

# 夏季 東海의 溶存酸素 分布特性과 對馬暖流\*

洪 鐵 勳·曹 圭 大

統營水産專門大學·釜山水産大學 海洋學科

## The Relationship between the Characteristics of Dissolved Oxygen and the Tsushima Current in the Japan Sea in Summer\*

Chol Hoon HONG

Tong-Young National Fisheries Junior College  
Chungmu, 603 Korea

and

Kyu Dae CHO

Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan  
Namgu, Pusan, 608 Korea

This paper describes the variations of the distribution of dissolved oxygen in the Japan Sea in summer during 1974-1977. In the Tsushima Current region of the Japan Sea the salinity maxima appears frequently in summer and the dissolved oxygen at the salinity maximum is less than that in the Japan Sea Proper Water.

The Japan Sea is divided into three parts with respect to the type of vertical profiles of dissolved oxygen: The southern region of about 36°N which has low dissolved oxygen similar to those in the Kuroshio region, the Japan Sea Proper Water region, and the area between about 36°N and 40°N which has high dissolved oxygen.

The ranges of the dissolved oxygen and thermosteric anomaly( $\delta T$ ) at the salinity maximum are roughly between 4.9 and 6.5 ml/l and between 210 and 240  $cl/t$  respectively. The most frequent ranges of those values are between 5.5 and 5.7 ml/l and between 230 and 240  $cl/t$ . The northern boundary of the Tsushima Current can be known by the characteristics of the distribuion of dissolved oxygen.

### 서      론

동해는 타해역과는 달리 표층에서부터 중층 및 저층에 이르는 거의 모든 층에서 6.0~8.5 ml/l의 비교적 풍부한 산소량을 함유하고 있고, 또한 전체 해수 용적의 약 90%가 수온 0.5°C, 염분 34.05‰의 東海固有水(Japan Sea Proper Water)인 것(Yasui *et al.*, 1967)이 특징이다.

해수성분중 용존산소는 유기물의 분해작용에 의한 소모와 식물성 플랑크톤의 광합성작용에 의한 생성

등으로 인하여 보존성이 적은 것으로 알려져 있어 해류의 移流상태를 파악 하기에는 다소 부적합하다고 생각된다. 그러나 동해에 유입되는 쿠로시오계의 對馬暖流는 東海固有水보다 훨씬 낮은 4.0~5.5 ml/l의 저산소를 함유하고 있으므로 용존산소가 비보존성이라고 해도 이 暖流의 특성을 잘 나타낼 수 있다고 생각된다.

高溫·高鹽水인 이 暖流는 수심 약 300 m까지 영향을 미치고 있고(Fukuoka, 1957), 하계에는 수심 약 100m의 염분 최대층에 용존산소 최소치가 나타나며 이층에 이 暖流의 主流가 존재함을 추측하였다(Mo-

\* 부산수산대학 해양과학연구소 연구업적 제96호(Contribution No. 96 of Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Pusan)

riyasu, 1972) 또한 2.0~4.0 ml/l의 저산소인 쿠로시오 영향을 받은 對馬暖流의 용존산소량은 4.0~5.5 ml/l로서 6.0~8.5 ml/l인 동해고유수에 비해 낮다. 더우기 Kano(1980)는 누년통계 결과로써 6.0 ml/l 이하의 용존산소 최소층이 대략 39°N 이남해역의 약 75 m 깊이에 존재한다고 하였고, Hong and Cho(1983)도 약 100 m 깊이에 용존산소 최소층이 존재함을 지적하였다. 그러나 저산소층의 분포역과 對馬暖流水와의 관계 등에 관하여는 논의된 바가 적었던 것 같다.

본 연구에서는 하계의 동해에서 용존산소 최소층의 분포역을 조사하여 對馬暖流水의 분포범위를 파악하고 이 暖流의 북상한계역을 究明코자 하였다. 그 결과 暖분최대치를 추적하여 얻은 對馬暖流의 북상한계역(Hong and Cho, 1983)과 거의 같은 40°N 이남 해역으로 나타났다.

자료 및 방법

본 연구에서는 일본 기상청 해양관측자료(1974~1977년) 중 각종 관측자료를 사용하였다.

먼저 용존산소의 분포상태를 조사코자 용존산소의 연직단면구조가 각기 다르게 나타나는 관측점을 선정하고(Fig. 1), 그 구조에 따라 용존산소의 분포역

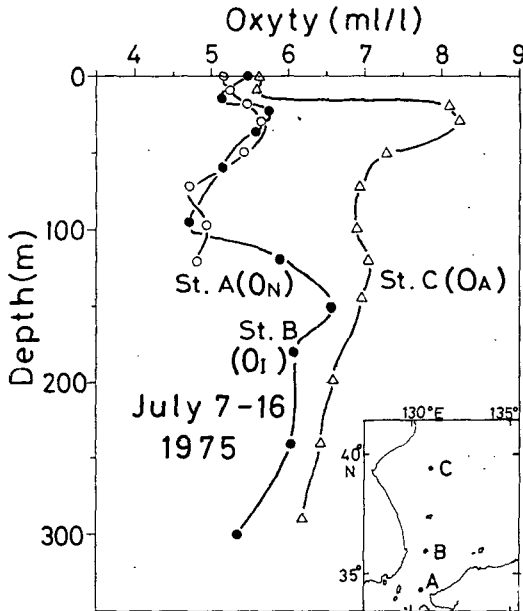


Fig. 1. Profiles of dissolved oxygen in the station A, B and C in the Japan Sea in July, 1975. Symbols of  $O_N$ ,  $O_I$  and  $O_A$  indicate the normal, minimum and maximum types of the profiles of dissolved oxygen, respectively.

을 셋으로 구분하였다. 즉 對馬暖流水가 동해에 유입하는 대한해협 부근(St. A)에 나타나는 형을 표준형( $O_N$ 형), 동해의 對馬暖流域(St. B)의 형을 최소형( $O_I$ 형), 그리고 對馬暖流의 영향을 거의 받지 않는 동해 북부해역(St. C)의 형을 최대형( $O_A$ 형)이라 정하였다.

또한 暖분최대치가 나타나는 층의  $\delta T$ (thermohaline anomaly)와 용존산소의 빈도 분포를 조사하여 등비용면에 대한 용존산소 분포도와 暖분최대층의 용존산소 분포도로써 對馬暖流의 북상한 계역을 비교하였다. 對馬暖流의 유동형태에 따른 海水의 空間的 構造의 調査에는 調査期間中 觀測定點이 가장 많고 비교적 東海 일원에서 均等하게 분포하고, 또한 對馬暖流의 유동형태가 대조적이었던 1974년과 1975년(Hong and Cho, 1983)이 사용되었다. 海水의 鉛直構造는 이들 해의 PM線(Fig. 2)에서 調査되었다.

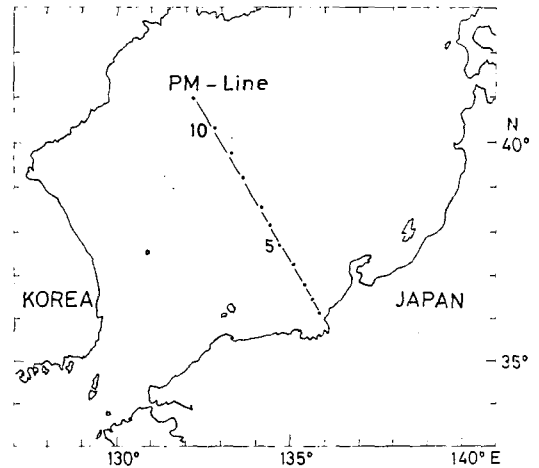


Fig. 2. PM-Line along which the routine observation is carried out by the Japan Meteorological Agency.

결과 및 고찰

1. 용존산소의 분포

Fig. 1은 동해에서 A, B 및 C 세 관측점의 용존산소 연직단면도이다. 하계 동해에서는 용존산소의 연직 구조가 해역에 따라 다르게 나타났다. 즉 동해북부 해역에서는 용존산소 최대(Oxygen maximum;  $O_A$ )가 표층에 나타나는 형태(St. C), 對馬暖流域에서는 용존산소 최소(Oxygen minimum;  $O_I$ )가 중층에 나타나는 형태(St. B) 그리고 대한해협 부근에

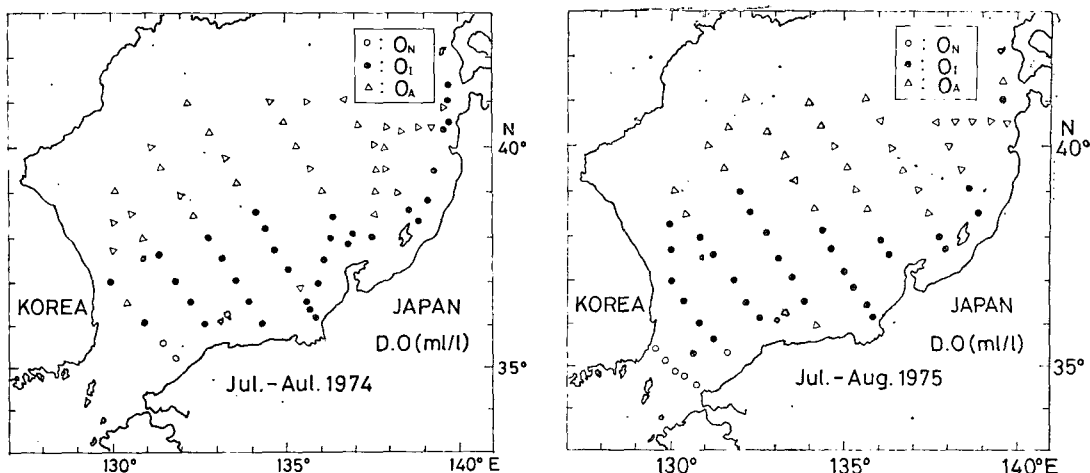


Fig. 3. Distribution of the types of dissolved oxygen ( $O_N$ ,  $O_I$  and  $O_A$  marked in Fig. 1.) in 1974 (left) and in 1975 (right).

서는 저층에 4.5~5.5 ml/l로 비교적 저산소의 값을 보이는 형태( $O_N$ )였다(St. A). 대한해협 부근을 제외한 對馬暖流域( $O_I$ )에서는 약 100m 수심까지는 4.5~5.5 ml/l의 저산소를 보이나 그 以深層에서는 5.5~6.5 ml/l의 고산소를 보이고 있다. 이와 같은 현상은 수심이 낮은 대한해협(평균수심 약 110m)의 지형적인 영향을 받아 동지나해의 약 100m 以淺의 상층수가 주로 동해 고유수역에 移流되기 때문인 것으로 생각된다. 더구나 동해 고유수가 거의 표층부터 저층에 이르기까지 고산소인 것은 水溫降下期에 상하층의 해수혼합이 잘 되기 때문이며, 그러므로 이 해역의 해수는 연령이 짧다고 볼 수 있다. 따라서 동해의 고유수보다 비교적 오래된 쿠로시오계의 對馬暖流에서 온 저산소인 해수가 고산소인 해수의 중층부근에 移流됨으로 인해 Oxygen minimum( $O_I$ )이 형성된다고 할 수 있다. 한편 동해 북부해역의 표층에서 Oxygen maximum( $O_A$ )이 형성되는 것은 용존산소의 공급이 주로 표층에서의 식물성 플랑크톤의 광합성으로 인해 이루어지기 때문인 것으로 보여진다.

Fig. 3은 對馬暖流가 한국 동해안쪽으로 치우쳐 북상한 경우(a type)인 1975년과 일본 연안쪽으로 북상한 경우(b type)인 1974년에 있어서(Hong and Cho, 1983) 용존산소의 연직단면을 형태별(Fig. 1)로 조사한 평면도이다. 대체로 표준형( $O_N$ 형)은 36°N 이남 해역, 최소형( $O_I$ 형)은 36°N~40°N, 그리고 최대형( $O_A$ 형)은 40°N 이북 해역에 분포하였다. 한편 1975년은 1974년에 비해 최소형이 한국 동해안 북부까지 넓게 분포하여 용존산소로 對馬暖流水의 분포

형태의 차이점을 파악할 수가 있었다.

## 2. 염분 최대층에서의 용존산소와 $\delta T$

하계에는 염분 최대치가 나타나는 층을 對馬暖流의 중심층으로 볼 수 있다(Moriyasu, 1972; Hong and Cho, 1983). Fig. 4는 1974~1977년에 염분 최대치가

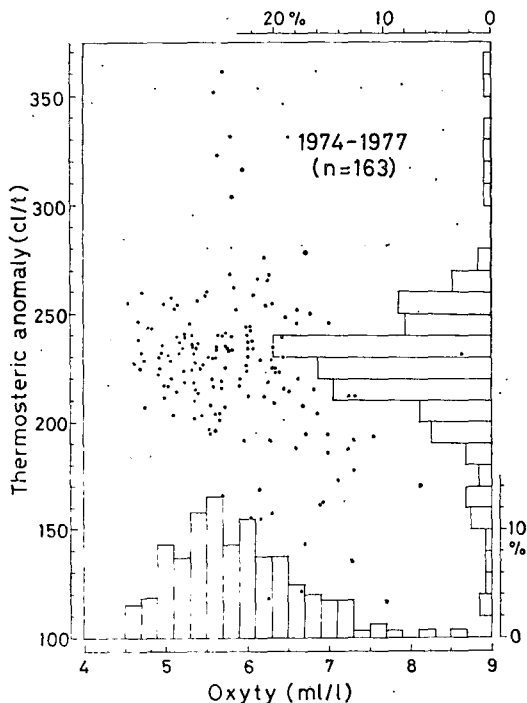


Fig. 4. Frequency distribution of dissolved oxygen and thermosteric anomaly ( $\delta T$ ) at the salinity maximum in the Japan Sea, 1974-1977.

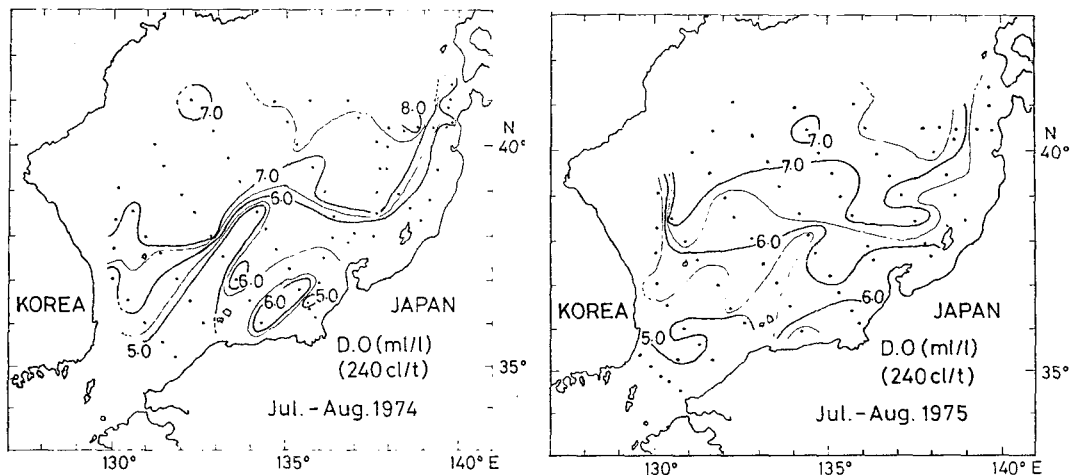


Fig. 5. Distributions of dissolved oxygen on 240 cl/t isanosteric surface in 1974(left) and 1975 (right).

나타나는 층의 용존산소 및  $\delta T$ 값의 빈도분포를 나타낸 것이다. 이 층에서의 용존산소 및  $\delta T$ 값의 범위는 대체로 4.9~6.5 ml/l, 210~240 cl/t 이었으나 그 최대빈도는 5.5~5.7 ml/l, 230~240 cl/t 사이에 각각 나타났다. 그러므로 對馬暖流의 移流層을 240 cl/t의 등비용면으로 보고 이 面上에서의 용존산소 분포를 조사하였다. Fig. 5는 a type인 1975년(左)과 b type인 1974년(右)에 240 cl/t 등비용면상에서의 용존산소 분포도이다. 한편 Hong and Cho(1983)에 의한 對馬暖流의 북상한계 지표선인 34.4‰ 등치선의 모양과 본 연구에서의 6.0 ml/l 등치선의 모양이 거의 같고(Fig. 5, Fig. 6), 對馬暖流域에서는 대략 6.0

ml/l 이하의 용존산소값을 보이므로(Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6) 본 연구에서도 6.0 ml/l을 對馬暖流의 북상한계 지표선으로 보았다. 따라서 6.0 ml/l 등치선 이하의 해역을 對馬暖流水의 분포역으로 볼 때 이 暖流가 한국 동해안측에서 40°N 이남해역에 한정됨을 알 수 있다. 또한 이 지표선이 1975년에는 한국 동해안측에 많이 북상해 있는 반면, 1974년의 경우는 많이 남하해 있어 對馬暖流의 유동과 관련하여 그 분포 상태가 달라지고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 이들 두 해에 있어서 염분최대층에서의 용존산소 분포도이다. 이 결과에서도 두 해의 용존산소 분포역의 차이가 더욱 분명하게 나타남을 알 수 있다. 다

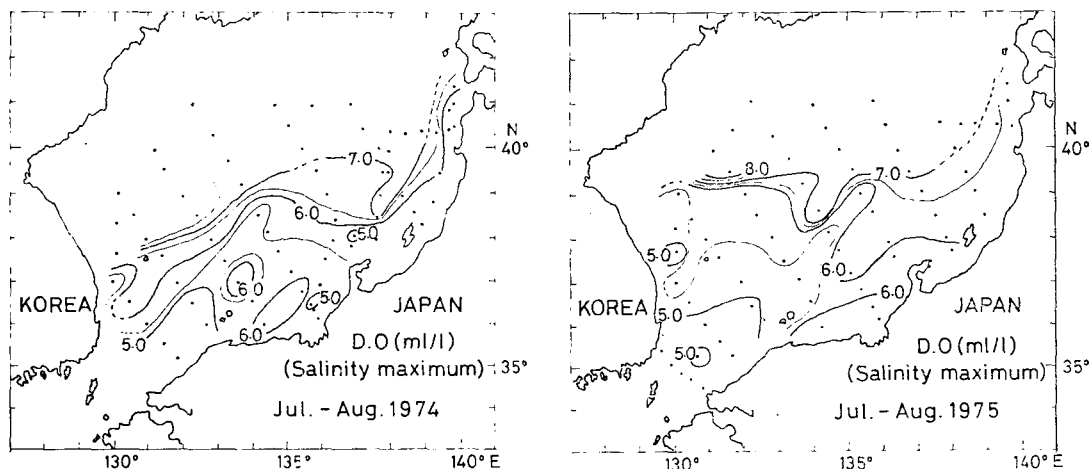


Fig. 6. Distributions of dissolved oxygen at the salinity maximum in 1974 (left) and 1975 (right).

만 240  $cl/l$  등비용면 상에서보다 염분최대층에서 용존산소의 분포차가 더욱 잘 나타난 것은  $\delta T$ 는 수온과 염분의 합수로 暖流가 북상함에 따라 염분보다 먼저 열(熱)을 잃어버리게 되어  $\delta T$  값이 점차 작아지나 염분은 수온보다 그 특성을 비교적 오랫동안 보존하기 때문인 것으로 생각된다.

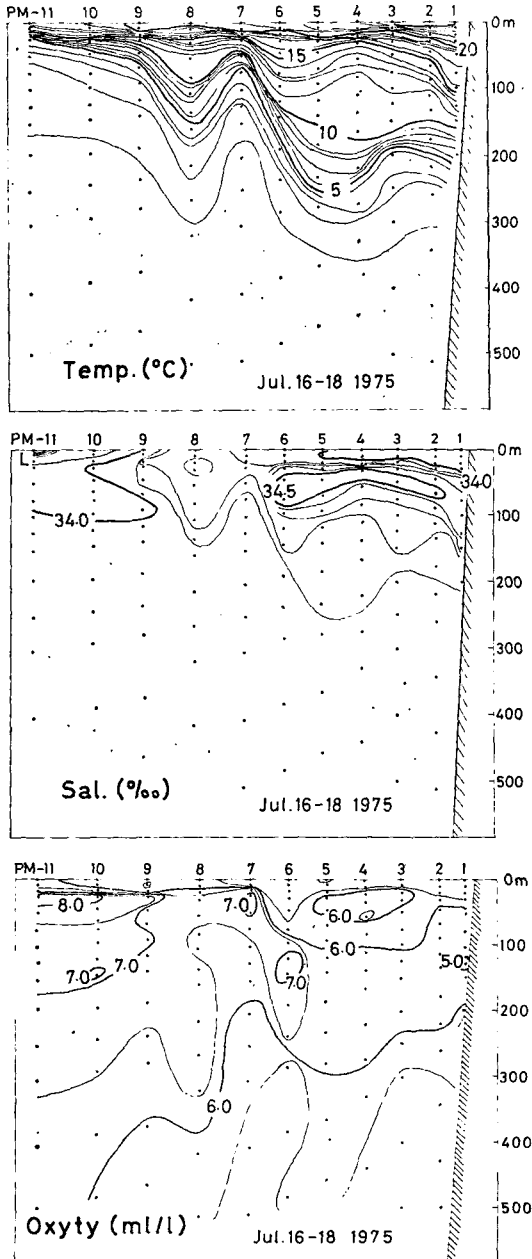


Fig. 7. Vertical profile the temperature (upper), salinity (middle), and oxygen (lower) along PM-Line in 1975.

### 3. 對馬暖流의 變動과 水塊

Fig. 7은 일본 기상청의 PM선(Fig. 2)에서 對馬暖流의 변동에 따른 수온, 염분 및 용존산소의 단면도이다. 對馬暖流가 a type였던 1975년의 수온(上) 및 염분(中) 단면도를 보면, 暖流軸(warm core)이 대략 39°N~40°N와 38°30'N(PM선 st. 6~9) 이남에 각각 존재하고 있으나 100m 깊이의 수온분포도(Fig. 8의 上)를 보면 이 부근에서 暖流가 사형함으로 생기는 현상임을 알 수가 있다. 그러나 용존산소 단면도(下)의 st. 7 이북 해역의 50m 이천해역에서는 동해고유수 상층의 약층인 有光層에서 풍부한 영양염에 의한 식물성 프랑크톤의 光合成으로 인한 고산소현상이 일어나기 때문이다. Kano(1980)가

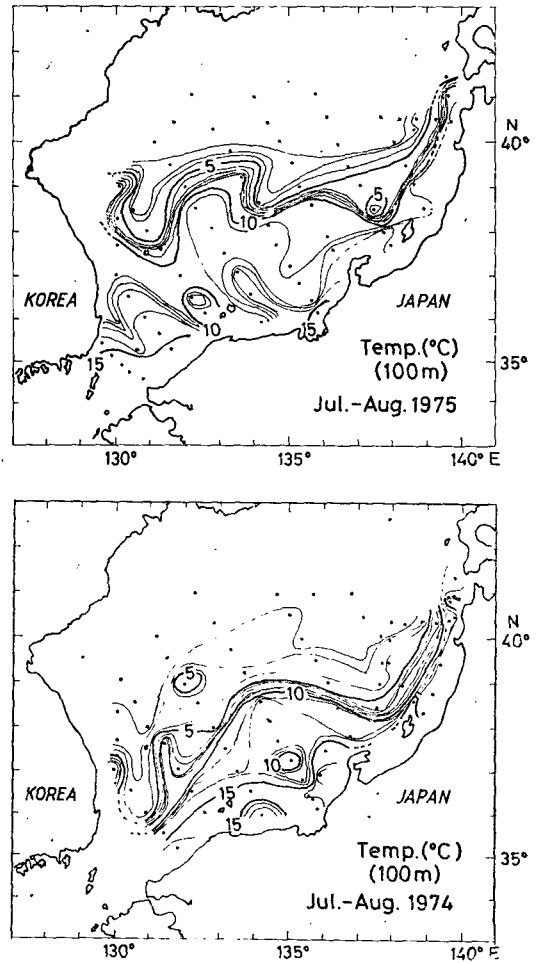


Fig. 8. Temperature distributions at 100m depth in 1975 (upper) and 1974(lower) (Hong and Cho, 1983).

조사한 용존 산소의 누년통계 결과에서도 용존산소 최소층이 PM-8(약 39°N) 이남 해역의 수심 약 75m 에서 나타나고 있음은 위의 결과와 같은 원인에서 오는 것 같다.

Fig. 9는 b-type인 1974년에 PM선상에서의 수온(上), 염분(中) 및 용존산소(下)의 단면도이다. 1974

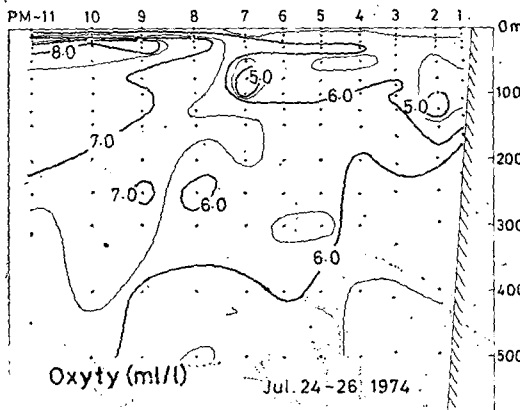
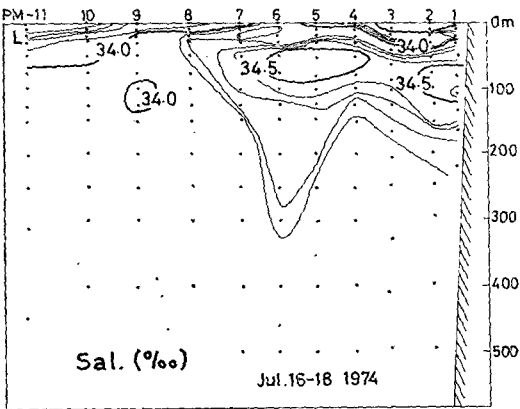
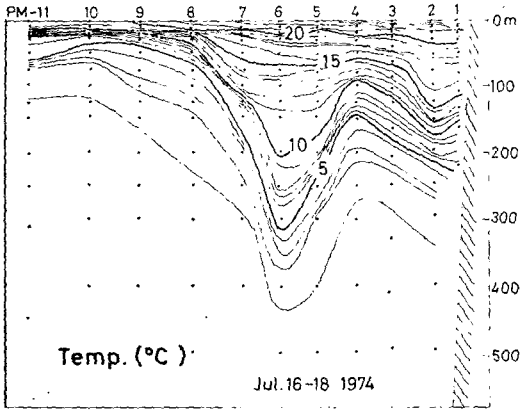


Fig. 9. Vertical profiles of the temperature (upper), salinity (middle), and oxygen (lower) along PM-Line in 1974.

년은 1975년에 비해 暖流層의 두께가 좀 더 두껍고, 暖流主軸이 외해 쪽으로 조금 이동하였다. 100m 깊이의 수온평면도(Fig. 8의 下)를 보면 이러한 차이를 보다 잘 알 수 있는 것 같다. 이러한 현상은 對馬暖流의 주축이 변동하기 때문인 것으로 보인다. 그러나 용존산소 단면도에서는 역시 수온 및 염분단면도에서와 같은 뚜렷한 형태를 찾아 보기가 어려웠다. 다만, 暖流層이라고 볼 수 있는 저산소층이 1975년에 비해 연안쪽에 비교적 두껍게 나타난 차이를 보였다.

이상의 結果를 종합하면 對馬暖流가 한국 동해안 쪽으로 치우쳐 북상한 1975년의 경우에는 일본 연안 쪽으로 主流가 북상한 1974년에 비해 暖流水層이 조금 얇고 넓게 나타났으며(Fig. 7의 上), PM 선상에서 볼 때 난류의 주축이 연안쪽에 좀 더 접근한 것으로 보였다. 또한 전자의 경우는 冷水域과 접하는 해역인 亞寒帶極前線에서 暖流의 蛇行이 비교적 크고 자주 일어났으나(Fig. 8의 上), 후자의 경우는 冷水와의 경계역이 비교적 남해해 있고 전자의 경우보다 暖流의 蛇行도 적은 것으로 보였다(Fig. 8의 下).

요 약

高溫·高鹽水인 對馬暖流는 동해에서 하계에 염분 최대층을 형성한다. 또 이 염분최대층의 용존산소(4.0~5.5 ml/l)는 고산소인 東海固有水(6.0~8.5 ml/l)에 비해 적은 값을 보이고 있는 것이 특징이다. 하계 東海에서 對馬暖流가 변동함에 따른 용존산소의 분포특성과 그 변동을 파악하기 위하여, 용존산소의 연직구조에 따라 그 분포역을 구분하고 염분 최대층에서 용존산소를 조사하여 연직단면구조의 변화를 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

용존산소의 분포역은 해에 따라 다소 변동은 있으나 크게 셋으로 구분되었다. 즉 쿠로시오의 성질을 거의 그대로 보이는 36°N 이남해역, 동해 고유수의 성질을 보이는 해역(40°N 이북해역) 및 그 중간해역인 對馬暖流域(36°N~40°N)이었다.

염분최대치가 나타나는 층에서의 용존산소 및  $\delta T$  (thermosteric anomaly)의 범위는 대체로 4.9~6.5 ml/l, 210~240 cl/t 이었으나, 그 최대빈도는 각각 5.5~5.7ml/l, 230~240 cl/t 이었다.

對馬暖流가 한국 동해안쪽으로 치우쳐 북상한 해의 경우에는 냉수와의 경계역에서 蛇行이 심하나 일본 연안쪽으로 主流가 북상한 해의 경우는 냉수와의 경계역이 매우 남해해 있고 비교적 전자에 비해 사

행도 적었으며, PM 선상의 단면도로 볼 때 주축이 외해쪽으로 좀 더 이동해 있는 것으로 나타났다. 한편 용존산소의 분포상태로써 對馬暖流의 북상한계를 파악할 수가 있었다.

文 獻

- Fukuoka, J. 1957. On the Tsushima Current. Journ. Oceanogr. Soc. Japan. 13(2), 57-60.
- Hong, C. H. and Cho, K. D. 1983. The northern boundary of the Tsushima Current and its fluctuation. Journ. Oceanol. Soc. Korea, 18(1), 1-9.
- Japan Meteorological Agency. 1974-1977. The results of marine meteorological and oceanographic observations. vol. 54, 56, 58, 60.
- Kano, Y. 1980. The annual variation of the temperature, salinity and oxygen content in the Japan Sea. Oceanogr. Mag. 31(1-2), 15-26.
- Moriyasu, S. 1972. The Tsushima Current. In, Kuroshio, Its physical aspectsed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- Yasui, M., T. Yasuoka, and O. Shiota. 1967. Oceanographical studies of the Japan Sea (I). Oceanogr. Mag. 19(2), 177-192.