

## **국제공동해양조사연구 (ARGO)**

**International Cooperation in Observing the Ocean in  
Real Time (ARGO)**

**한국해양연구원**

# 제 출 문

한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “국제공동해양조사연구 (ARGO)” 과제의 제3단계 단계보고서로 제출합니다.

2009년 12월 29일

연구책임자: 석문식(기후연안재해연구부)

참여연구원

한국해양연구원 : 이재학 전동철 안유환 홍기훈  
장성태 황상철 이하웅 장영석  
신성원 안윤하 김응운 석  
허승희 P. Shree Ram

국립수산과학원 : 양준용 서영상 황재동 최용규  
한인성 고우진 성기탁 김상우  
강성운

# 요 약 문

## I. 제목 :

국제공동해양조사연구 (ARGO)

## II. 연구개발의 필요성 및 목적

### 1. 필요성

- 기후관련 국제공동연구프로그램에 국가적 기여
- 해양에서 기인한 해양-대기의 기후변화를 파악하고 예측력 향상
- 국가적 경제 활동에 과학적인 자료의 적극적 활용을 위한 「국제 ARGO 프로그램」 자료의 활용
- 국력신장을 위한 대양연구 참여

### 2. 목적

「국제 ARGO 프로그램」에 기여하는 국가적 분담 이행 연구

## III. 연구개발의 내용

- 참여국가들의 추진 동향 조사
- ARGO 뜰개의 기술적 특성조사
- 「국제 ARGO 프로그램」에서 생산되는 자료의 획득 및 활용
- 국가연구계획 및 한국 분담해역
- 대상해역 해당연차분 뜰개 투하
- 자료활용 기초 연구
- ARGO 자료처리의 자동화

## IV. 연구개발 결과

### 1. 당해연도 뜰개 투하 (국가적 분담 이행)

#### 2007년도 (Argo 뜰개 9대)

- 가. 우리 연구원의 연구선 이어도호를 이용하여 동해에 99대의 뜰개 투하
- 나. IPY의 일환으로 독일쇄빙선 Polarstern호를 이용하여 3대의 뜰개 투하 준비  
(2008년초 투하)

#### 2008년도 (Argo 뜰개 14대)

- 가. 우리 연구원의 연구선 이어도호를 이용하여 동해에 11대의 뜰개 투하
- 나. IPY의 일환으로 독일쇄빙선 Polarstern호를 이용하여 3대의 뜰개 투하

#### 2009년도 (Argo 뜰개 5대)

- 가. 우리 연구원의 연구선 이어도호를 이용하여 동해에 5대의 뜰개 투하

### 2. 뜰개자료처리의 자동화

- 가. 뜰개가 수집한 자료를 사용자전용 argos 홈페이지로부터 다운로드  
(<https://argos-system.cls.fr/cwi/Logon.do>)
- 나. 수온, 염분, 수압자료와 위치자료를 추출하고 변환
- 다. 변환된 자료를 NetCDF file로 변환하여 GDAC (Global Data Assembly Center)과 KAS 회원에게 배포
- 라. 우리 연구원 Argo 자료제공 홈페이지 유지 <http://argo.kordi.re.kr>

### 3. 뜰개자료 활용을 위한 예비연구

- 가. 전구해양순환모형에서 얻은 수온과 염분을 뜰개에서 얻은 결과와 비교하여 해양순환모델링의 결과 검증에 활용한다.
- 나. 뜰개 투하시 정선관측에서 얻은 수온, 염분 수직분포와 정선관측에서 획득한 수평수온분포도와 뜰개에서 얻은 자료를 비교하여 뜰개에 부착된 CTD의 정확도를 검증하였다.
- 다. 국제Argo프로그램의 10년간 활동을 정리하여 이를 TOS (The Oceanography Society)에 다음의 제목으로 "Argo: the challenge of continuing 10 years of



progress” 논문을 발표하였다.

라. 뜰개에 부착된 CTD의 염분자료와 안정도를 분석하고, 자료의 지연모드 품질 관리 및 검증하여 이를 한국환경과학회지에 다음의 제목으로 “태평양 Argo 자료의 지연모드 품질관리 및 검증연구” 논문을 발표하였다.

마. 국제Argo프로그램의 뜰개 관측 자료로부터 MLD를 계산하고 표층염록소 변동성을 파악하여 OPR(Ocean and Polar Research)에 다음의 제목으로 “북서 태평양의 표층염록소 변동성” 논문을 발표하였다.

바. 국제Argo프로그램의 뜰개 관측 자료로부터 해외어장 환경요소를 실시간으로 제공하는 해황정보시스템을 개발하면서 이를 한국환경과학회지에 다음의 제목으로 “Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발연구” 논문을 발표하였다.

#### 4. 국제Argo프로그램의 자료 수집

가. ARGO 뜰개가 관측한 자료는 internet을 이용하여 GDAC (Global Data Assembly Center) Argo data center인 **Coriolis** (<http://www.coriolis.eu.org>) 또는 **USGODAE** (<http://www.usgodae.org/argo/argo.html>)에서도 확보할 수 있다. 현재 기상연구소 등에서 동해에 투하한 뜰개가 관측한 자료를 **Coriolis** 또는 **USGODAE**에서 NetCDF file 형태로 수집하고 있다.

#### 5. KOC(한국해양과학위원회) 산하에 한국Argo정보센터를 설립하고 국제 센터와의 연계 구축

가. 국내외 ARGO 자료를 수집하고 이의 효율적 활용을 위한 Data Base 설계  
나. 국제 ARGO 자료관리 체계 및 동향 파악

#### 6. 국제공동연구 추진

가. 한국해양연구원 극지연구본부의 한-칠레사업과 연계 타진

# SUMMARY

## I. Title

International Cooperation in Observing the Ocean in Real Time (ARGO)

## II. Necessities and Objective of the Study

### 1. Necessity

- Contribution to the international cooperative research program in relation to climate
- Improvement of the prediction of oceanic climate change
- The use of data from the international ARGO program for national economic benefit
- Performance of open ocean research to extend national power

### 2. Objectives

Cooperative research program for national contribution to 「International ARGO Program」

## III. Scopes of the Study

- Survey for national plans for ARGO of participating countries
- Survey for technical characteristics of ARGO float
- Archive and Use Argo data from International ARGO program
- National plan and role of Korean community
- ARGO floats deployment of national contribution
- Preliminary studies for the application of ARGO data
- Automation of ARGO raw data conversion and processing

#### IV. Results of the Study

##### 1. ARGO floats deployment: national contributing to 「International ARGO Program」

###### Year of 2007 (9 Argo floats)

- a. Deployment of 9 floats to the East Sea by R/V Eardo of KORDI.
- b. Preparation of deployment of 3 floats at the Drake passage with the part of IPY by Germany Icebreaker R/V Polarstern (expected deployment early 2008).

###### Year of 2008 (14 Argo floats)

- a. Deployment of 14 floats to the East Sea by R/V Eardo of KORDI.
- b. Deployment of 3 floats at the Drake passage with the part of IPY by Germany Icebreaker R/V Polarstern.

###### Year of 2009 (5 Argo floats)

- a. Deployment of 5 floats to the East Sea by R/V Eardo of KORDI.

##### 2. Automation of ARGO data processing

- a. Data delivery system from limited argos webpage that is downloaded everyday (<https://argos-system.cls.fr/cwi/Logon.do>).
- b. Extract location data from downloads and decode data to get temperature and salinity profiles.
- c. Generate NetCDF files from the converted data and distribute to the GDAC (Global Data Assembly Center).
- d. Operate KORDI's argo data service homepage <http://argo.kordi.re.kr>

##### 3. Preliminary studies for application of ARGO data

- a. Validation and verification of ocean circulation modelling results by comparison between ARGO data and temperature and salinity profiles

obtained from OGCM(Ocena Global Circulation Model).

- b. Verification of CTD sensors equipped on floats by comparison between ARGO data and vertical and horizontal distribution of temperature and salinity obtained by CTD casting during deployment.
- c. Paper titled "Argo: the challenge of continuing 10 years of progress" in TOS (The Oceanography Society) working on the achievement and progress in oceanographic data set of continuing 10 years.
- d. Paper titled "Delayed Mode Quality Control of Argo Data and Its Verification in the Pacific Ocean *-in Korean*" in the Journal of the Korean Environmental Sciences Society working on delayed mode quality control of Argo data.
- e. Paper titled "Variability of surface chlorophyll concentration in the northwest Pacific Ocean *-in Korean*" in OPR(Ocean and Polar Research) working on the seasonal and interannual variability of surface chlorophyll-a concentration and mixed layer depth (MLD) calculated from temperature profiles of Argo floats data.
- f. Paper titled "Development of Real-time Oceanographic Information System for Pelagic Fishery Based on Argo Data *-in Korean*" in the Journal of the Korean Environmental Sciences Society working on Argo data to help fishing fleet to find fishing grounds.

#### **4. Data collection from the international ARGO Program**

- a. All float data are available through internet from GDAC (Global Data Assembly Center) Argo data center **Coriolis** (<http://www.coriolis.eu.org>) or **USGODAE** (<http://www.usgodae.org/argo/argo.html>) in NetCDF format. We are collecting data from floats deployed in the East Sea by research institutions such as KMA.

#### **5. Establish the Korea ARGO Information Center under KOC and prepare collaboration with international ARGO Information Center.**

- a. Collected ARGO data from various sources and designed a database to

mange the data set

b. Studied ARGO data management

## **6. International collaboration**

a. Survey possible cooperation through existing Bi-lateral cooperation between Korea and Chile initiated by Polar Research Center, KORDI



# 목 차

요약문 .....	3
목 차 .....	11
그림목차 .....	15
표목차 .....	20
<b>제 1 장 서 론</b> .....	23
제 1 절 연구 목적 .....	23
제 2 절 연구의 필요성 .....	25
제 3 절 연구 개요 .....	25
1. 연구 목표 및 내용 .....	26
2. 추진전략 및 방법 .....	27
<b>제 2 장 국내외 기술개발 현황</b> .....	29
제 1 절 국내 ARGO 사업 .....	29
1. 국내 ARGO 사업 현황 .....	29
2. 한국 ARGO 소위원회 활동 .....	30
제 2 절 국제 동향 .....	31
1. 국제 Argo 프로그램 .....	31
2. 국제 Argo 그룹과의 협력 .....	33
<b>제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과</b> .....	37
제 1 절 ARGO 뜰개 투하 현황 .....	37
제 2 절 ARGO 뜰개 자료를 이용한 관심해역 해황 파악 .....	38
1. 뜰개자료를 활용하여 실시간 해황 분석 .....	38
2. 동해 울릉분지 주변의 중층에서 형성되는 타원형 와류 분석 .....	41
제 3 절 ARGO 뜰개의 용존산소 자료 .....	45
1. 동해 용존산소 분포 구조 .....	46
2. ARGO 뜰개로 관측된 동해의 용존산소 수직 profiles 구조 .....	47
제 4 절 한국 ARGO 정보 센터의 기반 구축 .....	50
1. ARGO 정보 수집 및 제공 체계 구축 .....	50
2. 해외어장 실시간 해황정보 제공시스템 운영 .....	52
3. 동해 Argo 자료의 지연모드 품질관리 .....	54
4. 동해 지연모드용 Reference Database 보강 .....	62
제 5 절 Argo 뜰개자료 활용연구 .....	68
1. 우리나라 폐기물 투기해역 해수 이동 및 체류기간 추정 .....	68

2. Argo자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발 .....	71
<b>제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도 .....</b>	<b>75</b>
제 1 절 연구 개발의 최종 목표 및 범위 .....	75
제 2 절 연차별 연구 개발 달성도 .....	76
<b>제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획 .....</b>	<b>77</b>
제 1 절 활용 방안 .....	77
제 2 절 기대성과 및 예상 파급 효과 .....	77
<b>제 6 장 참고 문헌 .....</b>	<b>79</b>
<b>부 록 I .....</b>	<b>.....</b>
<보고서> 지연모드 품질관리 결과 보고서 .....	.....
<b>부 록 II .....</b>	<b>.....</b>
<논문> Argo: the challenge of continuing 10 years of progress .....	.....
<논문> 태평양 Argo 자료의 지연모드 품질관리 및 검증연구 .....	.....
<논문> Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발연구 .....	.....
<논문> 북서태평양의 표층염류소 변동성 .....	.....
<b>부 록 III .....</b>	<b>.....</b>
Argo 뜰개의 수온/염분/용존산소량 시계열 .....	.....



# CONTENTS

Summary .....	3
Contents .....	11
List of Figures .....	15
List of Tables .....	20
<b>Chapter I. Introduction</b> .....	<b>23</b>
Section 1. Objectives of study .....	23
Section 2. Necessities of study .....	25
Section 3. Overview of study .....	25
1. Objectives and outline of study .....	26
2. Method .....	27
<b>Chapter II. Status of domestic and oversea technological developments</b> ...	<b>29</b>
Section 1. Argo program in Korea .....	29
1. Status of Argo program in Korea .....	29
2. Korean Argo Committee Activities .....	30
Section 2. Activities of overseas countries .....	31
1. Status of International Argo Program .....	31
2. Cooperation with International Argo Community .....	33
<b>Chapter III. Contents and Results of the Study</b> .....	<b>37</b>
Section 1. Status of Argo float deployment .....	37
Section 2. Understanding of the ocean conditions in the East Sea using Argo data .....	38
1. Analysis of the ocean conditions in the East Sea using Argo data .....	38
2. Analysis of elliptical eddies in the Ulleung Basin of the East Sea .....	41
Section 3. DO sensor data equipped at Argo float .....	45
1. Structure of dissolved oxygen distribution in the East Sea .....	46
2. Vertical profile Structure of dissolved oxygen distribution in the East Sea observed from Argo float .....	47
Section 4. Construction of a base of Korea ARGO Information Center .....	50
1. Construction of a base of application and data collection of Argo .....	50
2. Operational system of ocean condition information for oversea fishing grounds in real-time .....	52
3. Delay mode quality control (DMQC) of Argo data for the East Sea .....	54

4. Enhancement of Reference Database of DMQC for the East Sea .....	62
Section 5. Researches of Argo data application .....	68
1. Watermass movement and residential days in Korean oceanic dumping sites .....	68
2. Ocean condition information system development for oversea fishing grounds using Argo data .....	71
<b>Chapter IV. Achievement and external contribution of the study .....</b>	<b>75</b>
Section 1. Final goal and extend of research & development .....	75
Section 2. Year-to-year achievement .....	76
<b>Chapter V. Application plan of the results .....</b>	<b>77</b>
Section 1. Application plan .....	77
Section 2. Expectation results and spreading effects .....	77
<b>Chapter VI. References .....</b>	<b>79</b>
<b>Appendix I .....</b>	
<보고서> DMQC Report for PI .....	
<b>Appendix II .....</b>	
<paper> Argo: the challenge of continuing 10 years of progress .....	
<paper> Delayed Mode Quality Control of Argo Data and Its Verification in the Pacific Ocean - <i>in Korean</i> .....	
<paper> Development of Real-time Oceanographic Information System for Pelagic Fishery Based on Argo Data - <i>in Korean</i> .....	
<paper> Variability of surface chlorophyll concentration in the northwest Pacific Ocean - <i>in Korean</i> .....	
<b>Appendix III .....</b>	
Time series of temperature, salinity and dissolved oxygen contents of float profiles .....	

# 그림 목 차

그림 2-1. 활동중인 Argo 뜰개 (2006년 11월 10일) .....	31
그림 2-2. 활동중인 Argo 뜰개 (2007년 11월 19일) .....	32
그림 2-3. 활동중인 Argo 뜰개 (2008년 10월 19일) .....	32
그림 2-4. 활동중인 Argo 뜰개 (2009년 11월 1일) .....	33
그림. 3-1. 동해에서 ARGO 뜰개의 분포 위치 .....	39
그림. 3-2. 동해에서 ARGO 뜰개의 프로파일 생성 시계열 .....	39
그림 3-3. 동해에서 대한해협-쓰가루해협 사이의 수온 수직단면 2월(상)과 8월(하) (2004~7년) .....	40
그림 3-4. 동해에서 대한해협-쓰가루해협 사이의 해면고도 시계열 (해양예측시스템(KOPS) 결과) .....	41
그림 3-5. 뜰개의 궤적과 함께 도시한 산출된 타원 .....	43
그림 3-6. 재처리된 DO profiles 의 예 (2900787) .....	46
그림 3-7. ARGO와 CTD 관측 DO 간의 상호 비교 .....	46
그림 3-8. World Ocean Atlas-2005 에 의한 동해의 표층 용존산소 분포구조. (좌) 연평균, (중앙) 4월, (우) 8월 .....	47
그림 3-9. 동해 DO profiles 의 수직 구조(2900448, 2900604, 2900605, 2900795) ·	48
그림 3-10. 용존산소의 시계열-수심 단면 구조. (좌) ARGO ID 2900448, (우) ARGO ID 2900604 .....	48
그림 3-11. 사업 수행 개념도 .....	51
그림 3-12. Argo EMfro 염분 센서 이상치 검증 절차 .....	51
그림 3-13. 전지구 Argo 자료획득 시스템과 원양어업 실시간정보 개념도 .....	52
그림 3-14. 한국 원양어업 어장도 .....	53
그림 3-15. GDAC으로부터 획득한 프로파일의 수 .....	53
그림 3-16. 그래픽 도구를 사용한 시각적 검사 : (a) 수심 대비 수온, (b) 염분 ···	54
그림 3-17. EJSHB (East/Japan Sea HydroBase)를 바탕으로 WJO를 동해 Argo뜰개에 적용한 출력 결과 .....	56
그림 3-18. (a) WJO프로그램과 (b) OW프로그램에 사용한 온도면 .....	57
그림 3-19. WJO (핑크)와 OW (블루)가 제시한 염분 보정치 .....	58

그림 3-20. EJS HB (East/Japan Sea HydroBase)에 추가된 CTD 정점(채워진 점)과 기존의 정점(빈 점) .....	59
그림 3-21. (a) 일반적인 표준 온위와 (b) 동해에 적용한 온위 .....	60
그림 3-22. EJS HB (East/Japan Sea HydroBase)를 바탕으로 WJO를 동해 Argo 뜰개에 적용한 출력 결과 .....	60
그림 3-23. 우리나라 Argo DMQC 홈페이지 ( <a href="http://argo.nfrdi.re.kr">http://argo.nfrdi.re.kr</a> ): (a) 개요, (b) DMQC 자료관리, (c) PI 평가 와 (d) 지연자료 .....	61
그림 3-24. 북서태평양 400m 수심에서의 수온과 염분 수평분포 (Winterfeld and Stommel, 1972) .....	63
그림 3-25. SeHyD를 바탕으로 WJO를 동해 Argo 뜰개에 적용한 출력 결과 .....	63
그림 3-26. 총 CTD 프로파일의 T-S diagram .....	64
그림 3-27. CREASM CTD 자료로부터 구역별로 계산한 800m수심의 염분 평균과 표준편차 (Park and Kim, 2007) .....	66
그림 3-28. WMQC 자료질 관리를 하기 전(a)과 후(b)의 T-S diagrams (굵은 선의 사각형이 WMQC 범위를 나타냄) .....	67
그림 3-29. 모든 자료질 관리 절차를 통과한 CTD 프로파일의 (a) 위치와 이에 해당하는 (b) T-S diagram .....	67
그림 3-30. Argo 뜰개 궤적과 함께 표시한 동해 산업폐기물 투기장 (상부: 동해병, 하부: 동해정, 점선은 한일대륙붕경계선임.) .....	70
그림 3-31. 원양어장 실시간 해황정보시스템에서 제공하는 열대태평양의 수평분포 (a), 수직단면 (b) 수직 프로파일 (c)의 예. (사용자는 시스템에서 제공하는 검색조건을 입력하여 사용함.) .....	72
그림 3-32. 앞선 달의 SST와 D20의 기준치로부터 추정된 ND 분포를 가다랑어 어획량(CPUE)과 함께 도시함 .....	74

# LIST OF FIGURES

Fig. 2-1. Active Argo floats as of 10 November 2006 .....	31
Fig. 2-2. Active Argo floats as of 19 November 2007 .....	32
Fig. 2-3. Active Argo floats as of 19 October 2008 .....	32
Fig. 2-4. Active Argo floats as of 1 November 2009 .....	33
Fig. 3-1. Distributed location of ARGO floats in the East Sea .....	39
Fig. 3-2. Time series of available profiles of ARGO float in the East Sea .....	39
Fig. 3-3. Vertical temperature distribution between Korea Straits and Tsugaru Straits in the East Sea in February (upper) and in August (lower) for 2004~2007 .....	40
Fig. 3-4. Sea surface height between Korea Straits and Tsugaru Straits in the East Sea (Results of Korea Ocean Prediction System) .....	41
Fig. 3-5. Selected floats tracks with calculated ellipses overlapped .....	43
Fig. 3-6. Reprocessed sample of DO profiles of 2900787 .....	46
Fig. 3-7. Inter-comparison of CTD bottle DO observation and Argo float DO sensor .....	46
Fig. 3-8. Surface distribution of dissolved oxygen based on World Ocean Atlas-2005 : Yearly mean (left), April (center) and August (right) .....	47
Fig. 3-9. Vertical distribution of DO profiles in the East Sea (2900448, 2900604, 2900605, 2900795) .....	48
Fig. 3-10. Time series of dissolved oxygen profiles : 2900448 (left), 2900604 (right) .....	48
Fig. 3-11. Conceptual diagram of project performance .....	51
Fig. 3-12. Argo salinity sensor drift and offset QC procedure .....	51
Fig. 3-13. Conceptual diagram for global Argo data collection system and Real-time information for pelagic fishery.) .....	52
Fig. 3-14. Fishing grounds of Korean pelagic fishery .....	53
Fig. 3-15. Number of Argo profiles obtained from GDACs in 2008 .....	53
Fig. 3-16. Visual inspection of temperature (a) salinity (b) versus pressure using	

a graphic tool .....	54
Fig. 3-17. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using EJSHB(East/Japan Sea HydroBase) .....	56
Fig. 3-18. Levels of potential temperature used in WJO program (a) and OW program (b) .....	57
Fig. 3-19. Salinity correction suggested by WJO program (pink) and OW program (blue) .....	58
Fig. 3-20. Positions of added (filled circle) and existing (open circle) CTD profiles in EJSHB (East/Japan Sea HydroBase) .....	59
Fig. 3-21. Default settings of potential temperature levels(a) and and adjusted to the East Sea(b) .....	60
Fig. 3-22. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using EJSHB .....	60
Fig. 3-23. Webpage for Korean Argo DMQC ( <a href="http://argo.nfrdi.re.kr">http://argo.nfrdi.re.kr</a> ). Introduction (a), Data management for DMQC (b), PI evaluation (c) and Delayed mode data (d) .....	61
Fig. 3-24. Horizontal distributions of temperature and salinity at the depth of 400m in the Northwest Pacific (Winterfeld and Stommel, 1972) .....	63
Fig. 3-25. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using SeHyD .....	63
Fig. 3-26. T-S diagram for all collected CTD profiles .....	64
Fig. 3-27. Means and their standard deviations at 800 m which was calculated from CREASM CTD data in each sector(Park and Kim, 2007) .....	66
Fig. 3-28. T-S diagrams before (a) and after (b) water mass quality control (WMQC). Red rectangles represent the range of WMQC. ....	67
Fig. 3-29. Locations of CTD profiles which passed all QC processes(a) and their T-S diagram(b). ....	67
Fig. 3-30. Korea oceanic dumping site with trajectory of Argo float .....	70
Fig. 3-31. Horizontal temperature distribution (a), vertical temperature distribution (b), and vertical profile (c) in the Tropical Pacific from Real-time ocean condition information system .....	72

Fig. 3-32. Tuna CPUE and ND distribution estimated from D20 and SST of  
previous month ..... 74

## 표 목 차

표 3-1. 2007~2009 APEX 뜰개 투하의 요약 .....	37
표 3-2. 울릉분지 부근의 와류의 통계치 .....	44
표 3-3. 2008년 10월 현재 우리나라 Argo 지연모드 QC 현황 .....	54
표 3-4. WJO 프로그램을 동해에 적용하기 위해 사용된 인자 .....	55
표 3-5. 수집된 CTD 수직 프로파일 .....	58
표 3-6. 동해 수괴의 정의 (Kim <i>et al.</i> , 2004) .....	65
표 3-7. ARGO 부이를 이용한 투기해역내에서의 해수체류기간 추정치 .....	69



# LIST OF TABLES

Table 3-1. Summary of APEX float deployments in 2007~2009 .....	37
Table 3-2. Statistics of eddies near Ulleung basin .....	44
Table 3-3. Status of Korean Argo delayed mode quality control as of October 2008 .....	54
Table 3-4. Parameters used in WJO program applied to the East Sea .....	55
Table 3-5. Collected CTD profiles .....	58
Table 3-6. Definition of water masses in the East Sea(Kim <i>et al.</i> , 2004) .....	65
Table 3-7. Residential days in the oceanic dumping site estimated using Argo data .....	69

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 목적

해양은 다양한 사회 경제 활동과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 해양을 관측하고 예측하는 것은 매우 중요한 일이다. 해황을 예보하기 위해서는 해양에 대한 실시간 관측이 필요하나 이는 경제적 기술적으로 어려운 문제이다. 이를 해결하기 위한 방법이 하나로 인공위성으로 위치를 추적할 수 있는 뜰개가 개발되었고, 위치추적 기능에 수온과 염분 수직 관측 기능을 추가한 것이 자동수직물성관측 뜰개 (ARGO 뜰개, 이하 뜰개)이다(ARGO brochure, 1999).

유네스코 산하의 정부간해양학위원회(IOC)와 세계기상기구(WMO)에서는 국제 ARGO 프로그램(Array for Real-time Geostrophic Oceanography)을 통하여 약 3000 대의 뜰개를 이용하여 전 세계 대양을 실시간으로 관측하고자 한다(Ar해 Science Team, 2000). 2009년 현재 국제 ARGO 프로그램에는 대한민국을 포함하여 20개 국가가 참여하고 있다. 우리나라에서는 한국해양연구원과 기상연구소가 참여하고 있는데, 주요 뜰개 투하 해역은 동해와 북서태평양, 남극해이다. 여타 해양관측 장비와 달리 간단한 조작으로 뜰개의 투하가 가능하기 때문에 연구선 뿐만 아니라 대상 해역을 지나는 선박이나 항공기를 이용하여 누구나 쉽게 뜰개를 투하할 수 있으며, 현장에 투하한 이후에는 관측과 자료수집이 자동으로 이루어지기 때문에 초기에 자료 처리 및 획득 시스템만 구성하면 최소한의 인력으로 관측된 자료를 처리할 수 있어 경제적으로도 가치가 높다.

「국제 ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography) 프로그램」의 핵심 장비인 ARGO 뜰개는 일정한 수심에 잠수하도록 설계되어 그 수심의 해류를 따라 일정한 기간동안 움직이다가 뜰개 내부의 모터에 의해 표층으로 부상하면서 전 수층에 걸친 수온과 염분을 측정기록하고 기록된 모든 정보를 인공위성에 송신하는 장비이다. 이처럼 ARGO 뜰개에 의한 정보가 적절한 공간적 간격으로 가용하다면 역학적 계산(dynamic method)에 의해 해류를 간접적으로 파악할 수 있게 된다. 이러한 전 수층에 걸친 수온과 염분의 측정기록이, 해양역학적인 관점에서 불

때, 공간적으로 최소한 300 km의 격자간격으로 필요하고, 이를 전 대양에 걸쳐 분산시켜 본다면 약 3,000대의 ARGO 뜰개가 필요하게 되는데, 이러한 노력은 소수의 국가만으로 불가능하며 명실상부하게 국제협력 프로그램으로 진행되어야 하는 당위성이 여기에 있다. 「국제 ARGO 프로그램」은 IOC(국가간해양학위원회)와 WMO(세계기상기구)에서 강력하게 추진하고 있는 사업으로 전 세계적으로 많은 호응을 받으며 진행되어 2007년에 3000대의 목표를 달성한 후 계속 그 수준을 유지하고 있다. 미국, 일본을 비롯한 태평양 주변국은 이 사업을 통해 해양예보를 구현하고자 구체적인 계획을 수립하고 있는데, 계절예보인 중기기상예보(medium-range weather forecast), 그리고 정확도 높은 해양-대기 기후변화(climate change) 예측에 활용하고 그 실적이 나타나고 있다 (Roemmich et al, 2009).

「국제 ARGO 프로그램」을 착수하여 3단계인 2007-2009년에는 여러 국가에서 운용시스템으로 발전시키고 있으며, 우리나라도 Argo사업을 체계적으로 정착시켜야 할 기간이었다. 이 사업에 뒤늦게 관심을 보인 중국과 러시아도 역할을 담당할 것임을 분명히 밝히고 있다. 우리나라는 IOC 집행이사국으로의 지위에서 뿐 아니라 APEC 국가로서의 역할 분담과 우리나라 주변 해양변동과 대양을 포함하는 기후변화 예측력을 확보하기 위해 「국제 ARGO 프로그램」에 적극적으로 참여할 필요성이 해양수산부와 기상청, 그리고 여러 연구기관으로부터 제기되어, 국가 차원에서 「국제 ARGO 프로그램」에 기여하는 국가추진전략을 수립한 바 있다 (한국해양연구원, 2001). 국제적으로 추진주체인 WMO 및 IOC와의 긴밀한 협조가 요구되는 바, 해양수산부와 기상청이 병행하여 사업을 추진하도록 전문가들의 의견이 수렴되었고, IOC의 한국내 대응조직인 한국해양학위원회(KOC)에 한국 ARGO 소위원회(KAS)를 한시적으로 구성하여 이를 중심으로 해서 「국제 ARGO 프로그램」에 참여하였다.

대기 및 해양과 같은 지구유체의 예측가능성은 비선형적인 지구유체역학의 특성으로 인하여 매우 제한적일 수밖에 없다. 특히 해양예측 모델의 정확도는 초기자료 및 예측모델의 입력자료를 얼마나 정확하게 자주 갱신되느냐에 따라 예측력이 달라지며 정량적인 3차원 해양에 대한 정확한 정보가 주기적으로 확보될 필요가 있다. 또한, 현재의 해양예보에서는 인공위성으로부터 획득한 표층 정보를 모델에 표층 강제력으로 작용시킬 뿐이며, 보다 정확한 해양예보를 위해서는 모델로부터 계산된 3차원 물덩어리인 해양내부의 제반 변수를 모델에 동화하고 해양내부 반응을 검증할 수 있는 해양내부에 관한 정보가 필수적이거나 매우 미흡하다. 이런 관점에서,

「국제 ARGO 프로그램」에서 얻어지는 ‘실시간 정보’는 해양예보 현업에서 중요한 역할을 차지하게 될 것이고, 이를 최대한 활용하여야 할 것인데, 그 활용의 핵심은 자료동화 과정이며 이 분야의 연구는 전세계적으로도 시작단계이다.

## 제 2 절 연구의 필요성

해양을 모니터링하고 예측하는 것은 21세기 초기의 주요한 도전으로 손꼽히고 있다. 해양을 3차원 덩어리로 이해하고 접근하는 해양관측이 해양예보를 구현하기 위해 필수적이다. 이는 해양을 모니터링하고 예측하는 것이 대양과 연안지역에서의 경제 활동의 확장과 더불어 계절변동 예측 및 기상예보 시스템을 위하여 필요하기 때문이다.

이러한 배경 하에 유네스코 산하의 유일한 해양관련기구인 정부간해양학위원회(IOC)와 세계기상기구(WMO)가 협력하여 국제적인 Argo(Array for Real-time Geostrophic Oceanography)프로그램이 수행되고 있으며 2006년까지 전세계 대양에 약 3000대의 Argo뜰개를 투하할 계획이다.

우리나라의 기상 변화는 아시아몬순과 함께 북서태평양 해황의 변화에 매우 민감하기 때문에 우리나라 기상 변화와 직결된 해양에 대한 Argo 프로그램 참여가 필요하다. 기후의 연구는 몇몇 국가에서만 진행할 성격이 아니며 여러 나라가 참여하여 수행하여야 한다. 국제적 연구에 대한 국가적 기여 없이 연구 결과의 수혜자가 될 수 없다. 특히, 우리나라는 IOC 집행이사국으로서 해양 부분에 있어 선도적인 역할을 하여야 할 위치에 있기 때문에 전 인류에게 혜택을 주는 기후관련 해양연구에 적극 참여해야 할 필요가 있다.

한편, 동해는 최근의 해양조사 결과 기후 변동에 대한 해양의 역할과 반응을 연구할 수 있는 소규모 대양으로서의 특성이 있음이 밝혀지고 있는 등 기후연구에 매우 적절한 위치에 있고 우리의 바다라는 측면에서도 우리나라 Argo 프로그램 이름으로 연구 참여가 필요하고 북한 수역을 포함한 동해 타국 관할해역의 자료를 확보할 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

## 제 3 절 연구 개요

## 1. 연구 목표 및 내용

### 가. 연구의 목표

- 유네스코 산하의 유일한 해양관련기구인 정부간해양학위원회(IOC)와 세계기상기구(WMO)는 전세계 대양에 약 3000대의 해양관측기구를 지속적으로 유지함으로써 3차원 해양내부 구조를 정기적으로 관측하는 해양관측 네트워크 역할을 하는 국제 ARGO 프로그램에 참여하여 한반도 주변을 포함한 전세계 해양에 대한 자료를 조사하고 체계적으로 관리
- 국제기구인 IOC에서 적극적으로 우리나라의 위상을 제고하고 지속적인 첨단 해양조사자료 확보를 통해 해양에서 기인한 해양-대기의 기후변화를 파악하여 해양 및 기상 현상의 예측력을 개선하고 대기-해양모델 개발뿐만 아니라 전지구적 기후변화 예측을 위한 자료를 제공

### 나. 연구의 내용

- 「국제 ARGO 프로그램」의 진행 현황 조사
- 참여국가들의 추진 동향 조사
- ARGO 뜰개의 기술적 특성조사
- 「국제 ARGO 프로그램」에서 생산되는 자료의 국내 활용 체계 구성
- 국가연구계획 및 한국 분담해역
- ARGO 관련 국제회의 참가
- 대상해역 해당연차분 뜰개 투하 (우리나라 30대/년, 기상 해양 분야 각각 15대/년)
- ARGO 국제운영팀(IAST) 활동
- Argo 뜰개 자료와 CTD관측 자료의 비교분석을 통해 관심해역인 동해의 해양 상황 파악
- 수집된 자료와 함께 다년간 누적된 Argo 뜰개 자료를 동해 해수 순환 모델에 자료동화 실험

- 한국 Argo 자료센터 운영 (국립수산과학원)
- Argo 뜰개 자료를 이용한 남극해 해황 파악
- Argo 염분자료 보정
- 용존산소자료의 신뢰성 검증
- 동해 중층순환의 변동성 파악

## 2. 추진전략 및 방법

- 3단계 뜰개 투하 (국가적 분담 이행) - 본 과제를 통하여 2007년 9대, 2008년 14대, 2009년 5대의 뜰개를 대상 해역인 동해, 남극해에 투하
- 국제 ARGO 프로그램 관련 국제회의 참가 - IOC, JCOMM 등 국제공동해양조사 관련 회의에 참석, 동향 파악
- Argo 자료를 분석하여 동해의 해황과 해수순환에 대한 연구를 수행하고, 국제 Argo 프로그램에서 제공하는 전지구 Argo 자료를 수집하여, 남극해의 순환연구
- 해양모델의 향상을 위한 실시간 자료제공을 위해 Argo 자료를 자료동화하는 실험
- Argo 뜰개가 동해에서 관측한 염분자료의 보정을 수행하기 위하여 염분자료의 장기변화특성을 파악하고, 염분자료와 CTD 자료를 비교 검증하며, 염분자료의 정확도 및 안정도를 파악
- KORDI와 국제Argo프로그램에서 남빙양에 투하한 뜰개가 관측한 자료를 수집하여 남극해의 순환과 수온염분구조 파악. 이를 위해 GDAC을 통한 Argo 자료를 수집하여 ACC 순환특성을 파악하고, 호주남방과 Drake Passgae 부근 수온염분 구조 파악
- 동해중층순환의 특성 분석을 위하여 정선관측 자료와 뜰개자료를 활용하여 동해 열염분순환의 특성 이해

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 ARGO 사업

#### 1. 국내 ARGO 사업 현황

우리나라는 IOC 집행이사국으로서의 지위에서 뿐 아니라 APEC 국가로서의 역할 분담과 우리나라 주변 해양변동과 대양을 포함하는 기후변화 예측력을 확보하기 위해 「국제 Argo 프로그램」에 적극적으로 참여할 필요성이 해양수산부와 기상청, 그리고 여러 연구기관으로부터 제기되었다. 이에 따라 2000년에 국가 차원에서 「국제 Argo 프로그램」에 기여하는 국가추진전략을 수립한 바 있다 (한국해양연구원, 2001). 국제적으로 추진주체인 WMO 및 IOC와의 긴밀한 협조가 요구되는 바, 해양수산부와 기상청이 병행하여 사업을 추진하도록 전문가들의 의견이 수렴되었고, IOC의 한국내 대응조직인 한국해양학위원회(KOC)에 한국 ARGO 소위원회(KAS)를 한시적으로 구성하여 이를 중심으로 해서 「국제 ARGO 프로그램」에 참여하였다.

우리나라는 2000년 8월부터 한국해양과학위원회(KOC) 산하의 해양수산부, 국립수산물품질관리원, 한국해양연구원, 국립해양조사원, 기상청 등 관련 국내 기관들이 공동으로 국내 Argo 사업을 수행하기로 하였다. Argo 자료는 크게 실시간모드(Real-time mode)와 지연모드(Delayed mode)로 나누어 활용하고 있으며, 다른 국가들도 실시간과 지연모드로 나누어 Argo 자료를 관리하고 있다.

국내에서 Argo 뜰개를 직접 투하하는 기관은 한국해양연구원과 기상청이며, 2001년~2009년의 지난 9년간에 우리나라는 총 250대의 뜰개를 국가 기여분으로 투하하였다. 한국해양연구원은 123대를 동해와 남극해에 투하하였고, 기상청은 127대를 동해와 북서태평양에 투하하였다. 2008년까지는 우리나라의 국가 기여분인 연간 30대의 목표를 달성하였으나, 2009년에는 한국해양연구원이 전년도에 이미 구매한 5대를 투하하는 것으로 사업을 축소하였다. 그리고 향후 추가 투하계획을 포기함에 따라 국가 기여분 목표달성이 어려워졌다. 자료관리에 관해서는 국립수산물품질관리원 한국해양자료센터가 지연모드의, 자료 처리를 담당하고 있다. 지연모드 자료품

질관리는 상대적으로 자료의 신뢰도가 낮은 염분에 대하여 주로 이루어지며, 자료 품질관리 소프트웨어 적용, 연구책임자(PI)의 판단 등 여러 단계를 거쳐 결정된 자료품질관리 결과를 GDAC(Global Data Assembly Center)에 보고하게 된다.

국내 이용자에게 Argo 자료를 제공하기 위하여 실시간 자료는 한국해양연구원, 국립기상연구소에서 책임을 맡아 관련 시스템을 개발·운영 중이며 (<http://argo.kordi.re.kr>, <http://argo.metri.re.kr>), 국립수산과학원 한국해양자료센터가 한국 Argo 정보센터로서 한국 Argo 국가자료센터의 역할을 수행하면서 지연모드의 Argo 자료관리 및 활용체제의 기반을 마련한다.

## 2. 한국Argo소위원회 활동

우리나라는 IOC 집행이사국으로의 지위에서 뿐 아니라 APEC 국가로서의 역할 분담과 우리나라 주변 해양변동과 대양을 포함하는 기후변화 예측력을 확보하기 위해 「국제 Argo 프로그램」에 적극적으로 참여할 필요성이 해양수산부와 기상청, 그리고 여러 연구기관으로부터 제기되었다. 이에 따라 2000년에 국가 차원에서 「국제 Argo 프로그램」에 기여하는 국가추진전략을 수립한 바 있다 (한국해양연구원, 2001). 국제적으로 추진주체인 WMO 및 IOC와의 긴밀한 협조가 요구되는 바, 해양수산부와 기상청이 병행하여 사업을 추진하도록 전문가들의 의견이 수렴되었고, IOC의 한국내 대응조직인 한국해양학위원회(KOC)에 한국ARGO소위원회(KAS)를 한시적으로 구성하여 이를 구심점으로 해서 「국제 ARGO 프로그램」에 참여하고 있다.

해양수산부가 지원하던 Argo 사업은 2004년부터 부처이관 사업으로 지정되어 한국해양연구원 기본사업으로 수행하게 되어, 기상연구소와 한국해양연구원이 각각 기관 자체사업으로 수행하여 국가 연구계획 제출 및 한국 분담해역 논의 등에 대해서는 관련기관의 구체적 협조를 통하여 사업을 원활하게 수행할 수 있으므로 한국Argo소위원회(KAS)의 역할이 축소되어 2008년에 그 설치를 종료하였다.



## 제 2 절 국제 동향

### 1. 국제 Argo 프로그램

해양·기후 감시를 위해 전지구 대양관측의 필요성이 1998년에 제시되었고, GODAE(the Global Ocean Data Assimilation Experiment)를 중심으로 국제 ARGO 프로그램이 구체화되었다. 20여 국가가 참여하여 전세계 해양에 Argo 뜰개를 투하하고 있으며, 이를 이용한 전지구 대양 database를 구축되고 있다. GODAE사업에서 Argo 뜰개자료를 적극적으로 활용한 연구결과가 나오기 시작하였으며, 자료품질 검증이 진행되고 있다.

2006년까지 약 3000대의 Argo 뜰개를 전세계 해양에 투하하여 전지구적 실시간 해양관측시스템을 갖추는 것을 목표로 국제ARGO사업이 추진되고 있으나, 2006년 11월 현재 2638대에 불과하여 목표달성이 지연될 수밖에 없는 실정이었다 (Fig. 2-1).

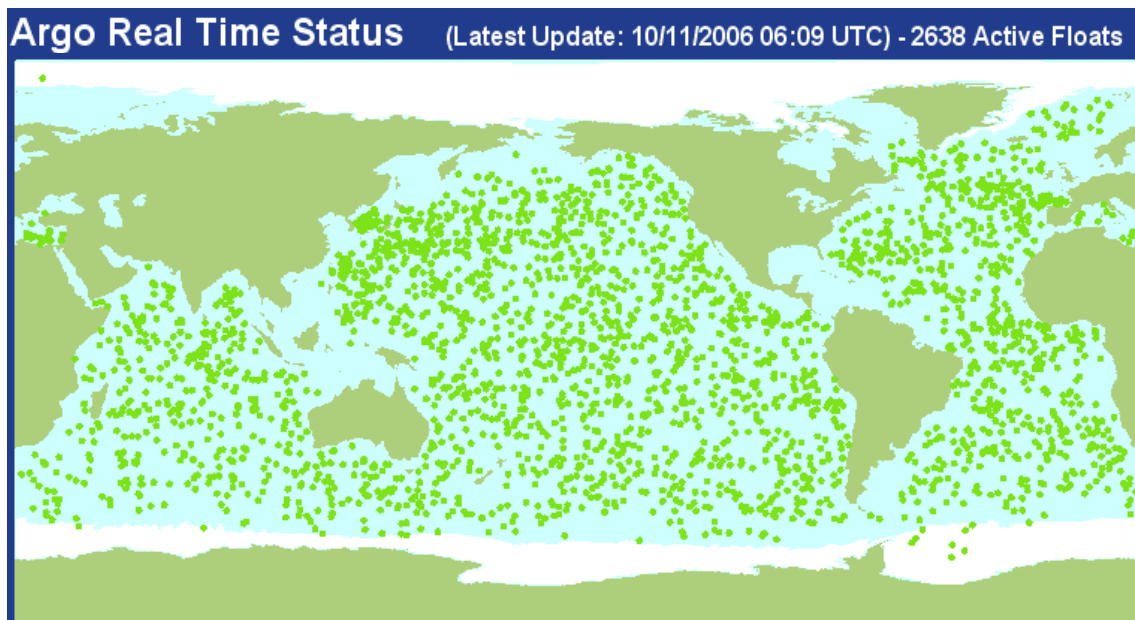


Fig. 2-1. Active Argo floats as of 10 November 2006.

2007년 11월 20일에 3,006대의 뜰개가 작동중이었으며(Fig. 2-2.), 특히 11월 1일에 3,000대의 목표가 달성되었다. 2008년 10월 19일에 3,190개의 뜰개가 작동중이었고(Fig. 2-3.), 2009년 11월 1일에 3,260개의 뜰개가 작동중으로(Fig. 2-4.), 거의

3,000대 수준을 유지하는 상황이다.

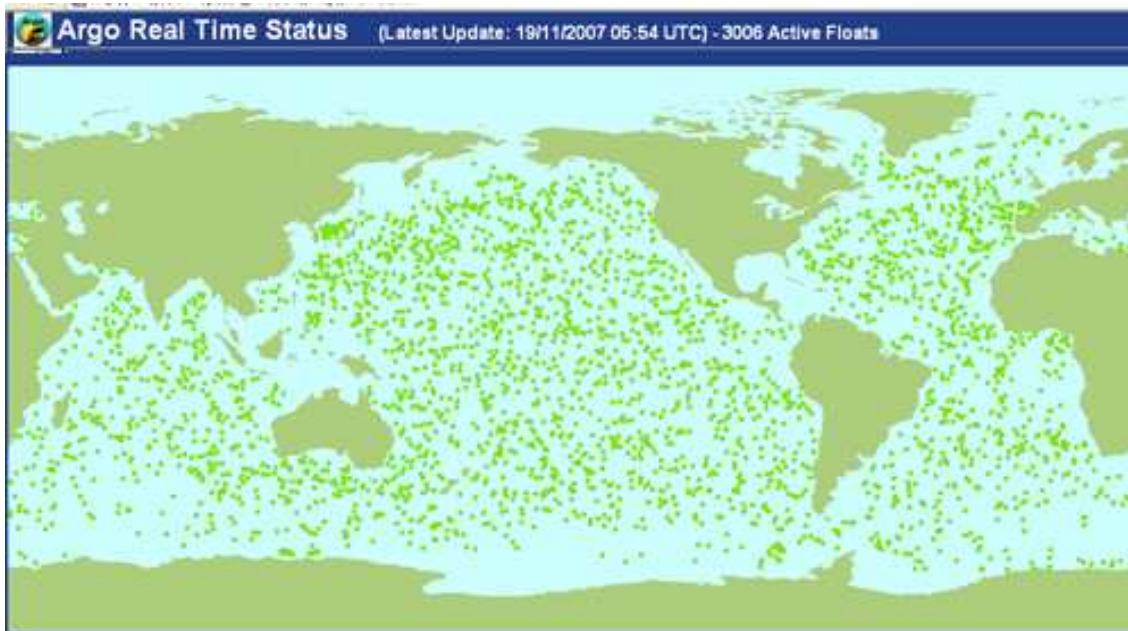


Fig. 2-2. Active Argo floats as of 19 November 2007.

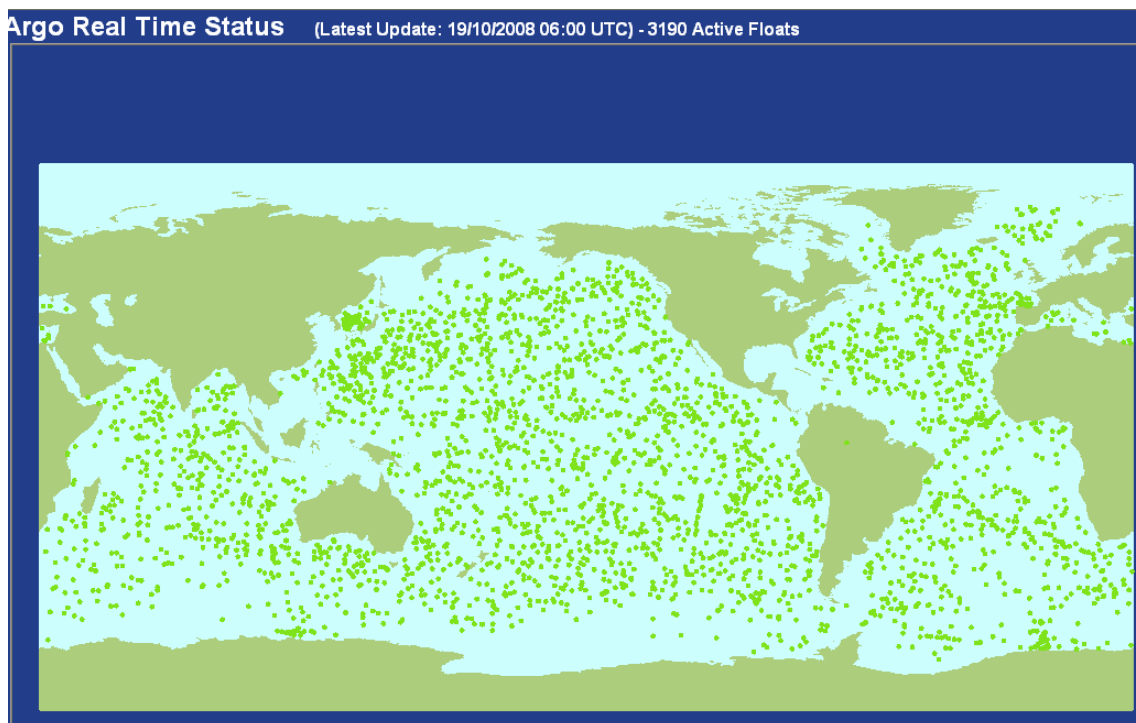


Fig. 2-3. Active Argo floats as of 19 October 2008.

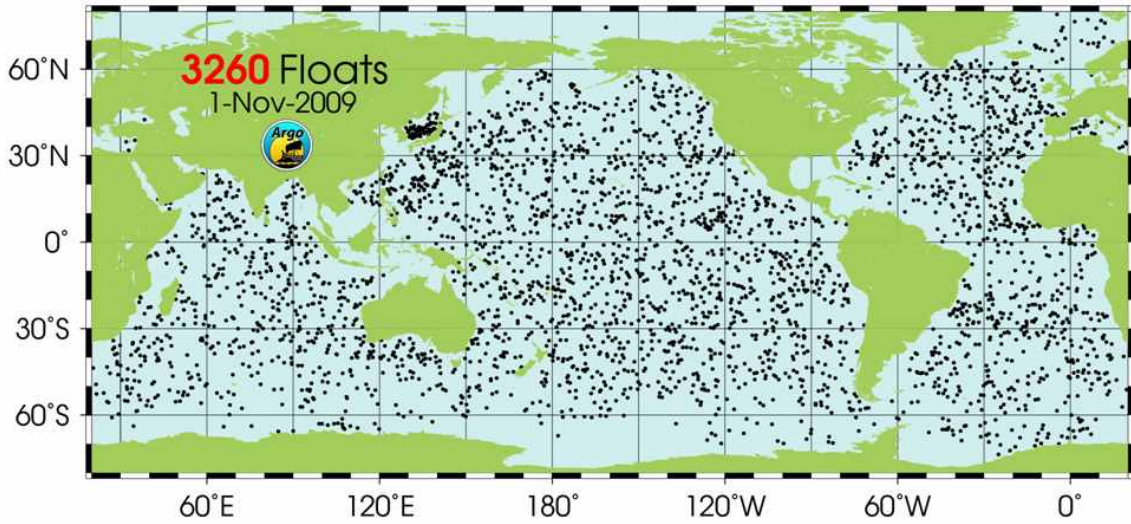


Fig. 2-4. Active Argo floats as of 1 November 2009.

## 2. 국제 Argo 그룹과의 협력

- Argo 지연모드 품질관리 제3차 워크숍 내용
  - 일시/장소: 2008년 9월 10-12일/미국 시애틀

### ◇ Progress with Argo delayed-mode processing

- 2008년 9월 현재 DMQC 현황

Table of DMQC statistics compiled from numbers provided by Gilson from a mirror updated on 13 September 2008

dac name at GDAC	Total profiles at GDAC	Profiles < 12 months old (awaiting DMQC; not yet ready)	Profiles > 12 months old	D profiles at GDAC
aoml	237694	58123	172564	110432
bodc	19125	3728	15397	4492
coriolis	67244	11073	55214	28974
csio	2018	148	1584	1860
csiro	16688	5541	11116	8538
incois	16894	3698	13196	8720
jma	71813	13575	56412	34923
kma/kordi	7299	1637	5587	2031
meds	18978	3500	15478	12502
	0			
Total of above DACS	482588	101901	370505	212472

◇ **Review known instrument errors and sensor failure modes**

- Dana Swift가 APEX 플로트의 문제점과 원인에 대하여 발표
  - Snowflake
  - Thermal mass error
  - TBTO contamination
  - Salinity hook
- Megan Scanderbeg가 SOLO 플로트의 문제점과 원인에 대하여 발표
  - Loss of vacuum
  - Oil leak
- Virginie Thierry가 PROVOR 플로트의 문제점과 원인에 대하여 발표
  - Unreliability of FSI conductivity sensor (CTF series)
  - Collar position

◇ **Delayed-mode qc and adjustment for PSAL**

- Megan Scanderbeg가 SIO Matlab GUI에 대해 자세히 설명
- Taiyo Kobayashi가 JAMSTEC이 DMQC에 부근 CTD/Argo 자료를 이용하는 비교하는 tool 소개
- Johnson과 Swift가 CellTM 염분 보정에 대한 현황을 review
- Annie Wong이 WJO, BS, OW float salinity calibration tools 비교

Annie Wong presented a summary of the evolution from WJO to BS to OW in the following table.

WJO	BS	OW
No PV constraint	Includes PV constraint	Optional PV constraint
Fixed $\theta$ levels	Observed $\theta$ levels	Observed $\theta$ levels
Users need to eliminate undesirable levels.	Chooses 8 levels.	Chooses 10 levels. Users can specify range.
Sliding window fit. Users can prescribe short windows to account for abrupt changes, or manually break up series.	Piece-wise linear fit, but users need to manually specify breakpoints.	Piece-wise linear fit. Breakpoints are chosen by statistical methods. Users can manually specify breakpoints if they prefer.

- Annie Wong이 DMQC의 염분 보정의 일관성에 대한 검토를 발표

◇ **Regional oceanography**

- 태평양의 여러 해역에 대하여 소개
  - 호주 Tasman Sea (John Gilson)

- western North Pacific (Tomoaki Nakamura)
- Gulf of Alaska (Mathieu Ouellet)
- 대서양
  - Atlantic (Paul Robbins)
  - North Atlantic (Virginie Thierry)
  - Mediterranean (Birgit Klein)
- 인도양
  - Indian Ocean north of 10°S (Sudheer Joseph)
  - Indonesian Throughflow (Esmee van Wijk)
- 남극해
  - Southern Ocean (Esmee van Wijk)
  - Ice float (Steve Riser)
- 주변해
  - Mediterranean Sea (Notarstefano)

#### ◇ Reference database for PSAL dqmc

- Coatanooan이 Coriolis의 웹사이트에서 이용이 가능한 The centralized Argo reference database의 현황 설명
- 기준자료세트(Reference database)에 좋은 Argo 자료(good)를 포함하거나/배제하는 방법에 대한 논의
  - John Gilson's rule
  - 수온은 ITS-90을 사용하기로 합의
- 지역해의 기준자료세트
  - Nordic Sea (Hamburg)
  - East/Japan Sea (Korea)

#### ◇ Delayed-mode qc and adjustment for PRES

- DMQC adjustments to PRES using SURFACE\_PRESSURE in APEX float, including progress report from AST pressure working group.
- Preliminary results of laboratory test on Druck pressure sensor drift/hysteresis

#### ◇ Delayed-mode qc and adjustment for TEMP

- Steve Riser가 수온 오차에 의해 염분이 점점 증가하는 것을 보여주었음

◇ **Interaction with real-time qc, regional qc, and the GDACs**

- Stephanie Guinehut는 satellite altimetry 자료를 Argo qc에 이용하는 방법 소개
- GDAC, real-time DAC, regional QC 간의 상호 정보 교환에 관하여 논의

◇ **Miscellaneous issues**

- Recording delayed-mode information in the Argo netcdf files
  - Format of SCIENTIFIC\_CALIB and HISTORY
  - Profiles without LATITUDE, LONGITUDE or JULD
- Argo QC Manual and Argo Data User's Manual
- argo-dm-dm@jcommops.org email list
- Communication between AST and delayed-mode operators

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1 절 ARGO 뜰개 투하 현황

한국해양연구원에서는 ARGO사업 3단계에서 총 28대의 APEX 뜰개를 투하하였다 (Table 3-1). 이 중 25대는 동해에, 3대는 남빙양에 드레이크협에 투하하였다. 특히, 동해에 투하한 12대는 용존산소 센서가 장착되어 있다.

Table 3-1. Summary of APEX float deployments in 2007~2009

투하일시	투하위치		뜰개종류	뜰개 ID
	위도	경도		
2009.10.30	24°N	127.3°E	APEX	4343
2009.10.30	37°N	131°E	APEX	4339
2009.10.30	37°N	131°E	APEX	4340
2009.10.30	37°N	131°E	APEX	4341
2009.10.30	37°N	131°E	APEX	4342
2009.08.25	37°N	131°E	APEX	4338
2008.10.13	36.007°N	130.502°E	APEX	4066
2008.10.13	36°N	130.998°E	APEX	4079
2008.10.13	36.5°N	130.506°E	APEX-DO(optode)	4112
2008.10.12	37.009°N	130.01°E	APEX-DO(optode)	4113
2008.10.12	37.007°N	130.596°E	APEX-DO(optode)	4130
2008.10.10	37°N	131.504°E	APEX	4105
2008.10.10	37°N	131.009°E	APEX-DO(optode)	4114
2008.10.09	37.003°N	132.003°E	APEX	4106
2008.10.09	36.5°N	130.999°E	APEX	4107
2008.10.09	36.5°N	131.499°E	APEX-DO(optode)	4108
2008.04.15	37°N	131°E	APEX-DO(optode)	3428
2008.04.09	59.4S	57.9W	APEX	3433
2008.04.08	58.2S	59.3W	APEX-DO(optode)	3428

2008.04.06	57.6S	60.7W	APEX	3431
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX-DO(optode)	3425
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX-DO(optode)	3426
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX-DO(optode)	3427
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX-DO(optode)	3429
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX-DO(optode)	3430
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX	3434
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX	3435
2007.09.10	38°30′	130°40′	APEX	3436
2007.03.09	37.341°N	131.443°E	APEX	3109

## 제 2 절 ARGO 뜰개 자료를 이용한 관심해역 해황 파악

### 1. 뜰개자료를 활용하여 실시간 해황 분석

ARGO 자료를 실시간 활용하는 핵심적인 분야는 해양예측시스템(KOPS)이다. 인공위성에 의한 원격탐사자료인 SST와 SSH와 더불어 해양내부를 관측한 ARGO 자료는 해양예측시스템을 구성하는 필수적 요소이다. Fig.3-1은 동해에 운용중인 ARGO 뜰개의 현재 위치이다. 뜰개에 의한 프로파일 자료를 매일 매일 확인 점검하여 자료동화 과정에 사용한다. 주어진 어느 날을 기준으로 이전 10일간의 뜰개 프로파일이 자료동화를 위한 자료로 사용된다. 동해의 해양예측시스템(KOPS)은 시범운용 목적으로 매일 업데이트 된다. NGSST와 AVISO SSH의 자료를 다운로드하여 우리 시스템에 맞게 투영하여 사용한다. 자료의 검증률 거쳐 통과된 자료만 자료동화에 사용한다.

2001년 이후 ARGO 자료는 점차 증가하게 되어, 2006년에는 45개에 이른다 (Fig.3-2). ARGO 뜰개의 수명이 3~5년이므로 이 숫자를 더 증가시키기 위해서는 더 많은 뜰개를 투하하여야 한다. 매년 예년의 투하갯수를 유지하면 단지 수명을 다하는 뜰개를 대체하는 형태로 유지하게 된다.



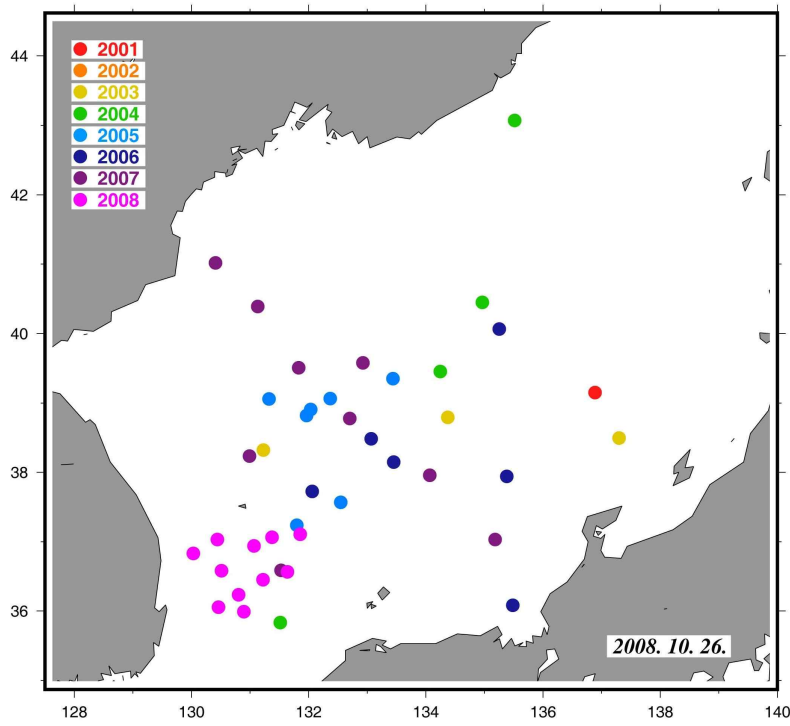


Fig. 3-1. Distributed location of ARGO floats in the East Sea

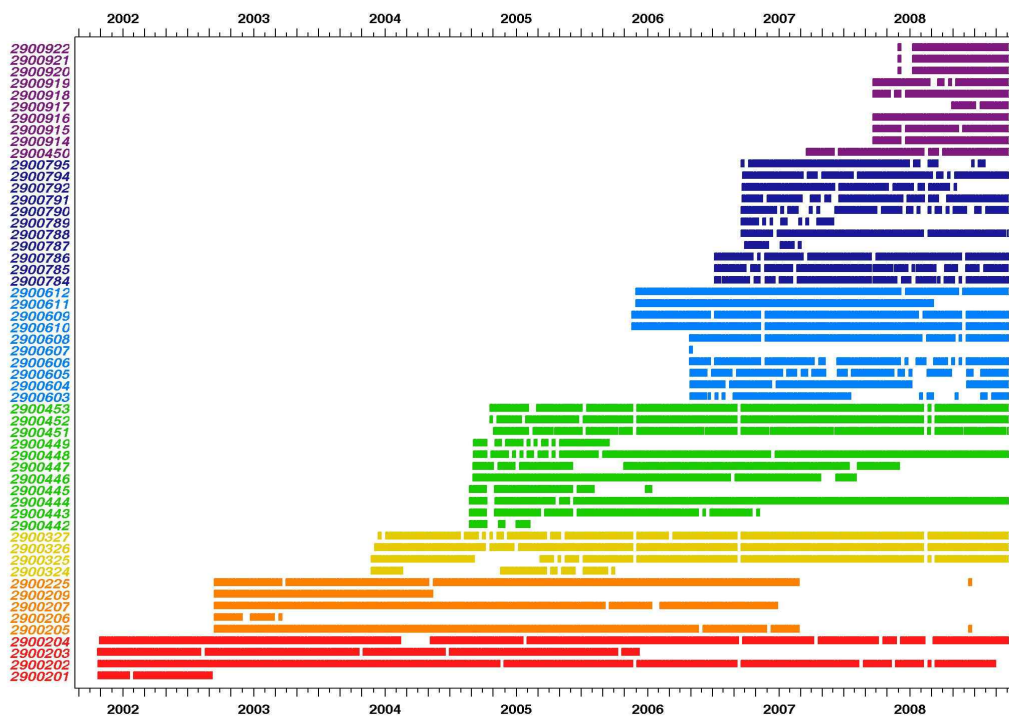


Fig. 3-2. Time series of available profiles of ARGO float in the East Sea

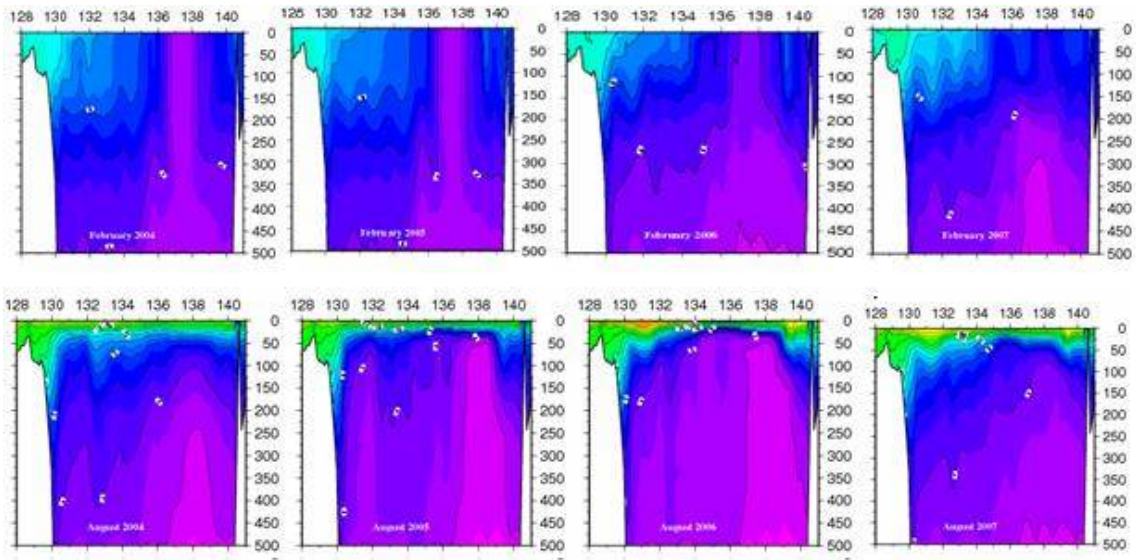


Fig. 3-3. Vertical temperature distribution between Korea Straits and Tsugaru Straits in the East Sea in February (upper) and in August (lower) for 2004~2007

해양예측시스템(KOPS) 결과로써 동해에서 대한해협-쓰가루해협 사이의 해역에 2004년부터 2007년까지 각각 동계(2월)와 하계(8월)의 수온 수직단면을 Fig.3-3에 보여준다. 특히 2006년과 2007년 동안에 울릉분지 해역의 표층에 고온이 나타나는데 이것은 강한 온수-에디의 존재를 보여주는 것이며, 대한해협-쓰가루해협 사이의 해면고도 시계열인 Fig.3-4에서 더욱 뚜렷하게 보인다.

ARGO 프로그램의 초기인 2001년에는 ARGO 자료가 드물게 분포되어 있으나 해가 거듭함에 따라 증가하여 ARGO 자료의 자료동화의 유효성을 증대시킨다. 특히, 울릉분지 해역은 상대적으로 많은 자료가 존재하며, 반면에 북쪽 해역은 매우 적다.

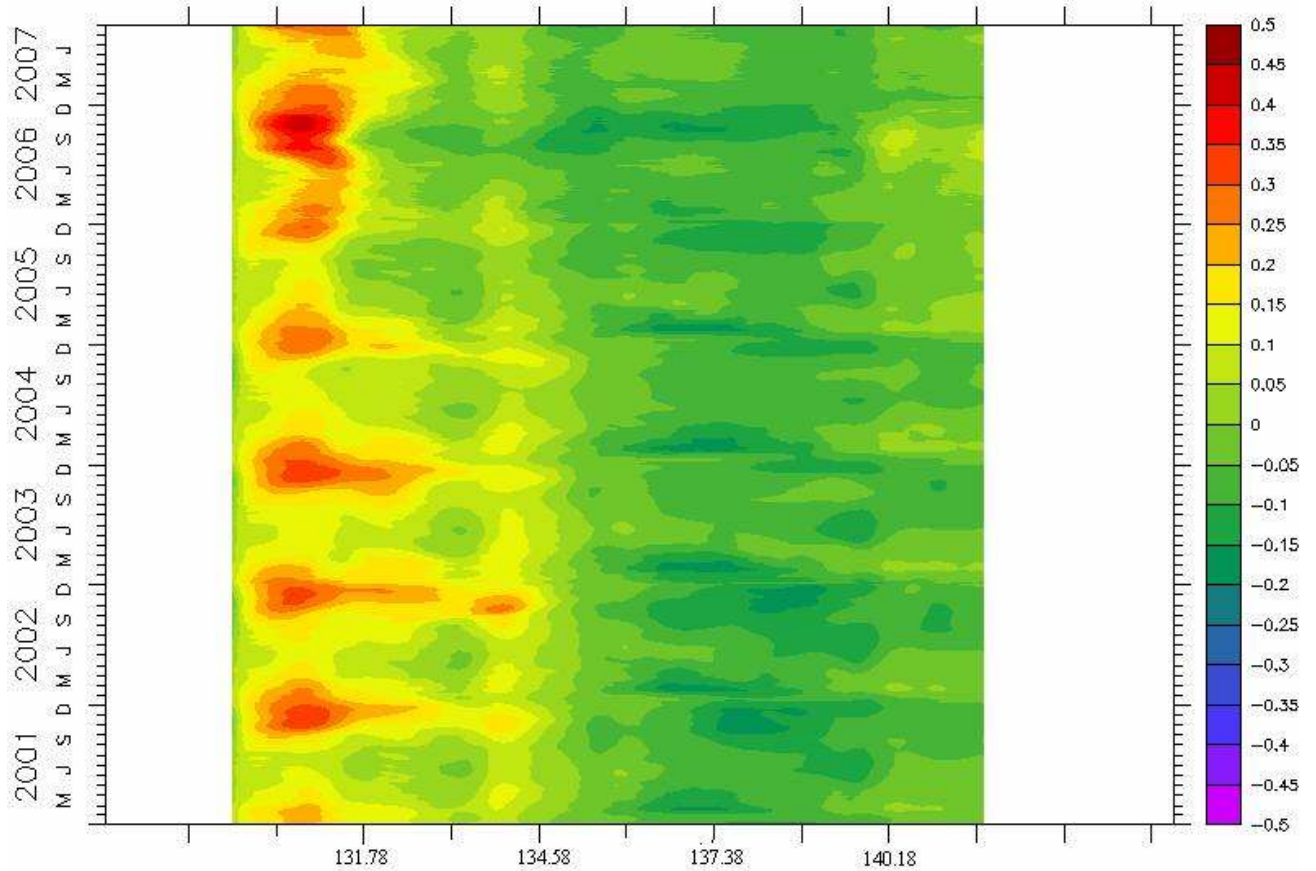
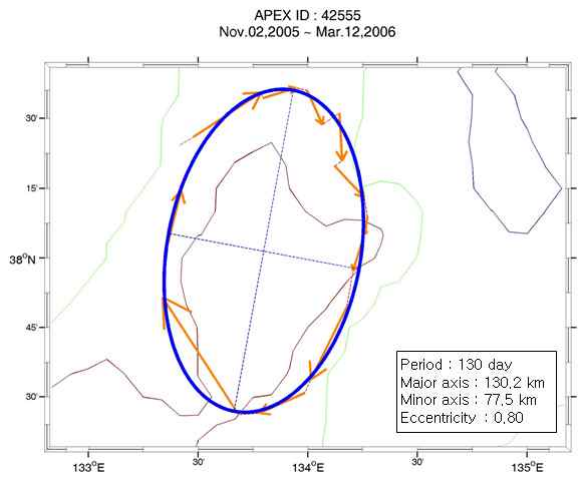
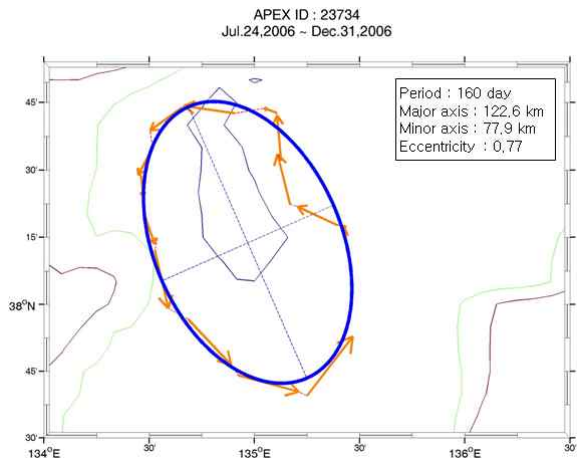
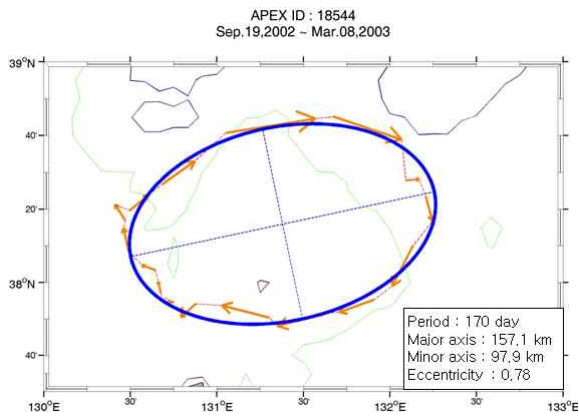


Fig. 3-4. Sea surface height between Korea Straits and Tsugaru Straits in the East Sea  
(Results of Korea Ocean Prediction System)

## 2. 동해 울릉분지 주변의 중층에서 형성되는 타원형 와류 분석

동해 울릉분지 주변의 중층에서 형성되는 타원형 와류들을 Argo 뜰개를 통하여 관측하였고 이로부터 타원형 운동의 시공간적인 스케일을 추정하였다. Fig.3-5에 서와 같이 뜰개의 궤적을 나타내는 적절한 타원을 얻기 위해 뜰개의 궤적을 감싸는 최소체적타원 (Minimum Volume Ellipsoid) 을 먼저 구한 뒤 타원의 특성은 유지하 면서 타원과 궤적의 이격거리가 최소화 되도록 그 크기를 줄여나갔다. 이러한 방법 으로 타원형 와류들의 장축 및 단축, 평균 유속 등을 구해본 결과 장축의 스케일은 53~236km, 단축은 36~178km, 평균 유속은 1.5~5.1cm/s 로 나타났다 (Table 3-2). 또한 한국해양연구원의 자료동화 해양예보모델인 KOPS 모델로 수치 실험한 결과와 뜰개의 궤적을 비교하였는데 와류의 위치나 모양에 있어서 실제의 모습과는

다소 차이가 있었지만 시공간적인 스케일은 비슷하다.



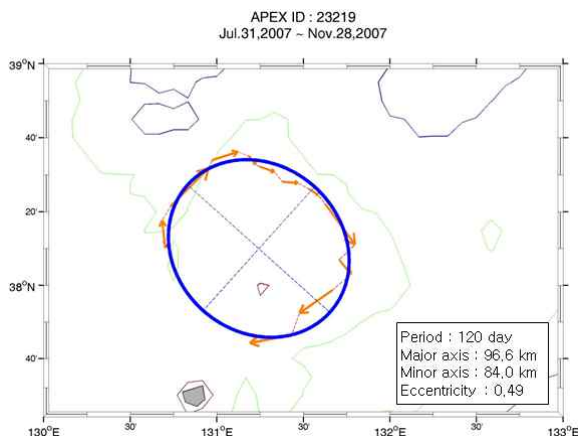
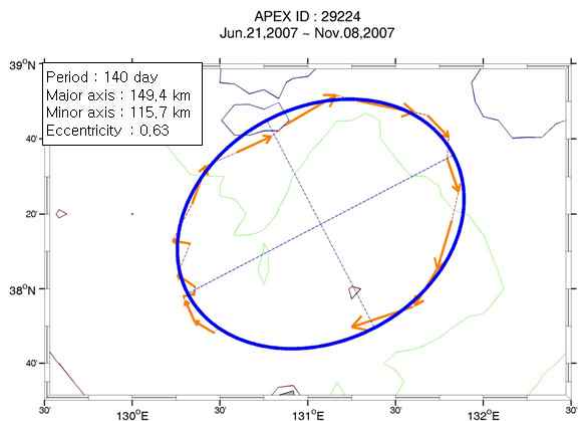
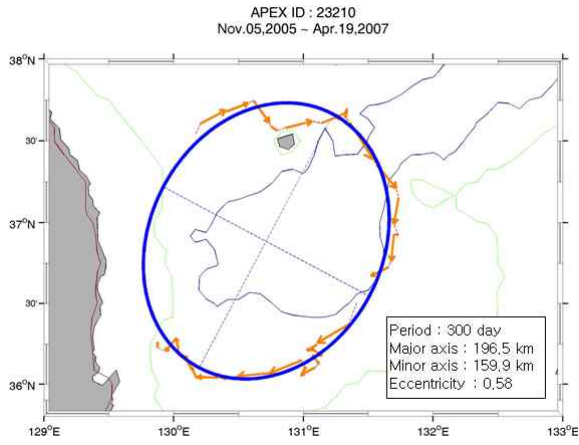


Fig. 3-5. Selected floats tracks with calculated ellipses overlapped

<b>Eddies (27)</b>	<b>Major Axis (km)</b>	<b>Minor Axis (km)</b>	<b>Mean Diameter (km)</b>	<b>Mean Speed (cm/sec)</b>	<b>Observed Period (day)</b>	<b>Calculated Period (day)</b>
<b>Range</b>	<b>236 ~53</b>	<b>178 ~36</b>	<b>186 ~47</b>	<b>5.1 ~1.5</b>	<b>540 ~50</b>	<b>432 ~64</b>
<b>Average</b>	119	81	98	2.6	146	160
<b>STDEV</b>	48	37	41	0.8	114	96

Table 3-2. Statistics of eddies near Ulleung basin

### 제 3 절 ARGO 뜰개의 용존산소 자료

한국해양연구원에서는 2004년 8월 이후 2009년까지 동해에 DO 센서가 장착된 뜰개 총 36대를 투하하였다. 뜰개에 장착된 DO 센서는 SeaBird 사의 SBE43 계열의 DO 센서가 12개이고, Aanderaa 사의 Optode 계열의 DO 센서가 24개이다.

뜰개들에 대한 DO profiles의 수직구조를 분석하여 다음의 일반적인 동해의 DO 수직 구조 형태를 알아 낼 수 있었다. 표층에 비해 수심 약 200 m 를 전후하여 용존산소의 최대가 나타나는 수심층이 존재하고 있으며, 이 용존산소 최대층 이심에서는 수심이 증가하면서 용존산소가 감소하고 있다. 이것은 최대 관측 수심이심에 존재하는 용존산소 최소층과 연관이 있다. 그리고 본 연구에서 나타난 용존산소 최대가 나타나는 수심 200m 이천에서는 수심 약 70~80m 층을 전후하여 표층 용존산소 최소층이 존재한다. 그리고 이 수심층으로부터 표층까지는 다시 용존산소가 증가하는 구조를 보인다. 따라서 이러한 구조는 향후 자세한 분석을 통해 알 수 있겠지만, 해양 생물의 수직적인 분포구조, 그리고, 해양에서 빛의 수직적인 투과량, 해양-대기 경계면을 통해 해양으로 유입되는 산소량들과 관련이 있다.

ARGO DO 자료의 품질 검증을 위하여 ARGO 뜰개에 의해 관측되어지고 있는 DO 값을 국립수산과학원에서 관측한 CTD 에 의한 DO 결과와 비교하였다 (Fig. 3-7). 이 비교 결과는 두 자료사이에 상당히 유사한 일치성을 보였다. 따라서 향후 동해 전체의 DO 분포 구조를 파악하는데 있어서 ARGO 뜰개의 DO 값들이 큰 기여를 할 수 있을 것으로 보인다.



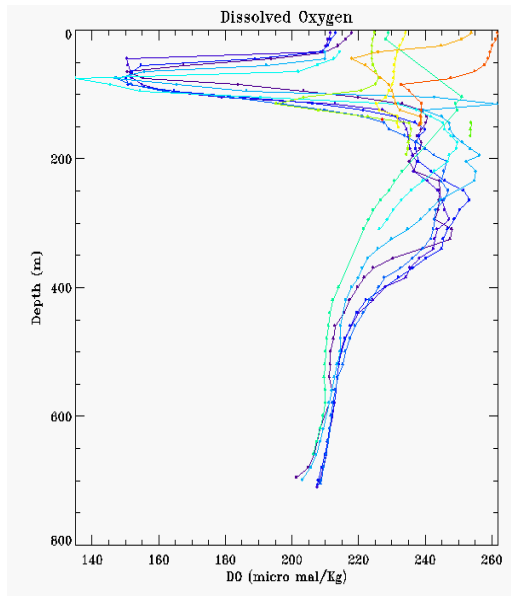


Fig. 3-6. Reprocessed sample of DO profiles of 2900787

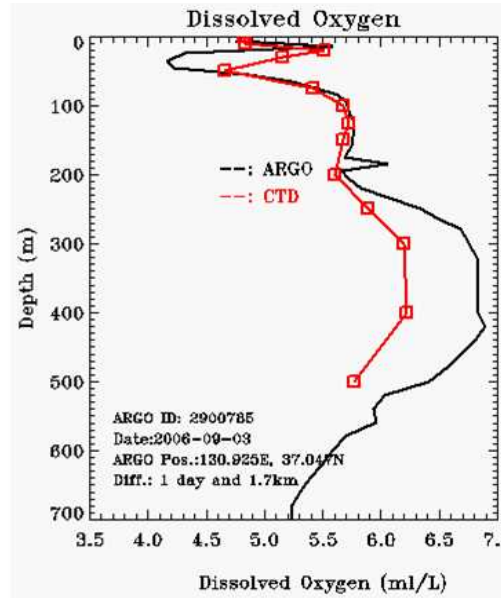


Fig. 3-7. Inter-comparison of CTD bottle DO observation and Argo float DO sensor

## 1. 동해 용존산소 분포 구조

동해의 용존 산소 분포 구조를 연구하기 위한 선행 연구로 World Ocean Atlas-2005 (WOA-05) 자료의 용존산소 자료를 분석하였다(Fig.3-8). 경위도 1도 간격으로 격자화된 WOA 자료의 표층 DO 값에서는 연평균 DO 가 5.49~7.22 ml/l 의 분포를 보이고, 동해 남부 해역에 비해, 동해북부 해역의 DO 가 높게 나타났다. 동해 북부 해역에서 DO 가 높은 해역은 주로 러시아 연안역이다. 월평균 WOA 자료에서 일년중 표층 DO가 4월에 가장 높고, 8월에 가장 작았다. 표층 DO 가 가장 높은 해역은 4월의 블라디보스톡 앞 해역과 Tartar 해협으로 DO 가 8.6~8.76 ml/l 이다. 그러나 동해 전체 수심층에서는 4월의 표층보다 5월의 블라디보스톡 앞 바다의 30 m 수심층에서 DO 가 8.78로 가장 높다. 이 시기에 용존산소가 높은 해역이 동해 북부 해역에서 4월보다 광범위하게 분포한다.



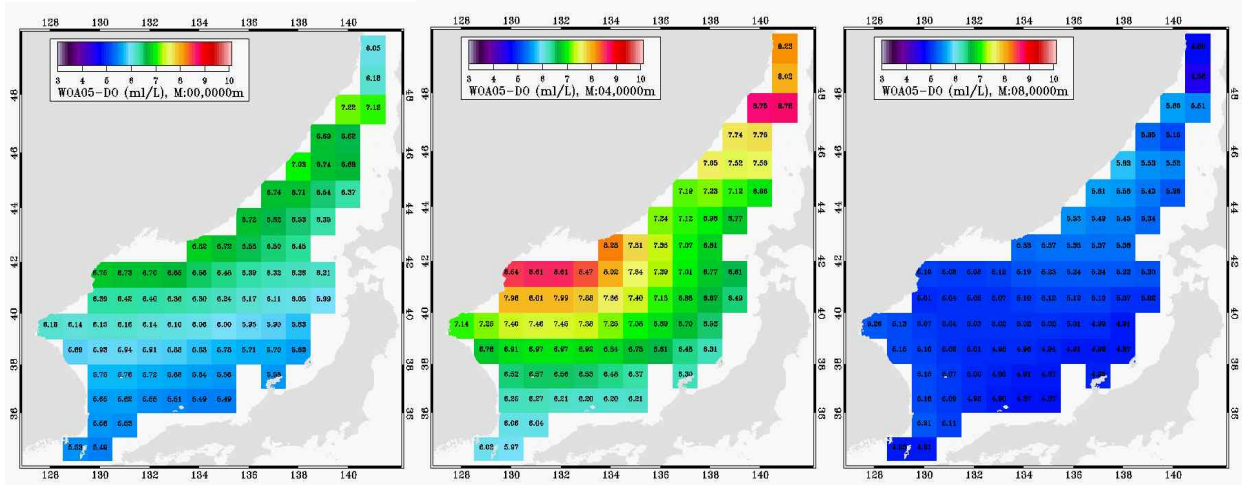


Fig. 3-8. Surface distribution of dissolved oxygen based on World Ocean Atlas-2005 :  
Yearly mean (left), April (center) and August (right)

## 2. ARGO 뜰개로 관측된 동해의 용존산소 수직 profiles 구조

한국해양연구원은 국제공동해양조사연구 사업인 해양 및 기후 감시를 위한 전지구적인 대양관측사업을 수행하면서 ARGO Floats 에 SeaBird 사의 SBE43 계열과 Aanderaa 사의 Optode 계열의 DO 센서를 장착한 뜰개를 2004년 8월 이후 2009년까지 총 36개를 태평양에 인접한 동해에 투하 하였다. 이 뜰개들에 의해 표층으로부터 수심 700 m 사이의 용존산소가 약 10일 간격으로 관측되고 있다.

동해에서 뜰개에 의해 관측된 용존산소의 분포 구조는 일반적으로 다음의 형태를 보인다(Fig.3-5). 용존산소 최대층은 표층 아래 수심 약 200 m 층에서 용존산소가 약  $260 \mu\text{mol/Kg}$  이상으로 존재한다. 이 용존산소 최대층 이심에서는 수심이 증가함에 따라 용존산소가 감소한다. 뜰개가 표류하는 약 700 m의 수심(parking depth)에서는 용존산소가  $200\sim 210 \mu\text{mol/Kg}$  까지 감소한다. 이것은 최대 관측 수심이심층에 존재하는 용존산소 최소층과 관련이 있다. 용존산소 최대층과 표층 사이의 수심 약 70~80 m 층에는 표층 용존산소 최소층이 존재한다. 수평적으로는 동해 남부해역으로부터 동해 북부해역에서 갈수록 용존산소가 증가하는 경향을 보이고 있다.

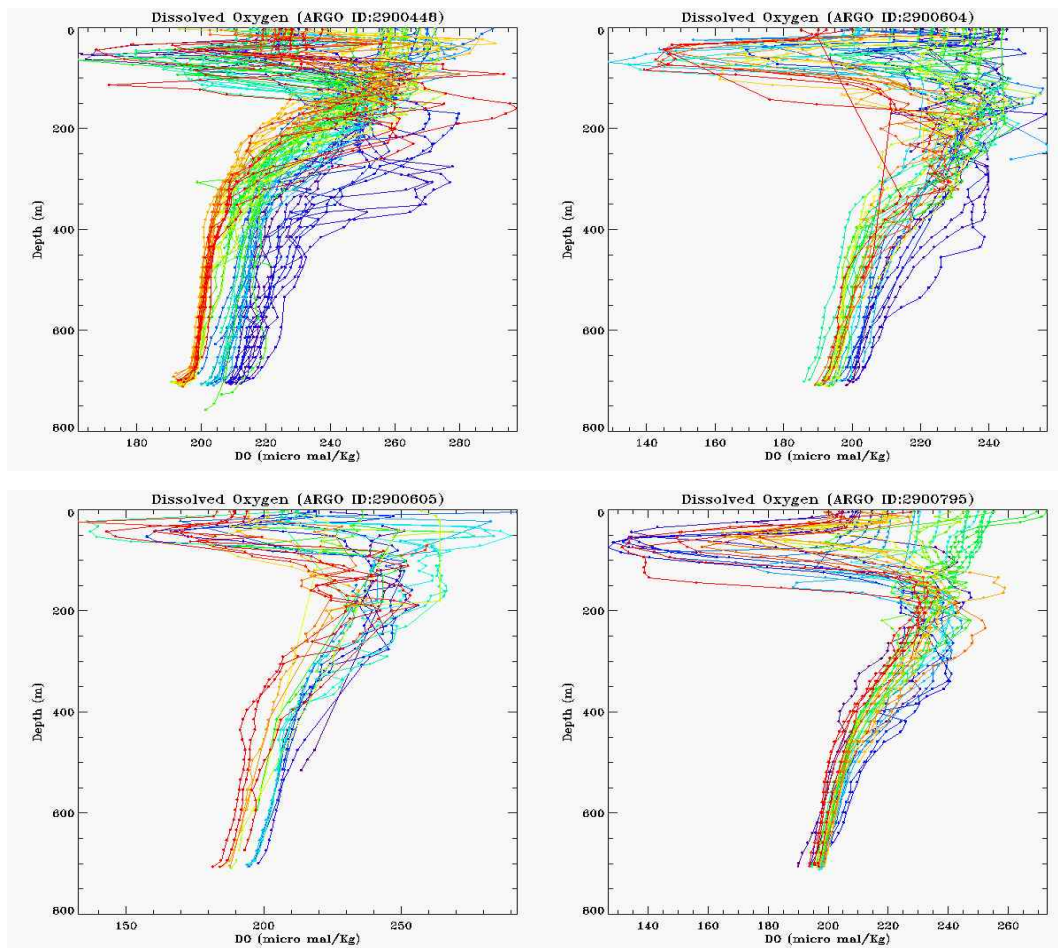


Fig. 3-9. Vertical distribution of DO profiles in the East Sea (2900448, 2900604, 2900605, 2900795)

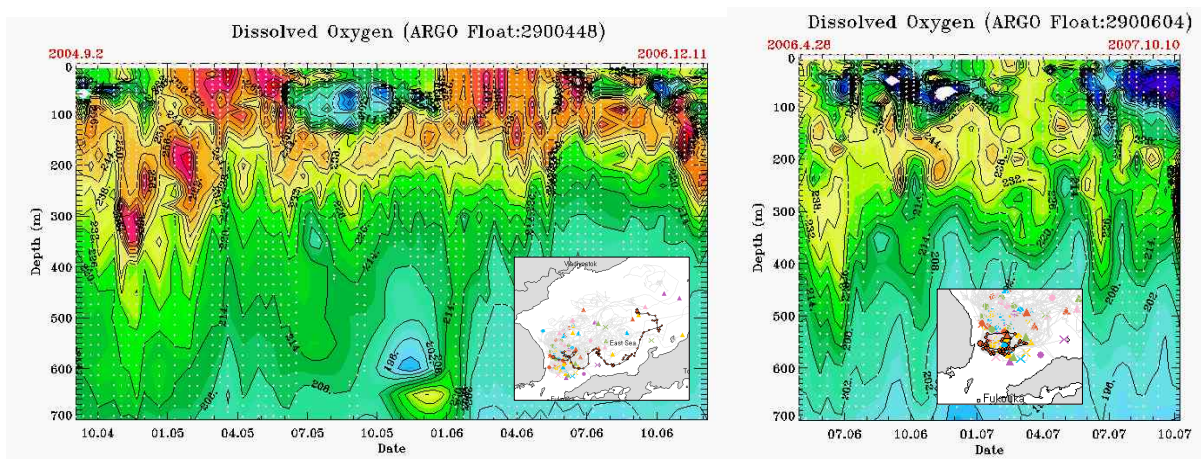


Fig. 3-10. Time series of dissolved oxygen profiles : 2900448 (left), 2900604 (right)

동해에 투하한 ARGO 뜰개들 중에서 초장기에 투하된 ID 2900448 과 2005년에 투하한 ID 2900604 로부터 획득한 용존산소 자료를 가지고 종합적인 동해 내부 용존산소의 시공간적인 변화를 살펴보았다(Fig.3-10). ID 2900448 뜰개는 울릉분지에서 시작해 일본연안을 따라 북상하는 궤적을 보이고, ID 2900604 는 일 년 이상 울릉분지 주변에서 순환하는 궤적을 보인 것이다. 용존산소의 분포구조는 수평 및 수직적으로 매우 복잡하게 나타나고 있고, 뜰개 parking depth 인 수심 700 m 층에서도 시간 및 공간에 따라 용존산소 큰 변화량을 보인다.

수심 100 m 이천의 표층역에서 용존산소가 가장 높게 나타나는 시기는 두 뜰개의 수직 단면에 나타난 것처럼, 3월~5월 사이이다. 그리고 이 수층에서 8~9월 사이에 DO 가 가장 낮았다. 용존산소가 높은 시기에 수심 100 m 이천은 용존산소가 수직적으로 일정하게 나타나면서, 해수가 수직적으로 혼합되어 있는 구조를 보이고, 용존산소가 낮은 시기에는 저용존산소의 해수가 표층과 구분되어 표층 아래에서 나타나는 구조이다.

수심 200 m 층에서는 용존산소 최대층이 시공간에 상관없이 넓게 분포하고 있고, 이 층에서의 DO의 변화는 표층에 비해 상대적으로 작다. ID 2900448 의 DO 수직 구조에서  $208 \mu\text{mol}/\text{kg}$  의 등치선은 시간의 변화에 관계없이 울릉분지 부근에서 일본역으로 갈수록 상승하고 있다. 이는 울릉분지 보다 일본연안역의 중층에서 용존산소의 농도가 더 낮다는 것을 의미한다.

ARGO DO 센서의 자료 품질 검증을 통하여 현장 CTD 관측으로 획득한 용존산소 결과와 ARGO 용존산소값이 매우 우수한 일치성을 보인다는 것을 확인하였다. 따라서 향후 동해 전체의 DO 분포 구조를 파악하는데 있어서 ARGO 뜰개의 DO 가 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 동해 중층 이상의 심층에서 매우 일정하게 나타나는 염분값에 비해 DO의 변화가 크기 때문에 수온과 용존산소를 이용한 수괴 분석이 가능하다.

동해 북부 해역에서 형성되는 심층류의 추적 인자로 ARGO 뜰개에서 관측된 DO 자료를 활용할 수 있다. DO 의 수직적인 분포와 수평적인 분포 구조를 분석함으로써 북부 해역에서 형성된 침강류가 동해내부로 침강하면서 동해 남부로 확장되는 것을 추적하고, 이 심층류 세기와 수직적인 변화를 통해 기후 변화에 따라 반응하는 동해의 환경 변화를 알아 낼 수 있다.

## 제 4 절 한국 ARGO 정보센터의 기반구축

### 1. Argo 정보 수집 및 제공 체계 구축

한국해양자료센터는 2001년부터 『한국 Argo 정보센터의 기반구축』 사업을 수행하고 있다. 지금까지 한국 Argo 정보센터의 홈페이지 운영, 세계 Argo 자료센터(GDAC) 및 실시간 Argo 자료센터와의 연계시스템 구축, 해외어장 실시간 해양정보 제공시스템 구축·운영, 한국 Argo 자료의 지연모드 품질관리 및 국제 Argo 그룹과의 협력을 내용으로 수행하였다. 올해 사업의 내용은 다음과 같다(Fig.3-11, Fig.3-12).

- R-file 입수·재검토 및 해외어장 실시간 해양정보 제공시스템 운영
  - 국내 관련기관 및 세계 Argo 자료센터의 R-file을 주기적으로 입수하고 재검토
  - 수집한 R-file을 이용한 해외어장 실시간 해양정보제공시스템 운영
- 동해 Argo 자료의 지연모드 품질관리
  - 동해 Argo 자료 지연모드 파일 국제 Argo 자료센터(GDAC)에 보고
  - 개선된 DMQC 프로그램(OW) 설치 및 시범 적용
  - 동해 Reference Database(EJSHB, East/Japan Sea HydroBase) 보강
- 지연모드 품질관리를 위한 Webpage 구성
  - 한국 Argo 자료의 R-file, D-file 관리
  - 한국 Argo DMQC 현황 관리 및 PI의 자료품질결과 검토 창구 역할
- 국제 Argo 그룹과의 협력
  - 국제 Argo 활동 참여 및 지속적인 정보교환

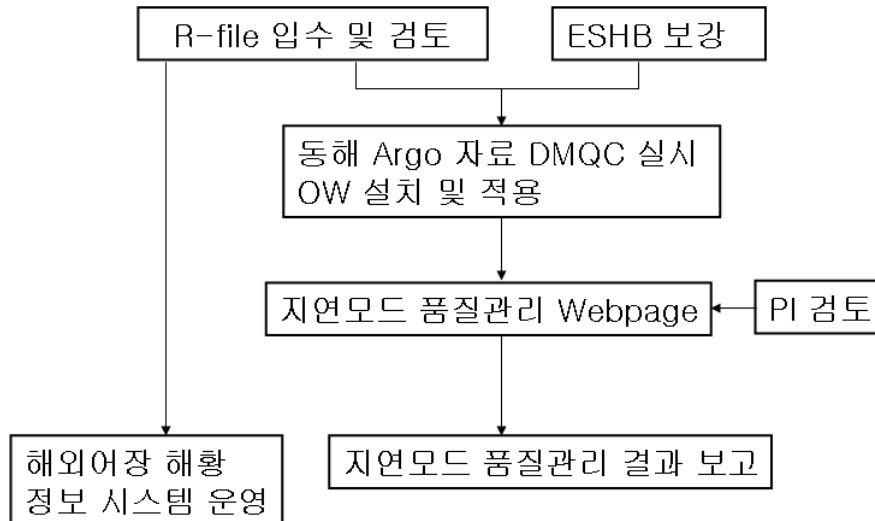


Fig. 3-11. Conceptual diagram of project performance

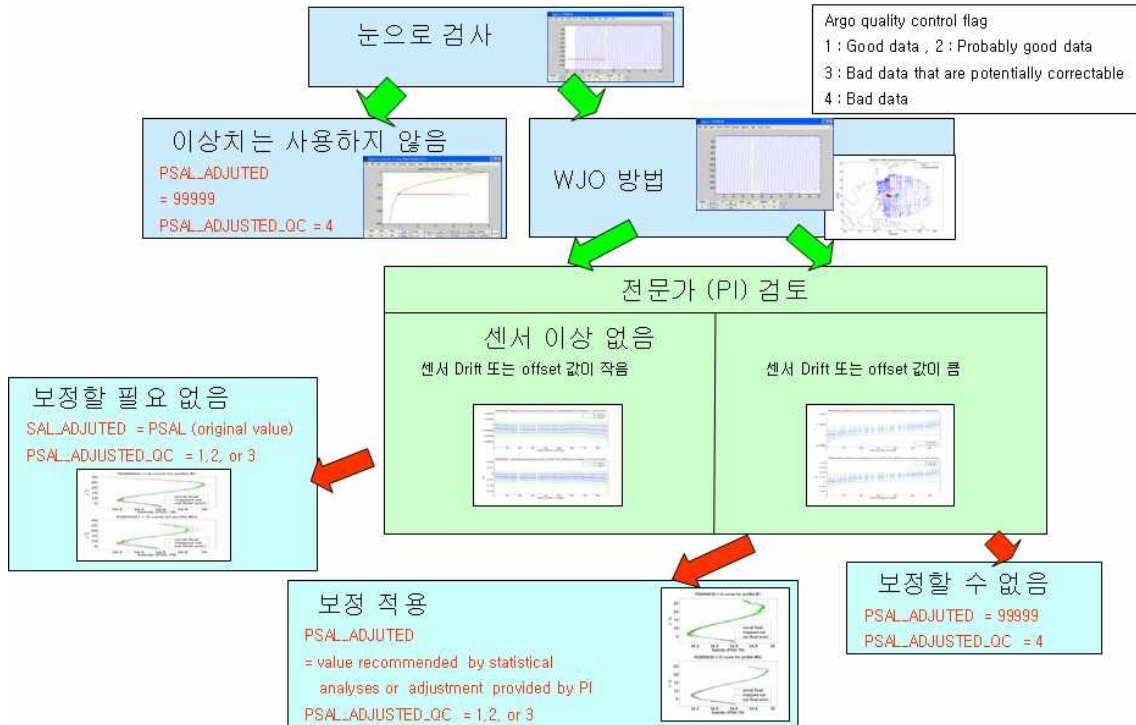


Fig. 3-12. Argo salinity sensor drift and offset QC procedure

## 2. 해외어장 실시간 해황정보 제공시스템 운영

전 세계 대양의 Argo 자료를 안정적으로 국내 이용자에게 제공하기 위하여 세계 Argo 자료센터(GDAC)인 프랑스 서버와 미국 서버에서 FTP 방식으로 하루에 한 번 자료를 자동으로 입수하여 준 실시간으로 제공하는 Argo 자료의 연계시스템을 운영하고 있다(Fig.3-13). 전 세계 대양의 어장환경자료를 필요로 하는 원양어업선사(Fig.3-14) 및 전 지구적 규모의 해양연구 관련 국내 이용자가 국외가 아닌 국내 서버로부터 쉽고 안정적으로 Argo 자료에 접근할 수 있을 것으로 기대된다(URL: <http://kodc.nfrdi.re.kr>). 이중 한국 Argo 프로그램에서 획득한 동해, 태평양, 남극해의 프로파일을 따로 관리하고 있으며(Table 3-3), 지연모드 품질관리를 위하여 파일의 포맷과 내용을 검토하였다.

현재까지 세계 Argo 자료센터로부터 입수하여 DB에 저장한 Argo 프로파일은 430,000개이며, 금년 사업에서 현재까지 50,000개의 프로파일을 입수하여 DB에 저장하였다(Fig.3-15). 전 세계 해양에 투하된 Argo 플로트가 획득한 수온자료를 이용하여 주요 해외어장 부근 해역의 해황 정보를 실시간으로 제공하기 위한 실시간 해외어장해황정보 제공 시스템을 운영하고 있다(부록 1).

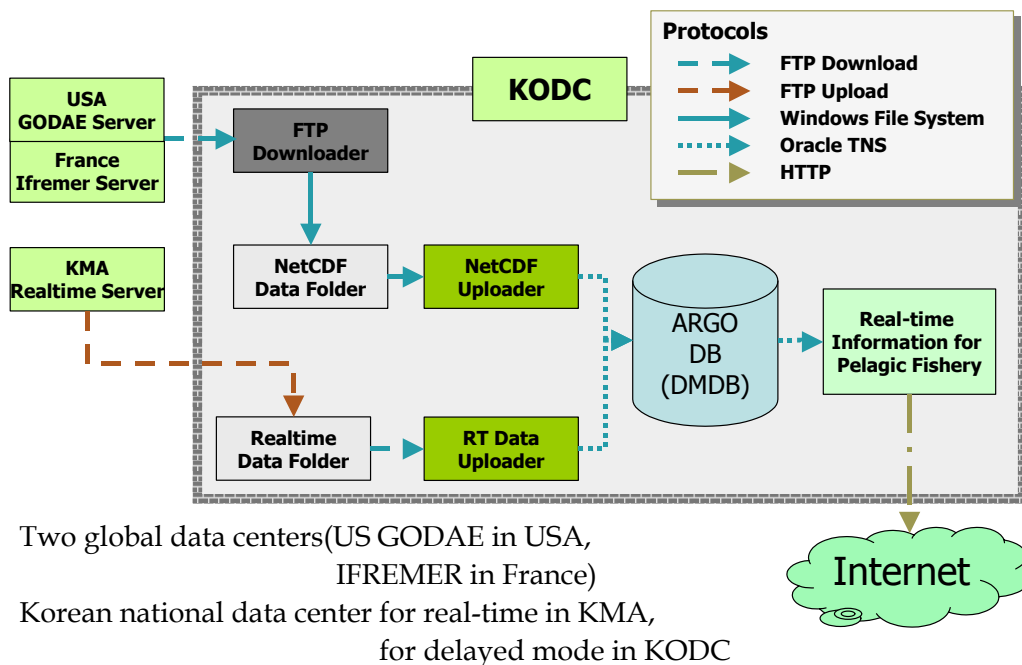


Fig. 3-13. Conceptual diagram for global Argo data collection system and Real-time information for pelagic fishery.)



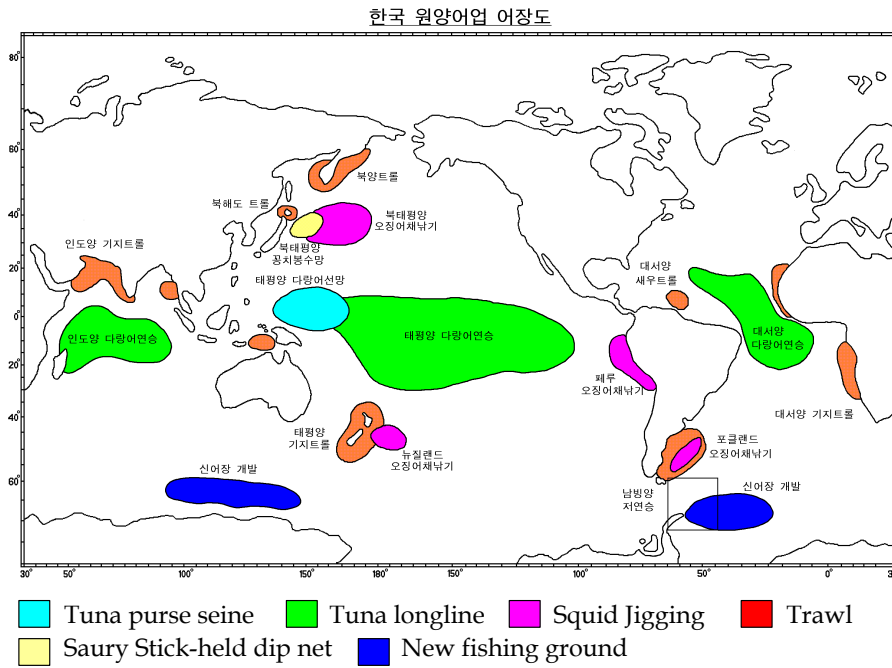


Fig. 3-14. Fishing grounds of Korean pelagic fishery

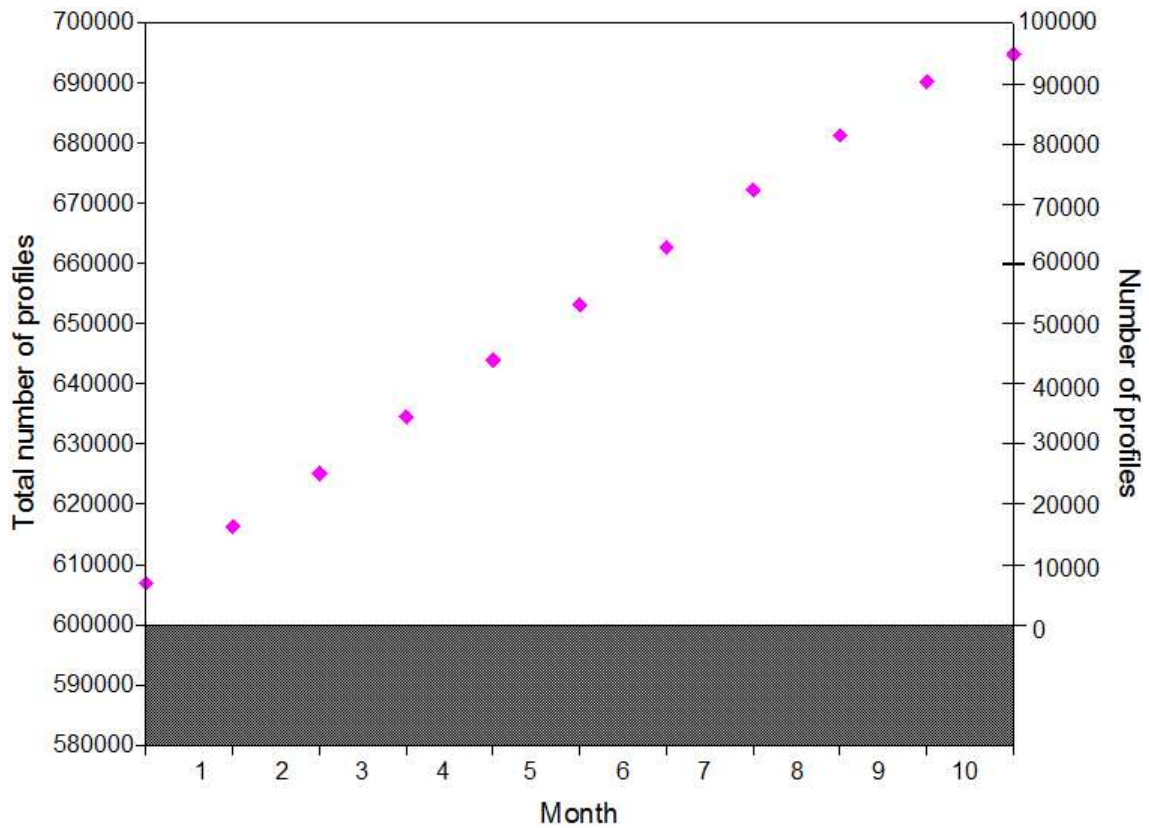


Fig. 3-15. Number of Argo profiles obtained from GDACs in 2008

Table 3-3. Status of Korean Argo delayed mode quality control as of October 2008

투하해역	DAC	총 프로파일	대상 프로파일	DMQC 완료	비고
동해	KMA	3241	2919	690	
	KORDI	1931	1355	0	
	소계	5172	4274	690	
태평양	KMA	4213	3610	2039	
남극해	KORDI	1379	1083	0	
총 계		10764	8967	2729	

### 3. 동해 Argo 자료의 지연모드 품질관리

표준 지연모드 품질관리인 WJO 프로그램을 전 세계적으로 적용하여 전 대양의 일관성이 있는 양질의 지연모드 자료를 제공할 수 있다. 우선 WJO 프로그램을 실행하기 전에 압력, 수온과 염분에 대한 사전검증을 실시하였다. 사전검증에는 그래픽을 이용하여 실시간 품질관리에서 제거되지 않은 이상치(스파이크, 동일 값 등)를 눈으로 확인한다(Fig.3-16). 이 단계에서 확인된 이상치는 품질관리번호(QC Flag)를 '4'로 부과하여 WJO 프로그램의 입력 자료에서 제외한다. 사전검증을 통과한 Argo 자료를 기준데이터베이스 EJSHB를 포함한 WJO 프로그램(Weighted least squares fit)에 입력하여 보정치를 구하게 된다. 이후 WJO 프로그램 결과에 대한 해당 해역 전문가의 검증을 포함하여 결과의 정확성을 제고한다(부록 2).

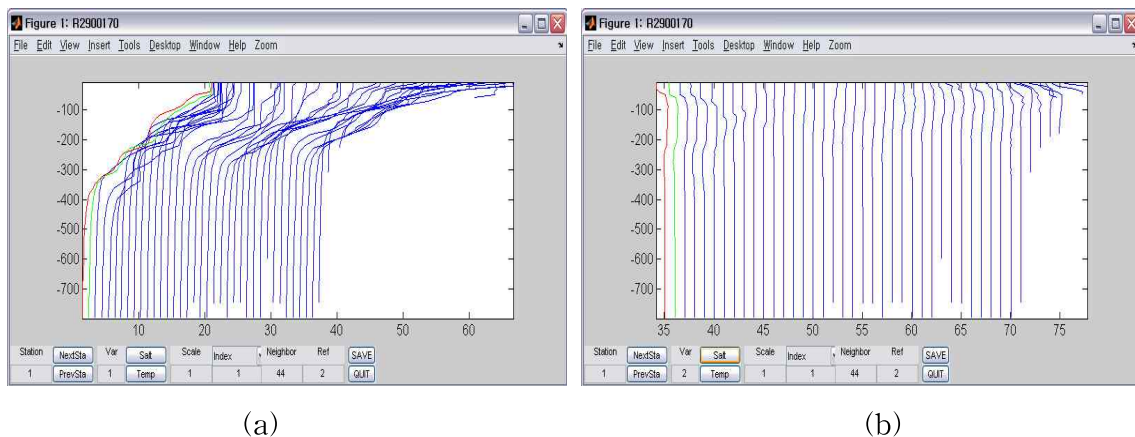


Fig. 3-16. Visual inspection of temperature (a) salinity (b) versus pressure using a graphic tool



해양에서 수괴(Water Mass)는 온위(Potential Temperature)와 염분으로 정의되며 두 항목 사이에 일정한 관계가 있으므로 어떤 해역에서 온위로부터 수괴 특성을 이용하여 염분을 추정할 수 있다. 이러한 관계를 이용하여 WJO 프로그램은 미리 설정한 50개 온위에 대한 염분을 플롯트가 관측한 위치에서 과거자료로 구성된 기준데이터베이스로부터 구한다. 동해 해역의 자연모드 품질관리에 EJSHB를 이용하였다. 기준데이터베이스에서 자료를 선택하기 위하여 두 가지 단계로 구성된 Objective Mapping 기법을 적용하였다. 첫 번째 단계는 큰 규모의 해양기후(Ocean climate)적인 관계를 고려하였으며, 두 번째 단계는 상대적으로 작은 규모로 지역적이며 수괴의 환기시간(Ventilation time)도 함께 고려하였다. 이 과정에서 플롯트가 관측한 위치를 중심으로 기준데이터베이스로부터 300개의 자료를 선택한다. Table 3-4와 Fig .3-17에 동해 Argo 자료 자연모드 품질관리를 위하여 설정한 WJO 프로그램의 변수와 프로그램 결과를 제시하였다.

Table 3-4. Parameters used in WJO program applied to the East Sea

Parameter		Values
Large spatial scale	mapscale_longitude_large	8°
	mapscale_latitude_large	4°
Small spatial scale	mapscale_longitude_small	4°
	mapscale_latitude_small	2°
Maximum of data selected		300
Number of profiles for the least square fit		18
Potential temperature level(°C)		30.0, 20.0, 10.0, 8.0, 6.0, 4.0, 2.0, 1.5, 1.2, 1.0, 0.95, 0.9, 0.85, 0.8, 0.75, 0.7, 0.65, 0.6, 0.58, 0.54, 0.52, 0.51, 0.5, 0.49, 0.48, 0.47, 0.46, 0.45, 0.44, 0.43, 0.42, 0.41, 0.40, 0.39, 0.38, 0.37, 0.36, 0.35, 0.34, 0.32, 0.30, 0.28, 0.26, 0.20, 0.10, 0.05, 0.00

온위별로 선택한 자료로부터 구한 평균 염분과 플로트 관측치의 차이를 최소로 하는 가중최소자승법(Weighted least squares method)으로 플로트가 관측한 염분을 보정한다. 가중치는 OM에 의해 추정된 오차에 대해 반비례하도록 하였다. 일반적으로 변동이 적은 깊은 층이 상대적으로 변동이 큰 표층이나 중층에 비해 플로트의 염분 보정에 많은 영향을 미친다. 또한 센서의 관측오류가 갑자기 발생하기 보다는 서서히 발생하므로 연속한 여러 개의 프로파일을 함께 가중최소자승법에 적용함으로써 프로파일별로 적용하여 발생할 수 있는 일시적인 오차를 최소화한다.

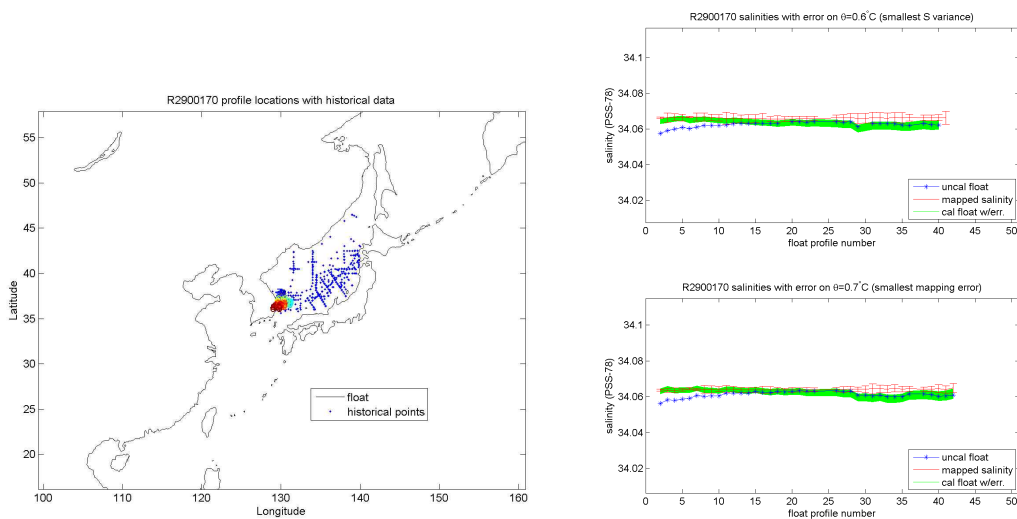


Fig. 3-17. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using EJS HB(East/Japan Sea HydroBase)

최근 새롭게 제시된 DMQC 프로그램인 OW 프로그램은 WJO 프로그램과 BS 방법(Bohme and Send, 2005)을 토대로 하여 제안되었다. OW 프로그램의 특징은 아래와 같다.

- 미리 설정된 온위면이 아니라 Argo 플로트가 관측한 온위면에 대하여 과거 자료 선택하여 보간에 의한 오차를 줄임
- Temporal decorrelation scale을 CFC의 순환 시간에서 입력 변수화
- 해안선이 가까운 연안에서는 지점간의 거리 계산에 topographic potential vorticity를 이용
- 평균 염분 추정치에 선택한 자료의 산술 평균 대신 선택된 과거자료에서 자료

간의 상호 상관관계를 고려한 평균을 이용함으로써 가깝게 있는 자료의 가중치를 감소

- 해황의 변화가 심한 상층부 200dbar를 제외한 뒤 아래의 10개의 기준면을 선택 (Fig.3-18)
- 남극해와 같이 수온이 역전되는 해역에서도 적용이 가능
- 센서 drift가 관측 기간 동안 다른 기울기로 변할 수 있으므로 Piece-wise linear fit을 이용하여 염분의 오차를 추정 (Fig. 3-19)
- 기울기가 변하는 지점인 breakpoint는 통계적인 방법을 적용

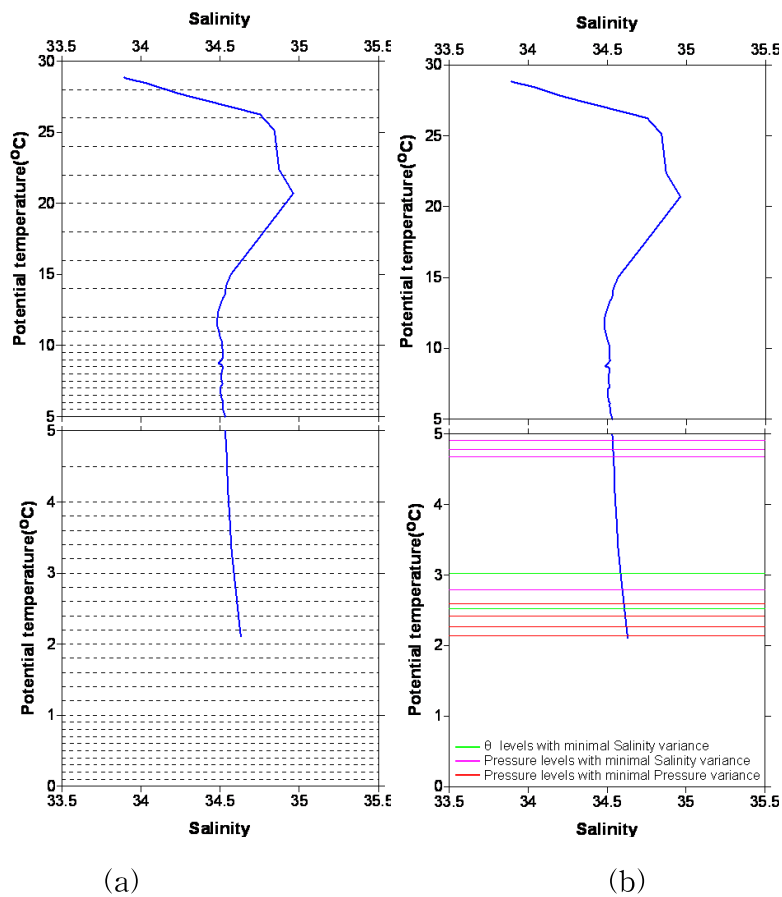


Fig. 3-18. Levels of potential temperature used in WJO program (a) and OW program (b)

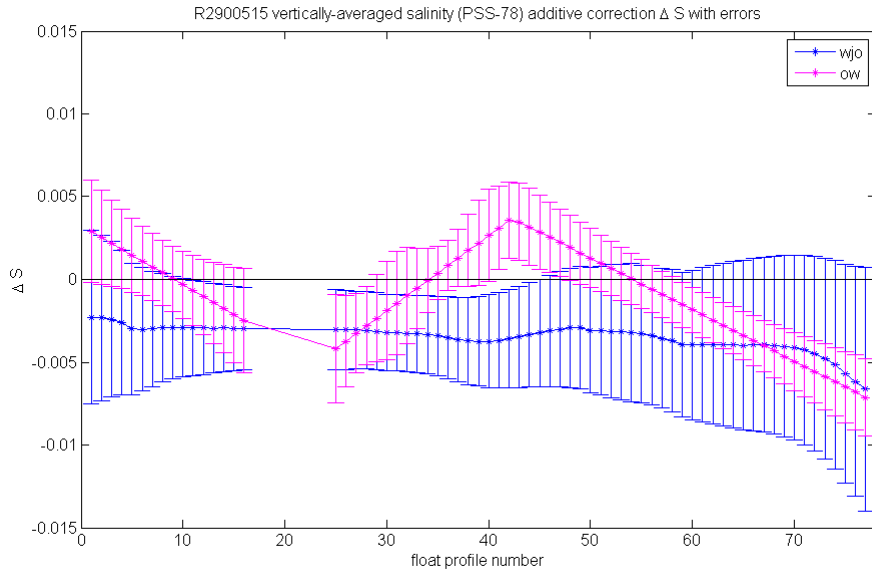


Fig. 3-19. Salinity correction suggested by WJO program (pink) and OW program (blue)

기준데이터베이스 자료의 양이 많을수록, 최근 CTD 자료가 많을수록 지연 모드 품질관리 결과가 좋아지므로 지금까지 확보하여 입력한 CTD 자료에 일본해양자료센터(JODC)로부터 추가로 확보한 278개의 CTD 자료를 품질검토 후 EJSHB를 보강하였다(Table 3-5 and Fig.3-20).

Table 3-5. Collected CTD profiles

	NFRDI	ONR	WOD 2005	JODC	계
기존 자료	2017	285	278	1247	3827
추 가 분				278	278
계	2017	285	278	1525	4105

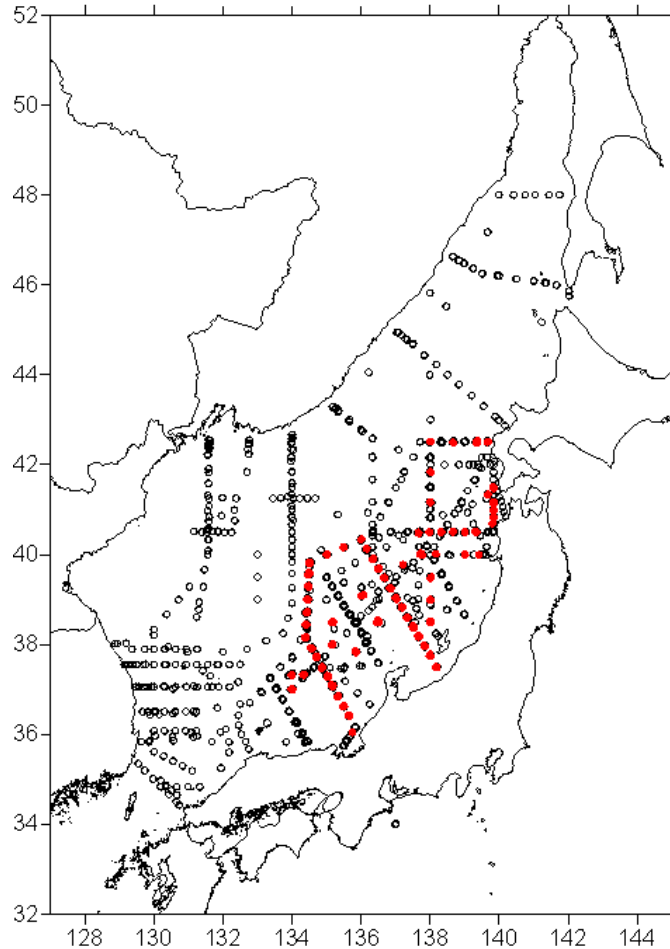


Fig. 3-20. Positions of added (filled circle) and existing (open circle) CTD profiles in EJSHB (East/Japan Sea HydroBase)

#### 가. 동해 Argo 자료의 지연모드 품질관리 PI 검토

WJO 소프트웨어를 실행하기 위해서 필요한 변수들을 Table 3-4에 정리하였다. 대부분 WJO 소프트웨어의 기본 설정값으로 두 종류의 자료 선택 반경이 있는데 각각 8°/4°, 4°/2°를 이용하였고, 최대 기준자료 선택수는 300개, 연속된 Argo 프로파일은 앞뒤로 18개를 이용하였다. 온위는 동해의 수괴 특성을 고려하여 온도가 낮은 곳에 집중되도록 하였다(Park and Kim, 2007). Fig.3-21는 온위의 기본 설정값과 동해에 적용하기 위하여 변경한 온위를 도시한 것이다. Fig.3-22은 이들 설정값과 EJSHB를 적용하여 WJO 소프트웨어를 수행한 결과이다. Fig.3-17에 비해 좋은 결과가 산출되었음을 볼 수 있으며, 부록 1과 같이 PI(연구책임자)에게 검토요청을 하였다.

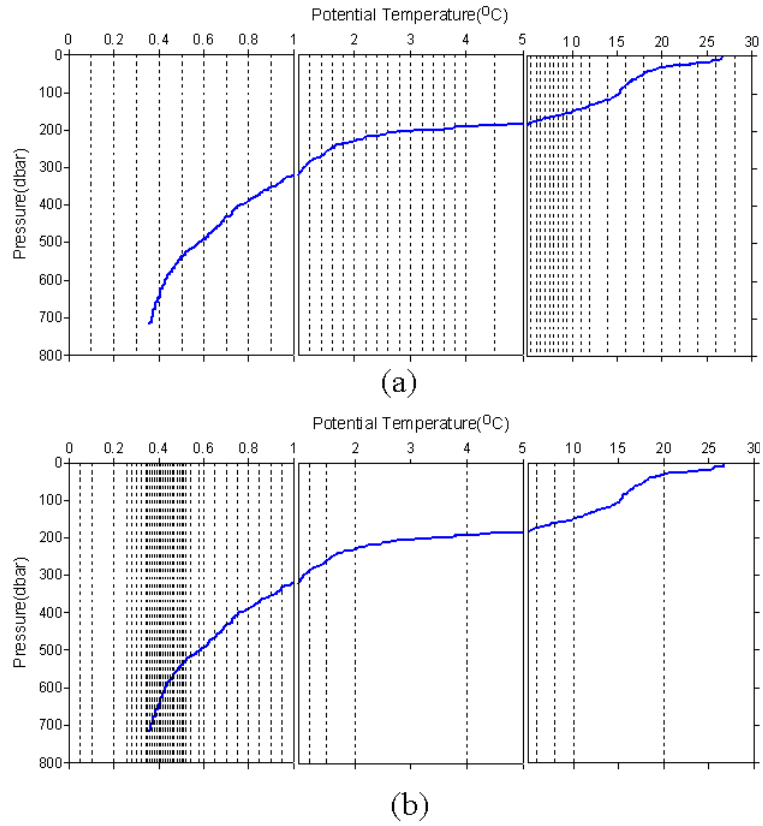


Fig. 3-21. Default settings of potential temperature levels(a) and and adjusted to the East Sea(b)

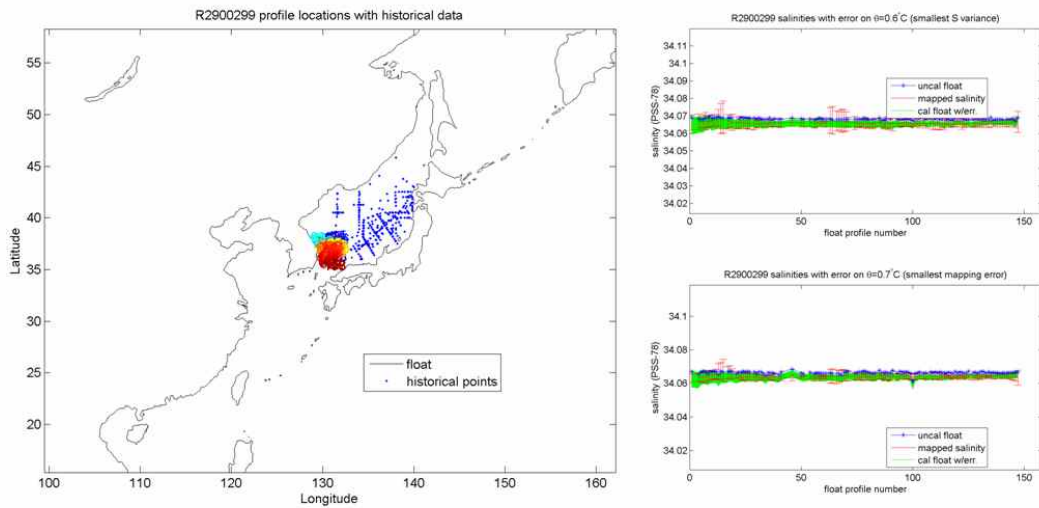


Fig. 3-22. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using EJSHB

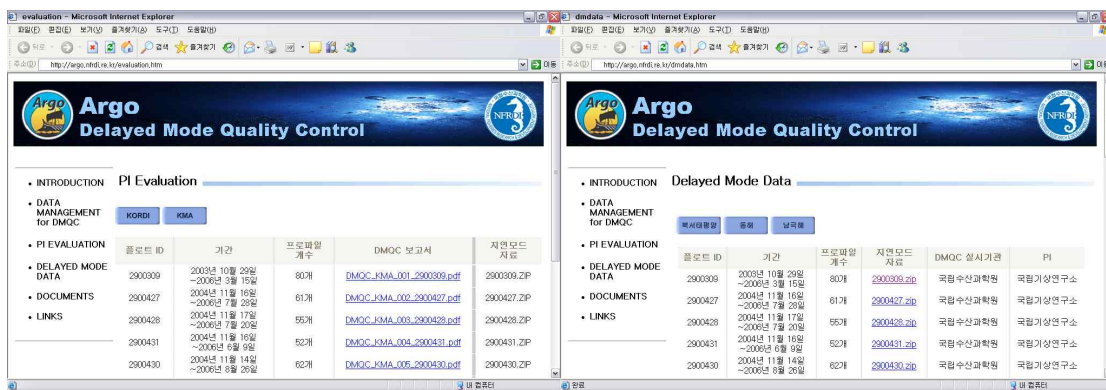
나. 지연모드 품질관리를 위한 Webpage 구성(Fig.3-23)

주기적으로 생산되고 있는 R-file의 관리와 효율적인 지연모드 품질관리를 위하여 Webpage를 구성하였다(http://argo.nfrdi.re.kr). Introduction에는 Argo 사업과 지연모드 품질관리에 대하여 소개하고 있으며, Data management for DMQC에는 GDAC의 한국 Argo 자료를 주기적으로 내려받아 표 형태로 관리하게 된다. WJO 프로그램의 결과가 도출된 경우는 이 Webpage에서 직접 볼 수 있도록 작성하여 프로그램 결과 관리를 효율화하였다. PI evaluation에서는 Operator의 검토가 끝난 플롯을 등록하고 PI에게 메일로 검토 요청을 하고 검토의견을 바로 적을 수 있어 빠른 검토가 가능하다. Delayed mode data에서는 지연모드 품질관리가 끝난 D-file을 수록하여 제공하도록 구성하였다. 그 외에도 관련된 문서와 webpage를 열람하고 연결할 수 있도록 하였다. 이 Webpage가 지연모드 품질관리 결과의 창구역할을 할 것으로 기대된다.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fig. 3-23. Webpage for Korean Argo DMQC (http://argo.nfrdi.re.kr). Introduction (a), Data management for DMQC (b), PI evaluation (c) and Delayed mode data (d)

#### 4. 동해 지연모드용 Reference Database 보강

국제 Argo 자료관리그룹이 표준으로 채택한 WJO 프로그램은 Reference Database(RD)로부터 Argo 프로파일 부근의 자료를 선택하여 Argo 프로파일을 보정한다. 먼저 RD에서 보정하고자하는 Argo 플롯의 위치와 가까운 자료를 300개 선택하여 그 해역의 수온과 염분의 관계(climatology)를 추산한 다음, 가중최소제곱 방법(Weighted least squares method)을 이용하여 Argo 플롯가 관측한 염분 자료를 앞서 언급한 수온과 염분의 관계로부터 염분 자료를 보정한다. 염분 보정 오차는  $\pm 0.01$ 로 작은 값이어야 하므로 보정의 정확성을 높이기 위해서 한 플롯의 프로파일을 연속적으로 이용한다.

태평양의 RD는 일본 JAMSTEC에서 제공하고 있는 SeHyD(Selected Hydrographic Dataset)를 활용하여 지연모드 품질관리를 수행하고 있다. 그러나 지역해인 동해의 경우 WJO 프로그램에서 제공하는 RD가 없으며, Fig.3-24과 같이 수심 400m에서 동해는 수온과 염분이 각각  $1^{\circ}\text{C}$ , 34.1이지만 일본의 남부해역은  $10^{\circ}\text{C}$ , 34.4로 동해와 태평양의 수괴가 완전히 다르다. 즉 동해에서 관측한 프로파일의 지연모드 자료품질관리를 하기 위해서는 태평양의 RD를 활용한다는 것으로 그 결과를 믿을 수 없다(Fig.3-25). 따라서 동해만의 RD가 필요하며 RD의 양이 많을수록, 최근 CTD 자료가 많을수록 지연모드 품질관리 결과가 좋아지므로 지금까지 확보한 자료를 토대로 일본해양자료센터(JODC)와 World Ocean Database 2005로부터 CTD 자료를 더 확보하여 동해 RD를 보강하였다(Table 3-6).



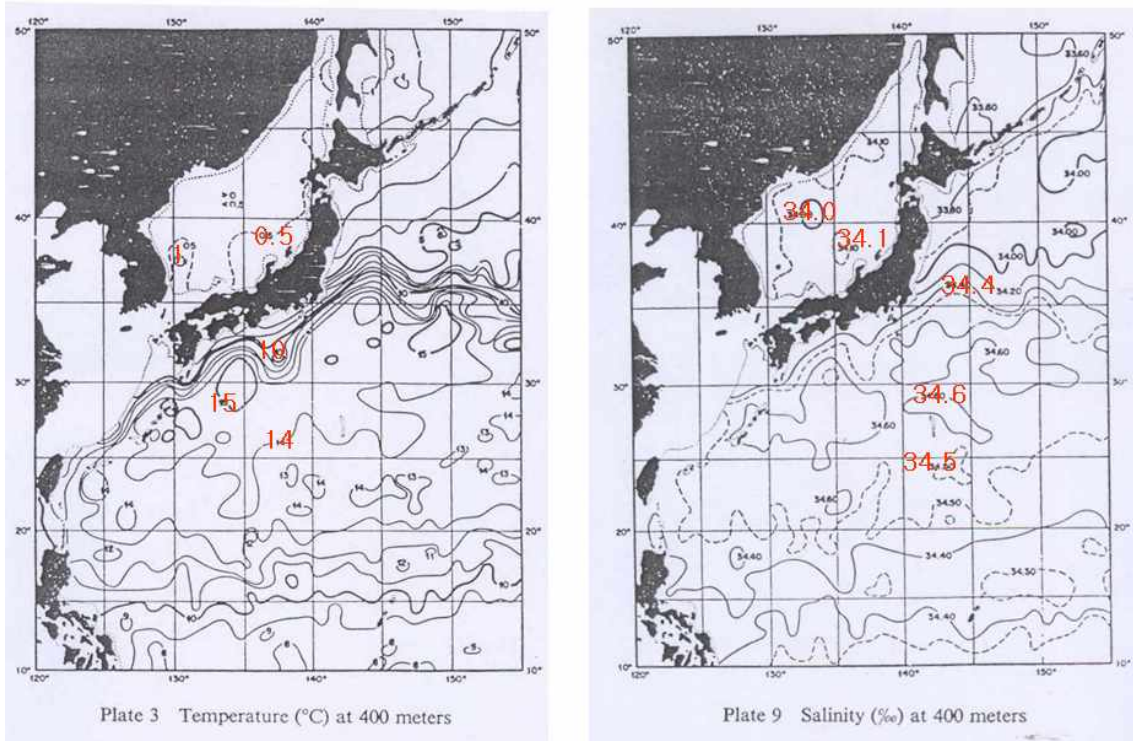


Fig. 3-24. Horizontal distributions of temperature and salinity at the depth of 400m in the Northwest Pacific (Winterfeld and Stommel, 1972)

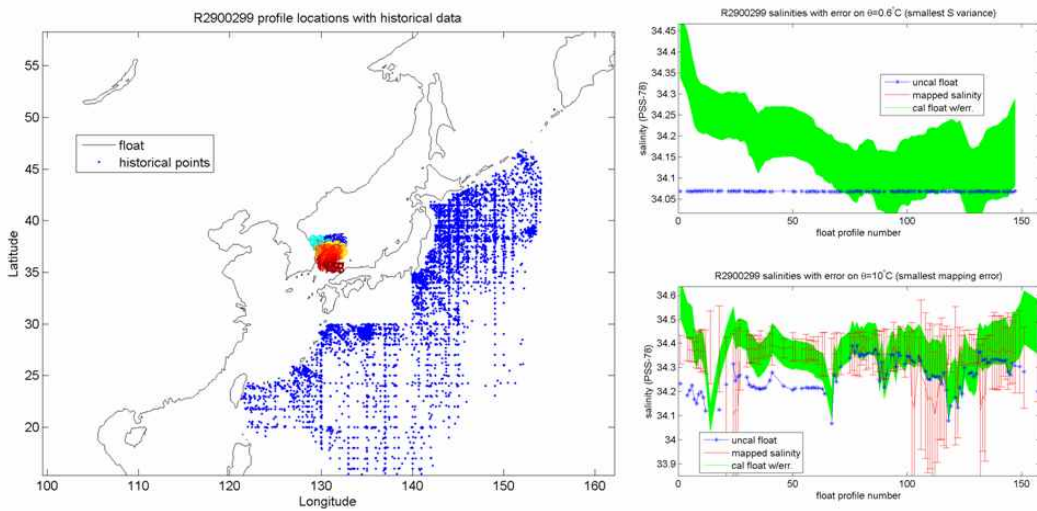


Fig. 3-25. Output figures of WJO software applied to Argo profiles in the East Sea using SeHyD

Fig.3-26은 수집한 모든 CTD 자료를 도시한 것으로 RD의 자료품질이 결정

적으로 지연모드 품질관리 결과에 직접적으로 영향을 미치므로 Position, Date, 중복검사와 같은 미국 NODC 자료품질관리방법을 적용하고 최종적으로 눈으로 확인한 이상치를 제거하였다.

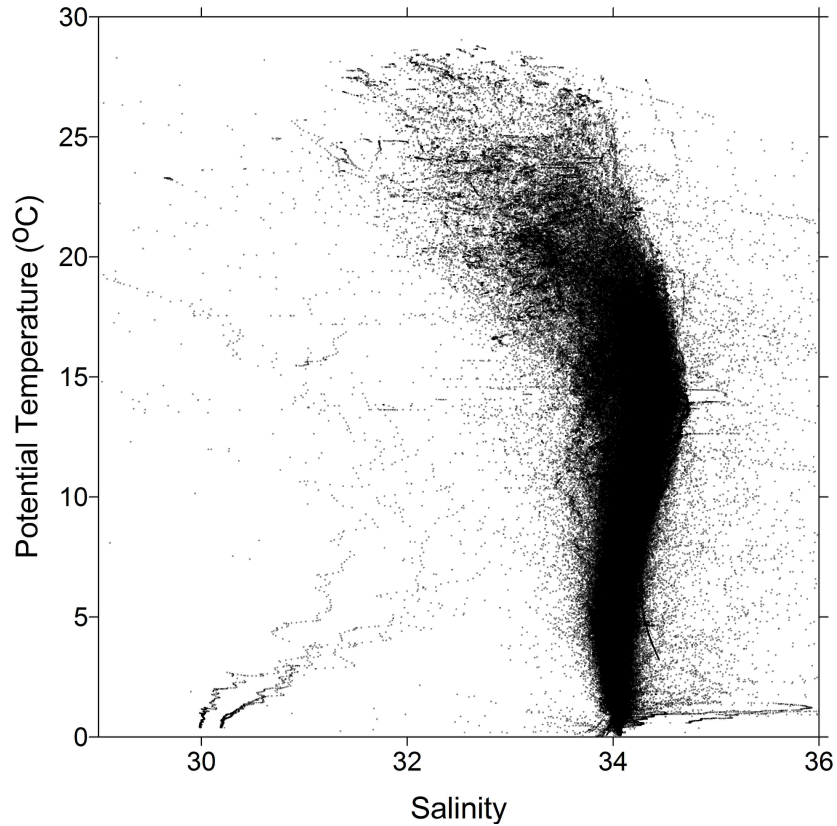


Fig. 3-26. T-S diagram for all collected CTD profiles

이에 더하여 동해의 심층의 안정적인 수괴 특성을 이용하여 RD의 자료를 검증하였다. 동해는 북위 41° 이남에 > 10°C, > 34.3의 대마난류수가 표층을 주로 차지하고 있고, 1-5°C, 34.06 혹은 34.07 내외의 Intermediate water가 있다(Table 3-6). 그리고 중앙수, 심층수, 저층수와 같은 0.6°C 이하 34.067-34.070 변화가 아주 적은 매우 안정적인 수괴가 존재하고 있다. 이러한 안정적인 수괴의 특성을 이용하여 추가적으로 RD를 검증하였다. 특히 Park and Kim(2007)은 동해를 4개로 나누어 수심 800m의 평균과 표준편차를 제시하였는데(Fig.3-27), 이를 이용하여 식 1과 같이 각 부분별로 평균에 대하여 표준편차를 두 배하여 더하고 뺀 값의 최대값과 최소값을 수괴검증의 구간으로 설정하였다(식 2). Fig.3-28은 수괴특성을 이용한 검증(WMQC)를 적용하기 전후의 수온-염분 도표이다. 붉은색은 WMQC의 구간을 나타

내고 있으며, 이 구간에 하나의 값이라도 벗어나면 전체 CTD 프로파일을 제거하였다. Fig.3-29은 최종적으로 검증을 통과한 1254개의 CTD 프로파일의 위치와 수온-염분 도표를 나타낸 것으로 2007년 11월 제8차 국제 Argo 자료관리팀회의에서 동해 RD인 East/Japan Sea HydroBase(EJSHB)를 구성하였음을 발표하였다(부록 I).

$$\text{Min}[\text{Mean}_i \pm 2 \times \text{STD}_i]_{i=1,4}, \text{Max}[\text{Mean}_i \pm 2 \times \text{STD}_i]_{i=1,4} \text{ ----- (1)}$$

$$T < 0.6^\circ\text{C} \text{ and } 34.061 < S < 34.074 \text{ ----- (2)}$$

Table 3-6. Definition of water masses in the East Sea(Kim *et al.*, 2004)

Water mass	Potential temperature (°C)	Salinity (psu)	Dissolved oxygen (μmol/l)	Remarks
Tsushima Warm Water	>10	>34.3		Primarily south of 41°N
East Sea Intermediate Water	1-5	< 34.06	>250	western Japan Basin, Ulleung Basin
High Salinity Intermediate Water	1-5	>34.07	>250	Eastern Japan Basin
East Sea Central Water	0.12-0.6	>34.067		Deeper limit at 1500 dbar (DSM)
East Sea Deep Water	<0.12	34.067-34.070		Upper limit at 1500 dbar (DSM)
East Sea Bottom Water	<0.073	34.070		Homogeneous mixed layer

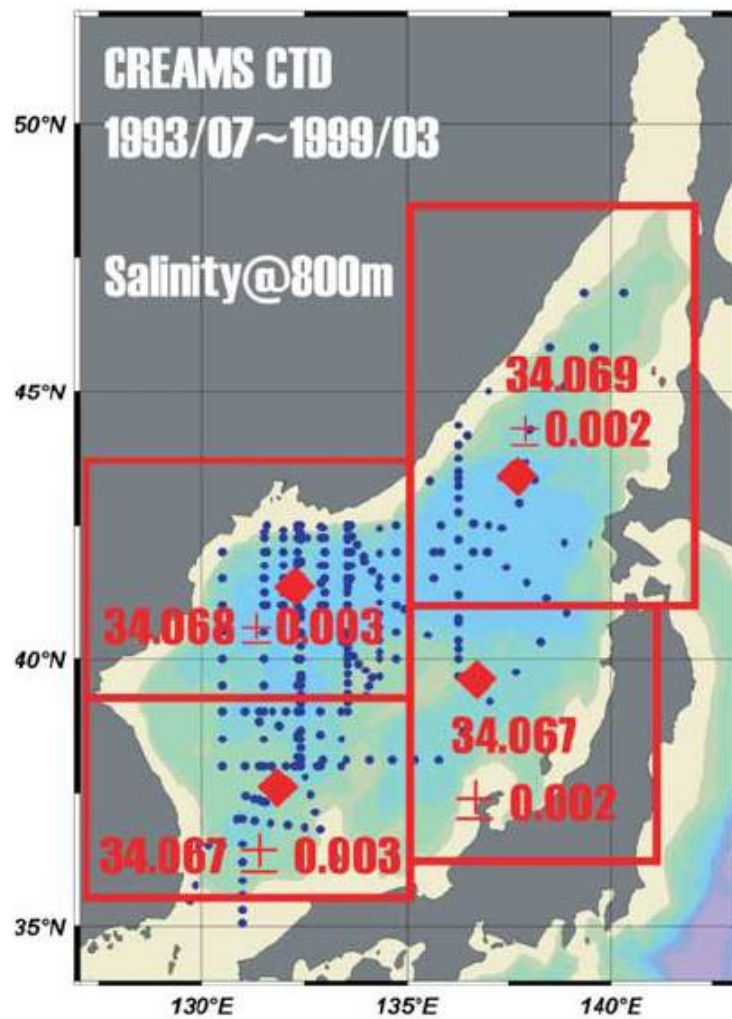


Fig. 3-27. Means and their standard deviations at 800 m which was calculated from CREASM CTD data in each sector(Park and Kim, 2007)

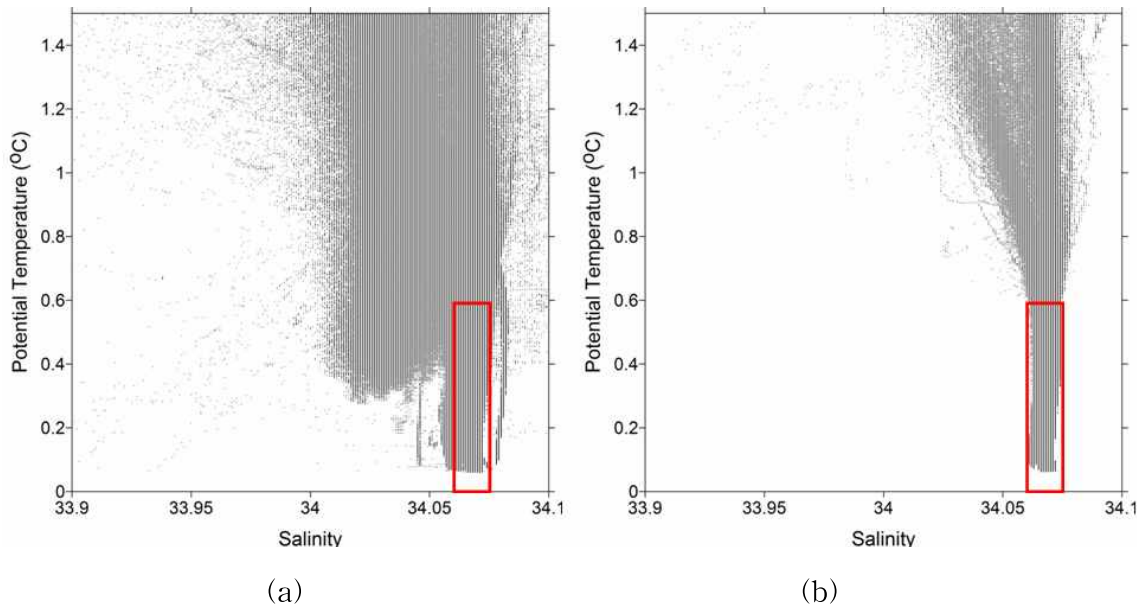


Fig. 3-28. T-S diagrams before (a) and after (b) water mass quality control (WMQC). Red rectangles represent the range of WMQC

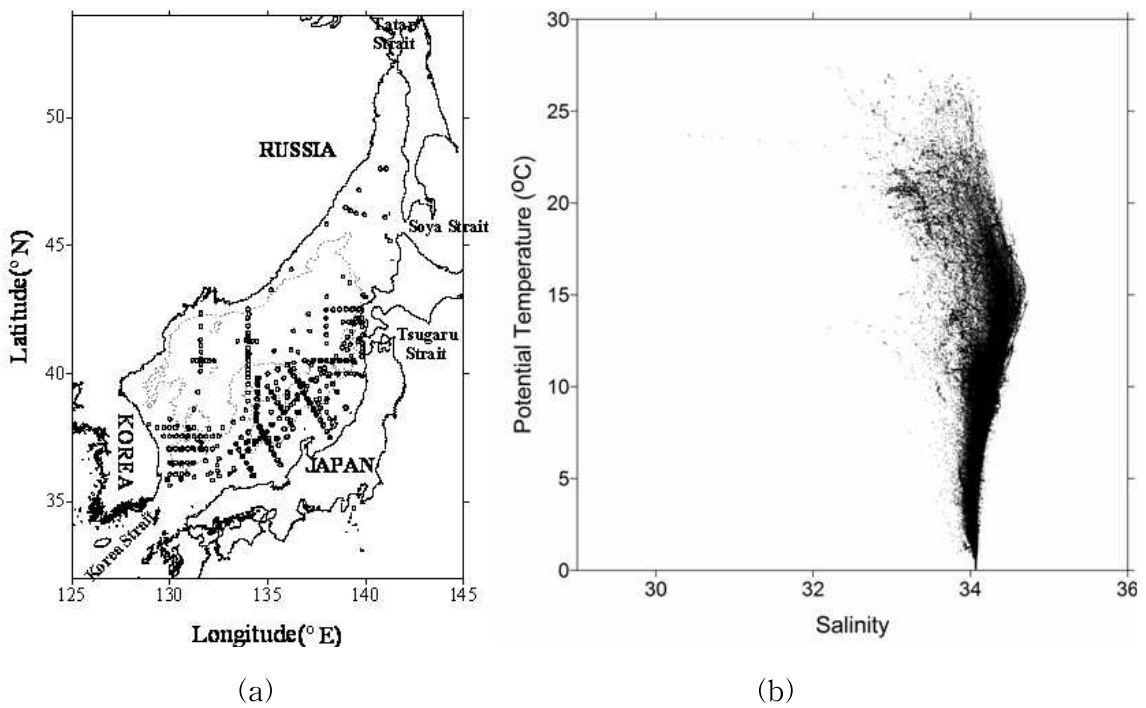


Fig. 3-29. Locations of CTD profiles which passed all QC processes(a) and their T-S diagram(b).

## 제 5 절 Argo 뜰개자료 활용연구

### 1. 우리나라 폐기물 투기해역 해수 이동 및 체류기간 추정

우리나라 산업폐기물 투기해역에서 해수유동 특성의 정량적 이해는 투기 폐기물의 이동확산과 분해등 거동을 파악하는 데 필요한 핵심 자료이다. Argo 자료를 통해 동해병해역의 700m 수심역의 해수의 거동과 체류기간을 Argo 자료를 통하여 추정 분석하였다.

폐기물 투기장 내와 바깥과의 해수교환과 투기장 내의 해수 체류기간은 투기장의 환경관리에 중요한 요소이다. 즉 체류기간은 투기한 폐기물이 투기장 바닥으로 가라앉을 시간이 충분한지, 그리고, 생물적으로 분해될 수 있는 성분들이 얼마나 투기장 내에서 분해되는 지를 파악하고, 그 분해산물이 해역에 미치는 물질 수지를 평가하는 데 기초적인 자료가 된다. 즉 체류기간이 너무 짧으면 투기한 폐기물이 투기해역 경계면을 넘어가서 다른 해역을 오염시키게 되고, 체류기간이 너무 길면 투기해역의 오염이 심화된다. 물론 이는 투기하는 폐기물의 종류와 량에 직접적으로 상관된다.

Argo자료를 이용하여 투기장 해역의 해수의 체류기간을 조사하기 위해, 투기장 해역을 통과하는 뜰개를 자료베이스에서 탐색하고, 각각의 뜰개를 궤적으로 분석하였다. Argo자료 중 위치자료와 시간자료를 이용하였다. 해수의 투기장내 체류기간은 부이가 투기장 해역에 들어온 시간부터 투기장 바깥으로 나가기 직전까지의 시간으로 정하였다. 뜰개의 체류 수심이 약 700 m 이므로 700m 수심역을 대표한다. 동해의 심부(deep water) 나 해저면 인접 수역 (benthic boundary layer)에서는 이와 다를 수 있다.

동해병해역의 해수 체류기간은 위치와 시기에 따라 다르기는 하나 대체로 69±46일이다 (Table 3-7). 해수는 대체로 서쪽에서 동쪽으로 투기 해역으로 진입하나 남부에서는 투기장에서 서쪽으로 이동하는 경우도 상당수 발견되었다 (Fig.3-30). 따라서 투기장 남부 해역에서는 대조용 조사 정점을 설정할 수 없을 것으로 사료된다.

Float ID	Entering Date	Leaving Date	Residing Days
2900202	2001-12-13	2002-02-22	71
			10
2900209	2003-01-30	2003-06-29	150
2900225	2003-05-30	2003-09-17	110
2900445	2005-01-19	2005-07-08	170
2900453	2004-10-18	2004-11-07	20
	2004-05-06	2004-05-26	20
	2007-06-15	2007-07-25	40
	2007-12-02	2008-01-31	60
	2008-06-19	2008-07-19	30
2900604	2007-09-10	2007-10-20	40
	2006-12-24	2007-02-02	40
2900612	2006-08-26	2006-11-14	80
	2007-08-21	2007-11-09	80
2900788	2006-09-18	2006-11-06	49
	2007-01-26	2007-06-05	130
2900792	2007-03-19	2007-06-17	90
2900795	2007-10-03	2007-12-02	60

Table 3-7. Residential days in the oceanic dumping site estimated using Argo data



# ID 2900788

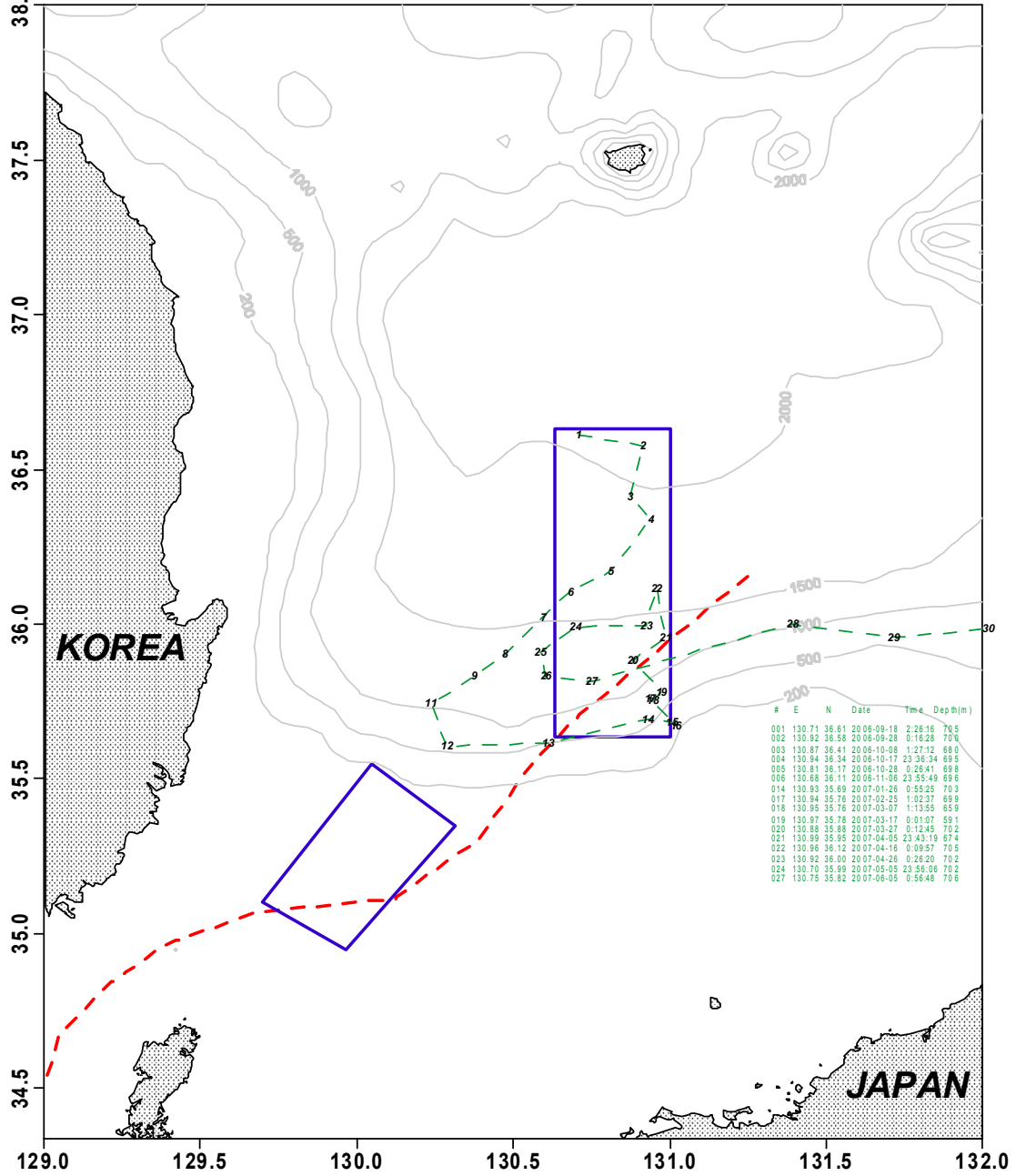


Fig. 3-30. Korea oceanic dumping site with trajectory of Argo float



## 2. Argo자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발

원양어업에 활용할 수 있는 실시간 수온자료는 적외선 원격탐사를 활용한 해양표면수온(NOAA/AVHRR), 적도태평양에 위치한 고정식 해양부이인 TAO/TRITON, 표층 표류부이가 관측한 표층 수온 등이 있다. NOAA/AVHRR는 광범위한 해역의 표면수온자료를 제공하고, 표층 표류부이는 해수와 같이 이동하면서 표층 수온자료를 제공하지만 모두 자료가 표층에 국한되는 있는 단점이 있다. 반면에 수심별 수층자료를 제공하는 TAO/TRITON은 반대로 적도태평양 해역에 국한되어 있어 자료제공해역이 제한적이라는 단점을 가지고 있다. Argo 프로그램은 3차원적으로 수온, 염분 및 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 국제공동 해양관측사업이다. Argo 플로트는 해양표면만 관측하는 적외선 원격탐사와 표층 표류부이와는 달리 수온의 수층별 자료를 생산하고 있고, TAO/TRITON 부이와는 달리 이동하면서 관측하므로 관측해역이 적도태평양에만 국한되지 않는다.

본 개발연구에서는 전 세계 대양에서 작동하고 있는 Argo 플로트가 주기적으로 생산하고 있는 자료를 토대로 해외어장 실시간 해황정보시스템의 개발연구를 수행하였으며, 태평양 선망어업의 주 어획어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 수온 분포를 비교하여 Argo 자료를 원양어업의 어장탐색에 활용하는 연구를 수행하였다.

### 가. 전세계 어장정보 자료제공

Argo 프로그램에 의해 관측된 자료는 실시간모드 자료품질관리를 거친 후 NetCDF 형태의 파일로 변환되어 24시간 이내에 미국과 프랑스의 GDAC에 모이게 된다. 국립수산과학원 한국해양자료센터 홈페이지에 해외어장 실시간 해황정보시스템 웹페이지를 통하여 세 가지의 형태로 검색 및 출력할 수 있도록 개발하였다.

수평분포도는 각각의 수심에서 수온 분포를 도시하여 나타내며, 연직단면도는 연직 횡단면상에서의 수온 분포를 도시하여 나타내도록 하였다. 또한 수직구조도는 한 관측지점의 수심에 따른 수온의 분포를 그래프로 도시하도록 하였다. 수평분포도의 경우 사용자가 표준수심 중에서 선택할 수 있게 하였다. 그런데 입력한 수심과 일치하는 수심의 자료가 드물기 때문에 입력받은 수심과 가장 근접한 두개의 자료로부터 내삽하여 선택한 수심의 수온을 계산한 후 그래프를 도시한다

(Fig.3-31a). 검색된 자료가 5개 미만인 경우 자료의 유효하지 않으므로 수평분포도를 출력하지 않게 하였다. 연직단면도는 위도, 경도 혹은 임의의 점 연장선상에서의 단면도에 나타나는 수온 분포를 도시하도록 하였으므로 사용자가 위도나 경도, 혹은 임의의 점을 입력해야한다(Fig.3-31b). 그러나 일반적으로 위도와 경도 상에 자료가 정확하게 존재하지 않으므로 선택한 위도와 경도로부터 일정범위의 자료를 추출하도록 하였다. 일정범위 또한 사용자가 선택할 수 있으며, 연직단면도도 검색된 자료가 5개 미만이면 출력하지 않도록 하였다. 수직구조도는 한 지점에서 수심에 따른 수온의 분포를 확인할 수 있으므로(Fig.3-31c) 이것을 통하여 수온약층의 깊이를 알 수 있다. 사용자가 지도에서 자료가 있는 지점을 선택할 수 있으며, 선택된 항목의 플롯 ID와 날짜를 함께 표시하여 참고가 되도록 하였다. 그래프의 세로축인 수심은 자료의 최대수심을 고려하여 자동으로 조절되며, 실제 자료를 텍스트 파일로 다운로드가 가능하도록 개발하였다.

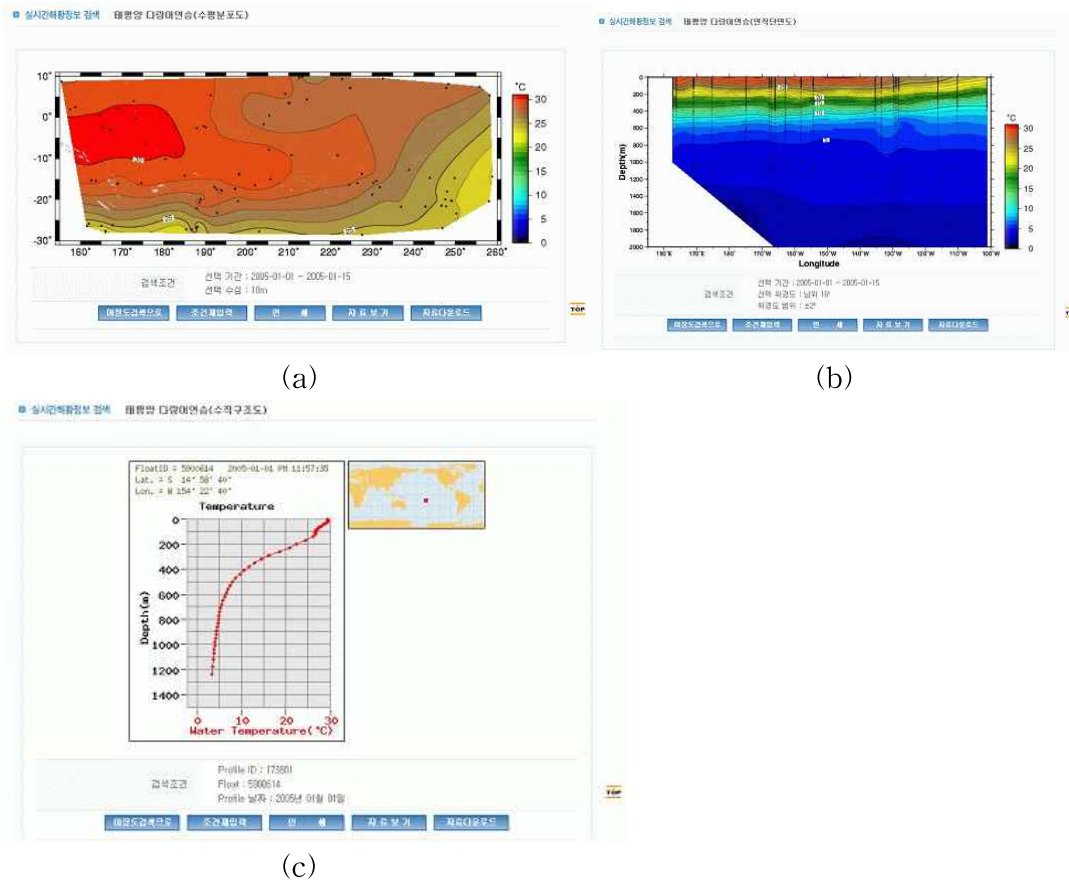


Fig. 3-31. Horizontal temperature distribution (a), vertical temperature distribution (b), and vertical profile (c) in the Tropical Pacific from Real-time ocean condition information system

#### 나. 전세계 어장정보 자료활용

급격히 증가하고 있는 선망어업의 주 대상어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 SST와 D20과의 관계를 비교하여 Argo 뜰개가 관측한 실시간 수온 자료의 원양어업 활용가능성에 대하여 연구하였다. 월별로 어획량이 많은 위치의 SST와 D20 평균값을 구하여 기준치로 정의하였고, 이미 형성되어 있는 어장의 어획량 정보와 Argo 자료를 이용하여 어획 가능성이 높은 해역을 예측하기 위하여 앞선 달의 기준치를 이용하여 ND(표준이격) 분포를 구하였다 (Fig.3-32.). ND가 0.3 이하인 해역에 어획이 대체로 이루어졌으므로 직전의 어획자료와 지속적으로 입수하고 있는 Argo 자료로부터 구한 ND 분포에서 0.3 이하인 해역에 대하여 우선적으로 어장탐색을 한다면 관련된 비용을 절감할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 영향이 큰 인자에게 가중치를 준다거나 생물자료와 같은 다른 자료를 추가하여 ND를 개선하면 어장 탐색의 정확성을 증진시켜 어획량 증대에 기여할 것으로 생각된다.

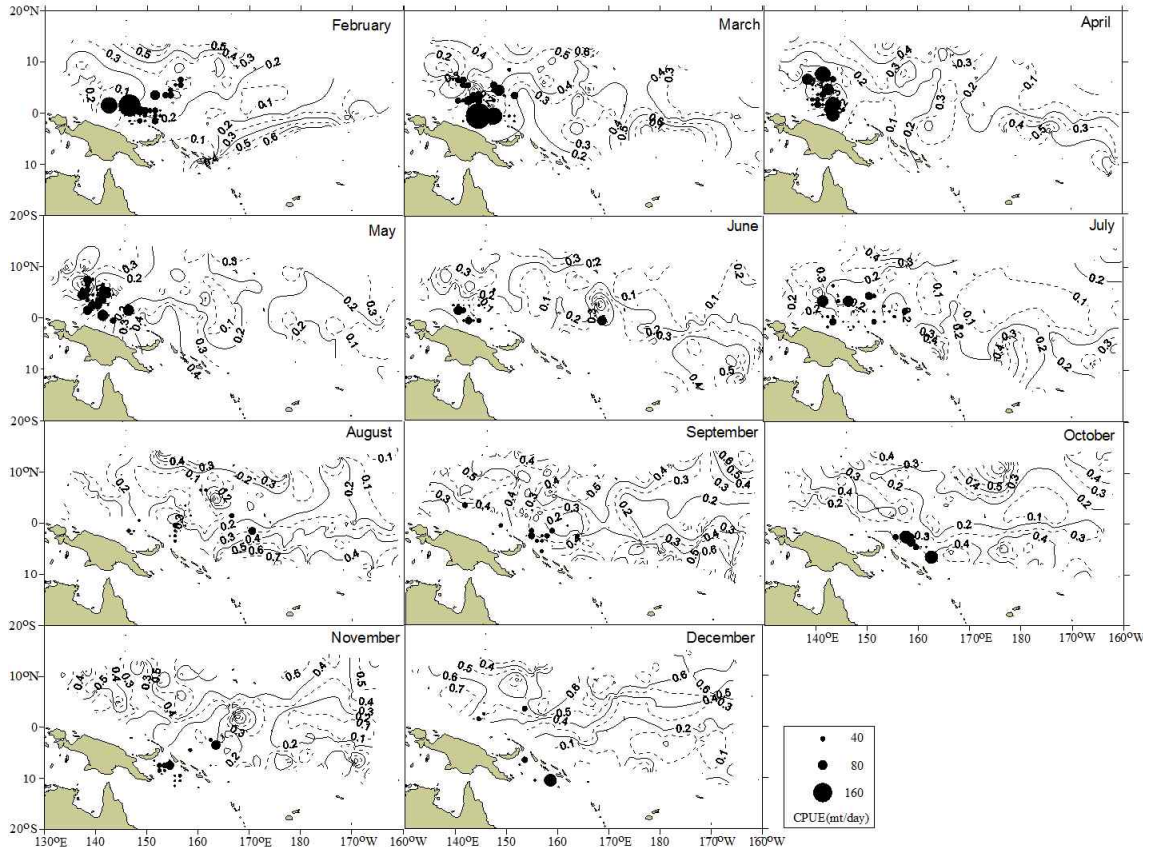


Fig. 3-32. Tuna CPUE and ND distribution estimated from D20 and SST of previous month

## 제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

### 제 1 절 연구 개발의 최종 목표 및 범위

국제 Argo 프로그램에 참여하여 국가적 위상을 높이고, 동해를 포함한 전 세계 해양에 대한 Argo자료를 체계적으로 관리함으로써 다방면에 걸친 연구를 수행하기 위한 기반을 마련하는 것이 연구의 목표이다. 또한 대기-해양모델 개발과 전지구적 기후변화 예측을 위한 자료를 제공한다. 이를 위해 Argo 및 관련 IOC프로그램에 참여하여 자료공유 및 국제협력 프로그램 수행을 하고 있으며 Argo뜯개 투하 및 뜯개 자료처리 자동화와 자료 품질 관리를 한다.

연구개발의 범위는 다음과 같다.

- 국제 ARGO 프로그램 참여
- 대상해역 뜯개 투하
- 뜯개자료처리의 자동화
- Argo 자료 활용 예비 연구
- KOC 산하에 한국Argo정보센터를 설립

## 제 2 절 연차별 연구 개발 달성도

총연구기간내 연차별 연구내용 대비 달성율(%)			
연차	연차별 달성내용	연차별 계획대비 연구실적 달성율	총연구기간 대비 연구진척율 (* )
1년차 (2007)	<input type="checkbox"/> 당해연도분 뜯개 투하 ○ 우리 연구원 연구선 이어도호 동해항차에 9대 투하 ○ IPY의 일환으로 독일채빙선 이용 3대의 뜯개 투하 준비 (남아공으로 발송 / 2008년초 투하예정) <input type="checkbox"/> 동해 중층순환의 구조 파악 ○ 정선관측 자료와 뜯개자료를 활용하여 동해 열염분순환의 특성 파악 ○ 동해 중층순환에서 중요한 인자인 용존산소 검증 <input type="checkbox"/> 자료처리 자동화 시스템 개선/운용	100%	40%
2년차 (2008)	<input type="checkbox"/> 당해연도분 뜯개 투하 ○ 우리 연구원 연구선 이어도호 동해항차에 11대 투하 ○ IPY의 일환으로 독일채빙선 이용 3대의 뜯개 투하 <input type="checkbox"/> 동해 중층순환의 구조 파악 ○ 동해 중층순환에서 중요한 인자인 용존산소 수직 profiles 구조 ○ Argo자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발 <input type="checkbox"/> 자료처리 자동화 시스템 개선/운용	100%	70%
3년차 (2009)	<input type="checkbox"/> 당해연차분 뜯개 투하 ○ 우리 연구원 연구선 이어도호 동해항차에 5대 투하 ○ 예산부족으로 국기기여분 목표 달성 불가 <input type="checkbox"/> ARGO 뜯개 자료를 이용한 관심 해역 해황 파악 ○ 뜯개자료를 활용하여 실시간 해황 분석 ○ 동해 울릉분지 주변의 중층에서 형성되는 타원형 와류 분석 <input type="checkbox"/> Argo 자료의 검증과 보정 ○ ARGO 뜯개가 동해에서 관측한 용존산소 자료의 보정 <input type="checkbox"/> 자료처리 자동화 시스템 개선/운용	70%	90%

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

### 제 1 절 활용방안

- 전 지구적으로 해양의 수온 변동 상태를 실시간으로 파악함으로써 수산자원의 효율적 관리 및 원양어업의 국제 경쟁력 제고
- 장기 기후변화 예측으로 국가 기후 정책 입안의 기초 자료 제공
- 기상예보기술의 산업화와 같은 해양예보기술을 산업화한다면 새로운 고용창출 기대
- 해양예보의 기초자료로 활용. 해양정책 결정시 요구되는 해양예보자료를 실시간으로 제공받음으로써 업무 효율의 극대화를 꾀할 수 있음
- 해난구조, 적조, 유출유 사고 등 긴급을 요하는 해양사고 현장에서 요구되는 해양예보자료의 실시간 제공으로 업무 효율의 극대화 가능
- 해양환경 모니터링을 요구하는 해양투기장, 해양목장 주변해역에 대한 해양예보자료 제공
- 해류의 장기변동을 이해함으로써 연안역의 통합적인 효과적 관리 가능

### 제 2 절 기대성과 및 예상 파급 효과

#### <기술적 측면>

- 상대적으로 관심이 부족했던 해양과학분야의 국제기구 참여를 활성화할 수 있는 계기로 삼을 수 있으며, 유네스코 산하 정부간 해양과학위원회(IOC)에서 아국 위상을 제고함
- El Nino를 비롯한 태평양 해역 3차원 해양구조 정기 감시체제를 구축함
- 지구규모 및 열대태평양 기원 기후변동이 한반도의 해양과 기상에 미치는 영향의 정량적 평가를 시도할 수 있음
- 지구온난화에 따른 한반도 해양환경 변화와 이상기상 예측에 활용가능
- 인공위성을 이용한 해표면 자료와 함께 뜰개에 의하여 관측된 자료를 해양예보모델에 실시간 동화시킴으로서 해양예보 정확도를 개선함
- 해양순환 및 변동성의 역학적 이해를 통해 선진국형 기후변화 예측력 확보와 한국형 기후변화 예측기술 정립이 가능함

<경제·산업적 측면>

- 국제협력을 통해 적은 투자(50억)로 전세계적으로 3,000여대의 뜰개에 의한 측정자료(1,500억 상당)를 확보할 수 있음
- 선박이 경제적 항로 결정에 요구되는 해양예보자료 제공
- 항만, 연안역 개발 공사 등에서 해양예보자료를 이용한 환경평가작업이 보다 경제적이고 용이해짐



## 제 6 장 참고 문헌

- 박지수, 석문식, 윤석, 유신재, 2008. 북서태평양의 표층엽록소 변동성, *Ocean and Polar Research*, 30(3), 277-287.
- 양준용, 석문식, 서영상, 정희동, 허승, 2008, Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해양정보시스템 개발연구, *한국환경과학회지*, 17(4), 461-468.
- 양준용, 강성윤, 고우진, 서영상, 서장원, 석문식, 2008, 태평양 Argo 자료의 지연모드 품질관리 및 검증연구, *한국환경과학회지*, 17(12), 1353-1361.
- 한국해양연구원 2006. 국제공동해양조사연구 (ARGO), 175pp, 한국해양연구원 BSPE97001-1924-1.
- 한국해양연구원 2001. 국제Argo프로그램 참여를 위한 기획연구, 196pp.
- Argo delayed-mode management team, 2006. Argo quality control manual Version 2.1.
- Bohme, L. and U. Send, 2005. Objective analyses of hydrographic data for referencing profiling float salinities in highly variable environments. *Deep-Sea Research II*, 52/3-4, 651-664.
- Bretherton, F. P., R. E. Davis, and C. B. Fandry (1976), A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73, *Deep-Sea Res.*, 23, 559-582.
- Kim, K., K.-R. Kim, Y.-G. Kim, Y.-K. Cho, D.-J. Kang, M. Takematsu and Y. Volkov, 2004. Water masses and decadal variability in the East Sea(Sea of Japan). *Progress in Oceanography*, 61, 157-174.
- Kobayashi, T. and S. Minato, 2005. Importance of reference dataset improvements for Argo delayed-mode quality control. *Journal of Oceanography*, Vol. 61, No. 6, 995-1009.
- Park, J. J. and K. Kim, 2007. Evaluation of calibrated salinity from profiling floats with high resolution conductivity-temperature-depth data in the East/Japan Sea. *Journal of Geophysical Research*, 112, C05049, doi:10.1029/2006JC003869.

- Park, Y.-G, K.-H. Oh, K.-I. Chang, and M.-S. Suk, 2004. Intermediate level circulation of the southwestern part of the East/Japan Sea estimated from autonomous isobaric profiling floats, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13213, doi:1029/2004GL020424.
- Oh, K.-H, Y.-G, Park, and M.-S. Suk, 2004. Accuracy and stability of temperature and salinity obtained from Argo floats, [*the Sea*] *J. of Korean Society of Oceanography* (in Korean).
- Takematsu, M., Z. Nagano, A.G. Ostrovskii, K. Kim and U. Volkov (1999). Direct measurement of Deep Currents in the Northern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, 55, 207-216.
- Teague, W.J., K.L. Tracey, D.R. Watts, J.W. Book, K.-I. Chang, P.J. Hogan, D.A. Mitchell, M.-S. Suk, M. Wimbush and J.-H. Yoon (2005). Observed deep circulation in the Ulleung basin. *Deep Sea Res. II*, 52, 1802-1826.
- Roemmich D., and the Argo Steering Team, 2009. Argo: the challenge of continuing 10 years of progress, *The Oceanography*, Vol.22(3), 46-55.
- Yun, J.-Y., L. Magaard, K. Kim, C.-W. Shin, C. Kim and S.-K. Byun (2004). Spatial and temporal variability of the North Korean Cold Water leading to the near-bottom cold water intrusion in Korea Strait. *Prog. in Oceanography*, 60, 99-131.
- Wong, A.P.S., G.C. Johnson, and W.B. Owens, 2003. Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by  $\Theta$ -S climatology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 308-318.
- Wong, A.P.S., Owen W. B., 2008, An improved calibration method for the drift of the conductivity sensor on autonomous CTD profiling floats by  $\Theta$ -S climatology, in press.

## <부록 I> 자연모드 품질관리 결과 보고서

제 2007-16호

2007.11.2

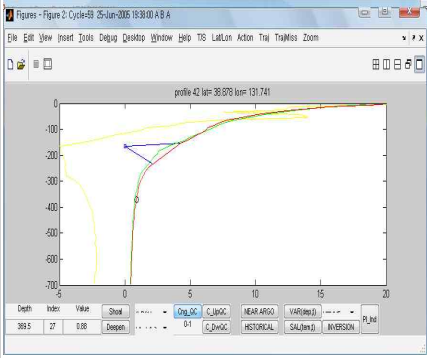
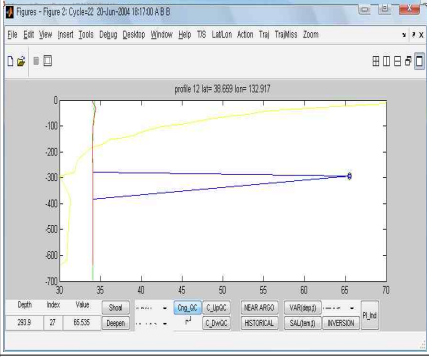
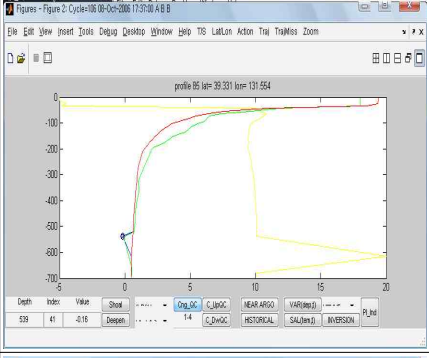
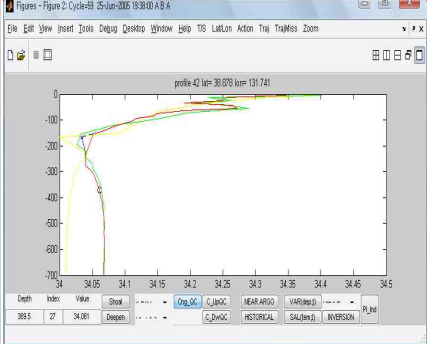
### Argo 자료 자연모드 품질관리 결과

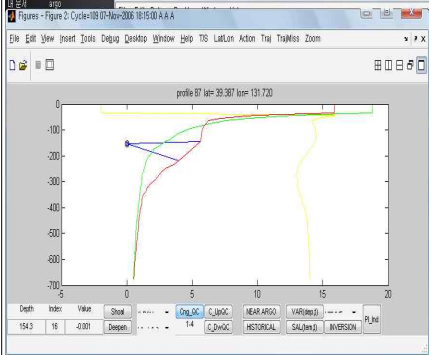
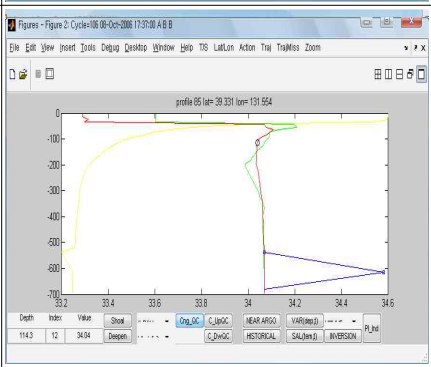
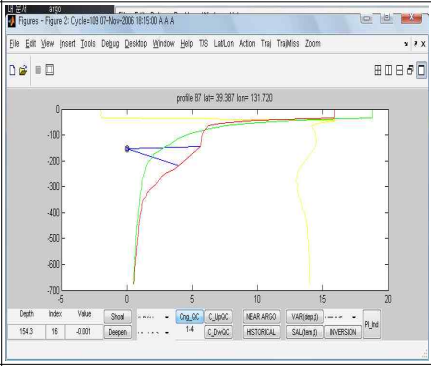
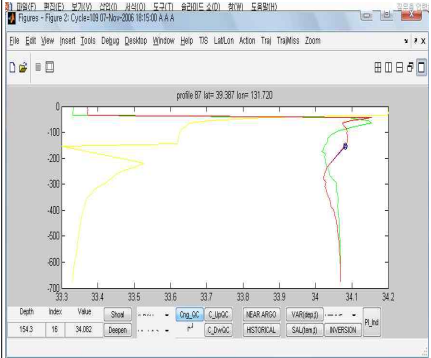
품질관리대상 플로트의 기본정보

플로트 ID/투하해역	2900326/동해	
대상 프로파일	003~118 (103개)	
첫 번째 프로파일 (2900326_003)	일자	2003년 12월 13일
	위도	37.17°N
	경도	130.81°E
마지막 프로파일 (2900326_142)	일자	2007년 10월 03일
	위도	37.79°N
	경도	130.65°E
자료센터	KORDI	
연구책임자	Moon-Sik Suk	
INST_REFERENCE	APEX-Profiling Float	

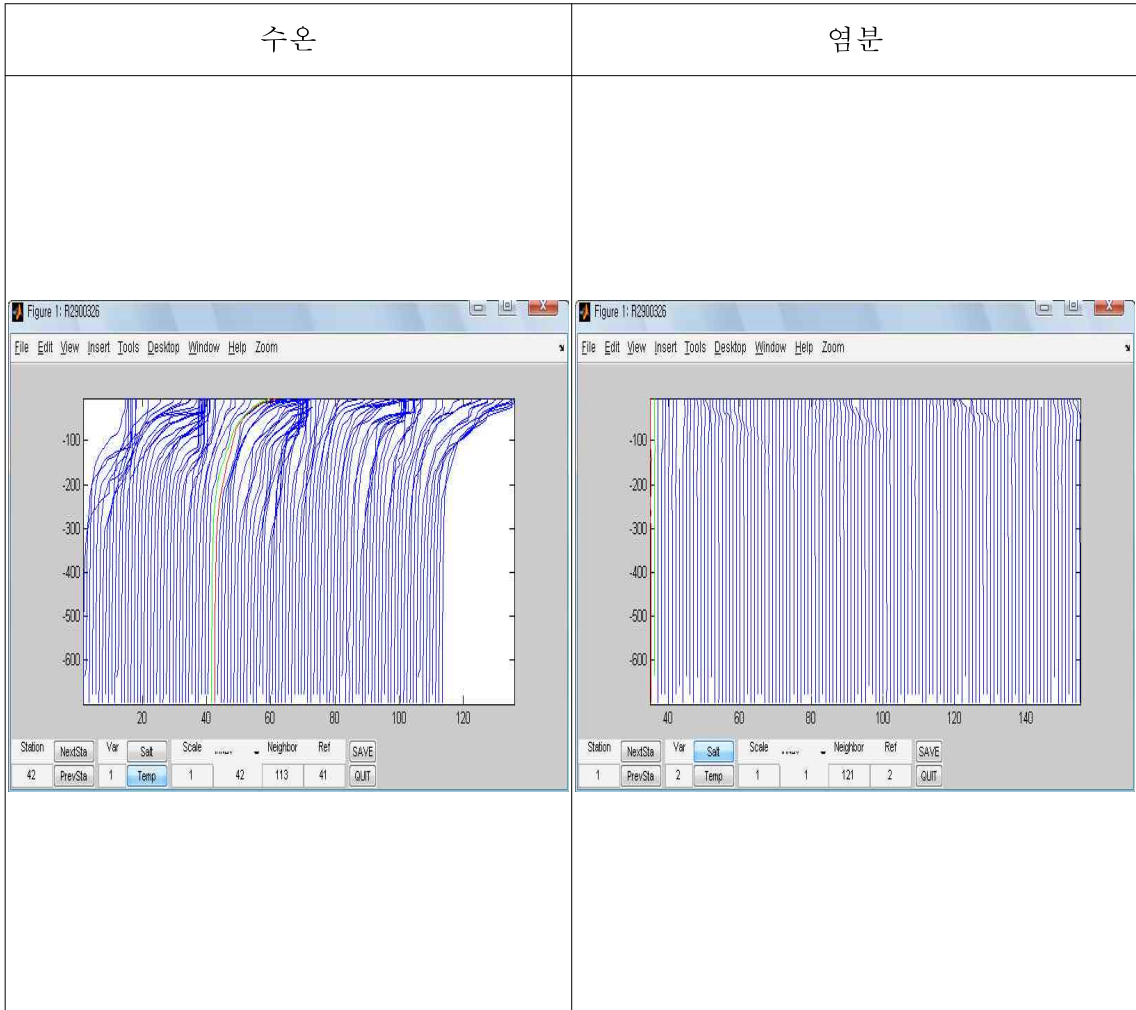
□ 품질관리 사전 검정

- SIO GUI V2.0 (Argo Dmode Matlab GUI) 사용
- 검정 결과표

일련번호	플로트 ID _ 프로파일	문제점
1/8	2900326_022	Temperature spike 
2/8	2900326_022	Salinity Spike 
3/8	2900326_059	Salinity Spike 
4/8	2900326_059	Temperature spike (염분이 이상할 경우 수온도 이상으로 처리) 

5/8	2900326_106	Temperature spike	
6/8	2900326_106	Salinity Spike	
7/8	2900326_109	Temperature spike	
8/8	2900326_109	Salinity Spike (수온이 이상할 경우 염분도 이상으로 처리)	

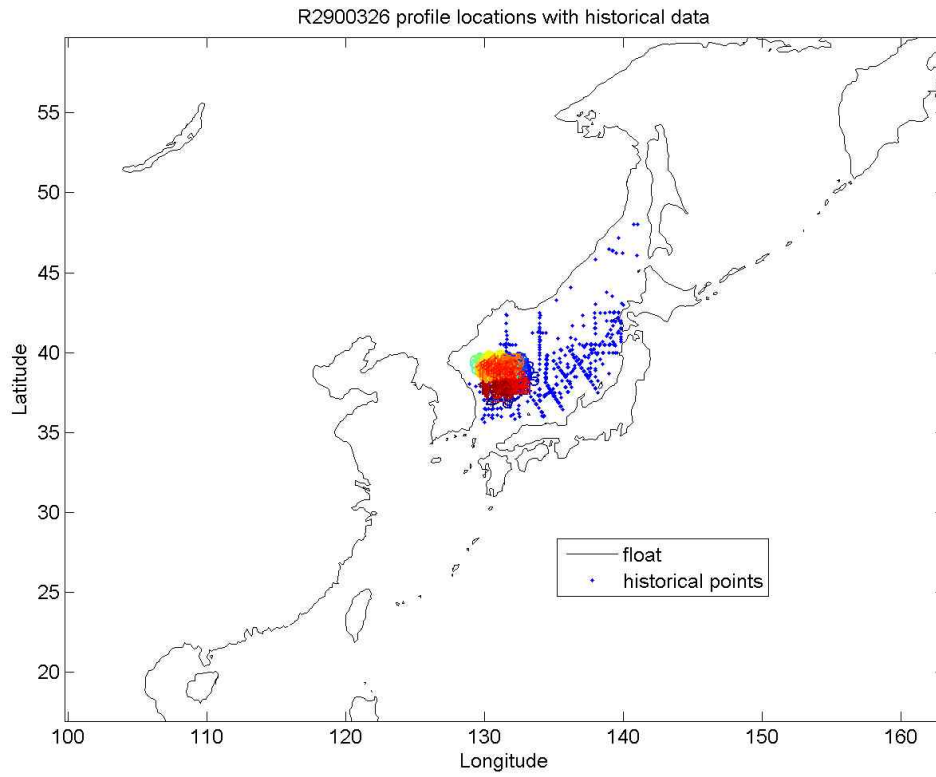
- 점검 완료 후 프로파일



□ WJO 실행 결과

- Reference database는 ESHB V1.0 이용

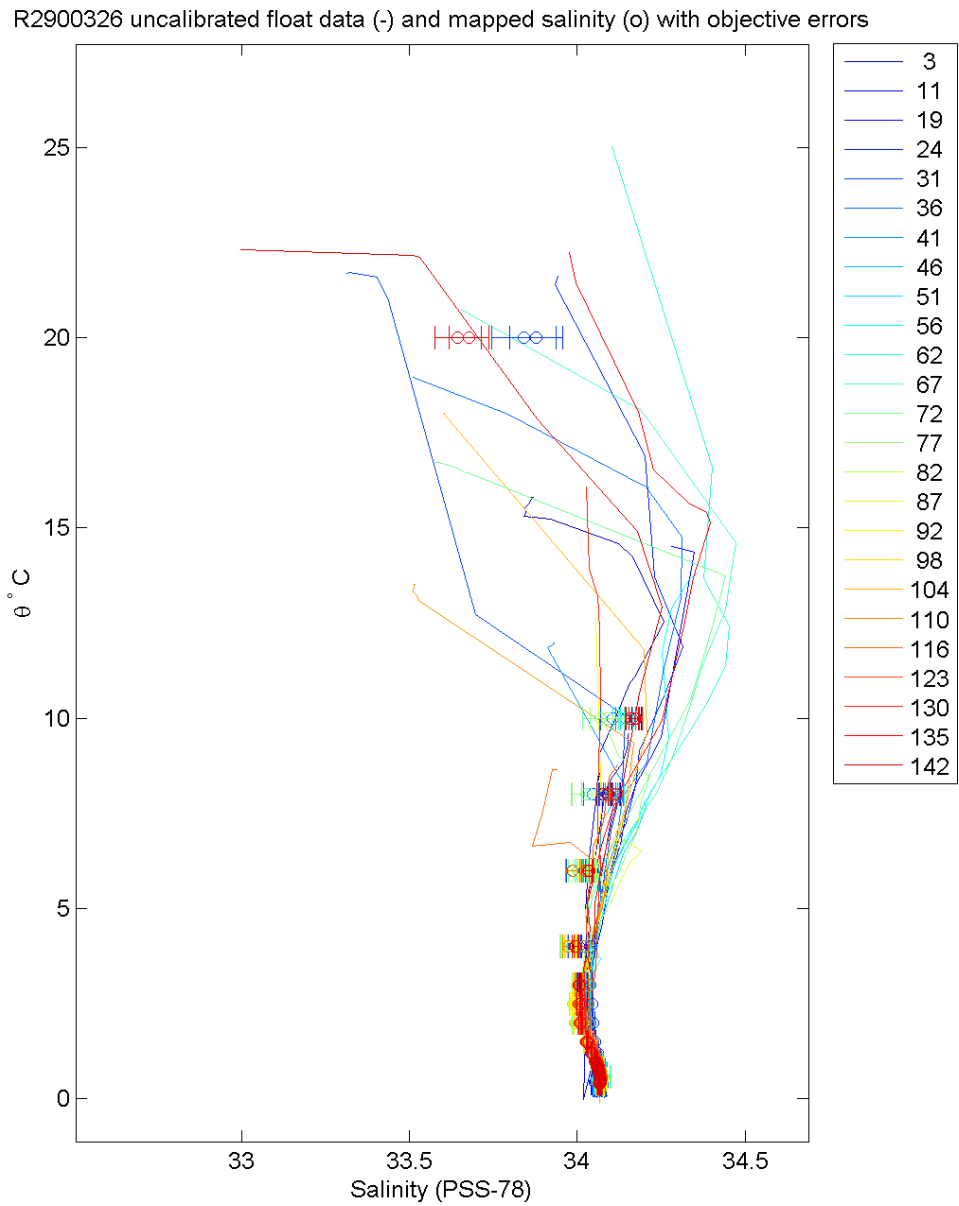
① 대상 프로파일의 위치



Reference Database에서 선택한 자료 위치(파란색 점) 이동궤적(선)

② RT염분(PSAL) 과 평균염분(Mapped SAL)

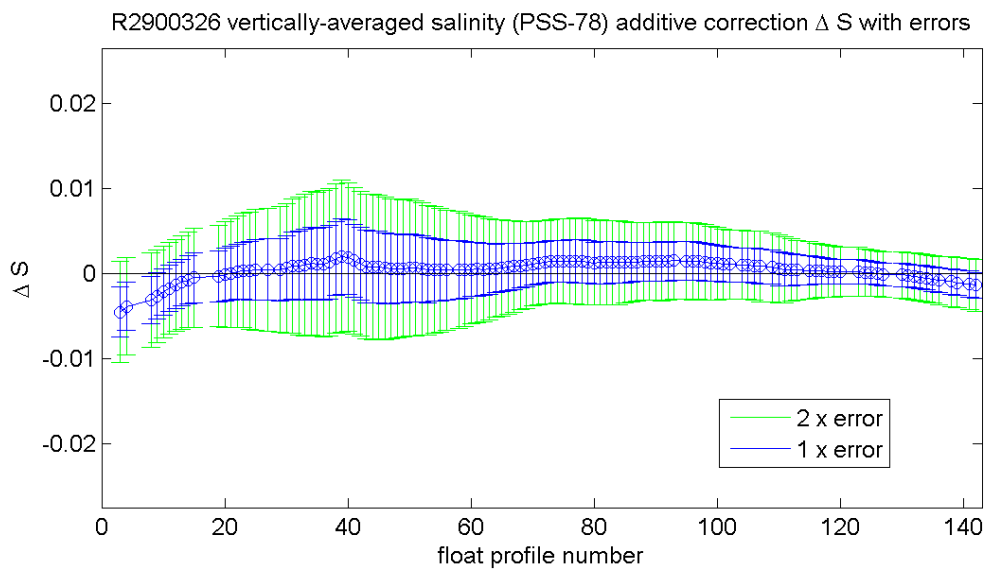
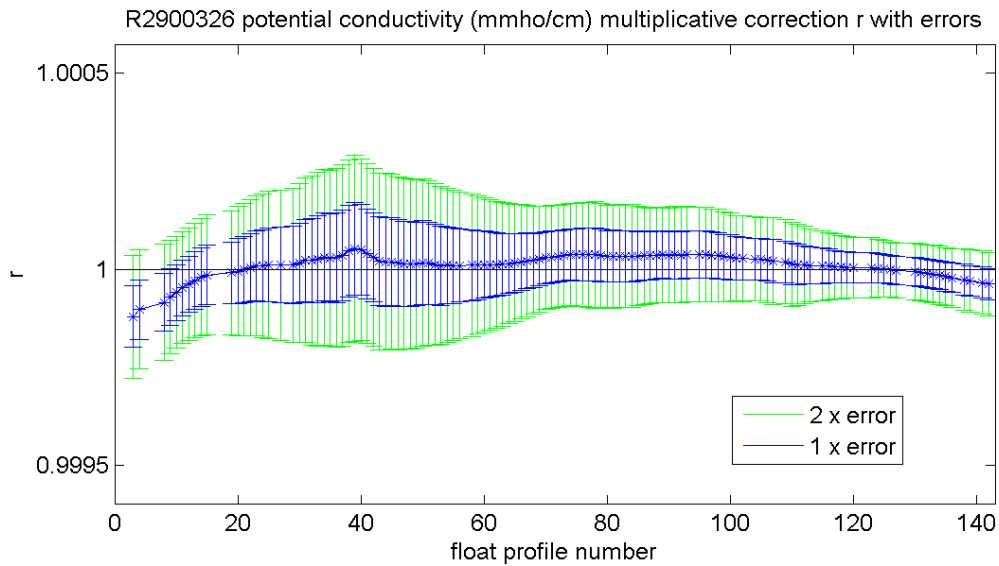
RT염분은 PSAL(Uncalibrated salinity, R-file의 염분)으로 즉, 보정전의 염분을 의미하며, 평균염분(Mapped SAL: objectively mapped reference salinity) 은 기준자료로부터 계산한 각 프로파일 위치에 해당되는 염분을 의미한다.





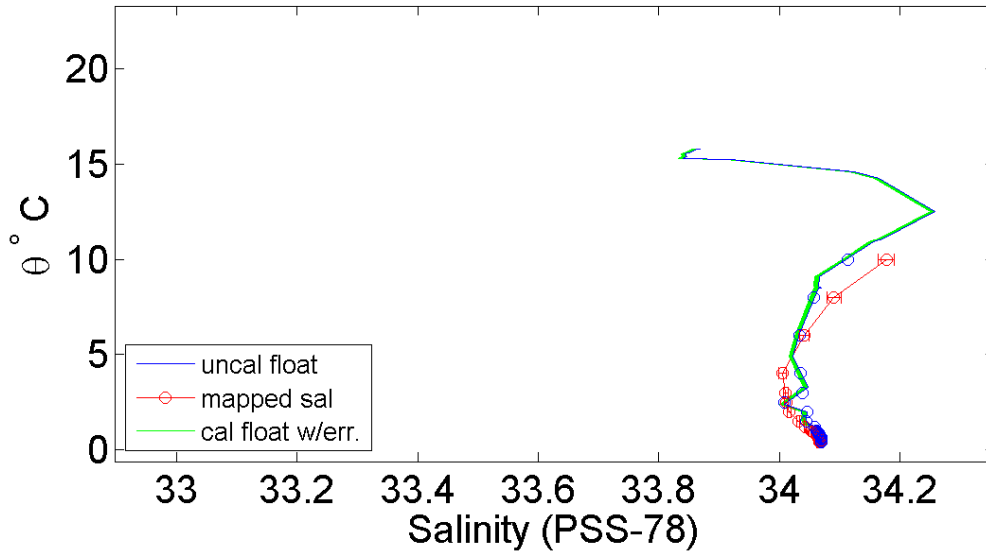
③  $\Delta S(\text{보정치}) = \text{보정염분}(\text{CAL\_SAL}) - \text{RT염분}(\text{PSAL})$

보정염분(CAL\_SAL: Calibrated salinity) 은 WJO 방법으로 보정한 후의 염분을 의미한다.

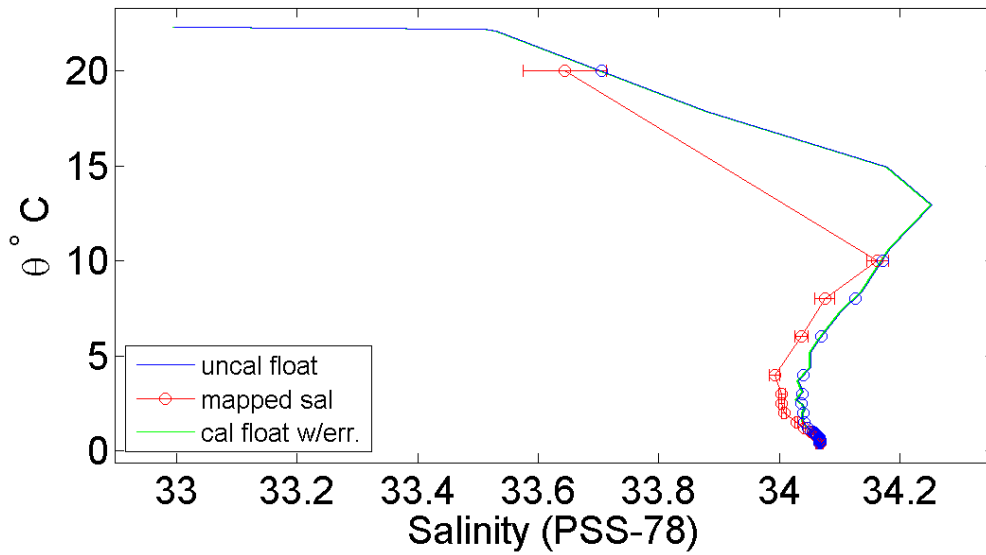


- ④ RT염분(PSAL/uncal float), 보정염분(CAL\_SAL/cal float),  
 평균염분(Mapped SAL)

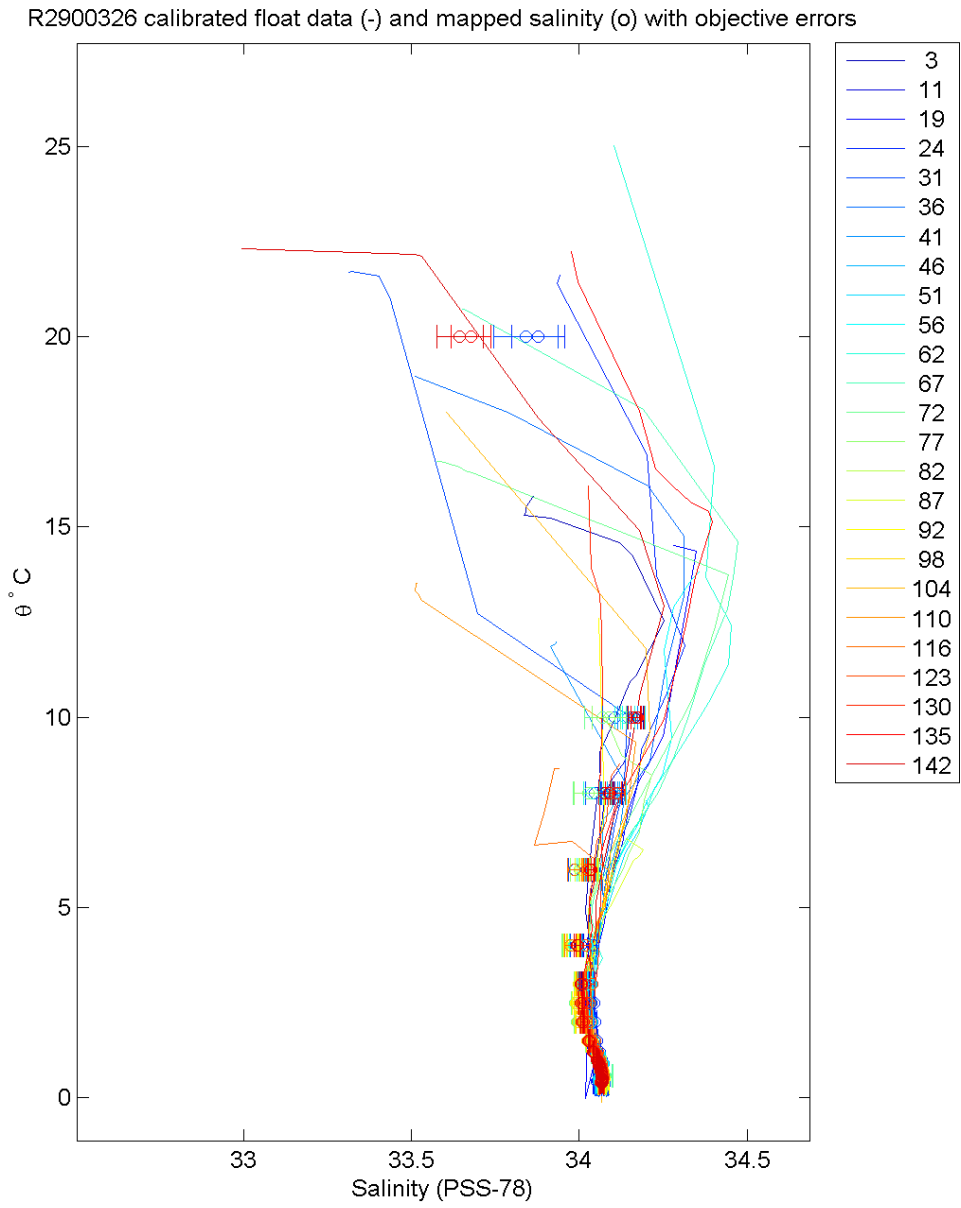
R2900326  $\theta$ -S curve for profile #3



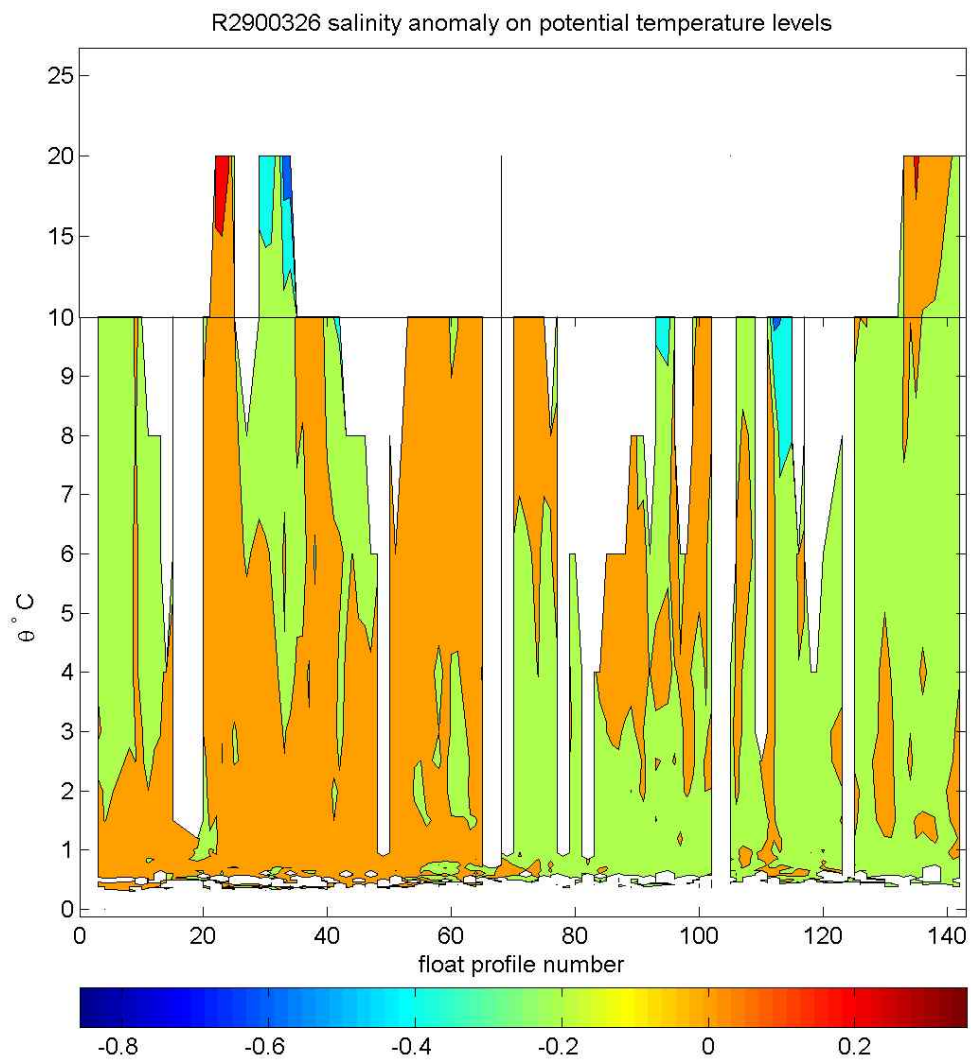
R2900326  $\theta$ -S curve for profile #142



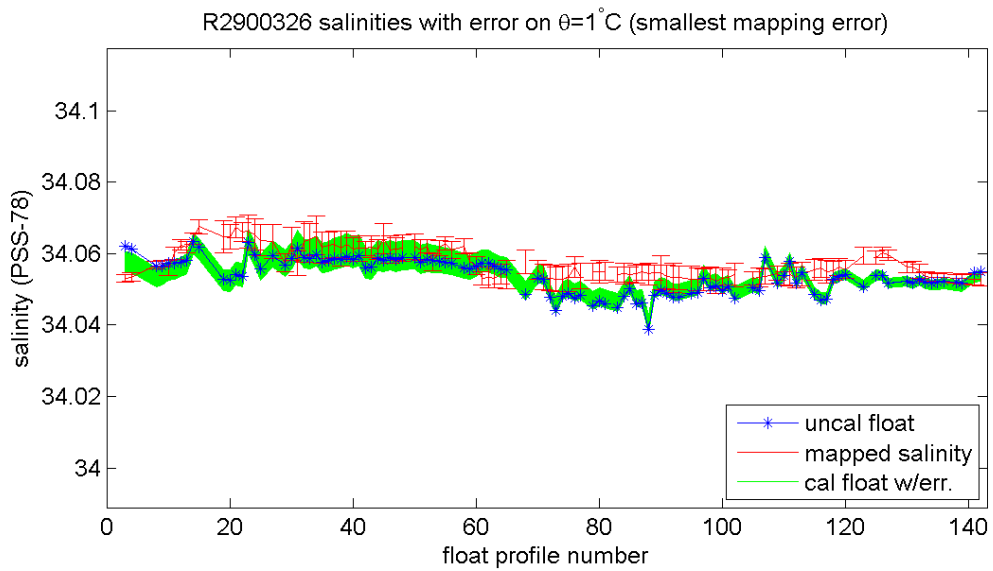
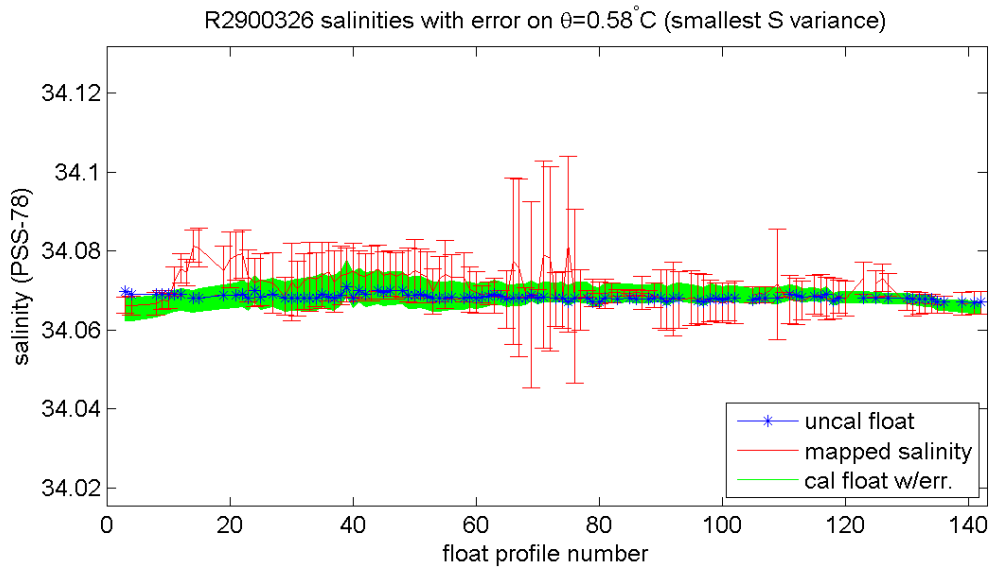
⑤ 보정염분(CAL\_SAL)과 평균염분(Mapped SAL)



- ⑥ 프로파일 번호와  $\theta$ (Potential temperature) 영역에서 보정치( $\Delta S = \text{보정염분} - \text{RT염분}$ )의 분포



- ⑦ 염분변화가 가장 적은 온위(Potential temperature)에서의 RT염분, 평균염분, 보정염분(위)과 Mapping error가 가장 작은 온위에서의 RT염분, 평균염분, 보정염분(아래)



## □ 검토의견

### 1. 압력

- SIO GUI V2.0 (Argo Dmode Matlab GUI)로 이용하여 눈으로 확인한 결과 이상없음

⇒ Action

PRES\_ADJUSTED = PRES (사전검정의 이상치는 FillValue)

PRES\_ADJUSTED\_ERROR = 2.4 (기계오차)

PRES\_ADJUSTED\_QC = '1' (사전검정의 이상치는 '4')

### 2. 수온

- SIO GUI V2.0 (Argo Dmode Matlab GUI)로 이용하여 눈으로 확인한 결과 이상없음

⇒ Action

TEMP\_ADJUSTED = TEMP (사전검정의 이상치는 FillValue)

TEMP\_ADJUSTED\_ERROR = 0.002 (기계 오차)

TEMP\_ADJUSTED\_QC = '1' (사전검정의 이상치는 '4')

### 3. 염분

- WJO 방법에 의한 보정치( $\Delta S$ )가 보정염분의 통계적 오차보다 작으므로 보정이 필요없다(WJO 실행결과의 ③ 참조).

예) 2900326\_003의 수층 평균 보정치( $\Delta S$ ) : 0.0045

2900326\_003의 Statistical uncertainty : 0.0030

⇒ Action

PSAL\_ADJUSTED = PSAL (사전검정의 이상치는 FillValue)

PSAL\_ADJUSTED\_ERROR = statistical uncertainty or  
uncertainty provided by PI

PSAL\_ADJUSTED\_QC = '1' (사전검정의 이상치는 '4')

### 4. SCIENTIFIC\_CALIB\_COMMENT

- = No significant salinity drift detected. The quoted error is 2 x uncertainty in WJO Least Squares fit.

( 2900326\_003, 004, 008)

- = No significant salinity drift detected. The quoted error is 1 x uncertainty in WJO Least Squares fit.

( 2900326\_009 ~ 2900326\_118)

5. History information

HISTORY\_ACTION = IP (전과정 수행)

HISTORY\_INSTITUTION = KD (KODC)

HISTORY\_PARAMETER = PSAL

HISTORY\_REFERENCE = ESHB

HISTORY\_SOFTWARE = WJO

HISTORY\_STEP = ARSQ (지연모드 품질관리 수행)

# 부 록 Ⅱ



# Argo

## THE CHALLENGE OF CONTINUING 10 YEARS OF PROGRESS

BY DEAN ROEMMICH AND THE ARGO STEERING TEAM

A PROVOR float shortly before recovery  
by Japan Coast Guard Vessel *Takuyo*.  
*Courtesy of K. Suehiro, Japan Coast Guard*

**ABSTRACT.** In only 10 years, the Argo Program has grown from an idea into a functioning global observing system for the subsurface ocean. More than 3000 Argo floats now cover the world ocean. With these instruments operating on 10-day cycles, the array provides 9000 temperature/salinity/depth profiles every month that are quickly available via the Global Telecommunications System and the Internet. Argo is recognized as a major advance for oceanography, and a success for Argo's parent programs, the Global Ocean Data Assimilation Experiment and Climate Variability and Predictability, and for the Global Earth Observation System of Systems. The value of Argo data in ocean data assimilation (ODA) and other applications is being demonstrated, and will grow as the data set is extended in time and as experience in using the data set leads to new applications. The spatial coverage and quality of the Argo data set are improving, with consideration being given to sampling under seasonal ice at higher latitudes, in additional marginal seas, and to greater depths. Argo data products of value in ODA modeling are under development, and Argo data are being tested to confirm their consistency with related satellite and in situ data. Maintenance of the Argo Program for the next decade and longer is needed for a broad range of climate and oceanographic research and for many operational applications in ocean state estimation and prediction.

## INTRODUCTION

Data assimilating models of the historical ocean for the period 1950–2000 are limited to using subsurface data sets that were “opportunistic” in nature rather than purposefully designed for regular global coverage, and are consequently deficient in some respects. The historical data were collected mostly for regional objectives and were restricted to the tracks of research vessels and commercial ships. These limitations ensured sparseness and inhomogeneity in spatial and temporal data distribution, even in the relatively well-sampled Northern Hemisphere oceans. Few measurements were collected south of 30°S. In addition to sparseness, the historical data are of uneven quality, with a mixture of instrument types and problems due to systematic errors (e.g., Wijffels et al., 2008).

The Argo Program presents a unique opportunity to correct many of these shortcomings in order to obtain more

continuous, consistent, and accurate sampling of the present-day and future states of the ocean. Profiling float technology removes the constraint of needing to have a ship present at the time of measurement, making it possible to obtain high-quality data anywhere at any time. Argo is designed to observe large-scale (seasonal and longer, thousand kilometer and larger) subsurface ocean variability globally (Roemmich et al., 1999). The combination of the array's high-quality temperature and salinity sensors and its comprehensive data management system produces climate-quality data, with new techniques being developed to identify and minimize systematic errors. With the global array providing 9000 temperature/salinity profiles per month (Figure 1), Argo has far surpassed its historical precursors in data coverage and accuracy.

Here, we summarize plans for

enhancing Argo's value in the coming years, with attention to ocean data assimilation (ODA) applications. The next section describes plans that include improvements to data coverage and to data quality, followed by a section describing gridded Argo data products, how they differ from historical counterparts, and their effectiveness in resolving large-scale variability for comparison and evaluation of ODA models. The final section addresses the need to examine the consistency of Argo and in situ and satellite-derived surface data sets. Consistency is a key issue for integrating global observations through ODA models.

## THE EVOLUTION OF ARGO

### New Argo Domains, Sensors, and Sampling Enhancements

Argo is a broad-scale array designed to accumulate about 100 profiles per season in every 10° square of ocean. The array is not eddy-resolving, but eddy noise is reduced by averaging over many profiles in a region to estimate large-scale variability. The design was based on statistics from satellite altimetric height and from earlier subsurface ocean data sets (Roemmich et al., 1999). The prescribed 3° x 3° x 10-day spacing of the array between 60°S and 60°N decreases the distance between instruments with increasing latitude, but not as steeply as the statistics of variability indicate to be appropriate (e.g., Stammer, 1997). The present design is a compromise made for accurate mapping of tropical climate variability (see section below on “The Argo-Era Global Ocean”) while taking a more exploratory approach to the high-latitude ocean. Using five years of global Argo data accumulated from 2004–2008,

and simultaneous altimetric height data, the Argo design is being revisited. An important question is whether interannual variability at middle and high latitudes is being resolved adequately. Argo should be sustained in order to increase the value of its present five-year global time series, but it can evolve for greater efficiency and effectiveness.

Beyond the design of the Argo array, recent developments in profiling float technology create opportunities for extending Argo's core objectives (Roemmich et al., 2009). Some floats are now active in the seasonally ice-covered zones poleward of 60°. What should be Argo's sampling plan for the high-latitude ocean, and how many

additional floats are needed there? Glider technology (Davis et al., 2002) makes systematic sampling of ocean boundary currents a possibility. What are the global requirements for high-resolution sampling in the boundary currents and marginal seas, to complement the broad-scale Argo array? New sensors for biological and geochemical parameters, for wind and rainfall, and for better sampling of temperature and salinity structure in the ocean's surface layer could all increase Argo's value, but also its cost. The addition of oxygen sensors to Argo floats holds high promise for addressing global carbon cycle issues (Riser and Johnson, 2008), and over 100 Argo floats are presently equipped

with oxygen sensors. Prototype floats carrying many other new sensors have been deployed. Present float designs are not capable of operating below 2000 m, but such measurements may be required because decadal climate signals are known to extend into the deepest layers. Deep sampling will require developmental work on both floats and sensors. Careful planning is needed to determine effective strategies for deployment of any extensions to the Argo array.

### Improving Argo Implementation

Evolving the Argo Program not only means reviewing its design and objectives, but also improving its implementation with respect to the original

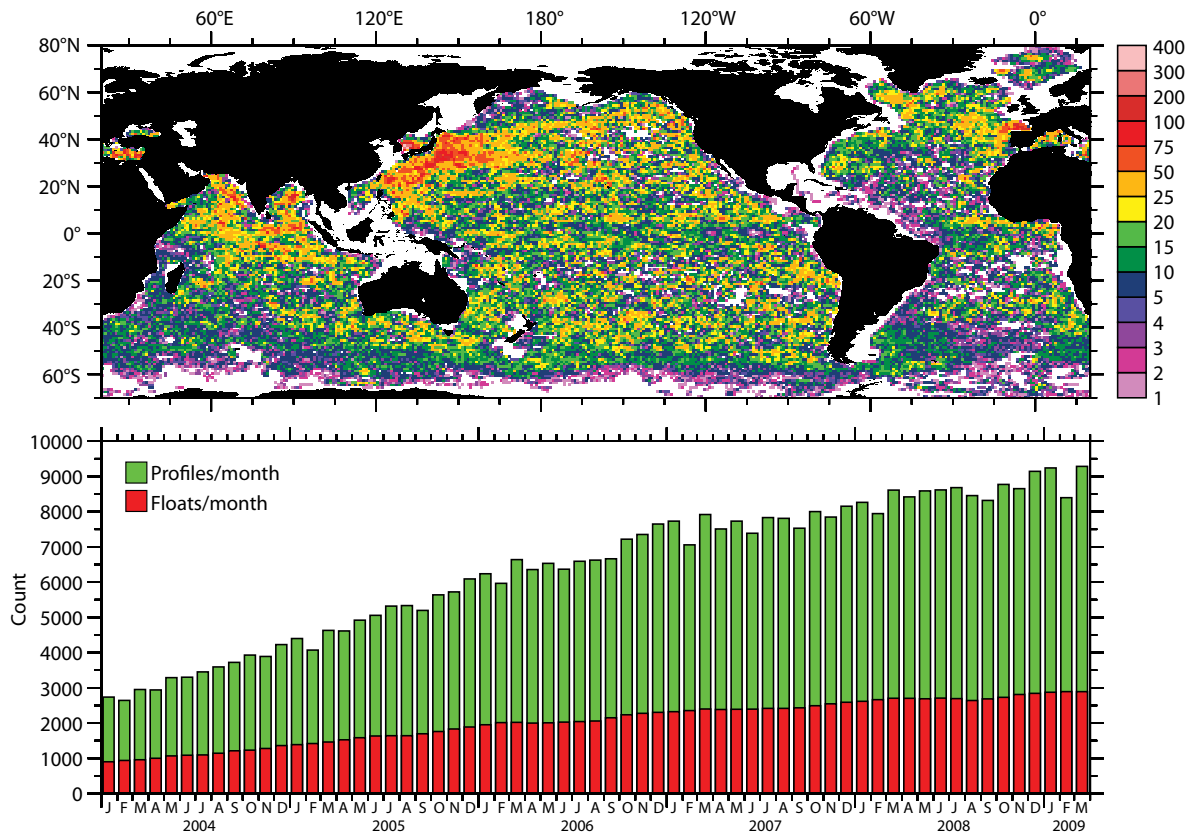


Figure 1. (Top) Map of the number of good Argo profiles obtained in each 1° x 1° box during the period January 2004 to March 2009. (Bottom) Number of floats per month (red) providing good data and number of good profiles per month (green).



objectives. Although more than half of active Argo floats are presently south of the equator, the Southern Hemisphere is under-sampled relative to the original program design (Figure 2). Indeed, over the Southern Hemisphere, the present Argo array is more than 500 floats short of its designed number. This shortfall in the number of floats, in spite of Argo having achieved 3000 active instruments, is due to a combination of factors. Many floats are deployed in marginal seas or poleward of 60°, and although these are of value, they were not considered in Argo's original design. Other instruments are not producing good profile data due to technical failures, which is being corrected through deployment of improved instruments. The coverage shortfall requires increased attention to Southern Hemisphere deployments by Argo national programs. Occasional ship visits to the remote regions of the ocean are essential for maintaining Argo. Although Argo is producing more profile data south of 30°S during a single austral winter than were produced in the entire pre-Argo history of oceanography (Figure 3), the program is not yet achieving its ambitious sampling objective there (Figure 2).

Another key objective in Argo implementation is to minimize systematic errors in the data stream (see also Le Traon et al., 2009). Two such systematic errors in Argo data have been identified and to a large extent corrected. First, over a period of years, slow drift in conductivity measurements occurs in some floats, due to biofouling or other causes. This drift can be corrected through careful statistical comparison of sequences of float salinity values to nearby high-quality profiles (Wong et al.,

2003), which might consist of either shipboard conductivity-temperature-depth (CTD) data or nearby float data.

Second, pressure offsets have been identified in some floats (e.g., Willis et al., 2007; Uchida and Imawaki, 2008),

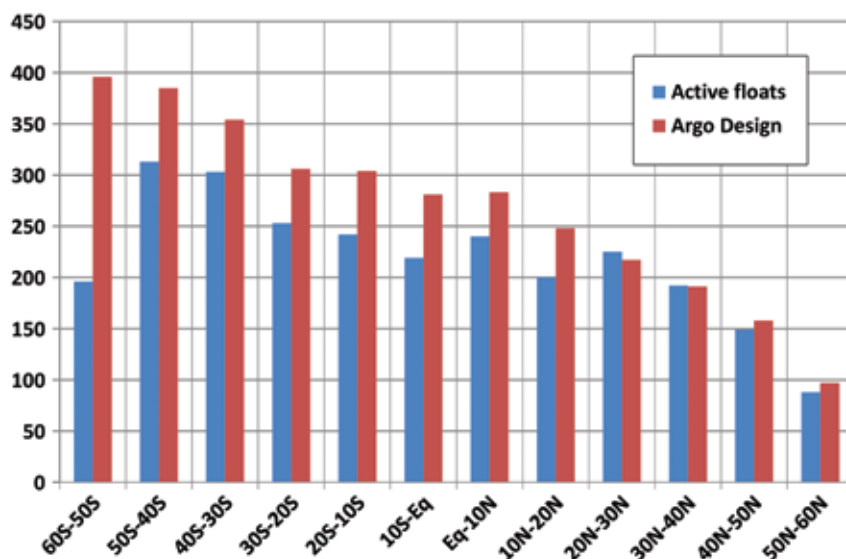


Figure 2. Blue bars show the number of Argo floats per 10° of latitude providing good profile data as of March 2009, excluding those in marginal seas. Red bars show Argo's design requirement for 3° x 3° open ocean sampling.

**Dean Roemmich** ([droemmich@ucsd.edu](mailto:droemmich@ucsd.edu)) is Professor, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego (UCSD), La Jolla, CA, USA. Members of the Argo Steering Team are (alphabetically): **Mathieu Belbéoch** (Argo Information Centre, France), **Howard Freeland** (Fisheries and Oceans, Canada), **Sylvia L. Garzoli** (National Oceanic and Atmospheric Administration, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, USA), **W. John Gould** (National Oceanography Centre, Southampton [NOCS], UK), **Fiona Grant** (Irish Marine Institute, Ireland), **Mark Ignaszewski** (Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center, USA), **Brian King** (NOCS, UK), **Birgit Klein** (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Germany), **Pierre-Yves Le Traon** (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer [Ifremer], France), **Kjell Arne Mork** (Institute of Marine Research, Norway), **W. Brechner Owens** (Woods Hole Oceanographic Institution, USA), **Sylvie Pouliquen** (Ifremer, France), **Muthalagu Ravichandran** (Indian National Centre for Ocean Information Services, India), **Stephen Riser** (University of Washington, USA), **Andreas Sterl** (Royal Netherlands Meteorological Institute, Netherlands), **Toshio Suga** (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan), **Moon-Sik Suk** (Korea Ocean Research & Development Institute, Korea), **Philip Sutton** (National Institute of Water & Atmospheric Research, New Zealand), **Virginie Thierry** (Ifremer, France), **Pedro J. Vélaz-Belchí** (Instituto Español de Oceanografía, Spain), **Susan Wijffels** (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Marine and Atmospheric Research, Australia), and **Jianping Xu** (Second Institute of Oceanography/ State Oceanic Administration, China).

resulting from pressure sensor drift and from errors in float software. Such systematic errors, some of which were not anticipated, highlight the need for rapid identification and prompt correction of hardware errors or software flaws. A promising technique for detecting systematic errors is comparison of satellite altimetric height with Argo steric height from sequences of profiles and flagging large differences for more careful examination (Guinehut et al., 2009). Another technique is the use of climatological data for flagging statistical outlier profiles and instruments, a capability that is being improved (Gaillard et al., 2009) as Argo-era data supplement earlier data sets with more appropriate mean and variability statistics.

Because few Argo floats can be recovered for sensor recalibration, the final quality of Argo data will depend on the existence and availability of high-quality shipboard CTD data. Shipboard CTD transects are useful not only to detect systematic errors in Argo float data but also in joint analyses with Argo data for better description of interannual to

multidecadal signals in the ocean. For example, recent work of Argo Steering Team member Pedro Vélez-Belchí and colleagues compares Argo data in the North Atlantic with nearby CTD data collected by the UK's 2001–2007 Rapid Climate Change program, showing similar multidecadal changes in these data sets relative to earlier transects along 24.5°N.

The Argo array is not yet “complete” with respect to its original design and objectives. The highest priority for Argo's international partnership is to implement further improvements in data coverage and quality to meet these requirements. At the same time as the Argo Program is being improved and maintained for its original goals, extensions to the array should be introduced carefully to increase Argo's long-term value.

### THE ARGO-ERA GLOBAL OCEAN Argo and Historical Data Sets

A key step in demonstrating the value of Argo is to show how well it represents the present-day ocean, including

mean, annual-cycle, and large-scale variability. In modeling applications, data climatologies are used as initial states for predictive models, or as mean states with known variance, to limit unrealistic model variability and trends. Climatologies based on Argo data are more realistic representations of the modern ocean than historical data climatologies for several reasons. First, the ocean has changed substantially in the past several decades, becoming warmer overall (e.g., Domingues et al., 2008; Levitus et al., 2005, 2009), and exhibiting significant regional changes in temperature/salinity characteristics (Wong et al., 1999; Curry et al., 2003; Boyer et al., 2005). Second, the Argo-era ocean is better sampled than the historical ocean, especially in the Southern Hemisphere (Figure 3), leading to lower estimation errors. For the first time, it is possible to construct mean temperature and salinity fields for the ocean over a specific time period. Historical data climatologies are created by blending regional data collections from different eras and, as a consequence, the end

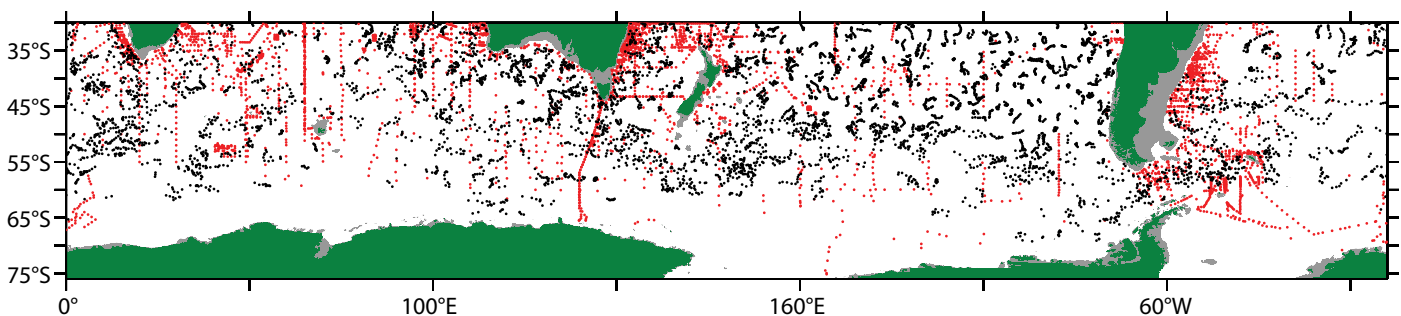


Figure 3. Location of all 4,093 temperature/salinity stations to depths of at least 1000 m during austral winter (July/August/September), south of 30°S from 1950–2000 (red dots; source: World Ocean Database), compared to 6,291 Argo station locations (black dots) from July/August/September 2008.

products are weighted toward different years in different regions. The sparseness of historical data and their spatial and temporal inhomogeneity make it difficult to assign error bounds to these climatologies (e.g., Roemmich and Sutton, 1998). Finally, care taken to minimize systematic errors in the Argo data set leads to Argo-only climatologies that are not contaminated by mixing of different instrument types.

Figure 4 shows an example of the differences between Argo (Roemmich and Gilson, 2009) and the *World Ocean Atlas 2001* (WOA01) historical data climatology (Conkright et al., 2002). The figure shows mean steric height from Argo, 0/2000 dbar, averaged over the period 2004–2008, during which the Argo array had global coverage. The difference between this Argo-era mean and WOA01, which is based on data collected over more than 50 years, is especially notable south of 30°S. There, the zonal mean difference is 5 dyn cm between 40° and 50°S, and differences are 10 dyn cm or more in some areas. Main causes of the Argo-minus-WOA01

differences are decadal change and mapping errors due to sparseness in the historical data set. For modeling the present-day ocean, Argo climatologies will replace the historical data products to provide initialization and background states that are consistent with the era that is represented.

### Effectiveness of Argo Sampling

The effectiveness of Argo in resolving large-scale ocean variability can be tested in a variety of ways (Roemmich and Gilson, 2009), including statistical measures that complement model-based Observing System Evaluation activities (Oke et al., 2009). One estimate uses satellite altimetric height as a proxy for steric height. On large spatial scales, steric height and total sea surface height are very similar. By subsampling altimetric height fields at the locations of Argo profiles, interpolating the subsampled data, and then comparing to the full altimetric height data set, both the large-scale signal and noise of Argo steric height fields can be estimated. Sampling experiments have been carried out to test

the impact of Argo's increasing coverage between 2004 and 2007, and to test its ability to resolve signals of varying spatial and temporal scales.

One such experiment is illustrated in Figure 5. Here, the goal is to estimate Argo's ability to detect large-scale variability over 15 years of sustained sampling by assuming that Argo's spatial coverage in the year 2007 is maintained. The 15-year gridded altimetric height record (Duquet et al., 2000) from 1993–2007 is subsampled each year at the location and year-day of the 2007 Argo data set. The subsampled anomalies from the 15-year mean and annual cycle are objectively interpolated, and then both full and subsampled anomaly grids are smoothed with a 10° x 10° x 3-month running mean. After smoothing, the temporal RMS signal is estimated from the full data set, and the RMS noise is estimated from the full-minus-subsampled differences. Figure 5 shows the zonal means of the RMS signal and the RMS noise. As expected, the signal-to-noise ratio is highest in the tropics due to enhanced signal and

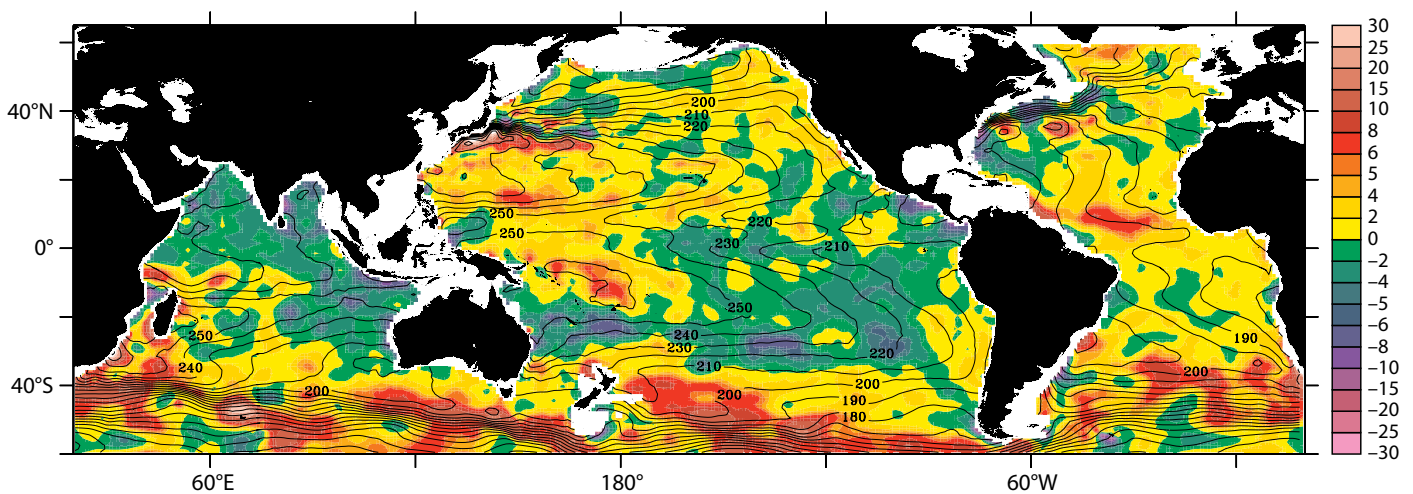


Figure 4. Contours indicate the steric height of the sea surface from Argo data, 0/2000 dbar (dyn cm), 2004–2008 mean. Color shading indicates the difference in steric height, Argo-minus-WOA01 (*World Ocean Atlas 2001*).

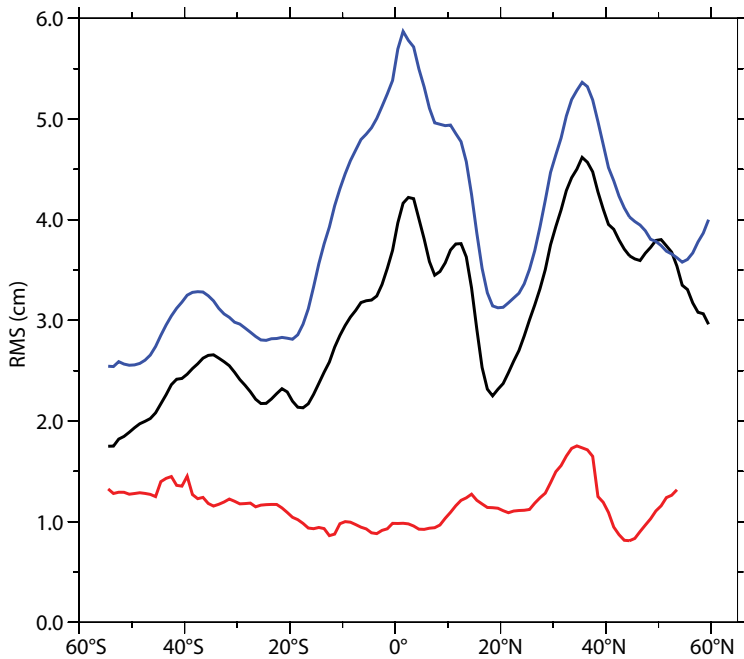


Figure 5. Zonally averaged large-scale ( $10^\circ \times 10^\circ \times 3$ -month) nonseasonal sea surface height signal (blue) and Argo sampling noise (red) for 15 years of sustained Argo sampling at the 2007 level, estimated from satellite altimetry (see text). The black line shows how the apparent signal is reduced in a shorter (four-year) record. Results adapted from Roemmich and Gilson (2009)

reduced noise. Figure 5 also illustrates how large-scale variability grows with the duration of the data set as a longer-term mean is estimated and removed and decadal variability starts to be observed. This method is one of several being used to assess Argo's errors and its effectiveness (Roemmich and Gilson, 2009), including mapping and comparison of Argo subsets, comparison to other observing system elements, and formal optimal interpolation error estimates.

In addition to the interpolated Argo-only data set (Roemmich and Gilson, 2009) used in Figure 4 for purposes of illustration, groups around the world are developing similar products. To promote their dissemination and usefulness, the Argo Steering Team is identifying global Argo analyses that are available for distribution (<http://www.argo.ucsd.edu/>

[AcGridded\\_data.html](#)). There is much to be gained from comparing techniques and results of different analyses as well as from developing products for different applications. It is essential to provide ODA applications not only with accurate data sets and best estimates of the error. While ODA models continue to develop, it is also critical to provide individual data sets that are extensive enough for statistical interpolation, to compare with multi-data-set model results and with data-withholding model experiments.

### ARGO AND OCEAN SURFACE DATA SETS

Argo is the dominant subsurface data set for the present-day ocean, but ODA models assimilate sea surface data sets as well, including sea surface height, sea

surface temperature, and air-sea fluxes of heat, water, and momentum. It is important to examine the consistency of these data sets with Argo and with one another where they have complementary or overlapping information content. The ODA models allow for random data errors, but problems may arise when systematic errors create inconsistencies between data types.

### Sea Surface Temperature

Sea surface temperature (SST) is estimated from satellite measurements, using sparse ocean surface drifters (at  $\sim 1$ -m depth) and other in situ SST measurements for bias correction (e.g., Reynolds et al., 2002). Argo profiles, which collect their shallowest data at around 5 m, are not used in most SST products at present. Questions include the magnitude of stratification between the depth of drifter SST measurements and the shallowest Argo data and whether Argo floats, which are more plentiful than surface drifters, are useful for SST estimation. Similarly, Argo's potential usefulness in combination with a scheduled sea surface salinity satellite mission is of interest. To investigate the issue, the surface drifter and Argo data sets were searched to identify nearby pairs of measurements. There were 21,100 Argo profile/drifter data pairs located within 60-km "scaled-distance" of one another during the period 2004–2008. Here, "scaled-distance" includes a time difference term, with 1 day equivalent to 10 km. Figure 6 shows the means and standard deviations of Argo-minus-drifter temperature as a function of distance, sorted into 5-km bins. The number of nearby pairs increases from 214 in

the 0–5 km bin to 2,987 pairs in the 55–60 km bin. The mean differences are small, 0.02°C and less, and not statistically significant. Significant stratification was found between the 1-m and 5-m measurements only in a small subset of low-wind daytime conditions, so Argo data are a good approximation of bulk SST at most times. The comparison (Figure 6) suggests that Argo data may be valuable for SST estimation on a global basis.

### Sea Surface Height

The relationship of satellite-derived sea surface height (SSH) and steric height variability is central to Argo. A global study of SSH and steric height variations during 1993–2003 (Guinehut et al., 2006) revealed high correlation between the two with some systematic differences due to barotropic ocean forcing. The consistency of global SSH variability in 2003–2007 with the component changes in Argo steric height and ocean mass (from the Gravity Recovery And Climate Experiment [GRACE] satellite mission) has been examined by Willis et al. (2008), Cazenave et al. (2009), and Leuliette and Miller (2009). Although the annual cycle in globally averaged SSH was consistent with the sum of steric and mass-related components, differing conclusions were reached regarding the four-year increase in SSH (by about 12 mm) in relation to its components. A longer time series is needed to be more definitive. These and other examples illustrate the strong need to close the ocean’s mass and heat budgets with careful measurements of all components over an extended period of time.

As an example of the close relationship between SSH and steric height,

Figure 7 shows the zonally averaged annual cycle of both quantities, using Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Oceanographic data (Aviso) SSH (Ducet et al., 2000) and steric height from Roemmich and Gilson (2009). In spite of the high similarity in the annual variations of SSH and steric height, there are also significant differences between them, for example, in the amplitudes at about 10°N and 35°S. A good test for ODA models is to see whether they reproduce the annual cycles in data sets with overlapping information content and can successfully rationalize differences such as those seen in Figure 7.

### Air-Sea Fluxes

Air-sea exchanges of heat and freshwater on seasonal time scales are nearly balanced by oceanic storage (Gill and Niiler, 1973), with seasonal advection

being a small residual term in ocean interiors. Roemmich and Gilson (2009) found good agreement seasonally, on hemispheric and global scales, between the Southampton Oceanography Centre/National Oceanography Centre historical data climatology of air-sea fluxes (Josey et al., 1998) and Argo-derived ocean heat storage. Regionally, maximum seasonal amplitudes in heat storage at 40°N and 35°S exceeded the amplitudes of air-sea flux by about 25 W m<sup>-2</sup>, possibly due to seasonal displacement of the zonal oceanic boundary current fronts at those latitudes. Comparison of air-sea fluxes of freshwater with oceanic freshwater storage is more problematic. Patterns of freshwater storage are spatially more complex than heat storage, and estimates of evaporation and precipitation are subject to large errors. A challenge for ODA models is to exploit Argo’s

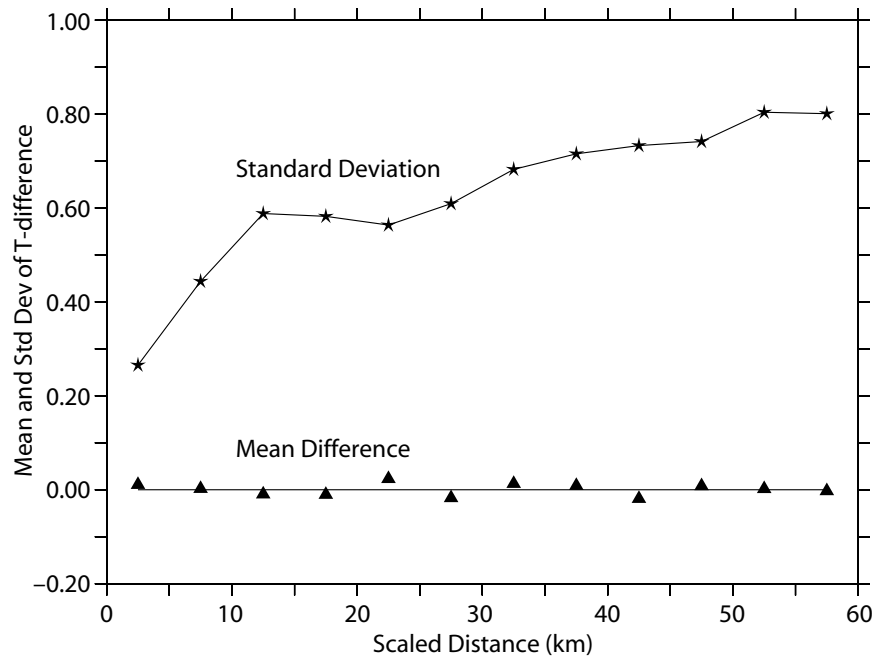


Figure 6. Argo-minus-surface-drifter mean and standard deviation of temperature difference (°C) as a function of “scaled distance” (see text), in 5-km bins, for 21,100 nearby pairs of observations.



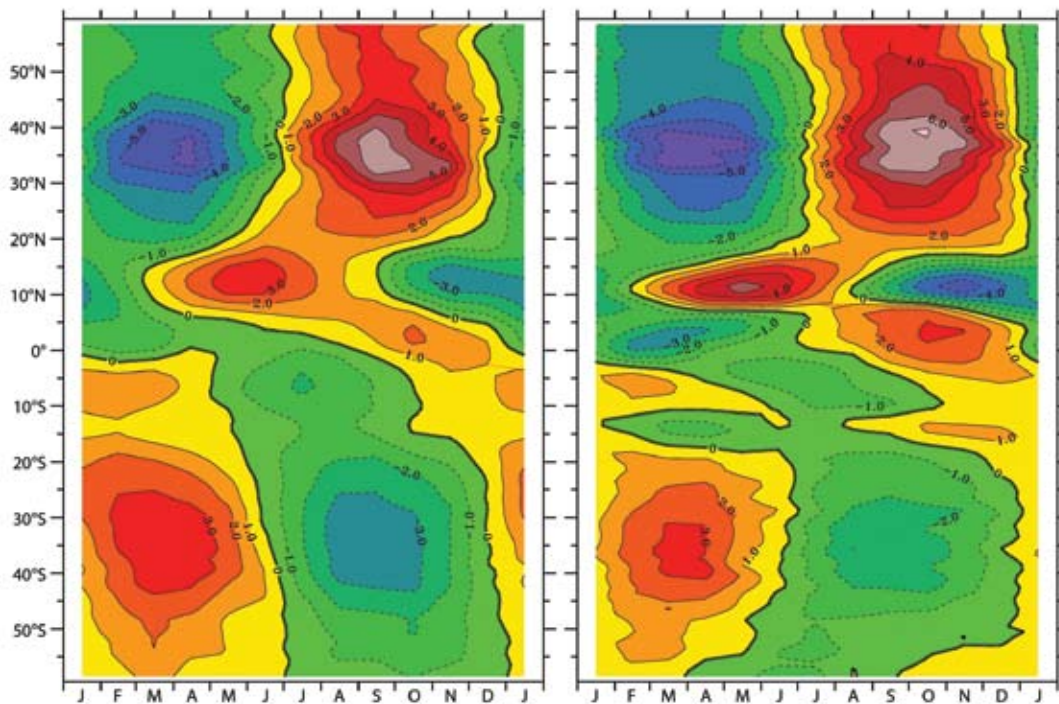


Figure 7. The annual cycle of zonally averaged steric height (0/2000 dbar) from Argo data (left panel), 2004–2007, is compared to that from altimetric height (right panel, Aviso product) from the same period.

global measurements of salinity for improved estimation of variability in the hydrological cycle.

## DISCUSSION

A key goal of the Argo Program is to provide a global data set of value for assimilation by ODA models that is also extensive enough to enable evaluation of the results of those models. The Argo array now includes about 3000 instruments providing 9000 globally distributed temperature and salinity profiles monthly from the sea surface to mid-ocean depth. Five years of Argo data, including 400,000 profiles, have been collected since sparse global coverage was achieved in early 2004, comprising stable estimates of the mean and annual cycle for this period. All data are freely available, with about 90% of profiles accessible at two Global Data Assembly Centers within 24 hours of float surfacing. Argo's ground-breaking open access data policy


is central to the value of the program and to building its international partnership. The Argo data set has been used to tackle a wide variety of basic research problems, and data quality exceeds original expectations. The Argo Program has made rapid progress in the decade since its planning began. Further increases in float numbers and improved coverage in the Southern Hemisphere, better ability to identify and correct systematic errors, and greater uniformity in production and release of delayed-mode data are all required to achieve the core objectives of the program. The broad Argo user community is needed to demonstrate the high value of the array, and the international Argo partnership must prove its ability to maintain the array for a decade and beyond. A caution is that the provision of highest-quality Argo data is a continuing process, and users should ensure the data set is appropriate for their applications.

As the Argo era of quasi-uniform,

high-quality global sampling lengthens, it is important to review and improve Argo's design and objectives. Low-latitude interannual variability is well resolved in the present data set, while additional floats are needed at southern latitudes. Continuing advances in profiling float, ocean glider, and sensor capabilities raise new challenges for expansion of Argo's activities. Deeper profiling and sampling of seasonal ice zones, marginal seas, and boundary currents could all extend Argo's limits. Inclusion of new sensors could add important geochemical and biological dimensions. Operational control of the Argo array using two-way communication systems to change profile depth, cycle rate, and other mission parameters could increase Argo's value in many applications (Gary Brassington, Australian Bureau of Meteorology Research Centre, *pers. comm.*, 2009). In each case, for new objectives,

energy and other added costs need to be weighed against the benefits, and new resources are needed to cover any new costs. An important challenge for Argo is to expand its constituency by demonstrating the value of the data set in a growing number of applications while maintaining the high data quality and spatial coverage needed for Argo's core objectives.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The Argo data used here were collected and are made freely available by the International Argo Program and by the national programs that contribute to it. The efforts of many international partners in planning and implementing the Argo array are gratefully acknowledged. Preparation of this manuscript was supported by US Argo and US GODAE through NOAA Grant NA17RJ1231 (SIO-JIMO). Graphics were produced using Ferret software, a product of NOAA's Pacific Marine Environmental Laboratory. The Aviso altimeter products were produced by the CLS Space Oceanography Division as part of the Environment and Climate EU ENACT project (EVK2-CT2001-00117) and with support from the Centre Nationales d'Études Spatiale (CNES). Argo/drifter comparisons (Figure 6) were provided by M. Scanderbeg. 

## REFERENCES

Boyer, T.P., J.I. Antonov, S. Levitus, and R. Locarnini. 2005. Linear trends of salinity for the world ocean, 1955–1998. *Geophysical Research Letters* 32, L01604, doi:10.1029/2004GL021791.

Cazenave, A., K. Dominh, and S. Guinehut. 2009. Sea level budget over 2003–2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Global and Planetary Change* 65(1–2):83–88.

Conkright, M.E., R.A. Locarnini, H.E. Garcia, T.D. O'Brien, T.P. Boyer, C. Stephens, and J.I. Antonov. 2002. *World Ocean Atlas 2001: Objective*

*Analyses, Data Statistics, and Figures, CD-ROM Documentation*. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 17 pp.

Curry, R., B. Dickson, and I. Yashayaev. 2003. A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades. *Nature* 426:826–829.

Davis, R.E., C.E. Eriksen, and C.P. Jones. 2002. Autonomous buoyancy-driven underwater gliders. Pp. 37–58 in *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*. G. Griffiths, ed., Taylor and Francis, London.

Domingues, C.M., J.A. Church, N.J. White, P. Gleckler, S.E. Wijffels, P.M. Barker, and J.R. Dunn. 2008. Improved ocean-warming estimates: Implications for climate models and sea-level rise. *Nature* 453:1,090–1,093.

Ducet, N., P.-Y. Le Traon, and G. Reverdin. 2000. Global high resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and -2. *Journal of Geophysical Research* 105:19,477–19,498.

Gaillard, F., E. Autret, V. Thierry, and P. Galaup. 2009. Quality control of large Argo data sets. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 26(2):337–351, doi:10.1175/2008JTECHO552.1.

Gill, A., and P. Niiler. 1973. The theory of the seasonal variability in the ocean. *Deep-Sea Research* 20:141–177.

Guinehut, S., P.Y. Le Traon, and G. Larnicol. 2006. What can we learn from global altimetry/hydrography comparisons? *Geophysical Research Letters* 33, L10604, doi:10.1029/2005GL025551.

Guinehut, S., C. Coatanan, A.-L. Dhomp, P.-Y. Le Traon, and G. Larnicol. 2009. On the use of satellite altimeter data in Argo quality control. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 26(2):395–402, doi:10.1175/2008JTECHO648.1.

Josey, S.A., E.C. Kent, and P.K. Taylor. 1998. *The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas*. Southampton Oceanography Centre Report No. 6, 30 pp.

Le Traon, P.-Y., G. Larnicol, S. Guinehut, S. Pouliquen, A. Bentamy, D. Roemmich, C. Donlon, H. Roquet, G. Jacobs, D. Griffin, and others. 2009. Data assembly and processing for operational oceanography: 10 years of achievements. *Oceanography* 22(3):56–69.

Leuliette, E.W., and L. Miller. 2009. Closing the sea level rise budget with altimetry, Argo, and GRACE. *Geophysical Research Letters* 36, L04608, doi:10.1029/2008GL036010.

Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer. 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophysical Research Letters* 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.

Levitus, S., J.I. Antonov, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, H.E. Garcia, and A.V. Mishonov. 2009. Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophysical Research Letters* 36, L07608, doi:10.1029/2008GL037155.

Oke, P.R., M.A. Balmaseda, M. Benkiran, J.A. Cummings, E. Dombrowsky, Y. Fujii, S. Guinehut, G. Larnicol, P.-Y. Le Traon, and M.J. Martin. 2009. Observing system evaluations using GODAE systems. *Oceanography* 22(3):144–153.

Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate* 15:1,609–1,625.

Riser, S.C., and K.S. Johnson. 2008. Net production of oxygen in the subtropical ocean. *Nature* 451:323–326, doi:10.1038/nature06441.

Roemmich, D., and P. Sutton. 1998. The mean and variability of ocean circulation past northern New Zealand: Determining the representativeness of hydrographic climatologies. *Journal of Geophysical Research* 103:13,041–13,054.

Roemmich, D., and the Argo Science Team. 1999. *On the Design and Implementation of Argo: An Initial Plan for a Global Array of Profiling Floats*. International CLIVAR Project Office Report 21, GODAE Report 5. GODAE International Project Office, Melbourne, Australia, 32 pp.

Roemmich, D., and J. Gilson. 2009. The 2004–2008 mean and annual cycle of temperature, salinity and steric height in the global ocean from the Argo Program. *Progress in Oceanography* doi:10.1016/j.pocean.2009.03.004.

Roemmich, D., G.C. Johnson, S. Riser, R. Davis, J. Gilson, W.B. Owens, S. Garzoli, C. Schmid, and M. Ignaszewski. 2009. The Argo Program: Observing the global ocean with profiling floats. *Oceanography* 22(2):34–43.

Stammer, D. 1997. Global characteristics of ocean variability estimated from regional TOPEX/Poseidon altimeter measurements. *Journal of Physical Oceanography* 27:1,743–1,769.

Uchida, H., and S. Imawaki. 2008. Estimation of the sea level trend south of Japan by combining satellite altimeter data with in situ hydrographic data. *Journal of Geophysical Research* 113, C09035, doi:10.1029/2008JC004796.

Wijffels, S., J. Willis, C. Domingues, P. Barker, N. White, A. Gronell, K. Ridgway, and J. Church. 2008. Changing expendable bathythermograph fall-rates and their impact on estimates of thermosteric sea level rise. *Journal of Climate* 21:5,657–5,672, doi:10.1175/2008JCLI2290.1.

Willis, J.K., J.M. Lyman, G.C. Johnson, and J. Gilson. 2007. Correction to “Recent cooling of the upper ocean.” *Geophysical Research Letters* 34, L16601, doi:10.1029/2007GL030323.

Willis, J.K., D.P. Chambers, and R.S. Nerem. 2008. Assessing the globally averaged sea level budget on seasonal to interannual timescales. *Journal of Geophysical Research* 113, C06015, doi:10.1029/2007JC004517.

Wong, A., N. Bindoff, and J. Church. 1999. Large-scale freshening of intermediate waters in the Pacific and Indian oceans. *Nature* 400:440–443.

Wong, A.P.S., G.C. Johnson, and W.B. Owens. 2003. Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by theta-S climatology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 20:308–318.

## 태평양 Argo 자료의 지연모드 품질관리 및 검증연구

양준용 · 강성윤 · 고우진 · 서영상 · 서장원\* · 석문식\*\*

국립수산과학원 환경연구부 해양연구과, \*국립기상연구소 지구환경시스템연구팀,

\*\*한국해양연구원 해양기후변화연구사업단

(2008년 9월 4일 접수; 2008년 10월 20일 수정; 2008년 10월 26일 채택)

### Delayed Mode Quality Control of Argo Data and Its Verification in the Pacific Ocean

Joon-Yong Yang, Seongyun Kang, Woo-Jin Go, Young-Sang Suh,  
Jang-Won Seo\* and Moon-Sik Suk\*\*

*Ocean Research Division, Environment Research Department, National Fisheries  
Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea*

*\*Global Environmental System Research Laboratory, National Institute of  
Meteorological Research, Seoul 156-720, Korea*

*\*\*Ocean Climate Change Research Division, Korea Ocean Research and Development  
Institute, Ansan 426-744, Korea*

(Manuscript received 4 September, 2008; revised 20 October, 2008; accepted 26 October, 2008)

#### Abstract

Quality control of Argo(Array for Real-time Geostrophic Oceanography) data is crucial by reason that salinity measurements are liable to experience some drift and offset due to biofouling, contamination of sensor and wash-out of biocide. The automated Argo real-time quality control has a limit of sorting data quality, so that WJO program is adopted as standardized method of Argo delayed mode quality control (DMQC) in the world that is a precise quality control method. We conducted DMQC on pressure, temperature and salinity measured by Argo floats in the Pacific Ocean including expert evaluation. Particularly, salinity data were corrected using WJO program. 4 salinity profiles of Argo delayed mode were compared with nearby in situ (CTD data and other Argo data in deep layer where oceanographic conditions are stable in time and space. The differences of both salinities were lower than target accuracy of Argo. As compared with the difference of salinities before DMQC, those after DMQC decreased by 60-80 percent. Quality of delayed mode salinity data seemed to be improved correcting salinity data suggested by WJO program.

**Key Words** : Argo, Pacific Ocean, Delayed mode, Quality control, WJO program

#### 1. 서론

1961년 이후의 관측에 의하면 최소한 수심 3000 m까지 평균 수온이 상승하였으며, 연평균 3.1 mm의 해수면 상승과 극지방 해빙 면적 감소 등 전 지구적

Corresponding Author: Joon-Yong Yang, Ocean Research Division, Environment Research Department, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea  
Phone: +82-51-720-2231  
E-mail: yangjy@nfrdi.go.kr



인 기후변화가 나타나고 있다<sup>1)</sup>. 특히 해양은 기후시스템에 추가된 열의 80% 이상을 흡수하여<sup>2)</sup>, 1955년 이후 전 지구적으로 수온은 연간 0.037°C 상승하였다<sup>3)</sup>. 이러한 기후변화를 정확하게 예측하기 위하여 전 지구적인 해양관측이 필요하지만 많은 비용이 발생한다. 정부간해양학위원회(IOC)가 세계기상기구(WMO)와 공동으로 해양기후변동에 대한 이해와 예측, 그리고 전 지구 해양자료동화를 위하여 국제공동 해양관측사업인 Argo를 추진하고 있다<sup>4)</sup>.

한국, 프랑스, 미국, 중국, 일본 등 세계 20여 개국이 이 사업에 참여하여 2007년 11월 현재 3000여개의 플로트가 전 세계 대양에서 작동하고 있으며, 관측된 자료는 전 세계적으로 공유하고 있다. 한국은 한국해양연구원과 기상청 국립기상연구소가 동해, 태평양과 남극해에 2007년까지 200여개의 Argo 플로트를 투하하였다. 획득한 자료는 국가별로 실시간모드(Real-time mode)와 지연모드(Delayed mode)로 나누어 관리하고 있으며, 실시간 품질관리과정을 거친 자료는 24시간 내에 세계 Argo 자료센터를 통하여 배포되고 있다<sup>5)</sup>.

Argo 플로트는 자체적으로 밀도를 조절하여 표층과 수심 2000 m 사이를 10일 단위로 왕복하는 무인 자동 관측기로 표층에 머무를 때 인공위성을 통해 관측한 자료와 플로트의 위치를 전송하고 다시 침강한다(Fig. 1). Argo 사업은 관측 오차의 목표를 압

력은 5 dbar 이내, 수온은 0.005°C 이내, 염분은 0.01 이내로 하고 있다<sup>6)</sup>. 압력과 수온은 플로트의 작동 예상기간인 4년 동안 안정적인 반면에 염분은 생물오수(Biofouling), 센서의 오염, 살생물제(Biocide)의 용해 등에 의해 관측 오류가 발생한다<sup>7-9)</sup>. 따라서 관측한 자료의 품질관리가 필요하므로 날짜, 위치, 구간, 관측치의 기온기 검사 등 제한적이고 자동화된 19개의 실시간 품질관리(Real-time quality control) 과정을 거친 후 국제 Argo 자료센터(GDAC, Global Data Assembly Center)로 보내진다<sup>10)</sup>.

그러나 이러한 실시간 자료품질관리만으로는 양질의 자료를 선별하는 것이 어려우므로 최대 1년간의 축적된 자료를 한꺼번에 이용하는 정밀 품질관리 과정을 거친 후 세계 Argo 자료센터에 보고한다. 이를 지연모드 품질관리(Delayed mode quality control)라고 하며, 세계 Argo 자료관리팀 회의에서 표준화된 방법(WJO 프로그램)이 제시되었다<sup>11)</sup>. 본 연구에서는 태평양의 해양기후변동을 정밀하게 분석할 수 있도록 국내 기관이 태평양에 투하하여 획득한 3차원적인 Argo 자료에 대하여 지연모드 품질관리를 수행하였으며, 국내 전문가 검증체계를 확립하였다. 또한 지연모드 품질관리를 한 자료와 실측치를 비교함으로써 품질관리 결과를 검증하는 연구를 수행하였다.

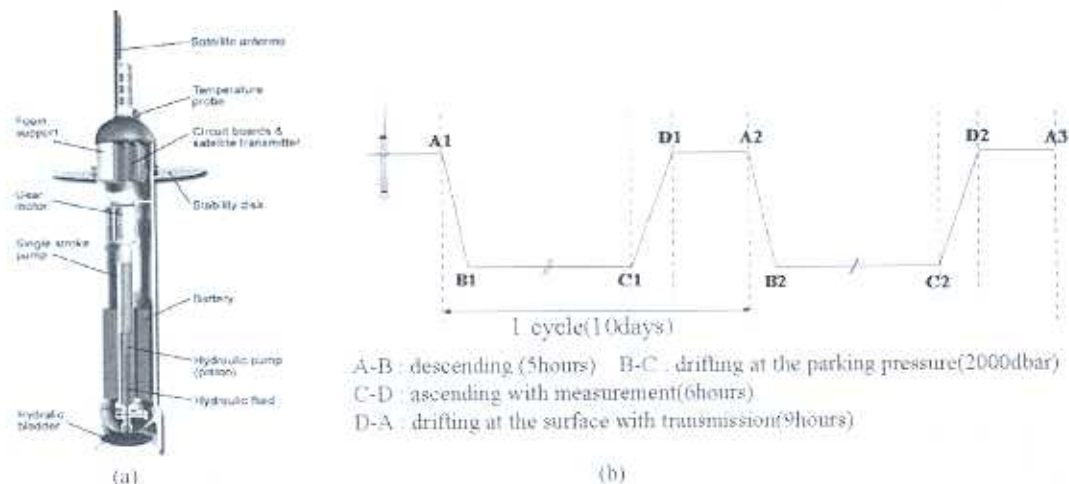


Fig. 1. Cross-section of a typical Argo float(a) and schematic diagram of Argo float in operation (b).

**Table 1.** Locations and observation periods of Argo floats used in this study

WMO ID	Period of Observation	Profile	Location of the first observation		Location of the last observation	
			Longitude (°E)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Latitude (°N)
2900307	2003.10.27 - 2006.05.24	95	136.836	19.190	138.256	17.944
2900429	2004.11.15 - 2007.04.15	89	138.597	10.812	130.889	9.137
2900430	2004.11.13 - 2006.08.26	66	132.500	21.639	130.177	22.536
2900522	2005.10.22 - 2007.04.14	55	132.862	13.958	125.592	11.629
2900523	2005.10.22 - 2007.05.14	58	132.748	14.509	126.118	11.444
5900189	2002.09.25 - 2005.07.12	103	126.576	21.329	131.637	22.057

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 태평양 Argo 및 CTD 자료

지연모드 품질관리에 적용한 Argo 자료는 국립기상연구소에서 태평양에 투하하여 획득한 자료를 실시간 자료품질관리 거친 후 NetCDF 형식으로 GDAC에 보고한 것으로 GDAC의 웹사이트<sup>12)</sup>에서 다운로드받았다. APEX(SBE 41 장착)인 Argo 플로트가 관측한 자료이며, 표층부터 수심 약 2000 m 사이를 표층-200 m는 10 m 간격, 200-800 m는 20 m 간격, 800-1000 m는 25 m 간격, 1000-1100 m는 50 m 간격, 1100 m 이하는 100 m 간격으로 압력, 수온과 염분을 측정한 자료이다. 본 연구에 이용한 6개 Argo 플로트에 관한 자세한 정보는 Table 1에 정리하였다.

지연모드 품질관리 결과를 검증하기 위하여 일본 기상청이 선박을 이용하여 북서태평양의 필리핀 동부 해역에서 관측한 2개 정점의 현장관측자료인 CTD 자료를 이용하였다<sup>13)</sup>. 자료는 1 m 간격이며 수심 2000 m까지 관측한 것이다. 자세한 정보는 Table 2에 정리하였다.

### 2.2. WJO 프로그램

해양에서 수괴(Water Mass)는 온위(Potential Temperature)와 염분으로 정의되며 두 항목 사이에 일정

한 관계가 있으므로 어떤 해역에서 온위로부터 수괴 특성을 이용하여 염분을 추정할 수 있다. 이러한 관계를 이용하여 WJO 프로그램은 미리 설정한 50개 온위에 대한 염분을 플로트가 관측한 위치에서 과거 자료로 구성된 기준데이터베이스(Reference Database)로부터 구한다. 태평양 해역의 지연모드 품질관리에 WOD(World Ocean Database) 2001과 일본 JAMSTEC의 modHB(modified North Pacific HydroBase)로 구성된 기준데이터베이스, SeHyd(Selected Hydrographic Database)를 이용하였다<sup>14)</sup>. 기준데이터베이스에서 자료를 선제하기 위하여 두 가지 단계로 구성된 Objective Mapping 기법을 적용하였다. 첫 번째 단계는 큰 규모의 해양기후(Ocean climate)적인 관계를 고려하였으며, 두 번째 단계는 상대적으로 작은 규모로 지역적이며 수괴의 환기시간(Ventilation time)도 함께 고려하였다. 이 과정에서 플로트가 관측한 위치를 중심으로 기준데이터베이스로부터 300개의 자료를 선제한다. Table 3에 태평양 Argo 자료 지연모드 품질관리를 위하여 설정한 WJO 프로그램의

**Table 2.** Locations and observation dates of CTD data used in this study

Station	Observation Date	Longitude (°E)	Latitude (°N)
KS 1481_1	2006.01.26	136.9805	17.9978
RF 2477_1	2005.07.17	136.9923	10.9917

**Table 3.** Parameters used in WJO program, delayed mode quality control program, applied to the Pacific

Parameter		Values
Large spatial scale	mapscale_longitude_large	8°
	mapscale_latitude_large	4°
Small spatial scale	mapscale_longitude_small	4°
	mapscale_latitude_small	2°
Maximum of data selected		300
Number of profiles for the least square fit		18

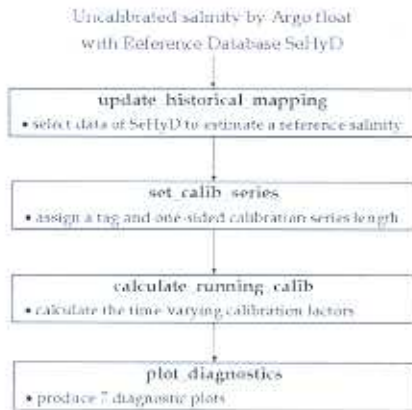


Fig. 2. The five processes of WJO program; Delayed mode quality control program.

변수들을 정리하였다.

온위별로 선택한 자료로부터 구한 평균 염분과 플로트 관측치의 차이를 최소로 하는 가중최소자승

법(Weighted least squares method)으로 플로트가 관측한 염분을 보정한다<sup>19)</sup>. 가중치는 OM에 의해 추정된 오차에 대해 반비례하도록 하였다. 일반적으로 변동이 적은 깊은 층이 상대적으로 변동이 큰 표층이나 중층에 비해 플로트의 염분 보정에 많은 영향을 미친다<sup>9)</sup>. 또한 센서의 관측오류가 갑자기 발생하기보다는 서서히 발생하므로 연속한 여러 개의 프로파일을 함께 가중최소자승법에 적용함으로써 프로파일별로 적용하여 발생할 수 있는 일시적인 오차를 최소화한다. Fig. 2에 WJO 프로그램을 구성하는 코드와 그 역할을 도시하였다.

### 3. 지연모드 품질관리

표준 지연모드 품질관리인 WJO 프로그램을 전세계적으로 적용하여 전 대양의 일관성이 있는 양질의 지연모드 자료를 제공할 수 있다(Fig. 3). 우선

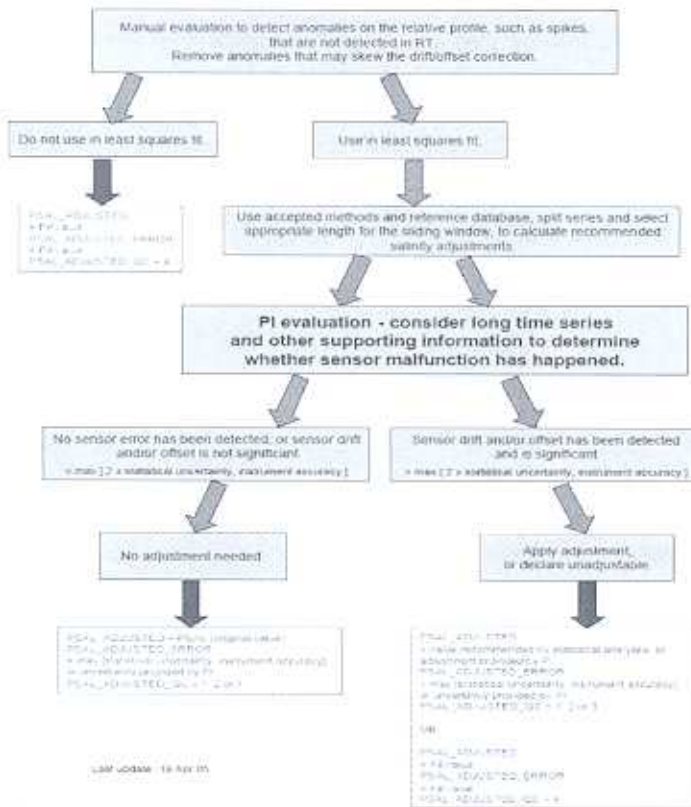


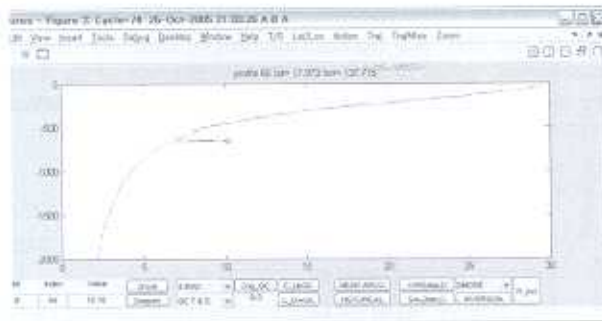
Fig. 3. Delayed mode quality control procedure<sup>10)</sup>.



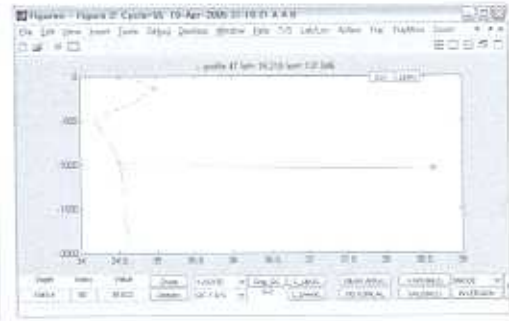
WJO 프로그램을 실행하기 전에 압력, 수온과 염분에 대한 사전검증을 실시한다. 사전검증에는 그래픽을 이용하여 실시간 품질관리에서 제거되지 않은 이상치(스파이크, 동일 값 등)를 눈으로 확인한다(Fig. 4). 이 단계에서 확인된 이상치는 품질관리번호(QC Flag)인 '4'를 적용하여 WJO 프로그램의 입력 자료에서 제외한다(Table 4). 사전검증을 통과한 Argo 자료를 기준데이터베이스 SelHyD를 포함한 WJO 프로그램(Weighted least squares fit)에 입력하여 보정치를 구하게 된다(Fig. 3). 이후 WJO 프로그램 결과에 대한 해당 해역 전문가의 검증을 포함하여 결과의 정확성을 제고한다.

Fig. 5는 국립기상연구소에서 각각 2003년 10월과 2004년 11월에 서태평양 해역에 투하한 WMO ID 2900307(95개 프로파일)과 2900429(89개 프로파일)의 지연모드 품질관리 결과 중 보정 적용 여부 판단에 중요한 것을 제시하였다. 왼쪽 그림(a, c)은 Argo 플롯트의 이동체적 및 기준데이터베이스로부터 선택한 기준자료의 위치이며, 오른쪽 그림(b, d)은 온위 2.2°C의 프로파일별 플롯트의 관측치(파란

색 별표), 기준데이터베이스로부터 Objective Mapping 한 값과 그 오차(붉은색 실선)와 WJO 프로그램이 계산한 보정치(녹색 구간)이다. 프로그램 보정치의 채택 기준은 잠값이 염분 보정치의 보정오차 범위 내에 있고 보정오차는 Argo 프로그램의 염분 오차 목표치인 0.01 보다 작은 것이다. 그러나 대부분의 경우 해당 해역의 플롯트가 관측한 기간 동안에 잠값을 알 수 없으므로 기준자료가 충분하거나 오차가 적은 경우(붉은 색 실선의 오차가 0.01보다 작은 경우)는 잠값이 보정오차 내에 있다고 판단한다. WMO ID 2900429의 경우(Fig. 5b) Argo 자료(파란색 별표)가 보정오차 내(녹색 구간)에 있으므로 프로그램의 보정치보다 실제로 관측한 Argo 플롯트의 염분을 지연모드 염분 자료로 선택하고 품질관리번호는 '1'을 부여한다. WMO ID 2900307의 경우(Fig. 5d)는 보정치가 Argo 플롯트의 관측치에 비해 일관성 있게 염분이 낮으므로 염분센서의 오차가 투하 초기부터 일어난 것으로 판단하여 보정치를 지연모드 자료로 선택하고 품질관리번호는 '1'을 부여한다(Table 4).



(a)



(b)

Fig. 4. Visual inspection of temperature (a) salinity (b) versus pressure using a graphic tool.

Table 4. Quality Control Flags (Argo Data Management Team, 2007)

QC Flag	Meaning	Comment
0	No QC was performed	No QC was performed
1	Good data	The adjusted value is statistically consistent and a statistical error estimate is supplied
2	Probably good data	Probably good data
3	Probably had data that are potentially correctable	An adjustment has been applied, but the value may still be bad
4	Bad data	Bad data, not adjustable

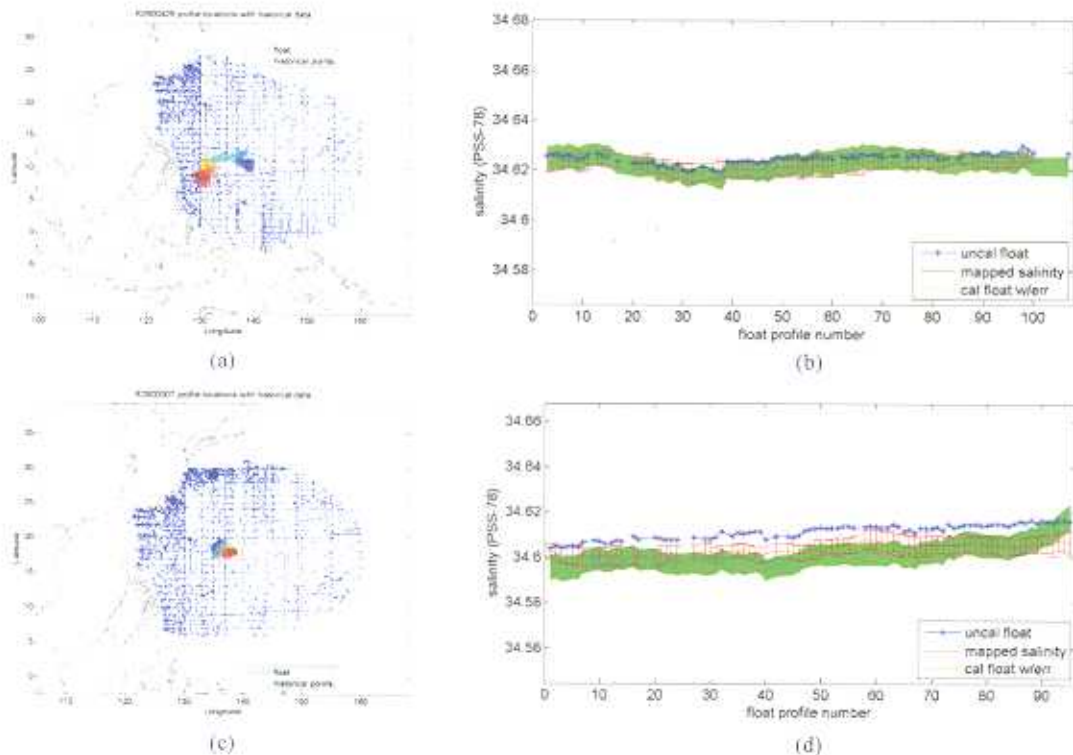


Fig. 5. Salinity calibration of the float WMO ID 2900429 (a, b) and WMO ID 2900307 (c, d) on  $2.2^{\circ}\text{C}$ . Left panels: Argo float measurement location are shown by colorful line. Blue dots represent locations of historical reference data. Right panels: Center of green belt represents optimal values of calibrated salinity and half of its width does calibration error. Line with asterisks denotes measured salinity by Argo float and solid line with vertical bars the estimated climatological salinity and its mapping errors.

#### 4. 품질관리 결과 검증

필리핀의 동부해역에서 작동한 2개 Argo 플로트의 자료와 시공간적으로 가까운 일본 기상청의 2개 정점의 해양관측자료(CTD 자료)와, 시공간적으로 서로 가까운 Argo 자료 두 쌍을 비교하여 지연모드 품질관리 결과를 검증하였다(Fig. 6, Table 1, 2).

##### 4.1. Argo와 CTD 자료 비교

WMO ID 2900429의 25번째 프로파일은 일본 기상청에서 선박을 이용하여 관측한 정점 RE2477\_1과 비교하였으며(Fig. 6의 A), WMO ID 2900307의 83번째 프로파일은 정점 KS1481\_1의 자료와 비교하였다(Fig. 6의 B). 그림 6의 A 경우 Argo 플로트 관측 위치와 현장관측정점사이에 시간적으로는 3일(각각 2005년 7월 14일과 7월 17일)의 차이가 나

고, 공간적으로는 50 km 떨어져 있다. 그리고 Fig. 6의 B 경우는 시간적으로 2일(각각 2006년 1월 24일과 1월 26일)의 차이가 나고, 공간적으로는 40km 떨어져 있다. 앞선 지연모드 품질관리 결과와 같이 2900429는 관측한 자료를 지연모드 자료로 채택한 반면에 2900307은 WJO 프로그램이 제시한 보정치를 채택하였다(Fig. 5). Fig. 7a는 A의 Argo 염분자료와 CTD 염분의 수직 구조를 도시한 것이다. 상대적으로 시공간적인 변화가 심한 표층부분은 다소 많지 않으나 안정적인 저층으로 갈수록 일치하였으며, 1500 - 2000 dbar 사이의 염분차이 평균치는 0.003으로 Argo 프로그램의 목표 오차인 0.01이하이다(Fig. 9). Fig. 7b는 B의 보정 전후의 Argo 염분자료와 CTD 염분의 수직 구조를 도시한 것이다. 심층의 염분차이는 0.01이하였으며, 특히 1500 - 2000 dbar



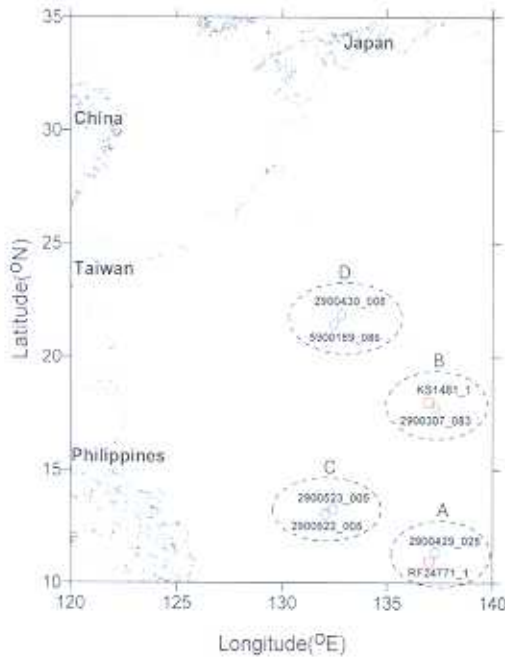


Fig. 6. Locations of Argo float profiles and CTD stations used in verification of results of delayed mode quality control.

사이의 염분차이 평균치가 보정 전후로 2/5로 감소하여 품질관리 결과가 좋은 것을 확인하였다(Fig. 9).

#### 4.2. Argo 자료간 비교

WMO ID 2900522의 5번째 프로파일과 WMO ID 2900523의 5번째 프로파일을 비교하였으며(Fig. 6의 C), WMO ID 2900430의 8번째 프로파일과 WMO ID 5900189의 86번째 프로파일을 비교하였다(Fig. 6의 D). Fig. 6의 C 경우 시간적으로는 같은 날(2005년 12월 1일)에 관측되었고 공간적으로는 46 km 떨어져 있으며, Fig. 6의 D 경우 시간적으로는 같은 날(2005년 1월 23일), 공간적으로 62 km 떨어져 있다. 2900522, 2900523과 2900430은 WJO 프로그램의 결과를 전문가의 검토를 거친 후 원래 관측한 자료를 지연모드 자료로 채택한 반면에 5900189는 보정치를 채택하였다. Fig. 8a는 C의 두 Argo 염분자료의 수직 구조를 도시한 것이다. 800 - 1500 dbar 사이의 두 프로파일간의 염분차이가 0.003로 0.01 이하였다(Fig. 9). Fig. 8b는 D의 2900430의 8번째 프로파일의 염분자료와 5900189의 86번째 프로파일의 보정 전후 염분

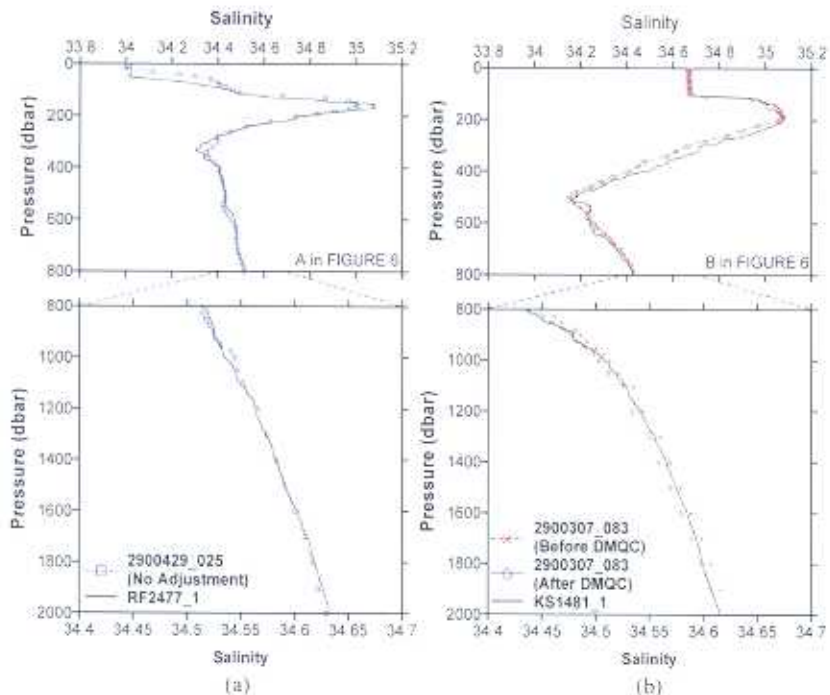


Fig. 7. Vertical salinity profiles of an Argo float (2900429) with no adjustment and spatially and temporally nearby CTD (a), and an adjusted Argo float (2900307) and spatially and temporally nearby CTD (b).

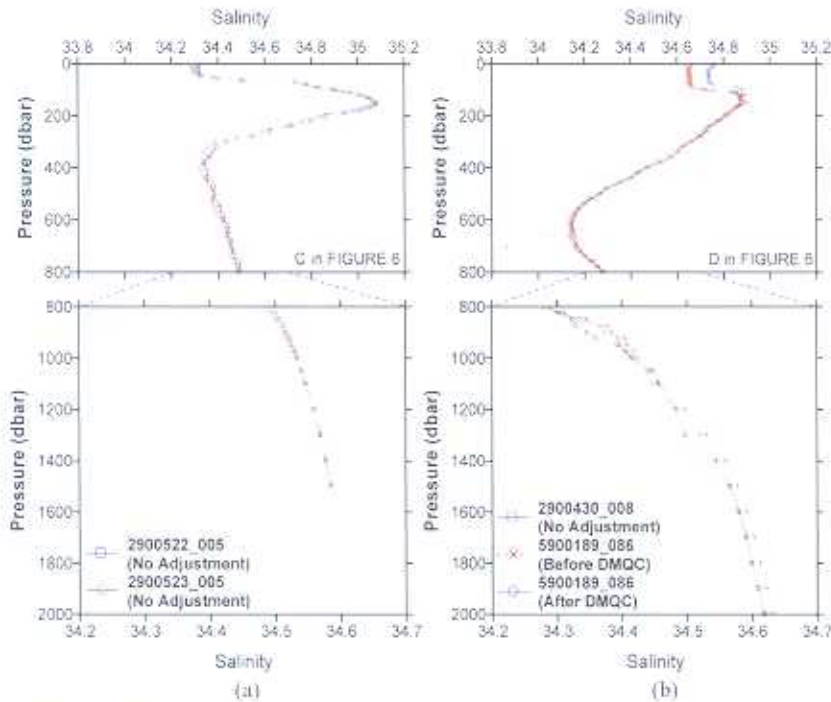


Fig. 8. Vertical salinity profiles of two spatially and temporally nearby Argo floats (2900522 and 2900523) with no adjustment (a), and an Argo float (2900430) with no adjustment and an adjusted Argo float (5900189) (b).

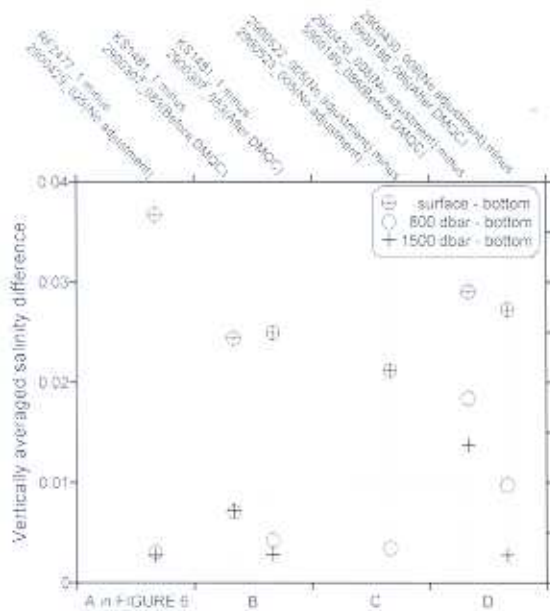


Fig. 9. Vertically averaged salinity difference between 4 pairs of nearby salinity data in Fig. 6.

자료를 도식한 것이다. 1500 -2000 dbar 사이의 두 프로파일간의 염분차이가 보정 전에는 0.01보다 컸으나 보정 후에는 0.003(1/5로 감소)으로 자료의 품질이 개선되었다.

### 5. 결론

전 지구적인 기후변화를 정확하게 예측하기 위하여 정부간해양학위원회가 세계기상기구와 공동으로 전 지구적인 해양관측체계인 Argo 사업을 추진하고 있다. 획득한 자료는 국가별로 실시간모드와 지연모드로 나누어 관리하고 있으며, 실시간 품질관리과정을 거친 자료는 24시간 내에 세계 Argo 자료센터를 통하여 배포되고 있다. 관측 자료 중 압력과 수온은 플로트의 작동 예상기간인 4년 동안 안정적인 반면에 염분은 생물오손, 센서의 오염, 산성물체의 용해 등에 의해 관측 오류가 발생하므로 자동화된 실시간 품질관리 과정을 거치지만, 이러한 실시간 자료품질관리만으로는 양질의 자료를 선별하

는 것이 어려우므로 최대 1년간의 축적된 자료를 한꺼번에 이용하는 정밀 품질관리 과정인 지연모드 품질관리를 수행한다. 세계 Argo 자료관리단 회의에서 표준화된 방법인 WJO 프로그램을 제안하여 전 세계적으로 공통으로 적용하고 있다.

태평양의 해양기후변동을 정밀하게 분석할 수 있도록 하기 위하여 국내 기관이 태평양에 투하하여 획득하여 실시간 품질관리 과정을 거친 Argo 자료에 대하여 압력과 수온 그리고 염분에 대하여 지연모드 품질관리를 수행하였으며 전문가의 검토 과정을 거쳤다. 특히 염분은 WJO 프로그램을 이용한 보정치를 제시함으로써 지연모드 자료의 품질을 개선하였다. 또한 Argo 지연모드 염분 자료와 시공간적으로 가까운 현장관측 염분자료를 비교하여 시공간적인 변화가 거의 없는 심층(1500-2000 dbar)에서 두 자료간의 차이가 Argo 프로그램의 목표 오차인 0.01 이하인 0.003이었고, 보정하기 전보다 보정한 후의 염분이 훨씬 차이가 작았다. 따라서 WJO 프로그램을 이용한 Argo 염분자료는 지연모드 품질관리를 통하여 자료의 품질이 향상되었다. 아울러 지연모드 품질관리 과정에 염분의 보정치 채택 여부를 판단하는 과정에 참값에 해당하는 현장관측자료가 긴장적인 역할을 하므로 지연모드 품질관리를 위하여 전 세계적으로 현장관측자료를 공유하는 체계가 필요하다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원의 한국해양자료센터의 운영(RP-2008-ME-056)과 한국해양연구원의 국제공동해양조사연구(PI:98001) 과제의 일환으로 수행하였습니다.

## 참고 문헌

- 1) IPCC, 2007, Summary for Policymakers. In : Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marguis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 18pp.
- 2) Levitus S., Antonov J., Boyer T., 2005, Warming of the world ocean, 1995-2003, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L02604, doi:10.1029/2004GL021592.
- 3) Argo Science Team, 2000, Report of the Argo Science Team 2nd Meeting, 7-9 March 2000, Southampton Oceanography Center, Southampton, U.K.
- 4) 양준용, 석문식, 서영상, 정희동, 리승, 2008, Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해양정보제공시스템 개발연구, *한국환경과학회지* 17(4), 461-468.
- 5) 오경희, 박영규, 석문식, 2004, 자동수식물성관측틀개(ARGO Float)로 얻은 수온과 염분의 정확도와 안정도, *한국해양학회지* 9(4), 204-211.
- 6) Freeland H., 1997, Calibration of the conductivity cells on PALACE floats. U.S. WOCE Implementation Report No. 9, U.S. WOCE Office, 37-38.
- 7) Freitag H. P., McCarty M. E., Nosse C., Lukas R., McPhaden M. J., Cronin M. F., 1999, COARE Seacat data: Calibrations and quality control procedures. NOAA Technical Memorandum ERL PMEL-115, 89pp.
- 8) Oka E., Ando K., 2004, Stability of temperature and conductivity sensors of Argo profiling floats, *Journal of Oceanography*, 60, 253-258.
- 9) Kobayashi T., Minato S., 2005, Importance of reference dataset improvements for Argo delayed-mode quality control, *Journal of Oceanography*, 61, 995-1009.
- 10) Argo Data Management Team, 2007, Argo quality control manual v2.3, 33pp.
- 11) Argo Data Management Team, 2002, Report of Argo data management Meeting, Argo data management 3rd Meeting, 18-20 September 2002, Marine Environmental Data Service, Ottawa, Canada.
- 12) <http://ftp.ifremer.fr/ifremer/argo/>
- 13) <http://www.jma.go.jp/jma/>
- 14) Kobayashi T., 2004, Historical salinity dataset for Argo delayed-mode quality control: Selected Hydrographic Dataset (SeHyD). *Report of Japan Marine Science and Technology Center*, 49: 51-71 (in Japanese with English abstract).
- 15) Wong A. P. S., Johnson G. C., Owen W. B., 2003, Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by  $\Theta$ -S climatology, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 20, 308-318.



## Argo 자료를 이용한 해외어장 실시간 해황정보시스템 개발연구

양준용 · 석문식<sup>\*</sup> · 서영상 · 정희동<sup>\*\*</sup> · 허 승<sup>\*\*\*</sup>

국립수산과학원 환경연구부 해양연구과, <sup>\*</sup>한국해양연구원 해양기후변화연구사업단,  
<sup>\*\*</sup>국립수산과학원 남해수산연구소 환경연구과, <sup>\*\*\*</sup>국립수산과학원 서해수산연구소 환경연구과  
(2008년 2월 4일 접수; 2008년 3월 4일 채택)

### Development of Real-time Oceanographic Information System for Pelagic Fishery Based on Argo Data

Joon-Yong Yang, Moon-Sik Suk<sup>\*</sup>, Young-Sang Suh,  
Hee-Dong Jeong<sup>\*\*</sup> and Seung Heo<sup>\*\*\*</sup>

*Ocean Research Division, Environment Research Department, National Fisheries  
Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea*

*<sup>\*</sup>Ocean Climate Change Research Division, Korea Ocean Research and  
Development Institute, Ansan 426-744, Korea*

*<sup>\*\*</sup>Environment Research Division, South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries  
Research and Development Institute, Yeosu 556-823, Korea*

*<sup>\*\*\*</sup>Environment Research Division, West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries  
Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea*

(Manuscript received 4 February, 2008; accepted 4 March, 2008)

#### Abstract

Competitive power of pelagic fishery in Korea has been weakened by the domestic and international problems such as wage increase and exclusive economic zone. To make it worse, fishing fleet spends more than 80% of fishing time on searching fishing grounds. Real-time information on oceanographic data, temperature in particular, are likely to contribute to raise efficiency of fishing. However, available data obtained by satellite remote sensing, fixed buoy and drifting buoy, limited to sea surface or fixed positions. ARGO (Array for Real-time Geostrophic Oceanography), an international program, has delivered vertical profiles of temperature and salinity in the upper 2000 m of the world ocean every 10 days using freely moving floats. We have developed real-time oceanographic information system for pelagic fishery based on the Argo data which has the contents of vertical profile, horizontal distribution and vertical section of temperature around fishing grounds and searched data can be download unrestrictedly. Comparison of skipjack catch with sea surface temperature and depth of 20°C derived from Argo data in the West Equatorial Pacific revealed that Argo data are able to help fishing fleet to find fishing grounds and to increase catch.

**Key Words :** Argo, Real-time, Information system, Pelagic fishery, Fishing ground

Corresponding Author: Joon-Yong Yang, Ocean Research  
Division, Environment Research Department National Fisheries  
Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea  
Phone: +82-51-720-2231  
E-mail: yangjy@nfrdi.re.kr

## 1. 서 론

우리나라의 해외어장 진출은 1957년 인도양의 다랑어 연승어업으로 시작하여 1970-80년대 신장기 및 재편기를 거친 후 유엔해양법 협약 발효에 따른 구조조정을 맞고 있으며<sup>1)</sup>, 원양어업의 경쟁력은 배타적 경제수역 실편에 따른 어장축소의 심화, 공해어업 통제, 주요 연안국의 어업관리 강화 및 조업 경쟁국의 세력 확장과 같은 외부여건의 변화와 아울러 원양어업의 경영규모의 영세성, 어선의 노후화 및 임금 상승 등 내부여건의 악화 등으로 약화되었다<sup>2)</sup>. 더욱이 어획대상 어군은 주변의 수온과 플랑크톤과 같은 변동성이 큰 해양환경에 의하여 분포와 밀도를 달리하므로 어선들이 어업활동의 80% 이상의 시간을 어장을 찾는데 소모하고 있어<sup>3)</sup> 경쟁력을 높이기 위하여 어장탐색효율의 제고가 요구되고 있다. 따라서 해양의 표층 및 수심별 수온 분포와 플랑크톤의 분포 등의 실시간 정보는 어군의 분포 및 이동 등과 연계할 수 있으며 특히 대양을 대상으로 하는 원양어업의 조업효율 극대화에 결정적으로 기여할 수 있다<sup>4)</sup>. 그런데 해양 생물은 대부분 수온에 민감하여 0.03°C에서 0.06°C의 수온 차이에도 반응하는 것으로 알려져 있으므로<sup>5)</sup> 여러 정보 중에서 수온이 어군의 분포 및 이동에 가장 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨지며, 이에 관련된 연구가 많이 이루어졌다<sup>6-9)</sup>.

원양어업에 활용할 수 있는 실시간 수온자료는 적외선 원격탐사를 활용한 해양표면수온(NOAA/AVHRR), 적도태평양에 위치한 고정식 해양부이인 TAO/TRITON, 표층 표류부이가 관측한 표층 수온 등이 있다<sup>4)</sup>. NOAA/AVHRR는 광범위한 해역의 표면수온자료를 제공하고, 표층 표류부이는 해수와 같이 이동하면서 표층 수온자료를 제공하지만 모두 자료가 표층에 국한되는 있는 단점이 있다. 반면에 수심별 수온자료를 제공하는 TAO/TRITON은 반대로 적도태평양 해역에 국한되어 있어 자료제공해역이 제한적이라는 단점을 가지고 있다. Argo 프로그램은 3차원적으로 수온, 염분 및 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 국제공동 해양관측사업이다<sup>10)</sup>. Argo 플로트는 해양표면만 관측하는 적외선 원격탐사와 표층 표류부이와는 달리 수온의 수층별 자료

를 생산하고 있고, TAO/TRITON 부이와는 달리 이동하면서 관측하므로 관측해역이 적도태평양에만 국한되지 않는다.

본 개발연구에서는 전 세계 대양에서 작동하고 있는 Argo 플로트가 주기적으로 생산하고 있는 자료를 토대로 해외어장 실시간 해양정보시스템의 개발연구를 수행하였으며, 태평양 선망어업의 주 어획어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 수온 분포를 비교하여 Argo 자료를 원양어업의 어장탐색에 활용하는 연구를 수행하였다.

## 2. Argo 프로그램

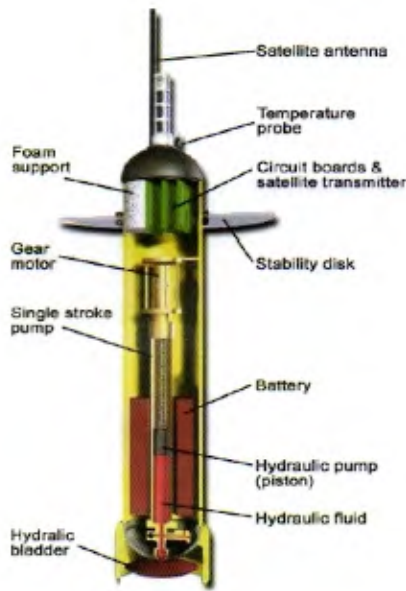
### 2.1. 국제 Argo 프로그램

세계기상기구(WMO)와 유네스코 산하 국가간해양과학위원회(IOC)가 공동으로 기후변동예측과 관련된 해양의 역할을 구명하기 위하여 전 세계 대양을 대상으로 한 Argo 프로그램을 2000년부터 추진하고 있다<sup>10)</sup>. Argo 프로그램은 자체적으로 밀도를 조절하여 침강과 상승을 주기적으로 반복하는 Argo 플로트(Fig. 1(a))를 이용하여 결빙되지 않은 전 세계 해양의 특정 수심과 해수면사이의 수온, 염분과 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 프로그램이다(Fig. 1(b)). Argo 플로트는 10일에 한번씩 수심 2000 m으로부터 표층까지 상승하면서 수온과 염분을 관측한 후 표층에 머물면서 인공위성을 통해 관측한 자료를 송신하고 다시 침강하여 수심 2000 m로 복귀한다(Fig. 1(b)). 이 프로그램의 목적은 해양 상층부의 물리적 상태를 체계적으로 관측하고 해양예보 및 해양과 대기의 상호작용에 의한 기후변화의 예측 가능성을 증진시키는 것이며, 전 세계 대양에 약 3,000여개의 Argo 플로트가 작동하는 것을 1차적인 목표로 하였으며, 2007년 11월에 이 목표를 달성하였다(Fig. 2). 이러한 3,000여개의 Argo 플로트는 전 세계 해양에 평균적으로 3° 간격으로 분포하게 되며, 연간 100,000개의 수온과 염분의 수직구조와 해류 관측치를 제공할 것으로 예상된다.

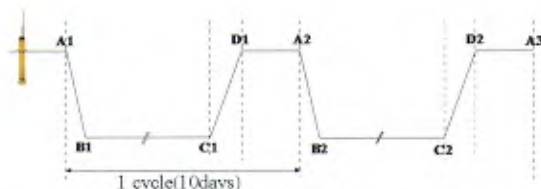
### 2.2. 국내 Argo 프로그램

한국은 한국해양연구원과 기상청 국립기상연구소가 동해, 태평양과 남극해에 2006년까지 180개의 Argo 플로트를 투하하였다. 관측된 Argo 자료는 국





(a)



A-B : descending (5hours) B-C : drifting at the parking pressure(2000dbar)  
 C-D : ascending with measurement(6hours)  
 D-A : drifting at the surface with transmission(9hours)

(b)

Fig. 1. Cross-section of a typical Argo float<sup>14)</sup>(a) and schematic diagram of Argo float in operation (b).

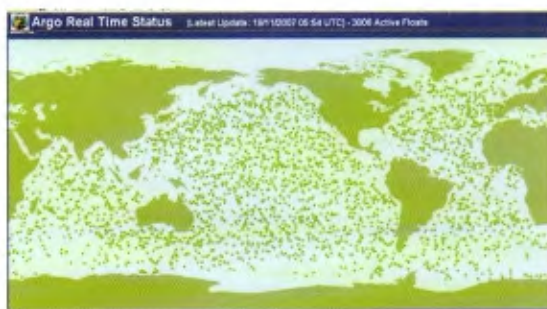


Fig. 2. Positions of active Argo floats as of November 2007<sup>15)</sup>.

가별로 실시간 모드(Real-time mode)와 지연 모드(Delayed mode)로 나누어 관리하고 있으며, 실시간 모드 파일은 날짜, 위치 테스트 등 19개의 자동품질 관리과정을 거친 것으로 24시간 내에 미국과 프랑스가 운영하고 있는 세계 Argo 자료센터(GDAC)를 통하여 배포되고 있다<sup>11)</sup>. 한국의 지연모드 품질관리는 국립수산과학원 한국해양자료센터가 담당하고 있으며, 지연모드 품질관리는 실시간모드의 자동품질관리와 다른 품질관리기법을 적용하여 전문가의 검토를 거친 후 6개월에서 1년 이내에 GDAC에 지연모드 자료를 보고하는 것이다.

### 3. 시스템 구성 및 정보제공

#### 3.1. 시스템 개발

Argo 프로그램에 의해 관측된 자료는 실시간모드 자료품질관리를 거친 후 NetCDF 형태의 파일로 변환되어 24시간 이내에 미국과 프랑스의 GDAC에 모이게 된다. Fig. 3은 GDAC으로부터 자료를 다운로드받아 인터넷으로 제공하기까지 자료의 흐름을 도시한 것으로 FTP 다운로드, NetCDF 업로더 등을 포함하고 있는 사각형안의 각 요소들을 개발하였다. FTP 다운로드는 두 GDAC에 하루에 한 번 순차적으로 접속하여 전 세계 대양의 Argo 자료를 다운로드 받는다. 자료의 시간의 유효성과 육지 여부를 검토하고 수온과 염분의 허용 최대값과 최소값을 이용한 자료의 유효성을 검사를 수행한다. NetCDF 업로더를 처리된 Argo 자료를 DB에 입력한다. 이렇게 입력된 Argo DB의 자료는 국립수산과학원 한국해양자료센터 홈페이지<sup>12)</sup>내에 해외어장 실시간 해황정보시스템 웹페이지를 통하여 세 가지의 형태로 검색 및 출력할 수 있도록 개발하였다(Fig. 4).

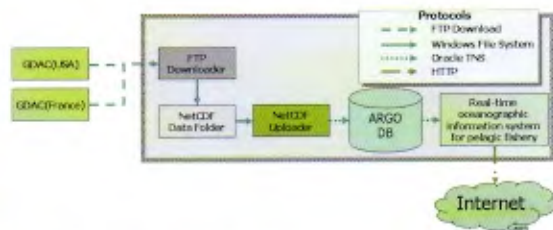


Fig. 3. Schematic diagram of Argo data flow at the Korea Oceanographic Data Center.

### 3.2. 정보제공

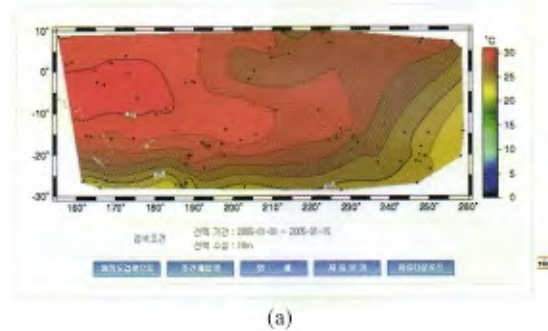
수평분포도는 각각의 수심에서 수온 분포를 도시하여 나타내며, 연직단면도는 연직 횡단면상에서의 수온 분포를 도시하여 나타내도록 하였다. 또한 수직구조도는 한 관측지점의 수심에 따른 수온의 분포를 그래프로 도시하도록 하였다. 수평분포도의 경우 사용자가 표준수심 중에서 선택할 수 있게 하였다. 그런데 입력한 수심과 일치하는 수심의 자료가 드물기 때문에 입력받은 수심과 가장 근접한 두 개의 자료로부터 내삽하여 선택한 수심의 수온을 계산한 후 그래프를 도시한다(Fig. 5a). 검색된 자료가 5개 미만인 경우 자료의 유효하지 않으므로 수평분포도를 출력하지 않게 하였다. 연직단면도는 위도, 경도 혹은 임의의 점 연장선상에서의 단면도에 나타나는 수온 분포를 도시하도록 하였으므로 사용자가 위도나 경도, 혹은 임의의 점을 입력해야 한다(Fig. 5b). 그러나 일반적으로 위도와 경도 상에 자료가 정확하게 존재하지 않으므로 선택한 위도와 경도로부터 일정범위의 자료를 추출하도록 하였다. 일정범위 또한 사용자가 선택할 수 있으며, 연직단면도도 검색된 자료가 5개 미만이면 출력하지 않도록 하였다. 수직구조도는 한 지점에서 수심에 따른 수온의 분포를 확인할 수 있으므로(Fig. 5c) 이것을 통하여 수온약층의 깊이를 알 수 있다. 사용자가 지도에서 자료가 있는 지점을 선택할 수 있으며, 선택된 항목의 플롯 ID와 날짜를 함께 표시하여 참고가 되도록 하였다. 그래프의 세로축인 수심은 자료의 최대수심을 고려하여 자동으로 조절되며, 실제



Fig. 4. Webpage of real-time oceanographic information system for pelagic fishery.

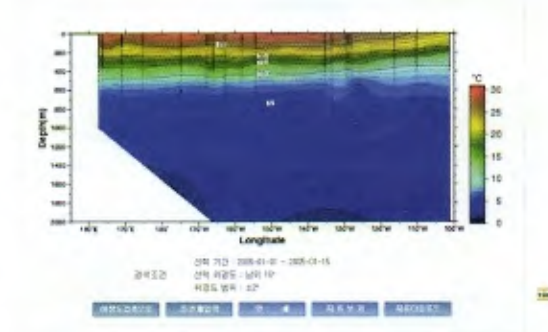
자료를 텍스트 파일로 다운로드가 가능하도록 개발하였다.

※ 실시간연직단면도 검색 (수평분포도)



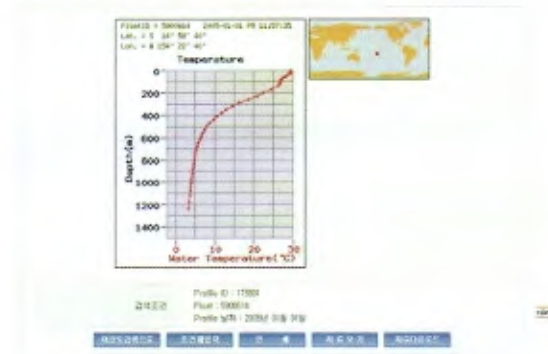
(a)

※ 실시간연직단면도 검색 (연직단면도)



(b)

※ 실시간연직단면도 검색 (수직구조도)



(c)

Fig. 5. Search examples of horizontal distribution (a), vertical section (b) and vertical profile (c) of the real-time oceanographic information system for pelagic fishery.



## 4. 활용연구

### 4.1. 선망어업 어획량 및 수온자료 분석

해외어장 해양정보 제공시스템에서 제공하는 Argo 수온 자료를 이용하여 어장 탐색과 어획량 증대에 활용하는 연구를 수행하였다. 다랑어류는 다른 어종에 비해 생산량에 있어 중요한 위치를 차지하고 있고, 경제적으로도 통조림 혹은 튀김용으로 국제적인 거래가 활발히 이루어지는 종으로 대부분이 선망, 연승 및 채낚기 어업 등으로 어획된다<sup>7,13)</sup>. 최근에는 채낚기와 연승어업은 감소하는 반면에 선망어업이 급격히 증가하고 있으며, 선망어업의 어장은 적도 서부태평양인 파푸아 뉴기니 북부해역에 형성된다. 선망어업의 주 대상어종은 표층원양성, 대양성으로 표면수온이 최소 25°C 이상의 전 세계

의 열대 및 온대성 해양에 분포하는 가다랑어 (skipjack)이다<sup>13)</sup>. 가다랑어 어획량은 원양 다랑어 선망어업 선박이 조업할 때에 기록한 해구별(1°×1°) 가다랑어 어획량 및 노력량 자료를 근거로 한 2003년도 단위 노력당 어획량(CPUE) 자료를 이용하였다<sup>13)</sup>. 선망어구의 깊이가 대략 180-220 m이므로<sup>6)</sup> 수온약층을 고려하면 다랑어 어획량과 수온 20°C의 수심과 상관관계가 높은 것으로 판단된다<sup>8)</sup>. 따라서 수온 20°C에 해당하는 수심(D20)을 Argo 자료로부터 계산하여 표층수온(SST)과 어획량 자료와 함께 비교 분석하였다(Fig. 6).

월별로 어획량이 많은 위치의 SST와 D20 평균값을 구하여 기준값( $rSST$ ,  $rD20$ )으로 정의하였다(Fig. 7). 1-3월, 12월의 기준값의 SST는 높고 D20은 얇은

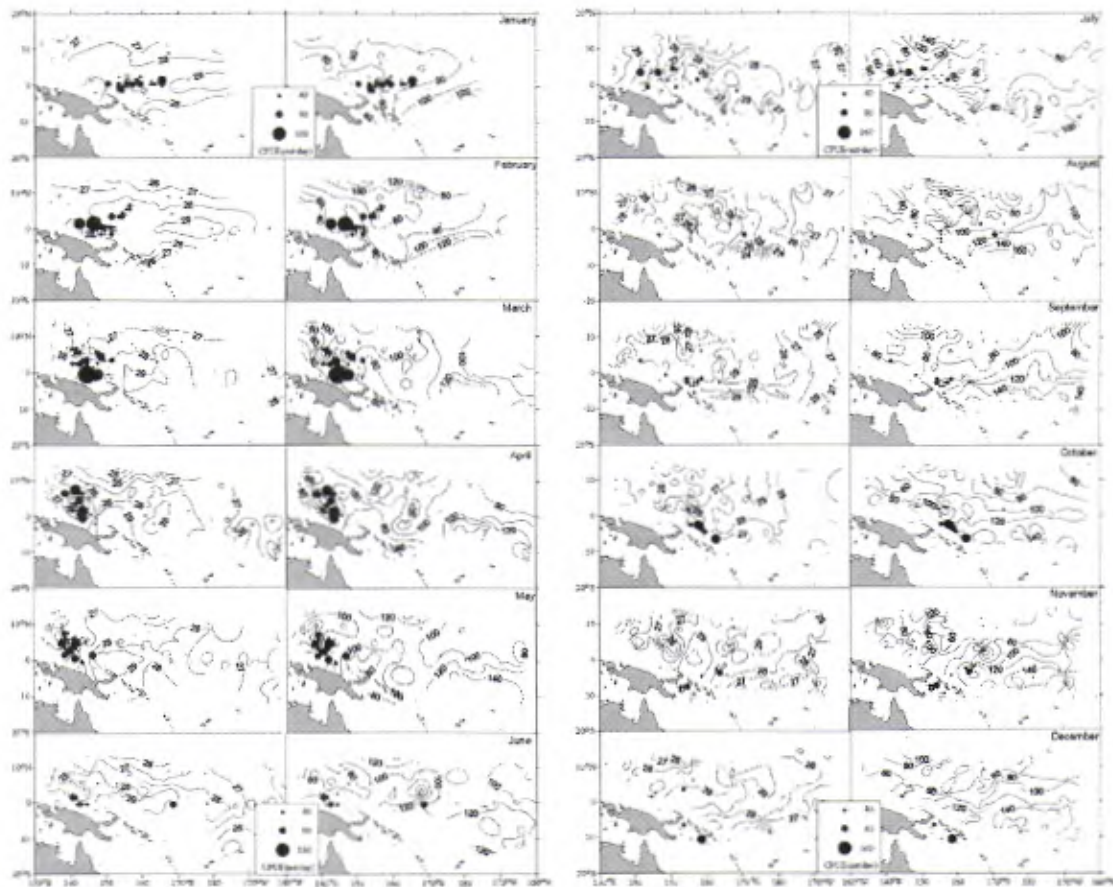


Fig. 6. Sea Surface Temperature (left, °C) and depth of 20°C (right, meter) with monthly catch per unit effort of skipjack (filled circle) from January to December in the West Equatorial Pacific in 2003.



반면에, 4월은 SST가 낮고 D20은 깊었으며 11월의 D20이 제일 깊었다. 따라서 연속하는 월중에서 3월

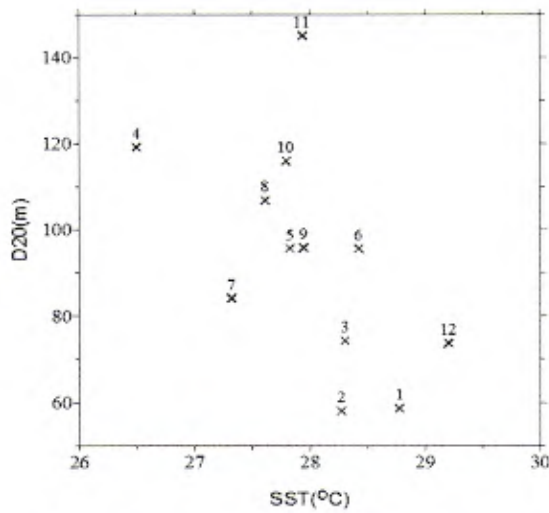


Fig. 7. Reference values of Sea Surface Temperature (SST) and depth of 20°C (D20) which were means of ones at the area of high CPUE of skipjack (>80mt/day). Numerals represent months.

과 4월, 11월과 12월의 기준값 차이가 크게 나타났다. 이렇게 정의한 기준값과 각각의 자료와의 차 (SST-rSST, D20-rD20)를 구한 뒤, 최대값(mSST, mD20)으로 식 (1)과 같이 표준화한 표준화편차 (Normalized deviation, ND)를 구하였다. 즉, ND가 0에 가까우면 SST와 D20이 기준값에 가깝고, 1에 가까울수록 기준값과 차이가 큰 것을 의미한다.

$$ND_n = \sqrt{\left(\frac{SST_n - rSST_{n-1}}{mSST}\right)^2 + \left(\frac{D20_n - rD20_{n-1}}{mD20}\right)^2} \quad (1)$$

$$mSST = \text{Max}(SST_n - rSST_{n-1}),$$

$$mD20 = \text{Max}(D20_n - rD20_{n-1}), n = 2, 3, \dots, 12(\text{월})$$

4.2. 어장탐색

이미 형성되어 있는 어장의 어획량 정보와 실시간 수온정보를 이용하여 어획 가능성이 높은 해역을 예측하기 위하여 앞선 달의 기준값을 이용하여 2월부터 12월의 ND 분포를 구하였다(Fig. 8). 즉, 2월의 경우 1월의 기준값을 2월의 SST와 D20에 적용하여 ND를 구하였다. 대체로 ND가 0.3 이하인 해역

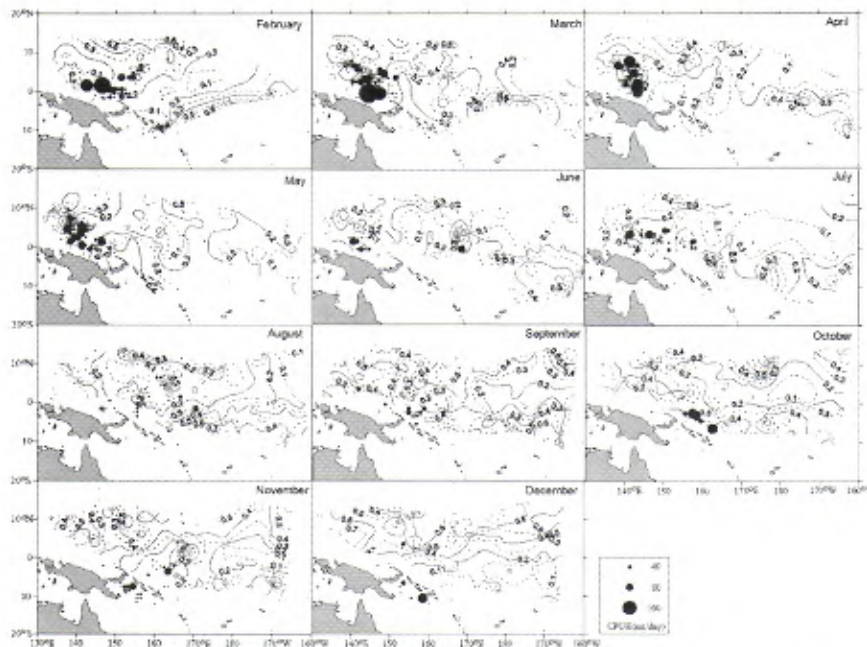


Fig. 8. Distribution of normalized deviation from reference values of SST and D20 in previous month with CPUE of skipjack (filled circle).

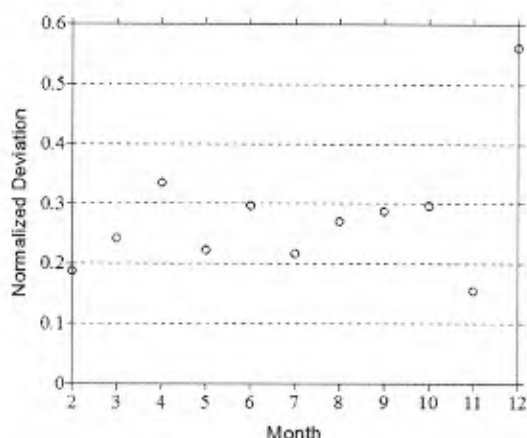


Fig. 9. Monthly mean of normalized deviation at the area of high CPUE of skipjack (>80mt/day).

에 어획이 이루어졌으므로 ND가 0.3 이상인 해역은 어장의 가능성이 낮은 것으로 보인다. 즉 직전의 어획자료와 지속적으로 입수하고 있는 Argo 자료로부터 구한 ND 분포를 어장탐색에 활용하여 어장탐색 효율을 올릴 수 있을 것으로 여겨진다. Fig. 9는 어획이 많이 이루어진 곳의 평균 ND를 도시한 것으로 대체로 평균 ND가 0.2와 0.3 사이에 위치하고 있다. 4월과 11월의 0.3 이상의 높은 평균 ND는 SST와 D20의 기준값 변화가 큰 것에 기인한 반면에 2월과 10월의 0.2 이하의 낮은 평균 ND는 그 전월의 많은 어획량과 SST와 D20의 기준값 변화가 작은 것에 기인한 것으로 판단된다.

## 5. 결론

1957년에 시작된 우리나라 원양어업의 경쟁력은 배타적 경제수역 선포에 따른 외부여건의 변화와 경영규모의 영세성, 어선의 노후화 및 임금 상승 등 내부여건의 악화 등으로 악화되었고, 더욱이 변동성이 큰 해양환경에 의하여 어선들이 어업활동의 80% 이상의 시간을 어장을 찾는데 소모하고 있는 실정이다. 실시간 해양환경 정보, 특히 수온자료는 어군의 분포 및 이동 등과 연계할 수 있으므로 원양어업의 조업효율의 극대화에 결정적으로 기여할 수 있다. 원양어업에 활용할 수 있는 실시간 수온자료는 적외선 원격탐사를 활용한 해양표면수온(NOAA/AVHRR), 적도태평양에 위치한 고정식 해양부이인

TAO/TRITON, 표층 표류부이가 관측한 표층 수온 등이 있으나, 자료가 표층에 국한되어 있거나 적도태평양의 고정점이라는 단점을 가지고 있다.

Argo 프로그램은 전 세계 대양의 수온, 염분 및 해류를 관측하여 실시간으로 제공하는 국제공동 해양관측 프로그램으로 표층으로부터 수심 2000 m의 자료를 제공하고 있다. Argo 프로그램은 해양표면만 관측하는 적외선 원격탐사와 표층 표류부이와는 달리 수온의 수층별 자료를 생산하고 있으며, TAO/TRITON 부이와는 달리 해류와 함께 이동하면서 관측하므로 관측해역이 적도태평양에만 국한되지 않는다. 이러한 Argo 자료를 이용하여 해외어장 실시간 해황정보시스템을 개발하였으며, 인터넷을 통하여 수평분포도, 연직단면도와 수직구조도를 그래프로 도시하도록 하였고 실제 자료를 텍스트 파일로 다운로드가 가능하도록 개발하였다.

급격히 증가하고 있는 선망어업의 주 대상어종인 가다랑어 어획량과 Argo 자료로부터 구한 SST와 D20과의 관계를 비교하여 Argo 플랫폼이 관측한 실시간 수온 자료의 원양어업 활용가능성에 대하여 연구하였다. 월별로 어획량이 많은 위치의 SST와 D20 평균값을 구하여 기준값으로 정의하였고, 이미 형성되어 있는 어장의 어획량 정보와 Argo 자료를 이용하여 어획 가능성이 높은 해역을 예측하기 위하여 앞선 달의 기준값을 이용하여 ND 분포를 구하였다. ND가 0.3 이하인 해역에 어획이 대체로 이루어졌으므로 직전의 어획자료와 지속적으로 입수하고 있는 Argo 자료로부터 구한 ND 분포에서 0.3 이하인 해역에 대하여 우선적으로 어장탐색을 한다면 관련된 비용을 절감할 수 있을 것으로 생각된다. 향후 영향이 큰 인자에게 가중치를 준다거나 생물자료와 같은 다른 자료를 추가하여 ND를 개선하면 어장 탐색의 정확성을 증진시켜 어획량 증대에 기여할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산과학원의 한국해양자료센터의 운영(RP-2008-ME-015)과 한국해양연구원의 국제공동해양조사연구(PE98010) 과제의 일환으로 수행하였습니다.

## 참고 문헌

- 1) 국립수산과학원, 2007, 원양어장개발 50년(어구개발 및 자원조사를 중심으로), 785pp.
- 2) 이상고, 2005, 새로운 국제해양질서에 부응한 원양어업 경쟁력 강화 방안, 한국수산경영학회 학술대회지.
- 3) 이병기, 1989, 연근해 어업개론, 태평출판사, pp. 5-11.
- 4) 장현선, 송무석, 홍기용, 2002, 태평양 원양어업의 효율제고를 위한 원격해양자료 활용기술 연구, 한국원격탐사학회지, 5(4), 19-26.
- 5) 김재철, 1986, 태평양의 다랑어(참치) 어획량과 수온 분포와의 관계, 어업기술, 22(4), 21-31.
- 6) 김형석, 1999, 서부태평양해역에서의 다랑어 선망어업의 어군성상과 연직수온, 한국어업기술학회지, 35(3), 237-242.
- 7) 안두해, 문대연, 고정락, 조규대, 박영철, 2003, 태평양 ENSO 현상에 따른 다랑어 이용도 변화, 한국수산학회지, 36(4), 430-436.
- 8) 문대연, 양원석, 김순송, 고정락, 김은정, 2005, 중서부태평양 한국 다랑어 선망어업의 조업 특성, 한국어업기술학회지, 41(4), 263-270.
- 9) 조규대, 김윤애, 박성우, 김재철, 박민식, 1987, 남동태평양의 참치 어획량과 해양환경과의 관계, 한국수산학회지, 20(4), 360-369.
- 10) Argo Science Team, 2000, Report of the Argo Science Team 2nd Meeting, 7-9 March 2000, Southampton Oceanography Center, Southampton, U.K.
- 11) Argo Science Team, 2001, Report of the Argo Science Team 3rd Meeting, 20-22 March 2001, Institute of Ocean Science, Sydney, B.C., Canada.
- 12) <http://kocd.nfrdi.re.kr>.
- 13) 국립수산과학원, 2004, 한국 원양 다랑어 선망어업 어장 및 자원동향, 예문사, 211pp.
- 14) Argo project office, 2003, Argonautics, newsletter of the international Argo project, 7pp.
- 15) <http://argo.jcommops.org>.

## Article

## 북서태평양의 표층엽록소 변동성

박지수<sup>1</sup> · 석문식<sup>2</sup> · 윤석<sup>3</sup> · 유신재<sup>1\*</sup><sup>1</sup>한국해양연구원 해양생물자원연구부<sup>2</sup>한국해양연구원 기후·연안재해연구부<sup>3</sup>한국해양연구원 해양위성·관측기술연구부  
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29Variability of Surface Chlorophyll Concentration  
in the Northwest Pacific OceanJisoo Park<sup>1</sup>, Moon-Sik Suk<sup>2</sup>, Suk Yoon<sup>3</sup>, and Sinjae Yoo<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Marine Living Resources Research Department, KORDI<sup>2</sup>Climate Change & Coastal Disaster Research Department, KORDI<sup>3</sup>Ocean Satellite Remote Sensing & Observation Technology Research Department,  
KORDI, Ansan P.O Box 29, Seoul 425-600, Korea

**Abstract :** We collected information on seasonal and interannual variability of surface chlorophyll *a* concentration between 1997-2007 from the Northwest Pacific Ocean. Satellite data were used to acquire chlorophyll *a* and sea surface temperature from six regions: East Sea/Ulleung Basin, East China Sea, Philippin Sea, Warm Pool region, Warm Pool North region, and Warm Pool East region. Mixed layer depth (MLD) was calculated from temperature profiles of ARGO floats data in four of the six regions during 2002-2007. In the East Sea/Ulleung Basin, seasonal variability of chlorophyll *a* concentration was attributed to seasonal change of MLD, while there was no significant relationship between chlorophyll *a* concentration and MLD in the Warm Pool region. Interannual anomaly in sea surface temperature were similar among the East Sea, East China Sea, Philippin Sea, and Warm Pool North region. The anomaly pattern was reversed in the Warm Pool East region. However, the anomaly pattern in the Warm Pool region was intermediate of the two patterns. In relation to chlorophyll *a*, there was a reversed interannual anomaly pattern between Warm Pool North and Warm Pool East, while the anomaly pattern in the Warm Pool region was similar to that of Warm Pool North except for the El Niño years (1997/1998, 2002/2003, 2006/2007). However, there was no distinct relationship among other seas. Interestingly, in the Warm Pool and Warm Pool East regions, sea surface temperature showed a pronounced inverse pattern with chlorophyll *a*. This indicates a strong interrelationship among sea surface temperature-MLD-chlorophyll *a* in the regions. In the Warm Pool and Warm Pool East, zonal distribution of chlorophyll *a* concentration within the past 10 years has shown a good relationship with sea surface temperature which reflects ENSO variability.

**Key words :** chlorophyll *a*, interannual variation, Northwest Pacific, ARGO floats, mixed layer depth

## 1. 서 론

1998-2003년 동안의 6년간 위성자료로 관측된 전 지구

해양의 표층 엽록소 농도는 약 4.1% 증가했다(Gregg *et al.* 2005). 연안역에서 10% 가량 증가한 반면 외해에선 1% 가량만이 증가했으며, 특히, 5개 중위도 환류(mid-ocean gyres) 중 북태평양을 비롯해 4개 해역에선 반대로 약간의

\*Corresponding author. E-mail : sjyoo@kordi.re.kr



감소 추세가 보였다. 또한, Yoo *et al.*(2008)에 의하면, 북태평양 전역 생태계의 대부분 해역에서 엽록소는 지속적인 계절패턴을 보이고 있다. 그러나, 북태평양 고위도 연안역에 비해 서태평양 열대/아열대 해역의 엽록소 변동에 대한 연구는 미흡하다.

일반적으로, 고위도 해역은 계절적으로 수층이 안정됨에 따라 광조건이 호조되어 식물플랑크톤의 번성이 발생하는 반면(Sverdrup 1953), 저위도 해역은 수직혼합에 의해 성층이 약화되어 영양염이 빈곤한 표층 혼합층으로 저층 영양염이 공급되어 발생한다(Dandonneau *et al.* 2004). 워플해역은 연중 엽록소 *a*의 농도가 낮음에도 불구하고 계절변동(2-3월에 피크)과 경년변동은 뚜렷이 나타나는 해역으로 알려져 있으며, 워플해역과 워플 동쪽해역은 엽록소의 경년변동 패턴이 다르게 나타나고 있다(Yoo *et al.* 2008). 또한, 이 해역 표층엽록소 농도의 계절변동은 표층 해류의 변화와 크게 관련되어 있으며(Messie and Radenac 2006), 바람에 의한 저층 용승의 영향으로 경년변동이 발생한다(Ryan *et al.* 2002). 또한, 태평양 적도 해역은 엘니뇨/라니냐의 영향을 크게 받는 해역으로, 신 생산력(new biological production)에 있어서도 큰 경년변동이 관찰되곤 한다(Turk *et al.* 2001). 혼합층 수심과 수온약층 수심의 변동성은 해양 표층 생태계와 대기-해양간 이산화탄소 교환에 미치는 효과로 인해 매우 중요한 의미가 있으며, 적도 해역은 혼합층 수심과 수온약층 수심 간에 양의 상관관계가 강하게 나타나는 고위도 해역과 달리 상관관계가 작거나 역 상관관계가 나타나는 해역이다(Wilson and Coles 2005).

한편, 동해 울릉분지 해역은 4월에 한번의 큰 번성과 11-12월 작은 번성이 발생하며, 번성의 시기와 규모 모두에서 경년변동이 나타나는 해역이다(Yamada *et al.* 2005; Kim *et al.* 2007; Yoo *et al.* 2008). 쿠로시오 해류는 서태평양에서 시작하여 동중국해, 동해 등에 영향을 미치므로 서태평양 적도 해역의 해양환경 변화는 간접적으로 동해에까지 영향을 줄 것으로 예상된다. 그러나 아직 이들 해역의 해양환경 변동이 우리나라 근해의 변동과 어떤 관계를 가지는지에 대해선 알려진 바가 별로 없다.

이 연구에서는 대양환경이 한반도 주변해 생태계에 미치는 영향을 알기 위해 동해와 서태평양 일대의 6개 해역을 선정하였고, 표층엽록소 농도의 계절변동 및 경년변동을 혼합층 수심의 변동 및 표층수온의 변동과 연계해 살펴보고자 하였다. 6개 해역의 위치는 북적도 해류(Northeast equatorial current)와 북적도 반류(Northeast equatorial counter current)의 영향권에 있는 서태평양 워플해역과 이 해역의 동부 적도해역을 포함하고, 우리나라에 영향을 미치는 쿠로시오 해류의 시작과 경로상의 4개 해역을 선정하여, 각 해역의 엽록소 변동의 변화 패턴상에 상호 연관성이 있는

지 찾아보고자 하였다.

엽록소 농도의 경년적 변동의 기작을 이해하려면 이상적으로 일사량, 바람, 수온, 염분, 혼합층 수심(Mixed Layer Depth; MLD) 등의 월별 또는 더 고해상력의 자료가 고르게 얻어져야 하고 이를 토대로 적절한 분석이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 이들 환경변수 중 가장 중요하다고 할 수 있는 표층수온과 혼합층 수심의 경년변동을 엽록소 농도의 경년변동과 함께 살펴보았다. 연구해역의 표층수온 및 표층 엽록소 농도는 과거 10년간의 위성자료를 이용하여 충분한 시공간적 해상력을 확보할 수 있었고, 혼합층 수심은 ARGO자료를 이용하여 계산하였다.

## 2. 연구 방법

### 연구해역

북서태평양 해역 표층엽록소 농도의 변동을 살펴보기 위해, 동해와 워플해역을 포함하는 6개의 연구해역을 설정하였다. 각각의 위치는 다음과 같다, 동해 울릉분지: 35-40°N/129-135°E, 동중국해: 27-32°N/124-128°E, 필리핀해: 18-23°N/123-127°E, 서태평양 워플해역: 0-10°N/130-160°E, 워플동쪽해역: 0-10°N/170°E-160°W, 워플북쪽해역: 10-15°N/130-140°E. Fig. 1은 SeaWiFS 위성센서로 관측된 2007년 연평균 표층엽록소 농도를 보여주고 있으며, 각 연구해역의 위치는 그림 안에 적색 박스로 나타내었다. 본문에서 편의를 위해 사용한 각 연구해역의 약자에 대한 설명도 그림에 포함되어 있다.

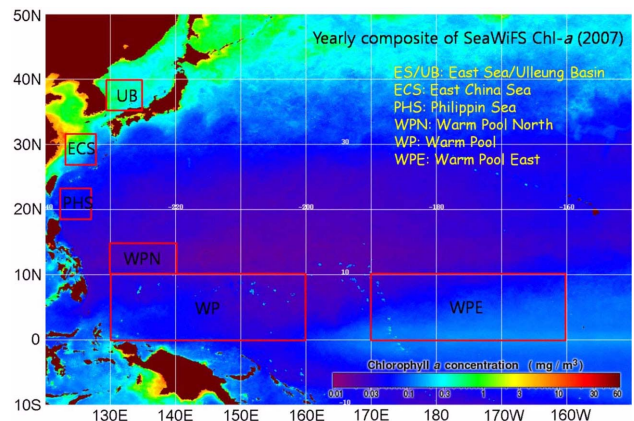


Fig. 1. Study area and yearly composite SeaWiFS chlorophyll *a* image in 2007. Ten years' chlorophyll *a* and sea surface temperature from satellite data were extracted in the six boxes (denoted by rectangles). MLD was calculated from temperature profiles of ARGO float data in these regions during 2002-2007.

### 위성자료

분석에 사용된 표층엽록소 농도는 미국 NASA의 Goddard Space Flight Center(McClain *et al.* 1998)에서 얻어진 레벨-3 SeaWiFS 자료(Version 5.2)를 사용하였다. 엽록소 자료의 공간해상도는 약 9 km×9 km이고, 한 달 평균자료를 사용하였다. 1997년 9월부터 2007년 12월까지의 자료를 분석하였지만, 혼합층과 관련해서는 ARGO 자료와 시기적으로 일치하는 2002-2007년간의 자료가 집중적으로 분석되었다.

표층수온자료는 두 가지 위성자료를 사용하였다. 우선 2002년 7월 이후는 엽록소 자료와 마찬가지로 미국 NASA의 Goddard Space Flight Center에서 얻어진 레벨-3 MODIS Aqua 자료를 사용하였으며, 그 이전 자료는 NASA Jet Propulsion Laboratory/Caltech에 있는 Physical Oceanography Distributed Active Archive Center(PO.DAAC)로부터 레벨-3 AVHRR 자료를 획득해 사용하였다. 수온자료의 공간해상도는 각각 약 9 km×9 km와 약 4.5 km×4.5 km였으며, 마찬가지로 한 달 평균자료를 분석에 사용하였다.

### ARGO 자료

한국해양연구원의 ARGO 홈페이지(<http://argo.kordi.re.kr>)에서 동해자료를 제공 받았으며 기상청 전 지구 해양변화 감시시스템 홈페이지(<http://argo.metri.re.kr>)를 통해서 서태평양 해역의 자료를 다운로드 받았다. ARGO 뜰개 자료는 ASCII와 NetCDF 포맷으로 제공되고 있고, 다운로드 한 자료는 MatLab 프로그램을 통해 연도별/날짜별/위치별로 추후 자료 접근이 용이하도록 데이터베이스화 하였다.

수집된 ARGO 뜰개 자료들은 뜰개 별로 구성되어 있고, 한 개의 뜰개는 최대 수백 개의 수심별 수온 및 염분에 대한 수직프로파일 값을 갖고 있다. 또한, 뜰개 자료에는 수온 및 염분 자료 외에도 위도, 경도, 시간 등의 정보가 포함되어 있다. 수집된 전체자료는 동해의 경우 동해 전체 해역에서 2,910개 프로파일이 얻어졌고, 이 중 울릉분지 해역의 프로파일들만 추출해 사용하였다. 서태평양 전체 해역은 18,147개의 프로파일을 가지고 있었으나 워플해역 주변 각 연구해역의 프로파일들만 추출해 분석에 사용하였다. 동해의 경우는 2002년에서 2007년까지 6년간, 워플해역을 비롯한 나머지 지역은 2003년부터 2007년까지 5년간의 자료가 사용되었다.

연구해역의 혼합층 수심은 ARGO 자료의 수온 프로파일을 가지고 계산하였다. 각 프로파일별로 표층수온과 0.5°C 이상 차이가 나는 깊이를 계산하여 그 수심을 혼합층의 깊이로 정의하였다(Monterey and Levitus 1997). 또한, ARGO 자료의 첫 수심이 10미터 이상인 경우(표층자료가 수신 안된 경우)에는 정확한 혼합층 수심의 계산을 위해 자료의 분석에서 제외하였다.

## 3. 결 과

동해와 워플해역을 포함한 6개 연구해역 표층엽록소 농도의 계절, 경년변화와 10년 규모의 장기변화는 다음과 같다. 또한, 각 해역별로 엽록소 농도의 계절변화에 영향을 줄 것으로 예상되는 혼합층 수심의 계절, 경년변화를 함께 제시하였다.

### 동해 혼합층 수심과 표층엽록소 농도의 계절/경년 변화

동해 울릉분지해역(ES/UB)은 봄철과 가을철 두 차례의 식물플랑크톤 번성이 관찰되며, 이중 봄철 번성이 가을에 비해 규모가 다소 크다. 가을번성은 10월이나 11월에 발생한 반면 봄 번성은 해마다 4월에 규칙적으로 절정이 나타났다(Fig. 2a). 하지만, 봄 번성 발생 시기의 월 평균 최대 엽록소 농도는 큰 경년변동을 보이는데 2005년에 1.036 mg m<sup>-3</sup>로 최소값을 보이고 2002년엔 1.818 mg m<sup>-3</sup>로 최대값을 나타냈다. 또한, 겨울철 엽록소 농도의 최소값은 해마다 달랐으나 3월에는 모든 해의 엽록소가 0.6 mg m<sup>-3</sup> 이상으로 증가하여 봄 번성이 이미 시작되었음을 알 수 있었다.

동해 울릉분지 혼합층 수심의 월별 변동은 계절 변화(겨울철 최대, 여름철 최소)가 뚜렷한 가운데 최심 혼합층의 깊이와 나타나는 시기가 해마다 다른 것을 볼 수 있었다(Fig. 2b). 월 평균 혼합층 수심은 2007년을 제외하곤 1월이나 2월에 최대값이 나타났으며(2007년의 경우엔 3월에 발생), 88.0 m(2006년)~124.5 m(2003년)의 범위를 가졌다. 또한, 3월의 평균 혼합층 수심은 2002년과 2005년에 다른 해에 비해 낮았는데, 2002년 3월은 다른 해에 비해 엽록소 농도가 특히 높았던 해이다. 2005년의 경우엔, 평균 혼합층 수심은 낮았으나 개별 수온 프로파일을 살펴보면 다소 복잡한 양상을 띠는 것을 알 수 있었다.

### 워플해역 혼합층 수심과 표층엽록소 농도의 계절/경년 변화

2003년에서 2007년까지 워플해역(WP)과 워플동쪽해역(WPE)의 월 평균 엽록소 농도와 혼합층 수심의 월 중간값(median)을 Fig. 3에 나타내었다. 앞서 동해의 경우와 같은 성격의 자료이지만, 엽록소 농도와 혼합층 수심의 계절변동이 작고 절정 시기가 불규칙하여 Fig. 2와 같이 박스 그림으로 표현하지 않고 한 그림에 엽록소 농도와 혼합층 수심을 같이 그려 비교하였다.

워플해역은 주로 2월을 중심으로 엽록소 농도의 최대값이 나타나고 가을철에 최소값이 나타난다. 하지만 최대 농도가 나타나는 시기에도 연 평균 농도에 비해 그 차이가 그리 크진 않았다(10년 자료의 월 평균 최소값은 약 0.07 mg m<sup>-3</sup>(11월), 월 평균 최대값은 약 0.1 mg m<sup>-3</sup>(2월)). 워플해역 혼합층 수심의 변화는 동해와 달리 해마다 일정한

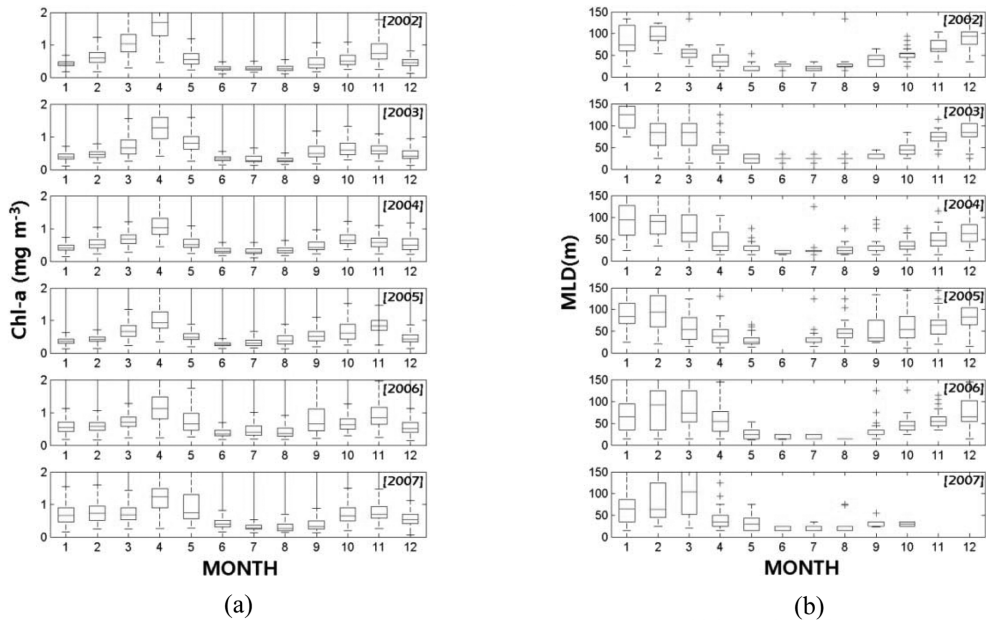


Fig. 2. Monthly changes of chlorophyll *a* concentration in the East Sea from 2002 to 2007 (a), and monthly changes of MLD in the East Sea from 2002 to 2007 (b). Horizontal red lines in the boxplots indicate the median. The boxes delimit 25th and 75th quartiles. Outliers are indicated by a cross.

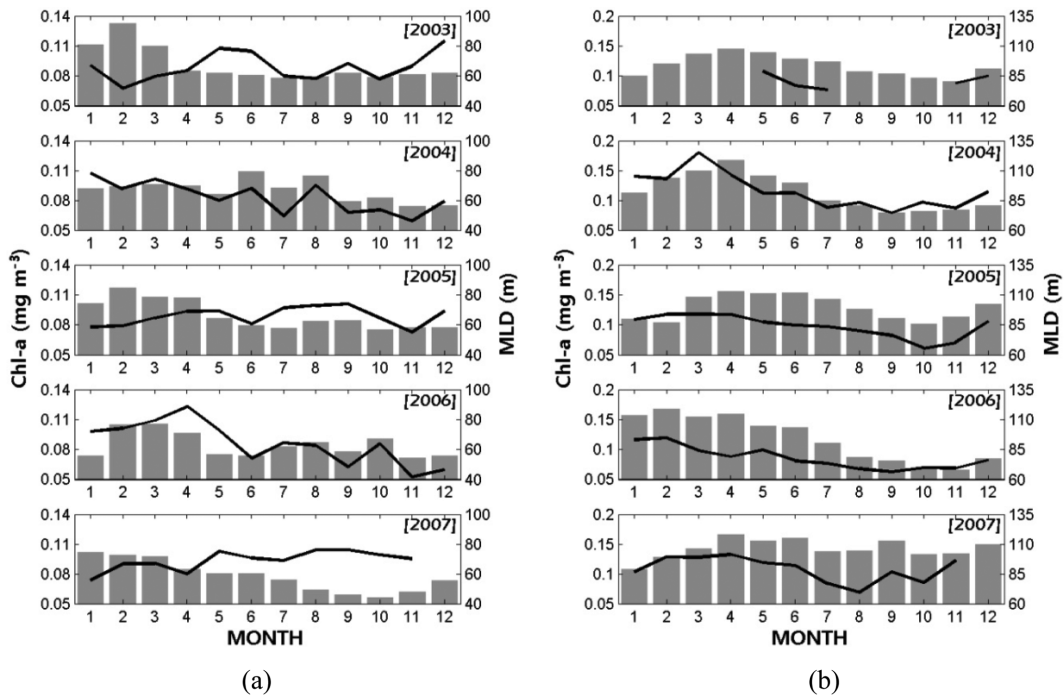
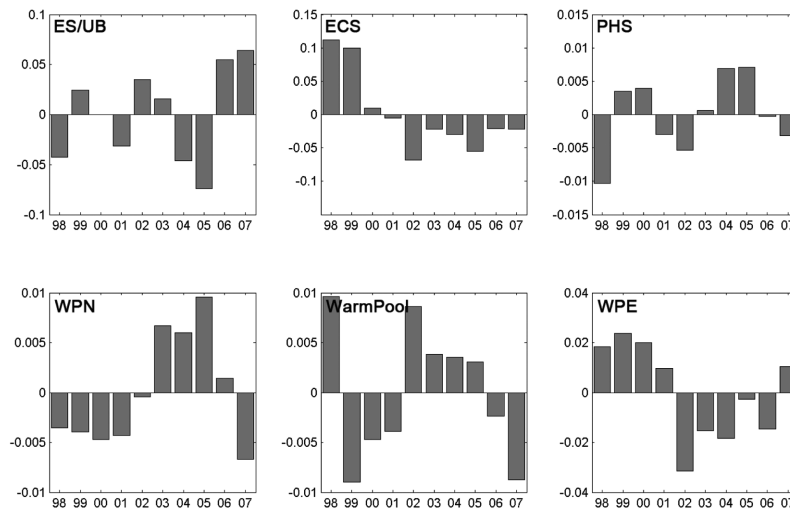


Fig. 3. Monthly distribution of MLD (solid lines; median) and chlorophyll *a* concentration (bars; monthly mean) in the Warm Pool region (a), and Warm Pool East (WPE) region from 2003 to 2007 (b). Note that the vertical axes have different scales in the two regions.

패턴을 보이지 않고 복잡한 양상을 나타냈는데, 가장 얇은 시기와 깊은 시기의 차가 20 미터를 넘진 않았다(5년 자료의 월 평균 최소값 55.9 m(11월), 최대값 71.0 m(5월);

Fig. 10c 참고).

워풀동쪽해역은 워풀해역과 다소 다른 계절변화를 보이는데, 2006년을 제외하면 4월에 엽록소 농도의 최대값이



**Fig. 4. Interannual anomaly patterns of chlorophyll *a* in the six regions. Upper and lower bars represent positive and negative interannual anomalies, respectively, of integrated chlorophyll *a* for each region. See Fig. 1 for region locations. Note that the vertical axes have different scales.**

나타나고(10년 평균 약  $0.16 \text{ mg m}^{-3}$ ), 최소값은 주로 10월 부근에 발생하였다(10년 평균 약  $0.11 \text{ mg m}^{-3}$ ). 뽀플동쪽 해역의 엽록소 농도는 혼합층 수심의 변동과 시간적으로 유사한 패턴을 보였는데, 혼합층이 깊어지는 동안 증가하고 혼합층이 얇아질 때 따라서 감소했다(Fig. 10d 참고).

또한, 2007년 7월부터 11월까지 뽀플해역의 엽록소 농도가 다른 해와 다르게 매우 낮았던 시기에 뽀플동쪽해역은 반대로 다른 해와 비교해 상대적으로 높은 농도가 나타났다.

**표층엽록소 농도 및 표층수온의 해역별 장기변화**

Fig. 4는 6개 해역에서의 연 평균 표층엽록소 농도의 이상치(anomaly)를 보여주고 있다. 엽록소 10년 장기자료를 보면, 뽀플해역(WP)에선 특징적으로 1998년과 2002년 엘니노 시기에 강한 양의 이상치가 나타나고 1999년과 2007년에 음의 이상치가 크게 나타났다. 각 해의 월별 이상치를 자세히 살펴보면, 그림으로 표현하진 않았지만, 1997-1998년의 강한 엘니노에 영향을 받아 1998년 상반기에 평균치 이상의 값이 관측되었으며, 1999년은 라니냐의 영향으로 상반기에 평균치 이하의 값이 관측되었으며, 2007년은 4-11월에 다른 해와 달리 낮은값을 보였다.

뽀플북쪽해역(WPN)에선 1998년을 제외하곤 뽀플해역과 비슷한 패턴을 보였으며, 뽀플동쪽해역(WPE)에선 1998년 양의 이상치가 나타난 것을 제외하곤 전반적으로 뽀플해역과 정반대되는 패턴이 나타났다. 이들 적도 부근의 세 해역을 제외한 나머지 아열대 및 온대해역(PHS, ECS, ES/UB)에서는 일관되게 설명할 수 없는 복잡한 패턴이 관찰되었다. 예를 들면, 1998년의 경우 동해 울릉분지 해역과

필리핀해역에선 음의 이상치가 보이는 반면 그 사이 해역인 동중국해에선 양의 이상치가 크게 나타났다. 또한, 동중국해 해역에선 2000년 전/후로 각각 엽록소 농도 이상치의 양/음이 뚜렷하나, 동해와 필리핀해에선 약 2년 주기로 이상치의 양/음이 바뀐다.

이들 해역의 차이는 연 평균 표층수온의 이상치에서도 나타나는데(Fig. 5), 뽀플북쪽해역과 뽀플동쪽해역에서는 표층수온의 이상치가 표층 엽록소의 이상치와 정 반대 패턴을 보이고 있으나(뽀플북쪽해역 2002년 예외), 뽀플해역을 비롯한 다른 해역에서는 그렇지 않았다. 또한, 뽀플해역과 뽀플동쪽해역의 표층수온 이상치 변화와 나머지 4해역에서의 변화는 전혀 다른 패턴을 보여주고 있다. 흥미로운 사실은, 쿠로시오 해류가 시작하는 뽀플북쪽해역 표층수온 이상치의 패턴이 필리핀, 동중국해, 동해의 이상치 패턴에서도 유사하게 재현되는 반면에(Fig. 5), 엽록소 농도의 이상치에선 보이지 않는다는 점이다(Fig. 4).

**뽀플 주변해역의 표층수온과 엽록소 농도의 수평 분포**

Fig. 6은 SeaWiFS 센서로 관측된 적도부근의 뽀플해역(WP)과 뽀플동쪽해역(WPE)에서의 표층엽록소 농도의 10년 장기변동을 Hovmöller diagram을 이용해 월간 단위로 표현한 것으로, 북위 0도에서 10도까지의 위도상 평균값의 동서분포(zonal distribution)를 보여주고 있다. 뽀플해역의 경우, 뽀플의 핵이 형성되는 130-140°E 부근에서 1998년 고농도의 엽록소 농도가 관측되었고, 1999년부터 2001년까지는 농도가 낮아졌다가 2002년부터 다시 증가한 패턴을 보이고, 2006년부터 다소 약화되었다. 반면, 뽀플동쪽해역에서는 1998년에는 뽀플해역과 마찬가지로 엽



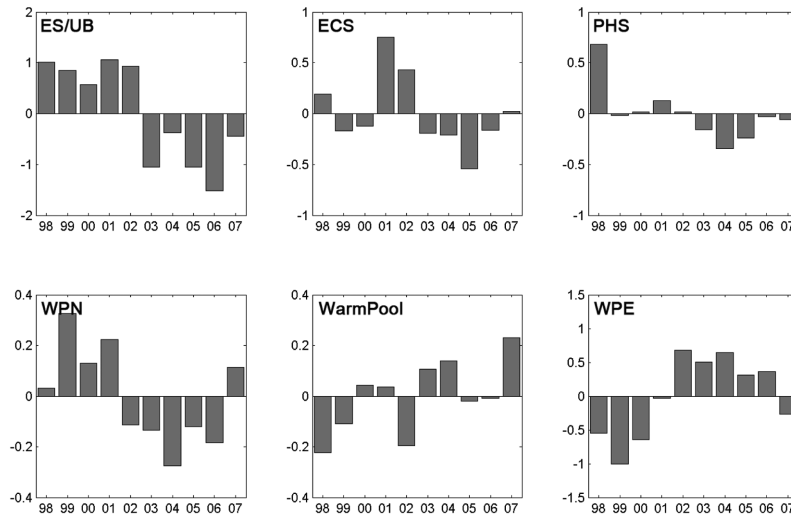


Fig. 5. Interannual anomaly patterns of SST in the six regions. Upper and lower bars represent positive and negative interannual anomalies, respectively, of integrated SST for each region. See Fig. 1 for region locations. Note that the vertical axes have different scales.

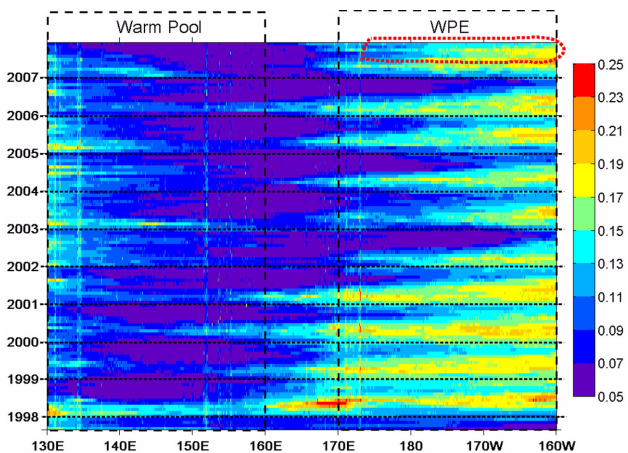


Fig. 6. Latitudinally averaged time-longitude Hovmöller diagram of SeaWiFS chlorophyll *a* in the Warm Pool and Warm Pool East regions from September 1997 to December 2007. Horizontal grid lines indicate the beginning of year. Red dots delimit the abnormal continuance of high chlorophyll *a* in the second half of 2007.

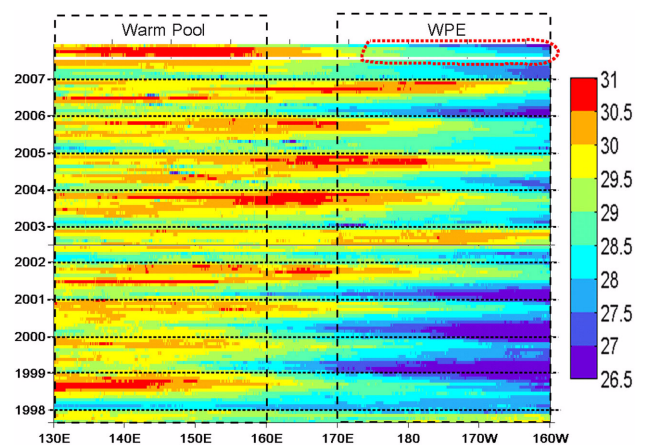


Fig. 7. Latitudinally averaged time-longitude Hovmöller diagram of sea surface temperature from AVHRR (before June 2002) and MODIS Aqua (after July 2002) in the Warm Pool and Warm Pool East regions from September 1997 to December 2007. Red dots delimit the abnormal continuance of low SST in the second half of 2007. Note that SST data in July 2007 were not available (blank).

록소 농도가 높았으나, 그 밖의 시기에는 워풀해역의 엽록소 농도가 낮았던 1999년부터 2001년까지 높고 그 이후 낮아지는 패턴을 보이고, 전반적으로 2월에서 7월 시기의 전반기에 하반기보다 높은 농도가 나타났다(Fig. 10 참고).

또한, 워풀동쪽해역은 다른 해와 달리 2007년 하반기에도 상반기와 마찬가지로 엽록소 농도가 높게 유지되었음을 알 수 있다(Fig. 6 적색 점선 표시 부분 Fig. 3b 참고). 이렇듯 2007년이 다른 해들과 다른 점은 이 시기의 표층 수온 분포에서도 나타나고 있다. Fig. 7은 MODIS Aqua

센서와 AVHRR 센서를 이용해 관측된 수온의 동서분포를 Fig. 6과 마찬가지로 방법으로 표현한 것이다. 그림에서, 워풀동쪽해역은 전반적으로 각 해의 상반기에 비해 하반기에 표층수온이 높게 나타나는데, 2007년엔 상대적으로 하반기에도 낮은 수온분포가 나타나고 있다(Fig. 7 적색 점선 표시 부분).

Fig. 6과 7 두 그림을 비교하여 보았을 때 특징적으로 표층수온과 엽록소 농도 사이의 역전 현상을 찾을 수 있

는데, 엽록소 농도의 Hovmöller diagram 상에서 낮은 농도로 나타난 부분과(Fig. 6 보라색 영역) 표층수온의 높게 나타나는 부분(Fig. 7 붉은색 영역)이 매우 흡사한 형태를 띠고 있으며, 마찬가지로 엽록소 농도가 높게 나타나는 해역과 낮은 수온 영역이 같이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이를 간략히 Fig. 8에 다시 표현하였다. 그림에서, 비록 계절변화에 의해 다소 복잡하지만, 1997년 9월 및 2002년 후반과 2006년 후반에 워풀 핵의 위치가 동경 180도 오른쪽인 워풀동쪽해역에서 발생하고(Fig. 8a), 같은 시기에 엽록소 최소농도의 위치도 워풀동쪽해역에 위치함을 알 수 있다(Fig. 8b). 흥미로운 사실은, 시간에 따른 엽록소 최소농도의 동서분포가 남방진동지수(Southern Oscillation Index; SOI)와 매우 유사한 형태를 띤다는 점이다(Fig. 8b, c). 즉, 엘니뇨 시기(예를 들어, 1997년 후반-1998년 초, 2002년 후반-2003년 초, 2006년 후반)에 워풀해역이 동쪽으로 이동함에 따라 엽록소 농도의 분포도 달라지고, 이는

워풀과 워풀동쪽해역의 경년변동을 유발하는 것을 알 수 있다.

최근 연구에 의하면, 같은 엘니뇨라고 일컫는 시기라도 2002년 여름과 같이 표층수온의 이상치가 적도 중부해역에서 높고 동쪽과 서쪽해역에선 낮아지는 경우를 엘니뇨 모도키(El Niño Modoki) 등이라 부르며(워풀 엘니뇨라 부르는 학자도 있다), 이 엘니뇨 모도키는 태평양 동부해역에서 표층수온의 양의 이상치가 발생하는 일상적인 엘니뇨(1997년 후반)와 구분된다(Weng *et al.* 2007). Fig. 6-8을 살펴보면, 1997년 후반 강한 엘니뇨 시기에는 표층수온의 최대값과 엽록소 농도의 최소값이 연구해역의 가장 동쪽에서 나타나는 반면, 2002, 2006년의 하반기에는 표층수온의 최대값과 엽록소 농도의 최소값이 태평양 중부해역(170°E-170°W 부근)에서 나타나, 엘니뇨 타입의 차이에 따른 표층수온의 변화가 엽록소 농도의 동서분포에도 영향을 준다는 사실을 알 수 있다. 2004년 후반도 남방진

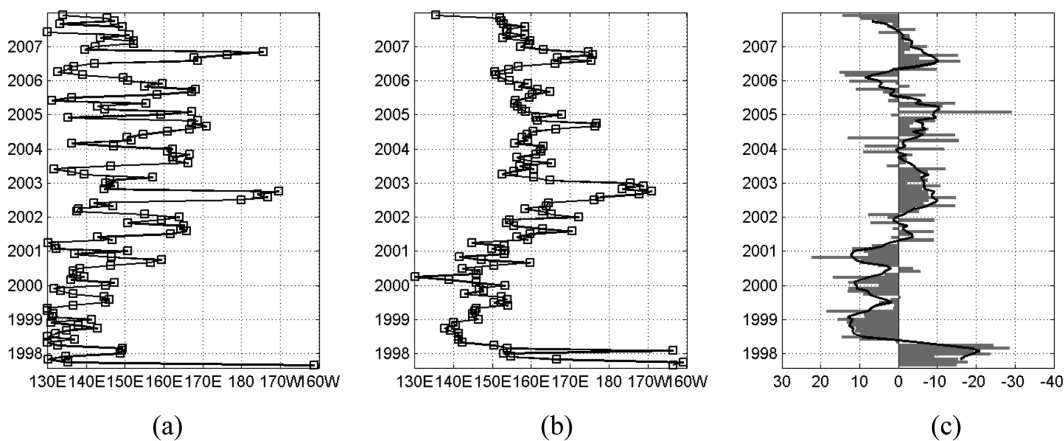


Fig. 8. (a) Zonal maximum SST at each month (from Fig. 7), (b) Zonal minimum chlorophyll concentration (from Fig. 6), and (c) Southern Oscillation Index (SOI). Solid line represents five-month moving average of SOI.

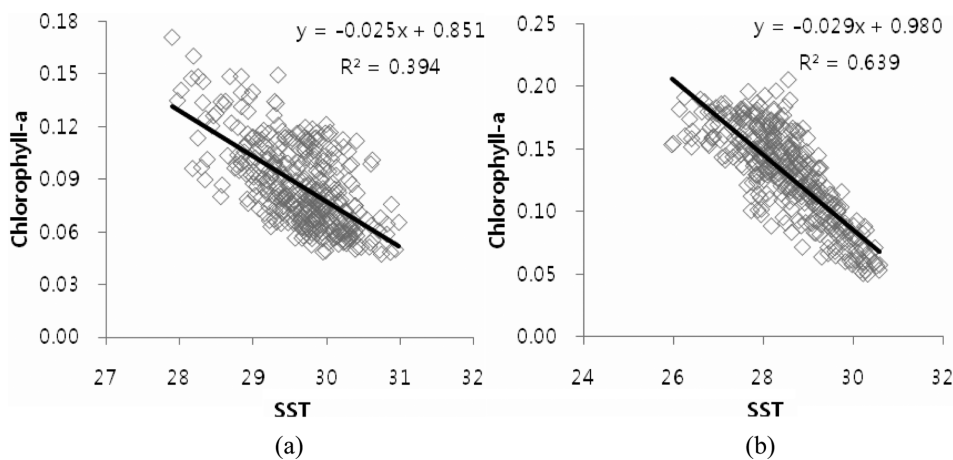


Fig. 9. Relationship between SST and chlorophyll *a* in the Warm Pool (a), and Warm Pool East region (b). Each point indicates the monthly mean value of 10 by 10 degree areas from September 1997 to December 2007.

동지수를 보면 엘니뇨 시기임을 알 수 있는데, 표층수온의 최대값은 2002년과 2006년에 비해 서쪽에 위치했다. 하지만, 엽록소 농도의 최소값은 2002, 2006년과 비슷한 패턴을 보여 태평양 적도해역의 엘니뇨 현상을 규명하는데 표층엽록소 농도의 수평분포가 좋은 변수로 사용될 수 있음을 보여준다.

수온과 엽록소 농도의 역전 현상을 보다 자세히 알아보기 위해 워풀해역과 워풀동쪽해역에서 각각 위/경도 10도 크기의 월 평균 엽록소 농도값과 표층수온 값을 추출하여 비교해 보았다(Fig. 9). 각 해역의 엽록소 농도와 표층수온 값의 결정계수는 워풀해역에서 0.394, 워풀 동쪽해역에서 0.639로 나타나 워풀동쪽해역에서 엽록소의 경년변동성이 수온과 상관관계가 더 높다는 것을 알 수 있었다.

### 4. 토 의

인공위성 자료는 고전적인 조사방법으로는 불가능한 광역의 정보를 한 순간에 볼 수 있어 유용하다. 이러한 위성 관측 자료는, 또한, 시간적으로도 계절변동을 파악하는데 매우 유용한 정보를 제공할 수 있으며, 이미 표층수온, 바람 등의 위성자료는 수십 년 규모의 자료가 축적되었다.

표층 엽록소 자료의 경우엔 과거 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)와 OCTS(Ocean Color and Temperature Scanner) 자료가 있었으나 자료의 연속성면에서 한계가 있었다. 그러나 최근 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 해상자료가 2007년 말에 이르러 자료가 연속적으로 수집된지 십 년을 넘어서 이제는 계절변동뿐 아니라 경년변동을 파악하는데도 유용한 자료로 활용될 수 있게 되었다. 이 사실이 의미하는 바는 고위도 해역과 달리 1년 이상의 장주기 변화가 주요한 적도해역(Yoo et al. 2008)의 변화를 파악하는데 용이하며, 더욱이, 2-7년 주기를 갖는 것으로 알려진 엘니뇨 효과를 관측할 수 있게 되었다는 것이다. 참고로, 본 연구 기간인 1997년부터 2007년 말 사이에 세 번의 엘니뇨(1997-1998, 2002-2003, 2006-2007)와 두 번의 라니냐(1999-2000, 2000-2001)가 발생하였다.

표층 엽록소 농도의 10년 장기 자료를 분석한 결과, 6년간의 위성 자료를 토대로 한 Gregg et al.(2005)의 결과와 다소 차이가 있었다. 워풀동쪽해역에선 표층엽록소 농도의 감소추세가 2002년을 기점으로 다시 증가 추세로 전환됨을 알 수 있었고, 연안역의 경우에도 동해 울릉분지의 경우 증가 패턴이 뚜렷하다 할 수 없고, 동중국해의 경우

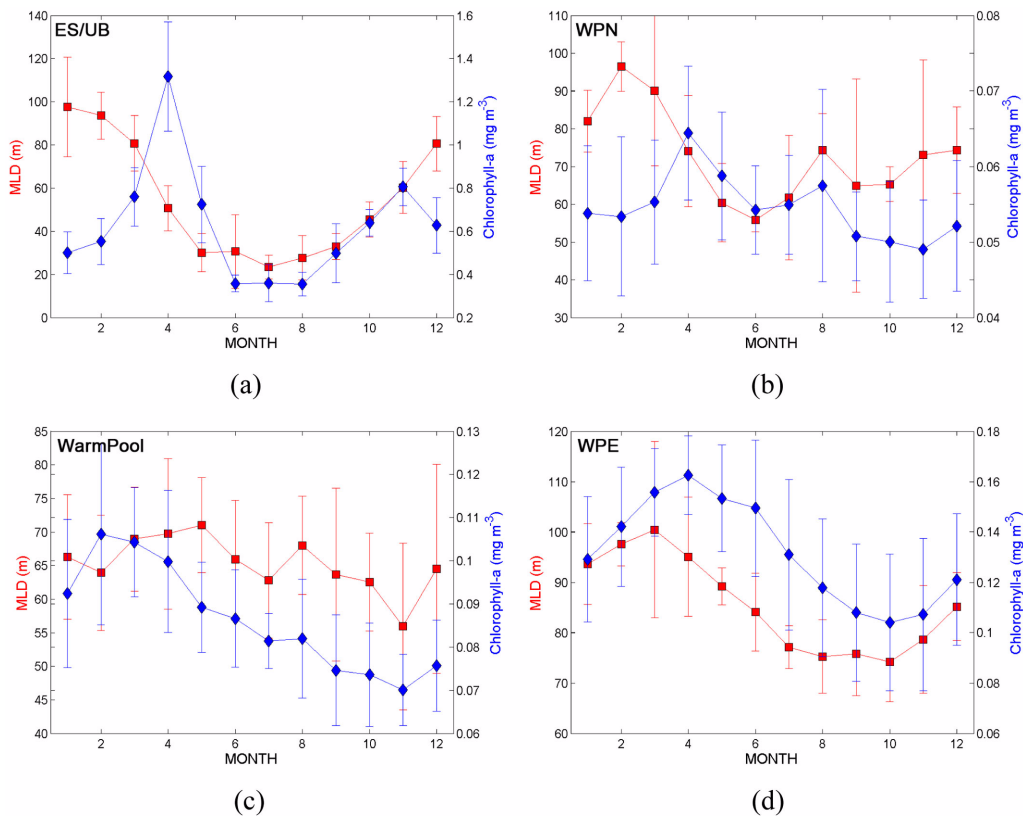


Fig. 10. Monthly mixed layer depth (red colors) and chlorophyll a concentration (blue colors) in four regions. (a) ES/UB, (b) WPN, (c) WP, (d) WPE. Vertical bars indicate standard deviation.

90년대 후반 이후 오히려 감소 추세를 보였다. 또한, 쿠로시오 해류가 시작하는 뽀플북쪽해역의 표층수온 이상치의 패턴이 해류가 통과하는 해역인 3개 해역(PS, ECS, ES/UB)에서 유사하게 나타나지만, 엽록소 농도 이상치에선 유사한 패턴을 찾을 수 없는 이유는 각 해역들의 메커니즘이 다르기 때문일 것이다. 예를 들면, 동해 울릉분지의 경우, 여름철 강한 연안 용승의 영향으로 분지 내 엽록소 농도의 경년변화가 크게 나타나고(Yoo and Park 2008), 동중국해의 경우, 산사댐 건설로 인해 90년대 후반 이후 이 해역 생태계의 많은 변화가 발생했다(Gong *et al.* 2006; Jiao *et al.* 2007).

동해 울릉분지의 경우 춘계 번성이 일어나는 시기는 해마다 4월로 뽀플해역이나 다른 해역에 비해 매우 규칙적인 패턴을 보였다(Fig. 10a; Fig. 2a 참고). 이는 4월의 임계수심이 50-60 m로 추정되는 바(Yoo and Kim 2004), 대개 이 조건이 3월에서 4월에 이르면 충족되기 때문이다. 동해 지역에서 바람은 특히 식물플랑크톤의 춘계 번성시기를 조절하는 것으로 알려졌다기 때문인데(Yamada *et al.* 2004; Kim *et al.* 2007), 혼합층 수심은 대개 1, 2월에 최심에 이르므로 광 조건이 충족되지 않아 4월에 성장이 시작된다고 해석할 수 있다. 반면에 뽀플해역과 뽀플동쪽해

역에선 엽록소 농도의 최대치는 해마다 큰 변화가 없었으나 그 발생시기는 일정하지 않았는데, 뽀플해역에서는 해마다 많이 달랐고 뽀플동쪽해역에서는 혼합층과 비교한 5년 중 한 해만 달랐다(Fig. 3a, b). 또한, ARGO 자료를 이용하여 경년적 변동을 보면 Leitus MLD(Levitus and Boyer 1994)나 WOA 자료(Conkright *et al.* 2002)와 같이 다년간의 평균치를 분석할 때와 다른 양상을 관찰할 수 있었다.

뽀플해역에서는 혼합층 수심의 계절적 변동이 해마다 불규칙하고 계절에 따른 변화가 뚜렷하거나 크지 않은데(Fig. 10c; Fig. 3a), 이는 상대적으로 다른 해역에 비해 가용한 ARGO 수온자료의 수가 적었기 때문일 수도 있으나(n=6~38/month), 더욱 자세히 알기 위해선 이 해역의 수층구조와 함께 식물플랑크톤 수직분포에 대한 조사가 필히 수행되어야 할 것이다. 반면, 뽀플동쪽해역에서는 혼합층 수심의 계절적 변동이 비교적 규칙적이였다. 이에 따라 뽀플동쪽해역에서의 엽록소 변동도 비교적 규칙적으로 나타나, 표층 혼합층이 깊어짐에 따라 엽록소의 증가가 일어났다(Fig. 10d). 이는 Wilson and Coles(2005)의 영양염 동반 이행(entrainment) 가설로 설명될 수도 있고, Winn *et al.*(1995)나 Behrenfeld *et al.*(2005)의 설명처럼 혼합

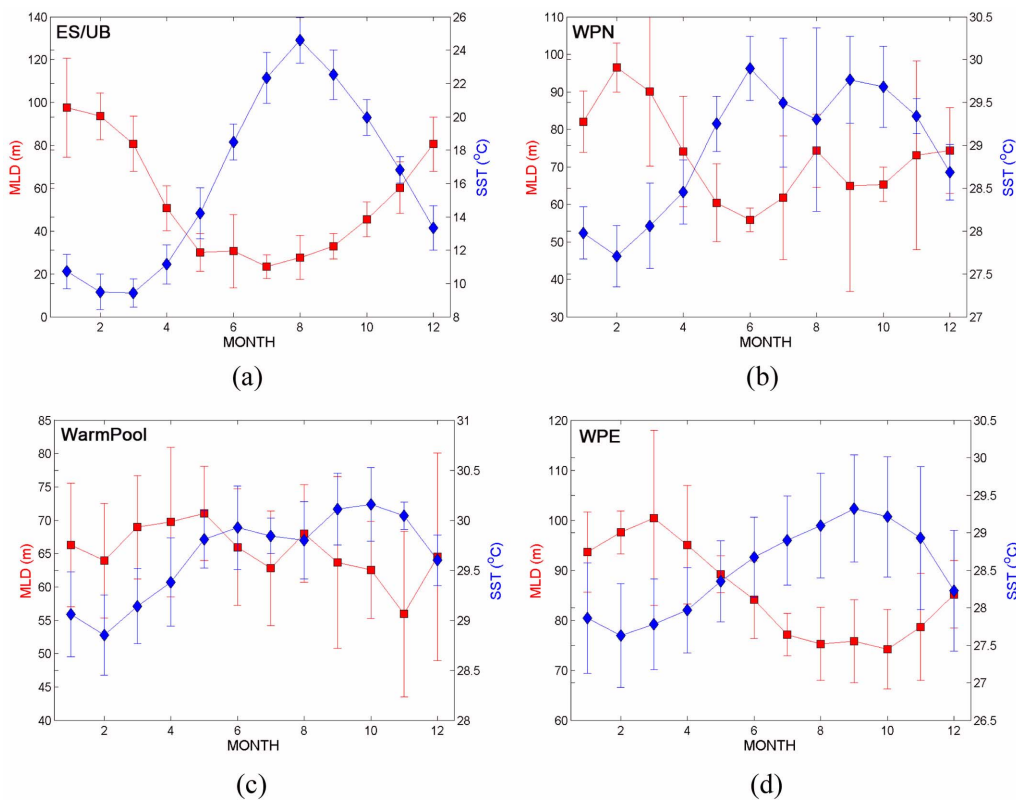


Fig. 11. Monthly mixed layer depth (red colors) and SST (blue colors) in four regions. Determination coefficients between the two are 0.651 in ES/UB (a), 0.813 in WPN (b), 0.141 in WP (c), and 0.937 in WPE (d), respectively. Vertical bars indicate standard deviation.

층이 깊어지면서 혼합층 내 평균 광량의 감소로 Chl:C 비가 커졌기 때문일 수도 있다.

Fig. 11은 혼합층 수심과 표층수온의 계절변화를 나타내고 있다. 앞서 말한 바와 같이 동해 울릉분지 해역의 혼합층 수심은 바람이 강한 겨울철에 최대에 이르러 1월에 최대값이 나타나고 3-4월에 급격히 낮아지는 반면 표층수온은 2-3월에 최소, 8월에 최대에 이른다(Fig. 11a). 한편, 워플해역 주변의 표층수온은 모든 해역에서 2월에 최소값이 나타나고, 대체로 9-10월에 최대에 이르며, 워플해역에서는 혼합층 수심과 표층수온의 변화간에 일정한 패턴이 없는 반면(Fig. 11c), 워플북쪽해역과 동쪽해역에선 표층수온이 높아질 때 혼합층 수심이 얕아지고 낮아질 때 깊어지는 상호 역전된 모습을 보이고 있다(Fig. 11b, d). 4개 해역에서의 혼합층 수심과 표층수온 월 평균값의 결정계수는 동해 울릉분지 해역에서 0.651, 워플북쪽해역에서 0.813, 워플해역에서 0.141, 워플동쪽해역에서 0.937로 나타나, 워플동쪽해역에서 특히 혼합층의 변화와 표층수온의 변화간에 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 이는 또한, 앞서 결과에서 워플동쪽해역의 표층수온이 상대적으로 낮았던 2007년 후반기에는 다른 해와 달리 혼합층 수심이 깊게 유지되면서 저층 영양염 공급이 지속적으로 발생함에 따라 표층 엽록소 농도도 높게 유지되었음을 짐작케 한다(Fig. 6, 7). 한편, 워플해역의 표층수온과 혼합층 수심의 상관관계가 낮은 이유는 이 해역이 근접한 파푸아뉴기니 섬의 육지 영향과 함께 강수와 염분 또한 수층의 성격을 결정짓는 요인으로 복잡하게 작용하기 때문으로 생각된다(Wilson and Coles 2005).

본 연구에서는 쿠로시오를 통해 연결되어 있는 서태평양 워플해역과 우리나라 근해의 해양특성이 어떤 관계를 가지는지에 대해 알아보려고 하였다. 동해 울릉분지 해역 엽록소 농도의 계절변화는 혼합층 수심의 변화에 의해 쉽게 설명이 되는 반면, 워플해역의 경우엔 혼합층 수심과 엽록소 농도의 계절변화간에 뚜렷한 관련성이 없었다. 표층수온의 연간 변동은 동해, 동중국해, 필리핀해, 워플북쪽해역이 서로 유사한 패턴을 보였고 워플동쪽해역은 이들과 역상의 패턴을 보였으나 워플해역은 관련성이 약하였다. 엽록소의 경우는 워플북쪽해역과 워플동쪽해역이 서로 상반된 패턴을 보였고 워플해역은 이들의 혼합된 형태를 보였다. 그러나 나머지 해역 간에는 뚜렷한 상관성을 볼 수 없었다. 특히 워플해역과 워플동쪽해역에서는 표층수온과 엽록소 사이에 역상 패턴이 뚜렷하였으며 이는 표층수온-혼합층수심-엽록소 간의 상관관계에 의한 것이다. 또한, 시간에 따른 엽록소 농도의 동서분포는 표층수온의 분포와 밀접한 관련을 보이며 이는 대체적으로 ENSO에 의한 것으로 판단된다.

이번 연구에서 밝혀졌듯이, 물리적 환경 변화에 따른

표층 생태계의 반응은 고위도 해역과 저위도 해역에서 달리 나타날 뿐만 아니라 같은 위도상의 태평양 적도 해역에서도 서부와 중부해역의 현상이 크게 차이가 난다. 가능하다면, 향후 대양연구는 워플해역과 태평양 적도 해역 중부에서의 표층수온과 혼합층 수심의 상호 연관성을 밝히고, 나아가 저층으로부터의 영양염이 어떻게 공급되고 엽록소 수직분포가 엘니뇨와 같은 장주기 변화에 따라 어떻게 반응하는지를 파악하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구에 많은 도움을 주신 한국해양연구원 예상욱 박사님께 진심으로 감사드립니다. 본 연구는 한국해양연구원 대양사업인 PP00690, ARGO사업인 PE98001의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Behrenfeld, M.J., E. Boss, D.A. Siegel, and D.M. Shea. 2005. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **19**, GB1006. doi:10.1029/2004GB002299.
- Conkright, M.E., R.A. Locarnini, H.E. Garcia, T.D. O'Brien, T.P. Boyer, C. Stephens, and J.I. Antonov. 2002. World Ocean Database 2001. vol. 1, Introduction. NOAA, Silver Spring, Md. 167 p.
- Dandonneau, Y., P.Y. Deschamps, J.M. Nicolas, H. Loisel, J. Blanchot, Y. Montel, F. Thieuleux, and G. Becu. 2004. Seasonal and interannual variability of ocean color and composition of phytoplankton communities in the North Atlantic, equatorial Pacific and South Pacific. *Deep-Sea Res. II*, **51**, 303-318.
- Gong, G.C., J. Chang, K.P. Chiang, T.M. Hsiung, C.C. Hung, S.W. Duan, and L.A. Codispoti. 2006. Reduction of primary production and changing of nutrient ratio in the East China Sea: Effect of the Three Gorges Dam? *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L07610. doi:10.1029/2006GL025800.
- Gregg, W.W., N.W. Casey, and C.R. McClain. 2005. Recent trends in global ocean chlorophyll. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L03606. doi:10.1029/2004GL021808.
- Jiao, N., Y. Zhang, Y. Zeng, W.D. Gardner, A.V. Mishonov, M.J. Richardson, N. Hong, D. Pan, X.H. Yan, Y.H. Jo, C.T. Arthur, P. Wang, W. Chen, H. Hong, Y. Bai, X. Chen, B. Huang, H. Deng, Y. Shi, and D. Yang. 2007. Ecological anomalies in the East China Sea: Impacts of the Three Gorges Dam? *Water Res.*, **41**, 1287-1293.
- Kim, H.C., S. Yoo, and I.S. Oh, 2007. Relationship between phytoplankton bloom and wind stress in the sub-polar

- frontal area of the Japan/East Sea. *J. Mar. Syst.*, **67**, 205-216. doi:10.1016/j.jmarsys.2006.05.016.
- Letelier, R.M., D.M. Karl, M.R. Abbott, and R.R. Bidigare. 2004. Light driven seasonal patterns of chlorophyll and nitrate in the lower euphotic zone of the North Pacific Subtropical Gyre. *Limnol. Oceanogr.*, **49**, 508-519.
- Levitus, S. and T. Boyer. 1994. World Ocean Atlas 1994, vol. 4, Temperature. NOAA, Silver Spring, Md.
- McClain, C.R., M.L. Cleave, G.C. Feldman, W.W. Gregg, S.B. Hooker, and N. Kuring. 1998. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research. *Sea Technol.*, **39**(9), 10-16.
- Messié, M. and M.H. Radenac. 2006. Seasonal variability of the surface chlorophyll in the western tropical Pacific from SeaWiFS data. *Deep-Sea Res. I*, **53**, 1581-1600.
- Monterey, G. and S. Levitus. 1997. Seasonal variability of mixed layer depth for the World Ocean. NOAA. Silver Spring, Md. 100 p.
- Ryan, J.P., P.S. Polito, P.G. Strutton, and F.P. Chavez. 2002. Unusual large-scale phytoplankton blooms in the equatorial Pacific. *Prog. Oceanogr.*, **55**, 263-285.
- Sverdrup, H.U. 1953. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Conseil-Conseil Permanent Int. Pour L'exploration de la Mer.*, **18**, 287-295.
- Turk, D., M.J. McPhaden, A.J. Busalacchi, and M.R. Lewis. 2001. Remotely sensed biological production in the equatorial Pacific. *Science*, **293**, 471-474.
- Weng, H., K. Ashok, S.K. Behera, S.A. Rao, and T. Yamagata. 2007. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. *Clim. Dyn.*, **29**, 113-129.
- Wilson, C. and V.J. Coles. 2005. Global climatological relationships between satellite biological and physical observations and upper ocean properties. *J. Geophys. Res.*, **110**, C10001. doi:10.1029/2004JC002724.
- Winn, C.D., L. Campbell, J.R. Christian, R.M. Letelier, D.V. Hebel, J.E. Dore, L. Fujieki, and D.M. Karl. 1995. Seasonal variability in the phytoplankton community of the North Pacific Subtropical Gyre. *Glob. Biogeochem. Cycles*, **9**, 605-620.
- Yamada, K., J. Ishizaka, S. Yoo, H.C. Kim, and S. Chiba. 2004. Seasonal and interannual variability of sea surface chlorophyll a concentration in the Japan/East Sea (JES). *Prog. Oceanogr.*, **61**, 193-211.
- Yamada, K., J. Ishizaka, and H. Nagata. 2005. Spatial and temporal variability of satellite estimated primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002. *J. Oceanogr.*, **61**, 857-869.
- Yoo, S. and H.C. Kim. 2004. Suppression and enhancement of the spring bloom in the southwestern East Sea/Japan Sea. *Deep-Sea Res. II.*, **51**, 1093-1111.
- Yoo, S., H.P. Batchelder, W.T. Peterson, and W. J. Sydeman. 2008. Seasonal, interannual and event scale variation in North Pacific ecosystems. *Prog. Oceanogr.*, **77**, 155-181. doi:10.1016/j.pocean.2008.03.013.
- Yoo, S. and J. Park. 2008. Why is the southwest the most productive region of the East Sea/Sea of Japan? *J. Mar. Syst.*, Accepted.

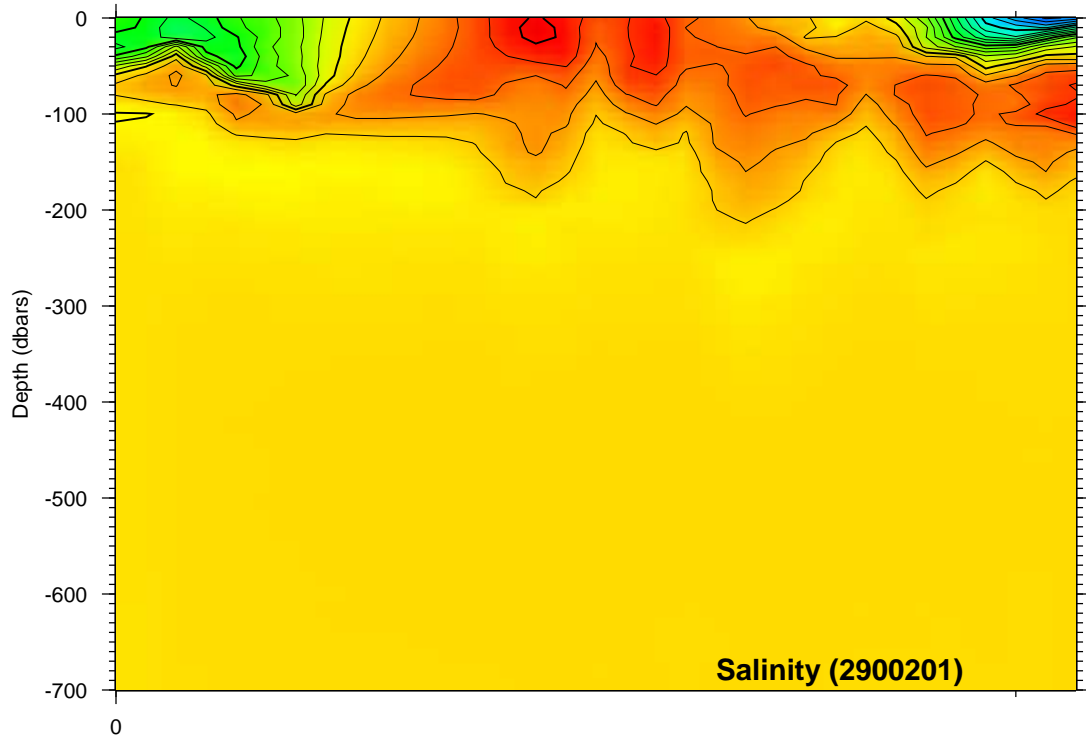
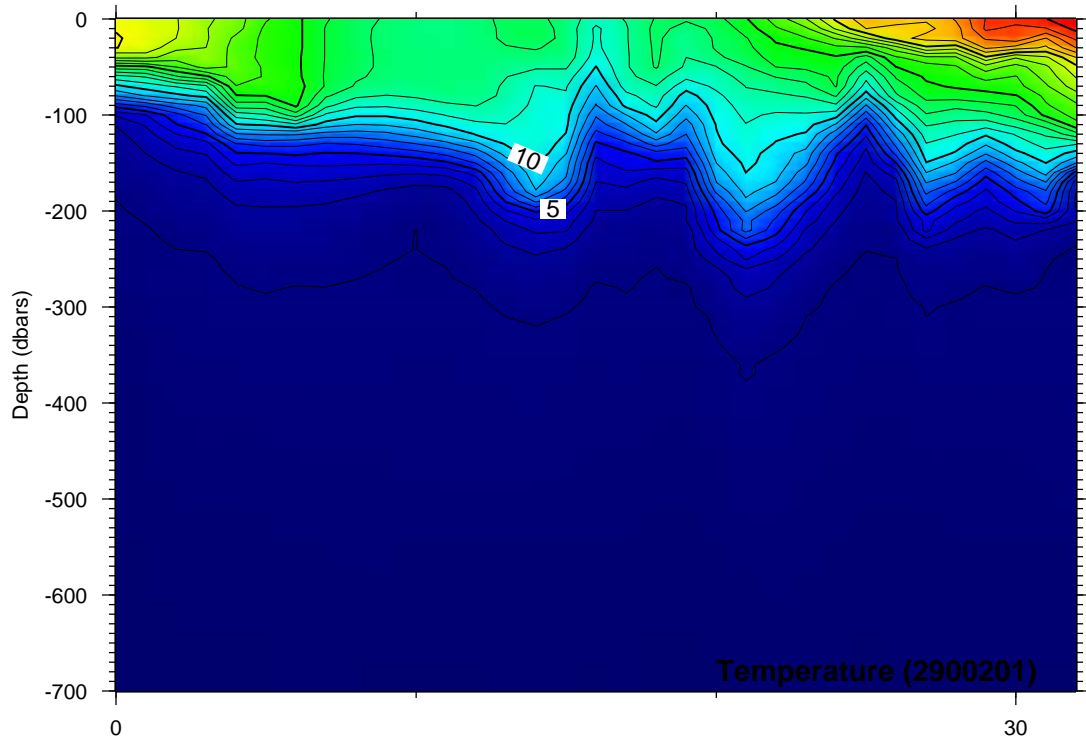
---

Received Jul. 21, 2008  
Accepted Aug. 27, 2008

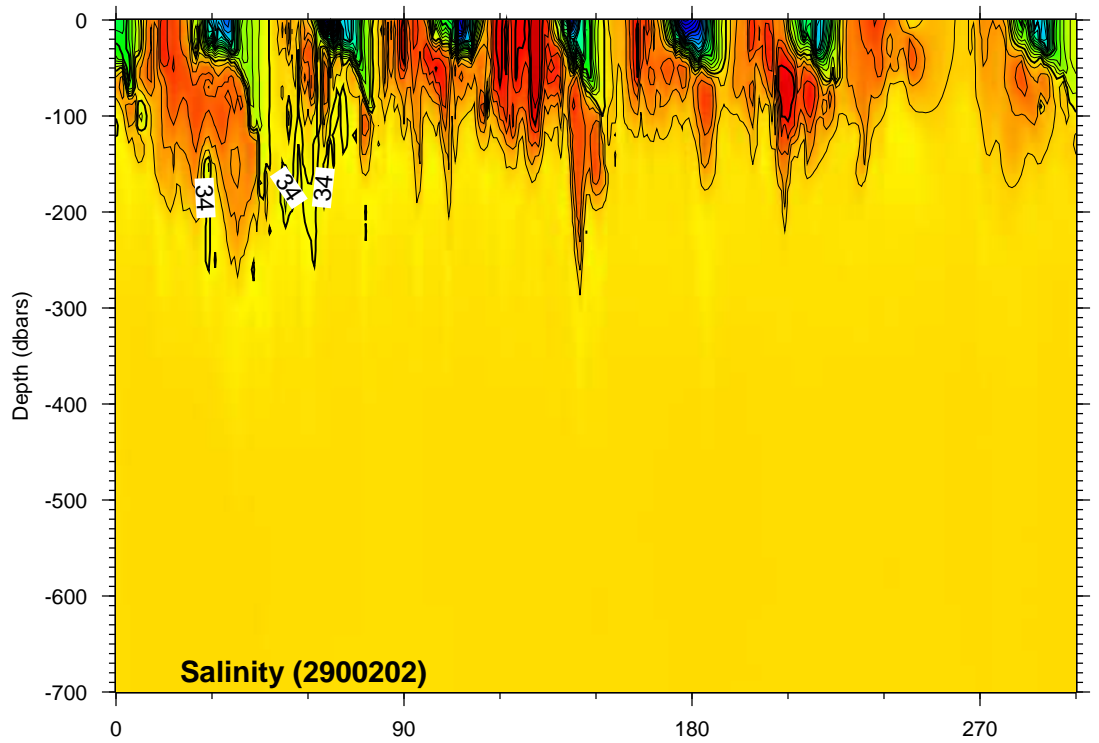
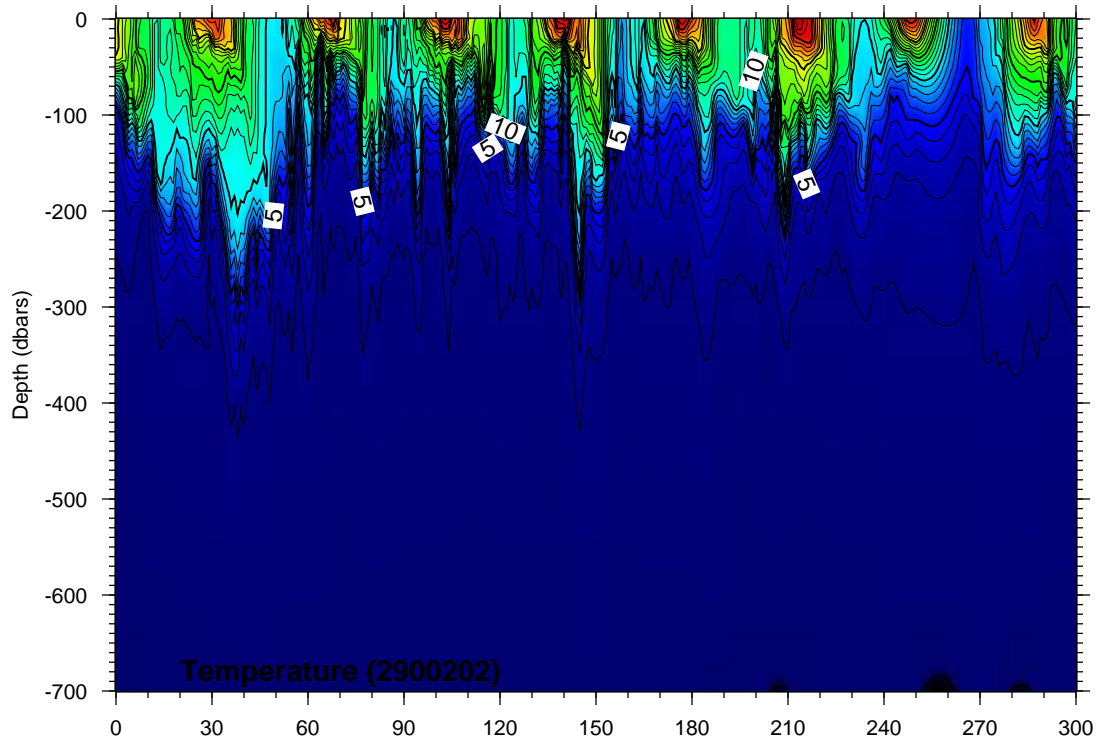
# 부 록 Ⅲ

Argo 뜰개의 수온/염분/용존산소량 시계열

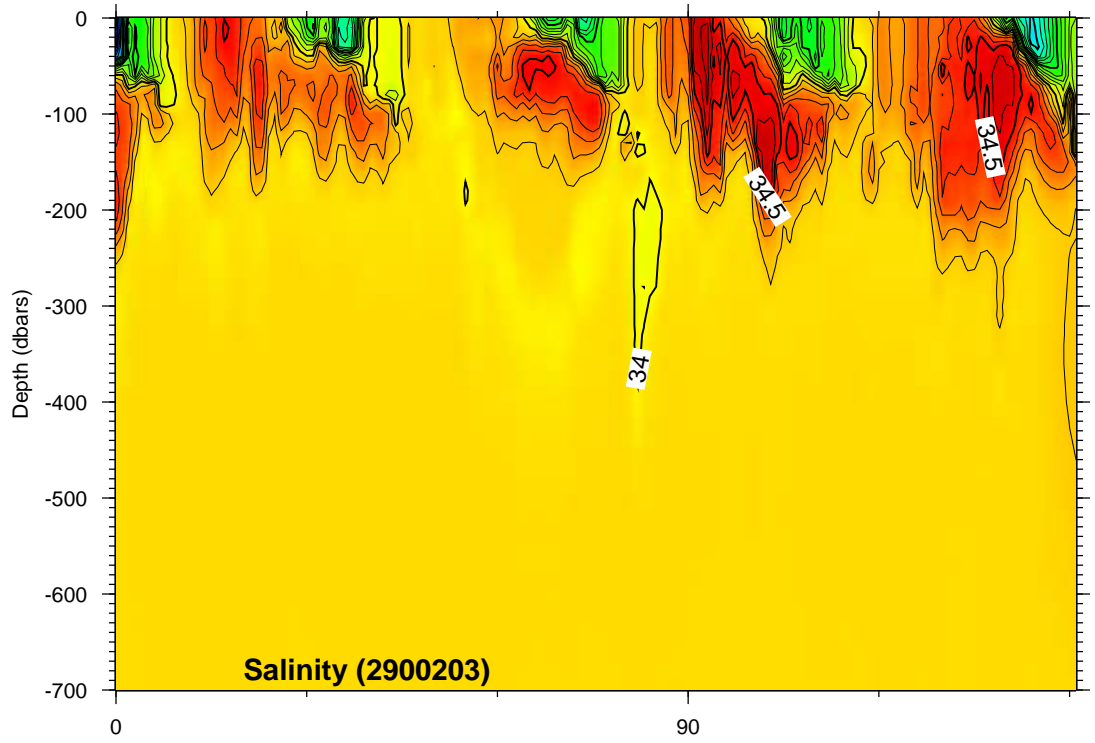
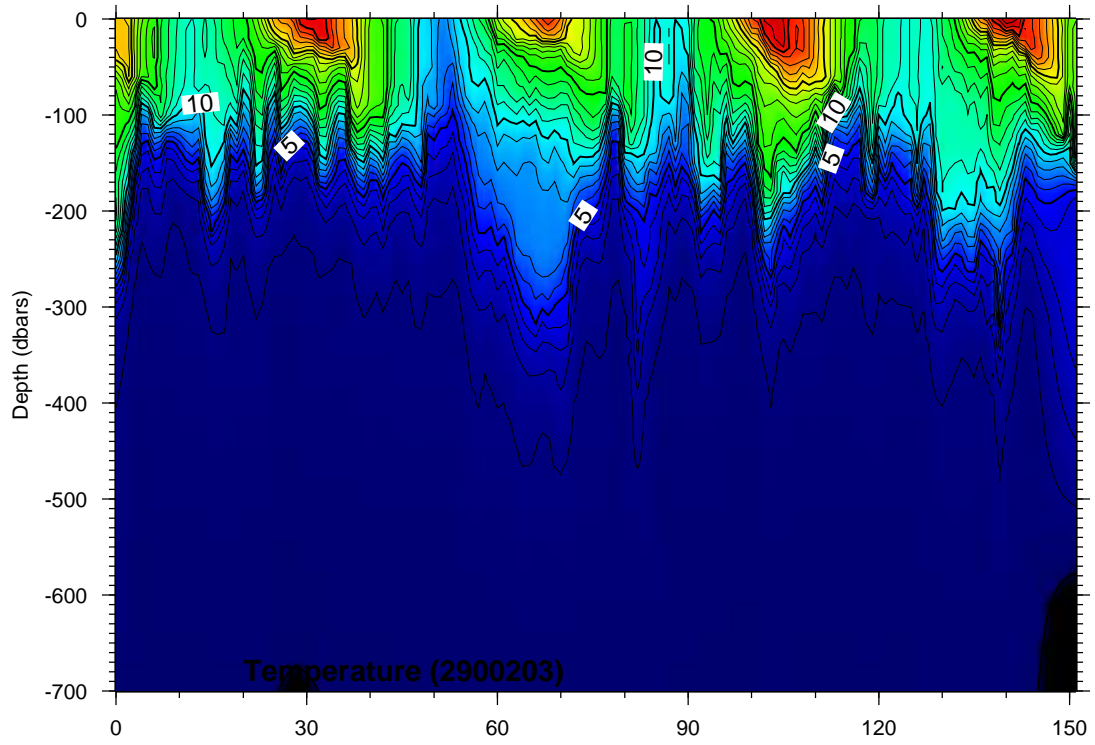




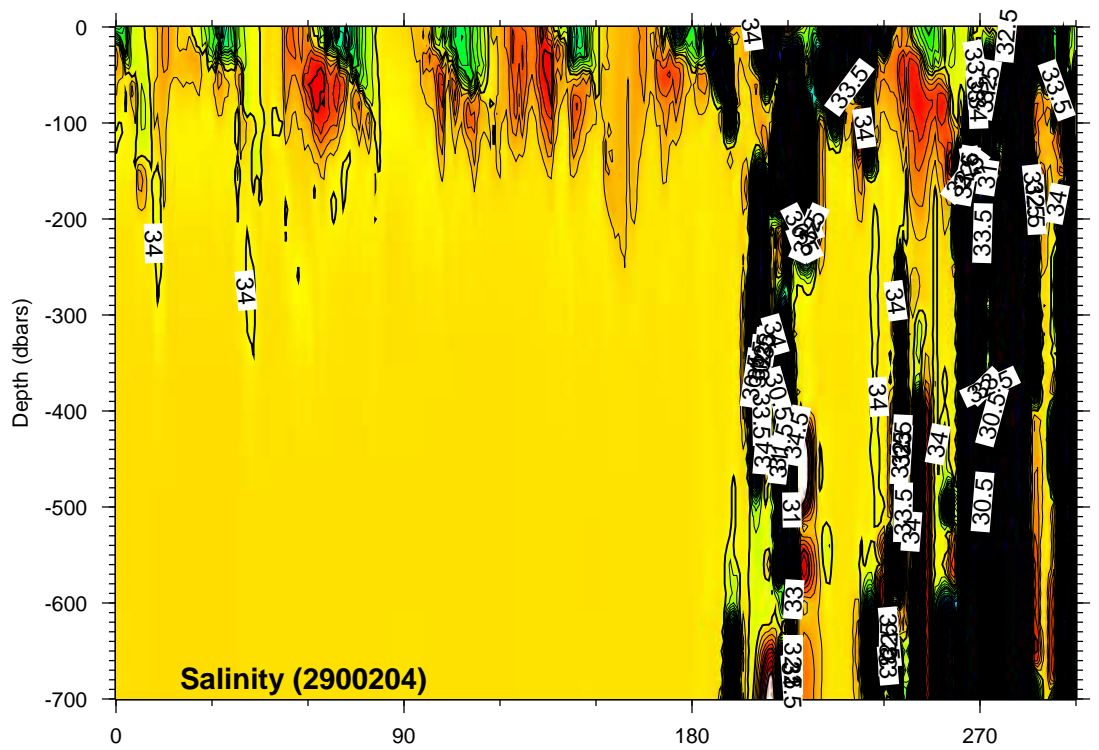
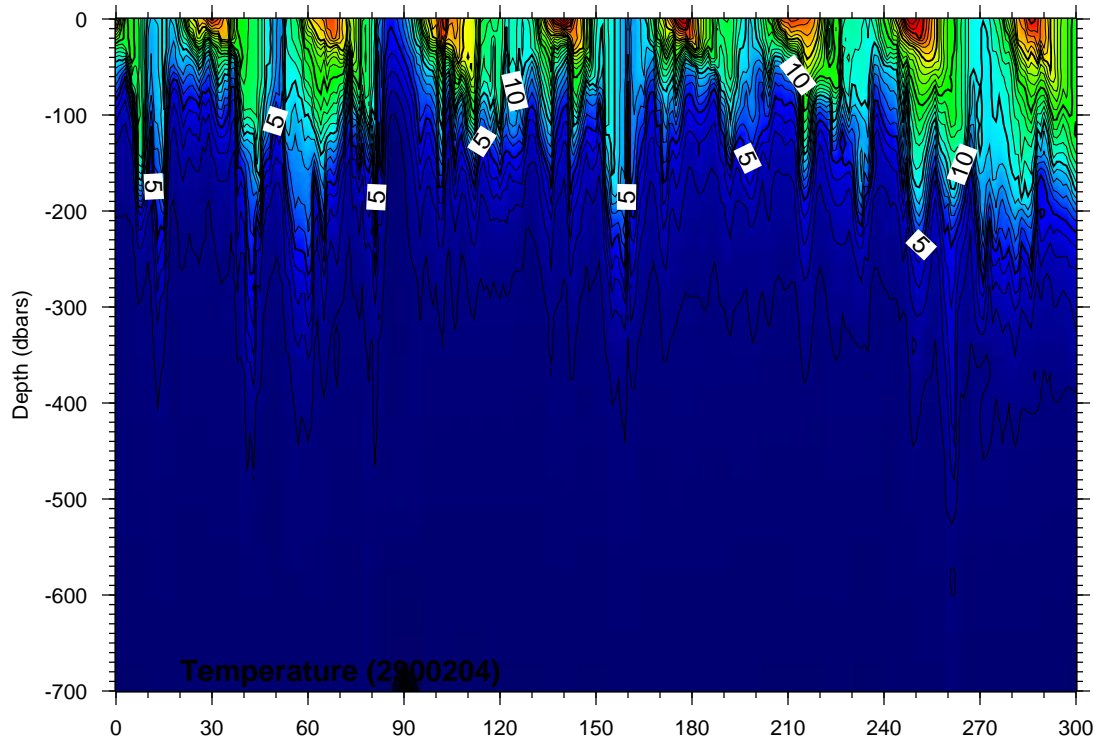
Time Series Plots for 2900201



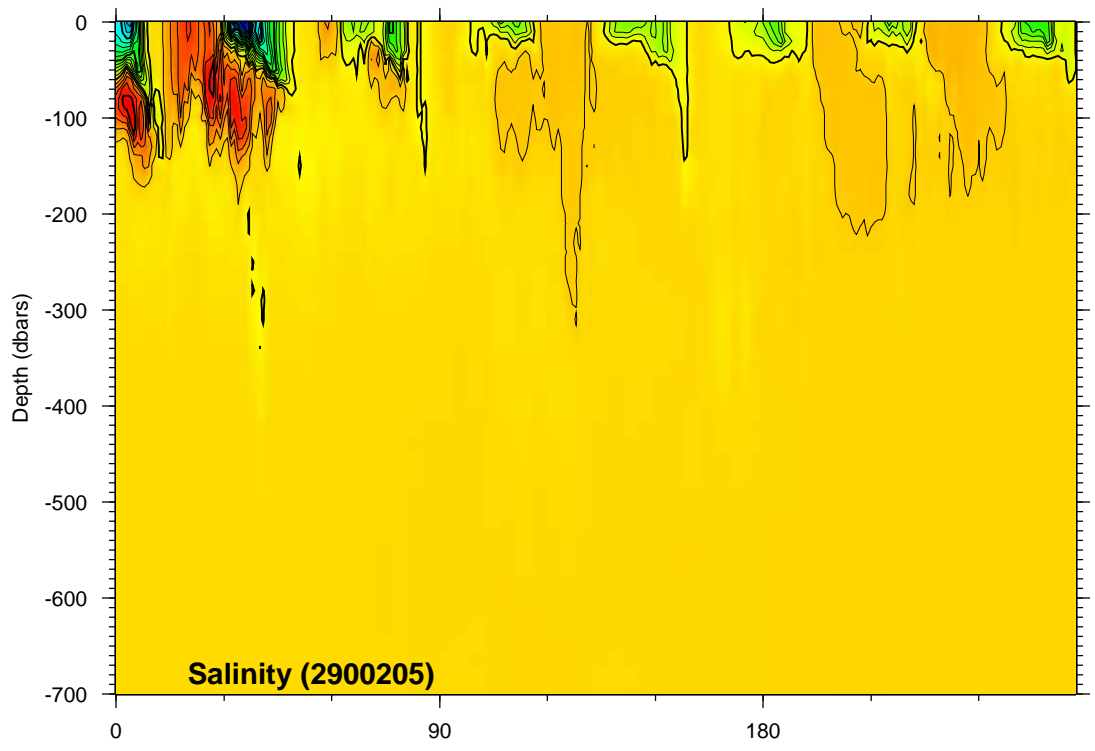
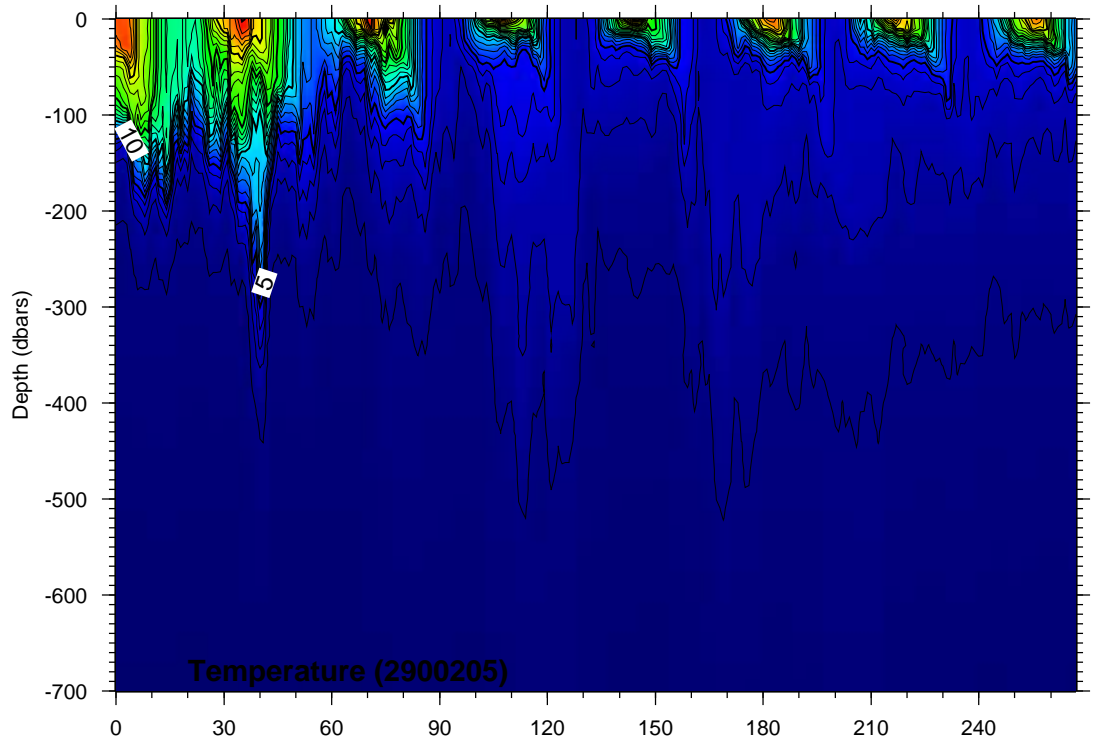
Time Series Plots for 2900202



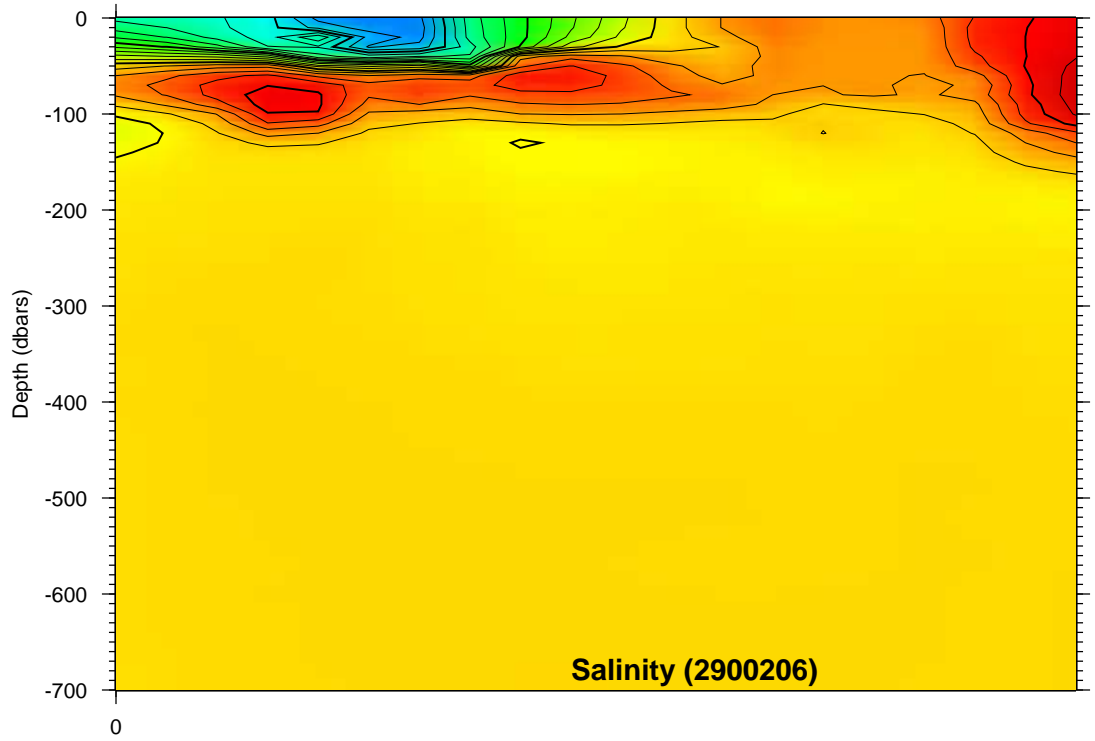
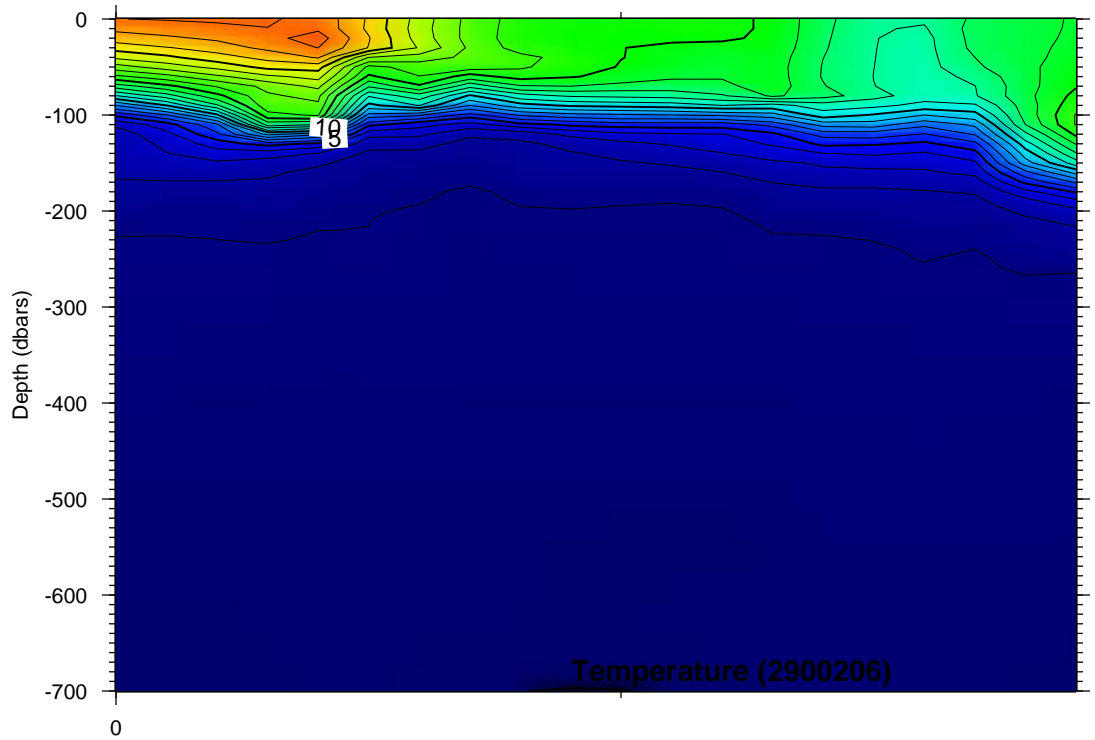
Time Series Plots for 2900203



Time Series Plots for 2900204

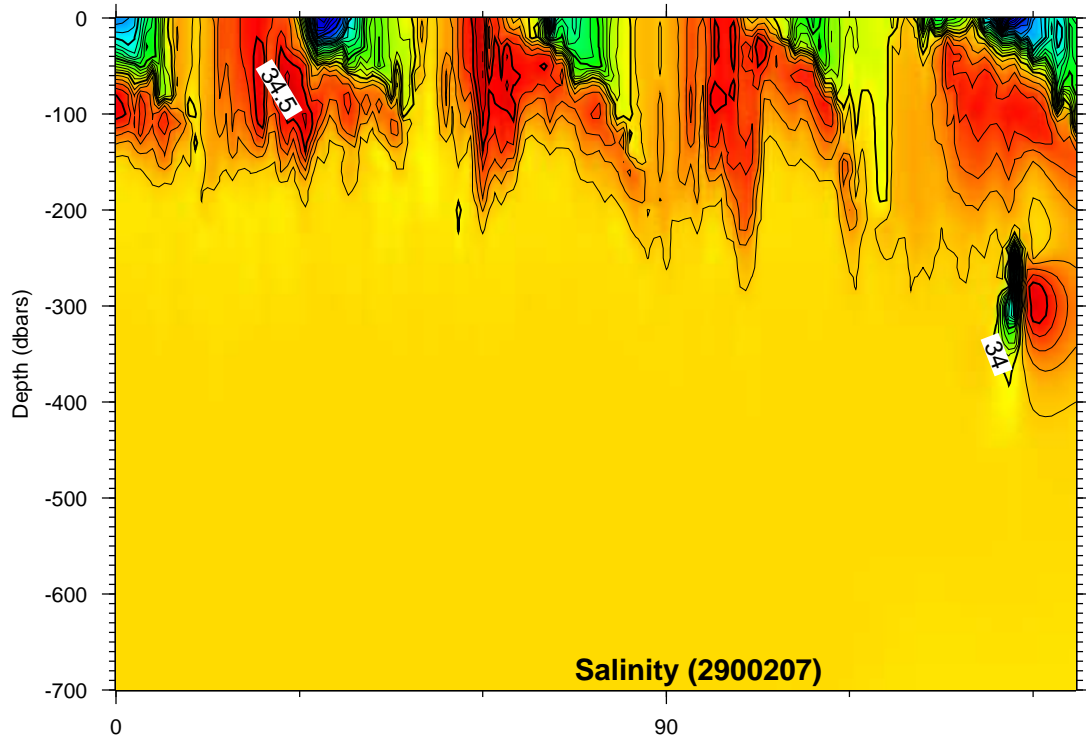
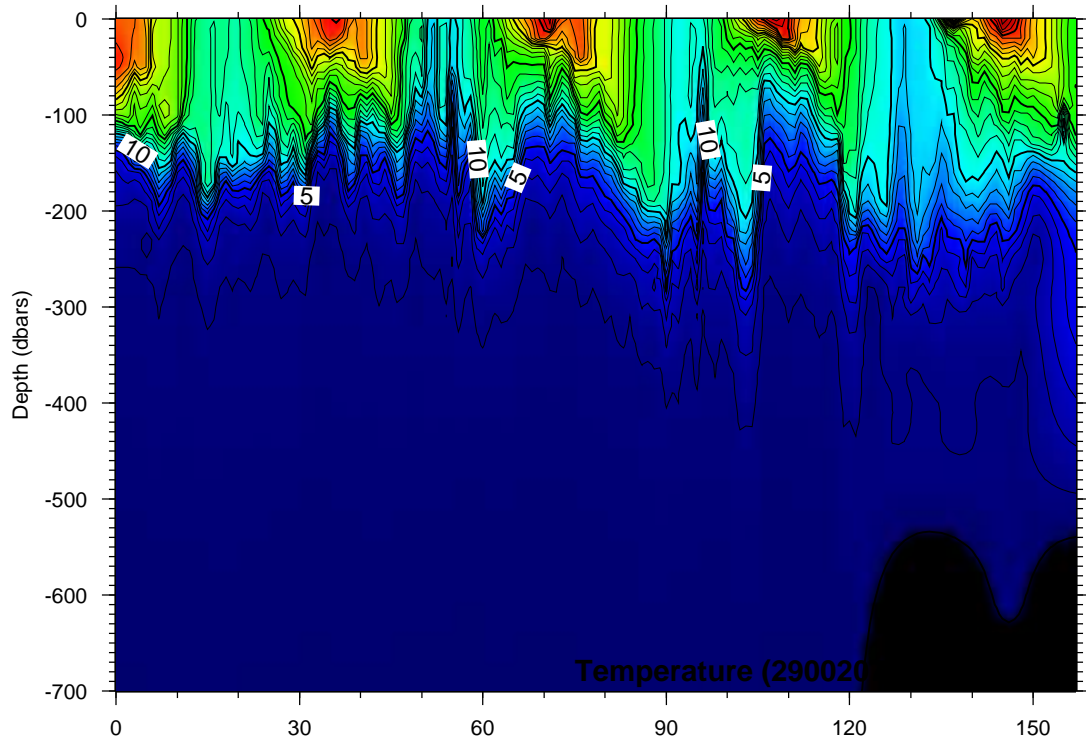


**Time Series Plots for 2900205**



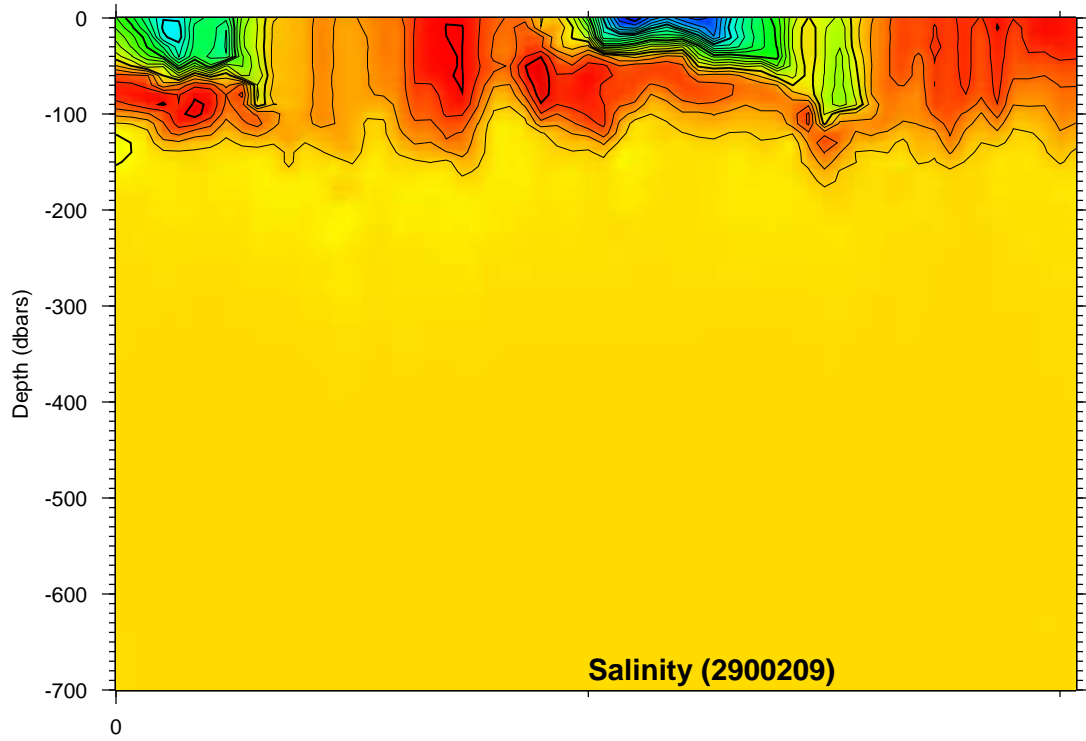
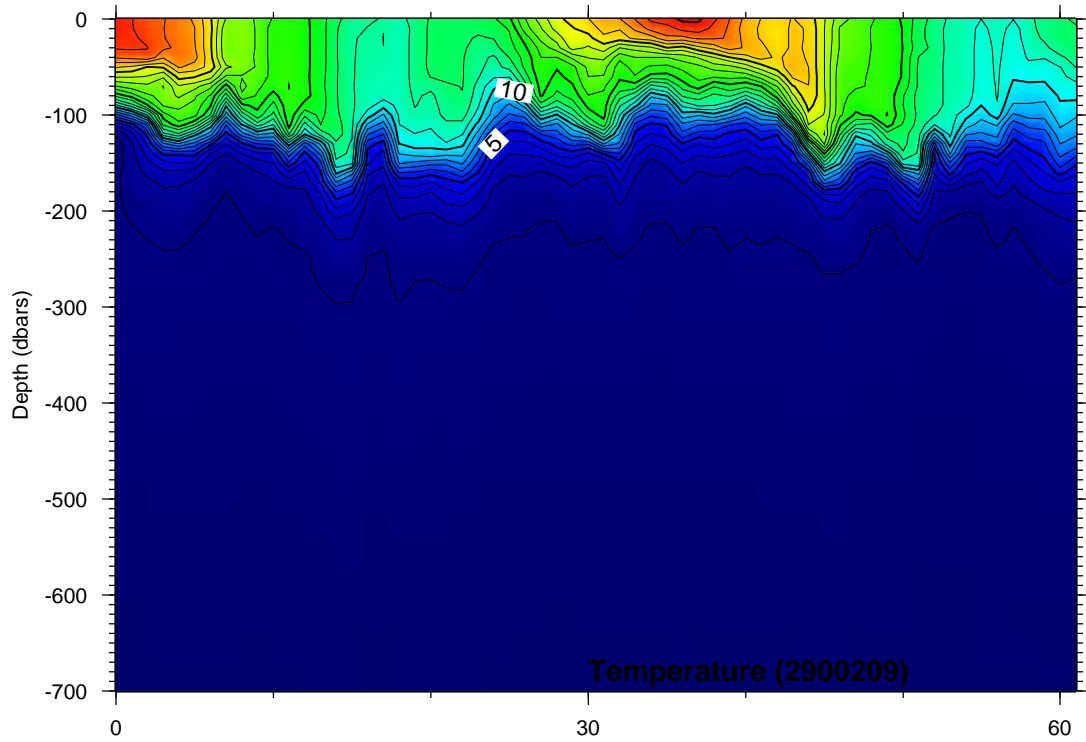
Time Series Plots for 2900206



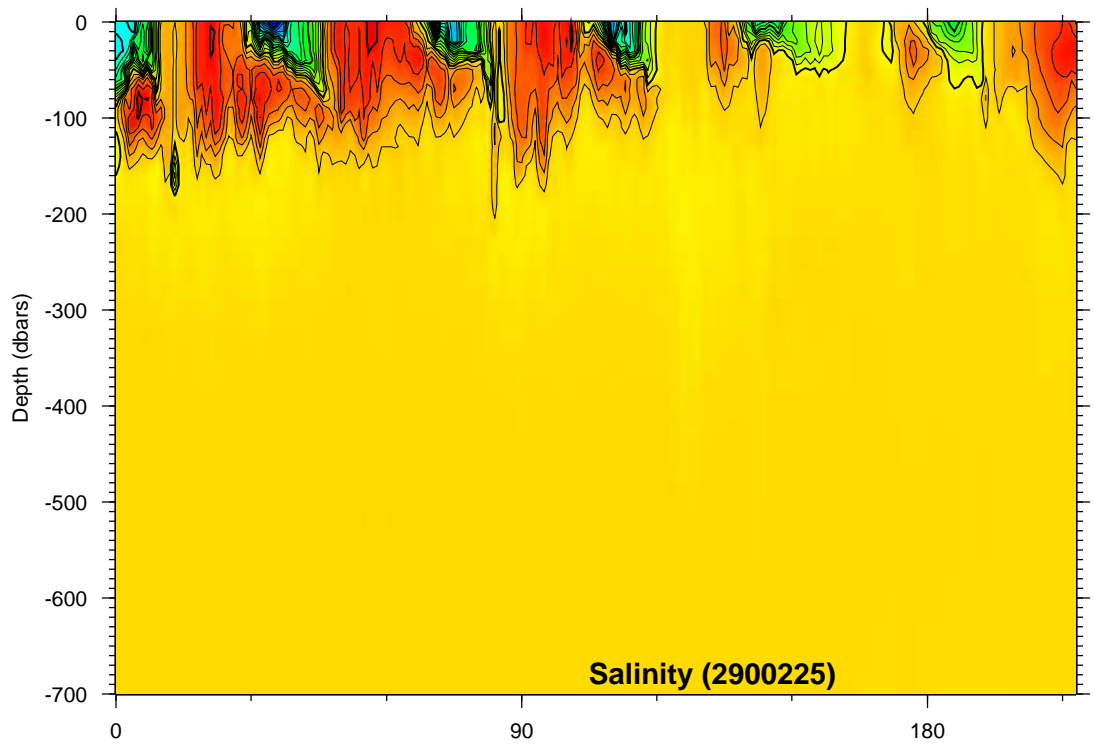
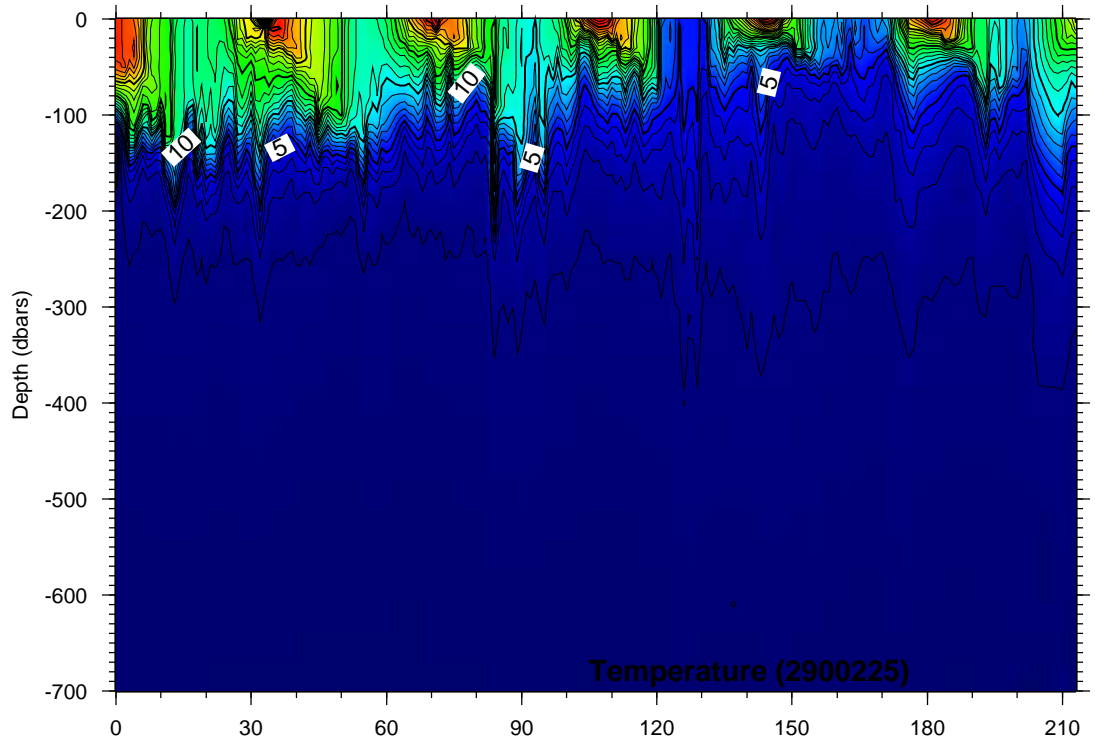


Time Series Plots for 2900207

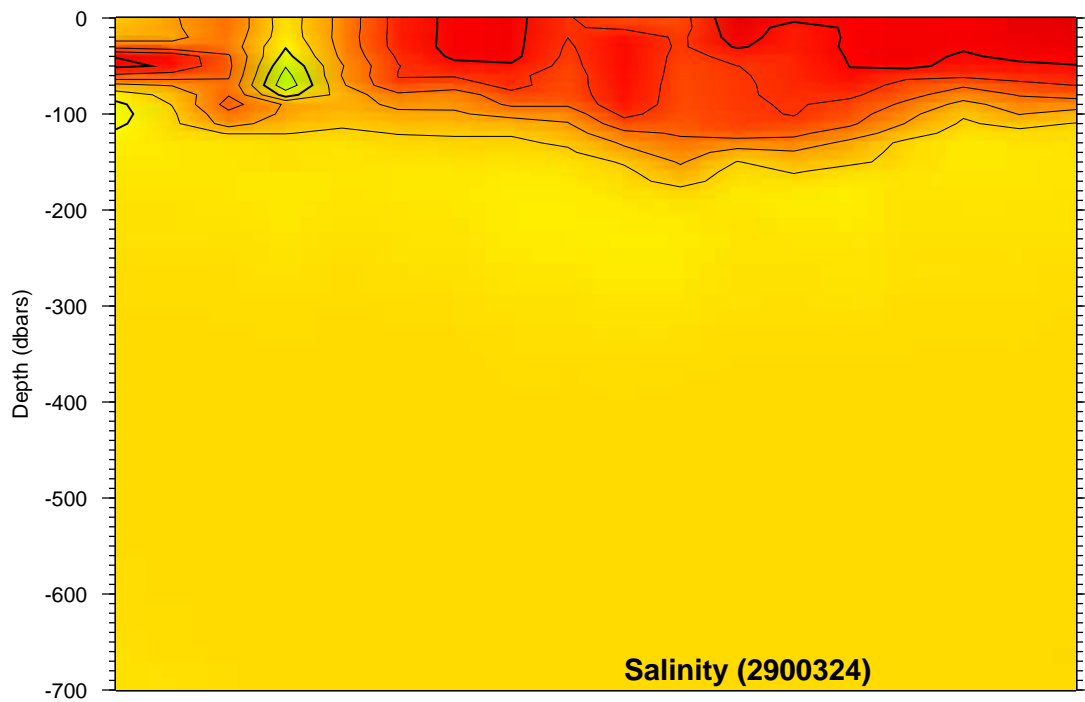
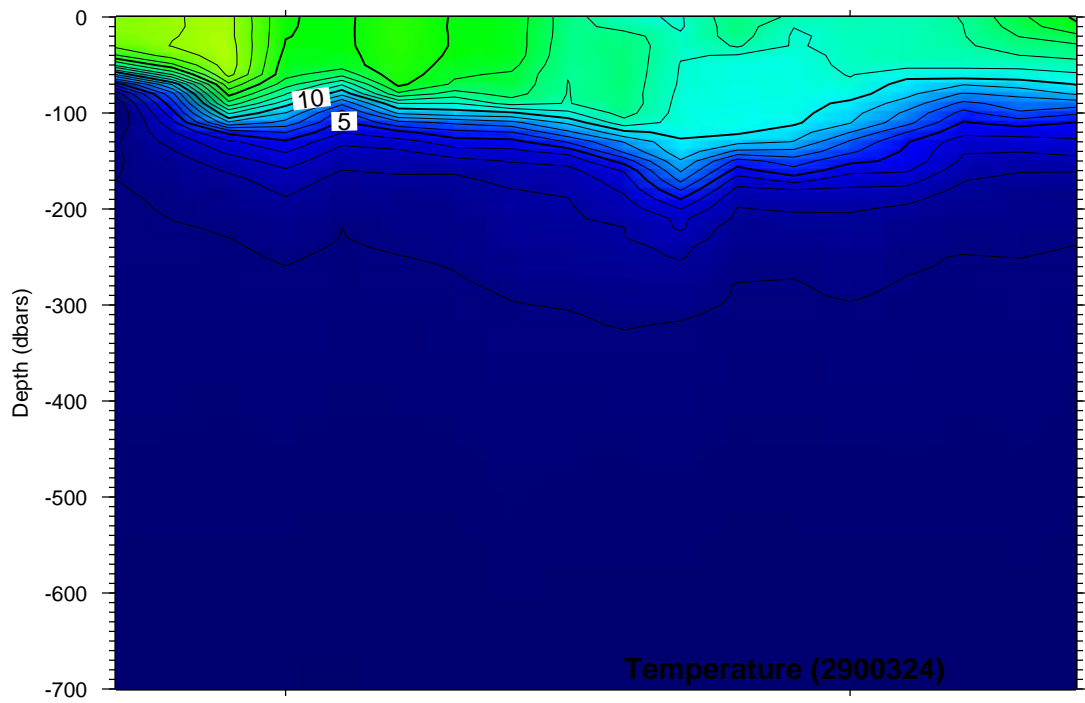




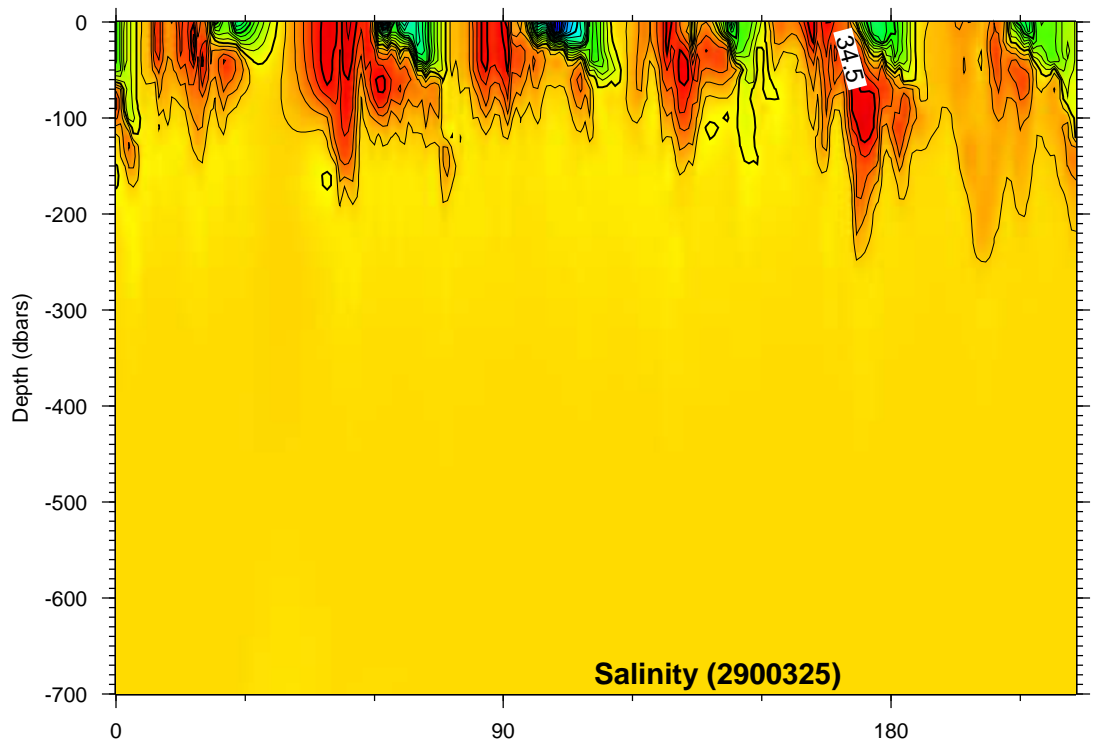
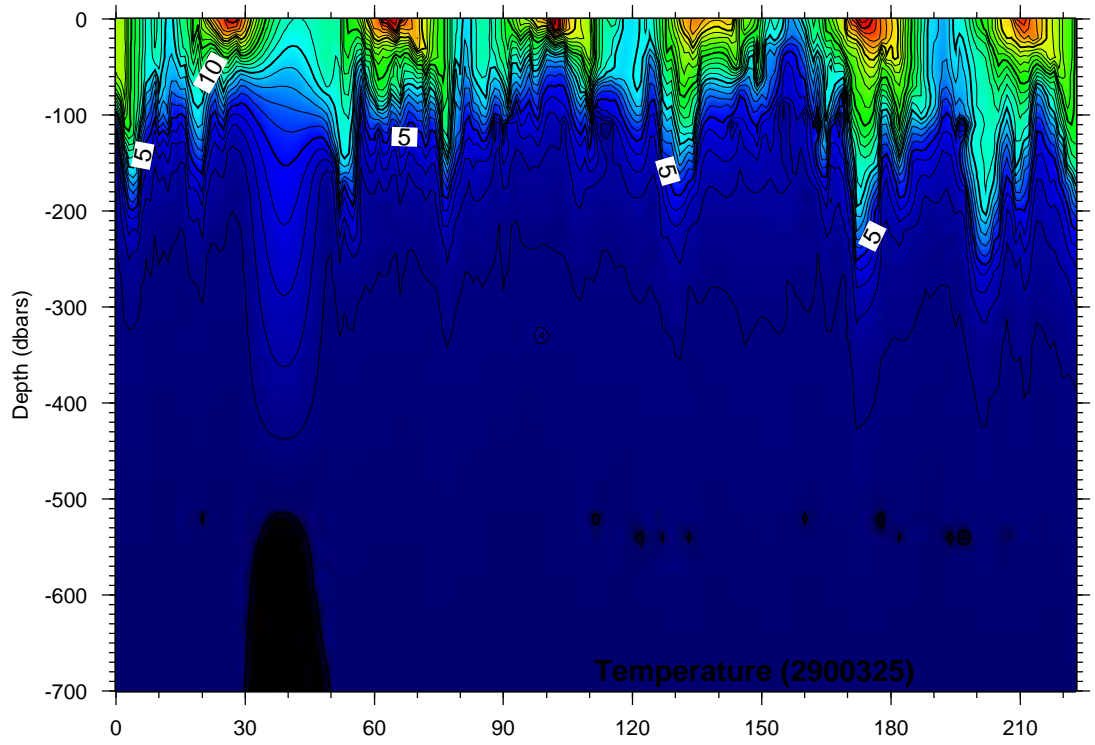
**Time Series Plots for 2900209**



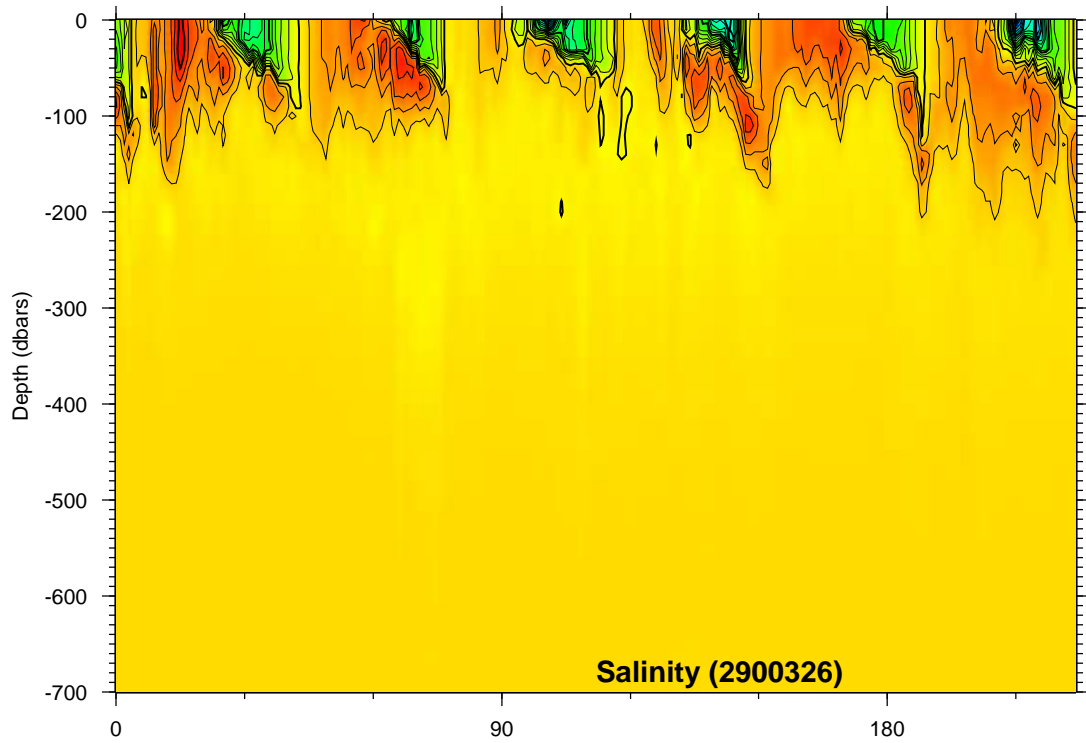
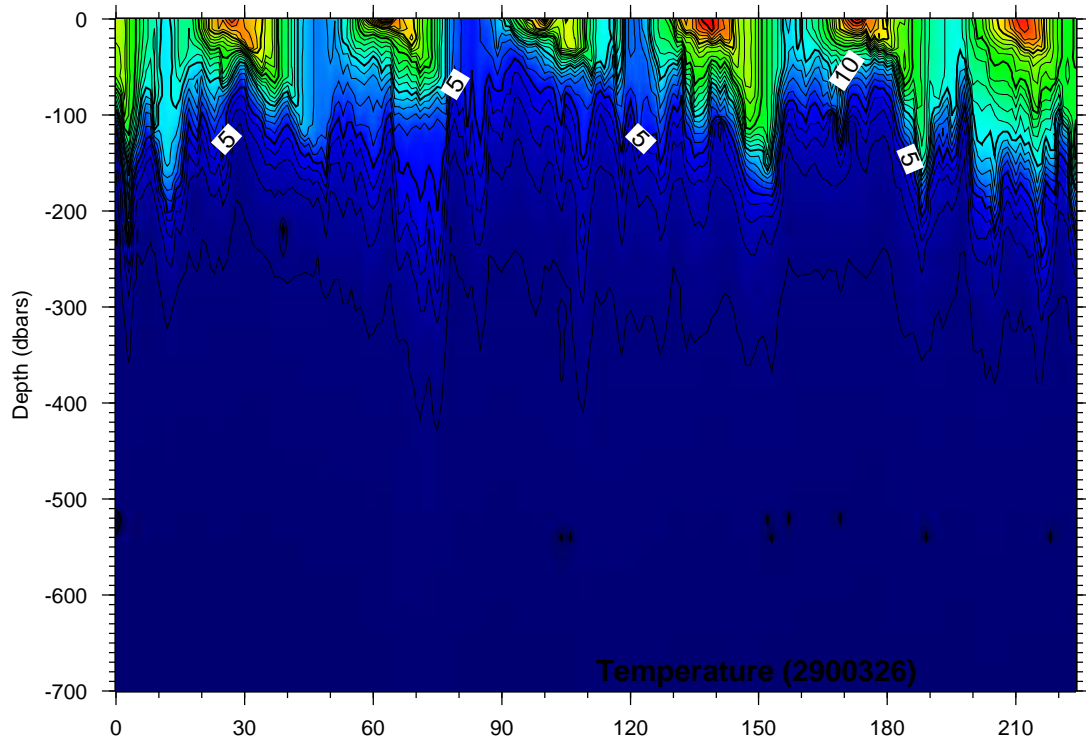
**Time Series Plots for 2900225**



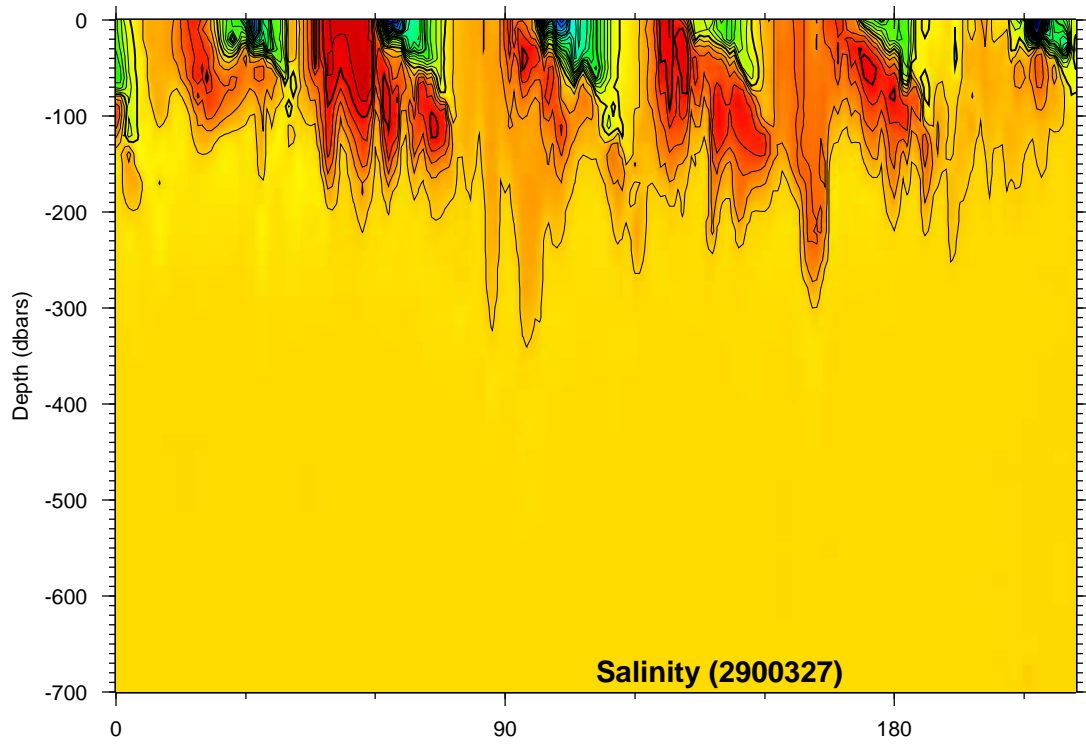
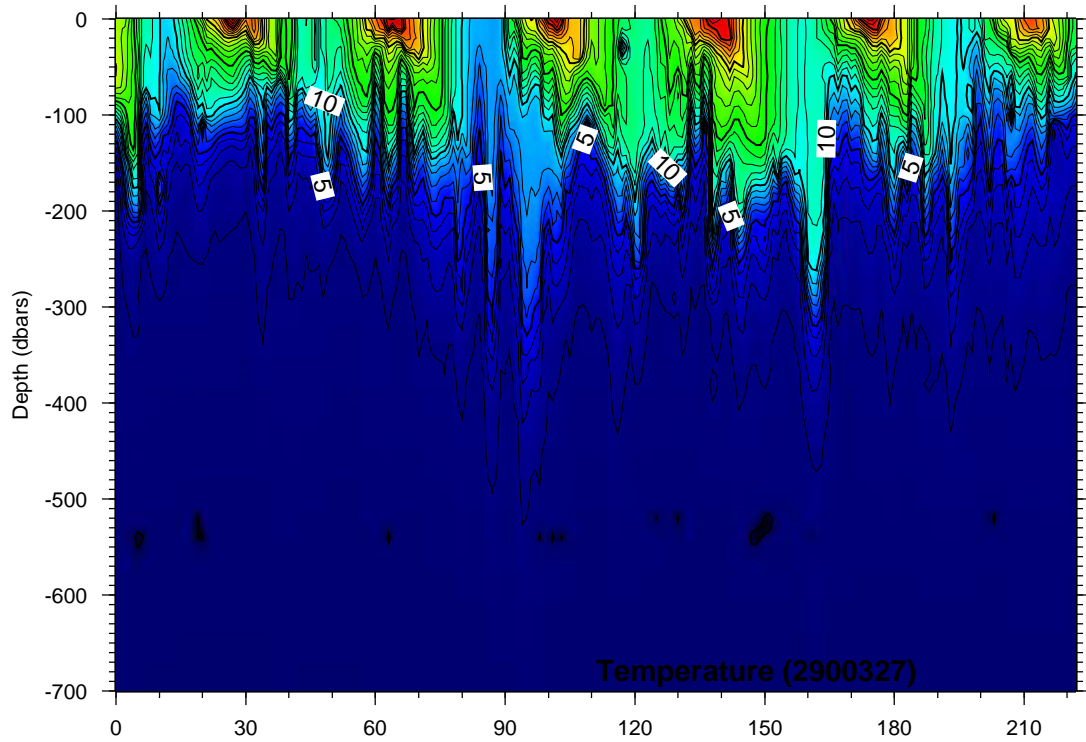
Time Series Plots for 2900324



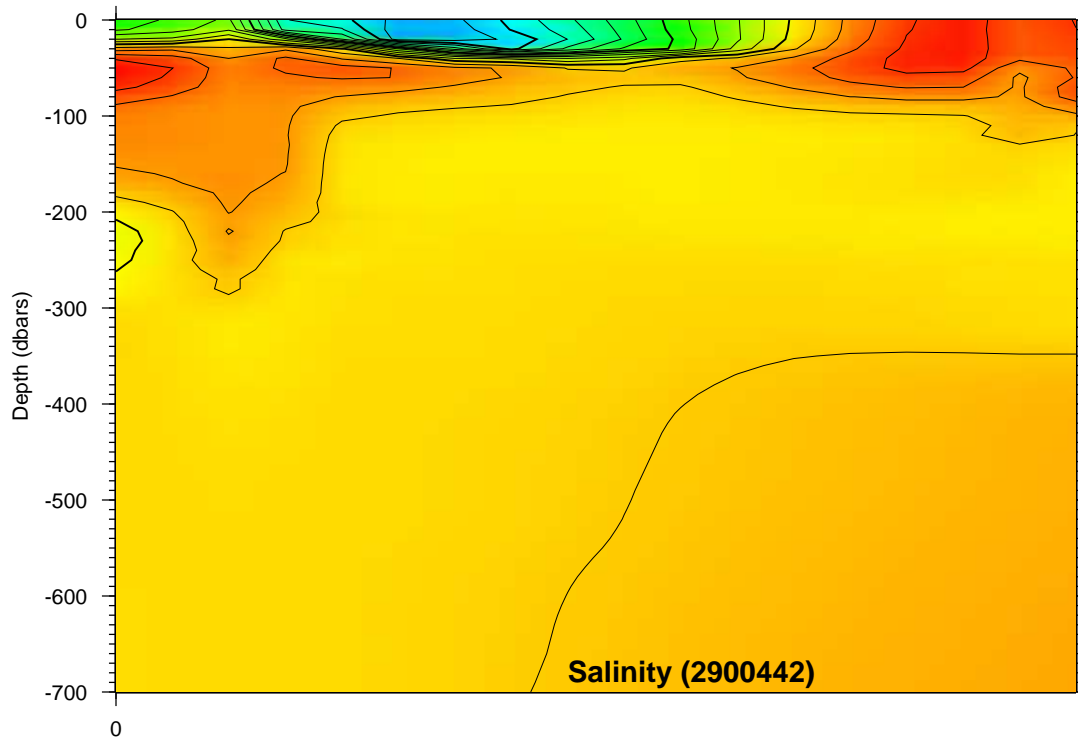
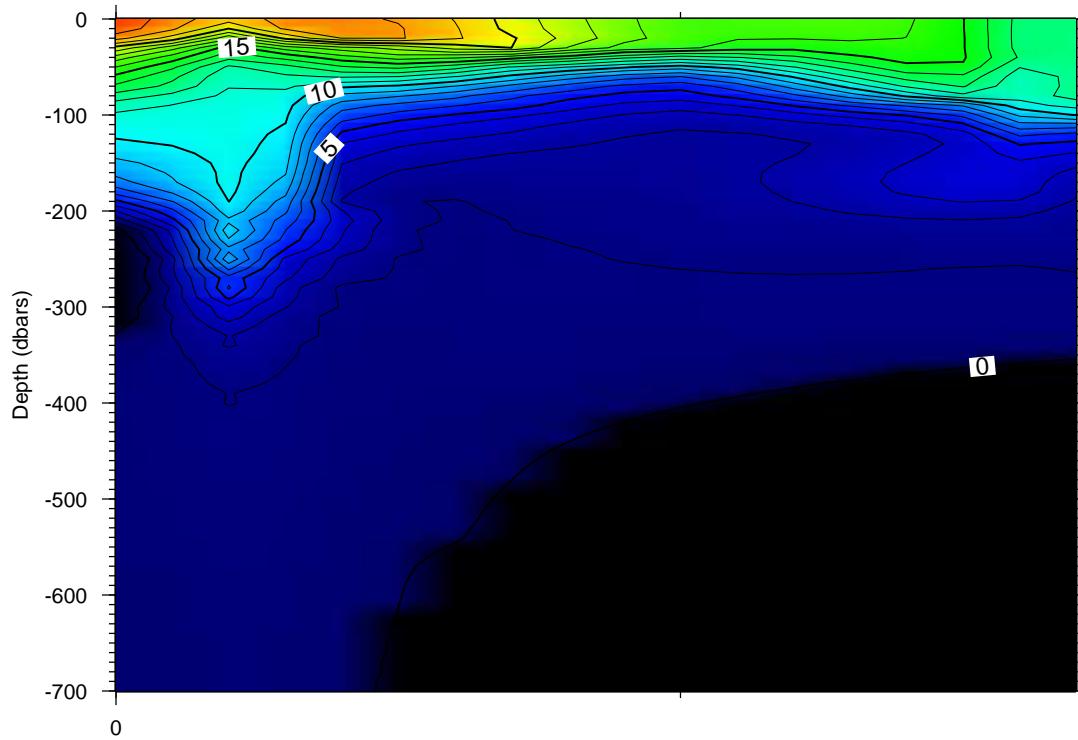
**Time Series Plots for 2900325**



**Time Series Plots for 2900326**

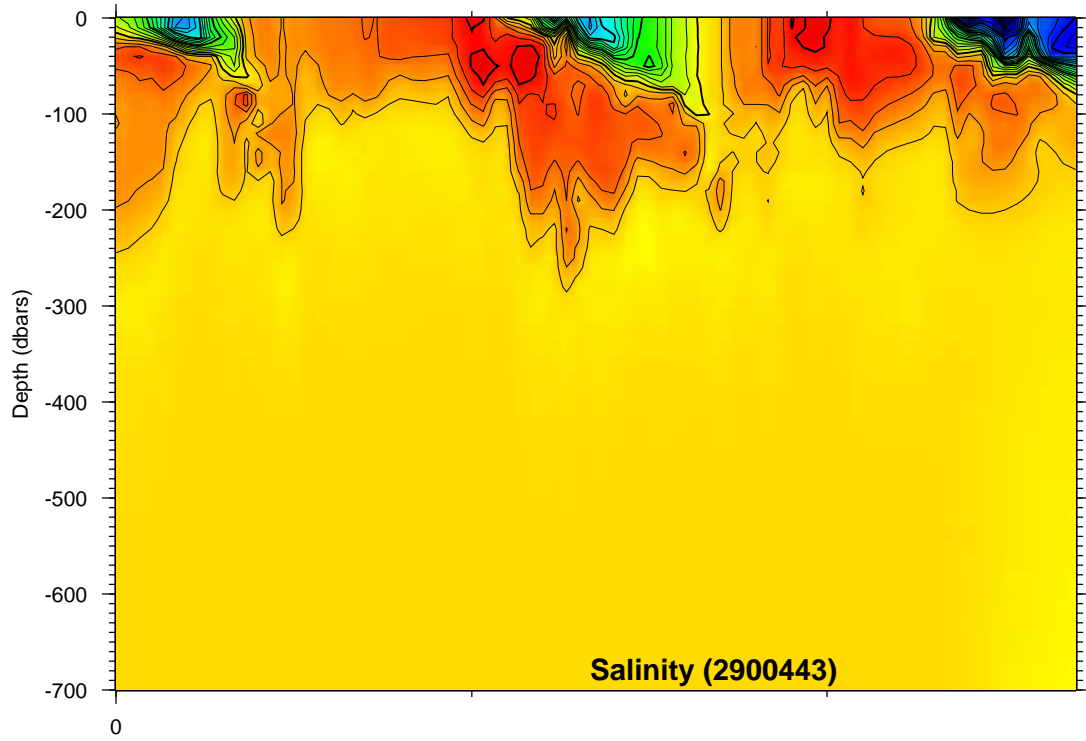
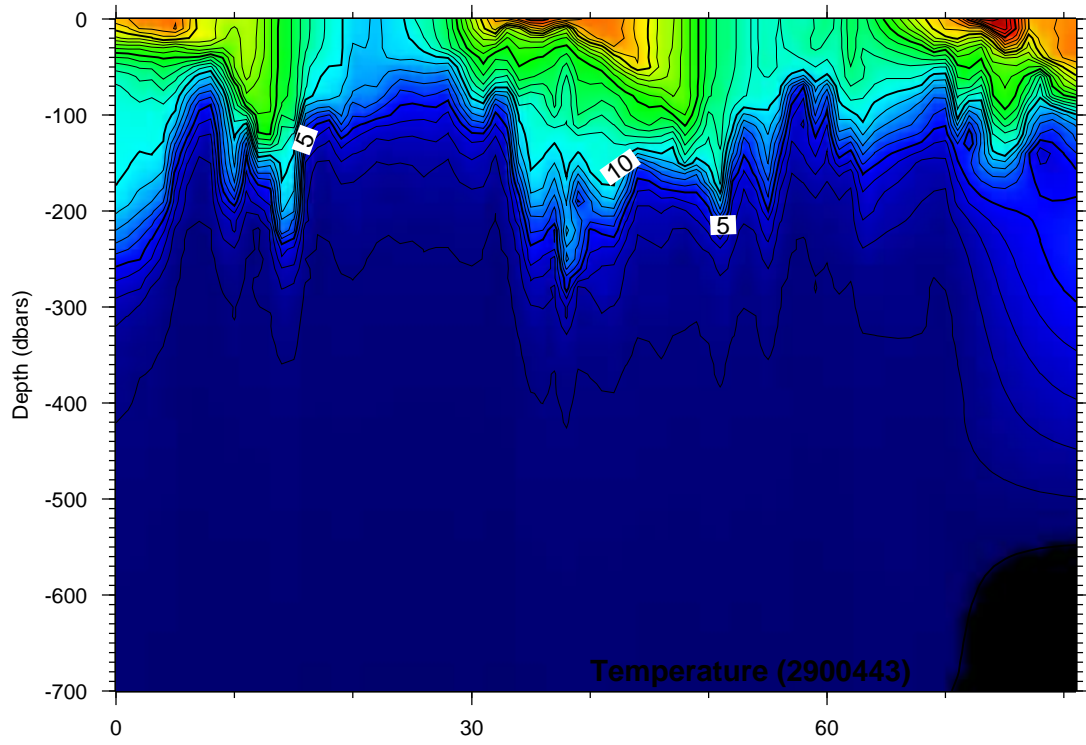


Time Series Plots for 2900327

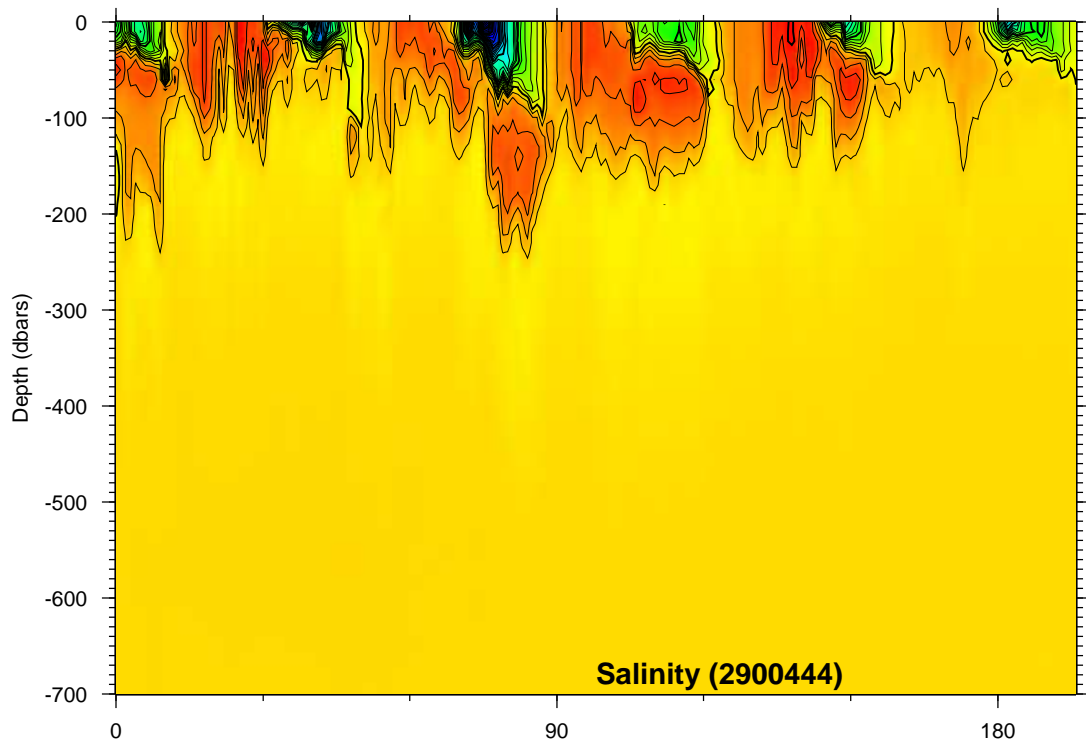
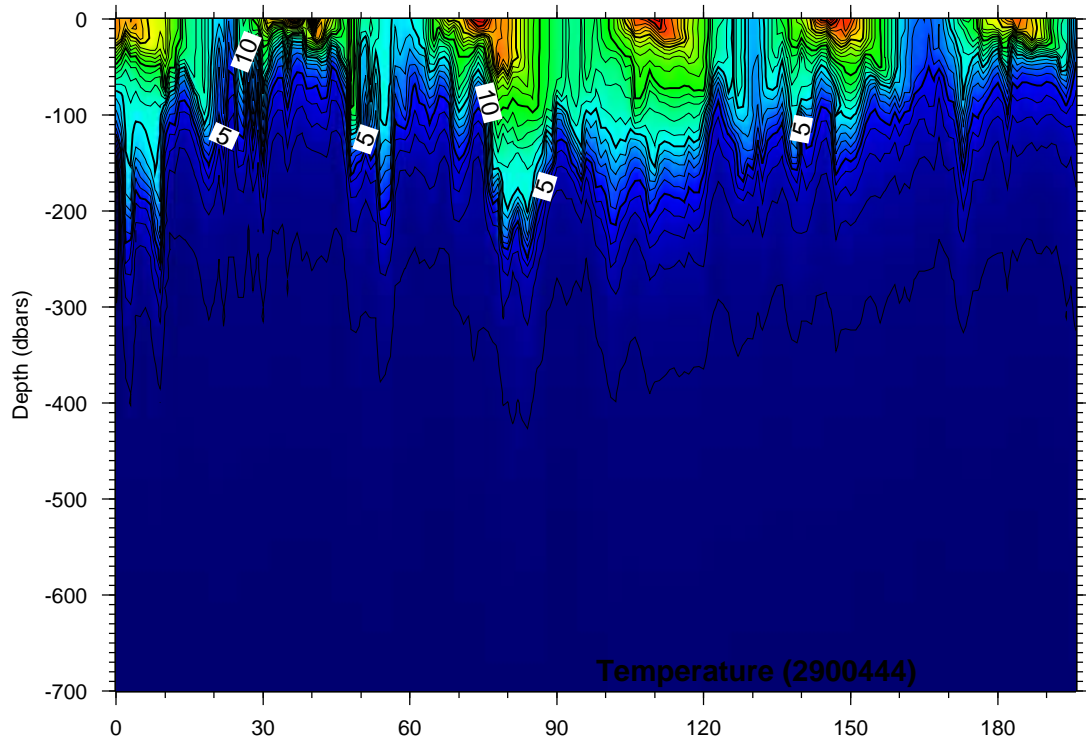


Time Series Plots for 2900442

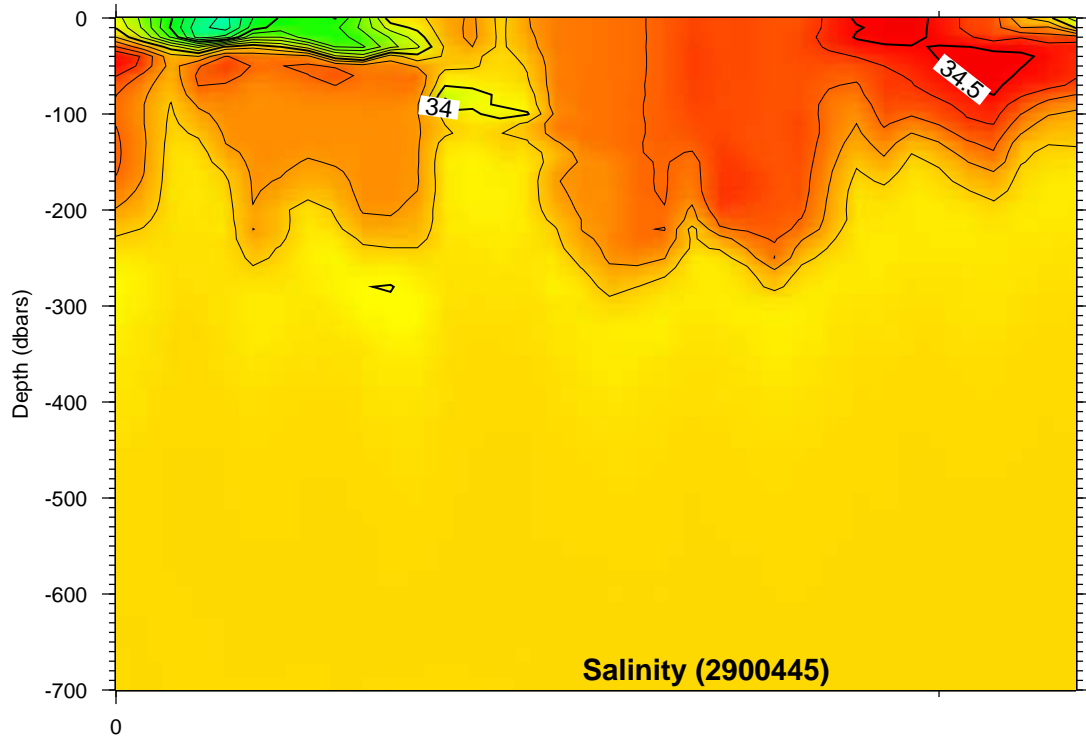
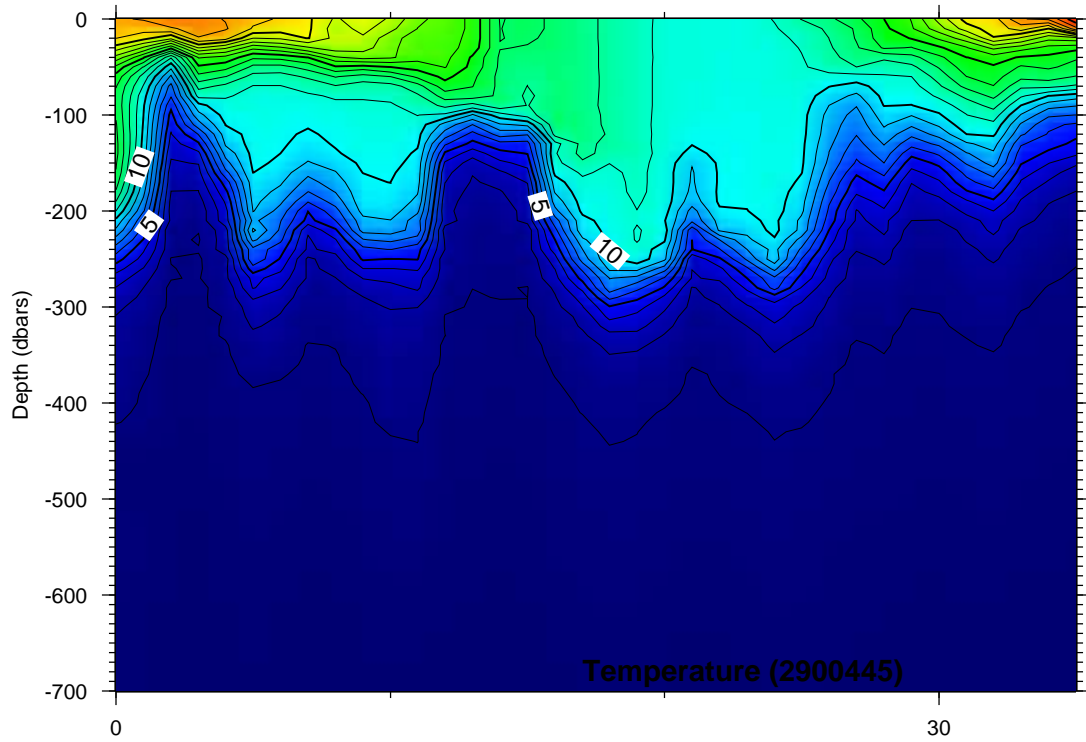




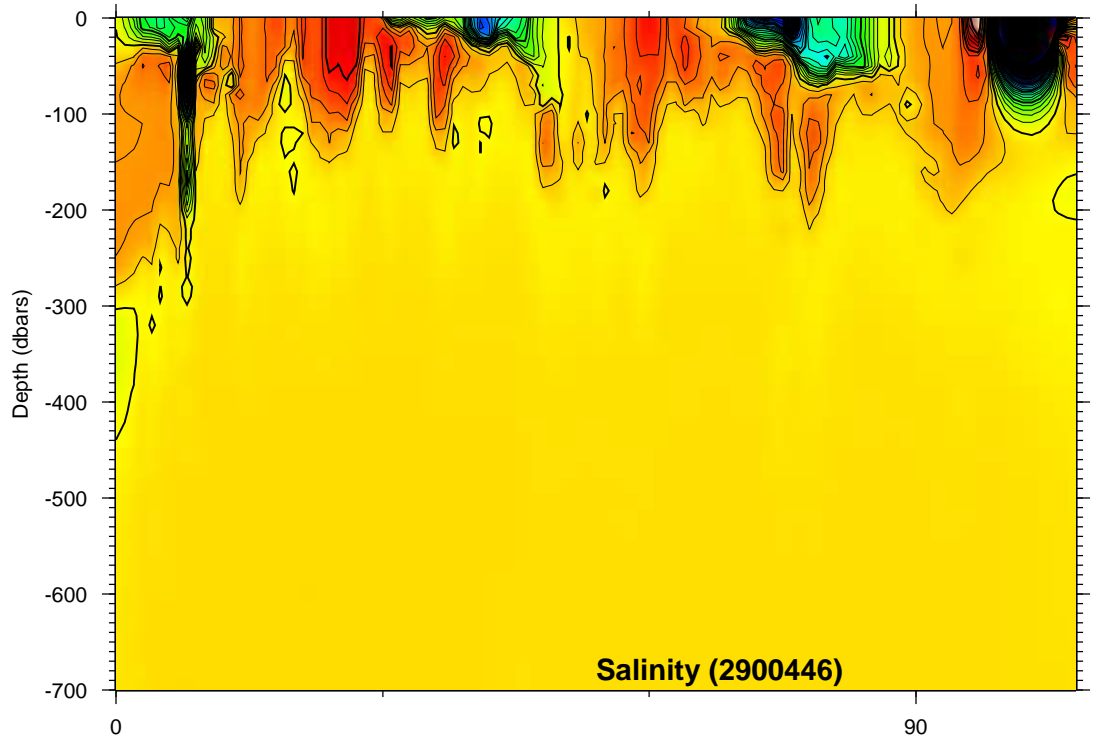
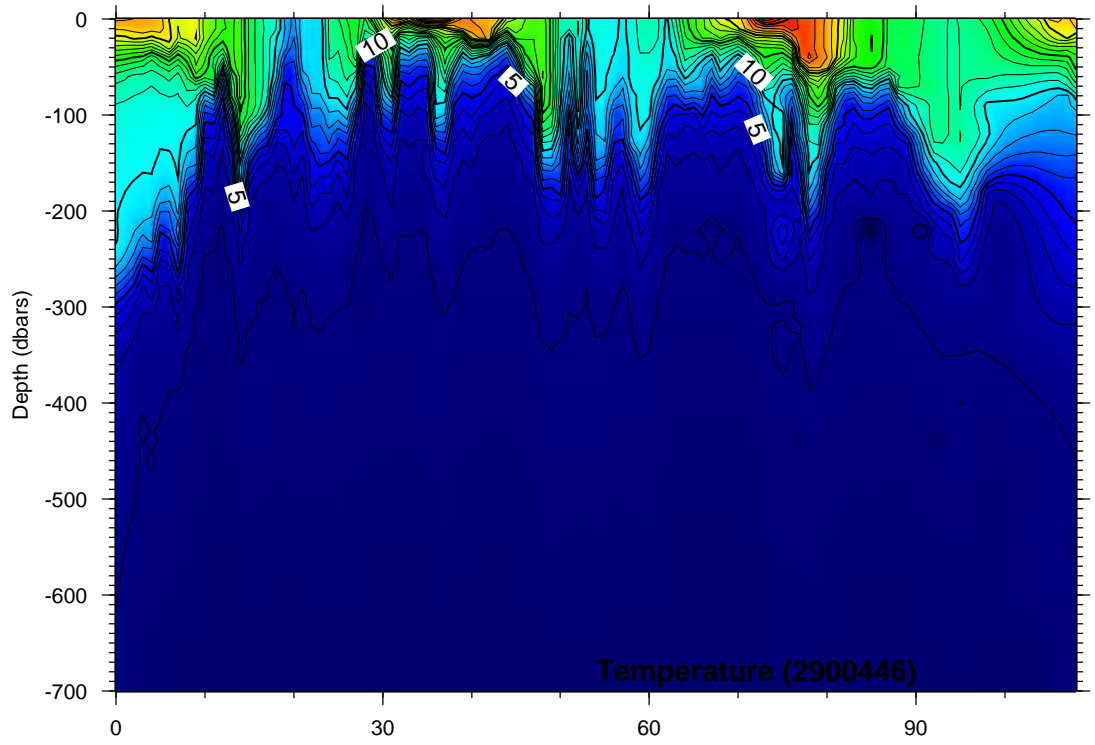
**Time Series Plots for 2900443**



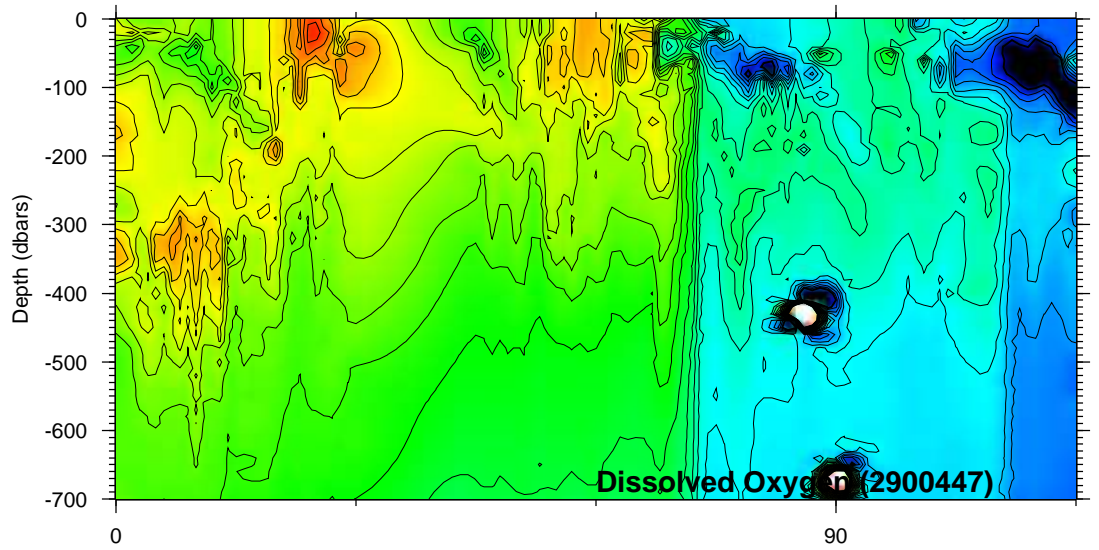
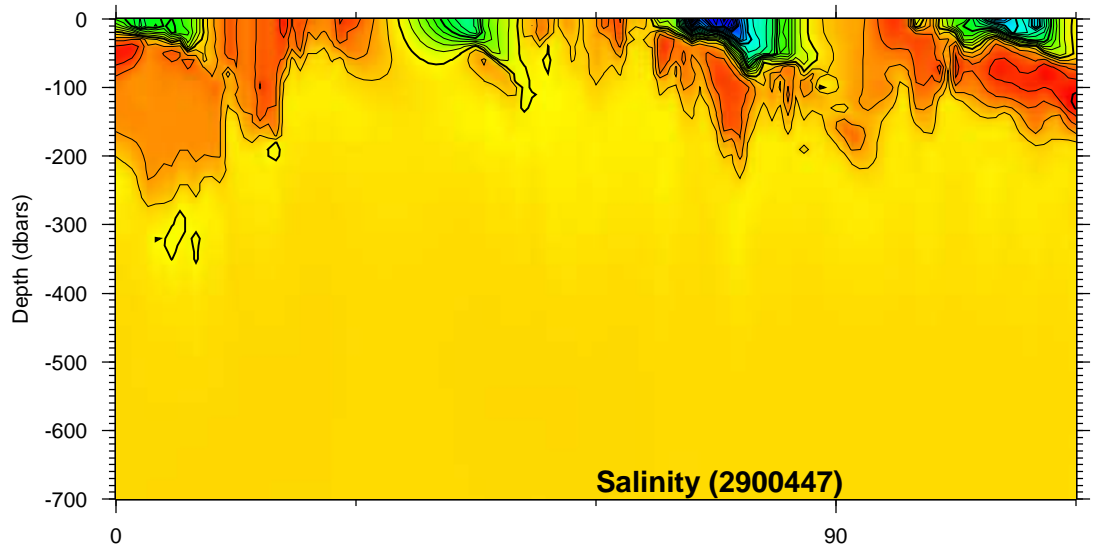
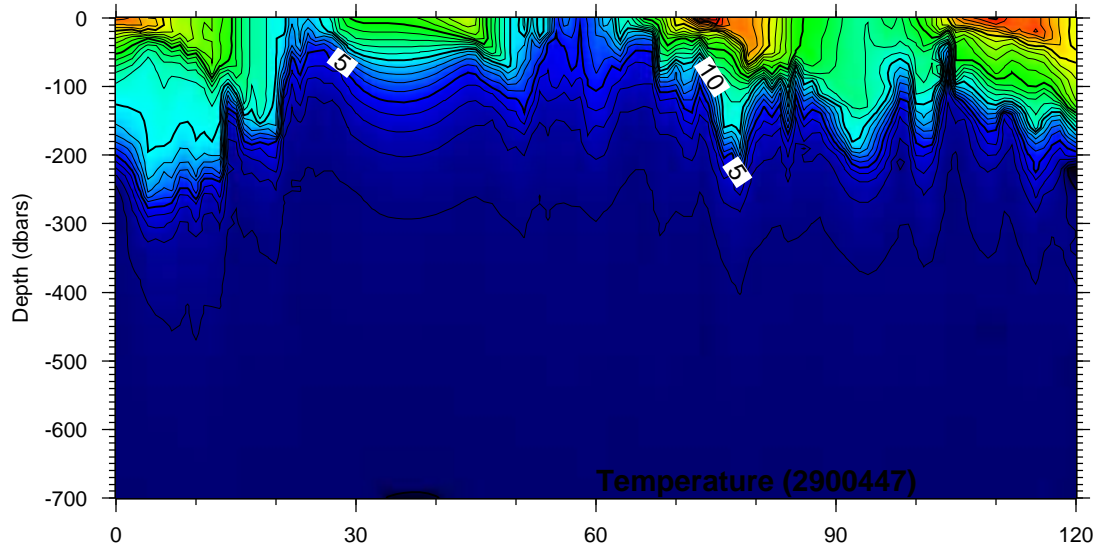
Time Series Plots for 2900444



**Time Series Plots for 2900445**

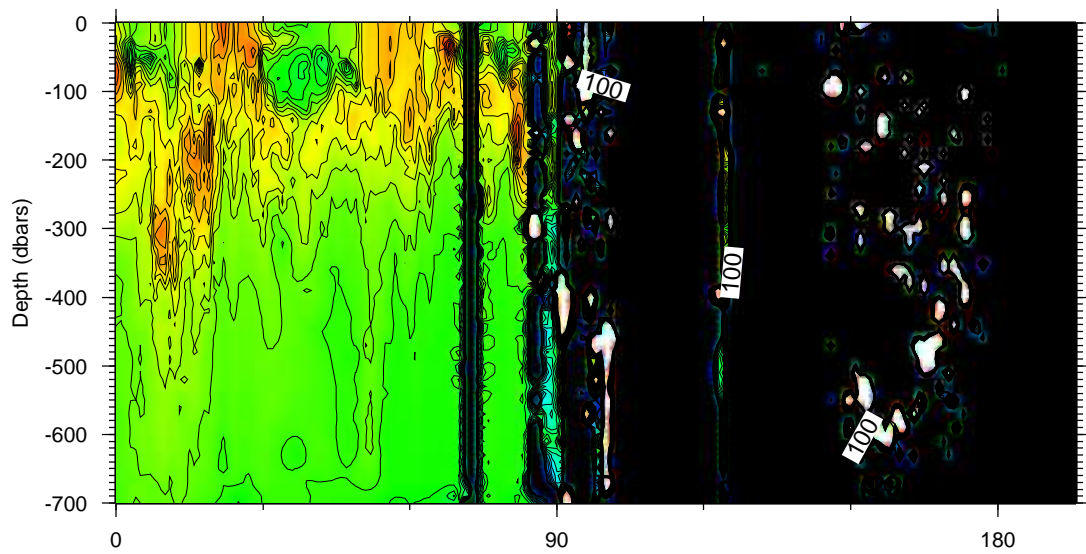
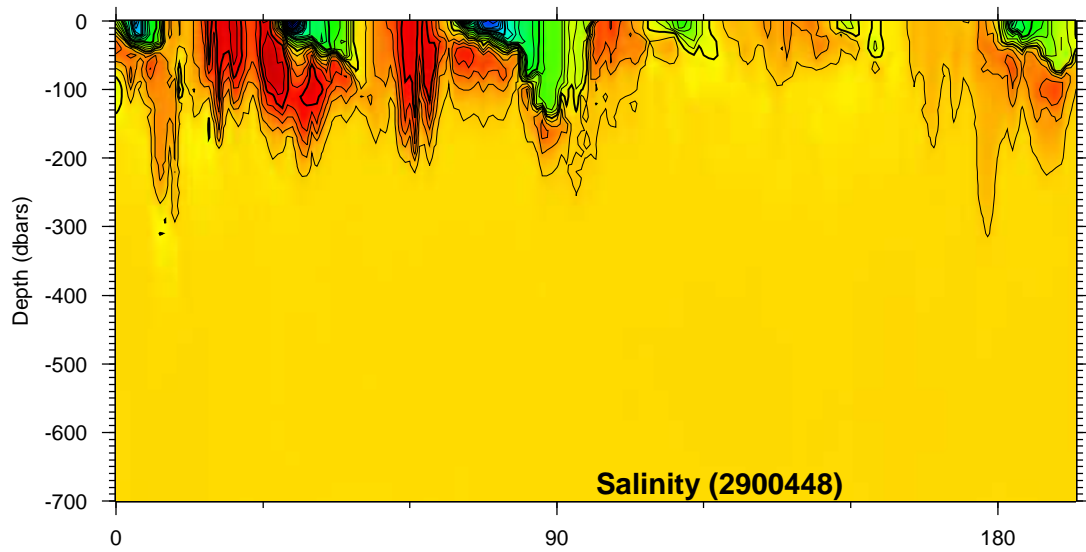
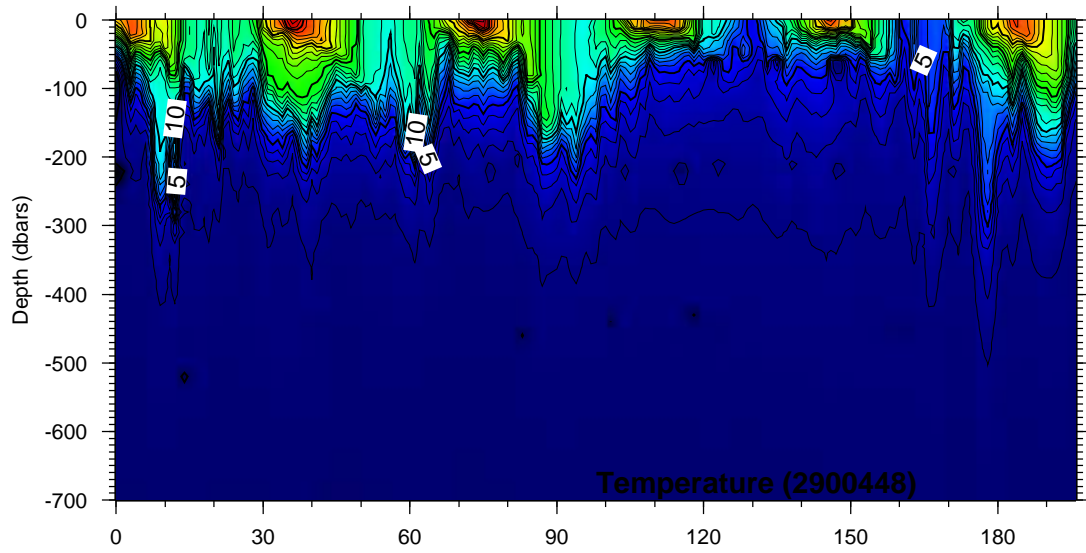


**Time Series Plots for 2900446**

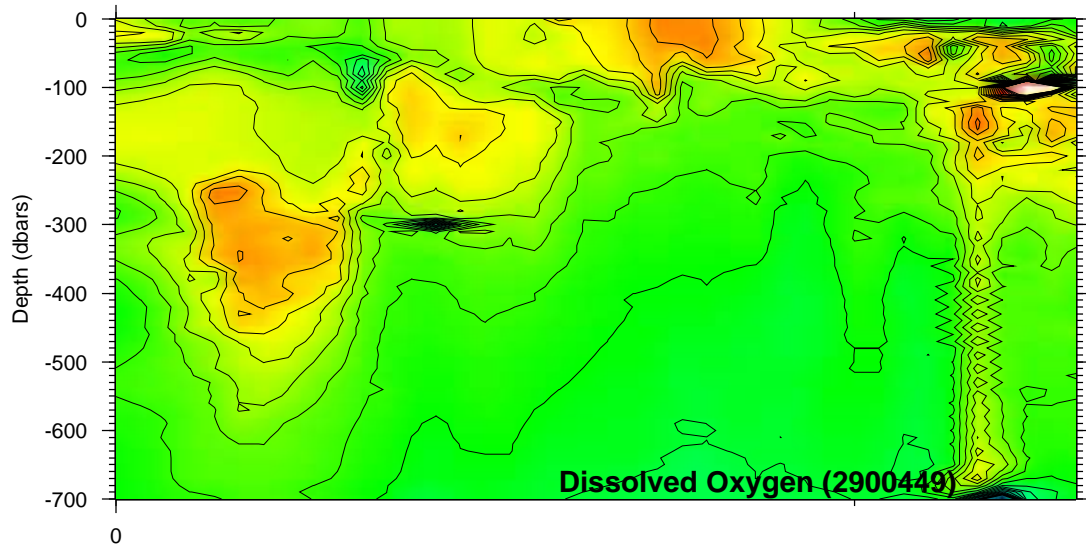
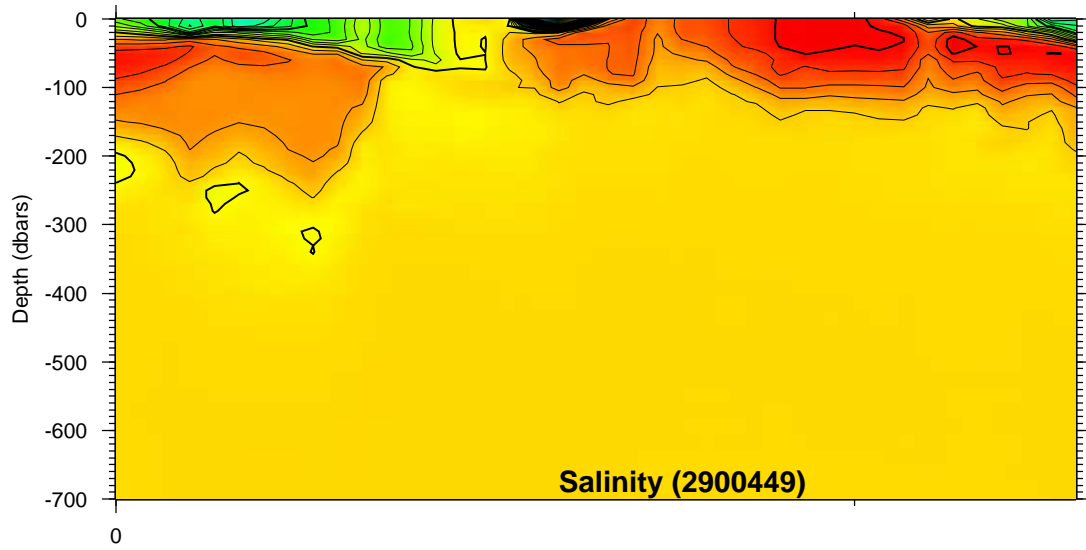
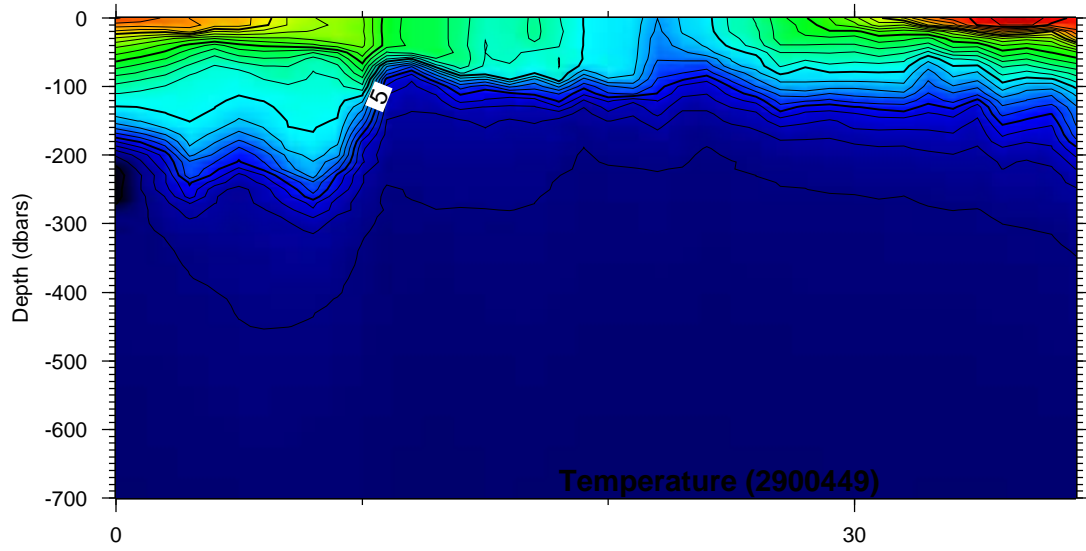


Time Series Plots for 2900447



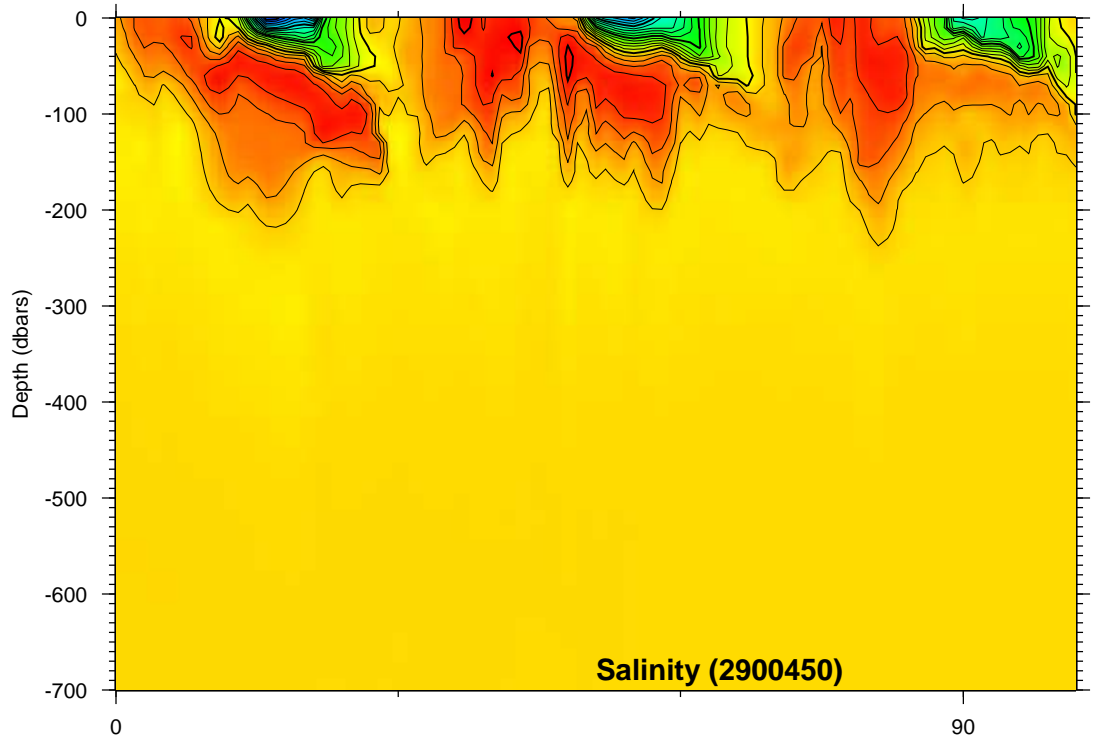
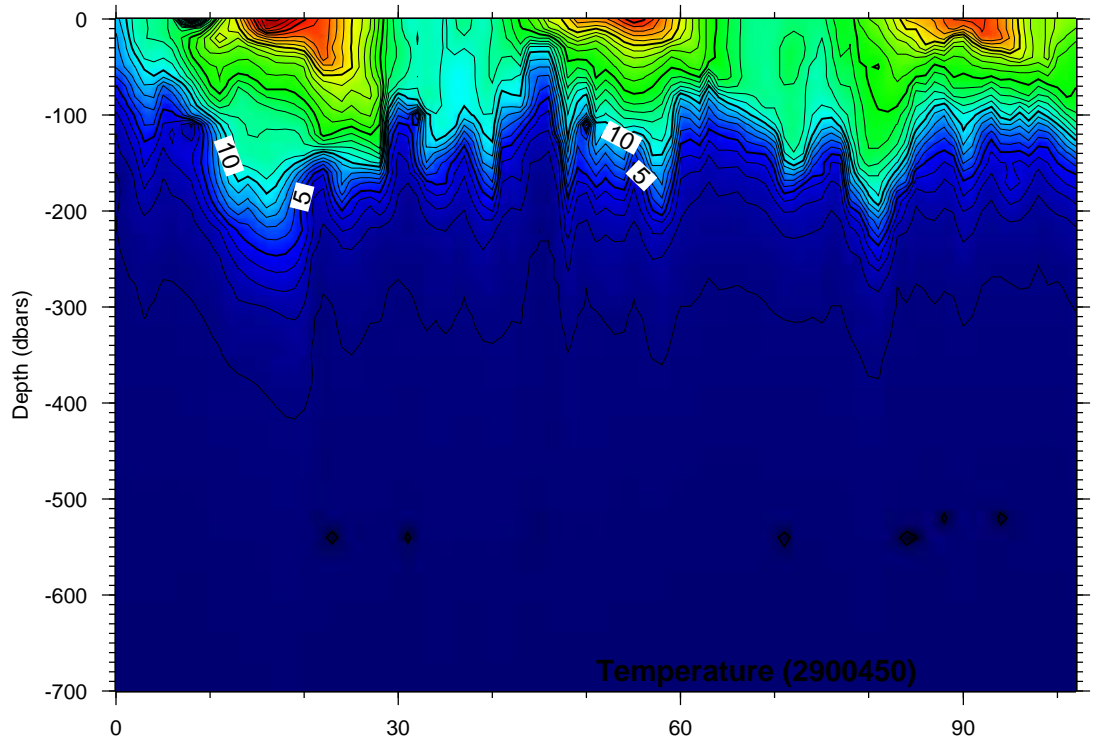


Time Series Plots for 2900448

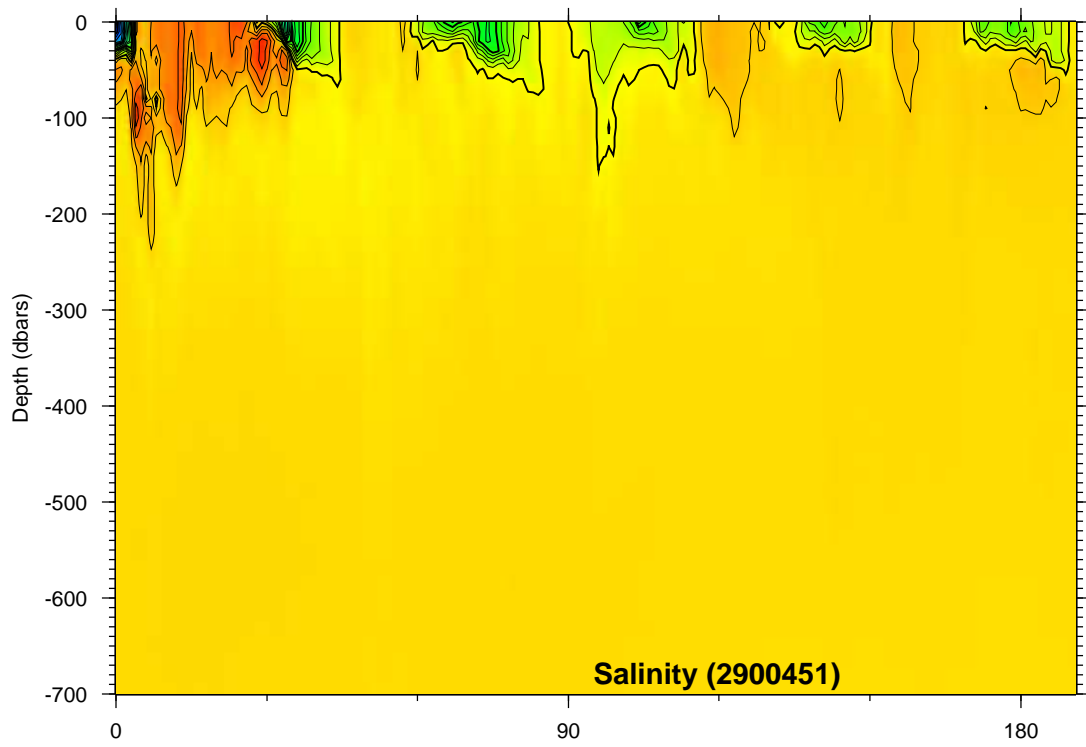
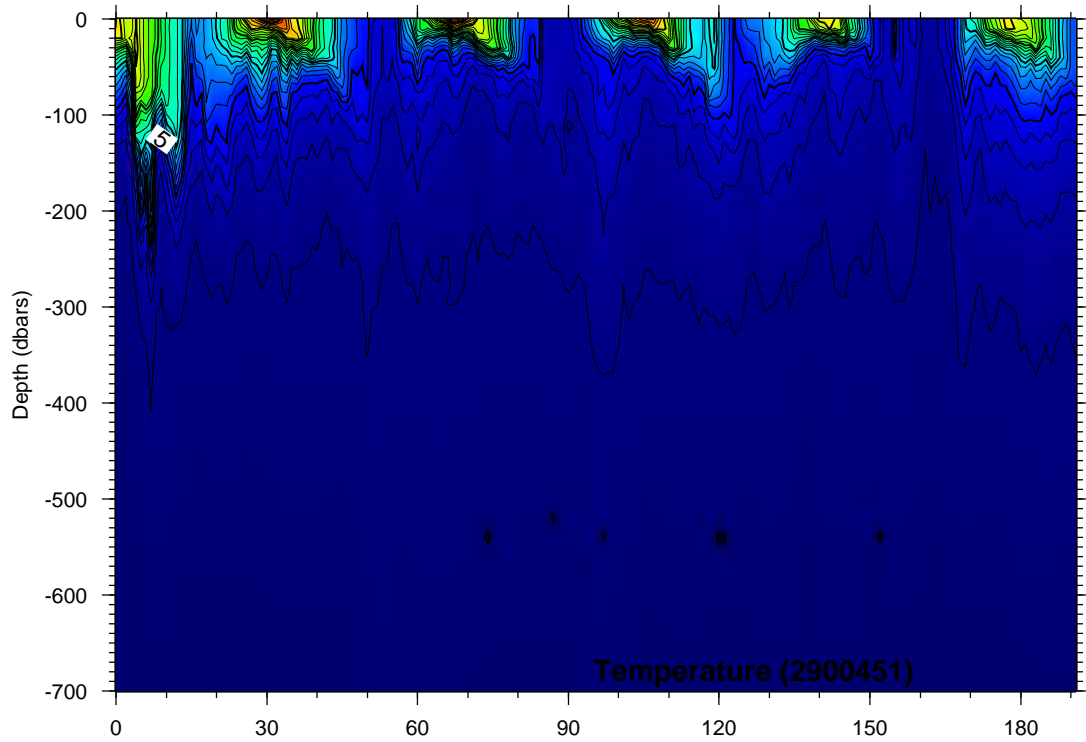


Time Series Plots for 2900449

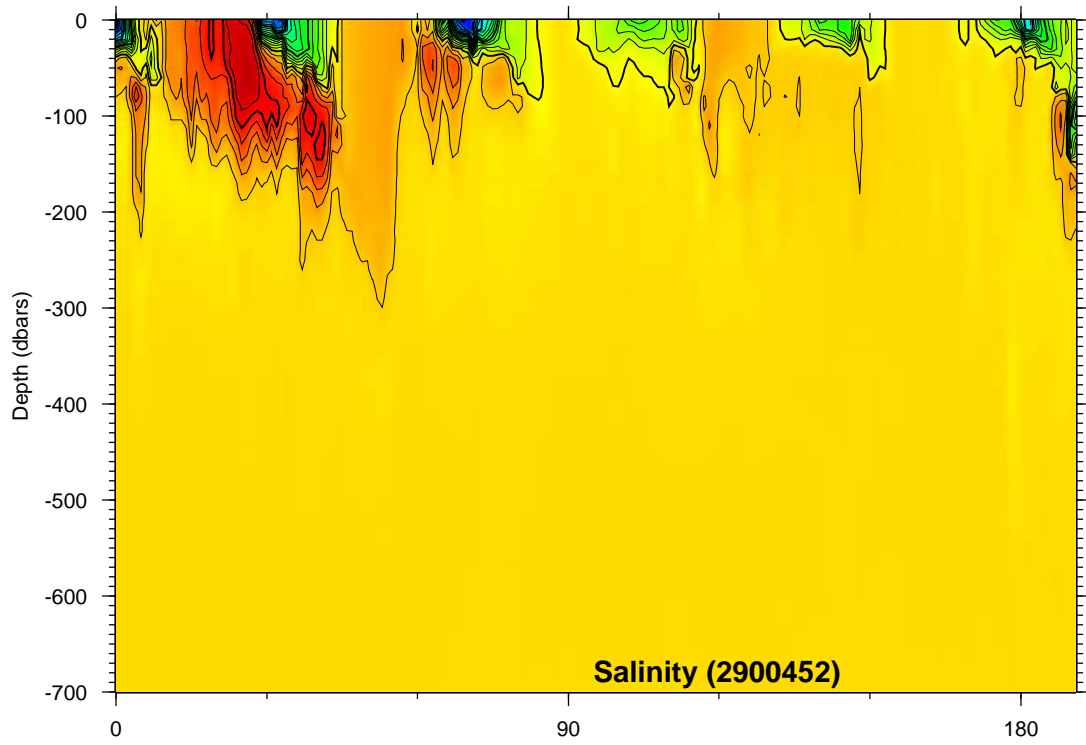
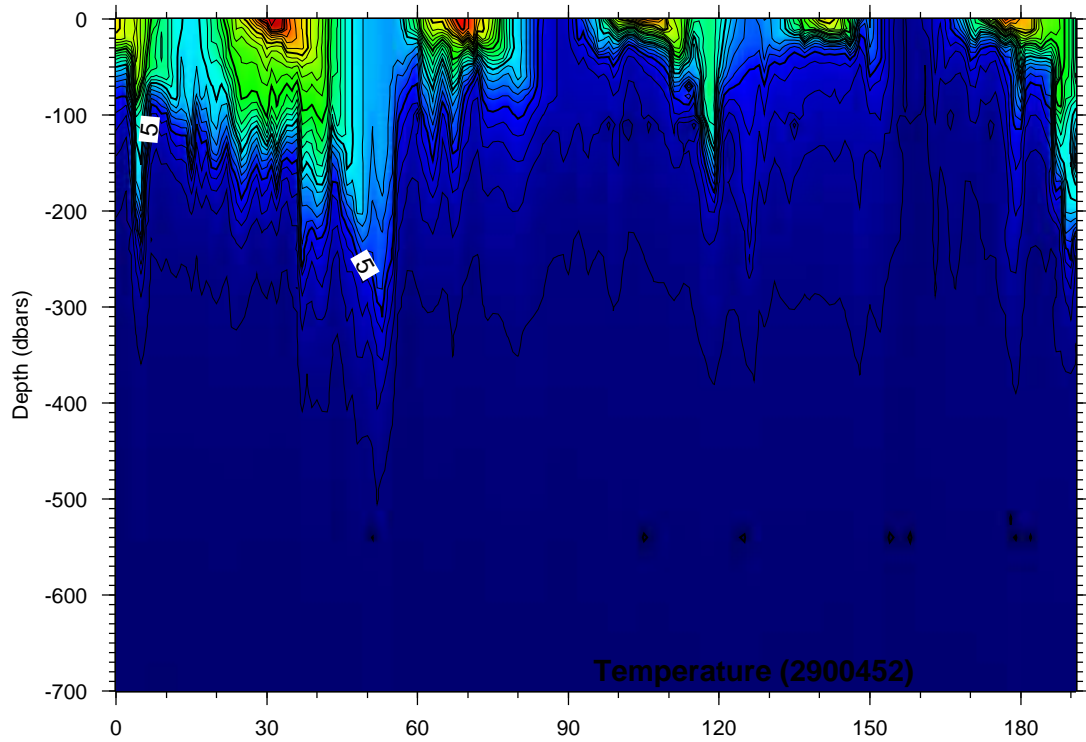




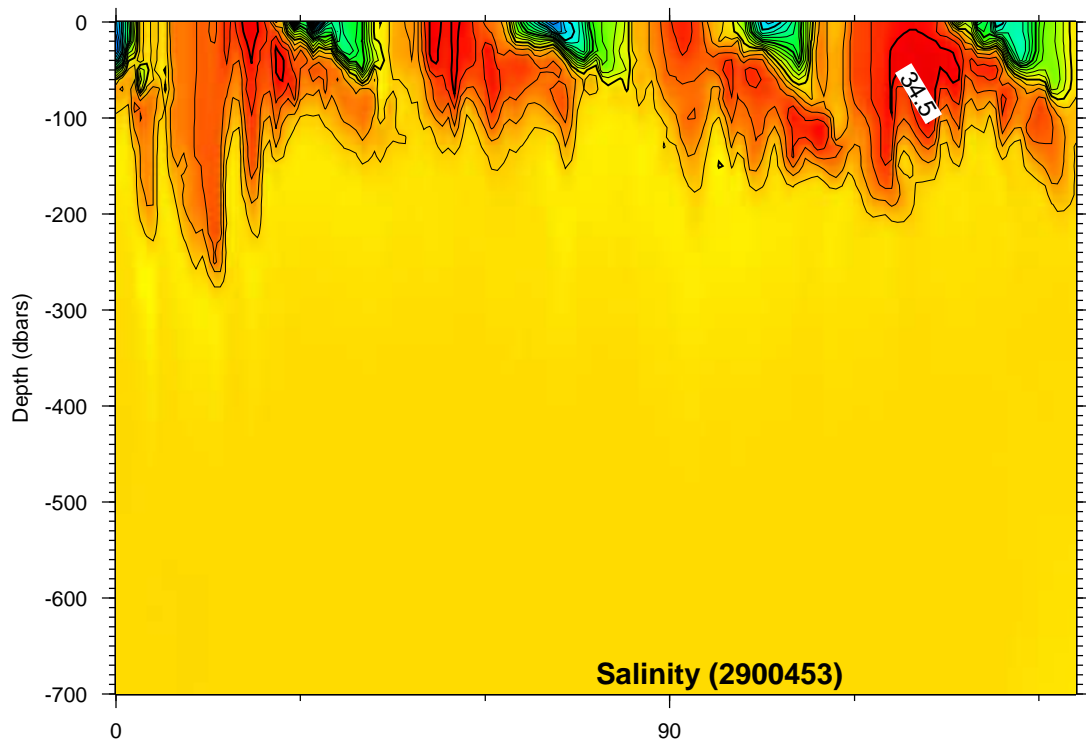
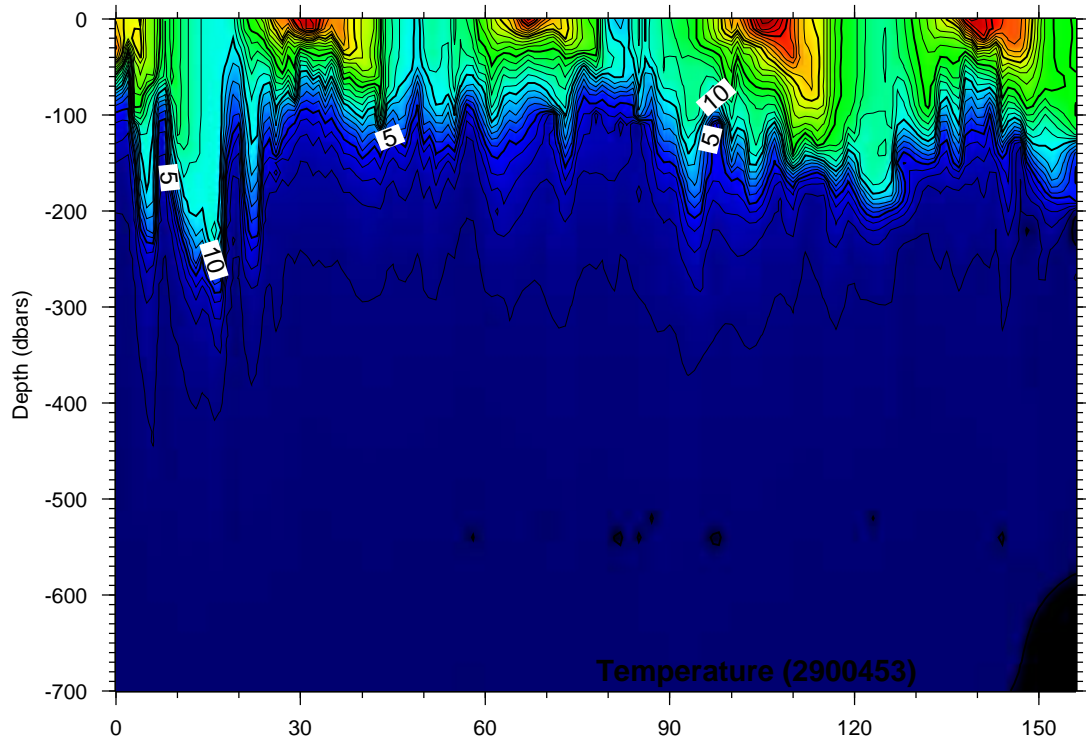
**Time Series Plots for 2900450**



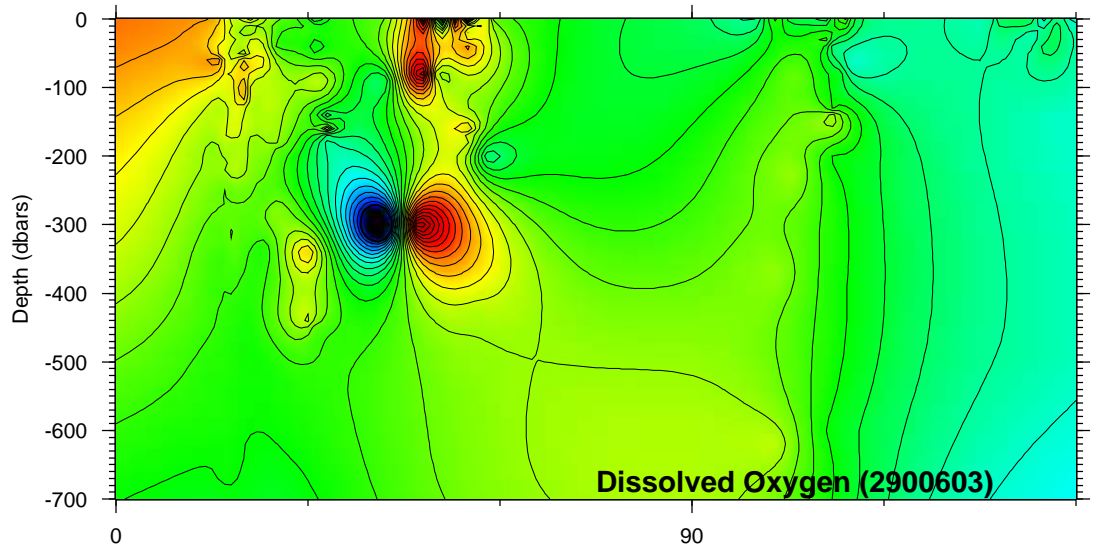
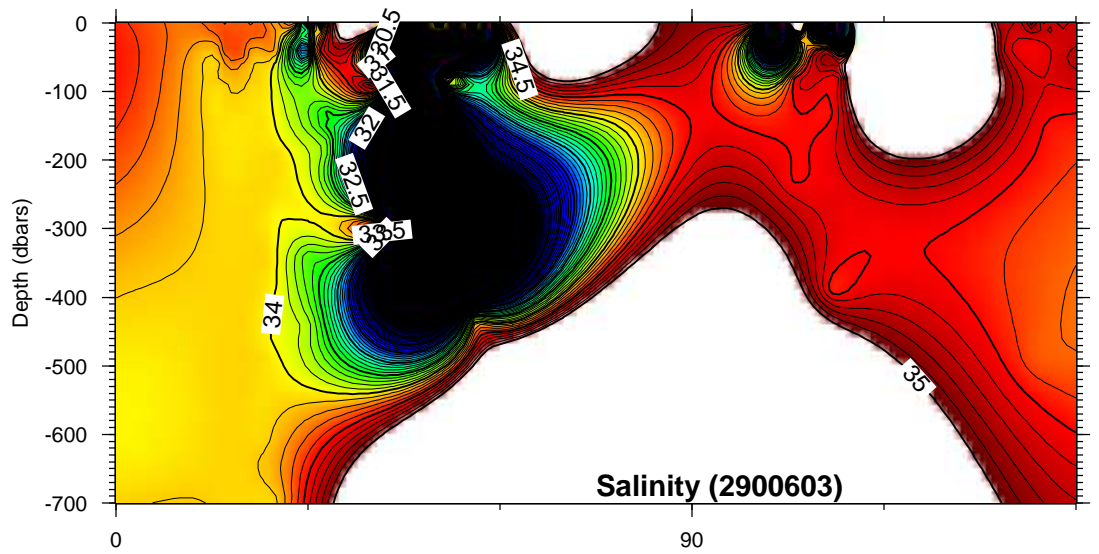
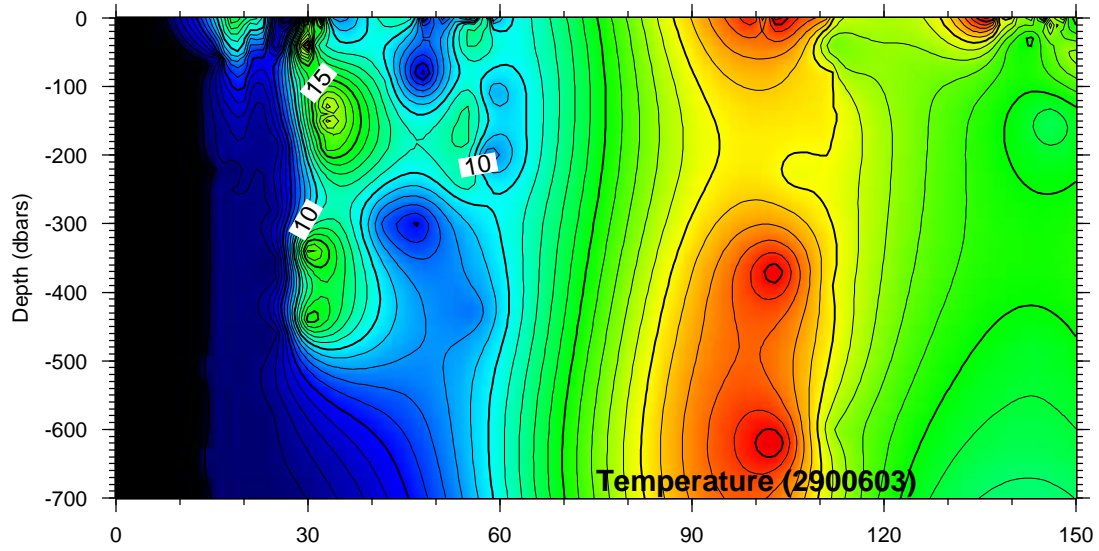
Time Series Plots for 2900451



Time Series Plots for 2900452

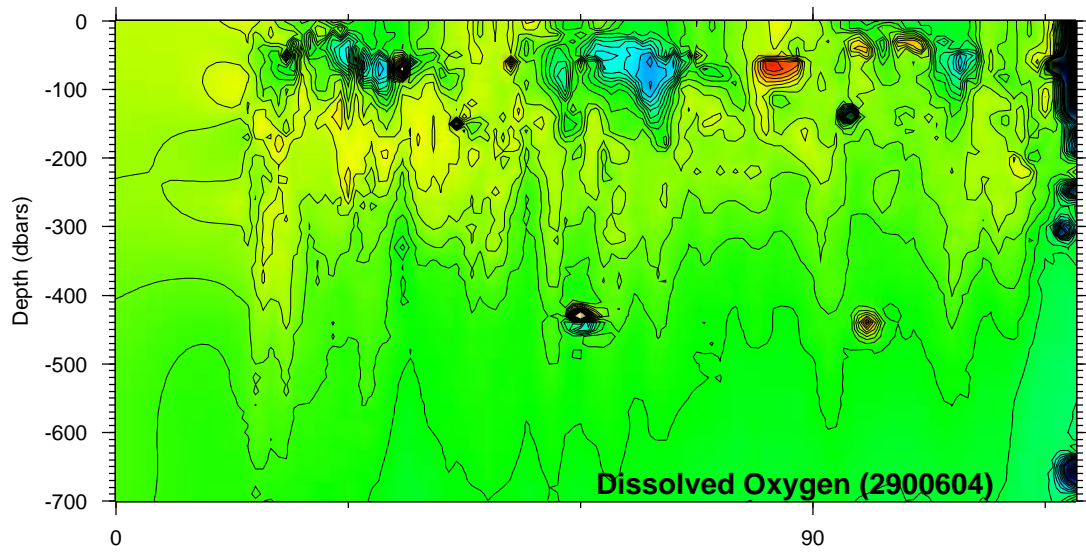
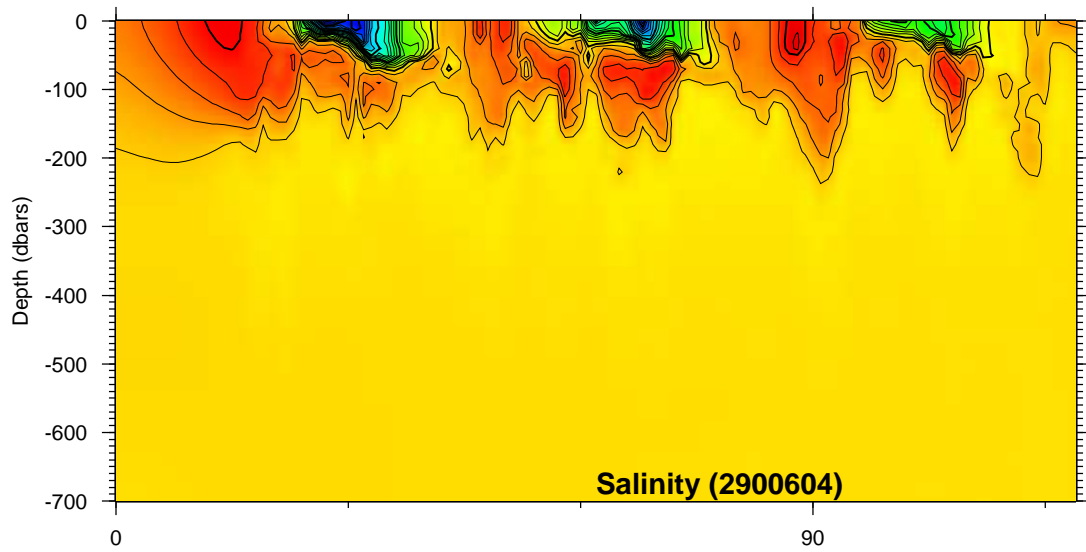
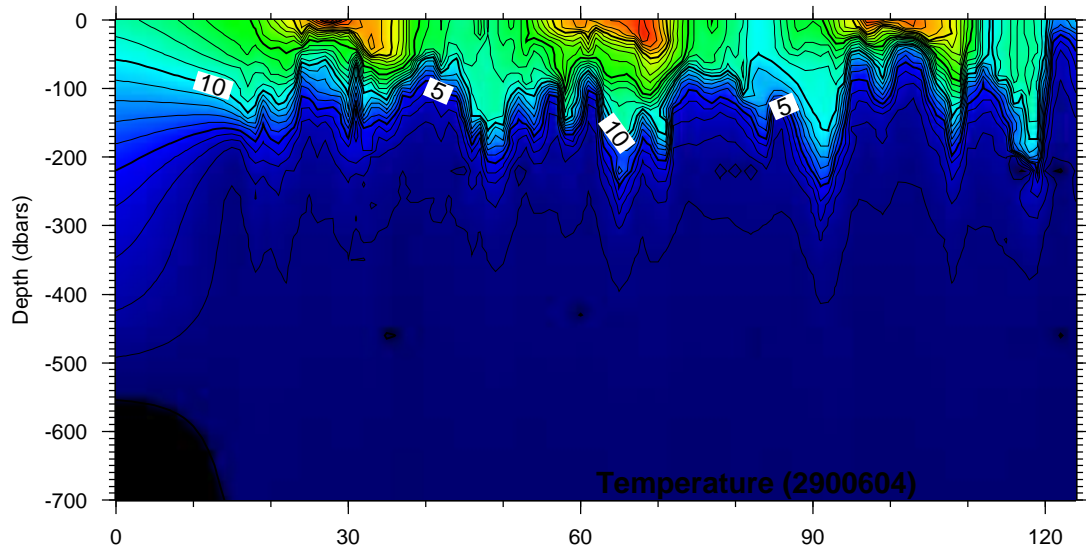


**Time Series Plots for 2900453**

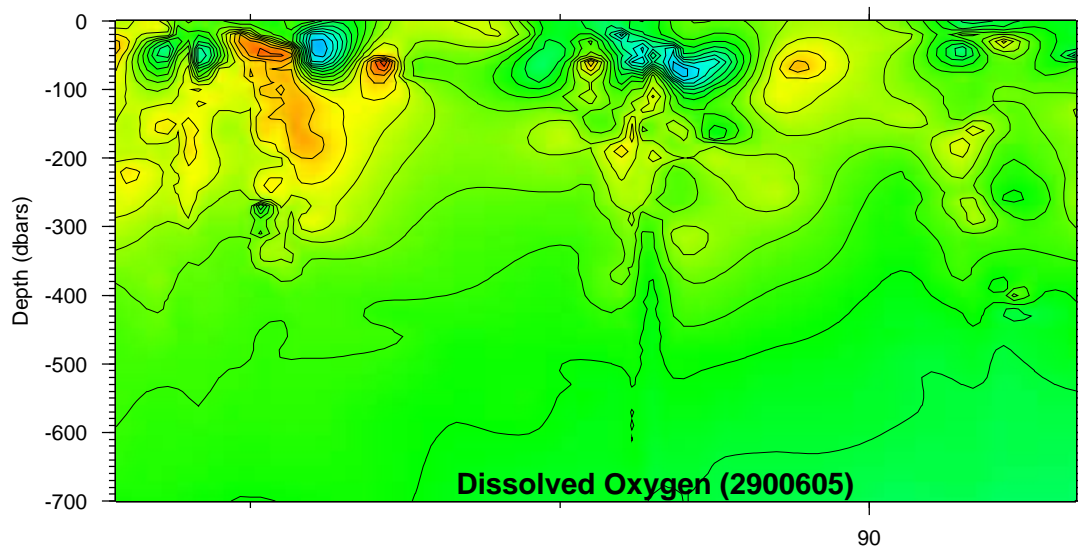
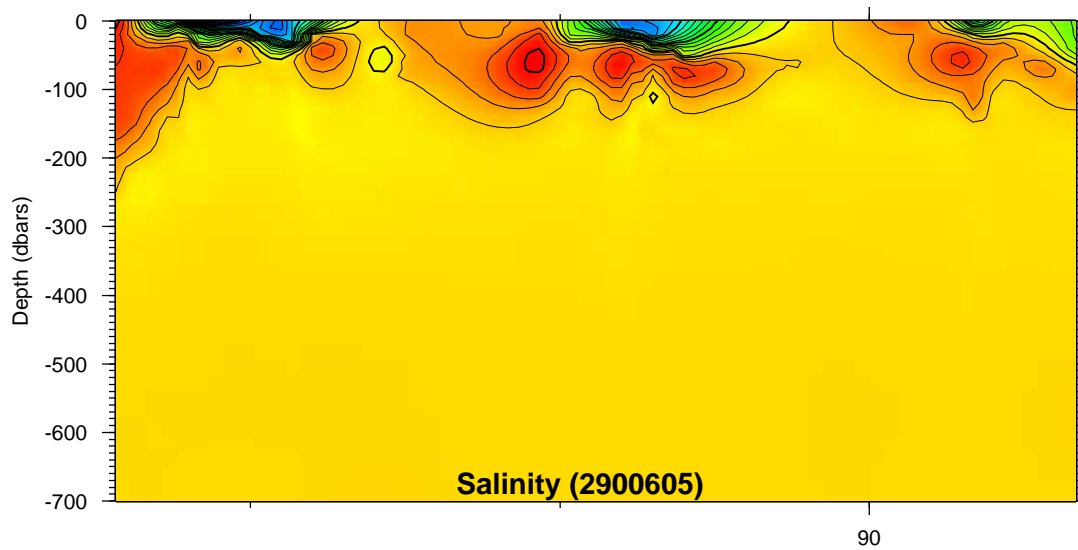
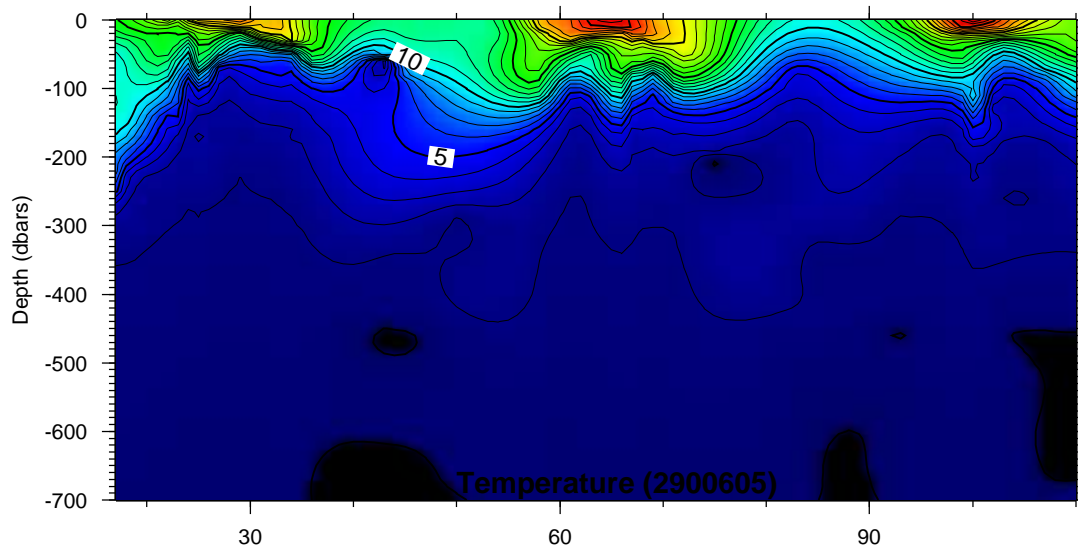


Time Series Plots for 2900603



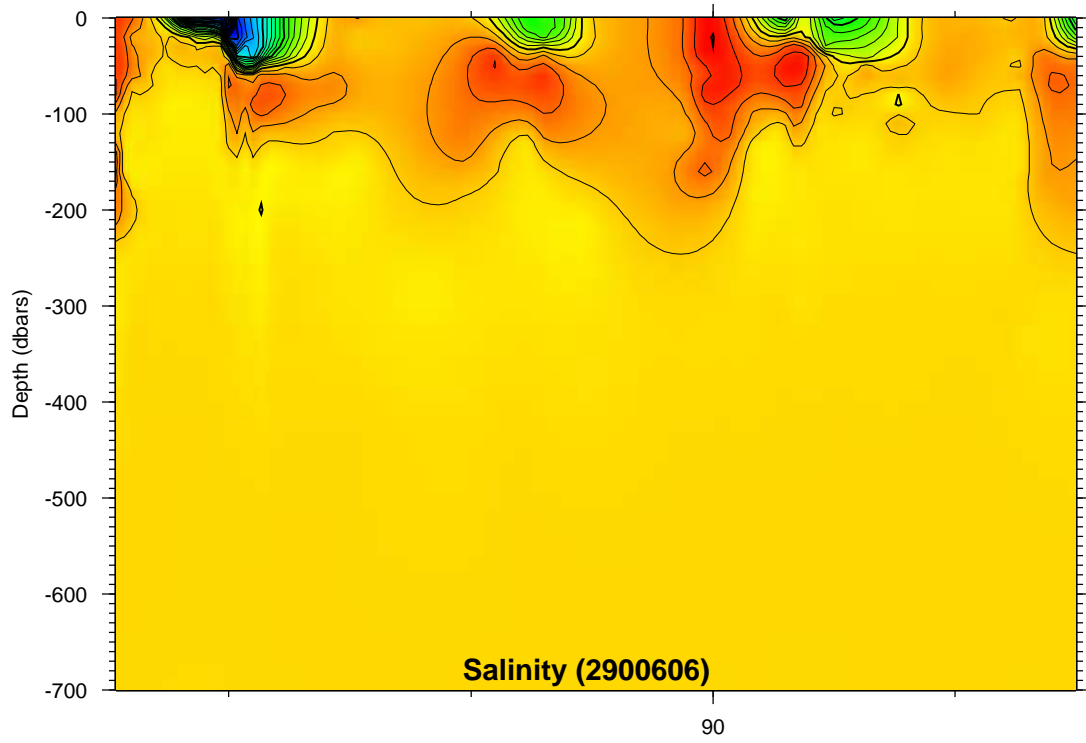
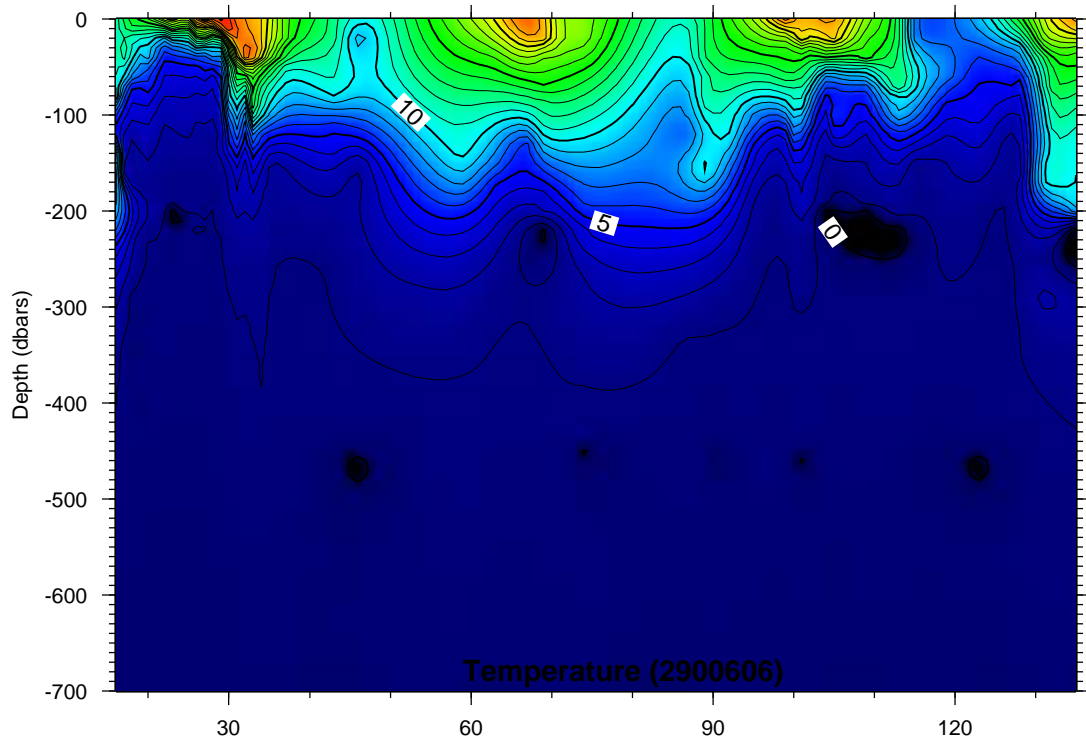


Time Series Plots for 2900604

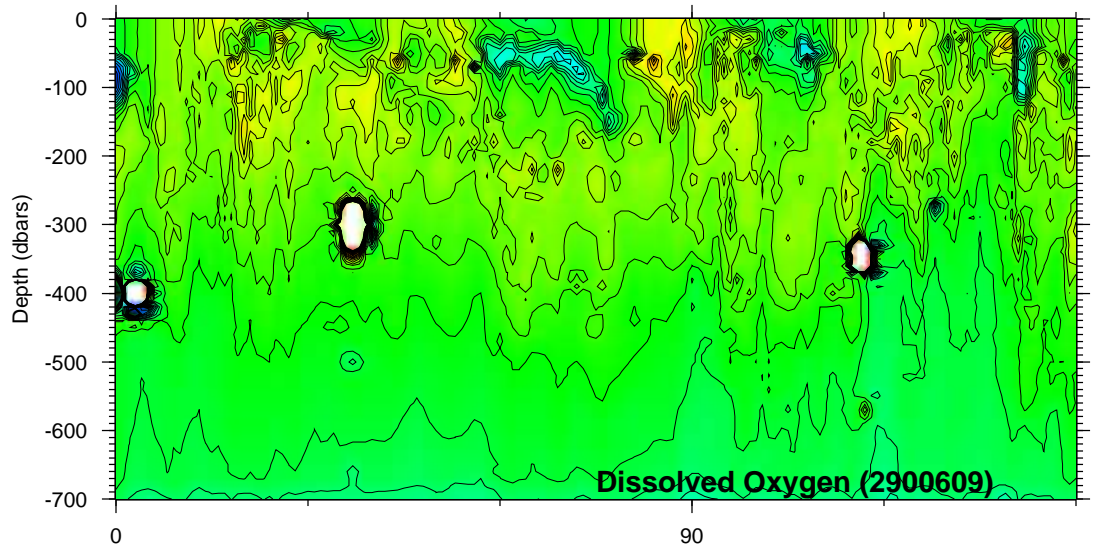
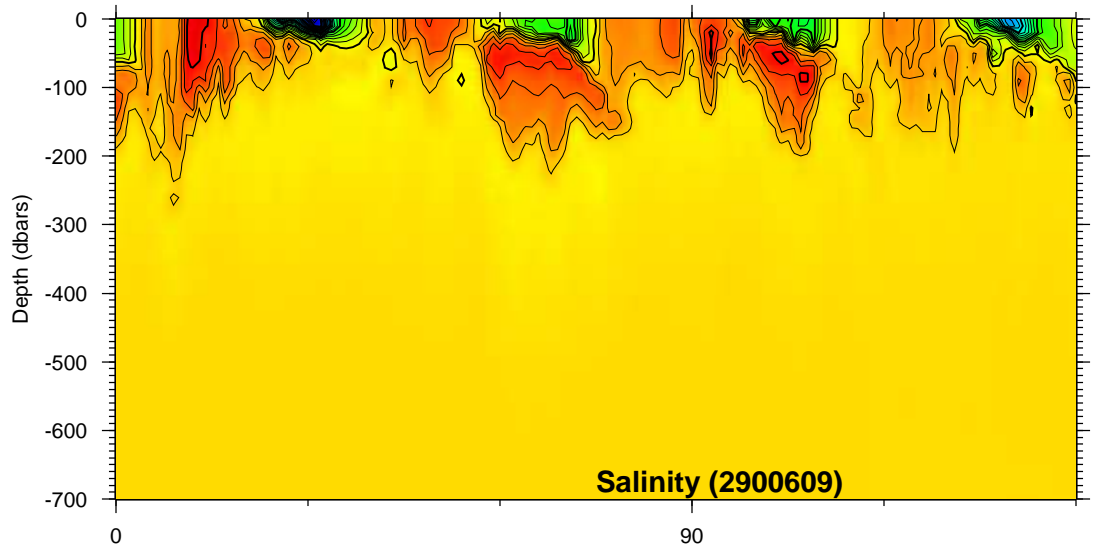
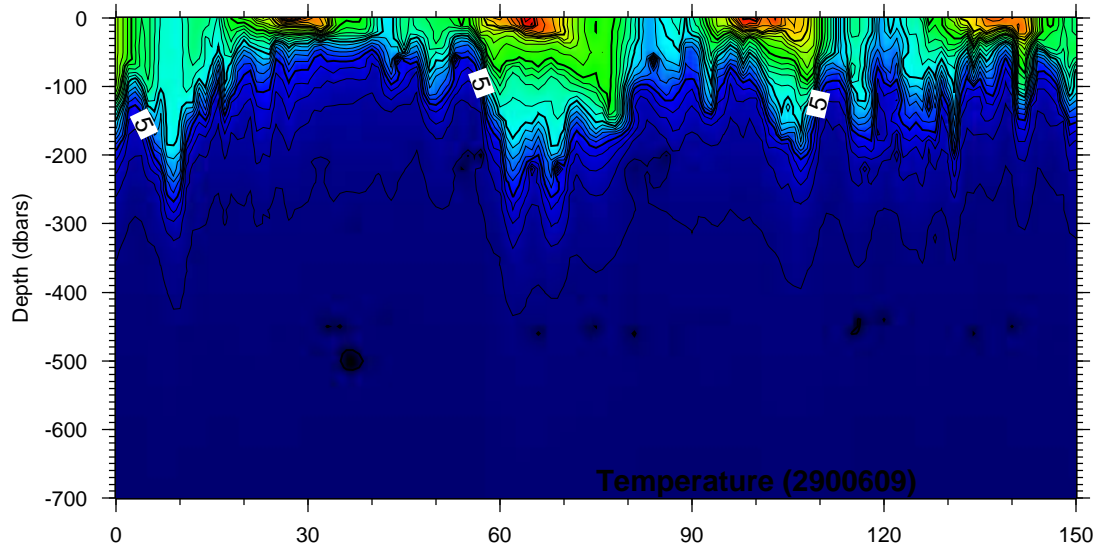


Time Series Plots for 2900605

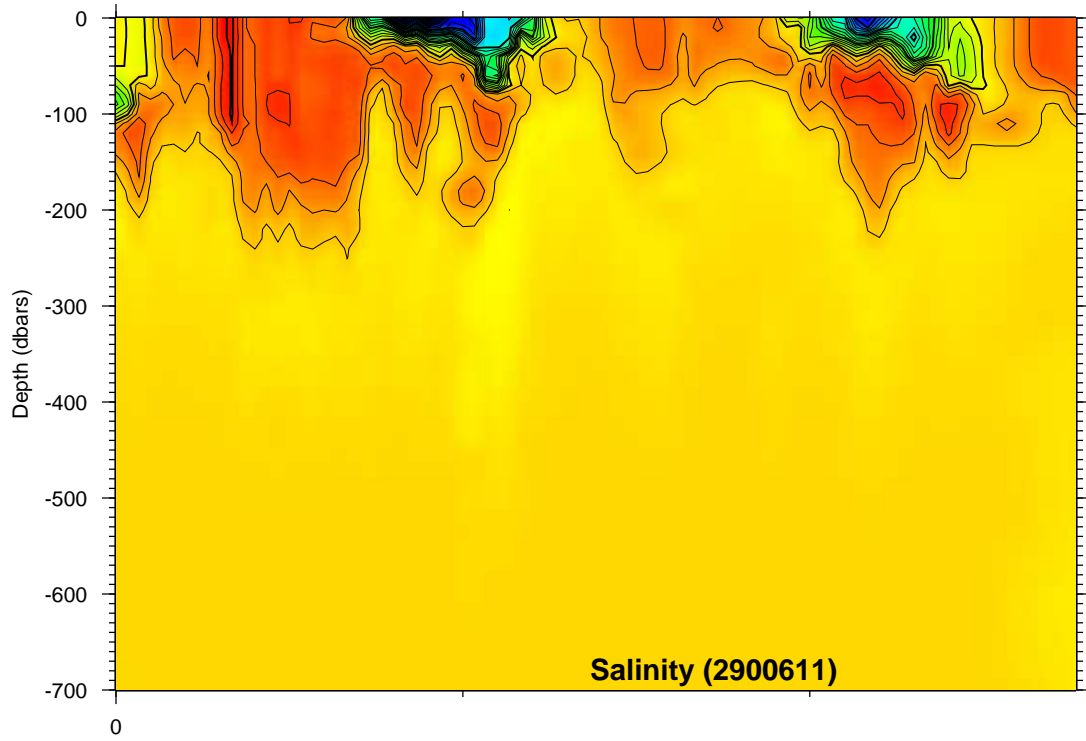
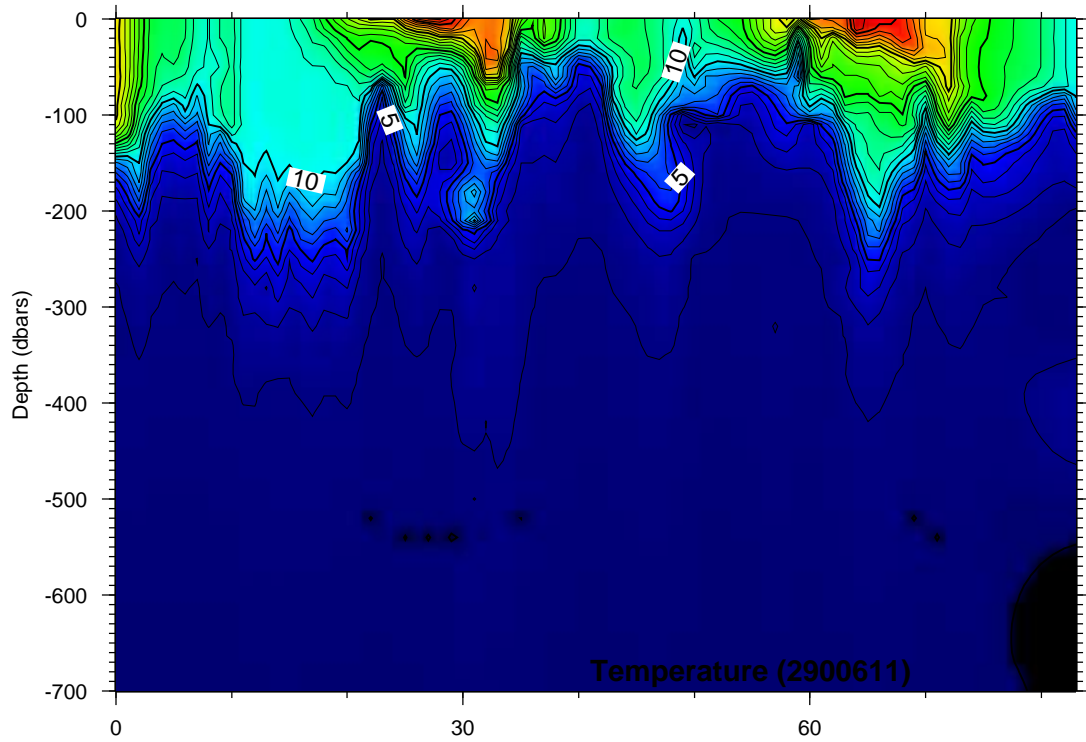




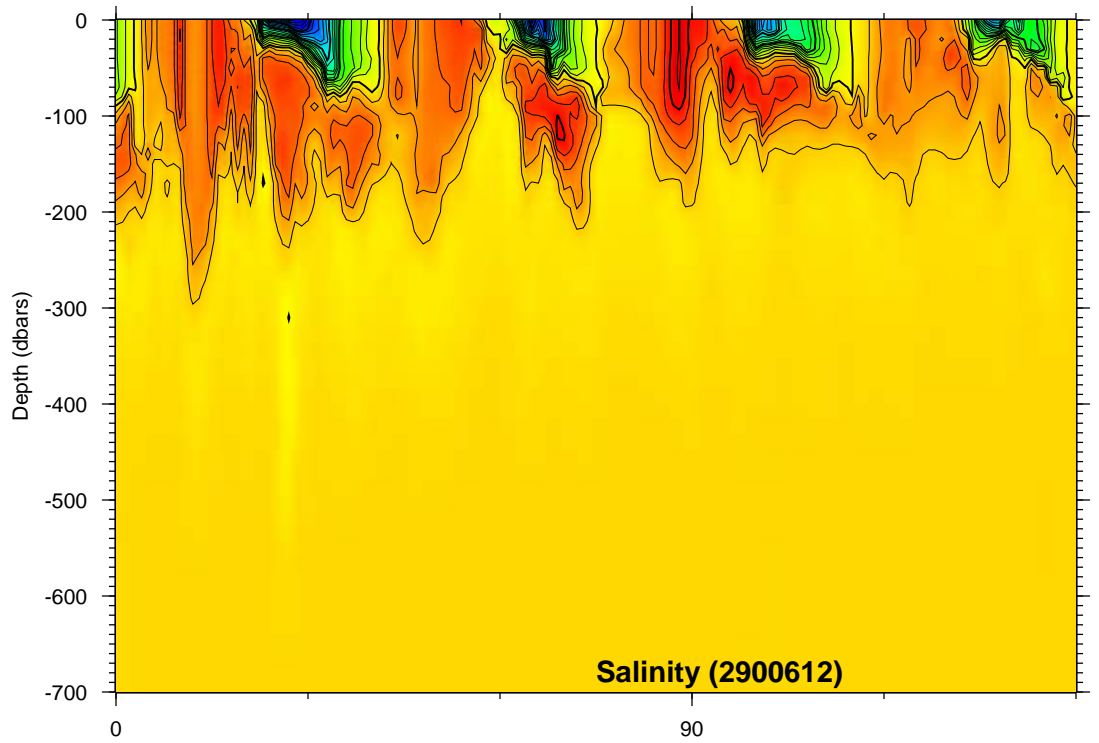
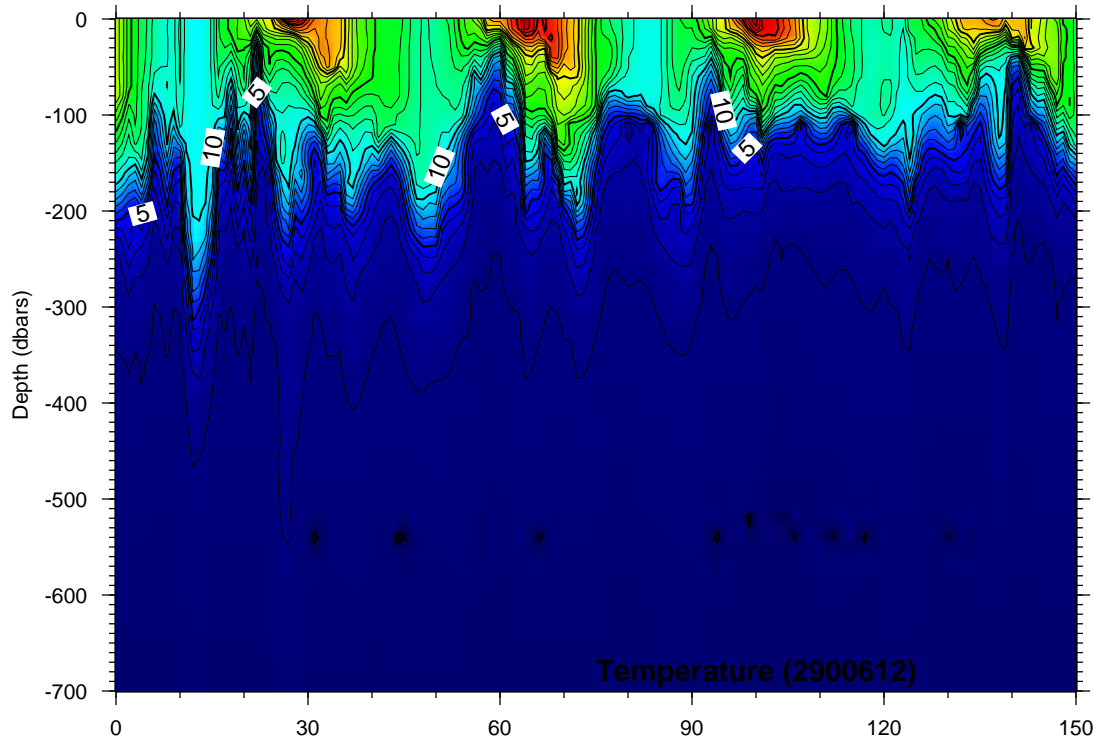
Time Series Plots for 2900606



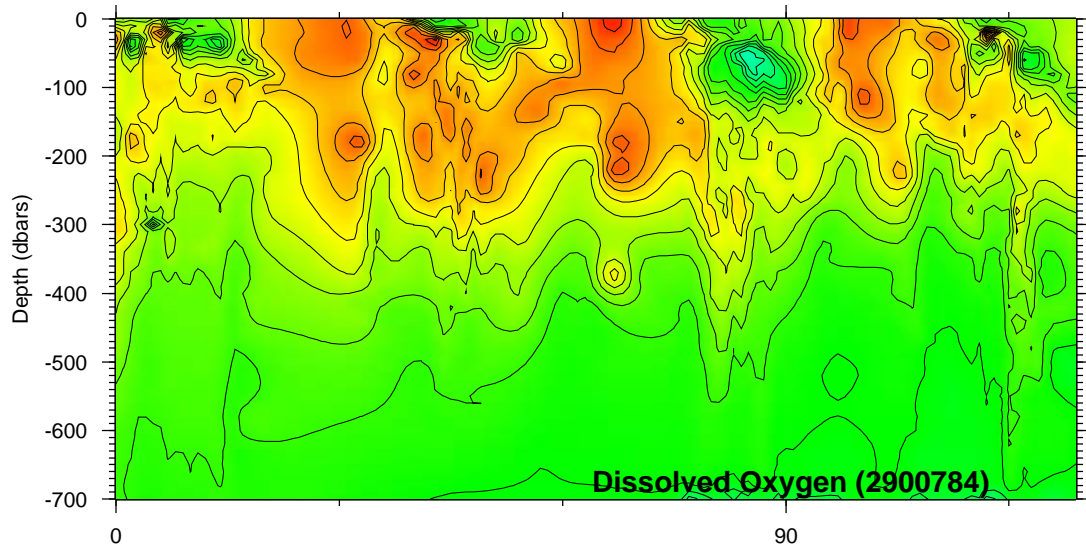
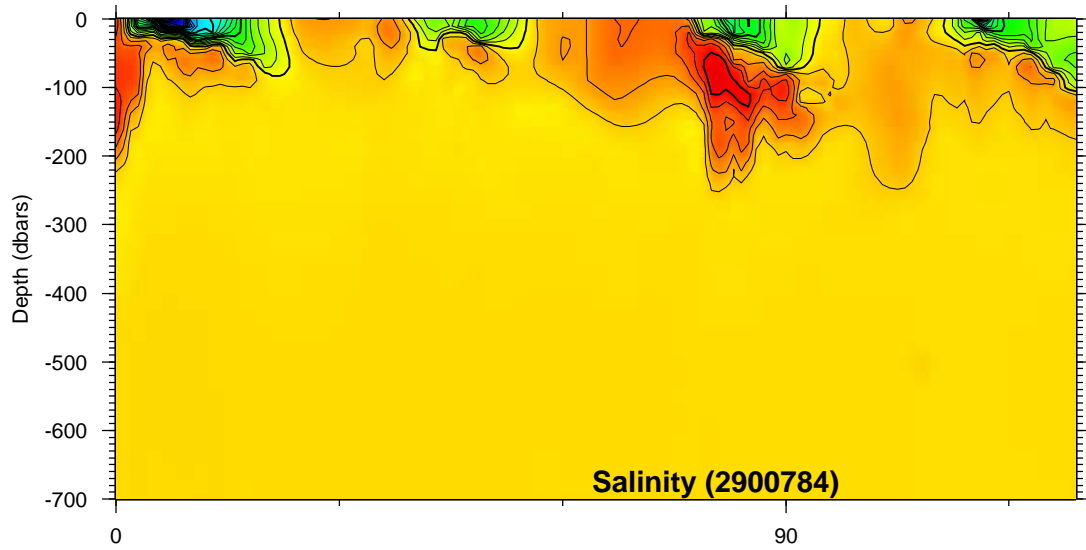
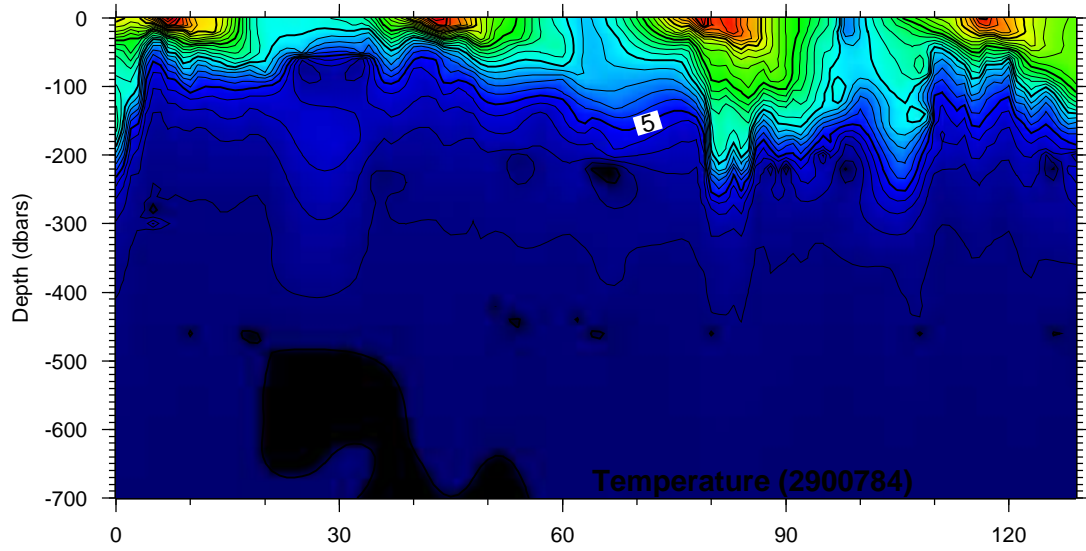
Time Series Plots for 2900609



**Time Series Plots for 2900611**

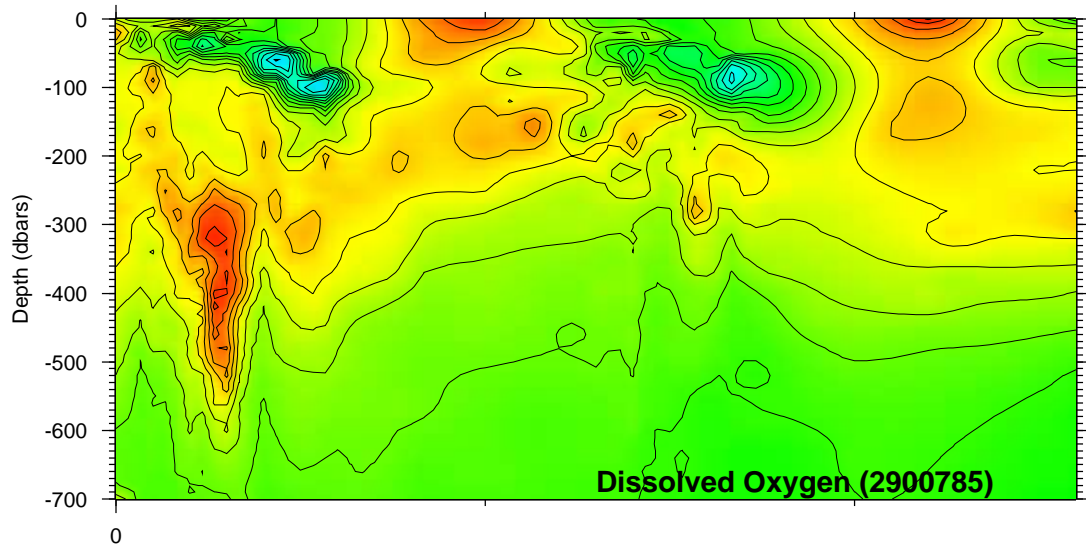
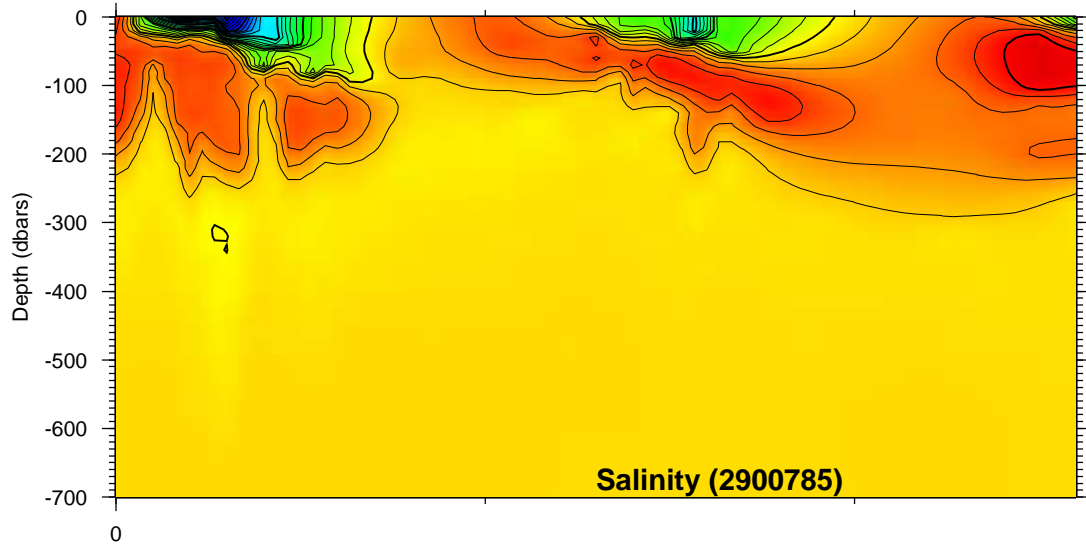
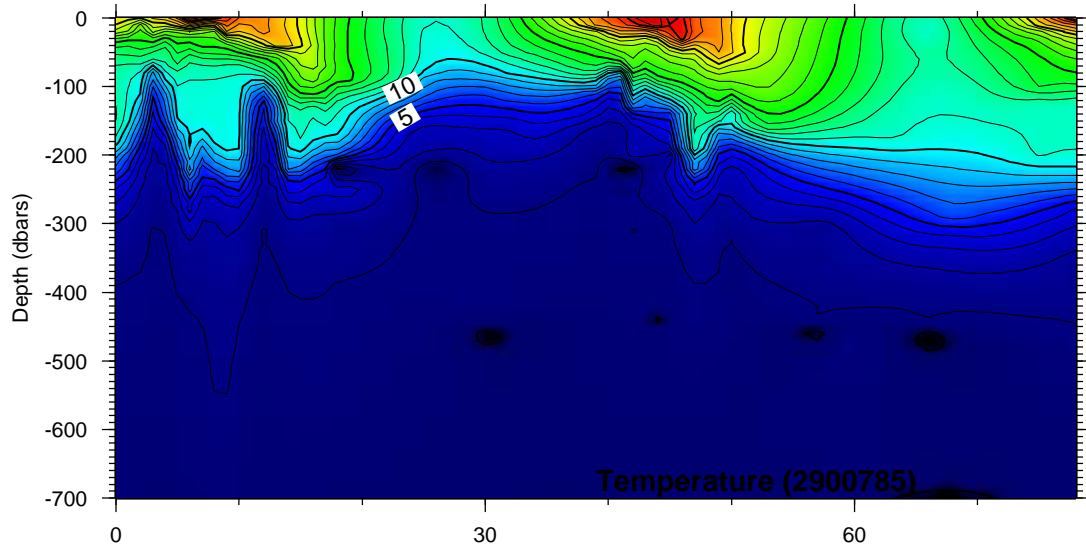


Time Series Plots for 2900612

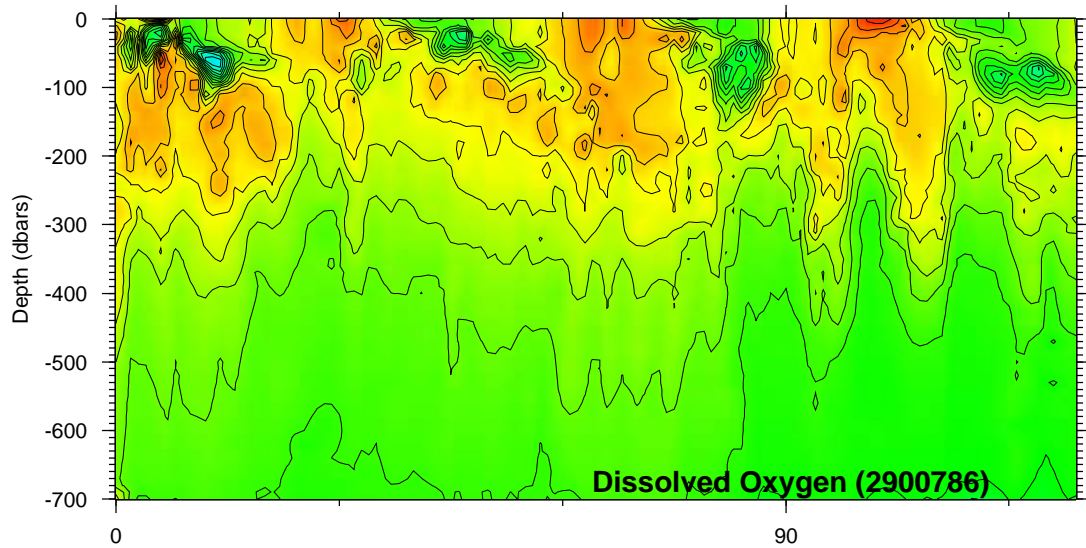
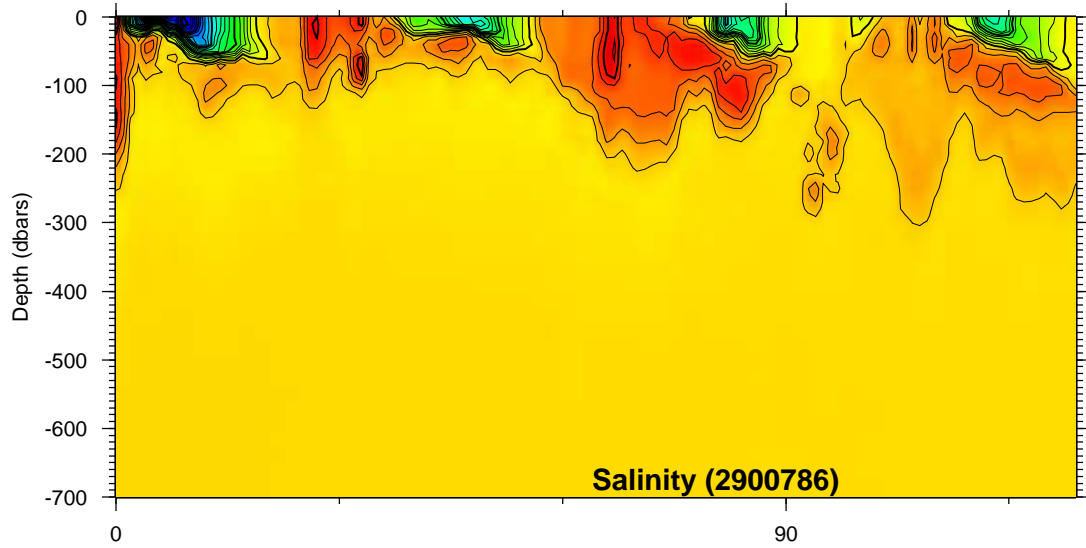
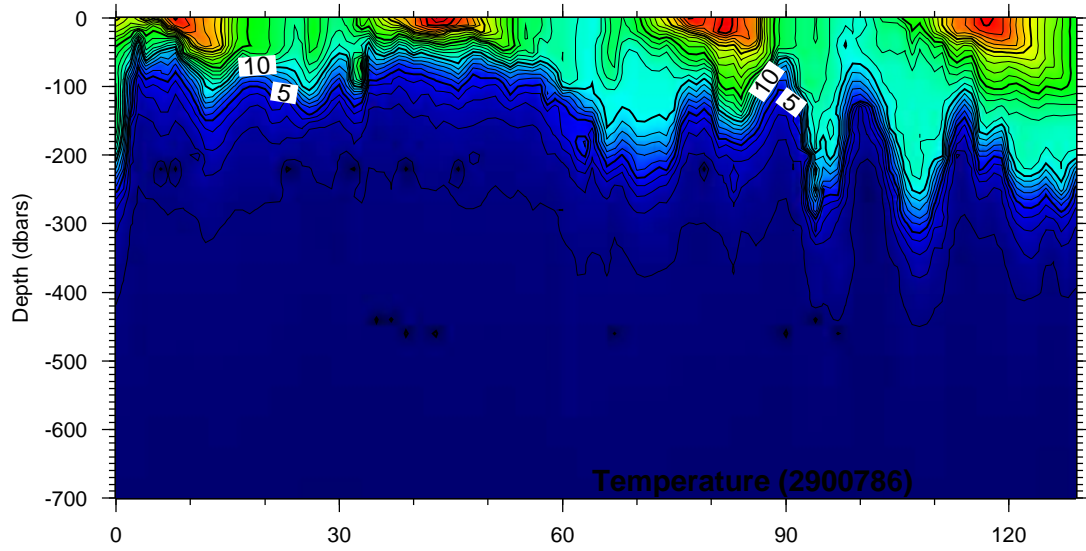


Time Series Plots for 2900784



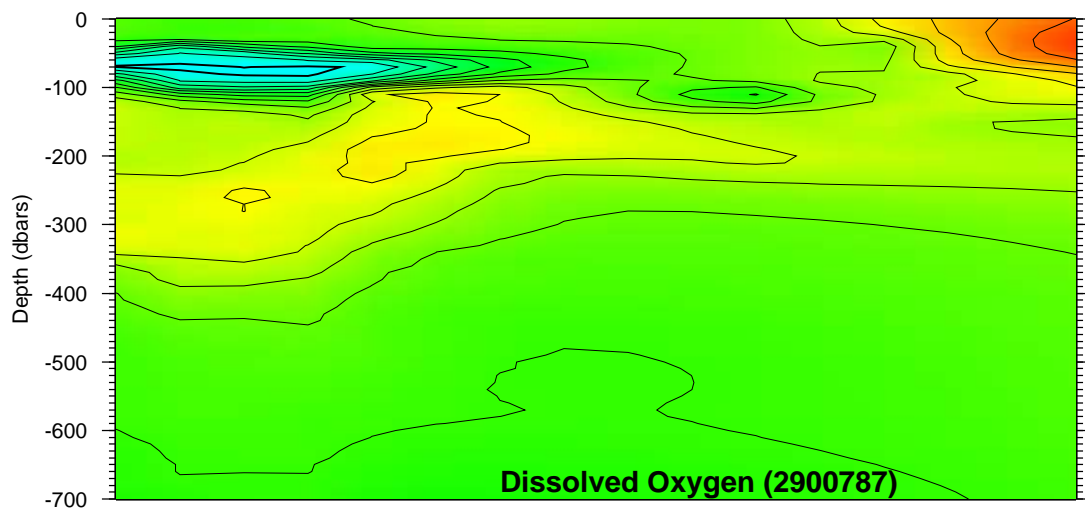
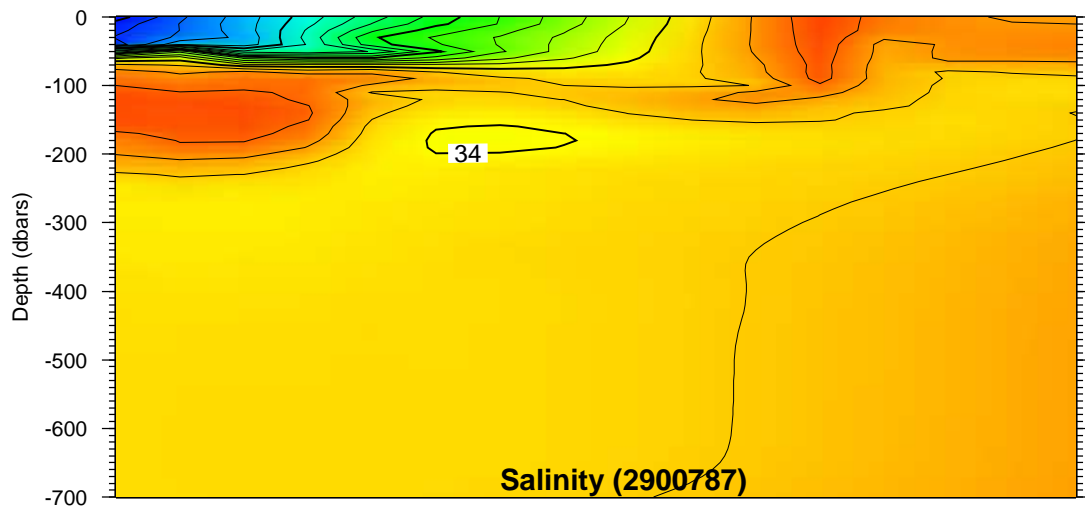
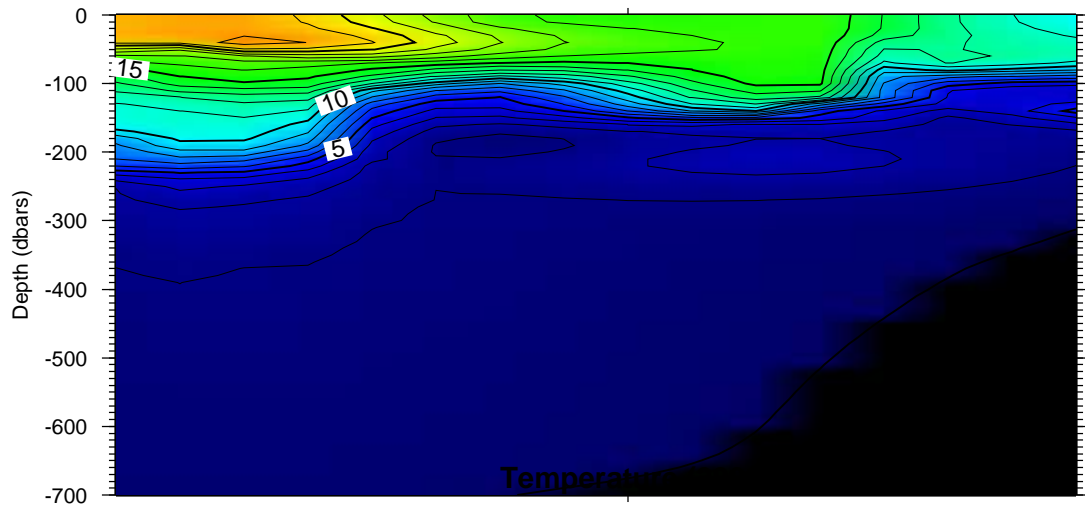


Time Series Plots for 2900785

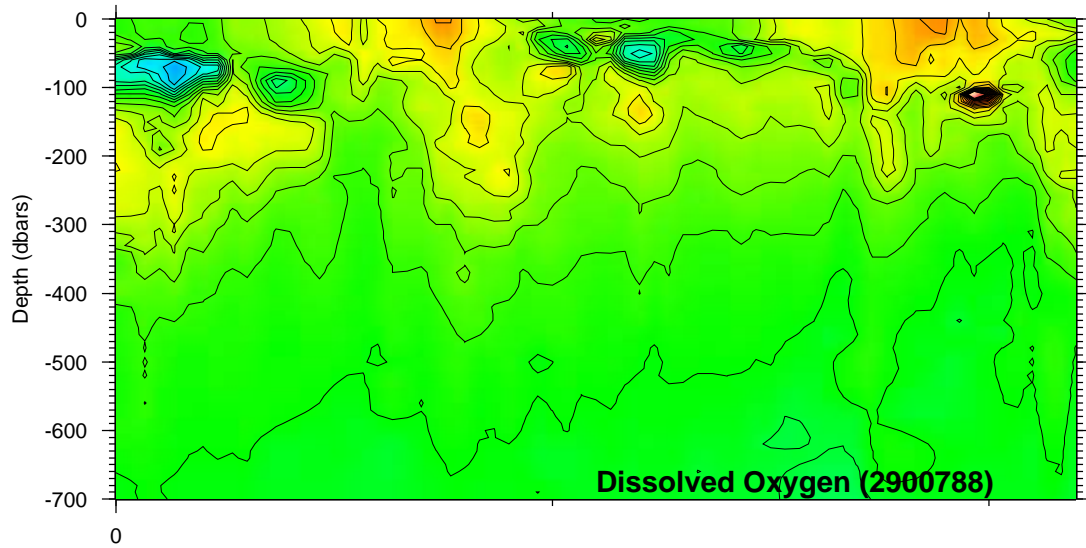
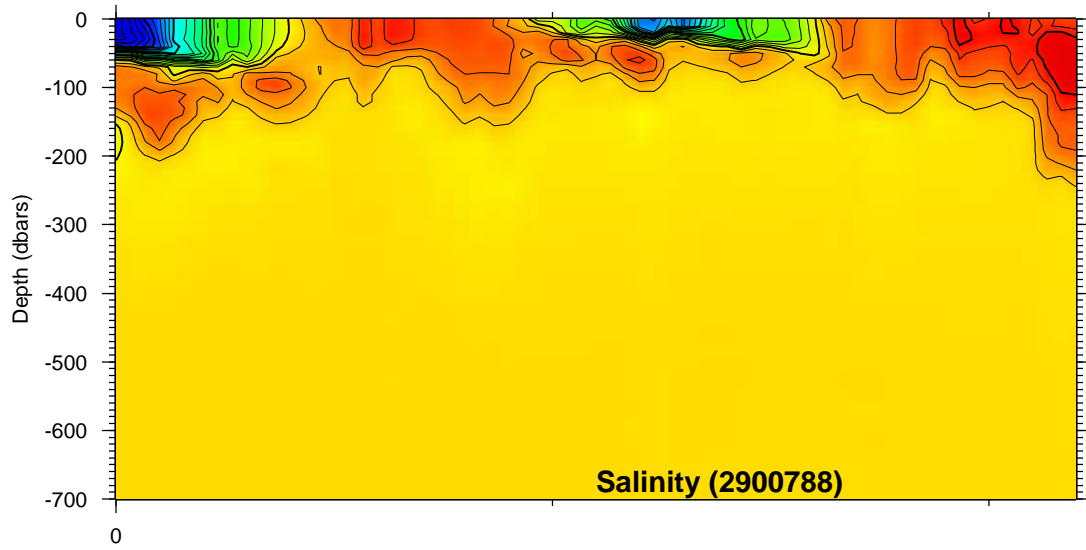
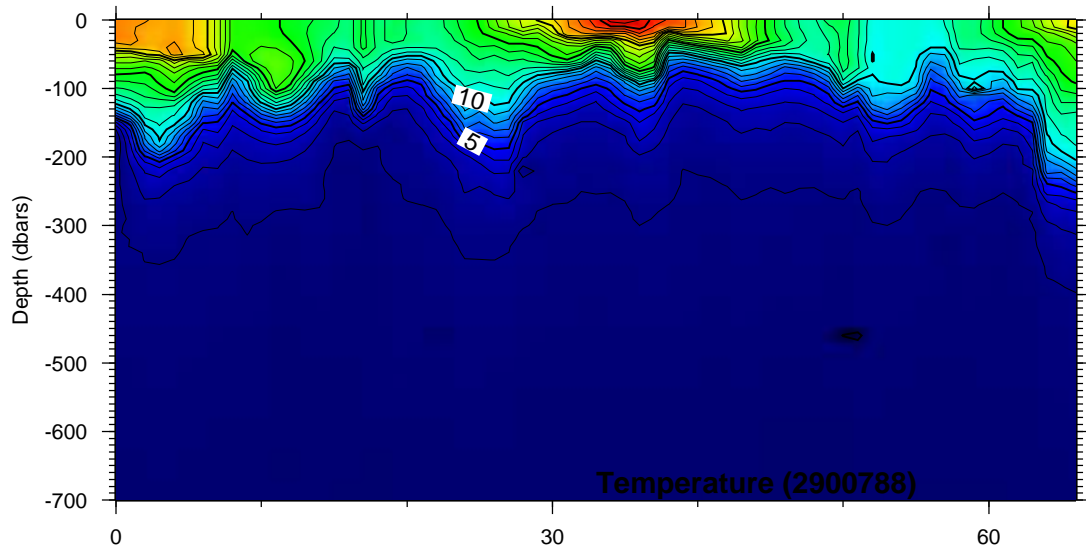


Time Series Plots for 2900786

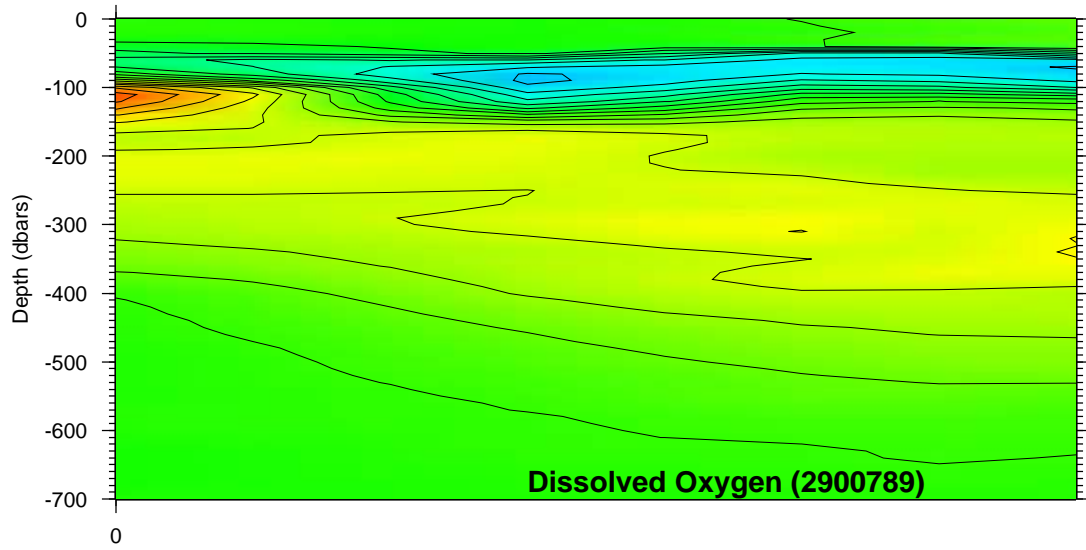
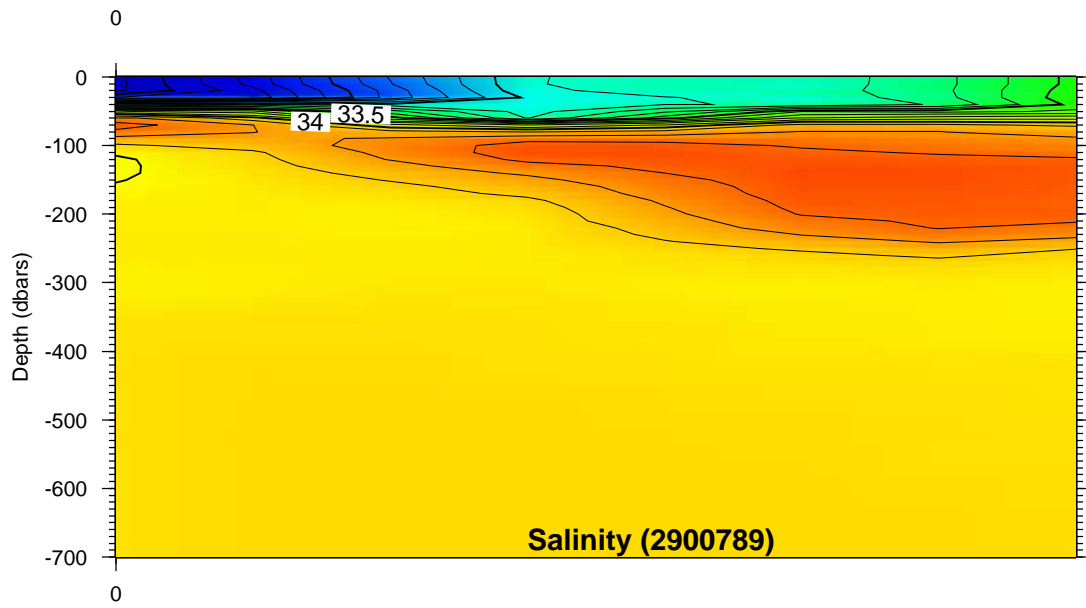
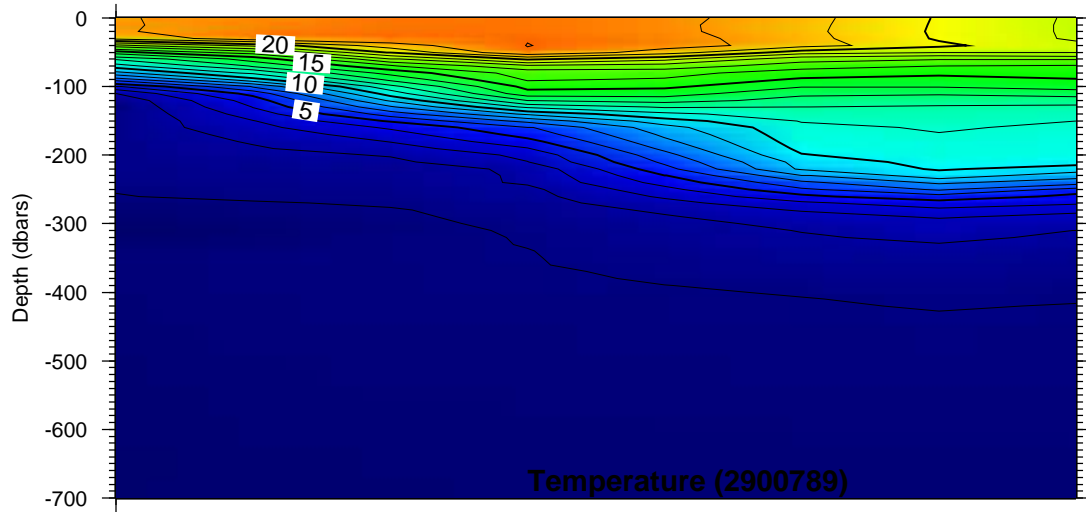




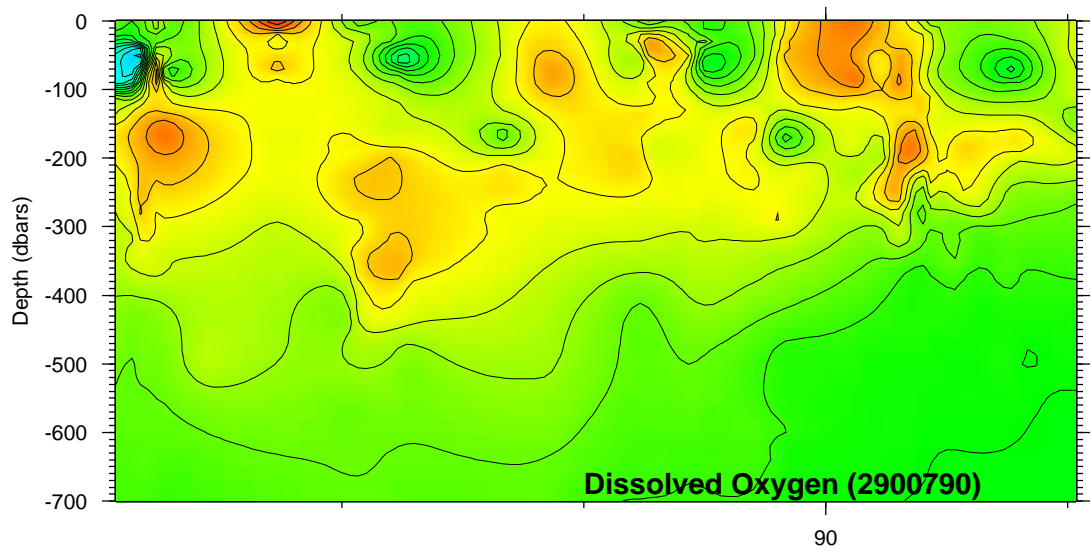
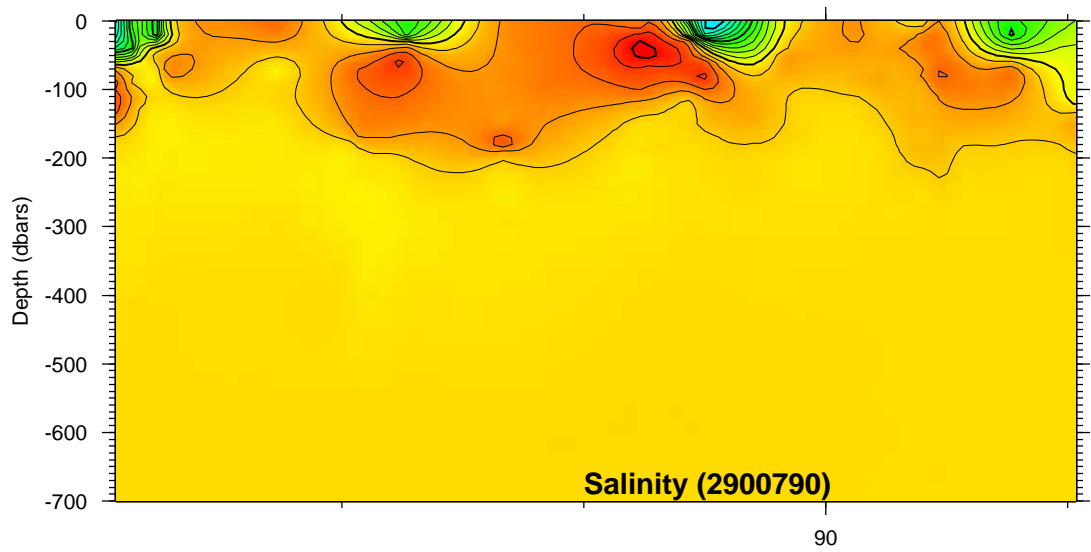
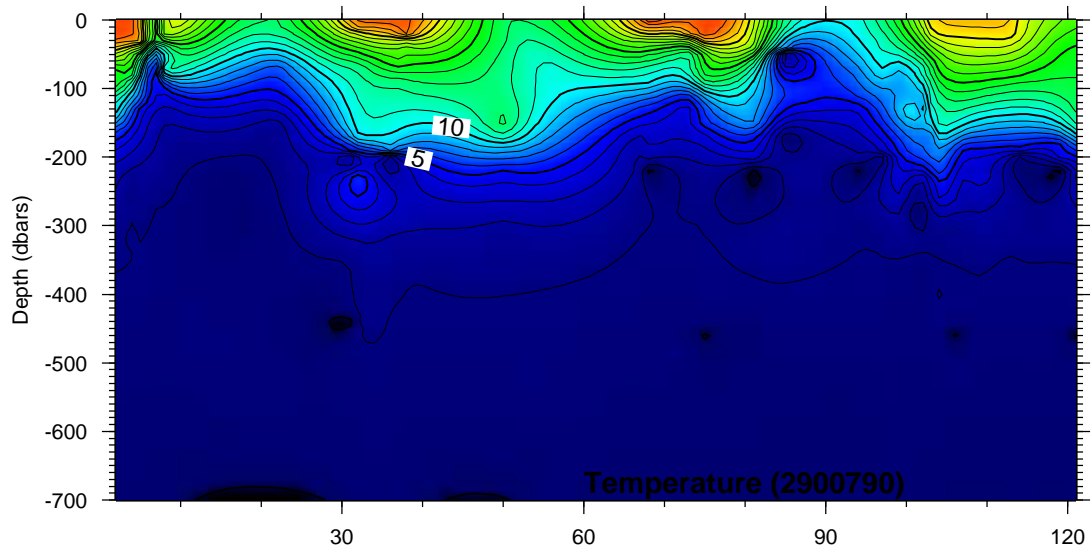
Time Series Plots for 2900787



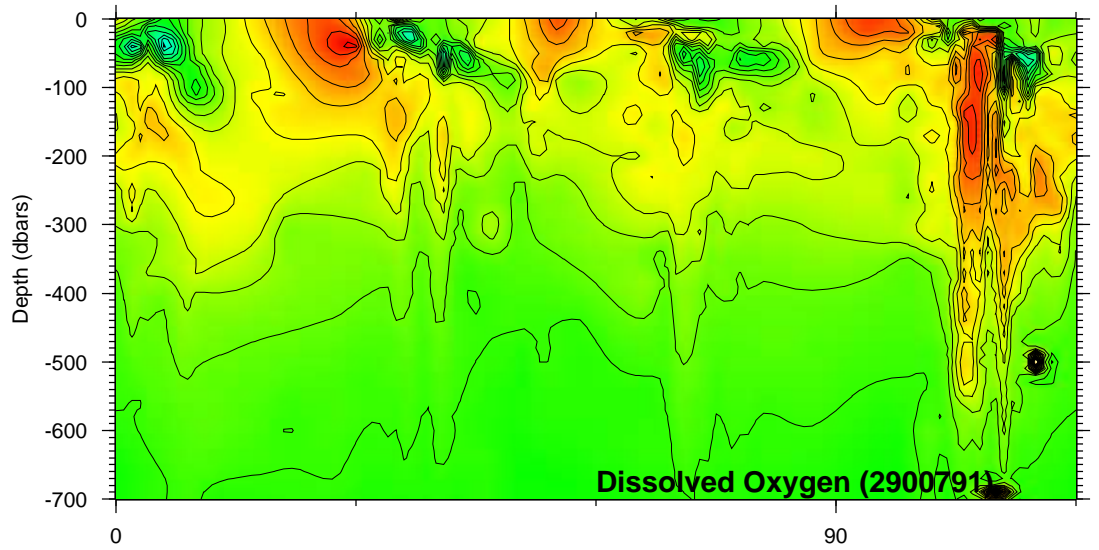
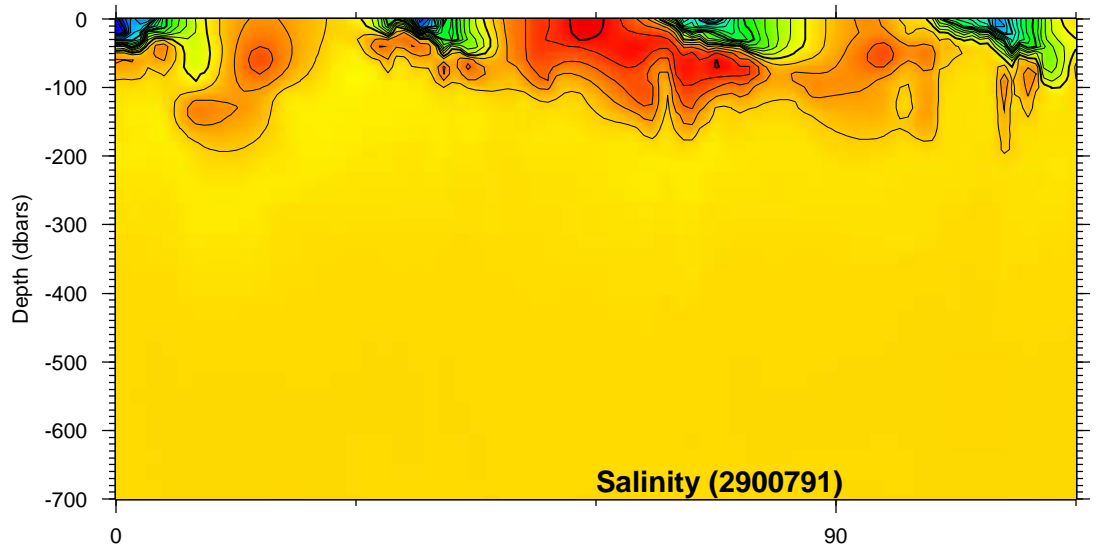
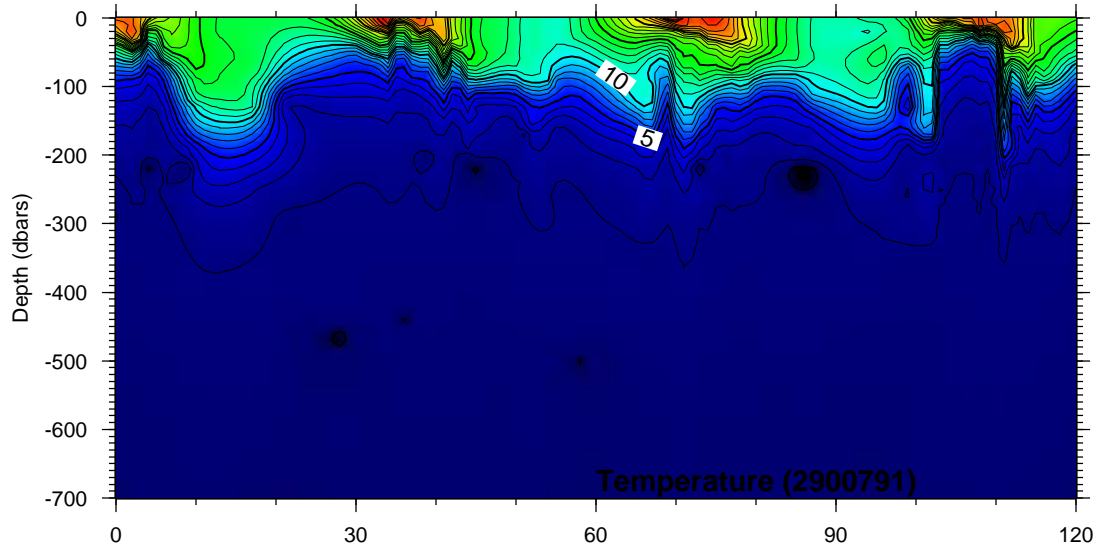
Time Series Plots for 2900788



Time Series Plots for 2900789

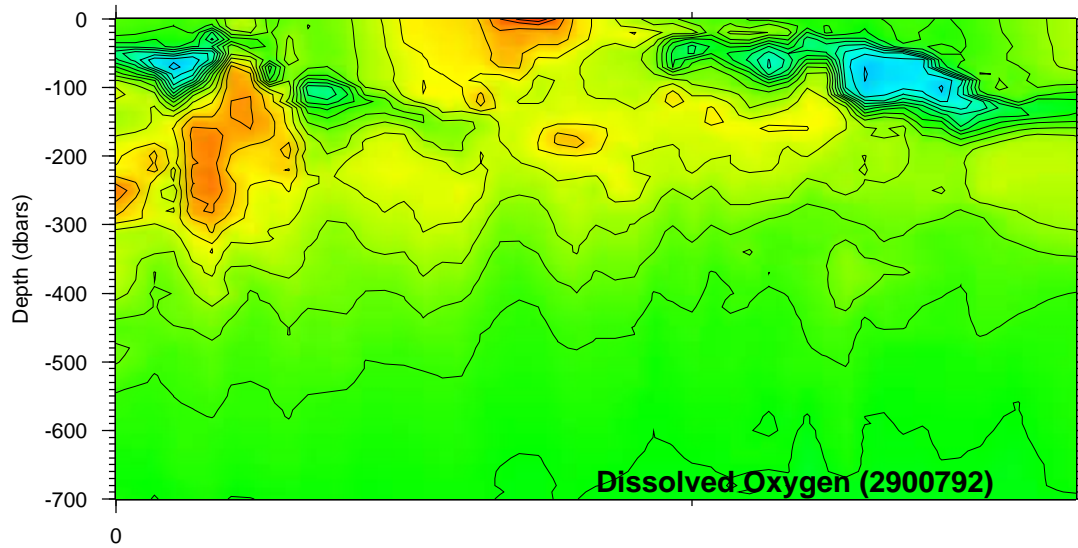
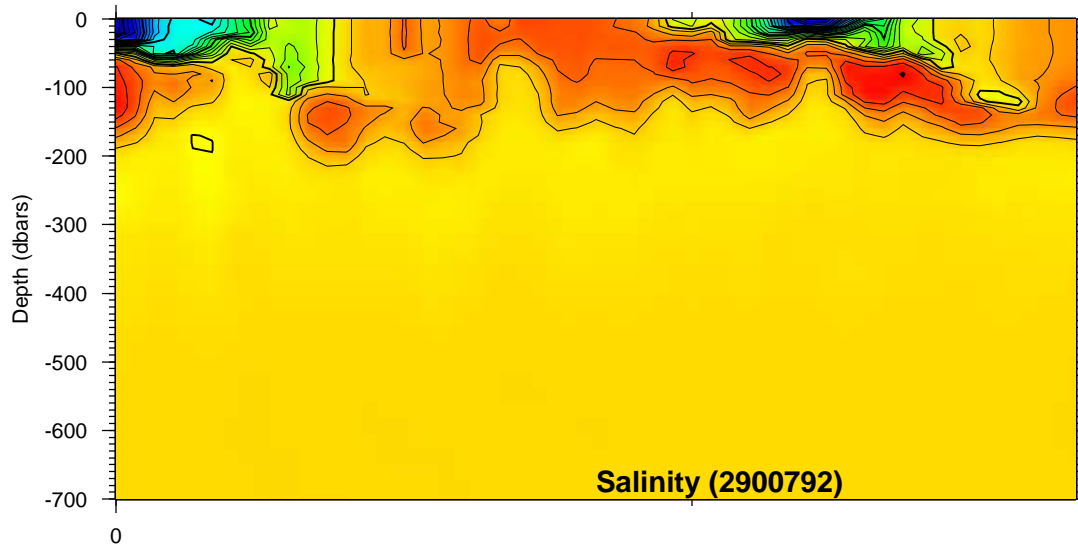
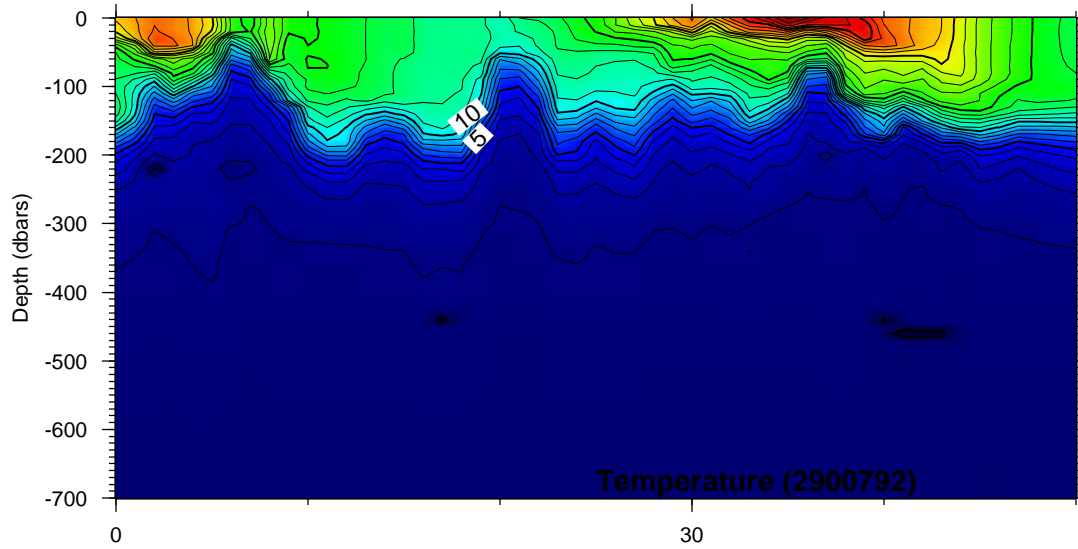


Time Series Plots for 2900790

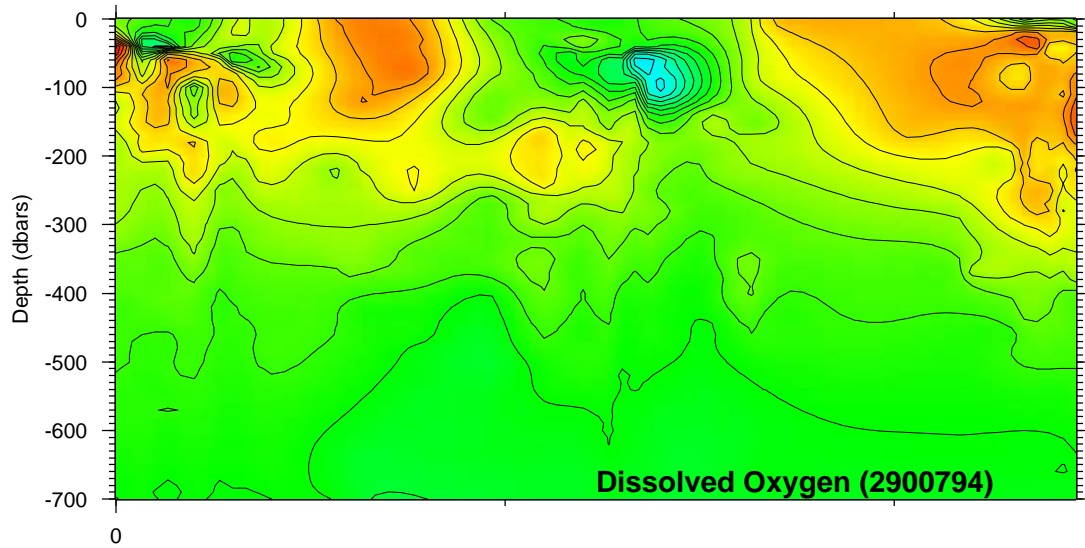
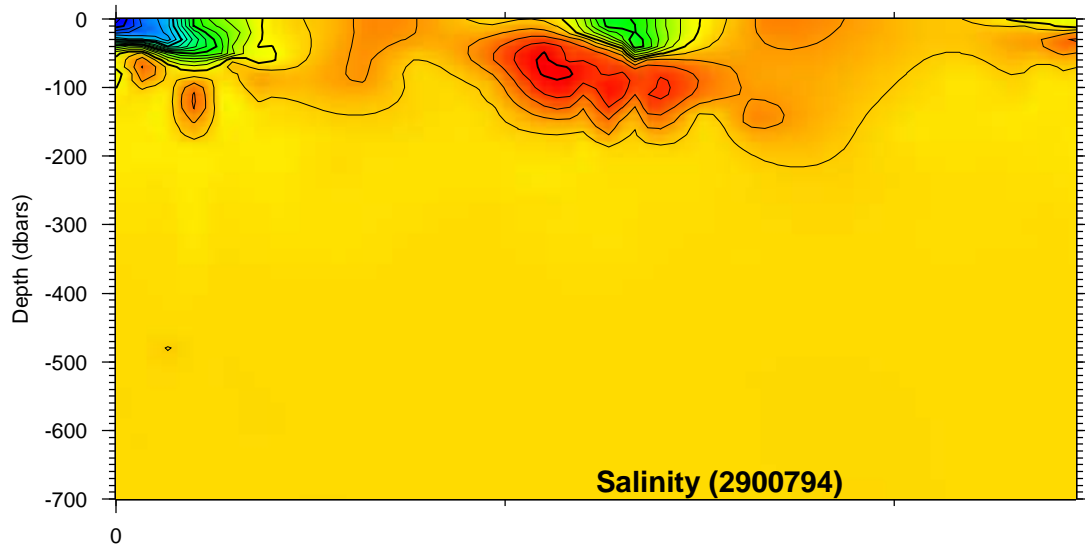
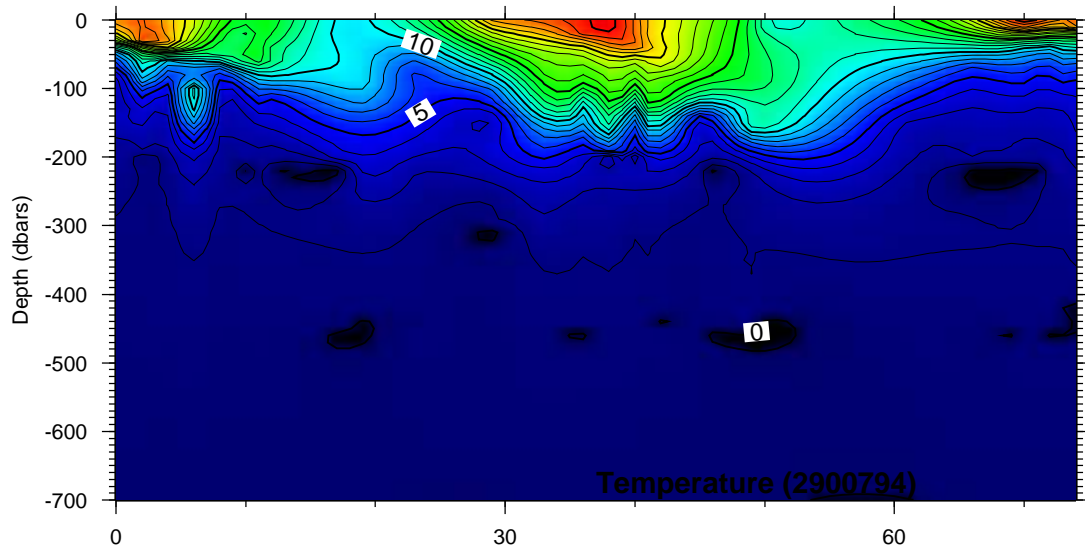


Time Series Plots for 2900791



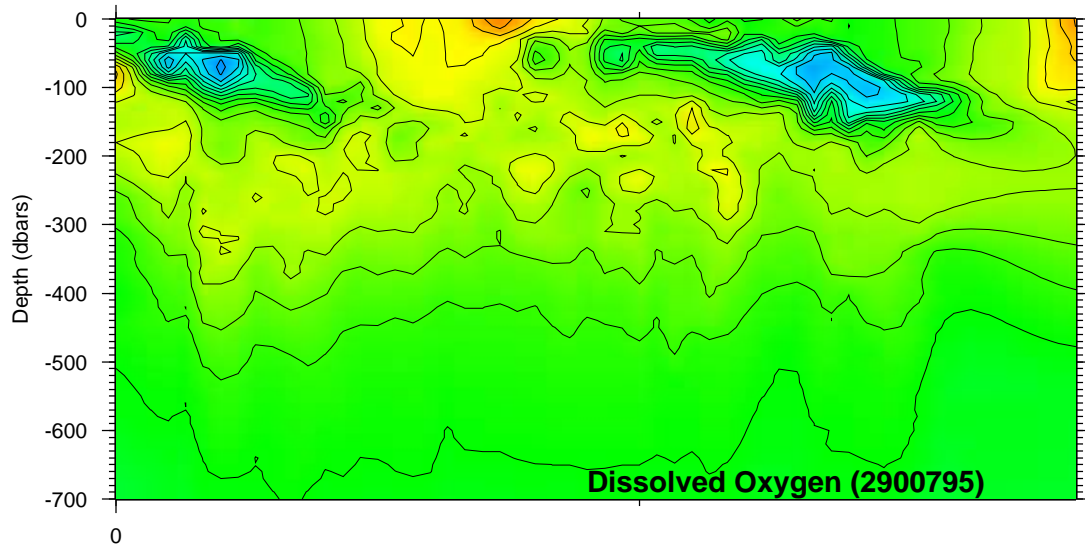
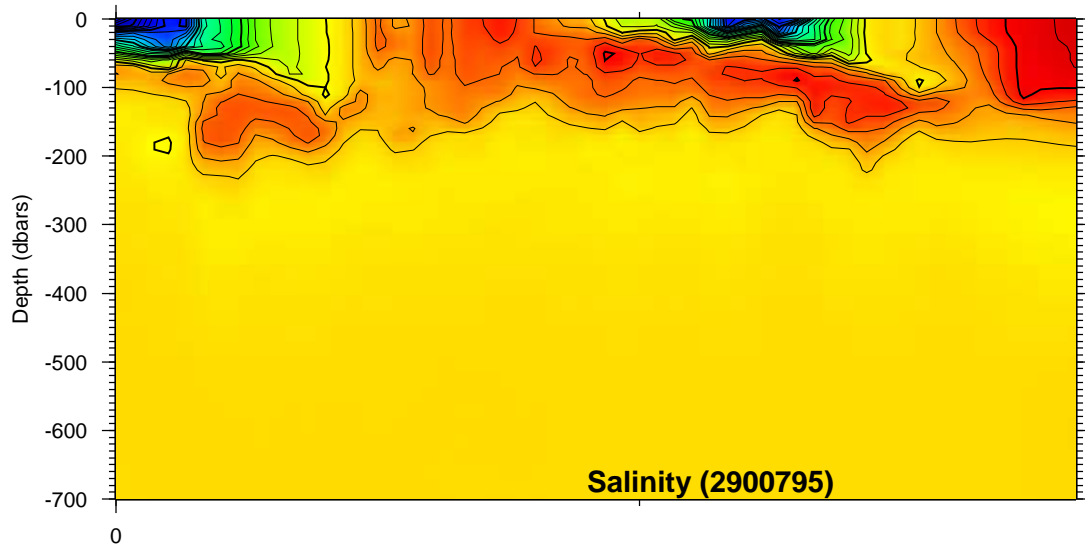
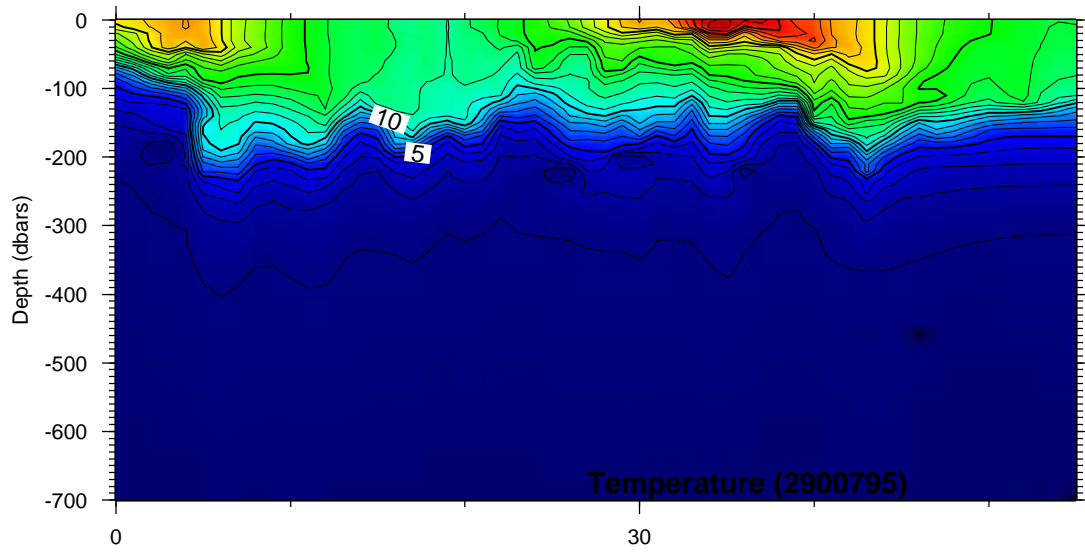


Time Series Plots for 2900792

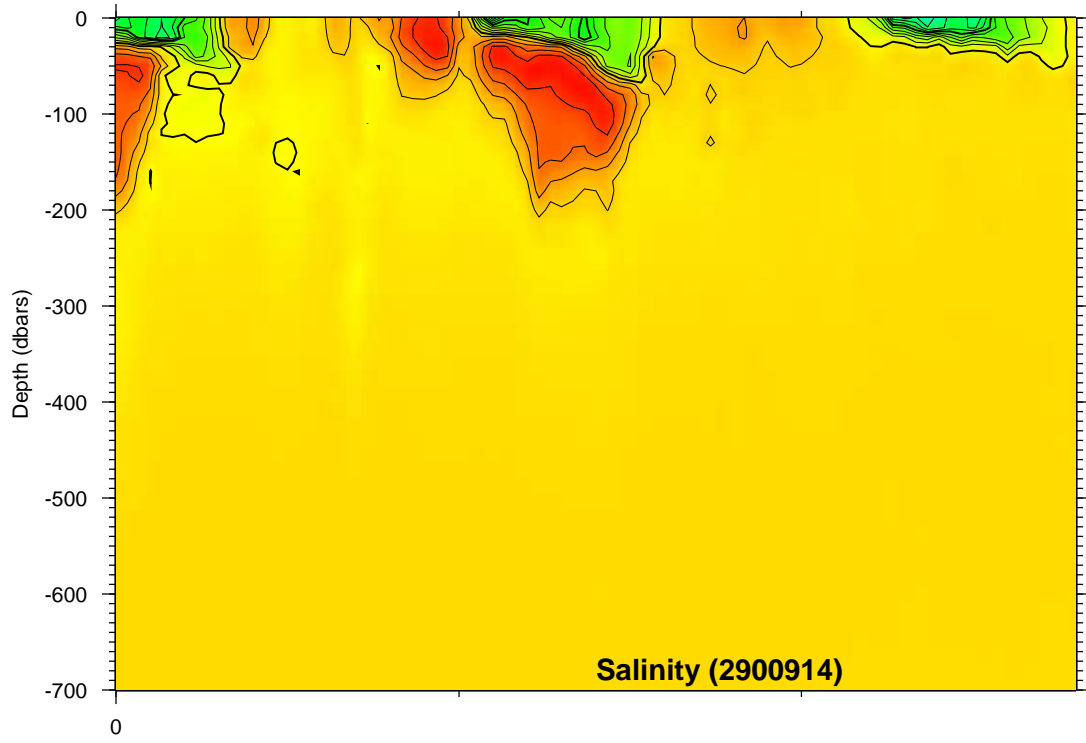
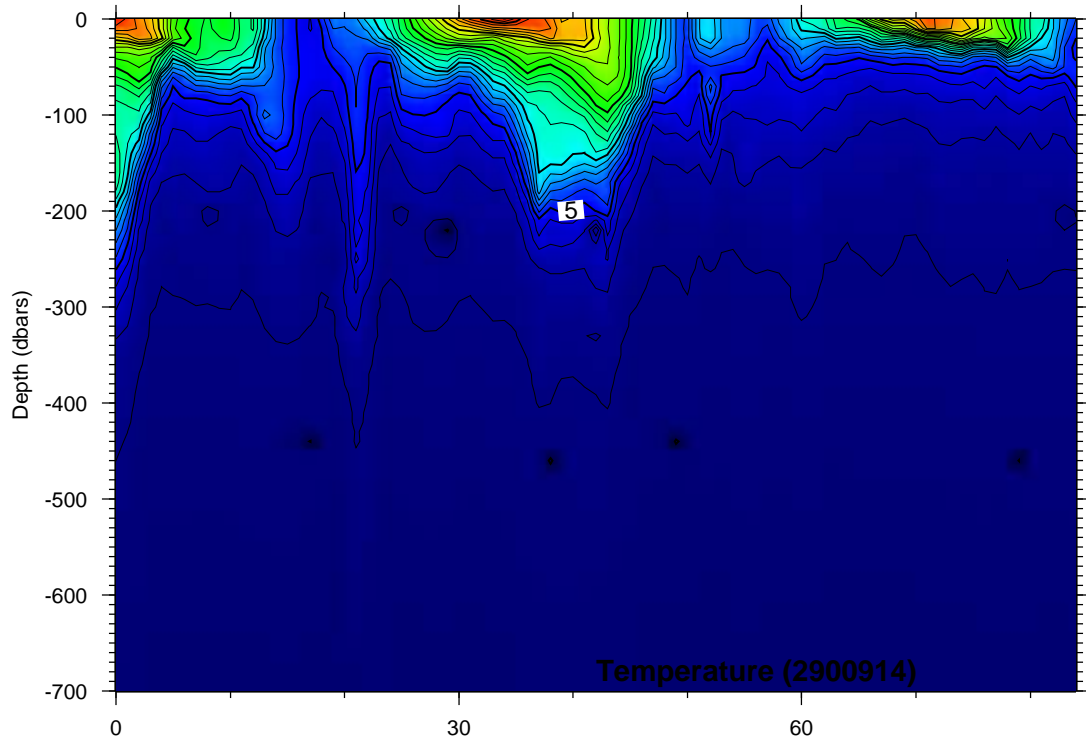


Time Series Plots for 2900794

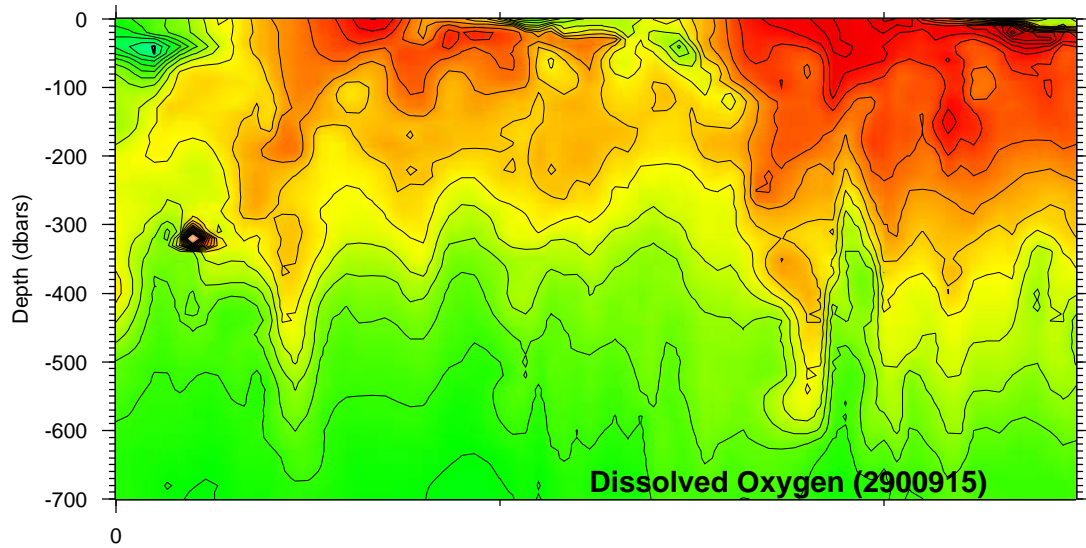
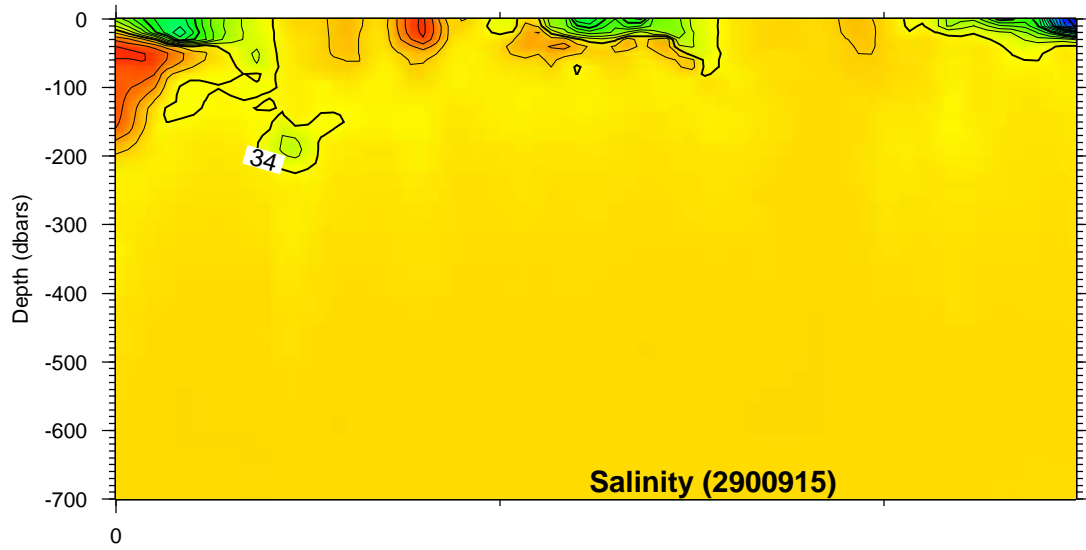
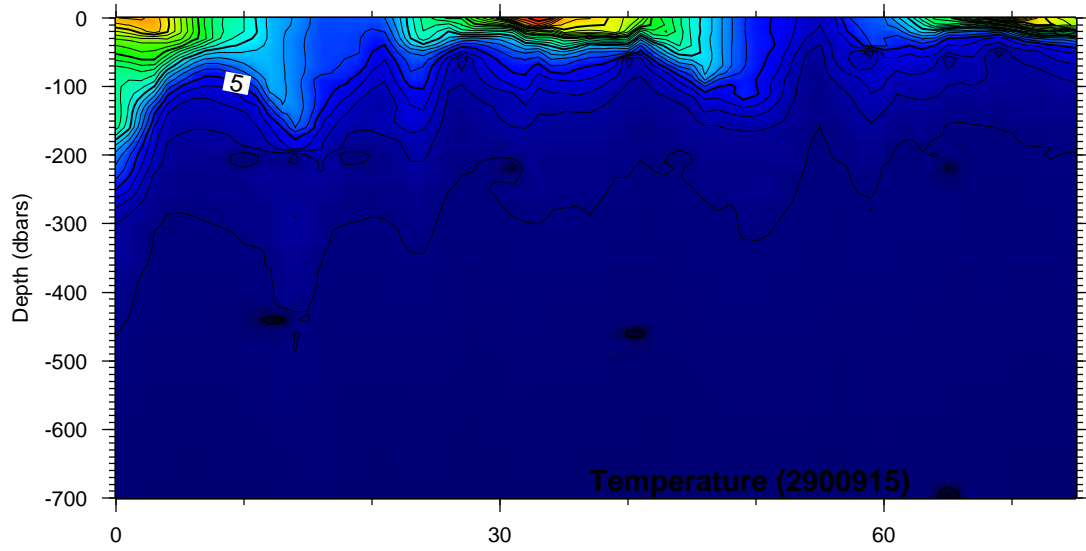




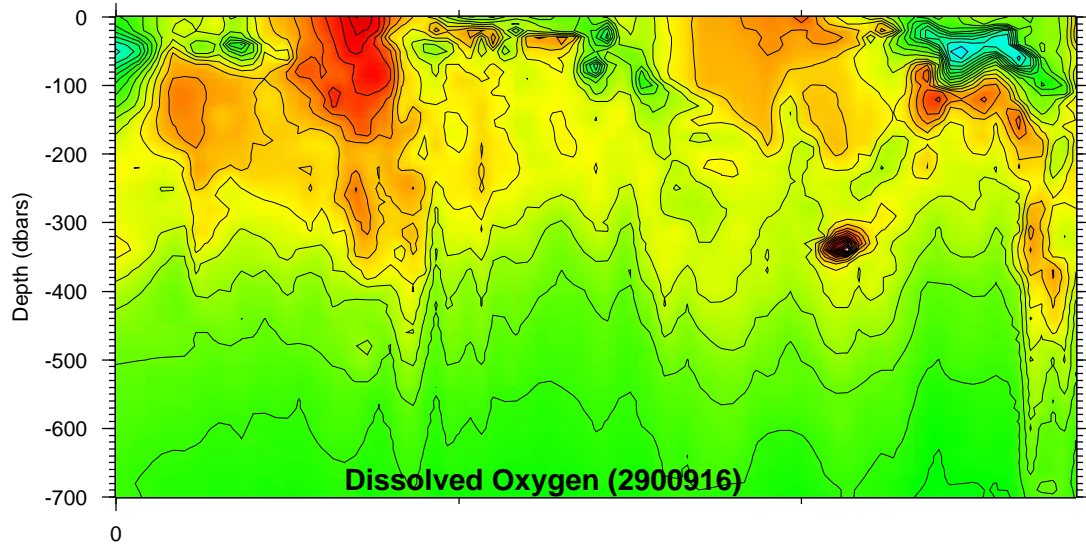
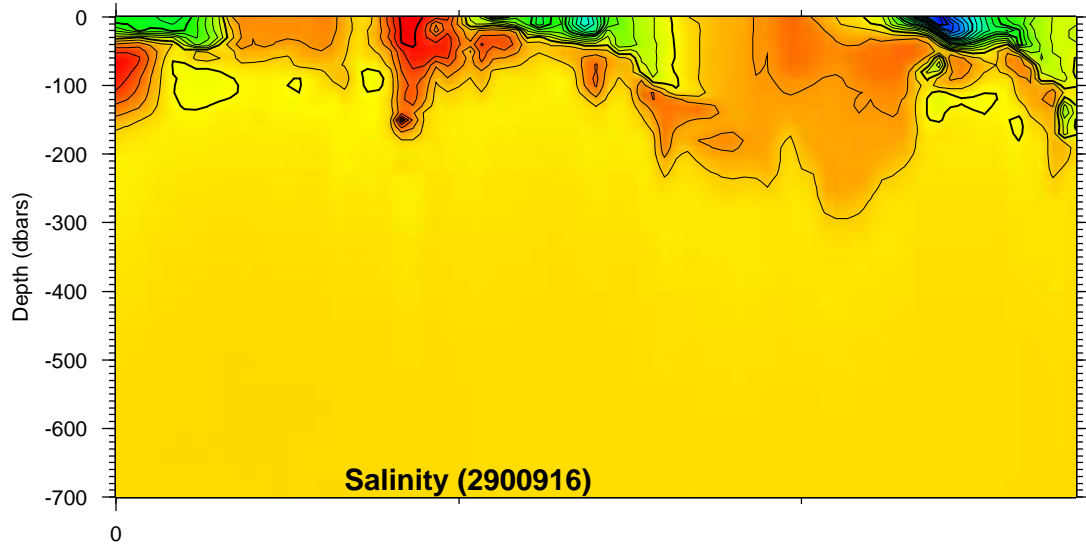
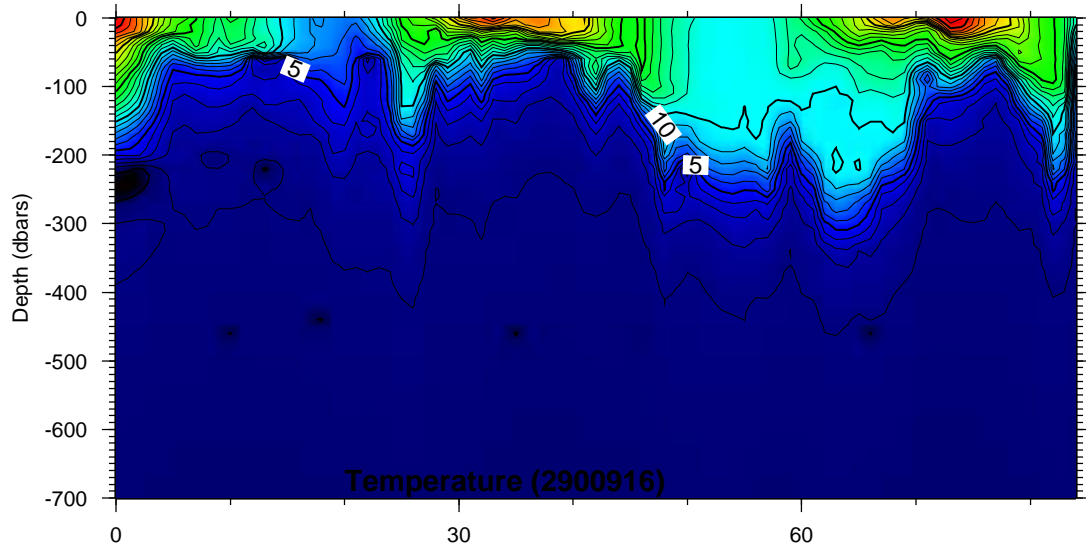
Time Series Plots for 2900795



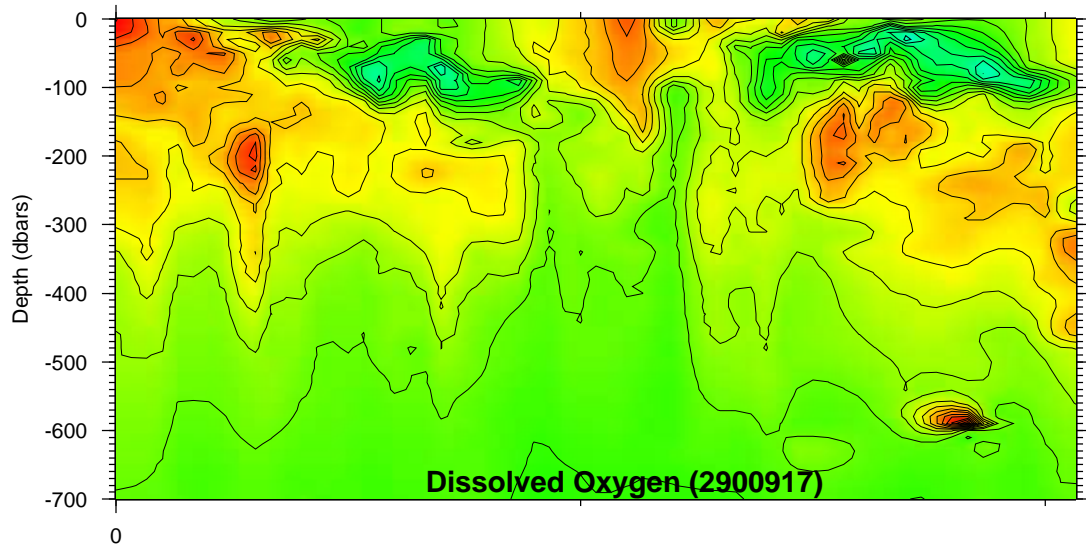
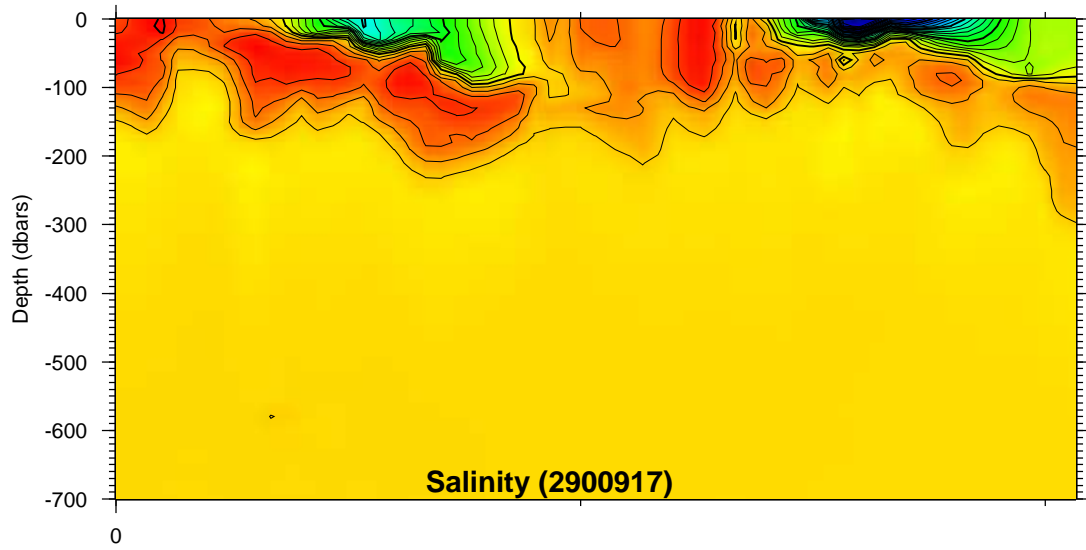
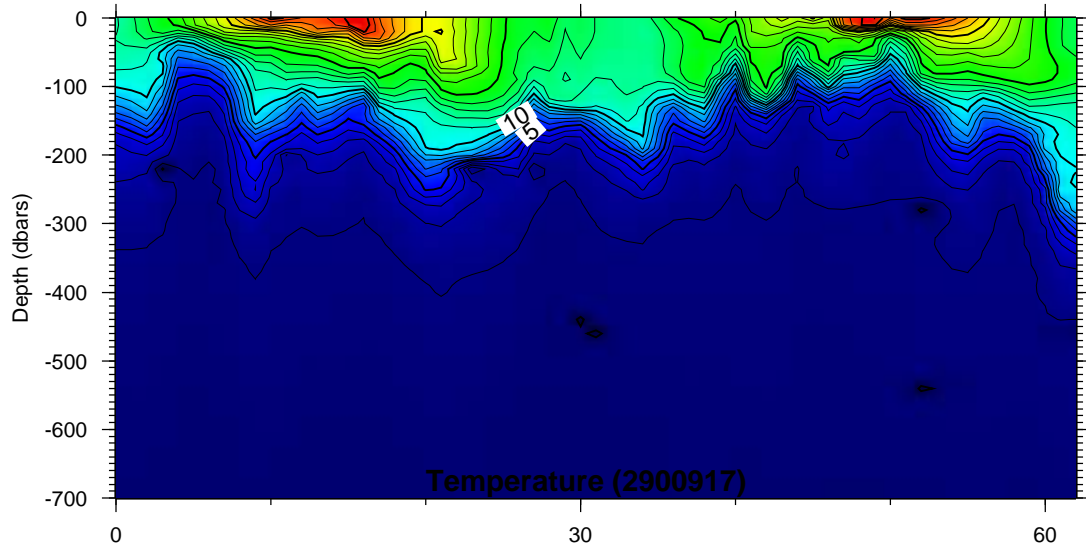
Time Series Plots for 2900914



Time Series Plots for 2900915

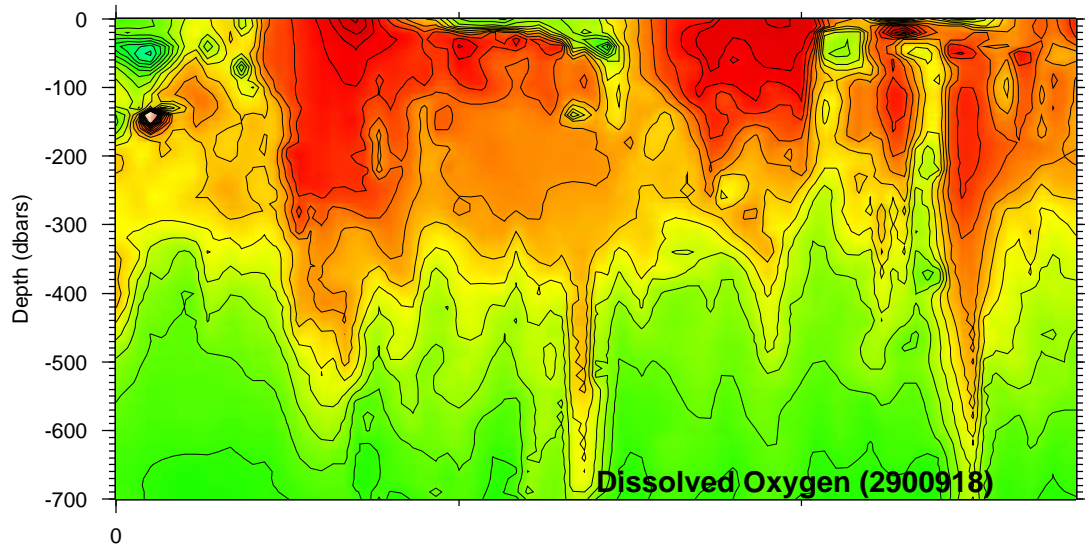
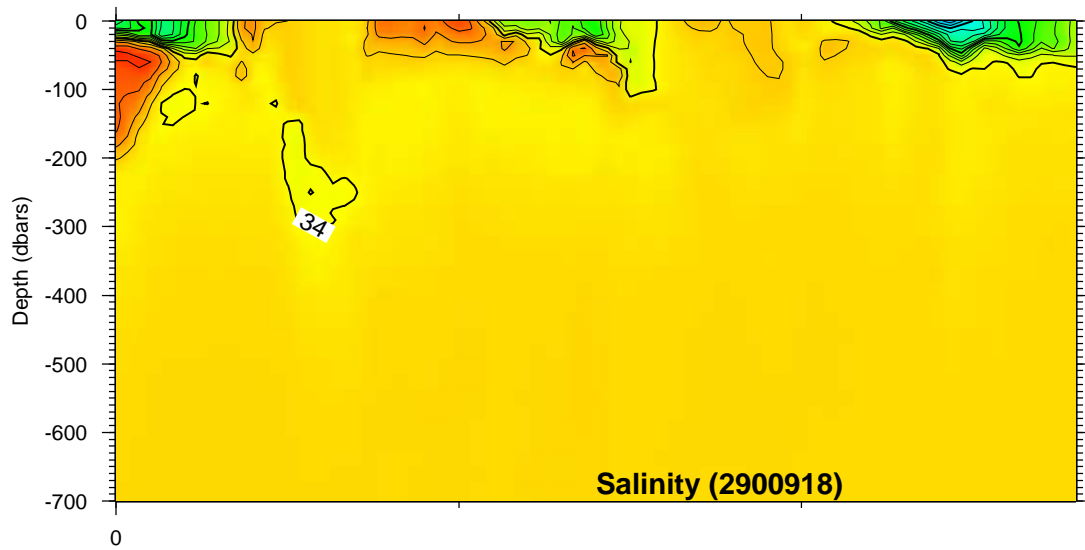
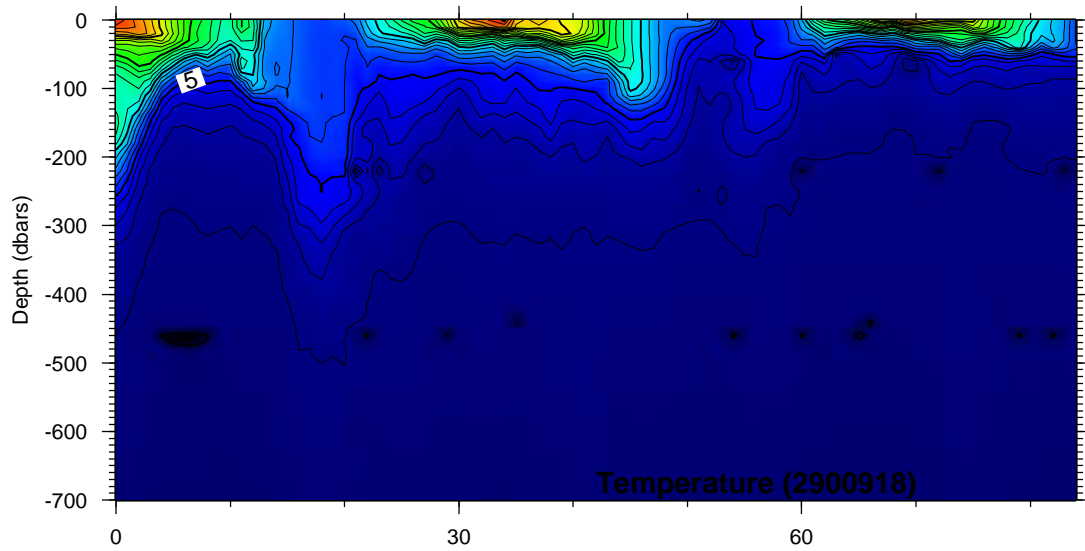


Time Series Plots for 2900916

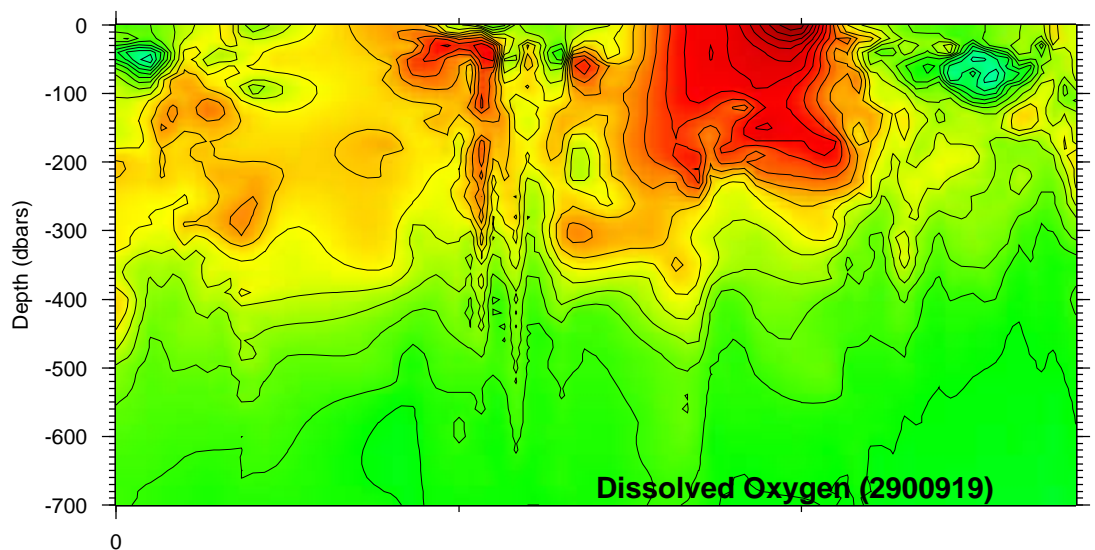
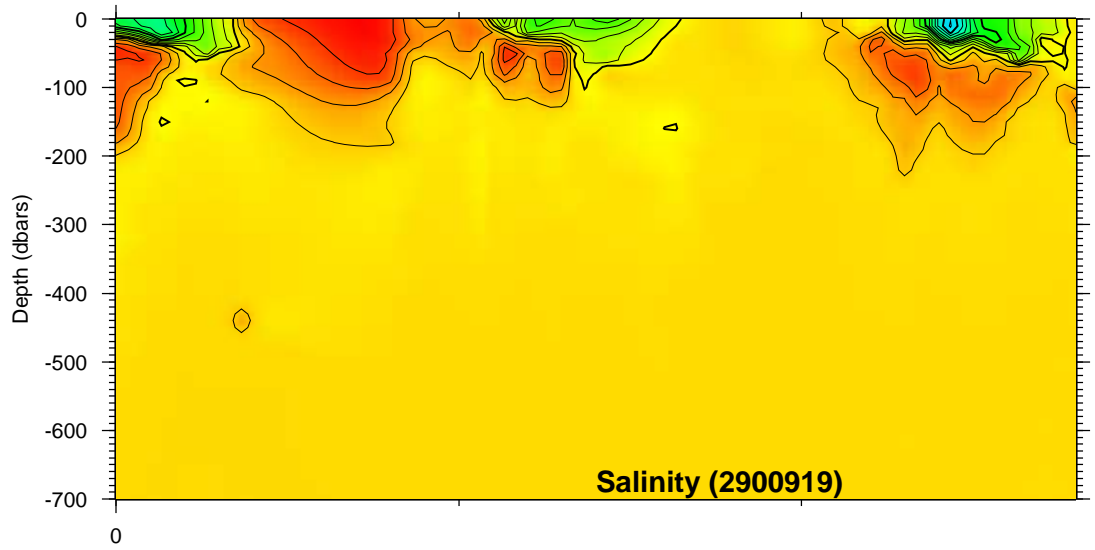
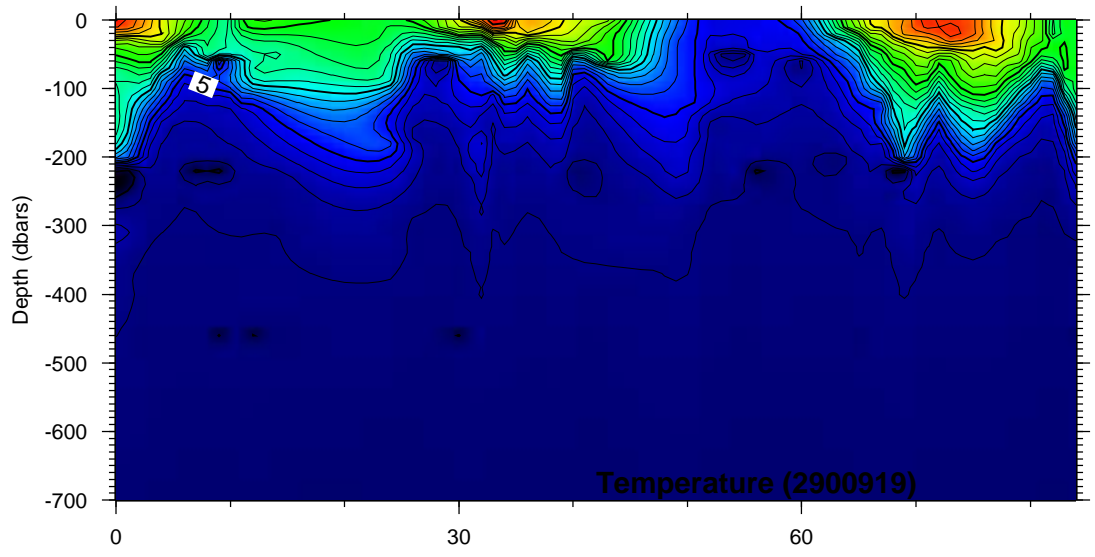


Time Series Plots for 2900917



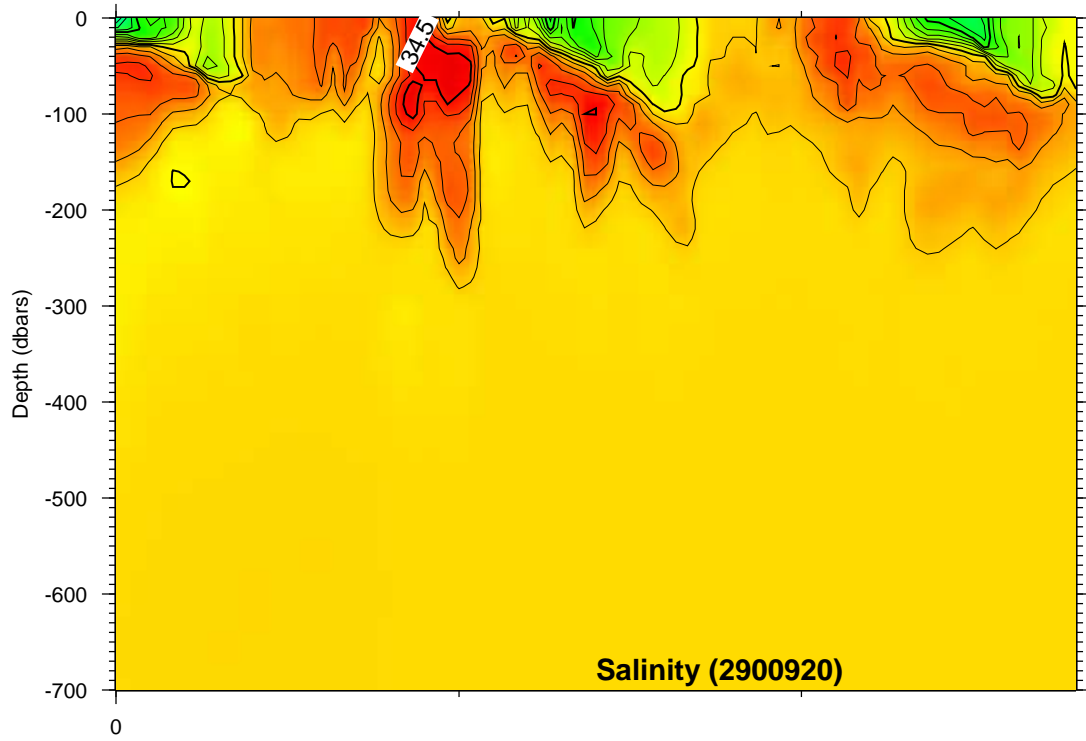
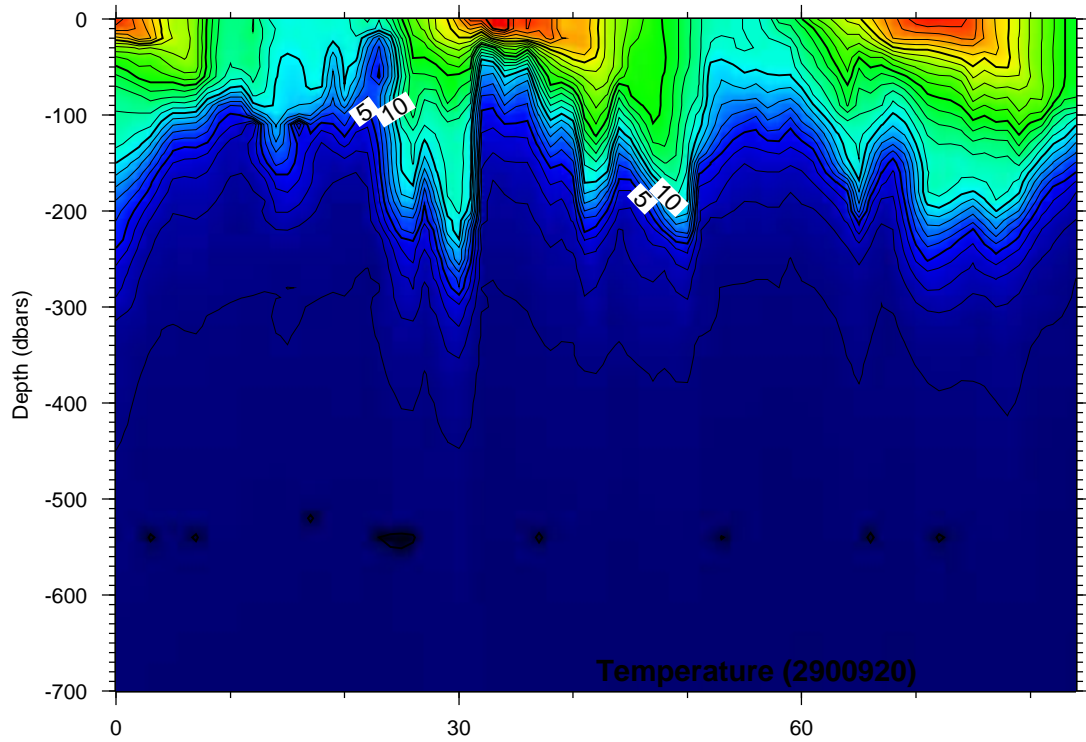


Time Series Plots for 2900918

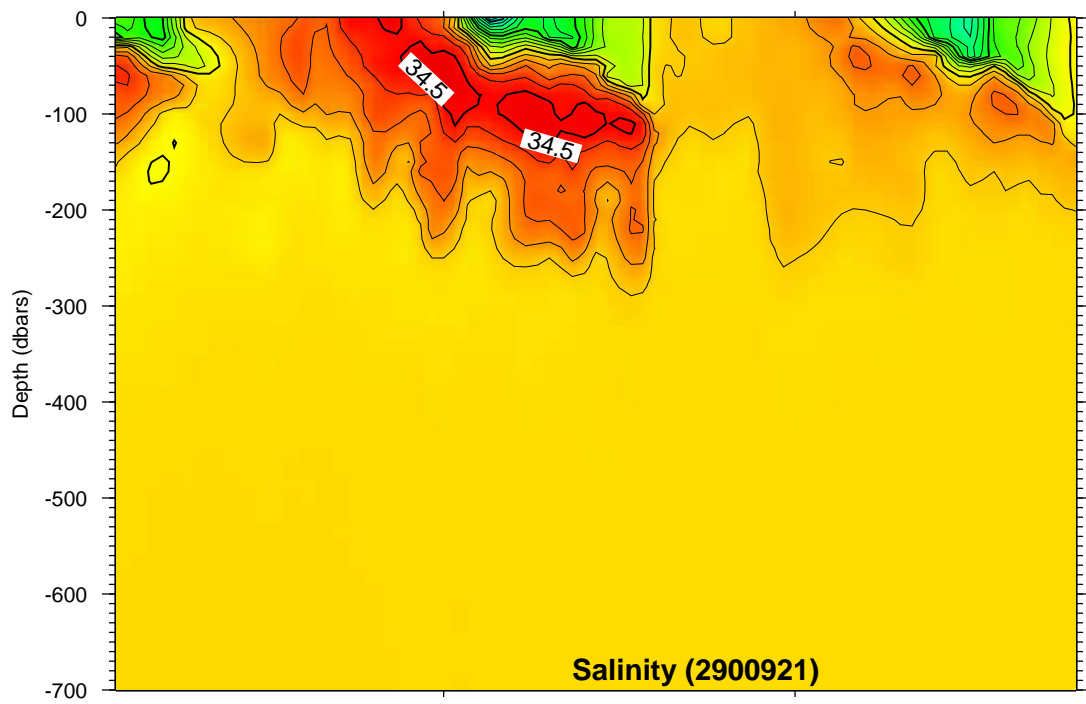
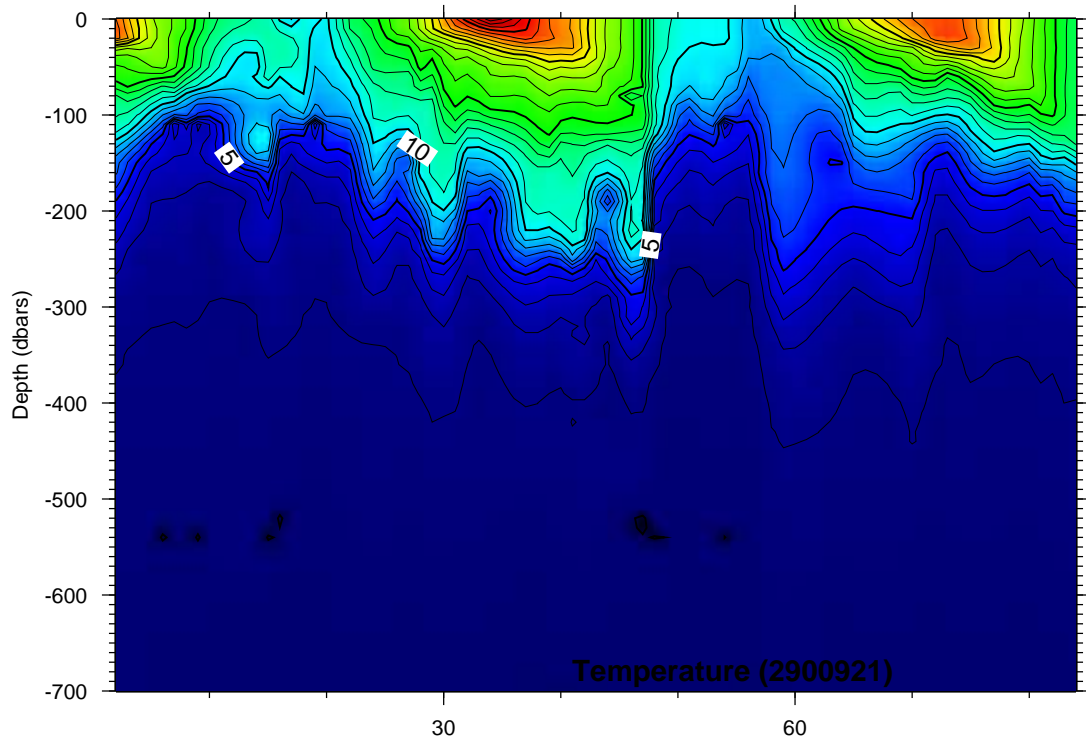


Time Series Plots for 2900919

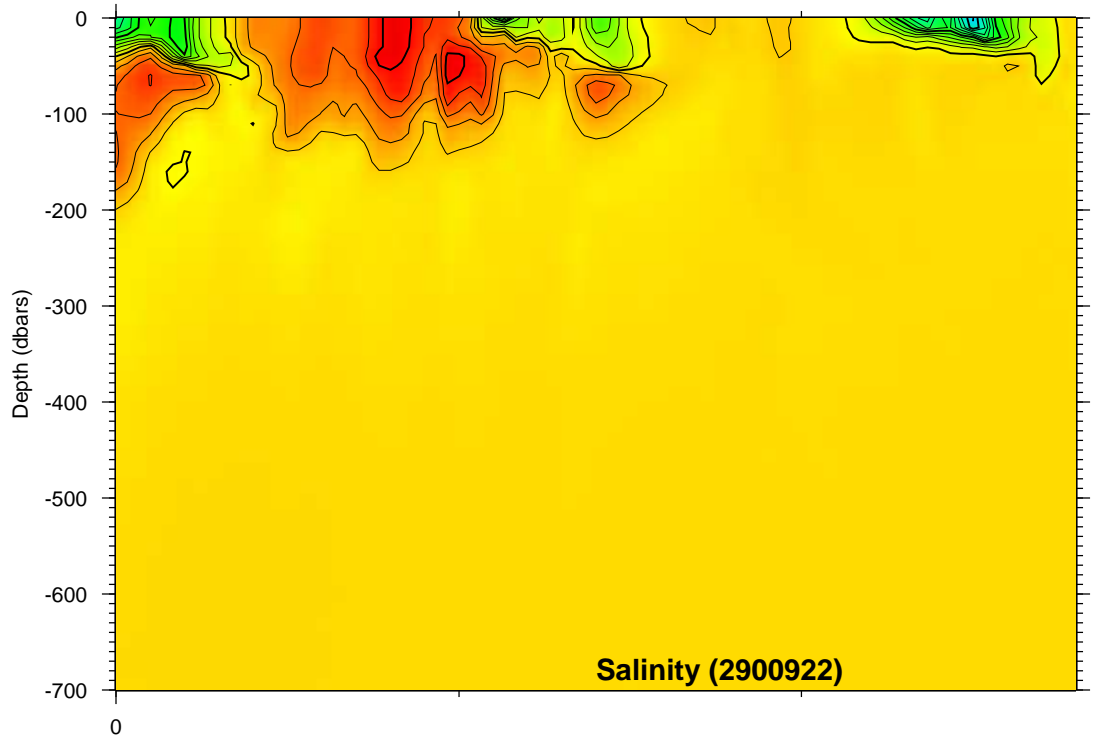
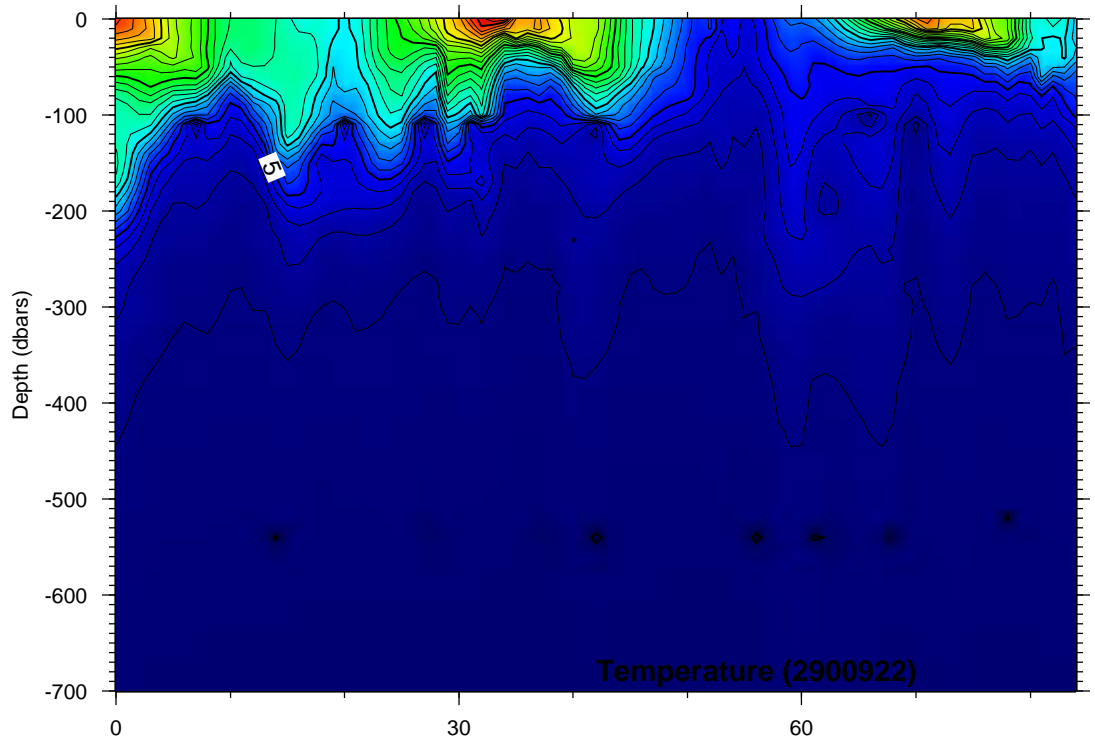




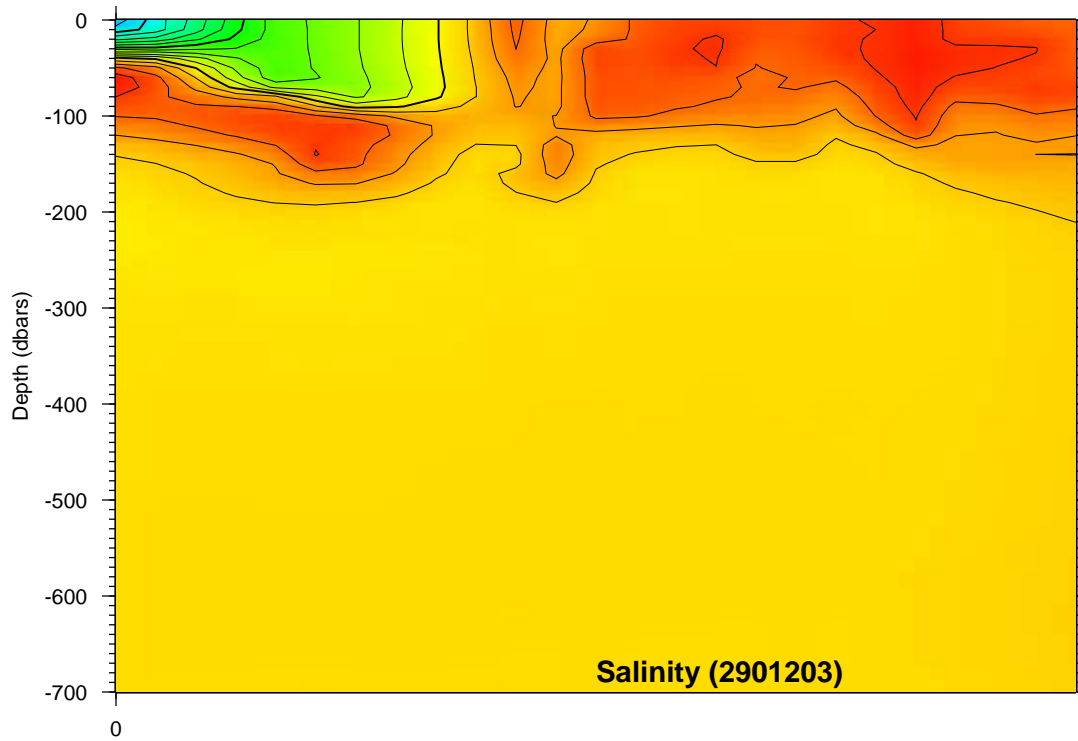
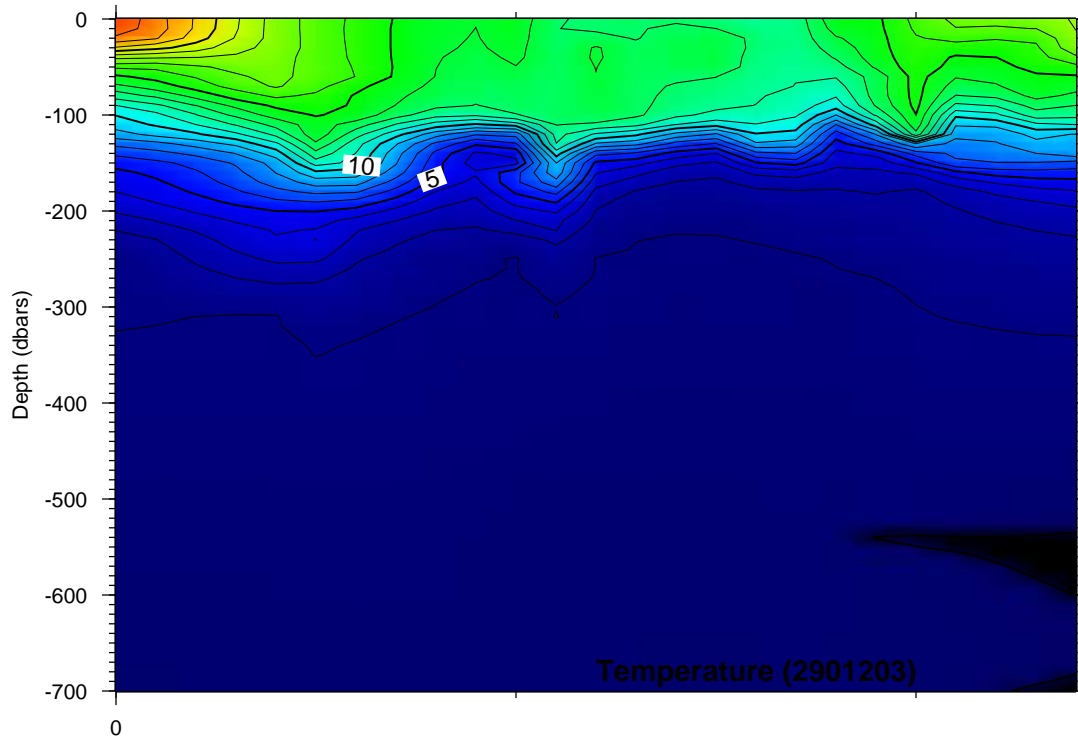
**Time Series Plots for 2900920**



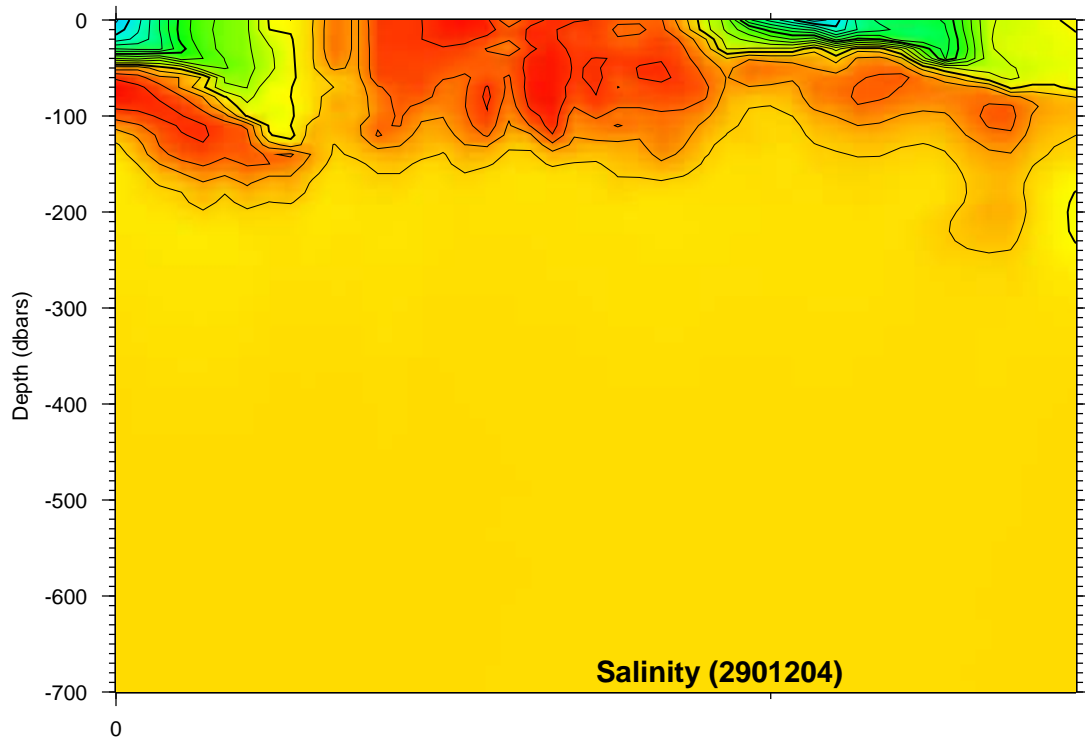
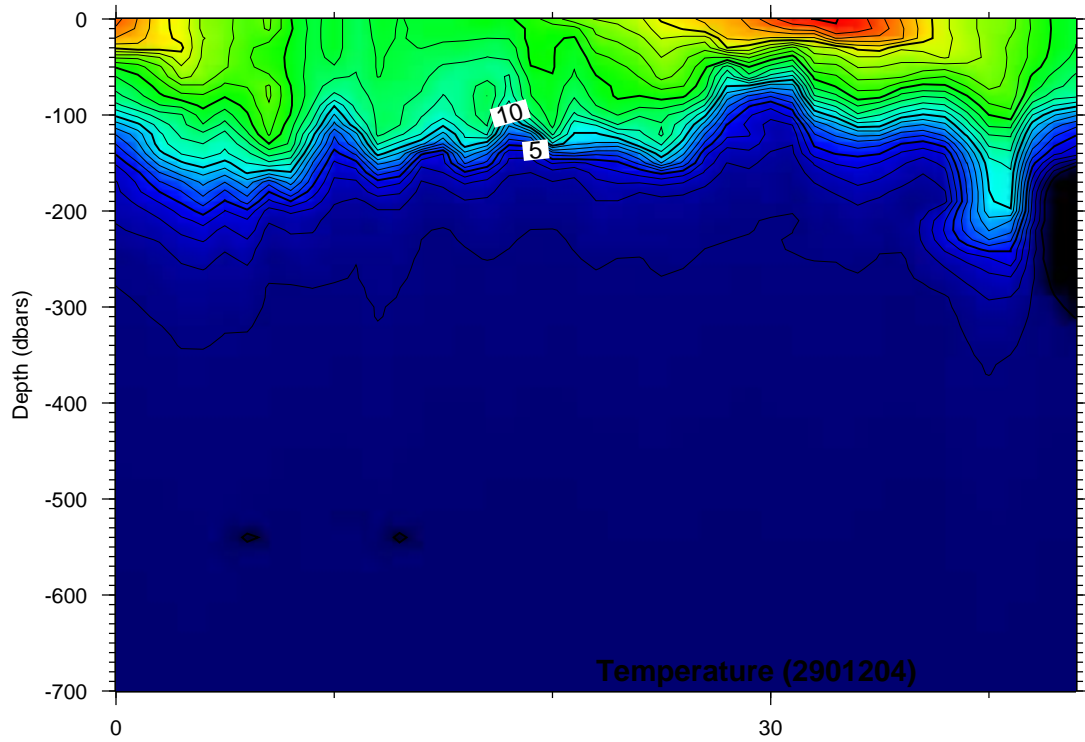
Time Series Plots for 2900921



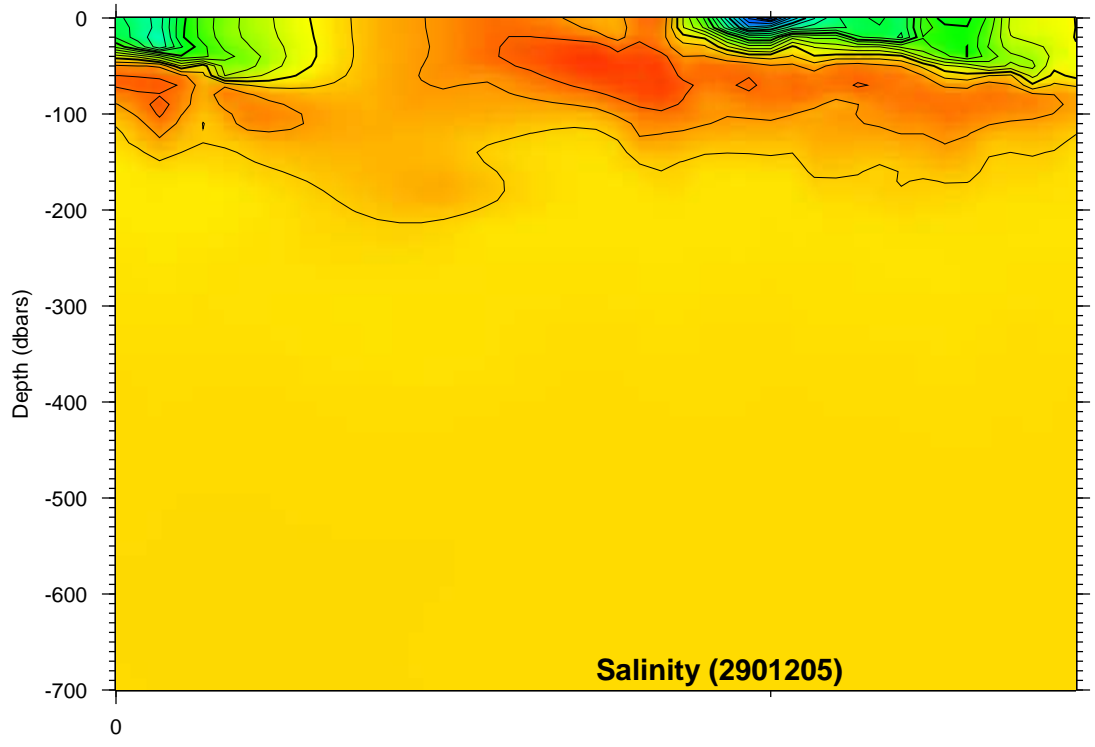
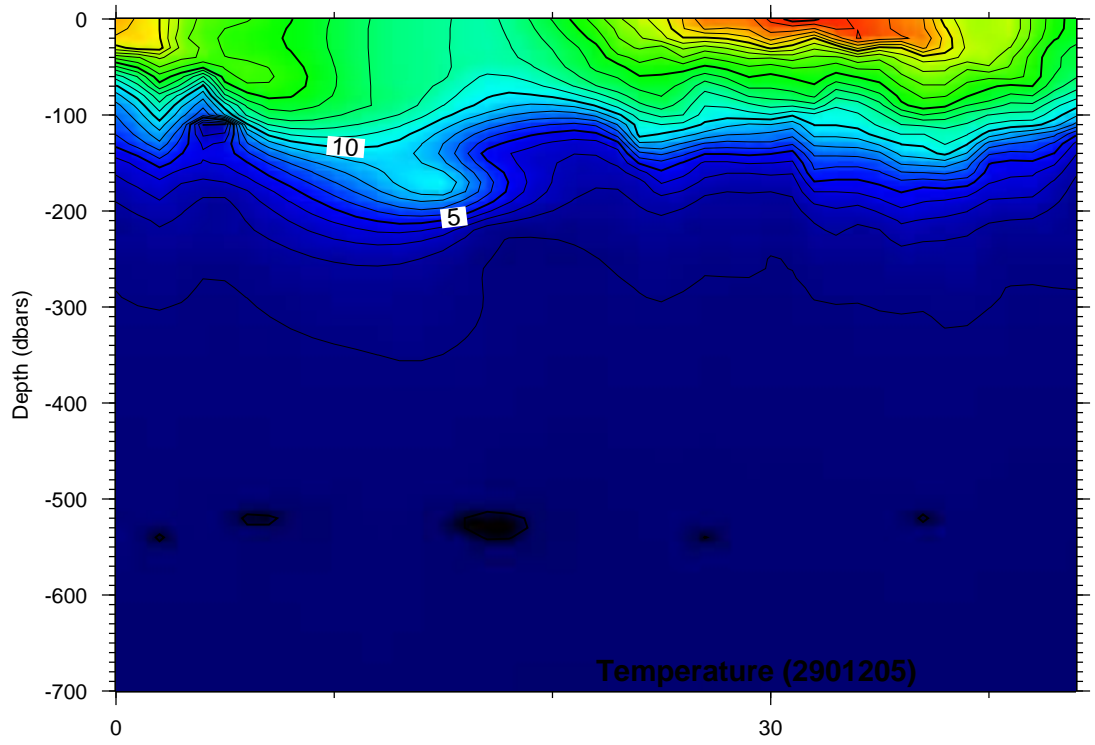
**Time Series Plots for 2900922**



Time Series Plots for 2901203

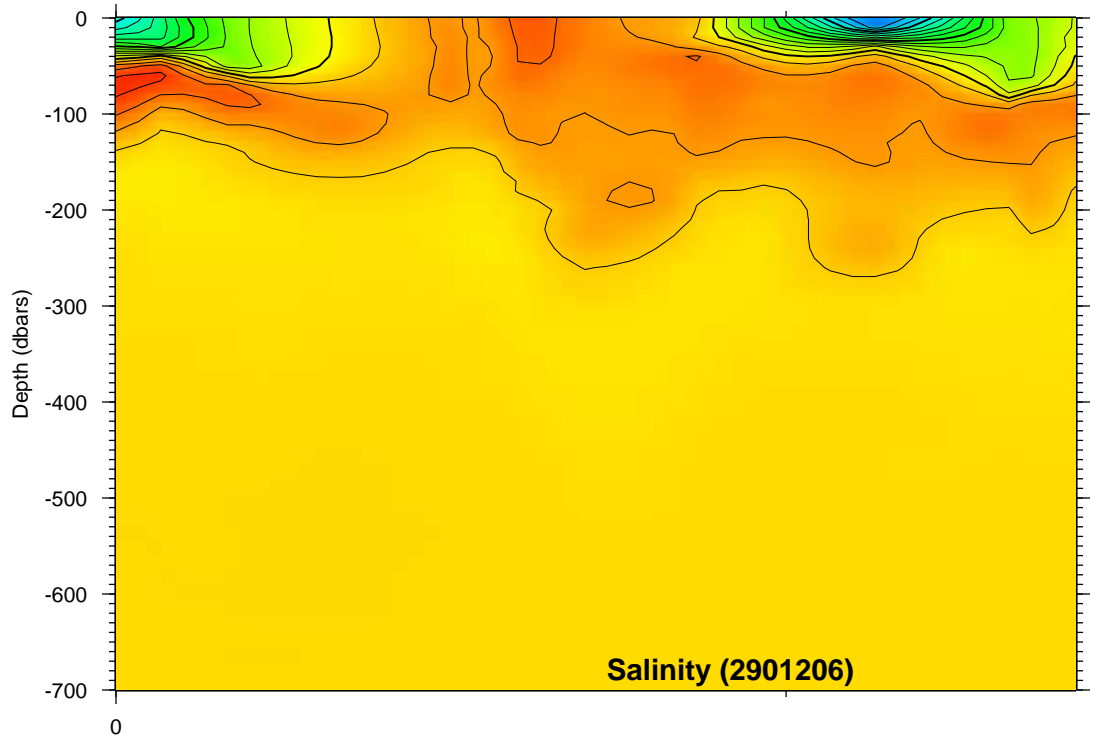
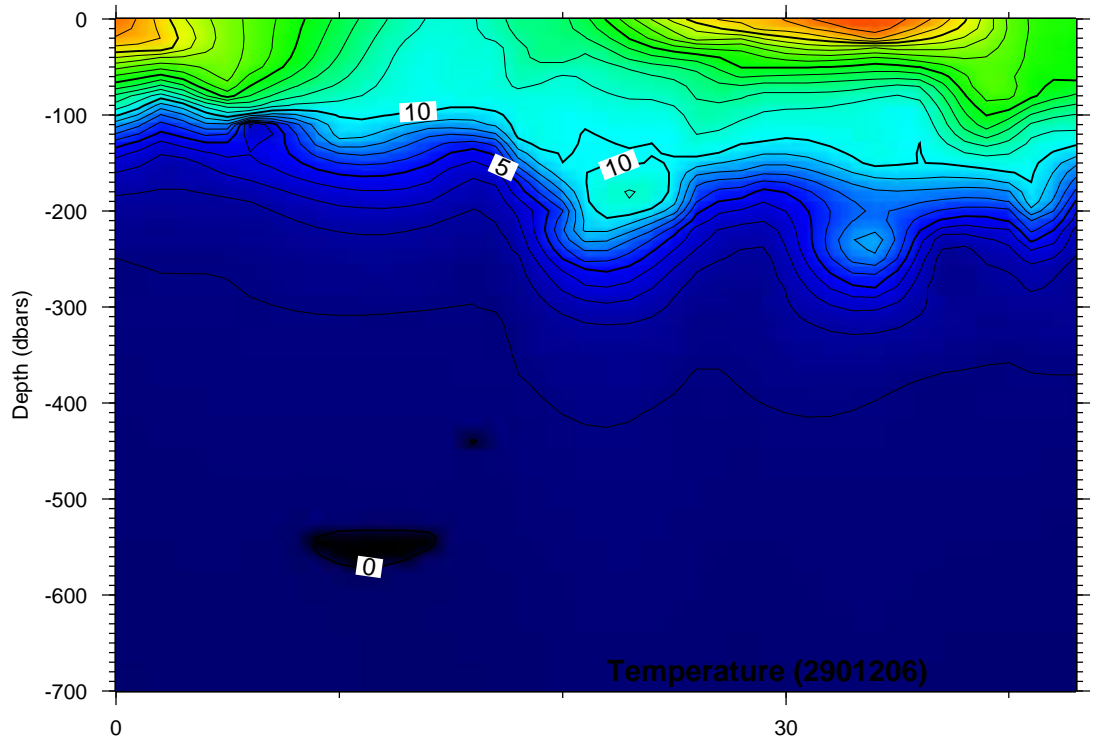


Time Series Plots for 2901204

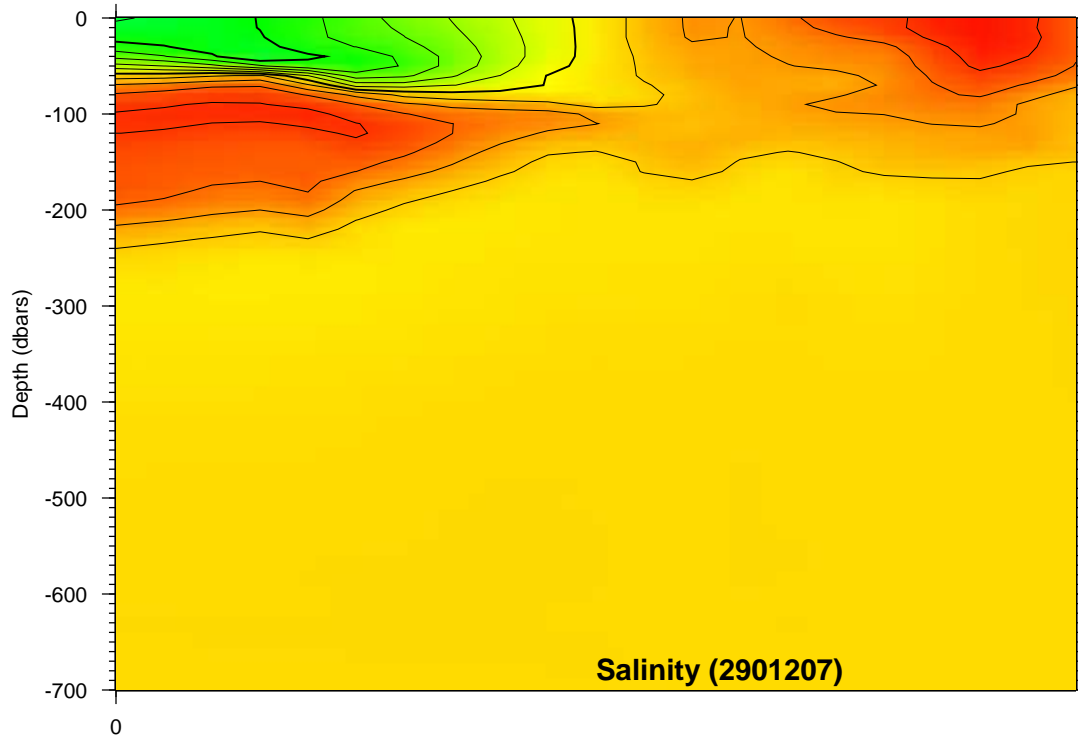
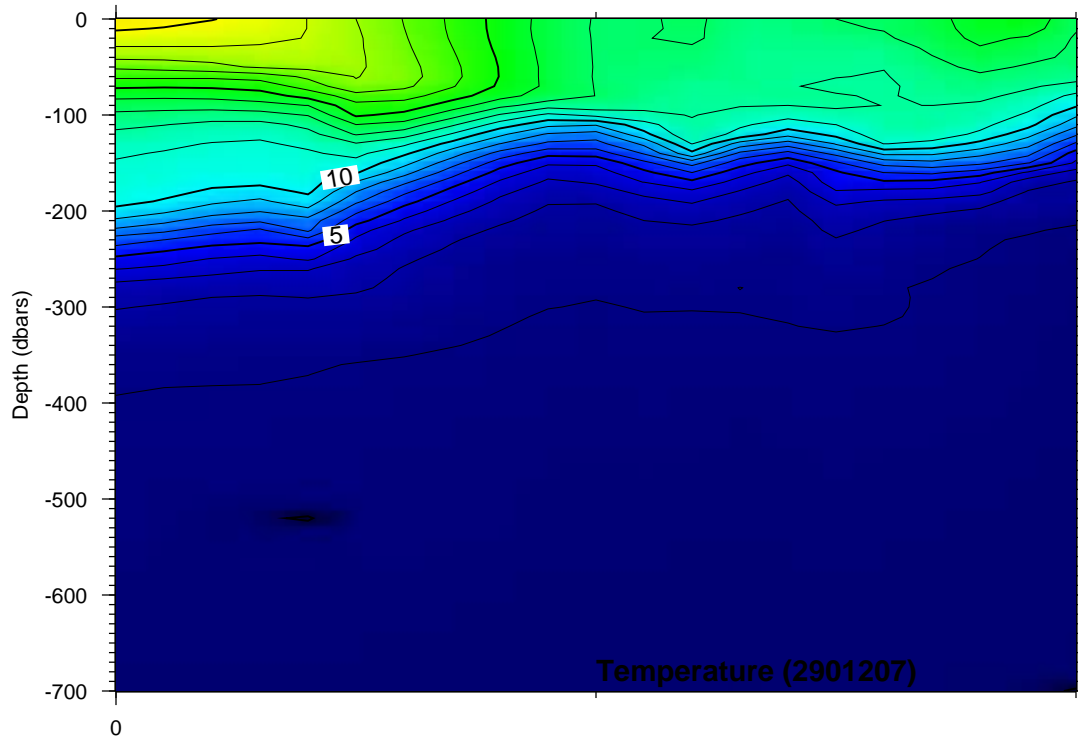


Time Series Plots for 2901205

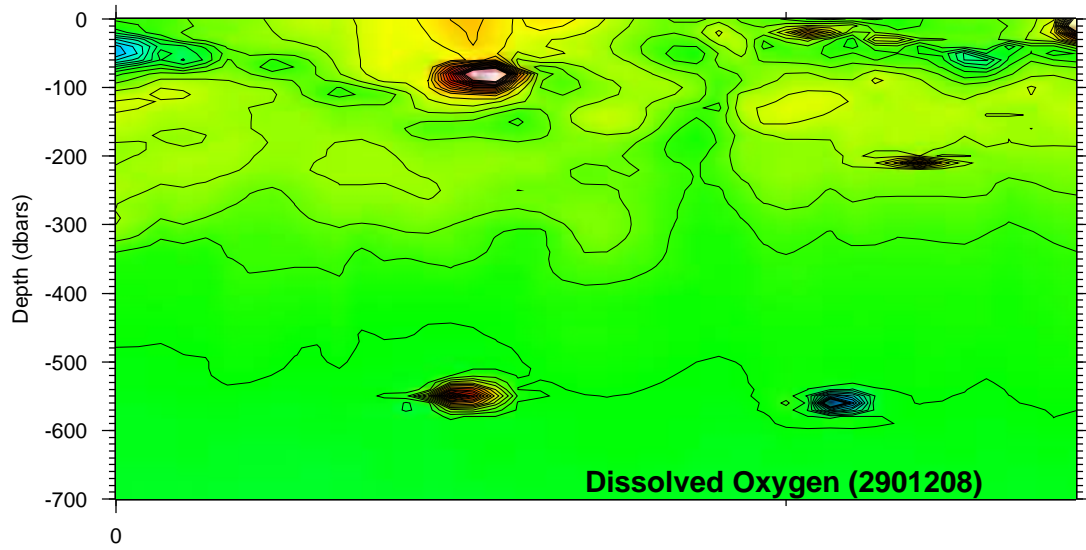
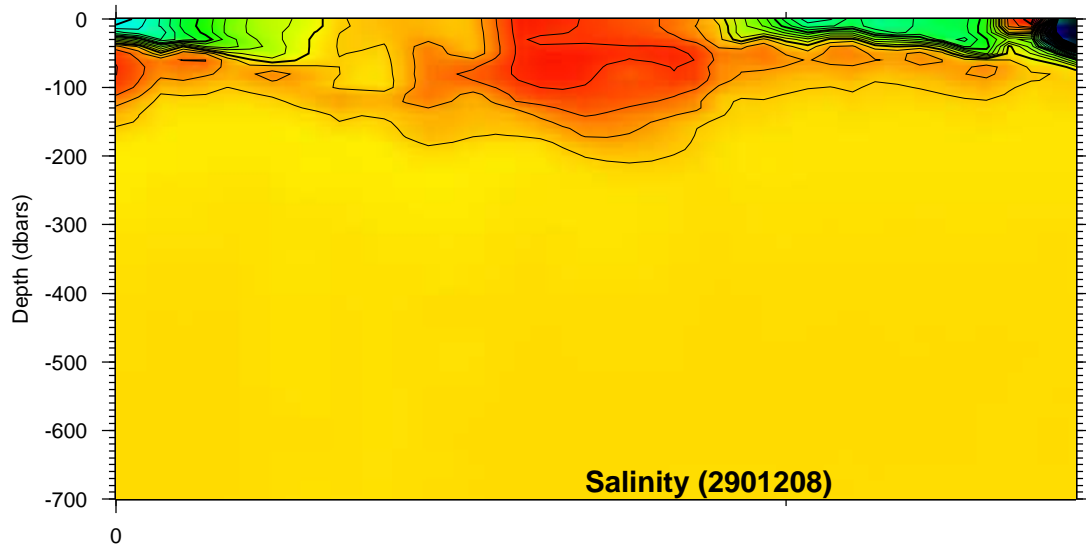
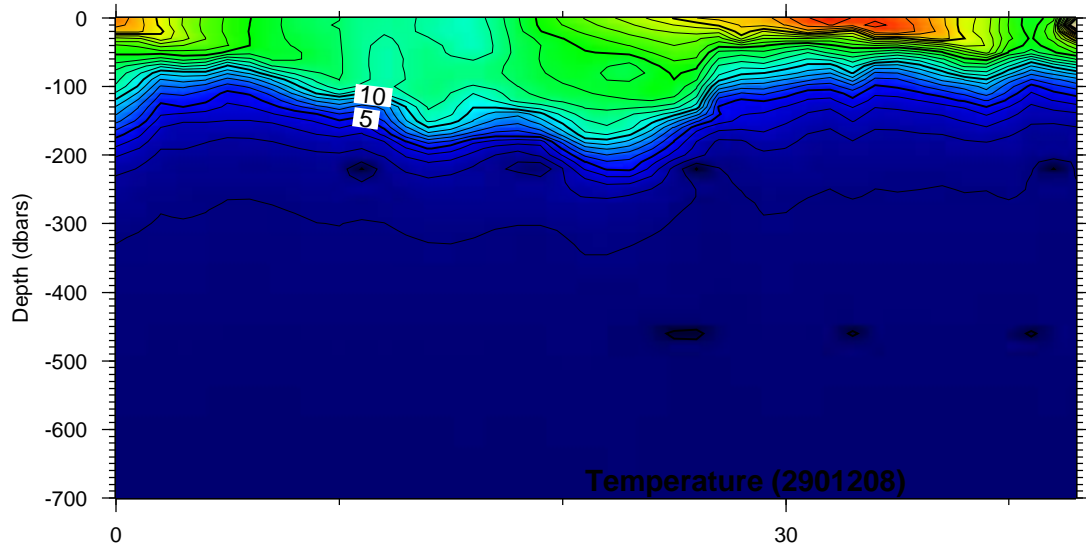




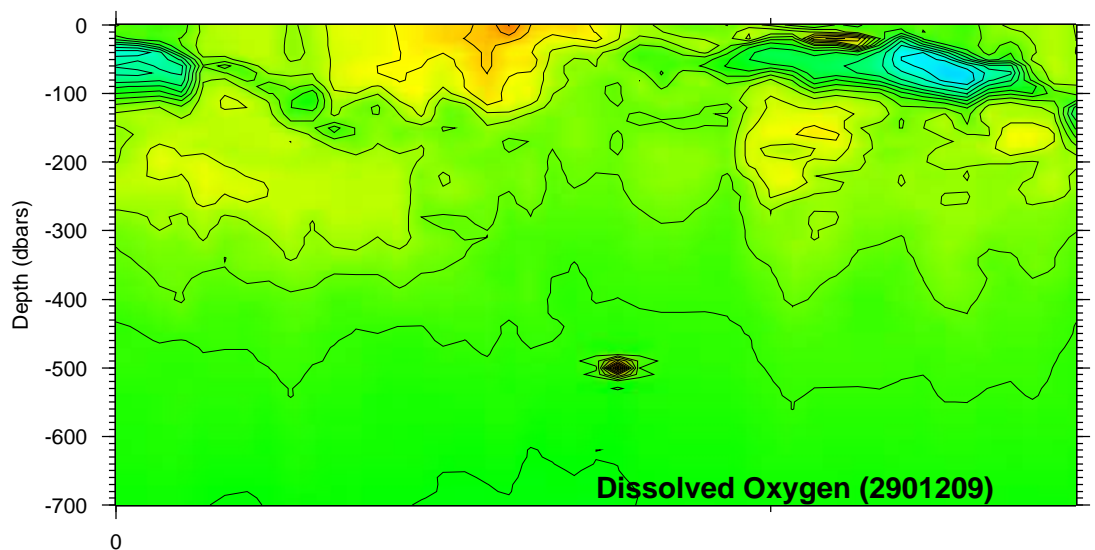
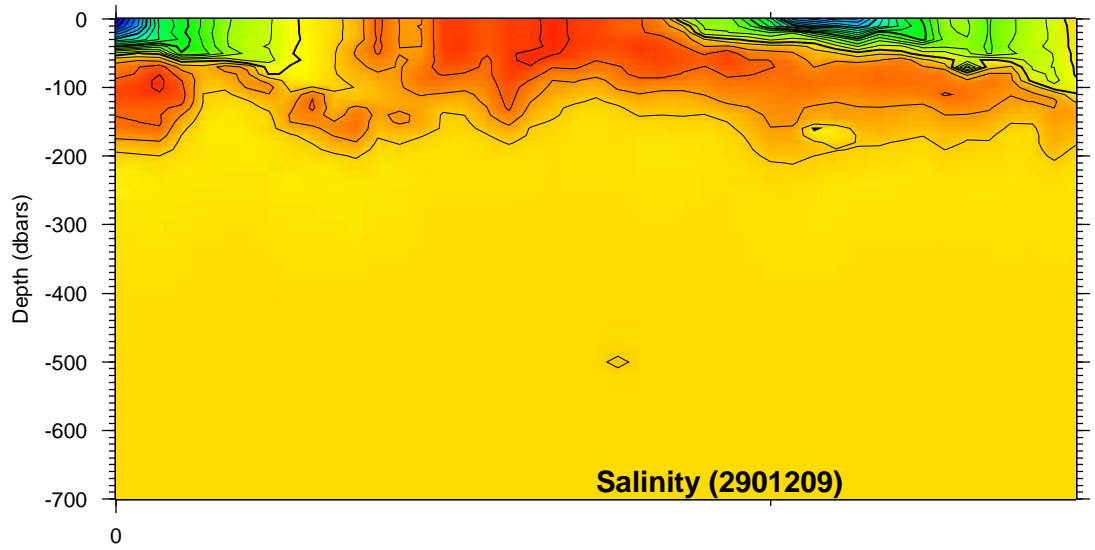
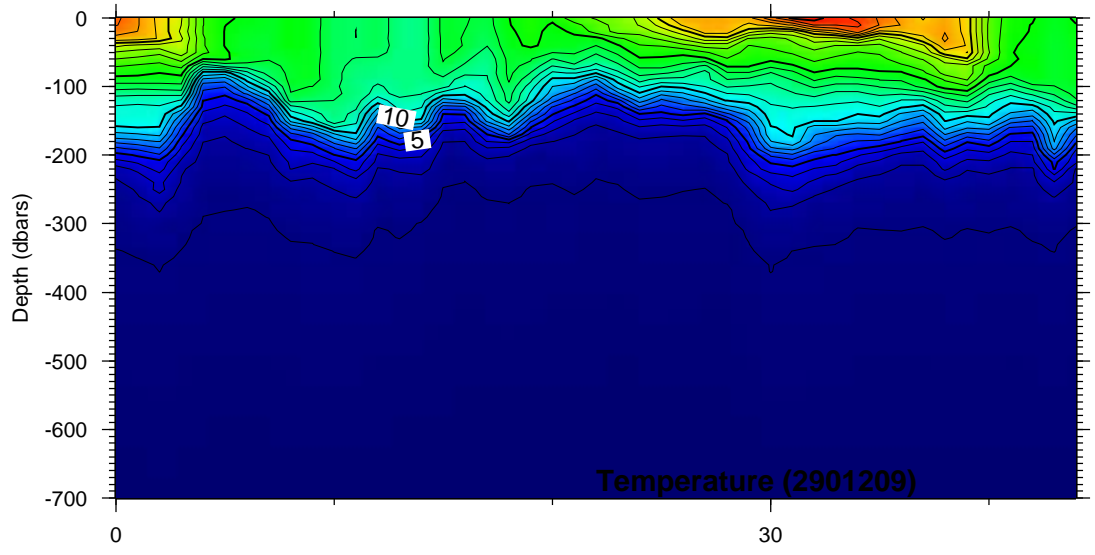
Time Series Plots for 2901206



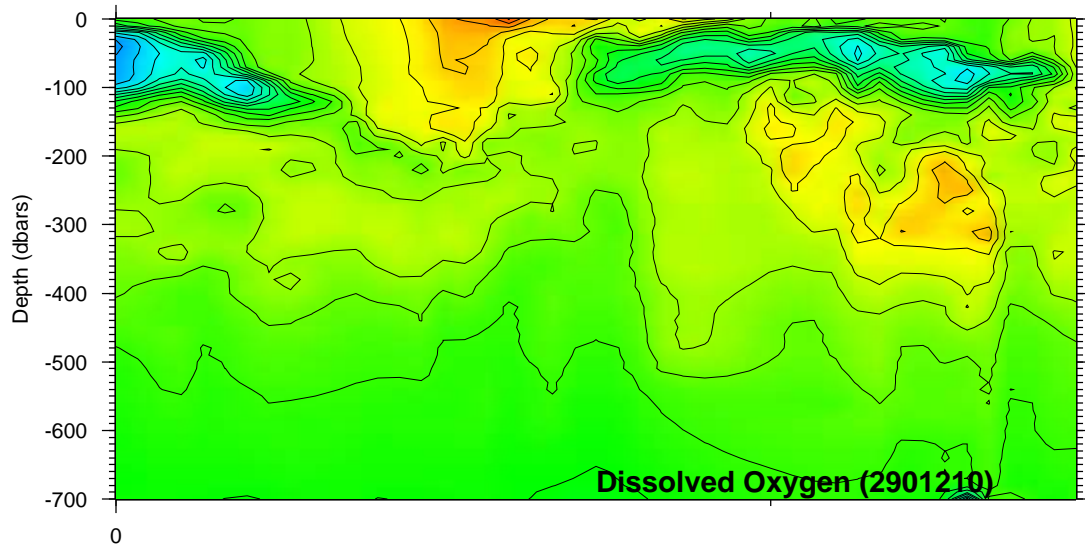
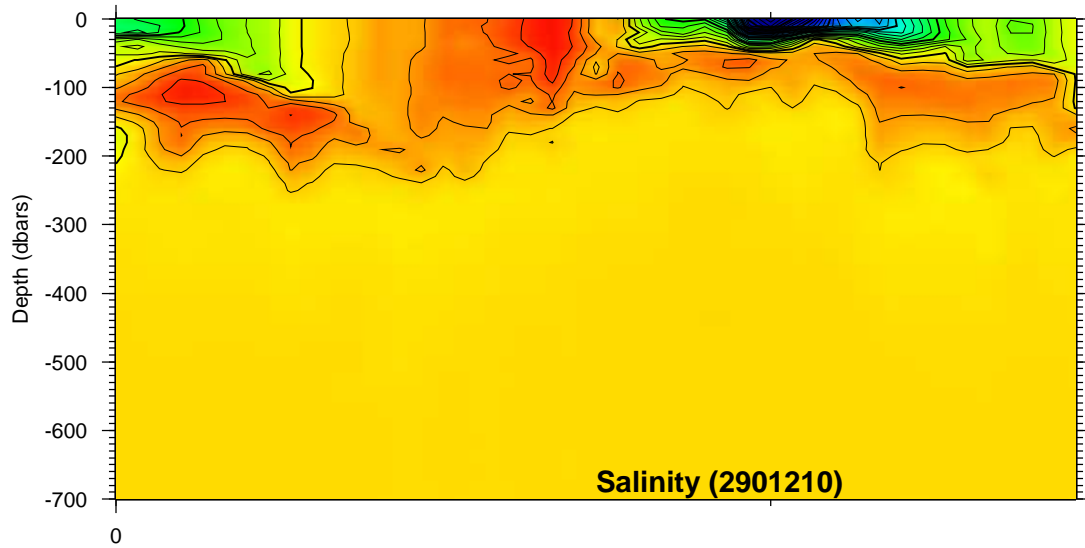
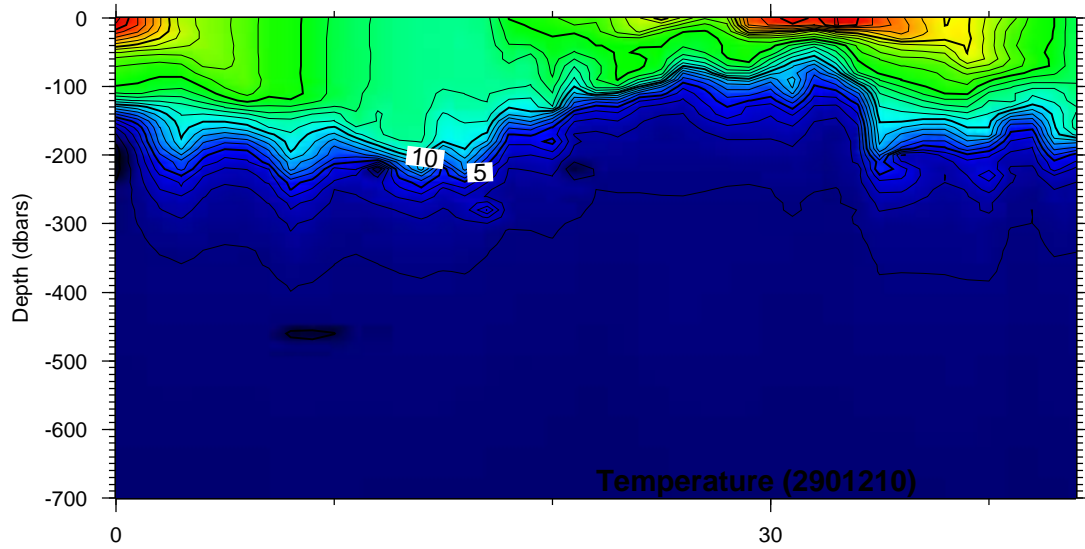
Time Series Plots for 2901207



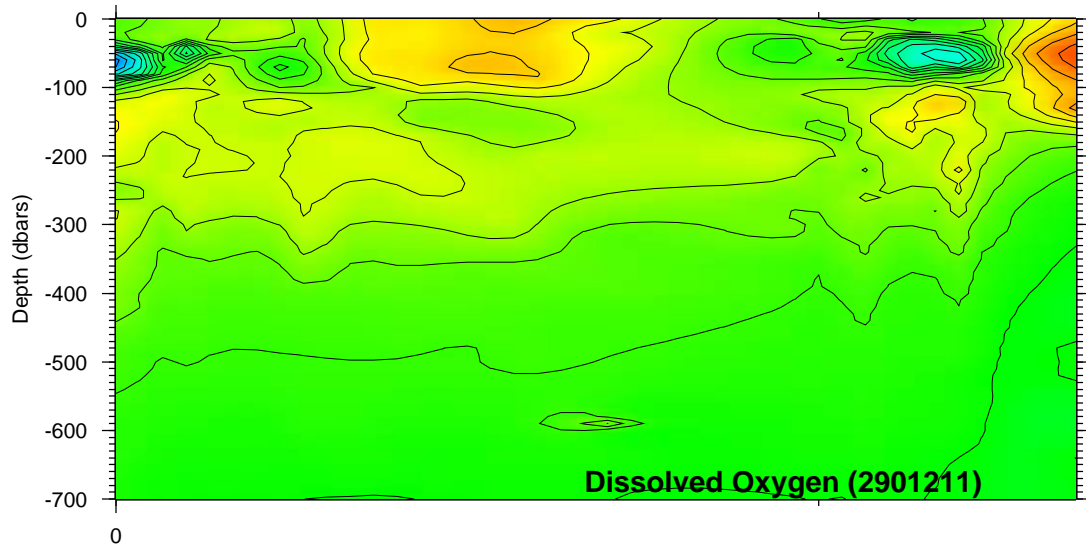
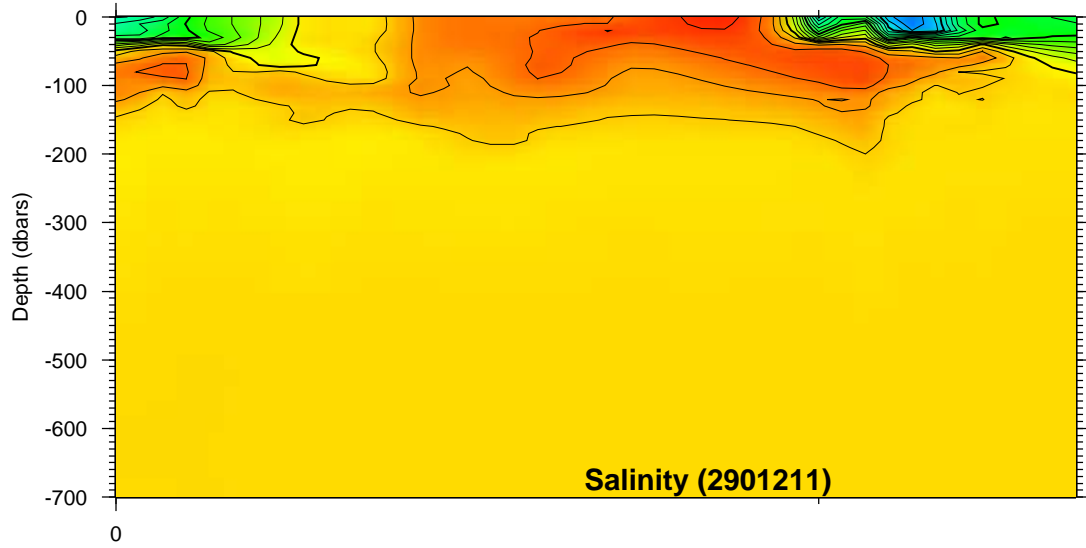
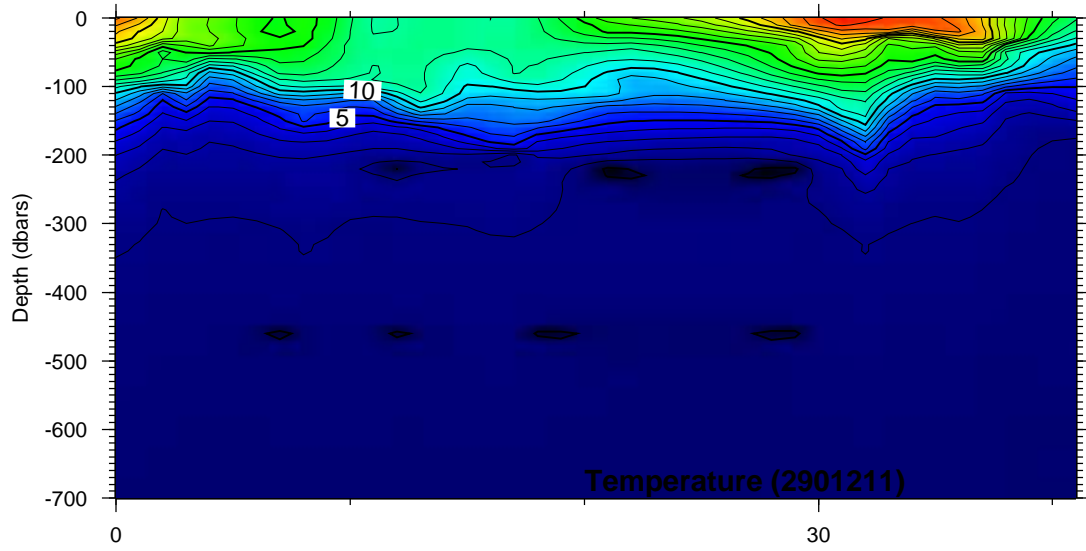
Time Series Plots for 2901208



Time Series Plots for 2901209

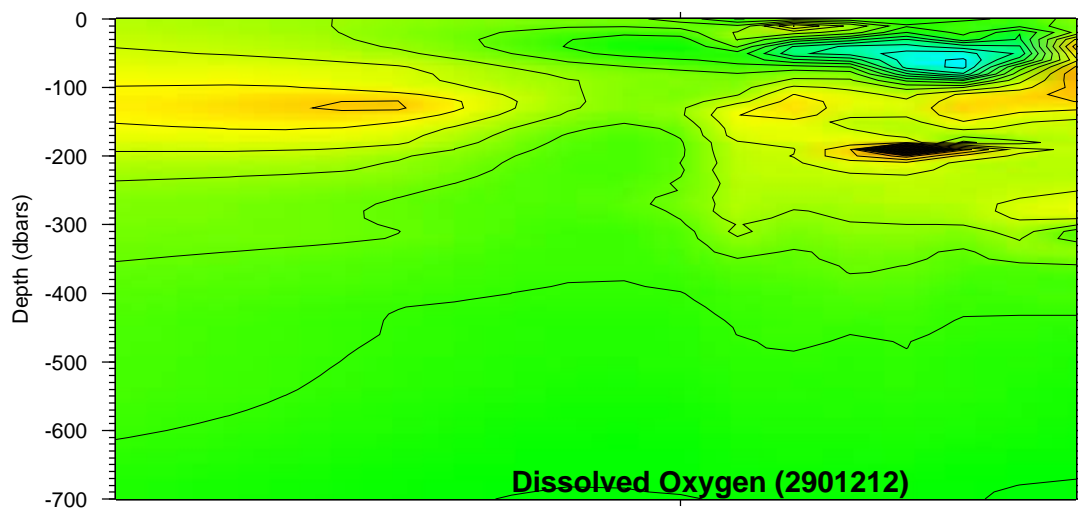
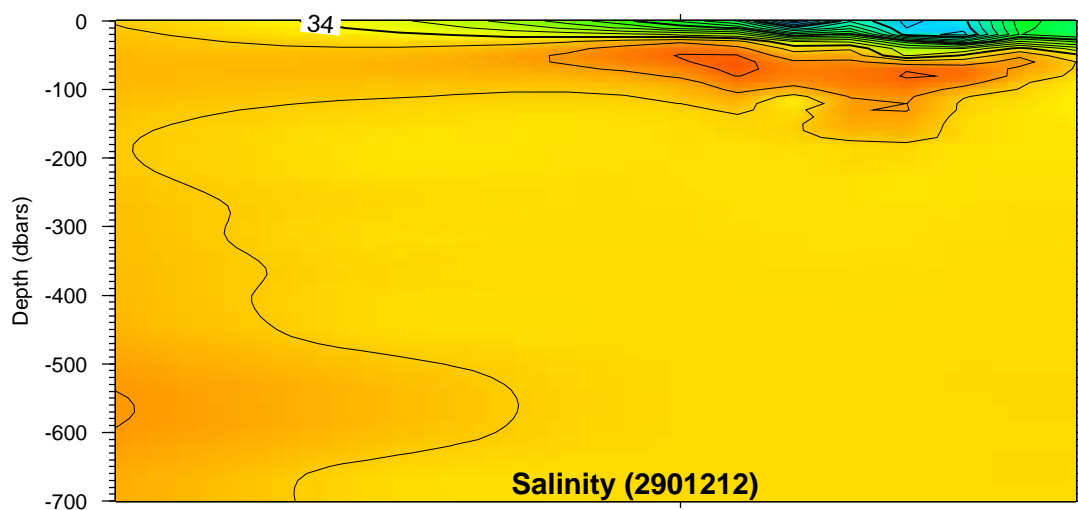
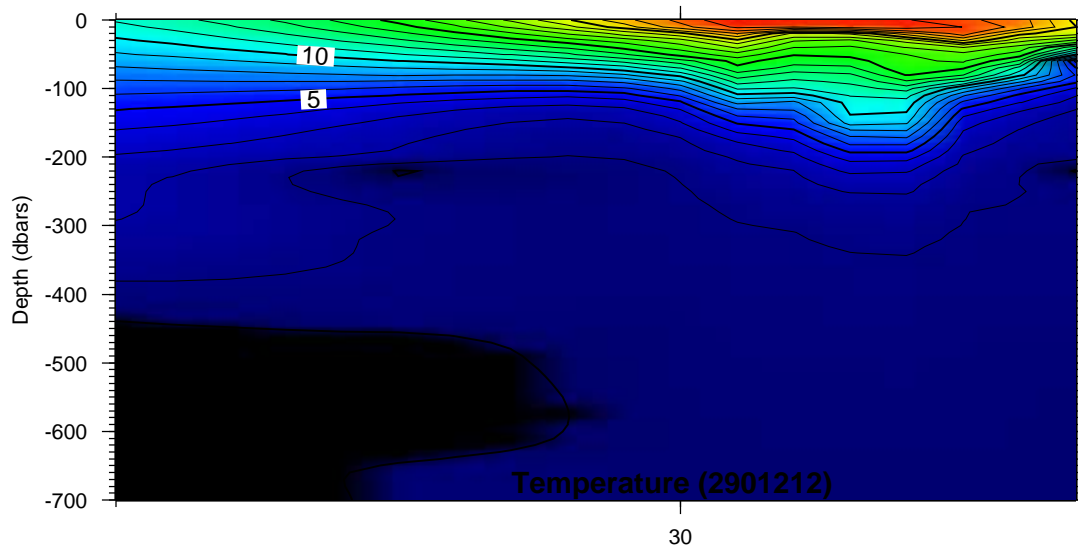


Time Series Plots for 2901210

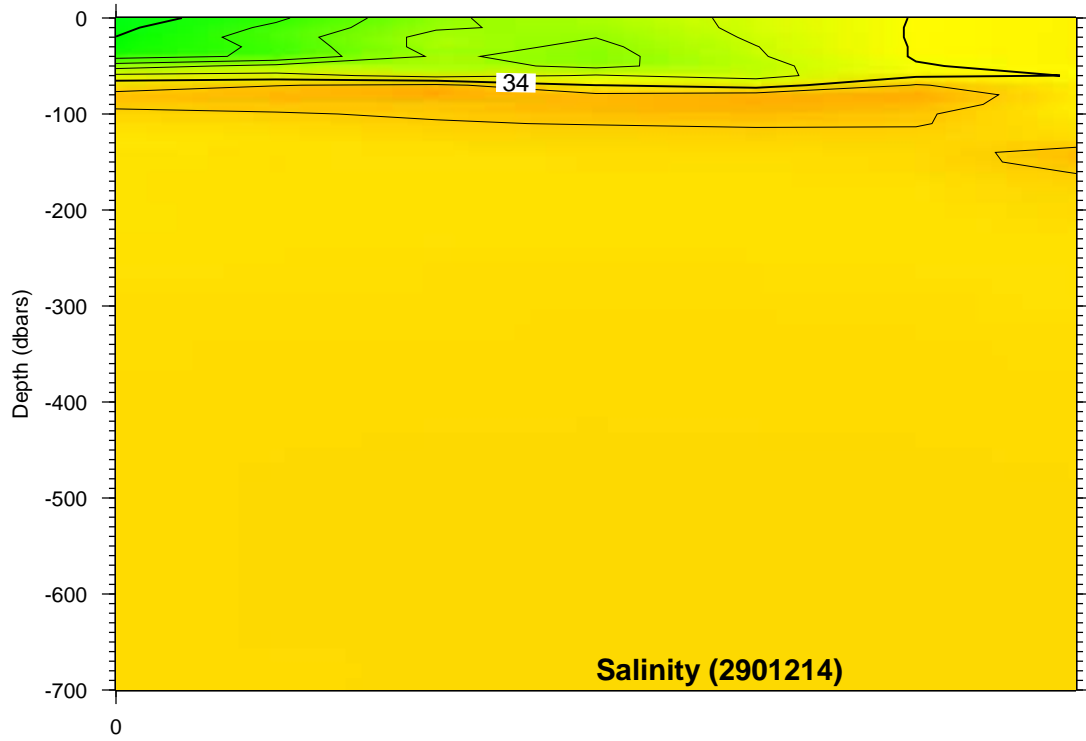
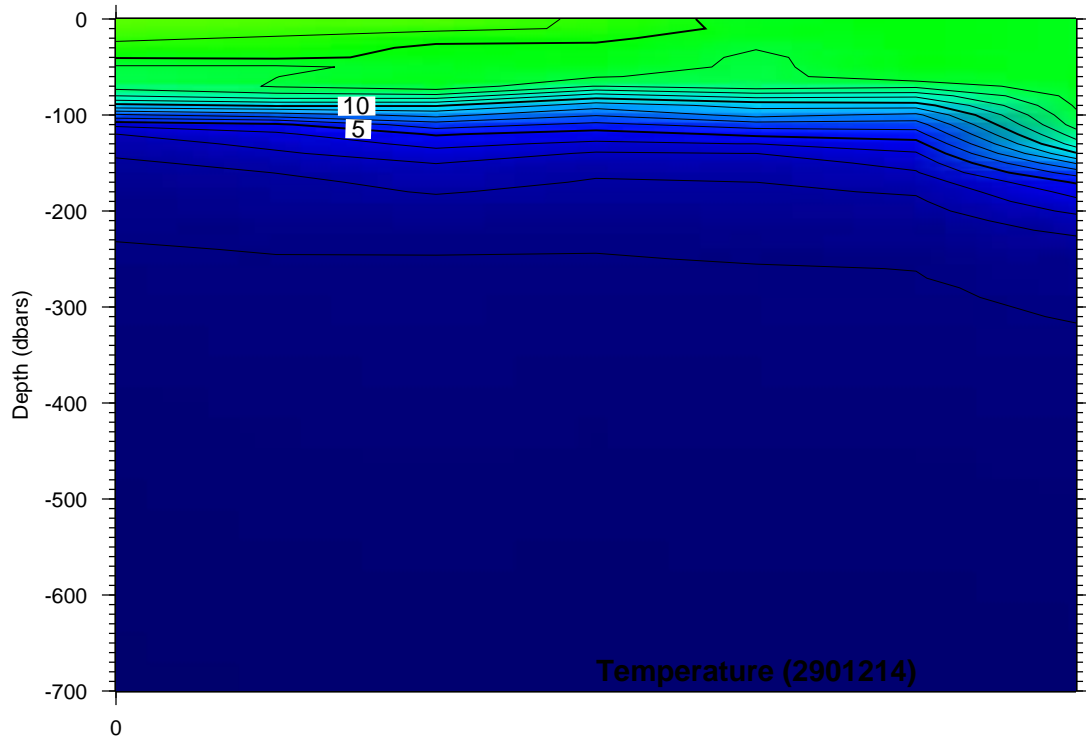


Time Series Plots for 2901211

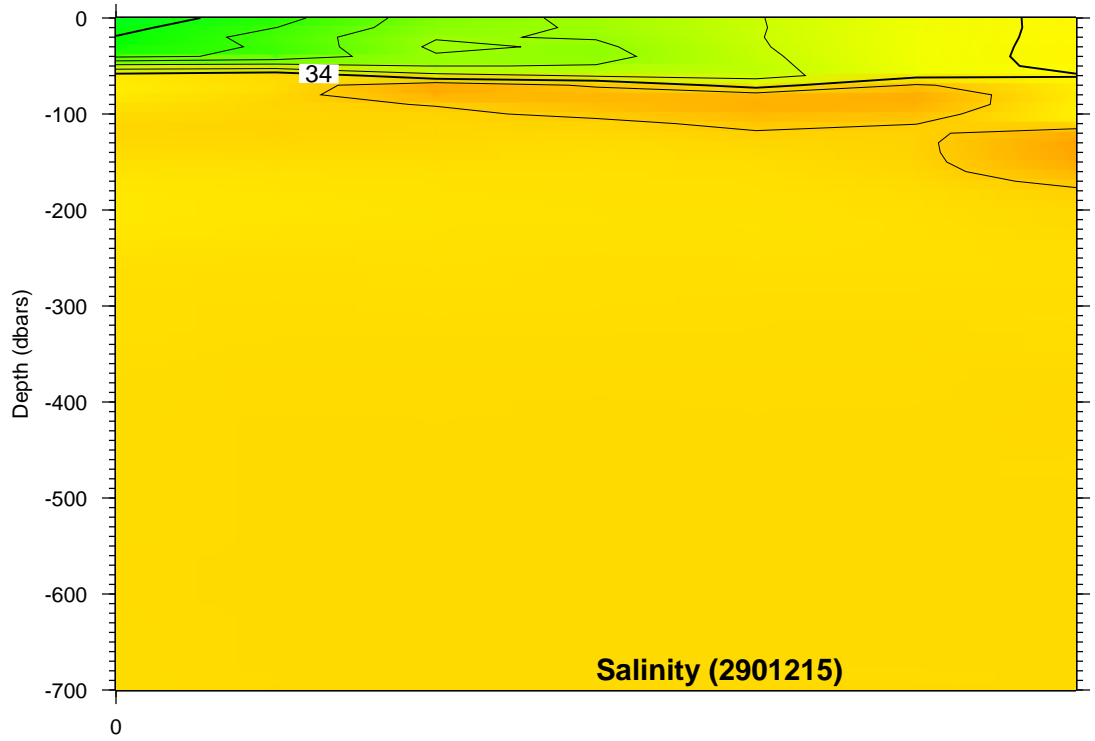
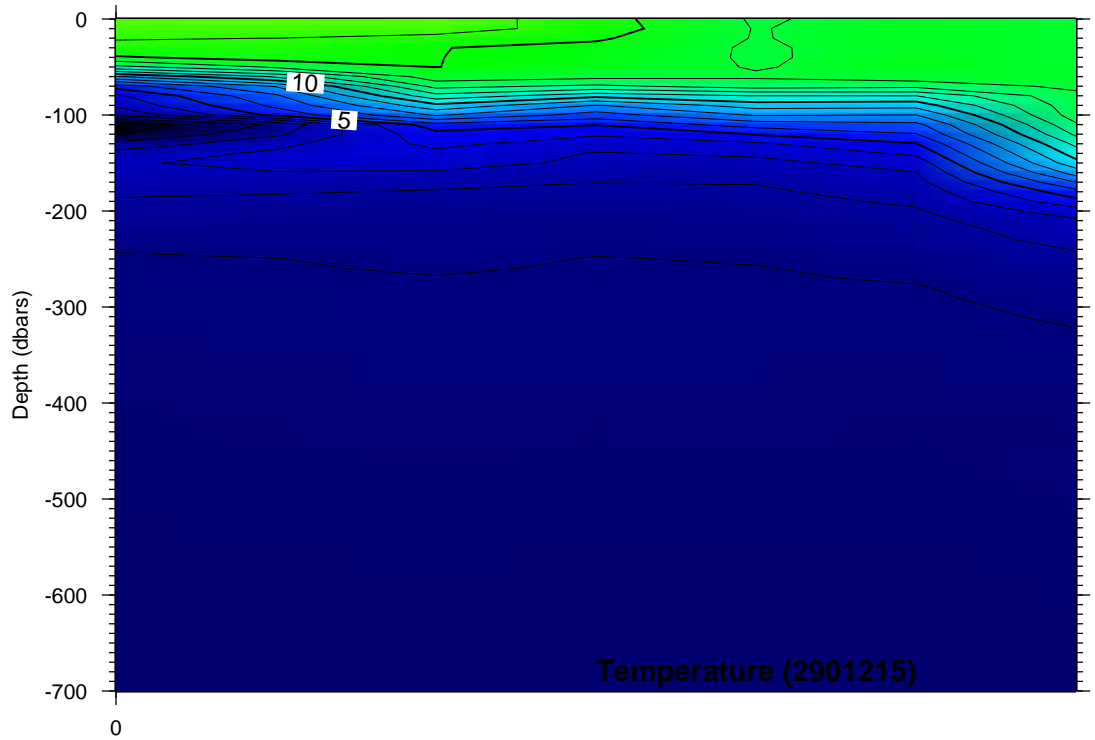




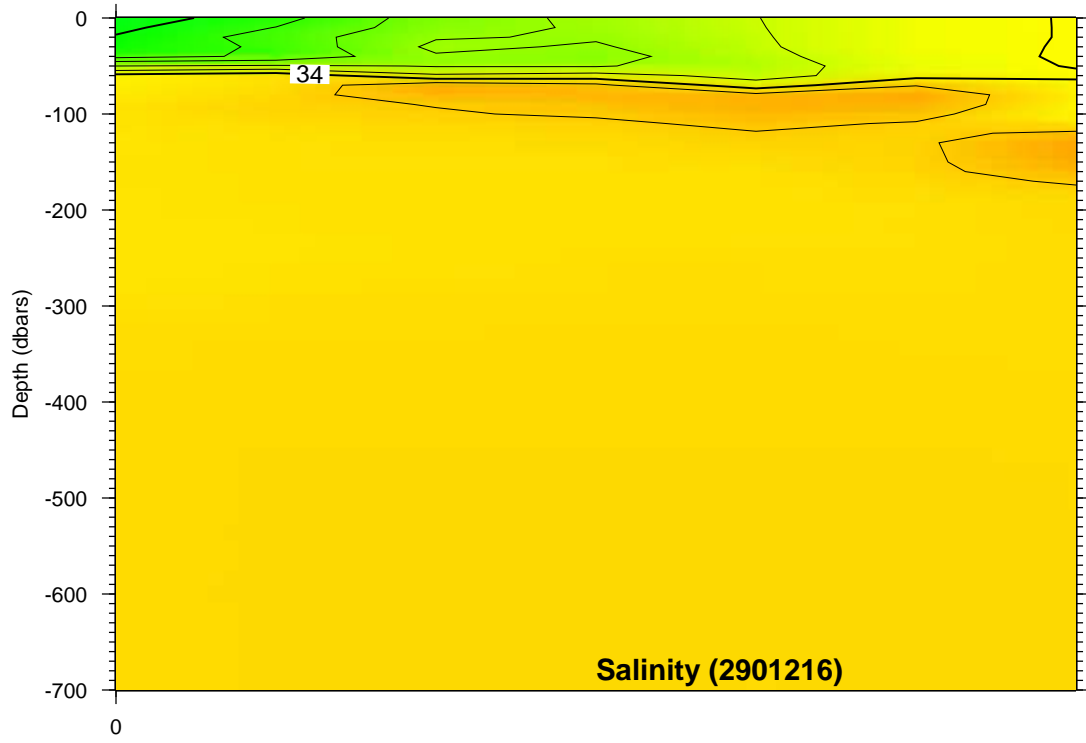
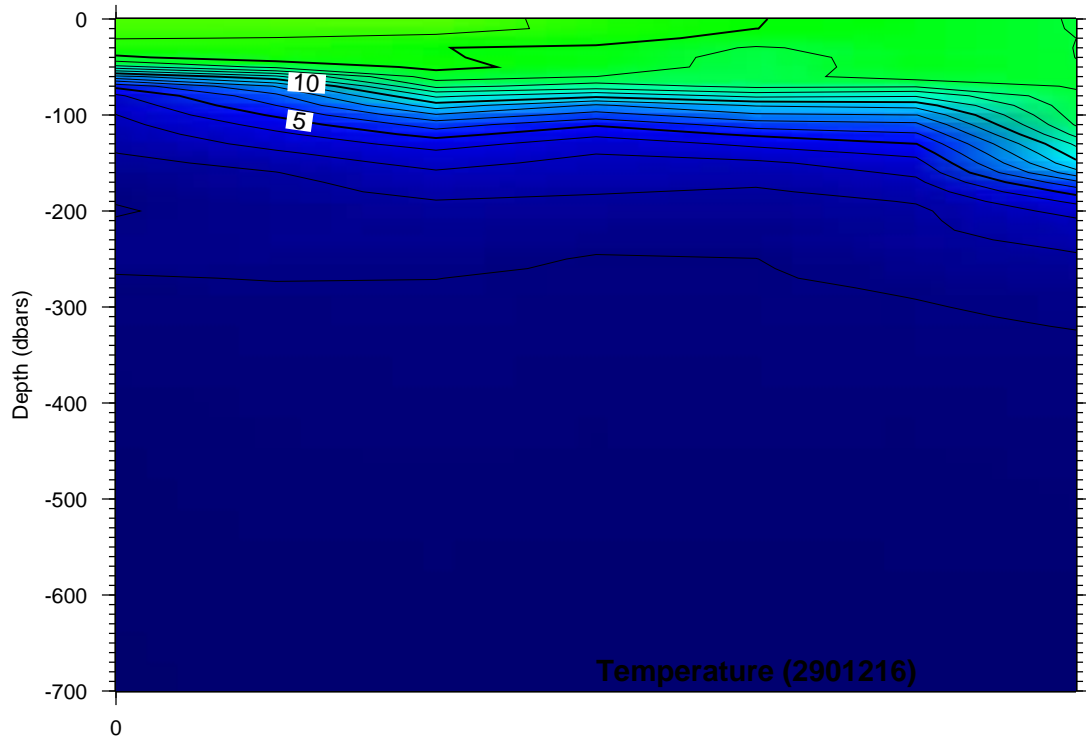
Time Series Plots for 2901212



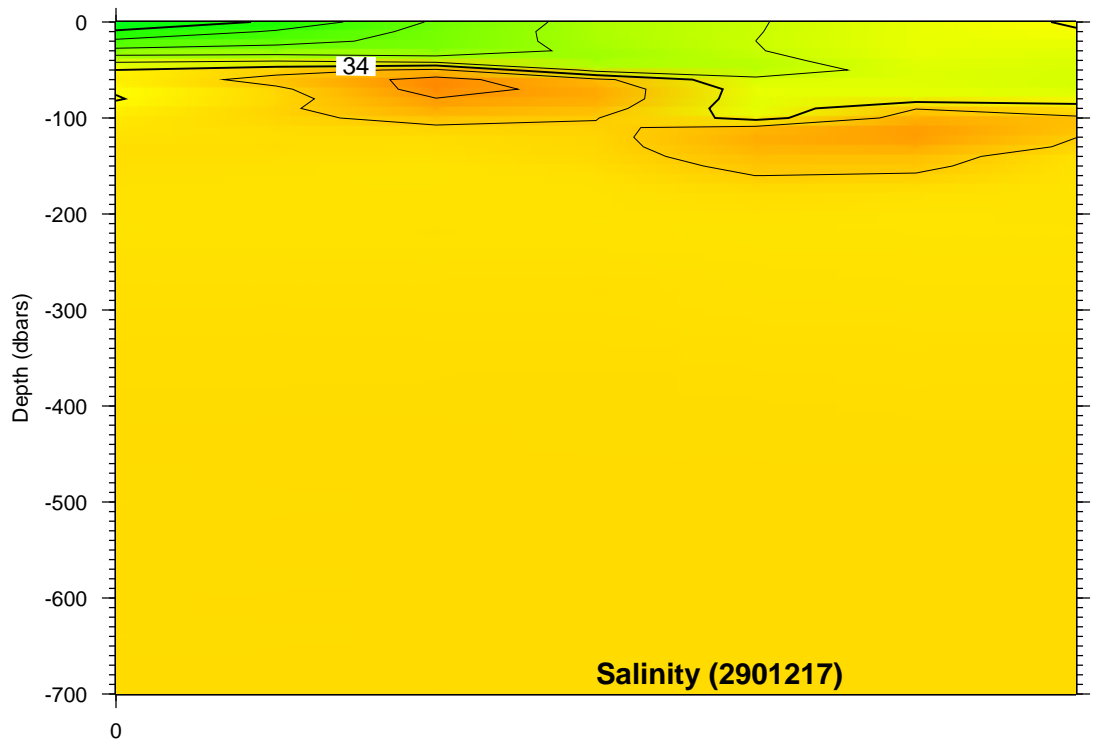
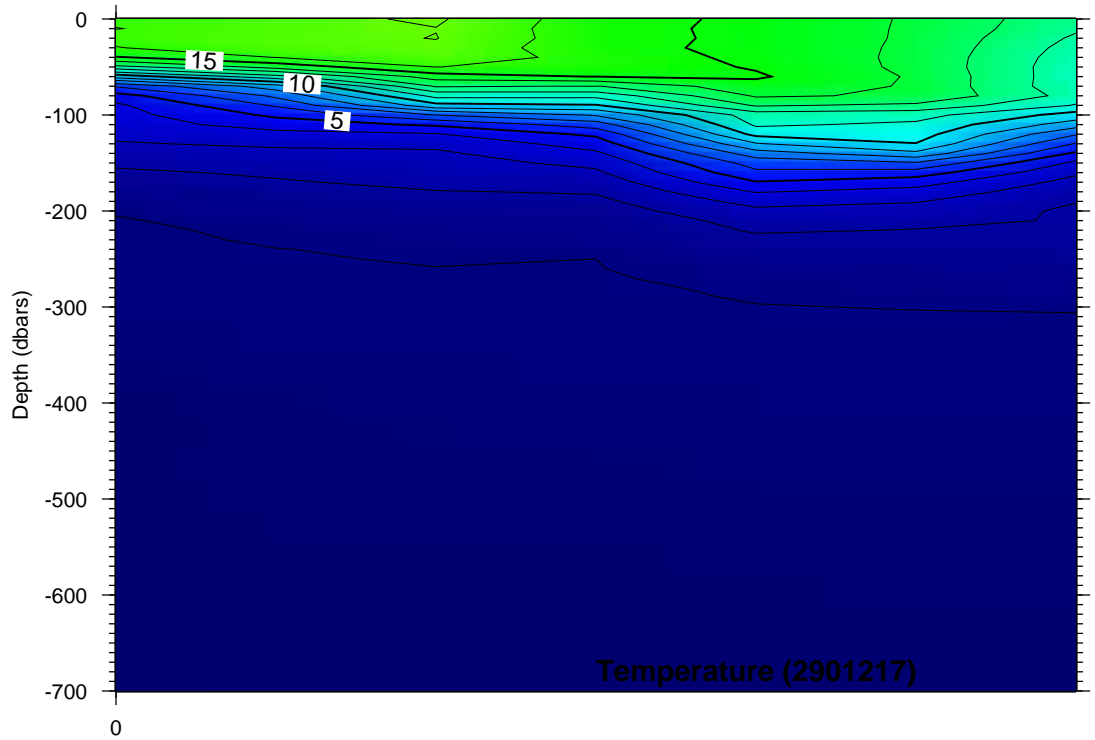
Time Series Plots for 2901214



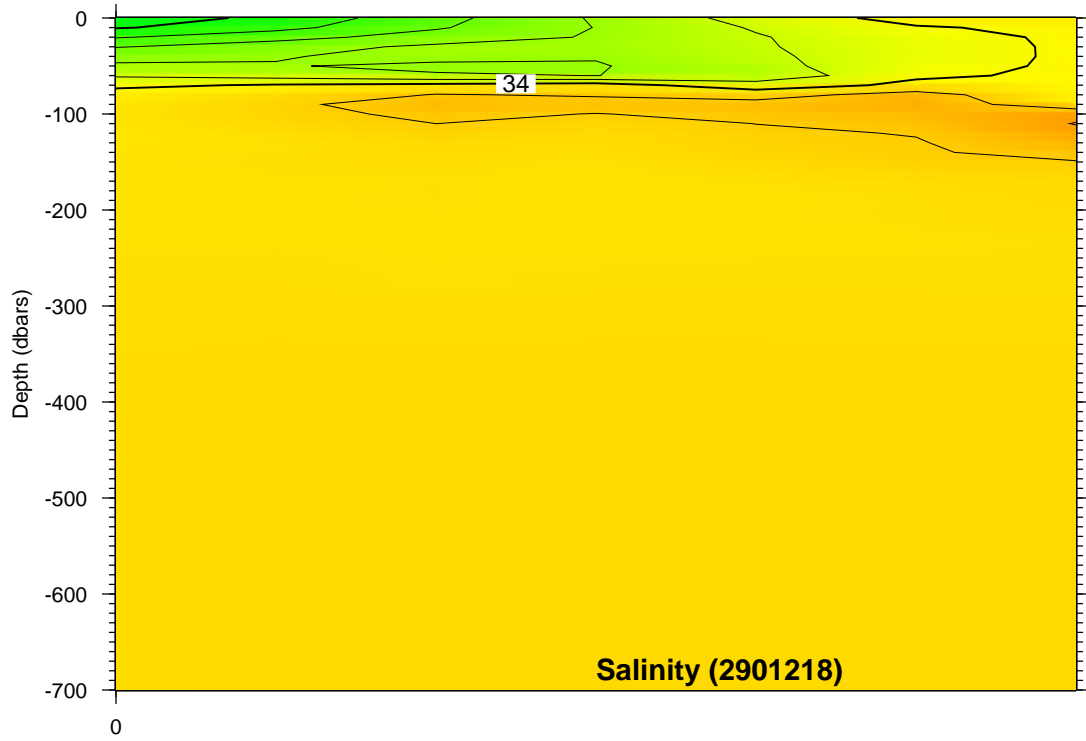
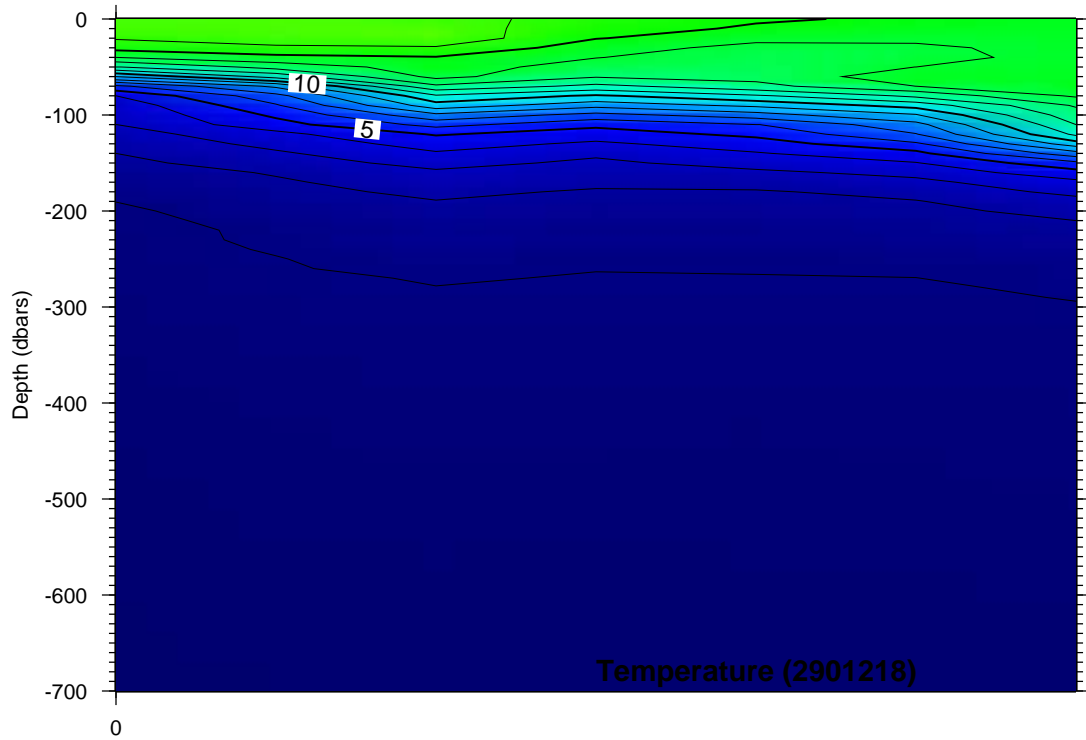
Time Series Plots for 2901215



Time Series Plots for 2901216



Time Series Plots for 2901217



Time Series Plots for 2901218