

동중국해 북부 해역 표층의 평균적 해황과 chlorophyll-a의 분포

최용규 · 서영상 · 성기탁 · 윤원득 · 김상우

국립수산과학원 해양연구팀

(2007년 9월 6일 접수; 2008년 1월 15일 채택)

Mean Characteristics of Temperature, Salinity and Chlorophyll-a at the Surface Water in the Northern East China Sea

Yong-Kyu Choi, Young-Sang Suh, Ki-Tack Seong,
Won-Duk Yoon and Sang-Woo Kim

Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

(Manuscript received 6 September, 2007; accepted 15 January, 2008)

Abstract

In order to investigate the effect of inflow of Yangze river on the distribution of chlorophyll-a, the results of serial oceanographic observation during 2000-2005 were used. The oceanographic conditions in the northern East China Sea is influenced by the Tsushima Warm Current and low saline water derived from the Yangze river. The distributions of these water masses vary significantly by the season in the northern East China Sea. The sea surface temperature and salinity were stable and concentrations of chlorophyll-a were low in the eastern part of 126°E. On the contrary, the salinity was significantly influenced by the low saline water derived from Yangze river with the high concentrations of chlorophyll-a. It is suggested that the low saline water inflowed from the Yangze river affects high concentrations of chlorophyll-a in the northern East China Sea in summer.

Key Words : Oceanographic conditions, Tsushima Warm Current, Chlorophyll-a, East China Sea, Yangze river

1. 서 론

동중국해는 타이완 해협에 의해서 남중국해와 구분되고, 류큐(Ryukyu) 열도에 의해서 북태평양과 구분되고, 대한 해협을 통해서 동해와 연결된다. 그리고 북쪽으로는 황해와 접해있는데 일반적으로는 제주도 양자강 하구를 잇는 지선에 의해서 황해와

구분된다. 총면적은 125만 km²로 동해보다 크지만 수심 200 m 이천의 대륙붕이 전체 면적의 약 70%를 점하기 때문에 평균 수심은 약 188 m로 동해의 평균 수심의 약 1/7로 아주 얇고 용적도 23만 km³로 동해의 약 1/6에 지나지 않는다.

이와 같은 지리적 특성을 갖는 동중국해는 봄과 가을을 경계로 해서 계절풍의 변화가 뚜렷하며, 황하강이나 양자강 유출수의 영향이 뚜렷한 해황의 특징을 나타낸다. 즉, 양자강 하구역에서 겨울의 염분은 34까지도 나타나지만, 여름의 염분은 20까지 낮아져서 양자강 저염수가 나타난다. 이러한 저염

Corresponding Author: Yong-Kyu Choi, Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea
Phone: +82-51-720-2221
E-mail: ykchoi@momaf.go.kr

수의 일부는 쓰시마 난류를 따라서 동해로 일부 유입되기도 한다^{1,2)}.

한편 동중국해 북부해역은 한국 남해 연안수와 쓰시마 난류수와의 상호 작용으로 인하여 복잡한 해황을 나타내며 두 수괴의 상호 작용으로 인하여 전선의 형성에 따른 해황 변동의 계절적 변화가 뚜렷하다^{3,4)}. 이에 따라서 주요 어업 자원의 어황이 변하기도 한다^{5,6)}.

이처럼 동중국해 북부 해역은 우리나라의 남해 연안과 접하고 있어 해황의 계절 변화가 뚜렷하고 또한 주요 어업 자원의 회유 경로 및 생육장으로서의 역할을 하기 때문에 지리적으로나 해양학적으로 중요한 해역이다⁷⁻¹²⁾. 따라서 본 연구는 동중국해 북부 해역에서 기초 생물량의 파악에 중요한 인자인 chlorophyll-a의 평균적인 분포 특성을 수온과 염분에 의한 평균적인 해황과 관련하여 살펴보았다.

2. 자료 및 방법

본 연구에 사용된 자료는 지난 6년(2000~2005)간 동중국해 정선 관측선인 315(11개 정점), 316(11개 정점) 그리고 317선(10개 정점)의 총 32개 정점의 표층에서 조사된 chlorophyll-a의 자료를 사용하였다¹³⁾. Chlorophyll-a 측정은 국립수산과학원의 시험 조사선인 탐구 1호를 주로 이용하여 2000년부터 관측이 시작되어 연간 4회(2월, 5월, 8월 그리고 11월) 현장 조사를 실시하고 있다(Fig. 1). 제주도를 중심으로 서쪽 해역은 수심이 60 m 이천으로 얕으며 제주도

동쪽은 수심이 100 m 이심으로 깊다. 또한 이 해역은 쓰시마 난류가 한국 남해안으로 접근하여 황해나 동해로 흘러가는 유로에 해당하며 또한 주요 어업 자원의 회유 경로이자 월동장이기도 하다. 따라서 해양학 및 수산학적으로 아주 중요한 해역이라고 할 수 있다.

지난 5년(2000~2005)동안 동중국해 북부해역의 해황에 따른 chlorophyll-a의 변동을 보기 위하여 수온, 염분 그리고 chlorophyll-a의 변동 계수를 사용하였다. 수온과 염분 자료는 해양조사연보¹⁴⁾를 사용하였다. 변동 계수(coefficient of variance)는 자료가 균일하게 분포하고 있는 경우 인자의 변동성을 설명하는데 유용하다. 즉, 변동 계수 $c.v. = S.D./\bar{x}$ 이며, 여기서 S.D.는 변수의 표준 편차이고, \bar{x} 는 변수의 평균값이다.

3. 결과 및 고찰

동중국해 북부 해역의 평균적인 해황을 파악하기 위하여 지난 6년(2000~2005)간의 평균 수온과 평균 염분의 수평 분포도를 계절별로 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다.

동중국해 북부 해역에서 2월의 경우, 동쪽과 서쪽 해역의 수온차가 약 7°C로 가장 크게 나타났다. 8월에는 동쪽과 서쪽의 수온차이가 거의 1°C 이므로 작게 나타났다. 이러한 동고서저의 수온 분포는 연교차에서도 확연히 나타났다. 즉, 동쪽 해역에서는 연교차가 약 12°C인 반면, 서쪽에서는 연교차가 약 18°C였다. 이처럼 수심이 약 50 m 내외인 서쪽 해역은 연교차가 크고 동쪽보다 수온이 낮은 분포를 나타내었다. 반면에 수심이 약 150 m 내외인 동쪽은 쓰시마 난류의 영향^{1,7,9,12)}으로 연교차가 작고 서쪽보다 수온이 높은 동고서저의 분포를 나타내었다.

Fig. 3은 2월, 5월 8월 그리고 11월의 평균적인 염분의 수평 분포도를 각각 나타낸 것이다. 수온 분포와 같이 염분의 분포도 해역별로 동고서저의 분포를 나타내었다. 동중국해 북부해역의 염분은 2월에 33~34 내외의 분포를 보이지만 5월부터는 다소 염분이 낮아져서, 8월에 양자강 하구와 가까운 서쪽은 28이하의 염분을 나타내는 반면에 쓰시마 난류의 영향을 받는 동쪽은 32이상의 염분 분포를 보였다.

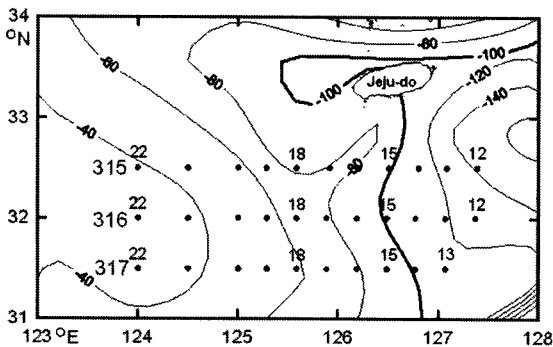


Fig. 1. Sampling stations of chlorophyll-a, and temperature and salinity observations in the surface water in the northern East China Sea. Negative numbers with contours indicate the depth in meter.

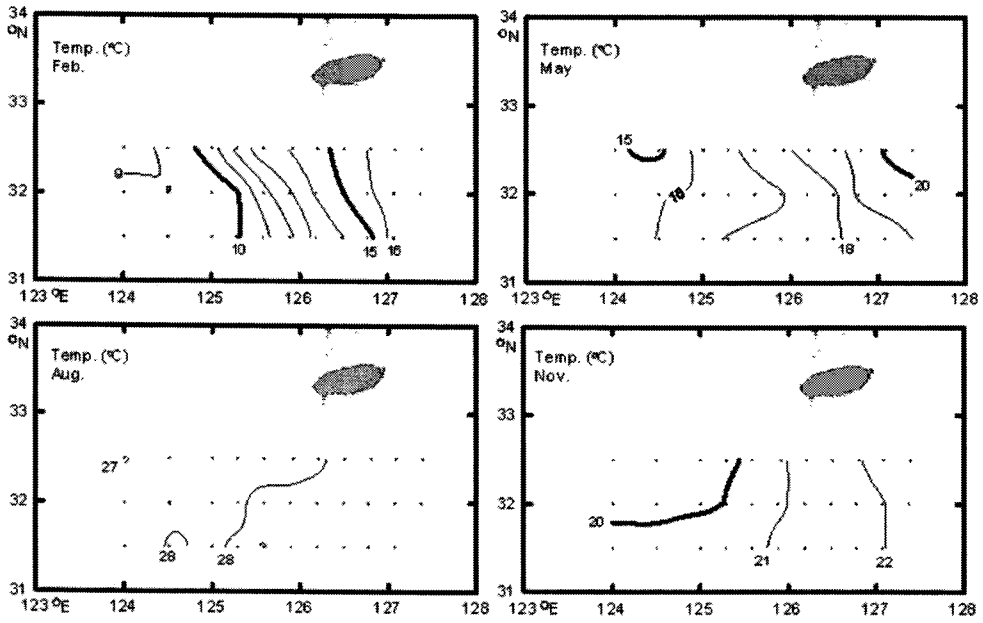


Fig. 2. Horizontal distributions of mean temperature at the sea surface in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

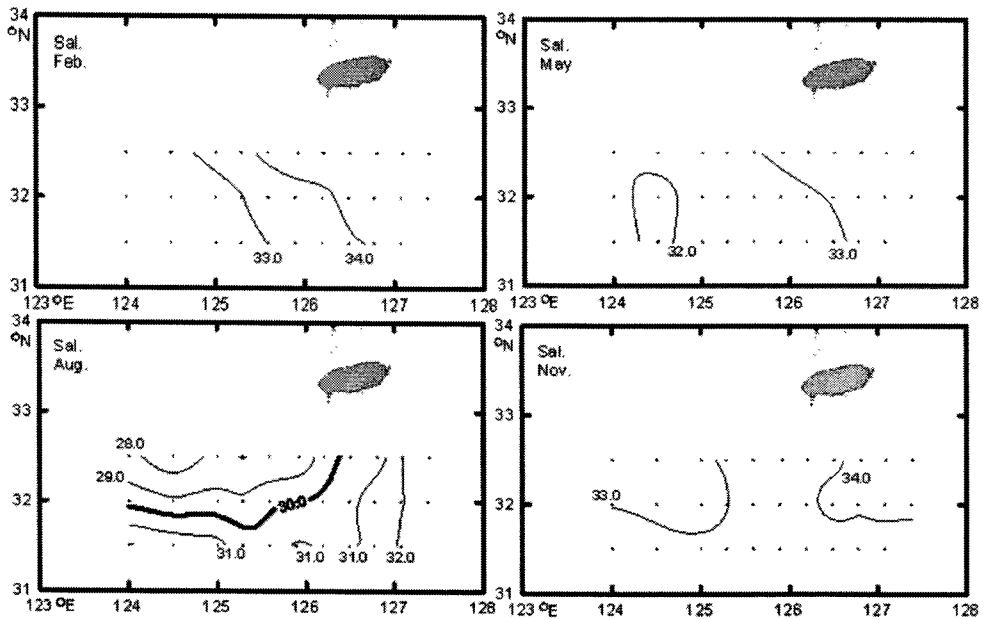


Fig. 3. Horizontal distributions of mean salinity at the sea surface in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

11월에는 2월과 유사한 범위의 염분 분포를 나타내었다. 동중국해에서의 해황은 여름철에는 외해로

확장하는 양자강수의 영향을 많이 받고 겨울철에는 강한 북서 계절풍에 의해서 난류수의 황해 유입이

발생한다¹⁵⁾. 또한 동중국해에서 양자강 저염수에 기인한 저염분화는 여름에 증가하여 쿠로시오 표층수의 저염화에 기여한다⁹⁾. 이와 같이 양자강 저염수는 여름철에 동중국해에서 쓰시마 난류의 표층을 접하면서 동해로 유입된다¹²⁾. 이러한 양자강 저염수의 영향 때문에 동중국해 북부해역에서 염분의 분포는 수온의 분포와 마찬가지로 동고서저의 분포를 나타내었다.

Fig. 4는 2월, 5월 8월 그리고 11월의 평균적인 chlorophyll-a의 수평 분포도를 각각 나타낸 것이다. 2월에는 경도 125°E를 따라서 0.5 mg/m³으로 높게 나타났지만, 5월과 8월에는 124°E의 서쪽 해역에서 가장 높게 나타났다. 그리고 11월에는 전반적으로 0.2~0.5 mg/m³이었다. 이처럼 식물 플랑크톤의 대증식이 발생하는 5월에 높게 나타나며, 또한 양자강 저염수의 영향을 받는 서쪽 해역에서 5월과 8월에 chlorophyll-a의 농도가 높게 나타났다.

Fig. 5는 2월, 5월 8월 그리고 11월의 수온의 변동 계수를 나타낸 것이다. 2월에는 경도 125~126°E의 중부 해역에서 변동 계수가 10 이상으로 높았다. 5월에는 경도 126°E의 이서 해역에서 변동 계수가 10 이상으로 높았으며, 8월과 11월에도 미세하지만 경

도 125°E의 이서 해역에서 변동 계수가 높게 나타났다. 2월에 중부 해역에서 변동 계수가 높은 것은 겨울철에 뚜렷하게 나타나는 수온 전선의 변동 때문으로^{3,16)}, 이 해역에서는 고온 고염인 쓰시마 난류로부터 분기된 제주 난류의 계절 변동이 뚜렷하기 때문이다^{11,16)}.

Fig. 6은 2월, 5월 8월 그리고 11월의 염분의 변동 계수를 나타낸 것이다. 전반적으로 염분의 변동 계수는 8월에 가장 뚜렷하다. 즉, 8월에 125°E 이서 해역에서 10 이상으로 가장 크게 나타났다. 동중국해에서는 쓰시마 난류뿐만 아니라 양자강 저염수의 유량이나 방향의 계절 변화가 크다^{7~9,11,12,16)}. 김¹⁶⁾은 염분의 변동 계수가 큰 해역은 양자강 저염수의 영향을 가장 크게 받는 해역이라고 하였는데, 본 연구에서도 여름철에 뚜렷하게 나타나는 양자강 저염수의 영향 때문에 8월에 제주도의 이서 해역에서 변동 계수가 크게 나타났다.

Fig. 7은 2월, 5월 8월 그리고 11월의 chlorophyll-a의 변동 계수를 나타낸 것이다. 전반적으로 제주도 이서 해역에서 2월에는 1.2 이상, 5월에는 1.6 이상 그리고 8월에는 2.0 이상으로 변동 계수가 높게 나타났다. 그러나 11월에는 제주도 이서 해역의 변동

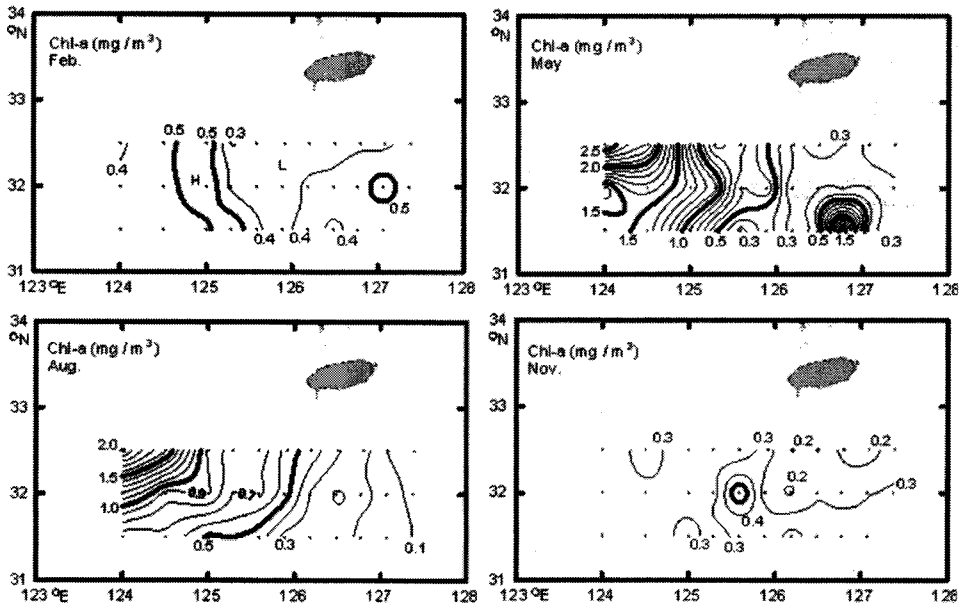


Fig. 4. Horizontal distributions of mean chlorophyll-a at the sea surface in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

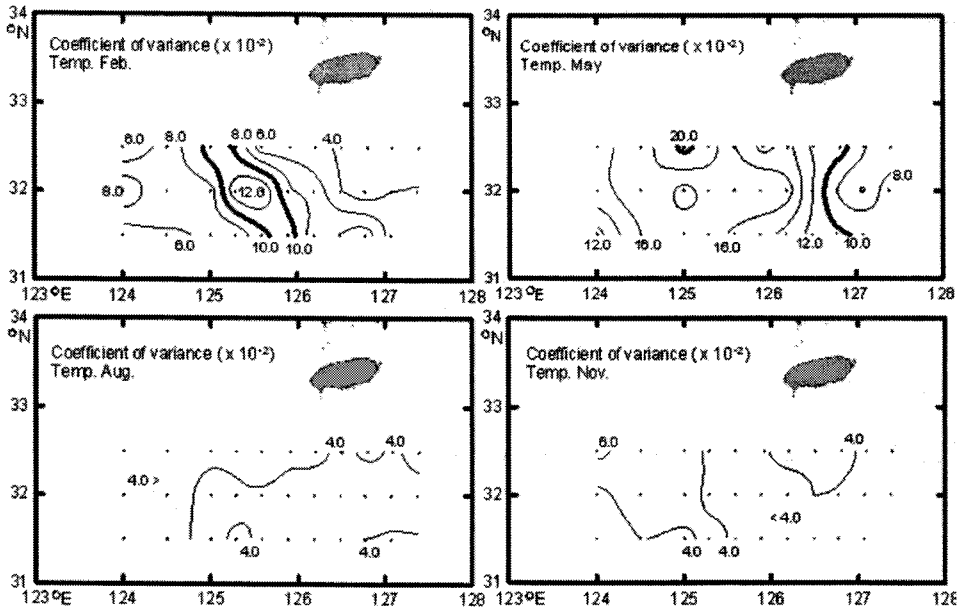


Fig. 5. Coefficient of variance in temperature in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

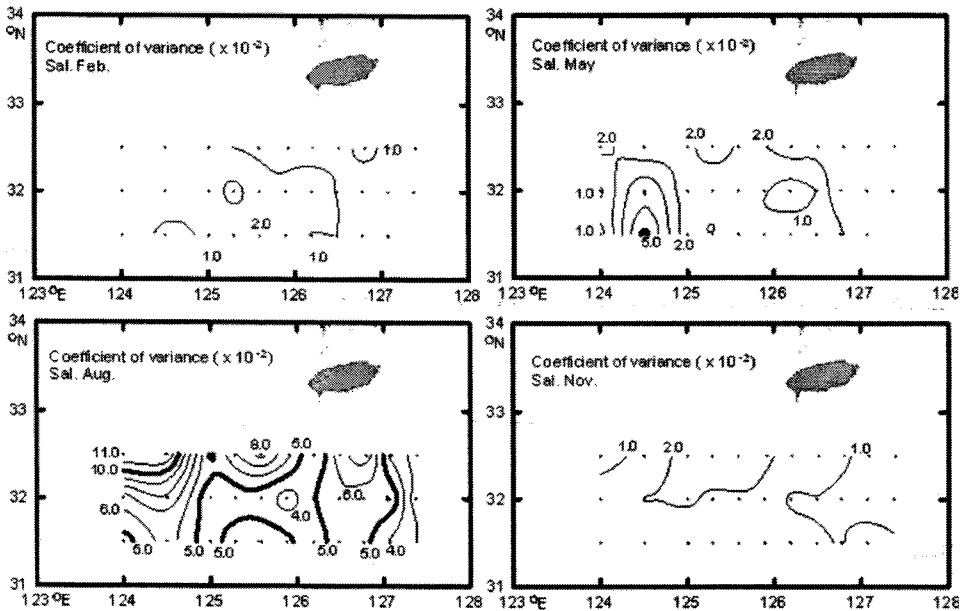


Fig. 6. Coefficient of variance in salinity in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

계수가 다른 해역에 비해서 높지 않았다. 제주도 이
서 해역은 수온이나 염분과 마찬가지로 양자강 저

염수의 유량이나 흐름의 방향에서 그 변화가 큰 해
역으로^{8,9,11,12}, 빈영양의 쓰시마 난류수에 비해서 기

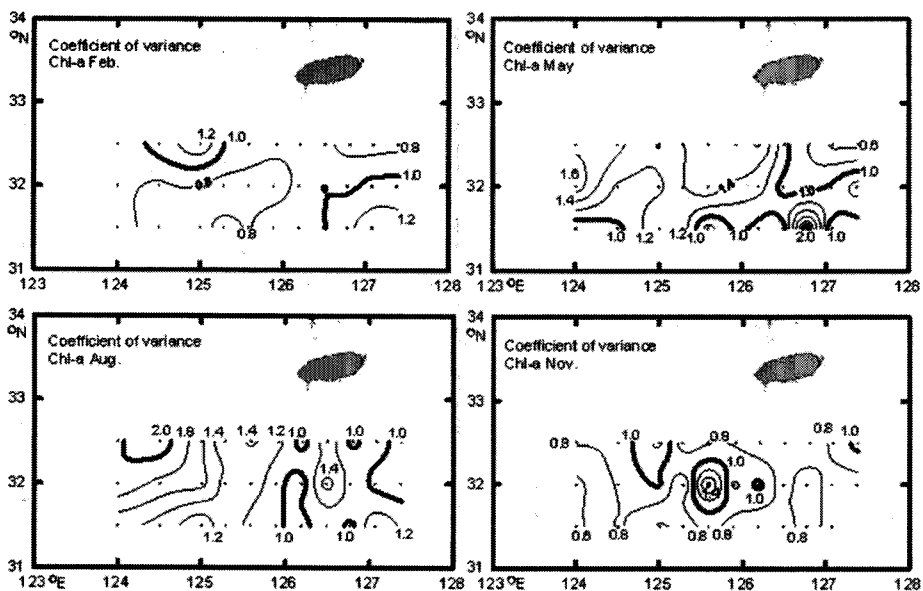


Fig. 7. Coefficient of variance in chlorophyll-a in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

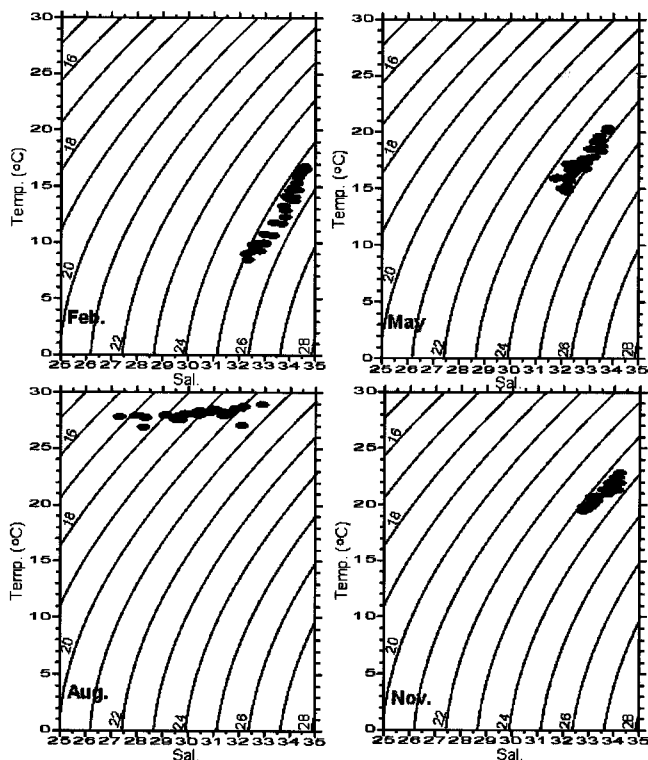


Fig. 8. Plots of mean temperature versus mean salinity in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

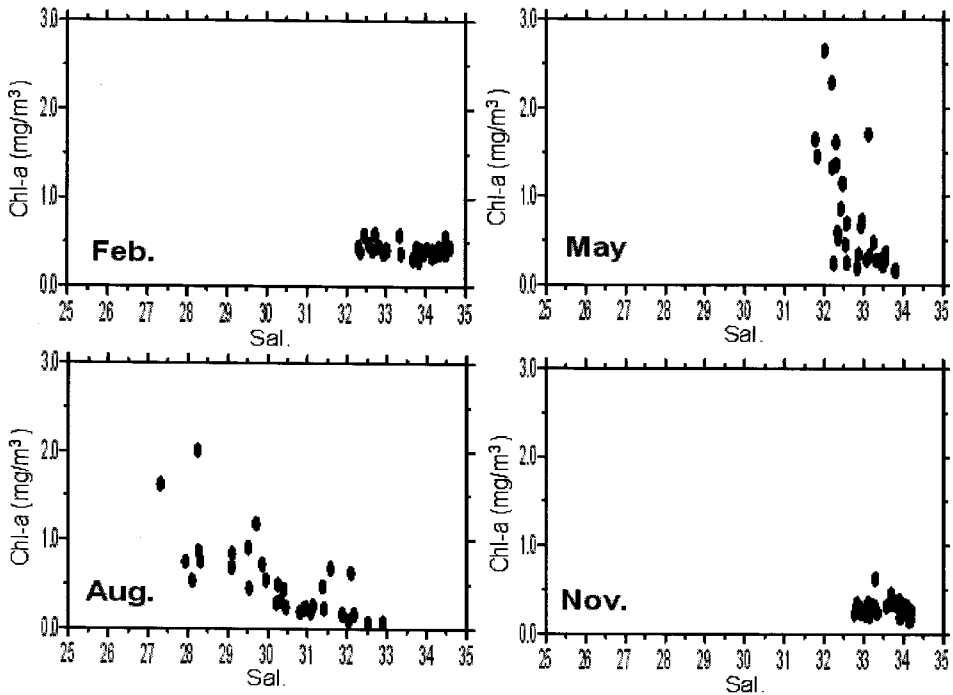


Fig. 9. Plots of mean chlorophyll-a versus mean salinity in February (upper left), May (upper right), August (lower left) and November (lower right).

초 생산력이 높게 나타난다고 할 수 있다.

동중국해 북부 해역은 고온 고염한 쓰시마 난류수와 저염한 양자강 희석수와의 상호 작용으로 인하여 해황의 변동이 나타난다고 할 수 있다. 따라서 염분에 대한 수온과 chlorophyll-a의 관계를 보기 위하여 Fig. 8에 평균적인 T-S도를 나타내었고, Fig. 9에 염분에 대한 chlorophyll-a를 나타내었다.

2월에는 밀도가 약 25.0~26.0 kg/m³의 분포를 보이는 수형들이 5월에는 23.0~24.0 kg/m³으로 낮아졌다. 그리고 8월에는 저염수가 뚜렷하게 나타나므로 해서 그 밀도의 분포가 16.0~21.0 kg/m³으로 가장 밀도가 낮았다. 이러한 수형의 분포는 11월에 23.0~24.0 kg/m³으로 5월과 유사한 분포 범위를 나타내었다(Fig. 8). 즉, 2월에 가장 밀도가 높으며 염분 또한 높았다. 그리고 8월에 가장 저염한 수형 때문에 밀도가 가장 낮았다. 이에 따른 chlorophyll-a는 2월과 11월에는 염분 32 이상에서 0.6 mg/m³ 이하의 분포를 나타내었지만, 5월에는 염분 32이하에서 chlorophyll-a가 1.0~2.5 mg/m³에 이르는 높은 분포를 나

타내었다. 8월이 되면서 염분이 30 이하에서 1.0~2.2 mg/m³의 분포였다.

4. 결 론

본 연구는 지난 6년간(2000-2005) 동중국해 북부 해역에서 관측한 해양조사자료를 이용하여 표층의 평균적 해황에 따른 chlorophyll-a의 분포 특성을 살펴 보았다. 그 결과, 동중국해 북부 해역에서 126°E를 중심으로 서쪽 해역은 쓰시마 난류수와 양자강으로 유입된 저염수와의 상호 작용에 의해서 복잡한 해황을 나타내었다. 또한 이 해역은 여름철 양자강 저염수의 영향을 받아 chlorophyll-a가 126°E의 동쪽 해역보다도 평균적으로 높은 농도를 나타내었다. 반면에 126°E의 동쪽 해역은 비교적 안정한 수괴 분포를 나타내었으며, chlorophyll-a의 계절적 변동이 동쪽 해역보다 크지 않았다. 이는 동중국해 북부해역에서 여름철에 양자강 저염수의 영향이 기초 생산력에 큰 영향을 미치고 있음을 시사하고 있었

다. 그러나 산사댐(Three-gorge Dam)이 완공되어 양자강의 홍수 조절 기능이 시작된다면, 동중국해 북부 해역 및 양자강 저염수의 영향을 받는 한반도 주변 해역은 물리적 영향뿐만 아니라 생물, 화학적인 영향까지도 변화가 있으리라 예상된다. 이러한 변화를 파악하기 위해서는 앞으로도 지속적인 해양 관측이 필요하며 축적된 자료의 분석에도 계속적인 연구가 필요하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 해양자료센터 운영(RP-2008-ME-004)의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 현장 조사를 위하여 일선에서 노고를 아끼지 않으신 사업 참여 연구원들께 감사의 말씀을 드립니다. 현장 관측에 도움을 주신 탐구 1호와 탐구 3호의 선장님과 선원분들께 감사 드립니다.

참고 문헌

- 1) Moriyasu S., 1972, The Tsushima Current, in Kuroshio, its physical aspects, eds, Stommel, H. and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 353-369.
- 2) 조규대, 최용규, 1988, 대마난류 수형의 계절변화, 한국수산학회지, 21(6), 297-306.
- 3) 공영, 1971, 한국 남해 연안 전선에 관한 연구, 한국해양학회지, 6(1), 25-36.
- 4) 손태영, 이상호, 이재철, 김정창, 2003, 동중국해 북부 해역의 겨울철 수계와 전선구조, 한국해양학회지, 바다, 8(3), 327-339.
- 5) 조규대, 김정창, 최용규, 1989, 한국근해 병어류의 자원생물학적 연구, 5. 분포와 어황, 한국수산학회지, 22(5), 294-305.
- 6) 김주일, 김진영, 최용규, 오현주, 추은경, 2005, 한국 남해 연안 전선 구조에 따른 멸치 알의 분포, 한국어류학회지, 17(3), 205-216.
- 7) Pang I. C., Rho H. K., Kim T. H., 1992, Seasonal variations of water mass distributions and their causes in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island, Bull. Korean Fish. Soc., 25(2), 151-163.
- 8) Chen C., Beardsley R. C., Limeburner R., Kim K., 1994, Comparison of winter and summer hydrographic observations in the Yellow and East China Seas and adjacent Kuroshio during 1986, Cont. Shelf Res., 14(7/8), 909-920.
- 9) Lie H. J., Cho C. H., 1997, Surface Current Fields in the eastern East China Sea, J. Korean Soc. Oceanogr., 32(1), 1-7.
- 10) 오현주, 강영실, 박정훈, 1999, 동중국해 북부해역 클로로필-*a*의 분포특성과 해양환경특성, 한국수산학회지, 32(1), 88-97.
- 11) Lie H. J., Cho C. H., Lee J. H., Lee S., Tang Y., 2000, Seasonal variation of the Cheju Warm Current in the Northern East China Sea, J. Oceanogr. 56, 197-211.
- 12) Lie H. J., Cho C. H., 2002, Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea, Fisheries Oceanogr., 11(6), 318-328.
- 13) 국립수산과학원, 2007, 동중국해 Chlorophyll-*a* 및 부유물질 자료집(2000~2005), 국립수산과학원, SP-2007-ME-011, 38pp.
- 14) 국립수산과학원, 2001~2006, 해양조사연보, 제49권~제54권, 국립수산과학원, 11-1520635-0000009-10.
- 15) 승영호, 1992, 한반도 주변의 수괴와 해수순환, 27(4), 324-331.
- 16) 김복기, 1982, 한국 남해의 수온과 염분의 변동 계수, 한국해양학회지, 17(2), 74-82.