

복합 위성 자료를 이용한 Ross Polynya의 시공간적인 변동성에 관한 연구

Temporal and Spatial Variability of Ross polynya using Multi-Satellite Observations

조영헌^{1**}·박진구^{1*}·이대혁¹·김현철²

Yeoung-Heon Jo, Jinku Park, Dae-Hyuk Lee, Hyun-Cheol Kim

1 부산대학교 해양학과

2 한국해양과학기술원 부설극지연구소

Abstract

Polynya는 대기-해양-해빙의 상호 작용에 의해 생성되는 open sea 지역이며 전 지구 및 지역적 환경 변화에 매우 민감한 지역이다. 이러한 상호작용을 이해하기 위하여 본 연구에서는 위성 자료를 이용하여 남극의 해빙에 나타나는 polynya의 시공간적인 변동성을 분석하고 대기와의 상호 작용이 polynya에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 특히 지난 10년간 남극에서 가장 크게 나타난 Ross Sea의 polynya(이하 Ross polynya)를 집중적으로 연구하였다.

이 연구의 주된 목적은 (1)남극의 대표적인 polynya인 Ross polynya의 경년 변동 특성을 파악하고, (2) 이러한 변동성이 지구 온난화에 따른 국지적 기후 변동과 어떤 관계를 지니고 있는지 파악하고자 하는 것이다. 본 연구에서는 2002년 6월부터 2011년 10월까지, Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E)의 산출물인 SST, wind speed, cloud vapor, atmospheric water vapor와 rain rate를 사용했으며 추가적으로 sea ice extent를 이용하였다. 또한 Gravity Recovery and Climate Experiment

(GRACE) 위성 자료를 이용하여 국지적인 기상 변화에 따른 인접 육상 빙하의 변화를 연구하고자 하였다. 구체적인 연구 결과는 다음과 같다. Ross polynya가 일반적으로 12월 말 경에 출현하여 약 77.5일 동안 지속되며 Ross polynya의 규모는 2011년에 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. Ross polynya에 인접한 해역의 SST는 melting ice에 따라 연간 약 0.054 °C로 감소하는 양상을 보여주며 wind speed, water vapor와 rain rate의 변화량은 각각 약 0.054 m s⁻¹ yr⁻¹, -0.027 mm yr⁻¹ 그리고 0.001 mm hr⁻¹yr⁻¹의 변화율을 나타낸다. GRACE 위성 자료의 결과는 남극 남서부의 land mass가 증가하는 양상을 나타내며 이는 polynya의 증가에 따라 발생한 수증기가 바람을 따라 대상 지역으로 이동하며, 강수에 의해 집적된 결과로 판단된다. 또한 본 연구에서는 추가적으로 다른 전 지구적 및 지역적 환경 요인의 특성과의 상관성을 분석하고 총체적인 기후 변화가 Ross polynya와 주변 지역의 환경적인 변화에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다.

1. Introduction

Polynya는 대기-해양-해빙의 상호 작용에 의해 생성되는 open sea 지역이며 전 지구 및 지역적 환경 변화에 매우 민감한 지역이다. Polynya는 대기와 해양의 열 교환에 따라 형성되며 발생 기작에 따라 두 가지의 형태로 구분될 수 있다(Smith *et al.*, 1990). 첫째, 대기와 해양의 온도차에 의해 발생하는 open ocean에서 나타나는 polynya인 sensible heat polynya와 잠열 교환이 발달하는, 연안 지역에 나타나는 latent heat polynya로 구분된다. 본 연구 지역인 Ross Sea는 경도 180°에 위치한 해역으로 동쪽으로는 Victoria Land, 서쪽으로는 Marie Byrd Land가 위치하고 Ross Ice Shelf가 존재하는 만 형태의 지형이다(Figure 1).

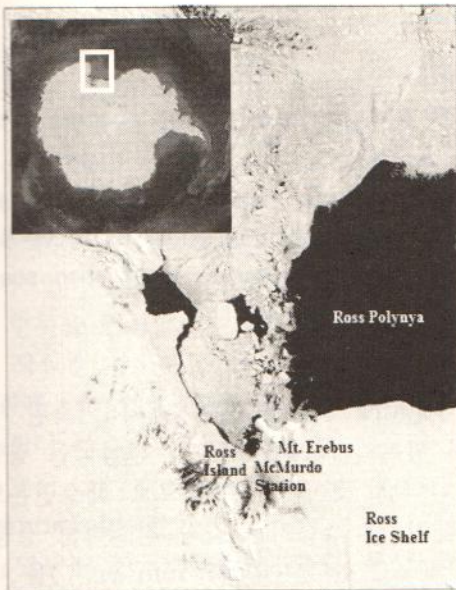


Figure 1. Location of Ross sea and an image of Aqua MODIS on the Ross Sea polynya, acquired Dec. 13, 2007 (photo by NASA)

동남극 육상에 위치한 Mt. Trans-

antarctic에 의하여 해양으로 불어 내려오는 katabatic wind가 발생하기 유리한 조건을 지녔으며, 이로 인해 발생하는 강력한 바람 응력이 연안 지역에 생성된 해빙을 외해 방향으로 밀어내며 coastal polynya를 형성하고, 대기와 해수의 온도차에 의해 새롭게 빙결되는 해수면의 얼음조차도 생성됨과 동시에 지속적인 바람에 의해 밀려나며 그 형태를 유지하게 된다. 이러한 과정을 통해 coastal polynya에서 발생하는 대기로의 heat loss는 차갑고 무거운 해수를 해저면으로 침강시키며 Antarctic Bottom Water를 생성시키는 중요한 지역이다 (Figure 2)

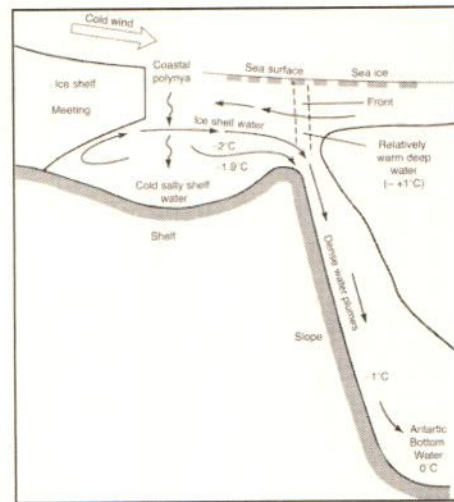


Figure 2. Mechanisms of the formation of coastal polynyas and the formation of Antarctic Bottom Water in the Antarctic continental shelf (Gordon, 2001).

따라서 본 연구에서는 남극의 sea ice에 나타나는 polynya의 시공간적인 변동성을 분석하고 대기와의 상호 작용이 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 특히 지난 10년간 남극에서 상당한 규모로 나타난 Ross Sea의 polynya(이하 Ross polynya)를 집

중적으로 연구하였다. 결과적으로 이 연구의 주된 목적은 (1)남극의 대표적인 polynya인 Ross polynya의 경년 변동 특성을 파악하고, (2) 이러한 변동성이 지구 온난화에 따른 국지적 기후 변동과 어떤 관계를 지니고 있는지 파악하고자 하는 것이다.

2. Data and Method

Polynya의 규모를 산정하기 위해서 본 연구에서는 2002년 6월부터 2011년 10월까지 Aqua위성에 탑재된 6개의 센서 중 하나인 Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS (AMSR-E)를 사용하였다. AMSR 관측 자료는 지구 표면의 해상풍, 습도, 강수, 해수면 온도와 같은 기상 관측 정보를 제공 하며 또한 sea ice extent를 동시에 제공한다. 이러한 자료를 이용하여 polynya의 규모 및 분포의 변화 특성을 남극 전체 sea ice의 규모에 대한 비율을 산정하고 최소 자승법을 통한 변화 추세를 살펴보았으며 기상 인자와의 상관관계 분석을 통하여 기상 인자와의 관계를 파악하고자 하였다. 또한 국지적인 기상 변동 추이가 인접 지역의 빙하 환경 변화에 미치는 영향에 대하여 연구하기 위하여 Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) 위성 자료를 이용하여 water mass의 변동을 살펴보았다.

3. Result

Figure 3의 위 그림은 AMSR-E 자료의 sea ice extent를 이용하여 Ross polynya의 출현 기간을 나타낸 것이다. 일반적으로 12월말에 발생하기 시작한 polynya는 2월까지 지속되다가 점차 소멸 되는 것으로 나타나며 sea ice의 경계가 남극 대륙 방향으로 후퇴함에 따라 open sea와 연결된다. 평균적인 출현 기간은 약 77.5일이며

2006년에 가장 긴 기간인 95일로 나타났으며 가장 짧은 기간으로 기록된 2009년에 약 40일로 나타났다. Figure 3의 아래 그림은 open sea의 규모를 시계열로 나타낸 것이며 단위는 AMSR의 격자의 수이며 AMSR의 격자가 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 인 것을 고려하면 된다. 이를 통해 polynya의 규모를 유추할 수 있으며 2011년도에 가장 큰 규모의 polynya가 발생하였으며 이 자료만으로 판단하였을 때 polynya의 규모 변화는 특정한 주기성을 띄는 것으로 보인다.

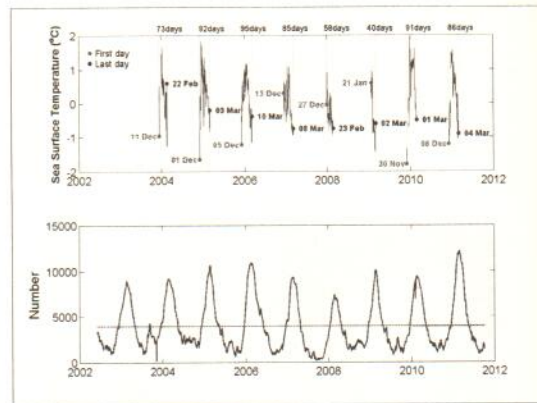


Figure 3. the opening and closing of Ross polynya(top) and timeseries of open sea in the study area(bottom).

Figure 4는 AMSR-E에서 관측된 몇 가지 항목의 시계열 자료와 선형적인 경향을 나타낸 것이며 전반적으로 해수면온도와 대기 중 수증기는 각각 감소하는 경향($-0.140^\circ\text{C yr}^{-1}$, -0.027 mm yr^{-1})을 나타내며 풍속과 강우률은 증가하는 경향($0.045\text{ m s}^{-1}\text{ yr}^{-1}$, $0.001\text{ mm hr}^{-1}\text{ yr}^{-1}$)을 나타내었다.

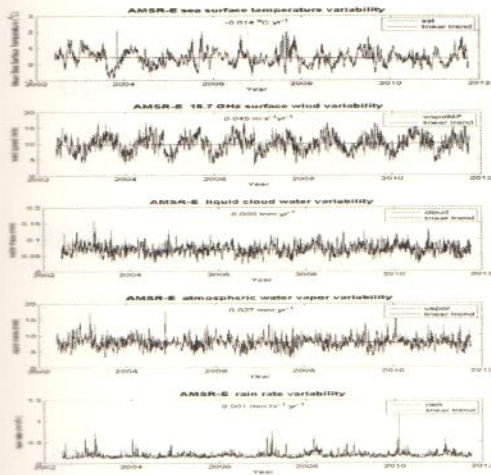


Figure 4. Timeseries of products from AMSR-E (from top to bottom, SST, Wind speed, cloud vapor, atmospheric vapor, rain rate)

4. Future work

Ross polynya의 변동 특성과 지역적인 대기 변화와의 상호 작용을 이해하기 위하여 연구 지역 내의 sea ice의 변동 패턴의 정확한 시그널을 찾아내기 위하여 몇 가지 통계적인 방법을 적용할 예정이며 동시에 대기 인자에서의 시그널과 비교하여 연관된 항목을 분석할 것이다. 또한 GRACE 위성 자료를 통하여 인접 지역의 육상 빙하 환경에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 한다.

Acknowledge

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 극지연구소 (KOPRI)의 연구 과제인 '서남극해 원격 탐사'의 일환으로 수행되었습니다.

Reference

Smith, Stuart D., Robin D. Muench, and Carol H. Pease. "Polynyas and leads: An overview of physical

processes and environment." *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012) 95.C6 (1990): 9461-9479.