

국외 출장 결과보고서

결 재	담당자	팀장	팀장	팀장	실장	사업단장
	5월 13일	5월 16일	5월 16일	5월 16일	5월 16일	5월 17일
	조건희	심태현	구명서	배수야	이은희	권인혁

1. 출장개요

출장목적	EGU General Assembly 2024 참석 및 발표		
출장일정	2024. 4. 14. ~ 2024. 4. 21. (6박 8일)		
성명	소속	직급(직위)	
김신우	양상블응용팀	선임급연구원	
조건희	양상블응용팀	선임급연구원	
한용재	결합모델팀	선임급연구원	
공해진	역학물리팀	원급연구원	
방문기관 (또는 회의장소)	오스트리아, 비엔나, 오스트리아 센터 비엔나 (Austria Center Vienna)		
출발지	인천	도착지	오스트리아, 비엔나

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- 2024년 4월 14일 ~ 4월 19일에 오스트리아 비엔나에서 개최되는 EGU General Assembly 2024 참석을 통해 사업단의 연구성과 및 비전 등을 공유하고, 각국의 전문가들과의 적극적인 연구 교류를 통해 최신 기술 동향 파악 및 유용한 의견들을 수집하여 사업단에 환류함으로써 사업단의 연구 계획에 활용하고자 함.

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
- 김신우 : 수치모델을 이용한 예측기술의 개발에 있어 모델과 초기장의 불확실성을 파악하고 이를 표현하는 앙상블 예측은 필수적인 요소이다. 현재 사업단에서는 이음새 없는 수치모델 예측기술의 개발을 위해 중기 및 연장중기를 아우르는 앙상블 예측 시스템의 개발이 진행되고 있다. 연장중기 범위의 예측에서는 모델 예측 오차의 성장을 무시할 수 없고 이를 반영하기 위해 과거 재예측을 통한 평년값의 고려가 필수적이다. 이에 KIM 모델을 이용한 과거 재예측체계를 개발하고 재예측 자료를 시범 생산하여 KIM 연장중기 예측의 특성을 분석하고 있다. 기개발된 과거 재예측체계에서

앙상블 초기섭동 생산 과정을 개선한 KIM HCST24.01을 구축하였고 이를 이용하여 앙상블 초기 섭동 생산 과정에서 사용된 배경오차 샘플의 교체 실험과 앙상블 초기섭동 인플레이션 민감도 실험을 수행하고 그 분석 결과에 대해 포스터 발표를 수행하였다. 본 포스터 발표에 대해 여러 연구자들과 다양한 의견을 나누었다. KIM 모델이 현업 중기에측 뿐만 아니라 연장중기 예측으로 그 폭을 넓히는 것에 많은 관심을 가졌고 이 과정에서 진행되고 있는 결합 시스템과 초기장 등에 대해 토의를 진행하였다. 재예측 시스템의 검증에 사용된 재분석 자료와 그 적합성에 대한 지적도 있었으며 배경오차 샘플의 교체가 RMSE와 SPRD에 큰 차이를 만들지 않았는지에 대해서도 토의를 수행하였다. 현재 KIM 과거 재예측자료를 이용한 MJO 예측 성능에도 많은 관심을 가졌으며 현재 재의 성능에 대해서도 긍정적인 반응을 보였다.

본 포스터 발표 이외에도 연장중기 및 앙상블 예측과 관련된 다양한 구두 발표와 포스터 발표 세션에 참석하여 최신 연구 동향을 접할 수 있는 기회가 되었다. 연장중기 예측에 있어 지면, 해양, 극지, 성층권 등 다양한 구성 요소들의 중요성을 보여주는 발표들이 있었다. 지면과 대기의 커플링이 고해상도 시뮬레이션에서 상대적으로 약하게 나타난다는 연구가 있었고 이를 살펴보기 위해서 토양 수분과 증발산 사이의 피드백과 증발산과 강수량 사이의 피드백 등을 분석함을 확인하였다. 그리고 ECMWF의 기계학습 기반의 예보 시스템이 NWP 기반의 결정론적 예측 기술에 대등한 수준에 도달하였다는 연구를 접하였고 ECMWF의 운영 로드맵을 접할 수 있었다.

- 조건희 : KIM 모델의 결과(비결합, 결합)를 활용하여 기존 블로킹에 의한 성능평가 방안을 새롭게 제시하여 블로킹에 의한 대기오차 및 강도를 비교하였다. 기존 1차원 탐지 방법에 따라 특정지역에서 발생하는 블로킹의 발생날에 따라 오차성능을 측정하던 방식에서 블로킹의 영역에서의 오차와 아닌 영역에서의 오차를 비교하는 방식으로 제시하여 블로킹에 의한 오차를 더 객관적으로 제시할 수 있었다. 이를 통해 비결합 모델 대비 결합모델에서 블로킹의 강도에 의한 대기 오차가 줄어드는 것을 확인하였으며 여름과 겨울 모두 결합모델에서 성능이 좋았음을 확인하였다. 그러나, 해양, 해양-해빙 결합모델에서 비결합 모델보다 특정 블로킹(Blocking with cyclonic wave breaking)에서 성능이 더 나쁜 것을 확인하였고 이는 해양-해빙-파랑 결합모델에서 더 나은 성능을 제시하고 있음을 같이 확인하였다. 이 특정 블로킹은 적도에서의 대기 온도가 중요한데 이를 파랑 모델이 오차를 완화시켜주는 것으로 판단하였다. 반대로 anticyclonic wave breaking과 같이 나타나는 블로킹(주로 대서양에서 발생)은 해빙모델이 결합되며 좋은 성능을 보여주었는데 이는 많은 선행연구의 극지역 반응이 블로킹에 영향을 미친다는 결과를 보여준다.

○ 한용재

air-sea interaction

- IPSL 모델의 개발자 Renault 는 대기-해양 상호작용을 열적요소와 운동학적 요소로 구분하였고, 열적요소는 열 속과 해수면온도를 교환하는 보편적인 결합방안을 제시하였다. 그러나 운동학적 요소(current feedback)의 역학적 메커니즘을 통해 해양 표층에서 운동에너지의 전환과정을 설명하였고, 장기적으로 해수면 온도에 대한 해양모델의 계통적오차를 감소시킬 수 있음을 설명했다.

wave-ocean interaction

- 사업단 KIM 결합모델의 개발 현황과 파랑모델에 대한 결합 고도화에 대한 논의를 진행하였다. 특히 강한 풍속에서 운동량 속 감속이 태풍 강도에 미치는 영향에 대해 큰 관심을 보였으며, 대기모델 쪽으로의 개발 방향은 외부 전문가 또한 적용해 볼 만한 방안으로 평가하였다. 해양의 계통적 오차는 열 속과 해상분무를 통해 개선해보는 것을 제안하였으나, 사업단 결합모델의 열 속 모수화 방안은 다른 방안들보다 그 크기가 큰 편이기 때문에 추가적인 개선점은 어려울 것으로 판단하였다. 해상분무에 대한 개발은 고려하고 있으나 열 속에 추가되는 항이기 때문에 후순위 작업임을 토의하였다. 우선 파랑과 해양의 해수면과 혼합층의 결합 고도화를 진행하고, 부족한 부분이 있다면 해상분무를 적용할 계획임을 논의하였다. 또한, 외부전문가는 극한기상에 대한 사례분석을 더 많이 하는 것을 권고하였다.

- 공해진 : 차세대 모델의 연직 격자체계에 도입된 평활지면추적좌표계를 고해상도에서 모의하여 결과를 분석하고, 고해상도 지형자료를 반영했을 때 평활지면추적좌표계에서 나타나는 예측 특성을 발표하였다. 이를 통해 기존 좌표계와 비교하여 고해상도 모델에서 높은 해상도의 지형자료의 활용 폭이 확대되므로, 평활지면추적좌표계의 활용 가능성에 대하여 환류하고자 하였다.

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

가. 출장성과·시사점

- 김신우 : 국내의 앙상블 예측 연구는 아직 활발하지 않아 앙상블 예측 시스템의 구성, 개선, 활용에 이르기까지 상세한 목표 설정과 진행에 대한 검증이 쉽지 않은 상황이다. EGU24에서는 앙상블 예측, 계절 내 예측과 활용, 결합모델, 모델 불확실성 연구 등의 다양한 관련 세션들이 진행되어 여러 기상 선진국과 주요 기관의 연구자들과 의견을 나눌 수 있는 좋은 기회가 되었다. KIM이 중기 예측을 넘어서 연장중기 예측으로 그 범위를 확장하고 있음을 여러 연구자들에게 소개할 수 있었고 앙상블의 규모, 지면 초기화 등에 대한 논의도 나누었다. ECMWF 재예측자료를 이용한 계절내 예측 연구, 멀티모델 앙상블을 이용한 불확실성 연구 등을 접할 수 있었고 이러한 응용

연구들을 본 사업단의 연장중기 예측 연구에 활용할 수 있는 방안을 다양하게 고민해 볼 수 있었다. 다양한 분야에서 머신 러닝을 이용한 연구들이 활발하게 진행되고 있었고 사업단의 앙상블 예측 시스템의 후처리 등에서 머신 러닝 활용이 가능할 것으로 판단하였다. 생지화학 모델을 이용한 여러 연구들을 살펴보고 추후 KIM 모델이 다양한 요소 모델들과 결합을 통해 확장할 수 있으리라 판단하였다.

- 조건희 : 블로킹에 관한 전문가로부터 여러 의견을 받아 향후 연구에 적용할 예정이다. 본 연구에서 사례기간이 적음을 공통적으로 의견을 받았으며 이는 블로킹의 특성한 1개월의 경우 사례 1~2개 정도로 신뢰성이 떨어짐을 의미한다. 또한, 블로킹 영역에 의한 검증 방안도 좋지만 KIM에서 자체적으로 블로킹의 의한 영향성 진단이 부족하다는 의견을 받았다. 이는 블로킹에 의해 위험기상(한파, 폭염, 집중호우 등)에 미치는 역학적인 운동이 KIM에서 잘 발현되는지에 대해 필요함을 강조하였고 보통 북위 60도에서 발생하는 블로킹이 아닌 북위 40도 부근에서 나타나는 저위도 블로킹에 대한 연구의 중요성도 강조되었다. 최근 블로킹을 주제로한 발표에서는 본 연구와 같이 오래된 평가방법에서 벗어나 블로킹의 위치를 추적하거나 강도를 측정하는 방법 등 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있었으나 대서양 지역 한정으로 연구가 활발하였고 태평양 및 한반도에 대한 블로킹의 연구가 필요하다는 점을 시사한다.
- 한용재 : 대기-해양-파랑에 관한 최신 연구 동향 및 기술을 조사하였고, 우리 결합모델의 현황을 공유하면서 다른 연구자들의 연구 및 개발 현황들을 파악하였다. 대기 쪽으로의 거칠기 길이 및 항력의 모수화 방안은 다른 연구자들에게도 긍정적인 반응을 얻어내었다. 파랑 결합모델을 통한 해양 혼합층 고도화 방안에서도 일부 해수면 온도 오차가 증가하는 경향이 있지만, 개발방향은 올바른 것으로 보인다.
- 공해진 : 사업단의 고해상도 모델에 도입하여 실험하고 있는 연직 좌표계의 장점과 단·중기 예측의 성능 결과를 공유하고, 연직 좌표계 및 고해상도 모델을 연구하고 있는 전문가들로부터 보완 및 최적화를 위한 방법을 논의하고자 하였다.
 - 고해상도 모델에서 고해상도 자료를 사용하는 것은 타당하나 이것이 예측 개선에서 확인은 되지 않고 있음을 다양한 연구에서도 확인하였다.
 - 전구 에너지 스펙트럼을 활용하여 상세한 지형자료 사용의 이점을 분석할 수 있으며, 모델의 격자 크기와 비교하여 작은 규모에서의 지형 활용에 따른 에너지 보존을 판단한다. 자료의 상세화로 인한 에너지 보존과 예측 시 발생하는 잡음을 에너지로 간주하며 에너지 보존처럼 보이는

것을 판별하기는 매우 어려우므로 에너지 보존보다 질량 보존에 대한 부분을 확인해 보는 것을 제안받았다.

- 3km 높이에 달하는 안데스 지역의 산악 지형에서 지형성 강수 발생에 대한 연구와 관련하여 산을 타고 오르는 200hPa에서의 동서바람과 산꼭대기 위에서의 500hPa 연직 바람을 분석한 연구를 통해 사례 분석 시 지형의 높이에 따라 연직 방향으로 확장한 분석이 필요함을 인지하였다.

나. 향후 업무 활용 계획

- 김신우 : 연장중기 예측을 위한 과거 재예측체계는 성공적으로 구축된 것으로 판단하였다. 이를 바탕으로 연장중기 예측 시스템의 구축, 확률예보체계와의 연동을 통해 앙상블 기반 연장중기 예측 시스템이 구축될 예정이다. 그리고 현재 구성된 대기모델 기반 과거 재예측과 더불어 결합모델 기반 과거 재예측을 구축하여 KIM 모델의 연장중기 예측 특성을 분석하고 모델의 편차를 분석하여 예측성 향상을 도모할 것이다. 이와 더불어 MJO 예측을 포함하여 S2S 범위의 다양한 기상 현상을 분석이 가능하도록 과거 재예측 자료의 품질을 개선하여 제공할 것이다. 생산된 과거 재예측 자료는 ECMWF와 GloSea 재예측 자료와 비교 검증을 수행할 계획이다. 현재 KIM 과거 재예측의 앙상블 사이즈와 초기 섭동 생산 방안, 모델 섭동 등의 부분에서는 지속적으로 최적화와 개선을 수행해 나갈 필요가 있을 것으로 판단된다.
- 조건희 : 향후 다음과 같은 주제로 분류하여 블로킹 연구를 수행할 예정이다.
 - 북반구 블로킹의 영향: 장기간(4년, JJA/DJF) KIM 실험을 통해 북반구에서 발생하는 블로킹의 주요한 특성이나 반응을 진단할 예정이다.
 - 한반도에 영향을 미치는 블로킹: 1번의 실험을 통해 한반도에 영향을 미치는 저위도 블로킹 및 블로킹을 진단하고 한반도의 위험기상에 영향을 미치는 역학적인 과정을 추적하여 모델 개발에 환류할 예정이다.
- 한용재 : 해양 혼합층에 대한 고도화를 물리적인 범주 내에서 지속적으로 개발할 예정이며, 개발 과정에서의 진단은 중기 및 계절의 검증 뿐만 아니라, 극한기상(태풍 혹은 폭우)의 사례등을 통해 메커니즘이 현실적으로 설명이 되는가에 대해 중점적으로 진행할 예정이다.
- 공해진 : 고해상도 모델 및 현실적인 지형 반영에 대한 높은 관심과 여러 연구 방법을 참고하여 SMH 좌표계의 이점을 추가로 분석하고자 하며 고해상도 모델 개선을 위해 참고할 계획이다.