

황해와 동중국해 해수순환의 계절변화와 그 원인

A Seasonal Circulation in the East China Sea and the Yellow Sea and its Cause

주관연구기관	제주대학교
연구책임자	방익찬
발행년월	2002-10
주관부처	과학기술부
사업관리기관	한국과학재단
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO200900071406
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 15:05:43

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.

사 업 명	지역대학 우수과학자 지원연구
과제번호	R05-2000-000-00091-0

황해와 동중국해 해수순환의 계절변화와 그 원인

A Seasonal Circulation in the East China Sea
and the Yellow Sea and its Cause

2002. 10. 31.

주관연구책임자 소속 제주대학교 성명 방익찬

한 국 과 학 재 단

< 목 차 >

I. 연구계획 요약문

- 1. 국문요약문 -----

II. 연구결과 요약문

- 1. 국문요약문 -----
- 2. 영문요약문 -----

III. 연구내용

- 1. 서론 -----
- 2. 연구방법 및 이론 -----
- 3. 결과 및 고찰 -----
- 4. 결론 -----
- 5. 인용문헌 -----

〈 연구계획 요약문 〉

중심어	핵심중심어	관련중심어	
	해수순환	계절순환	대마난류수
	동중국해	양자강 연안수	난류수의 황해유입
	황해	황해냉수의 남하	대한해협 유량의 계절변화
연구목표	<p>황해와 동중국해에는 여러 해수순환 현상들이 있으며 이들은 특정한 계절에 나타나든지 아니면 뚜렷한 계절변화를 하고 있는 계절순환들이다. 이러한 현상들은 오랫동안 개별적으로 연구되어 왔으나 파악하기가 쉽지 않았다. 이 연구의 목표는 황해와 동중국해에 나타나는 이러한 여러 계절순환을 하나의 순환계로 파악하고 그 역학을 찾는 것이다.</p>		
연구내용	<p>연구내용은 첫째 동중국해에서 대마난류수와 연안수 분포의 계절변화를 파악하고 그 원인을 찾는 것이며 둘째 그 변화가 우리나라 주변해역의 해수순환 현상들과 어떻게 연결되어 있는지를 분석하는 것이다.</p> <p>연구방법은 CSK자료를 중심으로 한 해수특성자료를 분석하는 방법이며 다른 하나는 위성자료를 분석하는 방법이다. 특성자료분석에서는 Miller(1950)가 제안했고 Mamayev(1975)와 Chen et al. (1995)이 발전시킨 수괴분석방법도 사용될 것이다. 이 해역에서는 해수혼합이 매우 활발하고 기상의 영향을 많이 받기 때문에 수괴를 구분하는 것이 쉽지 않을 때가 많다. 특성(수온이나 염분)에 따라 수괴들의 구분이 달라질 수 있기 때문이다. 이러한 어려움은 황해에서 더 심각하다. 여름철 황해난류수의 유입이 생물분야에서는 널리 알려져 왔는데도 불구하고 물리분야에서는 오랫동안 부정되고 있었던 이유가 하나의 예이다. 이 문제는 수괴분석을 통하여 해결되었다(Pang and Hyun, 1998).</p> <p>1차년도 연구내용 :</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 해수특성자료 수집 ② 해수특성 분석 ③ 수괴분석(Water Mass Analysis)을 통한 동중국해 해수분포의 계절변화 분석 ④ 인공위성 자료분석 <p>2차년도 연구내용 :</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 동중국해 해수순환의 계절변화 분석 ② 동중국해 해수순환의 계절변화의 원인 분석 ③ 동중국해 해수순환의 계절변화와 대한해협 수송량의 계절변화의 관계분석 		
기대효과 (응용분야 및 활용범위 포함)	<p>황해와 동중국해의 해수순환을 파악하는 것은 우리나라 해양학의 큰 과제 중의 하나이며 그 해역에서 발생하는 여러 분야의 문제를 해결하는 데 기초적인 정보를 제공해 준다. 해수순환을 활용할 수 있는 가장 큰 분야는 우선 해양학이다. 해수순환을 이해함으로써 해양오염, 적조, 양자강 저염수의 피해와 같은 많은 문제들을 이해할 수 있기 때문이다. 해수순환은 어류의 이동에 직접적으로 관계되어 수산업에 크게 활용된다.</p>		

☞ 작성시 유의사항

- 1) 연구계획서(지원신청서) 제출시의 국문 연구요약문을 그대로 작성함 (당초내용을 복사 사용 가능함)
- 2) 본 표역계획 내용은 외부에 공개할 수 없음
- 3) 반드시 1페이지 이내로만 기재함

〈 연구결과 요약문 〉

중심어	핵심중심어	관련중심어	
	해수순환	계절순환	대마난류수
	동중국해	양자강 연안수	난류수의 황해유입
	황해	황해냉수의 남하	대한해협 유량의 계절변화
연구목표	<p>황해와 동중국해에는 여러 해수순환 현상들이 있으며 이들은 특정한 계절에 나타나든지 아니면 뚜렷한 계절변화를 하고 있는 계절순환들이다. 이러한 현상들은 오랫동안 개별적으로 연구되어 왔으나 파악하기가 쉽지 않았다. 이 연구의 목표는 황해와 동중국해에 나타나는 이러한 여러 계절순환을 하나의 순환계로 파악하고 그 역학을 찾는 것이다.</p>		
연구내용	<p>○ 동중국해 계절순환과 그 역학</p> <p>해수는 여름철에 고온·저염화 되는데 이 효과는 동중국해보다 황해가 더 강하며 이 차이에 의해 해수면경사가 계절에 따라 바뀐다. 해수면경사의 차이에 의해 발생하는 압력경도력은 겨울철에는 황해 쪽으로 여름철에는 동중국해 쪽으로 향하며 따라서 겨울철에는 황해 쪽으로 여름철에는 동중국해 쪽으로 향하는 계절순환이 있다.</p> <p>○ 우리나라 주변해역의 해수순환 현상들은 이 계절순환에 의해 발생한다.</p> <p>이 계절순환에 의해 겨울철에는 동중국해의 난류수가 황해로 유입되고 여름철에는 황해의 연안수(황해저층냉수)가 동중국해로 확장하게 된다. 이러한 흐름은 동중국해의 유량을 변화시키며 결국 대한해협 유량을 변화시킨다. 즉, 황해의 연안수가 동중국해로 확장되는 여름철에는 동중국해와 대한해협 유량이 증가하고 동중국해의 난류수가 황해로 유입되는 겨울철에는 동중국해와 대한해협 유량이 감소한다.</p>		
연구성과	<p>○ 동중국해 계절순환의 역학을 찾은 것.</p> <p>우리나라 주변해역에는 여름철 황해저층냉수의 남하, 겨울철 황해난류수의 유입, 여름철 양자강연안수의 유입, 여름철 대한해협 유량의 증가와 같은 계절순환 현상들이 있으며 이들에 대해 많은 연구가 수행되어 왔으나 이 해역의 강한 해수혼합과 해마다 달라지는 심한 변화 때문에 이들을 파악하는 것이 쉽지 않았었다. 이러한 어려움을 해결하는 방법 중의 하나로 이 연구에서는 연구해역을 넓혀 이런 현상들을 독립된 현상이 아니라 황해와 동중국해의 하나의 커다란 순환계로 파악해 보았으며 그 결과 계절순환계의 역학을 찾을 수 있었다.</p> <p>○ 우리나라 주변해역의 해수순환 현상들의 연관성을 파악한 것.</p> <p>계절순환계의 역학에 의해 여름철 황해저층냉수의 남하, 겨울철 황해난류수의 유입, 여름철 대한해협 유량의 증가와 같은 계절순환 현상들이 서로 연계되어 발생하는 현상이라는 것을 파악할 수 있었다. 겨울철에 황해 쪽으로 향하는 압력경도력에 의해 동중국해의 난류수가 황해로 유입되고 동중국해와 대한해협 유량이 감소하며, 여름철에는 동중국해 쪽으로 향하는 압력경도력에 의해 황해의 연안수(황해저층냉수)가 동중국해로 확장하게 되고 동중국해와 대한해협 유량이 증가하게 되어 모든 계절순환이 연계되어 발생하는 것을 알았다.</p>		

☞ 작성시 유의사항

- 1) 중심어는 평가자 선정시 직접 활용되므로 정확하게 최대한 기재함
- 2) 디딤표제(2년 이상 저널제)는 연구기관 전체에 대하여 거제되되 연구내용 보다는 연구성적을 중심으로 작성함
- 3) 본 요약문의 내용은 외부에 공개할 수 있으며, 반드시 1페이지 이내로만 작성함

< EXECUTIVE SUMMARY OF FINAL REPORT >

Keyword	Core Keyword	Related Keyword	
	ocean circulation	seasonal circulation	Tsushima warm water
	East China Sea	Yangtze coastal water	intrusion of warm water
	Yellow Sea	southward expansion of Yellow sea bottom cold water	seasonal variation in the Korea Strait
Purpose of Research	<p>In the Yellow Sea and the East China Sea, there are various seasonal phenomena, which appear in particular one season (southward expansion of Yellow Sea Bottom Cold Water in summer, intrusion of Yellow Sea Warm Water in winter, advection of Yangtze Coastal Water in summer) or vary in season (seasonal variation of transport in the Korea Strait). They have been studied individually, but not fully understood yet. The purpose of this study is to understand them as one circulation system and to find their mechanism,</p>		
Contents of Research	<p>o a seasonal circulation in the East China Sea and its mechanism</p> <p>The effect of heating and diluting on the sea water is greater in the Yellow Sea than in the East China Sea. It changes the sea level slope and so pressure gradient force in seasons. The seasonally changed pressure gradient force is toward the Yellow Sea in winter and toward the East China Sea in summer. It drives a seasonal circulation between the Yellow Sea and the East China Sea, which flows from the East China Sea to the Yellow Sea in winter and from the Yellow Sea to the East China Sea in summer.</p> <p>o The seasonal circulation drives ocean phenomena around Korean Peninsula.</p> <p>By the seasonal circulation, the warm water in the East China Sea flows into the Yellow Sea in winter and the coastal water in the Yellow Sea (Yellow Sea Bottom cold water) flows out of the Yellow Sea in summer. Such flows changes the volume transport in the East China Sea and eventually in the Korea Strait. The volume transport in the Korea Strait decreases in winter when East China Sea water flows into the Yellow Sea, and increases in summer when Yellow Sea water flows out of the Yellow Sea.</p>		
Effectiveness of Research	<p>o finding the mechanism of the seasonal circulation of the East China Sea.</p> <p>There are seasonal phenomena around the Korean Peninsula such as the southward expansion of Yellow Sea Bottom Cold Water in summer, the intrusion of Yellow Sea warm water in winter, the seasonal variation of volume transport in the Korea Strait. Even though many researchers have studied on them, it has not been easy to understand them clearly because of strong mixing and strong change in years in this area. As one of the way to solve the difficulty, we try to look at a whole circulation in the Yellow Sea and the East China Sea and understand the various seasonal phenomena as parts of the whole circulation in this research. As a result, we can find the mechanism of the seasonal circulation in the Yellow Sea and the East China Sea.</p> <p>o finding the relation between the seasonal phenomena,</p> <p>By the mechanism, we can find that the seasonal phenomena are related with each other. For example, the pressure gradient force in winter drives warm water in the East China Sea to the Yellow Sea, which results in the decrease of the volume transport in the East China Sea and in the Korea Strait. And the pressure gradient force in summer drives coastal water in the Yellow Sea to the East China Sea, which results in the increase of the volume transport in the East China Sea and in the Korea Strait.</p>		

☞ 작성시 유의사항

- 1) 중심어는 평가자 선정시 직접 활용되므로 정확하게 최대한 기재함
- 2) 디딤표제(2년 이상 지원과제는 연구기간 전체에 대하여 기재하되 연구내용 보다는 연구성격을 중심으로 작성함)
- 3) 본 요약문의 내용은 외부에 공개할 수 있으며, 반드시 1페이지 이내로만 작성함

〈 연구내용 및 결과 〉

1. 서론

연구배경

황해와 동중국해(남해 포함)의 해수순환에 대한 연구는 우리나라, 중국, 일본, 대만에서 이루어져 왔으며 근래에는 미국에서도 관심을 가지고 연구에 참여하고 있다. 최근에는 우리나라와 중국 사이에서 황해에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있으며 이와 더불어 우리나라에서는 한국해양연구소를 중심으로 동중국해에 대한 귀중한 관측결과들이 발표되었다. 미국을 중심으로 우리나라와 일본이 참여하는 동해의 연구 중 일부는 연구범위를 확장하여 남해와 동중국해를 포함시키고 있으며, 일본은 전통적인 대마해류에 대한 연구에서 연구범위를 동중국해 방면으로 확장하고 있다. 이와같이 주변해역의 연구에서 연구범위는 자연스럽게 동중국해 쪽으로 확장되고 있는데 그 이유는 동중국해가 이 해역에 결정적인 영향을 미치기 때문이다.

동중국해 해수순환에는 계절순환이 중요한 부분을 이루고 있다. 동중국해의 계절순환과 계절변화에는 여름철 황해저층냉수의 남하(Asaoka and Moriyasu 1966; Nakao 1977; Lie 1984; Park 1985, 1986; Kim et al., 1991; Youn et al., 1991), 겨울철 황해난류수의 유입(Uda 1934; Byun and Chang 1988; Pang et al., 1992), 여름철 양자강연안수의 유입(Yu et al., 1983; Beardsley et al., 1983; Zhao et al., 1983; Kim 1986), 여름철 대한해협 수송량 증가(Yi, 1966; Toba et al., 1982; Mita and Ogawa, 1984) 등이 있다. 그런데 이 변화들이 연결되어 있을 가능성이 있다.

대한해협의 유량은 겨울보다 여름에 증가하는 뚜렷한 계절변화를 보인다 (Yi, 1966 Toba et al., 1982 Mita and Ogawa, 1984 Pang and Kim, 1990). Yi (1966)에 의하면 대한해협을 통과하는 대마난류는 겨울철에 최소치를 보이며 여름철에 최대치를 보이는데, 그 변동폭은 2.0Sv 정도이다. Toba et al. (1982)도 대한해협과 쓰가루해협 사이의 해수면 차이를 이용해서 1.6Sv이라는 변동폭을 계산했다. 다른 연구 결과들도 변동폭에 있어서는 다소 차이를 보이지만, 계절변화를 한다는 것에는 의견을 모으고 있다. 대한해협 유량변화의 원인에 대해서는 명확히 설명된 바 없으나, 일반적으로 받아들여지고 있는 것이 쿠로시오의 변화에 의한 영향이다. 그러나 대한해협 유량의 계절변화가 쿠로시오의 변화에 의한 것이라면 크게 두 가지의 문제점이 나타난다.

첫째, 대한해협의 유량이 계절에 따라 뚜렷한 변화를 보이는데 비해 쿠로시오는 뚜렷한 계절변화를 보이지 않는다 (Nitani, 1972). 그림.1은 대한해협(B)과 쿠로시오 해역(C) 유량의 계절변화를 나타낸 것이다 (Nishizawa, 1982). 대한해협을 통과하는 대마난류수는 겨울보다 여름에 약 2.0Sv 정도의 유량 증가를 보이면서 계절변화를 하고 있는 반면, 대한해협에 영향을 줄 수 있는 PN선에서는 거의 계절변화를 하고 있지 않다. I와 G선을 통과하는 쿠로시오는 겨울에 감소하고 여름에 증가하는 계절변화를 하고 있으나 대한해협에 영향을 주는 해역은 아니다.

둘째, 그림.2는 쿠로시오와 대마난류수의 유량관계를 보여주는 GCM 모델 결과이다 (Pang et al., 1993). 이것은 2차원 순압모델결과로 경압해류는 보여주지 않지만 대한해협의 유량변화가 쿠로시오의 유량변화에 비례하는 것을 보여주고 있다. 다시 말해, 대한해협의 유량이 두 배의 변화를 하기 위해서는 쿠로시오가 두 배의 유량변화를 해야 한다는 것이다. 그러나 동중국해내 쿠로시오가 계절에 따른 변화를 하더라도 두 배의 유량변화를 한다는 것은 기대하기 어렵다.

그러므로 쿠로시오의 변화로 대한해협 유량의 계절변화를 설명하는 것은 쉽지 않다. 남(1996)의 보고에 의하면 대한해협에서 대마난류의 수송량은 쿠로시오와 다른 계절변동을 보이며, 대마난류의 수송량은 쿠로시오 수송량의 변화에 거의 영향을 받지 않는다고 한다. 쿠로시오의 영향 외에 생각할 수 있는 것은 동중국해로 유입되는 담수량과 증발량, 강수량의 변화이다. 표.1과 2는 황해와 동중국해로 유

입되는 담수량과 증발량, 강수량의 최소값과 최대값을 나타낸 것이다. 대개 최소값은 겨울철에 최대값은 여름철에 나타나며, 동중국해로 유입되는 담수의 상당부분이 양자강으로부터 유입되고 있음을 알 수 있다 (Chen, 1994). 그러나 여름철에 증가되는 담수량은 대한해협 유량변동에 영향을 주기에는 너무 작다. 그렇다면 대한해협 유량의 계절변화 원인으로는 동중국해 해수순환의 계절변화를 생각할 수밖에 없다. 이것은 동중국해의 계절순환들이 연계되어 있을 가능성을 보여준다.

연구목적

황해와 동중국해에는 여러 해수순환 현상들이 있으며 이들은 대부분 특정한 계절에 나타나든지(여름철 황해저층냉수의 남하, 겨울철 황해난류수의 유입, 여름철 양자강연안수의 유입) 아니면 뚜렷한 계절변화를 하고 있는 계절순환들이다(대한해협 수송량의 계절변화). 이러한 현상들은 오랫동안 개별적으로 연구되어 왔으나 파악하기가 쉽지 않았다. 그 이유는 황해와 동중국해의 수심이 얕고 커다란 만의 형태를 가지고 있어서 해류가 약하고 수송량이 작으며 바람이나 조석의 영향을 많이 받아 해수들이 강하게 혼합되어 수괴들이 뚜렷하게 구분되지 않기 때문이다. 그러므로 분석의 초점을 좁히면 좁힐 수록 수괴구분은 더욱 어려워지며, 더구나 이 현상들이 나타나는 정도와 해역이 해마다 변하기 때문에 분석해역이 좁을 경우 혼란스러워졌다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 분석의 범위를 넓혀 황해와 동중국해 전체를 하나의 순환계로 파악해 보는 것이 필요하다.

황해와 동중국해의 여러 순환현상들이 연결되어 있을 가능성은 여러 차례 제시되어 왔다. 여름철 황해저층냉수의 남하와 겨울철 황해난류수의 유입은 동중국해에서 대마난류수 분포가 여름철에 남동방면으로 축소되고 겨울철에 황해방면으로 확장되는 것의 연장선에 해당하는 현상들이다(Pang et al., 1998). 대한해협 수송량의 계절변화도 쿠로시오해류의 변화가 대한해협 수송량변화에 거의 영향을 미치지 못한다는 것을 감안한다면(Pang et al., 1993) 동중국해의 해수분포의 변화가 그 원인이라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 여름철 양자강연안수가 우리나라 해역으로 유입되는 현상은 동중국해 순환에 의해 여름철에 중국연안을 따라 남하하는 해류가 약화되는 데다 많은 유출량으로 인해 양자강수가 강 하구에서 동쪽으로 멀리 뻗어 가기 때문에 북상하는 해수순환을 만나 우리나라 해역으로 유입되기 때문이다(Pang et al., 1999). 그러므로 이 연구의 목표는 황해와 동중국해의 해수순환을 하나의 순환계로 파악하고 그 역학을 찾는 것이다.

연구범위

연구범위는 황해와 동중국해 전 해역이며 사용된 자료는 쿠로시오와 주변해역에 대한 공동연구를 목적으로 관측된 CSK (Cooperative study of the Kuroshio and Adjacent Regions) 자료 중 1965~1989년까지의 수온과 염분자료이다. 수집된 자료들이 전체적으로는 24년간의 시기를 갖지만 관측시기와 관측점이 매우 불규칙하기 때문에 여기서는 비슷한 관측점들을 갖는 달을 중심으로 분석하였다. 분석이 이루어진 달은 2, 4, 8, 10월이며, 2월과 4월은 겨울철로, 8월과 10월은 여름철로 분류하였다. 그러나 대부분의 분석은 2월과 8월에 초점을 맞추었다 (그림. 3). 전 수심에 걸쳐 분석이 이루어졌으나 연구결과를 서술하는 데에는 기상으로부터의 영향을 적게 받으며 황해와 동중국해에 걸쳐 동일한 수심인 50m를 중심으로 사용하였다.

이 연구는 연구해역의 범위가 황해와 동중국해를 모두 포함하는 넓은 해역이므로 동시에 관측한 자료가 거의 없다. 동시에 관측할 수 있는 유일한 길은 인공위성으로 관측하는 것이며 따라서 인공위성 자료에도 문제점이 많다는 것은 알고 있었으나 특성자료로부터 얻은 결과를 확인할 수 있는 방법을 찾는 노력이 필요하다고 생각했었다. 최초의 연구계획서에 NOAA 위성자료 및 SeaWiFS 위성자료의 검토가 계획되었던 이유는 그 때문이었다. SeaWiFS 자료는 해상도가 아주 좋기 때문에 도움이 될만한 결과가 있을 것으로 기대했었다. 그러나 1차년도에 인공위성자료를 분석한 결과 우리가 원하는 정도의 결과를 얻지 못하였다. 인공위성 자료분석으로는 연구결과에 도움이 될만한 결과를 얻을 수 없었기 때문에 연구계획서에는 없었으나 대신에 ROMS 모델을 수행하였다. 그러나 새로운 모델을 시작하기 위한 일의 양이 워낙 많고 연구기간이 신청했던 기간보다 줄어들었기 때문에 ROMS 모델로도 아직 보고서에 제출할

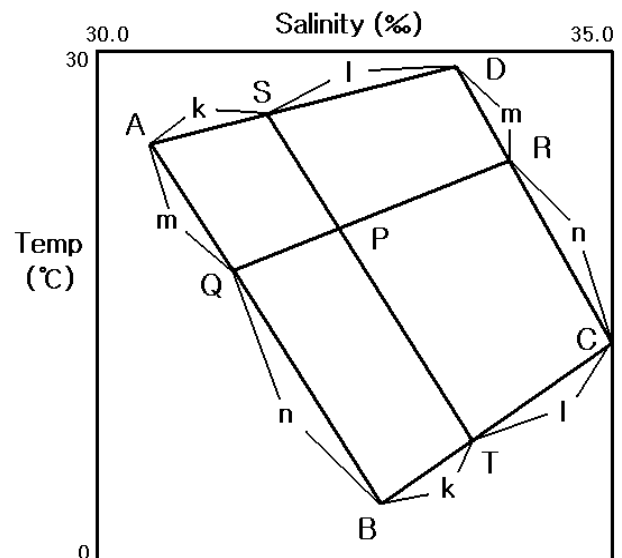
만한 결과를 얻기는 힘들었다. 그러나 이 연구의 결과는 여름철에 제주해역으로 흘러온 양자강연안수의 일부가 황해로 유입되어 이동하는 계절순환을 연구한 기존의 연구결과와 합쳐진다면 황해와 동중국해 순환의 문제를 새롭게 이해할 수 있는 길을 열어 줄 것이다.

2. 연구방법 및 이론

연구방법은 우선 T-S diagram과 수평 특성분포로 전체 자료를 나타내어 해수특성을 파악하였고, T-S diagram과 수평 특성분포로 파악하기 힘든 부분은 혼합비율을 통한 수괴분석을 사용하였다. 혼합비율을 통한 수괴 분석은 여름철에 존재하는 혼합수가 대마난류수와 연안수를 각각 어느 정도 함유하고 있는지를 파악하는데 초점을 맞추었으며, 4 개의 근원수괴에 대한 혼합비율 계산하는 방법을 사용하였다. 4개의 수괴에 대한 혼합비율을 계산하기 위해서는 질량을 제외한 3개의 해수특성 변수가 필요하여 수온, 염분, 용존산소를 가지고 수괴 분석을 해보았으나, 용존산소는 비보존 특성이고, 이 해역이 전 해역이므로 결과를 신뢰하기가 어려웠다. 따라서 수온과 염분만을 가지고 연안 해역에서 수괴 분석하였던 Miller(1950)의 방법이 사용되었다. 이 이론은 4 개의 수괴가 그림9에 보이는 바와같이 각기 독립적으로 혼합하는 것이 아니라 수평적으로는 연안과 외해의 수괴끼리 주로 혼합을 하고 수직적으로는 연안쪽에서 상하로 분포하는 두 개의 수괴와 외양 쪽에서 상하로 분포하는 두 개의 수괴 사이에서 주로 혼합이 이루어진다는 가정에 의한 것이다. 이 혼합비율을 통한 수괴 분석의 이론은 Miller(1950)가 제안한 후 Mamayev(1975)가 발전시켰으며 Chen et al.(1995)이 타이완의 북동해역을 연구할 때 사용하였으며 그 방법은 다음과 같다.

혼합비율을 통한 수괴 분석을 하기 위해서는 우선 전 계절에 걸쳐 해수특성이 뚜렷한 근원수괴를 파악하고 근원수괴의 대표값을 설정하여야 한다. 근원수괴의 대표값을 설정하는 방법은 격월별로 다른 값을 정하는 방법과 전 계절에 통일되는 값으로 고정시키는 방법이 있다. 그런데 격월별로 다른 값을 적용하여 분석한 결과, 기준이 서로 달라 계절별로 비교하기에 적당하지 않았다. 따라서 이 논문에서는 4 수괴의 대표값을 고정시키는 방법을 채택하였다. 4 개의 근원 수괴에 대한 대표값은 그림4를 참고하여 표3에 제시되었다.

혼합비율은 T-S diagram상의 임의의 자료에서 각 수괴에 대한 거리를 계산함으로써 이루어진다. 옆의 그림은 4 개의 근원수괴에 대한 각각의 수온 염분값을 나타낸 것으로 임의의 해수(P(P_x , P_y))가 A(A_x , A_y), B(B_x , B_y), C(C_x , C_y), D(D_x , D_y)의 혼합으로 이루어진다고 가정하자. 네 근원수괴 A, B, C, D가 혼합해서 해수 P를 구성하는 혼합비율을 각각 f_a , f_b , f_c , f_d 라고 하면, $f_a + f_b + f_c + f_d = 100(\%)$ 이 된다. 여기서 선분AB를 m : n으로 내분하는 좌표를 Q(Q_x , Q_y), DC를 m : n으로 내분하는 좌표를 R(R_x , R_y)이라고 하고, 선분AD를 k : l로 내분하는 좌표를 S(S_x , S_y), 선분BC를 k : l로 내분하는 좌표를 T(T_x , T_y)라고 하자. 그러면 P는 선분ST를 m : n, 선분QR를 k : l로 내분하는 점이 된다. 그러므로 P에 대한 각 근원수괴의 비율은 $f_a = l \times n$, $f_b = l \times m$, $f_c = k \times m$, $f_d = k \times n$ 이 되고(단, $k+l=1$, $m+n=1$ 일 때), 각 값에 100을 곱해 주면 백분율로 환산된다. 따라서 값을 알고 있는 임의의 해수 좌표와 네 근원수괴의 좌표를 이용하여 내분하는 거리의 비율을 구하면 임의의 해수의 혼합비율을 알 수 있게 된다. 내분하는 거리의 비율은 다음과 같이 구한다.



따라서 값을 알고 있는 임의의 해수 좌표와 네 근원수괴의 좌표를 이용하여 내분하는 거리의 비율을 구하면 임의의 해수의 혼합비율을 알 수 있게 된다. 내분하는 거리의 비율은 다음과 같이 구한다.

선분AB를 $m : n$ 으로 내분하는 점 Q의 좌표는

$$Q(Q_x, Q_y) = Q\left(\frac{m \times B_x + n \times A_x}{m+n}, \frac{m \times B_y + n \times A_y}{m+n}\right) \quad (1)$$

이 되고, 선분DC를 $m : n$ 으로 내분하는 점 R의 좌표는

$$R(R_x, R_y) = R\left(\frac{m \times C_x + n \times D_x}{m+n}, \frac{m \times C_y + n \times D_y}{m+n}\right) \quad (2)$$

가 된다. 선분QR을 지나는 직선의 방정식은

$$y - Q_y = \frac{Q_y - R_y}{Q_x - R_x} (x - R_x) \quad (3)$$

인데, 이 직선은 점 P를 지나므로 x, y 대신에 각각 P_x, P_y 를 대입하면,

$$P_y - Q_y = \frac{Q_y - R_y}{Q_x - R_x} (P_x - Q_x) \quad (4)$$

이 된다. (4)식에서 Q_x, Q_y, R_x, R_y 를 (1)과(2)의 A_x, A_y, B_x, B_y 로 대치시켜 정리하면,

$$\begin{aligned} & P_y(mB_x + nA_x) - P_y(mC_x + nD_x) + (mB_y + nA_y)(mC_x + nD_x) \\ &= P_x(mB_y + nA_y) - P_x(mC_y + nD_y) + (mB_x + nA_x)(mC_y + nD_y) \end{aligned} \quad (5)$$

이 되고, m 과 n 으로 묶어 다시 정리하면,

$$\begin{aligned} & m((P_y B_x - P_y C_x) - (P_x B_y - P_x C_y)) + \\ & n((P_y A_x - P_y D_x) - (P_x A_y - P_x D_y)) + \\ & m^2(B_y C_x - B_x C_y) + \\ & n^2(A_y D_x - A_x D_y) + \\ & mn(B_y D_x + A_y C_x - (B_x D_y + A_x C_y)) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

이 된다. (6)식에서

$$\begin{aligned} E_1 &= (P_y B_x - P_y C_x) - (P_x B_y - P_x C_y) \\ E_2 &= (P_y A_x - P_y D_x) - (P_x A_y - P_x D_y) \\ E_3 &= B_y C_x - B_x C_y \\ E_4 &= A_y D_x - A_x D_y \\ E_5 &= B_y D_x + A_y C_x - (B_x D_y + A_x C_y) \end{aligned} \quad (7)$$

이라고 하자. 여기에 $m+n = 1$ 을 이용하여 m 으로만 정리하면, (6)식은

$$m^2(E_3 + E_4 - E_5) + m(E_1 - E_2 - 2E_4 + E_5) + E_2 + E_4 = 0 \quad (8)$$

이 된다. 여기에 다시

$$\begin{aligned} \alpha &= E_3 + E_4 - E_5 \\ \beta &= E_1 - E_2 - 2E_4 + E_5 \\ \gamma &= E_2 + E_4 \end{aligned} \quad (9)$$

로 놓고 근의 공식을 이용하면 m 값을 구할 수 있다.

$$\therefore m = \frac{-\beta \pm \sqrt{(\beta^2 - 4\alpha\gamma)}}{2\alpha} \quad (10)$$

이다. 따라서 m 값은 두 값중 양의 값을 취하면 되고, $n=1-m$ 으로 구한다. 이와 똑같은 방법으로 k, l 값도 구할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해수분포의 계절변화

3.1.1 T-S diagrams로 본 해수분포

(1) 계절분포

황해와 동중국해에서 관측된 해수특성값의 계절분포를 보기 위해 그림4와 같이 2월과 4월, 8월, 10월의 해수특성치를 T-S diagrams에 표시하였다. 가로축은 염분 (30~35‰), 왼쪽 세로축은 수온 (0~30℃), 오른쪽 세로축은 sigma-t이다. 편의상 수온의 최대값은 30℃로 제한했으나 이를 벗어나는 특성값의 수는 많지 않다.

겨울철인 2월의 해수특성분포는 크게 쿠로시오 해수와 동중국해 해수로 구분된다. 쿠로시오 해수는 고염이며, 동중국해 해수는 쿠로시오 중층수와 연결된 대마난류수로부터 저온저염의 황해냉수로 연결된다. 동중국해 해수가 쿠로시오 해수의 중층수 (10~18℃, 34.4~34.8‰, Sverdrup et al., 1942)와 연결되고, 쿠로시오 표층수 (>21.2℃, >34.74‰, Chen, 1994)와 연결되지 않는 것은 특이한 점이다. 4월의 해수특성분포는 2월과 비슷한 구조를 보이며, 전체적으로는 수온상승이 나타나고 있다.

여름철인 8월에는 겨울철 해수특성분포 구조를 기본으로 고온저염화된 표층수가 나타나고 있다. 고온저염의 양자강연안수(<32‰)가 뚜렷하게 나타나고, 이로 인해 동중국해 해수가 폭넓게 저염화되고 있다. 겨울철 황해냉수의 특성치보다는 다소 고온고염이긴 하지만 10℃이하, 33.4‰이하의 냉수(황해저층냉수)가 나타나고 있다. 10월달 분포는 8월과 비슷한 특징을 보이고 있다. 그러나 표층수의 수온·염분특성치는 전반적으로 8월보다 낮으며, 특히 양자강연안수의 수온특성치는 5℃ 정도 낮아졌다. 황해저층냉수의 특징은 8월보다 뚜렷하게 나타나고 있는데 이것은 관측점의 차이 때문이다.

(2) 공간분포

해수특성의 해역별 분포 특징을 보기 위해 연구해역을 그림.5와 같이 위도·경도를 각 1°로 하는 단위격자망으로 나누었다. 각각의 단위격자망은 왼쪽 아랫부분에 제시한 것처럼 가로축을 염분(30~35‰), 세로축을 수온(0~30℃)으로 하는 T-S diagrams로 이용하였다. 그림.6은 그림.5에서 보인 격자망 부분만을 확대한 것으로, (A)는 2월, (B)는 4월, (C)는 8월, (D)는 10월의 분포도이다. 점선은 200m 등수심선으로 동중국해의 대륙붕단을 나타내고 있다.

겨울철인 2월에는 그림4에서 보였던 겨울철 특징인 쿠로시오 해수와 동중국해 해수가 대륙붕단을 경계로 뚜렷하게 구분되어 분포하고 있다. 황해 중심해역에서는 저온저염수들이 분포하고 있으며 제주 서부해역에서는 뚜렷하진 않지만 고염수가 나타나고 있다. 대륙붕단상에 분포하고 있는 대마난류수는 대만 부근해역에서 대한해협으로 연결되고 있다. 만약 알려진 바와 같이 어떤 특정 해역을 통해 대마난류수가 쿠로시오에서 분지된다면 (Uda, 1934 Nitani, 1972 Kondo, 1985), 동중국해 대륙붕상에 쿠로시오 표층수의 특징이 나타나는 해역이 있어야 한다. 그러나 그러한 해역은 보이지 않으며 특별한 분지해역도 찾기 어렵다. 4월달에는 관측 해역이 2월과 조금 다르지만 해수특성분포에 있어서는 비슷한 특징들을 보이고 있다.

여름철인 8월에는 수온상승과 담수의 유입에 의한 고온저염화 때문에 겨울철(2월)에 뚜렷한 구분을 보이던 쿠로시오 해수와 동중국해 해수의 구분이 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 동중국해 북부해역에서는 고온저염의 양자강연안수가 대한해협 근처까지 폭넓게 분포하고 있으며, 뚜렷하지는 않으나 그림.4에서 나타났던 여름철 황해저층냉수가 제주 남서부해역까지 분포하고 있다. 10월달의 전반적인 분포형태는 8월과 비슷하다. 그러나 표층수의 수온, 염분 특성치가 여름철인 8월보다 낮아진 것을 볼 수 있으며, 저염수의 분포해역도 축소되어 나타나고 있다.

해수특성변화에서 겨울철과 여름철의 차이는 여름철에 표층수가 고온저염화되는 현상이다. 태양에너지에 의한 수온상승과 급증하는 강우와 강수에 의한 저염수의 유입으로 나타나는 저염화 현상은 해수특성들을 변화시키는 요인들이다. 연구 해역에 있어 이런 현상들은 쿠로시오 해역보다는 동중국해에서 두드러지며, 그 중에서도 양자강연안수가 영향을 미치는 해역에서 가장 두드러진 특징을 보인다.

3.1.2. 해수특성의 수평분포로 본 해수분포

그림.7은 수온과 염분의 수심별(0m, 50m, 100m) 수평분포도이다. 겨울철인 2월(그림.7(A))에는 황해입구를 제외하고는 각 수심별 수온과 염분이 비슷한 분포구조를 보이고 있다. 이런 연직구조는 겨울철에 강한 수직혼합이 일어나고 있음을 보여주고 있다. 황해입구 해역에서 특성별과 수심별로 해수특성분포가 다르게 나타나는 이유는 이 해역이 해수들이 마주쳐 복잡한 곳인데 비해 관측점은 별로 많지 않기 때문으로 보인다. 따라서 겨울철에 황해중앙부에 나타나는 난류수의 복상은 이 그림에서는 뚜렷하지 않다. 황해입구 해역에서 비교적 조밀한 관측점을 갖는 4월분포(그림.7(B))에서는 난류수의 복상구조가 나타나고 있으며, 전반적인 수온분포도는 2월과 비슷한 구조를 보인다. 그러나, 4월달임에도 불구하고 표층염분분포(0m)에서는 동중국해로 확장되는 저염수의 분포가 나타나고 있다.

여름철인 8월(그림.7(C))에는 2, 4월과 달리 0m와 50m의 수온과 염분의 분포 구조가 서로 다르다. 이것은 여름철 표층수의 고온저염화로 인해 해수의 연직구조가 달라지고 있음을 보여주고 있다. 표층분포(0m)에서는 전 해역이 고온화되어 있으며, 양자강입구에서부터 동중국해 전반에 걸쳐서는 저염수가 폭넓게 분포하고 있다. 이 저염수의 영향으로 북위 29°N~33°N 사이의 대륙붕단 부근에서는 강한 염분전선이 형성되어 있다. 이런 전선구조는 수심 50m층의 수온분포도에서도 나타나고 있다. 표층에서 염분전선이 형성된 위치에 저층에서는 수온전선이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 수온전선의 형성은 황해중심에서 동중국해 방면으로 황해저층냉수가 남하하고 있을 가능성을 보여주고 있다.

황해저층냉수의 남하는 수온특성의 변화를 감안하면 보다 쉽게 설명될 수 있다. 황해 저층(50m층)의 수온특성분포를 보면 겨울철인 2월(그림.7(A))에 황해중심 해역에서 8°C의 특성을 보이던 해수가 여름철인 8월(그림.7(D))에는 11°C로 약 3°C정도 상승한다. 이런 수온상승을 감안한다면, 여름철에 황해저층냉수가 상당부분 동중국해로 남하한다고 볼 수 있다. 그러나 이런 고려는 타당함에도 불구하고 근거가 충분하지 않다. 따라서 이러한 고려를 보다 체계적으로 하기 위해 다음 절에서 혼합비율을 계산하는 수지분석으로 해수분포를 살펴보았다.

3.1.3 수지분석으로 본 해수분포

그림.4에 나타난 황해와 동중국해의 수지는 쿠로시오 심층수를 제외하면 크게 4개의 수지로 나눌 수 있다. 우선 겨울철(2월)에 나타나는 동중국해 해수와 쿠로시오해수가 연결되는 지점에 위치하는 저온고염의 대마난류수(TWW, Tsushima Warm Water)와 저온저염의 황해냉수(YSCW, Yellow Sea Cold Water)가 있으며 여름철에 나타나는 고온저염의 양자강연안수(CCW, Changjiang Coastal Water)와 여름철에 고온화된 고온고염의 쿠로시오 표층수(KSW, Kuroshio Surface Water)가 있다. 쿠로시오 표층수는 여름철에 고온화된 대마난류 표층수를 포함하고 있지만 겨울철 특성을 포함하기 위해 쿠로시오 표층수라 하였다. 쿠로시오 심층수는 동중국해 수지분석에 있어 필요하지 않기 때문에 고려하지 않았다.

혼합비율을 구하기 위해서는 이 4개 수지들을 대표하는 특성값을 정해야 한다. 이 때의 대표값은 각 수지의 특성을 대표한다기 보다는 T-S diagram상의 해수들을 포함할 수 있는 값이어야 하기 때문에 극한값들이다. 4개의 해수타입은 T-S diagrams (그림.4)에 기초해서 각 계절의 특징을 최대한 포함할 수 있는 해수특성치를 선택하였다. 계절에 따라 해수특성값을 각각 달리 사용하는 것은 기

준이 일정치 않아 계절변화를 비교하는데 어려움이 있기 때문에 여기서는 전 계절을 통해 같은 해수특성값을 사용했다. 이들의 특성값은 그림.8(A)에 제시되어있다. 혼합비율계산은 수온과 염분만을 가지고 수지분석을 하였던 Miller(1950)의 식을 사용하였으며, 4개의 수지가 각각 독립적으로 혼합하는 것이 아니라 수평방향과 수직방향으로 2쌍의 수지사이에 주로 혼합이 이루어진다는 가정에 의한 것이다(그림.8(B)).

그림.9는 해수타입의 혼합비율을 계산한 결과를 수심별(0m, 50m, 100m)로 나타낸 것이다. 겨울철인 2월(그림.9(A))에는 YSCW와 TWW가 주된 분포를 보이고 있다. 0m와 50m층에서 YSCW는 황해중심에서 약간 중국쪽으로 치우친 채 분포하고 있다. 이런 분포 형태는 해수특성의 수평분포에서 보여주었던 형태

와 상당히 유사하다. TWW는 표층(0m)과 중층(50m)에서 황해남부까지 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이고 있다. 이 해수가 황해남부까지 분포를 보이는 것은 TWW가 겨울철에 황해남부에 이르기까지 동중국해 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있음을 보여주며, TWW가 겨울철에 황해방면으로 북상하여 분포하는 것을 알 수 있다. 4월(그림. 9(B))에도 전반적인 수괴분포 특징은 2월과 비슷하다. 그러나 TWW가 2월보다는 상당부분 대륙붕단 부근으로 축소되어 있다. 수평분포에서 보여주었던 분포와는 조금 다른 양상을 보이고 있는 것으로 보아 자료의 분포가 불규칙 (동중국해 남쪽해역의 자료가 거의 없음) 한데 그 원인이 있는 것 같다.

여름철인 8월(그림. 9(C))에는 표층(0m)에서는 CCW와 KSW가, 50m층에서는 TWW와 YSCW가 주된 분포를 보이고 있다. CCW는 양자강 주변해역에서 동중국해를 가로질러 제주 동쪽해역까지 이르는 폭넓은 분포를 보이고 있다. 50m층에서는 겨울철(2월)에 황해부근까지 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이던 TWW가 대륙붕단 부근에 축소되어 분포하고 있다. YSCW는 그 혼합비율 정도는 작지만 황해방면에서 동중국해 방면으로 확장되어 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 10월분포(그림. 9(D))에서는 TWW의 분포가 거의 제주도 근방에 치우쳐 있다.

혼합비율을 이용한 수괴분석 결과는 수온과 염분의 수평분포에서 확실하지 않았던 부분을 명확하게 보여주었다. 즉, 황해와 동중국해에서는 난류수가 겨울철에 황해방면으로 북상하여 분포하는데 비해, 여름철에는 동중국해 방면으로 남하하여 분포한다. 이것은 황해저층냉수의 이동과 함께 발생하며 대마난류수는 겨울철에 북상하고 여름철에 남하하는 계절변화를 보여준다.

3.1.4. 해수분포 변화로 본 유량변동

겨울철에 황해방면까지 분포했던 대마난류수가 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하는 것으로부터 대한해협을 통과하는 대마난류수 유량의 계절변동량을 대략 계산해 볼 수 있다.

그림. 10(A), (B)는 그림. 11에서 동중국해를 가로지르는 S선과 P선의 수온과 염분의 수직단면도를 보여준다. S선의 수온분포에서는 겨울철에 황해냉수의 경계로 받아들여지고 있는(현, 1996 Pang et al, 1998) 33.5%이하, 10°C이하의 해수가 S2이북에 분포하고 있다. 또한 34%이상 고염의 대마난류수가 대략 S2부근에까지 분포한다. 여름철에는 수온의 증가로 저층냉수를 어느 온도로 정해야 하는지 쉽지 않다. 따라서 여름철에는 염분으로만 구분해 보았으며 일단 34%을 대마난류수의 경계로 생각해 보았다. 염분분포에서 2월에 S2지점에 나타났던 34%선은 8월에는 S3의 저층에 나타나고 있다. P선에서도 대략 겨울철에 P2에서 여름철에 P3로 이동하고 있다. S2지점에서 S3지점까지의 거리는 약 240km이다. 대마난류수의 남북거리를 대륙붕단과 평행하게 약 1000km 정도로 하고, 100m의 수심을 갖는다고 할 때, 이 만한 양의 대마난류수가 약 6개월간의 시간간격으로 대한해협으로 유출된다면, 이 때의 유량변동폭은 약 1.5Sv 정도일 것이다. 이 수치는 대한해협의 유량변동폭(약 2.0Sv)과 일치하지는 않지만 근사치를 보여주고 있다.

3.2 해수순환의 계절변화

3.2.1 힘의 균형

지금까지 살펴본 해수분포의 계절변화는 겨울철에 황해방면으로 북상하는 난류수의 분포와 여름철에 동중국해 방면으로 남하하는 황해저층냉수의 분포를 특징적으로 보여주었다. 이에 따라 겨울철에 동중국해 전반에 걸쳐 폭넓은 분포를 보이던 대마난류수는 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하게 되며, 이 축소된 거리로 유도된 대마난류수의 유량변동폭(약 1.5Sv)은 대한해협을 통과하는 대마난류수의 유량변동폭과 근사치를 이루었다. 이 절에서는 이러한 변화를 아끼시키는 원인을 알아보기 위해 황해와 동중국해의 해수면 변화를 살펴보았다.

해수면 변화를 보기 위해 그림. 3에 제시된 관측점에서 일부 자료만을 선택해 그림. 11과 같이 황해와 동중국해를 가로지르는 S선과 양자강입구 부근에서부터 동중국해를 동서로 가로지르는 P선의 해수면의

변화를 살펴보았다. 해수면 높이는 역학심도로 구했으며 무류면은 해저로 놓았다.

그림.12에서 점선은 2월, 실선은 8월의 해수면을 나타낸다. 해역은 S선에서는 황해(Y)와 동중국해 안쪽해역인 동중국해 내해(EI), 대륙붕단 부근인 동중국해 외해(EO), 쿠로시오 해역(K)으로 구분하였다. P선에서는 양자강부근 해역(C)과 동중국해 내해(EI), 동중국해 외해(EO)로 구분하였다. 분석상의 편의를 위해 2월을 기준으로 하고, 8월 해수면 높이에서 일정값을 뺀 후 S2와 P2의 해수면을 일치시켜 2월달 해수면과 같은 선상에 놓고 비교하였다.

S선과 P선이 같은 경향을 보여주고 있는데, 동중국해 내해(EI)에서는 2월보다 8월에 완만한 해수면 경사를, 동중국해 외해(EO)에서는 2월보다 8월에 급한 해수면 경사를 보여주고 있다.

여름철 동중국해 내해의 완만한 경사는 수온상승과 담수의 유입에 의한 해수특성의 변화로 설명될 수 있다. 고온저염화된 동중국해 내해의 해수는 겨울보다 여름에 높은 해수면을 형성하면서 해수면 경사는 완만해진다. 완만해진 해수면 경사는 동중국해 외해쪽에서 내해쪽으로 형성되는 압력장(pressure field)을 약화시키면서 겨울철 동중국해 내해쪽으로 확장된 해수를 대륙붕단 방면으로 이동시키게 된다. 이것은 여름철 황해저층냉수가 동중국해 방면으로 남하할 수 있는 원인을 제공해줌과 동시에 대마난류수가 대륙붕단 방면으로 축소되어 분포하는 원인을 설명해 주고 있다. 대륙붕단 쪽으로 밀려든 해수로 인해 대륙붕단 부근에서는 전선이 형성되어 해수특성의 변화가 커지게 되고, 결국 대륙붕단 부근의 해수면 경사는 겨울철보다 여름철에 커지게 된다. 이것은 대마난류수가 겨울철보다 여름철에 강화되고 있음을 보여주고 있는 것으로, 여름철 대륙붕단 부근에서 대마난류수는 폭이 좁아지면서 유속이 빨라지게 된다. 또한 이 해역은 수심이 깊은 곳이기 때문에 전체적으로는 유량이 증가하게 된다.

3.2.2 역학심도로 본 해수순환

황해와 동중국해의 해수순환구조를 살펴보기 위해 역학심도편차(dynamic depth anomaly)를 계산해 그 분포를 살펴보았다.

그림.13은 수심이 500m이하일때는 표층에서 저층까지, 수심이 500m이상일때는 표층에서 500m까지를 무류면으로 한 역학심도편차 분포도이다. 500m는 동중국해의 대마난류를 파악하기에는 충분한 수심이다. 참고로 수심이 500m이상인 곳은 쿠로시오 중층수의 하부에 가까우며, 쿠로시오 수송량의 거의 대부분은 500m이전에서 나타나기 때문에(Nitani, 1972), 500m보다 이심인 곳에서의 변화는 무시할 수 있다.

겨울철인 2월에 0.3~1.4의 분포범위를 보이는 쿠로시오 해수의 역학심도편차가 여름철인 8월에는 0.5~1.5의 분포범위를 보인다. 이것은 쿠로시오가 계절에 따른 변화를 거의 하지 않음을 나타내고 있으며, 오히려 여름보다 겨울에 유량이 증가할 수 있음을 보여준다. 이에 비해 대한해협에서는 겨울철인 2월에 0.2~0.3으로 0.1정도의 차를 보이던 것이 여름철인 8월에는 0.3~0.5로 0.2정도의 차를 보임으로써 겨울철보다 약 2배정도 증가했음을 알 수 있다. 이는 대한해협을 통과하는 대마난류수의 흐름이 겨울철보다 여름철에 2배정도 빠르다는 것을 보여주고 있으며, 결국 2배정도의 유량증가를 기대할 수 있다.

대한해협을 가로지르는 등치선들은 대륙붕단을 따라 대만부근 해역으로 연결되고 있다. 이것은 대마난류수가 어떤 특정 해역을 통해 쿠로시오로부터 분지된다는 견해 (Uda, 1934 Nitani, 1972 Kondo, 1985)와는 다른 결과를 보여주는 것으로, Lee(1996)의 보고에서도 동중국해 내에서 쿠로시오로부터 분지되는 대마난류수의 흐름은 나타나고 있지 않다. 참고로 이것은 그림. 4에서 2월에 쿠로시오 해수와 동중국해 해수가 분리되어 나타난 것과 일치하는 결과다. 또한, 대륙붕단 바깥쪽을 따라 북상하는 쿠로시오는 류슈 남서쪽해역에서 시계방향의 회전을 가지며, 이 해수는 도카라 해협을 통해 동중국해를 빠져나가고 있다. 이런 양상은 쿠로시오가 대마난류에 직접적인 영향을 주지 않는다는 것을 의미하며, 대한해협의 유량변화가 쿠로시오에 의한 것이 아니라 동중국해 해수순환의 변화에 의한 것이라는 견해를 뒷받침해 주고 있다.

3.3 인공위성 자료에 나타난 해수분포의 계절변화

3.3.1 제주도 서부와 황해 입구 해역의 해수분포 특성과 계절변화

국립수산진흥원에서 직접 수신한 NOAA인공위성의 고해상도(AVHRR) 열감지기 자료를 분석하여 최근 8년(1993-2000)간 동중국해 해역의 표면수온분포도를 이용하여 수괴분포특성을 알아본 결과, 동중국해에 속하는 제주도 남부해역은 쿠로시오의 영향으로 1993년을 제외하고는 거의 27℃이상의 고온대를 형성하고 있음을 알 수 있다. 그리고 전반적으로 고수온의 분포가 제주도 서쪽 편을 중심으로 황해 쪽으로 발달되는 특성을 보여주고 있으며, 1995년의 경우 제주도의 서쪽에서 남북으로 고온대가 발달되어 있는 반면 1994년 이후는 동서로 고온대가 발달되어 있다. 동중국해의 4월의 수온분포를 살펴보면 13℃이상의 수온대가 제주도 서쪽에 제한되며 제주도 서쪽에서 중국대륙 쪽으로 상대적으로 수온이 낮은 13℃이하의 수온이 분포하고 있다.

그림14-19는 1997년 1월부터 11월까지 2개월 간격으로 동중국해와 동해의 표층수온변동을 나타낸 것이다. 1월의 동중국해와 황해의 표층수온인 그림14를 살펴보면 약 15℃정도의 수온대가 제주도 북쪽으로 확장되어 있으며, 양자강 북쪽까지 영향을 주고있음을 알 수 있다. 그리고 중국과 우리나라 연안역에는 10℃이하의 저수온대가 발달되어 있음을 알 수 있다. 3월의 표층수온분포(그림15)은 1월에 비하여 15℃이상의 고수온대가 동중국해 북쪽에 위치한 황해 중심부로 상당히 확장되어 있음을 알 수 있다. 황해중심부에서는 약 10℃에서 15℃사이의 수온대가 서서히 발달되는 양상을 보여주어 3월에는 대마 난류의 세력이 1월에 비하여 약해져 있음을 알 수 있다. 5월의 표층수온(그림16)에서는 15℃이상의 고온대가 동중국해에 전반적으로 발달하며, 남쪽에는 20℃이상의 고온대가 형성되기 시작한다. 황해에도 15℃정도의 수온대가 형성되기 시작함을 알 수 있고 고수온대의 복잡한 와류도 상당히 발달됨을 알 수 있다. 7월의 표층수온분포(그림17)에는 25℃정도의 고수온대가 황해 및 동중국해에 널리 발달되고 있으며, 한국 서해안과 북쪽에 15℃정도의 낮은 수온이 아직 약하게 형성되어 있다. 따라서 7월부터는 황해와 동중국해의 표층수온이 거의 20℃이상으로 널리 발달됨을 알 수 있다. 9월의 표층수온분포(그림18)에서는 25℃이상의 고수온대가 황해와 동중국해 전체에 발달되어 있다. 특이한 것은 이러한 고수온대에서도 한국 남해안 부근과 연안역에는 15℃정도의 낮은 수온대가 발달되어 있는데 이것은 연안역의 조석혼합과 관계 있을 것이다. 11월의 표층수온분포(그림19)에는 20℃정도의 수온분포가 황해와 동중국해에 발달되어 있으나, 상대적으로 한국과 중국의 연안역에는 15℃정도의 낮은 수온대가 형성되어 있다. 또한 황해북쪽에서는 10℃이하의 찬 냉수대가 서서히 형성되기 시작함을 알 수 있다. 이러한 결과를 살펴볼 때 11월경에는 수온이 급격히 낮아진다

3.3.2 황해와 동중국해 전체의 해수분포 특성과 계절변화

그림 20-23은 1999년 5월부터 2000년 4월까지 월평균 표층수온 중 2, 5, 8, 11월의 동중국해와 동해의 표층수온변동을 나타낸 것이다. 계절별 해수분포를 보면 겨울철의 경우 대부분 10℃이하의 저수온대가 황해에 분포하며 대마난류의 영향으로 약 12℃정도의 상대적인 고온수가 황해 쪽으로 확장되는 형태를 보여주고 있다. 표층의 저수온대는 5월까지의 그 세력을 어느 정도 유지하다가 7월경에는 거의 완전히 소멸한다. 7월경부터는 25℃이상의 고수온대가 황해전역에 분포하고 있으며, 이러한 고수온대의 강한 세력이 9월에 가장 강하게 나타나는 것으로 보인다. 고수온대는 10월경에는 거의 소멸하고 20℃정도의 수온이 황해전역에 분포하며 황해북쪽과 중국과 한국 연안역을 따라 15℃이하의 저수온대가 형성되기 시작한다.

이러한 인공위성 분포는 겨울철에 대마난류수가 황해로 확장하는 것은 뚜렷하게 보여준다. 여름철에는 황해연안수가 동중국해로 확장되는 것으로 보이는 분포가 나타나지만 그 해수가 황해에 넓게 분포하는 연안수인지는 확실하지 않다.

4. 결론

동중국해 해수분포의 계절변화와 이에 따른 해수순환의 계절변화가 대한해협 유량의 계절변화에 어느 정도 영향을 주는 가를 파악하기 위해 1965~1989년까지의 CSK자료를 사용하여 특성분포분석과 수괴분석을 실시하였다.

그 결과 동중국해 해수분포의 계절변화는 크게 두 가지 특징을 보이고 있다. 첫째, 겨울철에는 대마난류수가 동중국해로부터 황해방면으로 북상하여 분포하고 있다. 이로 인해 동중국해 전반에 걸쳐 대마난류수가 폭넓은 분포를 보이지만, 여름철에는 대마난류수가 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포한다. 둘째, 여름철 표층에서는 동중국해 방면으로 양자강연안수가 폭넓게 분포하고 있으며, 저층에서는 황해저층냉수가 황해중심 골을 따라 동중국해 방면으로 남하하고 있다. 이런 특징들은 황해와 동중국해의 해수순환 양상을 보여주는 결과들에 의해서도 확인 될 수 있다. 그림.24(A)와 그림.24(B)의 해수순환 패턴은 정확히 일치하지는 않지만 두 그림 모두 겨울철에 황해쪽으로 북상하던 대마난류수가 여름철에는 대륙붕단 방면으로 축소되는 계절변화를 보여주고 있다. 또한 이런 결과들은 Pang et al. (1992, 98)이 제시한 황해와 동중국해 해수순환의 계절변화 모식도를 잘 뒷받침해 주고 있다 (그림.25).

이와 같은 동중국해 해수순환의 계절변화는 동중국해 내해의 압력장(pressure feild)의 변화에서 비롯되는 것으로 나타났다. 여름철에 동중국해 방면으로 폭넓게 확장된 양자강연안수는 해수면 경사를 완화시켜 겨울철에 동중국해 방면에서 황해 방면으로 향하던 압력경도력을 약화시키는 역할을 한다. 약화된 압력경도력의 영향으로 황해중앙으로부터 저층냉수가 남하하게 되고, 동중국해 해수는 대륙붕단 부근으로 이동된다. 결국 겨울철에 동중국해 전역에 걸쳐 폭넓게 분포하던 대마난류수는 여름철에는 대륙붕단 부근으로 축소되어 분포하면서 대륙붕단 부근에 강한 전선을 형성하게 된다. 강한 전선으로 인해 대마난류의 유속은 빨라지며 대륙붕단 부근으로 이동되어 분포해역이 축소된 대마난류수는 대한해협으로 유출되면서 대한해협의 유량을 증가시킨다. 축소된 거리에 의해 유도된 대마난류수 유량의 변동폭은 약 1.5Sv정도이다. 이것은 대한해협을 통과하는 유량의 변동폭과는 일치하지 않지만, 대한해협 유량의 계절변화에 영향을 주기에는 충분하다.

이 연구결과에 의해 나타난 황해 하층수의 계절순환과 Lee et al. (1999)에 의한 상층수의 계절변화는 황해순환을 이해하는 매우 좋은 결과를 제시해 준다. Lee et al. (1999)에 의하면 여름철에 양자강연안수가 제주해협으로 흘러 온 후에 일부는 제주해협으로 유출되어 남해안을 지난 후 동해로 유출되지만 일부는 서해안을 통해 황해로 유입된다. 이 저염수는 그림26과 같이 1년에 걸쳐 반시계방향으로 황해에서 이동한다. 이 결과는 황해의 해수순환이 경압순환이며 앞으로 황해순환을 설명하는 데 매우 중요한 역할을 할 것이다.

5. 인용문헌

- Asacka, O. and S. Moriyasu, 1966. On the Circulation in the East China Sea and the Yellow Sea in Winter (Preliminary Report). *Oceanogr. Mag.*, 18(1-2): 73-81.
- Byun, S.K. and K.I. Chang, 1988. Tsushima Current Water at Entrance of the Korea Strait in Autumn. *Prog. Oceanog.*, 21: 295-296.
- Chen C.T.A., R. Ruo, S.C. Pai, C.T. Liu and G.T.F. Wong, 1993. Exchange of water masses between the East China Sea and the Kuroshio off northeastern Taiwan, *Cont. Shelf Res.*, 15: 19-39.
- Chen C., R. C. Beardsley, R. Limeburner and K. Kim, 1994. Comparison of winter and summer hydrographic observations in the Yellow and East China Seas and adjacent Kuroshio during 1986, *Continental Shelf Res.* 14(7/8), 909~929.
- Kim, K., H.K. Rho and S.H. Lee, 1991. Water Masses and Circulation around Cheju-Do in Summer. *J. Oceanog. Soc. Korea*, 26(3): 262-277.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishery grounds in the East China Sea I, Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near the

bottom, *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 62, 19~66.

Lee H. C., 1996, A Numerical simulation for the water masses and circulations of the Yellow Sea and the East China Sea, *Kyushu Univ.* 120 ~133

Lee, J.H., H.-J. Lie and Y. Tang, 1999, Seasonal distribution of the low salinity core waters in the southern Yellow Sea, 10th PAMS/JECSS Workshop, Kagoshima, Japan.

Lie, H.J., 1984, A Note on Water Masses and General Circulation in the Yellow Sea (Hwanghae), *J. Oceanog. Soc.*, Korea, 19: 187-194.

-----, 1985, Wintertime Temperature and Salinity Characteristics in the south-western Hwanghae (Yellow Sea), *J. Oceanog. Soc. Japan*, 41: 281-291.

Manayev O.I., 1975, Temperature-Salinity Analysis of World Ocean Waters, Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, 374pp.

Miller A. R. 1950, A study of mixing processes of the edge of the continental shelf, *J. Mar. Res.*, 9(2).

Mitta, T. and Y. Ogawa, 1984, Tsushima currents measured with Current meter and Drifters : *In Ocean hydrodynamic of the Japan and East China Sea*, T. Ichiye, editor, Elsevier, Amsterdam, 67~76.

Nakao, T., 1977, Oceanic Variability in relation to Fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. Fac. Mar. Sci. Technol.*, Tokai Univ. Spec., No. Nov., 199-366.

Nishizawa J., E. Kamaihiro, K. Komura, R. Kumabe, and M. Miyazaki, 1982, Estimation of the Kuroshio Mass Transport Flowing out of the East China Sea to the North Pacific, *La mer* (Tokyo), 20(5), 5~59.

Nitani H., 1972, Beginning of the Kuroshio : KUROSHIO, Stommel, H. and K. Yoshida, editor, *Univ. Tokyo Press, Japan*, 129~163.

Pang I. C., H. K. Rho and T. H. Kim, 1992, Seasonal variations of Water Mass Distributions and their cause in the Yellow Sea, the East China Sea and the Adjacent Seas of Cheju Island, *Bull. Korean Fish. Soc.* 25(2), 151~163.

----- T. H. Kim, T. Matsuno, H. K. Rho, 1993, On the Origin of Tsushima Current(I) : Barotropic Case, *Bull. Korean Fish. Soc.* 26(6), 580~593.

----- K. H. Hyun, H. K. Rho, J. H. Lee and I. S. Oh, 1998, Seasonal variation of water mass distributions in the eastern Yellow Sea and the Yellow Sea Warm Current, *J. Oceanogr. Soc. Korea*, in print.

-----, K.H. Hyun, and H.K. Rho, 1999, Preliminary Study on Abnormally Low Salinity Waters around Cheju Island in summer, The East China Sea, 2: 91-102.

Park Y. H., 1985, Some important summer oceanographic phenomena in the East China Sea, *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 20(2), 12~21.

-----, 1986, A Simple Theoretical Model for the Up-wind flow in the southern Yellow Sea, *J. Oceanog. Soc. Korea*, 21, 203-210.

Qin Y. S. and F. Li, 1983, Study of influence of sediment loads discharged from the Hanghai river on sedimentation in the Bohai and the Hanghai Sea, In : *Proceedings of the International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with special reference to the East China Sea, April 12-16 : Hangzhou, China*, Vol. 1, China Ocean Press, Beijing, 83~92.

Schubel J. R., H. T. Shen and M. J. Park, 1984, A comparison of some characteristic sedimentation processes of estuaries entering the Yellow Sea, In : *Marine geology and physical processes of the yellow Sea, proceedings of Korea-U. S. Seminar and Workshop, June 19-23, 1984, Seoul, Korea*, 286~308.

Sverdrup H. V., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1942, *The oceans*, Prentice-Hall, New Jersey, pp.1087

- Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa and K. Hanawa, 1982. Seasonal and year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause, *La mer* (Tokyo), 20, 41~51. Also in "Proceedings of the First JECSS Workshop" (ed. by T. Ichiye and K. Takano), *The Japanese-French Oceanogr. Soc.*, 5~15.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932, *J. Jap. Fisher. Exp. st.*, 5, 57~190.
- Wernstedt F. L., 1972. World climate data, Climatic Data Press, pp.522.
- Wyrtki K., 1966. Seasonal variation of heat exchange and surface temperature in the North Pacific Ocean, *Hawaii Institute of Geophysics*, University of Hawaii, pp.80.
- Yanagi T. and S. Takahashi, 1993. Seasonal variation of Circulations in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. of Oceanogr.*, 49, 503~520.
- and A. Morimoto and K. Ichikawa, 1997. Seasonal variation in surface circulation of the East China Sea and the Yellow Sea derived from satellite altimetric data, *Continental Shelf Res.*, 17(6), 655~664.
- Yang Z. S., J. D. Milliman and M. G. Fitzgerald, 1983. Transfer of water and sediment from the Yangtze River to the East China sea, June, 1980, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 72~82.
- Yi S. U., 1966. Seasonal and Secular variations of the water volume transport across the Korea Strait, *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 12, 7~13.
- Youn, Yong-Hoon, Y.H. Park, and J.H. Bong, 1991. Enlightenment of the Characteristics of the Yellow Sea Bottom Cold Water and its southward Extension, *J. Korean Earth Science Society*, Vol. 12(1): 25-37.
- 남수용, 1996. 동중국해에서 대마난류 형성에 대한 수치실험 연구. 인하대학교 박사 학위논문, 25~50
- 방익찬, 김태희, 1990. 황해와 동지나해 해수순환에 대한 바람의 영향. 제주대학교 논문집. 31, 49~61
- 현경훈, 1996. 남·서해의 계절순환과 여름철 난류수의 서해 유입. 제주대학교 석사 학위논문, 12~17.

River	A. mean	Minimum	Maximum	Ref.
Changjiang	20.0	10.0 (Jan)	50.0 (July)	Yang et al. (1983)
Yalu	1.1	0.6 (Apr)	1.6 (July)	Schubel et al. (1984)
Huangho	0.9	0.5 (Feb)	2.0 (Sep)	Qin and Li (1983)
Han	0.8	0.1 (Jan)	3.2 (July)	Schubel et al. (1984)
Keum	0.2	0.03 (Jan)	0.5 (June)	Schubel et al. (1984)

Table.1 Freshwater discharge statistics for the five largest rivers flowing into the the Yellow Sea and the East China Sea, Values represent annual monthly averages and units are $10^3\text{m}^3/\text{s}$.

	A. mean	Minimum	Maximum	Ref.
Evaporation	16.8	32 (Jan)	4 (July)	Wyrcki (1966)
Precipitation	12.7	4.9 (Dec)	25 (June)	Wernstedt (1972)

Table.2 Monthly average precipitation at Shanghai from 1912 to 1972 and evaporation from 1947 to 1960 in the East China Sea, ($10^3\text{m}^3/\text{s}$)

Water Mass	T (°C)	S (‰)
Yangtze Coastal Waters (YCW)	29.8	30.1
Yellow Sea Cold Waters (YSCW)	6.0	31.4
Kuroshio Middle Waters (KMW)	14.0	35.0
Kuroshio Surface Waters (KSW)	29.9	34.8

Table3, Four source water masses and thier characteristic values for calculating mixing ratios, (They may be different from general definition,)

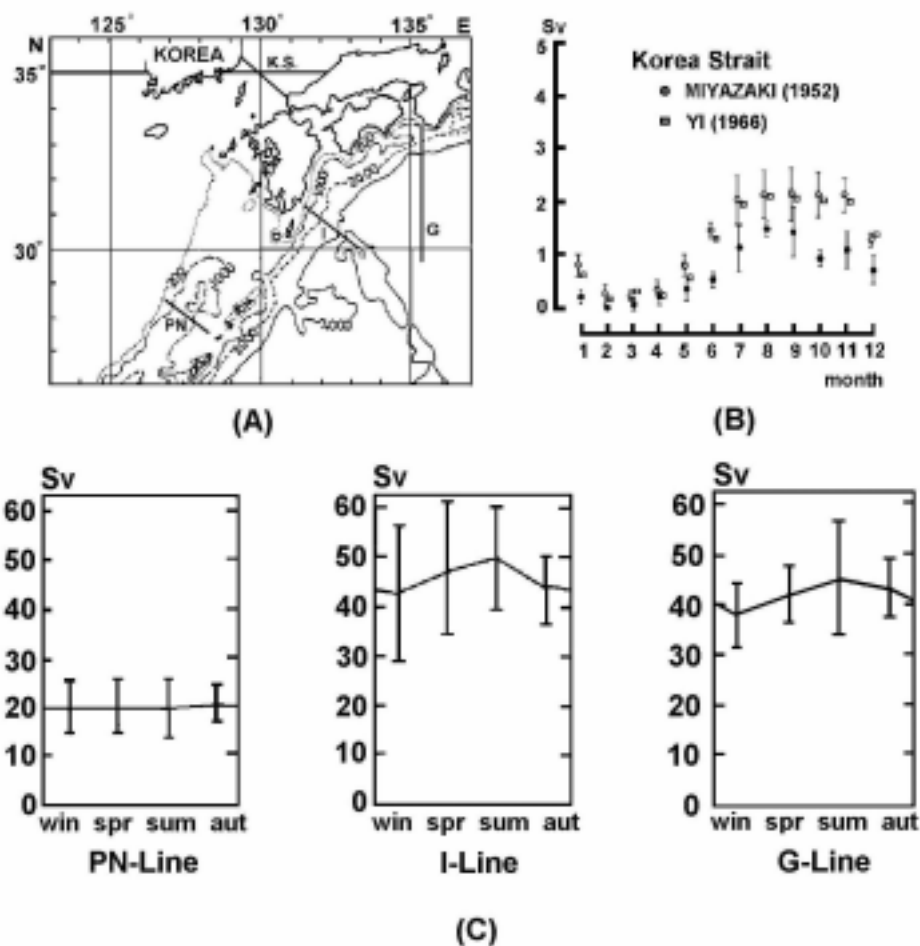


Fig.1. Seasonal variations of volume transport across the section KS, PN, I and G. (A) Location of the Sections. Sea floor depth in meters, (B) across the section KS (from Toba et al., 1982). (C) across the section PN referred to 700db surface and the sections I and G referred to 1000db surface. Standard deviation is shown, (from Nishizawa et al., 1982).

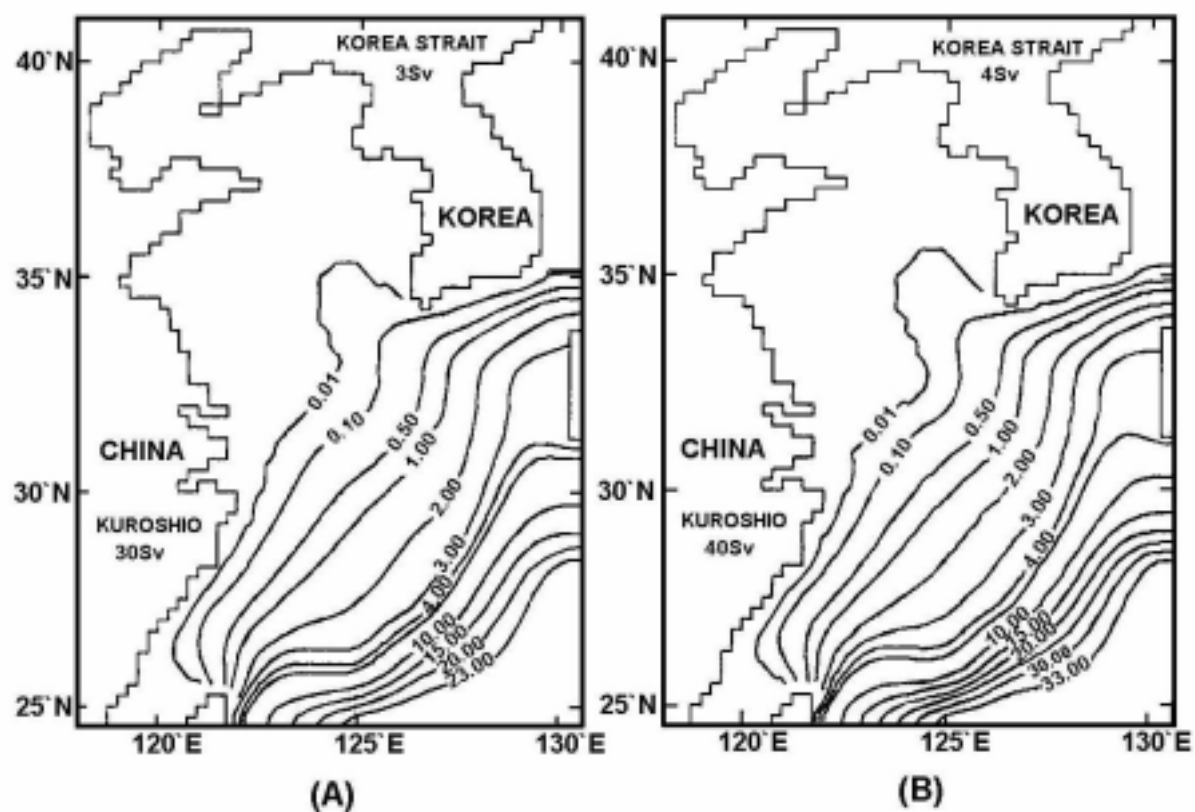


Fig.2. GCM model results for the input waters of (A) 30Sv and (B) 40Sv through a 300km-width section east of Taiwan. Waters freely flow out through the eastern boundaries. Stream lines in Sv unit, (from Pang et al., 1993).

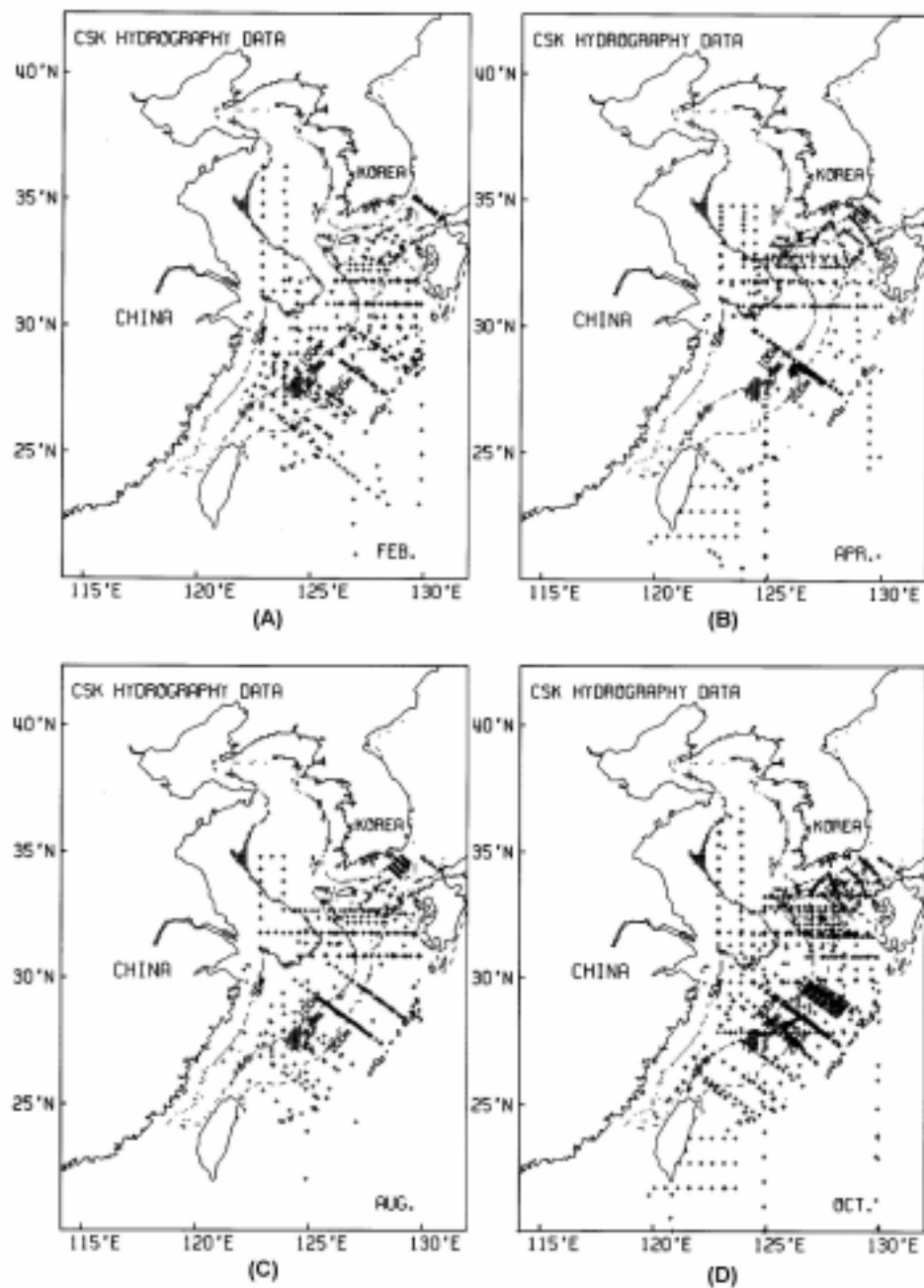


Fig.3. Stations of the Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions (CSK) in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug., and (D) Oct., during the period of 1965~1989.

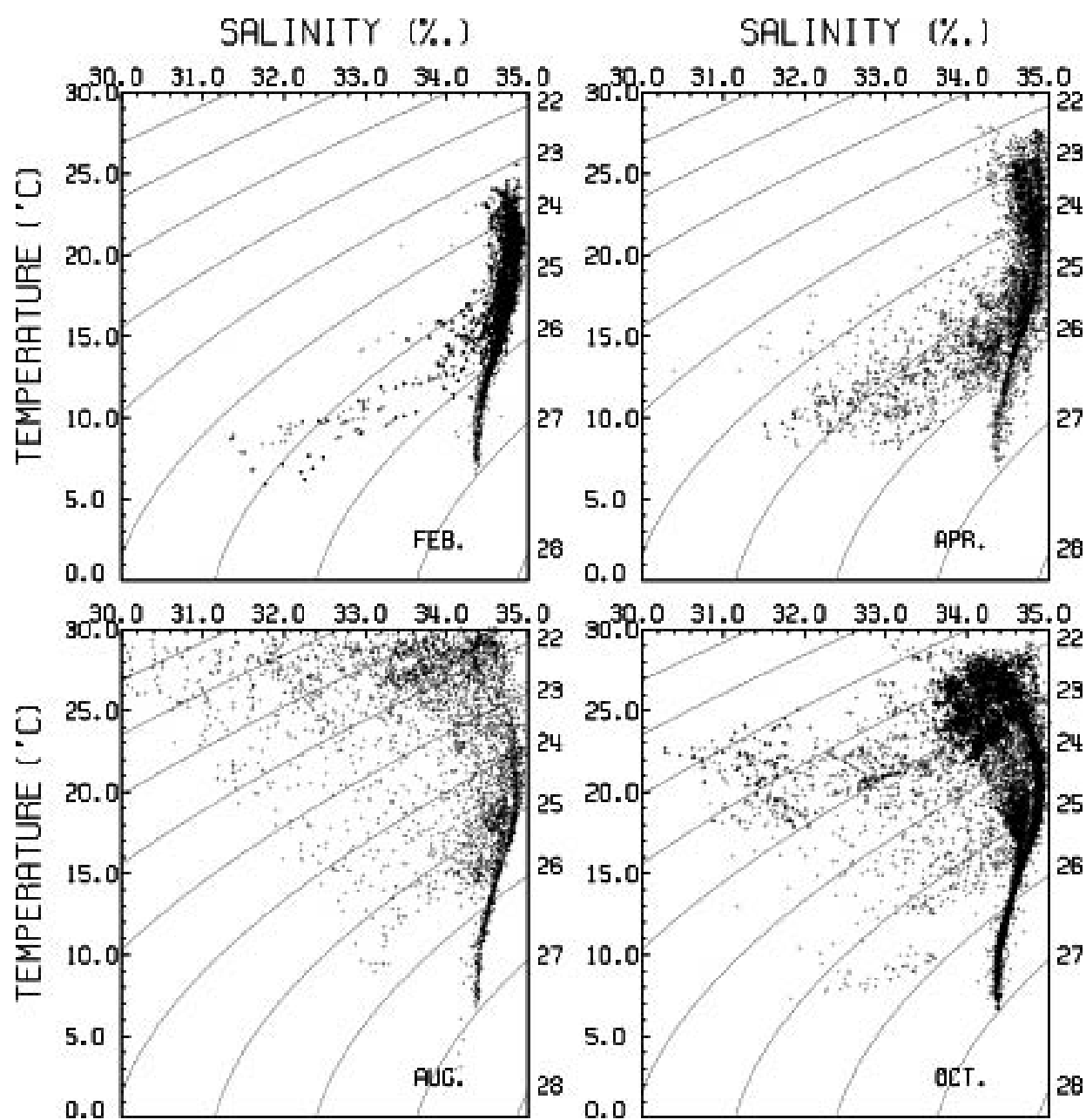


Fig.4. T-S diagrams of the Yellow Sea and East China Sea in Feb., Apr., Aug., and Oct., during the period of 1965~1989.

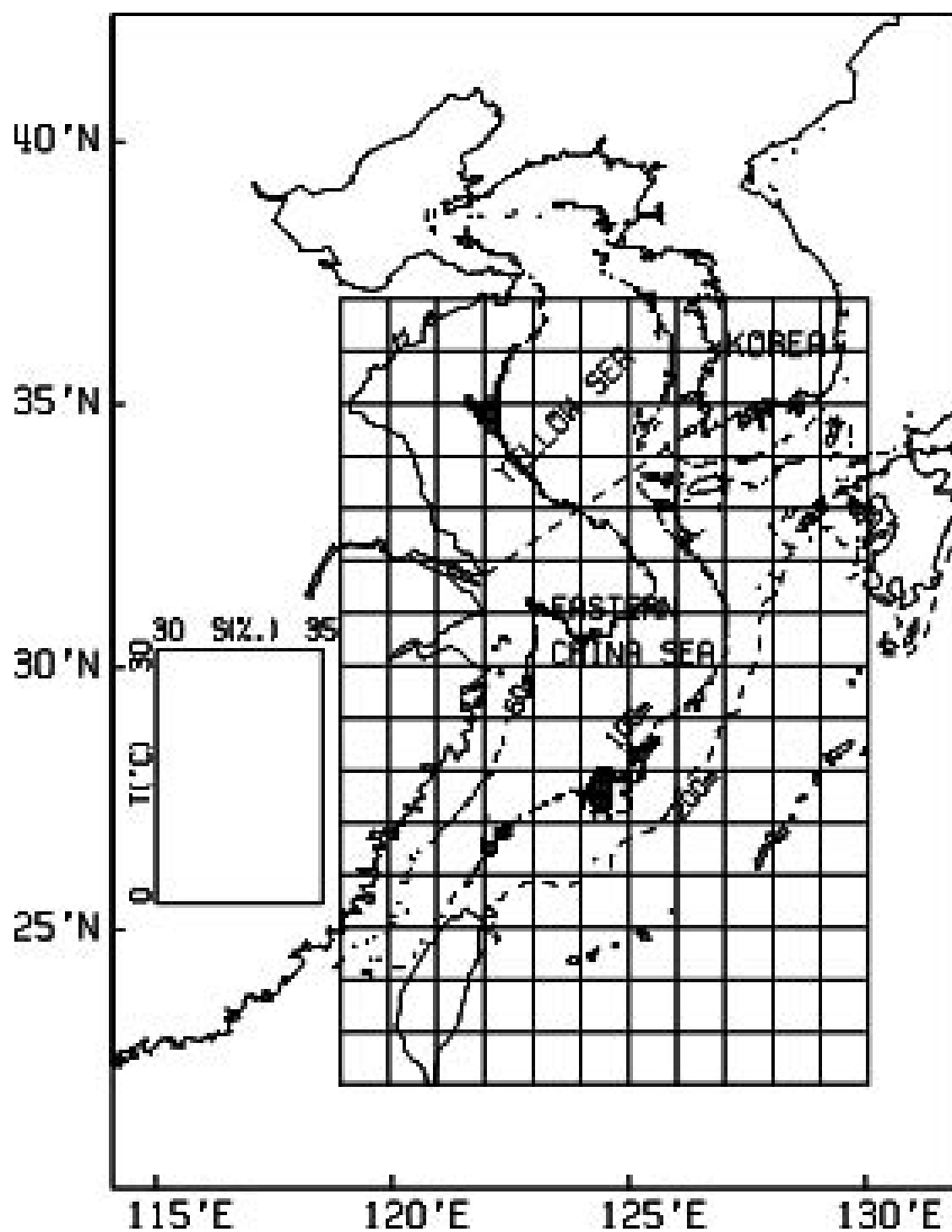


Fig.5. Squares of 1 degree in latitude and longitude in the Yellow and East China Seas, being used for T-S diagram, X and Y axes of the squares represent salinity (30~35‰) and temperature (0~30°C).

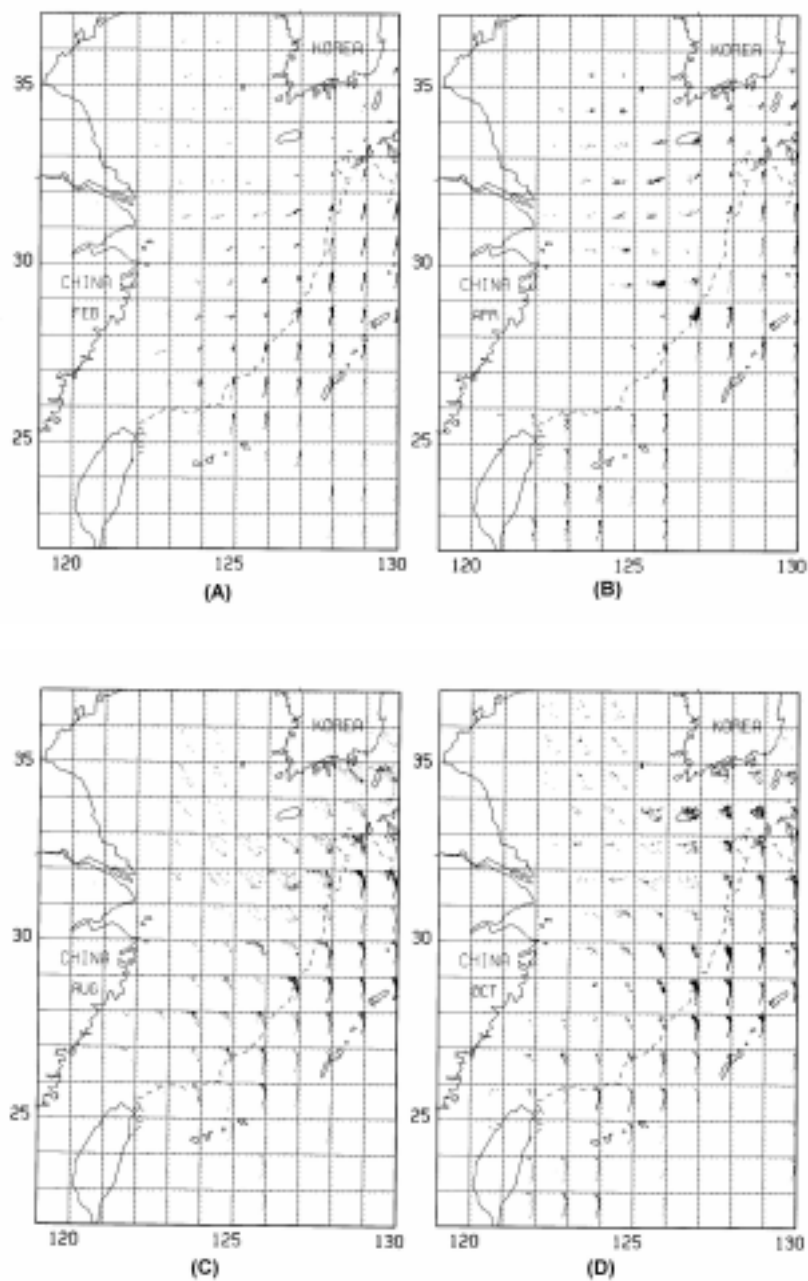
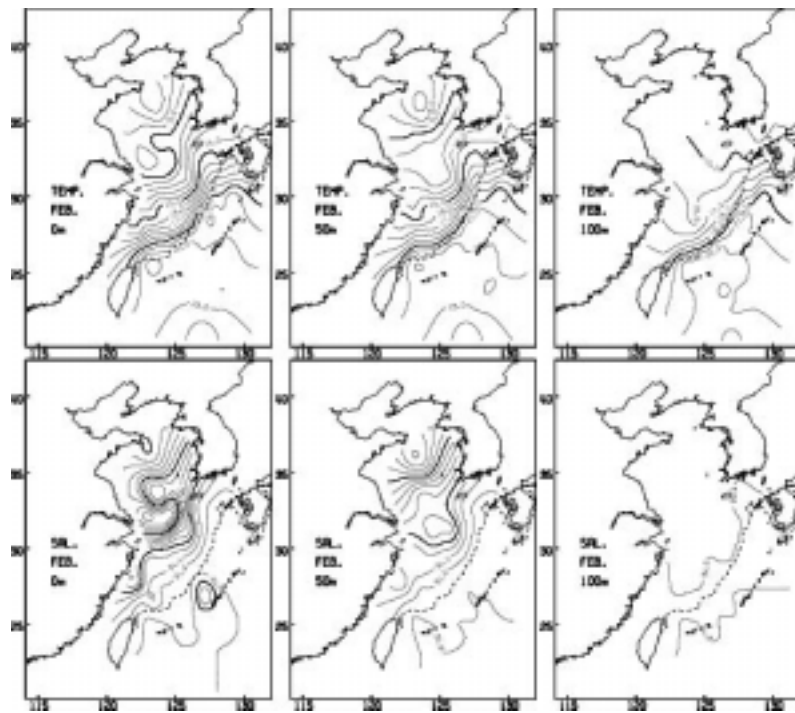
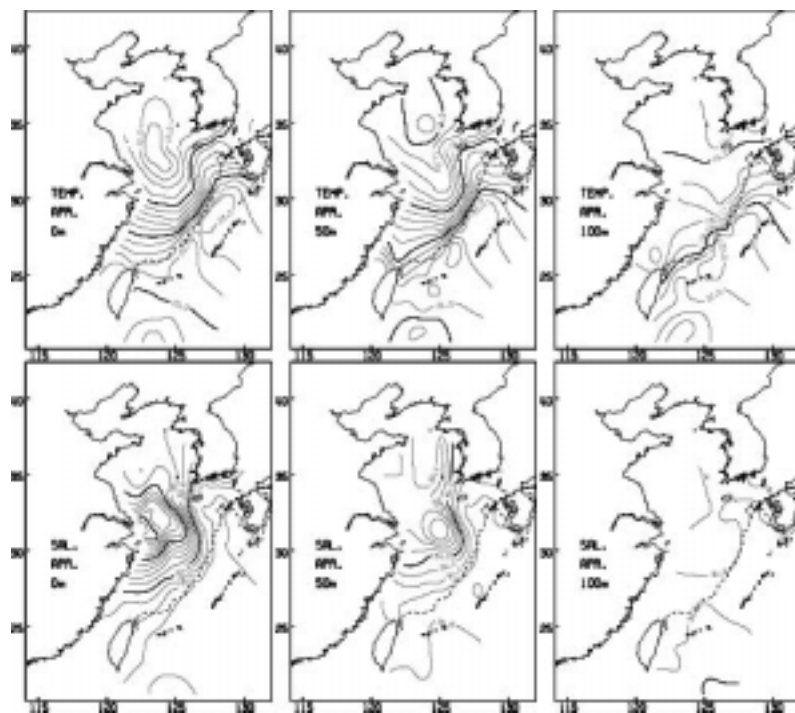


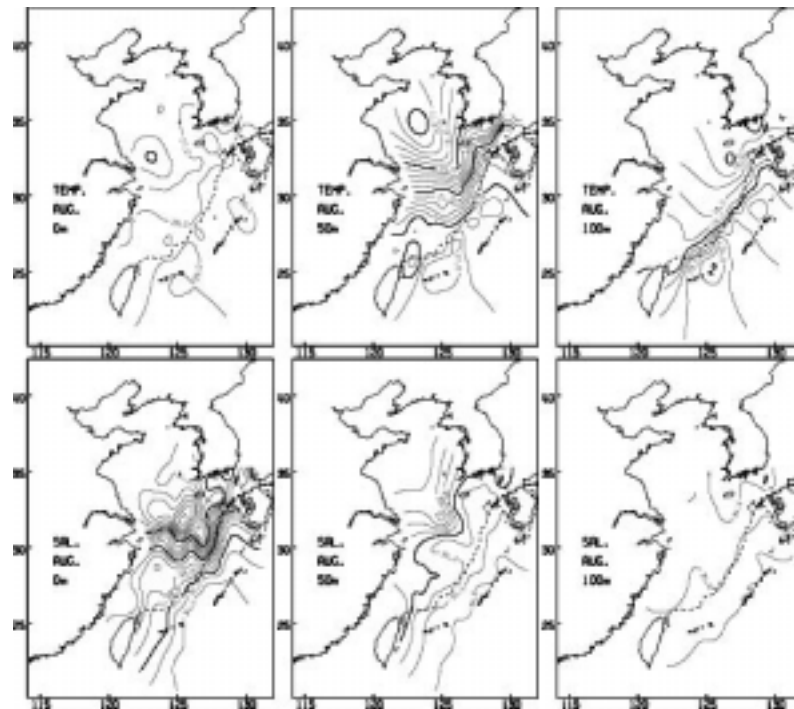
Fig.6. Spatial T-S diagrams of the Yellow and East China Seas in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug., and (D) Oct., during the period of 1965-1989.



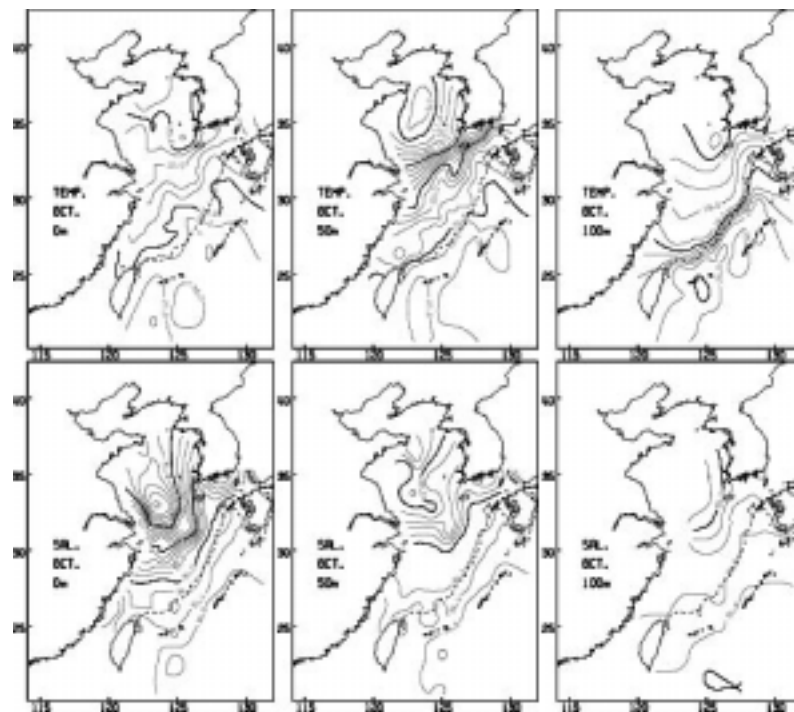
(A)



(B)



(C)



(D)

Fig.7. Horizontal distributions of mean temperatures and salinities in the depths of 0, 50, and 100m, in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug. and (D) Oct., during the period of 1965~1989.

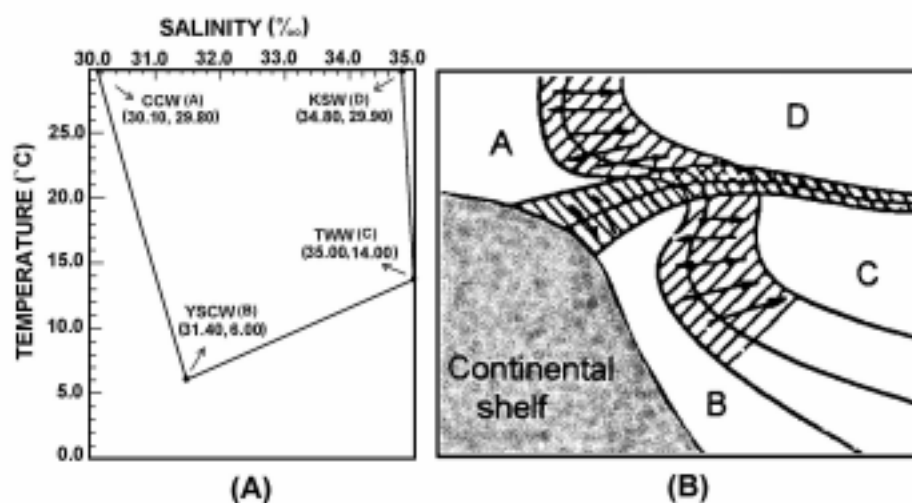
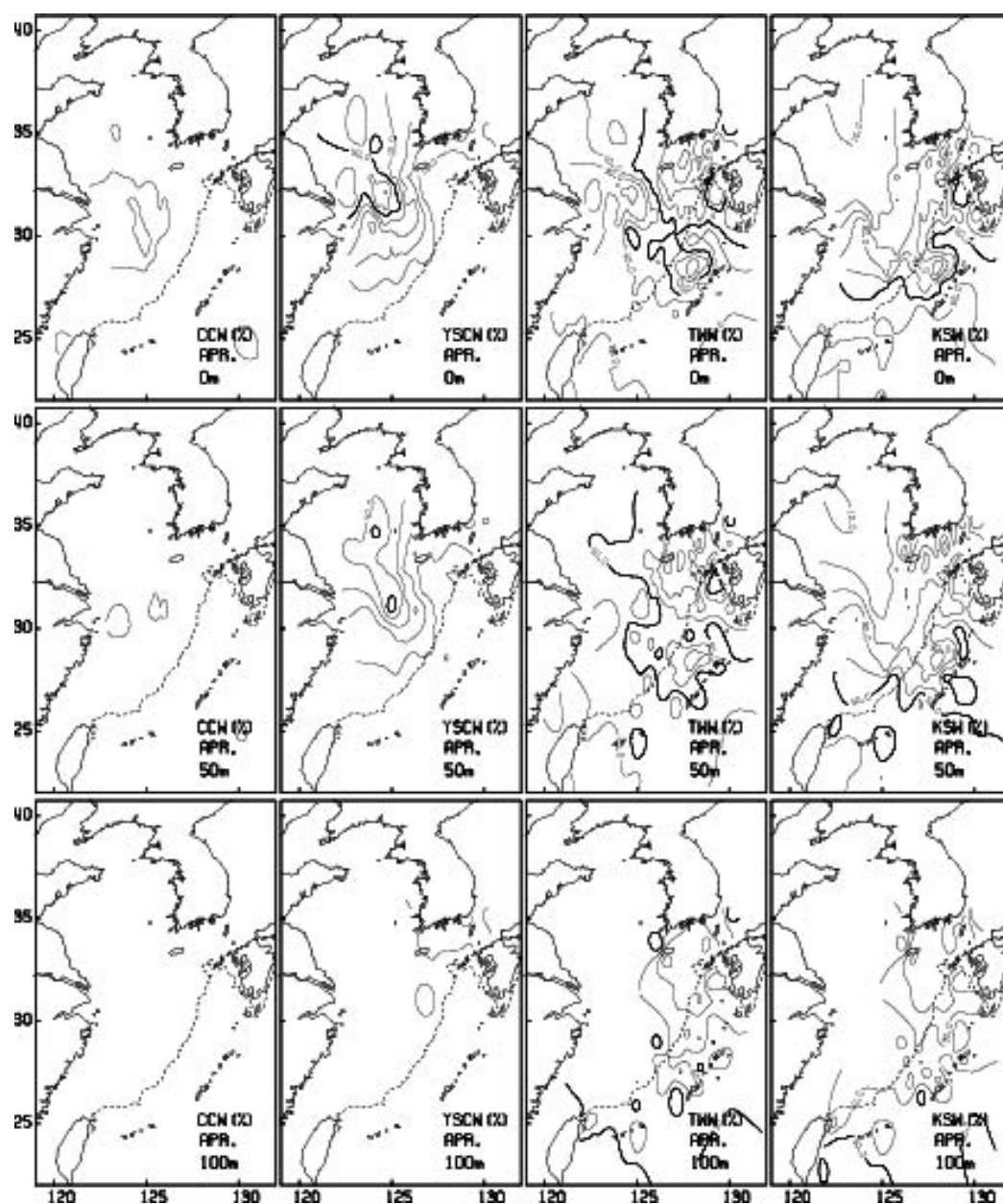
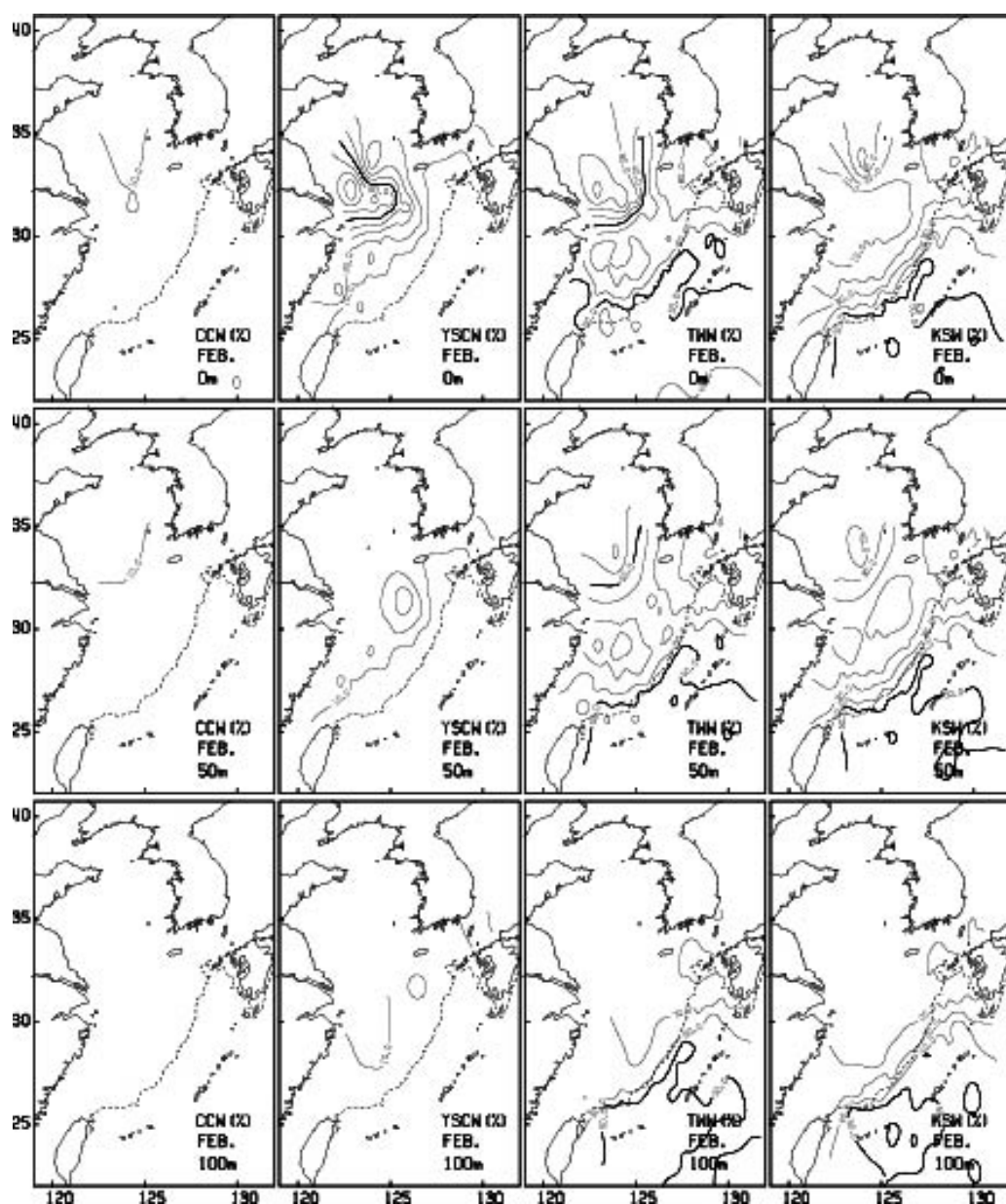


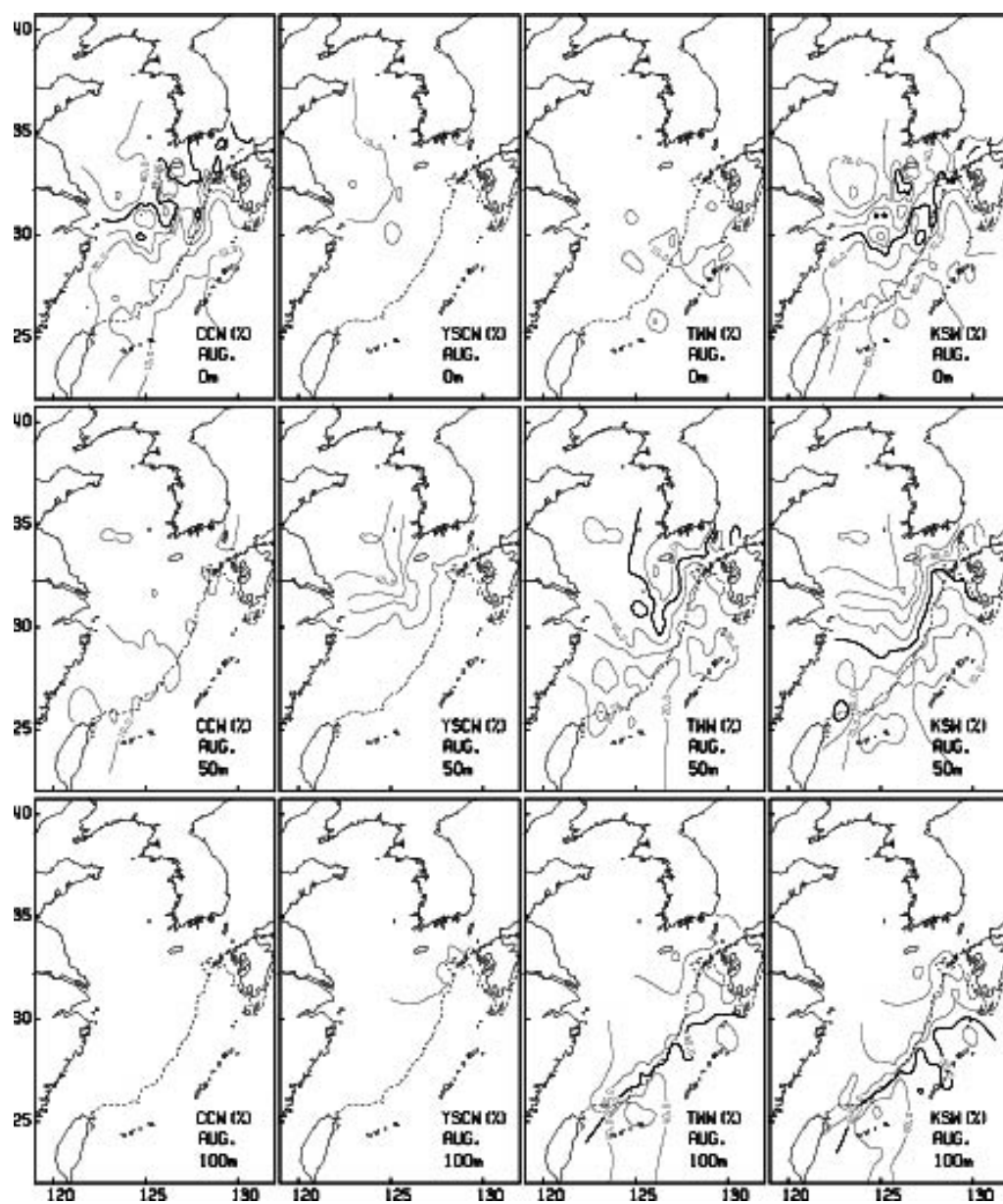
Fig.8. (A) Four water types for water mass analysis. Four water types represents CCW (Changjiang Coastal Water), YSCW (Yellow Sea Cold Water), TWW (Tsushima Warm Water) and KSW (Kuroshio Surface Water). (B) Stylized diagram of the distribution and interaction of water masses in the coastal sea. The shaded regions correspond to the zones of horizontal and vertical mixing waters. The directions of movement of waters in the process of transformation are shown by arrows (from Miller, 1950).



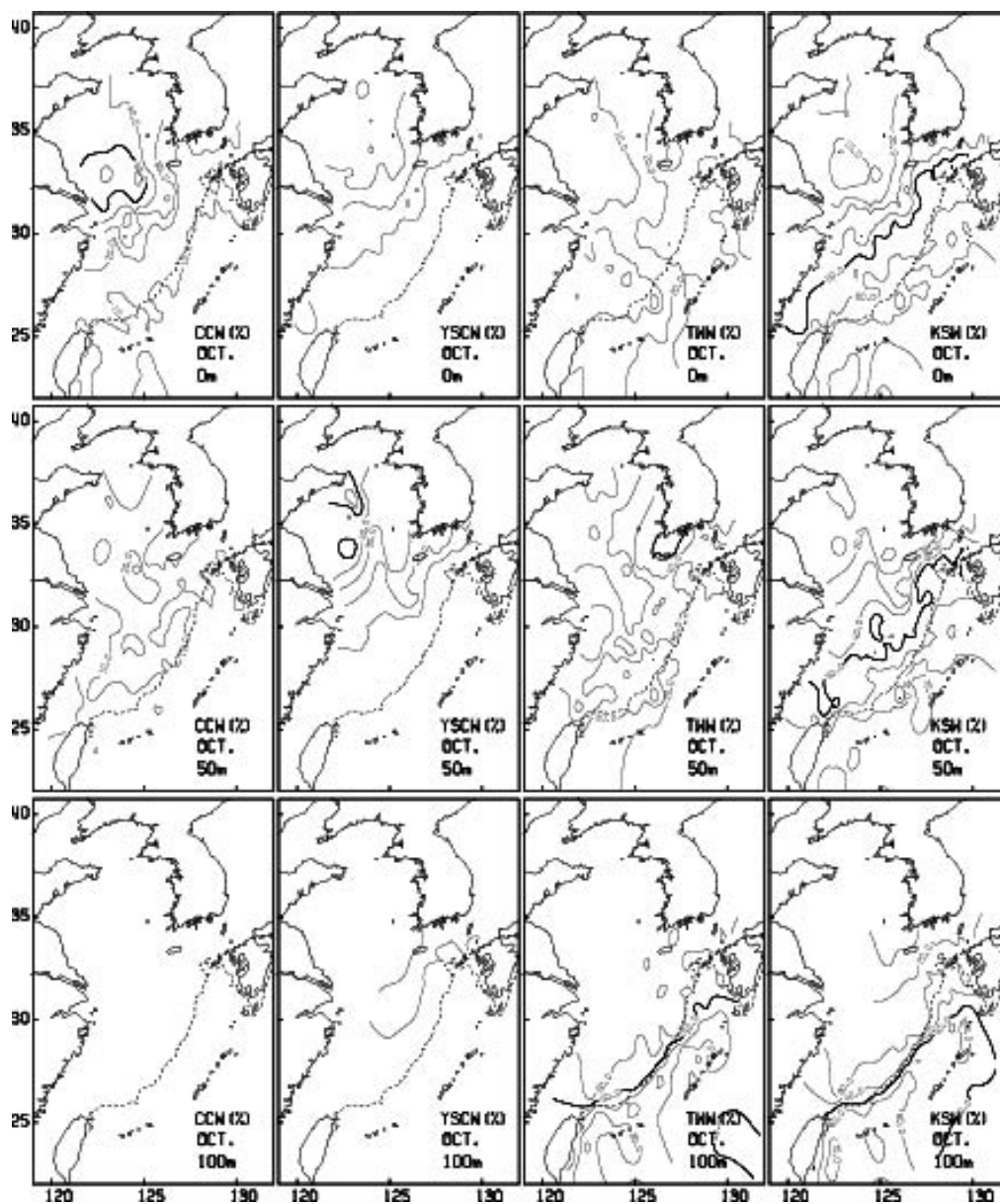
(A)



(B)

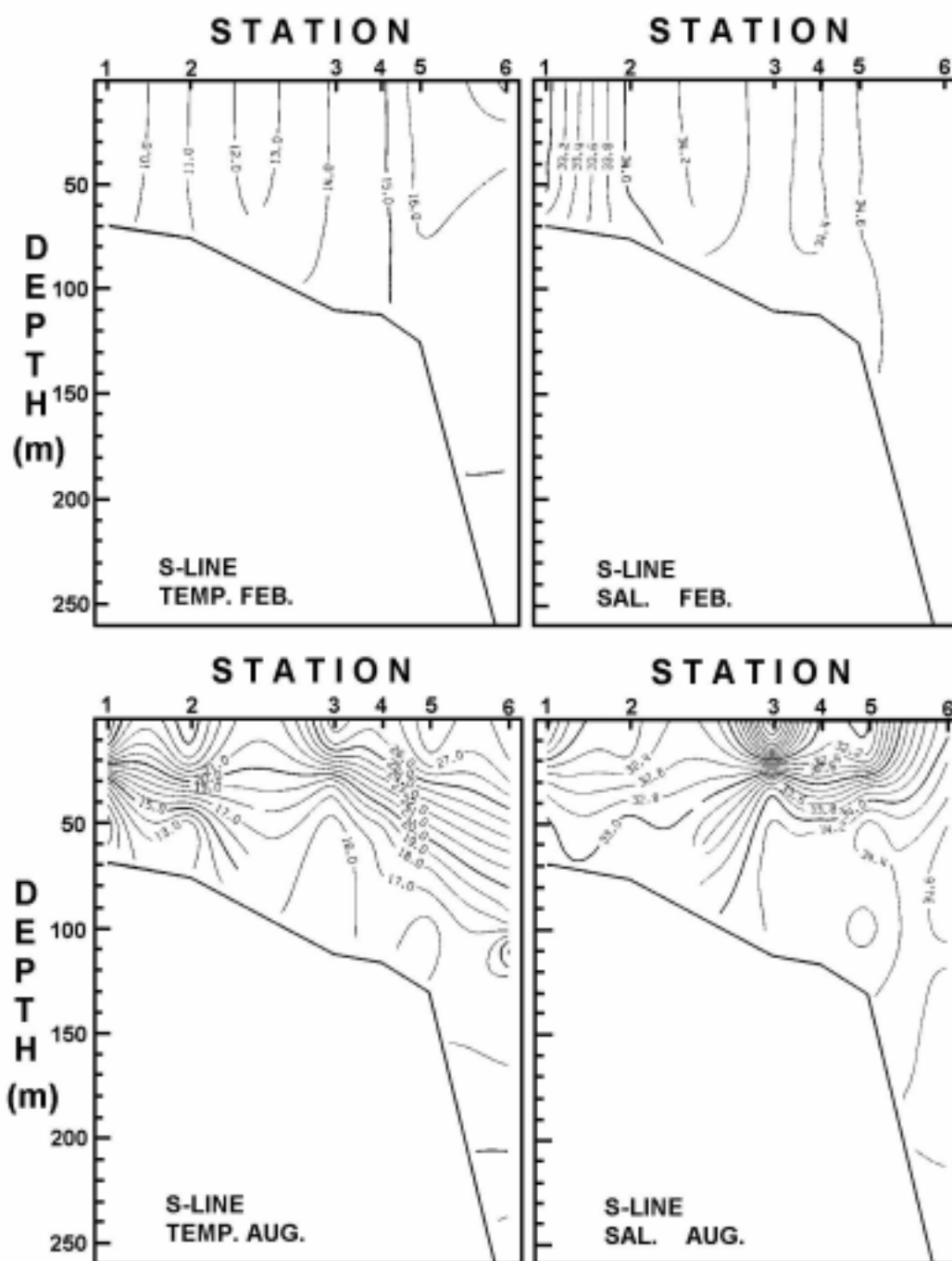


(C)



(D)

Fig.9. Mixing ratios (%) of four water types in the depths of 0, 50, and 100m, in (A) Feb., (B) Apr., (C) Aug. and (D) Oct., during the period of 1965~1989.



(A)

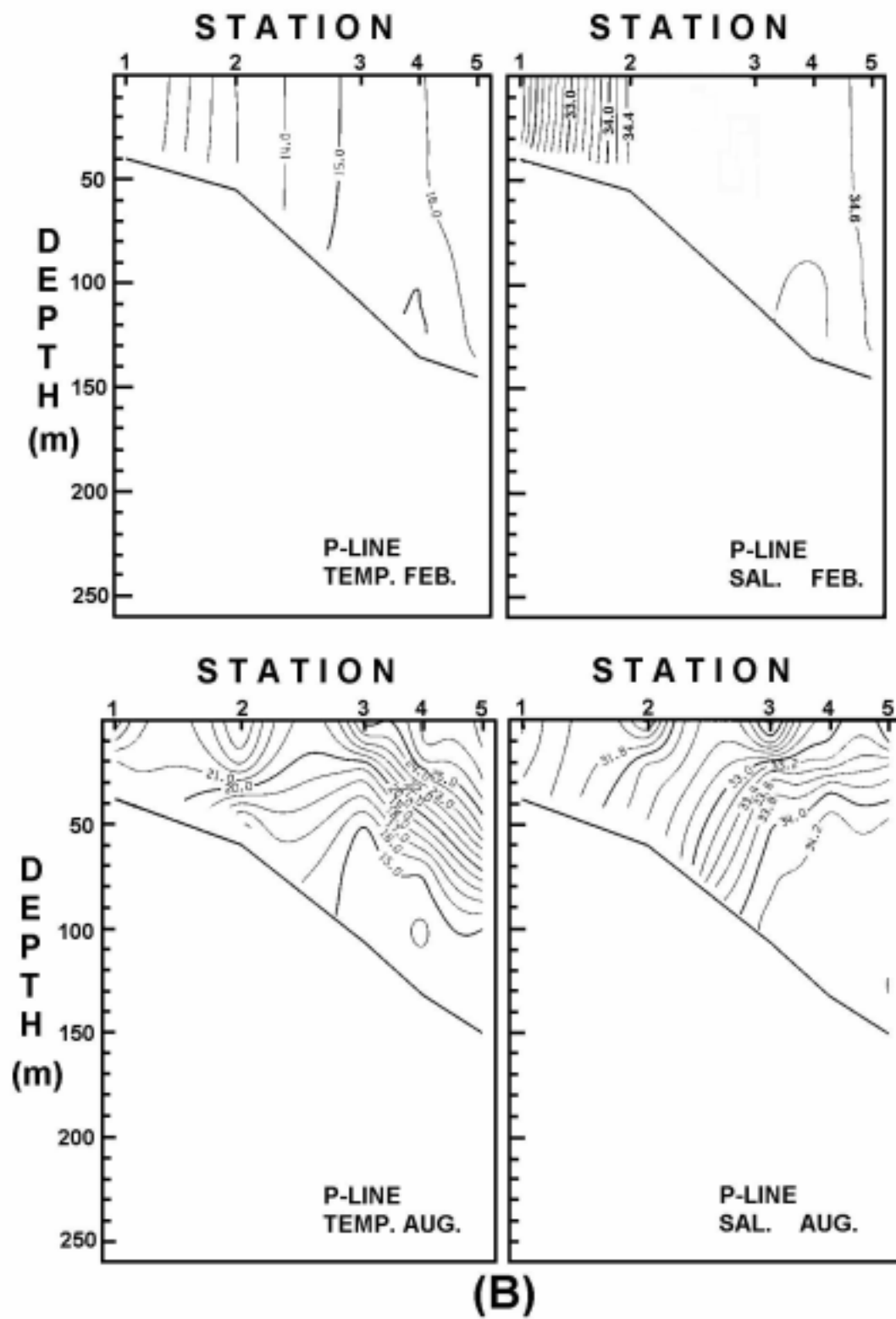


Fig.10. Vertical distributions of temperature and salinity across (A) S-line and (B) P-line.

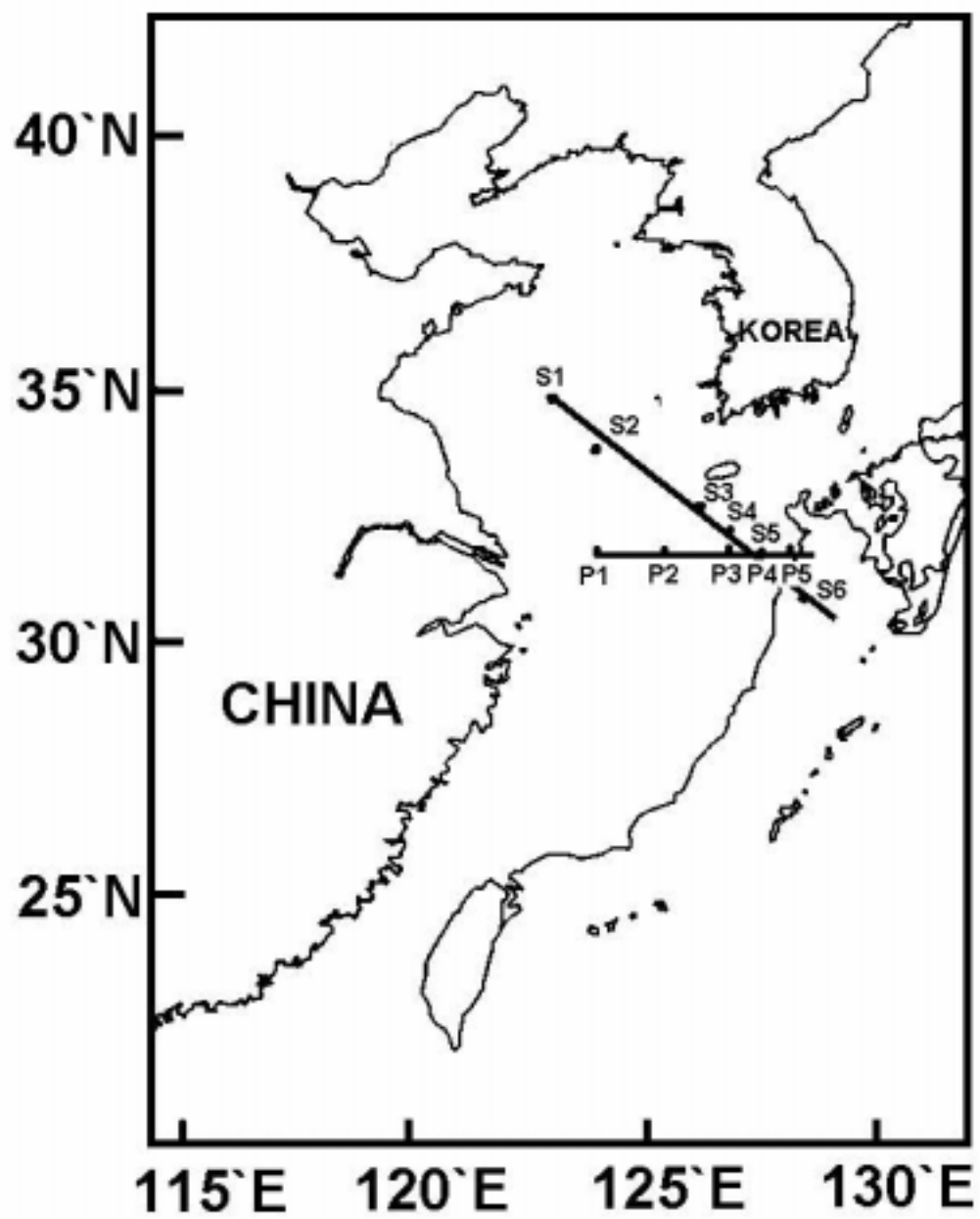


Fig.11. Location of the sections S and P.

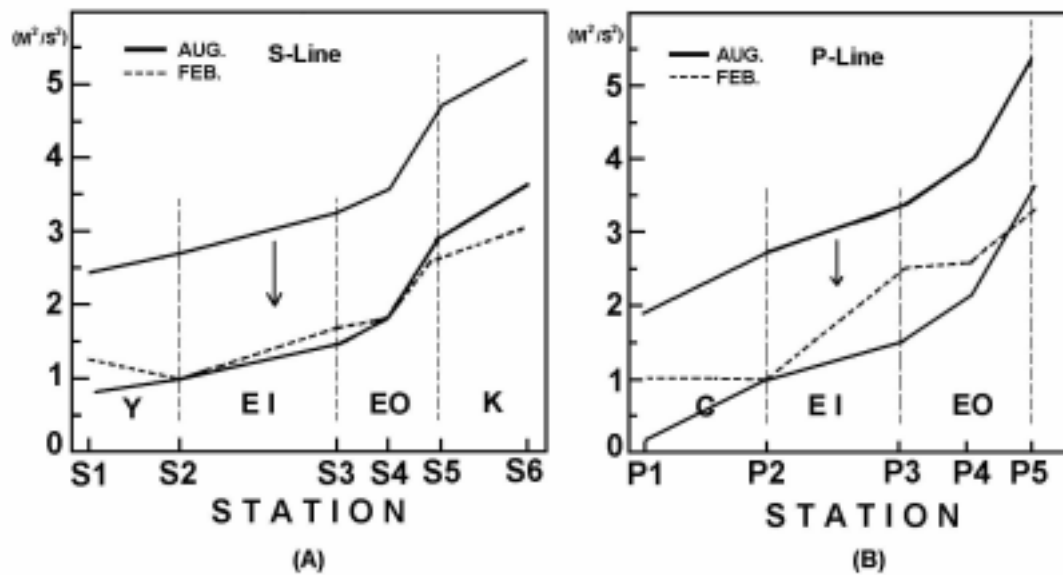


Fig.12. Sea surface variations from dynamic depth anomaly in Feb. and Aug. across (A) S line and (B) P line. Districts Y, K, C, EO and EI represent Yellow Sea, Kuroshio area, Changjiang river mouth, Outer sea of the ECS (near the continental shelf break) and Inner sea of the ECS (between the Y(C) and the EO).

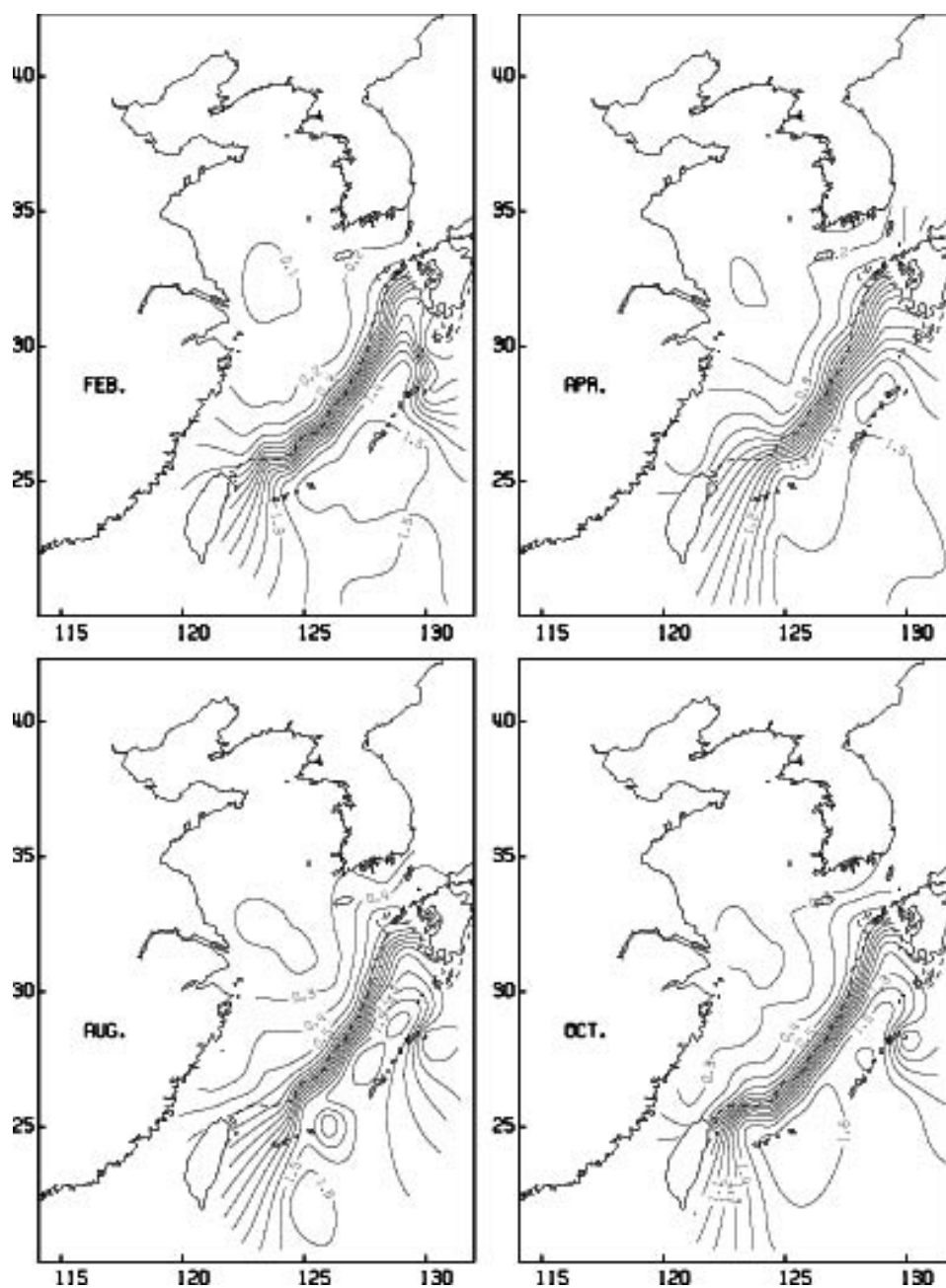


Fig.13. Dynamic topography of the sea surface relative to the bottom or 500m for greater depth in Feb., Apr., Aug. and Oct., during the period of 1965~1989, in dynamic metres, (1 dynamic metre = $10\text{m}^2/\text{s}^2$).

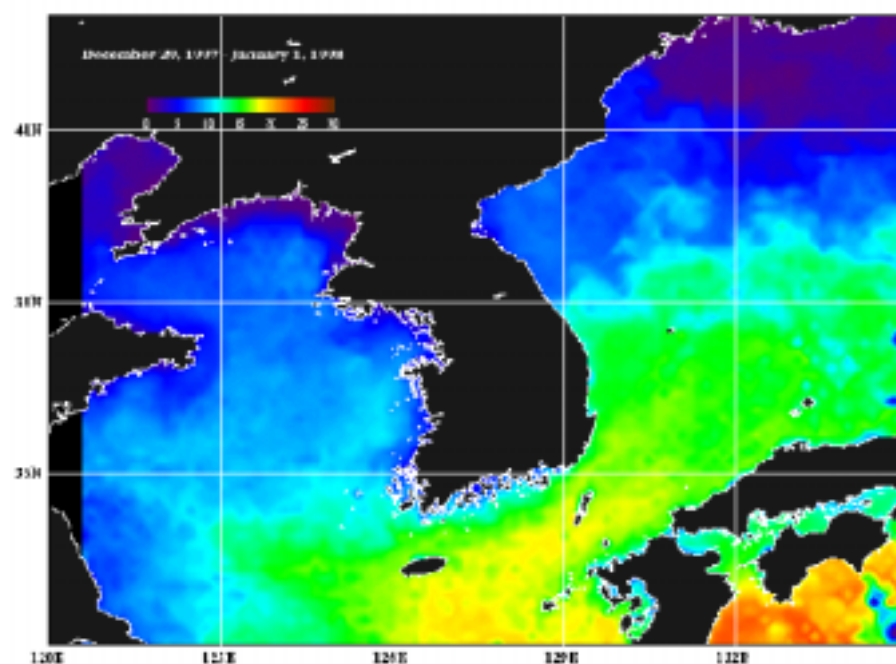


Fig.14 SST distributions in the East China Sea and the Yellow Sea from NOAA Satellite data in January, 1997.

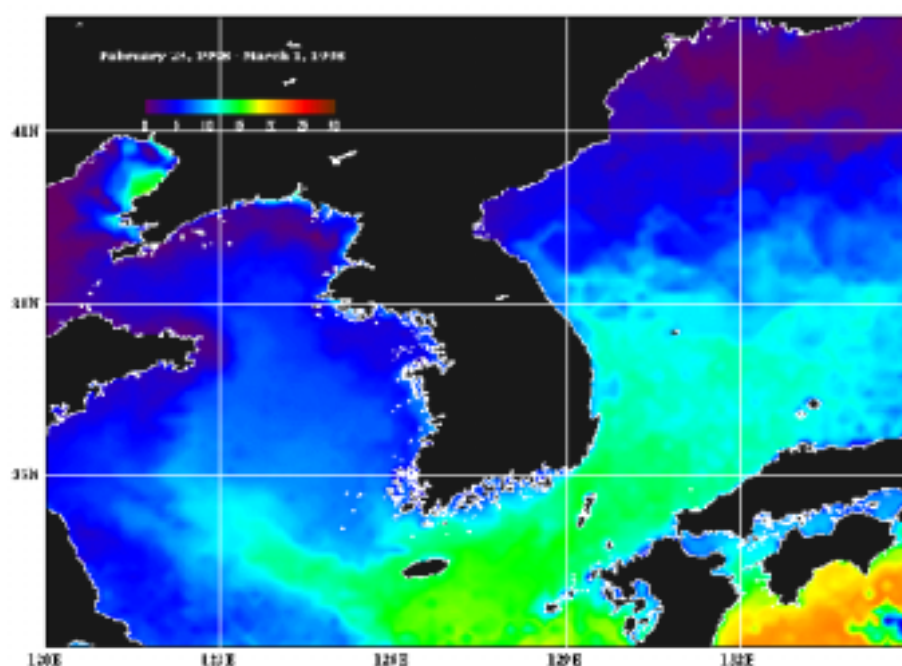


Fig.15 SST distributions in the East China Sea and the Yellow Sea from NOAA Satellite data in March, 1997.

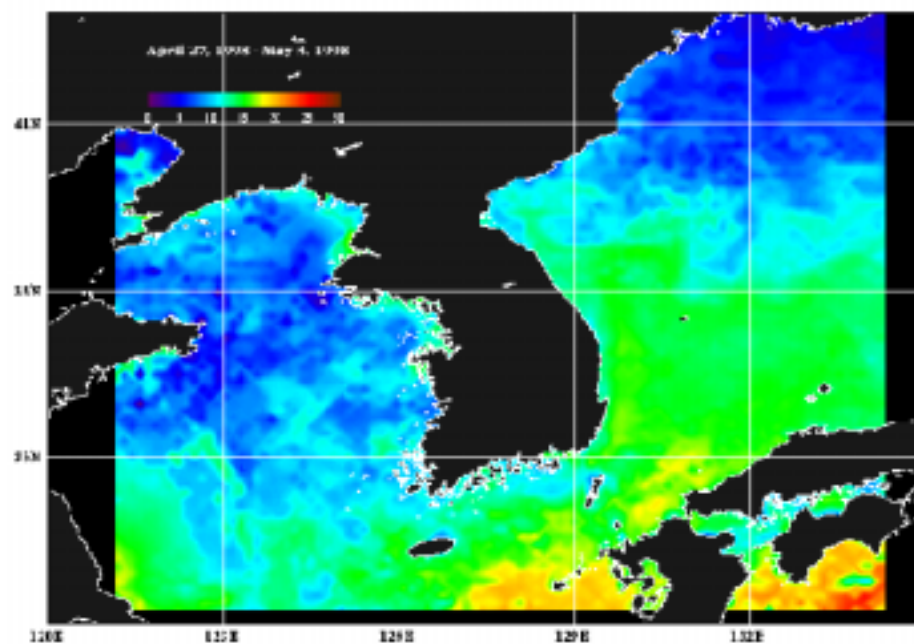


Fig.16 SST distributions in the East China Sea and the Yellow Sea from NOAA Satellite data in May, 1997.

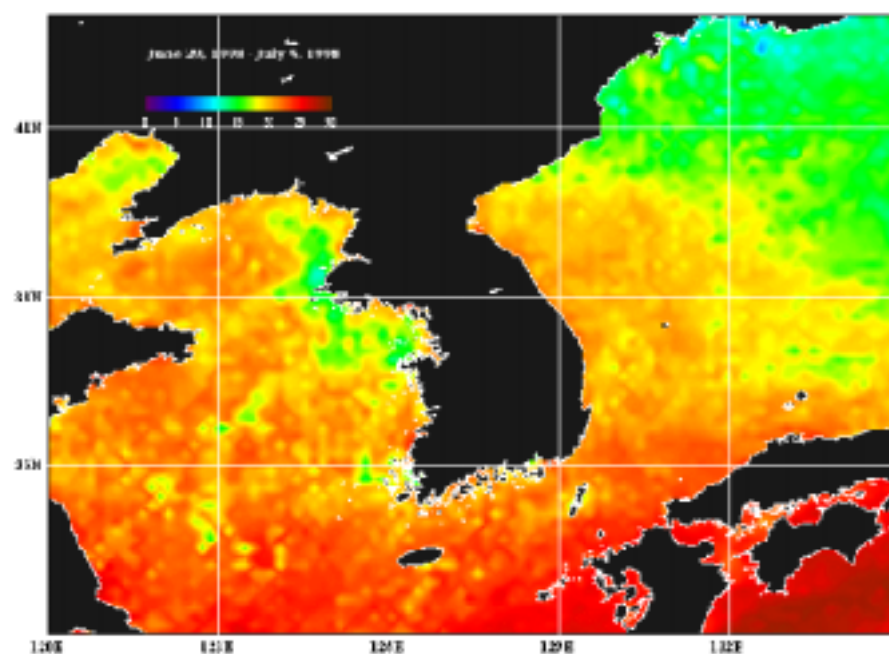


Fig.17 SST distributions in the East China Sea and the Yellow Sea from NOAA Satellite data in July, 1997 (supported by KORDI).

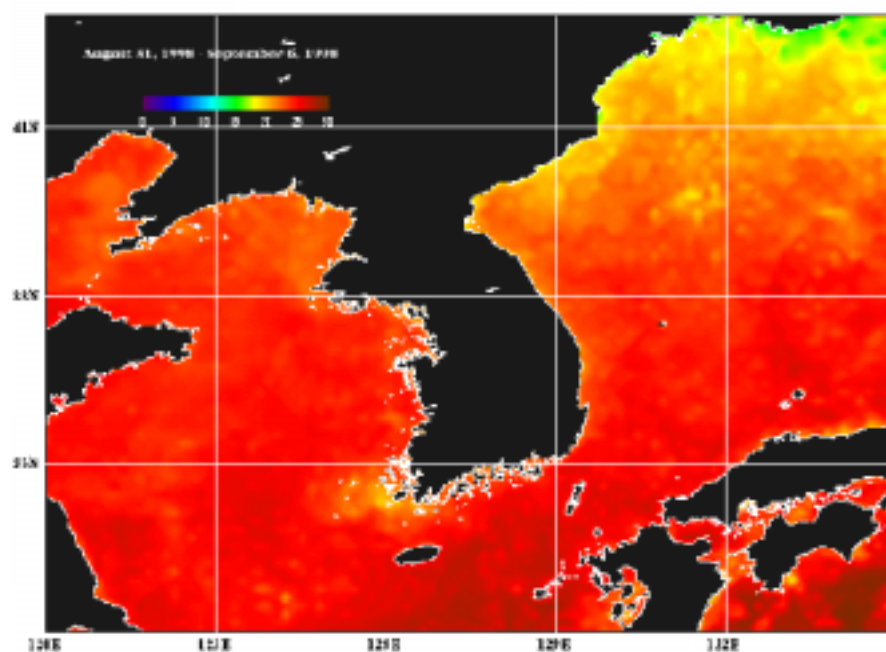


Fig.18 SST distributions in the East China Sea and the Yellow Sea from NOAA Satellite data in September, 1997.

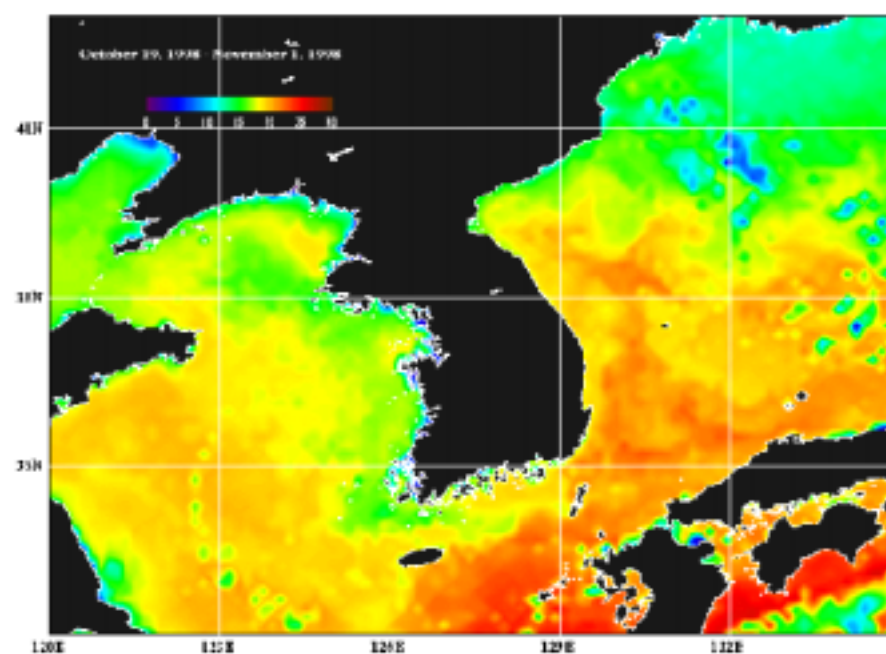


Fig.19 SST distributions of East China Sea, Yellow Sea and East Sea using NOAA Satellite data at November, 1997.

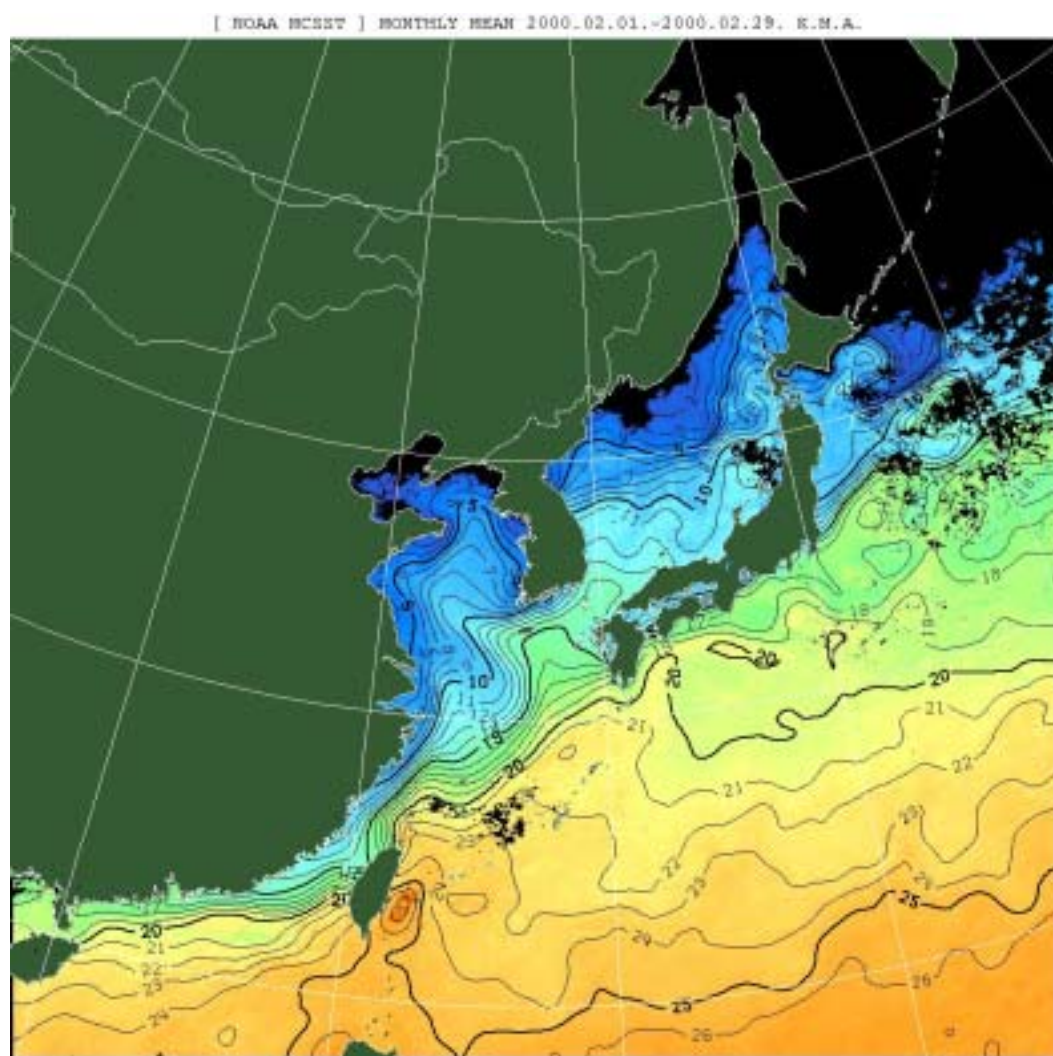


Fig. 20 SST distributons of East China Sea, Yellow Sea and East Sea using NOAA Satellite data at February, 2000 supported by Korean Meteorological Administration,

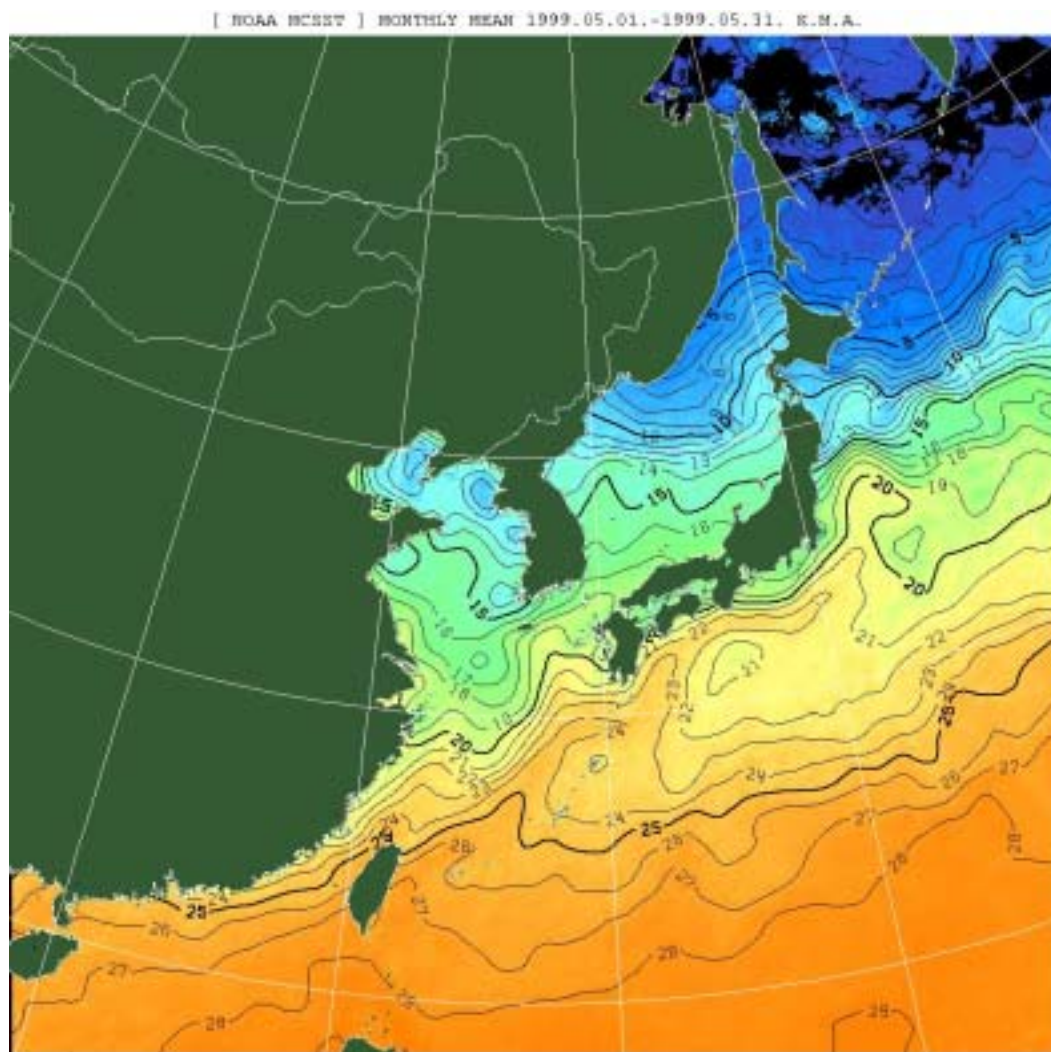


Fig. 21 SST distributons of East China Sea, Yellow Sea and East Sea using NOAA Satellite data at May, 2000 supported by Korean Meteorological Administration,

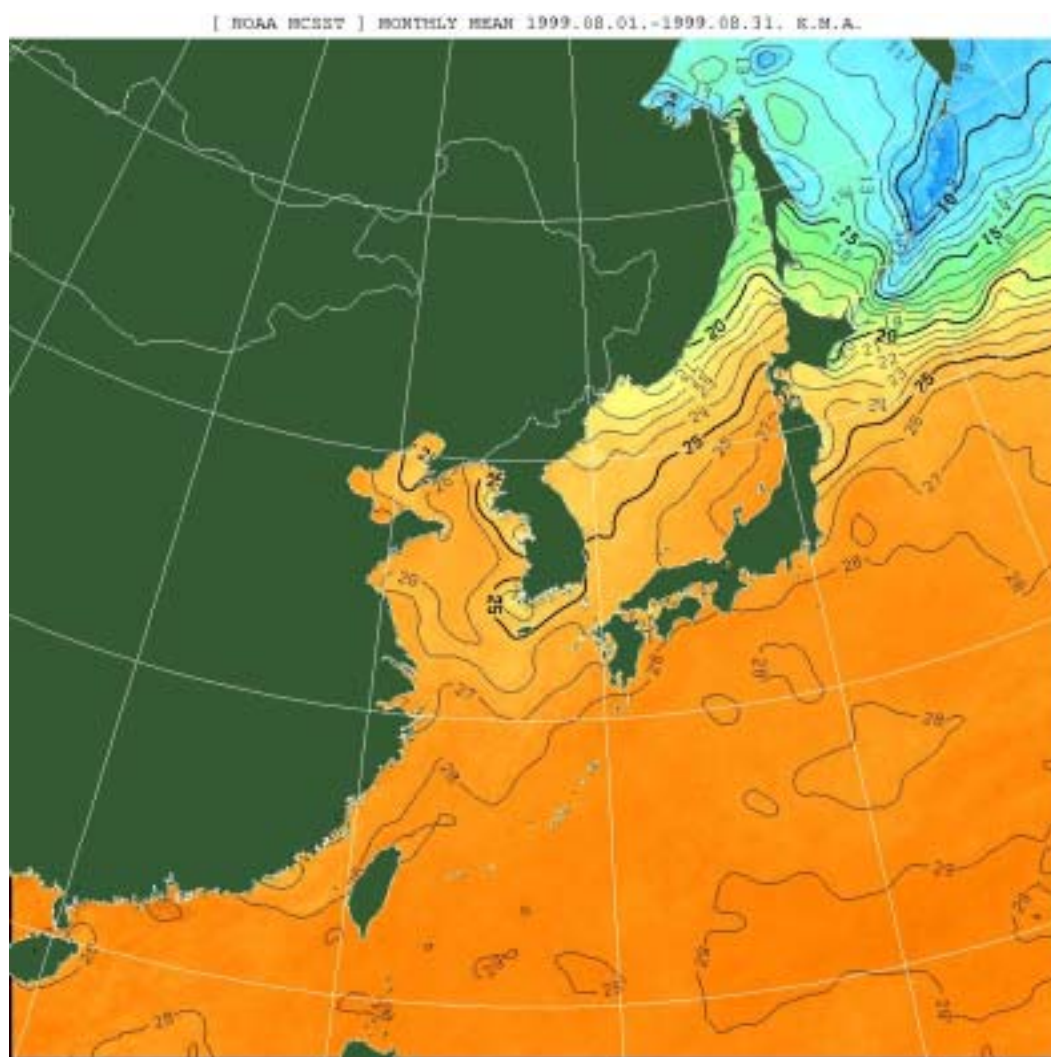


Fig.22 SST distributons of East China Sea, Yellow Sea and East Sea using NOAA Satellite data at August, 2000 supported by Korean Meteorological Administration,

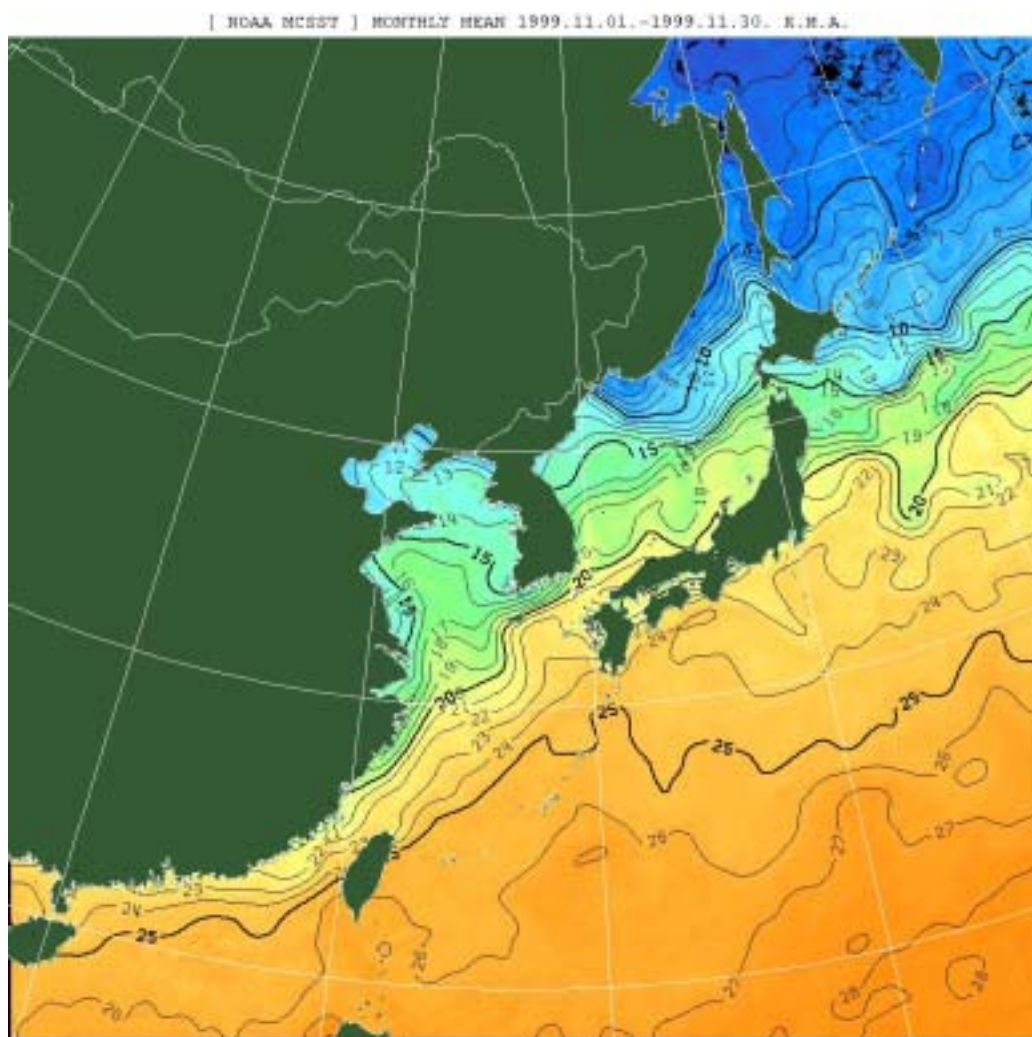


Fig. 23 SST distributons of East China Sea, Yellow Sea and East Sea using NOAA Satellite data at November, 2000 supported by Korean Meteorological Administration,

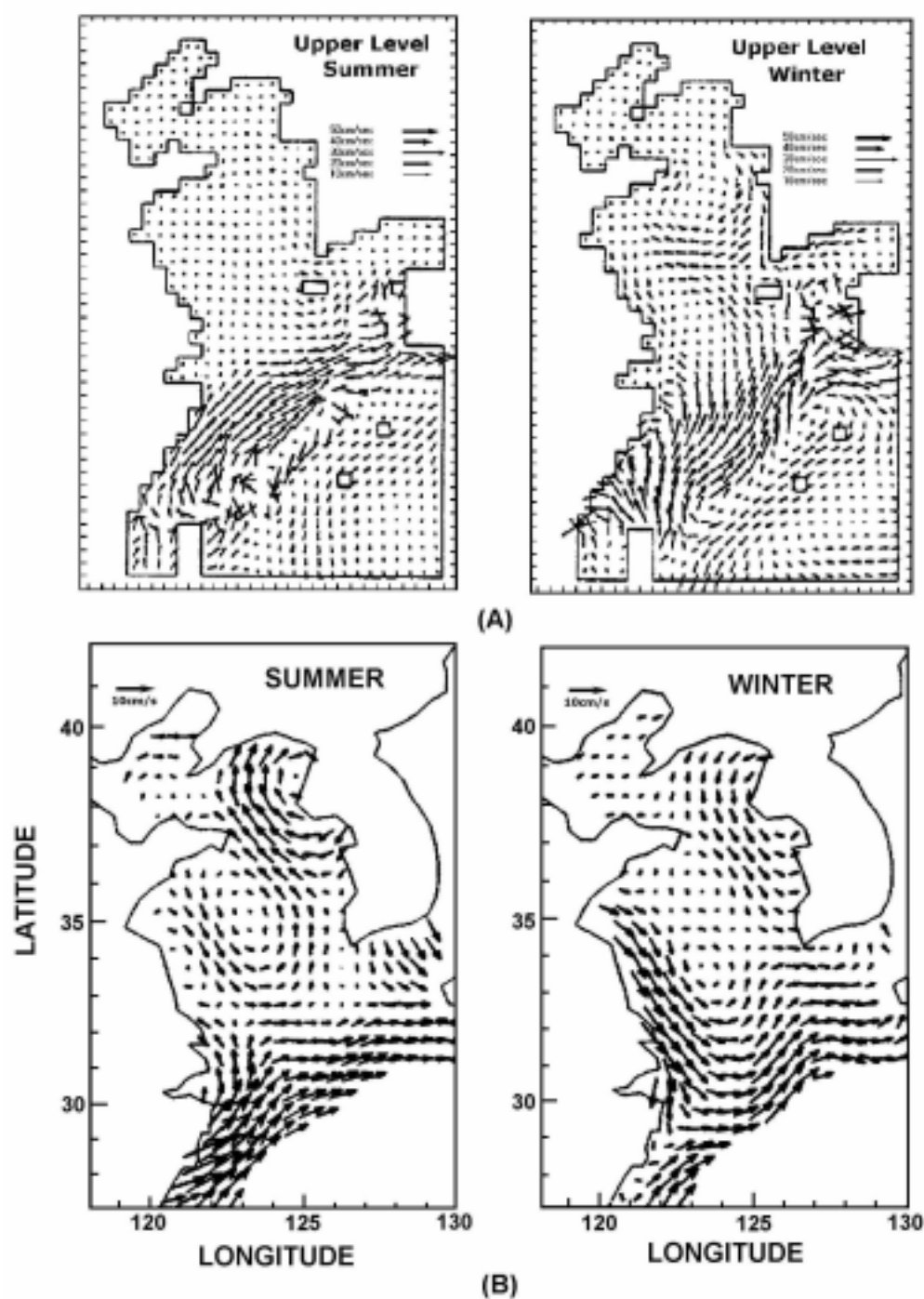


Fig. 24. (A) Seasonal variation in the diagnostically calculated sea surface circulation (from Yanagi and Takahashi, 1993). (B) Seasonal variation in the surface geostrophic current estimated from altimetric data (from Yanagi, 1997).

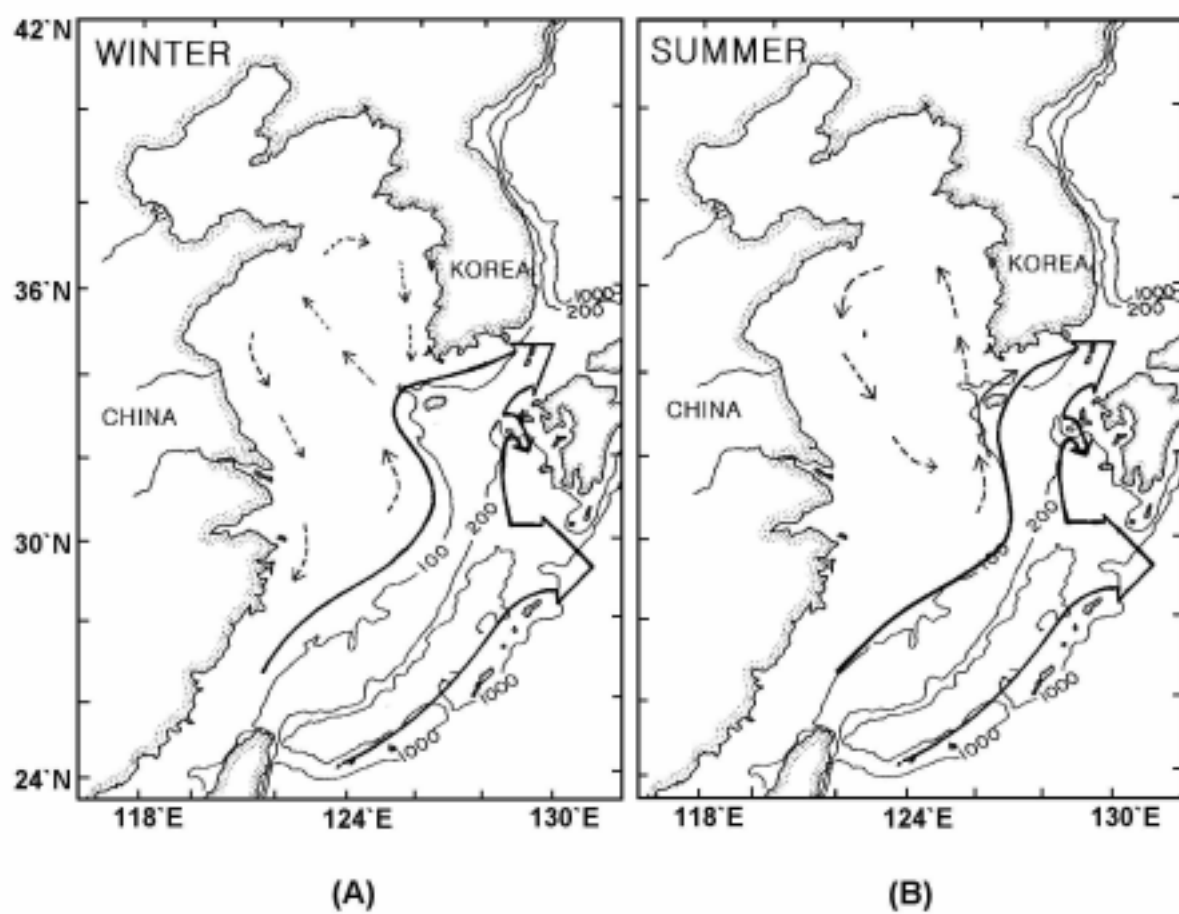


Fig. 25. Schematic representation of the circulation in the Yellow and the East China Seas (from Pang et al., 1998).

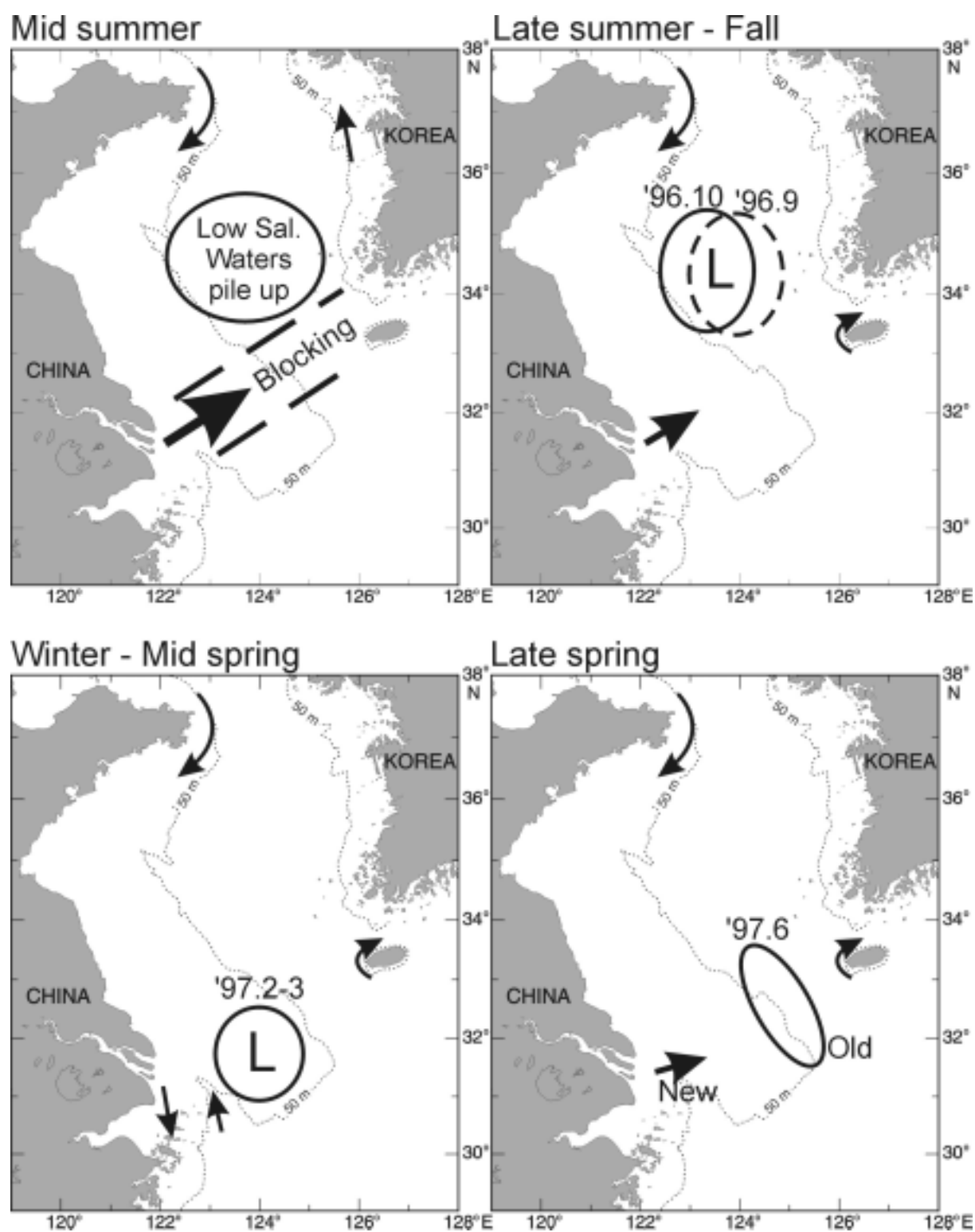


Fig. 26. A schematic diagram of the seasonal distribution of low salinity waters in the upper southern Yellow Sea. The arrows indicate the direction of surface flows.