

韓國近海 海洋環境圖 作成研究

－東海 南西部 (1次年度)－

A Study on the Oceanographic Atlas
in the Adjacent Seas to Korea
－Southwest of the East Sea－
(First Year)

1995. 5.

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 “韓國近海 海洋環境圖 作成研究 -東海 南西部(1次年度)-”의
報告書로 提出합니다.

1995年 5月 日

韓 國 海 洋 研 究 所

研究總括責任者：卞相慶

分 野 責 任 者

物理海洋學分野：張京一

化學海洋學分野：金銀洙

生物海洋學分野：柳在洛

地質海洋學分野：申東赫

環境圖制作分野：郭熙相

無機炭素測定技術分野：李東燮

要 約 文

I. 題 目

韓國近海 海洋環境圖 作成研究 -東海 南西部 (1次年度)-

II. 研究開發의 必要性 및 目的

1. 物理海洋學的 資料를 蒐集·分析하여 海況과 海水流動의 時·空間的 分布를 把握하고 그 力學的 構造를 糾明함으로써 資源, 環境, 國防등 關聯 分野에 基礎資料를 提供한다.
2. 韓國 東海海域의 海洋化學的 特性調査를 통하여 東海의 化學水質指數의 分布와 汚染現況 및 一次生産力 등을 파악하여 生物資源의 利用과 管理, 海水 溶存資源의 利用 및 海洋環境保全을 위한 基礎資料를 提供한다.
3. 東海의 浮遊·底棲 海洋生物相과 그들의 分布 樣相을 파악하고자 한다. 이러한 生物相과 分布 樣相에 대한 구체적인 자료는 生物多樣性을 보존하고 海洋生物 資源과 주변 環境을 효과적으로 活用하는데 基礎資料로 提供된다.
4. 東海 南西部海域의 地質海洋學 및 地球物理學的 調査研究를 통해 東海의 海洋地質環境에 대한 체계적인 기초자료를 수집하여 海洋環境圖 작성을 목적으로 한다. 특히 금년의 浮遊物質 연구결과는 南海 연안공업단지에서 流出되는 汚染物質의 移動 및 擴散 현상에 대한 중요한 자료로 이용된다.

III. 研究開發의 內容

1. 物理海洋學 分野
 - 가. CTD에 의한 水溫·鹽分·密度 분포
 - 나. ADCP에 의한 海水流動

2. 化學海洋學 分野

- 가. 용존酸素量 (D.O.), pH, 용존성 營養鹽 및 식물플랑크톤 색소량의 分布
- 나. 重金屬의 分布 特性
- 다. 海水의 溶存無機炭素 측정기술 개발

3. 生物海洋學 分野

- 가. 微生物
- 나. 植物플랑크톤
- 다. 動物플랑크톤
- 라. 魚卵과 稚仔魚
- 마. 沿岸資源生物

4. 地質海洋學 分野

- 가. 浮遊物質의 수평적 및 수직적 분포 특성
- 나. 광전도 측정기를 이용한 浮遊物質의 連續觀測技術開發

IV. 研究開發의 結果

1. 物理海洋學 分野

- 가. 1994년 11월 수온·염분 특성분포를 이용한 수괴분석
표층수 : 해수특성범위에 따라 연안역, 외해역 남부, 외해역 북부의 세 그룹으로 구분됨.
동한난류수 : 대마난류 (Tsushima Warm Current)의 한국연안측 북상류 수괴로서 고온·고염 (> 34.4)의 특성을 보유하며, 수직적으로 약 50m 내지 150m 수심에 위치함.
동해중층수 : 상부의 동한난류수와 하부의 동해고유수 사이 (150m ~ 300m)에 존재하는 염분 최소층 ($34.0 < S < 34.1$)으로서 용존산소량 최대층으로 특징지워지기도 함.
동해고유수 : 수심 약 300m 이하에서 동해 전해역에 걸쳐 존재하며, 수온·염분이 균질 ($0.1 < T < 1.0^{\circ}\text{C}$; $S \sim 34.1$)한 해수.
- 나. 1994년 11월 해수의 수직분포

다. 1994년 11월 수심별 수온·염분·밀도의 수평분포

라. 1994년 11월 해수유동

2. 化學海洋學 分野

가. 東海 南西部海域에서의 溶存酸素量, pH, 溶存性 營養鹽 및
식물 플랑크톤 색소량의 分布圖 作成

나. 東海 南西部海域의 重金屬 濃度 分布圖 作成

다. 海水의 溶存無機炭素 측정기술 개발 및 기술동향 분석

3. 生物海洋學 分野

가. 微生物

1994년 11월 東海中西部의 總細菌數 및 細菌生體量과 從屬營養細菌數는 水深의 增加에 따라 減少하여 100 m 이후 水深에서는 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 細菌從屬營養活性은 30 m 水深에서 가장 높았으며 100 m 以深에서는 거의 일정한 分布를 보였다. 總細菌數에 대한 從屬營養細菌數의 比率은 1 % 미만의 낮은 比率을 보였다.

나. 植物플랑크톤

식물플랑크톤의 현존량 분포는 층별, 해역별로 상당히 변화폭이 크게 나타났고, 식물플랑크톤의 현존량은 연안쪽을 중심으로 비교적 높게 나타났다. 그리고 구조류는 1994년 11월 조사에서 우점종으로 나타났다.

다. 動物 플랑크톤

동물플랑크톤은 1994년 11월에 동해의 24개 정점에서 조사되었다. 이 조사에서 동물플랑크톤의 출현량 범위는 79 ~ 602 indiv./m³였다. 본 조사에서 요각류는 동물플랑크톤의 64.0%를 차지하는 우점종이었으며 이 분류군 이외에도 유공충류, 패충류, 그리고 appendicularians가 우점종으로 나타났다.

라. 魚卵과 稚仔魚

본 조사에서 출현한 어류는 어란 1종 치자어 11목 32과 43종으로 모두 43종이 출현하였다. 주요 우점종은 엘통이(*Maurollicus muelleri*)와 멸치(*Engraulis japonicus*)였다. 엘통이의 경우 어란과 치자어는 모두 우점종으로 어란과 치자어 전체 출현량의 99%와 59%였다. 멸치는 치자어만 우점하였으며 치자어 전체 출현량의 28%였다.

다. 有用生物

環境特性 : 1994년 9월과 11월 강원도의 연안에서 표층의 수온, 염분, 용존산소 분포가 조사되었다.

有用生物 : 강원도의 26개의 어촌계를 대상으로 유용생물의 종류 파악을 하였다. 유용생물은 총 31개 분류군이 있으며 이 중에서 어류 15개 분류군, 연체동물 2개 분류군, 척삭동물 1개 분류군, 극피동물 2개 분류군, 해조류 4개 분류군이 있다. 가장 많은 어촌계에서 이용하는 종류에는 보라성게, 가자미류, 해삼가 있다.

어란 및 치자어 : 어란과 치자어의 분포에 관한 조사는 강원도 연안의 9개 정점에서 1994년 9월과 11월에 실시되었다. 본 조사에서 채집된 어란과 치자어는 총 6개 분류군이며 9월에 4종, 11월에 2종이 출현하였다. 가장 우점한 어란과 치자어는 모두 멸치 (*Engraulis japonicus*) 였으며 전체 출현량은 각각 99.1, 98.4%였다.

유용 패류 생물량 조사 : 조사결과에 따르면 강원도 북부 연안해역인 반암리와 공현진리에서는 명주조개의 생물량이 많고, 속초 부근으로 올수록 유용패류의 현존량이 적었다. 대북의 경우에는 서식지가 매우 얇은 곳에 집중해 있고, 명주조개 채집기를 사용하였기 때문에 지역적인 차이를 정확히 알 수 없었지만 명주조개와 유사한 현존량 분포를 보일 것으로 예상된다. 북방대합의 경우에는 공현진리 어촌계 공동어장에서 0.2개체/m²의 낮은 서식밀도를 보였고, 남쪽의 장사동, 기사문리에서는 거의 출현하지 않았다. 실제로 속초동의 도시부근에서 명주조개와 대북의 수요가 급증하기 때문에 도시부근의 공동어장 해역에서는 남획으로 인해 자원량의 감소가 있었음을 본 조사에서 나타냈다.

4. 地質海洋學의 分野

가. 1994년 11월 측정된 동해의 表層 浮遊物質 농도는 연안에서 외해로 가면서 1.0 mg/l에서 0.4 mg/l로 점차 낮아진다. 그러나 외해역 중 대륙사면에 위치한 해역은 부유물질 농도가 0.6 - 0.8 mg/l로 부근 외해역 보다 높게 나타난다.

나. 부유물질 농도의 수직적 분포는 연안과 외해에서 서로 다른 수괴의 영향으로 그 경향이 다르게 나타난다. 연안해역은 수심 50 m를 경계

로 상부에는 1.0 mg/l의 부유물질 농도를 갖는 고온저염의 수괴와 하부에는 1.0 mg/l의 부유물질농도의 저온고염의 수괴로 구분된다. 그리고 외해에서는 표층에서는 수심 약 150 m를 경계로 상부에서는 0.4 mg/l의 부유물질농도를 갖는 고온고염의 수괴와 하부에서는 1.0 mg/l의 부유물질 농도를 갖는 저온고염의 수괴로 구분된다. 부유물질 농도는 연안해역에서는 수심에 상관없이 일정하고 외해에서는 수심이 깊어질수록 부유물질 농도가 점차 높아진다.

다. 광전도측정기를 이용한 부유물질 농도의 연속관측은 동시에 관측된 수온 및 염분 자료와 유사한 결과를 보였다. 1차년도에서 측정된 부유물질 농도의 범위 (0.1 mg/l - 1.0 mg/l)에서는 다음의 관계식이 성립되었다.

$$\log(Y) = -0.0559597 * X + 8.2533$$

여기서 Y는 광전도측정기(transmissometer)에서 측정된 voltage, X는 필터를 이용한 실제 부유물질농도(mg/l)이다.

V. 活用に 대한 建議

1. 東海 南西部海域에서 해황의 平均分布와 동시에 變化幅도 考察되어야 하겠다.
2. 東海에서는 난수역과 냉수역이 共存하고 있으므로 海水의 化學的 特性이 복잡할 것으로 判斷된다. 따라서 본 海域의 化學的 特性을 調査하는 것은 東海의 環境保全 및 生物資源의 利用에 많은 도움을 줄 것이다.
3. 東海에는 異質的인 수괴와 퇴적상이 共存하고 있어 다양한 생물들이 出現할 것으로 기대되며, 따라서 이들의 分布는 복잡한 樣相을 나타낼 것으로 생각된다. 生物多樣性, 생태계, 자원 연구를 위한 좋은 資料를 획득하기 위해서는 일차적으로 출현 생물들에 대한 분류 등 기초 연구가 先行되어야 한다.
4. 동해의 부유물질에 대한 연구는 남해연안에서 유출되는 오염물질의 동해로의 이동 및 확산현상을 밝히는데 필수자료로 활용되며, 동해의 해수 특성을 밝히는데 기초자료로 이용될 수 있다.

S U M M A R Y

I. Title

A study on the oceanographic atlas in the adjacent seas to Korea
- Southwest of the East Sea (First year) -

II. Significance and objectives of the study

1. Understanding of the spatial distributions of the physical oceanographic parameters, their variations in time, and the underlying dynamics in the southwestern part of the East Sea is crucial for the marine industries, environmental protection and military defense, etc..
2. The objectives of chemical study are to describe the distribution of chemical water qualities, the condition of pollution, and primary production in order to provide necessary data for the utilization and management of living and non-living resources and for the conservation of marine environment in the East Sea.
3. The main objective of biological oceanographic study is to investigate and understand marine biota and their distribution patterns in the East Sea. The results on the biota and the distribution patterns will be necessary not only to exploit marine resources effectively but also to preserve marine environment through the biological diversity in Korean waters.
4. The geological purpose of this study is to obtain systematic and fundamental datasets about the geological oceanographic environments on the basis of the investigation of geological oceanography and geophysics. The ultimate goal for achieving these datasets is to establish the oceanographic atlas of the East Sea of Korea. Especially in this year, the result of the

investigation of suspended sediments (SS) can be used for understanding transportation and diffusion of polluted materials discharged from the industrial complex along the coasts of the South Sea.

III. Scopes of the study

1. Physical oceanography

- a. T-S characteristics
- b. Vertical distributions of water characteristics
- c. Horizontal distributions of temperature, salinity, and density
- b. Water movements

2. Chemical oceanography

- a. Distributions of dissolved oxygen, pH, dissolved nutrients and phytoplankton pigments (chlorophyll-*a*)
- b. Distributions of heavy metals
- c. Development of dissolved CO₂ measurement techniques

3. Biological oceanography

- a. Marine bacteria
- b. Phytoplankton
- c. Zooplankton
- d. Fish eggs and larvae
- e. Commercial species

4. Geological oceanography

- a. Characteristics of horizontal and vertical distribution patterns of the suspended sediments
- b. Technical development of suspended sediments used by the transmissometer

IV. Results of the study

1. Physical Oceanography

- a. Water mass analysis with T,S data gathered in November, 1994
- b. Vertical distributions of temperature, salinity, and density
- c. Horizontal distributions of temperature, salinity, and density
- d. Current measured by ADCP in November, 1994

2. Chemical oceanography

- a. Distributions of dissolved oxygen, *pH*, dissolved nutrients and phytoplankton pigments in the East Sea.
- b. Distributions of heavy metals in the East Sea.
- c. Development of dissolved CO₂ measurement techniques, state-of-the-art report

3. Biological oceanography

a. Marine bacteria

The total bacterial number, the bacterial biomass and the saprophytic bacterial number were markedly decreased with water depth down to 100 m and then remained almost constant. The heterotrophic activity of bacteria was highest at 30m depth. The ratio of saprophytic bacterial number to the total bacterial number was less than 1% in all stations.

b. Phytoplankton

The abundance of phytoplankton showed a great variation depending on the depth and station in November, 1994. However, higher abundances were generally found in the coastal waters of the study area in which the dominant species was a diatom.

c. Zooplankton

Zooplankton was investigated at 24 stations in the East Sea in

November of 1994. The abundances of zooplankton in the survey area ranged from 79 to 602 indiv./m³. Copepods were the most dominant group, making up 64.0% of the total zooplankton abundance. Foraminiferans, ostracods and appendicularians were also dominant taxa.

d. Fish eggs and larvae

Larval fish collected in the study area consisted of 11 order, 32 family, 43 species in which fish eggs of one species were included. The dominant species were *Mauroliticus muelleri*, and *Engraulis japonicus*. *M. muelleri* were the dominant species among fish eggs and larvae. *E. japonicus* was the dominant species of larval fish. *M. muelleri* was 99% and 59% of the total abundance of fish eggs and larvae, respectively and *E. japonicus* was 28% of the total abundance of larval fish.

e. Commercial species of coastal area

Environmental characteristics : The surface distributions of water temperature, salinity, and dissolved oxygen were investigated in the coastal area of Kangwon province in September and November, 1994.

Commercial fisheries species : The commercial fisheries species were investigated in 26 fishing villages of Kangwon province. Among 31 species of commercial fisheries, fish were 15 species, mollusca 2 species, urochordata 2 species, echinozoa 2 species, and seaweeds 4 species. The commercial fisheries species mainly harvested at the fishing villages were *Anthocidarias crassipina*, Pleuronectidae, and *Sichopus japonicus*.

Fish eggs and larvae : The distribution of fish eggs and larvae were investigated in 9 stations of the coastal area of Kangwon province in September and November, 1994. The 6 species of fish eggs and larvae were found in the study area, of which 4 species were found in September and 2 species November. The dominant fish eggs and

larvae were anchovy(*Engraulis japonicus*), composing 99.1 and 98.4% respectively of the total abundance of fish eggs and larvae.

Commercial shell fisheries : The standing stocks of some commercial shell fishery species like *Gomphia equilatera*, *Mactra antiquata* and *Spisula bernarida* were preliminarily estimated by using the commercial dredge along the shallower coastal region in Kwagwon province, Korea during the early spring season.

The habitat of *M. antiquata* was separated from that of *G. equilatera* which was distributed in the shallower coastal area.

The density of *Mactra antiquata*, which is more preferably harvested, were in the range of 3.7 indiv./m² to 4.2 indiv./m² in the northern coastal area (from Konghyonjin-ri to Munam-ri), but its density was as low as 0.4 indiv./m² in southern coastal area, for example in the common fishery ground of Kisamun-ri. The biomass of *M. antiquata* showed a similar trend as shown in the density distribution: mean biomass of northern coastal area was 147 g/m², but in the southern coasts, as low as 23.5 g/m².

The density of *Gomphia equilatera*, a rather smaller bivalve species than *M. antiquata*, was in the range from 1.1 indiv./m² to 3.7 indiv./m². The density of *Spisula bernarida* was estimated 0.2 indiv./m².

4. Geological oceanography

- a. The concentrations of surface suspended sediments in the East Sea of Korea measured in November of 1994 gradually decrease from 1.0 mg/l of the coasts to 0.4 mg/l of the open sea. On the other hand, the concentrations of the suspended sediments collected in the sea of the continental slope show higher values, i.e., 0.6 mg/l to 0.8 mg/l than the adjacent seas.
- b. The vertical distribution of suspended sediment concentrations in the coastal areas is different from that in the open seas because these two areas contain different water masses each other. In the coastal

areas, the suspended sediment concentrations from the surface to 50m in water depth are composed of 1.0 mg/l, indicating the watermass of relatively high temperature and low salinity. Below 50m in water depth, the concentrations of suspended sediments decrease as 0.8 mg/l, showing the watermass of relatively low temperature and high salinity. In the case of the open seas, 0.4 mg/l with the watermass of relatively high temperature and high salinity of suspended sediment concentrations occurs in the surface to about 150 m in water depth. On the other hand, the watermass of relatively low temperature and low salinity of 1.0 mg/l appears below about 150m in water depth of the open seas. The concentrations of suspended sediments in the coastal areas is constant regardless of water depth, while the open seas comprise the gradual increase of suspended sediment concentrations with the increase of water depth.

- c. The continuous and cosequential measurements of suspended sediment concentrations using by Transmissometer show the similar results from the simultaneous measurements of temperature and salinity. From the first year study on the concentrations of the suspended sediments, the range of measured suspended sediment concentrations is from 0.1 mg/l to 1.0 mg/l. This range shows the following experimental equation:

$$\log(Y) = -0.055957 * X + 8.2533$$

where, Y is the voltage measured from the Transmissometer and X is the value of suspended sediment concentrations collected from the filtering of the seawater.

V. Suggestions

1. Mean conditions of water characteristics and movement can be meaningful whenever their variabilities are considered together.
2. The detailed survey on the chemical parameters such as dissolved oxygen, pH, dissolved nutrients, phytoplankton pigments(chlorophyll-*a*) and heavy metals will provide the useful information on the utilization of biological resources and the environmental conservation of the East Sea.
3. We expect the marine organisms inhabited in the East Sea could be diverse and their distribution patterns complex depending on heterogeneous environmental factors such as water masses, currents and bottom sediments. It is important to identify and classify exactly the marine organisms before the further studies of marine environment and resources start.
4. The survey of suspended sediment concentrations in the East Sea of Korea can be used for the indispensable data to tracking of the transportation and diffusion phenomena of polluted materials discharged from the coast of the South Sea. Also it can be used for the basic datasets for defining the characteristics of water mass.

CONTENTS

List of Tables	-----	25
List of Figures	-----	26
Chapter I. Introduction	-----	35
Chapter II. Studies on physical oceanography	-----	43
Section 1. Introduction	-----	45
Section 2. Methods of survey and analysis	-----	47
Section 3. Results of survey	-----	48
1. Water mass analysis with temperature-salinity diagram	-----	48
2. Vertical distributions	-----	49
3. Horizontal distributions	-----	51
4. Currents	-----	52
Section 4. Conclusions and discussions	-----	53
References	-----	55
Chapter III. Studies on chemical oceanography	-----	93
Section 1. Introduction	-----	95
Section 2. Methods of survey and analysis	-----	96
1. Methods of sampling and sample preservation	-----	96
2. Analytical instruments	-----	96
3. Methods of analysis	-----	97

a. Dissolved oxygen	-----	97
b. pH	-----	97
c. Dissolved nutrients	-----	97
d. Chlorophyll- <i>a</i>	-----	98
e. Heavy metals	-----	98
Section 3. Results and discussion	-----	99
1. Dissolved oxygen	-----	99
2. pH	-----	99
3. Dissolved nutrients	-----	100
4. chlorophyll- <i>a</i>	-----	102
5. Heavy metals	-----	102
References	-----	104
Chapter IV. Studies on biological oceanography	-----	191
Section 1. Introduction	-----	193
Section 2. Methods of survey and analysis	-----	193
1. Survey area	-----	193
2. Methods of analysis	-----	193
a. Marine bacteria	-----	193
1) Total bacterial number and bacterial biomass	-----	193
2) Saprophytic bacterial number	-----	194
3) Heterotrophic activity of bacteria	-----	194
b. Phytoplankton	-----	194
c. Zooplankton	-----	195
d. Fish eggs and larvae	-----	195
e. Commercial species of coastal area	-----	195
1) Commercial fisheries species	-----	195
2) Fish eggs and larvae	-----	196
3) Commercial shell fisheries	-----	196

Section 3. Results and discussion	197
1. Marine bacteria	197
a. Total bacterial number and bacterial biomass	197
b. Saprophytic bacterial number	198
c. Heterotrophic activity of bacteria	199
2. Phytoplankton	199
3. Zooplankton	200
4. Fish eggs and larvae	201
5. Commercial species of coastal area	202
a. Environmental characteristics	202
b. Commercial fisheries species	202
c. Fish eggs and larvae	203
d. Commercial shell fisheries	204
References	206
 Chapter V. Studies on geological oceanography	 265
Section 1. Introduction	267
Section 2. Methods of survey and analysis	268
1. Instruments	268
2. Sampling	268
3. Laboratory analysis	268
a. Suspended sediments	268
1) Field Observations	268
2) Suspended sediment concentrations using Transmissometer	269
Section 3. Results and discussion	270
1. Suspended sediment concentration	270
2. Suspended sediment concentrations using Transmissometer	271
References	274

Chapter VI. Studies on ocean CO ₂ system	-----	291
Section 1. Introduction	-----	293
Section 2. Thermodynamics of ocean CO ₂ system	-----	297
1. Solution chemistry of CO ₂	-----	297
2. Parameters of CO ₂ system	-----	298
3. Relationship between parameters	-----	299
4. Processes affecting ocean CO ₂ system	-----	308
Section 3. State of the art	-----	311
1. Anthropogenic CO ₂ and the oceans	-----	311
2. Techniques for the measurement of TDIC	-----	317
3. Techniques for the measurement of pH	-----	319
4. Techniques for the measurement of total alkalinity	-----	321
5. Techniques for the measurement of CO ₂ fugacity	-----	323
Section 4. Results and future planning	-----	331
References	-----	336

目 次

表 目 次	-----	25
그림 目 次	-----	26
第 I 章 緒論	-----	35
第 II 章 物理海洋學 分野	-----	43
第 1 節 緒說	-----	45
第 2 節 調査 및 分析方法	-----	47
第 3 節 觀測結果	-----	48
1. 수온-염분 diagram을 利用한 水塊分析	-----	48
2. 1994년 11월 해수의 垂直分布	-----	49
3. 수온 鹽分の 水平分布	-----	51
4. 해수유동	-----	52
第 4 節 結論 및 考察	-----	53
參考文獻	-----	55
第 III 章 化學海洋學 分野	-----	93
第 1 節 緒說	-----	95
第 2 節 調査 및 分析方法	-----	96



1. 試料採取 및 保存方法	-----	96
2. 分析器機	-----	96
3. 分析方法	-----	97
가. 溶存酸素量	-----	97
나. pH	-----	97
다. 溶存性 營養鹽	-----	97
라. 클로로필-a	-----	98
마. 重金屬	-----	98
第 3 節 結果 및 考察	-----	99
1. 溶存酸素量	-----	99
2. pH	-----	99
3. 營養鹽	-----	100
4. 클로로필-a	-----	102
5. 重金屬	-----	102
參考文獻	-----	104
第 IV 章 生物海洋學 分野	-----	191
第 1 節 緒說	-----	193
第 2 節 調査 및 分析方法	-----	193
1. 調査海域	-----	193
2. 材料 및 方法	-----	193
가. 微生物	-----	193
1) 總細菌數 및 細菌 生體量	-----	193
2) 종속영양 細菌數	-----	194
3) 細菌從屬營養活性	-----	194
나. 植物플랑크톤	-----	194
다. 動物플랑크톤	-----	195
라. 魚卵과 稚仔魚	-----	195

다. 沿岸資源生物	-----	195
1) 資源生物의 種構成	-----	195
2) 魚卵 및 稚仔魚	-----	196
3) 有用 貝類 生物量 調査	-----	196
第 3 節 結果 및 考察	-----	197
1. 微生物	-----	197
가. 총세균수 및 세균 생체량	-----	197
나. Colony 생성 세균수	-----	198
다. 세균 증속영양 활성	-----	199
2. 植物플랑크톤	-----	199
3. 動物플랑크톤	-----	200
4. 魚卵 과 稚仔魚	-----	201
5. 沿岸資源生物	-----	202
가. 環境特性	-----	202
나. 資源生物의 種構成	-----	202
다. 魚卵 및 稚仔魚	-----	203
라. 有用 貝類 生物量 調査	-----	204
參考文獻	-----	206
第 V 章 地質海洋學 分野	-----	265
第 1 節 緒說	-----	267
第 2 節 調査 및 分析方法	-----	268
1. 使用器機	-----	268
2. 試料採取	-----	268
3. 室內分析	-----	268
가. 부유堆積物	-----	268
1) 현장실측	-----	268
2) 광전도 측정기를 이용한 부유물질 농도 측정	-----	269

第 3 節 結果 및 考察	-----	270
1. 부유물질 농도	-----	270
2. 광전도 측정기를 이용한 부유물질 농도 측정	-----	271
參考文獻	-----	274
第 VI 章 無機炭素 測定技術 分野	-----	291
第 1 節 緒說	-----	293
第 2 節 理論的 考察	-----	297
1. 二酸化炭素의 溶液內 反應	-----	297
2. 二酸化炭素 시스템의 지표 매개변수들	-----	298
3. 二酸化炭素 시스템의 化學種과 매개변수간의 關係	-----	299
4. 해양의 二酸化炭素 시스템에 영향을 미치는 海洋 過程	-----	308
第 3 節 技術動向 分析	-----	311
1. 인류기원 二酸化炭素와 해양	-----	311
2. 總溶存無機炭素 측정기법	-----	317
3. 總水素이온농도 측정기법	-----	319
4. -總알칼리니티 농도 측정기법	-----	321
5. 二酸化炭素 fugacity 측정기법	-----	323
第 4 節 結果 및 向後 研究計劃	-----	331
參考文獻	-----	336

表 目 次

(List of Table)

Table I-1. Location of oceanographic stations observed during November 9-25, 1994. -----	39
Table I-2. Location of oceanographic stations observed during April 13-18, 1995. -----	40
Table IV-1. Abundances of zooplankton at each station in November, 1994 -----	209
Table IV-2. The commercial animal and seaweeds collected by fishermen in coastal ground of the study area -----	210
Table V-1. Results for the concentration of suspended material along the study station -----	275
Table V-2. Results for the data obtained by filtering method and by optical method along the station. -----	276
Table VI-1. Equations for the sea water acid/base system (Dickson and Goyet, 1994). -----	301
Table VI-2. Expression for the concentrations of various species in equation A.2 of Table VI-1 (Dickson and Goyet, 1994). -----	302
Table VI-3. Budget of annual anthropogenic CO ₂ perturbations in Gt C yr ⁻¹ (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). -----	316
Table VI-4. pH indicators and their application range. -----	321
Table VI-5. List of parameters for the study of oceanic CO ₂ system, their standard measurement techniques, instrumentation, and quote*. -----	334

그림 목차

(List of Figure)

Fig. I-1. Map of oceanographic stations observed during November 9-25, 1994. -----	41
Fig. I-2. Map of oceanographic stations observed during April 13-18, 1995. -----	42
Fig. II-1. Bottom topography and CTD stations in the Southwestern part of the East Sea -----	57
Fig. II-2. The differences between salinity values measured by Autosal (with sampled water) and by CTD (in situ) during November 9~25, 1994 -----	58
Fig. II-3. T-S diagrams (a) at all the 42 CTD stations, (b) at the stations of the line 01 ($36^{\circ} 30'N$), (c) at the stations of the line 02 ($37^{\circ} N$), (d) at the stations of the line 03 ($37^{\circ} 30'N$), and (e) at the stations of the line 04 ($38^{\circ} N$) during November 9~25, 1994 -----	59
Fig. II-4. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 01 ($36^{\circ} 30'N$) during November 9~25, 1994 -----	64
Fig. II-5. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 02 ($37^{\circ} N$) during November 9~25, 1994 -----	67
Fig. II-6. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 03 ($37^{\circ} 30'N$) during November 9~25, 1994 -----	70
Fig. II-7. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 04 ($38^{\circ} N$) during November 9~25, 1994 -----	73

Fig. II-8. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 10m depth during November 9~25, 1994 -----	76
Fig. II-9. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 50m depth during November 9~25, 1994 -----	79
Fig. II-10. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 100m depth during November 9~25, 1994 -----	80
Fig. II-11. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 200m depth during November 9~25, 1994 -----	85
Fig. II-12. Vertical distributions of (a) NS components and (b) EW components of currents measured by ADCP on the line 03 (37 ° 30'N) during November 9~25, 1994 -----	88
Fig. II-13. Vertical distributions of (a) NS components and (b) EW components of currents measured by ADCP on the line 04 (38 ° N) during November 9~25, 1994 -----	89
Fig. II-14. Horizontal distributions of currents at (a) 49m, (b) 97m, (c) 153m, (d) 201m, and at (e) 249m depths during November 9~25, 1994 -----	90
Fig. III-1. Horizontal distributions of dissolved oxygen in [ml/l] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths during November 9~25, 1994 -----	105
Fig. III-2. Horizontal distributions of pH (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths during November 9~25, 1994 -----	117

Fig. III-3. Horizontal distributions of nitrite-nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths -----	129
Fig. III-4. Horizontal distributions of nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths -----	141
Fig. III-5. Horizontal distributions of phosphate-phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths -----	153
Fig. III-6. Horizontal distributions of silicate-silicon ($\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths -----	165
Fig. III-7. Horizontal distributions of chlorophyll _a in [$\mu\text{g/l}$] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, and (i) at 200m depths -----	177
Fig. III-8. Horizontal distributions of (a) cadmium (Cd), (b) copper (Cu), (c) nickel (Ni), (d) Lead (Pb), and (e) zinc (Zn) in [$\mu\text{g/l}$] at the surface -----	186
Fig. IV-1. Map showing the sampling stations of the East Sea in November, 1994. -----	211
Fig. IV-2. Map showing the sampling stations of coastal area. ----	212

Fig. IV-3.	Horizontal distribution of total bacterial number (x 10 ⁶ cells/l) at the surface water layer of the East Sea in November, 1994. -----	213
Fig. IV-4.	Horizontal distribution of total bacterial number (x 10 ⁶ cells/l) at the depth of 30m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	214
Fig. IV-5.	Horizontal distribution of total bacterial number (x 10 ⁶ cells/l) at the depth of 100m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	215
Fig. IV-6.	Horizontal distribution of total bacterial number (x 10 ⁶ cells/l) at the depth of 500m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	216
Fig. IV-7.	Horizontal distribution of total bacterial number (x 10 ⁶ cells/l) at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994. -----	217
Fig. IV-8.	Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the surface water layer of the East Sea in November, 1994. -----	218
Fig. IV-9.	Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 30 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	219
Fig. IV-10.	Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 100 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	220
Fig. IV-11.	Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 500 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	221
Fig. IV-12.	Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994. -----	222

Fig. IV-13. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [x 10 ³ CFU/l] at the surface water layer of the East Sea November, 1994. -----	223
Fig. IV-14. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [x 10 ³ CFU/l] at the depth of 30 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	224
Fig. IV-15. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [x 10 ³ CFU/l] at the depth of 100 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	225
Fig. IV-16. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [x 10 ³ CFU/l] at the depth of 500 m water layer of the East Sea in November, 1994. -----	226
Fig. IV-17. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [x 10 ³ CFU/l] at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994. -----	227
Fig. IV-18. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ¹⁴ C-glucose [%/h] at the surface water layer of the East Sea in November, 1994. -----	228
Fig. IV-19. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ¹⁴ C-glucose [%/h] at the water depth of 30 m of the East Sea in November, 1994. -----	229
Fig. IV-20. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ¹⁴ C-glucose [%/h] at the water depth of 100 m of the East Sea in November, 1994. -----	230
Fig. IV-21. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ¹⁴ C-glucose [%/h] at the water depth of 500 m of the East Sea in November, 1994. -----	231

Fig. IV-22. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the bottom of the East Sea in November, 1994. -----	232
Fig. IV-23. Distribution of diatom concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (0m) -----	233
Fig. IV-24. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (0m) -----	234
Fig. IV-25. Distribution of diatom concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (30m) -----	235
Fig. IV-26. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (30m) -----	236
Fig. IV-27. Distribution of diatom concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (50m) -----	237
Fig. IV-28. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (50m) -----	238
Fig. IV-29. Distribution of diatom concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (100m) -----	239
Fig. IV-30. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (100m) -----	240
Fig. IV-31. Distribution of diatom concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (500m) -----	241
Fig. IV-32. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (500m) -----	242
Fig. IV-33. Abundances of total zooplankton and copepods at each station in November 1994. -----	243
Fig. IV-34. Abundances of dominant taxa of zooplankton at each station in November 1994. -----	244
Fig. IV-35. Abundance of fish eggs in the East Sea in November, 1994. -----	245
Fig. IV-36. Abundance of fish larvae in the East Sea in November, 1994. -----	246

Fig. IV-37. Abundance of larvae of <i>Maurolicus muelleri</i> in the East Sea in November, 1994. -----	247
Fig. IV-38. Abundance of larvae of <i>Engraulis japonicus</i> in the East Sea in November, 1994. -----	248
Fig. IV-39. Abundance of other larvae in the East Sea in November, 1994. -----	249
Fig. IV-40. Distribution of Salinity, Temperature and dissolved oxygen at 9 stations observed in September and November, 1994. -----	250
Fig. IV-41. Distribution of fish eggs and larvae in September and November, 1994. -----	251
Fig. IV-42. Abundance of eggs and larvae of <i>Engraulis japonicus</i> in September and November, 1994. -----	252
Fig. IV-43. Biomass and density of commercial shellfish. -----	253
Fig. IV-44. Distributions of commercial shellfish. -----	254
Fig. V-1. Distribution of suspended matters at the surface water in November, 1994. -----	277
Fig.V-2. Distribution of suspended matters at 10m in November, 1994. -----	278
Fig.V-3. Distribution of suspended matters at 50m in November, 1994. -----	279
Fig.V-4. Distribution of suspended matters at 100m in November, 1994. -----	280
Fig.V-5. Distribution of suspended matters at 500m November, 1994. -----	281
Fig.V-6. Transmissometer stations of the East Sea in November 1994. -----	282
Fig.V-7. Vertical profiles of the data obtained by optical method of 0104 station in November, 1994. -----	283

Fig.V-8. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0203 station in November, 1994. -----	284
Fig.V-9. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0208 station in November, 1994. -----	285
Fig.V-10. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0305 station in November, 1994. -----	286
Fig.V-11. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0401 station in November, 1994. -----	287
Fig.V-12. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0410 station in November, 1994. -----	288
Fig.V-13. Relationship between the data obtained by filtering method and by optical method(Downward). -----	289
Fig. VI-1. The present-day global carbon cycle. All pools expressed in units of 10^{15} gC, and all annual fluxes in unit of 10^{15} gC /yr, after Schlesinger (1991) Biogeochemistry, p309. -----	294
Fig. VI-2. Global carbon cycle reservoirs and fluxes, in Gt C and Gt C/yr, respectively (1 Gt C = 10^{15} g C). a) reconstructed pre-industrial and b) present-day situation (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). -----	312

- Fig. VI-3. a) Deconvolution of the atmospheric CO₂ record,
 b) annual fluxes into the atmosphere-ocean system:
 TotEm = estimated total anthropogenic emissions
 (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). Note: 1994 IPCC
 report designate the imbalance is due to previously
 unknown forest regrowth in northern hemisphere
 and terrestrial sink by biota. However, recent report
 was not available at the time of writing. ----- 315
- Fig. VI-4. A Schematic diagram of SOMMA. ACG=auxiliary
 carrier gas, CG=carrier gas, K=conductance cell,
 GSV=gas sample valve, HSG=head space gas,
 MCG=main carrier gas,PG=pneumatic gas,
 ts=temperature sensor, W=waste ----- 318
- Fig. VI-5. Closed titration cell for the determination of
 alkalinity (Dickson and Goyet. 1994). ----- 323
- Fig. VI-6. Various designs of equilibrator deployed for the
 measurement of seawater CO₂ partial pressure;
 a) SIO version, b) Meteorological Research Institute
 version c) Okayama University version, d) Kiel
 University version, e) Universit Pierre et Marie
 Curie version, f) Korea-Japan Ferry version. ----- 325
- Fig. VI-7. Distribution of pCO₂ in suraface seawaters of the East
 Sea during July 12-21, 1994 (최, 1995). ----- 333

第 I 章

緒 論

(INTRODUCTION)

第 1 章 緒 論

東海는 한반도, 일본열도, 시베리아 동부지역에 의해 둘러 싸여 있고 남으로는 大韓海峽, 북으로는 律輕(Tsugaru), 宗谷(Soya), Tartar海峽을 통해 북태평양에 연결되는 緣海(marginal sea)이다. 그 전체적인 모양은 타원형으로 주된 축은 남서-북동 방향이며 총면적 $1,008 \times 10^6 \text{Km}^2$, 평균수심 1361m 로써 황해와 남해에 비하면 면적이 넓고 수심이 깊은 특색이 있다. 한편 동해는 해저지형의 형태에 따라 크게 3개의 盆地로 구분되고 있다. 즉, 대체로 40°N 이북에 위치하며 수심 3000-3700m의 日本盆地, 133°E 以東에서 일본 서해안 사이의 수심 2500-3000m의 大和(Yamato)盆地, 그리고 울릉도 以南에서 133°E 로부터 한국 동해안 사이의 수심 2000-2500m의 鬱陵盆地로 나눌 수 있다. 울릉분지는 남쪽으로는 수심 200m 이내의 대한해협과 경계를 이루며 다른 두 분지와는 동쪽으로 수심 500m 이내의 隱岐(Okii) bank와 그리고 북쪽으로 수심 1500m 이내의 울릉해양대지와 경계를 이루고 있다. 특히 울릉분지는 울릉도와 독도사이 수심 2000m 이상인 깊은 골을 따라 북동쪽으로 일본분지와 연결되는 유일한 깊은 통로를 갖고 있다.

현재까지 한반도 동쪽 부근 해역(동해서부 해역)에서의 해양관측은 1920년대 이후 일본이 주가 되어 수산활동 증진을 목적으로 시작되었으며 세계제2차대전 후에는 국립수산진흥원의 정기정선관측과 수로국의 연안조석관측으로 많은 자료가 축적되었고 그 결과 기본적인 해양구조 파악에 많은 기여를 하였다.

울릉분지내의 해황은 표층에서 남쪽의 대한해협을 통해 유입되는 고온 고염의 대마난류수와 그 연장인 한반도 동해안을 따라 북상하는 동한난류수, 동해안을 따라 남하하는 북한한류계수, 그리고 중층과 저층의 대부분을 차지하고 있는 동해고유수의 세력에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다.

최근에는 관측기술의 향상으로 보다 정밀한 해양자료가 정부기관, 대학, 연구소 등에서 다량으로 생산되고 있으며, 국제공동에 의한 주변 인접국간에 협동조사도 실시되고 있어 가까운 시일내 해양연구에 많은 진전이 있으리라 예상된다. 특히 한국해양연구소의 연구팀에 의해 그 구조가 알려지고 있는 소용돌이(eddy)는 울릉분지의 해황변화요인으로써 매우 중요한 역할을 하고 있는 것으로 추측된다.

한국해양연구소는 1982년 “한국해역 종합 해양 환경도”라는 연구사업으로 한반도 주변 해역에 대한 해양환경도 발간을 목적으로 해양조사에 착수한 이래, 1987

년에는 황해의 해양환경도를 그리고 1993년에는 남해의 해양환경도를 발간하였으며, 1994년에 대한해협에서 조사를 마무리짓고 대한해협의 해양환경도를 1996년에 발간할 예정이다. 본 연구의 목적은 동해 중서부해역에서 해수특성 및 유동, 해수수질, 해양생물 및 해양퇴적 환경을 직접 조사하고 분석하여 해양환경을 파악하고 이를 도면화하여 해양환경도를 발간하는데 있다. 이를 위해 대상해역을 36° 00' - 38° 00' N, 동해안 - 133° 00' E로 정하고 5개년에 걸쳐 기본환경조사로서 계절별 관측을 계획하고 있으며, 1차년도인 1994년도에는 가을철 자료를 수집코져 1994년 11월 9일부터 25일 사이에 해양조사를 실시하였다(Table I-1, Fig.I-1). 또한 해양환경변화의 요인을 규명코져 울릉분지내에 형성되었던 난수성 소용돌이를 1995년 4월 13일부터 18일 사이에 직접 관측하였으나(Table I-2, Fig.I-2) 본 보고서의 작성시한으로 인해 난수성 소용돌이의 분석연구 결과는 차기년도 보고서에 수록할 예정이다. 한편 대한해협 해양환경도작성을 위해 본 연구사업기간동안에 각 분야의 도면을 완성하여 출판준비를 하고 있다.

Table I -1. Location of oceanographic stations observed during November 9-25, 1994

LINE	STATION	LOCATION		도착시간	DEPTH(M)	
		LATITUDE(N)	LONGITUDE(E)			
01	03	36° 30.00'	129° 30.00'	11/09 06:46	93	
	04	36° 30.00'	129° 45.00'	11/09 08:13	120	
	05	36° 30.00'	130° 00.00'	11/09 09:45	929	
	06	36° 30.00'	130° 15.00'	11/09 13:14	1985	
	07	36° 30.00'	130° 30.00'	11/09 15:47	1900	
	08	36° 30.00'	131° 00.00'	11/10 04:10	1950	
	09	36° 30.00'	131° 30.00'	11/10 11:19	1899	
	10	36° 30.00'	132° 00.00'	11/10 18:15	1650	
	11	36° 30.00'	132° 30.00'	11/10 22:27	1106	
	02	03	37° 00.00'	129° 30.00'	11/22 13:00	119
		04	37° 00.00'	129° 45.00'	11/22 11:00	309
05		37° 00.00'	130° 00.00'	11/13 03:08	1486	
06		37° 00.00'	130° 15.00'	11/13 00:30	1902	
07		37° 00.00'	130° 30.00'	11/12 18:54	2149	
08		37° 00.00'	131° 00.00'	11/12 11:49	2101	
09		37° 00.00'	131° 30.00'	11/12 08:17	1554	
10		37° 00.00'	132° 00.00'	11/11 18:27	1700	
11		37° 00.00'	132° 30.00'	11/11 14:49	1006	
03		12	37° 00.00'	133° 00.00'	11/11 08:35	297
		02	37° 30.00'	129° 15.00'	11/23 11:50	130
	03	37° 30.00'	129° 30.00'	11/23 13:56	400	
	04	37° 30.00'	129° 45.00'	11/23 16:28	749	
	05	37° 30.00'	130° 00.00'	11/23 18:22	1400	
	06	37° 30.00'	130° 15.00'	11/23 23:32	1407	
	07	37° 30.00'	130° 30.00'	11/24 01:42	1100	
	08	37° 30.00'	131° 00.00'	11/24 09:17	1186	
	09	37° 30.00'	131° 30.00'	11/24 13:57	2250	
	10	37° 30.00'	132° 00.00'	11/24 20:26	2001	
	04	11	37° 30.00'	132° 30.00'	11/25 00:44	898
12		37° 30.00'	133° 00.00'	11/25 05:30	350	
01		38° 00.00'	129° 00.00'	11/16 13:41	1050	
02		38° 00.00'	129° 15.00'	11/16 20:14	1024	
03		38° 00.00'	129° 30.00'	11/16 22:24	1089	
04		38° 00.00'	129° 45.00'	11/17 03:37	1399	
05		38° 00.00'	130° 00.00'	11/17 05:44	1389	
06		38° 00.00'	130° 15.00'	11/17 16:17	1915	
07		38° 00.00'	130° 30.00'	11/17 20:55	1799	
08		38° 00.00'	131° 00.00'	11/18 01:45	1207	
09		38° 00.00'	131° 30.00'	11/18 06:44	850	
10		38° 00.00'	132° 00.00'	11/18 09:24	1541	
11	38° 00.00'	132° 30.00'	11/18 23:17	1890		
12	38° 00.00'	132° 30.00'	11/19 03:14	2300		

Table I-2. Location of oceanographic stations observed during April 13-18, 1995

LINE	STATION	LOCATION		도착시간	수심(M)	비 고
		LATITUDE(N)	LONGITUDE(E)			
A	01	35° 59.90'	129° 40.06'	04/13 17:34	130	CTD해저/생물표층
	02	36° 07.62'	129° 50.30'	04/13 19:00	820	CTD
	03	36° 15.01'	130° 00.26'	04/13 20:17	1394	CTD해저/생물표층
	04	36° 22.67'	130° 10.19'	04/13 22:24	1800	CTD
B	01	36° 30.07'	130° 20.21'	04/13 23:33	2000	CTD해저/생물표층
	02	36° 34.79'	130° 20.01'	04/14 01:25	2092	CTD
	03	36° 40.08'	130° 19.98'	04/14 02:16	2137	CTD
	04	36° 44.86'	130° 19.97'	04/14 03:05	2165	CTD
	05	36° 50.05'	130° 20.08'	04/14 04:18	2163	CTD
	06	36° 55.01'	130° 20.12'	04/14 09:57	2100	CTD
	07	37° 00.04'	130° 20.21'	04/14 10:55	2200	CTD
	08	37° 04.82'	130° 20.08'	04/14 11:59	2165	CTD
	09	37° 10.07'	130° 20.00'	04/14 12:57	2164	CTD
	10	37° 19.85'	130° 19.86'	04/17 01:35	2000	CTD해저/화학/생물층별
	11	37° 29.97'	130° 20.02'	04/14 16:13	1610	CTD
	12	37° 35.15'	130° 20.14'	04/14 17:25	1612	CTD
	13	37° 39.97'	130° 20.19'	04/14 18:30	1631	CTD해저/생물표층
	14	37° 44.69'	130° 20.23'	04/14 20:25	1625	CTD
	15	37° 49.73'	130° 20.05'	04/14 21:24	1716	CTD
	16	37° 59.92'	130° 19.87'	04/14 22:52	1929	CTD해저/생물층별
C	01	38° 07.08'	130° 19.96'	04/15 10:02	1475	CTD
	02	37° 26.73'	129° 29.93'	04/15 18:48	317	CTD
	03	37° 33.27'	129° 39.84'	04/15 17:05	1667	CTD
	04	37° 39.97'	129° 50.01'	04/15 15:20	1628	CTD
	05	37° 46.68'	130° 00.24'	04/15 13:48	1322	CTD
D	01	37° 53.48'	130° 10.19'	04/15 12:15	1600	CTD
	02	37° 20.42'	129° 19.85'	04/16 11:02	85	CTD해저
	03	37° 19.81'	129° 29.97'	04/16 11:56	132	CTD
	04	37° 19.88'	129° 34.95'	04/16 12:30	215	CTD해저/화학/생물층별
	05	37° 20.07'	129° 39.98'	04/16 16:13	360	CTD
	06	37° 20.09'	129° 44.99'	04/16 17:04	517	CTD해저/DO/생물표층
	07	37° 19.98'	129° 50.22'	04/16 18:08	700	CTD
	08	37° 20.00'	129° 55.14'	04/16 18:55	1110	CTD/생물표층
	09	37° 20.14'	130° 00.30'	04/16 20:00	1640	CTD
	10	37° 20.08'	130° 10.40'	04/16 21:12	1156	CTD해저/화학
	11	37° 20.24'	130° 30.50'	04/17 09:11	1985	CTD
	12	37° 19.97'	130° 40.14'	04/17 10:13	2175	CTD
	13	37° 19.97'	130° 45.12'	04/17 11:00	2065	CTD
	14	37° 19.95'	130° 49.92'	04/17 11:45	2163	CTD해저/DO/생물표층
	15	37° 19.93'	130° 54.89'	04/17 13:25	2100	CTD
	16	37° 19.83'	130° 59.97'	04/17 14:26	2200	CTD
E	01	37° 19.93'	131° 10.03'	04/17 15:44	2200	CTD해저/화학/생물층별
	02	36° 39.99'	130° 29.87'	04/18 04:40	2034	CTD
	03	36° 49.87'	130° 40.13'	04/18 02:42	2112	CTD
	04	36° 59.85'	130° 49.88'	04/18 01:25	2120	CTD
	04	37° 09.92'	130° 59.94'	04/17 23:58	2104	CTD

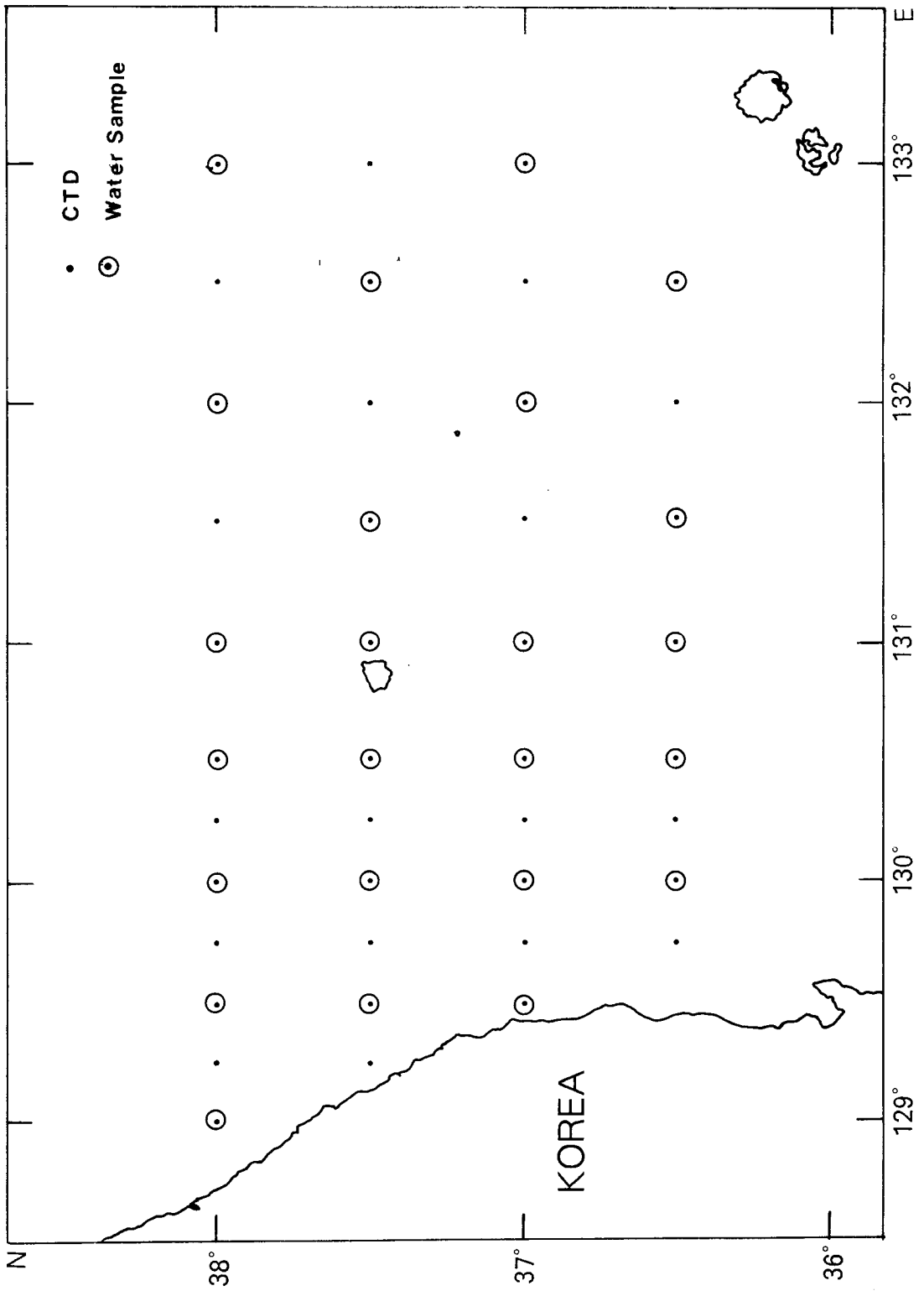


Fig. I-1. Map of oceanographic stations observed during November 9-25, 1994

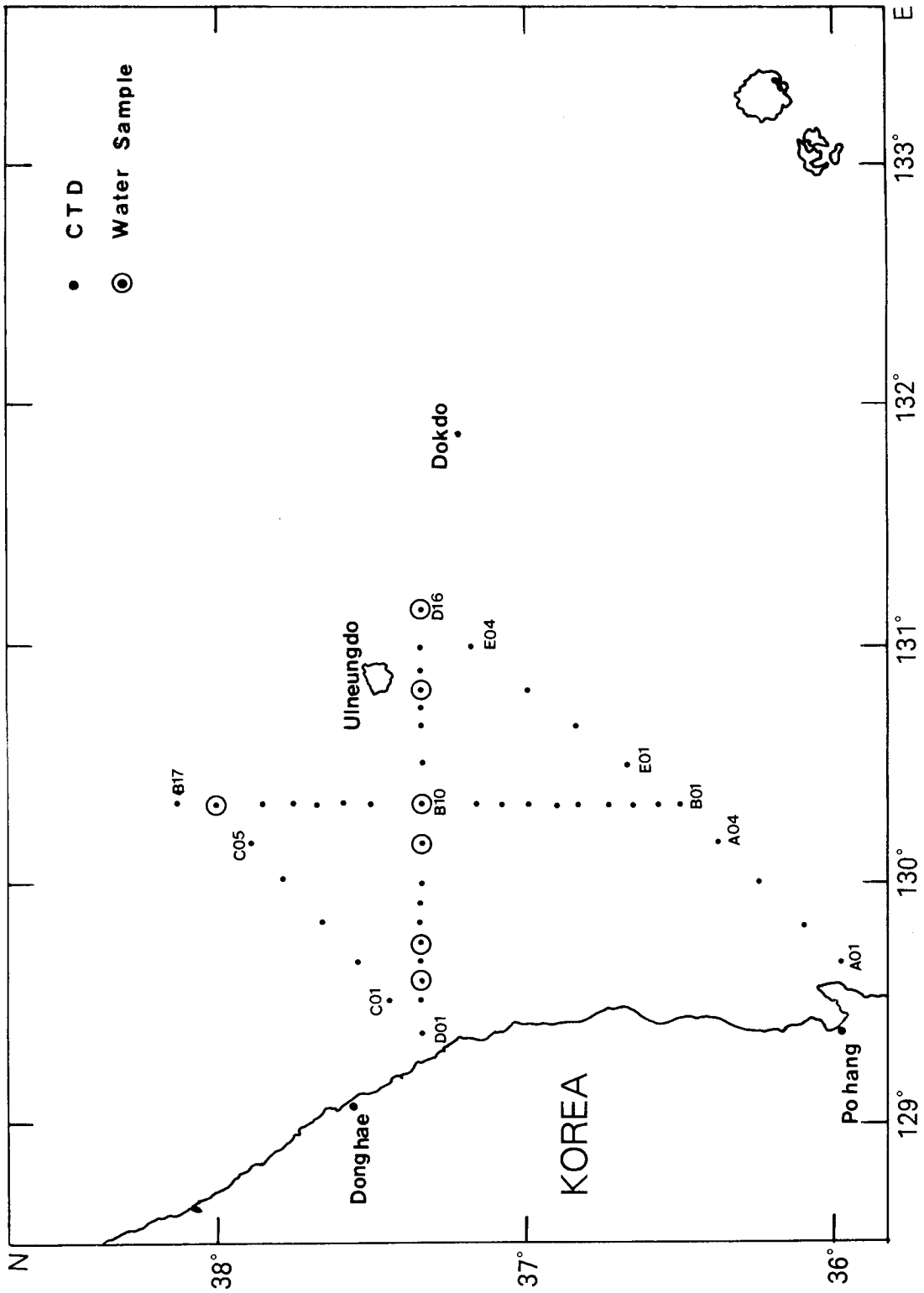


Fig. I-2. Map of oceanographic stations observed during April 13-18, 1995

第 II 章

物理海洋學 分野

(STUDIES ON PHYSICAL OCEANOGRAPHY)

研究責任者：張京一

研究員：全東哲

崔鉉佑

方仁權

石文植

李載學

朴弼成

南秀庸

金哲洙

申弘烈

申昌雄

李興宰

趙哲護

黃相喆

李夏雄

研究助員：張永爽

李大夏

第 1 節 緒 說

東海는 총 면적 1,007,600 km², 평균 수심 1,684 m, 최대 수심 4,049 m, 총 용적 1,693,800 km³의 緣海 (marginal sea)로서 (김 등, 1991), 水深이 150 m 이하인 대한해협 (Korea Strait), 쓰가루해협 (Tsugaru Strait), 쓰야해협 (Soya Strait) 및 타타르해협 (Tartar Strait)을 통해 각각 동중국해, 북태평양, 오호츠크海와 연결되어 있다. 동해의 해저지형은 중앙의 야마토 해령 (Yamato Rise)을 중심으로 북쪽에 수심 3,500 m 가 넘는 일본분지 (Japan Basin)가 넓게 형성되어 있으며, 남쪽으로는 야마토 해령의 동서로 수심 2,000 m를 넘는 울릉 분지 (Ullung Basin)와 야마토 분지 (Yamato Basin)들이 형성되어 있다. 울릉분지는 북쪽으로 울릉도와 독도 사이를 통하여 북쪽의 일본 분지와 연결되어 있다. 동해의 이러한 복잡한 해저지형은 동해의 상층순환 (Fukuoka, 1957) 및 심층순환 (Kim et al., 1991)에 영향을 미친다.

동해의 해수순환은 대양에서처럼 동해 자체의 風成流 순환 (wind-driven circulation) 및 열·염분 순환이 일어날 뿐만 아니라 (Kim and Chung, 1989), 대한해협 (Korea Strait)을 통한 해수의 유입에 의해서도 해수순환이 일어난다 (김, 1991). 대한해협을 통해 동해로 유입되는 해수의 주된 기원은 적도지방의 고온, 고염의 해수를 북반구로 수송하는 쿠로시오 (黑潮)다. 쿠로시오는 대만 동부해역을 지나 대륙사면을 따라 북동진하다가 일본 큐슈섬 서쪽 해역에서 일부가 分支되어 대마난류 (Tsushima Current)를 형성하는 것으로 알려졌으며 (Lie and Cho, 1994), 이 대마난류가 대한해협을 통해 고온, 고염의 해수를 동해로 수송한다. 여름철에는 양자강이나 동중국해 대륙붕상의 저염의 해수가 역시 대한해협을 통해 동해로 유입된다 (김, 1986). 동해는 대략 위도 39°- 40°N 에 존재하는 극전선 (polar front) 을 기준으로 남쪽의 난수역 (warm-water region)과 북쪽의 냉수역 (cold-water region)으로 나눌 수 있는데, 난수역 상층의 해수순환은 주로 대마난류에 의해 좌우된다. 대마난류에 관한 기존의 연구 (Uda, 1934; Kawabe, 1982; Yoon, 1982)에 의하면, 대한해협을 통해 동해로 유입된 대마난류는 둘이나 셋으로 갈라져 일부는 한국연안을 따라 북상하며 (동한난류), 일부는 일본 서쪽연안을 따라 북동진하는 것으로 보고되었다. 분지로 나뉘어져 흐르는 동한난류와 일본연안을 따른 대마난류는 쓰가루해협 서쪽해역에서 다시 합쳐진다. 그곳에서 대부분의 유입량 (약 70%)은 쓰가루해협을 통해 북태평양으로 빠져 나간다 (Moriyasu, 1972). 그리고, 일부는 소야해협을 통해 오호츠크해로 유출되며, 나머지는 동해내

에서 재순환된다. 북태평양 아열대 순환 (subtropical gyre)의 서안경계류 (western-boundary current)인 쿠로시오의 본류는 일본 동쪽 연안을 따라 흐르다가 대체로 쓰가루해협 남쪽에서 離岸 (separation)되므로, 결국 미약하지만 동해를 통해 亞熱帶 海水 (subtropical water)와 亞寒帶 海水(subpolar water)간의 교환이 일어난다. Hurlburt et al. (1992)은 동해를 통해 이루어지는 이러한 해수교환이 북태평양의 해수순환 재현에 중요함을 언급하였다. 이외에도 Moriyasu (1972)는 分岐 대신에 對馬暖流의 蛇行 (meandering)을 주장하였고, Kim and Chung (1984), Kim and Legeckis (1986)는 1981년의 경우 동한난류가 출현하지 않았음을 보고하여 분지설에 대한 재검토의 필요성을 제시하였고, 동해순환에서 연변화와 중·저층에서 일어나는 운동의 중요성도 지적하였다.

Uda (1934)의 해류 모식도에 의하면, 暖水域은 대마난류에 의한 순환이 특징적이며 冷水域에는 시베리아 연안 및 한국 동해안을 따라 리만해류 및 북한한류 (North Korea Cold Current)를 형성하는 반시계 방향의 순환 (cyclonic circulation)이 존재함을 알 수 있다.

동해에 분포하는 해수는 Moriyasu (1972)에 의하면 수심별로 표층으로부터 저층까지 크게 네가지로 구분할 수 있다. 저층의 표층수 (surface water)는 한국이나 일본으로부터의 육수유입과 대한해협을 통한 東中國海 해수의 유입에 의해 형성되며, 일반적으로 여름철 계절 수온약층 상부의 해수를 일컫는다. 표층수 아래의 중층수 (intermediate water)는 極前線 남쪽의 난수역에서는 대마난류에 의해 운반되는 고온·고염의 대마난류수를, 그리고 냉수역에서는 높은 용존산소값을 갖는 해수로 정의하였다. 동해고유수 (East Sea Proper Water)는 동해內 해수의 대부분을 차지하는 수온 1°C 미만의 수직적으로 균질한 해수로 정의하였고, 난수역의 동해고유수와 중층수 사이에 나타나는 수온 1°C - 4°C, 그리고 용존산소 극대층으로 특징되는 해수를 따로 정의하였다. Kim and Chung (1984)은 이 해수를 동해중층수 (East Sea Intermediate Water)로 명명하였고, 동해중층수는 '용존산소 최대층'일 뿐만 아니라 '염분 최소층'으로 특징지워짐을 보고하였다. Kim et al. (1991)은 동해중층수가 동해고유수와 함께 동해 북부의 盆地에서 형성되어, 울릉분지 내에서 영구 수온약층 밑으로 퍼져나감을 제시하였다. 김 등 (1991)은 동해중층수는 염분의 최소값을 보일 뿐만 아니라, 결보기 산소활용¹⁾, 질산염, 인산염, 규산염의 농도가 모두 그 위나 아래 깊이에 비하여 작게 나타남을 보였다. Cho and Kim (1994)은 울릉분지內 염분 최소층 (< 34.0)의 해수가 북한한류수에서 기

1 AOU (Apparent Oxygen Utilization) = 포화 용존 산소량 - 관측된 용존 산소량

원하는 것과, 울릉도 북부에서 남쪽으로 확장하는 동해중층수에서 기원하는 두 가지로 이루어져 있음을 제시하였다.

본 연구는 울릉분지를 포함하는 동해 중부 (36° 30'N - 38°N, 동해안 - 133° E) 해역의 계절별 海水特性 및 海水流動을 파악하고, 동시에 관측된 海洋化學, 海洋生物, 海洋地質 등의 해양환경 자료의 해석을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 1994년에는 11월 9일부터 11월 25일에 걸쳐 총 4개 定線 (42개 定點)에서 CTD 와 ADCP를 이용하여 水溫·鹽分 및 海流觀測을 실시하였다 (Fig. II-1). 정선간의 간격은 위도 30' 간격이며, 정점간에는 경도 130°E 서쪽에서는 15' 간격으로, 그 동쪽으로는 경도 30' 간격으로 설정하였다.

第 2 節 調查 및 分析方法

CTD (Conductivity-temperature-depth) 조사는 EG & G사의 Model Mark V 를 사용하였으며, CTD 자료는 하강시의 자료만을 이용하여 매 1 m 간격으로 평균을 취하였다. 현장에서의 CTD 하강속도는 약 1 ms^{-1} 를 항시 유지하였다. 해양연구소 조사선 온누리호에 장착되어 있는 CTD (Mark V)에 의해 관측된 염분값의 정확도를 검증하기 위해서, 총 20개 정점 (20m 층과 300m 층)에서 CTD 관측과 동시에 해수를 채취하였다. 채취된 해수는 정밀도가 높은 해양연구소의 Autosal 염분계 (Guild Line Model 8410)로 값을 측정한 후, 동일 수심에서 관측된 CTD 염분값과 비교하였다 (Fig. II-2). CTD에 의해 관측된 염분값은 기존의 報告 (이홍재 등, 1994)에서와 같이 전반적으로 Autosal에 의해 관측된 염분값에 비해 높게 나타났으며, 염분값 차이의 전체 평균은 0.034로서 기존의 9개 정점에서 관측된 염분값 차이의 평균치 (0.039)와 거의 일치한다.

調査海域에서의 해류관측은 온누리호에 장착된 초음파식 유속계인 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하여 수행하였다. 사용된 ADCP (RD-VM0150)는 153.6 kHz의 음파를 이용하여 표층으로부터 수심 약 350 m 까지의 해수유동을 조사할 수 있다. 따라서, 조사해역의 수심이 350m 보다 깊기 때문에 bottom-tracking mode 대신 none-tracking mode 를 이용하였다. 즉, ADCP 자료는 海流速度와 선박의 航海速度를 포함하고 있으므로, GPS (Global Positioning System)를 이용하여 선박속도를 제거한 해류성분을 구하였다. ADCP

관측은 모든 CTD 정점에서뿐만 아니라 정선을 따라 선박이 이동하는 중에도 연속적으로 이루어졌으나, 선박 이동시의 ADCP 해류자료는 계기 자체의 불안정한 오류가 포함되어 있는 것이 발견되어 선박이 정지한 상태인 CTD 정점에서의 자료만을 이용하였다. 관측 定線 1 (36°30'N) 및 定線 2 (37°N)의 外海域에서는 ADCP의 작동불량으로 인하여 해류관측이 이루어지지 못하였다. ADCP에 의한 해류관측은 수심 (first-bin depth) 17m부터 매 8m 간격 (bin-depth interval)으로 329m 깊이까지 총 40개의 수심에서 수행되었다. 각 정점에서의 해류분포는 수심 별로 1분 간격으로 평균된 ADCP 자료를 선박이 정지해 있는 동안 다시 평균한 값으로 계산되었다.

第 3 節 觀測 結果

1. T-S diagram을 이용한 水塊分析

Fig. II-3은 모든 CTD 정점 및 각 정선에서 관측된 자료를 T-S diagram상에 표시한 것이다. Diagram상에 표시된 숫자는 정선 및 정점번호를 나타내며, 숫자의 시작위치는 각 정점의 海表面에서의 값을 나타낸다. 1994년 가을철 조사해역에서 관측된 해수의 특성은 수온 0° - 21°C, 염분 33.5 - 34.6, 밀도(σ_t) 24.0 - 27.4 범위에 분포한다. 조사해역 내의 수괴 (water mass)는 크게 表層水, 對馬暖流水, 東海中層水 및 東海固有水로 구분할 수 있다.

염분최대층 (> 34.4)인 대마난류수의 수온 범위는 10° - 18°C 이며, 그 아래에 염분최소층 (34.05 - 34.1)으로 특징지워진 동해중층수 (East Sea Intermediate Water)가 있고, 동해고유수 (East Sea Proper Water)는 동해중층수에 비해 저온 (0.1° - 1°C), 고염 (~34.1)이다.

표층수는 상대적으로 고온·고염인 해수와 저온·저염인 해수로 구분되며, 저염의 표층수는 다시 두 그룹으로 나눌수 있다. 정선 1과 2의 외해역에 나타나는 표층수는 수온 18° C 이상으로 정선 3과 4의 외해역에 분포하는 표층수 (~15°C) 비해 높은 수온값을 보인다. 정선 1의 연안역 정점 (0103, 0104)에서 조사해역중 가장 낮은 염분값 (~33.5)이 관측되었다.

2. 海水의 垂直分布

2-1. 定線 1 (36°30'N 단면, Fig. II-4)

수온, 염분, 밀도의 수직적인 변화는 수심 200 m 이천에서 두드러지며, 중·저층 해수의 대부분을 점유하는 동해고유수의 물리적인 특성은 수온 $0.1^{\circ}\text{C} - 1.0^{\circ}\text{C}$, 염분 34.1 - 34.2, 밀도 (σ_t) 27.3 - 27.4 으로 그 변화범위가 매우 작다. 수심 500 m 以淺에서 等溫線 및 等密度線이 굴곡이 있는 波形的 형태를 보이며 그 수평규모는 약 100 km 내외인데, 이는 basin 규모의 순환과 연관된 듯 하다.

수심이 낮은 연안역에서는 계절 水溫躍層이 수심 50 m 를 중심으로 위치하는 반면 외해역에서는 상대적으로 깊은 수심 (~100 m)에 위치한다. 상부 혼합층은 외해역에서 표층으로부터 50 m 수심까지 나타나며, 정점 0105, 0106, 0107의 표층에는 렌즈모양의 상대적으로 고온 (수온 $> 20^{\circ}\text{C}$), 고염 (염분 > 34.1)의 해수가 분포한다.

표층으로부터 수심 200 m까지의 염분분포는 복잡한 양상을 보인다. 대마난류수로 간주되는 염분 34.4 이상의 고염의 해수는 8번 정점을 제외한 전 정점의 수심 50 m - 150 m 사이에 분포한다. 고염의 핵(core)이 이중으로 나타나는 것은 대한해협을 통해 동해로 유입된 대마난류의 분지와 연관된 듯 하다. 염분 34.0 이하의 저염의 해수는 연안역 정점 0103, 0104 및 외해역 정점 0108-0111의 50 m 이천에 분포하며, 정점 0107에서는 저염의 해수의 핵이 수심 60 m 부근에 나타나는 것이 특기할 만하다. 대마난류수역인 염분최대층 밑으로는 염분최소층 (< 34.1)으로 특징지워지는 동해중층수가 분포한다. 동해중층수의 수온 및 밀도범위는 각각 $1.5 - 4^{\circ}\text{C}$, $27.2 - 27.4$ (σ_t 단위)로 나타난다. 염분최소층 밑으로는 물리적 특성변화가 극히 적은 동해고유수가 분포한다.

2-2. 定線 2 (37°N 단면, Fig. II-5)

단면 1에서와 유사하게 등온선 및 등밀도선들이 파형의 형태를 보이며, 특히 수심 100 m 내지 300 m 사이에서 두드러진다. 수심 300 m 이심에는 수온 1°C 미만, 염분 34.1-34.2 의 범위를 갖는 동해고유수가 분포한다. 등온선과 등밀도선이 정점 5로부터 한국연안쪽으로 상승하여 정점 3에서는 전층에 걸쳐 외해역에 비해 저온, 고밀도의 해수가 나타난다. 이와같은 밀도분포는 연안역에 강한 북향류가 존재함을 암시하며, 뒤에 언급될 ADCP에 의한 유속분포는 이를 뒷받침한다. 정

점 0205의 표층에는 단면 1의 정점 0105-0107의 표층에서와 같이 수온 20°C 이상, 염분 34.3 이상인 고온, 고염의 해수가 나타나는데 염분값은 단면 1에서보다 다소 증가하였다. 염분 34.0 미만의 저염의 해수는 정점 0206의 표층, 정점 0207의 50 m 층 및 정점 0208의 동쪽에 위치한 정점들의 표층에 분포한다.

염분 34.4 이상의 해수는 한국 연안역의 정점 0203, 0204를 제외한 전 정점의 수심 50 m - 150 m 사이에 분포한다. 표층에 상대적으로 고염의 해수가 나타나는 정점 0208과 외해역 정점인 0211, 0212에서는 고염인 해수의 두께가 얇은 반면에 정점 0205-0207 및 0209, 0210에서는 두꺼우며 34.5 이상의 염분핵은 정점 5와 10에서 나타나고 있어 단면 1에서와 마찬가지로 동해로 유입된 대마난류가 들로 나뉘어짐을 알수있다. 이와같은 현상은 상층 혼합층 하부의 14°C 와 16°C 등온선 사이가 정점 0205, 0206 및 0209, 0210에서 타 정점들에 비해 렌즈모양으로 넓게 나타나고 있어 수온의 수직단면에서도 나타난다. 렌즈모양의 고온수가 나타나는 위치는 고염의 핵 (> 34.5)이 나타나는 위치와 일치하지는 않는다.

염분 34.1 미만인 염분최소층은 정점 0210을 제외한 전 정점에 걸쳐 나타나며, 외해역의 34.1의 등염분선은 연안역으로 연결되어 연안역 정점 0203에서는 수심 50 m 부터 저층까지 34.1 미만의 해수가 분포한다. 염분최소층이 나타나는 수심은 정점 3을 제외하면 150 m - 300 m이며, 정점 0206에서는 다른 정점들보다 약 100 m 정도 더 깊은 수심에 나타난다. 정점 0206과 염분최소층이 나타나지 않는 정점 0210에서는 2°C의 등온선이 다른 정점에 비해 깊은 수심에 나타나고 이 정점들의 상부에는 렌즈모양의 고온수 핵이 나타나는 것이 흥미롭다.

2-3. 定線 3 (37°30'N 단면, Fig. II-6)

단면 3은 동해안의 동해시로부터 울릉도를 통과하는 정선이며, 울릉도는 정점 8의 서쪽에 위치한다. 단면 3에서의 관측은 단면 2 관측 이후 11일 경과후에 수행되었다. 염분 34.0 미만, 수온 16°C 미만인 저온, 저염의 해수가 연안역 정점 0302와 울릉도 동쪽의 정점 0308-0310 의 50 m 이천에 나타난다. 대마난류로부터 분리되어 한국 동해안을 따라 북상하는 동한난류의 존재는 남쪽의 단면들에서와 마찬가지로 염분 34.4 이상인 고염수가 한국 연안역에 인접한 정점 0304-0306의 50 m 내지 100 m 층에 나타나는 것으로 확인된다. 이 정점들의 표층해수도 수온 18°C 이상, 염분 34.3 이상으로 고온, 고염의 값을 보인다. 단면 1과 2에서 관측된 염분 34.4 이상의 일본 연안역 대마난류수는 단면 3의 가장 외해역 정점 0312의 70 m 층에만 약간 보인다. 염분 34.1 미만인 염분최소층은 전 정점에 걸쳐 나타나며, 남쪽 단면보다 그 두께가 두껍다.

2-4. 定線 4 (38°N 단면, Fig. II-7)

한국연안역의 고염의 (> 34.4) 동한난류수역은 단면 3에서보다 그 면적이 축소된 채 정점 0404의 표층과 정점 6의 50 m 층에 보이며, 두 고염의 핵 사이에는 34.0 미만의 저염수가 나타난다. 정점 0406의 동편으로는 염분 34.0 미만, 수온 16 °C 미만의 표층수가 광범위하게 나타나며, 특히 정점 0407의 50 m 층에는 조사해역 중 가장 염분이 낮은 (< 33.5) 해수가 관측되었다. 외해역 대마난류수는 정점 0410-0412의 50 m - 100 m 층에서 남쪽의 단면 3에서보다 광범위하게 나타난다.

정점 0404, 0405의 계절 수온약층 아래인 수심 100 m - 200 m 사이에는 수온, 염분, 밀도가 균질한 층이 나타나는데, 이는 이 해역에 존재하는 것으로 보고된 (신 등, 1994) 난수성 소용돌이 (warm eddy)로 간주된다. 소용돌이 내부 해수의 물리적 특성은 수온 6° - 8°C, 염분 34.1 - 34.2, 밀도 (σ_t) 26.5 - 27.0 로서 동해 중층수 상부에 나타난다. ADCP 자료는 이 소용돌이가 시계방향으로 돌고 있음을 보였다. 소용돌이가 나타나는 곳의 수온약층 상부에는 서쪽과 동쪽에 좁은 띠모양으로 고온, 고염인 동한난류수가 나타나며, 소용돌이 중앙부 상층에는 저염의 해수가 나타난다. 소용돌이 하부에서는 등치선들이 오목렌즈 형태를 보이는데 수온 단면도에서 보면 이러한 등온선의 형태가 거의 해저면까지 나타나고 있어 소용돌이의 영향이 깊은 수심까지 미침을 알 수 있다.

염분최소층으로 특징지워지는 동해중층수는 전 정점에 걸쳐 분포하고 있어 1994년 가을철 울릉분지내에서는 전역에 걸쳐 동해중층수가 나타났다.

3. 水溫, 鹽分, 密度의 水平分布

Fig. II-8 - Fig. II-11은 수심 10 m, 50 m, 100 m, 200 m 에서의 수온, 염분, 밀도의 수평분포를 나타낸다. 가을철 수온의 수평분포 특성은 한국연안역과 울릉도 북동부 해역에 상대적으로 수온이 낮은 해수가 분포하며 두 냉수괴 사이에 고온의 해수가 분포하다. 수심 100 m 와 200 m에서는 난수괴가 131°E를 경계로 둘로 갈라져 나타나며, 38°N, 130°E 부근의 수심 200 m에는 수직분포에서 언급한 난수성 소용돌이의 존재로 인하여 주위보다 높은 수온을 갖는 해수가 분포한다. 한국연안역의 냉수괴와 외해역의 난수괴 사이에 수평적으로 강한 수온전선이 형성되어 있으며, 수심이 깊어질수록 수온전선은 보다 외해역에 나타난다. 울릉도 동쪽의 37°N - 37° 30'N 사이에는 북쪽의 냉수괴와 남쪽의 난수괴가 만나 동-서방향의

수온전선이 $131^{\circ} - 132^{\circ} 30'E$ 사이에 나타나며, $132^{\circ} 30'E$ 의 동쪽에는 냉수괴와 난수괴의 중간 성질을 갖는 해수가 분포한다.

100 m 층의 염분분포는 34.4 이상의 고염의 해수가 $131^{\circ}E$ 를 경계로 둘로 나누어져 일부는 동한난류를 형성하여 $37^{\circ} 30'N$ 까지 북상하고, 일부는 $131^{\circ} 30'E$ 동쪽으로 영향을 미침을 보여준다. 10 m 층의 염분분포는 34.4 이상인 해수가 난수성 소용돌이의 상부에 나타나는 저염인 해수의 서쪽에 나타난다. 10 m 층에서 염분 33.8 미만인 저염의 해수는 울릉도 북동쪽 해역과 오끼섬 북서쪽 해역에 폭 넓게 나타나며, 난수성 소용돌이의 상부와 $36^{\circ} 30'N$ 단면상의 한국 연안역에 국지적으로 나타난다. 울릉도 북서쪽과 동쪽, 그리고 남서쪽으로는 10 m 층보다 50 m 층의 염분이 더 낮으며 33.5 미만의 최소 염분값은 울릉도 북서쪽의 한 정점에서 관측되었다. 50 m 층의 저염분수는 좁은 띠 모양으로 울릉도 동쪽과 남서쪽으로 그 영향을 미친다.

밀도분포는 수온분포와 유사하여 조사해역의 해수밀도는 주로 수온에 의해 결정됨을 알 수 있다. 울릉도 북동부 해역의 냉수괴와 한국연안역의 냉수괴의 밀도는 전층에 걸쳐 높게 나타나며, 밀도분포에 의해 추정되는 해수유동은 다음절에서 언급할 ADCP에 의해 관측된 해류분포와 대체로 일치하고 있어 조사해역의 주된 해류는 지형류 균형 (geostrophic balance)을 이룸을 유추할 수 있다.

4. 海水流動

Fig. II-12는 ADCP에 의해 관측된 $37^{\circ}30'N$ 단면에서의 동-서, 남-북방향의 유속분포이다. 정점 0306을 기준으로 서쪽으로는 약 50 km의 폭을 갖고 최대유속이 60 cm/s 이상인 북향류가 나타나며, 동쪽으로는 정점 0306으로부터 울릉도 (정점 8의 서쪽)까지 최대 50 cm/s인 남향류가 나타난다. 유속이 10 cm/s 이상인 곳은 표층으로부터 수심 약 100 m 까지이며 그보다 수심이 깊은 곳에서는 유속이 10 cm/s 미만으로 약하다. 강한 북향류와 남향류가 교대로 나타나는 해역은 고온, 고염의 해수가 오목렌즈 모양으로 나타났던 해역으로서 이는 동한난류의 사행 (meandering)과 연관이 있는 듯하다. 울릉도 동쪽해역에서는 유속 10 cm/s 미만의 미약한 북향류가 우세하게 나타나며 정점 0311과 0312의 약 75 m 층에서 유속이 다소 세게 나타나는데 (> 20 cm/s), 이곳은 염분의 수직단면에서 외해역에 고염의 핵이 나타난 곳과 일치한다. 수심이 150 m보다 깊은 곳에는 10 cm/s 남향류가 나타나는 곳이 있는데 이 영역은 대략 염분최소층의 하부에 해당된다.

Fig. II-13은 ADCP에 의해 관측된 단면 4에서의 동-서, 남-북방향의 유속분포이다. 정점 0405를 기준으로 서쪽에는 북향류가 동쪽에는 남향류가 나타난다. 정점 0405는 대략 38°N 단면에 존재하는 난수성 소용돌이의 중심부에 해당되어 이러한 소용돌이가 시계방향으로 움직임을 시사한다. 최대유속은 수온약층 아래의 소용돌이 가장자리에서 나타나며 남향류의 최대유속이 북향류의 최대유속에 비해 10 cm/s 정도 더 빠르다. 이 소용돌이의 영향은 유속관측이 이루어진 최대수심 300 m까지 나타난다. 한국연안 근처의 정점 0402, 0403의 표층에도 30 cm/s 이상의 북향류가 나타나며, 가장 연안역인 정점 0401의 100 m 이심에는 10 cm/s 미만의 남향류가 나타난다. 단면 3의 울릉도 동쪽해역에는 東向流가 우세한 반면에, 단면 4의 정점 0408의 동쪽으로는 西向流가 우세하게 나타나고 있어 전반적으로 울릉도 북동부 해역의 냉수괴의 순환은 반시계 방향임을 알 수 있다.

Fig. II-14는 수심 49 m, 97 m, 153 m, 201 m, 249 m 에서의 해수순환을 나타낸다. 전반적으로 수심 200 m까지는 울릉도 동쪽 끝을 통과하는 131°E 를 기준으로 서쪽에는 강한 시계방향의 순환이 존재하고 동쪽으로는 상대적으로 미약한 반시계 방향의 순환이 존재한다. 울릉도 서쪽의 시계방향의 해수순환은 동한난류의 북상, 연안으로부터의 이안 및 사행 그리고 난수성 소용돌이의 존재와 연관된 듯하며, 울릉도 동쪽의 반시계방향의 순환은 동 해역에 분포하는 냉수괴의 운동과 연관된다. 수심에 따른 순환의 약화는 경압효과에 기인한다. 전반적으로 조사해역에서의 Rossby 변형반경은 약 10 km - 20 km 정도밖에 되지않는 반면에, 조사해역의 특징적인 현상들 (예, 파형의 등밀도 구조, 울릉도 북동부의 냉수괴, 난수성 소용돌이, 동한난류의 폭)의 공간적 규모는 이보다 훨씬 크기 때문에 해수순환은 해양내부의 밀도구조에 의해 조절된다고 할 수 있다. .

第 4 節 結論 및 考察

조사해역 내 수괴는 해수의 물리적 특성 및 기원에 따라 4가지로 구분되는데, 해표면에서부터 표층수, 대마난류수 (50m - 150m), 동해중층수 (100m - 300m) 및 동해고유수 (300m 이하)가 수직적으로 분포하고 있다. 표층수는 그 출현 영역에 따라 수온, 염분의 특성 범위가 약간씩 다르게 나타나는데, 대체로 연안역, 외해역 남부, 외해역 북부의 세 그룹으로 다시 구분할 수 있다.

대마난류수는 대략 수온 및 밀도약층에서부터 그 이하 수심에 걸쳐 분포하며, 두개의 분지로 나뉘어져 북쪽으로 갈수록 고염의 핵이 서로 멀어짐을 보인다. 염분최소층으로 특징지워지는 동해중층수는 독도 남쪽의 한 정점을 제외하곤 전 해역에 나타나며, 중층수가 나타나는 수심의 변화는 중층수 상부의 파형의 밀도구조와 연관된 듯 하다. ADCP자료에 의하면 정선 3에서는 중층수 상부의 흐름이 전반적으로 미약한 남향류로 나타나지만 정선 4에서는 상층의 흐름과 같은 방향을 보였다. 동해고유수는 수심 300m이하 거의 전해역을 차지하는 균질한 해수로서, 이 심층수의 자세한 구조도 본 보고서의 논의에서 제외하였다. 38° N 정선에서는 연안으로부터 약 100 km 떨어진 해역의 수온약층 아래 폭이 약 100 km 정도되는 시계방향의 난수성 소용돌이가 관측되었다. 소용돌이가 나타나는 곳의 수온약층 상부에는 소용돌이의 외곽에 해당되는 곳에 고염의 동한난류수가 좁은 띠 모양으로 나타나는데 향후 소용돌이와 동한난류간의 역학적 관련성에 관한 연구가 필요하다. 조사해역의 해수순환은 울릉도 서쪽의 강한 시계방향의 순환과 울릉도 동쪽의 상대적으로 미약한 반시계방향의 순환이 ADCP에 의해 관측되었고, 순환의 양상은 경압 밀도구조와 일치한다.

參 考 文 獻

- 김인옥, 1986. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 석사학위 논문, 제주대학교, 46pp.
- 김경렬, 이대식, 김 구, 정종률, 1991. 울릉분지 해역 동해 중층수의 화학적 특성. 한국해양학회지, 26, 278-290.
- 김영의, 1991. 동해 해수 순환의 수치실험 연구. 이학박사학위 논문, 서울대학교, 211pp.
- 신흥렬, 변상경, 김철수, 황상철, 신창웅, 1995. 난수성 소용돌이의 구조특성. 한국해양학회지, 30, 39-56.
- 이홍재 등, 1994. 동중국해의 이용과 개발을 위한 동중국해 해황과 대마난류수의 기원 (예비조사). 한국해양연구소 보고서 BSPN 00246-711-1, 226pp.
- Cho, Y. G., and K. Kim, 1995. Two modes of the salinity-minimum layer water in the Ulleung Basin. *La Mer*, 33, 33-40.
- Fukuoka, J., 1957. On the Tsushima Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 13, 57-60.
- Hurlburt, E. H., A. J. Wallcraft, Z. Sirkes, and E. J. Metzger, 1992. Modeling of the global and Pacific Ocean: On the path to eddy-resolving ocean prediction. *Oceanography*, 5, 25-40.
- Kawabe, M., 1982a. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea, Part I. data analysis. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 97-107.
- Kim, K., and J. Y. Chung, 1984. On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea (Sea of Japan). In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, T. Ichiye, editor, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 55-65.
- Kim, K., and R. Legeckis, 1986. Branching of the Tsushima Current in 1981-83. *Progress in Oceanography*, 17, 265-276.
- Kim, K., K. R. Kim, J. Y. Chung, and H. S. Yoo, 1991. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26, 83-100.
- Kim, Y. E., and J. Y. Chung, 1989. Numerical study of the circulation in the Japan Sea. I. Case of closed basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24, 96-108.

- Lie H. J., and C. H. Cho, 1994. On the origin of the Tsushima Current. *J. Geophys. Res.*, 99, 25081-25091.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima Current. In: Kuroshio, H. Stommel and K. Yoshida, editors, University of Washington Press, 353-369.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932 (in Japanese). *J. Imp. Fisher. Exp. St.*, 57, 57-190.
- Yoon, J. H., 1982. Numerical experiment on the circulation in the Japan Sea, Part I: Formation of the East Korean Warm Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 43-51.

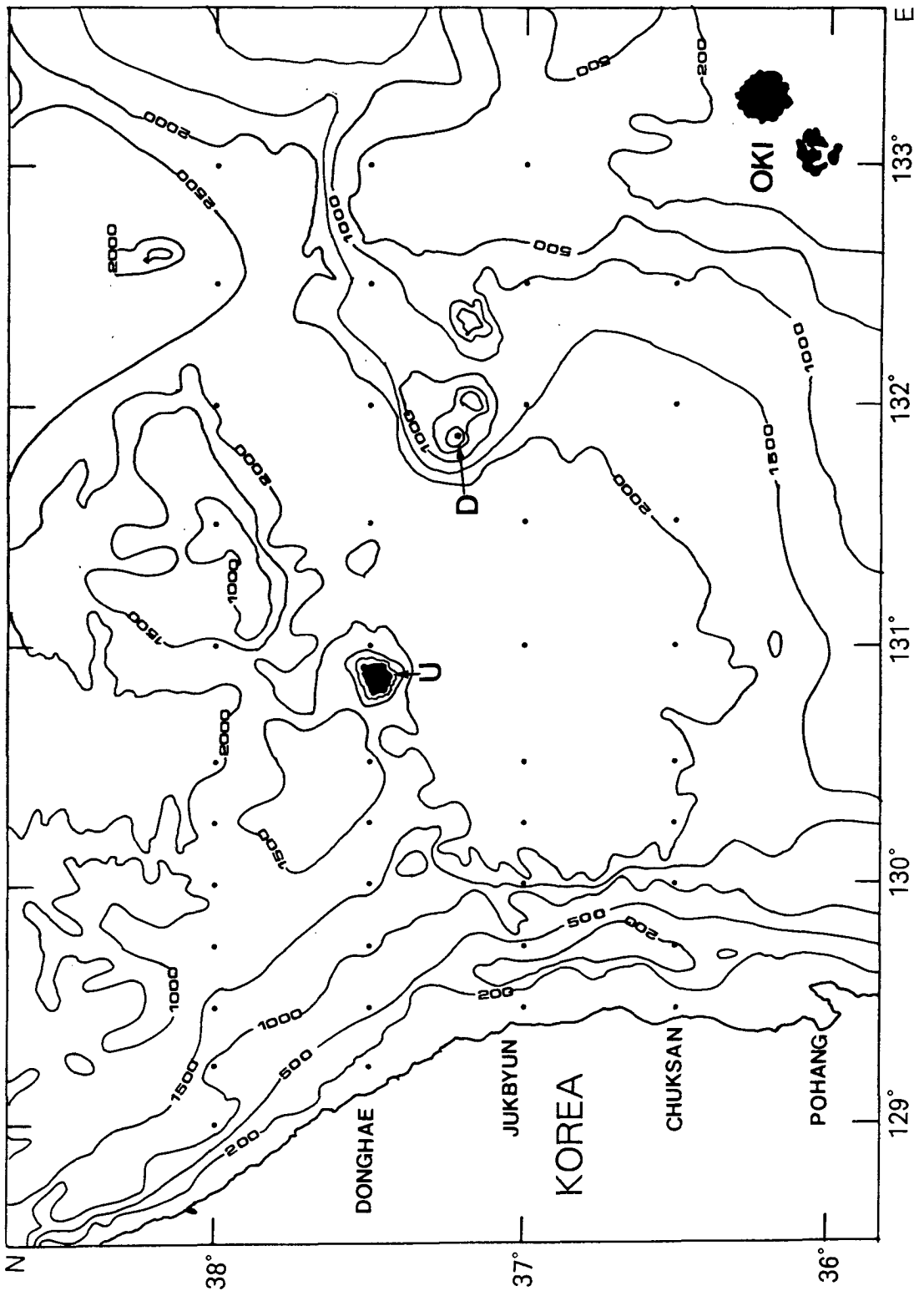


Fig. II-1. Bottom topography and CTD stations in the Southwestern part of the East Sea

Accuracy of MARK V salinity

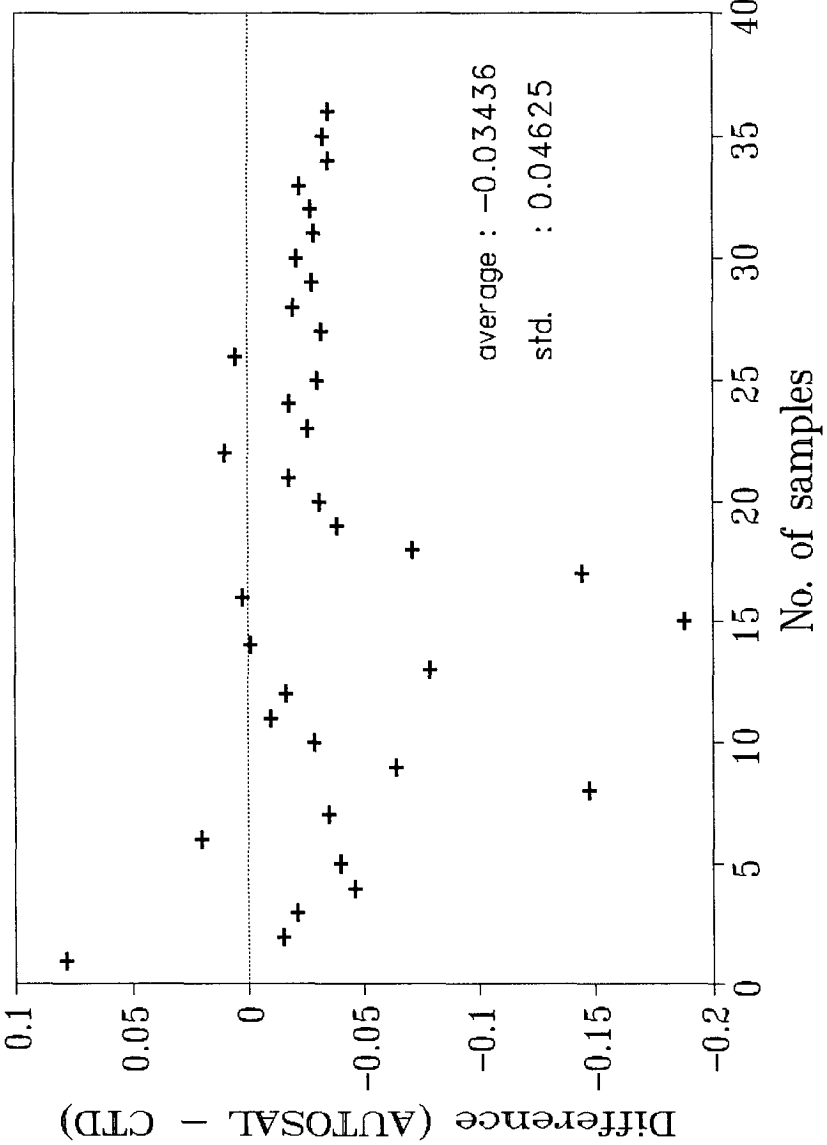


Fig. II-2. The differences between salinity values measured by Autosol (with sampled water) and by CTD (in situ) during November 9~25, 1994

East Sea (Nov. 1994)

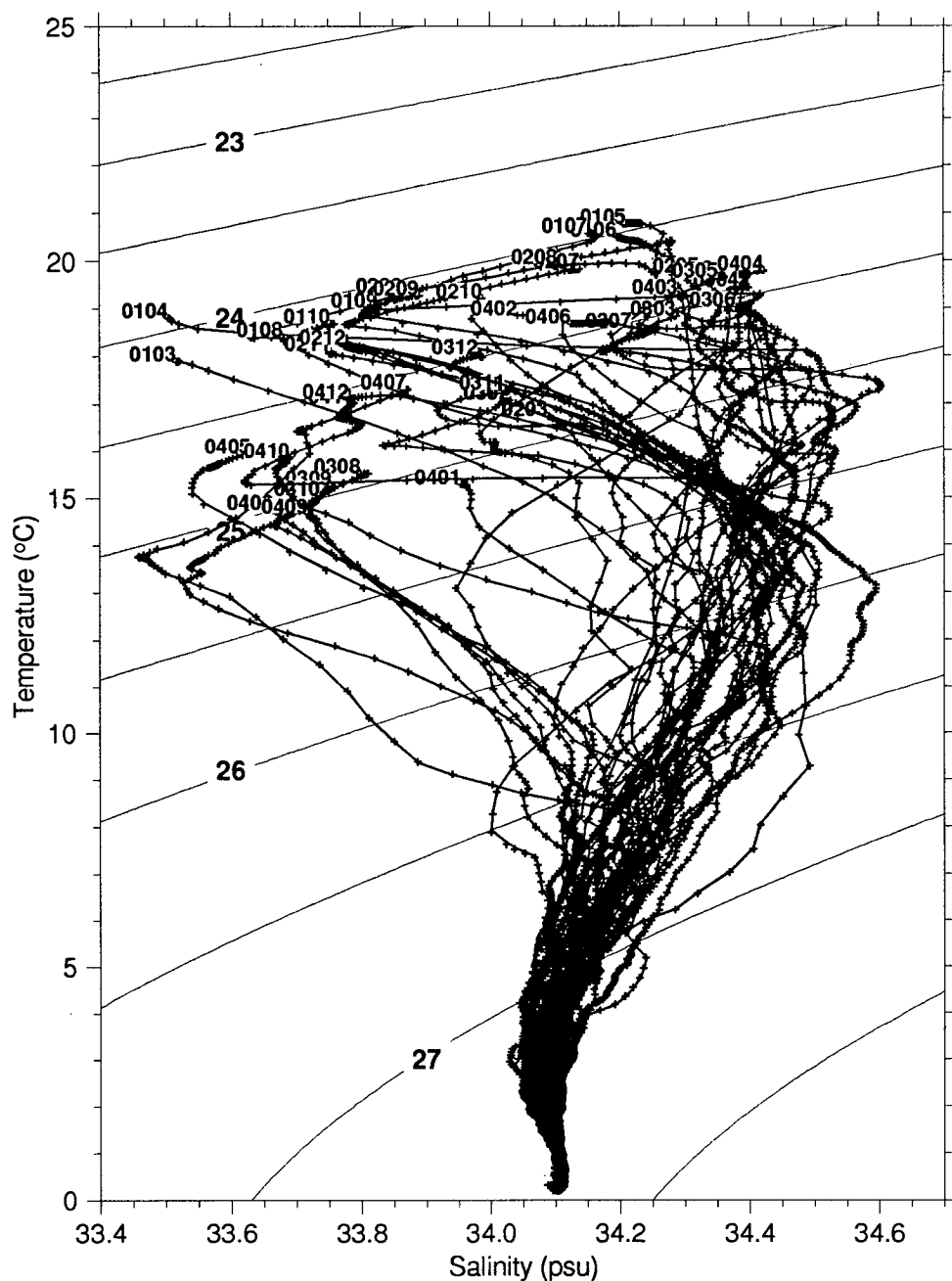


Fig. II-3. T-S diagrams (a) at all the 42 CTD stations, (b) at the stations of the line 01 ($36^{\circ} 30'N$), (c) at the stations of the line 02 ($37^{\circ} N$), (d) at the stations of the line 03 ($37^{\circ} 30'N$), and (e) at the stations of the line 04 ($38^{\circ} N$) during November 9~25, 1994

East Sea (Line 01)

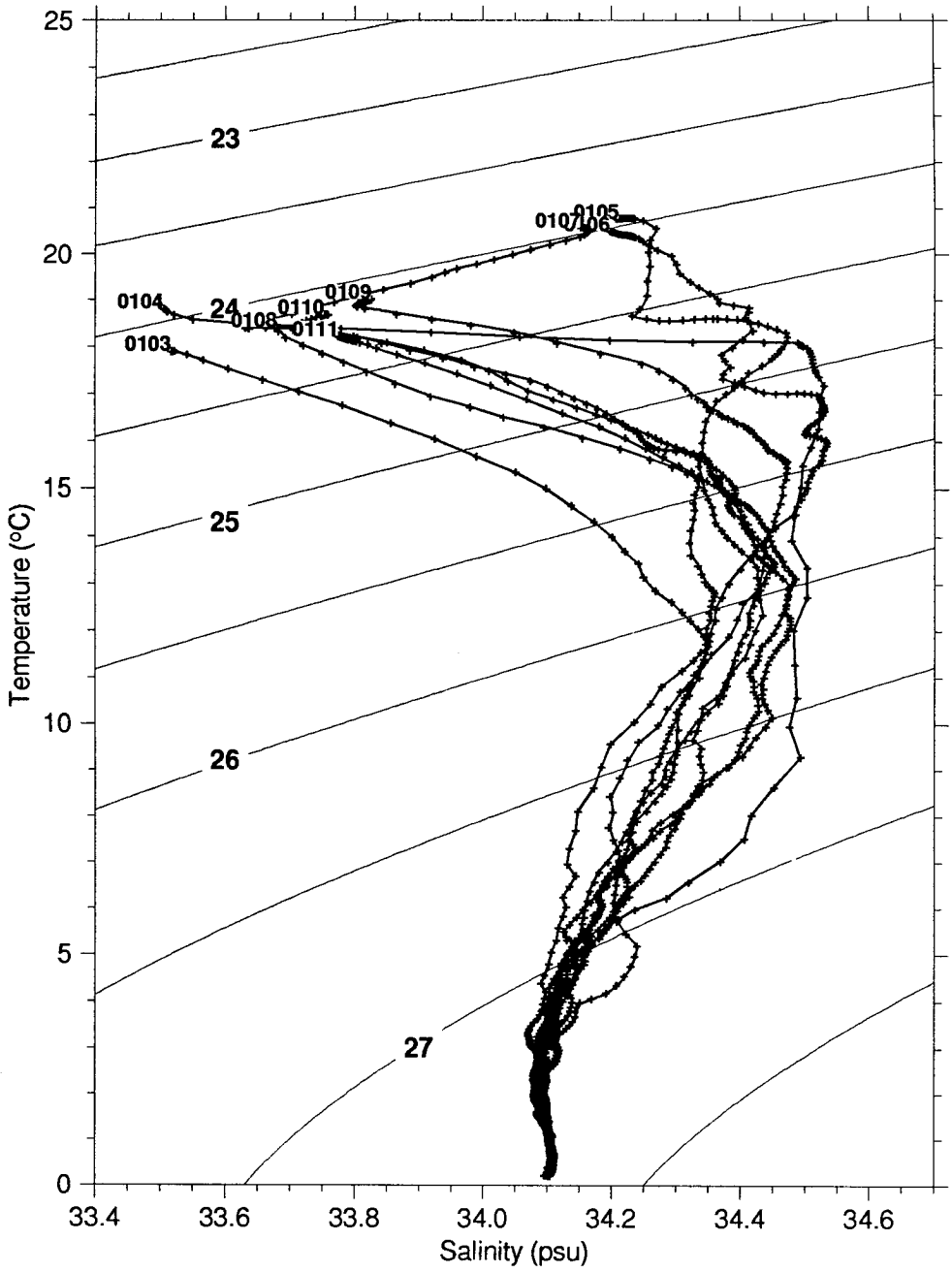


Fig. II-3. Continued 1

East Sea (Line 02)

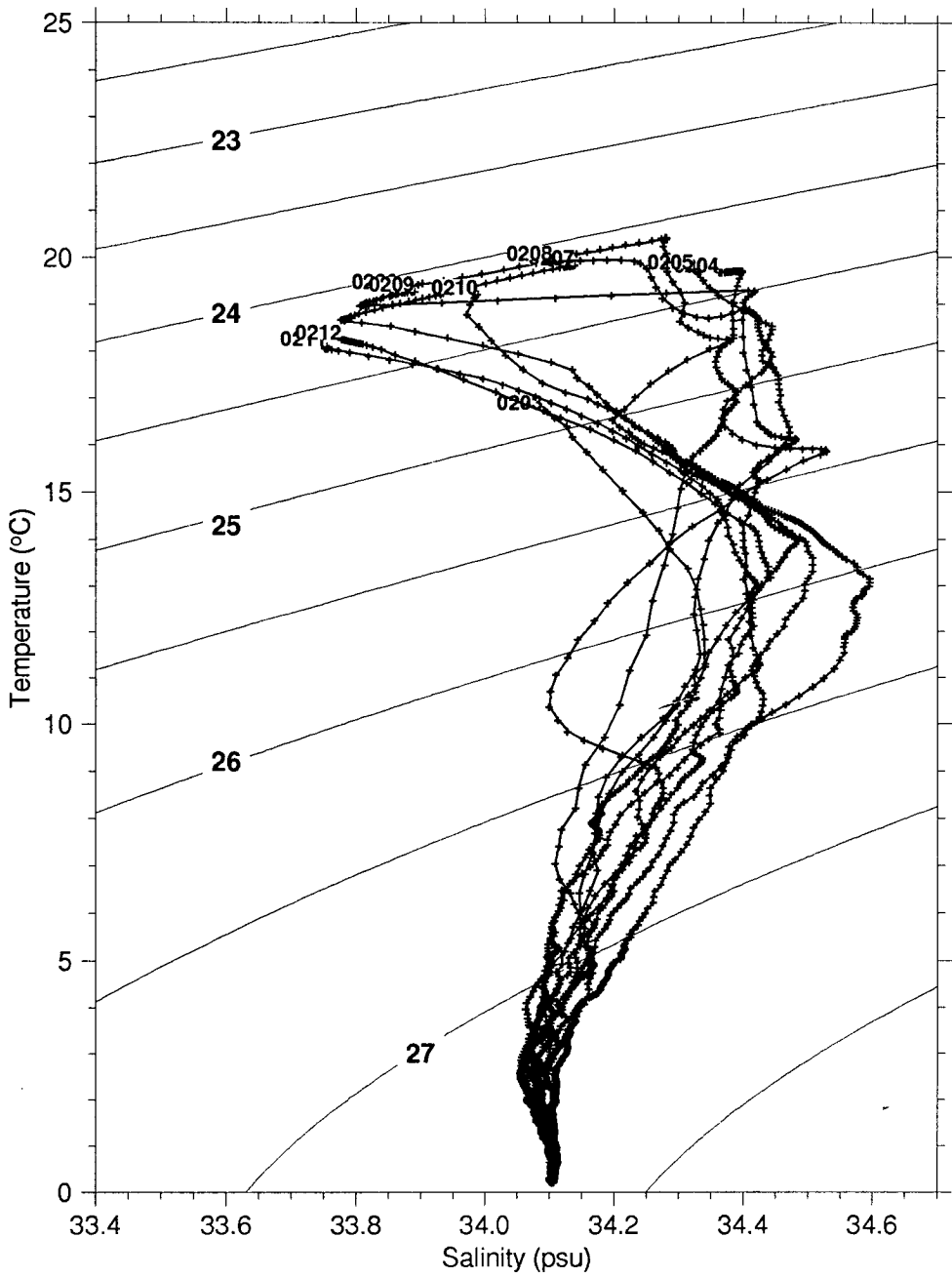


Fig. II-3. Continued 2

East Sea (Line 03)

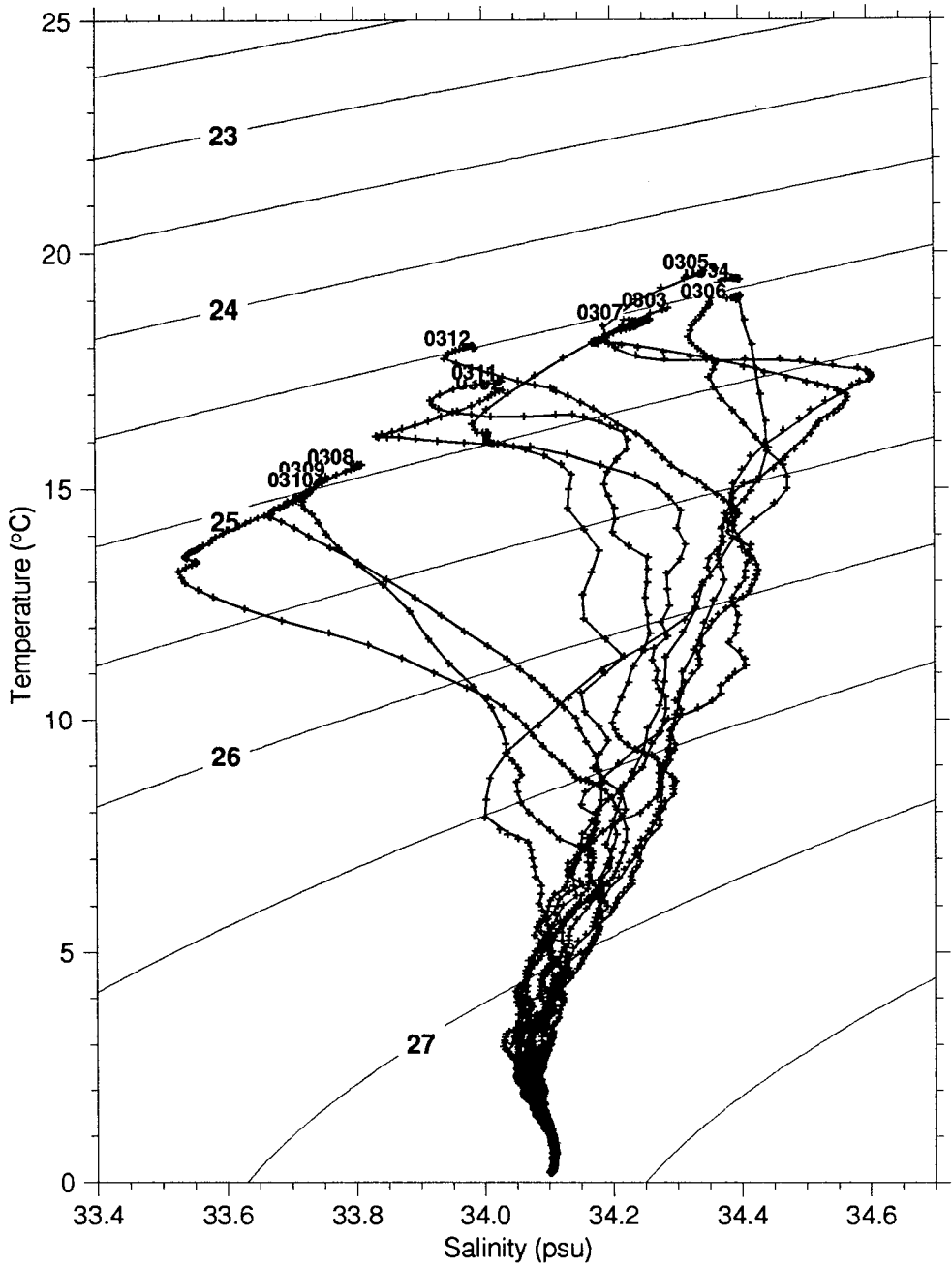


Fig. II-3. Continued 3

East Sea (Line 04)

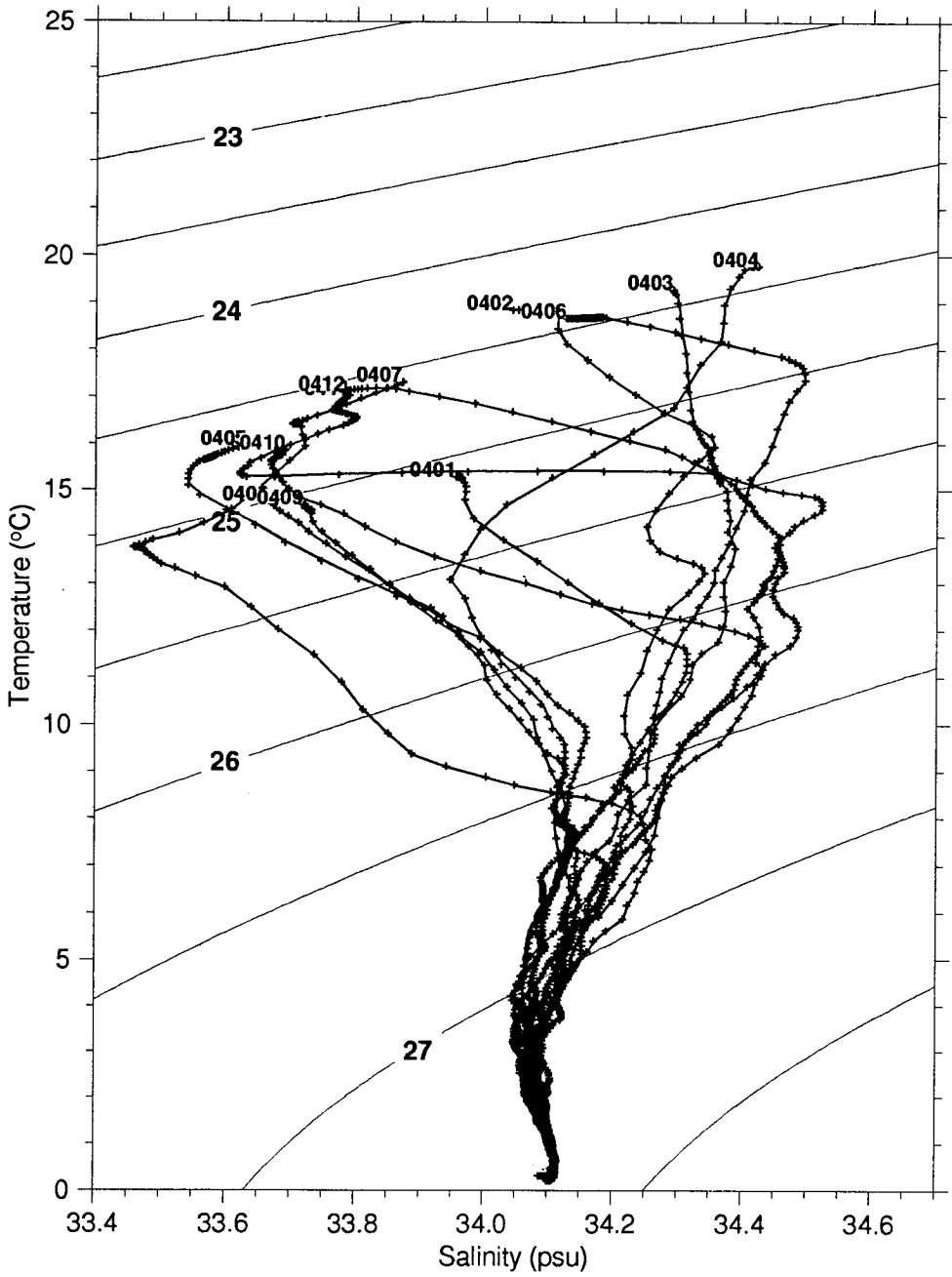


Fig. II-3. Continued 4

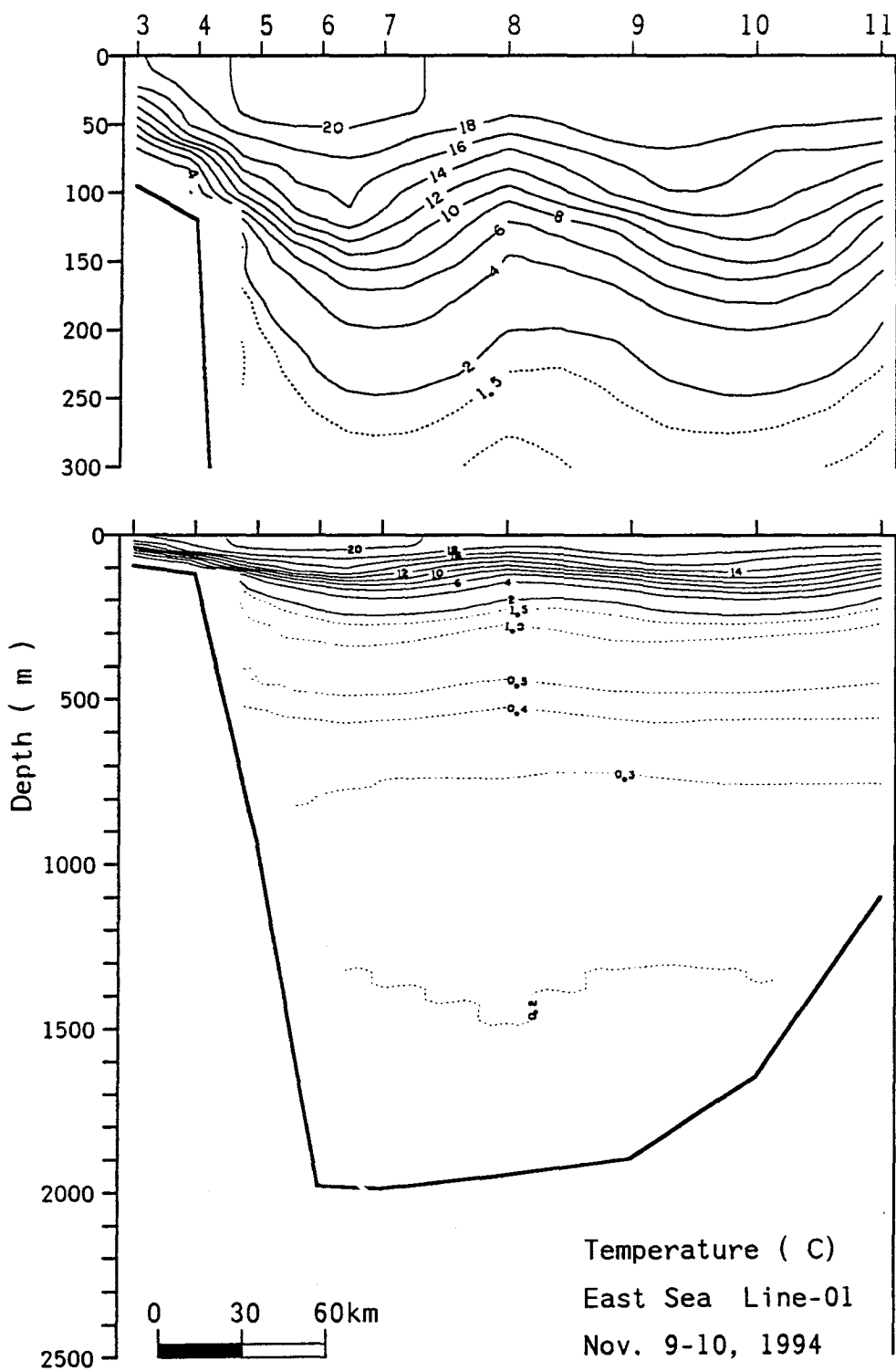


Fig. II-4. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 01 (36° 30'N) during November 9~25, 1994

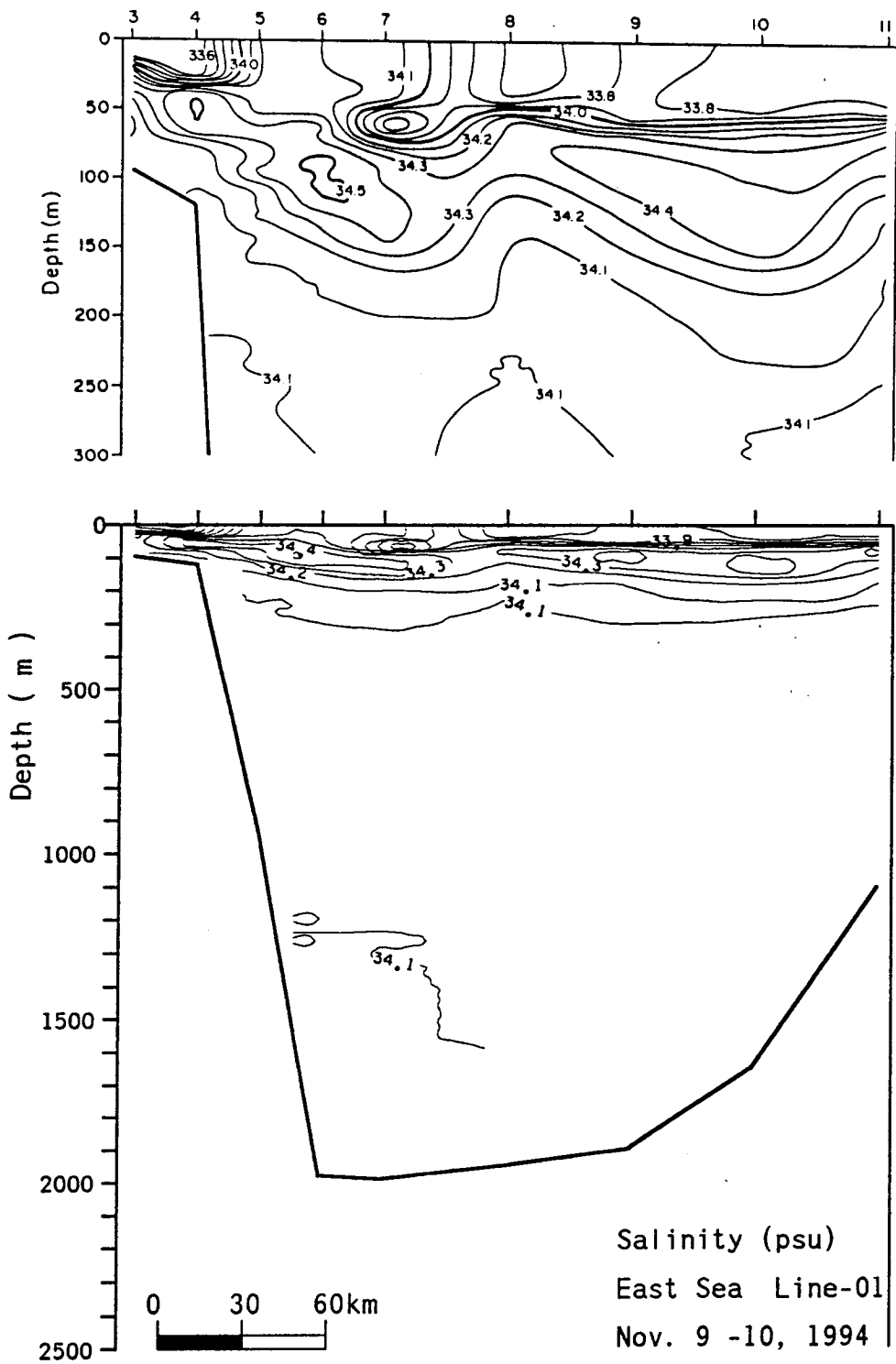


Fig. II-4. Continued 1

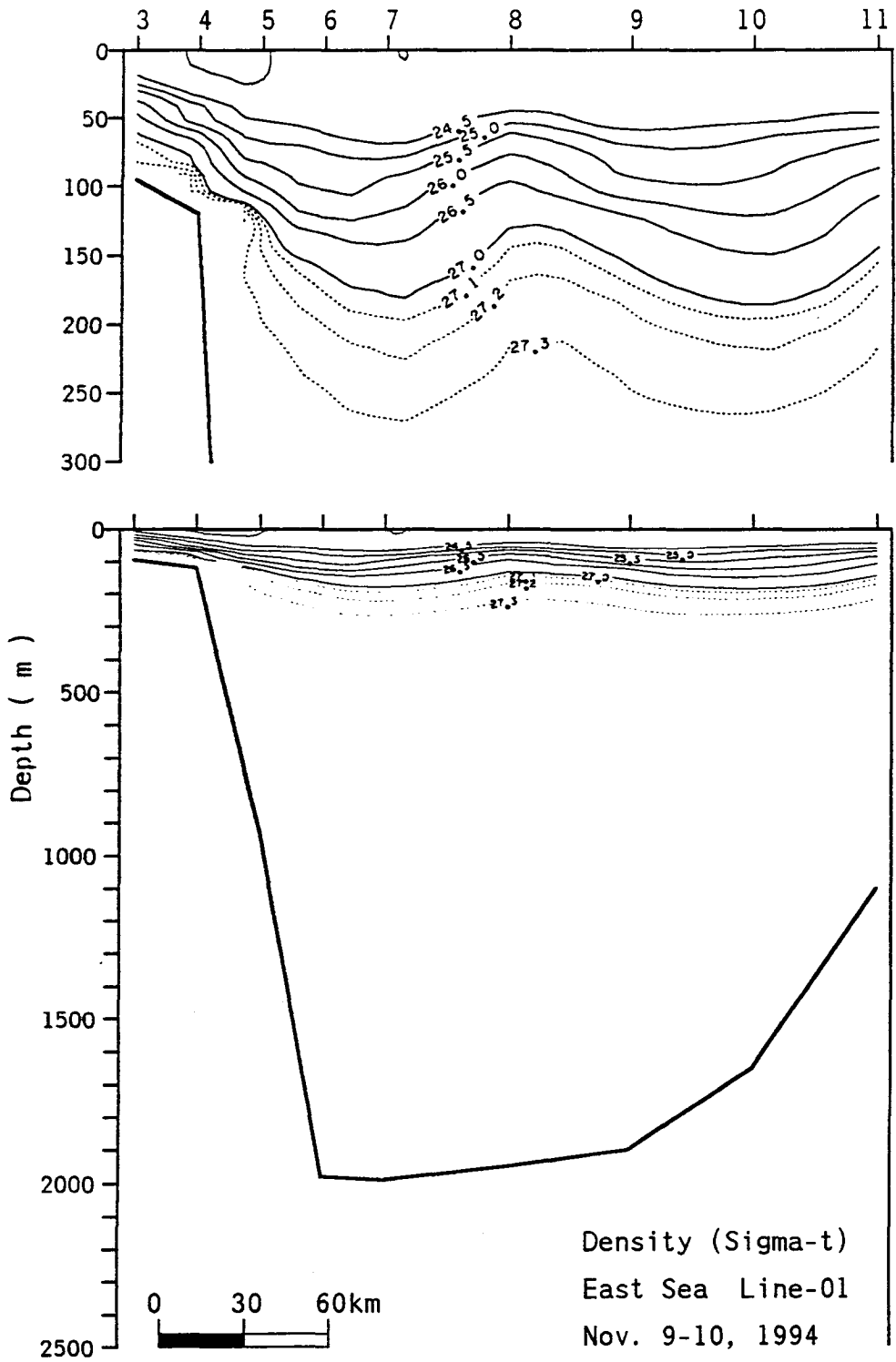


Fig. II-4. Continued 2

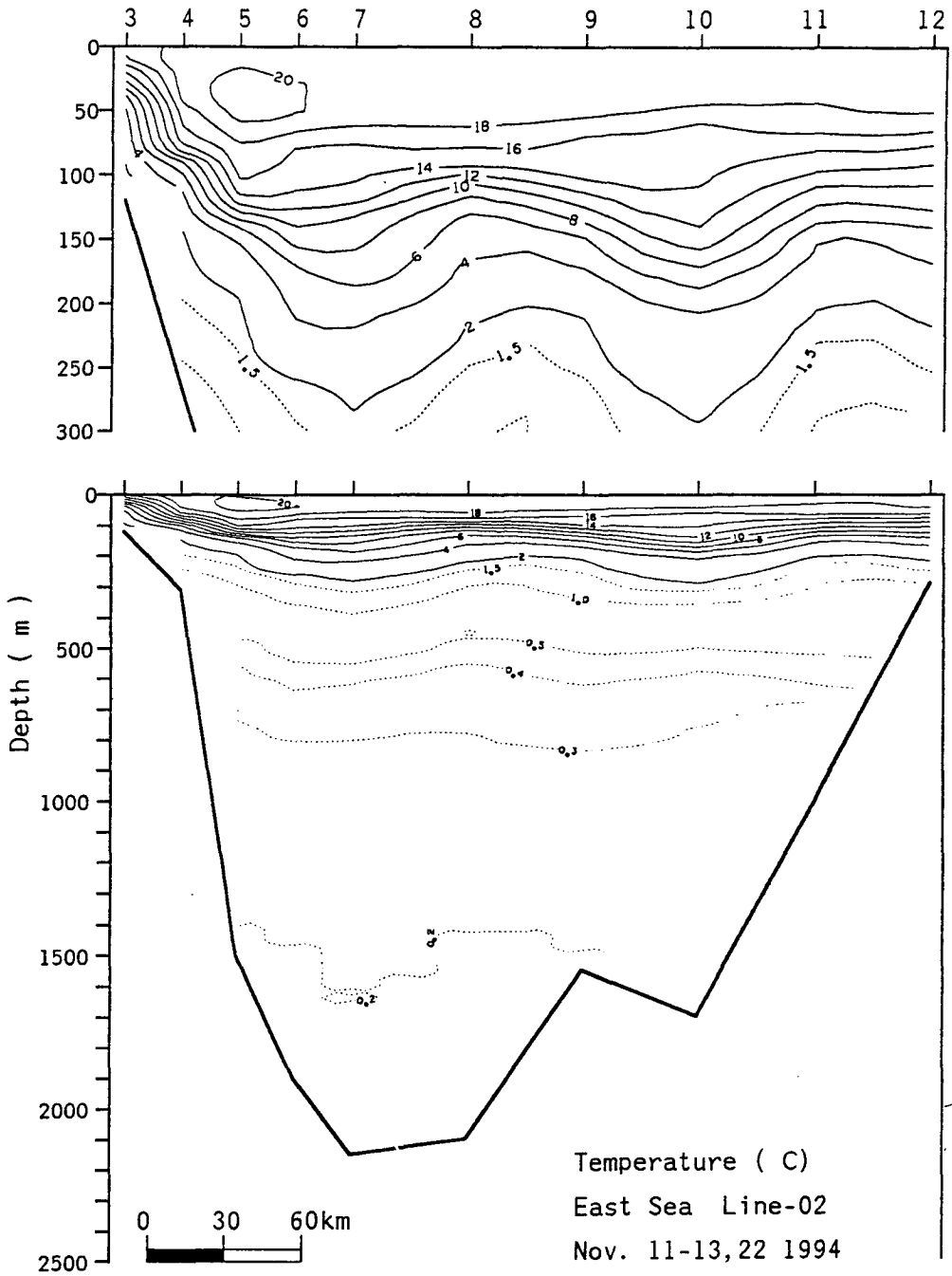


Fig. II-5. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 02 (37° N) during November 9~25, 1994

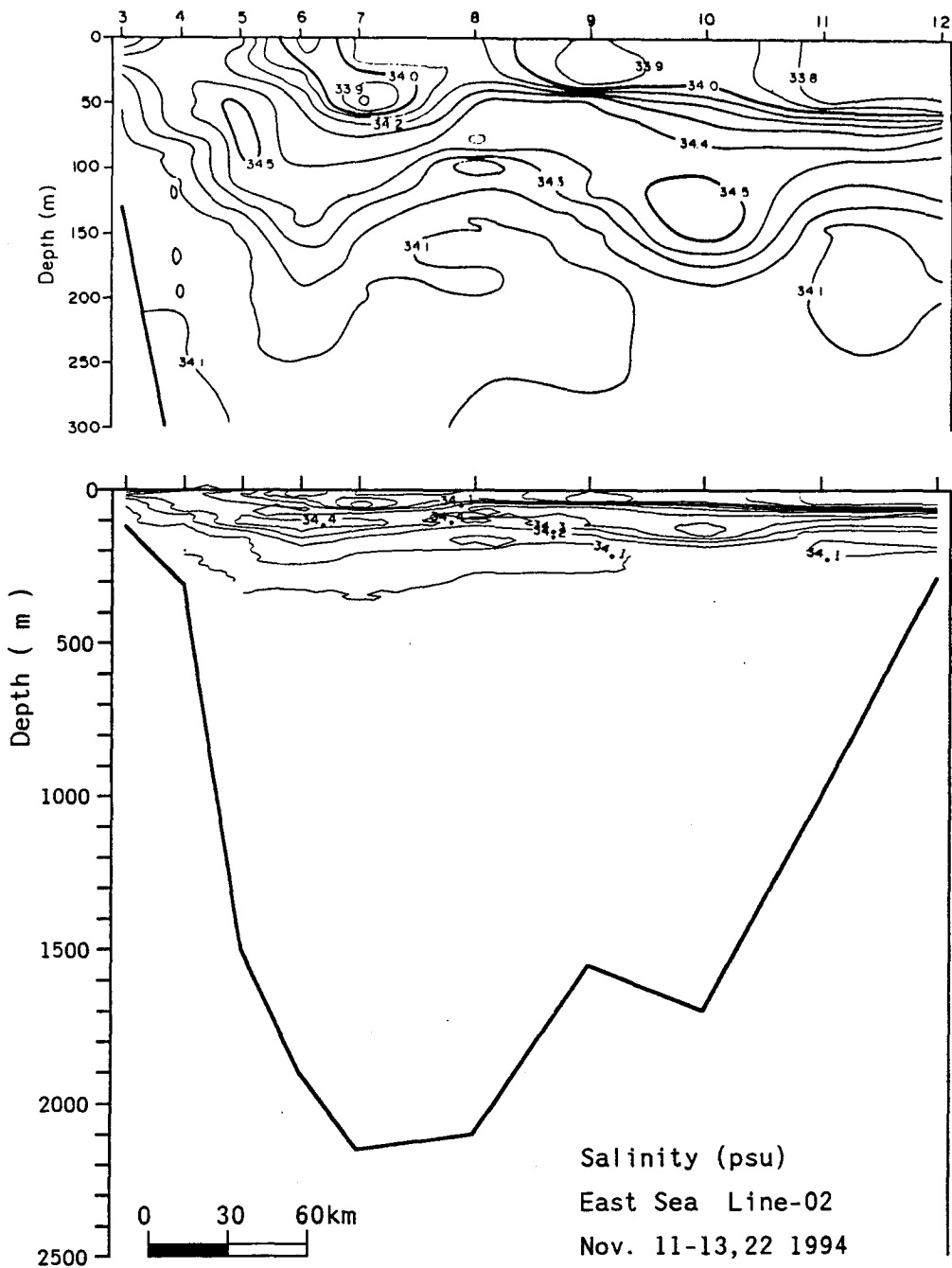


Fig. II-5. Continued 1

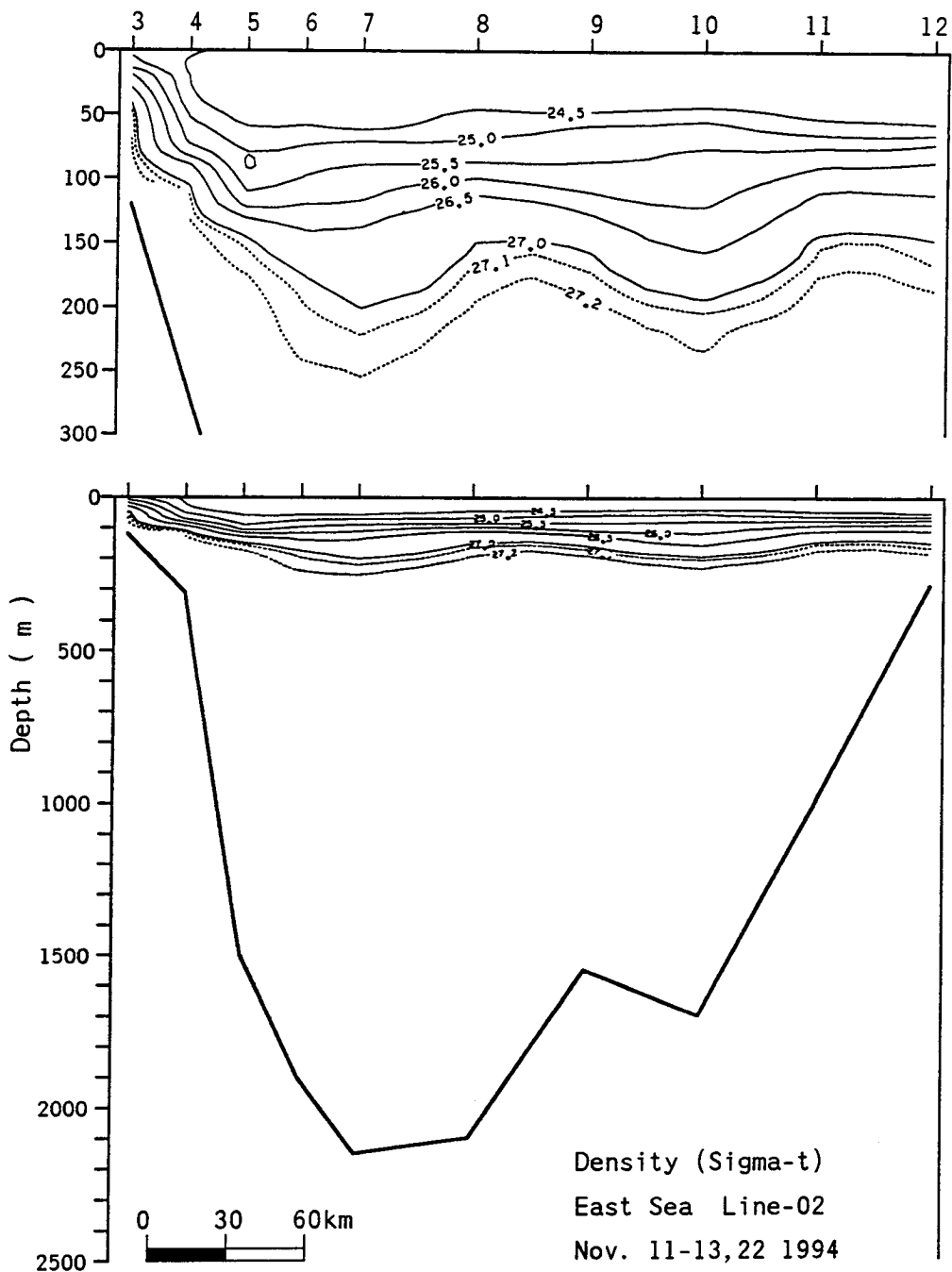


Fig. II-5. Continued 2

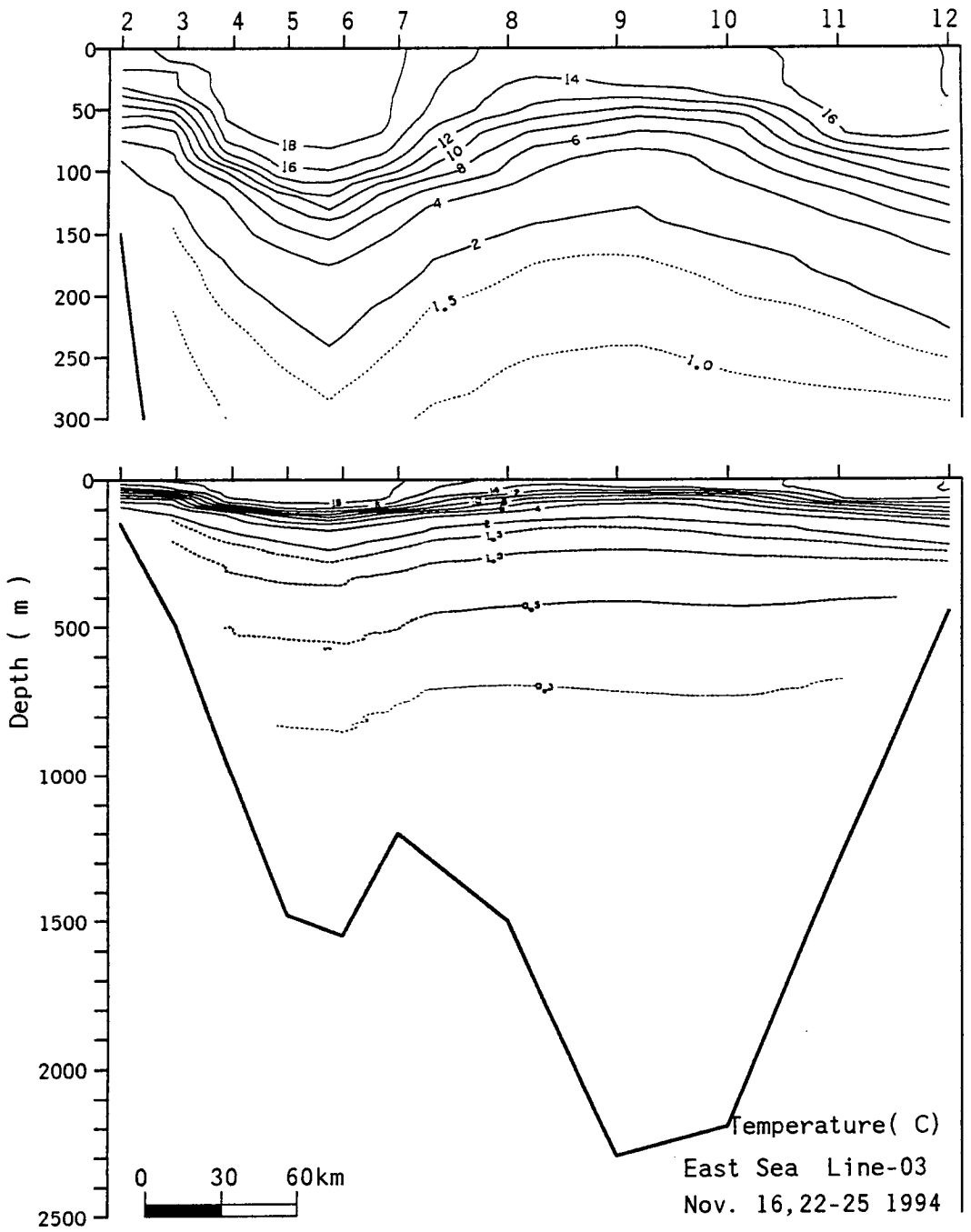


Fig. II-6. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the 03 (37° 30'N) during November 9~25, 1994

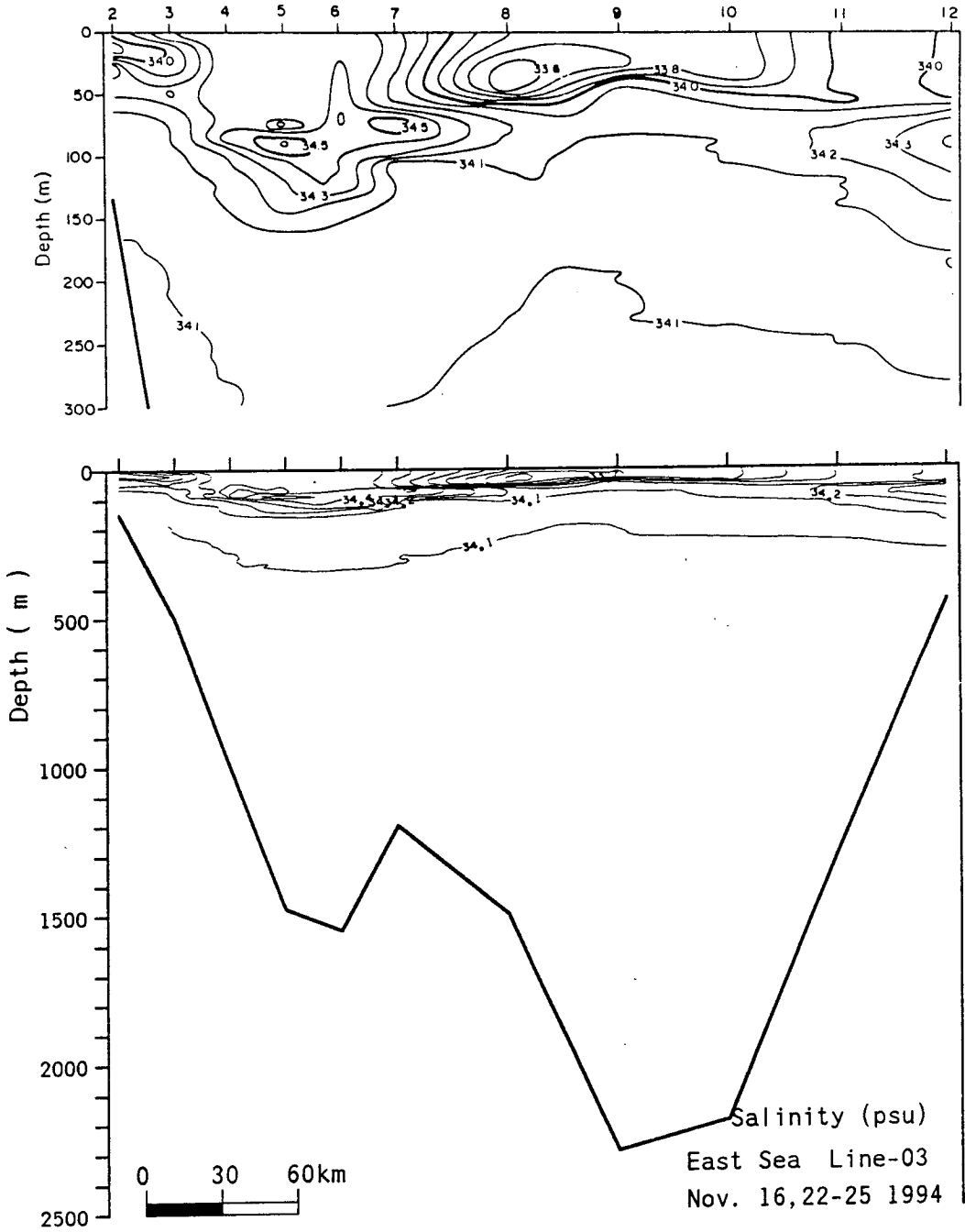


Fig. II-6. Continued 1

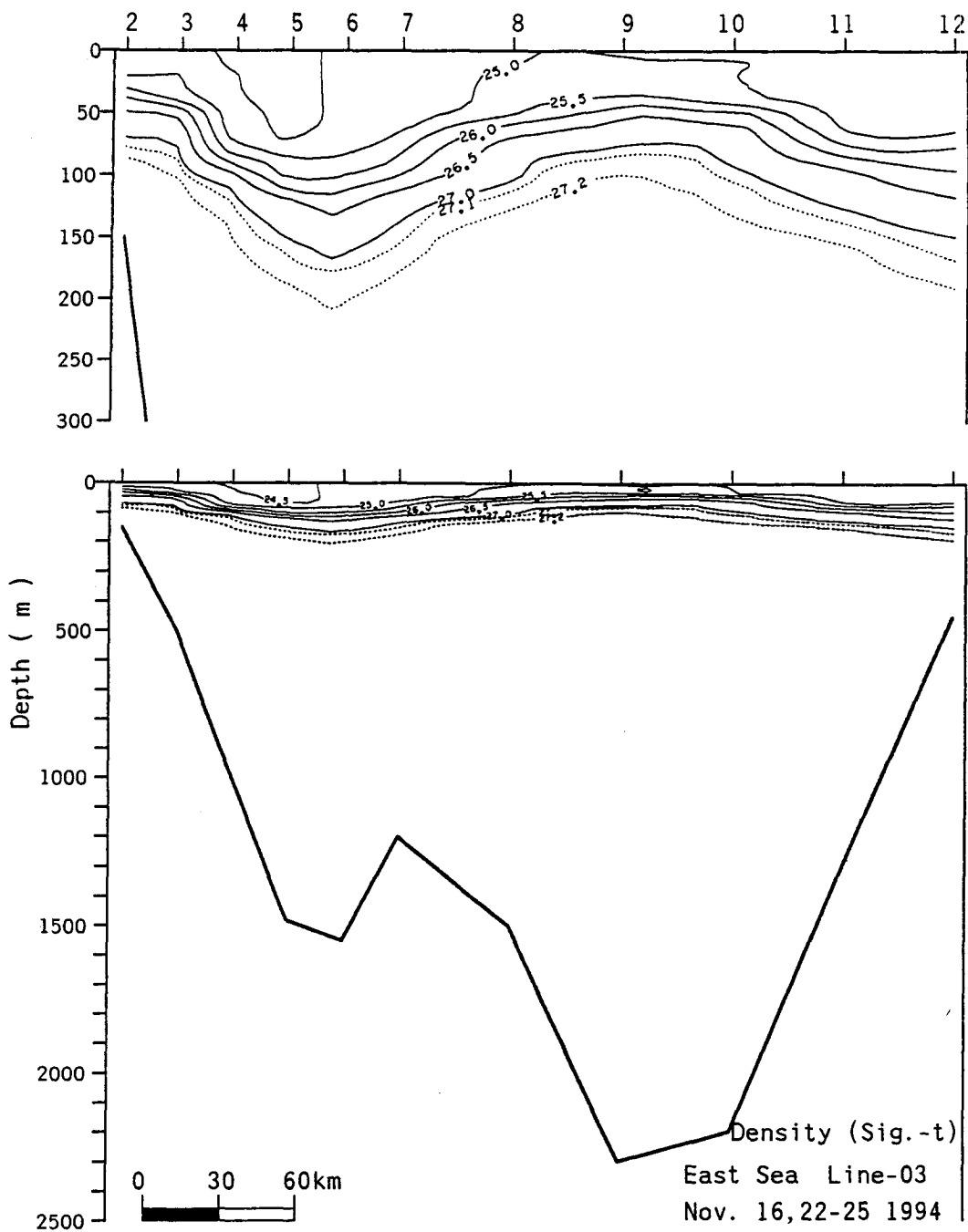


Fig. II-6. Continued 2

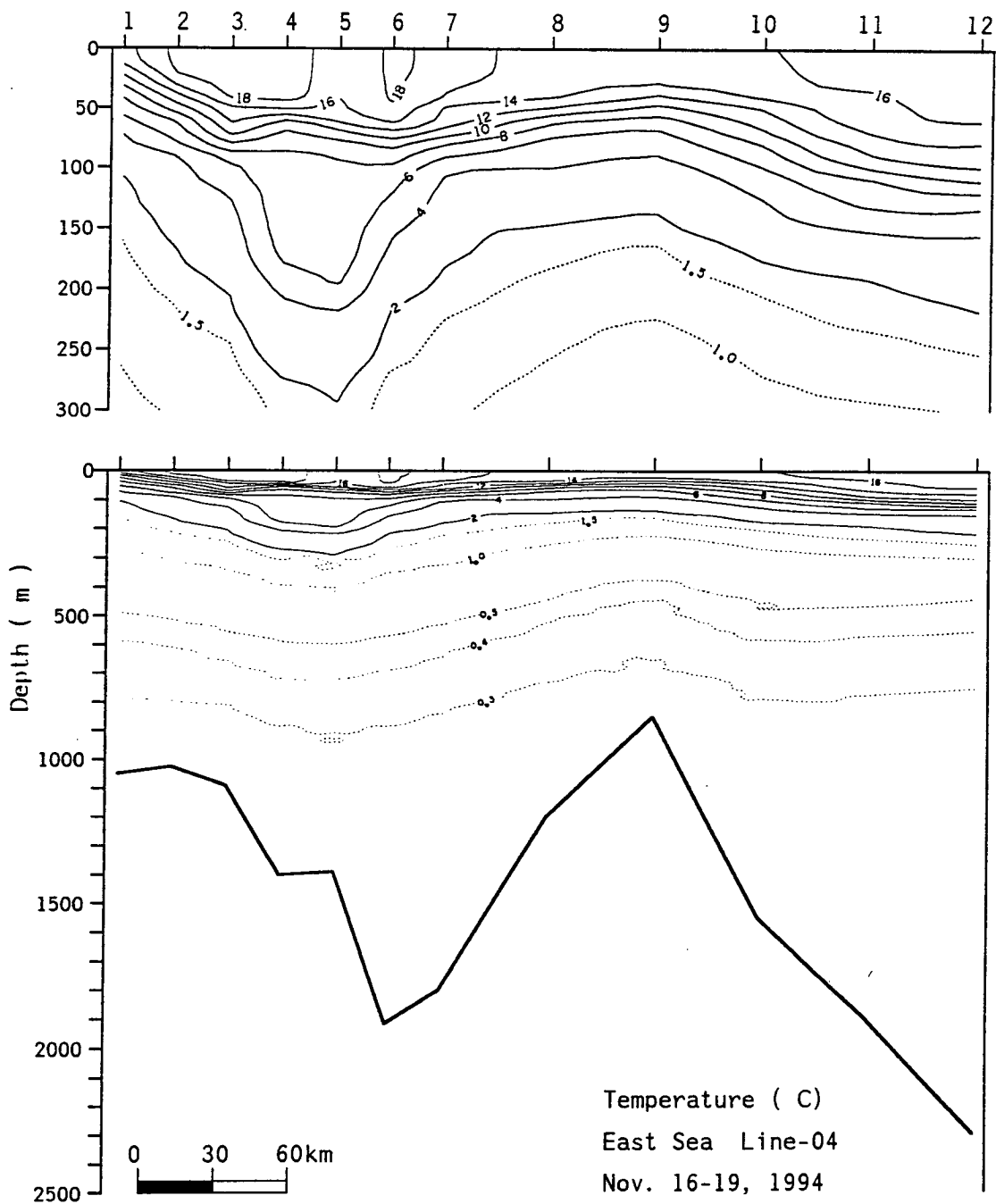


Fig. II-7. Vertical distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density on the line 04 (38N) during November 9~25, 1994

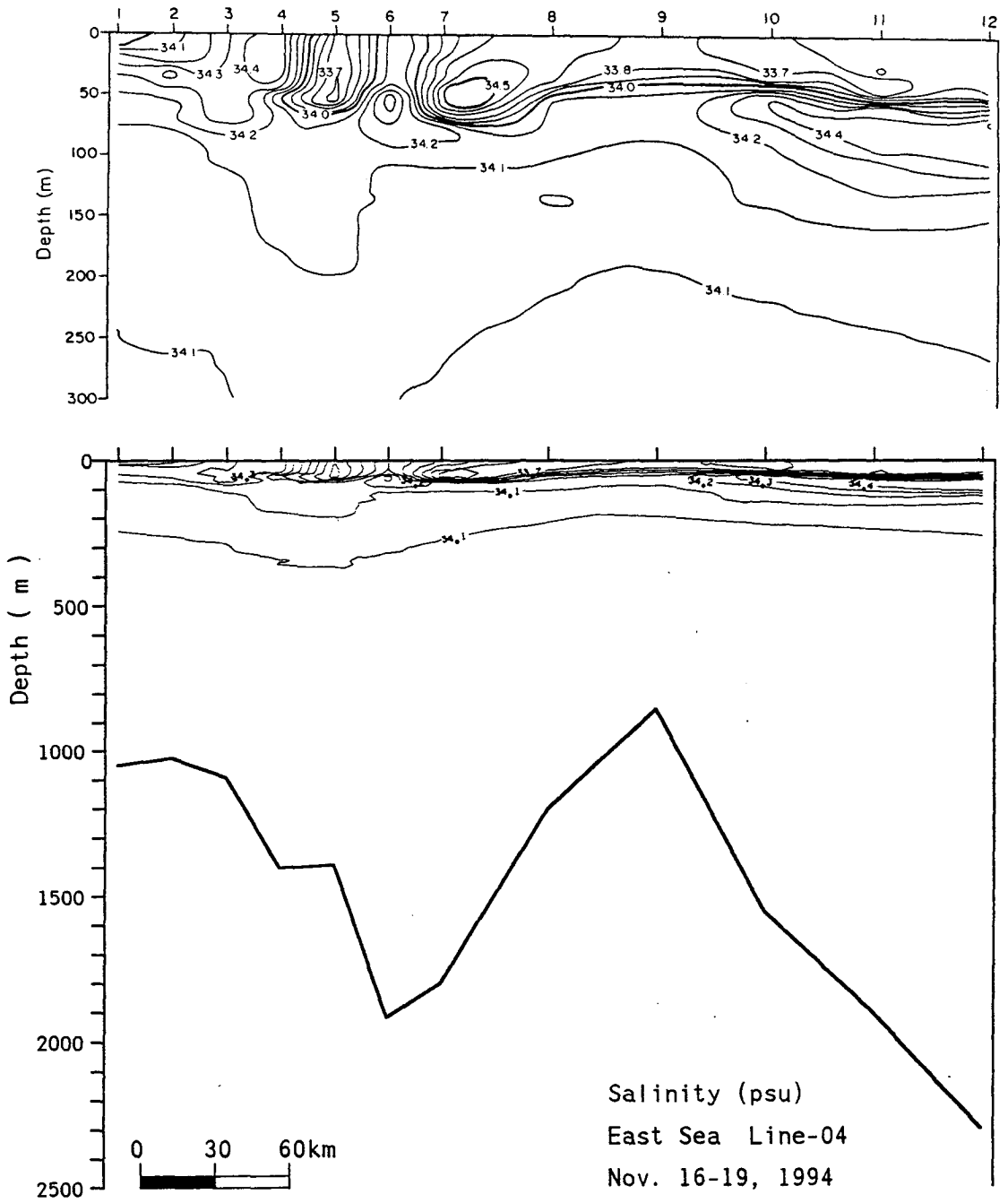


Fig. II-7. Continued 1

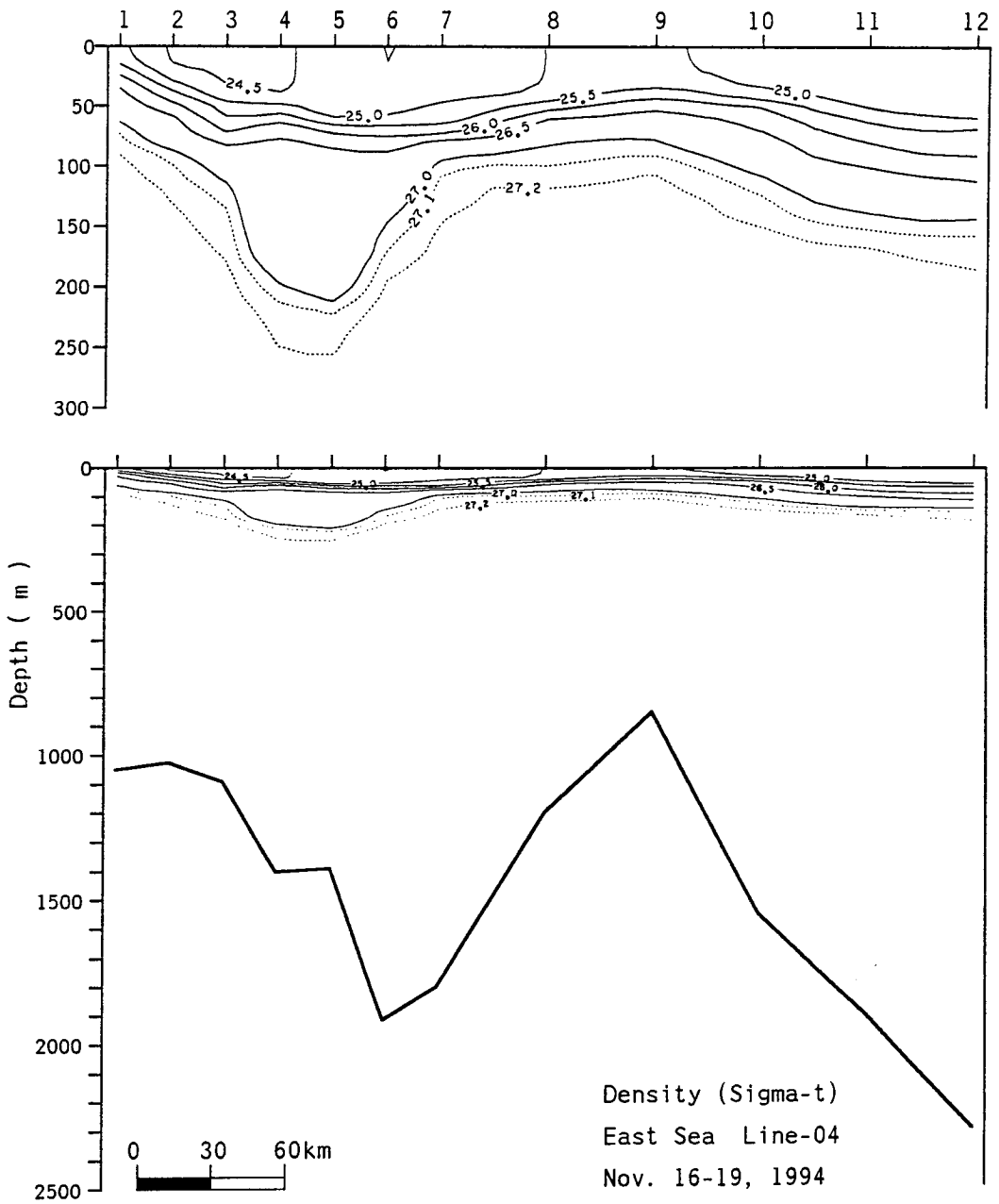


Fig. II-7. Continued 2

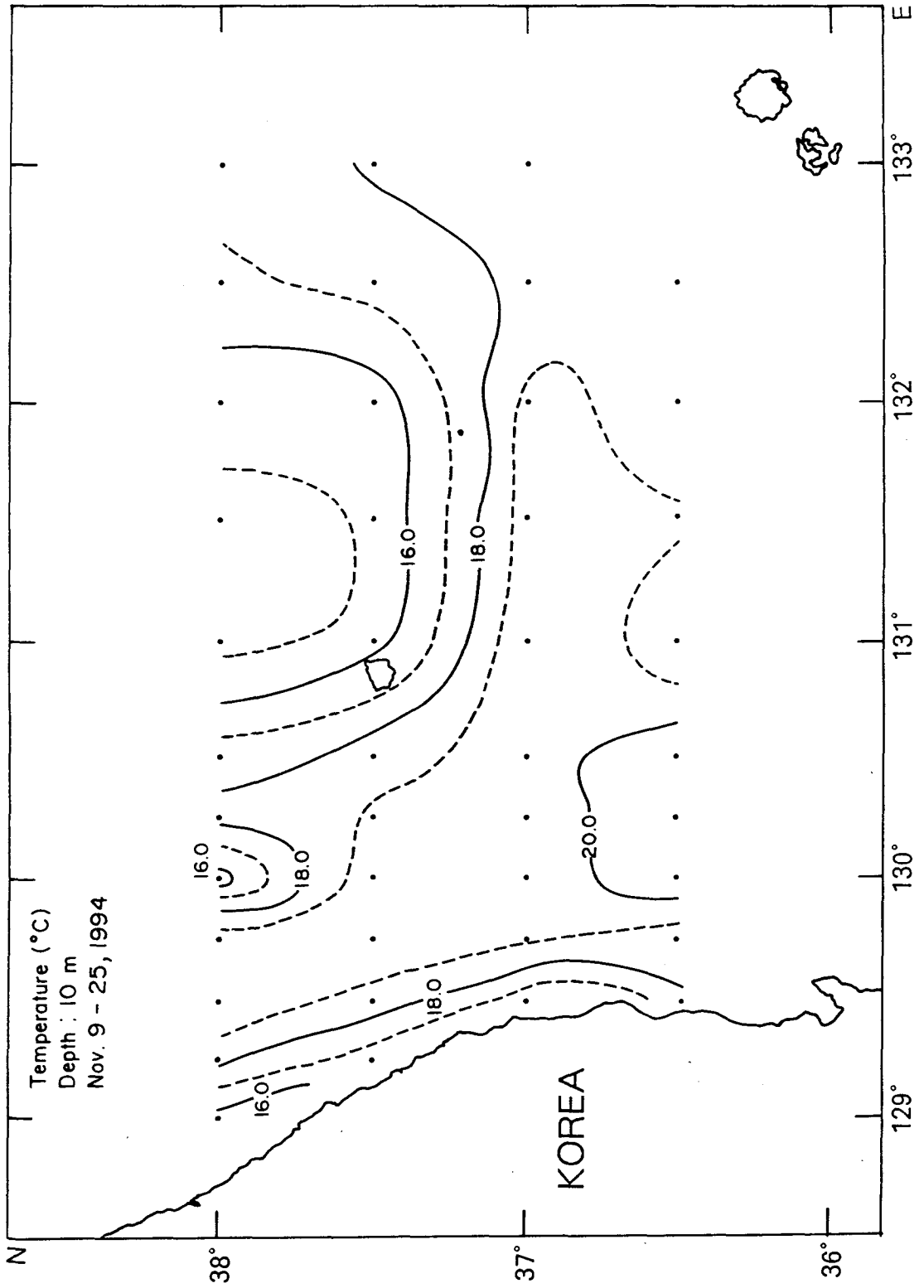


Fig. II-8. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 10m depth during November 9~25, 1994

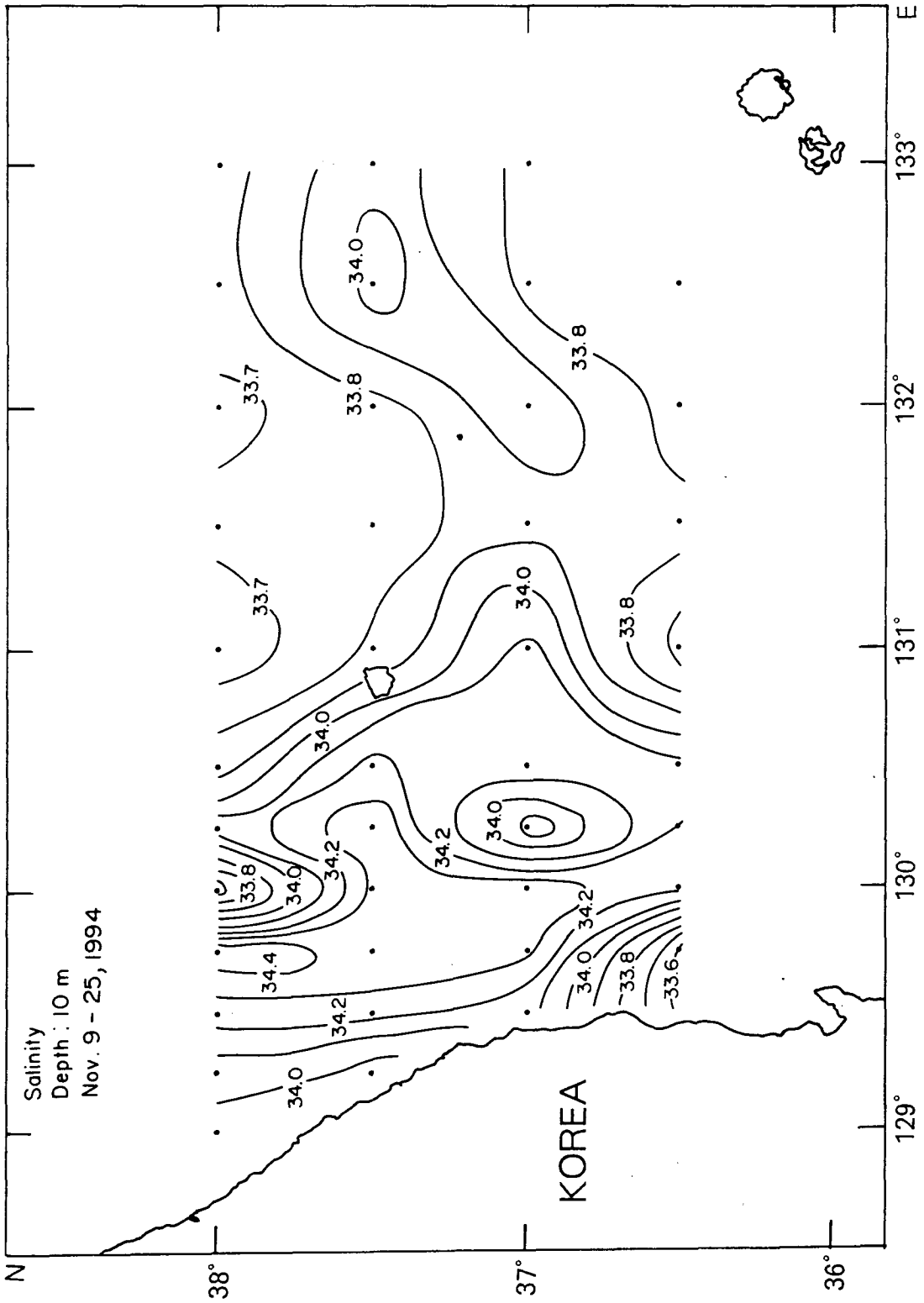


Fig. II-8. Continued 1

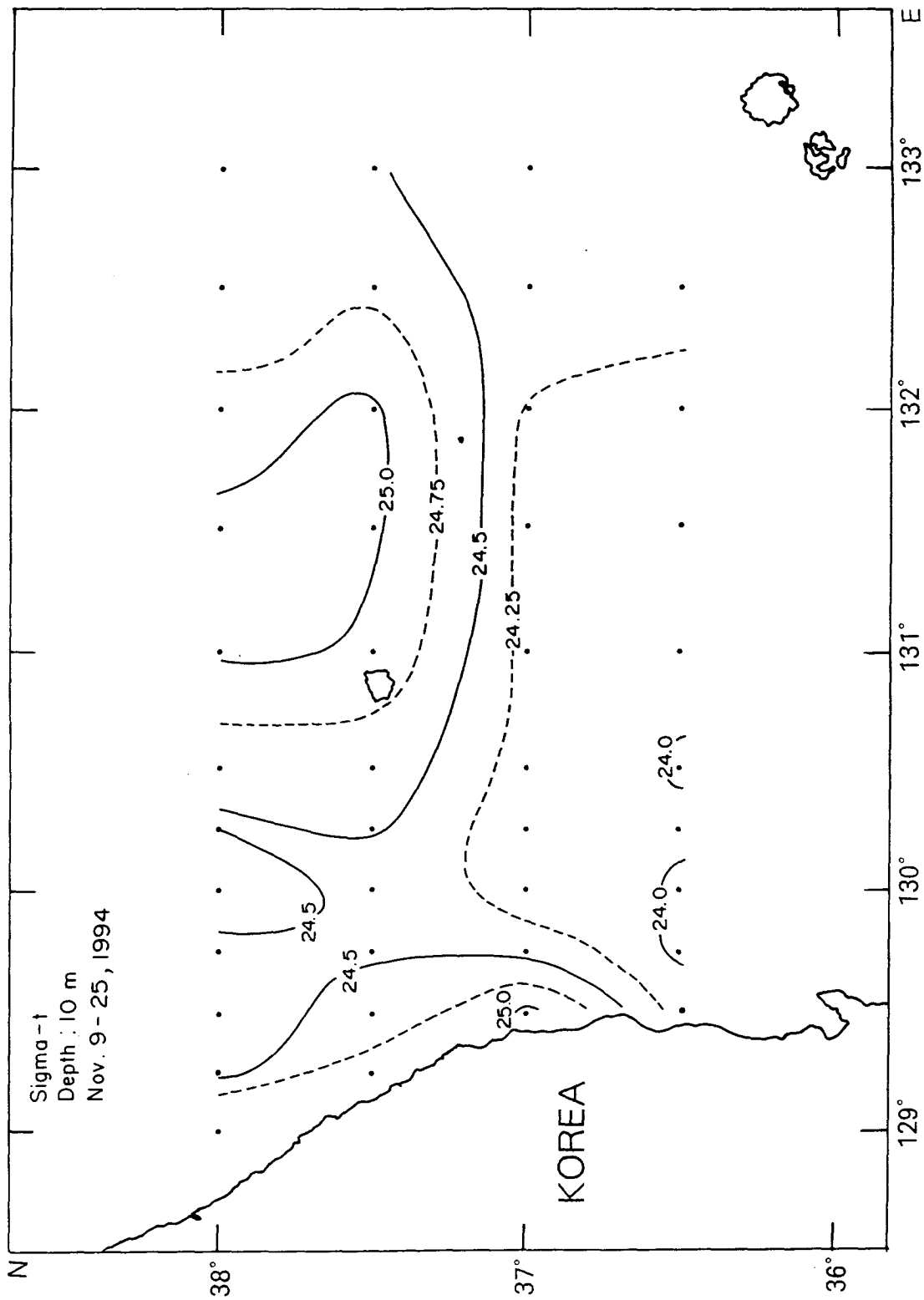


Fig. II-8. Continued 2

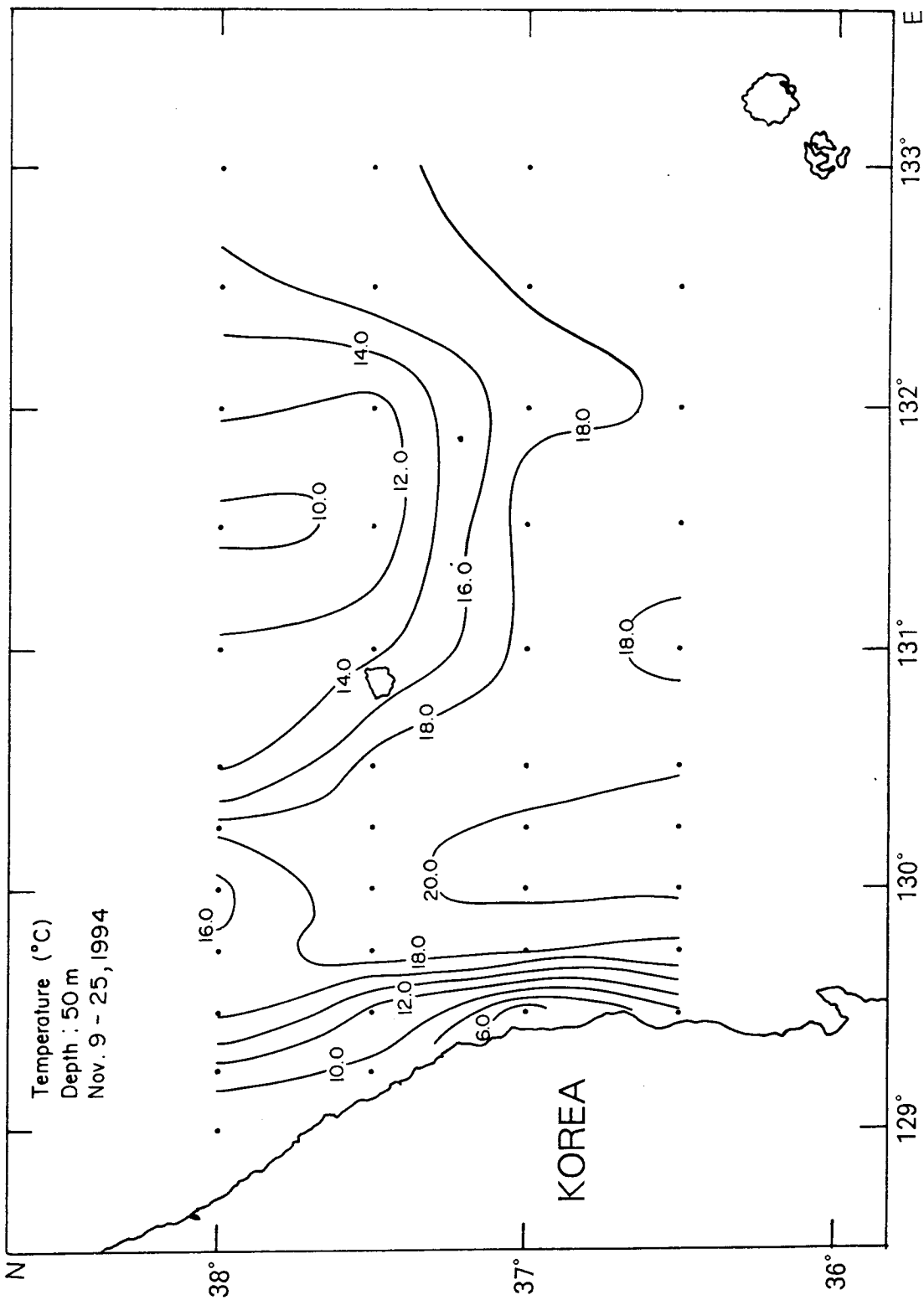


Fig. II-9. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 50m depth during November 9~25, 1994

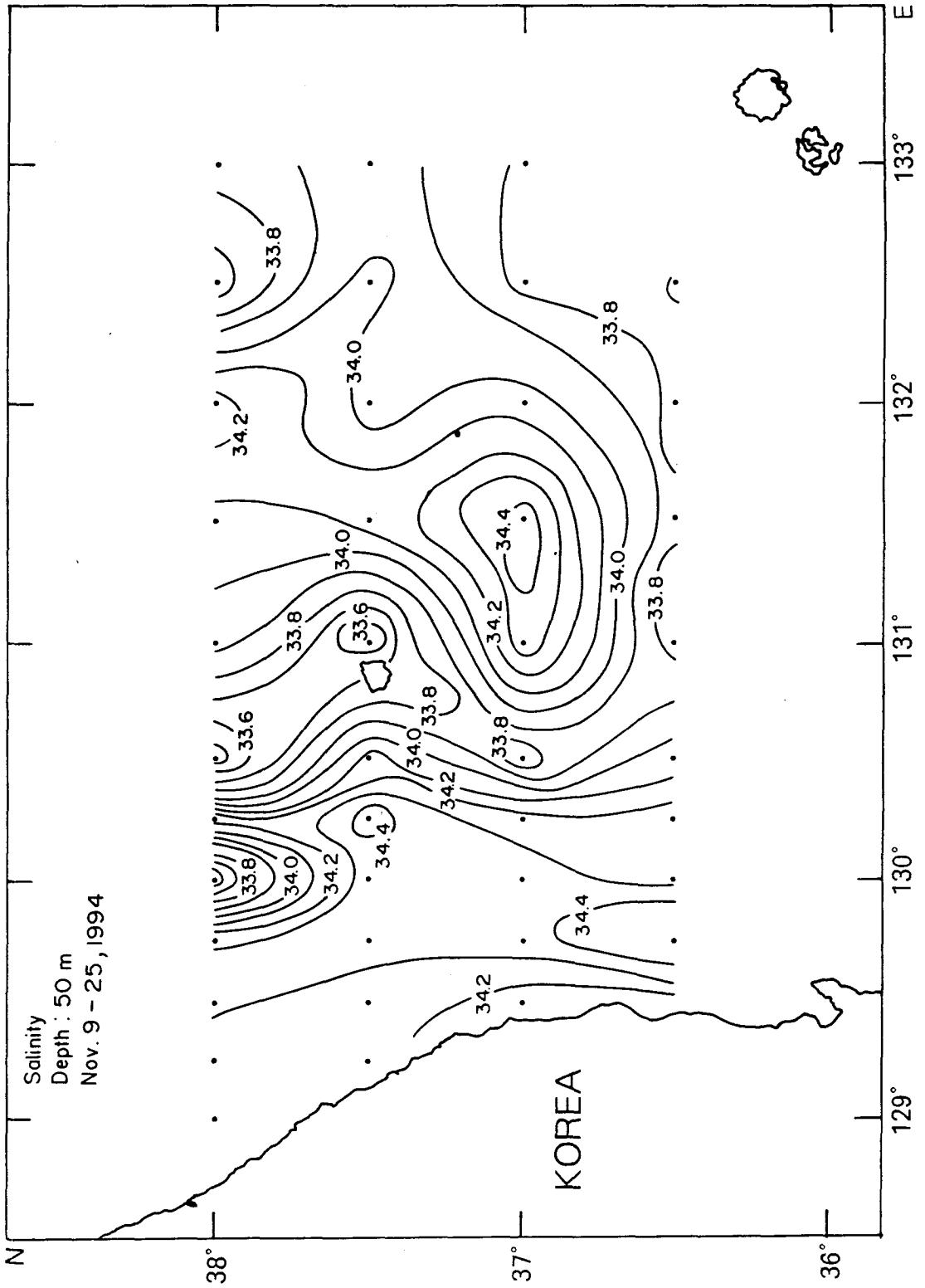


Fig. II-9. Continued 1

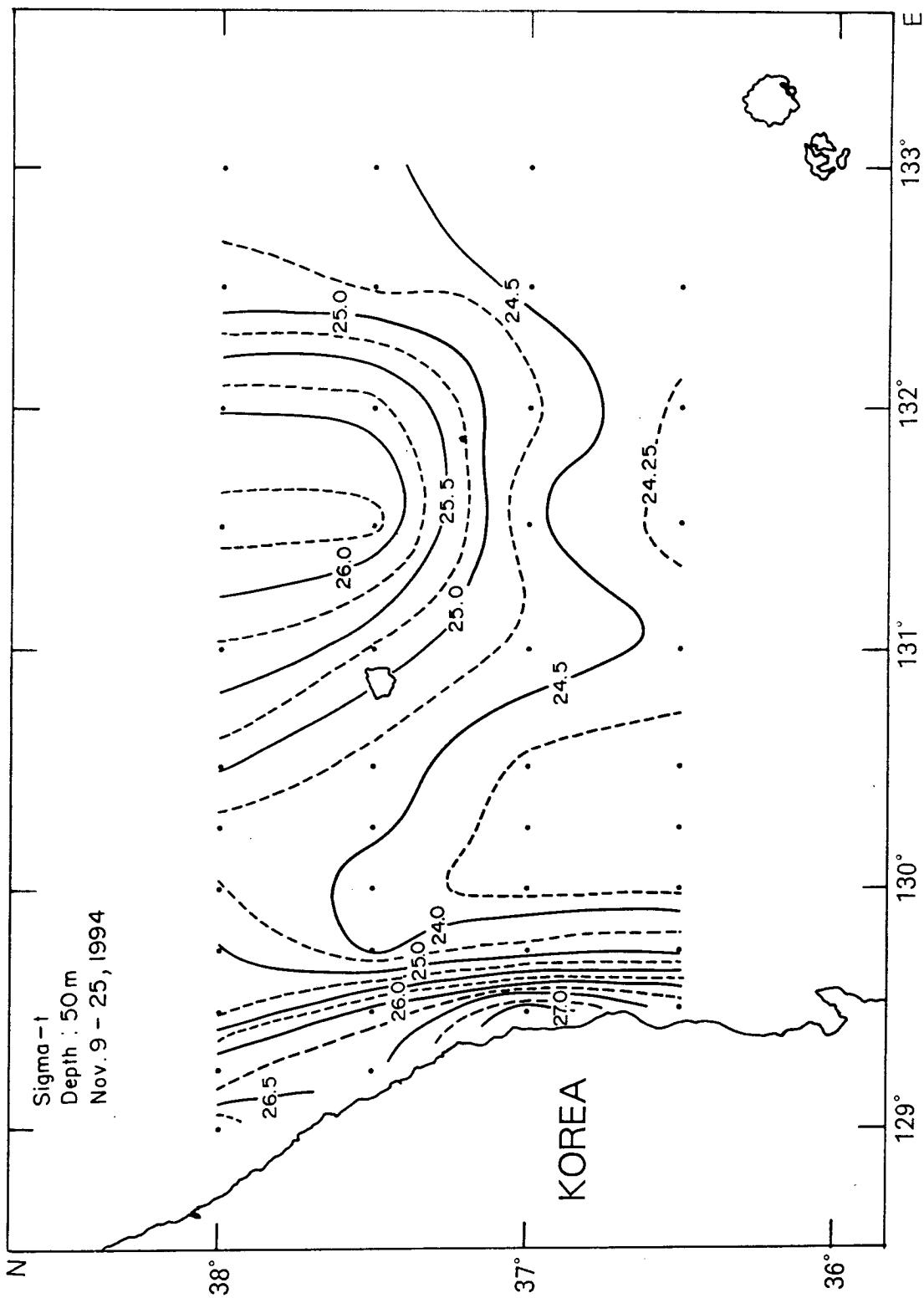


Fig. II-9. Continued 2

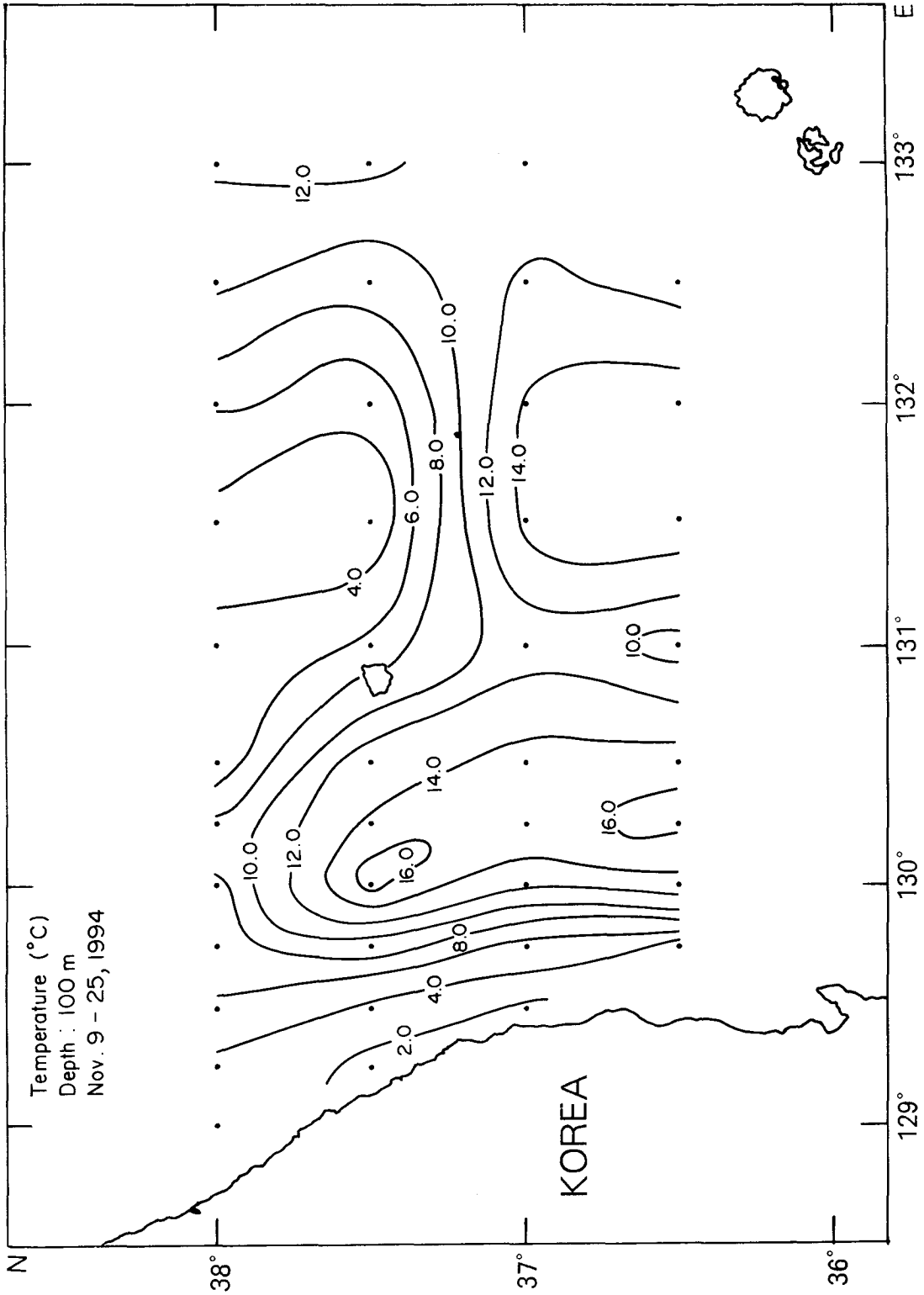


Fig. II-10. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 100m depth during November 9~25, 1994

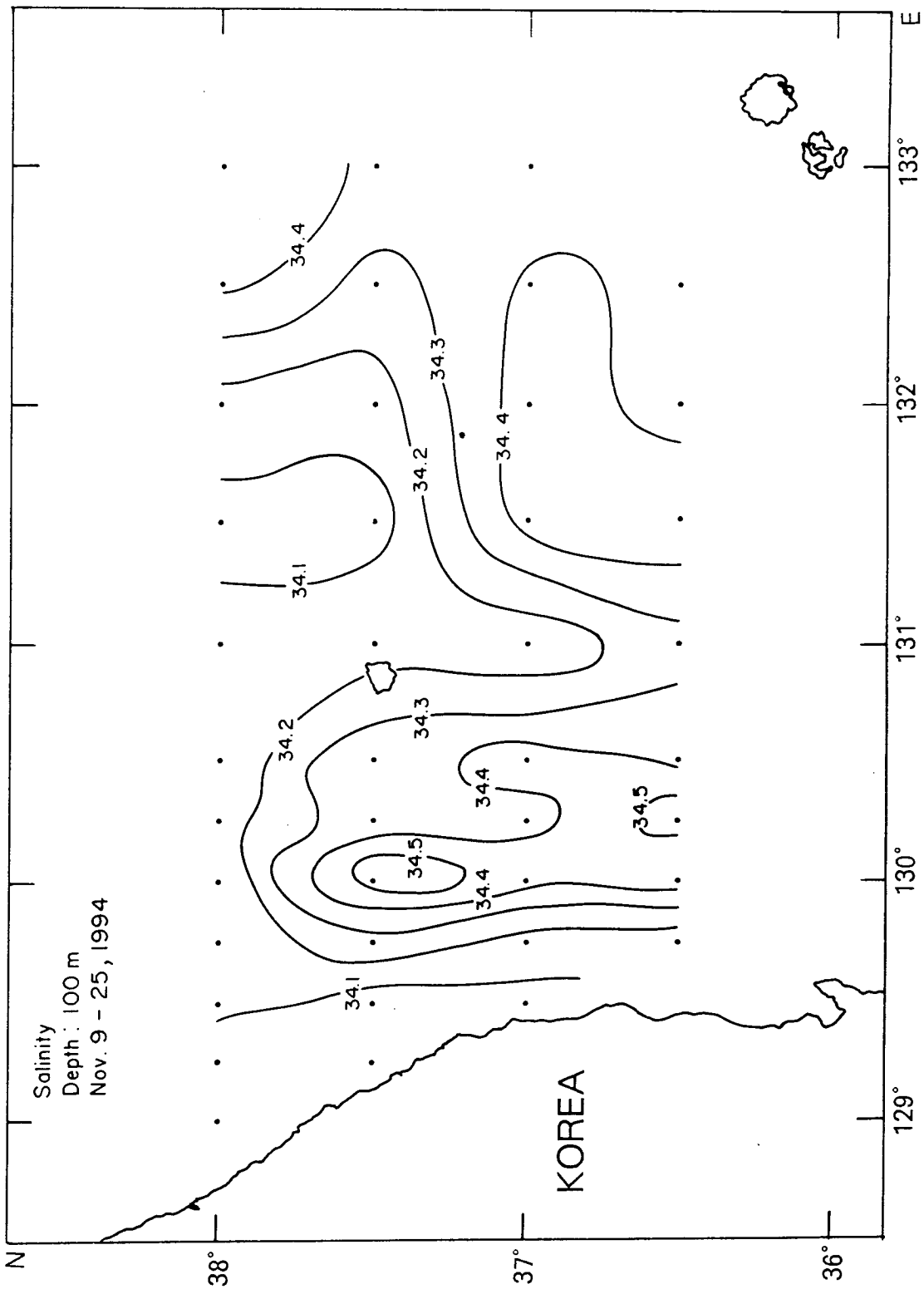


Fig. II-10. Continued 1

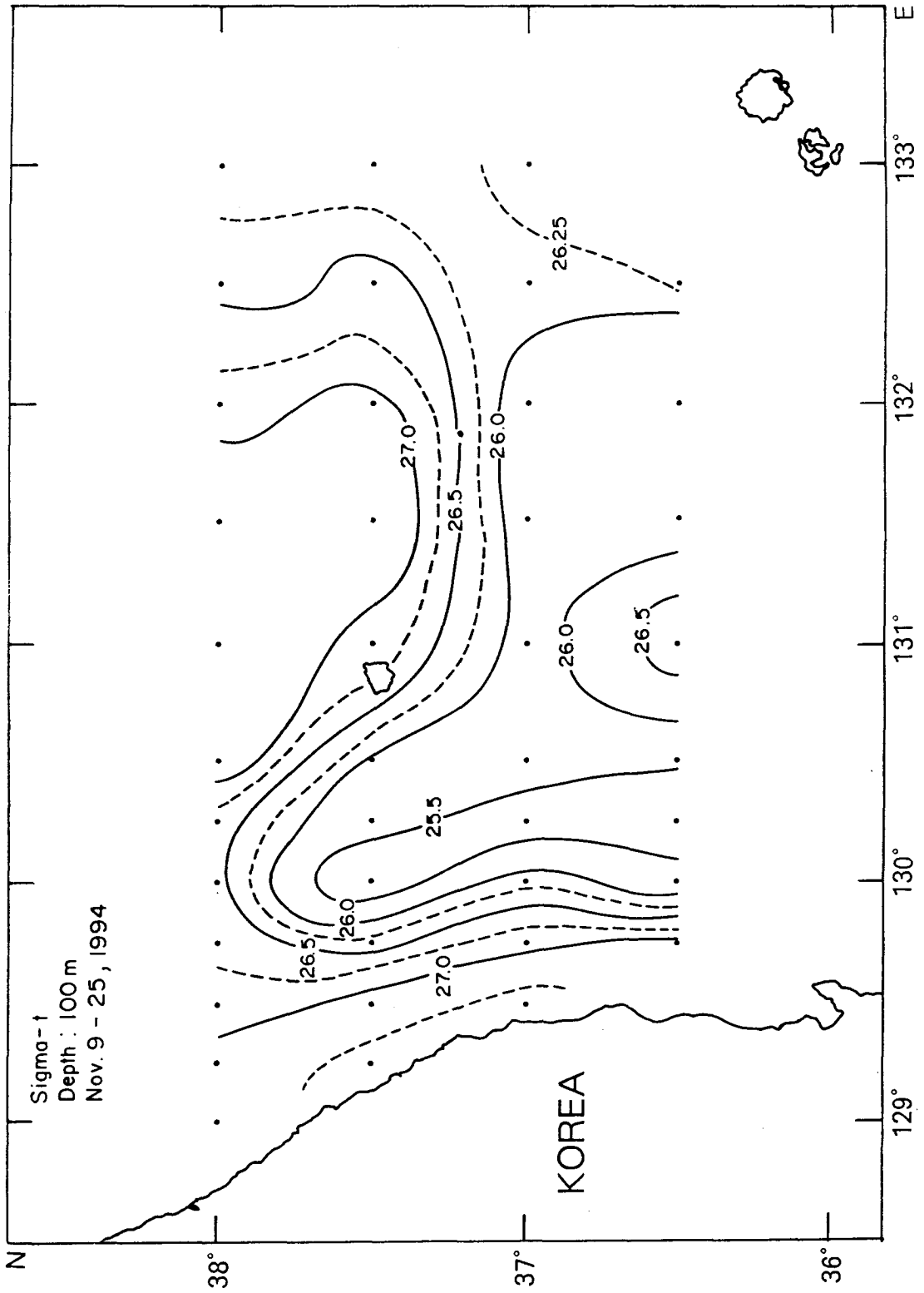


Fig. II-10. Continued 2

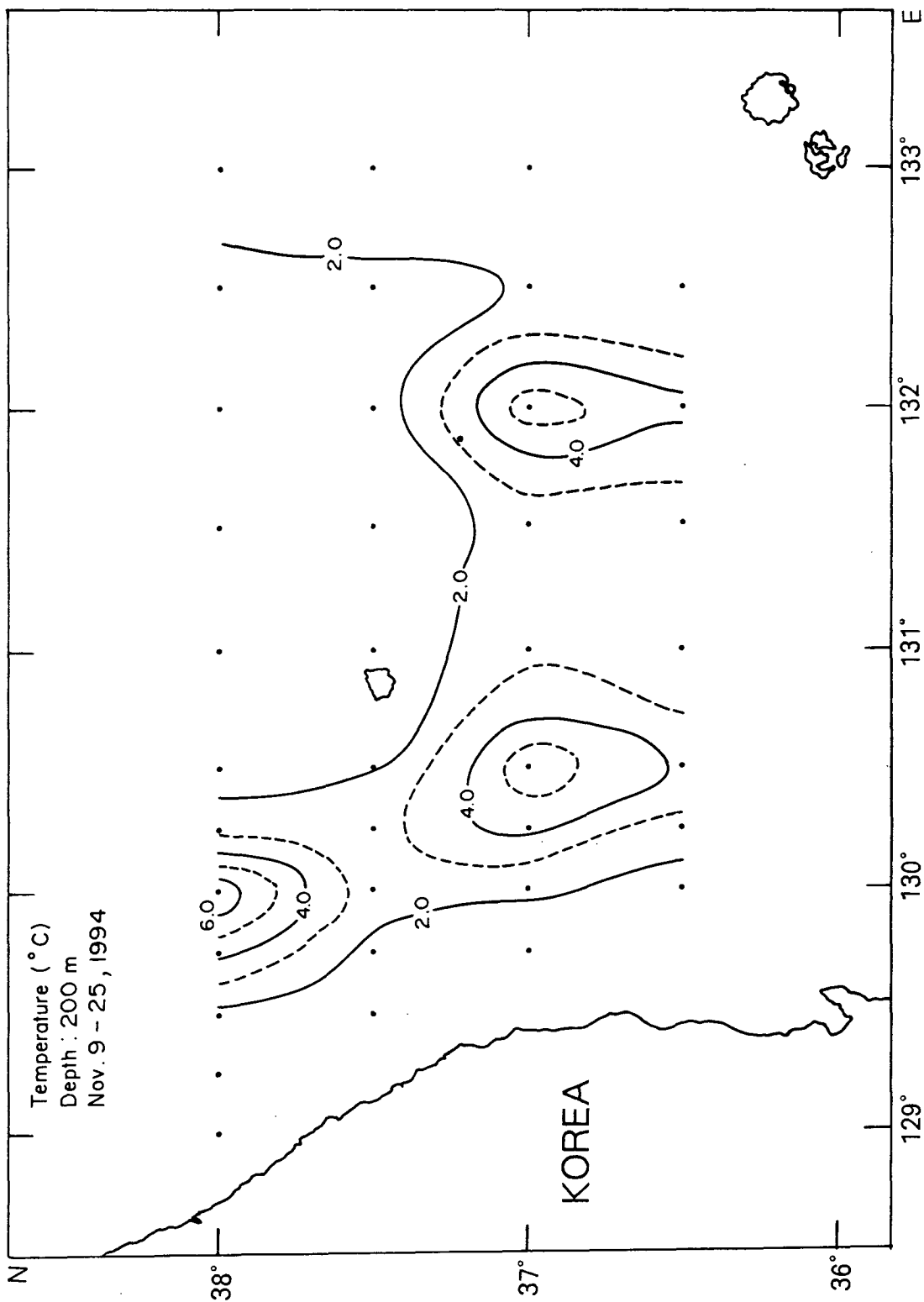


Fig. II-11. Horizontal distributions of (a) temperature, (b) salinity, and (c) density at 200m depth during November 9~25, 1994

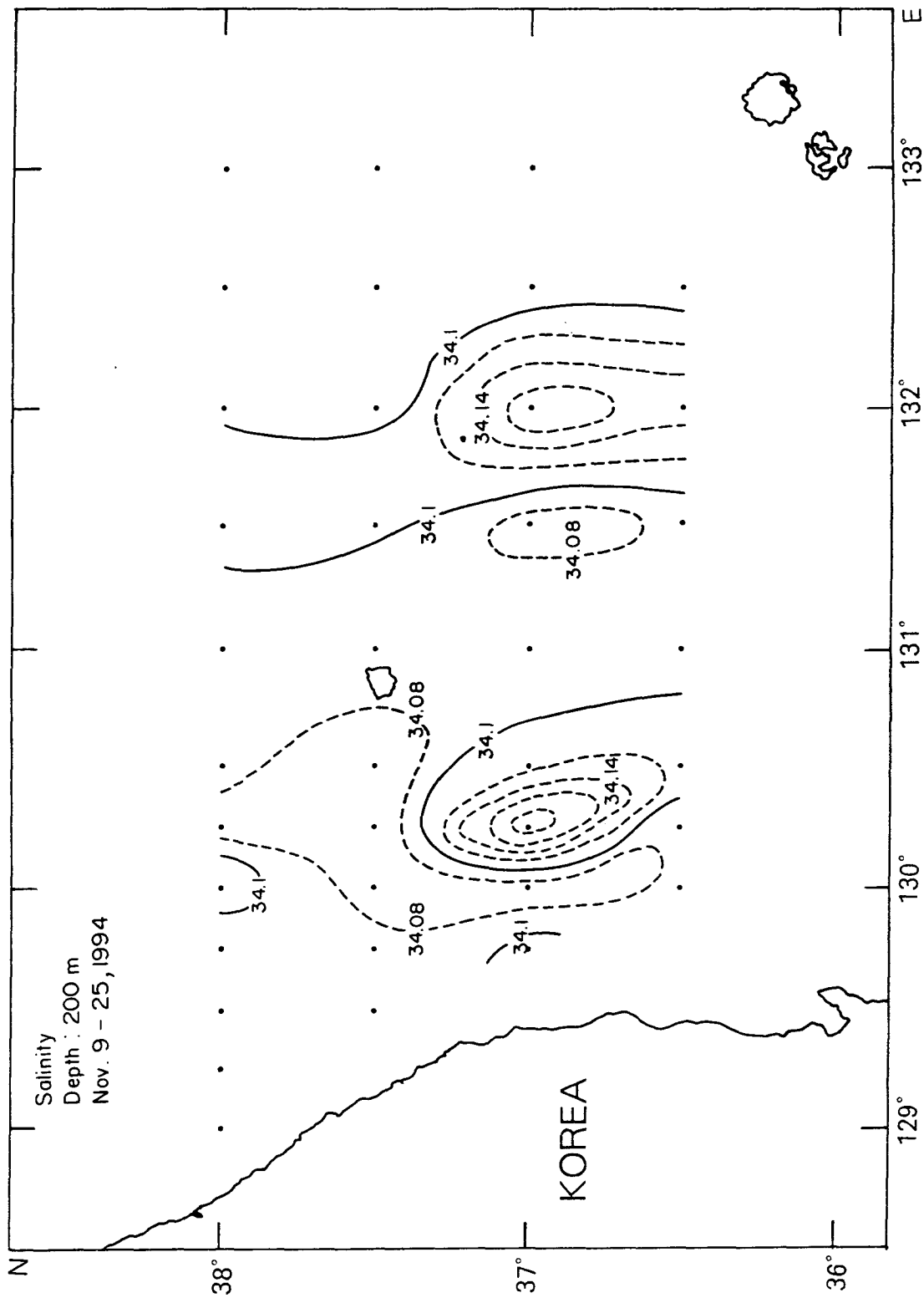


Fig. II-11. Continued 1

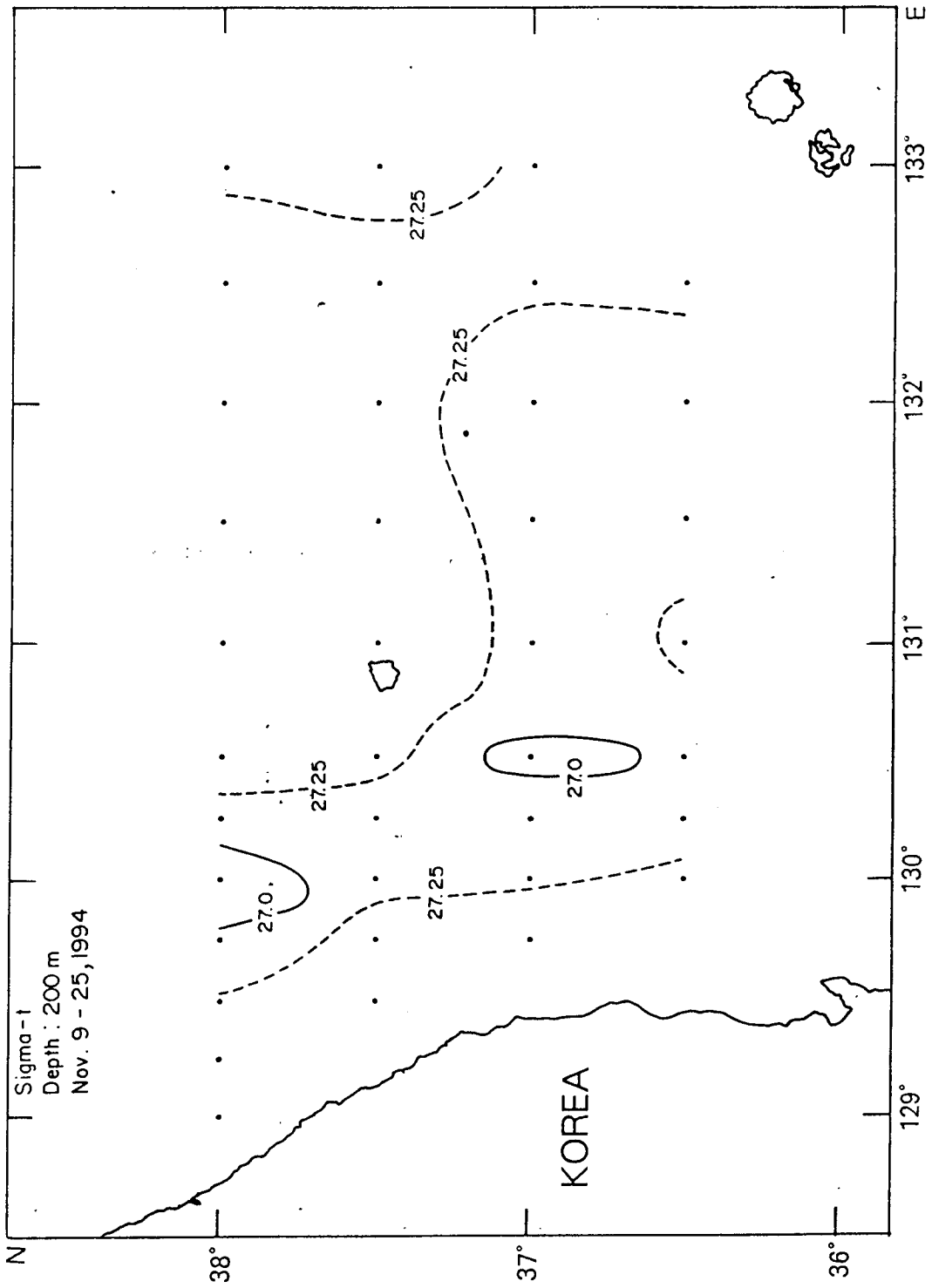


Fig. II-11. Continued 2

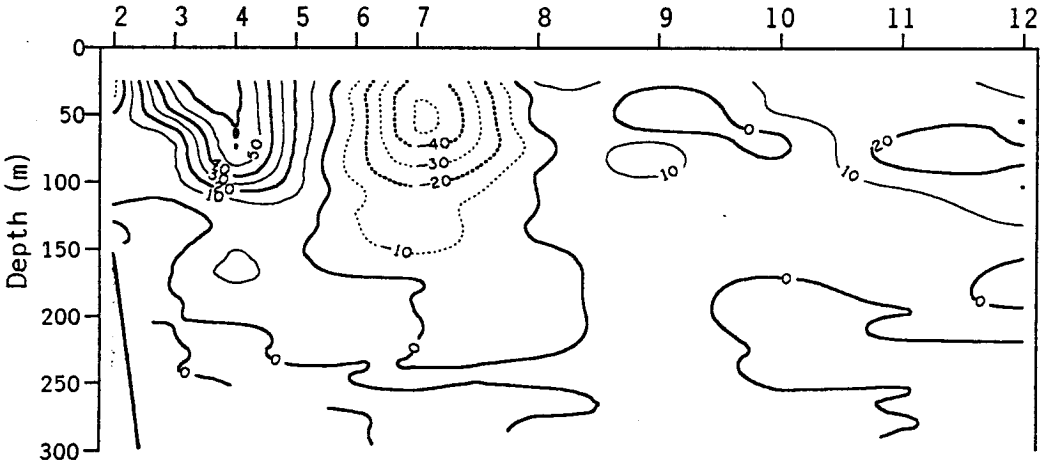
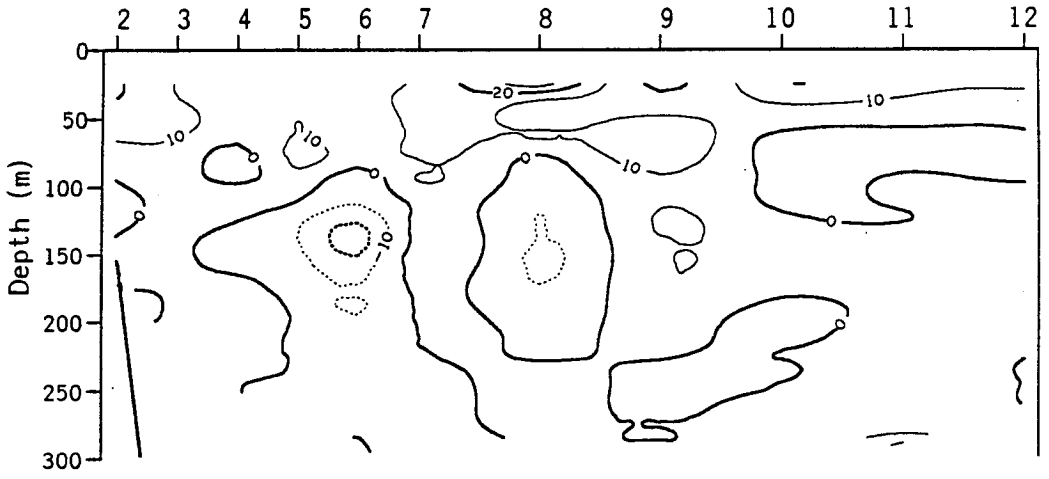


Fig. II-12. Vertical distributions of (a) NS components and (b) EW components of currents measured by ADCP on the line 03 (37° 30'N) during November 9~25, 1994

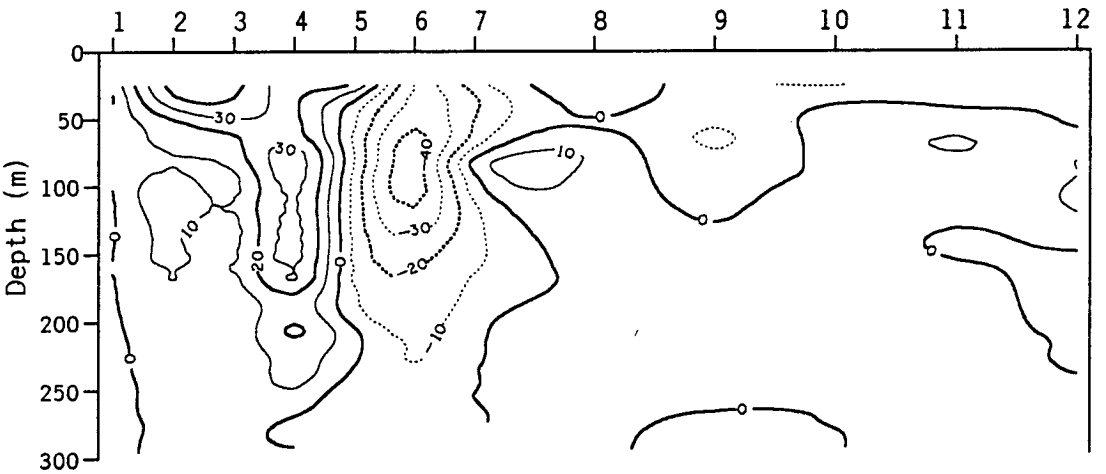
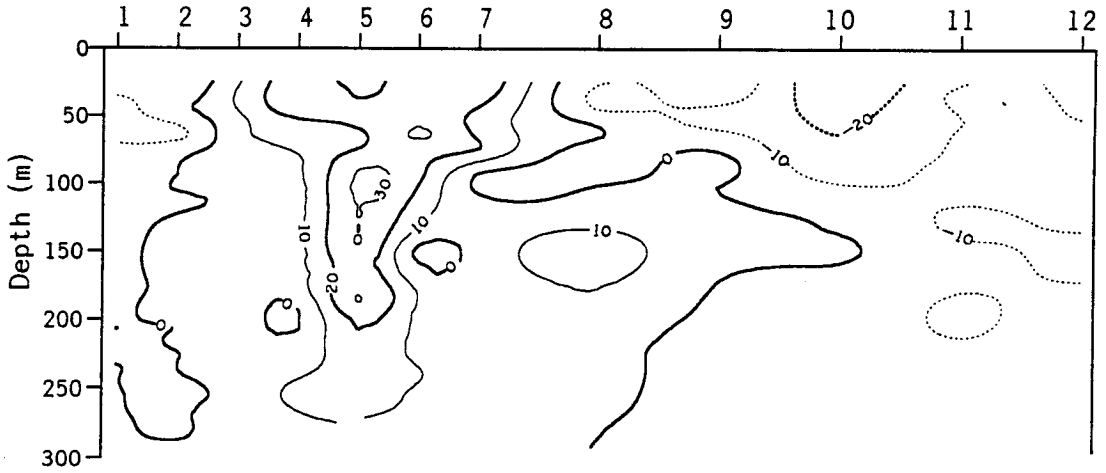


Fig. II-13. Vertical distributions of (a) NS components and (b) EW components of currents measured by ADCP on the line 04 (38° N) during November 9~25, 1994

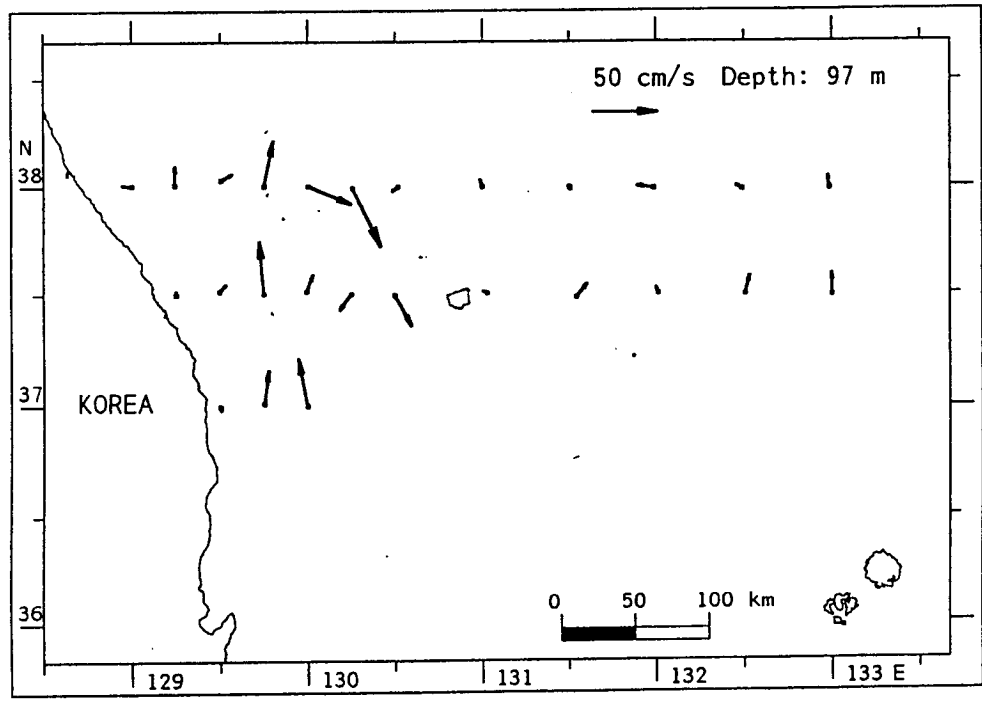
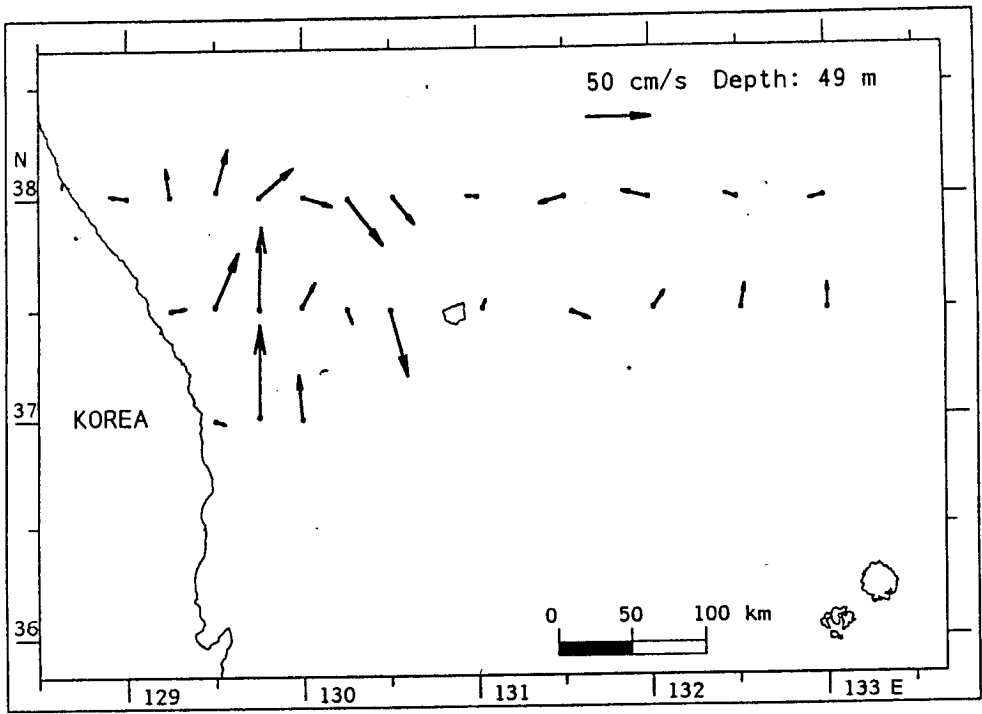


Fig. II-14. Horizontal distributions of currents at (a) 49m, (b) 97m, (c) 153m, (d) 201m, and at (e) 249m depths during November 9~25, 1994

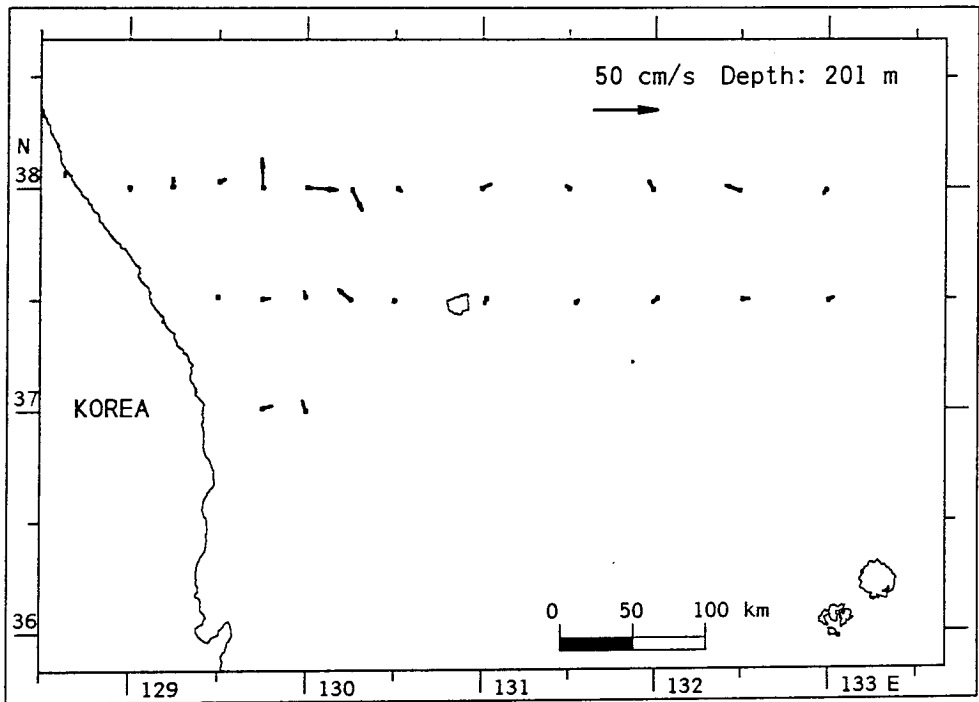
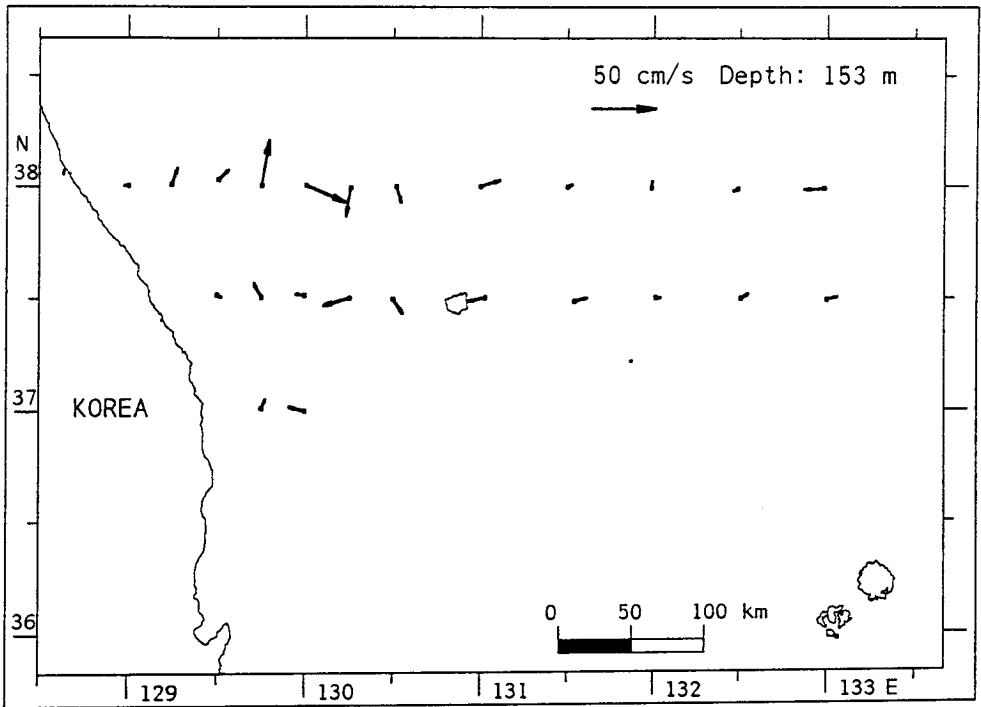


Fig. II-14. Continued 1

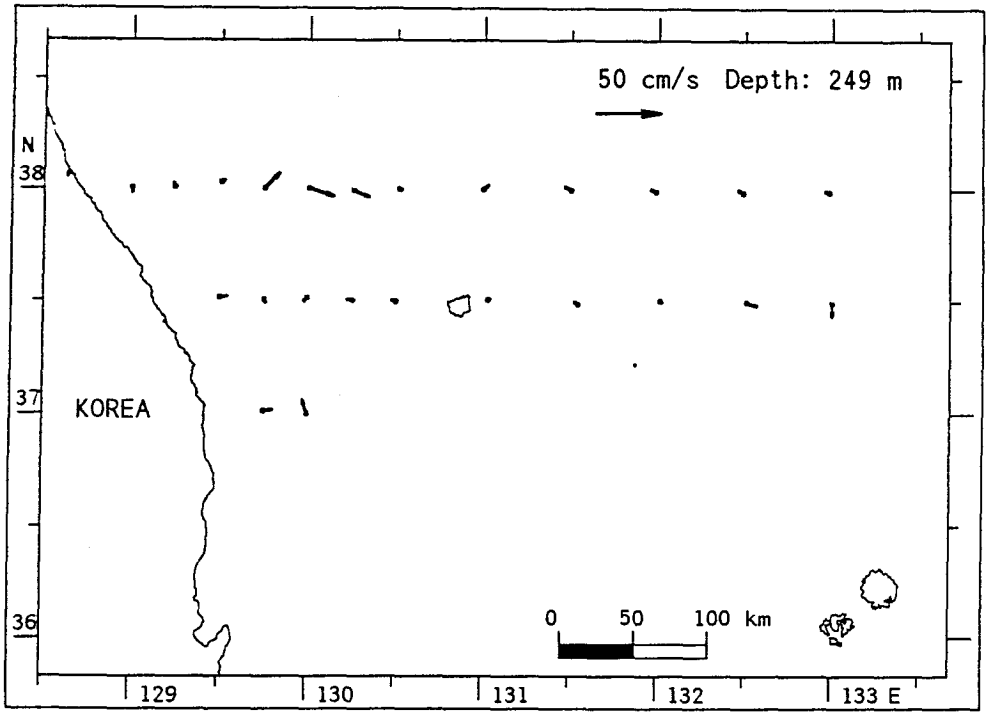


Fig. II-14. Continued 2

第 III 章

化學海洋學 分野

(STUDIES ON CHEMICAL OCEANOGRAPHY)

分野責任者：金 銀 洙
研 究 員：李 壽 珩
 梁 東 範
 吳 在 龍
 趙 誠 碌
 姜 聲 炫
 金 璟 泰
 金 鐘 根
 黃 賢 珉
 崔 起 榮

第1節 緒 說

東海에는 폭넓은 난류대가 大韓海峽의 동·서수도로 들어가 日本을 따라 북동진하며, 그 一部는 오오츠크해로 빠지며, 나머지는 사할린을 東岸으로 北上하고 있다(金 等, 1991). 그리고 연해주와 한반도 가까이에는 南西로 향하는 리만寒流가 있다. 大韓海峽의 서수도를 통과한 대마난류의 제3분지가 한국동안을 따라 北上하는 暖流를 동한난류라하며, 울릉도 近海에 있는 난수역의 규모 및 위치는 항상 變化하고 있다. 대마난류의 이동에 의해 각 분지의 좌측에는 냉수역이 우측에는 난수역을 形成하는데, 냉수역과 난수역의 識別은 각각 100m층의 水溫分布와 200m 층의 水溫分布로 명확하게 그의 存在를 알 수 있다. 냉수역에서는 海水의 上昇으로 밖에서보다 低溫이며, 난수역에서는 沈降이 일어나 고온을 나타낸다. 난수역에서는 400m 가량의 수심까지 高溫으로 되어 있어 그 水深까지 따뜻한 표층수의 沈降이 미치고 있음을 보여준다.

東海北部의 海水는 그 海域의 氣候, 특히 겨울철의 低溫 및 解氷때문에 水溫이 내려가 이 수괴가 리만해류를 形成하고 연해주부근에서는 연해주해류 북한부근에서는 북한해류를 형성한다. 한국동안에 影響을 주는 북한해류는 함경남북도에서 南下하여 강원도 연안까지 남류한다. 그러나 경상북도 연안에서는 表層으로부터 침하하여 하층류가 形成되며, 영일만 이남에서는 저층수로 대한해협까지 남하한다.

이와같이 동해에는 몇개의 水塊가 성층을 이루어 分布하고 있으며, 이러한 해류의 影響으로 동해해역은 溶存酸素量, 營養鹽 및 微量金屬을 포함한 化學水質指數의 變化도 클 것으로 예상된다. 海水의 化學的 特性研究는 海洋生物資源의 利用 및 保護, 海洋環境汚染防止를 위한 기초적 자료를 제공하는 重要한 수단이다. 東海海水의 化學的 特性을 파악하기 위하여 一般水質指數로서는 海水의 溶存酸素量(DO)과 pH등 海洋의 化學的 環境을 理解하기 위한 기본적인 항목들을 測定하였다. 營養鹽類로서는 窒酸鹽-窒素($\text{NO}_3\text{-N}$), 亞窒酸鹽-窒素($\text{NO}_2\text{-N}$), 磷酸鹽-磷($\text{PO}_4\text{-P}$), 硅酸鹽-硅素[$\text{Si}(\text{OH})_4\text{-Si}$]등 海洋의 一次生産者인 식물플랑크톤의 增殖에 制限因子가 되는 無機營養鹽의 含量을 조사하였다. 또한 식물플랑크톤의 光合成을 위해 필요한 색소인 클로로필을 測定하여 海洋의 生産力 把握에 기초 자료가 되도록 하였다. 東海의 微量元素의 分布를 把握하기 위하여 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn) 등의 항목들을 表層에서 調査하였다.

第 2 節 調查 및 分析方法

1. 試料採取 및 保存方法

化學分析을 위한 海水試料는 1994년 11월의 定線調査에서는 동해해역의 24개 정점의 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 1,000m에서 5l용 Niskin 採水器 12개가 부착된 Rosette 시스템을 사용하여 채수하였다. DO, pH 및 營養鹽 測定을 위한 시료는 각 정점의 전 수심에서, 클로로필 시료는 200m 水深까지, 重金屬 試料는 표층에서만 採水하였다.

溶存酸素量은 DO병에 고무관을 통하여 가장 먼저 採水하여 Winkler法에 의하여 船上에서 測定하였다. pH는 100ml 폴리에틸렌 용기에 海水를 받아 pH meter로 測定하였다.

營養鹽 測定을 위한 試料는 船上에서 진공펌프를 사용하여 유리섬유필터(Whatman GF/F, 직경 47mm)를 통하여 濾過한 후 濾液을 18ml 폴리에틸렌 용기에 담아 -20℃에서 冷凍 保管한 후 실험실로 옮겨서 測定하였다. 식물플랑크톤 색소는 해수 1-2l를 營養鹽과 같은 방법으로 濾過한 후 膜濾過紙를 알루미늄 호일로 싸서 -20℃에서 冷凍 保管한 후 실험실로 옮겨서 측정하였다.

重金屬 測定을 위한 表層 試料는 미리 酸으로 세척한 1l들이 폴리에틸렌병을 Tygon tubing을 사용하여 PVC 막대에 매달고 뚜껑을 열어 배가 조사정점에서 기 위해 속도를 약 1~2 노트로 낮출 때 채수하였다 (Boyle *et al.* 1981). 採取된 試料는 酸으로 세척한 1l들이 폴리에틸렌병에 담고, 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 포장한 후 船上에서 冷凍 保管하여 실험실로 옮겨서 녹인 다음, 미리 酸으로 세척한 pore size 0.4 μ m(직경 47mm)인 Nuclepore 膜濾過紙로 濾過한 후 濾液만을 분석하였다.

2. 分析 機器

가. Automatic Titrator : Metrohm Herisau Co. Multidosimet E 115

나. Flow Injection Analyzer

다. UV-VIS Spectrophotometer : Milton Roy Spectronic-3000

라. pH Meter : Orion Model 920

마. Atomic Absorption Spectrophotometer : Varian Model 875

바. Carbon Rod Atomizer : Varian CRA-90

3. 分析方法

가. 溶存酸素量

평량병에 試料을 담은 후 곧바로 Winkler 법에 의하여 황산망간(II) 용액과 알칼리성 요오드화 칼륨용액을 넣고, 잘 흔들어서 溶存酸素를 固定시킨 후 조사선내 實驗室로 옮겼다. 試料에 황산을 가하여 酸性으로 만들어 이 때 遊離되어 나오는 요오드를 자동적정기를 사용하여 0.02N-치오황산소다(sodium thiosulfate)로 逆適定한 후 용존산소량을 계산하였다.

나. pH

試料을 온도 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 1시간 정도 방치한 후, 자석젓개로 試料을 저어주면서 온도보정이 가능한 pH meter를 사용하여 船上에서 測定하였다.

다. 溶存性 營養鹽類

溶存性(dissolved or filtered) 영양염은 Parsons et al. (1984)에 의거, 발색시켜 발색된 강도를 Flow Injection Analyzer를 사용하여 측정하였는데 分析方法은 다음과 같다.

1). 아질산염-질소($\text{NO}_2\text{-N}$)

試料에 sulfanilamide 용액과 N-(1-naphtyl)-ethylenediamine 용액을 가하여 아조 색소를 生成시켜 測定하였다. 아질산염이 酸性溶液中에서 방향족 제1아민(sulfanilamide)과 반응하여 생기는 디아민 화합물에 방향족아민을 가하여 커플링(coupling)시켜 생기는 디아조화합물의 赤色을 測定한다.

2). 질산염-질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

試料을 Cd-column 에 通過시켜 아질산염으로 還元시킨 후 아질산염 분석법과 같은 방법으로 발색시켰다. 海水中の 질산염이 금속 구리를 입힌 카드뮴을 채운 칼럼을 通過시키면 정량적으로 아질산염으로 還元되는 것을 利用하는 것이다. 최초 試料에 含有되어 있는 아질산염은 보정한다. Cd-column은 입상의 카드뮴을 아세톤, 염산으로 깨끗히 씻은 다음 황산구리용액에 넣어 구리를 입힌 후, 공기와 接觸하지 않도록 해서 유리칼럼에 채운다.

3). 인산염-인($\text{PO}_4\text{-P}$)

Ammonium molybdate, potassium antimonyl tartrate와 황산의 混合試藥을 試料에 가하고 ascorbic acid로 還元하여 發色시켰다. 인산염은 산성용액중에서 몰

리브덴산과 反應하여 황색의 폴리브덴산착염을 生成한다. 이것을 ascorbic산으로 還元하면 진한 靑色으로 發色되는데, 안티몬 이온이 共存하면 發色이 진하게 된다.

4). 규산염-규소[Si(OH)₄-Si]

試料에 酸性 ammonium molybdate를 가하여 노란색의 silicomolybdate complex를 만든 후 oxalic acid와 ascorbic acid의 還元試藥을 가하여 靑色으로 發色시켰다. 규산염은 pH 1.2-1.5의 범위에서 폴리브덴산과 反應하여 황색의 폴리브덴산착염체를 形成한다. 이 착염체의 황색의 強度는 규산염의 농도에 비례하고, 적당한 환원제를 가하면 靑色으로 發色되는데 이것을 測定하면 感度を 높일 수 있다.

라. 클로로필-a

海水 2리터를 眞空펌프를 이용하여 유리섬유필터(Whatman GF/F)로 濾過하여 여과지에 채취된 시료를 90% 아세톤을 가하고, 20시간 동안 냉암소에 보관하여 플랑크톤 色素를 抽出한 후 UV-VIS Spectrophotometer로 吸光度를 測定하였다. 吸光度는 480, 510, 630, 647, 664와 750nm에서 1cm cell을 사용하여 測定하였다. 클로로필-a 양은 Parsons et al. (1984)에 의거 計算하였다.

마. 重金屬

海水中の 重金屬은 Cd, Cu, Ni, Pb, Zn의 5원소를 조사하였는데, 무진실(clean bench)에서 시료를 DDTC-APDC-Freon 溶媒抽出法으로 해수중의 微量金屬을 抽出한 후, 비블꽃 원자흡광분광기를 이용하여 分析하였다. 각 원소의 측정 흡수파장은 Cd 228.8nm, Cu 324.7 nm, Ni 232.0nm Pb 283.3nm, Zn 213.9nm 이다.

第3節 結果 및 考察

1. 溶存酸素量

본 調査에서 나타난 溶存酸素量은 3.66~6.24ml/l이었다(Fig. III-1~12). 表層에서는 5.74~4.94ml/l, 10m층에서는 5.06~5.83ml/l, 20m층에서 5.15~5.92ml/l, 30m층에서 4.14~5.86ml/l, 50m층에서 4.03~5.99ml/l, 75m층에서 3.50~6.10ml/l, 100m층에서 4.03~6.23ml/l, 150m층에서 3.69~6.19ml/l, 200m층에서 4.09~6.30ml/l, 300m층에서 5.48~6.34ml/l, 500m층에서 5.26~6.03ml/l, 1,000m층에서 5.36~5.64ml/l, 1,500m층에서 5.09~5.52ml/l 이었다. 表層에서는 정점 0210에서 4.94ml/l로 가장 낮고, 陸地에 가까운 곳보다 外洋에서 비교적 낮게 나타났으며, 04라인과 外洋쪽에서 비교적 낮게 나타났다. 10m층에서는 오히려 04라인과 外洋쪽에서 높게 나타나고 있으며, 20m층에서는 03라인과 04라인의 外洋에서 높게 나타나고 있다. 이러한 현상은 200m 水深까지 나타나는데, 이것은 북쪽에서 供給되는 차고 酸素가 豊富한 물의 影響으로 생각된다.

溶存酸素의 극소층은 01라인에서 50~150m, 02라인에서 50~200m, 03라인에서 75~100m, 04라인에서 50~100m층에서 나타나고 있는데, 水温이 급격히 떨어지는 水層과 거의 一致하고 있다. 반면에 울릉도 부근해역의 一部 정점에서는 溶存酸素의 극소층은 보이지 않고 있다.

2. pH

본 定線調査에서 나타난 pH범위는 7.80~8.47이었다(Fig. III-13~24). 水深別變化를 보면, 表層에서는 8.26~8.47, 10m층에서는 8.18~8.47, 20m층에서 8.17~8.47, 30m층에서 8.09~8.46, 50m층에서 8.93~8.45, 75m층에서 7.94~8.43, 100m층에서 7.70~8.43, 150m층에서 7.95~8.28, 200m층에서 7.87~8.19, 300m층에서 7.83~8.05, 500m층에서 7.81~7.93, 1,000m층에서 7.81~7.89, 1,500m층에서 7.80~7.85 이었다. 表層에서는 沿岸에서 가까운 정점에서 약간 낮게 나타나는데, 정점 0401에서 8.26으로 가장 낮았으며, 04라인에서는 8.44로 일정하게 나타났다. 01라인과 02라인의 沿岸에 가까운 두개의 정점을 제외한 海역에서 8.40 이상으로 나타났고, 04라인의 外洋에서도 8.40보다 높게 나타났다. 또한 10m층에서도 01라인과 02라인의 연안의 두 정점을 제외한 지역과, 03라인과 04라인의 外洋에서 높게 나타났다. 20m층과 30m층에서도 이와 비슷한 모양을 보이며, 그 이하

의 수심에서는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

정점 0203, 0401을 제외한 정점에서는 水深 50~100m까지는 거의變化가 없었는데, 이것은 鹽分의 垂直分布와도 一致한다. 정점 0203, 0401에서의 pH의 垂直分布는 鹽分의 垂直分布와 같이 表層에서 부터 깊은 水深까지 크게 변화하고 있다. 정점 0203에서는 表層에서 8.35, 10m층에서 8.18, 20m층에서 8.17, 30m층에서 8.09, 50m층에서 7.93으로 수심에 따라 변화폭이 다른 정점에 비하여 크고, 같은 水深의 다른 정점보다 낮게 나타났다. 이 정점에서의 水深間의 水溫變化도 크게 나타났으며, 정점 0401에서도 비슷한 傾向을 보이고 있으며, 沿岸을 따라 變化가 크게 나타나고 있다.

일반적으로 酸素의 극소층에서 pH가 가장 낮게 나타나는데, 이것은 有機物의 分解에 의하여 酸素가 소비되고, 生成된 이산화탄소가 물에 해리되어, H⁺가 生成하기 때문이다. 본 調査에서 01라인에서의 溶存酸素의 극소층에서 pH가 크게 떨어지고 있는데, 다른 라인에서는 溶存酸素의 극소층의 아래층에서 pH가 크게 떨어지고 있다.

3. 溶存性 營養鹽類

아질산염 : 아질산염의 濃度는 0.15~0.77 μ M로 92년 11월의 대한해협 의 조사결인 0.07~2.73 μ M 보다 낮았다(Fig. III-25~36). 表層~50m층에서 0.06~0.77 μ M, 75m층에서 0.09~0.38 μ M, 100m 이하의 수심에서는 0.15~0.25 μ M로 표층에서 50m층까지 거의 일정하고, 100m 이하의 水深에서 거의 비슷한 濃度를 보이고 있다. 정점 0205에서는 表層에서 50m층까지 다른 水深에서 보다 약간 높은 0.77 μ M로 均一하게 나타났고, 그외의 대부분의 정점 및 水深에서는 0.5 μ M 이하로 나타났다. 아질산염은 질산염의 還元이나 암모니아에서 질산염으로 酸化되는 중간 물질로서, 식물플랑크톤의 增殖이 일어날 때 식물플랑크톤에서 排泄된다. 본 조사해역은 플랑크톤의 增殖이 크게 일어나는 地域이 아니고, 계절적으로 식물플랑크톤의 增殖이 일어나는 시기가 아니므로 낮게 나타난 것으로 생각된다. 또한 아질산염은 질산염의 양이 增加하고 암모니아가 減少하는 수온약층 바로 아래에서 最高 濃度를 보이는데, 본 조사시기는 기초 생산력이 活潑한 시기가 아니므로 뚜렷히 높게 나타나는 층은 보이지 않았다.

질산염 : 질산염의 濃度는 0.46~12.91 μ M로 나타났다(Fig. III-37~48). 表層에서는 0.46~3.97 μ M로 陸地에서 가장 가까운 정점 0401에서 3.97 μ M로 가장 높게 나타났으며, 그외의 沿岸에 가까이 있는 정점에서 2 μ M 이상으로 나타났다. 정점 0307에서는 1.87 μ M로 다른 정점에 비하여 비교적 높고, 外洋에서는 정점

0309, 0311을 除外하고는 $1\mu M$ 이하로 나타났는데, 정점 0311에서는 50m 水深까지의 濃度가 다른 정점에 비하여 높게 나타나고 있다. 10m층에서는 $0.44\sim 4.34\mu M$ 로 表層에서와 같이 陸地에 가까운 정점에서 높게 나타났고, 역시 정점 0307에서 $1.81\mu M$ 로 주위의 정점에 비하여 높게 나타나고 있다. 20~50m층까지의 濃度分布는 표층과 10m층의 濃度分布와 같이 육지에 가까운 정점에서 높게 나타났으며, 500, 1,000m 水深에서는 01라인과 02라인에서 03라인과 04라인에서 보다 높게 나타났다.

인산염 : 인산염의 濃度는 $0.01\sim 2.51\mu M$ 로 나타났다(Fig. III-49~60). 表層에서는 $0.01\sim 0.59\mu M$, 10m 층에서 $0.01\sim 0.46\mu M$, 10m층에서 $0.01\sim 0.46\mu M$, 30m층에서 $0.01\sim 1.13\mu M$, 100m층에서 $0.29\sim 1.46\mu M$, 200m층에서 $0.64\sim 1.53\mu M$, 500m층에서 $0.73\sim 1.87\mu M$, 1,000m층에서 $0.78\sim 1.96\mu M$, 1,500m층에서 $0.93\sim 2.51\mu M$ 로 水深이 깊어 질수록 점차적으로 높아지고 있다. 表層에서의 濃度分布를 보면, 질산염의 濃度가 가장 높았던 정점 0401에서 $0.59\mu M$ 로 가장 높았고, 다른 정점에서는 $0.30\mu M$ 이하로 나타났다. 10m층에서도 정점 0401에서 $0.46\mu M$ 로 가장 높고, 역시 沿岸에 가까운 정점인 0203에서 $0.41\mu M$ 이었으며, 다른 정점에서는 $0.30\mu M$ 이하로 나타났다. 한편, 정점 0303의 表層과 정점 0207, 0208, 0210의 얕은 水深에서는 $0.1\mu M$ 이하의 매우 낮은 농도를 보였다. 이들 정점부근의 海域에서는 인산염이 식물플랑크톤의 成長을 制限할 것으로 보이나 그 이외의 정점의 表層에서는 질산염 : 인산염의 비가 3~10 : 1로 질산염이 制限要素로 作用하는 것으로 보인다.

규산염 : 규산염의 濃度는 $0.93\sim 73.88\mu M$ 인데 정점 0408의 300 수심에서 $73.88\mu M$ 로 가장 높게 나타났다(Fig. III-61~72). 表層에서는 $0.93\sim 9.89\mu M$, 10m층에서 $1.01\sim 8.07\mu M$, 20層에서 $0.96\sim 13.67\mu M$, 30m층에서 $0.95\sim 11.56\mu M$, 50m층에서 $1.27\sim 13.80\mu M$, 100층m에서 $3.75\sim 16.12\mu M$, 200m층에서 $6.92\sim 19.95\mu M$, 500층m에서 $15.56\sim 34.84\mu M$, 1,000m층에서 $21.45\sim 44.96\mu M$, 1,500m층에서 $2.47\sim 50.02\mu M$ 로 水深이 깊어 질수록 높아지고 있으나, 인산염처럼 규칙적이지는 않는다. 表層에서의 分布는 정점 0401에서 $9.89\mu M$ 로 가장 높았고, 정점 0203에서 $5.16\mu M$ 이고, 그 이외의 정점에서는 비슷한 分布를 보였다. 10m층에서도 정점 0401에서 $8.07\mu M$ 로 가장 높고, 0203에서 $6.47\mu M$ 였고 그 이외의 정점에서는 陸地에 가까운 정점과 외양의 구분없이 비슷하였다. 92년 11월의 大韓海峽의 조사에서의 규산염의 농도는 $1.45\sim 62.80\mu M$ 이었다.

4. 클로로필-a

본 調査에서 클로로필-a의 양은 0.01~1.65 $\mu\text{g/l}$ 이었다(Fig. III-73~81). 表層에서 0.42~1.65 $\mu\text{g/l}$, 10m층에서 0.34~1.24 $\mu\text{g/l}$, 20m층에서 0.17~1.19 $\mu\text{g/l}$, 30m층에서 0.11~1.22 $\mu\text{g/l}$, 50m층에서 0.09~0.82 $\mu\text{g/l}$, 75m층에서 0.03~0.42 $\mu\text{g/l}$, 100m층에서 0.03~0.35 $\mu\text{g/l}$, 150m층에서 0.01~0.08 $\mu\text{g/l}$, 200m층에서 0.03~0.21 $\mu\text{g/l}$ 로 나타났다. 表層에서의 分布를 보면, 정점 0401에서 1.65 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높고, 沿岸에 가까운 몇개의 정점을 除外하고는 1 $\mu\text{g/l}$ 以下로 나타났다. 10m층에서도 沿岸에 가까운 정점에서 1 $\mu\text{g/l}$ 정도를 나타내고, 그 이외의 정점에서는 1 $\mu\text{g/l}$ 以下를 나타냈다.

一般的으로 海洋에서 클로로필의 양은 빛이 充分하고, 수온약층이 形成되어 低層으로 부터의 영양염의 供給이 없을 경우에는 表層에서 영양염이 缺乏되므로 식물플랑크톤이 수온약층 附近으로 移動하므로, 이 附近에서 클로로필이 최대치를 나타내는데, 表層水溫이 내려감에 따라 수온약층이 消滅되면 이와같은 최대치를 나타내는 현상은 없어진다. 본 조사시기는 수온약층이 완전히 消滅되지는 않았지만, 表層에서의 영양염이 缺乏되어 있지 않으므로 최대치를 나타내는 수층은 보이지 않고 얇은 水深에서 약간 높고, 水深이 깊어 질수록 점차 減少하는 현상을 보이고 있다. 같은 계절인 92년 11월의 大韓海峽의 調査에서는 <0.01~1.81 $\mu\text{g/l}$ 이었고, 이 때에도 최대치를 나타내는 水深은 보이지 않았다(郭 等. 1993).

5. 重金屬

1994년 11월에 調査한 표층 해수중의 카드뮴 濃度는 0.005~0.010 $\mu\text{g/l}$ 로 정점간의 濃度變化가 비교적 작게 나타났다. 수평 공간분포는 韓國沿岸(정점 0203, 0401)과 外海域의 北部海域에서 다소 높게 나타났으며, 南部海域에서 대체로 낮은 濃度を 나타냈다. 한편, 韓國沿岸쪽에서 南北方向으로 띠형태로 낮은 濃度を 나타내고 있는데, 이것은 염분과 수온분포에서도 비슷한 傾向을 보여 기원이 서로 다른 水塊의 特性을 나타내고 있는 것으로 보인다(Fig. III-82).

구리의 濃度는 0.06~0.18 $\mu\text{g/l}$ 로 나타났는데, 韓國沿岸의 정점 0203, 0401과 中部海域에서 다소 높은 分布를 보였으며, 구리의 分布에서도 카드뮴과 마찬가지로 韓國沿岸쪽에서 南北方向으로 띠형태의 낮은 濃度を 나타내었다. 전체적인 分布樣相은 카드뮴과 비슷하고, 서로간의 相關係數($r=0.801$)도 비교적 높게 나타났다(Fig. III-83). 이러한 關係는 南海海域의 調査에서도 나타난 바 있다(南 等 1987, 1988, 1989).

니켈의 濃度範圍는 0.09~0.27 $\mu\text{g/l}$ 로 나타났으며, 陸上에 가까운 측면 앞의 정점 0203과 울릉도 옆의 정점 0308에서 높은 濃度를 보였는데, 이것은 陸上 流入源과 깊이가 關聯이 있을 것으로 생각된다. 이들 정점을 제외하면 대체로 비슷한 濃度分布를 보였다(Fig. III-84).

납의 濃度範圍는 0.011~0.037 $\mu\text{g/l}$ 였으며, 전반적인 分布는 韓國沿岸에서 다소 낮고, 外海域쪽에서, 그리고 北部海域에서 높게 나타났다. 南北方向으로 띠형태의 濃度分布를 보였으나, 그 濃度는 카드뮴과 구리의 分布와는 달리 沿岸보다 높은 濃度를 보였다(Fig. III-85).

아연의 濃度範圍는 0.05~0.36 $\mu\text{g/l}$ 로 대체로 南部海域과 韓國沿岸쪽이 中·北部海域보다 낮았으나, 뚜렷한 傾向없이 복잡한 分布를 보였다(Fig. III-86).

본 調査에서 나타난 중금속 濃度는 계절적으로 같은 時期인 92년 11월의 東南海域의 카드뮴 0.005~0.017 $\mu\text{g/l}$, 구리 0.05~0.59 $\mu\text{g/l}$, 납 0.022~0.068 $\mu\text{g/l}$, 그리고 아연 0.11~0.80 $\mu\text{g/l}$ 보다는 낮았으며, 1994년 1월 東南海域의 카드뮴과 구리, 아연의 濃度範圍인 0.004~0.009 $\mu\text{g/l}$, 0.05~0.23 $\mu\text{g/l}$, 0.04~0.34 $\mu\text{g/l}$ 와 비슷하지만, 납의 濃度範圍인 0.028~0.069 $\mu\text{g/l}$ 보다 낮게 나타났다(郭 等 1993, 1994). 北太平洋에서의 카드뮴, 구리, 니켈과 아연의 濃度인 0.00016 $\mu\text{g/l}$, 0.032 $\mu\text{g/l}$, 0.123 $\mu\text{g/l}$, 0.0046 $\mu\text{g/l}$ (Bruland 1980)와 비교하면 니켈만 비슷한 水準이며, 그외는 매우 높았다. 北海의 카드뮴, 구리, 니켈의 濃度인 0.020 $\mu\text{g/l}$, 0.226 $\mu\text{g/l}$, 0.319 $\mu\text{g/l}$ (Kremling 1985)보다 낮았다.

參 考 文 獻

- 郭熙相 等. 1993. 韓國南海 綜合海洋資源圖 作成研究-大韓海峽(2次年度)
海洋研究所 報告書 BSPG 00185-601-3.
- 郭熙相 等. 1994. 韓國南海 綜合海洋資源圖 作成研究-大韓海峽(2次年度)
海洋研究所 報告書 BSPN 00227-733-3.
- 金 等. 1991. 대마暖流의 物理·生物·化學的 特性 및 東海의 海水 循環
KOSEF 870616.
- 南基樹 等. 1987. 韓國南海 綜合海洋資源圖 作成研究-南海(豫備調查)
海洋研究所 報告書 BSPG 00046-163-7.
- 南基樹 等. 1988. 韓國南海 綜合海洋資源圖 作成研究-南海(二次年度) 海洋研究所
報告書 BSPG 00062-200-7.
- 南基樹 等. 1989. 韓國南海 綜合海洋資源圖 作成研究-南海(三次年度) 海洋研究所
報告書 BSPG 00091-251-7.
- Boyle, E. A., S. S. Husted and S. P. Jones. 1981. On the distribution of
copper, nickel, and cadmium in the surface waters of the North
Atlantic and North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 86 : 8048-8066.
- Bruland, K. W. 1980. Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and
copper in the North Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.* 47 : 176-198.
- Kremling, K. 1985. The distribution of cadmium, copper, nickel, manganese and
aluminium in surface waters of the open Atlantic and European shelf
area. *Deep Sea Res.* 32 : 531-555.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and
biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford,
U. K.

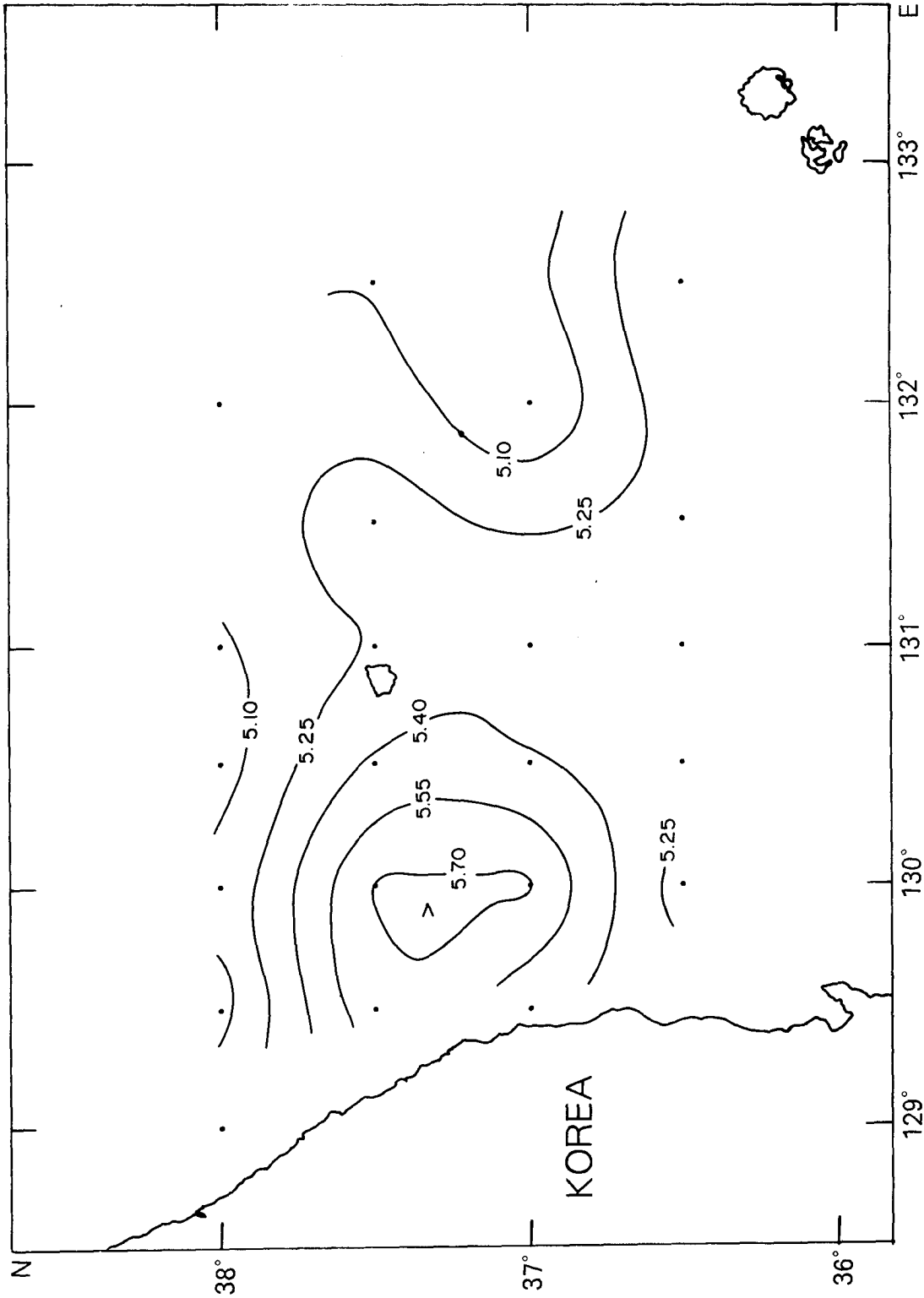


Fig. III-1. Horizontal distributions of dissolved oxygen in [ml/l] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths during November 9~25, 1994

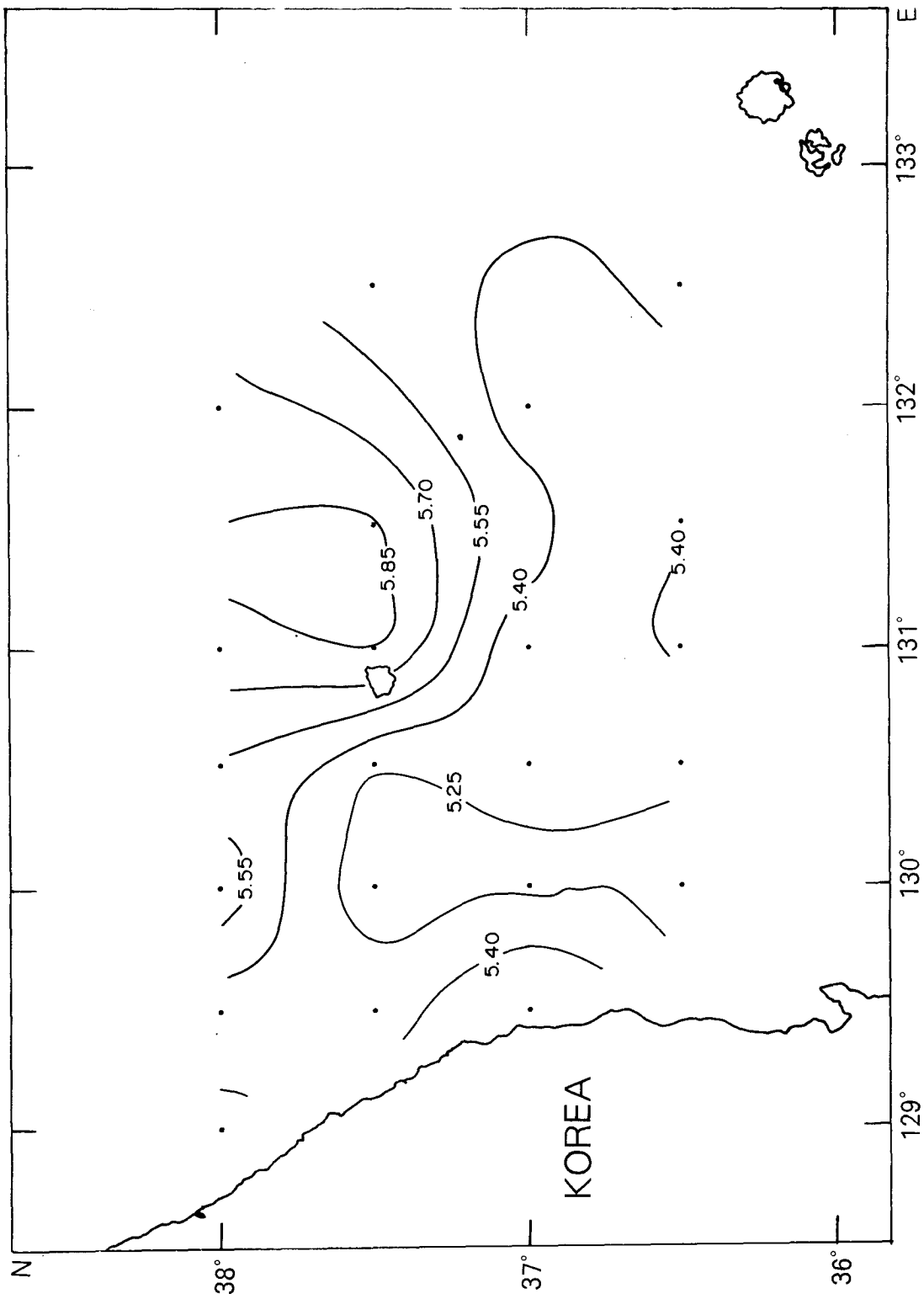


Fig. III-1. Continued 2

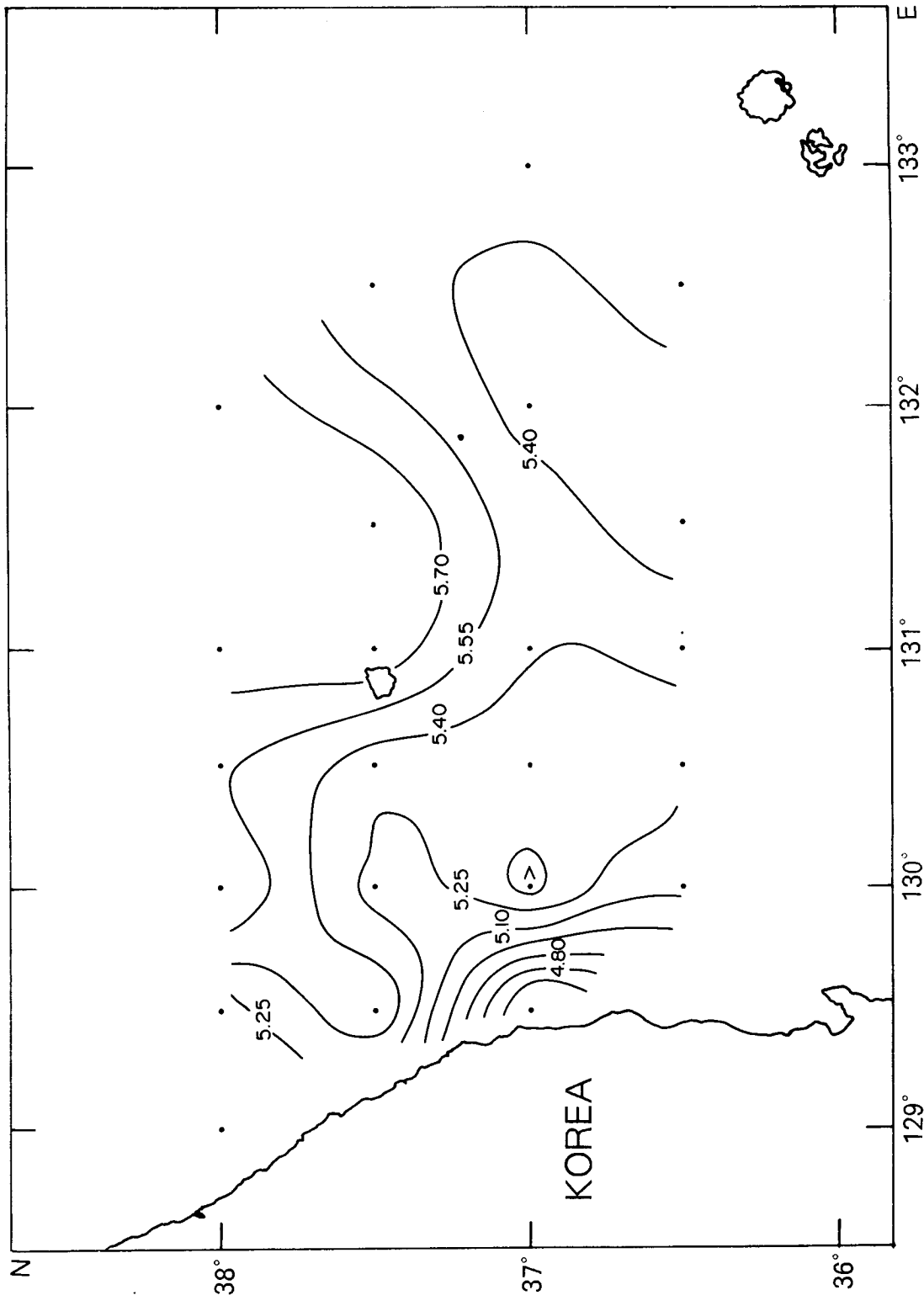


Fig. III-1. Continued 3

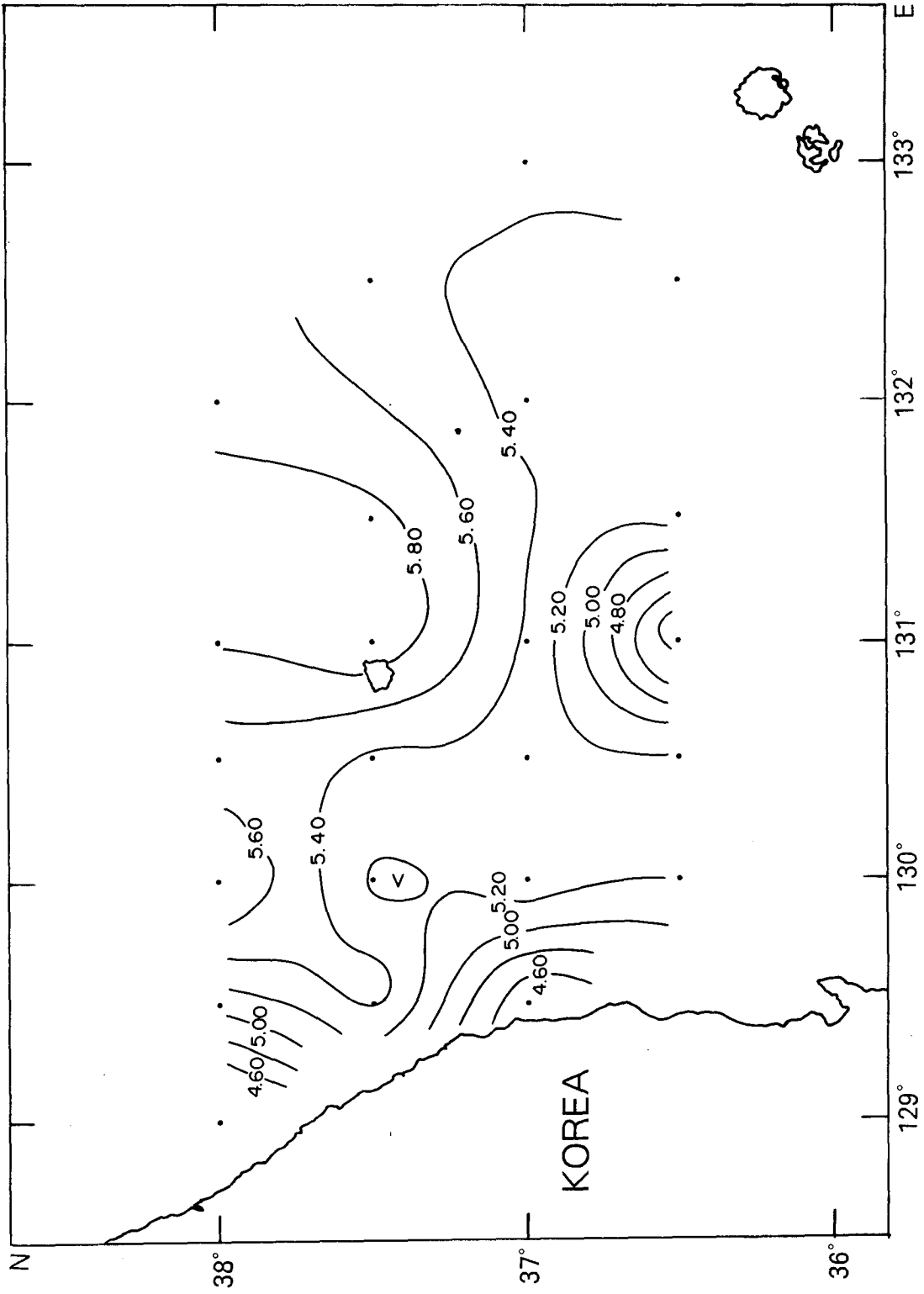


Fig. III-1. Continued 4

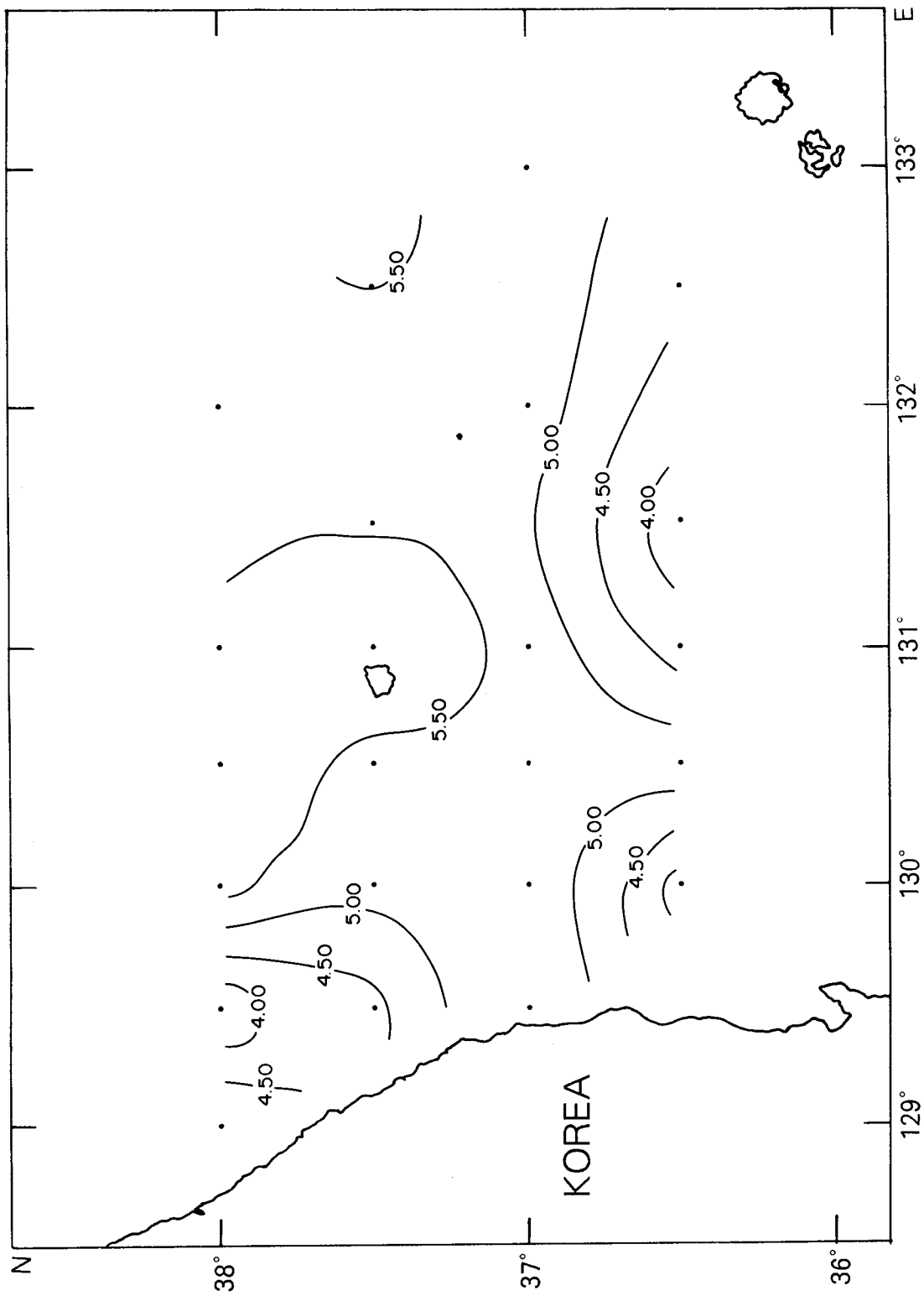


Fig. III-1. Continued 5

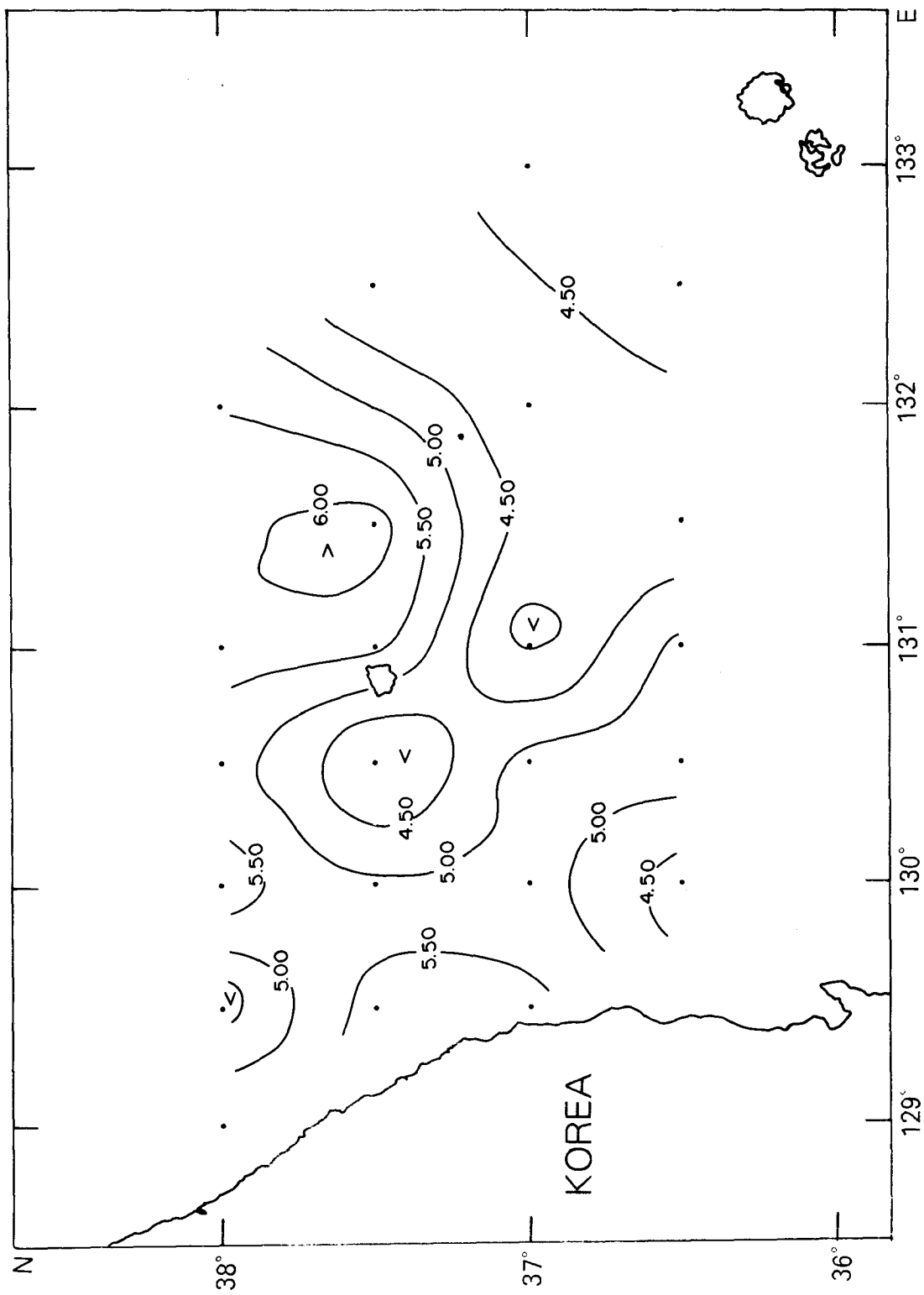


Fig. III-1. Continued 6

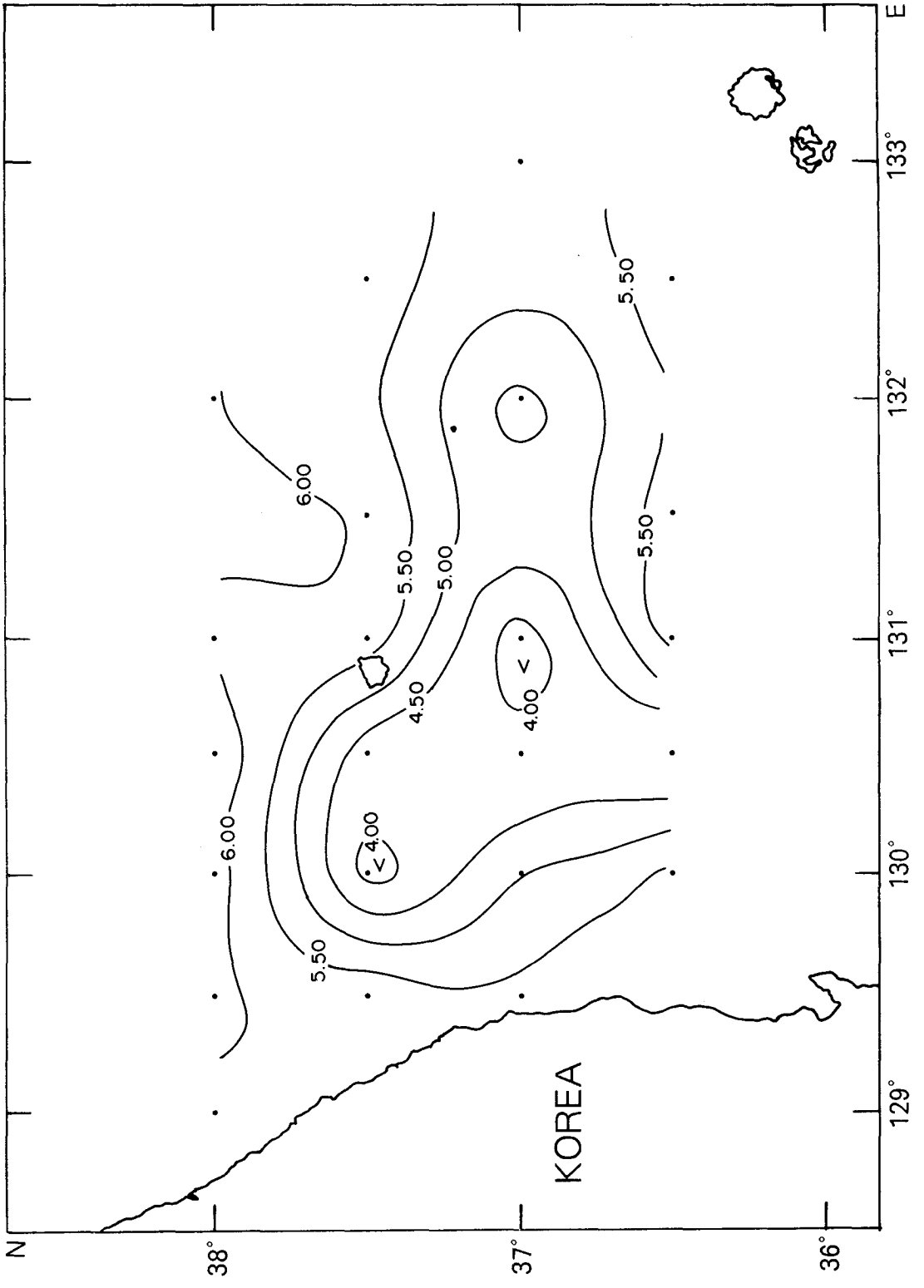


Fig. III-1. Continued 7

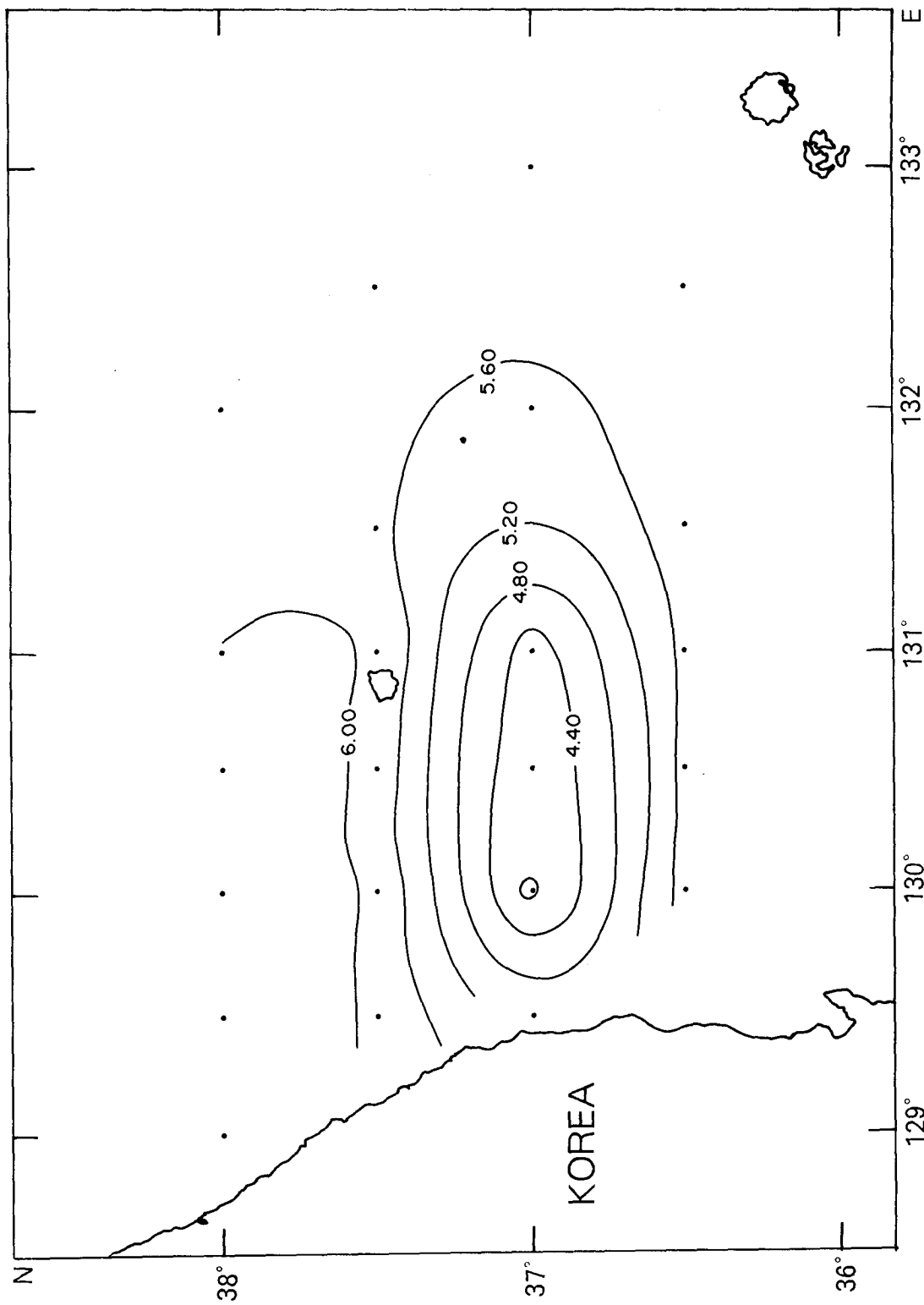


Fig. III-1. Continued 8

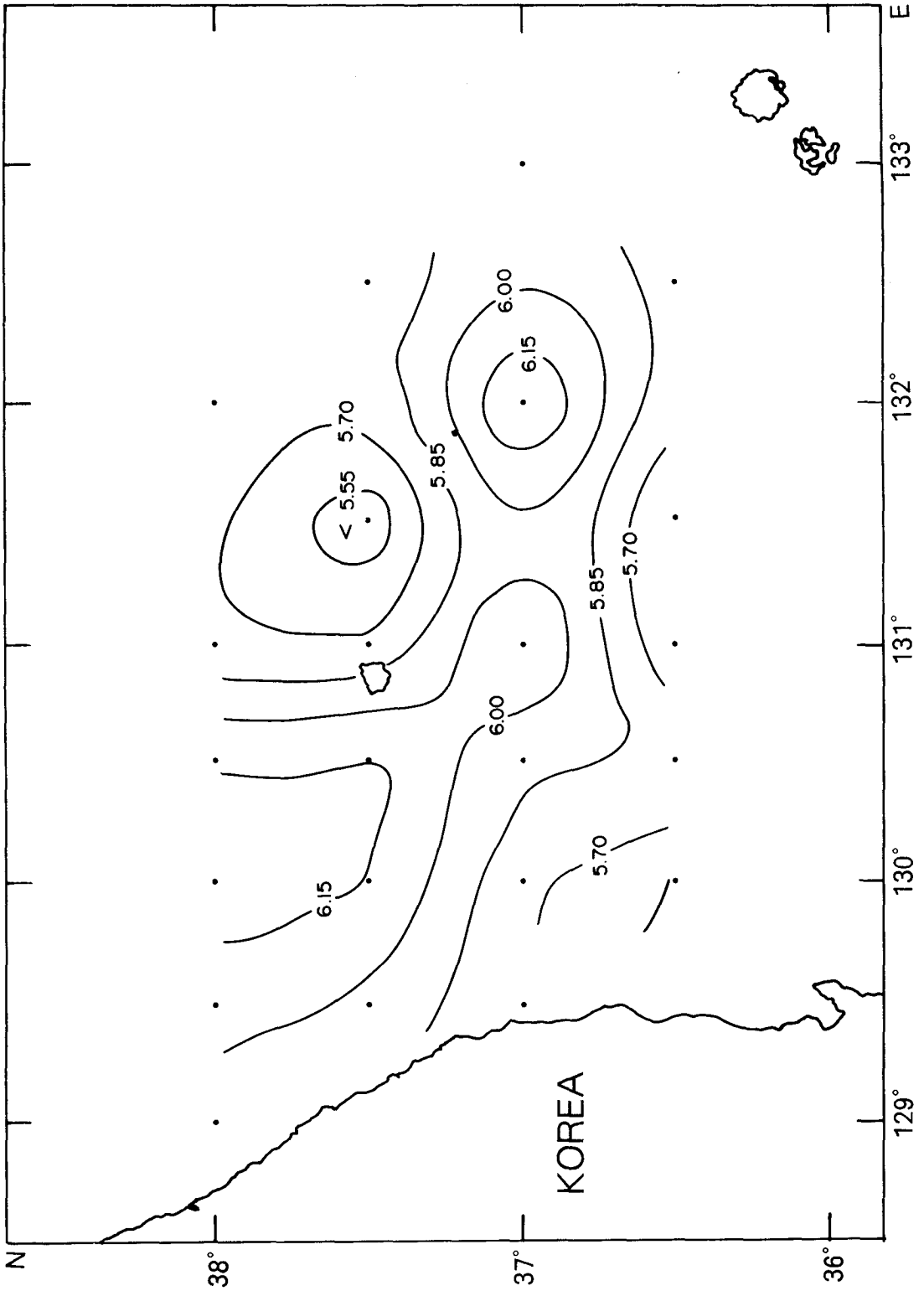


Fig. III-1. Continued 9

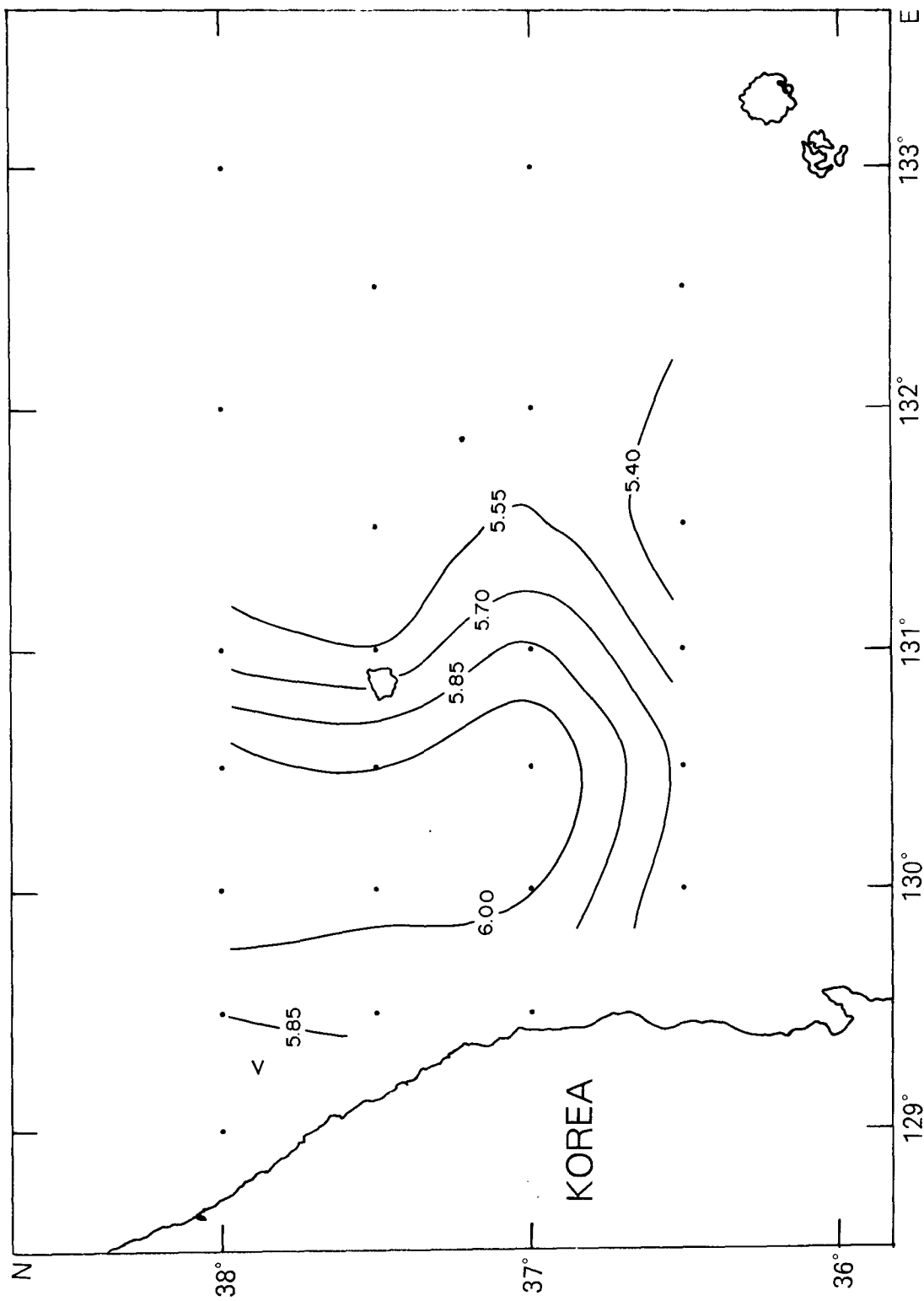


Fig. III-1. Continued 10

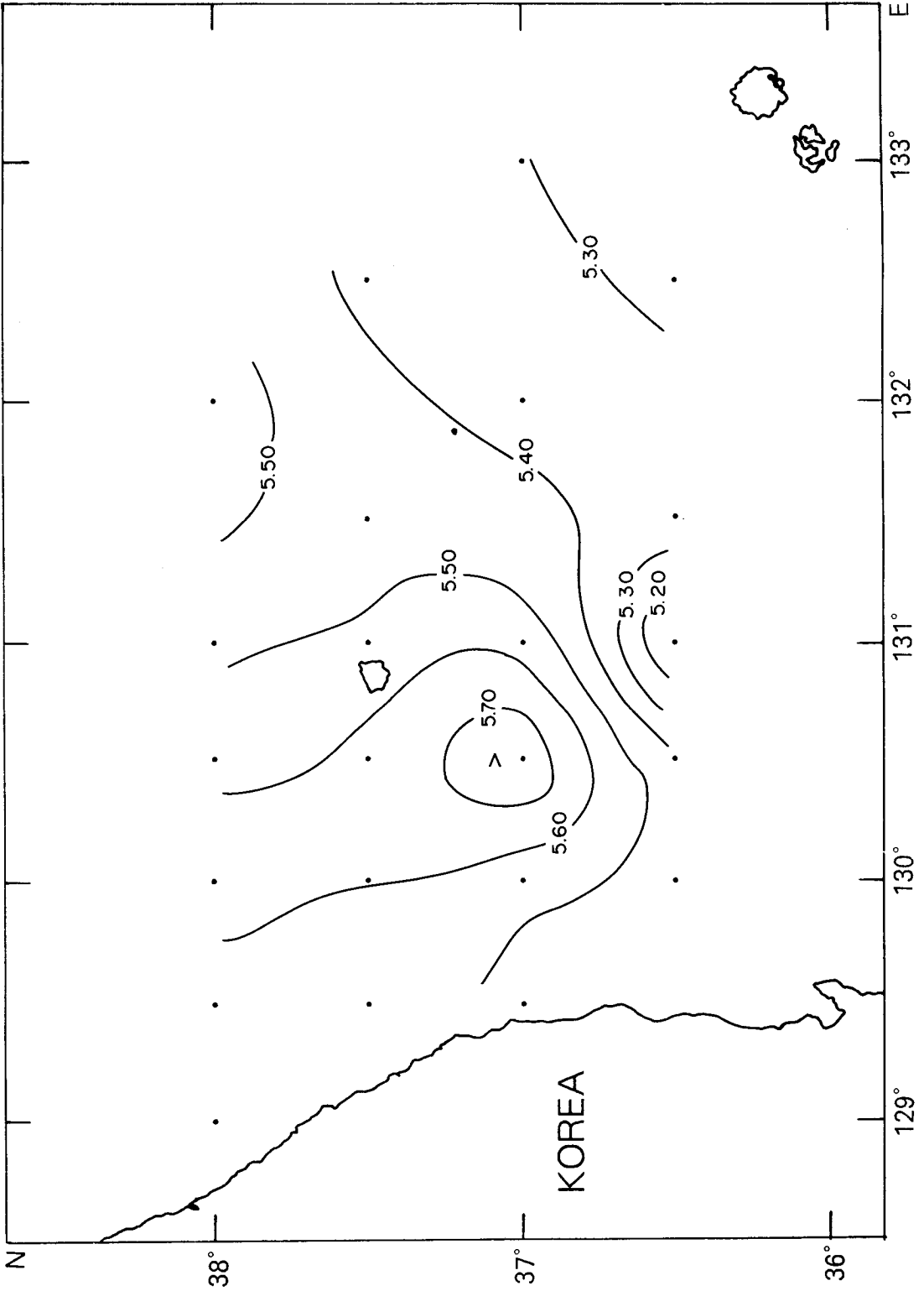


Fig. III-1. Continued 11

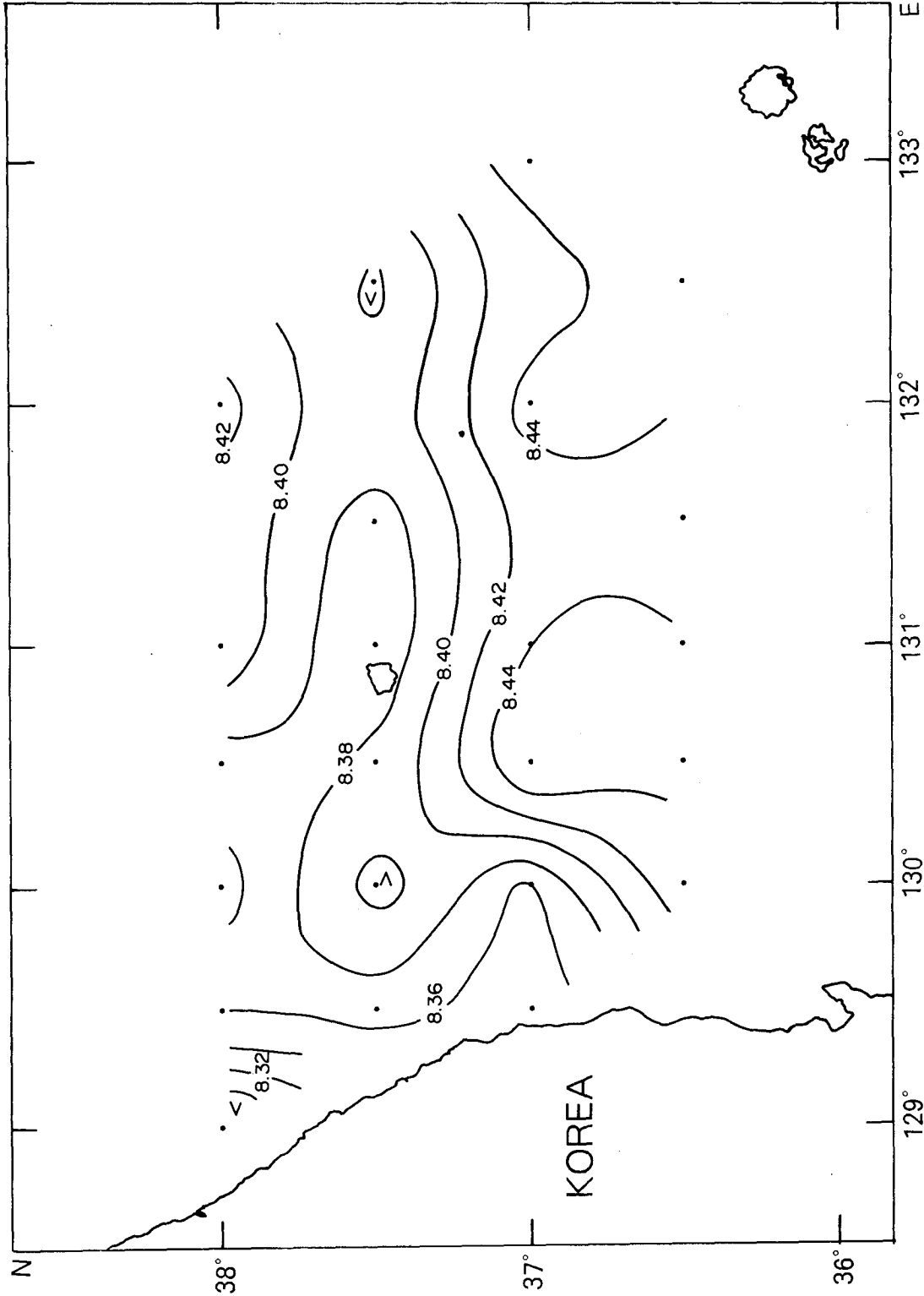


Fig. III-2. Horizontal distributions of pH (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths during November 9~25, 1994

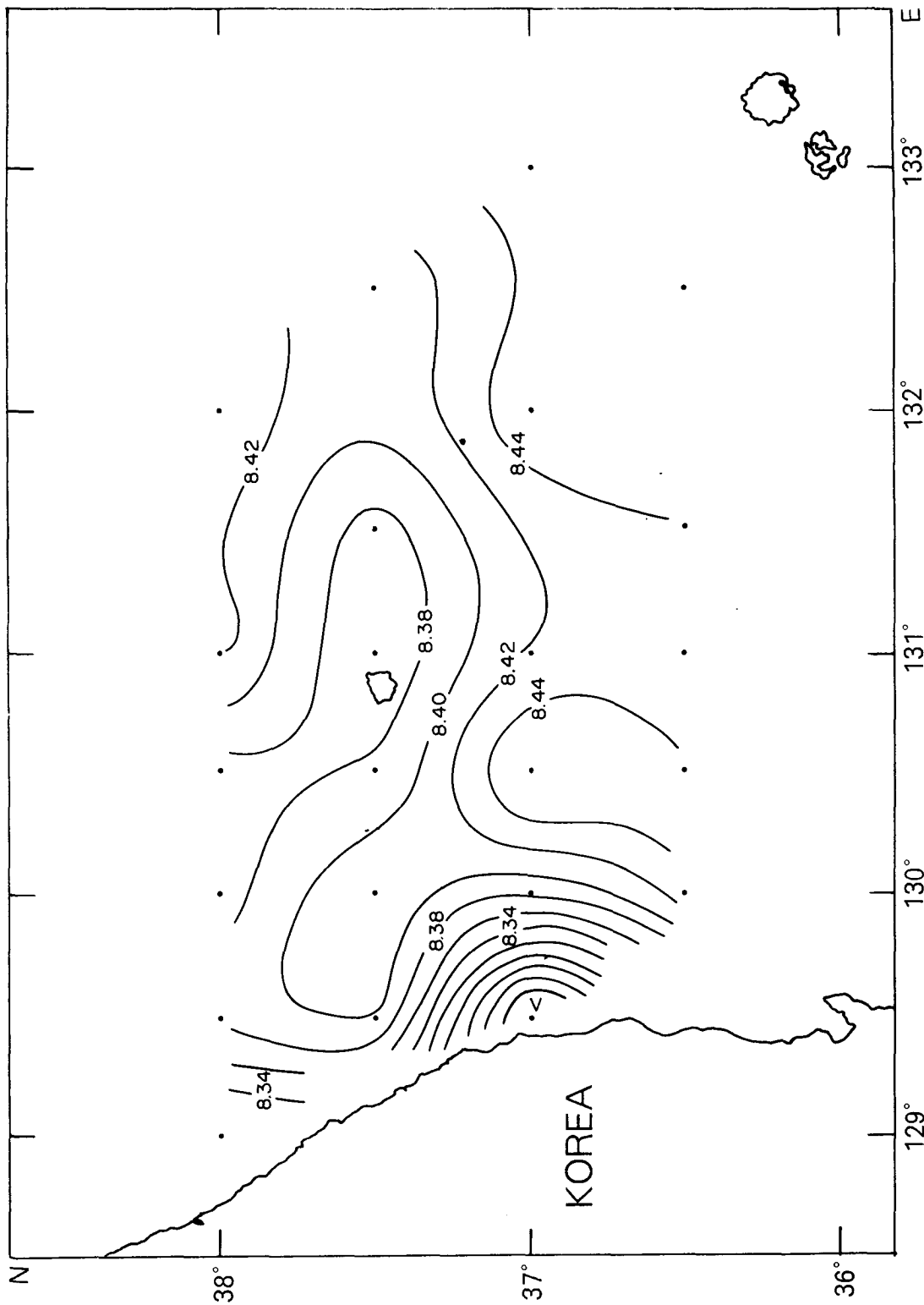


Fig. III-2. Continued 1

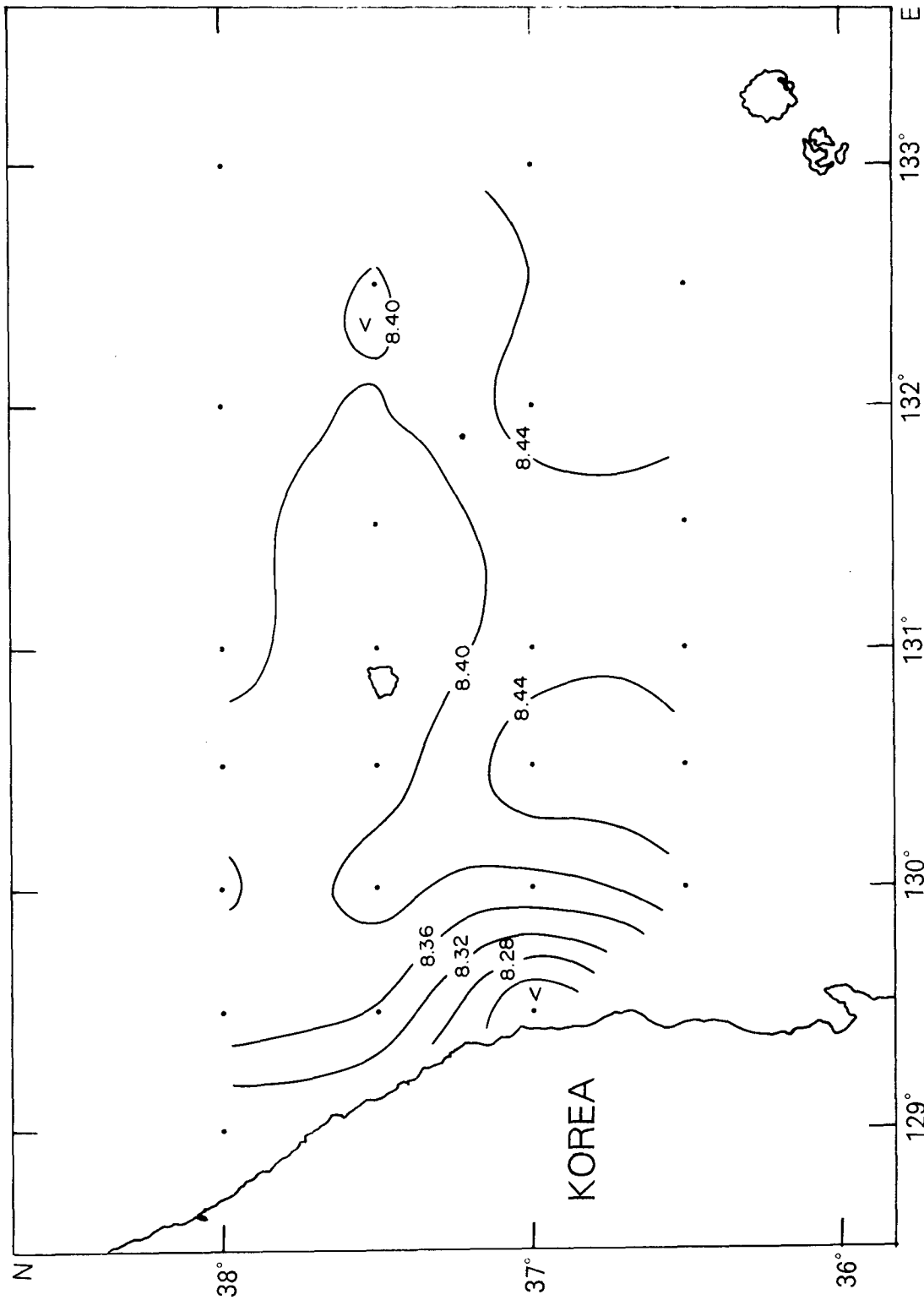


Fig. III-2. Continued 2

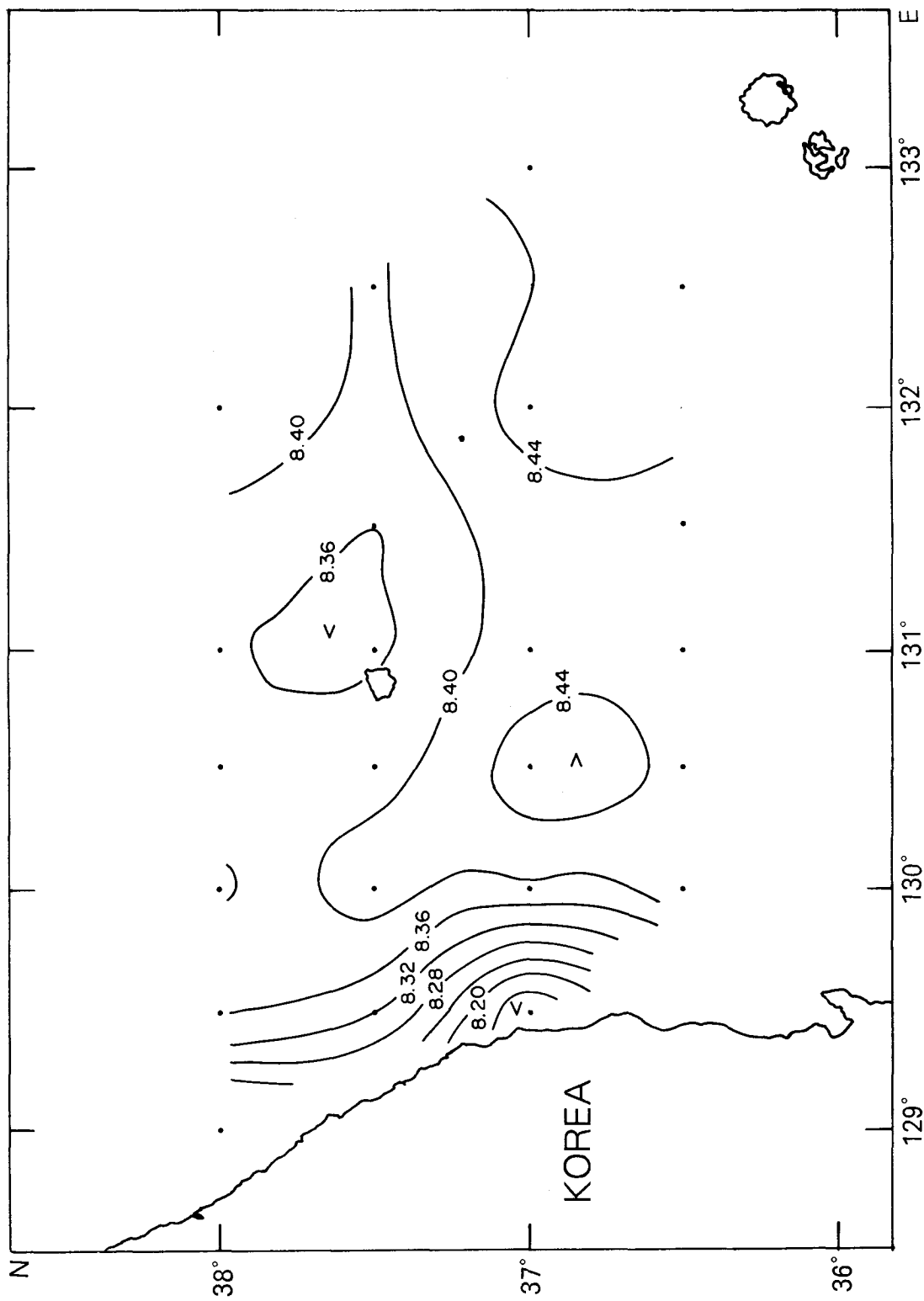


Fig. III-2. Continued 3

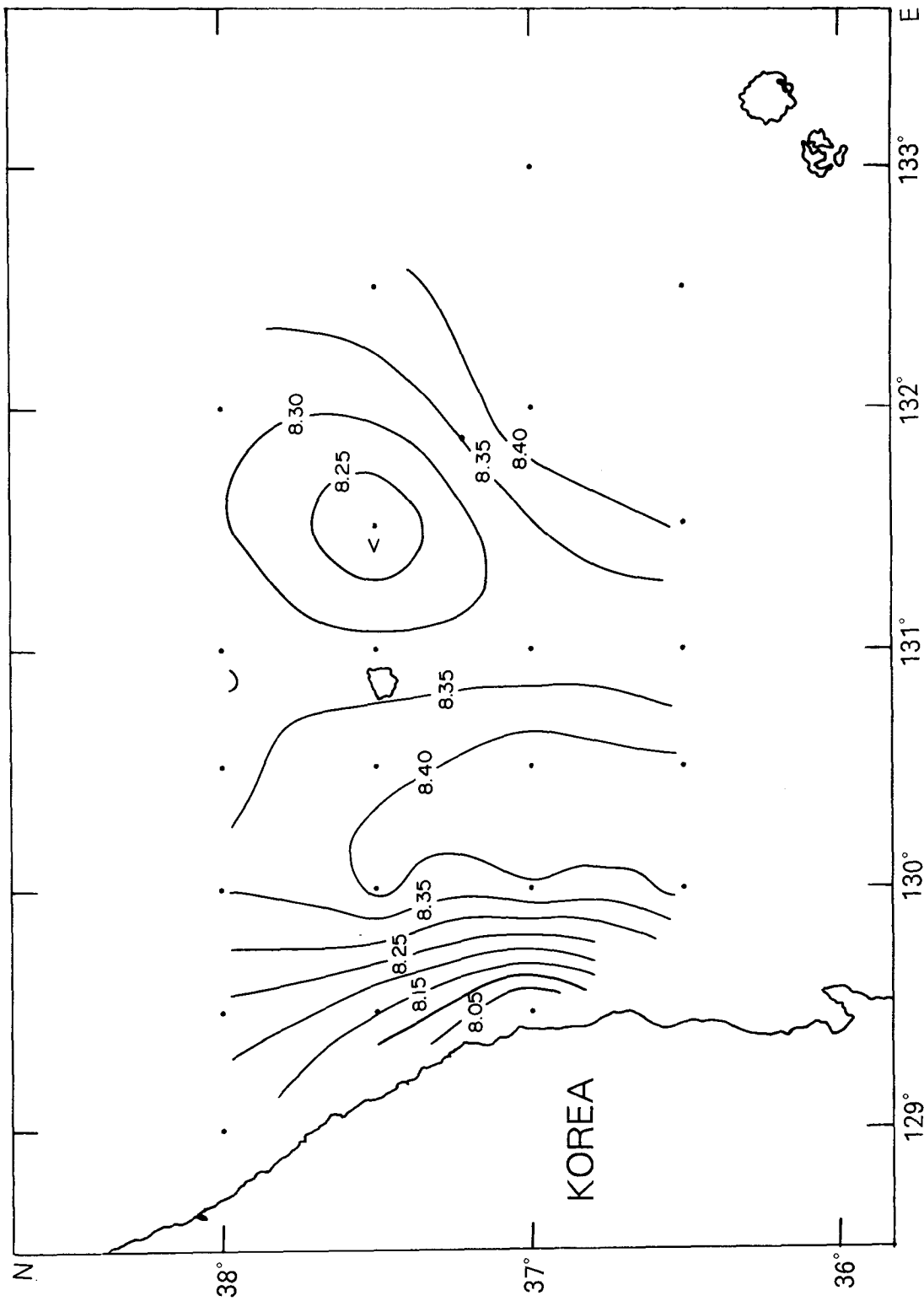


Fig. III-2. Continued 4

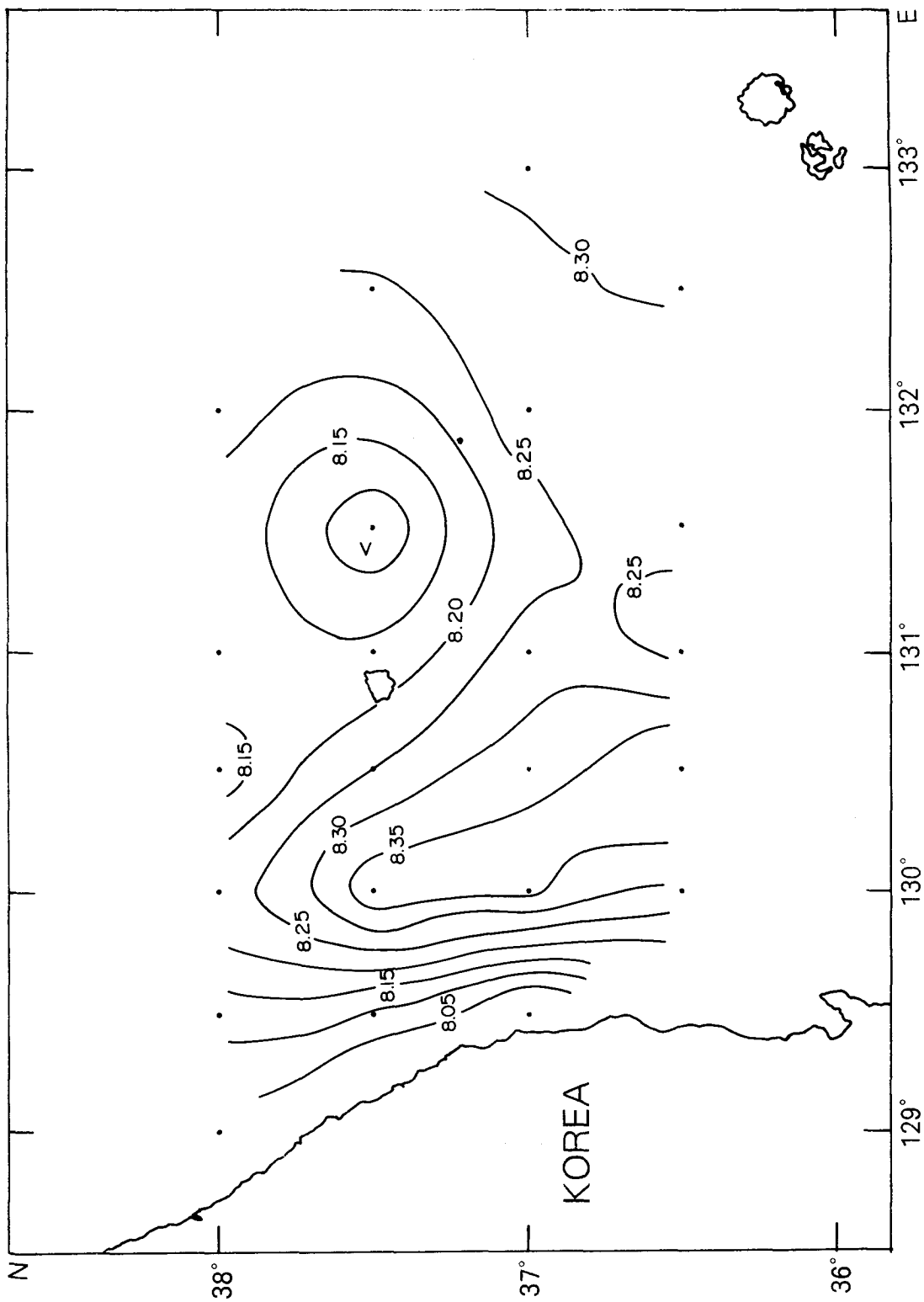


Fig. III-2. Continued 5

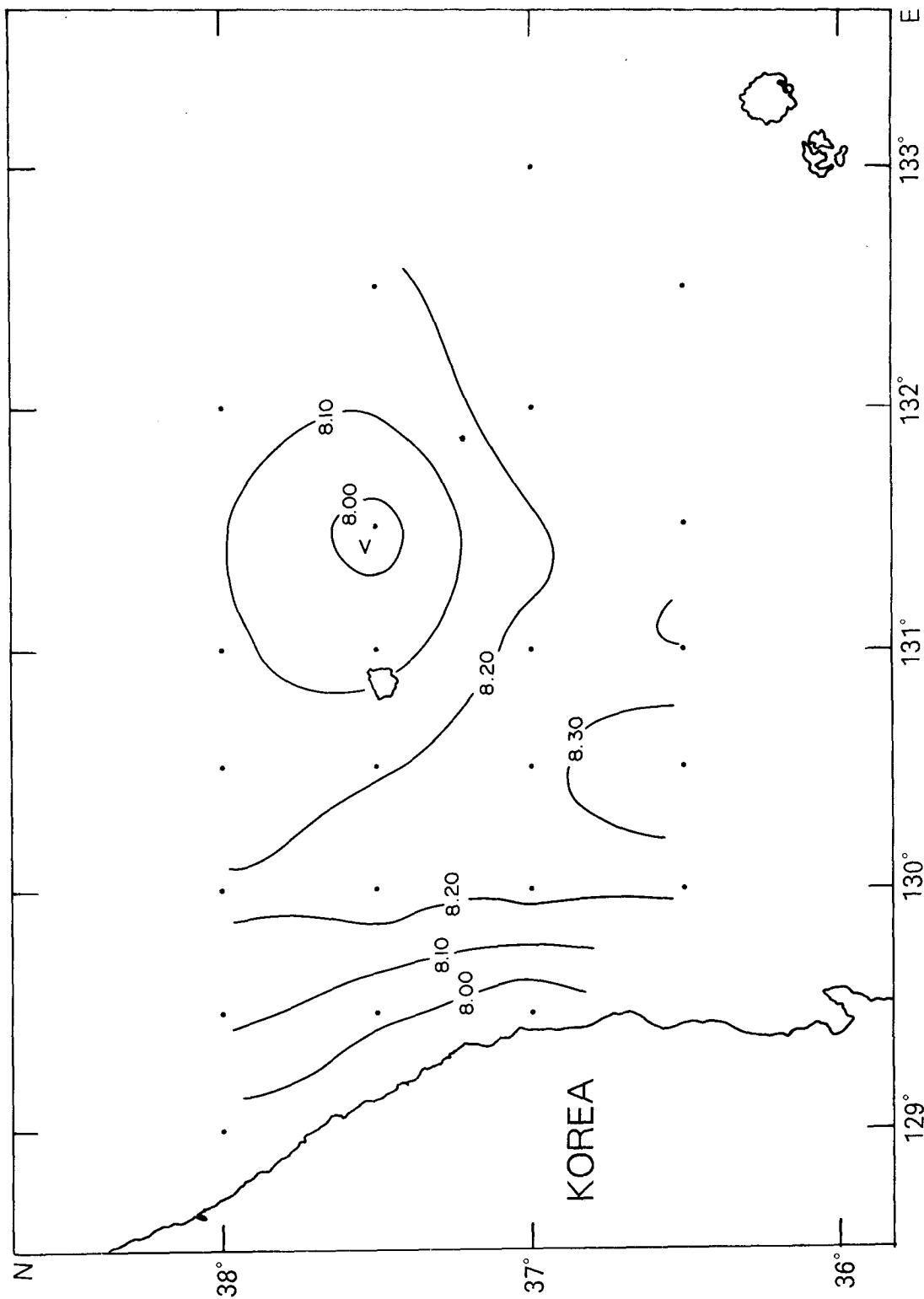


Fig. III-2 Continued 6

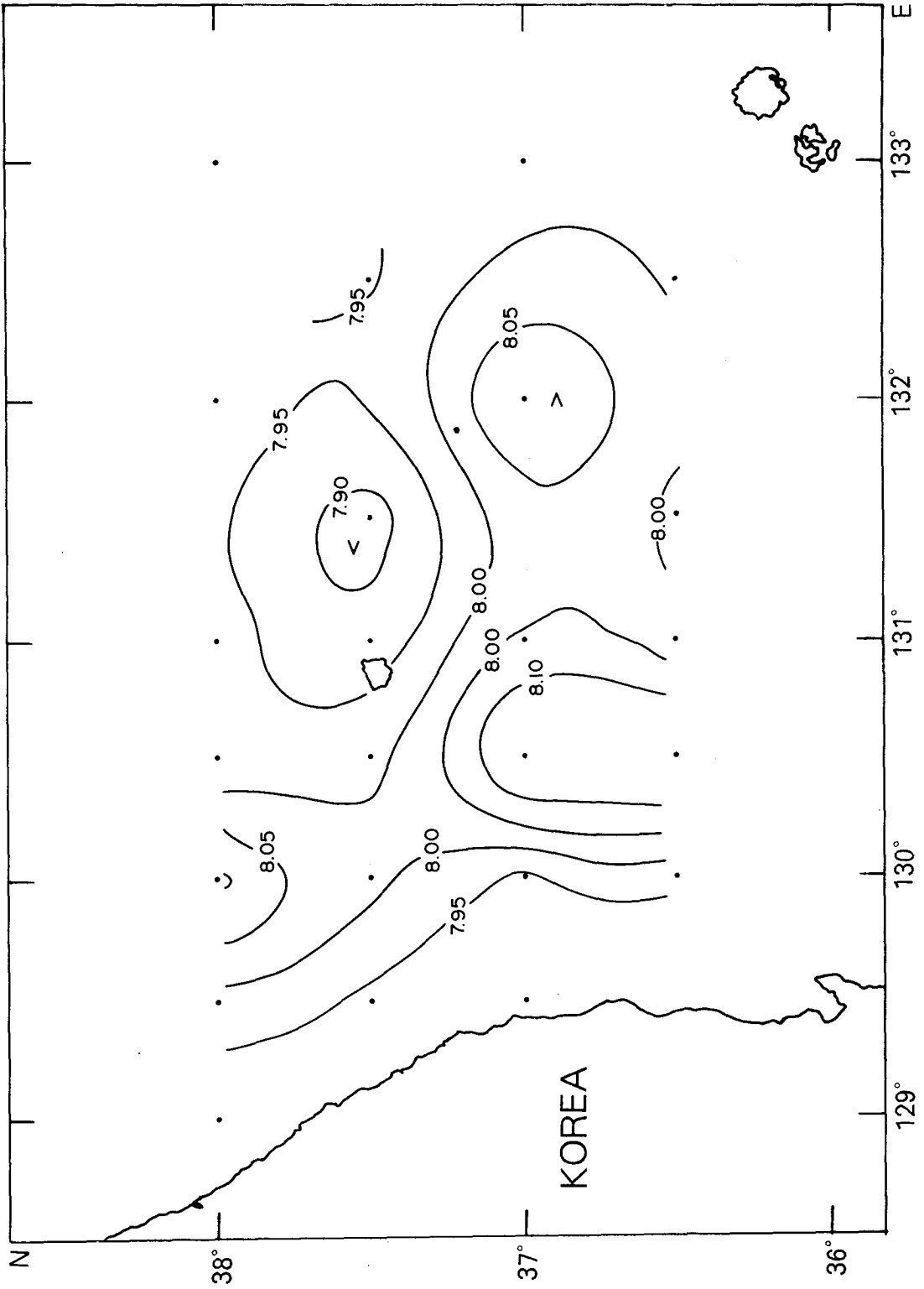


Fig. III-2. Continued 8

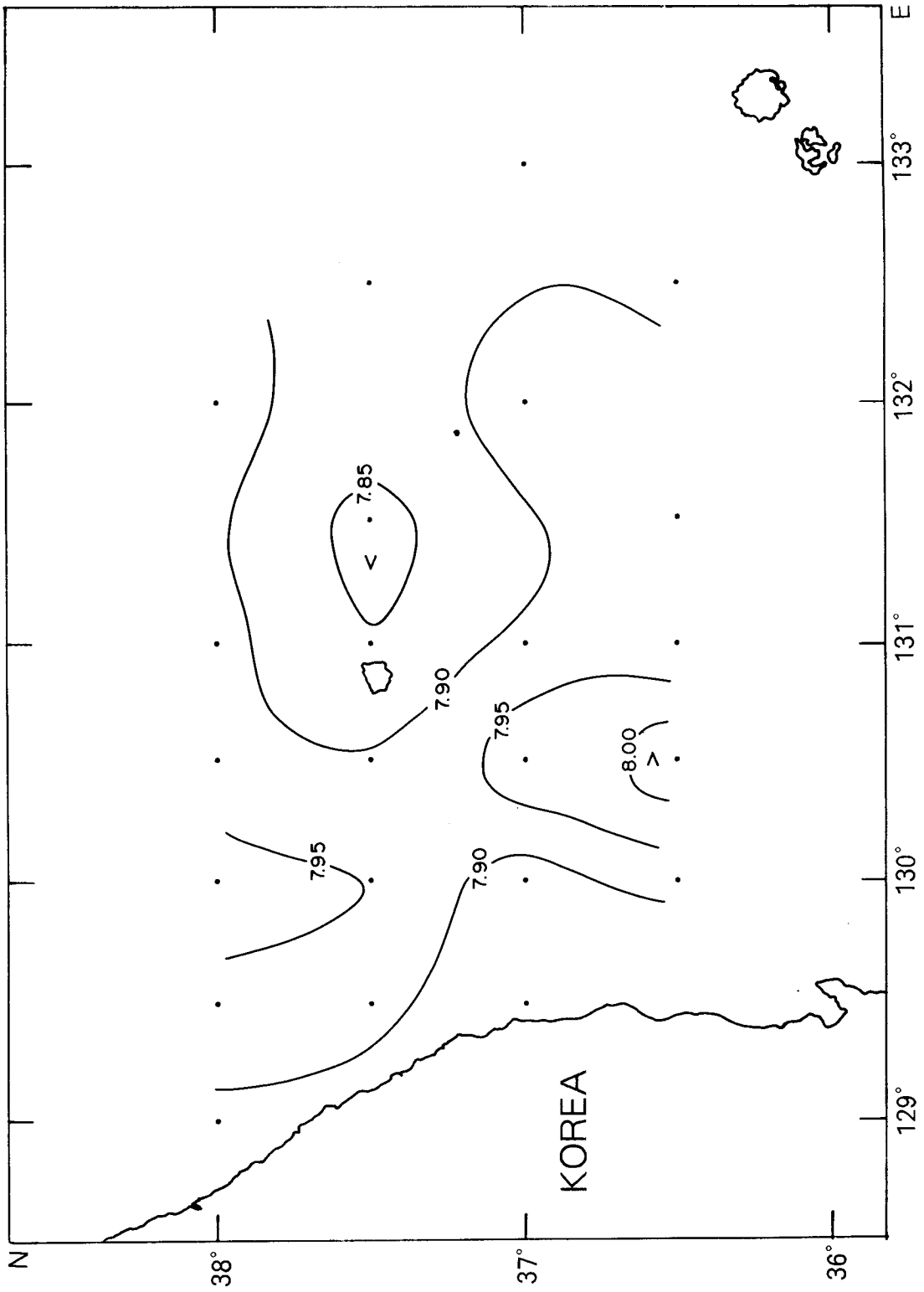


Fig. III-2. Continued 9

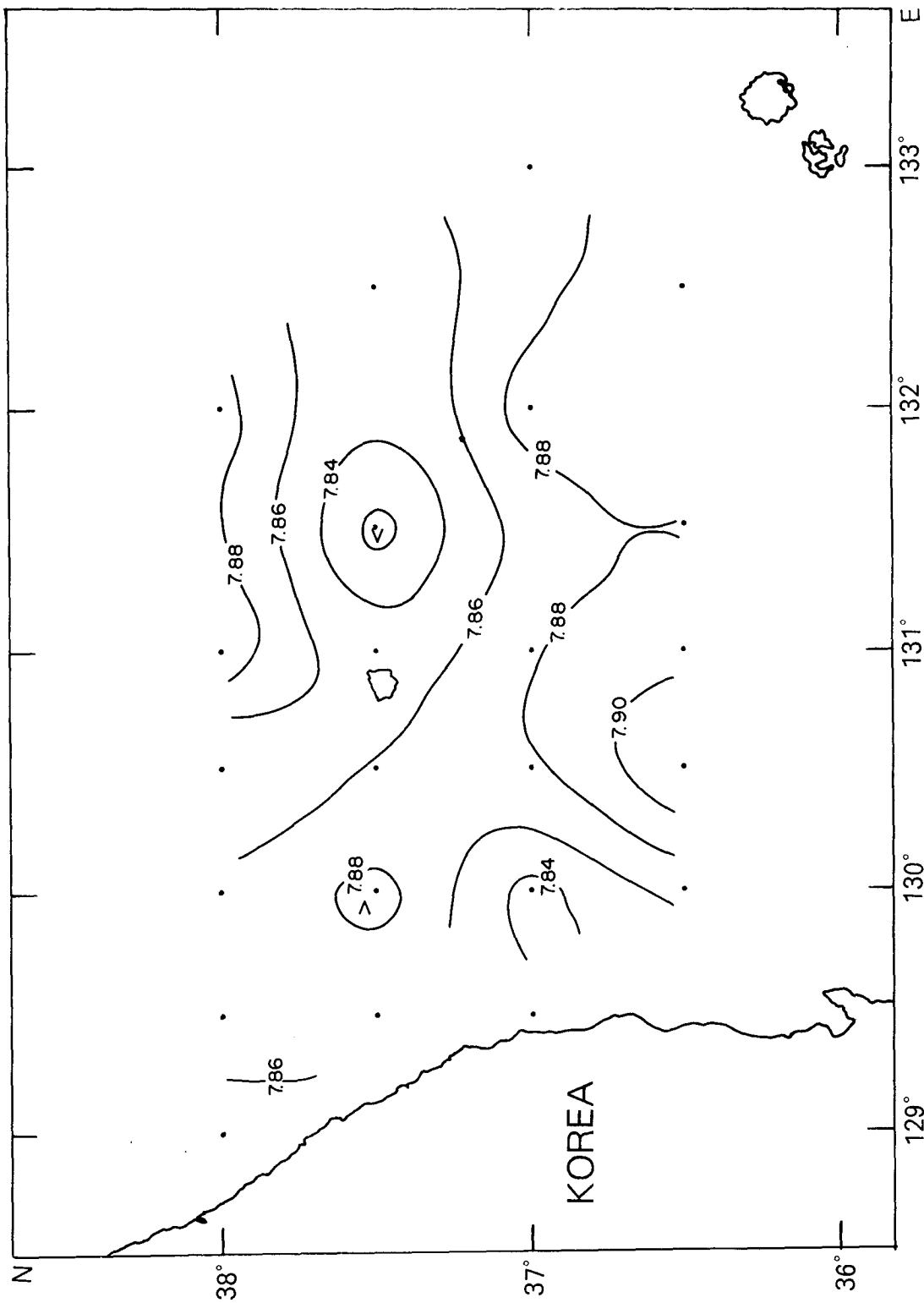


Fig. III-2. Continued 10

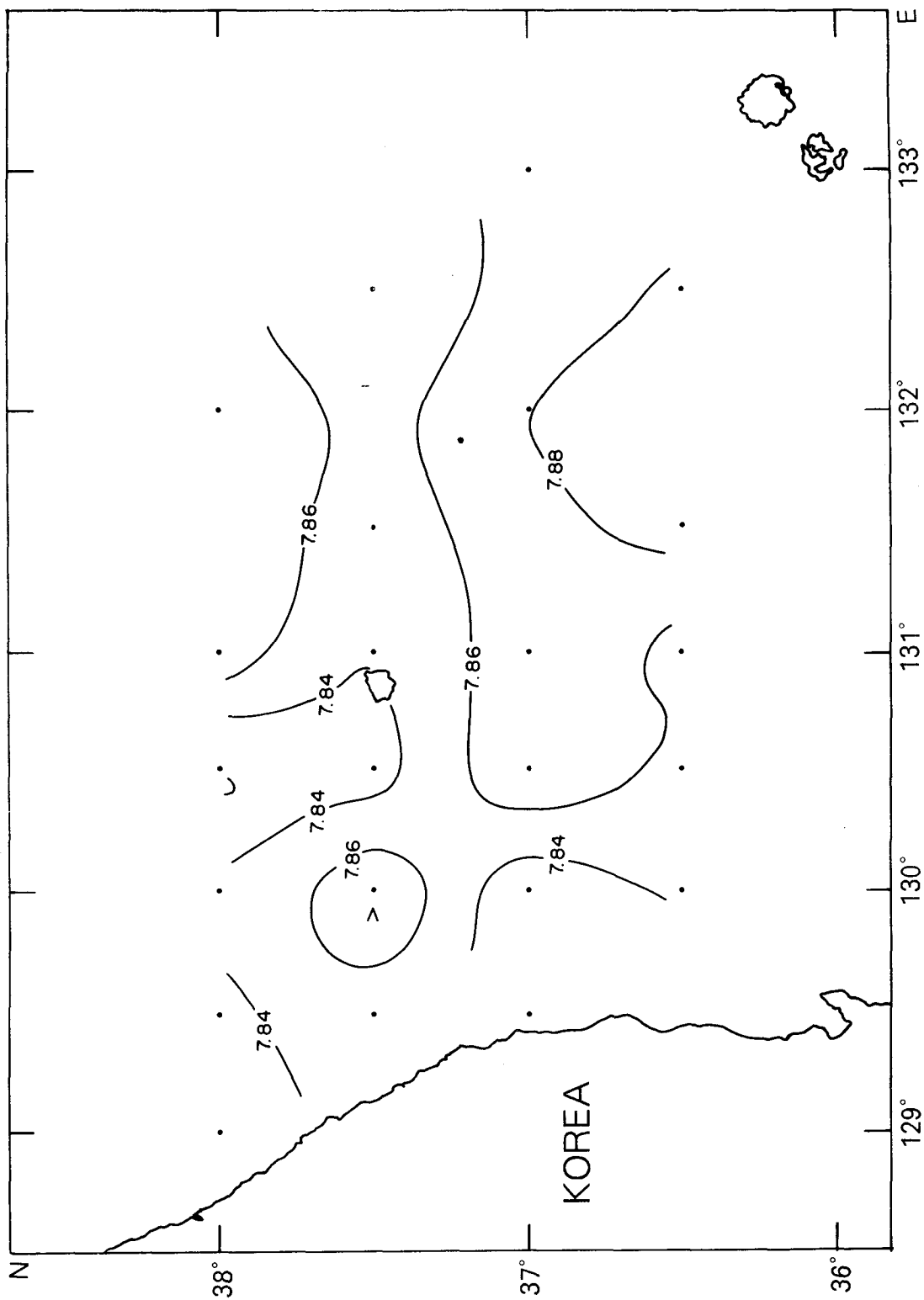


Fig. III-2. Continued 11

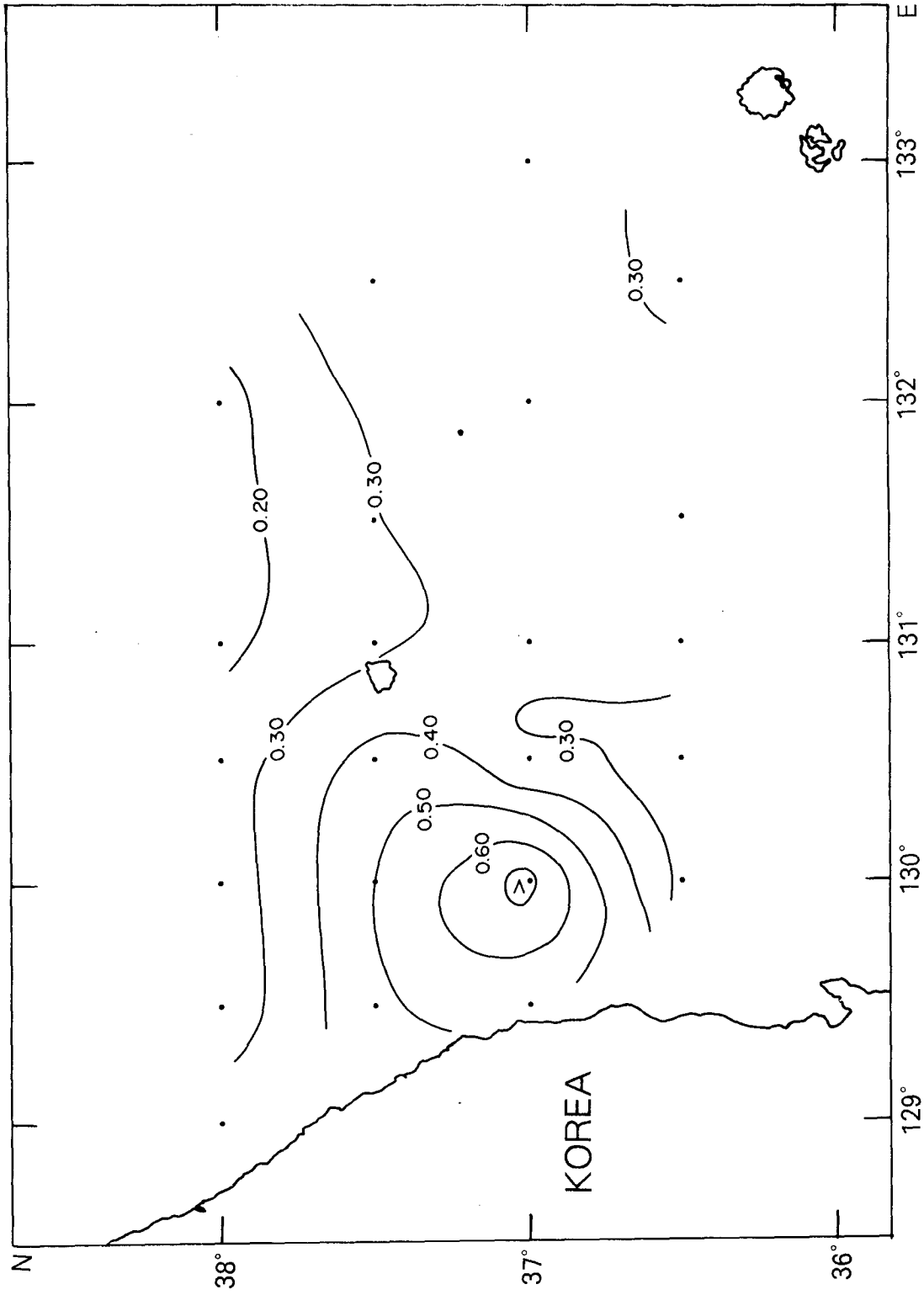


Fig. III-3. Horizontal distributions of nitrite-nitrogen (NO₂-N) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1000m depths

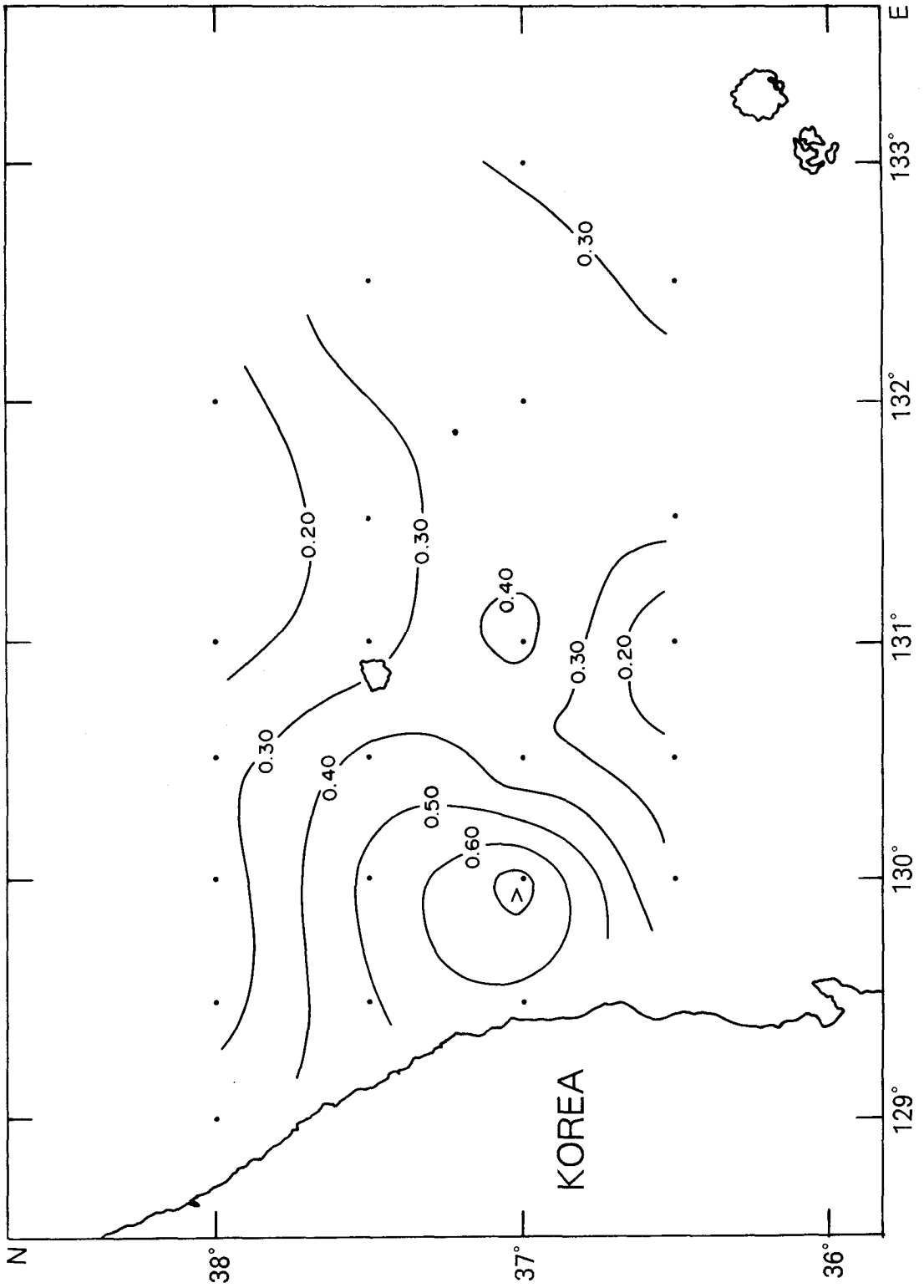


Fig. III-3. Continued I

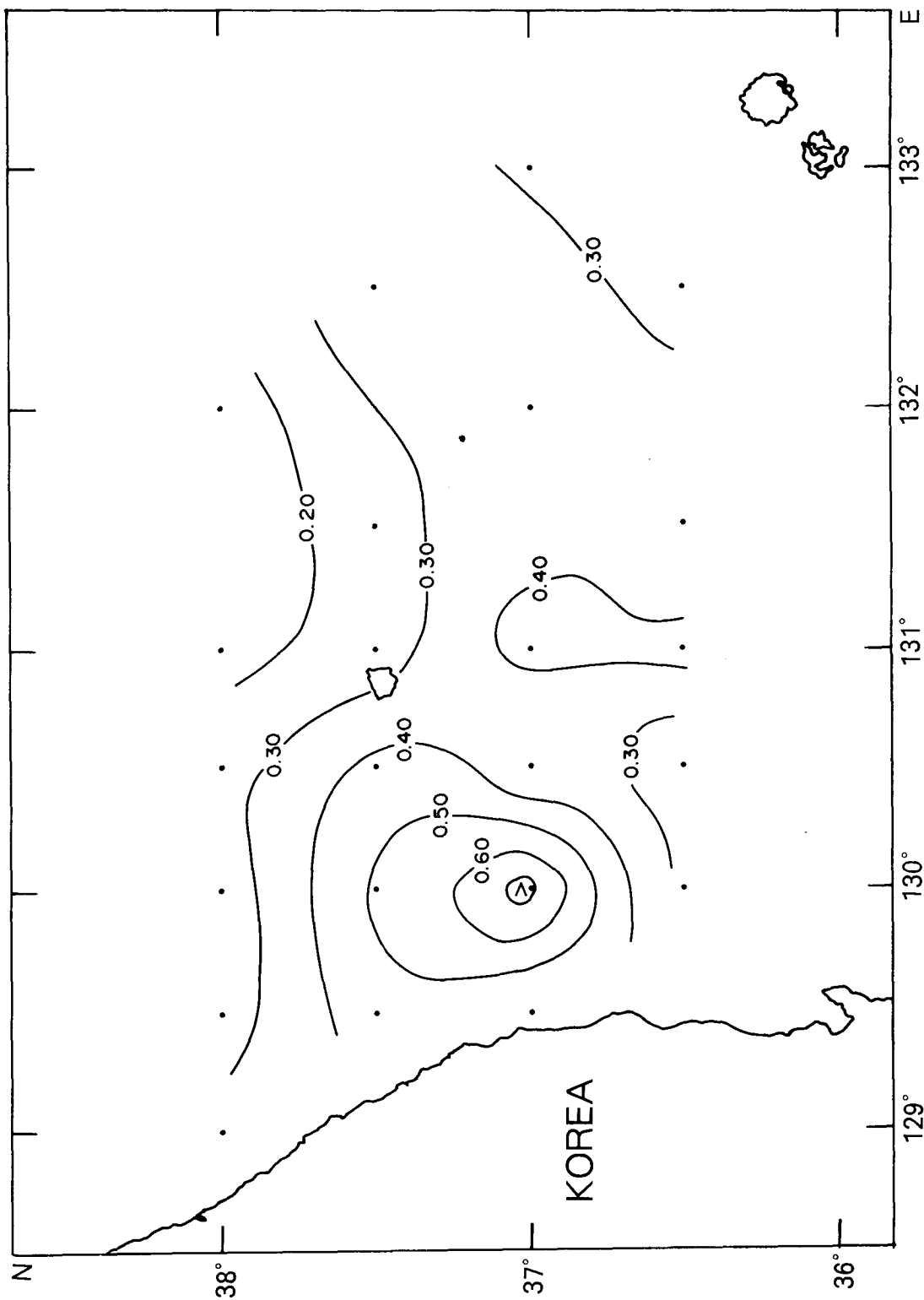


Fig. III-3. Continued 2

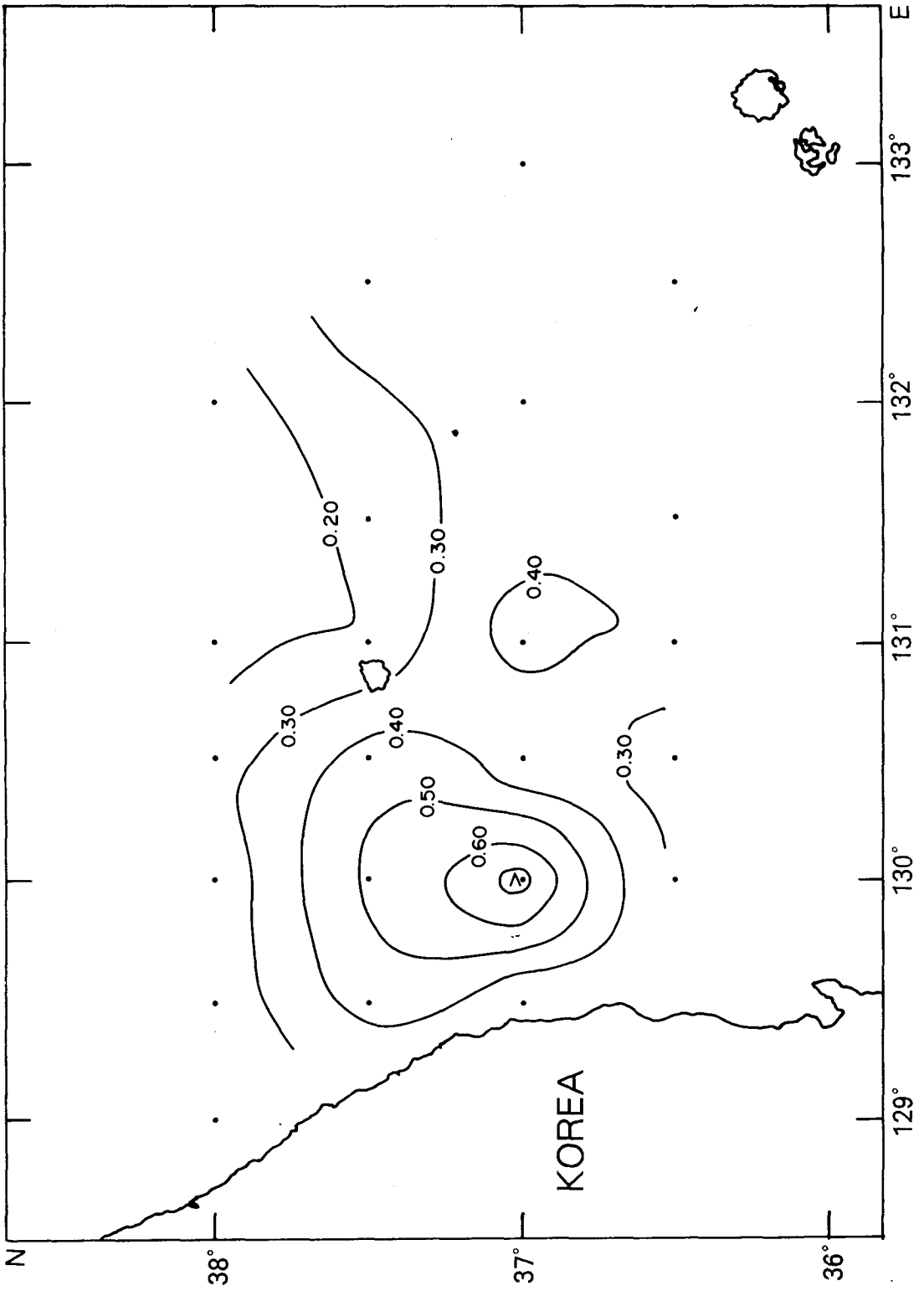


Fig. III-3. Continued 3

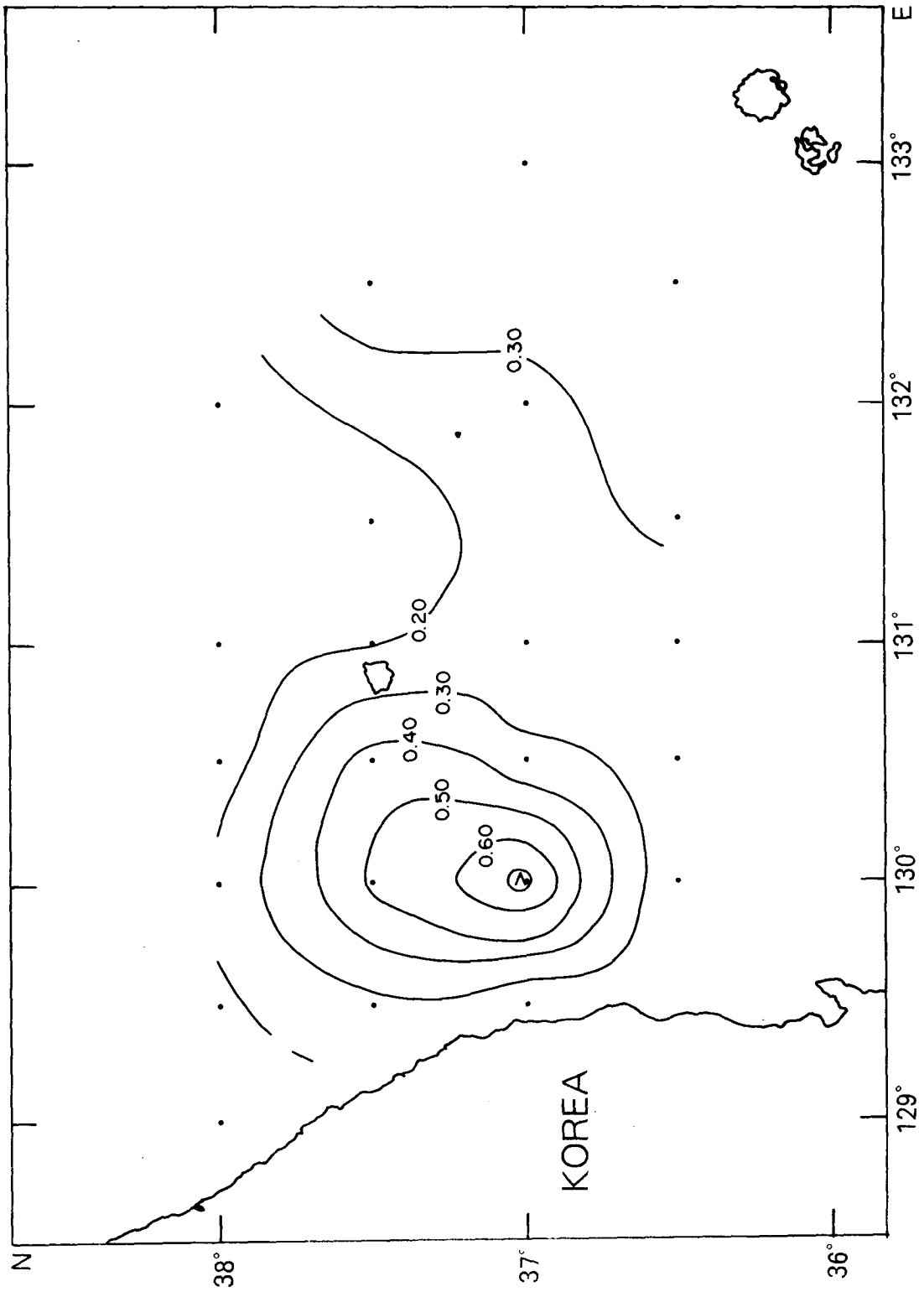


Fig. III-3. Continued 4

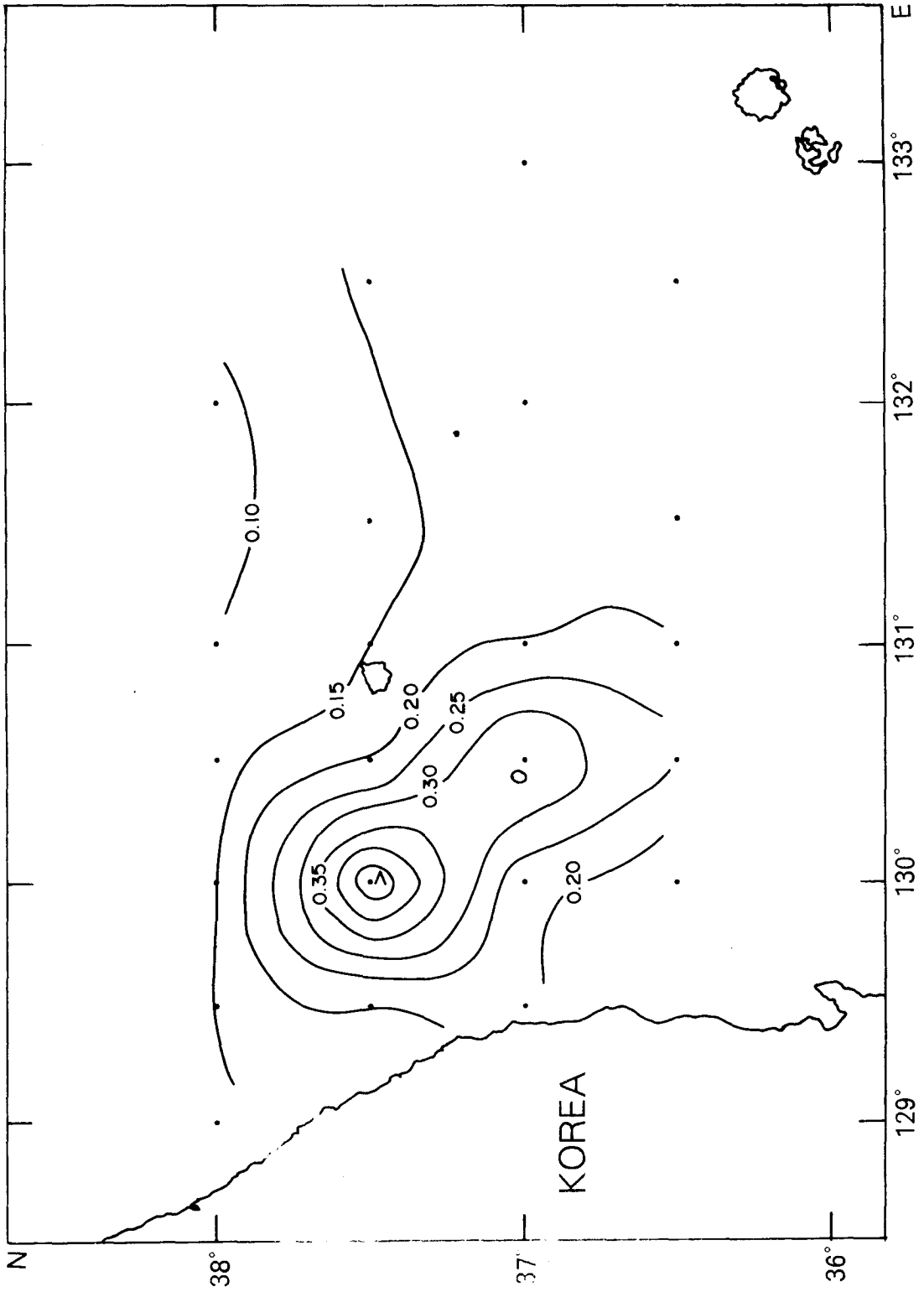


Fig. III-3. Continued 5

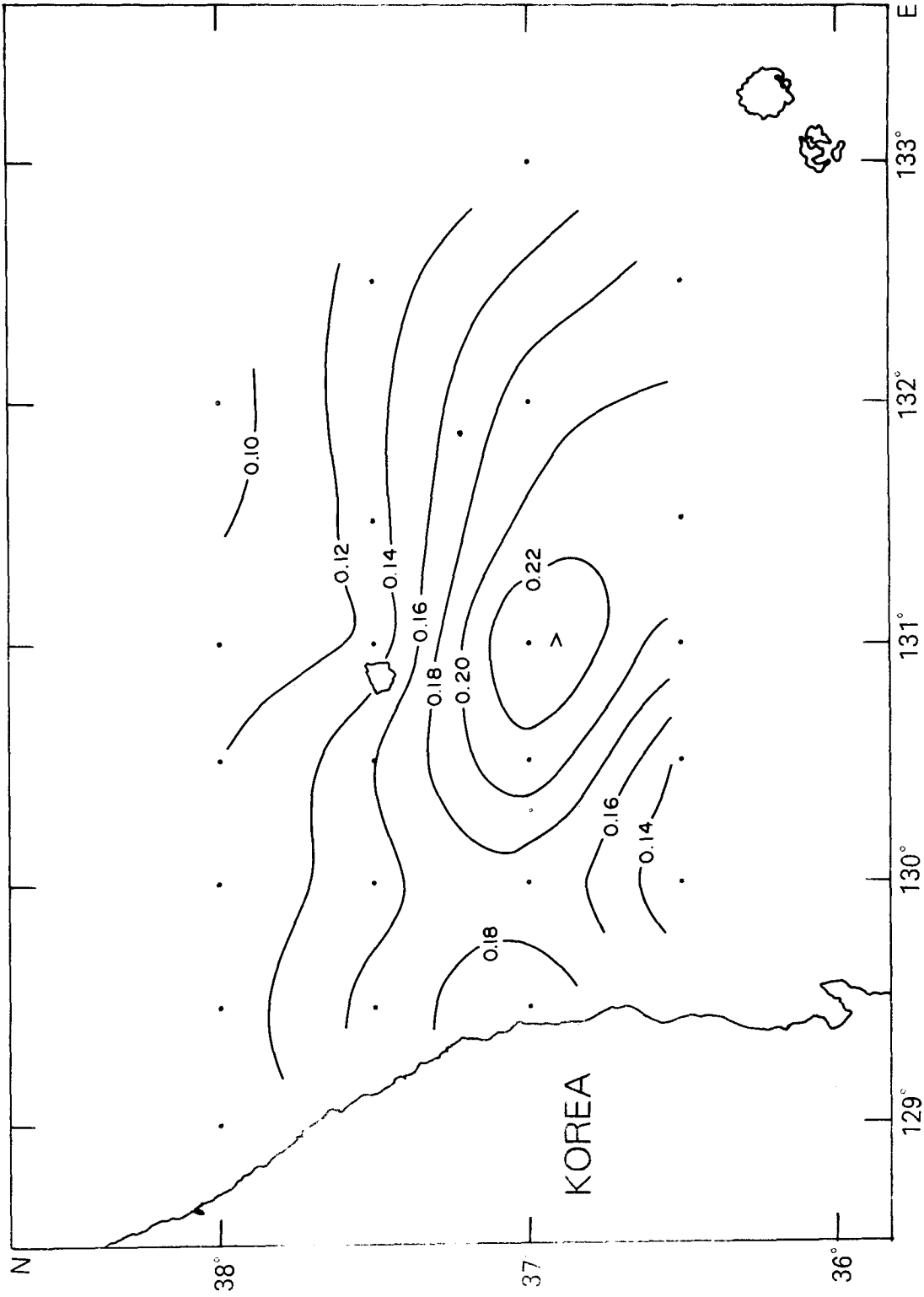


Fig. III-3. Continued 6

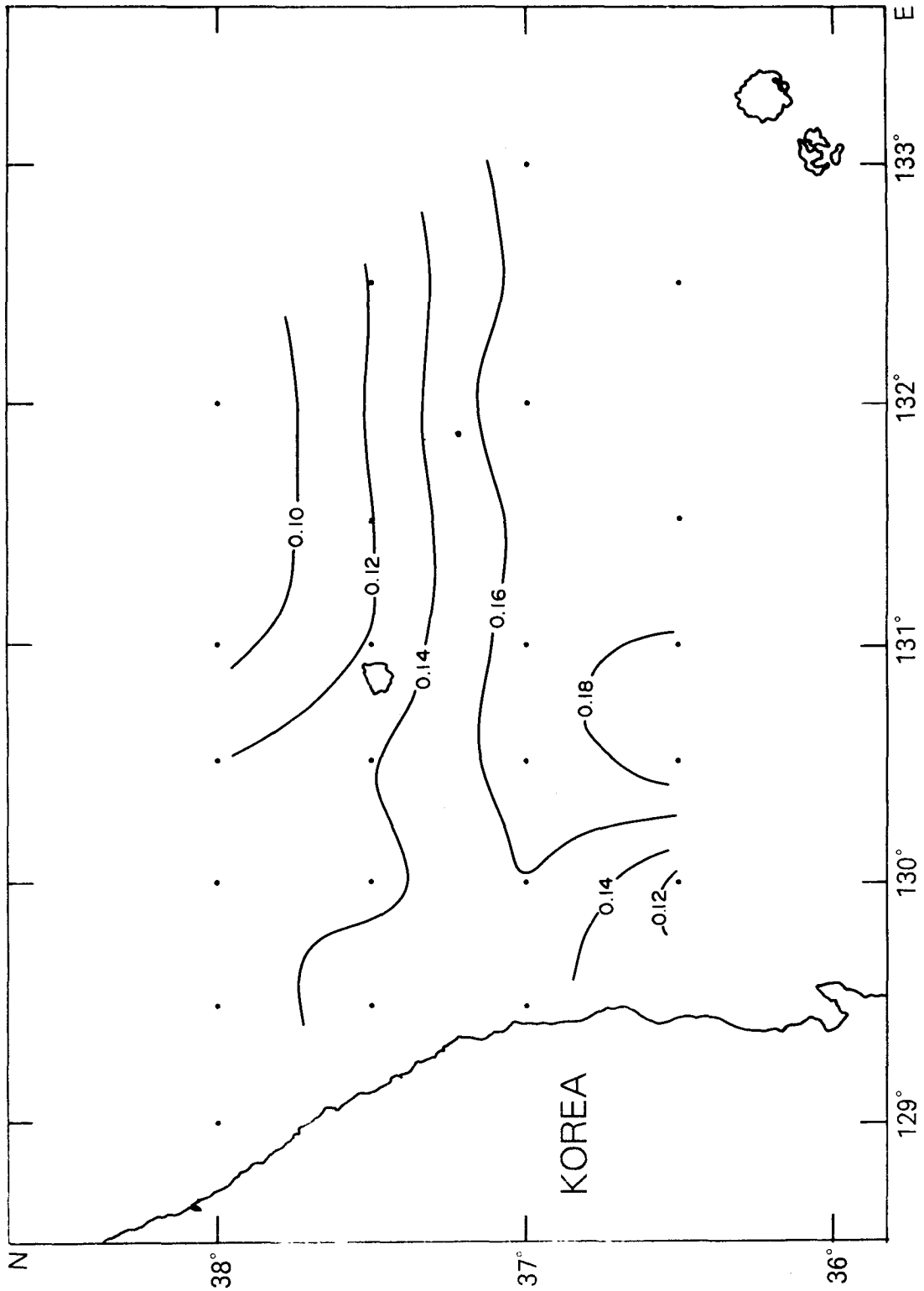


Fig. III-3. Continued 7

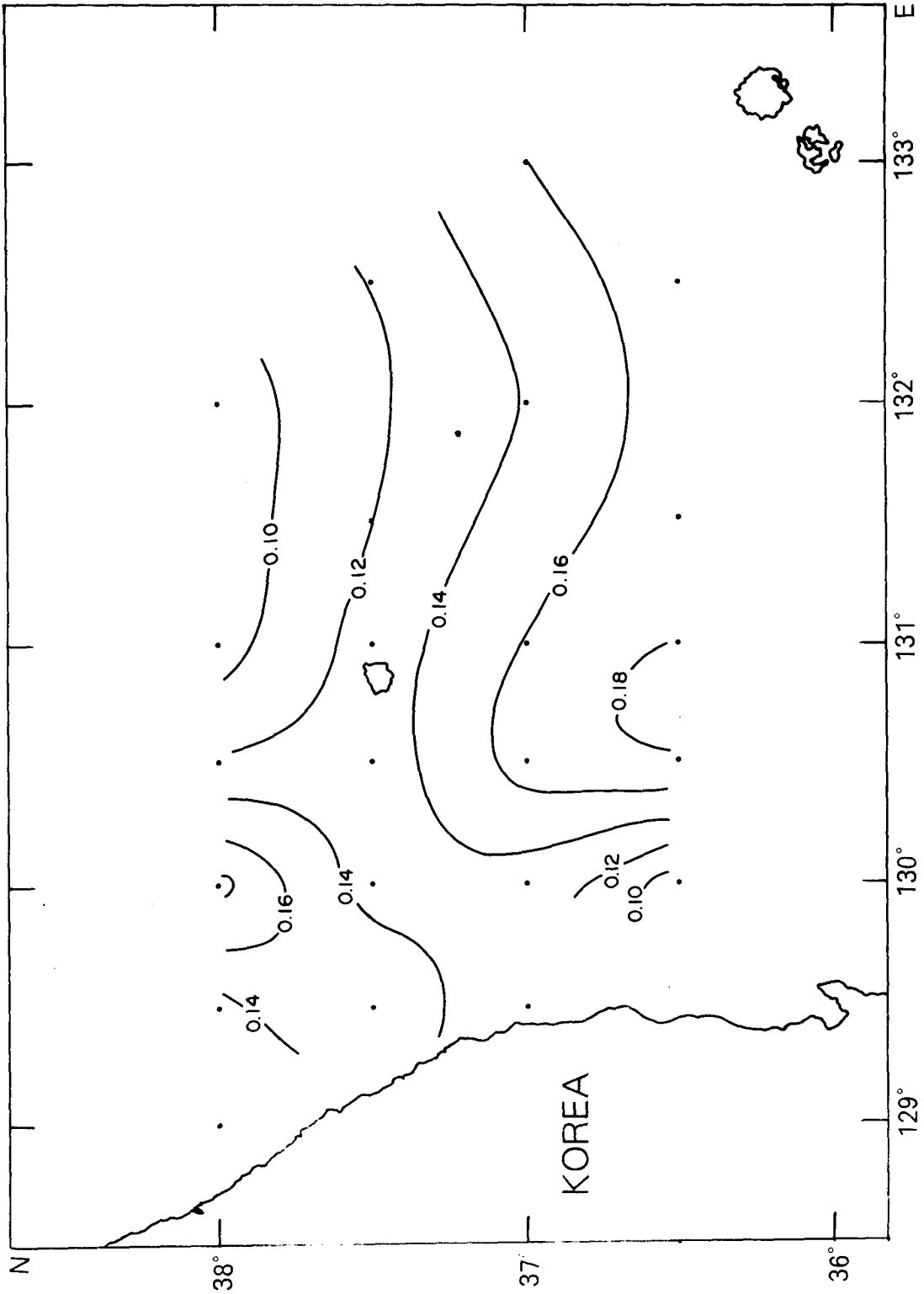


Fig. III-3. Continued 8

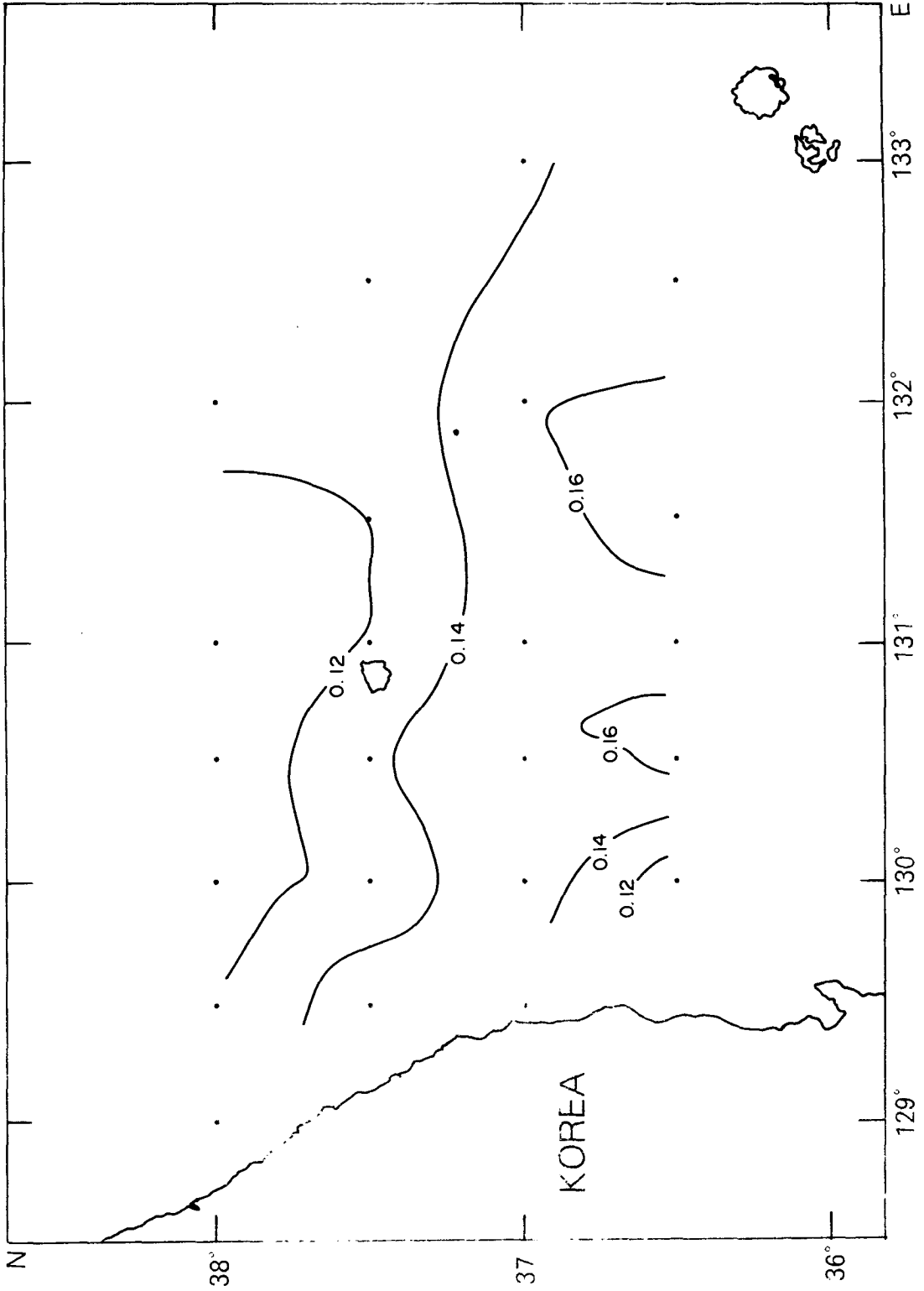


Fig. III-3. Continued 9

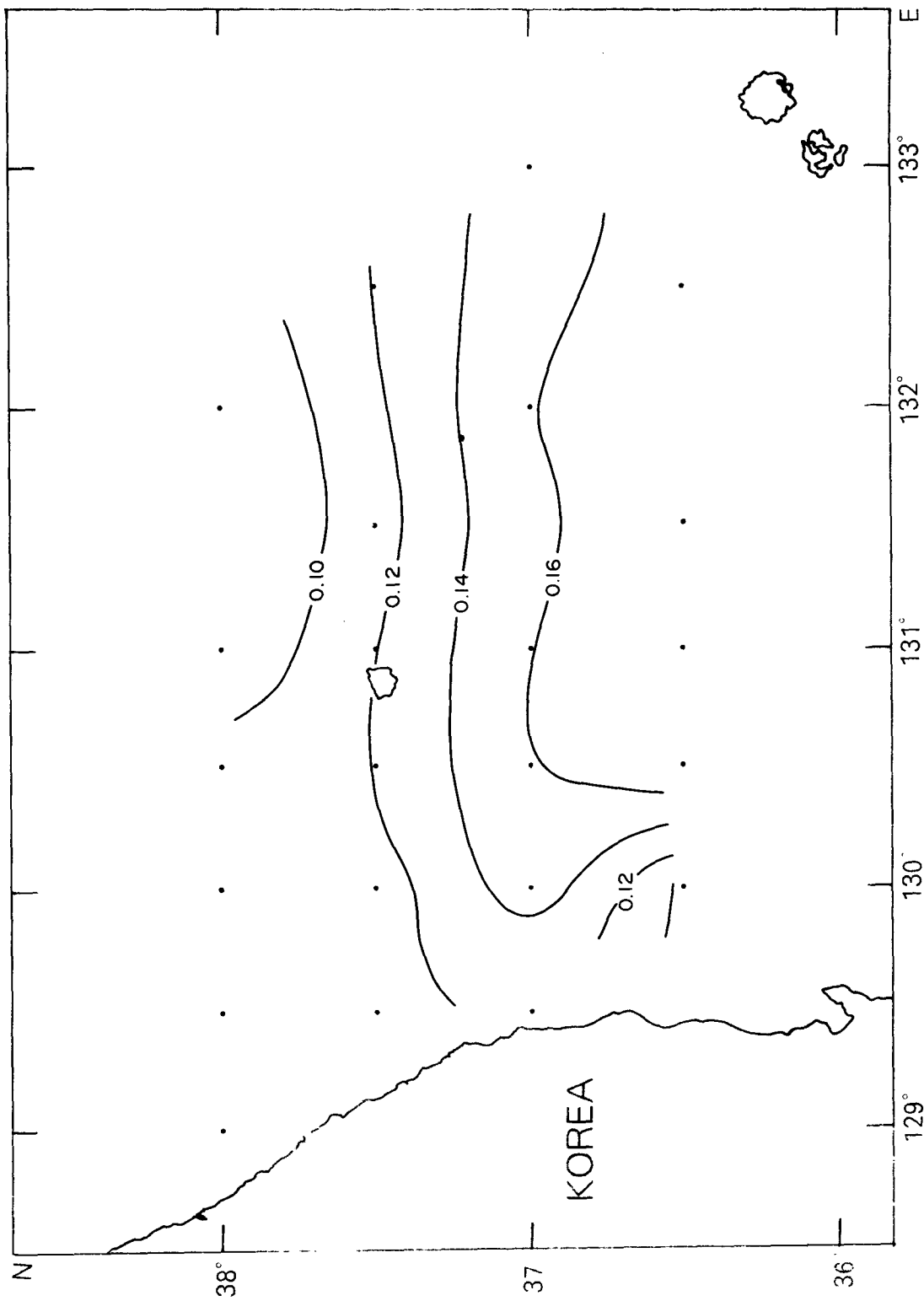


Fig. III-3. Continued 10

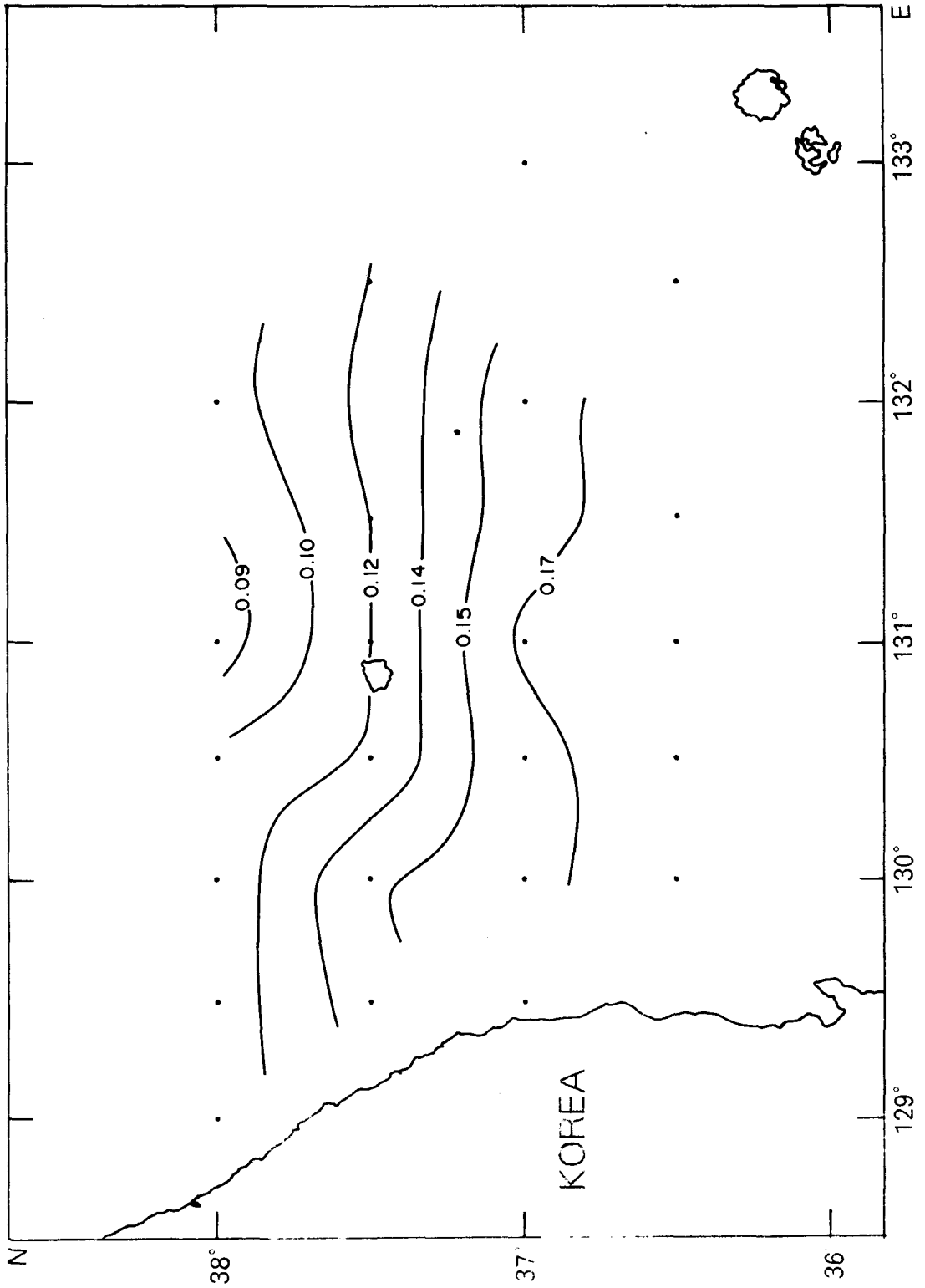


Fig. III-3. Continued 11

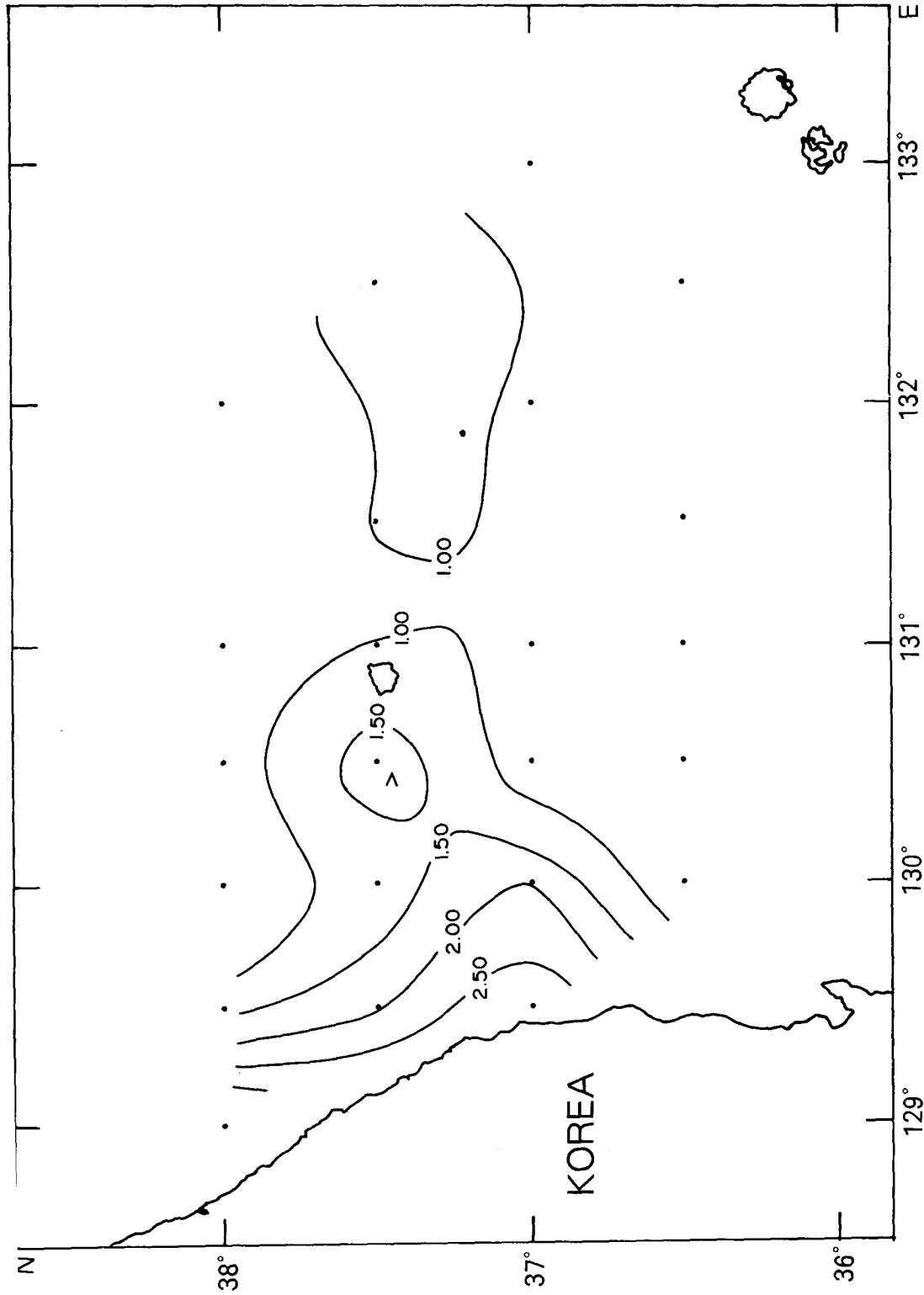


Fig. III-4. Horizontal distributions of nitrate-nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) in $[\mu\text{M}]$ (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1000m depths

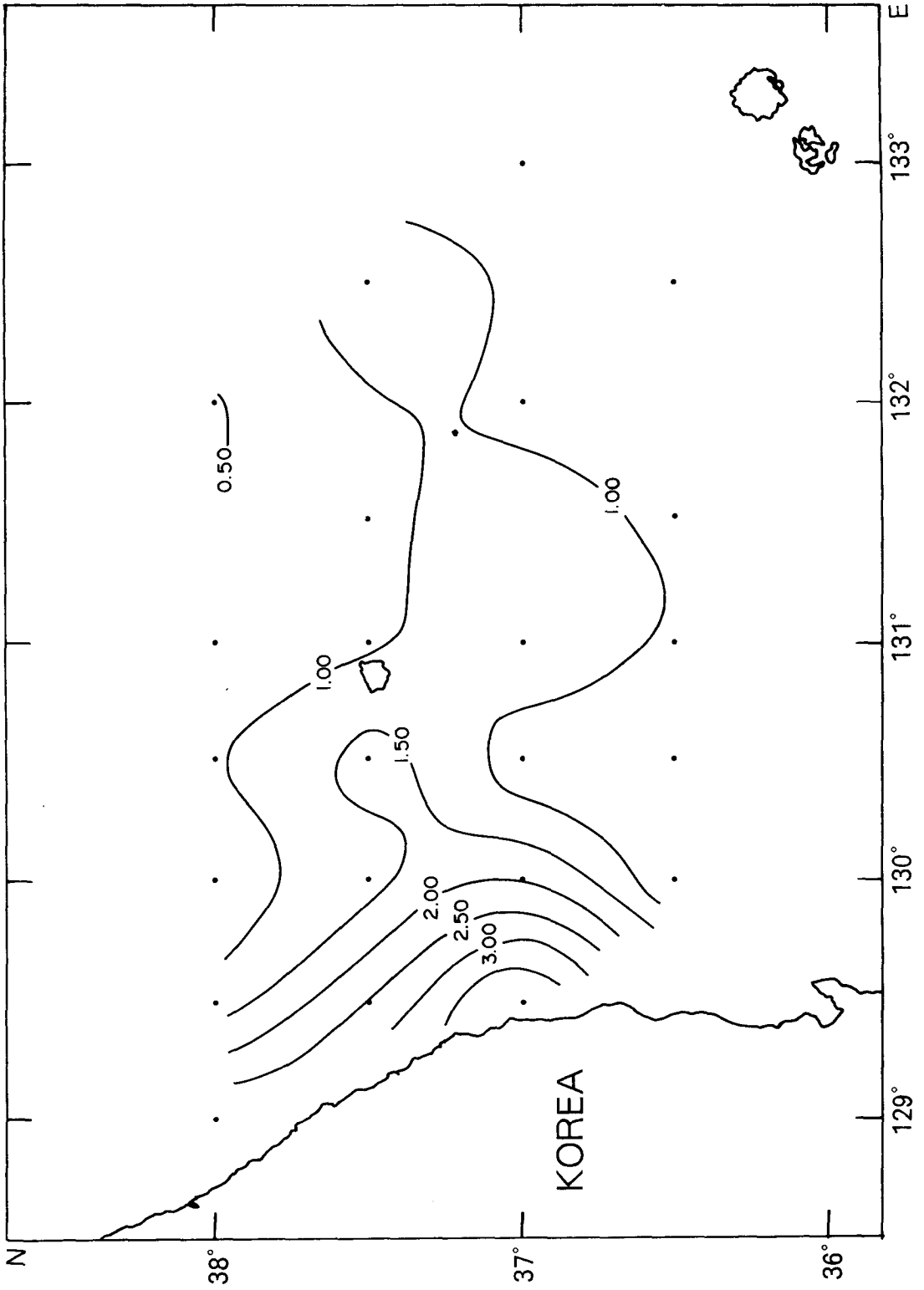


Fig. III-4. Continued 1

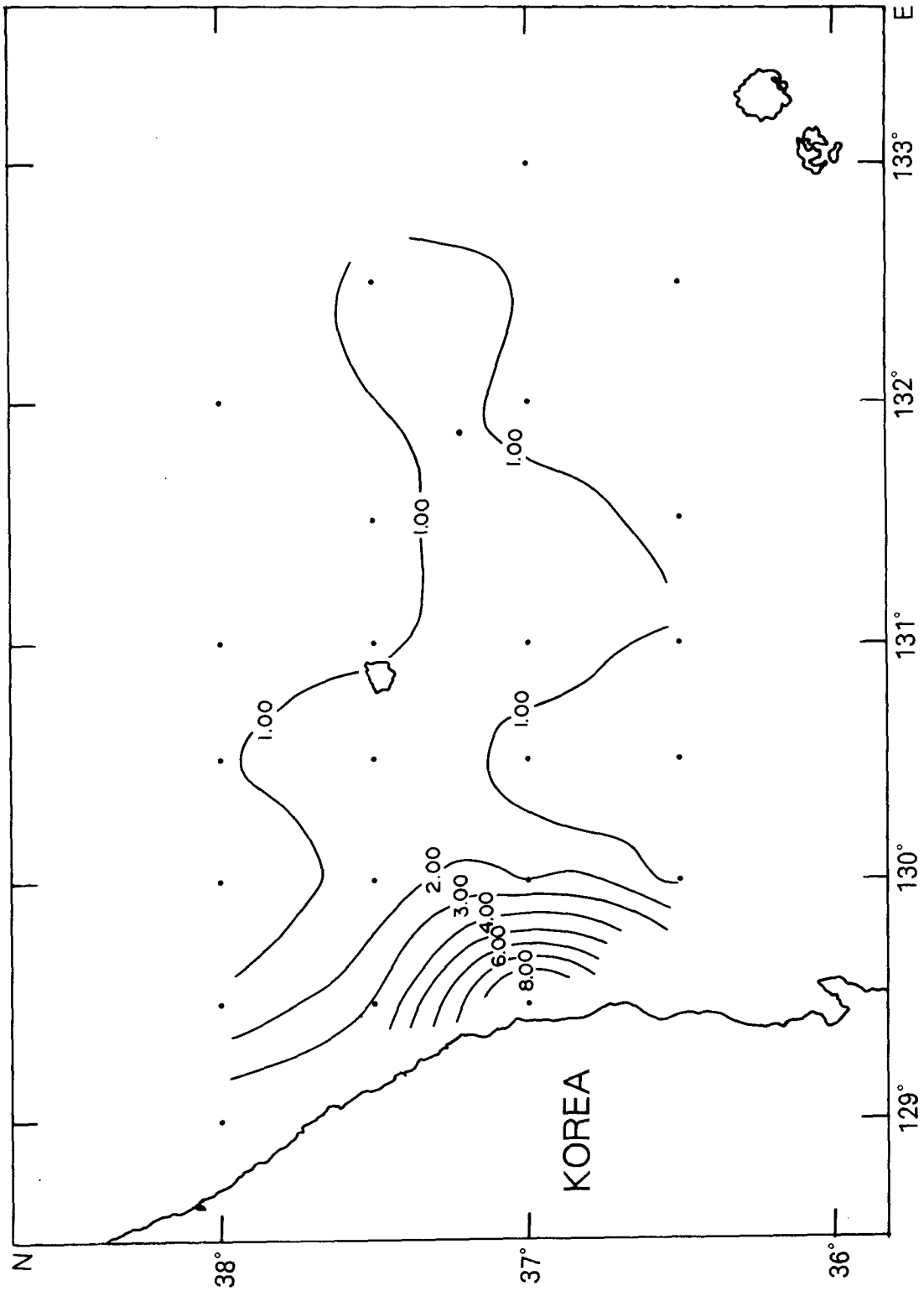


Fig. III-4. Continued 2

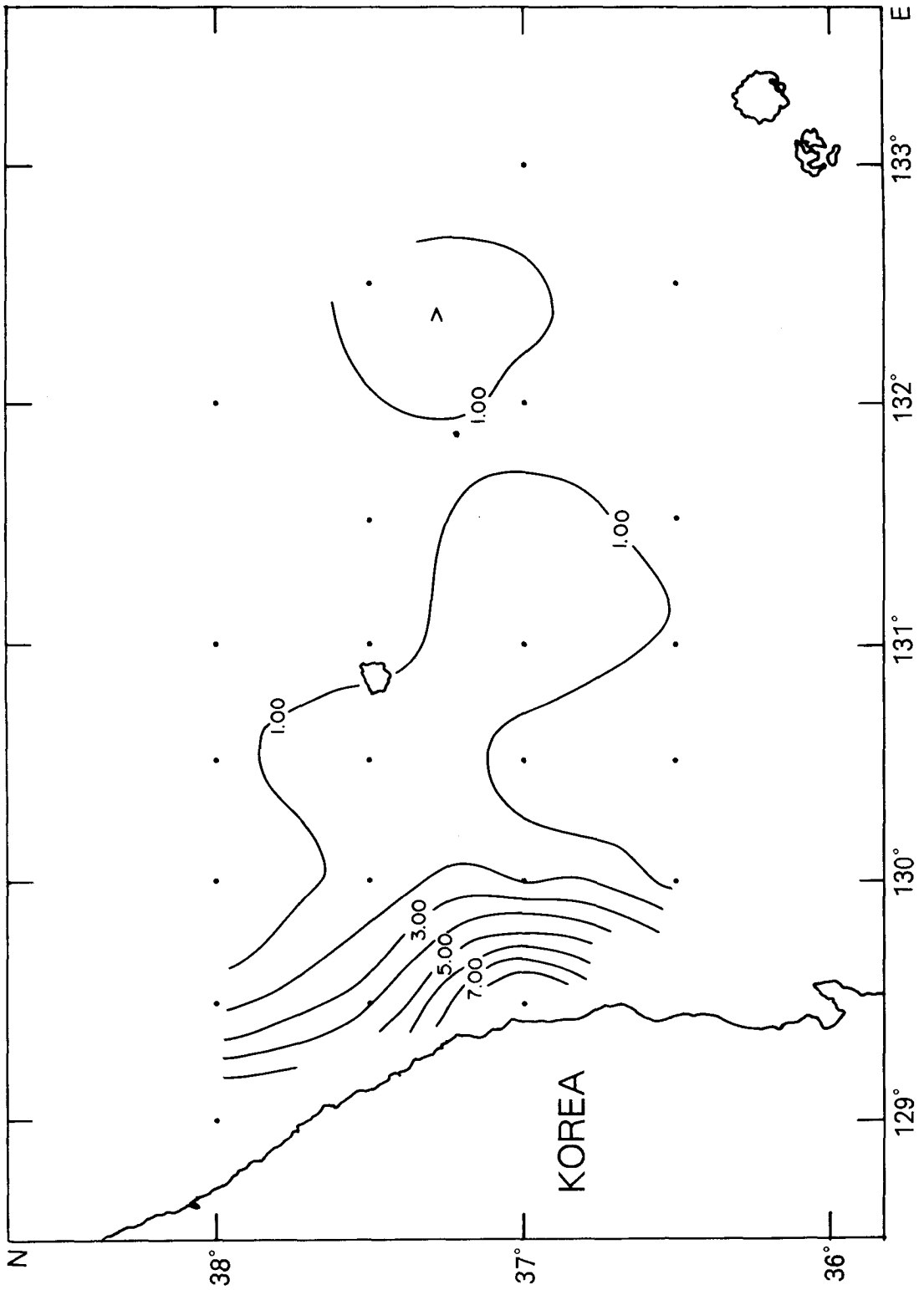


Fig. III-4. Continued 3

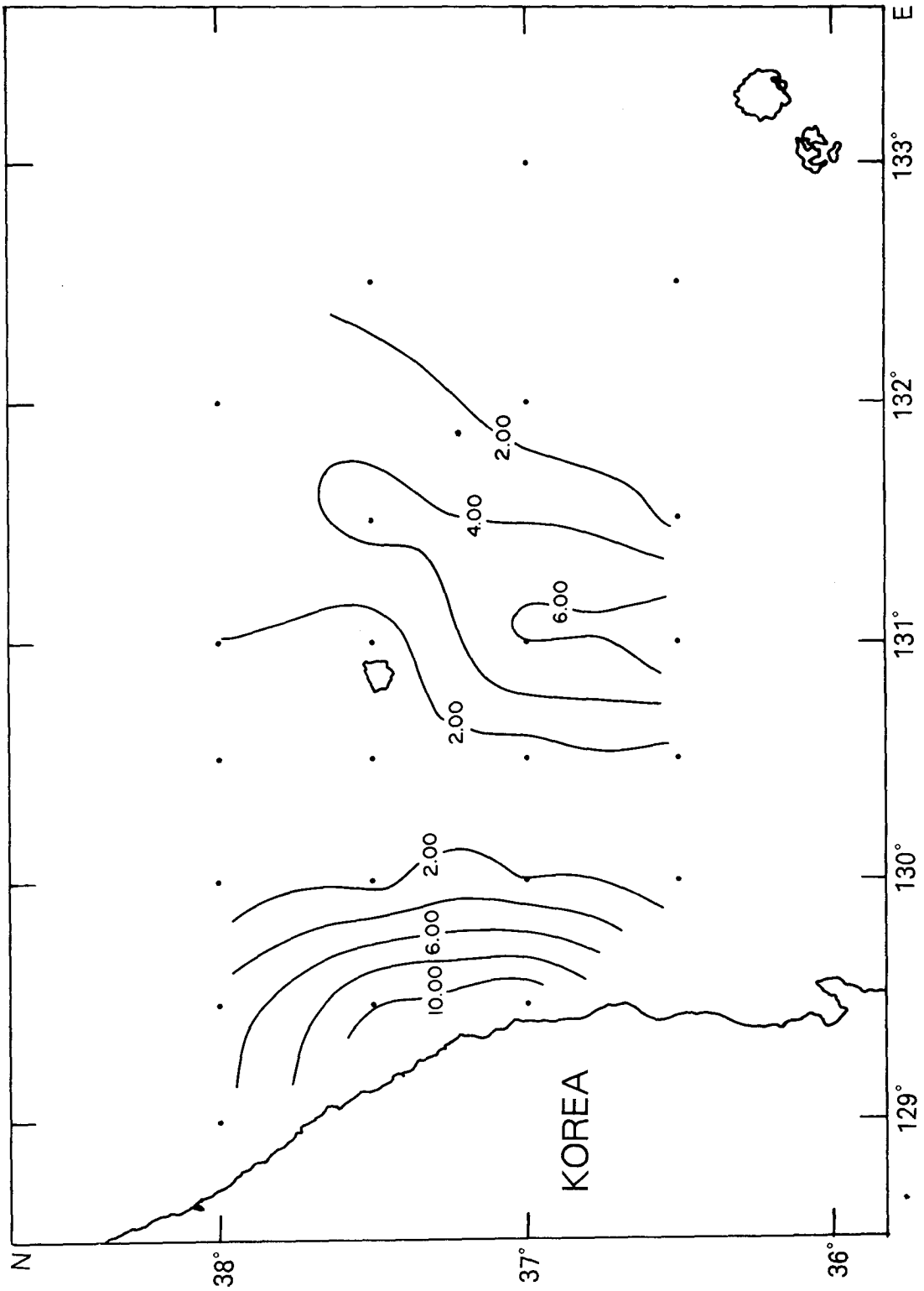


Fig. III-4. Continued 4

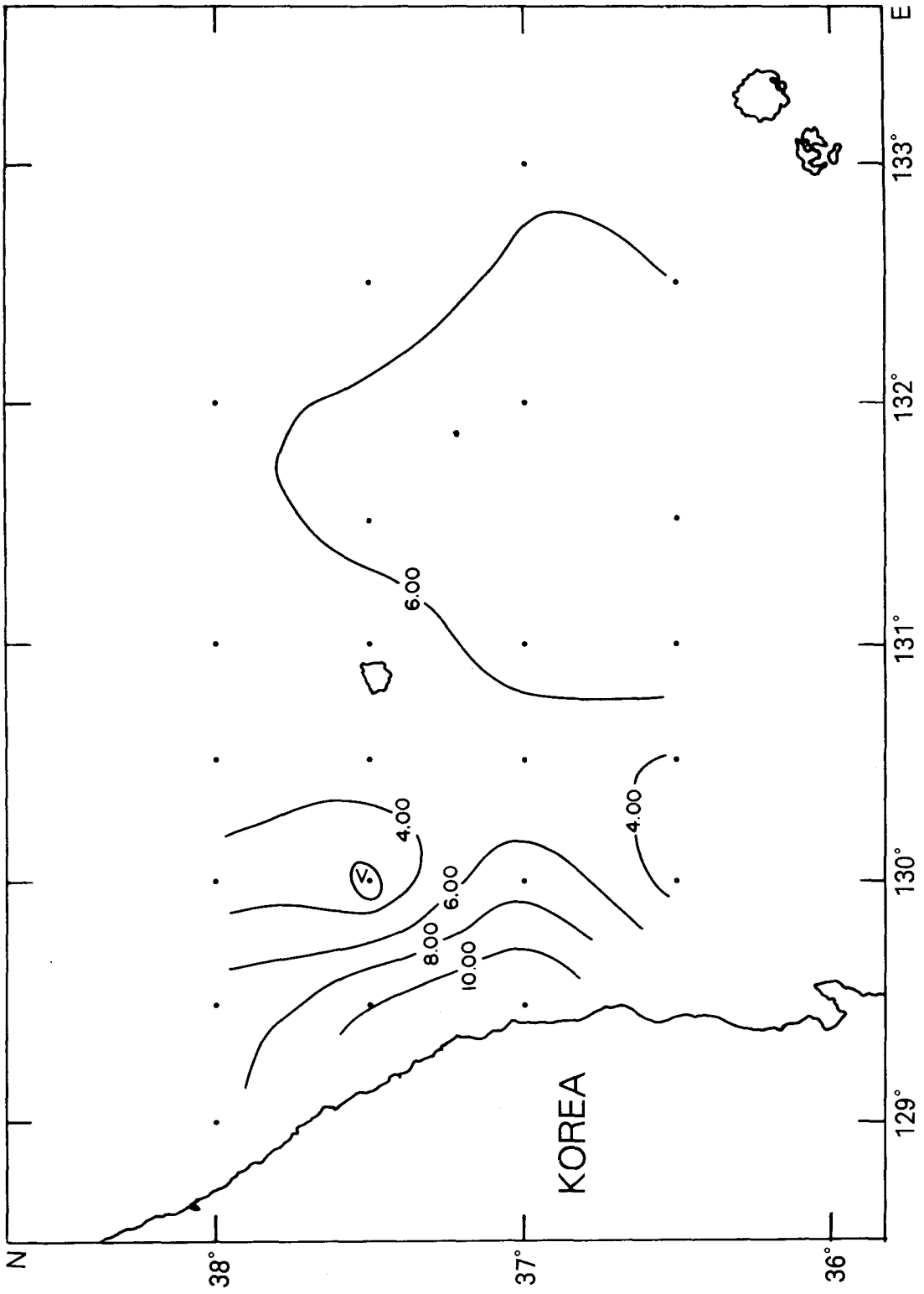


Fig. III-4. Continued 5

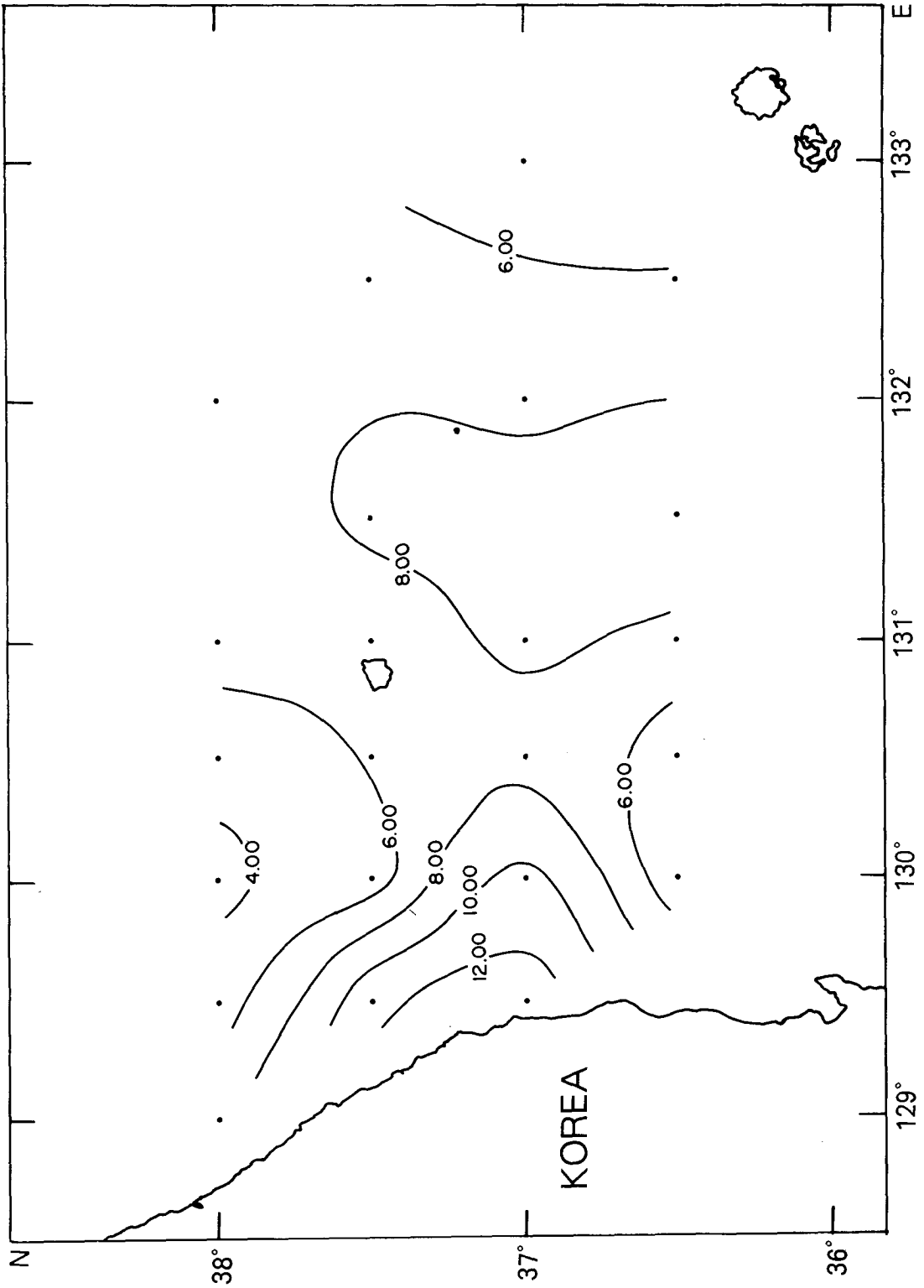


Fig. III-4. Continued 6

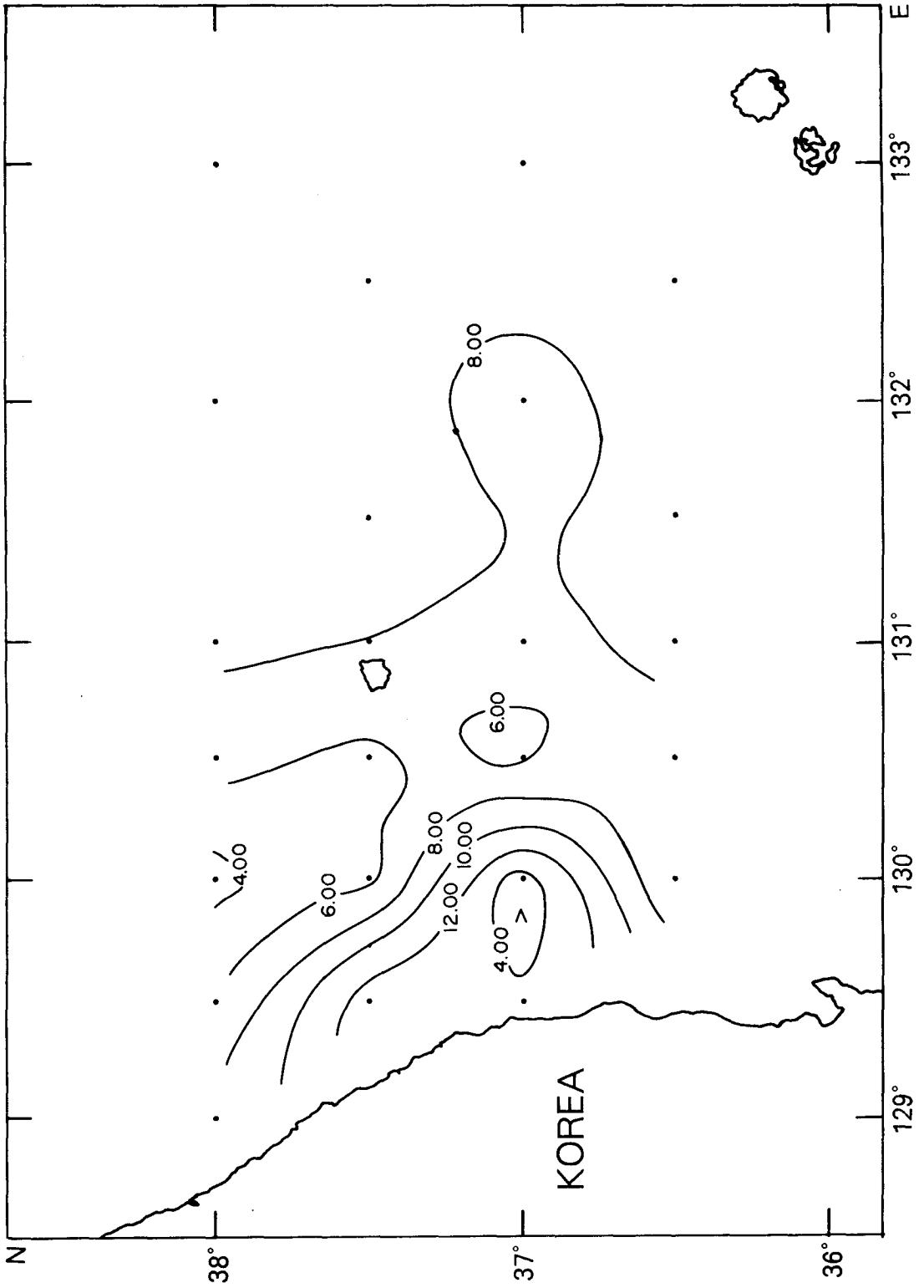


Fig. III-4. Continued 7

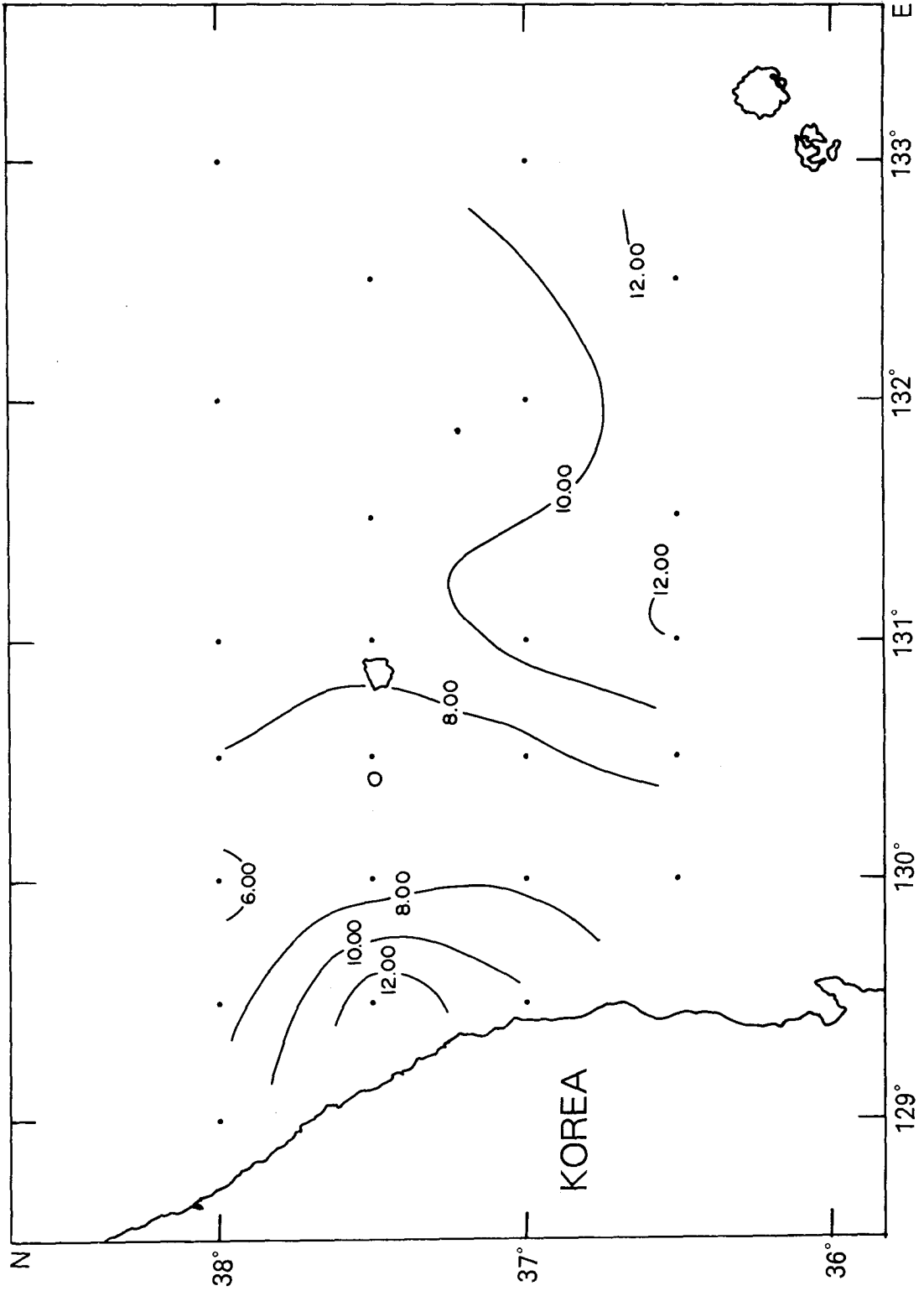


Fig. III-4. Continued 8

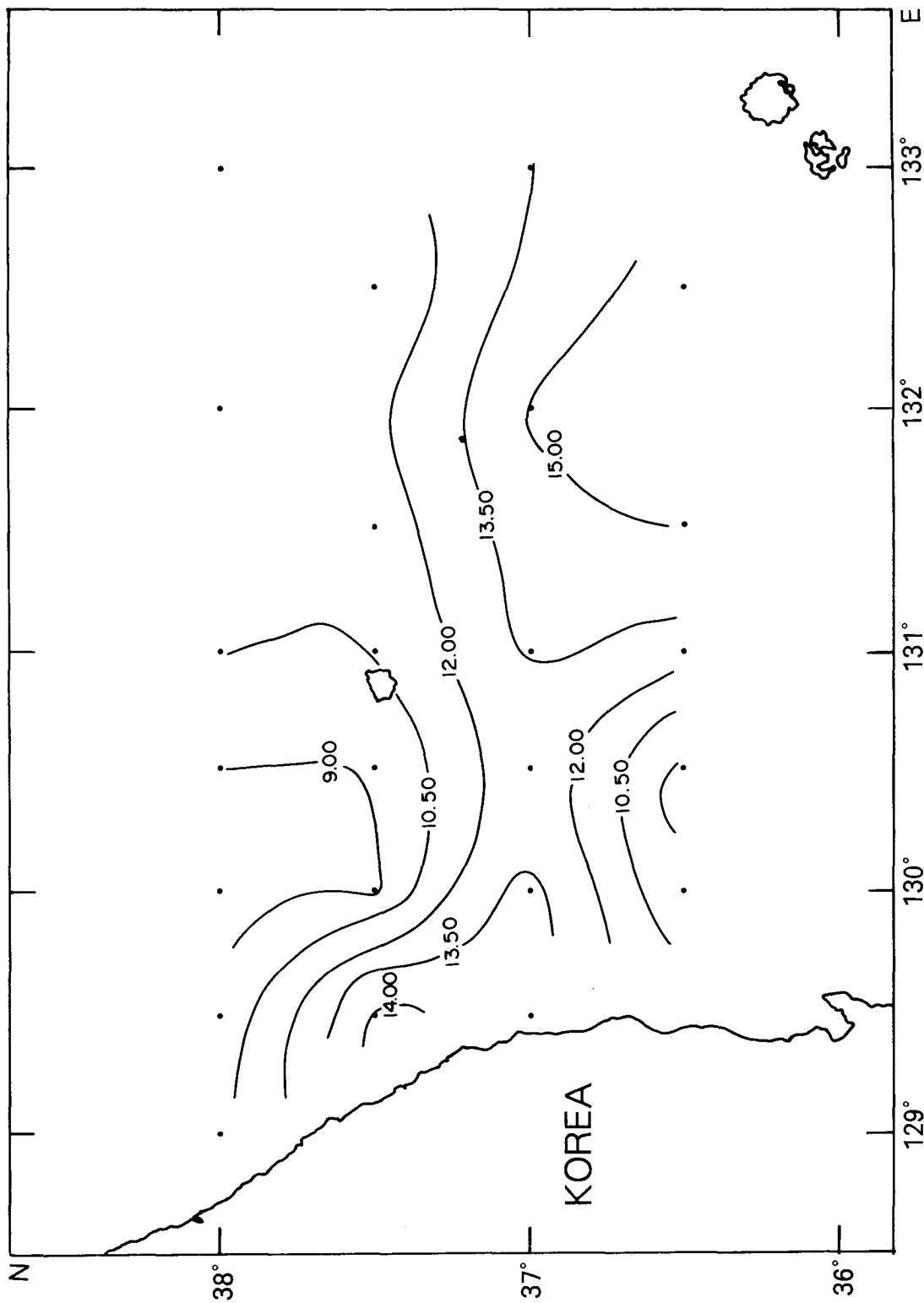


Fig. III-4. Continued 9

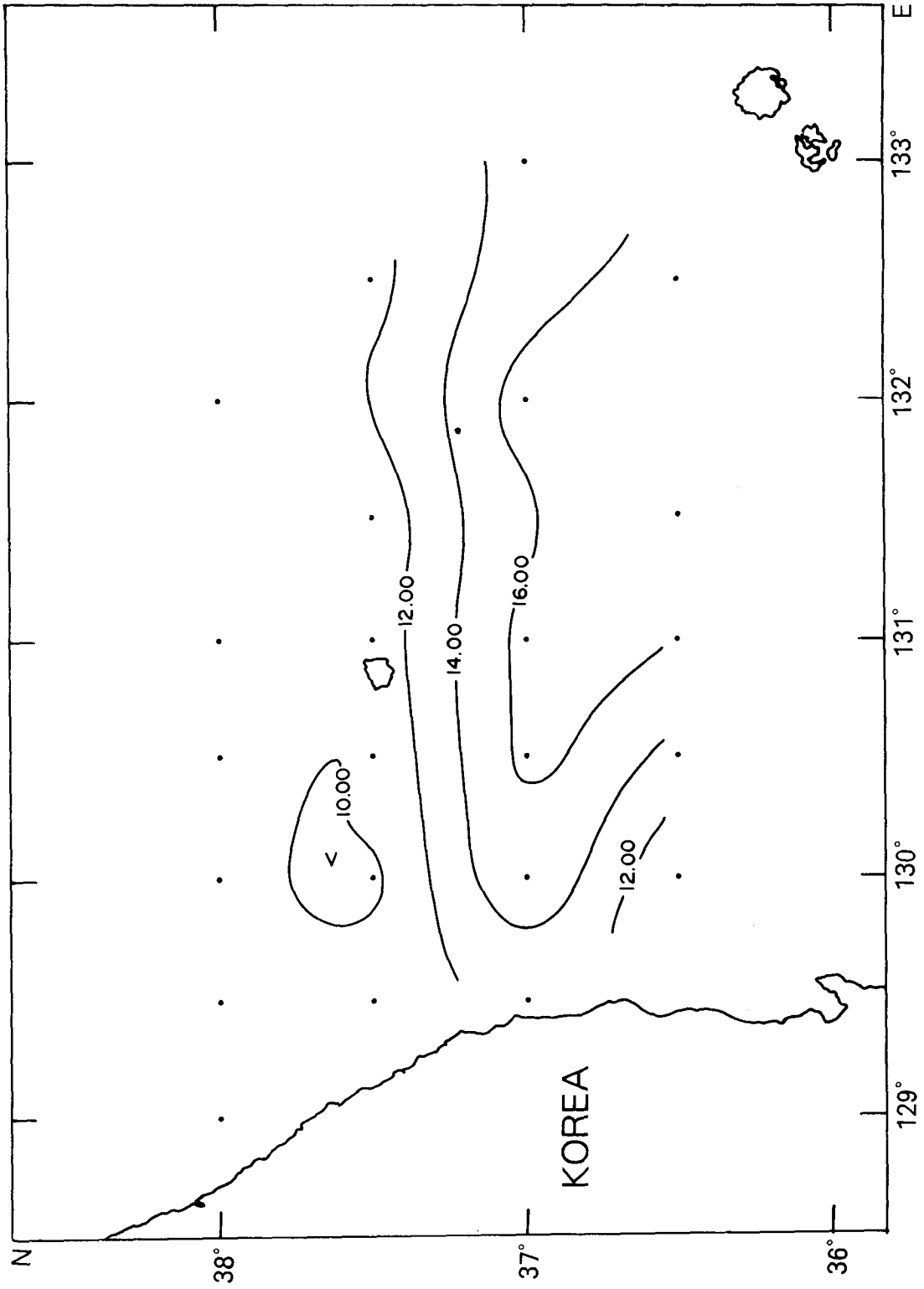


Fig. III-4. Continued 10

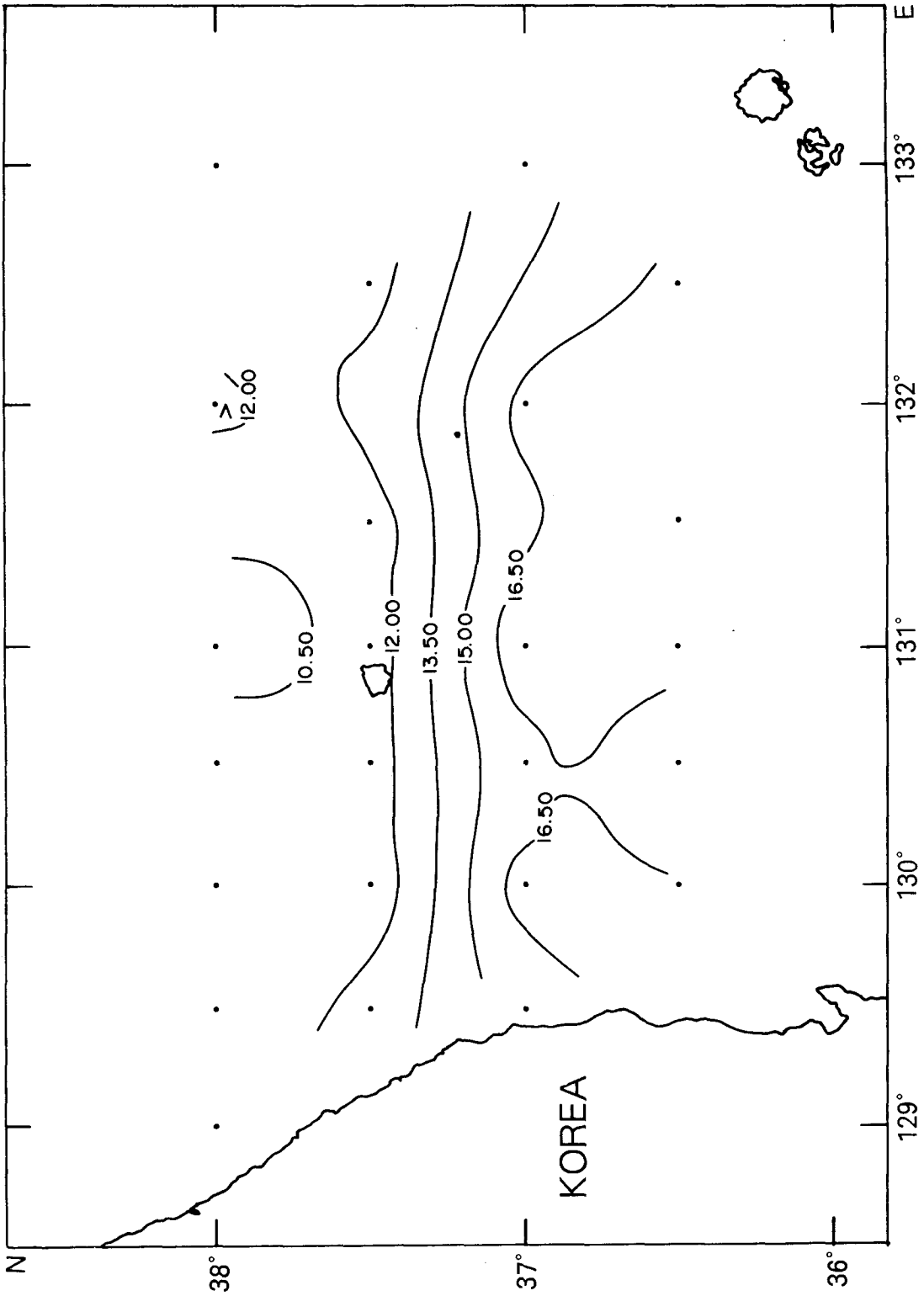


Fig. III-4. Continued 11

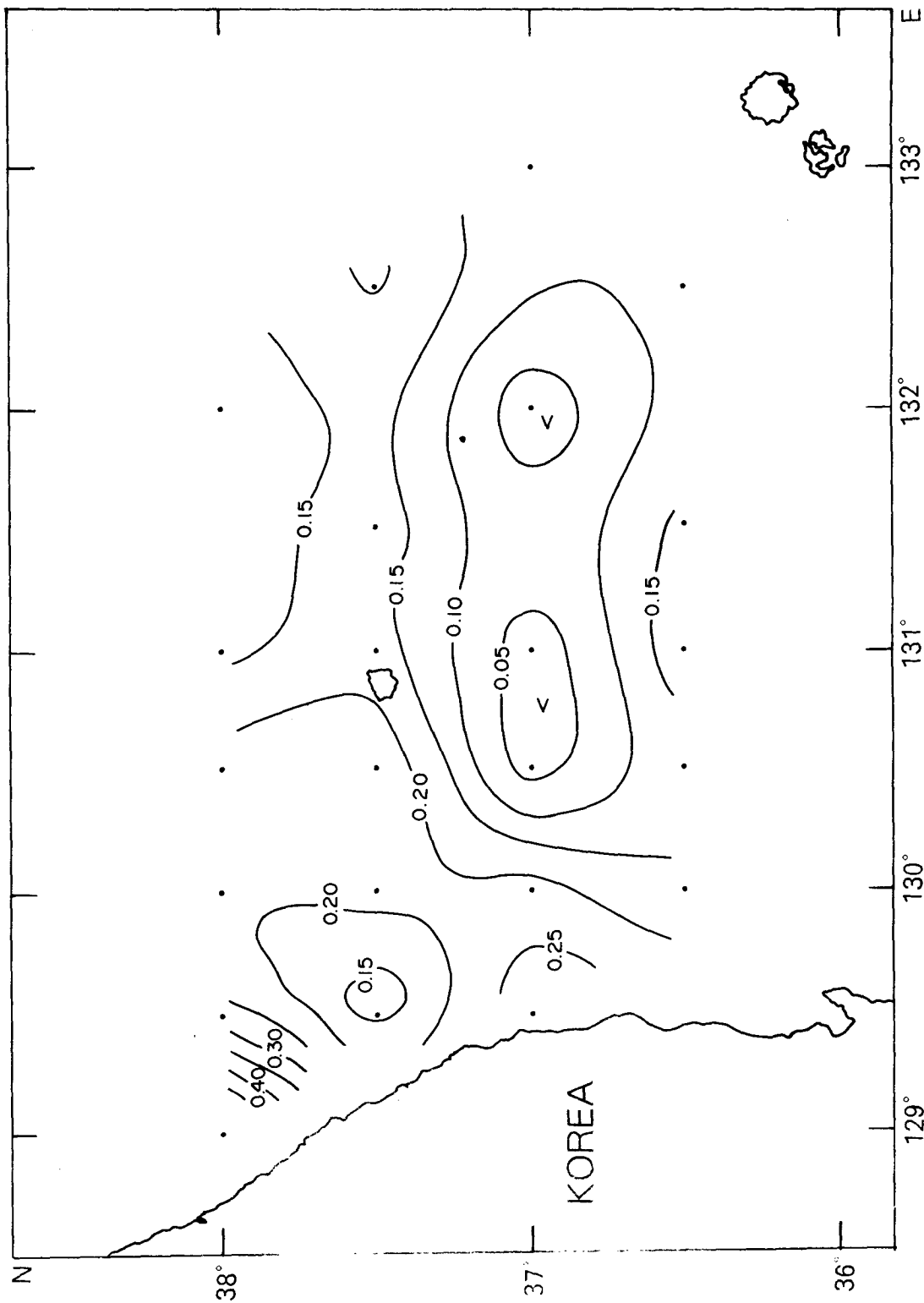


Fig. III-5. Horizontal distributions of phosphate-phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$) in [μM] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths

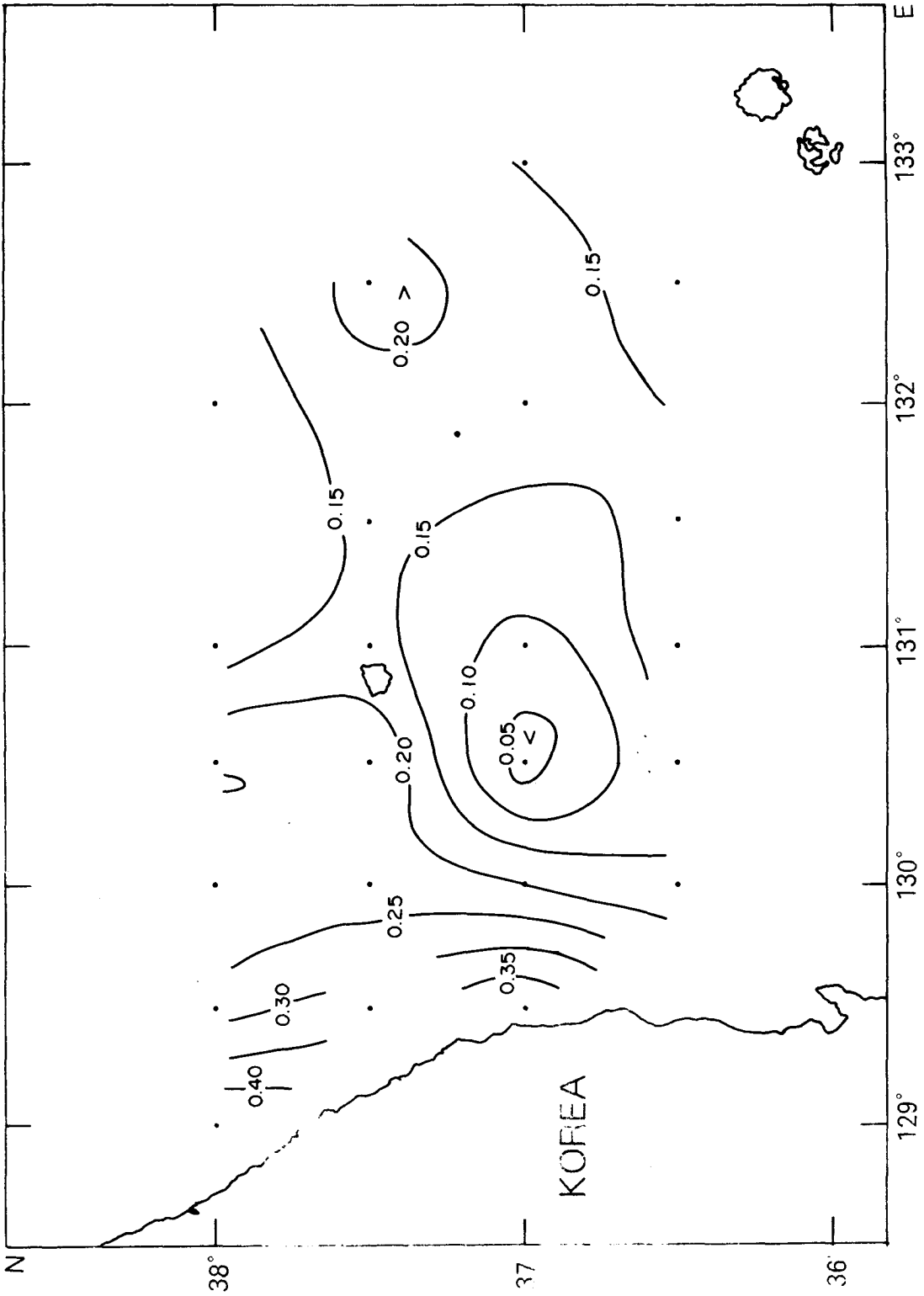


Fig. III-5. Continued 1

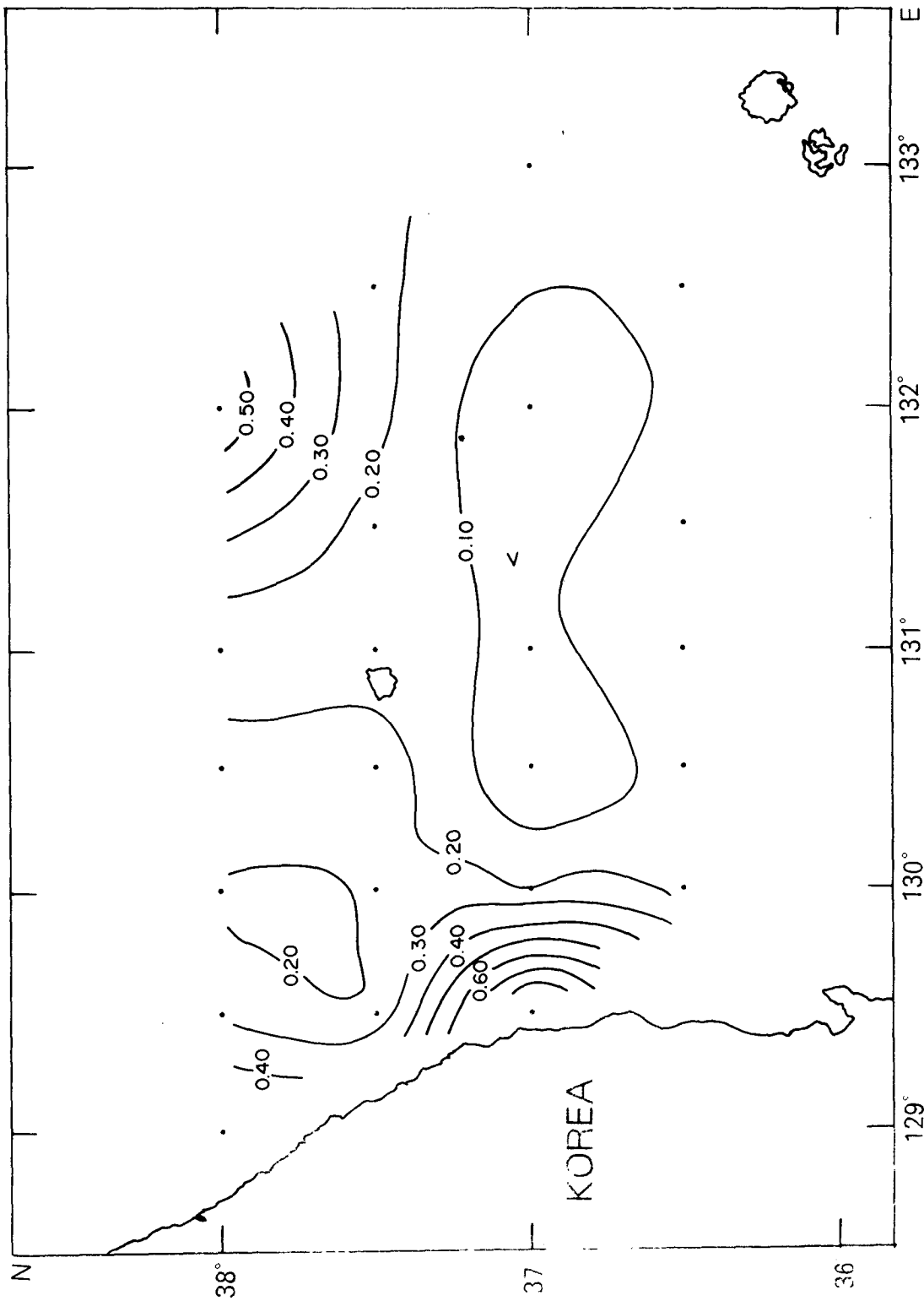


Fig. III-5. Continued 2

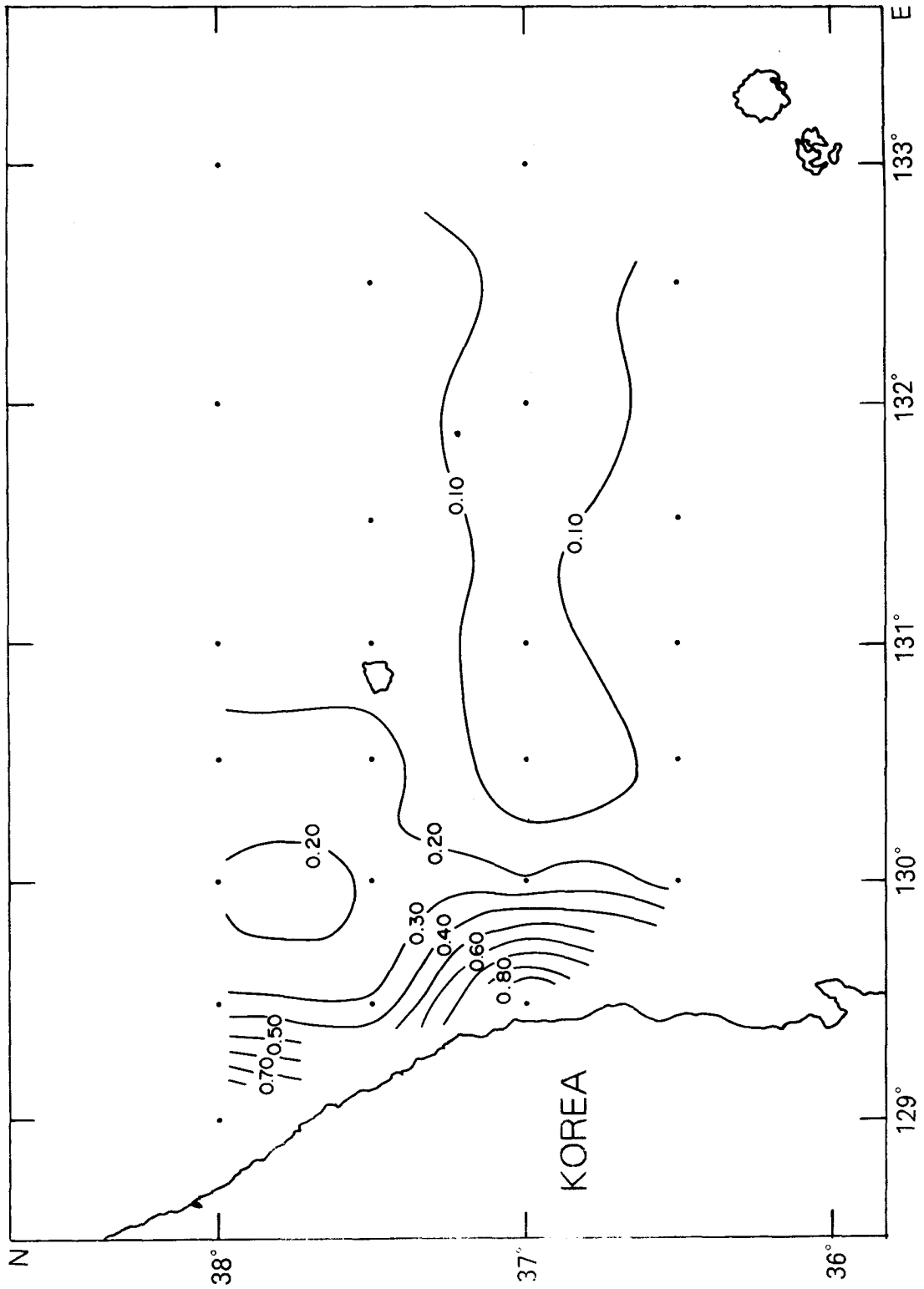


Fig. III-5. Continued 3

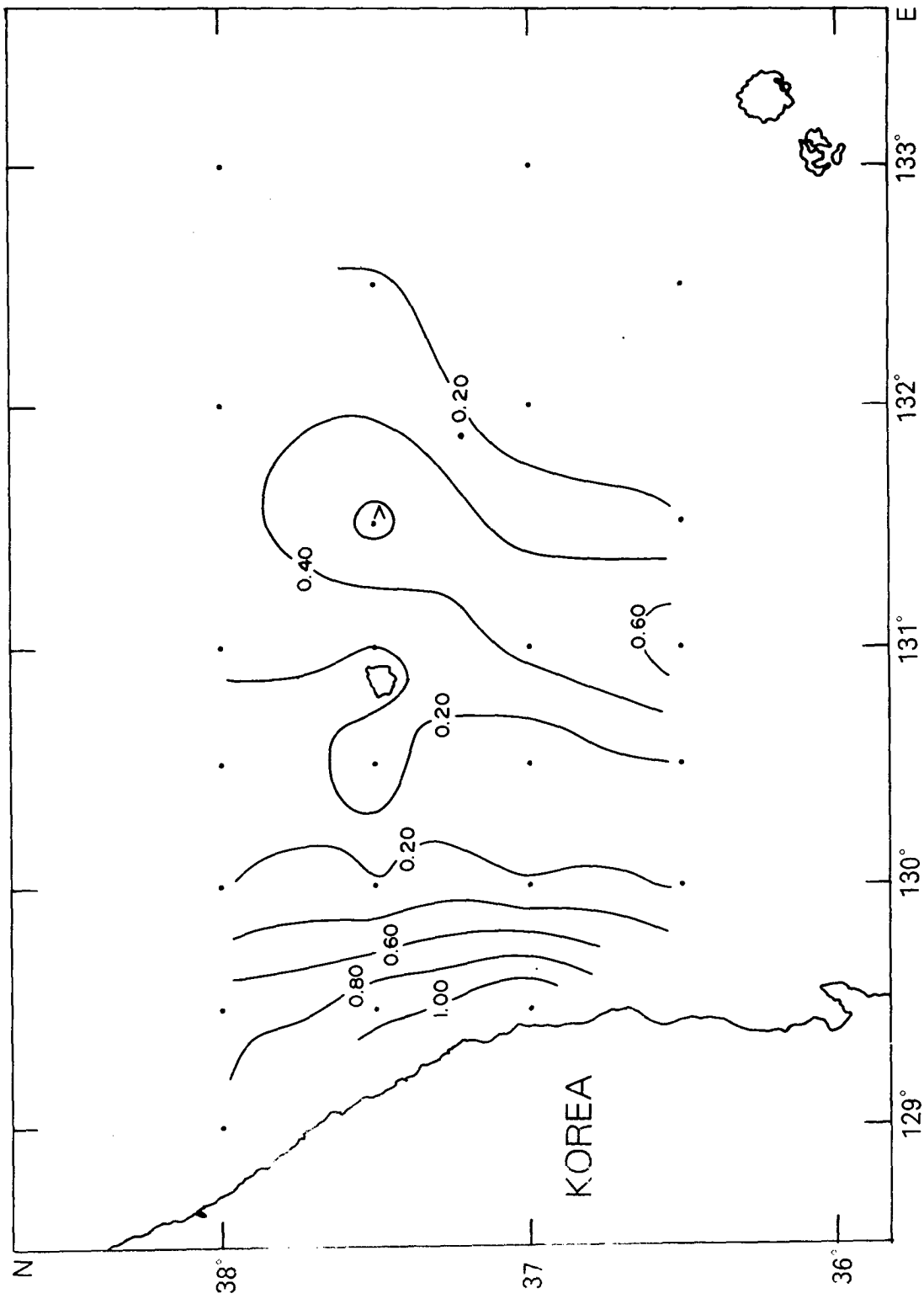


Fig. III-5. Continued 4

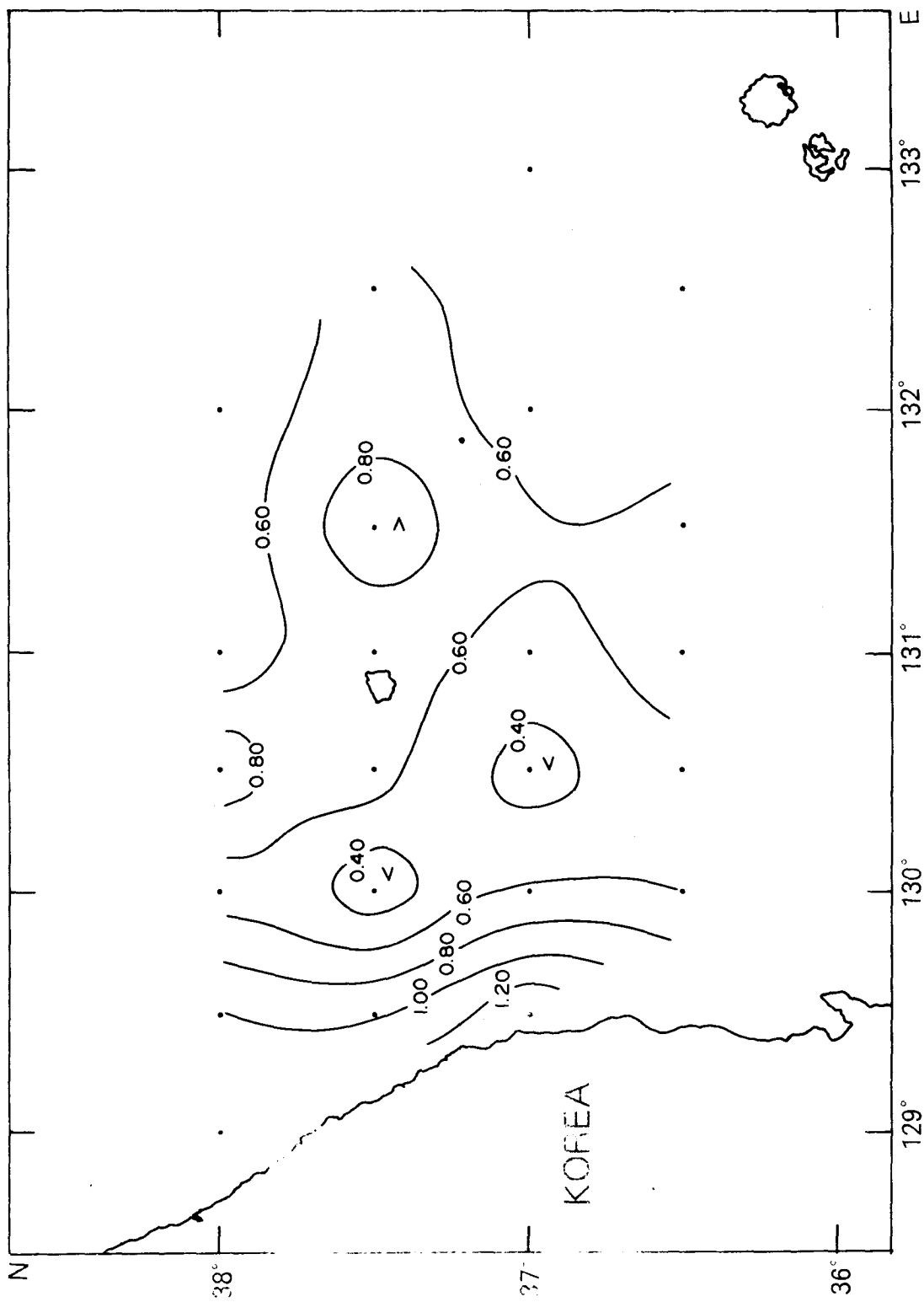


Fig. III-5. Continued 5

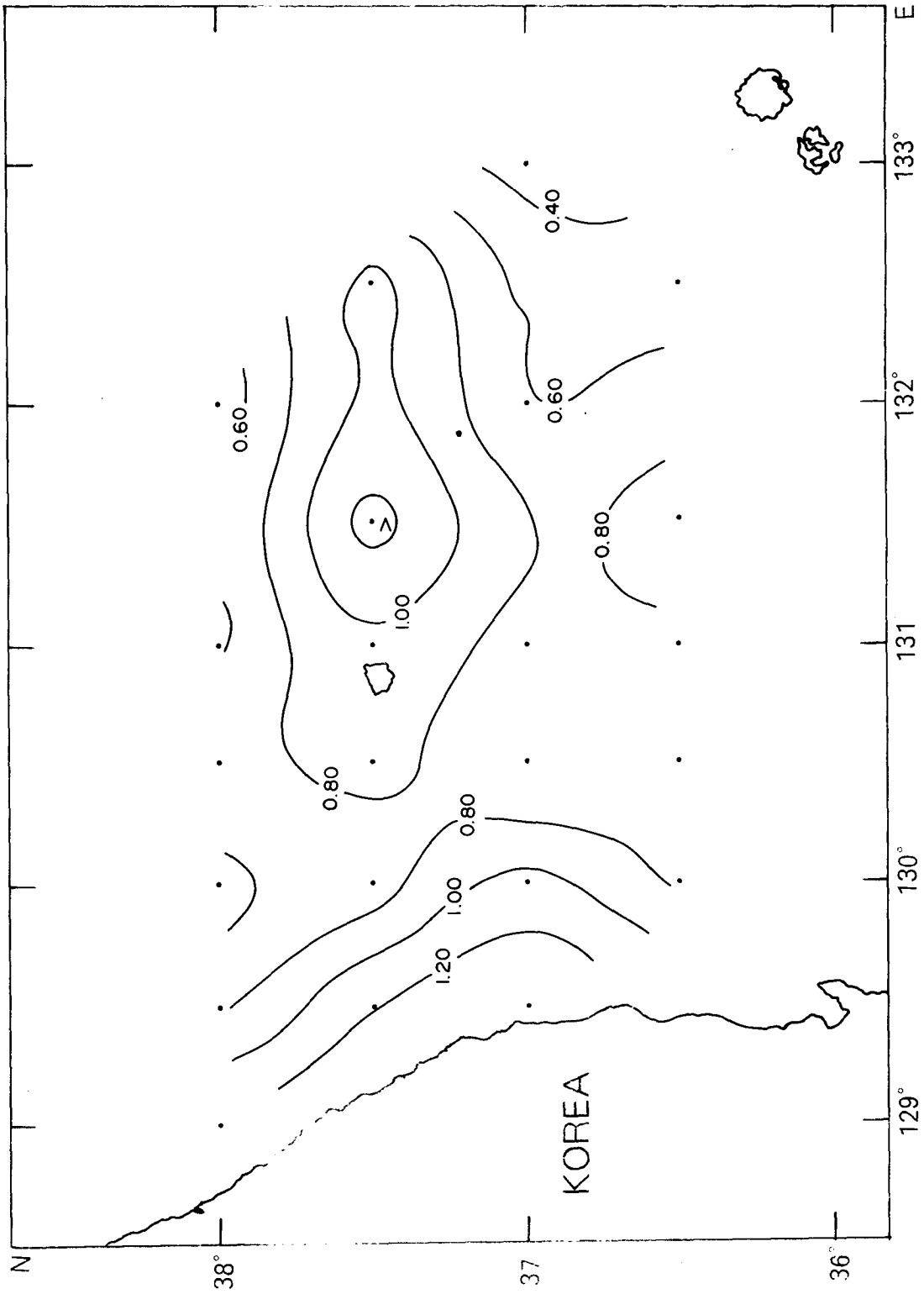


Fig. III-5. Continued 6

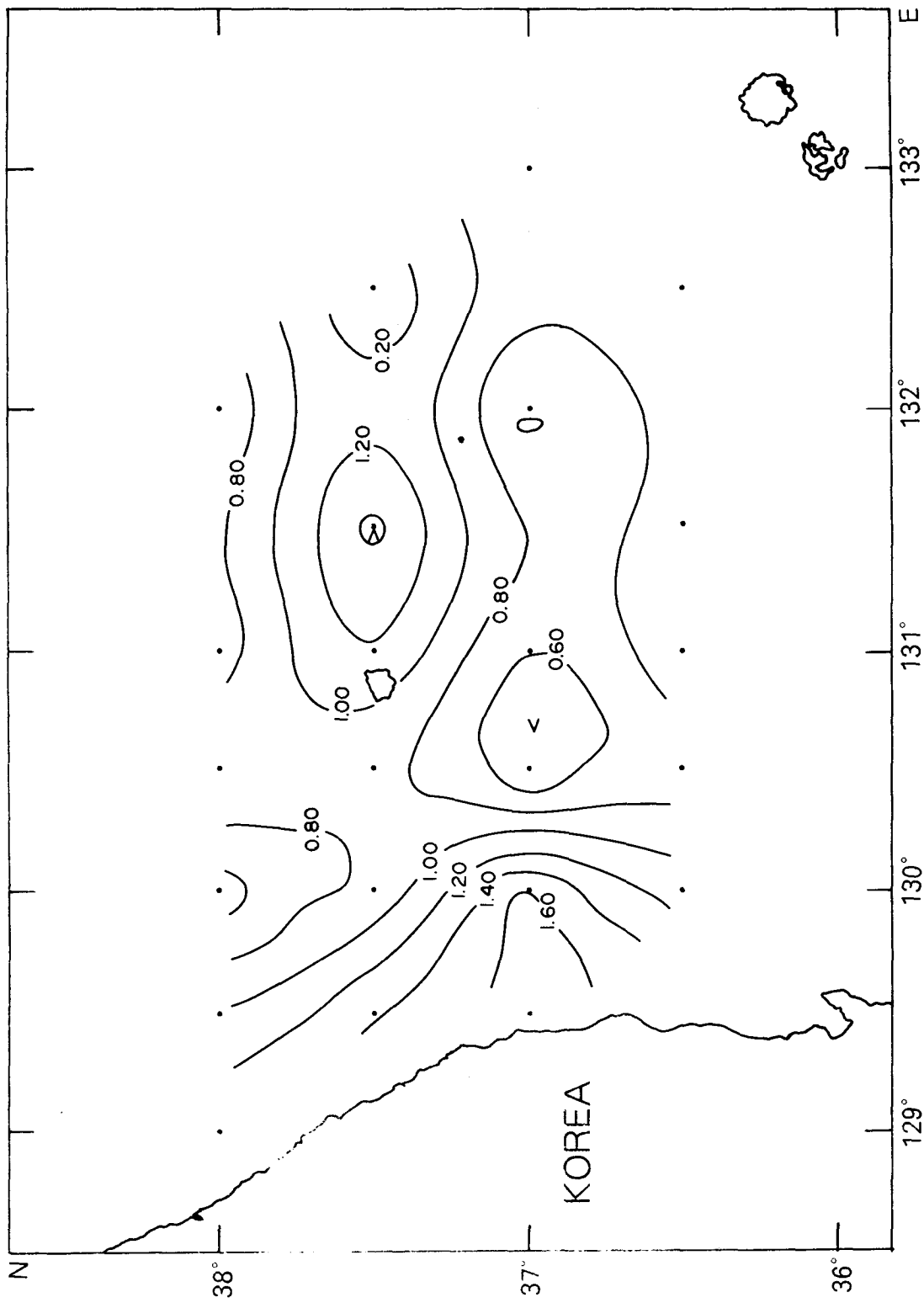


Fig. III-5. Continued 7

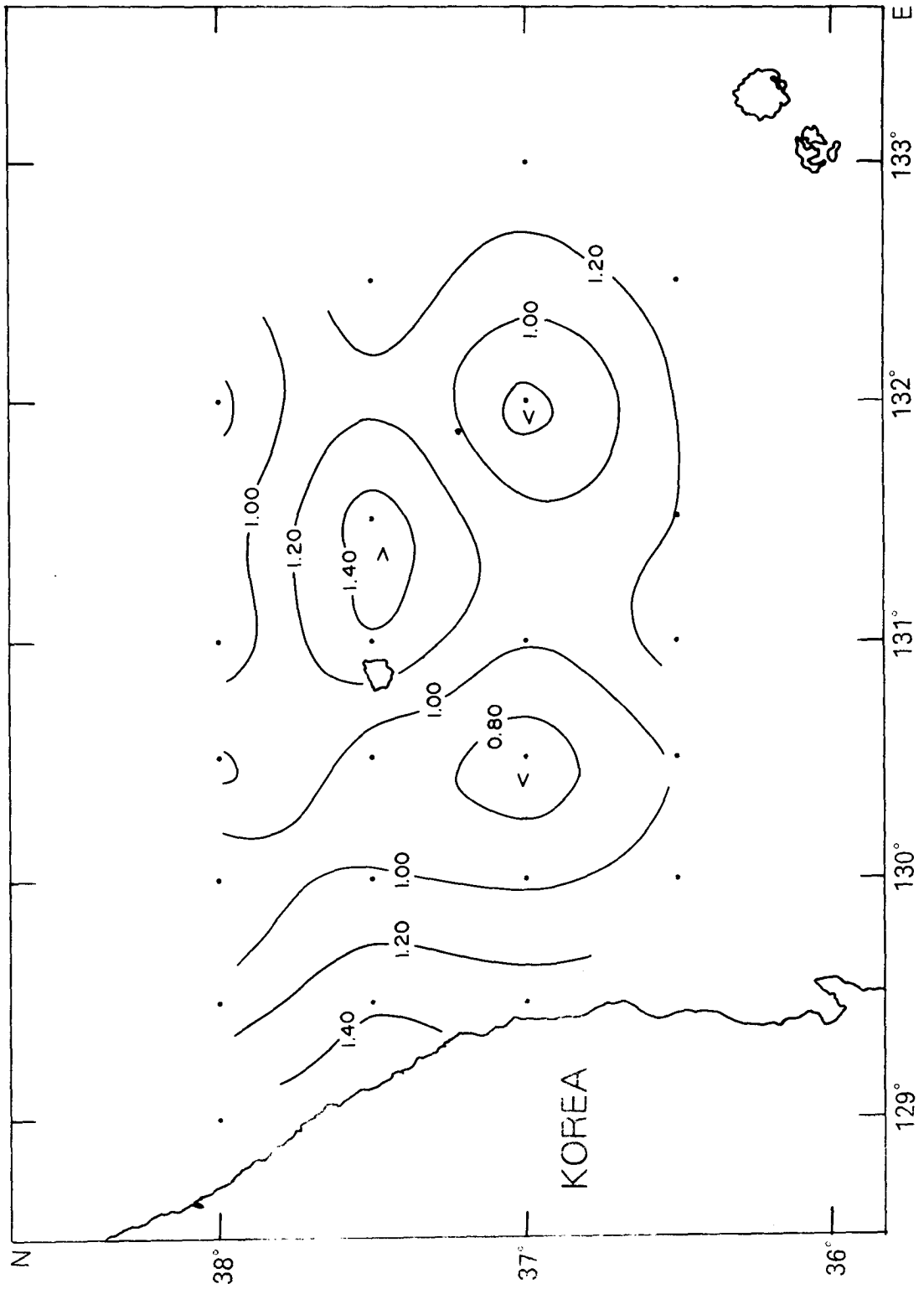


Fig. III-5. Continued 8

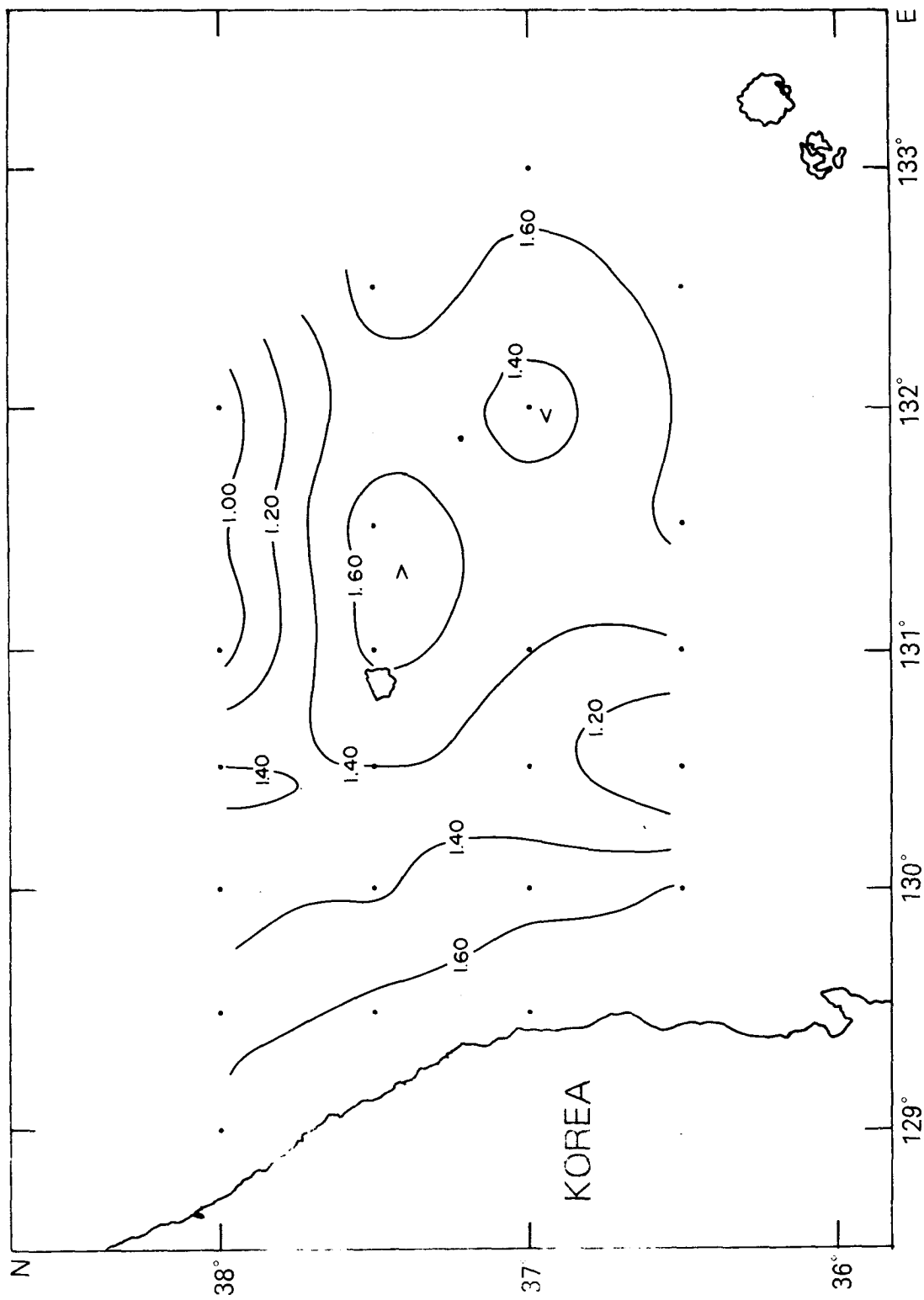


Fig. III-5. Continued 9

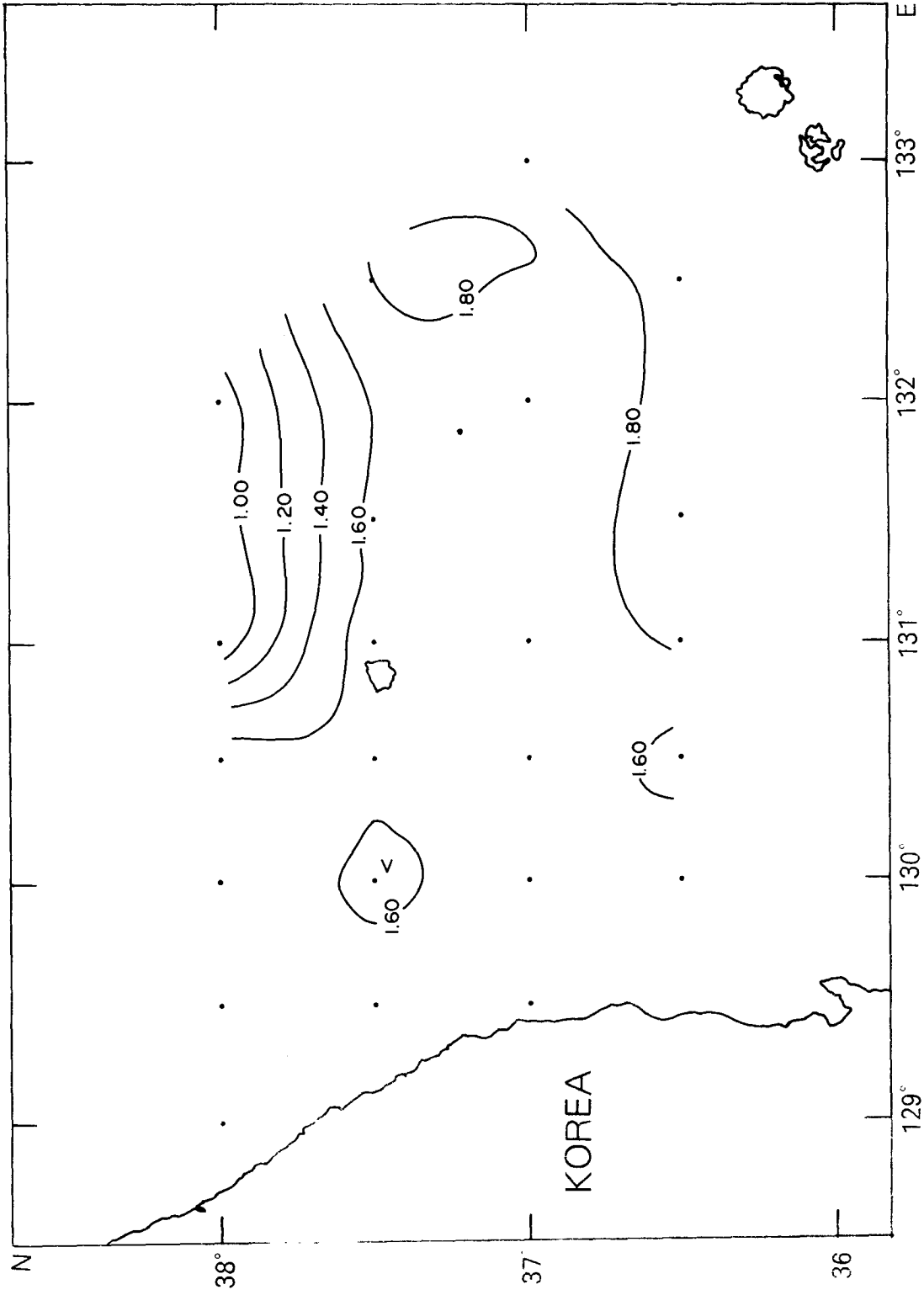


Fig. III-5. Continued 10

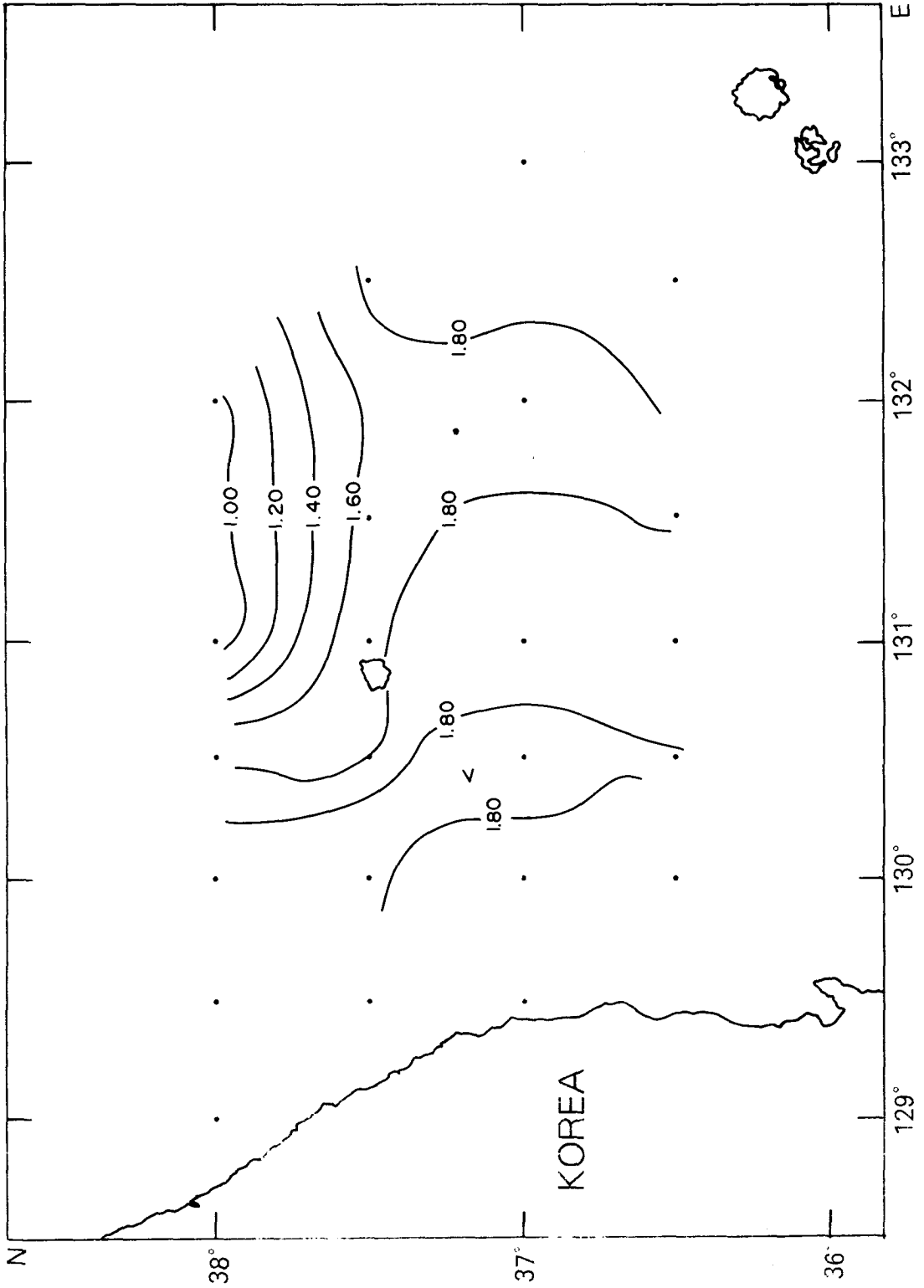


Fig. III-5. Continued 11

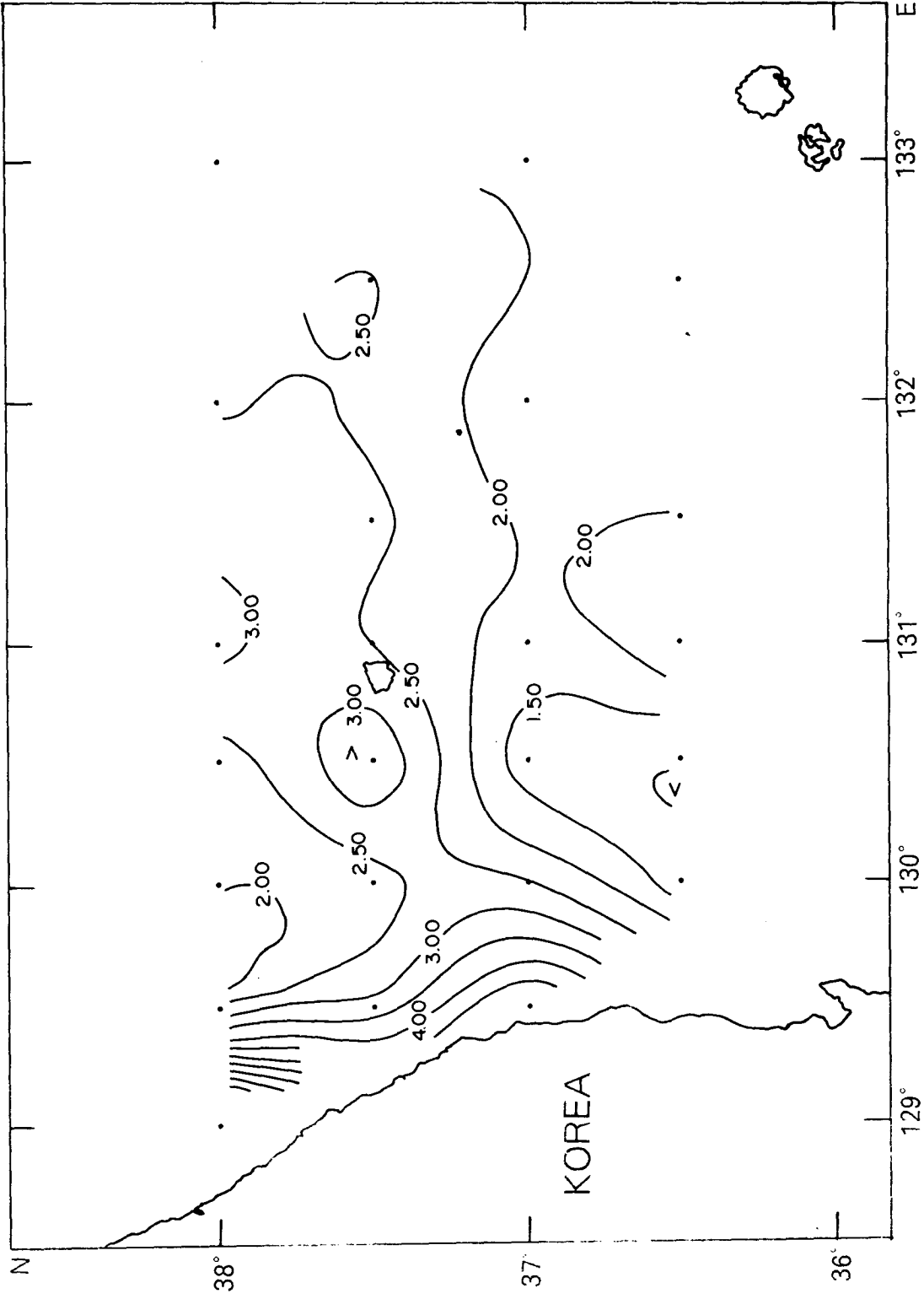


Fig. III-6. Horizontal distributions of silicate-silicon ($\text{Si(OH)}_4\text{-Si}$) in $[\mu\text{M}]$ (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, (i) at 200m, (j) 300m, (k) at 500m, and (l) at 1,000m depths

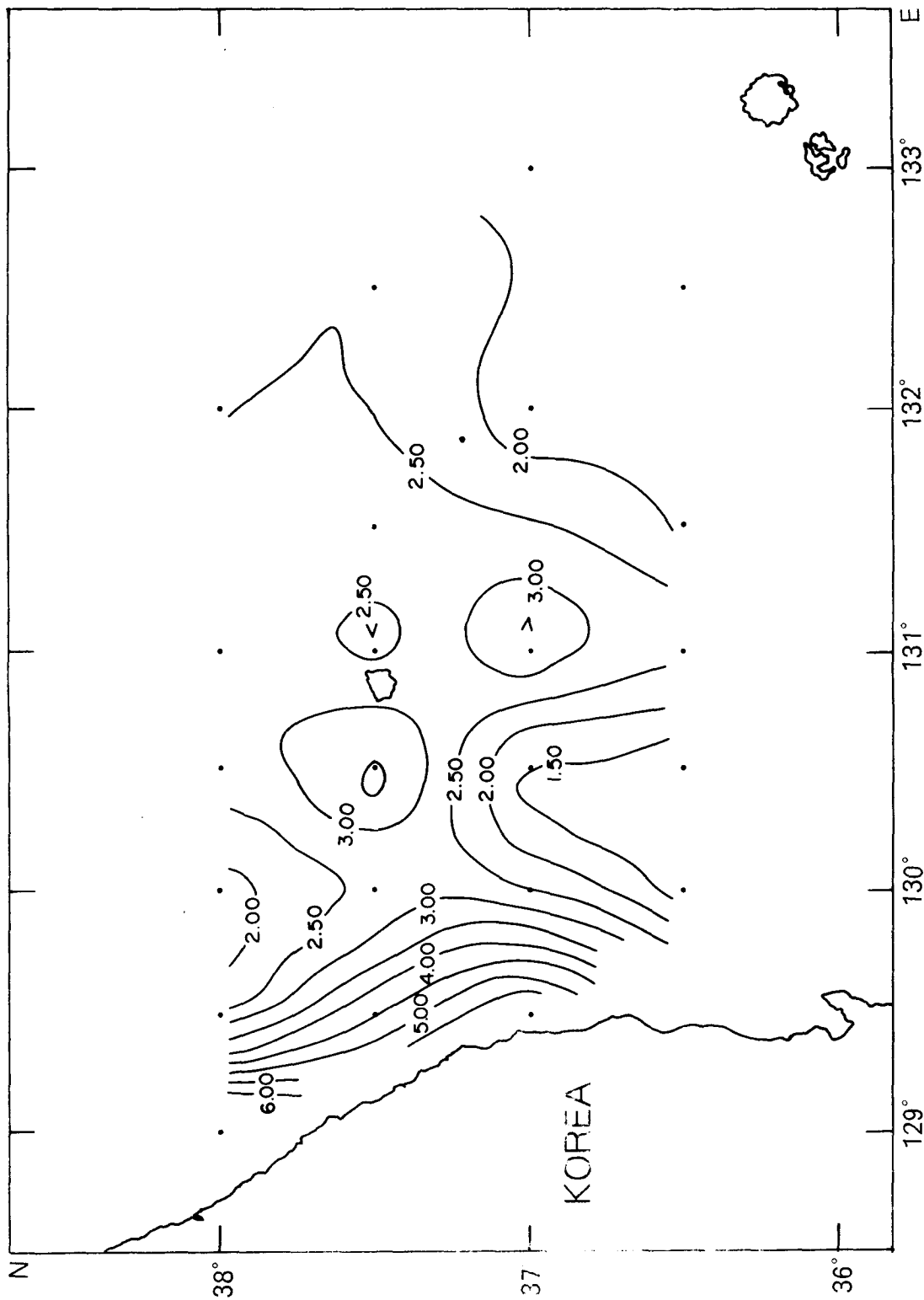


Fig. III-6. Continued 1

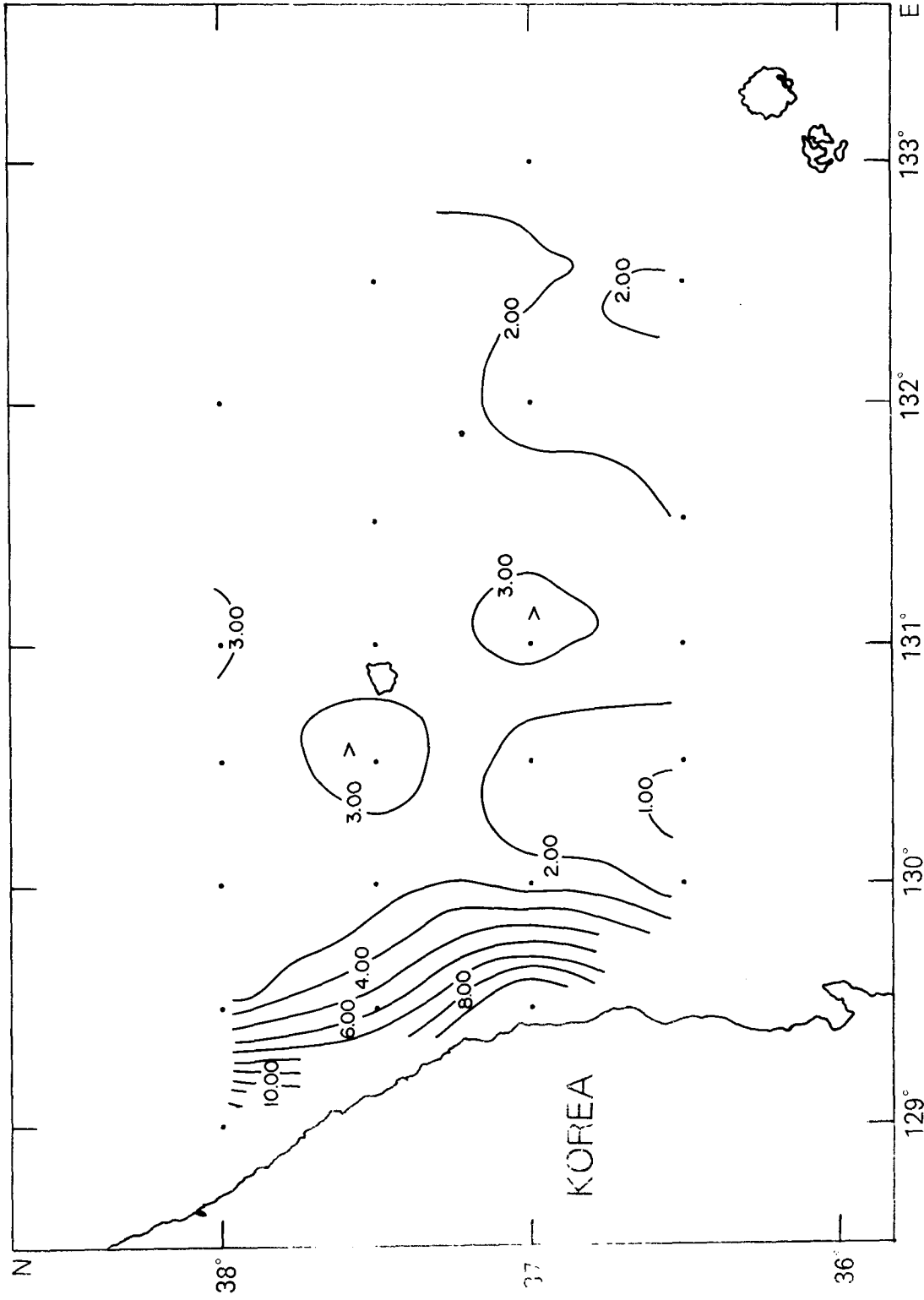


Fig. III-6. Continued 2

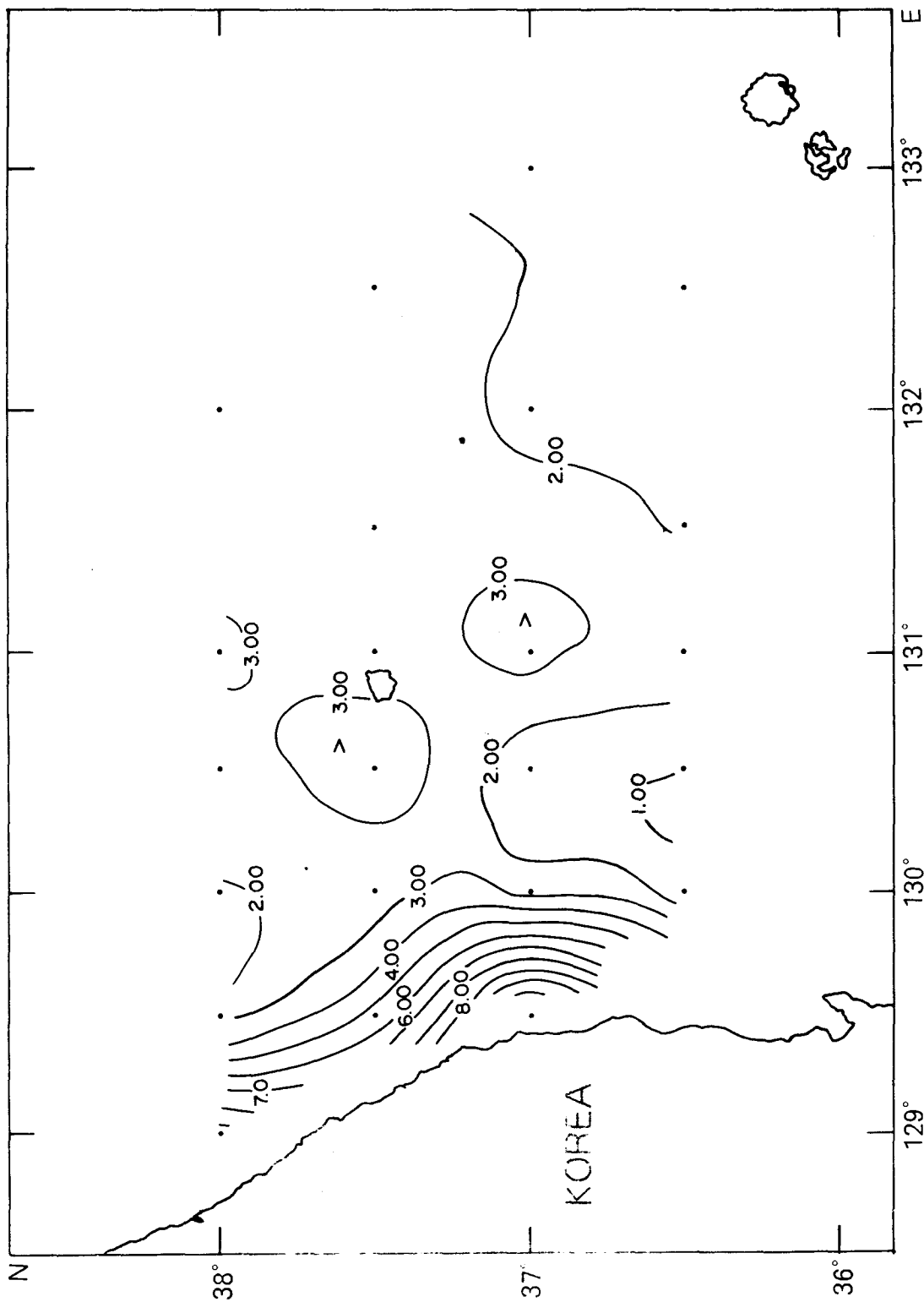


Fig. III-6. Continued 3

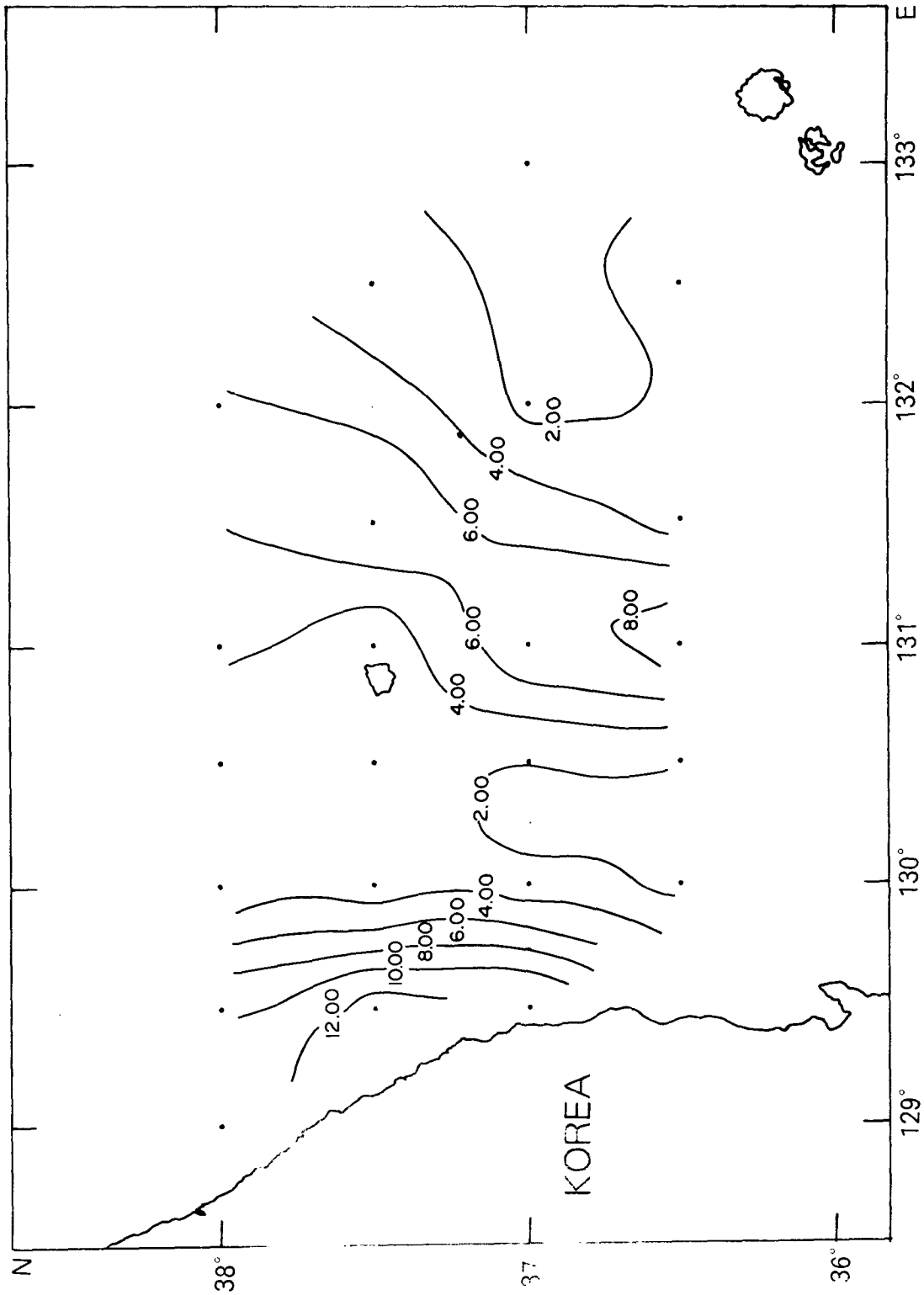


Fig. III-6. Continued 4

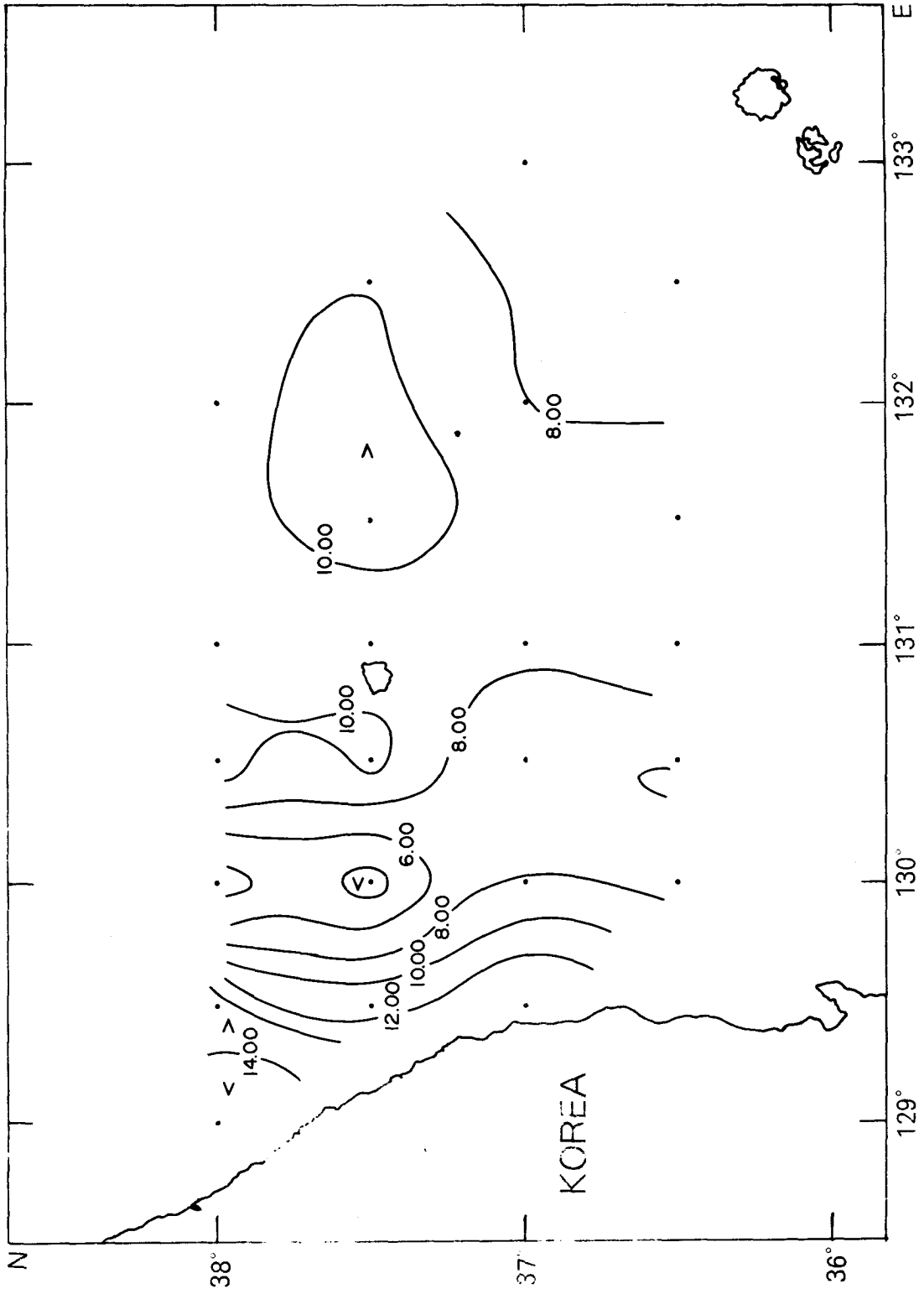


Fig. III-6. Continued 5

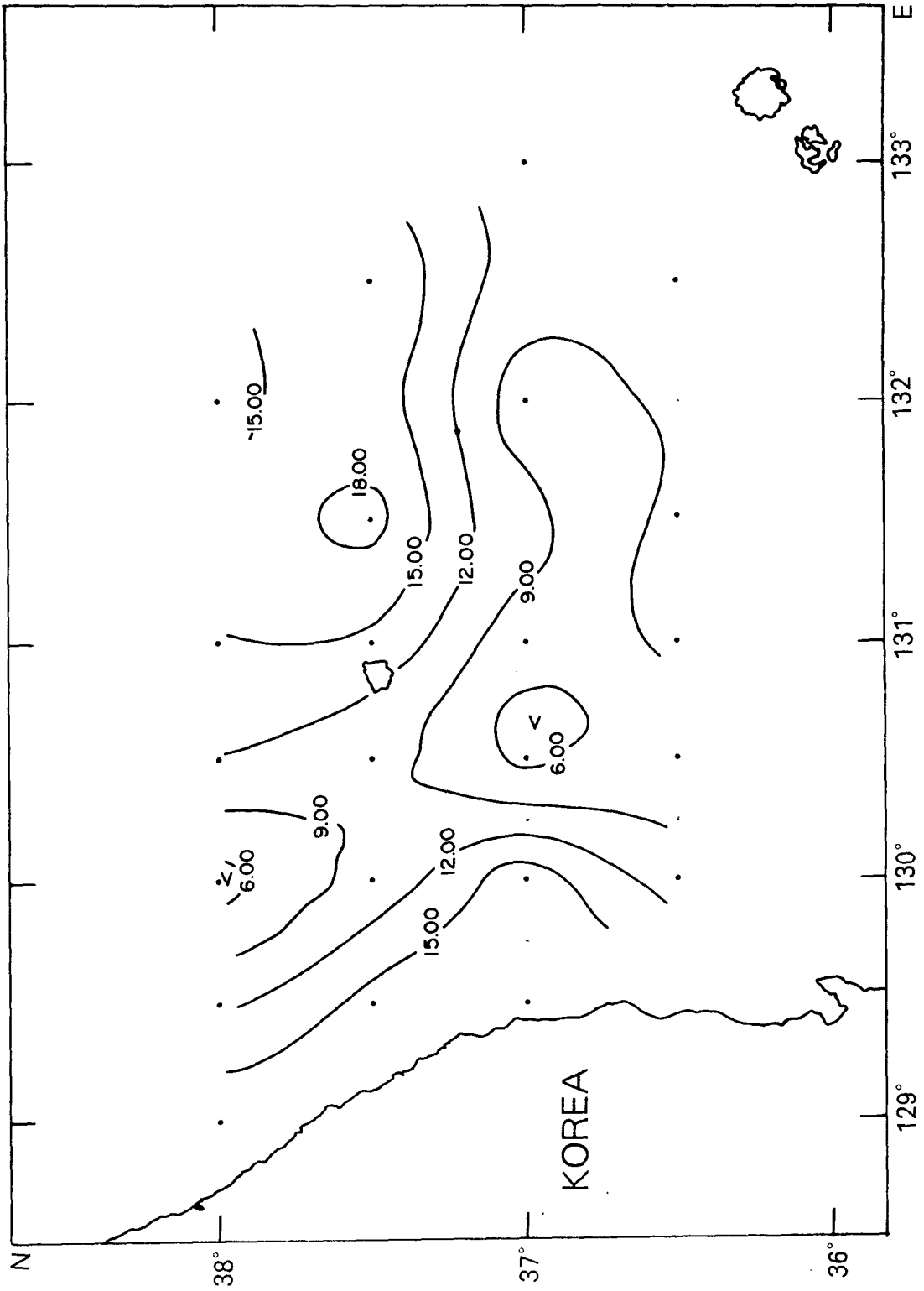


Fig. III-6. Continued 6

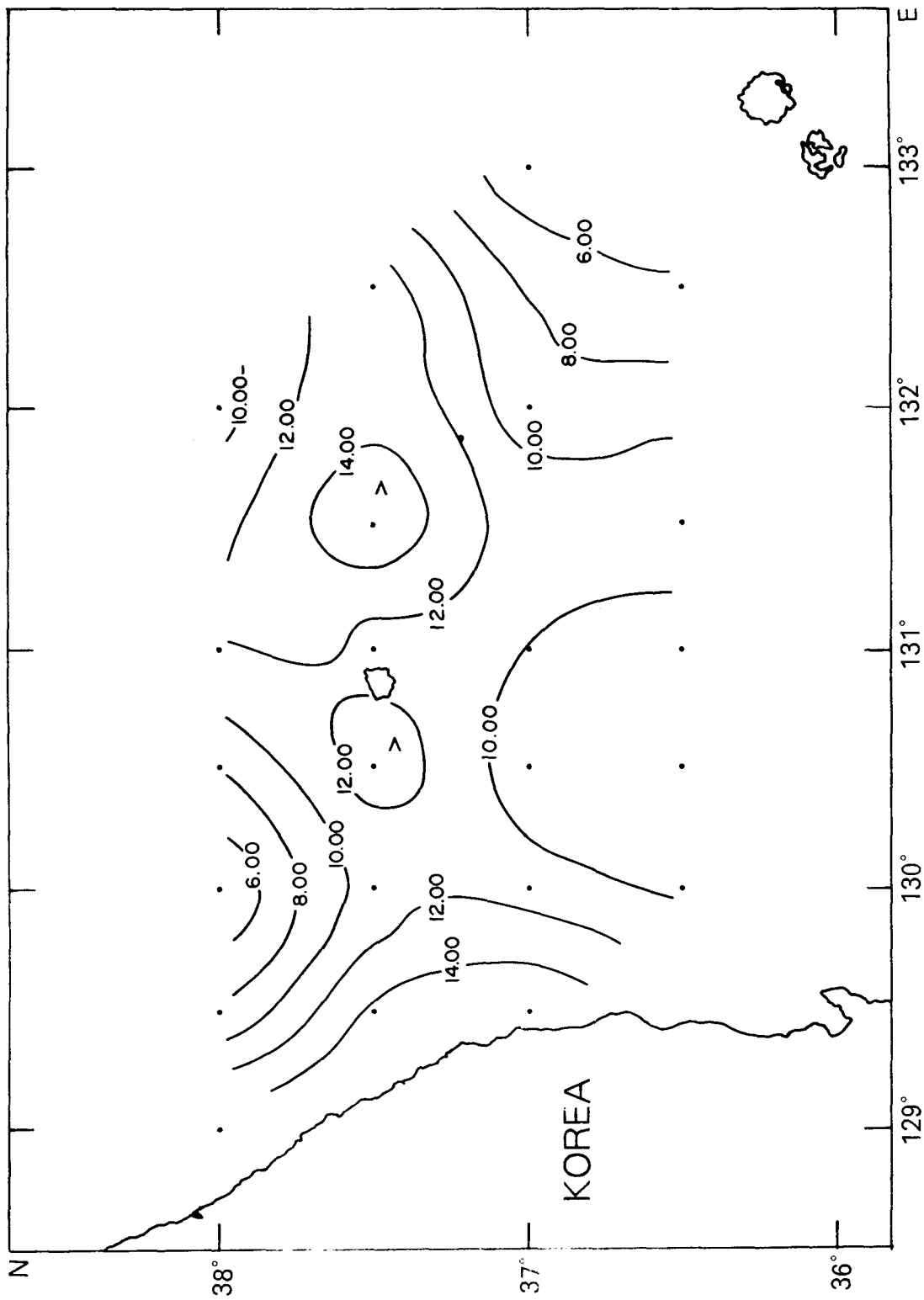


Fig. III-6. Continued 7

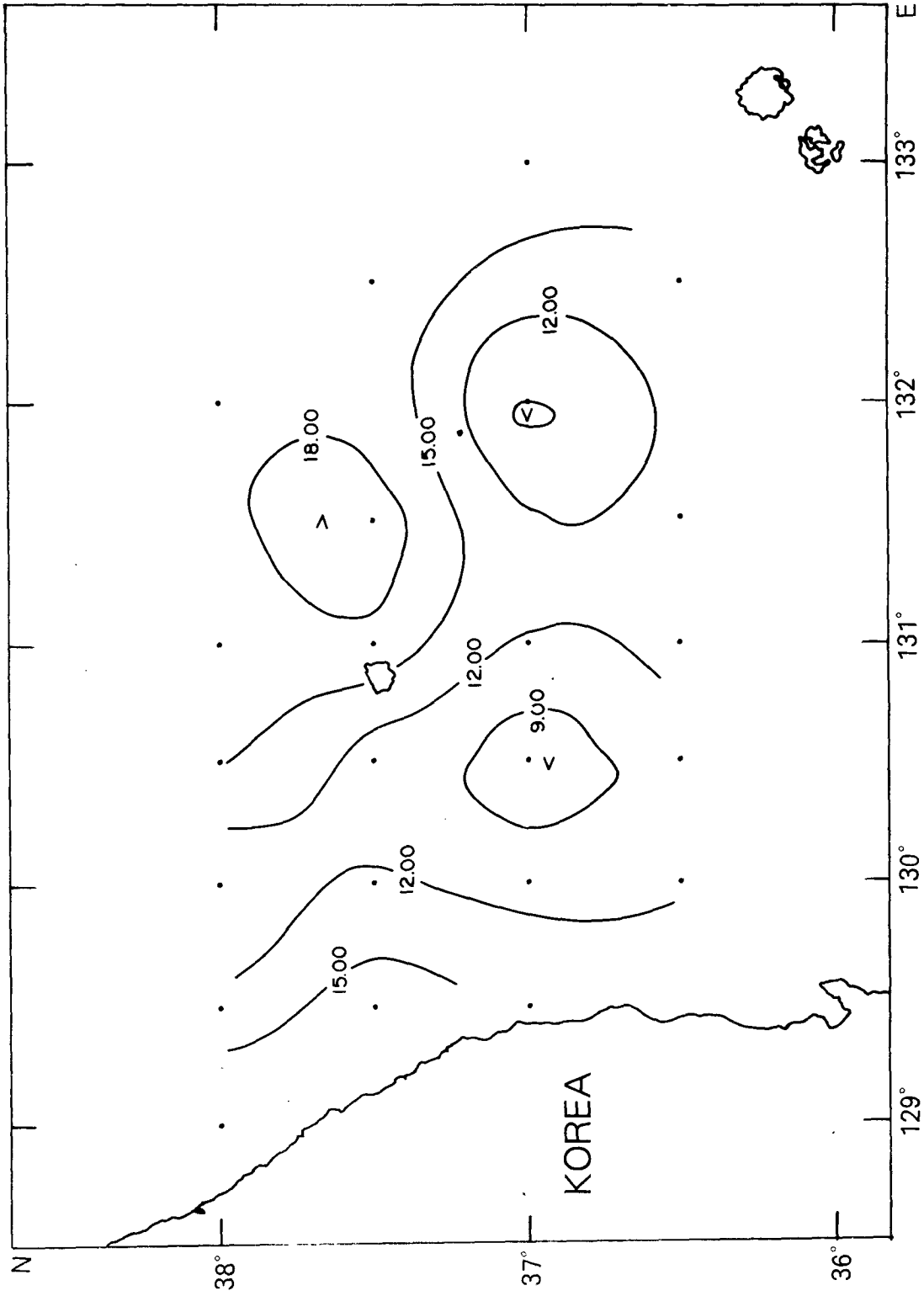


Fig. III-6. Continued 8

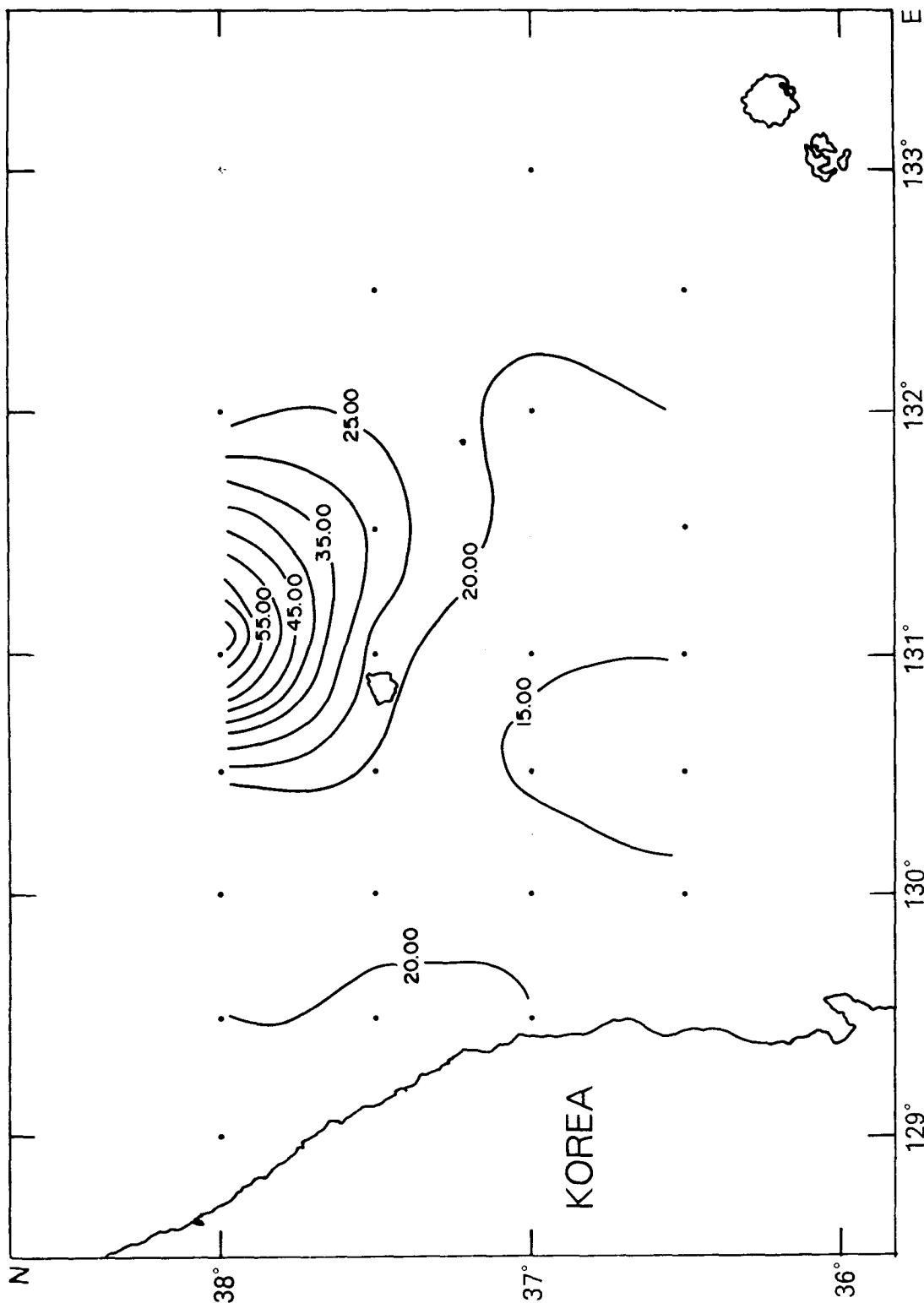


Fig. III-6. Continued 9

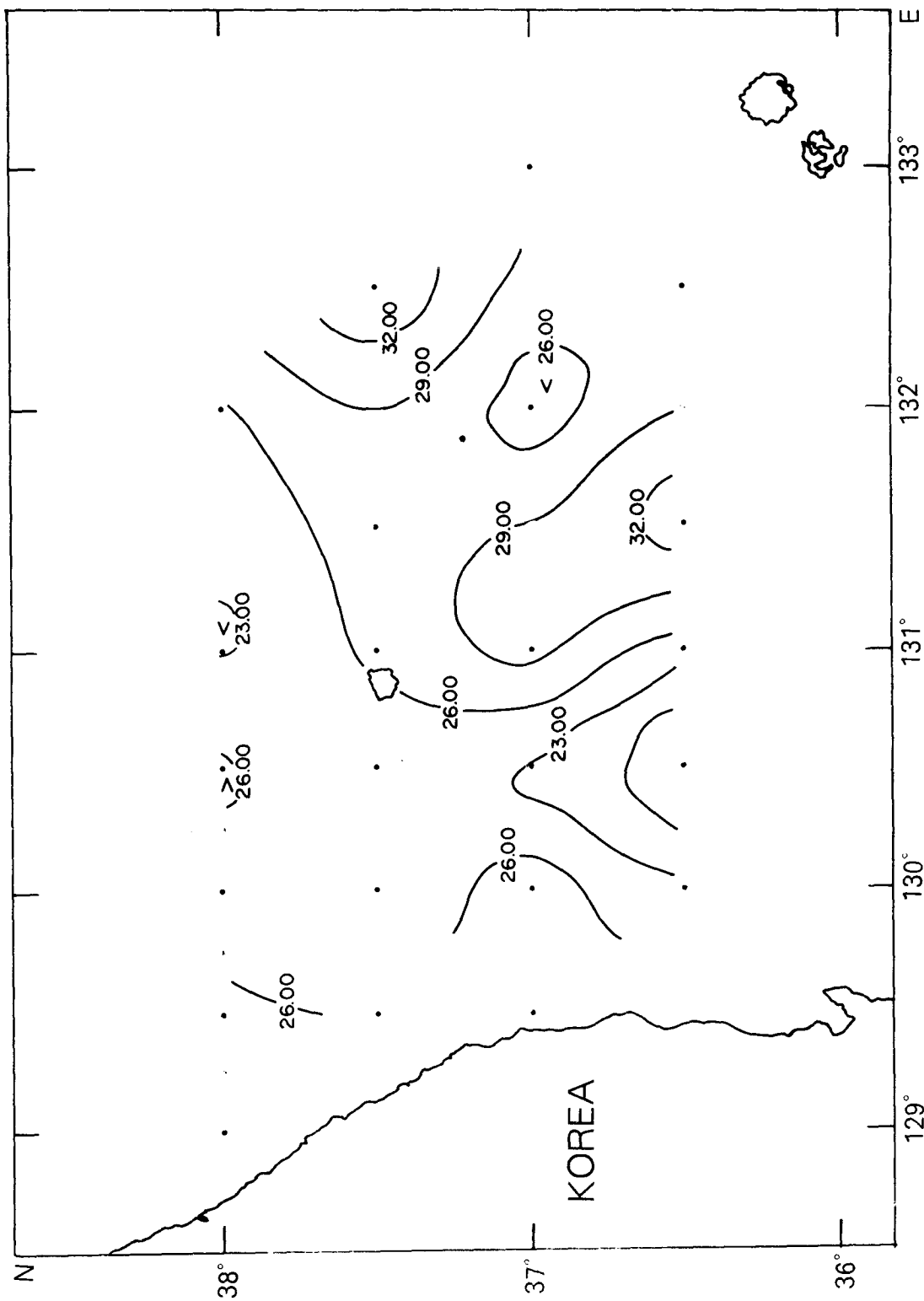


Fig. III-6. Continued 10

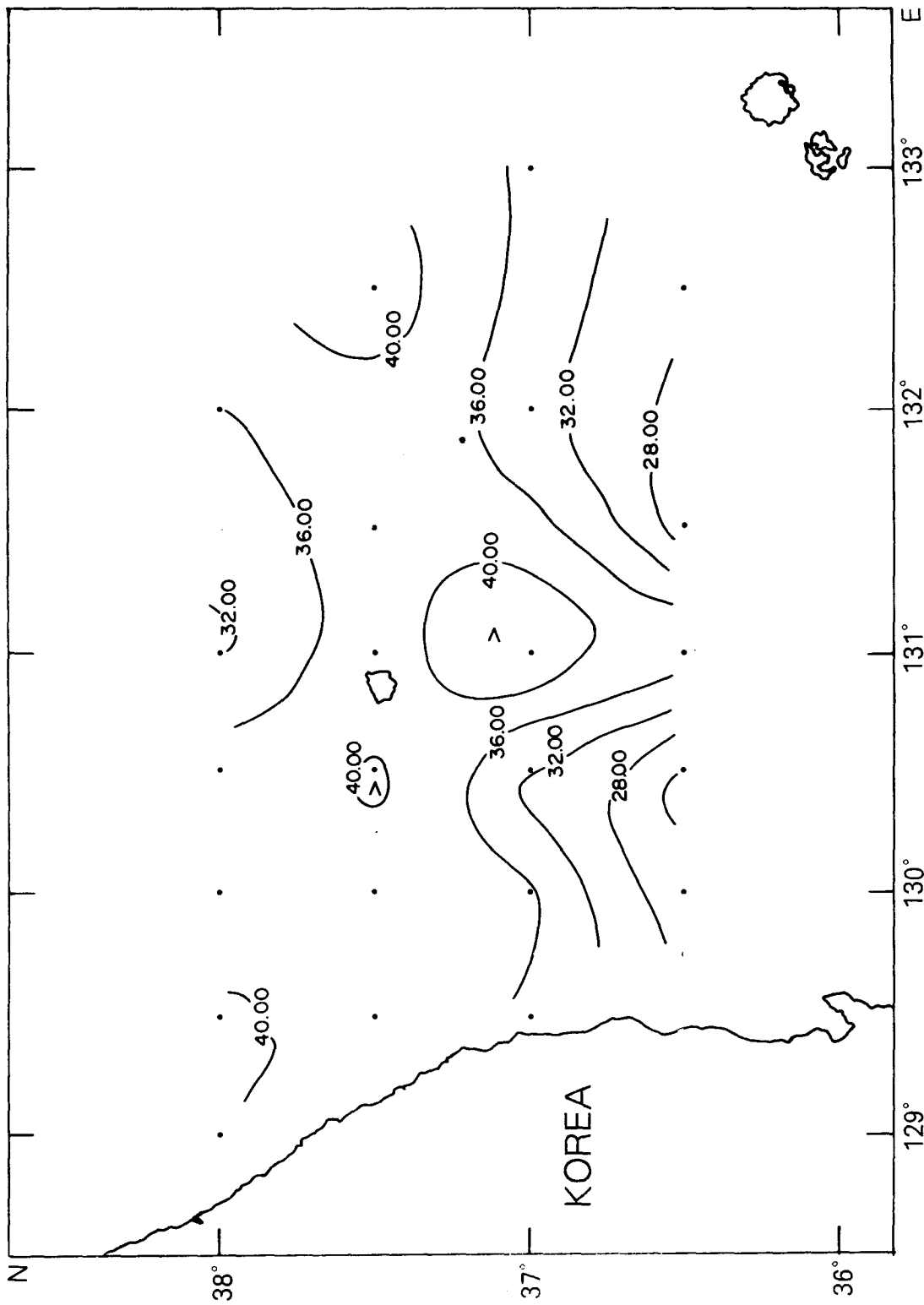


Fig. III-6. Continued 11

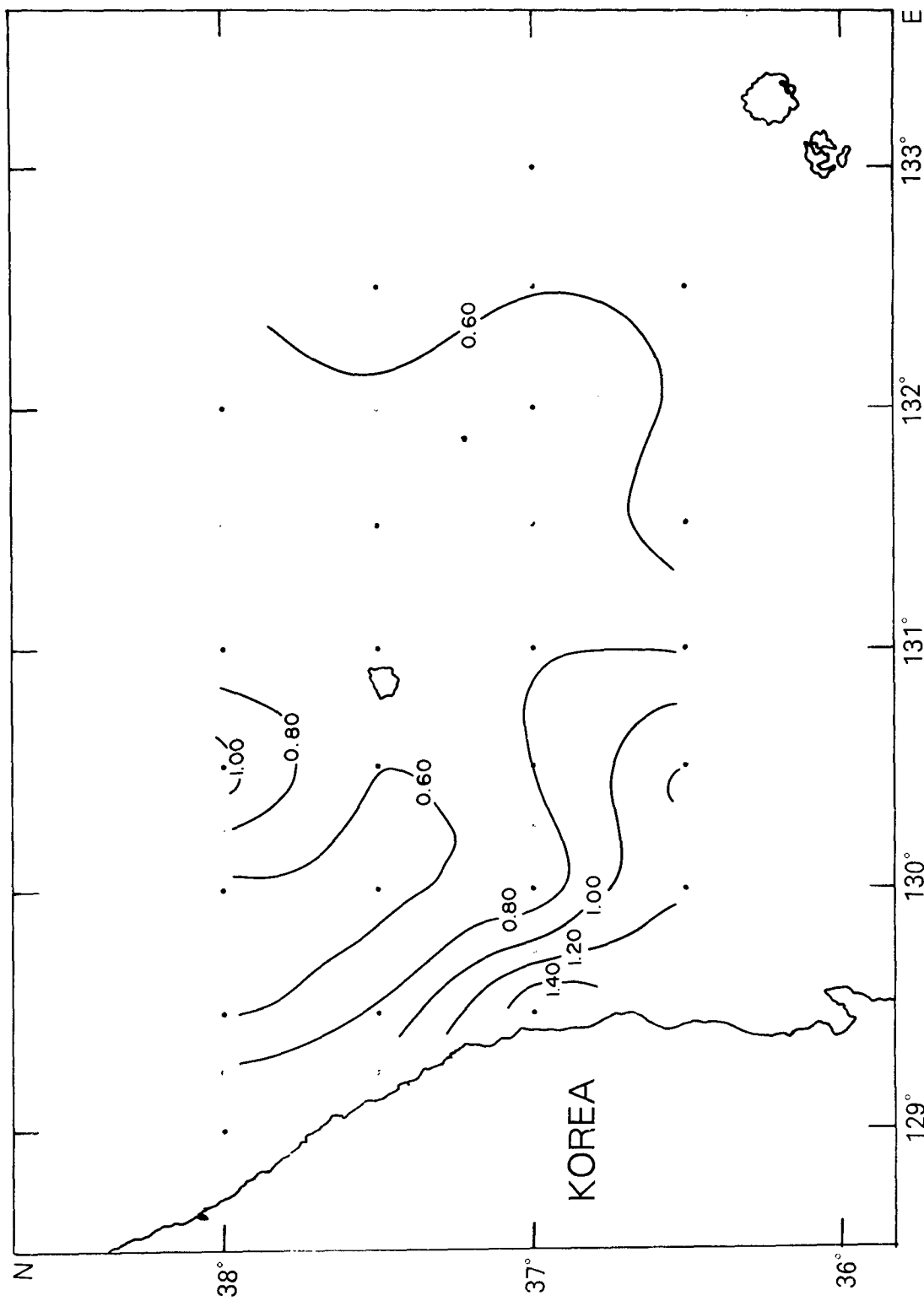


Fig. III-7. Horizontal distributions of chlorophyll-a in [$\mu\text{g/l}$] (a) at the surface, (b) at 10m, (c) at 20m, (d) at 30m, (e) at 50m, (f) at 75m, (g) at 100m, (h) at 150m, and (i) at 200m depths

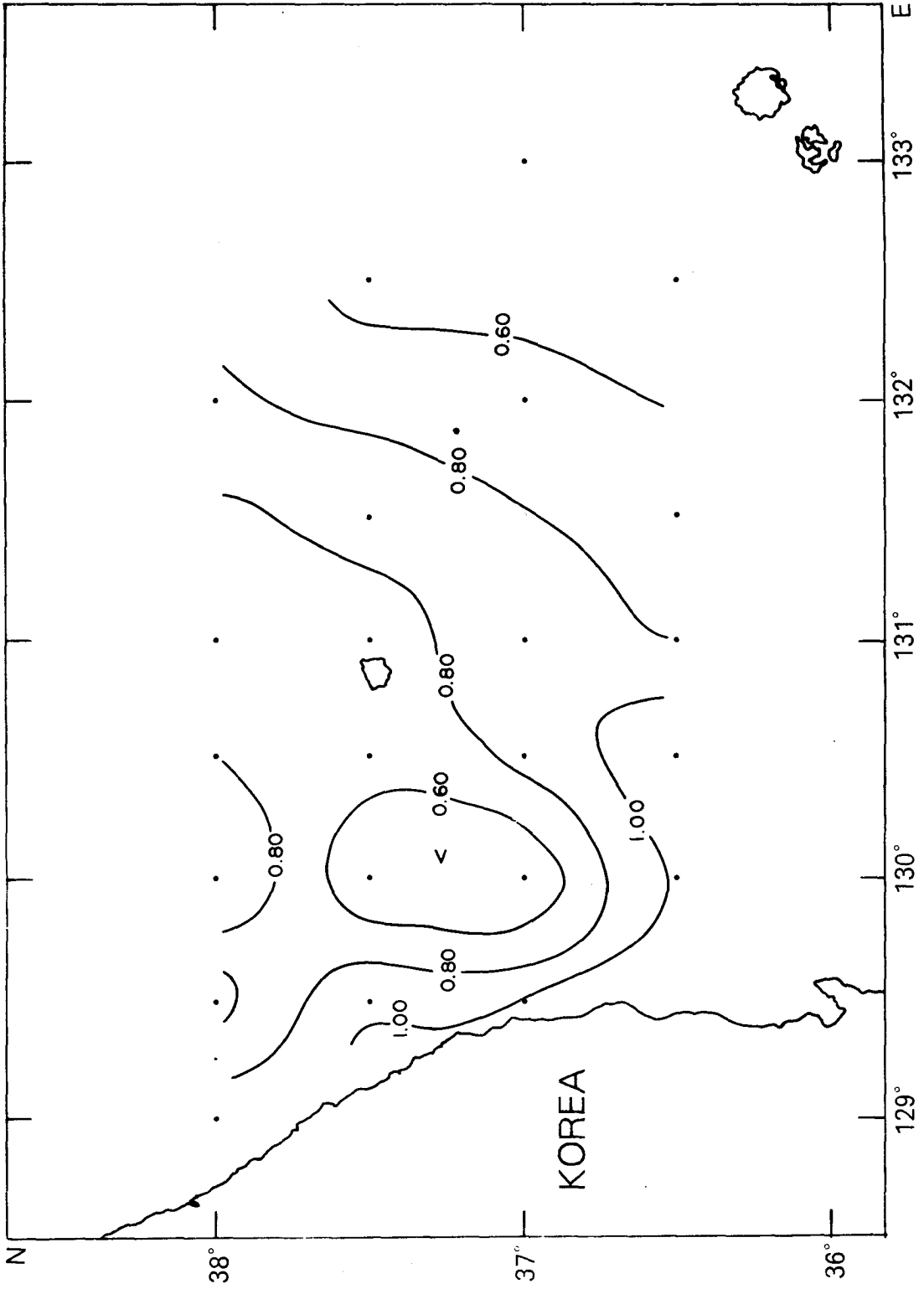


Fig. III-7. Continued 1

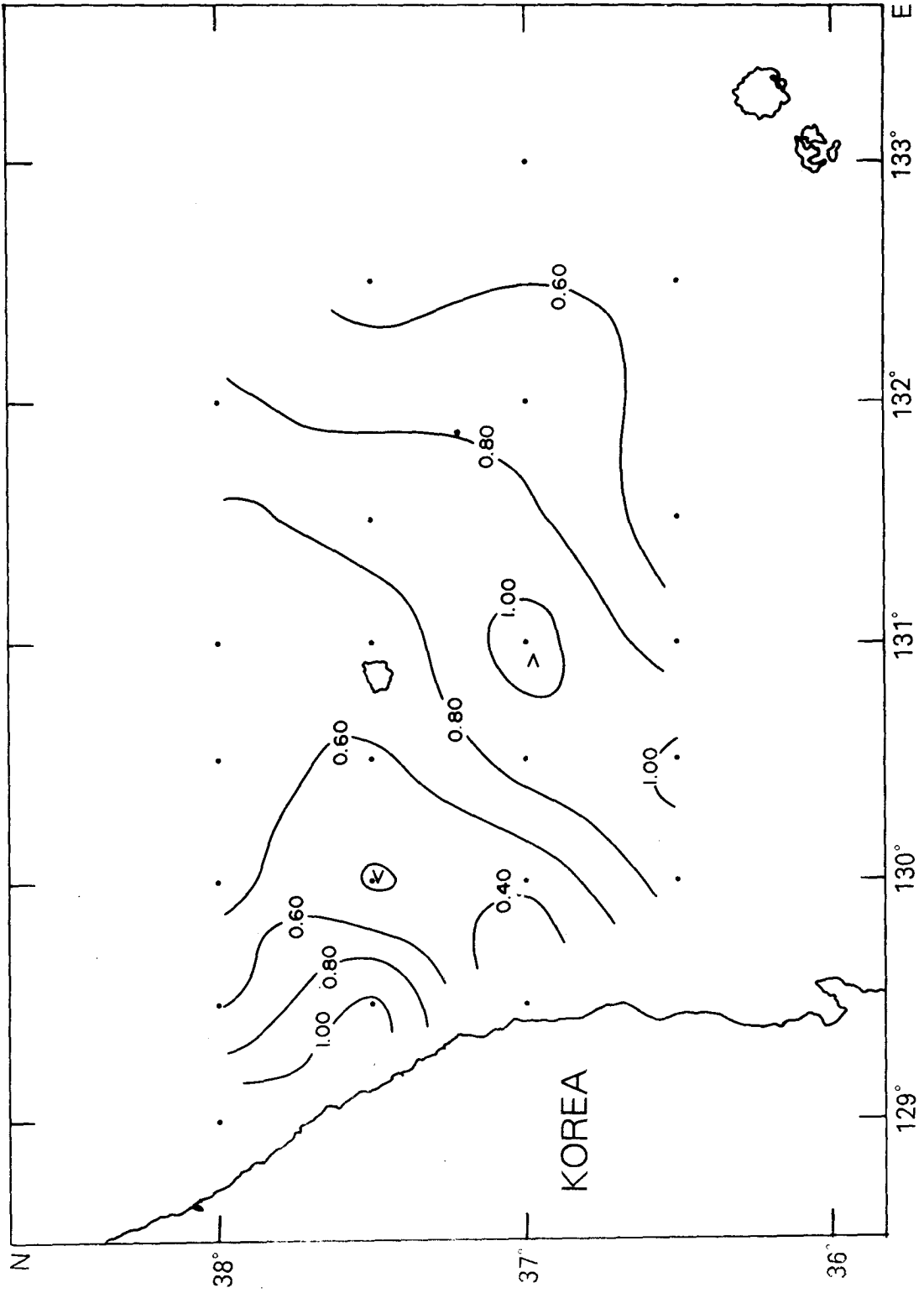


Fig. III-7. Continued 2

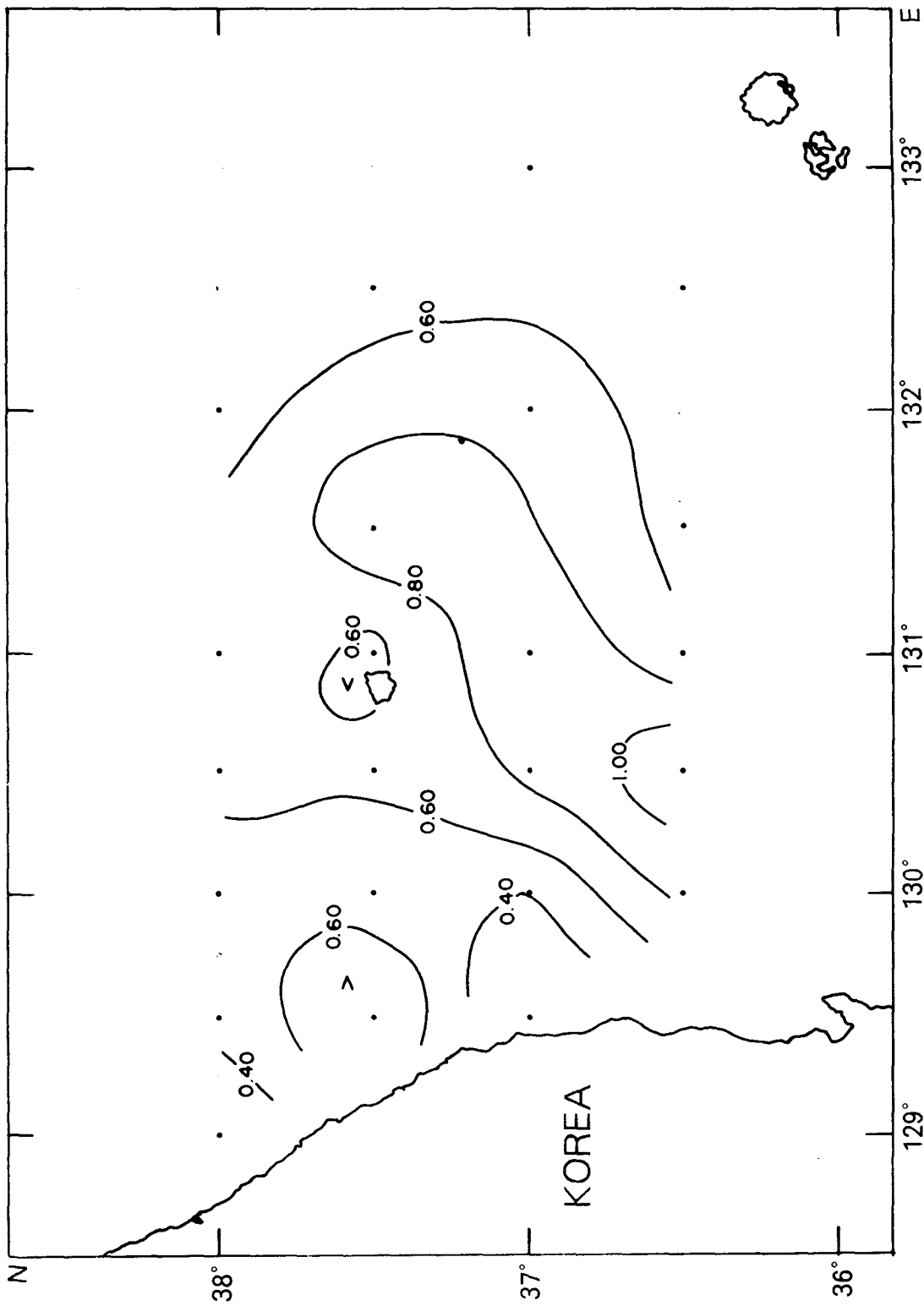


Fig. III-7. Continued 3

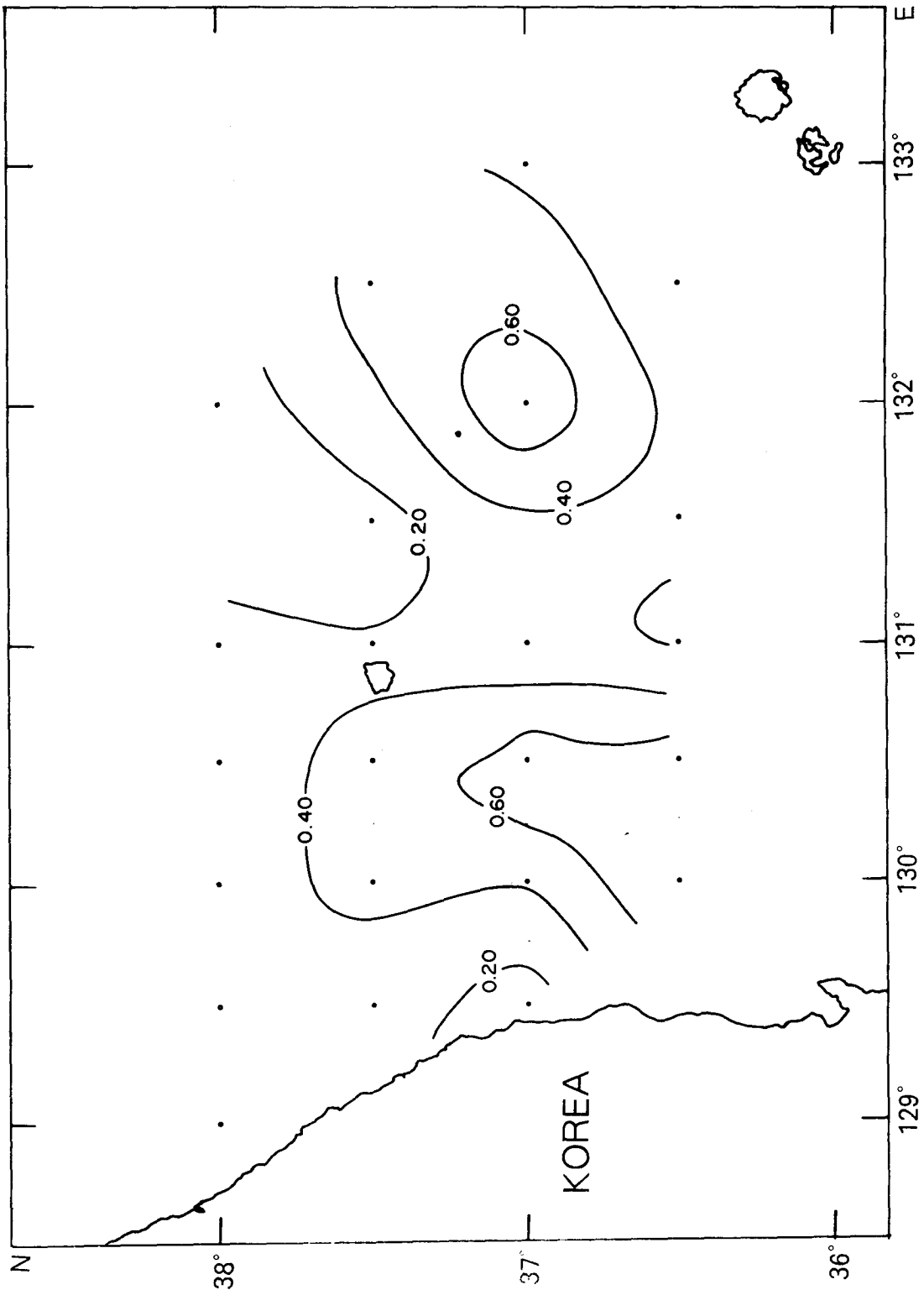


Fig. III-7. Continued 4

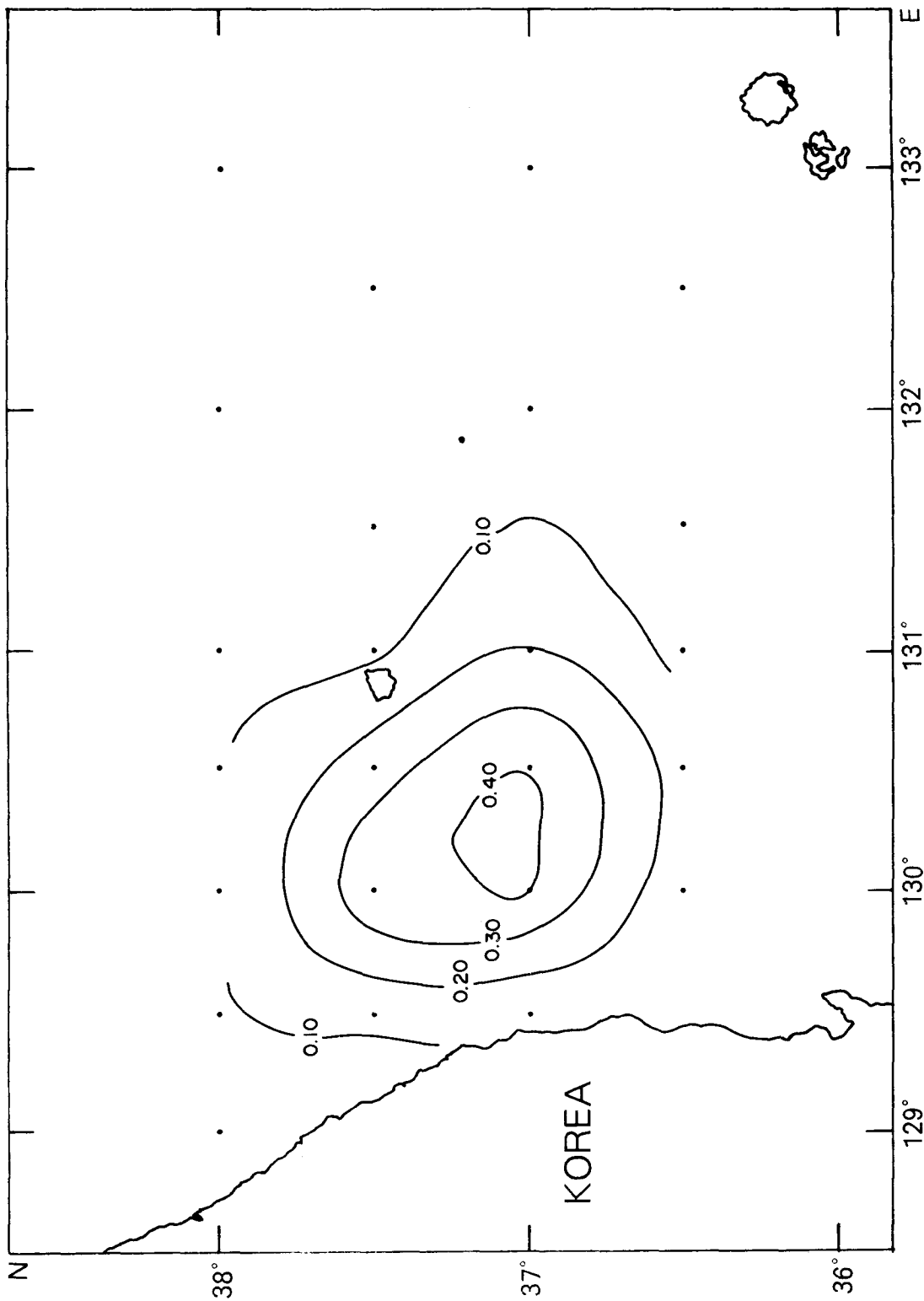


Fig. III-7. Continued 5

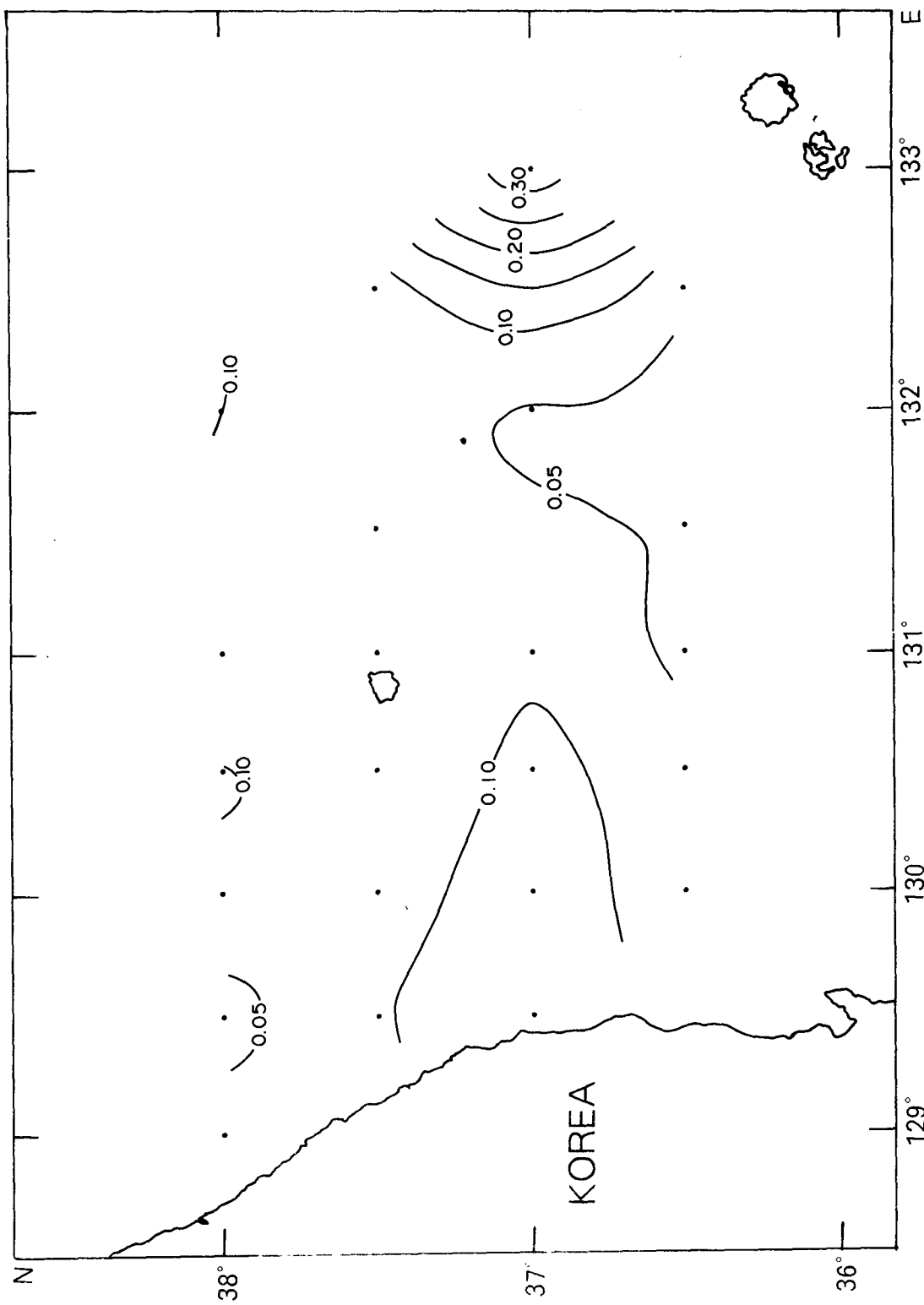


Fig. III-7. Continued 6

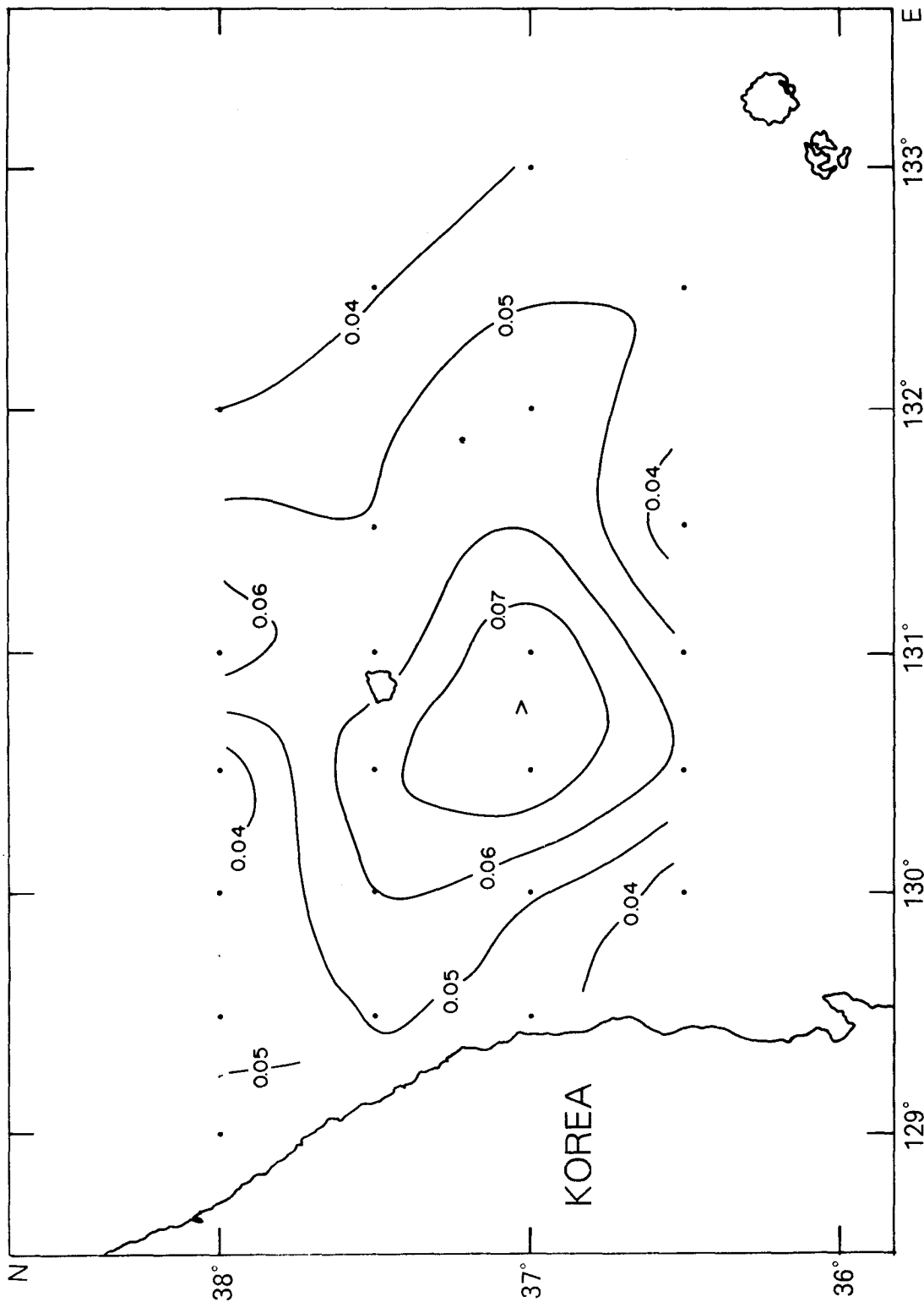


Fig. III-7. Continued 7

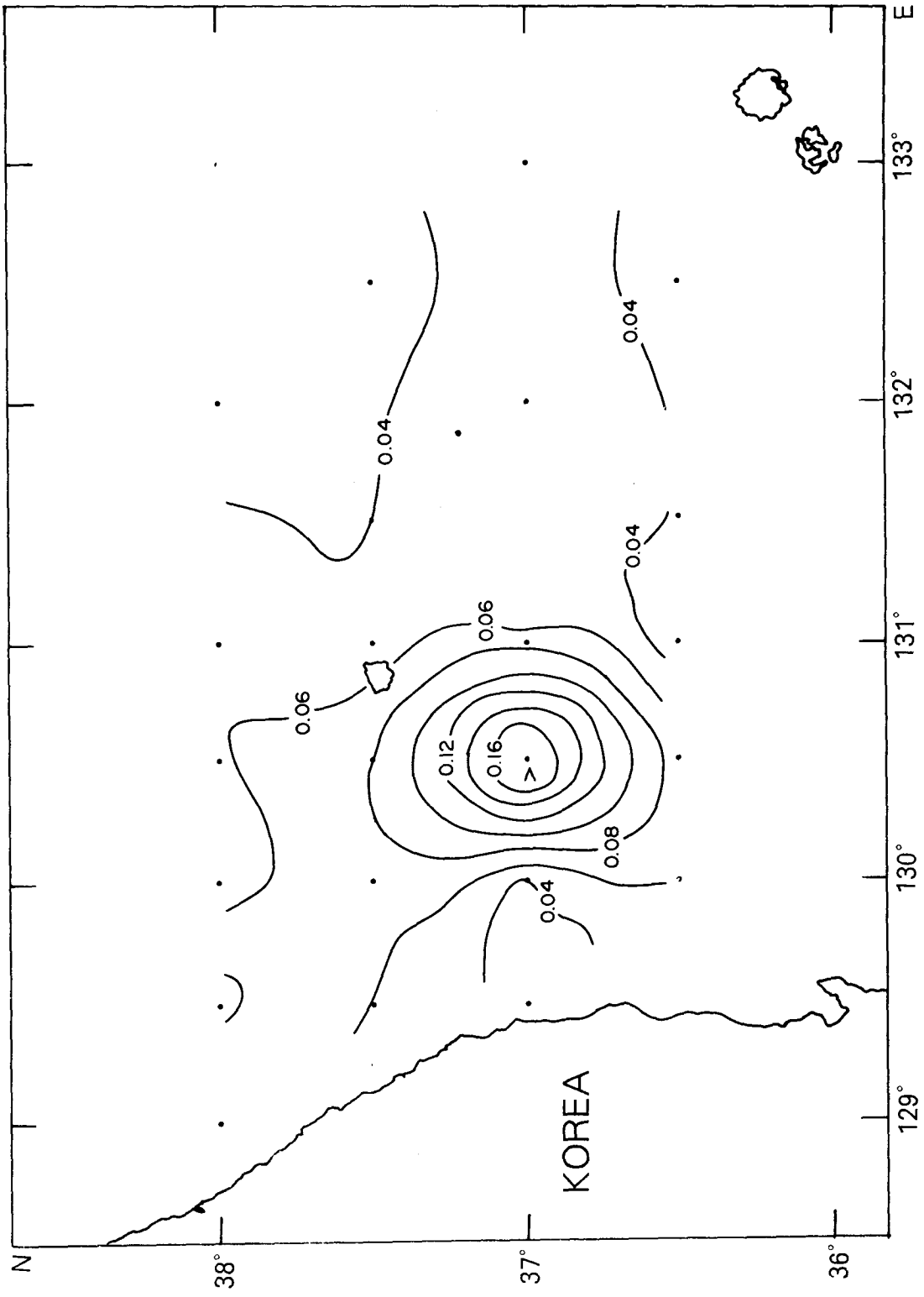


Fig. III-7. Continued 8

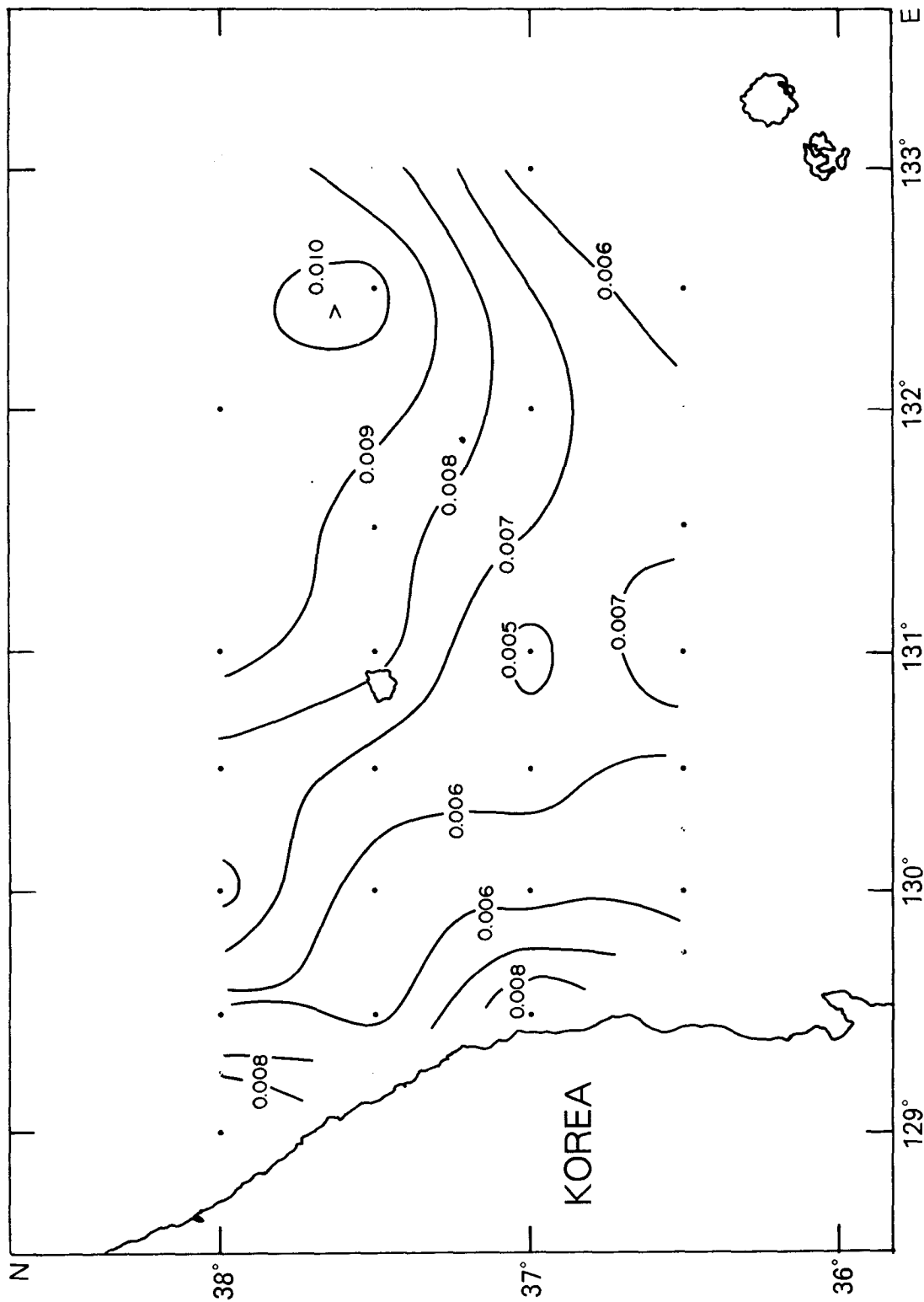


Fig. III-8. Horizontal distributions of (a) cadmium (Cd), (b) copper (Cu), (c) nickel (Ni), (d) Lead (Pb), and (e) zinc (Zn) in $[\mu\text{g/l}]$ at the surface

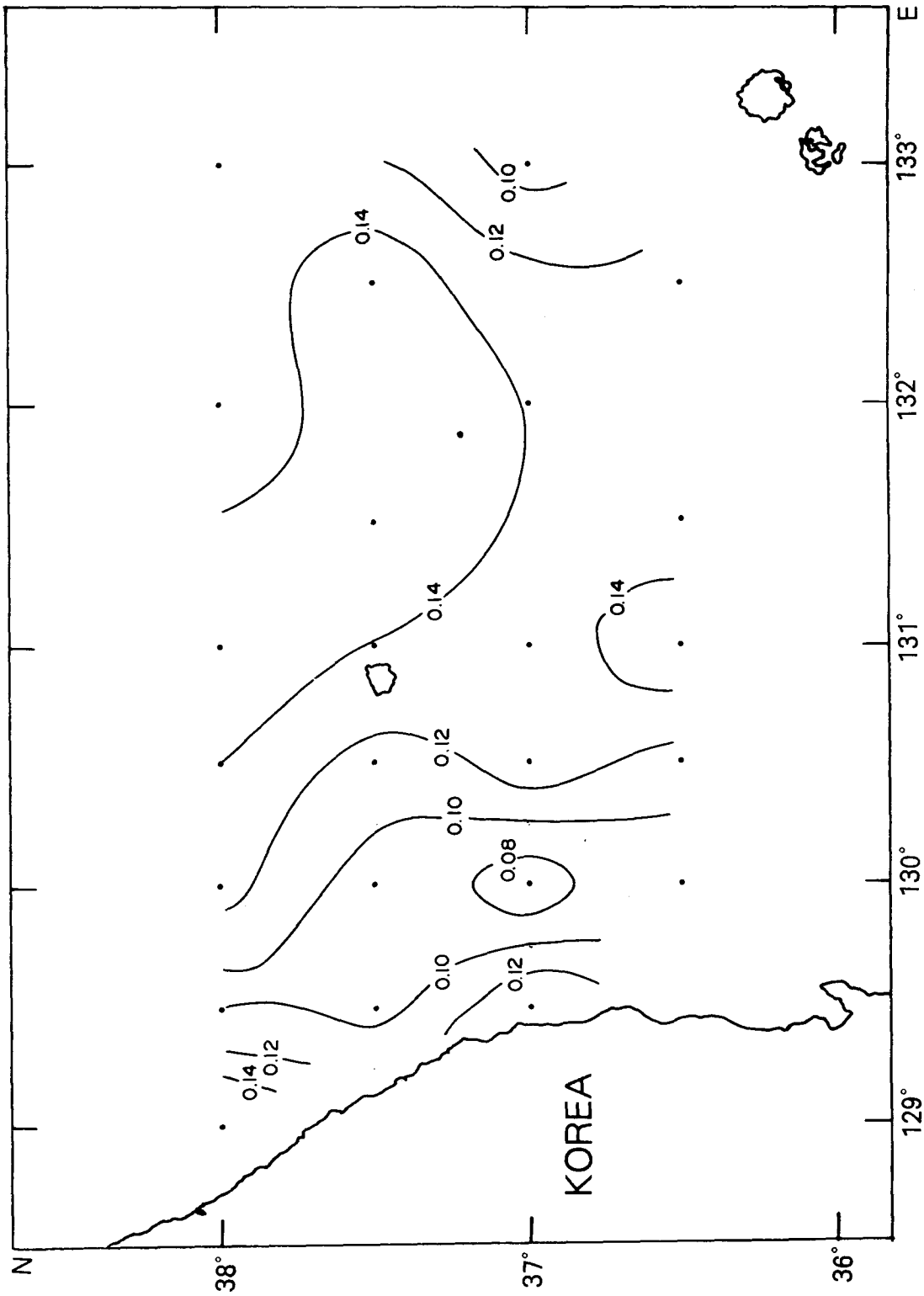


Fig. III-8. Continued 1

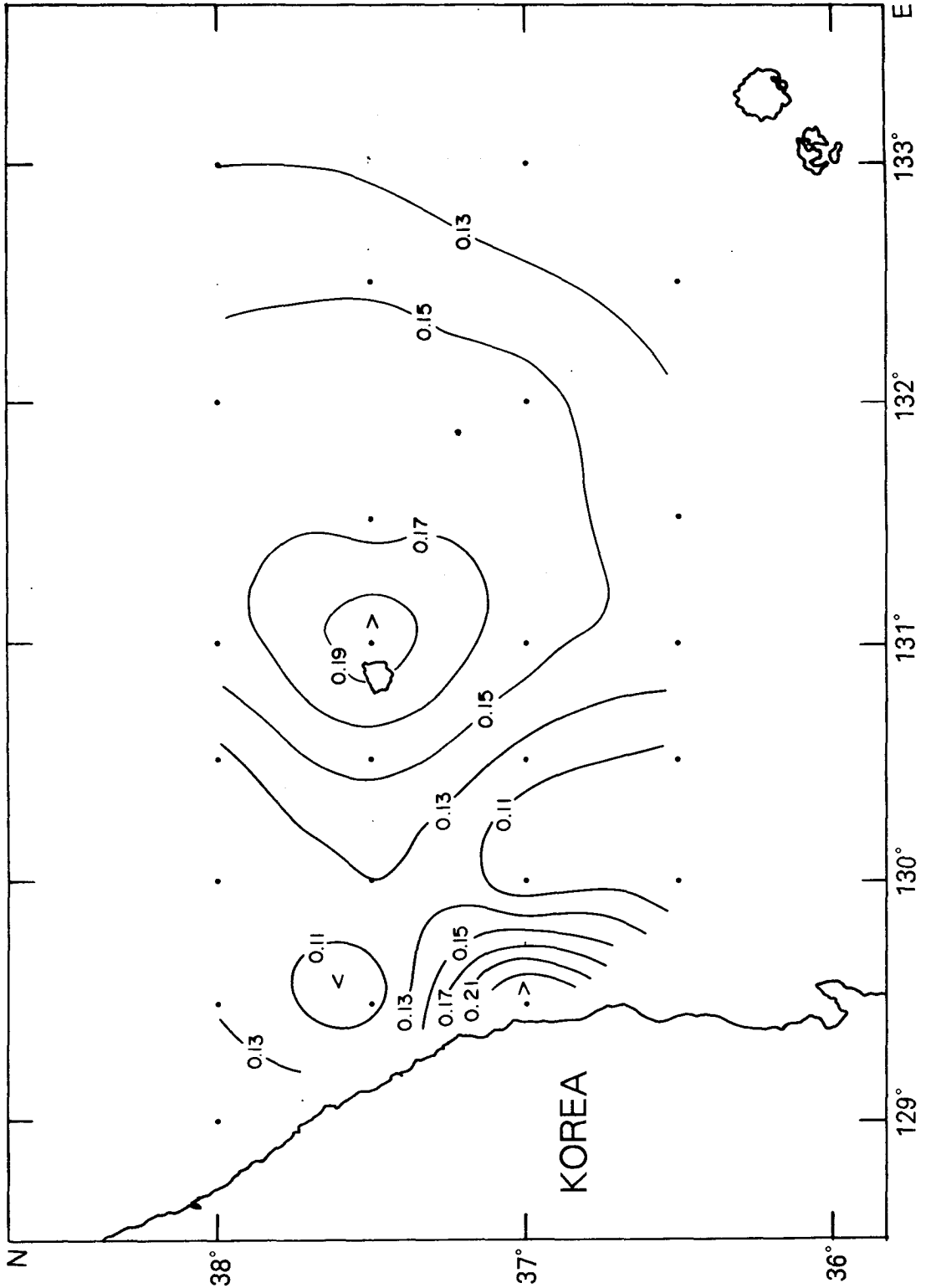


Fig. III-8. Continued 2

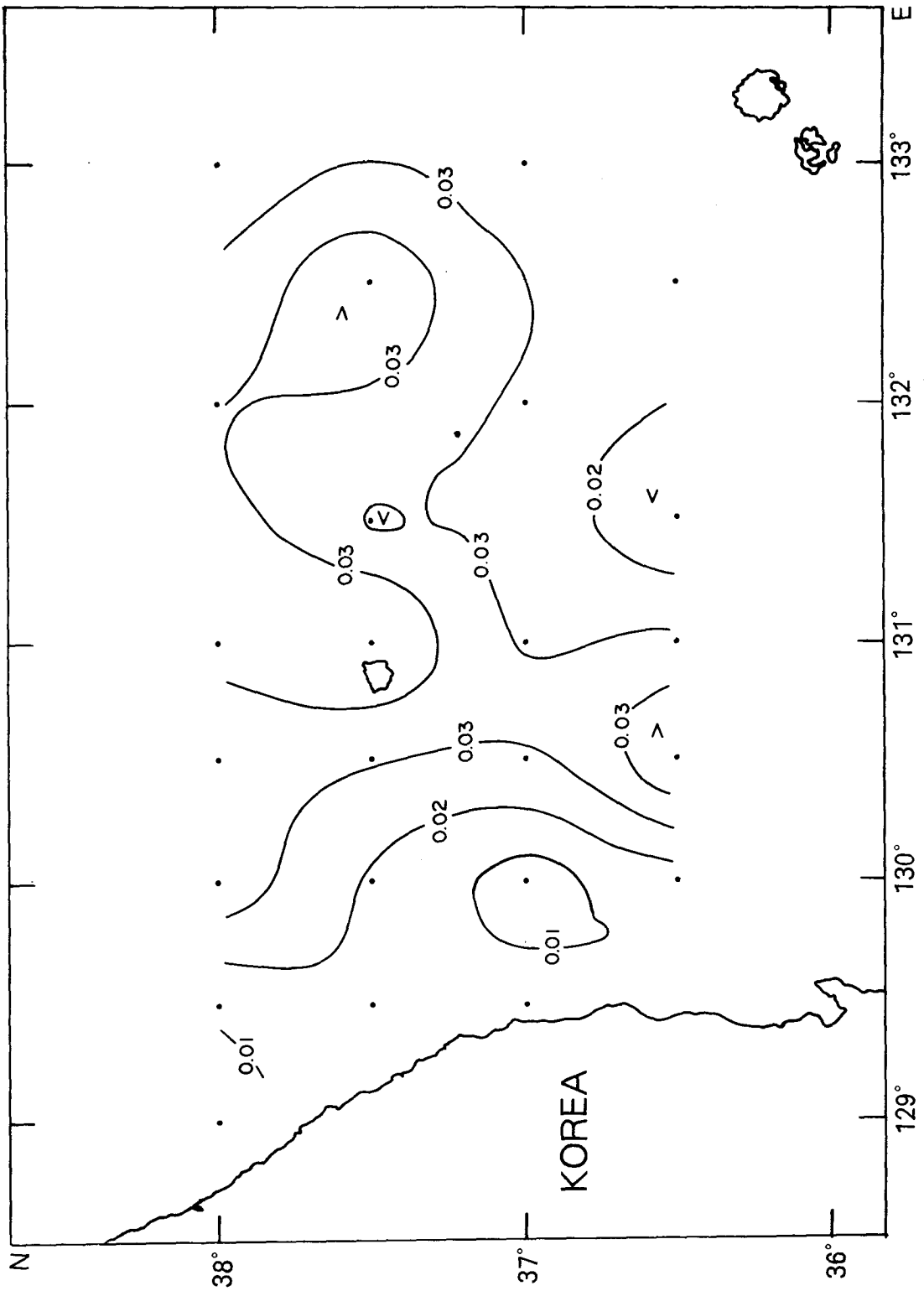


Fig. III-8. Continued 3

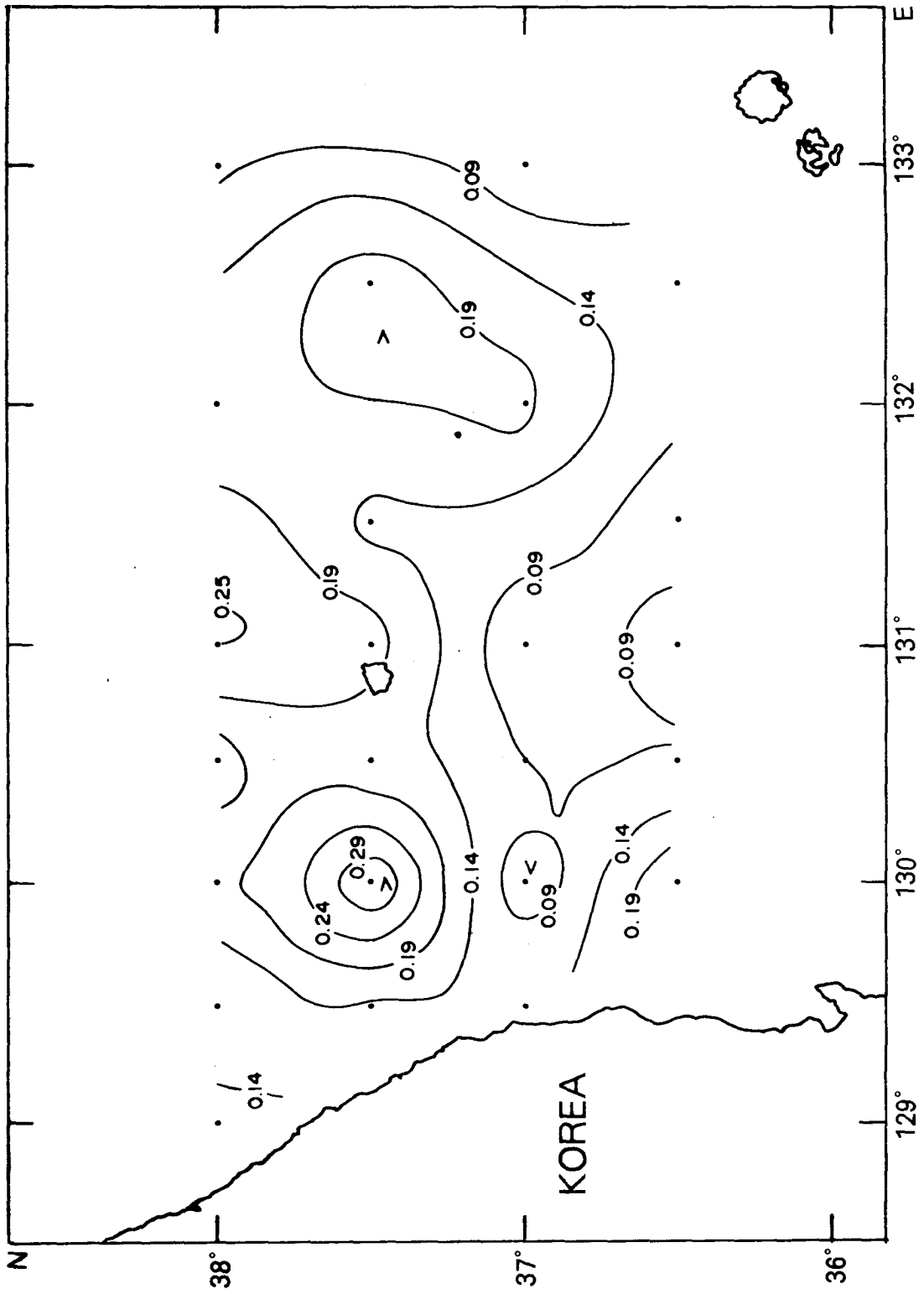


Fig. III-8. Continued 4

第 IV 章

生物海洋學 分野

(STUDIES ON BIOLOGICAL OCEANOGRAPHY)

研究責任者：柳 在 洛

研 究 員：張 晚 崔 震 雨

明 澈 秀 金 星

李 垠 炯 金 雄 西

權 改 勁 李 種 壽

郭 熙 相 李 梓 學

金 尙 珍 金 鐘 觀

諸 淙 吉 李 洪 錦

趙 基 雄 姜 來 善

朴 興 植 孫 在 鶴

崔 恩 美 李 炯 坤

研究 助員：尹 貞 淑

第 1 節 緒 說

해양생물 분야는 광역해역 종합 조사와 연안의 생물자원 조사로 구분하여 실시하였다. 광역해역 생물조사는 미생물, 식물성 플랑크톤, 동물성 플랑크톤, 어란·치자어를 대상으로 하였고 이 중 미생물은 총세균수 및 생체량, 군집 (colony)생성 세균수, 세균 종속영양 활성을 조사하였다. 그리고 식물플랑크톤, 동물플랑크톤 그리고 어란 및 치자어에 대해서는 종조성, 생물량 및 분포에 관해 조사하였다. 그리고 연안역 자원조사는 주요 수산생물의 종류, 분포 그리고 생물량을 조사하였으며 산란장 규명을 위하여 어란 및 치자어 등을 조사하였다.

第 2 節 調 査 및 分析 方法

1. 조사 해역

광역해역 종합조사는 1994년 11월에 동해중부해역에서 총 24개 정점을 대상으로 미생물, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 어란 및 치자어를 대상으로 하였고(Fig. IV-1), 그리고 연안생물 자원조사는 강원도 동해연안을 대상으로 1차년도에서는 대진에서 주문진까지 설정하였고 1994년 9월부터 1995년 3월까지 26개 어촌계를 통하여 분포조사를 한 다음 정량적 산출을 위한 현장조사를 실시하였다. 이 중 패류자원은 등거리 간격으로 5개의 어촌계 연안을 정하여 1995년 3월에 조사하였다. 그리고 어란 및 치자어는 9개 정점에서 1994년 9월과 11월에 조사하였다(Fig. IV-2).

2. 재료 및 방법

가. 미생물

1) 總細菌數 및 細菌生體量(Total bacterial number and bacterial biomass)

總細菌數 및 細菌生體量 測定을 위한 試料는 현장에서 acidic Lugol's iodine (최종농도 1%)으로 고정하여 실험실로 운반한 후 AODC(Acridine Orange Direct Count, Fry, 1988)방법에 따라 형광현미경(Epifluorescence microscope, Carl Zeiss)하에서 측정하였다.

細菌生體量의 계산을 위하여 球形細菌은 완전한 球形으로 가정하여 체적을 계

산하며 杆形細菌은 원통의 양 끝에 半球가 붙어있는 형태로 가정하여 원통부분과 반구부분을 따로 나누어 계산하는 방법에 따라 球形細菌은 지름을, 杆形細菌은 그 길이를 일정한 구간으로 나누어 계수한 후 여기에 Zimmermann(1977)에 의한 factor를 곱하여 먼저 總體積을 계산하였다. 구해진 總體積에 Kogure와 Koike(1987)에 의해 산출된 conversion factor인 0.20 g-C/cm^3 을 적용하여 細菌生體量을 계산하였다.

2) 從屬營養細菌數(Saprophytic bacterial number)

ZoBell agar medium 2216e를 배지로 하여 성장한 colony의 수를 세어 측정하였다. 채수정점과 수심에 따라 1 ~ 20 ml 씩의 시료를 0.2 μm pore size의 막여과지에 농축하여 20°C에서 14일간 배양한 후 계수하였다.

3) 細菌從屬營養活性(Heterotrophic activity of bacteria)

세균의 종속영양활성의 지표인 유기물 이용도를 조사하기 위하여 glucose에 대한 turnover rate을 측정하였다(Gocke, 1977).

200 μm mesh size의 망체로 사전여과한 시료를 시료당 3개의 100 ml bottle에 50 ml씩 넣고 0.05 μCi (최종농도 3.64nM)의 U-D-[^{14}C]-glucose를 넣어 약 3시간 동안 진탕 배양하였다. 이때 bottle 하나에는 미리 1 ml의 formalin을 넣어 blank로 하였다.

배양이 끝난 시료는 1 ml의 formalin으로 반응을 중단시킨 후 pore size 0.2 μm 의 막여과지(Nuclepore, $\phi = 25 \text{ mm}$)를 사용하여 여과하였다. 호흡에 의해 $^{14}\text{CO}_2$ 의 형태로 방출된 ^{14}C -glucose는 여과액에 1N 염산 200 μl 를 첨가하여 pH를 3 이하로 떨어뜨린 후 4시간 동안 진탕시켜 scintillation vial에 미리 넣어 준 200 μl 의 2-ethanolamine로 포집하였다. 전환율은 막여과지와 포집된 $^{14}\text{CO}_2$ 의 radioactivity와 넣어준 ^{14}C -glucose의 radioactivity로부터 계산하였다.

나. 식물 플랑크톤

식물플랑크톤 분석을 위하여서는 1994년 11월에 동해 중부해역의 총 24개 정점에서 수심에 따라 0, 30, 50, 100, 500m 등의 깊이에서 Rosette sampler를 이용하여 해수 500ml씩을 채수 하였다. 채취된 시료는 Acid Lugol's solution으로 고정하여 알루미늄 호일로 빛을 차단한 후, 실험실로 운반하였다. 실험실 내에서는 시료를 일정기간 침전시켜 150~200ml로 농축시킨 다음 Sedwick-Rafter Chamber와 Palmer-Maloney Slide를 이용하여 광학현미경(Axiophot-III)하에서 계수하였다.

다. 동물 플랑크톤

동물플랑크톤의 채집은 1994년 11월에 24개 정점에서 망구직경 60cm, 망목 250 μm 의 봉고네트를 사용하여 1.5~2 knot 의 속도로 전 수층을 대상으로 경사채집을 하였다. 정량분석을 위하여 봉고네트에 유량계(General Oceanics, INC.)를 부착하였으며, 채집된 표본은 현장에서 6%의 중성포르말린으로 고정하였다. 고정된 시료는 우점종이 100개체 이상 되도록 (UNESCO,1979) 분할기(Folsom splitter)로 분할하여 Bogorov 계수판에서 각 분류군별로 계수한 후 단위체적당(m^3) 개체수로 환산하였다.

라. 어란 및 치자어

어란 및 치자어 채집은 1994년 11월에 조사해역(동해 중서부)의 24개 정점에서 망구직경 60cm, 망목 505 μm 인 봉고네트를 사용하여 1.5~2.0 knot 속도로 전 수층을 대상으로 하여 경사채집하였다.

정량분석을 위하여 봉고네트에 유량계(General Oceanics, Inc.)를 부착하였으며 채집된 표본은 현장에서 중성포르말린(최종농도 7%)으로 고정한 후 실험실로 옮겨 해부현미경(WILD M8)으로 어란과 치자어를 골라내어 동정하였다.

어란 및 치자어 동정에는 정(1977), 이 등(1981), 김 등(1986), Russell(1976), Okiyama(1988), Moser *et al.*(1984), Leis and Trnski(1989) 등을 참고하였다.

마. 연안자원생물

1) 자원생물의 종구성

강원도의 연안 어촌계에서 상업적으로 어획되는 생물자원의 분포와 양을 조사하기 위하여 대진에서 주문진까지 총 26개의 어촌계(Fig. IV-2)를 대상으로 1994년 9월부터 1995년 3월까지 수시로 방문하여 설문조사 및 현장 조사를 하였다. 패류의 경우 동해안의 강원도 지역에서 어획되고 있는 유용 패류로는 대북, 북방대합, 명주조개, 전복, 가리비 등이지만 본 연구에서는 천해역의 사질에서 주로 서식하고 있는 종들(대북, 북방대합, 명주조개)을 대상으로 그들의 분포지역, 현존량(서식밀도와 생존량)을 조사하였다. 위의 3종을 제외한 나머지 연체동물, 어류, 극피동물은 종 동정을 위하여 어민이 채집한 시료를 이용하였다. 채집된 시료는 중성포르말린(최종농도 15%)으로 고정하였다. 어류의 경우 종의 동정은 정(1977), Nakabo(1993), Masuda *et al.*(1984) 등을 참고하였다.

2) 어란 및 치자어

부유성 어란과 치자어의 분포조사는 조사해역의 9개 정점(Fig. 2)에서 1994년 9월과 11월에 실시되었다. 어란과 치자어의 채집은 망구직경 60cm, 망목 330 μ m 인 봉고네트로써 표층 채집하였다. 네트의 예망시간은 7 분, 예망속도는 1.5 ~ 2.0 knot정도로 유지시켰으며, 정량 분석을 위하여 네트 입구에 유량계(General Oceanic, Inc.)를 부착하였다. 채집된 표본은 현장에서 중성 포르말린(최종농도 7%)으로 고정된 다음 실험실로 옮겨 해부 현미경(WILD M8)으로 어란과 치자어를 골라내어 동정하였다. 어란 및 치자어 동정에는 정(1977), 이 등(1981), 김 등(1986), Russell(1976), Okiyama(1988), Moser *et al.*(1984)를 참고하였다.

그리고 조사해역의 환경을 파악하기 위하여 수온과 염분 그리고 용존산소 수질측정기(U-10)를 이용하여 측정하였다.

3) 유용 패류 생물량 조사

조사 지역 : 1차년도에는 강원도 북부지역인 반암 어촌계 공동어장(38° 25' N)에서 남으로는 기사문리(38° 00' N)에 이르는 5개 지역(Fig. IV-2)에서 예비조사의 성격으로 조사가 수행되었다.

조사 방법 : 패류 채집기는 어민들이 실제로 어획에 사용하고 있는 형망틀을 사용하였다. 채집기의 크기는 입구의 길이가 85cm, 높이가 40cm이다. 형망틀에는 퇴적물 속으로 파고 들 수 있는 20cm길이의 가시발을 약 5cm 간격으로 배열하고 있고, 채집망의 망목은 2cm×2cm이다. 따라서 이 채집기는 적어도 15cm 깊이에 서식하는 패류와 크기가 5cm이상되는 패류만을 주로 잡을 수 있도록 되어 있다. 이러한 제한때문에 개체군의 연령 조성을 알 수 없는 단점이 있다.

채집시간은 2노트 속도에서 대략 4분 정도를 끌어서 인양길이는 200m정도가 되도록 하였다. 그러나 사용한 어선의 크기와 어장의 규모에 따라 인양거리는 50 ~ 100m로 조정되었다.

채집은 각 공동어장별로 2개 정점 또는 3개 정점을 선정하여 조사하였다.

第 3 節 結果 및 考察

1. 미생물

가. 總細菌數 및 細菌生體量

1994년 11월 중 동해중부의 총세균수 및 세균생체량의 수평분포는 Fig. IV-3 ~ Fig. IV-12와 같다. 표층수에서의 총세균수는 $56.7 \sim 302 \times 10^6$ cells/l(평균 149×10^6 cells/l)로 비교적 고른 분포를 보였으나 남쪽에 해당하는 01 line에서 상대적으로 낮은 분포를 보였다. 30 m 수층의 분포는 $71.3 \sim 206 \times 10^6$ cells/l(평균 124×10^6 cells/l)였으며 01 line과 02 line의 육지에서 먼 쪽에서 비교적 낮은 분포를 보였으나 표층에서와 마찬가지로 비교적 고른 분포를 보였다. 100 m 수층에서는 $23.6 \sim 169 \times 10^6$ cells/l(평균 85.6×10^6 cells/l)의 분포로 04 line과 02, 03 line의 육상에 가까운 쪽에서 상대적으로 높은 분포를 보였으며 상대적으로 정점간의 편차가 크게 나타났다. 500 m 수층의 분포는 $10.3 \sim 1960 \times 10^6$ cells/l(평균 133×10^6 cells/l)로 매우 높게 나타났으나 이례적으로 높은 값을 보인 0207에서의 값(1960×10^6 cells/l)을 제외하면 평균 43.7×10^6 cells/l 로 100 m 수층의 절반수준의 분포를 보였으며 500m 보다 수심이 낮은 0212(280 m), 0303(400 m)의 두 정점에서 상대적으로 높은 분포를 보였다. 0207 정점의 높은 세균수는 500 m 부근 수심에서 갑작스런 세균수의 급증현상을 일으킬 어떤 요인이 있었던 것으로 보인다. 저층수에서의 총세균수는 $15.8 \sim 71.9 \times 10^6$ cells/l(평균 39.7×10^6 cells/l)로 울릉도의 아래위쪽인 0208, 0408 정점과 0105, 0401 정점에서 상대적으로 높은 분포를 보였으나 전체적으로는 표층의 27 % 수준의 낮은 분포를 보였다. 수심에 따른 분포를 보면 표층에서 수심 100 m까지는 계속 감소하였으나 수심 500 m 이후에는 거의 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 수온이 30 m 이후 감소하기 시작하여 수심 100 m까지 급격히 감소하다가 수심 200 m 이후 비교적 일정한 분포를 보이는 것과 비교해 볼 때 총세균수도 수심 200 m 이후부터 일정하게 낮은 분포를 보일 것으로 추정된다. 탄소량으로 표시한 細菌生體量은 $0.2 \sim 26.45$ ug-C/l 로 總細菌數의 分布와 대동소이한 分布를 보였다.

동해중부의 總細菌數 分布는 92년 11월의 동해 남서부 및 대한해협과 비교해 볼 때 표층과 30 m 수층에서는 비교적 유사한 범위를 보였으나 저층에서는 1/3 수준의 낮은 분포를 보였다(곽 등, 1994). 이와같은 결과는 동해중부의 경우 동해 남서부에 비해 수심이 깊어짐에 따라 저층의 세균분포가 낮아진 데 그 원인이 있

는 것으로 사료된다. 또한 미국동부(Ferguson and Palumbo, 1979; Palumbo and Ferguson, 1978; Wright, 1978; Wilson and Stevenson, 1980), 영국(Goulder, 1977), 북해(Saltzman, 1980), 발틱해(Zimmermann, 1977)의 coastal과 estuarine 해역의 총細菌數에 비해 낮은 分布를 보이고 있으나 북부 중앙 태평양해역(Carlucci and Williams, 1978)의 총細菌數에 비해서는 높으며 남부 캘리포니아 외해(Fuhrman et al., 1980), Sargasso Sea(Johnson and Sieburth, 1979; Liebezeit et al., 1980), 북서 대서양 대륙붕(Ferguson and Palumbo, 1979)의 외해역과 유사한 범위를 나타내고 있다.

나. Colony 生成細菌數

수심에 따른 종속영양세균수의 분포는 Fig. IV-13 ~ Fig. IV-17 과 같다. 표층, 30 m 수층, 100 m 수층, 500 m 수층, 저층수에서의 분포는 각각 45 ~ 756 (평균 276) $\times 10^3$ CFU/l, 40 ~ 372(평균 124) $\times 10^3$ CFU/l, 18 ~ 168(평균 67) $\times 10^3$ CFU/l, 4 ~ 176(평균 45) $\times 10^3$ CFU/l, 10 ~ 102(평균 38) $\times 10^3$ CFU/l의 분포를 보였으며 총세균수의 경우와 마찬가지로 수심이 깊어짐에 따라 점차 감소하는 경향을 보였다. 특히 총세균수에 비해 수심 100 m 까지의 감소가 두드러져 100 m 이후부터는 수심에 따른 차이가 두드러지지 않은 것으로 나타났다. 종속영양세균수의 분포가 유기물 농도에 직접적인 영향을 받아 민감하게 변화하는 것을 감안할 때 위와같은 결과는 생성된 유기물의 대부분이 수심 100 m 이내의 유평층에서 이용되고 저층으로 전달되는 양이 많지 않음을 시사한다. 종속영양세균수의 수평분포를 보면 수심에 관계없이 01 line 에서 낮은 분포를 보였으며 04 line의 중간부분에서 높은 분포를 보였다. 전체적인 분포의 경향은 총세균수와 유사한 경향을 보였다. 위와같은 Colony 生成細菌數의 分布는 92년 11월의 대한해협 부근(곽 등, 1993)에서의 분포와 비슷한 범주에 드는 것으로 나타났으며 군산부근 조간대(Lee et al, 1990)에 비해서는 낮고 경기만(강 등, 1990), 낙동강 하구생태계(안 등, 1991) 등에 비해서는 비슷하거나 낮은 分布를 보였다.

총細菌數에 대한 비율은 정점에 따라 0.001(정점 0207 수심 500m) ~ 0.38(정점 0408 표층) % 로 전 정점에서 1 % 미만의 낮은 비율을 보여 동해 중부는 유기물 오염도가 낮은 빈영양해역의 특성을 보였다. 수심에 따른 평균을 보면 표층, 30 m 수층, 100 m 수층, 500 m 수층, 저층에서 각각 0.174, 0.105, 0.091, 0.115, 0.103 % 로 상대적으로 높은 분포를 보인 표층을 제외하고 수심에 관계없이 유사한 비율을 보였다.

다. 細菌從屬營養活性

^{14}C -glucose의 전환율로 측정된 세균중속영양활성의 수심에 따른 분포는 Fig. IV-18 ~ Fig. IV-22와 같다. 표층에서의 전환율은 01 line에서 상대적으로 낮은 분포를 보였으며 02, 03 line의 육지에 가까운 정점과 울릉도 남북에서 높은 분포를 보였다. 30 m 수층에서도 01 line과 02, 03 line의 육지에서 먼 정점에서 낮은 전환율을 보였으며 0303을 비롯한 육지에 가까운 정점에서 비교적 높은 전환율을 보였다. 100 m 이후 수층에서는 전환율도 낮고 정점간의 차이도 크지 않은 것으로 나타났다. ^{14}C -glucose의 전환율의 수직분포를 보면 표층에서 0.031 ~ 0.448 (평균 0.173) %/h, 30 m 수층, 100 m 수층, 500 m 수층, 저층에서 각각 0.025 ~ 0.462(평균 0.194) %/h, 0.008 ~ 0.168(평균 0.040) %/h, 0.001 ~ 0.050(평균 0.017) %/h, 0.001 ~ 0.031(평균 0.012) %/h 의 분포를 보여 총세균수, 중속영양세균수의 분포와 유사한 경향을 보였으나 위 두 값과는 달리 수심 30 m 에서 표층에서보다 더 높은 전환율을 보여 30 m 수층에서의 세균활성이 표층에서보다 더 높은 것으로 나타났다. 92년 11월의 ^{14}C -glucose의 전환율과 비교해 보면 30 m 수층에서는 상대적으로 높은 전환율을 보였으나 표층과 저층에서의 전환율은 대한해협 주변해역(곽 등, 1993)에 비해 낮은 것으로 나타났으며 경기만의 팔미도 외해역(강 등, 1990)과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 한편 포집된 $^{14}\text{CO}_2$ 로 부터 계산된 세균의 호흡율은 표층, 30 m 수층, 100 m 수층, 500 m 수층, 저층수에서 각각 1.6, 2.0, 4.7, 9.1, 11.6 % 로 수심이 깊어짐에 따라 증가하는 것으로 나타나 중속영양활성과는 반대의 결과를 보였다. 이와같은 결과는 수심이 깊어짐에 따라 생존을 위한 에너지의 소모가 상대적으로 큰 비율을 차지하기 때문인 것으로 사료된다.

2. 식물 플랑크톤

조사기간중 출현한 식물플랑크톤 현존량분포는 층별, 해역별로 상당히 변화폭이 크게 나타났다. 표층의 경우를 보면 규조류는 3~381cells/ml(평균 72cells/ml)의 범위로 분포하고 있다. 해역별로는 (Fig. IV-23) 육지에 가까운 정점 0104와 0105를 중심으로 다른 해역에 비해 상당히 밀집되어 나타나는 경향을 보이고 있으며 그 외의 해역은 거의 비슷한 분포경향을 보인다. 특히 *Chaetoceros* sp., *Nitzschia* sp. *Eucampia zodiacus* 등이 다량 출현한 정점 0105가 가장 높은 값을 보이고 있다. 쌍편모조류의 경우는 (Fig. IV-24) 7~166cells/ml(평균 44cells/ml)의 분포로 역시 육지에 가까운 0203 정점을 중심으로 다른 해역에 비해 비교적 높은 값을 보이고 있다. 30 m층에서 규조류의 경우는 (Fig. IV-25) 5~423cells/ml(평균 48cells/ml)의 범위를 보이고 있으며 표층과 마찬가지로 0105 정점을 중심으로 다

른 해역에 비해 상당히 높은 분포를 보이고 있다. 또한 출현하는 종류들도 표층과 거의 유사한 종들로 구성되어 있다. 한편 쌍편모조류는 (Fig. IV-26) 7~58cells/ml (평균 29cells/ml) 해역별 분포에 있어 규조류와 마찬가지로 0105 정점을 중심으로 다소 높으나 다른 해역과의 차이가 그렇게 크지 않고 거의 비슷한 분포를 보여준다. 50 m층도 30 m층과 거의 유사한 분포를 보이고 있는데, 규조류의 경우는 6~662cells/ml(평균 158cells/ml) 이었으며 역시 30 m층처럼 정점 0105를 중심으로 다른 해역에 비해 상대적으로 높게 나타났다 (Fig. IV-27). 또한 출현종들도 30 m층과 비슷하여 *Nitzschia* sp.와 *Chaetoceros* sp.가 다량 출현하였다. 반면에 쌍편모조류는 4~40cells/ml(평균 35cells/ml)의 범위로 규조류에 비해 숫적으로 적었으며 해역별 분포도 육지쪽 정점들이 다소 높을 뿐 뚜렷한 차이를 보이지는 않고 있다 (Fig. IV-28).

한편 100 m층의 경우는 출현종수나 현존량에 있어서 상당히 감소된 경향을 보이는데 규조류는 (Fig. IV-29) 3~51cells/ml(평균 24cells/ml)의 분포를 육지쪽에 인접한 해역의 정점들과 외곽의 몇개 정점들에서 다소 높을 뿐 대체로 낮은 경향을 보인다. 쌍편모조류도 마찬가지로 매우 낮은 값인 4~15cells/ml(평균 10cells/ml)의 분포를 보이고 있으며 해역별 뚜렷한 분포특성은 거의 없는 양상이다 (Fig. IV-30). 500m수층으로 내려가서도 100m층과 그 분포양상이 크게 다르지 않음을 알 수가 있다. 규조류 경우는 6~62cells/ml(평균 23cells/ml)이 범위를 보이고 있으며 해역별로도 100m층과 마찬가지로 뚜렷한 특징을 보이고 있지는 않다 (fig. 31). 쌍편모조류 역시 매우 낮은 값을 보여 4~15cells/ml(평균 6cells/ml)이었으며 해역별로도 거의 모든 정점에서 비슷한 출현양상을 보이고 있다 (Fig. IV-32).

3. 동물플랑크톤

조사기간 중 출현한 동물플랑크톤은 foraminiferans, radiolarians, hydrozoans, chaetognaths, ostracods, copepods, amphipods, isopods, mysids, euphausiids, appendicularians, thaliacians와 기타 유생(larvae) 등으로 분류되었다 (Table IV-1).

동물플랑크톤의 출현량은 평균 251 개체/m³였으며, 전 해역에 걸쳐 출현량의 차이는 크게 보이지 않았다. copepodite를 포함한 요각류는 전체 동물플랑크톤의 64.0%를 차지하여 가장 우점하여 출현한 분류군 이었다 (Fig. IV-33).

요각류 중 copepodite가 대부분을 차지하였으며, *Oithona* sp.와 *Oncaea* sp.가 우점하여 출현하였다. foraminifera는 전체 동물플랑크톤의 12.9%를 차지하여 요각류

다음으로 우점하여 출현한 분류군으로서 조사해역의 북쪽의 외해에서 출현량이 매우 높았으나 우리나라의 연안역에서는 출현량이 매우 낮은 경향을 보였다. ostracods와 appendicularians의 출현율은 각각 8.2와 5.2%로 우점하여 출현한 분류군이었다. ostracods는 전 해역에서 출현량이 비슷하였으나 우리나라 연안역에서 출현량이 다소 낮았으며 appendicularians는 조사해역의 남쪽에서 출현량이 다소 낮은 경향을 보였다. chaetognaths 는 전 정점에서 출현하였으나 매우 낮은 출현량을 보였다 (Fig. IV-34).

4. 어란 및 치자어

본 조사에서 출현한 어류는 어란 1종, 치자어 11목 32과 39속 43종으로 총 43종이었다. 이 중에서 어란은 엘통이(*Maurolicus muelleri*) 한종만이 동정되었고, 이 종의 어란은 전체 어란 출현량의 99%를 차지하였다. 그리고 본 조사에서 출현한 치자어 중 우점종은 엘통이 치자어로 전체 출현량의 58.7%였고, 멸치(*Engraulis japonicus*) 27.9%, 돛양태류(Callionymidae spp.) 1.8%, 망둑어류(Gobiidae spp.) 1.6%, *Benthosema pterotum* 1.5%였으며 위 4종 이외의 치자어는 모두 1.0% 미만이었다.

부유성 어란은 2개 정점을 제외한 22개 정점에서 26~9,980 (평균 1,377) ind./10m² 출현하였다. 부유성 어란은 주로 동해안과 울릉도 서부해역사이 그리고 울릉도의 남부해역에 주로 분포하였다 (Fig. IV-35).

치자어는 모든 조사 정점에서 10~2,840 개체/10m² 출현하였으며 정점별 분포양상은 Fig. IV-37과 같다. 치자어는 본 조사에서 정점에 따른 뚜렷한 분포양상은 나타나지 않았으나 울릉도를 중심으로 그 이남에서 비교적 출현량이 높은 것으로 나타났다.

주요 우점종인 엘통이(*Maurolicus muelleri*) 어란과 치자어 그리고 멸치(*Engraulis japonicus*) 치자어의 분포 양상은 Fig. IV-36, IV-38, IV-39와 같다. 먼저 엘통이(*Maurolicus muelleri*) 어란은 2개 정점을 제외한 22개 정점에서 26~9,980 (평균 1,377) ind./10m² 출현하였다. 엘통이 어란은 주로 동해안과 울릉도 서부해역사이 그리고 울릉도의 남부해역에 주로 분포하였다. 엘통이 치자어는 2개 정점을 제외한 22개 정점에서 8~2,098 개체/10m² 출현하였다. 엘통이 치자어는 어란의 분포양상과는 달리 울릉도의 남서부 및 동부해역에서 출현량이 높게 나타났으나 동해연안과 울릉도 북부해역에서는 출현량이 비교적 낮았다. 멸치(*Engraulis japonicus*) 치자어는 12개 정점에서 9~2,468 개체/10m² 출현하였다. 정점 0109에서 멸치 치자어의 출현량이 가장 높았으나 멸치 치자어는 울릉도의 서부

및 서남부 해역에 주로 분포하였다 (Fig. IV-39).

5. 연안자원생물

가. 환경특성

수온 : 1994년 9월의 표층 수온은 23.4~25.5 °C였으며 평균 수온은 24.6(±0.8) °C였다. 수온은 조사해역의 남쪽에 위치한 정점 7, 8, 9에서 비교적 낮았지만 전체적으로는 균일하게 분포하는 것으로 나타났다. 1994년 11월의 수온은 10.8~13.7 °C였으며 평균 수온은 12.4(±0.8) °C였다. 수온은 정점 7에서 가장 낮았지만 비교적 9월과 같이 비슷한 것으로 나타났다 (Fig. IV-40).

염분 : 1994년 9월의 표층 염분은 31.0~32.2 ‰였으며 평균 염분은 31.8(stds 0.4)‰였다. 염분은 정점 3에서 낮게 나타났지만 수온(1994년 9월)과 같이 전체적으로 균일하게 분포하는 것으로 나타났다. 1994년 11월의 표층 염분은 33.1~33.8 ‰였으며 평균 염분은 33.3(±0.2) ‰였다. 그리고 표층의 염분은 정점 5에서 비교적 높았지만 수온(1994년 11월)과 같이 전체적으로 균일하게 나타났다 (Fig. IV-40).

용존산소 : 1994년 9월의 표층 용존산소는 7.5~8.8 mg/l였으며 평균 7.9(±0.3) mg/l였다. 용존 산소는 정점 8에서 비교적 높게 나타났지만 전체적으로 균일하게 분포하였다. 1994년 11월의 표층 용존산소는 5.4~8.4 mg/l였으며 평균 7.2(±1.2)mg/l였다. 1994년 11월의 용존산소는 정점 1과 6에서 매우 낮게 나타났지만 이 두 정점 이외의 정점에서는 비교적 균일하게 나타났다 (Fig. IV-40).

나. 자원생물의 종구성

26개의 어촌계를 대상으로 유용생물의 이용현황 파악을 위한 조사에서 상업적으로 어획되는 유용생물은 어류 15 분류군, 연체동물 2 분류군, 척삭동물 1 분류군, 극피동물 2 분류군, 해조류 4분류군 등 총 31 분류군이 있다. 각 어촌계에서 어획하는 유용생물의 종류 수는 적게는 1개 분류군에서 많게는 12 개 분류군으로 평균 8개 분류군이 었다(Table IV-2). 이 들 유용생물 중 가장 많은 어촌계에서 어획하는 종은 보라성게(*Anthocidarias crassipina*)로 모든 어촌계에서 어획을 하고 있다. 그 다음으로 많이 어획되는 종류는 가자미류(*Pleuronectidae*)(19개 어촌계), 해삼(*Sichopus japonicus*)(18개 어촌계), 전복(*Haliotis discus*)과 넙치(*Paralichthys olivaceus*)(15개 어촌계), 명주조개(*Mactra antiquata*), 북방대합(*Spisula bernarida*) 그리고 미역(*Undaria pinnatifida*)(14개 어촌계) 등이 있다. 이

들 유용생물 중에는 전복(*Haliotis discus*)과 큰가리비(*Patinopecten yessoensis*)는 양식이 되고 있다. 특히 다시마는 전복의 먹이로 이용되기 때문에 전복을 양식하는 어촌계의 경우 다시마는 상업적으로 어획하지 않았다.

본 조사에서 대부분의 유용생물은 연안의 공동어장에서 어획되고 있다. 이들 유용생물은 공동어장의 해저면 기질에 따라 어획되는 대상 생물의 종류가 매우 다르다. 해저 면이 모래 질인 공동어장의 경우 어획되는 유용생물의 종류에는 명주조개, 대복, 북방조개, 가자미, 넙치, 큰가리비 등이 있고, 암반으로 구성된 곳에서는 미역, 다시마, 전복, 보라성게 등이 있다.

보라성게(*Anthocidarias crassipina*)는 가장 많은 26개 어촌계에서 어획하고 있으며 (Table IV-2), 이 종은 대부분 육지의 암반이 있는 곳, 해저면에 암초지대 그리고 해저면 기질이 암석으로 구성된 섬 주위에서 어획되고 있다.

가자미류(Pleuronectidae)는 19개 어촌계에서 상업적으로 어획되고 있으며 (Table IV-2), 이 분류군은 보라성게, 전복 등이 어획되는 곳과 달리 해저면이 모래로 구성된 곳에서 어획되고 있다. 이 분류군은 돌가자미(*Kareius bicoloratus*), 참가자미(*Limanda herzensteini*)를 비롯한 일반적 가자미류의 미성어로서 이들은 종 구분없이 어민들에 의해 일명 '새꼬시'라는 이름으로 판매되고 있다. 이에 관한 구체적 조사는 2차년도에 실시할 예정이다.

그리고 본 조사에서 출현한 어류의 종류는 상업적으로 어획되는 종을 포함하여 청어(*Clupe pallasii*), 대구(*Gadus macrocephalus*), 명태(*Theragra chalcogramma*), 숭어(*Mugil* sp.), 피도라치(*Chirolophis japonicus*), 양미리(*Hypoptychus dybowskii*), *Sebastes flammeus*, 누루시불낙(*S. vulpes*), *S. minor*, *S. steindachneri*, 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 임연수어(*Pleurogrammus azonus*), 빨간횃대(*Alcichthys alcicornis*), 동갈횃대(*Hemilepidotus gilberti*), 날개줄고기(*Podothecus sachi*), 뚝지(*Aptocylus ventricosus*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 돌가자미(*Kareius bicoloratus*), 층거리가자미(*Limanda puctatissima*), 참가자미(*Limanda herzensteini*), 가자미류(*Limanda* sp.), 복어(*Takifugu* sp.) 등 22종의 어류가 확인되었다.

다. 어란 및 치자어

본 조사에서 채집된 어란과 치자어는 모두 6개 분류군으로 어란은 멸치(*Engraulis japonicus*), 돛양태류(Callionymidae), 엘통이(*Maurolicus muelleri*), 그리고 미동정 어란의 4개 분류군이 출현하였다. 치자어는 멸치, *Scartella cristata*, 돛양태류(Callionymidae), 망둑어류(Gobiidae), 피도라치류(*Chilolophis saitone*)로 모두 5개 분류군이 출현하였다. 그리고 본 조사에서 가장 우점한 어란은 멸치 어

란으로 전체 출현량의 99.1%였다. 그리고 치자어 중에서 가장 우점한 종은 어란과 같이 멸치 치자어로 전체 출현량의 98.4%였다.

어란의 출현량 분포는 Fig. IV-41과 같다. 9월에 어란은 9개의 모든 조사 정점에서 출현하였다. 어란의 출현량 범위는 7 ~ 80,789 ind./1,000m³ (평균 14,171 ± 25,802)였다. 어란은 정점 5에서 출현량이 가장 낮았고, 정점 3, 4, 8에서 높았으나 정점에 따른 뚜렷한 출현 경향은 나타나지 않았다. 11월에 어란은 2개 정점에서 출현하였으며 정점 4와 5의 출현량은 각각 203, 880 ind./1,000m³였다.

치자어의 출현량 분포는 Fig. IV-41과 같다. 9월에 치자어는 정점 5를 제외한 8개 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 21 ~ 2,830 ind./1,000m³(평균 911 ± 992)였다. 치자어는 정점 3, 4, 7의 3개 정점에서 비교적 높게 출현하였다. 그리고 11월에 치자어는 2개 정점에서 출현하였으며 정점 1과 5의 출현량은 각각 7, 59 ind./1,000m³였다.

본 조사에서 출현량이 가장 높은 종은 멸치의 어란과 치자어로 이 종은 9월에만 출현하였으며 이들의 분포양상은 Fig. IV-42와 같다. 먼저 어란은 정점 5를 제외한 8개 정점에서 153 ~ 80,787 ind./1,000m³(평균 14,171 ± 25,802) 출현하였다. 어란은 정점 3, 4, 8의 3개 정점에서 비교적 높게 출현하였을 뿐 정점에 따른 뚜렷한 분포경향은 나타나지 않았다. 치자어는 어란과 같이 정점 5를 제외한 8개 정점에서 16 ~ 2,824 ind./1,000m³(평균 904 ± 991) 출현하였다. 치자어는 정점 3, 4, 7에서 비교적 높게 나타나 어란의 분포양상과 비슷하였다.

라. 유용 패류의 생물량 조사

반암리 연안 해역 : 2개 정점에서 형망으로 각각 200m씩 인망하였다. 대략 5m을 경계로 이보다 얇은 연안역은 대복이 분포하고 수심이 5m이상인 곳에는 명주조개가 주로 분포하였다. 명주조개와 대복은 서식지역과 서식깊이가 서로 다르다. 반암리에서는 주로 대복을 채취하고 있어서 더 깊이 파고 들어가 서식하는 명주조개는 형망의 갈구리가 짧아서(약 10cm정도) 명주조개의 패각이 깨진 것들이 많이 보였다. 온전한 개체를 채집하기 위해서는 적어도 20cm정도의 갈구리를 가진 형망을 사용하여야함을 알 수 있었다. 채집당시의 해수온은 6.4℃였다.

두 개 정점에서 채집된 총 생물량은 각각 25kg이었고 평균 생물량은 147g/m² 이었다 (Fig. IV-43).

공현진리 연안 해역 : 공현진리에서는 3개 정점을 선정하여 각 정점별로 약 100m정도의 거리를 끌었다. 인망한 위치의 수심은 대략 4~7m깊이였다.

정점 1은 수심이 4m였고, 채집된 패류로는 대복이 312개체, 명주조개가 159개체, 북방대합이 8개체가 출현하였다. 정점 2와 3은 수심이 7m로서 주로 명주조

개가 채집되었다. 정점 2에서는 명주조개가 187개체, 정점 3에서는 명주조개가 267개체, 북방대합이 23개체가 출현하였다. 대복의 서식밀도는 $3.7\text{개체}/\text{m}^2$ 였고, 명주조개의 평균 서식밀도는 $2.4\text{개체}/\text{m}^2$ 였다. 북방대합의 서식밀도는 $0.2\text{개체}/\text{m}^2$ 였다.

문암리 연안 해역 : 문암리에서는 1개 정점에서 2개의 채집기를 동시에 사용하여 조사가 수행되었다. 인양거리는 50m였고 인양수심은 5m였다. 채집된 패류로는 명주조개가 각각 220개체, 140개체였고, 대복은 각각 60개체와 35개체였다. 명주조개의 평균 서식밀도는 $4.2\text{개체}/\text{m}^2$ 였고, 대복은 $1.1\text{개체}/\text{m}^2$ 였다.

장사동 연안 해역 : 장사동 연안은 명주조개만 채집되었으며 3지역에서 200m씩 인망하였다. 대복은 수심이 얇은 곳에 분포하고 있어서 일기불순으로 인하여 연안채집이 어려웠다. 각 정점별로 채집된 명주조개의 생물량은 각각 16kg, 18kg, 19kg 이었고, 개체수는 각각 547개체, 616개체, 650개체였다. 전체적으로 대복은 55개체에 불과하여 패류간의 서식분포가 뚜렷이 구분됨을 보였다. 명주조개의 평균 서식밀도는 $3.6\text{개체}/\text{m}^2$ 였고, 평균 생물량은 $103.9\text{g}/\text{m}^2$ 였다.

기사문리 연안 해역 : 기사문리 어촌계의 공동어장에서는 2개 지역에서 조사되었다. 주로 대복이 서식하는 수심 5m 부근에서 200m 인망되었으며, 대복의 총 생물량은 각각 34kg과 18kg이었다. 명주조개는 각각 7kg과 1kg에 불과할 정도였고, 개체수로 각각 62개체와 74개체였다. 대복의 평균 생물량은 $152.9\text{g}/\text{m}^2$ 였고, 명주조개는 $23.5\text{g}/\text{m}^2$ 였다.

그리고 위의 3종의 전반적인 패류의 분포는 강원도(1990)의 자료와 본 연구자료를 종합하여 재구성한 자료로서 Fig. IV-44와 같이 대복은 수심 10m 이하의 낮은 수심에 분포하고 있고, 북방대합은 수심 20m 부근에 주로 분포하고 있다. 그리고 명주조개는 수심 10-20m 사이에 주로 분포하고 있다.

參 考 文 獻

- 강원도. 1990. 강원연안주요패류자원분포조사보고서. 강원도 보고서. 강원도. p.175
- 강찬수, 이기승, 김명운, 권개경, 김용학, 박성주, 이건형, 김상중. 1990. 경기만의
중속여양세균군집의 분포 및 활성. 한국미생물학회지. 28:324-330.
- 곽희상 등. 1992. 한국해역 종합해양자원도 작성연구 -대한해협(1차년도)- 한국해
양연구소 보고서, BSPG 00159-463-3.
- 곽희상 등. 1993. 한국해역 종합해양자원도 작성연구 -대한해협(2차년도)- 한국해
양연구소 보고서, BSPG 00185-601-3.
- 곽희상 등. 1994. 한국해역 종합해양자원도 작성연구 -대한해협(3차년도)- 한국해
양연구소 보고서, BSPN 00227-733-3.
- 김종만, 유재명, 명정구, 임주열. 1986. 한국연근해 어란 치자어도감. 해양연구소
BSPE 00060-98-3. 369p.
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사. 서울. 727p.
- 안태영, 조기성, 하영칠. 1991. 낙동강 하구의 세균분포와 활성에 미치는 환경요인.
한국미생물학회지. 29:329-338.
- 이택열, 김용익, 진평, 강용주. 1981. 한국 연근해 어란 치자도감. 부산수대 해양연
구소. 109p.
- Carlucci, A. F. and P. M. Williams. 1978. Simulated *in situ* growth rates of
pelagic marine bacteria. *Naturwissenschaften*. 65:531-542.
- Cho, B. C., J. K. Choi, C. S. Chung and G. H. Hong. 1994. Uncoupling of
bacteria and phytoplankton during a spring diatom bloom in the mouth
of the Yellow Sea. *Mar. Biol.* 115:181-190.
- Ferguson, R. L., and A. V. Palumbo. 1979. Distribution of suspended bacteria
in neritic waters south of Long Island during stratified conditions.
Limnol. Oceanogr. 24:697-705.
- Fry, J.C. 1988. Determination of biomass. pp. 27~72. *In* B. Austin (ed.).
Methods in aquatic bacteriology. John Willey & Sons, Chichester.
- Fuhrman, J. A., J. W. Ammerman and F. Azam. 1980. Bacterioplankton in
the coastal euphotic zone: distribution, activity and possible relationships
with phytoplankton. *Mar. Biol.* 60:201-207.

- Gocke, K., G. Rheinheimer. 1982. Hydrographische Einflüsse auf Bakterienverteilung und bakterielle Aktivität in einer eutrophierten Ostseeförde. *Botanica Marina*. 25:7-17.
- Goulder, R. 1977. Attached and free bacteria in an estuary with abundant suspended solids. *J. Appl. Bacteriol.* 43:399-405.
- Johnson, P. W. and J. McN. Sieburth. 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Oceanogr.* 24:928-935.
- Kogure, K., R. Koike. 1987. Particle count determination of bacterial biomass in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:274-277.
- Lee, G.-H., S.-J. Kim, W.-H. Lee and D.-M. Lee. 1990. Seasonal distribution and characteristics of heterotrophic marine bacteria in the intertidal zone near Kunsan of Yellow Sea, Korea. *Kor. Jour. Microbiol.* 28: 331-336.
- Leis, J. M., Trnski, T. 1989. The larvae of Indo~Pacific shorefishes. New South Wales Univ. Press in association with The Australian Museum. 371p.
- Liebezeit, G., M. Bölter, I. F. Brown, and R. Dawson. 1980. Dissolved free amino acids and carbohydrates at pycnocline boundaries in the Sargasso Sea and related microbial activity. *Oceanol. Acta.* 3:357-362.
- Masuda, H., Amaoka, K., Araga, C., Uyeno, T., and Yoshino, T. 1984. Tokai University Press. p.437 + pl.370
- Moser, H. G., W. S. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall, Jr., and S. L. Richardson. 1984. Ontogeny and systematics of fishes. The American Society of Ichthyologists and Herpetologists. 760p.
- Nakabo, T. 1993. Fishes of Japan with Pictorial Keys to The Species. Tokai University Press. p.1474
- Okiyama, M. 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai University Press. 1154p.
- Palumbo, A. V. and R. L. Ferguson. 1978. Distribution of suspended bacteria in the Newport River estuary, North Carolina. *Est. Coast. Mar. Sci.* 7:521-529.
- Rheinheimer, G. 1980. Aquatic microbiology. 2nd ed. pp. 65-92. John Wiley & Sons.

- Russell, F. S. 1976. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. Academic Press. London. 534p.
- Saltzman, H. A.. 1980. Untersuchungen über die Veränderungen der Mikroflora beim Durchgang von Brackwasser durch die Kuhlanlagen von Kraftwerken, Ph. D. Thesis, University of Kiel, F. R. G.
- UNESCO. 1979. Zooplankton sampling. UNESCO press, 3rd Ed. Paris, p.174.
- Wilson, C. A. and L. H. Stevenson. 1980. The dynamics of the bacterial population associated with a salt marsh. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 48:123-138.
- Zimmerman, R. 1977. Estimation of bacterial number and biomass by epifluorescence microscopy and scanning electron microscopy pp. 103~120. *In* G. Rheinheimer (ed.). Microbial ecology of a brackish water environment, Springer-Verlag, Berlin.

Table IV-1. Abundances of zooplankton at each station in November, 1994

(unit: indiv./m³)

Taxon \ Station	0105	0107	0108	0109	0111	0203	0205	0207	0208	0210	0212	0303	0305	0307	0308	0309	0311	0401	0403	0405	0407	0408	0410	0412	MEAN	
Foraminiferans	3	8	20	7	14	1	2	35	5	16	58		1	2	22	5	4			50	3	110	405	6	32	
Radiolarians	1	*		2	3			4	*	2	3	1			1		2	1	4				3	2	1	
Hydrozoans	2	1	2	2	3	35	1	3	2	5	2	6	2	2	2	*	2	3	*	2	6	3	2	4		
Ctenophorans																				*					*	
Chaetognaths	5	3	2	1	8	2	1	9	3	8	30	7	1	1	3	3	3	1	3	1	1	1	1	2	6	4
Ostracods	46	12	24	17	20	7	28	26	48	18	6	3	16	33	24	17	38	5	33	10	7	9	29	15	20	
Copepods	137	69	102	173	99	359	48	257	129	162	363	245	54	142	171	108	117	118	143	226	152	230	140	113	161	
Amphipods	1	1	1	*	3	13	1	2	*	1	2	3	1	1	5	3	2	1	6	2	3	5	4	3	3	
Isopods																				*					*	
Mysids				*				*						*			*			*					*	
Euphausiids	*	*	*	*	1			2	*	1		3	*	2	1	2	1	1	1	1	*	1	*	*	1	
Pteropods	1			1	*			2	*	2		1			1										*	
Heteropods				*						1						1									*	
Appendicularians	9	6	4	17	4		4	45	17	30	42	16	*	8	12	6	3	1	17	33	14	12	11	4	13	
Thaliacias	1	*					1	5	3	1	2	1	*	*	1						1				1	
polychaets larvae	3	1		1	*		*	2	*	2		1	2	*	*			1	4		7	2	3	2	4	
mollusc larvae	2	1	1	5	1	3	1	27	2	10	5			5	2	2	3			2	3	2	4	1	4	
megalops larvae				*																					*	
echinoderm larvae	1	2	1	3	1		1	2	3	4			2	*	*		1		2	*	1	*	*	1	1	
copepods nauplii	4	4	*	3			2	14	1	14		1					1	1	7	4	3	*	*	2	2	
Zoea																									*	
calyptopis	8			2			1	2	*	6		1		2	1		1	5	5	6		1	1	2	2	
mysis	2	*		1	1		*				4			2	1	3		*	*	*		*	*	1	1	
fish eggs				*			4	1			*			*			*		*	*		*	*	*	*	
fish larvae	*			1			*	*			*			*			3			*				*	*	
Total abundance	225	109	157	236	156	427	91	438	213	283	513	294	79	200	245	152	174	133	238	334	196	376	602	152	251	

* : > 1 indiv./m³, Copepods: added to copepodite

Table IV-2. The commercial animal and seaweeds collected by fishermen in coastal ground of the study area

Species \ Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Total	
Fish																												
Pleuronectidae																												
<i>Paralichthys olivaceus</i>	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	19
<i>Hexagrammos</i> spp.																												15
<i>Gadus macrocephalus</i>																												1
<i>Pleuronichthys cornutus</i>					*	*	*																					2
<i>Arctoscopus japonicus</i>																*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		2
<i>Eumicrotremus orbis</i>																												2
<i>Engraulis japonicus</i>																												1
<i>Theragra chalcogramma</i>																												3
<i>Mugil</i> spp.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
<i>Hypoptichus dybowskii</i>																												3
<i>Sebastes</i> spp.																												2
<i>Pleurogrammus azonus</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5
Monacanthidae																												1
<i>Clupea pallasii</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3
Mollusca																												
<i>Ratinopecten yessoensis</i>																												11
<i>Gomphia equilatera</i>																												5
<i>Spisula bernardina</i>																												14
<i>Nacra antiqua</i>																												14
<i>Umbonium costatum</i>																												1
<i>Hyaliotis discus</i>																												1
<i>Mytilus coruscus</i>								*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	15
<i>Octopus</i> spp.																												4
<i>Todarodes pacificus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	11
Urochordata																												
<i>Halocynthia roretzi</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Echinozoa																												
<i>Anthodidarias crassipina</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	26
<i>Sichopus japonicus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	18
Seaweeds																												
<i>Laminaria japonica</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8
<i>Porphyra</i> sp.									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
<i>Lindaria pinnatifida</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	14
<i>Gelidium amansii</i>									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Total	6	9	12	6	12	11	8	5	8	9	9	9	11	10	8	9	12	10	11	10	9	8	3	3	1	6	31	

1 : Chojin-ri 2 : Taejin-ri 3 : Kojin-ri 4 : Panam-ri 5 : Konghyonjin-ri 6 : Oho-ri 7 : Song-am-ri 8 : Munam-ri
 9 : Ayajin-ri 10 : Ch'onggan-ri 11 : Ch'onjin-ri 12 : Pongpo'o-ri 13 : Changsa-dong 14 : Taep'o-dong 15 : Mulch'i-ri
 16 : Chonjin-ri 17 : Tongho-ri 18 : Kisanun-ri 19 : Tongsan 20 : In-gu-ri 21 : Kwangjin-ri 22 : Namae-ri
 23 : Sodol 24 : O-gu 25 : Chumunjin-up 26 : Yongjin-ri

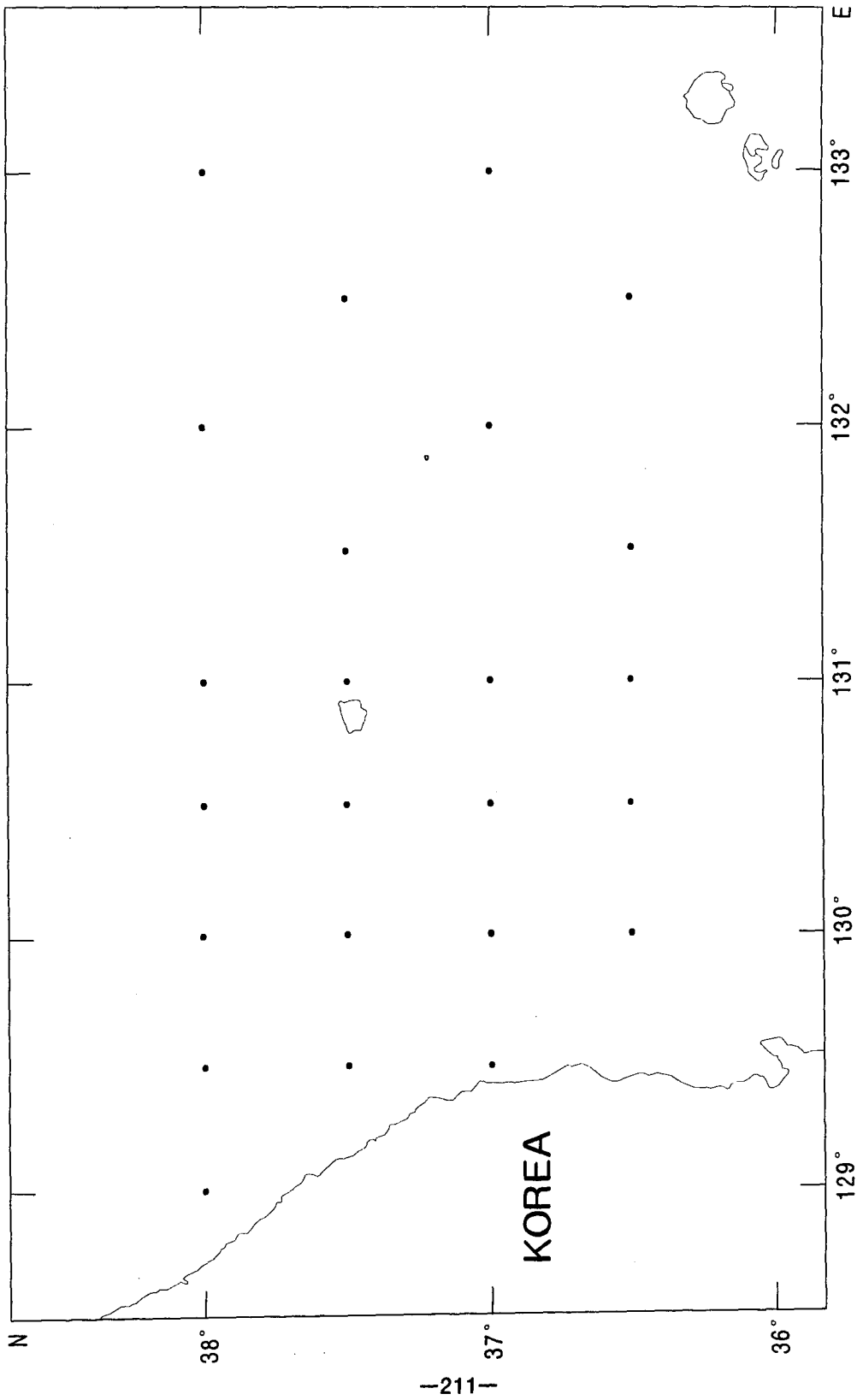


Fig. IV-1. Map showing the sampling stations of the East Sea in November, 1994

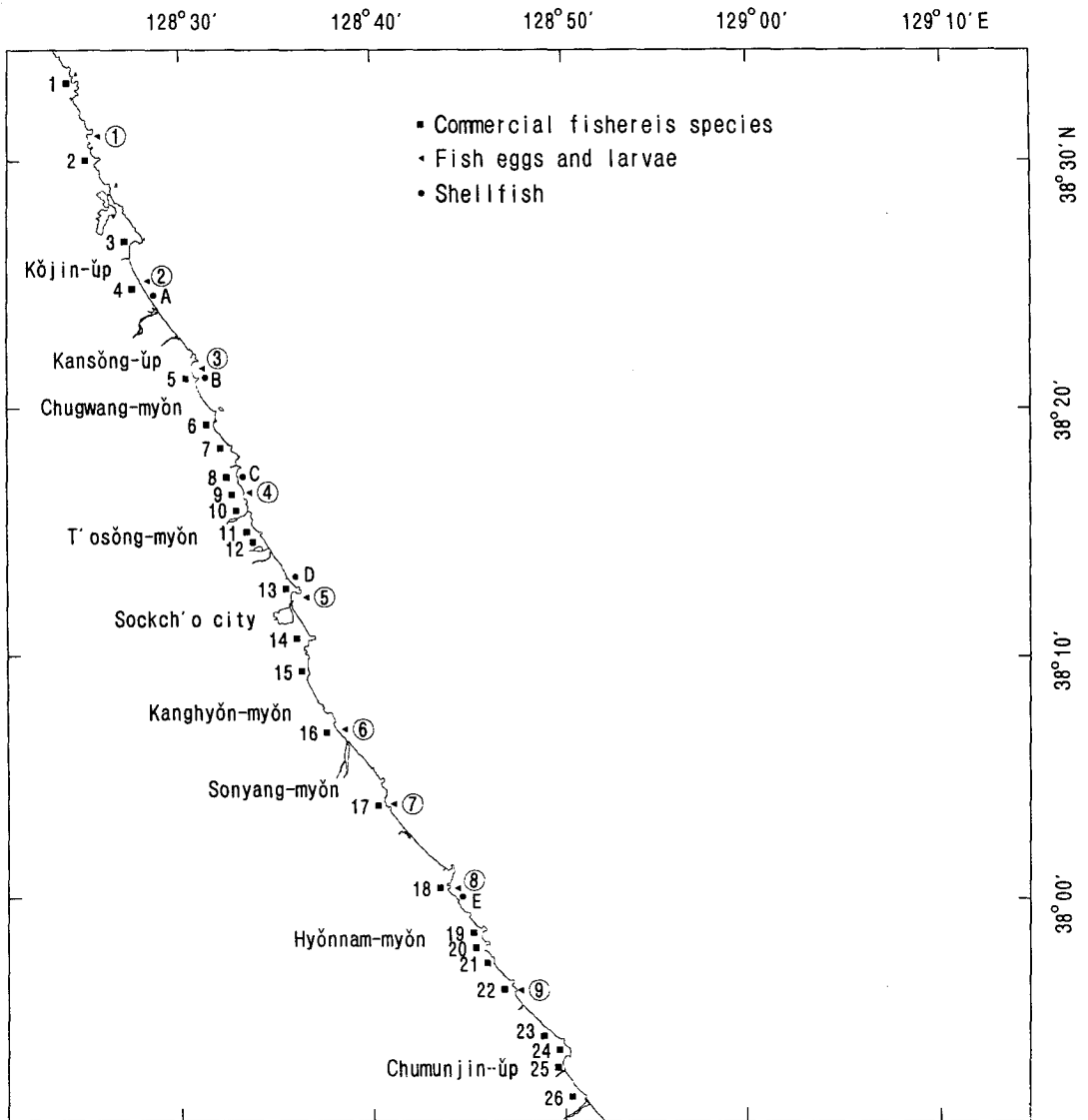


Fig. IV-2. Map showing the sampling stations of coastal area

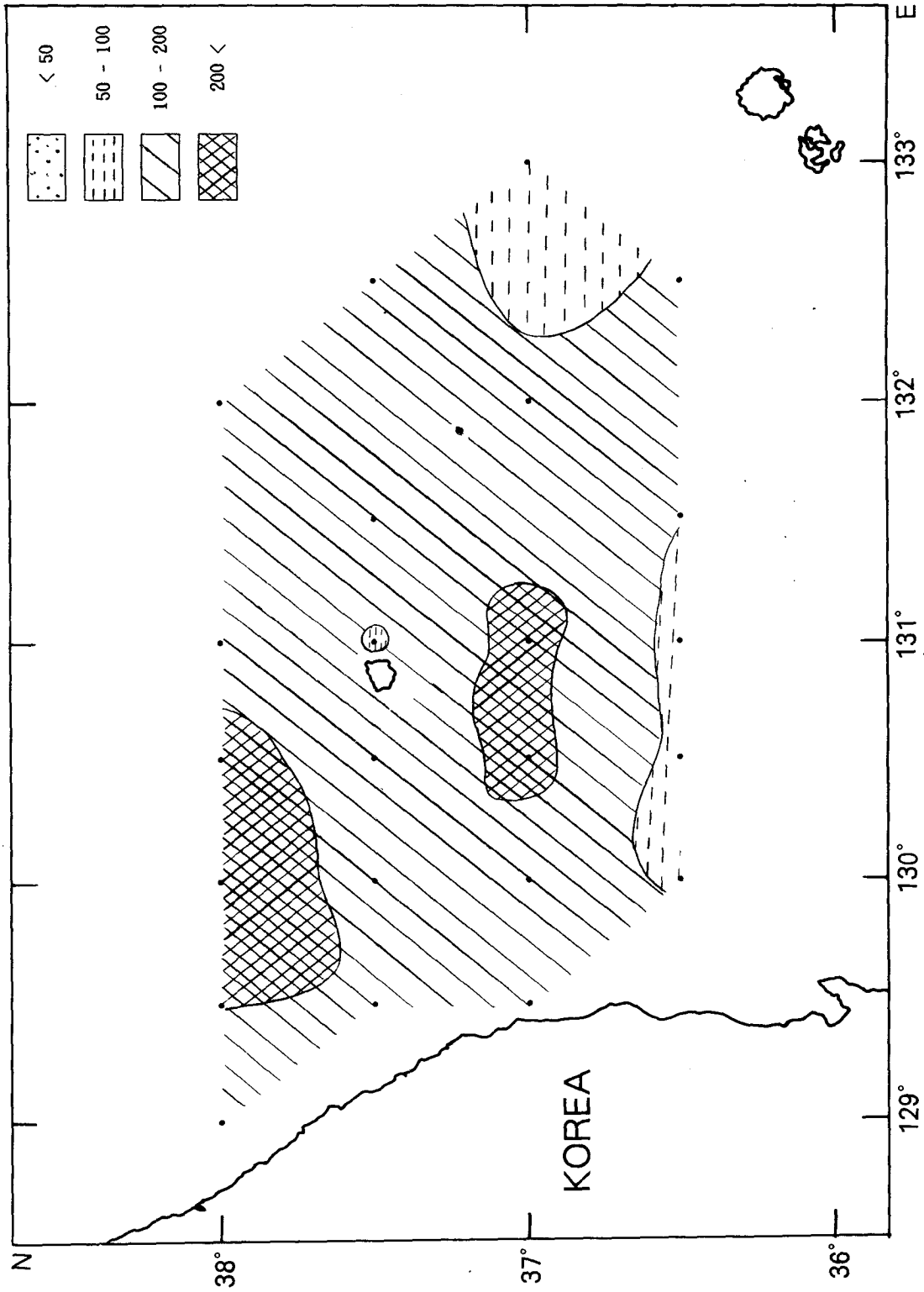


Fig. IV-3. Horizontal distribution of total bacterial number ($\times 10^6$ cells/l) at the surface water layer of the East Sea in November, 1994

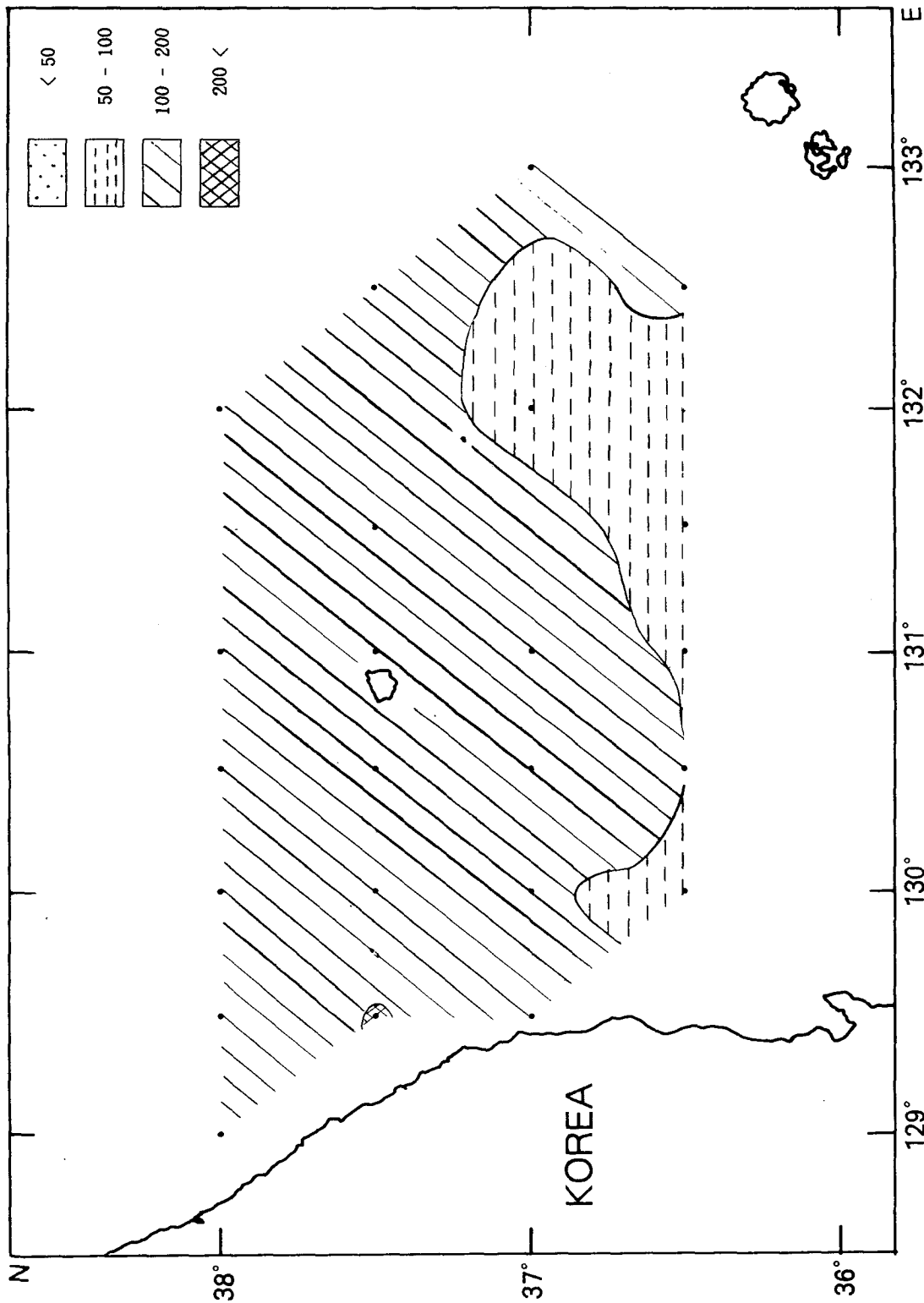


Fig. IV-4. Horizontal distribution of total bacterial number ($\times 10^6$ cells/l) at the depth of 30m water layer of the East Sea in November, 1994

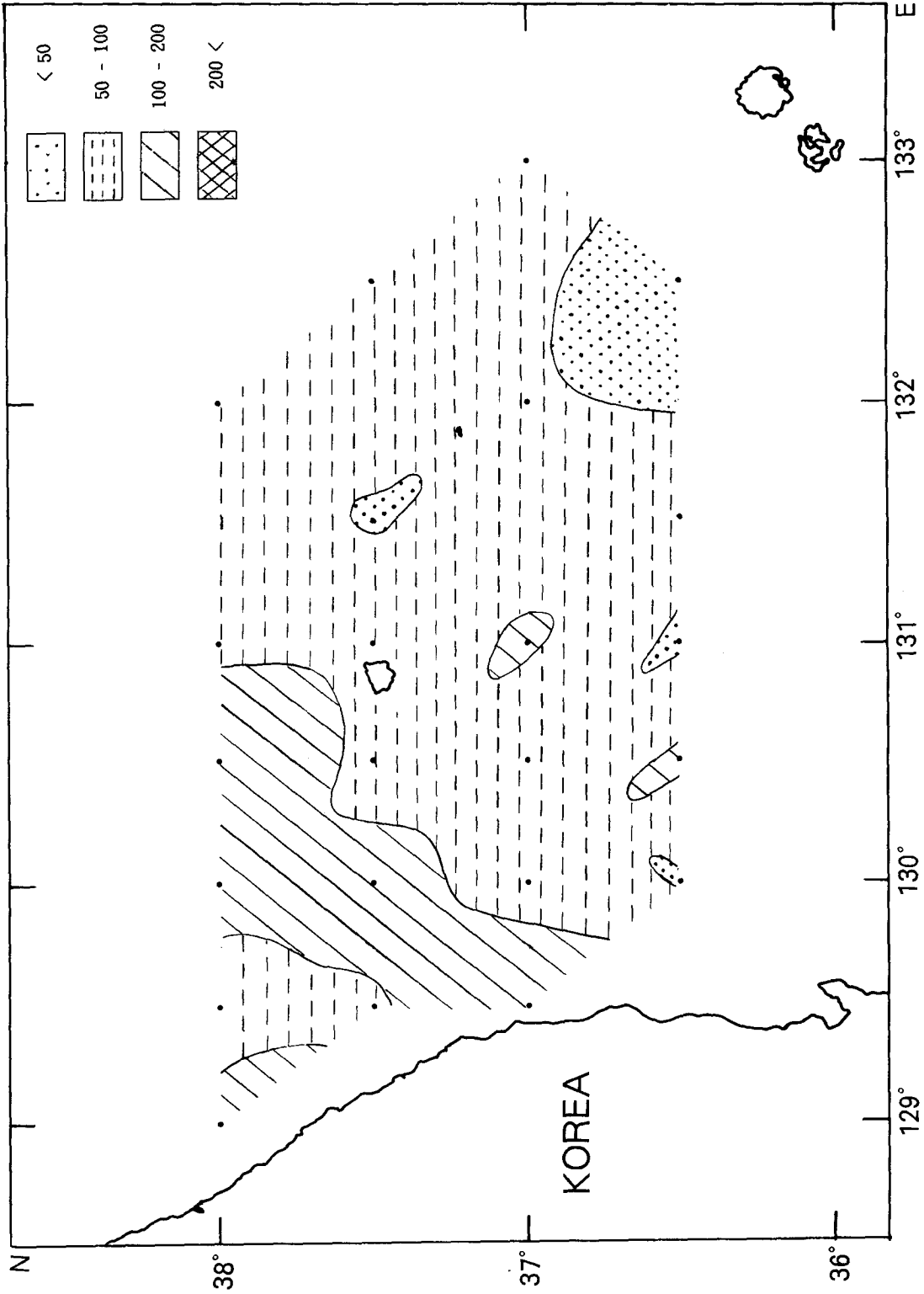


Fig. IV-5. Horizontal distribution of total bacterial number ($\times 10^6$ cells/l) at the depth of 100m water layer of the East Sea in November, 1994

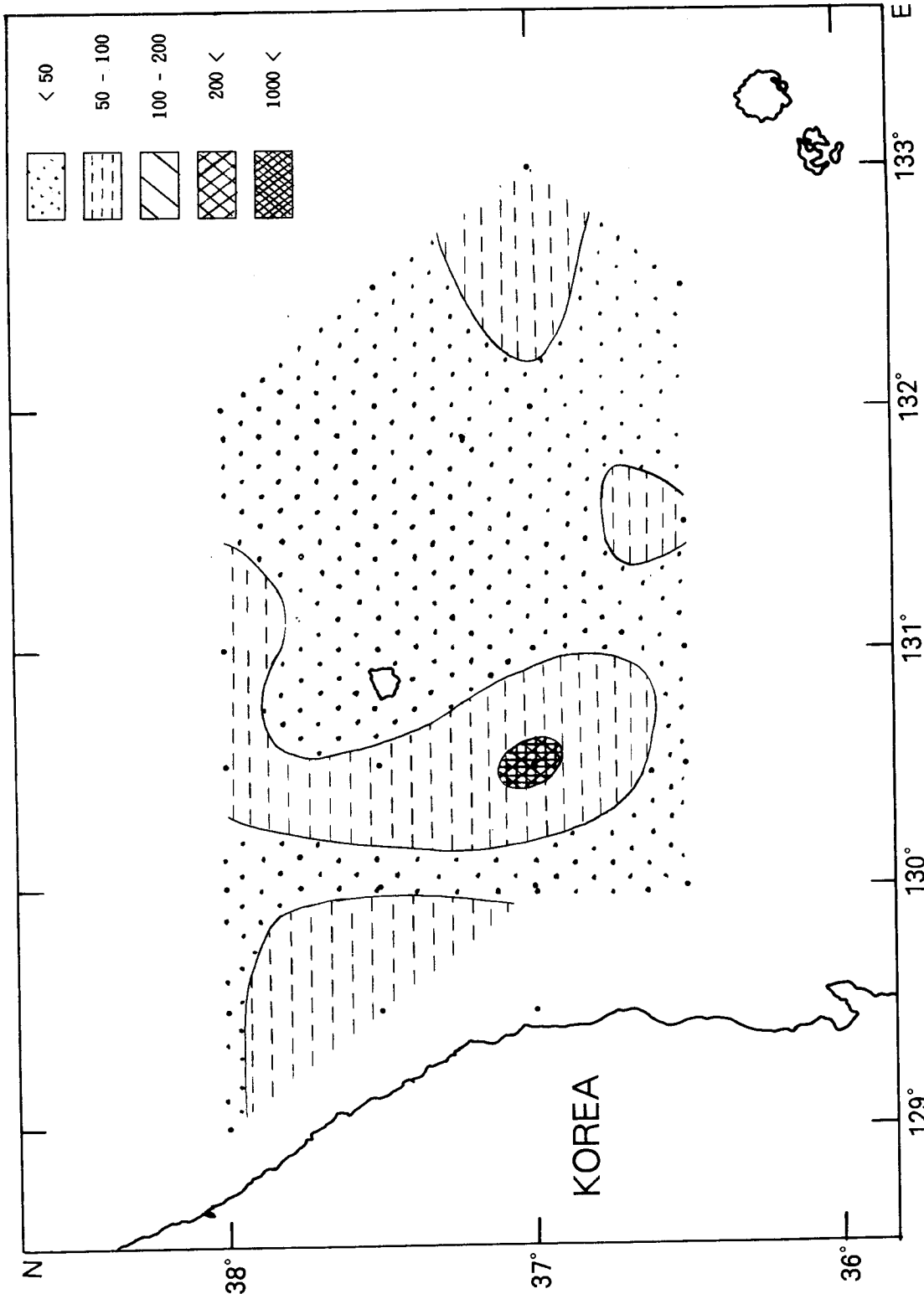


Fig. IV-6. Horizontal distribution of total bacterial number (x 10⁶ cells/l) at the depth of 500m water layer of the East Sea in November, 1994

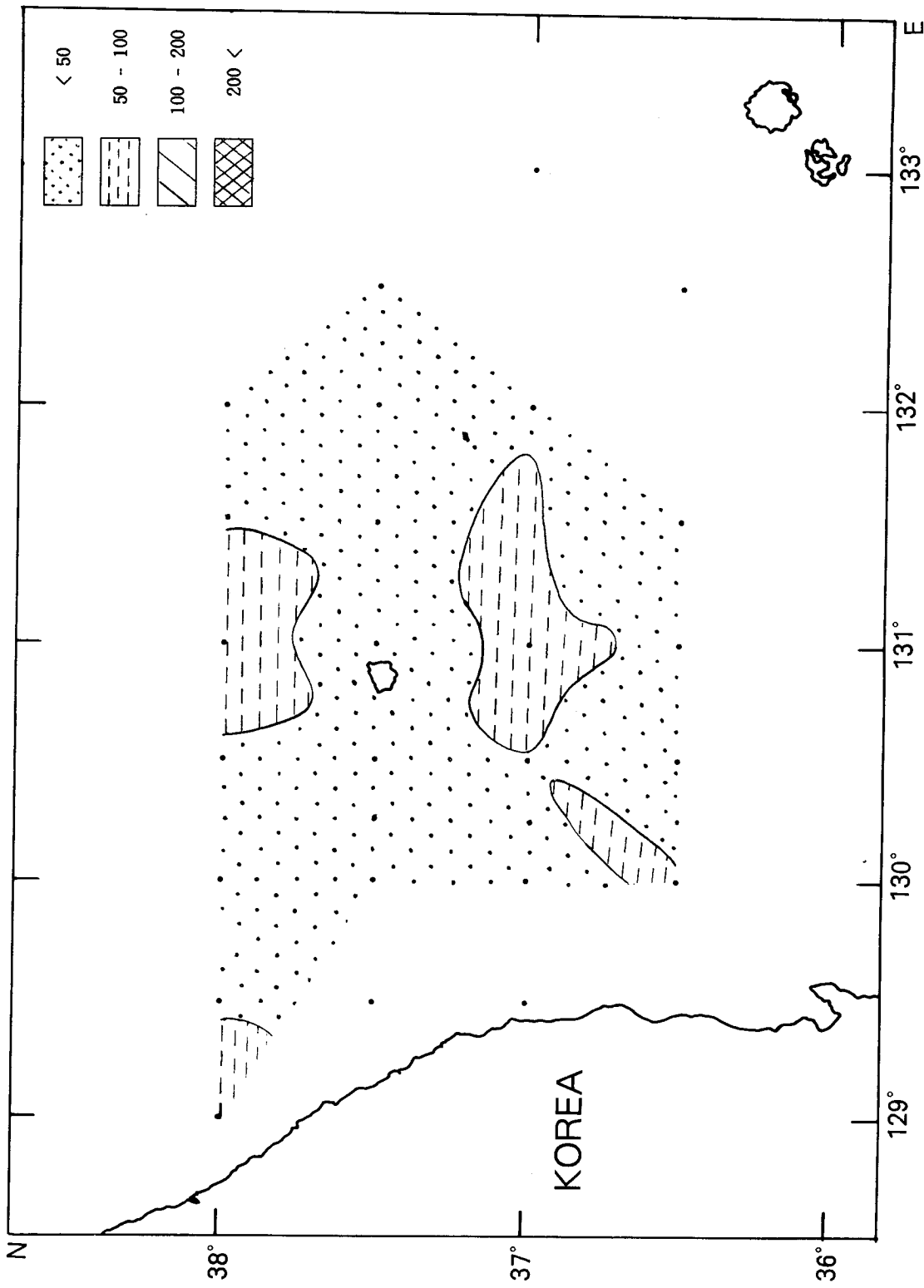


Fig. IV-7. Horizontal distribution of total bacterial number ($\times 10^6$ cells/l) at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994

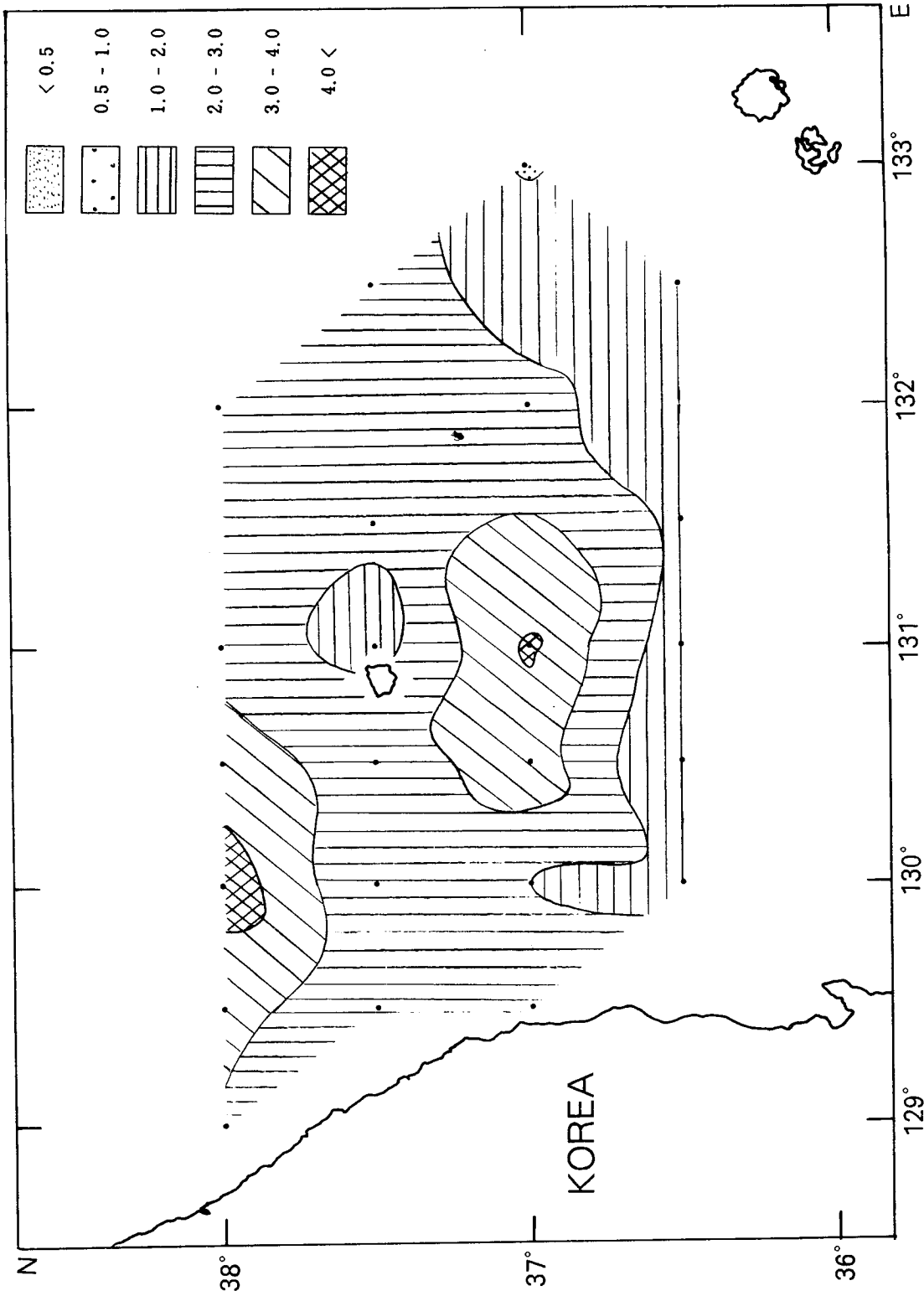


Fig. IV-8. Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the surface water layer of the East Sea in November, 1994

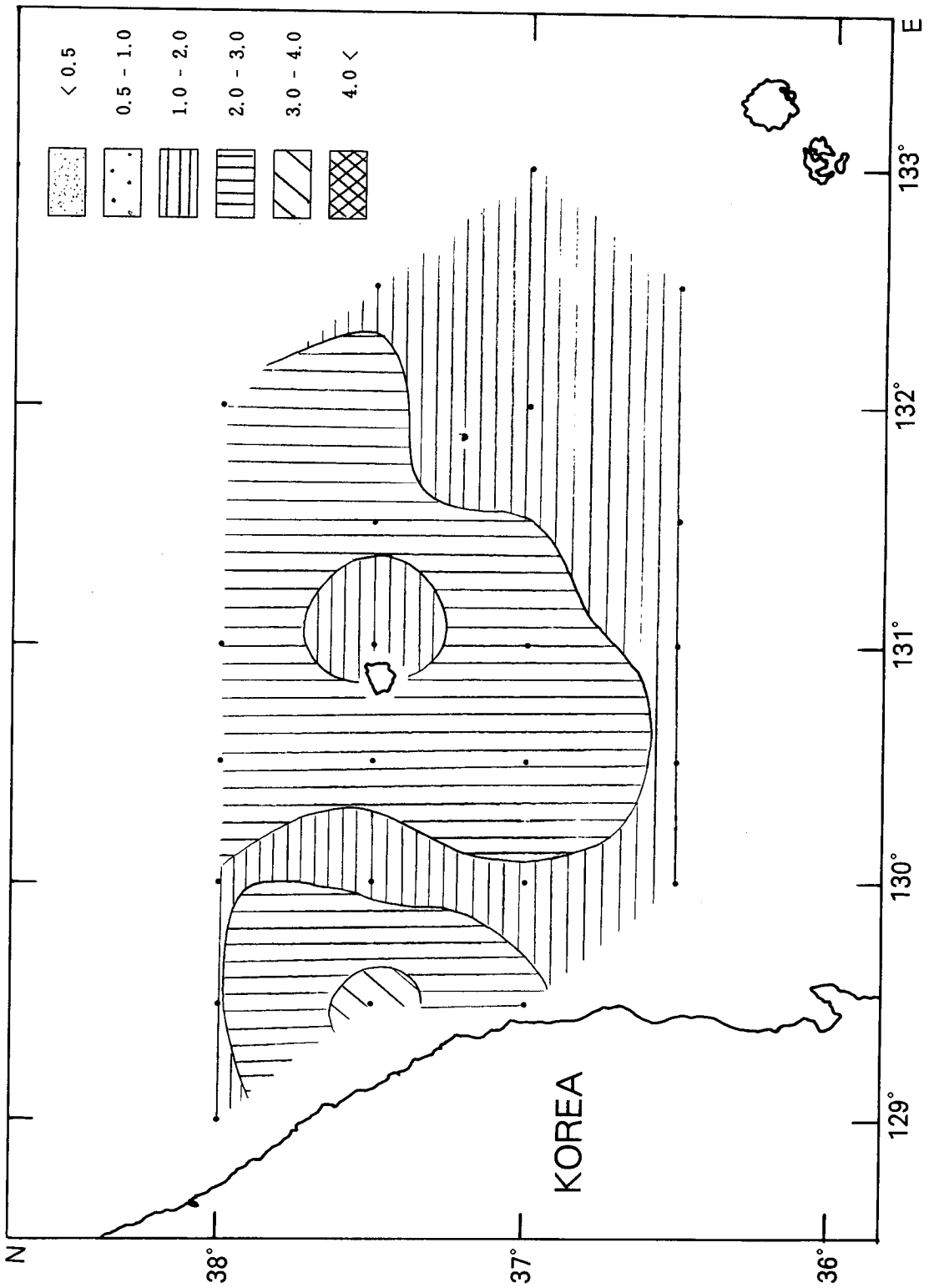


Fig. IV-9. Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 30 m water layer of the East Sea in November, 1994

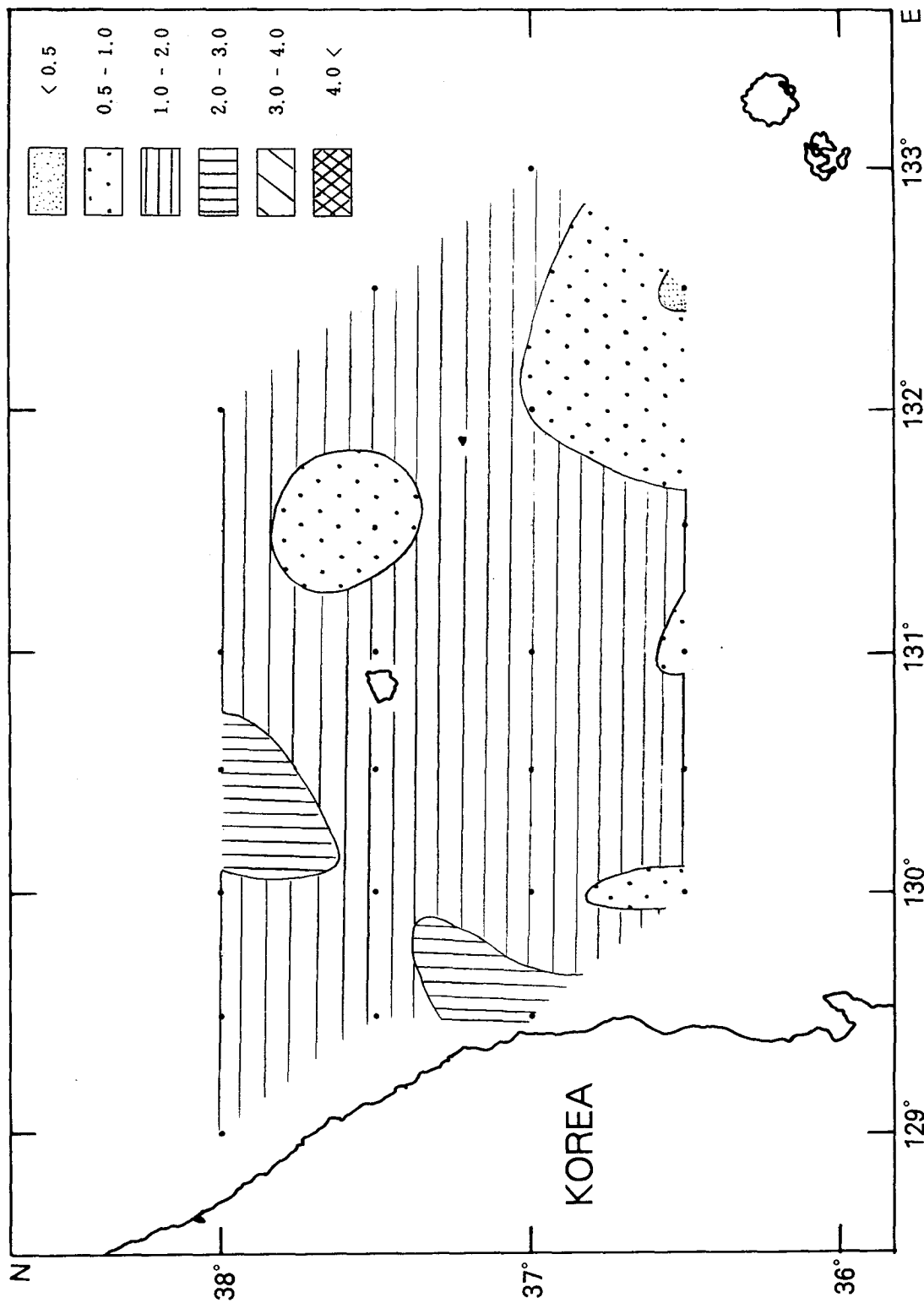


Fig. IV-10. Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 100 m water layer of the East Sea in November, 1994

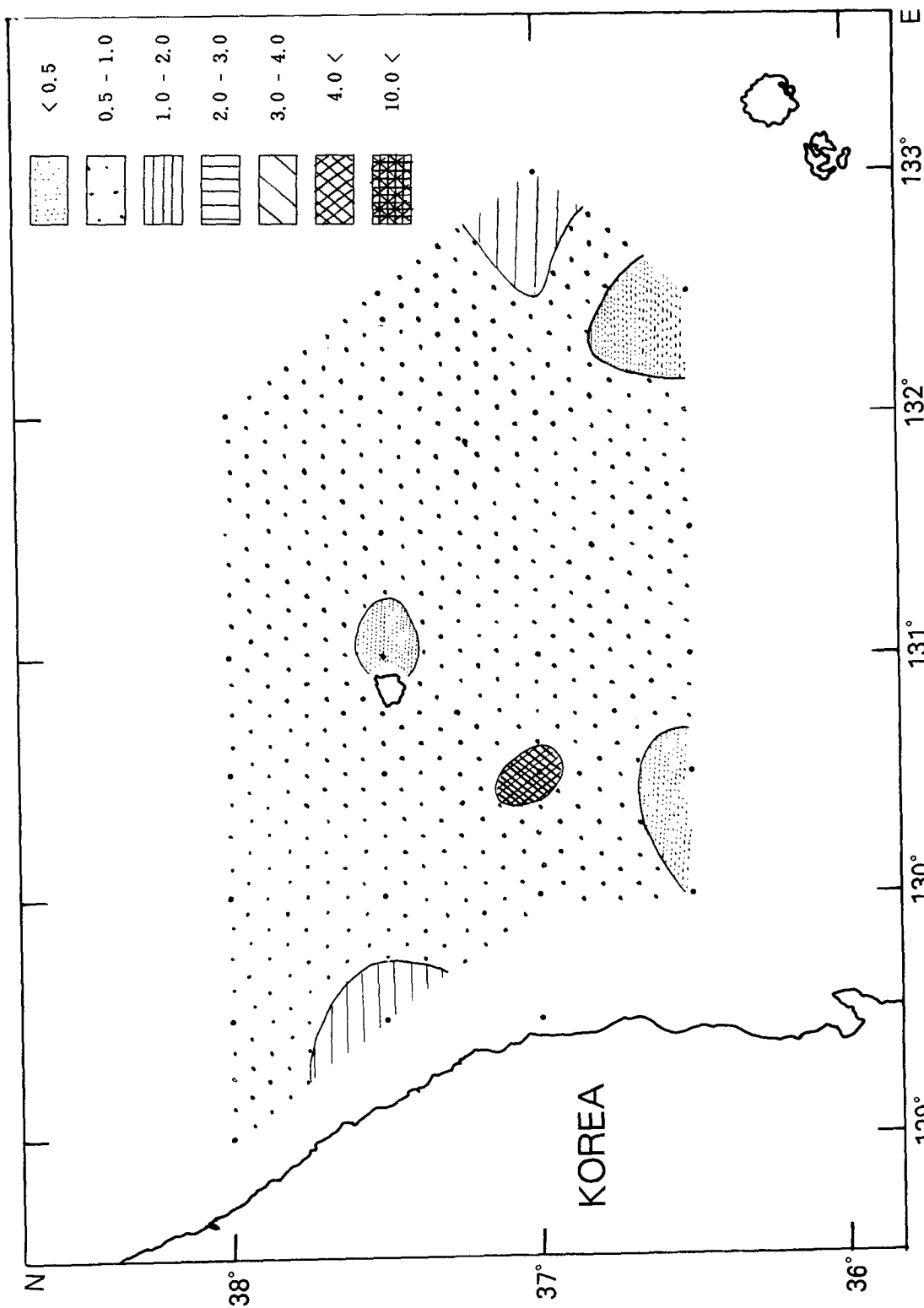


Fig. IV-11. Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the depth of 500 m water layer of the East Sea in November, 1994

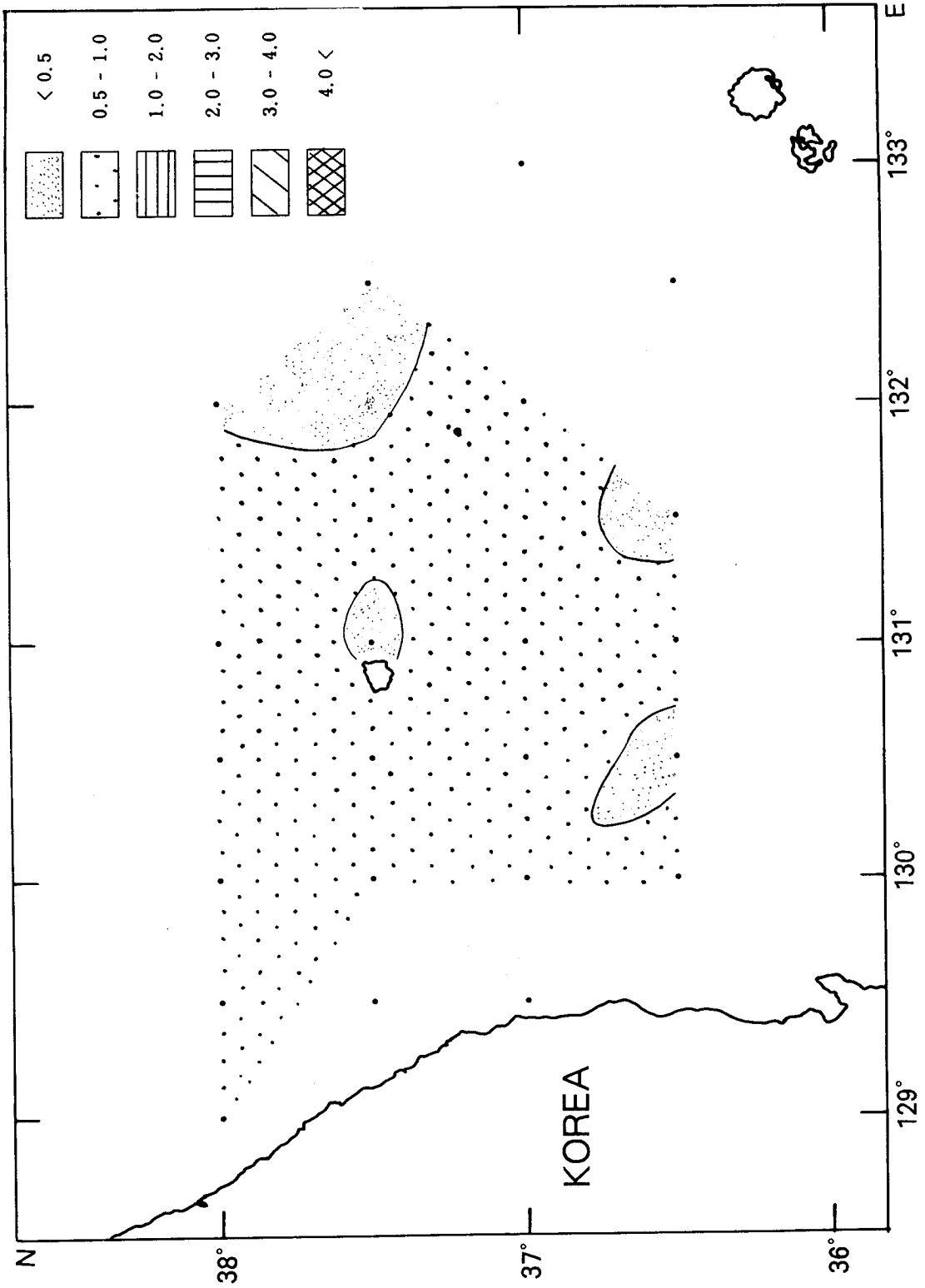


Fig. IV-12. Horizontal distribution of bacterial biomass [$\mu\text{g-C/l}$] at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994

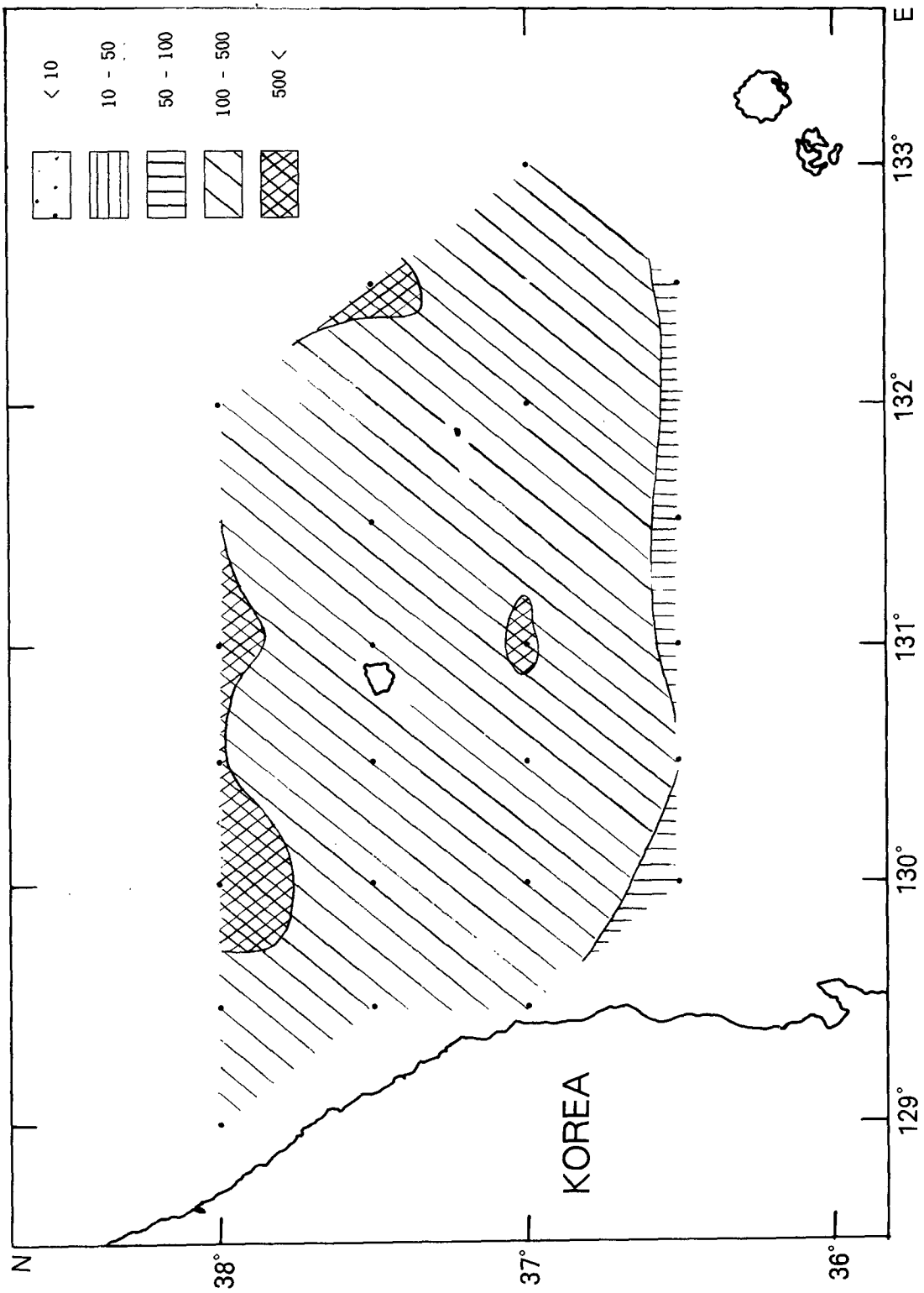


Fig. IV-13. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [$\times 10^3$ CFU/l] at the surface water layer of the East Sea November, 1994

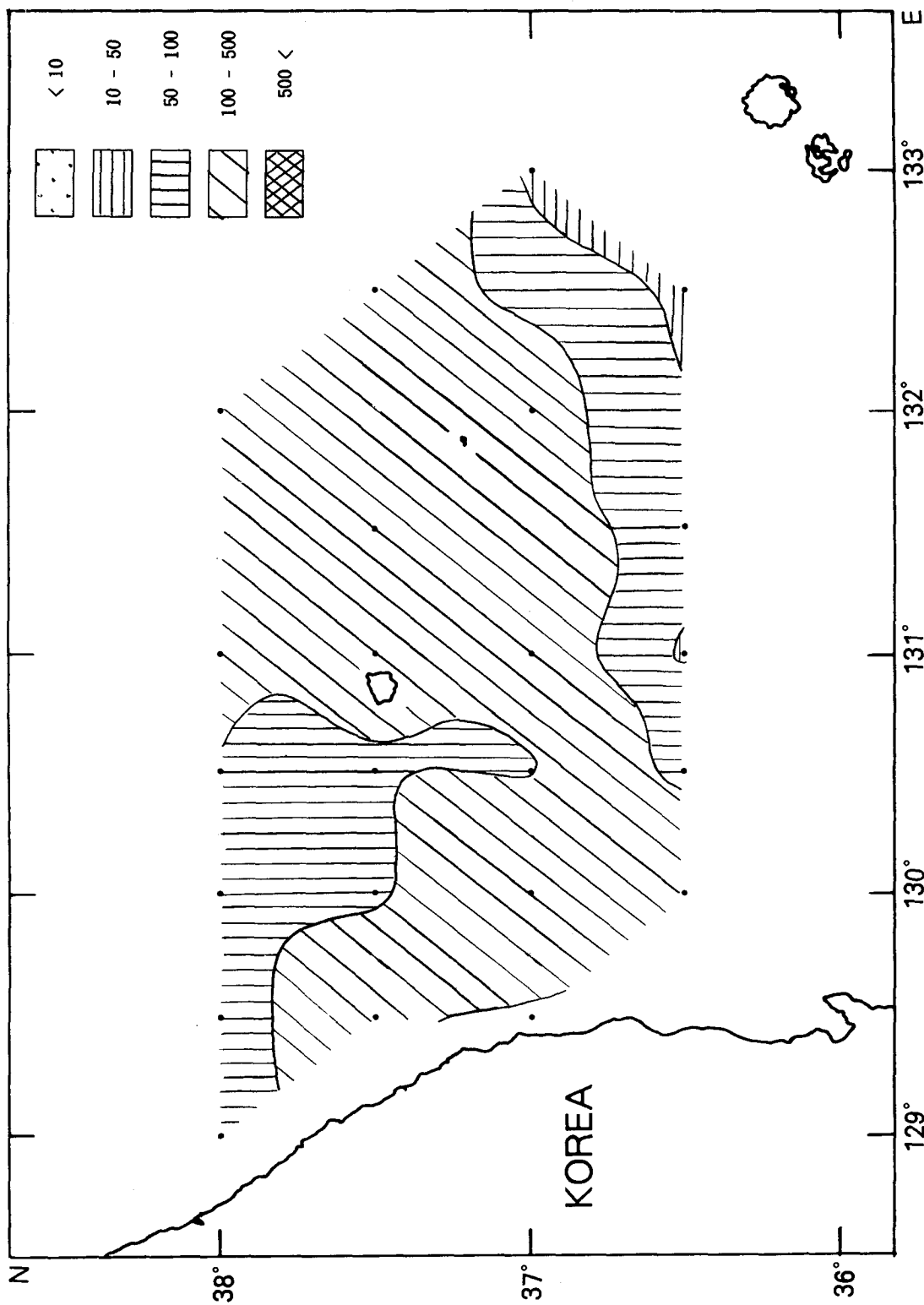


Fig. IV-14. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [$\times 10^3$ CFU/l] at the depth of 30 m water layer of the East Sea in November, 1994

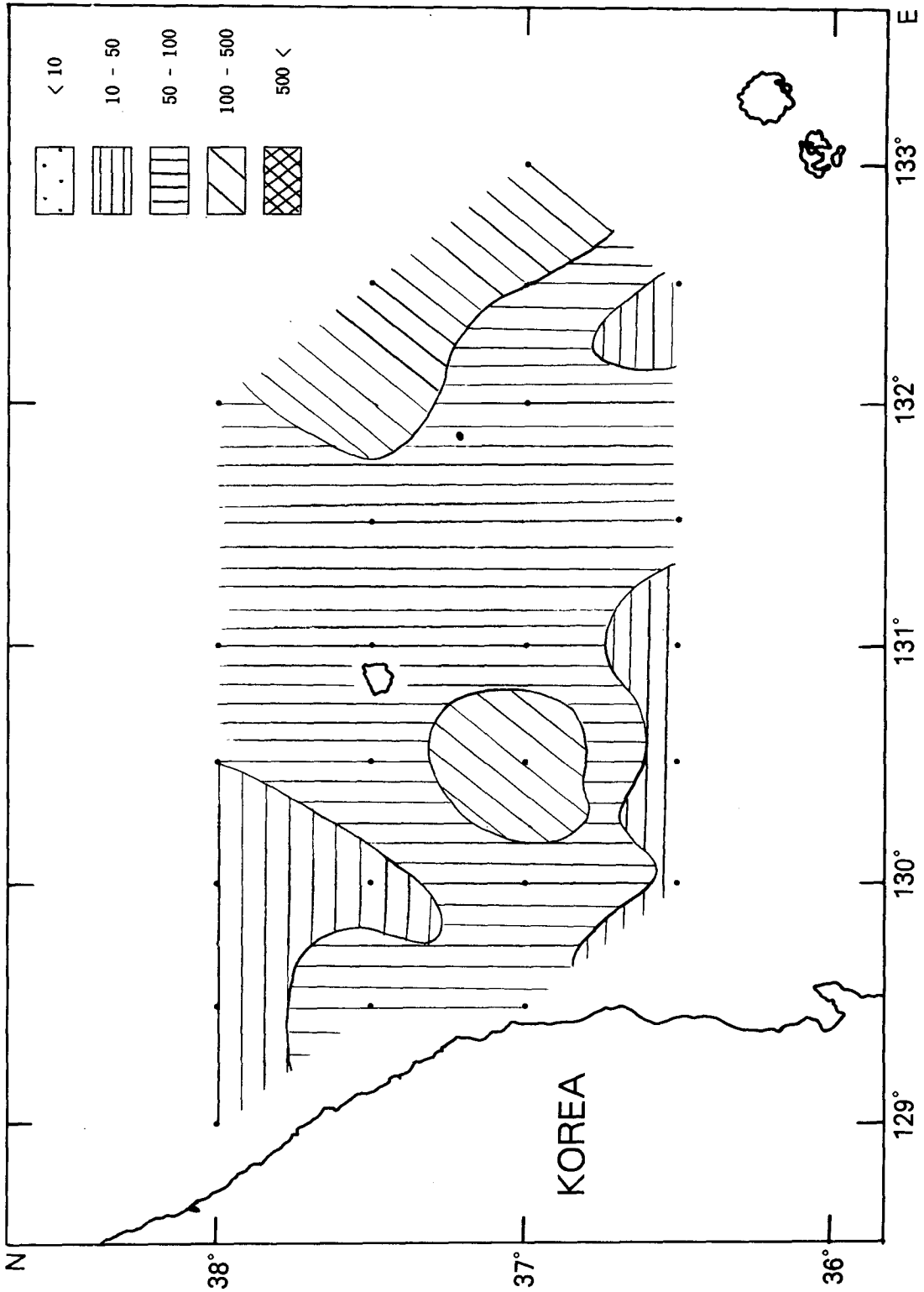


Fig. IV-15. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [$\times 10^3$ CFU/l] at the depth of 100 m water layer of the East Sea in November, 1994

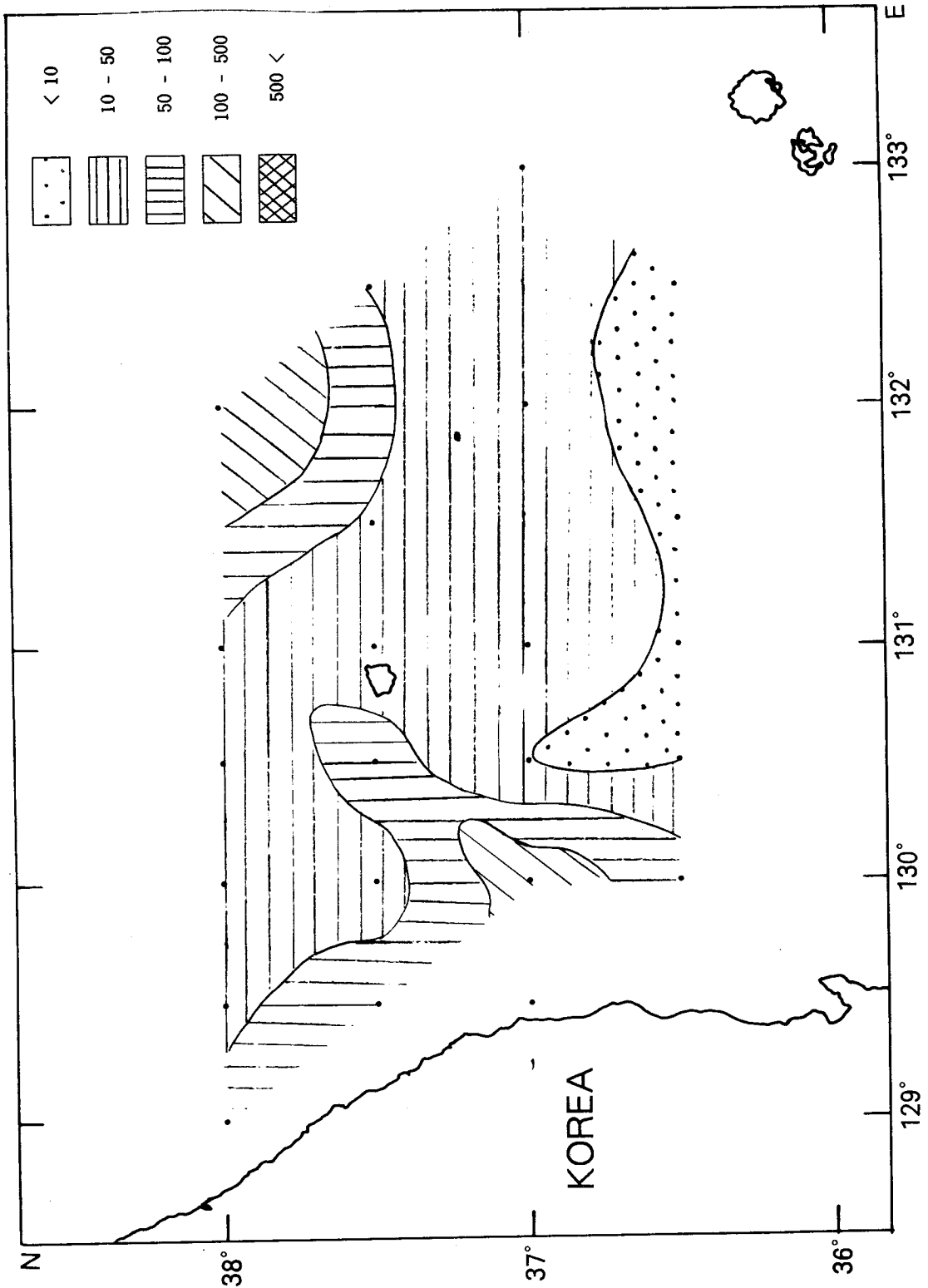


Fig. IV-16. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [$\times 10^3$ CFU/l] at the depth of 500 m water layer of the East Sea in November, 1994

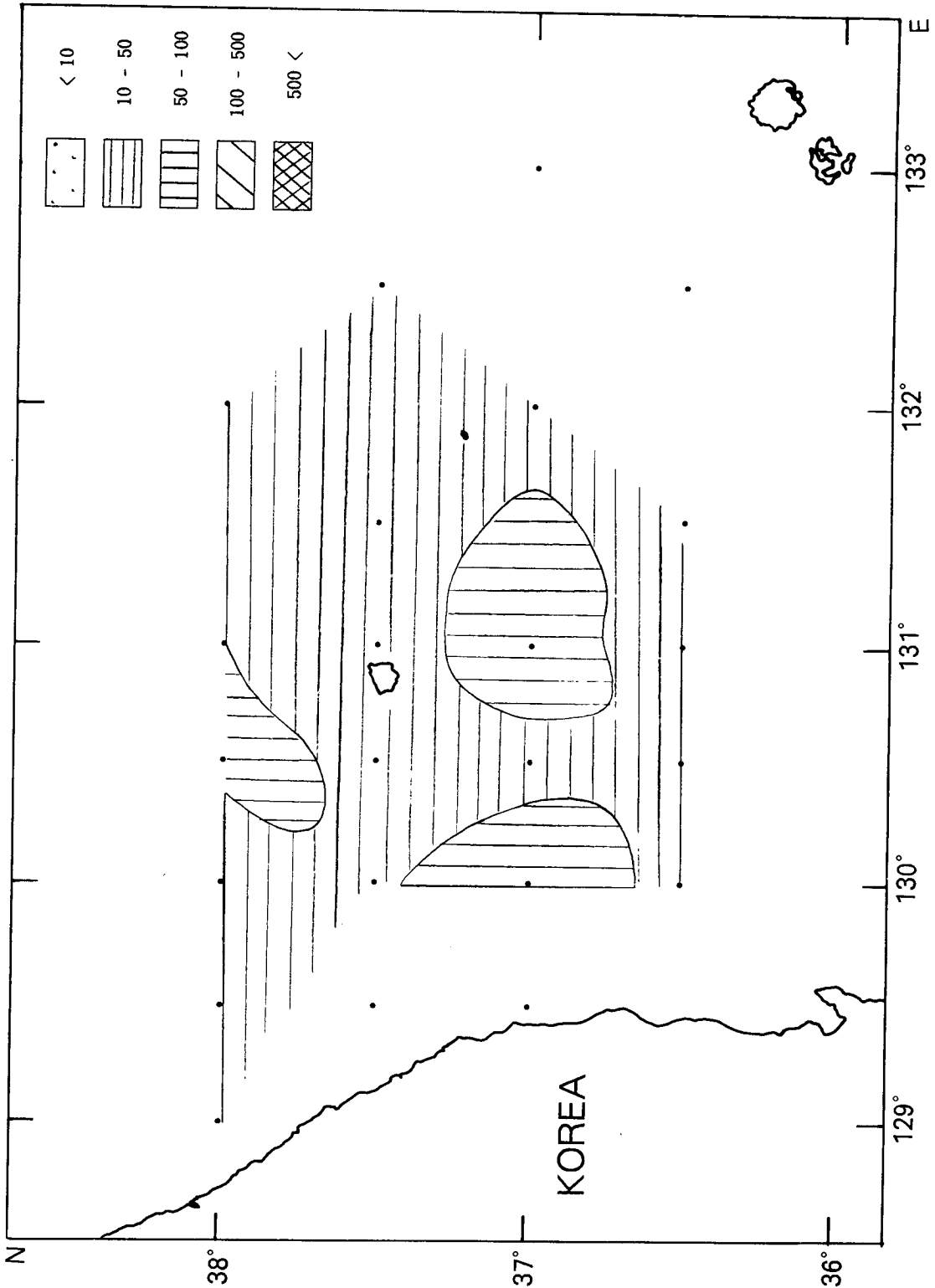


Fig. IV-17. Horizontal distribution of saprophytic bacterial number [$\times 10^3$ CFU/l] at the bottom water layer of the East Sea in November, 1994

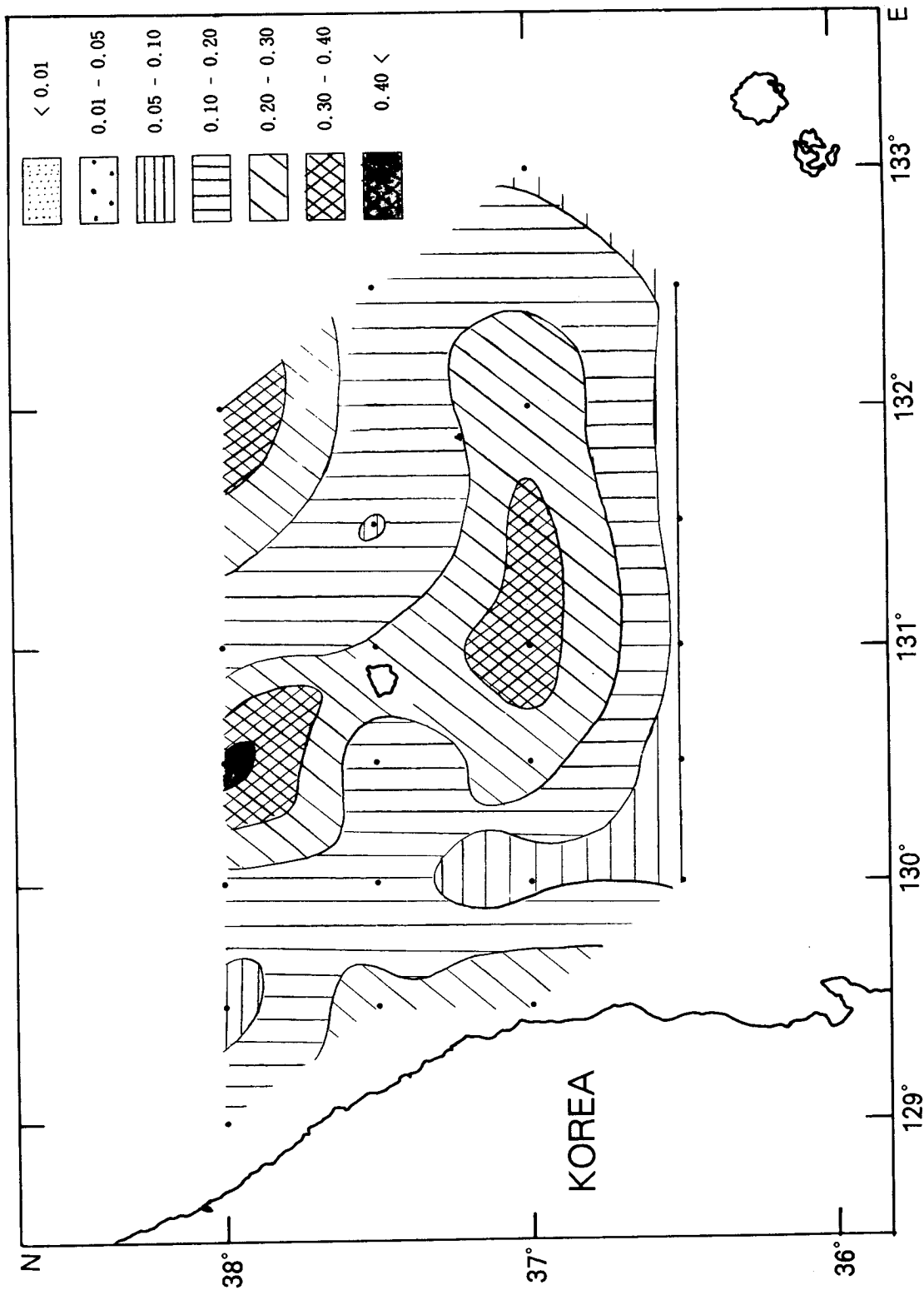


Fig. IV-18. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the surface water layer of the East Sea

in November, 1964

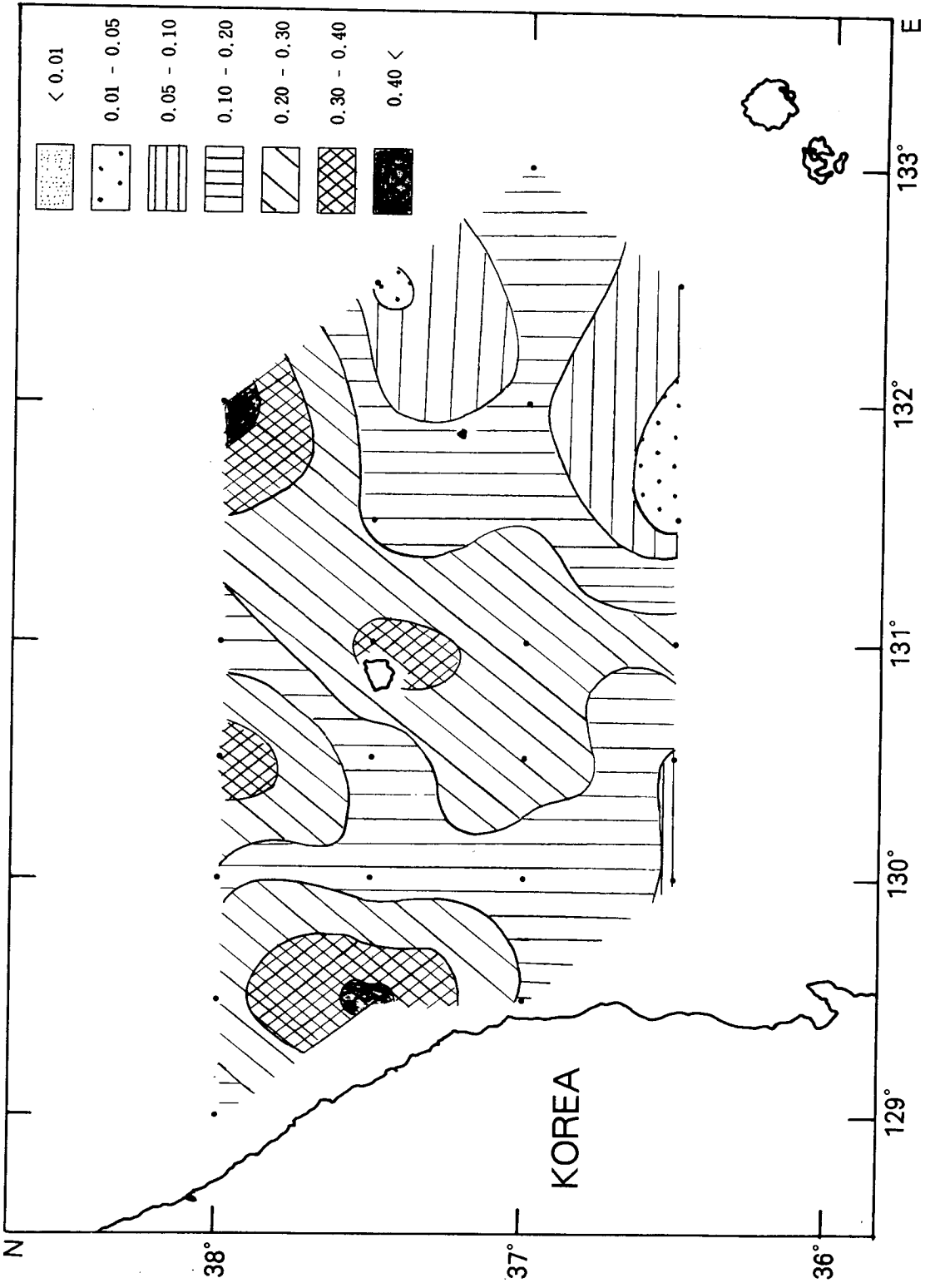


Fig. IV-19. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the water depth of 30 m of the East Sea in November, 1994

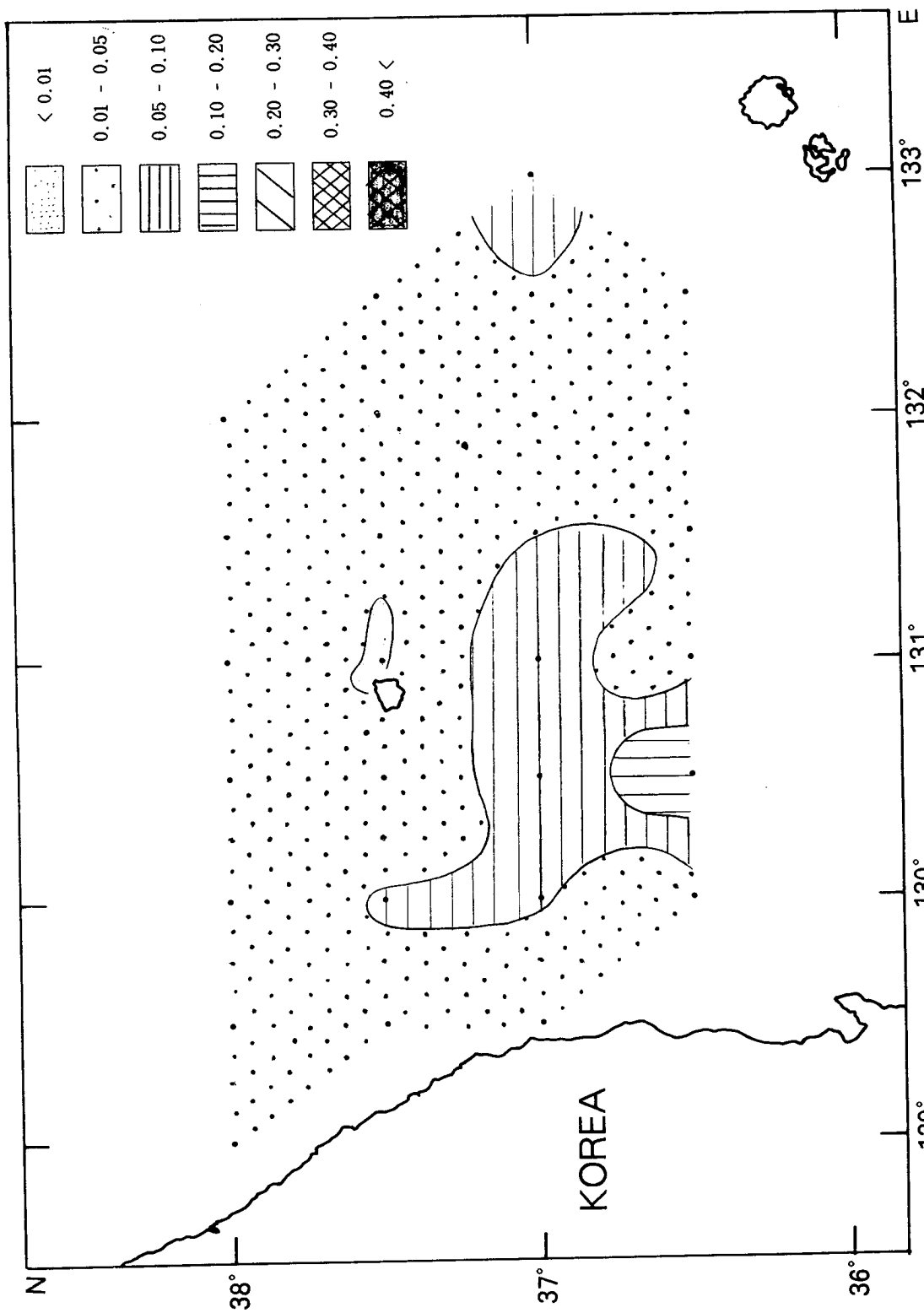


Fig. IV-20. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the water depth of 100 m of the East Sea in November, 1994

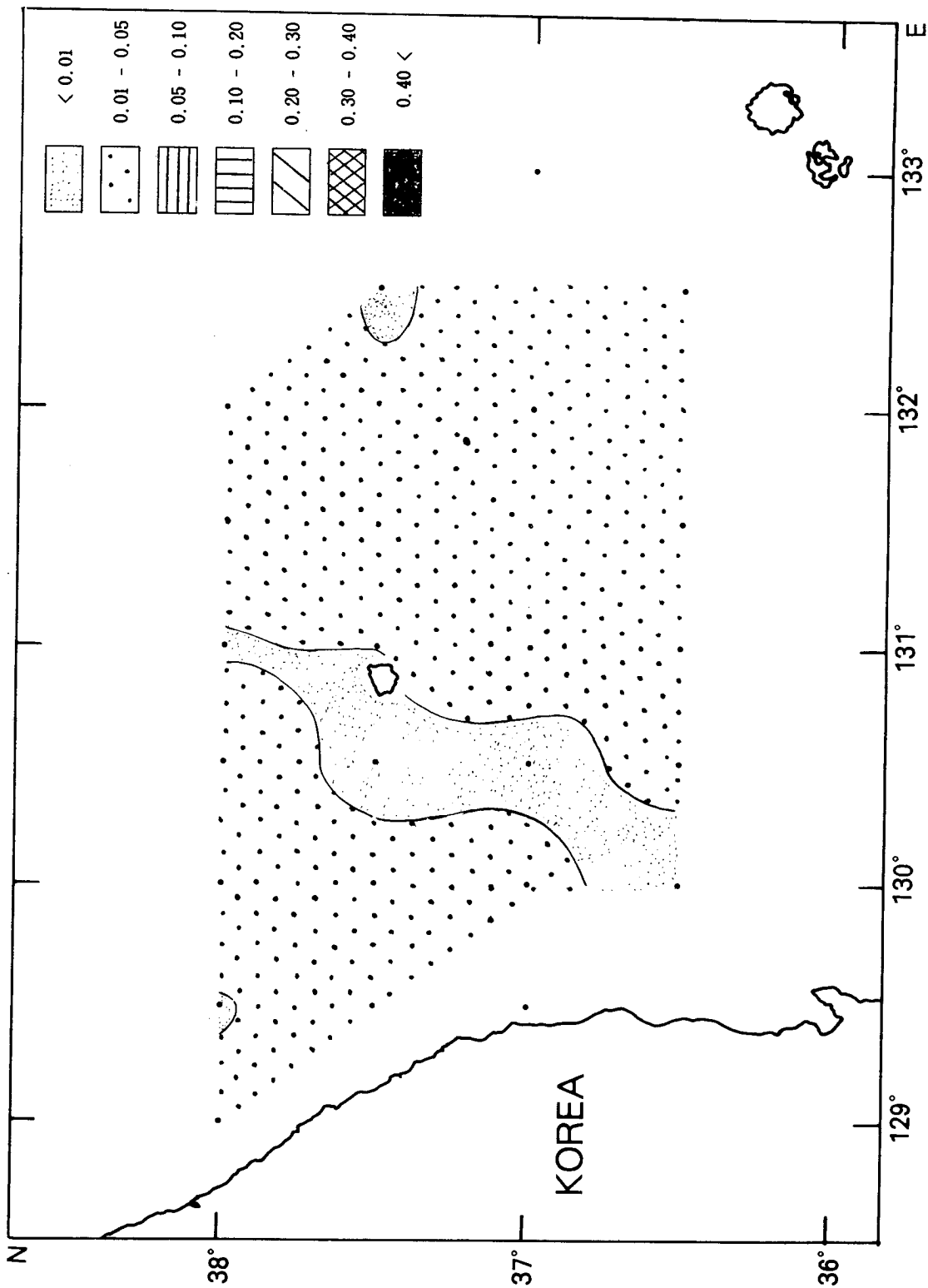


Fig. IV-21. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the water depth of 500 m of the East Sea in November, 1994

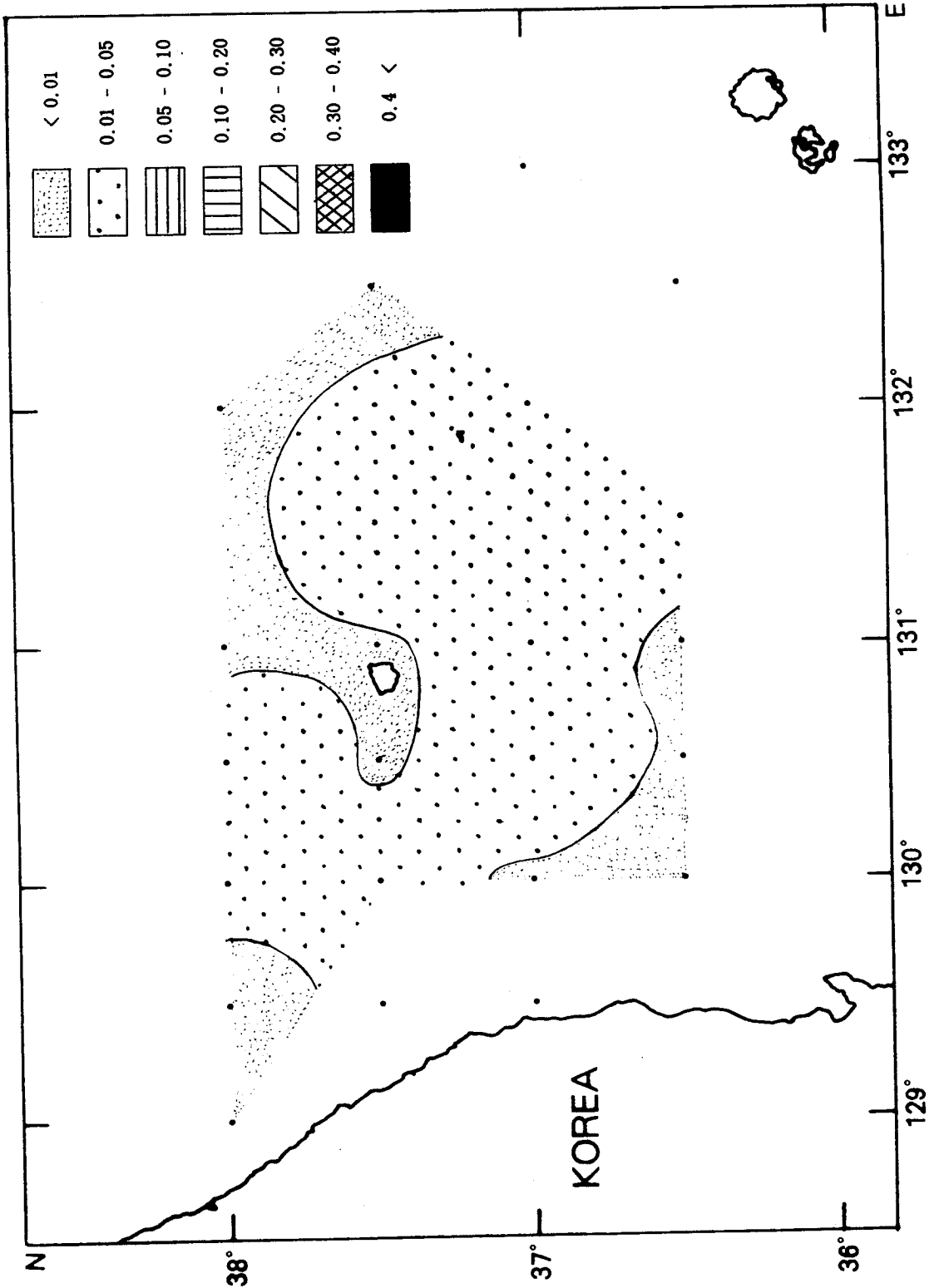


Fig. IV-22. Horizontal distribution of heterotrophic activity of the bacteria measured by the turn-over rate of ^{14}C -glucose [%/h] at the bottom of the East Sea in November, 1994

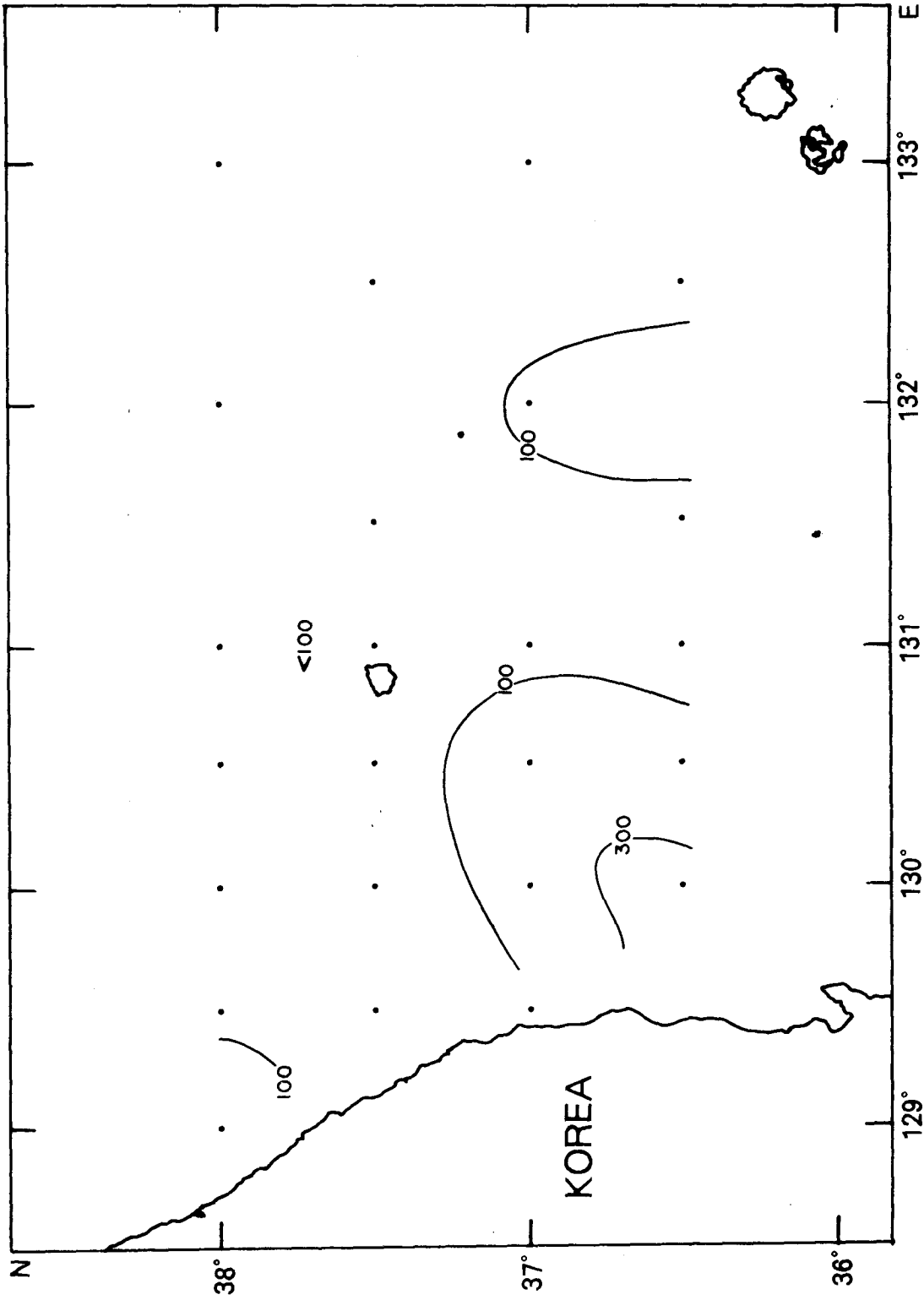


Fig. IV-23. Distribution of diatom concentration [cells/ml] in the East Sea in November, 1994 (0m)

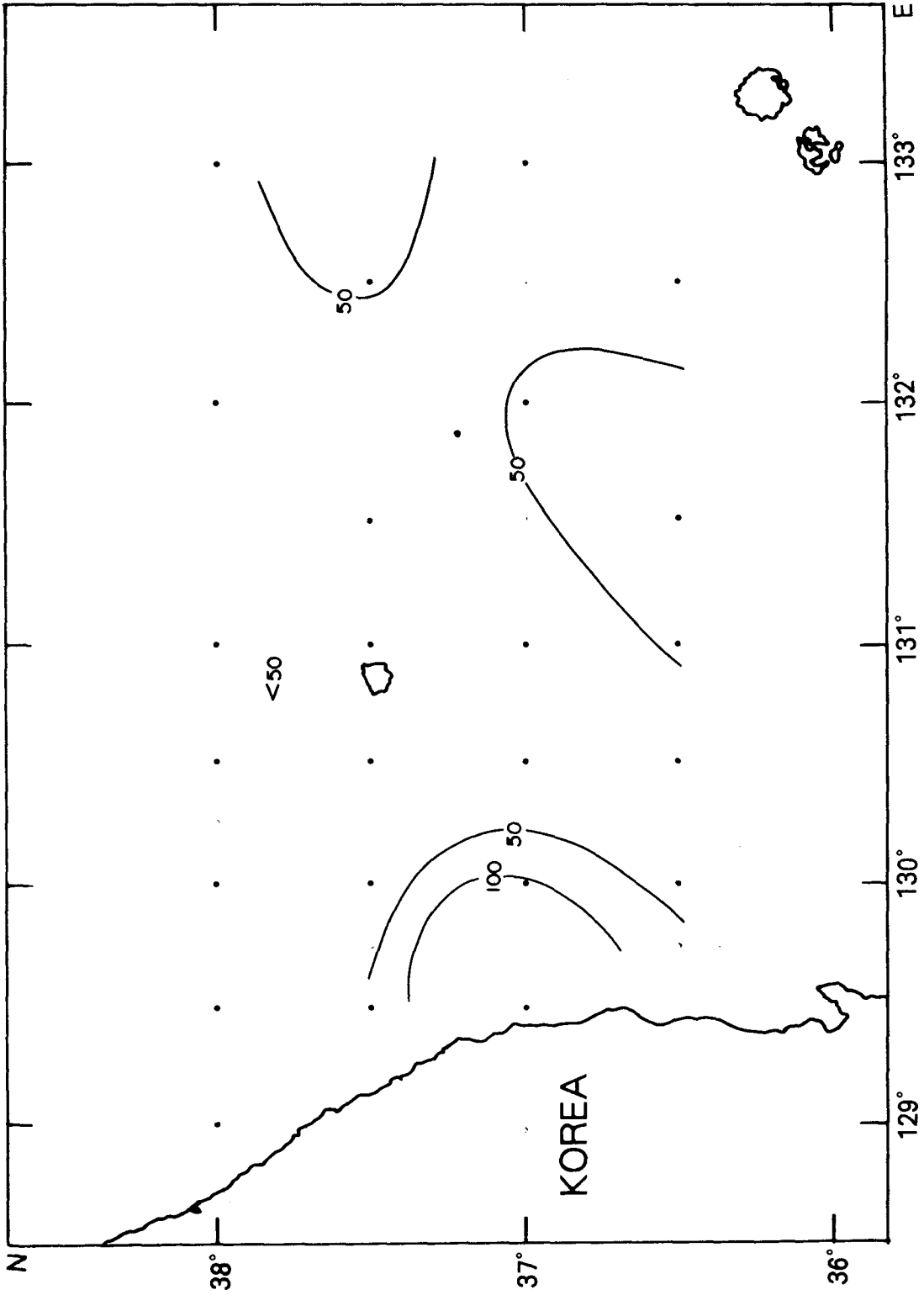


Fig. IV-24. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ml] in the East Sea in November, 1994 (0m)

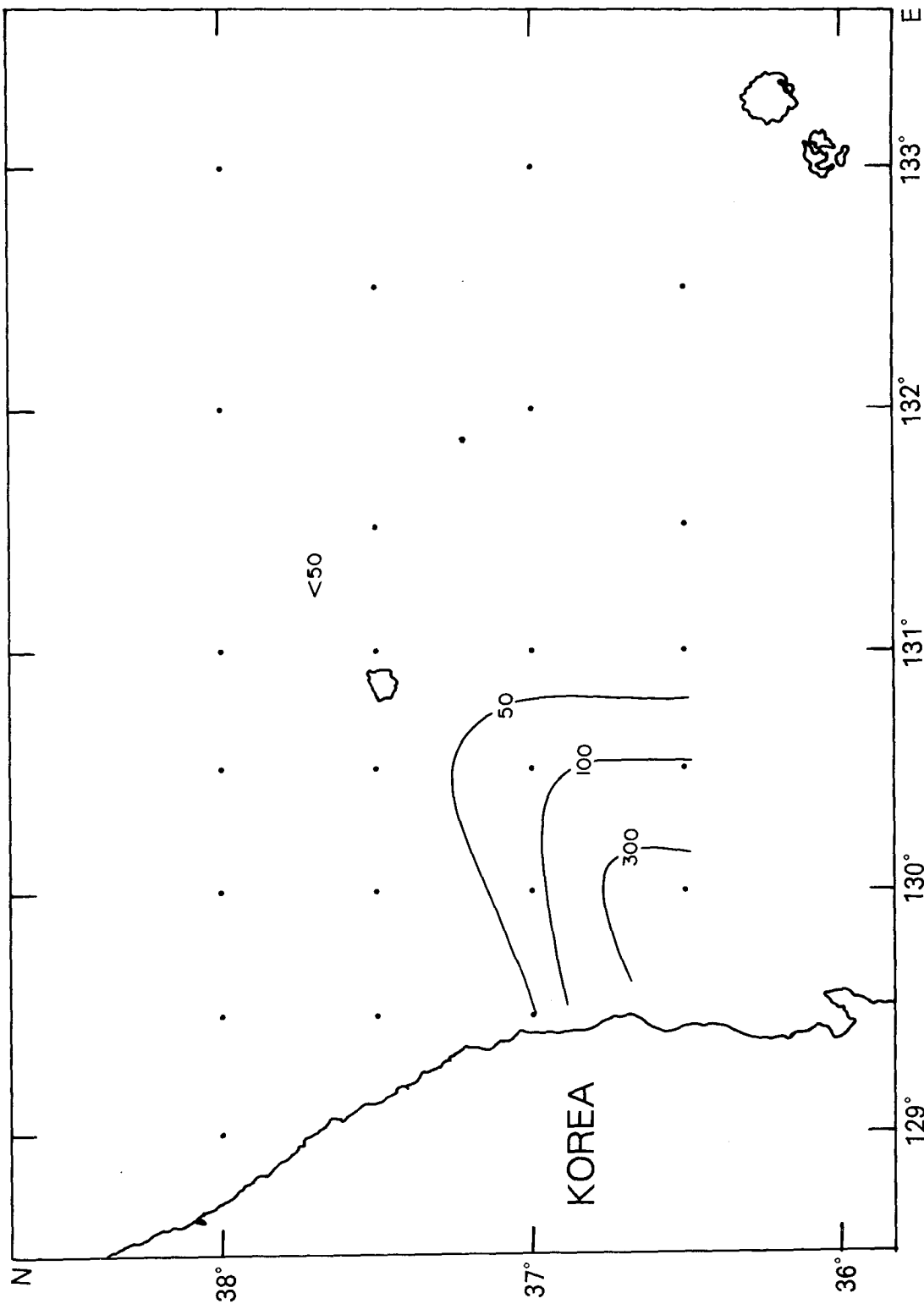


Fig. IV-25. Distribution of diatom concentration [cells/ml] in the East Sea in November, 1994 (30m)

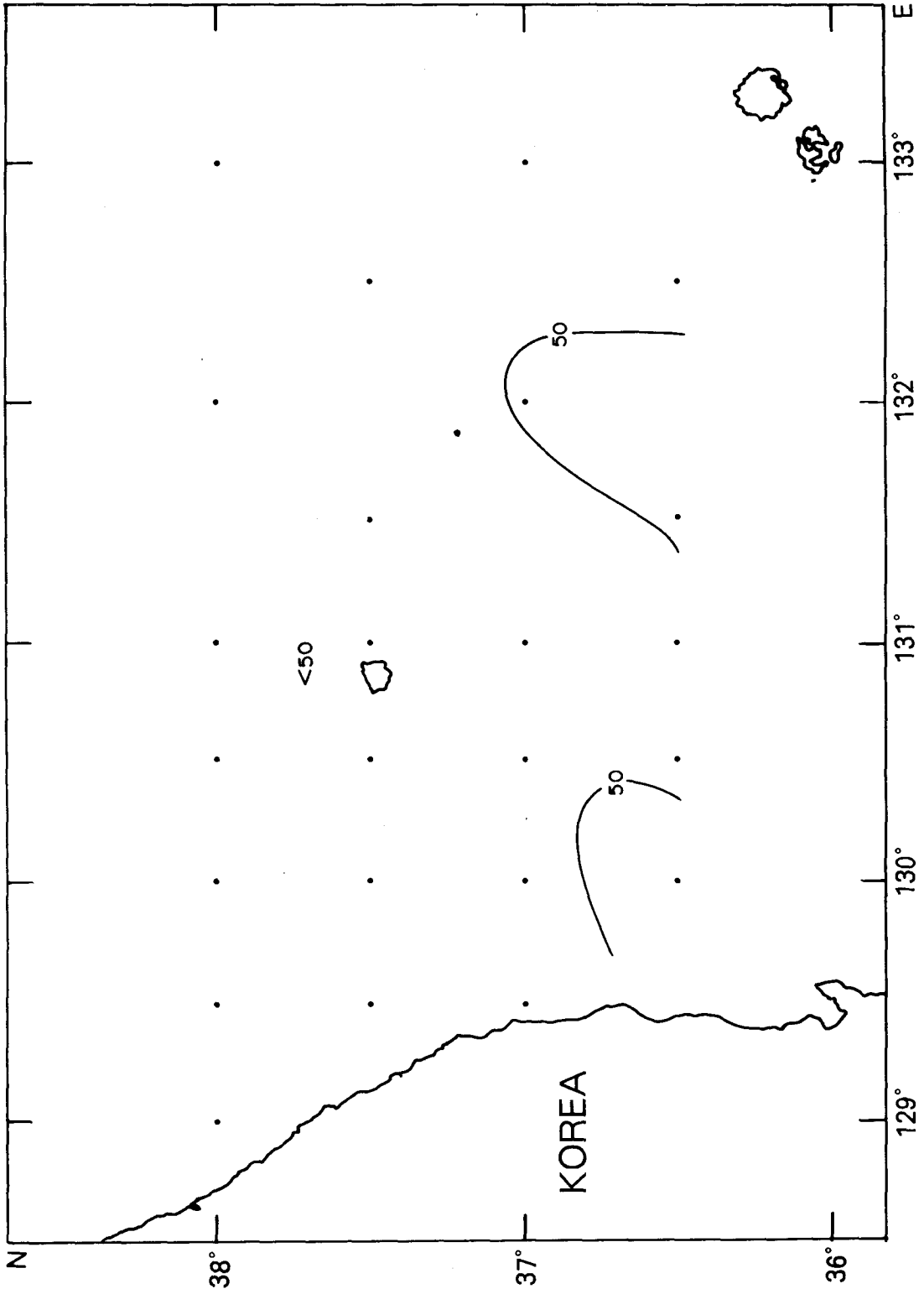


Fig. IV-26. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (30m)

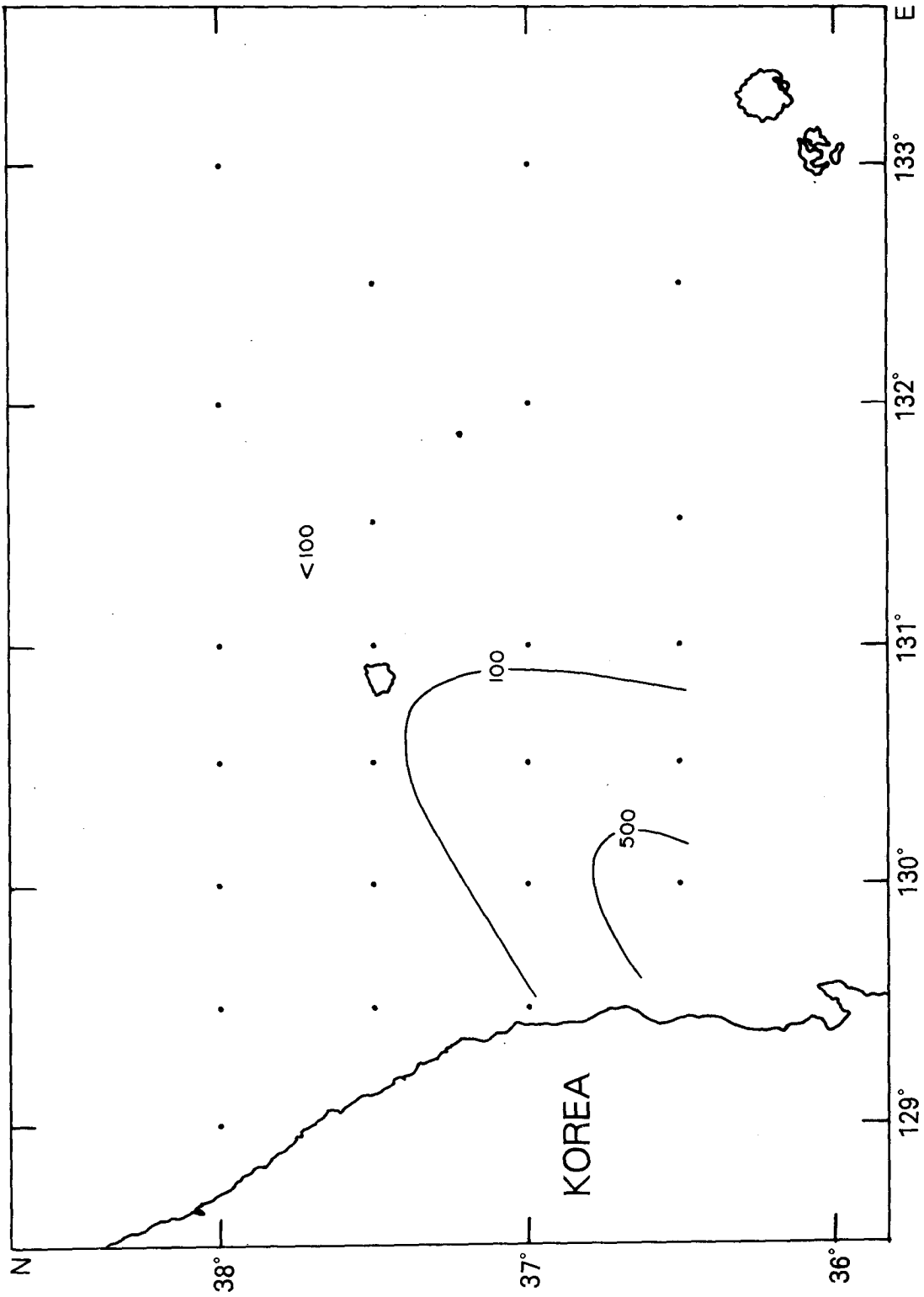


Fig. IV-27. Distribution of diatom concentration [cells/ m^3] in the East Sea in November, 1994 (50m)

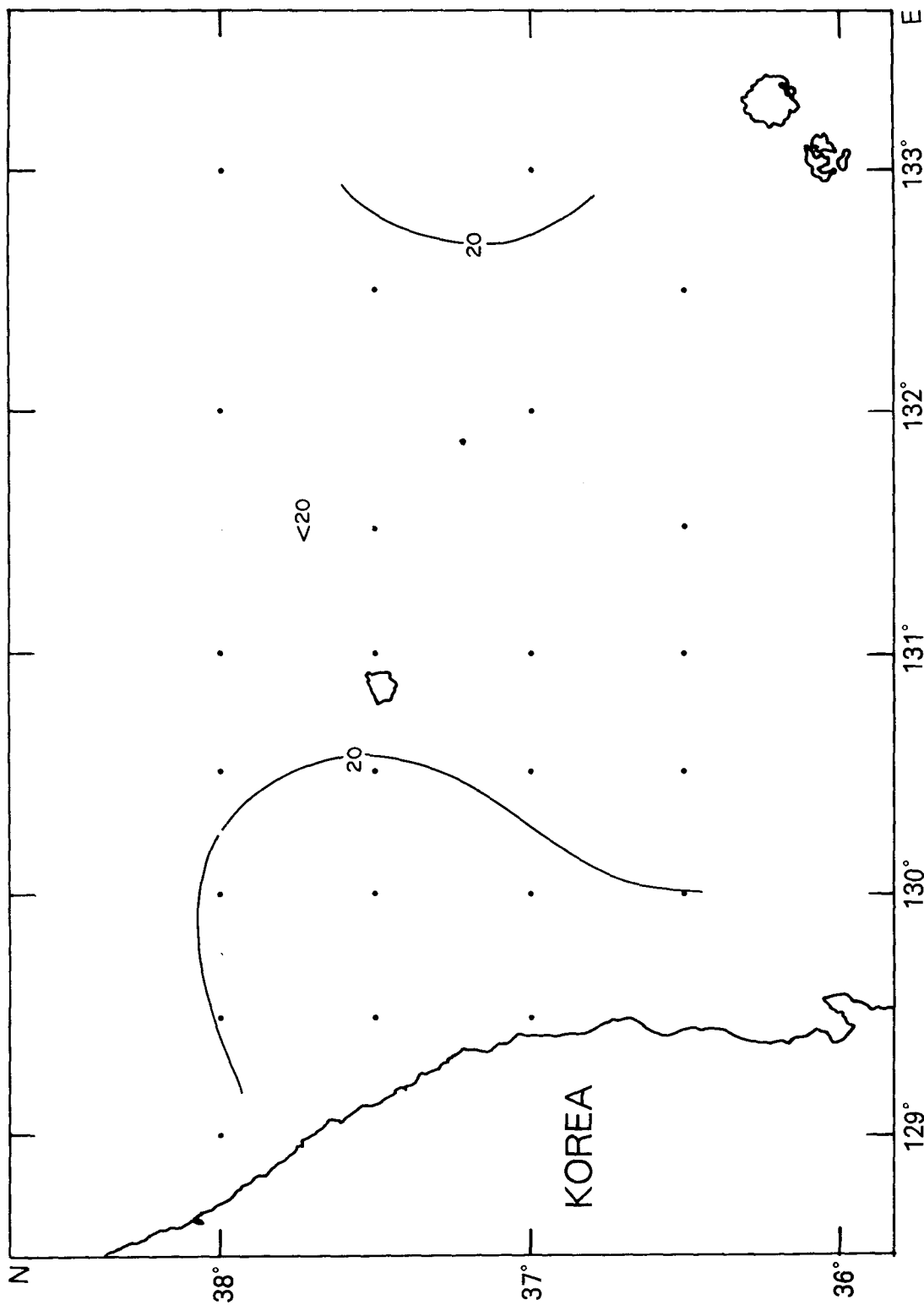


Fig. IV-28. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (50m)

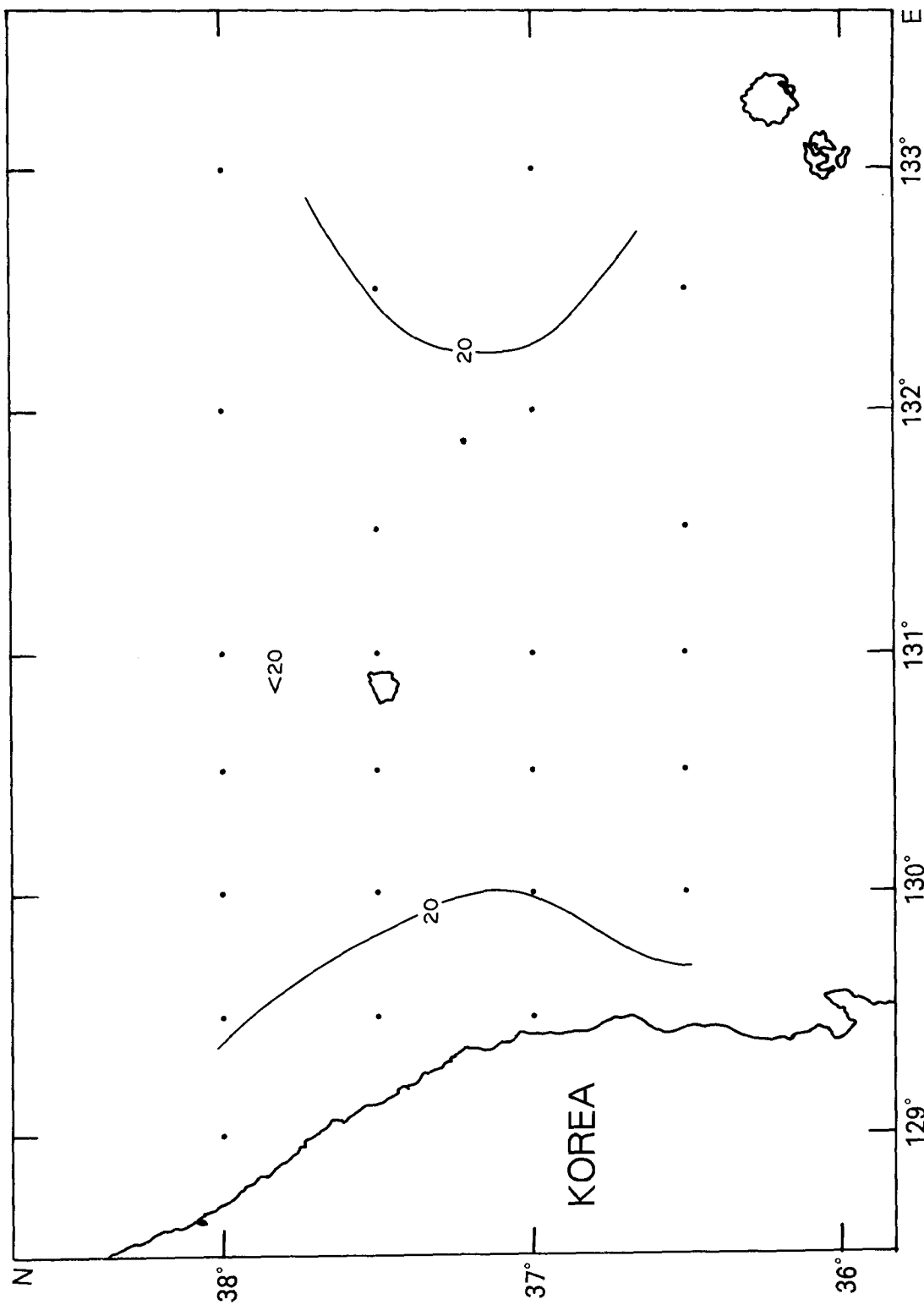


Fig. IV-29. Distribution of diatom concentration [cells/ m^3] in the East Sea in November, 1994 (100m)

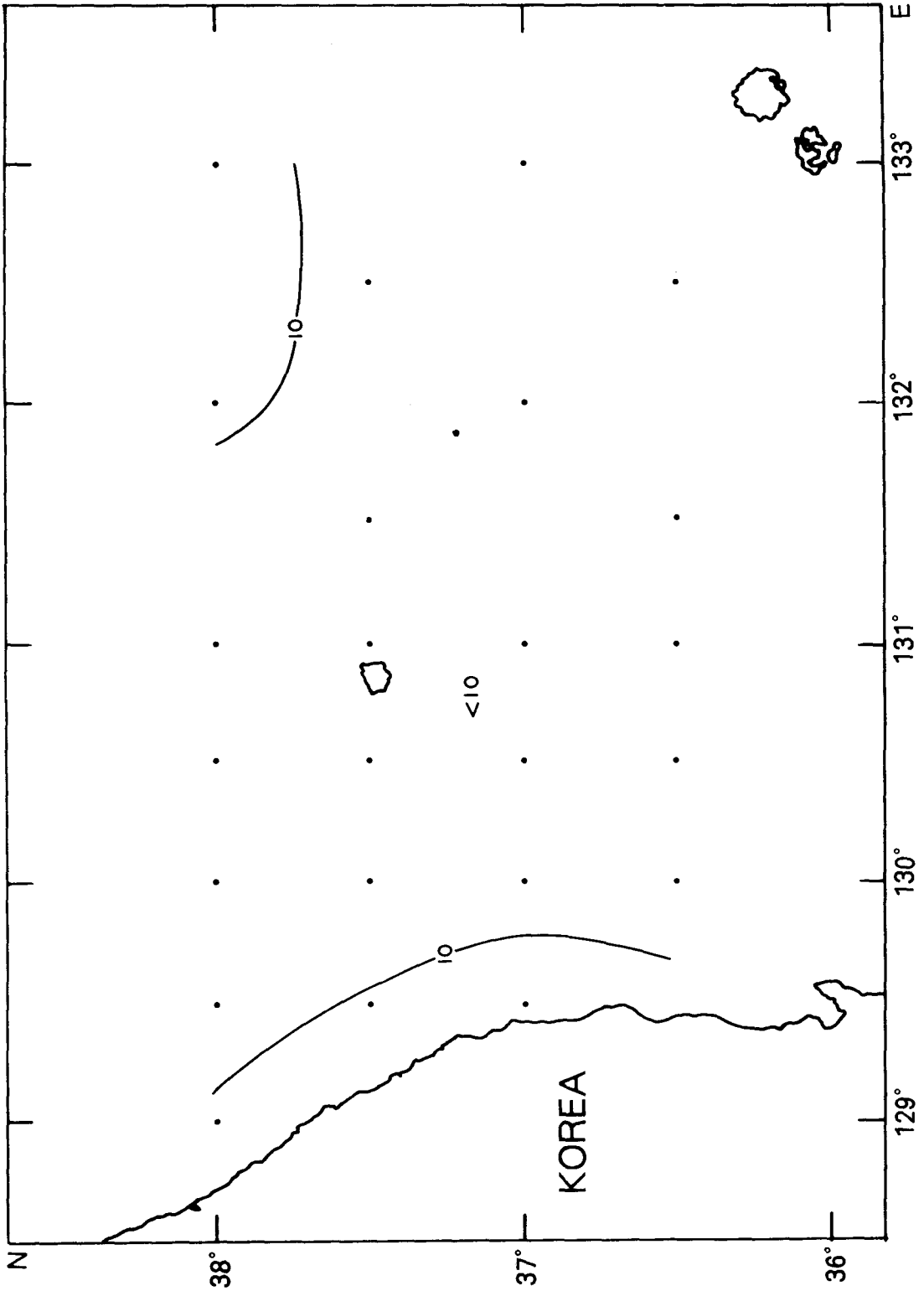


Fig. IV-30. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/*m l*] in the East Sea in November, 1994 (100m)

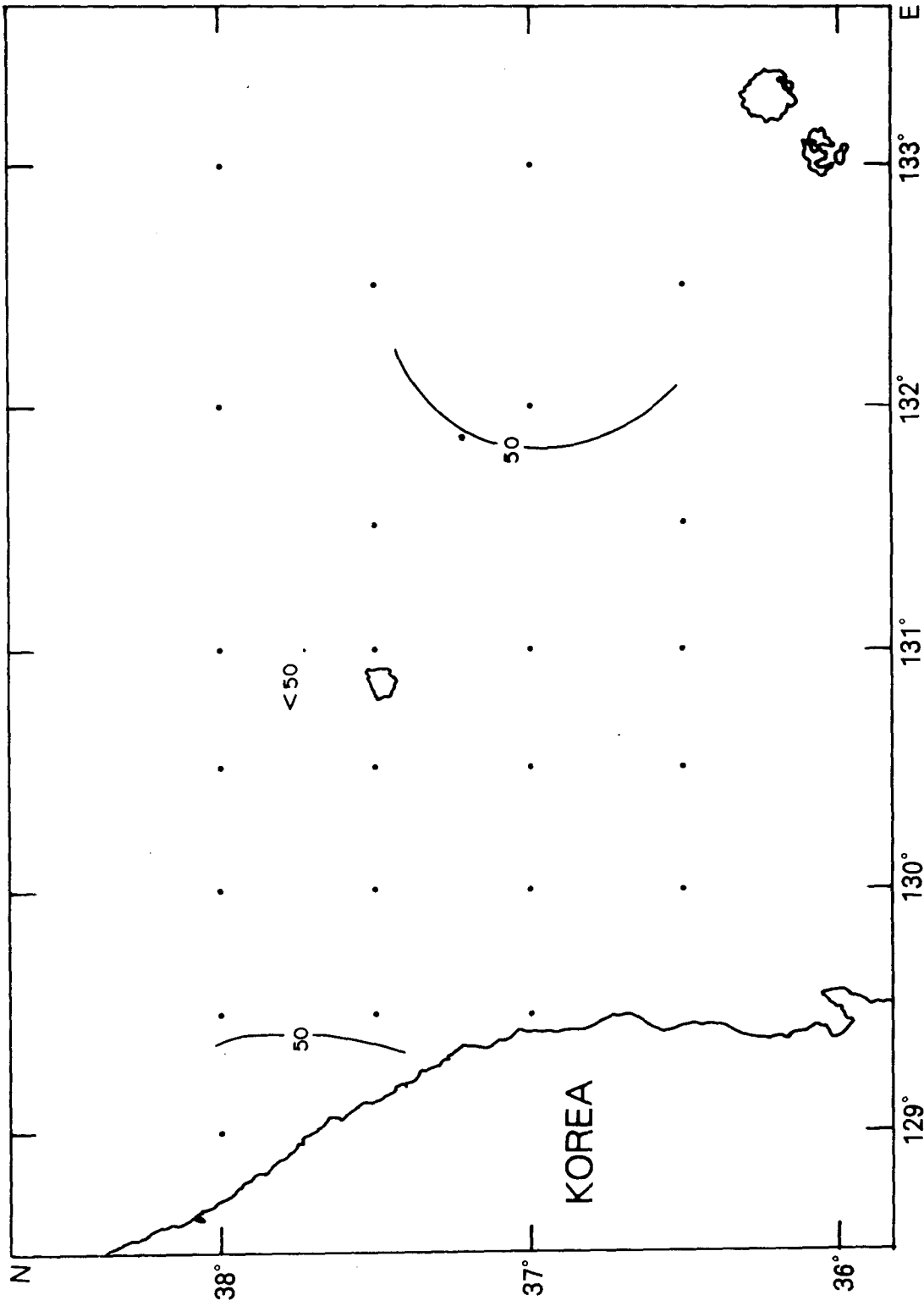


Fig. IV-31. Distribution of diatom concentration [cells/ m^3] in the East Sea in November, 1994 (500m)

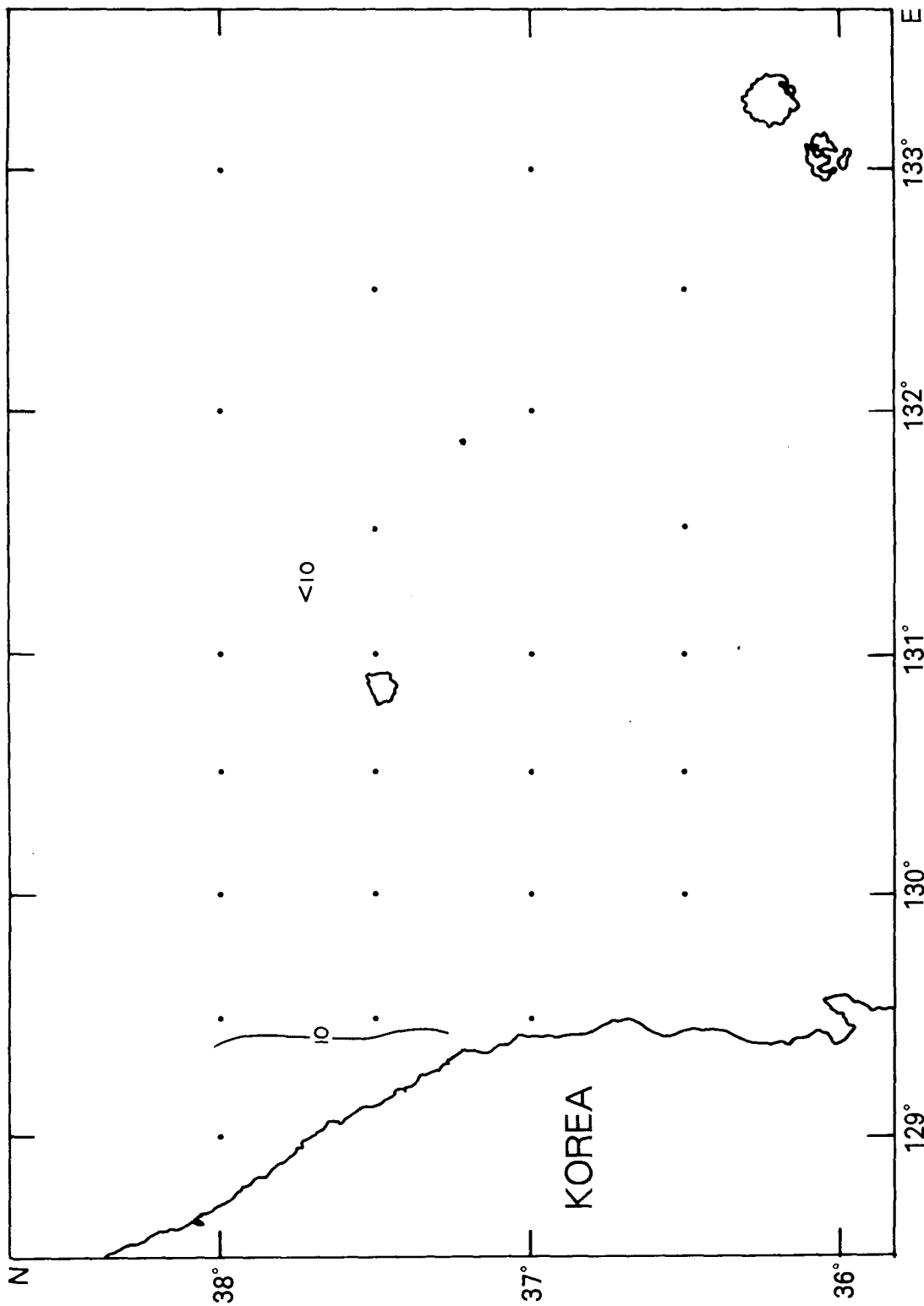


Fig. IV-32. Distribution of dinoflagellata concentration [cells/ $m\ell$] in the East Sea in November, 1994 (500m)

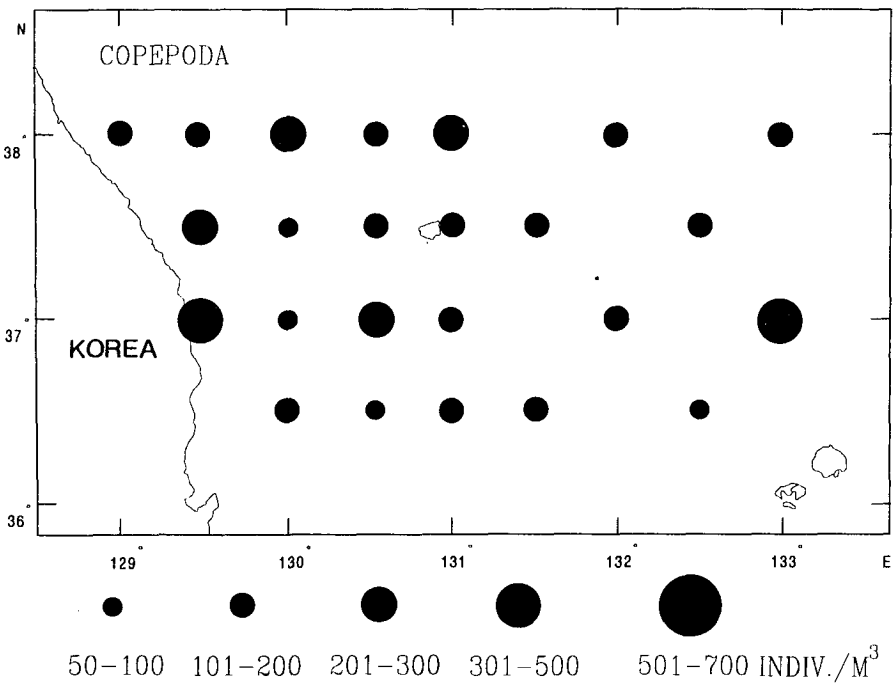
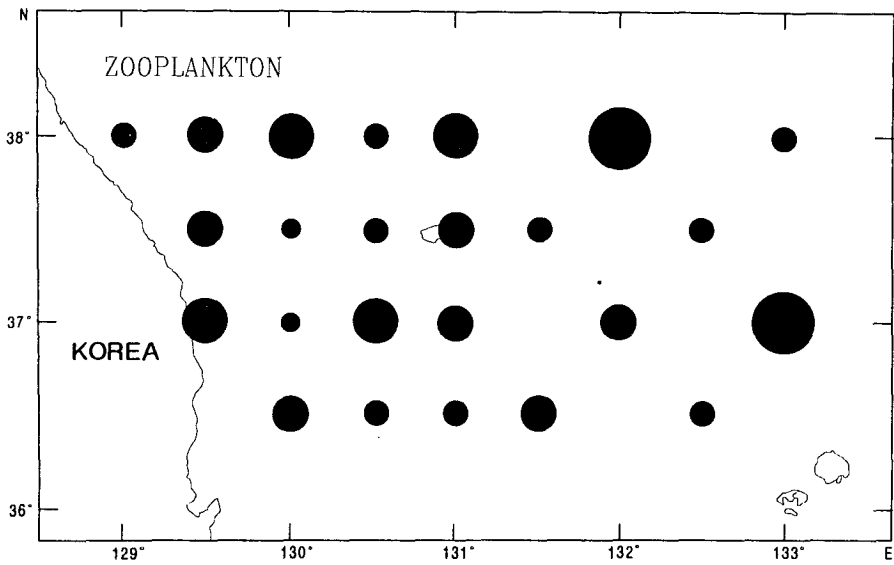


Fig. IV-33. Abundances of total zooplankton and copepods at each station in November 1994

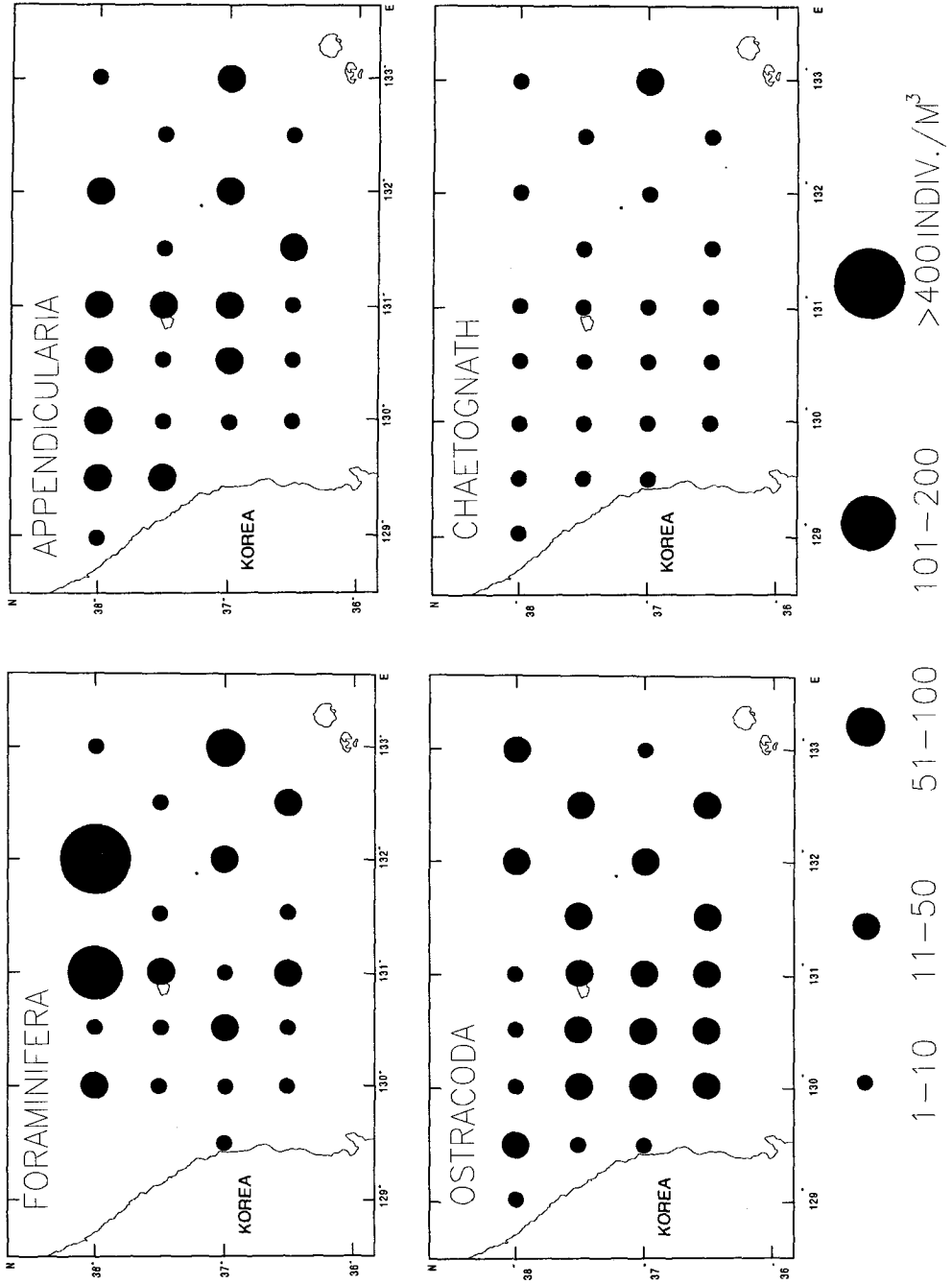


Fig. IV-34. Abundances of dominant taxa of zooplankton at each station in November 1994

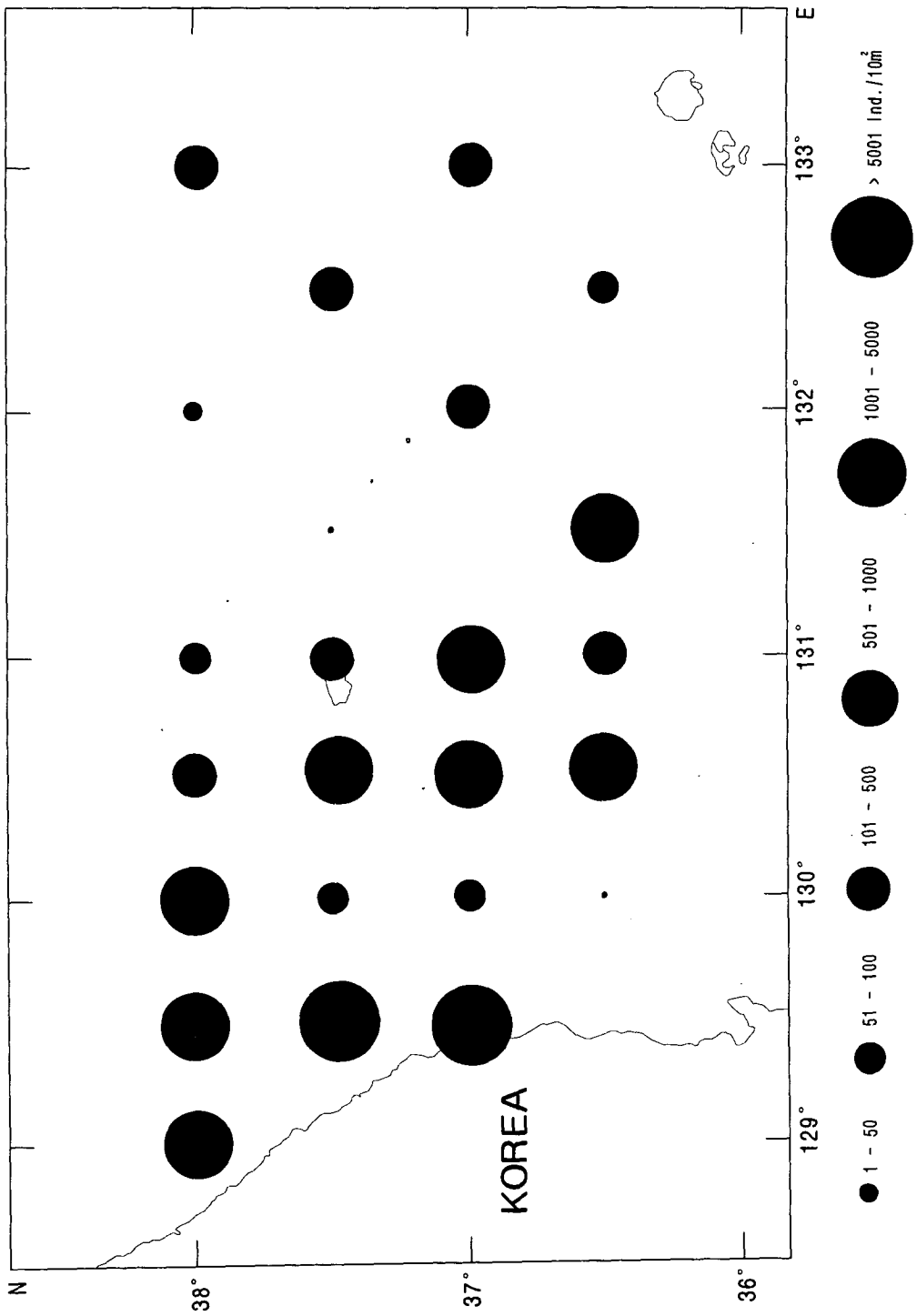


Fig. IV-35. Abundance of fish eggs in the East Sea in November, 1994

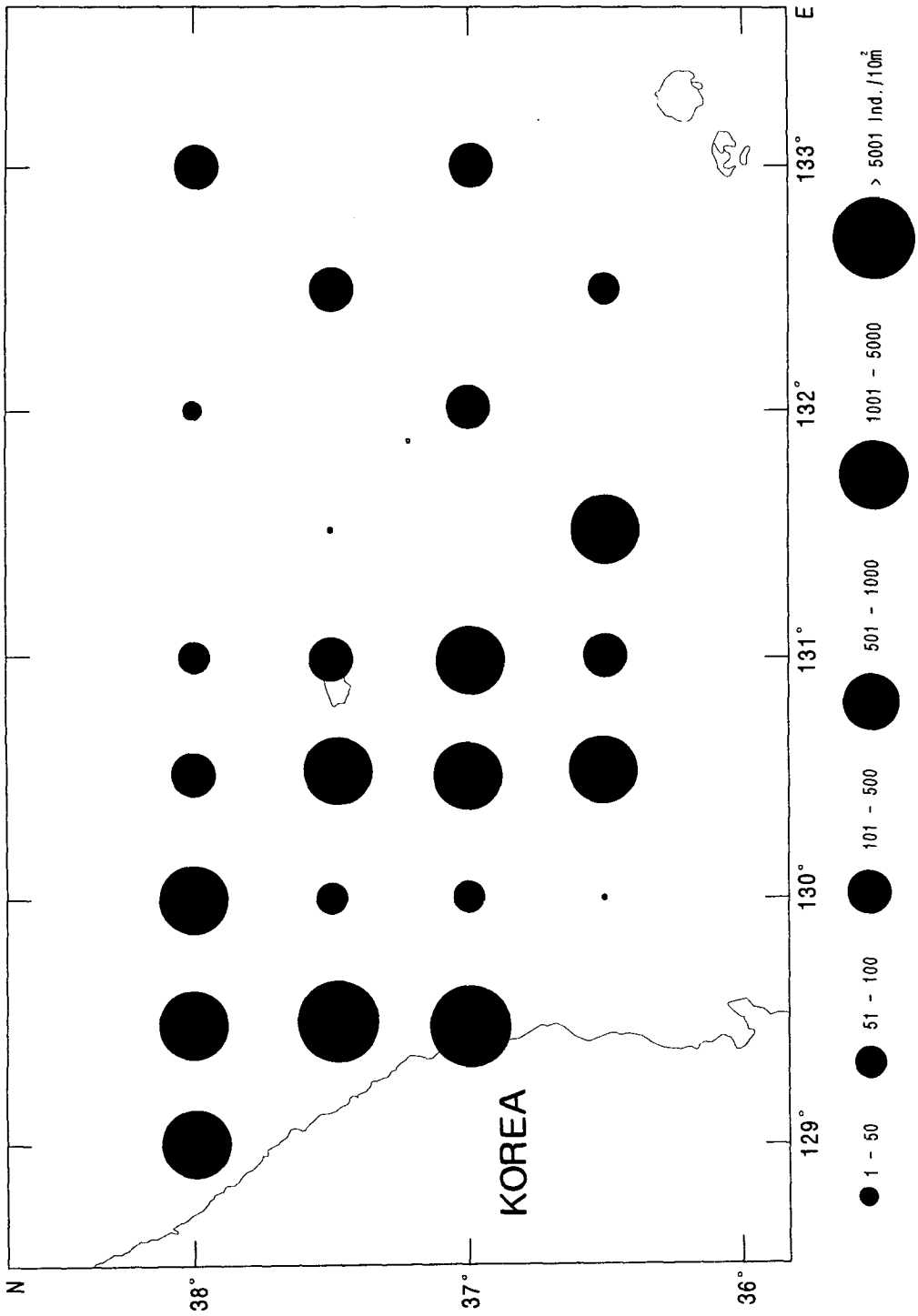


Fig. IV-36. Abundance of fish larvae in the East Sea in November, 1994

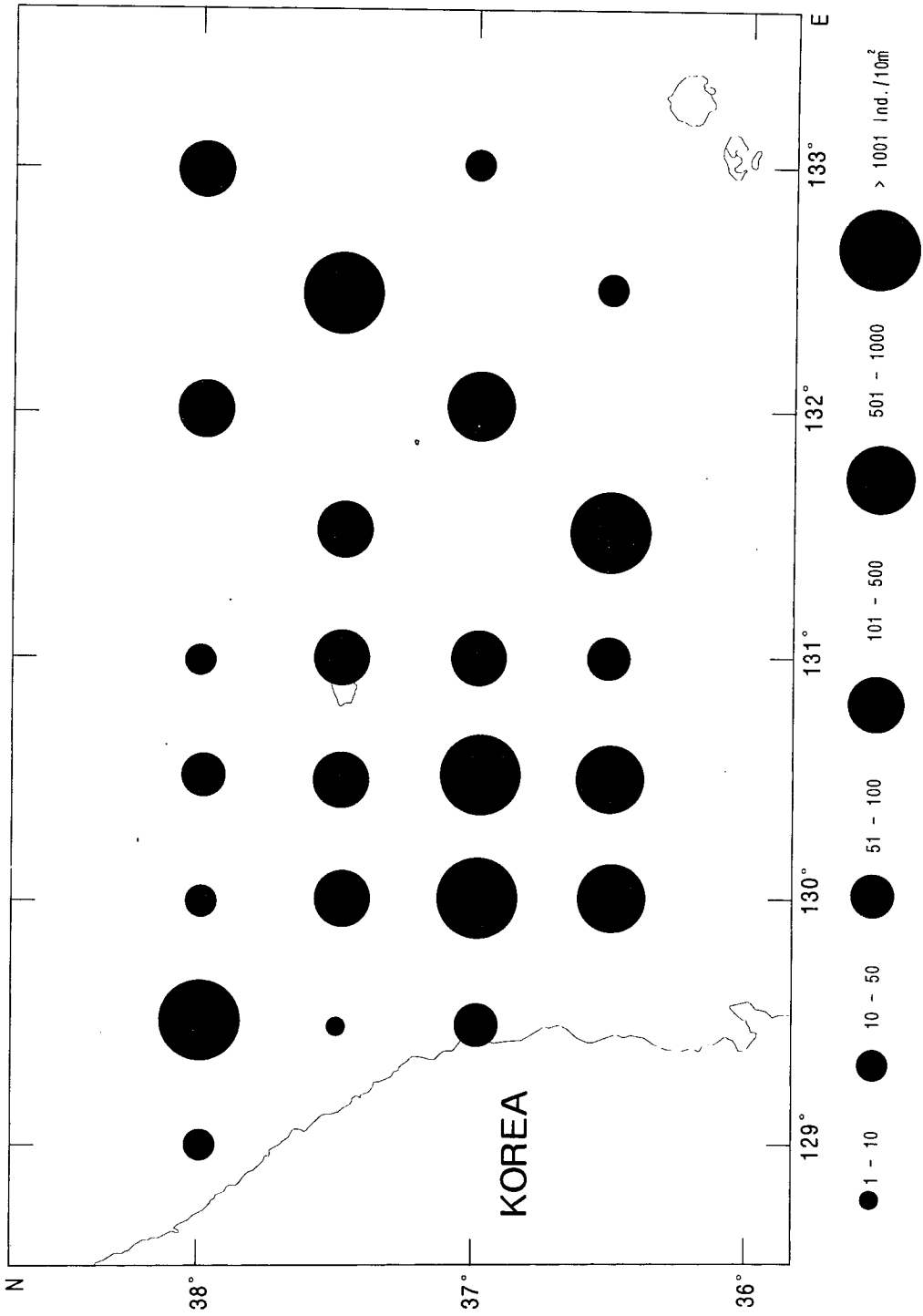


Fig. IV-37. Abundance of larvae of *Maurolicus muelleri* in the East Sea in November, 1994

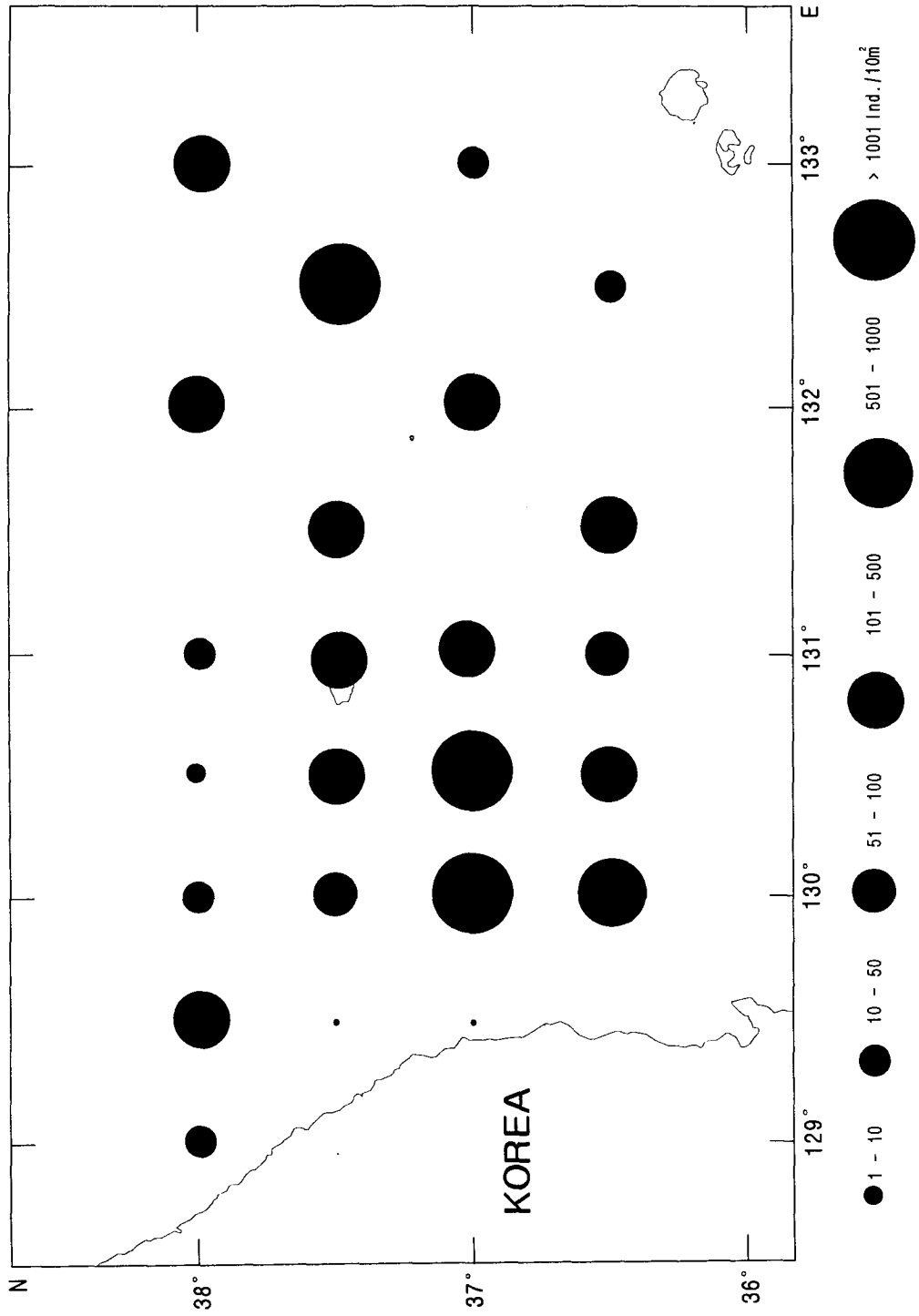


Fig. IV-38. Abundance of larvae of *Engraulis japonicus* in the East Sea in November, 1994

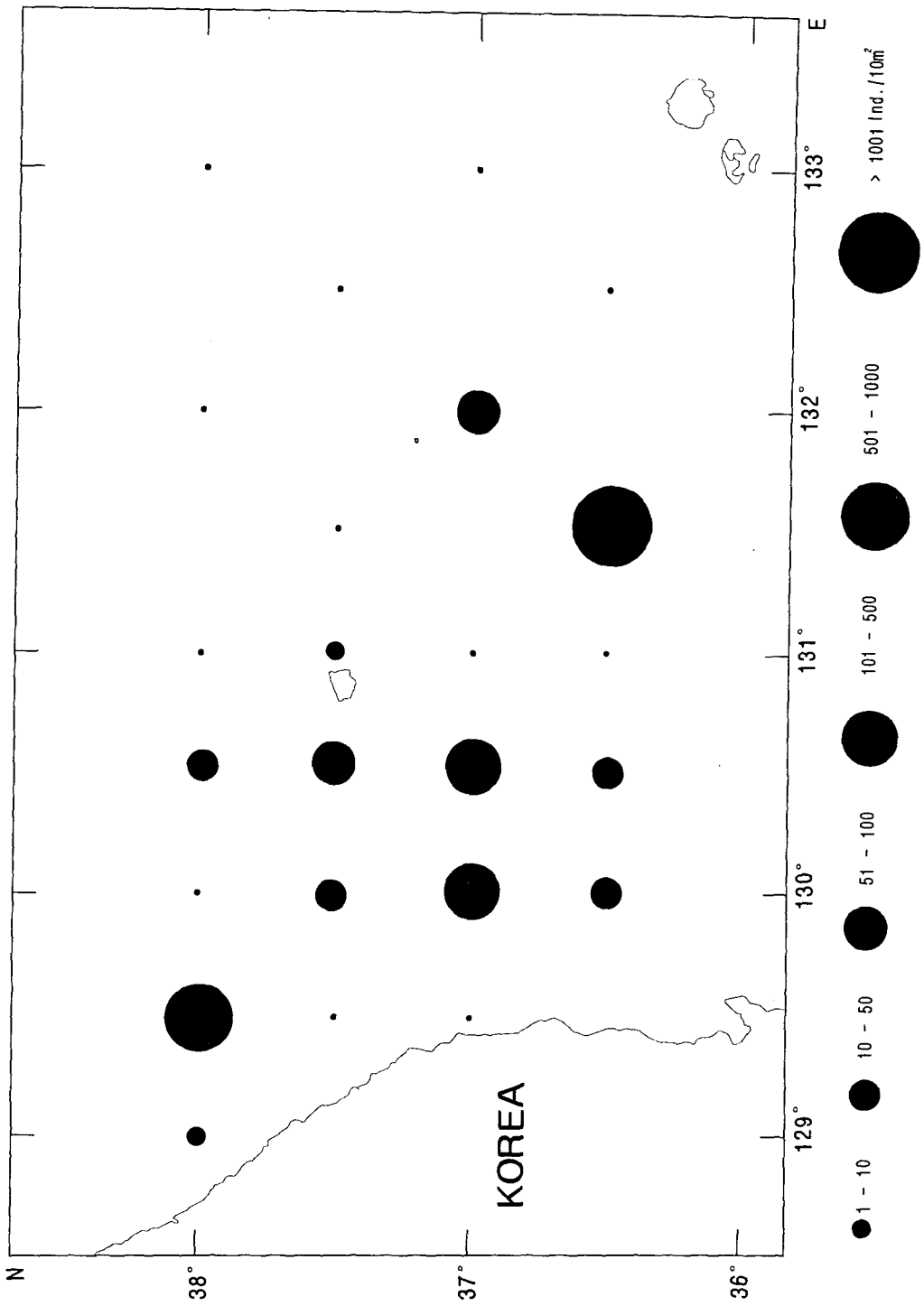


Fig. IV-39. Abundance of other larvae in the East Sea in November, 1994

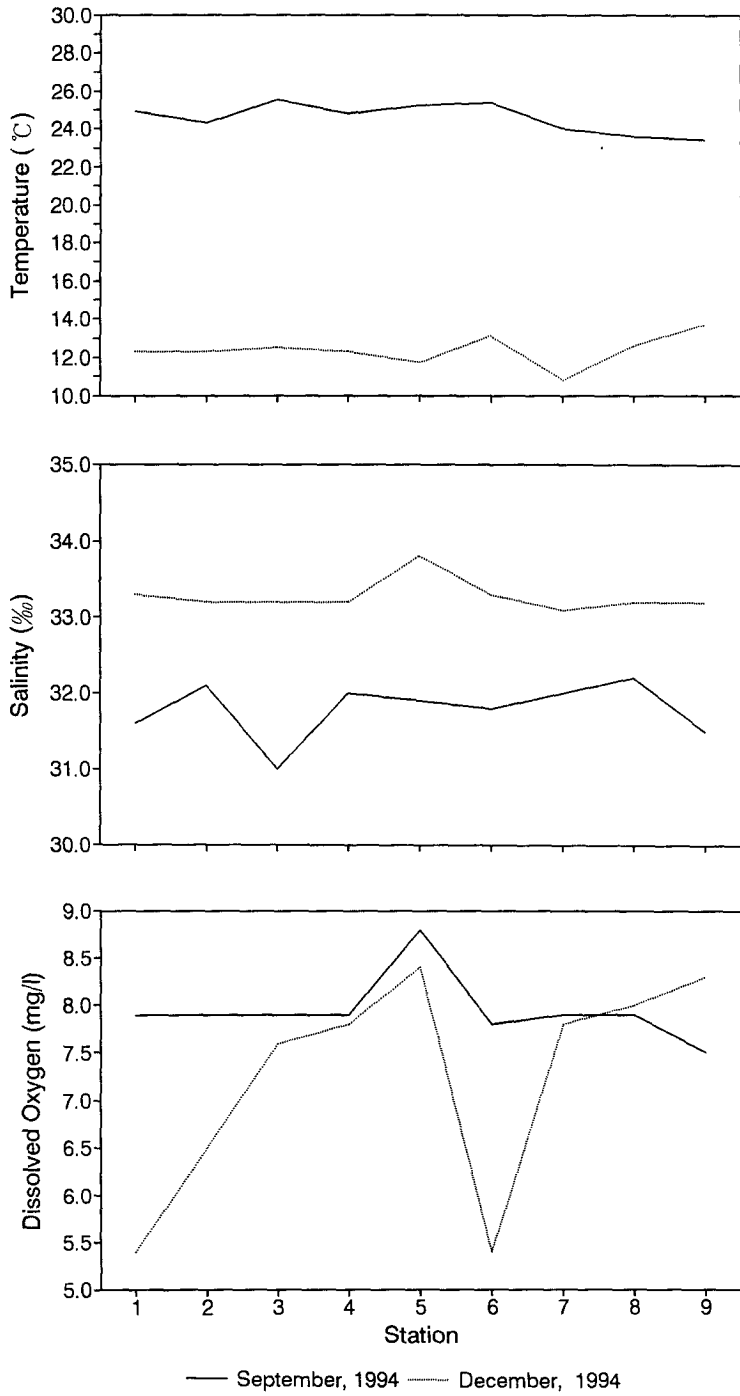


Fig. IV-40. Distribution of Salinity, Temperature and dissolved oxygen at 9 stations observed in September and November, 1994

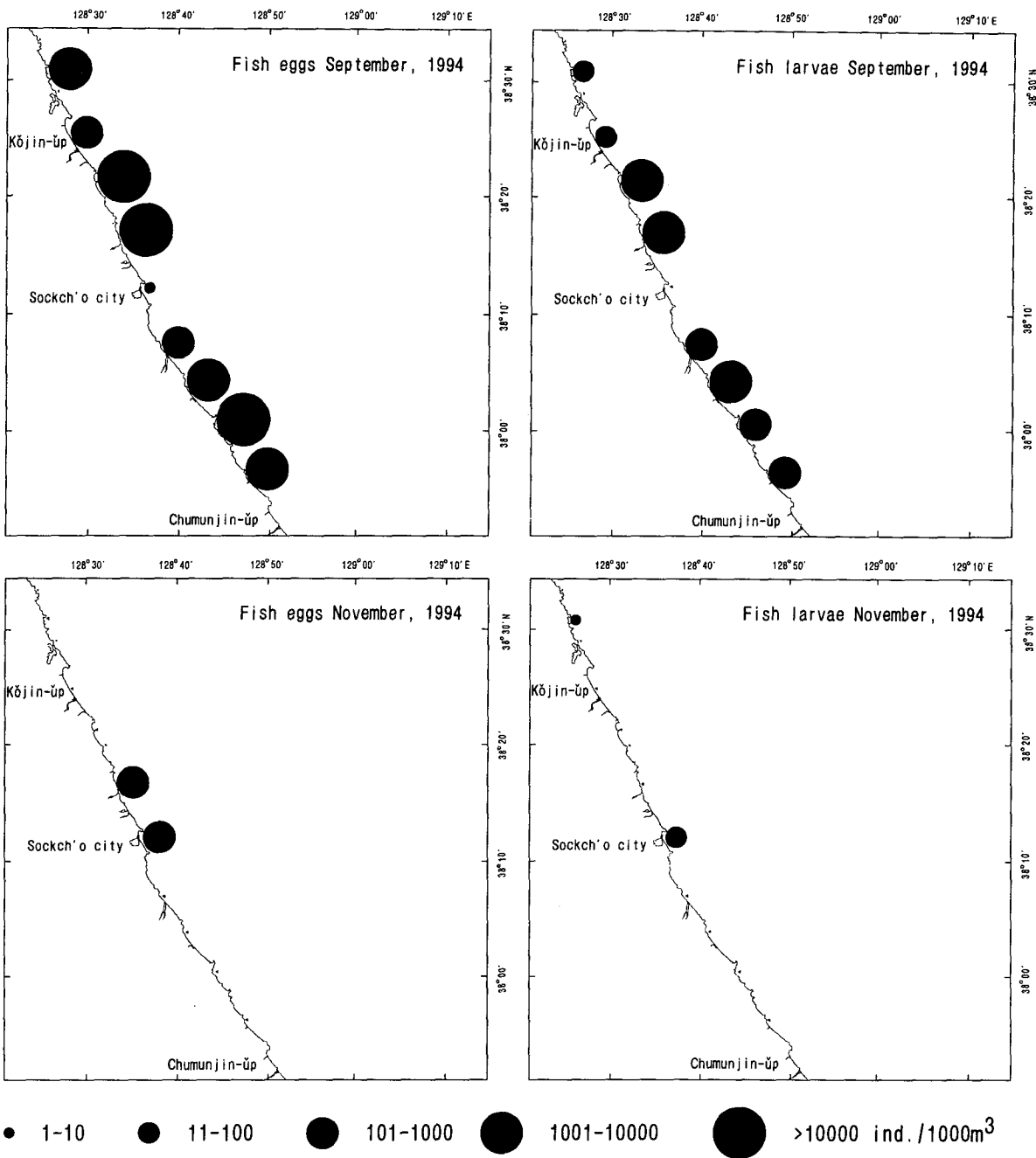


Fig. IV-41. Distribution of fish eggs and larvae in September and November, 1994

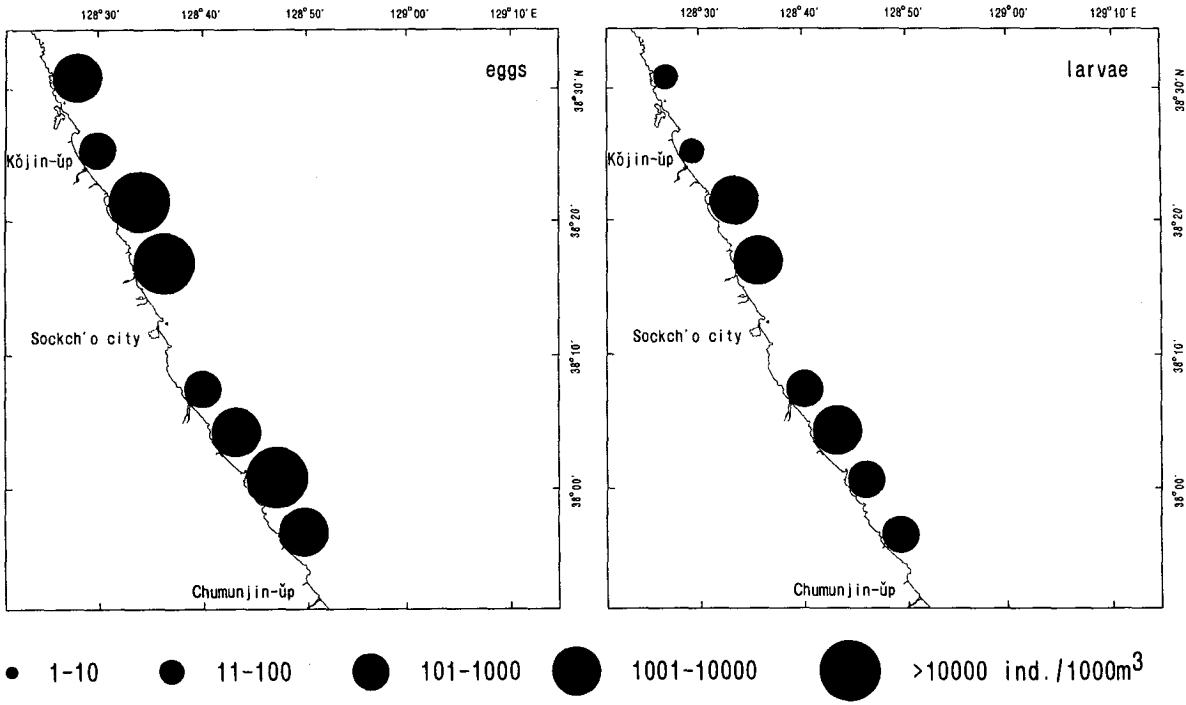


Fig. IV-42. Abundance of eggs and larvae of *Engraulis japonicus* in September and November, 1994

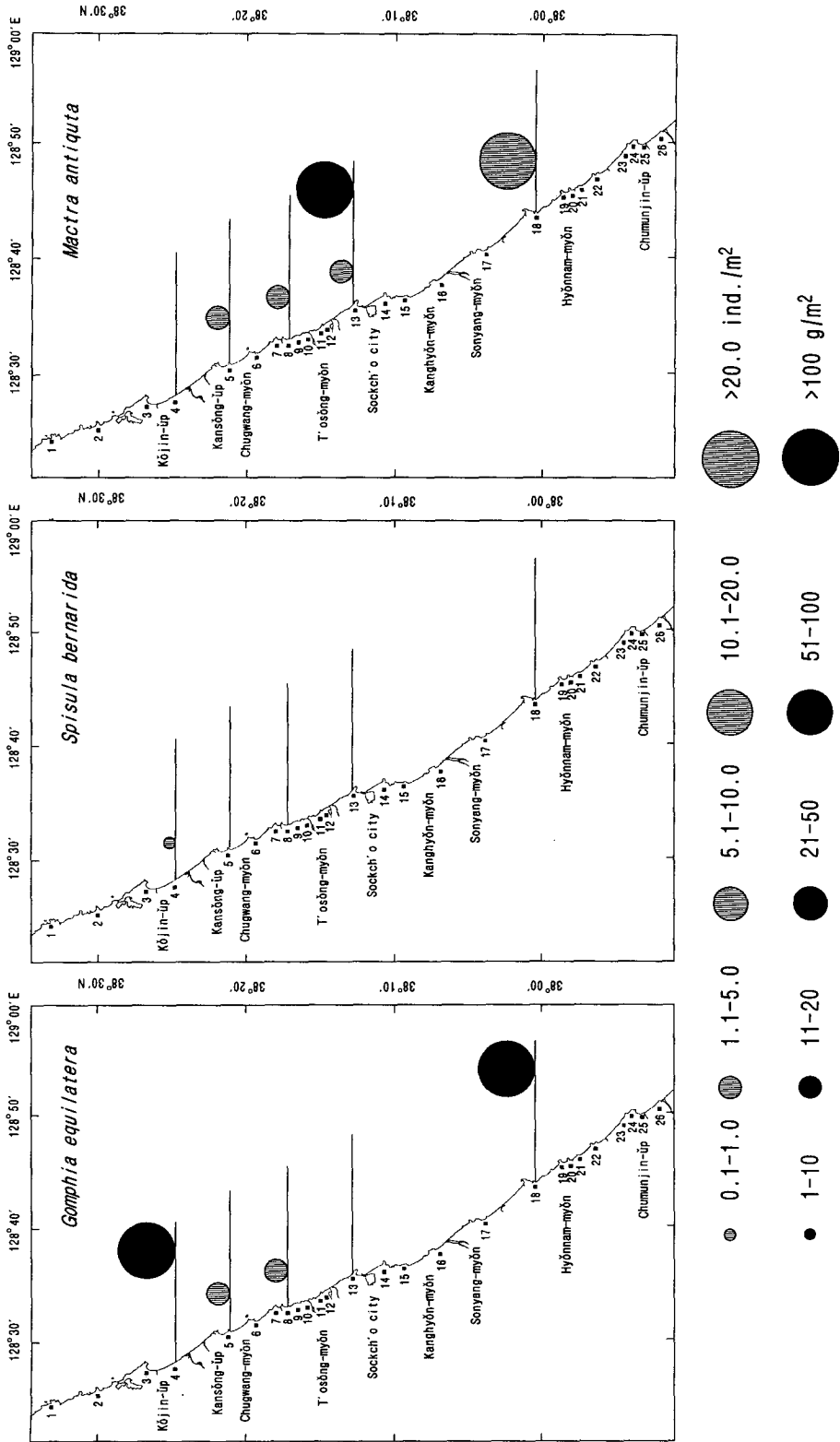


Fig. IV-43. Biomass and density of commercial shellfish

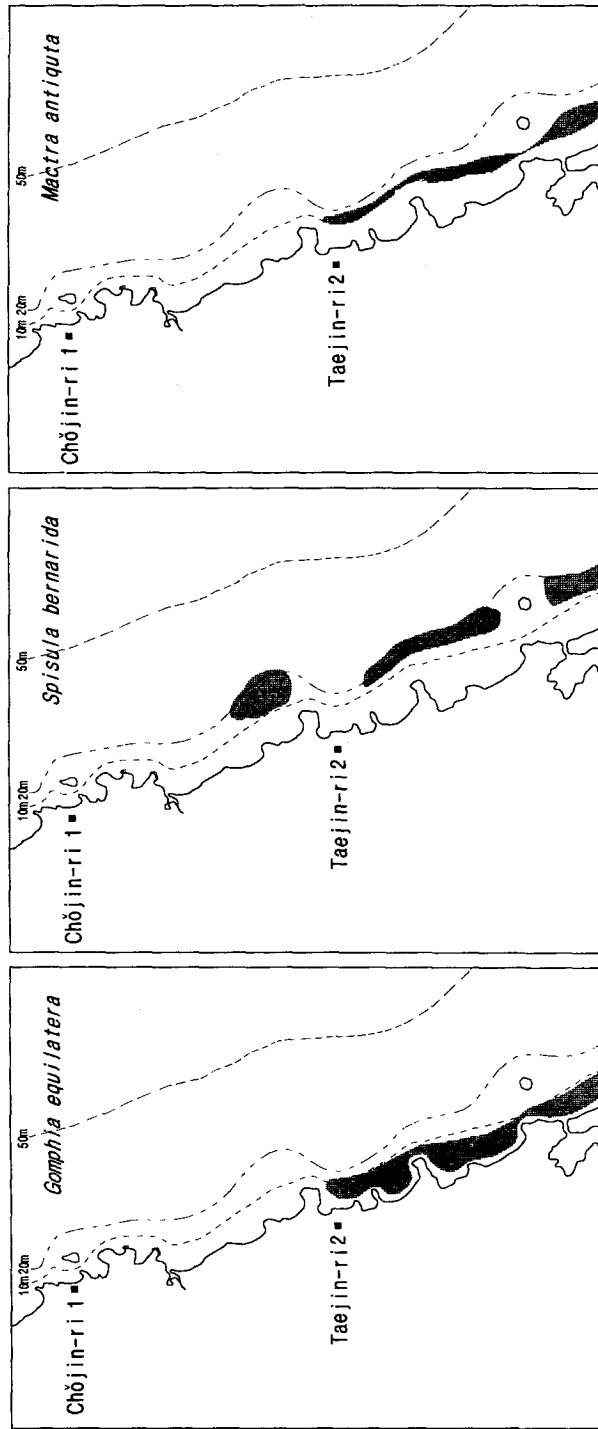


Fig. IV-44. Distributions of commercial shellfish

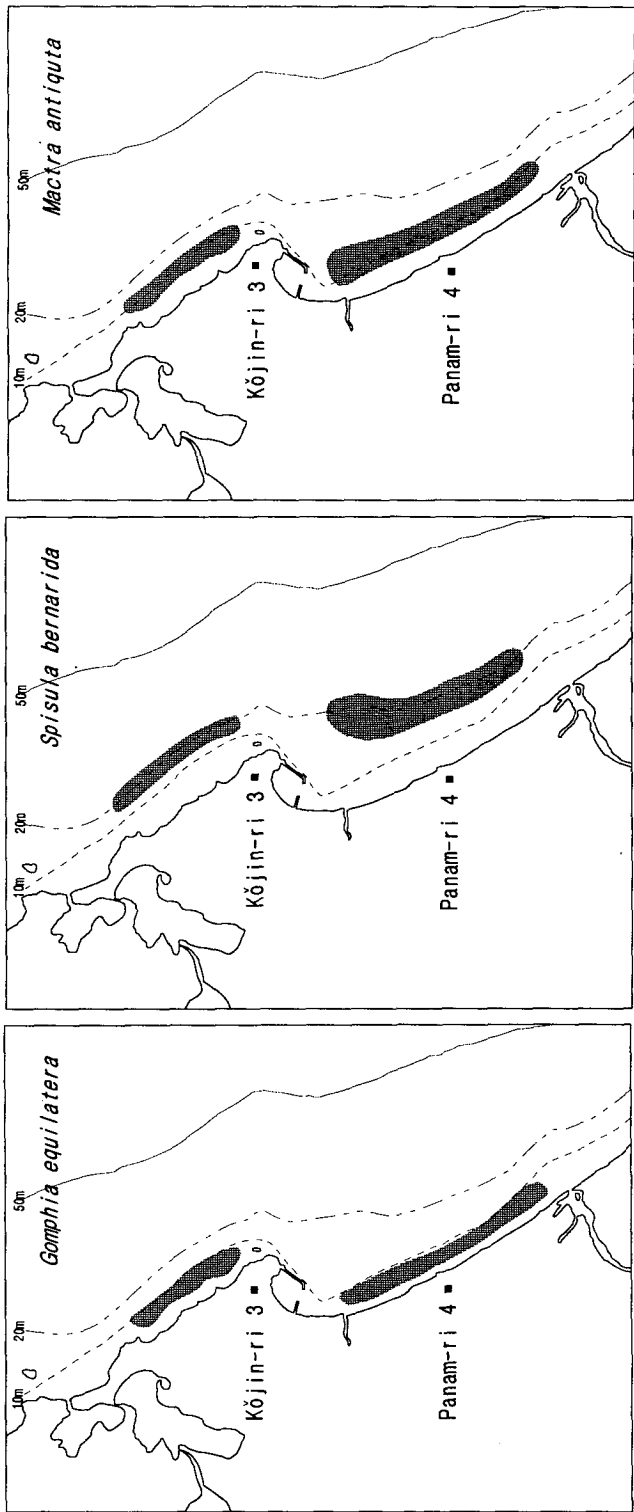


Fig. IV-44. Continued I

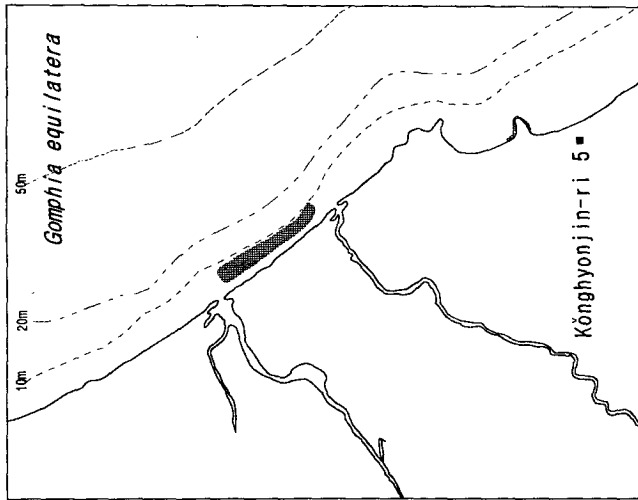
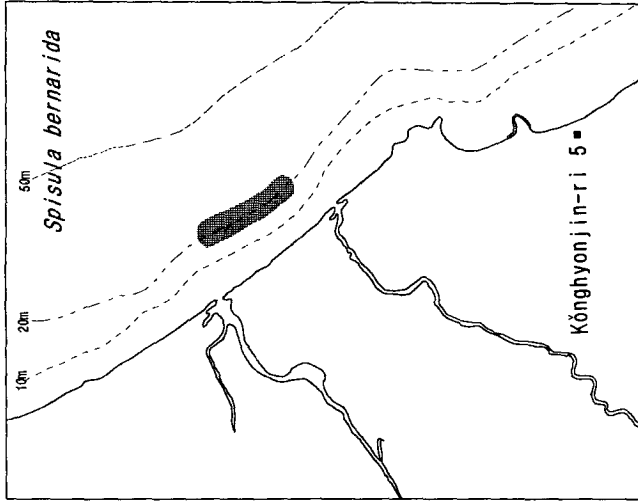
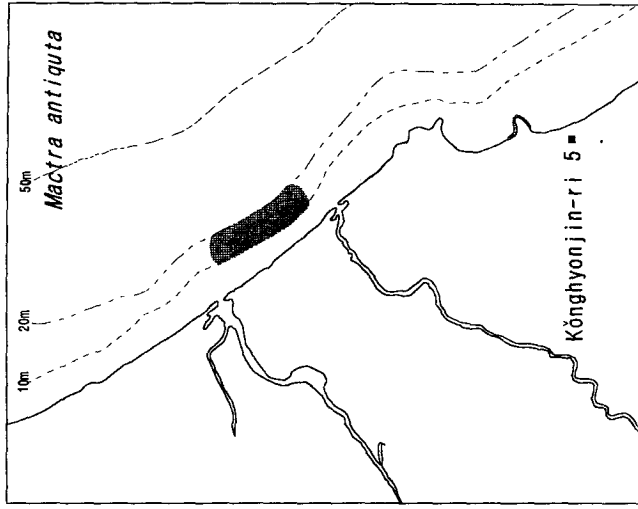


Fig. IV-44. Continued 2

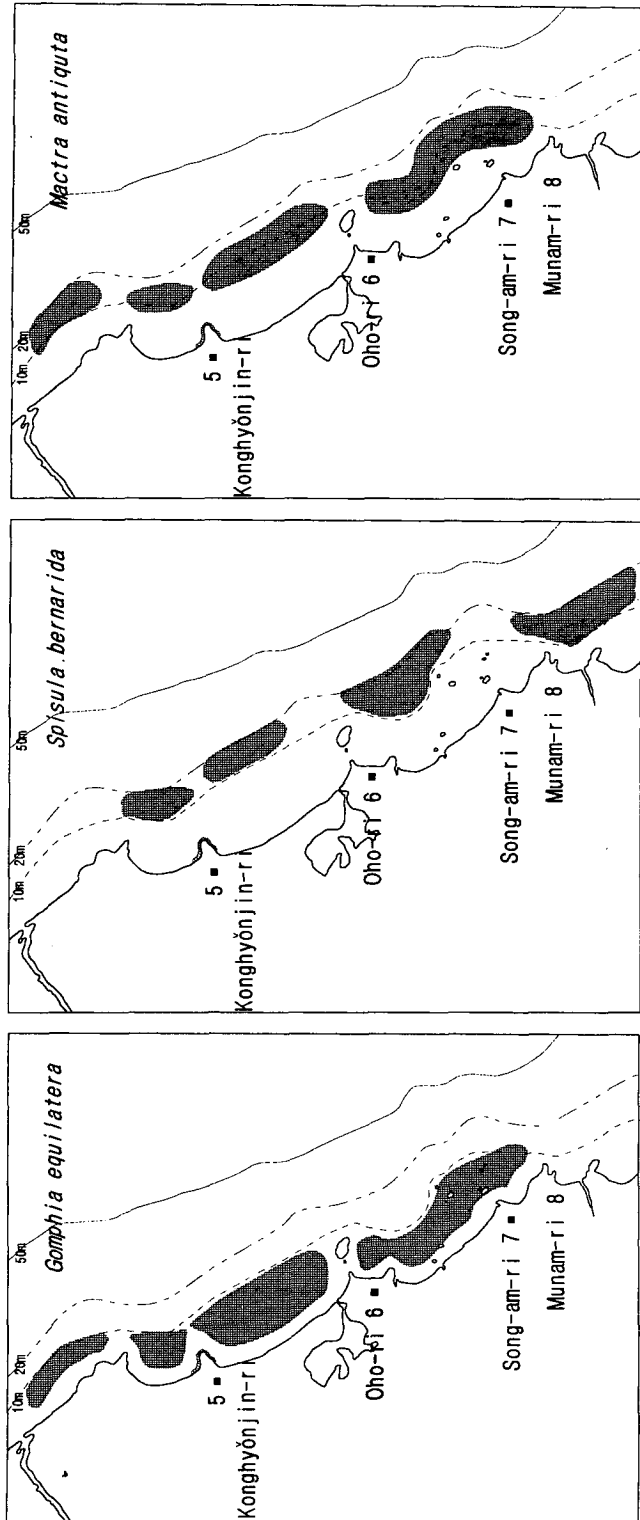


Fig. IV-44. Continued 3

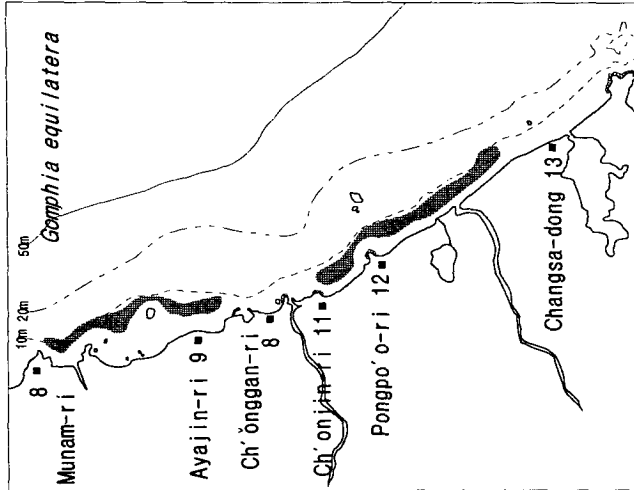
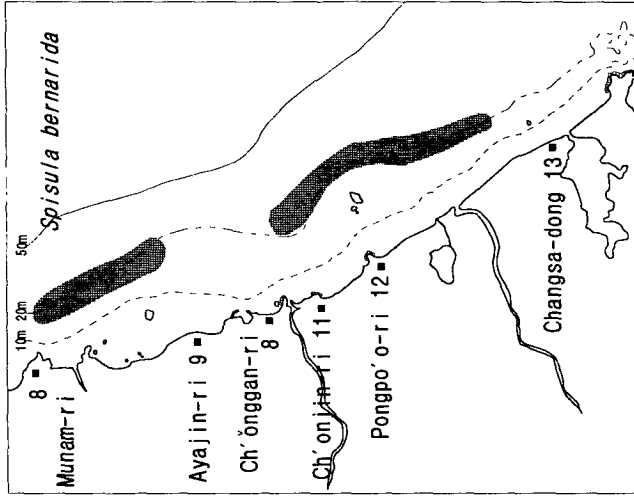
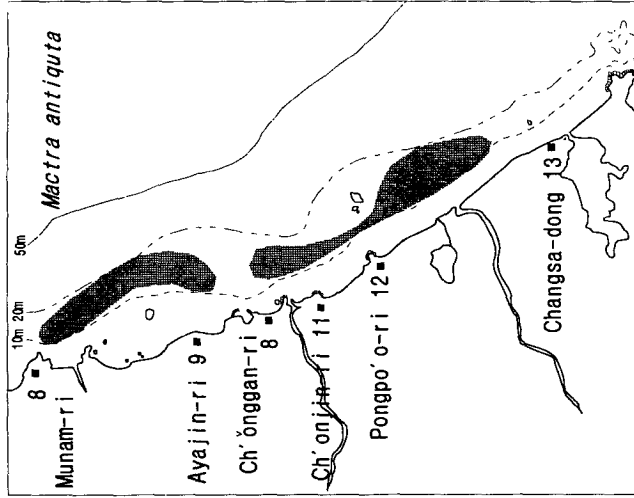


Fig. IV-44. Continued 4

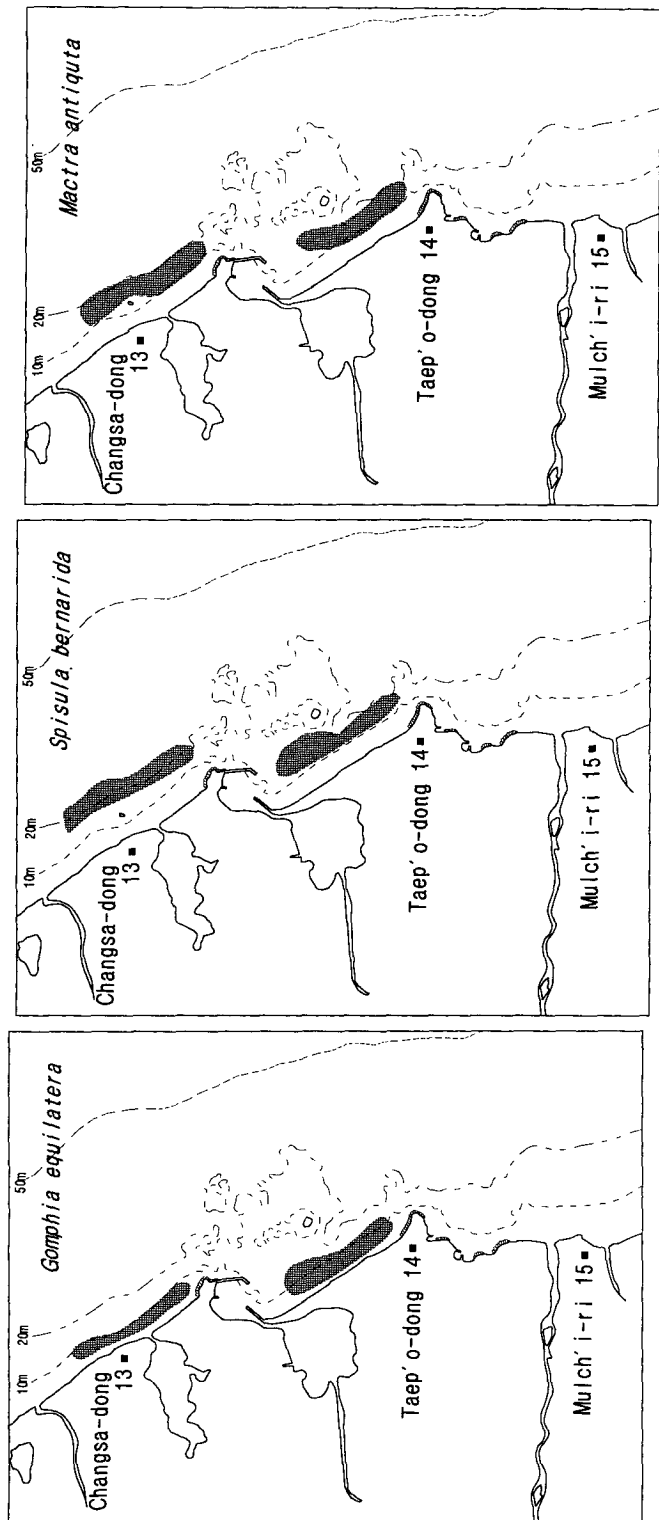


Fig. IV-44. Continued 5

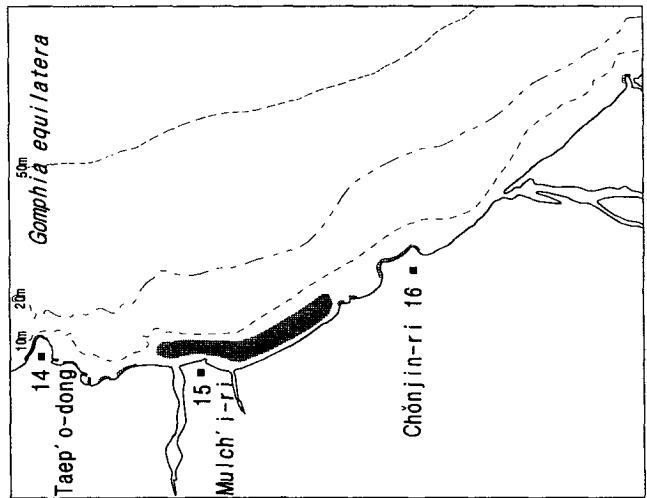
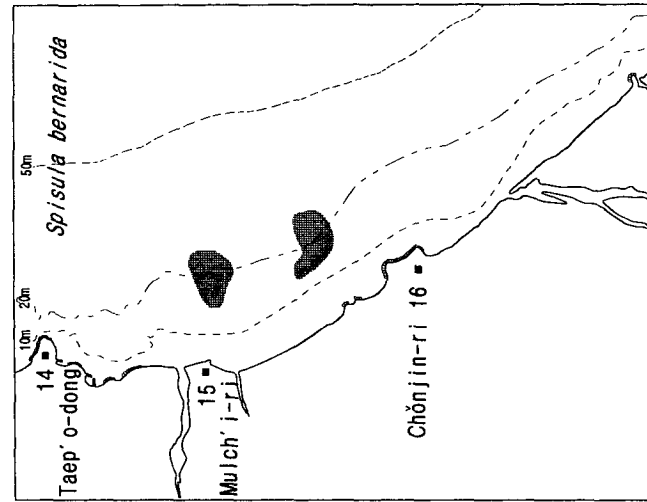
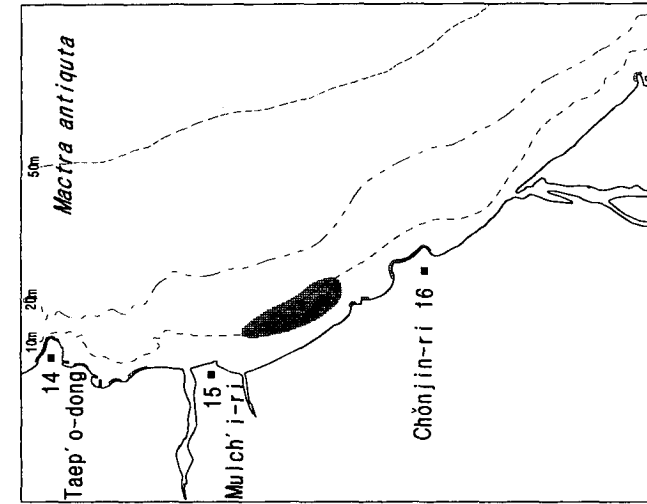


Fig. IV-44. Continued 6

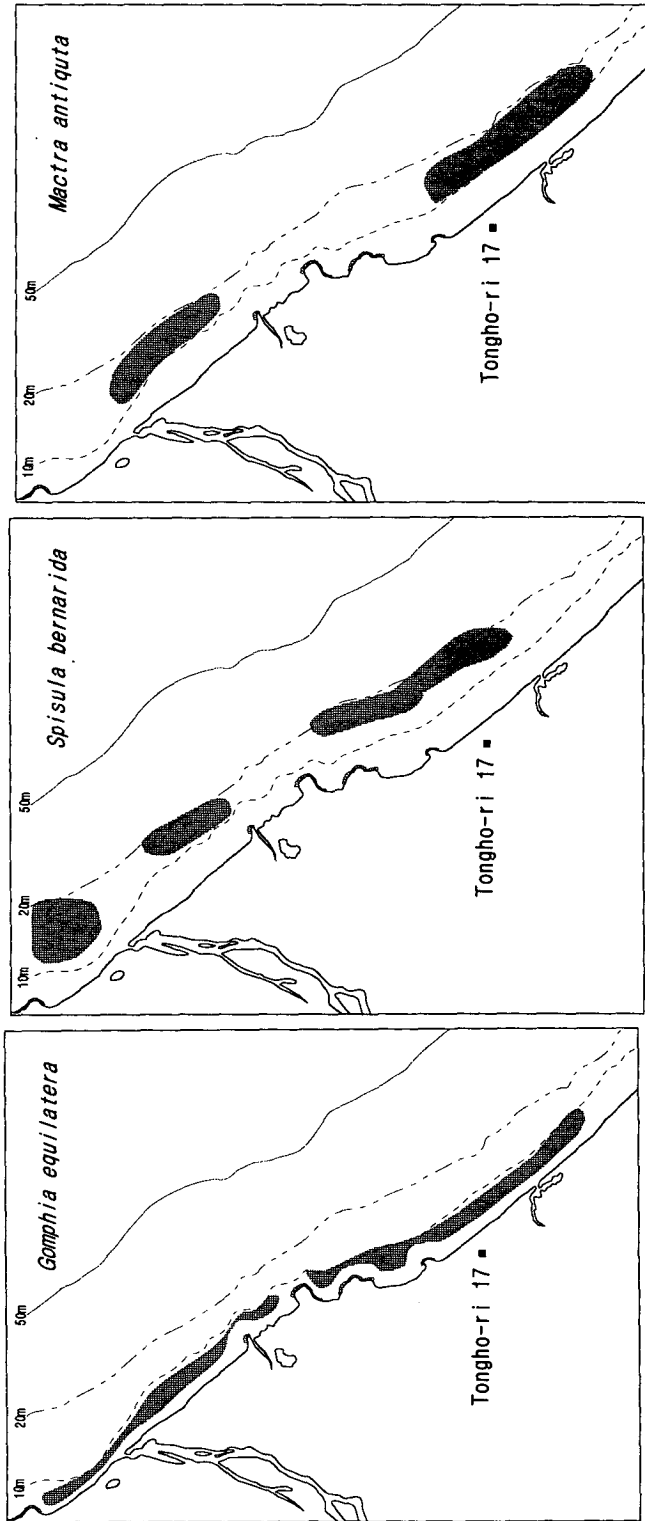


Fig. IV-44. Continued 7

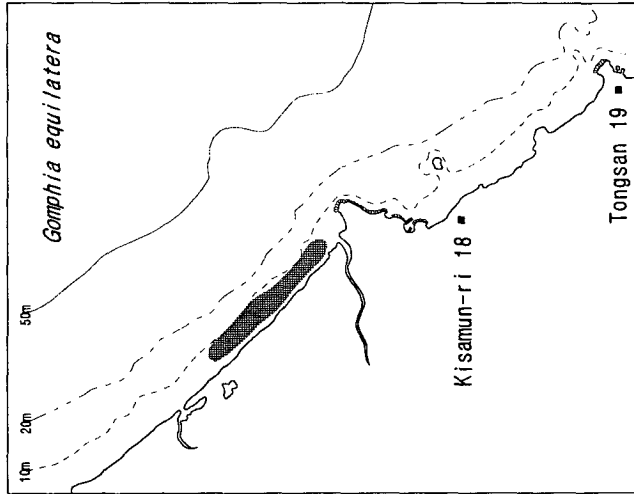
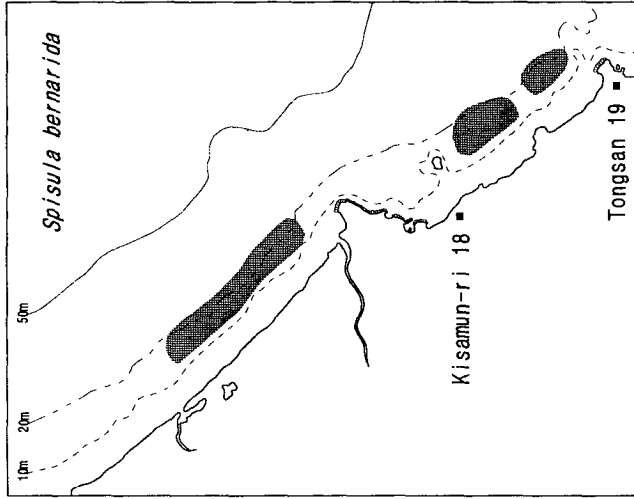
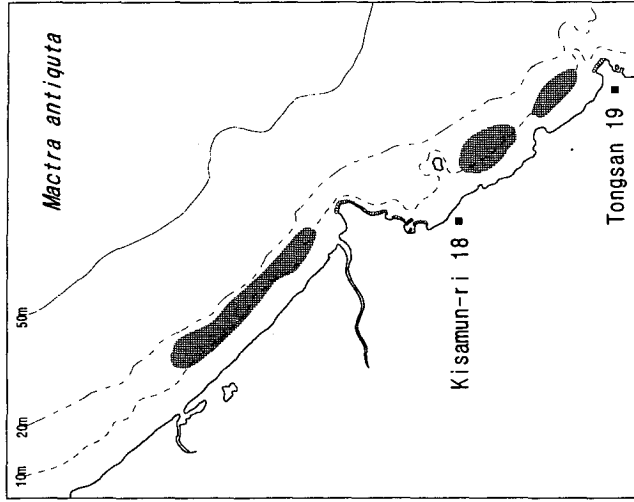


Fig. IV-44. Continued 8

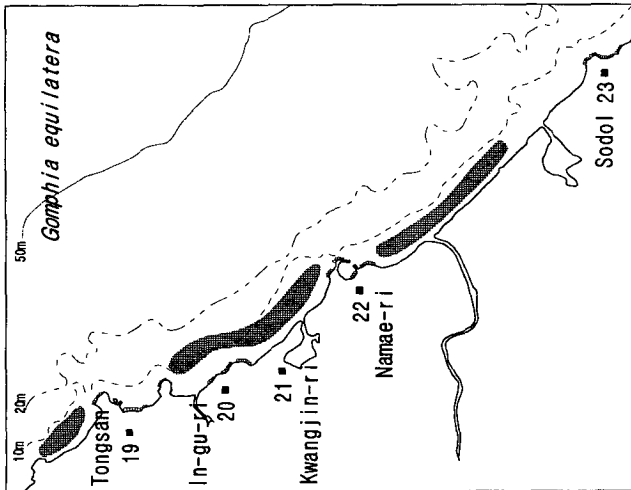
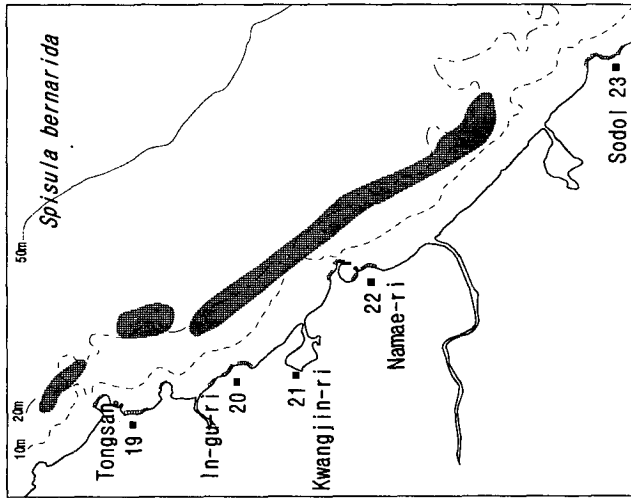
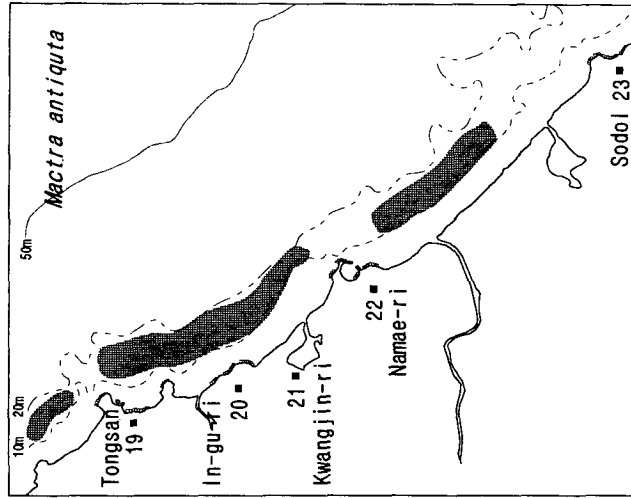


Fig. IV-44. Continued 9

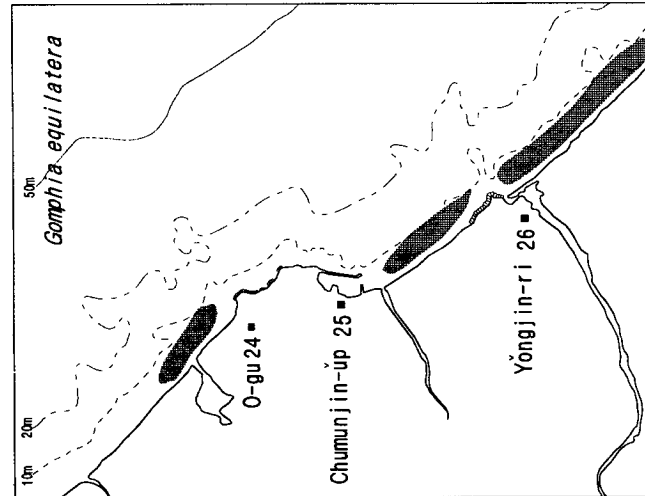
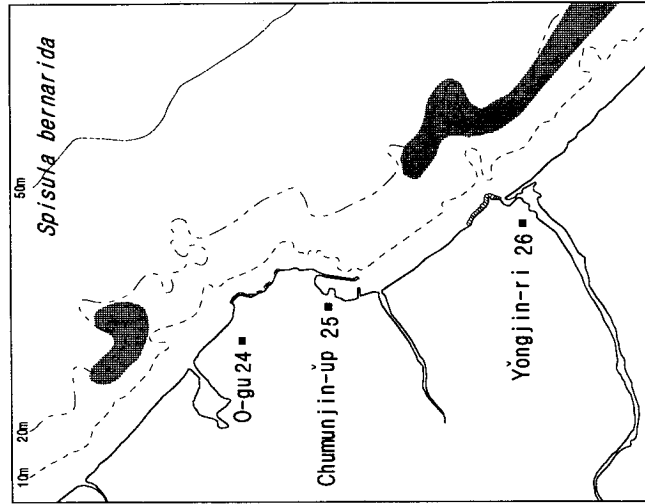
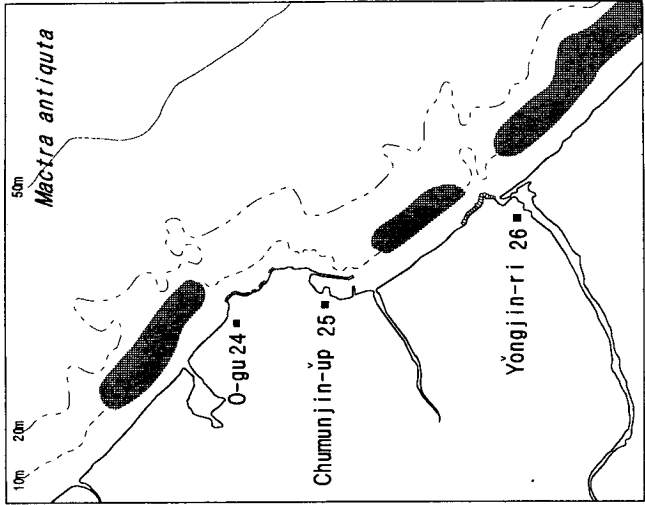


Fig. IV-44. Continued 10

第 V 章

地質海洋學分野

(STUDIES ON GEOLOGICAL
OCEANOGRAPHY)

分野責任者：	申東赫		
研究員：	韓相俊	劉洪龍	
	姜正極	石奉出	
	李熙俊	金聖烈	
	元重善	崔東林	
	朴贊弘	李熙一	
	尹錫勳	禹漢俊	
	千鍾華	秋塔植	
	權秀才	尹重洙	
	金光山	張錫	
	楊永善	金祇希	

第 1 節 緒 說

조사해역인 東海는 대륙붕의 발달이 미약하고 대륙사면, 그리고 수심이 최대 2,500 m 정도에 이르는 울릉분지가 발달하는 해역이다. 반면에 외해와의 수괴의 순환이 제한적인 동해는 준폐쇄해역으로 4개의 해협을 통해서만 外海와 연결되어 있다(승영호, 1992; 이홍재 외 2, 1992; 안희수 외 2, 1994; 이홍재, 승영호, 1994).

동해의 형성은 울릉분지의 발달과 밀접한 관계가 있으며, 현재까지 알려진 바로는 동해는 서태평양의 배호상분지 (back-arc basin)의 한 부분이며 일본분지는 태평양판의 섭입 (subduction)에 의한 후열도확장으로 생성되었음이 보고되었다(윤석훈, 1994). 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 쇄설성의 신생대 제3기 초기 이후부터 제4기 퇴적층으로 구성되어 있으며, 퇴적환경은 전진퇴적양상을 보이는 하구 환경과 대륙사면, 대륙선상지, 심해평원이 연속적으로 배치된 환경이다.

동해 연구의 목적은 조사해역의 해양지질과 지구물리 특성을 밝히는 것이며, 주된 조사항목은 해양지질분야에서는 시추퇴적물과 표층퇴적물 채취시료로부터 퇴적물 입도분포, 퇴적구조, 중광물, 점토광물, 중금속, 미고생물, 지질공학적 특성의 분석과 지구물리분야에서는 지구물리탐사(3.5kHz, ORE, Spaker), 해저지형(측심), 지자기 탐사에 의한 해저지층의 분포와 해저지형 분석, 지자기 분포의 분석등이다. 이러한 연구결과는 궁극적으로 지구환경 변화에 따른 해수면 변화기록과 동해의 성인 연구를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 이후 해양 공간자원의 활용 및 환경보전을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

본 보고서는 동해에 대한 1차년도 보고서이며, 세립질퇴적물의 공급지, 이동 경로와 집적장소를 밝히고자 수심에 따른 부유퇴적물의 분포를 조사하였다. 이러한 조사는 남해와 황해에서는 수행되었으나 동해에서는 실시된 적이 거의 없다(이희준, 1991; 최진용, 1993, 공영세와 이병걸, 1994; 조양기와 김구, 1994). 그리고 1991년부터 수행한 부유물질 분포조사 방법의 개선을 위해 행하여진 광학적 현장 측정방법의 구축에도 중점을 두었다(한국해양연구소, 1991).

특히 현재까지 동해에서 수행된 수괴들의 상호작용의 연구는 물리자료에 국한되어 왔는데 부유퇴적물의 연구는 수괴의 상태를 간접적으로 유추할 수 있으며, 세립질 퇴적물의 공급과 이동 및 집적작용을 밝히는데 지대한 공헌을 할 것이다.

第 2 節 調查 및 分析方法

1. 사용기기

- Rosette Sampler : 부유퇴적물 측정용 해수 채취
- Millipore Filtering Kit : 해수 여과
- Griffin 3/250 FC Oven : 건조용
- Balance : Metteler P 160 N 9 : 퇴적물 및 부유물질 정량용
- Transmissometer(Sea Tech) : 해수탁도 측정
- Data Logger : 해수 탁도 자료 획득
- Notebook Computer & IBM PC 386 : 자료 분석

2. 시료채취

동해중서부에 대한 부유물질(suspended sediments) 특성을 알기위해 94년 11월에 해양조사선 “은누리호”를 이용하여 총 41개 정점에서 부유물질 농도를 측정하기 위하여 각 수층별(표층, 10 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 1,000 m, 1,500 m)로 약 2 l의 해수를 채취하여 분석하였다. 그리고 6개 정점에서 심해용 Transmissometer (path length: 15 cm)를 이용하여 수심에 연속적으로 부유물질 농도를 측정하였다.

3. 실내분석

가. 부유퇴적물

본 조사에서는 東海 南西部 海域에 설정된 41개의 調査定點중 34정점에서 연속적으로 조사하였으므로 조석의 영향은 전혀 고려되지 않았다. 수온 및 염분자료는 각 수괴의 성질을 파악하는데 이용하였다.

1) 현장실측

부유물질농도 측정은 1994년 11월 9일 부터 11월 23일 까지 15일동안 연속적으로 13개 점점에서 표층해수를 채취하였고, 21개의 정점에서 각 수층별로 해수를 채취하여 정점조사를 하였다.

부유물질 분석을 위한 해수시료는 0104, 0106, 0110, 0206, 0209, 0211, 0302, 0304, 0310, 0312, 0404, 0406, 0409정점의 표층수를 채수하였다. 나머지 정점에서는 0 m, 10 m, 50 m, 100 m, 200 m, 500 m, 1,000 m, 1,500 m 수심에서 Niskin 채수기가 부착된 Rosette 시스템을 사용하여 채수한 후 2l 폴리에틸렌 용기에 저장하였다. 채수된 해수들의 여과장치는 Millipore Filtering set에서 Millipore membrane filter paper (pore size: 0.45 μ m)를 사용하였다. 해수 여과시에는 채수된 해수중 2l 를 흡입여과를 하였으며, 염분을 없애기 위하여 각 해수마다 수차례 증류수를 사용하여 세척하였다. 그리고 실험실에서 여과종이를 다시 건조시켜 무게를 측정, mg/l 로 환산하였다.

2) 광전도측정기를 이용한 부유물질 농도 측정

광전도측정기를 이용한 부유물질 농도 측정방법은 광전도 측정기 (transmissometer ; path length-15 cm), Data Logger와 Battery를 연결하는 system을 구축하고 이를 보호하는 철제 구조물을 제작하였다. 그리고 조사선에서 독립적으로 해수에 투입하여 수직적으로 연속적인 부유퇴적물 농도 측정을 실시하였다.

실험실에서는 filtering에 의한 부유퇴적물 농도값과 Transmissometer에 의해 광학적으로 얻어진 값을 X-Y 좌표상에 plot 하여 대비하였다. 그리고 상관관계를 지수적인 관계식으로 추론하였다. 이러한 대비에서 해수의 채수와 광전도 측정기의 측정은 같은 지점에서 이루어졌지만, 동시간대에 이루어지지 않아서 다소간의 두 값의 상관관계에 영향을 미칠 수 있다.

第 3 節 結果 및 考察

1) 부유물질 농도

1994년 11월 9일 부터 11월 23일 까지 동해 조사지역에서 13개 정점에서는 표층수를 그리고 21개 정점에서는 각 수층별로 채수하여 부유물질을 분석하였다. 이 자료를 바탕으로 가을철에 속하는 11월 동해의 수평적, 수직적 부유물질의 분포양상을 조사하였다 (Table V-1).

조사지역인 동해는 대마난류와 북한한류계수가 계절에 따라 유동적으로 영향을 미치며, 동해중층수 또는 고유수가 상호 작용을 하는 지역으로서 계절 및 수심에 따른 복잡한 수괴가 형성된다(Morigasu, 1972). 이러한 상호작용에 의해서 세립질의 부유물질의 농도 역시 영향을 받는 것으로 사료된다.

전체적인 부유물질 농도는 0.1~1.5 mg/l 로서 아주 낮은 값을 보여준다(Fig. V-1~V-5). 대한해협외의 조사에서도(한국해양연구소, 1994; 기상청, 1992) 5월과 8월의 하절기에는 5~15 mg/l 의 높은 부유물질 농도가 나타나는 반면, 11월과 1월에는 0.1~7 mg/l 로 낮은 부유물질 농도를 보였다.

각 수심별 부유물질 농도를 살펴보면, 표층에서는 위도 36°~37°N 와 경도 130°E 에서 1.0 mg/l 로 최대치를 보이는데 이 수괴는 고온 저염(20 °C, 33.5 ‰)의 특성을 보이며, 40 m~50 m 까지의 수심까지 연장되어 있다. 그러나 37°N 이북의 1 mg/l 의 분포를 보이는 곳에서는 고온 고염(17 °C 34.2 ‰)의 특성을 보인다. 해안선과 평행하게 외해로 가면서 부유물질 농도는 점차적으로 감소하며 동해의 중심부에서는 최소값인 0.4 mg/l 을 나타낸다. 위도 37°~38°N 사이에서는 고온 고염(20 °C, 34.2 ‰)의 수괴가 표층을 유지하는 반면 38°N 이상의 지역에서는 고온 저염(16 °C, 33.7 ‰)이 우세하다. 그리고 울릉분지를 둘러싸는 주변의 대륙사면에서는 1,000 m~1,500 m 의 상대적으로 얇은 수심에서는 0.6 mg/l 이 분포한다(Fig. V-1).

10 m 의 수심에서는 표층과 거의 유사한 수괴를 가지며, 부유물질농도는 연안지역에서 0.8 mg/l 의 최대치를 보이며, 동해 중심부에서 0.2 mg/l 의 최소치를 보인다. 온도와 염분의 분포양상도 표층과 거의 유사한 양상을 보인다. 단지 남동쪽 36.5°N 이남으로부터 저농도 부유물질 지역이 형성되었다 (Fig. V-2).

50 m 수심에서는 상당한 부유물질의 차이를 보여준다. 연안의 1.0 mg/l의 최대치를 보이는 경계면이 상당히 외해로 전진하였으며, 37°30'N 이북으로 부터 길게 남쪽으로 1.0 mg/l 부유물질의 분포지역이 확장되어 있다. 연안에서는 40 m~

50 m 의 수심에서 수온약층의 발달과 고염의 해수가(34.4%) 침입하여 불안정한 수괴를 이루고 있다. 그리고 38°N 이북으로부터의 고농도지역에서도 고염화(34.3 %)되어 간다. 그리고 36.5°N 이남으로 부터 저농도 부유물질 지역이 유지된다 (Fig. V-3).

100 m 수심에서는 연안의 수괴는 80 m 이하로부터 안정되어 일정한 농도를 보여주며, 외해에서는 상당히 불안정한 수괴가 형성되어 부유물질 농도 분포에도 영향을 준다. 연안의 36.5°N 이남에서는 저온고염(3 °C, 34.2 %)의 수괴가 상대적으로 낮은 0.8 mg/l 이하의 부유물질이 존재하고 36.5°N 이북의 저온고염(4 °C, 34.3 %)의 수괴에서는 0.8~1.0 mg/l 의 상대적으로 높은 부유물질을 포함한다. 그리고 분지 중심부에서는 저농도 부유물질을 보여주지만 지역에 따라 높은 고농도 부유물질을 보여주기도 한다(Fig. V-4).

500 m 수심에서는 연안근처의 지역에서 상당히 외해쪽으로 1.0 mg/l 의 부유물질이 분포하며, 동해 중심부에서도 1.0 mg/l 의 고농도 부유물질 지역이 나타난다. 이 수괴는 상당히 안정된 것으로 저온고염(<1 °C, 34.2 %)의 일정한 분포를 보여준다. 이 수괴는 동해중층수 또는 고유수로 해석된다. 그리고 36.5°N 이남 지역에 10 m, 50 m 에서 관찰된 저농도 부유물질 지역이 관찰된다 (Fig. V-5).

위의 결과를 종합하면, 연안지역의 표층에서는 1.0 mg/l 로 최대치를 보이며 고온 저염(20 °C, 33.5 %)의 특성의 수괴가 수심 40 m~50 m 까지의 연장되며 수심 80 m 이하에서는 0.8 mg/l 이하의 부유물질 농도를 갖는 저온고염(3 °C, 34.2 %)의 수괴가 발달한다. 그리고 37°N 이북의 표층을 형성하는 1 mg/l 부유물질 농도의 고온 고염(17 °C, 34.2 %)의 수괴가 대치한다.

외해에서는 0.4 mg/l 의 고온·고염(20 °C, 34.2 %)의 수괴와 38°N 이북 지역의 0.4 mg/l 부유물질 농도의 고온·저염(16 °C, 33.7 %)의 수괴가 분포한다. 이 수괴는 수심 100 m~200 m 에서 아주 불안정하며, 1.0 mg/l 의 부유물질 농도를 갖는 저온고염(<1 °C, 34.2 %)의 수괴가 수심 400 m 이하에 넓게 분포한다.

2) 광전도 측정기를 이용한 부유물질 농도 측정

광전도 측정기를 이용한 부유물질 농도 분석은 크게 두 단계로 나누어서 실행하였다. 첫 단계는 6개 정점에서 광전도 측정기를 이용 약 1m 간격으로 연속적인 수직적 부유물질 자료를 획득하여 부유물질의 분포를 해석하였다 (Fig. V-6). 그리고 두번째 단계는 광전도 측정기를 이용한 자료와 실측한 자료와의 상호 대비를 통하여 상관식을 도출하였다. 이 상관식은 광전도 측정값이 부유물질의 탁도에 의한 voltage 값으로 획득됨으로 실측값과의 상관관계를 위하여 필수적인

작업이다.

광전도 측정기를 이용한 분석은 한 정점에서 Downward, Upward 의 2개 자료를 획득할 수 있지만 비록 같은 위치에서 계속 작업하였다 하더라도 배의 이동에 의한 장소의 변경으로 결과가 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 해수 채취 이후에 Downward 의 자료를 획득하고, 연속적으로 Upward 의 자료를 획득하였는데 차이가 나타나며, 실측치와 비교하였을때 Downward 의 자료가 좀 더 신빙성 있는 자료로 확인되었다.

0104 정점에서는 표층에서 수심 50 m 까지는 고온저염의 수괴가 3690 mV의 값을 유지하며, 점차 부유물질의 농도가 높아져 수심 90 m 부근에서는 3550 mV 값을 보인다. 100 m 이후에는 저온고염의 수괴가 3655 mV로 부유물질이 줄어드는 양상을 보인다. 부유물질의 두 수괴의 하부경계면에 해당하는 80 m ~ 90 m 에서 가장 높게 나타났다 (Fig. V-7).

0203 정점에서는 표층에서 수심 50 m 까지 점차적으로 부유물질의 농도가 줄어드는 경향을 보이며, 60 m ~ 90 m 까지가 비교적 안정적인 저농도 부유물질 분포를 보인다. 그리고 다시 112 m 지점에서는 부유물질 농도가 높아진다. 이 정점은 0104 정점과 전혀 다른 수괴인 표층의 고온고염의 수괴가 나타났다. 부유물질 최대치는 하부의 저온고염의 100 m 지점에서 형성되어 있다 (Fig. V-8).

0208 정점에서는 표층에서 수심 250 m 까지는 부유물질의 농도 변화가 심하여 감소와 증가의 현상이 2번 반복적으로 나타난다. 그리고 점차 부유물질이 증가하는 경향을 보여준다. 이러한 실측과 광전도측정기의 경향은 일치하며, 염분에 의한 변화양상이 온도에 의한 변화양상보다 일치하는 경향을 보여준다. 표층의 3800 mV 값을 갖는 낮은 부유물질의 고온고염의 수괴는 수심 500 m 이하에서는 안정적인 저온고염의 수괴를 형성하는데 이 수괴에 3400 mV 값을 보여주는 고농도 부유물질을 포함한다 (Fig. V-9).

0305 정점에서도 0208 정점과 같은 수괴를 형성하며, 실측에 의한 부유물질 농도와 광전도측정기를 이용한 부유물질 농도가 같은 경향을 보여준다. 이러한 양상은 이 수괴의 형성이 남서쪽에서 기원되는 대마난류보다는 0305 정점과 0208 정점이 상호 연결될 수 있는 동해고유수 또는 북한한류계수의 존재를 시사하는 것으로 사료된다 (Fig. V-10).

0401 정점에서는 0208 과 0305 정점과는 달리 표층에서 3690 mV 값을 갖는 고온저염의 수괴가 발달하며 감소와 증가의 반복 이후 점차 증가하는 경향을 보이는데 하부의 수괴는 유사하다. 그러나 표층의 불안정한 수괴의 반복적인 감소

와 증가양상은 나타나지 않는다 (Fig. V-11).

그리고 0410 정점에서도 0401 정점과 같은 양상으로 나타나며, 이것은 0208과 0305 정정보다는 수위가 안정된 것을 의미하는 것으로 판단된다 (Fig. V-12).

위의 결과를 종합하면 실측에 의한 부유물질 농도값과 광전도측정기를 이용한 부유물질 농도값과의 상관관계를 밝히는 것은, 앞으로 계속 진행되는 조사에 있어서 신빙성 있는 자료를 짧은 시간에 많은 자료를 획득한다는 점에서 아주 필요한 작업이다. Fig. V-13은 x 축에 filtering 에 의한 부유물질 농도 자료, y 축에 광전도 측정기를 이용한 부유물질 농도 자료를 대입한 것이다 (Table V-2). 비록 동시간에 같이 측정하지 못하였다는 단점을 가지는 자료지만 다음과 같은 상관관계를 획득하였다.

$$\log(Y) = -0.0559595 * X + 8.25533$$

위의 상관식은 앞으로도 진행될 동해 지역에서의 광전도측정기를 이용한 직접적인 부유물질 농도를 결정할 수 있는 동해 고유의 상관식으로 평가 할 수 있다. 그리고 각 계절변 부유물질 농도의 변화등 부유물질 구성성분에 따른 변화요소들의 규명은 계속적으로 진행되어야 할 연구내용이다.

參 考 文 獻

- 공영세, 이병걸, 1994, 득량만의 퇴적물 및 부유물 특성, 한국해양학회지, V.29, 3, p.269-277.
- 기상청, 1992, 기상연보, 09200-73320-26-7, p.160.
- 승영호, 1992, 동한난류의 이안 및 북한한류의 형성에 관한 단순모델, 한국해양학회지, V.27, 3, p.189-196.
- 승영호, 1992, 한반도 주변의 수괴와 해수순환, 한국해양학회지, V.27, 4, p.324-331.
- 안희수, 심경신, 신흥렬, 1994, 동해 남서해역에서의 난수성 소용돌이에 대하여, 한국해양학회지, V.29, 2, p.152-163.
- 윤석훈, 1994, 동해 대륙주변부의 탄성파층서, 지질구조 및 지구조적 진화, 서울대학교 해양학과 박사학위논문, p.235.
- 이흥재, 승영호, 1994, 한국 해양물리 연구의 현황과 발전: 문헌검토, 한국해양학회지, V.29, 1, p.64-81.
- 이흥재, 승영호, 1994, 한국 해양물리 연구의 현황과 발전: 문헌검토, 한국해양학회지, V.29, 1, p.64-81.
- 이흥재, 신창웅, 승영호, 1992, 동해 죽변 연안해역에서 조석주기의 내부수온변동, 한국해양학회지, V.27, 3, p.228-236.
- 이희준, 1991, 한국 주변해역 퇴적물의 지질공학적 성질과 퇴적작용과의 관계, 서울대학교 해양학과 박사학위논문, p.291.
- 조양기, 김구, 1994, 여름철 남해 저온수의 특성과 기원, 한국해양학회지, V.29, 4, p.414-421.
- 최진용, 1993, 금강하구 및 인근해역에서 부유퇴적물의 계절적 변동에 관한 연구, 한국해양학회지, V.28, 4, p.272-280.
- 한국해양연구소, 1991, 한국해역 종합 해양자원도 작성연구 -남해(보완조사)-, BSPG00129-401-3, p.119-134.
- 한국해양연구소, 1994, 한국해역 종합 해양환경도 작성연구 -대한해협(3차년도), 한국해양연구소 연구보고서, BSPG00227 - 733 - 3 , p.437- 715.
- Moriyasu, S., 1972, "The Tsushima Current", Kuroshio, its physical aspects, ed. H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press. P.353-370.

Table V-1. Results for the concentration of suspended material along the study station

Station	Depth (m)	S. S. (mg/l)	Station	Depth (m)	S. S. (mg/l)	Station	Depth (m)	S. S. (mg/l)	Station	Depth (m)	S. S. (mg/l)	
0101			0201			0301			0401	0	0.7	
											10	0.6
											50	0.75
											100	0.8
											500	0.6
								1000	1.0			
0102			0202			0302	0	1.15	0402	0	0.4	
0103			0203	0	0.9	0303	0	0.8	0403	0	0.25	
				10	0.9		10	0.65		10	0.4	
				50	1.0		50	1.4		50	0.45	
				100	1.45		100	1.0		100	0.7	
				120	0.95		400	1.4		500	0.45	
								1090	0.75			
0104	0	1.45	0204	0	0.8	0304	0	0.5	0404	0	0.6	
0105	0	1.85	0205	0	0.7	0305	0	0.7	0405	0	0.6	
	10	0.75		10	0.5		10	0.25		10	0.5	
	50	2.15		50	1.25		50	0.85		50	0.4	
	100	0.25		100	1.1		100	0.75		100	0.95	
	500	0.8		500	0.95		500	1.45		500	0.7	
	920	1.3		1400	0.7		1400	0.8		1390	1.05	
0106	0	0.95	0206	0	1.45	0306	0	0.55	0406	0	0.45	
0107	0	0.55	0207	0	0.75	0307	0	0.65	0407	0	0.6	
	10	0.75		10	0.75		10	0.35		10	0.65	
	50	0.8		50	0.15		50	0.8		50	1.2	
	100	0.55		100	0.15		100	0.9		100	0.9	
	500	0.45		500	0.6		500	1.3		500	0.6	
	1500	1.3		2150	0.7		1100	0.55		1800	0.6	
0108	0	0.5	0208	0	0.25	0308	0	0.5	0408	0	0.3	
	10	0.55		10	0.2		10	0.4		10	0.2	
	50	0.6		50	0.4		50	0.45		50	0.65	
	100	0.65		100	0.1		100	0.35		100	0.95	
	500	0.4		500	1.0		500	0.9		500	0.55	
			2170	1.1	1300	0.7	1200	0.75				
0109	0	0.35	0209	0	0.3	0309	0	0.5	0409	0	0.5	
	10	0.25					10	0.3				
	50	0.65					50	0.9				
	100	0.05					100	0.85				
	500	0.05					500	1.8				
	1000	0.1					2100	0.9				
0110	0	0.6	0210	0	0.35	0310	0	0.55	0410	0	0.75	
				10	0.3					10	0.5	
				50	0.1					50	0.75	
				100	1.7					100	0.9	
				500	0.45					500	0.9	
				1700	0.25					1550	0.65	
0111	0	0.45	0211	0	0.4	0311	0	0.7	0411	0	0.8	
	10	0.1					10	0.55				
	50	0.2					50	0.75				
	100	1.0					100	0.85				
	1100	0.35					500	1.45				
					1350	0.95						
0112			0212	0	0.15	0312	0	0.6	0412			
				10	0.75							
				50	0.3							
				100	0.1							
				280	0.1							

Table V-2. Results for the data obtained by filtering method and by optical method along the station

Station Number	Depth(m)	Filter Data(mg/l)	Optic Data (Downward: mV)	Optic Data (Upward: mV)
0203	0	0.90	3631	3564
	10	0.90	3616	3548
	50	1.00	3711	3662
	100	1.45	3674	3652
	120	0.95	3598	3593
0208	0	0.25	3756	3624
	10	0.20	3768	3625
	50	0.40	3788	3641
	100	0.10	3810	3668
	500	1.00	3667	3639
	2170	1.10	3437	3436
0305	0	0.70	3749	3614
	10	0.25	3746	3620
	50	0.85	3744	3626
	100	0.75	3684	3599
	500	1.45	3684	3613
	1400	0.80	3642	3509
0401	0	0.70	3687	3513
	10	0.60	3695	3529
	50	0.75	3758	3579
	100	0.80	3737	3558
	500	0.60	3626	3528
	1000	1.00	3477	3462
0410	0	0.75	3776	3595
	10	0.50	3782	3610
	50	0.75	3828	3625
	100	0.90	3826	3628
	500	0.90		3602
	1550	0.65	3304	3418

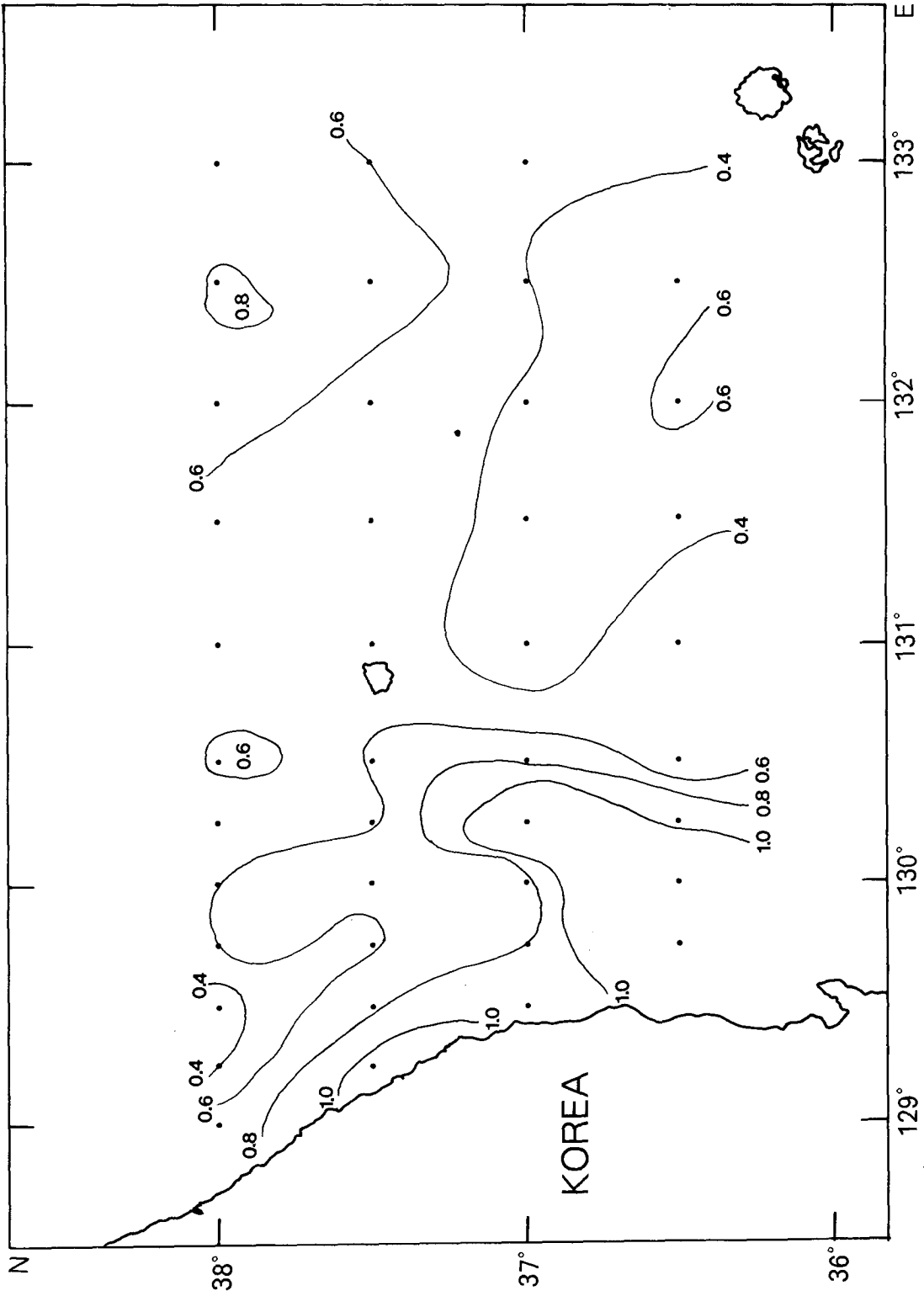


Fig. V-1. Distribution of suspended matters at the surface water in November, 1994

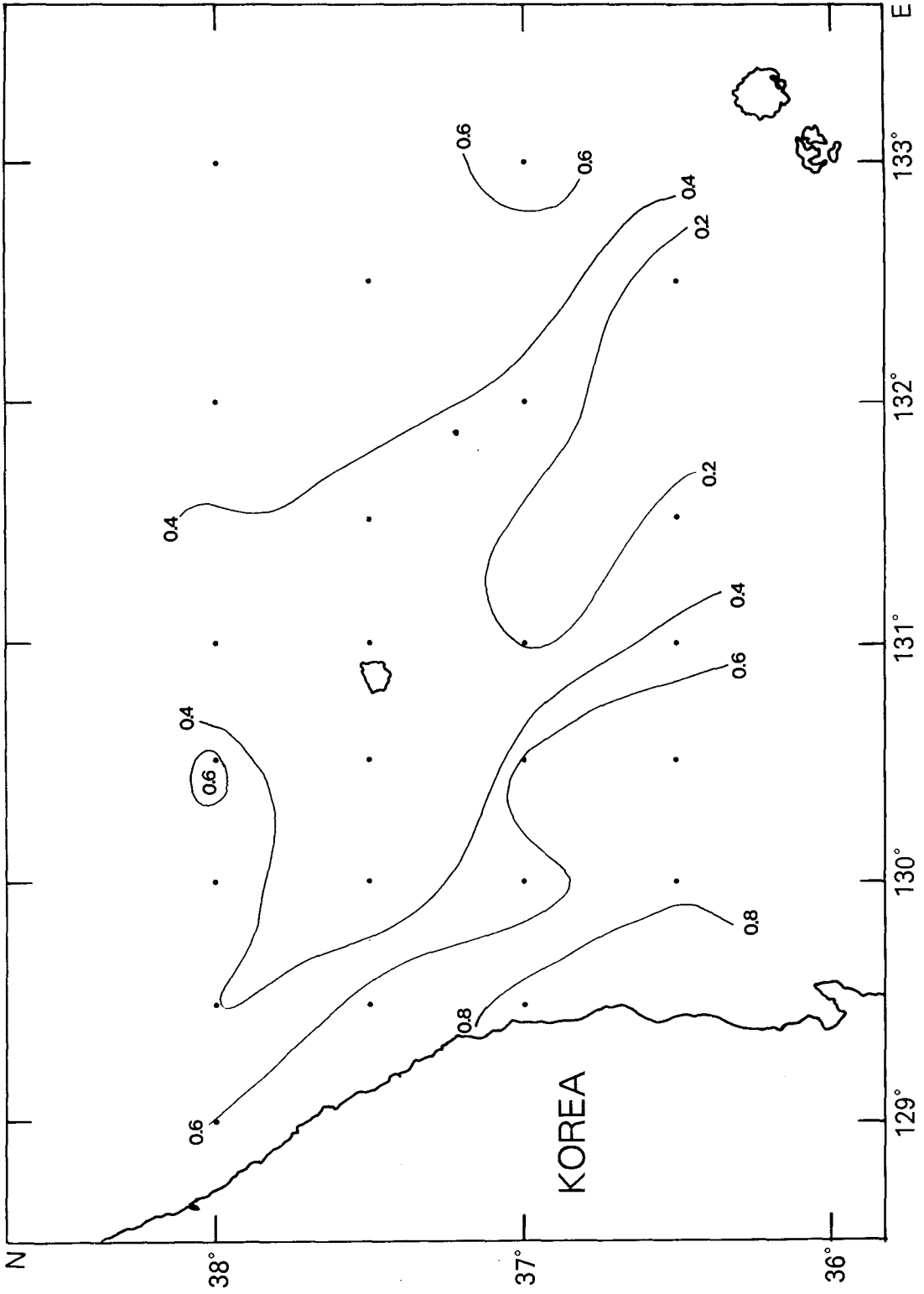


Fig.V-2. Distribution of suspended matters at 10m in November, 1994

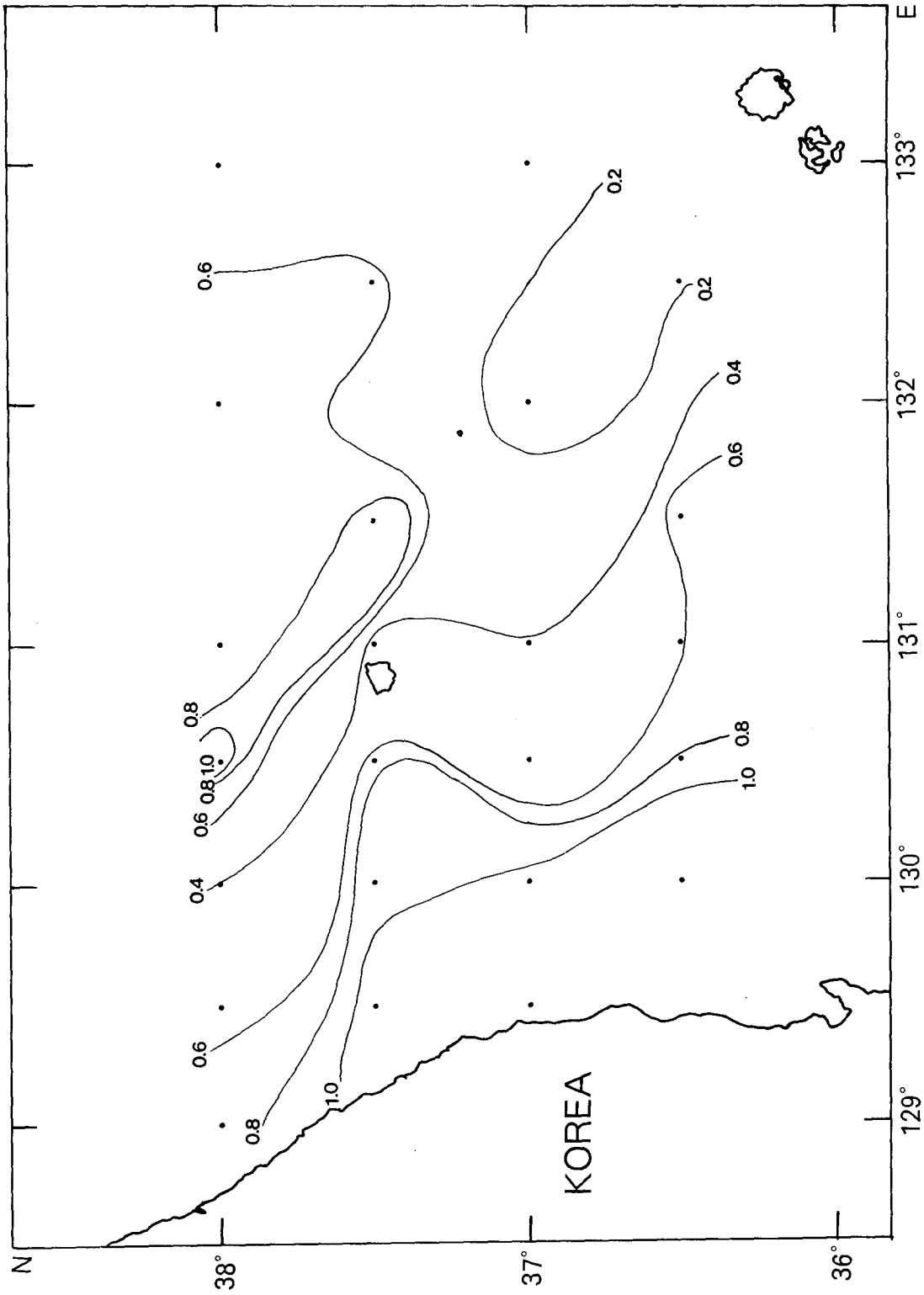


Fig.V-3. Distribution of suspended matters at 50m in November, 1994

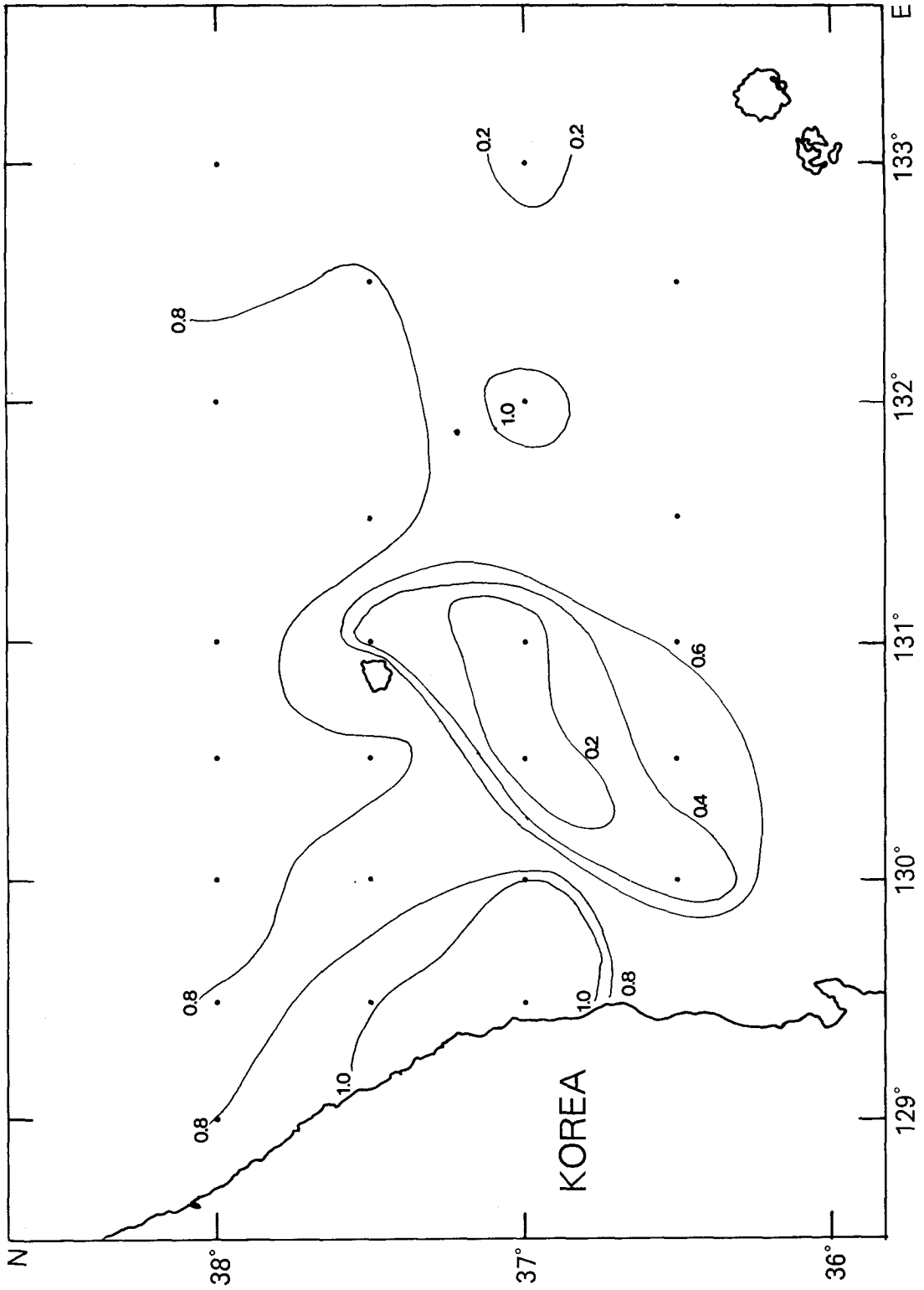


Fig.V-4. Distribution of suspended matters at 100m in November, 1994

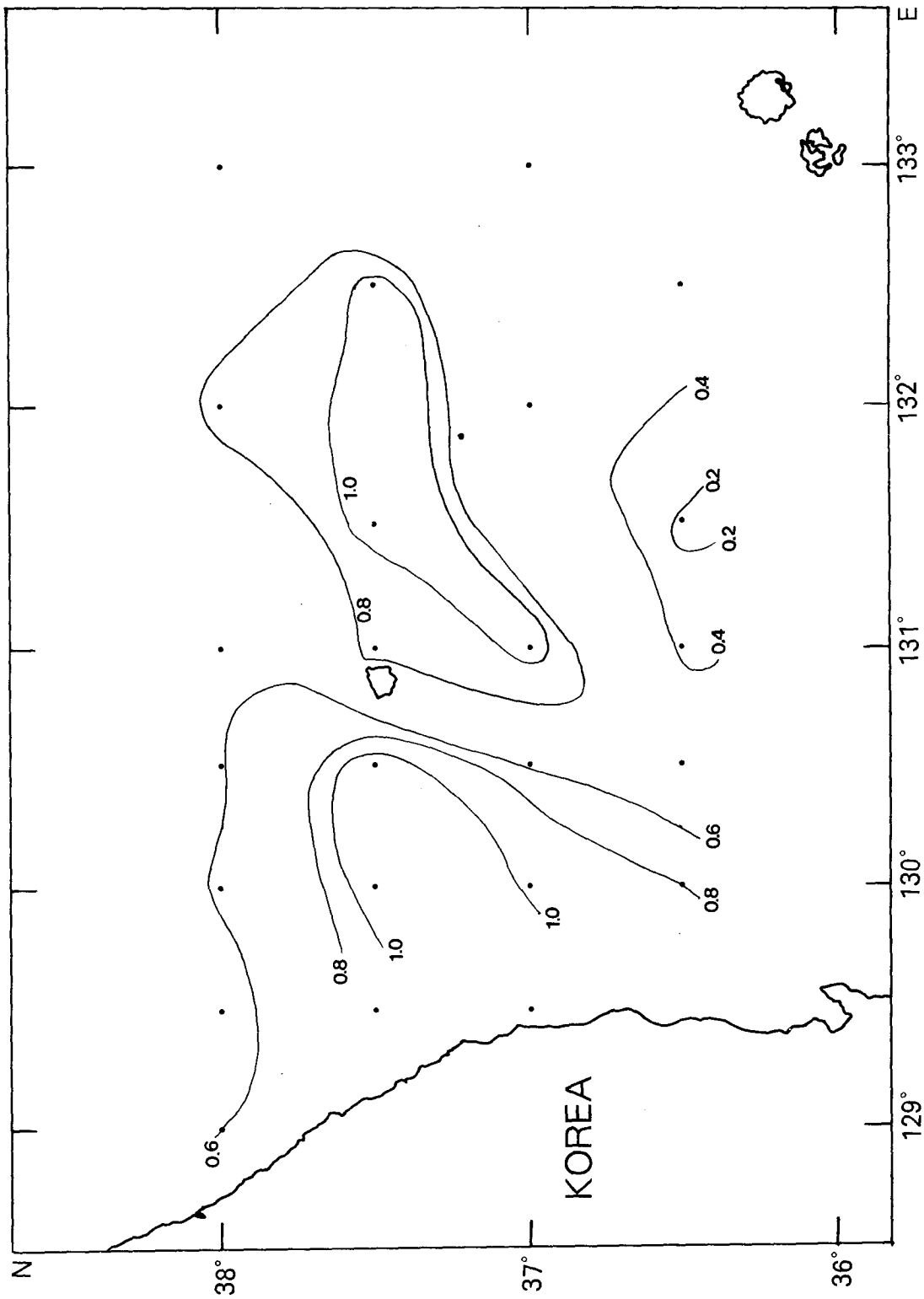


Fig.V-5. Distribution of suspended matters at 500m in November, 1994

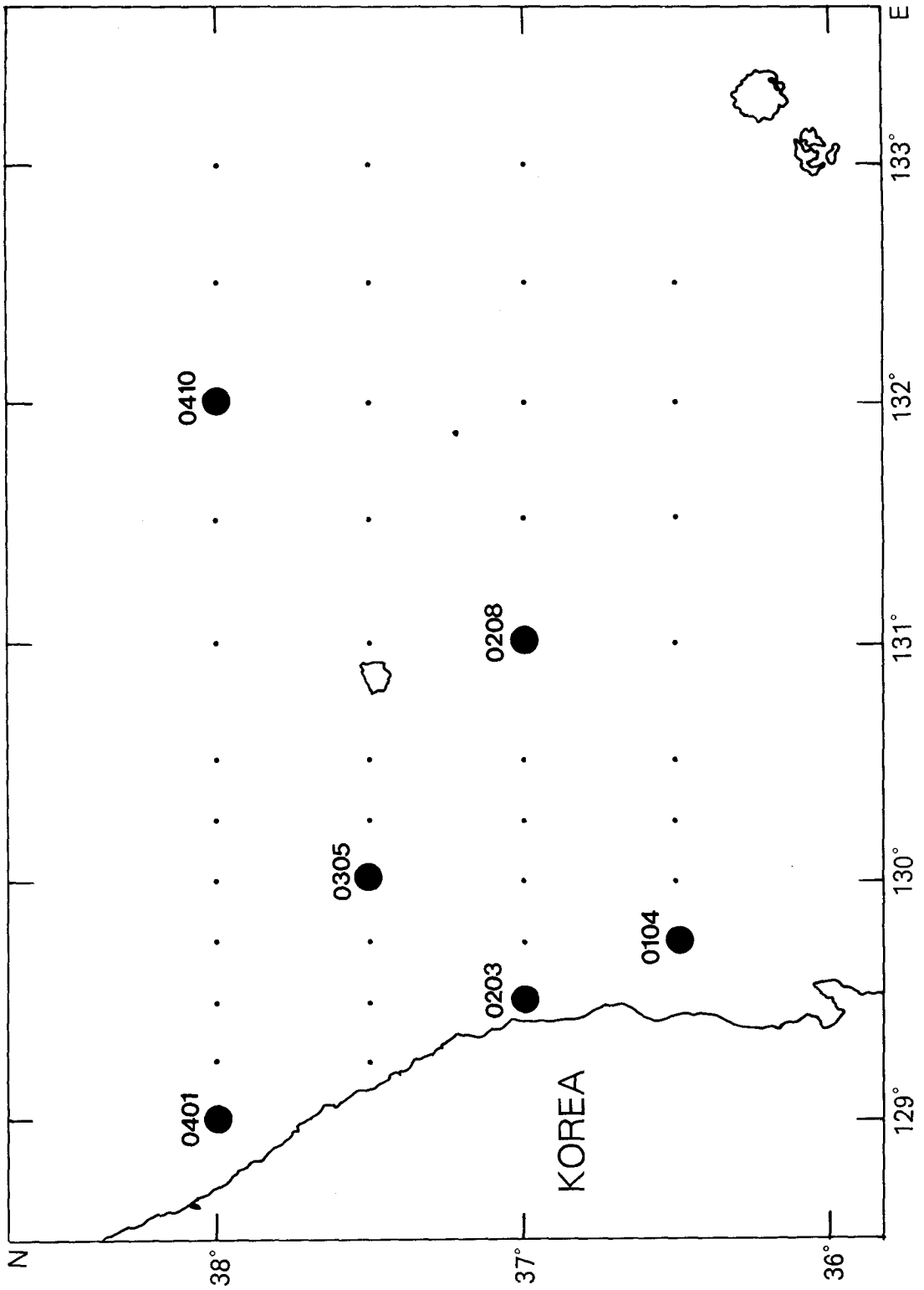


Fig.V-6. Transmissometer stations of the East Sea in November 1994

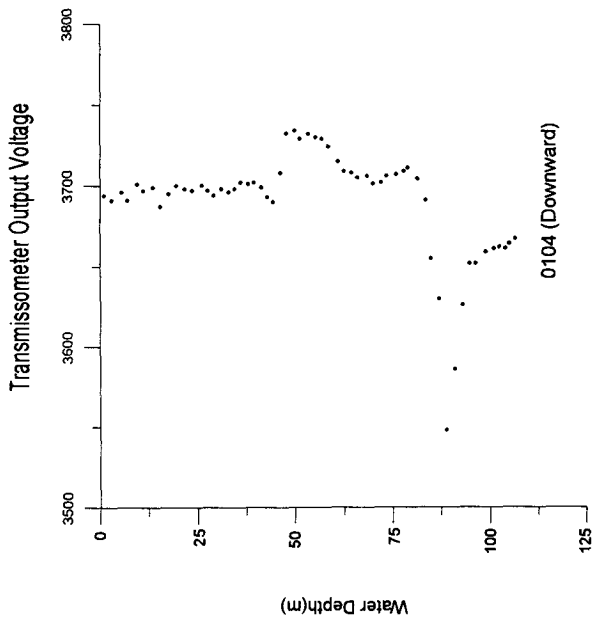
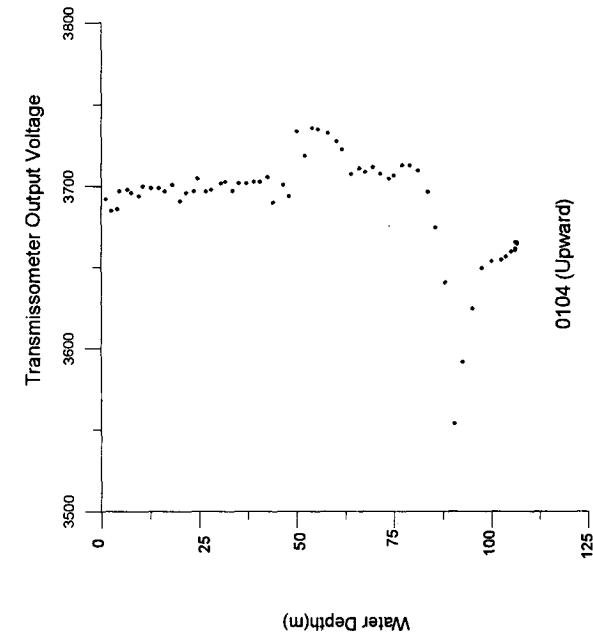


Fig.V-7. Vertical profiles of the data obtained by optical method of 0104 station in November, 1994

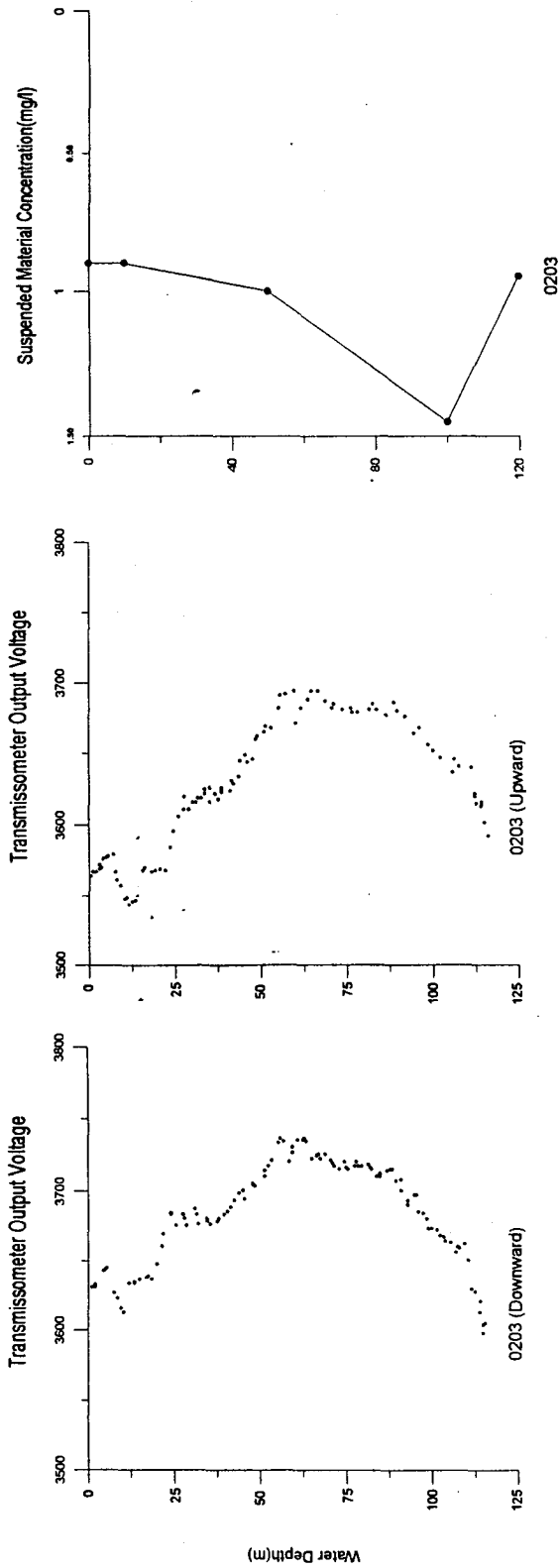


Fig.V-8. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0203 station in November, 1994

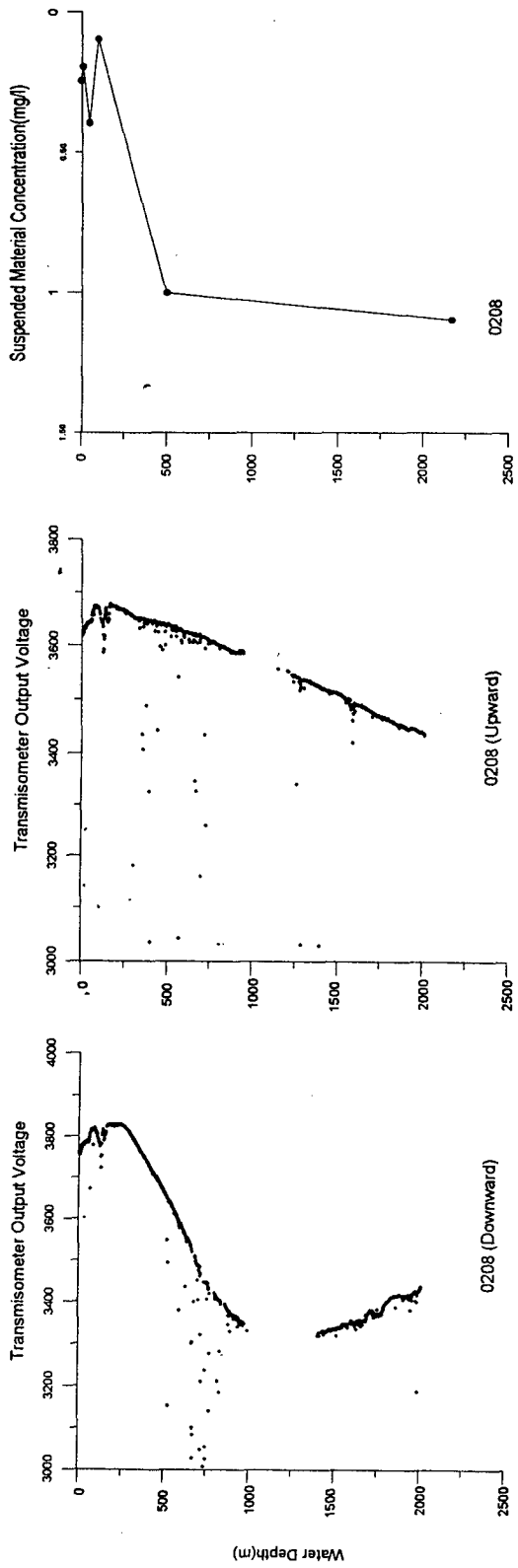


Fig.V-9. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0208 station in November, 1994

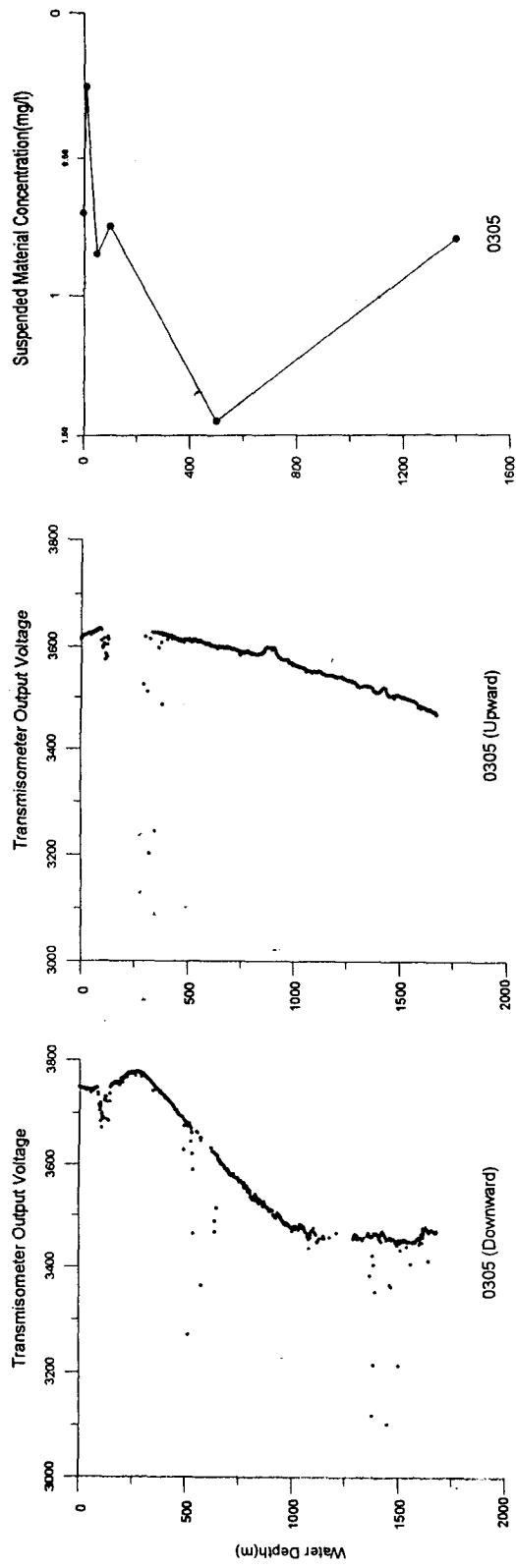


Fig. V-10. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0305 station in November, 1994

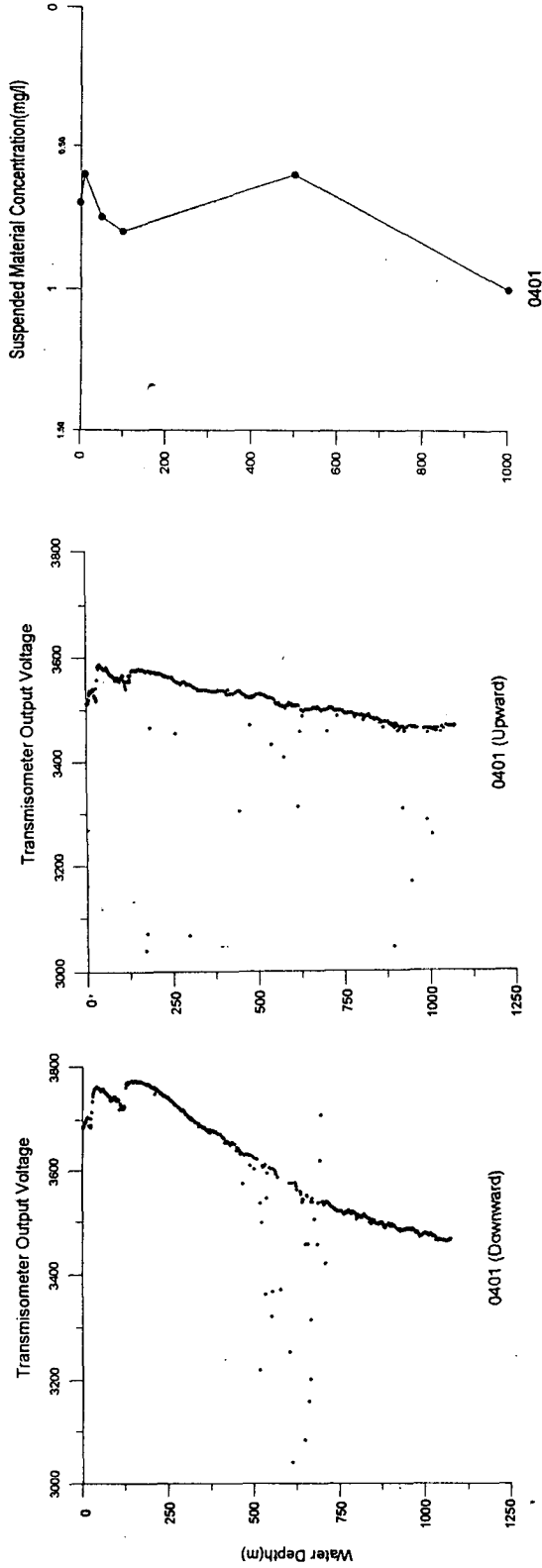


Fig. V-11. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0401 station in November, 1994

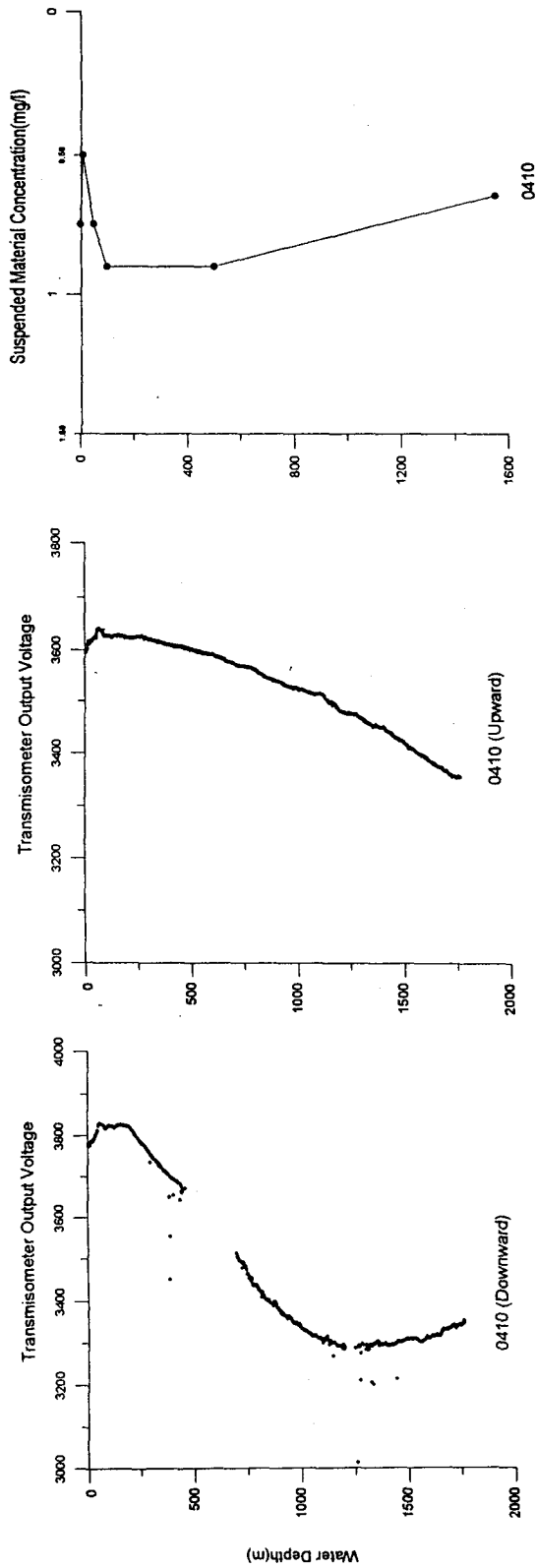


Fig.V-12. Vertical profiles of the data obtained by filtering method and by optical method of 0410 station in November, 1994

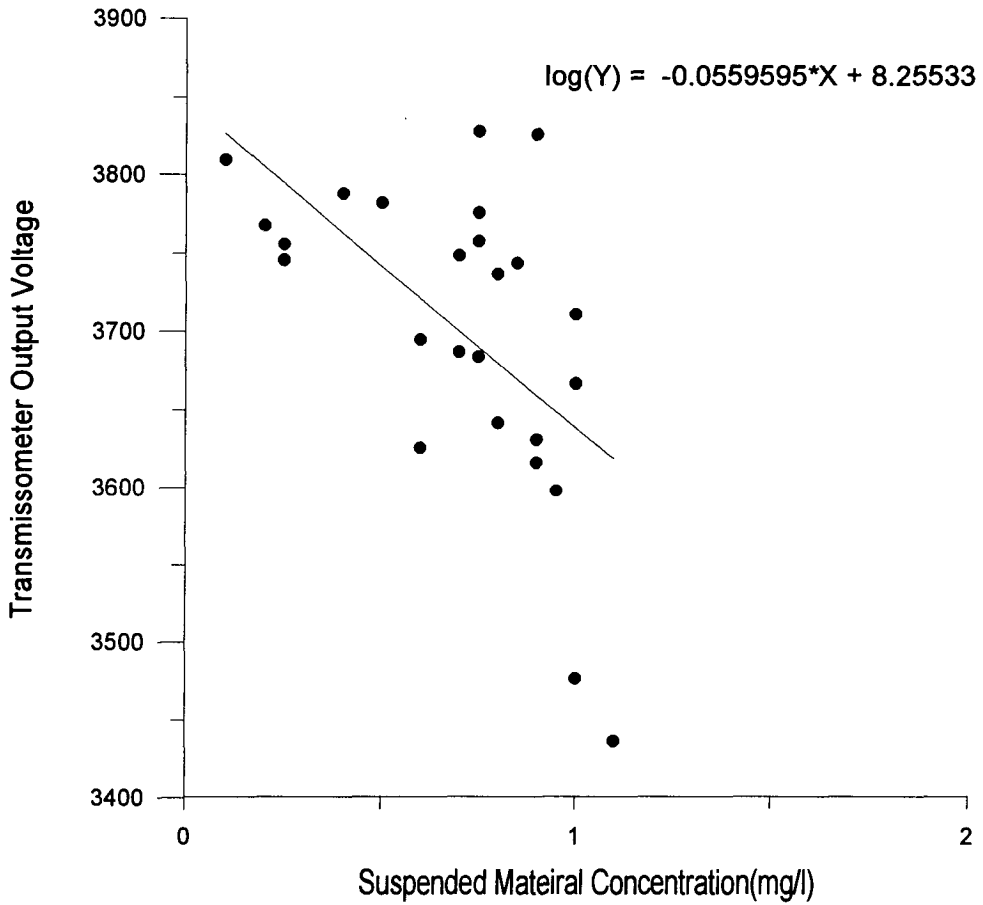


Fig.V-13. Relationship between the data obtained by filtering method and by optical method(Downward)

第 VI 章

無機炭素 測定技術 分野

(STUDIES ON DEVELOPMENT OF
DISSOLVED
CO₂ MEASUREMENT TECHNIQUES)

研究責任者 : 李 東 燮

제 1 절 서 설

대기에 존재하는 이산화탄소는 수증기 및 3개 이상의 원자로 구성된 미량기체 분자와 더불어 소위 온실효과를 일으키며 수증기 다음으로 지구 온난화에 크게 기여한다. 그러나 실제 수증기는 인위적으로 함량 조절이 가능한 기체가 아니므로 실질적으로 이산화탄소가 인위적으로 비롯되는 지구온난화에 가장 중요한 기체이다. 대기중에 조금만 증가되어도 지구온도 상승에 커다란 영향을 미치는 이산화탄소의 분포를 보면 대기중의 총량은 720 Gt C 정도로 해수에 녹아 있는 38,000 Gt C에 비하면 매우 적은 양이다. 이러한 사실은 해양의 이산화탄소 체계에 약간의 변화가 일어나면 지구 기후에 엄청난 변화가 초래될 수 있음을 시사하고 있다.

오늘날 인류는 화석연료의 사용으로 매년 5 기가 톤 (10^{15} g)이 넘는 양의 탄소를 이산화탄소로서 대기로 방출하고 있다. 다정부간기후변화패널 (IPCC), 제1분과의 보고 (IPCC, 1992)에 따르면 인류는 1987년도에는 5.7 ± 0.5 Gt C을 89-90년도에는 6.0 ± 0.5 Gt C을 대기로 방출한 것으로 집계하고 있다. 그런데 방출한 모든 이산화탄소가 대기에 집적되는 것이 아니고 방출량의 약 60 %에 해당하는 이산화탄소만이 대기에 잔류하고 있다. 그렇다면 나머지 40 %인 약 2 Gt C은 어디에 있는 것일까? 이것을 밝혀내는 것이 현재 지구변화 또는 지구온난화 연구의 중심 주제의 하나로 부각되고 있다.

현재 해양과 대기간의 이산화탄소의 교환으로 바다로 들어가는 양은 매년 107 Gt C, 바다에서 대기로 나오는 양은 105 Gt C으로서 인간이 배출한 6 Gt C 중 대기에 존재하지 않는 양 2 Gt C을 설명하고 있으며 이는 해양의 탄소량 재고에 비해 매우 작은 양으로서 실제 측정을 통해 증명하기에는 많은 어려움이 있다 (Fig. VI-1). 여하튼 해양은 대기중의 이산화탄소를 조절하는데 가장 중요한 저장고의 하나로 지목되고 있다.

해수중에서 이산화탄소는 산소나 질소와는 달리 물과 반응하여 용해되고 여러 이온으로 분화하기 때문에 뒤에 상세히 언급되는 바와 같이 매우 복잡한 이산화탄소 시스템을 이루고 있어서 아직 제대로 밝혀내지 못하고 있다. 미, 일, 불란서 등 선진국의 해양학자들은 현재 각국의 과학행정가를 설득하여 해양의 이산화탄소 체계에 대한 대형 장기국제공동연구를 추진하고 있으며 대표적인 연구계획이 JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study)와 WOCE (World Ocean Circulation Experiment)이다. WOCE와 JGOFS는 '95년도에 공동으로 인도양에서의 이산화탄소 연구를 추진하게 될 예정이다. 이산화탄소의 조절자로서의 해양에 대한 역할을 규명하는 연구는 당분간 선진국에서 강력한 지원을 받을 연구과제로 부상하고 있다.

선진국은 현재 대양의 이산화탄소 시스템에 대한 자료 획득에 주력하고 있으며 대륙주변부의 바다에 대해서는 타국 영해내 연구의 어려움 등으로 아직 연구가 활발하지 못한 편이다. 이러한 연유로 해서 지구 규모 탄소 순환을 밝히는데 있어 커다란 장애요인의 하나가 연근해역에서의 탄소 순환에 대한 정확한 정보의 부족이다.

동해는 육지로 둘러싸여 있는 지중해의 하나이지만 수심이 비교적 깊어 대양분지의 축소판과 같은 모양을 하고 있으며 심층수가 형성되는 과정에서 대기중의 이산화탄소가 심해로 수송될것이 분명하나 그 양은 아직 알려지고 있지 못하다. 또한 향후 이산화탄소 배출량의 규제가 심해질 것에 대비하여 이산화탄소의 동해 폐기에 대해 사전에 연구해 둘 가치가 크다. 따라서 이 연구는 우리나라 주변해에서 이산화탄소 수지를 밝히는 것 외에도 이산화탄소 해양 폐기의 가능성 타진을 겸하는 목적에서 제안하였다.

The Global Carbon Cycle

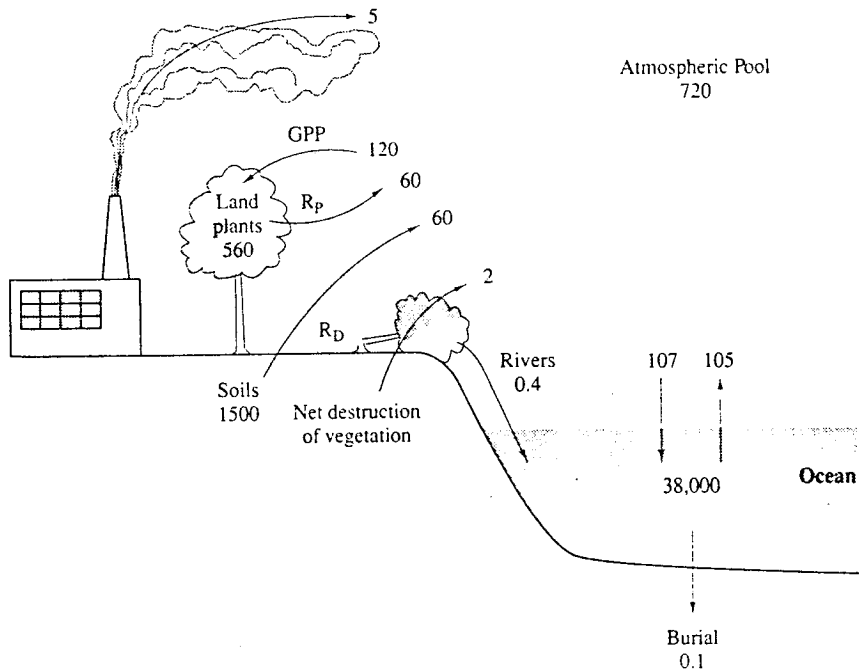


Fig. VI-1. The present-day global carbon cycle. All pools expressed in units of 10^{15} gC, and all annual fluxes in unit of 10^{15} gC /yr, after Schlesinger (1991) Biogeochemistry, p309.

해양-대기간 이산화탄소의 이동에 대한 정량적 규명을 위한 화학적 접근은 GEOSECS에 참여 했던 Lamont-Dorherty Geological Observatory (현, Lamont-Doherty Earth Observatory)의 Taro Takahashi 박사에 의해 시작되었으나 오랫동안 측정기법을 공개하지 않아 관심있는 각국의 연구실에서 독자적으로 측정기법을 개발하여 현재 다양한 측정방법이 존재한다.

90년대에 이르러 대형국제연구 계획으로 이산화탄소 연구가 지원되기 시작하고 특히 미국의 상무성이 과학재단 (NSF) 과는 별도로 연구를 지원하자 미국내 몇 연구실이 제휴하여 각자의 기술을 상대에게 공개하게 되었다. 그러나 아직도 미국의 경우 어느 한 연구실도 해양의 이산화탄소에 관련된 4가지 주요 측정방법을 모두 확보하고 있지 않아 하나의 연구 조사에 여러 연구진이 공동으로 참여하여 한가지씩 분담해서 측정하고 있다.

Scripps Institution of Oceanography의 Andrew Dickson 박사를 중심으로 해양의 이산화탄소 연구 방법의 표준화에 많은 노력을 들인 결과로 94년말 Oak Ridge National Laboratory의 Carbon Dioxide Information Analysis Center에서 'Handbook of Methods of the Various Parameters of the Carbon Dioxide System in Sea Water' 의 2차 개정판이 보급되기 시작하였다. 전대양을 상대로 한 이산화탄소 연구는 몇몇 개인의 노력으로 감당하기에는 너무 방대한 규모로서 표준측정 방법의 보급을 통해 세계 각국의 이산화탄소 연구를 촉진시키려는데 목적을 두고 있는 듯하다. 지금까지 개발되어 표준화가 시도되고 있는 방법은 연구 목적에 맞는 정확도와 정밀도를 이미 확보하고 있으나 아직 사용하기에 편리한 수준에 도달하지 못했으며 대부분 상용화되어 있지 않아 기술 이전을 요하는 연구자가 직접 기술을 개발한 연구실에 찾아가 배우는 방법 외에는 별다른 방도가 없는 것이 현실이다.

이 연구의 목적은 해양에서의 이산화탄소 동역학을 이해하는데 필수적인 이산화탄소 체계의 매개변수를 측정하는 기법을 가능한 조기에 흡수하여 현장 자료를 확보하는 것으로서 일차년도에는 4가지 매개변수 가운데 용존무기탄소의 총량 (total dissolved inorganic carbon)을 측정하는 기법의 개발로서 제안되었다. 용존무기탄소의 총량을 측정하는 방법은 유일하게 상용화된 기기 (SOMMA)를 사용하는 기법으로 타 매개변수에 비해 비교적 접근이 쉽다고 판단되었기 때문이었다. 그런데 연구 진행중 다른 일각에서 SOMMA가 채택하고 있는 coulometry와는 달리 적외선 분광분석 기법이 제안되고 있어 앞으로도 coulometry가 계속 표준기법으로서의 지위를 고수할 것인지 조금 더 두고 지켜 본 연후에 기기를 구입하는 것이 현명하겠다는 판단에 따라 본 연구는 연구계획을 일부 수정하여 SOMMA의 측정 기법 외에도 미국의 University of Miami의 Frank J. Millero 교수 연구실과 Scripps Institution of Oceanography의 Ray F. Weiss 교수 연구실을 방문하여 해수의 pH, 총알칼리니티

(total alkalinity), CO_2 분압 (μCO_2) 등 나머지 3가지 측정 매개변수에 대한 기술현황도 병행하였다.

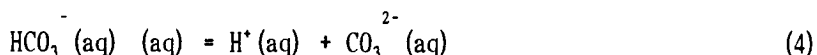
이하 연구보고서의 제2절은 해양의 이산화탄소 시스템 연구의 이론적 배경에 대해 다루고 있으며 제 3절은 앞에서 언급한 네가지 요인을 측정하는 기법과 기기에 대해 자세히 언급하고 있다. 제4절은 지금까지 우리나라에서의 연구 결과와 동해에서의 일차년도 현장연구를 다루고 있다. 현장 자료는 연구 결과에 대한 토의 보다는 미국 실험실에서 측정한 결과를 토대로 앞으로 현장 측정시 자료의 질관리에 필요한 2차 표준검정물질의 확보하기 위해 시도되었음을 미리 밝혀 둔다. 그리고 제4절에서는 향후 연구 계획과 이에 필요한 소요재원에 대해서도 언급하였다.

제 2 절 이론적 고찰

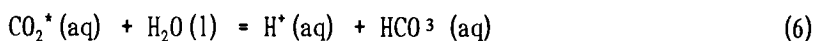
이 절에서는 해수중에서 이산화탄소의 거동에 대한 화학적 지식을 간략히 다루고 이산화탄소 체계의 연구에 필요한 분석화학적 매개변수에 대해 언급하였다.

1. 이산화탄소의 용액내 반응

이산화탄소가 물에 용해되면 몇가지 반응이 연속적으로 일어난다



윗 식에서 g, l, aq는 각기 gas, liquid, aqueous solution의 상태를 의미한다. 그런데 $\text{CO}_2(\text{aq})$ 와 $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 는 분석화학적으로 구별하기 어려우므로 $\text{CO}_2(\text{aq})$ 와 $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ 를 합쳐서 가상적인 화학종인 CO_2^* 로 표기하였다. 그러면 위의 화학식 1-3은 다음과 같이 변형 된다



다음과 같이 갈학주진의 열역학적 평형상수는 다음과 같이 주어진다

$$K_0 = [\text{CO}_2^*] / f(\text{CO}_2) \quad (7)$$

$$K_1 = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_2^*] \quad (8)$$

$$K_2 = [\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}] / [\text{HCO}_3^-] \quad (9)$$

여기서 $f(\text{CO}_2)$ 는 기중상의 이산화탄소의 fugacity 이고 []는 그안의 화학종의 다 들형적 (stoichiometric, 상수도는 온압낸다. 이들 평형상수는 온도, 압력 n H 정측 값은 변화된다. 측정값은 Handbook of Methods for the Analysis of the Various Parameters of the Carbon Dioxide System in Sea Water (Dickson and Goret eds., 199. 5장에 실려 있다.

Fugacity: 한분압 곱 fugacity력 한 분 압곱 한분력압 곱한 분압 (partial pressure; $x(\text{CO}_2) p$ 다념 른다 른념으 다른다른다른 다른기다른 다른 거동을 고려한 것이다. Fugacity는 상태방정식으로부터 다음과 같이 결정된다.

$$f(\text{CO}_2) = x(\text{CO}_2) p \exp \left(\int_0^p \frac{(V(\text{CO}_2) - RT / p') dp'}{RT} \right) \quad (10)$$

2. 이산화탄소 시스템 지표 매개변수들

불행하게도 이산화탄소 체계의 각 화학종을 직접 측정하는 방법은 없다. 그렇지만 4가지 측정가능한 매개변수가 있기 때문에 이들과 몇가지 다른 정보를 이용하면 해수중의 이산화탄소 체계를 이론적으로는 완전하게 설명할 수 있다.

총용존무기탄소 (total dissolved inorganic carbon): 해수 시료내 용존 무기탄소의 총량은 다음과 같이 정의되며 산을 넣어 모든 탄산염 화학종을 이산화탄소로 변환시킨 뒤 발생하는 이산화탄소의 총량을 측정하는 방식을 취하고 있다.

$$C_T = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (11)$$

총알칼리니티 (total alkalinity): 해수의 총알칼리니티는 수소 이온의 질량보존식으로 표기된다. Dickson (1981)의 정의에 의하면 해수중의 과량 (excess)으로 존재하는 양성자 수용체의 양 (양성자 수용체 - 양성자 공여체)을 나타내는 것으로 해수 1 kg의 적정에 필요한 수소이온의 몰수로서 표기한다. 여기서 양성자 수용체 (염기)는 25°C , 이온세기 0에서 해리 상수 (dissociation constant) $K \leq 10^{-4.5}$, 양성자 공여체 (산)는 $K > 10^{-4.5}$ 만을 고려한다. 총알칼리니티 (A_T)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A_T = & [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] \\ & + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] + [\text{HS}^-] + \dots \\ & - [\text{H}^+]_F - [\text{HSO}_4^-] - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] - \dots \end{aligned} \quad (12)$$

점점점 표기는 표기된 화학종외에도 해수에 존재하는 부차적으로 염기나 산으로 무시될 만한 것들을 나타낸 것이다. $[\text{H}]_F$ 는 식 (13)에서 정의된 수소이온의 자유 농도 (free concentration)을 지칭한다.

해수 시료와 평형을 이룬 이산화탄소의 fugacity: 이 매개변수를 측정하기 위해서는 해수중 기체상 이산화탄소와 평형상태에 있는 이산화탄소와 함께

수온 및 압력 자료가 필요하다. 기체 시료에 들어있는 이산화탄소의 농도를 측정하면 이것이 주어진 온도에서의 fugacity이다.

총수소이온 농도 (total hydrogen ion concentration): Dickson (1984, 1993)이 지적인 바와 같이 총수소이온 농도라는 개념은 다소 혼란을 주지만, 해수에서 산의 해리상수 (dissociation constant)를 정의하기 위해서 필요로 하는 개념이다. 총수소이온 농도는 다음과 같이 정의한다.

$$[H^+] = [H^+]_f (1+S_T/K_S) \quad (13)$$

여기서 $[H^+]_f$ 는 앞서 언급한 자유수소이온 농도이고, S_T 는 $[HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]$ 로서 총 sulfate 농도이고, K_S 는 HSO_4^- 의 산 해리상수 이다. 식 (13)의 유사치로서

$$[H^+] = [H^+]_f + [HSO_4^-] \quad (14)$$

는 pH 값이 4를 넘는 경우에만 사용이 가능하다.

해수의 산-염기 특성을 결정하는 많은 화학종들의 평형상수들은 이미 이전의 실험실 연구 결과로서 알려져 이용가능하다. 이산화탄소 외에 해수의 산-염기 성질을 좌우하는 구성물질의 경우 보전성 물질 (예를 들면 borate, sulfate, fluoride)는 염분만 알면 자동적으로 알아낼 수 있으며 비보전적인 phosphate, silicate, ammonia, hydrogen sulfate 등은 직접 측정하면 된다. 이러한 열역학적 지식이 완벽하다면 해수중에서 탄산염 체계를 밝히기 위해 앞에서 언급한 4가지 요인중에 2가지만 측정하면 나머지는 뒤에서 언급하는 관계식을 이용하여 알아낼 수 있다. 그러나 실제로 측정값과 계산값에는 상당한 차이가 있는 것이 지금의 기술 수준이다. 따라서 획득한 자료의 질을 높이기 위해서는 3가지 이상의 매개변수를 직접 측정하는 것이 권장되고 있다.

3. 이산화탄소 시스템의 화학종과 매개변수간의 관계

측정된 수온과 압력 조건에서 해수 시료의 이산화탄소 시스템을 완전하게 이해하기 위해서는 다음과 같은 정보가 필요하다:

1. 해수의 이산화탄소 용해상수, K_0
2. 해수중의 각 산-염기쌍의 평형상수
3. 이산화탄소를 제외한 다른 산-염기쌍의 총 농도
4. 다음 4 매개변수 중 최소 2가지 이상의 자료: C_T , A_T , $f(CO_2)$, $[H^+]$

이산화탄소와 관련된 매개변수들은 거의 일차함수적인 관계를 지니며 거의 상호 독립적이지만 수학적 개념에서 완전히 orthogonal 하지 않다. 따라서

이후에 제시하는 관계식으로부터 값을 간접적으로 구하는 경우 어느 정도 오류가 포함되며 이러한 관계식을 연속적으로 이용하게 되면 오류가 누적되어 현장 측정치와 큰 차이가 날 수 있다. 대부분의 오류는 실험실에서 측정한 각종 상수에서 비롯된다.

앞서 언급한 바와 같이 이산화탄소에 관련된 매개변수들은 4가지중 2가지만 측정값이 있으면 유추가 가능하다. 간접적으로 값을 계산하는데 필요한 식들은 Table VI-1과 VI-2에 정리되어 있다.

Table VI-1. Equations for the sea water acid/base system (Dickson and Goyet, 1994).

Mass-conservation equations:

$$C_T = [\text{CO}_2^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (\text{A.1})$$

$$\begin{aligned} A_T = & [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] \\ & + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] \\ & + [\text{HS}^-] - [\text{H}^+]_F - [\text{HSO}_4^-] - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

$$B_T = [\text{B}(\text{OH})_3] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] \quad (\text{A.3})$$

$$S_T = [\text{HSO}_4^-] + [\text{SO}_4^{2-}] \quad (\text{A.4})$$

$$F_T = [\text{HF}] + [\text{F}^-] \quad (\text{A.5})$$

$$P_T = [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}] \quad (\text{A.6})$$

$$Si_T = [\text{Si}(\text{OH})_4] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] \quad (\text{A.7})$$

$$NH_3_T = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] \quad (\text{A.8})$$

$$H_2S_T = [\text{H}_2\text{S}] + [\text{HS}^-] \quad (\text{A.9})$$

Equilibrium constants:

$$K_0 = [\text{CO}_2^*] / f(\text{CO}_2) \quad (\text{A.10})$$

$$K_1 = [\text{H}^+] [\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_2^*] \quad (\text{A.11})$$

$$K_2 = [\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}] / [\text{HCO}_3^-] \quad (\text{A.12})$$

$$K_W = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] \quad (\text{A.13})$$

$$K_B = [\text{H}^+] [\text{B}(\text{OH})_4^-] / [\text{B}(\text{OH})_3] \quad (\text{A.14})$$

$$K_S = [\text{H}^+]_F [\text{SO}_4^{2-}] / [\text{HSO}_4^-] \quad (\text{A.15})$$

$$K_F = [\text{H}^+] [\text{F}^-] / [\text{HF}] \quad (\text{A.16})$$

$$K_{1P} = [\text{H}^+] [\text{H}_2\text{PO}_4^-] / [\text{H}_3\text{PO}_4] \quad (\text{A.17})$$

$$K_{2P} = [\text{H}^+] [\text{HPO}_4^{2-}] / [\text{H}_2\text{PO}_4^-] \quad (\text{A.18})$$

$$K_{3P} = [\text{H}^+] [\text{PO}_4^{3-}] / [\text{HPO}_4^{2-}] \quad (\text{A.19})$$

$$K_{Si} = [\text{H}^+] [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] / [\text{Si}(\text{OH})_4] \quad (\text{A.20})$$

$$K_{NH3} = [\text{H}^+] [\text{NH}_3] / [\text{NH}_4^+] \quad (\text{A.21})$$

$$K_{H2S} = [\text{H}^+] [\text{HS}^-] / [\text{H}_2\text{S}] \quad (\text{A.22})$$

Table VI-2. Expression for the concentrations of various species in equation A.2 of Table VI-1 (Dickson and Goyet, 1994).

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{C_T K_1 [\text{H}^+]}{[\text{H}^+]^2 + K_1 [\text{H}^+] + K_1 K_2} \quad (\text{A.23})$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{C_T K_1 K_2}{[\text{H}^+]^2 + K_1 [\text{H}^+] + K_1 K_2} \quad (\text{A.24})$$

$$[\text{B}(\text{OH})_4^-] = B_T / (1 + [\text{H}^+] / K_B) \quad (\text{A.25})$$

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}^+] \quad (\text{A.26})$$

$$[\text{H}_3\text{PO}_4] = \frac{P_T [\text{H}^+]^3}{[\text{H}^+]^3 + K_{1P} [\text{H}^+]^2 + K_{1P} K_{2P} [\text{H}^+] + K_{1P} K_{2P} K_{3P}} \quad (\text{A.27})$$

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = \frac{P_T K_{1P} [\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+]^3 + K_{1P} [\text{H}^+]^2 + K_{1P} K_{2P} [\text{H}^+] + K_{1P} K_{2P} K_{3P}} \quad (\text{A.28})$$

$$[\text{HPO}_4^{2-}] = \frac{P_T K_{1P} K_{2P} [\text{H}^+]}{[\text{H}^+]^3 + K_{1P} [\text{H}^+]^2 + K_{1P} K_{2P} [\text{H}^+] + K_{1P} K_{2P} K_{3P}} \quad (\text{A.29})$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] = \frac{P_T K_{1P} K_{2P} K_{3P}}{[\text{H}^+]^3 + K_{1P} [\text{H}^+]^2 + K_{1P} K_{2P} [\text{H}^+] + K_{1P} K_{2P} K_{3P}} \quad (\text{A.30})$$

$$[\text{SiO}(\text{OH})_3^-] = S_{iT} / (1 + [\text{H}^+] / K_{Si}) \quad (\text{A.31})$$

$$[\text{NH}_3] = \text{NH}_{3T} / (1 + [\text{H}^+] / K_{\text{NH}_3}) \quad (\text{A.32})$$

$$[\text{HS}^-] = \text{H}_2\text{S}_T / (1 + [\text{H}^+] / K_{\text{H}_2\text{S}}) \quad (\text{A.33})$$

$$[\text{H}^+]_F = [\text{H}^+] / (1 + S_T / K_S) \quad (\text{A.34})$$

$$[\text{HSO}_4^-] = S_T / (1 + K_S / [\text{H}^+]_F) \quad (\text{A.35})$$

$$[\text{HF}] = F_T / (1 + K_F / [\text{H}^+]) \quad (\text{A.36})$$

총수소이온 농도 ($[H^+]$)와 총 알칼리니티 (A_T)를 측정할 경우: 총알칼리니티에 탄산염이 기여하는 정도를 탄산염 알칼리니티, A_C 로 정의하면 아래와 같다.

$$A_C = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] \quad (15)$$

Table VI-2의 식 A. 11으로부터

$$[HCO_3^-] = \frac{[CO_2^*]K_1}{[H^+]} \quad (16)$$

그리고 식 A. 12로부터

$$[CO_3^{2-}] = \left(\frac{[CO_2^*]K_1}{[H^+]} \right) \frac{K_2}{[H^+]} \quad (17)$$

식 15에 식 16과 17을 치환하여 재정리하여 농도를 구해 낼 수 있다.

$$[CO_2^*] = \frac{A_C[H^+]}{K_1([H^+] + 2K_2)} \quad (18)$$

$$[HCO_3^-] = \frac{A_C[H^+]}{[H^+] + 2K_2} \quad (19)$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{A_C K_2}{[H^+] + 2K_2} \quad (20)$$

A_C 와 A_T 의 관계는

$$\begin{aligned} A_C = A_T - [B(OH)_4^-] - [OH^-] - [HPO_4^{2-}] \\ - 2[PO_4^{3-}] - [SiO(OH)_3^-] - [NH_3] - [HS^-] \\ + [H^+]_F + [HSO_4^-] + [HF] + [H_3PO_4] \end{aligned} \quad (21)$$

그리고 C_T 는 식 A. 1과 A. 10의 $f(CO_2)$ 로부터 다음과 같이 구한다.

$$f(CO_2) = [CO_2^*] / K_0 \quad (22)$$

총수소이온 농도와 fugacity를 측정할 경우: $[CO_2^*]$ 는 식 A. 10으로부터 다음과 같이 구해지며

$$[CO_2^*] = K_0 f(CO_2) \quad (23)$$

식 A. 11과 A. 12로부터 bicarbonate와 탄산이온은 다음과 같이 구한다.

$$[HCO_3^-] = \frac{K_0 K_1 f(CO_2)}{[H^+]} \quad (24)$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_0 K_1 K_2 f(CO_2)}{[H^+]^2} \quad (25)$$

C_T 와 A_T 는 각각 식 A. 1과 A. 2에서 구하고, bicarbonate 이온과 탄산이온은 각기 식 24와 25를 사용하면 되며, 나머지 항들은 Table VI-2에 주어진 값을 이용하면 된다.

총수소이온 농도 ($[H^*]$) 와 총용존무기탄소 (C_T)를 측정한 경우: 식 A. 11과 A. 12를 제정돈하여 식 A. 1에 치환시키면 C_T 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_T = [CO_2^*] \left(1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2} \right) \quad (26)$$

따라서 각 이온의 농도는 다음과 같은 관계식에서 구할 수 있다.

$$[CO_2^*] = \frac{C_T [H^+]^2}{[H^+]^2 + K_1 [H^+] + K_1 K_2} \quad (27)$$

$$[HCO_3^-] = \frac{C_T K_1 [H^+]}{[H^+]^2 + K_1 [H^+] + K_1 K_2} \quad (28)$$

$$[CO_3^{2-}] = \frac{C_T K_1 K_2}{[H^+]^2 + K_1 [H^+] + K_1 K_2} \quad (29)$$

Fugacity는 식 22, A_T 는 식 A. 2로부터 계산되며 나머지 항들은 Table VI-2에 주어진 값을 이용하면 된다.

총알칼리니티 (A_T) 와 총용존무기탄소 (C_T)를 측정한 경우: 이 두 매개변수쌍을 이용하는 가장 쉬운 방법은 식 A. 2를 총농도와 $[H^*]$ 에 대해 제정돈시킨 뒤 Newton-Raphson 방법이나 단순 반복연산을 이용하여 식을 $[H^*]$ 에 대해 풀어내는 것이다. 해수의 경우는 $[H^*] = 10^{-8}$ 을 초기값으로 주고 푸는 것이 바람직하다. 일단 $[H^*]$ 가 구해지면 bicarbonate 이온과 탄산 이온의 농도는 식 28과 29를 이용하여 계산하고, 이산화탄소는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$[CO_2^*] = [H^+][HCO_3^-] / K_1 \quad (30)$$

Fugacity는 식 22를 이용하여 구해낸다.

총알칼리니티 (A_T)와 fugacity ($f(CO_2)$)를 측정된 경우: 식 A. 10으로부터

$$[CO_2^*] = K_0 f(CO_2) \quad (31)$$

식 A. 11과 A. 12를 아래와 같이 정돈하여 농도를 구한다.

$$[HCO_3^-] = \frac{K_0 K_1 f(CO_2)}{[H^+]} \quad (32)$$

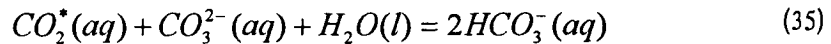
$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_0 K_1 K_2 f(CO_2)}{[H^+]^2} \quad (33)$$

식 31-33을 식 A. 2에 치환시키고 Table VI-2의 항을 넣은 뒤 방정식을 $[H^+]$ 에 대해 Newton-Raphson이나 단순 반복연산으로 해를 구한다. 해수의 경우는 $[H^+] = 10^{-8}$ 을 초기값으로 주고 푸는 것이 바람직하다. 일단 $[H^+]$ 가 구해지면 bicarbonate 이온과 탄산 이온의 농도를 식 A. 1에 넣어 C_T 를 구한다.

총용존무기탄소 (C_T)와 fugacity ($f(CO_2)$)를 측정된 경우: 이 매개변수쌍의 관계를 유도하기 위해 편의상 K 를 $K = K_1/K_2$ 로 정의하여 사용한다. 그러면 K 는 다음과 같이 정의 된다.

$$K = \frac{[HCO_3^-]^2}{[CO_2^*][CO_3^{2-}]} \quad (34)$$

이산화탄소 화학종의 평형식은 아래와 같으며



윗 식을 Table VI-1의 식 A. 1에 연계시키면 다음과 같이 된다.

$$C_T = K_0 f(CO_2) + [HCO_3^-] + \frac{[HCO_3^-]^2}{KK_0 f(CO_2)} \quad (36)$$

윗 식을 bicarbonate 이온에 대해 해를 구하면

$$[HCO_3^-] = \frac{-KK_0 f(CO_2) + \sqrt{(KK_0 f(CO_2))^2 - 4(KK_0 f(CO_2))(K_0 f(CO_2) - C_T)}}{2}$$

그리고, 탄산 이온은

$[CO_3^{2-}] = C_T - [CO_2^*] - [HCO_3^-]$ 로 구해진다.

$[H^+]$ 는 식 A.11로부터 다음과 같이 구해진다.

$$[H^+] = \frac{K_1[CO_2^*]}{[HCO_3^-]} \quad (37)$$

A_T 는 식 A.2로부터 구해지며 필요한 항은 Table VI-2에서 구해 쓴다.

총수소이온 농도 ($[H^+]$), 총알칼리니티 (A_T)와 총용존무기탄소 (C_T)를 측정할 경우: Table VI-2의 식 A.1, A.11 그리고 식 15를 연계해서 다음 관계를 얻을 수 있다.

$$2C_T - A_C = [CO_2^*] \left(2 + \frac{K_1}{[H^+]} \right) \quad (38)$$

이로부터 아래 식을 이용하여 각 탄산 화학종의 농도를 구한다.

$$[CO_2^*] = \frac{[H^+](2C_T - A_C)}{2[H^+] + K_1} \quad (39)$$

$$[HCO_3^-] = \frac{K_1(2C_T - A_C)}{2[H^+] + K_1} \quad (40)$$

$$[CO_3^{2-}] = A_C - C_T + [CO_2^*] = \frac{[H^+]A_C + K_1(A_C - C_T)}{2[H^+] + K_1} \quad (41)$$

$[CO_2^*]$ 를 K_2 의 관점으로 표현하자면

$$CO_2^* = C_T - [HCO_3^-] - [CO_3^{2-}] \quad (42)$$

윗 식에 식 19와 20을 치환하여

$$CO_2^* = C_T - \frac{A_C([H^+] + K_2)}{[H^+] + 2K_2} \quad (43)$$

로서 구할 수 있으며 어느 경우던 fugacity는 식 A.10에서 구한다.

총수소이온 농도 ($[H^+]$), 총알칼리니티 (A_T)와 fugacity를 측정할 경우: 식 A.10 (=식 22), 식 32 (=A.11)로부터

$$[CO_2^*] = K_0 f(CO_2) \quad (44)$$

$$[HCO_3^-] = \frac{K_0 K_1 f(CO_2)}{[H^+]} \quad (45)$$

그리고 식 A. 12, 식 15들로부터

$$[CO_3^{2-}] = \frac{A_c [H^+] - K_0 K_1 f(CO_2)}{2[H^+]} \quad (46)$$

이 유도되며 위 식들에서 값을 구한다. A_c 는 식 21로부터 구하고 C_T 는 식 A. 1에서 구한다. 탄산염 이온의 농도는 K_f 에 독립적으로 유도될 수 없다.

총수소이온 농도 ($[H^+]$), 총용존무기탄소 (C_T)와 fugacity를 측정한 경우: 이 경우 이산화탄소는 식 A. 10으로 구한다.

$$[CO_2^*] = K_0 f(CO_2) \quad (47)$$

Bicarbonate 이온 농도는 식 45 또는 식 A. 1과 A. 12를 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} [HCO_3^-] &= C_T - [CO_2^*] - \frac{[HCO_3^-]K_2}{[H^+]} \\ &= \frac{[H^+](C_T - K_0 f(CO_2))}{[H^+] + K_2} \end{aligned} \quad (48)$$

탄산 이온의 농도는 $[H^+]$ 와 fugacity를 이용하여 아래와 같이 구하거나

$$\begin{aligned} [CO_3^{2-}] &= C_T - [CO_2^*] - [HCO_3^-] \\ &= C_T - K_0 f(CO_2)(1 + K_1 / [H^+]) \end{aligned} \quad (49)$$

또는 식 48로부터 구할 수 있다.

$$[CO_3^{2-}] = \frac{(C_T - K_0 f(CO_2))K_2}{[H^+] + K_2} \quad (50)$$

이들 값을 식 A. 2에 넣어 A_T 를 계산해 낸다.

총수소이온 농도 ($[H^+]$), 총알칼리니티 (A_T), 총용존무기탄소 (C_T)와 fugacity 를 모두 측정한 경우: 이 경우 K_1 , K_2 에 의존하지 않고 탄산염 화학종의 농도를 구할 수 있다. 우선 A_T 와 $[H^+]$ 를 이용하여 식 A. 22로부터 탄산염 알칼리니티를 계산 할 수 있다. 이산화탄소, bicarbonate, 탄산이온의 농도는 각기 다음식으로 부터 구한다.

$$[CO_2^*] = K_0 f(CO_2) \quad (51)$$

$$[HCO_3^-] = 2C_T - A_C - 2K_0 f(CO_2) \quad (52)$$

$$[CO_3^{2-}] = A_C - C_T - K_0 f(CO_2) \quad (53)$$

탄산이온의 해리상수는 식 A. 11과 A. 12로부터 구해낼 수 있다.

4. 해양의 이산화탄소 시스템에 영향을 미치는 해양 과정

인류의 산업활동의 결과로 대기중에 이산화탄소가 증가하게 되면 해양은 증가된 이산화탄소의 대기 농도와 평형을 이루기 위해 이산화탄소를 흡수하는 방향으로 반응하게 된다. 이 반응에는 수소 이온이 참여하기 때문에 해수의 이산화탄소의 시스템은 해수의 pH를 결정하는데 절대적으로 기여하며 또한 bicarbonate 이온이 pH를 결정하는 수소 이온을 받기도 하고 주기도 하는 이중적인 역할을 하기 때문에 해수의 완충적인 특성을 지니게 하는데 주요인으로 작용한다.

증가된 대기의 이산화탄소 농도에 대한 해수의 반응은 상식적으로 이해하기에 어려운 복잡한 특성을 지니고 있다. 이러한 문제는 우선 이산화탄소가 앞의 절에서 살펴 보았듯이 해수와 반응하여 여러 화학종으로 분화하는데 기인한다. 수용액상의 이산화탄소가 bicarbonate나 탄산 이온으로 분화함으로써 해수와 반응하지 않는 산소나 질소에 비해 10배나 되는 양이 해수에 용해될 수 있다.

그런데 이러한 해수의 이러한 포화능력은 열역학적인 특성에 의한 것이고 반응화학적 속도면에서 이산화탄소가 해수와 대기간의 농도의 평형상태에 달하기에 필요한 시간은 산소나 질소의 경우 필요한 시간에 10배 가량인 약 11 개월로 추산되고 있다. 한편 육상식물의 광합성에 의한 대기중 이산화탄소 농도의 변동은 계절 규모이기 때문에 해양-대기간 정상상태 (steady state)에 도달할 수 없다는 결론에 이르게 된다.

대기와 해양간의 이산화탄소의 교환은 대기와 해수의 접촉면인 해수 표면에서 일어난다. 이 과정은 Henry의 법칙에 따라 대기와 해수의 이산화탄소 분압 (μCO_2)에 의해 지배 받으며 온도와 해수 표면에서의 풍속에 크게 지배받는다. 물론 대기중 이산화탄소의 일부는 북대서양에서 심해수가 형성될 때 함께 들어가 직접 심해로 유입되기도 하나 심층수가 형성되는 해양의 면적은 총면적에서 차지하는 비율이 매우 낮아 그 양은 상대적으로 적어 무시할 만한 정도이다.

해수에 한 분자의 이산화탄소 기체가 용해될 때 일어나는 화학반응 (식 1-4)을 요약하면



즉, 한 분자의 이산화탄소가 용해되기 위해서 한 분자의 탄산염 이온이 소모되어 두개의 bicarbonate 이온을 만들어내는 방향으로 반응이 진행된다. 이 반응의 결과는 다음 식이 나타내는 바와 같이 수소 이온의 증가로 귀결된다.

$$[H^+] = \frac{K_2[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \quad (55)$$

수소 이온의 농도가 증가하면 탄산과 bicarbonate의 비도 증가해야 한다.

$$\frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} = \frac{[H^+]}{K_1} \quad (56)$$

따라서 H_2CO_3 의 농도는 반응의 결과로 bicarbonate 이온의 농도가 증가하므로 수소 이온의 증가 보다도 더 많이 증가해야 한다. 이것의 의미는 이산화탄소의 용해에 의해 H_2CO_3 의 농도가 증가하므로 추가적인 이산화탄소의 용해를 방해한다는 것이다. 이처럼 이산화탄소는 해수 중에 빠르게 용해 될 수 없으며 Broecker (1982)는 이를 kinetic resistance라고 부른 바 있다. 즉, 열역학적인 평형은 반응 속도에 의한 제약 때문에 짧은 시간에 이루어질 수 없음을 지적하고 있다. 만일 다음에 언급하고자 하는 또 다른 탄소의 제거 방법이 존재하지 않는다면 순전히 화학적 반응에 의한 대기중에 증가된 이산화탄소의 제거는 겨우 3% 수준에 머무르고 말 것이다.

대양을 수직적인 관점에서 수온 약층 (thermocline)을 경계로 표면 혼합층 (surface mixed layer)와 심층 (deep-sea)의 두층으로 나누어 고려해 보면 이 두층 내부에서 물질은 비교적 원활히 섞이나 층간의 물질이나 에너지 교환은 매우 안정된 수온 약층의 존재로 해서 심한 제약을 받게 된다.

표면 혼합층에서는 탄소를 제거하는 두가지의 특징적인 화학반응이 일어나고 있으며 이것은 광합성을 하는 식물 플랑크톤에 의해 주도된다. 그 중 하나는 광합성에 의한 유기물 생산이고 하나는 $CaCO_3$ 의 생산이다.



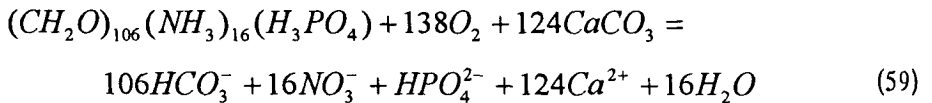
식 57은 광합성에 대한 식으로 직접 해수의 이산화탄소 분압을 낮추기 때문에 매우 효율적인 이산화탄소 제거 기작으로 작용한다. 반면 $CaCO_3$ 를 생산하는 과정은 탄산 이온을 제거하기 때문에 식 54-56에서와 마찬가지로 이산화탄소 분압을 높이는 효과를 가져와 단기적인 의미에서는 크게 기여하는 제거 기작으로

작용하지 못한다.

광합성은 적당한 광량이 투과하는 깊이에서 까지만 가능하며 이 깊이는 대략 표면 혼합층의 깊이와 일치한다. 따라서 합성된 유기물이 모두 표면 혼합층에서 소모되면 식 57의 역반응이 일어나 실질적인 이산화탄소 제거에 기여할 수 없다. 이것은 표면 해수층에서 상당량의 이산화탄소가 심해로 수송되어야만 해양이 대기중의 이산화탄소를 흡수할 수 있음을 의미한다. 해양에서는 실제 탄소를 심해로 직접 수송하는 과정이 존재하며 지금까지 확인된 가장 중요한 방법은 입자의 침강이다.

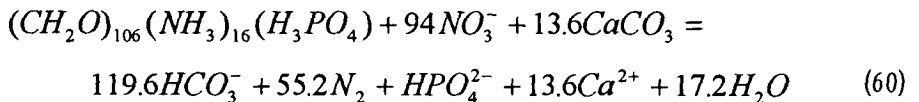
표면 혼합층에서 심해로 침강하는 입자는 플랑크톤의 사체, 배설물 (fecal pellet), 비정형 거대 응집물질 (marine snow) 등이 있다. 유기물의 합성과 침강에 의한 탄소의 심해로의 전달 과정은 단순한 화학적인 용해와 수온 약층을 통한 확산과 구별하여 생물 펌프 (biological pump) 라고 일컬으며, 한편 전자는 화학 펌프 (chemical pump) 라고 부르기도 한다.

플랑크톤의 체구성 물질은 심해로 가라앉으면서 또는 퇴적 표층에서 산소에 의해 산화되며 이러한 과정은 대략 다음과 같이 표현된다.



맨 앞의 항은 입자상 유기물의 화학구성을 대표하는 것으로 1 몰의 유기물 산화에 138 몰의 산소와 124 몰의 $CaCO_3$ 가 소모됨을 나타내고 있다.

한편 퇴적층내에서 산소가 모두 소모되면 그 다음으로 질산 이온이 산화제로 쓰여 다음과 같은 유기물 산화 반응이 일어난다.



여기서 $CaCO_3$ 는 산소에 의해 산화될 때와 질산 이온에 의해 산화될 때 10 배 가량 용해량에 차이가 있음에 유의 할 필요가 있으며 이는 Ca와 탄산 이온의 순환에 커다란 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

결론으로 대기 중에 증가된 이산화탄소를 해수가 효과적으로 흡수하는데 가장 큰 관건이 되는 것은 생물 펌프가 얼마나 왕성하게 작동하고 있는냐에 달려 있다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 대기 중의 이산화탄소를 제어하는 방안으로 두가지의 과감한 아이디어가 제시되었다. 그중 하나는 공학적인 기술을 이용하여 화력 발전소나 제철소 등 단일 플란트에서 대량의 이산화탄소를 배출시키는 경우 이를 촉매를 사용하여 회수하여 직접 심해에 투기하는 것이고

다른 하나는 기초생산력을 증강시켜 식물 플랑크톤으로 하여금 대량의 이산화탄소를 고정시키게 하는 것이다. 후자는 Moss Landing Marine Laboratory의 John Martin이 제안한 '철의 시비에 의한 대기 중 이산화탄소의 제거'로서 특히 해양학계에 커다란 반향을 일으키고 있으며 일부 학자들의 부정적인 시각에도 불구하고 미 정부가 이 아이디어에 대해 Galapagos 근해에서 소규모 실험을 지원하고 있는 중이어서 결과에 대해 귀추가 주목된다.

제 3 절 기술동향분석

기술동향분석은 현재 전세계적으로 활발하게 수행되고 있는 기후변화와 관련된 해양의 이산화탄소 체제에 대한 연구 논문과, 해양에서 이산화탄소 연구를 위해 개발되고 있는 측정 기법의 두 분야로 나누어서 다루었다. 해양에서의 이산화탄소 체제에 대한 연구의 궁극적인 목표는 지구 온난화에 결부시켜 해양에서 이산화탄소 관련 환경 요인을 조사하고 해석하는 것이지만 이 연구 자체는 우선 측정 기술의 확립에 초점을 맞추고 있는 만큼 측정기법에 대하여 비중을 두어 다루었다.

1. 인류기원 이산화탄소와 해양 (updated review)

인류가 배출한 이산화탄소의 거동과 지구기후에 대한 영향을 연구함에 있어 중요한 주제의 하나가 인위적으로 배출한 이산화탄소 농도의 조절에 대한 해양의 역할이다. 현재 해양의 이산화탄소 역학에 대한 연구로 크게 세가지 주류가 형성되어 있으며 각 연구 방향은 상호보완적이기도 하고 일면 상충되는 결과를 제시하기도 한다. 이들은 각기

- 지구 규모 모델링
- 현장 관측
- 탄소 동위원소 응용 방법이다.

현재의 대기, 해양, 육상 생물간의 탄소 교환량이 인위적인 배출량보다 훨씬 크기 때문에 (Fig. VI-2) 혹은 현재 대기중에 증가하고 있는 이산화탄소의 양은 자연적으로 가능한 범위 안에서 일시적인 증가를 보이는 것이 아니냐는 의견에 대해 1990년대 이후의 기록은 한결같이 인위적인 사건이 대기의 이산화탄소 농도에 잘 반영되고 있음을 이미 입증한 바 있다.

탄를 접근 방법의 차이에도 불구하고 해양은 인류기원의 이산화탄소를

제거하는 중요한 저장고라는 점을 공통적으로 지지하고 있으나 그 크기에 대해서는 아직 완전히 일치하고 있지 않다. 그리고 해양이 흡수하는 이가배출 한 산이 화이탄 중의 상직 당량가 배출한 이산화탄소 중의 상당량이 어디로 갔는지 확실히 밝혀져 있지 못하며 육상 생태계가 지금까지 알려진 것보다 훨씬 많은 양의 이산화탄소를 제거하고 있지 않느냐 하는 의견이 제시되고 있다.

최근들어 학계에서 지지받고 있는 연구결과 가운데 주목할 만한 것은 열대우림의 파괴로 비롯된 부가적인 (여기서 부가적이란 의미는 화석연료의 연소 이외의 것임을 중시한 것임) 이산화탄소의 방출이 애초의 예상보다는 훨씬 미미하다는 지적이다.

지구 전체 규모의 탄소 순환에 대한 가장 최신의 연구 결과는 Fig. VI-2로서 제시되었다 (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). Fig. VI-2a는 산업혁명 이전에 소위 인간의 교란이 심각하지 않았을 경우이고 b는 '80년대의 탄소 순환에 대한 것이다. '80년대 모델에서 산업혁명 이전에 비해 변화된 flux나 저장고의 크기는 볼드체로서 표기되어 있음에 주목할 필요가 있다.

해양은 산업혁명 이전에는 평형상태 (즉, 수출입량이 동일함) 를 이루다가 현재는 이산화탄소를 흡수하는 방향 (순 유입량 2 Gt/yr) 으로 역할이 변화되었음을 주장하는 부분이 가장 특기할 만하다.

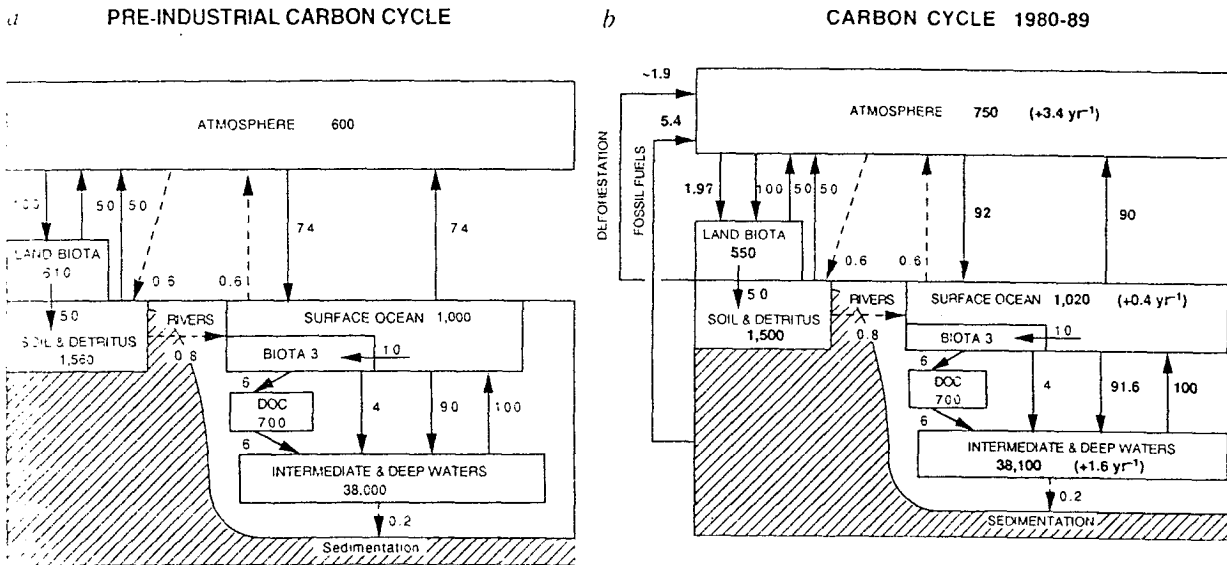


Fig. VI-2. Global carbon cycle reservoirs and fluxes, in Gt C and Gt C/yr, respectively (1 Gt C = 10¹⁵ g C). a) reconstructed pre-industrial and b) present-day situation (Siegenthaler and Sarmiento, 1993).

80년대에 화석연료의 연소와 열대우림의 파괴로 비롯된 이산화탄소의 배출량에 대한 최선의 추정치는 약 7.0 ± 1.1 Gt C/yr이다. 이 중 약 반가량은 대기에 머무르고 있고 상당량이 해양에 흡수되나 그 양에 대해서는 이견이 있다.

모델을 연구하는 진영에서는 해양의 탄소 흡수량이 2.0 ± 0.6 Gt C/yr로 추정하고 있는 반면 해양에서 지접 관측하고 있는 연구진은 < 1 Gt C/yr라고 주장하고 있다. 이에 대해 현재는 2 Gt C/yr가 더 현실적이라고 지지되고 있는데 그 근거는 다음과 같다.

해양이 흡수하는 탄소의 양이 1 Gt C/yr 이진 2 Gt C/yr 이진 간에 80년대에 대기로 배출한 이산화탄소의 총량과 대기와 해양에 존재하는 이산화탄소의 총량간에 차이가 있다. 즉 어디엔가 이산화탄소를 대량으로 흡수하는 알려지지 않은 다른 흡수원이 존재한다. 현재로서는 만일 현장 측정에 의한 추정이 옳다면 현재 미확인 흡수원의 크기가 너무 커서 지금까지 모르고 있다는 자체가 의문시된다.

한편 해양이 이산화탄소를 아주 조금 흡수한다고 주장하는 측에서 제기한 새로운 커다란 흡수원은 육상 생태계로 이것은 얼마전까지만 해도 열대우림의 파괴 등으로 흡수가 아닌 배출원으로 고려되었기 때문에 이를 받아들이기에는 상당한 증거가 필요하나 아직 신빙성이 높은 자료는 제시되고 있지 못하다. 좀더 자세한 연구 결과가 제시될 때까지 기다려보아야 할 터이지만 현재까지 대기중에 증가된 이산화탄소의 농도가 육상생태계의 생산력을 높인다는 결정적인 증거는 없으며 해양의 경우는 일찌감치 생산력을 제한하는 것은 영양염이지 탄소 공급원이 아니라는 것이 정설로 굳어져 있어 가능성이 희박하다.

인위적인 이산화탄소의 흡수원에 대한 연구는 일반인이 상식적으로 알고 있는 것보다 절실한 문제로 인식되어 가고 있다. 현재 지구에 부존된 가용 화석연료의 양은 4,000 Gt C으로 대기나 육상 생태계의 탄소량, 각기 600 및 약 550 GtC (Fig. VI-2)에 비해 엄청나게 많은 양이다. 이것은 대기의 이산화탄소 농도를 현재의 몇배 수준으로 높힐 수 있는 잠재력을 가진 것이다.

해양의 이산화탄소 흡수: 현재 해수에 녹아 있는 이산화탄소의 양은 산업혁명 이전에 대기가 가지고 있던 이산화탄소 양의 65 배에 달한다. 그런데 해수 전체가 대기와 평형상태에 있다면 해수가 지닐 수 있는 이산화탄소의 양은 이의 10분의 1에 불과한 6,5배에 지나지 않는다. 현재 대기와 표층 해수간의 이산화탄소 분압의 차이는 전대양 평균으로 볼 때 약 8 ppm으로 산업혁명 이후 대기의 이산화탄소 증가분 약 75 ppm에 비교하면 대기와 표층해수는 거의 평형상태에 있다고 말할 수 있다. 따라서 심해수에 평형상태보다 훨씬 많은 양의 이산화탄소가 용해되어 있으며 이를 가능하게 하기 위해서는 과량의 이산화탄소를 함유한 표층해수가 심해로 들어가야 한다. 그런데 해수가 심해로

전달되는 과정은 매우 느린 현상으로 실제 표층을 떠난 해수가 완전히 심해에 도달하기까지 몇백년이 소요된다.

해양과 대기간의 이산화탄소 교환 추정: 해양과 대기간 이산화탄소의 교환은 분압차 (ΔpCO_2)에 지배되며 다음과 같이 표시된다.

$$F = k_g \Delta pCO_2 \quad (61)$$

여기서 k_g 는 기체교환상수로서 풍속의 함수이다. 그런데 현장과 실험실에서 실험으로 구한 k_g 값과 핵실험으로 낙하된 ^{14}C 로 추정된 k_g 값간에 1.5 내지 2배의 차이를 보이고 있는 것이 골치거리로 등장하고 있다. 이러한 차이를 설명하고자 하는 이론은 제기되었으나 널리 받아들여지고 있지는 않다. 그리고 문제를 더욱 복잡하게 하는 것은 대기-해양간 분압차 약 8 ppm 보다 기온변동에 의한 분압의 자체 변동폭이 약 80 ppm으로 훨씬 규모가 크고 생물에 의한 지리적인 변화의 규모도 거리 100 km에 대해 수십 ppm 규모여서 지구 전체 평균값을 구하는데 어려움을 주고 있다. 특히 이산화탄소의 분압이 간접적으로 열역학 관계식으로부터 산출되는 경우 내재적인 오류의 전파가 정확한 값을 구하는데 저해요인으로 작용한다.

인위적인 이산화탄소의 수치: 인위적인 이산화탄소의 배출량과 해양과 대기에 존재하는 양과의 관계가 Fig. VI-3에 비교되었다 (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). 1920년대 까지 배출량은 모두 대기와 해양으로 분산 수용되었으나 이후로 흑자 수치가 점차 증가하고 있다. 이는 이산화탄소 배출량이 과대 집계되었거나 우리가 알지 못하는 이산화탄소 흡수원이 존재함을 의미하고 있다.

Table VI-3은 '80-'89 기간에 인위적인 이산화탄소의 배출과 흡수원에 대해 이제까지 알려진 가장 정확한 정보를 정리한 것이다. 최선을 다한 결과임에도 불구하고 아직 1.8 ± 1.3 Gt C/yr 라는 상당한 양의 이산화탄소의 종적이 묘연하며 대기의 자료는 정확하고 해양의 자료는 각종 모델의 결과 거의 일치하고 있기 때문에 미지의 흡수원이 존재할 가능성이 가장 크다고 진단되고 있다. 시간에 따라 설명이 불가능한 이산화탄소의 양이 증가하고 있는 점으로 보아 지표 식물과 토양이 주원인 공산이 크다고 여겨지고 있다. 만일 대기 중에 증가된 이산화탄소의 농도에 대해 식물과 토양이 흡수원으로 작용한다면 충분히 설명 가능하다고 짐작되고 있다. 명확한 증거는 없지만 육상생태계의 생산력, 50 Gt C/yr의 규모에 비추어 생산력이 단지 몇 퍼센트만 증가되더라도 설명이 가능하다. 그러나 지표 식물과 토양은 대거나 해양에 비해 비균질(heterogeneous)한 특성을 지녀 연구하기가 어렵다. Fig. VI-3에서 보듯이 인위적인 교란 이전에 이산화탄소의 자연적인 변동이 매우 작은 점을 감안하고 대기 중 이산화탄소의 계절 변동폭이 점차 커지고 있음에 비추어 육상 생태계가

중요한 역할을 하고 있는 것으로 간접 추정되고 있다.

해양생물의 역할: 해양생물은 대기중의 이산화탄소를 심해로 전달시키는 주 과정인 생물펌프를 가동시키는 주역이다. 아직 표면 혼합층의 해양생물이 심해로 얼마만한 양의 이산화탄소를 수송하고 있는지는 명확히 알려져 있지 않으며 여러 문헌에 발표된 수치로 볼 때 4-20 GtC/yr 규모로 추정되고 있으며 모델 결과는 10 Gt C/yr 이다.

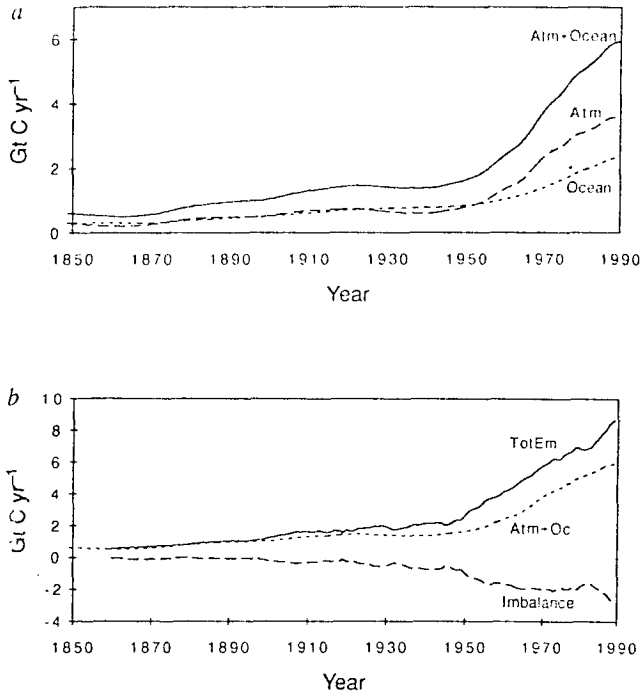


Fig. VI-3. a) Deconvolution of the atmospheric CO₂ record, b) annual fluxes into the atmosphere-ocean system: TotEm= estimated total anthropogenic emissions (Siegenthaler and Sarmiento, 1993). Note: 1994 IPCC report designate the imbalance is due to previously unknown forest regrowth in northern hemisphere and terrestrial sink by biota. However, recent report was not available at the time of writing .

Table VI-3. Budget of annual anthropogenic CO₂ perturbations in Gt C yr⁻¹ (Siegenthaler and Sarmiento, 1993).

Emission from fossil fuel combustion	5.4 ± 0.5
Emission from deforestation and land use	0.6 to 2.5
Atmospheric accumulation	3.2 ± 0.2
Uptake by the ocean	2.0 ± 0.6
Net imbalance	1.8 ± 1.3

그런데 표면 혼합층에 이산화탄소의 양이 증가하더라도 생물 펌프가 강화되지 않을 것이라는 의견이 지배적이다. 즉 생물 펌프는 자연적인 탄소 순환 과정에서는 매우 중요하지만 순전히 인위적으로 배출한 이산화탄소의 심해 이동과는 무관할 것이라는 것이 모델 연구자들이 사용하고 있는 가정이다. 현재 이와같은 가정이 과연 옳은 것인지에 대한 검증을 위한 실험들이 진행 중에 있다. 만일 생물펌프가 대기중에 증가된 이산화탄소에 반응한다면 해양의 역할은 더욱 중요한 것으로 판명될 것이다. 여하간 생물펌프의 역할은 매우 중요하다. 예를들어 전 해양의 영양염류가 고갈될 정도로 생물 펌프가 강화되면 대기중의 이산화탄소 농도는 160 ppm으로 낮아지고 반대로 완전히 멈춘다면 460 ppm으로 증가될 것이라는 모델 결과가 제시된 바 있다. 이것은 이산화탄소 농도와 생물 펌프와의 직접 상호작용에 국한시킨 것이고 이산화탄소의 농도 증가에 의한 기후변화로 유발되는 해류의 변화나 저층 퇴적물의 유기물 산화 속도의 변화 등 거시적인 안목에서 간접적인 영향 까지를 고려하면 명쾌하게 결과가 짐작되지 않는다.

미래 이산화탄소의 농도를 결정하는 인자들: 미래 사회의 대기중 이산화탄소의 농도를 예측하는데 가장 큰 변수는 인류기원의 이산화탄소 배출량으로서 이것은 정치적이고 사회-경제적인 요인에 의해 결정되므로 예측하기 매우 어려운 것이다. 1990-2010까지 인류기원 이산화탄소 배출에 대한 IPCC의 배출 시나리오는 6종류로서 최소 742 Gt C부터 최대 2,127 Gt C 까지 무려 3배 가량 차이가 있다. 각 모델의 경우도 배출한 이산화탄소에 대해 미확인 흡수를 허용할 때와 가상적으로 해양 또는 생물권에 흡수되는 것을 가정할 때에 따라 현저한 차이를 보이며 전자의 경우 예측된 대기의 이산화탄소의 농도가 더욱 높게 나타난다. 더욱 정확한 예측을 위해서는 해양과 육상 생물권에 대한 보강된 연구가 지원되어야 할 것이다. 중요한 자료를 제공하는 대다수의 연구는 이전의 것과 크게 차이나는 내용으로 구성되어 있지 않다. 한동안 중요하지 않은 연구라고 뒷전으로 밀리곤 하던 기초적인 연구를 새삼 지원해야할 필요성이 제기되고 있는 것이다.

2. 총용존무기탄소 측정기법

해수의 총용존무기탄소 (C_T) 의 표준측정방법은 미국의 Brookhaven National Laboratory의 Ken Johnson과 University of Rhode Island의 Equipment Development Laboratory의 David Butler가 공동개발한 SOMMA (Single-Operator Multiparameter Metabolic Analyzer)를 채택하고 있다. SOMMA는 이산화탄소의 정량 측정을 위해 coulometric titration 방법을 채택하고 있다. 이 방법은 통상 해수에 포함된 용존무기탄소 $1,800-2,300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 을 측정하는데 충분하다.

SOMMA는 해수중의 기체상 이산화탄소를 질소를 주입하여 제거한 뒤 인산을 넣어 용존무기탄소를 모두 이산화탄소로서 변환시킨 뒤 발생한 이산화탄소의 총량을 측정하는 방법을 사용하고 있다. Fig. VI-4는 간략하게 표시한 SOMMA의 schematic diagram이다 (Johnson et al., 1993). SOMMA는 아래의 5개의 기능별 시스템으로 구성되어 있다.

1. 해수 공급 시스템: 해수의 수온을 유지하며 ($\pm 0.4^\circ\text{C}$) 정확한 부피의 해수 시료를 공기와 차단한 상태로 이산화탄소 추출 시스템으로 전달함.
2. 이산화탄소 추출 시스템: 이 시스템에서 인산이 첨가되고 발생한 이산화탄소는 carrier gas인 질소 거품 발생에 의해 용액에서 추출됨. 처리된 해수 시료를 내보내는 배관이 되어 있음.
3. Coulometer 시스템: 미국 UIC 사의 모델 5011 coulometer를 사용함
4. 기체 보정 시스템: 항온 기체 밸브, 오차 0.02%인 부피가 측정된 가스관, 오차 0.05°C 인 온도계와 정확도가 $\pm 20 \text{ Pa}$ 인 기압계로 구성됨
5. PC 조절 unit: Software로서 hardware를 점검하며, 자동제어하고 측정결과 계산하여 저장함.

SOMMA로 측정한 결과는 1회 현장 조사의 정밀도의 표준 편차를 $3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 이내 현장조사간 또는 실험실간 표준편차를 $6 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 이내로 전세계 측정 자료의 질 관리가 이루어지도록 권고되고 있다.

총무기용존탄소를 측정하는 기기 SOMMA는 University of Rhode Island- EDL에 주문하여 제작 가능하다. 가격은 미화 60,000 달러를 약간 상회하는 비교적 고가 기기이다. SOMMA를 실제 사용하기 위해서는 순수 이산화탄소와 조절기, 그리고 항온조 (bath)를 별도로 구입하여야 한다.

SOMMA는 쉽게 이용법을 터득하도록 세심히 고려해서 제작된 자동화기기이지만 몇가지 단점도 지적되었다 (Goyet and Snover, 1992). 단점으로 지적된 내용은 이산화탄소 추출 시스템이 아닌 coulometry 시스템에서 비롯된다. Coulometry를 위해서 고가의 유해한 용액을 사용하여야 하며 용액의 사용시간은 약 12시간으로 용액을 교체할 때마다 새로 blank 값을 점검해야 하는데 통상 1-2 시간이

소요되고 University of Miami의 사용자측 설명에 따르면 정상작동을 위한 낮은 blank 값에 도달하는데 더 오랜시간이 걸리는 일이 가끔 발생하기도 한다. 정상 상태에서 시료 1개당 약 20분이 소요되므로 많은 양의 시료를 처리할 수 없다. 적정은 UIC 사에서 제공한 둥근 pyrex cell을 사용하여야 하는데 선상에서 사용상 주의가 필요하다. Coulometer는 매 20-30 mg C을 측정 한 뒤에는 부품의 정기점검이 필요하다.

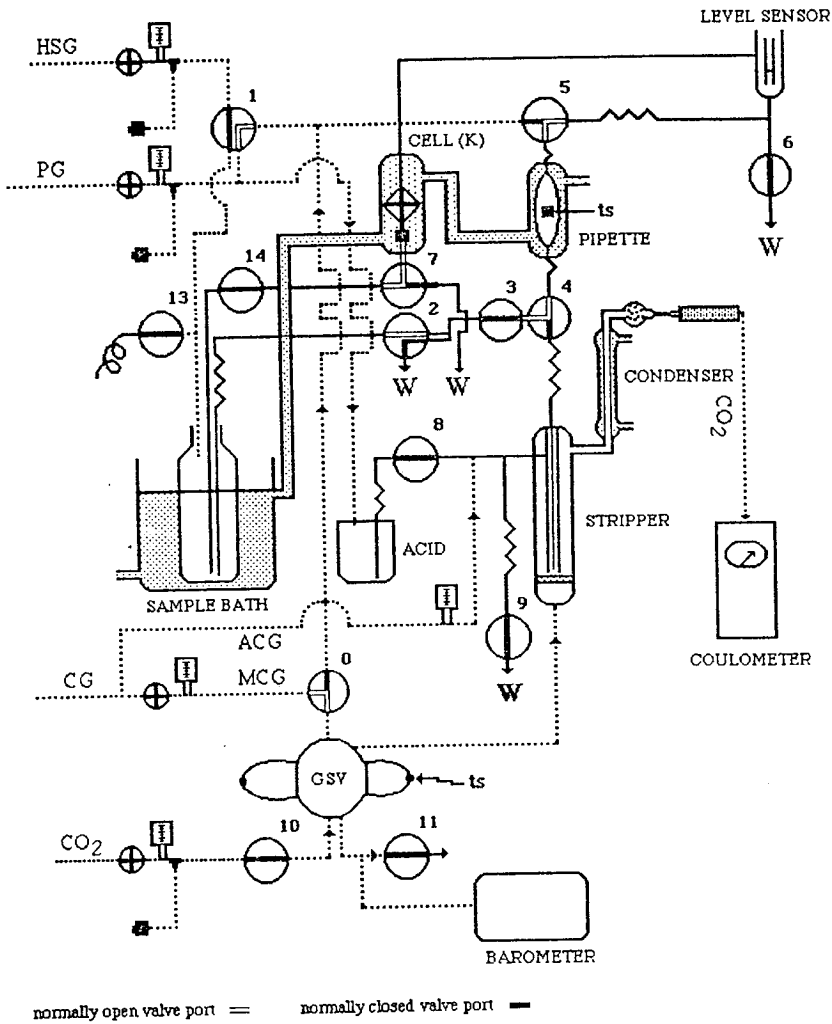


Figure VI-4. A Schematic diagram of SOMMA. ACG=auxiliary carrier gas, CG=carrier gas, K=conductance cell, GSV=gas sample valve, HSG=head space gas, MCG=main carrier gas, PG=pneumatic gas, ts=temperature sensor, W=waste (Johnson et al., 1993).

Coulometry의 단점에 착안하여 Goyet and Snover (1993)는 이산화탄소의 정량 측정을 Coulometer가 아닌 non-dispersive infra-red analyzer를 사용하는 대안을 제시하였다. 이들이 사용한 LI-COR 사의 모델 6262 CO₂/H₂O 분석기는 작고 가벼우며 반응 용액 등 기타 소요품이 필요 없고 항차간에는 특별한 점검이 필요 없다는 것을 장점으로 내세우고 있다. 한편 적외선 분석기는 뒤에 언급하는 이산화탄소 분압 측정에 사용되는 기기로서 coulometer를 대체하게 되면 기기 운용이 훨씬 단순해지는 장점도 부각된다. 적외선 분석기는 훨씬 작은 농도에 민감하므로 통상 SOMMA가 30 ml의 해수 시료를 분석하는데 비해 2.5 ml면 충분하다고 보고하였다. 이것은 공극수처럼 시료의 체적이 작은 경우도 측정이 가능하다는 장점이 있다. 측정에 소요되는 시간은 3분 정도로 SOMMA에 비해 신속하다는 장점도 있다. 만일 액상 표준물질이 공급된다면 적외선 분석에 의한 총용존무기탄소의 측정이 표준 기법으로 채택될 가능성도 있다고 판단된다.

3. 총수소이온농도 측정기법

총수소이온 농도 (이하 pH)는 해수에서 일어나는 산-염기 반응의 열역학적인 상태를 반영한다. pH는 지화학적으로 중요한 이산화탄소 시스템을 반영하고 있으며 또한 생물들의 생산이나 호흡 등의 과정이 여기에 반영된다. 따라서 해양연구의 초기부터 pH를 측정하여 왔지만 통상적인 측정 자료 수준으로는 해양현상의 이해에 별반 도움을 주지 못해서 근자에는 별로 측정되지 않고 있는 실정이었다.

지금까지 주로 사용되었던 pH 전극을 이용한 전위차 측정 방법을 SCOR의 Working Group 75가 면밀히 검토한 바에 의하면 최대 분해능이 0.02 pH 단위로서 만족스럽지 못하며 측정값의 편향 (drift) 등 몇가지 내재적인 결함이 존재한다 (SCOR, 1985).

최근 University of South Florida의 Bob Byrne에 의해 개발된 흡광분석기법 (spectrophotometry)은 여러가지 면에서 pH 측정에 새로운 전기를 마련하였다 (Byrne and Breland, 1989; Clayton and Byrne, 1993). 우선 가장 괄목할만한 진보는 정밀도의 향상으로 0.001 pH 단위 이하의 정밀도를 구현하게 된 점이다. 이정도 pH 정밀도는 다른 이산화탄소 시스템 매개변수의 측정값이 상호 일치하는가를 점검하기에 충분한 수준이다. 아직 정확도 검증을 위한 연구가 충분치 못하지만 흡광분석에 의한 pH 측정은 매우 기대되는 신개발 측정 기법이다.

해수의 pH의 정의와 측정기법의 이론적 배경과 방법간의 장단점에 대해서는 최근 Scripps Institution of Oceanography의 Andrew Dickson (1993)이 충실하게 다루고 있다.

Dickson and Goyet (1994)가 편집한 해수의 이산화탄소 시스템 표준 측정기법 매뉴얼에서는 두가지 해수의 pH 측정 방법을 추천하고 있는데 하나는 전극을 이용한 전위차 이용방법이고 나머지는 흡광분석 방법인데 본 연구에서는 후자에 대해서만 논의하였다.

pH의 정의: 이하에서 언급하는 pH는 다음과 같이 정의되어 사용된다.

$$[H^+] = [H^+]_F (1 + S_T / K_S) \approx [H^+]_F + [HSO_4^-] \quad (62)$$

여기서 $[H^+]_F$ 는 수소이온의 자유농도, S_T 는 총 황산이온 농도 ($[HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]$)이고 K_S 는 HSO_4^- 의 해리상수이다. 이로부터 pH는 다음과 같이 정의된다.

$$pH = -\log\left(\frac{[H^+]}{\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}\right) \quad (63)$$

현재 널리 사용되는 pH 지시염료는 sulfonephthalein계 염료인 m-cresol purple 이다. m-cresol purple 시약은 최소 2 mmoldm⁻³ 농도로 준비하여야 하며 시약의 pH는 측정대상 해수의 pH와 가까울수록 오류를 줄일 수 있다. 표층해수를 연구 대상으로 하는 경우 pH=7.9±0.1 수준으로 준비하는 것이 권장된다.

측정은 항온 (25±0.1°C) 에서 해야 하므로 항온조가 필요하다. 통상 항온조에 해수 시료를 20분 가량 담궈 두었다가 측정하면 된다. 측정을 위해서는 100mm 광투과거리를 갖는 long-path spectrophotometer cell과 spectrophotometer만 있으면 된다. 지시약은 80μl을 넣고 잘 혼든 다음 바로 측정하면 된다. 정확한 값을 신속하게 측정하기 위해서는 dual-beam 또는 이와같은 기능을 갖춘 흡광분석기가 권장된다. pH 값의 계산을 위해서는 염분과 온도 자료가 필요하다.

흡광 피크는 434 와 578 nm에서의 흡광도를 사용하며 바탕값(background) 점검을 위해 730 nm 의 흡광도도 함께 읽는다. 바탕값이 ± 0.001 이상이면 자료의 질 관리를 위하여 측정값을 사용하지 말아야 한다. 해수의 pH를 구하는 식은 아래와 같다 (Clayton and Byrne, 1993) :

$$pH_T(sw) = 1245.69 / T + 3.8275 + (2.11 \times 10^{-3})(35 - S) + \log\left(\frac{R - 0.0069}{2.222 - 0.133R}\right) \quad (64)$$

식에서 S는 염분으로 적용범위는 30에서 37, T는 절대온도로서 적용범위는

293에서 303이며 R은 578과 434 nm에서 흡광비 ($_{578A}/_{434A}$)이다. 이 방법의 정밀도는 0.0004 pH 단위이다. 참고로 Dickson and Coyet (eds., 1994)의 매뉴얼 중 SOP 7의 5 페이지의 Table 1에서 $\lambda_2 = 534$ 는 434의 오기임에 유의해야 한다.

pH 지시 염료는 정교한 반응을 보이는 대신 대상 시료의 pH 측정 범위는 좁은 편이다. 따라서 표층 해수에서 m-cresol purple이 무난하지만 다른 pH 범위의 해수, 예를 들면 pH가 낮은 심해수를 위해 다른 염료의 사용 가능성이 연구되고 있다. 많이 거론되는 염료의 pH 측정 범위는 Table VI-4와 같다.

아직 사용법이 공개되지 않은 염료 가운데 해수 pH 연구에 사용 요구가 가장 큰 pH 범위를 대상으로 하는 염료는 thymol blue로서 광합성이 매우 왕성한 표층 해수의 pH 측정을 위해 개발되어야 할 필요성이 높으며 현재 연구가 진행 중인 것으로 알려져 있다.

Table VI-4. pH indicators and their application range.

Indicator	pH range	Maximum absorption wavelengths
Bromocresol green	3-4	444, 616
Phenol red	6.4-8.0	433, 558
Cresol red	7.2-8.8	433, 573
m-Cresol purple	7.6-9.2	434, 578
Thymol blue	8.0-9.6	435, 596

4. 총알칼리니티 농도 측정기법

현재 권장되고 있는 해수의 총알칼리니티의 측정 방법은 Millero와 동료에 의해 개발이 주도된 것으로 (Millero et al., 1993) 밀폐된 cell 안에 해수 시료를 넣고 산을 가하며 적정하여 전극의 전위차를 측정하여 산의 가해진 양과 전위차의 변화 곡선으로부터 구하는 것이다. 이 방법은 해수에서 관측되는 2,000-4,600 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 에 대해 적용 가능하다.

총알칼리니티는 앞 절의 식 12로 정의된 바와 같다. 식에서는 NH_3 와 HS^- 에 의한 기여를 무시하고 있는데 시료가 무산소상태인 환경에서 채취될 경우는 이를 고려해야 한다.

적정에는 염산이 사용되며 적정량의 화학분석용 소금을 첨가하여 해수의 이온 세기와 함께 사용하므로써 각 이온간의 활동도 상수 (activity coefficients)가 유지되도록 한다. 적정이 이루어지는 동안 pH 전극을 이용하여 전위차의 변화를 계속 감시한다. 이 변화와 해수의 용적, 가해진 산의 양으로부터 최소자승법 또는 개량된 Gran 접근법을 사용하여 총알칼리니티를 구한다. 이 적정법으로부터 총 용존무기탄소의 양을 간접적으로 구할 수 있으나 인산 이온과 같은 매우 적은 양의 산-염기쌍이 무시되고 pH 8 부근에서 전극이 Nernst의 이론에 따라 반응하지 않는 등 내재적인 결함으로 해서 일반적으로 실제 값보다 작은 값을 계산해낸다. 따라서 coulometry에 의한 직접 측정이 훨씬 바람직하다.

적정용기는 밀폐형으로 100 ml 이상의 Lucite 재질로 제작하는 것이 권고되고 있다. 전극은 일체형 pH 전극보다는 분리형 전극을 사용하는 것이 자료의 안정성을 기할수 있다. 적정용기의 구조는 Fig. VI-5에 나타낸 바와 같으며 온도를 유지시키기 위해 (통상 25°C) 하기 위해 이중 벽에 의한 water jacket 구조가 되어 있고 적정시 공기와 차단시키며 가해진 산 용액을 수용하기 위해 syringe plunger가 꽂혀있다. 한편 수온의 변화는 온도계로서 감시한다.

적정용기의 체적을 구하는 방법은 Dickson and Goyet (1994)의 SOP 13에 소개되어 있다.

적정에 쓰이는 염산은 0.25 N이 사용되며 화학분석용 소금으로서 바닷물과 같은 이온 농도가 되도록 한다. 보정용 시약은 Na_2CO_3 로서 총알칼리니티가 1,000, 2,000, 그리고 2,500이 되도록 준비한다. 일정한 용량의 염산 적정액을 적정용기로 보내기 위해서는 Brinkmann 사의 Dosimat 665와 5 ml burett으로 구성된 시스템이 주로 쓰인다. 이 시스템은 컴퓨터로 제어가 가능하다. 제어용 software는 DOS 용 초기 GWBASIC 프로그램은 University of Miami의 Millero 교수로부터 구할 수 있다.

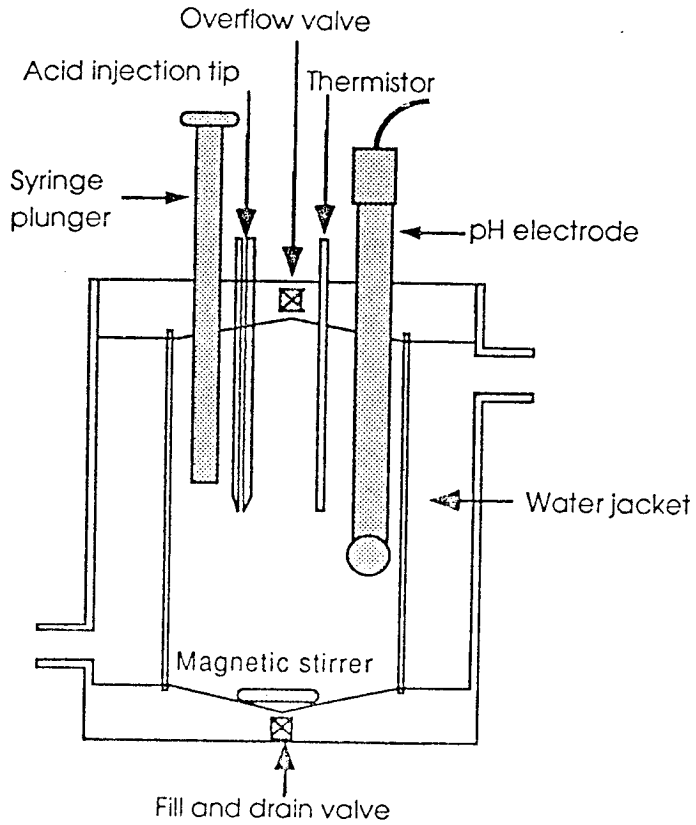


Fig. VI-5. Closed titration cell for the determination of alkalinity (Dickson and Goyet, 1994).

5. 이산화탄소 fugacity 측정기법

해수중에 녹아 있는 이산화탄소의 기체 분압을 측정하기 위한 연구는 연구목적에 따라 크게 두가지 시스템이 개발되어 있다. 한가지는 층별로 채취한 해수 시료내의 이산화탄소 분압을 측정하기 위한 batch mode system이고 다른 하나는 표층해수의 연속적인 기체 분압 측정을 위한 underway system이다. 전자는 gas chromatograph를 분석기로 후자는 적외선 분석기를 채택하고 있다.

이산화탄소 fugacity의 측정을 위해 어떤 시스템을 도입하는가는 연구자의 목적에 따라 결정될 문제이다. 본 연구에서는 연속측정을 위한 underway system이 표층에 국한 되기는 하나 넓은 지역에 대한 자료를 제공하기 때문에 현재 우리나라 실정에 더욱 적절하다고 판단하여 이 시스템에 대해서만 조사하였다.

이산화탄소 fugacity의 측정에는 이전에 소개한 타 분석방법과는 달리 각국의 연구자 마다 독자적으로 개발한 다양한 측정기기가 사용되고 있다. 가장 다양한 부분은 equilibrator로서 앞으로 소개되는 것처럼 개발자마다 독특한 디자인을 채택하고 있다. 이처럼 다양한 기기가 사용되기 때문에 자료의 질관리를 위한 검증이 절실하게 되었다.

JGOFs는 '94년도에 8개국 13개 연구팀을 한자리에 모아 상호검증을 위한 비교실험을 실시한 바 있다. 비록 시스템의 디자인은 매우 상이하였지만 일차적으로는 상당히 만족스런 결과가 있었다고 보고되었다 (U. S. JGOFs News, Vol. 5, No. 4, 1994). 그러나 후문으로 몇 연구진의 결과는 만족스럽지 못한 것으로 알려지고 있다.

이산화탄소 fugacity의 측정을 위해서는 일정한 체적의 공기가 equilibrator 안에서 해수와의 접촉을 통하여 기체 평형을 이루도록 한다. 이 시스템은 주변 기압과 동일하게 유지되며 공기에 비해 해수의 양이 절대적으로 많아 해수의 이산화탄소 fugacity에는 변화가 무시할 정도 수준에서 공기가 평형에 이르도록 디자인되어 있다. 평형에 이른 공기는 적외선 분석기에 의해 이산화탄소의 농도가 측정되며 측정된 공기는 다시 equilibrator로 되돌려져서 매우 소량의 기체만이 사용되도록 되어 있다. 현재까지 개발된 equilibrator 가운데 (Fig. VI-6) 현재 Scripps Institution of Oceanography의 Weiss 교수의 디자인이 가장 널리 사용되고 있다 (Fig. VI-6a).

적외선 분석기는 이미 농도를 알고 있는 표준 이산화탄소로서 보정하며 여기에 쓰이는 농도는 측정 대상의 이산화탄소 농도에 가까운 것이 좋다. 대기중 이산화탄소의 농도를 측정하기 위한 공기는 선상에서는 배전에서 끌어들이 가능한 오염의 기회를 줄인다.

Equilibrator 내부의 공기는 분당 6 liter 정도로 재순환시키며 해수는 분당 4-5 liter 정도로 공급한다. Equilibrator는 대기압과 평형을 위해 통기구가 마련되어 있어야 하지만 그 안의 공기와 바깥의 공기가 쉽사리 드나들어서는 안된다. 정확한 값의 계산을 위해서는 equilibrator 내부의 온도와 기압을 알아야 한다. 그리고 수분의 함량이 높으면 자료의 질이 떨어지므로 공기 시료를 건조시키는 시스템이 필요하다. 한가지 방법은 냉장을 통해 이슬로 만들어 제거하는 것이고 다른 하나는 흡습제에 의한 화학적 제거이다.

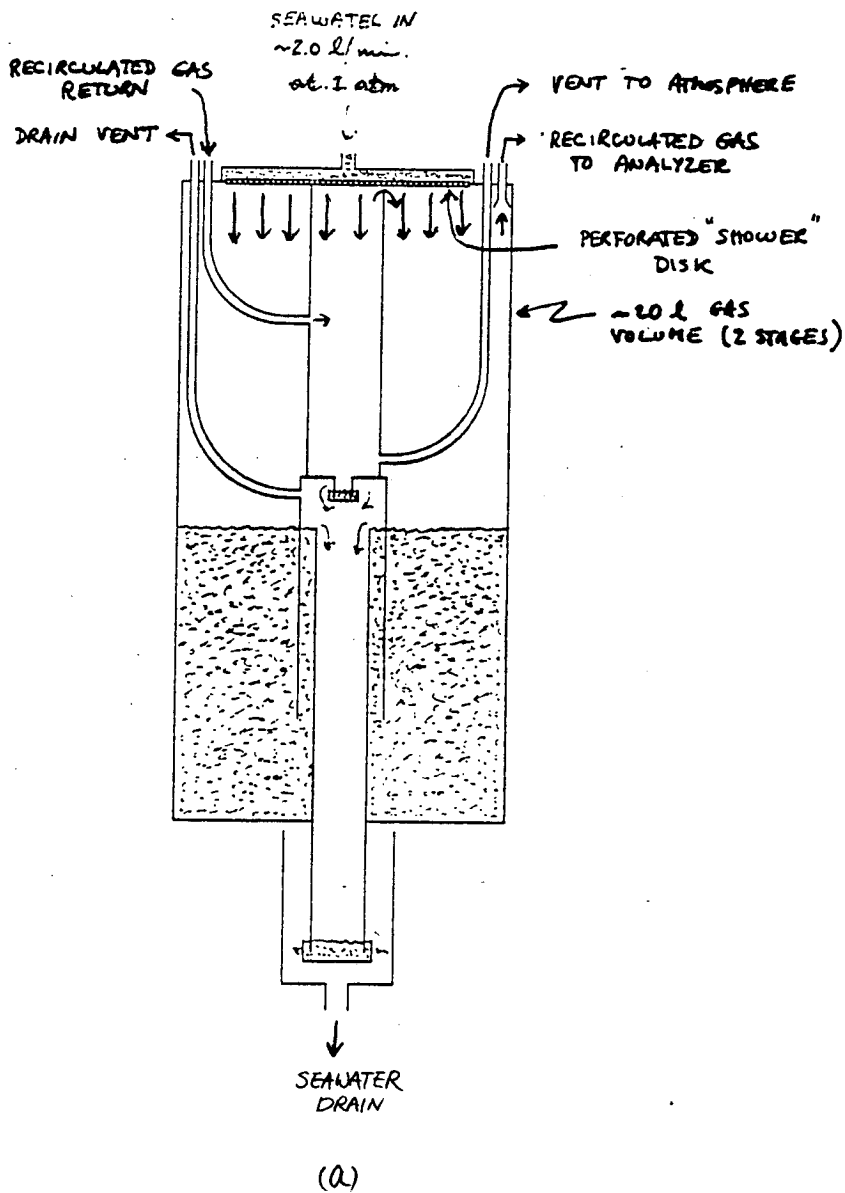


Fig. VI-6. Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO_2 partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.

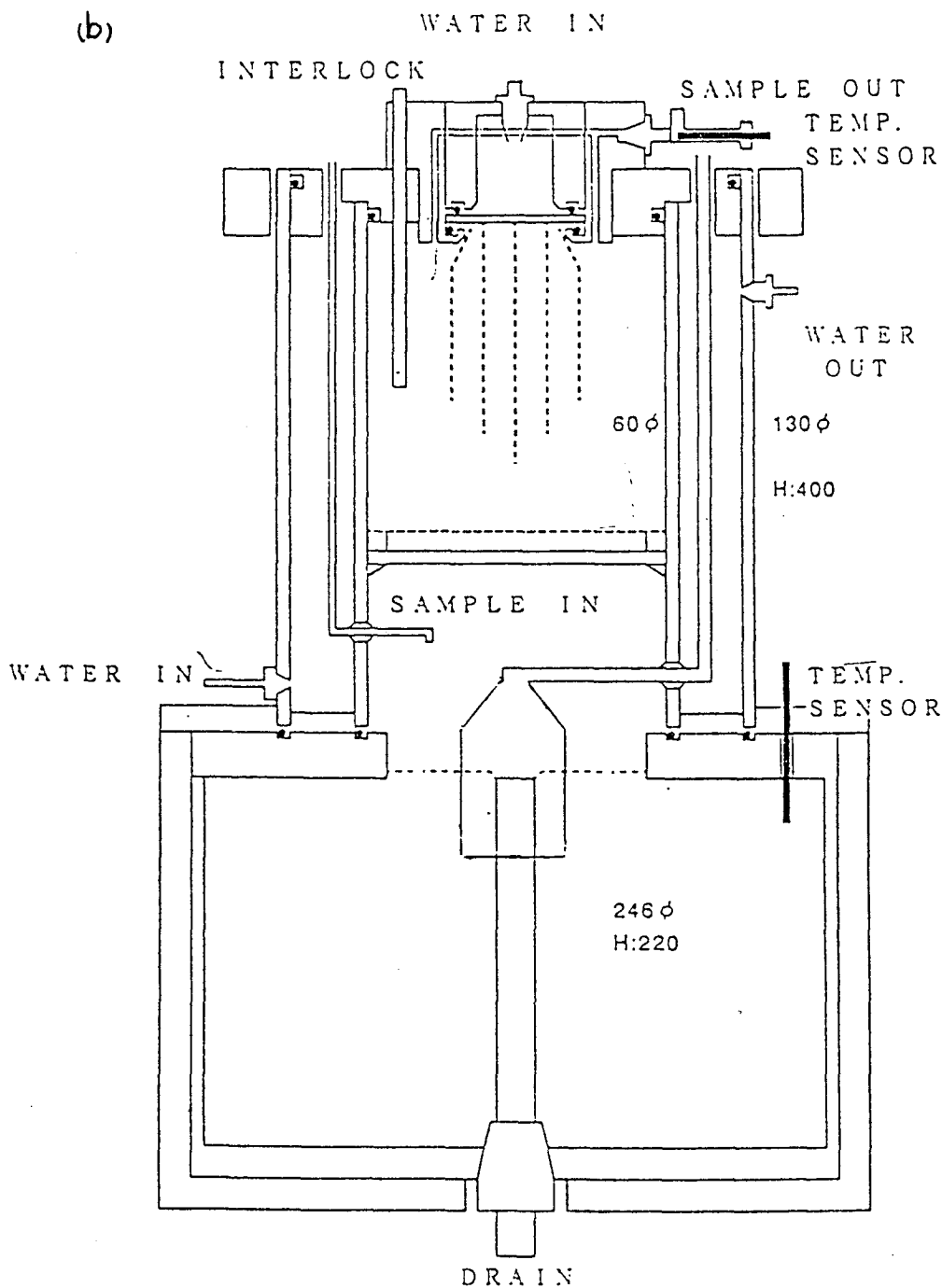
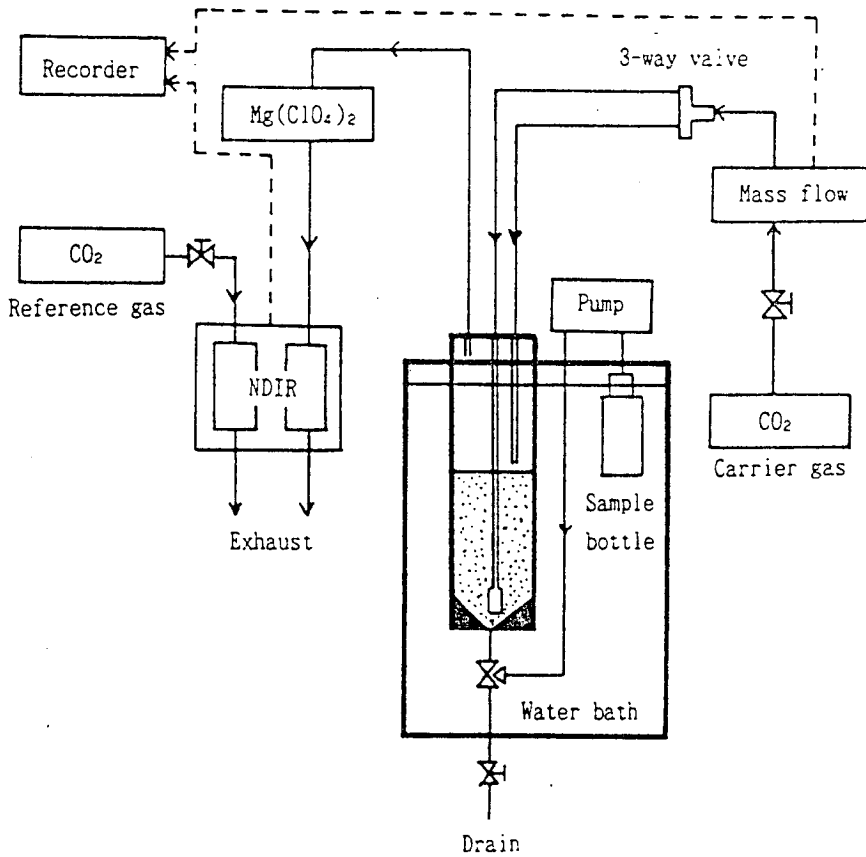
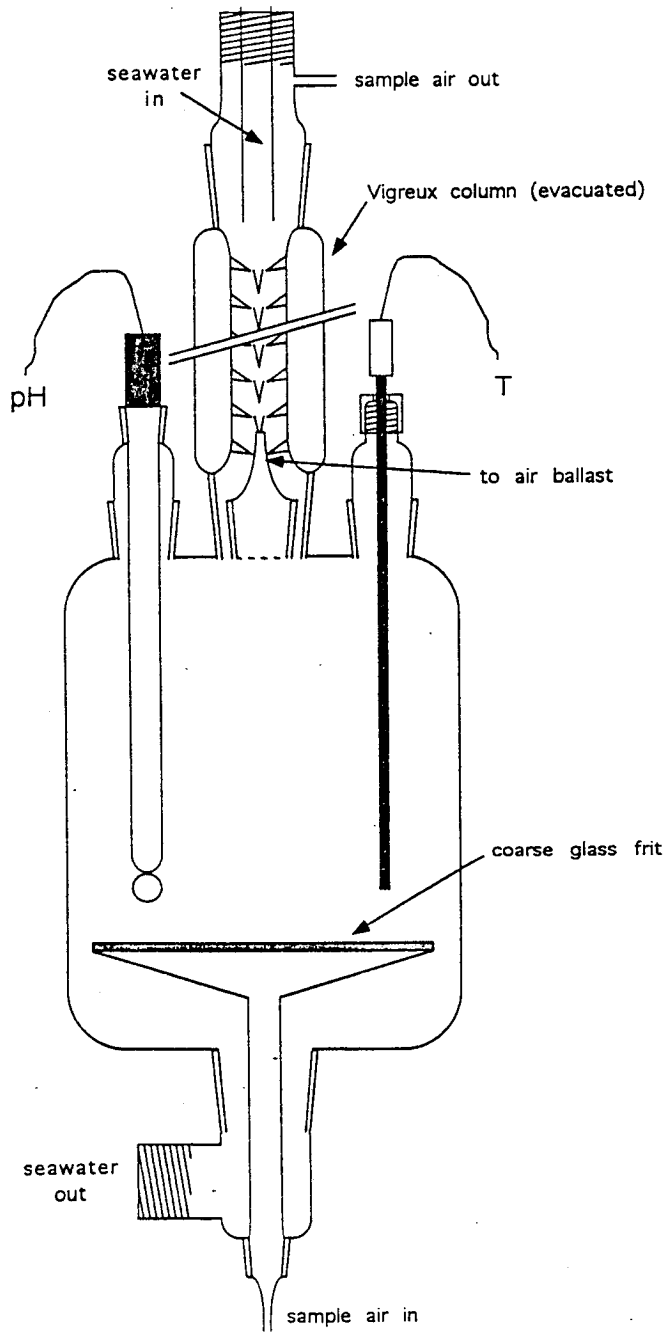


Fig. VI-6 (contunued). Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO_2 partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.



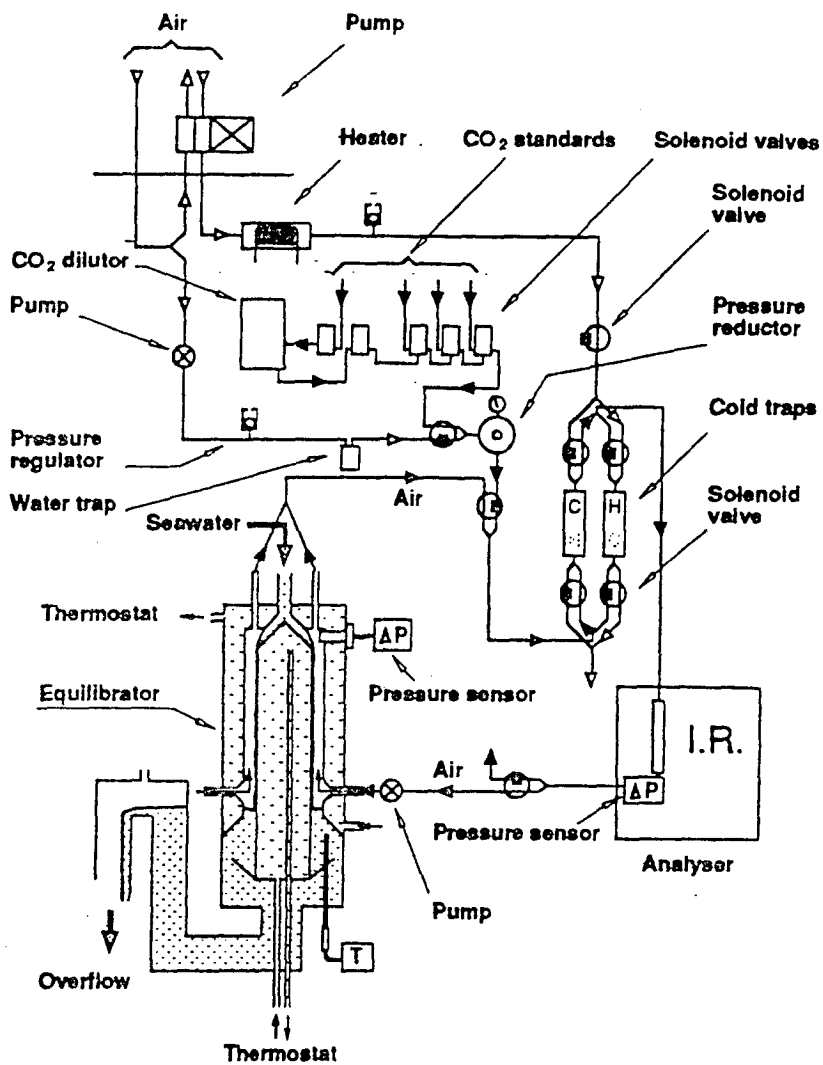
(C)

Fig. VI-6 (continued). Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO₂ partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.



(d)

Fig. VI-6 (continued). Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO_2 partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.



(e)

Fig. VI-6 (continued). Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO₂ partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.

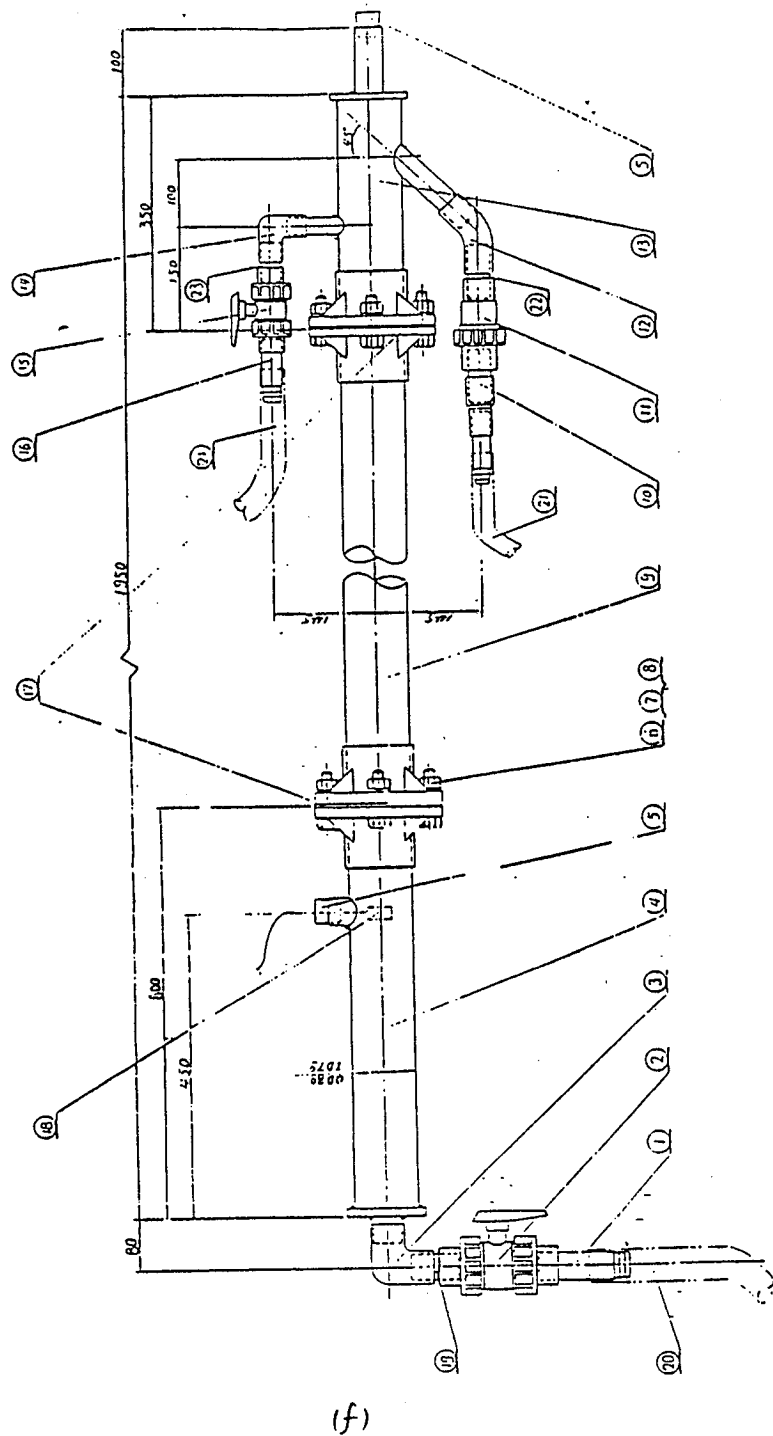


Fig. VI-6 (continued). Various designs of equilibrator deployed for the measurement of seawater CO_2 partial pressure; a) SIO version, b) Meteorological Research Institute version c) Okayama University version, d) Kiel University version, e) Université Pierre et Marie Curie version, f) Korea-Japan Ferry version.

이산화탄소의 측정에는 미국 LI-COR 사의 non-dispersive infra-red analyzer 모델 6262를 채택하고 있으며 이 기기는 이산화탄소와 수증기를 동시에 각기 다른 채널에서 측정하므로 감지기 내에서 이슬이 맺히지 않는 한 수분의 함량에 특별히 걱정할 필요는 없다. 수분의 제거는 magnesium perchlorate을 사용한다.

이산화탄소 감지기의 보정을 위해서는 이산화탄소의 농도가 250에서 500 ppm 범위내에 있는 표준물질을 세개 정도 가지고 하는 것이 권장된다. Soda lime을 이용하여 공기 시료중의 이산화탄소를 모두 제거하고 영점에 대해 보정하는 방법을 사용할 수도 있으나 측정하고자하는 시료의 이산화탄소 분압과 비슷한 농도의 표준물질에 의한 보정이 더욱 정확한 값을 보장한다. 표준시료는 Scripps Institution of Oceanography의 Charles D. Keeling 교수 연구실에서 제작 공급하고 있다. 기체의 역학은 기압과 온도에 매우 민감하므로 이들을 정확히 감시할 수 있는 기기가 필요하다.

선상 측정의 측정 빈도는 해역의 특성에 따라 결정된다. 한 시간 주기의 측정의 경우, 22분간 매 1분 마다 대기의 이산화탄소 측정, 이후 23분간 매 1분마다 equilibrator 시료의 이산화탄소 측정 그리고 나머지 15분간 매 5분마다 3종류의 표준 물질의 측정하는 방법이 권장된다. (Wanninkhof and Thoning, 1993). 이와같은 측정 방법은 물론 자료의 질관리를 염두에 둔 것이다. 감지기의 cell 내에 다른 농도의 표준물질이 주입되는 경우 처음 3 분 정도는 이전의 시료와 섞일 우려가 있으므로 사용하지 말아야 한다,

제 4 절 결과 및 향후 연구계획

해수의 이산화탄소 시스템에 대한 연구는 어느 특정해역에 대한 연구일 필요성은 없지만 현재 한국해양연구소에서 수행 중인 연구개발사업 가운데 가장 특성이 부합하는 '한국근해 해양환경도 작성연구'의 세부과제로서 추진되었다. 본 연구는 이전에 언급한 바와 같이 해수의 pH, 총알칼리니티, 총용존무기탄소, 이산화탄소의 fugacity의 4가지 측정 기술로 구성되어 있는 바 일차년도에서는 총용존무기탄소의 측정 방법에 대하여 수행하고 후속 연구로서 나머지 3가지 연구를 계획하였다.

총용존무기탄소를 첫번째 연구과제로서 제안한 이유는 여기에 필요한 측정기기만이 turnkey base로 기기 구입이 가능하기 때문이고 나머지는 기술이전을 통해 일일이 제작되어야 하기 때문이다. 한편 총무기용존탄소를 측정하는 첨단기기인 SOMMA는 가격이 미화 63천 달러 정도로 본 연구로서 구입하기에는 고가이므로 해양연에서 추진 중인 IBRD 차관으로서 구입할

예정이었다. 그러나 이 차관사업이 지연되고 상기 기기가 상업적인 기기제작회사가 아닌 비영리인 대학 부속 연구실에서 제작되어 공급되는 관계로 차관사업으로 구입하는 경우 공개 입찰의 원칙에 따라 기기의 도입이 더욱 지연되기 때문에 당초의 연구 계획에 대폭적인 수정이 불가피하였다.

따라서 일차년도에는 4가지 연구기술을 모두 보유하고 있는 University of Miami의 Frank J. Millero 교수 연구실을 단기 방문하여 측정기술의 state-of-the art에 대한 정보수집 및 기술 동향분석에 대하여 집중 논의하였다. 미국 현지로의 단기연수를 통하여 모든 기기의 운용법을 교육받았으며 또한 기기의 제작에 필요한 모든 주요 부품의 명세와 구입원을 파악하였으므로 재원이 마련되면 향후 2년 이내에 모든 요소의 측정이 가능해질 것으로 판단된다.

일차년도의 현장 연구는 매우 제한된 것이었으며 시료는 '95년 4월 동해의 울릉 basin에 존재하고 있는 eddy 조사시에 채취되었다. 시료는 6개 정점에서 채집되었으며 이중 2개 정점에서는 수직 단면을 비교하기 위해 층별 채집되었다. 해양의 이산화탄소 연구에 있어 자료의 질관리는 매우 중요한 사항으로 지역 연구자의 자료의 신뢰도를 확보하는 것이 필수 여건이다. 일차년도의 동해 현장시료 (울릉 basin 위의 eddy 자료; '95. 4월)의 일부는 미국의 University of Miami에 보내어 측정하고 일부는 서울대학교 김 경렬 교수 연구실에 보내어 자료를 상호 검증할 예정이다.

지금까지 우리나라에서 해양의 이산화탄소에 대한 연구는 서울대학교에서 동해에 대해 실시한 연구가 유일한 것으로 보고되고 있다 (최, 1995). 이 연구는 동해 표층수의 이산화탄소 분압과 pH의 두가지 매개변수를 직접 측정하고 나머지 두 매개변수를 열역학적인 관계식으로부터 구하는 방법을 사용하였다. 현장 측정값은 여름철의 값으로 국한되어 있어 동해에 대한 전반적인 값과 실제 동해가 흡수하는 이산화탄소의 양에 대한 일차적인 자료를 구하기 위해서는 최소한 겨울철의 자료가 확보되어야 한다.

최 (1994)의 연구에 의하면 하계의 동해 표층수의 이산화탄소는 약 40 ppm 가량 과포화 (supersaturated) 되어 있는 것으로 밝혀졌다 (Fig. VI-7). 이는 대기와 표층해수간 기체교환 및 수온 변화에 따른 용해도를 고려한 예상값보다 모두 낮은 값을 보여 주었는데 이는 생물 펌프에 의한 이산화탄소 분압 강하 효과로서 설명되었다.

동해에서 이산화탄소 분압의 측정을 위해서는 Gas chromatography에 의한 batch 측정방법이 사용되었으며 연구자는 Aquasorb에 의한 교란에 의해 자료 생산에 어려움을 겪었다. 이는 해수 중에 극미량으로 존재하는 기체의 연구에 있어 표준물질과 측정기기의 운용이 매우 중요한 요인으로 지목되며 따라서 경비 절감을 위해 비슷한 성능의 타 기종에 의한 분석에 앞서 기술이 확보되기까지는

표준 측정장비를 도입하여 자료를 생산하고 기기의 개발은 표준측정장비가 확보된 연후에 실시하는 것이 자료의 질 관리에 도움이 될 것으로 판단된다.

선진국의 경우, 전대양 이산화탄소 자료 획득 연구는 WOCE의 Hydrographic Programme (HWP)에 의해 추진되고 있으며 지금까지 4년 반에 걸친 연구로서 대서양과 태평양 자료가 수집되었고, 전대양의 65%, 향후 이년간 인도양 연구를 통하여 약 75% 수준으로 확보될 예정이다. 지금까지 연구로 가장 많은 자료가 확보된 것은 SOMMA에 의한 총용존 무기탄소이다. 그리고 현재의 연구조사에는 underway system에 의한 이산화탄소 분압 측정이 함께 이루어지고 있다.

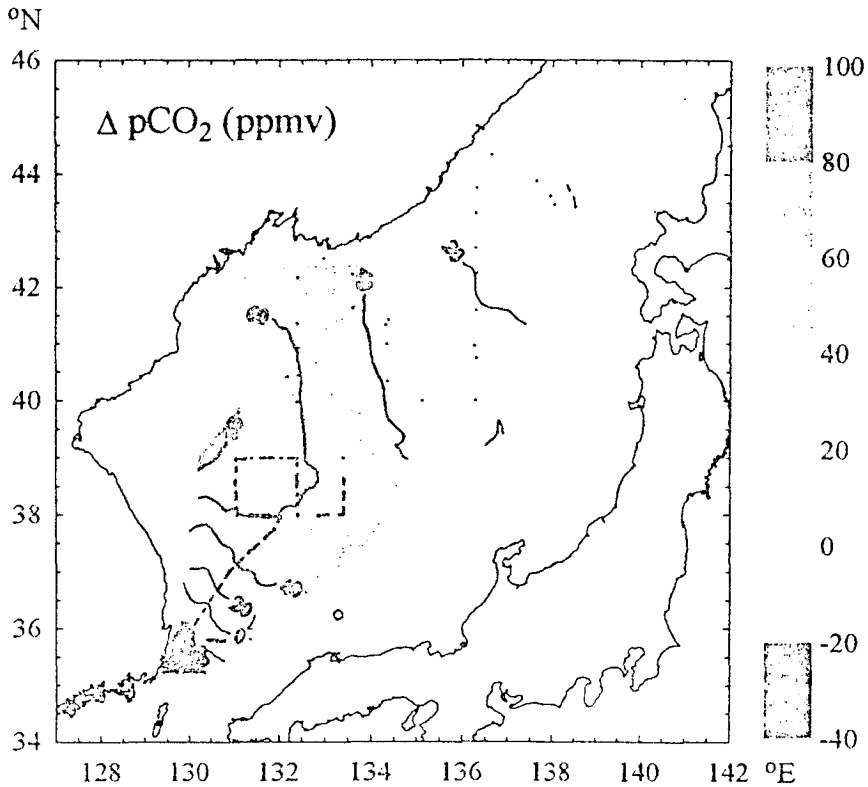


Fig. VI-7. Distribution of ΔpCO_2 in surface seawaters of the East Sea during July 12-21, 1994 (최, 1995).

이와같은 연구의 추세로 볼 때 4가지 측정 방법을 모두 도입하는 것이 바람직 하지만 재원이나 인력에 의해 제약을 받을 경우 가장 시급하게 확보하여야 할 부분은 이산화탄소 분압을 측정하는 underway system과 총용존무기탄소의 측정이다. 앞서 살펴 본 바와 같이 이산화탄소 시스템은 특성상 반드시 2가지 이상의 매개 변수를 함께 측정하여야만 연구 결과에 의미가 있다. 이들과 함께 이산화탄소 연구에 필요한 4가지 연구기자재의 확보에 필요한 소요재원을 미국 현지가격을 산출하면 Table VI-5와 같다.

Table VI-5. List of parameters for the study of oceanic CO₂ system, their standard measurement techniques, instrumentation, and quote.

Parameter	Measurement technique	Main analytical instrument	System price	Remarks
pH	e. m. f. measurement	glass/reference electrodes	-	
	spectrophotometry	dual-beam spectrophotometer	US\$ 15,000	
Total dissolved inorganic carbon	coulometry	SOMMA	US\$ 63,500	available from EDL, URI
μCO ₂ - discrete	gas chromatography	gas chromatograph	-	
μCO ₂ - continuous stream	infra-red analyzer	LI-COR 6262 IR	US\$ 23,000	assembly required
Total alkalinity	titration	Metrohm 625	US\$ 9,500	assembly required

*: Prices include PC-based control unit

현재의 연구 수요와 여건을 감안할 때 2차년도에서는 이산화탄소의 분압을 측정하는 underway system을 개발하는 것이 가장 효율적이다. 일차년도에 시도하였던 총용존무기탄소의 측정은 현재 측정기기가 개발되어 재원이 확보되면 언제라도 구입이 가능하나 coulometer를 사용하는 현재의 측정 방법이 이산화탄소의 분압을 측정하는 핵심 기기인 non-dispersive infra-red analyzer로 대체될지 모르며 또한 SOMMA에 pH 측정기기를 추가시키는 차세대 SOMMA의 개발을 시도하고 있기 때문에 1년 정도 기술개발 결과를 본 이후에 구입하는 방안이 더욱 효율적인 투자가 될 소지가 높다. 나머지 두가지 측정 방법인 pH와 총알칼리니티의 측정 기법은 현재 서울대학교에서도 진행중에

있어서 일단 상호보완적인 의미도 지니게 된다. 그러나 이산화탄소의 연구는 우리나라 주변해는 물론이고 국제수역에서의 연구도 중요하기 때문에 현재 원양연구능력을 보유하고 있는 유일한 정부출연연구소인 한국해양연구소에서 정책적인 수요로 지목되고 있는 해수의 이산화탄소 분석에 대한 기법을 모두 보유하는 것이 매우 바람직하다고 판단된다.

참고 문헌

- 최 상화. 1995. 1994년 여름 동해 표층 해수의 $p\text{CO}_2$ 및 $p\text{CH}_4$ 분포 특성. 서울대학교 석사학위논문. 100 p.
- Byrne R. H. and J. A. Breland. 1989. High precision multi-wavelength pH determinations in seawater using cresol red. *Deep-Sea Res.* 36:803-810.
- Clayton, T. and R. H. Byrne. 1993. Spectrophotometric seawater pH measurements: total hydrogen ion concentration scale calibration of m-cresol purple and at-sea results. *Deep-Sea Res.* 40 (10): 2115-2129
- Dickson, A. G. 1993. The measurement of sea water pH. *Mar. Chem.* 44 (2-4): 131-142
- Goyet, C. and A. K. Snover. 1993. High-accuracy measurements of total dissolved inorganic carbon in the ocean: comparison of alternate detection methods. *Mar. Chem.* 44 (2-4): 235-242
- IPCC. 1992. Climate Change 1992. Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Press. Syndicate of the Univ. Cambridge. 200 p.
- Johnson, K. M. et al. 1993. Coulometric total carbon dioxide analysis for marine studies: maximizing the performance of an automated gas extraction system and coulometric detector. *Mar. Chem.* 44 (2-4): 167-187
- Millero, F. J. et al. 1993. Titration alkalinity of seawater. *Mar. Chem.* 44 (2-4): 153-165
- Schlesinger, W. H. 1991. Biogeochemistry. Academic Press. 443 p.
- SCOR. 1985. Oceanic CO_2 measurement. Rep. 3rd Meet. Working Group 75, Les Houches, France, October 1985.
- Siegenthaler U. and J. L. Sarmiento. 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature.* 365:119-125.
- U.S. JGOFS. 1994. The Plastic menageries: CO_2 teams compare seagoing systems by A. G. Dickson. *U.S. JGOFS News.* 5(4) p. 5.
- Wanninkhof, R. and K. Thoning 1993. Measurement of fugacity of CO_2 in surface water using continuous and discrete sampling methods. *Mar. Chem.* 44 (2-4): 189-204