

BSPE 00146-263-3

부영양해역에 있어서의
적조플랑크톤의 생리생태학적 연구
Physiological ecology of the red-tide phytoplanktons
in the eutrophic coastal area

1990. 2.

韓國科學技術研究院
海洋研究所

제 출 문

해양연구소장 귀하

본 보고서를 "부영양해역에 있어서의 적조플랑크톤의 생리생태학적 연구"의 최종보고서로 제출합니다.

1990 년 2 월

연구책임자 : 한 명 수
연구 원 : 김 영 옥
 : 김 권 수
 : 김 세 화

요 약 문

I. 제 목

부영양해역에 있어서의 적조플랑크톤의 생리생태학적 연구

II. 연구의 목적 및 중요성

적조라함은 식물플랑크톤의 이상증식에 의한 물의 변색현상으로서, 그 발생장소는 하구 및 연안역에 걸쳐 광범위하게 발생되고 있다. 이러한 적조현상에 관한 연구가 적극적으로 진행되어지고 있는것은 하구 및 연안해역에서의 부영양화 현상이 심해짐에 따라 적조가 빈발하여 수산생물에 심각한 피해를 주고 아울러, 유독플랑크톤에 의한 양식 어패류의 독화로 식품위생 및 환경학적인 문제가 야기되고 있기 때문이다. 국내에서도 특히 진해만은 항상적으로 적조가 발생하며 그 규모도 방대하여, 이에따른 수산업이 심각한 피해를 입고 있는 곳이다.

적조발생은 반드시 동일장소, 동일시기에 발생하는것은 아니며, 적조플랑크톤, 영양염류, 그외 물질의 분포에 대한 시간적 공간적변동을 규정하는 해양물리현상과 복잡한 관련성을 갖고있다. 특히 강한 성층현상이 발달되는 고온의 연안역및 하구역에서 다발되고 있다. 만약, 이러한 해양물리학적 요소를 배재한다면 적조발생기구는 적조플랑크톤의 생리 및 생태의 생물학적인 연구만으로도 해결될 수 있을만큼 적조플랑크톤의 생물학적인연구는 중요한 과제가 될 수 있다. 따라서, 본연구는 우선 현장에서의 동식물플랑크톤의 분포와 군집구조를 파악하고, 이러한 생태계 안에서의 적조플랑크톤의 생리생태학적 연구를 통하여 적조발생기구의 이해와 함께

생태계 연구의 궁극적 목적인 종의 천이현상을 규명하는데 그목적이 있다. 더불어 연안역의 물질순환과정 안에서의 식물플랑크톤의 역할을 평가하고자 하였다.

III. 연구의 내용 및 범위

1. 조사해역의 수괴특성
2. 영양염류의 동태
3. 식물플랑크톤군집의 구조
4. 적조생물의 patch
5. 기초생산력과 광합성율
6. 동물플랑크톤의 군집구조

IV. 연구의 결과 및 활용에 대한 건의

생물량 및 영양염류는 정점4를 중심으로하여 안쪽에서는 풍부하고, 바깥쪽에서는 현저히 감소하였다. 동식물플랑크톤의 군집구조에서도 정점4 부근에서 해양성종이 다수 발견되고 있어, 정점3과 정점4 사이는 외해수와 내만수의 경계해역(불연속층)이 되고 있음을 암시하였다. 적조플랑크톤의 patch는 거의 정점4의 안쪽에서 발견되었다. 10월 28일의 정점 1,2 및 3에서의 chl.a 양은 10월 27일에 비해 감소하였고, 정점4 에서는 약 6.5배로 증가하였다. 10월 28일의 광합성률은 정점4에서 $28.08 \mu\text{gC}/\mu\text{gchl.a/h}$ 로 가장 높았다. 이처럼 높은 광합성율은 이지역에서의 chl.a의 증가와 관련을 갖고 있어서 식물플랑크톤 군집의 성장상태를 파악하는 지표로서 사용될 수 있다. 또한 불연속층의 내만쪽에서 식물플랑크톤의 blooming으로 인한 규산염의

고갈은 이해역에서의 식물플랑크톤의 천이와 blooming의 쇠퇴의 원인이 되고 있음을 암시하였다. 이러한 결과로부터 내만역의 부영양화가 적조발생의 근본적인 원인이 된다고 사료되나, 위의 결과를 토대로한 적조생물의 영양요구성, 증식유인물질, cyst 를 포함한 생활사의 연구와 front 및 langmuir순환류 등 해양물리 상호작용에 관한 연구가 장기간에 걸쳐 정기적인 조사가 이루어져야 할 것이며, 이러한 연구를 통한 적조발생기구의 이해는 적조피해 방지 및 연안환경보존 기술개발에 유용할 것이다.

SUMMARY

I. Title

Physiological ecology of the red-tide phytoplanktons in the eutrophic coastal area

II. Objective and Significance

Red tide is the phenomenon caused by blooms of unicellular phytoplanktons that become so dense and discolor the sea waters. It seems to be spreading in costal and continental shelf waters of the world. Although most of the phytoplankton blooms appear to be harmless, concentrated non-toxic phytoplanktons generate anoxic conditions that cause kills of fish and invertebrates. In recent years, a large scale red tide has been occurring frequently in Chinhae Bay mainly due to the industrialization of surrounding area.

A red tide takes place when physico-chemical factors such as nutrients, sunlight and water column structure are favorable for the rapid reproduction of the planktons. Dense plankton populations are often most strongly developed under stratified water conditions at high temperatures loaded with high organic substances from land run-off after heavy rains. In Chinhae Bay, few studies on the fine scale distribution of phytoplankton in relation to hydrographic conditions have been done so far. Moreover, information on the productivity and photosynthetic rates

of phytoplankton in Chinhae Bay is scarce. In order to assess the mechanism of succession and bloom of phytoplankton, we investigated photosynthetic rates and spatial distribution of plankton by short-distance sampling method.

III. Contents and Scope

1. Hydrological structure in survey region.
2. Nutrients distribution.
3. Community structure of phytoplankton.
4. Patch of red tide plankton.
5. Primary productivity and Photosynthetic rates.
6. Community structure of zooplankton.

IV. Results

Phytoplankton biomass and nutrients varied greatly across the Sta. 4. Chl.a and nutrients were high and patches of red tide plankton were found only inside of Sta.4. Neritic and/or offshore species in phyto- and zooplankton were also found in Sta. 4. In other words, the region between Sta.3 and Sta.4 appeared to be approximate boundary of the outside assemblage, The concentrations of chlorophyll a on Oct. 28 were less than that of previous day at Stations 1, 2 and 3 while 6.5 times higher at Station 4. The highest assimilation index of 28.08 $\mu\text{gC}/\mu\text{gchl.a/hr}$ was observed at this station. Depletion of silicate caused by a rapid

assimilation of phytoplankton seemed to be responsible to the succession of phytoplankton community and decline of blooms themselves. The results suggest that red tide in Chinhae Bay was mainly caused by eutrophication which is resulted by urbanization and industrialization of the surrounding basin. Supplementary studies on nutrient requirements and life cycles of red tide planktons are needed to fully understand the mechanism of red tide.

V. Policy Recommendations

1. Since the assimilation index has been a direct proportion to the amount of chl a, the index could be used as a indicator of the phytoplankton community.
2. The short-distance sampling method used in this study can be a possible measure to understand the mechanism of red tide when the additional information such as nutrients cycle, nutritional demand and life cycle of red tide organisms, and other environmental factors.
3. Therefore, it is recommended that a long term monitoring system for red tide should be conducted in order to prevent the harmful effects on fisheries resources and to conservate coastal environment.

목 차

그림 목 차	15
표 목 차	17
제 1 장 서 론	19
제 2 장 재 료 및 방 법	
1. 관측장소 및 방법	21
2. 환경요인	21
3. 영양염류	21
4. 기초생산력	25
5. 식물플랑크톤	25
6. 동물플랑크톤	26
제 3 장 결 과 및 고 찰	
제 1 절 수괴특성과 chlorophyll a	
1. 수평분포	27
2. 수직분포	27
제 2 절 영양염류분포	
1. 수평분포	30
2. 수직분포	30
제 3 절 식물플랑크톤의 군집구조	
1. 출현종의 조성	36
2. 적조플랑크톤	

가. patch의 분포	-----	36
나. 수직분포	-----	38
제 4 절 기초생산력	-----	42
제 5 절 동물플랑크톤의 군집구조		
1. 출현종의 조성	-----	42
2. 출현종의 시공분포	-----	47
제 4 장 결 론	-----	51
참 고 문 헌	-----	53

CONTENTS

Lists of Figures - - - - -	15
Lists of Tables - - - - -	17
Chapter 1. Introduction - - - - -	19
Chapter 2. Materials and Methods	
1) Study area and sampling methods - - - - -	21
2) Environmental factors - - - - -	21
3) Nutrients - - - - -	21
4) Primary productivity - - - - -	25
5) Phytoplankton - - - - -	25
6) Zooplankton - - - - -	26
Chapter 3. Results and discussion	
1. Water column structure and chl. <u>a</u>	
1) Horizontal distribution - - - - -	27
2) Vertical distribution - - - - -	27
2. Nutrients	
1) Horizontal distribution - - - - -	30
2). Vertical distribution - - - - -	32
3. Community structure of phytoplankton	
1) Species composition - - - - -	36

2). Red-tide phytoplankton	
a. Distribution of patch	36
b. Vertical structure	38
4. Primary productivity	42
5. Community structure of Zooplankton	
1) Species composition	42
2) Time and spatial distribution	47
Chapter 4. Conculusions	51
References	53

그림 목 차

그림 1. 조사해역과 예비조사 관측선	22
그림 2. 마산만의 표층수온 및 염분의 정밀관측	23
그림 3. 마산만의 수평 및 수직 조사정점	24
그림 4. 부도수도해역의 수온, 염분 및 chl.a 의 수평분포	28
그림 5. 마산만의 수온, 염분 및 chl.a 의 수직분포	29
그림 6. 부도수도해역의 영양염류의 수평분포	31
그림 7. 마산만의 영양염류의 수직분포 (I)	33
그림 8. 마산만의 영양염류의 수직분포 (II)	35
그림 9. 부도수도해역의 적조플랑크톤의 표층patch 형성양상	39
그림 10. 마산만에 있어서의 적조플랑크톤의 수직분포 (I)	40
그림 11. 마산만에 있어서의 적조플랑크톤의 수직분포 (II)	41
그림 12. 마산만에 있어서의 동물플랑크톤의 분포패턴	48

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Map showing the study area and preliminary survey track in Masan Bay. - - - - -	22
Fig. 2. Horizontal distribution of temperature and salinity in surface waters in Masan Bay. - - - - -	23
Fig. 3. Sampling stations in Masan Bay. - - - - -	24
Fig. 4. Horizontal distribution of temperature, salinity and chl. <u>a</u> in Budosudo region. - - - - -	28
Fig. 5. Vertical distribution of temperature, salinity and chl. <u>a</u> in Masan Bay. - - - - -	29
Fig. 6. Horizontal distribution of nutrients in Budosudo region. - -	31
Fig. 7. Vertical distribution of nutrients in Masan Bay (I). - - - -	33
Fig. 8. Vertical distribution of nutrients in Masan Bay (II). - - - -	35
Fig. 9. Distribution of Red-tide planktons in Budosudo region. - - -	39
Fig.10. Vertical distribution of Red-tide planktons in Masan Bay (I).-	40
Fig.11. Vertical distribution of Red-tide planktons in Masan Bay (II)-	41
Fig.12. Distribution pattern of zooplankton in Masan Bay - - - - -	48

표 목 차

표 1. 조사해역에서의 외양성 식물플랑크톤의 양적분포	37
표 2. 마산만에 있어서의 기초생산력, chl.a 및 광합성율	43
표 3. 조사해역에서의 동물성플랑크톤의 종조성	45

LIST OF TABLES

Table 1. Distribution and abundance of oceanic species of phyto- plankton in study area	-----	37
Table 2. Primary productivity, chl. <u>a</u> and assimilation index in Masan Bay in October 1989.	-----	43
Table 3. Zooplankton species composition and abundance in Masan Bay	-	45

제1장 서론

연안생태계는 일반적으로 크고 작은 각종 system (estuarine system, nearshore system, offshore system) 으로 복잡하게 구성되어 있다. Fronts 는 이러한 system 과 system 사이의 대략적인 경계역으로서의 역할을 하고 있으며 (Yanagi et al., 1989; Nagashima and Okazaki, 1979), 동식물플랑크톤의 지리적분포와 깊은 관련을 갖고 있다 (Han et al., 1990). 따라서, 연안역에 형성되는 각종 fronts 를 파악하고, 수괴특성과 관련된 동식물플랑크톤의 지리적 분포양상을 파악하는것은, 유기물질순환, 영양염류의 교환 및 생산력에 관한 coastal ecosystem 과 offshore ecosystem 사이의 상호 관계를 파악하는데 크게 기여되며, 궁극적으로는 연안역의 생물과정을 이해하기위한 유용한 자료로 이용될 것이다 (Loder and Platt, 1984; Fever, 1986).

진해만은 마산만, 행암만, 진동만 그리고 가덕수도 등으로 크게 나누어진다. 그중 마산만은 창원, 마산등의 대형 입해공단의 형성에 따른 생활 및 공장폐수의 방류로 인하여 이미 부영양화 되어있다 (Yang and Hong, 1988; Yang and Hong, 1982; 이등, 1981; 박, 1982). 특히 마산만의 내측은 2-3km의 좁은 수로가 해수교환의 제한요인으로 작용하여, 부영양화 상태에서 과영양화상태로 가속화 시키는 요인중의 하나가 되고 있다. 이해역에서의 식물플랑크톤의 분포패턴은 행암, 진동 및 가덕수도해역에서의 분포패턴과 다소 상이함이 보고되어있으며 (KORDI, 1980; 한, 미발표자료), 적조다발해역으로 지목되고 있다. 또한, 부영양화에 따른 적조원인생물의 격심한 천이현상과 종단순화가 보고되었다 (Yoo and Lee, 1976; Park et al., 1989; Kim, 1989). 이러한 현상을 규명하기 위하여서는 수괴특성과 관련된 동식물플랑크톤의 수직적, 수평적 정밀분포를 파악하는것이 중요함에도 불구하고, 이에 관한

연구는 극히 한정되어 있다. 본연구는 약 10 knots 의 속도로 배를 항주시키면서 짧은 거리간격의 채집을 통하여, 마산만에 있어서의 적조플랑크톤을 포함한 동식물플랑크톤 군집구조와 영양염류의 정밀분포를 파악하고, 수괴특성과 기초생산력을 평가하고자 하였다.

제 2 장 재 료 및 방 법

1. 관측장소와 방법

물리, 화학적 환경요인이 현저하게 변하는 불연속층 (discontinuous layer = front) 을 확인하기 위하여 1989년 10월 26일 마산만의 내측으로 부터 외측의 망와도까지 관측선을 항주시키면서 수심 1m 에서 연속pumping한 해수에 관하여 수온의 연속측정을 행하였으며, 염분은 약 1.5km 마다 채집을 행하였다 (Fig. 1). 그 결과, 정점 3주변에서 수온과 염분이 급속하게 변하였고, 정점4의 외측은 저온,고염의 외해수의 영향을 받고 있어 정점3과 정점4사이가 불연속층임이 밝혀졌다. 그렇지만, 망와도 주변과 진동만입구는 비교적 외해수의 영향을 적게 받고 있었다 (Fig. 2). 상기방법에 의하여 대략적으로 정해진 불연속층을 중심으로 다음날인 10월 27일 최대간조 (13시15분) 의 2시간전 부터 3시간후 까지 짧은거리 간격의 표층수의 mapping을 통한 채집으로, 수온, 염분, chl.a 및 영양염류의 분석을 행하였으며, 불연속층을 중심으로한 4개 정점에 대하여 표층수와 같은 항목의 층별채집을 행하였다 (Fig. 3).

2. 환경요인

환경요인으로서는 수온 (Yellow Spring Instrument Co, model no. 33) 및 염분을 측정하였다. 염분측정은 salinometer (Guildline, Autosal 8400A) 를 이용하였다.

3. 영양염류와 클로로필 a

질산염($\text{NO}_3\text{-N}$), 아질산염($\text{NO}_2\text{-N}$), 암모니아($\text{NH}_4\text{-N}$), 인산염($\text{PO}_4\text{-P}$) 및



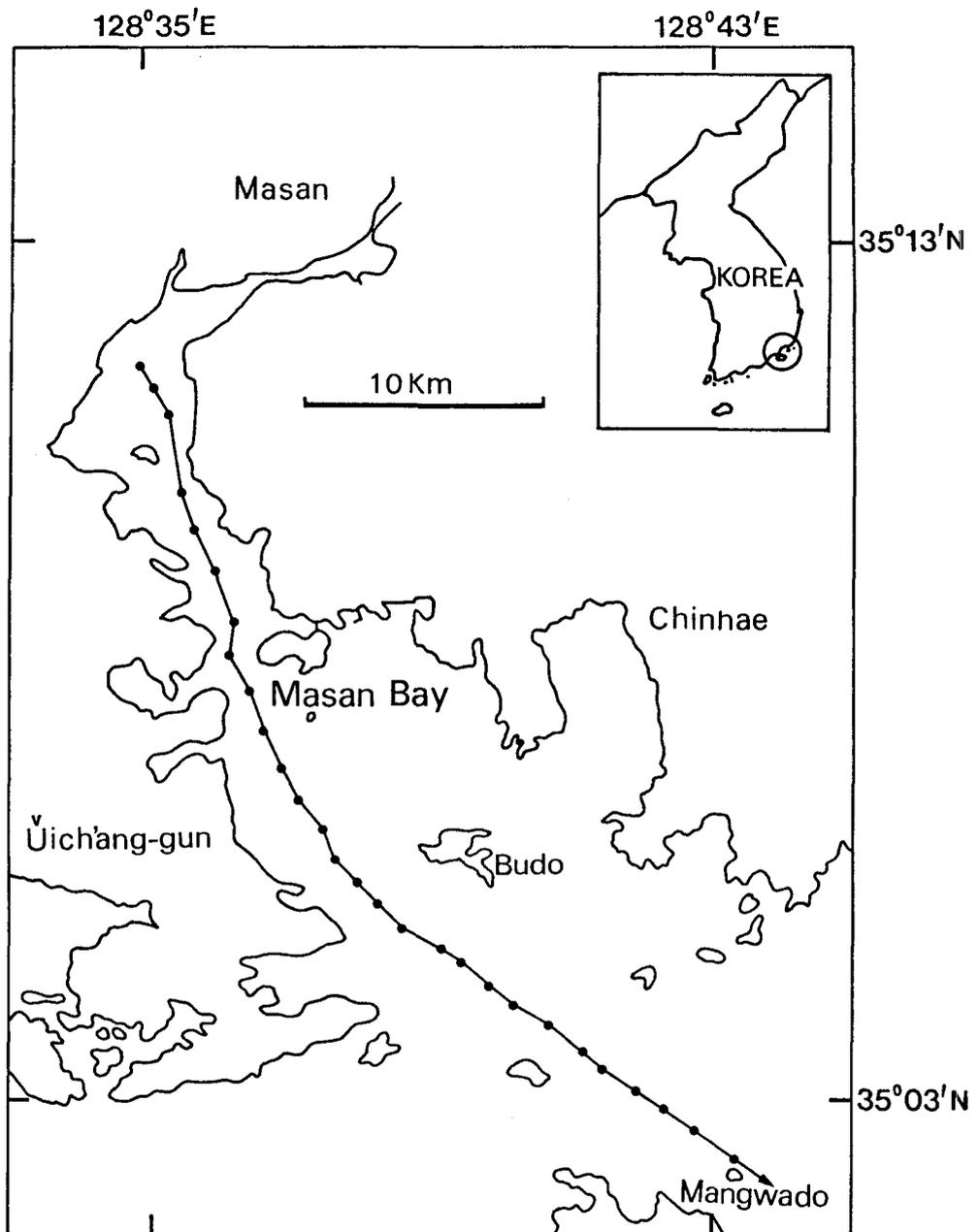


Fig. 1. Map showing the study area and preliminary survey track in Masan Bay in 26 October 1989.

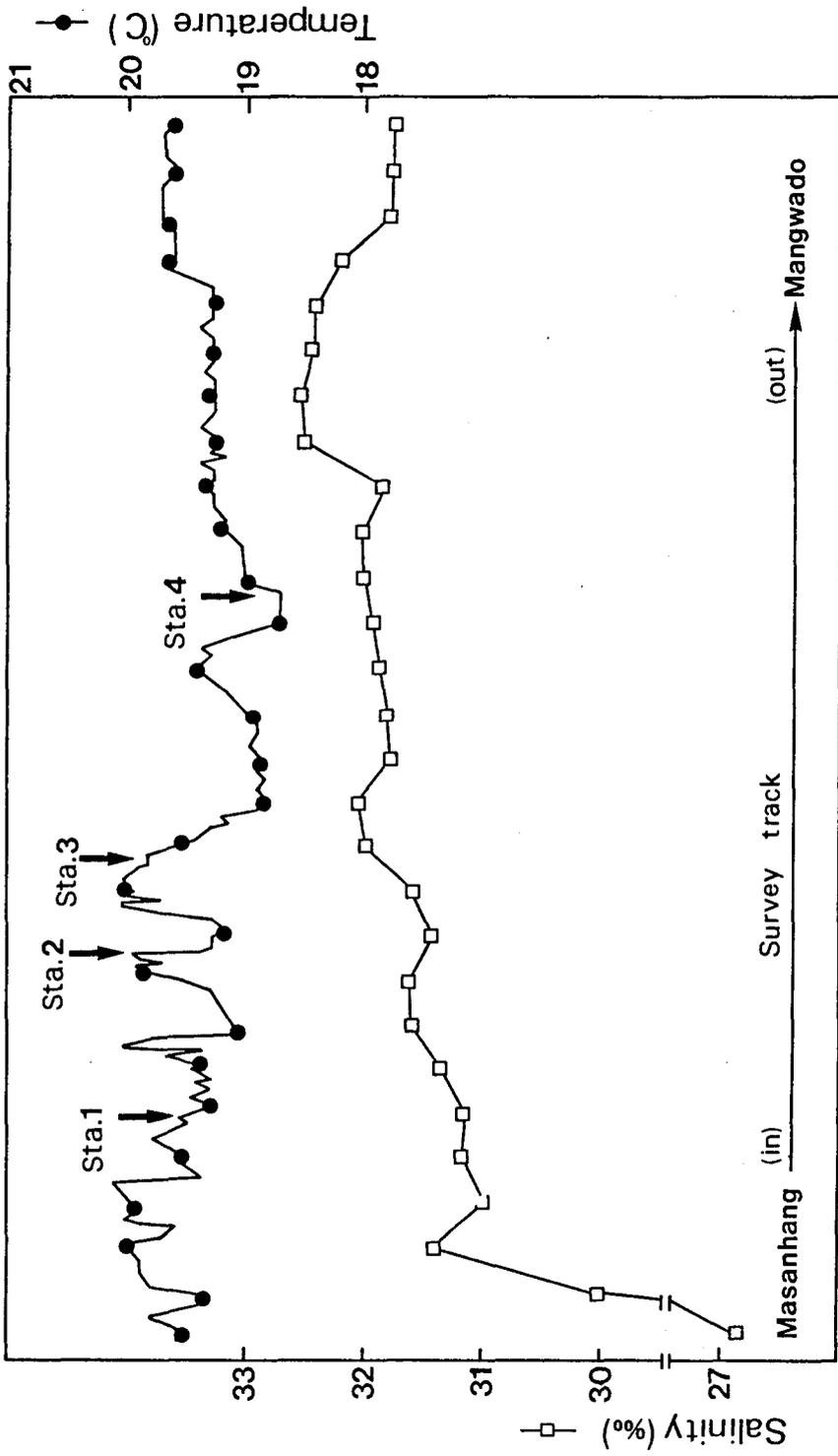


Fig. 2. Horizontal distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity (%) in surface waters in Masan Bay in 26 October 1989.

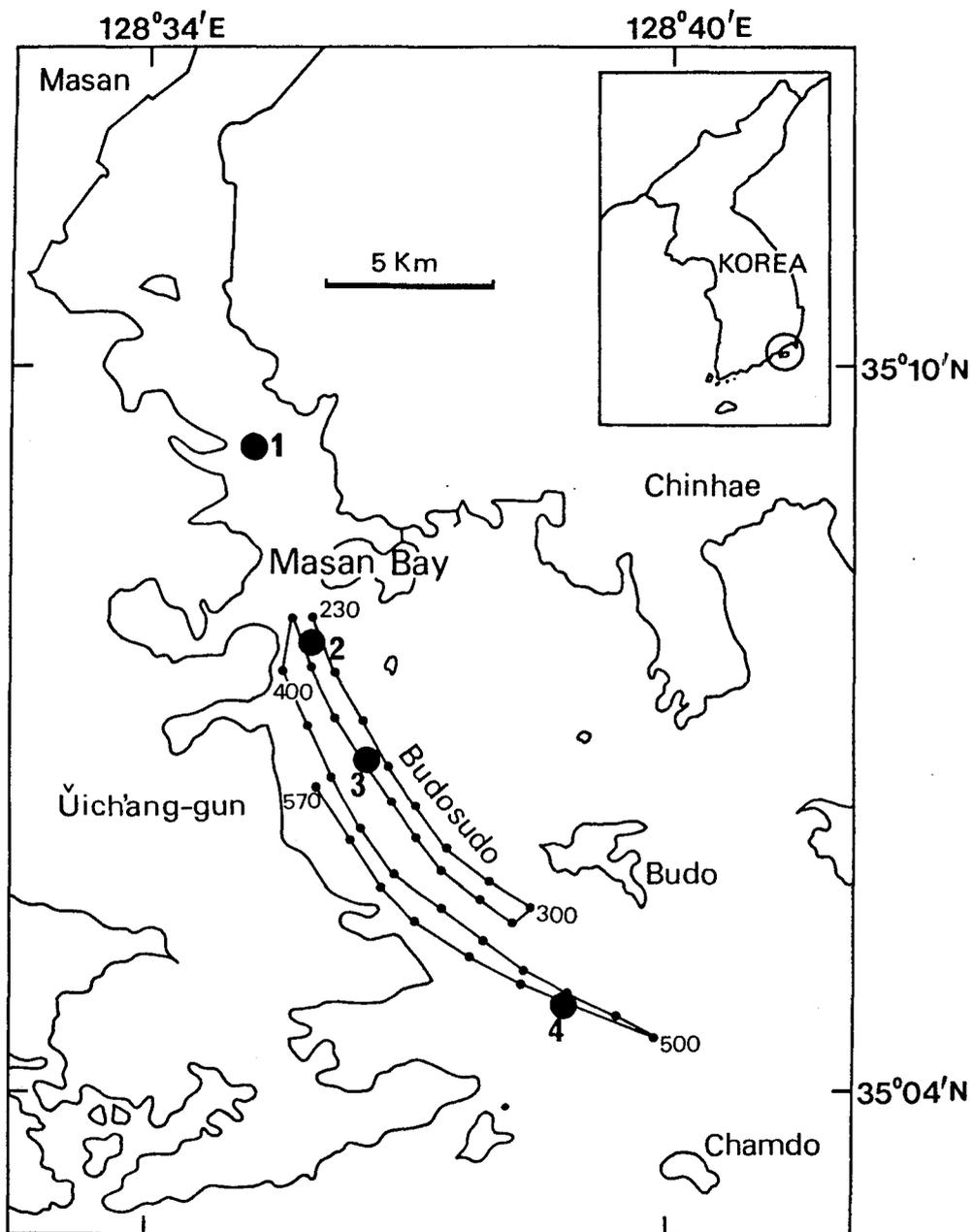


Fig. 3. Sampling stations in Masan Bay in 27 October 1989: \longrightarrow , survey track: \bullet , vetrical sampling stations.

규산염(SiO_2)의 분석은 Parsons 등(1984)의 방법에 의하여 UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu, UV-150-02)로 측정하였다.

Chlorophyll *a*의 측정은 일정량의 해수를 GF/F 필터로 여과한 후 90% acetone 으로 24시간 동안 냉동암실에서 색소를 추출하여 UV-VIS Spectrophotometer 를 이용하여 측정하였다.

4. 기초생산력

기초생산력은 ^{14}C uptake 에 의하여 측정되었다. 300ml 용량의 두개의 light bottle과 한개의 dark bottle 안에 약 200ml 의 해수를 취한후 $10\mu\text{Ci}$ sodium carbonate를 주입하였다. 배양은 선상의 incubation chamber 를 이용하여 자연광 하에서 약 2시간정도로 행하였으며, chamber 안의 배양온도는 표층수를 펌핑하여 순환시키는 방법으로 현장수온을 유지시켰다. 배양이 끝난 각각의 sample은 Whatman GF/F filter 를 사용하여 포집하였으며 각각의 vial에 넣어졌으며, 포집된 sample은 inorganic ^{14}C -carbon 을 제거하기위하여 0.5N HCl을 사용하여 acid fume 시켰다. 이후 각각의 sample 에 약 10ml 의 scintillation cocktail (Insta-gel FX) 을 첨가한후 external standard ^{14}C method 에 의하여 carbon activity 를 측정하였다. 측정기기는 Liquid Scintillation Counter (LKB-wallack, Rackbeta 1215) 를 사용하였다.

5. 식물플랑크톤

채집된 해수는 약 1-2%의 glutaraldehyde 로 고정하여 정성및 정량시료로서 사용하였다. Sadwick Rafter Counting Chamber 를 이용하여 식물플랑크톤의 계수를 하였으며, Phase Contrast Microscope (Zeiss, Axioskop) 를 사용하여 500배 혹은 1250 배하에서 규조류, 와편모조류 및 미소편모조류의 동정을 행하였다.

6. 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 conical plankton net (망구 30cm, 망목 100 μ m)를 사용하여 정량 채집하였다. 각 정점의 수심 10-20m에서 수심으로 부터 수표면까지 약 1m/s 의 속도로 수직 예망된 시료는 선상에서 5%중성 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하였다.

재료의 정량적 분석은 농축된 시료를 회석병에서 균일하게 섞은 후 10ml를 취하여 Bogorov counting chamber에 넣고 해부현미경 하에서 계수하였으며, 이를 다시 단위체적당 개체수 (indiv./m³)로 환산하였다.

종의 동정은 binocular compound microscope하에서 실시되었다. 갑각류 플랑크톤은 각 개체를 lactic acid로 연화한 후 lignin pink 로 염색하여 영구 프레파라트를 만든 후 관찰하였으며, 나머지는 methylene blue로 염색하여 검경하였다.

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 수괴특성과 chlorophyll a

1. 수평분포

부도수도해역에 있어서의 표층수에 대한 수온, 염분 및 chl.a 의 정밀분포를 Fig. 4에 표시하였다. 부도수도해역의 수온 분포는 다소 복잡하게 분포되어 있어 뚜렷한 경향성을 찾아보기는 어려우나, Fig. 2에서 밝혀진바와 내만에서 외만으로 향할수록 수온은 점진적으로 약 0.6°C 정도가 낮아지고 있다. 정점3 부근에서 다소 수온이 상승된 수괴가 관찰되었다.

염분은 반대로 내만에서 외만으로 향할수록 점진적으로 높아지고 있다. 정점3 부근에서 다소 변화폭이 큰것으로 관찰되었다. 내만측과 외만측의 염분차는 약 1.6‰로 수온보다는 다소 크게 변하였다.

chlorophyll a 는 내만측이 30 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 값을 보였으며, 외만측에서는 5 $\mu\text{g}/\ell$ 이하의 낮은 값을 보였다. 그렇지만, 부도수도해역의 정점 3과 정점 4를 연결하는 해역을 중심으로 40 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 매우 높은 값을 보였고, 80 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 값을 보인 플랑크톤의 3개의 patch가 관찰되었다. 부도수도해역의 북동측이 남서측보다 chl.a 값이 다소 낮고, 염분은 다소 높은 듯하다.

2. 수직분포

부도수도해역을 포함한 마산만의 4개 정점에서 층별채집을 통한 수온, 염분 및 chl.a 의 수직분포를 Fig. 5에 표시하였다. 정점3의 표층에서 약간 높은 경향을 보이거나 전반적으로 4개 정점이 유사한 경향을 보여 저층으로 향할수록 온도가 낮다.

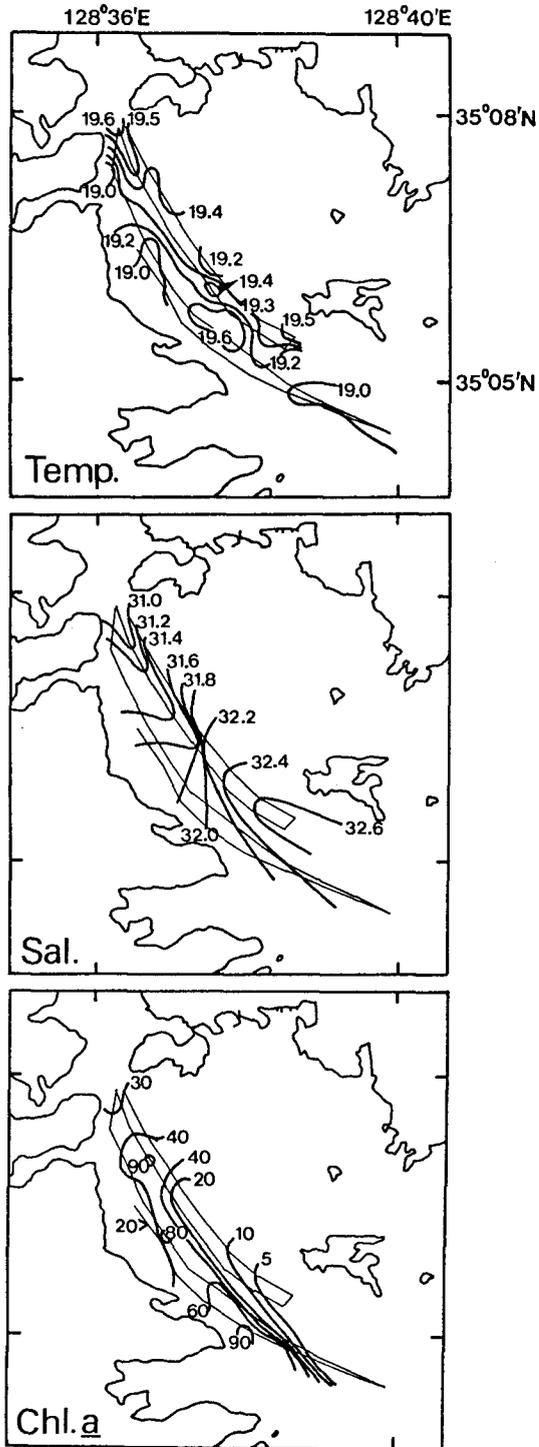


Fig. 4. Horizontal distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (‰) and chl. a ($\mu\text{g}/\ell$) in Budosudo region in 27 October 1989.

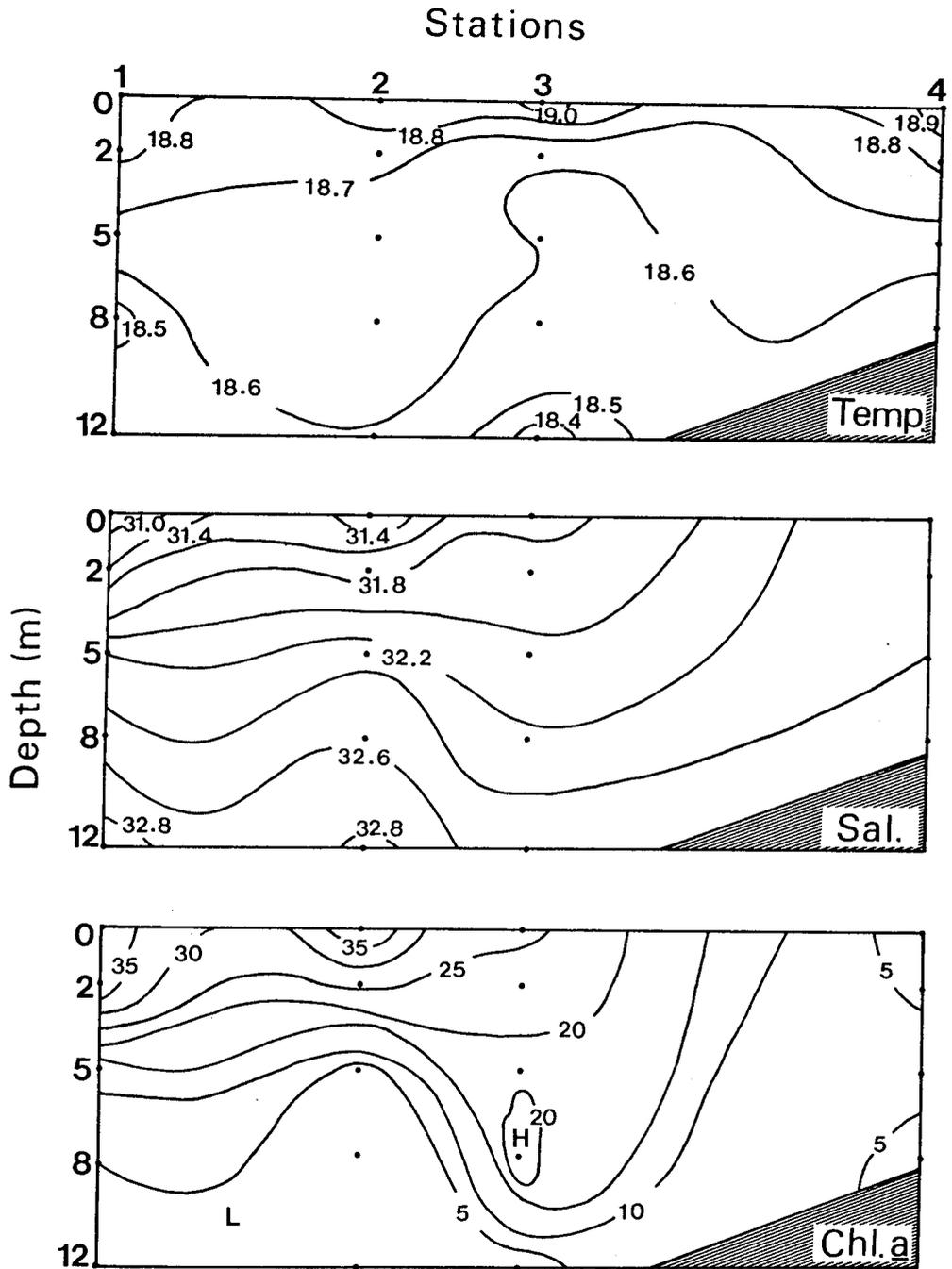


Fig. 5. Vertical distribution of temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity (%) and chl. *a* ($\mu\text{g/l}$) in Masan Bay in 27 October 1989.

염분의 공간분포는 수평적으로는 정점1에서 정점4로 향할수록 높아지고 있다. 수직적으로는 정점 1,2, 및 3의 경우, 표층에서 저층으로 향할수록 염분은 높아져 수괴의 성층화 현상이 두드러졌다. 정점4의 염분의 수직분포는 32.32% 에서 32.46%로 정점 1,2,3 과는 대조적으로 수괴가 잘 혼합되어 있다.

클로로필의 공간분포는 정점 1,2, 및 3이 정점4 보다 훨씬 높고, 특히 2m이상의 상층부에서는 20 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 높은 값을 보였다. 정점 3에서는 8m층까지 높은 chl.a의 값을 보인것이 특징적이었다. 정점 4에서, 수직적으로 3.1 $\mu\text{g}/\ell$ 에서 7.1 $\mu\text{g}/\ell$ 으로 내만측의 정점들에 비해 낮은 값을 보였다.

상기의 수괴특성과 chl.a 의 분포패턴으로 보아 정점3과 4사이에 불연속층이 형성되어 외만수와 내만수의 경계를 이루고 있으며, 이 불연속층의 내측에는 성층화현상이 뚜렷한 내만성의 수괴 (stratified waters) 가 존재하고 외측에는 잘 혼합된 외만성의 수괴 (well mixed waters) 가 존재하고 있는것으로 밝혀졌다. 이러한 특징은 tidal fronts의 대표적인 양상과 잘 일치되고 있다 (Pingree et al., 1977; Yanagi and Ohba, 1985; Yanagi, 1987). 수평적으로 볼때는 부도수도해역의 북동측이 남서측보다 외해수의 영향을 다소 많이 받는 듯하다.

제 2절 영양염류

1. 수평분포

부도수도해역의 표층수에 대한 암모니아, 아초산, 초산, 인산 및 규산염의 수평적분포를 Fig. 6에 표시하였다. 전반적으로 모든 영양염류는 정점4의 외측에서 현저하게 감소되었다. 암모니아는 부도수도해역의 서남측 연안에서 높은 값을 보였고, 정점4의 외측에서는 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 이하로 현저히 값이 낮아

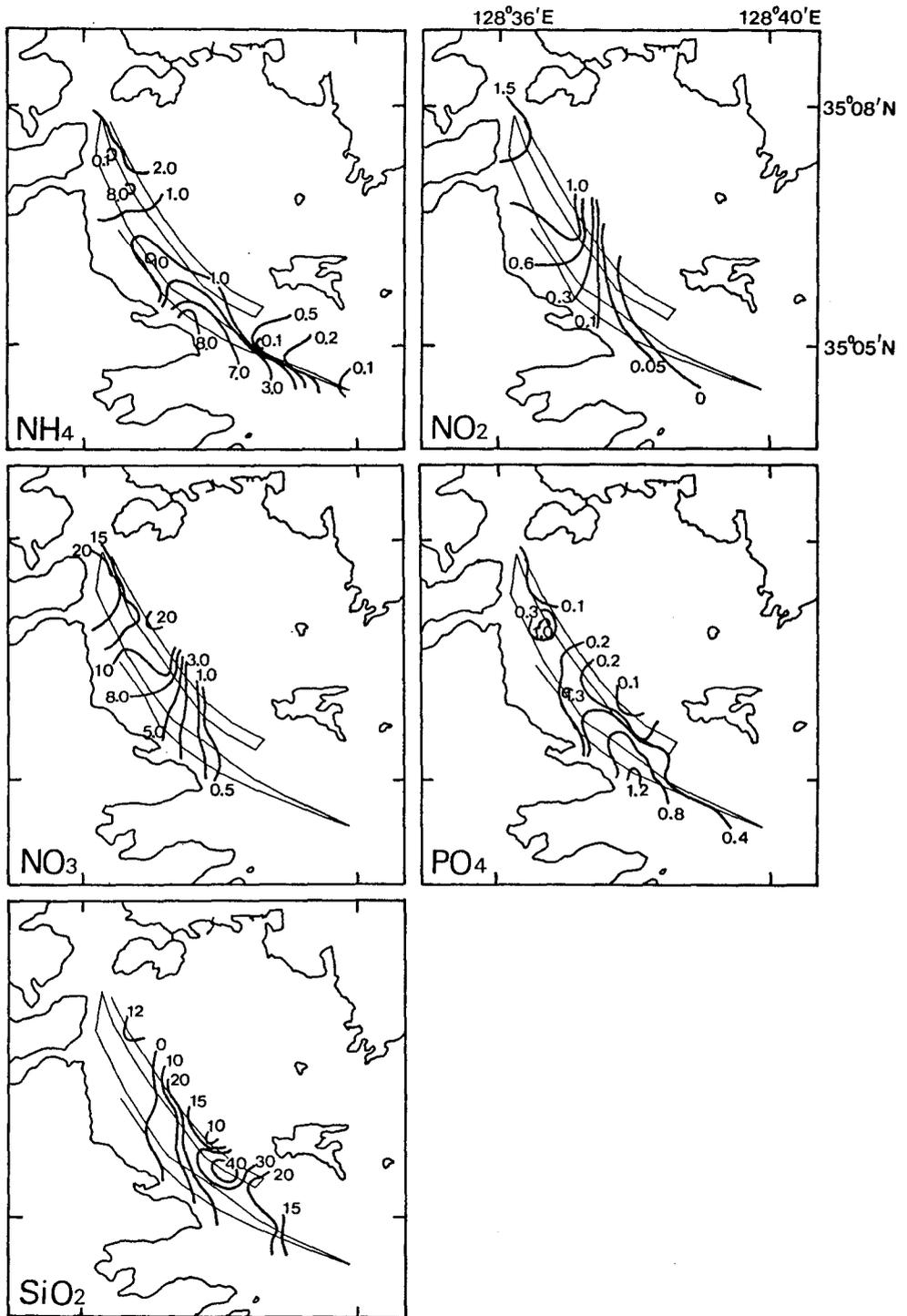


Fig. 6. Horizontal distribution of nutrients ($\mu\text{g-atm./l}$) in Budosudo region in 27 October 1989: NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 and SiO_2 .

졌다. 그리고 chl.a 값이 80 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 높은 값으로 patch를 형성한 3개 지점에서 암모니아의 값은 7 $\mu\text{g}/\ell$ 이상으로 상당히 높게 관찰되었다.

초산과 아초산의 수평분포는 유사한 패턴을 보여, 내만측에서 외만측으로 갈수록 점진적으로 감소 하였다. 아초산은 정점4를 포함한 외만측에서 검출이 되지않을 정도로 감소하였다. 초산은 내만측에서 0.5 - 20 $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위에서 변화하였으며, 아초산은 0.05 - 1.5 $\mu\text{g}/\ell$ 범위에서 변화하였다.

인산염의 분포는 암모니아와 유사하여, 부도수도해역의 서남측 연안에서 높게 분포하였다. 정점4의 외측에서는 값이 검출되지 않았다. 또한 chl.a 값이 80 $\mu\text{g}/\ell$ 이상의 3개 지점에서 인산염의 값이 1.0 $\mu\text{g}/\ell$ 이상으로 타지역보다 상대적으로 높게 관찰되었다.

규산염의 분포는 질소원의 영양염류및 인산염의 분포와는 양상이 달라, 정점4의 외측에서는 비교적 풍부하여 15 $\mu\text{g}/\ell$ 이하였으며 오히려 정점2의 내만측은 규산염이 거의 검출되지 않을 정도로 고갈되어 있었다. 그리고 정점3을 중심으로 상당히 높은 값을 보이고 있어, 최고치는 48.5 $\mu\text{g}/\ell$ 였다.

2. 수직분포

부도수도해역을 포함한 4개정점에 대한 암모니아, 아초산, 초산 등의 공간분포를 Fig. 7 에 표시하였다. 암모니아의 공간분포는 수평적으로 정점1에서 정점4로 향할수록 낮아지고 있다. 수직적으로는 정점 1,2, 및 3 의 경우, 상층에서 높은 경향을 띄고 있으며, 정점3의 2m층에서는 21.08 $\mu\text{g}/\ell$ 로 최고치를 띄었다. 정점4의 경우는 정점 1,2,3 과는 대조적으로 0.37 - 1.18 $\mu\text{g}/\ell$ 로 낮았다.

초산염과 인산염의 분포는 암모니아와 유사하여, 수평적으로는 정점1에서 정점4로 향할수록 낮아지고, 수직적으로는 정점 1,2, 및 3 의 경우, 상층에서 높은 경향을 띄고 있다. 정점4의 전층과 정점3의 하층부에서, 아초산염은 0.1

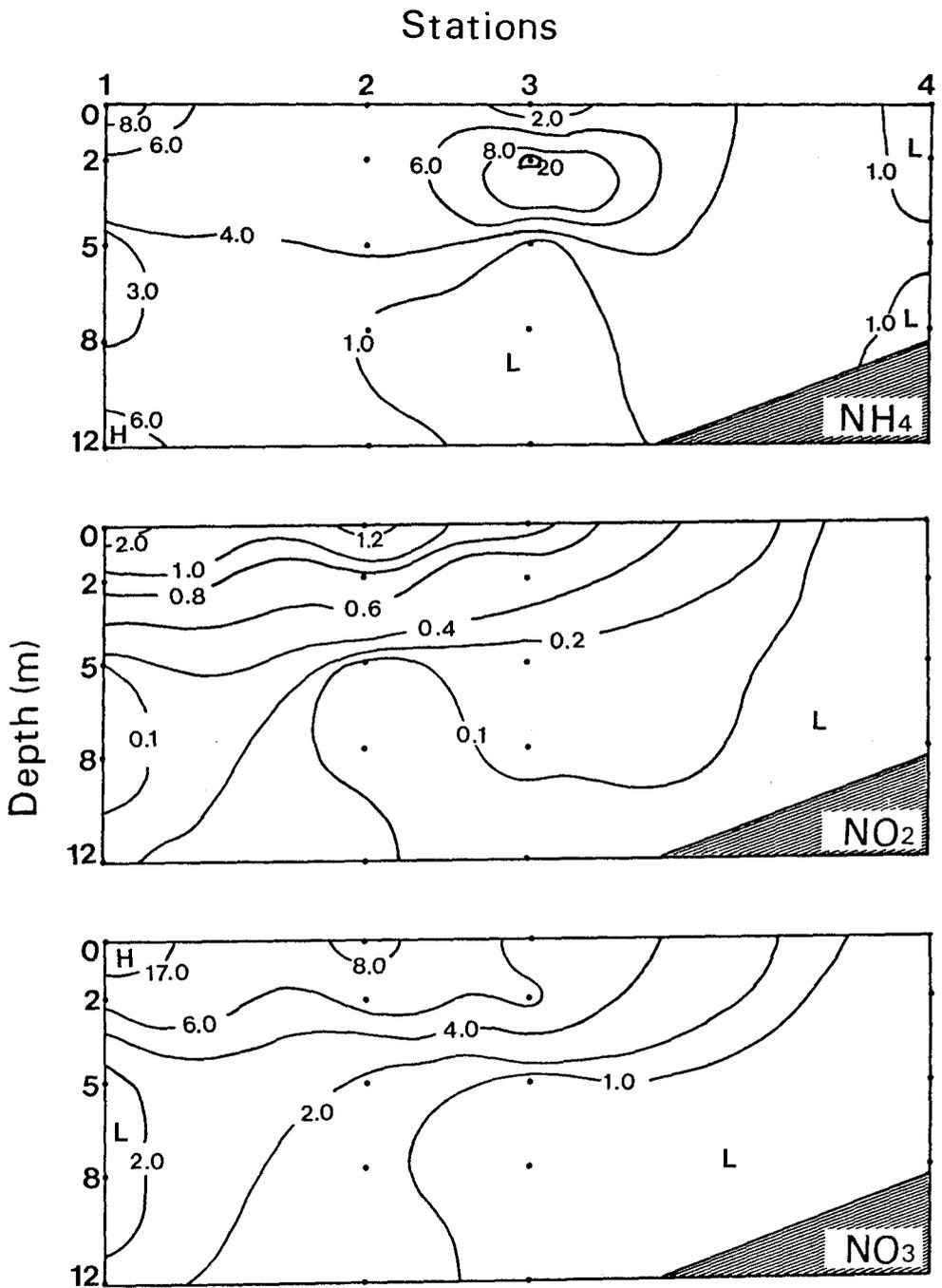


Fig. 7. Vertical distribution of nutrients ($\mu\text{g-atm./l}$) in Masan Bay in 27 October 1989 (I): NH_4 , NO_2 and NO_3 .

$\mu\text{g}/\ell$ 이하로 검출되지 않은곳이 대부분이었고, 초산염은 $1.0 \mu\text{g}/\ell$ 이하의 낮은 값을 보였다. 정점 1,2, 및 3의 상층부에서 아초산염은 $2.25 \mu\text{g}/\ell$ (정점1의 표층) 가 최대치였으며, 초산염의 경우는 $17.29 \mu\text{g}/\ell$ (정점1의 표층) 가 최대치였다.

인산염과 규산염의 공간적분포는 Fig. 8 에 표시하였다. 인산염은 수평적으로 정점1에서 정점4로 향할수록 낮아지고 있다. 수직적으로는 정점 1,2의 하층부에서 비교적 높은 경향을 보여, 정점1의 12m층, 정점2의 5m층 및 정점3의 2m층에서 $1.0 \mu\text{g}/\ell$ 이상의 높은 값을 보였다. 외만측인 정점3의 8m층과 정점3의 5m층이하 및 정점4의 전층에서 $0.4 \mu\text{g}/\ell$ 이하의 낮은 값을 보였다.

규산염의 분포는 질소원의 영양염류및 인산염의 분포와는 양상이 달라, 하층부에서 상당히 높은 값을 보였다. 정점1과2의 12m층에서는 각각 $131.9 \mu\text{g}/\ell$ 와 $113.5 \mu\text{g}/\ell$ 였다. 전반적으로 각정점의 상층부의 규산염값이 낮았으며 정점4는 내만측의 수괴에 비해 다소 낮았다.

이상의 결과로 보아 정점3의 내측에서 chl.a 의 값이 높고, 규산염이 현저하게 낮은것으로 보아 규산염은 식물플랑크톤에 의해 소모되어 고갈된 것으로 판단된다. 이러한 현상은 Officer and Ryther (1980) 가 암시한 바와 같이 이 지역에서의 규산염의 고갈은 식물플랑크톤 blooming 의 쇠퇴와 천이의 원인이 될것이다. 그리고 암모니아와 인산염이 높은곳에서 식물플랑크톤의 (chl. a 값에 의한) patch 가 형성된 것으로 사료된다. 또한 규산염과 인산염의 값이 저층수에서 높은것으로 보아 규산염은 해저퇴적층으로부터 유리되는 듯하다. 이외의 암모니아, 초산염 및 아초산염 분포는 상층수에서 높은것으로 보아 육수 혹은 연안으로부터 유입되는 듯하다. 그리고 정점4에서 각종 영양염류가 현저하게 감소되는 현상은 이 지역에서 chl.a의 감소와 아주 잘 일치되고 있다. 이러한 결과로 부터 정점3과 4사이의 불연속층해역

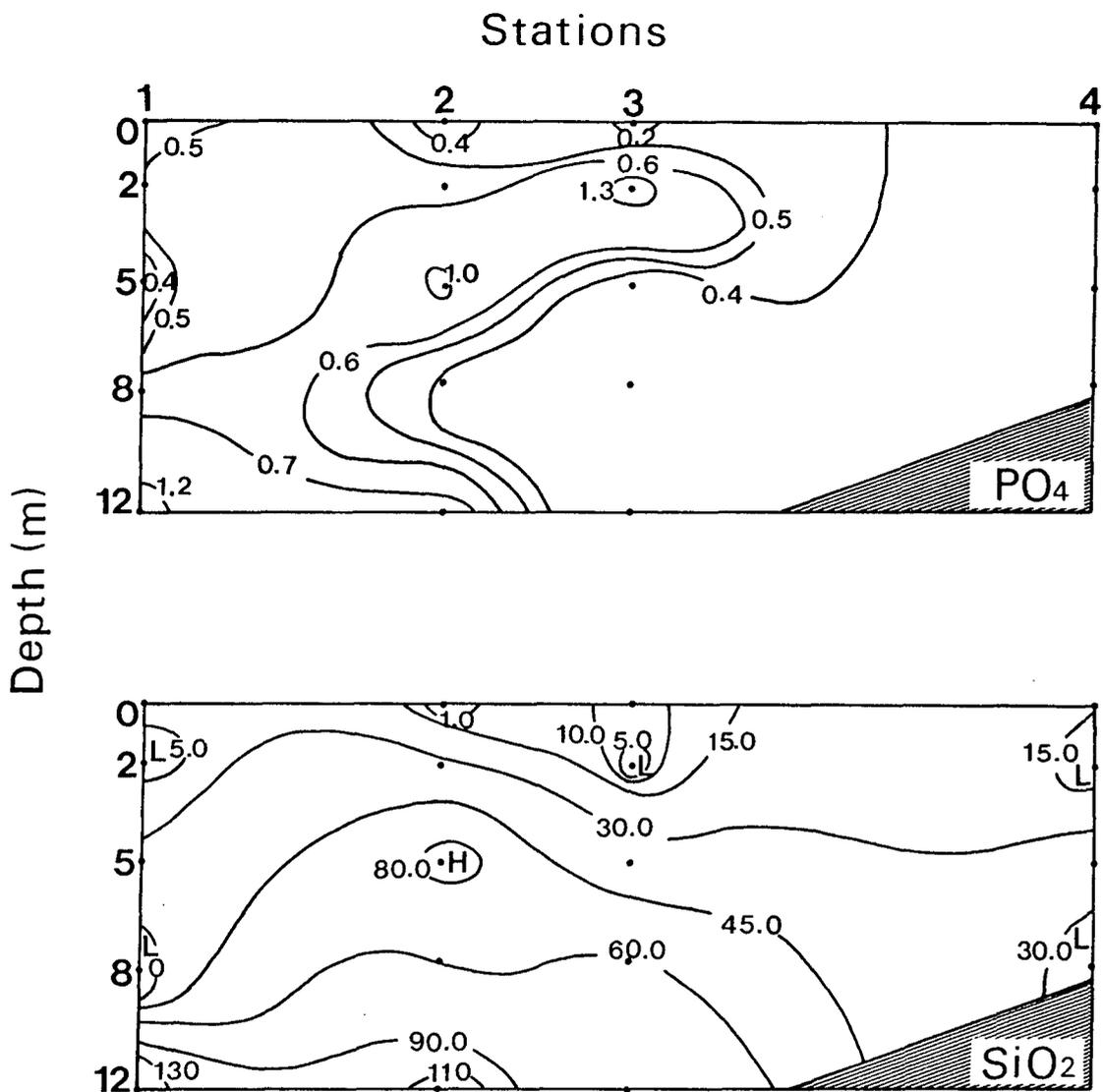


Fig. 8. Vertical distribution of nutrients ($\mu\text{g-atm./l}$) in Masan Bay in 27 October 1989 (II): PO_4 , SiO_2 .

(frontal region) 은 외만수와 내만수의 경계역활을 하고 있다고 사료된다.

제 3 절 식물플랑크톤의 군집구조

1. 출현종의 조성

조사해역의 출현종은 총 85종으로서 규조류 55종, 와편모조류 25종 미소편모조류 5종으로 밝혀졌다. 규조류는 주로 중심목 (centrales) 이 대부분이었으며, 그중에서도 Chaetoceros 속이 14종 그리고 Rhizosolenia 속이 11종으로 가장 중요하였다. 우상목에 속하는 종으로서는 Navicula, Nitzchia, 그리고 Thalassionema 속의 종이 약간씩 출현하였을 뿐이다. 와편모조류는 Protoperidinium 이 11종으로 가장 많은 종류가 출현하였으나 양적으로는 매우적었으며, 오히려 Prorocentrum속, Gymnodinium속 및 Protogonyaulax속이 출현종수는 적으나 양적으로 와편모조류의 대부분을 차지 하였다. 세포의 크기가 작고, 고정이 까다로운 미소편모조류는 광학현미경하에서의 동정은 genus 정도까지가 가능한것으로 알려져 있다. 이들은 본조사해역에서 수량면에서 규조류나 와편모조류보다는 훨씬 적었다. 규조류의 Rhizosolenia속 중 R. alata, R. calca-avis, R. robusta, 및 R. stolterforthii은 oceanic species 로 알려져 있다 (Cupp, 1943) 이들종은 대부분이 외해수의 영향을 받은 정점 4근처에서 발견되고 있었다 (Table 1).

2. 적조플랑크톤

가. Patch의 분포

조사해역에서 bloom (1000000 cells/L 이상) 을 형성한 종은 Chaetoceros lorenzianus, C. socialis, Fragilaria sp., Skeletonema costatum 및

Table 1. Distribution and abundance (cells/ℓ) of offshore and oceanic species in Masan Bay in October 1989.

species	Sta. 300	310	320	330	390	450
<u>Rhizosolenia alata</u>			1468			24806
<u>R. calca-avis</u>		3586				
<u>R. robusta</u>	3068					
<u>R. stolterforthii</u>		3586		6574	43220	

species	Sta. 480	490	1-8m	1-12m	2-0m	2-8m
<u>Rhizosolenia alata</u>	8868	16968		714m	19959	
<u>R. calca-avis</u>						5057
<u>R. robusta</u>	4434		678			
<u>R. stolterforthii</u>						

species	Sta. 2-12m	4-0m	4-2m	4-5m
<u>Rhizosolenia alata</u>	942	7776	4619	4425
<u>R. calca-avis</u>			6929	4425
<u>R. robusta</u>				4425
<u>R. stolterforthii</u>				

Gymnodinium sanguineum 의 5종으로 나타났다. 따라서 이들종을 조사기간중의 적조 원인플랑크톤으로 간주하였다. 부도수도해역의 표층수에 대한 적조플랑크톤 patch의 분포를 Fig. 9에 표시하였다. 4종의 규조류와 1종의 와편모조류로 구성된 5종의 적조플랑크톤에 대한 세포수는 외만측을 향할 수록 점진적으로 감소되어, 외만측과 내만측의 세포수는 약 100배 정도로 상당한 차이를 보였다. 4종의 규조류에 의해 형성된 각 patch의 분포는 제각기 달라 분포의 경향성은 찾아볼 수가 없었다. 이에 비해 와편모조류인 G. sanguineum은 부도수도해역의 서남측 연안을 중심으로 비교적 광역의 patch를 형성하고 있었다. 이러한 분포패턴은 암모니아와 인산염의 분포패턴과 유사하여, G. sanguineum과 암모니아 및 인산염 사이에는 밀접한 관계가 있는 것으로 암시되었다.

나. 수직분포

부도수도해역을 포함한 4개정점의 Chaetoceros lorenzianus, C. socialis, Fragilaria sp. 의 공간분포를 Fig. 10에 표시하였다. 각 종의 세포수는 수평적으로 정점1에서 정점4로 향할수록 낮아지고 있다. 수직적으로는 정점 1,2, 및 3의 경우, 상층에서 높은 경향을 띄고 있으며 저층으로 향할 수록 점진적으로 감소하였다. 정점4의 경우는 상층과 하층과의 세포수의 차이는 거의 없어, 이지역의 수괴는 잘 혼합되어 있다는 것을 암시하였다.

Skeletonema costatum 및 Gymnodinium sanguineum 의 공간분포를 Fig. 11에 표시하였다. S. costatum 을 포함한 4종의 규조류는 정점1에서 가장 높은 현종량을 나타내고 있으나, 와편모조류인 G. sanguineum은 정점2의 상층에서 가장 높은 현종량을 보여 수평분포에서도 밝혀진 바와 같이 규조류와는 다소 다른 분포패턴을 보이고 있었다.

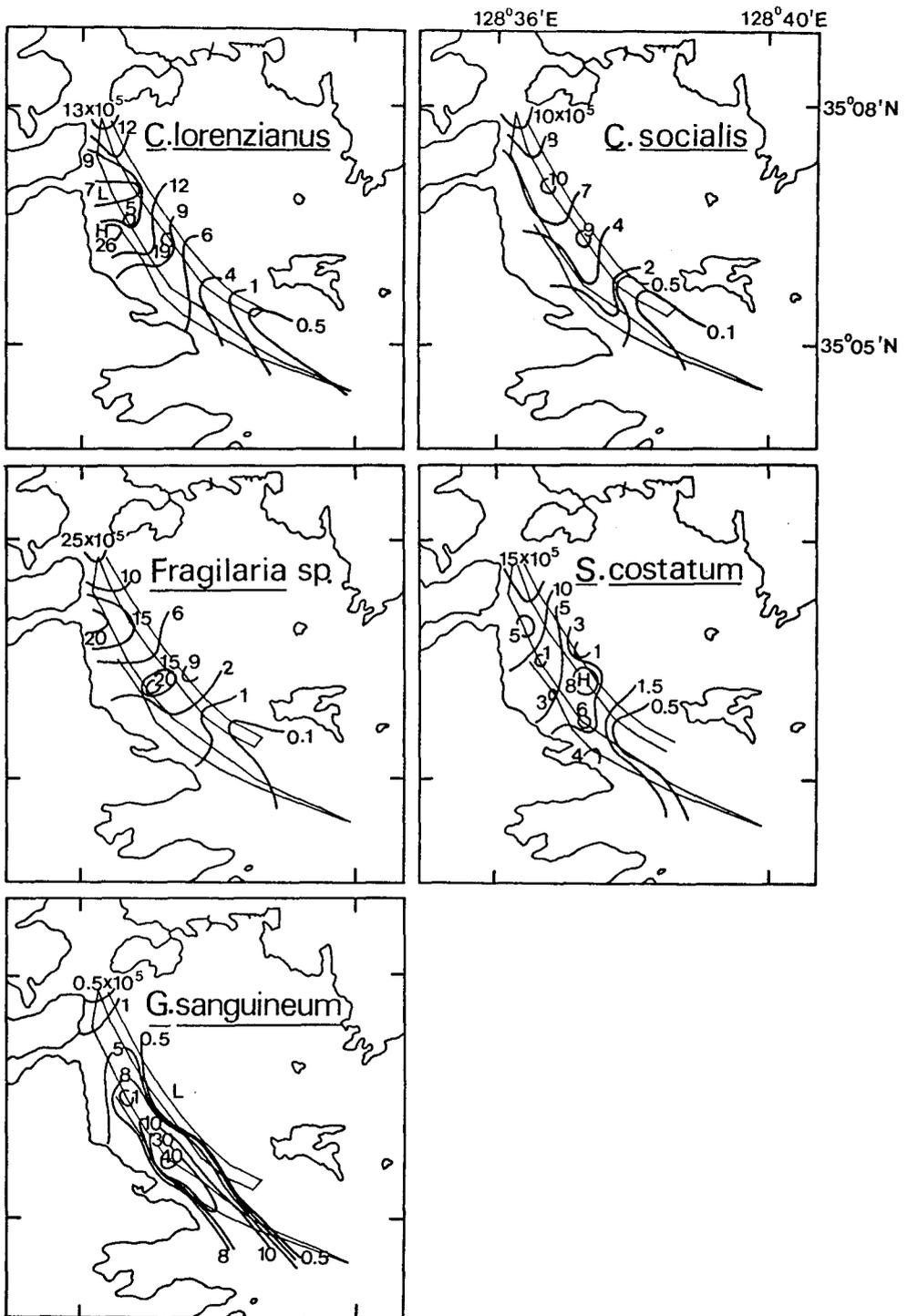


Fig. 9. Patch of red-tide planktons (cells/l) in Budosudo region in 27 October 1989: *Chaetoceros lorenzianus*, *C. socialis*, *Fragilaria* sp., *Skeletonema costatum* and *Gymnodinium sanguineum*.

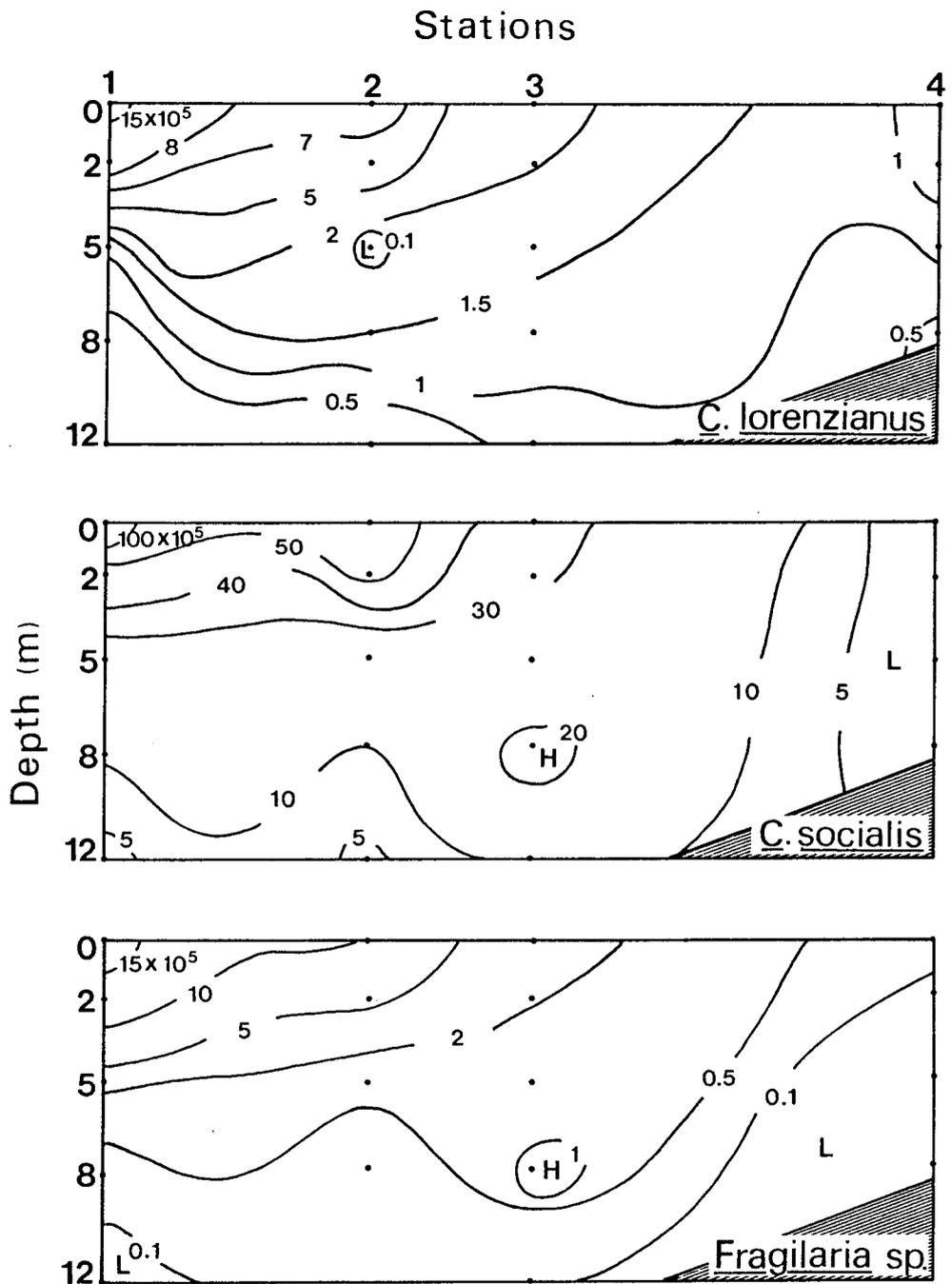


Fig.10. Vertical distribution of Red-tide planktons in Masan Bay in 27 October 1989 (I): *Chaetoceros lorenzianus*, *C. socialis* and *Fragilaria* sp.

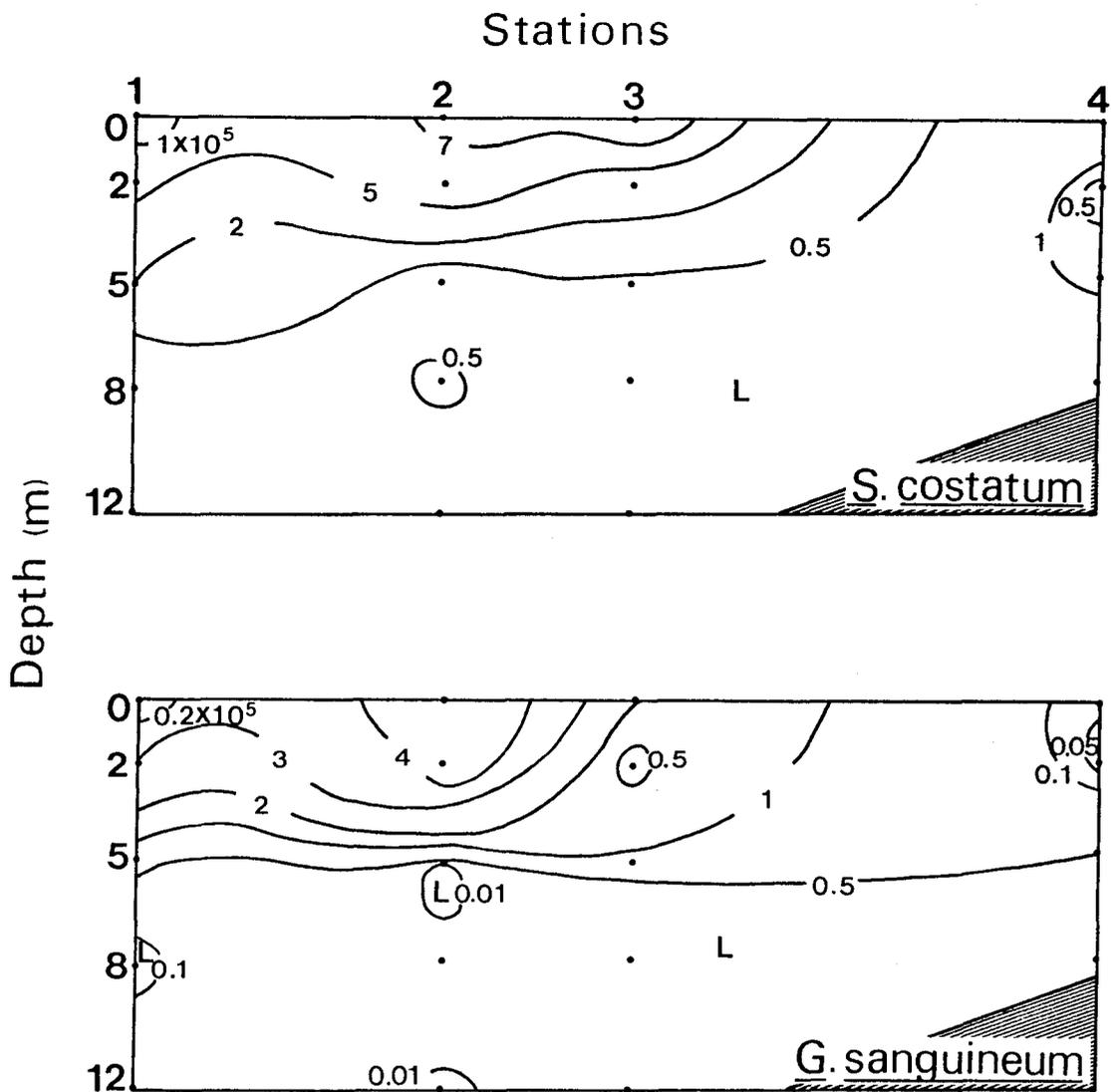


Fig.11. Vertical distribution of Red-tide planktons in Masan Bay in 27 October 1989 (II): *Skeletonema costatum* and *Gymnodinium sanguineum*.

제 4 절 기초생산력

마산만의 4개정점에서 기초생산력을 측정하였다 (Table 2). 기초생산력은 생물량과 chl.a 의 분포와는 달리, 정점4에서 549.9 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 로 가장 높았다. 그리고 정점3에서 106.7 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$, 정점2에서 137.5 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$, 정점1에서 345.1 $\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$ 로 정점4보다는 낮았으나 정점 2와 정점3보다는 내만측의 정점1이 훨씬 높았다. 정점 1,2, 및 3에서 chl.a 은 전날 (10월 27일) 보다 훨씬 적어 10월 28일에는 24.32 $\mu\text{g}/\ell$, 16.74 $\mu\text{g}/\ell$, 9.66 $\mu\text{g}/\ell$ 로 약 0.3에서 0.6배로 감소하였다. 반면에 정점4에서는 19.58 $\mu\text{g}/\ell$ 로 약 6.5배 증가하였다. assimilation index 역시 정점4에서 가장 높아 28.08 $\mu\text{gC}/\mu\text{gchl.a}/\text{h}$ 의 매우 높은 값을 기록하였다. 이처럼 높은 assimilation index는 정점4에서 식물플랑크톤의 광합성 활성이 활발하다는것을 의미하며, 28일의 chl.a 의 증가와 관련이 있다고 사려된다. 그리고 정점1,2, 및 3에서, assimilation index는 정점4보다는 낮으나 8.22-14.19 $\mu\text{gC}/\mu\text{gchl.a}/\text{h}$ 로 비교적 높은값을 보였음에도 불구하고 chl.a 의 양은 현저히 감소하였다. 이것은 Fig. 6에서 보여진 바와 같이 불연속층의 내만측에서 식물플랑크톤에 의한 bloom 으로 규산염의 고갈이 원인이 되어 이해역의 주요 구성종인 규조류의 성장이 억제되었기 때문인 것으로 사료되었다. 다시말하면 부영양화해역이라 할지라도 규산염의 고갈은 식물플랑크톤의 천이와 bloom의 원인이 될 수 있다는것을 암시한다.

제 5 절 동물플랑크톤의 군집구조

1. 출현종의 조성

Table 2. Primary productivity, chl.a and assimilation index in Masan Bay in October 1989.

Date	27 October	28 October		
Stations	chl. <u>a</u> ($\mu\text{g}/\ell$)	chl. <u>a</u> ($\mu\text{g}/\ell$)	Productivity ($\mu\text{gC}/\ell/\text{h}$)	Assimilation index ($\mu\text{gC}/\mu\text{gchl.}\underline{\text{a}}/\text{h}$)
Sta. 1	37.6	24.3	345.05	14.19
Sta. 2	39.6	16.7	137.54	8.22
Sta. 3	26.2	9.7	106.65	11.04
Sta. 4	3.0	19.6	549.87	28.08

채집된 시료중 종 단위까지 분류된 동물플랑크톤은 총 20종이었는데
요각류가 14종 (10속 13종 1 미동정종) 출현하여 가장 다양한 출현 양상을
보였다. 그 외에는 모악류 2종, 지각류 1종, 미충류 2종등이 출현하였다
(Table 3).

정점별로는 정점 2에서 요각류 8종을 비롯한 총 12종의 출현종이
동정됨으로서 가장 다양한 종조성을 나타냈으며, 정점 1에서는 요각류 5종을
포함하여 총 8종이 동정됨으로서 가장 빈약한 종다양성을 나타냈다.

조사된 4개의 전정점에 걸쳐 출현한 종은 총 6종으로서 Noctiluca
scintillans (야광충), Podon polyphemoides (지각류), Acartia omorii,
Oithona davisae, Paracalanus parvus (요각류), Oikopleura dioika
(미충류)등이었다.

Noctiluca scintillans 의 전 정점에 걸친 출현은 추계에 본 조사
해역에서 본종이 광범하게 분포하고 있다는 여러 보고들과 잘 일치하고 있다
(Yoo and Lee, 1987; Lee, 1987).

지각류의 경우, 유와 김 (1987)은 1982년 10월 본 조사 해역에서 Evadne
tergestina, Podon polyphemoides, Penilia avirostris 3종의 출현을 보고한 바
있다. P. polyphemoides 는 본 조사 해역에서 년중 출현하고 있는 것이
보고된 바 있으므로 (유와 김, 1987) 본 조사 기간중의 출현 결과와 일치하고
있으나, 뚜렷한 계절적 소장을 보이며 하계에서 추계에 걸쳐 분포하는 것으로
보고된 나머지 2종이 본 조사 기간중 출현하지 않았던 것은 본 해역의 최근
수년간에 걸친 환경 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

본 조사 해역의 정점별 동물플랑크톤 출현량은 다음에서 논의되겠지만,
지각류 2종의 미출현과 더불어 최근 수년간 요각류의 출현종수도 감소해나가는
경향이 관찰되었다. Lee (1989)는 1986-1987년 본 해역에서 요각류 플랑크톤의
월별 군집 동태를 조사하면서 총 30종의 출현을 보고하였으며 1986년 10월에

Table 3. Zooplankton species composition and abundance (indiv./m3) in Masan Bay, Korea in October 1989.
* indicates the abundance less than 5 indiv./m3.

TAXA	Sta.1	Sta.2	Sta.3	Sta.4
PROTOZOA				
<u>Noctiluca scintillans</u>	110	30	270	60
<u>tintinnids</u>	120	5	55	10
CHAETOGNATHA				
<u>Sagitta crassa</u>				*
<u>Sagitta enflata</u>				*
CLADOCERA				
<u>Podon polypehmoides</u>	100	10	250	100
COPEPODA				
<u>Acartia omorii</u>	*	*	*	*
<u>Acartia pacifica</u>				*
<u>Calanus sinicus</u>		*		*
<u>Centropages abdominalis</u>		*		
<u>Corycaeus affinis</u>				*
<u>Corycaeus speciosus</u>				*
<u>Euterpina acutifrons</u>	10	5	10	
<u>Microsetella norvegica</u>		*	*	*
<u>Oithona brevicornis</u>			*	
<u>Oithona similis</u>		*		
<u>Oithona davisae</u>	50	60	80	25
<u>Oncea venusta</u>				*
<u>Paracalanus parvus</u>	55	30	20	15
<u>Saphirella sp.</u>	*	5	*	
COPEPODID	160	180	230	120
COPEPODA NAUPLIUS	270	50	290	120
APPENDICULARIA				
<u>Oikopleura dioika</u>	140	40	200	100
<u>Oikopleura longicaudata</u>				20
POLYCHAETA LARVAE	10	*	15	*
BARNACLE CYPRID		*	*	
BARNACLE NAUPLIUS	25	15	20	*
TOTAL	1,030	430	1,440	570

출현종수가 가장 많아 우점종인 Acartia omorii와 Oithona davisae 를 포함한 총 19종의 출현을 보고하였다. 그러나 본 조사는 Lee (1989)와 같은 계절에 유사한 방법으로 동물플랑크톤을 채집하였음에도 불구하고 요각류 플랑크톤이 14종밖에 출현하지 않았다. 따라서 최근 3년 사이의 본 해역의 환경 변화가 Acartia erythrea를 비롯한 5종의 요각류의 분포 제한 요인으로 작용하고 있다고 추정된다.

식물플랑크톤의 경우, 부영양화가 진행되는 해역에서 생물량의 뚜렷한 변화없이 종조성의 단순화 경향을 나타내는데, 부영양화가 극심하여 적조 다발 해역으로 알려진 본 해역에서도 식물플랑크톤의 종조성 단순화가 벌써 진행되어가고 있다고 생각할 수 있다 (Yoo and Lee, 1976). 이와 같은 식물플랑크톤의 종단순화는 동물플랑크톤의 종단순화를 유발하는 요인의 하나로 사료되는데 박과 이 (1982)도 본 해역의 내만으로 갈수록, 특히 수질 오염이 극심해진 최근들어 출현종이 감소하고 있음을 보고하였다. 그러나 Acartia tonsa는 먹이가 되는 식물플랑크톤의 종조성과는 관계없이 식물플랑크톤이 농밀하게 분포하고 있는 연안역에 국한하여 출현하며 식물플랑크톤의 현존량이 낮은 외양역으로 분포를 확장해 나가지 못한다 (Pafenhoffer, 1989). 따라서 본 조사에서 관찰된 최근 수년간의 동물플랑크톤 종단순화 경향은 식물플랑크톤의 종 단순화등의 생물학적 요인과 더불어 부영양화에 따른 본 해역의 생태 변화에 기인된 현상으로 사료된다.

본 조사에서 출현한 요각류의 출현동태에서 관찰된 또 하나의 특징은 Acartia속에 속하는 종들의 출현이 미소했다는 것인데 Acartia속의 종들이 수질이 정제되고 부영양화가 진행된 내만일수록 우점하여 유기오염지표종으로 가치가 있다는 Yamazi (1956)의 보고와는 일치하지 않는 결과라고 할 수 있다.

이상과 같이 본 해역에 출현하는 동물플랑크톤은 부영양화의 진행과 더불어 종단순화가 이루어져 나가고 있다고 추정되나, 생태 변화에 따른

중단순화 현상을 밝히기 위해서는 장기간에 걸친 정기적인 생태조사가 필요하다고 사료된다.

2. 출현종의 공간 분포

정점별 동물플랑크톤의 출현량은 정점 3에서 1,440 indiv./m³로 가장 많았으며 정점 2에서 430 indiv./m³로 가장 적었다 (Fig. 12). 표면수의 chl. a는 정점 2에서 최대치를 기록했으며 정점 4에서 다른 3 정점들의 10% 정도의 미소치를 기록했으나 동물플랑크톤의 출현량과는 뚜렷한 상관 관계가 없었다. 그러나 정점 4의 3.1 $\mu\text{g}/\ell$ 의 적은 chl. a 양은 동물플랑크톤 군집의 먹이로서 충분하다고 추정된다. 즉, 본 조사 해역의 식물플랑크톤의 생물량은 그 전체적인 풍부함에 의해 동물플랑크톤의 출현량을 제한하는 요인으로 작용하지 못하고 있다고 사료된다. 하지만 정점별 chl. a의 수직 분포는 정점 3의 8m 층에서 높게 나타나 수직 예망에 의한 동물플랑크톤의 출현량이 정점 3에서 가장 많았던 것과 일치했다. 따라서 본 해역의 식물플랑크톤의 생물량은 그 풍부함에 기인하여 동물플랑크톤의 출현량을 제한하지는 못하고 있다고 사료되나 chl.a가 높게 나타난 정점에서 동물플랑크톤의 출현량이 증가하는 경향이 관찰되었다. 즉, 표면수의 chl.a 양과는 상관 관계를 보이지 않았던 동물플랑크톤의 출현량이 저층수의 chl.a가 낮은 정점 2에서 가장 낮았고 역으로 정점 3에서는 가장 높았다.

요각류의 식성에 관한 연구로서 Turner (1984)는 Oithona similis가 잡식성이며 그 먹이로서 식물플랑크톤의 기초생산에만 전적으로 의지하지는 않는다고 보고했는데 본 조사 기간중 우점했던 요각류인 O. davisae (Table 3)도 잡식성이라면 본 해역의 동물플랑크톤을 위한 먹이량은 충분하다는 추정을 보완하는 자료라고 할 수있다.

Noctiluca scintillans는 조사된 4개 정점에서 모두 동물플랑크톤

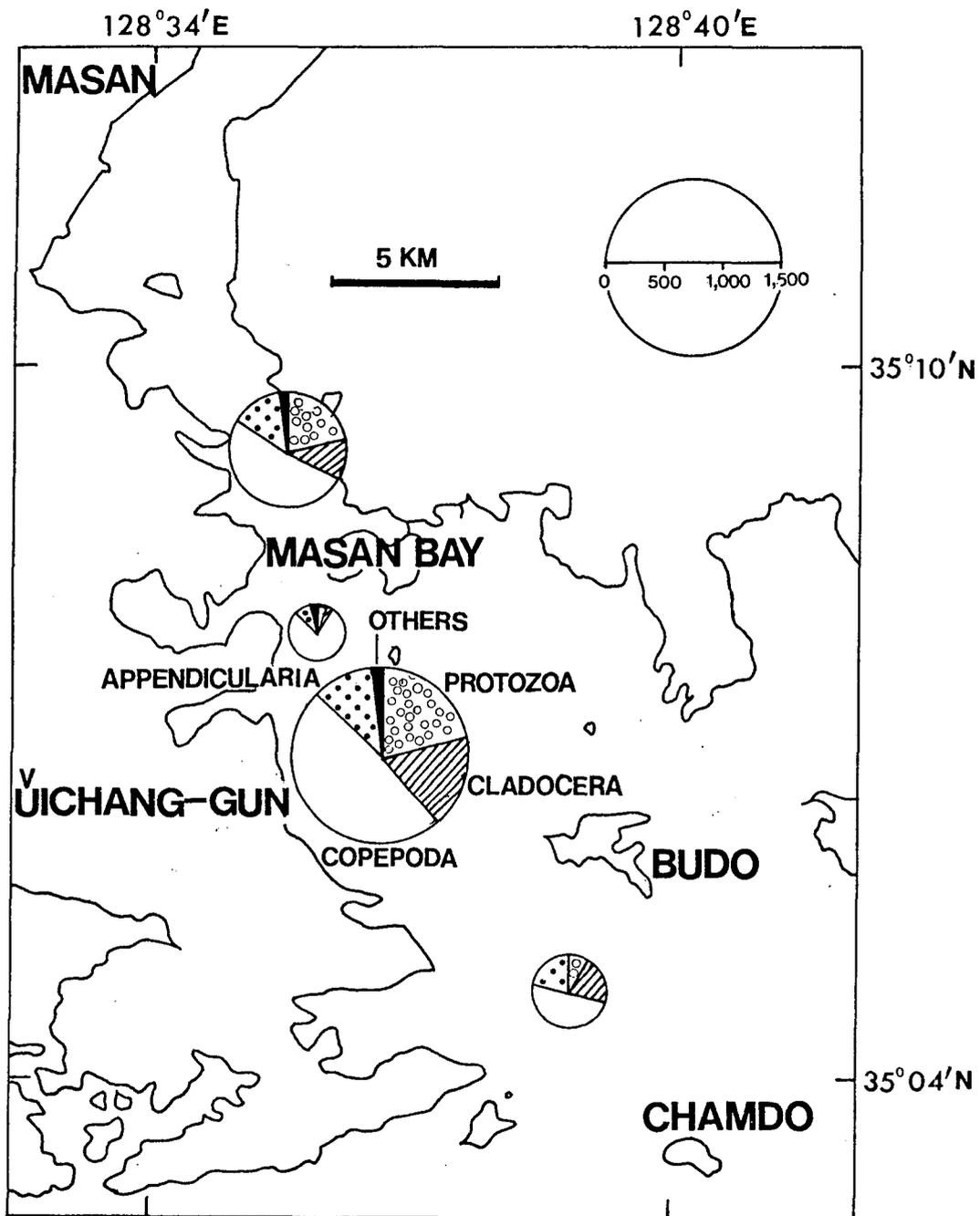


Fig.12. Zooplankton abundance (indiv./m³) in 4 selected station in Masan Bay in Korea in 27 October 1989.

출현량의 10% 내외를 나타내었으며 지각류인 Podon polyphemoides는 정점 2와 정점 4에서 출현량의 17-18%를 기록하였다. 특히 최우점종으로 나타난 P. polyphemoides는 내만성 연안종으로 널리 알려져있으며 그 출현이 극히 내만성입에 기인하여 기수종으로도 분류되는데 (Bosch and Taylor, 1973; Onbe, 1977), 본 종의 우점도를 감안할때 본 조사 해역은 전체적으로 내만성의 특징을 나타내고 있다고 사료된다 (Fig. 12).

동물플랑크톤 중에서 가장 다양한 종조성을 기록하며 출현한 요각류는 유생기의 출현량이 매우 많아 정점 2에서는 출현량의 53%를 기록했으며 나머지 정점들에서도 40% 내외를 기록하였다. 종별 우점도에서는 Oithona davisae가 전 정점에서 출현량의 5-10%를 기록하였으며 Paracalanus parvus도 5% 내외로 전 정점에서 출현하였다 (Fig. 12). 정점별 요각류의 출현량은 정점 3에서 630 indiv./m³로 가장 많았으나, 그 우점도는 정점 2에서 75%로 가장 높았다. 요각류 출현종들은 대부분이 전형적인 내만성 종들로서 지각류의 출현 동태에서와 같이 본 조사 해역의 내만성 특징을 잘 대변하여 주고 있는데 외양과 근해에서 풍부하게 분포하는 Oncaea venusta (Farran, 1929; Wilson, 1950; Owre and Foyo, 1967)의 출현으로 보아 (Table 3) 정점 4는 외해수의 영향을 받고 있다고 사료된다.

미충류에 속하는 Oikopleura dioika는 정점 4에서 동물플랑크톤 출현량의 20% 가까이 출현하여 요각류를 제외하면 지각류인 Podon polyphemoides와 함께 최우점종으로 기록되었으며 나머지 3 정점들에서도 10%내외를 기록하였다. 전형적인 내만종인 O. dioika (Tokioka, 1940)의 전 정점에 걸친 출현은 지각류와 요각류의 출현 양상에서 논의된 바와 같이 본 조사 해역의 내만적 특성을 잘 대변하여 주는 결과라고 사료되나, 연안역뿐만 아니고 외양역에까지도 걸쳐 널리 분포하고 있는 O. longicaudata가 정점 4에서 요각류를 제외하면 지각류인 P. polyphemoides와 함께 최우점종으로 출현한

것은 *Oncaea venusta*의 출현과 마찬가지로 외해수의 유입에 기인된 것으로 추정된다. 미소한 출현량을 기록했으나 정점 4에서 출현한 2종의 모악류중 *Sagita enflata*의 출현은 본 종이 난류 지표종임 (박, 1970)을 감안할 때 요각류와 미충류의 출현 동태에서 관찰된 결과와 잘 부합되는 것으로서 정점 4에 본 조사기간중 난류성 외해수의 유입이 있었음을 시사한다. 이상과 같이 동물플랑크톤의 정점별 출현 동태를 고찰한 결과 정점 1,2,3은 전형적으로 내만성인 특징을 나타내고 있으며 정점 4에서는 미약하나마 외해수의 유입이 이루어지고 있는 것으로 사료된다.

제 4 장 결 론

부영양화에 있어서의 적조원인생물의 격심한 천이현상과 종단순화 그리고 적조발생기구를 파악할 목적으로, 수괴특성과 관련된 동식물플랑크톤의 군집구조와 영양염류에 관한 수직적, 수평적 정밀분포를 파악하고, 기초생산력을 평가하였다.

염분, chl.a 및 영양염류의 수평적 분포는 정점3 부근에서 다소 크게 변화하여, 정점3의 외만측에서 염분이 높고, 영양염류와 chl.a는 현저히 감소하였다. 수직적분포를 보면 정점3을 포함한 내측에는 성층화현상이 뚜렷한 내만성의 수괴 (stratified waters) 가 존재하고 외측에는 잘 혼합된 외만성의 수괴 (well mixed waters) 가 존재하고 있는것으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 정점3과 4사이에는 외만수와 내만수의 경계역활을 하는 불연속층해역 (tidal frontal region) 이 존재하고 있음이 밝혀졌다.

동식물플랑크톤의 분포패턴도 이러한 결과와 잘일치되어 Rhizosolenia alata, R. calca-avis, R. robusta, 및 R. stolterforthii와 같은 외양성 식물플랑크톤과 Oikopleura longicaudata, Oncaea venusta 및 Sagitta enflata의 외양성 동물플랑크톤이 주로 정점4근처에 분포하였다.

식물플랑크톤에 의한 bloom은 영양염류가 풍부한 불연속층의 내측에서 발생하였으며, bloom을 형성한 중요종은 Chaetoceros lorenzianus, C. socialis, Fragilaria sp., Skeletonema costatum 및 Gymnodinium sanguineum의 5종으로 나타났다. 이들 종에 의한 규산염의 고갈은 10월 28일의 chl.a량이 전날(10월 27일) 보다 0.3-0.6배로 현저하게 감소된 원인으로 사료되었다. 즉, 부영양화해역이라 할지라도 규산염의 고갈은 식물플랑크톤 blooming 의 쇠퇴와 천이의 원인이 된다는것을 암시한다. 와편모조류인 G. sanguineum은 부도수도 해역의 서남측 연안을 중심으로 비교적 광역의 patch를 형성하고 있었다.

이러한 분포패턴은 암모니아와 인산염의 분포패턴과 유사하여, G. sanguineum과 암모니아 및 인산염 사이에는 밀접한 관계가 있는 것으로 추측되었다.

마산만내측에 있어서, 규산염은 저층으로 부터 유리되어나오고, 암모니아와 같은 질소원은 연안에서 유입되는 육수로 부터 기인되는듯 하다. 그리고 위에서 설명한 바와같이 적조원인생물과 영양염류(특히 규산염, 암모니아 및 인산염)는 상당히 밀접한 관계를 맺고있다. 이러한 결과로부터, 도시의 팽창화와 임해공단의 급증으로 인한 도시 및 산업폐수의 유입으로인한 부영양화가 마산만에서 항상적으로 발생하는 적조발생의 원인인 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Bosch, H.F. and W.R. Taylor, 1973. Distribution of the cladoceran Podon polyphemoides in the Chesapeake Bay. Mar. Biol., 19: 161-171.
- Han, M.-S., K. Furuya, and T. Nemoto, 1990. Phytoplankton distribution in a frontal region of Tokyo Bay, in November 1985. J. Oceanogr. Soc. Japan 45: 301-309.
- Farran, G.P., 1929. Copepoda. Br. Antatct. Terra Nova Exped., 8: 203-306.
- Fevre, J. L. 1986. Aspects of the biology of frontal systems. In Advances in Marine Biology, (eds.) Blaxter, J. H. S. and A. J. Southward. Academic Press, 163-299.
- 김 학균, 1989. 마산만의 편모조적조의 발생과 환경특성. 박사학위논문, 부산수산대학교, pp. 85.
- 이 원철, 1989. 마산만의 요각류 군집에 대한 생태학적인 연구. 석사학위논문, 한양대학교, pp. 60.
- 이 준백, 1987. 마산만일대 쌍편모조류 군집의 구조와 동태에 관한 연구.

박사학위논문, 한양대학교, pp. 133.

이 진환. 한 명수. 허 형택, 1981. 진해만의 적조원인생물에 관한 연구.
해양연구소보, 3: 97-105.

Loder, J. W. and T. Platt, 1984. Physical controls on phytoplankton
production at tidal fronts. In Proceedings of the Nineteenth
European Marine Biology Symposium, (eds.) P. E. Gibbs, Cambridge
University Press, Cambridge, pp. 3-21.

Officer, C. B. and J. H. Ryther, 1980. The possible importance of
silicon in marine eutrophication. Mar. Ecol. Prog. Ser., 3: 83-91.

Onbe, T., 1977. The biology of marine cladocerans in a warm temperate
water. Proc. Symp. Warm Water Zoopl., Spec. Publ., UNESCO/NIO
(Goa): 383-398.

Owre, H.B. and M. Foyo., 1967. Copepods of the Florida Current. Fauna
Caribaea, Number 1, Crustacea, Part 1: Copepoda, p. 1-137.

Paffenhofer, G.A., 1989. Why is Acartia tonsa restricted to coastal
waters? Mar. Eco. Prog. Ser. ?

박주석, 1970. 한국 근해의 모악류에 관한 연구. 수진연구보고, 6: 1-174.

박주석, 이삼석., 1982. 남해안의 환경 오염 진행과 모악류 및 요각류의 생물학적 오염 지표성 연구. 수진연구보고, 28: 89-126.

Park, J. S., H. G. Kim, and S. G. Lee, 1989. Studies on red tide phenomena in korean coastal waters. In Okaichi, T., D. M. Anderson, and T. Nemoto, (eds.) Red tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology. Elsevier, Amsterdam, pp. 37-40

Pingree, R. D., P. M. Holligan and R. N. Head, 1977. Survival of dinoflagellate blooms in the western English Channel. Nature, 265: 266-269.

Tokioka, T., 1940. Some additional notes on the Japanese appendicularian fauna. Rec. Oceanogr. Wor. Japan., 11: 1-26. (in Japanese)

Turner, J.T., 1984. The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. NOAA Tech. Rep. Natl. Mar. Fish. Ser., 7: 1-28.

Wilson, C.B., 1950. Copepods gathered by the United States fisheries steamer "Albatross" from 1887-1909, chiefly in the Pacific Ocean. Bull. U.S. Nat. Mus., 14: 141-441.

Yamazi, I., 1956. Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan. XIV. Regional characteristics and classification of inlet

waters based on the plankton communities. Publ. Seto. Mar. Biol. Lab., 5: 157-196.

Yanagi, T., 1987. Classification of "Siome", streaks and fronts. J. Oceanogr. Soc. Japan, 45: 149-158.

Yanagi, T., A. Isobe, T. Saino and T. Ishimaru, 1989. Thermohaline front at the mouth of Tokyo Bay in winter. Continent. Shelf Res., 9: 77-91.

Yanagi, T. and T. Obha, 1985. A tidal front in Bungo channel. Bulletin on coastal Oceanography, 23: 19-25. (in Japanese)

Yang, D. B. and G. H. Hong, 1982. Nutrients and chlorophyll *a* variations at a fixed station during the red tides in the Jinhae Bay. J. Oceanol. Soc. Korea. 17: 19-26.

Yang, D. B. and J. S. Hong, 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. Bull. Korean Fish. Soc., 21: 195-205.

Yoo, K.I. and J.B. Lee, 1987. On the trophic correlation between tintinnids and dinoflagellates in Masan Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 20: 230-236.

유 광일. 이 종화, 1976. 마산만의 환경학적특성. 2. 식물성플랑크톤의
연변화. 한국해양학회지, 11: 34-38.

Yoo, K.I. and S.W. Kim. 1987. Seasonal distribution of marine
cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22:
80-86.