

국외 출장 결과보고서

결 재	담당자	팀장	실장	사업단장
	12월 27일	1월 2일	1월 2일	1월 2일
	한현준	강전호	권인혁	박훈

1. 출장개요

출장목적	AGU Fall Meeting 2024 참석 및 발표		
출장일정	2024. 12. 8.~2024. 12. 15. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
권인혁	자료동화실	책임급연구원(실장)	
강전호	자료전처리팀	책임급연구원(팀장)	
한현준	자료전처리팀	선임급연구원	
김혜영	자료전처리팀	선임급연구원	
권용환	검증진단팀	책임급연구원	
이은혜	검증진단팀	원급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	미국, 워싱턴 D.C., Walter E. Washington Convention Center		
출발지	한국, 인천	도착지	미국, 워싱턴 D.C.

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 미국 지구물리학회(American Geophysics Union, 이하 AGU)은 매년 미국에서 열리는 전 세계에서 가장 큰 규모의 지구과학분야의 연합회로 이번에는 'What's next for SCIENCE'라는 주제로 2024년 12월 9-13일에 미국 워싱턴 D.C.에서 개최된다. 대기과학 분야에는 기후변화, 전구 대기 및 결합 모델을 포함한 모델링과 자료 동화, 위성을 비롯한 다양한 관측장비를 이용한 종관규모 대기 현상에 대한 관측 기술과 현상 분석, 위험 기상 현상의 분석 및 모의 등의 다양한 세션으로 구성되어 있다. 여러 기상 관련 현업 및 연구 기관과 대학 등에서 참전한 선진그룹을 이루는 전문가들의 최신 기술과 동향을 파악하고 기술 논의 및 연구 교류의 기회를 구축하고자 한다. 사업단의 최신 연구 개발 결과들을 발표하고, 성능 개선과 미래 버전으로의 발전을 위해 전문가들과 논의를 통해 다양한 정보를 습득하고 지속적인 교류 방안을 마련함으로써 향후 사업단의 모델 및 자료동화 체계의 개발과 개선에 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

○ 강전호

- 대기과학 A43M: Numerical Modeling, Data Assimilation, and Research to Operations (R2O) for Better Forecasting of High-Impact Weather Events 세션에서 Enhancing Scalability of the Observation Processing System (KPOP) in the KIM DA system 제목으로 KIM과 자료동화 체계의 공간해상도 및 활용 관측자료의 수 증가에 따른 계산량과 전산자원 요구량 증가에 따라 관측자료 전처리 및 품질검사 시스템 KPOP의 병렬 효율성 개선을 위해 3단계에 거쳐 수행한 배경장산출 방안 개선 내용을 소개하였다. 아울러 KIM 기반의 현업 수치예측체계와 현재 사업단에서 개발하고 있는 지구시스템(Earth System)을 홍보하는 기회가 되었다. 주로 해외 주재 한인 과학자들을 중심으로 사업단과 사업단의 연구에 대한 관심이 높았으며, 특히 육면체구 격자체계의 구조와 장단점 및 KPOP의 배경장 산출과정 사이의 구조적 관계에 대해 큰 관심을 보였다.

○ 한현준

- 대기과학 A43M: Numerical Modeling, Data Assimilation, and Research to Operations (R2O) for Better Forecasting of High-Impact Weather Events || Poster 세션에서 'Development of the prototype of Observing System Simulation Experiment (OSSE) system using Korea Integrated Model (KIM) : Description and its plan' 제목으로 사업단 KIM의 예측 성능, OSSE의 기본 이론에 대해 설명하고, 사업단 OSSE (KIM-OSSE)의 구축 방법 및 검증 결과, KIM-OSSE의 향후 계획에 대해 소개하였다. OSSE의 모의 관측 자료 생성 방법에 대해 국외 전문가들과 상의하고 더욱 현실적으로 만드는 방법에 대해 논의하였다.

○ 김혜영

- 발표주제는 지면에 의한 영향을 제거하여 위성관측자료 동화 연구에 대해 발표하였다. 수행방법과 결과에 대해 국내외 전문가들에게 소개하고, 현재 기법의 장단점에 대해 논의하였다.

○ 권용환

- 다중센서 토양수분 자료동화에 대한 사업단 연구결과 구두발표 및 토의
 - radar 기반의 ASCAT 토양수분 자료와 radiometer 기반의 SMAP 토양수분 자료를 사업단 시스템 내에서 동시에 자료동화하는 체계의 개발내용과 KIM의 기상예측 성능에 대한 긍정적인 효과에 대해서 발표하고, SMAP 자료동화에 적용된 편차보정 방법(즉, anomaly correction approach)에 대한 장단점을 토의함

- 토양수분 자료의 관측오차에 관한 연구

- triple collocation analysis (TCA) 방법과 머신러닝(ML) 방법을 적용하여 위성기반 토양수분자료 관측오차의 시공간적인 분포를 산정
- 시간적으로 변화하는 관측오차를 적용하는 방법이 고정된 관측오차를 적용하는 접근법에 비해 자료동화의 성능이 향상됨을 간단한 모델과 실험구성을 통하여 증명함

- ASCAT 토양수분 자료의 건조토양 조건에서 나타나는 오류에 대한 보고

- ASCAT 토양수분 유도 알고리즘(TU Wien change detection algorithm)은 하부토양층 산란 효과(subsurface scattering)를 제대로 구현하지 못하는 한계가 있음
- TU Wien 알고리즘은 토양수분함량과 radar 후방산란 사이에 양의 상관성이 있음을 가정하지만, 이러한 가정이 건조한 토양조건에서는 적용되는 않는다는 것을 증명함
- 건조지역에서는 하부토양층에 자갈 등의 굵은 입자와 불연속적인 토양단면이 존재하는데, 이에 따라 지표에서 관측되는 후방산란에 대한 하부토양층 산란의 기여율이 크게 나타남
- 토양수분이 증가하면 하부토양층 산란의 기여율이 감소하여 후방산란이 줄어드는 현상이 발생하고, 이에 따라 건조지역에서 토양수분과 후방산란 사이에 음의 상관성이 나타나면, 이는 결과적으로 건조한 토양조건에서 ASCAT 토양수분 자료의 성능 저하 원인으로 작용

- 토양수분 자료동화의 열대성 사이클론(TC) 예측에 대한 효과

- NASA GEOS (Goddard Earth Observing System)에서 SMAP 관측자료를 동화함으로써 열대성 사이클론인 Idai의 예측 성능(특히, TC의 수직구조와 크기)이 개선됨
- 토양수분 자료동화의 성능을 검증하는데 있어서, 지역적인 case study의 중요성을 강조

o 이은혜

- "Atmosphere, Ocean, and Land Processes in the Maritime Continent and Indo-Pacific" session
< Climatological Madden-Julian Oscillation leads to abrupt Australian monsoon retreat and Asian monsoon onset >

기후학적 MJO 이벤트는 오스트레일리아 몬순의 빠른 쇠퇴와 동아시아(남중국해) 몬순의 이른 발달에 기여함을 소개하였다. 이는 경년변동 대비 기후학적 계절내 변동 크기의 비율이 크고 신뢰도 평가했을 때 유의미하게 나타나는 경우였다. 기후학적 MJO 첫 번째 이벤트로 장파 복사가 동쪽으로 이동하면서 오스트레일리아 몬순이 빠르게 쇠퇴하고, 두 번째 이벤트로 장파 복사가 동쪽으로 이동하다가 북쪽으로 나뉘지면서 남중국해 몬순의 이른 시작을 유발하였다. 북쪽으로 이동하는 장파 복사 아노말리가 대류와 순환이 결합된 시스템으로 이동하고, backward tilted structure를 보이는데 이는 수증기 수렴이 대류를 이끌어서 나타나며 북쪽으로 이동하는 driving

force이었다. 또한, 봄철 nino3.4 지수와 기후학적 MJO의 장파 복사 아노말리와 합성장 분석을 통해 ENSO가 발생했던 해이면 동쪽 전파가 저지되고, ENSO가 중립이었던 해이면 동쪽으로 전파가 원활하였다.

- "The Dynamics of Large-Scale Atmospheric Circulation in Present and Future Climate: Jet Stream, Storm Tracks, Stationary Waves, and Monsoons IV Oral" session

< What is the necessary ensemble size for an intraseasonal timescale simulation of regional climate? >

CESM2 AMIP 실험에서 북반구 계절내 현상을 예측하는데 ERA5 재분석자료 대비 95% 신뢰도를 얻기 위해 필요한 앙상블 개수는 영역마다 상이함을 소개하였다. 평균적으로 60~70개의 앙상블이 필요하며, 특히 동유럽, 북동아시아 그리고 알래스카의 경우 비교적 더 많은 앙상블 개수가 필요함에 대해 강조하였다.

- "Sub-seasonal to Seasonal Tropical Variability: Observation, Modeling, Process, and Global Impacts I Oral" session

< Opportunities and barriers for skillful sub-seasonal prediction of East Asian summer precipitation >

계절내-계절 과거재예측 모델 중 가장 예측성이 좋은 ECMWF 모델에서 동아시아 여름 몬순을 잘 예측한 이벤트는 13일 예측까지 예측이 가능한데, 이는 동유럽 평원에서 몽골 고원을 거쳐 중국 북부에 이르는 대류권 상층 아노말리 중심과 북서태평양에서 동아시아에 이르는 열대 대류 중심과 연결된 순환을 보였다. 예측을 잘 못한 경우에는 5일 예측하며 티베트 고원 서부에서 몽골 고원을 거쳐 중국 북부로 이어지는 상층 순환 아노말리로 비롯되며, 중국 북부의 저기압성 아노말리가 서쪽으로 전파되는 피드백으로 인해 악화됨을 나타냈다. 이를 통해 유라시아-열대 wave trains으로 계절내 규모에서 동아시아 여름 몬순 모의의 예측 가능성을 시사했고, 티베트 고원의 wave train을 모의 개선이 필요함을 강조하였다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

o 강전호

- 대기과학 외의 지구과학 분야 세션을 둘러보면서 사업단에서 개발하고 있는 관측자료 전처리 및 품질검사 시스템의 성능 개선을 위해 도움이 될 수 있는 관련 연구들을 둘러보았다. 하버드 대학교의 Masoud Ghahremanpour는 정지궤도 환경위성 GEMS (Geostationary Environment Monitoring Spectrometer)의 대류권 NO₂농도 편차보정을 위해 딥러닝 신경망 기법을 도입하여

TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) 측정값에 유사한 보정결과를 얻었으며 동시에 TROPOMI의 측정값이 약 9% 과소평가 함을 발견하였다. 한편 NASA GODDARD의 Erica McGrath-Spangler는 NOAA와 NASA의 차세대 LEO/GEO 위성관측 프로그램(Near Earth Orbit Network (NEON) and Geostationary eXtended Observations (GeoXO) program)의 일환으로 OSSE 체계를 이용한 신규 개발위성의 자료동화 효과를 추정한 연구 결과를 발표하였는데, LEO보다 GEO 위성의 효과가 훨씬 크며, 12UTC보다 00UTC 예측에서 효과가 더 큰 것으로 나타났는데, 이와 관련해서는 AIRCRAFT 등 Anchor 관측이 12UTC에는 현격히 줄어들어 따라 배경장의 오차가 증가했기 때문으로 진단하였다. 머신러닝을 이용한 관측자료 또는 모델의 편차를 보정하는 연구와 신규 관측기술의 개발과 활용 연구가 활발히 진행되고 있음을 확인하였다.

o 한현준

- 특히 OSSE와 관련된 연구를 살펴보았다. NASA GODDARD의 Erica McGrath-Spangler는 'Complementary roles of LEO and GEO IR Sounders in NWP Evaluated using an OSSE Framework'라는 제목으로 NASA GMAO OSSE 체계를 이용하여 NWP에 대한 LEO와 GEO의 영향을 살펴보는 연구를 소개하였다. LEO 제거 실험보다 GEO 제거 실험에서 모델 성능 저하가 더 크게 나타난 것으로 보아 LEO보다 GEO의 NWP 영향이 더 큰 것을 확인하였다. OSSE 체계 구축과 관련하여 질문하고 싶었지만 Erica McGrath-Spangler는 OSSE user에 더 가까워서 많은 질문을 하지 못한 것이 아쉽다. 또, 해빙 분야의 연구로서 Maryland 대학교의 Alek Petty는 'New sea ice and ice sheet OSSE framework for determining ice topography science requirements from a future STV mission'이라는 제목으로 향후 STV mission에 대해 sea ice와 ice sheet 모델의 성능을 개선하고자 어디, 언제, 어떤 종류의 관측이 가장 효과적인지 판단하기 위해 구축된 OSSE를 소개하였다. 해당 OSSE 체계는 NR 모델과 자료 동화 모델이 서로 다르게 잘 구축되어 있었으며, OSSE 체계 내에서 Sea Ice와 Sea Sheet를 실제와 같이 잘 만들려는 노력(sea ice concentration, sea ice draft, skin temps, other altimetry data의 구축)을 하고 있었다.

o 김혜영

- 현재 개발중인 육상 관측자료의 확대를 다른 관측에 대해서 활용할 필요성과 모델 예측성능에 미칠 수 있는 기작에 대한 이해를 높일 수 있었다. 특히 지면정보와 상층 대기의 상관이 깊은 연관이 있으며 이를 통해 모델의 강수 정확도가 크게 달라지는 것을 이해하게 되어 지면 정보 개선의 필요성을 알게 되었다.

- 눈 이나 해빙 지역 및 사막 지역에 대한 복사학적 연구보다 기상학적으로 대기에 미치는 영향에 대한 연구가 많았으며 지면정보의 정확도가 추후 모델 예측성능 개선에 큰 도움이 될것으로 판단된다.

o 권용환

- 토양수분 위성관측, 모델링, 자료동화와 관련된 최신 연구 동향을 파악하고, 토의함으로써 사업단 대기-지면 결합자료동화 연구/개발에의 활용방안을 모색해 볼 수 있었다. 특히, USDA의 Dr. Wade Crow와 협력 연구를 진행할 수 있는 기반을 마련한 것은 큰 성과이다. Dr. Wade Crow 는 토양수분 위성관측, 모델링, 자료동화 분야의 저명한 과학자로서 사업단 토양수분 자료동화 성능 개선에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 사업단 토양수분 자료동화 체계를 개선하기 위해서 토양수분-잠열흐름 결합강도의 개선과 관측오차의 시공간분포를 자료동화 체계에 고려하는 연구를 진행하고 있는데, 이와 관련해서 Dr. Wade Crow와 지속적인 토의를 진행할 계획이다.

o 이은혜

- 연장중기 과거재예측 여름 실험에서의 동아시아 여름 몬순 결과를 발표하면서 현 사업단에서 연장 중기 예측을 목표로 하는 개발 현황을 공유하고 KIM 연장중기 과거재예측 실험을 활용한 동아시아 여름 몬순의 평균장과 북태평양 고기압 세기의 경년변동 모의 그리고 엘니뇨 이른 쇠퇴 시 순환장 특성 결과를 포스터 발표하였다. 계절내-계절 규모에서의 모델 에러와 편차 감소의 진전과 도전과제 세션을 통해 다양한 규모 및 현상 모의에서 모델 에러와 편차 감소를 위한 다양한 방법들과 최신의 연구 동향을 파악하며 관련 분야의 지식을 습득하였다. 동아시아 몬순과 연관된 최신 연구 중에서 계절내 변동이 큰 MJO 이벤트로 인해 장파 복사가 북쪽으로 전파되면서 동 아시아 여름 몬순이 이르게 발달함에 대한 구두 발표를 들음으로써 이에 대한 이해도를 높였다. KIM에서 동아시아 여름 몬순이 발달할 때, 모의 성능을 높이기 위해서 현재 모델에서 보이는 아열대 북서태평양에서의 오차 개선뿐만 아니라 열대에서 보이는 현상인 MJO 장파 복사의 북쪽 이동 모의의 필요성을 확인하였다.

나. 향후 업무 활용 계획

o 강전호

- 사업단에서 개발 및 개선하고 있는 관측자료 활용체계의 질적/양적 성장을 위해 세계 선진기관들의 연구 동향에 따라 관측자료와 배경장의 오차를 보다 정확하게 추정하고 보정하는 기술의 개발에 지속적인 관심이 필요하며, 특히 머신러닝 기술을 적극적으로 활용하고자 한다. 또한, 선진기관들을 중심으로 새로운 관측기술과 위성센서 및 이들에 대한 활용기술의 개발이 활발히 진행되고 있으며,

사업단에서 개발중인 지구시스템 자료동화 체계의 성능 개선 연구에 반영하기 위해 지속적인 관심과 모니터링이 필요하다.

○ 한현준

- 사업단 OSSE 체계는 여전히 개발 중으로 지속적인 개선을 통해 더욱 현실성을 높일 필요가 있다. 전문가들과의 논의를 통해 알게 된 OSSE 현실화 방법을 사업단 OSSE 체계에 적용해 볼 생각이다. 특히 모의 관측 자료를 만드는데 있어서 NR 수상량을 probability 처럼 이용하여 위성 관측의 NR 수상량 정보를 반영하고 동시에 OSE/OSSE O-B 관측의 개수를 조절하는 연구를 진행해 볼 것이다.

○ 김혜영

- 분석장에 미치는 관측영향 평가에 있어서 Desroziers et al(2005)가 제안한 오차 정보를 활용한 지표를 생산하여 이를 GPSRO 동화시 오차 정보산출에 적용한 발표가 있었고 긍정적인 효과를 보이는 것으로 판단된다. 따라서 관측영향을 진단할 수 있는 지표산출을 통해 객관적인 관측영향 분석을 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 관측이 빈번하지 않은 영역에 대해 확산 모델기반의 SI를 적용하여 관측자료 이상의 효과를 보이는 기법들이 많이 제안되고 있다. 확산모델로 산출된 분석장과 실제 관측기반의 분석장의 차이를 보고 이를 통해 관측의 영향을 진단할 수 있다.

○ 권용환

- TCA와 머신러닝 방법을 적용하여 위성기반 토양수분 관측자료의 오차를 시공간적으로 추정하는 방법을 사업단 체계에 적용하여 다중센서(ASCAT + SMAP) 토양수분 자료동화의 성능을 개선할 계획이다. 특히, ASCAT 토양수분 자료의 건조지역에 대한 mask를 적용하여 KIM 기상 예측성능의 개선 정도를 평가할 계획이다. 마지막으로 토양수분 자료동화의 KIM 태풍예측 성능 개선에 기여하는 정도를 사례별로 평가해 보고자 한다.

○ 이은혜

- 포스터 발표하면서 코멘트받은 내용인 수평 해상도를 높여서 장마 전선에서 vertical velocity 강화 확인 및 convection scheme 약화시킨 물리과정 민감도 실험을 통해 아열대 북서태평양 지역의 모의 개선 확인을 이후 사업단 모델에 추가적인 검증 및 연구에 적용될 수 있을 것으로 생각된다. KIM에서 엘리뇨 쇠퇴에 따른 아열대 순환에서 동풍을 과대모의하는 경향이 있는데, 이로 인해 MJO 장파 북사의 북쪽 이동을 저지하여 동아시아 여름 몬순 발달에 영향을 주는지

확인이 필요해 보인다. KIM 연장중기 과거재예측 실험은 기준 멤버만 있는데 이후 앙상블 멤버를 추가한 실험에서 모의 성능 개선을 확인할 때, 지역 기후의 계절내 규모의 현상 모의에 필요한 앙상블 개수가 다르다는 것을 인지하며 분석할 수 있을 것으로 생각된다.