

2009/2010 Eurasian Cold Winter and Loss of Arctic Sea-ice over Barents-Kara Sea

Taehyoun Shim, Baek-Min Kim, Seong-joong Kim

Korea Polar Research Institute

1. 개요

2009/2010년 겨울은 북미와 북유럽, 그리고 동아시아 전반에 걸쳐 유례없는 한파와 폭설이 기록된 해로서 사회·경제 전반에 걸쳐 커다란 피해가 속출하였다. 그리고 이러한 극한 기후의 발생이 최근 북극 해빙의 급격한 감소와 밀접한 관계가 있음은 다수의 선행연구에서 밝혀지고 있다(Screen and Simmonds, 2010; Serreze et al., 2009; Francis and Vavrus, 2012). 유사한 사례 실험으로 해빙 감소가 두드러졌던 2007년을 Hindcast 실험을 통해 유라시아 겨울의 변화를 설명하였고(Orsolini et al., 2012), 특히 수치모델 결과를 이용하여 바렌츠-카라해의 해빙 변화와 유라시아 2005/2006년 추운 겨울 발생을 연관지었다(Petoukhov and Semenov, 2010; Ouzeau et al., 2011). 2009/2010년 추운 겨울 발생에 관하여 Cohen et al.(2010)와 Wang et al.(2010)은 극진동(AO/NAO)으로 설명하였으며, 늦가을 시베리아 적설의 분포가 극진동의 위상에 영향을 주어 그 해 유라시아 추운 겨울 발생에 중요한 역할을 담당하는 것으로 설명했다(Seager et al., 2010; Liu et al., 2012).

본 연구에서는 수치모델 실험을 통하여 북극 바렌츠-카라해(Barents-Kara sea)의 해빙 변동이 적설 분포와 극진동 위상과는 독립적으로 2009/2010년 유라시아의 추운 겨울 발생과 어떤 연관성을 갖는지를 이해하고자 한다.

2. 수치모델 및 자료

2009/2010년 겨울철을 모의하기 위해 사용된 기후모델로 NCAR에서 개발된 CAM3(Community Atmosphere Model Version 3.0; Collins et al., 2004)를 선택하였다. 본 연구에서는 Finite volume dynamics core($2.5^{\circ} \times 2^{\circ}$)와 하부 성층권을 포함하는 26개의 연직층을 사용하였다. 또한 CAM3는 지면모델로 CLM3(Community Land Model Version 3.0)를 채용하고 있으며, 이 모델은 눈을 포함하는 수문, 토양과 식생 등

의 물리과정이 모수화되어 있고, 대기모델과 에너지 복사속 등을 통해 상호작용하도록 구성되어 있다(Olsen et al., 2004). 관측과 모델 결과를 비교하기 위해 ECMWF의 ERA-Interim 재분석자료를 사용하였다. 또한 모델 수행에 필요한 경계조건을 생성하기 위해 Met Office Hadley Centre의 해수면온도와 해빙농도 자료를 사용하였다.

수치모델 실험은 2009년 4월부터 2010년 3월까지의 해수면온도와 해빙농도로부터 얻은 12개월의 경계자료(prescribed B.C)를 바탕으로 100년간 수행(equilibrium run)하였다. 다만 북극해, 특히 바렌츠-카라해의 해빙 감소를 중점적으로 분석하기 위해 해당 영역을 제외한 나머지는 모두 기후값(1981년부터 2010년까지)으로 대체하여 경계자료를 생성하고 수치모델 실험에 각각 적용하였다. 각 실험 결과에서 처음 30년을 제외한 70년을 평균하여 분석하였으며, 기후값을 경계자료로 하는 실험 결과를 비교 기준으로 선정하였다.

3. 결과

해빙농도의 최근 변동성을 살펴보기 위해 1979년부터 2011년까지의 11월/12월의 평균값 시계열을 분석하였다. 11월/12월 바렌츠-카라해의 해빙은 북극해 전체의 해빙변화와 달리 강한 변동성을 갖는다. 최근 2000년대에 이르러서는 뚜렷한 감소 추세를 유지하고 있으며, 그 중 2009년이 최근 30년 중 바렌츠-카라해의 해빙감소 극값을 갖는 해로 나타난다.

바렌츠-카라해의 최근 해빙 감소를 반영한 수치모델 실험 결과를 Fig. 1에 첨부하였다. 지표 대기의 온도 편차는 바렌츠-카라해의 해빙 최대 감소 위치와 일치하며 관측과도 동일하였다. 그리고 시베리아를 포함하는 유라시아 전반에 걸쳐 유의한 음의 편차를 나타내는 점이 주목할 만하다(Fig. 1a). 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서 설계한 수치모델 실험이 북극권 해빙감소를 효과적으로 모의한 것으로 판단된다. 대류

권 중층(500hPa)의 지위고도장의 편차는 바렌츠-카라해에 인접한 우랄(Ural) 상공에서 뚜렷한 양의 극값을 나타내며 이와 동시에 동아시아에서 북태평양에 이르는 음의 편차를 형성하였다 (Fig. 1b). 따라서 해빙의 감소로 인해 지표에서 시작되는 강한 양의 열속의 대기 유입은 대류권 중층의 원격상관을 유도하고, 이것이 유라시아의 추운 겨울 발생에 중요한 연결고리로 작용하는 것으로 이해할 수 있다. 해빙 감소와 연관된 대류권과 하부 성층권의 상호관계를 분석하기 위해 수치모델 결과를 바탕으로 Polar cap index 를 구하였다. 수치모델을 통하여 발견한 성층권과의 연결고리는 11월을 중심으로 이루어지는 늦가을/초겨울 해빙 감소가 어떻게 늦겨울 날씨에 영향을 미치는지를 파악하는 핵심 요소로 작용하기 때문이다. 또한 선행연구에서 언급한 적설과 극진동(AO)에 의한 2009/2010년 유라시아 추운 겨울의 발생 이론과는 독립적으로 해빙이 극진동과 적설 자체에 영향을 줄 수 있다는 가능성을 역설한다.

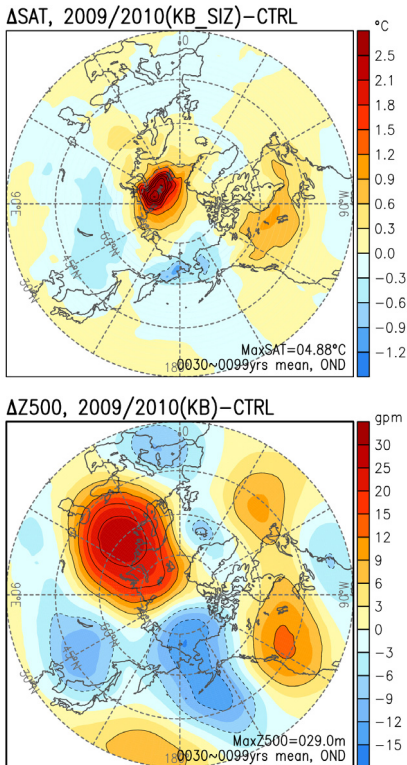


Figure 1. Departures of surface(2m) air temperature and geopotential height at 500hPa between 2009/2010 cold winter case and

control run.

4. 참고문헌

Cohen, J., J. Foster, M. Barlow, K. Saito, and J. Jones, 2010: Winter 2009-2010: A case study of an extreme Arctic Oscillation event. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L17707, doi:10.1029/2010GL044256.

Francis, J. A. and S. J. Vavrus, 2012: Evidence linking Arctic amplification of extreme weather in mid-latitude. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L06801, doi:10.1029/2012GL051000.

Liu, J., J. A. Curry, H. Wang, M. Song, and R. M. Horton, 2012: Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1114910109.

Orsolini, Y. J., R. Senan, R. E. Benestad, and A. Melsom, 2012: Autumn atmospheric response to the 2007 low Arctic sea ice extent in coupled ocean-atmosphere hindcasts. *Clim. Dyn.* **38**, 2437-2448.

Ouzeau, G., J. Cattiaux, H. Douville, A. Ribes, and D. Saint-Martin, 2011: European cold winter 2009-2010: How unusual in the instrumental record and how reproducible in the ARPEGE-Climat model? *Geophys. Res. Lett.* **37**, L11706, doi:10.1029/2011GL047667.

Petoukhov, V. and V. A. Semenov, 2010: A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents, *J. Geophys. Res.*, **115**, D21111, doi:10.1029/2009JD013568.

Stroeve, J. C., J. Maslanik, M. C. Serreze, I. Rigor, W. Meier, and C. Fowler, 2011: Sea ice response to an extreme negative phase of the Arctic Oscillation during winter 2009/2010. *Geophys. Res. Lett.* **38**, L02502, doi:10.1029/2010GL045662.

Seager, R., Y. Kushnir, J. Nakamura, M. Ting, and N. Naik, 2010: Northern Hemisphere winter snow anomalies: ENSO, NAO and the winter of 2009/10. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L14703, doi:1029/2010GL04830.

Screen, J. A. and I. Simmonds, 2010: Increasing fall-winter energy loss from the Arctic Ocean and its role in Arctic temperature amplification. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L16707, doi:10.1029/2010GL044136.

Wang, C., H. Liu, and S.-K. Lee, 2010: The record-breaking cold temperatures during the winter of 2009/2010 in the Northern Hemisphere. *Atmos. Sci. Lett.* **11**, 161-168.