

2021년 성층권돌연승온 발생역학: 상부성층권 평균장 역할 분석

조형오, 김영하, 손석우

서울대학교 지구환경과학부

성층권돌연승온(Sudden Stratospheric Warming; SSW)은 겨울 반구 성층권 극소용돌이가 붕괴하며 수일 내로 급격한 기온 상승을 동반하는 현상으로, 성층권뿐만 아니라 대류권 일기에도 최대 2개월간 영향을 미치기 때문에 예보 및 기후 측면에서도 SSW 발생역학의 이해가 필수적이다. 본 연구는 상부성층권 평균장의 사전조건화(preconditioning)가 2021년 1월에 발생한 SSW에 미치는 영향을 수치모형실험을 통해 조사하였다. 모형표준적분으로 수행된 대조군 실험은 현업 계절내-계절 예측모형과 유사하게 SSW 발생을 12-14일 선행시간에서 예측하였다. 대조군의 SSW 발생 예측성 한계는 선행시간이 길어지며 극소용돌이 변동의 예측 부정확성이 증가하며, 이로 인해 행성규모 파동이 상대적으로 적도지역으로 전파되어 극소용돌이의 약화가 과소모의됨을 확인하였다. 상부성층권 동서방향 평균장을 관측값으로 넷징하는 민감도 실험에서는 최대 16일의 선행시간 예측에서도 SSW 발생을 성공적으로 예측한다. 민감도 실험에서는 관측과 유사하게 상부성층권에서 극소용돌이의 극방향 이동에 따라 행성 규모의 파동이 극성층권으로 전파되는 특징을 재현한다. 본 연구는 2021년 1월의 상부성층권의 사전조건화로 인한 극성층권 양의 굴절률이 파동 전파를 조절하여 SSW 발생에 주요한 역할을 하였다는 모형실험 증거를 제공하며, SSW 발생 예측의 개선에 상부성층권 평균장의 예측 성능 개선이 기여할 수 있음을 시사한다.

Keywords: 성층권돌연승온, 성층권 사전조건화, 파동역학

Surface amplification of sudden stratospheric warming by mass redistribution

Dong-Chan Hong, Seok-Woo Son

School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University

Sudden stratospheric warming (SSW) is the most dramatic event in the winter polar stratosphere, characterized by a rapid temperature increase and a reversal of climatological westerly to easterly. Due to its significant impacts on surface climate, it has been extensively studied. However, the underlying mechanism of the downward coupling remains unclear. In this study, we introduce a novel mechanism of SSW downward coupling. Our observations show that the SSW-induced tropospheric circulation change, which exhibits surface amplification, is caused by an Arctic surface pressure increase. This pressure increase results from a poleward mass flux near the tropopause, which is modulated by the poleward propagation of planetary-scale waves in response to the mean state change in the lowermost stratosphere during SSW.

Key words: Sudden stratospheric warming, Stratosphere-Troposphere coupling, Surface amplification

북극-시베리아 원격상관패턴과 관련된 CMIP6 모델의 동아시아 폭염 모의 성능

김정훈¹, 김주완^{1,2}, 김맹기², 이지우³, Yu Kosaka⁴

¹공주대학교 지구환경연구소

²공주대학교 대기과학과

³Atmospheric, Earth, and Energy Division, Lawrence Livermore National Laboratory

⁴Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

최근 동아시아 지역에서 폭염의 강도와 빈도가 매년 증가하고 있으며, 이로 인해 심각한 사회적·경제적 피해가 발생하고 있다. 동아시아의 폭염 발생은 Pacific-Japan 패턴과 Circum-global teleconnection을 포함한 다양한 원격 상관 패턴의 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이전 연구에서는 북극-시베리아 평원(Arctic-Siberian Plain; ASP)에서 증폭되는 로스비 파동이 동아시아 폭염 발생에 중요한 역할을 하며, 북극 및 고위도 지역의 기후 변동성이 동아시아 폭염에 미치는 영향을 강조하였다. 그러나 현재까지 기후 모델이 ASP 원격 상관 패턴을 얼마나 정확하게 모의하는지에 대한 연구는 충분히 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 CMIP6의 historical 자료를 사용하여 ASP 원격 상관 패턴에 대한 기후 모델들의 모의 성능을 평가하였다. CMIP6 모델의 모의 성능은 CBF(Common Basis Function) 분석 기법을 활용하여 관측에서 얻어진 ASP 원격 상관 패턴을 CMIP6 모델에 투영하여 평가하였다. 연구 결과, 대부분의 CMIP6 모델이 ASP 원격 상관 패턴을 계절 내 및 연간 시간 규모에서 비교적 잘 모의하는 것으로 나타났으나, 변동성 측면에서는 모델 간 큰 편차가 관찰되었다. 순위 지수 분석 결과, 계절 내 변동성 모의 성능이 우수한 모델들이 경년 변동성에서도 높은 모의 성능을 보였다. 특히, 모의 성능이 우수한 모델과 그렇지 않은 모델 간에는 ASP 지역의 열적 고기압 증폭 현상에 뚜렷한 차이가 있었다. 이는 일부 모델이 ASP 지역의 양의 수증기 피드백에 의한 열적 고기압 증폭을 충분히 재현하지 못한 것에서 기인하는 것으로 분석되었다. 본 연구 결과는 향후 CMIP6 모델이 ASP 지역의 양의 수증기 피드백을 보다 정확하게 모의함으로써 동아시아 폭염 예측의 정확성을 향상시킬 필요가 있음을 시사한다.

Key words: CMIP6, Arctic-Siberian Plain(ASP), ASP원격상관패턴, 폭염, CBF(Common basis function)

※ 이 연구는 기상청 국립기상과학원 「위험기상 분석 및 예보기술 고도화」(KMA2018-00121)의 지원과 기상청 <「기후 및 기후변화 감시·예측 정보 응용 기술개발」> (KMI2022-01311)의 지원으로 수행되었습니다.

북서태평양의 열대저기압 특성 변화

조우진, 차동현

울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

최근 북서태평양에서 발생한 강력한 열대저기압(TC)들이 느린 이동 속도와 비정상적인 경로를 보이는 사례가 증가하고 있다. Soulik(2018), Chanthu(2021), Hinamnor(2022) 등의 사례에서 주변국들이 피해를 입은 바 있다 등이 그 예이다. TC의 강도는 강화되고 있지만, 느리게 이동하는 TC가 보고되에도 불구하고, 북서태평양 열대저기압의 이동속도(TCTS)에 뚜렷한 추세나 둔화의 징후가 나타난다는 연구는 보이지 않는다. 본 연구에서는 1982년부터 2022년까지 북서태평양의 JTWC 베스트 트랙 데이터를 지역(열대 및 중위도), 강도(열대폭풍, TS 및 태풍, TY), 계절(여름(JJA)과 가을(SON))로 구분하여 TC 특성의 변화를 파악하였다. TC 활동이 활발한 기간(6월~11월) 동안, 열대와 중위도 지역 모두에서 해수면 온도와 태풍의 최대풍속(MWS)이 증가했으나, 열대폭풍의 MWS는 감소하였다. 그리고 열대 지역의 TC 활동은 북쪽으로 이동하였다. 한편, TCTS와 지향류(STR)는 지역 및 강도에 따른 뚜렷한 추세를 보이지 않았다. 하지만, 이를 계절별로 보면 여름철 중위도에서 열대폭풍의 MWS가 크게 감소하는 추세가 발견되며, 이는 8월 중위도에서의 연직 바람시어의 증가와 관련이 있다. 가을의 경우 태풍의 TCTS와 STR이 유의미하게 감소하는 경향을 보이며, 중위도에서는 열대폭풍의 활동 위도대가 증가하는 현상이 나타났다. 이는 중위도로 북상한 TC의 소멸이 늦어지는 것을 의미하며, 중위도 순환의 둔화와 TC의 강도 증가와 연관된다. TC의 최성기 강도에 대한 전후반기 분석 결과, 여름철에는 MWS와 TCTS가 모두 크게 증가하며 LAT는 감소한다. 반면, 가을철에는 MWS가 증가하고 TCTS는 감소하며 LAT는 증가하는 경향을 보였다. 여름과 가을 사이의 이러한 서로 다른 추세는 TC 강도와 대규모 순환의 계절적 변화와 관련이 있는 것으로 사료된다.

Key words: 열대저기압, 북서태평양, 이동속도, 최대풍속, 가을

Numerical Simulation of Ground-based Cloud Seeding Experiment using WRF-LES with Fast Spectral Bin Microphysics

Miloslav Belorid¹, Bu-Yo Kim¹, Kyoungmi Lee¹, Joo Wan Cha¹,
Haejung Koo¹, Minsu Park², Pyosuk Seo²

¹National Institute of Meteorological Sciences, Research Applications Department

²Yonsei University, Department of Atmospheric Sciences

Numerical mesoscale models can serve as a tool for evaluating the effects of cloud seeding techniques; however, the accuracy of simulations is highly dependent on microphysics parameterization. Bulk microphysics is widely employed in operational weather prediction systems due to its computational efficiency. Nonetheless, bulk microphysics scheme assumes a simplified representation of the particle size distribution, potentially leading to limitations in accurately representing the microphysical processes involved during cloud seeding. On the other hand, Spectral Bin Microphysics (SBM) scheme provides a more comprehensive and detailed representation of the particle size distribution, making it a more suitable approach for evaluating cloud seeding. In this study, the high resolution Weather Research and Forecast (WRF) model in Large Eddy Simulation mode with the SBM scheme was used to simulate the effects of ground-based hygroscopic cloud seeding. To enhance computational efficiency, we employed the Fast SBM (FSBM) scheme, modified to accommodate seeding particles. The size distribution of calcium chloride from hygroscopic flares was obtained from wind tunnel experiments at the Korea-Cloud Physics Experimental Chamber (K-CPEC) facility. The model was employed to simulate a real cloud seeding experiment conducted in a mountainous region in Kangwon-do province, South Korea. Both seeding and no-seeding scenarios were simulated to estimate the contribution of cloud seeding to rainfall. Model accuracy was evaluated against observational data from several Korea Meteorological Administration (KMA) observation sites.

Key words: Spectral Bin Microphysics, cloud seeding, WRF-LES, K-CPEC

※ This research has been supported by the “Research on Weather Modification and Cloud Physics”(KMA2018-00224) project of NIMS/KMA.

지점별 기후 특성 기반 강수검증 기법(SEEPS)을 활용한 강수예측성능 분석

박소라, 박세영, 박혜자, 양찬윤, 하종철, 김동준

기상청 수치모델링센터

기상청 수치모델링센터에서는 지상관측자료(AWS 및 ASOS), 위성자료 등을 활용하여 현업 수치예보모델의 강수검증을 정기적으로 수행하고 있으며, 이때 강수유무를 판단하는 임계값(0.1mm)을 포함하여 지역별로 동일한 강수량 임계값을 적용하여 검증 지수를 산출하고 있다. 반면 ECMWF(유럽중기예보센터)는 새로운 검증 지수(SEEPS, Stable Equitable Error in Probability Space, Rodwell et al. 2010)를 개발하여 수치예보모델의 강수예측성능을 모니터링하고 있다. SEEPS는 강수를 ‘무강수(dry)’, ‘약한강수(light)’, ‘강한강수(heavy)’와 같이 세 가지 범주로 구분하며, ‘약한강수(light)’와 ‘강한강수(heavy)’의 경계값은 지점별 기후값을 기준으로 정의한다. 이렇듯 기후값 기반의 지점별로 차등화된 강수강도 기준을 이용하여 지역 특성에 맞는 강수 예측성능을 판단한다는 점에서 기존 강수검증 지수들(Bias, CSI, POD 등)과 차별성을 보인다. 또한 SEEPS는 모델 예측오류 원인 식별에 도움이 되는 정보를 제공하여 예측 결과에 대한 진단을 가능하게 하고, 무강수 사례나 극단적인 사례에 민감하지 않아 노이즈가 많은 자료에서도 정확한 강수 예측 추세를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 강수 기후 특성 기반의 신규 강수 검증 기법(SEEPS)을 소개하고, 이를 기반으로 기상청의 전지구 한국형수치예보모델(Korean Integrated Model, KIM)의 강수예측성능을 살펴보고자 한다.

Key words: 강수검증, 한국형수치예보모델(KIM), SEEPS

※ 이 연구는 기상청 수치모델링센터 『수치예보 및 자료응용 기술개발』 과제 (KMA2018-00721)의 일환으로 수행되었습니다.