

대기물리 분과 [P-045]

CICE5/DART를 이용한 계절별 북극 해빙 예측: SIC-only, SIT-only, SIC-SIT 동화 비교

김민영¹, 이상무^{1,2}, 김지수²

¹서울대학교 지구환경과학부

²서울대학교 과학데이터혁신연구소

북극 해빙(Arctic sea ice)은 전 지구 기후 시스템의 중요한 구성 요소 중 하나로, 기후변화로 인한 북극 해빙의 급격한 감소 추세는 인접한 지역의 기상 및 기후뿐 아니라 전 지구적인 기후에도 영향이 크다고 알려져 있다. 또한, 해양 생태계, 해상 항로를 비롯한 경제에도 영향을 미치기 때문에 북극 해빙의 모니터링과 예측은 중요하다. 이에 따라, 해빙 면적(Sea Ice Extent)과 체적(Sea Ice Volume) 등 해빙 상태 변수의 신뢰도 높은 예측에 대한 수요가 높아지고 있다. 모델의 예측 성능을 향상시키는 효과적인 방법 중 하나는 관측자료와 모델의 배경장에 사이의 최적의 초기장을 생산하는 자료동화(Data Assimilation) 과정이며, 해빙 모델에서는 전체 북극 범위를 안정적으로 관측할 수 있는 위성 수동 마이크로파 기반 해빙 점유율(Sea Ice Concentration)이 전통적으로 주요 동화 변수로 사용되어 왔다. 한편 해빙 모델 내에서 해빙 두께(Sea Ice Thickness)는 해빙 상태의 장기 기억(longer memory)을 보유하고 해빙 체적 및 열역학을 직접 제약한다는 점에서 해빙 예측 성능 개선에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 왔다. 이에 본 연구에서는 북극 해빙의 계절 예측에서 해빙 점유율만 동화한 실험(SIC-only), 해빙 두께를 동화한 실험(SIT-only), 해빙 점유율과 해빙 두께를 함께 동화한 실험(SIC+SIT)의 예측 성능 향상의 상대적 기여도를 정량 비교하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 해빙 모델인 Los Alamos Sea Ice Model (CICE5)에 Ensemble Adjustment Kalman Filter (EAKF)에 기반한 자료동화 시스템인 Data Assimilation Research Testbed (DART)를 결합하였다. 대기 및 해양 강제력은 각각 CAM6/DART 기반 재분석자료와 Slab Ocean Model (SOM)을 사용하였다. 본 연구에서는 30년의 스피업(Spin-up) 과정을 통해 모델 안정화를 확보하고, 30개의 앙상블에 대해 16개월간 앙상블 적응(Ensemble Adaptation) 과정을 수행한 뒤 다음의 네 가지 실험을 구성하였다: 자료동화를 수행하지 않은 기준 실험(noDA, control), SIC-only, SIT-only, SIC+SIT. 모든 실험은 2019년 4, 6, 9, 11월에 각각 초기화하여 융빙기와 결빙기 그리고 해빙 최대 및 최소 시기 등 서로 다른 시점에서부터 수행되었으며, 이에 따른 예측 결과의 정확도를 평가하였다. 본 연구에서 자료동화에 활용한 자료는 Pan-Arctic Ice Ocean Modeling and Assimilation System (PIOMAS)의 일별 해빙 점유율 및 해빙 두께이며, 예측 성능은 해빙 면적 및 해빙 체적의 대해 PIOMAS 분석장 대비 편향(bias)과 평균 제곱근 오차(RMSE)를 지표로 수행하였다. 성능 비교 결과, 두 변수를 모두 동화한 실험(SIC+SIT)이 단일 변수 동화 실험 대비 가장 우수했으며 SIC-only, SIT-only, noDA 순으로 나타났다. 해빙 예측에 대한 개선 효과는 통상 리드타임 3~4개월 정도에 주로 나타났으며, 그 이상 지속되는 경우도 존재하였다. 본 결과는 북극 해빙 예측에서 다변량 동화의 상대적 우수성을 시사한다.

Keywords: 북극 해빙, 해빙모델, 자료동화, CICE5/DART, 다변량 자료동화

※ 이 연구는 지구시스템모델 기반 북극 해빙 위성 산출물 자료동화 시스템 개발 사업(KOPRI project No. PE 25012)의 지원으로 수행되었습니다.