

# 2008년과 2012년 북극해에서의 태평양 기원수 관측 및 분포 비교 연구



조경호<sup>1</sup>, 강찬영<sup>1</sup>, 강성호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>극지해양환경연구부, 극지연구소  
\*교신저자: kcho@kopri.re.kr



**요약** 2007년과 2012년 여름, 북극해의 적치해 부근에서 해빙의 급속한 후퇴가 관측되었다. 이러한 후퇴의 원인은 대외력의 열역학적 역할, 고위도 해역에서의 온난화로 인한 용빙, 해수 표층의 태양복사열 증대 및 태평양과 대서양으로부터 유입된 해양 열에너지의 영향 등으로 파악되고 있다. 본 연구에서는 해빙 급속 후퇴 후 북극해 태평양 해역의 해수의 분포 및 변화 양상을 파악하기 위하여 2008년 여름 일본 내빙선 미라이호에서 관측한 해수 특성 자료와 2010년부터 2014년까지 극지연구소 채빙선 아라온호에서 관측한 해수 특성 자료를 분석하고 비교하였다. 특히 태평양 여름수의 수평적인 분포는 해빙 급속 후퇴 후 적치해역 내에서의 해양 열염 이동을 이해하는데 큰 역할을 한다. 또한 북부 적치해역에서의 수온의 연간 수직 자료를 분석하여 해빙 급속 후퇴 전후의 수직구조의 변화 및 북위 양상을 조사하였다. 그 결과 수심 100m 보다 깊은 중층의 수온 아노말리가 해빙 후퇴 전후 뚜렷하게 반대로 나타났으며 수심 100m 보다 얇은 표층에서는 중층 구조와 다른 경향을 보였다. 이는 북부 적치해역에서 바람, 해빙움직임 및 해수 순환에 대한 태평양 여름수와 태평양 겨울수의 반응이 서로 다르다는 것을 의미한다. 마지막으로 2008년과 2012년 해수 특성의 분포 비교를 통해 두 해빙 급속 후퇴 시기의 해양의 열역학적 역할에 대해서도 논의될 것이다.

## 1 서론

### 연구 배경

- 북극해 해빙 면적의 급속한 감소
  - 2007년 여름과 2012년 여름, 북극해 태평양 섹터에서 해빙이 급속하게 후퇴하는 것이 관측됨
  - 9월 평균 해빙 면적 감소율: 1981-2010 평균 해빙면적에 비해 10년당 13.7% 감소함 (Fig. 1a)
  - 여름철 최소 해빙면적: 2007년 9월 4.3 M km<sup>2</sup> (Fig. 1b), 2012년 9월 3.41 M km<sup>2</sup> (Fig. 1c)까지 감소함

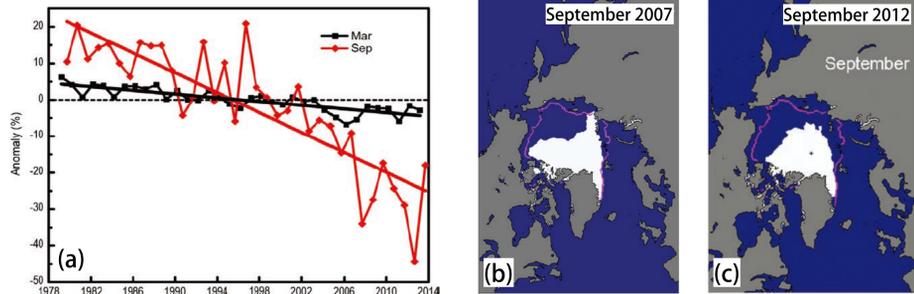


Fig.1. (a) Time series of sea ice extent anomalies (in %) relative to the average values for the period 1981-2010 (Perovich et al., 2014); (b) Sea ice extent in Sep 2007 (Richter-Menge et al., 2008), and (c) Sea ice extent in Sep 2012 (Perovich et al., 2013). The magenta lines indicate the median ice extents during the period 1979-2007.

### 북극해 해수 특성 변화

- 해수내 열량 증가로 인한 태평양 유입수층의 최대수온 1.5 °C 증가 (Timmermans et al., 2013)
- 2007년 여름, 직접적인 태양열 노출에 의한 해빙의 급속한 감소로 인해 보퍼트 자이어 표층수에 상당한 양의 열이 축적됨 (Fig. 2a)
- 2012년 여름, 1970년대 평균 여름 열량의 약 25% 증가 (Fig. 2a)
- 2007년 담수층의 최대 두께가 캐나다 쪽에 치우쳐 있는 반면, 2012년에는 북서쪽으로 이동 (Fig. 2b)
- 이는 북극해 규모의 바람장의 분포와 일치하였음 (Timmermans et al., 2012)
- 하지만 2008년과 2012년 적치 보더랜드에서의 열량 및 담수량 분포에 대한 비교연구는 수행된 바가 없음

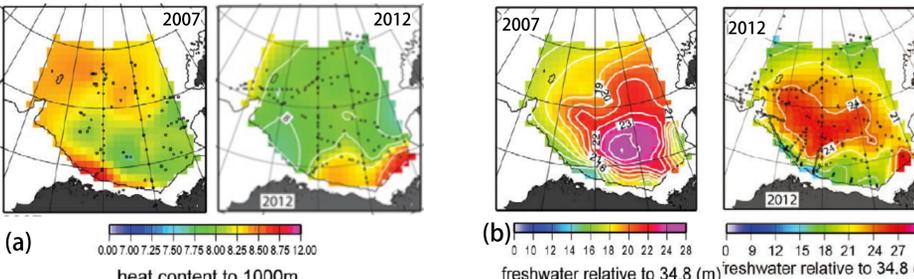


Fig.2. (a) Summer heat content ( $1 \times 10^9 \text{ J m}^{-2}$ ) in 2007 and 2012, (b) Summer freshwater content (m) in 2007 and 2012. Heat content is calculated relative to freezing temperature in the upper 1000 m of the water column and freshwater content is calculated relative to a reference salinity of 34.8. The figures are excerpted from the reference (Proshutinsky et al., 2008; Timmermans et al., 2012).

### 연구 목적

- 따라서, 본 연구의 목적은 2008년과 2012년 수행된 북극해 해양환경 조사 물리특성 자료를 이용하여 2008년과 2012년 여름 시기 동안 적치 보더랜드에서의 태평양 기원수의 시·공간적 분포와 변화 양상을 파악하고 비교 연구하는 것임

## 2 연구방법 및 자료

### 아래온 북극해 하계 탐사 (2010년~2014년)

- 채빙연구선 아라온 혹은 북극해에 설치된 관측 장비들
  - CTD, lowered ADCP, XCTD
  - Ocean Mooring System
  - Bio/Geo/Chemical equipment

	2010	2011	2012	2013	2014
CTD	38	18	44	16	32
XCTD	-	33	48	36	51
Duration	07/20-08/10	08/02-08/16	08/04-09/06	08/24-09/01	08/01-08/23

Table 1. A number of CTD and XCTD stations and duration of each survey.

### 현장에서 관측된 항목들

- Temperature, salinity, DO, fluorescence, PAR, water velocity, transmission, backscatter,
- Atmospheric components,
- Primary production and new production,
- Chlorophyll-a and HPLC,
- Phytoplankton, Zooplankton compositions,
- Nutrients, POC, PON, DOC, DON, DOP,
- N<sub>2</sub>O gas, pCO<sub>2</sub>, DIC, pH, SS, TA,
- Micro-zooplankton biomass, composition, and grazing,
- Bacterial and virus biomass



### 기타 자료 수집

- 해양 물리특성 자료
  - 2008년 일본 내빙선 미라이호에서 관측된 물리자료
  - 수온, 염분 등
- 기타 수집된 항목들
  - Sea ice concentration
  - Sea ice thickness
  - Sea ice coverage
  - Sea ice motion vector
  - Optimal Interpolated SST
  - NCEP wind
  - ITPs data
  - IMB buoy, UpTempO buoy data

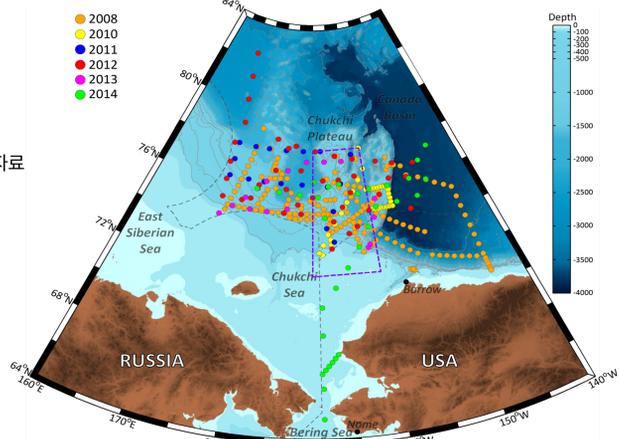


Fig.3. A map of hydrographic stations surveyed during 2010-2014 summer cruises, including 2008 survey stations explored by the R/V Mirai (JAMSTEC).

## 3 연구 결과

### 해수특성분포

#### 1) 수온-염분 다이어그램

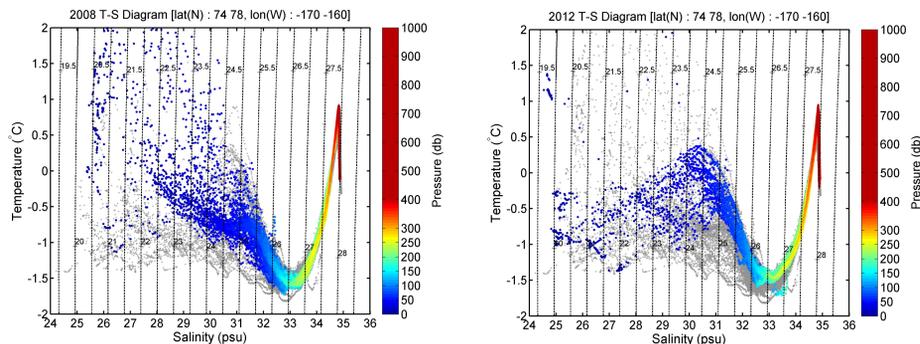


Fig.4. T-S diagrams of water masses located in the selected area (Chukchi Borderland) for 2008 (left) and 2012 (right).

#### 2) Chukchi Plateau에서의 수직 수온 및 염분 아노말리 분포 (170~160°W, 74~78°N)

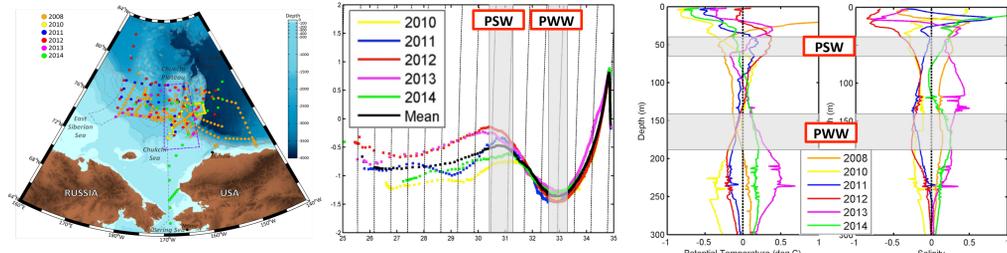


Fig.5. A map of hydrographic stations with the area of the Chukchi Borderland (left), diagrams of  $\theta$ -S averaged over the selected area in 2010-2014 (middle), and vertical structures of  $\theta$  and S anomalies (right). Shading boxes indicate PSW (~50 m) and PWW (150~200 m).

### 수평적인 공간분포

- 역학적 고도와 해빙모션 분포
- Heat content 분포
- Freshwater content 분포

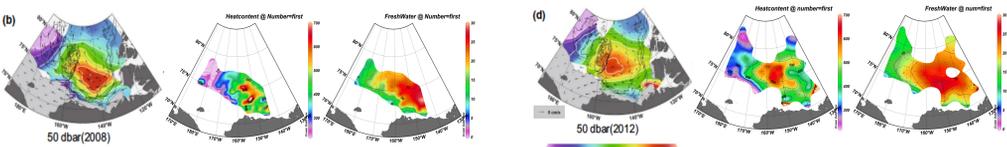


Fig.6. Horizontal distributions of dynamic height at 50 dbar (Yoshizawa et al., 2015), heat content (20<p<150 dbar), and freshwater content (0<p<400dbar reference S=34.8 psu) during summers in 2008 (left) and 2012 (right).

### 수직적인 공간분포

- 남-북 단면에서의 수온, 염분
  - Chukchi Plateau
  - Northwind Ridge
- 동-서 단면에서의 수온, 염분
  - 위도 76도
  - 위도 75도

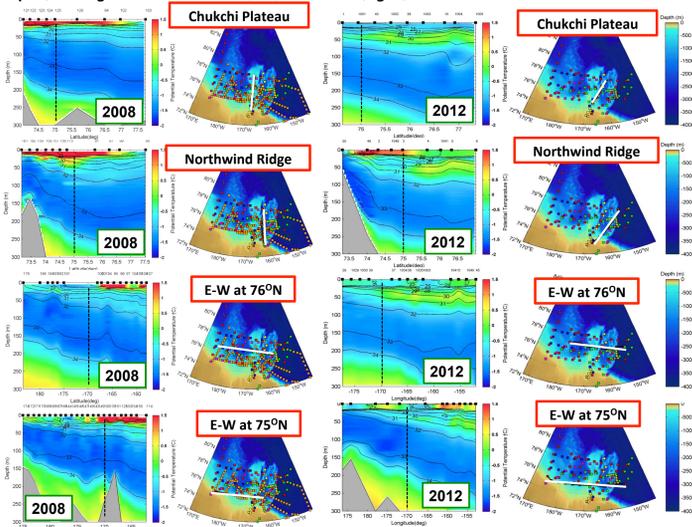


Fig.7. Vertical profiles of potential temperature and salinity along N-S transects of the Chukchi Plateau and the Northwind Ridge and along E-W transects at 75°N and 76°N latitudes during summers in 2008 (left) and 2012 (right).

## 4 토의 및 결론

- ◆ 최근 10년 동안, 태평양 북극해 지역에서 해빙 감소가 심했던 2007년과 2012년 이후 관측된 2008년과 2012년 물리자료를 토대로 적치해 북부, Chukchi Borderland 해역에서의 해수 물리특성을 비교함.
- ◆ 최근 5년간 평균을 토대로 계산된 수온 및 염분의 아노말리 분석에서, 2008년과 2012년 여름의 수직구조가 정반대의 아노말리가 나타났음.
- ◆ 특히, 수온의 경우, 2008년과 2012년 모두 태평양 여름수와 태평양 겨울수의 경향이 반대로 나타났으며, 염분의 경우 두 해 여름 모두 태평양 여름수와 태평양 겨울수의 아노말리가 서로 같은 경향을 보임.
- ◆ 수평적인 공간 분포 및 수직적인 공간분포 또한 2008년과 2012년이 다른 양상을 보임.

### Acknowledgement

- This research is a part of the project (PM14040) titled 'Korea-Polar Ocean in Rapid Transition (K-PORT)' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, South Korea.  
- 2008년 여름 내빙 연구선 미라이호에서 관측한 물리자료를 제공해 주신 일본의 JAMSTEC과 코지 시마다 교수께 감사의 말씀을 드립니다.