

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	팀장	실장	사업단장
	8월 7일	8월 10일	8월 10일	8월 10일	8월 11일
재	황지원	구명서	배수야	박래설	이우진

1. 출장개요

출장목적	2023 Joint CFMIP-GASS Meeting 참석		
출장일정	2023. 7. 8.~2023. 7. 15. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
황지원	물리과정팀	선임급연구원	
김현주	결합모델팀	선임급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	프랑스, 파리, 소르본 대학교		
출발지	인천	도착지	프랑스, 파리

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2023년 7월 9-13일(5일간) 프랑스 파리 소르본 대학교에서 개최된 2023 joint CFMIP-GASS Meeting에 참석
 - 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization) 산하 세계 기후 연구 프로그램(WCRP, World Climate Research Program)에서 개최하는 국제적인 학술 행사로, 기후민감도, 구름 물리 과정, 대류 시스템 등을 주제로 구름피드백 모델 상호 비교 프로젝트(CFMIP, Cloud Feedback Model Intercomparison Project)와 전지구 대기 시스템 연구 사업단(GASS, Global Atmospheric System Study)의 최신 연구 성과를 공유하고, 기후분야 커뮤니티의 상호 협력 및 이해력 증진을 목표로 하는 행사이다.
 - 해당 학회 참석을 통해 기후모델의 구름 피드백 및 물리과정에 관련된 최신 연구 동향을 파악하고, KIM 모델 실험을 통해 확인된 지면-대기 상호 작용에 대해 공유하여, 향후 대기 및 지면 물리 과정 개선 및 검증 방안 개발 등에 활용하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

- Climate feedback and sensitivity 세션에서 “The role of summer time Arctic clouds on ice-albedo feedback”을 주제로 발표

- 북극 지역 여름철 구름-해빙 상호작용과 관련된 복사 피드백 과정을 주제로 기후모델에서 장파 복사 피드백 과정과 관련하여 여름철 북극 구름의 증가가 대기 순환 과정을 통해 가을철 해빙의 감소를 유도한다는 분석 결과를 소개하였다.
- 기후모델의 AMIP6 실험에서 모든 모델이 동일한 해빙 농도 값을 처방하고 있음에도 불구하고 북극 여름철 청천 단파 복사량의 차이가 크게 나타나는 문제에 대하여 NASA Langley 소속 전문가와 논의를 진행하였고, 해빙 모델이 결합되지 않은 AMIP 실험의 경우, 해빙농도는 동일하나 모델 간 적설량의 차이로 인해 지면 반사도가 상이하다는 정보를 공유하였다.
- 따라서 향후 KIM에서 모의되는 북극 지역의 구름 복사 피드백 과정을 확인하기 위해서는 해빙의 변화뿐만 아니라 시베리아 지역의 지면 반사도까지 함께 고려하는 방향으로 분석이 진행되어야 한다고 판단된다.

o Cloud processes 세션에서 “The spin-up of land surface models and its effects on surface fluxes and cloud formations”을 주제로 발표

- 물리과정 개발 혹은 연구적인 목적으로 수치모델 cold 실험을 하는 경우, 발생할 수 있는 인위적인 효과 중 단-중기(1-10일)를 대상으로하는 실험에서 잘 고려되지 않는 지면초기장 효과를 보고 하였다.
- 구동하는 모델과 동일하지 않은 모델이 생산한 지면상태를 초기장 자료로 활용할 경우, 토양 수분의 평균적인 값이 두 모델에서 큰 간극을 보이기에 발생할 수 있는 체계적인 오차를 KIM 모델을 통해 정량화하고 시공간 패턴을 제시하였다.
- NOAA의 홍성유 박사과 논의를 진행하였다. 받은 의견으로 토양 수분 값의 자료 간 괴리를 줄이기 위해 활용되었던 기존의 자료변환 방식들의 한계 확인이 필요하다는 것과 해당 지면초기장의 적절성 확보가 모델 예측성 향상에 의미있는 기여를 하는지 확인되어야 한다는 것이다.

o 구름 복사 피드백 과정 및 기후 민감도와 관련한 최신 연구 동향 파악

- 본 학회에서는 기후모델에서 지역별 해수면 온도 차이에 의한 패턴효과(pattern effect)가 기후 모델의 미래온난화 예측에 미치는 영향에 대해 다양한 관점의 연구가 중점적으로 소개되었다. 여기서 패턴 효과란, 이산화탄소 강제력에 대한 지역별 온난화 반응의 편차가 기후민감도에 미치는 영향을 의미한다.
- 영국 기상청(UK Met Office)의 Andrew 박사는 1980년대 이전 시기의 전지구 평균 온도 변화율은 기후모델에서 이산화탄소 4배증의 장기 시뮬레이션을 통해 추정된 기후피드백의 강도와 밀접한 비례관계를 보였으나, 1890년대 이후 전지구 평균온도의 경우, 열대 태평양 지역 동-서 해수면

온도 변화율 차이에 의해 기후피드백과 무관하게 변화했으며, 이로 인해 낮은 기후민감도를 나타낸다는 연구 결과를 소개하였다. 더불어 프랑스 툴루즈 대학의 연구팀(LEGOS)은 이산화탄소 증가 시뮬레이션에서 패턴효과에 의해 전지구 평균 온도 상승이 완화되는 실험 결과를 소개하였다.

- 또한, 최근 CMIP6 모델이 CMIP5에 비해 높은 기후민감도를 나타내는 원인 중 하나로 온대지역 하층운 감소에 의한 강한 양의 구름 피드백 작용이 지적되어 기후모델 커뮤니티 내에서 중요하게 논의 되어왔다.
- 로렌스 리버모어 국립 연구소(LLNL)의 Zelinka 박사는 구름 특성의 변화가 기후 변화에 미치는 영향이라는 주제에 대하여 최근 이산화탄소 증가에 대한 구름 피드백의 반응이 과거에 비해 강하게 나타나고 있으며, 이는 대기 경계층 역전(PBL inversion)을 나타내는 지표인 Estimated Inversion Strength (EIS)의 증가에 의한 음의 하층 구름 피드백으로부터 유도되었다는 사실을 위성 관측 자료 분석을 통해 증명하였다.
- 런던대학 임페리얼 컬리지(Imperial College London)의 Ceppi 박사는 CMIP6 기후모델이 관측에 비해 하층 구름 피드백의 강도가 약하게 나타내고 있는데, 이는 하층 구름의 양과 광학두께가 과소 모의되기 때문이라는 연구 결과를 소개하였다.

o 구름 피드백 과정에 관련된 지면 및 해면 영향에 대한 최신 연구 동향 파악

- ECMWF의 Richard Forbes는 현재 활용되는 수치모델들이 갖는 공통적인 체계적 오차로 대륙 서안에 인접한 해상의 구름 모의 불확실성을 지적하였다. 그리고 이에 관련된 특징으로 연안에서 관측된 균질한 구름의 재현 실패와 원해에서의 구조화된 구름의 과도한 모의를 제시하였다. 해당 지역 해면의 적절한 현열 및 잠열 방출 모의와 이에 대한 구름 생성 과정의 개선이 필요함을 시사한다.
- UC Davis의 Da Yang은 전구수치모델에서 나타나는 수증기에 의한 부력효과를 분리하여 정량화 하였다. 주로 극지해상이나 아열대의 대륙서안해상과 같은 비습이 높고 대기가 안정된 지역들에서 수증기 부력의 영향이 크게 나타났고, 주요한 반응으로는 구름 면적비율이 최대 50% 가량 증가하였다. 해당 지역 해면의 열과 수증기 공급이 구름 생성 과정과 이의 결과로 나타나는 구름 피드백에 중요한 역할을 할 것이라 예상된다.
- UC Santa의 Nicole Feld는 지구시스템모형을 활용하여 해양 남북방향 열수송에 관련된 구름 단파복사 피드백이 북극 온난화 증폭 현상의 필요조건 일 수 있음을 보여주었다. 모델 실험 중 해양 열수송에 관련된 구름 생성/소멸이 표현된 경우에만 북극 온난화 증폭 현상이 모의되었다. 이는 극지역 지상 온도와 구름 모의의 정확도 향상에 필요한 모델 개선점으로 해상에서 대기로 수송되는 에너지와 이에 대한 적절한 구름 반응이 필요하다는 것을 의미한다.

3. 출장성과 · 시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과 · 시사점

- 기후적 관점의 구름 복사 피드백 기작 파악을 통한 모델의 중장기 예측성 개선 방향 모색
 - 현재 기후모델 커뮤니티 내에서 최근 중점적으로 논의되고 있는 부분이 열대 태평양 지역의 패턴 효과와 하층 구름에 의한 피드백 과정이라는 점을 파악할 수 있었다. 때문에 향후 기후적 관점에서 모델의 중위도 지역 계절 예측성 향상을 위해서는 그동안 고려되지 않았던 열대 태평양의 해수면 온도 변화의 패턴에 대한 모의와 열대지역 하층 구름의 운량 변화, 그리고 이로 인한 복사량의 변화를 보다 장기적인 관점에서 상세히 분석할 필요성이 있다고 여겨진다.
- 모델의 구름 물리과정 검증을 위한 신규 위성 정보 파악
 - 기후모델의 가장 큰 불확실성의 원인은 구름 피드백과 에어로졸 효과로 지적된다. ECMWF에서는 구름 및 에어로졸이 지구 에너지 복사량에 미치는 영향에 대해 보다 상세한 분석이 가능한 위성 관측 자료로 유럽 우주국(ESA)과 일본 우주 항공국(JAXA)에서 2024년 신규 발사 예정인 EarthCARE (Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer) 위성을 소개하였으며, 에어로졸 관측 라이다(ATLID), 구름 관측용 레이더(CPR), 다중 스펙트럼 영상기 등의 최신 장비 탑재를 통해 연직 에어로졸 소광 계수, 에어로졸 분류, 얼음/눈 입자 낙하 속도, 강설 강도, 강수입자 수농도 및 크기 등의 새로운 관측 정보 획득이 가능하다고 평가하였다. 따라서 향후 구름 내 수직 운동이 대류 및 강우 과정에 미치는 영향과 같은 모델 내 구름 물리과정 검증을 위한 자료로써 활용 가능성을 모색할 필요가 있다.
- 구름 모의 및 피드백 특성 구현에 관련된 경계모델 개선 방향 모색
 - 본 학회에서는 지면의 복사 가열/냉각이 복사 속과 난류 속으로 상호작용으로 생성/소멸하는 구름 과정에 대해서 많이 다루어졌는데, 대상이 되는 구름들은 주로 하층 구름과 열대의 anvil형 구름과 같은 지면/해면의 영향을 직접적으로 받아 생성되는 구름이다. 따라서 지면/해면의 에너지 속의 적절한 모사가 일부 구름 유형에서 나타나는 구름 복사 피드백 조성에 필수적인 요건이 되리라 예상된다. 해당 구름 유형의 변화에 관련된 경계모델의 지면/해면 속 모의 특성 및 성능에 대한 평가가 필요한 것으로 보인다.

나. 향후 업무 활용 계획

- 기후모델에서 모의되는 극지역 복사 피드백 과정에 대한 전문가 의견을 수집하여 모델의 극지역 구름-해빙-복사 상호작용 진단을 위한 장기 예측 실험에서 해빙에 의한 구름 복사 피드백의 변화뿐만 아니라 봄철 시베리아 지역의 눈-반사도가 단파 복사 과정에 미치는 영향까지 함께 고려하여 분석에 활용할 예정이다.

- EarthCARE 위성은 지구 표면에서부터 대기 상단부까지의 3차원 구조에 대한 대기 변수 정보를 제공할 예정이므로 재분석 자료 간 편차가 매우 큰 성층권에서 중간권에 이르는 중간대기에서의 구름 및 에어로졸에 의한 복사과정에 대한 상세 분석과 검증을 위한 위성 자료로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 기존 연구들에서 제시된 피드백 강도를 정량화하는 방법들을 활용하여, KIM에서 나타나는 구름에 관련된 지면-대기 상호작용의 시공간적 분포와 강도를 진단하고 이에 관여하는 지면물리과정의 확인 및 개선을 위한 분석을 진행할 예정이다.