

# TRAVEL REPORT FORM

## 출장보고서

결 재	선임연구원	과장	본부장	원장
	05/08	05/08	05/08	05/08
협 조	김옥연	이우섭	이진영	신도식

### I. Travel Overview 출장개요

#### 1. Traveler(s) 출장자

Department 소속	Position 직위(직급)	Name 성명	Note 비고
기후분석과	선임연구원(선임연구원)	김옥연	
기후분석과	선임연구원(선임연구원)	김선태	
예측기술과	과장(과장)	손수진	

#### 2. Travel Period 출장기간

○ 2024.4.15.~4.21.

#### 3. Occasion and destination 행사 및 출장지

- EGU General Assembly 2024  
○ 출장지: 빈(Vienna), 오스트리아

### II. Major Activities 주요업무 수행내용

#### 1. Main Contents and Activities 주요내용 및 활동

##### ○ 주요 연구 결과 발표

- 4.16.(화) 김옥연: Improved long-range forecasts in South Korea through integrated forecast information (세션: Subseasonal-to-Seasonal Prediction, Processes and Applications)
- ▶ 모델 자료와 관측 자료를 결합한 객관 예보 방안에 대해 발표함.
  - ▶ 특히 모델 자료 선별시 객관성을 확보할 수 있는 방안과 활용 방안에 대해 토론함.
- 4.17.(수) 손수진: Sharing small resources and making joint efforts for the improvement of climate prediction model in South Korea (세션: Climate Services - Underpinning Science)
- ▶ 기상청 기후예측모델 개선을 위한 R2O 개선 프로세스와 APCC 테스트베드 역할이행에 대해 발표함.
  - ▶ 기후 서비스 강화를 다양한 방안 가운데, 다기관 협력 체계 구성 및 국제사회 활용을 위한

---

전이 방안에 대해 토론함.

- 4.19.(금) 김선태: Changes in Solar and Wind Power Generation Potentials over South Korea under Future Global Warming (세션: Briding the gap: climate science models and renewable energy research)
  - ▶ 2023년 R&D 연구 과제인 미래 기후변화에 따른 남한 태양광과 풍력에너지 발전 잠재량 변화에 대하여 발표함.
  - ▶ 상세 전망 자료 생산 방법, 주요 결과에 대해 남한 재생에너지 정책에 어떻게 기여할 수 있는지 등 토론함.

## ○ 학회(6-7단계 아태사업 방향과 부합하는 세션 위주) 참석

### - Session AS1.3 (Subseasonal-to-Seasonal Prediction, Processes and Applications)

- ▶ S2S 예보에 있어, 기존의 기술 수준과 비슷한 연구결과들이 발표되었음. 현재 우리 센터에서 수행하고 있는 S2S 연구 내용들과 비슷한 수준의 연구들이 많았음.
- ▶ MJO 지수예측을 위해 열대지역의 대규모 변동성을 활용한 기계학습(CNN) 방법론을 소개하였으며, NCEP CFSv2와 유사한 예보 스킬을 보였음.
- ▶ 물리적 perturbation과 초기 조건의 perturbation을 결합한 예보시스템을 구축하여, 강수 계절내 예측(2~3주 이전)이 가능함을 보였음.
- ▶ CAM4를 활용하여, 계절내 규모에서 북극 해빙이 우랄 블로킹의 예측력에 미치는 영향에 대한 연구 결과를 발표하였음. 모델 결과에 따르면, 그린란드, 바렌츠 및 오호츠크해의 해빙 증가는 우랄 블로킹 강도를 약화시키고, 반대로 해빙 감소는 강화시킴. 이와 관련된 물리적 메커니즘은 우랄 블로킹 발생 메커니즘과 매우 유사함.
- ▶ 계절내 예보 predictability의 sources에 대한 원론적 발표가 있었음. 기후모델에 있어, 초기조건과 지배 방정식(물리적 과정)이 주요 예측성의 원천이긴 하지만, 특히, MJO 예보에 있어 초기조건의 어떠한 성분이 더욱 중요한지 불명확함. 이를 위해서는 현재와 같은 단일 초기장을 활용한 예보시스템은 적절치 않으며, 다른 조건들이 함께 고려된 초기 조건들을 활용할 때 예측성의 additional source를 파악할 수 있음을 제시함.
- ▶ 북반구 중위도 지역의 계절내 예측 불확실성에 대한 성층권의 영향에 대한 연구가 있었음. 약한 (강한) polar vortex의 mean signal과 음의 (양의) NAO phase가 관련이 있음. 이와 관련하여 eddy-driven 제트의 적도방향 (극방향) 편차는 특정한 지역의 종관 규모의 변동성을 강화 또는 약화시킬 수 있음. 선행시간, 계절 및 모델에 따른 모델 앙상블 spread의 기후값을 구성하면, 이를 특정 지역(jet의 위치에 따른 변동성이 큰 지역)의 예보 불확실성과 연계할 수 있음. 예를 들어, 제트의 남하 이후 SSW(sudden stratospheric warmings)이 발생한 경우, 이는 북유럽 지역의 로스비 파동을 약화시키고, 이는 그 지역의 예보에 대한 신뢰도(confidence)를 높일 수 있음.

### - Session CL3.1.3 (Attributing climate change, extreme events, and their impacts: quantifying contributions from external forcing, internal climate variability, and/or other drivers)

- ▶ 기후변화 탐지(attribution)와 관련하여 다수의 최근 연구 결과가 발표됨. 특히 기후변화 탐지를 위한 다양한 기계학습 방법론들이 소개됨.
- ▶ 현재기후에서 발생하는 극한 기상현상(extreme events)의 기후변화 기여에 대해 준실시간으로 분석 결과를 제공하는 플랫폼이 소개됨. ([www.climaeter.org](http://www.climaeter.org))

- ▶ 기후변화 탐지와 관련하여 두 개의 기후변화 시나리오를 비교하는 risk-based 접근 방법은 특정한 내부 변동성에 대한 조건부 기후 변화의 영향을 고려하는 “storyline” 접근 방식으로 보완할 수 있으며, 이 두 가지 접근법을 함께 고려한 베이시안(Bayesian) 통계기법이 소개되었음.
- ▶ 극한 기상현상에 대한 탐지 방법론 중 하나로 극한 기상 이벤트에 관련된 역학을 정의하고(stream 혹은 SLP), 이러한 역학 과정들이 관측에서 어떻게 변화(강도 또는 빈도)하는지를 분석하는 한편, CMIP의 single forcing large ensemble 모델 결과를 이용하여 지구 온난화에 따라 이 역학 구조가 어떻게 변화하는지 분석하는 방법(flow analogues)이 제안됨.
- ▶ ForceSMIP (Forced Component Estimation Intercomparison Project) 프로젝트와 주요 연구결과가 소개됨. 이 프로젝트의 목표는 통계 및 기계학습 방법을 활용하여 관측에서 나타나는 외부 강제력과 내부 강제력의 기여도를 정량화하는 것이 목표임.
- ▶ ForceSMIP에서 사용된 방법론들에 대한 성능을 비교하였으며, 관측자료에서 외부 강제력을 제거하는 데 있어 통계 및 기계학습 방법론이 일정 성능을 보임.
- ▶ DAMIP (Detection and Attribution Model Intercomparison Project) 프로젝트가 소개됨. 이는 기후변화 탐지 자체를 목표로 하는 모델 비교 프로젝트로써, CMIP6에서는 현재 15개의 모델 결과가 있으며, CMIP7에서는 확장할 계획임.
- ▶ 지구온난화의 직접적(direct)인 영향과 지연 영향(lagged)의 결과를 제시하며, 지구온난화의 지연 영향을 고려하지 않으면, 지구온난화 영향이 과소 평가 될 수 있음을 보임. 따라서 기후변화 탐지에 있어 지연 영향도 반드시 고려 되어야 함.

#### - Session CL2.3 (High impact climate events and storylines: from physical understanding to impacts and solutions)

- ▶ 지역적으로 발생한 극한 기상/기후 이벤트에 대해 기후변화 규모에서 스토리라인(storyline)을 어떻게 구성할 수 있는지 다양한 방법론이 발표됨.
- ▶ 스토리라인이란 구체적인 realization들을 통해 기후변화가 사회와 자연에 미칠 수 있는 영향을 파악하는데 도움을 주기 위한 것이며, 이를 위한 방법으로 다변량 선형회귀 프레임워크(다변량 선형회귀+클러스터링)가 제안됨. 하나의 기후변수에 대한 여러 가지 기후요소들의 반응을 설명할 수 있으며, 이를 기반으로 클러스터링을 통해 분류하여 몇 가지의 스토리라인 구성이 가능함.
- ▶ 극한 기상/기후 이벤트에 대한 탐지를 할 때, 기후변화 등 기후학적인 요소 이외, 실제 취약한 비기후 요인들을 식별하, 이것들을 모두 활용하여 스토리라인을 구성할 수 있음.
- ▶ 특히 내부변동성은 인위적인 강제력의 영향을 줄이거나 증폭시킬 수 있으며, 이 같은 불확실성을 해결하기 위한 내부변동성 스토리라인이 제안됨. 예를 들어, 지역기후에 영향을 미치는 두 개의 기후요소(예, NAO, AMO) 위상에 따른 4가지 스토리라인을 구성하여 각 스토리라인에 대한 robustness를 대규모 모델 실험을 통해 불확실성을 평가함. 이를 통해 내부변동성에 대한 기후변화 영향을 조건부 형태로 표현하여 제시할 수 있음.

#### - Session CL2.4 (ENSO and Tropical Basins interactions: dynamics, predictability, modelling and climate change)

- ▶ ENSO와 다른 대양들 간의 상호작용 및 그들의 전지구 영향, 기후변화 환경에서는 어떻게 변하는지에 대한 연구가 발표됨.
- ▶ 관측 자료 기간의 한계를 극복하고자, 고기후 자료를 활용하여 ENSO 다양성에 대한 변화

---

분석이 수행됨. 이 연구에서 ENSO 다양성에 대한 미래 기후전망의 불일치는 ENSO 다양성 indicator의 오인 사용 때문이며, 기후변화 관점에서 ENSO 다양성 연구는 기후 평균 상태 및 변동성의 변화 모두 평가해야 함을 제시함.

- ▶ CMIP6 모델의 군집 기반 ENSO 다양성 전망 연구결과에서는 엘니뇨와 CP 라니냐가 더욱 빈번하며, CP 엘니뇨와 라니냐는 강도와 변동성이 증가할 것으로 제시함.
- ▶ 최근 3번 연속 발생한 라니냐 발생 메커니즘 관련 분석결과가 발표됨. 특히 동남 태평양의 차가운 해수가 주요 원인이라고 밝혔으며, 다년간 라니냐 발달시 중국 남부 지역 강수량에 어떤 영향을 미쳤는지 제시함.
- ▶ 극한 엘니뇨 현상에 대한 대기/해양 비선형과정의 기여를 분석했으며, 결론적으로 대기의 비선형성이 가장 중요한 역할을 하는 것을 제시함.
- ▶ 재분석 자료와 pacemaker 모델 실험 결과를 가지고 최근 ENSO의 열대 대서양 영향이 감소하였고, 최근 따뜻한 경향의 열대 대서양 해수면 온도는 열대 태평양의 LaNina-like 동풍 편자 발달에 기여하였음을 보여줌.
- ▶ 슈퍼 엘니뇨 발달에서 세계의 대양간의 상호작용이 기여할 수 있음을 보여줌. 엘니뇨 초기시작에서 인도양의 쌍극자와 대서양 NINO가 교대로 열대 태평양에서 편서풍 편차의 발달을 유도 (인도-대서양 부수터 라고 명명됨) 슈퍼 엘니뇨의 원인이 될 수 있음을 제시함.

#### - Session CL4.3 (Seasonal to multi-decadal climate predictions and their applications)

- ▶ CMIP6의 DCP(multi-model decadal prediction ensemble)을 활용하여 10년(decadal) 규모의 풍력에너지 예측 기술 수준에 대한 연구 결과가 발표되었음. 몇십년 규모에 걸친 풍력에너지 및 특정한 event-based 풍력에너지 가용성에 대한 예측성 평가가 이루어졌음.
- ▶ CMIP6 기후변화시나리오(RCP)와 DCP 기반의 지중해 지역 decadal 규모의 겨울철 강수 예측성을 비교 분석한 발표가 있었음. 미래 강수량 전망에 있어 초기화(initialization)로부터 얻을 수 있는 added value에 대한 고찰이 있었음. 또한, 지중해 지역 강수량에 영향을 미치는 내부 변동성의 역할에 대한 연구로써, NAO를 비롯한 Euro-Atlantic 지역의 주요 기후 변동성 등이 DCP에서 어느 정도 모의되는지에 대한 발표가 있었음. 다중 모델 앙상블로부터 sub-sampling 하여 예보를 할 경우 signal-to-noise 비율이 향상되고, 결과적으로 지중해 지역 강수 예측성도 향상되는 것으로 나타났음.
- ▶ 근미래(near-term) 기후 예측 자체에 대한 원론적 발표가 있었음. 북대서양 및 유럽지역의 근미래 겨울철 예측성에 대한 연구는 ensemble 확대, 모델 개선, 모델 후처리를 통한 예측 시그널 향상 등 여러 방향으로 활발히 진행되고 있음. 하지만, 여름철 기후 변동성 예측, 계절안 극한기후(extremes) 위험도 예측, 계절간(multi-seasonal) 극한기후 예측 등에 대한 연구 뿐 아니라, 의사결정자들에게 정보를 제공하기 위한 최적의 후처리 방법 등에 대한 논의가 필요함.
- ▶ 계절 예측성을 논의할 때 signal-to-noise(S/N) paradox는 왜 존재하는 것이며, 예측에 어떻게 활용할 것인지에 대한 발표가 있었음. 과거 30년간, 52개 앙상블을 활용하여, 인도 여름 몬순 예측에 대한 S/N paradox를 논의하였음. 계절내 변동성과 계절 규모의 S/N paradox와는 어떠한 관계가 있는지에 대한 연구 결과가 발표되었으며, 이러한 paradox와 관계없이 예측성의 한계(limit)를 추정할 수 있는 새로운 방법을 제시하였음.

#### - Session ERE2.5 (Bridging the gap: climate science models and renewable energy research)

- ▶ 세계적인 관심 및 중요성에 비해 다수의 연구결과가 발표되지는 않았음. 대부분 기후변화 자료를 이용한 특정 지역의 풍력에너지 전망 분석 결과가 발표됨.

- 
- ▶ 스페인 해상풍력 설치에 대한 기후변화 영향을 분석하기 위해서 WRF 모델 기반의 역학적 다운스케일링 자료를 사용함. 풍속 데이터를 사용하여 풍력 밀도 뿐만 아니라 자원 안전성, 환경 위험, 설치 비용 등의 분석 결과가 제시됨.
  - ▶ 토지 사용 한계를 해결하기 위한 방안으로 부유식 해양 태양광 에너지 단지가 제안됨. 부유식 해양 태양광 에너지 단지를 위한 부지 선택을 위해 오픈소스 위성데이터를 사용하는 방법을 제시함. 이 때 불확실성을 정량화하기 위해 기계학습 기술을 제안함.
  - ▶ 기후변화 원인 중에 하나인 토지사용 변화가 풍력에너지 발전에 영향을 미칠 수 있음을 제시함. 즉, 조림을 조성하는 경우 풍속을 1m/s 이상 감소시킴. 높이에 따른 풍속 평가 기술 (외삽 기술)이 문제가 있을 수 있음을 강조함.

## 2. Relevance to APEC Climate Center's Activities 결론 및 소감

- EGU에서는 현재 진행 중인 CMIP6 프로젝트와 관련된 많은 연구결과들이 발표되었음. 특히, 최근 국제적 관심도가 높은 decadal prediction 및 기후변화 탐지(attribution)에 대한 연구 결과가 많아, 아태사업 7단계에서 수행할 기후변화 관련 연구에 참고할 수 있을 것임.
- 계절-계절내 규모 연구에 있어서는 현재 센터에서 진행 중인 연구의 기술 수준이나 접근법 등과 유사하여, 센터의 연구 결과를 체계적으로 정리하여 여러 채널을 통해 공유하는 것이 바람직할 것임.

## 3. Suggestions and Remarks 건의사항

### III. References (Presented and Collected Materials) 주요 수집자료

(with attachment of any information or report in case of attendance of conferences, workshops and meetings) 학술대회, 워크숍, 회의 등 참석 시 관련 정보 및 문서 첨부