

국외 출장 결과보고서

결	담당자	팀장	실장	사업단장
	8월 1일	8월 2일	8월 2일	8월 3일
재	조희제	심태현	김정한	이우진

1. 출장개요

출장목적	2023 CFMIP-GASS Meeting 참석 및 발표		
출장일정	2023. 7. 8.~2023. 7. 15. (6박 8일)		
성명		소속	직급(직위)
조희제		모델체계팀	선임급연구원
방문기관 (또는 회의장소)	프랑스 파리 소르본 대학		
출발지	인천	도착지	파리

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

CFMIP(Cloud Feedback Model Intercomparison Project)은 기후변화 연구 프로그램 WCRP(World Climate Research Programme)에서 주관하는 프로젝트로서 세계 여러 기관의 수치모델에서 모의되는 구름의 특징을 비교하고 이를 통해 구름이 기후변화에 어떤 역할을 하는지 이해하고자 하는 목적으로 2003년에 설립되어 매년 학회를 개최해 오고 있다. CFMIP의 가장 중요한 가시적 활동은 COSP(CFMIP Observation Simulator Package)라는 위성 구름 시뮬레이터를 배포하여 수치모델 간 상호 비교 활동을 촉진한 것이다. 최근 사업단에서도 COSP 시뮬레이터를 도입하여 KIM 모델의 구름과 위성 관측 구름을 비교하는 작업을 시작한 바 있다. 2023년에 열리는 CFMIP 미팅에 참여하여 사업단의 연구 결과를 소개하고 해당 분야와 관련한 세계 여러 기관의 최신 연구 동향을 파악하고자 학회에 참석하였다.

나. 주요 업무 수행 사항

※ 학술회의에서의 연구개발성과 발표 내용, 최신 연구개발 기술동향 습득 내용, 외부 전문가와의 토의 내용 등 기술, 기관 방문 시 회의내용에 대한 기술

○ 학술 발표 개요

매년 열리는 CFMIP 미팅에는 수치모델 내에서 구현되는 구름 물리과정을 연구하는 세계적인 석학들이 꾸준히 참석하여 연구 결과들을 발표하고 있다. 일기예보 및 기후변화 연구에서 구름의 수치적 모사와 관련해서 어떤 진전이 있었는지를 가장 빠르게 파악할 수 있는 자리라고 생각된다.

학회에서 발표되는 내용 및 발언들은 대부분 기후변화 연구를 중심으로 이루어졌으나 수치모델의 역학 및 물리과정에 대한 깊이 있는 연구들이 많아 NWP 연구에서도 참고할 만 한 내용이 많았다. 또한 기후 모델 해상도의 급격한 증가가 NWP의 중장기 예보에 대한 관심과 맞물려 공통의 과학적 관심사를 만들어 낼 수 있는 자리이기도 했다.

- Pattern effect 관련 연구

2010년 경을 시작으로 Effective climate sensitivity 및 Rapid adjustment에 대한 이해를 바탕으로 한 "pattern effect" 즉 기후 모델의 평균적인 배경장의 형태가 서로 다르다면 지구온난화의 규모 자체가 달라질 수 있음에 관한 연구가 여전히 활발히 진행되고 있었다. 연구 초기에는 지구의 평균적인 표면 온도의 증가에 관심을 가졌다면 최근에서는 각각의 물리 요소들의 지역적인 변화에 의한 피드백 효과를 진단하는 연구들이 많아졌다.

- Explicit convection simulation 관련 연구

SST 증가에 따른 열대 적란운의 anvil cloud 변화가 기후변화의 크기를 조절할 수 있다는 이른바 "iris effect"에 관한 관심은, 원 논문이 출판된지 22년이 지난 지금에도 여전히 많은 관련 연구들을 생산해 내고 있다. 특히 계산 능력의 성장으로 지구 규모의 cloud-resolving simulation이 가능해지면서 각각의 수치 모델들이 복사-대류 평형을 어떤 식으로 모의하는지를 비교하는 RCEMIP이 최근 몇 년 동안 진행되었고, 이를 통해 생산된 자료들이 공개되고 분석되는 단계이다. 동경대의 Satoh는 220 m 격자 규모의 모델에서 구름 및 대류의 특징을 상세히 분석하였고, MPI의 Klocke는 1 km 격자의 전구 모델 결과를 소개하였다. 두 연구 모두 "convergence" 즉 해상도를 증가시켜 가면서 대류 및 강수의 특징이 대표값으로 수렴하는 특징을 볼 수 없었음을 보고하였다. 이 부분에 대한 각 모델링 그룹 간의 의견이 크게 다르기 때문에 발언들은 조심스러웠으나 구름 및 대류 과정의 명시적 구현을 위한 연구는 기후 모델 전문가들 그룹에서도 여전히 초기 단계임을 인지할 수 있었다.

- 기타 모델링 및 관측 연구

AWI의 Pithan은 북극의 MOSAiC 집중 관측 자료를 활용하여 모델 내 물리과정의 성능을 진단하고 개선하는 새로운 과정을 소개하였고, 이는 NWP 개발 과정에도 개념적으로 활용 가능하다고 생각되었다.

CloudSat과 CALIPSO의 후속 위성 프로젝트가 사라진 대신 유럽에서는 EarthCARE를 내년에 발사할 계획을 가지고 있으며 이에 관한 자세한 정보를 들을 수 있었다. 활용 플랫폼을 갖추는 과정이 필요하다고 보여진다.

○ 발표 및 피드백

- "An evaluation of simulated clouds in the Korea Integrated Model using COSP" (포스터 발표)
COSP 시뮬레이터를 통해 KIM 모델의 구름 특성에 대해 분석한 결과들을 소개하였다. 해상도의 증가에 대한 열대 대류운의 차이에 대한 관심이 많았다. KIM의 수평해상도를 12 km에서 8 km로 높였을 때 열대지역 연직대류의 공간 구조가 관측과 더욱 가까워지는 점으로 비추어 볼 때 고해상도 KIM에서 열대 수렴지역의 모의 특징이 우선적으로 분석되어야 함을 짐작할 수 있었다. 위성 자료와의 정확한 일치율 목표로서 한 물리과정 개선보다는 관측 자료와 모의가 대표하는 시간 및 공간 규모의 차이에 대한 이해를 바탕으로 한 전반적인 모의 성능 개선이 중요하다는 의견이 있었다. 위성 시뮬레이터가 중위도 및 극지역의 하층운을 검증하는데 적절함을 확인할 수 있었으나 이 지역의 구름 모의 개선에 앞서 관측 자료들의 심층 분석을 통해 실제 상황을 파악하는 것이 선행해야 한다는 의견이 많았다.

- "Sensitivity of simulated winter Arctic clouds to convection parameterization" (구두 발표)
WRF 지역 모델이 북극을 모의할 때 적운대류과정을 바꾸면 구름 모의가 크게 달라짐을 소개하였다. 극지역의 하층운 모의가 틀어지면 지면 복사 균형에 큰 영향을 줄 수 있음을 인지하고 있으나, 지면 근처 수증량의 정밀한 관측이 쉽지 않기 때문에 미세물리과정, 대류과정, 경계층 모의과정의 복합적인 결과로서 존재하는 구름모의를 개선하기 위해서 조심스러운 접근이 필요하다는 의견이 있었다.

해빙이 없는 고위도 대서양 지역에서 관측되는 하층의 두꺼운 구름에 대한 분석이 요구되며, 이 구름의 시공간적 특징에 맞게 물리과정을 조절해 보는 실험이 뒤따라야 할 것이다. 해빙 지역에 존재하는 하층운의 경우, 지면의 장파복사 방출율을 포함한 지면물리 및 혼합경계층 물리과정의 조정이 필요해 보이며 그 이후에 미세물리과정의 조정을 통한 개선을 기대해 볼 수 있을 것이라는 조언이 있었다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

기후 모델링 그룹에서 개발의 화두는 대개 "어떤 물리 현상을 모사 가능한가"하는 문제인 경우가 많아서 예보 정확도를 따지는 NWP 개발과는 지향하는 바가 다른 경우가 많다. 올해 CFMIP에서 가장 돋보였던 발표들은 고해상도 모델에서 열대 해상 대류운의 형태 및 이들의 시간에 따른 군집화를 모의 가능한가 하는 것이었는데, 개발 과정에서 모의 결과를 평가하는 방법과 관측 자료를 활용하는 방법에서 배울 점이 많았다. 연장중기 예측을 목표로 사업단의 모델을 개발하는 경우에도 특정

필드의 예측성보다는 중장기의 대기 변동성을 대표하는 지수의 진폭과 주기를 먼저 봐야할 경우가 많을 것이다. 또한 고해상도 모델의 대류 모의를 평가할 때, 단순히 고도에 따른 운량이나 복사량 진단보다는 구름의 수평적 군집화 수준의 평균값 및 시간적 변동성을 활용할 수 있다. 이 외에도 고해상도 모델에서 역학 및 물리과정을 평가하고 개발하는 과정에 활용 가능한 다양한 진단 방법을 접할 수 있었다.

나. 향후 업무 활용 계획

모델에서 표현되는 구름이나 복사는 고유한 시공간 규모를 가질 수 있기 때문에 위성 및 지상 관측과 비교할 때 주의가 필요하다. 특히 사례 분석 및 검증에 사용되는 자료의 경우가 그러한데, 향후 이 점을 고려하여 위성 시뮬레이터를 통한 구름 진단 체계를 구성할 계획이다.

사업단에서 초고해상도 모델을 구축할 때 열대의 대류-복사 평형 과정을 처음부터 진단할 필요가 있음을 인지하였다. 이완수축격자나 지역규모 모델의 사용 여부에 따라 격자적응형 물리과정의 역할이 달라질 것이고 이 때 모델의 안정성을 판단하는 지표가 될 수 있는 "stability", "consistency" 등을 고려한 복사-대류 평가가 이루어져야 할 것이다.