

특별세션 5 / 국가기후예측시스템 개발 1

Developing a drift-free multi-year Earth System Prediction System

Axel Timmermann^{1,2}, Yoshimitsu Chikamoto³, Yong-Yub Kim^{1,2}, June-Yi Lee^{1,2}

¹IBS Center for Climate Physics

²Pusan National University

³Utah State University

Multi-year Earth system model forecasts can offer valuable information to improve decision-making in various sectors, including agriculture, renewable energy, water resources, coastal resilience, infrastructure planning, humanitarian aid, forestry, public health, and fisheries. Here, I will present an overview of a multi-year prediction system (MYPS), which we initially developed at the International Pacific Center at the University of Hawai'i and which has been further improved since then at the IBS Center for Climate Physics and Utah State University. The MYPS is based on the Community Earth System Model (versions 1 and 2) and uses a simple 3-dimensional data assimilation scheme for temperature and salinity anomalies. Using ocean anomaly rather than full ocean data assimilation has many notable advantages: it i) reduces coupling shocks, ii) eliminates the need for a posteriori skill corrections, iii) helps to disentangle contributions from internal variability (1st order predictability) and external forcings (2nd order predictability). The prediction system has remarkable multi-year skill for key climate processes, such as the AMOC, modes of decadal climate variability, vegetation, soil moisture, and even wildfires in North America. In my presentation, I will also discuss challenges in initializing marine biogeochemical variables using physical constraints only, and present an improved method to determine the "true" forecast skill of multi-year forecasts, which eliminates artificial skill inflation from ensemble mean trajectories.

특별세션 5 / 국가기후예측시스템 개발 2

국가기후예측시스템을 위한 기후모델 개발

김대현

서울대학교 지구환경과학부

기상청 국가기후예측시스템 개발사업의 일환으로 국가기후예측시스템 핵심기술개발 연구팀은 대기-지면-해양-해빙 성분이 결합된 기후모델을 개발하고 있다. 개발된 기후모형은 계절예측부터 10년 예측까지 이음새 없는 장기예측에 활용될 계획이다. 본 발표에서는 이음새 없는 장기예측의 필요성을 중심으로 국가기후예측시스템 기후모델 개발의 배경에 대해 소개하고 최신 버전의 성능을 보고한다.

Keywords: 국가기후예측시스템, 기후모델, 이음새 없는 예측

※ 이 연구는 기상청 「기후위기 대응 국가기후예측시스템 개발 사업」(RS-2025-02221669)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 5 / 국가기후예측시스템 개발 3

육상 및 해양 생지화학 변수에 대한 계절 및 수십년 예측 연구의 최근 경향

국종성

서울대학교 지구환경과학부

본 발표는 계절에서 수십년 규모에 걸친 육상 및 해양 생지화학 과정의 예측 가능성을 종합적으로 다룬다. 최근 연구는 물리 기후 예측의 발전을 토대로, 해양 및 육상 생지화학적 상태변수의 중단기 변동을 이해하고 예측하려는 시도를 확대하고 있다. 해양 영역에서는 위성 기반 엽록소, 1차생산, 용존산소, pH, 영양염 농도 등을 대상으로 초기화 예측과 대규모 앙상블 실험이 수행되며, ENSO, AMV, PDO 등 저주파 기후 모드가 예측성의 주요 근거로 확인된다. 특정 해역에서는 수개월에서 수년까지 유의미한 예측 기술이 보고되었으며, 이는 연안 생태계 관리, 어업 자원 전망, 해양 산성화 조기경보와 직결된다. 육상 영역에서는 잎면적지수(LAI), NDVI 등 식생 지표와 토양 수분, 영양염(질소, 인) 순환을 결합한 모형이 핵심적으로 다루어진다. 동적 LAI 모듈의 도입은 계절-다년 규모의 식생 구조-플럭스 재현력을 개선하며, 영양염-기후 상호작용은 지역별 GPP 및 NEE 변동의 예측성을 규정하는 요인으로 부상하고 있다. 동시에, 관측 자료의 부족, 모수화 불확실성, 인간 활동(산불, 토지이용 변화) 반영의 한계는 여전히 해결 과제로 남아 있다. 국제적으로는 CMIP6, SMYLE 등 다모델-다앙상블 실험과 WCRP 'Explaining and Predicting Earth System Change' 프로그램이 중심이 되어 생지화학 예측성 검증을 체계화하고 있다. 본 발표는 이러한 발전과 과제를 종합적으로 검토하여, 기후-생지화학적 예측이 지구환경 지속가능성 관리에 기여할 수 있는 경로를 제시하고자 한다.

Keywords: 생지화학과정, 계절 및 수십년 예측, 지구시스템 모형

특별세션 5 / 국가기후예측시스템 개발 4

전지구 결합모델의 북극 물리과정 개선을 통한 동아시아 한파 계절 예측 성능 향상

김백민¹, 박정현^{1,2}, 성현준¹, 구명서³, 박준성³, 박래설³

¹국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학과

²극지연구소 해양대기연구본부

³차세대수치예보모델개발사업단 결합모델팀

전지구 결합모델이 빙권 변동성을 재현하는 것은 계절내-계절규모 예측에서 중요하지만, 위성자료와 기후모델의 불확실성은 예측성능을 저하시키는 주원인이다. 본 연구는 전지구 결합모델을 이용한 사례 연구로서, 2016년 1월, 이례적인 폭풍 'Frank'가 북극으로 따뜻하고 습한 공기를 유입시키면서 약 15일간 지속된 극심한 고온 현상을 분석하였다. 이로 인해 바렌츠-카라해의 해빙이 급격히 감소하였으며, 약 3주 후 동아시아 지역에 강력한 한파를 유발하는 원격 상관의 계기가 되었다. 본 연구는 한국형수치예보모델(KIM)에 해양-해빙 모델(NEMO4-SI3)을 결합한 시스템을 이용하여 이 연장중기 극한 사례에 대한 모의 성능을 분석하고 개선 방안을 제시한다. 초기 모의 결과, 결합 모델은 고온 현상의 시작은 잘 포착했지만, 그 지속성을 재현하는 데 실패했으며, 특히 바렌츠-카라해의 해빙 면적을 관측 대비 30% 이상 과대 모의하는 한계를 보였다. 이 문제의 원인을 규명하고자 해빙의 열역학 및 동역학 과정에 대한 민감도 실험을 수행했다. 분석 결과, 본 사례에서는 열역학적 요인보다 해빙 동역학 과정이 해빙 감소에 더 결정적인 역할을 함을 확인했으며, 동역학 모델 내 해빙 강도(ice strength) 매개변수를 조정함으로써 해빙 과대 모의를 성공적으로 개선했다. 개선된 해빙 분포는 대기-해양 간의 열 교환을 증대시켜 모델이 북극의 지속적인 온난화를 더 현실적으로 모의하게 했다. 이는 결과적으로 하층 제트기류의 사행과 후속적인 동아시아 한파 예측 정확도 향상이라는 긍정적인 효과로 이어졌다. 현재 KIM 모델의 경우, 극지역에서 구름 내 수적(liquid water)을 과소평가하여 하향 장파복사를 약하게 모의하는 경향이 존재한다. 북극 온난화의 지속성을 추가적으로 개선하기 위해 본 연구에서는 구름 물리과정 내 빙정의 형태를 기존 총알형에서 구형으로 변경하는 실험을 수행하였다. 이러한 수정은 수상체들의 침강률을 낮추고, 구름 내 수적 형성을 촉진하였다. 그 결과, 하향 장파복사가 증가하여 지상 기온을 상승시켜 북극 고온을 좀더 길게 유지하는데 있어 긍정적인 효과를 얻었다.

Keywords: KIM 결합 모델, 북극 온난화, 해빙 동역학, 구름 미세물리, 동아시아 한파, 계절예측

Understanding Land Surface Processes: A Key to Improving Weather Forecast and Climate Predictions

Eunkyo Seo

¹Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University

²Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, George Mason University

Land surface models (LSMs) have been treated primarily as boundary conditions for atmospheric models, with limited emphasis on their evaluation or feedbacks with the atmosphere, leading to substantial biases in land reanalysis products. These shortcomings reduce confidence in understanding land-atmosphere interactions and relevant hydrometeorological extremes, which requires the comprehensive evaluation against ground-based observations and process-based model development that explicitly incorporates land-atmosphere coupling. Improving the representation of land surface variables is critical to reducing surface biases and enhancing the physical realism of LSMs.

The role of land processes extends well beyond boundary forcing. For weather forecasts, realistic initialization of land states (i.e., soil moisture) improves short- to medium-range prediction by influencing surface water and energy balance and its influence on boundary-layer development, directly affecting heatwaves, convection, and rainfall. For climate predictions, slowly varying land variables (i.e., snow cover and vegetation) provide relatively longer memory that contributes to predictability on monthly to seasonal scales, while long-term changes modulate variability and extremes. The realism of land processes and their cooperation into coupled prediction systems will enhance forecast skill and climate projection, supporting better preparedness for extreme events and climate risks.

Keywords: Land surface models; land-atmosphere interactions; weather forecasts; climate predictions