Jour. Korean Earth Science Society, v. 22, no. 1, p. 47–64, February 2001

대한해협과 동중국해의 해황과 수괴의 계절분포: 대기에 의한 냉각효과 보정

신홍렬[1,*] · 황상철[2] · 곽종흠[1]

[1]공주대학교 대기과학과, 314-701 충남 공주시 신관동 182
[2]한국해양연구원 해양환경기후연구본부, 425-170 경기도 안산시 사동 1270

Seasonal Distribution of Oceanic Conditions and Water Mass in the Korea Strait and the East China Sea: Correction of Atmosphere Cooling Effect

Hong-Ryeol Shin[1,*] · Sang-Chul Hwang[2] · Chong-Heum Kwak[1]

[1]Department of Atmospheric Science, KongJu National University, Kongju 314-701, Korea
[2]Marine Environmental and Climate Change Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 425-170, Korea

Abstract Water mass classification was conducted using the data of 1985 and 1986 in the East China Sea and the Korea Strait. Kuroshio water (type K) and mixed water (type I) were broadly distributed at 50 m depth in winter and spring, and mixed waters (type I to IV) were distributed in summer and autumn. At 100 m depth of the East China Sea, and mixed water (type I) was broadly distributed in winter and spring, and mixed waters (type I to III) were in summer, and type I was in autumn. Water mass in summer is the most influenced from the Chinese coastal water. In the Korea Strait, the Kuroshio water (type K) was the main water mass in winter and spring, and mixed waters (type I to IV) were in summer and autumn. If temperatures are corrected to remove the cooling effect from the atmosphere, the Kuroshio water region was diminished, however the mixed water region was expanded in winter and spring. This shows that although the Kuroshio water appears to be a main water mass of the East China Sea and the Korea Strait in winter and spring, in reality the mixed water (type I) which is slightly changed from the Kuroshio water (type K) widely distributed. The tongue-shaped distribution of low density surface water indicates that the water mixed with the Chinese coastal water flows to the Korea Strait and the Okinawa in summer.

Key words: Kuroshio, Tsushima Warm Current, water mass classification, low salinity water, Chinese Coastal Water, mixed water

요 약: 대한해협과 동중국해에서 1985년과 1986년에 관측한 수온, 염분자료를 사용하여 수괴를 분석하였다. 대한해협과 동중국해 수심 50m에서의 수괴 분포 특성은, 겨울과 봄철에는 쿠로시오 해수(수괴 K) 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 여름과 가을철에는 대륙 연안수의 영향을 많이 받은 혼합수(수괴 I ~ IV)의 수괴분포가 넓게 나타났다. 겨울과 봄에 수심 100m의 동중국해는 주로 쿠로시오 해수(수괴 K) 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있었다. 여름에는 혼합수(수괴 I ~ III)가 널리 나타나 연중 여름에 가장 혼합이 많이 된 수괴가 분포하고 있는 것이 특징이었다. 가을에는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주요 수괴였다. 대한해협에서는 겨울과 봄에는 쿠로시오 해수(수괴 K), 여름과 가을에는 혼합수(수괴 I ~ IV)가 주로 분포하고 있었다. 겨울과 봄철에 대기로부터의 냉각에 의한 보정을 하면, 쿠로시오 해수(수괴 K)의 분포해역이 줄어든 대신에 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)의 분포 해역이 늘어났다. 즉, 동중국해와 대한해협에서 겨울과 봄에 주로 쿠로시오 해수(수괴 K)가 분포하는 것처럼 보이지만, 실제는 약간 변질된 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있는 것이다. 계절별 해황특성으로는 여름철에 표층 저밀도수의 분포가 대한해협과 오끼나와 쪽으로 향하는 두 갈래 혀 모양의 형태를 나타내고 있었다. 이것은 중국대륙 연안수와 혼합된 저밀도 표층수의 흐름이 대한해협과 동중국해 동남쪽으로 향하고 있는 것으로 사료된다.

주요어: 쿠로시오, 대마난류, 수괴분석, 저염수, 중국대륙 연안수, 혼합수

*E-mail: hrshin@kongju.ac.kr

서 론

동중국해역은 쿠로시오 해수와 양자강 유출수로 대표되는 중국대륙 연안수가 접하는 곳으로, 쿠로시오 해수와 연안수가 혼합되어 대한해협을 통해 동해로, 그리고 일부는 황해로 유입된다.

동중국해에서 쿠로시오(Kuroshio) 해류와 대마난류(Tsushima Warm Current, TWC)의 관계에 관해서는 지금까지 여러 연구 결과가 발표되었다. Nitani(1972)와 Kondo(1985)는 북상한 쿠로시오의 대부분은 일본의 큐슈(九州) 남쪽 토카라해협을 통해 태평양으로 흘러가고, 대마난류는 북서쪽으로 분기하여 대한해협과 황해쪽으로 흘러간다고 하였다. 이들은 또 대마난류는 30.5°N, 129°E 부근에서 쿠로시오로부터 분기하는 것 같으나 정확한 위치와 기원, 형성 등에 관해서는 명확하지 않다고 하였다. 반면에 대만해류를 대마난류의 기원으로 보는 상반된 견해(Beardsley *et al.*, 1985)도 있었다.

최근에 Lie and Cho(1994)는 동중국해에서 보다 많은 정밀 관측 자료를 획득하여 대마난류의 기원은 쿠로시오 해수에 있으며, 대륙붕 쪽으로 진입하는 해수는 쿠로시오의 가장자리 부분임을 밝혔다. 또한 Lie *et al.*(1998)은 일본의 큐슈 남서쪽 골의 입구 서쪽에서 쿠로시오로부터 분기된 대마난류는 골의 왼쪽 대륙사면을 가로질러 대륙붕으로 유입하며, 계속 북상하여 대한해협으로 유입함을 밝혔다(Fig. 1).

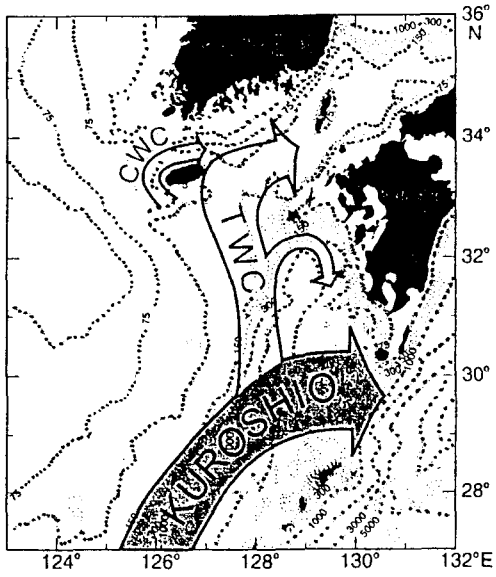


Fig. 1. A schematic surface circulation pattern in the Korea Strait and the East China Sea (Lie *et al.*, 1998). CWC, CheJu Warm Current; TWC, Tsushima Warm Current).

해황 및 수괴 분석에 관한 연구로는 Lim(1971)은 여름철의 수온 염분자료를, Sawara and Hanzawa(1979)는 가을철의 자료를, 안희수 · 오종실(1984)는 여름과 겨울철의 자료를, Cho and Yun(1990)은 여름철의 표층수 자료를 분석하여 대마난류수가 동중국해수와 쿠로시오 해수의 혼합에 의해 형성되며, 혼합이 일어나는 해역은 동중국해의 대륙붕 가장자리임을 밝혔다. Kim *et al.*(1991)은 1986년 겨울과 여름의 자료를 이용하여 해수의 특성을 군집 분석하여 수괴를 새롭게 정의하였다. Nagata(1981)는 가을철의 자료를 이용하여 쿠로시오수와 연안수의 혼합이 쿠로시오 전선부근에서 일어나며, 큐슈 서쪽해역은 그 혼합된 물이 모이는 대마난류수의 저수지와 같은 곳으로 생각하였다. 또한 Yamashiro *et al.*(1990)은 동중국해에서 쿠로시오의 평균수송량에 계절변화가 있음을 나타내어 동중국해의 해황이 계절에 따라 다름을 제시하였다. 신홍렬(1994)은 한국의 국립수산진흥원과 일본 기상청이 1986년에 관측한 4계절의 관측 자료를 사용하여 계절별 수괴 분포의 특성을 분석하였다.

본 연구는 1985년과 1986년의 자료를 사용하여 표층에서의 4계절 해황 특성을 밝히고, 해수의 수괴 분석에서 대기에 의한 냉각효과를 보정함으로써 각 해역에서 계절별로 쿠로시오 해수와 중국 대륙 연안수와의 혼합 상태 및 해수의 주요 구성을 밝히는데 목적이 있다.

자 료

동중국해에서 일년동안 4계절에 걸친 관측은 일본 기상청(Japan Meteorological Agency, JMA)이 1985년과 1986년에 실시한 것이 유일하여, 이들 자료는 4계절의 해황변동 및 수괴분포를 조사하는 데 있어서 매우 귀중한 자료이다. 본 연구에서는 이 자료에 1985년과 1986년의 국립수산진흥원(National Fisheries Research and Development Agency, NFRDA)과 일본 수산청(Japan Fisheries Agency, JFA)의 자료를 합쳐서 분석하였다.

국립수산진흥원의 자료(NFRDA, 1987, 1988)는 33°N 이북의 남해 및 대한해협에서 일년에 6회 관측한 것이고, 일본기상청의 자료(JMA, 1987 · 1988)는 주로 동중국해와 일부 대한해협에서 관측한 것이며, 일본

Table 1. The period of observation in 1985 and 1986.

season \ year	1985	1986
Winter	Feb. 1 - March 3	Jan. 24 - Feb. 24
Spring	April 9 - May 10	April 9 - May 16
Summer	July 9 - Aug. 23	July 8 - Aug. 16
Autumn	Sept. 25 - Oct. 26	Oct. 1 - 22

수산청의 자료(JFA, 1987 · 1988)는 대한해협 동수도에서 관측한 것이다. 1985년과 1986년 3기관의 관측자료를 합친 4계절의 관측기간은 각 계절별로 약 1개월이었다(Table 1).

대한해협과 동중국해에서의 해황

동중국해와 대한해협 표층에서의 4계절 해황을 분석하기 위하여 1985년 각 계절별 수온, 염분, 밀도 및 용존산소의 분포 상태를 조사하였다(신홍렬, 1995).

겨울철 동중국해에서 수온은 13 ~ 22°C로 연중 최저치를 나타냈으며, 염분은 34.4 ~ 34.8psu로 연중 최

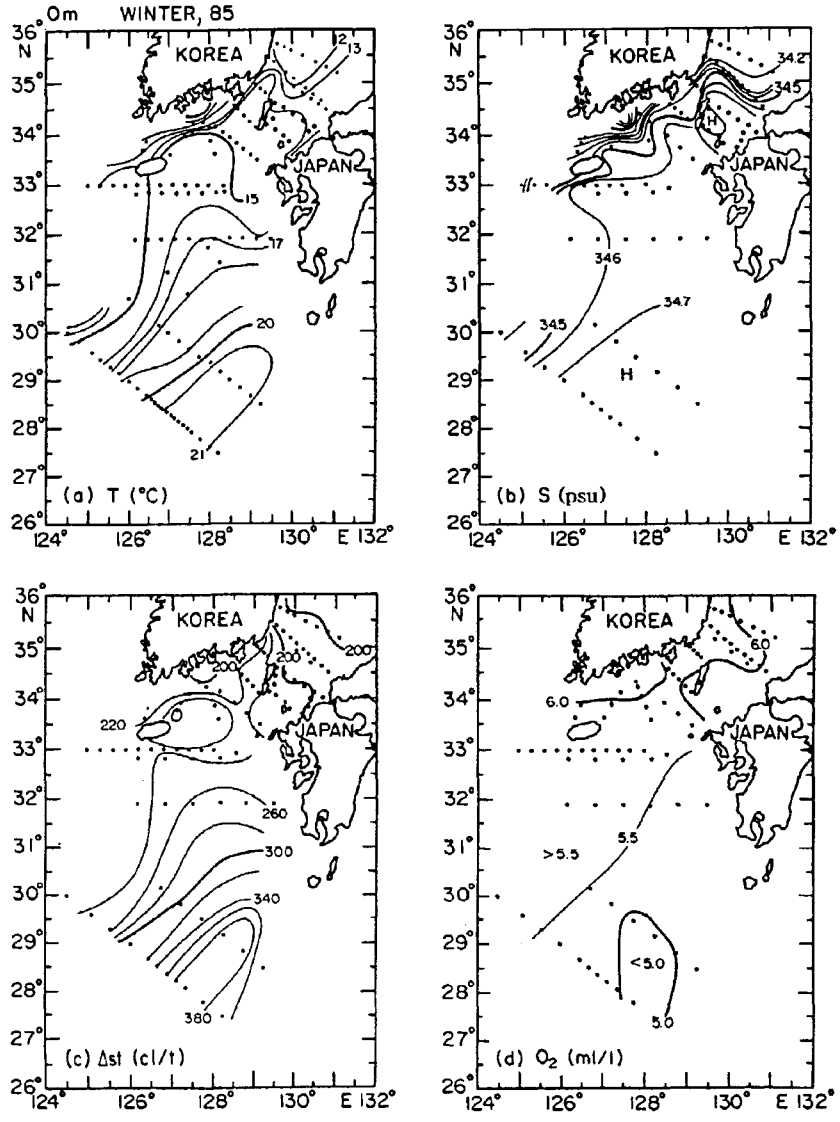


Fig. 2. Horizontal distributions of (a) temperature (°C), (b) salinity (psu), (c) density (cl/t), (d) dissolved oxygen (ml/l) at the surface in the Korea Strait and the East China Sea in winter, 1985.

고치를 나타낸다(Fig. 2). 주로 중국 대륙쪽이 저온, 저염분(13°C 이하, 34.4psu 이하)의 분포를 나타냈고, 쿠로시오 유역이 고온, 고염분을 나타냈다. 용존산소의 분포도 중국 대륙쪽이 5.5ml/l 이상으로 높았고, 쿠로시오 유역이 5.0ml/l 이하로 낮았다.

대한해협은 동중국해에 비해서 대체로 수온과 염분이 낮았고, 동수도(東水道)쪽의 염분이 34.7 ~ 34.8psu로 서수도(西水道) 해역보다 약 0.3psu 높았다. 동수도쪽의 이러한 고염분은 봄철까지 지속되었다. 한국 남해안쪽에서 수온과 염분의 최저치(수온 10°C 이하, 염분 34.0psu 이하)가 나타났고, 이에 따른 강한 수온과 염분 전선이 제주도와 대마도 사이에 형성되어 있었다. 그러나 대한해협에서는 수온과 염분 전선이 상쇄되어 밀도 전선은 형성되지 못했고, 쿠로시오 유역에서만 밀도전선이 형성되어 있었다.

봄철의 해황(Fig. 3)은 전반적으로 고온 고염수가 겨울철보다 약간 북상하는 형태이다. 또한 밀도 전선이 큐슈 서쪽 해역에 형성되어 있는 것으로 보아 쿠로시오의 고온 고염수가 봄철에 큐슈 서쪽으로 약간 북상한 것으로 생각된다. 또한 염분의 분포에서 제주

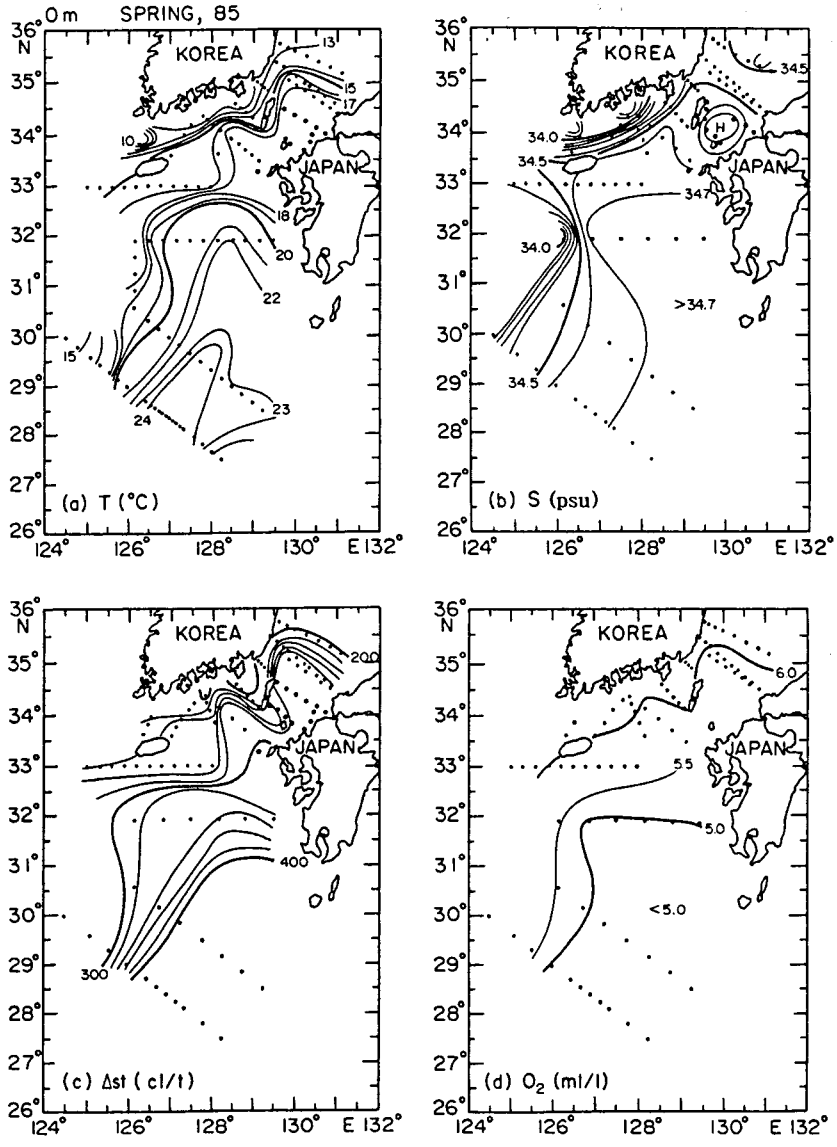


Fig. 3. The same as in Fig. 2 except in spring, 1985.

도 남서쪽에 34.0psu 이하의 저염수가 새롭게 나타났다. 염분 34.0psu 이하의 저염수는 대륙연안수의 영향을 많이 받은 것으로 정의한다면, 이 시기에 중국 대륙 연안수가 동쪽으로 확장되고 있음을 보여주고 있었다. 이러한 저염수는 표층에서만 나타났고, 수심 50m 아래의 층에서는 나타나지 않았다(Fig. 4).

여름철(Fig. 5)에는 수온의 최저, 최고치 모두 크게 상승하여 24 ~ 29℃로 연중 가장 높은 값을 나타내고 있었다. 겨울철에 비해 동중국해에서는 약 7 ~ 13℃ 증가하였고, 대한해협에서는 약 10 ~ 14℃ 상승하였다. 대한해협에서는 동수도쪽이 약 28℃로 서수도보다 약 3℃ 높았다.

반면에 염분은 크게 감소하여 쿠로시오 유역을 제외하면 전체적으로 34.0psu 이하의 낮은 분포를 보였다. 특히 제주도 남서쪽에 30.5psu 이하의 저염수가 넓게 분포하였다. 이러한 분포 양상은 여름철에 표층에서는 대륙 연안수 계통의 혼합수가 쿠로시오 유역을 제외한 동중국해와 대한해협 전역을 덮고 있는 것을 나타낸다. 그러나 수심 50m에서는 제주도 해협을 제외하면 34.0psu 이하의 저염수 나타나지 않았다(Fig. 4). 즉, 여름철에도 저염수는 50m 이내의 표층에만 한정되었다.

밀도의 분포에서는 두 갈래의 저밀도수가 서쪽에서 동쪽으로 뻗어나온 양상이었다. 하나는 제주도 남쪽

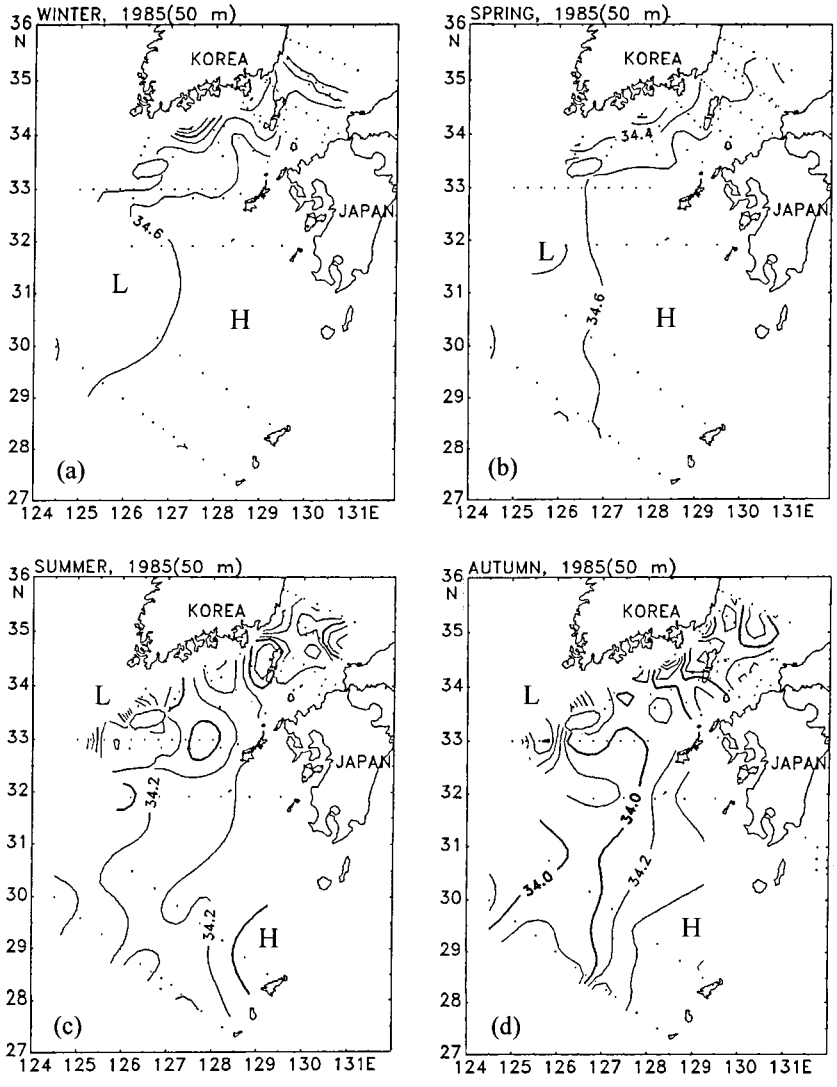


Fig. 4. Horizontal distributions of salinity (psu) at 50 m depth in 1985. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

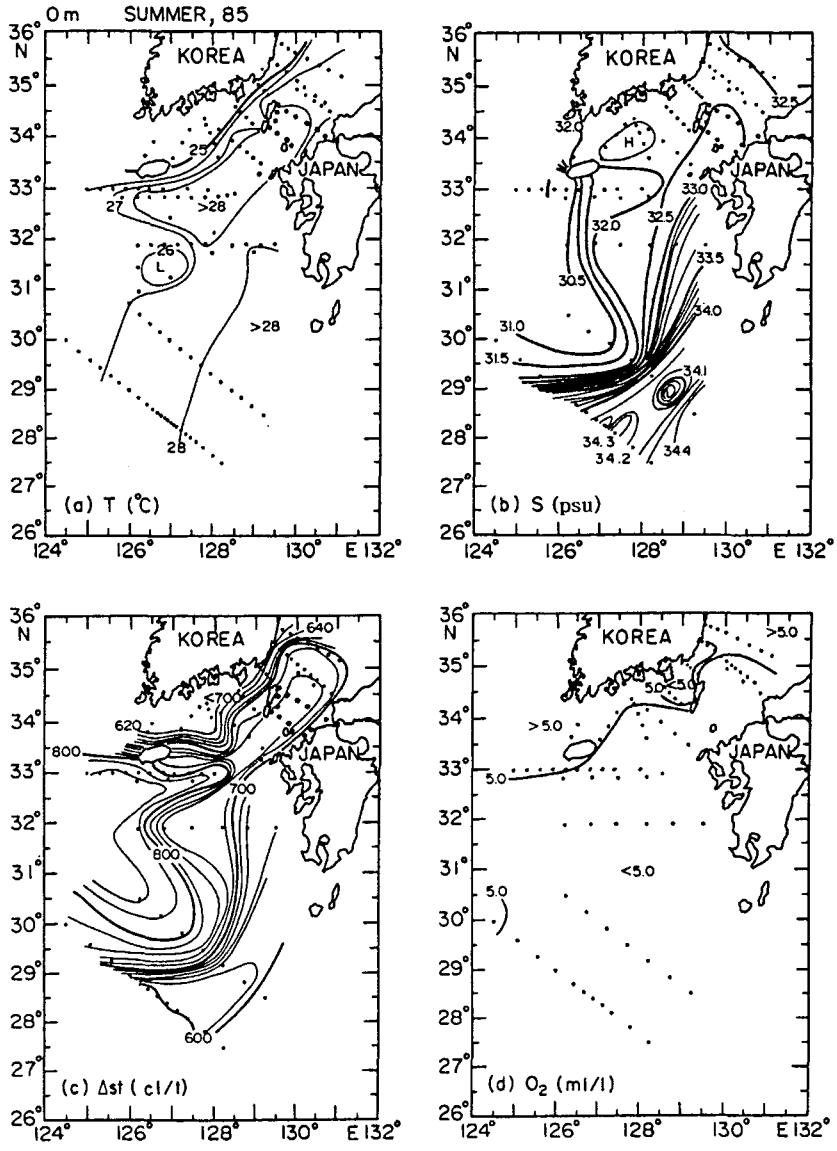


Fig. 5. The same as in Fig. 2 except in summer, 1985.

에서 대한해협 동수도쪽으로, 다른 하나는 오끼나와 쪽으로 뻗어있는 양상을 나타내고 있었다. 이러한 표층 저밀도수는 대륙쪽의 저온 저염수의 영향으로 보이며, 여름철에 대륙 연안수의 진출 양상을 보여 주는 것으로 생각된다. 용존산소의 분포는 제주도 북쪽과 서쪽의 일부 해역이 5.0ml/l 이상으로 높았을 뿐 그외의 전 해역이 5.0ml/l 이하로 겨울철보다 약 1.0ml/l 낮았다.

가을철의 해황(Fig. 6)은 여름철보다 수온은 감소하고 염분은 증가하였다. 수온의 감소는 주로 최저 수온이 크게 감소하였다. 수온이 크게 감소한 곳은 제주도 서쪽 및 남서쪽 해역으로 여름철보다 약 4~7°C 낮아져 수온의 감소가 서쪽으로부터 시작되고 있는 양상이었다. 염분의 분포에서는 34.0psu 이상의 쿠로시오 고염수가 큐슈 서쪽으로 북상하고 저염분의 연안수가 서쪽으로 후퇴하는 양상이었다. 염분전선이 제주도와 대마도 사이에 형성되어 있고, 한국 남해와 대한해협 동수도 쪽으로 저염수가 분포하고 있었다. 이에 따라 대한해협에서는 동수도의 염분이 큰폭(약 1.0psu)으로 증가하였다. 반면에 수심 50m에서는 제주도 남쪽 동중국해와 대한해협에서 34.0psu 이하의

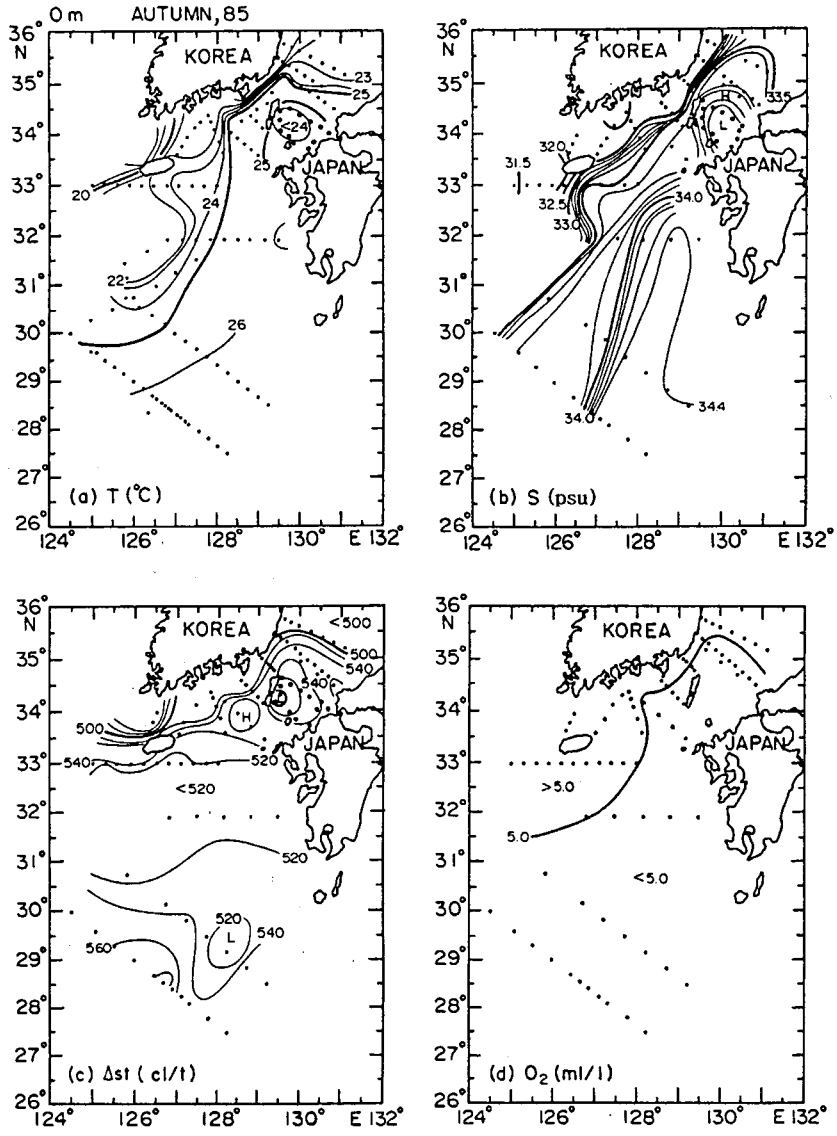


Fig. 6. The same as in Fig. 2 except in autumn, 1985.

저염수가 나타났다. 이것은 대륙연안수의 영향이 수심 50m 부근에서는 가을철에 나타나고 있음을 보이는 것으로 생각된다.

밀도전선은 제주도와 대마도 사이에 형성되고 있었는데, 이 전선을 따라 대륙기원의 저밀도수가 대한해협으로 유입되고 있는 것으로 생각된다.

용존산소의 분포는 제주도 동쪽과 한국 남해안에서 여름철 보다 약간 증가하여 5.0ml/l 이상을 나타냈고, 기타 동중국해와 대한해협 동수도에서는 여름철과 비슷한 5.0ml/l 이하의 분포를 유지하였다.

수괴분석

본 연구는 동중국해와 대한해협에서 고온 고염수인 쿠로시오 해수와 저온 저염수인 중국 대륙 연안수와의 혼합 상태를 계절별로 알아보는 것이다. 이를 위해서 T-S diagram 상에서 동중국해의 쿠로시오 해수 및 혼합수의 수괴를 정의한 Sawara and Hanzawa (1979)의 수괴분류 방법을 기본으로 사용하였다(Fig. 7). Sawara and Hanzawa(1979)는 1968년, 1972년 및 1975년 일본의 큐슈 및 오끼나와 서쪽으로부터 중국

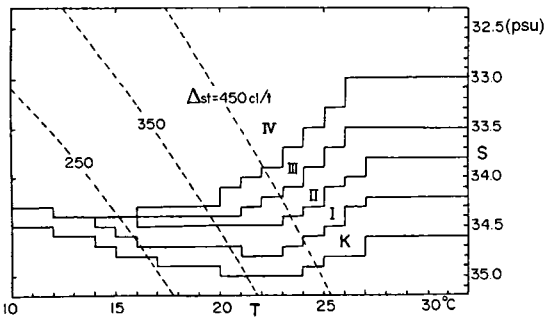


Fig. 7. Water mass classification at T-S diagram (Sawara and Hanzawa, 1979).

쪽으로 상당히 넓은 해역에 걸쳐 일본의 기상청이 관측한 자료를 사용하여 T-S diagram에서 쿠로시오 해수 및 혼합수의 수괴를 분류하였다.

쿠로시오 해역에서 관측한 고온 고염수를 쿠로시오 해수(수괴 K)로 정의하였는 데, 표층수온이 21 ~ 28°C, 표층염분은 34.3psu 이상이었다(Fig. 7). 쿠로시오 해수와 중국 대륙 연안수와의 혼합은 주로 16°C 이상에서 이루어지고 있었으며, 혼합 상태에 따라 대략 3등분하여 수괴 I, II, III으로 분류하였다. 혼합수의 분류에서 사용한 로마숫자의 증가는 저온 · 저염분인 연안수의 영향이 커짐을 의미한다. 등밀도선상에서 보면 대체로 쿠로시오 해수(수괴 K)로부터 수온은 1 ~ 2°C, 염분은 0.1 ~ 0.3psu씩 각각 낮아진다.

수괴 I은 대체로 쿠로시오 해수에 가까운 혼합수(쿠로시오계 혼합수)의 수괴, 수괴 III은 중국 대륙 연안 해수에 가까운 혼합수의 수괴, 수괴 II는 수괴 I과 III의 중간적인 성질을 나타낸다. 수괴 III 보다 염분이 낮은 해수를 모두 수괴 IV로 분류하여 연안해수의 수괴를 나타내는 것으로 정의하였다. 어느 정도의 수온, 염분 범위까지를 중국대륙 연안해수로 정의하는 가에 관해서는 약간의 문제가 남아있다. 그러나 중국 해안으로부터 약 170km 떨어진 해역까지 접근해 가면서 쿠로시오 해역과 중국 대륙 사이의 상당히 넓은 동중국 해역에서 관측한 많은 자료를 사용하여 분류한 것이므로 동중국해 및 대한해협에서 혼합수 및 연안해수의 수괴를 분류할 수 있는 기준으로 채택해도 좋을 것으로 생각된다.

수괴의 분석 방법으로 첫 번째는 각 수심에서의 수온과 염분 자료를 Sawara and Hanzawa(1979)의 수괴분류 방법을 그대로 적용하였다. 두 번째는 동중국해와 대한해협에서 연중 최고 수온을 나타내는 계절(주로 가을철)의 평균 수온과 각 계절별 평균 수온과의 차이를 겨울, 봄, 여름의 수온에 더해 줌으로써 계절적인 수괴의 변화를 제거하였다. 계절적인 수온 변화의 원인은 여러 가지가 있겠지만 대한해협 및 동중국해는 주로 대기로 부터의 냉각효과가 크다고 생각된다. 즉 각 해역에서의 계절적인 수온 감소를 보정한 후에 Sawara and Hanzawa(1979)의 수괴분류 방법을 적용한 결과를 첫 번째 방법과 비교 분석하였다. 이러한 방법에 의한 수괴의 분석은 주로 혼합에 의한 해수의 수온과 염분변화를 보기 위한 목적이다.

대마 난류(Tsushima Warm Current)의 해수는 동중국해의 쿠로시오 해역으로부터 북쪽으로 이동해 감에 따라 중국 대륙 기원의 연안수와 혼합되어 수온과 염분이 서서히 변화한다. 또한 각 해역에서 수온의 변화는 대기에 의한 국지적인 가열 · 냉각과 공간적인 열의 이류효과가 있다.

큐슈 서쪽 동중국해 및 대한해협에서의 해수는 주로 고온(겨울철 표층수온 약 21°C, 여름철 표층수온 약 28°C)인 쿠로시오 해수가 이동해 오는 것이므로 대기에 의한 영향은 가열보다는 냉각이 크다고 생각된다. 참고로 1979년부터 1998년까지 20년간 평균한 큐슈 서쪽 동중국해의 연간 월평균 해상기온 변화폭이 7 ~ 27°C, 대한해협에서는 연간 월평균 해상기온 변화폭이 4 ~ 26°C인 것으로 보아도 대기에 의한 영향은 여름철의 가열보다 겨울과 봄철의 냉각효과가 큰 것을 알 수 있다. Isobe(1999)에 의하면, 큐슈 서쪽 동중국해에서는 봄과 여름철(5 ~ 8월)에 총 360W/m^{2}의 열이 해수면을 통해 해양으로 유입되고, 가을과 겨울철(9 ~ 3월)에는 총 1700W/m^2(유입양의 약 5배)의 열이 해수면을 통해 대기로 유출되었다. 또한 큐슈 서쪽 동중국해에서는 열의 수평 이동 양이 약 1990W/m^2, 해수면을 통한 이동 양은 약 2070W/m^{2}로 큰 차이가 없었지만 해수면을 통한 열의 이동 양이 약간 더 많았다. 특히 10 ~ 2월에는 해양에서 대기로 열의 유출량이 훨씬 더 많았다.

동중국해와 대한해협에서 열의 공간적인 이류는 주로 고위도 쪽으로 이루어지고 있지만, 본 연구에서는 고려하지 않았다. 다만 수온의 공간적인 이류는 해류를 따라 이동하는 것이므로 혼합과정에 어느 정도는 반영된 것으로 생각된다.

큐슈 서쪽의 동중국해와 대한해협에서의 수온의 계절별 변화 양상을 파악하기 위하여 각 계절별 수온

Table 2. Mean temperature at 50 m depth in the East China Sea (ECS) and the Korea Strait (KS).

season \ year	1985		1986	
	ECS	KS	ECS	KS
Winter	15.4°C	13.3°C	15.0°C	12.1°C
Spring	15.9°C	13.8°C	15.3°C	12.7°C
Summer	17.9°C	18.1°C	16.8°C	16.9°C
Autumn	19.4°C	19.5°C	24.0°C	20.4°C

Table 3. Mean temperature at 100 m depth in the East China Sea (ECS) and the Korea Strait (KS).

season \ year	1985		1986	
	ECS	KS	ECS	KS
Winter	15.5°C	13.2°C	14.8°C	12.7°C
Spring	15.1°C	13.5°C	14.3°C	12.6 ℃
Summer	15.6°C	15.3°C	15.5°C	14.0°C
Autumn	16.9°C	15.2°C	19.0°C	16.7°C

의 평균을 계산하였다. 수심 50m와 수심 100m에서의 최저 수온은 주로 봄에 나타났고, 최고 수온은 주로 가을에 나타났다(Table 2와 Table 3). 동중국해와 대한해협에서 수심 50m에서의 평균 수온 차이는 겨울과 봄에 2 ~ 3°C, 여름과 가을에는 0.1 ~ 0.2°C이었다(단, 1986년 10월의 동중국해 수온이 매우 높았던 관계로 예외적으로 수온의 차이가 3.6°C로 컸다). 이들 해역에서의 20년(1979년 ~ 1998년) 평균 기온이 겨울과 봄에 약 3°C 차이, 여름과 가을에 1 ~ 2°C 차이인 것으로 보아 수심 50m에서 동중국해와 대한해협에서의 수온 차이가 대체로 기온의 차이와 거의 비슷하였다.

1985년 수심 50m에서 가을철의 평균 수온은 19.38°C로 나타나, 수괴보정을 위하여 겨울에는 4.0°C, 봄철에는 3.5°C, 여름에는 1.5°C 상승시켰다. 대한해협에서의 가을철 평균 수온은 19.5°C로 나타나, 겨울철에는 6.2°C, 봄에는 5.7°C, 여름에는 1.4°C 상승시켰다. 1986년 큐슈 서쪽 동중국해의 수심 50m에서 가을철 평균 수온은 24.0°C로 나타났으며, 겨울에는 9.0°C, 봄철에는 8.7°C, 여름에는 7.2°C 상승시켰다. 대한해협에서의 가을철 평균 수온은 20.4°C였으며, 겨울철에는 7.8°C, 봄에는 7.7°C, 여름에는 3.5°C 상승시켰다.

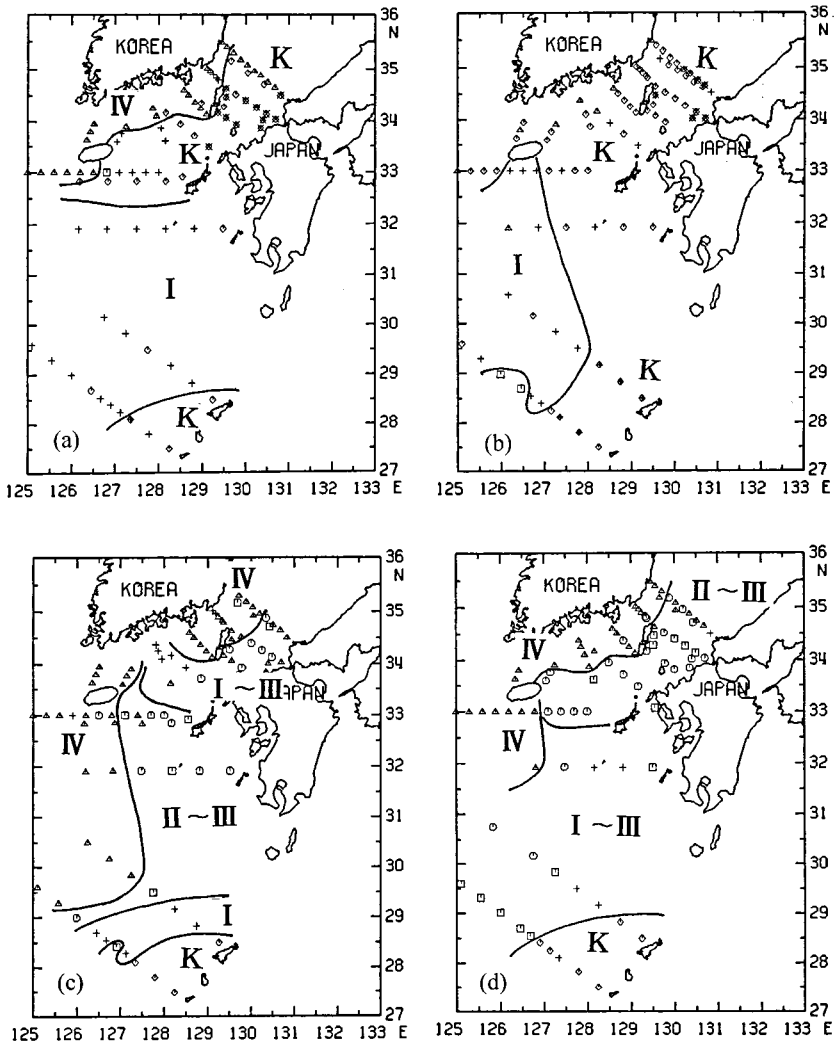
수심 50m에서 동중국해와 대한해협에서의 수온 보정 차이가 겨울과 봄에는 2.2°C, 여름과 가을에는 1.2°C 이내였다(1986년 여름은 예외적으로 3.7°C로 컸다). 이 해역에서의 월 평균 기온 차이가 겨울과 봄에 3°C, 여름과 가을에는 1 ~ 2°C인 것과 비교하면 거의 같은 값을 나타내고 있었다. 즉, 동중국해와 대한해협에서 수온 보정 값의 차이가 비교적 기온에 의한 냉각 효과의 차이를 잘 나타내고 있다고 사료된다.

수심 100m에서 1985년 동중국해에서의 최고 수온은 가을철로 평균 수온이 16.9°C였으며(Table 3), 겨울에는 1.4°C, 봄에는 1.8°C, 여름에는 1.3°C 상승시켜 수온을 보정하였다. 대한해협에서는 여름철이 최고 수온으로 평균 15.3°C였으며, 겨울에는 2.1°C, 봄에는 1.8°C, 가을에는 0.1°C 상승시켰다. 1986년 큐슈 서쪽 동중국해에서는 가을철이 평균 19.0°C로 최고 수온을 나타냈으며, 겨울에는 4.2°C, 봄에는 4.7°C, 여름에는 3.5°C 상승시켰다. 대한해협에서는 여름철이 최고 수온으로 평균 16.7°C였으며, 겨울에는 4.0°C, 봄에는 4.1°C, 여름에는 2.7°C 상승시켰다.

수심 50m에서 계절별 수괴분포

1985년: Fig. 8은 수온 보정을 하지 않고 분류한 계절별 수괴 분포도이며 Fig. 9는 수온 보정을 하여 분류한 수괴 분포도이다. 겨울철[Fig. 8(a)]에 큐슈 서쪽 동중국해는 쿠로시오 해수(수괴 K)와 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주요 수괴로 나타났으며, 대한해협과 제주해협에서는 쿠로시오 해수(수괴 K)와 연안해수(수괴 IV)가 주로 나타났다. 반면에 수온을 보정[Fig. 9(a)]하면 동중국해에서는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주요 수괴로 나타났다. 대한해협의 동수도는 쿠로시오 해수(수괴 K) 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 서수도는 연안해수(수괴 IV), 제주해협에서는 혼합수 및 연안해수(수괴 I ~ IV)가 주로 나타났으며, 수온 보정 전과 비교하면 쿠로시오 해수(수괴 K)가 줄어들고, 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 많아졌다. 즉 쿠로시오 해수 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 섞여서 분포하고 있는 양상이었다. 그러나 제주해협과 한국 남해에서는 혼합이 많이 된 연안해수(수괴 IV)가 나타나고 있었다.

일반적으로 봄철(3 ~ 4월)은 해수의 수온이 일년중 가장 낮은 시기이다. 봄철[Fig. 8(b)]에 큐슈 서쪽 동중국해와 대한해협에서 모두 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주요 수괴로 나타났고, 대륙연안쪽에는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 분포하고 있었다. 수온 보정[Fig. 9(b)]을 하면 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 동중국해 및 대한해협의 주요 수괴였다. 제주해협에서는 수괴 II ~



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

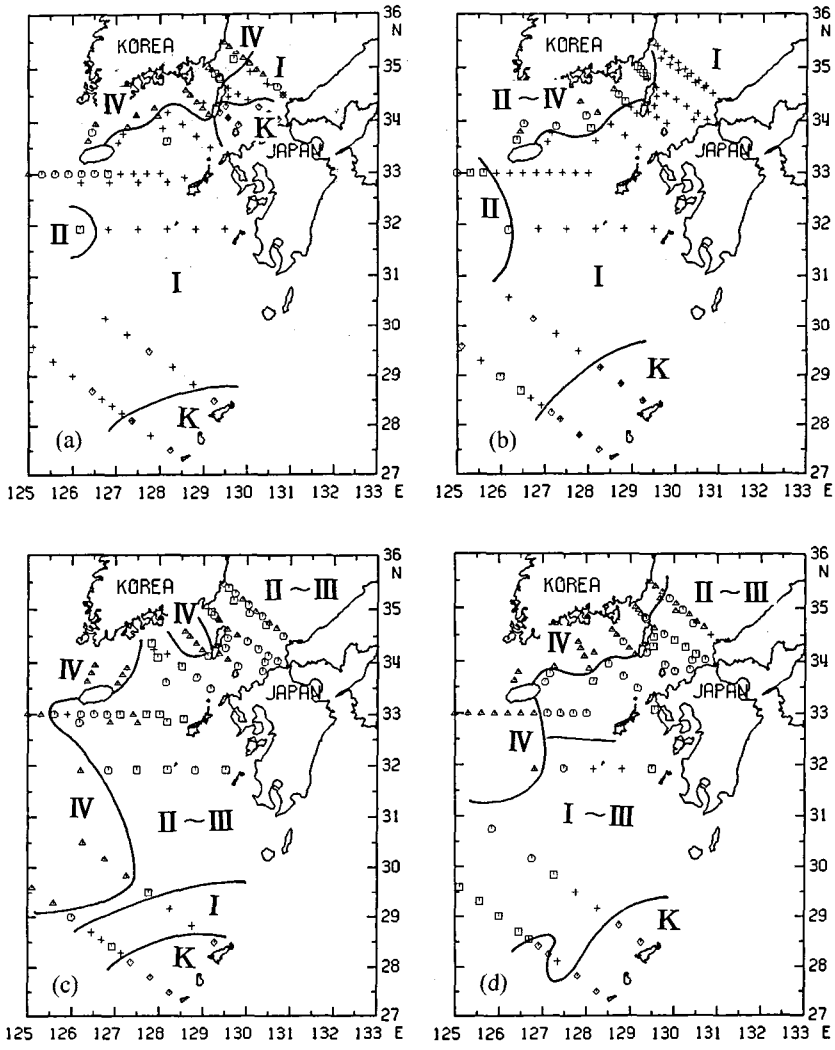
Fig. 8. Horizontal distribution of water mass at 50 m depth in 1985. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

IV의 해수가 나타나 비교적 혼합이 많은 해수가 흘러 들어오고 있음을 나타내고 있었다. 이것은 중국 대륙의 연안수 및 한국쪽 연안수의 영향으로 생각된다.

여름[Fig. 8(c)]에는 큐슈 서쪽 동중국해에서 혼합수(수괴 II ~ IV)가, 대한해협에서는 수괴 I ~ IV의 혼합수가 분포하고 있었다. 수온을 보정한 분석[Fig. 9(c)]에서는 동중국해와 대한해협에서 모두 수괴 II ~ IV의 혼합수가 분포하고 있었다. 여름철에는 온도의 보정폭이 작기 때문에 수괴의 분포에서 큰 차이가 없다. 주로 제주해협과 대한해협 서수도에서 수괴 IV가 많이 분포하고 있는 것으로 보아 서수도의 해수가 동수도보다 연안해수와의 혼합이 많음을 나타내는 것으로 생각된다.

온도 보정이 없는 가을철[Fig. 8(d)와 Fig. 9(d)]에는 큐슈 서쪽 동중국해에서 수괴 I ~ IV의 혼합수, 대한해협에서 수괴 II ~ IV의 혼합수가 주로 나타나서 대한해협에서 연안해수의 영향이 동중국해보다 컸다.

1986년: 1986년 수심 50m에서의 수괴 분석 결과를 Fig. 10에, 그리고 수온을 보정하여 분류한 수괴 분석은 Fig. 11에 나타냈다. 겨울[Fig. 10(a)]에 큐슈 서쪽 동중국해에서의 해수는 쿠로시오 해수 및 혼합수(수괴 K ~ IV), 대한해협에서는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주요 수괴로 나타났다. 특히 동경 127° 서쪽의



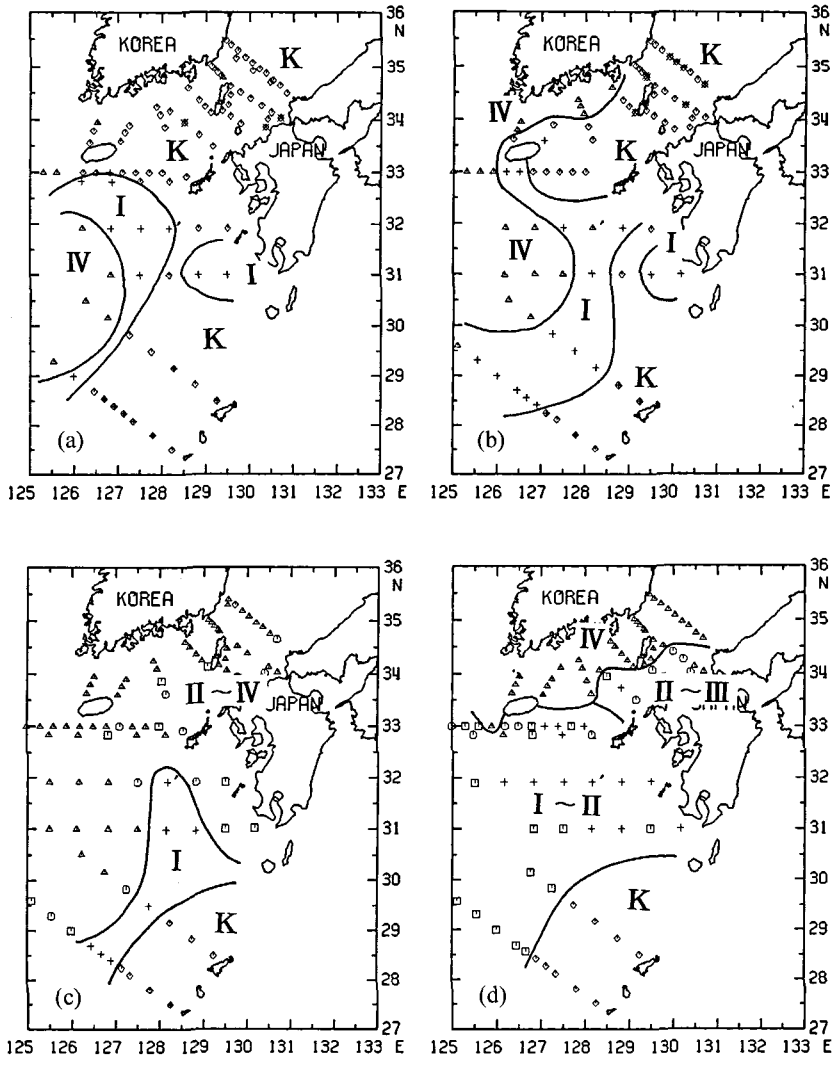
◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

Fig. 9. Horizontal distribution of water mass at 50 m depth in 1985 after correcting seasonal variations of temperature. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

동중국해에서는 1985년 관측에서는 없던 연안해수(수괴 IV)가 나타났다. 수온을 보정하면[Fig. 11(a)] 동중국해는 쿠로시오 해수 및 혼합수(수괴 K~IV)의 분포로 보정전과 거의 비슷했고, 대한해협에서는 쿠로시오 해수(수괴 K)의 분포가 줄어들어 혼합수(수괴 I~II)가 주요 수괴였다. 수괴 II는 주로 한국 연안쪽에서 나타났다.

봄철[Fig. 10(b)]에 큐슈 서쪽 동중국해는 혼합수(수괴 I~IV)가 넓게 분포하고 있었고, 일부 큐슈 서쪽 연안에서 쿠로시오 해수(수괴 K)가 나타나고 있었다. 대한해협에는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주로 분포하고 있었으며, 제주해협과 한국 연안쪽에서 연안해수(수괴 IV)가 나타나고 있었다. 수온을 보정하면[Fig. 11(b)] 동중국해는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 더 넓게 나타났으며, 대한해협에서는 주요 수괴가 쿠로시오 해수(수괴 K)에서 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)로 바뀌었다. 제주해협과 한국 연안 해역에서는 수괴 II~IV의 혼합수가 분포하고 있었다.

여름[Fig. 10(c)]에 큐슈 서쪽 동중국해는 수괴 I~IV의 혼합수, 대한해협은 연안해수(수괴 IV)가 주로 분포하는 양상이었으나, 수온을 보정한 분석[Fig. 11(c)]에서 동중국해는 쿠로시오 해수 및 혼합수(수괴



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

Fig. 10. Horizontal distribution of water mass at 50 m depth in 1986. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

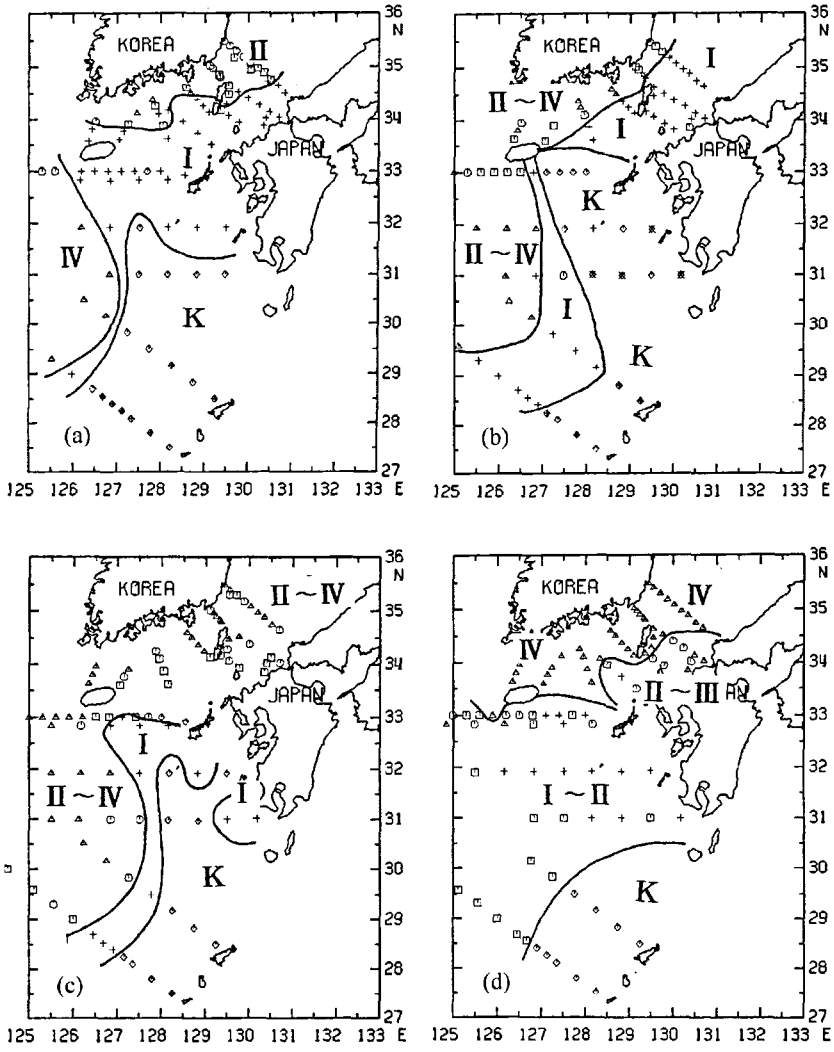
K ~ IV), 대한해협은 혼합수(수괴 II ~ IV)가 분포하고 있었다.

가을[Fig. 10(d)와 Fig. 11(d)]에는 수온 보정을 하지 않았으며, 동중국해에는 수괴 I ~ II의 혼합수, 대한해협에는 수괴 III ~ IV의 혼합수가 분포하여 연안수의 영향이 크게 나타나고 있었다. 여름과 가을 공통으로 대한해협 동수도에서는 혼합수(수괴 II ~ III), 서수도에서는 연안해수(수괴 IV)가 주로 분포하고 있었다.

대체로 수심 50m에서 큐슈 서쪽 동중국해는 여름에 연안수의 영향이 가장 크게 나타났으며, 대한해협에서는 가을에 연안수의 영향이 가장 큰 혼합수가 분포하고 있었다.

수심 100m에서 계절별 수괴분포

1985년: Fig. 12는 수온을 보정하지 않은 수괴 분포도, Fig. 13은 수온을 보정하여 분류한 수괴 분포도이다. 겨울[Fig. 12(a)]에 큐슈 서쪽 동중국해에서는 쿠로시오 해수 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 K와 I)가 분포하고 있었고, 대한해협에서는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주로 분포하고 있었다. 제주도 부근과 한국 남해쪽에서는 수괴 I과 IV의 혼합수가 나타나고 있었다. 수온을 보정[Fig. 13(a)]하면 동중국해는 연안해



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

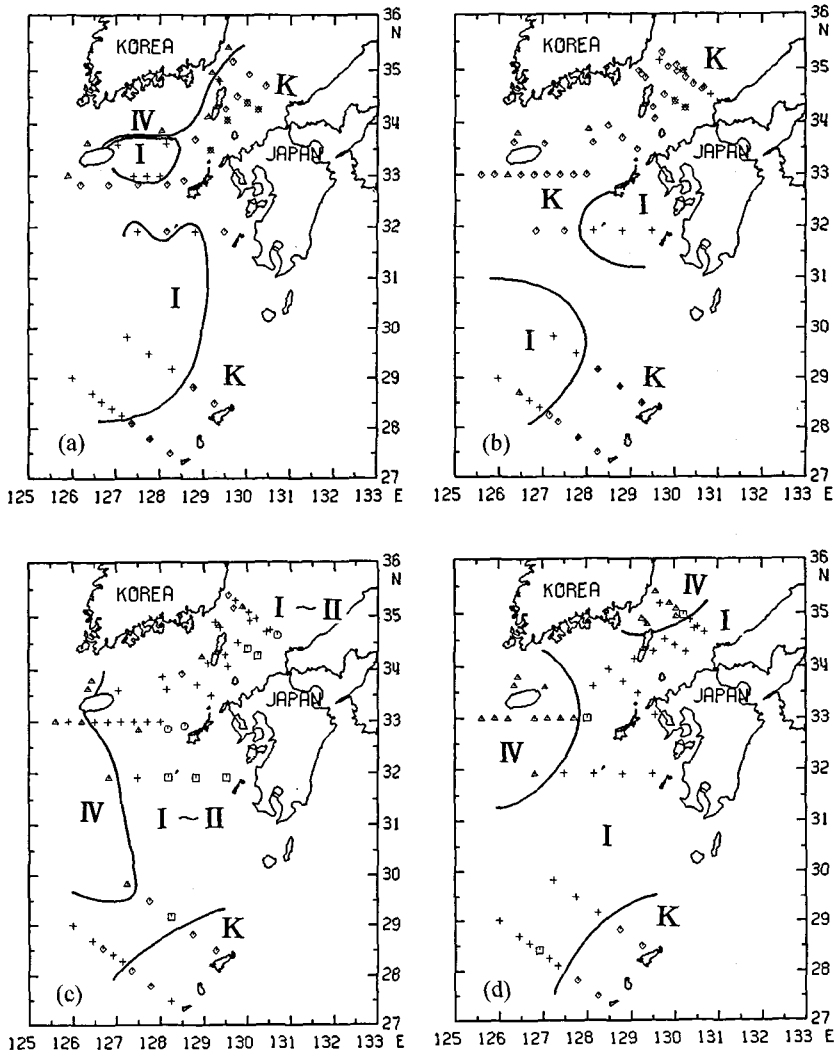
Fig. 11. Horizontal distribution of water mass at 50 m depth in 1986 after correcting seasonal variations of temperature. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

수의 영향이 적은 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주로 분포하고 있었다. 대한해협에서도 수괴 I의 쿠로시오 혼합수가 늘어났다.

봄[Fig. 12(b)]에는 동중국해와 대한해협에서 대체로 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주요 수괴였다. 큐슈 해안쪽의 일부해역에서 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 나타나고 있었다. 수온을 보정[Fig. 13(b)]하면 동중국해와 대한해협에서 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주요 수괴로 나타났다. 단, 대한해협 동수도 일부에서는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 나타났다.

여름[Fig. 12(c)]에 동중국해에서는 혼합수(수괴 I~II)가 넓게 분포하고 있었으며, 동중국해의 서쪽 끝부분에 연안해수 (수괴 IV)가 일부 분포하고 있었다. 대한해협에서도 혼합수(수괴 I~II)가 주요 수괴로 분포하고 있었다. 제주해협에서만 연안해수(수괴 IV)가 나타났다. 수온보정은 동중국해에서만 비교적 작게 한 탓으로 수괴의 분포는 거의 비슷한 양상으로 나타났다[Fig. 13(c)].

가을[Fig. 12(d)와 Fig. 13(d)]에 큐슈 서쪽 동중국해에는 주로 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 제주도 부근에는 연안해수(수괴 IV), 대한해협 동수도에는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 대마도 북쪽에는 연안해수(수



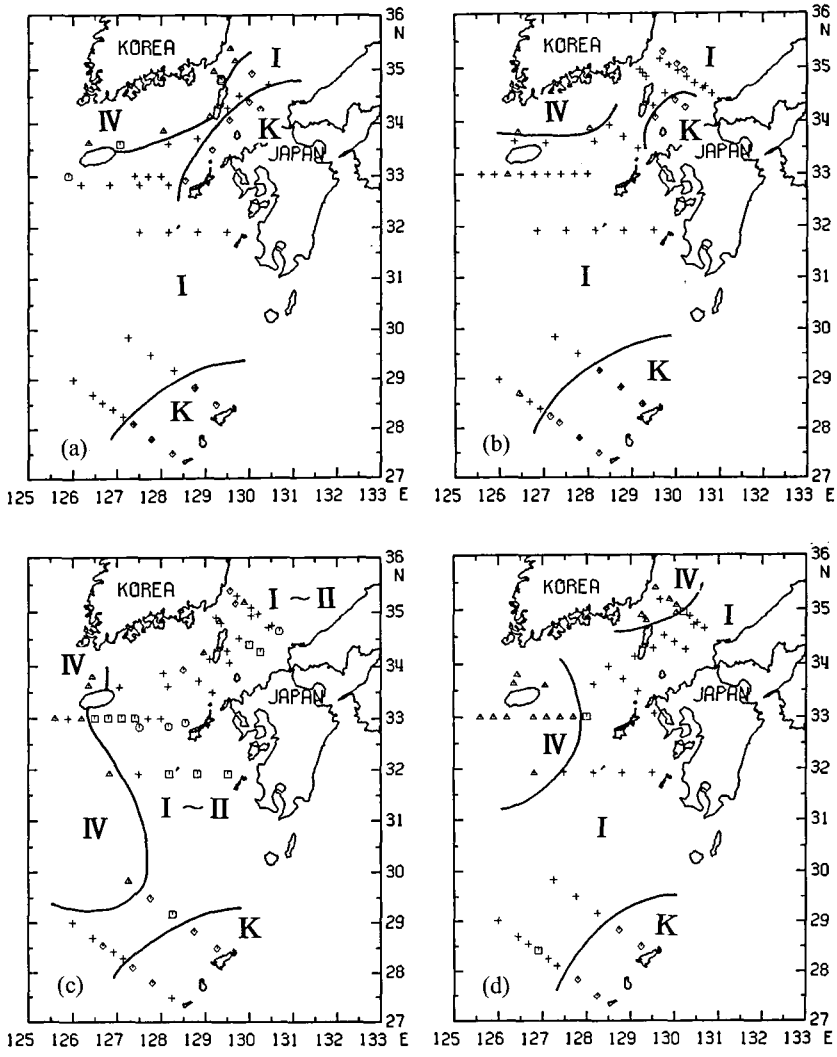
◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

Fig. 12. Horizontal distribution of water mass at 100 m depth in 1985. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

괴 II ~ IV)가 분포하는 다양한 양상을 나타내고 있었다. 수온보정이 대한해협에서만 작게 하였기 때문에 수괴의 분포는 거의 비슷한 양상을 나타내었다.

1986년: Fig. 14는 수온을 보정을 하지 않은 수괴 분포도이고, Fig. 15는 수온을 보정하여 분류한 것이다. 겨울철[Fig. 14(a)]에 동중국해에서는 쿠로시오 해수 및 쿠로시오계 혼합수(수괴 K와 I), 대한해협에는 쿠로시오 해수(수괴 K)가 넓게 분포하고 있었다. 수온보정[Fig. 15(a)]을 하면 쿠로시오 해수인 수괴 K는 거의 없어지고 동중국해는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 나타났다. 대한해협 동수도와 제주해협에서 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있었다.

봄[Fig. 14(b)]에 큐슈 서쪽 동중국해는 쿠로시오 해수(수괴 K) 및 혼합수(수괴 I ~ IV), 대한해협은 쿠로시오 해수(수괴 K)가 넓게 분포하고 있었다. 수온보정[Fig. 15(b)]을 하면 수괴 K는 거의 없어지고 동중국해는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 나타났다. 대한해협에서는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있었다. 단 제주해협에서는 연안해수(수괴 IV)가 나타나고 있었다. 즉 겨울철과 봄철에 대한 해협에서의 해수는 연안해수의 영향이 비교적 적은



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

Fig. 13. Horizontal distribution of water mass at 100 m depth in 1985 after correcting seasonal variations of temperature. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

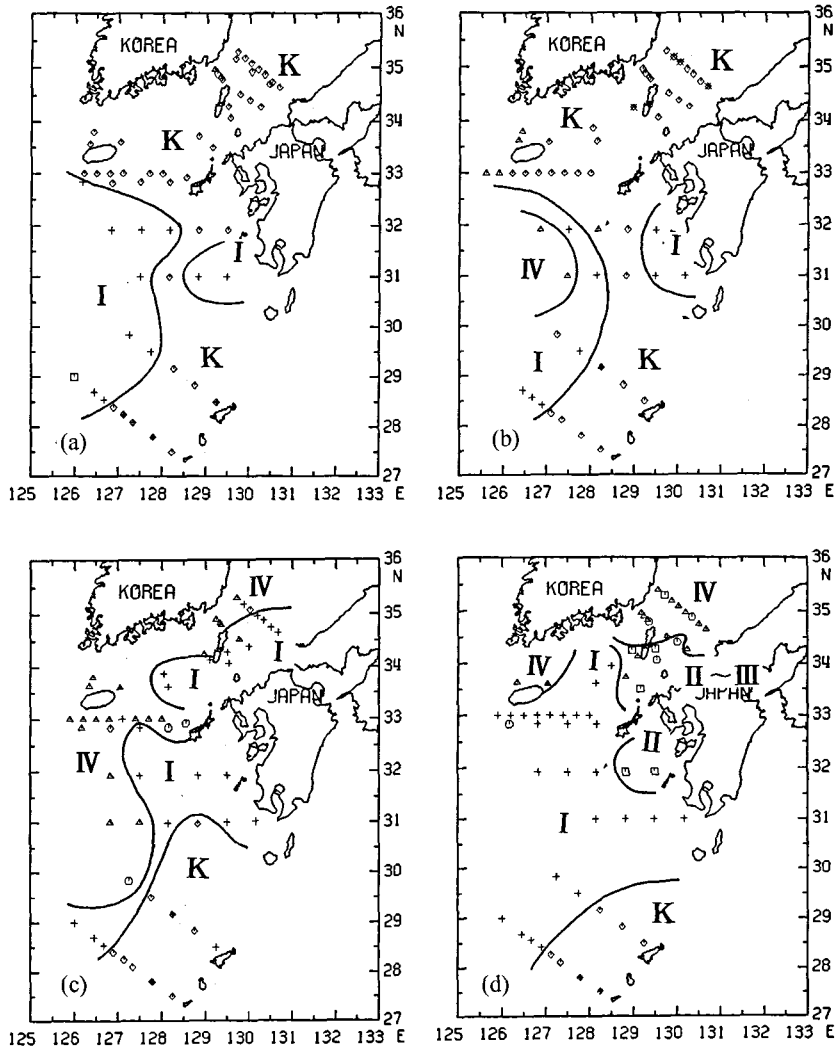
쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있었다.

여름[Fig. 14(c)]에 동중국해에서 동쪽에는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 서쪽에는 연안해수(수괴 IV)가 분포하고 있었다. 대한해협 동수도와 대마도 남쪽에는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 서수도와 제주해협에는 연안해수(수괴 IV)가 분포하고 있었다. 수온 보정[Fig. 15(b)]을 하면 동중국해는 혼합수(수괴 I ~ IV)의 분포로 변화가 없었다. 대한해협에서는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)의 분포범위가 약간 줄어든다. 동수도에서는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I), 서수도와 제주해협에서는 수괴 II ~ IV의 혼합수가 분포하고 있었다.

가을에는 수온의 보정을 하지 않은 관계로 Fig. 14(d)와 Fig. 15(d)가 같은 분포이다. 큐슈 서쪽 동중국해는 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 주요 수괴로 분포하고 있었고, 대한해협에는 수괴 I ~ IV의 혼합수가 분포하고 있었다.

결론 및 고찰

큐슈 서쪽 동중국해와 대한해협의 표층에서 34.0psu 이하 중국대륙 연안해수의 영향이 봄철부터 가을철까지 나타났으나 수심 50m에서는 가을철에만 나타났다.



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

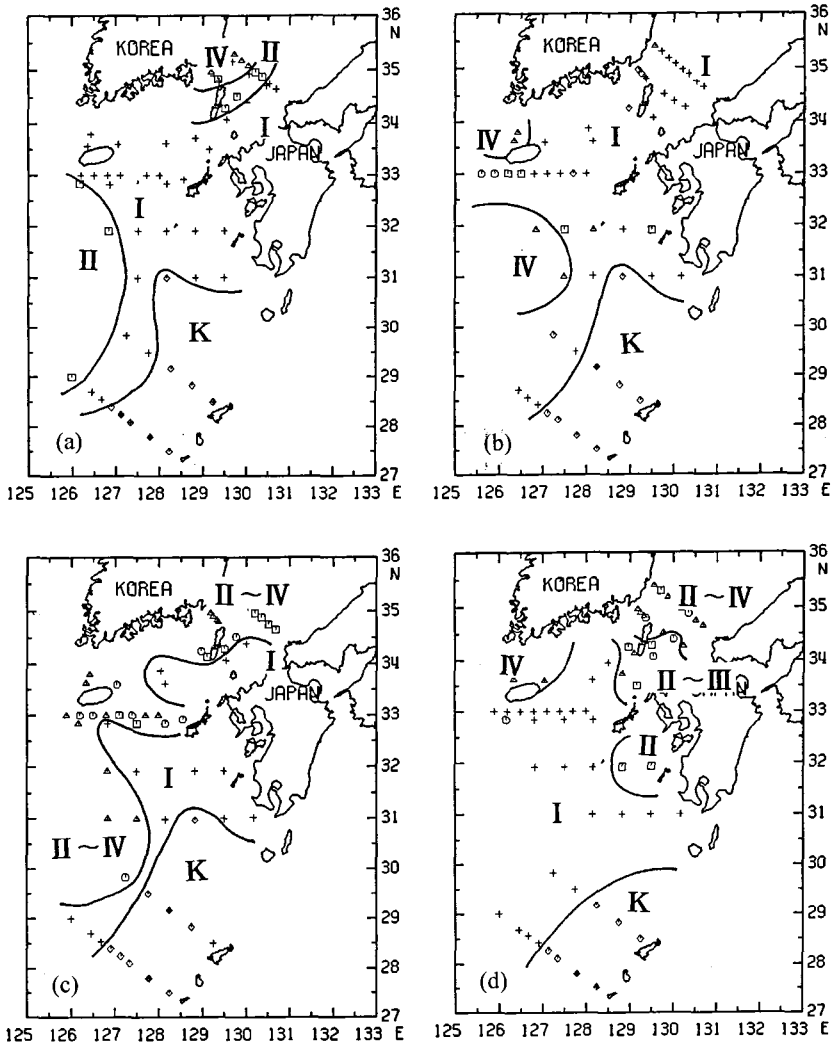
Fig. 14. Horizontal distribution of water mass at 100 m depth in 1986. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

이러한 현상은 1985년과 1986년에 공통된 현상이다.

여름철에 표층 저밀도수가 대한해협과 오끼나와쪽으로 향하는 두 갈래의 형태를 나타내고 있었다. 이것은 중국 대륙 연안수의 영향을 받은 저밀도 표층수의 흐름이 대한해협과 동중국해 동남쪽으로 향하고 있는 것으로 생각된다.

큐슈 서쪽 동중국해에서 쿠로시오 해수와 대륙 연안해수와의 혼합은 겨울과 봄철에 적고, 여름과 가을철에 큰 것으로 나타났다. 수심 50m와 100m 모두 동중국해에서는 겨울과 봄철에 쿠로시오 해수(수괴 K) 및 변질이 가장 적은 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 분포하였고, 반면에 여름철에 가장 변질이 많은 혼합수(수괴 I ~ IV)의 수괴분포가 넓게 나타났다. 대한해협에도 쿠로시오 해수로부터 변질이 가장 적은 시기는 역시 겨울과 봄철로 쿠로시오 해수(수괴 K)가 주로 분포하였다. 그러나 지역적으로 제주해협과 한국 연안쪽에는 연안해수(수괴 IV)가 많이 분포하고 있었다. 반면에 가을철에는 연안해수의 영향을 가장 많이 받은 혼합수(수괴 I ~ IV)가 대한해협에 넓게 분포하고 있었다.

수심 50m와 수심 100m에서의 수괴분포 차이는, 수심이 깊은 쪽에서 혼합수(수괴 II ~ IV)의 분포가 줄어들고, 쿠로시오계 해수(수괴 K ~ I)의 분포가 넓어졌다.



◇, Type K; +, Type I; □, Type II; ○, Type III; △, Type IV

Fig. 15. Horizontal distribution of water mass at 100 m depth in 1986 after correcting seasonal variations of temperature. (a) winter, (b) spring, (c) summer, (d) autumn.

수온 보정은 수심 50m와 100m 모두 겨울과 봄철에 크게 하였기 때문에 보정에 의한 수괴분포의 변화도 겨울과 봄에 크게 나타났다. 동중국해와 대한해협 모두 보정을 하면 쿠로시오 해수(수괴 K)의 분포 해역이 줄어든 대신에 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)의 분포 해역이 늘어났다. 즉, 동중국해와 대한해협에서 겨울과 봄에는 주로 쿠로시오 해수(수괴 K)가 분포하는 것처럼 보이지만, 실제는 약간 변질된 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 넓게 분포하고 있는 것이다. 겨울과 봄철에 쿠로시오계 혼합수(수괴 I)가 단지 계절적인 수온 냉각에 의해 마치 쿠로시오 해수의 형태를 띠고 있는 것처럼 보이는 것이다.

본 연구에서 사용한 연안해수(수괴)의 수괴 범위를 보다 정밀하게 정의하기 위해서는 중국연안쪽의 많은 해양관측 자료가 필요하다. 또한 보다 정밀한 수괴분석을 위해서는 여름철 대기의 가열 효과 및 열의 공간적인 이류 효과의 정확한 계산이 필요할 것으로 여겨진다.

사 사

본 연구는 1998년 공주대학교 자체학술연구비 지

원을 받아 수행되었다. 또한 연구 자료의 일부를 일본의 후꾸오까현수산해양기술센타(福岡縣水產海洋技術センタ)으로부터 제공받은 데 대해 감사드린다. 논문의 심사과정에서 유익한 지적과 충고를 해주신 익명의 심사위원에게 감사드린다.

참고문헌

신홍렬, 1994, 대한해협과 동중국해에서의 계절별 수괴분포 분석. 한국지구과학회지, 15(2), 81-90.

신홍렬, 1995, 동중국해의 물리해황특성 연구(II)–계절별 해황특성–. 한국해양연구소, BSPE 00593-867-1.

안희수 · 오종실, 1984, 동하절에 있어서 동지나해에 나타나는 수괴의 비교분석. 한국지구과학교육학회지, 5(1), 33-43.

Beardsley, R.C., Limeburner, R., Yu, H. and Cannon, G.A., 1985, Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. Continental Shelf Research, 4, 57-76.

Cho, K.-D. and Yun, J.-H., 1990, In summer, the origin of Tsushima Warm Current Water in western channel of the Korea Strait-1, –On the water in surface layer–. Bulletin of the Korean Fisheries Technological Society, 26(2), 184-191.

Isobe, A., 1999, The Taiwan-Tsushima warm current system: Its path and the transformation of the water mass in the East China Sea. Journal of Oceanography, 55(2), 183-195.

Kim, K., Kim, K.-R., Rhee, T.S., Rho, H.K., Limeburner, R. and Beardsley, R.C., 1991, Identification of water masses in the Yellow Sea and the East Chian Sea by cluster analysis. In Oceanography of Asian Marginal Seas, edited. by K. Takano, Elsevier Oceanography Series, 54, 253-267.

Japan Meteorological Agency, 1987, The Results of Oceanographical Observations., No. 77, 1985, 356 p.

Japan Meteorological Agency, 1988, The Results of Oceanographical Observations., No. 78, 1986, 352 p.

Lim, D.-B., 1971, On the origin of the Tsushima Current Water. Journal of the Oceanological Society of Korea, 6(2), 85-91.

Lie, H.-J. and Cho, C.-H., 1994, On the origin of the Tsushima Warm Current. Journal of Geophysical Research, 99(C12), 25081-25091.

Lie, H.-J., Cho, C.-H., Lee, J.-H., Niller, P. and Hu, J.-H., 1998, Seperation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. Journal of Geophysical Research, 103(C2), 2963-2976.

Nagata, Y., 1981, Oceanic conditions in the East China Sea. Proceedings of the Japan China Ocean Study Symposium, 25-41.

National Fisheries Research and Development Agency, 1987, Annual Report of Oceanogrphic obserbations. 39, 1985, 548 p.

National Fisheries Research and Development Agency, 1988, Annual Report of Oceanogrphic obserbations. 40, 1986, 536 p.

Nitani, H., 1972, Beginnning of the Kuroshio. In Kuroshio: Its physical aspects, edited. by H. Stommel and K. Yoshida, University of Tokyo Press, 129-156.

Sawara, T. and Hanzawa, Y., 1979, Distribution of water type in the East China Sea. Umi to Sora, 54(4), 135-148 (in Japanese).

Yamashiro, T., Maeda, A., Sakurai, M. and Ichikawa, H., 1990, Mean velocity distribution and transport of the Kuroshio referred to GEK surface velocity in the East China Sea. UMI TO SORA, 66(3), 181-190 (in Japanese).

Kondo, M., 1985, 東シナ海.黃海漁場の海況に關する研究 - I, 50m 深及び底層 における平均水溫. 鹽分の分布. 西海區水產研究所研究報告, 62, 19-66.

2000년 10월 18일 원고 접수
2001년 2월 1일 수정원고 접수
2001년 2월 2일 원고 채택