

Exploring Nitrogen Dynamics' Effects on Carbon and Water Simulations: A Case Study in Texas

Seungwon Chung¹, Zong-Liang Yang², and Ahmad A. Tavakoly^{3,4}

¹Center for Climate/Environment Change Prediction Research, Ewha Womans University

²Department of Earth and Planetary Sciences, Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin

³U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory

⁴University of Maryland, Earth System Science Interdisciplinary Center

Terrestrial nitrogen dynamics plays a crucial role in carbon and water cycling, influencing key factors such as gross primary productivity (GPP), leaf area index (LAI), evapotranspiration (ET), runoff, and soil moisture. This study introduces the Noah-MP model with explicit Carbon and Nitrogen components (Noah-MP-CN) to investigate nitrogen's impact on carbon and water cycles in the Texas-Gulf Region. Model evaluations, including nitrogen dynamics and anthropogenic nitrogen inputs, demonstrate Noah-MP-CN's enhanced capability to replicate the magnitude and spatiotemporal variations of GPP and LAI. Incorporating nitrogen dynamics changes soil water availability, leading to increased ET, reduced runoff, and improved partitioning between the two. Prescribed monthly cycles of vegetation fraction outperform dynamically predicted fractions in simulating LAI, ET, and runoff. Simulated GPP, LAI, and ET demonstrated a limited sensitivity to fertilizer inputs. Extreme hydroclimate events are key drivers of interannual and monthly variability in carbon and water cycles, with the model tending to overestimate vegetation growth during wet periods and underestimate it during dry spells. In conclusion, incorporating terrestrial nitrogen dynamics improves regional simulations of carbon and water cycles.

Keywords: terrestrial nitrogen dynamics, Noah-MP, land surface model, carbon cycle, water cycle

※ This research was supported by an appointment to the Department of Defense (DOD) Research Participation Program administered by the Oak Ridge Institute for Science and Education (ORISE) through an interagency agreement between the U.S. Department of Energy (DOE) and the DOD. ORISE is managed by ORAU under DOE contract number DE-SC0014664. All opinions expressed in this paper are the author's and do not necessarily reflect the policies and views of DOD, DOE, or ORAU/ORISE. This research was also supported by an appointment to the National Aeronautics and Space Administration (NASA) Jet Propulsion Laboratory (JPL) under contract number 80NSSC22K0148.

지역기후모델의 동아시아 겨울철 온도 계통오차 연구: 행성 경계층 모수화 방안과 대기-해양 결합모델링의 영향을 중심으로

신석우¹, 조우진¹, 이민규², 차동현¹

¹울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

²한국에너지기술연구원 신재생에너지 데이터센터

불확정성이 낮은 기후 상세 시나리오를 얻기 위해서는 과거 재현 실험 과정에서 지역기후모델(Regional Climate Model, RCM)의 체계적 오류를 파악하는 것이 중요하다. CORDEX-East Asia의 두 번째 단계의 역학적 상세화 연구(Gutowski et al., 2016) 중 국내에서는 5개의 RCM을 사용하여 수행되었다. 이중 울산과학기술원(UNIST)과 부산대학교(PNU)에서 각각 수행된 강한 East Asian winter monsoon (EAWM) 기간 동안 SNURCM(Cha and Lee, 2009)과 Weather Research and Forecasting Model v3.7 (WRFv3.7, Skamarock et al., 2008)에서 상당한 계통오차가 확인되었다. 이러한 오류에는 만주 지역 지상 기온의 한랭오차, 시베리아 고기압과 알류산 저기압 사이의 과대 평가된 기압차, 동아시아 지역의 강한 하층 바람, 동해와 일본 주변 해양의 현열 및 잠열 플럭스 과대평가 등이 포함되었다. 모델의 근본적인 오차의 원인을 파악하는 것도 중요하나, 본 연구에서는 강한 EAWM인 해의 만주 지역 큰 한랭오차를 줄이는 것에 집중하였다. 그 방법들 중, 행성 경계층(Planetary Boundary Layer, PBL)의 열역학적 과정을 이해하고 대기-해양 상호작용이 반영된 해수면 온도 모의를 적용하면, WRF에서 확인된 계통오차들을 줄일 수 있을 것으로 생각되었다. 따라서 WRF 대기모델에 ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) 재분석장 강제력을, Regional Ocean Modeling System (ROMS) 해양모델에 HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) 재분석장 강제력을 이용하고 다양한 PBL 스킴(nonlocal scheme: YSU, local scheme: MYJ, nonlocal-local scheme: ACM2)에 따라 Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport Modeling System (COAWST)를 구현하여 동아시아 겨울철 온도 계통오차에 미치는 영향을 분석했다.

Key words: 지역기후모델, 겨울철 온도 계통오차, 행성 경계층 모수화 방안, 대기-해양 결합모델링

CESM2 모델의 동아시아 봄철 내 육지 강수 예측성에 대한 근원 분석

김병희, 감종훈

포항공과대학교 환경공학부

계절 내 예측은 1주~2개월 내에 걸친 시간규모로 단기(날씨)예보와 계절 단위 예보 사이의 예측성 격차를 메워준다. 단기와 중장기 예보 사이의 이음새 역할을 하는 계절 내 예측에 대한 수요는 가뭄과 홍수 같은 극한 기상 발생 시 조기 대응을 위하여 증가하였다. 최근, 기후변화로 인한 극한 기상 현상의 강도와 발생빈도는 전 세계적으로 점차 증가할 것으로 전망되고 있으며, 극한 기상 특성의 변화로 인해 사회·경제적으로 큰 피해가 발생할 것으로 예상된다. 특히, 미래 기후 예측에서 봄철 가뭄과 홍수에 취약한 동아시아 지역에서 극한 기상 현상이 증가할 것으로 추정된다. 따라서, 극한 기상 특성 변화에 의한 사회경제적 피해를 줄이기 위해 신뢰할 수 있는 계절 내 예보 확보가 요구된다.

본 연구에서는 봄철 내 동아시아 육지 강수의 예측성에 대한 근원을 분석하였다. 본 연구 기간은 1999년부터 2020년까지 봄철(3~5월) 강수에 대한 예측성을 이상상관계수(Anomaly Correlation Coefficient, ACC)를 이용하여 진단하고자 한다. 본 연구에서는 NCAR에서 제공하는 CESM2 S2S Hindcast의 Climo Studies 모델 실험 자료를 이용한다. 이 모델 실험 자료는 CESM2 모델에 대기, 해양, 육지의 초기 조건과 기후학적 초기 조건을 조합하여 계절 내 예측과 관련된 각 대기, 해양, 육지의 초기 조건들의 역할들을 정량적인 분석으로 구분 할 수 있는 기회를 제공한다. 모델 실험 결과들을 비교 분석한 결과, 봄철 내 동아시아 강수에 대한 예측성의 주요 원천은 대기의 초기 조건이며, 3주 차 이후 대기, 해양, 육지의 초기 조건들의 강수 예측성에 미미한 기여도를 보여준다. 본 연구 결과는 봄철 강수 예보는 주요한 대기 초기 조건 영향은 3주 차 이후 동아시아 봄철 강수 예보에 미치는 영향력이 소실되어 모델 내 역학적, 물리적 과정에서 발생할 수 있는 기상 노이즈에 의해 예측될 가능성을 시사한다. 기존의 기후 예보 모델의 계절 예보에 있어서도 동아시아 봄철 강수 예보에 대한 신뢰성의 한계는 본 연구 결과를 뒷받침한다.

Key words: CESM2, 계절 내 예보, 예측성, 동아시아, 강수

대류 허용 기후 모델을 활용한 캐나다 동부 중규모 대류 시스템에 관한 연구

황윤성¹, 유창현^{1, 2}, 정승원³

¹이화여자대학교 국지재해기상예측기술센터

²이화여자대학교 기후 에너지시스템공학과

³이화여자대학교 기후환경변화예측연구센터

기후변화에 따른 중규모 대류 시스템(Mesoscale Convective System, MCS)의 특성을 이해하고 예측하기 위해서는 대류 허용 기후 모델(Convection Permitting Climate Model, CPCM)을 활용한 고해상도 시뮬레이션이 필수적이다. 본 연구에서는 Weather Research and Forecasting (WRF) 모델을 사용하여 캐나다 동부에서 발생하는 강수 시스템을 재현하였고, 이러한 시뮬레이션의 정확성을 통합 다중위성 강수 추정(Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement, IMERG) 데이터와 비교하여 평가하였다. 분석은 2012년부터 2021년까지의 10년간의 자료를 바탕으로 고해상도 공간 및 시간 분포, MCS의 특성, 시간당 강수량에 중점을 두어 진행되었다. CPCM 시뮬레이션은 4 km 해상도로, 관측 데이터는 10 km 해상도로 수행되었으며, 시뮬레이션 결과 2차원 상관 계수 0.53을 나타냈으나, 전반적으로 강수량을 과대평가하는 경향이 있었다. 특히, 주간 MCS의 경우 사건 수, 면적 범위, 이동 속도 및 지속 시간에서 우수한 성능을 보인 반면, 야간 MCS는 과소평가되었다.

본 연구에서는 대류 전 매개 변수와 MCS 지속 시간 간의 관계를 조사하여, 대류와 MCS 발생 및 유지에 대한 통계학적 중요도에 따른 결과를 제공하였다. 대기 불안정도, Storm-Relative Helicity (SRH) 및 윈드시어와 같은 주요 기상 요소가 MCS의 발달과 지속 시간에 미치는 영향을 분석하였으며, 가 강수량(Precipitable Water, PW)은 MCS 지속 시간의 결정적인 요소로 나타났다. 상관도 분석을 통해 이러한 요소들이 MCS의 발생과 지속 시간에 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 본 연구는 향후 모델 시뮬레이션을 개선하고, 기상 예보의 정확성을 높이기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Key words: 대류 허용 기후 모델, 중규모 대류 시스템, 가강수량, 윈드시어, Storm-Relative Helicity

※ 이 연구는 한국연구재단(RS-2024-00333469, NRF-2018R1A6A1A08025520)의 지원으로 수행되었습니다.