규소 함량 분포는 남해가 규소함유식물프랑크톤 기반 생태계임을 지시한다. 제주해협 해저의 퇴적물 축적율은 $89 \text{ mg cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ (0.09 cm yr^{-1})이고 표층 8cm 까지 혼합되어 있다. 해저퇴적물의 유기물은 주로 해양성이다. (4) 해저퇴적물과 소량해수로부터 지방산을 추출분리하는 방법을 확립하였고, 종속영양박테리아 200여 균주를 분리여 장기보관하고 있다. 유용물질인 EPA와 DHA를 30% 이상 함유한 유용물질 생산 후보 생물을 각각 1 종 (갯지렁이와 히드라충)씩 확인하였다. (5) 제주해협의 퇴적상은 약 22 cmbsf에서 (약 160년전) 급격한 변화를 보이고 있다. (6) 제주도 주변해역의 치자어 군집은 대마난류수역과 대륙붕수역으로 대별되었다. 대한해협역의 치자어 군집은 한국근해와 일본근해역으로 구분되었다.

부 록

부 록 1

1997년 3월 춘계 해양조사 일지

연구선 운항결과 보고서

선 명 : 이 이 도	항 차: 97-03	보고일자: '97년 3월 27일
연구 과세명 : 남해 대륙붕 물질순환과 생지화학 환경연구		
수 행 부 시 : 화학, 물리 연구부	연구 책임자(현 장) : 정창수 .장경일	
기 간 : '97년 3월 19일 17시 - '97년 3월 27일 09시00분 (9 일)		
조 사 해 역 : 남 해	총운항거리 : 1175 해리(2176 Km)	
인 료 관 량 :	분	정 수 관 량 :
승 선 자 (연구소 직원): 정창수 김석현 신임철 박선규 이상찬 남수용 장경일 장영석.		
김평중 김지호		
외부지원 : 오디수		
주 요 일 정		
3월 19일	1700 장목항 출항 2258 현장 도착 작업시작.	
" 20 "	계속 작업. 1000. 기상악화 작업속해 곤란. 1645. 성산포입항 대기	
" 21 "	0750 성산포항 출항 1356 현장도착 작업제게. 1946.작업중단 완도로 향함.	
	2330 연구원 하선 및 장비,시료 하역키 위해 완동입항.	
" 22 "	0750 장비,시료 하역. 연구원 정창수 외5명 하선. 연구원 장경일 승선.	
	0800 완도 출항. 1118 현장도착 작업제게.	
" 23 "	계속작업. 1300 제주부근해역 복종주의보 발효. 1311 작업중단.	
	제주항 으로 향함. 1550 제주항 입항 대기.	
" 24 "	1000 제주출항. 1218 작업제게.	
" 25 "	계속작업.	
" 26 "	"	
" 27 "	0051 작업 완료. 장목으로 향함. 0900 장목입항. 0930 구원 하선.	
첨 부 :		
연구책임자 : 정 창 수 김 석 현 신 임 철 박 선 규 이 상 찬 남 수 용 장 경 일 장 영 석		

해 양 조 사 일 지

VOY. NO. 97-03 - 1

1996년 3월 19일 요일 (음)

연구과제명		남해 대륙붕 물질 순환과 생지화학 환경 연구										
조사 내역		CTD, ADCP, 및 채수, 저질 채집										
조사 해역		남해			고 조			저 조				
승선자 (현장책임자:)												
사용기기		CTD, ADCP ROSSETTE, 130X CORE										
출항지		시간		입항지		입항 시간						
기항지		기항 시간				항정		당일		계		
ST. NO.	위 치 N E	시 작 시간	종료 시간	천루 운량	풍향	풍속 m/s	파고 m	기 압 ph	기 온 (도)	수온	수심	기 타
C 1	34-40.36'N 128-05.13'E	0258	0334	C	NE	8-10	1.0	1023	12.3		23	이동은 0.25' 채
C 2	34-39.36'N 128-04.72'E	0300	0307	C	NE	10-11	1.0	1023	12		34	
" 3	34-34.43'N 128-04.80'E	0040	0108	"	"	8-10	1.5	1023	12	-	32	
" 4	34-29.28'N 128-04.79'E	0141	0147	"	"	10-10	"	"	"		38	
" 5	34-24.29'N 128-04.79'E	0222	0252	"	"	12-14	2.0	1024	"		49	
" 6	34-19.33'N 128-04.77'E	0330	0338	"	"	11-16	2.0	1024	"		66	
" 7	34-14.33'N 128-04.86'E	0421	0448	C	"	12-14	"	1022	"		77	
" 8	34-04.35'N 128-04.85'E	0558	0633	C	"	11-13	"	"	"		87	
B10	33-54.44'N 128-03.72'E	0731	0752	"	"	10-12	"	"	"		100	
" 9	33-50.06'N 127-52.31'E	0858	0909	"	"	14-15	2.5	"	13		96	
" 8	33-46.33'N 127-51.81'E	1012	1022	"	ENE	14-16	3.0	1023	14		96	
" 7	33-42.07'N 127-50.29'E	1129	1136	"	"	13-15	"	"	16		91	
" 6	33-40.22'N 127-44.85'E	1212	1220	"	"	"	"	"	"		94	
" 5	33-38.34'N 127-19.51'E	1225	1303	"	"	"	"	"	"		98	
" 4	33-26.24'N 127-13.59'E	1341	1349	"	"	"	"	1024	18		115	
" 3	33-34.16'N 127-08.00'E	1425	1436	"	"	12-14	"	"	"		129	
" 2	33-32.01'N 127-02.12'E	1511	1523	"	"	10-12	"	"	"		129	
" 1	33-22.21'N 126-58.43'E	1656	1620	"	G	"	"	1023	"		76	
A12	33-21.53'N 126-17.53'E	1118	1125	C	SW	4-5	-	1022	16		20	
" 11	33-21.01'N 126-17.51'E	1146	1154	"	SW	"	-	1022	16		94	
" 10	33-36.19'N 126-17.75'E	1231	1307	"	"	"	0.5	1021	"		109	Box CORE
" 9	33-40.96'N 126-17.56'E	1340	1350	"	"	"	"	"	"		98	
" 8	33-46.02'N 126-17.92'E	1422	1433	"	NW	"	"	"	"		103	
" 7	33-51.01'N 126-12.21'E	1511	1518	"	WNW	(6-11)	1.0	1020	11		71	
" 6	33-55.96'N 126-17.50'E	1555	1615	"	"	"	"	"	"		42	

해양조사일지

VOY. NO. 97-03 - 2

1997년 3월 21일 요일 (음)

연구과제명		남해 대륙붕 물질 순환과 생지화학적 환경연구										
조사내역												
조사해역		남해	구조			저조						
승신자		(현장책임자:)										
사용기기		CTD, ADCP, ROSSETTE, BOX-CORE										
출항지		시간		입항지		입항시간						
기항지		기항시간		항정		당일		계				
ST. NO.	위 치 N E	시 작 시 간	종료 시 간	천후 운량	풍향	풍속 m/s	파고 m	기 압 ph	기 온 (도)	수온	수심	기 타
A5	34°-01.00N 126°-17.55E	1656	1704	C	NW	6-7	1.0	1020	11		50	
A4	34°-05.99N 126°-17.40E	1739	1804	bc	"	7-8	"	"	10		46	Box-core
A3	34°-10.99N 126°-17.40E	1839	1846	"	"	8-10	"	"	9		33	
A2	34°-16.03N 126°-17.42E	1921	1946	"	"	8-9	"	"	9		24	
3/2	1차 A3 → A7 (LINE SURVEY)	1118	1356	F	NNW	5-6	1.0	1021	15			
	2차 A7 → A3	1405	1655	F	NNW	5-6	1.5	1021	13			
	3차 A3 → A7	1703	1952	"	"	7-9	1.5	1020	11			
	4차 A7 → A3	2002	2050	"	NW	7-8	1.5	1021	11			
	5차 A3 → A7	2053	0135	"	"	"	1.0	"	8			
3/3	6차 A7 → A3	0145	0450	C	NNW	8-9	"	"	"			
	7차 A3 → A7	0457	0747	bc	N	9-11	1.0	1023	8			
	8차 A7 → A3	0752	1009	"	"	"	1.5	"	12			
	9차 A3 → A2	1032	1311	"	"	"	1.5	4	11			
3/4	1차 A7 → A12	1218	1507	"	"	4-8	1.0	1032	14			
	2차 A12 → A7	1511	1745	"	"	"	1.0	1031	16			
	3차 A7 → A12	1752	2021	"	"	"	"	"	"			
	4차 A12 → A7	2025	2305	C	NNW	"	"	"	8			
	5차 A7 → A12	2316	0153	bc	"	"	"	"	"			
3/5	1차 A12 → A7	0159	0440	"	"	"	"	"	"			
	2차 A7 → A12	0444	0735	"	N	5-7	"	1030	8			
	3차 A12 → A7	0738	1017	"	NW	"	"	"	9			
	4차 A7 → A12	1021	1305	"	"	"	"	1030	18			
3/12	1차 B1 → B7	1627	1914	C	SW	1-3	0.5	1027	15			(B1: 33°-31.2'N 126°-59.4'E)
	2차 B7 → B1	1918	2206	C	WSW	6-7	"	1027	12			(B7: 33°-42.5'N 126°-32.6'E)
	3차 B7 → B3	2209	0108	"	WSW	"	1.0	"	11			

해양조사일지

VOY. NO. 97-03-3

1997년 3월 26일 요일 (음)

연구과제명													
조사내역													
조사해역		고 조				저 조							
승선자		(현장책임자:)											
사용기기													
출항지		시 간				입항지				입항시간			
기항지		기항시간				항정당일				계			
ST. NO.	위 치 N E	시 작 시 간	종 료 시 간	천후 운량	풍향	풍속 m/s	파고 m	기 압 ph	기 온 (도)	수온	수심	기 타	
4차	B7 → B1	0115	0418	C	NW	8-10	1.0	1027	11				
5차	B1 → B7	0423	0720	R	"	"	"	1028	10.5				
6차	B1 → B1	0725	1038	R	NW	3-5	"	"	11				
7차	B1 → B7	1041	1350	"	NW	6-7	"	1028	11				
8차	B7 → B1	1357	1710	"	"	"	"	1026	11				
B1	33°-31.36'N 128°-59.62'E	1715	1728	bc	WNW	8-10	1.5	1025	12		128		
B2	33°-32.02'N 127°-02.16'E	1746	1759	"	"	"	"	"	12		128		
B3	33°-34.27'N 128°-07.94'E	1835	1843	"	"	9-11	"	"	"		128		
B4	33°-36.22'N 127°-13.62'E	1916	1924	"	"	"	"	"	"		114		
" 5	"-38.73'N 127°-19.55'E	1956	2004	"	NW	13-14	"	"	"		96		
" 6	"-40.21'N " -24.56'E	2027	2046	"	"	"	2.0	"	"		93		
" 7	"-42.07'N " -26.26'E	2118	2125	"	"	10-12	"	"	"		93		
" 8	"-46.30'N " -41.81'E	2230	2236	"	"	8-10	"	"	"		96		
" 9	"-50.13'N " -52.92'E	2327	2344	"	"	7-8	1.5	"	"		92		
10	33°-54.27'N 128°-03.44'E	0042	0051	"	"	6-7	1.5	1027	"		97		
특기사항													

부 록 2

1997년 9월 추계 해양조사 일지

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항자:

입항자:

관측점	시간	바 람		파 량		기 온		구 립		기 압 (mb)	천 기	시 정	
		풍 속 (m/s)	풍 향	파 고 (m)	파 향	건 구 (°C)	습 구 (°C)	형 태	운 량				
28-5	01:50	10.0	NW	2.0	NW	20	17	-	-	1013	bc	-	
SE-4	03:10	10.2	NW	2.2	NW	19	16	-	-	1013	bc	-	
SE-7	04:30	14.0	NW	2.0	NW	19	15	-	-	1017	bc	-	
SE-2	06:40	17.0	NW	2.0	NW	18	15	-	-	1017	bc	-	
SE-1	08:30	8.8	N	1.5	N	20	16	-	-	1014	bc	-	
												-	
			~	29-5	태양	연구도	풍동초사	~					
29-5	A1	02:00	3.4	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1017	bc	-
	A2	02:30	2.0	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1017	bc	-
	A3	02:45	3.4	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1017	bc	-
	A4	03:20	6.4	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A5	03:40	6.1	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A6	04:14	5.0	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A7	04:40	5.7	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A8	05:10	4.5	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A9	06:00	5.8	NW	0.5	NW	19	16	-	-	1016	bc	-
	A10	07:09	4.9	NW	0.5	NW	21	16	-	-	1017	bc	-
	A11	07:37	4.3	NW	0.5	NW	21	17	-	-	1017	bc	-
	A12	07:55	2.8	N	0.5	N	21	17	-	-	1017	f	-
	A4	12:10	3.3	N	0.5	N	22	17	-	-	1017	f	-
	A5	12:30	3.7	N	0.5	N	22	17	-	-	1017	bc	-
	A6	12:50	4.0	NW	0.5	NW	23	17	-	-	1017	bc	-
기타 사항:													

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항지:

입항지:

관측점	시간	바 람		파 랑		기 온		구 름		기 압 (mb)	천 기	시 정
		풍 속 (m/s)	풍 향	파 고 (m)	파 향	건 구 (°C)	습 구 (°C)	형 태	운 량			
A7	13:05	4.4	NW	0.5	SW	22	19	-	-	1014	bc	-
A7	13:25	4.9	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1014	bc	-
A9	13:45	6.3	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1014	bc	-
A10	14:05	6.9	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1016	bc	-
A11	14:25	6.7	NW	0.5	NW	24	18	-	-	1016	bc	-
A12	14:35	7.5	NW	0.5	NW	24	18	-	-	1016	bc	-
A12	14:42	8.8	NW	0.5	NW	24	18	-	-	1016	bc	-
A11	15:00	9.1	NW	0.5	NW	24	18	-	-	1016	bc	-
A10	15:15	8.0	NW	0.5	NW	23	18	-	-	1016	bc	-
A9	15:35	7.8	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1015	bc	-
A8	15:52	7.0	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1015	bc	-
A7	16:10	8.2	NW	0.5	NW	23	19	-	-	1015	bc	-
A6	16:29	8.0	NW	0.5	NW	22	16	-	-	1015	bc	-
A5	16:45	8.0	NW	0.5	NW	22	16	-	-	1015	bc	-
A4	17:04	8.2	NW	0.5	NW	22	16	-	-	1015	bc	-
A7	17:23	8.2	NW	0.5	NW	22	17	-	-	1015	bc	-
A2	17:42	8.1	NW	0.5	NW	22	17	-	-	1015	bc	-
A2	17:49	6.2	W	0.5	NW	22	17	-	-	1015	bc	-
A7	18:06	4.9	SW	0.5	W	22	17	-	-	1015	bc	-
A4	18:24	4.7	SW	0.5	SW	22	17	-	-	1015	bc	-
A5	18:43	4.2	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1015	bc	-
A6	19:01	5.0	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1015	bc	-

기타 사항:

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항지:

입항지:

관측점	시간	바 람		파 량		기 온		구 름		기 압 (mb)	천 기	시 정
		풍 속 (m/s)	풍향	파고 (m)	파향	건구 (°C)	습구 (°C)	형태	유량			
A7	19:19	4.2	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1015	bc	-
A8	19:37	4.2	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1015	bc	-
A9	19:55	4.2	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1015	bc	-
A10	20:12	4.5	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1019	bc	-
A11	20:30	4.5	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1019	bc	-
A12	20:49	4.5	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1019	bc	-
A12	20:56	4.5	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1019	bc	-
A11	21:18	4.7	SW	0.5	SW	21	17	-	-	1019	bc	-
A10	21:34	7.4	N	0.5	N	21	17	-	-	1017	bc	-
A9	21:52	6.8	N	0.5	N	21	17	-	-	1018	bc	-
A8	22:10	7.2	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A7	22:27	9.2	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A6	22:45	9.4	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A5	23:04	8.8	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A4	23:21	11.1	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A3	23:40	12.0	N	0.5	N	21	18	-	-	1018	bc	-
A2	23:56	2.1	NW	0.5	NW	19	17	-	-	1019	bc	-
A2	00:03	0.0	NW	0.5	NW	19	17	-	-	1019	bc	-
A3	00:20	2.2	NW	0.5	NW	19	17	-	-	1019	bc	-
A4	00:40	2.8	SW	0.5	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A5	00:55	0.0	SW	0.5	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A6	01:15	3.3	SW	0.5	SW	19	16	-	-	1019	bc	-

기타 사항:

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항지:

입항지:

관측점	시간	바 람		파 량		기 온		구 름		기 압 (mb)	천 기	시 정
		풍 속 (m/s)	풍 향	파고 (m)	파향	건구 (°C)	습구 (°C)	형태	운량			
30th A7	0126	3.6	SW	0.6	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A7	0150	4.5	SW	0.6	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A9	0210	4.1	SW	0.6	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A10	0235	3.7	SW	0.6	SW	19	16	-	-	1019	bc	-
A11	0245	6.0	S	0.6	S	19	16	-	-	1019	bc	-
A12	0303	4.4	S	0.6	S	19	16	-	-	1019	bc	-
A12	0310	N	0.0	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A11	0335	N	2.6	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A10	0345	N	2.2	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A9	0403	N	2.2	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A8	0421	N	2.8	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A7	0439	N	2.6	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A6	0458	N	2.6	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A5	0515	N	2.2	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A4	0533	N	2.0	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A3	0552	N	2.2	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A2	0610	N	2.6	0.6	N	19	16	-	-	1019	bc	-
A2	0617	E	4.2	0.6	NE	19	16	-	-	1020	bc	-
A3	0635	SE	4.0	0.6	SE	19	16	-	-	1020	bc	-
A4	0652	SE	4.2	0.6	SE	19	16	-	-	1020	bc	-
A5	0711	SE	4.3	0.6	SE	19	16	-	-	1020	bc	-
A6	0729	SE	4.2	0.6	SE	19	17	-	-	1020	bc	-

기타 사항:

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항지:

입항지:

관측점	시간	바 람		파 랑		기 온		구 립		기 압 (mb)	천 기	시 정
		풍 속 (m/s)	풍 향	파 고 (m)	파 향	건 구 (°C)	습 구 (°C)	형 태	운 량			
2079 A7	0747	3.7	SE	0.5	SE	18	17	-	-	1020	bc	-
A8	0804	4.1	S	0.5	S	18	17	-	-	1020	bc	-
A9	0821	4.2	S	0.5	S	18	17	-	-	1020	bc	-
A10	0840	4.2	S	0.5	S	18	17	-	-	1020	bc	-
A11	0857	4.4	S	0.5	S	18	17	-	-	1020	bc	-
A12	0917	4.2	S	0.5	S	18	17	-	-	1020	bc	-

10/1 B1	1250	6.7	NE	0.5	NE	24	20	-	-	1020	bc	-
B2	1334	6.9	NE	0.5	NE	23	19	-	-	1019	c	-
B3	1420	7.2	NE	1.0	NE	23	20	-	-	1019	c	-
B4	1500	7.8	NE	1.0	NE	24	20	-	-	1019	c	-
B5	1540	7.8	NE	1.5	NE	24	20	-	-	1019	c	-
B6	1615	7.8	NE	1.5	NE	24	20	-	-	1019	c	-
B7	1654	7.6	NE	1.5	NE	23	19	-	-	1019	c	-
B8	1737	7.8	NE	2.0	NE	23	20	-	-	1019	c	-
B9	1844	7.8	NE	2.0	NE	22	20	-	-	1019	c	-
B10	1947	7.8	NE	2.0	NE	22	20	-	-	1019	c	-
B11	2037	9.2	E	2.0	NE	22	20	-	-	1019	c	-
C7	2141	7.2	N	1.5	N	22	20	-	-	1019	c	-
C8	2238	10.4	NE	1.5	NE	22	20	-	-	1019	c	-
C5	2310	12.8	NE	2.0	NE	22	20	-	-	1019	c	-

기타 사항:

기 상 관 측

출항일시:

입항일시:

출항지:

입항지:

관측점	시간	바 람		파 량		기 온		구 름		기 압 (mb)	천 기	시 정
		풍 속 (m/s)	풍 향	파 고 (m)	파 향	건 구 (°C)	습 구 (°C)	형 태	운 량			
10117 C4	2340	10.2	NE	2.0	NE	22	20	-	-	1019	C	-
2nd C3	0015	10.9	NE	1.5	NE	22	19	-	-	1019	C	-
C2	0110	1.8	NE	1.0	NE	22	18	-	-	1019	C	-
C1	0140	6.3	NE	1.0	NE	21	19	-	-	1019	C	-
SA1	0224	7.5	NE	1.5	NE	21	18	-	-	1019	C	-
SA2	0256	5.5	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA3	0314	6.8	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA4	0347	6.4	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA5	0405	7.7	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA6	0434	8.8	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA7	0451	7.2	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA8	1021	7.7	NE	1.5	NE	21	19	-	-	1020	C	-
SA9	1028	7.7	E	1.5	E	21	19	-	-	1020	C	-
SA8	1105	1.2	E	1.0	E	21	19	-	-	1020	C	-
SA7	1127	1.7	E	1.0	E	21	19	-	-	1020	C	-
SA6	1138	2.0	NE	1.0	NE	21	20	-	-	1019	O	-
SA5	1152	2.4	NE	1.0	NE	21	20	-	-	1020	O	-
SA4	1205	2.5	NE	1.0	NE	21	20	-	-	1020	O	-
SA3	1218	11.9	NE	1.0	NE	21	19	-	-	1020	O	-
SA2	1231	11.8	NE	1.0	NE	21	19	-	-	1020	O	-
SA1	1245	11.7	NE	1.0	NE	21	19	-	-	1020	O	-
SA1	1251	7.8	NE	1.0	NE	21	19	-	-	1020	O	-

기타 사항: