

BSPE 00330—568—1

# 동지나해의 해황특성연구 ( I )

— 해황특성의 계절변동 —

A study of the characteristics of the oceanographical  
conditions in the East Sea ( I )

— seasonal change of the oceanographical conditions —

1993. 6

한국해양연구소

# 제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “동지나해의 해황특성 연구(I) - 해황특성의 계절변동 -”  
사업의 최종 보고서로 제출합니다.

1993년 6월 30일

한국해양연구소

연구책임자 : 신흥렬 (연안물리연구실)

이홍재 (연안물리연구실)

황상철 (연안물리연구실)

연구원 : 유은주(서울대)

# 요 약 문

## I. 제 목

동지나해의 해황특성 연구(I)

- 해황특성의 계절변동-

## II. 연구개발의 목적

1 동지나해 및 대한해협에서의 해황특성의 계절변동조사

2 쿠로시오와 대마해류의 관련성 연구

## III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 동지나해 및 대한해협에서 수괴분석에 의한 해황특성의 변동연구

2. 대마난류의 기원조사

## IV. 연구개발에 대한 건의

쿠로시오와 대마난류의 관계를 정확히 파악하기 위해서는,

1. 일본의 九州西方해역에서 일본과 한국의 장기관측자료를 합쳐서 수계분석에 의한 방법등으로 계절별로 정확한 해황파악이 필요.

2. 九州西方 해역  $30^{\circ} - 33^{\circ}N$  사이에서 계절별로 정밀한 수온, 염분, 용존산소 및 유속관측이 필요함.

# S U M M A R Y

## I. Title

A Study of the characteristics of the oceanographical conditions in the East China Sea( I ) - Seasonal change of the oceanographical conditions -

## II. Objectives of the Study

1. To study seasonal change of the oceanographical conditions in the Korea Strait and the East China Sea.
2. To study the relationship between the Kuroshio and the Tsushima Current.

## III. Contents

1. Research of the seasonal change of the oceanographical conditions in the Korea Strait and the East China Sea by the method of water type analysis.
2. research of the origin of the Tsushima Current.

#### IV. Suggestion

In order to investigate the accurate relations between the Kuroshio and the Tsushima Current, we need to carry out the following studies:

1. combine the long term data of Korea and Japan's observations to the west of Kyusyu, Japan and then understand the seasonal oceanographic conditions by the method of water mass analysis.
2. measure the dense CTD and current velocity observation during each season in the area  $30^{\circ} - 33^{\circ} \text{N}$  to the west of Kyusyu.



# 목 차

요 약 문 .....	i
영문요약문 .....	ii
그림목차 .....	3
제 1 장 서 론 .....	7
1. 동지나해의 일반적인 해황특성 .....	7
2. 1986년 해황의 계절별 특성과 변동 .....	12
3. 쿠로시오 유량 .....	17
4. 평균해류장 .....	23
제 2 장 수계분석에 의한 대마해류의 기원조사 .....	28
1. 분석방법 .....	30
2. 계절별 수평분포특성 .....	33
3. 계절별 수직분포특성 .....	38
제 3 장 요약 및 결론 .....	48
참고문헌 .....	50

# C O N T E N T S

Summary .....	ii
List of Figures .....	3
Chapter I. Introduction .....	7
1. Oceanogrphical conditions in the East China Sea .....	7
2. Seasonal characteristics and variation of oceanographic conditions in 1986 .....	12
3. Transport of the Kuroshio .....	17
4. Mean current field .....	23
Chapter II. Origin of the Tsushima Current .....	28
1. method of water type analysis .....	30
2. horizontal distribution of water mass .....	33
3. vertical distribution of water mass .....	38
Chapter III. Summary and Conclusion .....	48
References .....	50

# List of Figures

- Fig. 1. Bottom topography of the East China Sea and the Yellow Sea.— 8
- Fig. 2. Schematic diagram of water mass distribution in the East China Sea(after Kondo, 1985).—————10
- Fig. 3. Horizontal distributions of temperature(a), salinity(b),  
thermosteric anomaly(c) and dissolved oxygen(d) at 100 m in  
January - February(Winter) 1986 in the East China Sea.—————13
- Fig. 4. The same as in Fig.3 except in April - May (Spring) 1986.—————14
- Fig. 5. The same as in Fig.3 except in July - August (Summer) 1986.—15
- Fig. 6. The same as in Fig.3 except in September - October (Autumn)  
1986.—————16
- Fig. 7. Location of stations. Closed circles (●) indicate the  
location of hydrographic measurements with GEK measurements  
(Stn.1, Stn.3 and Stn.5 through Stn.9). Open circles (○)  
indicate the location of GEK measurements (Stn.2 and Stn.4).  
GEK measurements were made at intervals 15 miles along the  
PN line by Nagasaki Marine Observatory.—————18
- Fig. 8. Vertical section of seasonal mean geostrophic velocity  
referred to GEK surface velocity. (after Yamashiro et al.,  
1990).—————20

Fig. 9. Schematic diagrams of barotropic and baroclinic components of Kuroshio velocity. The baroclinic component is obtained by subtracting mean velocity from sea surface to the maximum depth of observation from the Kuroshio velocity. The barotropic component is obtained by subtracting baroclinic component from the Kuroshio velocity. (after Yamashiro et al., 1990).	22
Fig. 10. Mean current field for 1954 - 1986(after Michida et al., 1987).	24
Fig. 11. North - South component of mean current for 1954 - 1986(after Michida et al., 1987).	26
Fig. 12. The same as in Fig.21 except on Winter (Dec.-Feb.)(a) and Summer (June - August)(b) (after Michida et al., 1987).	27
Fig. 13. Station location chart observed by NFRDA, Korea(●) and JMA, Japan(O).	29
Fig. 14. Station of location chart(after Sawara and Hanzawa, 1979).	31
Fig. 15. T-S diagram(Oct. 1973)(after Sawara and Hanzawa, 1979).	31
Fig. 16. Classification of water type(after Sawara and Hanzawa, 1979).	32
Fig. 17. Horizontal distribution of water type at 0 m(a), 50 m(b), 100 m(c) and 200 m(d) depth in winter(Jan. 24 - Feb. 24)	34
Fig. 18. The same as in Fig. 17 except in spring(April 13 - May 16).	35

- Fig. 19. The same as in Fig. 17 except in summer(July 8 -  
August 15).-----36
- Fig. 20. The same as in Fig. 17 except in autumn(Sept. 26 - Oct. 15).-37
- Fig. 21. Vertical distribution of water type along line A(a) through  
line G(g) in winter(Jan. 24 - Feb. 24).-----40
- Fig. 22. The same as in Fig. 21 except in spring(April 13 - May 16).---42
- Fig. 23. The same as in Fig. 21 except in summer(July 8 - August 15).-44
- Fig. 24. The same as in Fig. 21 except in autumn(Sept. 26 - Oct. 15).---46



# 제 1 장 서 론

## 1. 동지나해의 일반적인 해황특성

동지나해역은 남북으로 타이완(Taiwan) 북쪽으로부터 제주도 남쪽사이이며 동서로는 중국대륙으로부터 琉球列島(Ryukyu Islands)사이 해역이다. 해저 지형은 200 m의 등심선이 타이완 북동쪽과 일본의 九州(Kyusyu)를 연결하고 있으며, 그 서쪽은 얇은 대륙붕이 동지나해의 대부분을 점유하고 있다(그림 1). 이곳에는 중국대륙으로부터 1년간 약  $1.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 의 담수가 공급(그중 약 80 %가 양자강으로부터 유입)되어 저온·저염분수를 형성하며 대륙붕의 대부분을 덮고 있다. 200 m 등심선과 琉球列島 사이의 길이 약 1800 km, 폭 약 200 km, 가장 깊은 부분이 약 2700 m 인 琉球船狀海盆에는 쿠로시오(Kuroshio)의 고온·고염분수가 들어 있으며, 부피로 보아 동지나해 해수의 대부분이 이곳에 들어있다.

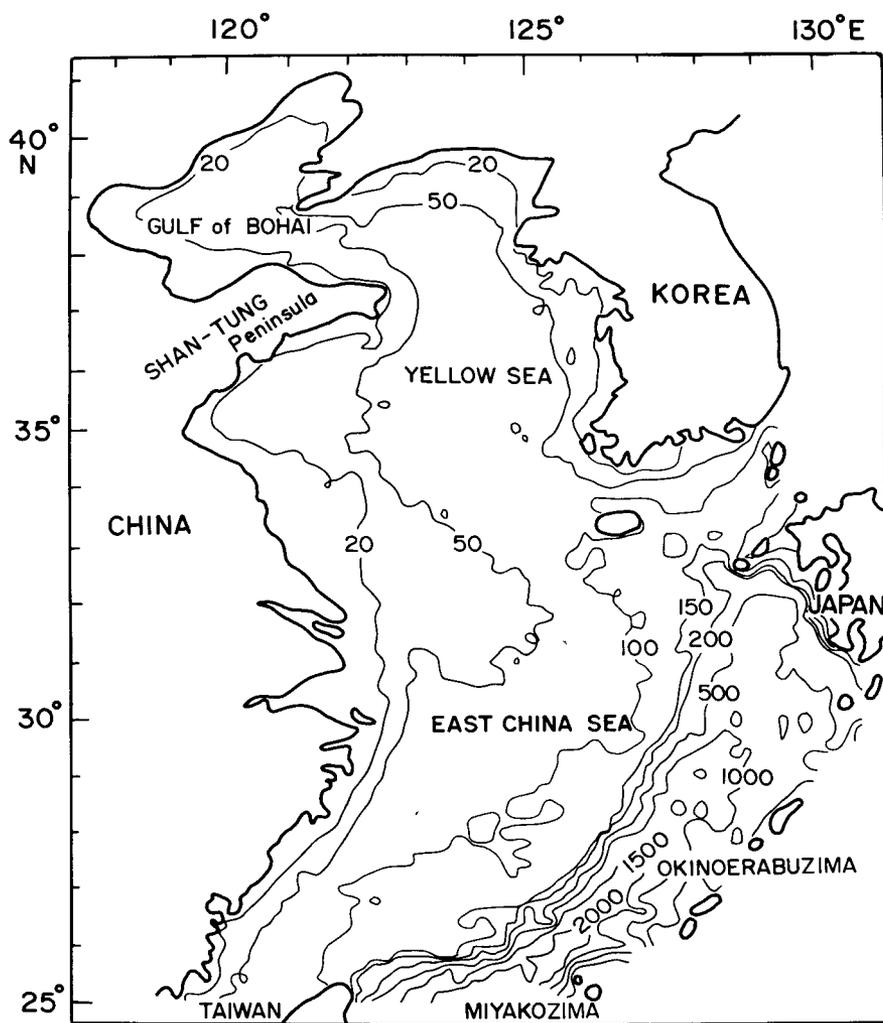


Fig. 1. Bottom topography of the East China Sea and the Yellow Sea.

동지나해에서 주요 해류는 쿠로시오(Kuroshio, 黒潮)로 타이완과 요나쿠니지마(Yonakunijima)섬 사이의 통로를 통해서 들어와 대륙사면을 따라 북상한다. 쿠로시오의 유축(axis of the Kuroshio)은 수심 1000 m를 넘는 오키나와 골(Okinawa Trough)의 중앙에 위치하고 있으며 변동폭은 약 20 해리이다. 북상한 쿠로시오의 대부분은九州(Kyusyu) 남쪽의 토카라해협(Tokara Strait)을 통해 태평양으로, 일부는 북서쪽으로 분기하여 대한해협과 황해쪽으로 흘러간다(그림 2). 對馬海流(Tsushima Current)는 30.5°N, 129°E 부근에서 쿠로시오로부터 분기하는 것 같으나(Nitani, 1972) 정확한 위치와 기원, 형성 등에 관해서는 명확하지 않다.

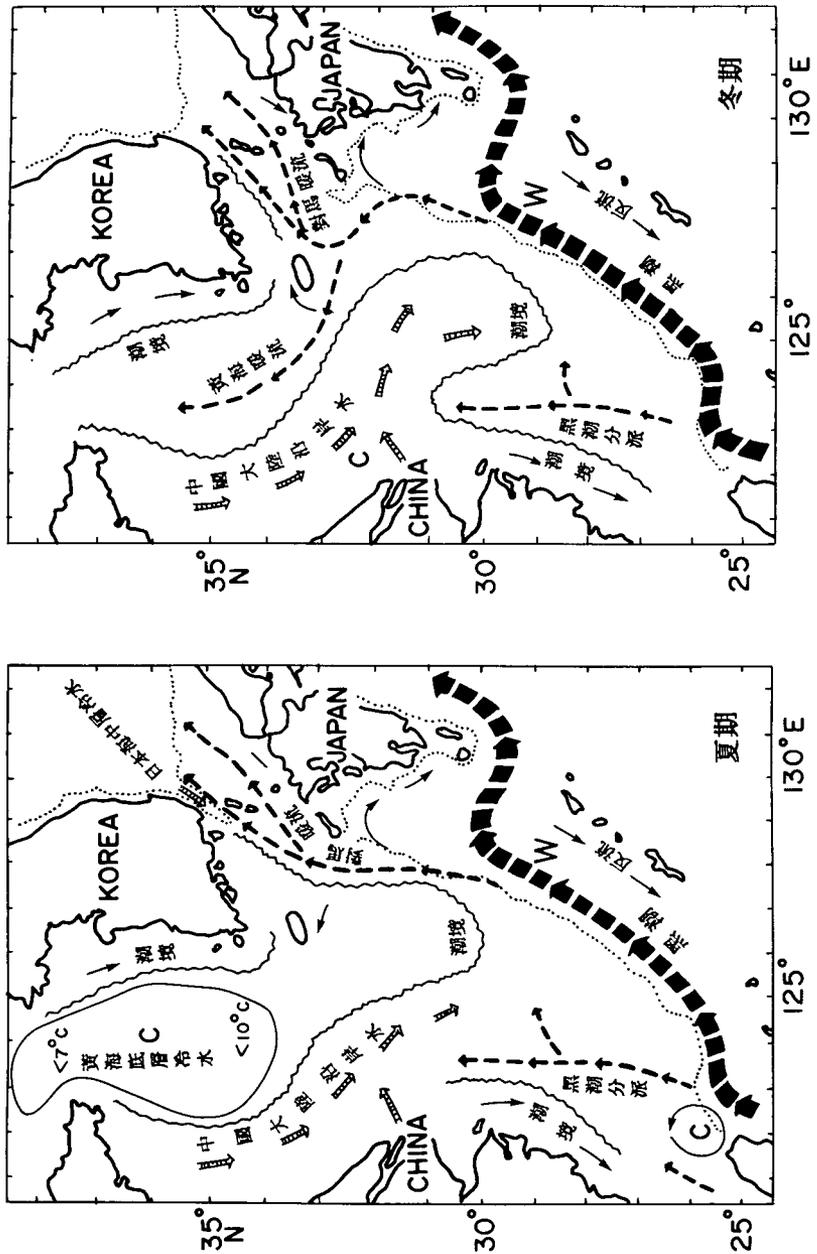


Fig. 2. Schematic diagram of water mass distribution in the East China Sea(after Kondo, 1985).

동지나해의 해수순환에 영향을 주는 주요 인자들은 지형, 바람, 양자강수의 유입, 타이완해협을 통해 유입하는 남지나해수, 성층구조 등이 있다. 바람의 영향으로는, 겨울의 강한 북서 계절풍으로 인해 타이완 동쪽으로부터의 쿠로시오 유입이 강화되며 타이완해협으로부터의 남지나해수 유입은 약화된다. 동지나해에서는 쿠로시오가 중국대륙쪽으로 넓게 확장된다. 한편 남동 계절풍이 강한 여름에는 반대현상이 나타난다. 동지나해의 해수에 저염분수를 공급하는 양자강수의 유입에도 바람의 영향이 커서 여름에는 북동쪽과 남쪽의 두 방향으로 유입되며, 겨울에는 남쪽으로 중국대륙 해안을 따라 좁은 띠모양으로 뻗는다. 양자강의 입구로 부터 떨어진 후 양자강수의 흐름은 쿠로시오 수송량의 세기에 민감한 반응을 나타낸다. 여름에 표층부에 형성되는 성층구조는 쿠로시오가 대륙사면쪽으로 침투하는 것을 방해하는 역할을 하고 있다 (Shaw, 1989; Chao, 1991).

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

## 2. 1986년 해황의 계절별 특성과 변동

동지나해에서 쿠로시오 해역을 125°E 以東으로 정하고 쿠로시오를 중심으로 해황의 특성과 변동을 계절별로 조사하였다. 해면에서의 물리특성은 해양 자체의 변동 외에도 기상과 대륙기원수의 영향이 매우 크므로 쿠로시오의 특성을 조사하는데는 적합하지 않기때문에 100 m 와 200 m 수심의 수온, 염분, 밀도 및 용존산소의 평면도를 작성하여 분석하였다. 그러나九州서쪽해역은 수심이 200m이하가 많으므로, 전체적인 해황을 이해하는 목적으로는 100 m 수심이 적합하다고 판단된다 (그림 3 - 그림 6). 자료는 일본 기상청 나가사키해양기상대 소속의 조사선 Chofu Maru에 의해 계절별로 年 4 회 (1-2月, 4-5月, 7-8月, 9-10月) 관측된 것이다.

그림 3은 100 m 수심에서의 겨울철 (1-2月) 해황을 나타낸다. 쿠로시오 유축(current axis)의 지표로 사용되는 200 m에서 16 - 17 °C 등온선의 분포로 보아 쿠로시오는九州 남서쪽에서 31°N를 약간 북상한 후 다시 남하하여 곧바로 토카라해협으로 빠져 나간 것으로 추측된다. 수온은 14 - 22 °C의 분포로 최고수온이 여름과 가을에 비해 1 - 2 °C 낮지만 대체로 연중 큰 변화가 없다. 염분은 34.5 - 34.7 % 이상으로 쿠로시오계의 고염분수가 조사대상 해역에 넓게 분포하고 있다. 최고 염분치는 다른 계절에 비해 0.1 % 정도 낮지만 34.4 % 이하의 저염분치는 나타나지 않는다. 밀도는 thermosteric anomaly를 사용하였는데, 200 - 370 cl/t 사이의 분포를 나타낸다. 용존산소는 4.1 - 5.7 ml/l의 범위를 갖고 제주도 남쪽해역에서 최대값을 보이는데 이것은 연중 가장 높은 값이다.

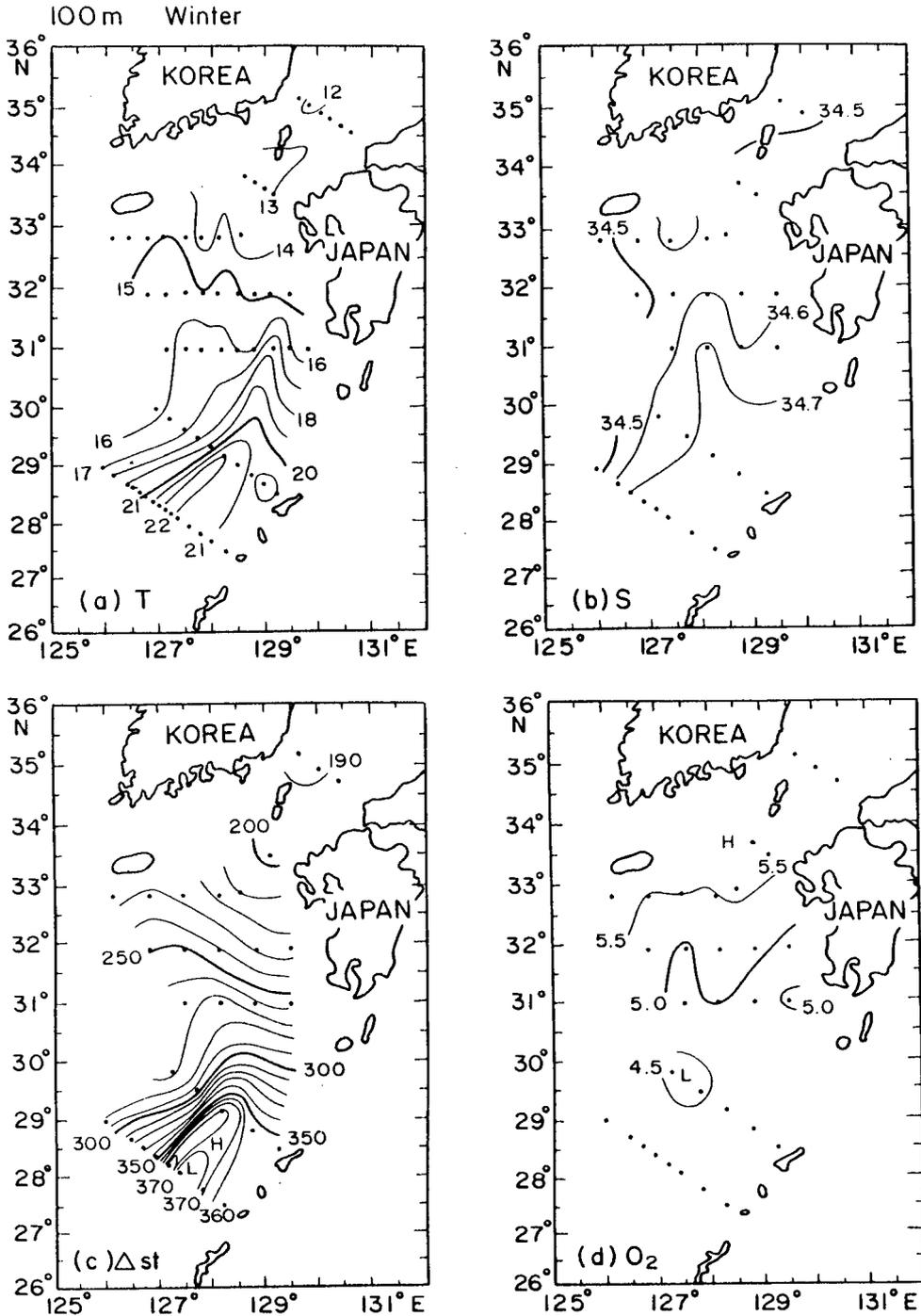


Fig. 3. Horizontal distributions of temperature(a), salinity(b),  
thermosteric anomaly(c) and dissolved oxygen(d) at 100 m in  
January - February(Winter) 1986 in the East China Sea.

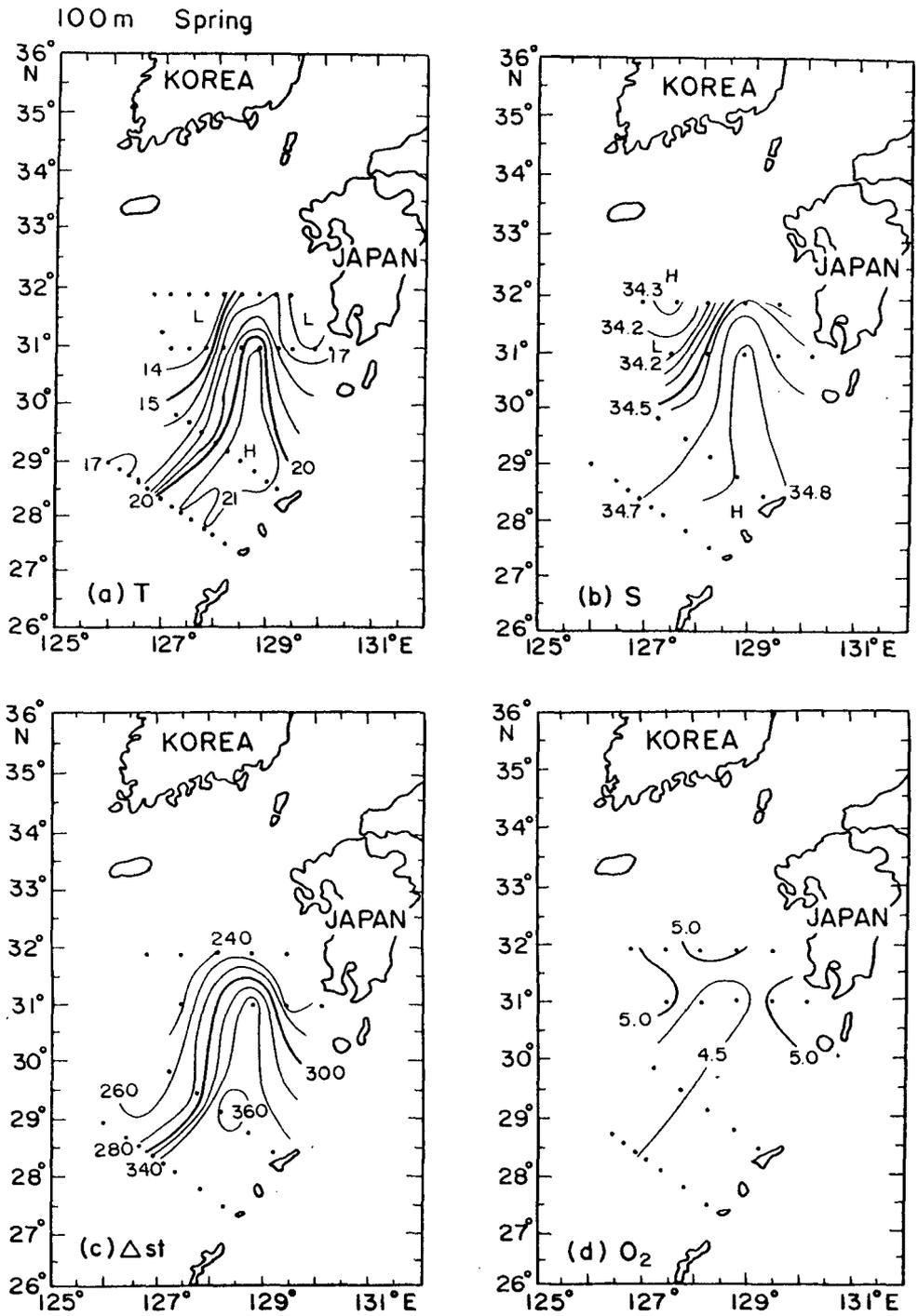


Fig. 4. The same as in Fig.3 except in April - May (Spring) 1986.

100 m Summer

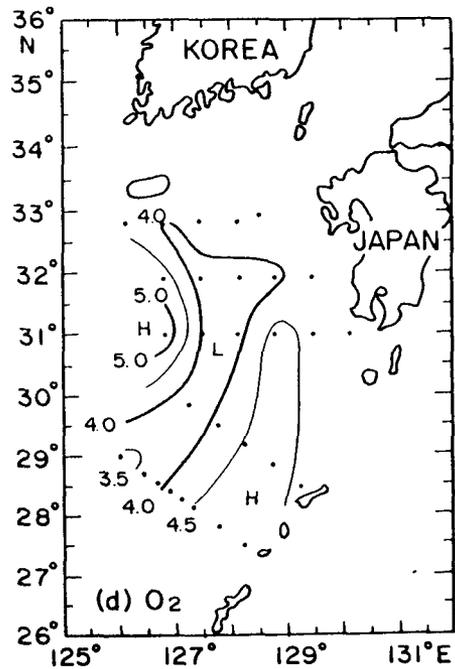
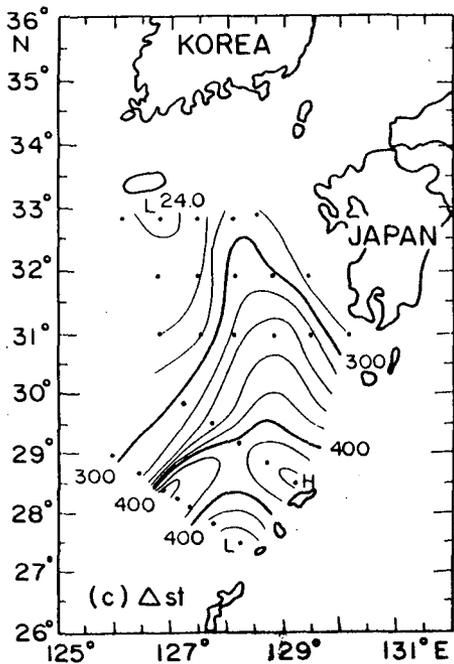
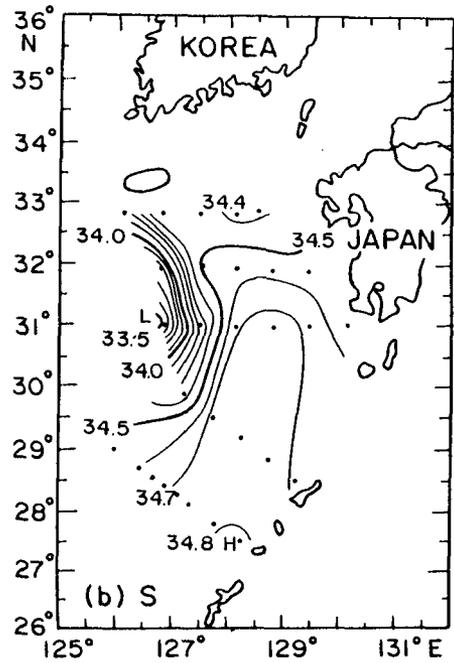
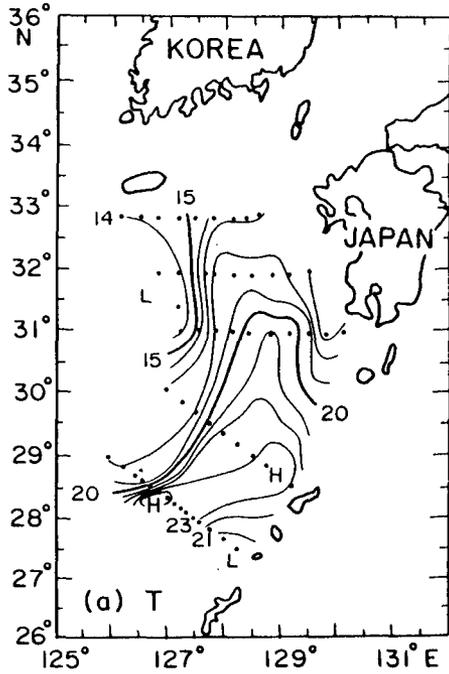


Fig. 5. The same as in Fig.3 except in July - August (Summer) 1986.

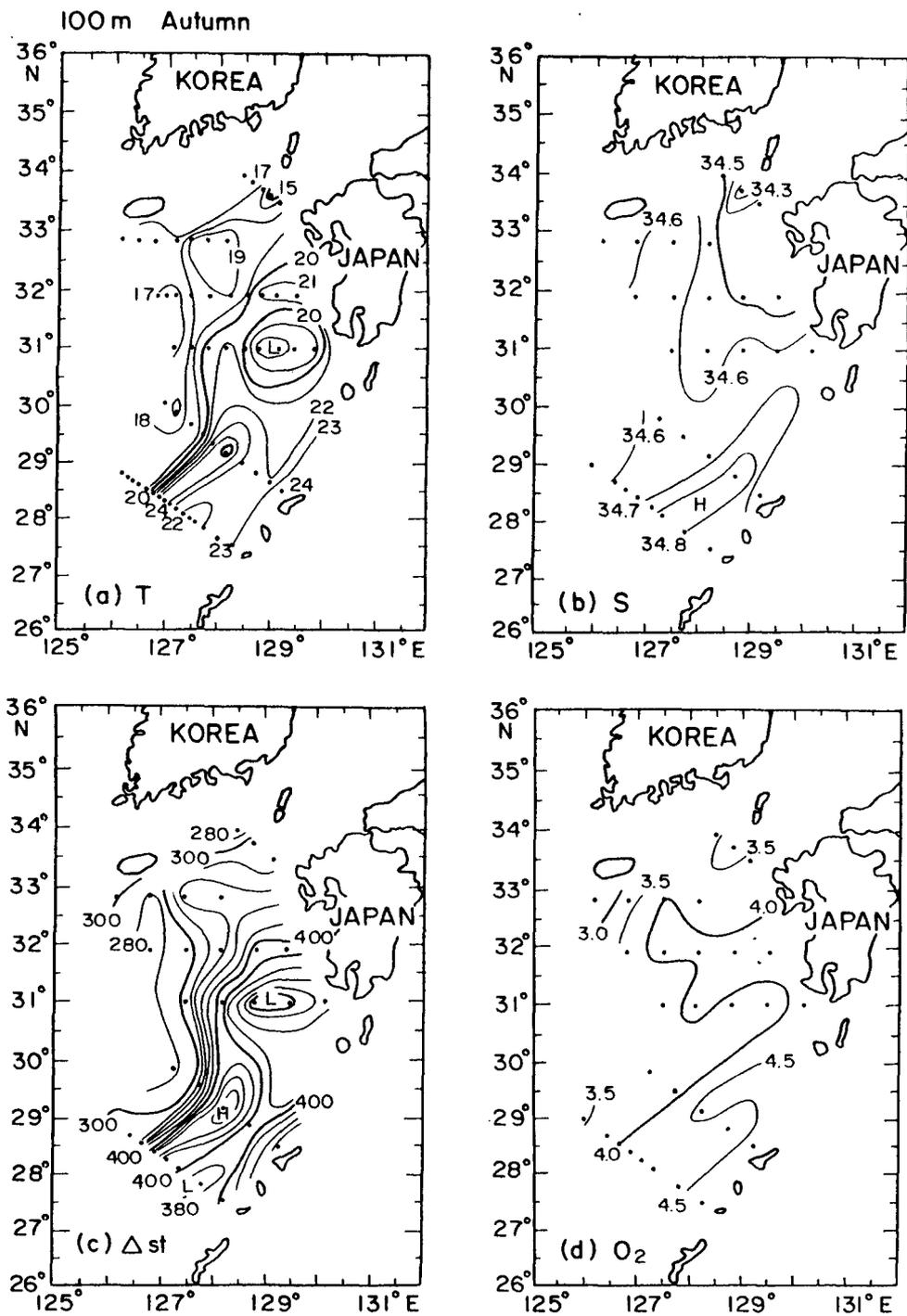


Fig. 6. The same as in Fig.3 except in September - October (Autumn) 1986.

그림 4는 봄철 (4-5月)의 관측결과이다. 봄에 쿠로시오는 겨울보다 더 넓고 큰 규모로 북상하여 31°N를 넘은 후에 다시 남하하여 토카라해협으로 향하는 것으로 보인다. 제주도 남쪽해역에서는 14℃ 이하, 34.2% 이하의 저온·저염분수가 나타나는데, 이 해수는 5.0 ml/l 이상의 고용존산소를 갖는다. 4.5 ml/l 이하의 저용존산소가 조사해역의 남서에서 북동으로 뻗고있다.

여름 (7-8月)에 관측한 결과는 그림 5와 같다. 100 m 등온선 분포에서는 봄철에 비해 고온의 해수가 더욱 북상하였다. 그러나 200 m 평면도에서 16 - 17℃ 등온선의 분포로 보아 쿠로시오는 봄철과 거의 비슷하게 31°N를 약간 넘은 후에 다시 남하하였다. 30° - 33°N 사이 서쪽해역에서 14℃ 이하, 33.5% 이하, 5.0 ml/l 이상의 저온·저염분·고용존산소의 해수가 넓게 나타난다. 이 수괴는 대륙기원의 해수로 추정되는데, 그 범위가 동쪽으로 약 127°E 까지 확장되며 여름에만 나타났다.

그림 6은 가을철 (9-10月)의 관측 결과이다.九州 남서해역에는 냉수괴가 존재하여 복잡한 해황을 나타내고 있다. 한편 29°N, 128°E 부근에 작은 난수괴가 있어서, 이 난수괴의 북쪽과九州 남서해역에 있는 냉수괴 남쪽 사이의 통로를 통해서 쿠로시오가 사행(meander)을 하면서 토카라해협으로 향하는 것으로 보인다. 여름에 남서에서 북북동쪽으로 길게 뻗었던 4.0 ml/l 이하의 저용존산소수가 가을에는 서쪽해역의 상당부분을 차지하는데 염분은 34.3 - 34.7%, 온도는 13 - 20℃에 해당한다. thermosteric anomaly의 분포로 보아 상당량의 쿠로시오계의 해수가 32°N를 넘어 제주도와九州사이의 해역까지 운반된 것으로 추정된다. 이는 앞으로 수계분석과 지형류계산에 의해 더 상세히 확인되어야 할 것으로 생각된다.

### 3. 쿠로시오 유량 (GEK 관측 결과를 기준)

Nitani (1972)는 1200 m를 무류면으로 가정한 지형류 계산에 의하여 동지

나해에서 쿠로시오의 수송량을 약 33 Sv (1 Sv = 106 m<sup>3</sup>/sec)으로 추정하였다. 최근에 Ando 등 (1990)은 1989년 9월 - 10월에 CTD 와 ADCP 관측을 하여 동지나해에서 약 35 Sv, 토카라해협에서 약 21 Sv으로 추정하였다. ADCP에 의한 유속측정은 로란C를 사용하였기 때문에 선속 (Ship Speed)이 정확하지 않은 관계로 오차가 크게 포함될 가능성이 있다.

Yamashiro 등 (1990)은 동지나해에서 쿠로시오의 GEK 관측결과를 기준으로 평균 유속분포와 평균유량을 구하였다. 1972년 - 1986년의 15년간에 걸쳐서 관측한 Okinoerabujima (27° 22' N, 128° 40' E) 북서쪽 PN 정선 (그림 7)에서의 난센관측, ADCP 및 GEK 자료를 사용했는데 조류성분과 취송류 성분을 제거하기 위하여 15년간의 자료를 평균하였다.

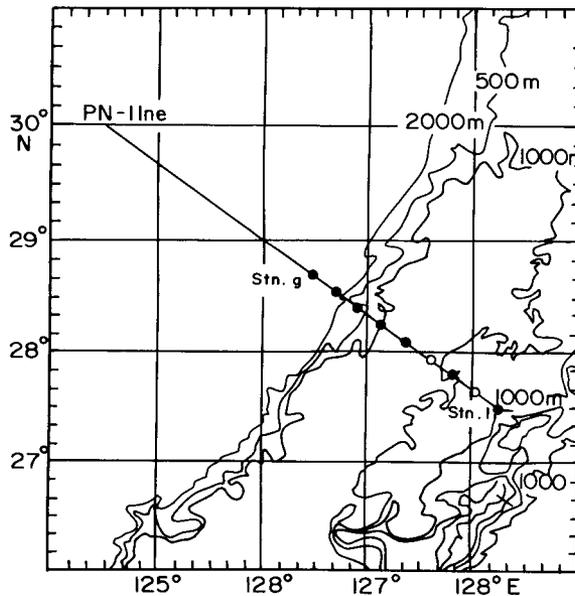


Fig. 7. Location of stations. Closed circles (●) indicate the location of hydrographic measurements with GEK measurements (Stn.1, Stn.3 and Stn.5 through Stn.9). Open circles (○) indicate the location of GEK measurements (Stn.2 and Stn.4). GEK measurements were made at intervals 15 miles along the PN line by Nagasaki Marine Observatory.

## 1) 자료의 해석방법

각 측정점의 thermosteric anomaly ( $\delta$ ) 평균치를 구하기 위하여 정해진 정점을 중심으로 4' 이내와 각 계절에서 1개월 이내의 관측자료만을 사용하였고, 자료수가 5개 이상의 심도까지  $\delta$ 의 평균치를 계산하였다.

표층에서는 쿠로시오의 유축 (current axis)이 대륙사면에 존재하기 때문에 측정점 6과 7사이에는 해저까지 해류가 존재할 가능성이 있다. 측정점 7은 수심이 230 m 밖에 안되므로 등  $\delta$  선을 측정점 6에서 대륙사면까지 연결한 후에 그 교점으로 부터는 수평으로 연장하여 측정점 7의 평균  $\delta$ 의 연직분포를 700 m까지 구한 후에 지형류를 계산하였다.

GEK 관측은 15마일 간격으로 행하여 졌고, 1972년부터 4계절 관측을 하였다. 각 측정점에서 12 - 15개의 자료를 벡터 평균한후에 PN선에 직교하는 성분을 구했다. 일부 GEK 자료를 보완하기 위하여 ADCP 관측자료를 사용하였다.

## 2) 무류면의 수심과 쿠로시오의 평균 수송량

그림 8은 GEK에 의해 측정된 표면유속을 기준으로 평균지형류의 분포를 나타낸다. 그 특징으로는, 해면에서 쿠로시오의 유축은 대륙사면의 수심 600 - 700 m 부근에 위치하며, 수심이 깊어질수록 깊은 바다쪽으로 이동한다. 수심 200 m 아래에서 유축은 대륙사면의 수심 1000 m 부근에 위치한다.

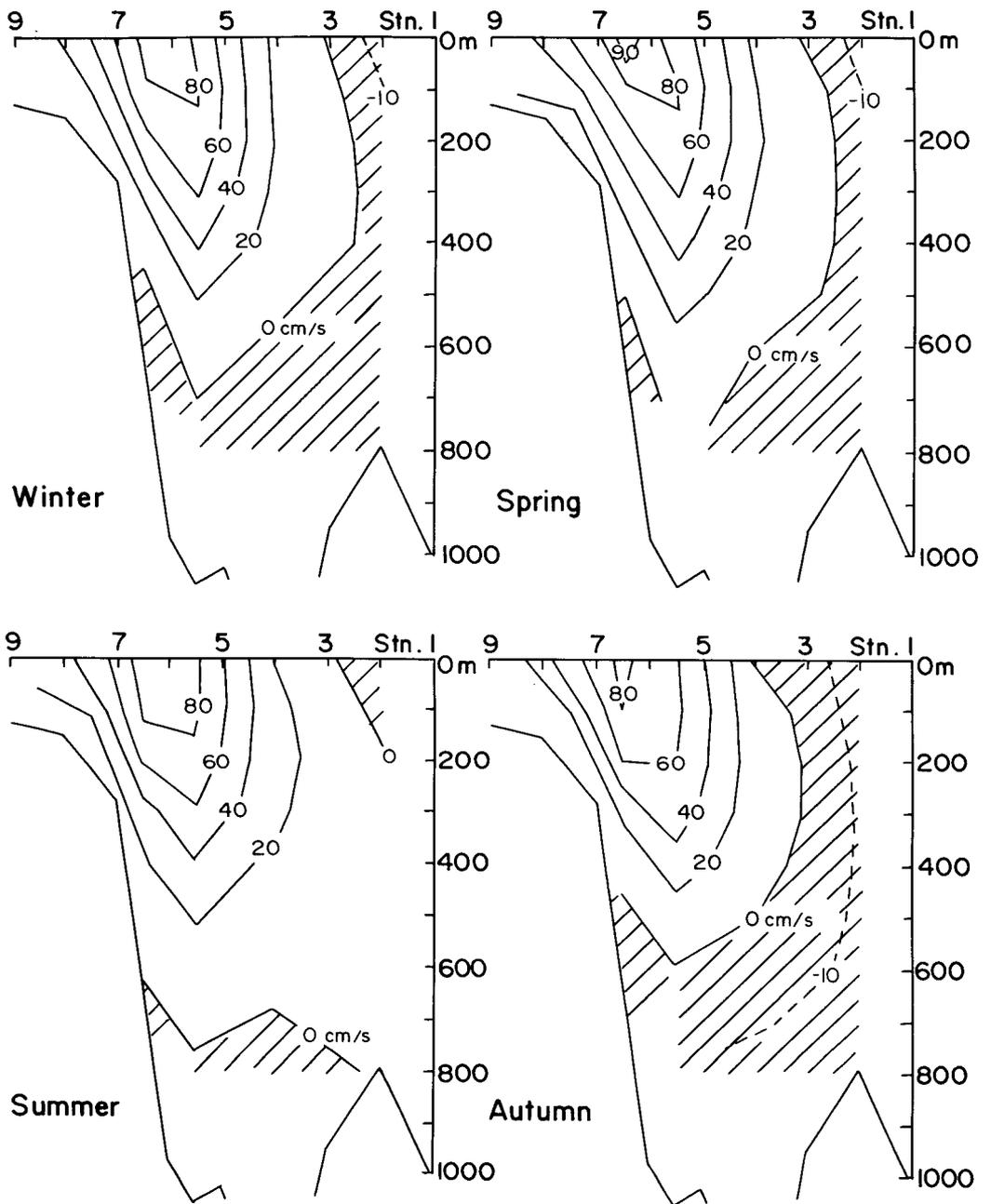


Fig. 8. Vertical section of seasonal mean geostrophic velocity referred to GEK surface velocity. (after Yamashiro et al., 1990).

GEK에 의한 표면유속을 기준으로 무류면을 계산하면 그 심도는 계절에 따라 다르다. 여름에는 Okinoerabujima 쪽의 측정 1과 측정 3 사이에서 가장 깊다. 여름 이외의 계절에는 Okinoerabujima에서 대륙사면쪽으로 갈수록 무류면의 심도가 깊어져 수심 1000 m 부근에서 가장 깊다. 가을에 무류면의 심도가 가장 얇고, 겨울에서 여름으로 갈수록 깊어져 여름에 최고 심도를 나타낸다 (단 측정 5는 봄에 가장 깊다). 한 예로 측정 6에서 가을에 530 m, 겨울에 580 m 그리고 봄과 여름에 각각 650 m, 700 m를 나타낸다. 한편 대륙사면의 저층에는 반류가 전계절에 걸쳐 형성되고있다.

계절에 따라 심도가 다른 무류면을 기준으로 PN선을 횡단하는 쿠로시오의 유량을 계산하면, 가을에 최소로 16.2 Sv이고 여름에 최대로 25.4 Sv을 나타낸다. 측정 5 - 7 사이의 强流帶는 유량이 많고 계절변화도 작은 반면에 측정 3 - 5 사이에는 계절에 따른 유량차이가 4.7 Sv으로 전체의 약 50 %를 차지한다. 가을에 최소값을 나타내던 유량은 겨울, 봄, 여름까지 점차 증가하여 여름에 최대치를 기록한 후 급격히 감소하여 가을에 최소가 된다.

과거의 다른 연구에서는 수심 700 m를 무류면으로 가정하여 지형류 계산을 한 경우가 많았다. 그것과 표면유속을 이용한 경우의 지형류의 분포를 비교하면, 여름의 분포는 양쪽이 잘 일치하나 가을 분포는 크게 차이가 난다. 특히 측정 3 - 5에서 그 차이가 크며 유량은 700 m를 무류면으로 가정한 경우가 5.3 Sv 더 크다. 무류면의 심도가 700 m로 같기 때문에 유량의 계절변화가 거의 없는 것으로 나타난다.

### 3) 유속의 順壓.傾壓成分

유속의 순압성분 (barotropic component)과 경압성분 (baroclinic component)을 조사하기 위하여 Ichikawa and Beardsley의 방법을 이용하여 분리하였다.

그 방법은,



원래의 유속치 : (가)

해면에서 최심층까지의 유속을 평균한 값 : (나)

경압성분 = (가) - (나) : (다)

순압성분 = (가) - (다)

으로 구한다 (그림 9).

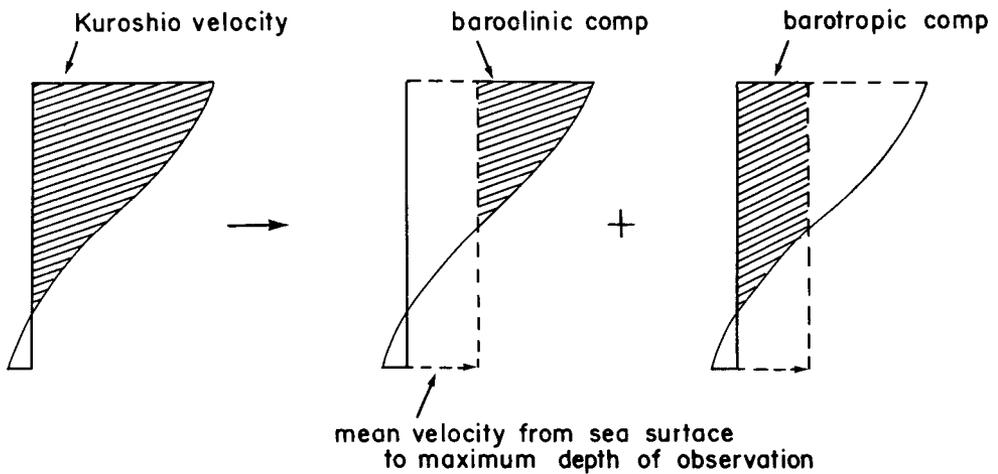


Fig. 9. Schematic diagrams of barotropic and baroclinic components of Kuroshio velocity. The baroclinic component is obtained by subtracting mean velocity from sea surface to the maximum depth of observation from the Kuroshio velocity. The barotropic component is obtained by subtracting baroclinic component from the Kuroshio velocity. (after Yamashiro et al., 1990).

순압성분은 가을에 최소값, 여름에 최대값으로 그 차이는 7.3 Sv이다. 이 변화는 쿠로시오 유량변화의 약 80 %를 차지하므로 쿠로시오 유량의 계절변화는 주로 순압성분의 변화에 기인한다. 경압성분도 가을에 최소값, 여름에 최대값으로 나타나지만 그 차이는 1.9 Sv으로 계절변화가 작다.

즉 쿠로시오 평균수송량의 계절변화는 순압성분 유량의 계절변화에 주로 기인하며, 특히 측정 3 - 5의 유량변화에 크게 의존한다. 순압성분의 계절변화량 7.3 Sv은 Kawabe (1988)가 토카라해협에서 수위차로 부터 추정된 변화량 6.5 Sv과 비슷한 값을 보이고 있다.

#### 4. 평균해류장

Michida 등 (1987)은 GEK 자료를 이용하여 동지나해의 평균적인 순환양상을 얻을 목적으로 평균해류장을 계산하였다. 자료는 1954 - 1986년의 GEK 자료 약 14,000개를 이용하였는데 동지나해에서 탁월한 조류성분을 제거하기 위하여 수치모델에 의한 임의의 장소와 시각에 있어서의 조류를 추산하였고, 그것을 이용하여 조류성분을 보정하였다. 그후 12' × 12'의 격자간격, 그리고 월별로 평균하였다.

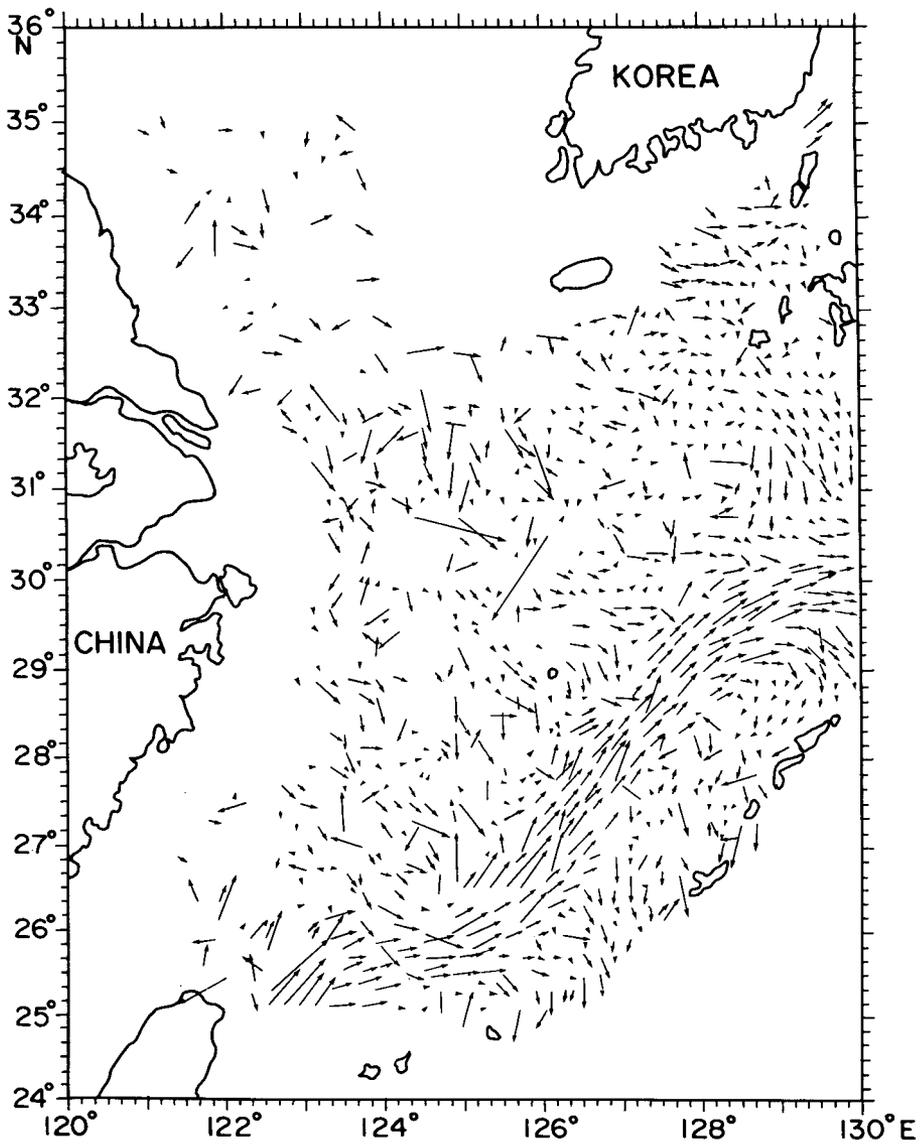


Fig. 10. Mean current field for 1954 - 1986(after Michida et al., 1987).

그 결과로 나온 평균해류장의 분포 (그림 10)를 보면 쿠로시오는 타이완 북동쪽으로부터 동지나해로 들어와 대륙사면 (500-1000 m 등심선)을 따라 흐르다가 1000 m 등심선의 최북단 위치에서 동쪽으로 방향을 바꾸어 토카라해협을 통해서 태평양으로 빠져 나간다. 반면에 쿠로시오 본류의 남동쪽에서는 쿠로시오와 반대방향의 흐름을 볼 수 있다. 九州西岸을 따라서는 현저한 남하류가 나타난다.

대마난류의 존재는 九州 서쪽의 五島열도 이북에서는 東流 또는 北東流가 보여 그 존재가 확실하지만, 五島列島와 쿠로시오 사이의 해역에서는 명확하지 않다.

따라서 쿠로시오로부터 대마해협을 향하는 흐름의 존재가 평균해류장에서도 나타날 것인가를 알아보기 위하여 九州 서쪽해역에서의 남북성분을 분리하였다 (그림 11). 겨울 (그림 12a)에  $31^{\circ}\text{N}$ 에서는  $127^{\circ} - 128^{\circ}\text{E}$ 에 북향류가 나타나나,  $32^{\circ}\text{N}$ 에서는 북향류의 중심이  $126^{\circ} - 127^{\circ}\text{E}$ 로 이동하였고,  $33^{\circ}\text{N}$ 에서는 북향류가 거의 나타나지 않는다. 여름 (그림 12b)에는  $32^{\circ}\text{N}$  이북에서  $126^{\circ}30' - 128^{\circ}30'\text{E}$ 에 북향류가 강하게 나타나고,  $31^{\circ}\text{N}$ 에서는  $127^{\circ} - 128^{\circ}\text{E}$ 에서 0.5노트 이하의 약한 북향류가 보인다. 전체적으로 대마난류 방향으로의 흐름은  $127^{\circ} - 128^{\circ}\text{E}$ ,  $31^{\circ} - 33^{\circ}\text{N}$ 의 좁은해역에 한정되어 있으며, 북향류 성분은 0.1 - 0.2노트로 작다.

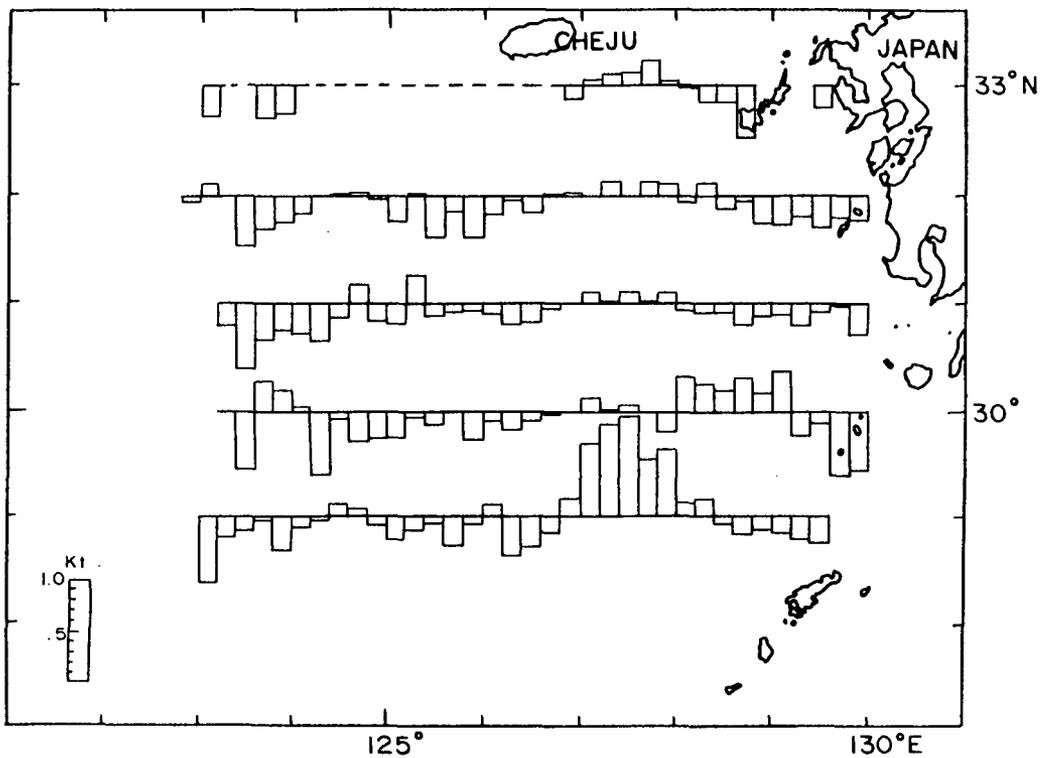


Fig. 11. North - South component of mean current for 1954 - 1986(after Michida et al., 1987).

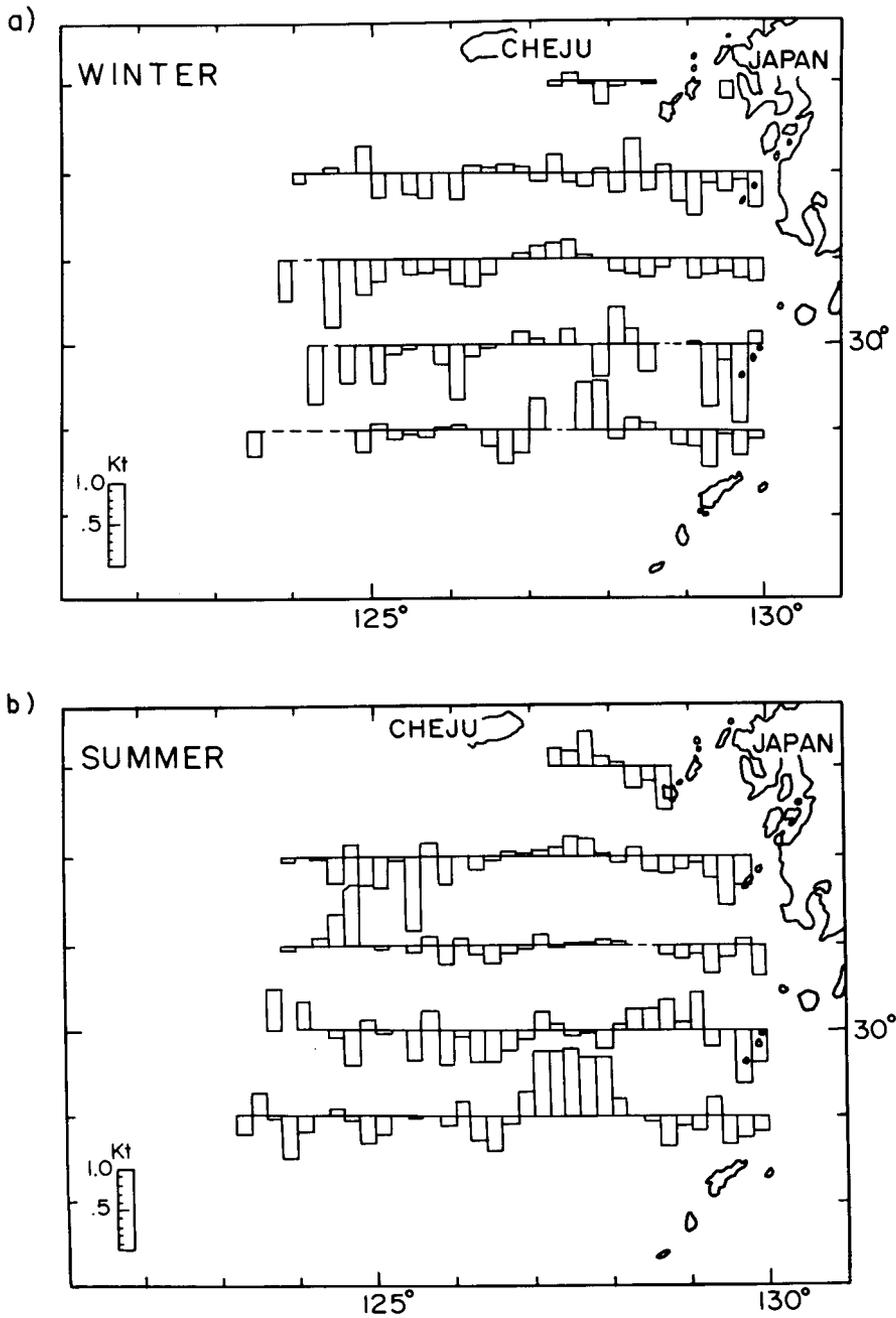


Fig. 12. The same as in Fig.21 except on Winter (Dec.-Feb.)(a) and Summer (June - August)(b) (after Michida et al., 1987).

## 제 2 장 수계분석에 의한 대마해류의 기원조사

대마해류(Tsushima Current)의 기원을 조사하기 위한 목적으로, 대한해협과 동지나해(동중국해)에 있어서의 1986년 한국의 국립수산진흥원(National Fisheries Research and Development Agency, 약칭으로 NFRDA)과 일본기상청(Japan Meteorological Agency, 약칭으로 JMA)의 자료를 합쳐서 수계분석을 하였다. 국립수산진흥원의 자료(NFRDA, 1988)는 33° N 이북의 남해 및 대한해협에서 관측한 것이고, 일본기상청의 자료(JMA, 1988)는 주로 동지나해와 일부 대한해협에서 관측한 것이다(그림 13). 양측의 관측자료를 합친 4계절의 관측기간은 겨울이 1월 24일 - 2월 24일, 봄이 4월 13일 - 5월 16일, 여름이 7월 8일 - 8월 15일, 가을이 9월 26일 - 10월 15일로 각 계절별 약 1개월의 관측기간이다. 1980년 이후 현재까지 일본기상청의 조사선이 동지나해에서 4계절에 걸친 관측을 실시한 것은 1985년과 1986년 뿐으로, 이들 자료는 4계절의 해황변동을 조사하는데 있어서 매우 귀중한 자료이다. 또한 1980년 이후 동지나해와 대한해협에 있어서 한국과 일본의 관측자료를 합쳐서 4계절의 수계분석을 실시한 것은 본 연구가 처음이다.

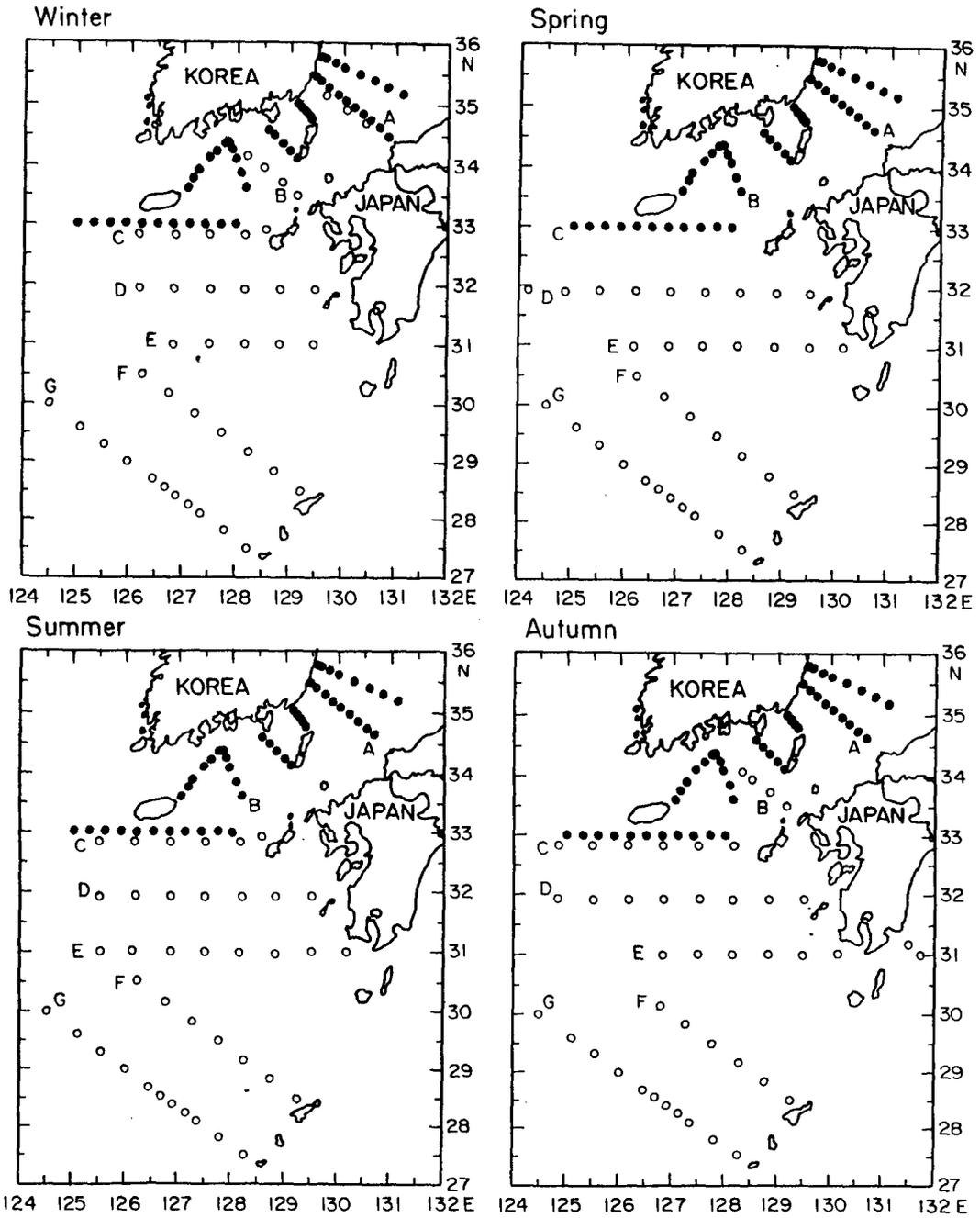


Fig. 13. Station location chart observed by NFRDA, Korea(●) and JMA, Japan(○).

## 1. 수계분석방법.

수계분석방법은 연구의 목적에 따라 여러방법이 있을 수 있다. 본 연구는 대마난류의 기원을 밝히는 것이 목적으로 그 근원이 과연 쿠로시오(Kuroshio)수계에 있는지를 밝힐 필요가 있다. 또한 연안수의 영향을 알아보기 위하여 저염분수인 연안수와 혼합상태를 조사하는 것도 필요하다. 이를 위하여는 T-S diagram 상에서 조사대상 해역보다 상류쪽의 쿠로시오계 해수의 수계를 정의하여야 한다. 일본에서는 1973년 동지나해에 관한 종합연구가 실시되어 1973년 가을에 기상청 소속의 조사선 3척이 동지나해의 남부해역에서 동시관측을 3회(1회는 10월 22일 -26일, 2회는 10월 29일 - 11월 1일, 3회는 11월 5일 - 8일) 반복하였다(그림 14). Sawara and Hanzawa(1979)는 이 3회에 걸친 전측점에서의 T-S관계를 T-S diagram에 나타내어(그림 15) 이것을 근간으로하여 수계를 분류하였다(그림 16). Sawara and Hanzawa(1978)의 수계분류방법은 대마해류의 기원을 조사하는 본 연구의 목적에도 적합하다고 판단되므로 그 방법을 사용하여 수계를 분류하였다.

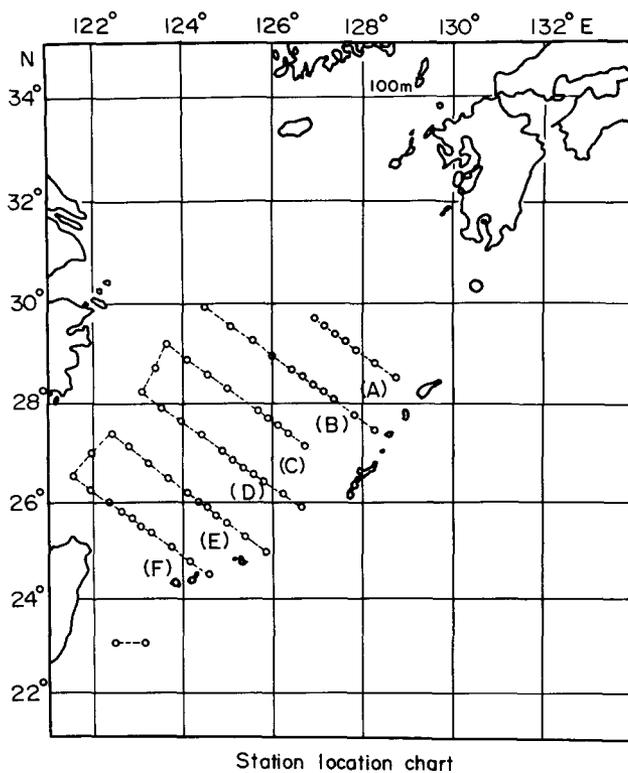


Fig. 14. Station of location chart(after Sawara and Hanzawa, 1979).

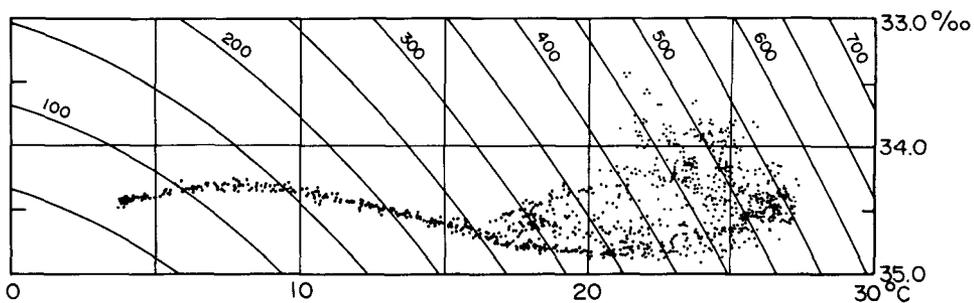


Fig. 15. T-S diagram(Oct. 1973)(after Sawara and Hanzawa, 1979).

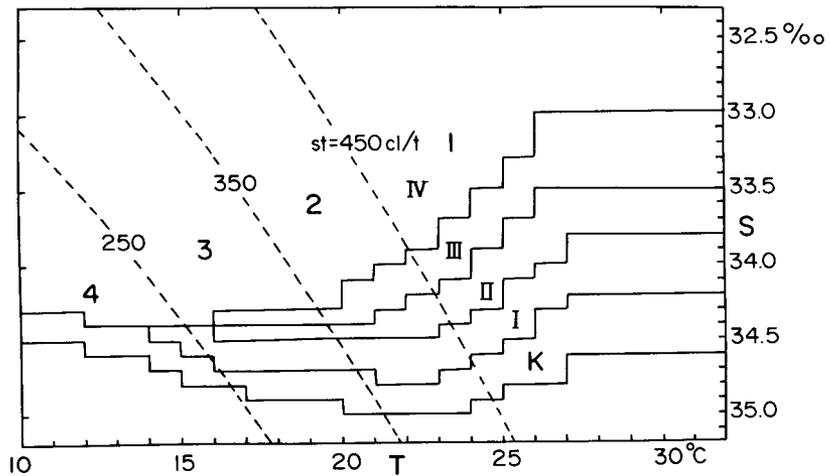


Fig. 16. Classification of water type(after Sawara and Hanzawa, 1979).

그림 15 에서 보면, 수온 16 °C 이상에서만 쿠로시오 수계(고염분의 곡선)로 부터 염분이 낮은 쪽을 향해 분포하고 있다. 이것은 쿠로시오와 연안수의 혼합이 수온 16 °C 이상의 얇은 층에서만 일어나고, 16°C 이하의 쿠로시오 중·심층수는 대륙붕상의 혼합과는 직접 관련이 없음을 나타내고 있다. 또한 16 °C 이상의 분포상태를 보면, 수온이 16 °C에 가까운 곳은 수심이 깊고 연안수의 영향이 적으며 수심이 얕아짐에 따라 연안수의 영향이 큰 것을 알 수 있다. 이 그림 위에서 먼저 쿠로시오 수계(K)를 정의하였고, 혼합수를 쿠로시오와 연안수와의 혼합도에 따라 각각 "I"에서 "IV"까지 구분하여 전부 5단계로 분류하였다.

또한  $\Delta_{st}$ 의 등치선에 의해 450 cl/t 이상을 1, 450~350 cl/t 을 2, 350~250 cl/t 를 3, 250 cl/t 이하를 4로 하여 4단계로 분류하여 위의 분류법에 보조 역할을 함과 동시에 대략의 존재수심을 알 수 있도록 하였다.

이 분류방법은 가을철의 자료만을 사용한 제한점이 있다. 이러한 단점을 확인하기 위하여 1985년과 1986년의 4계절 자료를 사용하여 쿠로시오 수계(K)의 범위에 대하여 점검하였다. 그 결과 쿠로시오 수계(K)의 범위는 계절변화가 거의 없다는 사실이 나타나 Sawara and Hanzawa(1979)의 분류방법을 그대로 사용해도 좋다는 결론을 얻었다.

또한 이 분류방법은 약 200 m 위의 상층을 주대상으로 하였다. 따라서 대륙사면보다 깊은 곳에 존재하는 쿠로시오수계의 중·심층수 및 연안수 “IV” 수계의 분류에 관해서는 문제점이 남아있다.

## 2. 계절별 수평분포특성

겨울철(1-2월)에는 쿠로시오의 수계(K)가 조사대상 전해역에서 표층부터 200 m 수심까지 넓게 분포하고 있다(그림 17). 특히 대한해협에서는 표층부터 해저까지 완전히 쿠로시오 수계(K)로 점유되어 있다. 연안수는 조사해역의 서쪽에 분포하고 있으며, 九州서쪽에서 가장 동쪽으로 진출하여 128° E 부근까지 혼합수(I~IV)가 나타나 연안수의 영향을 보여주고 있다.

봄(4~5월)에는 해황이 약간 바뀌어 연안수의 영향이 동지나해의 표층부터 나타나기 시작했다(그림 18). 대한해협에서는 한국쪽의 해안부근에 약간 연안수의 영향이 나타나 분류“IV”의 수괴가 존재하나 그 외는 대부분이 쿠로시오 수계(K)로 점유되어 겨울과 큰 차이는 없었다. 九州서쪽의 동지나해에서는 표층과 50 m 층의 분포가 겨울과 달라 혼합수인 분류 “I”의 수괴가 넓게 존재하고 있었다. 100 m 및 200 m 에서는 겨울과 거의 비슷하게 쿠로시오 수계(K)가 넓게 분포하고 있었다.

Winter

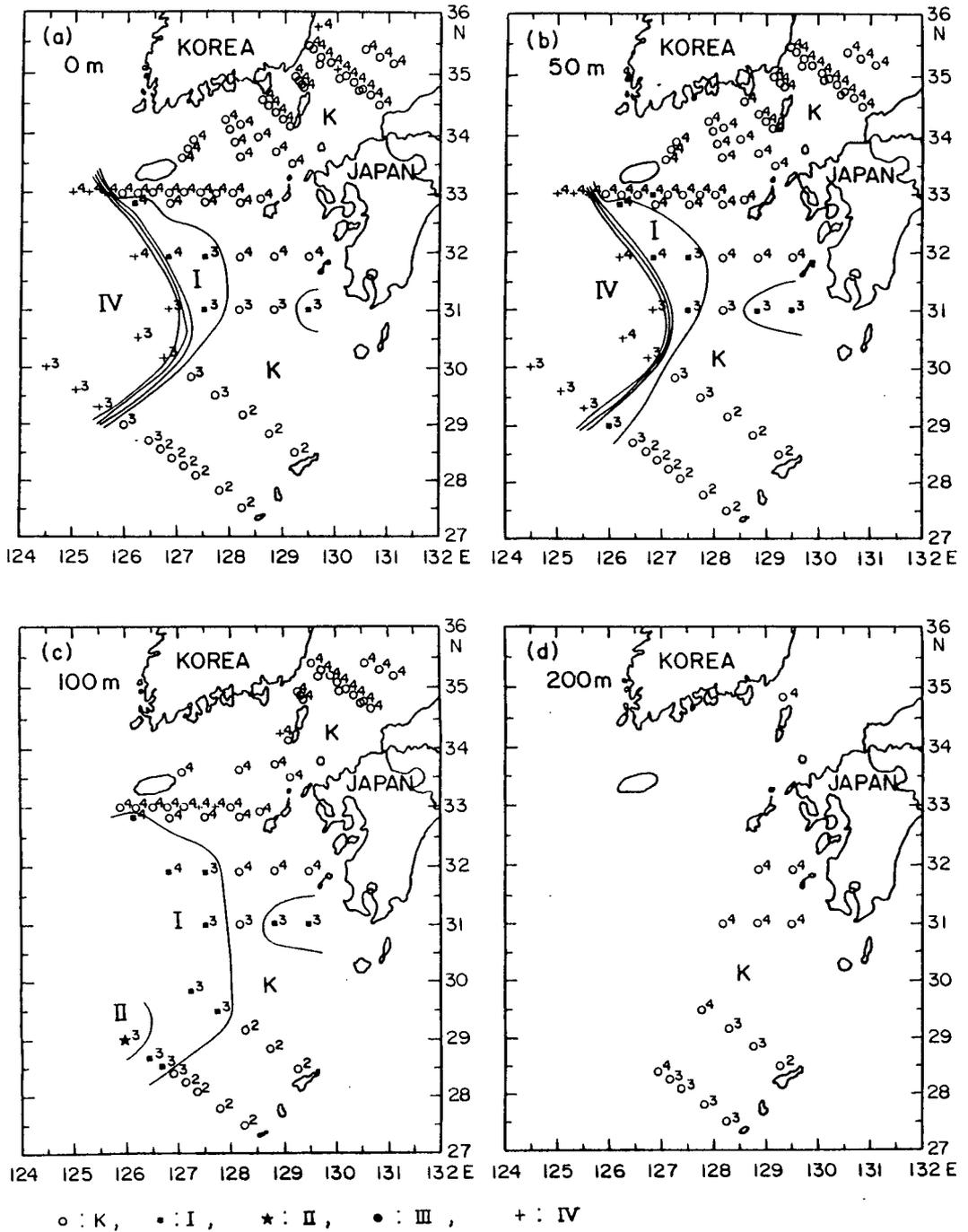


Fig. 17. Horizontal distribution of water type at 0 m(a), 50 m(b), 100 m(c) and 200 m(d) depth in winter(Jan. 24 - Feb. 24)

Spring

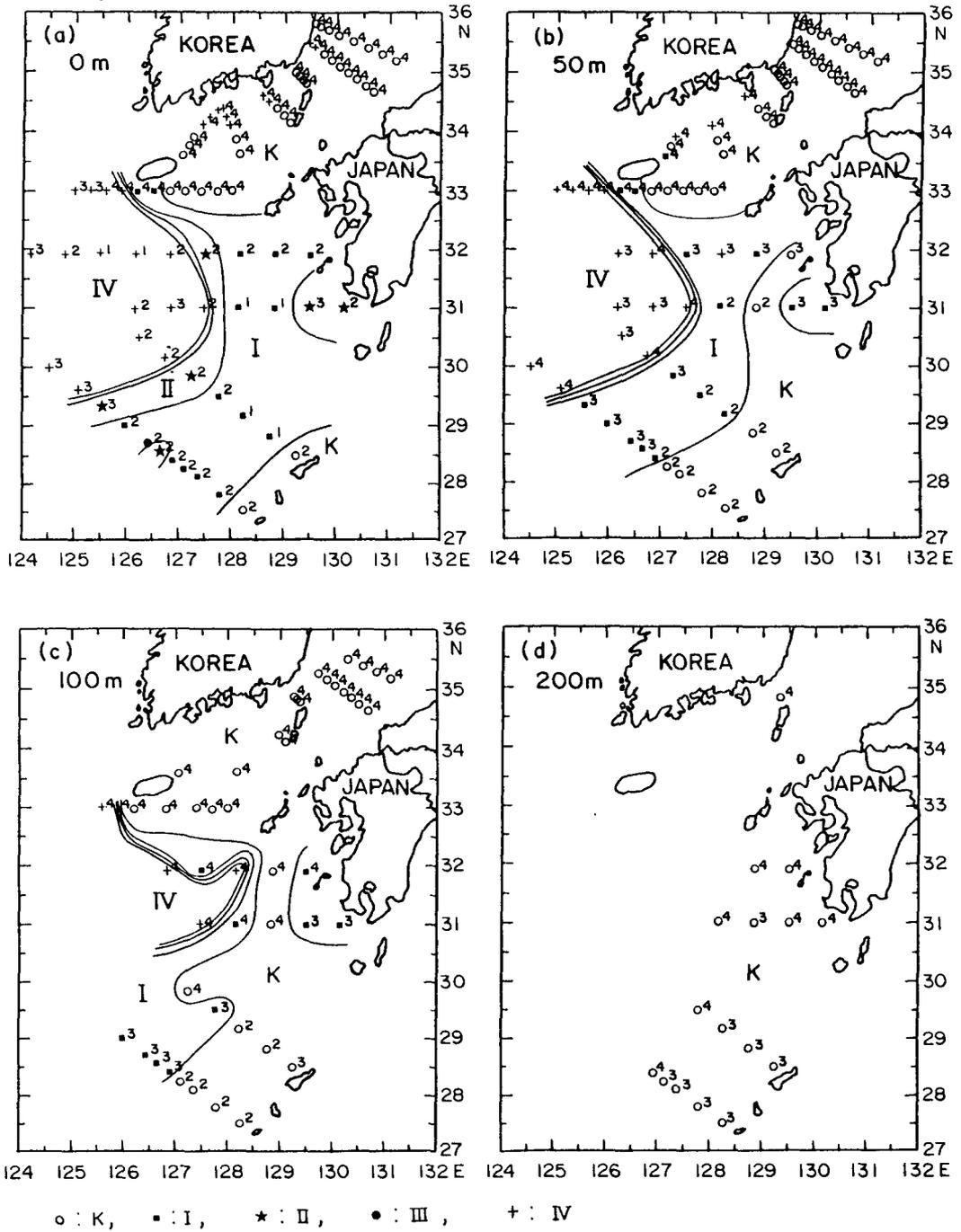


Fig. 18. The same as in Fig. 17 except in spring(April 13 - May 16).

Summer

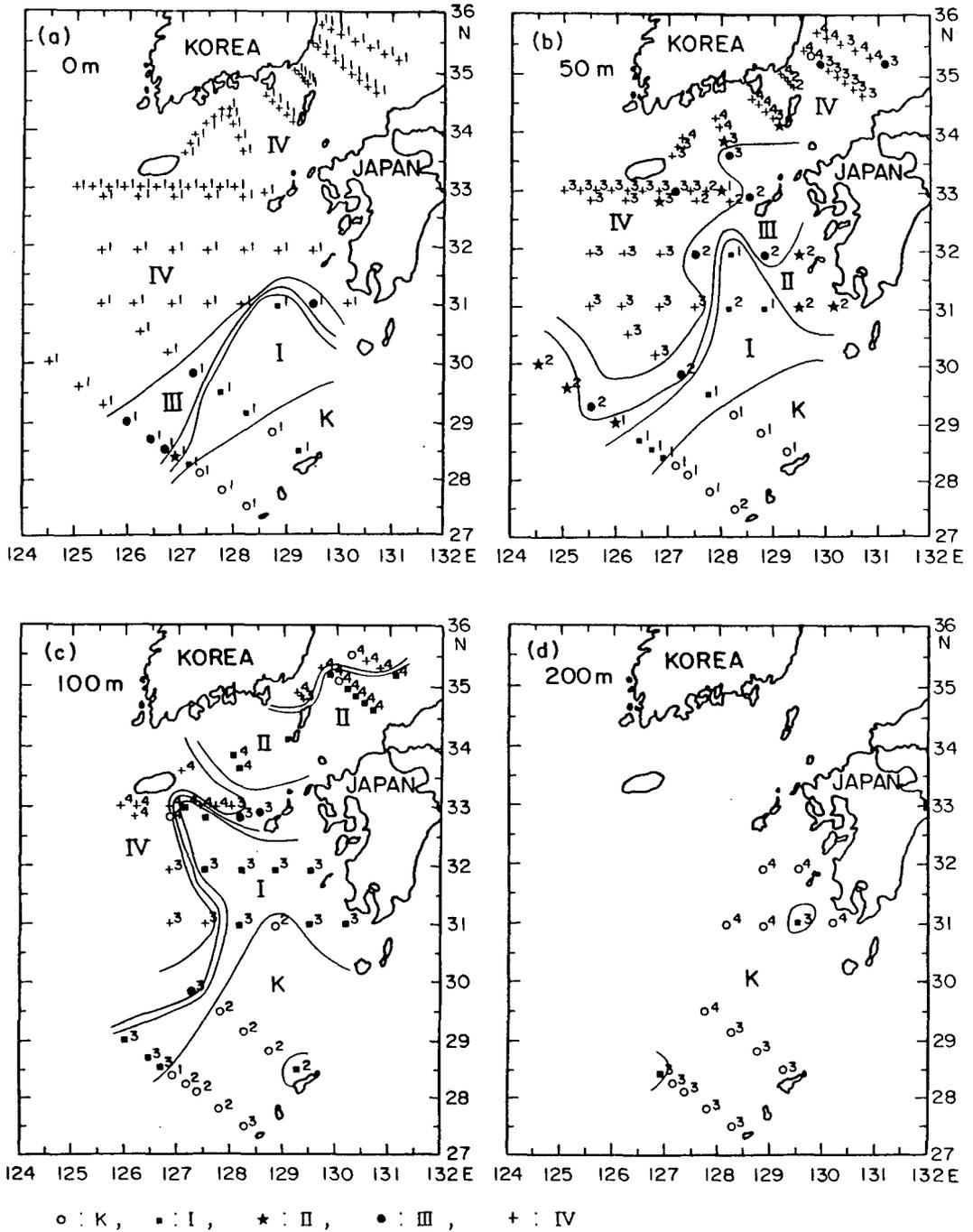


Fig. 19. The same as in Fig. 17 except in summer (July 8 - August 15).

Autumn

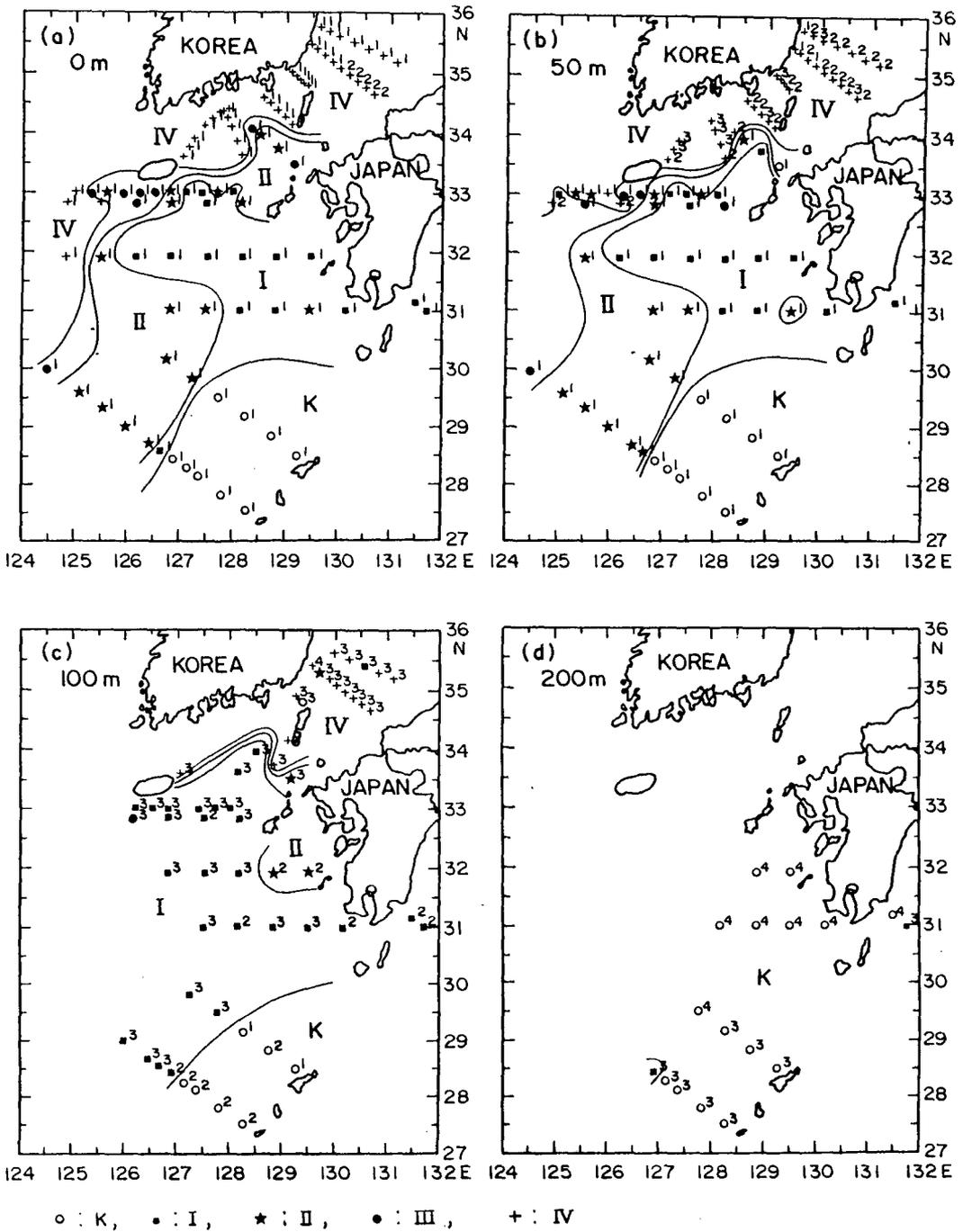


Fig. 20. The same as in Fig. 17 except in autumn(Sept. 26 - Oct. 15).

여름철(7~8월)에는 해황이 크게 변화하였다(그림 19). 표층부터 50 m 층까지 쿠로시오수계(K)가 나타나는 해역은 오키나와 북서부의 일부분에 국한되고 거의 모든 해역에서 혼합수(I~IV)가 분포하였다. 특히 분류“IV”가 매우 넓게 존재하여 연안수의 확장을 시사하고 있었다. 100 m 수심에서는 오키나와 북서부의 비교적 넓은 해역에서 쿠로시오 수계(K)가 존재했으며, 九州서쪽에서는 주로 분류 “I”, 대한해협에는 “I”~“IV”의 혼합수가 분포하고 있었다. 200 m 수심은 대부분이 쿠로시오 수계(K)로 점유되어 겨울과 같은 양상이었다.

가을철(9-10월)의 해황은 또다른 양상(그림 20)을 보이고 있었으며, 표층부터 100m 까지 해양의 구조가 거의 같다. 쿠로시오 수계(K)는 30° N 이남의 오키나와 북서부에 한정되어 분포하고 있었으며, 九州서쪽해역에서는 쿠로시오의 영향이 큰 성질을 가진 분류 “I”의 혼합수가 넓게 존재하고 있었다. 九州서쪽해역에서 분류 “I”의 혼합수가 넓게 분포하는 양상은 “Sawara and Hanzawa(1979)”의 결과와도 일치하는 것으로 가을해황의 특징이라고 볼 수 있다. 대한해협에서는 분류 “II”~“IV”의 혼합수가 나타나, 그 중에서도 분류 “IV”의 혼합수가 폭넓게 분포하고 있었다. 수심 200 m 는 여전히 쿠로시오의 수계로 점유되어 있어서 계절변화가 없음을 나타내고 있다.

### 3. 계절별 수직분포특성

각 해역에서 수계의 수직분포를 조사하기 위하여, 대한해협에서 2개의 정선(A~B), 九州서쪽해역에서 3개 정선(C~E), 오키나와 북서쪽에서 2개 정선(F~G)을 선택하였다(그림 13).

겨울철(그림 21)에 대한해협(A, B정선)은 상하가 완전히 균일하며 쿠로시오 수계(K)로 점유되어 있다. 九州서쪽해역에서는 대륙붕위에는 분류 “I” ~ “IV”의 혼합수가 나타났으며, 수심이 깊은 동쪽에서는 쿠로시오 수계(K)가 주요한 해수이다. 오키나와 북서쪽의 해역에서도 대륙붕위에서는 혼합수(I ~

IV)가 나타나는데 서쪽에서는 “IV”의 혼합수가 우세하다. 반면에 대륙분기점 부근 및 수심이 깊은 동쪽에서 수심 200 m 위의 상층에서는 쿠로시오 수계에 가까운 성질인 혼합수 “I”이, 하층에서는 쿠로시오 수계(K)가 주요 수괴이다. 즉 연안수의 영향은 수심 200 m 보다 상층에 국한되어 있다.

봄철(그림 22)의 대한해협에는 북쪽의 한국해안에서부터 연안수의 영향이 조금씩 나타났으나, 아직은 쿠로시오 수계(K)가 주요 수계로 존재하고 있다. 九州서쪽해역에서는 서쪽의 대륙붕위에서 연안수의 영향이 겨울보다 강해져 분류 “IV”가 주요 수계이며, 동쪽의 상층에서도 분류 “I”이 약 100 m 두께로 분포하여 그 세력이 겨울보다 확장되었다. 쿠로시오수계는 동쪽의 수심 100 m 아래에만 존재한다. 이러한 분포는 오키나와 북서쪽 해역에서도 거의 같은 양상으로 이 해역에서의 겨울철과 비교하였을 때 동남쪽의 상층에서 분류 “I”의 혼합수가 더욱 넓게 분포하였다.

여름(그림 23)의 수계분포는 크게 달라진다. 대한해협에서 쿠로시오 수계(K)는 극히 일부분에 국한되어 있으며 주로 분류 “IV”의 연안수에 가까운 혼합수가 분포하고 있다. 九州서쪽의 대륙붕 및 수심 200 m 위의 상층에서는 분류 “I” 및 “IV”의 혼합수가 주요 수계로 그 두께는 봄철보다 더욱 두터워졌으며, 쿠로시오수계는 하층에서만 나타난다. 오키나와 북서쪽의 대륙붕 및 대륙사면에서는 혼합수(I~IV)가 골고루 분포하여 주로 “I”과 “IV”로 구성된 겨울 및 봄철의 혼합수와는 다른 양상을 보이고 있다. 쿠로시오 수계(K)는 오키나와부근해역의 상층부터 하층까지 분포하여 혼합수가 봄철에 비하면 대륙쪽으로 후퇴하고 있다.

가을(그림 24)의 대한해협에서는 혼합수(I~IV)가 골고루 분포하고 있으며, 쿠로시오수계는 전혀 나타나지 않는다. 九州서쪽해역에서 대륙붕 및 상층에는 분류 “I”의 혼합수가 우세하여 대륙붕위에서 대륙쪽으로 깊숙히 진출하고 있고, 쿠로시오 수계는 수심 200 m 아래에만 존재한다. 오키나와 북서해역은 쿠로시오수계(K)가 크게 우세하여 표층부터 존재하며 혼합수의 분포가 크게 감소하였다. 대륙붕위에서는 분류 “I” ~ “III”의 혼합수가 골고루 분포하

고 있다. 전반적으로 동지나해에서 연안수의 세력이 일년중 가장 약화된 분포를 보이고 있다.

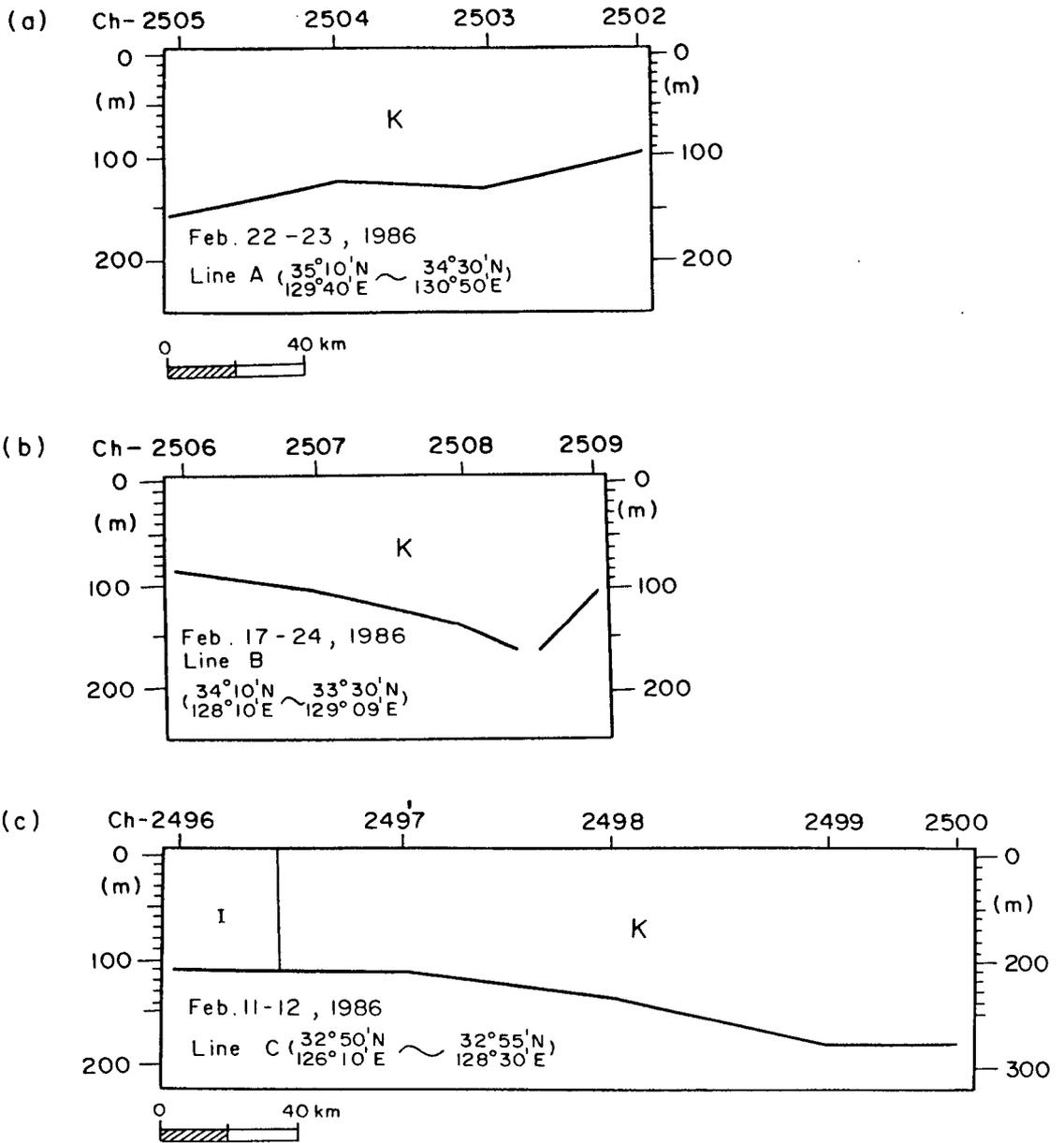


Fig. 21. Vertical distribution of water type along line A(a) through line G(g) in winter (Jan. 24 - Feb. 24).

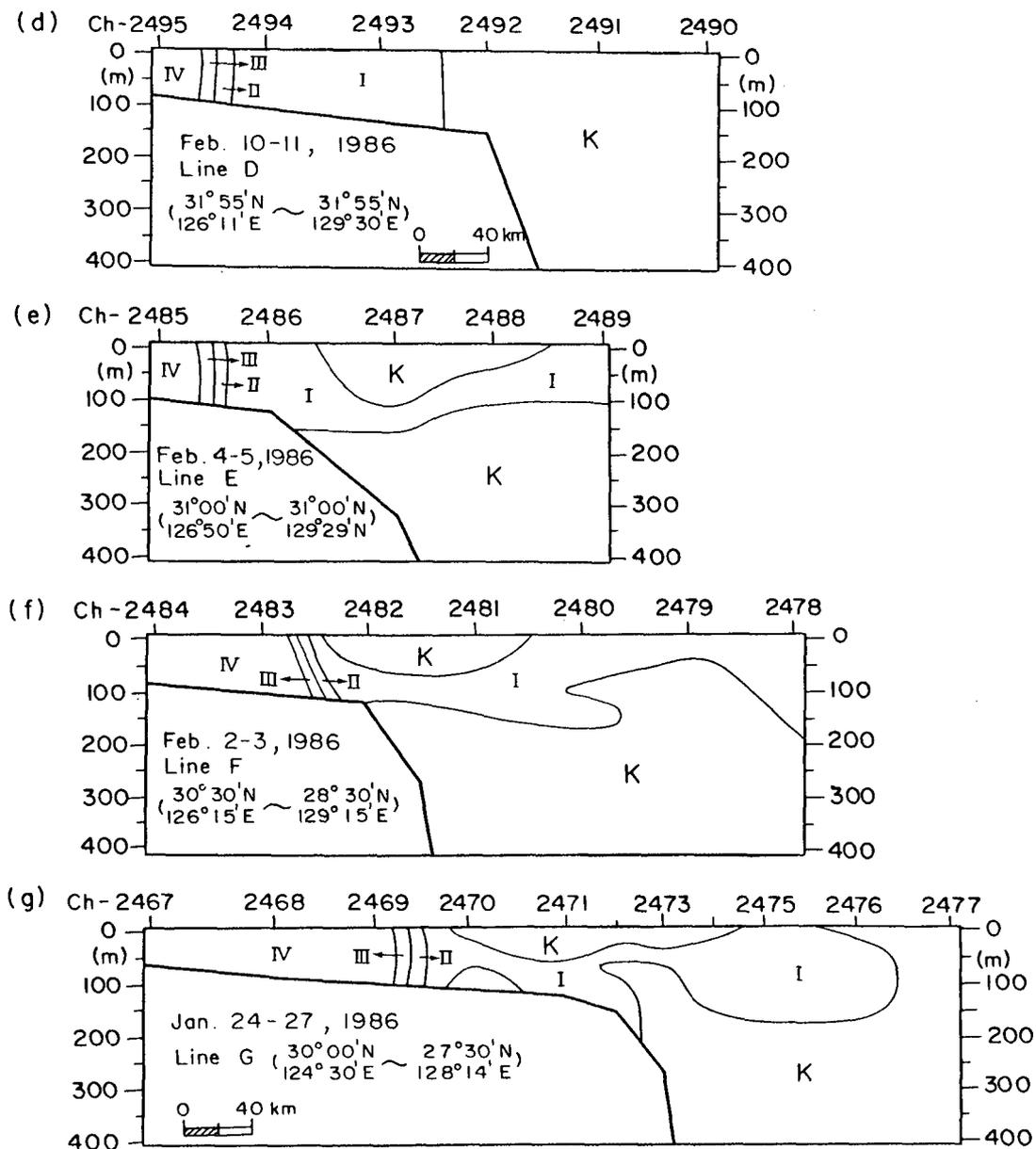


Fig. 21. (continued)

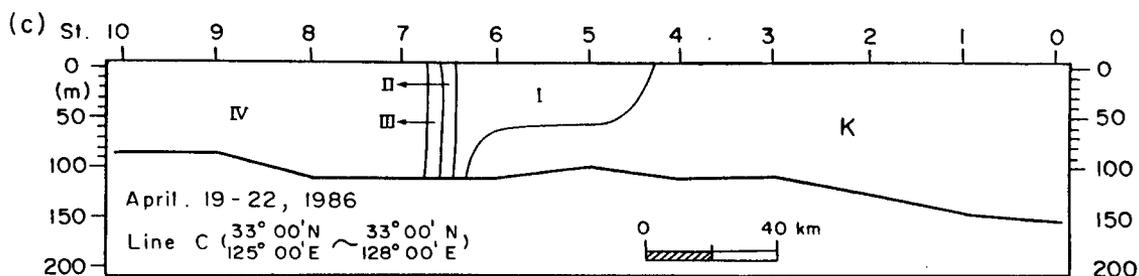
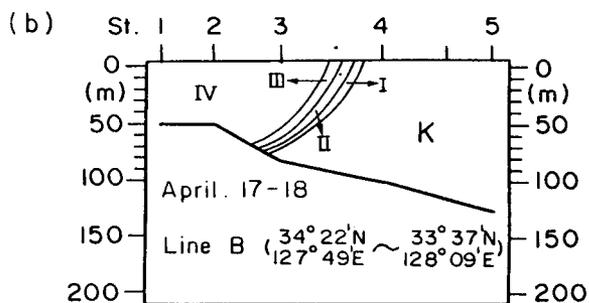
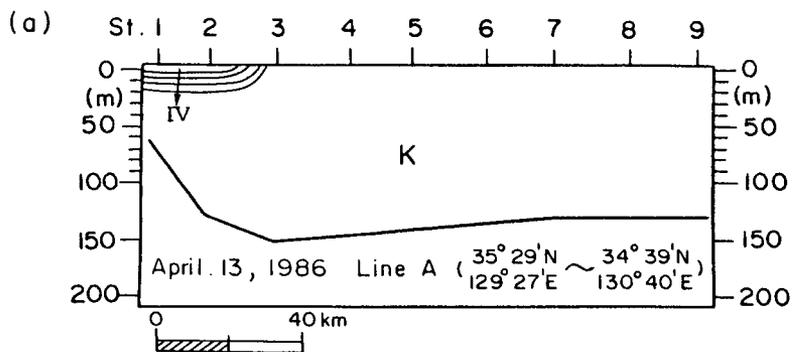


Fig. 22. The same as in Fig. 21 except in spring (April 13 - May 16).

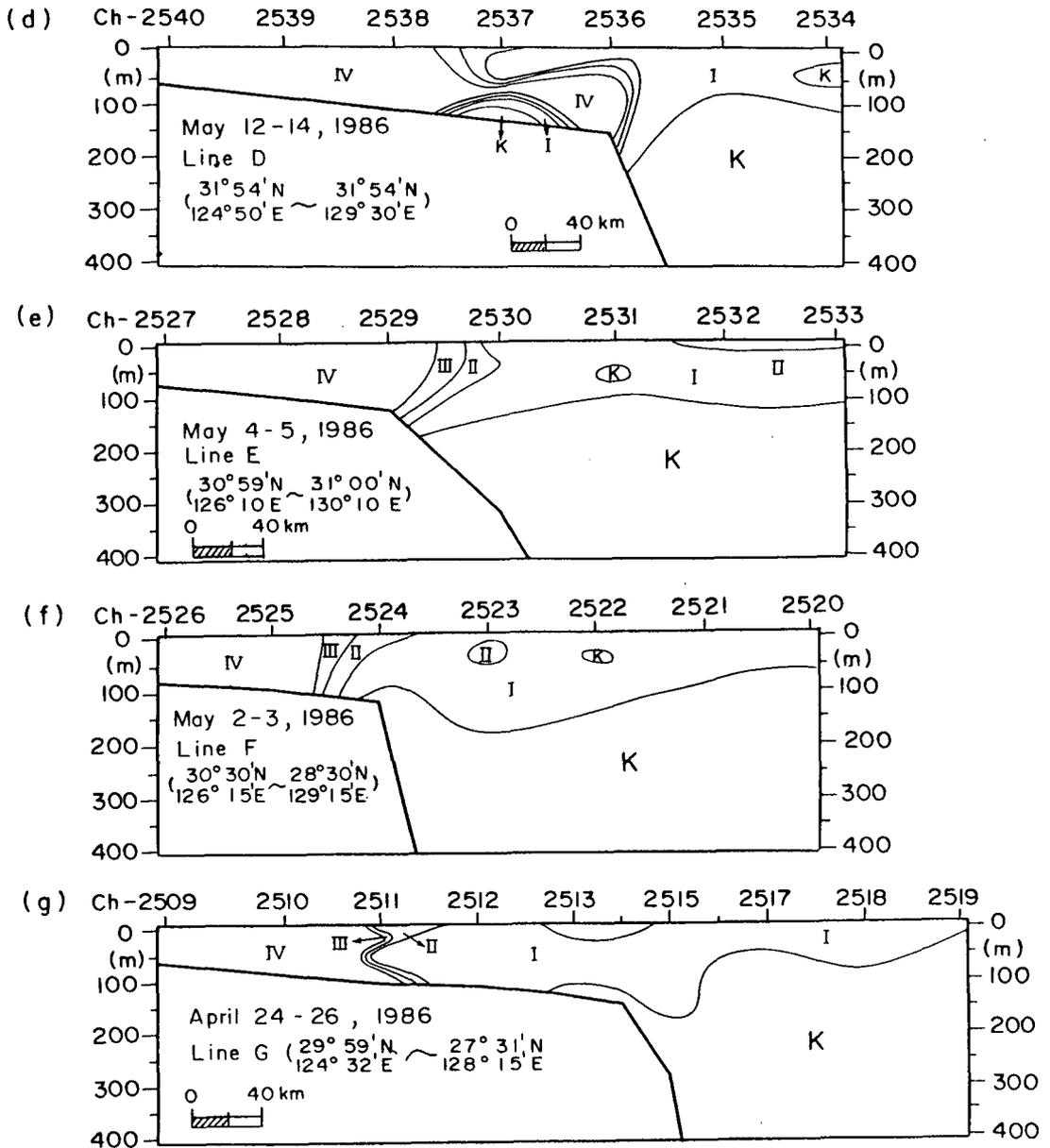


Fig. 22. (continued)

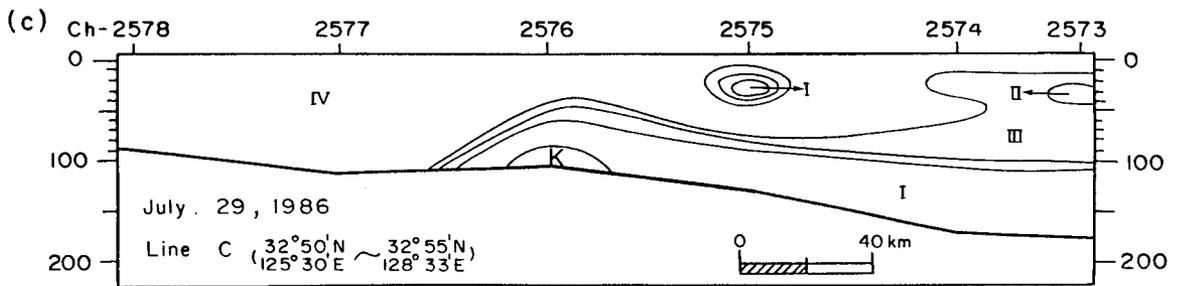
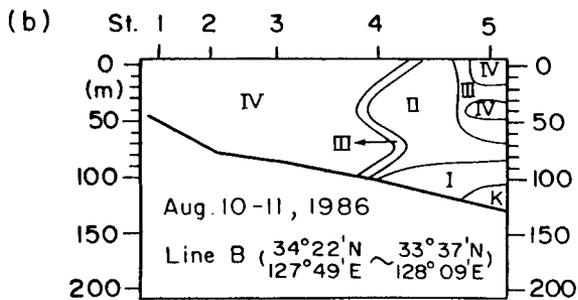
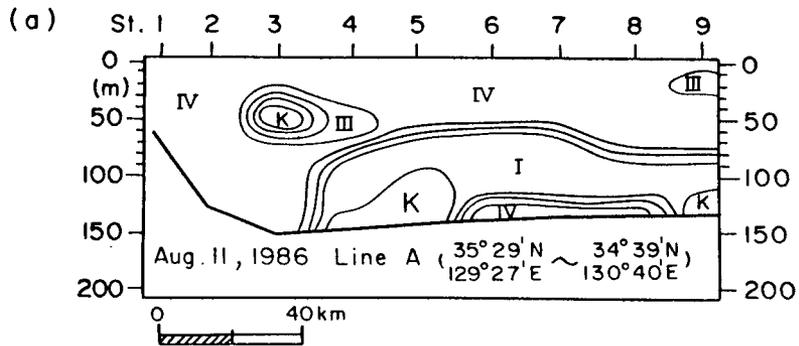


Fig. 23. The same as in Fig. 21 except in summer (July 8 - August 15).

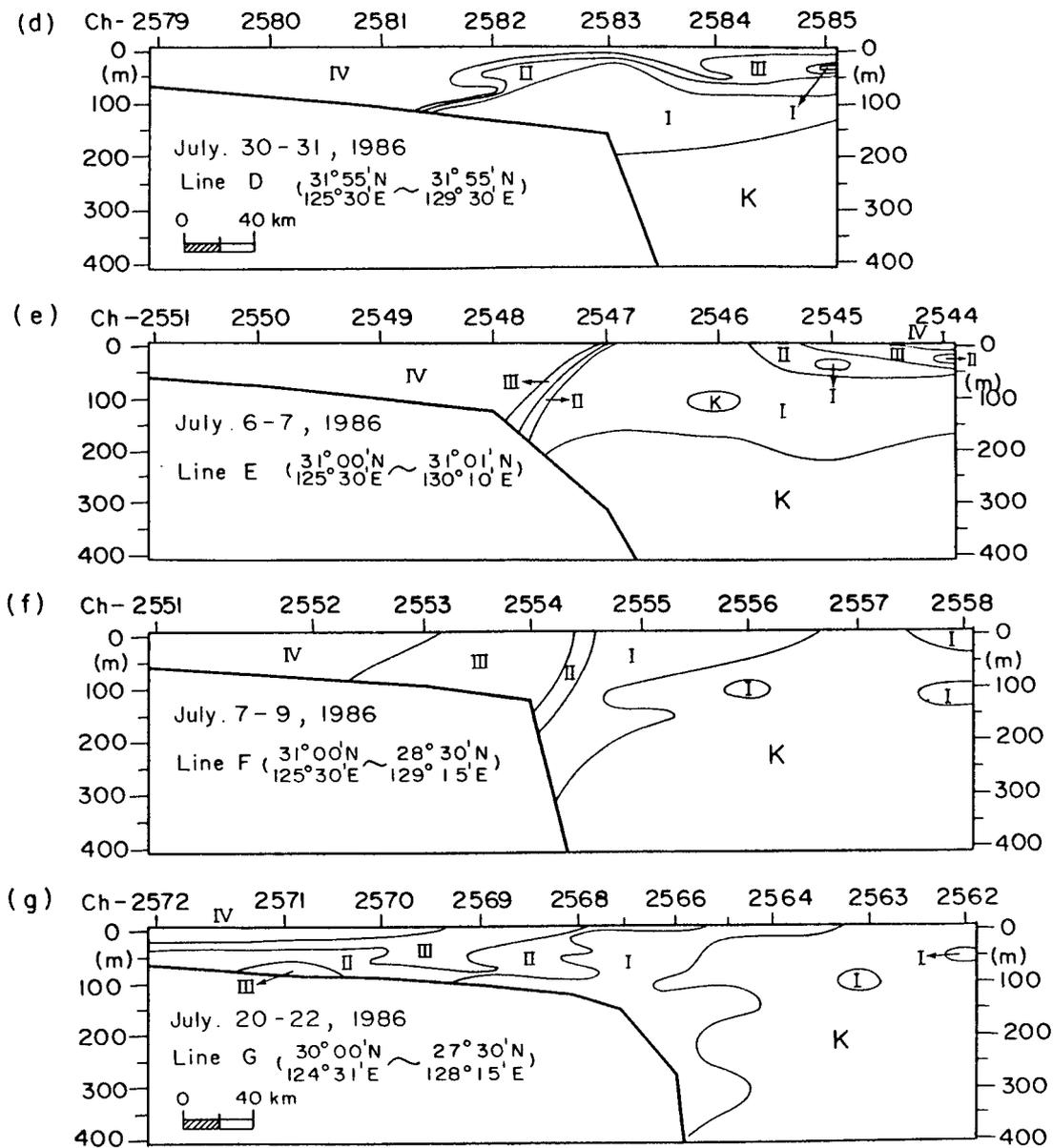


Fig. 23. (continued)

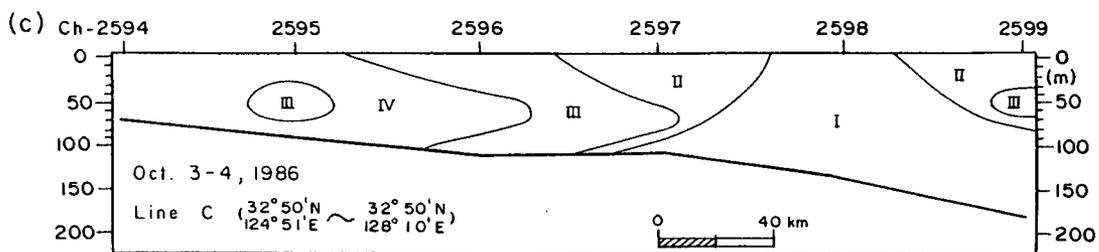
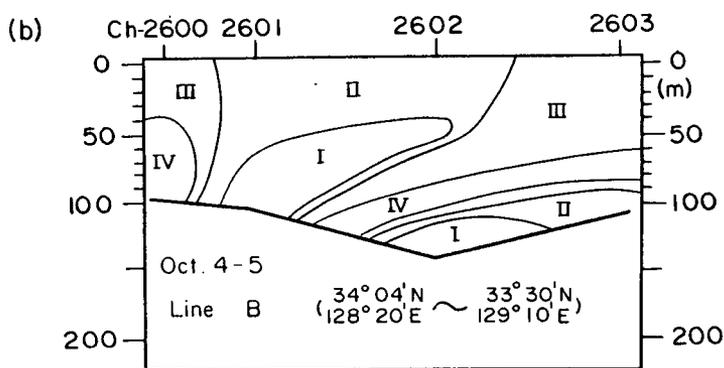
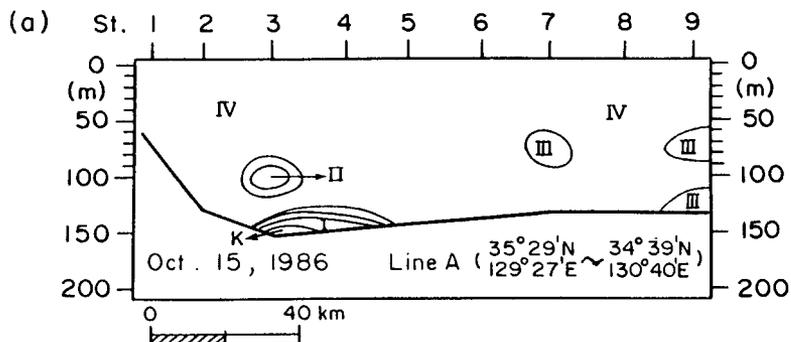


Fig. 24. The same as in Fig. 21 except in autumn (Sept. 26 - Oct. 15).

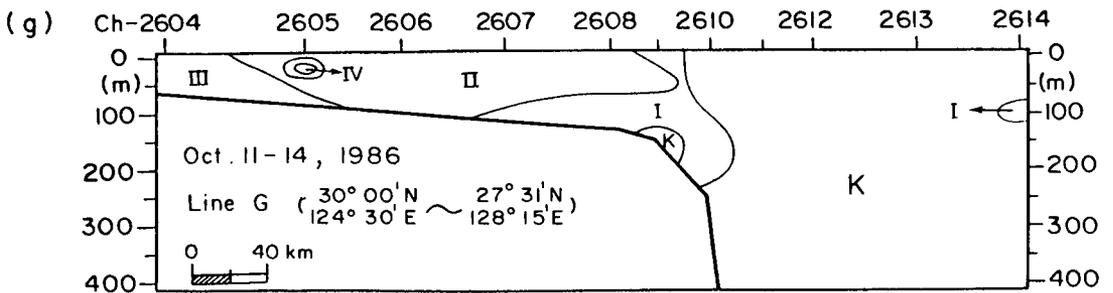
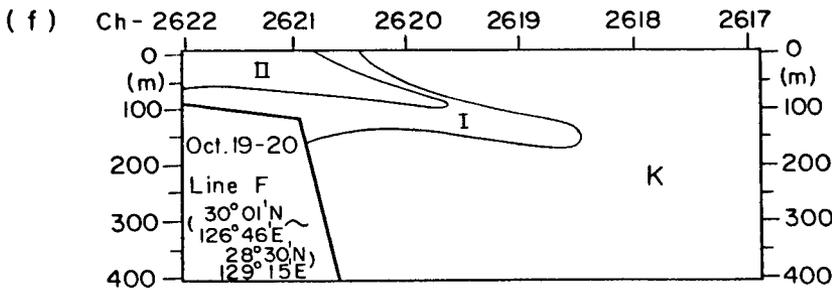
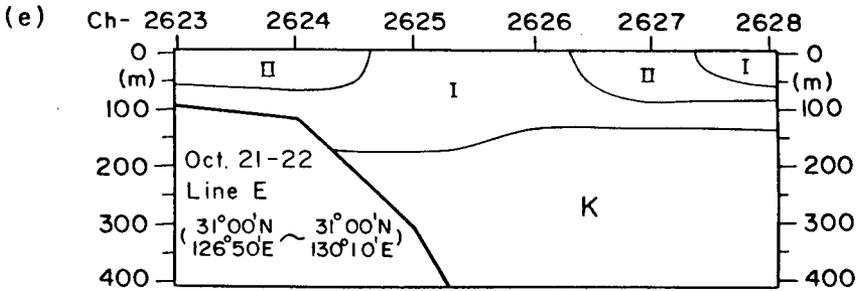
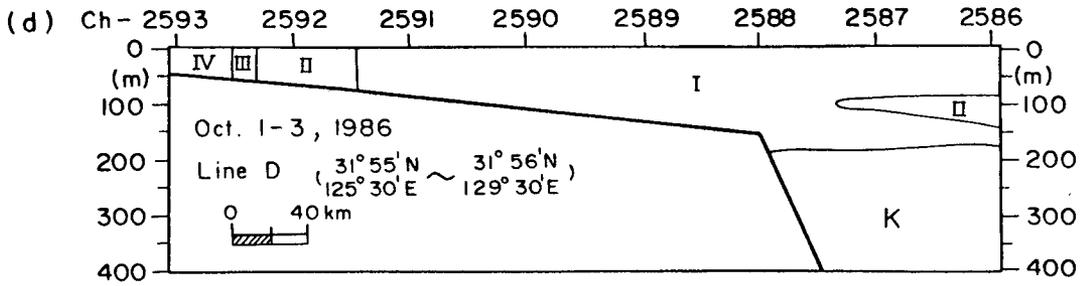


Fig. 24. (continued)

### 제 3 장 요약 및 결론

1986년 동지나해의 100 m 수심에서 수온은 약 14 - 23 °C의 범위로 연중 큰 변화는 없었다. 가을과 겨울에는 125 °E의 동쪽해역 전체가 34.5 % 이상의 고염수가 분포하고 있었으며 봄에 서쪽해역에 34.1 - 34.5 %의 약간 낮은 값은 보이지만 34.0 % 이하의 저염수는 없다. 여름에만 34.0 % 이하의 저염 분수가 서쪽해역에 나타나는데 이는 대륙기원으로 여겨진다.

겨울과 봄에 4.0 ml/l 이상의 고용존산소의 해수가 조사대상 해역의 전역을 덮고 있었다. 가을에는 4.0 ml/l 이하의 저용존산소의 해수가 서쪽해역을 중심으로 대한해협 남쪽까지 넓게 분포되어 있으며, 이들 해수의 수온은 17 - 20 °C, 34.4 % 이상의 고염분수로 그 기원은 보다 남쪽인 것으로 추정된다.

GEK에 의해 측정된 표면유속을 기준으로 한 무류면의 심도는 계절에 따라 다르게 나타났다. 대체로 가을에 가장 얇았고 여름에 가장 깊었다. 따라서 쿠로시오의 수송량도 가을에 16.2 Sv으로 최소값을 나타낸 후 겨울·봄·여름까지 점차 증가하여 여름에 25.4 Sv으로 최대값을 나타낸다. 따라서 무류면의 심도를 계절에 관계없이 같다고 가정하여 계산한 지형류 계산은 개선되어야 할 것이다.

GEK 자료를 이용한 평균해류장의 분포에서 상세한 논의는 어렵지만, 30 ° - 33 °N 해역에서 대마난류 방향으로의 흐름이 미약한 것은 뚜렷하다고 생각된다.

1986년 대한해협에서 겨울과 봄에 쿠로시오 수계가 표층부터 저층까지 폭 넓게 분포하고 있었다. 여름과 가을에는 쿠로시오 수계는 없고 혼합수(I ~ IV)가 분포하고 있었다. 일년중 상·하층의 수계는 크게 구별되지 않는다.

동지나해의 표층은 계절변화가 커서, 겨울에는 쿠로시오 수계가 폭넓게 분

포하고 있었으나, 봄·여름·가을에는 九州서쪽해역을 중심으로 혼합수(I~IV)가 주로 분포하고 있었으며 쿠로시오계 해수는 오키나와 북서쪽에 한정되어 있었다.

동지나해의 100 m 층에서는 겨울과 봄에는 큰 변화가 없으며 쿠로시오 수계가 오키나와 북서부해역부터 九州서쪽해역까지 길게 분포하고 있었으나, 여름과 가을에는 분포양상이 달라져 분류 "I"인 혼합수가 폭넓게 존재하고 있었다. 200 m 층은 일년 중 전혀 변화가 없이 쿠로시오 수계로 점유되어 있는데, 이것으로 보아 해황의 변동은 200 m위의 상층에만 한정되어 있는 것을 알 수 있다.

1986년 九州서쪽에서 수계의 연직분포특성은, 대륙붕위에서 봄과 여름에는 연안수의 성질에 가까운 분류 "IV"의 수계가 주로 보이나 동쪽의 대륙사면위에는 쿠로시오수계에 가까운 성질의 분류 "I"이 100 m위의 상층에 분포하고 있다. 겨울과 가을에는 분류 "I"의 수계가 대륙붕 위에서부터 九州연안해역까지 폭넓은 범위에서 약 200 m 위의 상층에 분포하고 있다.

오키나와 북서쪽의 해역에서 수계의 연직분포특성은, 대륙붕위에서 겨울과 봄에는 분류 "IV"의 연안수가 우세하고 대륙붕 분기점부근부터 동남쪽해역의 상층에는 분류 "I", 하층에는 쿠로시오 수계로 점유되어 있다. 여름과 가을에는 대륙붕위에서는 혼합수(I~IV)가 골고루 분포하며 겨울 및 봄철에 비해서 대륙쪽으로 후퇴한 양상이다. 반면에 여름을 거쳐 가을 사이에 쿠로시오가 대륙쪽으로 점차 확장되고 있었다. 九州서쪽해역의 100 m 수심을 중심으로 보았을 때 대마난류수는 겨울과 봄에는 쿠로시오 수계(K)에서, 여름과 가을에는 쿠로시오 수계에 가까운 성질의 혼합수(I)에서 그 기원을 찾을 수 있다.

## 참고문헌 (References)

- Ando, K., Y Kuroda, A. Misumi and G. Kai. 1990. Calculation of current velocity of Kuroshio in the East China Sea by using CTD and ADCP data. 平成元年度 黒潮の開発利用調査研究成果報告書, 321 - 331 (in Japanese).
- Chao, S. Y. 1991. Circulation of the East China Sea, A Numerical Study. J.Oceanogr. Soc. Japan, 46, 273 - 295.
- Chen, C. 1989. The structure of the Kuroshio west of Kyushu. M. S. Thesis, MIT/Woods Hole Joint Program, 137 pp.
- Japan Meteorological Agency. 1988. THE RESULTS OF OCEANOGRAPHICAL OBSERVATIONS. No. 78, 1986.
- Kawabe, M 1988. Variability of Kuroshio Velocity Assessed from the Sea Level-Difference between Naze and Nishinoomote. J.Oceanogr. Soc. Japan, 44, 293 - 304.
- Kondo, M. 1985. 東シナ海. 黄海漁場の海況に関する研究 - I, 50m深及び底層における平均水温 . 鹽分の分布. 西海區水産研究所研究報告, 62, 19 - 66
- Maeda, A. 1989. On Studies on Water Masses and Water Movement in the East China Sea. UMI TO SORA, 64, 257 - 263 (in Japanese).
- Michida, Y., H. Nishida and S. Sato. 1987. 東シナ海の平均海流場. 黒潮の開発利用調査研究 (第II期) 成果報告書 (その1), 119 - 129.
- Miyaji, K., K. Tamai and Y. Nakamura. 1987. 黒潮の流動と對馬暖流および黒潮分派の動態に関する研究 - 東シナ海の屋久島西方海域における海水流動-. 黒潮の開発利用調査研究 (第II期) 成果報告書(その1), 274 - 284.

- Nagata, Y., J. Yoshida and H.-R. Shin. 1986. Detailed structure of the Kuroshio Front and the origin of the water in warm-core rings. *Deep-sea Res.*, 33, 1509 - 1526.
- National Fisheries Research and Development Agency. 1988. Annual Report of Oceanographic observations. vol. 40, 1986.
- Nitani, H. 1972. Beginning of the Kuroshio. In *Kuroshio: Its physical Aspects*. Ed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, 129 - 156.
- Sawara T. and Y. Hanzawa. 1979. Distribution of Water Type in the East China Sea. *Umi to Sora*, 54(4), 135-148. (in Japanese)
- Shaw, P. T. 1989. The intrusion of water masses into the sea southwest of Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 94, 18213 - 18226.
- Shin, H.-R., Y. Nagata and J. Yoshida. 1988. Detailed water mass analysis in the Kuroshio Front with special reference to its double structure. *Dyn. of Atmos. and Oceans*, 12, 173 - 189.
- Shin, H.-R., Y. Michida and Y. Nagata. 1991. The structure of the Kuroshio Front in the Vicinity of Separation Point where the Kuroshio Leaves the Japanese Coast. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 47, 111 - 125.
- Yamashiro, T., A. Maeda, M. Sakurai, H. Ichikawa. 1990. Mean Velocity Distribution and Transport of the Kuroshio Referred to GEK Surface Velocity in the East China Sea. *UMI TO SORA*, 66(3), 181 - 190 (in Japanese).