

제 3 차년도
최종보고서

BSPN 00179-603-1

Kuroshio海域에서 海況變動研究 (I)

-世界海洋大循環實驗 表層流計劃 韓國海洋研究所 프로그램 (최종년도)-

Study on Oceanographic Variability in the Formation Area
of the Tsushima Warm Current

-KORDI Program for World Ocean Circulation Experiment/
Surface Velocity Program (Third Year)-

1993. 8.

研 究 機 關
韓 國 海 洋 研 究 所

科 學 技 術 處

提 出 文

科學技術處長官 貴下

本 報告書를 “Kuroshio 海域에서 海況變動研究 (I)”의 最終年度 報告書로
提出합니다.

1993년 8월 일

주관연구기관명 : 한국해양연구소

연구책임자 : 이홍제 (해양물리연구부)

연구원 : 변상경 · 신흥렬

조철호 · 황상철

이재학 · 전호경

나정열 · 함석현

연구조원 : 이대하 · 한상규

김병건

要 約 文

I. 제목

Kuroshio 해역에서 해황변동연구 (I)

-세계해양대순환실험 표층류계획 한국해양연구소 프로그램 (최종년도)-

II 연구의 필요성과 목적

1. 필요성

- 동중국해와 북서태평양에서 해양환경보전, 수산 및 해양자원개발에 필요한 고급 해양자료와 정보의 획득.
- 연안 해양연구에서 심해 대양연구로의 연구영역 확장.
- 세계해양대순환실험 WOCE에 참여함으로써 첨단 관측기술과 분석기법의 국내도입과 해양연구의 국제화.

2. 연구개발 목표

- 대마난류의 기원과 형성, Kuroshio와 관련성 연구
- 동중국해와 북서태평양의 해수순환 연구능력 배양
- 한국 해양과학기술의 국제화 및 선진화
- 연안역 해양조사에서 심해역 해양조사로 연구영역의 확대

III. 연구개발의 내용

1. 위성추적 표층부이 실험

위성추적부이의 제작과 운영

계절별 (춘계, 하계, 추-동계) 추적 실험 (총 10대)

동중국해 동부역의 표층해류 구조

대마난류의 기원과 계절변동

2. CTD와 ADCP 조사 연구

동중국해 동부역에서 3회 CTD 조사

동중국해 동부역에서 2회 ADCP 조사

수괴 및 대마난류수의 특성 분석

ADCP 자료처리 및 일차분석

3. 북서태평양의 상층수온의 계절 및 경년변동

20년간 (1964-1983) BT 자료 처리 및 분석

북서태평양의 상층수온의 구조

수온의 계절변동과 경년변동

4. 동중국해의 일반해양특성과 구조

기존 문헌에 의한 해황 검토

기존 해양자료의 수집과 데이터 베이스 구축

30년간 (1960-1989) BT 자료의 일차분석

동중국해의 해황분포와 수계분류

수온의 계절변동과 수평구조

5. 기타 자료 수집과 처리

동중국해상의 10년간 (1978-1987) 해면기압 입력

동중국해에서 해상풍의 계산과 월별 공간분포

동중국해 수심자료 정리 및 수심도 작성

2단계 연구를 위한 두 종류의 수치모델 코드 입수

IV. 연구개발의 결과

1. 위성추적 표층부이 실험

세계해양대순환실험-표층류 프로그램인 WOCE-SVP에 한국계획으로 참여하고 있다. 5대 부이를 미국 Scripps 해양연구소의 도움을 받아 연구팀에서 자체 제작하였고, 총 10대의 부이를 동중국해 동부해역인 구주 서쪽, 대마난류 통과해역에 투하하여 추적하였다. 실험은 1991년 7월, 1992년 4월과 11월, 3회에 걸쳐 실시되었다. 동중국해 동부해역의 표층해류와 대마난류의 경로와 계절변동에 대해 다음과 같은 주요결과를 얻었다.

- 구주 서부역 수심이 깊은 골 왼쪽 대륙붕 상에 대한해협쪽으로 지속적으로 흘러 가는 북상류의 존재 (대마난류에 해당),
- 골 오른쪽 대륙사면위에 구주 서안을 따라 남하하는 남향류의 존재,
- 골 북부역에 크기가 100 km 정도인 시계방향으로 회전하는 소용돌이,
- 계절에 따른 대마난류 경로의 이동.

2. CTD와 ADCP 조사연구

위성추적부이 투하시기에 CTD와 ADCP 조사를 실시하였다. 3회 CTD 조사는 기본적으로 두개의 기본관측선 (127° E 남북단면과 32° N 동서단면)에서, ADCP는 1992년 4월과 11월에 CTD 관측선을 따라 조사하였다. 비슷한 시기에 대한해협에서 조사된 CTD 자료를 함께 분석하였다. 여름에는 양자강회석수가 동중국해 동부역까지 확장되었으나 늦가을-봄에는 저염의 연안수가 한국남해안으로 후퇴하며 제주도에서 대마도 남단을 연결하는 선을 따라 강력한 열·염전선이 형성된다. 대한해협에서 나타나는 고온 고염수가 구주 서쪽에 있는 골 왼쪽 대륙붕위에 존재하는 고온 고염수와 같은 성격을 갖는 수계로 분류된다.

3. 북서태평양 상층수온의 계절 및 경년변동

BT 자료를 격월별 격자점별로 (2° X 2°) 시계열화하였고, 시계열자료는 일반 통계분석과 CEOF (Complex Empirical Orthogonal Function) 방법으로 분석 하였

다. 계절변동은 해표면에서 가장 컸으며 위상분석 결과, 수온의 가열과 냉각은 서부 열대해역에서 시작하여 북과 동쪽으로 전파된다. 수온의 계절변동은 북서태평양의 바람장에 의해 야기되는 수온약층의 수심변화와 밀접한 관계를 보인다. 경년변동은 200 m 층에서 가장 심하였고 북서방향으로 약 10 cm/s의 위상속도로 전파되는 일차 경압 Rossby 파의 존재로 설명된다.

4. 동중국해의 일반해양특성 분포와 구조

지금까지 발표된 국내의 논문을 종합 검토하였고 동중국해 해양자료 데이터 베이스를 구축하기 위하여 BT와 CTD 자료를 수집하여 일차 질 검증을 마쳤다. BT 자료를 월별 격자점별로 ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) 시계열 자료로 만들어 수온의 수심별 장기 월평균치와 수직평균수온을 계산하여 월별분포도를 작성하였다. 일부 CTD 자료를 사용하여 동중국해에서 수계의 계절특성을 분석하였다.

5. 대마난류의 계절특성

CTD와 위성추적부이 실험은 고온·고염의 Kuroshio 수계를 대한해협쪽으로 수송하는 지속적인 북향류 (대마난류)가 구주 서쪽에 위치한 골 왼쪽의 수심이 80-150 m 에서 존재하고 있음을 보인다. 이 해류의 경로는 계절변화를 갖는데 여름철의 경로가 늦가을-봄철에 비해 제주도에서 멀어진다. 또한 여름철에 투하한 부이는 대한해협 서수도로 진입하였으나 늦가을-봄철에 추적한 부이는 동수도로 유입하였다. 이러한 대마난류 경로의 계절변화는 동중국해 동북해역의 해황과 밀접한 관련이 있다.

V. 결론 및 제안

지금까지 국내 해양물리의 연구활동은 주로 한반도 주변 연안역에서 이루어지고 있다. 시공간 변동성이 큰 한반도 연근해역의 해황은 대마난류에 의해 많은 영

향을 받는다. 그러나 대마난류는 해황을 결정하는 가장 중요한 역할을 하는데도 불구하고 이에 대한 우리의 이해는 대단히 부족하고 초보적인 상태다. 최신 방법으로 조사한 실험결과는 대마난류의 기원에 대한 기존의 제안과는 달랐다. 대마난류는 구주서방의 골을 따라 북상하는 Kuroshio의 한 지류도 아니고 대만해협을 통과하는 대만난류의 연장이라고 보기도 어렵다. 골 서쪽, 수심이 얇은 80-150 m 대륙붕을 따라 북상하는 대마난류는 대륙붕과 사면 언저리에 위치한 유속이 약한 Kuroshio의 가장자리 부분이 골 입구에서 Kuroshio의 본류로부터 분리되어 등수심선을 따라 북상한다고 생각된다. 골 왼쪽의 사면을 따라 북상하는 해류는 골 내부에서 사면을 따라 되돌아 나오는 것으로 판단된다.

대마난류가 골의 남서 입구에 진입하기 전에 Kuroshio와 분기되는 현상을 직접 증명할 수 있는 해수특성과 해류 자료는 없다. 따라서 대마난류의 기원과 해양구조를 명확히 밝히기 위해 분기 예상해역에서 정밀관측이 필요하다. 또한 동중국해의 해황변동을 감시하기 위해 기본관측선을 구축하여 정기 해양조사를 가까운 장래에 실시해야 할 것이다. 한편 해수순환을 위한 수치모델과 대륙붕수와 Kuroshio 수계의 혼합과정 연구가 다음단계 연구에서 이루어 지는 것이 바람직하다. 특히, 천해역에서 해양구조가 기상변화에 빠르고 민감하게 반응하기 때문에 광역해역에서 해양조사를 단시간에 완료할 수 있도록 한국, 일본, 중국과 지역 공동해양조사를 추진할 필요가 있다.

SUMMARY

I. Title

**Study on oceanographic variability in the formation area of the
Tsushima Warm Current (I)**

- KORDI Program for WOCE/Surface Velocity Program (third year) -

II. Necessity and objective of the study

1. Necessity

- a. Acquisition of qualified data and information necessary for protection of ocean environment, fisheries, and exploitation of marine resources in the East China Sea (ECS) and the northwest Pacific,
- b. Extension of the study area from the coastal oceanography to a larger scale oceanography,
- c. Introduction of newly advanced observation and analyzing technics by involvement in the WOCE program, and internationalization of the Korean ocean sciences.

2. Objective

- a. Study on the origin and formation of the Tsushima Warm Current (TWC), and its relation with the Kuroshio,
- b. Investigation of oceanographic conditions in the ECS and northwest Pacific,
- c. Internationalization and advancement of the Korean ocean sciences

and technology,

- d. Extension of the present coastal study to the deep and open ocean study in the near-future.

III. Scope of the study

1. Satellite tracked surface drifter experiment

- Building of satellite tracked surface drifters
- Deployment and tracing of drifters in spring, summer, and autumn-winter
- Distribution of surface currents in the eastern ECS
- Origin and seasonal change of the TWC

2. Observations of CTD and ADCP

- Three times CTD observations in the eastern ECS
- Twice ADCP observations in the eastern ECS
- Analyses of water masses and of the TWC water
- Processing of ADCP data and preliminary analyses

3. Seasonal and interannual variabilities in temperature of the upper layer of the northwest Pacific

- Acquisition and processing of BT data collected during 1964-1983
- Structure of temperature in the upper ocean
- Analysis of seasonal and interannual variabilities in temperature

4. Characteristics and structure of general oceanographic conditions in the ECS

- Review of research articles and oceanographic conditions
- Data collection and establishment of oceanographic database

- Preliminary analysis of BT data collected during 1960-1989
 - Oceanographic conditions and water mass Analysis
 - Seasonal pattern and structure of temperature
5. Data collection and preliminary processing
- Coding of sea surface pressure over a 10 years period of 1978-1987
 - Estimation of surface wind and long-term monthly distributions of surface wind field
 - Collection of bottom topographic data and mapping
 - Collection of numerical model codes for the second phase study

IV. Results of the study

1. Satellite tracked surface drifter experiments

The present project has been carrying out as the Korean World Ocean Circulation Experiment-Surface Velocity Programme (WOCE/SVP). Five drifters were built by the research group with assistance of Scripps Oceanographic Institution and ten drifters were deployed west of Kyushu, where the TWC passes. Drifter deployment was carried out three times in July 1991, April and November 1992. Surface current field and seasonal change of the Tsushima Warm Current can be summarized as follows:

- *a persistent northward current, corresponding to the TWC, on the shelf west of the deep trough which flows toward the Korea Strait,*
- *a southward current on the right flank of the deep trough flowing along the west coast of Kyushu,*
- *an anticyclonic eddy with diameter of order 100 km in the northern*

deep trough,

- seasonal change of the path of the TWC.

2. Observations of CTD and ADCP

CTD and ADCP (vessel mounted) measurements were performed during the same period of drifter experiments. Three times CTD observations were conducted basically along the two sections (a north-south line along 127 °E and a west-east line along 32 °N) and ADCP surveys along the CTD sections, twice in April and November 1992. CTD data collected in the Korea Strait were also analyzed. In the summer of 1991, fresh Changjiang River diluted water spread widely over the East China Sea, reaching the eastern ECS, but in late autumn-spring 1992, the fresh coastal water retreated to the coastal area south of Korea, consequently forming a strong thermohaline front along a line connecting Chejudo and Tsushima. Warm and saline water found in the Korea Strait can be identified as the same water mass observed on the shelf west of the deep trough.

3. Seasonal and interannual variabilities in temperature of the upper layer of the northwest Pacific

BT data collected over a 20 years period in the northwest Pacific were quality-controlled and then transformed into gridded (2 °X 2 °) time sequence datasets. Statistical and complex empirical orthogonal function (CEOF) analyses were applied to the gridded time series data. Seasonal variability in temperature is most important at the sea surface and according to the phase analysis, seasonal warming and cooling are found to start in the western tropical Pacific and then to propagate to

the north and east. The seasonal change is closely related to the seasonal change in thermocline depth induced by wind fields. Interannual temperature anomaly is maximum at 200 m depth and the anomaly, propagating with a phase speed of 10 cm/s to the northwest, may be explained by the first baroclinic Rossby wave.

4. Characteristics and structure of general oceanographic conditions in the ECS

Research articles describing physical oceanographic conditions in the ECS were reviewed. CTD and BT data, recently compiled by the JODC, were quality-controlled and processed to establish a database. Gridded time series ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$) of temperature, computed from BT data collected over a 30 years long period, were analyzed to get long-term monthly mean temperature and vertically averaged temperature. Seasonal characteristics of water types in the ECS were investigated using a part of historical CTD data.

5. Seasonal characteristics of the TWC

Experiments of satellite tracked surface drifters and CTD observations gave direct proof of a persistent northward current on the shelf of 80–150 m depth west of the deep trough, transporting warm and saline Kuroshio water to the Korea Strait. The current corresponds to the TWC. Its path becomes farther from Chejudo in summer than that in late autumn–spring. On the other hand, a drifter deployed in summer entered the western channel of the Korea Strait, but other drifters in autumn and spring flowed into the eastern channel. The seasonal change of the path is closely related to seasonal pattern of hydrography in the

northeastern ECS.

V. Conclusion and suggestions

The research activities of Korean physical oceanography have been conducted mostly in the coastal area around the Korean peninsula. Oceanographic conditions in the adjacent seas of Korea, very variable in space and time, are strongly affected by the TWC. However, our understanding on the TWC is very poor and primitive in spite of its important role in controlling the oceanographic conditions. The experiments performed by new methods provide different results from previous suggestions on the origin of the TWC. The TWC is neither a branch current flowing northward through the deep trough west of Kyushu, nor a northeastward continuation of the Taiwan Current over the ECS, after passing through the Taiwan Strait. *The persistent northward current on the shelf west of the trough may be considered to be a part of the shoreside fringe of the Kuroshio with relatively weak speed, following the same isobaths after separation from the main stream.*

There are no hydrographic and current data proper to give a direct proof of the branching of the TWC, just before the southwestern mouth of the trough, so that more precise field observation programs in the near future should be focused on the clarification of the branching mechanism, together with physical structure in the branching area. Also monitoring oceanographic conditions in the ECS is recommended to be carried out regularly after establishment of baseline survey network.

Numerical modelling for regional circulation and mixing processes between shelf and Kuroshio waters are suggested for the next phase study. A cooperative observation program between Korea, Japan and China is recommended to survey a large portion of the ECS within a short period since the oceanographic structure in shallow water responds quickly and sensitively to meteorological changes.

目 次

요약문	3
영문요약문	9
표목차	25
그림목차	29
제 1 장 연구목표 및 주요내용	43
제 1 절 연구동기	43
제 2 절 연구개발의 필요성	44
제 3 절 연구개발 목표와 주요사업 내용	45
가. 연구방향	45
나. 연구개발 목표	45
다. 연도별 연구개발 내용 및 범위	46
제 2 장 세계해양대순환실험 (WOCE)과 한국해양연구소 프로그램	48
제 1 절 국제동향	48
제 2 절 조직과 구성	49
제 3 절 목표와 목적	53
제 4 절 표층류 (SVP) 프로그램의 구성과 내용	54
가. 표층류 프로그램의 목표	54
나. 조직과 구성	55
다. 진행계획	57
제 5 절 한국해양연구소의 주요활동	57

제 3 장 북서태평양 상층수온의 계절 및 경년변동	64
제 1 절 서론	64
제 2 절 BT (수심/수온) 자료 및 처리	65
제 3 절 장기 연평균 수온과 표준편차	67
제 4 절 수온의 계절변동	68
가. 해표면 수온	70
나. 200 m 층 수온	73
제 5 절 수온약층 수심의 계절변화	75
제 6 절 수온의 경년변동	78
가. 표준편차	78
나. CEOF 분석	80
제 4 장 동중국해의 물리해황특성과 계절변동	82
제 1 절 국내 연구현황	82
가. 해양조사	82
나. 연구동향	83
제 2 절 동중국해의 물리특성과 계절변동	85
가. 일반적인 해황특성	85
나. 해황의 계절특성과 변동	86
다. 평균해류장	92
라. 수계분석에 의한 대마난류수의 기원	92
제 3 절 수온의 계절변동과 공간분포	98
가. BT (수심/수온) 자료수집과 처리	101
나. 장기 평균수온 분포	103
다. 월별 평균수온 분포	105

제 4 절 동중국해 동부해역에서 CTD 조사성과	109
가. 조사개요	109
나. 수계의 계절특성	111
다. 1991년 하계조사	118
라. 1992년 춘계조사	122
마. 1992년 추계조사	126
제 5 절 동중국해 동부해역에서 ADCP 조사성과	132
가. 상층과 하층의 유속과 유향	132
나. 유속의 수직구조	135
제 5 장 대마난류 기원과 변동에 관한 연구동향	145
제 1 절 대마난류 기원에 관한 연구동향	145
제 2 절 인공위성 추적부이 실험의 개요	148
가. 부이제작	148
나. 자료송신 및 처리	150
다. 자료교환 및 국제협력	153
라. 인공위성부이 추적실험	154
제 3 절 실험성과	156
가. 1991년 하계실험	156
나. 1992년 춘계실험	158
다. 1992년 추계실험	161
제 4 절 동중국해 동부해역의 해류와 계절변동	163
가. 해류분포	163
나. 계절변동	165

제 6 장 결론 및 제언	167
1. 연구성과의 의의	167
2. 주요 연구성과	168
가. 위성추적부이	168
나. CTD와 ADCP 조사	168
다. 북서태평양 상층수온의 계절 및 경년변동	169
라. 동중국해의 일반해양특성분포와 구조	170
마. 대마난류의 기원과 경로	171
바. 2단계 조사연구를 위한 기존자료 수집 및 모델 준비	172
3. 향후 중점연구과제	173
참고문헌	177
부록 I. 동중국해, 황해와 동해에서 wind stress의 장기 월별평균 분포, 1978-1987.	187
부록 II. 북서태평양에서 WOCE/SVP program에 의한 위성추적부이실험.	191

CONTENTS

Summary	9
List of Tables	27
List of Figures	35
Chapter I. Objective and content of the study	43
1. Motive of the study	43
2. Necessity of the study	44
3. Objective of the study and major items	45
a. Goal	45
b. Objective	45
c. Major items and scope	46
Chapter II. World Ocean Circulation Experiment and KORDI Program	48
1. International trend	48
2. Organization and structure	49
3. Goal and objective	53
4. Organization and structure of Surface Velocity Program (SVP)	54
a. Objective	54
b. Structure and organization	55
c. Detailed program in progress	57
5. Major activities of KORDI SVP	57

Chapter III. Seasonal and Interannual Variability in Temperature of the Upper Layer in the Northwest Pacific	64
1. Introduction	64
2. BT data and processing	65
3. Long-term mean and root mean square temperatures	67
4. Seasonal variation of temperature	68
a. Sea surface temperature	70
b. Temperature at 200 m	73
5. Seasonal change of thermocline depth	75
6. Interannual variability in temperature	78
a. Root mean square temperature	78
b. CEOF analysis	80
 Chapter IV. Physical Oceanographic Conditions and Seasonal Variability in the East China Sea	 82
1. Research status in Korea	82
a. Observation cruises	82
b. Research trend	83
2. General oceanographic conditions in the East China Sea	85
a. General characteristics	85
b. Seasonal characteristics and change of the oceanographic conditions	86
c. Mean current field	92
d. Origin of the Tsushima Warm Current water by water mass analysis	92
3. Seasonal change of temperature and its spatial distribution	98
a. BT data and processing	101

b. Long-term annual mean temperature	103
c. Long-term monthly mean temperature	105
4. CTD observations in the eastern East China Sea	109
a. Outline of surveys	109
b. Seasonal temperature-salinity relations	111
c. Cruise in July 1991	118
d. Cruise in April 1992	122
e. Cruise in November 1992	126
5. ADCP observations in the eastern East China Sea	132
a. Currents in the upper and lower layers	132
b. Vertical structure of currents	135

Chapter V. Satellite Tracked Surface Drifter Experiments for the Origin

and Variability of the Tsushima Warm Current	145
1. Research trend for the origin of the Tsushima Warm Current	145
2. Outline of the satellite tracked surface drifter experiments	148
a. Building of drifters	148
b. Data transmission and processing	150
c. Data exchange and international cooperation	153
d. Surface drifter experiments	154
3. Results of experiments	156
a. Summer in 1991	156
b. Spring in 1992	158
c. Autumn in 1992	161
4. Surface current field and its seasonal change in the eastern East China Sea.	163

a. Current field	163
b. Seasonal change	165
 Chapter VI. Conclusion and Suggestions	 167
1. Significance of research activities	167
2. Major results	168
a. Satellite tracked drifter experiment	168
b. Surveys of CTD and ADCP	168
c. Seasonal and interannual variabilities in temperature of the upper layer in the northwest Pacific	 169
d. Origin and path of the Tsushima Warm Current	170
e. Acquisition of existing data and model codes for the second-phase study	 171
3. Major study subjects in the near-future	173

References

Annex I. Long-term monthly distribution of wind stress in the East China Sea, Yellow Sea, and East Sea, 1978-1987.	187
Annex II. Satellite Tracked Surface Drifter Experiments in the north-west Pacific by WOCE/SVP program, 1988-1992.	191

表 目 次

표 1. 연도별 주요 연구계획	46
표 2. WOCE SVP의 대서양, 인도양, 태평양 계획 및 일정표 (WOCE International Project Office, 1993a).	58
표 3. 국가별 연구책임자들이 WOCE/TOGA SVP 사전조사 및 조사 기간중 (1988. 1. 1 - 1993. 1. 31) 제공한 자료현황. 자료 수는 6시간 마다 편집한 자료의 수 (WOCE International Project Office, 1993c).	63
표 4. Holey sock 위성추적 표층부이의 WOCE/TOGA 기본사양 (Sybrandy and Niiler, 1991)	149
표 5. 1991-1992년도 3회 실시한 위성추적부이 실험 현황	155

List of Tables

Table 1. Major interns of the study.	46
Table 2. Commitment of deployment of surface drifters (WOCE International Project Office, 1993a).	58
Table 3. Receipt status of WOCE/TOGA SVP data generated by principal investigators from January 1, 1988 to January 31, 1993 (WOCE International Project Office, 1993c).	63
Table 4. Basic specification of Hoely sock satellite tracking drifter by WOCE/TOGA (Sybrandy and Niiler, 1991).	149
Table 5. Information on satellite tracked drifter experiments in 1991 and 1992.	155

그림 目次

그림 1. 세계해양대순환실험의 태평양해역 주요 활동 계획표. P+번호는 1회 정밀 CTD 관측선, PR+번호는 반복 CTD 관측선, PCM (SCM)+번호는 유속계 계류점, drifters는 ARGOS 위성추적부이를 뜻한다 (WOCE international Project Office, 1993a).	50
그림 2. 세계해양대순환실험의 과학 및 운영 조직 (WOCE international Project Office, 1993b).	52
그림 3. WOCE SVP의 구성과 흐름 (Woce International Office, 1991).	56
그림 4. WOCE SVP의 발전도 (Woce International Office, 1993a).	59
그림 5. WOCE SVP의 국가별 기여도 (Woce International Office, 1993a).	59
그림 6. 1992년도 WOCE/TOGA SVP 태평양 계획 (U.S. WOCE Office, 1992).	60
그림 7. 1964년-1983년 북서태평양에서 일차 질검증을 거친 수심/수온 (bathythermograph) 자료의 관측점 분포도.	66
그림 8. 북서태평양의 해표면, 200 m, 400 m 층에서 장기 평균수온과 표준편차 (1964-1983).	69
그림 9. 북서태평양의 해표면에서 장기 월평균 수온분포. 연평균은 제거됨.	71
그림 10. 북서태평양의 표층, 200 m, 400 m 층에서 수온의 계절변동의 진폭과 위상. 위상은 '도' 단위로 1월 1일부터 수온이 최고에 도달할 때까지의 날수에 해당함.	72
그림 11. 북서태평양의 200 m 층에서 장기 월평균 수온분포. 연평균은 제거됨.	74
그림 12. 2층 wind-driven 모델에서 수온약층의 계절변화의 진폭과 위상 (Yoshioka and Yoon, 개인통신). 모델해양의 수심은 4500 m, 중간 경계층의 수심은 300 m임. 진폭의 단위는 m 이며 위상은 '도' 단위로 1월 1일부터 진폭이 최대에 도달할때까지의 날수에 해당함.	76

그림 13. 동경 160도 단면에서 2층 모델의 중간경계층의 수심이 300 m 와 600 m 일 때 수온약층의 계절변화의 진폭과 관측에 근거해서 계산한 200 m와 400 m 수심에서 등온선의 수직 이동거리.	77
그림 14. 북서태평양의 해표면, 200 m, 400 m 층에서 비정상 경년수온의 표준편차 (1964-1983).	79
그림 15. 북서태평양 200 m 층 비정상 수온으로부터 계산한 CEOF 1 모드의 진폭, 위상의 공간분포와 시간함수.	81
그림 16. 동중국해에서 1986년 겨울 (1-2 월) 수심 100 m 층에서의 수평분포. (a) 수온, (b) 염분, (c) thermosteric anomaly, (d) 용존산소.	88
그림 17. 동중국해에서 1986년 봄 (4-5 월) 수심 100 m 층에서의 수평분포. (a) 수온, (b) 염분, (c) thermosteric anomaly, (d) 용존산소.	89
그림 18. 동중국해에서 1986년 여름 (7-8 월) 수심 100 m 층에서의 수평분포. (a) 수온, (b) 염분, (c) thermosteric anomaly, (d) 용존산소.	90
그림 19. 동중국해에서 1986년 가을 (9-10 월) 수심 100 m 층에서의 수평분포. (a) 수온, (b) 염분, (c) thermosteric anomaly, (d) 용존산소.	91
그림 20. 1954-1986 년 GEK 자료로부터 계산한 동중국해의 평균해류장 (Michida 등, 1987).	93
그림 21. 1973 년도 Kuroshio 상류역에서 일본 기상청의 해양관측정점 (Sawara와 Hanzawa, 1979).	94
그림 22. 동중국해에서 수계분류 (Sawara와 Hanzawa, 1979).	95
그림 23. 겨울철 수계의 수평분포 (자료는 1986 년 1월 24일 - 2월 24일). (a) 해표면, (b) 50 m, (c) 100 m, (d) 200 m.	96
그림 24. 봄철 수계의 수평분포 (자료는 1986 년 4월 13일 - 5월 16일). (a) 해표면, (b) 50 m, (c) 100 m, (d) 200 m.	97

그림 25. 여름철 수계의 수평분포 (자료는 1986 년 7월 8일 - 8월 15일).	
(a) 해표면, (b) 50 m, (c) 100 m, (d) 200 m.	99
그림 26. 가을철 수계의 수평분포 (자료는 1986 년 9월 26일 - 10월 15일).	
(a) 해표면, (b) 50 m, (c) 100 m, (d) 200 m.	100
그림 27. 동중국해에서 BT (수심/수온) 관측점 분포	102
그림 28. 동중국해의 상층 100 m 이내에서 수직적으로 평균한 장기 평균수온과 표준편차. (a) 평균수온, (b) 표준편차.	104
그림 29. 동중국해의 상층 100 m 이내에서 수직적으로 평균한 장기 월평균 수온 (장기 평균치 기준). (a) 2월, (b) 5월, (c) 8월, (d) 11월. 음 부호는 장기 평균수온 이하, 양부호는 장기 평균수온 이상을 뜻함.	106
그림 30. 동중국해 두 격자점에서 월평균 수온의 시계열 자료. (a) 30° N, 125° E (대륙붕 해역), (b) 25° N, 125° E (Kuroshio 해역). 그림 오른쪽 여백의 첫째열에 있는 숫자는 주어진 수심에서 장기 평균수온임.	107
그림 31. 위성추적부이 실험과 CTD 조사해역. 수심은 m이고 약자인 KS, TS, TI 는 각기 대한해협, 토까라해협, 대마도를 지칭한다.	110
그림 32. Auto-salinometer와 CTD 센서의 염분보정.	
(a) Mark-V CTD, (b) SBE-25.	112
그림 33. Salinometer와 CTD 센서의 염분보정.	
(a) Mark-IIIb CTD, (b) SBE-25.	113
그림 34. Autosalinometer와 CTD 센서에 의한 염분차이.	114
그림 35. 수온-염분 관계. (a) 3회 관측, (b) 1991년 여름, (c) 1992년 봄, (d) 1992년 가을.	116
그림 36. 수온-염분관계. (a) 32° N 동서단면, (b) 127° E 남북단면, (c) 대한해협.	117
그림 37. 1991년 하계 32° N 동서단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	119

그림 38. 1991년 하계 127° E 남북단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	120
그림 39. 1991년 하계 대한해협 서수도에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	121
그림 40. 1992년 춘계 32° 10' N 동서단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포. ...	123
그림 41. 1992년 춘계 127° E 남북단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	124
그림 42. 1992년 춘계 대한해협에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	125
그림 43. 1992년 추계 32° 10' N 동서단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포. ..	127
그림 44. 1992년 추계 127° E 남북단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	128
그림 45. 1992년 추계 대한해협에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	129
그림 46. 1992년 추계 31° N 동서단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	130
그림 47. 1992년 추계 126° E 남북단면에서 수온, 염분, 밀도의 수직분포.	131
그림 48. ADCP 관측선. (a) 1992년 4월 (조사선 이어도호), (b) 1992년 11월 (조사선 온누리호).	133
그림 49. ADCP에 의한 상층과 하층 유속분포. (a) 1992년 4월 수심 21 m, (b) 1992년 11월 수심 25 m, (c) 1992년 4월 수심 77 m, (d) 1992년 11월 수심 73 m.	134
그림 50. ADCP에 의한 수직평균 유속. (a) 1992년 4월, (b) 1992년 11월.	136
그림 51. ADCP에 의한 32° 10' N 동서단면에서 유속의 수직분포. (a) 1992년 4월, (b) 1992년 11월.	137
그림 52. 32° 10' N 동서단면에서 ADCP에 의한 층별 관측유속과 수직평균 유속 차이. (a) 1992년 4월, (b) 1992년 11월.	138
그림 53. ADCP에 의한 127° E 남북단면에서 유속의 수직분포. (a) 1992년 4월, (b) 1992년 11월.	139
그림 54. 127° N 남북단면에서 ADCP에 의한 층별 관측유속과 수직평균 유속의 차이. (a) 1992년 4월, (b) 1992년 11월.	140

그림 55. 1992년 11월 ADCP에 의한 31° N 동서단면에서 유속의 수직분포. (a) 관측유속, (b) 층별유속과 수직평균 유속의 차이.	142
그림 56. 1992년 11월 ADCP에 의한 126° E 남북단면에서 유속의 수직분포. (a) 관측유속, (b) 층별유속과 수직평균 유속의 차이.	143
그림 57. 1992년 4월 ADCP에 의한 대한해협에서 유속의 수직분포. (a) 관측유속, (b) 층별유속과 수직평균 유속의 차이.	144
그림 58. 동중국해의 해류 모식도. (a) Nitani (1972) 모식도, (b) Beardsley et al. (1985)의 모식도.	146
그림 59. Holey sock 인공위성추적부이의 기본구조와 부력평형도	151
그림 60. 한국해양연구소 제작 Holey sock 위성추적부이 사진.	152
그림 61. 1991년 하계 위성추적부이의 이동경로.	157
그림 62. 1992년 춘계 위성추적부이의 이동경로.	159
그림 63. 1992년 추계 위성추적부이의 이동경로.	162
그림 64. 1991-1992년도에 투하한 총 10대의 위성추적부이의 전체 이동경로. 화살표 유속 벡타의 크기는 그림 좌측상단에 표시. 4대의 부이가 제주도 에서 남동쪽으로 그린 굵은 선을 1993년 1월 20일, 1992년 4월 28일, 1992년 12월 22일 그리고 1991년 7월 21일에 교차하였음 (거리순). ...	164
그림 65. 대마난류의 기원과 동중국해 해황조사를 위한 2단계 관측망 구성도. ...	175
그림 66. 월평균 wind-stress 분포 (1978-1987).	188
그림 67. WOCE/SVP 프로그램으로 1988 - 1992년 북서태평양에 투하한 위성추적부이들의 이동경로.	192
그림 68. 위·경도 0.5 x 0.5 격자에서 평균된 표류부이들에 의한 상층흐름의 분포도 (a)하계, (b)춘계, (c) 추·동계.	193

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Timetable of the major WOCE events in the Pacific Ocean. P+number denotes the hydrographic one time survey sections, PR+number the repeated hydrographic sections, PCM (SCM)+number current meter arrays, and drifters ARGOS surface drifters (after WOCE International Project Office, 1993a).	50
Fig. 2. WOCE scientific and operational structure (after WOCE International Project Office, 1993b).	52
Fig. 3. Organization chart for the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1991).	56
Fig. 4. Development of the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1993a).	59
Fig. 5. Relative contribution of participant countries to the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1993a).	59
Fig. 6. Drifter deployment in the Pacific Ocean of the Surface Velocity Programme for 1992 (after U.S. WOCE Office, 1992).	60
Fig. 7. Distribution map of bathythermograph observations in the western North Pacific during 1964-1983 after the first quality-control.	66
Fig. 8. Long-term annual mean and root mean square temperatures at the sea surface, 200 m, and 400 m of the northwest Pacific (1964-1983).	69
Fig. 9. Long-term bimonthly mean temperature at the sea surface with the long-term mean removed.	71

Fig. 10. Amplitude and phase of the seasonal cycle of variation in temperature (one year periodicity) obtained from the bimonthly temperature sequences. The phase corresponds to number of days from the first of January when the highest temperature is recorded.	72
Fig. 11. Long-term bimonthly mean temperature at 200 m with the long-term mean removed.	74
Fig. 12. Amplitude and phase of the seasonal cycle of variation of the thermocline depth in a two-layer wind-driven model (after Yoshioka and Yoon, personal communication). The model basin is 4500 m deep and the interface is located at 300 m. The amplitude is in meters and phase in degrees corresponds to number of days from the first of January when the amplitude is highest.	76
Fig. 13. Amplitude of the seasonal cycle of the main thermocline depth estimated from a two-layer numerical model in cases of interface of 300 m and 600 m in Yoshioka and Yoon (personal communication). The continuous line is the vertical displacement of isotherms at 200 m and the line with cross at 400 m.	77
Fig. 14. Root mean square temperature of interannual temperature anomaly at the sea surface, 200 m, and 400 m of the northwest Pacific (1964-1983).	79
Fig. 15. Spatial pattern of amplitude and phase of the first complex empirical orthogonal function with time functions over the northwest Pacific. ...	81
Fig. 16. Horizontal distributions at 100 m in winter (Jan. - Feb. 1986) in the East China Sea. (a) temperature, (b) salinity, (c) thermosteric anomaly, and (d) dissolved oxygen.	88

Fig. 17. The same as in Fig. 16 except in spring (Apr. - May 1986).	89
Fig. 18. The same as in Fig. 16 except in summer (Jul. - Aug. 1986).	90
Fig. 19. The same as in Fig. 16 except in autumn (Sep. - Oct. 1986).	91
Fig. 20. Mean current field deduced from GEK data, 1954 - 1986 (after Michida et al., 1987).	93
Fig. 21. Hydrographic stations in the southwestern East China Sea, conducted 1973 by the Japan Meteorological Agency (after Sawara and Hanzawa, 1979).	94
Fig. 22. Classification of water types in the East China Sea (after Sawara and Hanzawa, 1979).	95
Fig. 23. Horizontal distributions of water types in winter (Jan. 24 - Feb. 24, 1986). (a) 0 m, (b) 50 m, (c) 100 m, and (d) 200 m.	96
Fig. 24. The same as in Fig. 23 except in spring (Apr. 13 - May 16, 1986). .	97
Fig. 25. The same as in Fig. 23 except in summer (Jul. 8 - Aug. 15, 1986). .	99
Fig. 26. The same as in Fig. 23 except in autumn (Sep. 26 - Oct. 15, 1986). .	100
Fig. 27. BT stations in the East China Sea, 1960-1989.	102
Fig. 28. Vertically averaged long-term mean temperature in the upper 100 m layer with standard deviations. (a) mean temperature and (b) standard deviation.	104
Fig. 29. Vertically averaged long-term monthly mean temperature in the upper 100 m layer with annual mean removed. (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November. The positive (negative) sign means the monthly mean temperature higher (lower) than the long-term mean.	106

Fig. 30. Time series of monthly mean temperature at two grid points. (a) 30° N, 125° E (on the shelf) and (b) 25° N, 125° E (Kuroshio region). Numerical values in the first column on the right side are long-term mean temperatures at given depths.	107
Fig. 31. Study area indicating releasing points of satellite tracked surface drifters and CTD stations. Bottom topography is in m. KS, TS and TI denote the Korea Strait, the Tokara Strait and Tsushima Island, respectively.	110
Fig. 32. Salinity correction of CTD sensors by Auto-salinometer. (a) Mark-V CTD and (b) SBE-25.	112
Fig. 33. Salinity correction of CTD sensors by salinometer. (a) Mark-IIIb CTD, (b) SBE-25.	113
Fig. 34. Salinity difference between Auto-salinometer and CTD sensors.	114
Fig. 35. Temperature-salinity relations. (a) all CTD data, (b) summer in 1991, (c) spring in 1992, and (c) autumn in 1992.	116
Fig. 36. Temperature-salinity relations. (a) 32° N section, (b) 127° E section, (c) Korea Strait.	117
Fig. 37. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° N section in summer 1991.	119
Fig. 38. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in summer 1991.	120
Fig. 39. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t across the western channel of the Korea Strait in summer 1991.	121
Fig. 40. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° 10' N section in spring 1992.	123.

Fig. 41. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in spring 1992.	124
Fig. 42. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t across the the Korea Strait in spring 1992.	125
Fig. 43. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° 10' N section in autumn 1992.	127
Fig. 44. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in autumn 1992.	128
Fig. 45. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t across the the Korea Strait in autumn 1992.	129
Fig. 46. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 31° N section in autumn 1992.	130
Fig. 47. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 126° E section in autumn 1992.	131
Fig. 48. Ship tracks for ADCP measurements. (a) April 1992 (R/V Eardo), (b) November 1992 (R/V Onnuri).	133
Fig. 49. Currents in the surface and lower layers by ADCP. (a) 21 m in April 1992, (b) 25 m in November 1992, (c) 77 m in April 1992 and (d) 73 m in November 1992.	134
Fig. 50. Vertical sections of current by ADCP. (a) April 1992 and (b) November 1992.	136
Fig. 51. Vertical sections of current by ADCP along 32° 10' N. (a) April 1992 and (b) November 1992.	137
Fig. 52. Vertical sections of difference between observed and depth-mean current by ADCP along 32° 10' N. (a) April 1992 and (b) November 1992.	138

Fig. 53. Vertical sections of current by ADCP along 127° E. (a) April 1992 and (b) November 1992.	139
Fig. 54. Vertical sections of difference between observed and depth-mean current by ADCP along 127° E. (a) April 1992 and (b) November 1992.	140
Fig. 55. Vertical sections of current by ADCP along 31° N in November 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.	142
Fig. 56. Vertical sections of current by ADCP along 126° E in November 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.	143
Fig. 57. Vertical sections of current by ADCP across the Korea Strait in April 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.	144
Fig. 58. Schematic circulation patterns in the East China Sea. (a) Nitani's suggestion (1972) and (b) the suggestion of Beardsley et al. (1985). ..	146
Fig. 59. Dimesional Holey sock drifter schematic and equilibrium buoyancy diagram with drag.	151
Fig. 60. Photographs of Holey sock surface drifter made by KORDI.	152
Fig. 61. Trajectories of three satellite tracked surface drifters deployed on 17 July 1991.	157
Fig. 62. Trajectories of satellite tracked surface drifters deployed on 17 April 1992.	159
Fig. 63. Trajectories of satellite tracked surface drifters deployed on 18 November 1992.	162

Fig. 64. Ensemble of ten satellite tracked drifter trajectories marked by arrows. The scale the arrow vector is marked in the upper left corner. Four drifters crossed the thick line southeast Chejudo on January 20 of 1993, April 28 of 1992, December 22 of 1992, and July 21 of 1991 in order of the distance from Chejudo to crossing points. 164

Fig. 65. Suggestion on the observation network of the second-phase study for the origin of the Tsushima Warm Current and oceanographic conditions in the East China Sea. 175

Fig. 66. Distributions of monthly mean wind-stress during 1978~1987.

Fig. 67. Trajectories of 46 WOCE drifters in the north-west Pacific during 1988~1992 by WOCE/SVP program. 188

Fig. 68. Spatial distributions of the mean surface flow. Drifter velocities were averaged in the grid of 0.5 x 0.5 degree during (a)Jun. 15 ~ Aug. 31, (b)Mar. 15 ~ May 31 and (c)Oct. 20 ~ Feb. 28. 193

제 1 장 연구목표 및 주요내용

제 1 절 연구동기

본 연구는 과학기술처 특정연구과제로 1990년부터 1993년까지 3년간 수행한 사업이다. 70년대 초반 CSK 조사 사업 이후 많은 국내 해양학자의 관심 밖으로 멀어진, 그러나 국토의 활용과 해양자원 확보차원에서 매우 중요한 우리나라의 남쪽바다인 동중국해에 대한 해양연구를 보다 체계적으로 접근하기 위해 추진하였다. 대륙붕이 잘 발달된 동중국해는 생물자원과 해저자원의 보고로 알려져 있고 세계 2대 해류의 하나인 Kuroshio가 통과 할뿐 아니라 담수의 유입이 커서 해양 현상이 매우 특이하여 국제해양학계의 주요 관심대상 해역으로 주목을 받고 있다. 한편 Kuroshio의 한 지류인 대마난류가 분지되어 동중국해, 황해와 동해로 유입하기 때문에 우리나라 주변 연근해역의 해황은 물론 지역기후가 대마난류에 의해 지대한 영향을 받는다. 이렇게 중요한 동중국해에서의 대마난류의 형성과 변동에 대한 체계적인 조사 연구가 이 과제를 통해 처음 시도되었다. 심해 외양해양 연구역사가 짧은 우리로서는 동중국해에 관한 보다 많은 해양정보와 자료에 접근하고 신기법을 도입하기 위해 국제공동 조사사업에 참여가 필요하다고 판단하여 1990년부터 본격적인 활동이 시작된 세계해양대순환실험 (World Ocean Circulation Experiment, WOCE)의 표층류 프로그램 (Surface Velocity Programme, SVP)에 참여하여 활동하고 있다. 조사 대상해역을 대마난류 형성해역으로 정하고 3회에 걸쳐 CTD와 인공위성 추적부이 실험을, 그리고 ADCP관측을 2회 실시하였고 그 성과를 종합 정리하여 본 보고서에 수록하였다.

제 2 절 연구개발의 필요성

국내 해양과학 수준은 1980년대 이후 정부와 해양연구자의 부단한 노력으로 천혜역인 한반도 연근해역을 조사할 수 있는 단계까지 큰 발전을 하였다. 그러나 우리의 해양조사 활동은 아직도 한반도 주변 연안역에 치우쳐 있는 실정이고 해양 자원조사와 개발의 한 방편으로 해양연구와 조사를 실시한다는 인식을 벗어나지 못하고 있다. 다행히 1990년대에 들어와서 해양환경보전의 중요성, 효율적 해양자원관리와 개발을 위한 해양기반연구의 필요성에 대한 인식의 전환으로 해양연구 활동이 점차 활기를 띠고 있으나 한반도 주변 어황과 해황, 해양보전, 기후변동의 근원이며 해상수송로, 해상작전에 큰 영향을 미치는 대마난류에 대한 본격적인 조사와 연구는 거의 수행되지 못하였다. 이에 우리나라의 앞 마당인 동중국해에 대한 각종 해양정보와 자료가 절대 부족한 실정이다. 반면에 인접국인 일본은 1930년대 부터 꾸준히 정기 해양조사를 실시해 오고 있으며 1980년대 들어 중국도 일본과 공동으로 혹은 독자적으로 해양관측을 적극적으로 실시하고 있다. 특히 연안 조사에 치중하였던 이웃 중국이 1980년대 중반 이후 동중국해는 물론 서태평양 전체를 대상으로 고정밀 관측을 시도하고 있다. 따라서 우리는 적어도 동중국해의 이용과 개발에서 중국과 일본에 뒤지지 않는, 국익을 위한 해양조사를 본격적으로 추진하고 대양연구의 능력을 배양시킬 수 있도록 노력해야 할 것이다.

우리의 해양연구 개발은 조사·연구 능력의 한계와 전문인력의 부족으로 연근해역을 대상으로 한 연구 조사에 머물러 있었으나 1992년초 한국해양연구소가 1400톤급 조사선을 보유하게 됨으로 심층 대양을 대상으로 조사·연구할 수 있는 여건이 마련되었다. 그러나 선진국으로부터 자료, 정보, 고도의 관측기술과 분석기법의 도입이 점점 어려워지고 있어 이런 장벽을 넘는 방안으로는 국제공동프로그램에 참여할 필요가 있다. WMO, IOC 등이 6년여에 걸쳐 타당성 및 기술검토를 마친 후 1990년부터 본격 조사활동에 착수한 국제 WOCE 프로그램에 우리의 주

변국가인 중국, 대만, 일본, 미국, 러시아가 적극 참여하여 해양관측을 실시하고 있다. 이에 해양자료와 정보가 매우 부족한 북서태평양에서 연구활동의 발판을 마련하고, 선진제국의 고급 정보와 기술을 도입하며 또한 한반도 주변 해역의 해황과 기후변화에 큰 영향을 미치는 대마난류가 형성되는 Kuroshio 해역을 연구대상으로 삼아 WOCE에 본격적으로 참여하게 되었다.

제 3 절 연구개발 목표와 주요사업 내용

가. 연구방향

예산, 전문인력, 시설의 부족으로 고정밀 관측을 요구하는 WOCE의 모든 전문 프로그램에 참여하기는 어렵다. 이에 일단계로 예산이 비교적 적게들며 새로운 해류관측기법을 이용하는 WOCE-SVP에 참여하여 다른 국가들이 Kuroshio 해역에서 조사하는 자료를 획득할 필요가 있다. 해양자료와 정보가 부족한 북서태평양과 대마난류가 형성되는 동중국해에서 연구활동의 발판을 마련하여 국익 (수산업, 해저자원, 해상수송로, 해양환경)에 필요한 각종 고급 해양정보와 기술 도입에 기여할 수 있도록 주력하였다.

나. 연구개발 목표

- Kuroshio와 Tsushima 해류의 관련성 연구
- 동중국해와 북서태평양의 해수순환 연구능력 배양
- 한국 해양과학기술의 국제화 및 선진화
- 연안역 해양조사에서 외해 심해역 해양조사로 연구영역의 확대

다. 연도별 연구개발 내용 및 범위

연도별 주요연구계획과 내용은 표 1과 같고 연도별 세부사항은 아래와 같다.

1차년도

1차년도 연구개발 내용은 크게 해양자료수집, 인공위성 추적부이 예비조사, 장기 평균수온의 분포 3가지로 구성하였다. 연구개발 범위는 해양자료 수집의 경우 동중국해와 북서태평양에서 관측된 BT 자료의 수집, 자료의 질 검증, 1차 통계처리 및 예비분석이며, 인공위성 추적부이 예비조사에서는 WOCE-SVP 당국의 협조로 5 대의 위성부이를 본 연구팀에서 자체 제작하였고, 3 대의 부이를 1991년 7 월에 구주 서쪽 대마난류 분기 예상지역에 투하하여 이동경로를 추적하였다. 또한 조사해역에서 해수의 여름철 물리특성을 위한 CTD 조사를 2개 관측선 16 개 정점에서 실시하였다. 마지막으로 북서태평양에서 조사된 BT 자료를 정점별로 시계열화하고 각 층별로 20년 장기 평균수온과 표준편차를 계산하였다.

Table 1. Major items of the study.

1차년도 (1990-91)	위성부이 제작과 운영 : 위성부이 국내제작, 자료 송수신 체계 확립 동중국해 해양자료수집 : BT 자료수집 (일본해양자료센터), 자료분류 해류 및 일반해양관측 : 하계 위성부이실험 (3대), CTD 조사 (16정점)
2차년도 (1991-92)	동중국해의 해황분석 : BT, CTD 자료에 의한 시공간 변동성 북서태평양 상층해황 : BT 자료의 의한 상층해황의 시·공간변동 춘계위성부이 실험 및 : 춘계 동중국해 동부역 표층류 조사 일반해양조사 : CTD에 의한 물리특성 조사 (16정점)
3차년도 (1992-93)	동중국해 해황변동 : 대마난류수의 물리해양학적 특성 및 계절변화 추·동계 부이실험 및 : 4대의 위성부이 실험 및 대마난류 경로추적 정밀해양특성 조사 : CTD에 의한 정밀해양 분석 (38 정점) 해양 데이터베이스 : 바람장, 해저지형, CTD 데이터 베이스 구축 구축과 모델 도입 : 3차원 수치모델 코드 도입

2차년도

2차년도에는 1차년도 예비실험 결과를 토대로 보다 충실한 해양자료 분석과 관측에 힘을 기울였다. 해양자료 수집에서는 동중국해에서 80년대 관측된 BT와 CTD 자료를 일본 해양자료센터로부터 확보하였고 1, 2차년도 수집한 BT 자료를 정리하여 자료의 질을 점검하고 기본 통계분석을 하였다. 북서태평양 상층수온 변동성의 경우 BT 자료를 격자점별로 시계열 자료로 전환하고 상층수온의 계절변동을 분석하였다. 위성추적부이 실험에서는 1차년도에 투하한 부이를 계속 추적하여 여류철의 해류 경로도를 작성하였고, 봄철의 해류 경로를 파악하기 위해 1992년 4월에 대마난류 분기지역에 부이 3대를 투하하였다. 또한 1차년도에 조사한 CTD 자료를 분석하여 해수특성의 수직분포도를 작성하였고 92년 4월에 1차년도와 같은 관측점에서 CTD와 ADCP 조사를 실시하였다.

3차년도

최종년도인 3차년도에는 3개년에 걸쳐 연구한 결과를 종합 분석하여 최종 연구목표 달성에 도달할 수 있도록 주력하였다. 1, 2차년도 관측시 부족하였던 사항을 한정된 예산범위에서 보완할 수 있는 관측계획을 수립하여 조사를 완료하였다. 주요 연구범위를 보면 동중국해 동부역에서의 해수의 물리특성을 검토하였고, BT 자료를 분석하여 동중국해와 북서태평양에서의 상층수온의 분포특성을 분석하였고, 추계 정밀해양특성과 해류구조의 파악을 위해 1992년 11월에 4개 관측선 38개 정점에서 CTD 조사와 ADCP 관측을 실시하였고 4대의 위성추적 부이로 추·동계 대마난류의 구조와 경로를 조사하였다. 또한 2단계 연구사업을 위한 (1993년도 추진 중)해양순환모델분야 개척을 위해 3차원 해양순환모델을 도입하고 모델운영과 자료해석에 필요한 해저지형과 바람장, 그리고 기존 CTD자료를 이용하여 데이터 베이스를 구축하였다.

제 2 장 세계해양대순환실험 (WOCE)과 한국해양연구소 프로그램

제 1 절 국제동향

전 지구적 규모의 기후변동과 그 영향은 지구환경을 변화시키고 있으며 빈번히 발생하고 있는 이상기후는 인류생존을 크게 위협하고 있다. 현대과학 문명의 발달로 기후예보 적중률이 향상되고 있긴 하지만 전 지구적 규모의 기후변동을 성공적으로 예보하기 위해 세계해양대순환을 반드시 고려해야 한다는 새로운 인식이 1980년대 초부터 싹트기 시작했다.

지금까지 사용하였던 고전적 관측기법과 방법으로 획득한 자료만으로는 해양순환의 역학구조에 대한 이해가 어렵다. 이에 국제해양기구의 주관하에 세계적인 해양전문가와 정책자들이 연구 검토한 결과, 가능한 모든 해양국가들이 동참하여 정밀도가 한단계 높은 관측기기와 분석방법을 이용한 관측과 섬세한 수치모델링 기법을 개발하여 해양과 대기순환 그리고 해양-대기 상호작용에 관한 연구가 필수불가결 하다고 판단하였고 이를 위한 대규모 해양실험인 세계해양대순환실험 WOCE를 기획하여 세부프로그램에 대한 구체적 실천방향을 제시하였다.

전 지구적 규모의 기후와 해양변동을 규명하는데 가장 중요한 연구대상 해역 중 하나는 방대한 열에너지를 저위도에서 고위도로 수송하는 Kuroshio가 있는 서태평양해역으로 미국, 일본, 중국이 서태평양 해양프로그램을 선도해 가고 있다. 지역 공동조사 계획을 위해 1989년 6월 5-9일 일본 교토대학에서 열린 미-일 WOCE 3차회의에 중국, 캐나다, 필리핀, 한국, 대만이 참가하여 각국의 계획을 조정하였다. 독립된 해양순환계를 갖고있는 북태평양의 WOCE 지역협력과 일차 조사 연구 성과를 논의하기 위해 캐나다 국가 WOCE 위원회가 (위원장 P.

LeBlond 교수) 1차 북태평양 WOCE Workshop을 1992년 4월 Vancouver 소재 University of British Columbia 에서 개최하였다. WOCE의 전반적인 진행사항과 조정된 계획, 그리고 소위원회별 구체적 사항은 WOCE-IPO (International Planning Office)에서 종합정리하여 수시로 보고서로 출판하고 있다.

제 2 절 조직과 구성

WOCE는 WCRP (World Climate Research Program)와 CCCO (Committee on Climatic Changes and the Oceans)가 공동으로 주관하는 장기 프로그램으로 비정부간 학술기구인 ICSU (International Council for Scientific Unions), 국제기상기구 WMO (World Meteorological Organization), 국가간 해양과학위원회 IOC (Inter-governmental Oceanographic Commission)가 공동 후원하기로 1988년 파리회의에서 합의하였다. 파리 국제 WOCE 과학회의에는 44 개국이 참석하여 향후 10 여년간 WOCE의 방향과 추진방법을 논의하였다.

WOCE의 과학조정그룹 (Scientific Steering Group)이 정리·제시한 최종목표와 목적은 (1) 기후변동 예측모델의 개발과 모델 검증자료의 수집, (2) 해양의 장기변동을 위한 특별 WOCE 자료집의 대표성 결정과 해양대순환의 장기변화를 결정할 수 있는 방법의 모색이다. 조사활동은 크게 세가지 핵심 프로젝트인 Global Description, Southern Ocean, Gyre Dynamics로 구분된다. 집행소위원회는 해수 특성분과를 비롯한 6개 위원회로 구성되었다. 1984년부터 2000년까지 계획된 전반적인 조사·연구활동 일정표는 1차년도 보고서 그림 1에, 세부적인 활동계획은 본 보고서 그림 1에 제시하였다. 과학연구 그룹과 소위원회 그리고 각종 집행소위원회의 구성은 그림 2에 제시한 바와 같다.

Pre- WOCE	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	No Date	Uncommitted
P3 (85) P4 (89)	P16C P16N P16S P17C P17S	P6 P13 P14C S4 (P)	P1 P2 P8 P10 P14N P17N P17E P19 P25 P27 P28 P29 P30 P31	P9 P12 P14S P15N P15S P18 P21 P26	P24			P15S	P5 P7 P11 P20
<p>----- PR1 -----></p> <p>----- PR2 -----></p> <p>----- PR3 -----></p> <p>----- PR4 -----> PR4</p> <p>----- PR5 -----></p> <p>----- PR6 -----></p> <p>< (89) - PR11 ---> <----- PR11 -----></p> <p>< (89) - PR13N --> PR12 <----- PR12 -----></p> <p>< (89) - PR13N --> PR13N</p> <p><----- PR14 -----></p> <p>< (89) - PR15 -----></p> <p>----- PR16 -----></p> <p><----- PR17 -----></p> <p><----- PR18 -----></p> <p><----- PR19 -----></p> <p><----- PR20 -----></p> <p><----- PR21 -----></p> <p><----- PR22 -----></p> <p><----- PR23 -----></p> <p><----- PR24 -----></p> <p>----- PR25 ----- ?</p>									
<p>----- PRS1 ----- PRS3 PRS4 PRS7</p> <p>----- PRS2 ----- PRS5 PRS8</p> <p><----- PRS9 ----- PRS6</p>									
<p><----- PCM1 ----- ? PCM2 PCM4</p> <p><----- PCM3 -----> PCM13 PCM8</p> <p><----- PCM5 ----- ? PCM10</p> <p><----- PCM6 -----> PCM12</p> <p><----- PCM7 -----> SCM12</p> <p><----- PCM9 -----> SCM13</p> <p><----- PCM11 -----> SCM14</p> <p><----- PCM15 -----></p> <p><----- SCM3 -----></p> <p><----- SCM11 ----- (97)></p>									

Fig. 1. Timetable of the major WOCE events in the Pacific Ocean. P+number denotes the hydrographic one time survey sections, PR+number the repeated hydrographic sections, PCM (SCM)+number current meter arrays, and drifters ARGOS surface drifters (after WOCE International Project Office, 1993a).

Pre- WOCE	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	No Date	Uncommitted
(89) 8 SOFAR	6 SOFAR		17 RAFOS	<-- 90 RAFOS -->					
				<----- 12 RAFOS ----->					
	8 ALACE	2 ALACE		<-- 90 ALACE -->	40 ALACE				
		<-- 156 ALACE -->	6 ALACE	<----- 40 ALACE ----->					
					<-- 80 ALACE --(97)>				
					<----- 27 ALACE -----(97)>				
Drifters:	145	412	397	408	358	53			
<p>Most Low Density XBT lines are covered to some extent from 1990 or 1991 onwards. They include: PX1,PX2,PX3,PX4,PX5,PX7,PX8,PX9,PX10,PX11,PX12,PX13,PX14,PX15,PX17,PX18,PX20,PX21,PX22,PX25 PX26 (TRANSPAC),PX27,PX28,PX29,PX31,PX34,PX37,PX38,PX44</p> <p>Uncommitted Low Density lines are:</p> <div style="float: right; text-align: right;"> PX1 PX24 PX15 PX27 PX16 PX28 PX22 PX36 PX23 </div> <p>High Density XBT Lines:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <----- PX4 -----> <----- PX6/9 -----> <----- PX10 -----> <----- PX12A -----> <----- PX31 -----> <----- PX34 -----> <----- PX37 -----> <----- PX38 -----> <----- PX44 -----> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> PX5 PX12 PX14 PX29 PX36 </div> </div>									

Main Satellite Sensors for WOCE
Anticipated Lifetimes Shown by Arrows

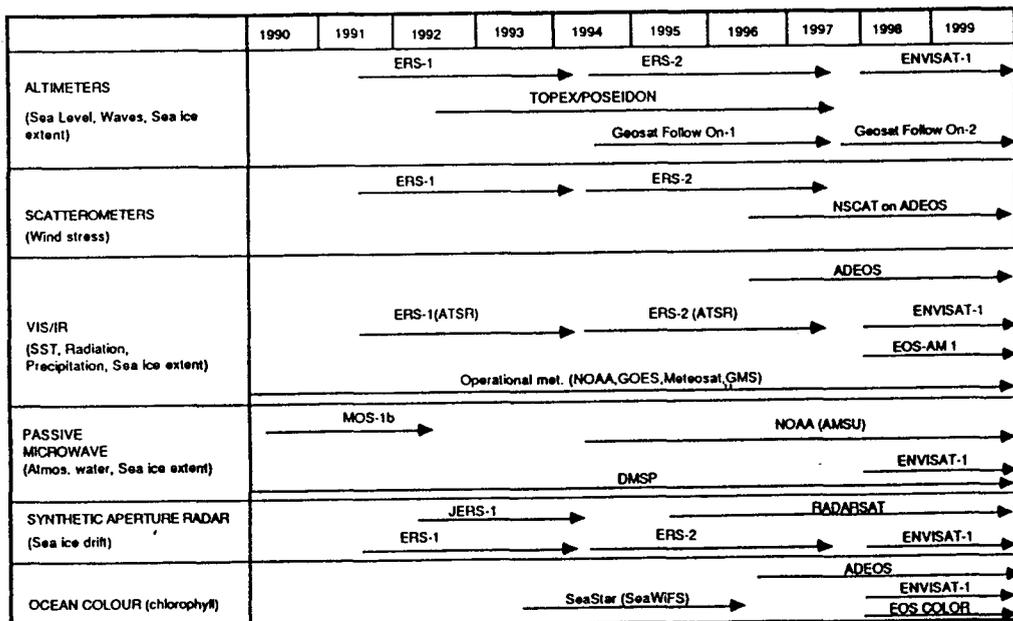


Fig. 1. Continued.

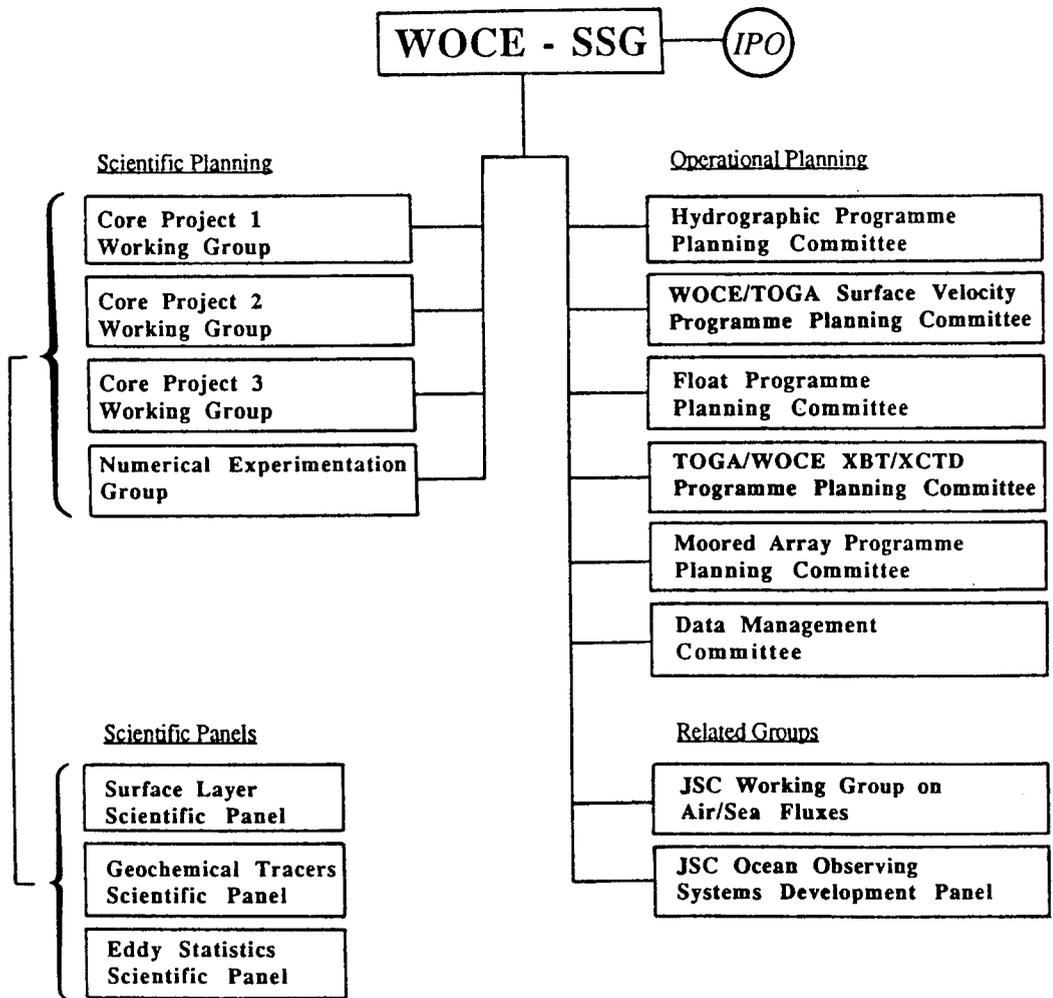


Fig. 2. WOCE scientific and operational structure (after WOCE International Project Office, 1993b).

제 3 절 목표와 목적

해양계에는 수 많은 과정이 일어나고 여러 규모의 시·공간 변동과 운동이 존재하고 있으나 아직도 관측에 의해 잘 기술되지 못하고 이해도 부족한 실정이다. 초기 기획단계에서 WOCE 과학조정위원회에서 몇가지 목표 및 목적을 확정하였다. 이러한 지침에 따라 어떤 종류의 업무가 포함되고 배제될 것인가를 결정할 수 있다. 목표와 목적을 간략히 기술하면 다음과 같다.

목표 1: 기후변동 예측에 유용한 모델 개발과 모델을 검증할 수 있는 자료 수집

목표 1에는 세계해양대순환, 대순환과 기후와의 관련성에 관한 다음과 같은 몇 가지 특수 목적이 있다.

- (1) 열과 담수의 대규모 플럭스, 발산과 플럭스의 연변동 및 경년변동,
- (2) 세계해양대순환의 역학적 균형과 표면플럭스에 대한 반응,
- (3) 수개월에서 수년, 1000 km에서 지구규모, 더 작은 규모의 해양변동성,
- (4) 10-100년 시간 규모의 기후계에 영향을 미치는 수괴의 형성, 유통 (ventillation), 순환.

목표 2: 해양의 장기 변동을 위한 특수 WOCE 자료의 대표성 결정과 해양 대순환의 장기변동을 결정할 수 있는 방법의 결정

목표 2에는 다음과 같은 목적이 있다.

- (1) 특별 WOCE 자료의 대표성 결정,
- (2) 10년 시간 규모의 기후감시 체제를 연속 조사하기 위해 필수적인 해양변수, 인자, 지역의 확인,
- (3) 진행중인 기후관측망에 적절히 이용할 수 있는 경제적인 기법의 개발.

제 4 절 표층류 프로그램 구성과 내용

가. 표층류 프로그램의 목표

해양의 상층은 흐름이 가장 빠르고 수온이 높아 운동에너지와 열에너지가 가장 큰 층으로 대기권에 즉 기후변화에 막대한 영향을 미친다. 따라서 표층류 프로그램은 그 목적이 상층해양내 해류 구조와 공간분포를 조사하고 연구하는데 있다.

수심이 깊은 대양에서 상층해류를 해류계와 같은 방법으로 조사하는데는 어려움이 있고 해류의 공간분포를 조사하기 위해서는 엄청난 인력과 예산이 소요된다. 따라서 저렴한 가격으로 해류의 경로와 공간 분포를 조사하는 방법으로 Lagrangian 방법인 표류부이를 투하하여 부이의 위치변화를 인공위성으로 측정하는 것이다. 즉 인공위성 추적부이 (satellite tracked drifter)의 위치를 극궤도를 선회하는 위성으로 준실시간으로 (near-real time) 모니터링하여 해류의 공간분포와 시간변화를 계산하여 해류를 조사하는 것이다.

1992년 11월 WOCE/SSG에서 수정 확정된 표층류 프로그램의 목표는 다음과 같다 (WOCE International Project Office, 1992).

1. 지구적 규모의 새로운 계절 표층류 도면을 작성할 수 있는 (500 km x 500 km 분해능)의 혼합층에서의 흐름,
2. eddy statistics와 입자분산,
3. SST와 해면기압을 위한 자료 제공,
4. 전지구적 기후모델 검증자료의 제공,
5. 지구적 규모의 풍성류와 그 영향의 기술,
6. 주요 해류에 대한 고정밀 관측.

나. 조직과 구성

WOCE 표층류 프로그램의 구성과 흐름은 그림 3과 같다. 총괄운영은 미국 Scripps 해양연구소에 위치한 Global Data Center (GDC)가 담당하고 자료처리, 보정, 보관 및 배포는 미국 Miami에 있는 Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (AOML)의 Drifter Data Acquisition Center (DAC)와 캐나다 Ottawa에 있는 Marine Environmental Data Service (MEDS)가 담당한다. 또한 자료통신을 위해 프랑스 Service Argos사와 그리고 WMO와 IOC가 지원하고 있는 Drifting Buoy Cooperation Panel (DBCP)과 긴밀한 관계를 유지하고 있다.

1. GDC는 각국의 연구책임자와 Data Acquisition Center의 업무를 연결, 조정하는 역할을 한다. 주로 부이의 운영, 기술개발, 그리고 각국의 연구책임자, 더 나아가 세계해양학계에 기술지원을 한다.

2. DAC의 주요역할은 각국의 연구책임자들의 양해아래 GTS (Global Telecommunication system)를 통해 Argos 부이에서 측정하는 위치와 수온을 바로 준실시간으로 자료를 수신하고 자료의 질을 점검하여 자료를 표준화한다. 자료는 WOCE와 TOGA의 SVP 연구책임자로부터 제공받고 매 6개월 마다 수집 정리된 자료를 MEDS에 송부한다.

3. MEDS는 1986년이래 IOC와 WMO의 위성추적부이 해양자료센터 역할을 담당하고 있다. MEDS는 수신된 자료를 1차 보정한 후 월 단위로 정리하여 표층류와 수온분포도를 작성하여 배포한다.

4. DBCP는 WMO와 IOC가 공동으로 지원하고 있는 국제기구로 기술조정자 역할을 한다. 즉 기상학자와 해양학자 사이에 공동협력을 유도하고 부이 자료를 GTS로 통신하도록 권장한다.

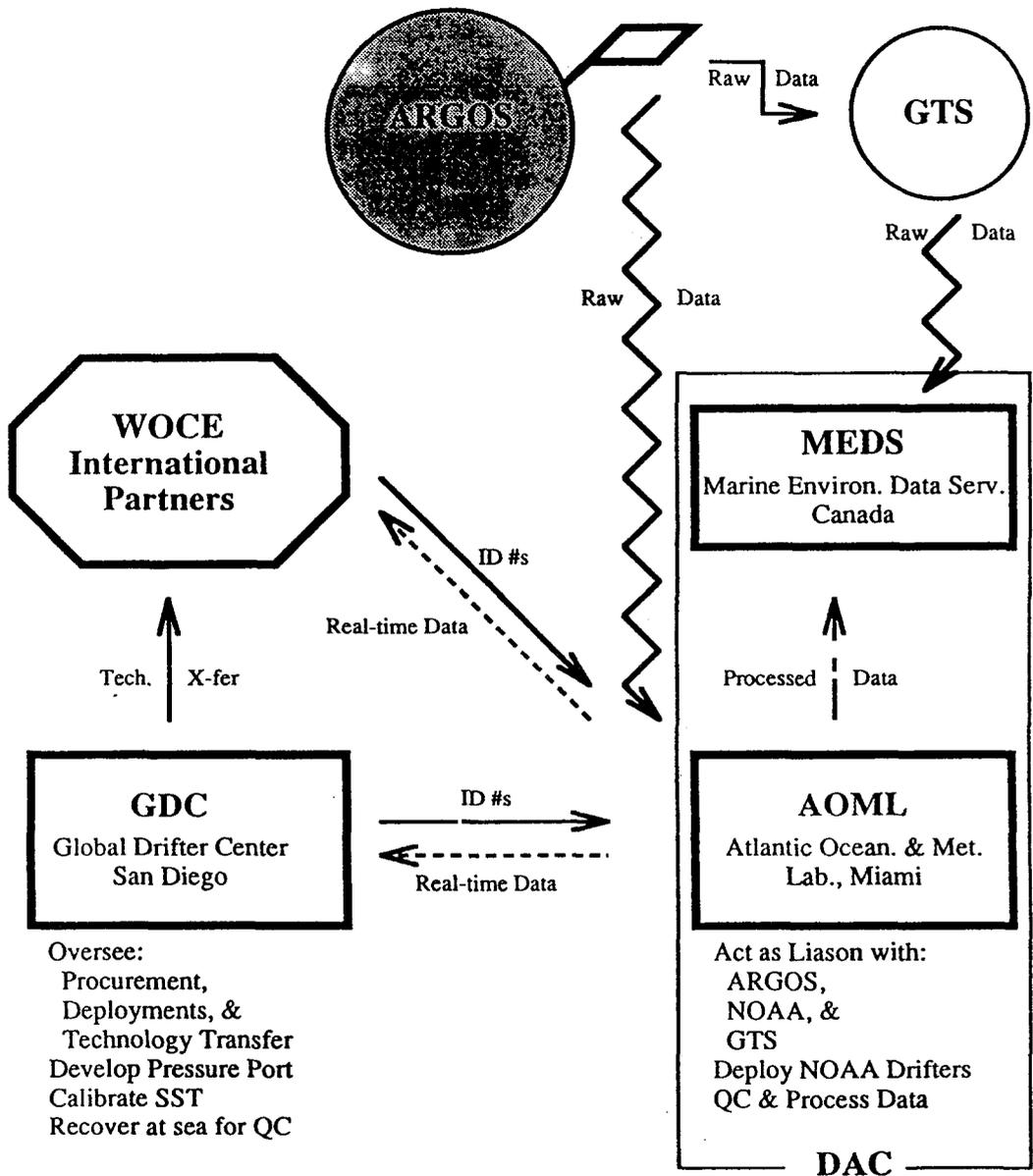


Fig. 3. Organization chart for the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1991).

다. 진행계획

1993년 1월 WOCE International Project Office에서 정리한 해역별, 국가별 SVP 프로그램의 진행과 계획은 표 2와 같다. 많은 국가와 해양기관이 1996년까지 계획을 수립하였고 지역별로는 태평양과 대서양에서의 SVP 활동이 매우 활발하다. 계획표에 의하면 태평양에는 1996년까지 적어도 1773대 이상의 위성부이가 투하될 예정이다. 그림 4는 연도별로 운영된, 혹은 운영될 위성부이의 수를 나타내는데 그 수가 매년 급격히 증가하여 1994년부터 매년 3000대 이상의 부이가 투하될 예정이다. 국가별 기여도 (그림 5)를 보면 미국이 전체 계획의 60 %를 기여하고 있다. 한국의 기여도는 1.6 %로 나타났으나 국립수산진흥원의 계획 축소로 기여도는 낮아질 것이다. 우리의 관심해역인 태평양해역에서 1992년도 활동현황 (그림 6)은 태평양의 주요 연안국들이 대부분 참여하고 있으며 특히 열대해역과 쿠로시오해역에 부이가 집중 투하되고 있음을 잘 나타내고 있다.

제 5 절 한국해양연구소의 주요활동

1. 1989년 6월 5일-9일 일본 교토대학에서 개최된 제 3차 미·일 WOCE 합동회의에 Observer 자격으로 본 연구책임자인 이홍재를 위시하여 한국해양연구소의 변상경 박사, 서울대학교 해양학과의 김 구 교수, 부산수산대학교 해양공학과와 장선덕 교수 4인이 참가.

2. WOCE 분야 프로그램 참여 여부를 검토한 결과 WOCE에서 요구하는 관측기법의 수준, 연구예산의 조달, 대양물리 전문가의 부족으로 일부 분야에만 참여하는 것이 타당하다고 판단. 우리의 연구영역을 대양으로 확장하고 최신 관측기술을 도입할 수 있는 표층류 프로그램 (Surface Velocity Program, SVP)에 참여를 결정.

Table 2. Commitment of deployment of surface drifters (WOCE International Project Office, 1993a).

14/1/93
 All drifters funded except those marked *P* (Proposed) or *I* (Interest expressed)
 Numbers marked with an asterisk (*) are drifters funded for that year but not yet deployed

Legend

A Atlantic Climate Change Program	S SUBDUCTION
C California Current Project	T TOGA Programme
TIWE Tropical Instability-Wave Experiment	K Kuroshio
J Japanese Pacific Climate Study	USCG US Coast Guard
M Asian Monsoon Mechanisms Study	W WOCE
MO Meteorological Office	WP WestPac
PC Pacific Circulation Study (PCS)	

<u>Country</u>	<u>Array Area</u>	<u>1990</u>	<u>1991</u>	<u>1992</u>	<u>1993</u>	<u>1994</u>	<u>1995</u>	<u>1996</u>	<u>Total</u>	<u># Buoy</u> <u>reported to</u> <u>AOML DAC</u>
ATLANTIC OCEAN										
Brazil (W)	20N - 60N			*17	19	15P	11P		62	
France (MO)	North Atl			3					3	3
Germany (W)		35	30	55	30	30P	30P		210	
(German drifters drogued at 100m outside tropics)										
NATO (W)	North Atl		33	47	20P				100	
NL (W)	North Atl	3	4	5	5	4P			21	
Nordic Gp (W)					20I	20I	20I		60	
Portugal (W)	AR11			*30	30	30			90	
UK (W)	North Atl			*5	38I	38I	39I		120	
USA (A)	North Atl			120	60	60			240	68
(S)	AR11			29	40	52P	30P	30P	30P	211
(USCG)					15				15	
CIS (W)				20P	20P	20P			80	
Totals		38	96	357	294	247	150	30	1212	71
INDIAN OCEAN										
Australia (W)					10	10			20	
Japan (M)		10	6	8	10	10	10		54	
USA						90P	60P		150	
Totals		10	6	8	20	110	70		224	
PACIFIC OCEAN										
Australia (T)	15N - 40N		3	3	3				9	
(W)	South West		10	13	10	10			43	
Canada (W)	North of 20N	17	33	23	30-40P	30-40P	30-40P		178	12
France (T)	20N - 20S	16	23	24	8P				71	33
Japan (K)		5	5	5	5	5	5		30)
(WP)		3	3	3	3	3	3		18)_10
(J)		19	18	18					55)
(PC)			8	10P	10P	10P	10P		48)
Korea (W)	North of 20N			3	5	26P	26P		60	3
ROC/USA (W)	North of 20N		36	36	36				144	30
USA (W)	Mid Latitudes	56	93	115	86	86			436)
(T)	Equatorial		138	125	115	115			493)_510
(C)	CA Current				54	32			86)
(TIWE)	Equatorial	23	22						45)
CIS/USA (W)	North West	6	17	17	17	17			57	
Totals		145	412	397	408	358	53		1773	488

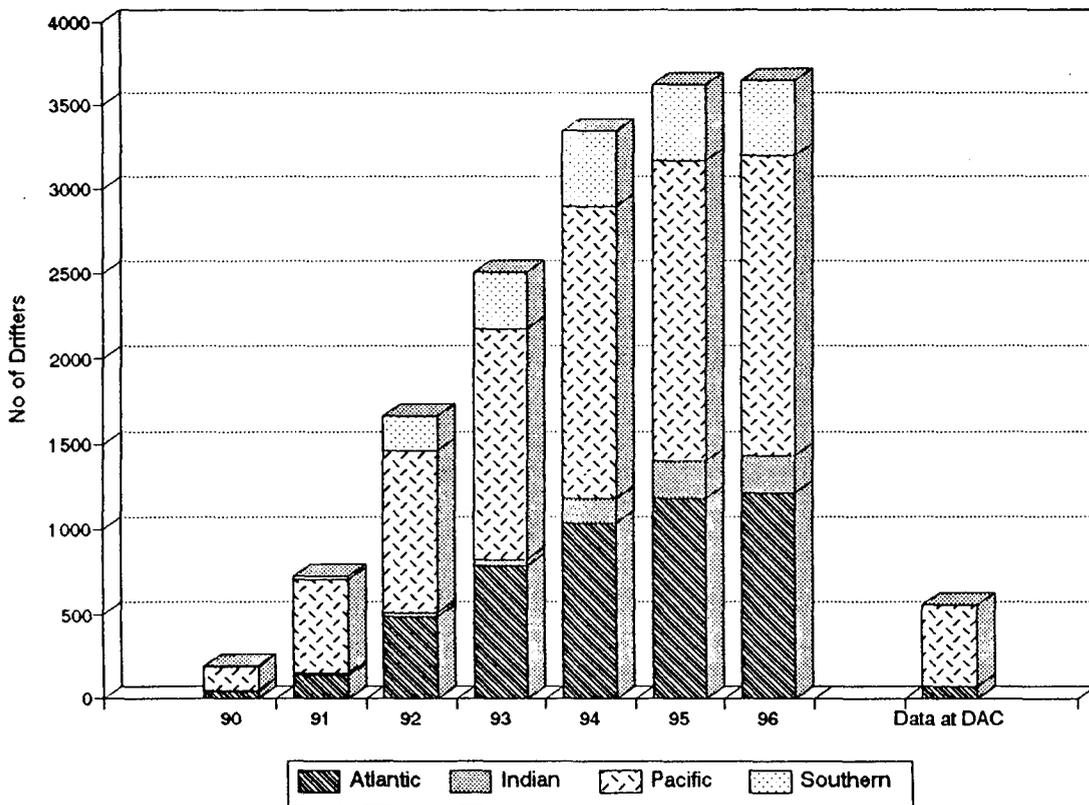


Fig. 4. Development of the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1993a).

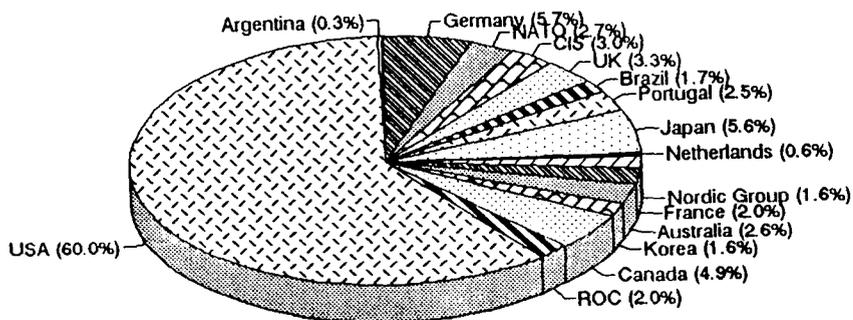


Fig. 5. Relative contribution of participant countries to the Surface Velocity Programme (after WOCE International Project Office, 1993a).

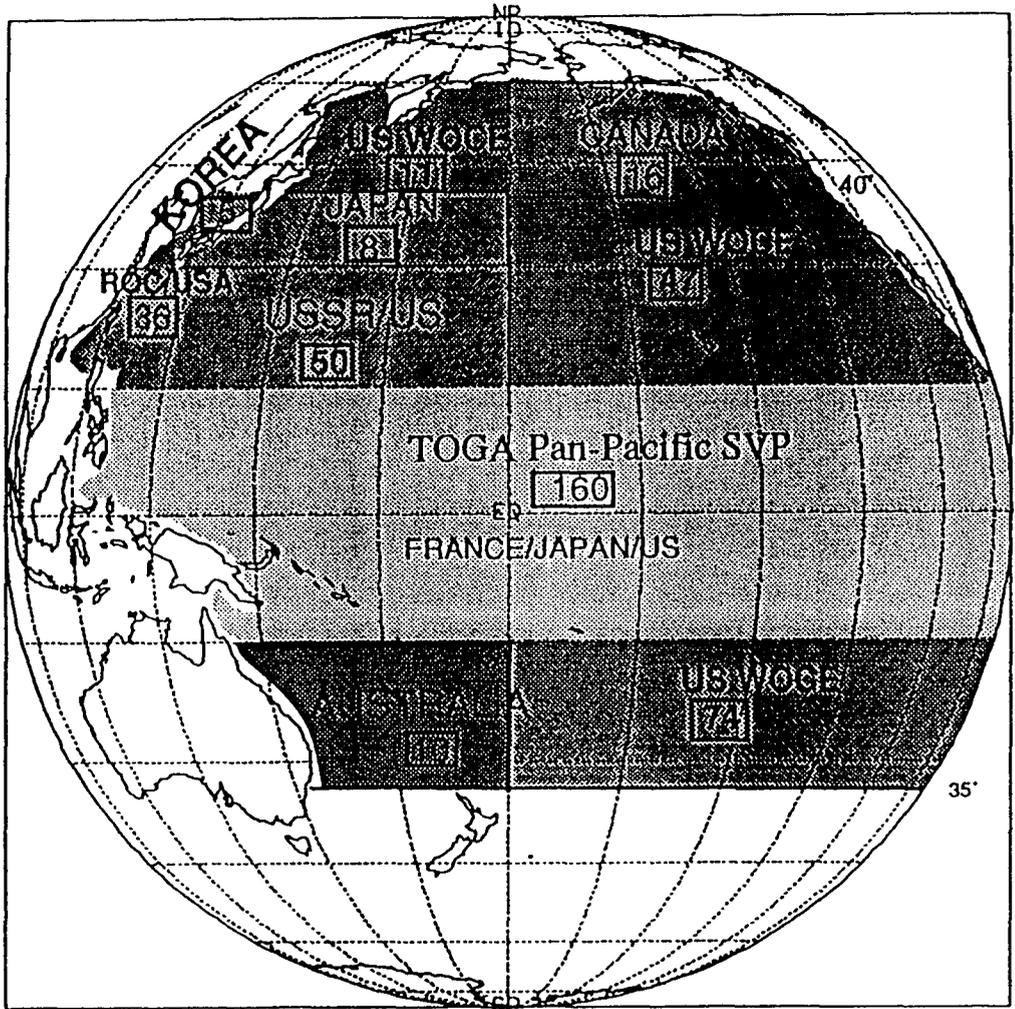


Fig. 6. Drifter deployment in the Pacific Ocean of the Surface Velocity Programme for 1992 (after U.S. WOCE Office, 1992).

3. 표층류 프로그램은 극궤도 인공위성을 통해 부이의 위치를 측정하여 해류의 시간, 공간 분포를 파악하는 것으로 기존의 해류 관측방법의 단점인 공간적 한계 점을 보완해 주는 최신 기법으로 이에 관한 내용과 관련기법을 파악하기 위해 WOCE/TOGA SVP 위원장인 미국 Scripps 해양연구소의 Niiler 교수를 해양연구소 UNDP 전문가로 1990년 5월 7-18일 초청하여 SVP에 대한 자문을 받음.

4. Niiler 교수의 제안으로 제 3차 SVP 태평양지역 전문가회의를 한국해양연구소가 후원하여 (Local organizer:연구책임자) 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 1990년 5월 17-18일 개최하였고 (회의일정: 1차년도 보고서 부록 I), 1990년 2월 중국 항주에서 개최된 제 1차 WESTPAC/IOC 지역총회에 공식 보고. 국내참가자는 해양연구소의 이홍재, 변상경, 석문식, 김창식, 김현영, 국립수산진흥원의 한상복, 강릉대학교의 최 효이며 국외에서는 SVP 위원장을 포함하여 미국, 일본, 중국, 대만, 프랑스, 캐나다의 국가 SVP 연구책임자들이 참가하였다. 세부사항은 WOCE Report No. 65/91 (WOCE International Project Office, 1991)에 수록되었음.

5. 본 연구책임자는 제 3차 SVP 회의에 동중국해에서 대마난류가 형성되는 예상해역에서 순환연구를 위한 한국측 계획을 보고. 본 연구과제가 1990년도에 정부 특정연구과제로 채택됨에 따라 1990년 9월에 WOCE 국제기획사무국에 한국해양연구소의 참여를 공식 통보 (1차년도 보고서 부록 II).

6. WOCE의 표준 위성추적부이를 국내에서 제작하기 위해 한국해양연구소 해양기기실의 전호경이 90년 9월 미국 Scripps 해양연구소에서 단기 기술연수.

7. 1991년 상반기 한국해양연구소에서 5대의 위성추적부이의 제작과 1991년 7월 3대의 부이를 예비실험 성격으로 구주 서부해역에 투하.

8. 1991년 4월 8-9일 Scripps 해양연구소에서 개최된 제 4차 SVP 전문가 및 연구책임자 회의에 연구책임자인 이홍재가 참가하여 부이제작 경과, 예비실험 결과 그리고 1992년도 한국측 계획을 보고.

9. 1992년 4월 2차년도 연구사업의 일환으로 3대의 부이를 1차실험과 같은 장소

에 투하하여 봄철 표층류 조사.

10. 1992년 4월 Bermuda에서 개최된 제 5차 SVP 회의에 91년도 결과와 92년도 한국측 계획을 분과위원장인 Niiler 교수가 대리 발표 (한국측 대표 불참).

11. 1992년 4월 27-28일 캐나다 Vancouver 소재 British Columbia 대학에서 개최된 1차 북태평양 WOCE Workshop (대회위원장 캐나다 WOCE 위원장 P. LeBlond 교수)에 연구책임자인 이홍재와 김철수 2인이 참가.

12. 1992년 11월 3차년도 연구사업으로 4대의 부이를 북위 31° 선상에 투하하여 가을과 겨울철 해류 조사.

13. 1992년 4월 (2차년도 사업중 수행)과 11월 (3차년도 사업중 수행)에 투하한 부이자료를 Drifting Buoy Cooperation Panel (WMO/IOC)가 기후예보에 활용할 수 있도록 조치하고 SVP 자료센터인 Miami 소재 Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory에 준실시간으로 자료제공.

14. SVP 자료센터인 DAC가 GTS를 통해 각국의 연구책임자로부터 북위 20° 이북 북태평양에서 1991년 7월부터 1993년 1월까지 총 19 개월간 제공받은 부이와 자료의 현황을 보면 (표 3) 총 164개의 부이로부터 6시간 간격으로 정리한 133,328 개의 자료를 입수하였고 이중 본 연구책임자는 7개 부이를 운영하면서 총 1472개의 자료를 제공.

Table 3. Receipt status of WOCE/TOGA SVP data generated by principal investigators from January 1, 1988 to January 31, 1993 (WOCE International Project Office, 1993c).

Pre-WOCE drifter data (TOGA Pan-Pacific: 1/1/88-6/30/91)

PI		No. Buoys Reported	No. Records
Niiler	(US)	252	236988
Hansen	(US)	164	190064
Ishii	(J)	52	45480
Reverdin	(F)	39	33860
Richardson	(US)	32	36092
Collins	(US)	6	1492
Cresswell	(Aust)	5	600
Total		550	544576

WOCE Data Period (7/1/91-1/31/93)

Tropical Pacific Region (20°N-20°S)

PI		No. Buoys Reported	No. Records
Niiler	(US)	198	247720
Hansen	(US)	96	105200
Reverdin/du Penhoat	(F)	54	29100
Nakamoto	(J)	8	5388
Hu	(ROC)	5	872
Ishii	(J)	2	272
Total		363	388552

North Pacific Region (>20°N)

PI		No. Buoys Reported	No. Records
Niiler	(US)	101	100540
Hu	(ROC)	44	23036
Thomson	(Can)	12	8280
Lie	(S Kor)	7	1472
Total		164	133328

South Pacific Region (<20°S)

PI		No. Buoys Reported	No. Records
Niiler	(US)	64	96672
Cresswell	(Aust)	13	9080
Total		77	105752

North Atlantic Region

PI		No. Buoys Reported	No. Records
Niiler	(US)	100	83532
Derek	(UK)	4	112
Blouch/Rolland	(F)	3	1852
Total		107	85496

Total WOCE Period		711	713128
--------------------------	--	------------	---------------

제 3 장 북서태평양 상층수온의 계절 및 경년변동

제 1 절 서 론

북서태평양에서의 상층 열분포는 Kuroshio와 밀접한 관련이 있으며 동중국해의 해황을 좌우한다. 지금까지의 많은 연구자들이 해표면 수온과 열량을 폭 넓게 연구하였지만 대부분의 연구가 열대해역에서 ENSO 신호를 분석하기 위해 수년간의 자료를 분석하였을 뿐 북서태평양 전체에서 수온의 계절, 경년변동 연구의 전체적인 모양을 심도있게 취급하지 못하였다. 따라서 수온 변동에 관련한 다음과 같은 두가지 질문을 던질 수 있겠다. 첫째 해표면 수온과 깊은 수심에서 수온 변동이 모양과 크기에서 다른 점은 무엇인가. 두번째 북서태평양 전체를 대상으로 할 때 수온의 변동성은 어떤 종관적 모양을 가질까. 이러한 두가지 질문을 해결하기 위해서는 여러 층에서 장기간 관측된 자료를 분석하지 않을 수 없다.

해표면수온과 상층열량 분포의 경년변동이 엘니뇨와 관련하여 많이 연구되었는데 Weare et al. (1976), Davis (1976), White et al. (1985a, b), Hanawa et al (1988)이 잘 정리하였다. 과거 연구결과로 밝혀진 중요한 사실중 하나는 열대태평양에서 엘니뇨가 발생할 때는 이상수온이 관측되는데 장기 평균치보다 높은 이상고온이 엘니뇨가 성숙하는 시기에는 평균치보다 낮은 이상저온이 출현한다는 것이다. White and Hasunuma (1980)는 북서태평양 중위도에서 상층수온의 열구조가 열대해역에서 ENSO (El Nino-Southern Oscillation)와 위상이 반대로 나타나는 것을 보였다.

제 2 절 BT (수심/수온) 자료 및 처리

본 연구에서 선택한 연구해역은 북서태평양으로 적도에서 북위 44° , 동경 120° 에서 180° 까지를 포함하는 해역으로 한정하였다. 연구에 이용된 자료는 XBT (expandable bathythermograph)와 MBT (mechanical bathythermograph)로 측정된 수심/수온 자료 (bathythermograph)로 연구해역에서 1964-83년 20년간 조사된 자료다. 본래 1964년 이전 자료도 많이 있으나 자료의 공간분포도가 1964년 이후에 비해 균일하지 않아 해석상 오류를 발생시킬 우려가 높아 제외시켰다. 자료의 대부분은 일본 해양기관이 관측한 것이며 일본해양자료센터 (Japanese Oceanographic Data Center)가 이를 수집 정리하였다. 일본해양자료센터의 자료 이외에 일본원양수산업연구소 (Japanese Far Seas Fisheries)가 1975-1983년 9년간 열대 및 적도해역에서 조사한 자료를 추가하여 자료 빈도수가 낮은 저위도해역을 일부 보완하였다.

연구해역에서 조사는 약 200,000 정점에서 이루어 졌다. 관측된 자료의 신뢰성을 높이기 위하여 일차로 자료의 질을 검증하였다. 일차 질검증에서는 수온이 믿을 수 없을 정도로 높거나 낮은지, 여러 층에서 동시에 관측되었는지 여부를 검토하였다. 일차 질검정에서 6,700 여개의 정점 자료가 적합하지 않은 것으로 판정되었다. 부적합하게 나타났던 두가지 큰 이유는 화씨로 측정된 것을 섭씨로 변환하지 않아 수온이 이상할 정도로 높았거나 자료화 과정에서 관측치를 잘못 입력한 것으로 생각된다.

그림 7은 일차 질검증이 완료된 약 133,000 BT 관측점의 공간 분포도이다. 관측은 공간적으로 비교적 골고루 이루어 졌다. 특히 일본열도 주변해역에서는 고정 관측선이 밀집되어 있어 타 해역보다 관측 빈도수가 높게 나타났고 반대로 적도해역에서는 빈도수가 비교적 낮은 것으로 나타났다. 주요 선박의 정기항로에서 관측이 빈번히 실시되었다는 것이 분포도에서 진한 선의 형태로 잘 보이고 있다. 조사

DATA NO. 132961 (64-83)

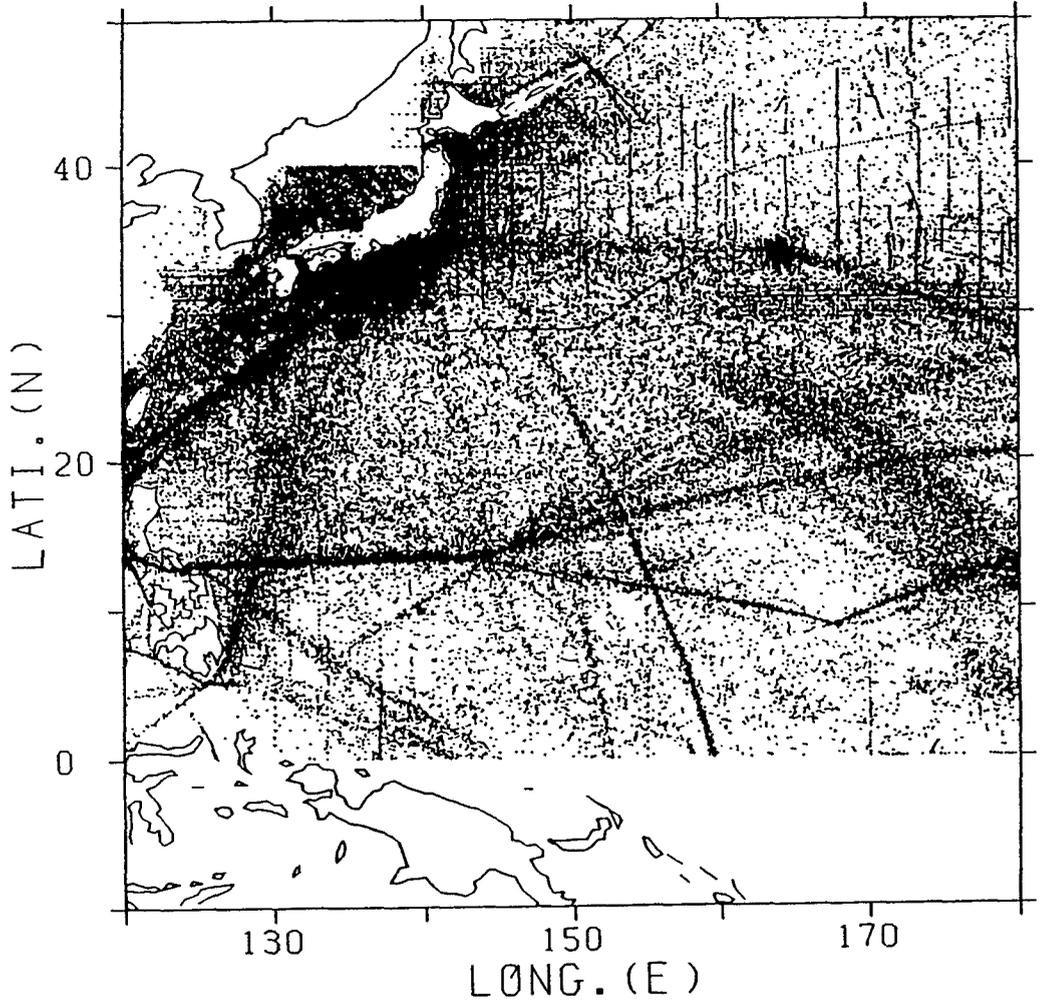


Fig. 7. Distribution map of bathythermograph observations in the western North Pacific during 1964-1983 after the first quality-control.

정점의 월별 분포도는 1차년도 보고서 그림 19에 제시하였다.

제2단계 자료처리를 위해 연구해역을 위, 경도를 2도 간격으로 세분한 후, 격자점 안에서 관측된 자료를 다시 2개월 시간 단위로 자료를 정리하였다. 단위시간 간격별 각 격자점에서 평균치와 표준편차를 계산한 후 관측치가 평균치를 중심으로 표준편차의 3배 이상 되는 자료를 제거하는 3SD (Standard Deviation) 테스트를 실시한 후 시간 간격이 2개월인 시계열 자료로 만들었다. 연구해역에서 비상관 시간척도 (decorrelation time scale)가 대략 3개월 정도였기에 (White and Bernstein, 1979) 시간 간격을 2개월로, 공간 비상관 척도가 ~100 km (White et al., 1985a) 이어서 2도 간격의 격자크기를 택하였다. 따라서 연구해역은 총 567 격자점으로 구성되었다.

3단계 자료처리는 2단계에서 얻은 시계열 자료가 분석에 바로 이용할 수 있을 정도로 시·공간적으로 완벽하지 못하다. 즉 관측자료가 부족한 저위도와 고위도에서는 결측이 많아 분석이 어렵다. 이에 Laplace 와 spline 보간법을 병용하여 관측 시계열 자료를 공간적으로 내삽하였다. 보간방법은 다음과 같은 식으로 기술된다.

$$\nabla^2 F(x,y) - \alpha \left\{ \frac{\partial^4}{\partial x^4} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right\} F(x,y) = 0$$

여기서 첫항은 Laplace 보간항이고 둘째항은 spline 보간항이다. 상수 α 는 두 보간법을 연결지우는 역할을 하며 $\alpha = 0$ 이면 Laplace 보간법에, $\alpha = \infty$ 이면 Spline 방법에 해당한다. 상수 α 변화에 따른 자료의 분포도는 1차년도 보고서 부록 III에 제시한 바와 같다. 본 연구에서는 $\alpha = 0.125$ 를 사용하였다.

제 3 절 장기 연평균 수온과 표준편차

앞 절에서 언급한 자료처리 방법의 순서에 맞추어 만든 격자점별 시계열 자료

로부터 20년간 장기 평균수온과 표준편차를 계산하였다. 연구대상 수심은 표층, 100, 200, 300, 400 m로 정하였으나 여기서는 표층, 200 m, 400 m 수심에서 분포도를 작성하여 제시하였다 (그림 8).

해표면수온은 위도에 평행하게 분포하고 북으로 갈수록 단순히 감소하는 반면 RMSD (root mean square deviation)는 북위 20° 이남에서는 2 °C 이하이나 북위 30° 이북에서는 3 °C 이상으로 위도에 따라 증가한다. 따라서 북서태평양 해류시스템은 SST에서는 잘 나타나지 않고 있다.

200 m 수심에서 수온은 적도지역을 제외하고는 Levitus (1982) 결과와 매우 유사하다. 북위 12° 에서 북적도류, 35° 부근에서 Kuroshio Extension과 Kuroshio 반류의 존재가 명확히 보인다. RMSD는 표층과 400 m 경우와 매우 다르고 북위 20-30° 에서 1 °C 이하로 최소치를 갖고 위도가 증가 혹은 감소함에 따라 편차가 작아진다. 열대해역에서 높은 RMSD는 적도류의 계절변화와 경년변동에 기인하는 것이다.

400 m에서 평균수온은 북위 15-35° 사이에 아열대 시계방향 대순환의 존재를 잘 나타내며 순환의 중심은 수온이 14 °C 정도로 구주남방에 위치한다. 적도류의 존재가 보이지 않고 2 °C 이하의 RMSD는 적도류의 약화를 입증하는 것이라고 판단된다.

제 4 절 수온의 계절변동

해양표층이 갖고 있는 열량은 계절에 따라 바뀌는데 열량은 여름철의 가열, 겨울철의 냉각, 그리고 역학적인 바람의 변화에 반응하게 된다. 수온의 계절변화가 전체변동에 미치는 기여도를 평가하기 위해서 계절별 수온분포를 계산하였다. 본 연구에서는 시간 간격의 기본을 2개월 단위로 정하였기 때문에 격월 장기 월평균

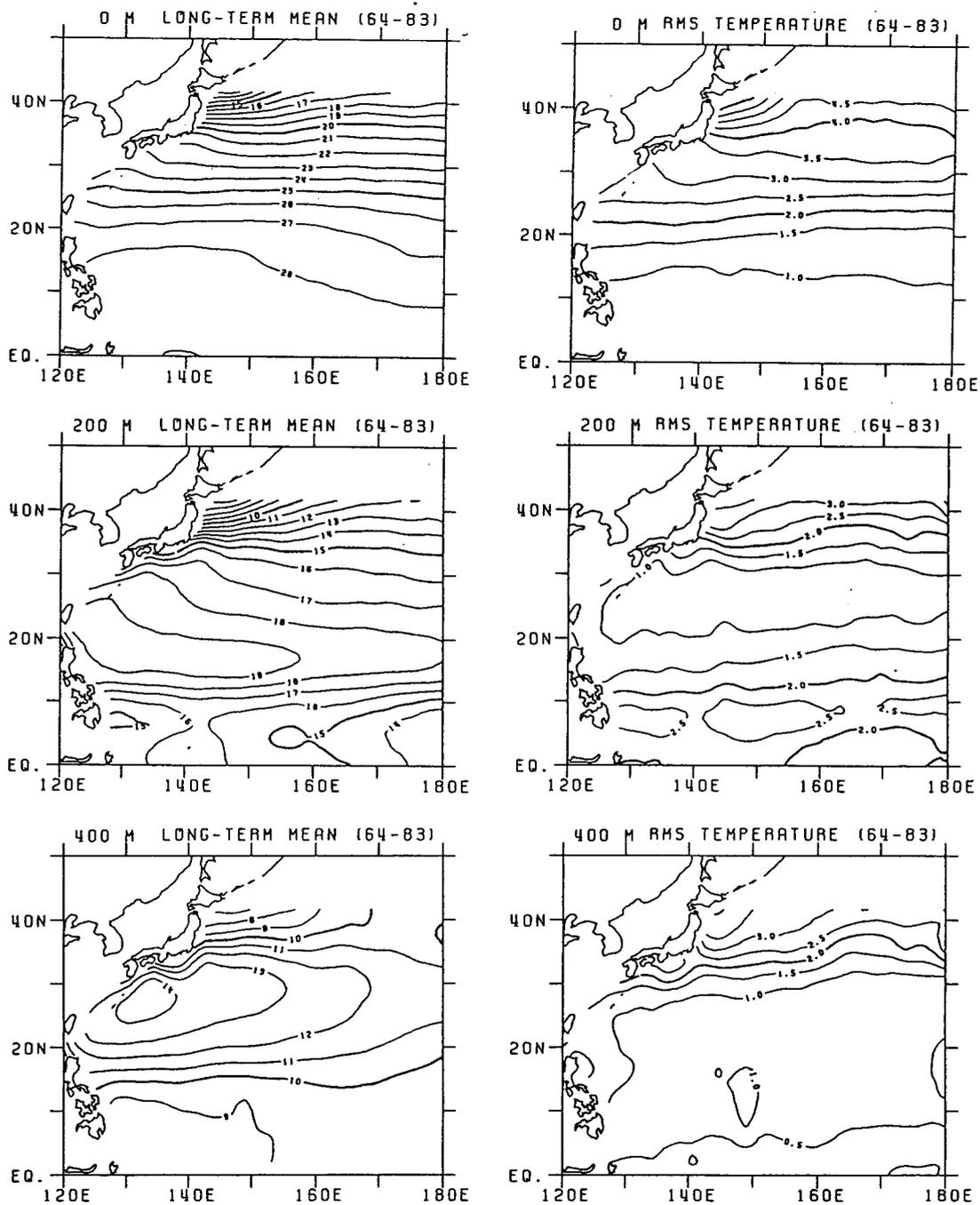


Fig. 8. Long-term annual mean and root mean square temperatures at the sea surface, 200 m, and 400 m of the northwest Pacific (1964-1983).

수온분포도를 작성하여 조사하였다. 월평균분포의 물리적 특성을 보다 정량적으로 쉽게 파악할 수 있도록 장기 연평균과 월평균 수온의 차를 계산하여 분포도를 작성하였다. 즉 각 격자점에서 월평균수온에서 연평균 수온을 빼게 되어 계절변화의 크기를 월별로 제시하는 효과가 있다.

수온의 계절변화의 공간분포를 보다 정량적으로 분석하기 위해 주기 1년에 해당하는 계절변화의 진폭과 위상을 조화분석 방법으로 계산하였다. 위상은 “도” 단위로 표시하였는데 1월 1일을 기준으로 하여 최고수온이 기록된 때까지 날수에 해당한다.

가. 해표면 수온

그림 9는 해표면에서 얻은 장기 월평균 수온 분포도이다. 1-2월, 3-4월의 표층 수온은 전 연구해역에서 연평균보다 낮아 겨울철 냉각이 심하게 일어남을 알 수 있다. 북위 35° 이북에서는 편차가 3 °C 이상으로 크게 나타나고, 열대 및 적도 지역으로 갈수록 편차가 작아져 냉각의 크기가 위도에 증가하는 것으로 보인다. 한편 7-8월, 9-10월 평균수온은 겨울철과는 대조적으로 연평균보다 높으나 분포의 모양과 크기가 겨울철과 매우 유사하다. 따라서 해표면 수온의 연변화 폭이 위도에 따라 증가해서 북위 35° 이북에서는 8 °C를 초과하는 것으로 나타난다.

5-6월과 11-12월 분포는 겨울과 여름 분포와는 다른 모양을 보인다. 즉 양과 음의 편차가 공존하고 있다. 5-6월에는 남서 해역에서 양의 편차, 북동 해역에서 음의 편차가 나타나 남서해역의 해표면이 먼저 가열된다는 것을 입증한다. 이와는 반대로 11-12월 분포는 남서 경계해역에서 음의 편차를 갖고 있어 냉각도 북동 해역보다 빠르게 진행되는 것을 보인다.

SST의 진폭과 위상의 공간분포 (그림 10)는 Levitus (1987)가 National Oceanographic Data Center와 Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set을 이용하여 계산한 결과와 잘 일치한다. 앞에서 지적한 바와 같이 계절변화의 진폭이

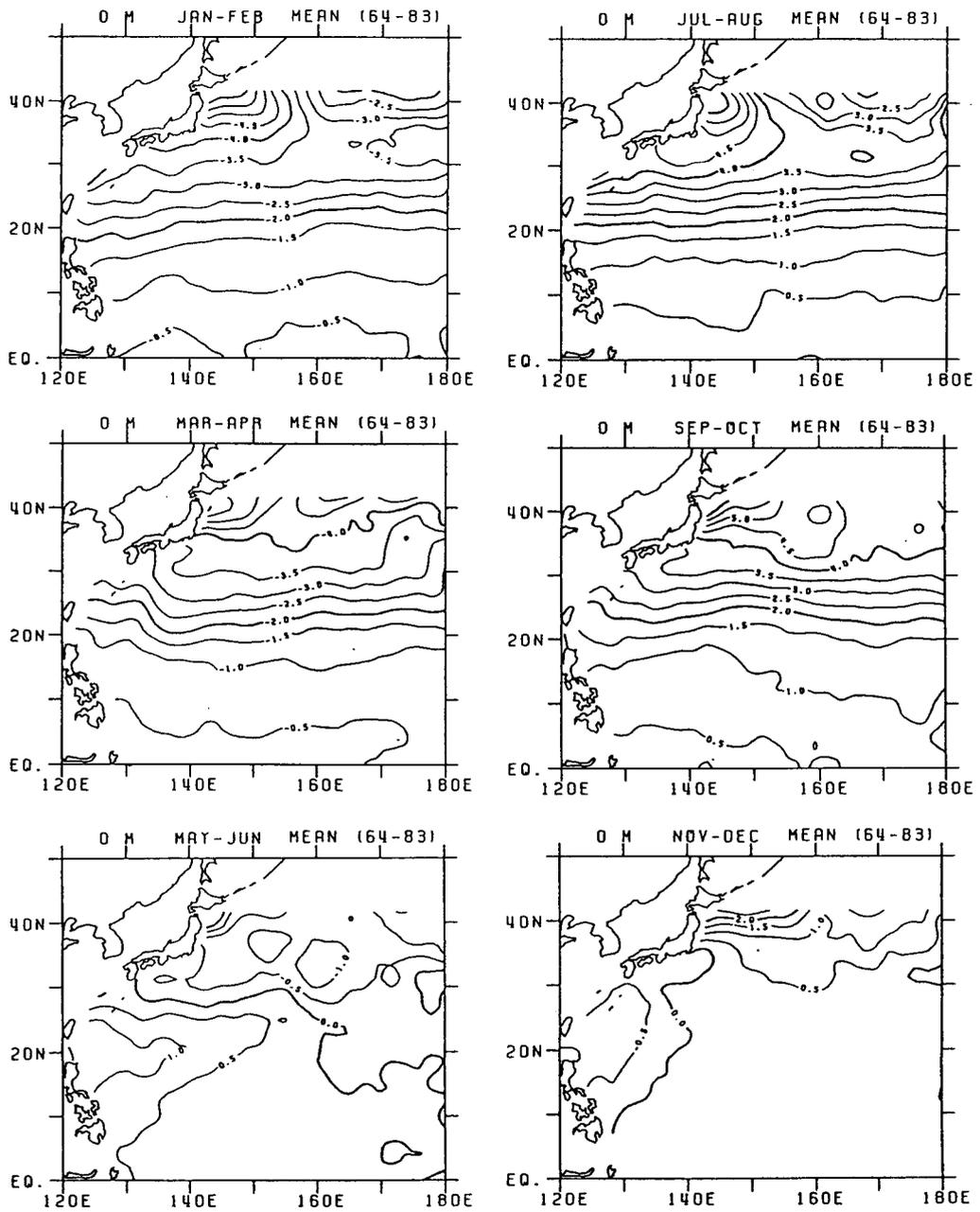


Fig. 9. Long-term bimonthly mean temperature at the sea surface with the long-term mean removed.

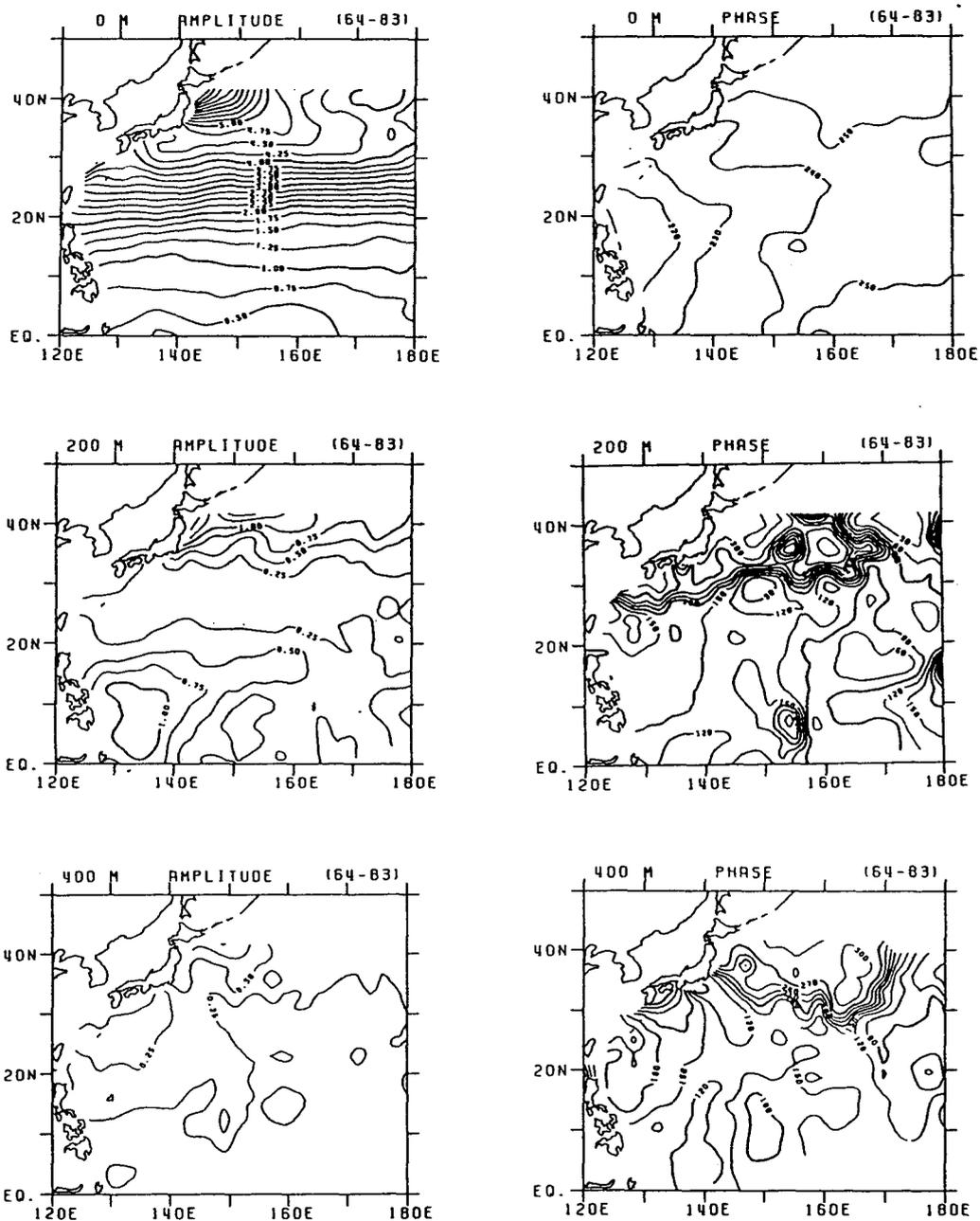


Fig. 10. Amplitude and phase of the seasonal cycle of variation in temperature (one year periodicity) obtained from the bimonthly temperature sequences. The phase corresponds to number of days from the first of January when the highest temperature is recorded.

위도 증가에 따라 커지며 SST의 분산에서와 같이 zonal 분포를 하고 있다.

5 °C 이상 크기의 진폭이 Kuroshio Extension 시작지역 북단에 위치하고 북위 40° 일본 동쪽에서 최대인 7 °C를 보인다. 계절변화에 기인하는 분산은 $0.5 \times (\text{진폭})^2$ 으로 주어진다. 따라서 RMS 수온으로부터 추정된 분산량의 70 % 이상이 계절변동에 기인함을 알 수 있다. 최고 SST는 전 해역에 걸쳐 8월 중순-9월 초순에 일어나고 앞에서 언급한 바와 같이 서부 열대해역의 위상이 다른 해역보다 앞선다.

나. 200 m 층 수온

수심 200 m에서 월평균 수온 (그림 11)은 SST의 분포 형태와는 매우 다르다. 장기 연평균과의 차이가 32° 남쪽 해역에서 3-4월에는 양이지만 서쪽 경계지역을 제외하고 SST가 최고가 되는 9-10월에는 부호가 바뀌어 음이 된다. 한편 고위도에서 차이는 11-12월에 최대이고 7-8월에 최소가 되어 SST와는 반대다. 그림으로 제시하지 않았지만 400 m 수심에서 월별 분포는 200 m 분포와 유사하다. 단지 고위도와 열대해역에서 월별 변화폭이 작을 뿐이다.

200 m 수심에서 계절변화의 진폭과 위상은 그림 10에 제시하였다. 진폭은 북위 20° 와 35° 사이에서 최소로 0.25 이하이고 고위도와 저위도로 갈수록 진폭이 커진다. 위상분포는 북위 28°; 동경 120°와 북위 35°; 동경 170°를 연결하는 직선 축을 기준으로 두가지로 구분된다. 축 남쪽과 북쪽에서 위상차가 180도, 즉 out of phase가 된다. 400 m 수심에서 분포는 200 m와 비슷하나 저위도에서 진폭은 감소된다. SST와 400 m 수심에서의 수온보다 200 m 층에서 진폭이 더 크다는 사실은 적도류 (Equatorial Current) 해역에서 큰 계절변화가 있음을 반영한다.

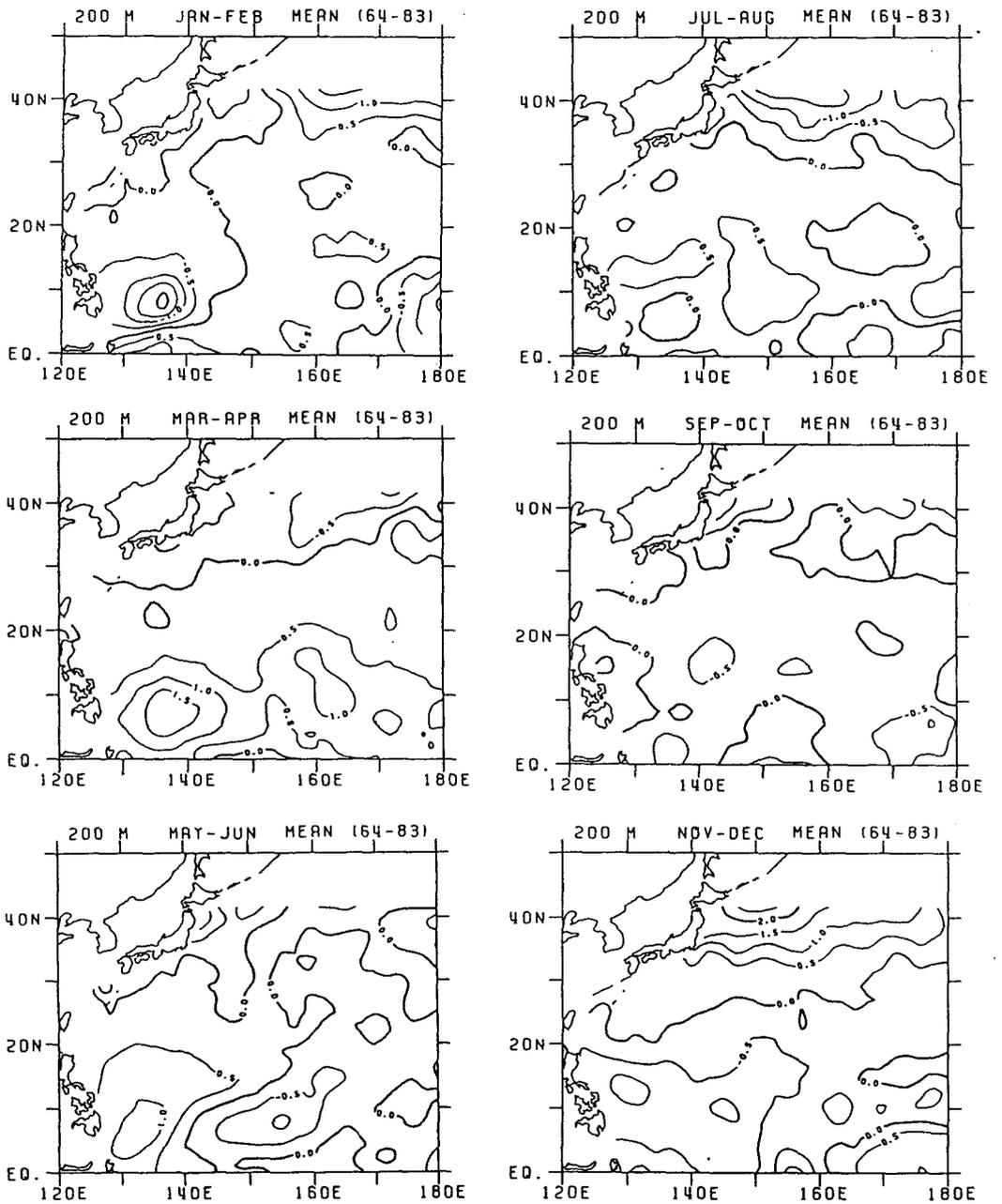


Fig. 11. Long-term bimonthly mean temperature at 200 m with the long-term mean removed.

제 5 절 수온약층 수심의 계절변화

수온약층 수심의 변화는 지역 바람장 (local wind stress field)의 종합적인 반응결과로 본다 (Veronis and Stommel, 1956). 따라서 수심변화는 해당지역이나 먼 거리에서 발생된 forcing에 의존한다. White (1978)는 간단한 2층 모델로는 수온약층 수심의 계절변화를 설명할 수 없다고 결론을 지었다. White는 200 m 층 수온의 계절변화의 진폭이 중위도에서 최저가 됨을 보이지 못하였고 본 연구결과 보다도 진폭이 훨씬 컸다.

Yoshioka and Yoon (개인통신, 1992)은 바람장에 의해 생긴 2층 준지형류 수치모델을 이용하여 수온약층의 계절변화를 계산하였다 (그림 12). 그들은 Kutsuwada and Teramoto (1987)가 준비한 바람장을 사용하였다. 계산결과 수온약층 수심의 계절변화의 진폭과 위상이 위도에 따라 띠모양의 분포를 하고 북위 32°를 기준으로 남과 북해역에서의 위상이 180도 정도 차이가 있었다. 북위 20°와 40° 사이 해역에서 32°를 기준으로 볼 때 수온약층의 수심이 남쪽 (북쪽)에서는 5-6월에 가장 얇고 (깊고) 11-12월에 가장 깊게 (얇게) 나타난다. 모델결과는 중위도 해역에서 200 m 수심의 계절변화인 씨-쏘 형태와 잘 일치한다.

수온약층 수심변화에 대한 정량적 분석을 위해 모델결과와 동경 160°를 따라 조사된 등온선 수직운동의 계절변화를 비교하였다. 등온선 상하운동의 계절변화에 해당하는 진폭은 그림 10의 계절변화와 장기평균 수온의 수직분포로부터 계산될 수 있다. 장기평균수온의 수직분포는 Shuto (1989)가 Levitus 자료를 활용하여 작성한 것을 이용하였다. 그림 13은 중간경계면 (interface)을 300 m와 600 m로 잡고 계산한 모델결과와 수심 200 m와 400 m에서 관측을 기초로 얻은 등온선 상하운동의 진폭이다. 모델진폭은 공간적으로 균일하나 대체로 8 m를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 그리고 경계면의 변화가 모델결과에 큰 영향을 미치지 못하였다. 그러나 관측결과는 등온선의 상하 이동이 북위 25°에서 최저이며 고위도와 저

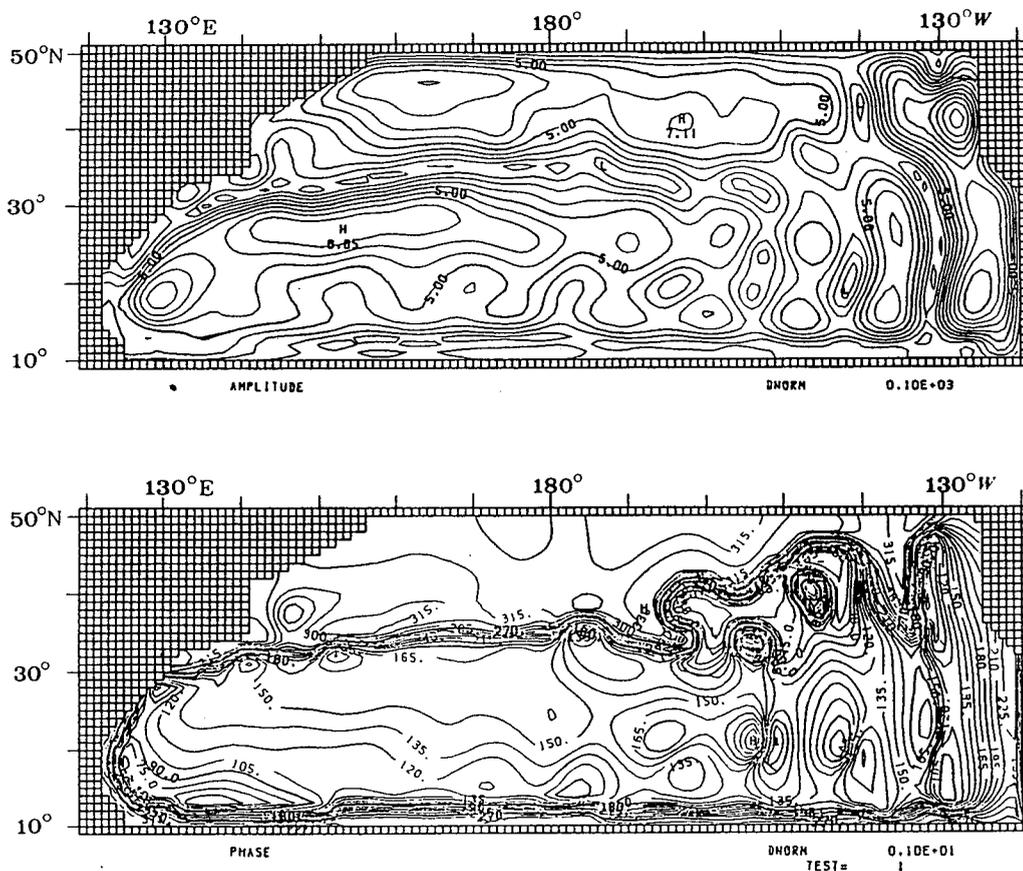


Fig. 12. Amplitude and phase of the seasonal cycle of variation of the thermocline depth in a two-layer wind-driven model (after Yoshioka and Yoon, personal communication). The model basin is 4500 m deep and the interface is located at 300 m. The amplitude is in meters and phase in degrees corresponds to number of days from the first of January when the amplitude is highest.

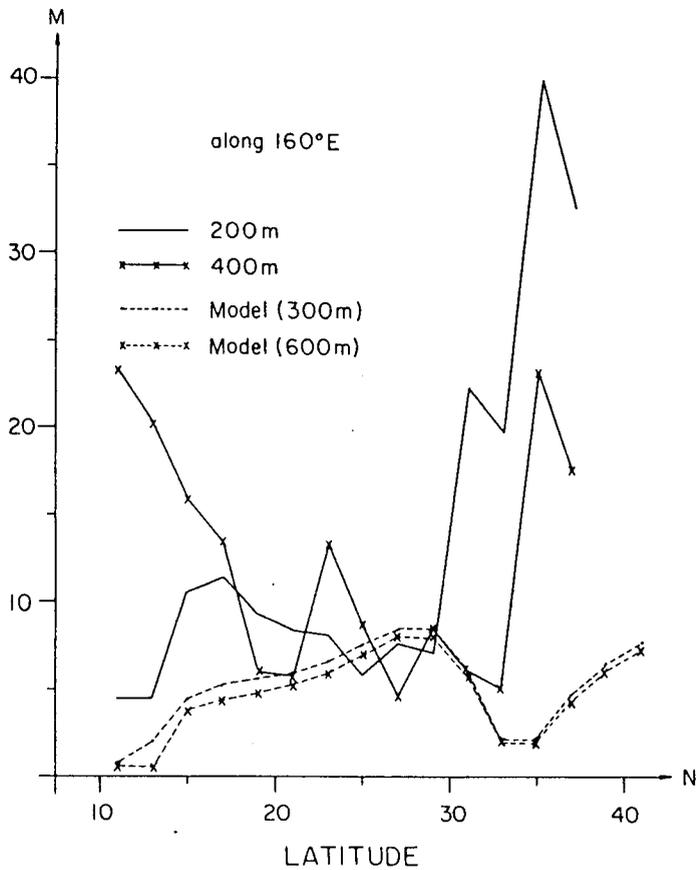


Fig. 13. Amplitude of the seasonal cycle of the main thermocline depth estimated from a two-layer numerical model in cases of interface of 300 m and 600 m in Yoshioka and Yoon (personal communication). The continuous line is the vertical displacement of isotherms at 200 m and the line with cross at 400 m.

위도로 갈수록 증가하였다. 북위 32° 이북과 15° 이남에서 모델과 관측결과의 큰 차이는 주로 모델이 갖고 있는 제약점에 기인한다. 고위도에서 약한 성층, 저위도에서 강한 성층은 경계면을 일괄적으로 잡은 (300 혹은 600 m) 2층 모델에서는 적절히 반영될 수 없다. 관측결과도 저위도에서 200 m와 400 m 사이에 큰 차이가 있는데 이는 적도류 해역에서 강한 수온약층이 100 m와 300 m 사이에 존재하는데 기인한다. 따라서 2층모델은 북위 15°, 30° 사이 중위도에서 잘 맞고 이 해역에서 관측과 모델결과의 정량적 일치는 바람 curl 장이 중요하다는 것을 반영한다.

제 6 절 수온의 경년변동

가. 표준편차

경년수온 자료는 격월 시계열자료에서 장기 격월 평균을 뺀 후 저주파 필터를 사용하여 얻었다. 결측된 자료는 필터를 사용하기 전에 cubic spline 방법으로 보간하였다. 저주파 시계열 수온자료의 RMSD를 그림 14에 제시하였다. 수온의 계절변동이 해표면에서 최대이고 수심 증가에 따라 감소하지만, 경년변동의 크기는 0, 200, 400 m 수심에서 모두 비슷하다. 따라서 계절변화량에 대한 경년변동의 비는 수심에 따라 커진다. 예를 들면 해표면에서는 그 비가 0.1 인데 비해 200과 400 m에서는 10 정도로 해표면에서는 계절변화가 매우 심하나 반대로 깊은 수심에서는 경년변화가 수온변화를 대표한다. 해표면에서 경년변동의 RMSD는 북위 30° 이남에서 0.2-0.4 °C이나 북위 30° 이북에서는 위도에 증가한다. 200 m 수심에서 1.0 °C 이하의 최소 변동이 북위 15-30° 사이 동서방향의 좁은 띠에서 존재하나 400 m 수심에서는 사라진다. 이러한 이유는 저위도에서 심한 경년변동이 수심 100-300 m 층에서만 나타나기 때문이다.

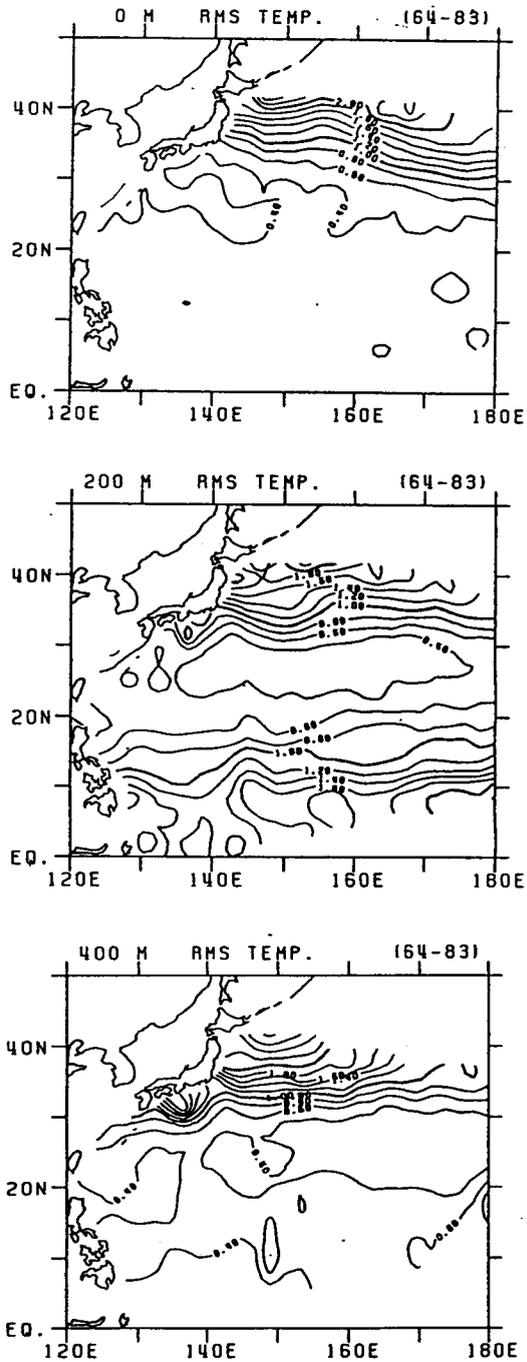


Fig. 14. Root mean square temperature of interannual temperature anomaly at the sea surface, 200 m, and 400 m of the northwest Pacific (1964-1983).

나. CEOF 분석

수온의 정년변동을 기술하기 위하여 아열대 시계방향순환과 적도류를 잘 반영하고 있는 200 m 층 수온 자료를 CEOF (Complex Empirical Orthogonal Function Analysis) 분석법 (e.g., Barnett, 1983)으로 조사하였다. 세가지 모드가 비정상 수온변동의 분산의 55 % 정도를 잘 설명한다. 즉 1 모드는 분산의 25.6 %, 2 모드는 16.6 %, 3 모드는 12.6 %를 각기 설명한다. 그림 15는 1 모드의 진폭과 위상의 공간 분포이다. 북위 13°에서 최대 진폭을 갖는 1 모드는 북위 20° 이남 열대해역에서 큰 변동을 반영하나 2 모드는 Kuroshio Extension 이북해역에서 큰 변화가 있음을 보인다.

1 모드의 위상분포는 일본 동쪽에서 위상의 급격한 변화가 있음을 제시한다. 조밀한 등치선으로 둘러싸인 내부에서는 진폭이 열대해역의 1/3 정도이나 위상은 바깥쪽 해역에 비해 180도 정도 늦는다. 위상분포는 진행파의 존재에 대한 좋은 정보를 제공한다. 만약에 진행파가 존재한다면 그림 15에서는 위상이 감소하는 방향으로 전파된다. 연구해역의 남동역에서 위상이 서서히 감소하는데 이는 북서방향으로의 진행파가 존재함을 뜻한다. 이러한 위상분포가 동태평양에도 존재한다는 조건하에 진행파의 동-서와 남-북 파장을 계산하면 열대해역에서 파장이 15,000 km와 7,000 km로 추정된다.

제 1모드의 위상의 시간변화 곡선을 보면 (그림 15) 3-4 년 주기의 파동운동이 우세함을 나타낸다. White et al. (1987)은 모델로 22 년간 계산한 역학수심 자료와 1980-1982년 사이에 관측한 역학수심 자료를 분석하여 같은 주기의 파운동의 존재를 제시하였다. 3.5 년 주기의 진행파를 고려하여 열대해역에서 동-서와 남-북 방향의 위상속도를 계산하면 약 12와 6 cm/s 이다. 2와 3모드는 진행파의 존재를 보이지 않는다. 1 모드의 진폭의 시간 함수를 보면 최대진폭이 1969, 1971, 1973, 1976, 1977년에 나타난다. 이 중 1969, 1971, 1977년은 ENSO 해에 해당한다. 이 그림에서는 CEOF 분석중 convolution 방법을 사용하였기에 1982-83 ENSO를

식별할 수가 없었다. 위상의 시간변화는 ENSO가 발생된 세 해에 위상이 180도이고 ENSO 발생 1년 후에는 -180도임을 보인다. ENSO와 관련된 토의는 Lie and Endoh (1991)가 자세히 기술하였다.

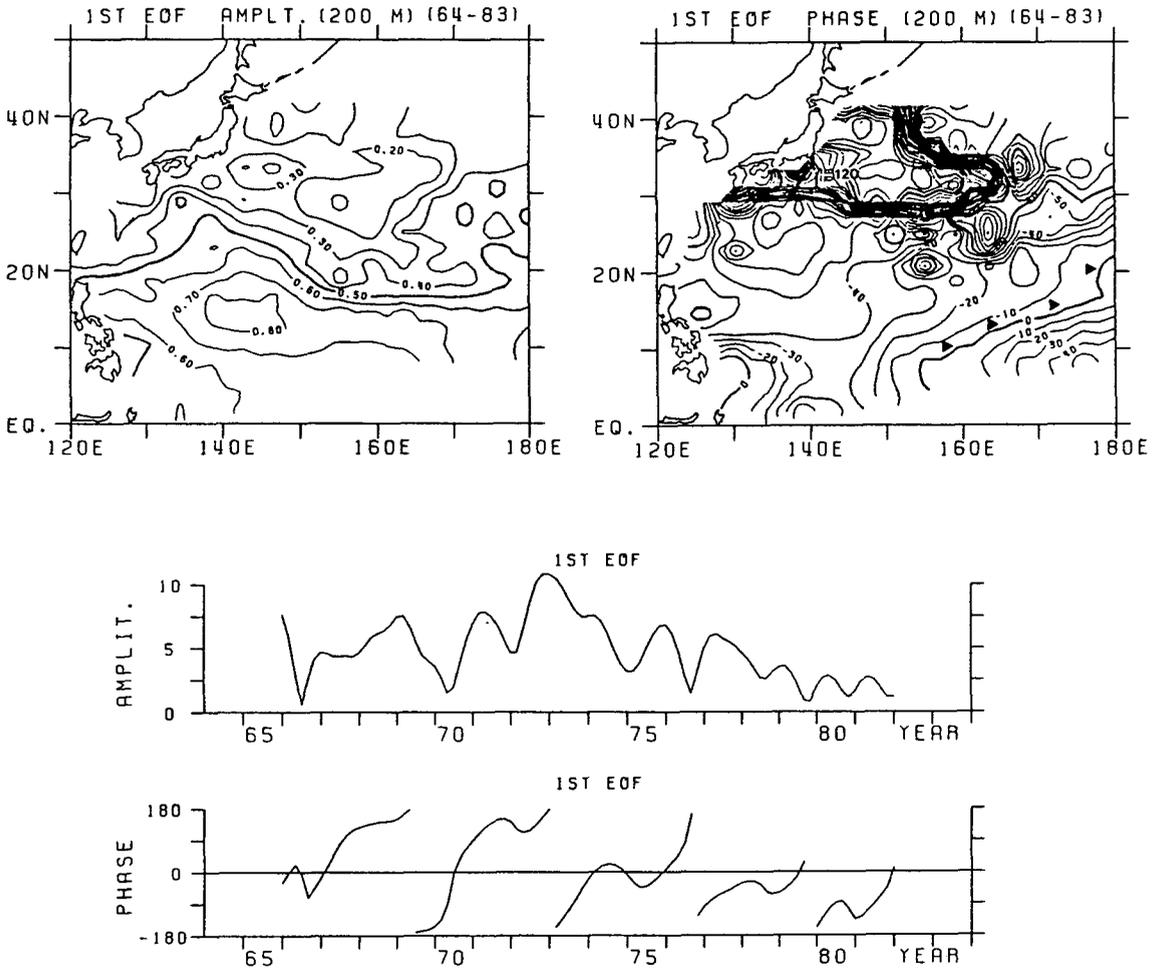


Fig. 15. Spatial pattern of amplitude and phase of the first complex empirical orthogonal function with time functions over the northwest Pacific.

제 4 장 동중국해의 해양특성과 계절변동

제 1 절 국내 연구현황

가. 해양조사

동중국해는 북으로는 황해, 한반도 남해안, 대한해협과 경계를 이루고 남으로는 대만해협, Ryukyu 열도, 일본 구주 남단을 잇는 선을 경계로 북서태평양과 접하고 있다. 따라서 남으로부터는 대양수가 유입하여 일부가 대륙연안수와 혼합하고 북으로는 동중국해의 해수가 황해와 동해로 유출되며 반대로 황해의 서부 연안역으로부터 연안수가 동중국해로 유입한다. 따라서 동중국해는 연안수와 외해수가 공존하는 해역으로 해양학적으로 현상이 매우 다양한 해역이다. 총 면적이 $0.752 \times 10^6 \text{ km}^2$ 이며 평균수심이 349 m이나 동중국해 대륙사면을 경계로 심해부와 천해부로 구분된다. 심해부는 대륙사면과 류큐열도사이 오가나와 trough로 평균수심이 1000 m 이상이고 천해부는 대륙붕 해역으로 대부분 100 m 이하의 수심이다.

동중국해, 특히 중남부 해역에 대한 국내연구 활동은 타 해역에 비해 매우 미미하다. 해양관측은 주로 국립수산진흥원의 정선관측에 의해 유지되고 있지만 조사해역이 동중국해 북부인 남해 연안역에 국한되었다. 1960년대 중반 쿠로시오 공동조사계획인 CSK에 국립수산진흥원과 교통부 수로국이 참여하여 5년여 조사활동을 벌인 것이 첫번째 체계적인 조사로 평가되고 그 후 1987년부터 4년간 한국해양연구소가 남해 해양환경도 작성을 위해 제주도 주변해역이 포함된 동중국해 북부해역을 대상으로 CTD로 정밀조사를 실시하였다. 1980년대 초부터 서울대와 제주대가 공동으로 제주도 주변해역에서 해양관측을 실시하기도 하였으나 동중국해

에서의 우리나라의 조사활동 실적은 다른해역에 비해 거의 전무한 실정이다. 최근 한반도 주변해역의 해양과 기후에 큰 영향을 미치는 대마난류의 기원과 형성을 규명하고자 세계해양대순환실험에 참여하여 인공위성 추적부이를 구주서방과 제주도 동부역에 투하하여 추적하고 있다. 국외 조사연구활동을 간략히 살펴보면 1980년대 초반 미국-중국이 양자강 하구역에서 체계적인 정밀조사를, 그리고 1986년에 한국-미국-중국이 미국 조사선을 이용하여 동중국해와 황해 전역에 걸쳐 겨울과 여름 두 차례에 걸쳐 물리특성과 해류관측을 실시하였다. 이후 1980년대 후반부터 중국과 일본이 7년 공동조사를 계절별로 시행하여 연도별로 해양환경도를 출판하고 있다.

나. 연구동향

지구상 최대해류의 하나인 쿠로시오가 동중국해의 대륙사면을 따라 북동진하면서 대륙붕상에 대마난류나 대마난류와 같은 지류를 생성시킨다. 이들 지류는 북상하면서 동중국해는 물론 동해 및 황해에도 막대한 열과 염을 공급한다. 또한 중국대륙과 황해로부터 방대한 양의 담수 (연간 10^{12} m³ 이상)가 유입되고 있으며 조석운동이 대륙붕역에서 우세하게 나타난다. 일본과 중국과학자들은 동중국해 전역을 대상으로 광역 조사활동을 특히 동중국해의 해수순환, 양자강하천수, 연안수와 쿠로시오수계의 혼합, 쿠로시오와 그 변동에 중점 연구를 수행하고 있다. 반면 우리나라의 조사 대상해역은 주로 제주도 주변해역과 남해 연안역이어서 우리의 연구분야가 연안해양현상에 국한되고 연구도 물리특성 분포의 정성적 분석에 치중될 수 밖에 없었다. 국내 연구동향을 보면 황해에서와 비슷하며 주요 연구주제는 남해 연안역에서 물리특성의 시·공간 분포, 남해안 연안전선, 제주도 주변 해역의 수괴와 황해난류수의 확장, 대한해협 입구에서 대마난류수의 물리특성 분포로 정성적인 성격의 연구 위주였으나 1980년대 중반부터 남해에 대한 정밀해양특성, 제주도 주변해역의 조석, 황해냉수의 남하, 황해난류의 경로에 대한 정량

적인 접근이 있었다. 동중국해 전역에 대한 조석연구는 황해를 포함한 해역을 대상으로 한 2차원 수치모델 연구가 활발히 이루어 졌다. 대마난류의 기원과 경로, 황해난류의 경로, 양자강 퇴적수의 확장, 2차원 해수순환모델, 3차원 조석수치모델 연구와 같은 동중국해 전체 해양시스템과 관련된 연구는 1980년대 후반부터 주요 과제로 연구자의 관심이 모아지고 있다.

한국 남해에 대한 해양특성과 분포에 대한 연구를 우선 살펴보면 정선관측 자료를 이용하여 남해 수괴의 계절변화 (Kang, 1974), 남해 연안역에 존재하는 수온 전선의 계절분포 (Gong, 1971)와 추계 특성조사와 위성영상자료 분석에 의한 열·염전선 (Lee et al., 1984)에 대한 분석이 있었다. 제주도를 포함한 남해 전해역에서 CTD로 조사한 자료를 분석하여 수괴와 물리특성의 계절분포가 제시되었고 (KORDI, 1984-1990), 서울대-제주대의 공동조사 자료로부터 하계 제주도 주변해역에서 수괴와 물리특성이 분석되고 (Kim et al., 1991), 황해남부와 제주도 부근해역의 하계 물리특성자료를 정리하여 황해난류수와 황해냉수의 특징과 흐름에 대한 제시 (Park, 1986)가 있었다. 대마해협 입구인 제주도 동부해상에서 혀모양의 대마난류수 확장 (Rho and Hirano, 1983)과 한국해양연구소의 CTD 자료로부터 가을철 제주도 남부에서 대마난류수의 서쪽으로 확장 (Byun and Chang, 1988)이 보고되었다. 동중국해 전해역에서 한국-미국-중국 공동조사를 통해 획득한 1986년도 1월과 8월 CTD 자료를 이용하여 황·동중국해 수계에 대한 분류 (Kim, Kim et al., 1991)와 1977년 조사된 일본자료에 근거하여 하계 물리특성 분포 (Park, 1985)가 기술되었다. 하계 제주도 연안에서 수직적으로 균질한 해수의 존재 (Kim and Lee, 1982), 남해 연안수온과 염분의 시계열분석 (Kim, 1982), 제주와 남해안 사이 표층수온의 변화 (Rho and Kim, 1983), 표층에서의 수온역전 (Kim and Yug, 1983), NOAA 적외선 영상자료에 의한 남해 연안수의 수온분포 (김, 1989)에 대한 연구가 수행되었다.

조석에 의한 해면변화와 균일한 바람장에 의한 해수유동에 관해서는 황해와

동중국해를 대상해역으로 수행한 수치모델 연구 (Choi, 1980, 1984)가 있었다. 지역 해양현상으로 낙동강 하구역에서 조석과 조류 (유와 장, 1979), 제주도 주변해역에서 M2 분조의 비대칭성에 대한 해석적 연구 (Kang, 1984)와 자료분석에 의한 M2 분조의 진폭과 위상 분석 (Kim and Lee, 1986), 일주조의 특성분석 (Lee and Kim, 1988)이 수행되었고 조석에 의한 잔차류 연구 (Park and Kim, 1987)도 있었다. 한편 태풍해일에 의한 해면변화 (Hwang, 1971)가 일부 연구되었다.

해수순환은 해류관측에 의한 연구보다는 주로 수괴의 분포특성과 수치모델에 의해 연구되었다. 수치모델에 의한 연구에는 쿠로시오로부터 대마난류의 형성 및 이의 수송량에 대한 것(남과 승, 1992; Seung and Nam, 1992)이 있으며, 해수특성에 근거한 해수순환 연구는 남해 연안에서의 해수유동의 일반적 특성 (Lim, 1976), 황해 동부 연안역으로 황해난류의 북상설에 대한 부정 (Lie, 1985, 1987), 황해냉수의 남하 (Park, 1986), 여름철 황해난류의 제주해협으로 우회 (Kim, Rho et al., 1991)가 보고되었다. 동중국해 바람분포에 따른 개략적인 취송류의 추정 (Chang, 1970), 낙동강 하구역에서 하천수의 확산 (추, 1978), 염분분포로부터 추정된 흐름 (장 등, 1981)에 관한 연구도 있었다. 해수특성자료를 분석하여 대마난류의 기원에 대한 논의 (Lim, 1971)와 동중국해에서 대마난류 기원과 경로 규명을 위한 1991년 하계와 1992년 춘계에 위성추적부이 실험과 CTD 관측에 의한 동경 127° 를 따라 대마난류의 북상과 구주서방에 시계방향으로 회전하는 소용돌이의 존재 (이, 1991, 1992)를 확인하였다.

제 2 절 동중국해의 물리특성과 계절변동

가. 일반적인 해황특성

동중국해에서 주요 해류는 쿠로시오 대만과 요나쿠니지마 (Yonakunijima)섬

사이의 통로를 통해서 들어와 대륙사면을 따라 북상한다. 쿠로시오의 유속은 수심 1000 m를 넘는 오키나와 골 (Okinawa Trough)의 중앙에 위치하고 있으며 변동 폭은 약 20 해리이다. 북상한 쿠로시오의 대부분은 구주 남쪽의 토카라해협을 통해 태평양으로, 일부는 북서쪽으로 분기하여 대한해협과 황해쪽으로 흘러간다. 대마난류는 30.5° N, 129° E 부근에서 쿠로시오로부터 분기하는 것 같으나 (Nitani, 1972) 정확한 위치와 기원, 형성 등에 관해서는 아직 정확히 알려지지 않았다.

동중국해의 해수순환에 영향을 주는 주요 인자들은 지형, 바람, 양자강수의 유입, 대만해협을 통해 유입하는 남중국해의 해수, 성층구조 등이 있다. 북서 계절풍이 강한 겨울철에는 대만 동쪽으로부터의 쿠로시오 유입이 강화되며 대만해협으로부터의 남중국해의 해수유입은 약화되며 쿠로시오가 중국대륙쪽으로 넓게 확장된다. 한편 남동 계절풍이 강한 여름에는 반대현상이 나타난다.

주요 수계로 크게 두가지로 북태평양열대수 (North Tropical Water)와 북태평양중층수 (North Pacific Intermediate Water)가 있다. 북태평양열대수는 염분최대층 (약 34.9 %)을 나타내는 수계로, 중심이 약 200 m 수심에 위치하여 쿠로시오의 상층부를 구성하고 있으며 일부는 대륙사면 위까지 뻗치고 있다. 북태평양중층수는 염분최소층(34.25 - 34.40 %)을 나타내며 쿠로시오의 하층부분을 구성하고 있다. 그의 표층에는 34.0 % 이하의 연안기원 저염수가 있다 (Nitani, 1972).

나. 해황의 계절특성과 변동

동중국해에서 쿠로시오 해역을 125° E 동쪽으로 정하고 쿠로시오를 중심으로 100 m 수심에서의 해황의 특성과 변동을 계절별로 조사하였다 (그림 16-19). 자료는 일본 기상청 나가사키해양기상대 소속의 조사선 Chofu Maru에 의해 계절별로 연 4회 (1-2 월, 4-5 월, 7-8 월, 9-10 월) 관측된 것이다.

겨울철 해황을 보면, 쿠로시오 유속의 지표로 사용되는 200 m 수심에서 16-17 °C 등온선의 분포로 보아 쿠로시오는 구주 남서쪽에서 31° N를 약간 북상한 후

다시 남하하여 곧바로 토카라해협으로 빠져 나간 것으로 추측되는데, 100 m 수심의 수온은 14-22 °C의 분포로 최고수온이 여름과 가을에 비해 1-2 °C 정도 낮지만 대체로 연중 큰 변화가 없다. 염분은 34.5-34.7 % 이상으로 쿠로시오계의 고염분수가 조사대상 해역에 넓게 분포하고 있다. 밀도는 thermosteric anomaly를 사용하였는데, 200-370 cl/t 사이의 분포를 나타낸다. 용존산소는 4.1-5.7 ml/l의 범위를 갖고 제주도 남쪽해역에서 최대값을 보이는데 이것은 연중 가장 높은 값이다 (그림 16).

봄철에는 쿠로시오가 겨울철 보다 더 넓게 확장하며 큰 규모로 북상하여 31° N를 넘은 후에 다시 남하하여 토카라해협으로 향한 것으로 보인다. 제주도 남쪽해역에서는 14 °C 이하, 34.2 % 이하의 저온·저염수가 나타나는데, 이 해수는 5.0 ml/l 이상의 고용존산소를 갖는다. 4.5 ml/l 이하의 저용존산소가 조사해역의 남서에서 북동으로 뻗어 있다 (그림 17).

여름철에는 봄철에 비해 고온의 해수가 더욱 북상하였다. 그러나 200 m 층의 16-17 °C 등온선의 분포로 보아 쿠로시오는 봄철과 거의 비슷하게 31° N를 약간 넘은 후에 다시 남하하였다. 30° - 33° N 사이 서쪽해역에서 14 °C 이하, 33.5 % 이하, 5.0 ml/l 이상의 저온·저염분·고용존산소의 해수가 넓게 나타난다. 대륙기원의 해수로 추정되는 이 해수는 그 범위가 동쪽으로 약 127° E까지 확장되며 여름에만 나타났다 (그림 18).

가을철에는 여름에 남서에서 북북동쪽으로 길게 뻗었던 4.0 ml/l 이하의 저용존산소수가 서쪽해역의 상당부분을 차지하고 있으며 염분은 34.3-34.7 %, 온도는 13-20 °C에 해당한다. thermosteric anomaly의 분포로 보아 상당량의 쿠로시오계의 해수가 32° N를 넘어 제주도와九州사이의 해역까지 운반된 것으로 추정된다 (그림 19). 이는 앞으로 수계분석에 의해 더 상세히 확인되어야 할 것으로 생각된다.

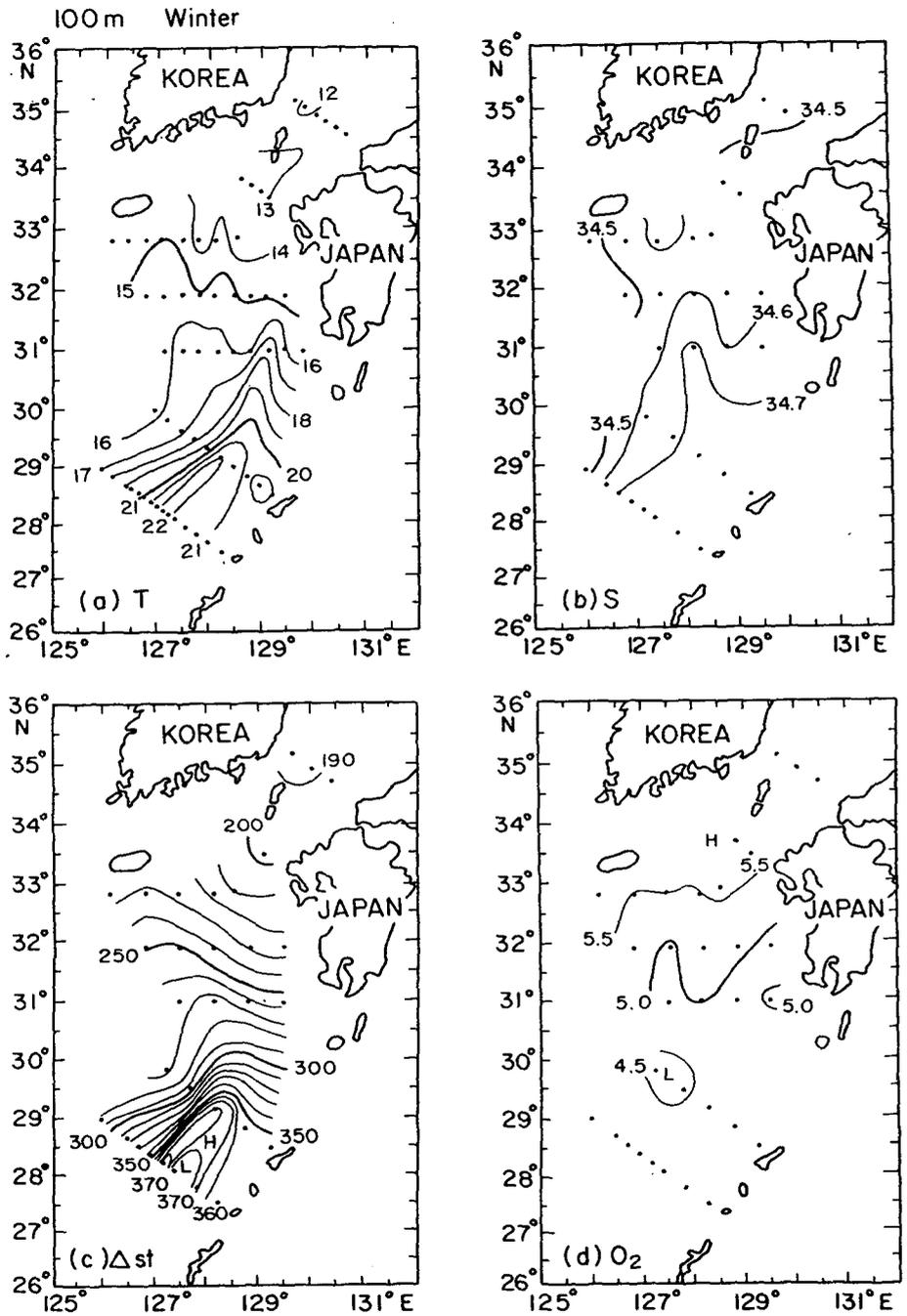


Fig. 16. Horizontal distributions at 100 m in winter (Jan. - Feb. 1986) in the East China Sea. (a) temperature, (b) salinity, (c) thermohaline anomaly, and (d) dissolved oxygen.

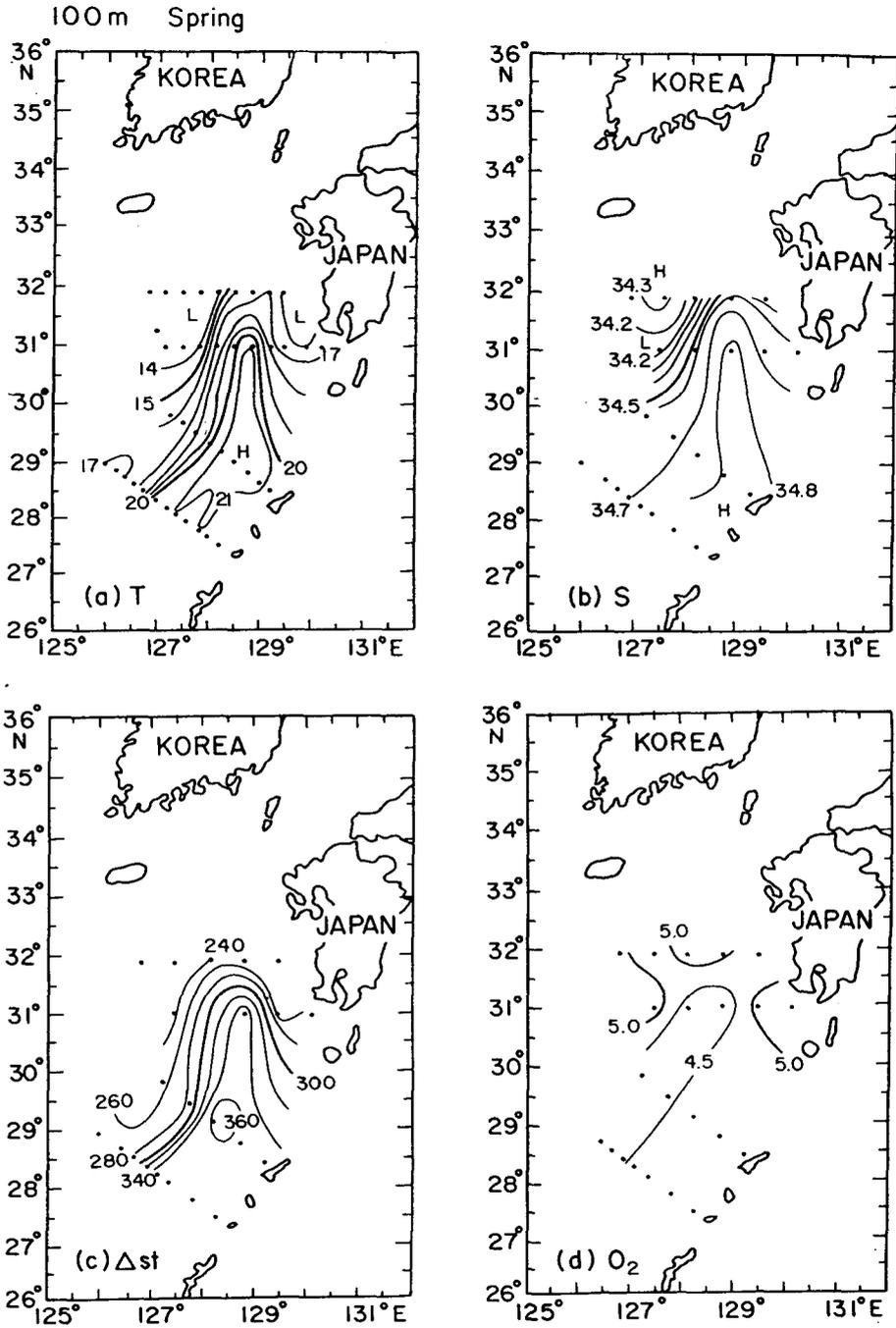


Fig. 17. The same as in Fig. 16 except in spring (Apr. - May 1986).

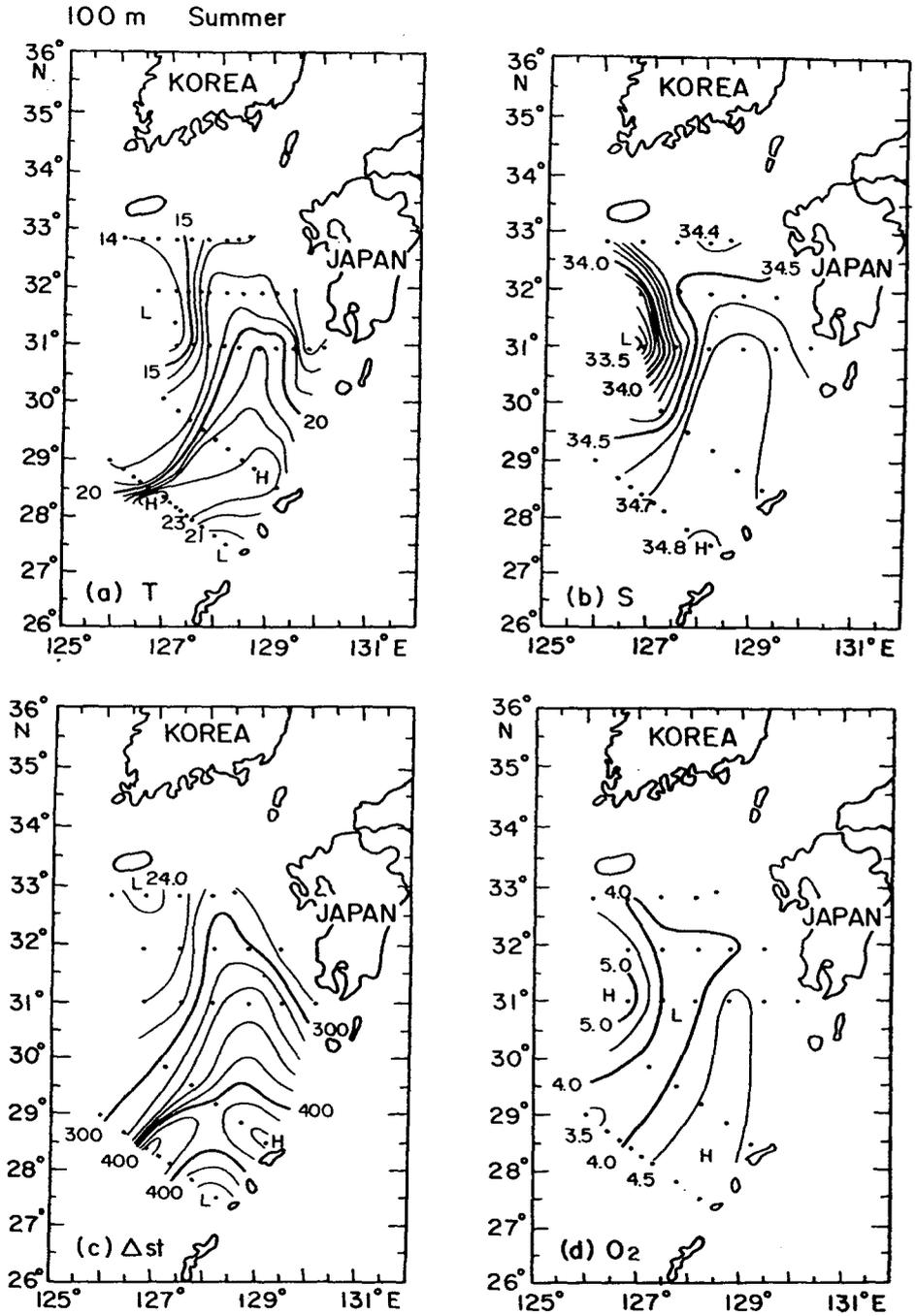


Fig. 18. The same as in Fig. 16 except in summer (Jul. - Aug. 1986).

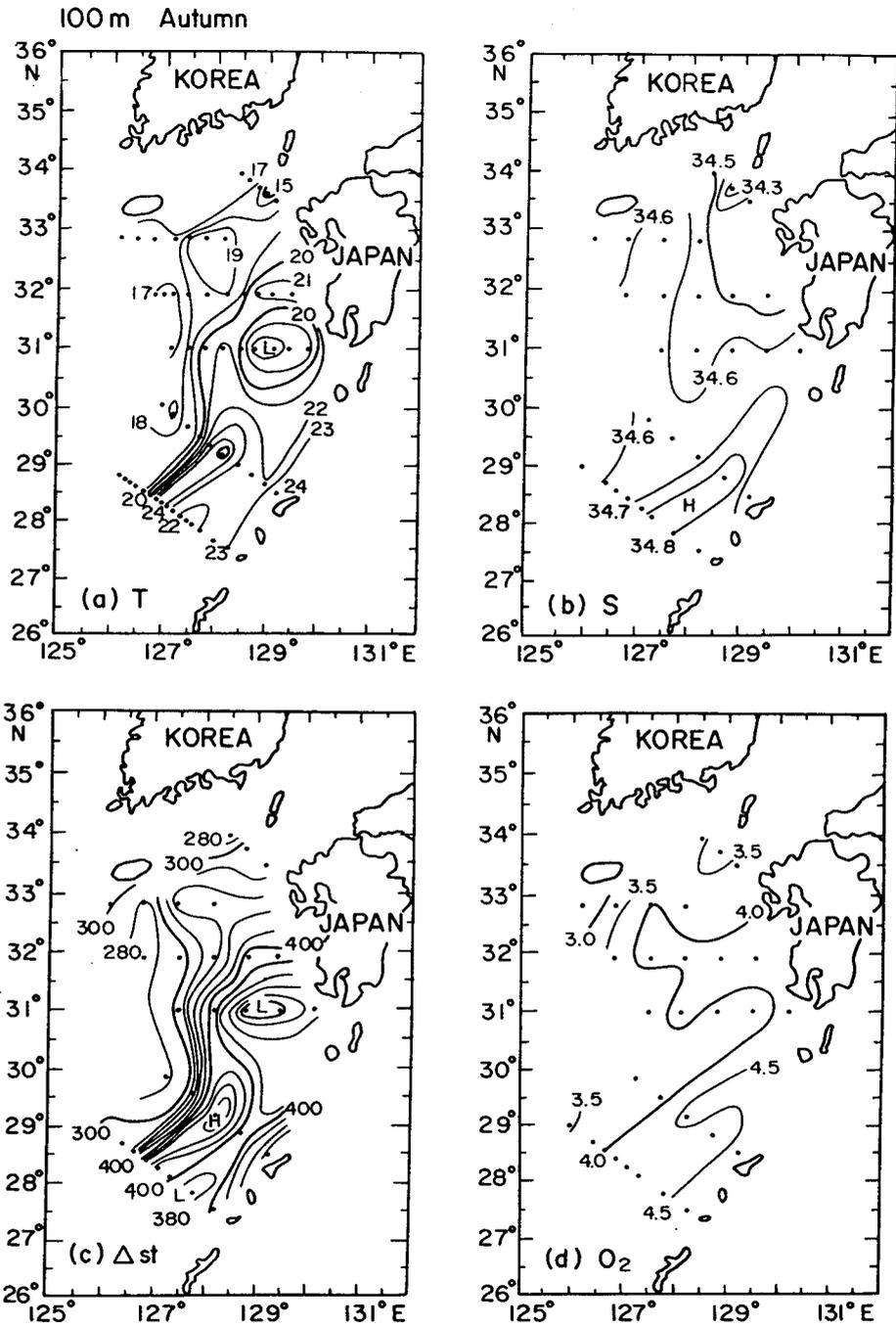


Fig. 19. The same as in Fig. 16 except in autumn (Sep. - Oct. 1986).

다. 평균해류장

Michida 등 (1987)은 GEK 자료를 이용하여 동중국해의 평균해류장을 계산하였다. 1954-1986년에 걸쳐 조사된 약 14,000 개의 GEK 자료를 이용하였는데 동중국해에서 탁월한 조류성분을 제거하기 위하여 수치모델로 임의의 장소와 시각에서 조류를 추산한 후 조류성분을 보정하였다. 그후 12' × 12'의 격자간격, 그리고 월별로 평균하였다. 평균해류장의 분포 (그림 20)를 보면 쿠로시오는 대만 북동쪽으로부터 동중국해로 들어와 대륙사면 (500-1000 m 등심선)을 따라 흐르다가 1000 m 등심선의 최북단 위치에서 동쪽으로 방향을 바꾸어 토카라해협을 통해서 태평양으로 빠져 나간다. 반면에 쿠로시오 본류의 남동쪽에서는 쿠로시오와 반대 방향의 흐름을 볼 수 있다. 구주 서안을 따라 남하하는 해류가 잘 나타나고 있다. 대마난류의 존재가 구주 서쪽의 五島열도 이북에서는 동류 또는 북동류의 모양으로 나타나나 五島列島와 쿠로시오 사이의 해역에서는 분명하지 않다.

라. 수계분석에 의한 대마난류의 기원

대마난류의 기원을 조사하기 위해 1986년 대한해협과 동중국해에서 조사된 국립수산진흥원과 일본기상청의 자료를 합쳐서 수계분석을 하였다. 관측기간을 보면 겨울에는 1월 24일 - 2월 24일, 봄에는 4월 13일 - 5월 16일, 여름에는 7월 8일 - 8월 15일, 가을에는 9월 26일 - 10월 15일로 각 계절별로 약 1개월에 걸쳐 조사되었다. 1980년 이후 현재까지 일본기상청이 동중국해에서 4 계절에 걸친 관측을 실시한 것은 1985년과 1986년 뿐으로 이들 자료는 해황의 계절변동을 연구하는데 있어서 매우 귀중한 자료이다 (신 등, 1993).

대마난류의 기원을 밝히기 위해 그 근원이 과연 쿠로시오수계에 있는지를 밝힐 필요가 있으며 또한 연안수의 영향을 알아보기 위하여 저염분수인 연안수와의

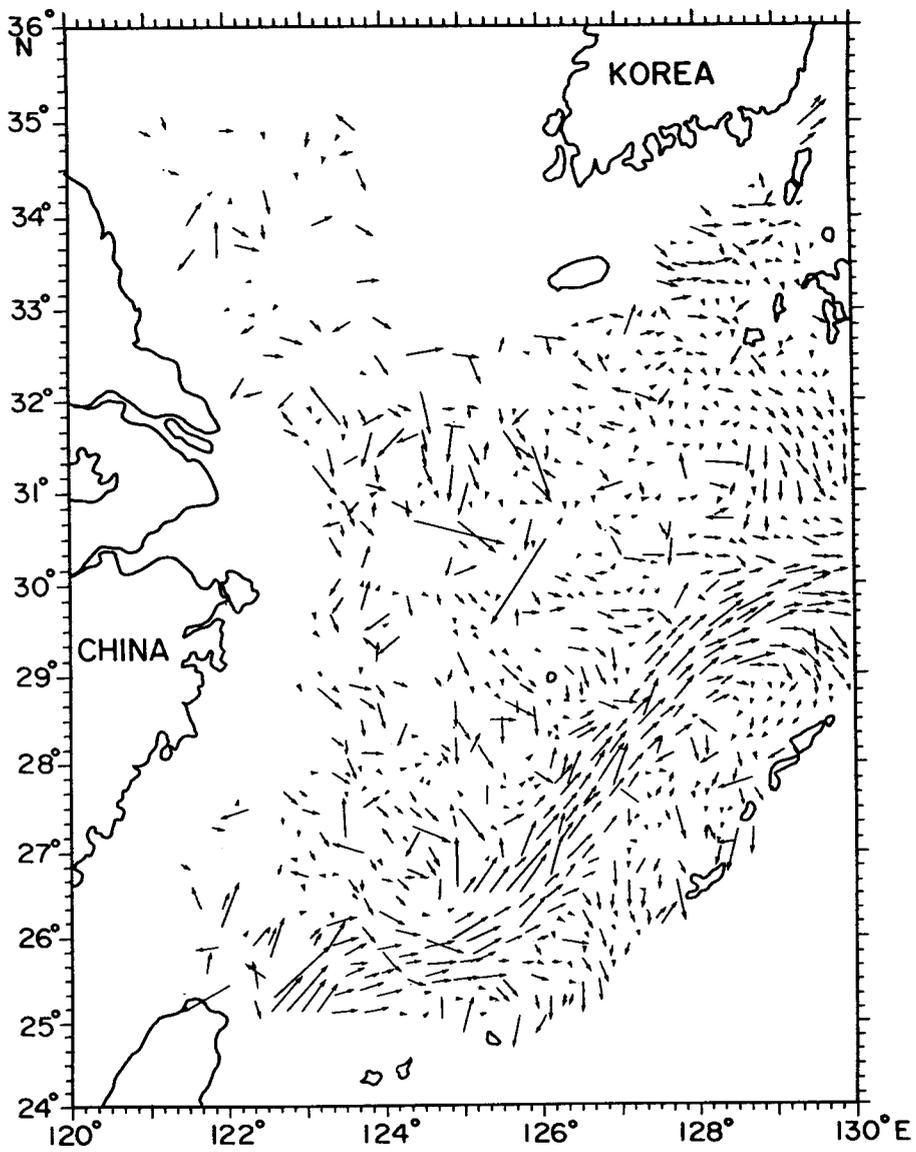


Fig. 20. Mean current field deduced from GEK data, 1954 - 1986
(after Michida et al., 1987).

혼합상태를 조사하는 것도 필요하다. 이를 위하여 쿠로시오의 상류쪽에서 1973년 가을에 일본기상청이 동시관측을 3회 (1회는 10월 22일 -26일, 2회는 10월 29일 - 11월 1일, 3회는 11월 5일 - 8일) 반복하여 실시하였다 (그림 21). Sawara와 Hanzawa (1979)는 이자료를 근간으로하여 수계를 분류하였다 (그림 22). Sawara and Hanzawa 의 수계분류방법이 대마해류의 기원을 조사하는 본 연구의 목적에도 적합하다고 판단되어 같은 방법으로 수계를 분류하였다. T-S diagram 상에서 먼저 쿠로시오 수계 (K)를 정의하였고, 혼합수를 쿠로시오와 연안수와의 혼합도에

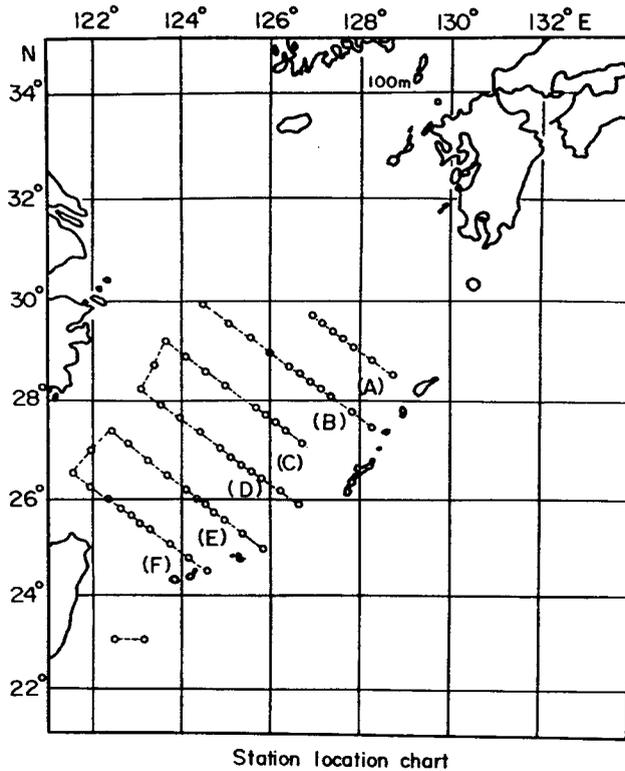


Fig. 21. Hydrographic stations in the southwestern East China Sea, conducted 1973 by the Japan Meteorological Agency (after Sawara and Hanzawa, 1979).

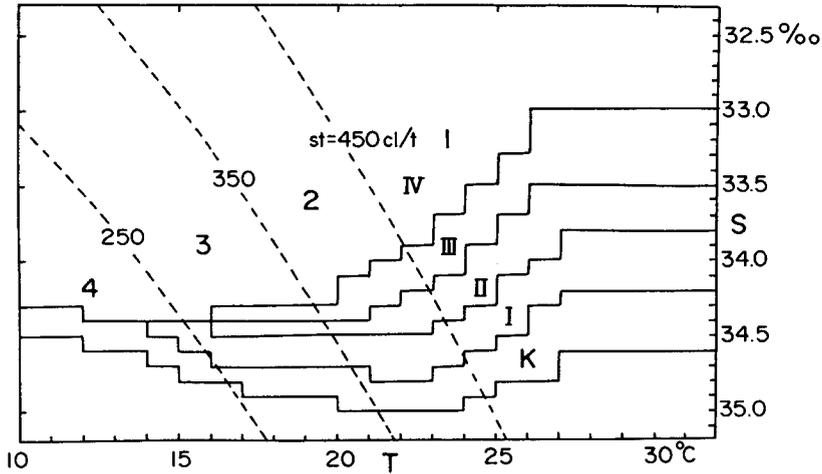


Fig. 22. Classification of water types in the East China Sea (after Sawara and Hanzawa, 1979).

따라 각각 “I”에서 “IV”까지 구분하여 전부 5단계로 분류하였다. 또한 Δ_s 의 등치선에 의해 450 cl/t 이상을 “1”, 450~350 cl/t 을 “2”, 350~250 cl/t 을 “3”, 250 cl/t 이하를 “4”로 세분하였다.

겨울철 (1-2월)에는 쿠로시오의 수계 (K)가 조사대상 전해역에서 표층부터 200 m 수심까지 넓게 분포하고 있다 (그림 23). 특히 대한해협은 표층부터 해저까지 완전히 쿠로시오 수계로 점유되어 있다. 연안수는 조사해역의 서쪽에 분포하고 있으며 128° E 부근까지 혼합수 (I ~ IV)가 나타나 연안수의 확장범위를 보여주고 있다.

봄철 (4~5월)에는 연안수의 영향이 동중국해의 표층부터 나타나기 시작했다 (그림 24). 대한해협에서는 한국 해안부근에만 연안수의 영향이 약간 나타나 분류 “IV”의 수괴가 존재하나 그 외는 대부분이 쿠로시오 수계(K)로 점유되어 겨울과 큰 차이는 없었다. 구주 서쪽해에서는 표층과 50 m 층의 분포가 겨울과 달라 혼합수인 분류 “I”의 수괴가 넓게 존재하고 있었다. 100 m 및 200 m 에서는 겨울과 거의 비슷하게 쿠로시오 수계가 넓게 분포하고 있었다.

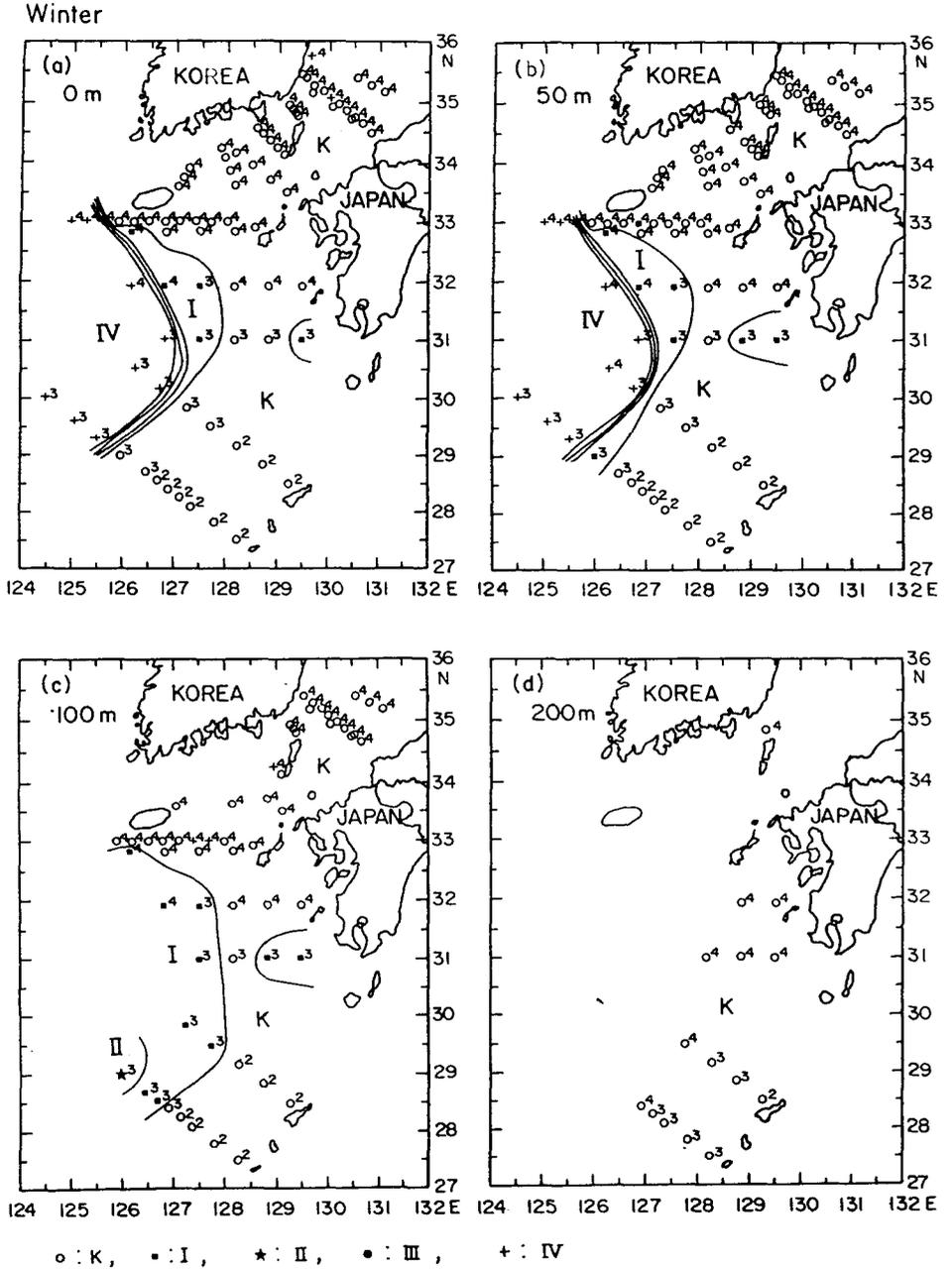


Fig. 23. Horizontal distributions of water types in winter (Jan. 24 - Feb. 24, 1986). (a) 0 m, (b) 50 m, (c) 100 m, and (d) 200 m.

Spring

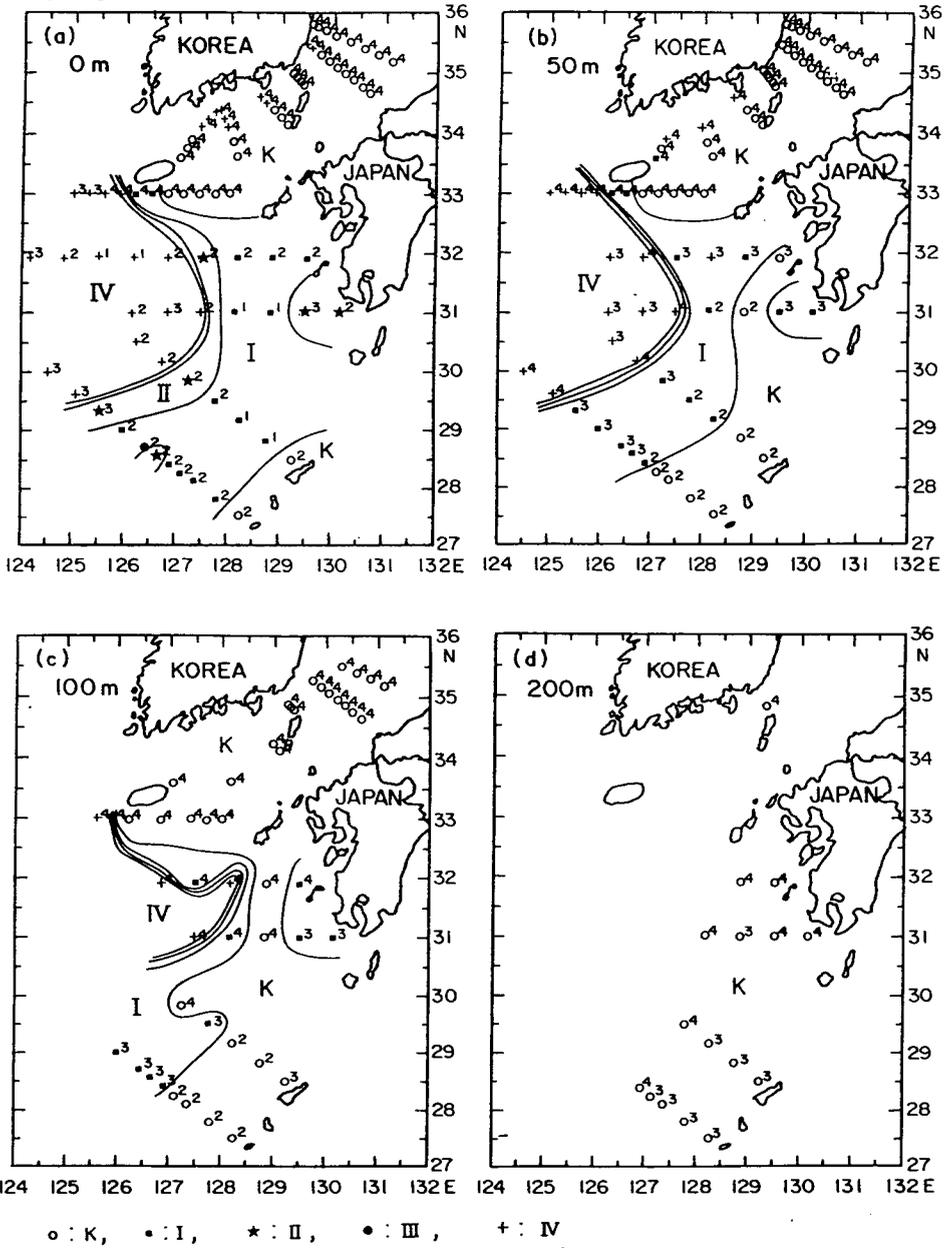


Fig. 24. The same as in Fig. 23 except in spring (Apr. 13 - May 16, 1986).

여름철 (7~8월)에는 해황이 크게 변화였다 (그림 25). 표층부터 50 m 층까지 쿠로시오수계가 나타나는 해역은 오키나와 북서부의 일부분에 국한되고 거의 모든 해역에서 혼합수(I~IV)가 분포하였다. 특히 분류“IV”가 매우 넓게 존재하여 연안수의 확장을 시사하고 있었다. 100 m 수심에서는 오키나와 북서부의 비교적 넓은 해역에서 쿠로시오 수계가 존재했으며, 구주 서쪽에서는 주로 수계 “I”, 대한해협에는 “I”~“IV”의 혼합수가 분포하고 있었다. 200 m 층에서는 대부분 쿠로시오 수계(K)가 점유하고 있어 겨울과 같은 양상이었다.

가을철 (9-10월)의 해황은 또다른 양상 (그림 26)을 보이고 있었으며, 표층부터 100 m 까지 해양의 구조가 거의 같다. 쿠로시오 수계는 30° N 이남의 오키나와 북서부에 한정되어 분포하고 있었으며, 구주 서쪽해역에서는 쿠로시오 수계의 영향이 큰 분류 “I”의 혼합수가 넓게 존재하고 있었다. 이와같은 “I”의 혼합수가 넓게 분포하는 양상은 Sawara and Hanzawa (1979)의 결과와도 일치하는 것으로 가을철 해황의 특징이라고 볼 수 있다. 대한해협에서는 분류 “II”~“IV”의 혼합수가 나타나나, 그 중에서도 분류 “IV”의 혼합수가 폭넓게 분포하고 있었다. 수심 200 m 는 여전히 쿠로시오의 수계로 점유되어 있어서 계절변화가 없음을 나타내고 있다.

100 m 층의 계절별 수계분포로부터 대마난류수가 겨울과 봄에는 쿠로시오 수계 (K)에서, 여름과 가을에는 쿠로시오 수계에 가까운 성질의 혼합수 (I)에서 그 기원을 찾을 수 있을 것으로 생각한다.

제 3 절 수온의 계절변동과 공간분포

BT (bathythermograph, 수심/수온) 자료는 해양상층에서 수온의 수직구조와 시·공간 변동을 연구하는데 폭 넓게 이용된다. 비록 자료의 정밀도가 전도온도계

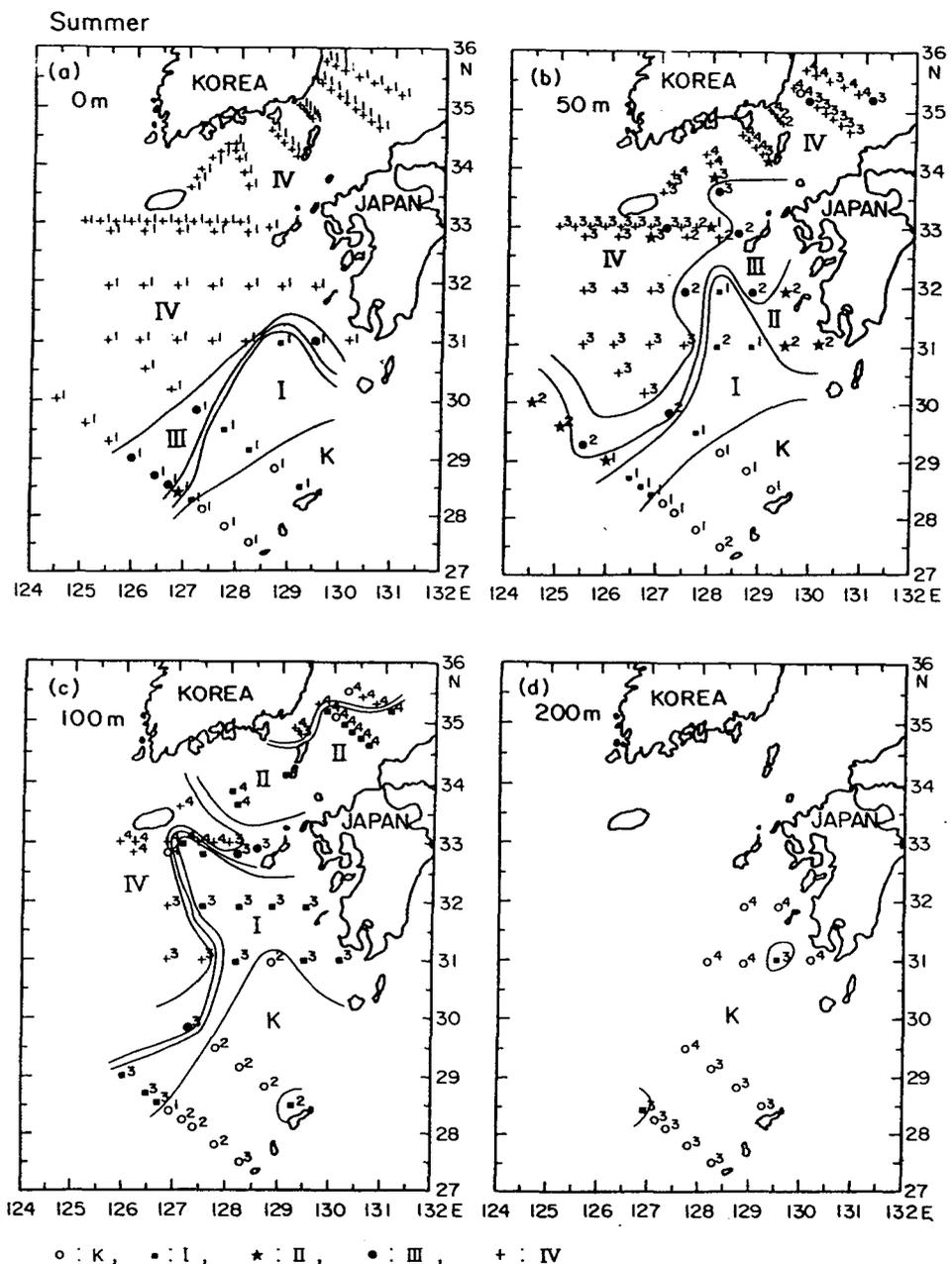


Fig. 25. The same as in Fig. 23 except in summer (Jul. 8 - Aug. 15, 1986).

Autumn

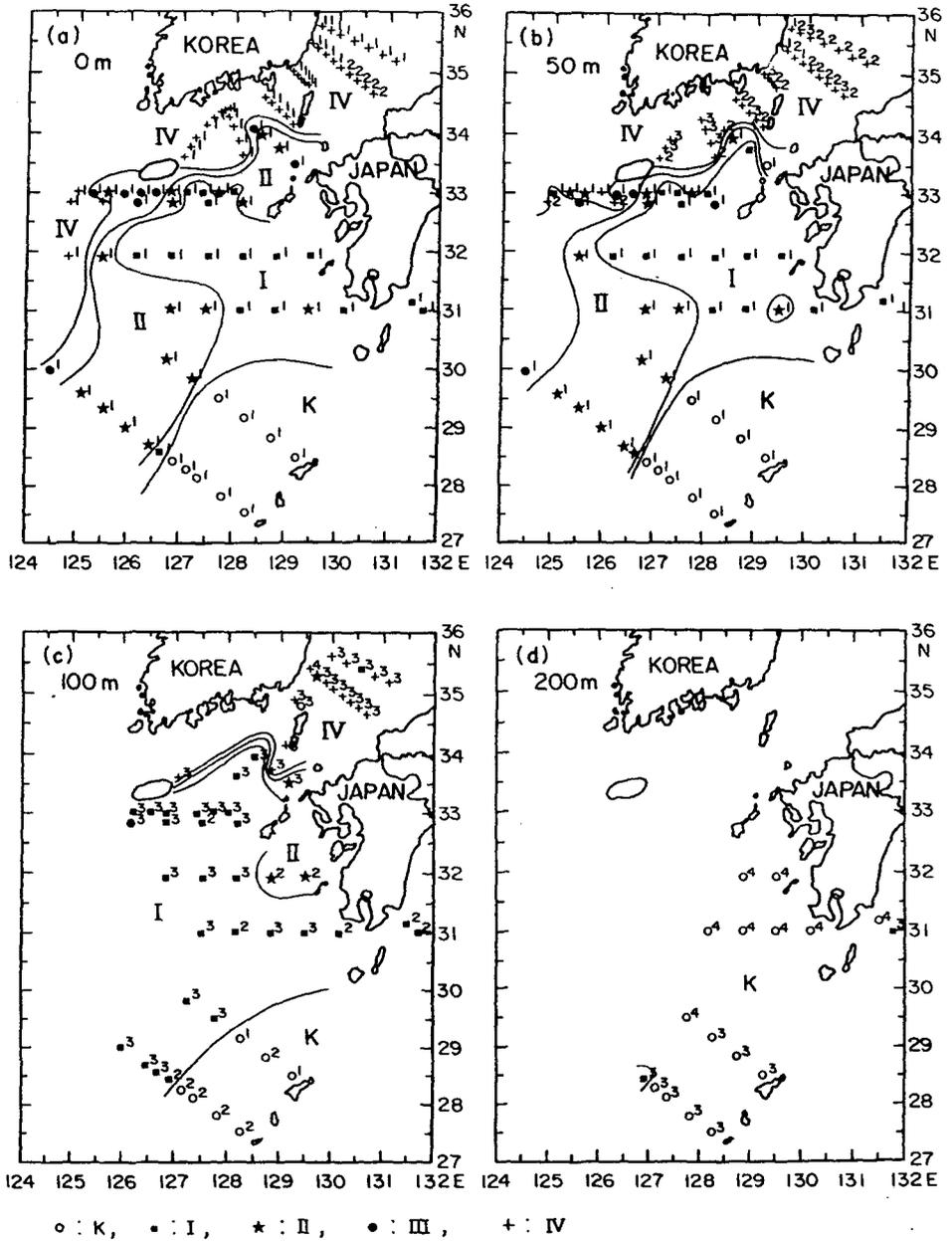


Fig. 26. The same as in Fig. 23 except in autumn (Sep. 26 - Oct. 15, 1986).

나 CTD 보다 약간 떨어지는 단점이 있긴 하지만 항해중인 선박이 정선하지 않고도 손쉽게 BT 조사를 수행할 수 있기 때문에 광역해역에서 수온자료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 동중국해에서 조사된 BT 자료를 1차 검토한 결과, 예상보다 관측 자료수가 풍부하였고 동중국해 동부해역과 Kuroshio 역에서 자료의 빈도수가 높아 Kuroshio 및 대마난류에 대한 주요한 정보를 획득할 수 있을 것으로 생각한다. 동중국해에는 basin-scale의 해수순환은 물론 시·공간 규모가 작은 현상들이 공존하고 있어 연구 대상 현상에 걸맞는 특별한 자료처리 기법의 도입이 요구된다. 본 연구에서는 수온의 계절변화와 공간분포에 초점을 맞추어 BT 자료를 분석하였다.

가. BT (수심/수온) 자료수집과 처리

자료수집과 처리에 대한 구체적인 방법은 본 연구과제의 1, 2차년도 보고서에 (1991, 1992) 상세히 기술하였다. 연구에 이용된 자료는 일본해양자료센터 (JODC) 가 1960년부터 1989년까지 30년간 관측된 자료를 수집 정리한 것이다. 연구해역인 $20^{\circ} - 35^{\circ} \text{N}$, $120^{\circ} - 132^{\circ} \text{E}$ 에서 조사된 정점수는 약 72,900 여점이었으나 중복 기록된 자료를 삭제하면 실제로는 69,572 점으로 줄어든다. 한편, 관측점의 위치가 잘못 기록된 자료는 제외하였고 화씨로 측정된 자료는 섭씨로 바꾸었다. 연도별 관측 횟수를 보면 1975년 이전에는 관측 정점수가 1000 점 정도로 낮고 1975년 이후에는 약 3000 혹은 그 이상으로 높은 관측 빈도수를 보인다. 그림 27은 분석에 이용된 BT 관측점을 나타낸다.

일반적으로 BT 자료는 시·공간적으로 불규칙하게 관측된다. 이러한 자료를 이용하기 위해서는 무엇보다도 먼저 시·공간적으로 일정한 간격으로 세분하여 시계열 자료화하는 것이 필요하다. 시·공간 간격을 세밀하게 나누는 것이 좋으나 자료의 양과 연구 대상 현상의 시·공간 규모에 따라 결정해 주어야 한다. Lie와 Endoh (1991)는 북서태평양에서 상층수온의 변동을 분석하기 위해 시간 간격을 2개월,

BT (60-89) NO. OF DATA : 69572

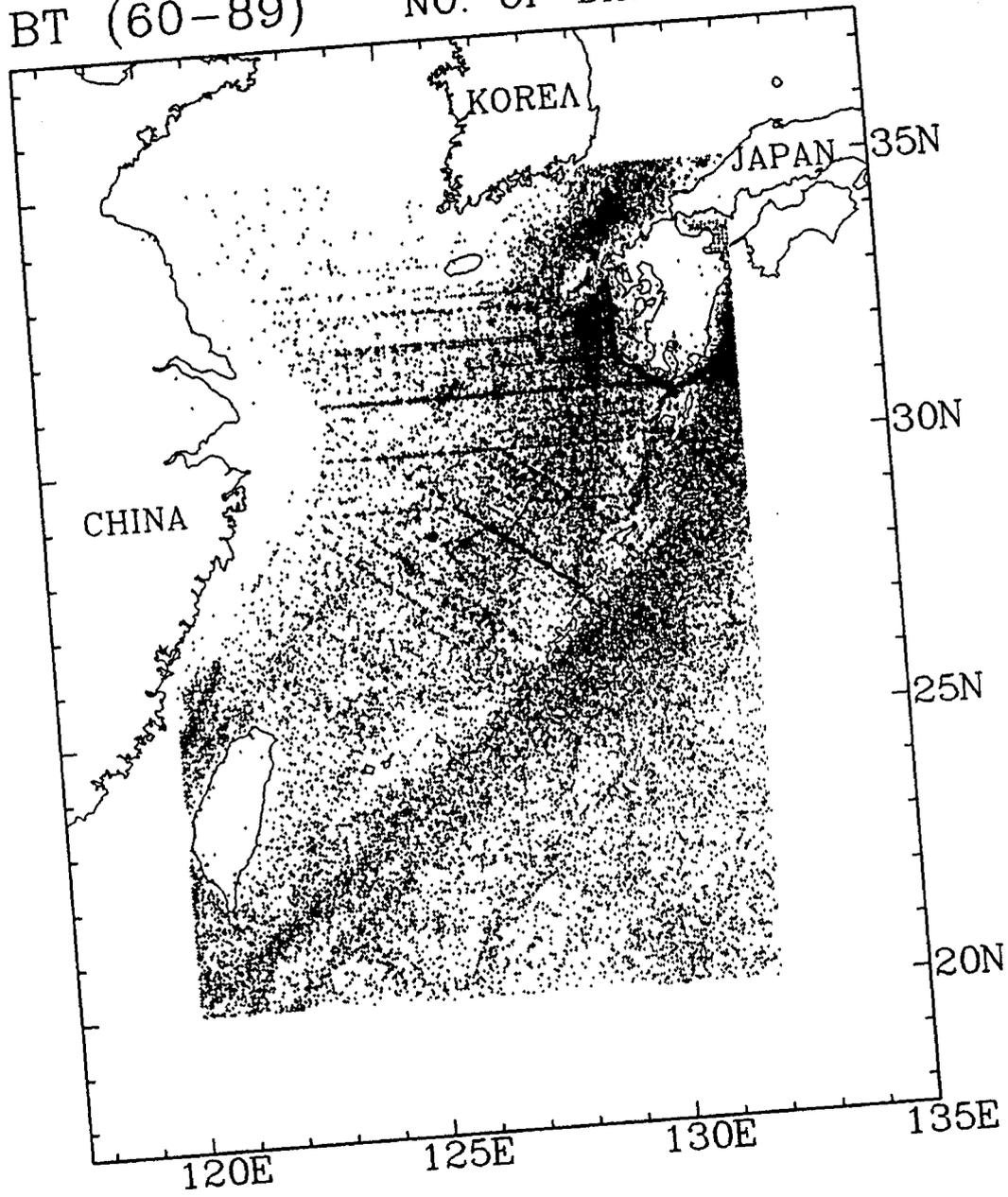


Fig. 27. BT stations in the East China Sea, 1960-1989.

공간적으로는 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 격자간격을 택하였다. 본 연구에서는 천해역인 동중국해가 대상해역이기에 예비분석 차원에서 시간간격은 1개월, 공간간격은 위·경도 $30'$ 으로 세분화 하였다.

자료의 질을 높이기 위해 각 격자점에서 총별 수온의 평균과 표준편차를 계산하였다. 관측치가 평균치에서 3배의 표준편차 범위를 벗어나는 자료를 제거하기 위해 3-SD (standard deviation) 테스트를 2회 반복한 후 각 격자점에서 월별 평균치를 계산하였다. 일부 격자점에서는 관측자료가 없어 평균수온, 표준편차의 분포도 작성시 Laplace 와 Spline 보간법을 사용하였다 (1, 2차년도 보고서 참조).

나. 장기 평균수온 분포

거대한 열량을 포함하고 있는 해양상층은 대기와 활발하게 열교환을 한다. 천해역이 포함된 동중국해에서 수온의 거시적 분포형태를 알아보기 위해 각 격자점에서 상층 100 m 내의 수직평균 수온을 계산하였다. 이 때 수심별로 평균된 월별 자료중 관측수가 3개 미만인 격자점과 수심이 30 m 이하인 격자점은 제외하였고 100 m 이하인 해역에서는 각 격자점에서의 최대 수심까지 수직평균 하였다.

그림 28은 총기간 30년중 월별 평균치가 11개 이상인 격자점만을 고려하여 작성한 장기 수직평균 수온과 표준편차이다. 장기 수직평균 수온은 오키나와 골을 따라서 북동쪽으로 진행되는 쿠로시오 통과해역에서 매우 높고 구주 서남쪽 수심이 깊은 골을 따라 난수가 북쪽으로 확장한다. 특히 동중국해의 대륙사면위와 토나라해협 북수도에 걸쳐 고온의 등온선이 조밀하게 모여있어 Kuroshio의 평균경로를 잘 나타내고 있는 반면에, 제주도 서부해역에 혀모양으로 된 저온의 등온선이 남동쪽으로 진출하고 있다. 즉 Kuroshio 역으로부터 많은 열량이 동중국해 동부해역으로 유입되는 반면 서중부해역에서는 열량이 손실된 연안수가 Kuroshio 역으로 이동한다. 표준편차의 공간분포는 Kuroshio 유역에서는 2.5°C 이하로 4°C 이상인 수심이 얇은 중서부해역과 좋은 대조를 보이며 연안수의 수온이 큰 계절 및 연변화를 갖고 있음을 알 수 있다.

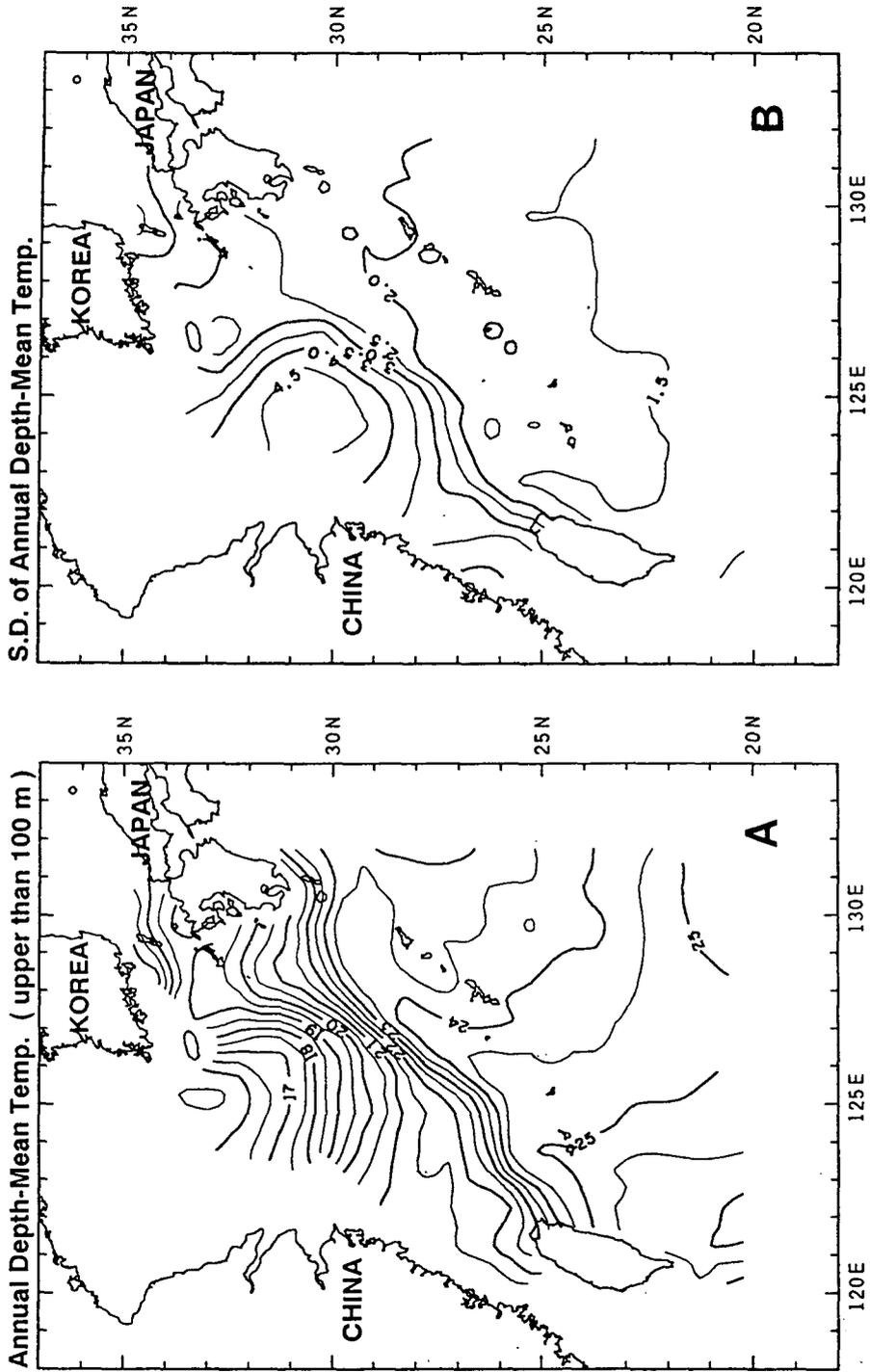


Fig. 28. Vertically averaged long-term mean temperature in the upper 100 m layer with standard deviations. (a) mean temperature and (b) standard deviation.

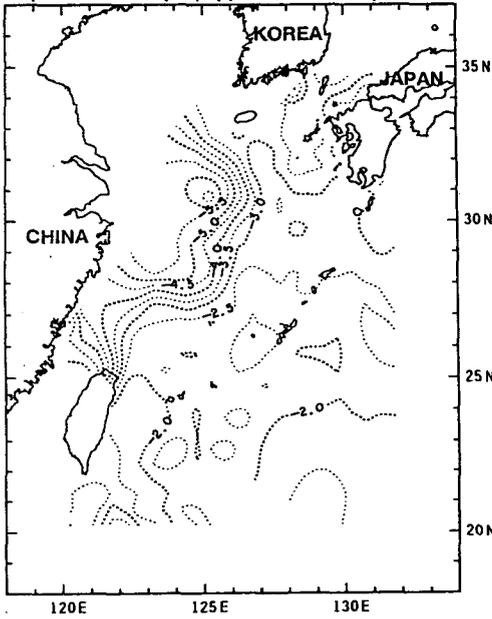
다. 월별 평균수온 분포

수온의 계절변화를 보기위해 2월 (겨울), 5월 (봄), 8월 (여름), 11월 (가을)에 상층 100 m의 수직평균 수온의 분포도를 그림 29에 제시하였다. 편의상 장기 수직평균 수온을 제거하였으며 그림에서 점선으로 표시한 등온선은 장기 평균치보다 낮은 수온을 표시한다. 대륙붕수의 최저수온은 2월에 최대는 8월에 나타난다. 1월에서 5월까지의 Kuroshio 해역 및 동중국해의 상층수가 열량을 빼앗기나 반대로 7월에서 11월까지의 열량을 획득한다. 5월의 경우 대만동부의 쿠로시오 해역과 23°N 이남에서는 연평균 수온보다 높게 나타나지만 북쪽해역에서는 반대로 낮은 값을 보인다. 이러한 사실은 상층 100 m 내의 열분포의 계절변화가 지역에 따라 다르며 Lie와 Endoh (1991)가 지적한 바와 같이 5월에는 연구해역의 남부에서부터 먼저 가열되고 12월에는 냉각된다 (2차년도 보고서 그림 12L 참조).

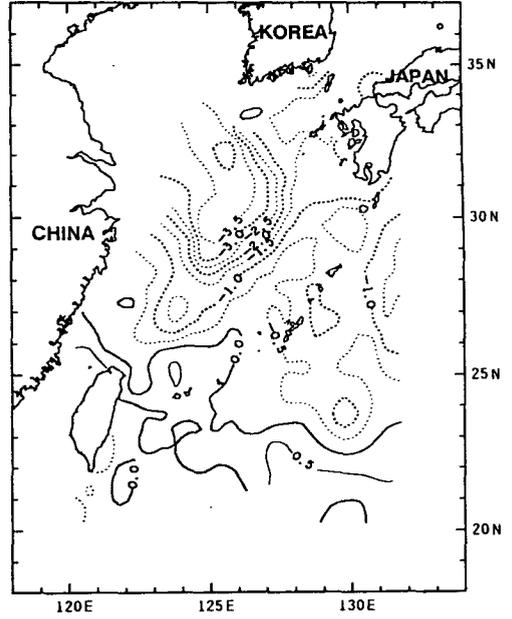
월평균 수온의 등치선은 대체로 장기 평균수온의 분포와 같은 모양이다. 장기 평균수온과의 편차가 Kuroshio 주축에서는 비교적 낮다. 그러나 남서해역의 대륙붕 가장자리 부근과 구주 서방 깊은 골 왼쪽 가장자리에서 편차의 구배가 대단히 크다. 편차가 큰 곳은 연안수와 Kuroshio 수계가 만나는 전선역에 해당하는데 전선의 위치가 계절에 따라 이동하는데 기인한 것으로 생각된다. 해표면과 수심 100 m에서 월평균 수온도 (1차년도 보고서 그림 15와 16) 수직평균 수온과 유사한 분포를 나타낸다.

수직평균 수온이 대륙붕과 Kuroshio 해역 사이에 큰 차이가 있어 대륙붕역을 대표할 수 있는 30° N, 125° E 격자점과 Kuroshio 역을 대표할 수 있는 25° N, 125° E 격자점에서 수심별로 얻은 수온의 시계열 자료를 그림 30에 제시하였다. 대륙붕 격자점에서 장기평균수온이 해표면에서 20.3 °C, 75 m 수심에서 17.3 °C로 두 수심간 수온차가 3 °C 정도로 나타난다. 수온의 연교차가 해표면에서 최대로 일부 특정 연도에는 약 17 °C 정도이나 수심이 깊어 질수록 연교차가 줄어 저층인 75 m에서 약 10 °C 이하로 준다. 한편 Kuroshio 역에서는 장기평균 수온이 해표

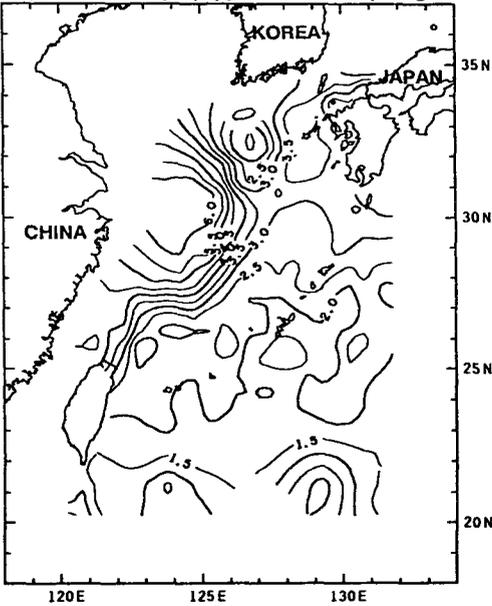
Depth-Mean Temp. (upper than 100 m) Feb.



Depth-Mean Temp. (upper than 100 m) May



Depth-Mean Temp. (upper than 100 m) Aug.



Depth-Mean Temp. (upper than 100 m) Nov.

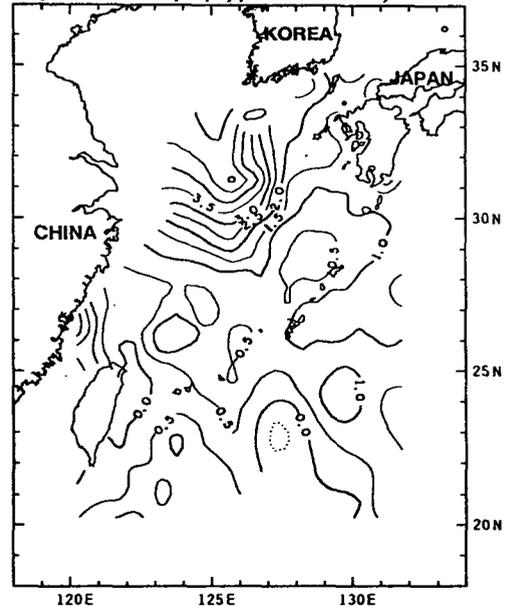


Fig. 29. Vertically averaged long-term monthly mean temperature in the upper 100 m layer with annual mean removed. (a) February, (b) May, (c) August, and (d) November. The positive (negative) sign means the monthly mean temperature higher (lower) than the long-term mean.

면에서 25.8 °C 로 대륙붕에서 보다 무려 5 °C 이상 높고, 수심 75 m에서는 24.9 °C로 해표면 수온과 차이가 1 °C 이하로 평균수온의 수직구배가 천해역에 비해 상당히 약하다. 이는 Kuroshio 영향을 받는 외해역에서 표층혼합층이 상당히 깊다는 것을 뜻한다. 수온의 연교차도 해표면에서 10 °C 이하, 75 m 에서 7 °C, 200 m에서 3 °C 정도로 수심 증가에 따라 서서히 감소한다.

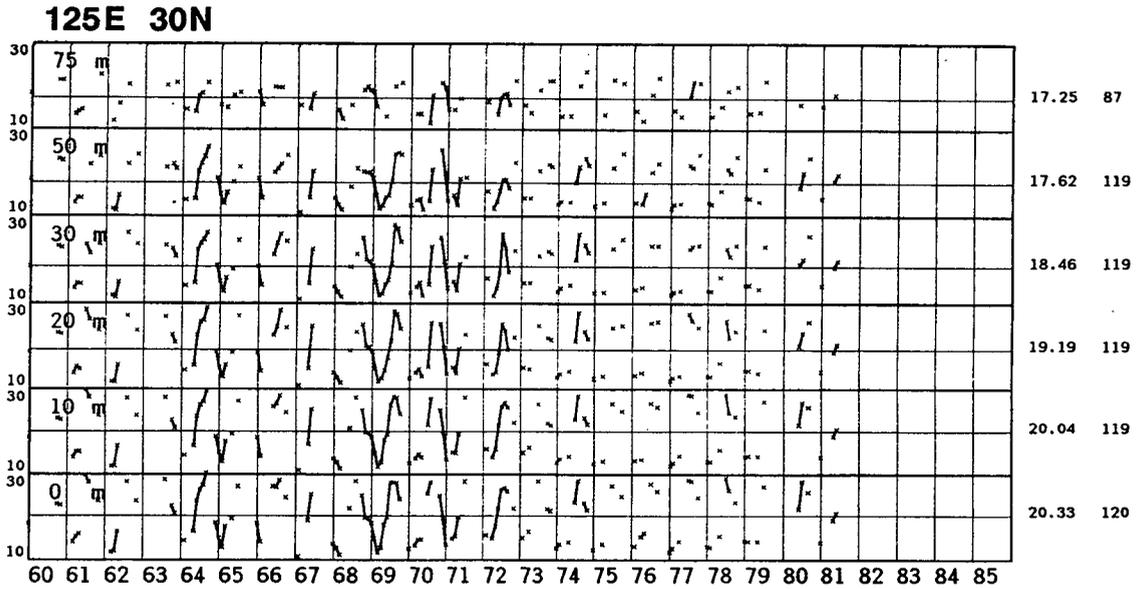
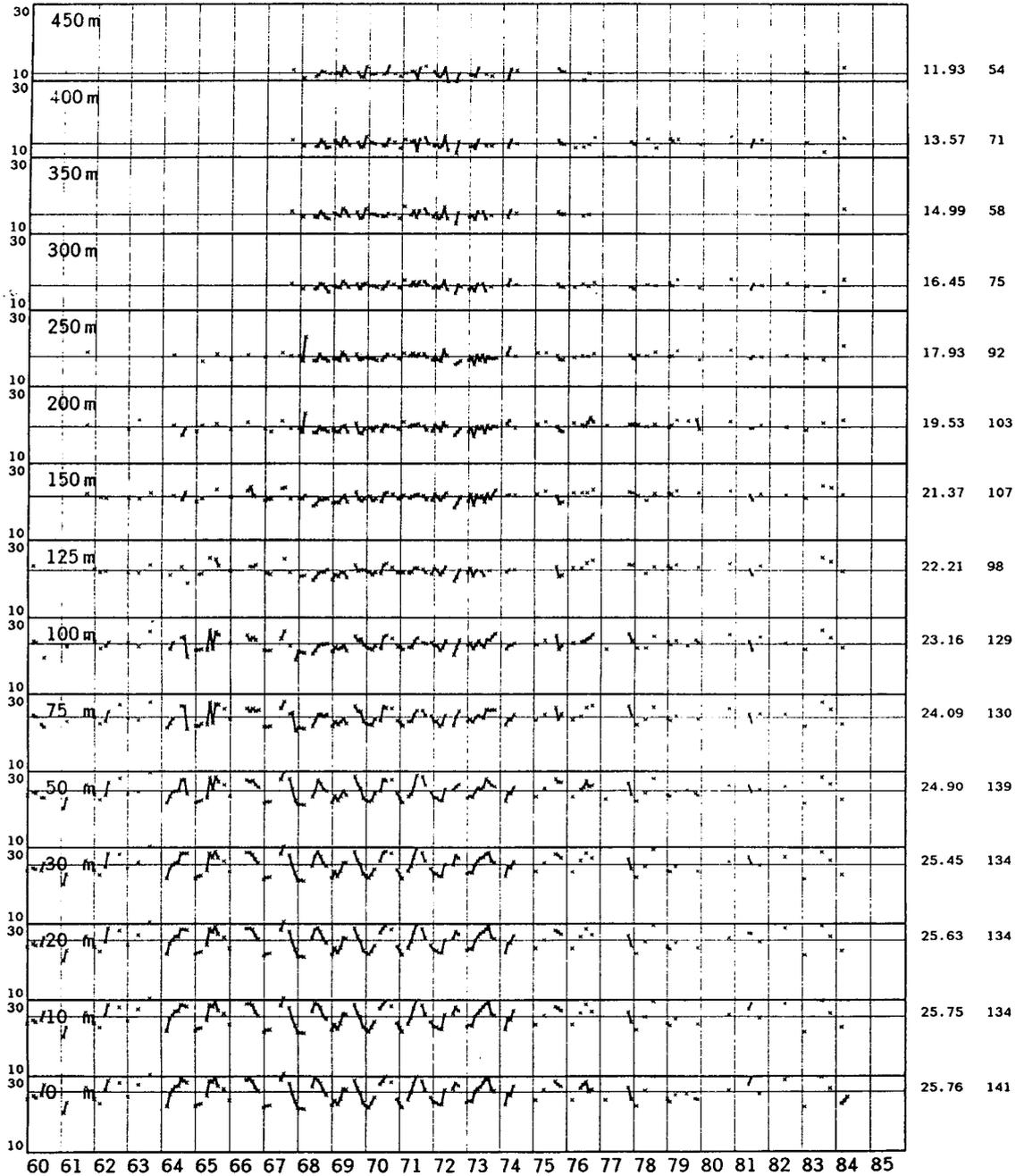


Fig. 30. Time series of monthly mean temperature at two grid points.
 (a) 30° N, 125° E (on the shelf) and (b) 25° N, 125° E
 (Kuroshio region). Numerical values in the first column on the
 right side are long-term mean temperatures at given depths.

125E 25N



제 4 절 동중국해 동부해역에서 CTD 조사 성과

가. 조사개요

대마난류 형성해역 및 통과해역에서 해수의 물리특성을 조사하기 위하여 위성 추적부이 실험과 (제 5 장) 동시에 CTD 관측을 실시하였다. 조사는 인공위성 추적부이 투하시기인 1991년 7월, 1992년 4월, 그리고 1992년 11월에 걸쳐 3회 수행되었다 (그림 31). CTD 관측은 기본적으로 구주서방 수심이 깊은 골에서부터 서쪽 대륙붕역으로 연장되는 32° N 선을 따르는 동서단면 (단면 A)과 제주도 동안에서 남으로 연장되는 127° E 선상의 남북 단면 (단면 B)의 16개 정점에서 실시되었다. 관측정점사이의 특성이 서로 다른 수괴를 분석할 수 있을 정도로 거리가 충분히 좁도록 정하였다. 이 두 관측선에서의 조사는 Kuroshio 역인 남쪽에서 오는 해수와 동중국해 서부에서 오는 대륙붕수의 특성에 대한 정보를 제공해 준다. 1992년 11월 관측시 2개의 관측선을 추가하였다. 125° - 129° N 사이 31° N에 평행한 동서 관측선에서 조사는 Kuroshio 수계에 대해서, 그리고 33.6° - 31° N 사이 125° E 남북 단면에서 조사는 대륙붕수에 대해서 보다 정확한 정보를 제공해 준다. 한편, 대마난류가 대한해협을 통해 동해로 유입되기 때문에 동중국해와 대한해협에서 수계의 물리특성을 비교하기 위하여 한국해양연구소가 수행한 “종합자원도 작성 연구” 사업을 통해 대한해협에서 비슷한 시기에 획득한 자료를 같이 비교하였다. 각 CTD 센서에 대한 염분보정을 한 후 수심 1 m 내에 모든 자료를 평균하여 수심별로 수온과 염분의 대표치를 정하였다. 염분보정 방법은 아래와 같다.

CTD 조사는 Neil Brown사의 CTD System (1991년 7월과 1992년 4월에는 Model Mark IIIb, 1992년 11월에는 Model Mark V를 사용)으로 관측하였으나 1992년 11월 조사시 CTD 작동불능으로 일부 정점 (정점 14-38)에서는 Sea-Bird CTD (SBE Model 25-03)로 조사하였다. 관측때 마다 다른 기종을 사용하였고 1992년 11월 관측에서는 두종류의 CTD를 사용하였기에 CTD 센서간의 염분 보정

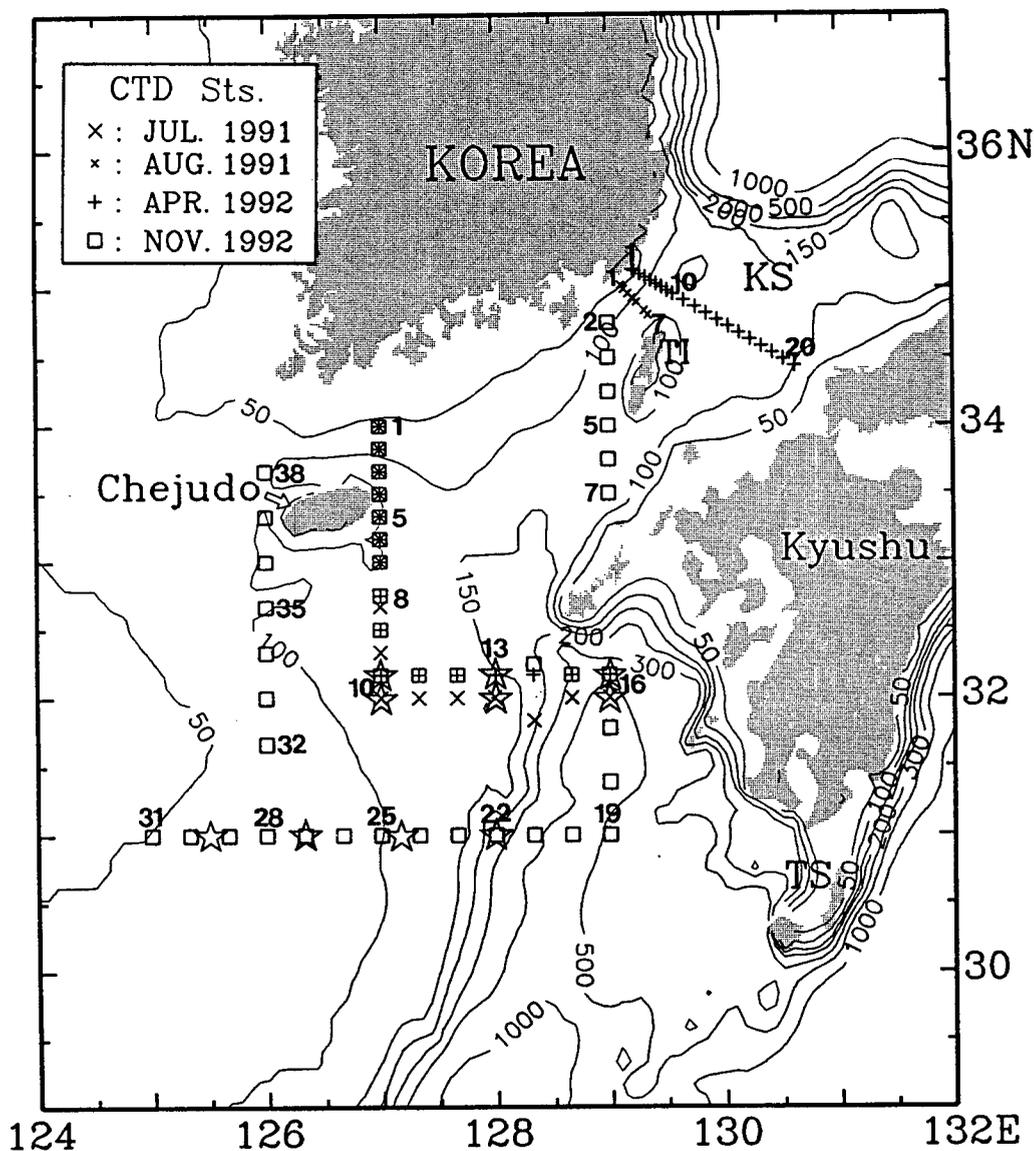


Fig. 31. Study area indicating releasing points of satellite tracked surface drifters and CTD stations. Bottom topography is in m. KS, TS and TI denote the Korea Strait, the Tokara Strait and Tsushima Island, respectively.

이 필요하다. 이를 위해 92년 11월에는 3개 정점에서 Rosette 채수기로 표층, 중층, 저층의 해수를 채수하였고 (총 9개), 16 개 Sea-Bird CTD 정점의 표층에서 표층수를 채수하여 Autosal (Guild Line사의 Portable Sal. 8410)을 이용하여 염분을 정밀 측정하였다. CTD와 Autosal로 측정된 염분값을 비교하면 MARK-V가 Autosal 보다 0.039 psu 낮았고 SBE 25는 Autosal 보다 0.050 psu 낮은 것으로 나타났다 (그림 32).

MARK-IIIb CTD의 염분보정은 "황해 환경보전을 위한 오염물질확산의 실시간 예측시스템 연구" 사업을 위한 93년 2월 조사 때 채수한 해수로 Salinometer (YEO-KAL사의 Model 601 Mk1V)를 이용하여 염분을 측정하였다. 염분보정을 위해이 기간중에는 MARK-IIIb와 SBE를 동시에 사용하였다. Salinometer로 측정된 염분과 CTD로 측정된 염분을 비교하면 MARK-IIIb가 0.031 psu의 높은 값을 보였고 반대로 SBE는 0.047 psu 낮은 값을 보였다 (그림 33). 1 개 정점에서 채수한 해수의 염분이 큰 이상치를 보였다.

CTD로 측정된 염분은 Autosal을 기준으로 보정하였으며 Autosal을 기준으로 각 CTD 센서들의 염분차이를 그림 34에 제시하였다. MARK-IIIb CTD의 경우에는 Autosal과 직접 비교할 수는 없었으나 SBE로 조사한 두번의 관측에서 채수된 해수를 Autosal과 Salinometer로 측정하였기 때문에 간접 비교는 가능하다. 특히 MARK-IIIb 와 SBE-25의 경우 염분차이가 0.078 psu로 매우 큰 차이를 보여 염분보정은 필수적이다.

나. 수계의 계절특성

조사해역에서 수계의 계절특성을 검토하기 위해 3회 조사된 CTD 자료로부터 수온-염분 관계 (T-S diagram)를 작성하였다. 계절별 분포 양상을 보다 쉽게 비교하기 위하여 수온-염분의 관계를 계절별로 작성하였고 그리고 지역별 특성을 비교하기 위해 대한해협, 32°N 단면, 127°E 단면에서의 수온-염분 관계를 조사

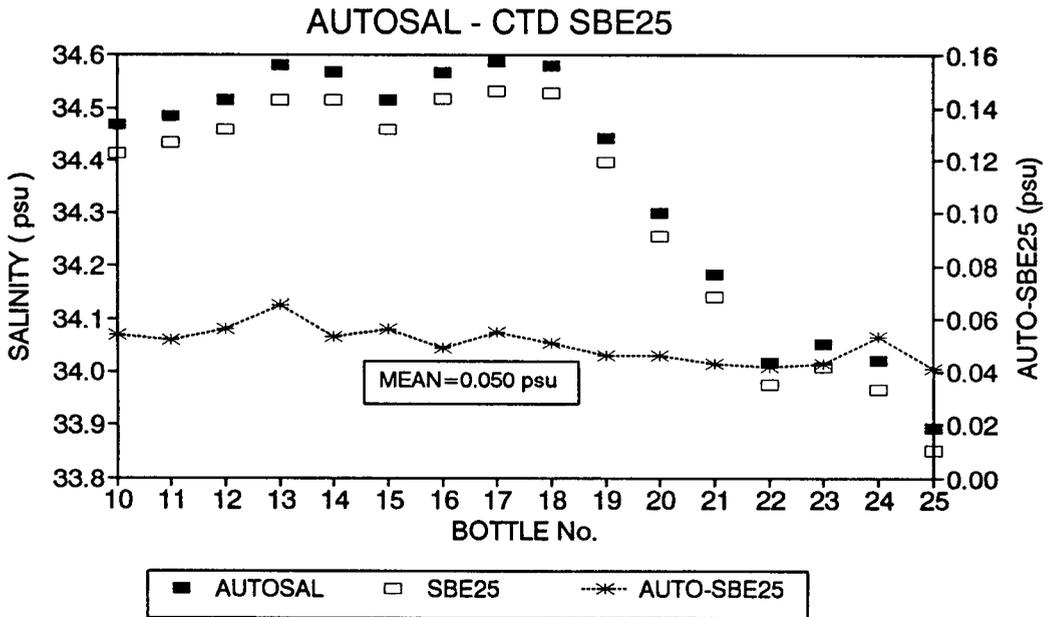
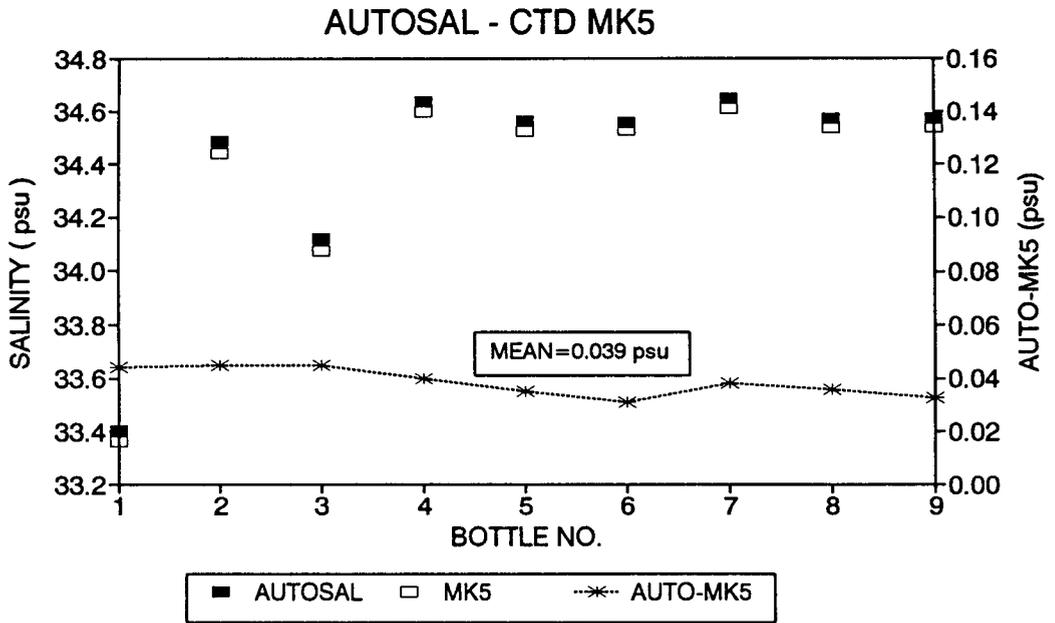


Fig. 32. Salinity correction of CTD sensors by Auto-salinometer.

(a) Mark-V CTD and (b) SBE-25.

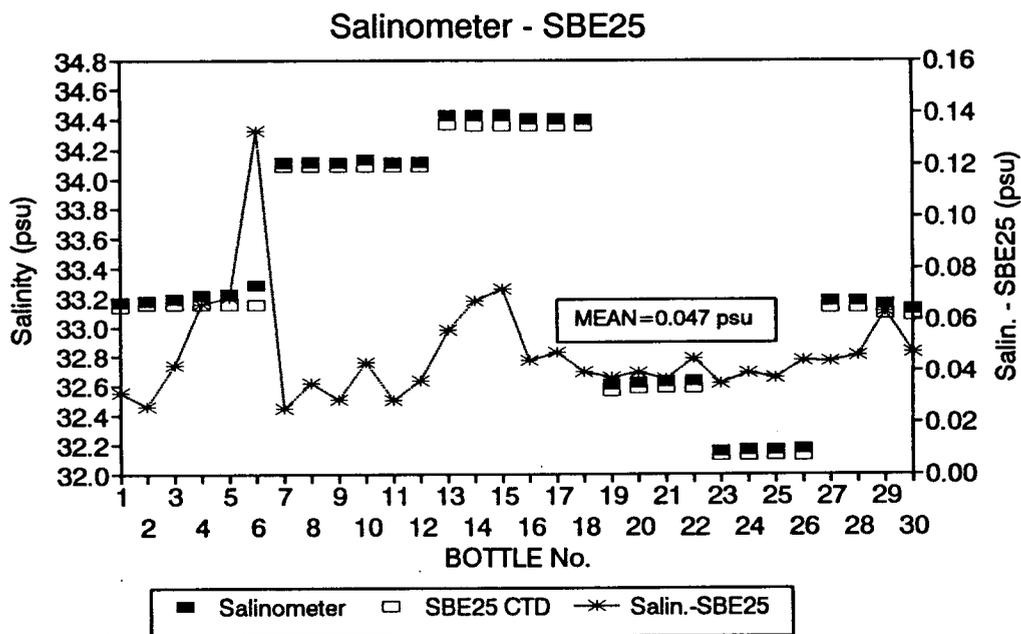
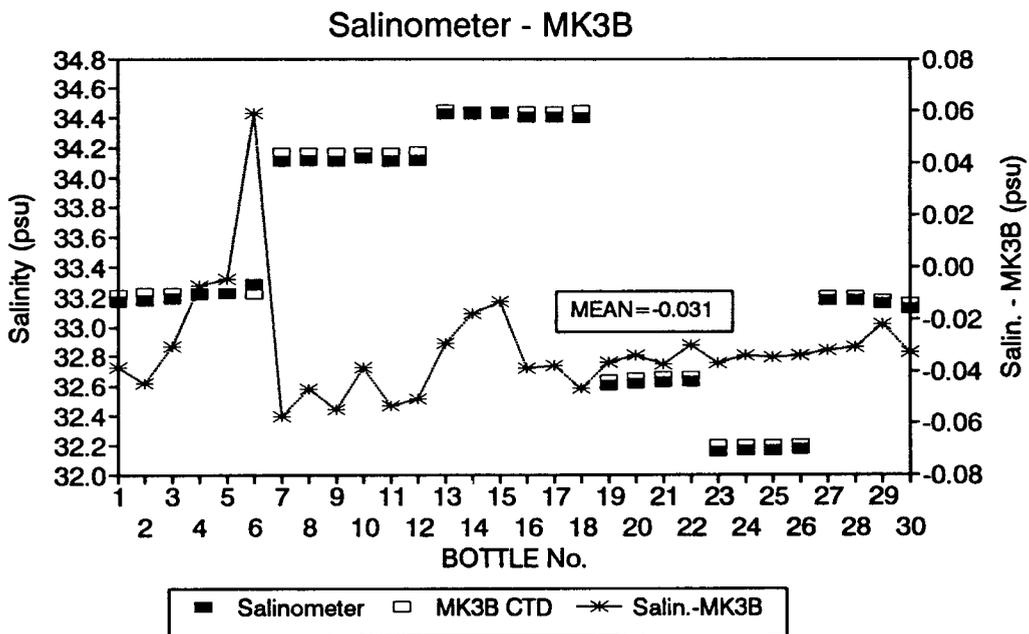


Fig. 33. Salinity correction of CTD sensors by salinometer. (a) Mark-IIIb CTD, (b) SBE-25.

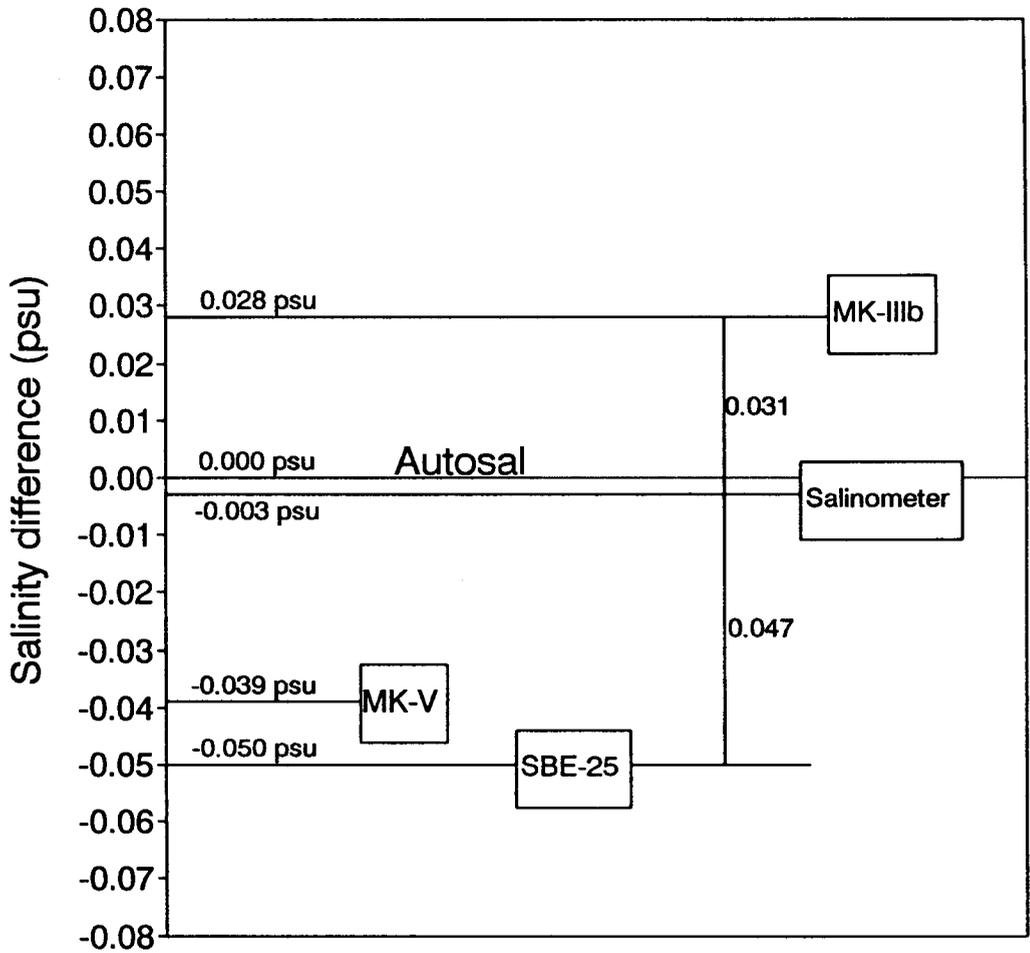


Fig. 34. Salinity difference between Auto-salinometer and CTD sensors.

하였다.

그림 35는 모든 자료, 1991년 여름 자료, 1992년 봄과 가을 자료로부터 작성한 수온-염분 관계를 보인다. 조사해역에서 나타난 해수는 수온이 5 - 28 °C, 염분은 29.0 - 34.7 psu, σ_t 는 18.0 - 27.0의 넓은 범위를 갖고 있다. 이와 같은 수온과 염분의 범위가 큰 수계의 존재는 주로 여름철에 확장하는 고온 저염의 연안수에 기인하는 것으로 판단된다 (그림 35b 참조). 연안수의 세력이 약해지는 가을에는 수온과 염분의 분포 범위가 좁아지고 (그림 35d), 담수가 나타나지 않았던 봄에는 염분의 범위가 34.4 - 34.7 psu로 매우 좁아지고 수온의 범위도 8 - 19 °C로 줄어들어 수온과 염분의 관계가 직선형태를 갖는다 (그림 35c). 여름에 표층에 존재하는 저염수가 가장 높은 수온을 갖고 있으며 중층과 저층에 존재하는 고염수의 염분이 다른 계절에 비해 약간 낮다. 34.6 psu 이상을 갖는 염분 최대인 수계가 봄에는 13.5 - 16.0 °C의 수온 범위를, 가을에는 14.0 - 21.0 °C로 변하여 Kuroshio 수계인 고염수의 계절변화를 보인다. 특기할 만한 사실은 가을에 σ_t 24.0 이상인 저밀도수가 수온과 염분이 다른데도 같은 밀도를 유지하고 있다는 것이다. 이는 저온 저염의 연안수와 고온 고염의 Kuroshio 수계가 한국 남해안에서 서로 만나 열·염전선을 형성하며 이 전선역에서 밀도의 수평구배가 매우 작다는 것을 간접적으로 시사해 준다.

세 단면에서 수온과 염분의 계절특성이 그림 36에 제시되었다. 32°N 동서 단면에서 34.0 psu 이하의 저염수는 여름에만 존재하고 고염수의 최대 염분이 다른 계절에 비해 약간 낮은 것이 뚜렷하게 보인다 (그림 36a). 봄과 가을에 이 단면에서 나타난 해수는 수온과 염분이 특성이 거의 같은 동일 수계로 분류될 수 있다. 수심이 얕은 127° E 남북 단면에서는 13 °C 이하의 낮은 수온의 해수는 존재하지 않았다. (그림 36b). 가을철 고염수의 수온이 봄에 비해 높은 반면에 34.0 psu 이하의 연안수계가 있다. 대한해협에서 수온-염분관계는 앞에 두 단면과 약간 다른 모양을 보인다 (그림 36c). 34.5 psu 이상의 고염수가 가을과 봄에만 나타나고 봄

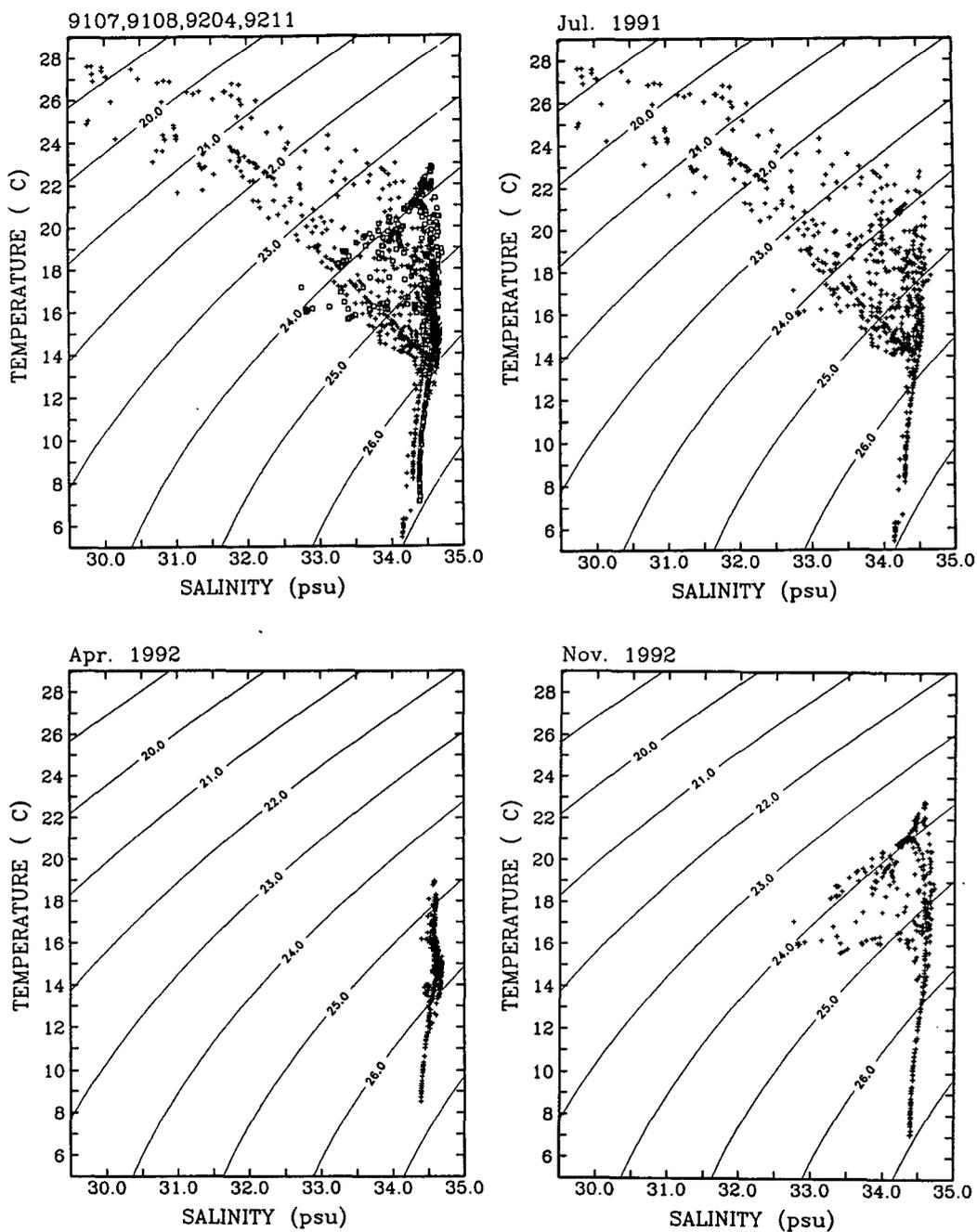


Fig. 35. Temperature-salinity relations. (a) all CTD data, (b) summer in 1991, (c) spring in 1992, and (d) autumn in 1992.

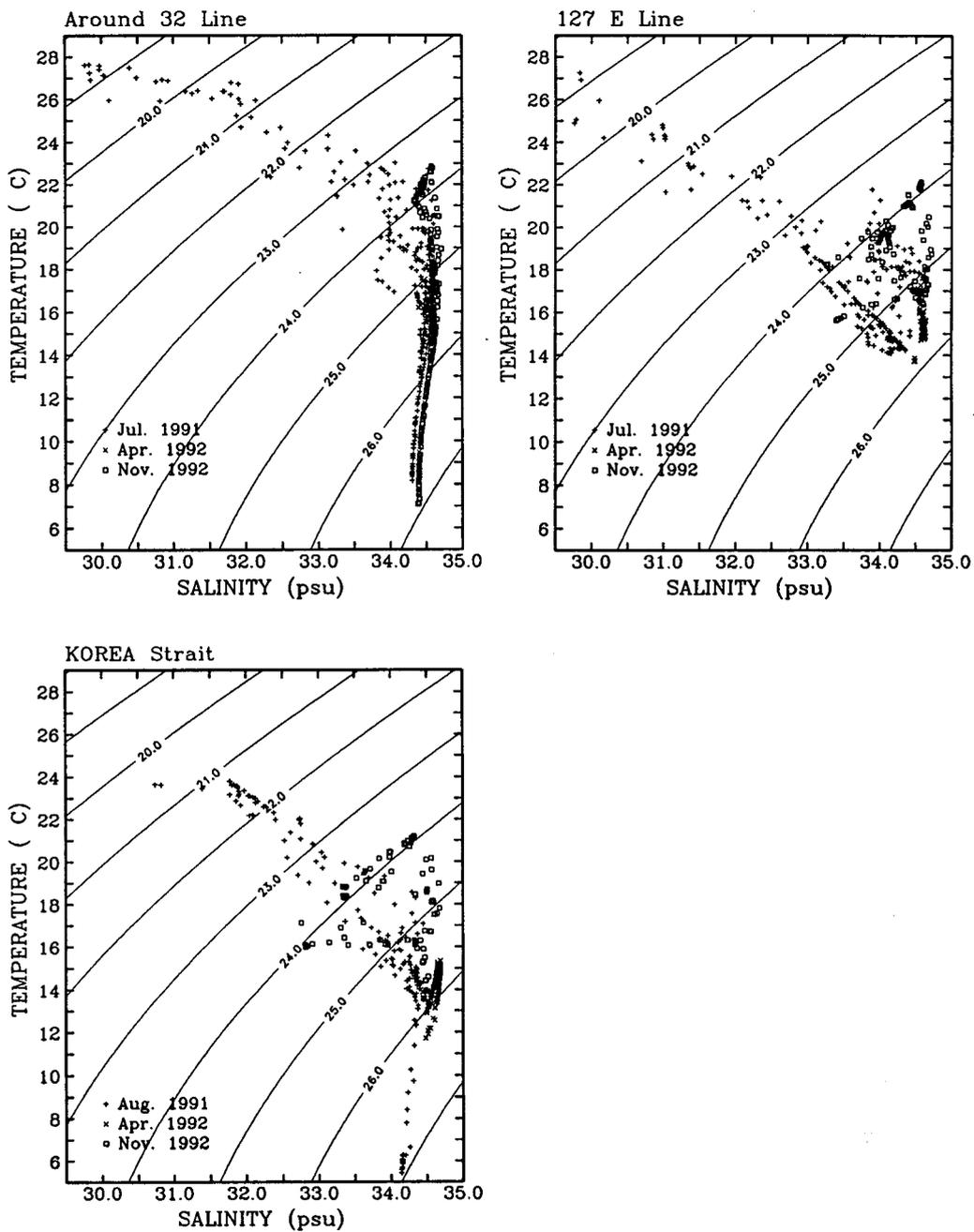


Fig. 36. Temperature-salinity relations. (a) 32° N section, (b) 127° E section, (c) Korea Strait.

에는 13 - 15.5 °C의 수온이 낮고 범위도 매우 좁다. 한편 11 °C 이하의 저온의 해수가 여름에만 존재한다. 이 냉수의 염분이 34.1 - 34.3 0 psu로 다른 단면에서는 존재하지 않는 수계다. 이 해수는 동해기원 수계로 보고된 바 있다 (Lim, 1973).

다. 1991년 하계조사

그림 37-39은 1991년 7월과 8월에 관측된 각 단면에서 수온, 염분과 밀도의 수직분포도이다. 수온은 태양복사에 의한 가열로 표층에서 최고 수온이 27 °C 이상이며, 단면 A의 동쪽에 위치한 깊은 골의 중층 아래에서는 10 °C 로 그 범위가 넓다. 염분도 담수의 유입으로 29.79 - 34.64 psu 의 넓은 범위를 보였다. 32.0 psu 이하의 저염수가 단면 A의 모든 정점과 단면 B의 정점 5-10에서 두께 20 m 표층에서만 나타났다. 이 저염수의 밀도 (σ_t)는 21.0 이하의 낮은 값을 갖고 있다. 표층염분은 서에서 동으로, 그리고 남에서 북으로 갈수록 증가하였다. 여름철 양자강이 범람할 때 양자강회석수의 상당 부분이 제주도 방향으로 확장하는 것으로 알려져 있다. 따라서 하계관측에서 나타난 저염수는 양자강회석수로 생각된다. 1991년 7월의 저염수의 분포는 평년에 비해 더 광범위한 해역으로까지 확장되었다. 양자강 하구에서 가장 동쪽에 위치한 정점 16 까지 거리는 약 700 km 이다. 따라서 담수가 저염·고온의 특성을 잃지 않고 동중국해의 대륙붕을 가로질러 긴 여행을 하였다. 대한해협 서수도에서는 등치선이 한국연안으로 오면서 깊어지고 강력하게 형성된 계절수온약층이 상층과 하층을 잘 구분한다. 한국연안에서만 담수가 썰기모양의 수직분포를 갖고 있다. 이 썰기형 저염수는 대한해협을 향해 올라오는 양자강회석수에 의해 크게 영향을 받은 것으로 판단된다.

34.0 psu 이상의 고염수가 모든 단면의 계절수온약층 아래에서 나타났으나 34.5 psu 이상을 갖는 최고 염분은 단면 A의 수심 50-150 m 에서만 발견된다. 따라서 고염수는 남쪽에서 온 것으로 판단된다. 대한해협 서수도 골에서도 34.0 psu

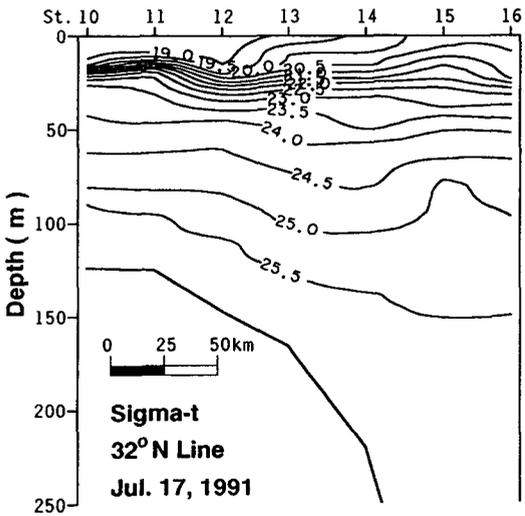
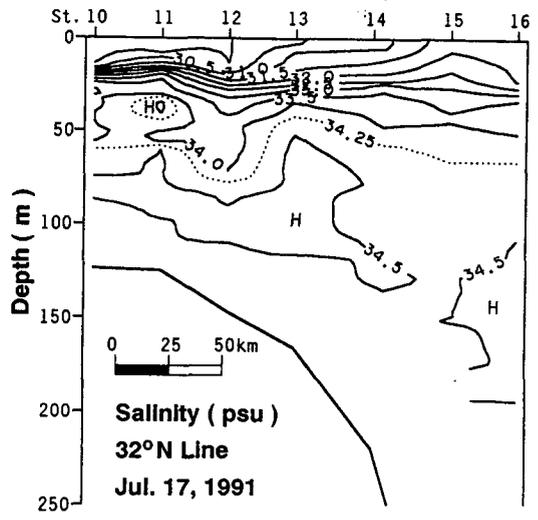
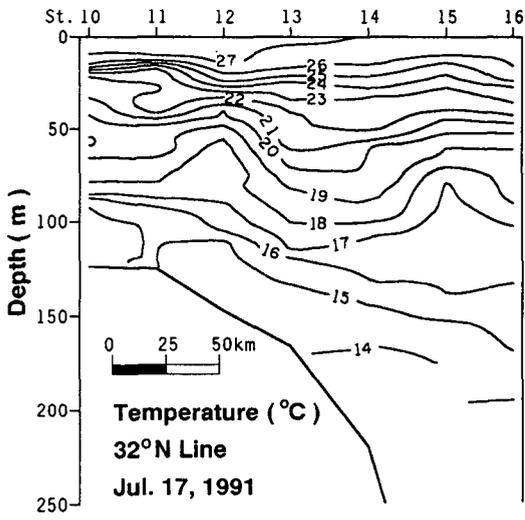


Fig. 37. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° N section in summer 1991.

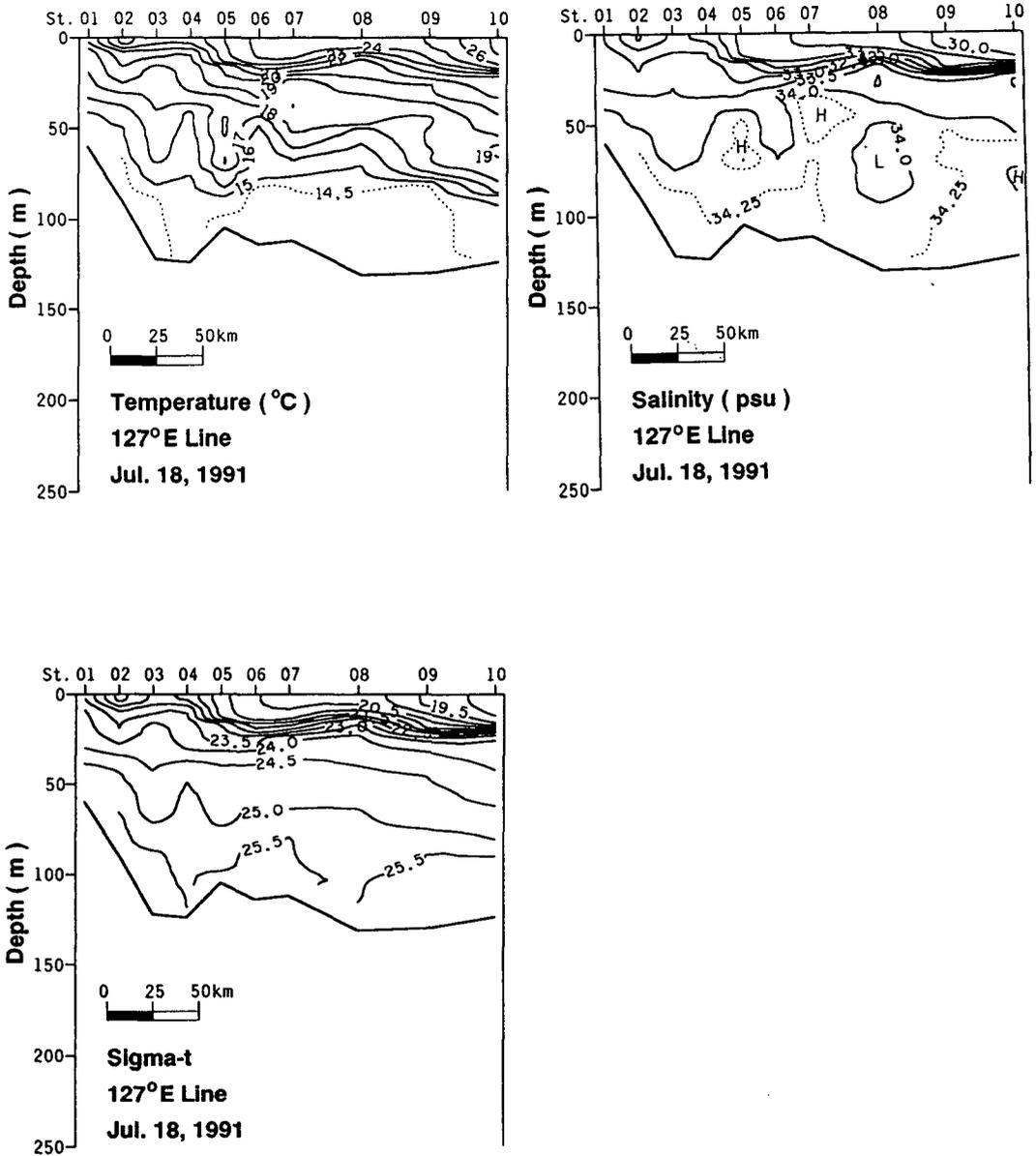


Fig. 38. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in summer 1991.

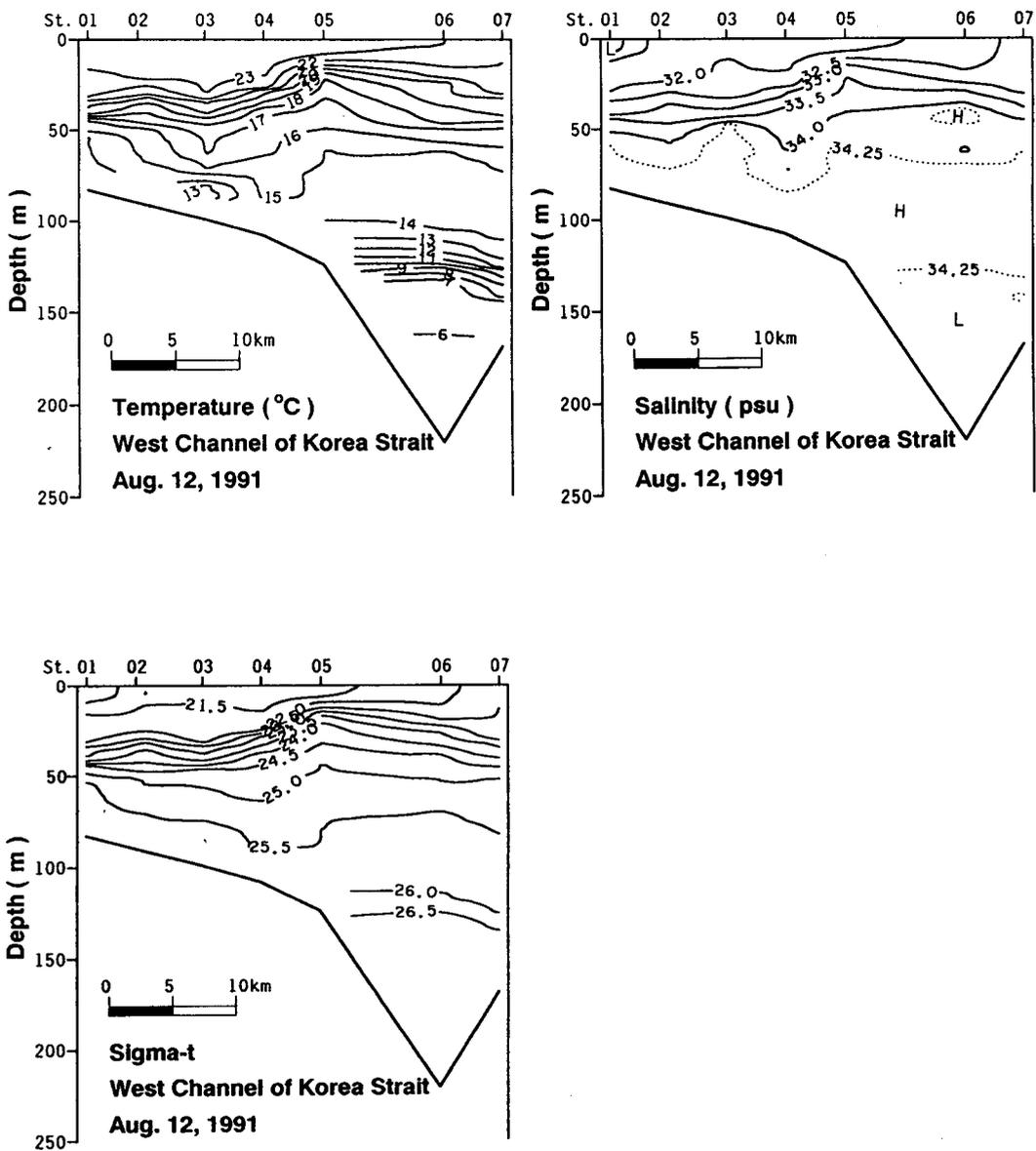


Fig. 39. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t across the western channel of the Korea Strait in summer 1991.

이상의 고염수가 존재하나 다른 두 단면에서와는 달리 수온이 10 °C이하로 100-150 m 사이에 형성되어 있는 강한 수온약층으로 중층과는 구별되며 염분도 34.25 psu 이하로 약간 낮다. 여름철에만 나타나는 이 냉수는 밀도가 26.5 이상으로 동해에서 기원한 수괴로 밝혀졌다 (Lim, 1973). 서수도에서 CTD조사는 다른 두 단면에서 25일 늦게 실시되긴 하였지만, 단면 A와 B의 하층, 그리고 서수도 중층에서의 해수는 수온이 14 °C 이상, 염분이 34.0 psu 이상으로 같은 물리특성을 보인다.

라. 1992년 춘계조사

1992년 4월 중순, 단면 A와 B 선상의 16개 정점에서 조사하였고 대한해협에서는 20개 정점에서 조사된 자료와 비교하였다 (그림 40-42). 단면 A는 1991년 7월 조사 때보다 약간 북쪽인 32° 10' N 로 이동하였다. 봄철의 해수특성분포는 여름철에 비해 훨씬 단순하며 대륙붕 해역과 대한해협에서는 수온과 염분이 수직적으로 매우 균질하다. 여름철 표층에서 나타났던 저염수는 담수 유입의 급격한 감소로 완전히 사라져서, 몇 개의 연안 정점을 제외한 모든 정점에서 염분이 34.5 psu 이상이고 밀도는 24.7 보다 크다. 이는 Kuroshio 계수가 동중국해의 동부해역으로 보다 폭 넓게 진출하였다는 것을 반영한다. 표층수는 여름에 비해 활발한 동계 냉각으로 8 °C 이상 수온이 하강하였다. 구주 서방 깊은 골을 지나는 단면 A 에서, 염분은 수직적으로 균일한데 비해 등온선과 등밀도선은 수직구배가 약하긴 해도 수평적인 분포양상을 보인다. 대륙붕에서 성층이 약간 이루어졌고 약한 수온약층이 수심 70 m 부근에서 형성되었다. 대륙붕에서 수온은 남에서 북으로 갈수록 감소하여 제주해협에서 열·염전선이 형성되었다. 대한해협을 가로지르는 단면 (그림 42)에서는 수온과 염분이 수직적으로나 수평적으로 더욱 균질하게 되었고 다른 두 단면과는 달리 수온약층이 존재하지 않으며 전반적으로 고염수인 Kuroshio계의 수괴로 차 있다.

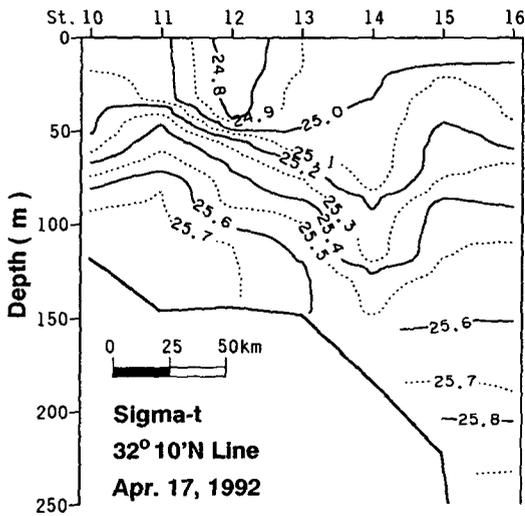
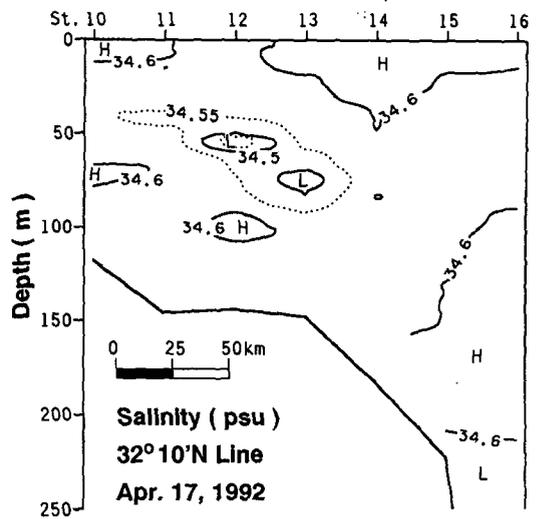
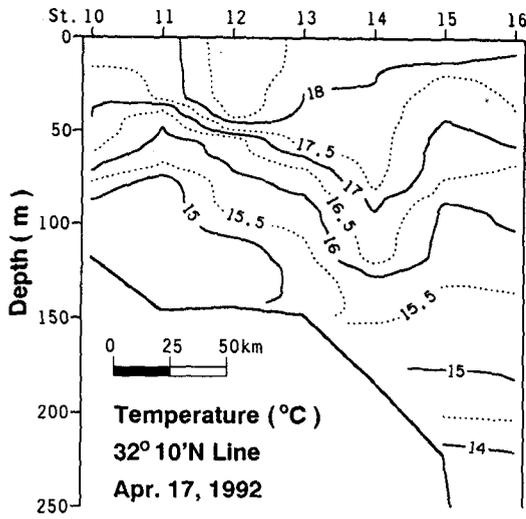


Fig. 40. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° 10' N section in spring 1992.

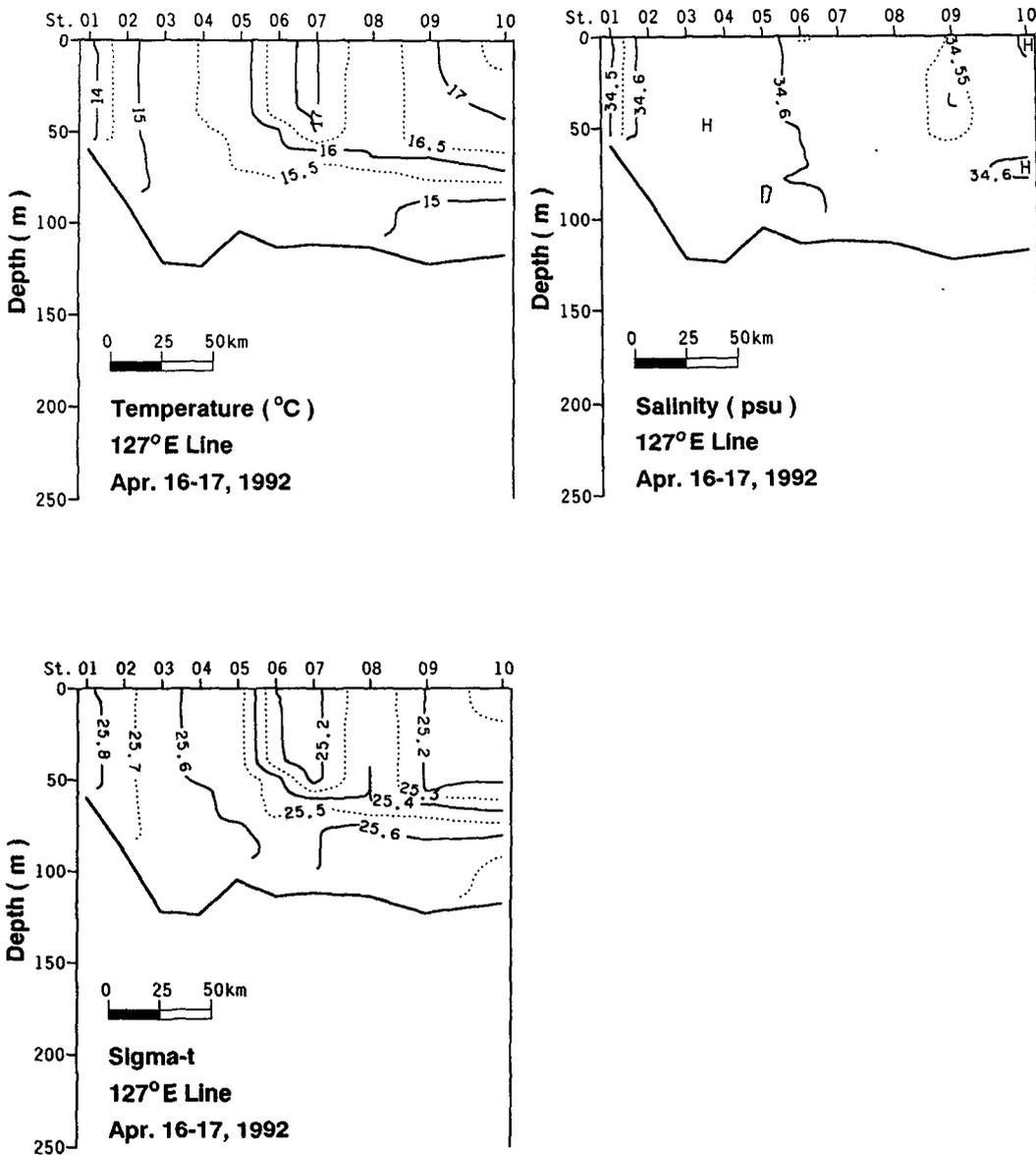


Fig. 41. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in spring 1992.

마. 1992년 추계조사

조사는 11월 중순경에 실시하였다. 단면 A는 춘계조사 때와 같이 $32^{\circ} 10' N$ 선으로 정하였고 대한해협에서는 부산에서 대마도를 연결하는 남북단면에서 관측되었다. 수온, 염분과 밀도 분포 (그림 43-45)는 표층혼합층이 주로 표층냉각과 바람에 의한 혼합으로 매우 깊어져서 계절수온약층이 수심 70-90 m 부근에서 형성되었음을 보인다. 단면 A에서 수온과 염분은 수평적으로 거의 균질하나 대륙붕해역에서는 등온선이 구주 쪽으로 갈수록 점차 깊어지고 염분은 봄철에 비해 약간 낮아서 34.4 psu 이상을 보인다. $31^{\circ} N$ 단면 (그림 46)에서는 수온과 염분이 대륙붕상에서 수직적으로는 균질하나 골 쪽으로 가면서 점차 증가하여 골에서 멀지 않은 정점 25와 27 사이에 약한 염전선을 보인다. 단면 A와 단면 B의 남쪽 정점들 그리고 $31^{\circ} N$ 단면의 서쪽 정점들 (정점 19-26)의 혼합층에서 전반적으로 나타나는 고온 ($T > 21.5^{\circ} C$), 고염 ($S > 34.3 psu$)수는 동일 수계로 분류된다. 따라서 단면 A에서의 고온·고염수는 남쪽으로부터 온 것으로 추정된다.

두 남북 단면에서 수온과 염분분포는 제주도 서쪽 정점 37-38에서 (그림 47), 그리고 제주도 북동쪽 정점 2-3 부근에서 (그림 44) 강한 열·염전선이 위치하고 있음을 보인다. 또한 정점 5-6 부근에서는 부차적인 전선이 존재한다. 이 열·염전선을 가로질러 밀도의 수평구배는 매우 작다. 제주도 부근에서 동서 방향으로 발달하는 열·염전선은 저온·저염의 연안수와 고온·고염의 Kuroshio 수계가 만남으로 형성된다 (Lie, 1985). 단면 B와 대한해협의 해저 가까이에 있는 저온, 고염수가 자리하고 있다. 대한해협에서 수온과 염분의 수직구조는 동수도와 서수도에서 매우 대조적이다. 서수도의 상층은 저온, 저염의 특성을 갖는 연안수에 의해 큰 영향을 받으며 고염수가 차지하고 있는 저층과 명확하게 구분되는 반면에 동수도에는 저염수가 없다. 계절수온약층과 염분약층은 수심 90 m 부근에서 계속 유지된다. 열·염전선의 바깥 경계역이 대마도 남단 정점 5 부근에 위치하고 있다.

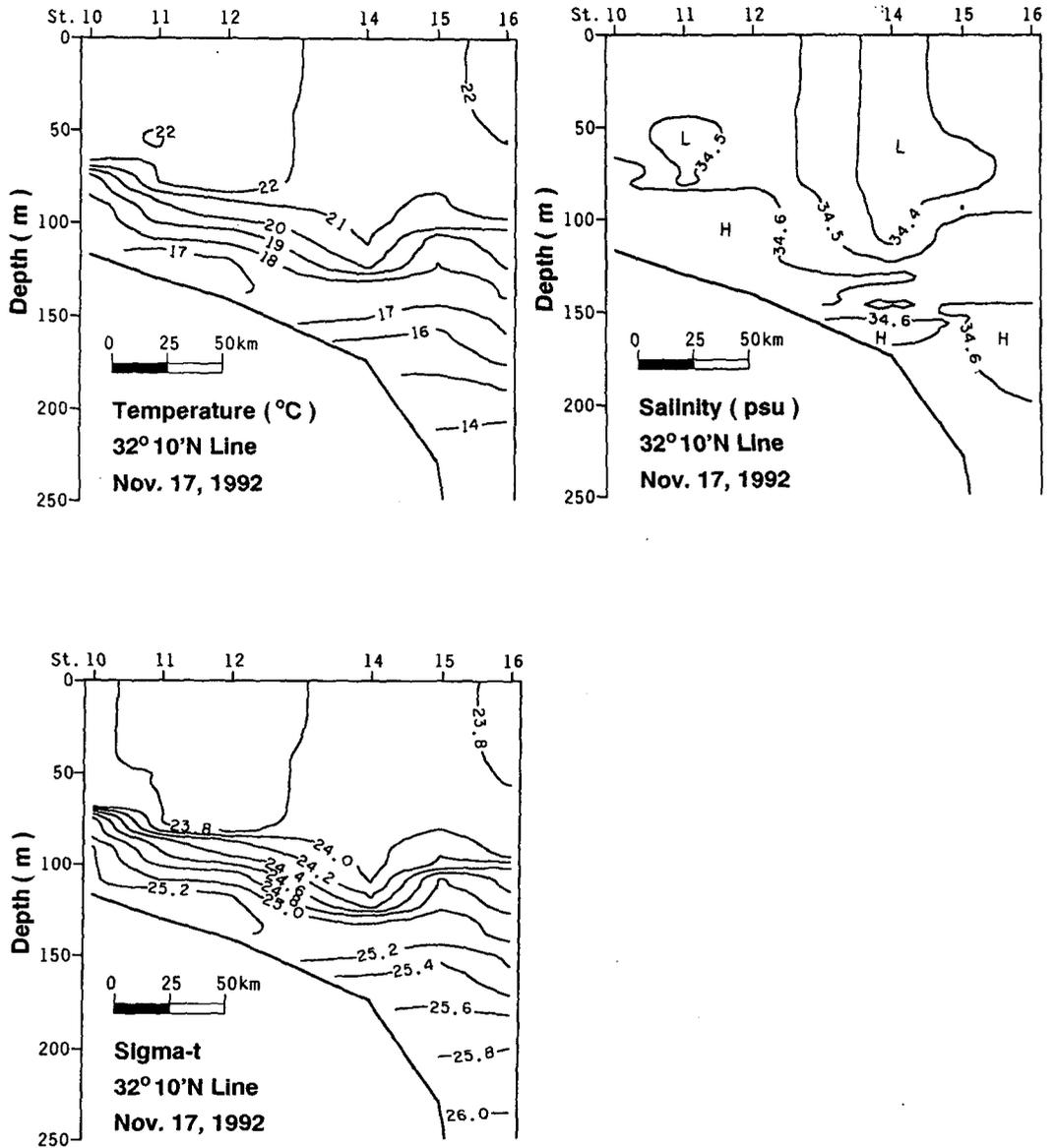


Fig. 43. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 32° 10' N section in autumn 1992.

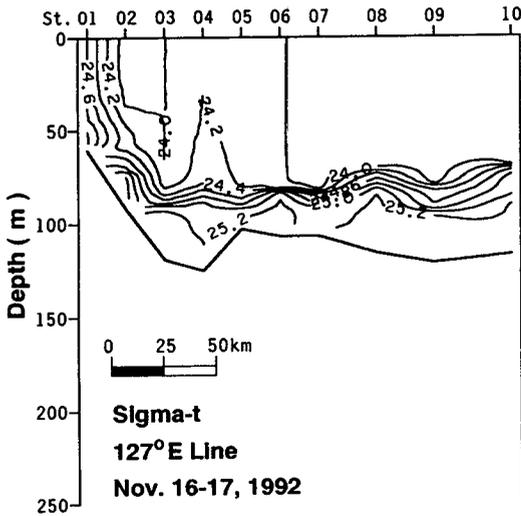
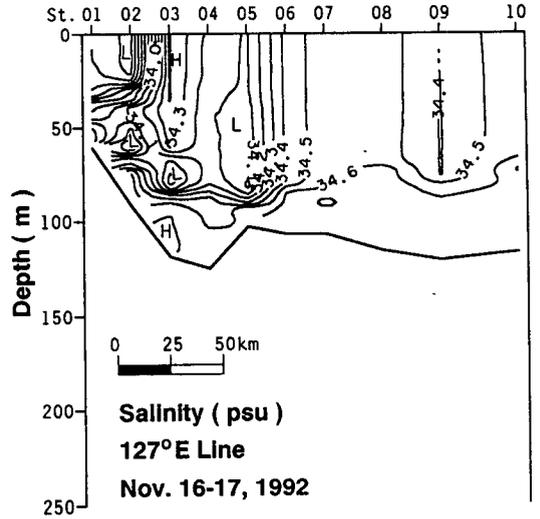
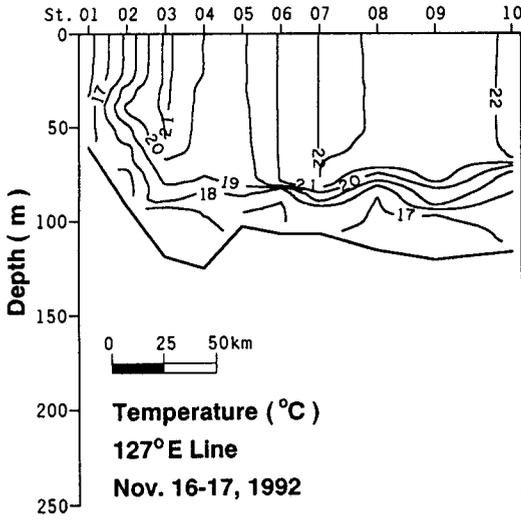


Fig. 44. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 127° E section in autumn 1992.

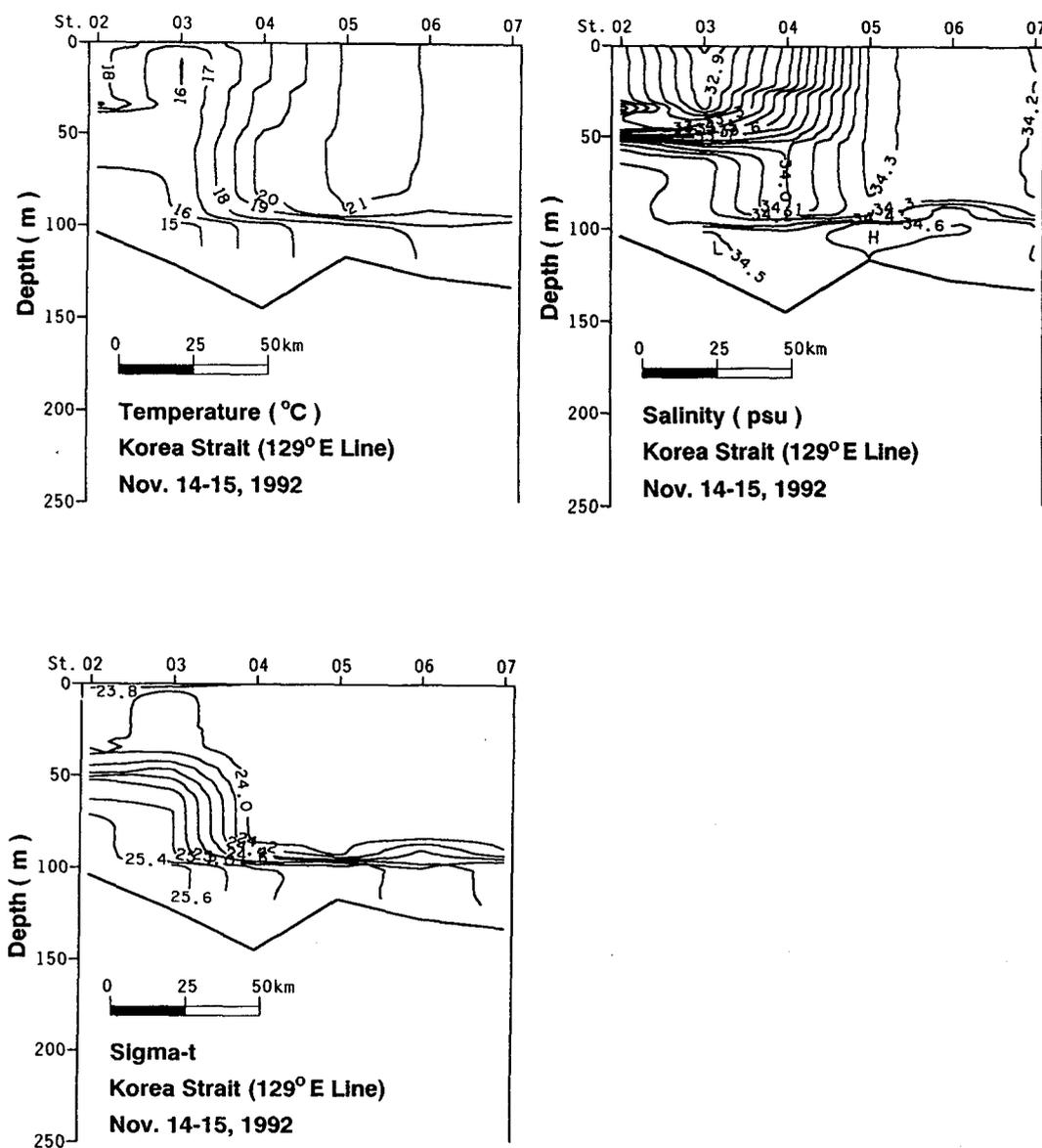


Fig. 45. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t across the the Korea Strait in autumn 1992.

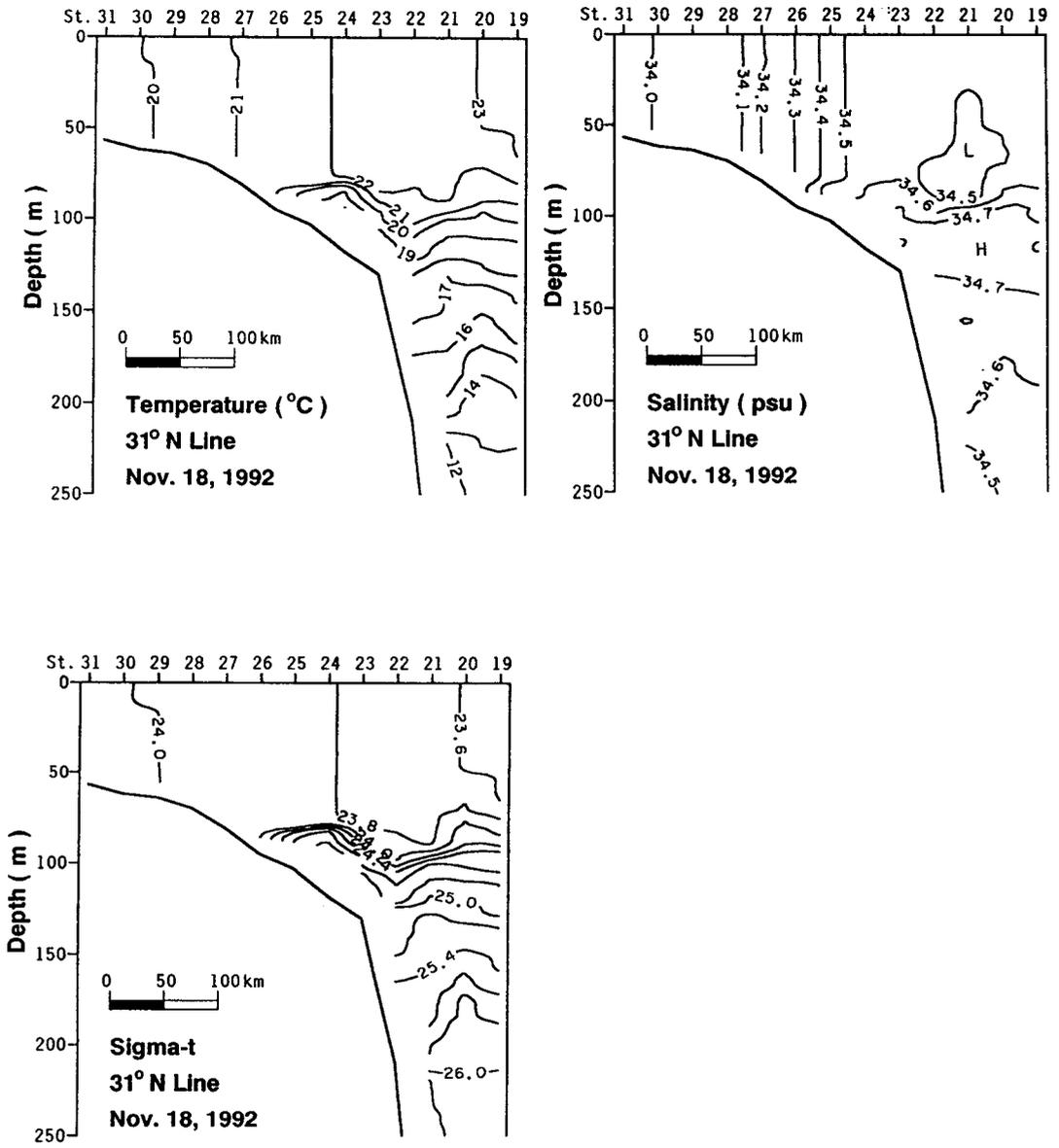


Fig. 46. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 31° N section in autumn 1992.

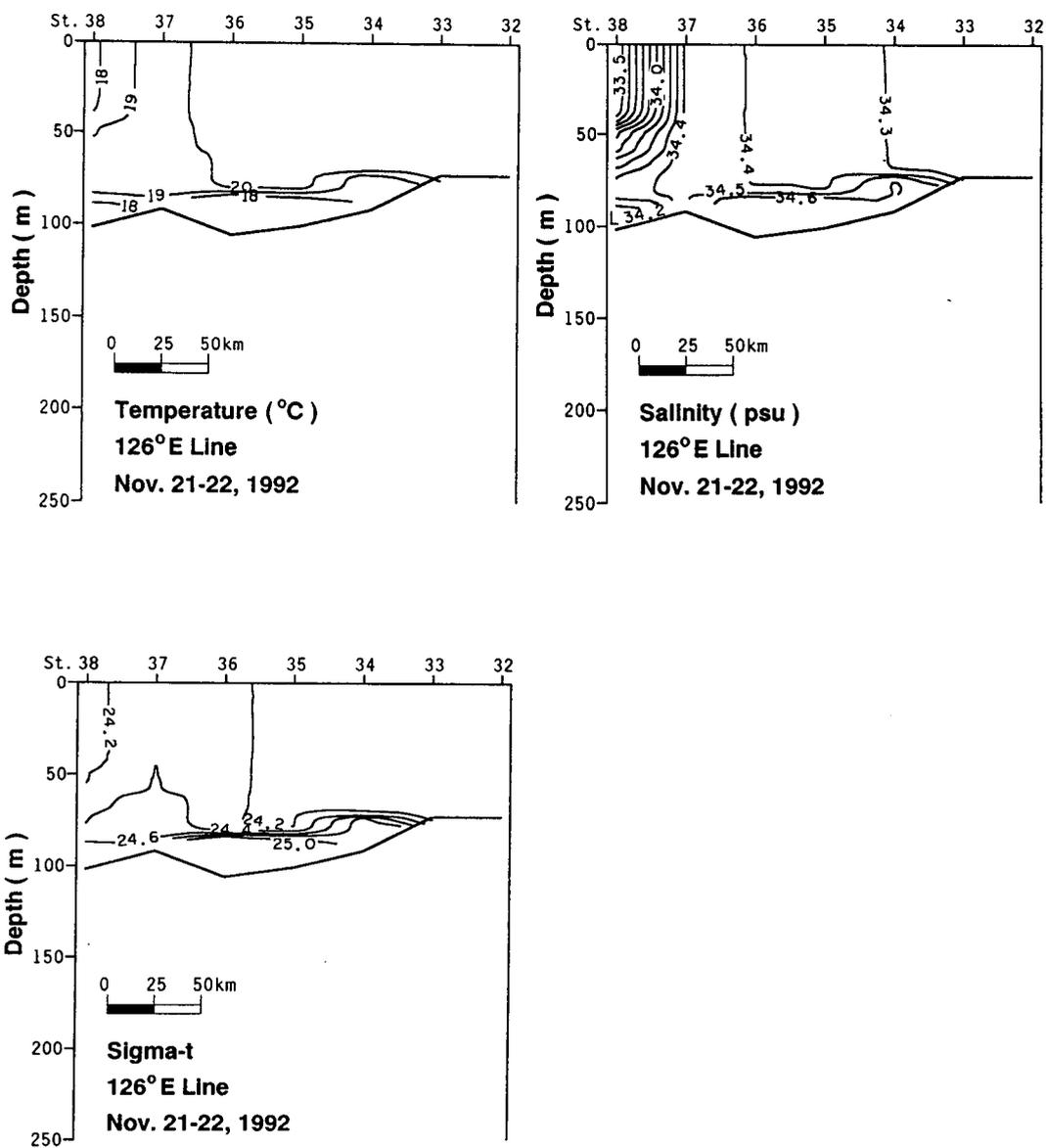


Fig. 47. Vertical distributions of temperature, salinity and sigma-t in the 126° E section in autumn 1992.

제 5 절 동중국해 동부해역에서 ADCP 조사성과

동중국해에서는 조업활동이 활발하여 장기 유속계 계류에 의한 해·조류 관측이 사실상 어렵다. 또한 계류에 의한 정점 및 특정 수심에서 유속관측은 해수유동의 공간분포를 파악하는데 한계가 있다. 가장 이상적인 방법은 대표정점에서 유속계 계류, 조밀한 관측선에서 ADCP 조사, 그리고 위성추적부이 실험을 동시에 실시하는 것이나 많은 연구비가 소요된다. 본 연구에서는 동중국해에서의 흐름의 기본형태를 규명하기 위한 예비조사 성격의 ADCP 관측을 실시하였다. ADCP 조사는 1992년 4월과 11월에 한국해양연구소 조사선 이어도호와 온누리호에 부착된 RD사의 ADCP로 각각 실시하였다. 관측선은 CTD 관측선 (그림 31)과 같으며 조사선이 통과한 시각을 그림 48에 제시하였다. 관측위치는 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 조사선 위치를 결정하였다. 유속자료는 수직적으로 8 m 간격으로 획득되었고 흐름의 평면도와 수직단면도를 작성하였다. 관측선은 기본적으로 두단면 (32° N, 127° E)에서 조사되었고, 봄철에는 대한해협을 남북으로 횡단하는 관측선이 추가되었으며 가을철에는 31° N과 126° E 관측선이 추가되었다. 봄철 관측기간은 4월 16-18일 (음 3월 14-16)로 대조기에 해당하고 가을철 조사기간은 11월 16-22일 (음 10월 22-28일)로 소조기에서 대조기 바로 전까지에 해당한다.

가. 상층과 하층의 유속과 유향

봄과 가을 조사에서 얻은 상층과 하층의 유속은 그림 49와 같다. 대조기에 조사된 4월 관측에서는 조사해역에서 반일주조의 조류성분이 탁월하게 나타나지만 대한해협에서는 북동, 동향의 흐름 (대마난류에 해당)이 뚜렷하며 조류에 의한 방향전환이 보이지 않는다 (그림 49a, c). 가을조사시 소조기 때 얻은 32° N과 127°

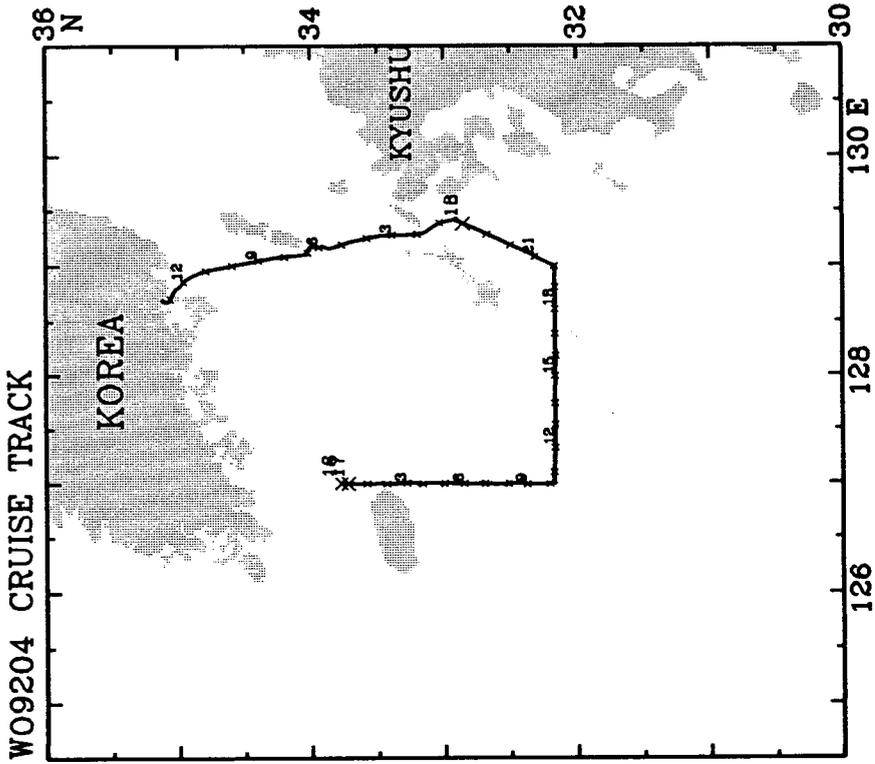
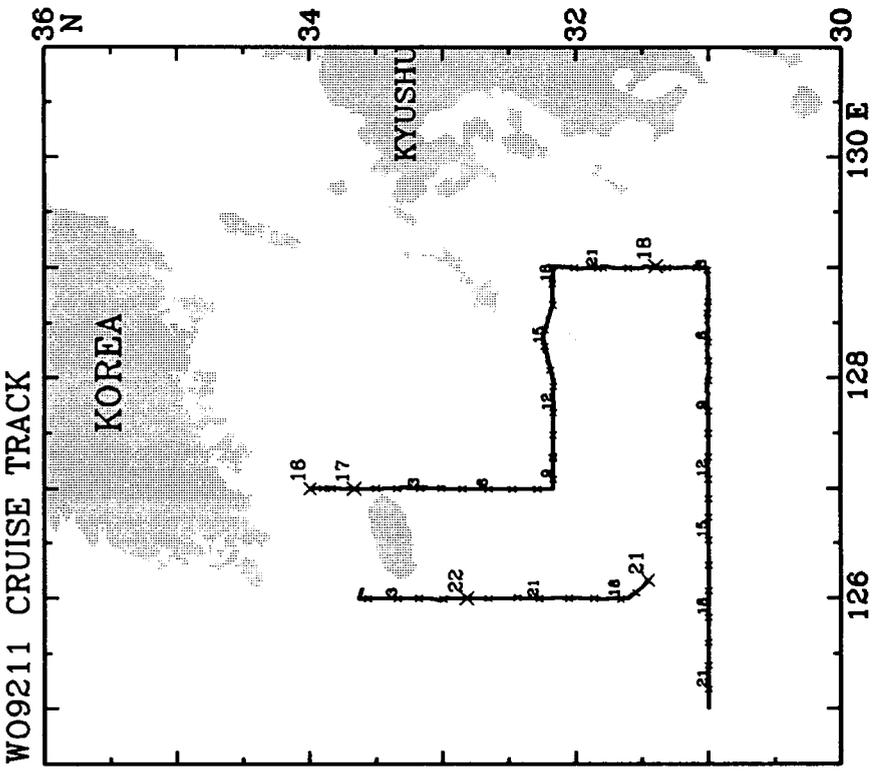


Fig. 48. Ship tracks for ADCP measurements. (a) April 1992 (R/V Eardo), (b) November 1992 (R/V Onnuri).

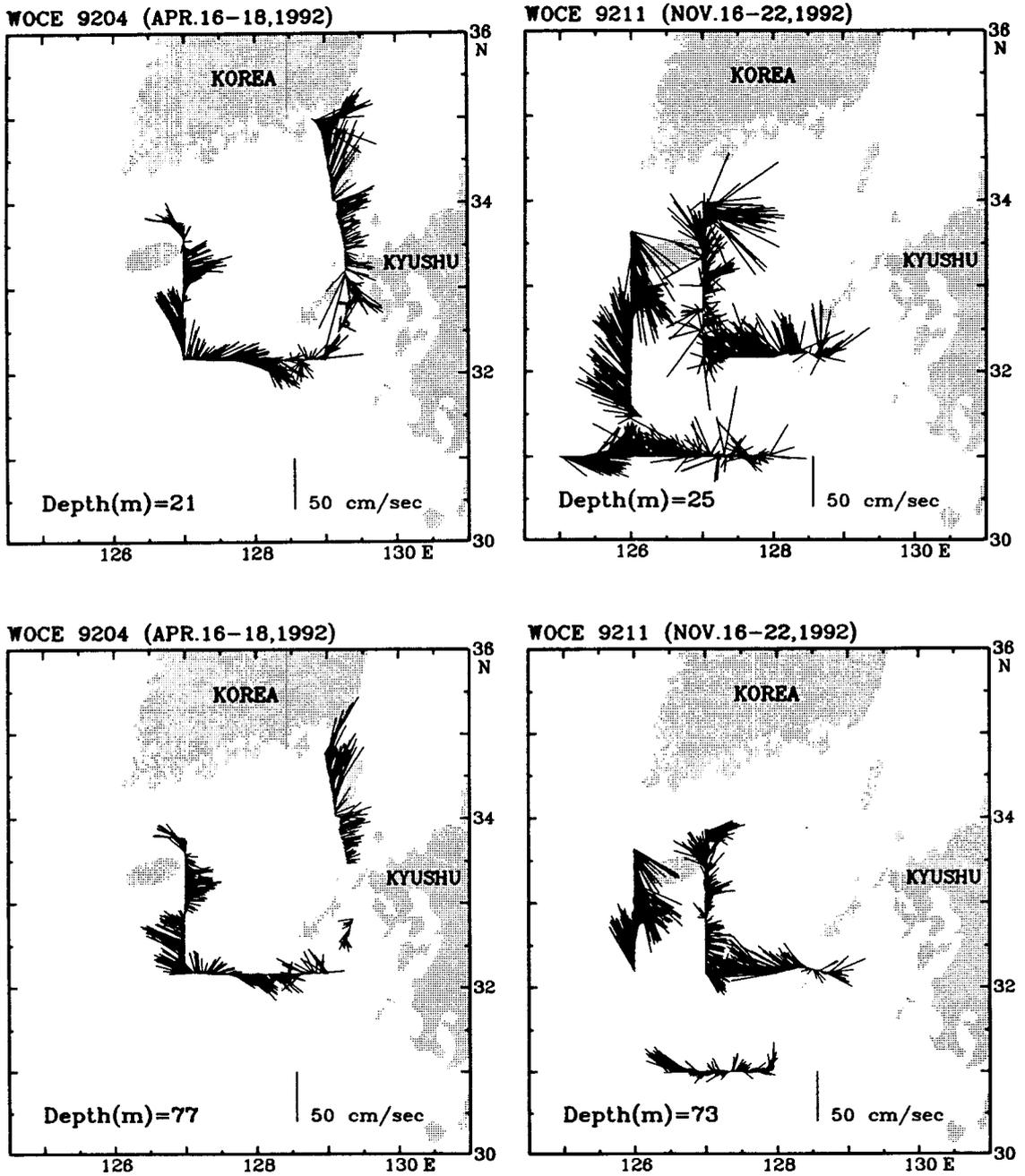


Fig. 49. Currents in the surface and lower layers by ADCP. (a) 21 m in April 1992, (b) 25 m in November 1992, (c) 77 m in April 1992 and (d) 73 m in November 1992.

E 관측선에서는 제주해협을 제외하고 조류성분에 의한 흐름의 방향전환이 뚜렷하지 않으며 제주해협에서는 조류도 강하고 32° N 관측선에서는 북향류가, 127° E 관측선에서는 동향류가 우세하게 나타난다. 그러나 소조기와 대조기 사이에 조사한 수심이 얕은 31° N와 126° E 단면에서는 조류운동이 우세하였다 (그림 49b, d). 대체로 하층의 유속이 상층보다 약하고 상층과 하층사이에 유향이 약간 차이가 있다.

전층에 대해 수직적으로 평균한 수직평균 흐름 (그림 50)은 봄철의 경우 대한해협에서는 북동류 내지 동류틀 보이나 32° N과 127° E 선상에서는 뚜렷한 방향성이 보이지 않는다. 서수도에서는 해안선에 평행한 흐름이 뚜렷하고 동수도에서는 유속이 서수도보다 작기는 하지만 비슷한 크기의 동향류가 있다. 가을철의 경우에는 그림 49에서 보인바와 같이 32° N 단면에서는 북향류가, 127° E 단면에서는 동향류가 우세하다.

나. 유속의 수직구조

32° 10' N 관측선: 구주 서부역에 위치한 골에서 대륙붕역을 동서로 횡단하는 단면에서 유속의 수직구조는 그림 51과 같다. 봄철에는 일부 좁은 구간을 제외하고 각층에서 유속벡터의 수직분포가 서로 비슷하나 약간의 위상차가 있다. 특히 정점 15 부근에서 상층과 저층의 유향이 반대로 나타났다. 표층혼합층이 두꺼워지고 상·하층이 뚜렷히 구분되는 가을철에는 북향류가 전층에서 우세하게 나타나나 대륙붕역 정점 10-11 부근에서는 하층의 유향이 상층과는 반대인 남향류로 나타난다. 이러한 유향역전은 관측유속에서 수직평균유속을 제거한 유속의 경압성분 (그림 52)에서 더욱 명확하게 볼 수 있다. 경압성분 유속은 골 부근에서 더욱 크게 나타나고 저층에서 매우 강하다.

127° E 관측선: 대륙붕상의 남북단면 (그림 53과 54)에서는 봄에는 69-77 m 층에서, 가을에는 57-65 m 층에서 최소로 나타난다. 이 층을 기준으로 봄과 가을에

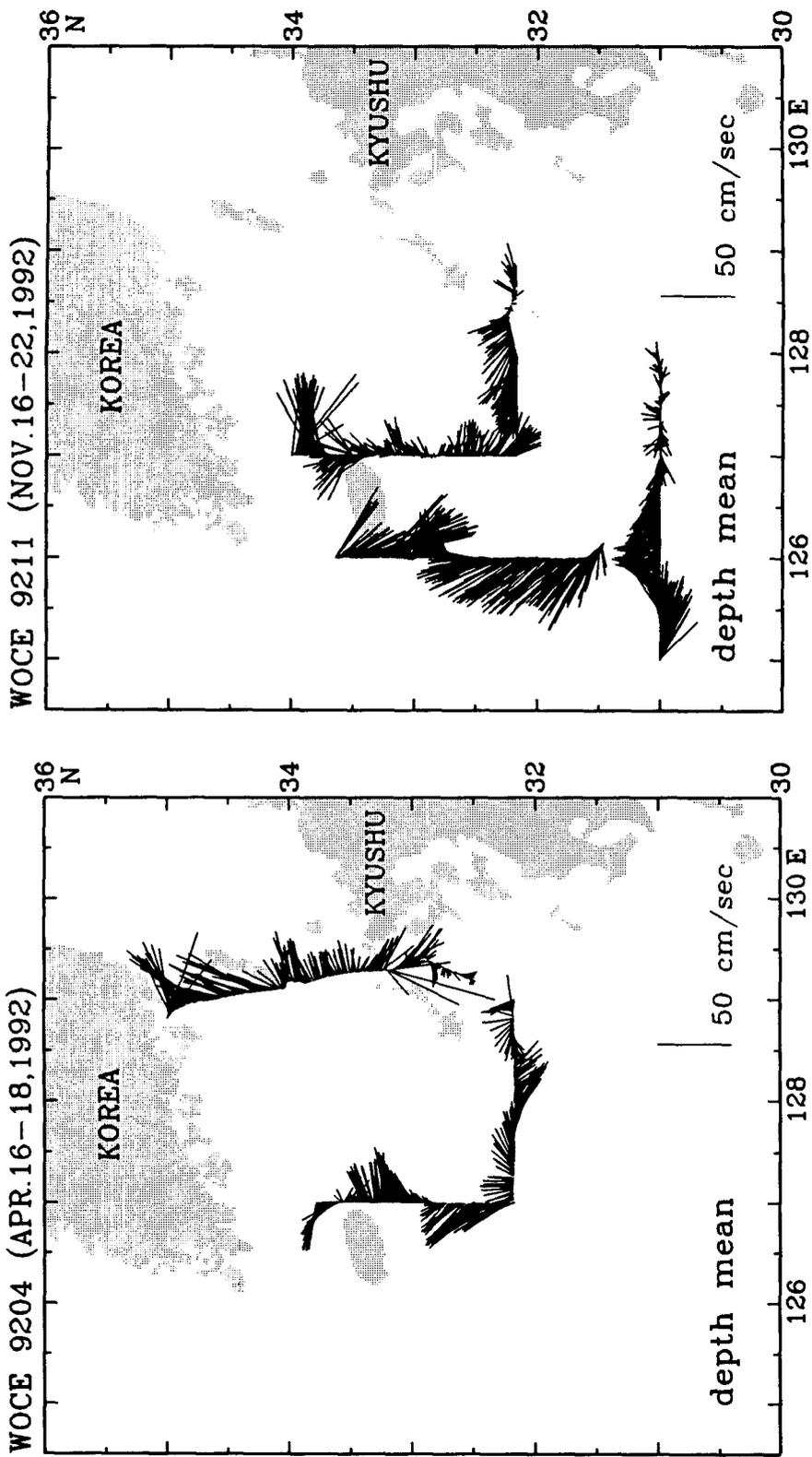


Fig. 50. Vertical sections of current by ADCP. (a) April 1992 and (b) November 1992.

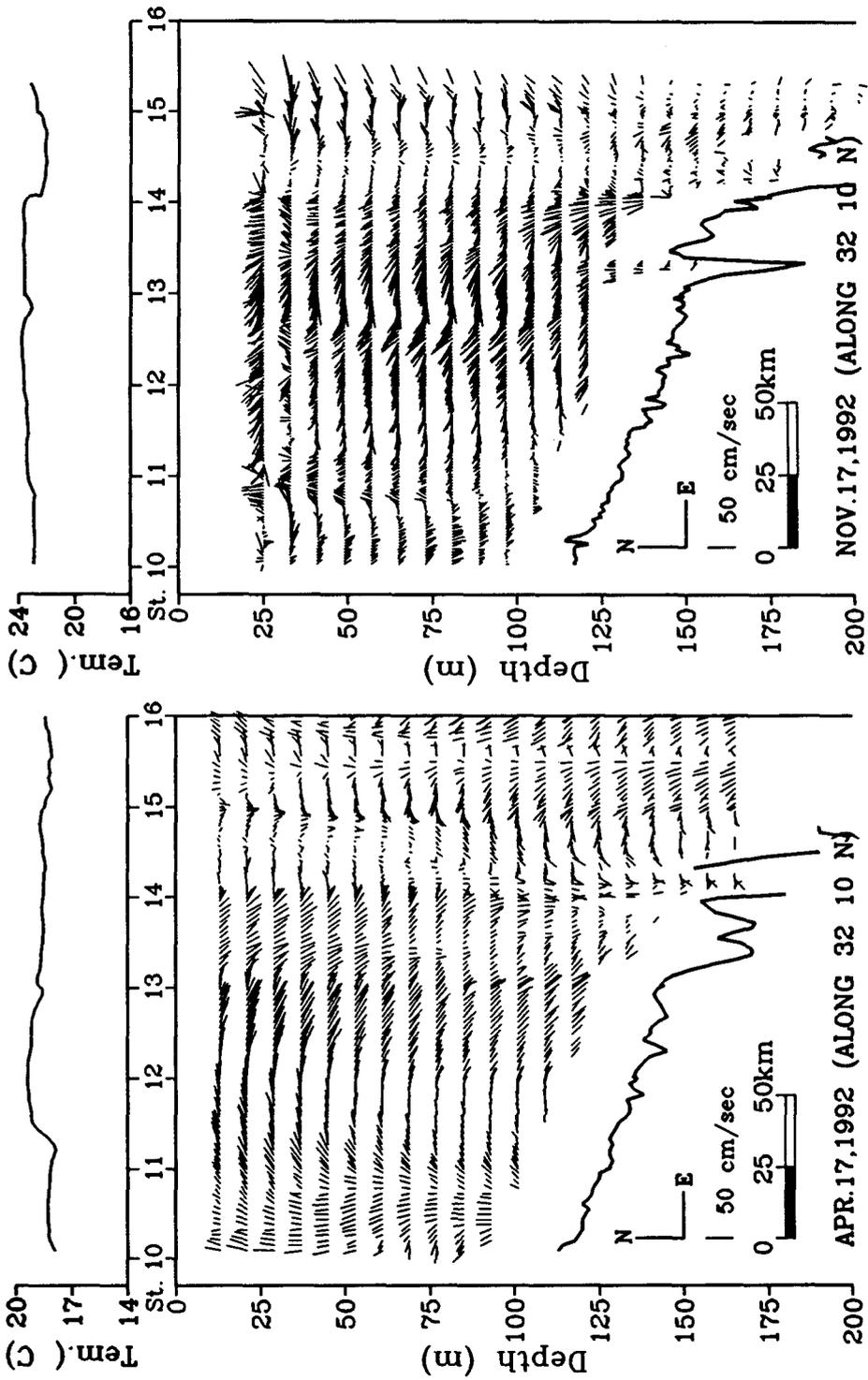


Fig. 51. Vertical sections of current by ADCP along 32° 10' N. (a) April 1992 and (b) November 1992.

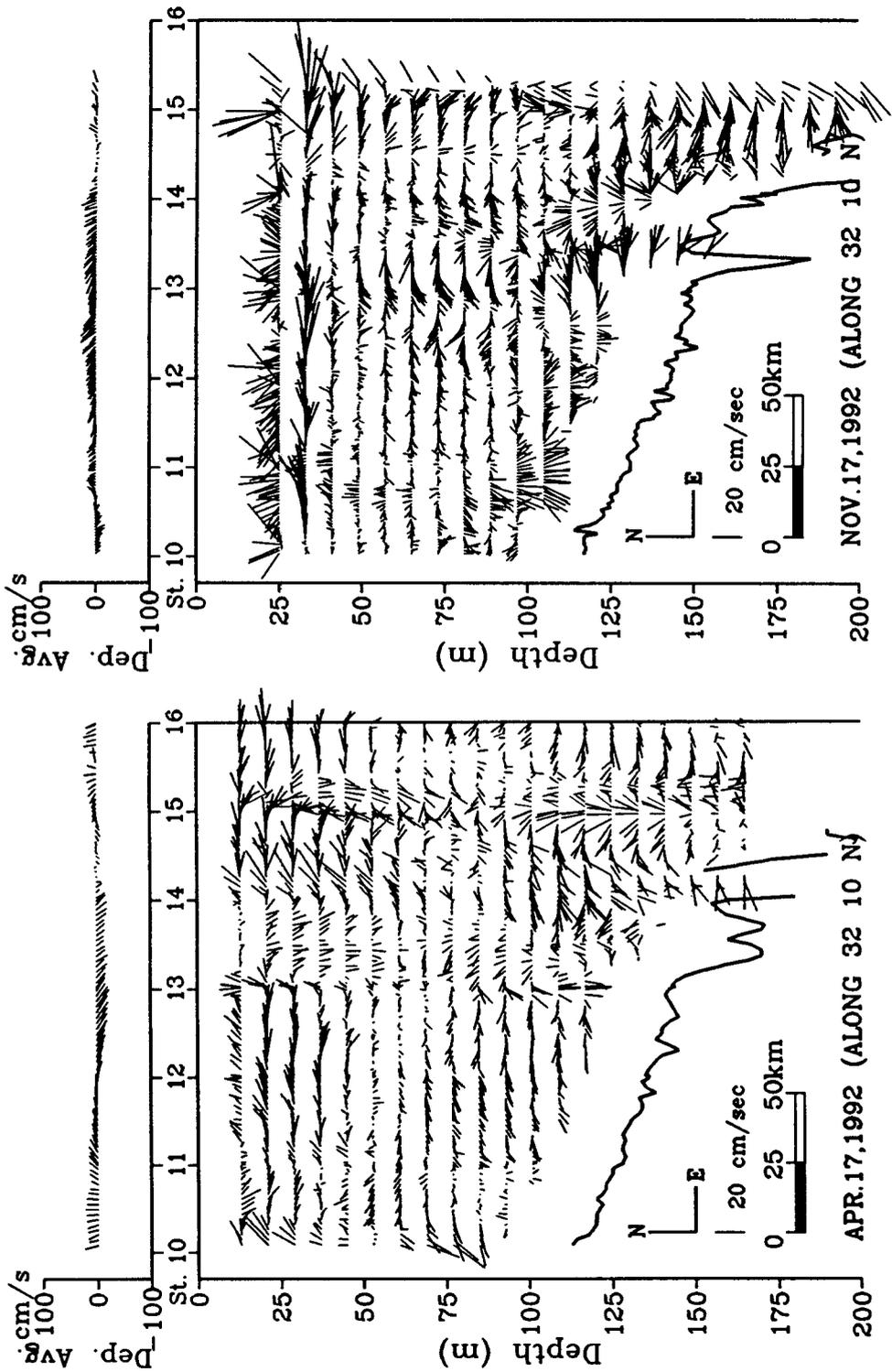


Fig. 52. Vertical sections of difference between observed and depth-mean current by ADCP along 32° 10' N. (a) April 1992 and (b) November 1992.

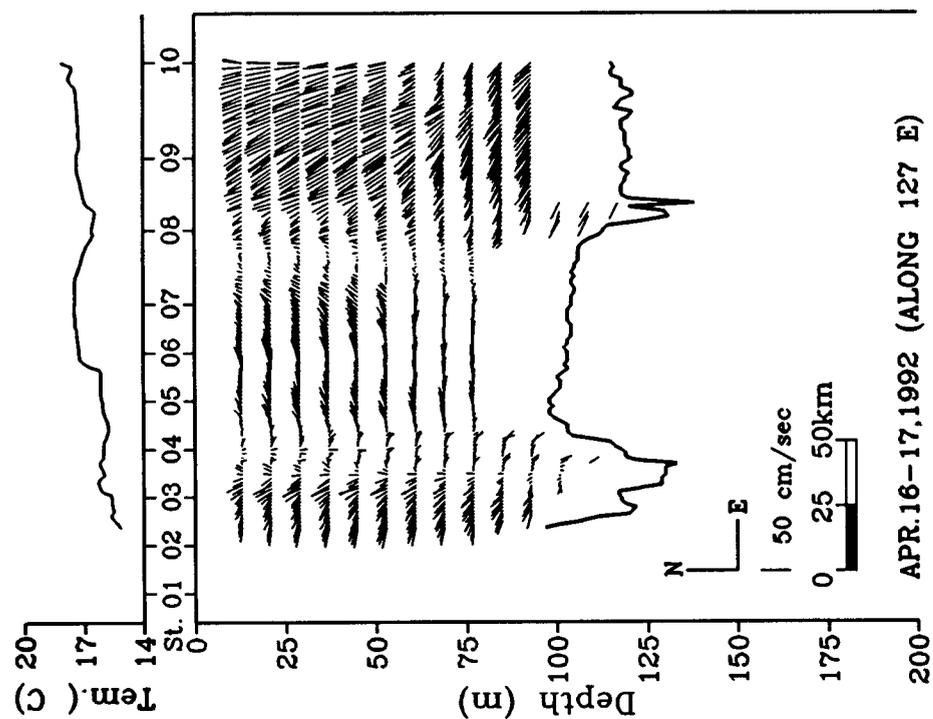
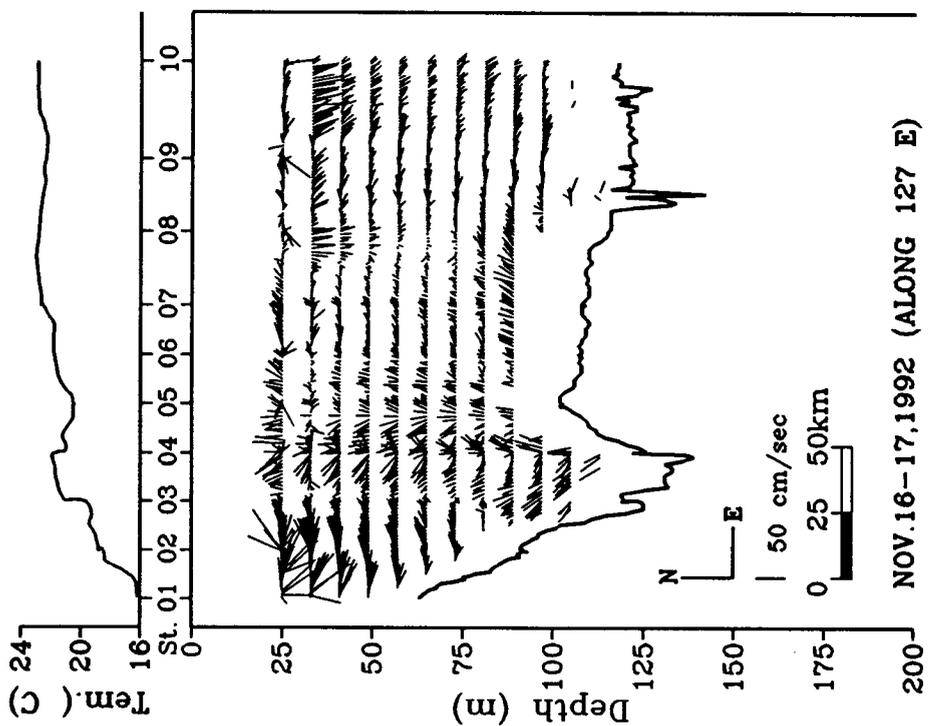


Fig. 53. Vertical sections of current by ADCP along 127° E. (a) April 1992 and (b) November 1992.

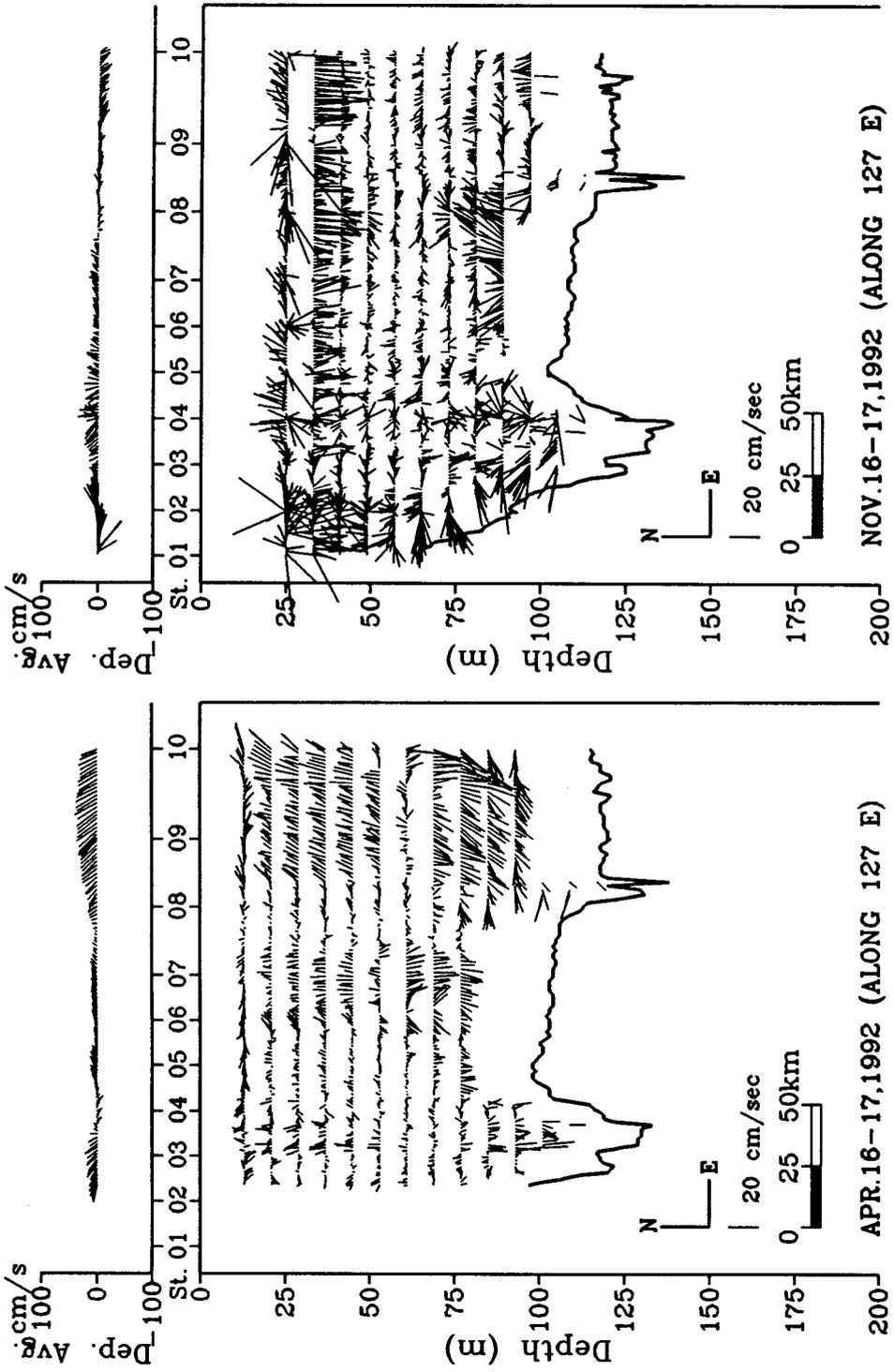


Fig. 54. Vertical sections of difference between observed and depth-mean current by ADCP along 127° E. (a) April 1992 and (b) November 1992.

경압성분의 유향이 역전된다. 또한 저층의 유속이 표층에 버금갈 정도로 강하다.

31° N 관측선: 가을철 최남단에 위치한 이 관측선에서는 수심이 100 m 보다 얕은 정점 26의 서쪽 천해역에서 유속이 강하게 나타난 반면에 100 m 보다 깊은 곳에서는 유속이 약하다 (그림 55). 관측선을 횡단하는데 반일주조보다 긴 18시간 정도가 소요되었음에도 상층의 유속이 대체로 북향류를 보였고 성층이 형성된 정점 25의 동쪽에서는 하층류의 유향이 상층류와 반대로 나타나고 있다.

126° E 관측선: 가을에 조사한 가장 서쪽에 위치한 이 남북 관측선에서 수온과 염분은 수직적으로 균질하였는데 (그림 47 참조) 흐름의 주방향은 북서와 남동으로 조류가 매우 우세하며, 유속의 수직구배도 가장 작고 상층과 하층의 유향의 역전현상도 없었다 (그림 56)

대한해협: 봄철에 조사한 대한해협의 남북단면에서는 서수도와 동수도의 흐름이 명확하게 구분된다 (그림 57). 조사기간중 대한해협에서의 수온과 염분분포는 수직적으로 균질하였다 (그림 42 참조). 대조기임에도 불구하고 다른 관측선에서 나타났던 조류의 의한 유향의 공간변화가 눈에 띄지 않고 서수도에서는 유향이 북동방향으로 해안선에 평행하고 동수도에서는 동향류가 지배적으로 전층에 걸쳐 일정한 방향의 흐름이 보였다.

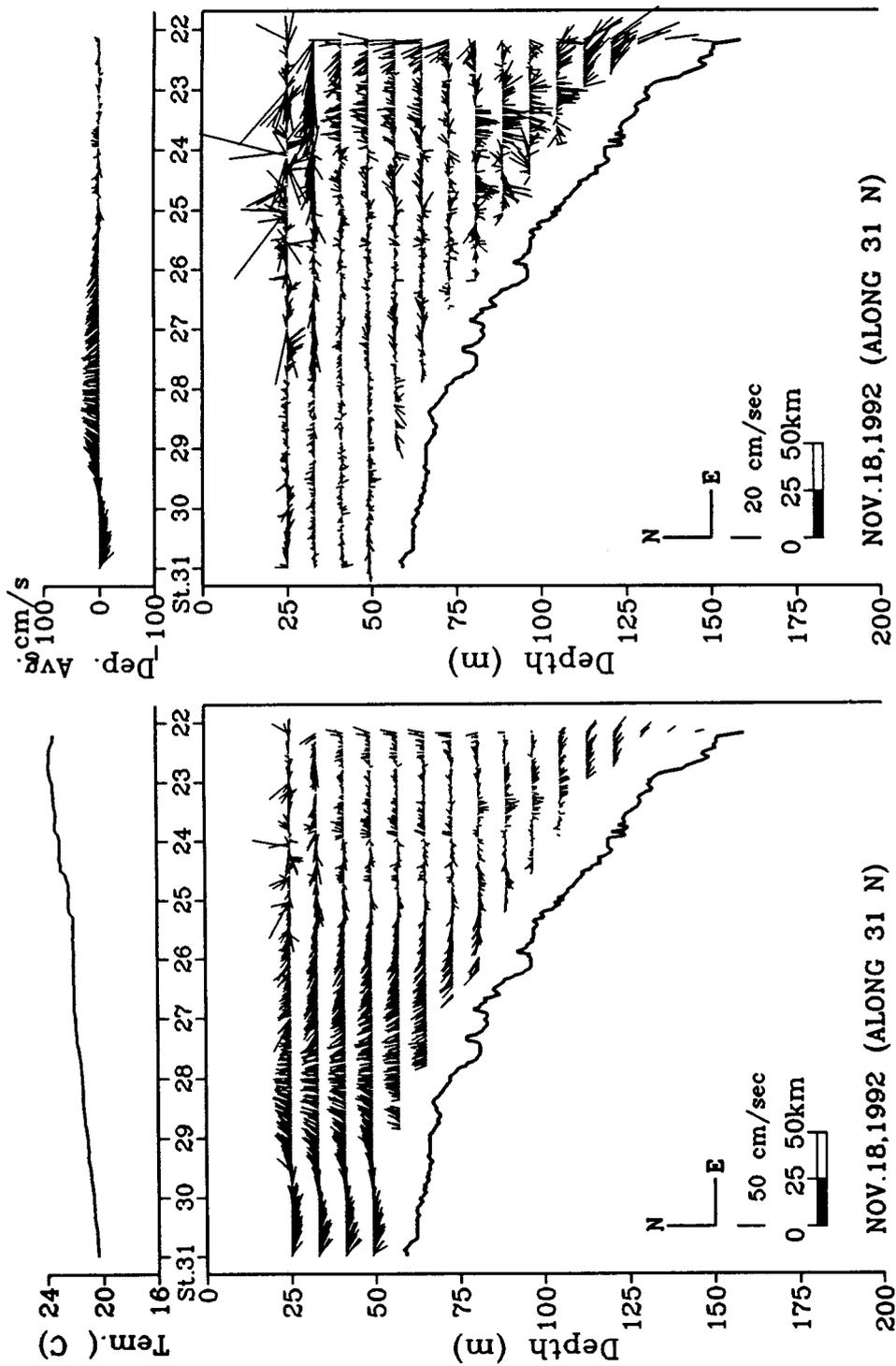


Fig. 55. Vertical sections of current by ADCP along 31° N in November 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.

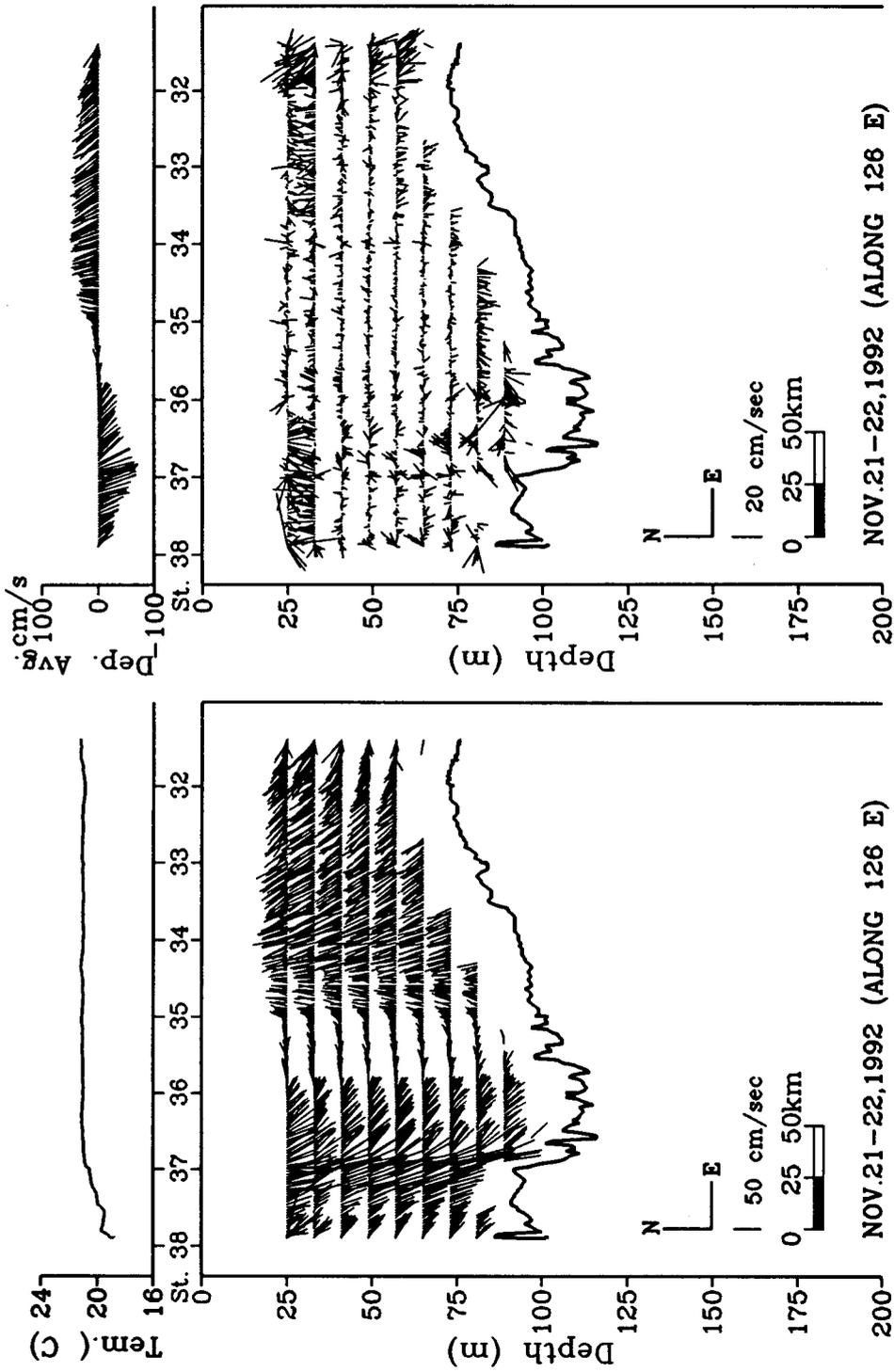


Fig. 56. Vertical sections of current by ADCP along 126° E in November 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.

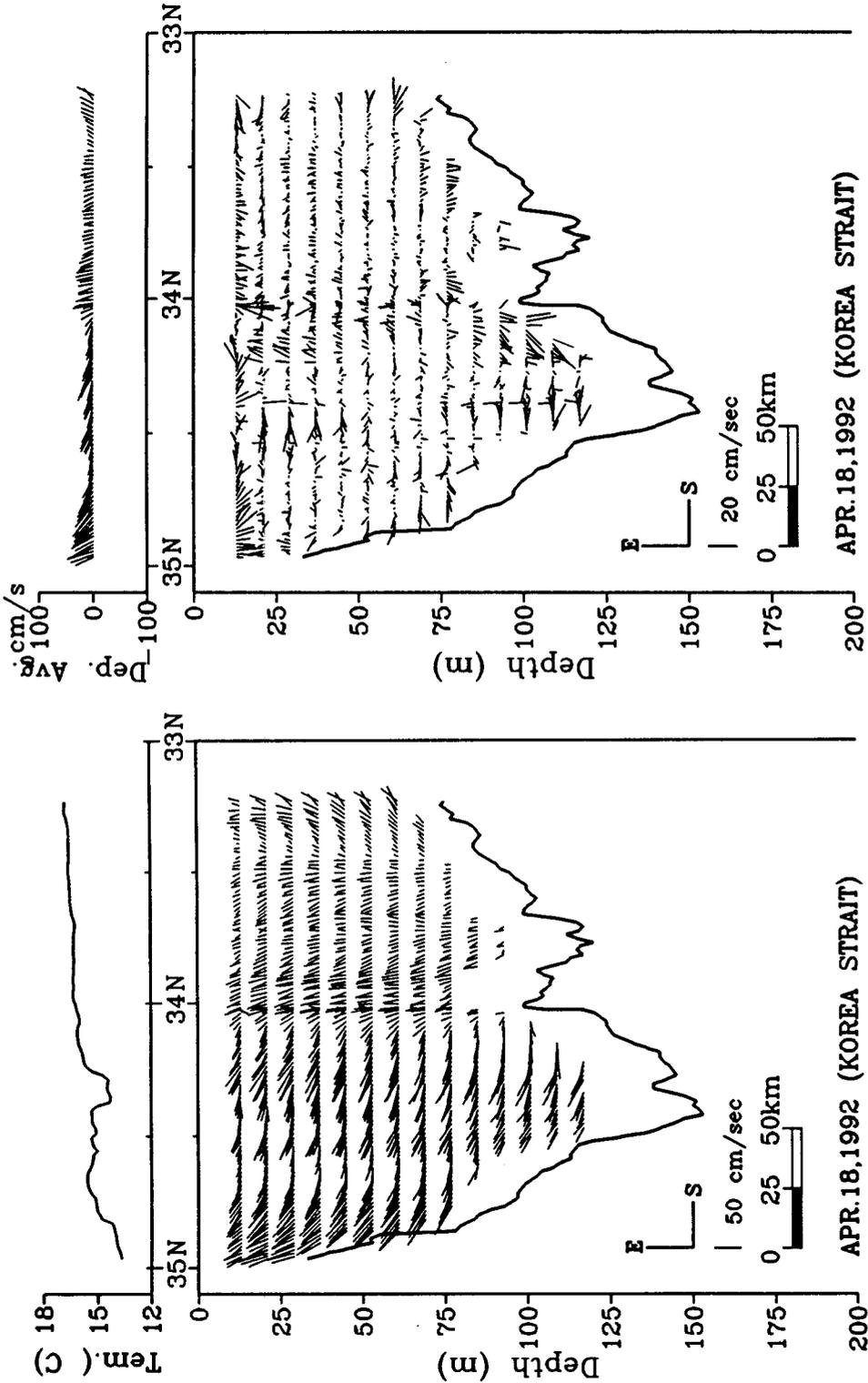


Fig. 57. Vertical sections of current by ADCP across the Korea Strait in April 1992. (a) observed current and (b) difference between observed and depth-mean currents.

제 5 장 대마난류 기원과 변동을 위한 인공위성추적부이 실험

제 1 절 대마난류 기원에 관한 연구동향

Kuroshio는 북태평양 아열대해역의 서안경계류로 대만 북동해역에서 대륙붕을 이탈한 후 동중국해의 대륙사면을 따라 동북진한다. Kuroshio는 잘 알려진 바와 같이 동중국해 대륙붕역으로 진입하는 두 가지의 작은 해류의 기원이 된다. 즉, 동중국해 남서해역에서의 대만난류와 남동해역에서의 대마난류이다. 이 두 지류는 동중국해뿐 아니라 황해와 동해의 수괴와 해양순환에 큰 영향을 끼친다. 더욱, 대마난류는 동해에 열과 염을 공급하는 유일한 해류로 특히 동해남부역의 상층순환과 해수의 물리특성을 결정한다. 따라서 대마난류와 난류의 경로, 수송량의 계절변동은 한반도 주변 해양변동에 결정적인 역할을 한다. 이런 중요성에도 불구하고 대마난류의 기원과 경로, 그리고 계절변화는 아직도 명확히 알려져 있지 않고, 체계적인 조사활동도 매우 미미한 실정이다.

대마난류의 기원에 관해서 제시된 설은 크게 두가지로 분류된다 (그림 58). 수온과 염분관측에 근거하여 대마난류가 구주서방 수심이 깊은 골의 서쪽 대륙사면 부근에서 Kuroshio로부터 분리된다는 설과 1980년대 중반 대만해협을 통과하는 대만난류가 동중국해의 대륙붕을 가로질러 북동진 한다는 새로운 설이다. 여기서는 앞으로의 대마난류의 조사와 연구 방향을 설정하는데 필요한 주요 논문의 핵심 내용을 정리하였다.

- Nitani (1972): 대마난류가 구주 남서해역에 위치한 수심이 깊은 골의 왼쪽 대륙사면의 30° 30' N, 129° E 부근에서 Kuroshio로 부터 분리되어 대륙사면을 따라

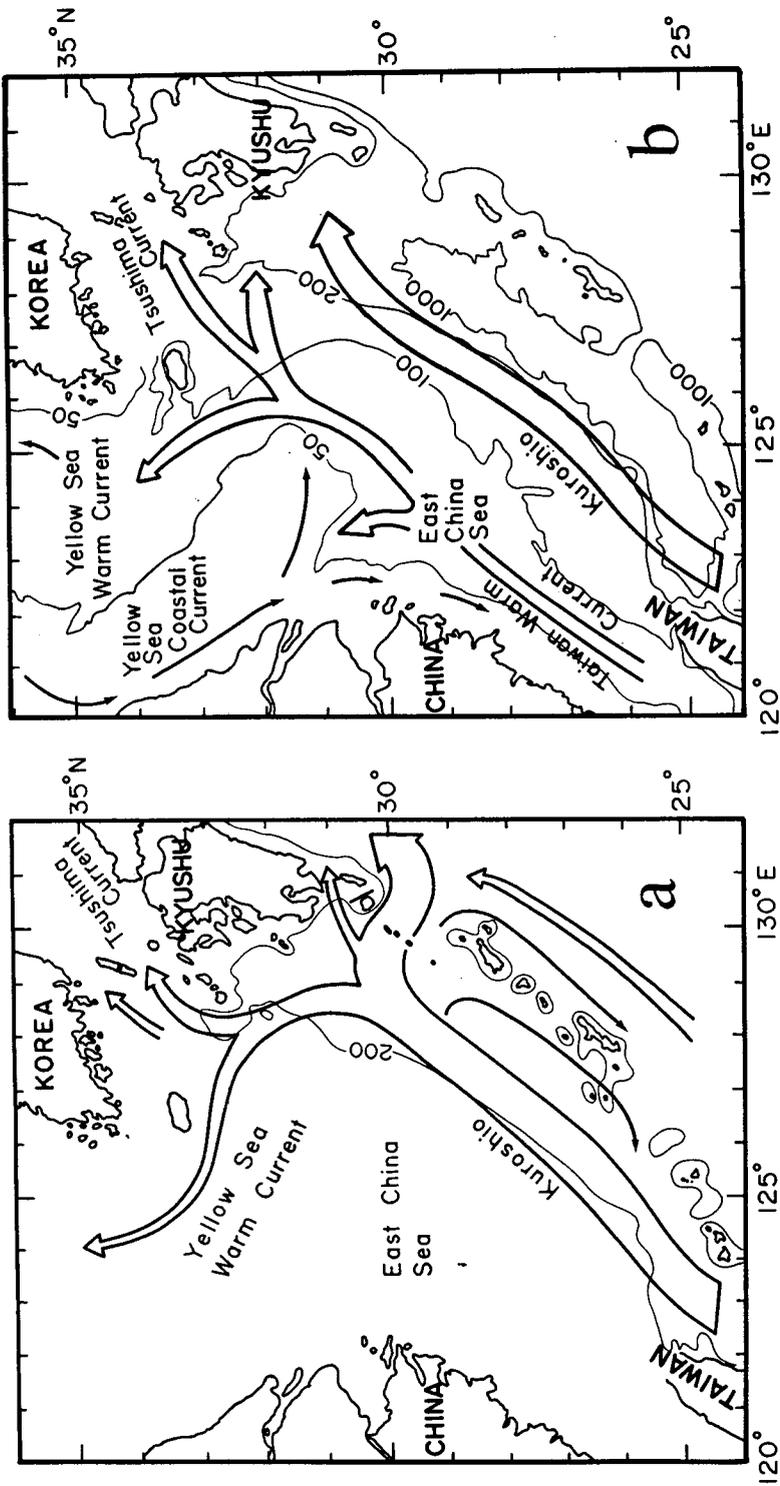


Fig. 58. Schematic circulation patterns in the East China Sea. (a) Nitani's suggestion (1972) and (b) the suggestion of Beardsley et al. (1985).

대한해협쪽으로 북상이라는 설을 제시.

- Sawara and Hanzawa (1979): 대마난류는 Kuroshio로부터 직접 분리된 해류라기보다는 표층 Kuroshio 해수와 연안수의 혼합수라고 주장.

- Toba et al. (1982): 대마난류의 용적수송량이 2 ± 0.8 Sv이고 2-3월에 최저, 8-9월에 최대이고 대마난류가 동지나해와 동해의 출구인 Tsugaru 해협 동쪽해역과의海面차에 의해 형성된다고 제시.

- Minato and Kimura (1980): 형성원인은 Toba et al. (1982)와 같고 수송량이 몬순기후, 가열-냉각 과정, 대한해협과 Tsugaru해협 부근의 지역순환, 북태평양 아열대순환 역학에 의해 결정됨을 주장.

- Guan and Mao (1982): 대마난류의 세력과 경로는 아시아 몬순에 의한 바람장과 밀접한 관계 제시.

- Huh (1982): NOAA 적외선 영상 자료에 근거하여 난류수가 Kuroshio로부터 분리됨을 보고.

- Muneyama et al. (1984): 구주 서부해역 깊은골에 위치한 와류가 Kuroshio 해수를 대한해협쪽으로 진입을 보고.

- Beardsley et al. (1985), Guan (1991): 대마난류는 남중국해의 북동해역에서 기원하고 대만난류가 동중국해 대륙붕역을 통과하여 대한해협으로 북동진한다고 주장.

- Ichiye (1984): 대마난류는 수평 레이놀즈 스트레스나 해저지형에 기인된 Kuroshio의 측류 (lateral flow)를 통해 형성된다는 제안.

- Qiu and Imasato (1990): 기존 GEK 자료를 재편집하여 깊은 골에서 시계방향 순환의 난류성 소용돌이의 존재를 보고하고 대마난류에 해당하는 북상류가 나타나지 않음을 지적,

- Fang et al. (1991): 동중국해의 대륙붕상에서 24시간 해류관측자료를 분석하여 대마난류가 대만난류의 연장이라고 주장.

- Seung and Nam (1993): 순압수치모델을 이용하여 대만난류가 동중국해의 대륙

봉 해역을 통과하여 대한해협으로 진입한다고 해석.

- Yanagi and Takahashi (1993): 순압수치모델로부터 대만난류가 대만난류의 연장이라는 결과 제시.

- Lie and Cho (1993): 본 연구를 통해 얻은 CTD와 인공위성추적부이 실험 자료를 분석하여 Nitani의 제안과 대만난류의 연장설이 실제 현상과 차이가 있음을 보임. 대륙붕상에 위치한 Kuroshio의 가장자리 부분이 수심 80-150 m 등수심선을 따라 북상하여 대한해협으로 유입한다는 새로운 제안.

제 2 절 인공위성 추적부이 실험의 개요

가. 부이제작

인공위성 추적부이는 크게는 표층부표와 몸통인 drogue 두 부분으로 구성된다. 표층부표는 센서, 송신기, 안테나, 전원 등을 내장하고 몸통은 바람의 영향을 가능한 적게 받고 물 흐름에 따라서만 이동하도록 drag가 크도록 제작된다. 제 1차년도에는 WOCE/TOGA SVP의 표준설계도면 (표 4 참조)에 따라 5대의 위성추적부이를 국내에서 제작하였고, 2 차년도와 3차년도에는 미국 Clearwater Instrumentation, Inc. 社가 제작한 부이를 도입하였다. 여기서는 WOCE/TOGA SVP 지침서에서 요구하는 기본사항만을 기술하였다. 국내 제작과정의 상세한 내용은 1차년도 보고서에 수록하였고 설계도면은 WOCE 보고서 No. 63 (Sybrandy and Niiler, 1991)에 자세히 기술되었다.

Drogue의 높이는 6-7 m로 몸통의 중심이 해면에서 15 m 아래 수심에 위치한다. drogue와 부표를 연결하는 플라스틱 Tether wire는 부이가 장기간 바다에서 이동하기 때문에 연결부분이 견고하면서도 유연해야 한다. 다량의 부이 실험을 위해서는 제작단가가 저렴해야하고 쉽게 투하할 수 있어야 한다. WOCE/TOGA

Table 4. Basic specification of Hoely sock satellite tracking drifter by WOCE/TOGA (Sybrandy and Niiler, 1991).

Component	Description
Surface Float	35 cm diameter, fiberglass surface float; Construction: 15 gm fiberglass mat, 0.6 - 0.8 cm thick at the base near the tether connection, 0.3 - 0.4 cm thick elsewhere; outer gel coat applied to protect against UV sunlight and water absorption.
Tether	<ul style="list-style-type: none"> (a) 0.56 cm O.D. polypropylene-impregnated wire rope tether to drogue. (b) 20 cm O.D. subsurface float attached 275 cm below surface; wire from surface to subsurface float inserted into 1/4" (0.64 cm) I.D. hydraulic hose. (c) Tether attachment with 1/4" (0.64 cm) 316 SS, threaded rod at base of surface float; marine epoxy filled cavity surrounding rod for restraint. (d) 40 cm long polyurethane carrots affixed below surface float and below subsurface float; 25 cm carrot above subsurface float.
Drogue	<ul style="list-style-type: none"> (a) 92 cm diameter, 644 cm long holey sock of Cordura nylon material; drogue center at 15 m depth; 46 cm diameter holes cut through Cordura orthogonally placed on alternate 92 cm vertical segments (see Figure 1). (b) 3.5kg (in water) lead weight sewn into base of sock inside a 1" (2.5 cm) schedule 40 PVC ring partly filled with epoxy to prevent rattling of lead inside pipe. (c) 3/4" (2.0 cm) I.D. with 0.07" (0.18 cm) wall polypropylene irrigation pipe ring between each 92 cm segment for support (rings drilled for flooding). (d) 1" (2.5 cm) closed cell polyurethane foam filled schedule-80, PVC ring for uppermost tether attachment ring. (e) Attachment bridle of 6 radial, 0.4 cm O.D. polypropylene impregnated wire rope positively attached and epoxy-restrained to tether from surface float; attachment to uppermost PVC ring over abrasion-resistant cushions fixed at 60° spacing; 10 cm-long rubber air hose caroting at all attachment points of radial wire rope to the hub. Attachment point of tether to hub covered with 40 cm long polyurethane carrot.
Transmitter & Power	<ul style="list-style-type: none"> (a) Telonics ST-5 transmitter (or Service ARGOS-approved equivalent) (b) Antenna mounted inside surface float (c) Duty Cycle: 1 day on and 2 days off (d) Duration: 24 month projected operating life (e) Power Supply: 4 ea. dioded alkaline battery packs; Initial voltage of 10.5 Volts (or eq. for ARGOS eq.)
Antifouling	Cuprous oxide antifouling coating on subsurface float and bottom half of surface float painted over fiberglass primer. Inflatable boat paint on hydraulic hose and polyurethane carrots.
Sensors	<ul style="list-style-type: none"> (a) Linearized thermistor sensor imbedded in a capped 316 SS Swagelok™ through-hull fitting or equivalent at base of surface float (b) Surface float submergence sensor
Packaging	Individually packaged for free-fall deployment from a moving cargo ship from 10m height above the ocean.

SVP 부이의 주요부분은 아래의 3가지 기준을 충족해야만 한다.

(1) 표층부표는 3차원적으로 대칭이어야 표면파가 부표에 작용하는 수평력이 최소가 된다. 즉, 구형의 부표가 바람직하다. 표층부표와 수중에 잠기는 부분사이에 장력이 최소가 되어야 미끄럼 효과를 줄일 수 있다.

(2) 가늘고 뾰족한 wire tether의 사용으로 drag에 의한 미끄럼과 또한 풍파에 의한 꼬임과 비틀림도 방지해야한다. tether에 연결된 수중부표는 연결부분에 미치는 충격을 완화시킨다.

3) 몸통은 공간적으로 안정성이 있고 미끄럼 방지를 위해 drag 계수가 커야 한다. Holey sock 형의 몸통이 이런 조건을 만족하면서도 제작과 운영이 비교적 용이하다.

1991년도 1차 예비실험에 사용된 추적부이는 platform transmitter terminal (PTT)을 제외한 표층부표와 부이의 몸체를 국내 제작기술 축적을 위해 미국 Scripps 해양연구소 Niiler 교수의 연구팀으로부터 기술지원을 받아 본 연구팀이 직접 제작하였다 (그림 59와 60). 표층부표는 직경 35 cm의 구로 FRP 특수 합성수지로 제작하고 내부는 송신기, 안테나, 전원등을 내장하였다. 수중부표는 직경 20 cm의 구의 형태로 제작하였고, 몸체는 Holey sock 형태의 drogue로 특수 코팅된 천으로 직경 92 cm, 길이 644 cm의 긴 자루모양으로 제작하고 원통형 튜브로 만든 플라스틱 바퀴로 몸체가 원통형을 유지하도록 하였다. 부이는 해표면의 바람이나 파도의 직접적인 영향 (slip)을 최소화 하기 위해 몸체에 받는 drag가 다른 기타 부분에 비해 약 40배 정도로 충분히 크도록 하였다. 2, 3차년도에는 소량제작으로 제작단가가 높아져 WOCE 표준형으로 제작된 미국 Clearwater Instrumentation, Inc. 社의 부이를 도입하였다.

나. 자료송신 및 처리

해표면 수온과 부이의 이동위치는 표층부표내에 내장된 Argos PTT를 통해

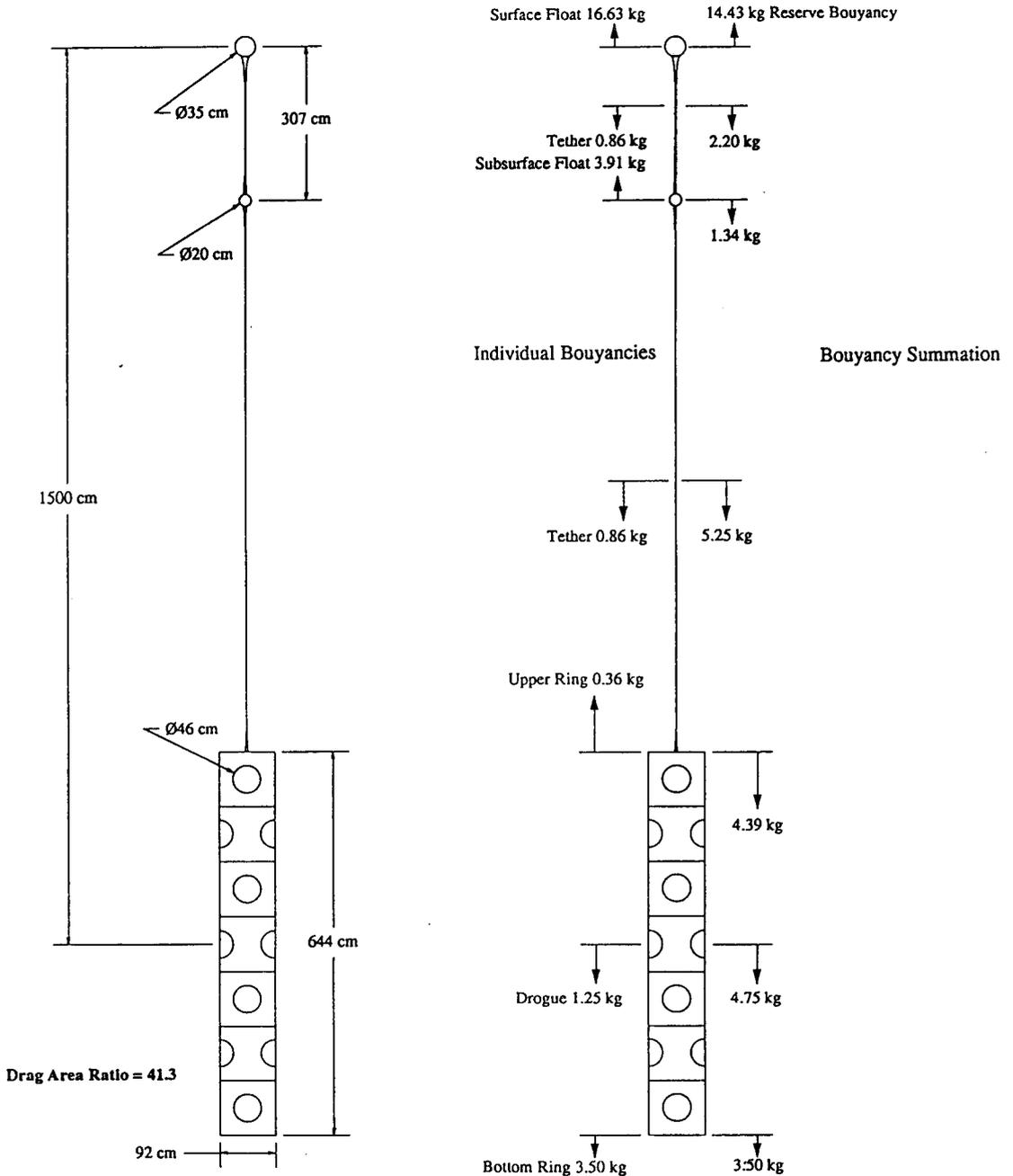


Fig. 59. Dimensional Holey sock drifter schematic and equilibrium buoyancy diagram with drag.



Fig. 60. Photographs of Holey sock surface drifter made by KORDI.

NOAA 위성으로 보내지고 프랑스와 미국에 있는 지상국에서 자료를 수신한다. 자료의 송신과 처리에 관한 세부내용은 1990년도 해양연구소 보고서 BSPG00099-300-1 “연근해역에서 해황모니터링 시스템 연구” 3장에 기술되었으며 주요 내용은 다음과 같다.

ARGOS 시스템을 이용하기 위해서는 연구개요서와 사용계획을 ARGOS 사에 통보한다. ARGOS사는 신청과제를 심의하고 PTT의 고유번호와 연구명을 부여한다. 이후 PTT 제작회사에 PTT 고유번호, 회로구성에 필요한 관측 항목, 전송시간 간격 등 기본사항을 통보한다. 한편, PTT 사용시간이 많을 경우 WMO, IOC, ARGOS 사, 국가별 연구책임자의 연례 회의에서 결정하는 Joint Tariff Agreement (JTA)에 가입하면 비교적 저렴한 가격으로 시스템을 활용할 수 있다. JTA 기본사용료는 1993년도 기준으로 1 PTT-year당 27,790 FF (한화 약 500 만 원)이다. 1 PTT-year란 1대의 PTT를 하루에 8시간 혹은 3일에 1일만 작동시켜 1년간 사용하는 것을 뜻한다. JTA에 가입하면 국가별 대표책임자 (Representative of Country) 1인을 두게되며 대표책임자는 ARGOS 관련 모든 행정과 회계업무를 책임 지며 차년도 사용예정량을 통보하고, 연간 사용량의 70 %를 계약금으로 지불해야한다. 1차년도 연구사업에서는 JTA에 가입하지 못하였으나 2, 3차년도에는 본 연구과제와 국립수산진흥원 과제를 묶어 JTA에 가입하였다. 본 연구과제 책임자가 국가 대표책임자 역할을 수행하고 있다.

다. 자료교환 및 국제협력

국제협력차원에서 자료교환을 위해 WOCE 자료센터인 AOML이 본 과제의 2, 3차년도 부이자료를 GTS를 통해 수신할 수 있도록 조치하였고, 반면, 다른 국가의 WOCE/SVP 책임자들이 1988년부터 1992년까지 북서태평양해역에서 투하한 총 38대의 부이로부터 얻은 자료를 제공받았다 (부록 II 참조). 한편 세계기후예보 모델의 검증을 위해 위성추적부이 자료가 매우 중요하게 활용되고 있으며 제 1

장에서 언급한 바와 같이 Drifting Buoy Cooperation Panel이 실시간 자료수집 업무를 담당한다. 국제협력 차원과 세계기후예보 분야에 기여하기 위해 본 연구사업의 2, 3차년도에 운영한 총 7대의 부이로부터 관측된 자료를 WMO가 이용할 수 있도록 승인하였다. WMO는 이를 위해 각 PTT에 대해 고유번호를 부여하였다. 2차년도에 부여 받은 고유번호 (PTT 고유번호)는 22601 (02031)부터 22603 (02033)이며, 3차년도에는 22604 (11010)부터 22607 (11013)이다.

또한, 본 연구과제가 국내에서 유용하게 활용될 수 있도록 주간 어·해양예보를 담당하고 있는 국립수산진흥원이 인공위성 적외선 영상자료에 의한 한반도 주변 표층수온 계산시 보정자료로 이용할 수 있도록 실시간으로 부이자료에 접근할 수 있도록 협력하였다.

라. 인공위성부이 추적실험

본 연구의 목적을 대마난류의 기원과 동중국해에서의 계절별 변동에 두었기에 장기간 자료송신과 PTT 사용료의 절약을 위해 PTT를 하루에 8시간만 작동시키고 16시간은 쉬는 8 hours-on, 16 hours-off 전송방법을 택하였다. 자료전송은 90초 간격으로 선택하여 위성통과시 위치와 온도자료가 위성으로 전달될 수 있도록 회로를 구성하였다.

본 과제가 국내에서 인공위성 추적부이 실험을 독자적으로 수행한 첫번째 과제이다. 따라서 추적실험을 다음과 같은 원칙하에서 실시하였다. 즉, (1) 위성추적 부이는 구주서방 대마난류가 분기되는 해역으로 알려지고 있는 지역에 투하하여 대마난류가 분기되는 과정과 복상경로를 추적할 수 있도록 한다. (2) 부이실험 결과의 극대화를 위해 CTD 관측을 병행하며 투하 시기가 중첩되지 않도록 한다. 한편 예산상 제한된 소수의 부이를 투하해야 하지만, (3) 대마난류의 통과역을 추정할 수 있도록 3대 이상의 부이를 1개의 동서 관측선상에서 투하한다. 이러한 원칙을 갖고 위성추적부이 실험을 3회 실시하였다 (표 5).

1차실험 (하계): 대마난류의 세력이 가장 강한 여름철인 1991년 7월 17일 입차선박 진일호를 이용하여 구주 서방 32° N 관측선상 127° , 128° , 129° E 에 3대의 위성추적 부이를 투하하였다. PTT 고유번호는 9727, 9728, 9729 이다.

Table 5. Information on satellite tracked drifter experiments in 1991 and 1992.

I.D. number of floats	Date deployed	Releasing point		Water depth (m)	Duration (days)
		Lat.(N)	Long.(E)		
09728	17 Jul. 1991	32°	127°	124	63
09729	17 Jul. 1991	32°	128°	166	106
09727	17 Jul. 1991	32°	129°	821	17
02031	17 Apr. 1992	32° 10′	127°	118	54
02032	17 Apr. 1992	32° 10′	128°	148	145
02033	17 Apr. 1992	32° 10′	129°	466	184
11010	18 Nov. 1992	31°	125° 30′	63	24
11013	18 Nov. 1992	31°	126° 20′	81	181
11012	18 Nov. 1992	31°	127° 10′	110	83
11011	18 Nov. 1992	31°	128°	210	102

2차실험 (춘계): 대마난류의 세력이 약화되는 봄철인 1992년 4월 17일 한국해양연구소의 350 톤급 해양조사선 이어도호로 32° 10′ N 선상 127° , 128° , 129° E 에 3대의 부이를 투하하였다. PTT 고유번호는 2031, 2032, 2033이다.

3차실험 (추·동계): 1, 2차 실험에서 대마난류의 형성해역 추정이 어려워 관측선을 31° N선으로 이동하였고 대륙붕상에서 해류에 대한 정보를 얻기 위해 4대의

부이를 한국해양연구소 1400톤급 해양조사선 은누리호로 1992년 11월 18일 125° 30' , 126° 20' , 127° 10' , 128° E에 투하하였다. PTT 고유번호는 11010부터 11013까지이다.

제 3 절 실험성과

가. 1991년 하계실험

부이의 몸통의 중심이 해면하 15 m 에 위치한 위성추적부이의 궤적은 표층류를 반영한다. 1991년도 7월에 투하하여 얻은 부이의 이동경로는 그림 61과 같다. 정점 10에서 출발한 부이 (9728)는 18-36 cm/s의 일평균 유속으로 북상하였고 대 한해협 서수도를 약 50 cm/s의 빠른 속도로 통과하였다. 황해난류가 여름철에 제주도들 시계방향으로 돌아 제주해협을 빠져 나가며 (Lie, 1987; Kim et al., 1991) 한국 남해안을 따라 흐르는 연안수는 서수도로 흘러간다. 이러한 황해난류와 연안수의 동류는 서수도에서 유속의 증가를 가져온다. 정점 13에 투하한 부이 (9729)는 처음 2일간은 북쪽으로 이동한 후 방향을 빠르게 전환하였다. 25 cm/s 정도의 동향류는 며칠간 지속되었고 깊은 골의 북쪽 벽을 통과한 후 북서쪽으로 전향하여 흐르다 구주 서안에 상륙하였다. 구주 연안을 따라 흐르는 북서류는 아직 보고된 바가 없었다. 반대로 골 내부에 위치한 정점 15에 투하한 부이 (9727)는 300-400 m 수심에서 구주서안을 따라 비교적 빠른 유속인 10-20 cm/s 로 남하하였다. 이 남향류는 결국 Kuroshio에 합류한 후 토까라 해협 북단을 20-30 cm/s 라는 증가된 유속으로 통과하였다.

3대의 부이 경로는 구주 서방 깊은 골에 시계방향 순환의 소용돌이가 존재함을 시사한다. 소용돌이는 골 서부에서는 북향류, 북쪽 사면에서는 동향류, 그리고 오른쪽 사면에서는 남향류로 구성되는 것으로 생각된다. 수온과 염분에 의해 과거에

보고되었던 소용돌이 현상이 본 하계실험을 통해 수행된 부이추적실험에 의해 처음으로 증명되었다. 부이 9728의 경로가 오른쪽으로 약간 이동한 것은 아마도 양자강 회석수가 동쪽으로 확장되었던 현상에 기인한 듯하다.

표층 부이가 담수의 영향권인 표층 15 m에 위치하였기에 Kuroshio 계의 해수를 대한해협으로 수송하는 대마난류를 적절히 반영하지는 못한다. 그러나 고염수가 있는 하층에서 해류는 지형류를 사용함으로써 추정이 가능하다. 정점 10과 13 사이에서 부이의 몸통수심과 염분최대층 사이의 지형류의 차이가 8 cm/s 이하로 계산된다. 한편 부이 9728은 7월 17-20일에 약 30 cm/s로 북상하였다. 따라서 정점 10 부근에서 하층 해류는 북향류이며 유속이 약 20 cm/s로 추정된다. 대한해협에서는 부이의 통과와 CTD 조사 시기가 달라 이러한 과정을 적용시킬 수는 없다. 그러나 과거의 해류관측은 대마난류수가 지속적으로 북쪽으로 흘러가고 있음을 보였다 (예, Mizuno et al., 1986; Kaneko et al., 1991).

나. 1992년 춘계실험

그림 62는 1992년 4월 17일 투하한 3대의 부이가 통과한 경로이다. 정점 10에 투하한 부이 2031은 일평균 유속 15 cm/s 로 제주도 동안까지 북상한 후, 방향을 동쪽으로 전환하여, 제주도와 구주사이 해역을 약 25 cm/s의 빠른 속도로 통과하였다. 이 부이는 대한해협 동수도로 진입할 것으로 예상하였으나 구주 북서해안 근처에 있는 섬에 상륙한 후 송신을 중단하였다. 정점 13에서 출발한 부이 2032는 투하 후 이틀간 북쪽으로 흘러 갔으나 바로 방향을 전환하여 깊은 골 북서 사면을 비교적 빠른 속도인 24 cm/s 로 가로질러 내려온 후 골 북부역에서 반시계방향으로 두번 회전하였다. 4월 24-28일에 발생한 첫번째 소용돌이 모양의 운동은 직경이 약 25 km, 4월 28일-5월 18일 동안에 관측된 타원형 운동은 장축이 100 km, 단축이 40 km 였다. 타원운동의 장축은 북쪽사면에 평행하였다. 연속적인 두번의 회전 후 부이는 다시 20 cm/s의 속도로 동쪽으로 이동하고 방향을 바꾸어 구주서

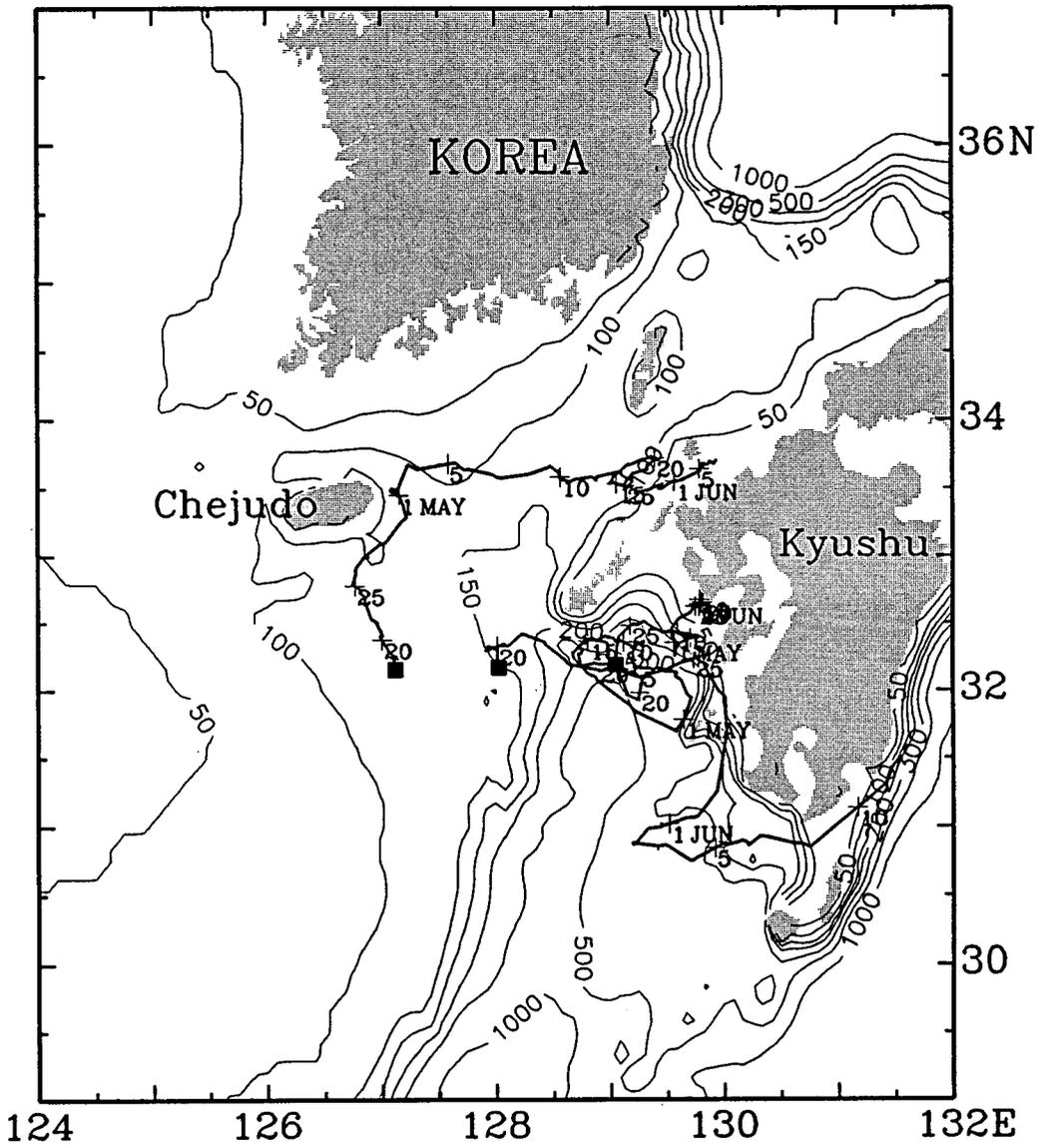


Fig. 62. Trajectories of satellite tracked surface drifters deployed on 17 April 1992.

안을 따라 30 cm/s 로 남하하여 Kuroshio에 합류한 후 토카라 해협을 북수도를 통해 빠져 나갔다. 세번째 부이 2033은 골 북부 사면에서 반시계방향의 작은 원운동을 한 후 등수심선을 따라 동쪽으로 이동하고 1991년 7월에 투하된 부이 9729가 북쪽으로 방향을 전환한 바로 그 지점 부근에서 10 cm/s의 유속으로 북으로 움직였다.

봄철 부이 경로는 골 북부해역에서 여름철과 같은 시계방향의 순환을 보였다. 그러나 부이의 이동속도는 여름보다는 약간 느렸다. 구주 해안을 따라 남하하는 해류가 수송하는 고염수는 대부분 골 서쪽 경사면에서 북상하는 해류에 의해 증강되어야 한다. 골 서부 사면에서 북상류의 존재는 예상한 바와 같이 가을철 실험에서 뚜렷하게 나타났다 (그림 63). 여름과 봄철의 실험은 골 북부사면을 따라 흐르는 동향류가 구주 연안에서 갈라지는 듯한 모양을 보인다. 즉, 골 동부에서는 시계방향순환의 일부로서의 남향류, 골 북쪽에 위치한 구주 연안에서는 북향류로 분리되는 양상이다. 봄철실험은 골 북부해역에서 시계방향의 순환을 보였는데 이 순환은 북쪽사면에서 작은 규모의 반시계방향의 소용돌이를 수반하였다.

정점 10에 투하한 부이 2031의 경로는 1991년 여름에 투하한 부이 9728과 매우 달랐다. 즉 부이 2031은 제주도 연안에 더욱 접근하였고 대한해협 동수도를 통과한 반면에 부이 9728은 북쪽으로 이동하면서 이동방향을 점차 북동으로 바꾸었으나 서수도를 통과하였다. 북풍 계열의 계절풍이 탁월한 늦가을에서 초봄까지 한국 남해안에 평행하게 형성되는 열·염전선이 제주도와 대마도를 연결하는 직선을 기준으로 해안쪽에 위치한다 (Gong, 1971; Lie, 1985). 북풍이 강해지면 찬 연안수는 외해쪽으로 확장한다 (Lee et al., 1984). 따라서 대륙붕상에 있는 부이는 북쪽으로 더 올라가 제주도 가까이 접근하게 되나 열·염전선을 가로질러 통과하지 못하고 열·염전선을 따라 동으로 이동하여 동수도로 진입하게 된다. 여름에는 연안역으로 유입한 방대한 양의 담수가 동중국해 북부해역에서는 열·염전선 보다도 더 외해로 확장하고, 밀도가 낮은 쇄기형 담수가 서수도의 한국측 연안에서만 나타난다.

이러한 이유로 부이 9728이 제주도에 접근하지 못하고 서수도로 유입하였다.

다. 1992년 추계실험

1, 2차 실험결과는 깊은 골 왼쪽 사면을 따라 흐르는 북상류는 대한해협으로 진입하지 않고 골 대륙사면을 따라 방향을 바꾸면서 이동하여 골 북단에서 시계방향의 순환을 보였고, 골 왼쪽 바깥 대륙붕상에 투하한 부이가 대한해협으로 진입하는 것을 보였다. 따라서 후자가 대마난류의 본원일 가능성이 커졌다. 이의 확인을 위해 가을철 실험에서는 부이를 4대로 늘렸고 투하위치도 남쪽으로 이동시키고 동시에 북상류의 서쪽한계를 추정하기 위해 서쪽으로 약간 이동시켰다 (그림 63).

정점 29와 30 사이 대륙붕, 31° N; 125° 10' E에 투하한 부이 11010은 단지 24일간만 자료를 전송하였다. 부이는 완만한 등수심선을 가로질러 동쪽으로 3.4 cm/s의 속도로 움직였다. 이 부이는 대륙붕상에 존재하는 염전선을 기준으로 첨해 연안해역에서의 흐름에 대한 정보를 제공한다. 정점 27에 투하된 부이 11013은 126.9° E 까지는 부이 11010과 같은 유속을 갖고 북동쪽으로 흐른 후 북쪽으로 이동하였고 부이 11012의 경로를 한달 후에 교차하였다. 이 부이는 수심 110-120 m를 따라 10 cm/s로 계속 북상하여 제주도 남동연안에 도달한 후 정점 3 부근에 형성된 열·염전선의 바깥 가장자리를 따라 동쪽으로 이동하였다. 제주도와 대마도 사이 해역을 35 cm/s라는 빠른 속도로 통과한 후 1993년 2월 11일 동수도에 진입하였다. 이 부이는 열·염전선을 따라 이동한 것으로 판단된다.

31° N, 127° 10' E에 투하한 부이 11012는 10 cm/s로 북상하다 12월 6일 제주도 남방 60 nmile 해상 (32.3° N, 126.7° E 부근)에서 어선에 의해 회수되었다. 12월 16일 32.6° N, 126.9° E에 재투하된 부이의 경로는 부이 11013과 유사하고 재투하점과 대마도 사이에서는 경로가 약간 오른쪽으로 이동되었다. 골 왼쪽 사면상 정점 22에 투하된 부이 11011은 사면을 따라 평균 37 cm/s라는 비교적 빠른 속도

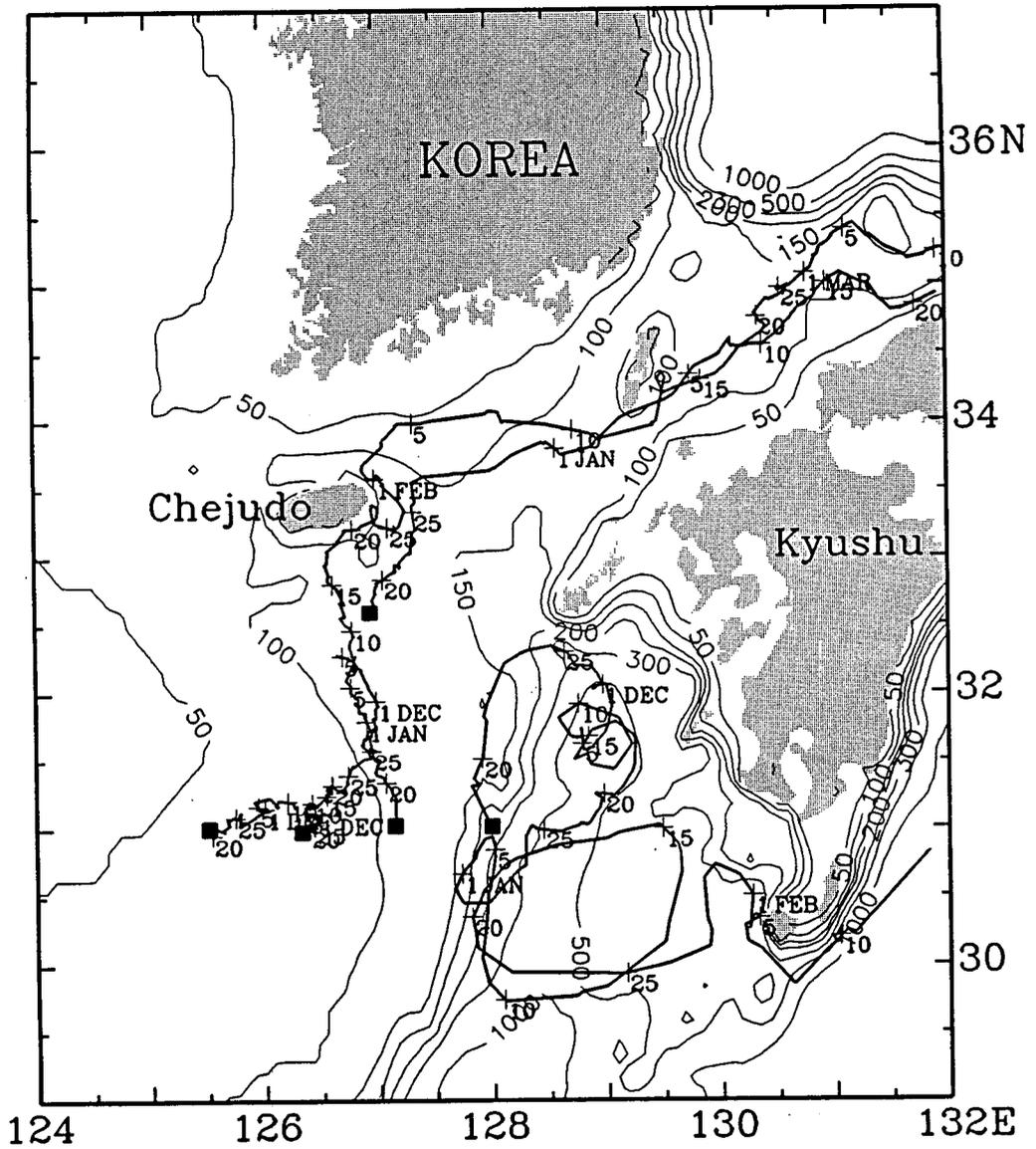


Fig. 63. Trajectories of satellite tracked surface drifters deployed on 18 November 1992.

로 북으로 이동한 후, 골의 북서모서리의 등수심선을 가로질러 원래의 투하지점으로 되돌아 왔다. 따라서 처음 42일간은 세계의 작은 규모의 시계방향의 원 궤적을 수반한 시계방향으로 회전하는 타원모양의 소용돌이 궤적을 보였다. 타원고리의 장축은 등수심선에 평행하였다. 이후 투하점 부근에서 대륙사면을 따라 약 30 cm/s로 남하한 후, 골 남부에서 반시계방향의 소용돌이 경로를 보였는데 회전속도가 약 45 cm/s에 달하였다. 이 부이는 계속해서 골 서쪽사면을 따라 다시 남하하면서 오른쪽으로 방향을 전환한 후 토까라 해협으로 빠져 나갔다. 장축은 약 170 km, 장축의 방향이 남서-북동이었다. 일평균 최대유속은 반시계방향의 소용돌이 남단에서 90 cm/s로 기록되었는데 이는 Kuroshio의 유속에 버금간다. 이 사실은 Kuroshio의 주축이 반시계방향 고리경로의 남단부근에 위치하였고 Kuroshio가 저기압성 소용돌이를 발생시킨 것으로 판단된다.

제 4 절 동중국해 동부해역의 해류와 계절변동

가. 해류분포

총 10대의 위성추적부이 실험으로부터 얻은 부이의 이동경로 (그림 64)로부터 다음과 같은 세가지 주요한 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 구주 서부역 수심이 깊은 골 왼쪽 대륙붕상에 대한해협쪽으로 지속적으로 흘러가는 북상류의 존재,
- 2) 골 오른쪽 대륙사면위에 구주 서안을 따라 남하하는 남향류의 존재와 Kuroshio와의 합류,
- 3) 골 북부역에 크기가 100 km 정도인 시계방향으로 회전하는 소용돌이 존재.

대마난류에 해당하는 북상류의 서쪽한계가 봄과 여름철 실험에서 관측되지 못하였으나 가을철 실험은 그 한계가 대륙붕수의 바깥면이라는 것을 보였다. 따라서

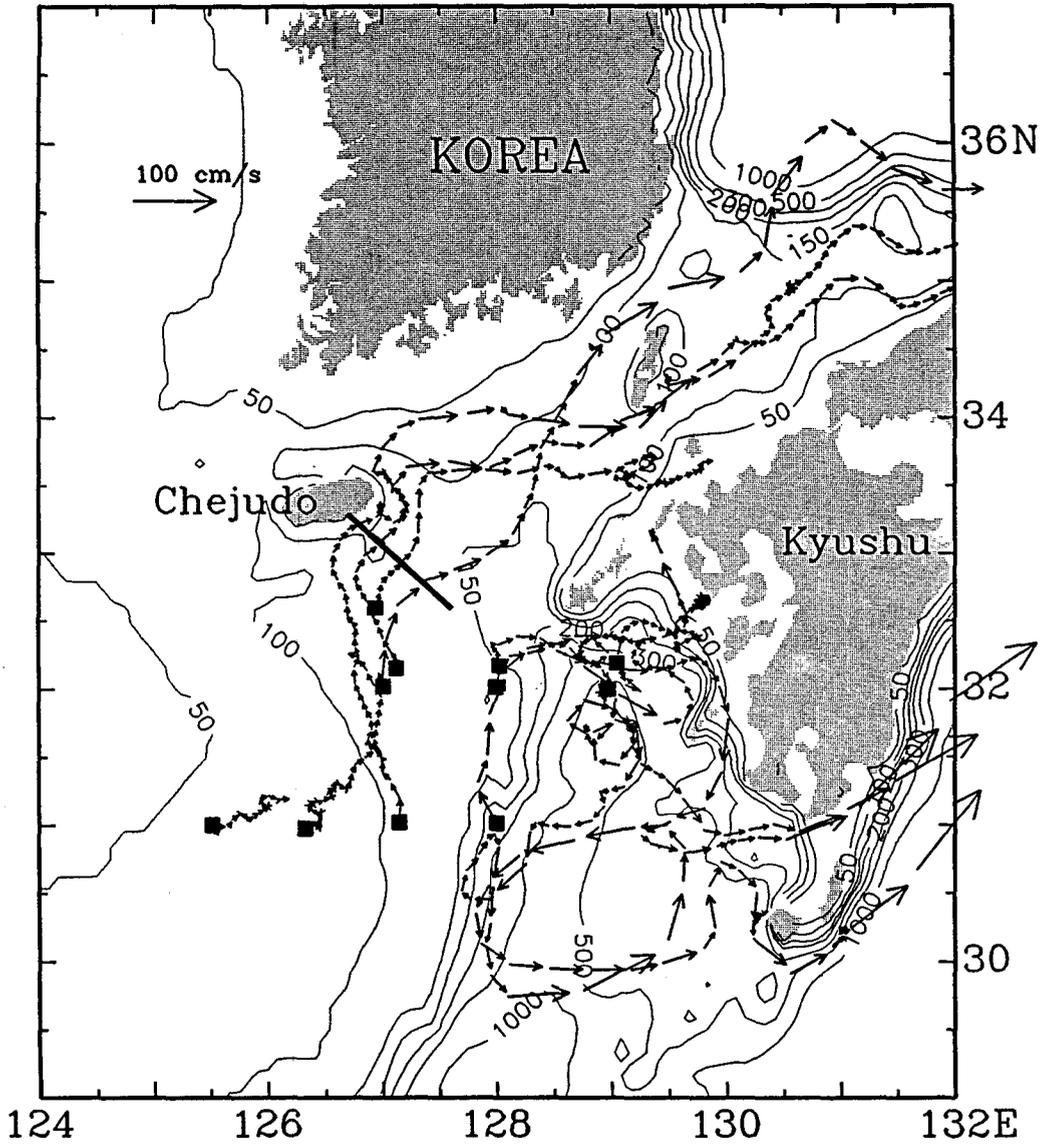


Fig. 64. Ensemble of ten satellite tracked drifter trajectories marked by arrows. The scale the arrow vector is marked in the upper left corner. Four drifters crossed the thick line southeast Chejudo on January 20 of 1993, April 28 of 1992, December 22 of 1992, and July 21 of 1991 in order of the distance from Chejudo to crossing points.

대마난류는 골 왼쪽 가장자리와 126° E 사이의 대륙붕상에서 존재하는 것으로 조사되었다. 수심 80-150 m 대륙붕상에서 북상류의 존재라는 새로운 발견은 30.5° N, 129° E 부근에서 Kuroshio로부터 분지되어 골 서쪽 대륙사면을 따라 북상한다는 대마난류에 대한 Nitani (1972)의 제안과는 다르다. 북상류와 골 북단에서의 시계방향 소용돌이 순환은, 장기 GEK 자료로부터 계산한 표층류에서는 관측되지 않는데 이는 GEK 자료가 조석운동이 강한 천해역에서의 표층류를 적절히 나타내지 못하는데 기인한다.

관측은 또한 두가지의 재미있는 현상을 보였다. 첫째는 깊은 골 북단에서는 시계방향의 소용돌이가, 남단에서는 반시계방향의 소용돌이가 같이 공존하는 것이고 두번째는 골 북쪽 사면을 따라 흐르는 동향류가 구주 서안에서 남향류와 북향류로 분리되는 양상이다. 반시계방향의 순환은 골 입구를 통과하여 토까라 해협으로 동진하는 Kuroshio에 의해 발생하는 것 같다. 동향류의 걸보기 분지중 하나인 남향류는 시계방향순환의 일부를 구성하며 결국 Kuroshio에 합류하는 반면에, 북향류는 구주서안을 따라 북상하여 대한해협 동수도에서 대마난류에 합류할 것으로 생각된다.

나. 계절변동

그림 64에 나타낸 부이경로로부터 대마난류 축의 계절별화의 검토가 가능하다. 10 대의 부이중 4대가 각기 다른 시기에 정점 10 혹은 부근에서 투하되었거나 통과하였다: 7월 중순, 4월 중순, 1월과 12월 초순. 4개의 경로는 제주도쪽으로 가면서 분산되는 모양을 보인다. 분산의 정도를 알아보기 위해 그림에 제주도에서 남동쪽으로 뻗은 굵은 선을 표시하였다. 1월의 경로가 제주도에 가장 근접하였고, 4월, 12월, 7월 순으로 점차 멀어졌다. 제주도에서 가장 먼 경로를 거친 부이만이 대한해협 서수도를 통과하였고 다른 3대의 부이는 동수도로 진입하였다. 서로 다른 경로를 보인 것은 한국 남해연안과 제주도 부근에서 해양구조의 계절변화와 밀

접한 관련이 있는 것 같다. 늦가을-봄에는 제주도와 대마도 사이를 연결하는 선에 평행하게 열·염전선이 형성되어, 부이가 전선에 따라 이동하고 동수도에 진입하게 된다. 반면에 여름에는 담수가 동중국해 북부역으로 확장되고 대한해협 서수도에서는 한국 연안에서만 존재하기 때문에 부이가 제주도 부근에서는 외해쪽으로 이동하게 되고 대한해협 서수도로 진입한다고 볼 수 있다.

제 6 장 결론 및 제언

1. 연구성과의 의의

본 보고서는 최종년도인 3차년도 보고서로 1990년 8월-1993년 8월 3년간 조사 연구한 내용과 결과를 종합 정리하여 수록하였다. 본 연구는 국내 연구진 단독으로 연구대상 해역인 동중국해에서 현대식 해양물리 조사를 체계적으로 수행한 첫 번째 과제로 연구라는 실제적인 의미외에 대양연구 진출을 위한 교두보 확보와 같은 상징적 의미가 있다. 즉, 연안해역에 치중해 왔던 국내 해양조사 연구활동에서 심해 대양해양조사 활동으로 전환시키는 중간 다리와 같은 역할을 하였다. 또한 주요 해양국가가 모두 활발히 참여하고 있는 세계해양대순환실험 (WOCE)에 우리나라도 일원으로 세계해양과학 발전에 직접 기여를 하고 있으며, WOCE를 통해 과학자와 정보의 교류가 원활하게 되었고 필요한 기술과 기법 그리고 자료를 획득하게 되었다. 실제적인 면에서는 한반도 주변의 해·어황, 기후변동, 해양환경보전에 가장 큰 영향을 미치는 고온·고염수를 수송하는 대마난류의 기원과 경로의 윤곽을 파악하게 되었고, 이러한 주요 결과는 더 나아가 동중국해에서의 수송로 확보, 자원개발, 해군력 확장이라는 장기 국가정책에 필수 자료로 활용될 수 있다. 또한 본 연구를 통해 최신 해양관측 기술인 인공위성추적부이의 제작과 운영을 국내에 도입 정착시켰고 '92년에 진수된 종합해양조사선 온누리호에 부착된 ADCP와 CTD 시스템을 실제 운영함으로써 독자적인 운영기술의 축적은 물론 자료획득, 자료평가, 자료처리 능력이 크게 배양되었다.

2. 주요 연구성과

가. 위성추적부이 실험

세계해양대순환실험-표층류프로그램 (WOCE-SVP)에 참여하고, 미국 Scripps 해양연구소의 기술지원을 받아 위성추적부이 5대를 자체 제작하여 관련기술을 축적하고, 국내 어·해양예보 (국립수산진흥원) 및 세계기상예보 (세계기상기구, WMO)에 필요한 부이자료를 제공하고, 다른 국가들이 Kuroshio해역에서 생산한 부이자료를 제공 받았다.

동중국해 동부역에서 해류구조와 변동을 파악하기 위해 여름철인 1991년 7월, 봄철인 1992년 4월, 가을철인 1992년 11월, 3회에 걸쳐 부이실험을 구주서방 대마난류 형성 혹은 통과 예상해역에서 실시하였다. 총 10 대의 부이를 투하하여 계절에 따른 부이의 이동경로를 추적하여 동중국해 동부해역은 물론 대한해협, 동해남부해역에서 표층류에 관한 자료를 처음으로 직접 수집하고 동중국해 동부역에서 해류분포에 대한 매우 중요한 결과를 얻었다. 즉, 자료 분석을 통해 대마난류의 기원과 경로에 대한 새로운 사실을 밝힐 수 있었다. 주요 결론을 다시 정리하면,

- 1) 구주 서부역 수심이 깊은 골 왼쪽 대륙붕상에 대한해협쪽으로 지속적으로 흘러가는 북상류가 존재하고 (대마난류에 해당),
- 2) 골 오른쪽 대륙사면위에 구주 서안을 따라 남하하는 남향류가 존재하며,
- 3) 골 북부역에 크기가 100 km 정도인 시계방향으로 회전하는 소용돌이가 있고,
- 4) 대마난류의 경로가 계절에 따라 이동한다.

나. CTD와 ADCP 조사

동중국해 동부역에서 해수의 물리특성의 계절변화와 대마난류수계의 이동을 추적하기 위해 가장 중요한 길목이라고 판단되는 2개의 기본관측선을 선정하여 (127° E 남북단면과 32° N 동서단면) 위성추적부이 실험기간에 CTD와 ADCP 조

사를 병행하였다. 한국해양연구소의 해양조사선 건조 중이었던 1991년 7월 여름조사 때는 임차선박을 이용하였기에 ADCP 조사가 수행되지 못하였다. 한편, 1992년 가을 조사시 2 개 관측선을 추가하였고 대한해협과 동중국해에서의 수괴 특성을 비교하기 위해 “종합자원도 작성연구” 연구사업에서 동일 시기에 조사한 CTD 자료를 이용하였다. 각 조사시 다른 CTD 시스템이 사용되었기에 (Neil Brown 사의 Mark III-b와 Mark V, Sea-Bird 사의 Model 25-03) 자료의 질을 위해 기종간 상호보정 (inter-calibration)을 하였다.

CTD 자료분석 결과 1991년 7월에 양자강회석수가 대륙붕틀 가로질러 동중국해 동부역까지 폭 넓게 확장하였고 대한해협 서수도 한국측 연안에 썰기형 담수가 자리하고 있으며 서수도 중층수와 동서단면의 하층수가 같은 수계로 밝혀졌다. 1992년 4월 자료는 담수성 연안수의 세력이 쇠퇴한 반면에 Kuroshio 수계의 고염수가 동중국해 동부역의 대륙붕상의 해역으로 확장하였고, 제주해협 부근에 열·염전선이 형성되었다. 1992년 11월에는 4월분포와 유사하나 동중국해상에서 대륙붕수와 Kuroshio 수계가 만나 남북방향의 전선을, 한국남해안에는 연안수와 외해수인 고온 고염수가 만나 제주도에서 대마도 남단을 연결하는 선을 따라 열·염전선이 형성되었다. 대한해협 서수도에는 저온·저염수가 나타났으나 동수도에서는 존재하지 않았다. 3회 조사결과 대한해협에서의 고온·고염수가 동중국해의 동서단면에서도 존재하고 있음을 확인하였다.

다. 북서태평양 상층수온의 계절 및 경년변동

동중국해는 북서태평양의 지역해로서 해황이 북서태평양 전체 해황에, 특히 동중국해 대륙사면을 따라 흐르는 Kuroshio에 의해 큰 영향을 받는다. 따라서 북서태평양의 일부로 동중국해의 해황변동을 조사할 필요가 있다. 그러나 해양조사선에 의한 해양관측은 시·공간적으로 많은 제약이 따르기 때문에 비교적 손쉽게, 경제적으로 자료를 획득할 수 있는 BT 자료가 많이 활용된다. 그러나 BT 관측이

통상 정기 항로에 집중되어 공간분포가 균일하지 못하고 자료의 질이 균일하지 않아 다양한 객관적 보간법과 특수 통계방식을 사용한다. 본 연구에서는 3 S.D 제거법, Lalace와 Spline 보간법, 격자점별 시계열화, 기본통계분석, CEOF (complex empirical orthogonal function) 방법을 도입하거나 자체 개발하였다.

20년간 (1964-1983) 조사된 약 200,000 BT 관측자료를 정리하여 연구해역을 위·경도 2° 간격으로 세분한 격자점 (총 587개)에서 2개월 단위의 시계열 자료로 만들었다. 표층수는 여름철의 가열, 겨울철의 냉각으로 가장 큰 계절변동을 보인 반면에 100 m 이하 수심에서 수온변화는 경년변동이 지배적이다. 표층수는 서부 열대태평양에서부터 먼저 가열 (냉각)되어 북과 동으로 전파되고 표층수와 심층수 수온변화 사이에 시간지연이 있다. 중위도에서 수온의 계절변동은 바람장에 의한 수온약층의 계절변동에 의해 잘 설명된다. 경년변동은 200 m 층에서 최대이고 수평적으로는 중위도에서 최저로 나타난다. 열대해역에서의 경년변동은 3-4년의 주기성을 갖는 CEOF 일차 모드에 의해 설명될 수 있다. 일차 모드는 10 cm/s 정도의 위상속도로 북서 방향으로 진행되는 일차 순압 Rossby파가 존재하고 있음을 보였다.

라. 동중국해의 일반해양특성 분포와 구조

본 과제의 주 연구대상 해역인 동중국해는 중위도에 존재하는 최대 해류중 하나인 Kuroshio가 통과하고 Kuroshio의 두 지류인 대만난류와 대만난류가 북상한다. 대만난류는 동중국해의 남서부 해역의 해황에 주로 영향을 미치는 반면 대만난류는 황해, 동중국해 동부, 그리고 동해에 이르기 까지 광범위한 해역에 영향을 미친다. 지금까지 황금어장으로 알려진 동중국해에서 수 많은 조사가 이루어졌으나 아직도 Kuroshio의 계절변동, 두 지류의 기원, 대륙붕수와 Kuroshio 수계에 대한 역학과정이 해결되지 않은 실정이다. 더욱 우리나라는 동중국해가 해양경제 활동 (수산업과 해상교통)의 주 무대임에도 불구하고 이 해역에 대한 관계 당국의

관심이 매우 부족하였고 체계적인 해양조사도 전무한 실정이다. 이에 앞으로 보다 많은 정책적 고려가 있어야 할 것으로 생각하며 이 해역의 이용과 개발에 대비한 사전 해양조사가 있어야 할 것이다.

본 연구에서는 기존 문헌과 자료를 수집 정리하여 일반해양특성을 종합하였다. 특히 향후 보다 발전된 연구를 하기 위해 기존자료 수집에 주력하여 장기 CTD와 BT 자료, 수심자료와 해상풍 자료를 기초 데이터베이스로 구축하였다. 기존 학술 자료를 이용하여 동중국해 해양구조와 계절특성, 그리고 해류분포도에 대해 재검토하였다. 20° - 35° N, 120° -132° E 해역에서 약 72,900점의 풍부한 BT 자료를 분석하여 수온의 계절변화와 공간분포를 예비분석하였다. 시간간격이 1개월, 공간간격이 위·경도 30' 으로 세분화된 각 격자점에서 시계열자료를 만든 후 전반적인 해황변동 형태를 위한 기본 통계분석을 하였다.

마. 대마난류의 기원과 경로

본 과제의 연구기간중에 수행한 해양관측 성과와 기존 문헌과 자료의 재검토를 통해 대마난류의 기원과 경로를 재정립하였다. 장기 GEK 자료는 구주서방 깊은 골은 물론 골 왼쪽에 인접한 해역에서 대마난류에 해당하는 북상류의 존재를 보이지 못하였으나 3회의 위성추적부이 실험은 골 왼쪽 수심이 80-150 m 대륙붕에 연중 10-30 cm/s 정도의 북상류가 존재하고 있음을 입증하였다. 이 북상류가 통과한 해역에서 해수의 수온과 염분범위가 북상류가 진입하는 대한해협에서 출현하는 고온·고염수와 같은 범위를 갖고 있어 북상류가 대마난류임을 알 수 있다. 북상류는 제주도 남부에서 대한해협 사이 해역에서 계절에 따른 경로의 변동을 갖고 있는 것으로 추정된다. 즉 저염수가 확장하는 여름철에는 대마난류가 제주도에 서 가장 먼 경로를 택하고 대한해협 서수도로 진입하게 되지만, 저염수의 쇠퇴와 더불어 제주도-대마도사이에 열·염전선이 형성되는 늦가을에서 봄까지는 난류가 제주도에 가깝게 접근하고 대한해협 동수도로 유입된다.

일부 학자들이 제시한 대만난류의 연장설은 연구를 통해 얻은 관측결과와 일치하지 않는다. 즉, 대만해협과 대한해협에서의 해수의 특성이 일치하지 않는다. 여름에는 남중국해의 저염의 연안수가 대만해협을 차지하고 있어 Kuroshio 수계가 남으로부터 진입하지 못하고 북풍계열의 바람이 강한 겨울에는 대만해협을 가로질러 열·염전선이 형성된다 (Wang and Chern, 1988). 이는 Kuroshio 수계가 대만해협을 통과하기 어렵다는 사실을 반영한다. 늦겨울-봄에만 대한해협을 해수와 성격이 같은 해수가 대만해협에서 출현하나 북풍이 약해질 때 열·염전선 이남에 있던 고염수가 간헐적으로 해협을 통과하는 것으로 보고되었다. 더욱 동중국해 중부역인 124° - 126° E; 29° - 32° N 해역에서 겨울에 투하한 위성부이가 남쪽으로 이동하였다는 사실 (김구, 개인통신)은 오히려 대만난류의 연장설을 부정하는 결과이다. 여름에 동중국해 북서부 해역에 투하한 위성부이의 제주해협으로의 이동은 대만난류의 흐름이 아닌 양자강회석수의 흐름을 반영하는 것이다.

바. 2단계 조사연구를 위한 기존자료 수집 및 모델 준비

해양조사는 많은 인력과 경비가 소요되고 수회 실시되는 단기조사는 제한된 연구목표달성을 위한 특별관측으로 기존자료를 활용함으로써 조사의 효율성을 더욱 높힐 수 있다. 이에 1단계 연구기간중 우리보다 더 많은 관심을 갖고 해양조사를 지속적으로 실시하여 자료를 축적한 일본측의 막대한 자료를 수집, 재편집하여 2단계 연구를 위한 준비를 하였다. 일본으로부터 수집한 자료는 1964년부터 1983년까지 20년간의 북서태평양에서의 BT자료, 1960년부터 1989년까지 30년간의 동중국해에서 BT자료, 일본해양자료센타가 1992년에 재편집한 CTD자료이다.

한편 동중국해의 해양순환이 바람장에 의해 크게 좌우되기 때문에 일본기상청이 1978년부터 1987년까지 10년간 1일 2회 발간한 천기도로부터 격자점별 해상기압을 정리하여 동중국해 전역에서의 해상풍을 계산하여 데이터베이스를 구축하였다. 일차 계산한 해상풍 stress의 장기 월별 평균분포는 부록 I에 제시하였다.

관측결과에 대한 역학적 접근과 해류분포와 변동을 예측하기 위해서 수치모델 연구가 2단계 연구사업에서 이루어 져야한다. 따라서 1단계 사업기간 최종년도에는 본 해역에 적용 가능한 두 종류의 3차원수치모델 코드를 입수하였다. 첫번째 모델은 Blumberg와 Mellor (1987) 모델로 1992년도 수정보완된 최근 코드로 3차원 원시방정식 수치해양모델 (three dimensional, primitive equation, numerical ocean model) 이다. 이 모델은 second moment turbulence closure scheme, sigma 수직좌표계, curvilinear 수평직교좌표계와 Arakawa C scheme, explit 수평 시간 미분, implicit 수직 시간미분, free surface를 사용하고 순압성분은 2차원, 경압성분은 3차원으로 계산한다. 이 모델은 동중국해와 같은 천해역에 적합한 모델로 알려져 있다. 두번째 코드는 Haidvogel이 개발한 Semi-spectral primitive equation 모델로 1990년 보완되었고 기본방정식과 좌표계는 Blumberg와 Mellor 모델과 유사하나 rigid lid surface와 second moment conservation을 이용하고 경계조건으로 periodic channel을 사용할 수 있으며 또한 lagrangian부이운동을 재현할 수 있는 장점이 있다.

3. 향후 중점연구과제

동중국해, 황해, 동해에 염과 열에너지를 공급하는 대마난류는 한반도 주변해역의 해양물리특성과 해수순환을 결정지우는 가장 주요한 요소중 하나이다. 이 해역에서 생존하고 있는 해양생물의 시·공간 분포가 대마난류수에 민감하게 반응하게 되어 대마난류의 운동mechanism을 파악하지 않고는 어황예보가 거의 불가능하다고 해도 과언이 아니다. 또한 대마난류가 수송하는 방대한 양의 열에너지가 대기로 방출되어 해안지역은 물론 한반도 지역기후 자체에도 큰 영향을 미치게된다. 따라서 지역 기상의 정확한 예보를 위해서도 대마난류에 의한 상층 해황변동을 고

려해야 한다. 대마난류의 기원에 대한 관심은 기본적으로 두가지 가설이외에 난류 확산 혹은 와류활동에 의해서 대륙사면의 북쪽으로 널리 퍼진다는 설 (Hue, 1982) 이 있기도 하다. 본 연구 결과는 기존의 가설과 다른 결과를 보인다. 대마난류의 형성과 이의 경로를 보다 확실히 규명하기 위하여는 쿠로시오 본류가 통과하는 대륙사면을 포함한 광범위한 대륙붕 해역에서 장기간 정밀 해양조사가 필요하고 수치모델에 의한 역학적 접근이 병행되어야 한다. 구체적인 방법으로는 동중국해 대륙붕과 쿠로시오를 횡단하는 적어도 하나 이상의 관측선을 구축하여 연 2회 이상 정기관측을 장기간 지속하고, 대마난류 분기가 예상되는 해역을 선정하여 표류부 이와 유속계에 의한 정확한 해류 경로와 변동을 조사하고, CTD와 동위원소에 의한 외해수와 연안수의 혼합과정을 밝히고, 해수순환을 위한 해석적모델과 3차원 수치모델 연구를 병행하는 것이다. 앞으로 본 사업의 종료와 더불어 2단계 해양종합조사가 필요하며 이를 위한 일반 및 정밀관측망을 그림 65와 같이 제시한다. 또한 동중국해 모델의 경계조건으로 Kuroshio의 수송량과 경로를 임의로 결정하기 보다는 북태평양과 같은 보다 광역모델의 결과를 지역모델의 경계조건으로 사용하는 것이 바람직하다.

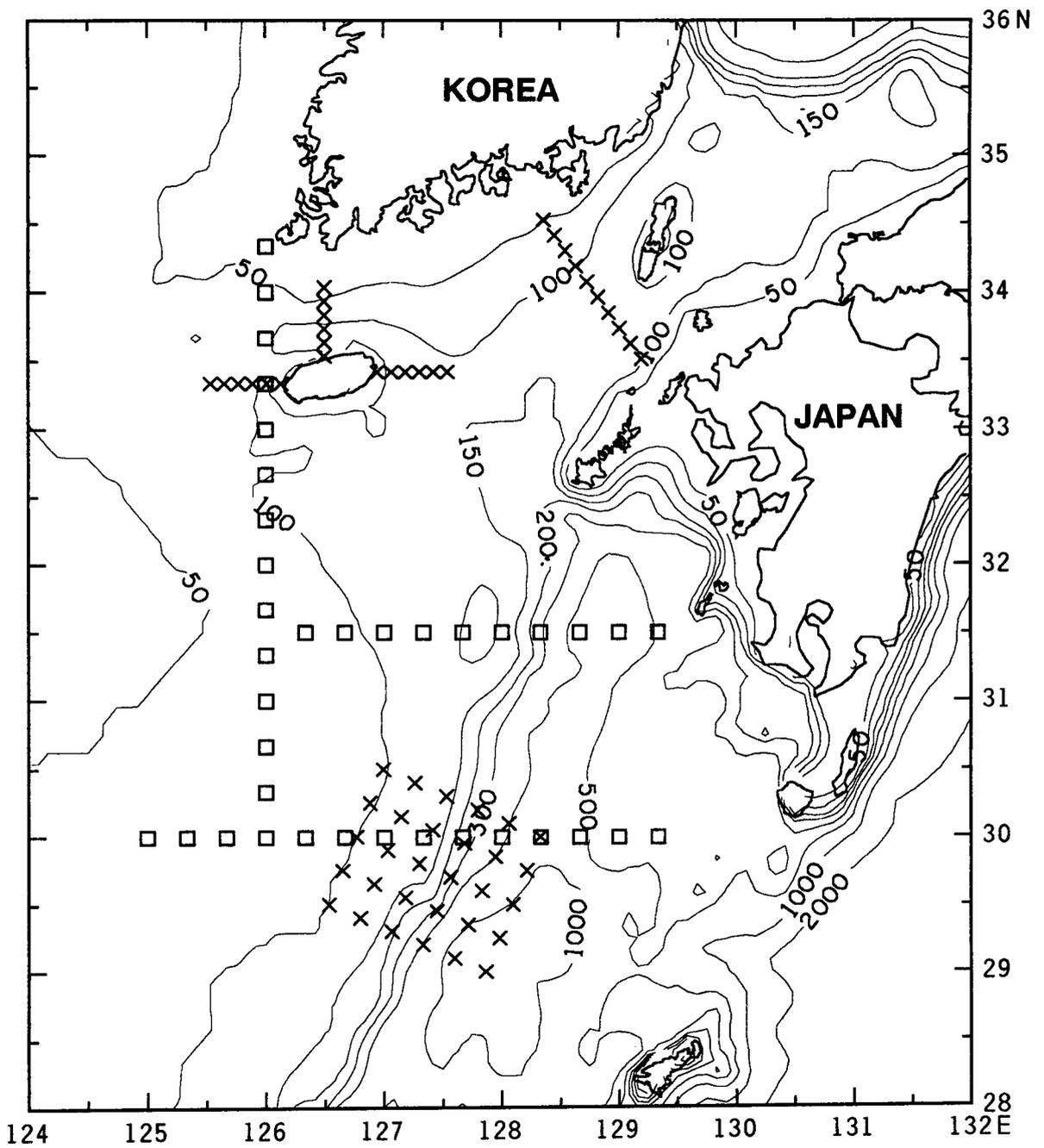


Fig. 65. Suggestion on the observation network of the second-phase study for the origin of the Tsushima Warm Current and oceanographic conditions in the East China Sea.

參 考 文 獻 (REFERENCES)

- 곽희상 등. 1986. 한국해역 종합자원도 작성연구-황해. 한국해양연구소, BSPG 00030-119-7, 523 pp.
- 곽희상 등. 1987. 한국해역 종합자원도 작성연구-남해. 한국해양연구소, BSPG 00046-163-7, 357 pp.
- 곽희상 등. 1988. 한국해역 종합자원도 작성연구-남해. 한국해양연구소, BSPG 00062-200-7, 385 pp.
- 곽희상 등. 1989. 한국해역 종합자원도 작성연구-남해. 한국해양연구소, BSPG 00091-251-7, 555 pp.
- 곽희상 등. 1990. 한국해역 종합자원도 작성연구-남해. 한국해양연구소, BSPG 00116-313-3, 329 pp.
- 국립수산진흥원. 1988. 해양조사연보, 40: 177-310.
- 나정열, 서장원, 한상규. 1992. 한국근해의 월평균 해상풍. 한국해양학회지, 27: 1-11.
- 남수용, 승영호. 1992. 동해해수 유입에 대한 수치모델: 대마난류의 형성 및 수송량. 한국수산학회지, 25: 58-64.
- 신흥렬, 이홍재, 황상철. 1993. 동지나해의 해황특성연구(I) -해황특성의 계절변동-. 50 pp.
- 유청로, 장선태. 1979. 낙동강 하구의 조석과 유동. 한국해양학회지, 14: 71-77.
- 이홍재. 1990. 연근해역에서 해황 모니터링 시스템 연구 -해양 관측부이틀 이용한 동해 중부 해황관측 (1차년도). 한국해양연구소, BSPG00099-300-1, 106 pp.
- 이홍재. 1991. Kuroshio 해역에서 해황변동연구 (I) -세계해양대순환실험 표층류

- 계획 한국해양연구소 프로그램-(1차년도). 한국해양연구소, BSPG 00131-377-1,
135 pp.
- 이홍재. 1992. Kuroshio 해역에서 해황변동연구 (I) -세계해양대순환실험 표층류
계획 한국해양연구소 프로그램-(2차년도). 한국해양연구소, BSPG 00168-473-1,
122 pp.
- 장선덕, 유청로, 이문옥, 이재철. 1981. 낙동강 하구의 염수운동. 한국해양학회지, 16:
31-37.
- 추교승. 1978. 낙동강 하천수의 유입확산에 따른 해황변동. 수로기술연보, 1101: 9-18.
- 허형택 등. 1984. 한국해역 종합자원도 작성연구-황해. 한국해양연구소, BSPG
00023-79-7, 493 pp.
- 허형택 등. 1985. 한국해역 종합자원도 작성연구-황해. 한국해양연구소, BSPG
00055-86-7A, 523 pp.
- Barnett, T. P. 1983. Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at
interannual time scales. Part I: The equatorial zone. Mon. Wea. Rev., 111:
756-773.
- Beardsley, R. C., R. Limeburner, H. Yu and G. A. Cannon. 1985. Discharge of the
Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Cont. Shelf Res., 4:
57-76.
- Byun, S. K. and K. I. Chang. 1988. Tsushima Current water at the entrance of
the Korea Strait in Autumn. Progress in Oceanogr., 21: 295-306.
- Chang, S.-D. 1970. Computation of wind drift currents in the southern waters
of Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 3: 199-206.
- Chao, S. Y. 1991. Circulation of the East China Sea, A Numerical Study. J.
Oceanogr. Soc. Japan, 46: 273-295.
- Choi, B. H. 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea.

KORDI Report 80-02, PSPI00019, 72 pp.

- Choi, B. H. 1984. Computation of current driven by a steady uniform wind stress on the East China Sea using a three dimensional numerical model. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 36-43.
- Choi, B. H. and H.-J. Lie. 1992. Physical Oceanography programme of the East China Sea and the East Sea (Japan Sea) dynamics in Korea, paper presented to Conference for Pacific Ocean Environments & Probing, Okinawa, Japan, August 25-31, 28 pp.
- Davis, R. E. 1976. Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 6: 249-266.
- Fang, G., B. Zhao and Y. Zhu. 1991. Water volume transport through the Taiwan Strait and the continental shelf of the East China Sea measured with current meters. In: *Oceanography of Asian Marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 345-358.
- Gong, Y. 1971. A study on the south Korean coastal front. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6: 25-36.
- Guan, B. and H. Mao. 1982. A note on circulation of the East China Sea. *Chinese J. Oceanogr. & Limnol.*, 1: 5-16.
- Hanawa, K., T. Watanabe, N. Iwasaka, T. Suga, and Y. Toba. 1988. Surface thermal conditions in the western North Pacific. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 66: 445-456.
- Huh, O. K. 1982. Spring season flow of the Tsushima Current and its separation from the Kuroshio: satellite evidence. *J. Geophys. Res.*, 87: 9687-9693.
- Hwang, C. P. 1971. On the variation of sea level due to meteorological disturbances on the coast of Korea. I. Storm surges caused by Typhoon

- Billie, 1970, on the west and south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6: 92-98.
- Ichiye, T. 1984. Some problems of circulation and hydrography of the Japan Sea and the Tsushima Current. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 15-54.
- Japan Meteorological Agency. 1988. The results of oceanographical observations, 1986, No. 78, 50-68.
- Kaneko, A., S.-K. Byun, S.-D. Chang, M. Takahashi. 1991. An observation of sectional velocity structures and transport of the Tsushima Current across the Korea Strait, in *Oceanography of Asian Marginal Seas*, edited by K. Takano, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 179-195.
- Kang, C.-J. 1974. A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bull. FRDA*, 12: 107-121.
- Kang, Y. Q. 1984. An analytic model of the M2 tide near Cheju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 18-23.
- Kim, B.-K. 1982. Variation coefficient of water temperature and salinity in the southwestern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17: 74-82.
- Kim, B.-K. 1989. Study on the southern coastal waters of Korea by NOAA image. *J. Korean Soc. Remote Sensing*, 5: 57-67.
- Kim, H. J. and S.-S. Yug. 1983. Inversion phenomena of temperature in the Southern Sea of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 16: 11-116.
- Kim, K. and S. H. Lee. 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17: 59-68.
- Kim, K. and S. H. Lee. 1986. Variation of the M2 tide amplitude around the

- Jeju-do. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21: 171-183.
- Kim, K., H. K. Rho, and S. H. Lee. 1991. Water masses and circulation around Cheju-do in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26: 262-277.
- 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 Sesa*, edited by K. Takano. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 253-268.
- Kim, K., H. K. Rho, and S. H. Lee. 1991. Water masses and circulation around Cheju-do in summer, *J. Oceanol. Korea*, 26: 262-277.
- Kutsuwada K. and T. Teramoto. 1987. Monthly maps of surface wind stress field over the North Pacific during 1961-1984. *Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo*, ISSN 0564-6898, 100 pp.
- Levitus, S. 1982. *Climatological Atlas of the World Ocean*. NOAA Professional Paper No. 13, U.S. Govt. Printing Office, 173 pp.
- Levitus, S. 1987. A comparison of the annual cycle of two sea surface temperature climatologies of the world ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 17: 197-214.
- Lee, J. C., J. Y. Na, and S.-D. Chang. 1984. Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 56-67.
- Lee, J. C., J. Y. Na and S.D. Chang. 1984. Thermohaline structure of the shelf front in the Korea Strait in early winter. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 56-67.
- Lee, S. H. and K. Kim. 1988. Variation of the diurnal tides around Jeju-do. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 23: 62-69.
- Lie, H.-J. 1985. wintertime temperature-salinity characteristics in the southern Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41: 291-198.

- Lie, H.-J. 1987. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Progress in Oceanogr.*, 17: 229-242.
- Lie, H. J. and M. Endoh. 1991. Seasonal and interannual variability in temperature of the upper layer of the northwest Pacific, 1964-1983. *J. Phys. Oceanogr.*, 21: 385-397.
- Lie, H.-J. and C. H. Cho. 1993. Origin of Tsushima Warm Current. *J. Geophys. Res.*, submitted.
- Lim, D. B. 1971. On the origin of the Tsushima Current water. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6: 85-91.
- Lim, D. B. 1973. The movement of the cold water in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 8: 46-52.
- Lim, D. B. 1976. The movements of the waters off the south coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 11: 77-88.
- Michida, Y., H. Nishida and S. Sato. 1987. 東シナ海の平均海流場. 黒潮の開発利用調査研究 (第II期) 成果報告書 (その1), 119-129.
- Minato, S. and R. Kimura. 1980. Volume transport of the western boundary current penetrating into a marginal sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 36: 185-195.
- Mizuno, S., K. Kawatate, and T. Miita. 1986. Current and temperature observations in the east Tsushima channel and the Sea of Genkai. *Progress in Oceanogr.*, 17: 277-295.
- Muneyama, K., I. Asanuma, Y. Sasaki, S. Saitoh, Y. Tozawa and T. Ichiye. 1984. An application of NOAA AVHRR for oceanography in the East China Sea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 375-386.
- Nitani, H. 1972. Beginning of the Kuroshio. In *Kuroshio: Its physical Aspects*.

- Ed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, 129-156.
- Park, Y. H. 1985. Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20: 12-21.
- Park, Y. H. 1986. Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. *Progress in Oceanogr.*, 17: 243-254.
- Park, Y. H. and S.-I. Kim. 1987. A numerical study on tide-induced residual currents around Chejudo Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 22: 9-18.
- Qiu, B. and N. Imasato. 1990. A numerical study on the formation of the Kuroshio countercurrent and the Kuroshio branch current in the East China Sea. *Cont. Shelf Res.*, 10: 165-184.
- Rho, H. K. and K. Kim. 1983. Variation of sea surface temperature between Jeju and Mogpo, and between Jeju and Wando. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18: 64-72.
- Rho, H. K. and T. Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strait. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 16: 299-304.
- Sawara T. and Y. Hanzawa. 1979. Distribution of Water Type in the East China Sea. *Umi to Sora*, 54: 135-148. (in Japanese).
- Shaw, P. T. 1989. The intrusion of water masses into the sea southwest of Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 94: 18213-18226.
- Seung, Y. H. and S. Y. Nam. 1993. A numerical study on the barotropic transport of the Tsushima Warm Current, *La mer*, 30 (in press).
- Shuto, K. 1989. Seasonal Mean Distribution of Sea Properties in the Pacific. *Tech. Rep. No. 25, Meteorol. Res. Inst. Japan*, 472 pp.
- Sybrandy, A. L. and P. P. Niiler. 1991. The WOCE/TOGA SVP Lagrangian drifter construction manual, *WOCE Rep.*, No. 63, Scripps Institution of Oceanogr.,

- Univ. California, 58 pp.
- Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa and K. Hanawa. 1982. Seasonal and year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause, *La mer*, 20: 41-51.
- U.S. WOCE Office. 1992. U.S. WOCE Implementation Plan 1992, Report No. 4, College Station, 110 pp.
- Veronis, G. and H. Stommel. 1956. The action of variable wind stress on a stratified ocean. *J. Mar. Res.*, 15: 43-75.
- Wang, J. and C.-S. Chern. 1988. On the Kuroshio branch in the Taiwan Strait during wintertime, *Progress in Oceanogr.*, 21: 469-492.
- Weare, B. C., A. R. Navato, and R. E. Newell. 1976. Empirical orthogonal analysis of Pacific sea surface temperature. *J. Phys. Oceanogr.*, 6: 671-678.
- White, W. B. 1978. A wind-driven model experiment of the seasonal cycle of the main thermocline in the interior North Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 8: 818-824.
- White, W. B. and K. Hasunuma. 1980. Large-scale interannual variability in the baroclinic gyre structure of the western North Pacific from 1954-1974. *J. Mar. Res.*, 38: 651-672.
- White, W. B. and R. L. Bernstein. 1979. Design of an oceanographic network in the midlatitude North Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 9: 592-606.
- White, W. B., G. A. Meyers, J. R. Donguy, and S. E. Pazan. 1985a. Short-term climatic variability in the thermal structure of the Pacific Ocean during 1979-82. *J. Phys. Oceanogr.*, 5: 917-935.
- White, W. B., S. E. Pazan, and B. Li. 1985b. Processes of short-term climatic variability in the baroclinic structure of the interior western tropical North Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 15: 386-402.

- White, W. B., S. E. Pazan, and M. Inoue. 1987. Hindcast/forecast of ENSO events based upon the redistribution of observed and model heat content in the western tropical Pacific, 1964-86. *J. Phys. Oceanogr.*, 17: 264-280.
- WOCE International Project Office. 1991. WOCE/TOGA Surface Velocity Programme, Report of the Third Meeting (SVP-3) with focus on the Pacific Sector, WOCE Report No. 65/91, Wormley, 24 pp.
- WOCE International Project Office. 1992. WOCE/TOGA Surface Velocity Programme, Report of the Fifth Meeting (SVP-5), WOCE Report No. 87/92, Wormley, 37 pp.
- WOCE International Project Office. 1993a. Summary of Resource Commitments, WOCE Report No. 100/93, Wormley, 62 pp.
- WOCE International Project Office. 1993b. The WOCE Handbook (4th edition), WOCE Report No. 105/93, Wormley, 42 pp.
- WOCE International Project Office. 1993c. WOCE Data Management., WOCE Report No. 104/93, Wormley, 39 pp.
- Yanagi, T. and S. Takahashi. 1993. Seasonal variation of circulation in the East China Sea, *J. Oceanogr.*, 46, (in press).

부록 I. 동중국해, 황해와 동해에서 wind stress의 장기 월평균 분포

향후 동중국해의 해수순환 연구를 대비하기 위해 동중국해의 해상풍 자료를 정리하였다. 나 등 (1992)이 30° N 이북해역을 대상으로 구축한 해상풍의 데이터 베이스를 기본으로 하여 전 동중국해로 영역을 넓혀 해상풍을 계산하였다. 자료의 입력과 해상풍 계산방법은 나 등 (1992)의 논문과 같다.

해상풍 계산에 이용된 자료는 일본 기상청이 발행하는 천기도 (1일 2장; 9, 21시)와 일본 Mazuru Marine Observatory가 발행하는 10일 평균 해표면 수온이다. 계산기간은 1978년부터 1987년까지 10 년간이며 Cardone model로 12시간 간격으로 각 격자점서 바람의 속도와 방향을 계산하였다. 대상 해역은 20° - 50° N, 120° - 150° E로 동중국해, 황해와 동해가 포함되며 격자간격은 127 km로 정하였다.

입력된 자료로부터 월평균 해상풍과 wind stress를 계산하였고 본 보고서에서는 wind stress 만을 수록하였다 (그림 66).



Fig. 66. Distributions of monthly mean wind-stress during 1978~1987.

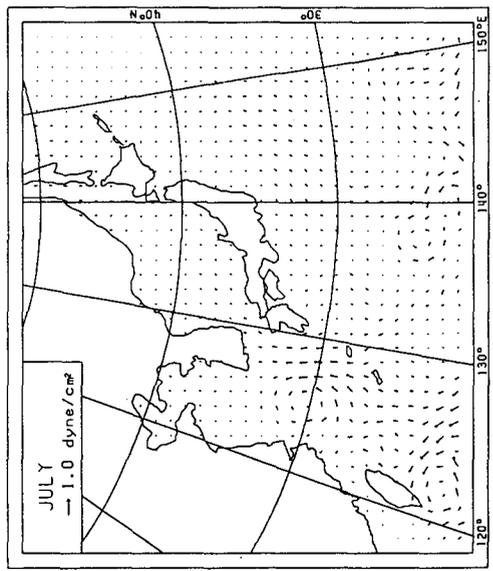
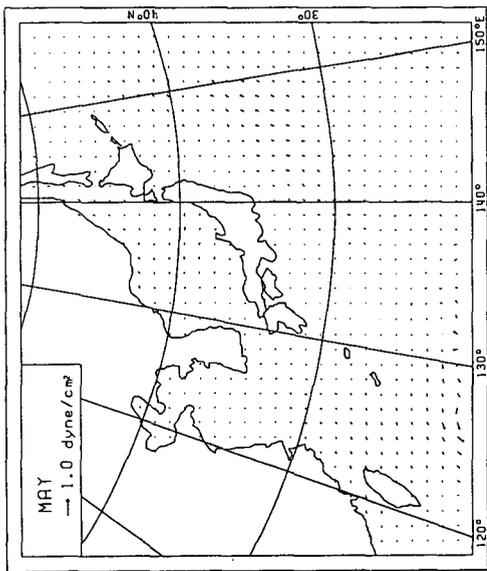
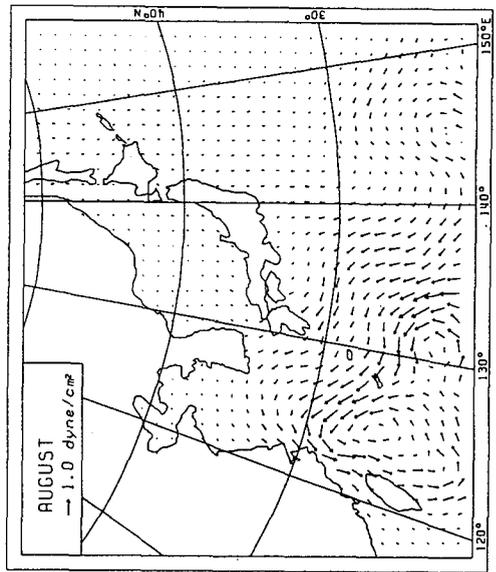
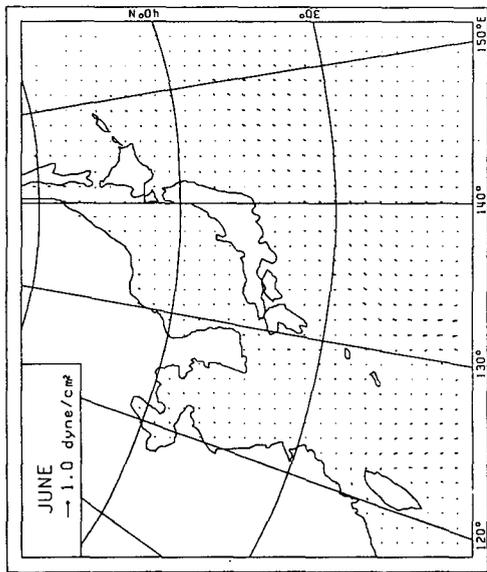


Fig. 66. Continued.

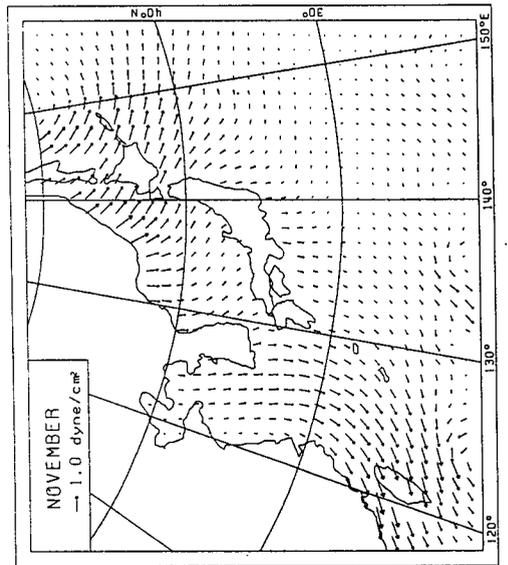
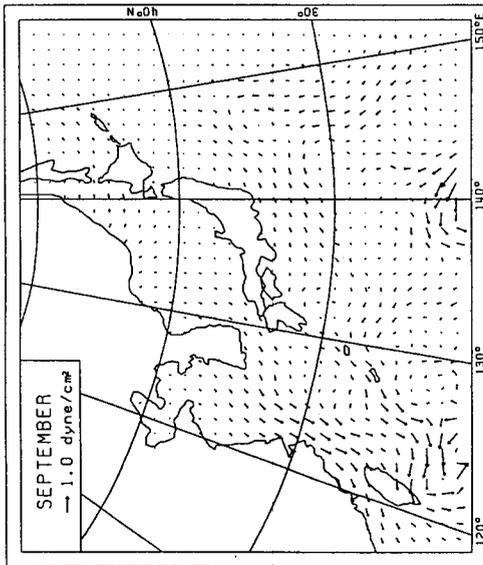
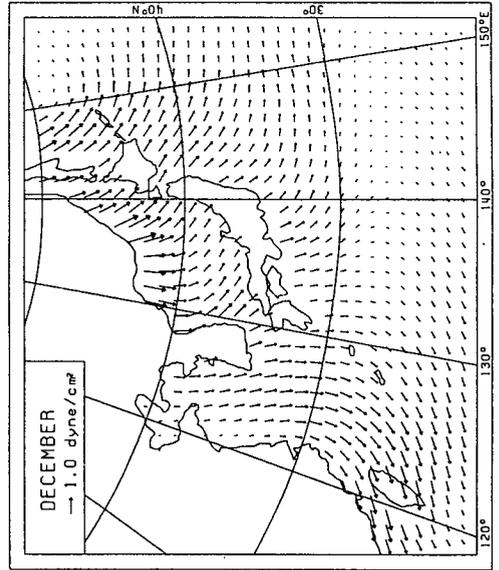
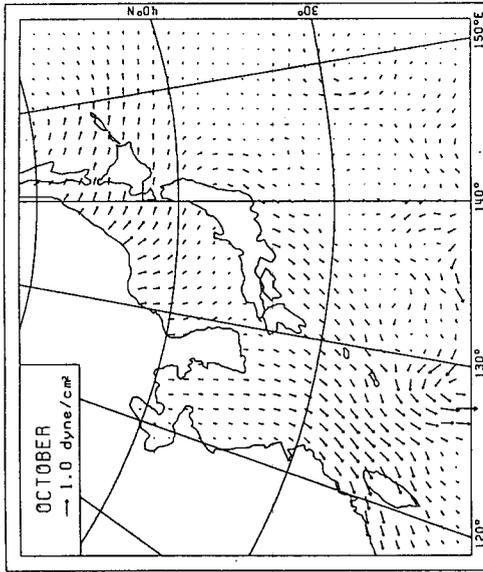


Fig. 66. Continued.

부록 II. 북서태평양에서 WOCE/SVP program에 의한 위성추적부이실험.

그림 67은 WOCE의 자료센터인 AOML로부터 제공받은 다른국가의 WOCE/SVP 책임자들이 1988년부터 1992년에 $24^{\circ} - 45^{\circ} \text{ N}$, $120^{\circ} - 135^{\circ} \text{ E}$ 에 투하한 부이자료와 본 연구사업에서 투하한 부이자료를 합한 총 46개 위성추적부이의 궤적이다.

또한 본 연구사업 수행기간인 하계 (6월 중순-8월), 춘계 (3월 중순-5월), 추·동계 (10월 하순-2월)에 얻어진 자료를 위·경도 $30'$ 격자간격에서 평균하여 일평균된 유속의 분포도를 작성하였다 (그림 68).

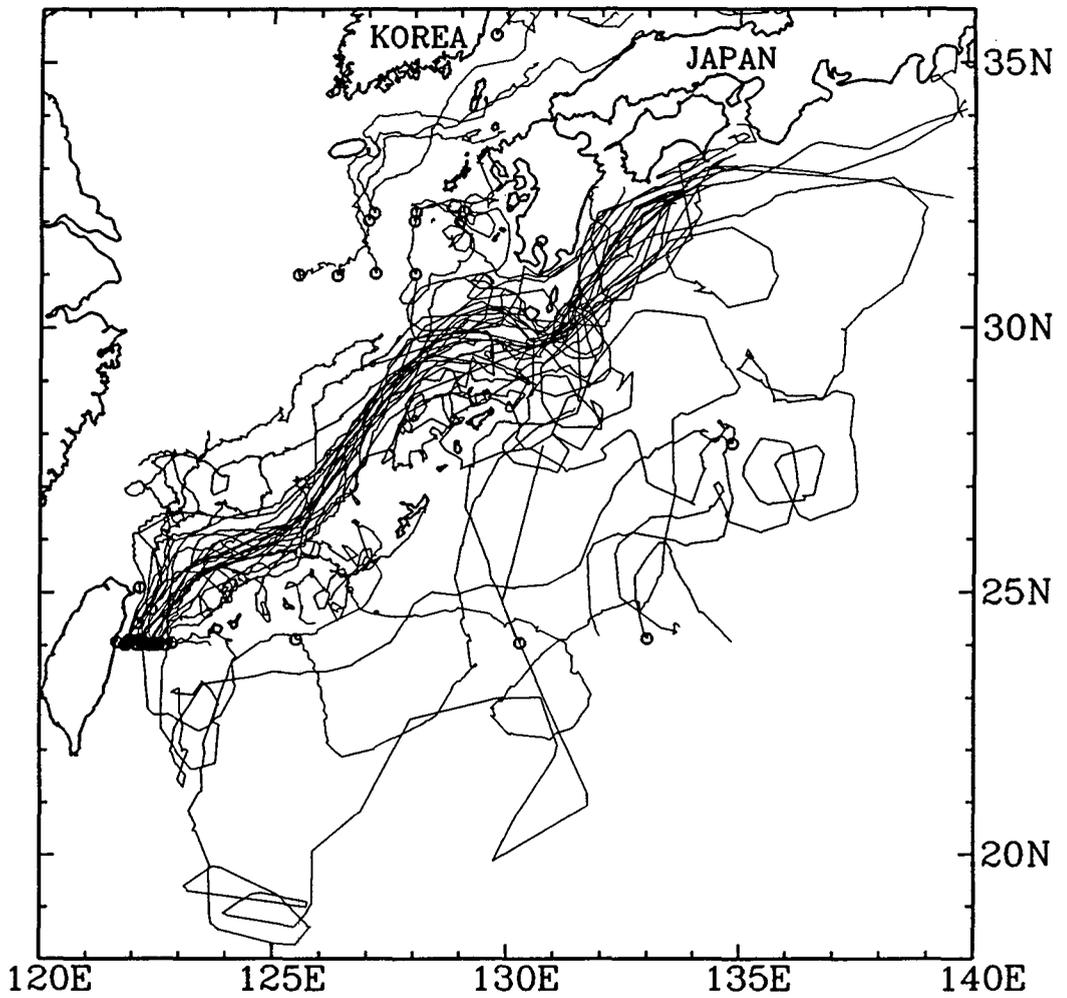


Fig. 67. Trajectories of 46 WOCE drifters in the north-west Pacific during 1988~1992 by WOCE/SVP program.

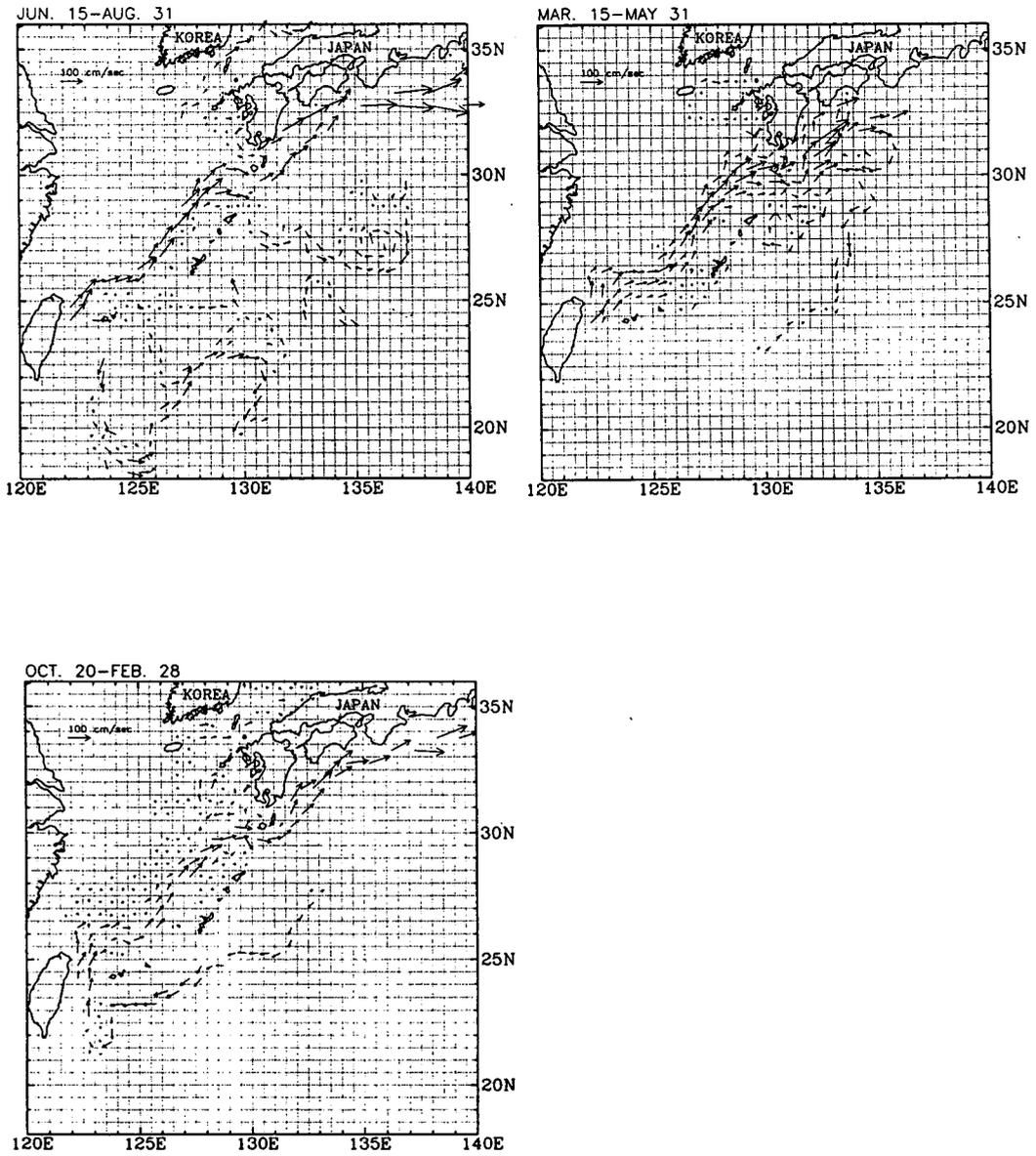


Fig. 68. Spatial distributions of the mean surface flow. Drifter velocities were averaged in the grid of 0.5 x 0.5 degree during (a) Jun. 15 ~ Aug. 31, (b) Mar. 15 ~ May 31 and (c) Oct. 20 ~ Feb. 28.