

동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환

방익찬,* 김태희**

Seasonal Variations of Water Mass Distribution and Circulations on the East China Sea.

*Pang Ig-chan**, *Kim Tae-hee***

Summary

The salinity of the East China Sea waters shows high in winter and low in summer. This is one of the general characteristics of water mass distributions in this area. This seasonal variation of salinity is probably affected by the Kuroshio waters and the fresh waters such as rain. The Kuroshio water supplies salinity to the East China Sea all the year round. The salinity of the input Kuroshio waters to the East China Sea is always higher than that of the output Kuroshio waters through the Korea Strait. Thus, the low salinity in summer can not be explained by the Kuroshio waters. The amount of input fresh water is also less than that necessary to lower salinity as much as shown in data. A circulation of low salinity coastal waters is needed to explain the low salinity in summer. This circulation of coastal waters may probably drive the Kuroshio waters to be spread to the north-west direction in winter and to be shrunk to the south-east direction in summer.

* 해양과학 대학 전임강사

** 제주대학교 대학원

*** 이 논문은 1988년도 문교부 일반과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

서론

우리나라 주변해역을 흐르는 해수중에는 쿠로시오해류로부터 갈라져 나와 동지나해를 북상하는 고온고염의 쿠로시오해수와 연안지방으로부터 흘러나오는 여러 담수와 기상의 영향을 받아 형성된 연안수가 있다. 연안수에는 양자강연안수, 황해저층냉수, 황해연안수, 남해연안수 등 여러 종류의 수괴가 있으며 동해에는 이외에 동해고유냉수등이 있으나, 황해와 남해 그리고 동지나해 해역에서의 해수순환은 크게 쿠로시오계해수와 연안수계 해수와의 흐름이라 볼 수 있다. 동지나해에서의 이들 해수의 순환은 황해와 남해 더 나아가서 동해의 해수순환에 영향을 주며 역으로 우리나라 주변해역의 해수순환은 또한 동지나해의 해수순환에 영향을 준다. 그러므로 우리나라 주변해역의 해수순환을 파악하기 위해서는 동지나해의 해수순환을 살펴보는 것이 필수적이라 할 수 있다.

동지나해역 해수순환의 파악은 우리나라 주변해역에 대한 영향 이외에 다른 면에서도 중요하다. 황해와 남해 그리고 동지나해역은 하나의 해역으로 연결되어 있기 때문에 여러 소규모의 지역적 순환과 함께 하나의 대규모 해수순환으로 형성되어 있다. 특히 조석이나 기상의 규모는 이 해역에 비해 크기 때문에 그들의 효과는 전 해역에 걸쳐 나타나며 대규모의 해수순환에 중요한 요인이 되고 있다. 관측된 자료로부터 이러한 대규모의 해수순환을 파악하는데는 여러 어려움이 있다. 그 이유는 우리나라 주변해역과 같이 수심이 얕고 조석의 효과가 크며 여러 연안수가 유입되는 해역에서는 여러 소규모 현상들이 복합되어 나타나기 때문이다. 그러나 동지나해에서는 해수분포가 다른 해역의 해수분포에 비해 단순하고 큰 규모로 나타나기 때문에 대규모 해수순환을 파악하기 쉬운 장점이 있으며 동지나해에서 파악된 대규모 해수순환은 우리나라 주변해역의

해수순환을 이해하는데 도움이 된다. 본 논문에서는 동지나해의 해수분포의 특성을 파악하고 이로부터 동지나해와 주변해역의 해수순환특성을 유추해 보고자 한다.

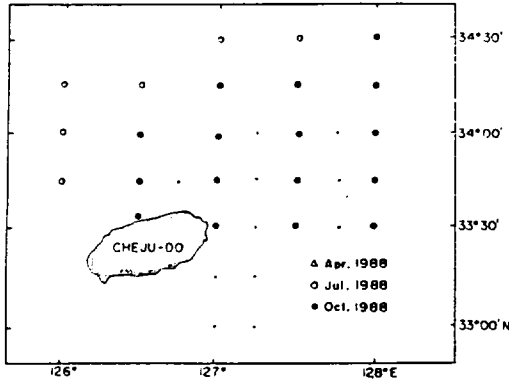
지금까지 밝혀진 동지나해의 해수분포는 쿠로시오해류와 그 지류의 북상으로 인해 동지나해의 대륙붕선단을 따라 고온고염의 해수가 분포하고 대륙붕선상으로 올라올수록 수온과 염분이 낮아져 황해와 남해에 이르러서는 저온저염의 연안수가 분포한다. Kondo(1985)에 의해 계절별로 13년 평균되어진 수온과 염분의 분포를 보면 이 두 해수의 경계는 여름철에 남하하며 겨울철에 북상하는 것으로 보인다. 이 결과는 동지나해 해수순환의 특성을 파악하는데 매우 중요한 가능성을 보여주고 있다. 그러나 이 결과는 평균값이기 때문에 해수분포의 계절변화를 확실하게 알기 위해서는 각 자료를 분리해서 살펴보아야 할 것이다. 다른 연구의 대부분은 한 계절이나(Lim, 1971; Park, 1985) 국지적인 해역에(노와 김, 1983) 국한된 단편적인 결과들이었기 때문에 그 이상의 해수분포의 특성을 파악하기에는 미흡하다.

본 연구에서는 동지나해 해수분포의 계절변화를 파악하기 위해 1972년 1-2월, 7-8월 그리고 1974년 1-2월, 7-8월의 C. S. K. 자료와 1988년 4, 7, 10월에 제주대학교 해양학과에서 관측한 제주해협의 자료를 중심으로 해수특성치의 계절변화를 살펴보았다. 그림1은 이 자료들의 관측점들을 보여준다. 또한 이 자료분석결과에서 얻어진 해수분포의 계절변화특성으로부터 그러한 변화가 발생하는 요인과 그에 따르는 해수순환의 특성을 살펴보았다.

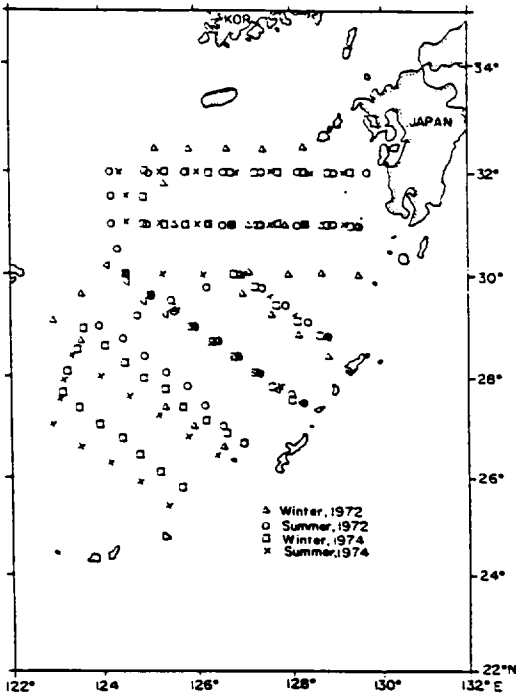
해수분포의 계절변화

이미 서론에서 언급한 바와같이 본 연구의 자료분석의 목적은 쿠로시오해수계와 연안수계 해수들의 분포와 그 계절변화이다. 이 두 해수계들의 분포변화를 살펴보기 위해서는 우선 두 해수계를 구분할 수 있는 해수특성치의 경계값을 정

하여야 하며 그 경제값은 본 연구에서 사용한 자료와 함께 이미 발표된 특성분류를 참조하여 정하였다. 표 1은 여러사람에(Gong, 1971; 박 등, 1985; Lie, 1984; KORDI, 1986; Park, 1985)



(a) in the Cheju-Strait.



(b) in the East China Sea. (C.S.K.)

Fig. 1. Hydrographic Stations

의해 지금까지 연구되어진 동지나해역에 분포하는 해수들의 구분과 그 해수들의 특성치범위 및 계절변화들이다. 이 자료들에 의하면 동지나해역 분포한 해수들은 서태평양중앙수, 황해난류수, 황해저층냉수, 대마난류수, 양자강회석수, 한국연안수, 그리고 이들의 회석수 등으로 분류되었으나 이 중 서태평양중앙수, 대마난류수, 황해난류수는 고온고염의 쿠로시오 해수계의 특성을 가지며 양자강회석수, 한국연안수, 황해저층냉수는 저온저염의 연안수특성을 가진다.

쿠로시오계 해수들은 연안수들에 비해 고온, 고염, 저용존산소 값을 가지며, 쿠로시오계 해수들중 황해난류수의 수온, 염분의 특성값이 가장 낮고 용존산소 특성값이 가장 높기 때문에 황해난류수의 최저수온, 최저염분, 최고용존산소 값들이 쿠로시오계 해수들과 연안수들과의 경제값이 될 수 있다. 이 특성값들은 계절에 따라 값이 변하며 염분은 여름에, 수온은 겨울에 가장 낮아지고, 용존산소는 겨울에 가장 높아진다.

이 특성값들은 수심에 따라서도 다른 해수와의 경제값이 약간씩 다르게 나타나는데 본 연구에서는 50m 수심에서의 경제값을 표 1을 참조하여 자료분포를 (그림2) 중심으로 결정하였다. 이렇게 정하여진 쿠로시오계 해수와 연안수들의 경제값은 여름에 $>20^{\circ}\text{C}$, $>34.0\%$, $<4.8\text{ml/l}$ 이며 겨울에 $>14^{\circ}\text{C}$, $>34.0\%$, $<5.8\text{ml/l}$ 이다. 이 값들이 표 1에서의 값들과 약간씩 다른 이유는 본 연구에서는 50m 수심을 중심으로 정하였기 때문이다. 이와같이 선택된 특성값들은 해수들을 정확하게 대표하지 않을지 모르나 쿠로시오해수계와 연안수들의 경계를 살펴보는 본 연구의 목적에는 만족되는 값들일 것이다.

그림 2는 C.S.K. 자료의 50m 수심에서의 수온, 염분, 용존산소의 수평분포도이다. 이 수평분포도들이 보여주는 해수분포의 특성은 대륙붕선단 해역의 고온, 고염, 저용존산소의 쿠로시오계 해수들과 연안해역의 저온, 저염, 고용존산소의 연안수들의 분포이다. 이 두 해수들의 경계는 동지나해를 남서-북동 방향으로 동지나해를 가로지른다. 이러한 해수분포의 계절변화의 특징은

Table 1. Ranges of water mass characteristics on the East China Sea

	Gong	KORDI	Lie	Park etc.	Park
Summer	T(°C)			14-17	10-18
	S(‰)			>34.0	34.2-34.8
Winter	T(°C)	>15	11-15	11-15	10-14
	S(‰)	=34.8	34.0-34.5	34.0-34.5	33.0-34.4

겨울에 쿠로시오계 해수들의 세력이 확장되어 제주도 남서해역의 일부만을 제외하고는 전 동지나 해역이 고온, 고염, 저용존산소의 분포를 보이거나

여름철에는 쿠로시오계 해수들이 세력이 후퇴하여 제주도 남동해역과 중국연안해역에도 연안수가 나타나는 것이다. 그림 3은 제주해협에서 관

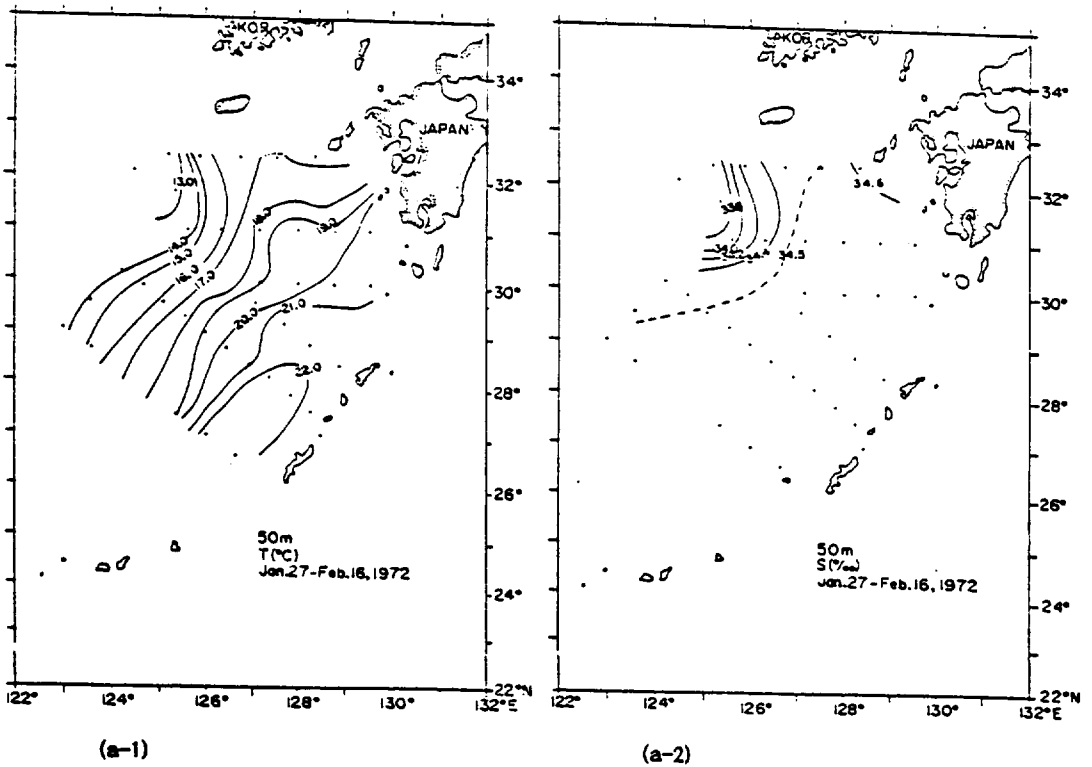


Fig. 2. Horizontal distributions of Temperature, Salinity and Dissolved oxygen at the 50m layer on the East China Sea in (a) Jan. 28-Feb. 16, 1972, (b) Jul. 27-Aug. 14, 1972, (c) Jan. 28-Feb. 28, 1974 and (d) Jul. 21-Aug. 14, 1974.

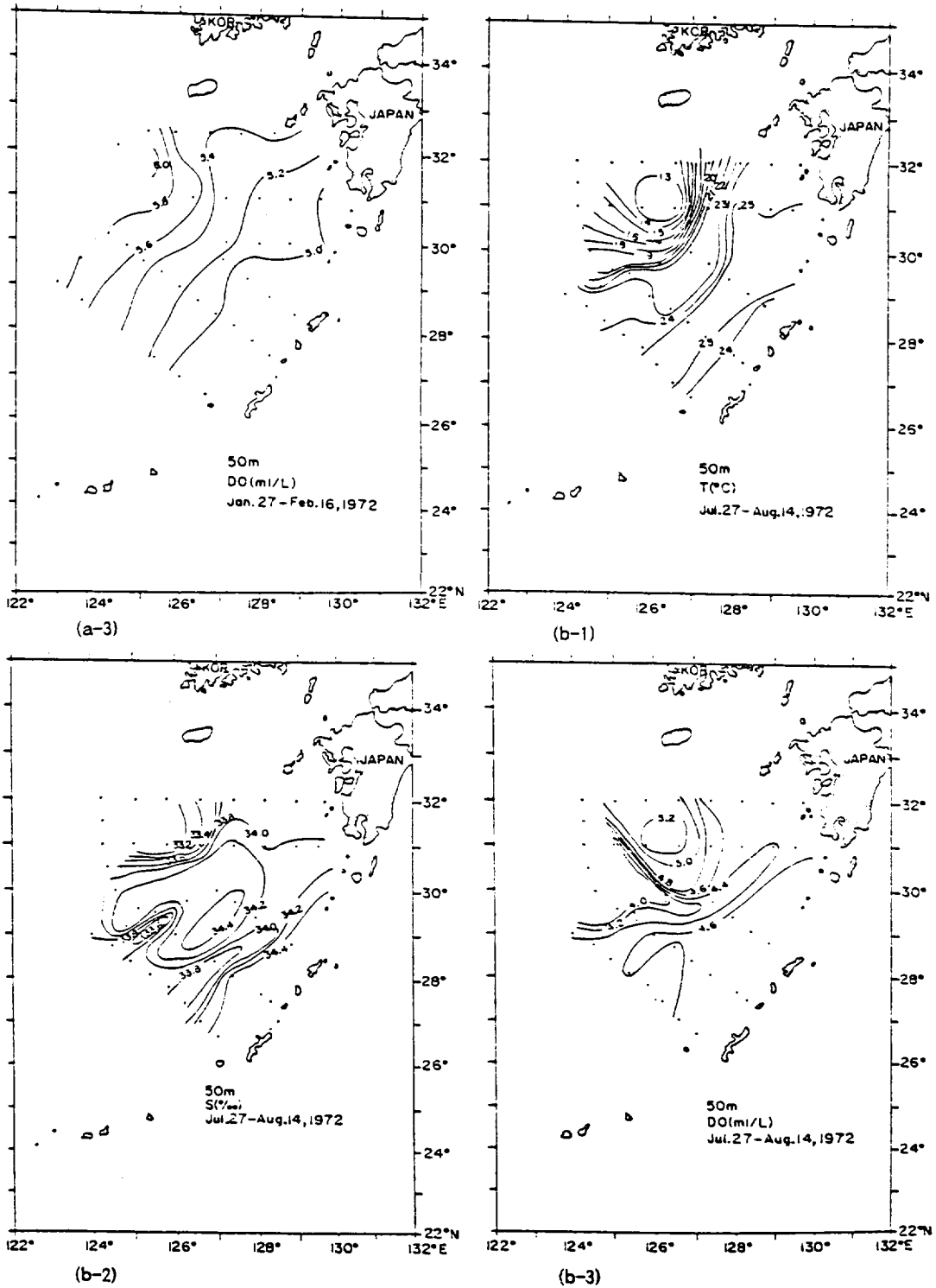
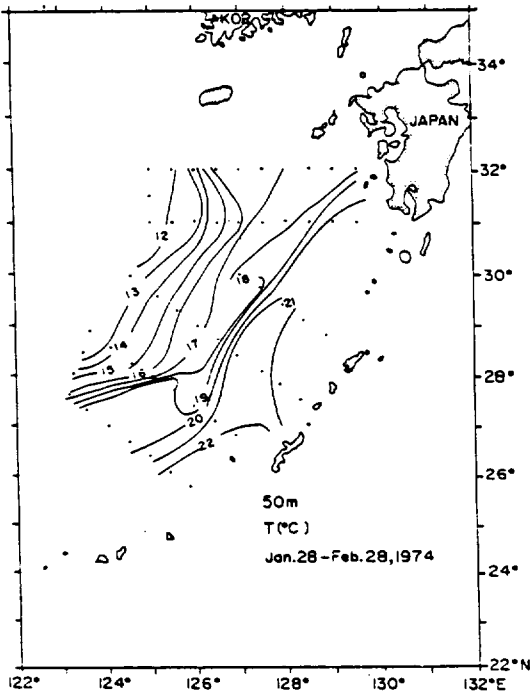
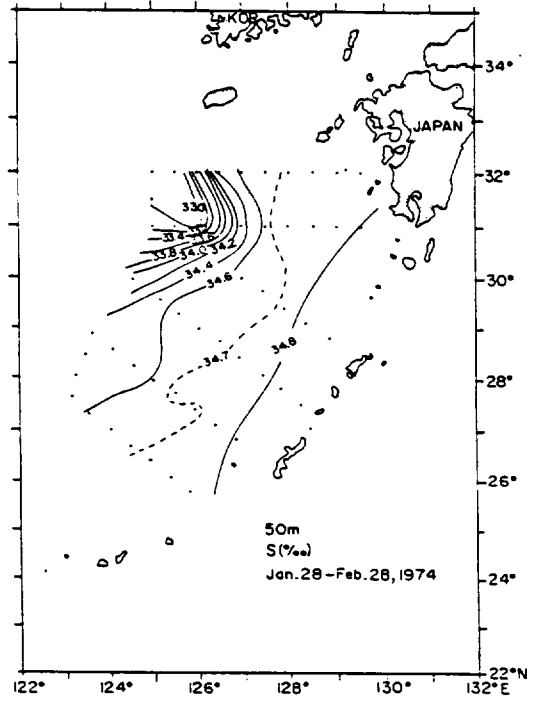


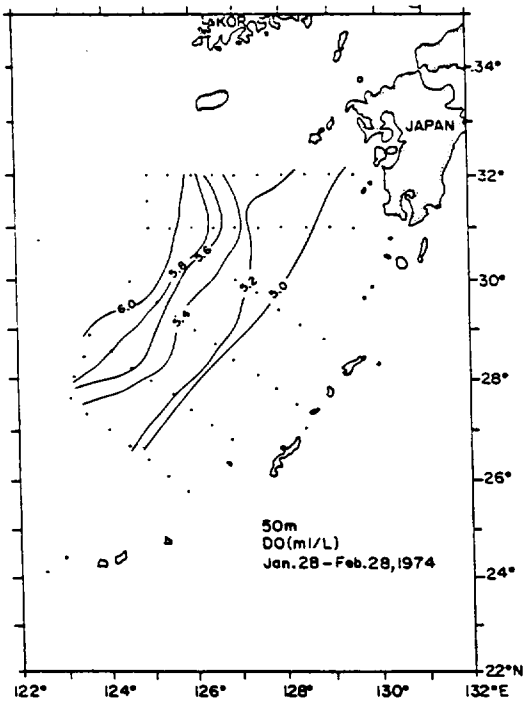
Fig. 2. Continued.



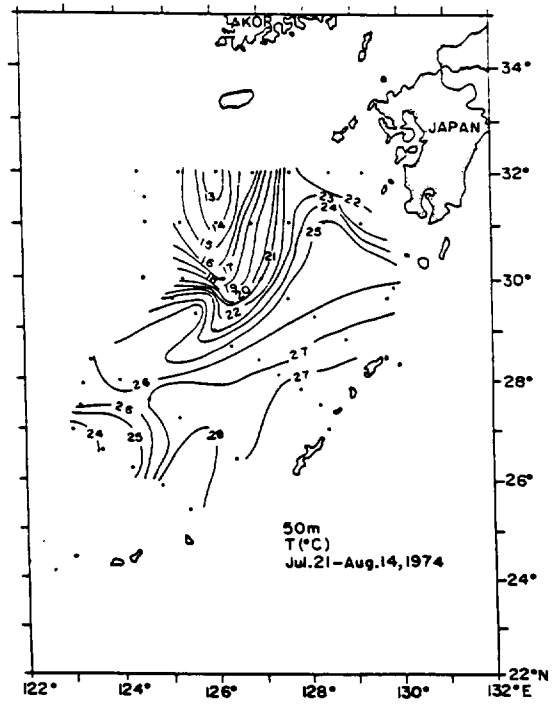
(c-1)



(c-2)



(c-3)



(d-1)

Fig. 2. Continued.

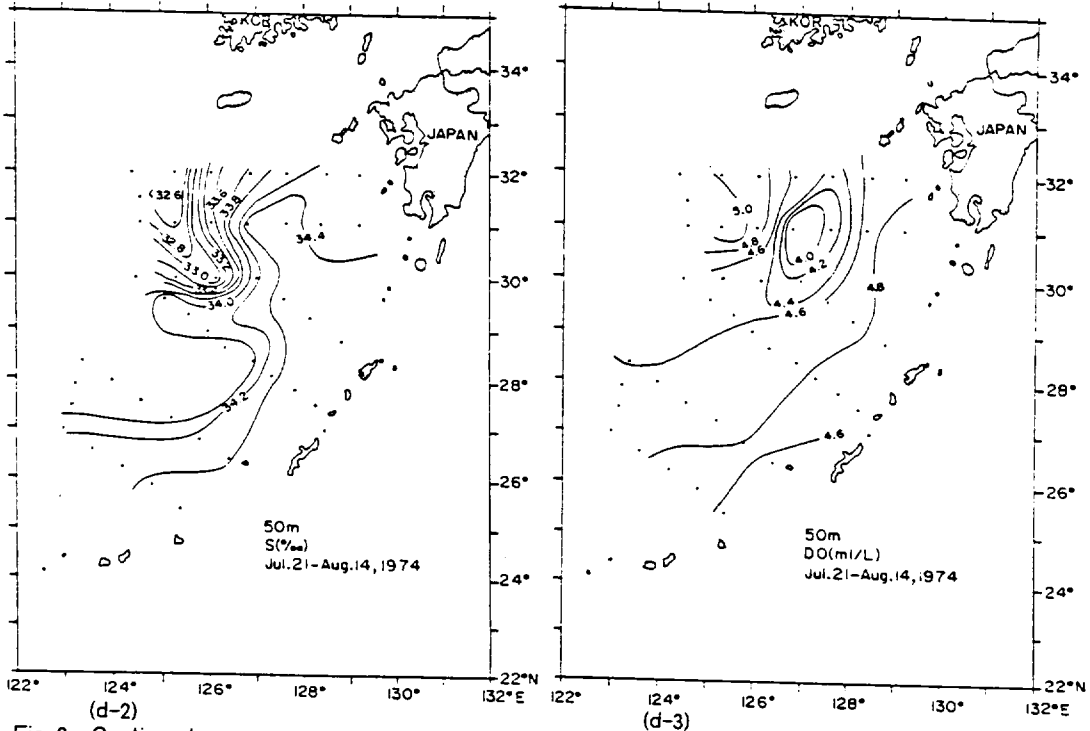


Fig. 2. Continued.

측된 자료의 50m 수심의 수온, 염분 수평분포로서 4월에는 제주도 동방해역에 고온고염의 쿠로시오계 해수가 분포하나 7월과 10월에는 쿠로시오계 해수가 보이지 않는다. 이 결과는 동지나해에서 보여진 쿠로시오세력의 겨울철 북서방향으로의 확장 및 여름철 쇠퇴와 일치하는 결과다.

그림 4는 C. S. K. 자료의 수온-염분, 수온-용존산소, 염분-용존산소 분포도들이며 계절에 따른 해수분포변화의 특징은 여기에서도 나타나 있다. 그림 4에서도 역시 50m 수심의 자료가 사용되었다. 수온-염분 분포도를 보면 겨울철에는 14°C와 34‰ 이상의 고온고염의 해수와 약 14°C 이하, 34‰ 이하의 저온저염의 해수로 나누어지나 고온고염의 해수가 대부분인 것을 볼 수 있다. 그러나 여름철에는 약간의 고온고염의 해수를 포함하여 고온저염, 저온저염의 해수들이 많이 분포해 고온고염 해수의 세력이 약화되어 있음을 알 수 있다. 수온-용존산소, 염분-용존산소 분포도에서도 여름과 겨울에 수온-염분 분포도에서 볼 수 있는 바와 같은 두 해수 세력의 변화를

볼 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 동지나해에서 쿠로시오계 해수는 겨울철에 세력이 확장되어 동지나해역의 거의 전해역에 분포하나 여름철에는 그 세력이 약화되어 동지나해의 상당부분에 연안수가 나타난다. 그 결과 동지나해에서의 특성분포는 겨울철에 저온, 저염, 고용존산소를 보이며 여름철에 고온, 고염, 저용존산소를 보인다. 이 중에서 특히 외부로부터의 요인에 의해 가장 영향을 받게 받는 염분분포의 특성 즉 겨울철 고염과 여름철 저염은 다음 절에서 다룰 해수순환을 유추하는데 매우 유용하게 쓰일 수 있다. 자료분석결과 얻어진 쿠로시오계 해수의 겨울철 세력확장과 여름철 세력쇠퇴는 동지나해역 해수분포의 특징으로 보이며 이 결과는 그림 5에서 보여지는 Kondo (1985)의 13년 평균자료의 결과와 일치한다. 또한 이러한 해수분포의 특징은 동지나해 해수순환을 파악하는데 중요한 현상으로 보여진다. 다음은 이 현상으로 부터 유추할 수 있는 해수순환의 특성을 살펴보았다.

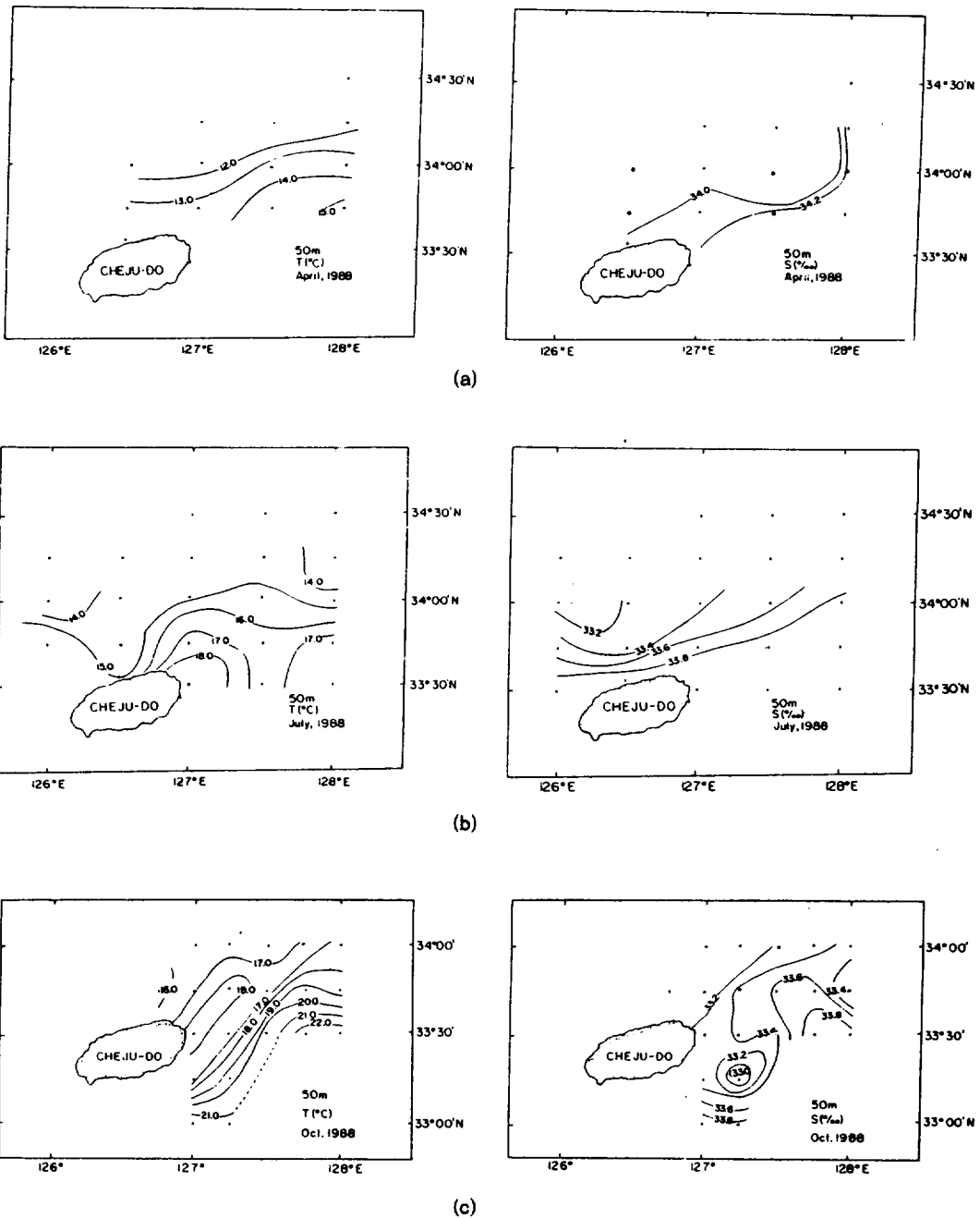


Fig. 3. Horizontal distributions of temperature and salinity at the 50m layer in the Cjeju-Strait in (a) Apr. 11-15, (b) Jul. 7-11 and (c) Oct. 25-31, 1988.

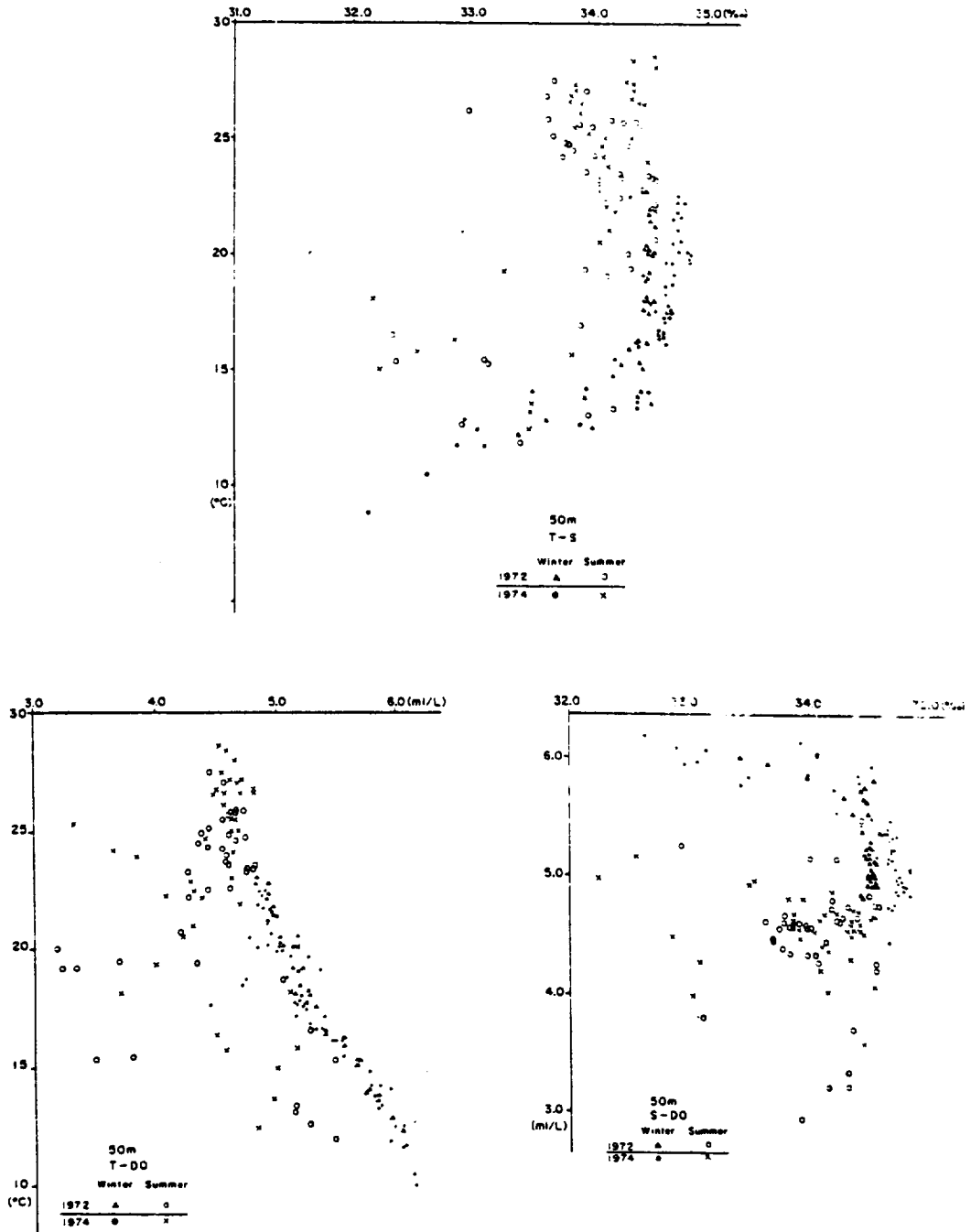


Fig. 4. (a) Temperature-Salinity distributions, (b) Temperature-Dissolved oxygen distributions, and (c) Salinity-Dissolved oxygen distributions, at the 50m layer from CSK data.

해수순환

동지나해에서의 여름철 저염화 현상은 쿠로시오계 해수의 유동만으로는 설명하기 어렵다. 쿠로시오해류로부터 Kyushu섬 서방해역을 통해 대마해협으로 북상하는 해수량은 년중 약 5Sv으로 계절변화가 거의 없는 것으로 보고되었으며 (Kuroshio, 1972), 대마해협을 통해 유출되는 유량은 겨울에 적고 (약 0.3Sv) 여름철에 많으나 (약 2.2Sv) 모두 5Sv보다는 적다고 보고되었다 (Yi, 1966). 그러므로 쿠로시오해류로부터 북상하는 해수는 계절에 따라 양의 차이는 있으나 상당량이 동지나해 중앙부로 유입된다고 볼 수 있다. 또한 Kyushu섬 서방해역에서 쿠로시오지류가 대마해협으로 유출되는 해역의 염분은 함

상 동지나해로 유입되는 쿠로시오해수의 염분보다 낮아 겨울철과 여름철 모두 쿠로시오 해류로부터 올라오는 해수는 저염화되어 대마해협으로 유출되는 것을 볼 수 있다. 이러한 사실들은 쿠로시오 해류로부터 동지나해로 년중 염분이 공급된다는 것을 보여준다.

쿠로시오해류로부터 동지나해로의 염분공급은 여름철부터 겨울철까지의 고염화는 설명할 수 있으나 겨울철부터 여름철까지의 저염화는 설명할 수 없다. 겨울에서 여름 사이에 쿠로시오로부터 염분이 공급되는데도 불구하고 동지나해의 염분이 낮아지기 때문에 그 원인을 살펴보기 위하여 동지나해의 염분출입을 살펴 보았다.

수직적으로 볼 때 동지나해 염분의 여름철 저염화는 표층일수록 크며 저층일수록 낮기 때문에 50m층의 저염화양은 표층으로부터 수심 50m층까지의 최저 저염화이다. 수평적으로 본다면 관

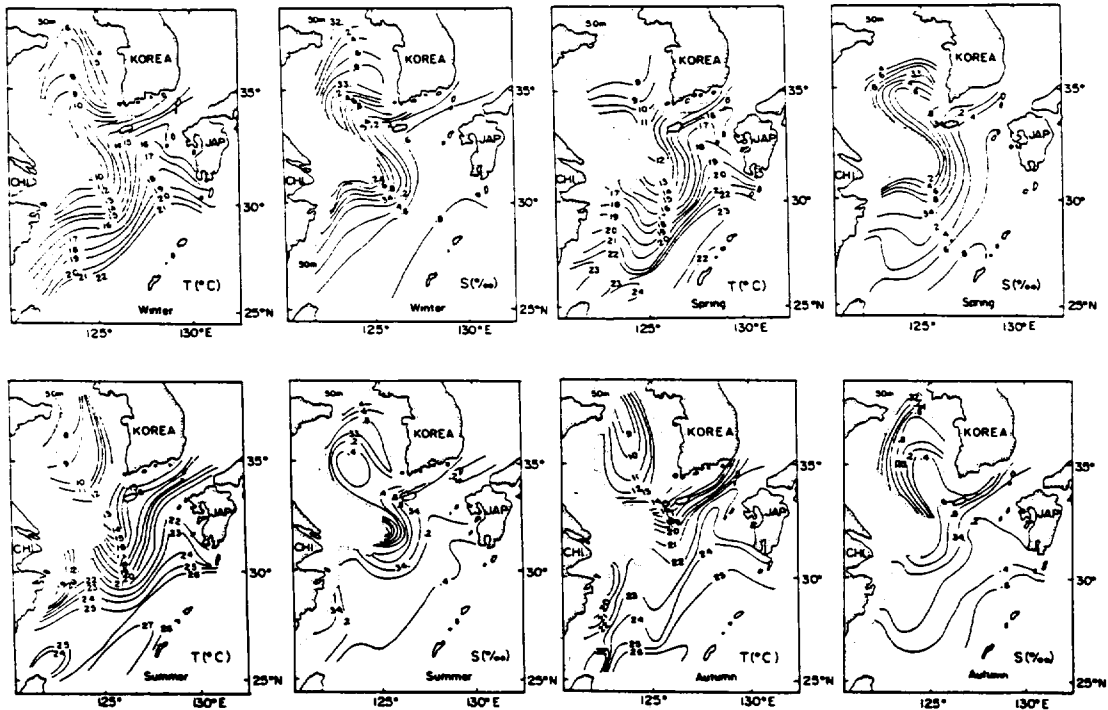


Fig. 5. Horizontal distributions of temperature and salinity at the 50m layer of the Yellow Sea and the East China Sea (After Kondo, 1985).

측해역의 변동리에서는 저염화의 폭이 매우 큰데 반해 중앙부 해역의 저염화는 최소로 약 2‰이다. 그러므로 강수량에 의해 50m까지의 전 수심이 동지나해의 전역에 걸쳐 2‰ 저염화되었다고 본다면 이는 저염화의 최저한계일 것이다. 그러나 강수량에 의한 저염화는 이 최저한계의 저염화도 설명하지 못한다. 1972년 3월부터 7월까지의 순강수량은 75mm로서 이 양으로는 표층부터 50m 수심까지의 해수골 0.5‰ 이하로 밖에 저염화 시키지 못하기 때문이다. 이 양은 최저한계의 저염화인 2‰보다 훨씬 적은 양이다. 1972년 저염화는 1974년 저염화보다 적으며 겨울부터 여름사이의 순강수량도(강수량-증발량) 1974년 보다 1972년에 매우 적기 때문에 1972년이 순강수량으로 그 해의 저염화를 설명하지 못한다면 동지나해의 여름철 저염화를 담수의 유입량으로 설명하지 못한다. 그러므로 동지나해의 여름철 저염화는 강수량으로 설명되지 않는다.

이 저염화는 저염인 연안수의 유동으로 설명될 수 있는 것으로 보인다. 그림 6은 동지나해에서의 쿠로시오계 해수에 의한 염분공급과 저염인 연안수의 유동을 도식화해 본 것이다. Kyushu섬 서방해역의 Kuroshio계 해수가 대마해협을 향해 흐르는 해역에 (box) Kuroshio해수에 의해 공급되는 염분량은 유입되는 해수량에 (M_1) 염분을 (S_1) 곱한 양이며 ($M_1 * S_1$) 유출되는 염분량은 대마해협류 유출되는 해수량에 (M_2) 염분을 (S_2) 곱한 양이다($M_2 * S_2$). 이 두 양의 차이는 $M_1 * S_1 - M_2 * S_2$ 이며 위에서 언급한 바와같이 $M_1 > M_2$, $S_1 > S_2$ 이기 때문에 항상 쿠로시오해수로부터 동지나해로 염분이 공급된다. 이렇게 공급된 염분량을 상쇄시키고 동지나해의 염분을 저염화시키기 위한 막대한 양의 저염수유입은 저염인 연안수의 유입으로 밖에 설명되지 않는다. 만약 그림과 같이 겨울에 연안수가 북서방향으로 그리고 여름에 연안수가 남동방향으로 유동한다면 동지나해에서 쿠로시오해수의 겨울철 세력확장과 여름철 세력쇠퇴를 설명해 주며 또한 여름철에 쿠로시오로부터 복사하는 해수량이 변하지 않음에도 불구하고 여름철에 대마해협으로 유출되는 해수량의 증가도 설명해 줄 수 있다.

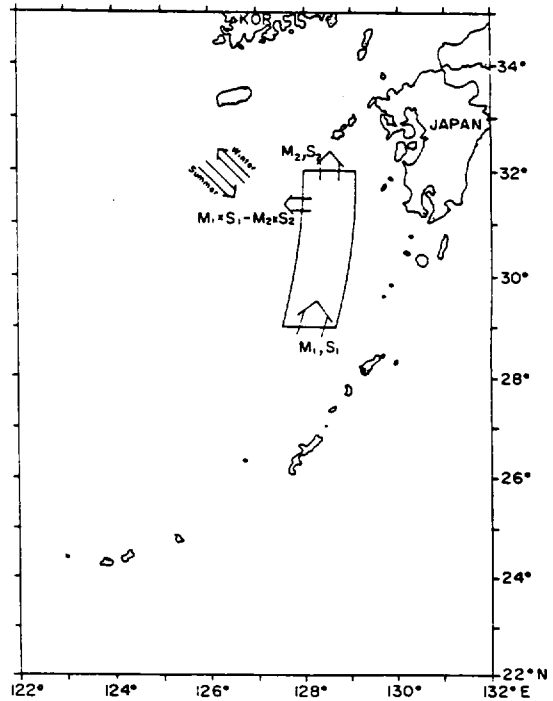


Fig. 6. Schematic diagram of the salinity supply by the Kuroshio waters to the East China Sea and the movements of low-salinity coastal waters.

이와같은 유추로부터 동지나해에서의 쿠로시오세력의 확장과 쇠퇴는 쿠로시오해수에 원인이 있는 것이 아니라 동지나해의 연안수의 유동에 원인이 있는 것으로 보인다. 이러한 연안수의 유동은 동지나해 해수순환의 중요한 특징으로 보이며 동지나해 해수순환을 규명하기 위한 귀중한 정보를 제공해 준다. 이러한 연안수의 유동은 북서계절풍과 남동계절풍으로 대표되는 계절풍에 의한 것으로 추정되나 이것은 다음의 연구과제로 미룬다.

결론 및 토의

동지나해에서의 전반적인 해수분포특성증의 하

나는 겨울에 고염이며 여름에 저염이다. 이와같은 동지나해의 염분변화는 쿠로시오해류에 의해 수송되는 염분량의 차이와, 강수량이나 육수 등이 유입되는 담수량의 차이에 의해 영향을 받을 것이다. 이 중, 쿠로시오해류에 의해 공급되는 염분량은 계절에 따라 변화하더라도 년중 공급된 염분량보다 적은량이 대마해협을 통해 유출되기 때문에 쿠로시오해류에 의해서는 항상 동지나해에 염분이 공급된다. 그러므로 쿠로시오해류에 의한 염분량의 변화는 동지나해의 여름철 저염화에 근본적인 이유가 될 수 없다. 그러나 겨울에서 여름사이의 증가되는 강수량 등에 의한 담수량도 여름철에 동지나해의 염분을 자료에서 보여지는 만큼 낮출 수는 없다. 여름철 저염화를 설명하기 위해서는 다른 형태의 해수순환이 필요하며, 그것은 계절풍에 의한 연안수의 유동으로 추정된다. 이 순환에 의해 겨울철에 쿠로시오난류수 세력이 겨울철에 북서방향으로 확장되고 여름철에 남동방향으로 후퇴하는 것으로 설명될 수 있다.

이와같은 연안수유동의 원인은 본 연구에서는 다루지 않았으나 계절풍에 의한 것으로 추정된다. 황해, 남해, 동지나해에서 바람의 효과가 가장 많이 나타나는 해역은 삼면이 육지로 둘러싸인 황해이며 황해에서의 바람의 효과의 특징은 중앙부를 따라 흐르는 역풍류이다 (Park, 1985; Pang, 1987). 역풍류의 효과로 겨울의 북서계절풍 때에는 황해중앙부를 따라 남류가 흐르며 여름의 남동계절풍 때에는 황해중앙부를 따라 북류가 흐른다. 이러한 흐름이 동지나해에서 연안수

의 유동을 일으키는 원인인 것으로 보이며 이 흐름은 겨울과 여름의 계절에 걸쳐 발생하는 매우 완만한 흐름일 것이다.

요 약

동지나해에서의 전반적인 해수분포특성증의 하나는 겨울에 고염이며 여름에 저염이다. 이와같은 동지나해의 염분변화는 쿠로시오해류에 의해 수송되는 염분량의 차이와, 강수량이나 육수 등이 유입되는 담수량의 차이에 의해 영향을 받을 것이다. 이 중, 쿠로시오해류에 의해 공급되는 염분량은 계절에 따라 변화하더라도 년중 공급된 염분량보다 적은량이 대마해협을 통해 유출되기 때문에 쿠로시오해류에 의해서는 항상 동지나해에 염분이 공급된다. 그러므로 쿠로시오해류에 의한 염분량의 변화는 동지나해의 여름철 저염화에 근본적인 이유가 될 수 없다. 그러나 겨울에서 여름사이의 증가되는 강수량 등에 의한 담수량도 여름철에 동지나해의 염분을 자료에서 보여지는 만큼 낮출 수는 없다. 여름철 저염화를 설명하기 위해서는 다른 형태의 해수순환이 필요하며, 그것은 계절풍에 의한 연안수의 유동으로 추정된다. 이 순환에 의해 겨울철에 쿠로시오난류수 세력이 겨울철에 북서방향으로 확장되고 여름철에 남동방향으로 후퇴하는 것으로 설명될 수 있다.

참 고 문 헌

중앙기상대, 1972. 기상 연보
 , 1974. 기상 연보
 공 영, 1971. 한국 남해 연안 전선에 관한 연구,
 해양학회지, 6(1), 25-36.
 Japan Oceanographic Data Center, 1975. *Data*

Report of CSK, 323, JODC, Tokyo, Japan.
 , 1976. *Data Report of CSK*, 343, JODC,
 Tokyo, Japan.
 , 1976. *Data Report of CSK*, 373, JODC,
 Tokyo, Japan.

- _____, 1976. *Data Report of CSK*, 388, JODC, Tokyo, Japan.
- Kondo, M., 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China Sea and the Yellow Sea-1. Characteristics of the mean temperature and salinity distributions measured at 50m and near the bottom, *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, No. 62, 19-66.
- 해양연구소, 1986. 한국 해역 종합해양 환경도 작성 연구-황해-
- Lie, H. J., 1984. A Note on the Water Masses and General Circulation in the Yellow Sea(Hwanghae), *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19 (2), p.187-194.
- Lim, D. B., 1971. On the Origin of the Tsushima current water, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6(2), p.85-91.
- Nakao, T., 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea, *J. Fac. Mar. Sci. Technol., Univ. Tokai, Japan*, Spec. No. Nov. 1977, p.199-366.
- Pang, I. C., 1987. Theory of coastally trapped wave and its application to the Yellow Sea. *Ph. D. thesis, Florida State Univ*, 128pp. (1987).
- Park, Y. H., 1985. Some Important Summer Oceanographic Phenomena in the East China Sea, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 20, No. 2, p.12-21.
- 박용항 등. 1985. 대마난류 근원지에서의 수괴들의 역학적 구조와 기초 생산력 조사 연구, 한국 과학재단 연구 보고서
- 홍길, 김구. 1983. 제주와 목포, 제주와 완도 간의 표면 수온 변화, *해양학회지*, 18(1), 64-72.
- Stommel, H., K. Yoshida. 1972. KUROSHIO, Univ. of Tokyo press, p.517.
- Yi, S. U., 1966. seasonal and Secular variation of the water volume transport across the Korea Strait, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 1, (1-2), p.7-13.