

|  |   |  |
|--|---|--|
|  |   | <p style="text-align: center;">↑<br/>5cm<br/>↓</p> <p style="text-align: center;"><b>원격탐사기술을 활용한 동해 어장변동<br/>및 예측에 관한 연구</b>(18포인트 고딕계열)<br/>(중점과제명)</p> <p style="text-align: center;"><b>The study on the variation and<br/>estimate of fisheries condition<br/>in the East Sea using satellite<br/>remote sensing</b></p> <p>수산물 수요추정 (세부과제명)<br/>(17포인트 고딕계열)<br/>A Demand Analysis ……………<br/>(15포인트 명조계열)</p> <p style="text-align: center;">2000. 12<br/>(16포인트 고딕계열)</p> <p style="text-align: center;"><b>부경대학교 위성정보과학연구소</b><br/>(17포인트 명조계열)</p> |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p style="text-align: center;">주의<br/>(편집순서 8)</p> </div> <p style="text-align: center;">↑<br/>(15포인트<br/>고딕계열)<br/>↑<br/>6cm<br/>↓</p> | <p style="text-align: center;">수<br/>산<br/>물<br/>수<br/>급<br/>에<br/>관<br/>한<br/>연<br/>구</p> <p style="text-align: center;">해<br/>양<br/>수<br/>산<br/>부<br/>↑<br/>3cm<br/>↓</p> | <p style="text-align: center;">↓<br/>9cm<br/>↑</p> <p style="text-align: center;"><b>해 양 수 산 부</b>(17포인트 명조<br/>계열)</p> <p style="text-align: center;">↓<br/>4cm<br/>↑</p>   |

## 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “원격탐사기술을 활용한 동해 어장변동 및 예측에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 12월 일

주관연구기관명 : 부경대학교 위성정보과학연구소

총괄연구책임자 : 조 규 대

세부연구책임자 : 조 규 대 김 영 섭

연 구 원 : 김 상 우 김 동 선

이 충 일 박 성 은

연 구 보 조 원 : 박 상 철 염 종 민

이 미 숙 이 가 영

이 용 희 윤 상 원

최 연 주 조 인 수

황 화 정 최 윤 선

# 요 약 문

I. 제 목: 원격탐사기술을 활용한 동해 어장변동 및 예측에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

광대하고 동시에 시공간적으로 현저하게 변하는 광역 해양의 현상을 선박에 의한 해양관측으로 조사를 하기에는 한계가 있다. 또한, 기후변동에 따른 광역 어장의 정확한 조업위치 파악 및 어장예보의 어려움이 있다. 반면에 위성 해양원격탐사는 접근 불가능한 해역의 관측 및 광범위한 동일해역을 주기적으로 반복 관측하여 장기간에 걸쳐 해양 현상을 모니터링 할 수 있다.

본 연구에서는 기존 어·해황 정보와 해양원격탐사 정보의 결합을 통한 수산자원관리 효율화와 어장/수산자원관리의 정보화를 통해 어민의 경제적 효율성 증대, 기후 변동에 따른 어장 예측 능력 제고, 수산 GIS 개발을 위한 기초 자료로 활용되어 수산해양정책 의사결정에 기여하고자 하였다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

1차년도에는 현장관측 및 위성원격탐사 자료 수집 및 처리를 주로 하였으며, 2차년도에는 구축된 자료의 처리 및 해석에 중점을 두었다. 연구개발 내용은 다음과 같다.

- 선박 현장 관측자료: 국립수산과학원 정선 관측 자료 (1960-2000년), 일본기상청 (1972-1999년), 일본해구수산연구소 발행의 동해 수온의 평균상 자료,
- NOAA 제공 SOI, NINO3, SST
- 다중 위성자료의 처리 및 분석 : 해표면수온 (NOAA/AVHRR 등), 어선분포도 파악 (DMSP/OLS), 식물플랑크톤 색소농도(SeaWiFS 등), 연근해 해양·기상정보(NCEP/NCAR)
- 위성자료와 현장관측자료간의 중첩 분석에 의한 경년별, 계절별, 월별 어장형성해역 파악
- 어장 환경에 영향을 미치는 인자들간의 통계분석 및 오징어 어장형성 해역 분석
- 대한해협을 포함한 동해 전해역의 시기별 어장도자료 수집 및 처리

## IV. 연구개발결과

제 1세부과제는 어장환경 변동 및 예측에 관한 연구로서 어·해황 자료 수집 및 D/B화하는데 중점을 두고 있다. 현재 한국 동해의 해양조사는 국립수산과학원의 정선 관측에 의해 1960년부터 현재까지 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월의 격월 간격으로 이루어지고 있다. 그러나 그 조사해역이 연안해역에 제한되어 있어 동해의 전역에 대한 어·해황 분석을 하기에는 부족한

면이 있다. 따라서 동해의 일본 연안해역 및 동해 중부 및 동해 북부 해역에 걸쳐 해양 조사를 실시하는 일본 기상청 (JMA)의 관측 자료를 수집하여 국립수산과학원의 자료와 함께 D/B화하였다. 또한, 어항 자료는 오징어 채낚기어업과 선망어업을 대상으로 자료를 수집하여 처리하였다.

동해의 수온은 1년, 4년~8년 그리고 약 16년 주기에서 강한 변동을 나타낸다. 이러한 동해 상층부의 수온 변화는 쓰시마난류 세력의 변동 주기와 잘 일치한다. 동해의 수온 변화에 영향을 미치는 쓰시마난류는 엘니뇨와 특정 변동 주기에서 연관성을 가졌다. 4.8년과 16.26년의 특정 변동 주기에 대해, 1.34년과 4.53년의 위상차를 두고 상호 연관되어 있다. 16년 정도의 변동 주기는 쓰시마난류 세력의 강약 현상과 관련이 깊은 쓰시마난류의 세력이 강해지는 시기에는 난수역의 동해 중앙부 확장과 사행경로 (meandering path)가 복잡해지며, 난수성 와동류와 냉수성 와동류도 뚜렷하게 형성되었다. 그리고 극전선의 분포 형태가 복잡해지며, 북쪽 해역의 상층부 순환에 영향을 끼쳤다. 쓰시마난류의 세기가 약해지는 시기에는 난수역이 일본 연안에 근접하고 사행 경로의 형태가 단조로우며, 소용돌이의 생성이 뚜렷하지 않았다. 또한 냉수역이 동해 남부 해역에 넓게 분포하였다.

제 2세부과제는 다중위성 위성원격탐사 자료에 의한 식물플랑크톤 색소농도의 시공간 변동과 수온영상과 야간불빛감지 위성을 이용한 동해 오징어어장변동에 관한 연구 결과를 나타내었다.

식물플랑크톤 색소농도 분포는 연 2회(봄, 가을)의 불룸(bloom)과 하계에 저농도를 보였다. 특히, 경년별 차이는 있지만, 봄철인 4월은 극전선 남부해역에 불룸이 형성되고, 그 보다 한 달 늦은 5월에는 극전선 북쪽해역에 형성되는 것이 특징적이다.

야간 오징어 조업어선의 경년별 분포를 보면, 1993년부터 한국 동해 연안역, 일본 북부 연안역 및 극전선역에서 조업어선의 분포가 급증함을 알 수 있다. 다만, 연구기간 중 1998~1999년은 일본 북부 연안에서 그 분포가 작았다. 특히 흥미로운 것은 1998년의 경우 전 세계적으로 강한 엘니뇨가 발생하여 한반도에도 그 영향을 미쳤던 해였으므로 오징어 어장에도 그 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

야간조업어선의 월별 분포는 대마도와 오키섬 주변, 춘계에는 일본 혼슈열도를 따라 분포, 하계에는 한국 동해안과 울릉도 중심, 추계에는 동해 북부 및 한국 동해안과 동해 중부해역에 나타났다. 어장의 분산은 전체 월에 대해 동서방향보다 남북방향이 크게 나타났다. 특히, 10월에 어장의 남북 분산이 가장 크고, 이것은 어획량이 최대인 시기와 잘 일치하였다.

현장관측 수온과 위성추정 50m 수온의 관계는 타 계절에 비해 여름철(6월~8월)에 낮은 상관을 보였으며, 이것은 하계의 성층 발달과 동시에 동해에 존재하는 크고 작은 난수와동류(warm eddy)와도 관계가 있을 것으로 생각된다. 연평균 경년별 위성추정 50m 수온분포와 오징어 어장과와의 관계에서 어장의 북쪽 한계 수온은 1993~1996년 및 1997~1999년에는 12℃ 이상에서 보이고, 1996년과 2000년에는 11℃ 이하에서 나타났다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 위성원격탐사에 의한 시기별 그리고 해황에 따른 주 어장형성 해석 및 변동을 예측을 위한 기초 자료를 제공함으로써 위성 어업시대 구현하는데 기여하고자 한다.
- 또한, 본 연구결과의 활용은 국립수산과학원과 협조하여 일반 어민들에게 제공하고자 한다.

## S U M M A R Y

### **The study on the variation and estimate of fisheries condition in the East Sea using satellite remote sensing**

#### **1. Study on the variation and estimate of fisheries conditions**

This study is focused on the relationship between the variation of the Tsushima Warm Current (TWC) and oceanic conditions in the East Sea for construction basis information to predict oceanic conditions and fisheries conditions. Serial station data of National Fisheries Research and Development Institute and Japan Meteorological Agency are used for data analysis. SOI (Southern Oscillation Index) and NINO3 SST data as index of El Nino event are used.

The variation of the TWC in the East Sea shows periodicity like annual variation, 4-8years and about 16years. Especially, there is close correlation between variation of TWC's strength and about 16year periodicity. There is close correlation between the variation of the TWC and El Nino event. In particular, the TWC has highly correlation with El Nino event at 16year period. The long-term variation of the TWC has influence on its distribution area and current circulation in the East Sea.

TWC's variation is closely connected with the variation of El Nino at specially fixed period. Variation of TWC has connection with that of El Nino in 4.8year and 16.26year period and time lag in 4.8 year and 16.26year periodicity is 1.34years and 4.53years, respectively. In particular, about 16year periodicity between TWC and El Nino is related to the variation of TWC and current circulation in the East Sea.

In the period when TWC's strength increase, TWC spreads widely toward central part of the East Sea and warm eddies and cold eddies are formed. The meandering path of TWC become complicated pattern and polar front and current circulation in the northern part of the East Sea shrink. strong thermal front between cold water mass and warm water mass is formed. However, in the period when TWC's strength decrease, distribution area of TWC is leaning to the side around coastal waters of Japan and formation of eddies is not clearness. The meandering path of TWC is simple and polar front and cold water mass in the northern part of the East Sea moves toward southern part of the East Sea. A thermal front between cold water mass and warm water mass is weaker than that in the

strong period of TWC.

## **2. Fisheries conditions monitoring using satellite remote sensing data**

In short-lived squids, recruitment success most likely depends on the physical and biological environments at the spawning and nursery grounds. Annual catches of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in Japanese and Korean waters have markedly increased since the late 1980s, and recent catches have equaled those of the 1960s. Sakurai et al. (2001) suggested that the winter spawning area of *T. pacificus* in the East China Sea shrank when adult stocks decreased during a cool regime that occurred before 1988, and that its fall and winter spawning areas extended and overlapped in the East Sea and East China Sea when adult stocks increased during a warm regime that occurred after 1989.

In the present study, we examined the relationship between the 50m temperature estimated by remote sensing multi-channel sea surface temperature (MCSST) and fishing ground (squid fishing ground) detected by nighttime visible channel defense meteorological satellite program (DMSP) / operational linescan system (OLS) images in the East Sea during 1992–2000. The DMSP/OLS data supported by national geophysical data center (NGDC) are ranged the digital number (DN) from 0 to 63; a spatial resolution is 2.7 km.

And a monthly and bimonthly report of in-situ temperature data on major important serial oceanographic data by supported National Fisheries Research & Development Institute and Japan Oceanographic Data Center are used for this study

The results are as follows: The numbers of nighttime fishing boat were distributed the highest in October, and the lowest in April during this study. A nighttime fishing grounds have concentrated in the East Korea Warm Current region, coastal regions of Honshu Island, and Polar front region. Fishing grounds have distributed 11–18°C of estimated 50m temperature from the satellite data. Relationship between estimated 50m temperature and the distributed fisheries boats showed that the north boundaries of fishing grounds have distributed the temperature of below 12°C from 1996 to 2000 and that of 13–15°C during 1993–1995 and 1997–1999. Stable fishing grounds appeared near the Korea/Tsushima Strait from January to March. The center of fishing grounds in spring (April–Jun) have moved to the northward than that in winter, and variations appeared largely in winter. In summer (July–September), center of fishing grounds have formed near the Uleung Island in the south east coast of Korea, and in autumn maximum fishing ground appeared in October, the fishing ground southward from November.

## CONTENTS

|  |    |
|--|----|
| <b>Chapter 1. The summary of research development task</b> . . . . .                         | 12 |
| Section 1. The necessity of research development . . . . .                                   | 12 |
| Section 2. The purpose of research development . . . . .                                     | 13 |
| Section 3. The purpose and content of yearly research development . . . . .                  | 13 |
| <b>Chapter 2. The present state of technique development in home and abroad</b><br>. . . . . | 14 |
| Section 1. The state in home . . . . .   | 14 |
| Section 2. The state in abroad . . . . .   | 14 |
| Section 3. The future prospect . . . . .   | 17 |
| Section 4. The appropriateness of technique importation . . . . .                            | 17 |
| <b>Chapter 3. The results of contents of research development achievement</b><br>. . . . .   | 18 |
| Section 1. The contents of research . . . . .  | 18 |
| 1. The study on the variation and estimate of fisheries conditions . . . . .                 | 18 |
| 가. Data . . . . .  | 18 |
| (1) Oceanographic observation data in the East Sea . . . . .                                 | 19 |
| (2) The fishery data in the East Sea . . . . .   | 22 |
| 나. Methods . . . . .   | 22 |
| (1) The analysis of oceanic conditions . . . . .   | 22 |
| (2) Wavelet analysis . . . . .   | 24 |
| 2. Fisheries conditions monitoring by remote sensing using satellite . . . . .               | 24 |
| 가. Data and methods . . . . .  | 24 |
| (1) pigment concentration of chlorophyll measured by satellite . . . . .                     | 24 |
| (2) Sea surface temperature measured by satellite . . . . .                                  | 25 |
| (3) Nighttime fishing ground measured by satellite . . . . .                                 | 26 |
| (4) Marine weather conditions . . . . .  | 27 |
| Section 2. The results of research . . . . .   | 27 |

|  |           |
|--|-----------|
| 1. The study on the variation and estimate of fisheries conditions                   |           |
| in the East Sea . . . . .  | 30        |
| 가. The variation of oceanic conditions . . . . .                                     | 30        |
| (1) Average oceanic conditions . . . . .   | 36        |
| (2) The variation of oceanic condition in the Tsushima Warm Current                  |           |
| (TWC) region . . . . .   | 48        |
| (3) The variation of the TWC and oceanic conditions . . . . .                        | 58        |
| (4) The relationship between El Nino and the variation of oceanic                    |           |
| condition . . . . .  | 70        |
| 나. The variation of the fisheries conditions . . . . .                               | 70        |
| 2. Fisheries conditions monitoring by remote sensing using satellite . . . . .       | 70        |
| 가. Distribution of pigment concentration of phytoplankton measured by                |           |
| ocean color sensor of satellite . . . . .  | 70        |
| 나. Short term variation of nighttime fishing boats measured by satellite             |           |
| . . . . .  | 73        |
| 다. Annual variation of nighttime fishing boats . . . . .                             | 79        |
| 라. Monthly distribution and fishing ground center of nighttime fishing               |           |
| boats . . . . .  | 80        |
| 마. The relationships between sea water temperature measured by satellite             |           |
| and field observation data . . . . .   | 80        |
| 바. The relationships between fishing ground for squid and sea water                  |           |
| temperature estimated from satellite . . . . .                                       | 81        |
| 사. Wind, air temperature and precipitation on sea surface . . . . .                  | 81        |
| 3. The result of research . . . . .  | 95        |
| 가. Published paper . . . . .   | 95        |
| 나. Proceeding . . . . .  | 96        |
| <b>Chapter 4. Goal achievement and the contribution to relevant fields . . . . .</b> | <b>97</b> |
| 가. Achievement of research development goal . . . . .                                | 97        |
| 나. Estimation on goal achievement . . . . .  | 97        |

Chapter 5. Application plan of the results of research development  
· · · · · 98  
가. Application plan · · · · · 98  
나. Level and application types of high technology · · · · · 98  
Chapter 6. Science and technology information through abroad research  
development process · · · · · 99  
Chapter 7. Bibliography · · · · · 100

## 목 차

|   |    |
|---|----|
| <b>제 1 장 연구개발과제의 개요</b> . . . . .           | 12 |
| 제 1절 연구개발의 필요성 . . . . .                    | 12 |
| 제 2절 연구개발의 최종 목적 . . . . .                  | 13 |
| 제 3절 연차별 연구개발목표와 내용 . . . . .               | 13 |
| <b>제 2 장 국내외 기술개발 현황</b> . . . . .          | 14 |
| 제 1절 국내동향 . . . . .                         | 14 |
| 제 2절 국외동향 . . . . .                         | 14 |
| 제 3절 앞으로 전망 . . . . .                       | 17 |
| 제 4절 기술도입의 타당성 . . . . .                    | 17 |
| <b>제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과</b> . . . . .       | 18 |
| 제 1절 연구내용 . . . . .                         | 18 |
| 1. 제 1세부과제: 어장환경 변동 및 예측에 관한 연구 . . . . .   | 18 |
| 가. 자료 . . . . .                             | 18 |
| (1) 동해의 해양관측자료 . . . . .                    | 18 |
| (2) 동해의 어황자료 . . . . .                      | 19 |
| 나. 방법 . . . . .                             | 22 |
| (1) 동해의 해황 분석 . . . . .                     | 22 |
| (2) 웨이브렛 분석 (Wavelet analysis) . . . . .    | 22 |
| 2. 제 2 세부과제: 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링 . . . . . | 24 |
| 가. 자료 및 방법 . . . . .                        | 24 |
| (1) 위성관측 식물플랑크톤 색소농도 . . . . .              | 24 |
| (2) 위성관측 해양표면수온 . . . . .                   | 24 |
| (3) 위성관측 야간조업어장 . . . . .                   | 25 |
| (4) 해양기상 . . . . .                          | 26 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 제 2절. 연구결과                         | 27  |
| 1. 제 1 세부과제 : 어장환경 변동 및 예측에 관한 연구  | 27  |
| 가. 동해의 해황 변동                       | 30  |
| (1) 동해의 평년 해황                      | 30  |
| (2) 쓰시마난류 분포역의 해황 변동               | 36  |
| (3) 쓰시마난류의 변동과 동해의 해황 변동           | 48  |
| (4) 엘니뇨와 동해의 해황 변동과의 관계            | 58  |
| 나. 동해의 어황 변동                       | 63  |
| 2. 제 2 세부과제 : 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링 | 70  |
| 가. 해상센서에서 관측한 식물플랑크톤 색소농도의 분포      | 70  |
| 나. 위성 영상에서 관측한 야간조업 어선의 단기변동       | 73  |
| 다. 위성 관측 야간조업 어선의 경년변화             | 79  |
| 라. 야간조업 어선의 월별분포 및 어장 중심           | 80  |
| 마. 위성관측수온과 현장관측수온과의 관계             | 80  |
| 바. 위성 추정 수온과 오징어 어장과와의 관계          | 81  |
| 사. 해표면 바람, 기온, 강수량                 | 81  |
| 3. 연구결과 성과                         | 95  |
| 가. 논문게재 실적                         | 95  |
| 나. 연구성과 발표실적                       | 96  |
| <br>                               |     |
| 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도           | 97  |
| 가. 연구개발 목표의 달성도                    | 97  |
| 나. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가     | 97  |
| <br>                               |     |
| 제 5 장 연구개발결과의 활용계획                 | 98  |
| 가. 연구내용 및 활용계획                     | 98  |
| 나. 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용유형            | 98  |
| 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보        | 99  |
| <br>                               |     |
| 제 7 장 참고문헌                         | 100 |

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1절 연구개발의 필요성

새로운 UN 해양법 협약의 발효로 연안국 관할권이 확대됨에 따라 해양은 자유 이용의 시대에 서 분할 관리의 시대로 전환되고 있다. 이와 동시에 우리나라의 수산업은 한·일, 한·중 어업협정의 체결로 인한 어장 축소, WTO 체제에 따른 수산물 시장의 전면 개방, 자원관리형 어업을 위한 조업 규제 강화, 해양환경 오염에 따른 수산 자원의 감소 등으로 큰 어려움에 직면해 있다.

주변 연안 각 국은 자국의 연안자원을 정확히 파악하고 효율적으로 이용·관리하기 위한 여러 노력들을 행하고 있으며, 다원화되어 있는 현행 우리나라 연안자원 이용관리체제를 인적, 물적 자원을 최소화한 새로운 연구개발이 절실하다. 위성해양원격탐사의 활용은 접근 불가능한 해역의 관측 및 광역해역을 정보결합에 의한 수산자원관리 효율화와 어장자원관리 정보화를 통한 어민의 경제적 효율성 증대, 기후 변동에 따른 어장예측 능력 제고를 위한 기초자료로서 대단히 중요하다.

### 1. 기술적 측면

- 국가적 차원의 어·해양 시공간자료 구축시스템 필요성의 증대
- 기후변동에 따른 어장예보의 어려움의 증대
- 준실시간 어업정보 획득 및 제공 시스템 개발의 요구
- 광역 어·해양 정보 수집의 한계
- 기존 어·해양 정보와 해양원격탐사 정보의 결합을 통한 효율성 제고
- 광역 어장의 정확한 조업위치 파악의 어려움
- 정확한 어장환경 정보 수집/분석을 통한 수산자원관리의 필요

### 2. 경제·산업적 측면

- 어장/수산자원관리의 정보화를 통한 경제적 효율성 증대
- 어장/수산자원관리를 위한 효율적인 정보시스템 구축
- 수산해양학분야의 정보화를 통한 수산 경제활동의 안정화

### 3. 사회·문화적 측면

- 수산해양정보의 서비스 제공 확대
- 수산해양정책 수립에 필요한 기초자료 제공
- 어민의 과학적인 사고력을 제고

## 제 2절 연구개발의 최종 목적

- 기후변동에 따른 어장예측 능력 제고
- 광역 어장의 조업위치 파악의 통한 수산자원관리 효율화
- 어장/수산자원관리의 정보화를 통한 경제적 효율성 증대
- 수산 GIS 개발을 위한 기초자료로 활용되어 수산해양정책 의사결정지원에 기여

## 제 3절 연차별 연구개발목표와 내용

| 구 분                        | 목 표  | 내용 및 범위   |
|----------------------------|--|---|
| 1차년도<br>( 2002 -<br>2003년) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위성자료 및 현장관측 자료 수집 및 처리</li> <li>○ 연구사례해역: 동해</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동해 해황자료 수집 및 처리</li> <li>- 동해를 중심으로 한 상업적 대표 어족인 오징어의 어황자료 수집 및 처리</li> <li>- 대한해협을 포함한 동해 전해역의 시기별 어장도자료 수집 및 처리</li> <li>- 위성원격탐사 자료 수집 및 처리               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 해표면수온 자료: NOAA/AVHRR 등</li> <li>· 어선분포도 파악: DMSP/OLS</li> <li>· 식물플랑크톤 현존량: SeaWiFS 등</li> </ul> </li> <li>- 연근해 해양·기상정보 조사</li> </ul> |
| 2차년도<br>( 2003 -<br>2004년) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동해 어장변동 해석 및 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링 시스템 구축</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 어장환경특성 파악 및 해석               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수온분포도 작성</li> <li>· 위성자료 해석</li> </ul> </li> <li>- 위성자료와 현장관측자료간의 중첩 분석에 의한 경년별, 계절별, 월별 어장형성해역 파악</li> <li>- 어장 환경에 영향을 미치는 인자들간의 통계분석</li> <li>- 위성원격탐사기술을 활용한 어장 변동 모니터링</li> </ul>   |

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1절 국내동향

- 한국 위성 (아리랑 1호)에 탑재 운용중인 해색센서(OSMI)의 활용도 저조
- 해양 위성원격탐사 (Remote Sensing: RS) 자료 처리/해석/응용을 위한 전문가 부족
- 처리된 RS 자료의 전달 및 획득 방법의 어려움
- NOAA 위성의 SST (표면수온) 자료를 제외한 기타 해양 RS자료 활용도 저조
- 위성원격탐사, 해양지리정보시스템 (Marine Geographic Information System, MGIS) 등을 도입한 수산해양 관련 연구 부족

### 제 2절 국외동향

- 수산과학 분야에 RS와 GIS를 활용한 연구 활발 (Fig. 2.1 참조)
  - RS 자료와 현장관측 자료를 이용한 정성적 해석
  - 어·해황 예측과 생태계 자원관리를 위한 수치해석
- 위성관측 SST와 선박관측 SST의 자료 및 조업선의 어획자료를 활용한 연구 (일본 어업정보서비스센터, 원양수산연구소 등)
- GIS를 이용한 해황과 어황과의 관계 관한 연구 (일본 북해도대학)
- 인공위성 해색센서를 활용한 식물플랑크톤 해석에 의한 광합성 잠재능력의 계측, 황색물질(용존유기물) 및 현탁물질의 검출 등에 관한 연구가 활발 (미국의 NASA와 일본의 NASDA, JAMSTEC, 나가사키대학 등)

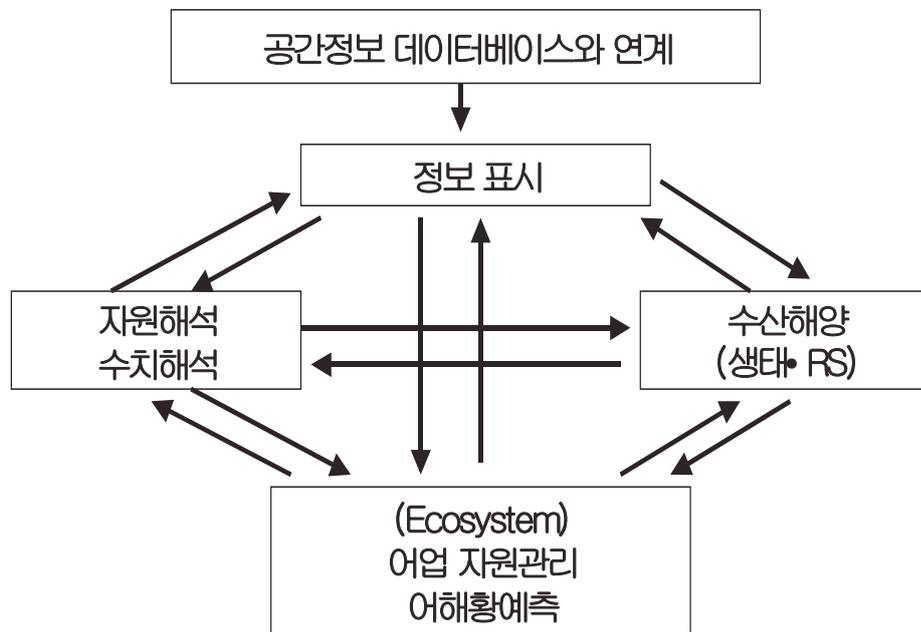


Fig. 2.1. 수산과학분야 RS/GIS를 활용한 공간해석 방법의 체계.

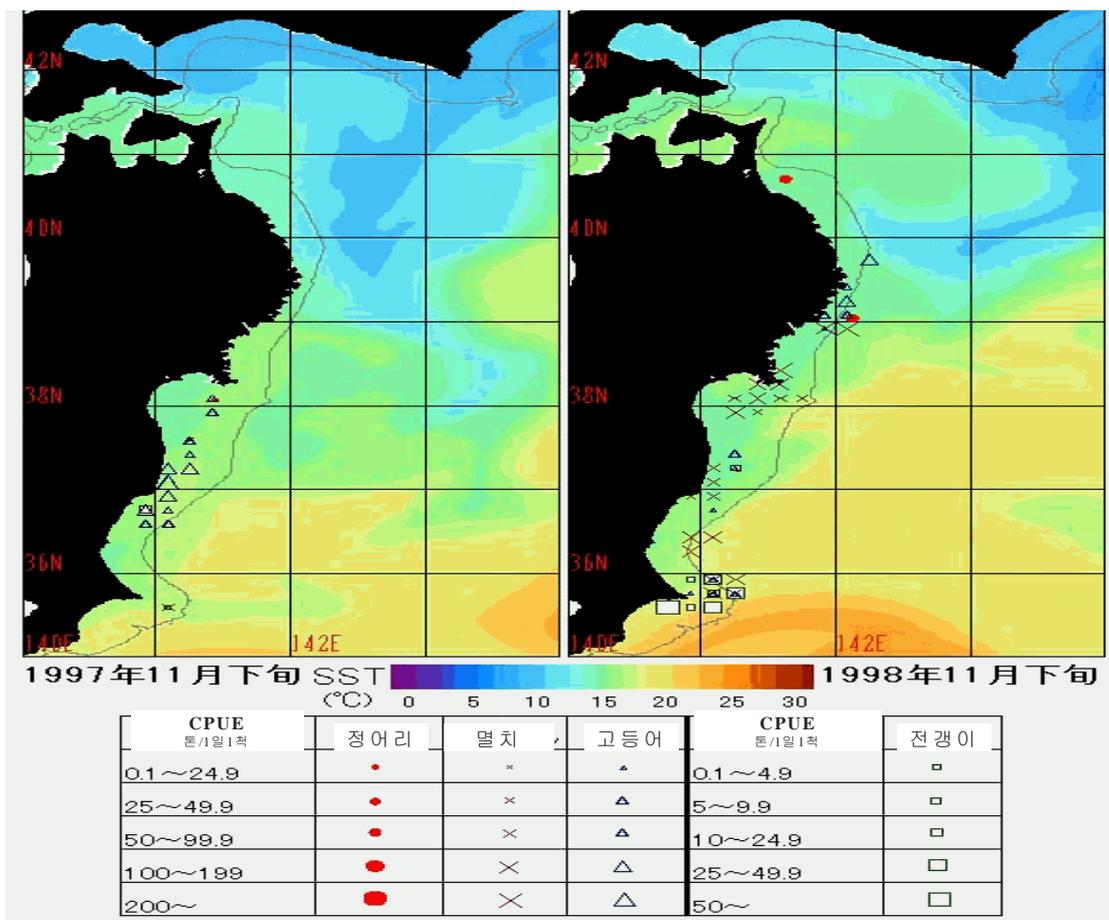


Fig 2.2. 어종별 CPUE 분포와 표면수온(Watanabe, 1999).

### 제 3절 앞으로 전망

- 기후변동에 따른 어장예측 능력 제고
- 광역 어장의 조업위치 파악의 통한 수산자원관리 효율화
- 어장/수산자원관리의 정보화를 통한 경제적 효율성 증대
- 수산GIS 개발을 위한 기초자료로 활용되어 수산해양정책 의사결정지원에 기여
- 수산해양정보 콘텐츠의 다양화를 갖출 수 있다.

### 제 4절 기술도입의 타당성

- 연근해 어업자원 환경에 대한 위성자료와 현장관측자료를 이용한 어장변동 및 예측에 대한 연구는 국내에는 거의 없다.
- 외국의 경우에도 현재 활발히 연구가 진행되고 있는 실정이며 아직 실용화 단계는 되어 있지 않다.
- 원격탐사기법 수준은 외국과 거의 대등하므로 기술을 도입하는 대신에 본 연구를 통하여 연구개발하는 것이 현실적으로 경제성이 매우 높으며 향후 경제적인 파급효과도 크다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1절 연구내용

본 과제는 위성원격 탐사기술을 활용한 어장 변동 및 예측에 관한 연구의 제 1 세부과제와 제 2 세부과제로 구성되어 있으며, 어장환경 변동 및 예측과 다중위성 위성원격탐사 자료에 의한 동해 오징어 어장 변동에 관한 연구 결과를 제시하였다.

#### 1. 제 1세부과제: 어장환경 변동 및 예측에 관한 연구

본 세부과제에서는 어·해황 자료 수집 및 D/B화하는데 중점을 두고 있다. 동해는 해양학적 뿐만 아니라 수산자원학적인 면에서 중요한 관심의 대상이 되고 있다. 현재 동해의 해양조사는 국립수산과학원의 연안정지 및 정선 관측에 의해 진행되고 있다. 국립수산과학원 (National Fisheries Research and Development Institute, NFRDI)의 해양조사는 1960년부터 현재까지 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월의 격월 간격으로 이루어지고 있다. 그러나 그 조사해역이 연안해역에 제한되어 있어 동해의 전역에 대한 어·해황 분석을 하기에는 부족한 면이 있다. 따라서 동해의 일본 연안해역 및 동해 중부 및 동해 북부 해역에 걸쳐 해양 조사를 실시하는 일본 기상청 (Japan Meteorological Agency, JMA)의 관측 자료를 수집하여 국립수산과학원의 자료와 함께 D/B화 하였다. 또한, 어황 자료는 오징어 채낚기어업과 선망어업을 대상으로 자료를 수집하여 해석에 이용하였다.

#### 가. 자 료

##### (1) 동해의 해양관측자료

동해에서 수온의 평년 상태를 살펴보기 위해서, 1998년 일본해구수산연구소 발행의 '동해에 있어서 수온의 평균상' 자료를 사용하였다. 이 자료는 1966년부터 1995년 까지 동해에서 조사된 해양관측 자료를 위도 및 경도 각 0.5°격자별로 구분하여, 표층(0m), 50m, 100m 그리고 200m의 월별 평균 수온과 그 표준 편차를 계산해 놓은 것이다. 이 자료는 극전선을 중심으로 남쪽 해역에 대한 자료가 대부분이므로 북쪽 해역을 포함한 동해 전역의 상태를 알아보기에는 부족한 면이 있다. 따라서 공간적인 자료의 제약을 보충하기 위하여 위도 및 경도 1°격자별로 평균 (1904년-1994년)된 일본 기상청의 자료를 이용하였다.

동해의 해황변동에 중요한 인자로 작용하는 쓰시마난류의 변동을 파악하기 위하여 국립수산과학원(NFRDI)의 1960년부터 2000년까지의 관측자료와 1972년부터 1999년까지 일본기상청(JMA)

의 관측 자료를 이용하였다 (Fig. 3.1.1). 일본기상청 자료는 Fig. 3.1.1에 나타난 D, PM, F, G lines에서 측정된 수심별 수온과 염분, 그리고 용존산소이다. 국립수산과학원의 정선 관측은 격월(2, 4, 6, 8, 10, 12월)간격이다.

엘니뇨의 발생 주기 및 변동과 쓰시마난류의 변동과의 관련성을 파악하기 위하여 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)의 기후예측센터(Climatic Prediction Center, <http://nic.fb4.noaa.gov/data/cddb/>)에서 제공하는 남방진동지수(Southern Oscillation Index, SOI)와 NINO3 SST 자료를 이용하였다(Fig. 3.1.2). 남방진동지수는 1876년~2000년까지의 월별 자료로서 Tahiti 해면기압에서 호주의 Darwin의 해면기압을 뺀 값으로 정의된다 (Horel and Wallace, 1981). NINO3 SST 자료는 1871년~1998년까지의 월별 자료로서 5S~5N, 150W~90W 범위의 해표면 수온을 평균한 자료이다. SOI와 NINO3 SST자료는 서로 음의 상관관계를 가지며 변동한다.

## (2) 동해의 어황자료

동해의 오징어 어황 파악을 위하여 국립수산과학원에서 제공받은 오징어 채낚기어업의 1980년부터 1999년 자료와 선망어업의 1985년부터 1995년 자료로부터 어획량, CPUE 등에 대한 연도별, 월별 자료를 작성하고, 자료의 해석에 이용하였다.

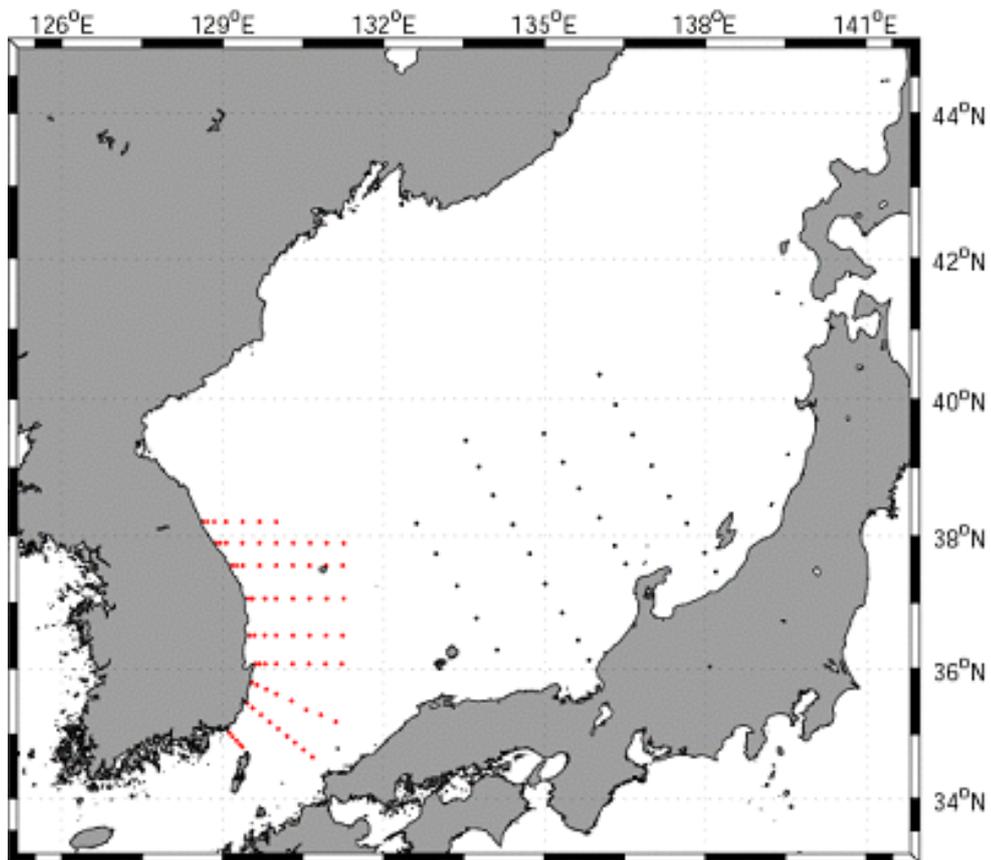


Fig. 3.1.1. Station map of NFRDI (red color) and JMA (black color).

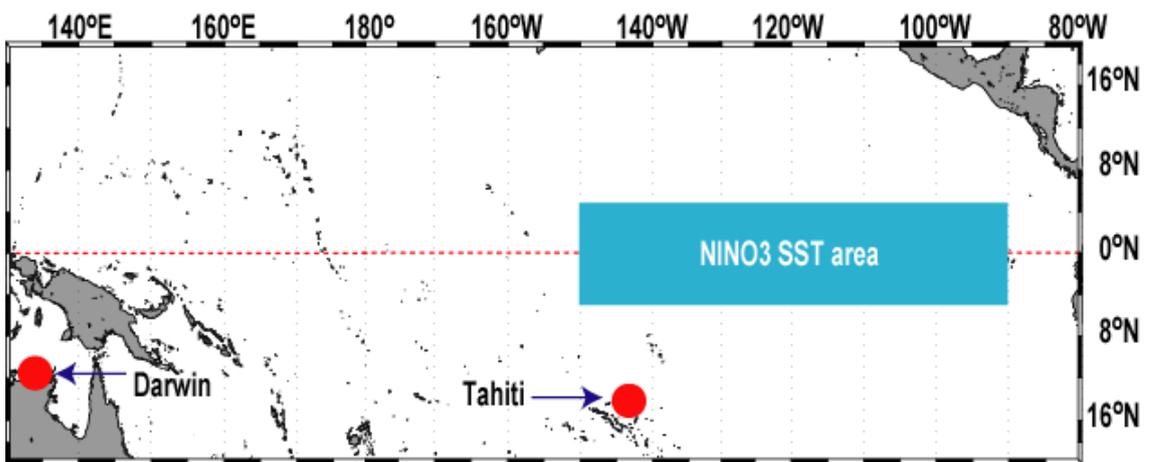


Fig. 3.1.2. The map showing SOI and NINO3 SST data collection area.

## 나. 방법

### (1) 동해의 해황 분석

동해의 평년 상태의 해황을 알아보기 위하여 1966년부터 1995년까지 30년간 2월과 8월의 0m, 50m, 100m 그리고 200m 평균수온과 표준편차의 수평 분포도를 나타내었다.

쓰시마난류의 변동에 따른 난수역의 확장정도 및 확산에 따른 수형의 변화를 보기 위해 PM-line(Fig. 3.1.1)의 수심 100m에 대한 수온, 염분 그리고 용존산소의 시계열 변화와 T-S diagram을 나타내었다. PM-line은 극전선을 가로질러 북쪽의 한류수역과 남쪽의 난류수역을 모두 포함하므로, 난수역과 한류수역의 확장 정도 및 극전선의 변동을 잘 파악할 수 있다. 난수역과 냉수역의 경계면의 지표로는 Uda(1934), Ogawa(1974) 그리고 Hong and Cho(1983) 등이 언급한 10°C 등온선을 선택하였으며, 극전선의 중심 수온으로는 단위 거리당 수온구배가 가장 크게 나타나는 5°C-6°C 등온선 구간으로 설정하였다. 이것은 최(1994)가 6°C 등온선의 분포가 극전선의 공간적인 분포를 가장 잘 나타낸다고 한 것과 일치한다.

### (2) 웨이브렛 분석 (Wavelet analysis)

쓰시마난류의 변동을 살펴보기 위하여 시계열 자료의 time domain frequency를 분석하는데 유용한 wavelet analysis 방법 (후술)을 적용하였다. 특히 wavelet analysis는 시계열 자료의 변동경향을 '시간-스케일'의 영역으로 정확하게 분리해내는 장점을 가지고 있다 (Torrence and Compo, 1998)

동해의 경우 국립수산과학원의 정선관측은 동해안 연안을 따라 집중되어 있어 상대적으로 넓은 해역에 대해 측정이 이루어지는 일본 기상청의 관측에 비해 공간적인 제한이 있다. 그러나 국립수산과학원의 동해안 정선 관측은 일본 기상청에 비해 일정한 간격으로 정기적으로 이루어지고 있어서 쓰시마난류의 계절 변동 및 년 주기 이상의 변동을 분석하고자 하는 경우 더 유용한 것으로 생각된다. 따라서 동해에서 쓰시마난류의 변동이 어떠한 주기성을 가지는지 파악하기 위하여 쓰시마난류의 주 이동경로에 위치하는 정점 제주도 남부 해역, 대한해협 서수도 그리고 한국 동해안과 울릉도 사이 해역의 수심 100m의 수온 자료를 이용하여 wavelet analysis를 하였다.

그리고 엘니뇨의 변동 주기를 분석하기 위하여 SOI자료와 NINO3 SST 자료를 이용하여 wavelet analysis(Torrence and Compo, 1998)를 하였으며, 쓰시마난류의 변동과 엘니뇨 변동사이의 상관관계에 대하여 살펴보았다.

Wavelet analysis방법을 통한 시계열 자료의 분석방법을 간단히 살펴보면 아래와 같다.

Wavelet analysis의 기본 방정식(식 3.1)은 아래와 같다.

$$\psi(t) = \exp\left(-\frac{a^2 t^2}{2}\right) \exp(i\omega_0 t) \quad (3.1)$$

여기서,  $a$  = 웨이브렛의 형상 계수,  $a$ 가 증가하면 웨이브렛의 폭이 줄어들고  
 $\omega_0$  = 웨이브렛의 고유 주파수,  $t$  = 시간의 함수

웨이브렛의 푸리에 변환은 다음 식 (3.2) 으로 정의 된다.

$$\Psi(\omega) = \frac{1}{a} \sqrt{2\pi} \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2a^2}\right], \omega = 2\pi f, \omega_0 = 2\pi f_0 \quad (3.2)$$

## 2. 제 2 세부과제: 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링

본 세부과제에서는 다중 위성원격탐사 및 기상 자료를 D/B화하여 조업어장을 장기적으로 모니터링 하는데 중점을 두고 있다. 선박에 의한 광역의 어·해황 정보 수집 및 광역어장의 정확한 조업위치 파악의 한계는 최근 해양위성원격탐사 기술이 발전함에 따라 준실시간 해황자료 획득으로 가능하게 되었다. 따라서 기존 선박관측에 의한 어·해황 정보와 해양원격탐사 정보의 결합을 통한 효율성 제고가 요구된다. 본 세부과제에서는 수산해양정보의 서비스제공 확대와 어장/수산자원관리의 정보화를 통한 수산경제활동의 안정화 및 수산해양정책 수립에 필요한 기초자료를 제공할 목적으로 NOAA/AVHRR, DMSP/OLS, Orbview-2/SeaWiFS 위성원격탐사 자료와 기상자료인 NCEP/NCAR 재분석 자료를 수집, 처리 및 해석하였다.

### 가. 자료 및 방법

#### (1) 위성관측 식물플랑크톤 색소농도

동해 식물플랑크톤 색소농도의 시공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 NASA의 Goddard Space Flight Center Earth Science Distributed Active Archive Center (GES, DAAC)에서 제공하는 Orbview-2/SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor) 월평균 영상을 1997-2002년까지 수집하였다. 이 자료의 해상도는 9km 글로벌 자료로서 일본 북해도 대학에서 수집한 Level 3 Standard Mapped Image (L3SMI) version-4 클로로필 자료를 입수하여 처리하였다. 클로로필 농도는  $Chl = 10^{0.015DN - 2.1}$  식을 이용하였으며, Chl은 chlorophyll concentration ( $mg/m^3$ ), DN은 영상의 digital number 이다. 자료의 처리는 NASA에서 제공하는 SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) 프로그램을 이용하여 한국 주변해역을 잘라서 클로로필 농도 값으로 환산하여 영상을 작성하였다. SeaDAS는 위성자료를 processing, display, analysis, quality control 등을 할 수 있는 종합적인 영상분석 패키지이다.

#### (2) 위성관측 해양표면수온

본 연구에 이용한 위성원격탐사 자료중 해양표면 수온자료는 일본 치바대학에서 수신한 NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, 超高分解能放射計) 위성 영상의 자료 1997-2001년 자료를 일본 농림수산연구정보센터를 통하여 수집하고 처리하였다.

AVHRR 자료의 해상도는 약 1 km이며, 현재 처리된 자료는 매일 평균자료를 수집하여 본 연구 해석인 동해 전체 해역을 잘라서 작성하였다. 해표면 수온자료는 McClain et al.(1985) 알고리즘을 이용하여 NOAA/AVHRR의 채널 4와 5의 휘도온도로부터 계산된 MCSST 자료를 해석에 이용하였다. 여기서 열적외 채널 4( $10.3-11.3\mu m$ )는 주·야간에 해수온도와 구름의 온도

탐지에 사용되고, 채널 5(11.5-12.4 $\mu$ m)는 채널 4와 특징이 유사하고 수증기 감소효과와 해수온도를 결정하는데 이용된다.

또한, 본 자료를 이용하여 오징어의 주된 어획 수심인 50m 깊이의 현장관측수온자료와 비교 분석하여 위성 추정 50m 수온을 추출하고 위성관측 야간 조업어장과의 관계를 살펴보았다.

### (3) 위성관측 야간조업어장

야간 오징어 조업어장과의 관계를 살펴보기 위하여 야간에 불빛을 감지하는 위성인 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program)/ OLS (Operational Linescan System) 영상을 NOAA의 NGDC(National Geographical Data Center)로부터 1992-2002년의 매일 평균자료를 제공받아 처리하였다. 자료의 수집은 FTP (File Transfer Protocol)를 통하여 TDF (Terra Data Format)파일로 입수한 자료를 Sea Space사의 Terra system에서 텍스트파일과 Image (Tiff 파일)로 처리하였다.

해석에 이용한 위성자료는 일평균 자료로서 구름, 노이즈 및 스캔상태가 양호한 영상을 선택하여 처리하였다. 연도별 월별 자료 중 매일 자료의 상태는 대체적으로 15일을 기준으로 이전 자료는 거의 자료가 쓸 수 없는 상태인 것이 많고, 상태가 양호한 것은 대체로 15일 이후였다. 가시밴드(visible band) DMSP/OLS 영상자료의 포맷은 6-bit이고 digital number 값이 0-63의 범위이다. 본 연구에 사용한 공간 해상도는 2.7 x 2.7km이다.

DMSP/OLS 자료는 궤도주기가 101분으로 관측시각이나 시기에 의해 태양광의 영향을 받는 경우가 있기 때문에 태양광의 영향이 적은 자료만 우선적으로 합성한 것이다. 이 자료는 위도 20°25' 45" S - 60°25' 45" N과 경도 28°18' 15" -171°41' 85" E의 야간에 관측된 아시아지역의 가시자료를 일일 합성한 것으로 본 연구에서는 동해 전해역의 야간 조업어선을 파악하기 위하여 위도 30°N - 44°N, 경도 124°E - 142°E까지 잘라서 이용하였다.

조사기간 동안 조업어장의 분포 중심 및 분산관계는 Sokal and Rohlf (1981)의 방법을 이용하여 각 격자의 중심점 (Long:  $X_i$ , Lat:  $Y_i$ )에 각 격자별 DMSP/OLS 위성자료의 DN(digital number) 값을 가중하여 추정하였다. 조업어선 분포의 중심 ( $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ )은 식 (3.3)과 같다.

$$(\bar{X}, \bar{Y}) = \left( \frac{\sum_i Catch_i \cdot X_i}{\sum_i Catch_i}, \frac{\sum_i Catch_i \cdot Y_i}{\sum_i Catch_i} \right) \quad (3.3)$$

조업어선의 위치 (Long.  $X_i$ , Lat.  $Y_i$ )에 대한 통계적 신뢰영역은 장축과 단축의 타원형으로 표시하였고, 타원의 장축 ( $\lambda_1$ )과 단축 ( $\lambda_2$ )은 식 (3.4)와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0.5 \cdot \{ s_1^2 + s_2^2 + \sqrt{(s_1^2 + s_2^2)^2 - 4 \cdot (s_1^2 \cdot s_2^2 - s_{12}^2)} \} \\ \lambda_2 &= s_1^2 + s_2^2 - \lambda_1 \end{aligned} \quad (3.4)$$

여기서  $s_1$ ,  $s_2$  및  $s_{12}$ 는 각각 X, Y에 대한 표준편차, 공분산이고, 타원의 방향성을 나타내는 장축 및 단축의 기울기  $b_1$ ,  $b_2$ 는 식 (3.5)에 나타내었다.

$$b_1 = \frac{s_{12}}{\lambda_1 - s_1^2}, \quad b_2 = \frac{-1}{b_1} \quad (3.5)$$

#### (4) 해양기상

NCEP (National Centers Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) 재분석자료 1970-2001년 기온, 바람(풍향, 풍속), 강우량 등이 수록된 CD-ROM 자료를 수집하여 연구해역의 기상현황을 파악하고자 하였다. 자료의 격자는 각각 2.5도 간격으로 되어 있다.

## 제 2절. 연구결과

### 1. 제 1 세부과제 : 어장환경 변동 및 예측에 관한 연구

동해는 지중해적 성격을 지닌 북서태평양의 연해로서 깊이가 약 200m 이천에 불과한 대한해협(쓰시마해협)과 쓰가루해협 그리고 쓰야해협을 통하여 동중국해, 북서태평양 그리고 오희츠크해와 연결되어 있다 (Fig. 3.2.1.1). 또한 극전선을 중심으로 난류(남쪽), 한류(북쪽) 수역으로 구분되며, 전체 용적의 84%이상을 동해고유수(수온 1°C 이하, 염분 34.0-34.1psu)가 차지하고 있다 (Yasui *et. al.*, 1967).

동해는 수산생물의 색이장 및 어장으로서 중요하다. 특히 난류성 수산생물의 주요 서식층인 수온약층 상층부의 변동은 하층부의 냉수괴에 비해 해황 및 어황에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 수온약층 하부에 분포하는 냉수괴는 그 특성의 변동 폭이 작은 균질한 동해고유수가 그 용적의 대부분을 차지하고 있기 때문이다. 이러한 이유 등으로 인하여 동해에서는 상층부의 변동이 동해 해황에 영향을 많이 주게 되는 중요한 요인으로 생각되며, 특히 주변 수괴에 비해 상대적으로 고온·고염인 쓰시마난류의 변동은 해류순환과 함께 해황 변동의 중요한 인자로 작용한다. 쓰시마난류는 대한해협(쓰시마해협)을 통해 동해로 유입된 후 쓰가루해협과 쓰야해협을 통해 북태평양과 오희츠크해로 유출되는 동안 사행(meandering), 와동류(eddy)의 형성과 같은 독특한 형태의 특성을 나타낸다. 또한 계절 및 연 변동을 하며 시기에 따라서 한 개에서 세 개의 지류로 분리되어 한국 동해안과 일본 연안 그리고 한국 동해안과 일본 연안의 가운데 해역을 이동하게 된다 (Suda and Hidaka, 1932; Moriyasu, 1972; Kawabe, 1982a, 1982b; Senjyu, 1999; Yurasov and Yarichin, 1991).

쓰시마난류는 동해에 열을 운반할 뿐만 아니라 난치자어(卵稚仔魚)를 운반하는 중요한 역할을 한다 (Ogawa, 1983). 특히 수산생물의 주요 서식층인 수온약층 상층부의 변동은 어황 변동의 주요 인자로 생각된다. 그러나 대부분의 연구가 표층부의 변화에 집중되어 있고 단기간의 자료를 이용하여 수형의 변화 및 해류의 이동 경로에 대하여 논한 것으로 쓰시마난류의 변동을 파악하기에는 부족한 면이 있다. Kang and Lee (1984)와 Kang (1985)는 동해 표면 SST의 계절 및 연 변동은 대기 및 쓰시마난류의 영향을 받으며, 동일 위도 상에서 쓰시마난류의 영향을 받는 해역이 받지 않는 해역보다 평균 수온 및 평균 기온이 높은 것으로 보고하였다. 曺와 崔(1988)은 표층과 수심 100m에 대한 쓰시마난류 수형(水型)의 계절변화에서 표층부분이 하계 저염분수의 유입에 의해 수형변화에 크게 영향을 받는 것으로 나타내었다. 동해에서 난류수역과 냉수역의 분포 및 경계 그리고 쓰시마난류의 특성을 가장 잘 파악할 수 있는 수층은 수심 100m로 알려져 있다 (Kawabe, 1982a; 최 등, 1994; Hideaki *et.al.*, 1999). 동해에서 해황 및 어황 변동을 파악하기 위해서는 쓰시마난류의 중심수층을 중심으로 장기간에 대한 변동 경향을 살펴 볼 필요가 있다.

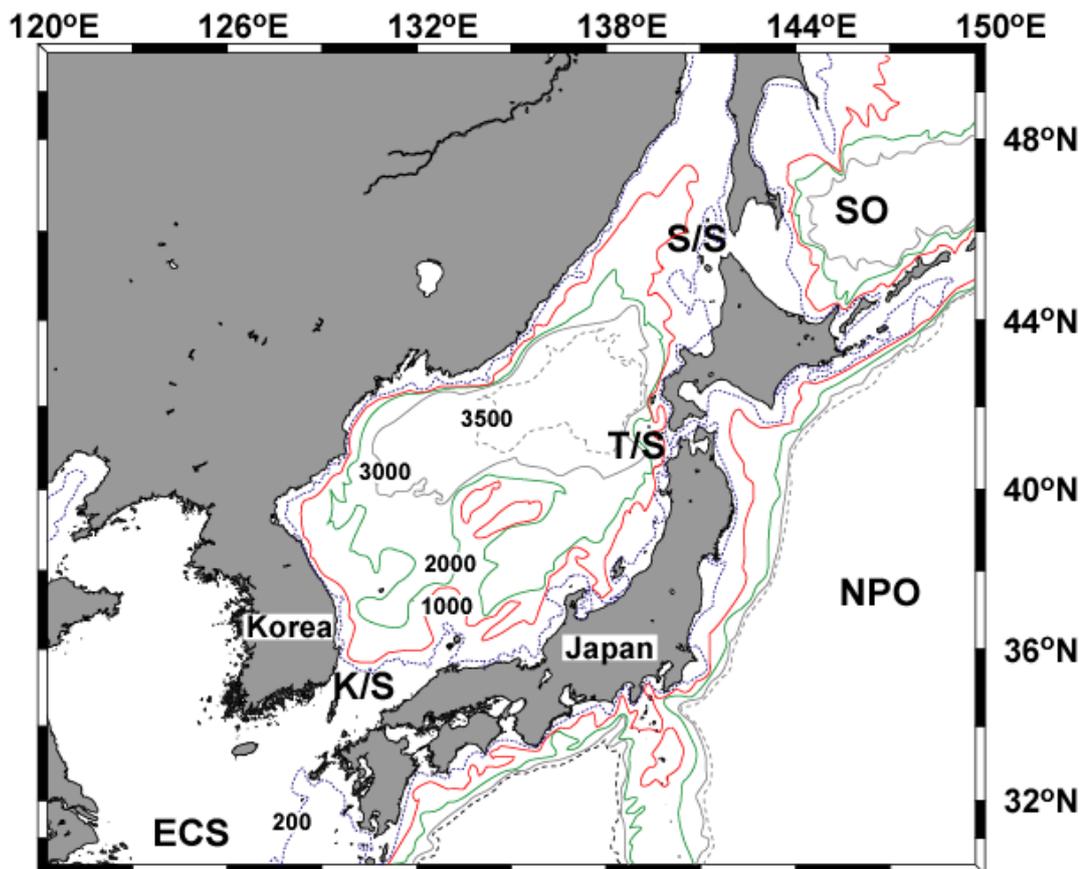


Fig. 3.2.1.1. Map of northwest Pacific. The abbreviation K/S, T/S, S/S, ECS, NPO and S/O indicate Korea-Tsushima Strait, Tsugaru Strait, Soya Strait, East China Sea, North Pacific Ocean, and Sea of Okhotsk, respectively. Numerals indicate depth (m).

쓰시마난류는 쿠로시오의 영향을 받으며, 또한 쿠로시오는 적도 해류계로부터 이어지는 대표적인 서안경계류이다. 따라서 쓰시마난류의 변동을 살펴보기 위해서는 동해의 지형적인 요인, 수괴의 불안전성, 계절풍 등과 같은 국지적인 요인 외에 적도 해류계 및 전지구규모의 기후 시스템에 영향을 끼치는 인자에 대한 분석이 중요하다고 할 수 있다. 즉 열대태평양의 해황 및 전지구적 기후의 변동과 관련이 있는 엘니뇨와 라니냐와 같은 이상 변동이 쓰시마난류의 변동과 어떠한 관계가 있는지 살펴보아야 할 것이다. 왜냐하면, 지구온난화와 같은 전 지구규모적인 기상의 영향은 해표면의 수온을 상승시키는 역할을 할뿐만 아니라 대양의 해류순환에도 영향을 끼치기 때문이다 (김, 1996). 특히 엘니뇨는 열대태평양의 기후뿐만 아니라 전 지구기후시스템을 변동시키는 가장 강력한 요인으로 보고되고 있다 (Horel and Wallace, 1981; Kang and Lau, 1986).

엘니뇨가 한반도에 끼치는 영향에 관한 연구로는, 한반도 기온의 장·단기예측 (강과 백, 1993; 이와 강, 1997; 이 등, 1988)과 엘니뇨와 서태평양지역의 태풍의 발생관계 (강 등, 1995) 그리고 몬순과 엘니뇨의 관련(Webster and Yang, 1995)등에 관한 결과가 있다. 특히 엘니뇨와 남방진동은 열대 태평양에서의 열대저기압 활동에 영향을 미치고 있는 것으로 보고되었으며 (Gray, 1984; Nicholls, 1984), 엘니뇨 발생시기에 열대해역에서 상대적으로 강한 태풍이 생성되어 일부가 한반도에 영향을 끼친다 (강 등, 1995). 이러한 연구의 대부분은 엘니뇨와 한반도의 기후변화에 관한 것이 대부분이며, 해양학적인 현상과 직접적으로 관련된 연구가 진행되고 있으나 부족한 상태이다. 엘니뇨와 한반도 근해의 해황과의 관련성에 대하여 나(1988)와 Hong et al.(2001)은 동해 표층 수온의 변동에 대하여 조사 하였다. 즉 엘니뇨가 발생한 해의 여름은 발생 전의 여름에 비해 낮은 수온을 나타내며, 반면 겨울은 엘니뇨가 발생하기 전의 겨울에 비해 상대적으로 높은 수온을 나타낸다. 그러나 이러한 연구결과는 동해의 표층에 제한된 것으로서, 엘니뇨와 같은 전 지구적인 기후 변동과 쓰시마난류의 변동과의 관련성을 살펴보기에는 부족한 면이 있다.

따라서 동해에서 해황 및 어황변동에 대한 연구를 위해서는 쓰시마난류의 변동 및 엘니뇨와 같은 대규모의 기상 이변과의 관련성에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 그리고 쓰시마난류의 중심수층에 대한 해양학적 인자들의 분석이 필요하며, 또한 엘니뇨와 같은 기상 이변과의 관련성에 대한 연구가 요구된다.

## 가. 동해의 해황 변동

### (1) 동해의 평년 해황

동해의 평년상태의 해황을 알아보기 위하여 일본기상청의 30년간 평균 수온자료를 이용하여 0m, 50m, 100m 그리고 200m 수평 분포도를 작성하였다. 년 중 해양학적 인자들의 변동이 큰 2월(동계)과 8월(하계)에 대하여 그 특성을 살펴보았다(Figs. 3.2.1.2, 3.2.1.3). 그림에서 수온의 범위는 color index로 표기하였으며, 녹색계열은 저수온을 적색계열은 고수온을 의미한다.

2월(동계)의 경우 표층과 수심 50m의 수온 분포는 거의 유사한 형태로서 북쪽의 2°C에서 남쪽 해역의 14°C까지 약 12°C의 공간적인 차이를 보이고 있다(Fig. 3.2.1.2). 그리고 연직 혼합이 잘 이루어져 겨울철 표층 수온이 수심 50m 보다 깊은 수심까지 대표할 수 있을 것으로 생각된다. 난류수역과 한류수역의 경계인 극전선은 위도 39°N ~ 41°N 사이에 분포하며 한국 동해안에서 쓰가루 해협사이에 형성되어 있다. 수심 100m의 경우 난류와 한류의 경계가 표층에 비해 남쪽으로 치우쳐 있으며, 그 이전에 비해 일정하지 않은 굴곡의 형태를 나타낸다. 이것은 냉수역과 경계를 이루며 이동하는 쓰시마난류의 사행에 의해 나타나는 형태로 생각된다. 공간적인 온도차를 보면 북쪽 해협의 2°C 이하에서 대한해협의 13°C까지 10°C 이상의 차이를 나타낸다. 수심 100m는 동해에서 난류수와 한류수역의 경계 및 쓰시마난류의 특성을 가장 잘 파악할 수 있는 수층으로, Fig.3.2.1.2에서도 그 특징을 잘 파악할 수가 있다. 그리고 수심 200m에서 수온의 수평 분포를 보면 울릉도와 Noto(能登) 반도의 북서쪽 외양에 주변해역에 비해 상대적으로 고수온역이 분포하는데 이는 쓰시마난류의 이동과정에서 형성된 warm eddy에 의한 것으로 보인다. 특히 울릉도 주변해역에 형성되는 것과 관련하여 방(1990)은 3차원적으로 그 구조를 분석하였으며, warm lense 형태의 특성을 설명하였다.

8월(하계)의 경우를 보면(Fig. 3.2.1.3) 표층 부근의 수온 분포가 2월과는 다른 형태를 나타낸다. 강한 성층 현상으로 동계와는 달리 표층과 수심 50m의 수온 분포가 뚜렷하게 구분되고 있다. 표면의 경우는 16~26°C 범위로 전체적으로 높은 수온을 나타내고 있다. 반면 난수의 확장 범위에서는 차이가 나지만 난수역과 냉수역의 경계를 이루는 형태가 50m와 100m에서 유사한 형태를 보이고 있다. 100m 경우 난수와 냉수의 경계 및 쓰시마난류의 사행경로를 뚜렷하게 볼 수 있다. 수심 200m를 보면 2월의 경우처럼 warm eddy의 영향에 의한 것으로 보이는 수온의 분포가 울릉도 주변해역 및 Noto반도 부근에 나타나고 있다.

2월과 8월의 경우에서 살펴보았듯이, 한류수와 난류수역의 경계가 수온 10°C중으로 구분되는 것으로 보인다. 과거 냉수괴의 남방한계(Uda, 1934; Ogawa, 1971)와 쓰시마난류의 북방한계(Hong and Cho, 1983)로서 10°C 등온선을 지표로 본 것과 잘 일치한다. 수심 100m의 경우 10°C 등온선의 분포가 공간적으로 굴곡이 큰 형태를 보이는데, 앞에서 언급하였듯이 쓰시마난류

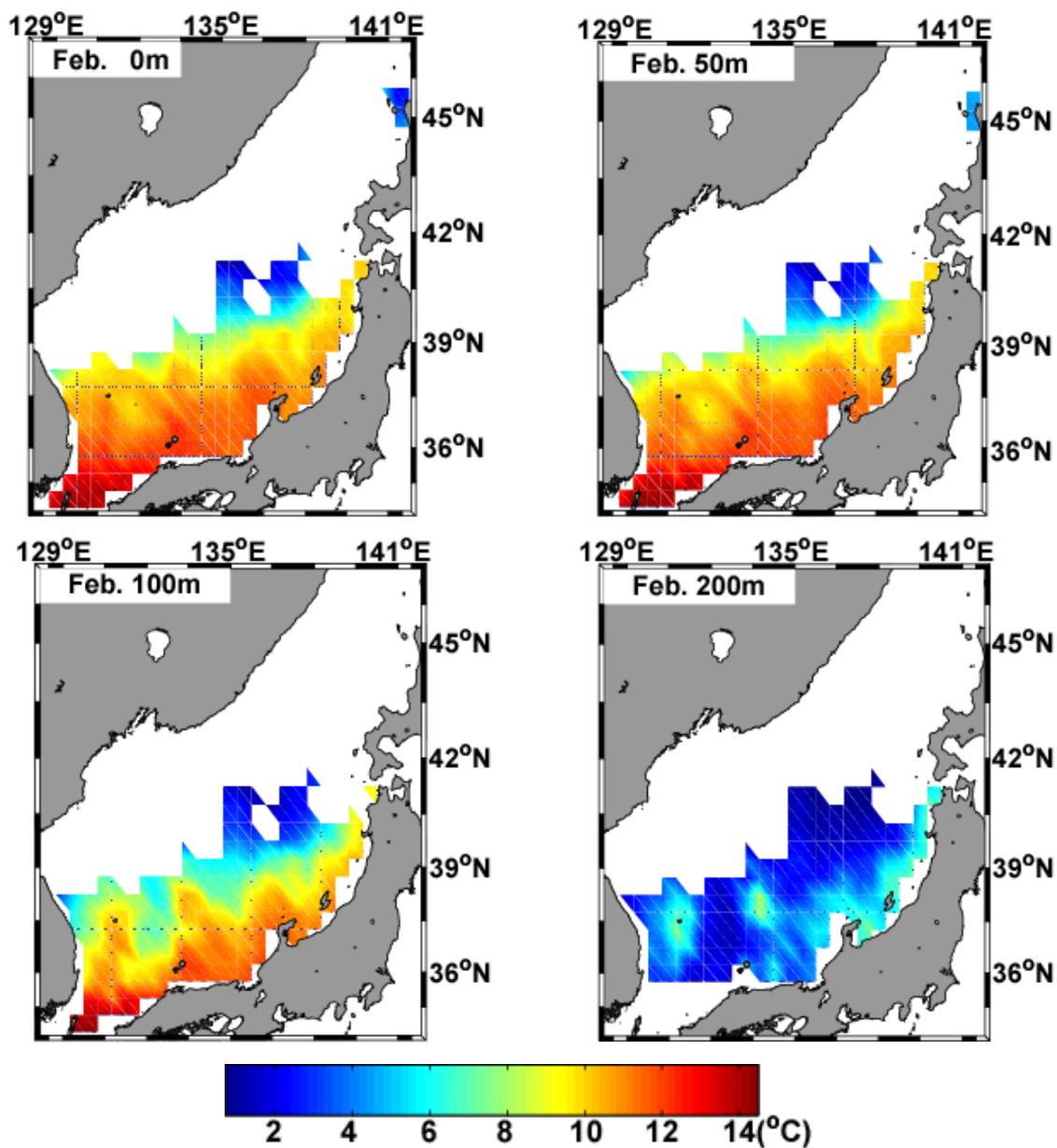


Fig. 3.2.1.2. Horizontal distribution of mean temperature at 0m, 50m, 100m and 200m in February during 30years from 1966 to 1995.

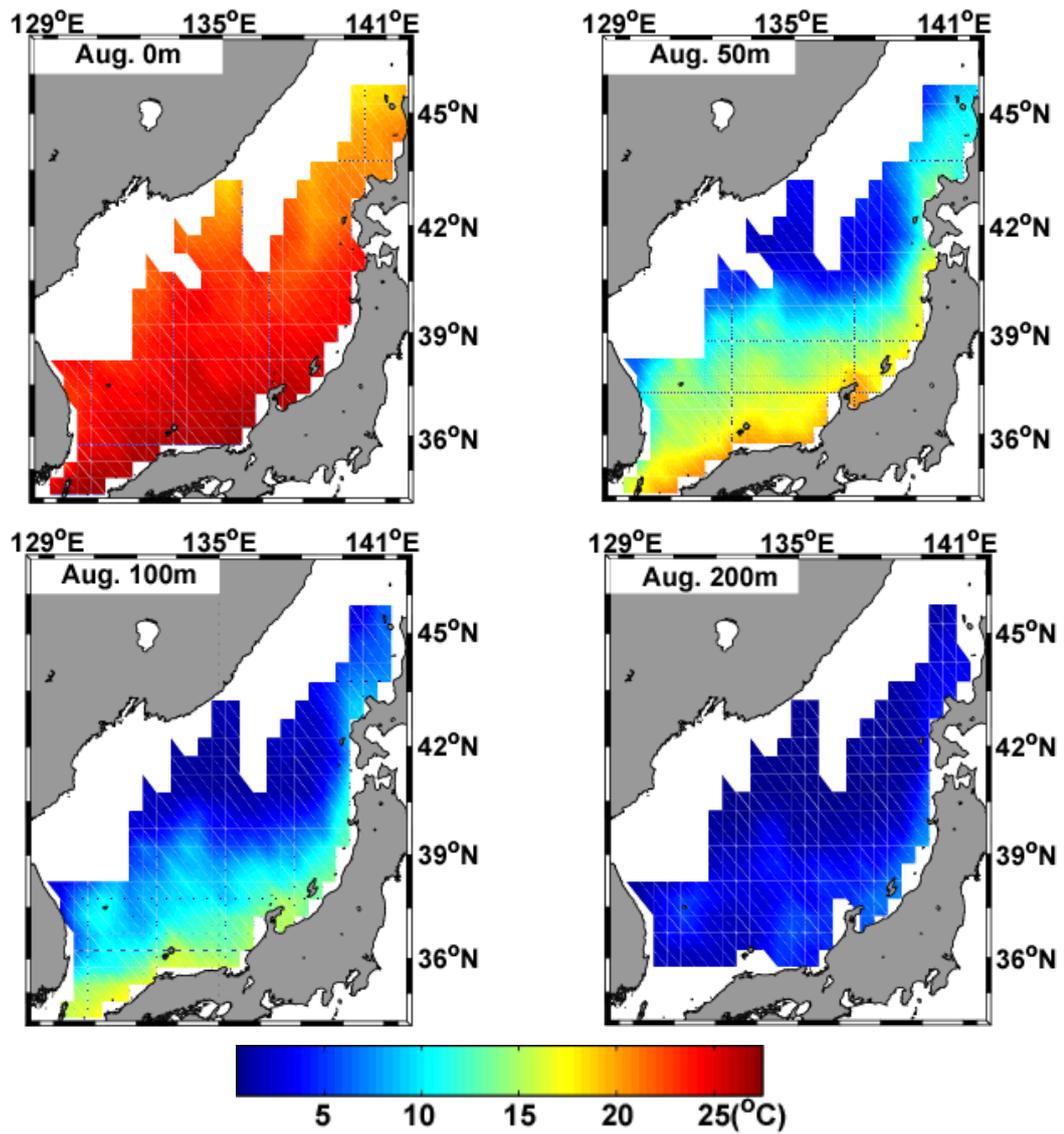


Fig. 3.2.1.3. Horizontal distribution of mean temperature at 0m, 50m, 100m and 200m in August during 30years from 1966 to 1995.

와 냉수괴와의 상호작용, 지형의 변화 등과 관련된 사행의 결과로 나타나는 것으로 생각된다. 이것은 쓰시마난류의 이동경로가 일정하지 않음을 간접적으로 나타내는 것으로, 이동 경로의 변동에 따라 공간적인 수온의 변동 또한 크게 나타날 것으로 생각한다.

2월과 8월의 수온의 표준편차분포도를 평균 수온분포 수심과 같은 방법으로 표시하였다 (Figs. 3.2.1.4, 3.2.1.5). 표준편차의 크기 정도는 color index로 표시하였으며, 녹색에서 적색계열로 갈수록 큰 편차 값을 나타낸다. 2월의 표준편차의 분포를 보면 표층과 50m는 거의 유사하게 나타난다 (Fig. 3.2.1.4). 그리고 극전선역을 제외한 북쪽 및 남쪽 해역에서는 편차가 상대적으로 작게 나타난다. 편차가 크다는 것은 온도의 변동이 크다는 것으로 극전선의 남하 및 북상에 따른 변동의 영향에 의한 것으로 생각된다. 수심 100m에서는 편차가 큰 지역이 표층 부근과는 달리 한국동해안과 동해 남부해역에 집중되어 있다. 이것은 쓰시마난류의 이동 경로의 변동과 관련되는 것으로, Hong and Cho (1983)는 쓰시마난류가 그 세력에 따라 한국동해안에 근접하여 이동하는 경우와 연안에서 먼 쪽으로 이동하는 경우로 구분하였는데 이와 관련이 있는 것으로 생각된다. 동해 남부해역에서는 수온의 편차가 큰 지역이 불규칙하게 나타나며, 이는 쓰시마난류의 이동경로가 공간적으로 불안정하기 때문이다. 수심 200m의 경우는 울릉도 주변해역과 Noto 반도 북서쪽 부근에서 편차가 크게 나타나는데, 이것은 warm eddy의 존재 여부와도 관련이 되지만 그 두께와도 관련이 있는 것으로 생각된다.

8월의 표준 편차는 2월과는 다른 공간적인 분포를 나타낸다 (Fig. 3.2.1.5). 표층의 경우는 공간적으로 편차의 정도가 작은 반면, 수심 50m의 경우에 한류수역과 난류수역의 경계역의 공간적인 위치 변화에 따라 편차가 크게 나타난다. 8월의 경우 동해 전역의 해표면이 강한 태양복사열의 영향으로 표층 수온의 변화가 공간적으로 작게 나타나며, 수심 50m에서 난류와 한류의 경계가 뚜렷하게 나타난다. 이것은 하계에 표면 혼합층의 두께가 50m보다 얇다는 것을 보여준다. 50m의 경우 편차가 높은 지역이 한국동해안의 포항연안에서 쓰가루해협쪽으로 향해 분포하고 있다. 100m의 경우를 보면 한국 동해안과 극전선 남쪽 해역에서 높게 나타나는데, 2월의 경우처럼 쓰시마난류의 이동경로의 불안정성 때문에 나타나는 것으로 보인다. 또한 200m에서는 울릉분지와 Noto 반도의 주변해역에서 높게 나타나는데 이것은 warm eddy의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다.

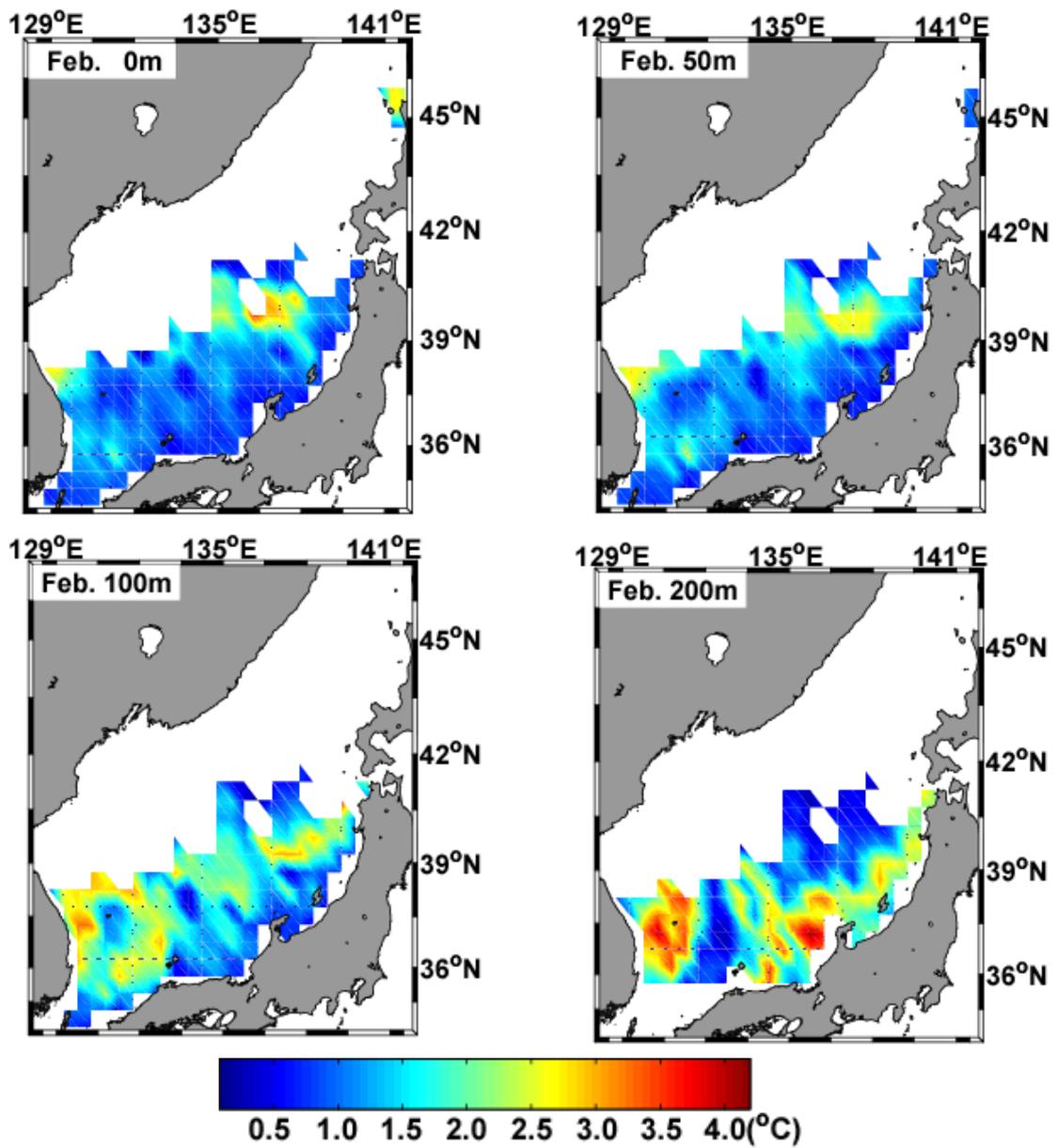


Fig. 3.2.1.4. Horizontal distribution of standard deviation of temperature at 0m, 50m, 100m and 200m in February during 30years from 1966 to 1995.

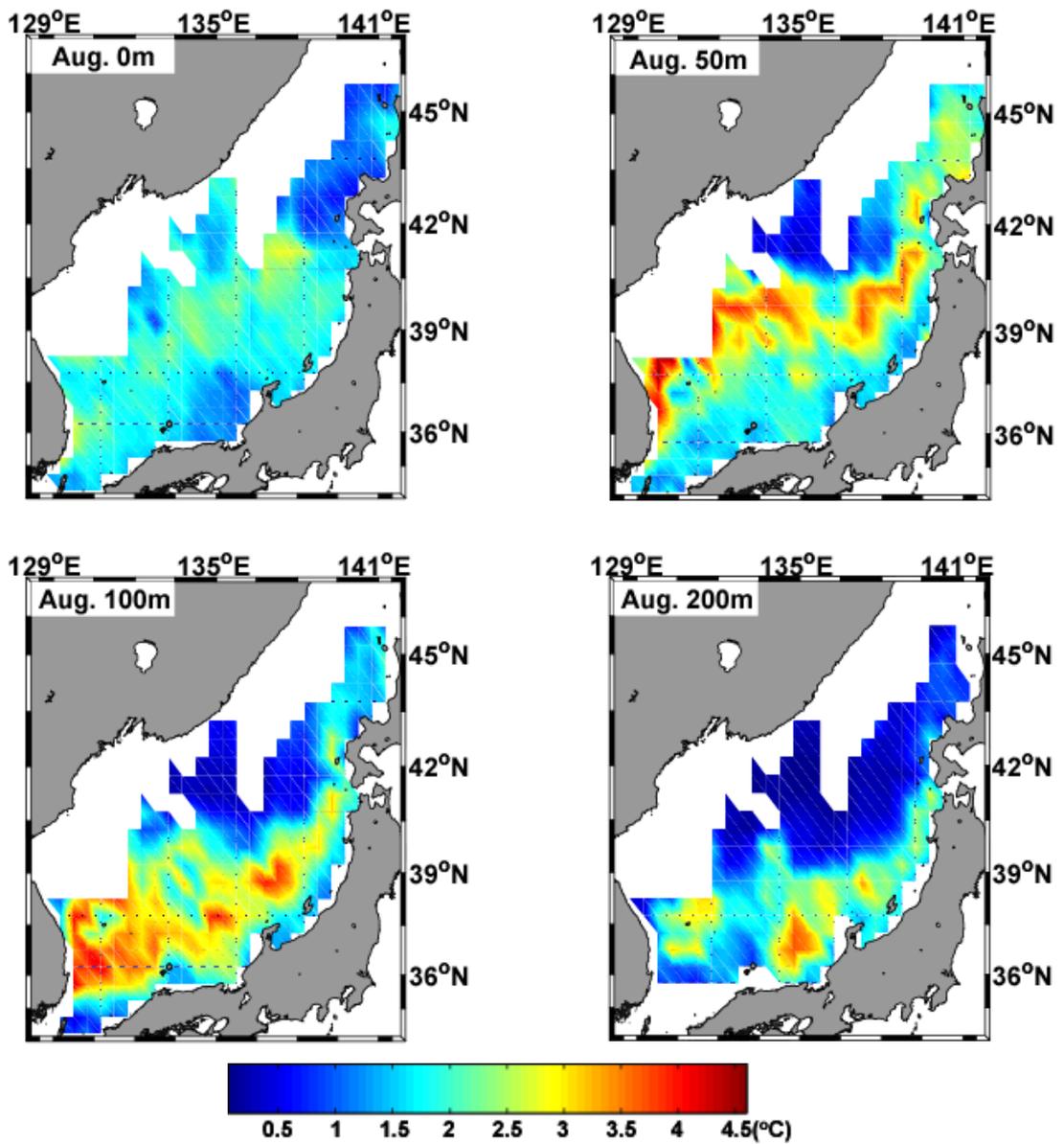


Fig. 3.2.1.5. Horizontal distribution of standard deviation of temperature at 0m, 50m, 100m and 200m in August during 30years from 1966 to 1995.

## (2) 쓰시마난류 분포역의 해황 변동

쓰시마난류의 이류 및 그에 따른 수형의 변화를 보기 위하여, Lines D, PM, F 그리고 G에 대하여 월별 T-S diagram을 나타내었다 (Fig. 3.2.1.6). 그림에서 가로, 세로 방향의 점선은 쓰시마난류의 지표 수온과 염분을 나타낸다. 그리고 가로 방향으로 2월, 4월, 6월, 그리고 10월의 시간적인 변화를 나타내며, 세로 방향으로 Noto 반도의 남서쪽에 D-line에서 북동쪽에 위치하는 G-line의 공간적인 변화를 나타낸다. 저위도의 D-line에서 고위도의 G-line으로 갈수록 쓰시마난류의 이류와 그에 따른 수형의 변화에 시간적인 지연이 있음을 알 수 있다. 동해 남서부 해역에 위치한 D-line의 경우 4월경에 34.6psu의 고염분수가 형성되는 반면, 북동부 해역에 위치한 G-line에서는 6월경에 나타나는 것을 알 수 있다. 34.6psu이상의 고염분 보존적 성분인 수온과 함께 동해에서 쓰시마난류 중심 수층의 지표 인자(Lee and Cho, 2000)로 사용된다. 이와 같은 시간적인 지연은 쓰시마난류가 동해 남서부해역에서 북동해역으로 이동하는데 걸리는 시간적인 차이에 의한 것으로 생각된다.

쓰시마난류 분포역에 대한 수온의 변화 경향을 보기 위해 PM-line의 표층과 수심 100m에서의 수온, 염분, 용존산소의 시간에 따른 변화를 나타내었다 (Figs. 3.2.1.7-3.2.1.8). 표층에서의 수온, 염분, 용존산소의 변화를 보면 년 주기의 계절 변동이 가장 크게 나타남을 알 수 있다 (Fig. 3.2.1.7). 각 인자들 값의 범위는 color index로 표시되었으며, 녹색에서 적색계열로 갈수록 높은 값을 나타낸다. 정점 PM9는 Noto에서 북서쪽 극전선 부근에 위치하며, 정점 PM1은 일본 연안에 위치한다. 수온의 변화를 보면 한류수역과 난류수역의 경계역인 외양에서 계절 변동이 뚜렷하게 나타나며 염분과 용존산소의 농도 변화는 일본 연안역에서 크게 나타난다. 이러한 변화는 쓰시마난류의 특성과 관련이 있다. 쓰시마난류는 고온·고염의 해수로서 이동경로가 외양에 비해 상대적으로 일정한 일본 연안역에서는 난수의 공급으로 인한 연중 변동폭이 적게 나타난다. 그러나 최근 연구결과에 따르면 하계 동중국해와 일본 연안의 Wakasa bay에서 유입되는 저염분수와의 혼합으로 염분 농도가 큰 계절적인 변화를 나타낸다고 하였다. 외양의 경우는 쓰시마난류의 이동경로의 변동과 한류수역의 영향으로 수온의 변동 폭이 크게 나타난다.

해표면의 경우는 대기의 영향을 직접적으로 받는 곳으로 기상의 변화에 민감하게 반응을 한다. 따라서 계절에 따른 해양학적 인자들이 변동이 크게 나타나며, 쓰시마난류의 영향에 의한 해양학적 인자들의 시-공간적인 분포 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 생각된다. 쓰시마난류의 중심수층인 수심 100m에서는 수온이 어떤 변화를 보이는지 조사하였다 (Fig. 3.2.1.8). 수심 100m의 경우 해표면과는 달리 한류수역과 난류수역의 경계가 뚜렷하게 나타나며 계절변동 외에 년 주기 이상의 변동 경향을 나타낸다. 1972년 이후 75년까지는 난수가 외양으로 확장하는 수온의 상승기를 나타내며, 이후 80년대 중반까지는 난수의 세력이 약해지는 하강기 그리고 다시 90년대 후반까지는 상승하는 형태를 나타낸다. 이러한 변화는 염분 및 용존산소의 변화에서도 함께 나타난다. 홍 등 (1983)은 1981년 하계에 나타난 동해안의 이상 저수온 출현 현상을 설명하였는데, 쓰시마난류의 세기에 따른 이동경로의 변화 및 난수의 확장에 따른 것으로 보았

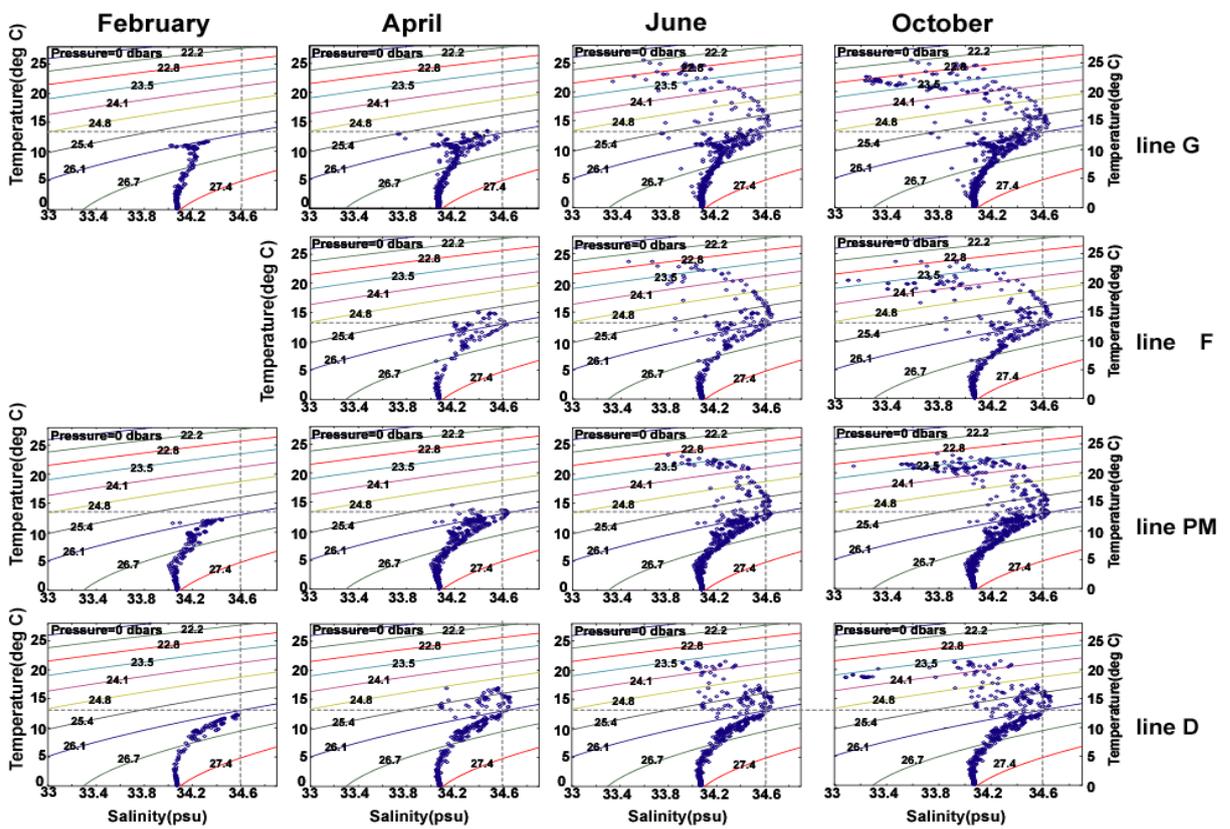


Fig. 3.2.1.6. T-S diagram of water masses observed along lines D, PM, F, and G in February, April, June and October of 1996.

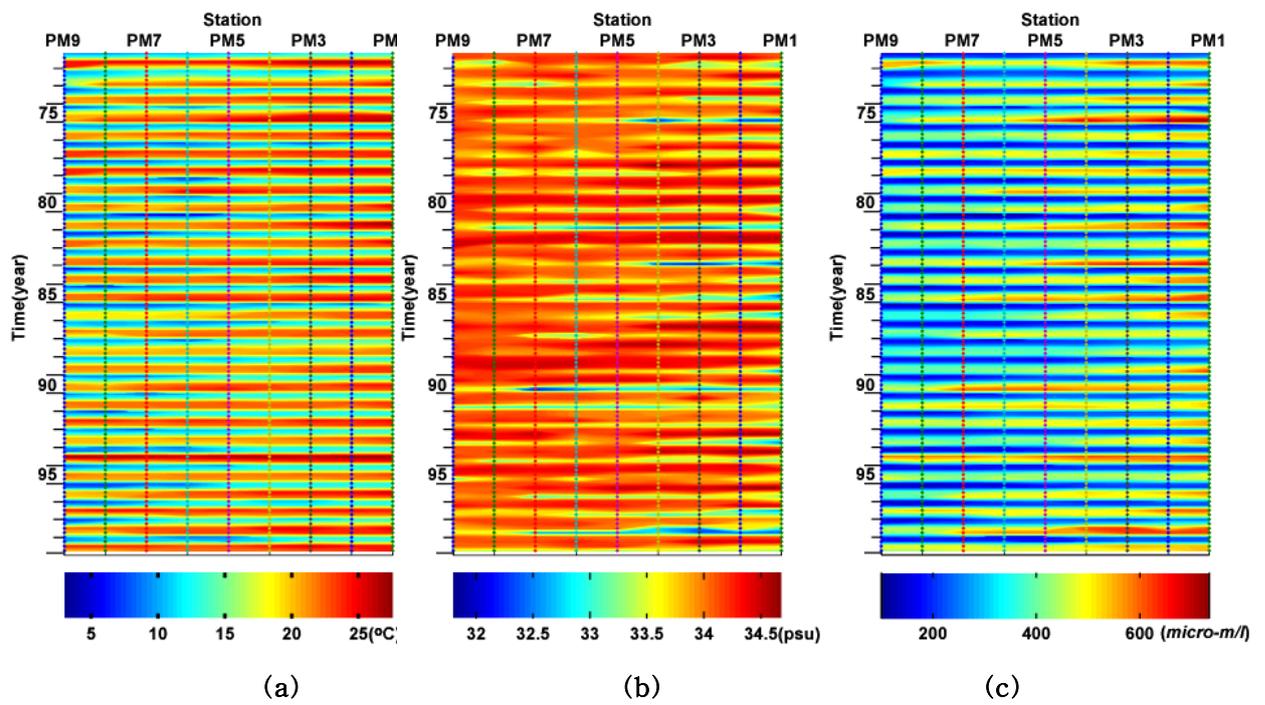


Fig. 3.2.1.7. Time series of temperature(a), salinity(b) and dissolved oxygen(c) at the sea surface of each station along PM line from 1972 to 1999.

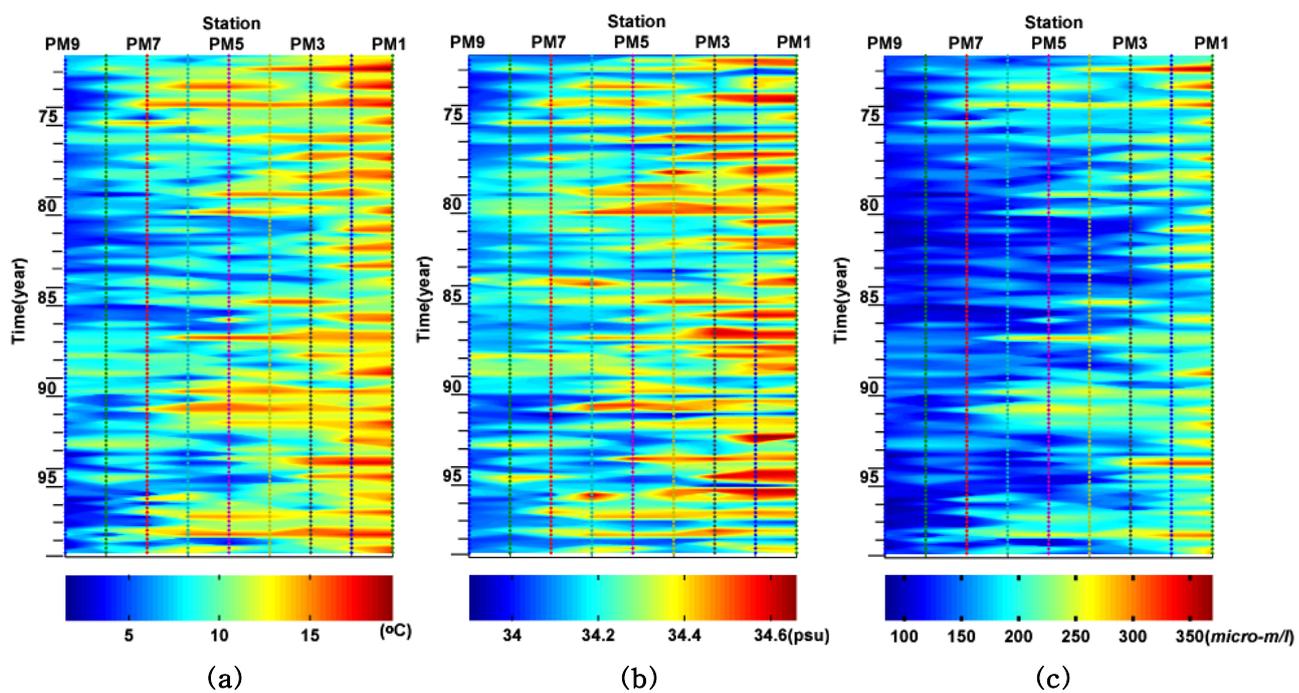


Fig. 3.2.1.8. Time series of temperature(a), salinity(b) and dissolved oxygen(c) at 100m of each station along PM line from 1972 to 1999.

다. 특히 1981년에 나타난 이상 저수온 현상은 분석한 자료의 기간인 1966년-1981년 사이에 가장 낮은 수온을 나타낸 것으로 보고하였다. 이러한 현상은 본 연구에서 나타난 장주기의 변화와 관련된 것으로 생각되며, Fig. 3.2.1.9을 보면 그 경향을 뚜렷하게 볼 수가 있다.

Figs. 3.2.1.9-3.2.1.10은 1972년부터 1999년까지 동계 (2월)와 하계 (7월)의 수온, 염분, 용존산소를 시계열로 나타낸 것으로서, 10℃ 등온선을 함께 나타내었다. 이것은 Uda(1934), Ogawa (1971) 그리고 Hong and Cho (1983)가 언급한 냉수괴의 남방한계 및 쓰시마난류의 북방한계 지표 수온이다. Fig. 3.2.1.9을 보면 동계와 하계의 변동 경향이 유사하게 나타난다. 1980년 - 1985년 사이에는 저수온이 일본 연안쪽(st.PM1)에 근접하여 분포 하는 반면 1990년대 이후에는 난수역이 외양으로 확장해있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 쓰시마난류의 변동에 따른 난수역의 확장 및 축소와 관련이 있는 것으로 생각된다.

Figs. 3.2.1.11-3.2.1.12는 염분과 용존산소에 대한 시계열 분포로서 10℃ 등온선을 함께 표시한 것이다. 용존산소의 경우 동계와 하계 모두 수온과 유사한 변동 경향을 나타낸다. 그러나 염분의 분포를 보면, 하계에는 수온 및 용존산소의 분포와 유사하게 나타나지만, 동계의 경우에는 다른 변동 경향을 나타낸다.

쓰시마난류가 외양으로 확장하는 시기와 연안에 치우쳐 분포 하는 것에 따른 수온의 변동을 보면 이상 저수온과 이상 고수온이 나타난 시기를 파악할 수 있으며, 이러한 변동은 주기성이 있음을 알 수 있다 (Fig. 3.2.1.12). 이상 저수온이 출현한 1980년대 초에는 평년에 비해 낮은 ‘-’ 편차를 나타내며 1990년대 중반으로 갈수록 ‘+’ 편차를 가지는 지역이 외양으로 확장하고 있다.

Figs. 3.2.1.7-3.2.1.12에서 나타난 결과를 보면 쓰시마난류는 계절 변동 및 년 주기 이상의 변동 경향을 나타내는 것으로 생각된다. 특히 난수역과 냉수역의 확장 정도와 관련된 현상은 10년 이상의 주기적인 변동과 관련이 있는 것으로 생각된다. 따라서 쓰시마난류의 변동이 어떠한 주기성을 가지는지를 알아보기 위하여 국립수산과학원의 관측자료로부터 wavelet analysis를 이용하여 시계열 분석을 하였다. Figs. 3.2.1.13-3.2.1.15는 제주도 남부 해역과 , 대한해협 서수도, 울릉도 서부 해역 수심 100m에 대한 수온의 wavelet 분석 결과이다. 각 그림에서 (a)는 편차의 시계열 변화를 보여주며, (b)와 (c)는 시계열 자료의 탁월 변동주기 및 각 주기의 년도별 변동경향을 나타낸다. 그리고 (b)의 실선과 (c)의 점선으로 이루어진 곡선은 95% 신뢰수준을 나타낸다.

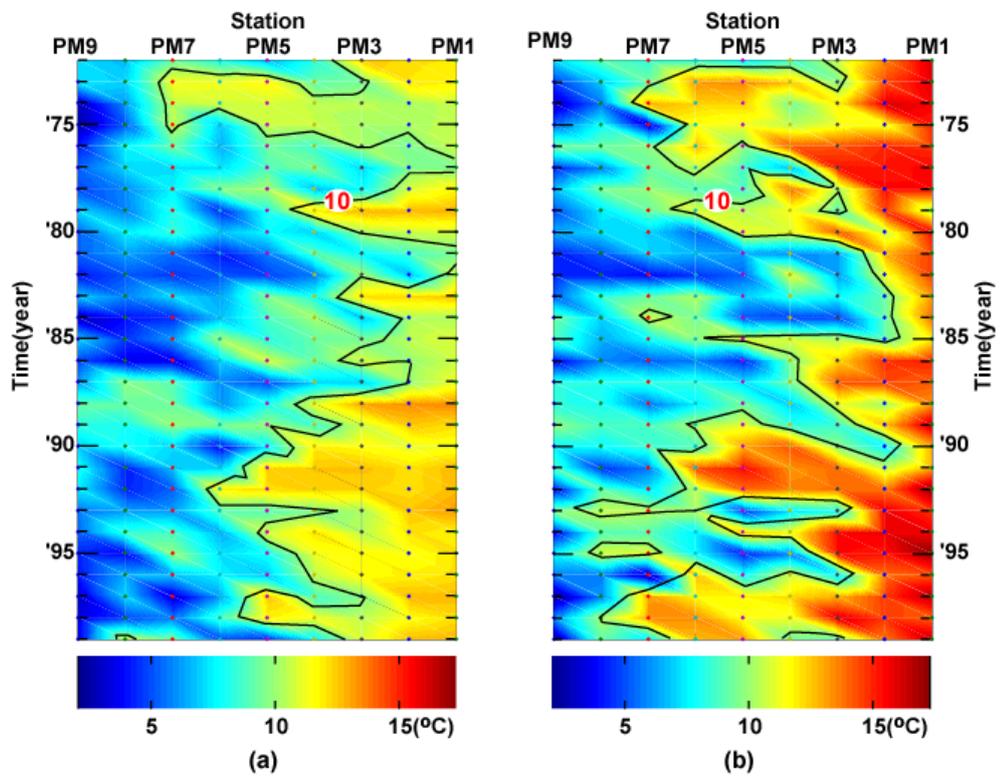


Fig. 3.2.1.9. Time series of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at 100m of each station along PM-line in February (a) and July (b) from 1972 to 1999.

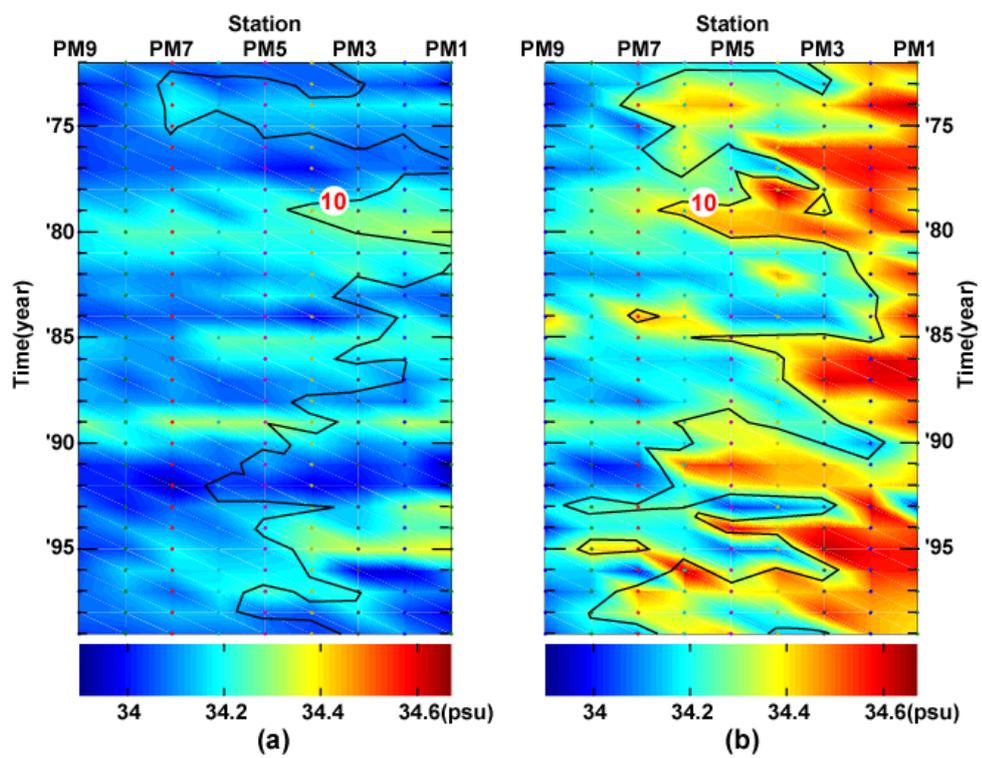


Fig. 3.2.1.10. Time series of salinity (psu) at 100m of each station along PM-line in February (a) and July (b) from 1972 to 1999.

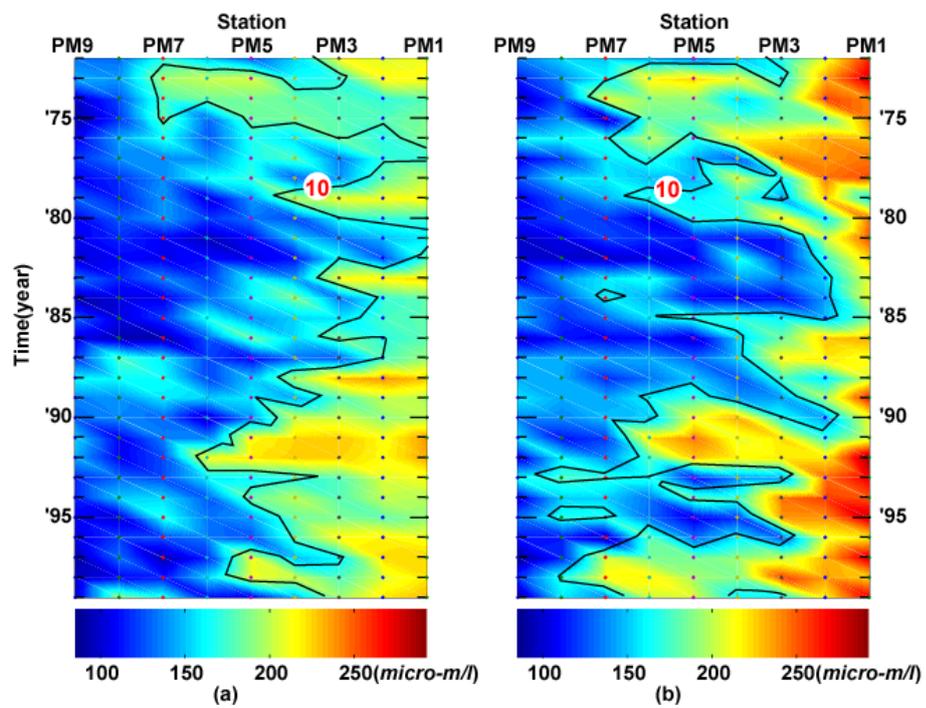


Fig. 3.2.1.11. Time series of dissolved oxygen ( $\mu\text{mol/l}$ ) at 100m of each station along PM-line in February (a) and July (b) from 1972 to 1999.

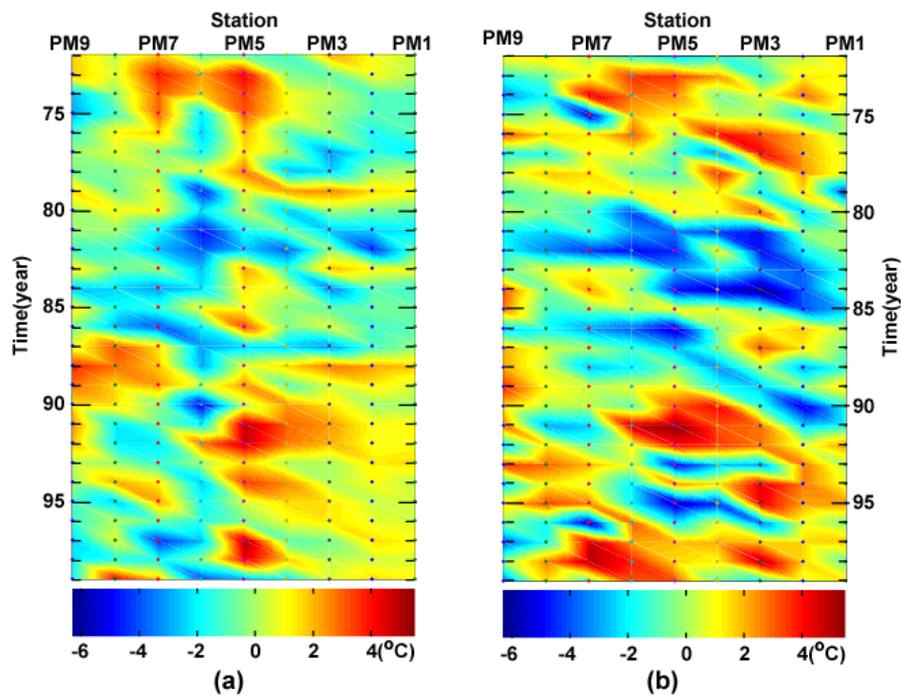


Fig. 3.2.1.12. Time series of temperature deviation at 100m of each station along PM line in February (a) and July (b) from 1972 to 1999.

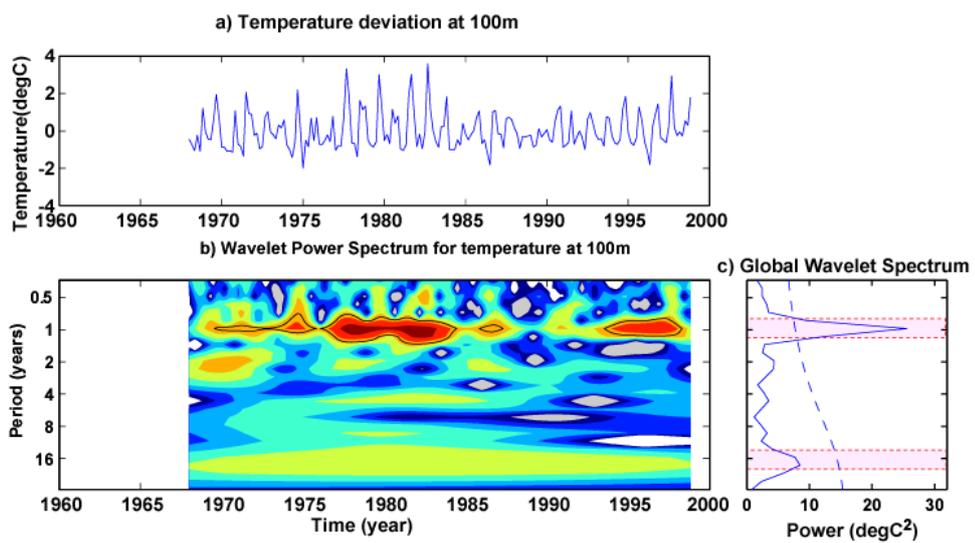


Fig. 3.2.1.13. Wavelet analysis for temperature at 100m in the southern part of Cheju Island. Solid lines shown in the lower panel 'b' indicate 95% confidence level and dark red color in the inner part of solid lines mean higher variation of a given period. Vertical dashed line drawn in the lower panel 'c' indicate 95% confidence level and shaded regions represent range of dominant period.

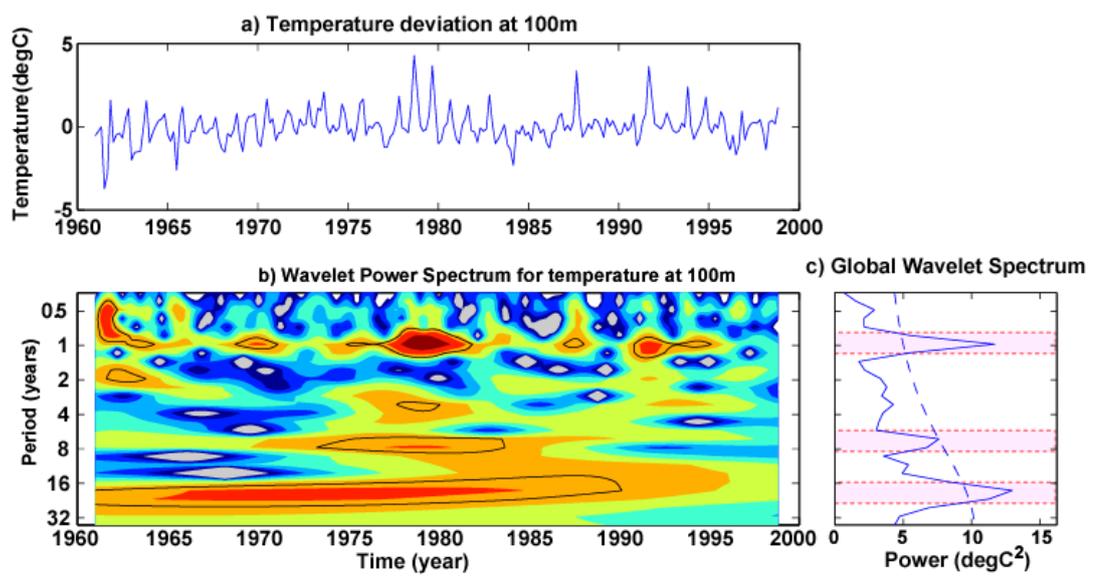


Fig. 3.2.1.14. Wavelet analysis for temperature at 100m in the western channel of Korea Strait the same as Fig. 3.2.1.13.

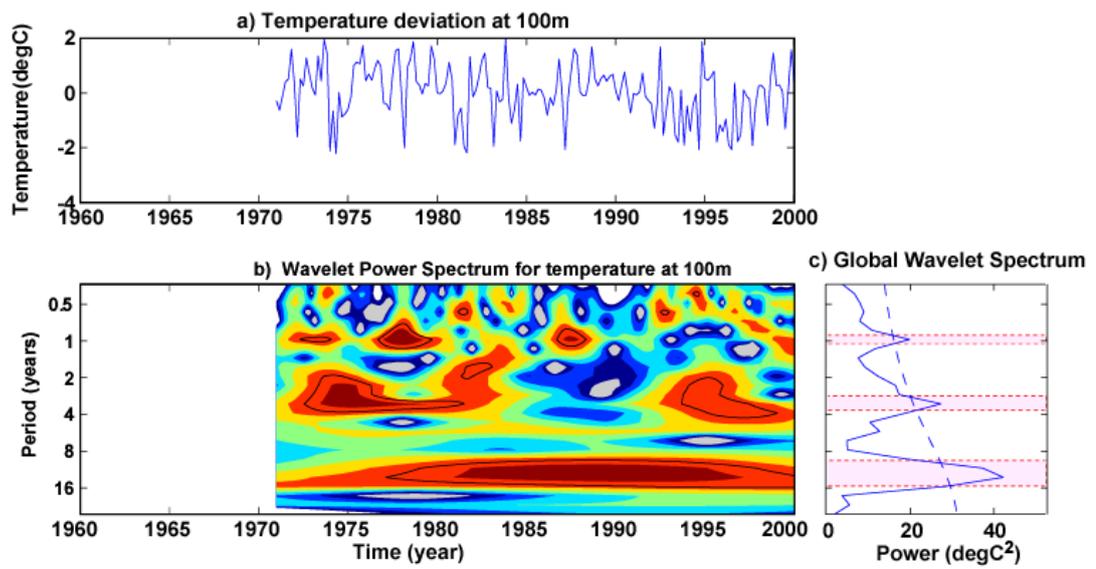


Fig. 3.2.1.15. Wavelet analysis for temperature at 100m in the western part of Ulleung Island the same as Fig. 3.2.1.13.

### (3) 쓰시마난류의 변동과 동해의 해황 변동

동해에서 쓰시마난류의 변동과 해류순환과의 관계를 살펴보기 위하여 국립수산과학원과 일본기상청의 정선 관측 자료를 이용하여 시계열 분석을 하였다. 쓰시마난류 및 냉수역과 난수역의 분포를 가장 잘 파악할 수 있는 수심 100m에 대하여 수온의 시계열 분석 결과를 보면, 쓰시마난류는 1년, 4년-8년 그리고 16년의 주기성을 가지고 변동을 하는 것으로 나타났다. Wavelet analysis 의 spectrum 분석에 사용된 자료는 1961년-1999년 (대한해협 서수도), 1968년~2000년 (제주도 남부해역) 그리고 1971년-2000년 (울릉도 서부해역)까지 격월(2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월)로 측정된 것이다. 자료의 수집 기간은 최소 30년 (울릉도 서부 해역)에서 최대 39년 (대한해협 서수도)이다.

시계열 자료 분석시 측정 자료의 수집 기간 및 수집 간격을 참고로 하여 최소 및 최대로 분리 가능한 주파수(또는 주기) 범위를 설정하게 된다. Nyquist (또는 folding) frequency의 정의(Emery and Thomson, 1998)에 따르면 위의 세 정점에서 2개월 간격으로 측정된 자료에서 분리 가능한 최대 주파수는 0.25cycle/month로써, 최소 4개월의 주기 성분까지 분석이 가능하다. 최소 주파수 범위는  $1 \times 10^{-3}$  cycle/month(제주도 남부해역)- $1.3 \times 10^{-3}$  cycle/month (울릉도 서부해역)로써, 울릉도 서부해역, 대한해협 서수도 그리고 정점 제주도 남부해역에서 분석 가능한 최대 주기의 범위는 각각 30년, 33년, 39년이다 (Figs. 3.2.1.13-3.2.1.15). 통계학적으로 자료의 기간이 특정 주기의 2배 이상일 경우 즉, 자료기간 내에서 특정 변동 주기가 연속적으로 2회 이상 뚜렷하게 나타날 경우에 그 신뢰성을 인정할 수 있다 (Emery and Thomson, 1998). 그러므로 본 연구에서 나타난 쓰시마난류의 최대 변동 주기는 약 16년으로써 울릉도 서부 해역을 제외한 정점 제주도남부 해역과 대한해협 서수도의 경우 자료의 기간이 주기의 2배 이상에 해당하므로 그 신뢰성을 가질 수 있는 것으로 생각된다.

수온, 염분 그리고 용존산소의 시계열 변화에서 나타난 쓰시마난류의 변동은 그 세력의 변동과도 관련지어 설명할 수 있다. PM-line의 수심 100m에 대한 수온의 시계열 변화를 보면 (Fig. 3.2.1.16), 1970년대 초에서 1980년대 초까지 수온이 내려가는 하강기이며 이후 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 김 (2001)은 대한해협에서 해류의 분포와 변동에 관한 연구 결과에서 1997년부터 1998년까지 쓰시마난류의 수송량이 매년 증가한다고 하였다. 이러한 현상은 Fig. 3.2.1.16에서 나타난 수온의 상승 경향과도 일치한다. 즉 1995년 이후 1999년까지는 수온의 상승시기로서 이 기간동안 쓰시마난류의 수송량 및 세기도 증가하는 것으로 생각된다. 특히 1981년과 1982년 가장 낮은 저수온을 나타낸 시기로서 쓰시마난류의 세력이 약한 시기에는 저수온역이 넓게 확장하는 반면, 1991년과 1992년에는 고수온역이 넓게 확장한 시기로 쓰시마난류의 세력이 강해진 시기로 생각된다. Hong and Cho (1983)는 쓰시마난류의 세기가 약하고 강함에 따라서 난수역의 북방 한계가 다르게 나타난다고 하였다. 즉 쓰시마난류의 세력이 강한 시기에는 난수역이 한국 동해안과 동해 중앙부쪽으로 확장하는 반면, 약한 시기에는 일본 연안쪽

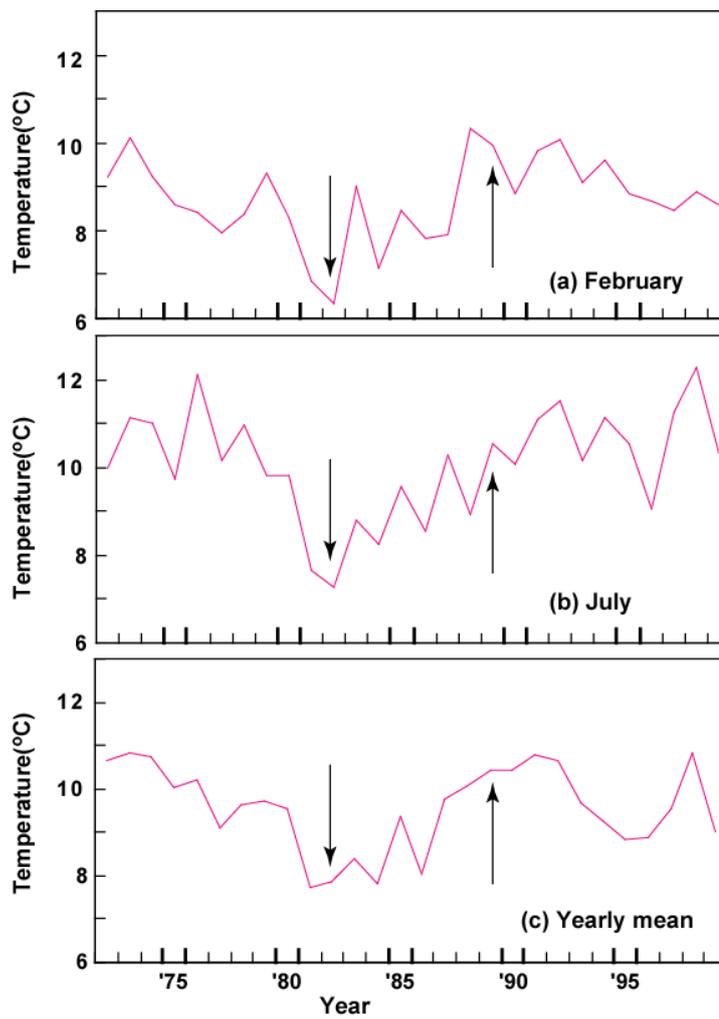


Fig. 3.2.1.16. Time series of mean temperature in February (a), July (b) and yearly mean temperature (c) at 100m along PM-line. Arrows indicate the period shown in Figs. 3.2.1.20–3.2.1.22

으로 치우쳐 있다고 하였다. 본 연구 결과에서 나타난 수온의 변동은 쓰시마난류의 세력 변동에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다. 그러나 Hong and Cho (1983)는 쓰시마난류의 세력 변화에 따른 난수역의 확장 범위에 대한 결과를 고찰한 것으로서, 쓰시마난류 변동의 주기성과 그에 따른 극전선의 변동, meandering path의 변동, 냉수역의 확장 정도 그리고 eddies 발생 등을 포함한 해류순환과의 관계에 대한 설명은 제시하지 못하였다. 그리고 홍 등 (1983)은 1966년에서 1981년 기간 중에 1981년이 다른 해에 비해 이상 저수온이 나타났다고 하였는데, 이러한 현상은 본 연구에서 나타난 약 16년의 주기적인 변동과도 관련이 깊은 관련이 있다.

쓰시마난류 세력의 변동은 난수역 및 냉수역의 확장 정도 및 해류 순환의 변동과도 관련이 있다. 동해의 해류 순환은 그 특성상 극전선을 중심으로 남쪽과 북쪽의 순환으로 구분되지만 서로 독립적으로 단절되어 있는 상태가 아니라 상호작용을 통하여 끊임없이 영향을 주고받는 상태에 있다.

Onishi and Ohtani (1997)는 춘계(4월)의 경우 쓰시마난류의 약 52%는 쓰가루해협을 통하여 북태평양으로 유출되며, 48% 정도는 북쪽으로 이동한다고 하였다. 그리고 추계의 경우(10월)는 약 37%가 쓰가루해협을 통하여 유출되며, 나머지 63% 정도는 북상한다. 특히 Toba et al.(1982)와 Lee and Cho(2000)는 쓰시마난류가 동해 남서부 해역에서 쓰가루해협까지 이동하는데 2-3개월 정도의 시간 지연이 있다고 하였다. 즉 대한해협(쓰시마해협)에서 쓰시마난류 수송량의 최저 및 최고 시기가 1월과 10월경임을 고려할 때 (김, 2001), 쓰가루 해협에서는 2-3개월이 지난 4월(춘계)과 12월(동계) 무렵에 쓰시마난류의 수송량이 최저와 최고에 달하는 것으로 보인다. 이러한 현상을 Onishi and Ohtani(1997)의 결과와 비교하여 보면 쓰시마난류의 세기에 따라 극전선 북쪽의 해황도 영향을 받을 것이다. 즉 쓰시마난류의 세기가 약한 시기에는 쓰가루해협을 통하여 북태평양으로 유출되는 양이 북상하여 쓰야해협과 리만한류로 공급되는 양보다 많은 반면, 세기가 강한 시기에는 쓰가루해협을 통해 유출되는 양보다 더 많은 양이 북상하게 된다는 것이다.

본 연구결과에서 쓰시마난류는 계절 및 년 변동을 하는 것으로 나타났다. 이와 관련하여 동해의 해류순환도 영향을 받을 것이다. 따라서 평년상태의 수온의 분포와 쓰시마난류의 세력이 강했던 시기와 약했던 시기의 수온의 분포를 살펴보면, 쓰시마난류의 변동에 따른 해류순환의 차이를 파악할 수 있을 것으로 생각된다. 직접적인 해류 측류 자료의 부족으로 동해에서 광역에 대한 해류순환을 파악할 수 없다. 따라서 해양학적인 인자 중에서 그 특성이 물리적인 혼합과 확산의 영향 외에 다른 요인에 의해서 쉽게 변화하지 않는 보존성 성분인 수온 분포 특성을 이용하였다.

Figs. 3.2.1.17-3.2.1.18은 수심 100m의 평균 수온 분포도를 나타낸다. 1904년부터 1994년까지 위·경도 1°간격으로 평균된 것으로서 5°C는 극전선의 지표 수온이며, 10°C는 쓰시마난류의 북방 한계 지표 수온을 나타낸다. 동계의 경우를 보면 극전선의 위치는 40°N을 따라 거의 나란하게 분포하며, 10°C 등온선의 또한 한국 동해안의 포항과 일본 연안의 Noto 반도 사이에서 나란하게 분포한다. 하계의 경우를 보면 10°C 등온선이 동해 중앙부로 확장하여 분포하여 5°C

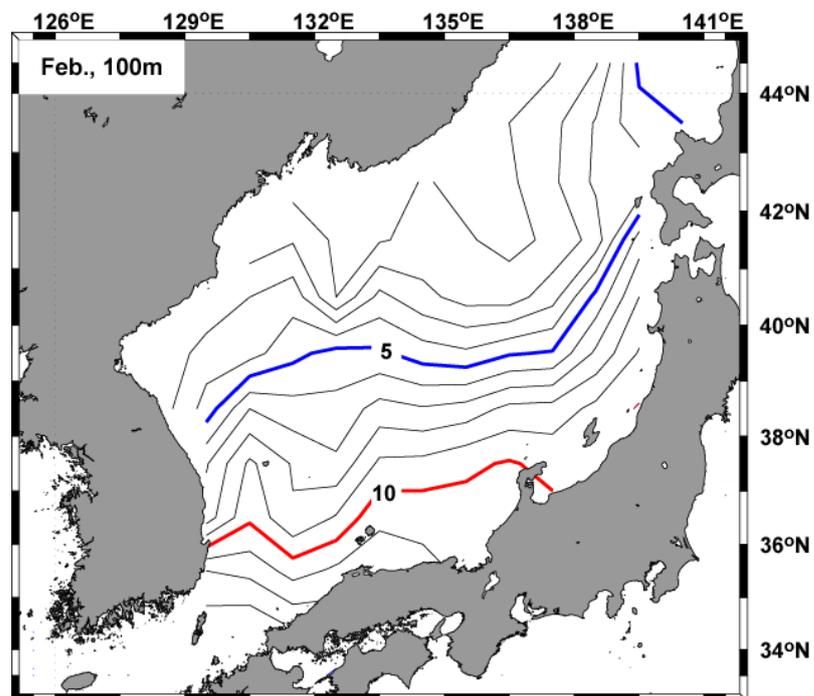


Fig. 3.2.1.17. Horizontal distribution of mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at 100m in February from 1904 to 1994 .

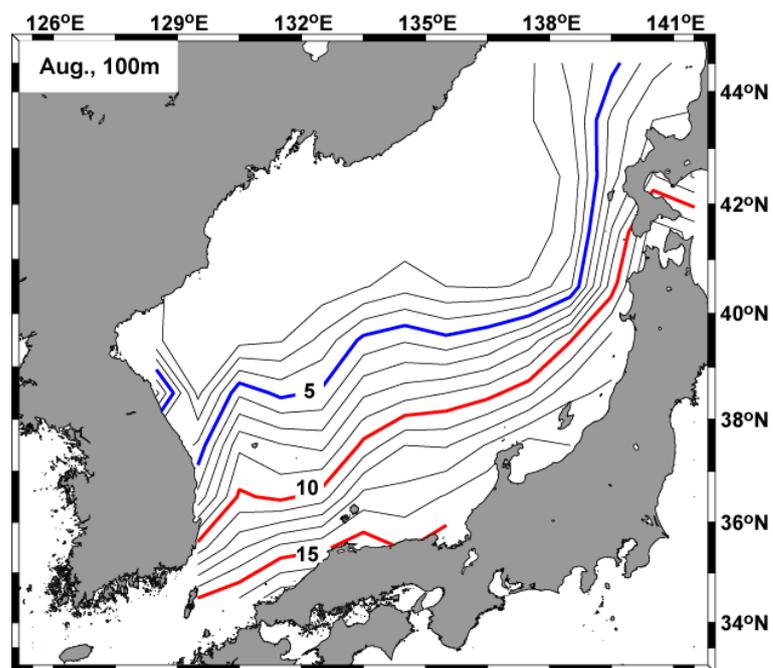


Fig. 3.2.1.18. Horizontal distribution of mean temperature (°C) at 100m in August from 1904 to 1994.

등온선과 거리가 좁혀져 있음을 알 수 있다. 일본 연안역에는 15°C 이상의 고온수가 분포하는 것으로 나타난다. Figs. 3.2.1.17-3.2.1.18은 평년상태의 분포를 나타낸 것으로서 쓰시마난류의 세기가 강해지는 상승기와 약해지는 하강기에 대해서 그 특성을 살펴보았다.

Fig. 3.2.1.19는 1969년도의 9-10월 자료로서, 본 연구 결과에서 나타난 쓰시마난류의 변동주기와 홍 등(1983)의 결과를 분석해보면 쓰시마난류의 세기가 상승하는 시기에 해당함을 알 수 있다. 5°C 등온선과 10°C 등온선이 평년에 비해 그 분포 위치가 북상하였고, 쓰시마난류의 meandering 경로가 단조롭지 않고 복잡한 굴곡형태를 나타냄을 알 수 있다. 극전선의 형태가 쓰시마난류 meandering의 영향을 받고 있는 것으로 보이며, 5°C 이하의 수온 등치선의 형태 역시 영향을 받는다. 그리고 쓰시마난류의 복잡한 meandering의 영향으로 10°C 등온선과 일본 연안역 사이에는 난수성 소용돌이와 냉수성 소용돌이가 생성되어 있음을 알 수 있다.

Figs. 3.2.1.20-3.2.1.21은 1989년의 동계와 하계에 대한 수온의 수평 분포도로서 쓰시마난류의 세력이 상승하는 시기에 해당한다 (Fig. 3.2.1.17). 본 연구에 사용된 자료의 기간 중 난수역이 가장 확장했던 1991년-1992년의 경우는 해양관측이 Noto 반도 주변 해역에 집중되어 있기 때문에 광역에 대하여 조사가 이루어진 1989년의 자료를 사용하였다.

동계의 경우를 보면 (Fig. 3.2.1.20), 10°C 등온선이 Noto 반도에 근접하여 분포한다. 또 하계 (Fig.3.2.1.21)에는 10°C 등온선이 동해 중앙부쪽으로 확장해 있는 형태이며, 10°C 등온선의 내부와 외부에 와동류가 형성되어 있다. 10°C 등온선의 확장으로 인해 10°C 등온선과 5°C 등온선과의 사이에 전선이 강하게 형성되고 있다. 저수온기였던 1982년에 비해 5°C와 10°C 등온선의 분포 위치가 다르게 나타남을 알 수 있다 (Fig. 3.2.1.22).

Hase *et. al.*(1999)은 1995년과 1997년 일본 연안을 따라 이동하는 쓰시마난류의 이동 경로를 확인한 결과 서로 다르게 나타났음을 지적하였다. 이것은 본 연구결과에서 나타난 쓰시마난류의 변동과 관련이 있다. 1995년은 쓰시마난류의 세기가 약해지는 시기이며, 1997년은 쓰시마난류의 세기가 강해지는 시기에 해당하기 때문인 것으로 생각된다 (Fig. 3.2.1.16). 즉 쓰시마난류는 세기가 약한 시기에는 일본 연안쪽으로 치우쳐서 이동하는 반면, 세기가 강한 시기에는 동해 중앙부로 확장해서 이동하는 것과 관련이 깊은 것으로 생각된다. Hase *et. al.*(1999)의 결과에서 보면 쓰시마난류가 동해 중앙부로 확장해서 이동하는 1997년의 경우 1995년과 달리 와동류가 일본 연안쪽에 형성되어있음을 알 수 있다.

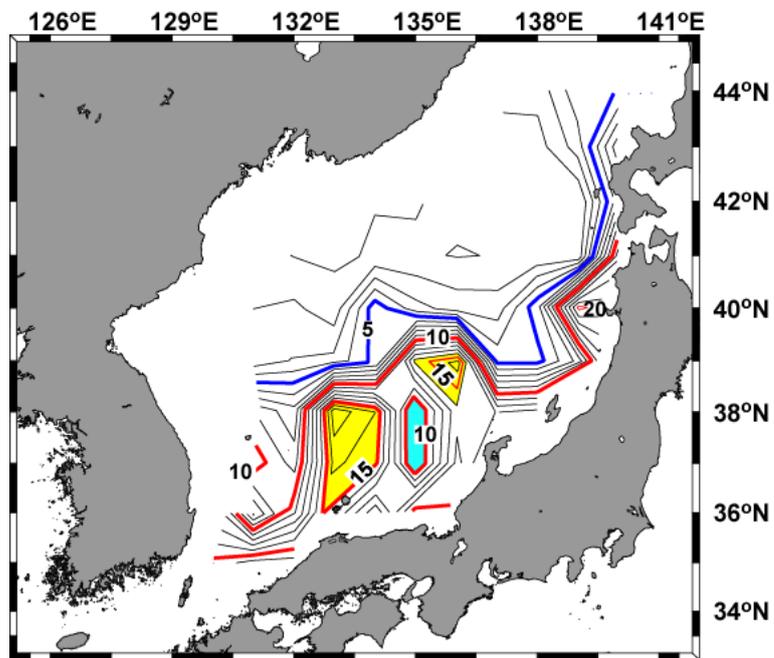


Fig. 3.2.1.19. Horizontal distribution of temperature(°C) at 100m from September to October in 1969.

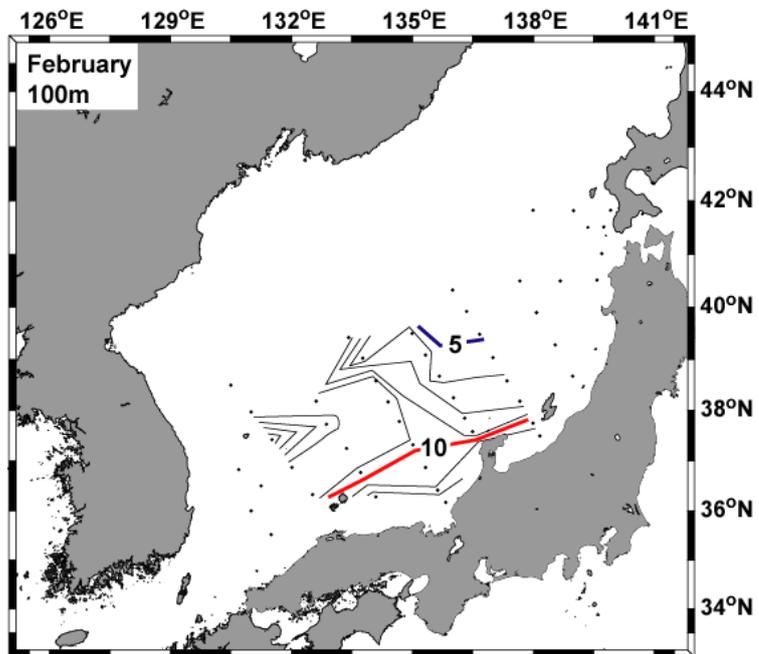


Fig. 3.2.1.20. Horizontal distribution of temperature (°C) at 100m in February of 1989.

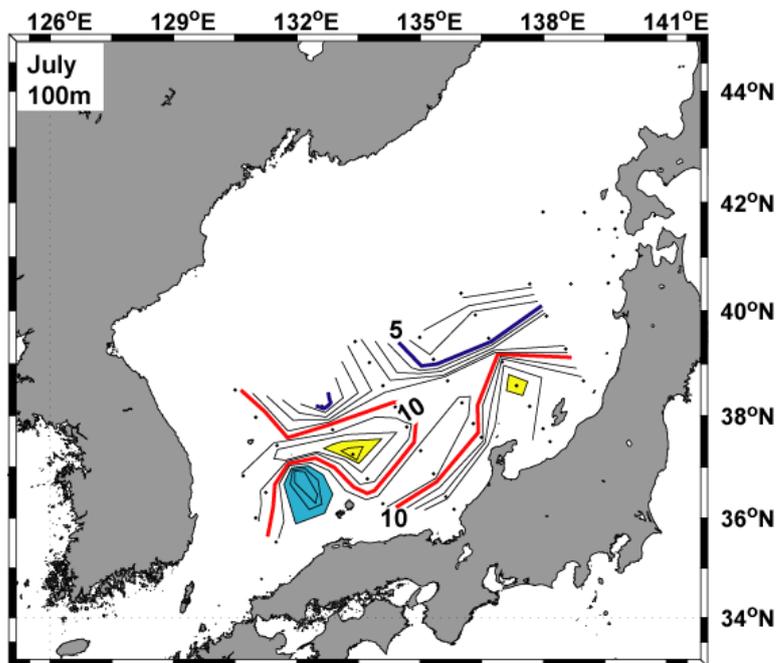


Fig. 3.2.1.21. Horizontal distribution of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at 100m in July of 1989. Shaded areas indicate eddies.

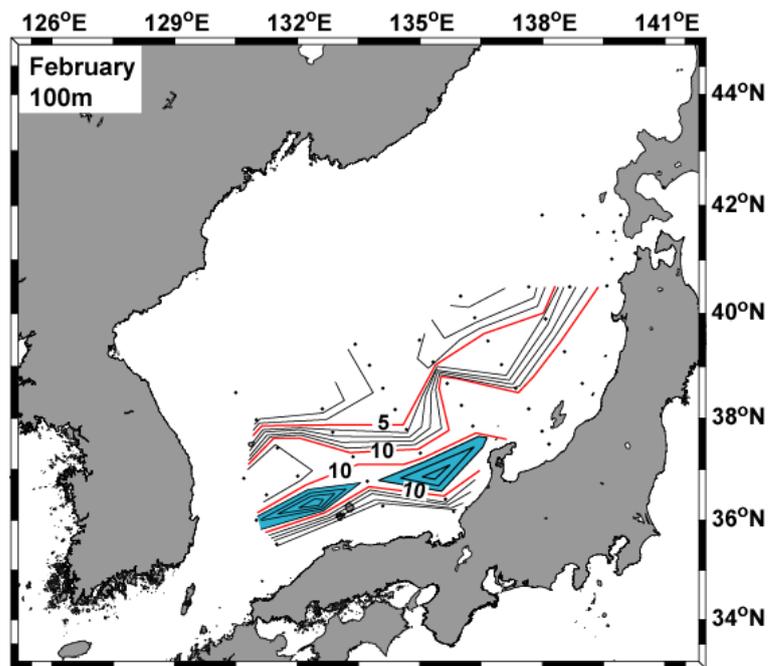


Fig. 3.2.1.22. Horizontal distribution of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at 100m in February of 1982. Shaded areas indicate eddies.

#### (4) 엘니뇨와 동해 해황변동과의 관계

쓰시마난류의 변동과 동해의 해황 변동과의 관계에 대해서 살펴보았다. 쓰시마난류 세기의 강약에 따른 해류순환의 변화를 확인할 수 있었다. 그렇다면, 쓰시마난류의 변동 요인은 어디서 오는 것일까? 하는 의문을 가지게 된다.

쓰시마난류의 변동에 대하여 지금까지 진행된 연구 결과를 보면, 그 원인을 대부분 동해 자체 및 인접한 지역의 해양 및 기상학적인 인자들에서 찾고 있다. Yoon (1982a,b,c)은 한국 동해안과 일본 연안을 따라 이동하는 쓰시마난류 분지류 운동에 영향을 끼치는 주요 인자를 각각 다르게 설명하고 있다. 즉, 일본 연안을 따라 이동하는 제 1분지류는 수심이 얕아서 해저 마찰효과가 크게 작용하는 대륙붕의 지형적인 영향을 받아 coastal trapped current의 특성을 지니게 된다. 한편 한국 동해안을 따라 이동하는 쓰시마난류의 제 3지류는  $\beta$ -effect에 의해 형성된다고 설명하고 있다. 그리고 나 등 (1992)은 한반도 주변해역의 해상풍을 계산하여 이를 근거로 wind-stress와 wind-stress curl의 분포를 파악하였다. 이 연구결과에서 겨울철 양(positive)의 wind-stress curl은 극전선 북쪽 해역의 시계반대방향의 해류순환을 일으키는 중요한 인자로 작용한다. 그리고 한국 동해안을 따라 북상하는 동한난류가 동해안에서 동해 중앙부로 분리되는 과정에서 겨울철 양(positive)의 wind-stress curl의 영향을 받는 것으로 설명하고 있다. 동해의 일반적인 풍계의 형태를 보면, 겨울철에는 북서풍의 바람이 우세하고 여름에는 남풍계열의 바람이 우세하다. Kim and Cho (1982)는 계절풍에 따른 풍계의 변화가 냉수역 분포에 영향을 주는 것으로 설명하고 있다. 즉, 겨울에는 북서 계절풍에 의해서 동해 북쪽 해역의 표층 냉수가 남하하게 되며, 여름에는 남서풍에 의해서 한국 동해안 남부 연안근처에서 용승된 저층 냉수가 대한 해협쪽으로 확장한다. 그리고 Hong and Cho (1983)는 계절풍에 따른 냉수역의 확장정도에 따라서 쓰시마난류 분포가 영향을 받을 수 있음을 시사하고 있다. 즉 냉수역이 동해 남부 해역까지 넓게 분포할때 쓰시마난류는 일본 연안역에 치우쳐 분포한다. 해저 지형 및 수괴의 불안정성, 계절풍 등은 국지적인 해양과 기상 인자로서 쓰시마난류 이동경로 및 세기의 변동을 명확하게 설명하기에는 부족한 면이 있다. 따라서 쓰시마난류의 기원이 동해 내가 아닌 외양(open sea)과 밀접하게 관련되어 있음을 고려할 때, 쓰시마난류의 변동에 영향을 주는 인자들을 외양(open sea)에서 나타나는 해양 및 기상학적 현상과 연관 지어 설명할 필요가 있다.

쓰시마난류는 북적도 해류-쿠로시오 해류-북태평양 해류-캘리포니아 해류로 이어지는 시계방향의 대순환(gyre)을 구성하는 쿠로시오 해류에 기원을 두고 있다. 특히 적도 해류계의 변화는 쿠로시오와 지류인 쓰시마난류의 변동에 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 따라서 열대태평양의 기후뿐만 아니라 전 지구 기후시스템을 변동시키는 가장 강력한 요인으로 보고되고 있는 (Horel and Wallace, 1981; Kang and Lau, 1986) 엘니뇨가 쓰시마난류의 변동에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있다.

엘니뇨의 변동 주기를 살펴보기 위해 엘니뇨 지수로 이용되는 SOI와 NINO3 SST 자료를

이용하여 wavelet analysis을 사용 하였다 (Figs. 3.2.1.23-3.2.1.24). SOI와 NINO3의 분석 결과를 보면, 엘니뇨는 2-8년 그리고 16년 정도의 주기를 가지고 변동하는 것으로 나타난다. 이와 같은 엘니뇨의 변동 주기는 동해에서 쓰시마난류의 변동 주기와 유사하게 나타나고 있으며, 엘니뇨와 쓰시마난류의 변동과의 상호 관계에 대해서 살펴보면 두 인자들 간의 관련성을 알 수 있다.

Fig. 3.2.1.25는 쓰시마난류의 주 이동 경로인 대한해협 서수도의 수심 100m에서의 수온과 엘니뇨 지수인 SOI 사이의 cross spectrum결과를 보여준다. 4.8년과 16.26년의 특정 변동 주기에 서로 상관성을 보인다. 4.8년과 16.26년의 특정 변동 주기에 대하여, 1.34년과 4.53년의 위상 차이를 갖고 두 변수가 연과 되어있는 것으로 나타났다. 즉 4.8년의 변동 주기에 대해서는 엘니뇨의 영향이 1.34년 뒤에 쓰시마난류의 변동에서 나타나며, 16.26년의 변동 주기에 대해서는 엘니뇨의 변동과 쓰시마난류의 변동 사이에 4.53년의 위상 차이가 있음을 나타낸다.

특히 엘니뇨와 쓰시마난류의 두 변수 사이에 16년 정도의 특정 변동 주기는 동해에서 쓰시마난류 세기의 상승기와 하강기와 깊은 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉 엘니뇨의 변동 주기는 동해에서 쓰시마난류의 세기와 분포 그리고 동해 해황에 중요한 영향을 끼치는 것으로 생각된다.

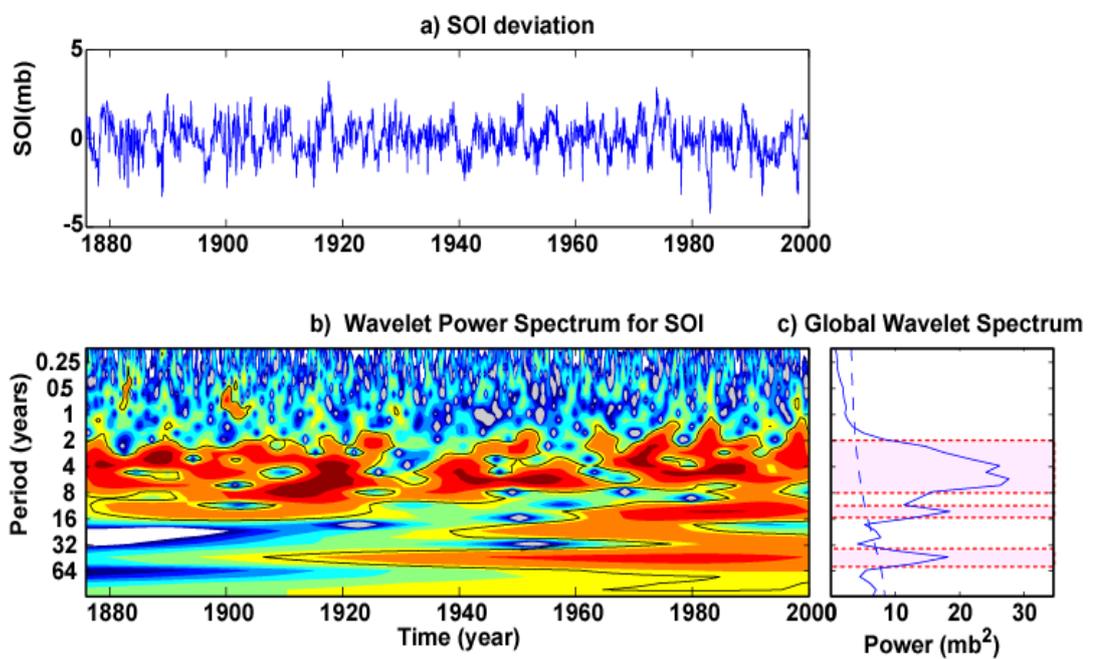


Fig. 3.2.1.23. Wavelet analysis for SOI. Solid lines shown in the lower panel b' indicate 95% confidence level and dark red color in the inner part of the solid line mean higher variation of a given period. Vertical dashed line drawn in the lower panel 'c' indicate 95% confidence level and shaded regions represent range of dominant period.

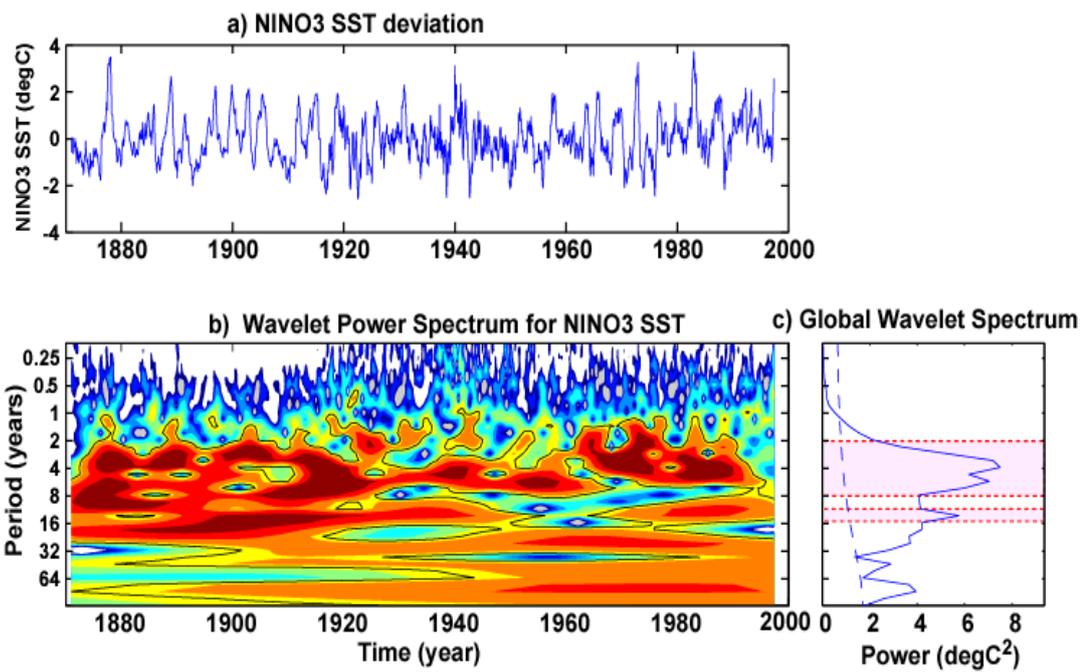


Fig. 3.2.1.24. Wavelet analysis for NINO3 SST the same as Fig. 3.2.1.23.

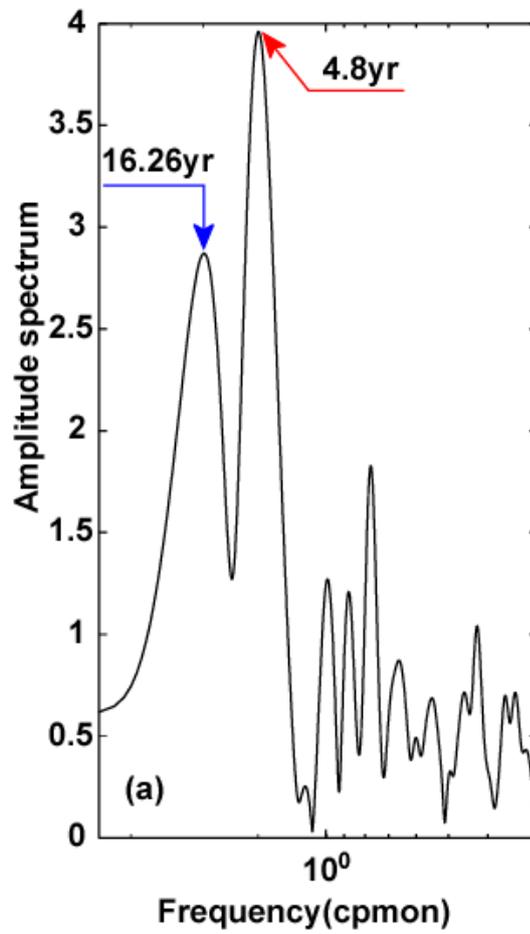


Fig. 3.2.1.25. Cross spectrum between SOI and temperature at 100m in the western channel of Korea Strait.

## 나. 동해의 어황변동

국립수산과학원에서 제공받은 오징어 채낚기어업 1980년 - 1999년 자료와 선망어업 1985 - 1995년 자료를 이용하여 오징어 어획량, CPUE (단위노력당 어획량), 조업척수에 대한 연도별, 월별 수평 분포도를 수평 분포도를 작성하였다. 현 보고서에 제시된 자료는 전체 자료 중에서 일부인 1998년도의 CPUE, 조업척수 및 어획량을 나타내었다. Figs. 3.2.1.26-3.2.1.31은 CPUE와 조업척수의 관계로부터 조업척수가 많이 집중된 해역이 반드시 CPUE가 높은 것은 아니며, 적은 조업척수이지만 단위 노력당 어획량이 높은 해역은 울릉도 남부해역과 대마도 주변에 나타난 것을 알 수 있다. CPUE의 전체적인 경향은 울릉도 부근해역에서 높게 나타나고, 조업척수는 동해연안을 따라서 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 현장보고 자료인 조업척수와 위성원격탐사에서 관측한 조업선단과의 관계로부터 위성원격탐사 자료에 의한 조업척수를 추정하는 알고리즘 개발도 가능할 것으로 사료된다.

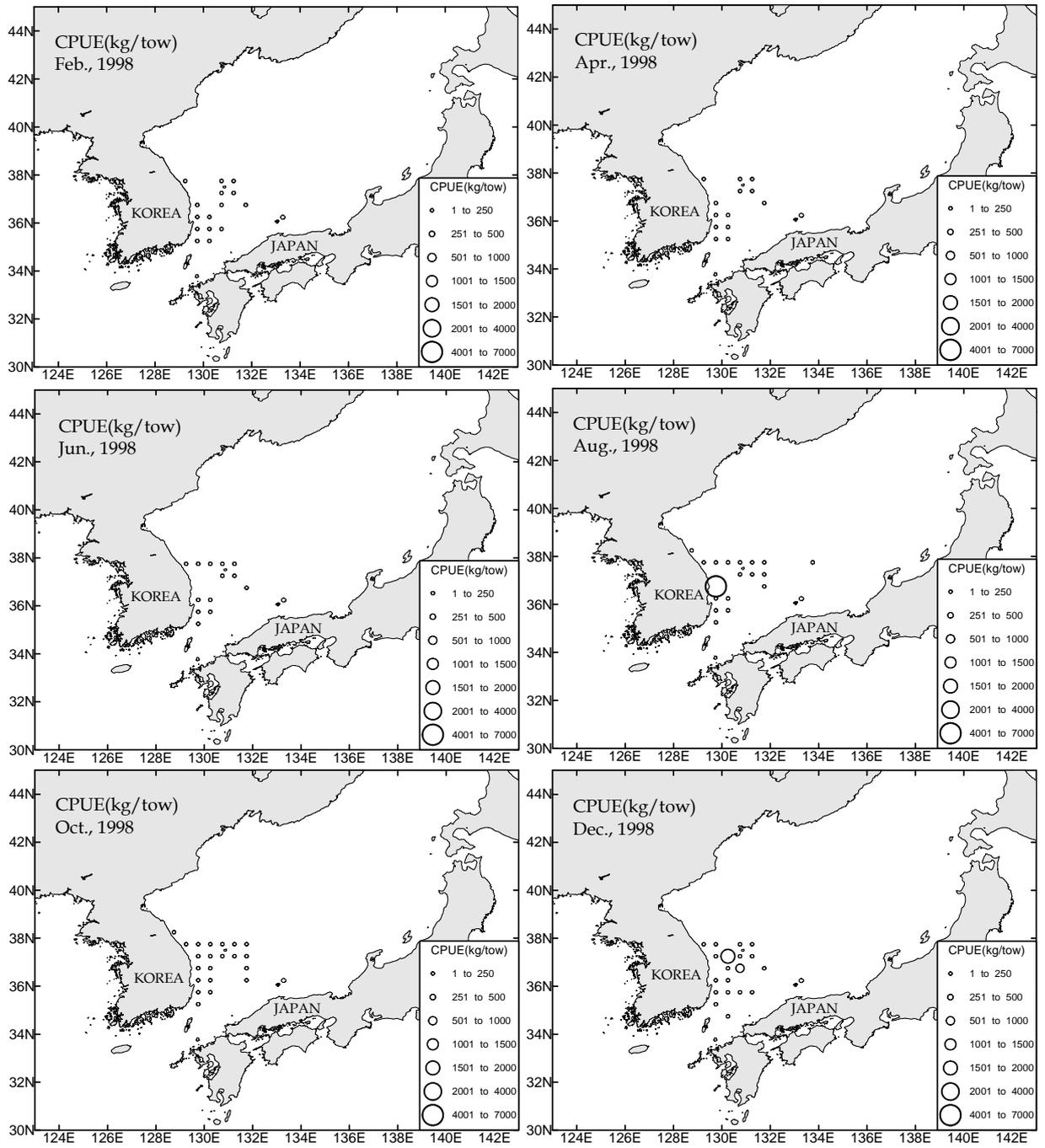


Fig. 3.2.1.26. Horizontal distributions of CPUE of the squid angling fishery at even number months in 1998.

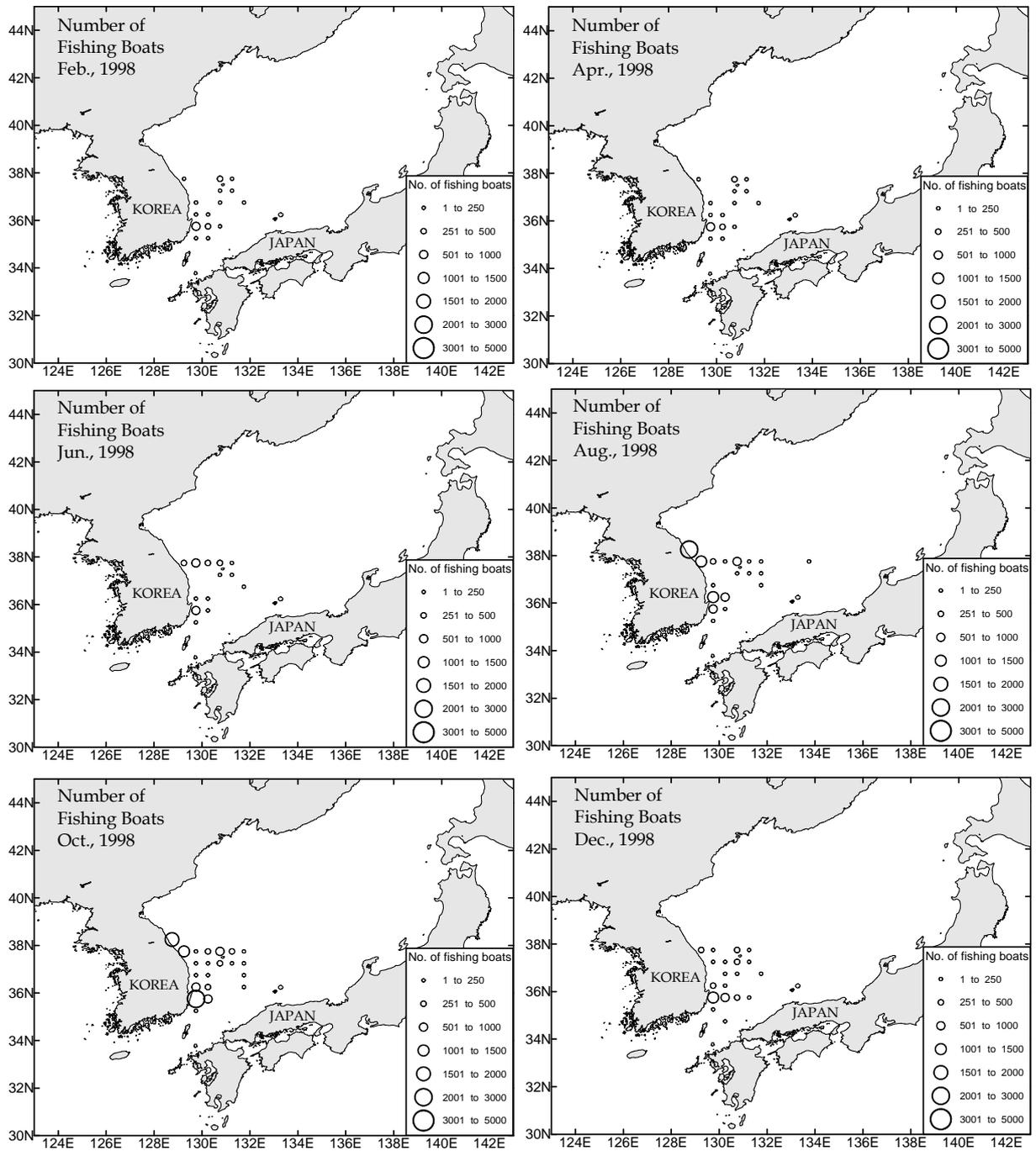


Fig. 3.2.1.27. Horizontal distributions of fishing boats of squid angling fishery at even number months in 1998.

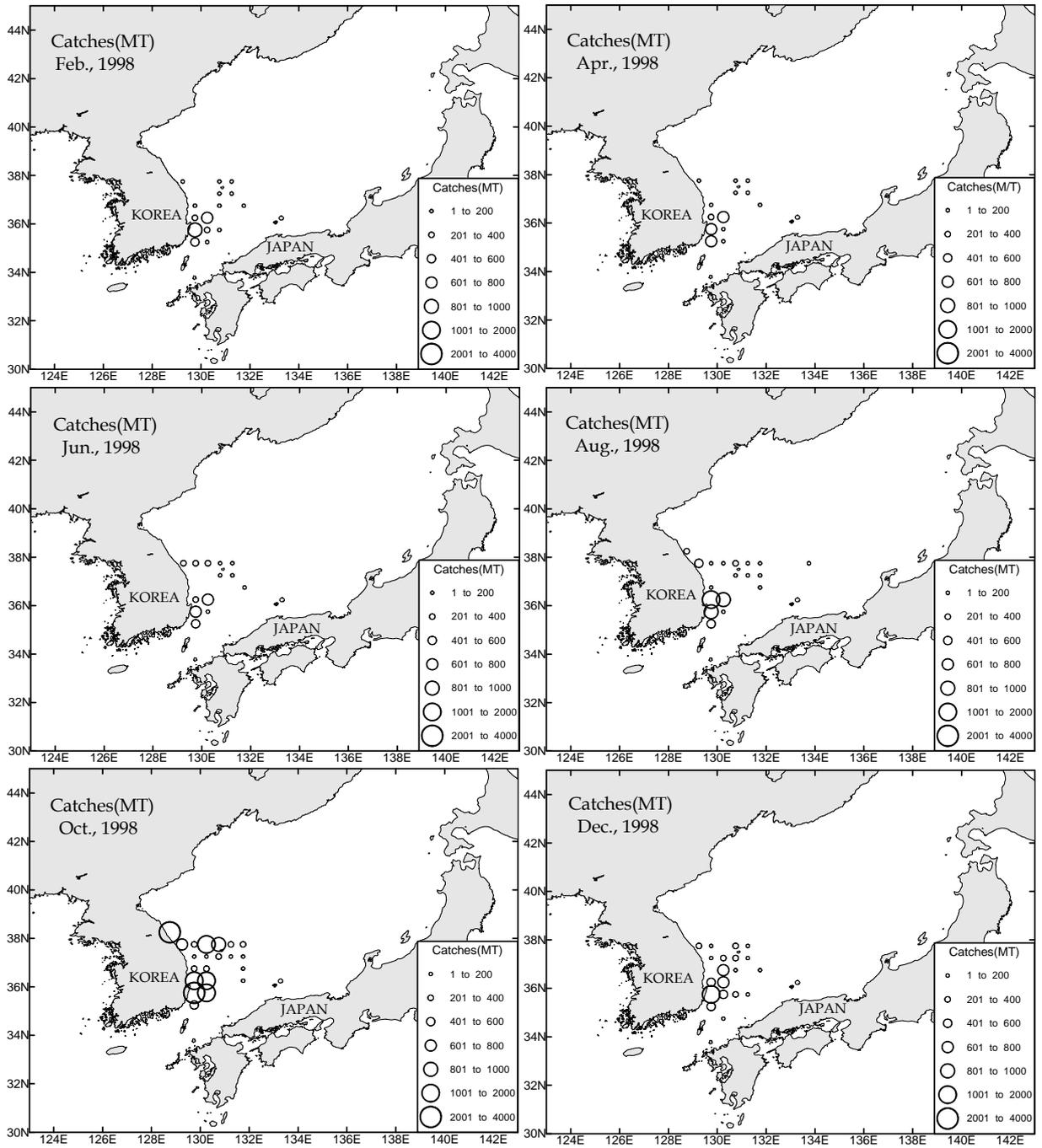


Fig. 3.2.1.28. Horizontal distributions of squid catch of squid angling fishery at even number months in 1998.

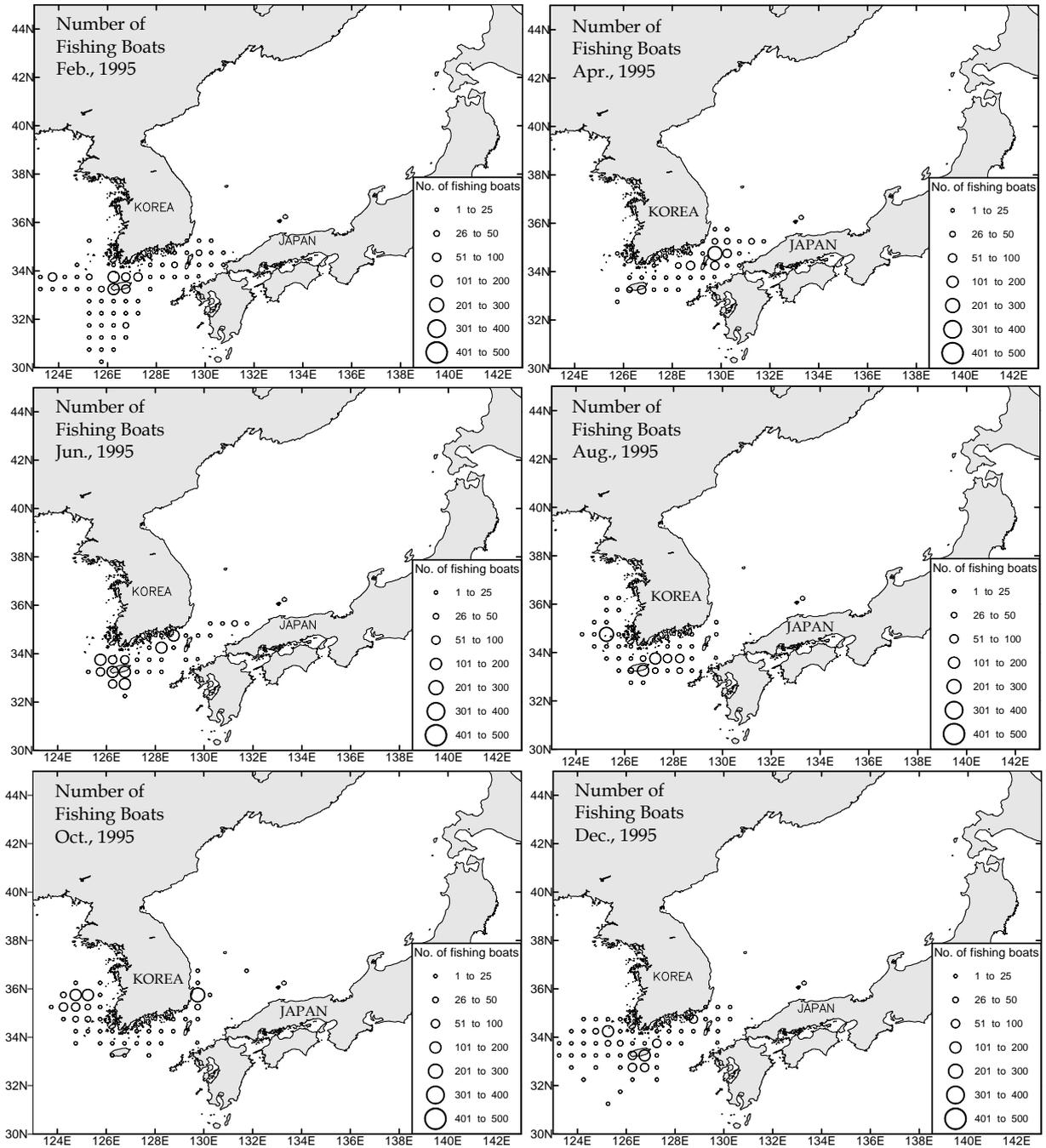


Fig. 3.2.1.29. Horizontal distributions of fishing boats of the surrounding net at even number months in 1995.

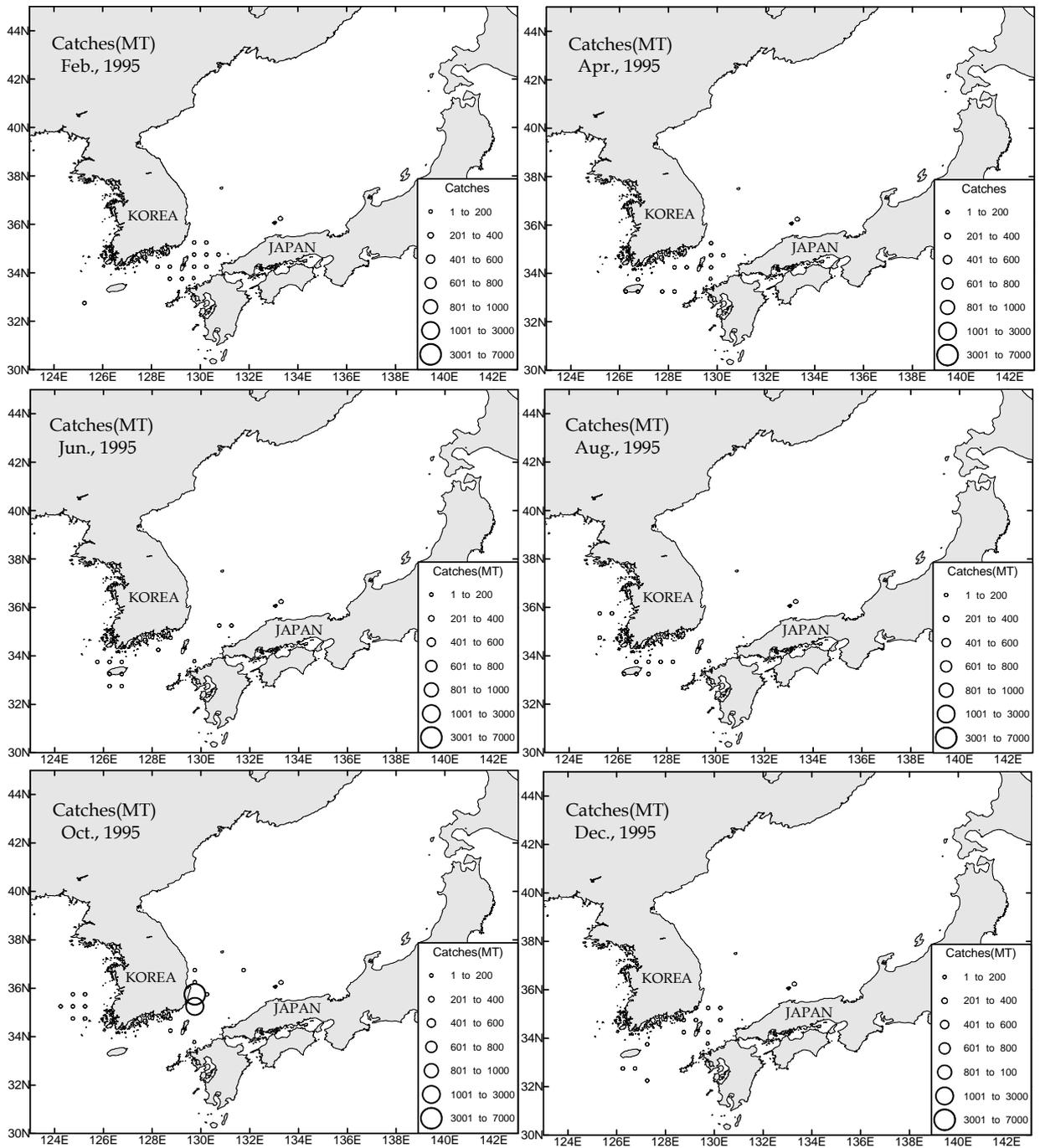


Fig. 3.2.1.30. Horizontal distributions of squid catches of the surrounding net at even number months in 1995.

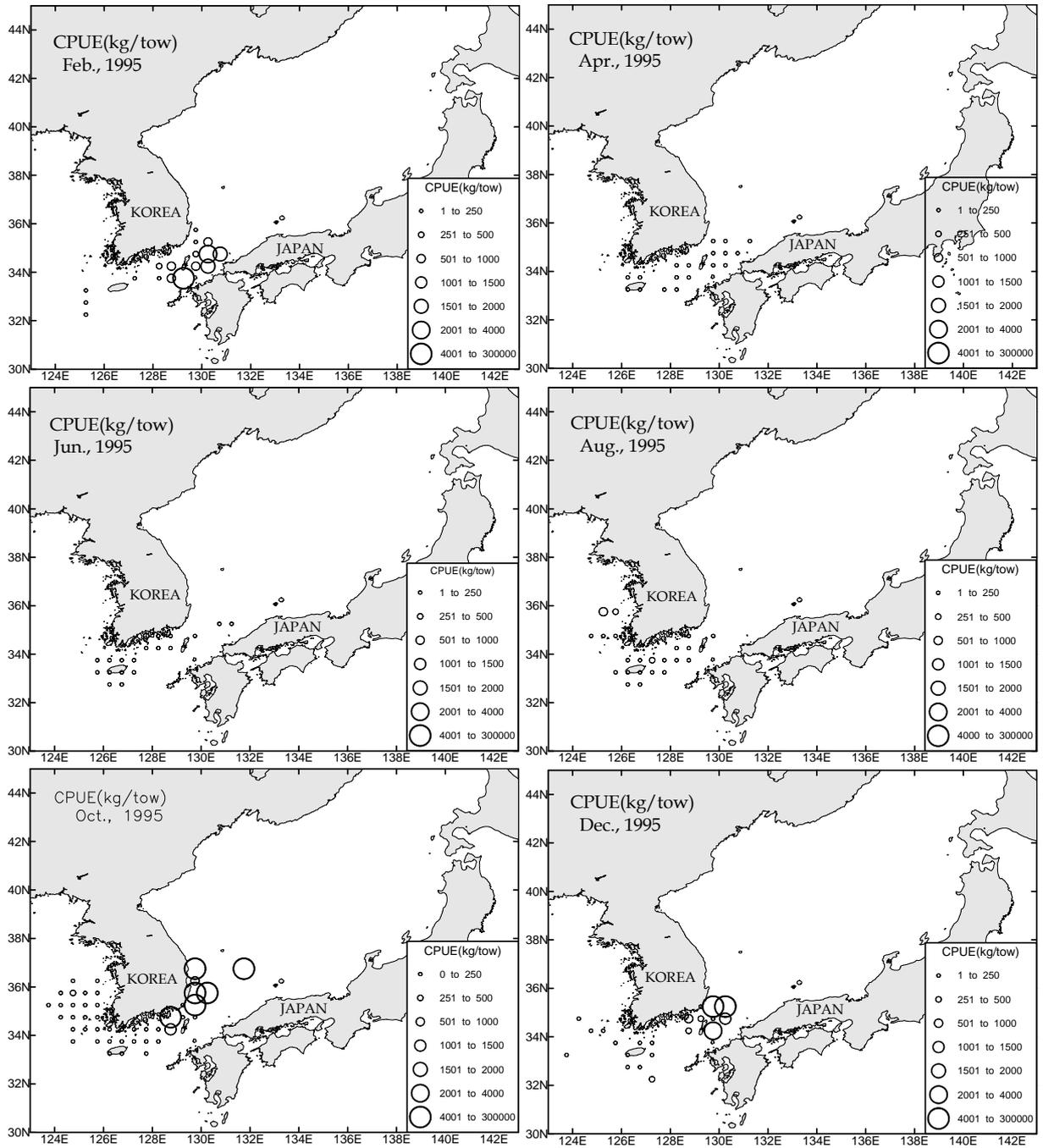


Fig. 3.2.1.31. Horizontal distributions of CPUE of the surrounding net at even number months in 1995.

## 2. 제 2 세부과제 : 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링

### 가. 해색센서에서 관측한 식물플랑크톤 색소농도의 분포

본 연구에서 SeaWiFS 자료는 1997년 9월부터 2002년 12월까지 처리 되어있으나, 결과해석에 제시한 자료는 1999년 1월부터 12월까지의 월 평균 합성 자료를 나타내었다 (Fig. 3.2.2.1). 색상 분포는 보라색( $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ )에서 적색( $30.0\text{ mg}/\text{m}^3$ )까지 Log 스케일로 나타내었다.

월별 색소농도 분포를 살펴보면, 동해는 겨울철(1-3월)에 북위 38-40도 부근에 동서로 존재하는 동해극전선의 남부해역에 국소적으로 높은 농도가 3월부터 동해 남부해역 전역에 나타나기 시작했다. 봄철(4-6월)인 4월은 동해 극전선 남부해역에서 가장 높은 농도( $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$  이상)를 나타내고, 그보다 한달 늦은 5월에는 극전선 북쪽해역에서 높은 농도를 나타내었다. 6월부터 9월까지의 한국 동해안을 따른 warm streamer가 존재하는 곳을 제외한 동해 전해역에서 저농도( $0.2\text{ mg}/\text{m}^3$  이하)를 보였다. 가을철인 10월부터 다시 동해의 서쪽해역 고농도가 11월까지 이어져 나타났다가 12월부터 서서히 저농도를 보이고 있다.

서해와 남해연안은 연안선을 따라서 연중 높은 농도 ( $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$  이상)를 나타내었다. 서해와 중국 사이는 겨울철부터 봄철인 5월까지 고농도를 보였다. 특히 4월에 이 해역에서 공간적으로 많은 고농도( $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$  이상) 해역이 분포하였고, 6월부터 여름철 말인 9월까지 저농도를 보이다 10월부터 다시  $1.0\text{ mg}/\text{m}^3$  이상의 고 농도의 경향을 나타내었다. 또한, 여름철 8월부터 12월까지 중국 양쯔강 주변 높은 색소농도가 한국 남해연안 주변까지 연결된 형태로 나타난 것이 특징적이다.

본 연구에서는 한반도 주변의 식물플랑크톤 색소농도의 시공간 분포를 해색위성센서에서 관측한 영상을 중심으로 살펴보았다. 현 연구결과로부터 식물플랑크톤 색소농도의 증감에 대한 원인을 알 수 없으나 한반도 주변 광역해역에 대한 먹이생물의 기초단계인 색소농도를 관측하는데 위성자료가 유용하다는 것을 알았다. 또한, 동해의 식물플랑크톤 현존량 파악은 저차생물 생산과정 및 그 생산량을 이해하기 위한 기초뿐만 아니라 먹이환경을 통하여 유용어류의 회유시 성장에 미치는 영향을 평가 및 예측하는데도 중요하다고 생각된다.

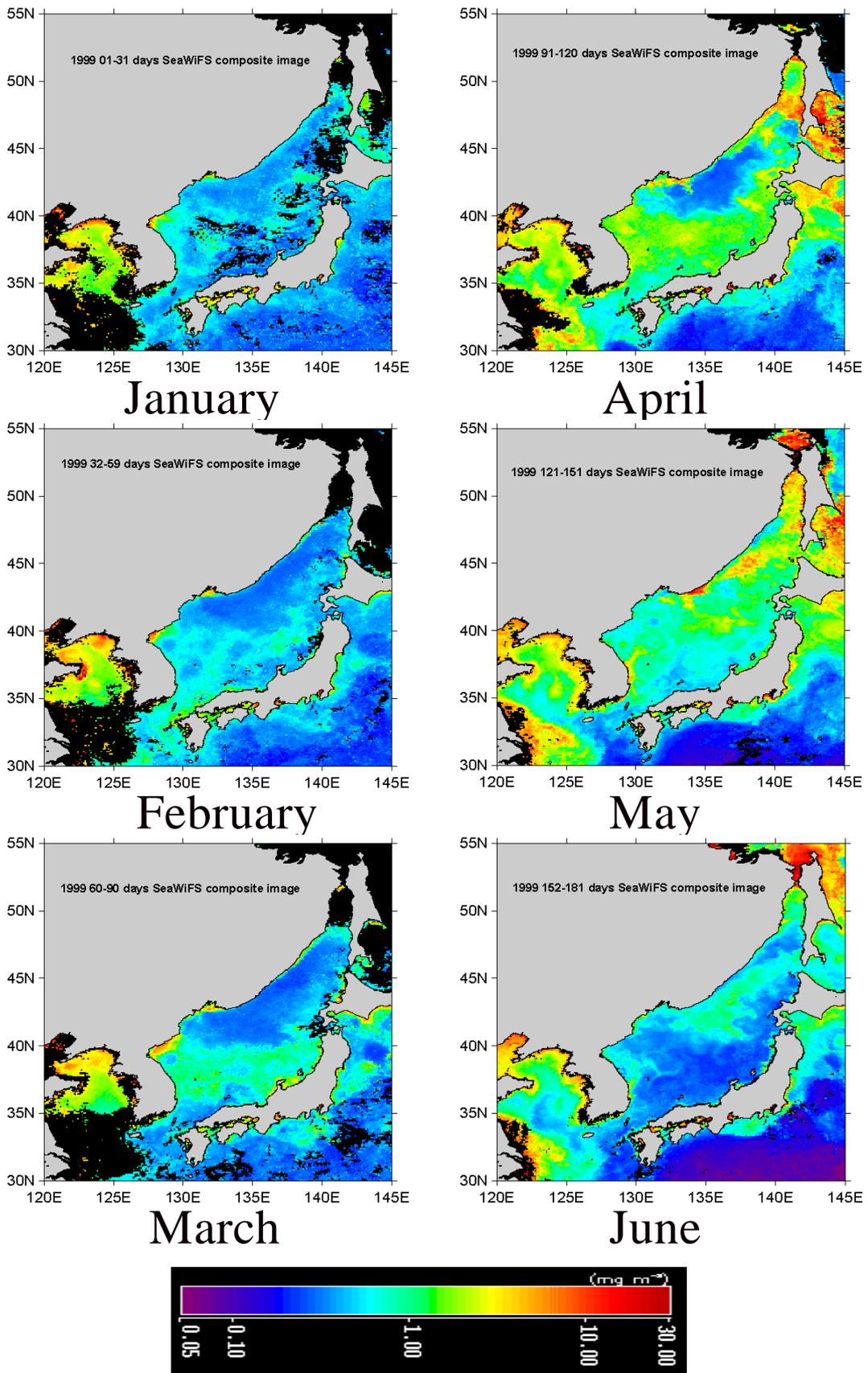


Fig. 3.2.2.1. Monthly mean pigment concentration from January to December 1999 derived from SeaWiFS images.

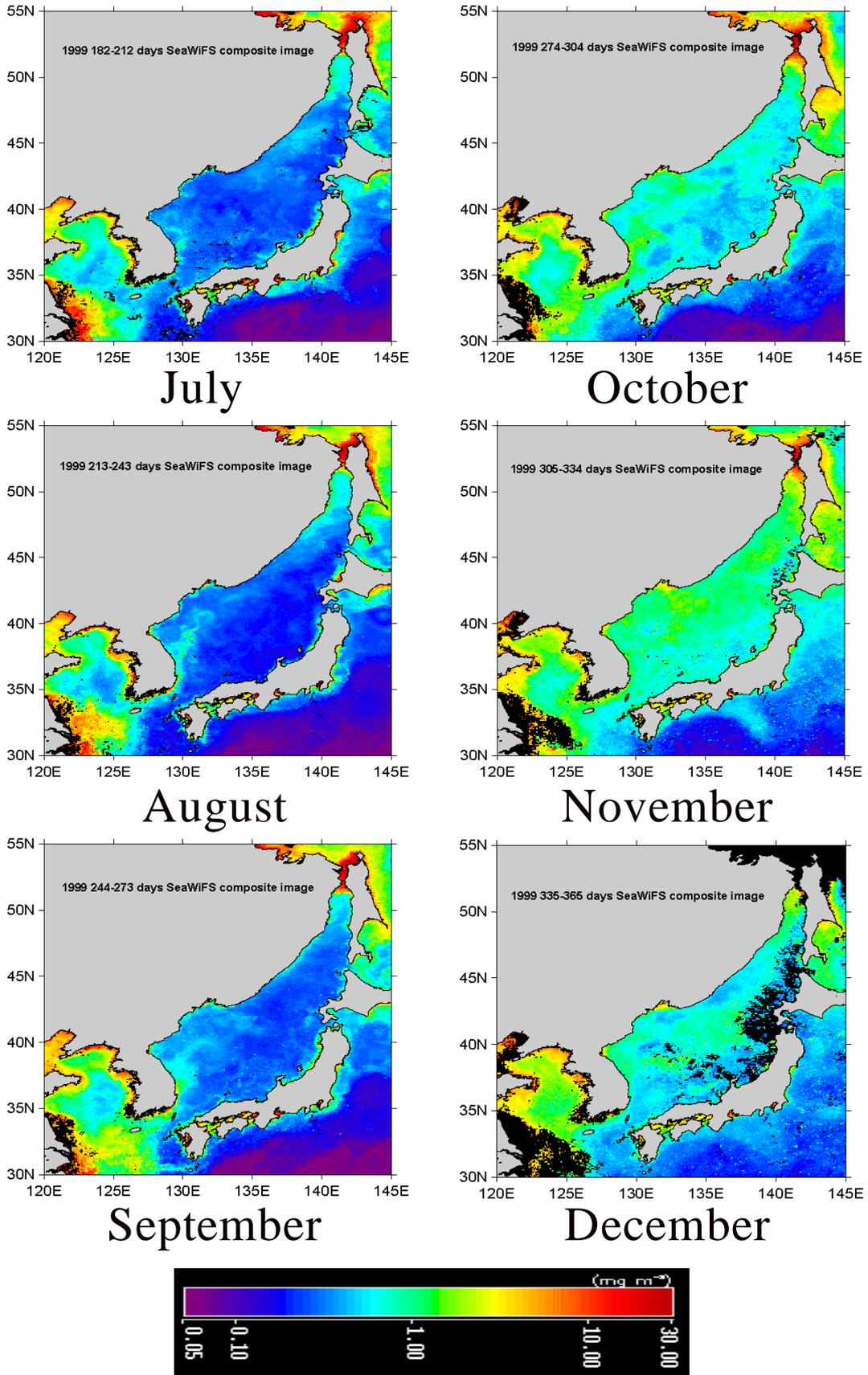


Fig. 3.2.2.1. (continued)

## 나. 위성 영상에서 관측한 야간조업 어선의 단기변동

동해에서 야간에 강한 불빛을 이용하여 조업하는 어선은 주로 오징어 및 꽁치 어선이므로 위성에서 관측한 야간 조업어장 (nighttime fishing ground)의 분포와 이들 어족과는 깊은 상관관계가 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 야간불빛 감지 위성 DMSP/OLS 자료 중 오징어 어획량이 증가한 시기의 1993년 1월부터 12월까지의 매일 평균 자료 및 해석결과를 제시하였다. 대마도 (Tsushima)를 포함한 동해 전해역 야간어선의 공간적 분포를 살펴보기 위하여, 1993년 1월부터 12월까지의 DMSP/OLS의 월별 대표영상과 1993년 1월부터 1994년 1월까지 월별 이동 야간어선분포를 Figs. 3.2.2.2와 3.2.2.3에 각각 나타내었다. 이 때 분석은 ArcView GIS에 의해 월별 야간어선분포 변화를 1월에서 2월, 2월에서 3월의 순으로 1달씩 이동하면서 각 월의 어선분포를 분류하고, 당월과 익월의 Thematic change 분석을 통하여 어선의 중복위치와 변화를 조사하였다.

야간어선 분포의 변화를 1달씩 이동하면서 어선의 공간적 분포를 살펴보면, 1월은 대마도 서쪽 수로와 대마도와 인접한 동쪽에 집중적인 분포를 보이고, 2월은 대마도 동쪽 수로쪽에 밀집되어 있다. 또한 1월과 2월에 중복된 어선이 대마도 인접 동쪽에 나타났다. 2월과 3월의 어선 분포는 비슷한 양상을 보이거나, 3월이 2월보다 어선의 밀집도가 많이 나타났다. 그리고 1월과 2월에 비해 2월과 3월의 어선 중복이 많았다. 3월과 4월의 어선분포를 보면, 4월의 영상이 대마도 주변 해역에서 상태가 나뉘기 때문에 어선분포를 정확히 판단할 수 없지만, 3월에 비해 오키섬 동쪽의 혼슈열도를 따라 북상되어 나타났다.

4월과 5월의 어선분포를 보면, 4월에 비해 보다 북상하여 일본의 노토반도 부근과 한국 동해안의 포항 위쪽에 연안에 어선이 분포하고 있었다. 5월과 6월의 어선분포를 보면, 5월에 비해 6월은 대마도 주변의 어선의 밀집이 사라지고, 일본의 혼슈열도를 따라 북상된 분포와 울릉도와 대화도 부근으로 어선의 분포가 이동되었다.

6월과 7월의 어선분포를 보면, 대마도 주변에 어선은 거의 없고 6월에 비해 동해 중부해역에 많은 분포를 보이며, 일본 혼슈열도와 동해안의 속초근처에 어선이 밀집되어 있다. 7월과 8월의 어선분포는 거의 비슷한 양상을 보이거나, 7월보다 8월은 울릉도를 중심으로 한 한국 동해안에 어선분포의 밀집이 뚜렷해지기 시작한다. 8월에서 9월로 갈수록 한국 동해안에서 극전선주변을 따라 동서로 어선의 밀집된 분포가 나타났다. 또한 8월의 자료는 동해 남부해역에 영상상태의 불량으로 잘 알 수 없었으나, 9월부터 대마도의 동쪽에 어선이 밀집이 나타났다.

9월과 10월의 어선분포는 거의 비슷한 양상을 보이거나, 10월은 9월에 비해 동해안을 따른 어선의 밀집이 뚜렷이 나타났다. 11월은 10월보다 한국 동해안에서 동해 중심부로 이동되었고, 대화도주변 어선도 보다 북쪽까지 이동하여 분포하였다. 11월에서 12월과 1월로 갈수록 어선분포가 점차 남하하여 분포하였다.

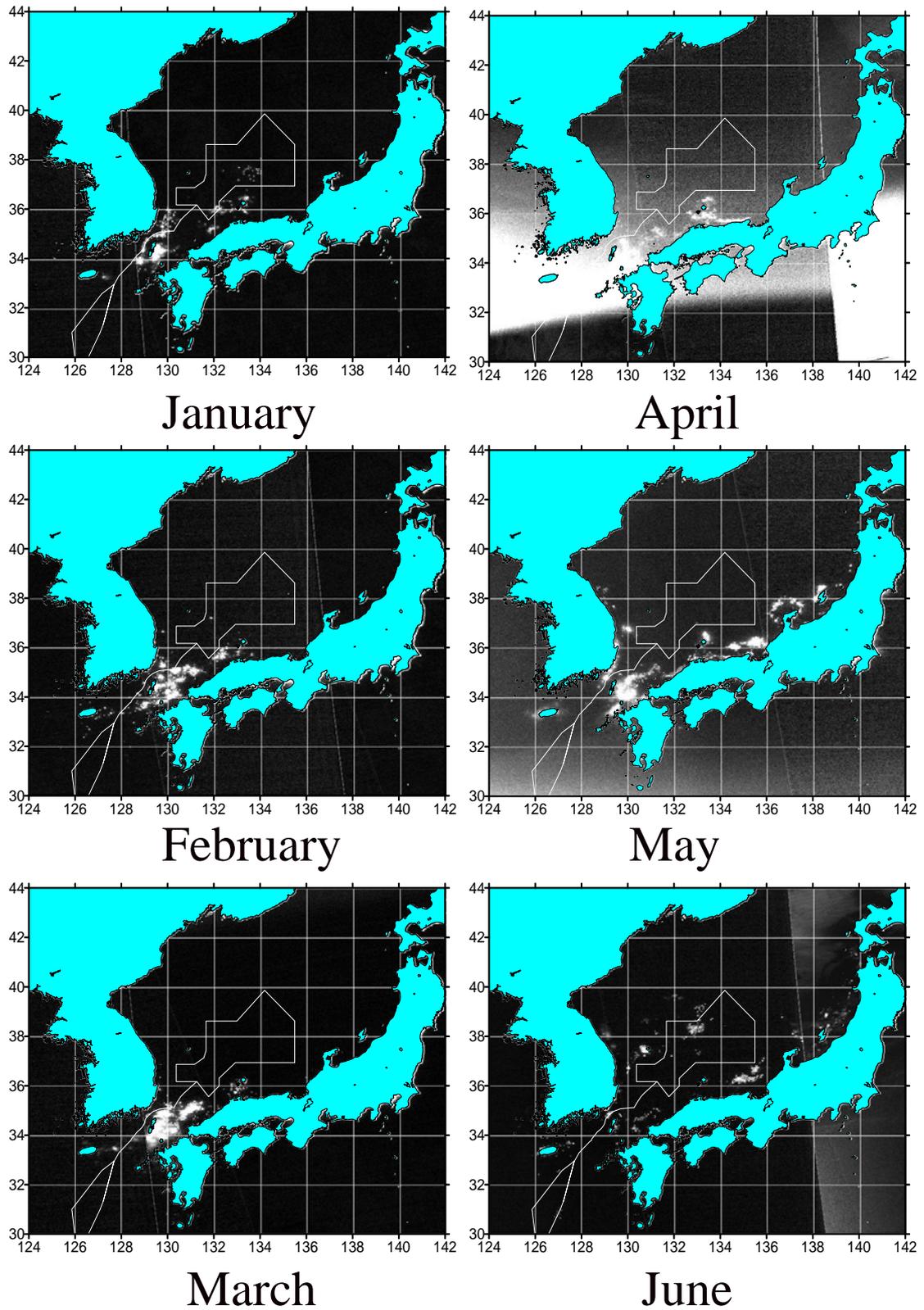


Fig. 3.2.2.2. Horizontal distributions of nighttime fishing fleet from January to December, 1993. White color indicate nighttime fishing boats.

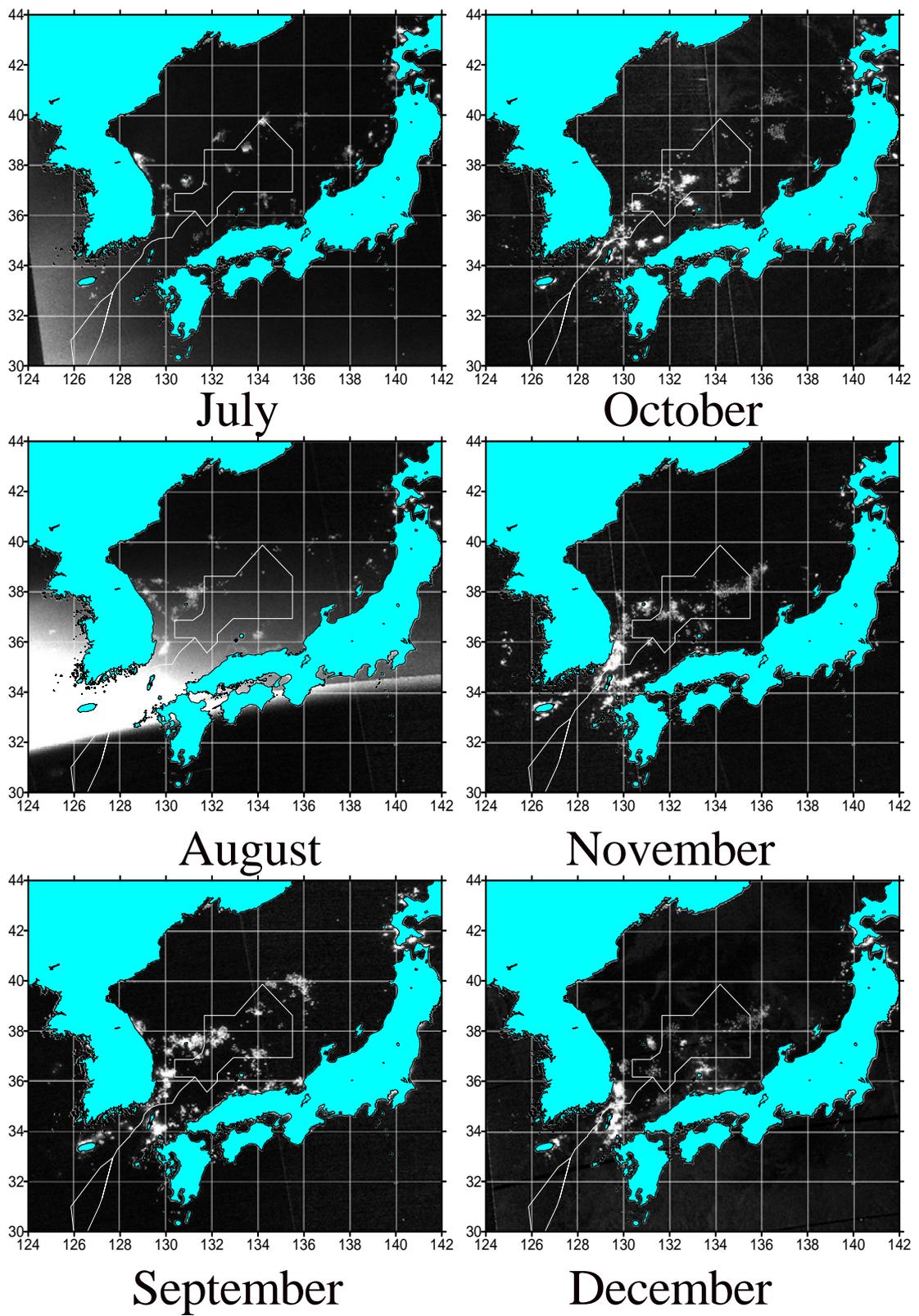


Fig. 3.2.2.2. (continued)

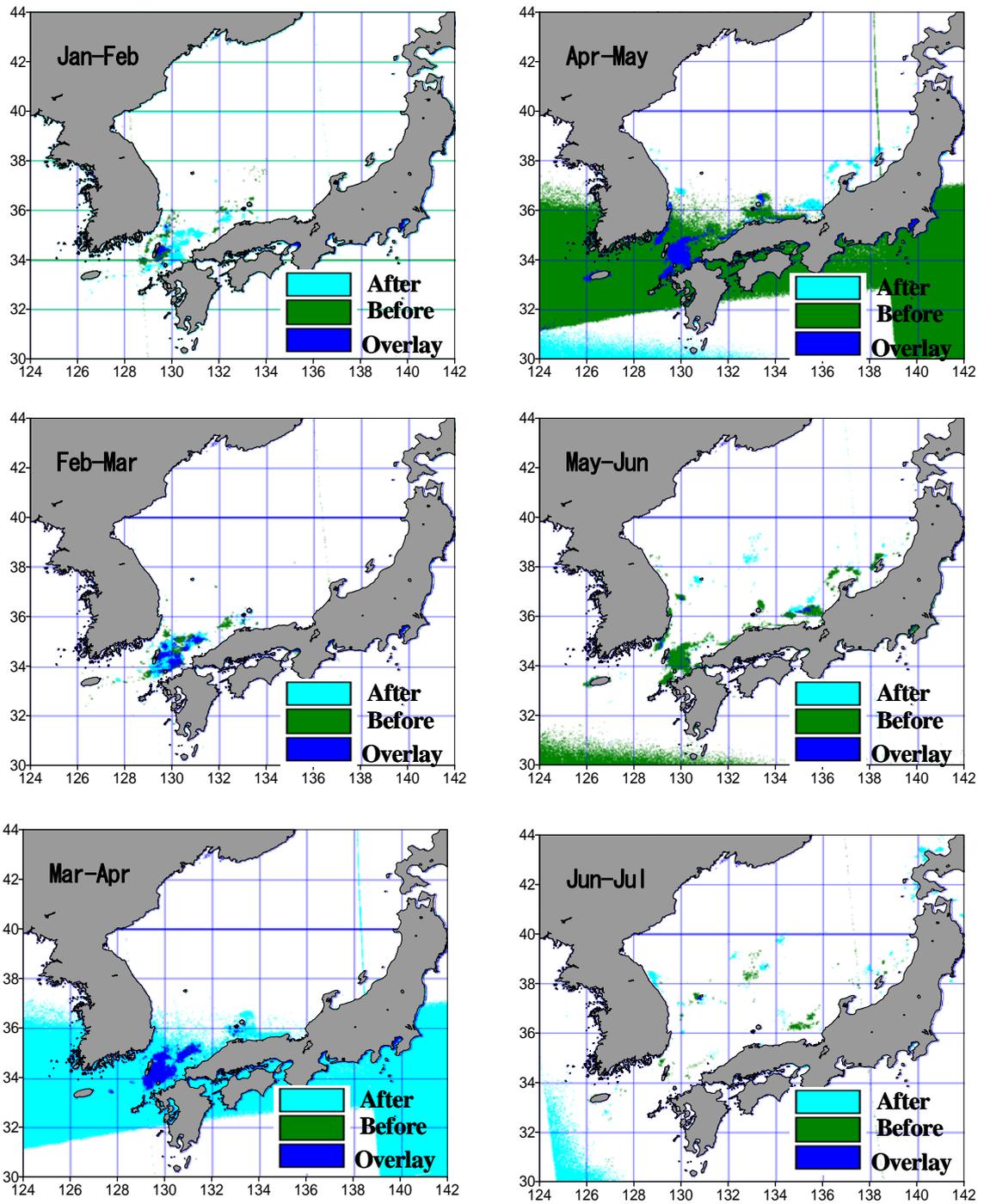


Fig. 3.2.2.3. GIS Image analyst result of nighttime fishing fleet from January 1993 to January 1994.

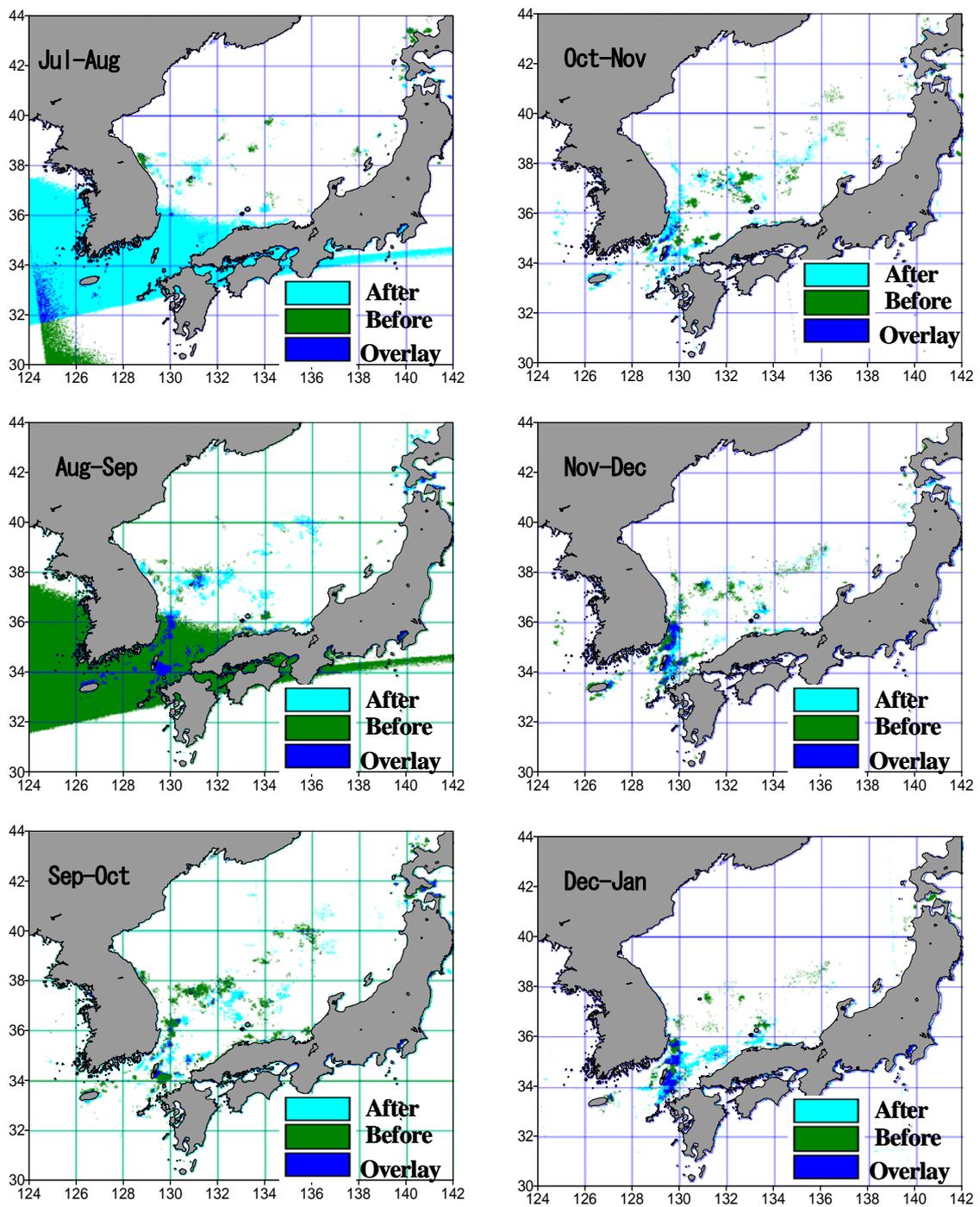


Fig. 3.2.2.3. (continued)

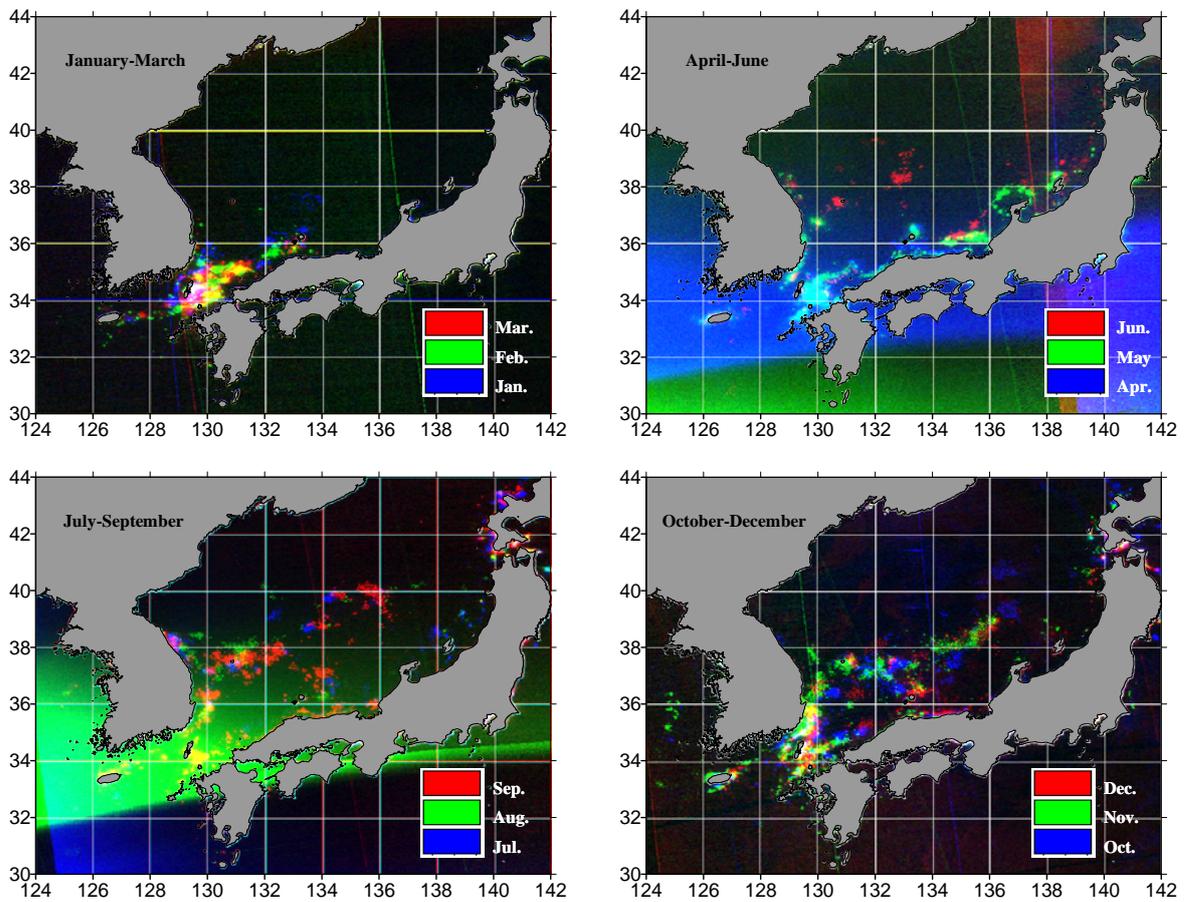


Fig. 3.2.2.4. Seasonal stack image produced by Image Analyst result on the nighttime DMSP/OLS images from January to December 1993.

위성영상에서 관측한 야간어선의 계절별 분포를 살펴보기 위하여 1993년 1월에서 12월까지 영상을 이용하여 stack 영상을 작성했다. Stack 영상은 다중 영상을 하나의 영상분석 주제속에 자료를 결합하여 작성되는 것으로, 다중 영상은 RGB로 결합된 3자료를 추출할 수 있다. 이것을 이용하여 동계(1-3월), 춘계(4-6월), 하계(7-9월) 및 추계(10-12월)의 계절별 영상을 Fig. 3.2.2.4에 나타내었다.

계절별 분포를 보면, 동계에는 대마도와 오키섬 주변에 집중적으로 어선이 모여 있고, 춘계에는 동계와 같은 분포와 더불어 일본 혼슈열도를 따라 많은 어선이 보였고, 그 강도는 약하지만 한국 동해안과 동해 중부해역에 어선이 분포하고 있다. 하계에는 어선이 한국 동해안과 울릉도를 중심으로 분포하고 춘계보다 점차적으로 동해 중부해역에서 북부해역까지 어선분포가 확산된 것을 알 수 있다. 하계에서 추계로 넘어감에 따라 동해 북부해역의 어선은 사라지고 울릉도와 한국 동해안을 따른 분포와 동해 중부해역에 어선이 분포하였다.

#### 다. 위성 관측 야간조업 어선의 경년변화

DMSP/OLS 위성에서 감지한 1992-2000년 동안 야간 조업어선의 공간적 경년 분포를 Fig. 3.2.2.5에 나타내었다. 그림에서 흰 색 부분은 야간 조업어선의 불빛을 나타내고 있다. 야간에 불빛을 이용하여 조업하는 어선은 쫄치, 갈치 및 오징어 어선이지만, 동해의 경우 야간에 조업하는 어선은 거의 오징어 어선으로 생각되어 야간 불빛의 분포를 오징어 조업어선의 분포로서 해석을 하였다.

야간 오징어 조업어선의 분포를 보면, 1993년부터 한국 동해 연안역, 일본 북부 연안역 및 극전선역에서 조업어선의 분포가 급증함을 알 수 있다. 다만, 연구기간 중 1998-1999년은 일본 북부 연안에서 그 분포가 작았다. 특히 흥미로운 것은 1998년의 경우 전 세계적으로 강한 엘니뇨가 발생하여 한반도에도 그 영향을 미쳤던 해였으므로 오징어 어장에도 그 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 더구나, 최근 Hong et al. (2001)에 의하면 동해의 표면수온이 엘니뇨 현상과 관계가 있다는 보고가 있어 이러한 추론을 가능하게 한다.

Fig. 3.2.2.6은 채낚기 어업에 의한 오징어 어획량과 DN(DMSP/OLS)값의 년변동을 나타낸 것이다. 이들 사이의 변동경향은 대체로 비슷하고 Fig. 3.2.2.5에서 보여준 년변동과 유사한 경향을 보여주었다.

오징어 채낚기어업에 의한 오징어 어획량과 DMSP/OLS의 DN 값의 8년간 (1992-2000년) 월 평균 변동을 Fig. 3.2.2.7에 나타내었다. 어획량의 월 변동은 1-5월까지 감소하다가 6월부터 증가하여 10월에 최대 값을 보이고, 11월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다. DN 값은 1-3월에는 감소하다가 4월부터 증가하여 10월에 가장 큰 값을 보이고, 11월부터 다시 감소하는 경향을 나타내었다. 어획량과 위성자료 값 사이의 월별 차이는 어획량 계산이 한국 동해 연근해역을 대상으로 한 반면, 조업어선의 자료는 동해 전체 해역을 대상으로 산정한 결과인 것으로 생각된다. 춘계에서 하계의 어선분포의 증가는 한국 동해 연근해뿐만 아니라 동해 극전선 주변해역인 한일 잠정수역 및 일본 연안측에서 어선이 분포하고 있기 때문이다. 향후 일본 연안측의

오징어 분포에 관한 한일공동연구가 지속되어지면 흥미로운 결과를 도출할 것으로 예상된다. 결과적으로 동기간 동안 오징어어황을 볼 때, 동계에는 한국 연근해역에서 오징어가 적게 잡히는 한어기, 추계에는 오징어가 가장 많이 잡히는 성어기임을 확인할 수 있다.

#### 라. 야간조업 어선의 월별분포 및 어장 중심

Fig. 3.2.2.8은 DMSP/OLS의 1992부터 2000년까지 매일자료를 월평균 합성한 조업어선의 월별분포와 조업중심을 타원으로 나타낸 것이다. 중심어장은 겨울철(1-3월)에 대한해협(동경 129-132°, 북위 38-41° 해역)에 위치하였고, 어장의 대부분은 한국연안보다 일본쪽에 어선이 많이 분포하였다. 또한, 어장의 분산은 동서방향보다 남북방향이 약간 크게 나타났으나 대체로 안정된 형태를 유지하였다. 4월부터 5월까지 어장의 중심은 일본 혼슈열도쪽으로 더욱 편중되고, 남북방향이 분산이 크게 나타났다. 6월부터 어장의 중심은 다시 한국 연안쪽으로 분포하기 시작하여 9월에는 한국 울릉도 주변해역에 중심어장이 형성되었다. 이 시기에 어장 분산 정도는 동서방향보다 남북방향이 크게 나타났다. 특히, 10월은 어장의 남북 분산이 크고 어선의 분포도 일본 북해도 북단까지 많이 분포하였고 이것은 Fig. 3.2.2.7에 나타난 어획량이 최대인 시기와 잘 일치한다. 11월에서 12월로 갈수록 어장의 남북 분산이 10월보다 줄어들었다. 전 월에 대한 어선의 분포 면적을 보았을 때 9월부터 12월까지 동해 전 해역에 가장 많은 어선이 분포한 것이 특징적이다.

#### 마. 위성관측수온과 현장관측수온과의 관계

Fig. 3.2.2.9는 연구기간 중 NOAA/MCSST에서 계산된 위성표면수온과 국립수산과학원 및 일본 기상청 현장관측 표면수온을 동일지점에서 추출하여 나타내었다. 회귀분석결과 위성관측수온에 대한 현장관측 수온의 상관계수는 0.91로서 위성표면수온이 관측표면수온을 잘 반영하는 것으로 나타났다.

한편, 위성표면수온으로부터 오징어 주조업 어획수심인 50m 수층의 수온을 추정하기 위하여 현장관측 50m수층 수온과의 관계를 Fig. 3.2.2.10에 나타내었다. 그 상관성 ( $R=0.29$ )이 매우 작게 나타나는데 이것은 Fig. 3.2.2.11에서 알 수 있듯이, 계절에 따른 상관성의 편차가 매우 크기 때문이다. 즉 가을철 10월부터 봄철 4월까지의 대체 0.52-0.59의 값을 보이나 여름철 (6월-8월)에 0.20-0.33의 낮은 상관을 보였다. 하계에 이와 같이 낮은 상관을 보이는 것은 하계의 성층 발달과 동시에 동해에 존재하는 크고 작은 난수소용돌이(warm eddy)와도 관계가 있을 것으로 생각된다.

이렇게 상관관계가 낮게 나타나는 원인을 살펴보기 위하여 표층 혼합층을 계산하여 Fig. 3.2.2.12에 나타내었다. 여기서 표층 혼합층은 World Ocean Atlas 자료를 이용하여 표층에서 수온이 1°C 차이가 나타나는 깊이로 정의하여 계산하였다. 표층 혼합층의 월별 변동은 동계인

2월에 가장 깊게 형성되고 하계에 가장 얇은 혼합층이 형성되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 혼합층이 깊게 형성되는 계절에는 위성에서 관측한 표면 수온과 현장관측 50m 깊이의 수온이 상관을 보인 반면, 하계 성층의 발달로 혼합층이 얇게 형성된 여름철은 잘 일치하지 않았다. 현재 연구에서는 50m 깊이의 수심에서 관측한 자료와 비교하였지만, 하계의 경우는 50m 깊이 보다는 오히려 본 연구의 제 1세부과제에서 밝힌 대마난류의 세기를 잘 나타내는 100m 수심과의 관계를 살펴보는 것이 좋은 결과를 보일 것으로 생각된다.

#### 바. 위성 추정 수온과 오징어 어장과의 관계

Fig. 3.2.2.13은 1992년부터 2000까지 평균한 한어기 (2월)와 성어기 (10월)의 수온분포를 살펴보기 위하여 DMSP/OLS 영상과 위성표면수온 (MCSST)으로부터 추정된 50m 추정수온분포도를 나타낸 것이다. 오징어 주 조업어장은 한어기에 대한해협 및 일본 혼슈 남부 연안에서 수온 12-15°C 해역에서 형성되고, 성어기에는 수온 10-23°C 분포해역에 나타났다. 그리고 한국연안의 경우는 수온 12-18°C의 해역에 분포하고 극전선역 부근은 수온 12-16°C 범위에서 주조업어장이 형성됨을 알 수 있다.

연평균 경년별 위성추정 50m 수온분포와 오징어 어장과의 관계를 살펴보면 (Fig. 3.2.2.14), 어장의 북쪽 한계 수온은 1993-1996년 및 1997-1999년에는 12°C 이상에서 보이고, 1996년과 2000년에는 11°C 이하에서 나타났다.

#### 사. 해표면 바람, 기온, 강수량

기상자료는 NOAA Weather Service의 NCEP (National Centers Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) 재분석자료 1970-2001년까지의 해수면 2m 상공의 기온, 해수면 10m 상공의 바람 (풍향, 풍속), 강수량 자료 중에서 2001년의 자료를 각각 Figs 3.2.2.15, 3.2.2.16, 3.2.2.17에 나타내었다.

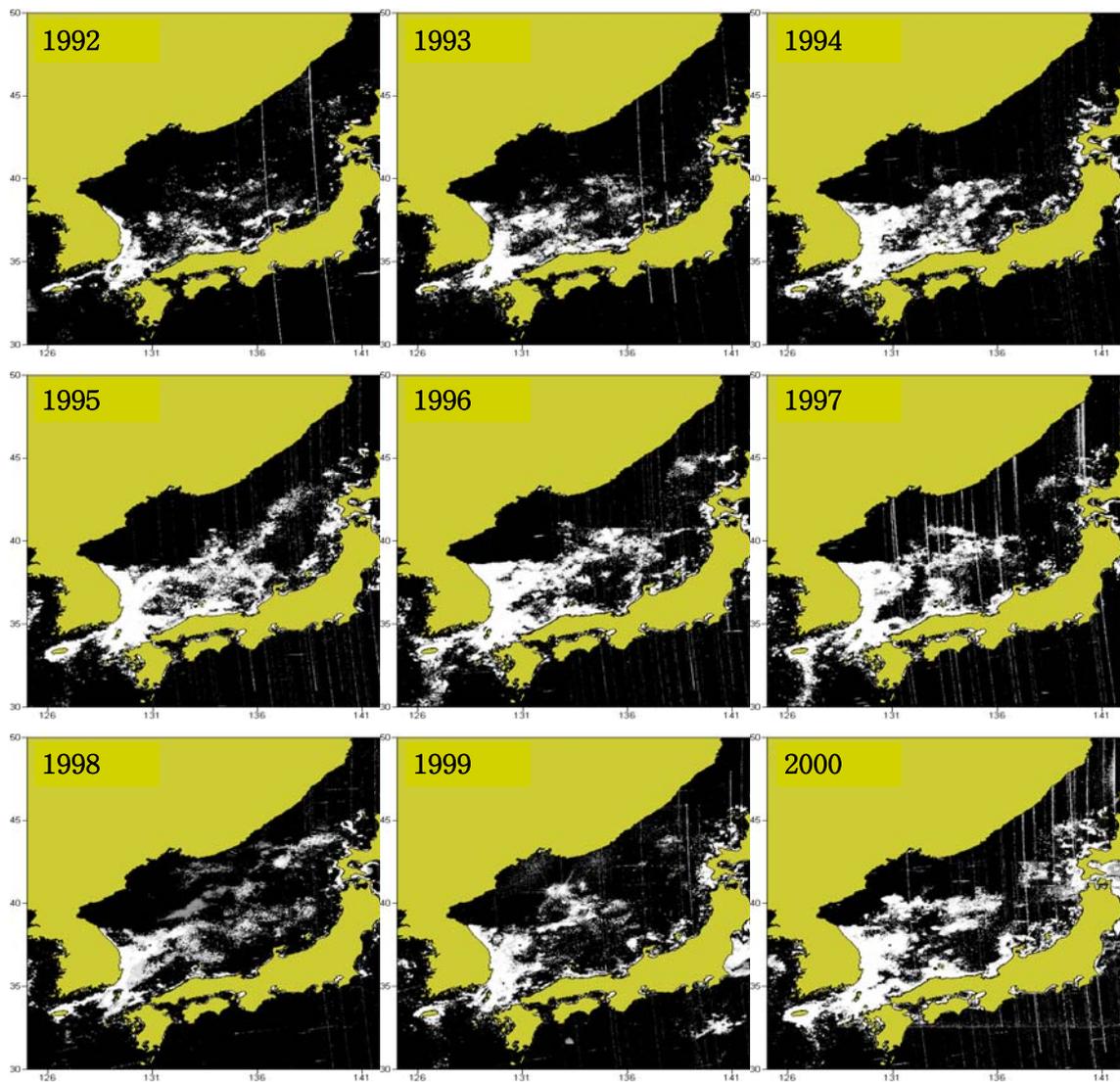


Fig. 3.2.2.5. Interannual variation of nighttime fishing ground derived from DMSP/OLS in the East Sea from 1992 to 2000.

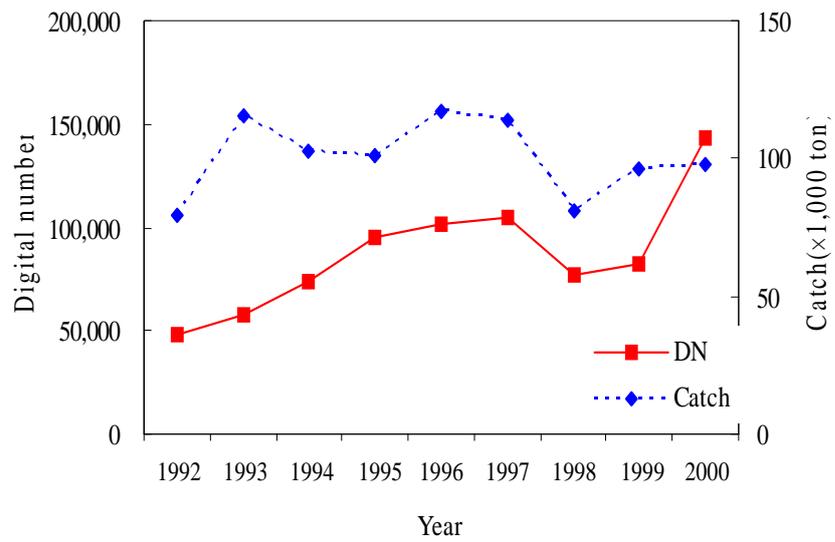


Fig. 3.2.2.6. Interannual variation of the squid catches by the jigging fishery and DN (digital number) derived from DMSP/OLS images from 1992 to 2000.

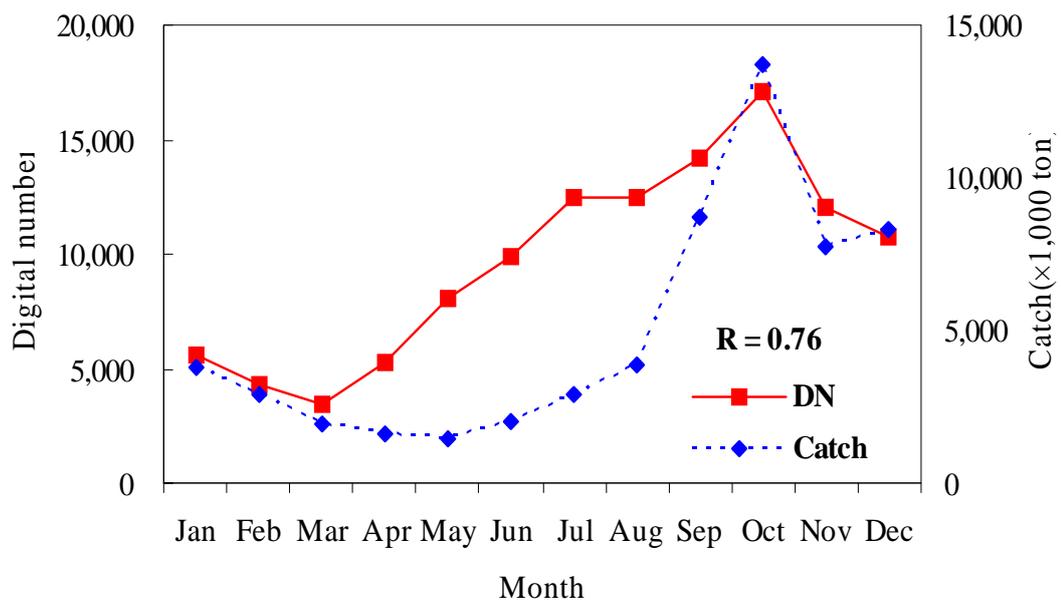


Fig. 3.2.2.7. Monthly variation of squid catches and DN from 1992 to 2000.

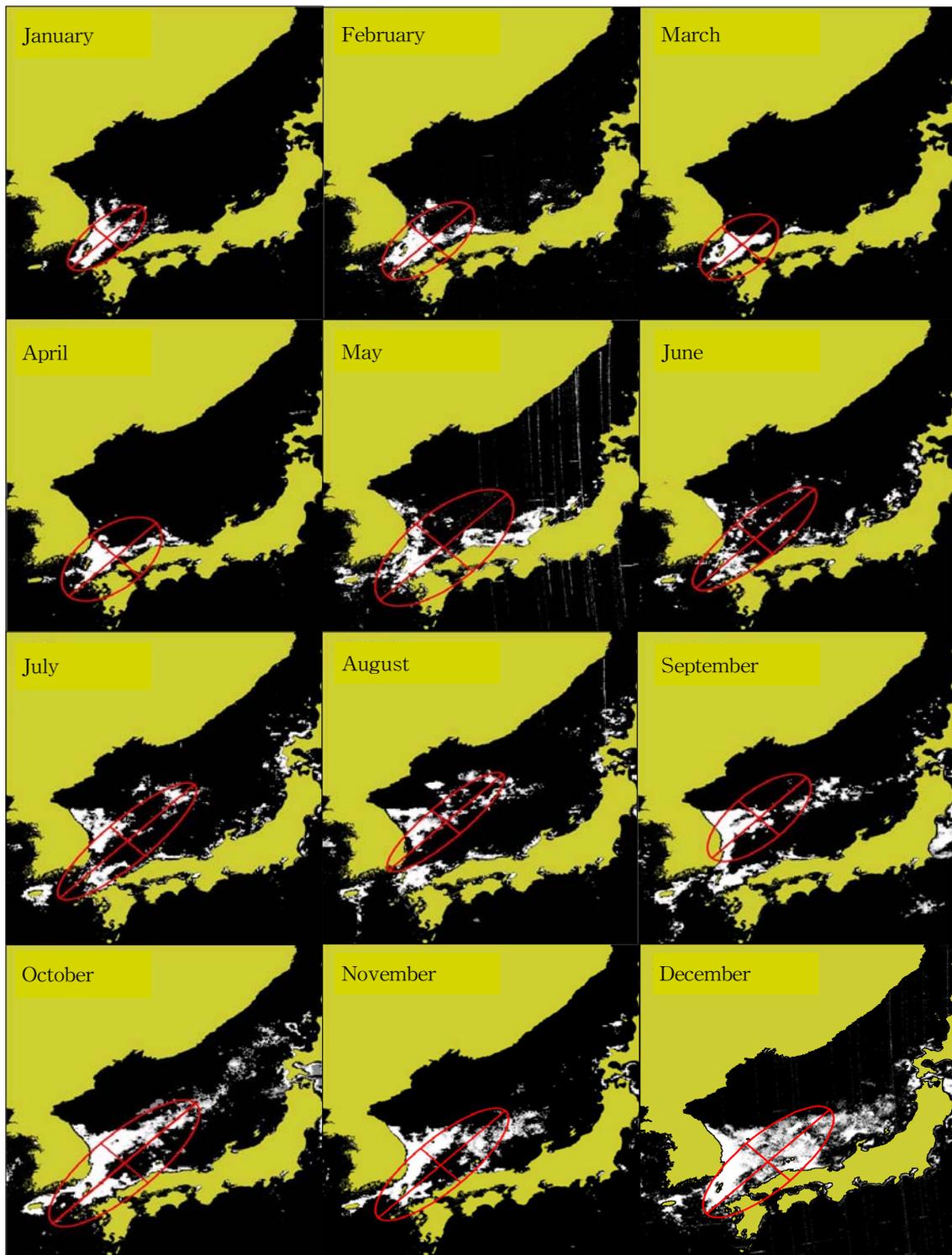


Fig. 3.2.2.8. Monthly distribution of the nighttime fishing ground and the calculated center of fishing ground from 1992 to 2000.

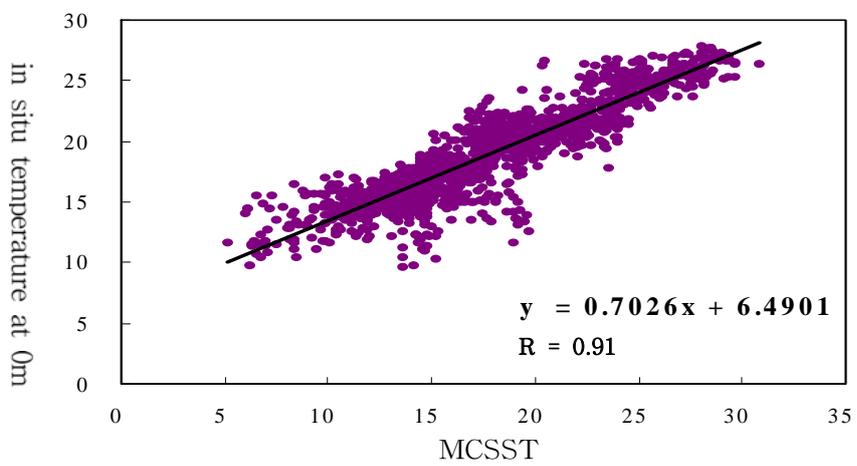


Fig. 3.2.2.9. The relationship between MCSST (multi channel sea surface temperature) and in situ surface temperature.

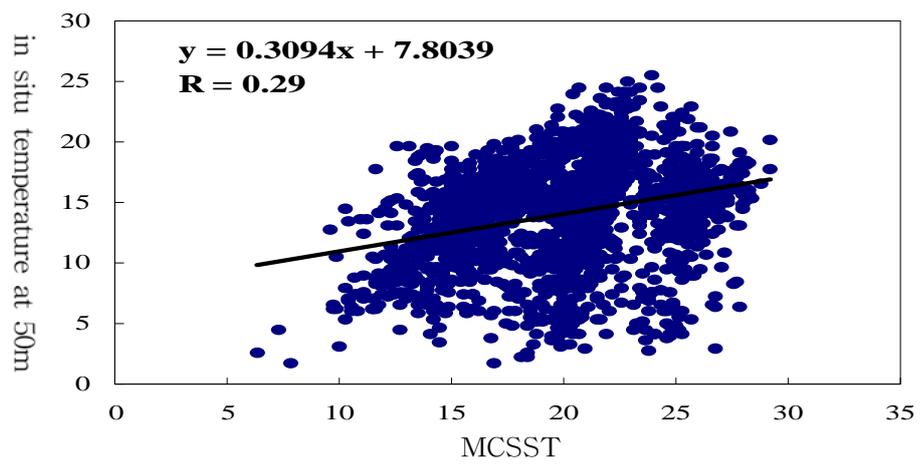


Fig. 3.2.2.10. The relationship between MCSST and in situ water temperature at 50m.

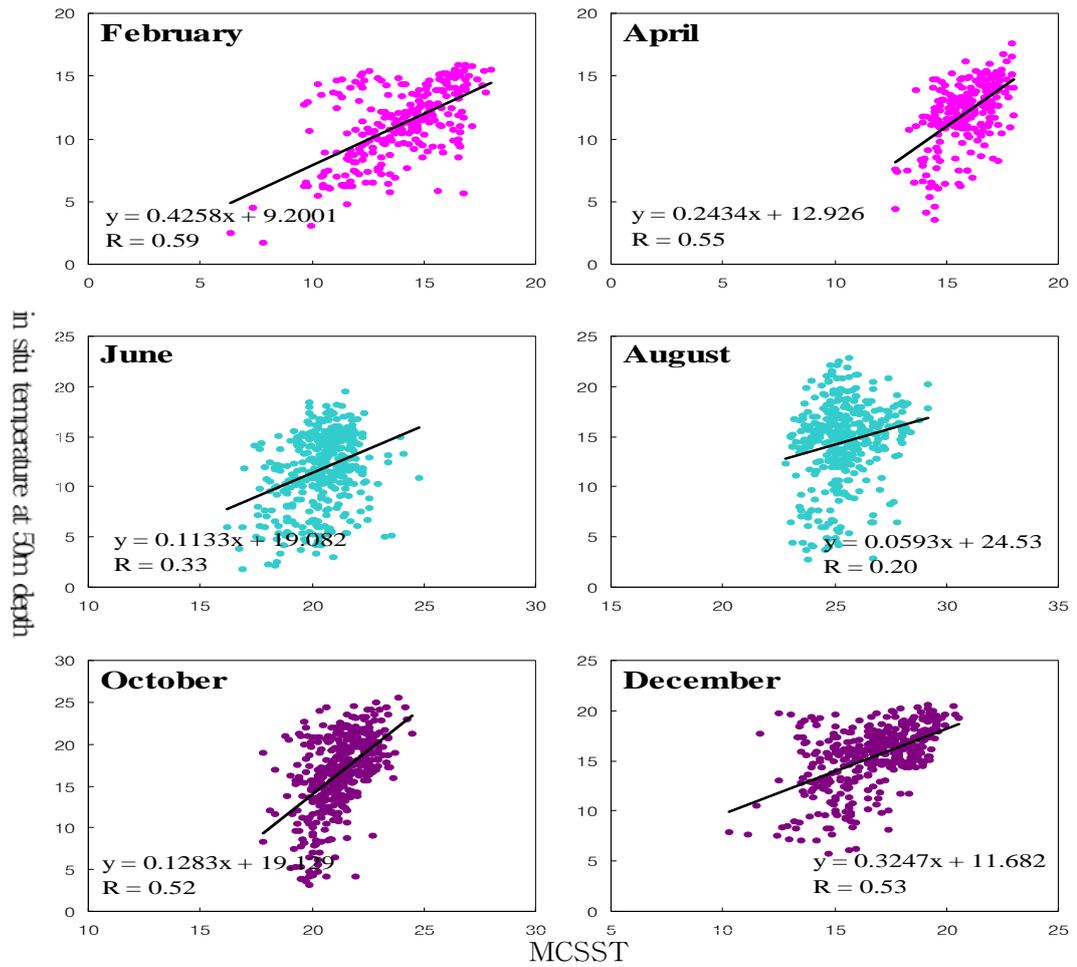


Fig. 3.2.2.11. Bimonthly linear regression analysis between in situ temperature at 50m depth and multi channel sea surface temperature (MCSST).

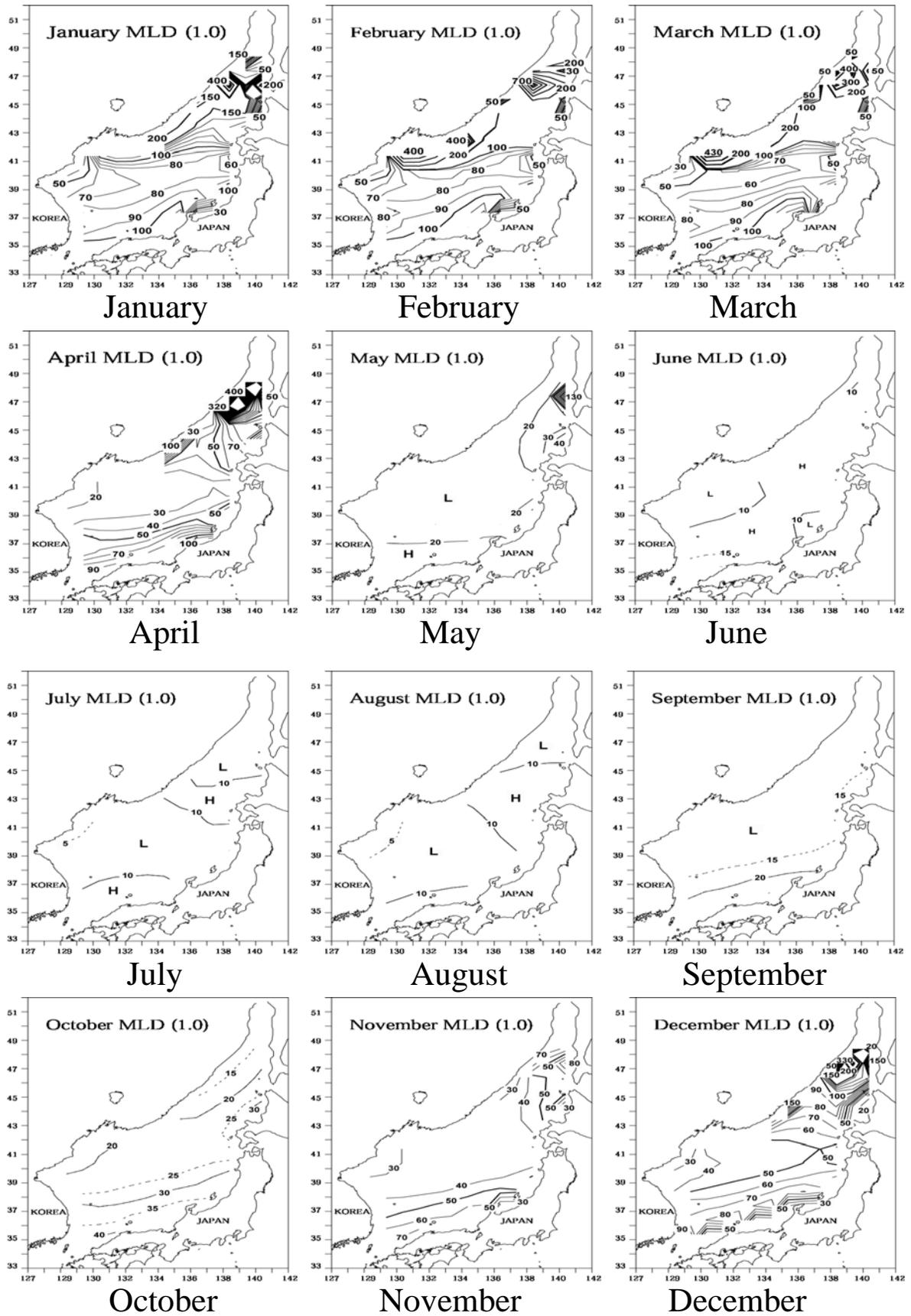


Fig. 3.2.2.12. Monthly distribution of mixed layer depth calculated by world ocean atlas data.

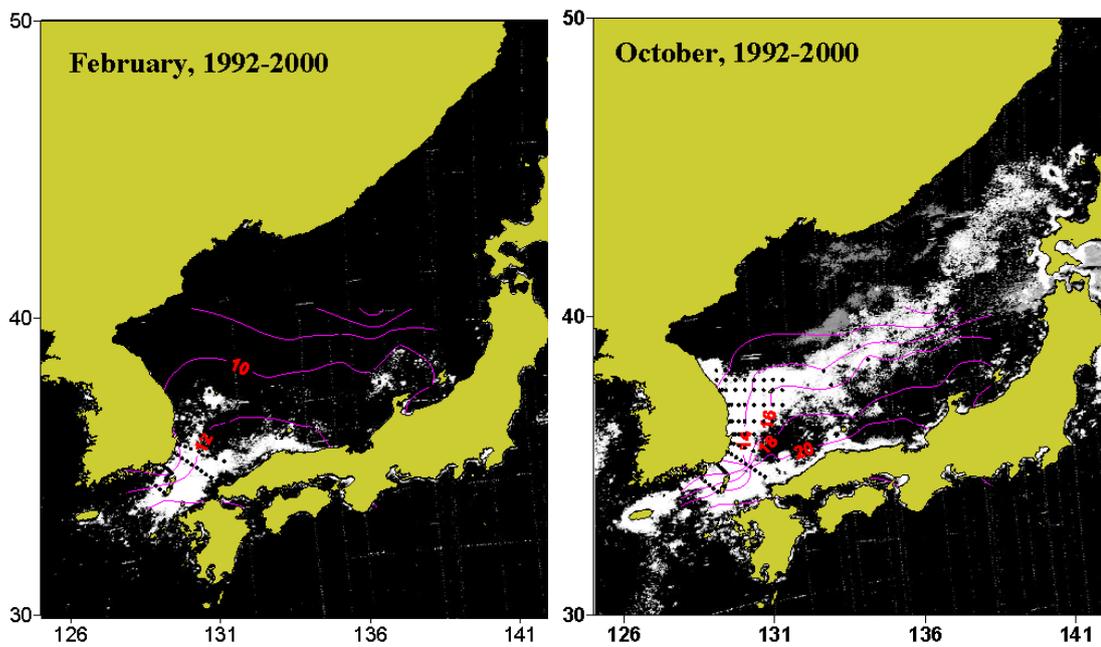


Fig. 3.2.2.13. Relationship between the nighttime fishing ground and the estimated 50 m water temperature from MCSST.

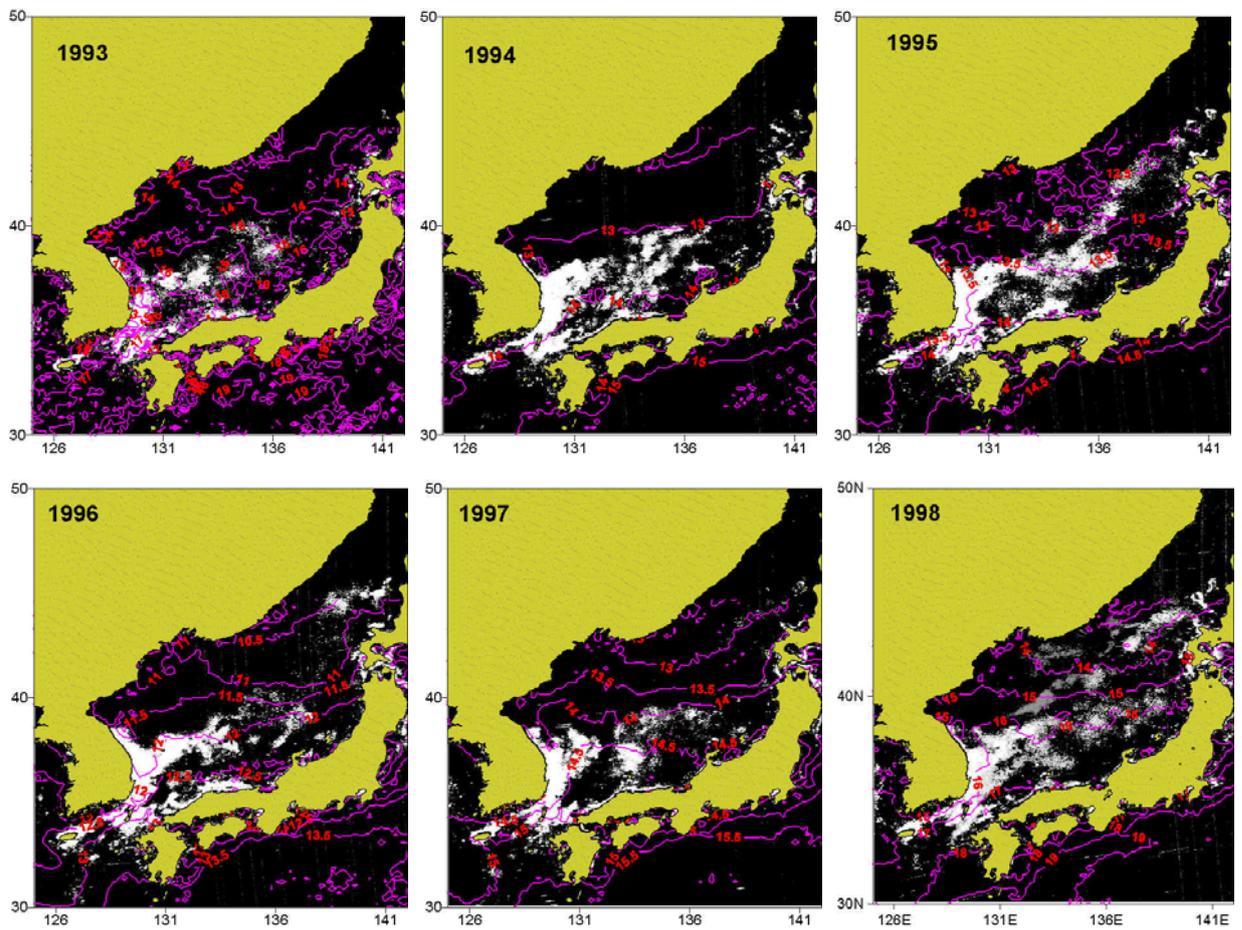


Fig. 3.2.2.14. Interannual variation of the nighttime fishing ground and estimated 50m water temperature from 1993 to 1998.

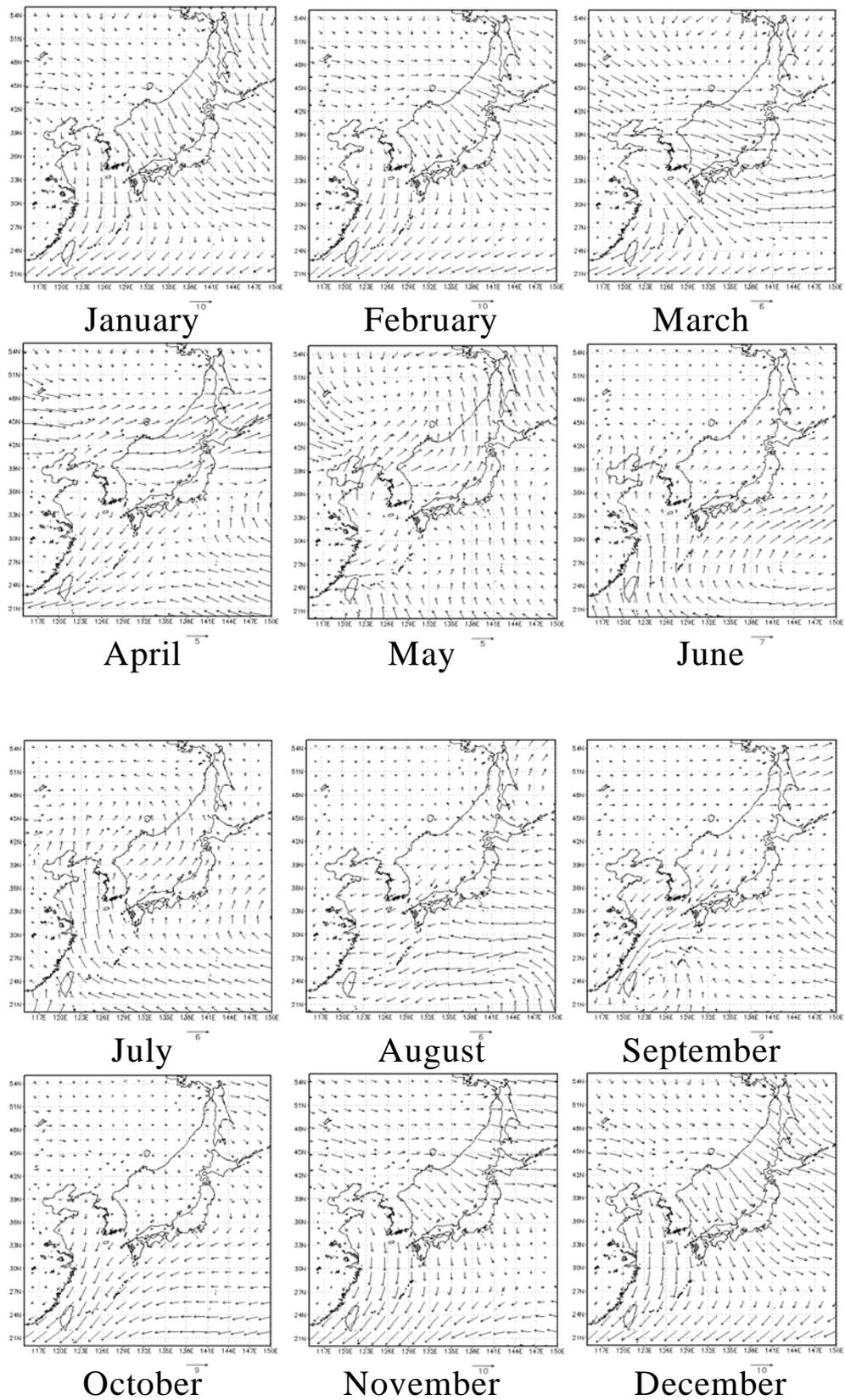


Fig. 3.2.2.15. Horizontal distributions of wind by the NCEP/NCAR reanalysis data from January to December, 2001.

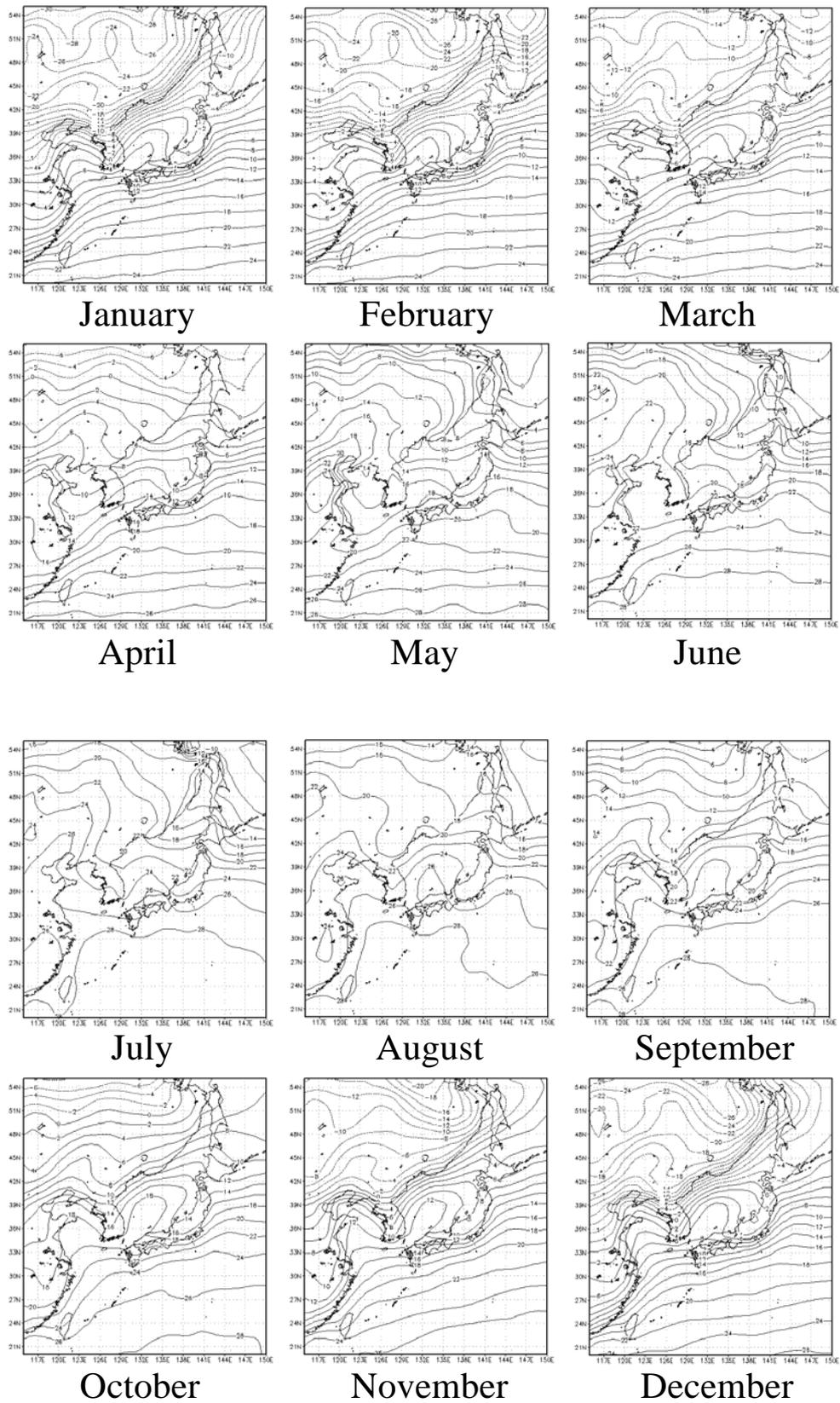


Fig. 3.2.2.16. Horizontal distributions of the 2m upper layer air temperature at the sea surface by the NCEP/NCAR reanalysis data from January to December 2001.

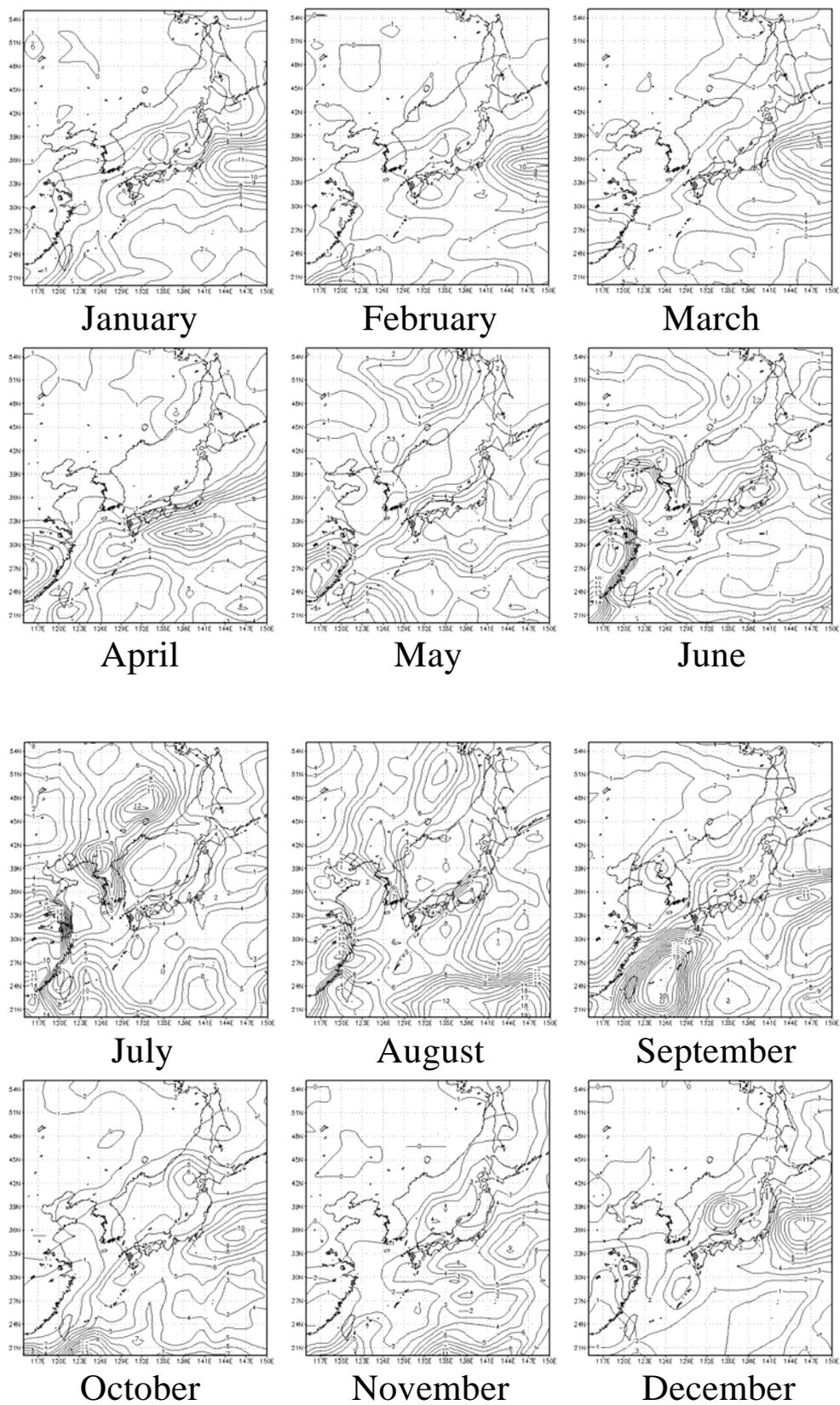


Fig. 3.2.2.17. Horizontal distributions of the precipitation by the NCEP/NCAR reanalysis data from January to December 2001.

### 3. 연구결과 성과

#### 가. 논문게재 실적

| 제 목   | 발표자   | 학술지명            | 통권<br>(호) | 년/월     | 발행기관           |
|---|---|-----------------|-----------|---------|----------------|
| 동해에서 오징어 어황과<br>해황과의 관계   | 조규대,김상우,<br>강기홍,이충일,<br>김동선,최윤선,<br>최광호               | 한국해양환경<br>안전학회지 | 10(1)     | 2004/08 | 한국해양환경<br>안전학회 |
| Shallow temperature<br>inversion off Wasaka Bay<br>in the East Sea, June of<br>1995 and 1996                              | Lee, Chung Il,<br>Cho, Kyu Dae,<br>Yoon, Jong<br>Hwui | 한국해양환경<br>안전학회지 | 10(1)     | 2004/08 | 한국해양환경<br>안전학회 |
| 동해의 쓰시마난류 분포역<br>에서 음속의 변동  | 이충일,조규대,<br>김상우                                       | 한국<br>수산학회지     | 36(2)     | 2003/05 | 한국수산학회         |
| 동해에서 쓰시마난류의<br>변동과 관련한 극전선의<br>공간적 변화   | 이충일,조규대,<br>최용규                                       | 한국<br>환경과학회지    | 12(9)     | 2003/09 | 한국환경과학회        |
| The oceanic condition of<br>the Tsushima Warm<br>Current Region in the<br>southern part of the<br>East Sea (Sea of Japan) | Lee, Chung Il,<br>Cho, Kyu Dae,<br>Yoon, Jong<br>Hwui | 한국해양환경<br>안전학회지 | 9(2)      | 2003/12 | 한국해양환경<br>안전학회 |
| 표층혼합층 생태계모델을<br>이용한 동해 식물플랑크톤<br>의 계절변화   | 김상우, 유타카이<br>소다, 토모노리아<br>즈마야                         | 한국<br>수산학회지     | 36(2)     | 2003/05 | 한국수산학회         |

나. 연구성과 발표실적

| 제 목  | 발표자  | 학술회의명                                      | 호                 | 발표년월일         | 발행기관         |
|--|--|--|-------------------|---------------|--------------|
| The oceanic condition of the Tsushima Warm Current Region in the southern part of the East Sea | Lee, Chung Il<br>Cho, Kyu Dae                            | 해양환경안전학회<br>2003년도 추계학술발표회                 | 추계<br>요약집         | 2003.11.7-8   | 해양환경<br>안전학회 |
| 해색위성영상을 활용한 한반도 주변해역의 식물플랑크톤 색소농도의 시공간적 분포   | 김상우, 조규대,<br>김영섭, 김동선,<br>최윤선, 서영상                       | 해양환경안전학회<br>2003년도<br>추계학술발표회              | 추계<br>요약집         | 2003.11.7-8   | 해양환경<br>안전학회 |
| 동해에서 potential vorticity와 해류순환과의 관계  | 이충일, 조규대<br>윤종휘  | 해양환경안전학회<br>2004년도<br>춘계학술발표회              | 춘계<br>요약집         | 2004.05.7-8   | 해양환경<br>안전학회 |
| 위성자료를 이용한 야간조업어선과 해황과의 관계  | 김상우, 최윤선,<br>조규대, 김영섭,<br>김동선, 정희동,<br>서영상.              | 해양환경안전학회<br>2004년도<br>춘계학술발표회              | 춘계<br>요약집         | 2004.05.7-8   | 해양환경<br>안전학회 |
| 동해 표층혼합층의 시공간변동  | 김상우, 조규대<br>김영섭, 이충일<br>정희동, 서영상                         | 한국수산학회<br>2004년도<br>춘계학술발표회                | 춘계<br>요약집         | 2004.05.13-14 | 한국수산<br>학회   |
| Interannual variation of nighttime fishing ground derived from satellite imagery.              | Kim Sang-Woo<br>Y. S. Suh,<br>H. D. Jeong,<br>Y.S. Choi. | 제2회 기후변화가<br>해양수산에 미치는<br>영향에 관한<br>국제심포지엄 | 심포지<br>엄발표<br>요약집 | 2004.05.28    | 국립수산<br>과학원  |
| 위성영상을 이용한 동해 오징어 어장의 시공간 분포  | 김상우, 조규대<br>최윤선, 서영상                                     | 동해안 어업자원<br>변동 국제심포지<br>엄                  | 심포지<br>엄발표<br>요약집 | 2004.08.26    | 동해수산<br>연구소  |
| 한국연안에서 오징어 어획량과 수온에 미치는 엘니뇨의 영향  | Chung Il Lee,<br>Kyu Dae Cho,<br>Kwang Ho Cho<br>i       | 제 13차 PICES<br>국제학술발표대회                    | 발표<br>요약집         | 2004. 10.20   | 하와이<br>(미국)  |

## 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

가. 연구개발 목표의 달성도

※ 구체적으로 기술

| 구 분<br>개발 내용  | 연구 개발 기간 |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 진도 (%) |
|---|----------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
|   | 1        | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |        |
| ○ 어장변동 및 예측   |          |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| -어황자료수집 및 D/B 구축<br>-어장환경 특성 파악<br>-어장변동 해석             |          |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| ○ 위성원격탐사에 의한 어장<br>환경모니터링                               |          |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| -위성원격탐사 영상 자료<br>수집 및 처리 및 해석<br>-색소농도, 어선분포 등 자료<br>해석 |          |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| ○ 최종보고서 작성  |          |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |        |
| 총진도율  | 5        | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5  | 5  | 100    |

○ 당초계획은 \_\_\_\_\_, 진도는  
\_\_\_\_\_ 표시

나. 상기 평가의 착안점에 따른 달성도에 대한 자체평가

| 항 목<br>년 도              | 평 가 항 목                        | 예상척도<br>(점수) | 수행율<br>(%) |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|------------|
| 1차년도<br>(2002년 - 2003년) | ○ 위성자료수집 및 처리                  | 50           | 100        |
|                         | ○ 어해황자료수집 및 D/B화               | 30           | 100        |
|                         | ○ 기상자료 처리                      | 20           | 100        |
| 2차년도<br>(2003년 - 2004년) | ○ 위성 및 현장관측 자료 해석              | 50           | 100        |
|                         | ○ 어·해황 자료 통계분석 및 어장환경<br>변동 해석 | 50           | 100        |
| 최종평가                    | ○ 어장환경 변동해석                    | 50           | 100        |
|                         | ○ 위성원격탐사에 의한 어장환경 모니터링         | 50           | 100        |

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

### 가. 연구내용 및 활용계획

| 핵심기술(연구내용)                                 | 활 용 계 획   |
|--|---|
| ○ 위성원격탐사기술을 활용한 어장환경 변동 특성                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성원격탐사자료와 현장관측자료의 통계 분석을 통해 상관성 연구를 통해 국립수산과학원 해양원격탐사실과 협조체제를 유지하면서 현재까지 분석한 자료를 활용할 수 있는 방안을 과제 종료와 함께 협의하고자 함.</li> <li>- 본 연구 과제의 활용 방법은 국립수산과학원 해양원격탐사실 홈페이지를 통해 일반 어민에게 제공하고자 함.</li> </ul> |
| ○ 위성자료와 현장관측 자료간의 중첩분석을 통한 시기별 어장 형성 해역 파악 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성원격탐사에 의한 시기별 그리고 해황에 따른 주 어장 형성 해역 및 변동을 예측을 위한 기초 자료를 제공함으로써 위성 어업시대 구현하는데 기여하고자 함.</li> <li>- 본 연구결과의 활용은 국립수산과학원과 협조하여 일반 어민들에게 제공하고자 함.</li> </ul>   |

### 나. 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용유형

| 핵심기술<br>(연구내용)            | 핵심기술(연구내용) 수준 |          |            |               |               | 기술(연구결과) 활용유형(복수표기 가능) |                |             |          |    |
|---------------------------|---------------|----------|------------|---------------|---------------|------------------------|----------------|-------------|----------|----|
|                           | 세계<br>최초      | 국내<br>최초 | 외국기술<br>복제 | 외국기술<br>소화·흡수 | 외국기술<br>개선·개량 | 특허<br>출원               | 산업체이전<br>(상품화) | 현장애로<br>해 결 | 정책<br>자료 | 기타 |
| 어장환경 변동 및 예측에 위성원격탐사기술 적용 |               | ○        |            |               |               |                        |                | ○           | ○        |    |

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

○ 일본 학술진흥재단(JSPS)과 한국과학재단에서 지원하는 수산학 거점대학 프로그램으로부터 일본 북해도 대학에서 오징어 유생 관측에 관한 정보 및 오징어 산란과 관계된 여러 정보를 입수함. 현재 일본 북해도 대학(Sakurai 교수), 일본해구수산연구소(Goto, Kidokoro 연구원)와 부경대학교 및 국립수산과학원과 협조하여 공동연구 결과를 도출하고자 함.

○ 위성원격탐사 기술에 대한 정보 중 야간 조업어선과 관련된 정보는 일본 북해도대학과 연계하여 공동연구를 추진하기로 잠정적으로 협의함.

○ 기초먹이 생물량과 관련된 식물플랑크톤 색소농도 영상자료를 이용한 동해 기초생산량 계산 등에 관한 정보는 일본 나카사키 대학의 이시자카 교수, 북해도 대학의 사이토 교수, JAMSTEC의 아사누마 책임연구원과 학술교류 및 국제 심포지엄 등을 통해 현재 정보를 교류하고 있음.

## 제 7 장 참고문헌

- 1) 강인식, 이양미, 안순일. 1995. 서태평양 지역에서 태풍 활동의 경년변화와 엘니뇨. 한국기상학회지, 31(1),15-26.
- 2) 김규명. 1996. 열대 태평양 대기와 해양의 계절 및 경년 변동의 시공간 구조. 이학박사 학위논문. 서울대학교 대기과학과. 135pp.
- 3) 김호균. 2001. 대한해협에서 해류의 분포와 변동. 이학박사 학위논문. 부경대학교 해양학과. 94pp.
- 4) 나영남. 1998. 엘니뇨와 관련된 동해의 수온변화. 이학석사논문. 서울대학교 해양학과. 58pp.
- 5) 나정열, 서장원, 한상규. 1992. 한국근해의 월평균 해상풍. 한국해양학회지. 27(1), 1-10.
- 6) 방태진. 1990. 울릉렌즈형 난수층(warm lense)의 3차원적 구조. 이학석사 논문. 부경대학교 해양학과. 43pp.
- 7) 이동규, 김성삼, 박순웅, 정영근. 1988. 한반도의 한랭 및 온난 겨울에 관련된 겨울철 순환의 연구. 1부-정체과. 한국기상학회지, 24(2), 16-35.
- 8) 이동성, 김기현. 1998. 228Ra를 이용한 이상 저염 대마난류수의 기원 추적 연구. 한국해양학회지[바다], 3(4), 175-182.
- 9) 이명인, 강인식. 1997. 한반도 기온변동성과 온난화. 한국기상학회지, 33(3), 429-443.
- 10)최용규. 1994. 東海固有水の 海洋學的 特性. 이학박사 학위논문. 부경대학교 해양학과. pp.116.
- 11)최용규, 양성기, 홍철훈, 조규대, 1994. 동해고유수의 해양학적 특성-I. 겨울철 동해의 해황과 동해고유수. 한국환경과학회지, 3(4), 317-332.
- 12)최용규, 조규대, 양성기. 1995. 동해고유수의 해양학적 특성-II. 동해고유수와 Chimney. 한국환경과학회지, 4(2), 121-138.
- 13)홍철훈, 조규대. 1983. 하계 동해의 용존산소 분포특성과 대마난류. 한국수산학회지, 16(3). 291-297.
- 14)日本海區水産研究所. 1998. 日本海における 水溫の平均像-1966~1995年の 平均 水溫とその標準偏差.
- 15)曹圭大, 崔鎔圭. 1988. 對馬暖流 水刑의 季節變化. 한국수산학회지, 21(6), 297-306.
- 16)洪鐵勳, 曹圭大. 1984. 1981年 夏季 東海沿岸域의 異常低水溫現象. 한국해양학회지, 19(1), 11-17.
- 17)Arnone, R. A. and P. E. La Violette. 1986. Satellite definition of the bio-optical and thermal variation of coastal eddies associated with the African current. J. Geophys. Res., 91, 2351-2364.
- 18)Chen, C. T. A., S. L. Wang and A. S. Bychkov. 1995. Carbonate chemistry of the Sea

- of Japan, *J. Geophys. Res.*, 100, 13737–13745.
- 19) Emery, W. J. and R. E. Thomson. 1998. *Data analysis methods in physical oceanography* (first edition). Pergamon, 181–185.
  - 20) Eslinger, D. L., J.J. O'Brien, R. L. Iverson. 1989. Empirical orthogonal function analysis of cloud-containing coastal zone color scanner images of northeastern North American coastal waters. *J. Geophys. Res.*, 94, 10884–10890.
  - 21) Fang, G., Zhao, B., Zhu, Y. 1991. Water volume transport through the Taiwan Strait and the continental shelf of the East China Sea measured with current meters. In: Takano, K. (Ed.), *Oceanography of Asian Marginal Seas*. Elsevir, Amsterdam, 345–348.
  - 22) Fukushima, H. and J. Ishizaka. 1993. Special features and applications of CZCS data in Asian waters. In *Ocean Colour: Theory and Applications in a Decade of CZCS Experience*, eds. V. Barale and P. M. Schlittenharadt, Kluwer Academic, pp. 213–236.
  - 23) Fukuoka, J. 1957. On the Tsushima Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 13(2), 57–60.
  - 24) Gamo, T. and Y. Horibe. 1983. Abyssal circulation in the Japan Sea, *J. Oceanogr., Soc. Jpn.*, 30, 220–230.
  - 25) Gamo, T. 1999. Global warming may have slowed down the deep conveyor belt of a marginal sea of the northwestern Pacific: Japan Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 26(20), 3137–3140.
  - 26) Gray, W. M. 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I. El Niño and 30mb quasi-biennial oscillation influences. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1649–1668.
  - 27) Gordon, H. R., D. K. Clark, J. W. Brown, O. B. Brown, R. H. Evans and W. W. Broenkow. 1983. Phytoplankton pigment concentration in the Middle Atlantic Bight: Comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Appl. Opt.*, 22, 20–36.
  - 28) Hase, H., J. H. Yoon and M. Takematsu. 1996. The measurement of the southwestward subsurface countercurrent off the Wakasa bay. *Proc. CREAMS'96, Valdivostok*. 113–117.
  - 29) Hase, H., J. H. Yoon and W. Kotterayama. 1999. The current structure of the Tsushima Warm Current along the Japanese Coast. *J. Oceanogr.*, 55, 217–235.
  - 30) Hong, C.H. and K.D. Cho. 1983. The northern boundary of the Tsushima Warm Current and its fluctuations. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18(1), 1–9.
  - 31) Hong, C.H., K. D. Cho and H. J. Kim. 2001. The relationship between ENSO events and sea surface temperature in the East(Japan) Sea. *Progress in Oceanography*, 49, 21–40.
  - 32) Horel, J. D. and J. M. Wallace. 1981. Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 813–829.
  - 33) Houghton, J. T., L. G. Meria Filho, B. A. Callander, N. Harris. 1995. A. Kattenberg, and K. Maskell (Eds.), *Climate Change 1995: The science of Climate Change*, Cambridge

University Press. 572pp.

- 34)Huh, O. K. 1982. Spring season flow of the Tsushima Current and its separation from the Kuroshio: Satellite evidence. *Journal of Geophysical Research*, 87, 9687–9693.
- 35)Isobe, A. 1999. On the origin of the Tsushima Warm Current and its seasonality. *Continental Shelf Research*, 19, 117–133.
- 36)Ishizaka, J., H. Fukushima, M. Kishino, T. Saino and M. Takahashi. 1992. Phytoplankton pigment distributions in regional upwelling around the Izu Peninsula detected by coastal zone color scanner on May 1982. *J. Oceanogr.*, 48, 305–327.
- 37)Kang, I. S. and N. C. Lau. 1986. Principal modes of atmospheric variability in model atmosphere with and without anomalous sea surface temperature forcing in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 43, 2719–2735.
- 38)Kawabe, M. 1982a. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea. Part. I. Data analysis, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 95–107.
- 39)Kawabe, M. 1982b. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea. Part II. Numerical experiment. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 183–192. 1982b.
- 40)Kim, K., K. R. Kim, D. H. Min, Y. Volkov, J. H. Yoon and M. Takematsu. 2001. Warming and structural changes in the East(Japan) Sea: A clue to future changes in global oceans?, *Geophy. Res. Lett*, 28(17), 3293–3296.
- 41)Kim, K. R., G. B. Kim and K. Kim. 2001. A sudden bottom-water formation during the severe winter 2000–2001: The case of the East/Japan Sea. *Geophy. Res. Lett*, 29(8), 75-1 - 75-4.
- 42)Kim, S.W., S. Saitoh, J. Ishizaka, Y. Isoda, and M. Kishino. 2000. Temporal and spatial variability of phytoplankton pigment concentrations in the Japan Sea derived from CZCS images. *J. Oceanogr.*, 56, 527–538.
- 43)Kiyofuji, H., S. Saitoh, Y. Sakurai, T. Hokimoto, and K. Yoneta, 2001, Spatial and temporal analysis of fishing fleet distribution in the southern Japan Sea in October 1996 using DMSP/OLS visible data, *Proceedings of the First International Symposium on GIS in Fishery Science*, Fishery GIS research group, 178–185.
- 44)Lee, C.I. and K.D. Cho. 2000. The fluctuation characteristics of the water mass and the current structure of the southeastern region of the East Sea. *J. Fish. Sci. Tehnol.*, 3(2), 97–110.
- 45)Lee, C.I. and K. D. Cho. 2000. The fluctuation characteristics of the water mass and the current structure of the southeastern region of the East Sea. *J. Fish. Sci. Tech.*, 3(2), 97–110.
- 46)Matsumura, S. and H. Fukushima. 1988. Water mass analysis using ocean color map

- and sea surface temperature map obtained by NIMBUS-7/CZCS. Sora to Umi, 10, 27-39 (in Japanese with English abstract).
- 47)Morel, A. and L. Prieur. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.*, 22, 709~722.
- 48)Nicholls, N. 1984. The southern oscillation, sea-surface temperature, and interannual fluctuations in Australian tropical cyclone activity. *J. Climatol.*, 4, 661-670.
- 49)Obata, A., J. Ishizaka, M. Endoh. 1996. Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological in situ temperature and satellite ocean color data. *J. Geophys. Res.*, 101, 20657-20667.
- 50)Ogawa, Y. H. 1971. The oceanographic condition of the westsouthern area of the Japan Sea. *Yamaguchi Gaikai Fish. Exa. Stn.*, 1-42.(in Japanese)
- 51)Ogawa, Y. H. 1983. Seasonal changes in temperature and salinity of water flowing into the Japan Sea through the Tsushima Straits. *Research Report of Japan Fisheries Oceanography Institute*, 43, 1-8.
- 52)Onishi, M. and K. Ohtani. 1997. Volume transport of the Tsushima Warm Current, west of Tsugaru Strait bifurcation area. *J. of Oceanogr.*, 53, 27-34.
- 53)Sakuri, Y., H. Kiyofuji, S. Saitoh, T. Goto and Y. Hiyama. 2000. Changes in inferred spawning areas of *Todardec pacificus* due to changing environmental conditions. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 24-30.
- 54)Senjyu, T. 1999. The Japan Sea Intermediate Water; its characteristics and circulation. *Journal of Oceanography*, 55, 111-122.
- 55)Sudo, H. 1986. A note on the Japan Sea Proper Water. *Progr. Oceanogr.*, 17, 313-336.
- 56)Thadathil, p. and A.K. Gosh. 1992. Surface layer temperature inversion in the Arabian Sea during winter. *J. Oceanogr.*, 48, 293-304.
- 57)Toba, Y., Tomzaya, K., Kurasawa, Y., and Hanawa, K. 1982. Seasonal and Year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause. *La mer*, 20, 37-40
- 58)Torrence, C. and G. P. Compo. 1998. A Practical Guide to Wavelet analysis. <I>*Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 61-78.
- 59)Uda, M. 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *Jour. Imp. Fisher. Exp. St.*, 5, 57-190(in Japanese).
- 60)Yasui, M., T. Yasuoka, K. Tanioka and O. Shiota. 1967. Oceanographic Studies of the Japan Sea ( I )- Water Characteristics-Oceanogr. *Mag.*, 19(2), 177-192.
- 61)Yentsch, C. S. and D. A. Phinney. 1985. Rotary motions and convection as a means of

regulating primary production in warm streamer rings. *J. Geophys. Res.*, 90, 3237-3248.

62) Webster, P. J. and S. Yang. 1992. Monsoon and ENSO : Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 118, 877-926, 1992.

## 첨 부 (연구성과 논문)

## 본문 작성 요령

1. 본문의 순서는 장, 절, 1, 가, (1), (가), ①, ㉠, 등으로 하고,
  - 장은 17 포인트 고딕계열
  - 절은 15 포인트 명조계열
  - 본문은 11 포인트 명조계열로 한다. 단, 본문의 내용 중 중요부문은 고딕계열을 사용할 수 있다.
2. 장은 원칙적으로 페이지를 바꾸어 시작한다.
3. 본문은 11 포인트 횡으로 작성한다.
4. 페이지 번호는 하단 중앙 끝에 11 포인트로 한다.
5. 각주는 해당 페이지 하단에 8포인트 활자로 표기하며, 본문과 구분토록 한다.
6. 페이지 수는 편집순서 2의 제출문부터 시작한다.
  - 단, 삽입물이 있을 때는 그 삽입물의 크기에 불문하고 1면을 한 페이지로 하여 일련 번호를 붙인다.
7. 한글, 한문, 영문을 혼용한다.
8. 뒷면지에 주의문을 넣는다.
9. 참고문헌(reference) 인용의 경우 본문 중에 사용처를 반드시 표시한다.

## 주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

[부 표]

## 인 쇄 내 용

### I. 인쇄규격

1. 크 기 : A<sub>4</sub> 용지
2. 제 본 : 좌철
3. 용 지 : ○ 표지 200 g/m. 양면 아트지  
○ 내용 80 g/m. 모조지
4. 인쇄방식 :
  - 1) 표지 : 바탕 백색, 활자 흑색
  - 2) 내용 : 흑색 지정활자로 인쇄한다

### II. 편집순서

1. 표 지
2. 제출문
3. 요약문
4. Summary
5. Contents

6. 목 차

7. 본 문

8. 연구결과활용계획

9. 뒷면지

### Ⅲ. 참고사항

- 전자조판 인쇄시에는 이 요령에 준한다.