

동해고유수의 해양학적 특성

I. 겨울철 동해의 해황과 동해고유수

최 용 규 · 양 성 기* · 홍 철 훈** · 조 규 대

부산수산대학교 해양학과 · *제주대학교 해양토목과

**부산수산대학교 해양산업개발연구소

(1994년 5월 7일 접수)

Oceanographic Characteristics of the Japan Sea Proper Water

I. Oceanographic Conditions of the Japan Sea and the Japan Sea Proper Water in Winter

Yong-Kyu Choi, Sung-Kee Yang*, Chul-Hoon Hong** and
Kyu-Dae Cho

Dept. of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, 608-737, Korea

**Dept. of Ocean Civil Engineering, Cheju National University,
Cheju, 690-121, Korea*

***Research Center for Ocean Industrial Development, National Fisheries
University of Pusan, Pusan, 608-737, Korea*

(Manuscript received 7 may 1994)

Abstract

Based on the Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations (1966 ~1987), oceanographic conditions of the Japan Sea in winter was studied in relation to the Japan Sea Proper Water (JSPW).

The mean and dispersion of the deep water above 1000 m depth are $0.26 \pm 0.2^\circ\text{C}$ in temperature and 5.1 ± 0.25 ml/l in oxygen. The mean and dispersion of the bottom water below 1000m depth are $0.07 \pm 0.04^\circ\text{C}$ in temperature and 5.1 ± 0.15 ml/l in oxygen. The distributions of the temperature and dissolved oxygen in the deep water above 1000m depth are ranged wider than those of the bottom water below 1000m depth in T-S and T-O₂ diagrams. The bottom water are showed more homogeneous and smaller variations than the deep water in the characteristics of water mass. The deep water above 1000m depth is active in contact with the atmosphere.

The JSPW similar to the above characteristics is showed in the open ocean of the north of $40^\circ 30' \text{N}$, west of 138°E . Therefore, the deep water is formed probably by the open-ocean convection.

Key Words : JSPW, deep water, bottom water, open-ocean convection

1. 서론

겨울철의 동해는 강한 북서풍을 동반한 차고 건조한 대륙 극기단에 의해서, 동해의 북부 대륙측에서는 냉각과 증발이 많이 일어난다. 더우기 동해는 최심부가 약 3700m에 이르는 지중해적 성격을 지닌 북서태평양의 부속해이면서도 깊이가 약 150m 이천에 불과한 얕은 해협들로 인하여, 동해의 남동부 해역의 표층에서만 고온 고염한 쓰시마 난류수의 유출입이 있을 뿐이고, 중층이나 심층에는 외양과 격리된 동해고유수가 존재하고 있다. 따라서 동해의 수괴는 깊이 300~400m 정도에 불과한 표층수와 그 이심의 심층수인 동해고유수로 크게 구분될 수 있다. 그러므로 깊이에 따른 동해의 해황은 이들 두 수괴의 상호 작용에 의하리라 생각된다.

또한 수평적으로 보면(Fig.1), 겨울철의 동해는 위도 40°N 을 중심으로 하여 등위도 방향으로 형성되는 극전선을 중심으로, 저온 저염한 북쪽 한류수역과 고온 고염한 쓰시마 난류수역으로 구분된다(Minami *et al.*, 1987; Choi *et al.*, 1993). 이렇게 구분되는 북쪽 한류역에서는 대기 냉각에 의해

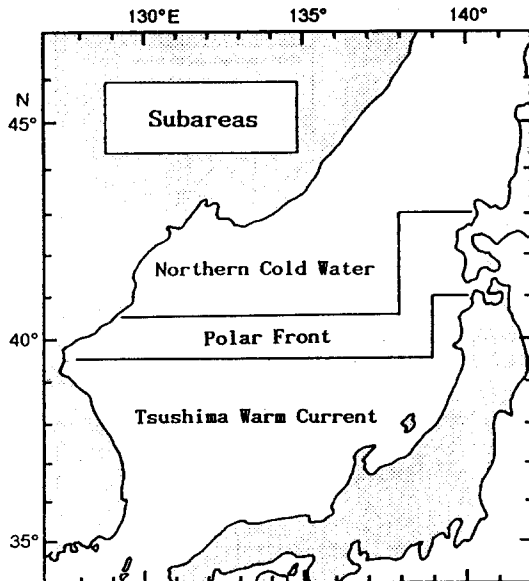


Fig. 1. Subareas divided by the polar front (Choi *et al.*, 1993).

서 차거워진 표층수가 침강하여 새로운 심층수가 형성된다.

동해의 심층수는 수온과 염분의 분포 범위가 아주 좁은 균일한 수괴의 특성을 가지고 있고, 다른 대양의 심층수 보다도 용존산소가 많은 것이 특징이다(Uda, 1934). 용존산소의 값이 높다는 것은 다른 대양의 심층수에 비해서 순환이 빠르다는 것을 나타낸다. 이처럼 동해에서 수온과 염분이 균일하고, 다른 대양의 심층수에 비해서 용존산소가 많은 동해의 심층수를 Uda(1934)는 동해에서만 가진 특징적인 심층수라고 하여 동해고유수(Japan Sea Proper Water)라고 하였다. 동해고유수는 수온이 0~1°C이고, 염분이 34.0~34.1‰인 특성을 가지고 있다(須田, 1932; Uda, 1934). 이러한 특성을 갖는 동해고유수는 동해 전체 용적의 약 84%를 점하는 수괴이다(Yasui *et al.*, 1967).

한편, 대부분의 연구들은 동해의 난류역에서의 수괴 분석(Miyazaki, 1953; Kano, 1980)이나 쓰시마 난류의 유동 및 해황(Moriyasu, 1972; Minami *et al.*(1987)을 설명하였다. 또한 Sudo(1986)는 동해고유수의 상층수가 위도 41°N 이북과 경도 132°~134°E의 블라디보스톡 근해에서 생성된다고 하였으며, Senjyu and Sudo(1993)는 위도 40°~43°N과 경도 136°E사이의 시베리아 연안역에서 동해고유수의 상층수가 겨울철 대륙에 의해서 생성된다고 하였다. 그러나 동해고유수와 관련하여 북쪽 한류역의 겨울철의 해황을 보다 구체적으로 설명하지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 지난 22개년(1966~1987)간의 해양관측자료를 중심으로 하여 동해고유수의 생성과 관련하여 위도 43°N 이남의 겨울철 동해의 해황을 설명하려고 하였다. 즉, 동해의 표층의 수온, 염분, 용존산소 등의 평균적인 수평 분포도로부터 동해고유수와 같은 특성을 지닌 수괴가 어디에 분포 하는가를 살펴서 동해고유수의 생성 가능 해역을 파악하고, 아울러 동해고유수의 수온과 염분의 특성을 살펴봄과 동시에 그 계절 변화를 살펴 보았다. 그 결과, 동해고유수는 북쪽 한류역의 대륙 연안이 아닌 외양의 표층수가 침강될 수 있음을 제시하였다.

2. 자료 및 방법

동해에 있어서 전반적인 해역에 대한 해양 관측은 주로 일본의 기상청 및 수산청에서 행하고 있으며, 특히 계절별로 동해에서 행해지는 심층까지의 관측은 일본 기상청의 해양관측자료가 유용하다고 할 수 있다. 국립수산진흥원의 해양조사연보 등은 위도 약 40° N 이남의 한국 동해안에 국한되어 관측이 수행되고 있으며, 또한 500m 이심의 심층까지 관측하는 경우가 거의 없기 때문에, 본 연구에서는 1966년 부터 1987년까지의 일본 기상청 발행의 해양기상관측자료(No.39~No.79)를 중심으로 연구를 수행하였다. 이 기간동안 겨울철에 행해진 일본기상청의 해양기상관측은 주로 한국 동안 남부와 일본의 쓰가루 해협을 잇는 동해의 남동부 해역인 쓰시마 난류역에서 관측이 조밀하게 수행되었음을 알 수 있으며, 41° N 이북의 연해주쪽에는 관측이 한번도 수행되지 않은 곳도 있다 (Fig.2). 본 연구에서는 부득이 관측된 해역의 자료만으로써 동해고유수의 생성 현상을 파악할 수 밖에 없었다.

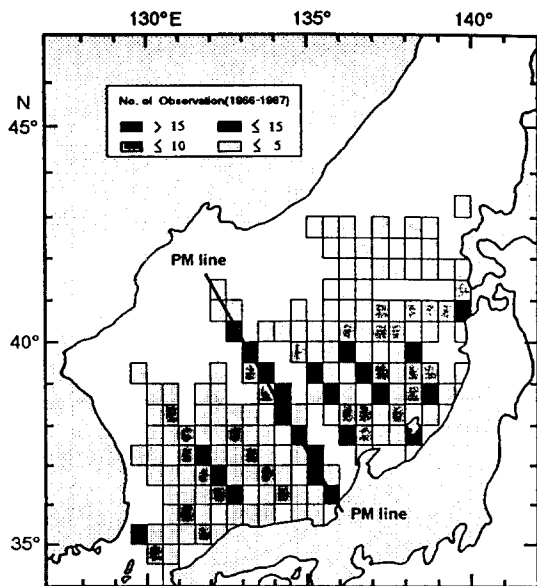


Fig. 2. Number of Observations of the Japan Meteorological Agency in winter during 1966~1987.

그리고 일본의 마이주루 해양기상대(Maizuru Marine Observatory, 1985)에서 발행한 일본해양관측 20년보(Climatology of hydrographic and chemical properties of the Japan Sea)의 자료를 이용하여, 동해에서 계절별로 관측되고 있는 정선 PM(Fig.2)에서 동해고유수의 계절 변화를 살펴 보았다.

겨울철 동해의 해황과 동해고유수에 대한 자료의 해석 방법으로는 먼저, 겨울철 동해의 해황을 보기 위해서 수온, 염분, 비용 편차 그리고 용존산소 등의 평균 수평 분포도로써, 겨울철 동해의 표층에서 동해고유수의 수괴 특성이 나타나는 해역을 살펴보았다.

동해의 수형 분포의 분산 특성을 보기 위하여, 이변량 확률 타원도(bivariate probability ellipse)를 이용하여 깊이별 T-S도를 작성하였다. 이변량 확률 타원도는 脇本 等(1979)에 의한 방법을 사용하였다. 이변량 확률 타원도의 작도법은 Fig.3과 같다. 이변량 확률 타원도를 T-S도에 적용함으로써 나타나는 장점은, 깊이별 수형군의 분산 상태를

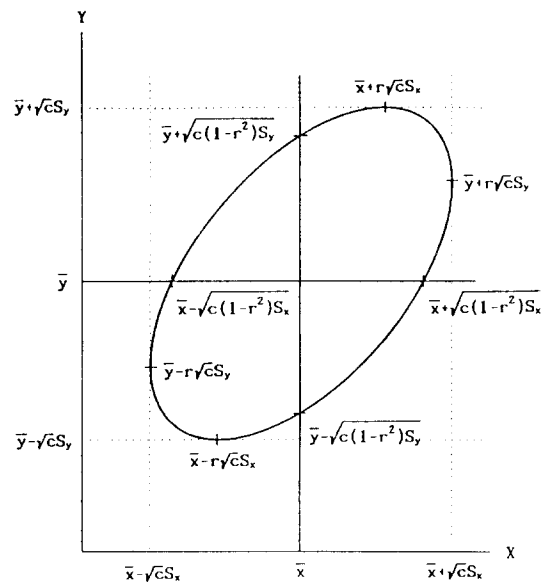


Fig. 3. Construction of the bivariate probability ellipse (Kawamoto *et al.*, 1979). \bar{x} , \bar{y} are mean salinity and mean potential temperature, S_x , S_y are standard deviations, r is the correlation coefficient, C is the degree of freedom and α ($=0.05$) is the significance.

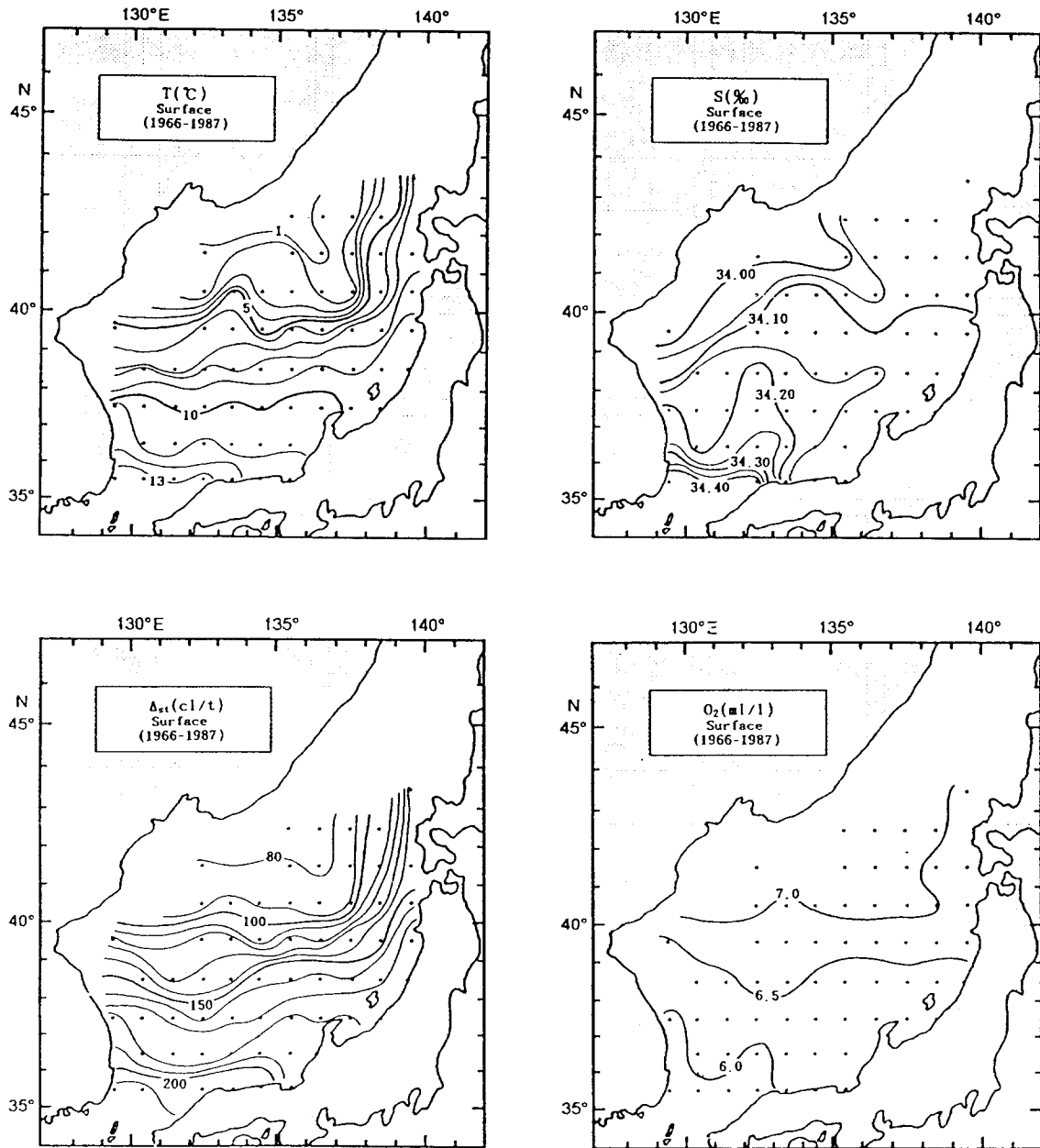


Fig. 4. Horizontal distributions of mean temperature (T), mean salinity (S), mean thermosteric anomaly (Δ_{st}) and mean oxygen (O_2) at the sea surface in winter during 1966~1987, respectively.

를 평균값과 함께 쉽게 파악할 수 있으며, 깊이별 수형군의 변동 상태도 같은 T-S도상에서 살펴 볼 수가 있다는 것이다.

3. 겨울철 동해의 해황

겨울철의 동해의 표면과 깊이 100m에서의 수

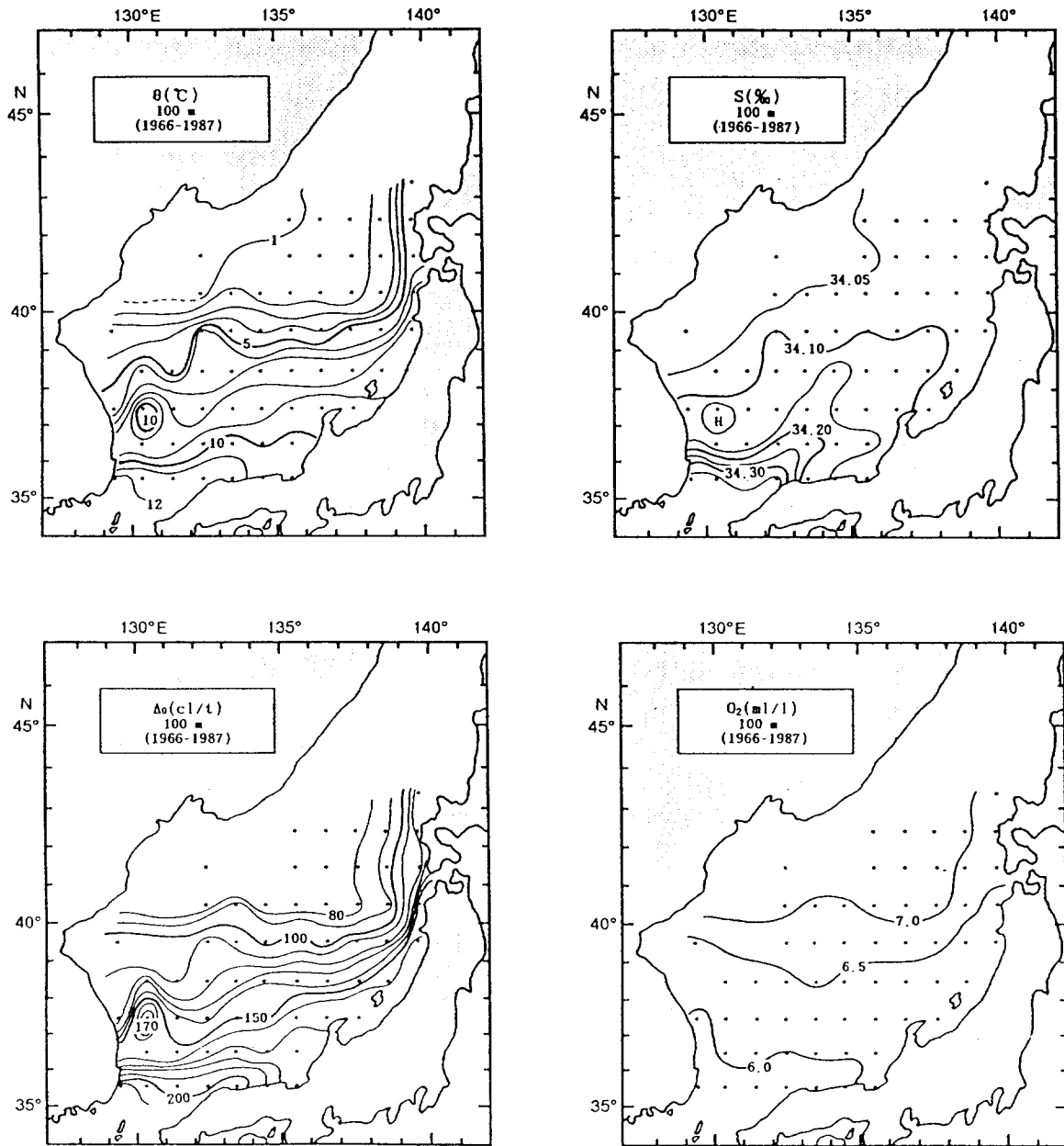


Fig. 5. Horizontal distributions of mean potential temperature (θ), mean salinity (S), mean potential thermocline anomaly ($\Delta\theta$) and mean oxygen (O_2) at the 100 m depth in winter during 1966~1987, respectively.

온, 염분, 비용편차 및 용존산소의 공간적인 분포 특성을 보기 위하여, 수평 분포도를 Fig.4와 Fig.5에 각각 나타내었다. 이 분포도는 일본 기상청에서 관측한 지난 22개년(1966~1987)간의 2~3월의

해양 관측 자료를, 위도 및 경도 각각 1도씩 나누어서 각 격자별의 평균값으로써 나타낸 것이다.

겨울철의 동해의 위도 41° N 이북에서는 동해고유수의 수괴 특성과 비슷한 물(1°C 이하, 34.10‰

이하, 80cl/t 이하)이 표면에서 보이며, 이 해역의 용존산소는 약 7.0ml/l 이상으로 풍산소수가 많다(Fig.4). 깊이 100m에서 염분의 분포는 연해주쪽의 표면에서 보이던 34.00‰ 이하의 저염수는 보이지 않으며, 무겁고(80cl/t 이하) 용존산소가 많은 물(7.0ml/l 이상)이 위도 40° N 이북의 모든 해역을 점하고 있다(Fig.5). 표면과 깊이 100m에서 수온의 분포는 유사하여, 겨울철의 찬 대기로 인한 냉각 작용의 영향이 동해의 표면부터 100m 깊이까지 전 해역에 미치고 있다. Minami *et al.*(1987)과 Choi *et al.*(1993)의 결과와 같이 본 연구에서도 위도 40° N을 경계로 하여 그 이북의 저온 저염이며 용존산소가 많은 한류수괴가 있고, 그 이남의 고온 고염이며 용존산소가 적은 쓰시마 난류수괴가 분포하고 있다.

이러한 공간적인 특성을 지닌 동해의 겨울철의 전체적인 수괴 분포가 어떠한 분포를 하고 있는지를 보기 위해서, 지난 22개년간(1966~1987)의 일본 기상청의 2~3월의 자료만을 사용하여, 동해의 겨울철의 표면에서 저층까지 모든 관측점에 대한 T-S도를 Fig.6에 나타내었다. 그리고 같은 방법으로 하여 위도 구간별로 따른 T-S 분포를 Fig.7에 각각 나타내었다.

겨울철 동해의 염분 분포는 표·저층이 모두 비교적 균일하여, 대한 해협역의 고온 고염수(수온

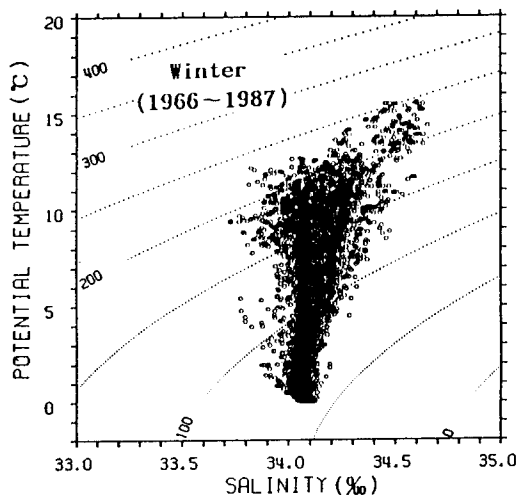


Fig. 6. T-S diagram of the Japan Sea in winter during 1966~1987.

15°C 내외, 염분 34.5‰ 내외)를 제외하고는, 대부분 0~13°C의 수온 변화 범위에 비해서 33.9~34.4‰의 염분 변화 범위는 좁다. Kano(1980)는 수온이 10°C 내외에서 나타나는 저염분은 주로 일본 혼슈 연안의 저염수라고 하였으며, Miyazaki(1953)는 수온 2~5°C에서 나타나는 저염수(Fig.7의 39~41° N)는 극전선역의 표층에서 혼합으로 형성되어 쓰시마 난류수의 하층으로 침강하는 중간수라고 하였다. 이 중간수는 위도 41° N 이북의 한류역에서는 보이지 않는다(Fig.7). 대체로 겨울철 동해의 수괴는 수온이 낮아질수록 염분도 적어지는 경향을 보인다. 이러한 T-S 분포 특성을 보다 자세히 살펴 보기 위하여 Choi *et al.*(1993)에 의해서 구분된 해역별로 따른 T-S 분포를 Fig.8에서 살펴 본다.

Fig.8은 1966~1987년 까지 일본 기상청의 해양 기상관측자료중에서 겨울철에 해당하는 2~3월에 동해에서 관측된 모든 정점들에 대해서, Fig.1과 같이 해역별로 구분하여 각 수형들의 T-S도상의 분산상태가 어떠한가를 보기위해서, 표면에서 부터 깊이별로 T-S에 관한 수형의 분포를 이변량 확률 타원도로써 나타낸 것이다. 여기서 TWC는 쓰시마 난류역(Tsushima Warm Current area)을, PF는 극전선역(Polar Front area)을 그리고 NCW는 북방한류역(Northern Cold Water area)을 각각 나타내고 있다.

쓰시마 난류역에서 극전선역을 지나 북쪽한류역으로 갈수록 수형들의 수온은 낮아지고 그 분포 범위도 좁아지고 있다. 이는 Fig.1의 모식도에서도 볼 수 있는 것처럼 해역의 구분을 위도에 따라 나누었기 때문에 수온 및 그 분포 범위가 북쪽 한류역으로 갈수록 낮아지고 좁아진다. 이와 같은 경향은 염분의 경우에서도 똑같이 쓰시마 난류역에서 북쪽 한류역으로 갈수록 수형들의 염분 및 그 분포 범위는 적어지며 좁아지고 있다. 그리고 전이역에 해당되는 극전선역의 수형군들의 분포 범위는 쓰시마 난류역과 북쪽 한류역의 중간 성질을 가지고 있다. 이와 같이 겨울철 동해에서는 극전선역을 중심으로 따뜻하고 고염한 성질을 지닌 쓰시마 난류수와 차고 다소 저염한 특성을 지닌 북쪽 한류수들로 뚜렷하게 구분되고 있다(Choi *et*

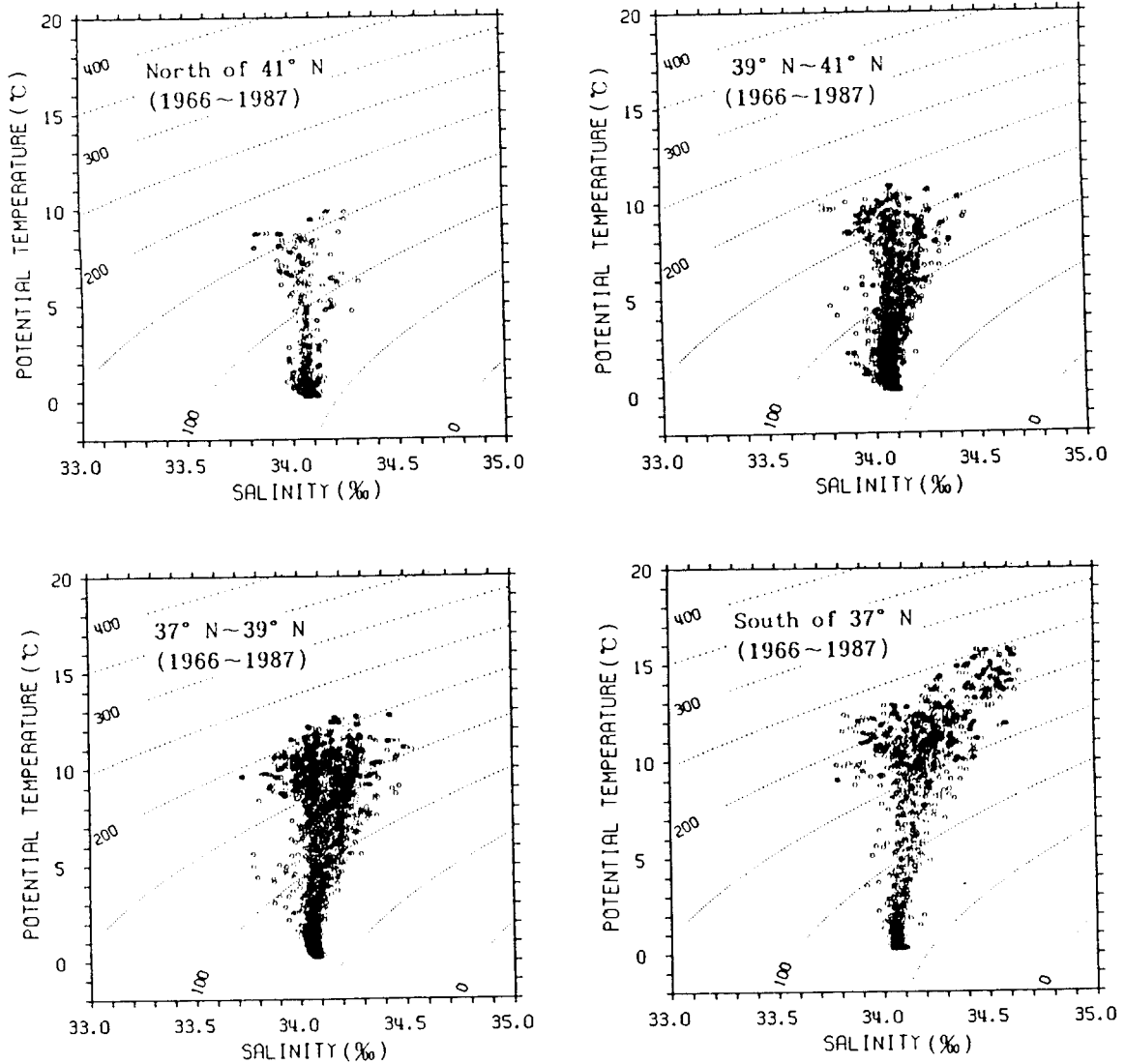


Fig. 7. T-S diagrams of the Japan Sea by latitude in winter during 1966~1987.

al.,1993). 북쪽 한류역에서 표면에서 300m까지의 표층수에 대한 확률타원도를 보면, 수심이 깊어질수록 확률타원도도 작아지고 있다. 이것은 표면의 수형들이 표면하에서도 깊이에 따라서 변하지 않음을 나타내며, 겨울철 북쪽 한류역의 표면 수형들이 냉각에 의해서 표면하로 침강한다고 할 수 있다. 그리고 각 해역별 수형들은 깊이 500m 이심부터 해저까지는 거의 동일하여 수온 및 염분의

차이가 없이 비슷하다. 이렇게 북쪽 한류역의 표층에서 침강으로 인하여 생성된 동해고유수의 수형들이 쓰시마 난류역의 표층하에까지 퍼져 있다고 할 수 있다. Sudo(1986)는 북쪽 한류역의 표층에서 생성된 동해고유수는 바로 일본분지(Japan Basin) 전체를 채우고 나아가서는 일본해 전체의 심층으로 퍼져 나간다고 하였다.

동해고유수는 일반적으로 수온이 0~1°C이고 염

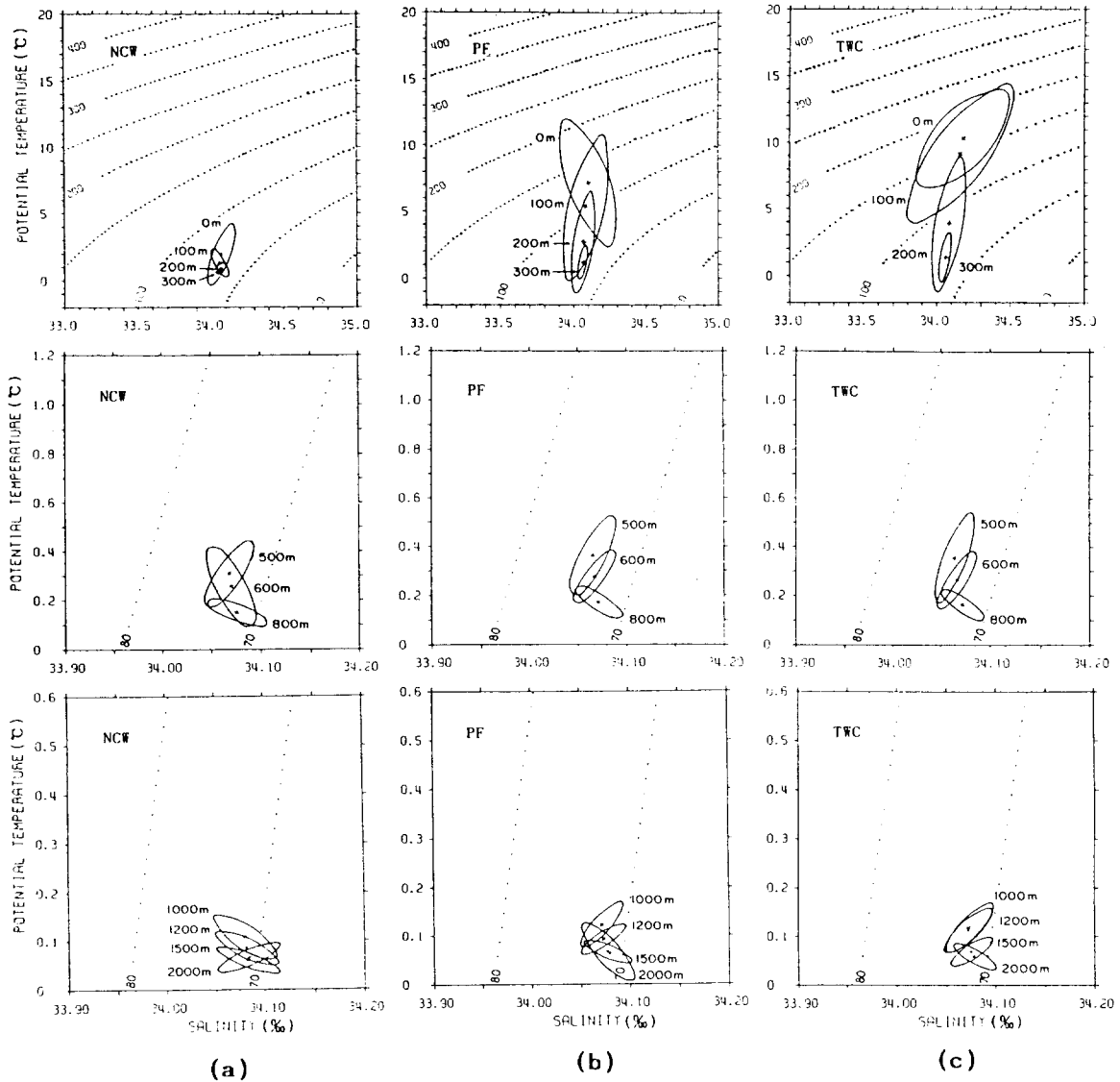


Fig. 8. T-S probability ellipse in (a) Northern Cold Water area, (b) Polar Front area and (c) Tsushima Warm Current area according to Fig.1, respectively.

분이 34.0~34.1‰로 특성을 가져 그 분포 범위가 아주 좁은 균질한 수괴이며, 용존산소도 다른 대양의 심층수의 3.0~4.5 ml/l에 비해서 비교적 높은 5.0~6.5 ml/l이어서 표층에서 대기와의 접촉이 다른 대양의 심층수에 비해 활발하게 이루어지고 있음을 시사하고 있다(須田, 1932; Uda, 1934;

Fukuoka, 1962; Gamo *et al.*, 1986). 이와 같은 특성을 지닌 수형군들이 표층에서 나타나는 해역은 북쪽 한류역이며(Fig.8), 이 해역에서는 겨울철 냉각으로 인하여 표층수와 저층수의 연직 대류 혼합 작용에 의해서 동해 고유수의 생성 및 침강이 이루어지는 해역이라고 할 수 있다. 이러한 동해고

유수의 T-S 특성은 어떠한가를 다음절에서 살펴본다.

4. 동해고유수의 T-S 분포 특성

수온과 염분이 균일한 수괴인 동해고유수(Uda, 1934; Yasui *et al.*, 1967)를 T-S도상에서 살펴본다.

Fig.9는 지난 22개년(1966~1987)간의 일본 기상청의 해양기상관측자료에서 겨울철의 것 중, 동해고유수의 수괴 특성이 수온은 1°C 이하이고 염분은 34.00~34.10‰이므로(Uda, 1934), 동해고유수의 수온 지표를 1°C 이하로 보아서 이러한 것이 나타났던 모든 관측점에 대한 T-S 관계를 나타낸 것이다. Fig.9에서 보면, 수온이 1°C 이하이나 염분이 33.95~34.00‰인 것은 연해주쪽에 분포하고 있는 표면의 저염수이다(Fig.4). 이 표면 저염수는 비용편차가 80cl/t 이상으로, 동해고유수의 수괴 특성(수온 1°C 이하, 염분 34.00~34.10‰)을 보이는 80cl/t 이하의 비용편차보다도 크지만 표면에서는 가장 무거운 물이되는 셈이다. 염분이 34.10‰ 이상이고 비용편차가 약 68cl/t인 수형들도 있지만 동해고유수의 비용편차는 대체로 70~80cl/t 이다.

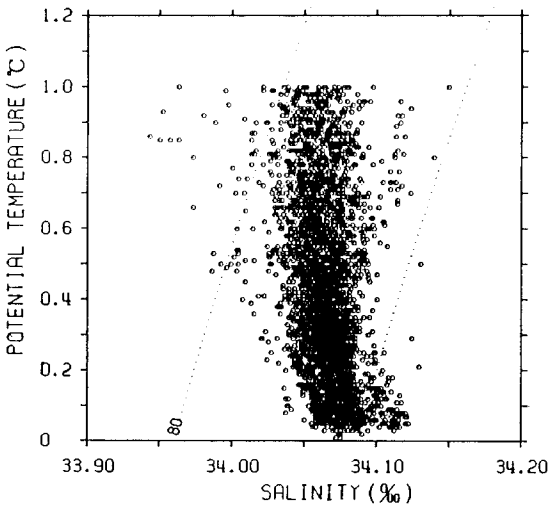


Fig. 9. T-S diagram of the Japan Sea Proper Water in winter during 1966~1987.

동해의 깊이 500m 이심은 완전히 동해고유수로 접하여져 있으므로(Uda, 1934), 동해고유수가 수평적으로 어떠한 분포 특성을 가지고 있는가를 보기 위해서, 깊이 500m에서의 수온, 염분, 비용편차 및 용존산소의 수평 분포도를 Fig.10에 나타내었다.

염분은 34.06‰ 내외로 동해 전역에 거의 균질한 분포 특성을 보이고 있으나, 수온이 약 0.3°C 이하로 가장 낮은 곳은 위도 40° N 이북의 연해주 쪽이다. 그리고 비용편차로 보면 위도 40° N을 경계로 하여, 그 이북의 72cl/t 이하의 약간 무거운 물과 위도 40° N 이남의 73 cl/t 이상의 약간 가벼운 물로 나누어져서 남북의 차이를 보이고 있으며, 앞에서 언급한 연해주쪽의 약 0.3°C의 냉수역은 72cl/t 이하의 무거운 물에 해당된다. 또한 용존산소도 약 6.0ml/l 이상으로 용존산소가 많은 해역은 북부인 연해주쪽에 분포하고 있어, 수온이 가장 낮게 나타나는 곳과 일치하고 있다.

그러므로 이 해역에서는 냉각에 의해서 침강되는 새로운 심층수가 생성될 수 있음을 나타낸다. 또한 이 해역의 깊이 500m에서의 수형은 표면(Fig.4)과 깊이 100m(Fig.5)에서의 수형과 같이 모두 동해고유수와 비슷한 수형 특성을 보이는 해역이므로, 위도 41° N 이북에서는 동해고유수가 형성될 수 있음을 시사해 준다. 또한 Sudo(1986)나 Senju and Sudo(1993)도 이 해역에서 깊이 약 1000m 이천의 동해고유수가 생성된다고 언급한 바가 있다. 그러나 위도 40° N 이북과 경도 135° E 이서의 대륙 연안측에서는 표면의 염분이 34.00‰ 이하인 저염수로 인하여 동해고유수의 밀도에 이르지 못한다(Fig.4, Fig.9).

Nitani(1972)는 1000m 이천의 동해고유수를 심층수라 하였고 그 이심의 동해고유수를 저층수라고 하였다. 이에 따라 깊이 1000m 이천의 동해고유수와 그 이심의 동해고유수의 T-S 분포 특성을 보기위해서, T-S 및 T-O₂에 관한 이변량 확률 타원도를 Fig.11에 각각 나타내었다.

심층수와 저층수의 염분의 평균과 분산은 34.07 ± 0.05‰로써 그 분포는 거의 비슷하다. 그러나 수온의 평균과 분산은 심층수가 0.26 ± 0.2°C이고, 저층수는 0.07 ± 0.04°C로써, 심층수는 저층수보다도 그 평균값이 약 2°C 높으며 넓은 분산을 나타내고

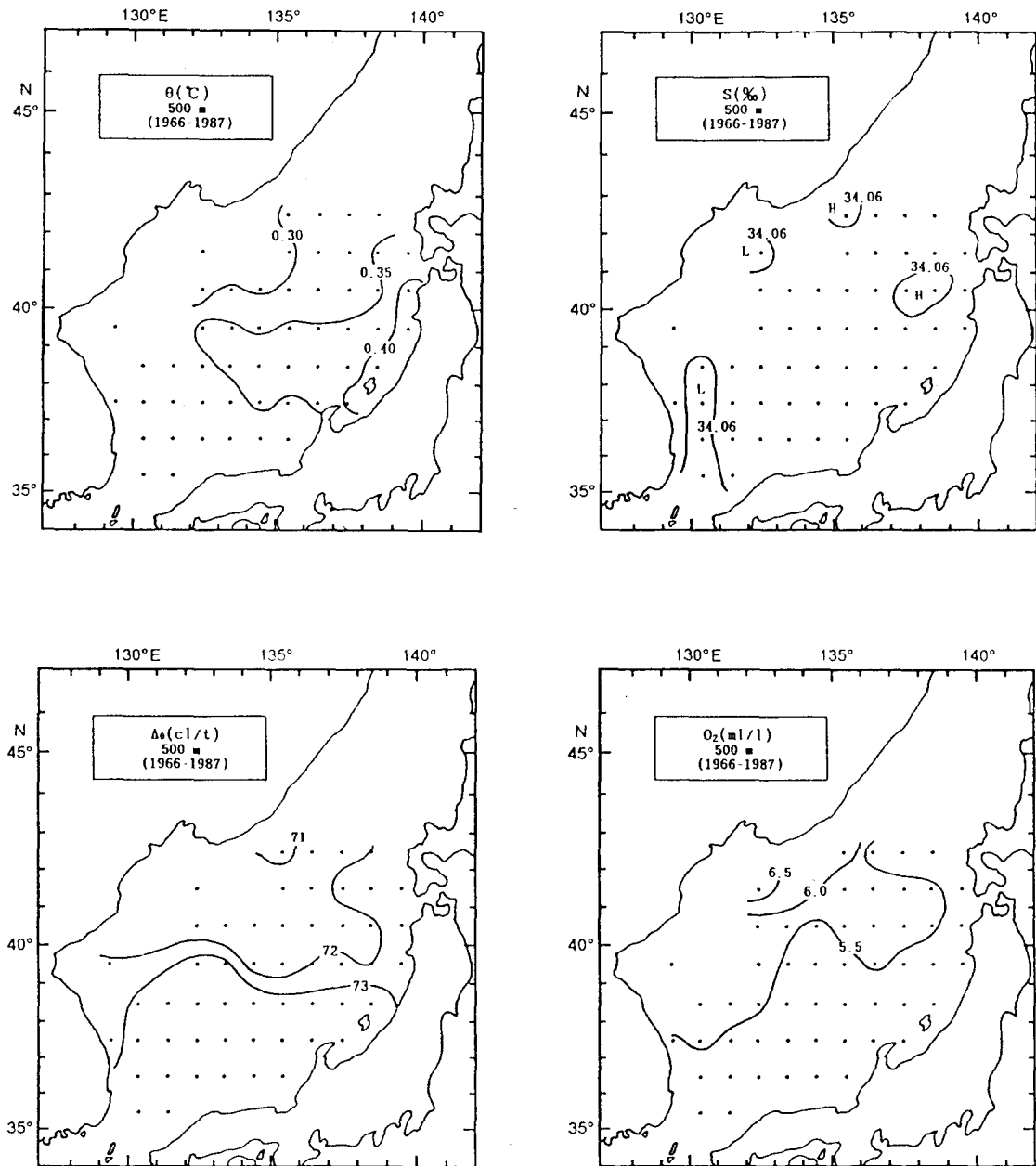


Fig. 10. Horizontal distributions of mean potential temperature (θ), mean salinity (S), mean potential thermosteric anomaly ($\Delta\theta$) and mean oxygen (O_2) at the 500 m depth in winter during 1966~1987, respectively.

있다. 또한 용존산소의 평균은 심층수와 저층수가 약 5.1ml/l로써 거의 비슷하지만, 심층수의 용존산소의 분산은 $\pm 0.25\text{ml/l}$ 이고, 저층수는 $\pm 0.15\text{ml/l}$ 로써, 용존산소의 분산 범위는 심층수가 저층수보다

도 넓다. 이것은 심층수가 대기와 접하는 표층의 직하에 위치하기 때문에 심층수의 수온이나 용존산소의 분산 범위가 저층수보다 넓다고 생각된다. 따라서 저층수는 심층수보다도 수괴 특성의 변동

이 작고 심층수보다도 더 균질한 수괴의 특성을 나타내고 있다.

이와 같은 수괴 특성의 분포 차이가 어떻게 해서 나타나는가를 보기 위해서, 동해의 남북 방향 정선의 깊이에 따른 연직적인 수형의 분포 특성을 계절별로 살펴 본다.

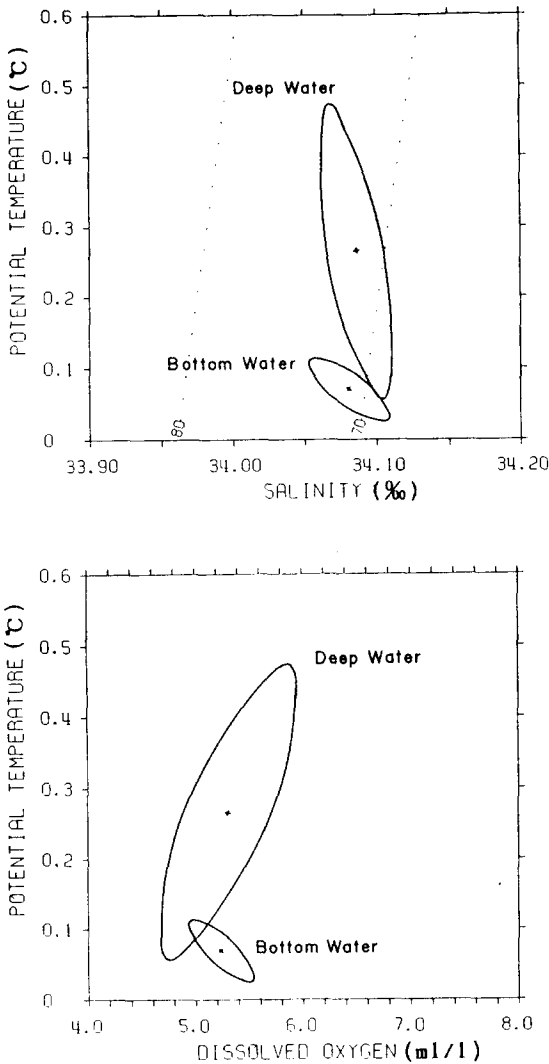


Fig.11. T-S (upper) and T-O₂ (lower) probability ellipse of the Deep Water and the Bottom Water in winter during 1966~1987, respectively.

5. 동해고유수의 계절 변화

동해고유수의 계절 변화는 어떠한지를 살펴 보기 위해서 동해에서 계절별로 관측되고 있는 정선 PM(Fig.2)에 있어서 제특성의 계절 변화를 일본 마이주루 해양기상대(Maizuru Marine Observatory, 1985)의 일본해양관측 20년보(Climatology of hydrographic and chemical properties of the Japan Sea)의 자료를 이용하여 평균적인 해황으로서 살펴본다.

지난 20년(1964~1983)간 정선 PM에 있어서 각 계절별의 수온, 염분, 비용편차 및 용존산소에 대한 연직단면도를 Fig.12~Fig.15에 각각 나타내었다.

Fig.12와 Fig.13을 보면, 겨울철에 정점 PM 9와 정점 PM 10사이의 위도 40° N 부근의 저온 저염한 한류수와 고온 고염한 쓰시마 난류수와의 사이에는 극전선이 존재한다.

수온의 계절 변화를 보면, 극전선 이북의 북쪽 한류역에서는 깊이 50m 이천에만 국한되나, 그 이남에서는 깊이 약 300m에까지 계절 변화를 나타내고 있다. 정점 PM 10에서 1°C 등온선은 연중 깊이 약 150m에 항상 존재하고 있어 그 수심의 계절 변화가 인정되지 않는다(Fig.12). 정점 PM 10의 깊이 약 150m에서는 염분도 약 34.02‰ 내외로 계절 변화가 거의 없다. 사계절 중 염분 변화 범위가 가장 작은 계절은 겨울철로써, 북쪽 한류역과 쓰시마 난류역과의 염분 변화 범위는 약 1.0‰ 내외이다(Fig.13). 북쪽 한류역에서 수온 상승기인 봄부터 수온 하강기인 가을까지는 표면 수온 상승으로 수온 약층 깊이가 약 50m 밖에 되지 않지만, 기온이 더욱 강하하는 겨울철에는 2°C 이하의 냉수가 표면에까지 노출된다. 이와 같이 표면에 노출되는 2°C 이하의 수괴를 Sudo(1986)는 동해고유수라고 하였다. 이것은 겨울철 북쪽 한류역에서는 표층수의 냉각으로 침강이 계속 일어날 수 있음을 시사한다. 그리고 깊이 약 500m 이심에서는 수온 약 0.4°C 이하, 염분 약 34.06‰ 이상으로 계절에 관계 없이 거의 균질한 수괴가 존재한다(Fig.12, Fig.13). 비용편차가 80cl/t 이하인 수괴가 존재하는 깊이(Fig.14)는 1°C 등온선이 존재하는

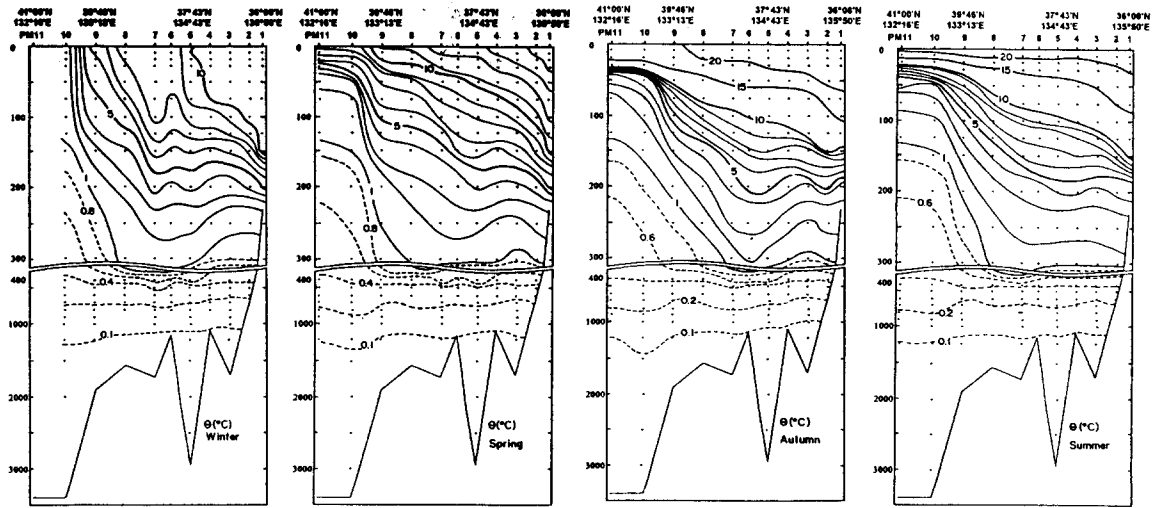


Fig. 12. Vertical distributions of mean potential temperature (θ) of the PM line in winter, spring, summer and autumn during 1964~1983, respectively.

깊이(Fig.12)와도 거의 일치하고 있다. 그 평균적인 깊이는 정점 PM 9와 10에서는 100~200m이며, 정점 PM 1~8까지는 200~300m이나, 가을의 경우 정점 PM 6에서는 약 400m로서 최심층에까지 이르게 되지만, 사계절을 통해서 변화가 거의 없다고 할 수 있다(Fig.14). 용존산소는 연중 북쪽 한류역의 8.0ml/l에서 쓰시마 난류역으로 갈수록 그 함유량은 적어져서 5.0ml/l에까지 이른다(Fig.15). 극전선 이북의 북쪽 한류역은 강한 계절 풍동에 의한 뒤섞임과 수온의 저하로 인한 용존산소 포화도의 증가등으로 용존산소량이 많아지게 되나, 쓰시마 난류역은 그 반대 현상으로 되어, 수온, 염분 및 비용편차의 연직 분포와 용존산소의 연직 분포도 반대 현상을 보이고 있다(Fig.12~Fig.15).

Uda(1934)는 동해에서 용존산소의 분포는 깊이 500m 이심에서는 큰 차이가 없다고 하였다. 그러나 약 5.1ml/l 이하인 용존산소 최소층은 북쪽 한류역에서는 그 깊이가 약 1200~2500m이지만, 쓰시마 난류역에서는 그 깊이가 약 700~1500m로 남고북저의 형태를 이루고 있어(Fig.15), Uda(1934)의 연구 결과와 다소 차이가 있었다. 이와

같이 용존산소의 분포차는 거의 없지만, 용존산소 최소층이 나타나는 깊이의 차이는 난류역에서는 다소 얕고, 한류역에서는 그 보다 깊다(Nitani, 1972). 이러한 현상은 동해 북부 해역일수록 용존산소를 많이 함유한 수온이 낮고 비용편차가 더 작은 무거운 수괴가 존재함으로써(Fig.10), 북쪽의 차고 무거운 물이 수심이 더 깊은 곳까지 침강하기 때문이라 생각된다.

그리고 용존산소가 풍부하고(6.0ml/l), 저온(2~3℃) 저염(34.06‰)인 수괴가 사계절 모두 북쪽 한류역에서 쓰시마 난류역으로 퍼져 나가는 것을 볼 수 있다(Fig.13, Fig.15). 이 수괴는 연중 깊이 약 200~400m에서 비용편차 약 90~100cl/t(Fig.14)의 특성을 가진 비교적 균일한 수괴이다. 이러한 저염, 고용존산소인 수괴를 宮崎(1953)는 중간수라고 하였고, 이 중간수는 극전선역의 양측의 한·난수괴가 수렴할 때 서로 혼합하여 생성된다고 하였다. 그러나 본 연구에서 보면, 이 중간수는 극전선역의 북쪽 한류역에서 형성되어 쓰시마 난류역의 하층으로 남하하면 할수록 점점 그 깊이를 증가하여 서서히 퍼지고 있다고 볼 수 있다.

한편, 약 5.1ml/l의 용존산소 최소층은 깊이 약

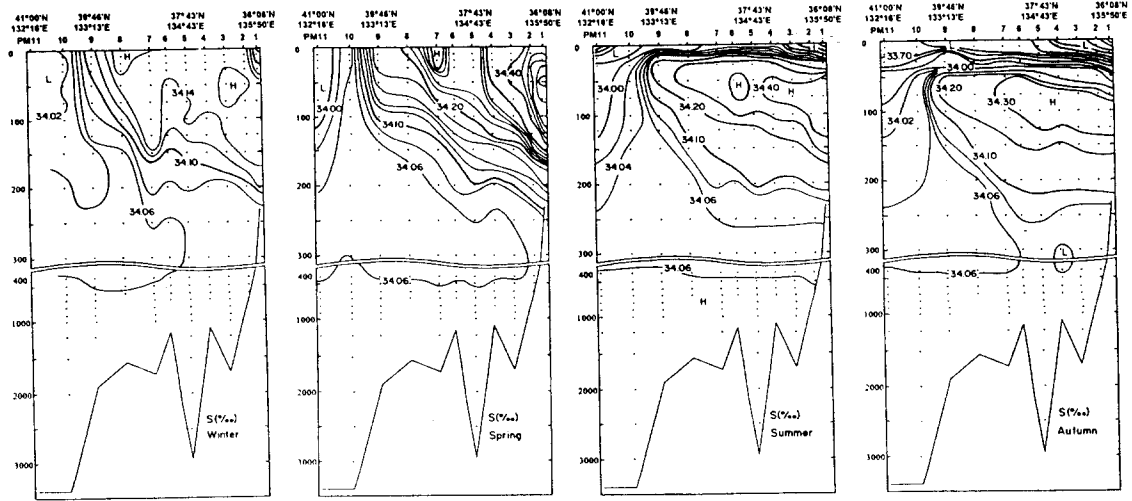


Fig. 13. Vertical distributions of mean salinity (S) of the PM line in winter, spring, summer and autumn during 1964~1983, respectively.

1000~2000m에서 나타나고 있다(Fig.15). 이 수괴의 특징은 동해고유수인 수온 약 0.1℃ 이하, 염분 약 34.06‰ 이상 그리고 비용편차 약 72cl/t 이하로써 깊이 약 1000m 이심의 수괴는 모두 그 특성이 같다(Fig.12~Fig.14). 이러한 용존산소 최소층은 생물 및 화학적 작용에 의해 야기되는 경우가 많으며, 유기 물질의 분해 작용에 의해 주로 기인한다(Sverdrup, 1938). 또한 용존산소 최소층은 대부분의 해양에서 거의 같은 밀도를 가진 비슷한 깊이에서 발생한다(Miyake and Saruhashi, 1956).

이와 같이 동해고유수의 계절 변화가 아주 적은 것은, 이 수괴의 생성 시기가 주로 겨울철에 일어나기 때문에, 해황 변화가 사계절중에서 비교적 적은 겨울철의 특성을 그대로 지니고 침강하여 형성되기 때문이라 생각된다.

6. 결론

겨울철 동해의 해황 특히, 북쪽 한류역의 해황을 살펴 본다는 것은 표층에서 심층에까지 이르는 대류 순환을 파악하기에 앞서 아주 중요한 문제라

고 생각된다. 그러나 동해의 해황을 설명하는 대부분의 연구들은 쓰시마 난류수의 유동이나 수괴 특성을 설명하기 위한 것이 대부분이었고, 동해고유수의 수괴 특성과 관련하여 겨울철 동해의 해황을 설명한 연구 결과는 거의 없었다.

본 연구에서는 지난 22개년(1966~1987)간의 일본 기상청의 해양기상관측자료를 중심으로 동해고유수의 수괴 특성과 관련하여 겨울철 동해의 해황을 논의하였다.

그 결과, 겨울철 동해의 대륙 연안측(위도 40° N 이북과 경도 135° E 이서의 대륙 연안측)에서는 표면의 평균 염분이 34.00‰ 이하인 저염수로 인하여 표면에서 동해고유수의 수괴 특성을 나타내지 않으며, 외양에서 동해고유수와 같은 수괴 특성을 보인다. 따라서 북쪽 한류역의 대륙 연안측에서는 표면 저염수로 인하여, 표층에서 심층에까지 이르는 대류 순환의 가능성이 없음을 시사한다. 또한, 위도 40° 30' ~43° N과 경도 138° E 이서의 북쪽 한류역(Choi *et al.*, 1993)의 외양역에서는 표면에서 저층까지 동해고유수와 같은 수형의 특성을 보이고 있다. Sudo(1986)나 Senjyu and Sudo(1993)는 연해주 대륙 연안측에서 동해고유수

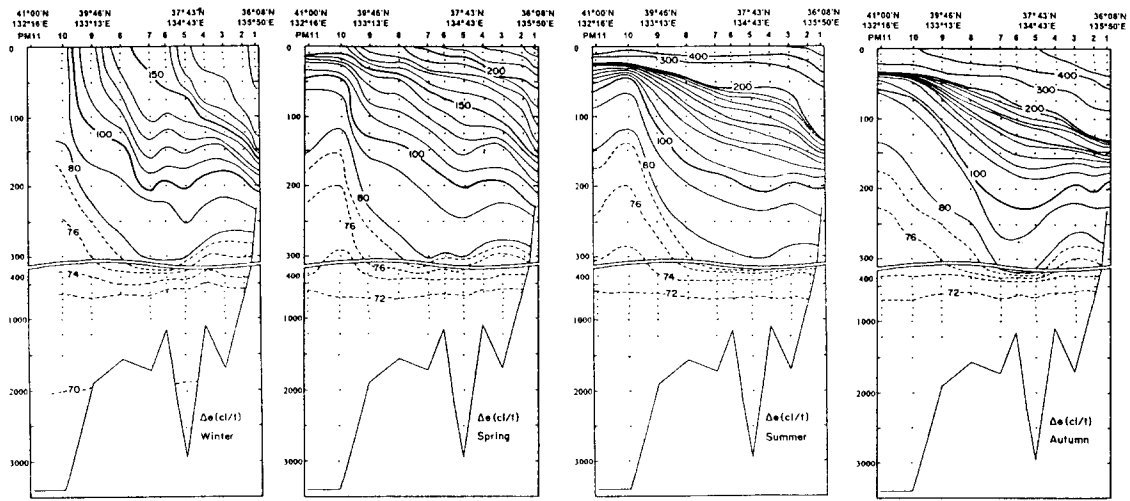


Fig. 14. Vertical distributions of mean potential thermosteric anomaly ($\Delta\theta$) of the PM line in winter, spring, summer and autumn during 1964~1983, respectively.

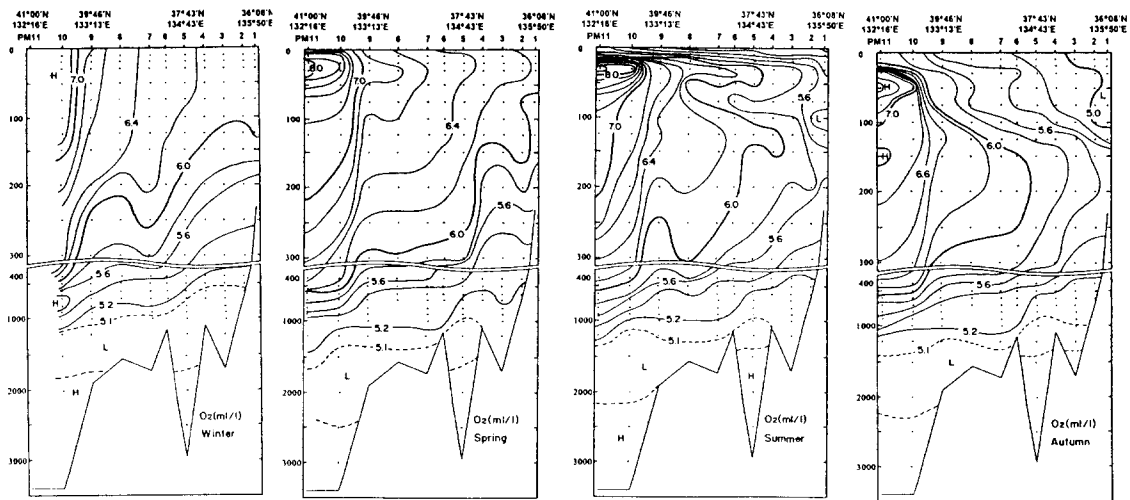


Fig. 15. Vertical distributions of mean oxygen (O_2) of the PM line in winter, spring, summer and autumn during 1964~1983, respectively.

의 상층수가 생성된다고 하였으나, 본 연구의 결과들은 북쪽 한류역의 외양역에서 동해고유수의 생성이 이루어질 가능성이 있음을 나타낸다.

동해고유수의 수괴 특성을 보면, 깊이 1000m

이천의 심층수의 수온과 용존산소의 분산 범위는 각각 $0.26\pm 0.2^\circ\text{C}$ 와 $5.1\pm 0.25\text{ml/l}$ 이며, 깊이 1000m 이심의 저층수의 수온과 용존산소의 분산 범위는 각각 $0.07\pm 0.04^\circ\text{C}$ 와 $5.1\pm 0.15\text{ml/l}$ 로써, 저층수는 심

층수보다도 변동이 더 작은 균질한 수괴 특성을 보인다. 이는 심층수가 대기와의 접하는 표층의 직하에 위치하기 때문에, 심층수의 수온이나 용존산소의 분산 범위가 저층수보다도 넓다고 생각된다. 또한 평균적인 해황을 보면, 수온이 2°C 이하인 동해고유수의 상층수(Sudo, 1986)는 겨울철에 북쪽 한류역의 외양역에서 표면에 노출되고 있어, 표층수의 냉각으로 침강이 일어날 수 있음을 시사하고 있다.

따라서 동해고유수의 깊이 1000m 이천에 있는 심층수는 대기와의 직접 접촉이 활발하며, 외양대류에 의해서 생성될 수 있음을 나타낸다.

감사의 글

부산수산대학교 해양학과 이재철 교수님과 강용균 교수님 그리고 국방과학연구소의 심태보 박사님의 조언에 감사드립니다. 또한 부산수산대학교 응용지질학과 김희준 교수님께도 감사드립니다. 본 연구는 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 부분 지원에 의해서 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

- Choi, Y. K., S. K. Yang, K. D. Cho, J. C. Lee and C. H. Hong, 1993, Possible Formation Area of the Japan Sea Proper Water I. Subareas by the Polar Front, *J. Korean Environm. Scienc. Soc.*, 2(1), 27-42.
- Fukuoka, J., 1962, Characteristics of Hydrography of the Japan Sea-In Comparision with Hydrography of the North Pacific-, *J. Ocanogr. Soc. Japan*, 20th Anniv. Vol. 180-188.
- Gamo, T., Y. Nozaki, H. Sakai, T. Nakai and H. Tsubota, 1986, Spacial and temporal variations of water characteristics in the Japan Sea bottom layer, *J. Mar. Res.*, 44, 781-793.
- Japan Meteorological Agency, 1966-1987, The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations, No.39-79.
- Kano, Y., 1980, The annual variation of the temperature, salinity and oxygen content in the Japan Sea, *The Oceanogr. Mag.*, 31, 15-26.
- Maizuru Marine Observatory, 1985, Climatolgy of Hydrographic and Chemical Properties of the Japan Sea. Japan Meterological Agency, Tokyo, 1-51.
- Minami, H., Y. Hashimoto, Y. Konishi and H. Daimon, 1987, Statistical Feature of the Oceanographic Condition in the Japan Sea, Umi to Sora, 62(4), 163-175 (in Japanese).
- Miyake, Y. and K. Saruhashi, 1956, On the vertical distribution of the dissolved oxygen in the ocean, *Deep-Sea Res.*, 3, 242-247.
- Moriyasu, S., 1972, The Tsushima Current, in KUROSHIO, eds. Stommel H. and K. Yoshida, Univ. Tokyo Press, 353-369.
- Nitani, H., 1972, On the Deep and Bottom waters in the Japan Sea. in *Research in Hydrography and Oceanography*, ed. D. Shoji, Hydrographic department of Japan, 151-201.
- Senjyu, T. and H. Sudo, 1993, Water characteristics and circulation of the upper portion of the Japan Sea Proper Water, *J. Mar. Syst.*, 4, 349-362.
- Sudo, H., 1986, A note on the Japan Sea Proper Water, *Progr. Oceanogr.*, 17, 313-336.
- Sverdrup, H. U., 1938, On the explanation of the Oxygen Minima and Maxima in the Oceans, *J. Cons. Inst. Explor. Mar.*, 13, 163-172.
- Uda, M., 1934, Hydrographical Studies Based on Simultaneous Oceanographical

- Surveys Made in the Japan Sea and its Adjacent Waters During May and June 1932, Imper. Fish. Exper. Stat., Records of Oceanographic Works in Japan VI, p19-107.
- Yasui, M., T. Yasuoka, K. Tanioka and O. Shiota, 1967, Oceanographic Studies of the Japan Sea(1)-Water Characteristics - , Oceanogr. Mag., 19(2), 177-192.
- 宮崎道夫, 1953, 日本海の水塊に就いて(海況豫想の研究 II), 北海道區水産研究所報告, 7, 1-65(in Japanese).
- 須田腕次, 1932, 日本海の底層水に就いて, 海洋時報第4卷第1號, 221-240 (in Japanese).
- 脇本和昌·後藤昌司·松原義弘, 1979, 多變量グラフ解析法, 朝倉書店, 113-117 (in Japanese).