

제주도 서안에서 황해난류의 구조 특성

Yellow Sea Warm Current in the Western Area of Cheju-do

주관연구기관	한국해양연구원
연구책임자	조철호
발행년월	1988-02
주관부처	국무조정실
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200700000278
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 09:35:48

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

BSPE 97614-00-1076-1

제주도 서안에서 황해난류의 구조 특성

Yellow Sea Warm Current in the
Western Area of Cheju-do

1998. 2.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “제주도 서안에서 황해난류의 구조특성” 연구의 최종보고서로 제출합니다.

1998년 2월

연구책임자 : 조 철 호 (해양물리연구부)

연구 원 : 이 홍 재 (")

이 석 (")

전 호 경 (해양기기실)

박 동 원 (")

요 약 문

I. 제목

제주도 서안에서 황해난류의 구조특성

II. 연구개발 목적

제주도 서쪽 해역에서 황해난류의 수계특성 및 흐름 연구

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 기존 관측된 CTD 자료를 재분석하여 고염수 분포의 계절변동 파악
- 위성추적부이와 TGPS 부이를 이용한 해류관측

IV. 연구개발의 결과 및 건의

- 동계에 황해 중앙 골의 서쪽 사면을 통하여 고염수가 황해내부로 유입할 가능성이 있음
- 늦겨울 양자강퇴 북동쪽 사면을 따라 남하하는 흐름이 존재함.
- 제주도 서쪽에서 북상하는 흐름은 제주도 북서해역에서 방향을 전환하여 제주해협으로 진입함
- 황해난류와 난류수의 구조적 특징을 밝히기 위하여 황해 남서부 해역에서 정밀 수계특성 및 해류 관측이 필요함.

SUMMARY

I. Title

Yellow Sea Warm Current in the western area of Cheju-do

II. Objective of the study

To study the water characteristics and flow pattern of the Yellow Sea Warm Current in the western area of Cheju-do

III. Scope of the study

- Seasonal variation of high salinity water distribution by analyzing CTD data
- Current observations by satellite-tracked drifters and TGPS buoys

IV. Results and Suggestion

- Saline water may flow into the Yellow Sea along western side of the central trough in winter.
- A southeastward flow was observed along the northeast slope of the Changjiang Bank in late winter.
- A northward flow in the western area of Cheju-do turns its direction to the northeast in the northwest of Cheju-do.
- Comprehensive hydrographic and current observations are required to elucidate structure of the Yellow Sea Warm Current with its hydrographic characteristics.

차 례

요약문 (국문)	iii
요약문 (영문)	v
표차례	xi
그림차례	xiii
제 1 장 서론	1
제 2 장 제주도 서쪽해역 해수의 물리특성	5
제 1 절 자료	5
제 2 절 황해남부의 동서단면	5
제 3 절 제주도 서쪽 126° E 남북단면	19
제 3 장 위성추적부이에 의한 해류조사	29
제 1 절 자료	29
제 2 절 늦겨울 상층해류	29
제 3 절 초여름 상층해류	31
제 4 장 TGPS 부이에 의한 해류관측 실험	35
제 1 절 조사개요	35
제 2 절 자료 및 처리	37
제 3 절 결과	41
제 5 장 토의 및 결론	49
참고문헌	51

CONTENTS

Summary (Korean)	iii
Summary (English)	v
List of Tables	xi
List of Figures	xiii
Chapter I. Introduction	1
Chapter II. Physical characteristics of sea water in the west of Cheju-do	5
1. Data	5
2. East-west section in the southern Yellow Sea	5
3. North-south section along 126° E west of Cheju-do	19
Chapter III. Current observations by satellite-tracked drifters	29
1. Data	29
2. Flow pattern in late winter	29
2. Flow pattern in early summer	31
Chapter IV. Current measurements by TGPS floats	35
1. Outline of the survey	35
2. Data and processing	37
3. Results	41
Chapter V. Discussions and conclusions	49
References	51

표 차 례

표 1. 1997년 6월 제주도 남서해역에서 수행한 TGPS 실험에 대한 정보.	37
--	----

List of Tables

Table 1. Information of TGPS experiment in the southwest of Cheju-do in July 1997.	37
--	----

그림 차례

그림 1. 동계 동중국해 동부역의 상층순환 모식도와 대마난류 경로 (Lie et al. (1998)로부터).	1
그림 2. 황해남부해역에서 CTD 관측선.	6
그림 3. 1986년 1월 단면 A의 수온, 염분 및 밀도 분포.	9
그림 4. 1993년 2월 단면 E의 수온, 염분 및 밀도 분포.	10
그림 5. 1993년 2월 단면 A의 수온, 염분 및 밀도 분포.	11
그림 6. 1993년 4월 단면 A의 수온, 염분 및 밀도 분포.	12
그림 7. 1995년 5월 단면 D의 수온, 염분 및 밀도 분포.	13
그림 8. 1994년 7월 단면 B의 수온, 염분 및 밀도 분포.	14
그림 9. 1994년 9월 단면 D의 수온, 염분 및 밀도 분포.	15
그림 10. 1996년 10월 단면 D의 수온, 염분 및 밀도 분포.	16
그림 11. 1986년 11월 단면 C의 수온, 염분 및 밀도 분포.	17
그림 12. 1986년 11월 단면 A의 수온, 염분 및 밀도 분포.	18
그림 13. 1997년 3월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	21
그림 14. 1995년 5월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	22
그림 15. 1994년 6월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	23
그림 16. 1994년 9월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	24
그림 17. 1996년 10월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	25
그림 18. 1992년 11월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	26
그림 19. 1993년 12월 단면 F의 수온, 염분 및 밀도 분포.	27
그림 20. 1997년 3월 제주도 남서해역에 투하한 위성추적부이 3대의 궤적.	30
그림 21. 1997년 6월 제주도 남서해역에 투하한 위성추적부이 4대의 궤적.	32
그림 22. 1997년 3월 TGPS buoy 투하지점. '+' 는 CTD 관측점이다.	36
그림 23. TGPS 부이 위치의 시간변화 곡선. 'x' 표시의 가는 실선은 원래 자료이고 굵은 실선은 1차 처리된 자료를 나타낸다.	38
그림 24. 1997년 6월 제주도 남서해역에 투하한 TGPS 3대의 궤적.	43

그림 25. 조석성분이 제거된 위치자료로 계산한 부이 이동 속도. 유속벡터는 매 6시간 간격마다 표시함.	44
그림 26. 1997년 6월 조류성분이 제거된 ADCP 수평유속의 수직분포도: (a) 단면 A; (b) 단면 B.	45
그림 27. 관측선에 수직인 관측흐름과 지형류의 수직 분포도. 지형류의 계산시 무류면은 해저면으로 하였다. '◇' 는 TGPS 이동궤적으로부터 계산한 수직방향성분 유속을 표시함: (a) 단면 A; (b) 단면 B.	46

List of Figures

Fig. 1. A schematic surface circulation pattern in the eastern East China Sea and main path of the Tsushima Warm Current (TWC) during the cold season (after Lie et al.,1998).	1
Fig. 2. Study area showing CTD observation lines in southern Yellow Sea.	6
Fig. 3. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in January 1986.	9
Fig. 4. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section E in February 1993.	10
Fig. 5. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in February 1993.	11
Fig. 6. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in April 1993.	12
Fig. 7. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in May 1995.	13
Fig. 8. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section B in July 1994.	14
Fig. 9. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in September 1994.	15
Fig. 10. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in October 1996.	16
Fig. 11. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section C in November 1986.	17
Fig. 12. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in November 1986.	18
Fig. 13. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in March 1997.	21
Fig. 14. Vertical distributions of temperature, salinity and density in	

the section F in May 1995.	22
Fig. 15. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in June 1994.	23
Fig. 16. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in September 1994.	24
Fig. 17. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in October 1996.	25
Fig. 18. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in November 1992.	26
Fig. 19. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in December 1993.	27
Fig. 20. Trajectories of three satellite-tracked surface drifters released in the southwestern sea of Cheju-do in March 1997.	30
Fig. 21. Trajectories of four satellite-tracked surface drifters released in the southwestern sea of Cheju-do in June 1997.	32
Fig. 22. Release points (\diamond) of TGPS floats in July 1997. Symbol '+' denotes for CTD stations.	36
Fig. 23. Time plots of position of TGPS floats. Thin line with 'x' and thick line represent raw and first processed data.	38
Fig. 24. Trajectories of three TGPS floats released in the southwestern sea of Cheju-do in June 1997.	43
Fig. 25. Buoy velocity calculated from position data after removing tidal components. The values are plotted every 6 hours.	44
Fig. 26. Vertical distributions of horizontal velocity of ADCP data after removing tidal currents in June 1997: (a) Section A; (b) Section B.	45
Fig. 27. Vertical profiles of mean observed and geostrophic flows perpendicular to the observation lines. The reference level for geostrophic flow is the bottom. Symbol ' \diamond ' denotes normal velocity component calculated from trajectories of TGPS floats: (a) Section A; (b) Section B.	46

제 1 장 서론

황해난류의 기원으로 알려진 대만난류의 기원에 대해서는 큐슈 서쪽의 골에서 쿠로시오로부터 분지된다는 주장 (Nitani, 1972)과 동중국해 대륙붕을 가로질러 북동진하는 대만난류의 연장이라는 주장 (Beardsley et al., 1985; Fang et al., 1991) 등 서로 다른 주장을 하였지만 황해난류는 제주도과 큐슈사이에서 대만난류와 분리되어 황해 동부역으로 유입하는 것으로 보였다. 그러나 최근 위성추적부이를 이용한 해류관측 결과는 황해난류가 대만난류로부터 분지된다는 학설을 뒷받침하지 않는다. 단지 제주도를 끼고 시계방향으로 돌아나가는 흐름이 관측되었고 이 순환은 황해로 진입하는 황해난류 부분과 혼돈을 피하기 위하여 제주난류라고 하였다 (Lie et al., 1988, 그림 1). 기존의 물리특성자료는 제주도 서쪽해역에 33.0 psu 이상의 혼합수가 연중 존재하며 (Lie, 1985) 제주도 연안가까이에는 제주도 주변을 시계방향으로 돌아 가는 34.0 psu 이상의 비교적 고염의 해수가 제주도 서안을 따라 좁은 폭으로 존재한다 (Lie, 1986; 김 등, 1991).

황해난류는 황해의 해수순환을 결정하는 가장 중요한 해양과정 중 하나이나 황해 내부로의 유입에 대해서는 아직까지 서로 다른 주장이 제기되고 있다. Uda (1934)가 제주도와 큐슈 사이에서 대만난류로부터 분지되어 제주도 서쪽해역을 지나 황해 동부해역을 통해 유입하는 황해난류의 순환 모식도를 처음 제시한 이후 여러학자들 (Nitani, 1972; Beardsley et al., 1985)에 의해 받아들여져 왔으나 Lie (1985, 1986), Park (1986), 김 등 (1991)은 고온, 고염의 해수가 순환모식도와 같은 경로를 따라 황해 내부로 진입하지는 않는다고 보고 하였다. 한편 Hsueh (1986)는 겨울철에서 봄철 사이에 바람장이 변함에 따라 난류수가 간헐적으로 유입한다고 하였고 Lie (1984)는 여름철 황해 동남해역의 북향류는 난류의 연장이 아니라 연안수와 황해냉수의 경계면을 따라 형성되는 밀도류로 보였다.

그러나 담수의 유입이 많은 황해가 염분을 유지하기 위해서는 어떠한 형태로든 고염수의 유입이 있어야 할 것이다. 기존 국내의 조사 연구는 주로 124° 30' E 동쪽의 황해 남동부역에 국한된 해역에서 관측한 자료를

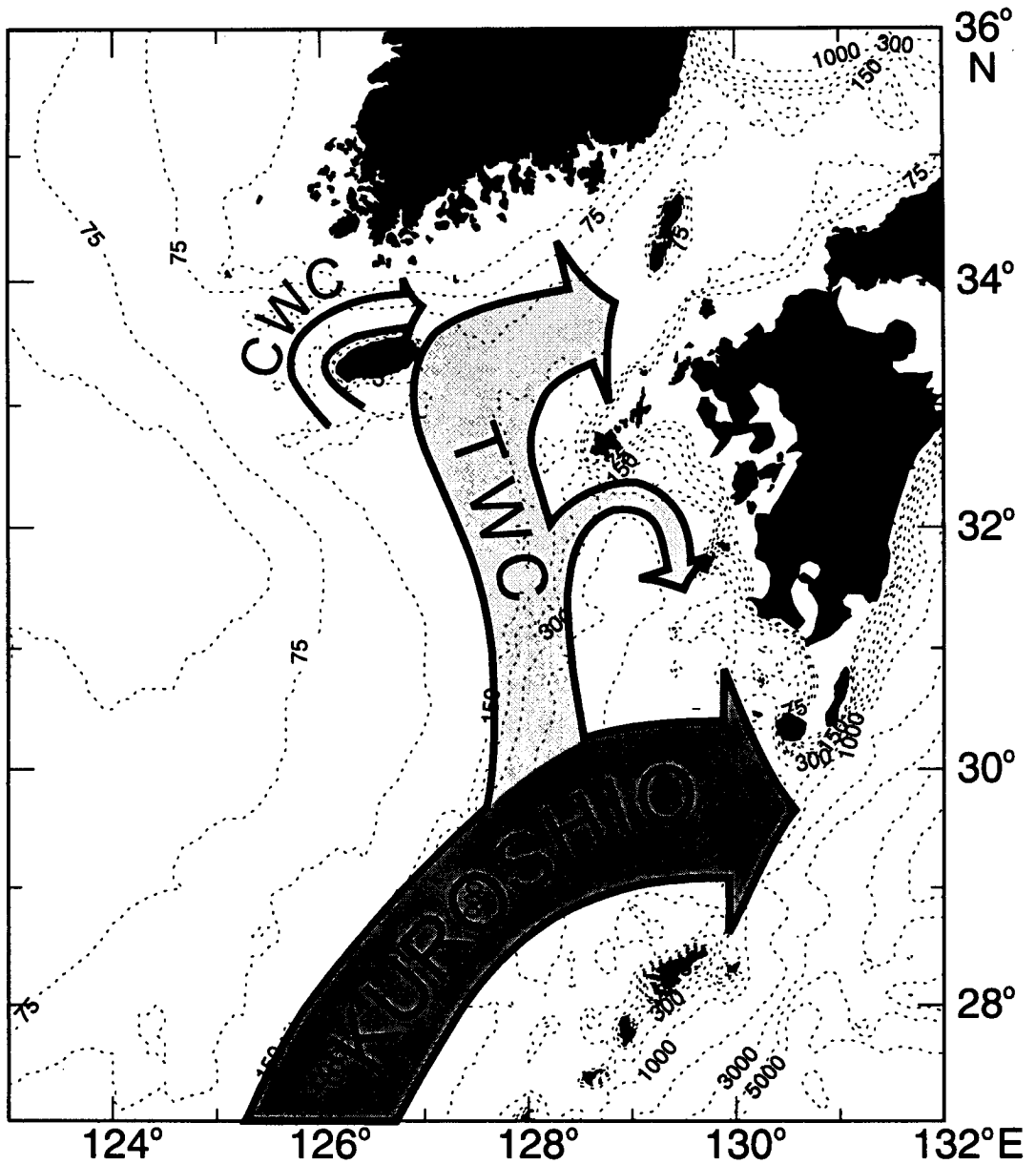


Fig. 1. A schematic surface circulation pattern in the eastern East China Sea and main path of the Tsushima Warm Current (TWC) during the cold season (after Lie et al.,1998).

이용한 것이어서 황해 남부해역을 통한 고염수의 유입을 파악하는데는 한계가 있다. 따라서 황해로 유입하는 고염수의 존재 유무를 파악하기 위해서는 중국쪽 해역까지 포함된 황해남부를 가로지르는 관측선에서의 자료 검토가 필요하다. 본연구에서는 황해남부를 통한 고온, 고염수 유입의 계절변화를 파악하고자 하였고, 제2장에서 황해남부를 가로지르는 단면과 제주도 서쪽의 남-북 단면에서 조사한 기존의 물리특성자료를 이용하여 고온, 고염수 분포의 계절변화를 검토하였고, 제3장에서는 인공위성추적부 이 자료의 분석 결과를 수록하였으며, 제주도 남서해역에서 수행한 TGPS 실험을 통한 현장관측 내용을 제5장에서 설명하였다.

제 2 장 제주도 서쪽해역 해수의 물리특성

제 1 절 자료

황해 남부해역에서 중국 연안역까지 연장된 관측선에서의 조사는 1986년 1월과 7월 한국-미국-중국의 황·동중국해 국제공동조사시 수행되었고 한국해양연구소의 '황해의 해양환경과 실시간 예측시스템 연구 (1993-1994)'와 '동중국해의 해양순환 연구 (1994-1997)' 등의 사업에서 비 정기적으로 이루어 졌다. '한국해역 종합 해양환경도 작성연구-남해' 연구 사업에서는 국립수산진흥원의 정기 관측선보다 좀 더 서쪽으로 확장된 해역 ($123^{\circ} 30' E$ 동쪽 해역)에서 관측한 바 있다. 이 들 연구사업에서 관측한 자료중 황해남부를 동-서로 가로지르는 단면과 제주도 서쪽 $126^{\circ} E$ 남북 단면에서 관측한 자료를 바탕으로 황해난류수의 특성인 고온, 고염수 분포 영역을 중점적으로 분석하였고 여름철 상층에 존재하는 저염수에 대한 논의는 제외하였다. 수집된 자료가 약 10여년에 걸쳐서 비정기적으로 얻어진 것으로 해황변화의 연속성을 분석하기에는 문제가 있으나 계절 변화를 파악하기 위하여 월별 순으로 정리하였다. 황해남부를 가로지르는 관측선은 $34^{\circ} N$ 과 $33^{\circ} 30' N$ 동-서 관측선, 진도-중국연안 관측선과 진도-양자강 관측선 등으로 관측시기에 따라 다소 차이가 있다. 본연구에서 사용된 자료의 관측선 위치는 그림 2에 표시하였다.

제 2 절 황해남부의 동서단면

1986년 1월 ($34^{\circ} N$ 동서단면, 관측선 A) (그림 3)

중국연안쪽과 한국 연안쪽 정점을 제외하고는 수직적으로 균질한 분포를 보인다. 골 중앙부의 수심 40 m 이하의 저층에는 수온이 $12^{\circ} C$ 이상이고 염분이 33.3 psu 이상인 주변보다 상대적으로 고온, 고염의 핵이 존재하며 최대염분은 골 중앙부의 해저면 근처에서 33.5 psu 이상이다.

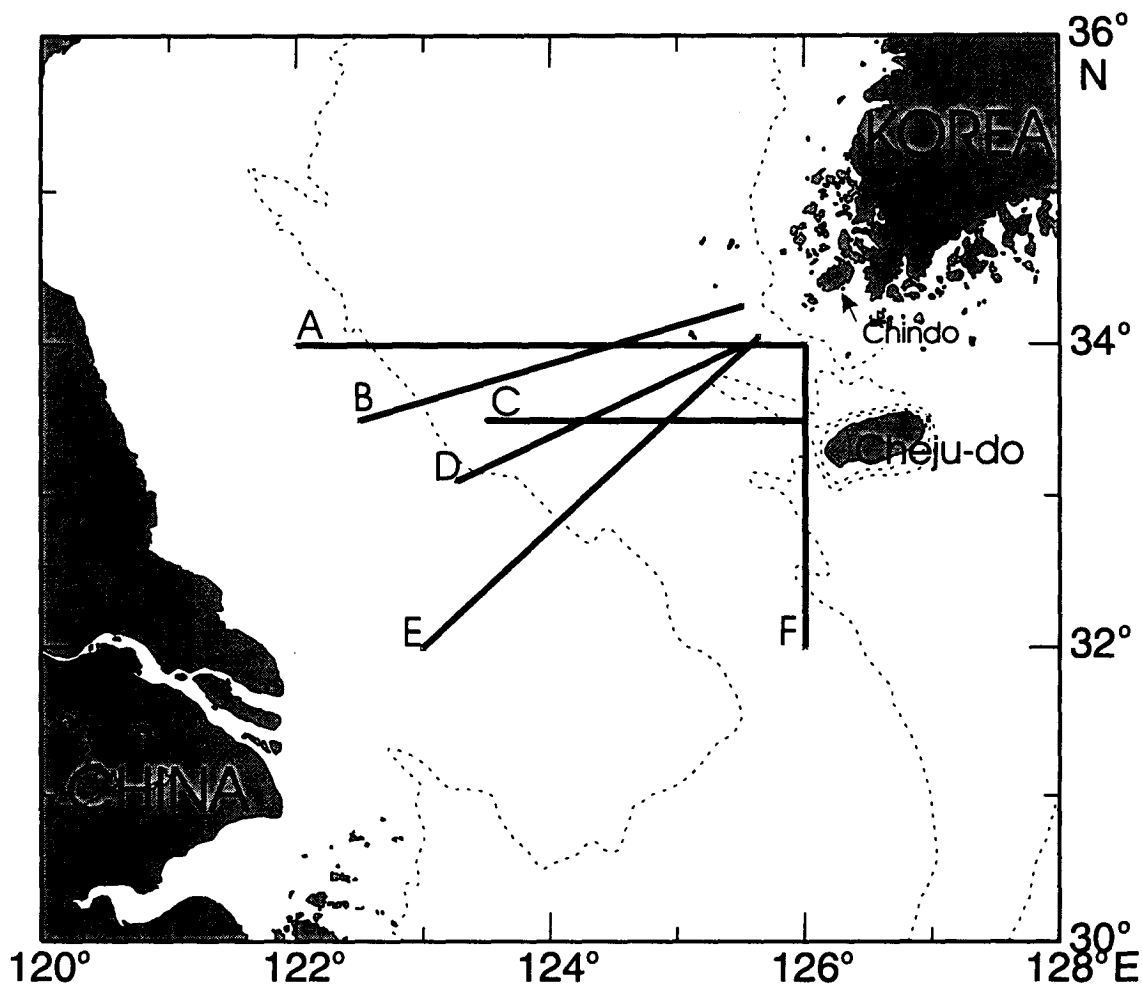


Fig. 2. Study area showing CTD observation lines in southern Yellow Sea.

1993년 2월 (진도-양자강 단면과 34° N 단면, 관측선 E와 A) (그림 4, 5)

진도-양자강 단면은 황해 남부해역을 북동-남서 방향으로 비스듬히 가로지르는 관측선으로 상에서는 골 중국쪽 사면역의 124° 30' - 125° E 사이에 수온이 12 °C 이상이고 염분이 34.4 psu 이상인 고온, 고염의 해수가 분포한다. 고온, 고염수가 존재하는 위도는 33° 30' N에 해당한다. 이 고온, 고염수는 34° N 단면에서도 골의 왼쪽 사면의 123° 30' E 부근 수심 35 m 아래의 저층에 존재하여 (11 °C 이상, 34.0 psu 이상) 골 왼쪽 사면을 따라 연결되는 모양을 보여준다. 이러한 분포는 황해난류가 골의 서쪽사면을 따라 북서쪽으로 유입할 가능성을 제시해 준다.

1993년 4월 (34° N 단면, 관측선 A) (그림 6)

한국 연안쪽의 125° 30' E 부근의 수심 30 m 아래에는 34.4 psu 이상인 고염수가 존재한다. 2월에 123° 30' E 부근의 저층에만 존재하였던 34.0 psu 이상인 고염수는 125° E 동쪽의 전층에 분포하며 수심 40 m 아래의 저층에서는 서쪽으로 123° 30' E 까지 분포한다. 염분값은 2월에 비해 전반적으로 증가하였고 특히 한국연안쪽에서 고염화가 뚜렷하였다. 이러한 염분변화는 2월과 4월 사이에 고염수가 북쪽으로 확장되었고 한국연안쪽에서 고염수의 북상이 강하였음을 시사해 준다.

1995년 5월 (진도-중국연안 단면, 관측선 D) (그림 7)

관측선은 33° N - 34° N 사이를 동서로 비스듬히 가로질러 위치한다. 중국 연안쪽의 정점을 제외하고 수심 약 20 m 부근에서 성층이 되어 있으며 34.4 psu 이상의 최고 염분수는 한국연안쪽 정점의 약층 아래에 존재한다. 이 고염수 핵과는 별도로 골의 중국쪽 사면역의 124° 30' E 부근의 성층 아래에는 34.0 psu 이상의 고염수가 분포한다.

1994년 7월 (진도-중국연안 단면, 관측선 B) (그림 8)

골 중심부의 왼쪽 124° - 124° 30' E 의 수심 40 m 이하에는 9 °C 이하의 저층냉수가 존재한다. 저층냉수를 중심으로 양 옆의 수심 30 m 아래에는 33.2 psu 이상의 주변보다 상대적으로 염분이 높은 해수가 분포하는데 저층냉수 서쪽의 123° - 123° 30' E의 저층에 존재하는 해수의 염분이 동쪽에서보다 높다. 저층냉수 서쪽에 존재하는 고염수는 겨울철과 봄

철에 골 좌측사면에 존재하였던 고염수가 주변 해수와 혼합되어 남아있는 흔적일 것으로 사료된다.

1994년 9월 (진도-중국연안 단면, 관측선 D) (그림 9)

골 서쪽 사면 $124^{\circ} - 125^{\circ} 30' E$ 사이의 수심 30 m 이하에는 $11^{\circ} C$ 이하의 저층냉수가 분포하고 있다. 저층냉수 양 쪽에는 33.2 psu 이상의 해수가 분포한다. 1994년 7월에 비해 저층냉수의 수온은 약간 상승하였고 저층냉수 서쪽에 분포하는 고염수의 염분은 다소 낮아졌으나 저층냉수와 고염수의 분포는 7월의 구조가 기본적으로 유지되고 있음을 보여준다.

1996년 10월 (진도-중국연안 단면, 관측선 D) (그림 10)

$10^{\circ} C$ 이하의 저층냉수는 골 중국쪽 사면역의 $123^{\circ} 40' - 124^{\circ} 20' E$ 사이에 분포하여 7월과 9월에 비해 서쪽에 치우쳐 존재한다. 저층냉수의 동쪽에는 33.5 psu 이상의 고염수가 수온약층 아래에서 한국 서쪽 연안까지 넓게 분포한다. 여름철에 존재하였던 저층냉수 서쪽의 고염수는 보이지 않는데 관측년도가 달라서 해석에 다소 무리가 있기는 하나 10월에는 동쪽 고염수가 서쪽으로 확장하여 저층냉수를 밀어내면서 소멸된 것으로 추측된다.

1986년 11월 ($33^{\circ} 30' N$ 과 $34^{\circ} N$ 동-서 단면, 관측선 C와 A) (그림 11, 12)

$33^{\circ} 30' N$ 단면의 수온, 염분 분포는 10월에 강하게 형성되었던 2층 구조가 11월에 깨지는 현상을 잘 보인다. 제주도 북서쪽 $126^{\circ} E$ 부근의 표층에서 $124^{\circ} E$ 의 해저면에 이르는 층을 경계로 약층이 형성되어 있다. 제주도 서부해역인 $125^{\circ} 15' E$ 동쪽의 약층 아래에는 34.0 psu 이상의 고염수가 분포한다. 골 서쪽 사면에 위치하는 $124^{\circ} - 124^{\circ} 30' N$ 의 수심 50 m 아래의 저층에는 수온이 $20^{\circ} C$ 이상이고 염분이 34.0 psu 이상인 고온, 고염수의 핵이 존재하며, 수온은 관측선에서 최고수온을 보인다. $34^{\circ} N$ 단면의 수직분포는 $125^{\circ} E$ 서쪽에는 수심 약 50 m 층을 경계로 강한 성층이 형성되어 있으나 한국 연안쪽에는 비교적 수직적으로 균질한 분포이다. 염분은 전 관측선에서 33.5 psu 이하이며 $33^{\circ} 30' N$ 단면의 골 서쪽 사면에 분포하였던 고온, 고염수는 보이지 않았다.

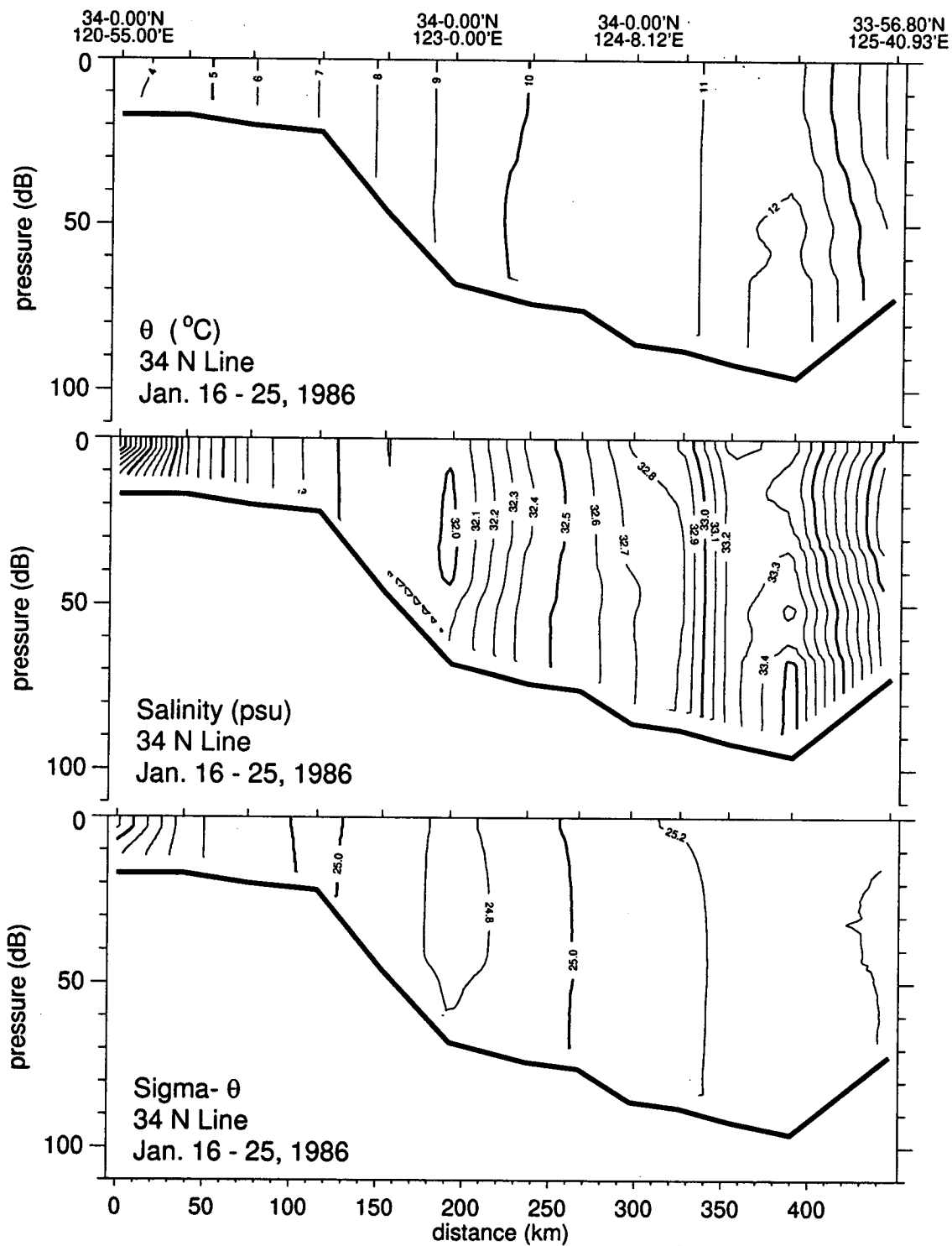


Fig. 3. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in January 1986.

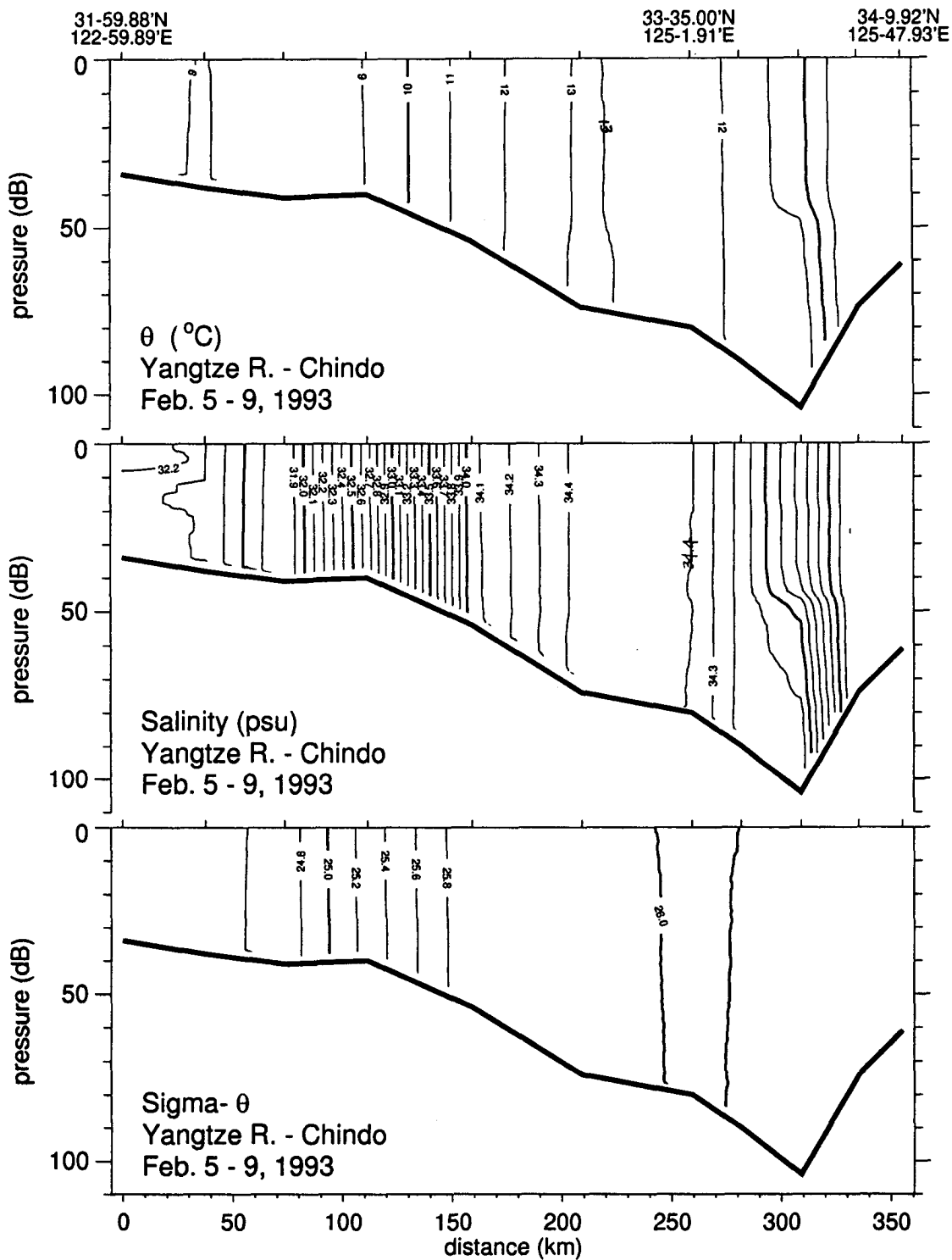


Fig. 4. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section E in February 1993.

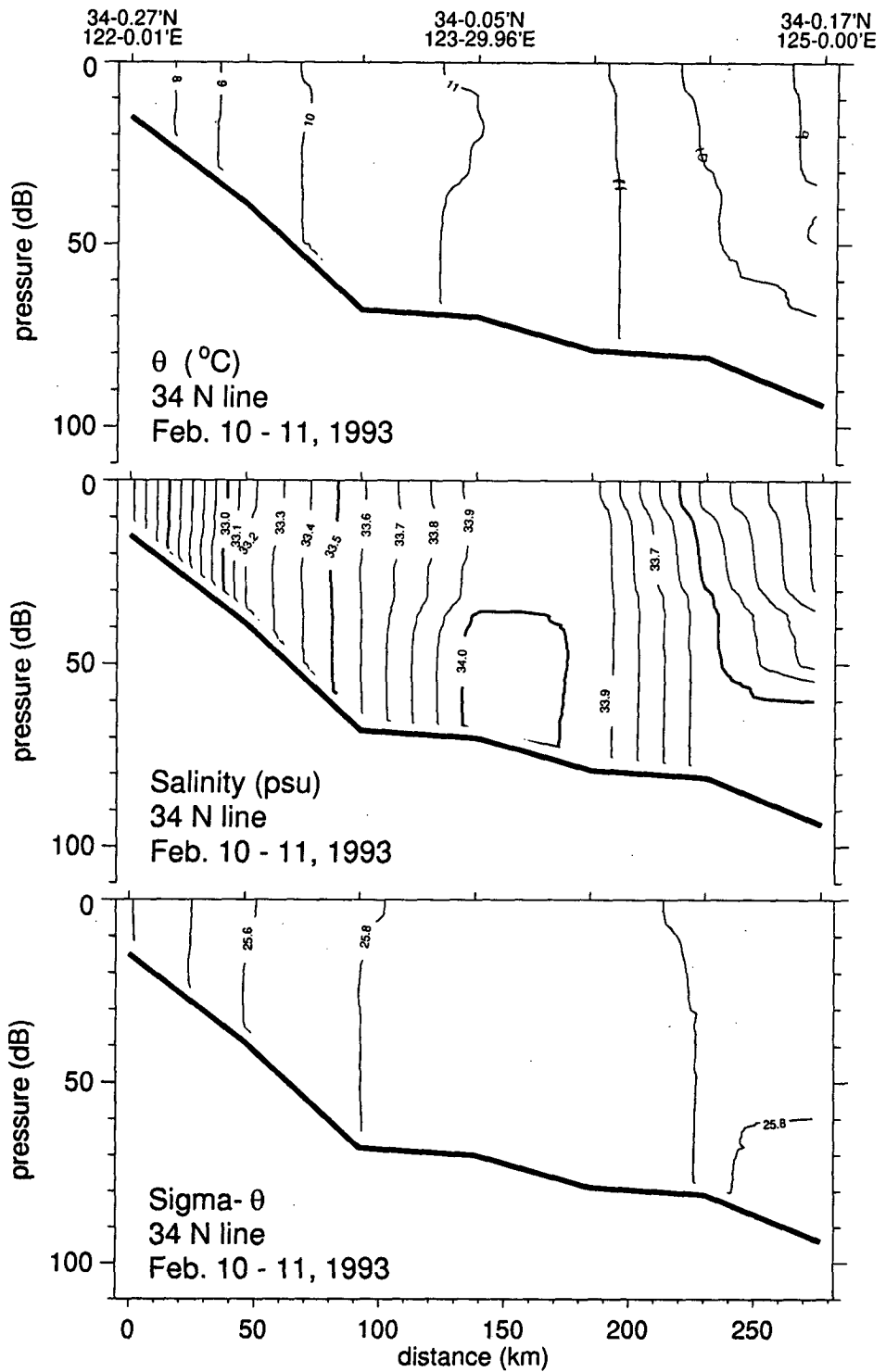


Fig. 5. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in February 1993.

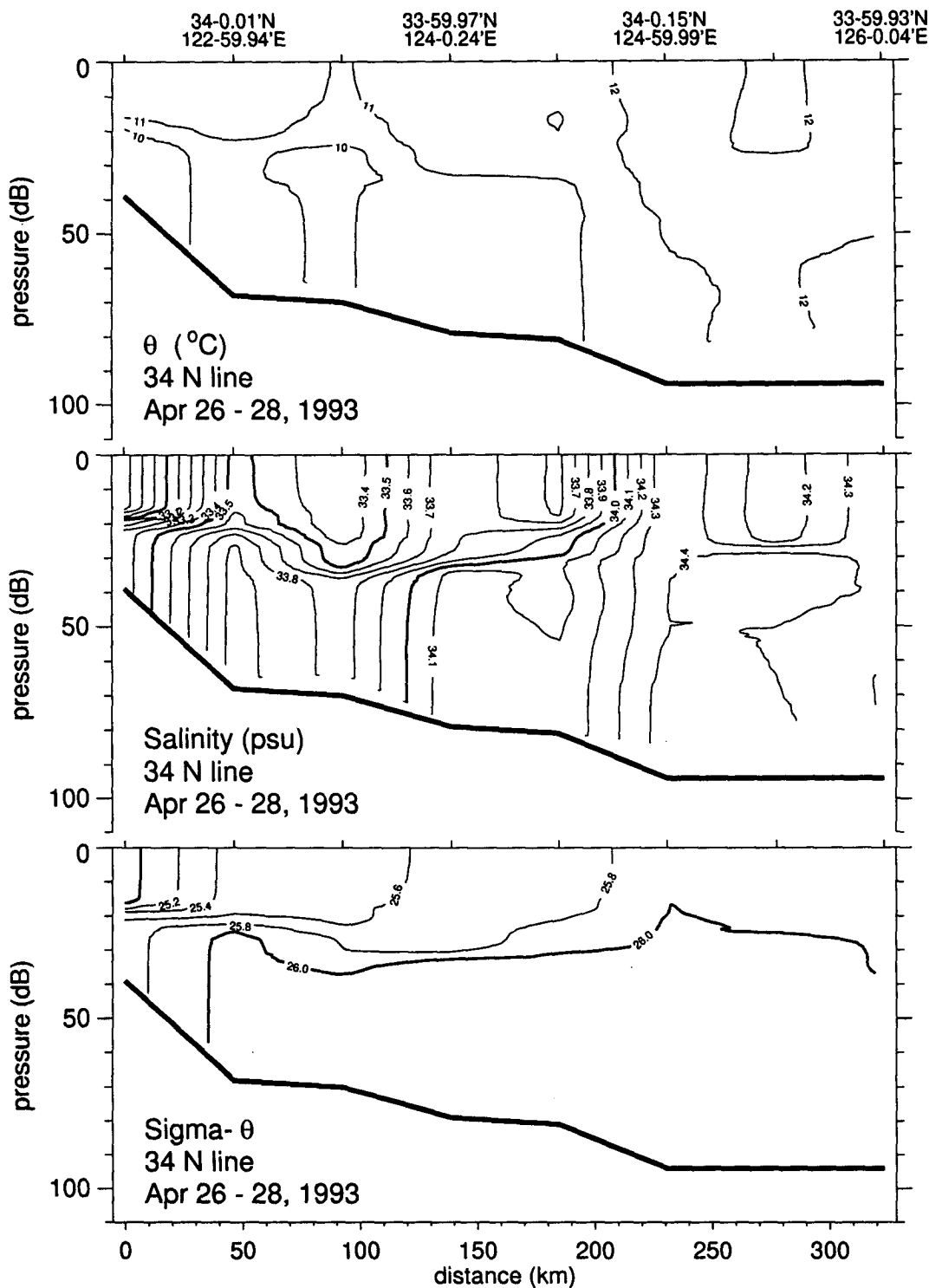


Fig. 6. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in April 1993.

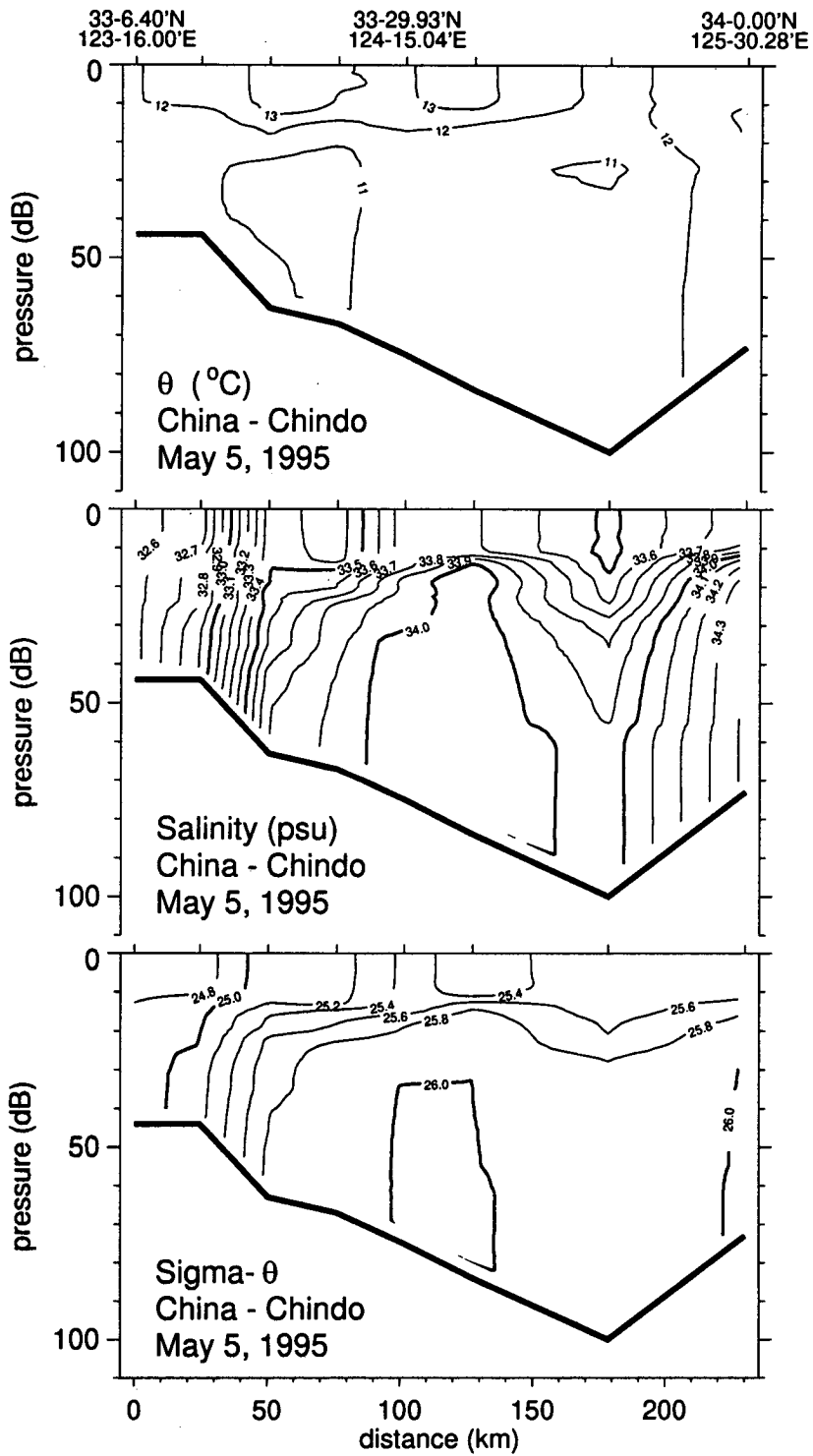


Fig. 7. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in May 1995.

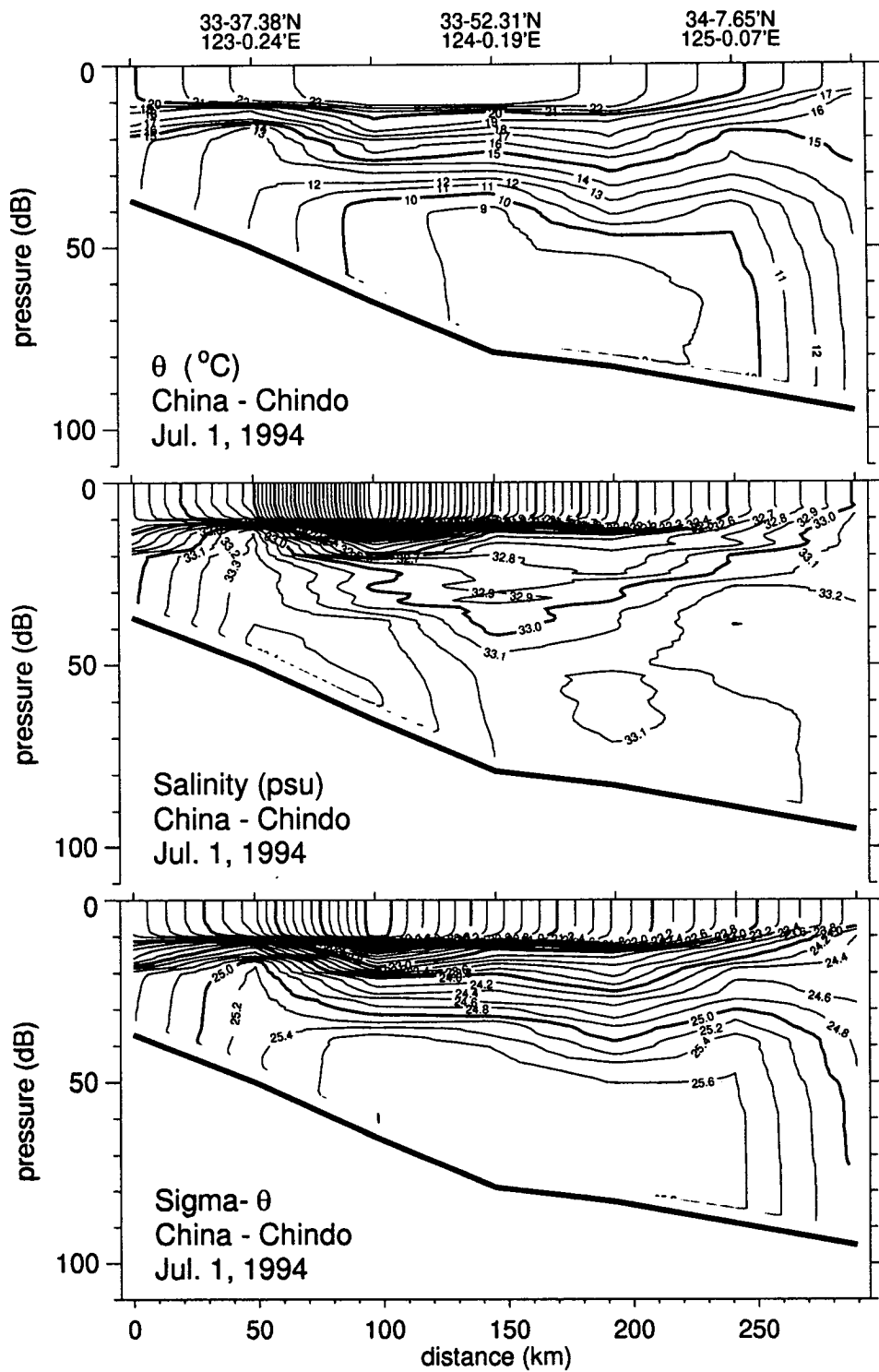


Fig. 8. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section B in July 1994.

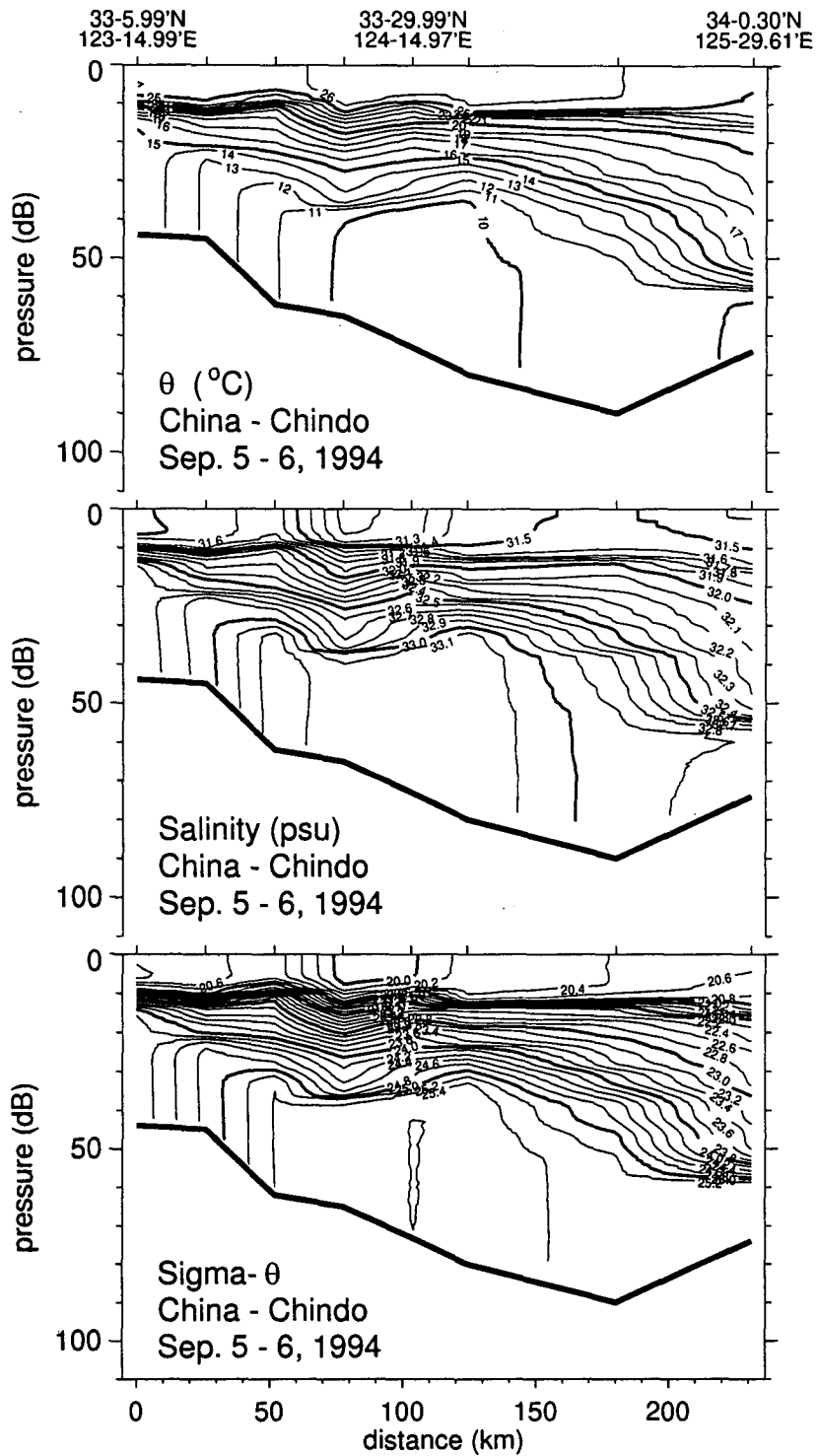


Fig. 9. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in September 1994.

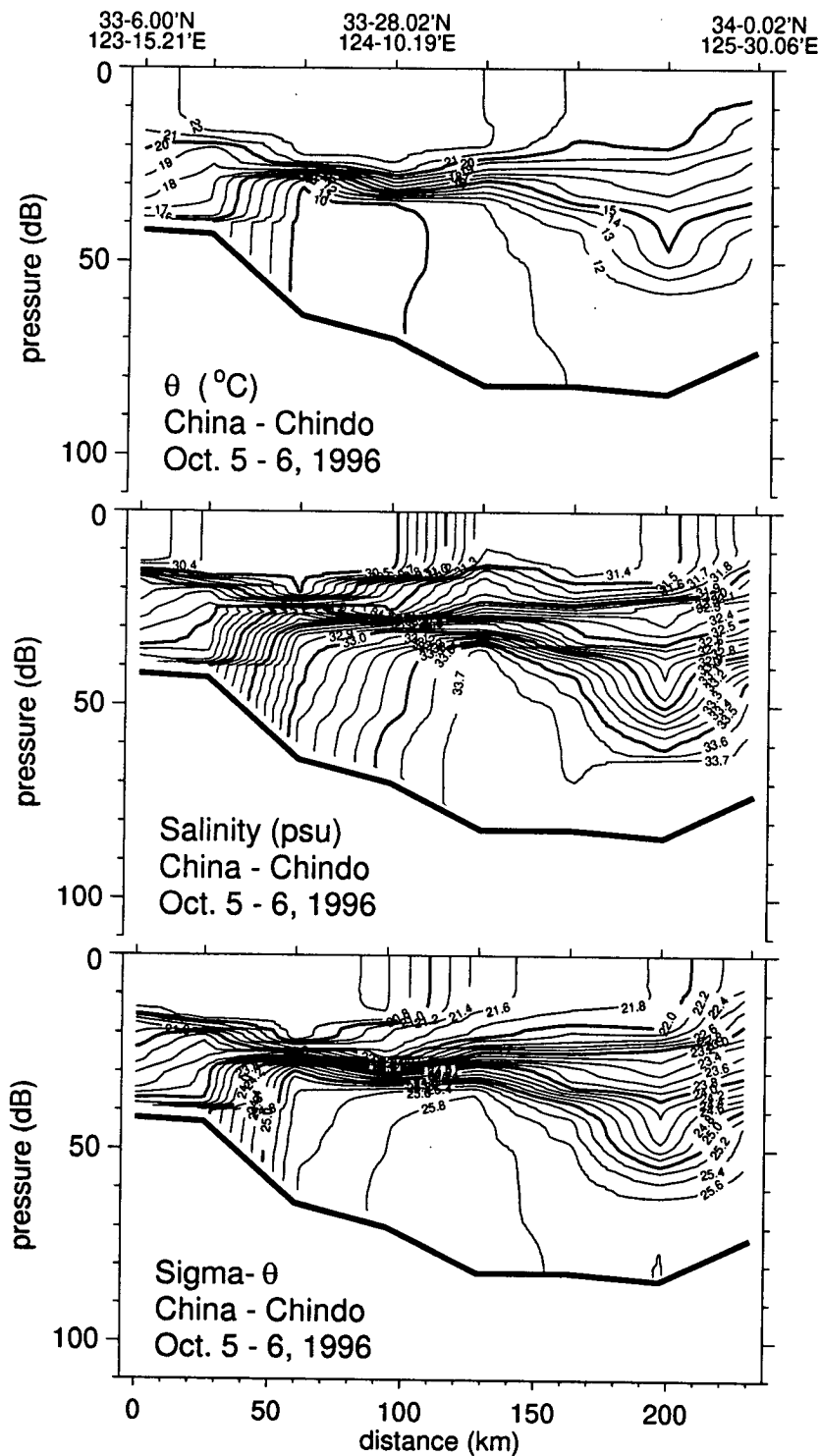


Fig. 10. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section D in October 1996.

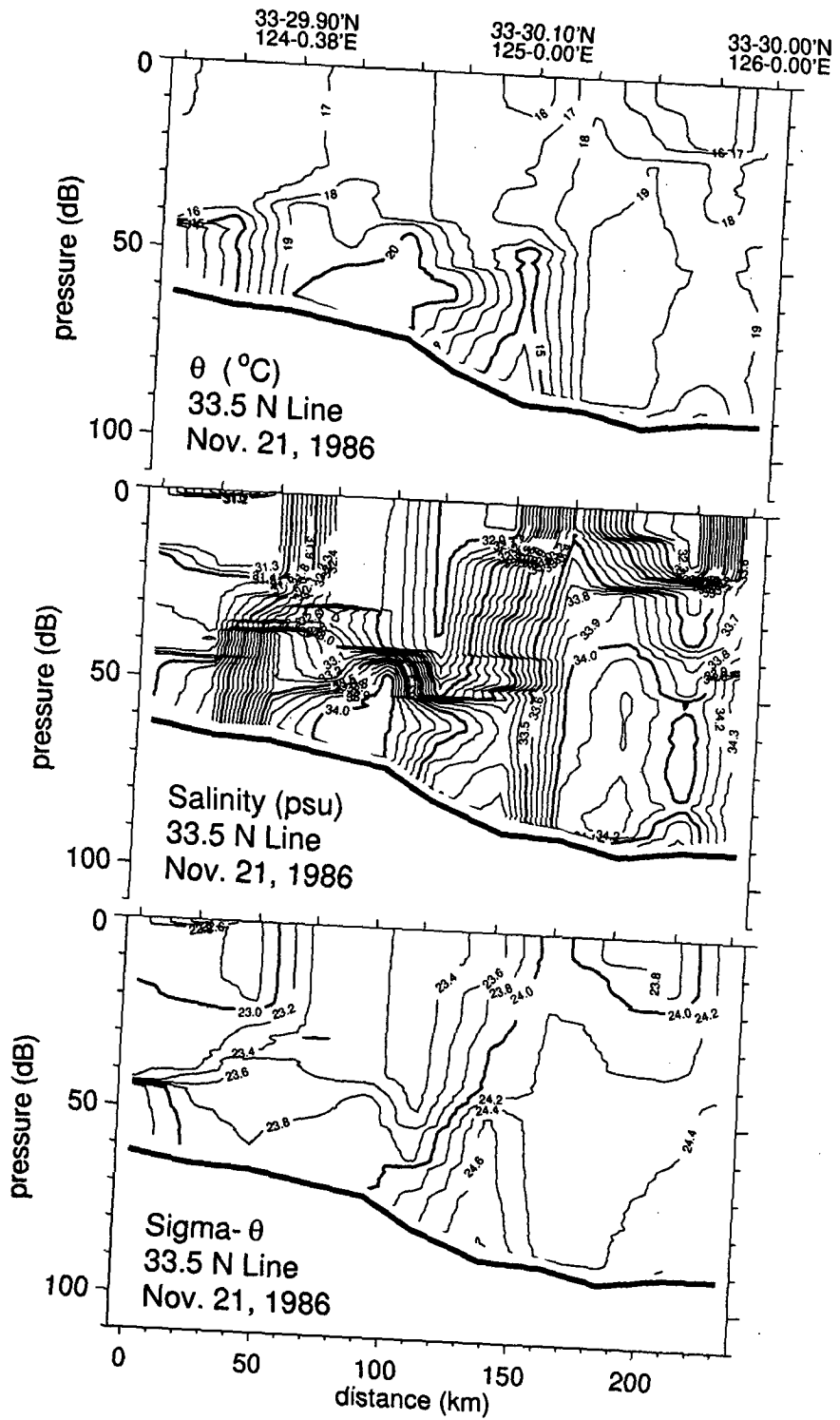


Fig. 11. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section C in November 1986.

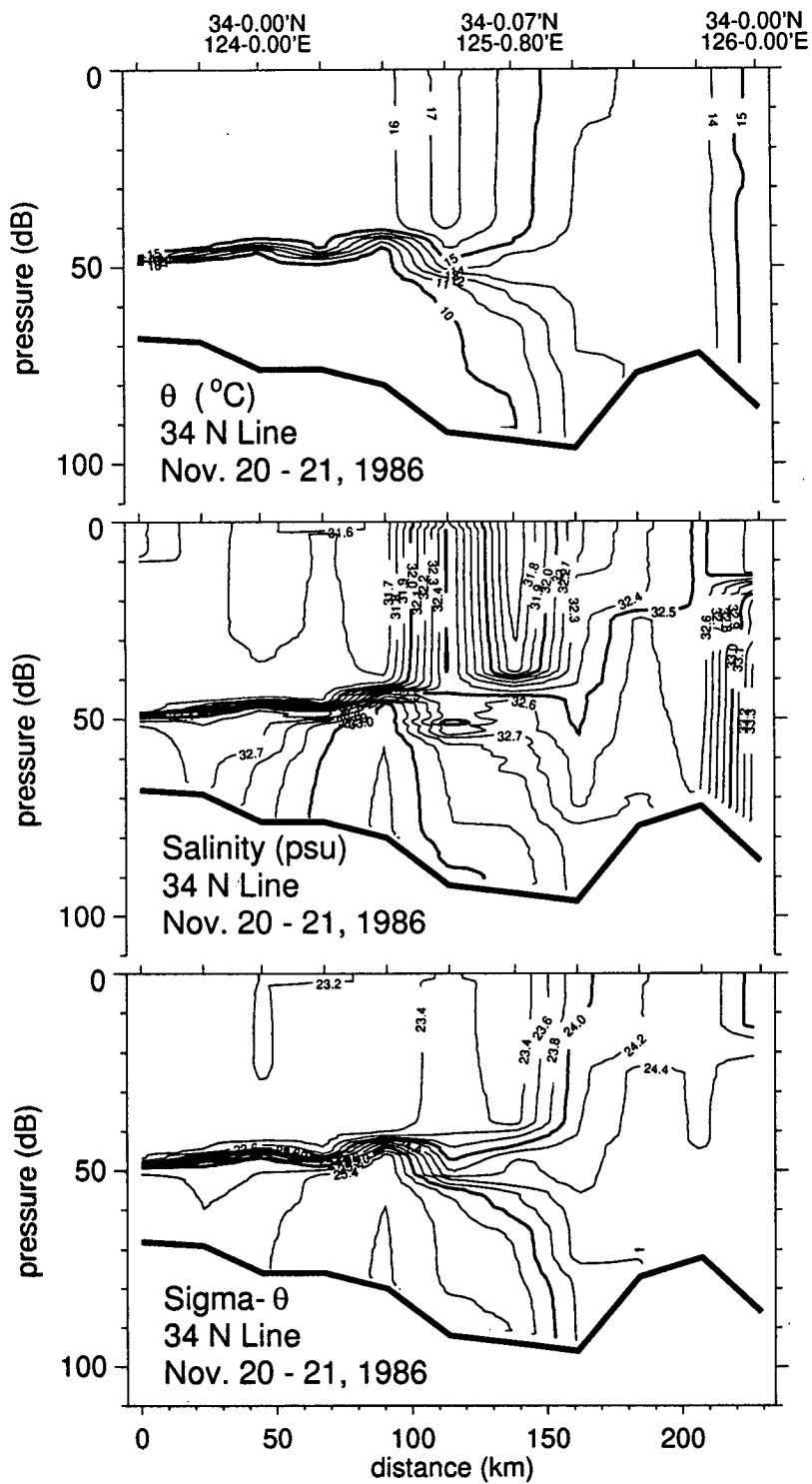


Fig. 12. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section A in November 1986.

제 3 절 제주도 서쪽 126° E 남북 단면

1997년 3월 (그림 13)

제주해협 서쪽 입구역은 수직적으로 균질한 분포이며 제주도 북서단의 33° 30' N에는 34.5 psu 이상의 고염수가 존재하며 전 관측선에서 34.0 psu 이상의 고염수가 분포하였다. 한편, 강력한 열·염 전선이 제주도 북서단에 위치하고 있음을 보인다.

1995년 5월 (그림 14)

제주도 남서쪽 33° - 33° 15' N 의 상층에는 수온이 15 °C 이상이고 염분이 34.5 psu 이상인 고온, 고염수가 존재하며 수심 40 m 아래에서는 제주도 서쪽에 위치한 정점에만 좁게 분포한다. 34.0 psu 이상의 고염수는 32° 40' N 이북의 정점에서 전 층에 걸쳐 분포한다. 제주도 남서쪽에는 강한 염분전선이 형성되었다.

1994년 6월 (그림 15)

제주도 서쪽 33° 20' N 이남의 수심 50 m 아래에는 34.0 psu 이상의 고염수가 분포하고 제주해협 서쪽 입구역에는 염분이 33.8 psu 정도인 12 °C 이하의 저온수가 분포하여 제주해협 부근으로 저층냉수가 확장됨을 시사해 준다.

1994년 9월 (그림 16)

34.0 psu 이상의 고염수가 제주도 남서쪽 32° 30' - 33° 15' N 사이의 수심 50 m 층 부근과 제주도 서쪽에 위치한 33° 15' N 의 아래층에 국한하여 분포한다. 수심 50 m 저층에는 고염수 양쪽에 15 °C 이하의 저온수가 분포한다.

1996년 10월 (그림 17)

제주해협 서쪽 입구역의 수심 50 m 아래에는 12 °C 이하의 저온수가 분포하며 관측선의 남쪽 32° - 32° 50' N의 저층에는 34.0 psu 이상의 고

염수가 점유하고 있다.

1992년 11월 (그림 18)

제주해협 이남에는 34.0 psu 이상의 고염수가 분포하며 최고염분수는 $32^{\circ} - 33^{\circ} 20' N$ 의 수심 80 m 아래의 저층에 존재한다. 제주해협 서쪽 입구의 수심 50 m 상층에는 강한 열·염 전선이 형성되어 있다.

1993년 12월 (그림 19)

수온과 염분 분포는 1992년 11월과 비슷하며 제주도 서쪽에 존재하는 고염수의 염분이 34.5 psu 이상으로 11월에 비해 약간 높았다.

이상의 자료를 바탕으로 염분 34.0 psu 이상의 고염수 분포를 기준으로 제주도 서쪽의 $126^{\circ} E$ 남북단면에서 고염수 분포의 계절변화는 다음과 같이 요약할 수 있다. 동계에 전 관측선에서 존재하는 고염수는 초여름에 저염의 저층냉수가 제주해협 입구역으로 확장하면서 남쪽으로 밀려나고 여름철에는 저층냉수의 세력이 더 강하게 되어 제주도 남쪽해역까지 미치게 되나 제주도 서쪽 연안 가까이 성층아래에는 고염수의 분포가 지속된다. 가을에는 남쪽의 저층에서부터 고염수가 북쪽으로 확장하면서 저염수는 북쪽으로 밀려 올라가게 되어 동계에는 제주해협을 가로질러 열·염 전선을 형성한다.

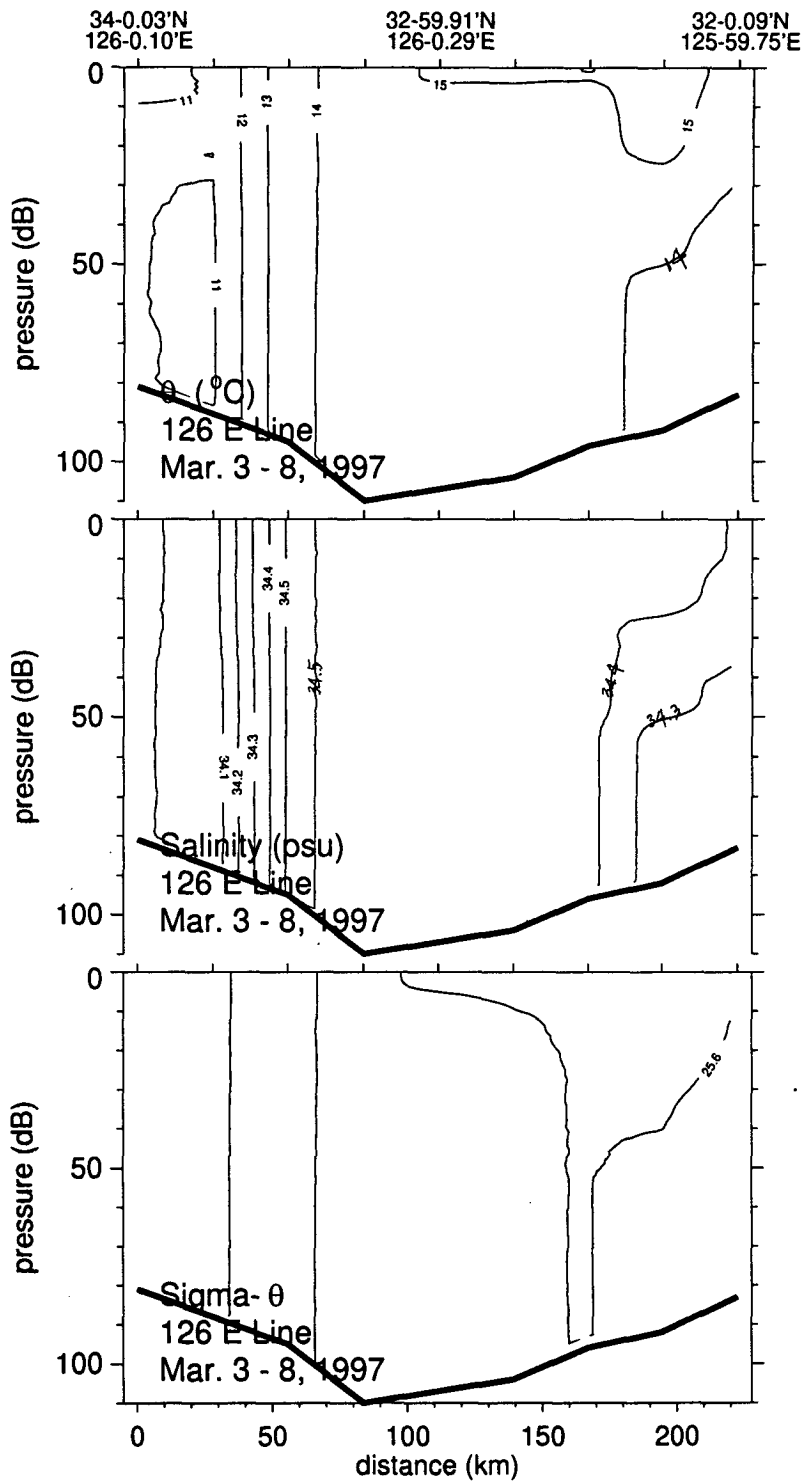


Fig. 13. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in March 1997.

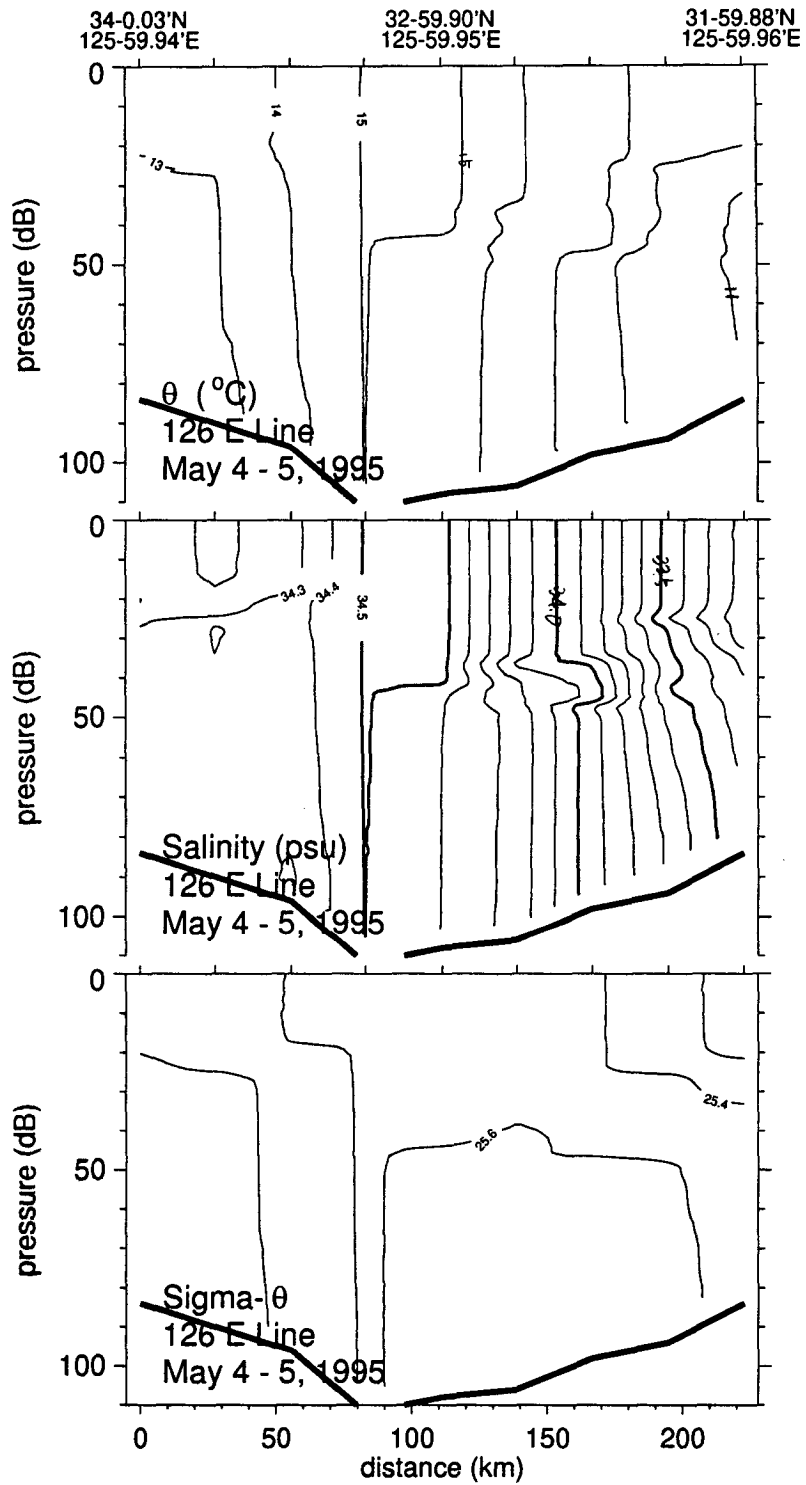


Fig. 14. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in May 1995.

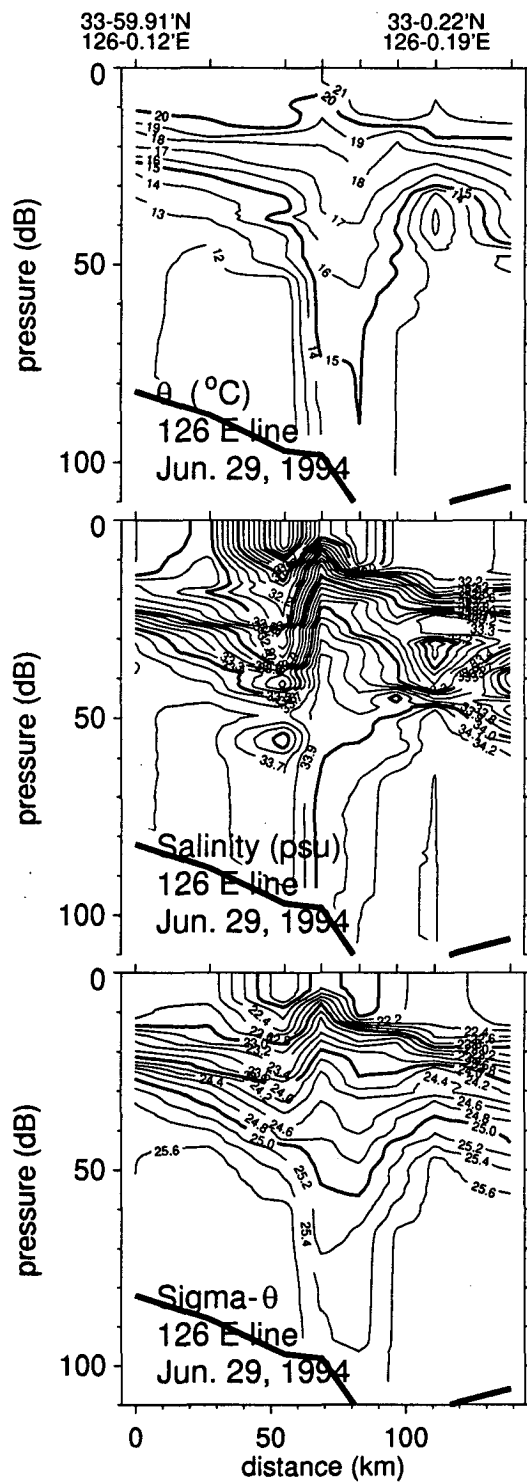


Fig. 15. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in June 1994.

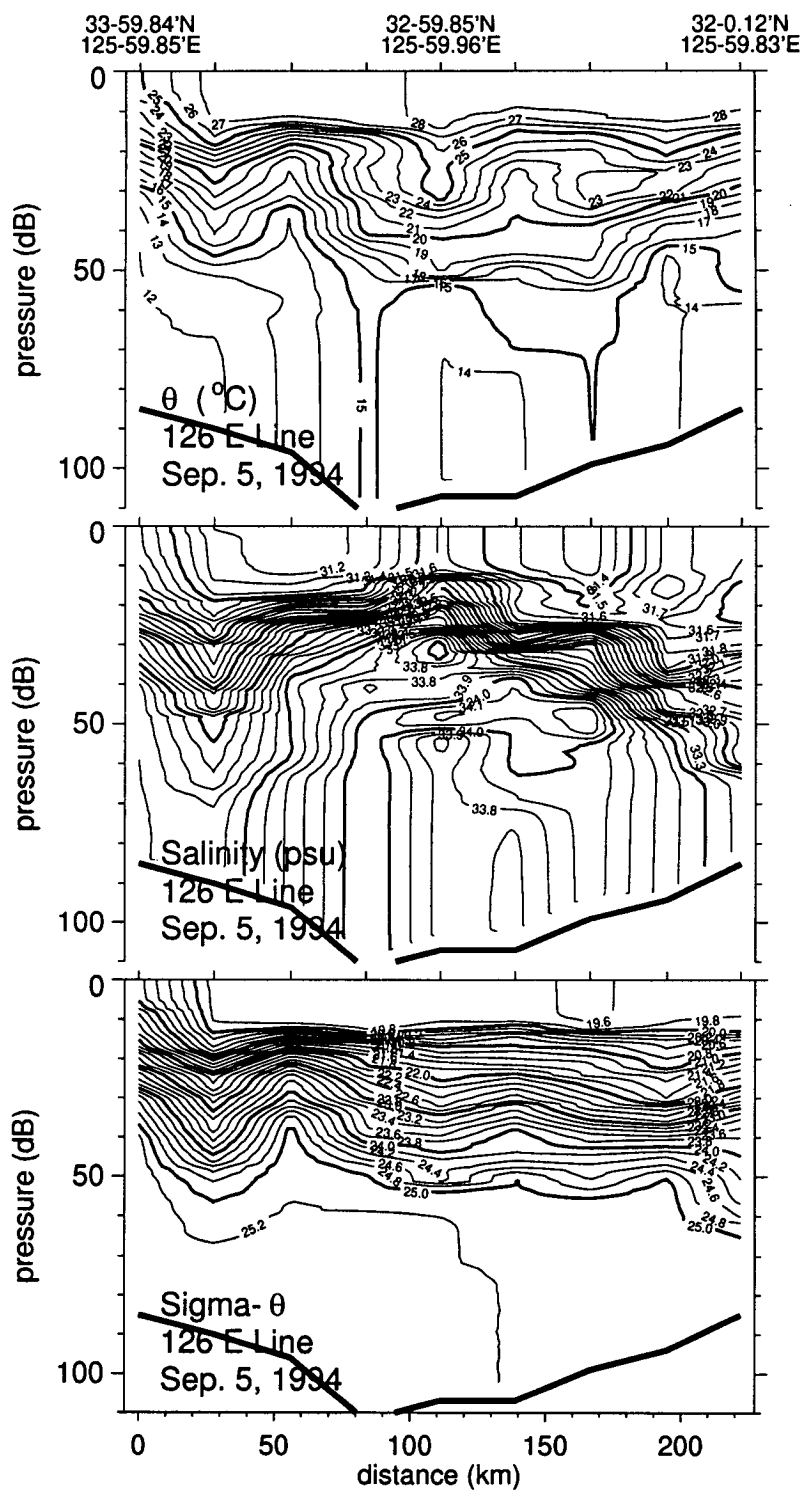


Fig. 16. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in September 1994.

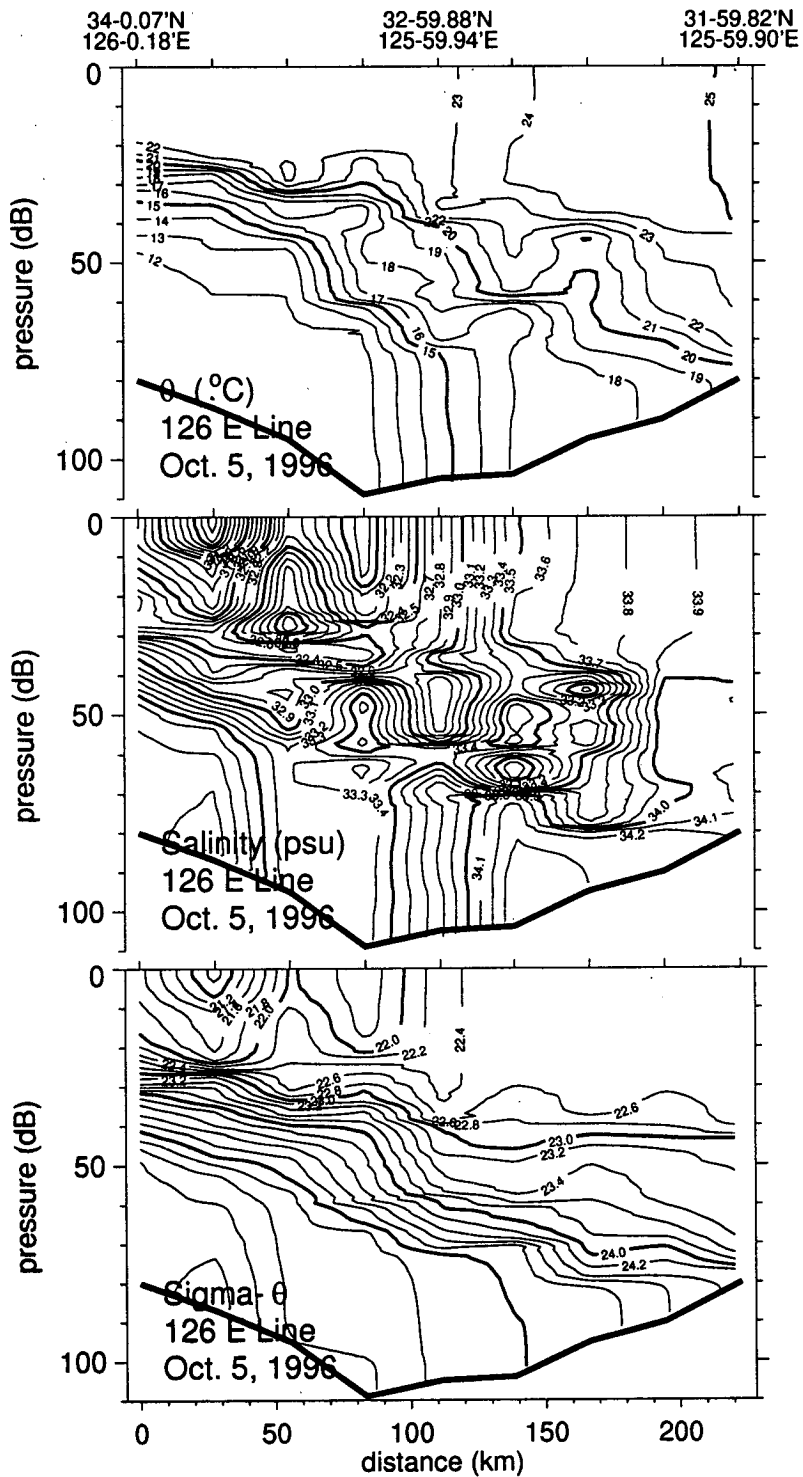


Fig. 17. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in October 1996.

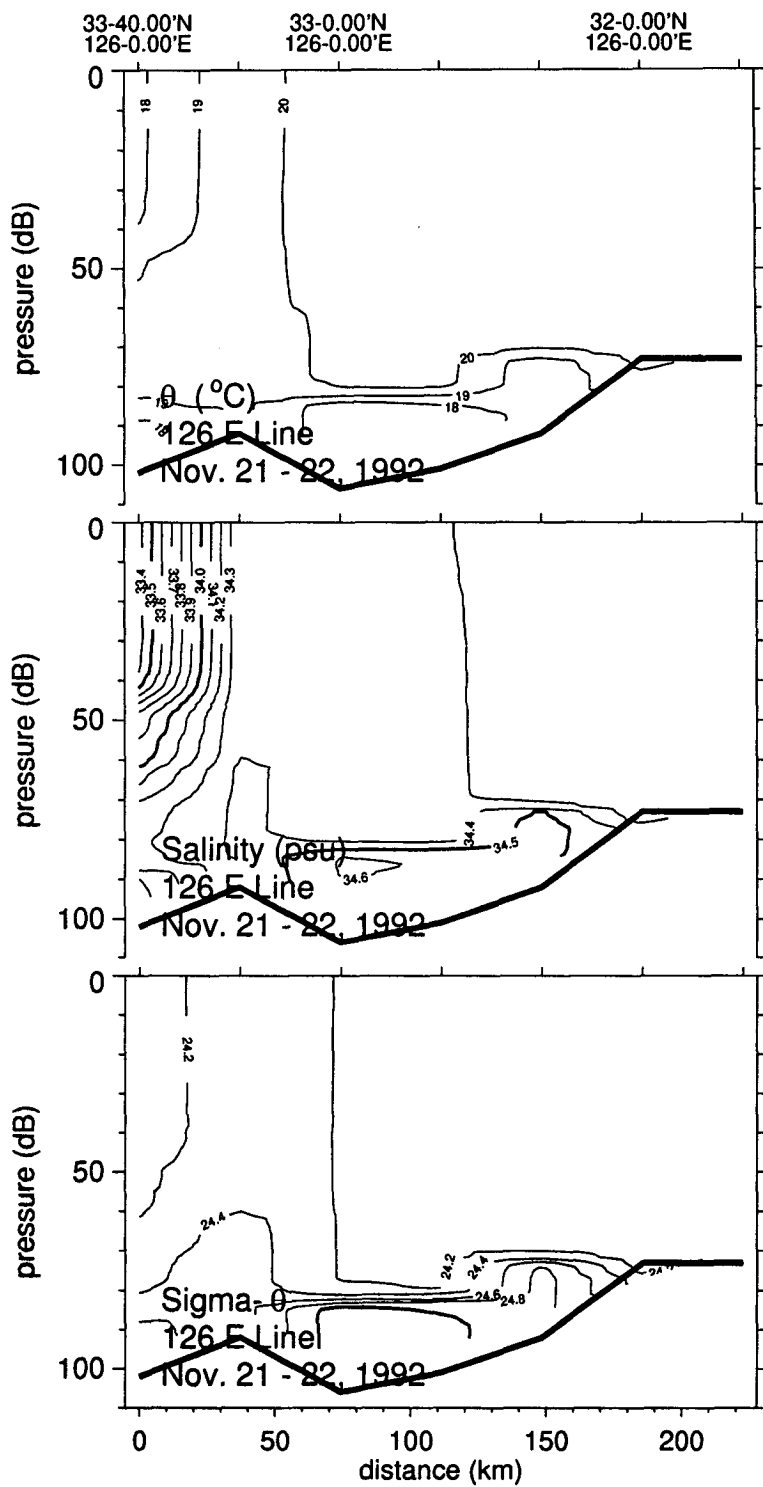


Fig. 18. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in November 1992.

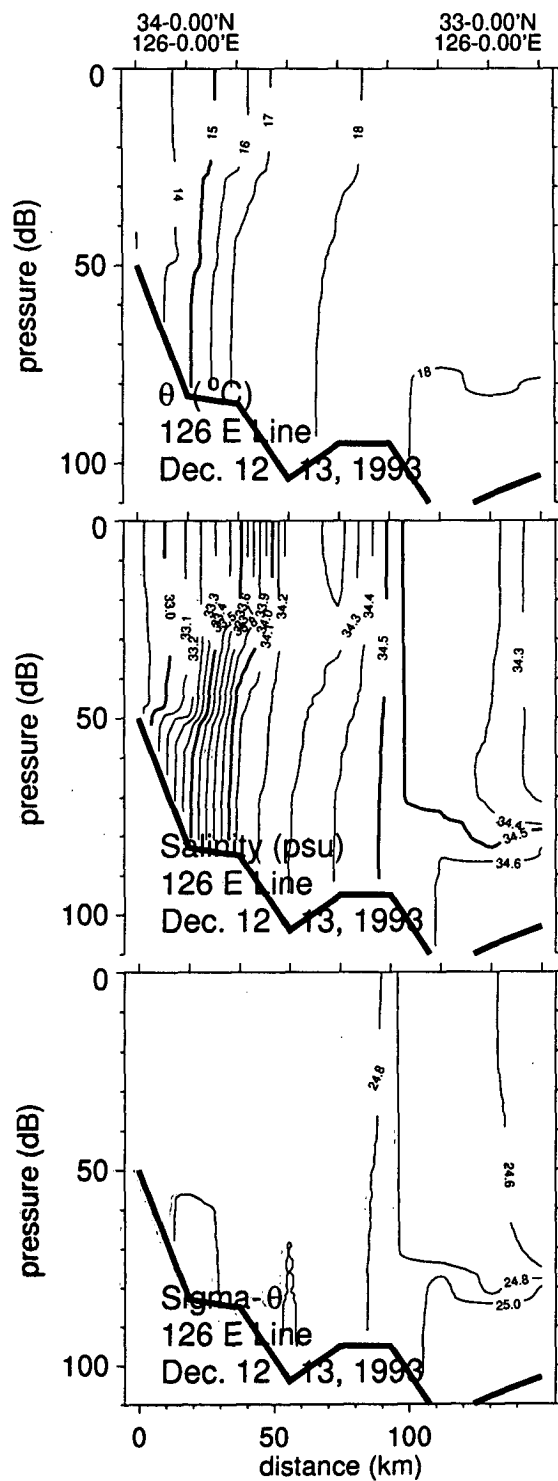


Fig. 19. Vertical distributions of temperature, salinity and density in the section F in December 1993.

제 3 장 위성추적부이에 의한 해류조사

제 1 절 자료

위성추적부이에 의한 해류조사는 Lagrangian 방법으로 표류부이를 해상에 투하하여 부이의 위치를 극좌도를 선회하는 위성으로 모니터링하여 해류의 유속과 공간구조를 조사하는 것으로 국내에서는 1991년부터 동중국해 연구사업에서 수행되어왔다. 사용한 자료는 1997년 3월과 6월에 기관고유사업인 '동중국해 중·서부해역의 해양순환' 연구사업에서 제주도 남서해역에 투하한 위성추적부이실험 자료이다.

제 2 절 늦겨울 상층해류

그림 20은 1997년 3월 7-9일에 제주도 남서해역의 양자강퇴 북서쪽 사면역에 투하한 위성추적부이 이동궤적이다. 수심 90 m의 깊은 골에 투하한 부이 (끝개수심 15 m)는 투하후 처음 6일간 약 10 cm/s 속도로 서북서진하다가 3월 15일경 남쪽으로 방향을 바꾸어 약 10일간 양자강퇴 북서쪽 등수심선을 가로질러 남진하였다. 남진 평균 유속은 20 cm/s로 비교적 빠르게 이동하였으며 이후 양자강퇴 위에서 서쪽으로 이동하여 양자강 입구역에 도달하였다.

양자강퇴 북서단 수심 51 m에 투하한 부이 (끝개수심 15 m)는 처음 10일간 시계방향으로 도는 불완전한 원의 궤적을 그린후 3월 말부터 평균유속 3 cm/s이하의 미약한 속도로 동진하여 양자강퇴를 벗어난 후 4월 하순에서 6월 중순까지 제주도 남쪽 31.5° N, 126.3° E 주변에서 정체하였다. 6월 14일 이후 부이는 북상하기 시작, 6월 20일경 100 m 등수심선을 통과하여 10-20 cm/s의 속도로 제주도 남쪽까지 북상한 후 제주도 남서해역을 지나 북동진한 것으로 보아 제주도 남쪽에서 북상하는 대마난류에 합류한 것으로 보인다. 양자강퇴 동쪽 수심 59 m에 투하한 부이는 끝개수심이 40 m 이며 투하후 2일간만 자료를 송신하였고 관측기간 동안 평

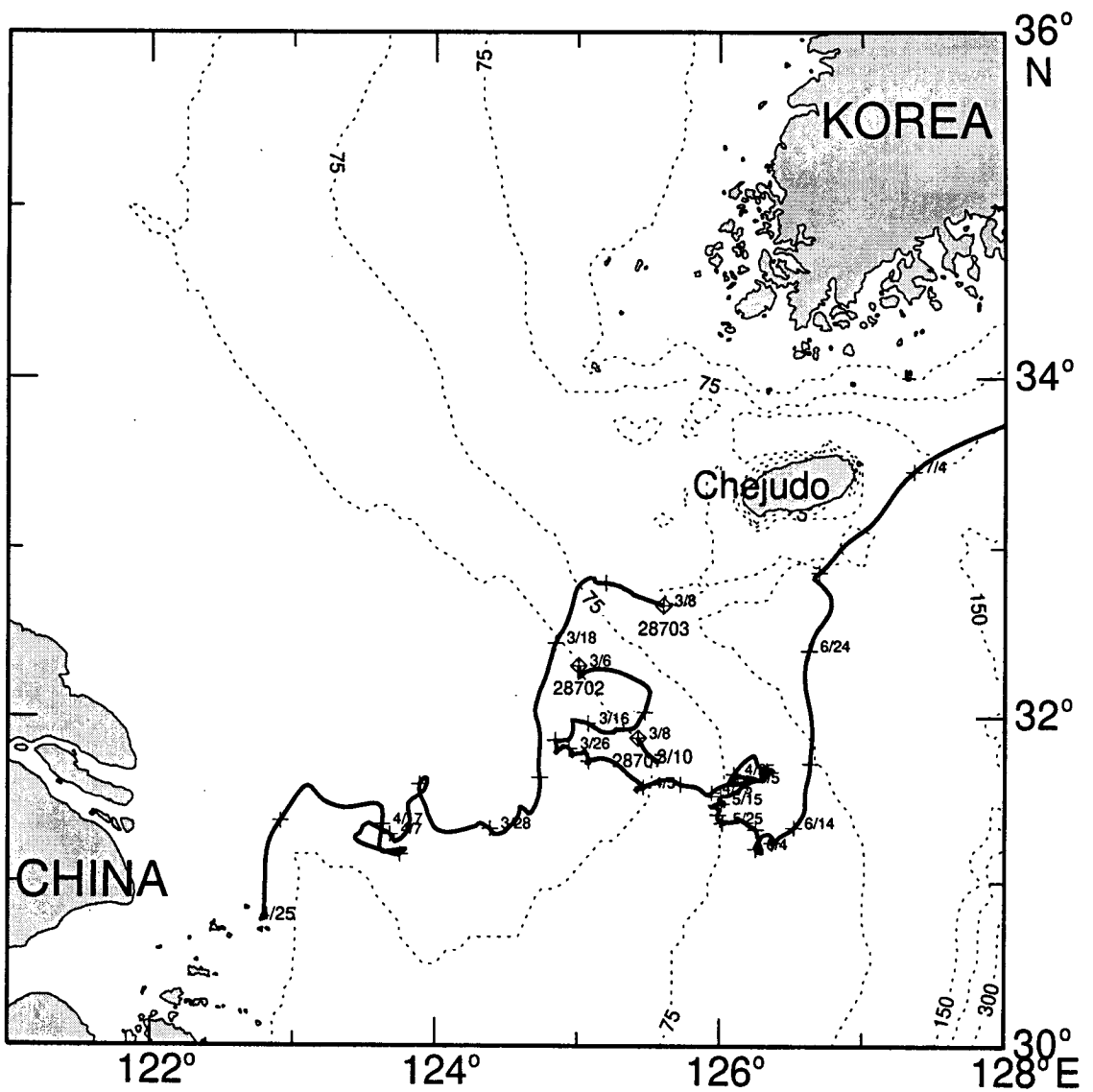


Fig. 20. Trajectories of three satellite-tracked surface drifters released in the southwestern sea of Cheju-do in March 1997.

균유속 8.4 cm/s의 속도로 남서진 하였다. 제주도 남서쪽 골에 투하한 부이의 궤적이 처음 6일간 서북서진 한 것은 황해 내부로 향하는 흐름이 존재할 가능성을 보여주기는 하나 이후 남쪽으로 방향을 바꾼 것으로 보아 이러한 흐름이 황해 내부까지 지속적으로 연결되지는 않는 것으로 판단된다. 양자강퇴 동쪽단 수심 51 m, 59 m에 투하한 부이 2대의 궤적은 양자강퇴 동쪽 50-60 m 부근에는 남향 혹은 남동향하는 흐름이 존재함을 보여준다.

제 3 절 초여름 상층해류

그림 21은 제주도 남서쪽 황해로 연결되는 골 중심부에 해당하는 수심 85-91 m 사이에 투하한 부이의 이동궤적이다. 투하지점은 제주도 남서연안으로부터 양자강퇴 쪽으로 각각 34 km, 60 km, 87 km 정도 떨어진 곳이다. 제주도 연안에서 약 34 km 떨어진 수심 91 m에 투하한 부이는 처음 5일간 북동북진후 북동쪽으로 방향을 바꾸어 제주해협 서쪽입구역을 지나 제주해협을 통과하면서 동진하였다. 흐름의 세기는 투하후 처음 5일간은 평균 6.4 cm/s로 약하였으나 제주해협 서쪽 입구역에서는 약 20 cm/s로 3배 이상 강해졌고 제주해협 동쪽으로 빠져나갈 때의 유속은 30 cm/s 이상에 달하였다. 제주해협을 통과하는 동안의 평균유속은 약 30 cm/s 이었다.

제주도 연안으로부터 약 60 km 떨어진 지점에는 끌개수심이 15 m와 50 m인 부이 2대가 동시에 투하되었다. 끌개수심 15 m인 부이는 투하후 9일간 평균유속 3.8 cm/s로 북서진하여 6월 23일 제주도 서쪽 약 70 km 지점에 도달한 후 북동쪽으로 방향을 바꾸어 제주해협 서쪽을 지나면서 제주도 연안쪽에 투하한 부이와 비슷한 거리를 유지하며 제주해협을 통과하였다. 제주해협 북서쪽에서 평균유속은 약 8.7 cm/s로 제주도 남서쪽에서 북서진 할 때보다 2배 이상 증가하였다. 제주해협을 지난후 대한해협 입구역까지의 평균유속은 약 20 cm/s로 동진하면서 점차 증가하였다. 수심 50 m 층에 투하한 부이는 북진하다가 6월 18일 자료송신을 중단하였다. 투하 후 처음 5일 동안 15 m와 50 m 두 층의 흐름을 비교하면 평균유속은 각각 3.4 cm/s, 6.0 cm/s 이었고 흐름의 방향은 평균치가 각각

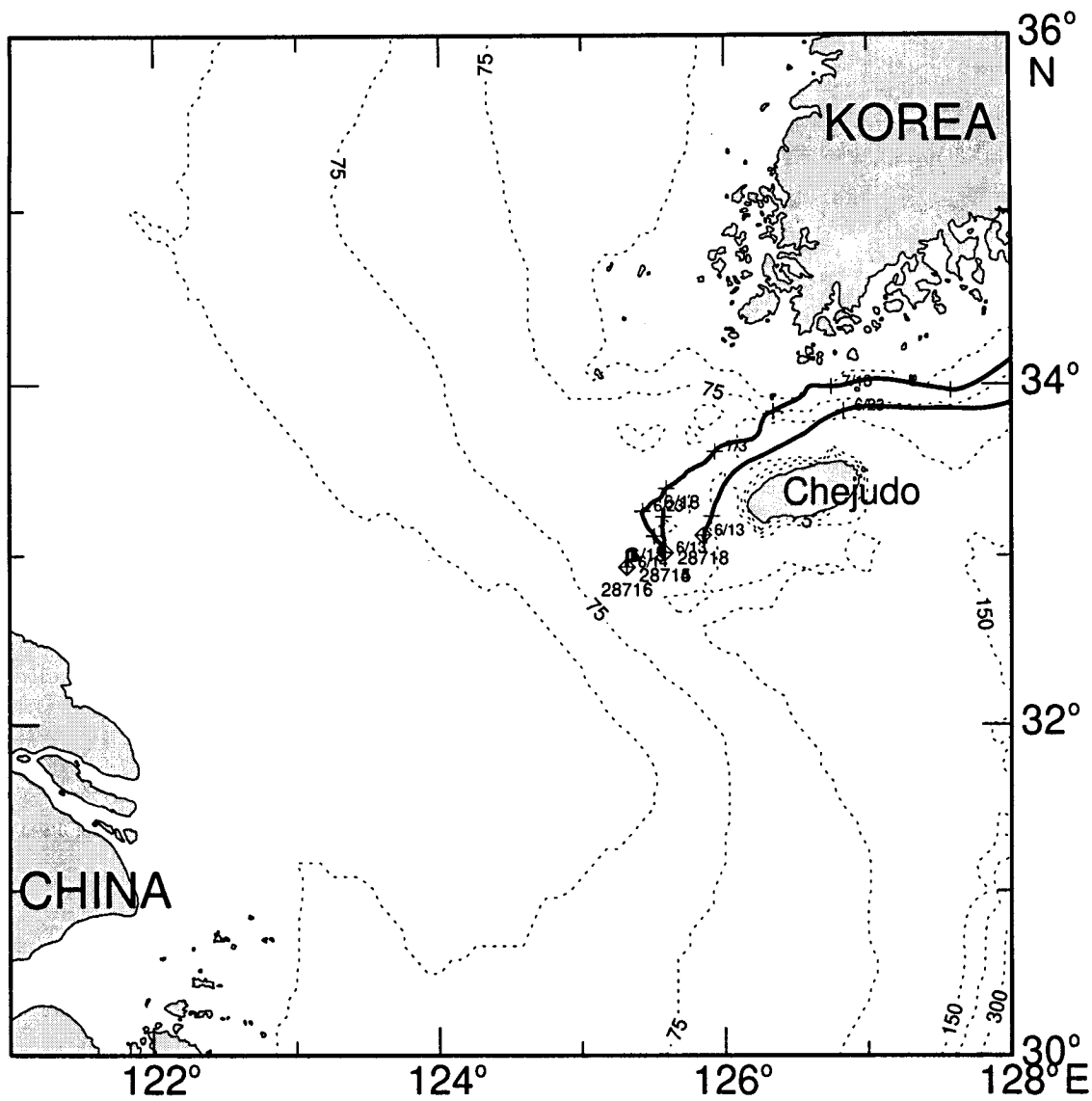


Fig. 21. Trajectories of four satellite-tracked surface drifters released in the southwestern sea of Cheju-do in June 1997.

326° 와 2° 로 50 m 층이 15 m 층에 비해 유속은 강하였고 유향은 시계 방향으로 38° 편향된 흐름 구조를 보였다.

제주도 남서쪽 약 87 km 떨어진 곳에 투하한 부이 (끌개수심 50 m) 는 투하후 4일동안 시계방향의 작은 원을 그린후 자료 송신을 중단하였다. 왼쪽에 투하한 부이의 관측기간이 짧아서 이곳에서의 흐름을 정확히 알 수 없으나 제주도를 돌아나가는 흐름의 폭은 가운데 투하한 부이 궤적을 기준으로 하면 제주도 남서쪽에서는 약 60 km 이상이고 서쪽에서는 약 70 km 이상이며 제주해협에서는 40-50 km 정도의 폭을 갖는다.

제 4 장 TGPS 현장 실험

제 1 절 조사개요

인공위성추적부이에 의한 해류관측은 광역해역에서 비교적 쉽게 흐름을 관측할 수 있으나 인공위성 사용료를 부담해야하는 관계로 운영경비가 많이 드는 문제점이 있다. 해류관측시 운영경비를 줄이기 위하여 GPS (Global Positioning System) 위성으로 부이의 이동 위치를 추적하여 자료를 RF 모뎀을 통하여 얻는 새로운 해류관측 방법이 개발되었고 이 관측장비를 Telemetry GPS (TGPS)라 한다(전 등, 1995). TGPS 실험을 위하여 2대를 해양기기실에서 제작하였고 기존에 해양연구소 보유분 1대를 포함하여 총 3대를 이용하였다. 사용된 부이의 끝개는 WOCE 표층류 프로그램 표준형으로 중심이 15 m 층에 위치한다.

제주도 서안에서 TGPS 투하는 1997년 6월 기관고유사업인 '동중국해 중·서부해역의 해양순환연구'의 제주도-양자강 조사시 한국해양연구소 조사선 이어도로 하였다. 조사선에서 TGPS 자료를 수신하였으나 전송 거리의 한계가 있어 제주도 서단에 위치한 수월봉 (해발고도 77 m)에 육상 수신소를 운영하여 동시에 자료를 획득하였다. TGPS 부이의 투하위치 및 육상 수신소 위치는 그림 22에 표시하였고 부이의 투하위치 및 관측기간은 표 1에 제시하였다. 부이 추적기간은 1997년 6월 13-15일 까지로 같은기간 중에 관측선 A1-A2와 B1-B2의 두 개의 기준선에서 조사선에 장착된 ADCP를 이용한 반복관측을 병행하였다. ADCP 반복관측은 조류의 시간에 따른 변화를 제거하기 위하여 각 관측선에서 24시간 50분 동안에 8회 관측하도록 관측 시간을 조정하였고 각 반복 관측선의 길이는 20마일이었다. 경압 성분의 흐름을 비교하기 위하여 ADCP 왕복관측선 양 끝정점에서 CTD 관측을 하였다.

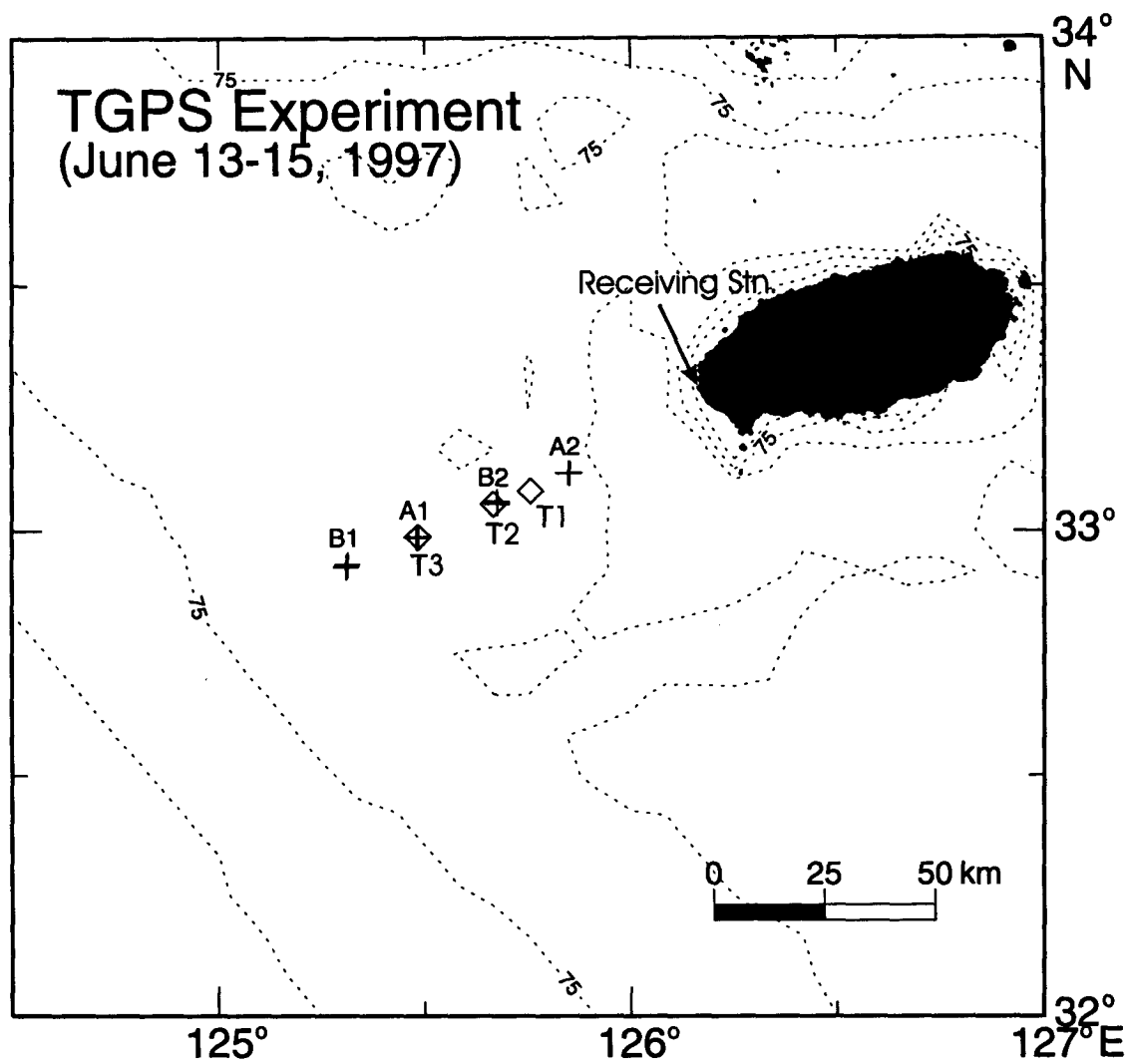


Fig. 22. Release points (\diamond) of TGPS floats in July 1997. Symbol '+' denotes for CTD stations.

Table 1. Information of TGPS experiment in the southwest of Cheju-do in July 1997.

TGPS number	Releasing point		Water depth (m)	Observation period (June, 1997 in GMT)
	Lat. (N)	Lon.(E)		
1	33° 04.90'	125° 45.36'	99	6/13 02:49 - 6/15 06:34
2	33° 03.27'	125° 39.90'	96	6/13 03:27 - 6/15 06:24
3	32° 59.30'	125° 29.00'	91	6/13 04:52 - 6/15 03:28

제 2 절 자료 및 처리

TGPS 부이 추적을 이용한 해류관측시 자료는 매 4분 간격으로 송신 하도록 조정하였다. 이어도호와 제주도 서안의 두 수신소로부터 얻어진 자료를 TGPS 부이별로 분류하여 시간순으로 재배열 하였다. 그림 23은 TGPS 부이로부터 수신된 위치자료이다. TGPS 3의 자료는 대체로 양호 하나 본 실험을 위해 제작된 TGPS 1과 2의 자료는 고주파 성분의 noise 가 심하게 포함되어 있었다. 이 noise는 TGPS 부이 내부의 GPS 수신기와 송신장치 연결부에서 발생한 것으로 밝혀졌다. 오류성분을 제거하기 위하여 위·경도 자료를 각각 Fourier 변환하여 조석주기보다 작은 0.1 cph 이내의 주파수 성분을 제거한 후 inverse FFT 방법으로 시계열 자료로 변환하였다. TGPS 부이 3으로부터 얻어진 자료중 수신되지 못한 부분은 spline 방법으로 내삽하였고 10분 간격으로 재구성하였다. 그림 23의 굵은 실선은 1차 처리하여 10분간격으로 재구성된 TGPS 부이 자료를 나타낸다.

두 개의 반복 관측선에서 관측한 ADCP 자료는 조류성분의 시간에 따른 변화를 제거하기 위하여 각 관측선에서 15개 구간 (약 2.5 km 간격)에서 8회 관측한 자료를 평균하였다.

tgps001.dat

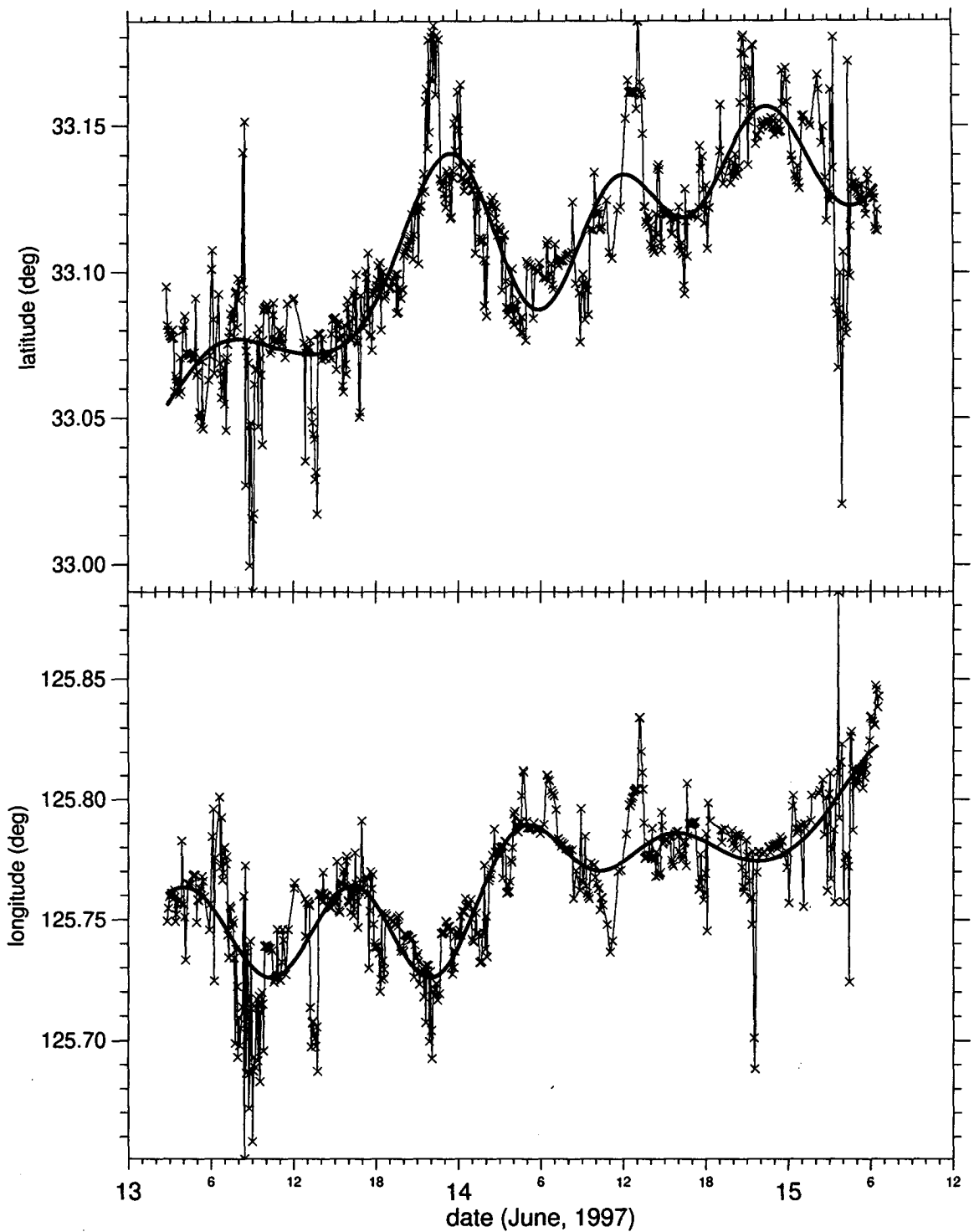


Fig. 23. Time plots of position of TGPS floats. Thin line with 'x' and thick line represent raw and first processed data.

tgps002.dat

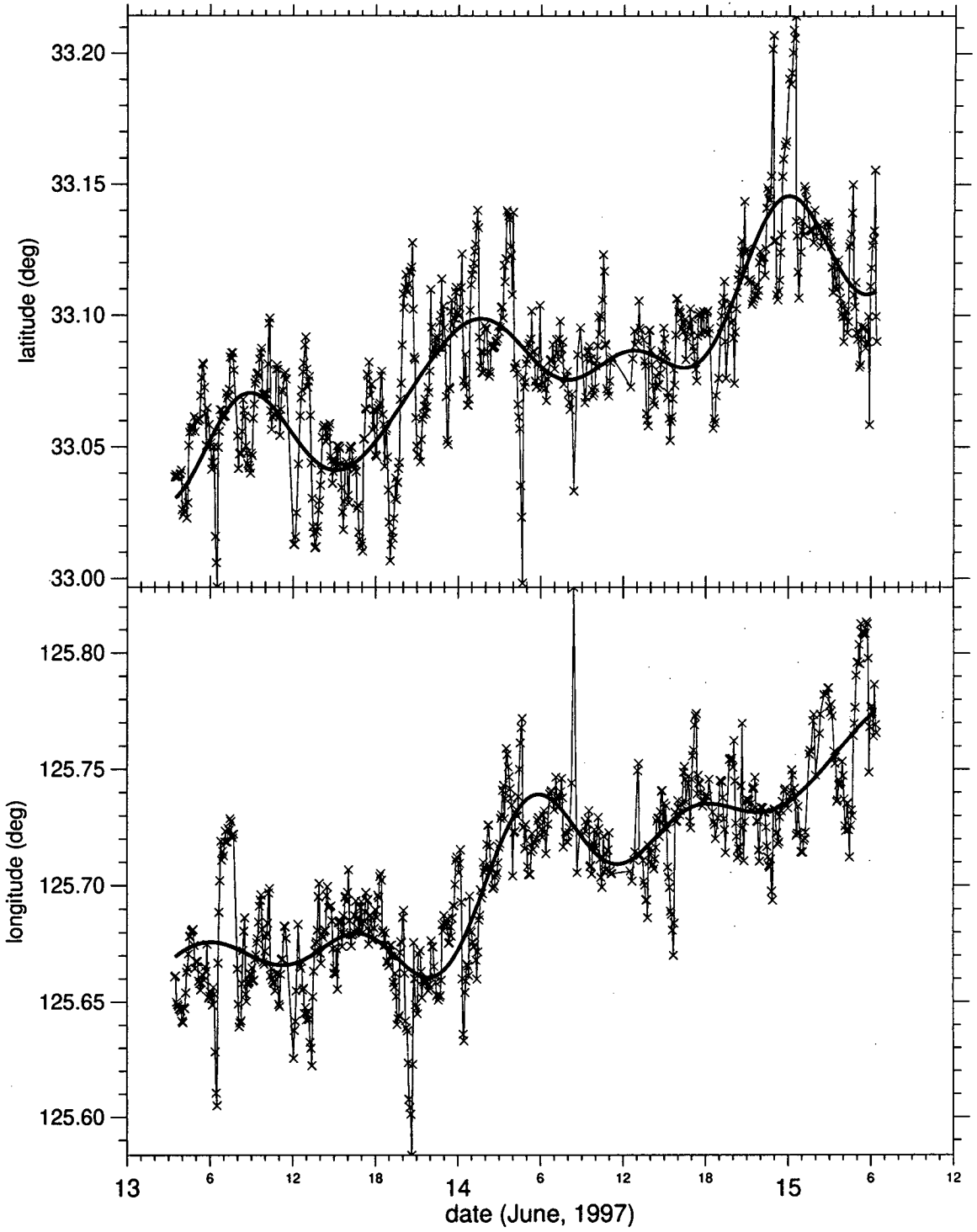


Fig. 23. (Continued)

tgps003.dat

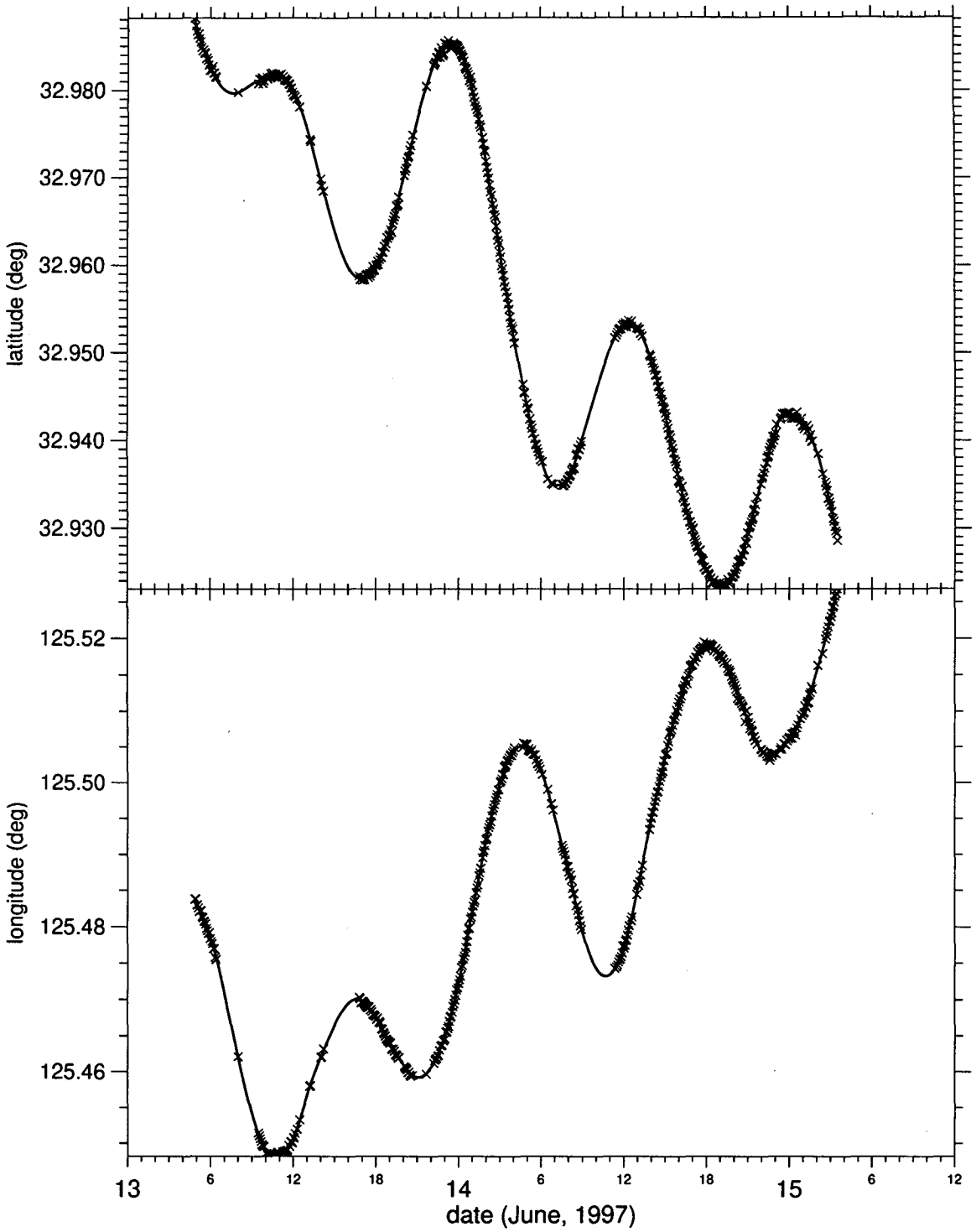


Fig. 23. (Continued)

제 3 절 결과

그림 24는 3대의 TGPS 부이로부터 얻어진 이동궤적이다. 투하위치는 제주도 서안으로부터 각각 약 42 km, 51 km, 70 km 떨어진 곳이다. 이동궤적은 시간에 따른 조류성분 변화에 의한 북서-남서방향의 타원궤적을 포함하고 있으며 제주도 쪽에 투하한 두 대의 부이는 북동진 하였으나 가장 서쪽에 투하한 부이 3은 남동진하였다. 조류 성분이 제거된 흐름의 변화를 좀 더 자세히 살펴보기 위해 부이자료를 24시간 50분 간격으로 이동 평균한 후 6시간 간격의 위치 자료로부터 계산된 유속은 TGPS 부이 1과 2의 북동진 한 평균 유속은 각각 5.8 cm/s, 7.4 cm/s 이었고 부이 3는 5.9 cm/s의 평균유속으로 남동진 하였다 (그림 25). 제주도 서안으로부터 약 60 km 떨어진 곳에 투하한 위성추적부이는 북서진 혹은 북진한 것으로 보아 제주도 서쪽에서 북상하는 흐름의 폭은 연안으로부터 약 60 km 정도인 것으로 추정된다.

그림 26은 두 반복 관측선에서 조사선 이어도호에 장착된 ADCP로 관측한 유속을 약 2.5 km 간격에서 평균한 유속의 수직 분포도이다. 관측선 A에서의 흐름은 서쪽 정점 A1 부근을 제외하고는 전반적으로 북동류의 흐름을 보여 TGPS 부이 1과 2의 이동 방향과 일치한다. 관측선 B에서는 대체로 동쪽에서는 북향류가 존재하고 서쪽에서는 남향류가 존재하는 등 복잡한 흐름 구조를 보였다. 관측선 B에 투하한 TGPS와 위성추적부이의 궤적을 보면 가운데에 투하한 TGPS 3는 남동진 하였고 오른쪽의 정점 A1과 B2 사이에 투하한 위성추적부이는 북서진 혹은 북진 하였으며 정점 B1에 투하한 위성추적부이는 시계방향의 작은 소용돌이 궤적을 보여 이 지역에 관측선의 길이보다 작은 규모의 소용돌이가 존재할 가능성을 시사한다.

그림 27은 관측선에 수직 방향 성분 유속의 수직 분포도이다. 실선은 CTD 자료로부터 계산된 지형유속이고 점선은 ADCP로 관측한 유속, ◇는 각 관측선 사이에 투하한 TGPS의 이동궤적으로부터 계산한 유속을 나타내며 모든 유속은 관측선에 수선방향 성분을 표시한 것이다. 지형유속과 ADCP로 관측한 유속은 관측선 A에서는 비슷한 수직구조를 보이나

최대 유속층이 약간 차이가 있다. 관측선 B에에서의 두 유속은 보다 많은 차이를 보여주는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 이곳에서는 작은 규모의 흐름구조들이 존재하는데 기인한 것으로 생각된다. 두 유속은 TGPS로 관측한 유속보다 절대치가 작게 나타났다.

TGPS experiment (June 13-15, 1997)

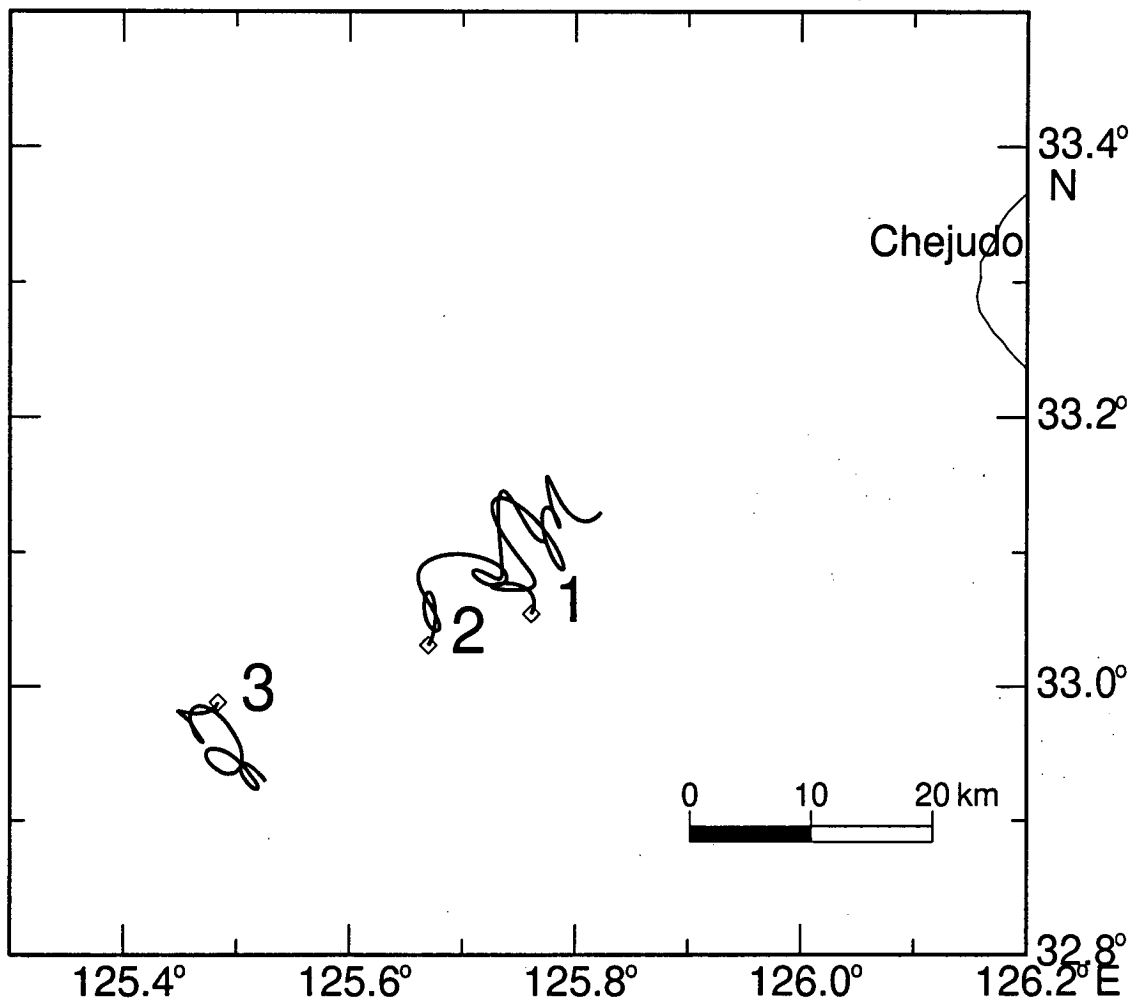


Fig. 24. Trajectories of three TGPS floats released in the southwestern sea of Cheju-do in June 1997.

TGPS experiment (June 13-15, 1997)

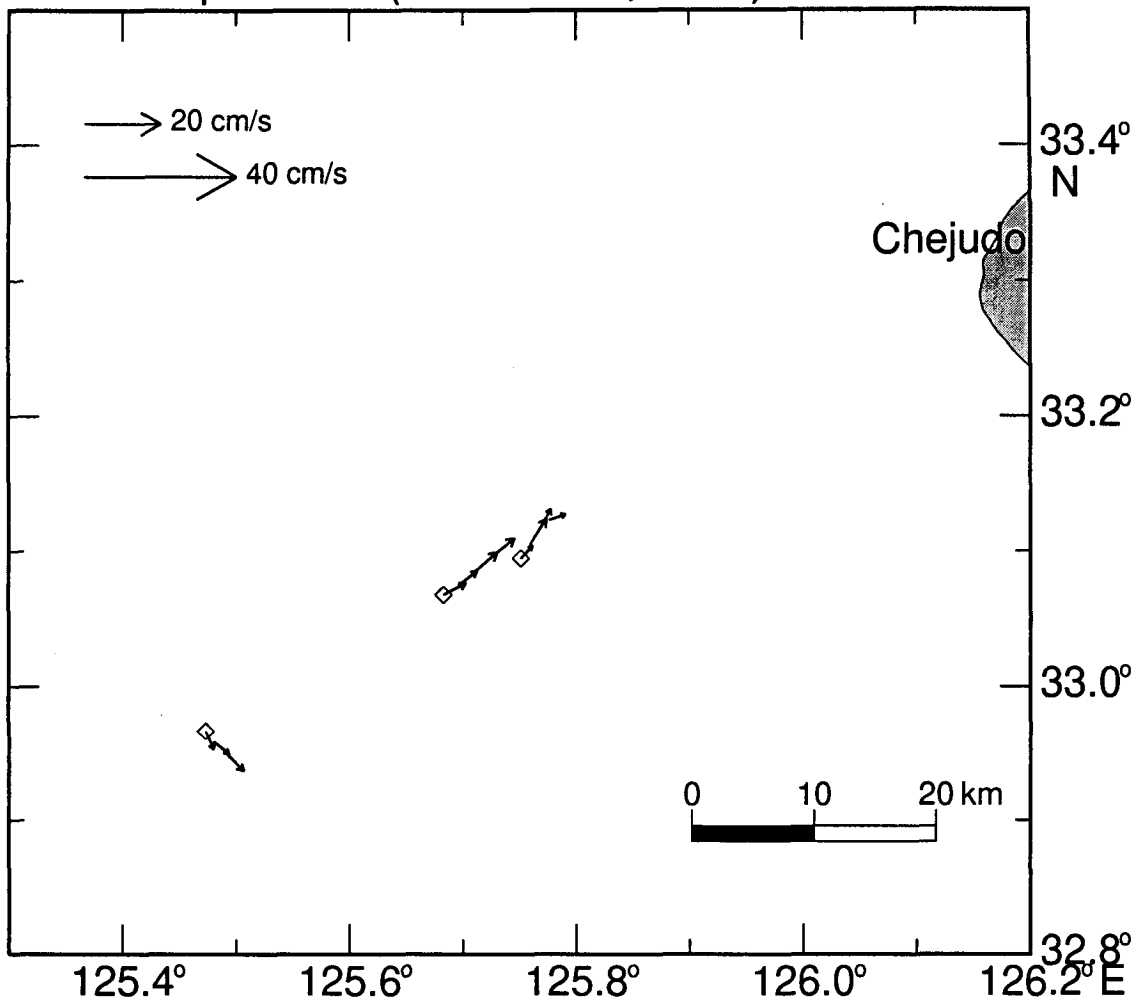


Fig. 25. Buoy velocity calculated from position data after removing tidal components. The values are plotted every 6 hours.

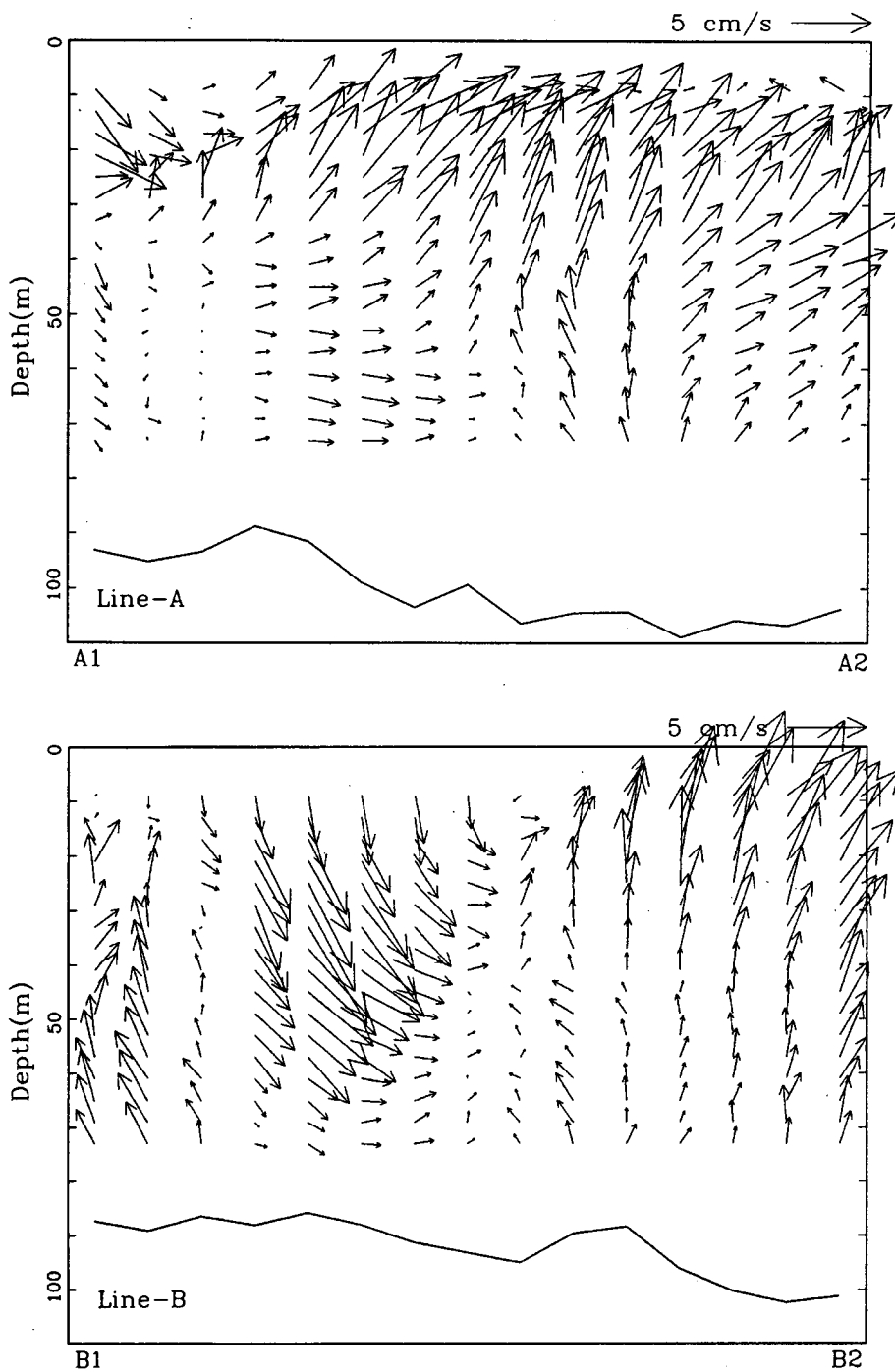


Fig. 26. Vertical distributions of horizontal velocity of ADCP data after removing tidal currents in June 1997:

(a) Section A; (b) Section B.

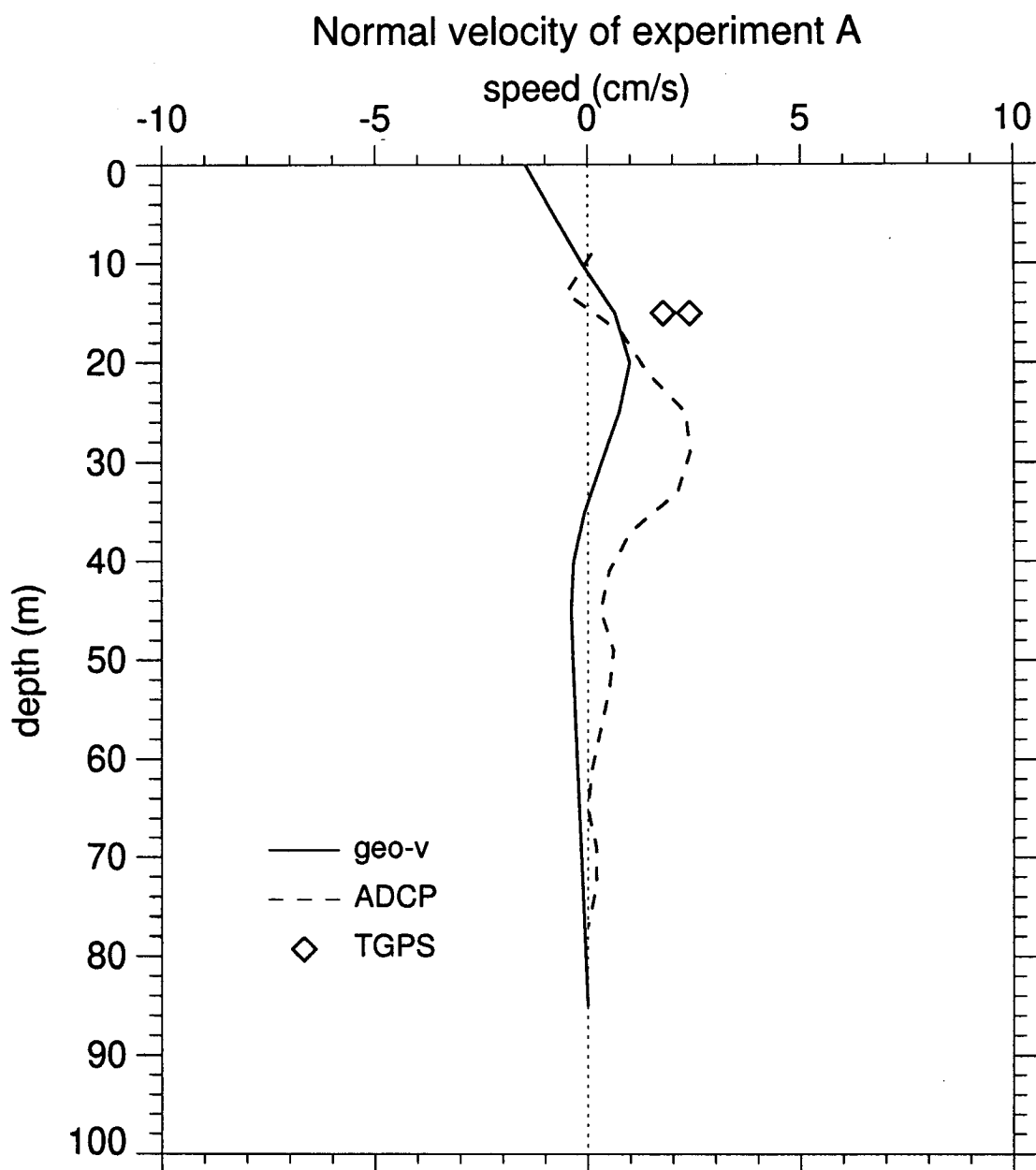


Fig. 27. Vertical profiles of mean observed and geostrophic flows perpendicular to the observation lines. The reference level for geostrophic flow is the bottom. Symbol ' \diamond ' denotes normal velocity component calculated from trajectories of TGPS floats: (a) Section A; (b) Section B.

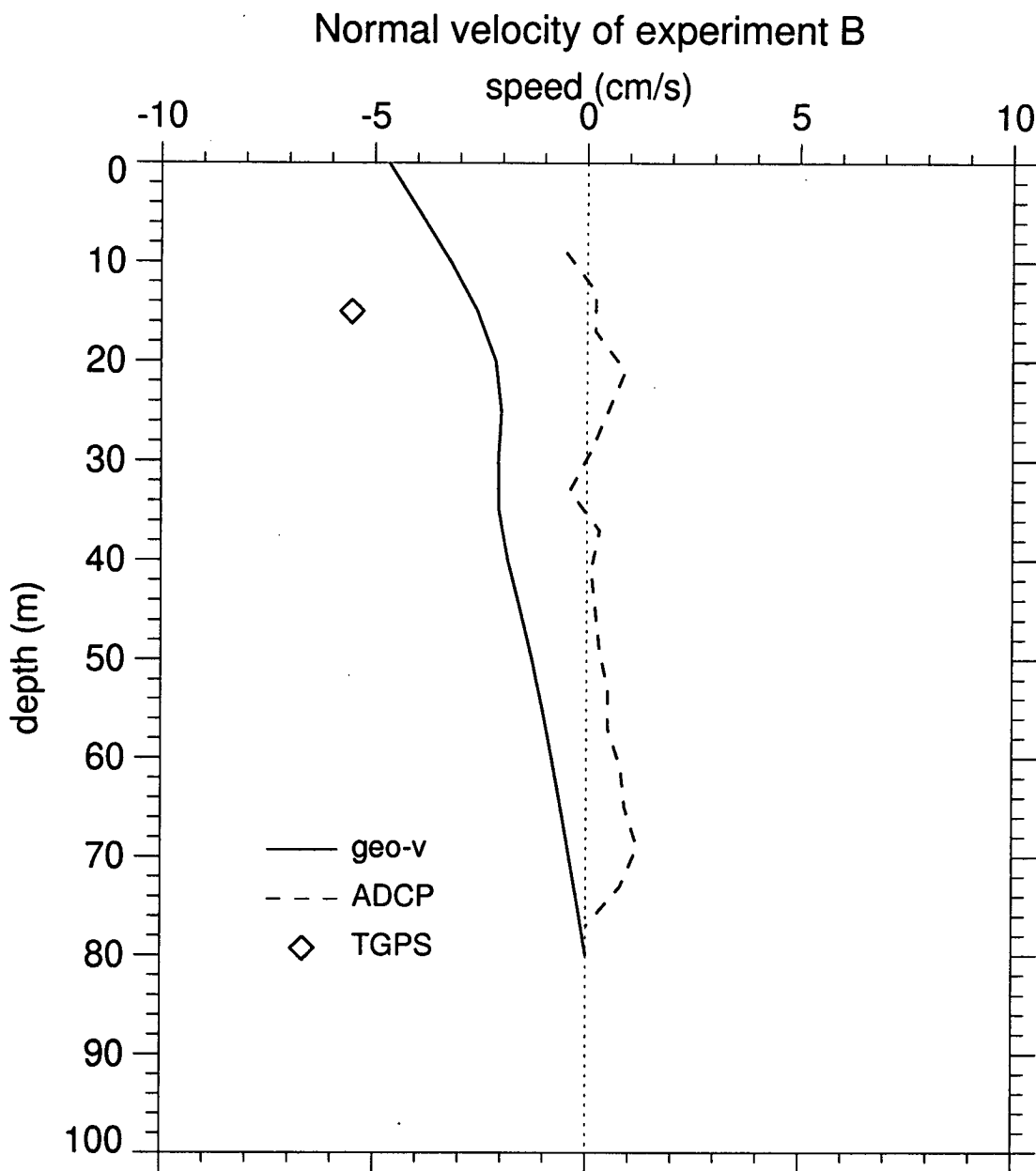


Fig. 27. (Continued)

제 5 장 토의 및 결론

황해난류는 황해 자체의 순환뿐만 아니라 동중국해와의 물질교환을 이해하는데 있어 가장 중요한 요인중의 하나이다. 여름철 담수의 유입이 많은 황해 내부의 염분을 유지하기 위해서는 고염수의 유입이 있어야 하나 아직까지 언제, 어떤 경로로 유입하는지 분명하게 밝혀지지 않았다. 황해 내부로의 고염수의 유입 시기 및 그 경로를 조사하기 위하여 기존에 관측한 CTD 자료중 황해남부해역을 가로지르는 단면과 제주도 서쪽의 남북단면에서 관측한 자료를 정리하여 고염수 분포의 계절변화를 중점적으로 분석하였다. 또한 제주도 서부역의 흐름을 파악하기 위하여 3월과 6월에 투하한 위성추적부이 자료를 분석하였고 6월에는 제주도 남서해역에서 TGPS 부이를 이용한 해류관측실험을 하였다.

겨울철에는 고온, 고염수가 황해의 중앙 골 서쪽 사면을 따라 북동쪽으로 형성되어 있고 봄철까지 유지되어 고염수가 골 서쪽사면을 따라 황해내부로 유입될 가능성을 제시해 준다. 동계 NOAA 위성으로 관측한 표면수온은 고온수가 제주도 서쪽해역에서 산동반도쪽으로 향하는 혀모양의 분포를 보여주어 고염수의 분포의 방향과 일치하여 이러한 가능성을 뒷받침해준다. 골 서쪽 사면에 존재하는 고염수는 여름철까지 저층냉수 서편에 그 흔적이 존재하였고 가을철에 들어서는 보이지 않았다. 한편, 한국-미국-중국이 공동으로 1986년 1월에 관측한 자료에는 고온, 고염수가 골 중앙부의 저층에 존재하고 있어서 고염수의 위치에 대한 정밀 분석이 필요하다. 제주도 서쪽의 남북단면에서는 제주도 서단에 34.0 psu 이상의 고염수가 전 계절에 걸쳐 존재하여 제주도를 시계방향으로 돌아나가는 흐름이 연중 존재함을 시사해 준다.

제주도 남서쪽에 투하한 위성추적부이 자료의 분석결과, 늦겨울에는 양자강퇴 동북쪽 사면을 따라 남하하는 흐름이 존재하였다. 초여름 위성추적부이의 이동궤적은 제주도를 끼고 돌아가는 흐름을 잘 보여 주었으며 유속은 제주도 남서해역에서 북상할 때는 10 cm/s 이하로 느렸으나 제주도를 돌아 제주해협에 진입하는 동안에 점차 증가하여 제주해협에서는 약 30 cm/s 이었다.

제주도 남서해역에서 수행한 TGPS 부이를 이용한 해류관측실험 결과와 위성추적부이 궤적을 함께 고려해 볼 때 제주도 남서해역에서 북상하는 흐름의 평균 유속은 5-8 cm/s 이고 폭은 제주도 연안으로부터 약 60 km에 달하였다.

끝으로 황해의 순환을 이해하기 위해서는 황해 남서부해역에서 물리특성 조사와 함께 골 왼쪽 사면역에서 고염수 유입을 입증하기 위한 해류관측이 필요하며 TGPS 부이는 송수신 거리 범위 내의 좁은 연안역에서 비교적 저렴한 경비로 흐름을 조사하는데 유용하게 사용되어질 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김구, 노홍길, 이상호, 1991. 하계 제주도 주변해역의 수계 및 해수순환. 한국해양학회지, 26:262-277.
- 전호경 등, 1995. 광역 표층해류 관측을 위한 TGPS Buoy 제작연구. 한국해양연구소 BSPN 00265-909-7, 54pp.
- Beardsley, R.C., R. Limeburner, K. Kim, and J. Candela, 1992. Lagrangian flow observations in the East China, Yellow and Japan Seas. *La Mer*, 30: 297-314.
- Fang, G., B. Zhao and Y. Zhu, 1991. Water volume transport through the Taiwan strait and the continental shelf of the East China Sea measured with current meters. In: *Oceanography of Asian Marginal Seas*, ed. K. Takano, Elsevier, New York, 345-358.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea, I., Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50 m and near the bottom (in Japanese), *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 62, 19-66.
- Hsueh, Y., 1988. Recent current observations in the eastern Yellow Sea. *J. Geophys. Res.*, 93: 6875-6884.
- Lie, H.-J., 1984. A Note on water masses and general circulation in the Yellow Sea (Hwanghae). *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 187-194.
- Lie, H.-J., 1985. Wintertime Temperature-Salinity Characteristics in the Southeastern Hwanghae (Yellow Sea). *J. Oceanogr. soc. Japan*, 41: 291-298.
- Lie, H.-J., 1986. Summertime hydrographic features in the southern Hwanghae. *Progress in Oceanogr.*, 17, 229-242.
- Lie, H.-J., C.-H. Cho, J.H. Lee, P. Niiler and J.H. Hu, 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental

- shelf west of Kyushu. J. Geophys. Res., (in press)
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio, In: Kuroshio, ed. H. Stommel and K. Yoshida, Univ. Tokyo Press, 353-369
- Park, Y.-H., 1986, Water characteristics and movements of the Yellow Sea Warm Current in summer. Progress in Oceanogr., 17: 243-254.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. Japan Imp. Fish. Exp. stations, 5: 57-190.