

원격탐사 자료를 활용한 Ross polynya에서의 물리-생물적 상호작용에 관한 연구 (Physical-biological interaction in Ross polynya using Satellite Observations)

이대혁^{1*}, 조영현^{1**}, 박진구¹, 김현철²

Dae-Hyuk Lee, Young-Heon Jo, Jinku Park and Hyeon-Cheol Kim

1 부산대학교 해양학과

2 한국해양과학기술원 부설극지연구소

Abstract

본 연구의 목적은 원격탐사 자료를 이용하여 polynya의 형성, 변화 및 발달 과정을 이해하고 물리-생물의 상호작용을 분석하는 데 있다. Ross polynya는 Ross Sea(면적 약 960,000km², 70°S-85°S, 165°E - 155°W)에 존재하는 두꺼운 유빙(pack ice) 가운데 형성되어 있는 open sea 형태의 지역이다. 이러한 Ross polynya는 제한된 접근성에 의해 현장 관측의 한계가 있지만 원격탐사로써 관측이 가능한 지역이다(Martin, 2001).

본 연구는 Ross polynya 형태 및 크기의 시공간적 변동 특성을 분석하고, 더 나아가 해당 지역 내에서 발생하는 물리-생물적 상호작용에 관하여 연구하였다. 물리적 요인으로는 Sea Surface Temperature (SST)와 sea ice concentration을 생물적 요인으로는 Chlorophyll-a (Chl-a)를 고려하여 각 서로 간의 관계성을 파악하였다. 연구 자료는 2002년 7월부터 2013년 12월까지 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)의 SST와 Chl-a, SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)와 SSMIS (Special Sensor Microwave imager Sounder)의 sea ice concentration을 이용하였다.

기본적인 연구 결과는, Ross polynya의 생성과 소멸이 SST에 민감한 것으로 나타났으며, 이에 따라 Chl-a가 변동하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 토대로 전 지구적 기후 변화에 민감한 polynya를 면밀히 연구하여 향후 서남극해의 물리-생물적 요인이 어떠한 변화 양상을 가질 것인지 예측할 수 있는 지표가 될 것으로 기대한다.

1. Introduction

Ross Sea는 면적 약 960,000 km², 70°S - 85°S, 165°E - 155°W 사이에 존재하며, 동쪽은 Marie Byrd Land, 서쪽은 Transantarctic Mountains이 경계가 되며, 77°E 이남은 Ross ice shelf로 덮여 있다. 매년 12월~2월에 기온 및 해수의 온도가 상승함에 따라, sea ice가 녹기 시작하고, 바람의 영향을 잘 받을 수 있는 수준에 도달하면, Ross Sea의 연안지역에서 latent heat의 방출로 인해 발생하는 polynya를 형성하게 된다. polynya는 극지방의 두꺼운 유빙(pack ice) 가운데 형성되어 있는 open sea 형태의 지역을 말하며(Martin S. 2001), polynya의 형태 및 크기의 시공간적 변동 특성에 따라

Ross ice shelf과 생태계는 상당한 영향을 받는다.

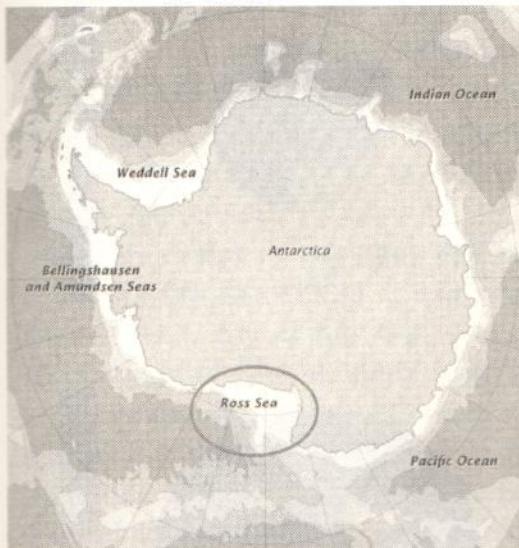


Figure 1. Location of the Ross Sea in the Antarctica (NASA map by Robert Simmon)

Figure 2는 2002년부터 2013년까지 Ross polynya의 sea ice concentration percent의 변동성을 보여준다. 전체적으로 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있으나, 매년 2월은 불규칙하게 변동하고 있다. 1-2월의 sea ice concentration percent의 수치가 평년에 비해 작게 나타날 때, 다른 해에 비해 polynya가 상대적으로 훨씬 더 크게 발생한다. 공간적으로 훨씬 더 크게 발생하게 되면, 0°C 이상의 따뜻한 해수와 차가운 대기가 직접적으로 맞닿는 면적이 넓어지게 되고, 이에 따라 해수에 도달하는 광량의 증가와 훨씬 더 영양염이 풍부한 환경에 노출된 해빙미세조류 및 해양조류들은 대발생하게 되는 것이다. 생태계의 1차생산자가 크게 증가함에 따라, 그 위의 상위 영양단계의 생물들도 번성할 수 있게 된다. 이

러한 점으로 미루어볼 때, polynya는 물리-생물학적으로 굉장히 중요한 지역이다.

2. Data and method

먼저, polynya의 공간의 크기를 가장 단순하게 가늠해 볼 수 있는 방법으로, SSM/I, SSMIS 자료를 이용하였는데, SSM/I, SSMIS는 passive microwave radiometers로써, 1987년부터 연속적으로 surface wind speed, atmospheric water vapor, rain rate, cloud liquid water, sea ice concentration의 자료를 제공한다. 2002년 1월부터 2013년 12월까지 Ross Sea의 sea ice concentration percent의 변동을 보았다. $65^{\circ}\text{S}-85^{\circ}\text{S}$, $155^{\circ}\text{E}-150^{\circ}\text{W}$ 를 경계로 두었으며, 그 격자의 값들을 모두 더하였다. 더한 값이 Ross Sea에서의 sea ice concentration percent가 최저점을 기록할 때, polynya의 크기가 가장 클 것으로 예상되었고, 실제로 SSM/I, SSMIS 자료를 이용해 만든 자료와 상당 부분 일치하였으나, 2월 달에 polynya가 외양과 완전히 연결되어버리는 부분은 정확히 알지 못하였다.

또한, 해색과 SST의 관측을 동시에 해낼 수 있는 MODIS Aqua 위성의 2002년 7월부터 2013년 12월까지의 일별 및 월별 해색 자료 및 SST 자료를 이용하였다.

3. Result

전체적으로 시간의 흐름에 따라 sea ice concentration percent가 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있지만, 매년 1-2월의 관측치의 변동은 불규칙한 것을 확인할 수 있었으며, 2011년 1-2월에 가장 최저점을 보였고 이 시기에, 가장 넓은 polynya를 형성하였으며, 반대로 2003년 1-2월에 가장 작게 polynya가 열린 것을 확인 할 수 있었다.

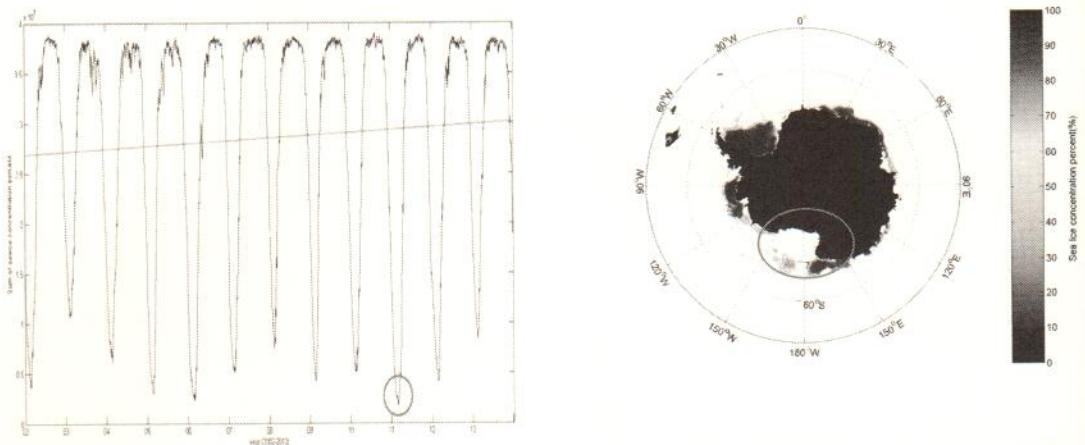


Figure 2. Time-series of sea ice concentration percent in the Ross sea.

남극의 겨울철에는 구름의 양이 상대적으로 적어서 Chl-a 월 관측에는 큰 제약사항은 없었다. 파장대가 다른 SST는 Chl-a에 비해 자료가 적었으며, 우선적으로 가장 polynya가 넓게 생성된 2011년 1월의 Sea ice concentration percent, Chl-a, SST을 보았다.

polynya는 매년 생성되는 구역이 일정하지 않음을 확인하였으며 polynya가 열려있는 시기와 외양과 완전히 연결된 이후에도, polynya 공간 전체적으로 다른 지역보다 생산성이 높은 경향을 보였다. 또한, 남극대륙에 더 가까운 곳에서는 bloom이 일어나는 것도 확인할 수 있었다. 이를 보고, polynya가 Ross Sea 중에서도 어느 지역에 생성되느냐에 따라 Ross Sea 및 남극의 생태계에 커다란 변동을 가져다준다고 해석할 수 있다. polynya 내부의 SST는 대략 1°C를 보였으며, 아주 특별하게 높은 지역은 2°C까지 올라갔으며, 이로 인해 CO₂ 및 열 교환 등 대기와의 여러 가지 상호 작용이 생겨나 polynya 및 남극의 기상에도 큰 영향을 준다.

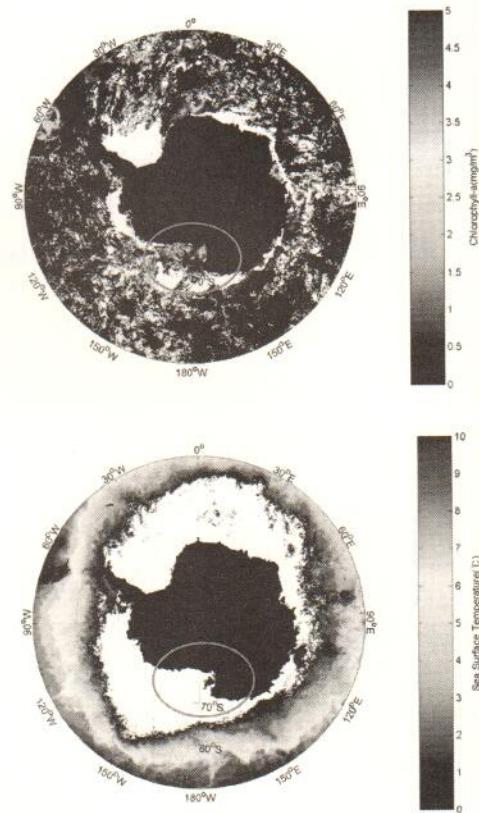


Figure 3. Sea ice concentration percent by SSM/I, SSMIS and Chl-a, SST by Aqua MODIS

4. Future work

Sea ice concentration 자료를 이용하여 polynya의 크기를 대략적으로 알아보았지만, polynya가 외양과 완전히 연결되어버리는 시기는 정확히 알지 못하였기 때문에, 좀 더 세밀하고 정확한 알고리즘을 개발한다면 훨씬 더 나은 결과가 나올 수 있을 것이다.

MODIS는 구름에 영향을 많이 받기 때문에 MERIS와 SeaWiFS의 Chl-a 자료를 이용하여 부족한 부분을 채울 수 있을 것으로 기대되며, 구름에 영향을 받지 않는 microwave를 이용한 SST자료를 활용하면 더 풍부한 결과를 도출해낼 수 있을 것이다. 또한 다른 요인들을 추가하면, 여러 가지 통계적인 방법을 이용하여 다양한 분석을 할 수 있을 것이다.

Acknowledge

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 극지 연구소의 연구과제인 ‘서남극해 원격탐사’의 일환으로 수행되었습니다.

Reference

Martin, S. (2001), Polynyas, in Encyclopedia of Ocean Sciences, edited by J. H. Steele et al., pp. 2241-2247, Academic, London, doi:10.1006/rwos.2001.0007