

TRAVEL REPORT FORM

출장보고서

결 재	선임연구 원	팀장	부서장	원장
	01/17	01/17	01/17	01/18
협 조	함수련	문자연	유진호	권원태
	팀장			
	01/17			
	민영미			

I. Travel Overview 출장개요

1. Traveler(s) 출장자

Department 소속	Position 직위(직급)	Name 성명	Note 비고
기후사업본부 예측운영팀	선임연구원	양유빈	
기후사업본부 예측기술팀	선임연구원	함수련	

2. Travel Period 출장기간

2019년 1월 5일-12일, 학회기간: 2019년 1월 6일-10일 (5일간)

3. Occasion and destination 행사 및 출장지

○ 학회명: AMS 99thAnnualMeeting

(학회홈페이지: <https://annual.ametsoc.org/index.cfm/2019>)

○ 장소: Phoenix convention center, Phoenix, Arizona, USA

II. Major Activities 주요업무 수행내용

1. Main Contents and Activities 주요내용 및 활동

가. 개요

- America Meteorological Society Annual Meeting (미국기상학회)은 미국 내 기상 및 기후와 관련된 여러 기관뿐만 아니라 유럽 및 전세계의 기상관련 과학자들이 모이는 기상분야 최대의 학회로서 올해 99주년을 맞이하여 기후 및 기상 분석, 응용분야를 비롯하여 여러 분야를 망라하여 개최되었음.
- 특히, 올해 처음으로 개최된 Global and Regional-Scale Models 세션에서는 세계 유수 기상, 기후 현업기관에서 현황 및 계획에 대해 공유하는 시도가 이루어 졌음
- 또한, 매년 가장 많은 인원이 참석하는 Climate Variability and Change 세션에서는 최근 이슈가 되고 있는 S2S 스케일에서의 연구들이 다양하게 공유되었음

나. 주요 업무 수행 사항

○ APEC 기후센터 출장자 발표 세션 및 발표 제목

함수련 선임연구원

- 발표 세션: Global and Regional-Scale Models: Updates and Center Overviews
- 발표 제목: A newly developed APCC SCoPS and its prediction of East Asia seasonal climate variability (Poster) [붙임1]

양유빈 선임연구원

- 발표 세션: 32ndConference on Climate Variability and Change
- 발표 제목: Inter-comparison of Regional Climate Models for summer climate over the Philippine (Poster) [붙임2]

○ 주요 연구 성과 및 진행 사항 파악

※ [붙임3] 국외출장보고서 참조

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

- 미국 정부의 섣다운 문제로 인한 NOAA 소속 과학자들의 전체 참석 취소 및 여러 참석자들의 취소로 인해 기후모델 관련된 많은 발표들이 취소되었음
- 그럼에도 불구하고, ECMWF, Met Office, NCEP, US Air Force, NMME, C3S 등 여러 현업 기관들의 담당자들이 대거 참석하여 현업모형의 이슈 및 개선계획들을 공유하는 뜻깊은 자리였음
- 점차 NWP, S2S, Seasonal을 하나의 통일된 모형으로 예측하는 Seamless 시스템이 중요함을 인지하고, NWP 모형에도 해양 및 해빙 등의 기후파트 컴퍼넌트들이 포함되는 추세임
- 양상불 스프레드를 늘리는 방법론들이 주목 받음
- ERA5 1979-2018 production will be available soon!!
- 계절내규모 예측의 중요성이 높아짐에 따라 예측성을 높이기 위한 노력들이 프로젝트 단위로 이루어지고 있음을 알 수 있었음. 이러한 세계적인 흐름에 맞추어 센터에서도 계절 규모에 대한 연구와 더불어 계절내 규모 예측에 대한 연구들이 꾸준히 이루어져야 할 것이라 생각됨. 또한 subX, MJO에 대한 연구들을 벤치마킹하여 BSISO 예측 정보의 활용을 증대시키기 위한 방안을 모색해 보고자 함

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

I. 출장개요

1. Traveler(s) 출장자

- 기후사업본부 예측운영팀 선임연구원 양유빈
- 기후사업본부 예측기술팀 선임연구원 함수련

2. Travel Period 출장기간

○ 출장기간: 2019년 1월 5일-12일, 학회기간: 2019년 1월 6일-10일 (5일간)

3. Occasion and destination 행사 및 출장지

○ 학회명: AMS 99th Annual Meeting

(학회홈페이지: <https://annual.ametsoc.org/index.cfm/2019>)

○ 장소: Phoenix convention center, Phoenix, Arizona, USA

II. 주요업무수행내용

1. Main Contents and Activities 주요내용 및 활동



가. 개요

- America Meteorological Society Annual Meeting (미국기상학회)은 미국 내 기상 및 기후와 관련된 여러 기관뿐만 아니라 유럽 및 전세계의 기상관련 과학자들이 모이는 기상분야 최대의 학회로서 올해 99주년을 맞이하여 기후 및 기상 분석, 응용분야를 비롯하여

여러 분야를 망라하여 개최되었음.

- 특히, 올해 처음으로 개최된 Global and Regional-Scale Models 세션에서는 세계 유수 기상, 기후 현업기관에서 현황 및 계획에 대해 공유하는 시도가 이루어 졌음
- 또한, 매년 가장 많은 인원이 참석하는 Climate Variability and Change 세션에서는 최근 이슈가 되고 있는 S2S 스케일에서의 연구들이 다양하게 공유되었음

나. 주요 업무 수행 사항

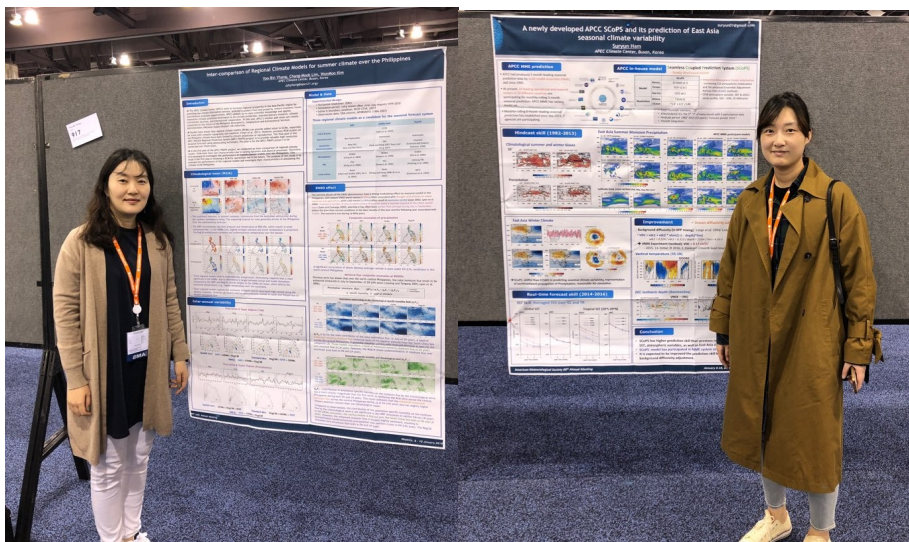
○ APEC 기후센터 출장자 발표 세션 및 발표 제목

함수련 선임연구원

- 발표 세션: Global and Regional-Scale Models: Updates and Center Overviews
- 발표 제목: A newly developed APCC SCoPS and its prediction of East Asia seasonal climate variability (Poster) (첨부1)

양유빈 선임연구원

- 발표 세션: 32nd Conference on Climate Variability and Change
- 발표 제목: Inter-comparison of Regional Climate Models for summer climate over the Phillippine (Poster) (첨부2)



○ 주요 연구 성과 및 진행 사항 파악

Operational Forecast Center Vision Updates

각 센터들의 NWP 모델의 현재 상황 및 개선 계획 공유, NWP 모델들의 개선을 위해 앞으로 초점을 맞추어야 할 항목에 대한 논의가 진행됨, 대부분의 기관이 기존의 NWP 모형을 고해상도/결합모형으로 구축하여 이음새 없는 예측 시스템으로 개선/개발하려는 계획을 가지고 있음

- ECMWF: 2025년까지 앙상블 예측을 구축하여 2주-4주까지의 이음새없는 예측시스템을 구축할 예정/ 대기-해양-해빙 결합모형이 개선 구축되었음/ 결합모형은 중장기 예측에만 적용되었지만, 고해상도를 적용 seamless로 구축하려고 함/ 자료동화 시스템의 개선 (50개 멤버, quasi strongly coupled assimilation) / 9-layer soil, 5-layer snow 모형 적용/
- Met Office: 2021년까지 대기-해양 통합 고해상도 (10/20km) 모형이 구축될 예정/ 자료동화 시스템으로 En4DEnVar가 사용될 예정/ 최근 업데이트 된 physics 소개 (radiation, shallow/deep convection, surface layer, gravity wave drag, pbl, condensation..)/ First weakly coupled Atm-Ice_ocean DA 구축
- ECCC: 이음새 없는 예측 시스템/ fully coupled A-I-O (weather and climate, Arctic, sub-kilometer atmos-urban, lake지역을 위한 operational water cycle modeling)/ 5년 이내로 자료동화를 포함한 kilometer scale의 NWP시스템 구축 예정, 대기-해양-해빙-wave-지면-hydrology 시스템 구축예정
- US Air Force: UKMO UM기반 시스템에서 ORNL/DOE기반으로 교체됨
- NCEP (withdrawn)

Common Community Physics Packages Updates

각 기관 예측시스템의 물리과정의 개선 과정 및 효과 등에 대한 논의가 이루어짐. 또한 물리과정 패키지의 적용에 대한 내용이 공유됨

- Common Community Physics Package (CCPP): NCAR와 NOAA에서 SCM, FV3, WRF, MPAS, CESM에 포함된 물리과정을 포함하는 프레임을 구축하여 각각의 물리과정 개선 및 특징을 공유 (Freely-available code)
- 서로 다른 역학과정을 가진 모형 (NEPTUNE, NRL)에서 같은 물리과정 패키지 (CCPP)를 사용해도 영향이 없는지에 대한 연구 발표/ SE method를 이용한 역학과정을 사용한 민감도 연구결과에서 polynomial order는 중위도 지역에 영향이 크고, element count는 적도 지역에 영향이 크게 나타남

- Earth system model에 Predicted Particle Properties (P3) 미세물리 방안을 접합시켜 그 영향을 살펴봄. 기존의 방안과의 가장 큰 차이는 층운형/적운형 강수의 비율로 나타남. 또한 구름-강수-복사과정과의 상호작용으로 인한 OLR 모의에 큰 개선을 가져옴. 추후 장기 예측에 적용하여 연구를 진행할 예정

Data Assimilation Updates

전구 예측 모형에서의 자료동화 시스템의 현재 상황과 개선방향에 대한 발표 및 토의가 진행됨. 특히 기관들이 협업하여 이루어지고 있는 자료동화 시스템에 대한 소개가 있었음

- Joint Effort for Data assimilation Integration (JEDI): unified data assimilation system, R2O/O2R을 위해 개발된 시스템으로 NOAA/EMC, NOAA/ESRL, NASA/GMAO, NCAR, UKMO, NRL, USAF, ECMWF, CERFACS등의 기관에서 협업하고 있음.
- 지형효과를 고려한 GSI-based Var/EnKF/3/4DVar hybrid시스템 개발 소개. 특히 convective scale radar data assimilation의 적용으로 인해 초기장의 에러를 크게 줄일 수 있음
- Single dynamic core & multi-physics approach vs. multi-dynamic core 비교를 통해 모델의 에러를 줄이는 영향을 조사. Dynamic core에 대한 효과가 생각보다 크게 나타남.
- ECMWF의 현재 해상도인 18km 격자의 현업구성과 28km 격자를 가진 실험구성을 combine하여 그 예측 성능을 평가 (CRPS, ROC, reliability, Brier Score..). 그 결과 앙상블 멤버가 가장 많았던 실험이 가장 좋은 결과를 보여줌. 특히 리드타임이 길어질수록 고해상도 실험을 추가한 실험이 큰 효과를 나타냄.

Ensemble Development Updates

초기장에 대한 에러를 줄이기 위해 앙상블 예측은 필수적. 다양한 앙상블 멤버를 구축하기 위한 각 기관의 방법 및 영향 평가가 소개됨

- 최근 US Air Force는 Met Office와 협약을 체결하여 UM NWP 모형을 도입함. 전구 앙상블을 구축: 40km 해상도/ 70개 연직층, 00/12Z에 ETKF를 이용해서 SST, soil moisture perturbation 동화. Stochastic Kinetic Energy Backscatter, random parameters, stochastic physics package 사용.
- Canadian Regional Ensemble Prediction System의 개선내용 소개. 초기장 불확실성: EnKF 사용하여 256개의 초기장 생성, 모델 불확실성: stochastically perturbed parameterization tendencies (SPPT) scheme 사용/ stochastic physics 개발 (deep convection), 추후 Moist

TKE, GWD 등 다른 물리과정에도 stochastic perturbation 적용할 계획

- MetCoOp Ensemble Prediction System: 핀란드, 노르웨이, 스웨덴의 현업모형 결과를 공유. 2.5km 해상도/ 65연직층, nonhydrostatic, 3hr마다 3DVAR and OI (EDA&4DVAR 테스트중)

Post processing and Verification Updates

- Continuous ranked probability score (CRPS)는 모델개선이 spread-skill relation의 변화와 관련있거나 관측 불확실성이 고려되지 않았을 때 잘못된 판단을 줄수 있음. 또한, Brier score, Diagonal elementary score 등 다른 scores들 혹은 기후값의 정의에 따라서도 검증 결과가 다르게 나올 수 있음.
- Cloud cover의 error로 인해 지표 온도의 biases가 증가할 수 있음, 적절한 weighting 처방으로 결과를 보정하여 biases를 줄일 수 있음.
- Summary assessment metric (SAM) method 사용하여 ECMWF, NCEP, UKMO의 최근 3년간의 예측 스킬을 평가: 2016년 5월 NCEP의 SAM 지수가 크게 증가 (4DEnVar로 개선을 가져온 바 있음), ECMWF의 자료동화 과정이 개선된 2017년 7월 SAM역시 증가. UKMO의 위성 관측장의 이용 시기 역시 SAM에서 나타남. ECMWF의 skill이 가장 높게 나타남.

Reanalysis data

- State-of-the-art Global Atmospheric Reanalysis at ECMWF (ERA5): Full Free and Open access to data in Copernicus C3S framework, 1979-2018 production will be available soon!! ERA-Interim에 비해 높은 해상도, 많은 input data, hourly data, will reach further back in time, ERA-land (9km 해상도), 곧 ERA-interim과 대체예정.

NMME and SubX project

- Deterministic forecast: 7-model multi-model ensemble mean with equal weights per model, Corrected for bias in the mean using cross-validated 1982-2017 forecasts, Skill matrix: AC, Normalized hit rate using false alarm rate
- Probabilistic forecasts: Probability that outcome will fall into upper/lower decile, Corrected for bias in the mean and variance using cross-validated 1982-2017 forecasts, Skill matrix: BSS, Reliability diagram
- SubX: 7개의 모델, 17년 weekly hindcast, 1년이상의 real-time forecast, CPC outlooks을 위한 3-4주 예보 가이드스 제공

- Better model and better initial condition: CFSR-IC와 GODAS를 사용, CFSv2와 CCSM4의 예측 결과를 비교 (모델이 다르더라도 Initial에 크게 좌우), 같은 초기장을 사용 CCSM3와 CCSM4의 예측 결과를 비교 (CCSM4에서 확연히 개선된 결과를 보임).
- 앙상블 사이즈, 멀티모델앙상블, 두 가지 모두의 효과를 reliability diagram을 이용 비교

Climate Variability

- 계절내 규모에서의 예측성과 변동성을 보는 연구에서는 MJO에 대한 연구가 많았음. 여러 기관의 여러 모델들이 MJO 예측성을 검증하여 계절내 규모의 예측성을 살펴봄. Navy Earth System Model (NESM)과 ECMWF, CFSv2 모형들의 예측성 검증에서 NESM은 다른 두 모델과는 다른 특징을 보였으며, tropical cyclone의 예측성 검증을 통해 선행시간 1달 전에도 예측가능성이 있음을 제시함.
- 극한사상에 대한 NMME의 예측성을 deterministic과 probabilistic 예측, lead time별, 지역별, 계절별로 검증한 연구가 발표됨. 추후 APCC MME에 대해서도 이와 같은 검증이 이루어질 수 있을 것이라 생각됨. subX project의 소개와 subX에 속한 연구들의 발표가 다수 있어 미국 내에서 subseasonal prediction에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음을 알 수 있었음. APCC에서도 그와 같은 연구들 및 방향을 벤치마킹할 수 있을 것이라 생각됨
- PNA pattern이 1980년대를 기점으로 변화하여 1980년대 이전에 뚜렷하게 나타났던 ENSO, PDO, SST의 유의미한 상관관계가 1980년대 이후에는 명확하게 나타나지 않고 있으며, 최근 들어 미대륙의 겨울 기후가 동-서로 나뉘어지는 dipole mode를 보인다는 연구가 있었음. 이와 함께 겨울기온과 천연가스 가격과의 상관관계를 제시하여 기후변화가 사회/경제에 미치는 영향을 보였음.
- 사용자들의 관점에서 계절내-계절규모의 극한강수 현상에 대한 이해를 높이기 위한 project인 PRES2iP (Prediction of Rainfall Extremes at Subseasonal to Seasonal Periods)가 소개됨. 22개의 사용자팀이 참석한 워크숍 결과를 발표하여 예측정보 생산자와 사용자가 가지고 있는 생각의 차이와 이로 인한 gap을 줄이는 노력의 중요성을 피력하고, 예보자의 입장에서만이 아니라 사용자를 고려한 소통이 이루어져야만 예측정보의 효용성을 높일 수 있음을 보여줌.
- 최근 빈번하게 발생하는 극한사상들의 예측성 향상을 위해 블로킹을 예측하고자 하는 연구들이 소개됨. 블로킹은 한파, 홍수, 가뭄 등의 발생과 관련이 깊은 것으로 알려져 있지만, 수치예보모델이 예측하기 어려운 현상임. 통계모형과 linear inverse model을 이용한 블로킹 예측 가능성이 제시되었음.

- 계절내 규모와 계절 규모의 이음새없는 예측을 실현하기 위한 NOAA의 MAPP program이 소개되었으며, 특히 계절내 규모의 예측성에 있어 land가 주는 영향에 대한 결과를 소개함. Weather와 Climate 규모에서는 대기와 해양이 주는 영향이 큰 반면, 지면은 subseasonal prediction에서 중요한 역할을 할 수 있음.

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

- 미국 정부의 섣다운 문제로 인한 NOAA 소속 과학자들의 전체 참석 취소 및 여러 참석자들의 취소로 인해 기후모델 관련된 많은 발표들이 취소되었음
- 그럼에도 불구하고, ECMWF, Met Office, NCEP, US Air Force, NMME, C3S 등 여러 현업 기관들의 담당자들이 대거 참석하여 현업모형의 이슈 및 개선계획들을 공유하는 뜻깊은 자리였음
- 점차 NWP, S2S, Seasonal을 하나의 통일된 모형으로 예측하는 Seamless 시스템이 중요함을 인지하고, NWP 모형에도 해양 및 해빙 등의 기후파트 컴퍼넌트들이 포함되는 추세임
- 앙상블 스프레드를 늘리는 방법론들이 주목 받음
- ERA5 1979-2018 production will be available soon!!
- 계절내규모 예측의 중요성이 높아짐에 따라 예측성을 높이기 위한 노력들이 프로젝트 단위로 이루어지고 있음을 알 수 있었음. 이러한 세계적인 흐름에 맞추어 센터에서도 계절 규모에 대한 연구와 더불어 계절내 규모 예측에 대한 연구들이 꾸준히 이루어져야 할 것이라 생각됨. 또한 subX, MJO에 대한 연구들을 벤치마킹하여 BSISO 예측 정보의 활용을 증대시키기 위한 방안을 모색해 보고자 함

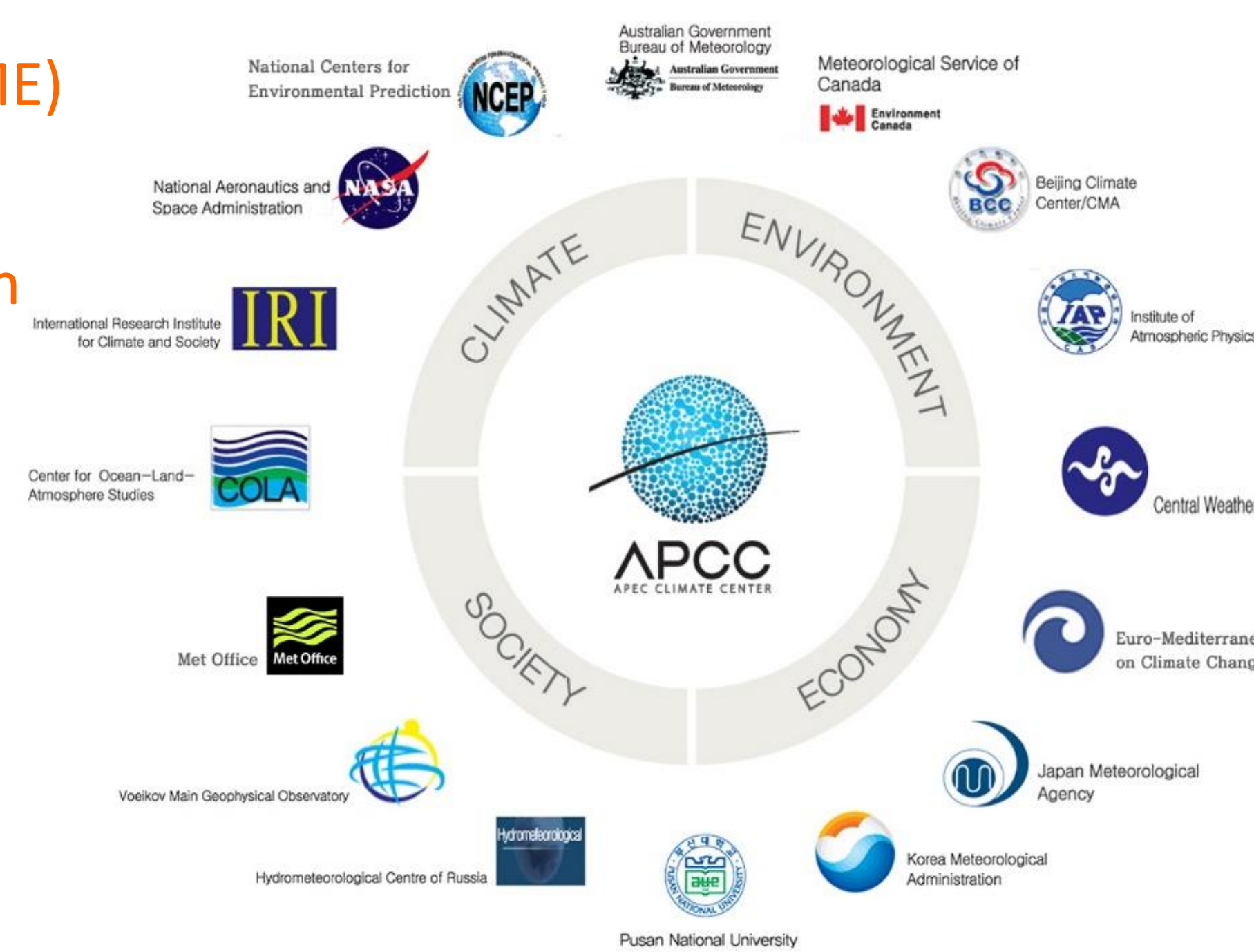
A newly developed APCC SCoPS and its prediction of East Asia seasonal climate variability

Suryun Ham

APEC Climate Center, Busan, Korea

APCC MME prediction

- APCC had produced 3-month-leading seasonal prediction data by **multi-model-ensemble (MME)** skill since 2005.
- At present, **14 leading operational and research centers in 10 different countries** are participating for monthly-rolling 3-month seasonal prediction. APCC-MME has various model set.
- Monthly-rolling 6-month-leading seasonal prediction has established since Sep.2013; 7 agencies are participating.



APCC in-house model

Seamless Coupled Prediction System (SCoPS)

- Newly developed model

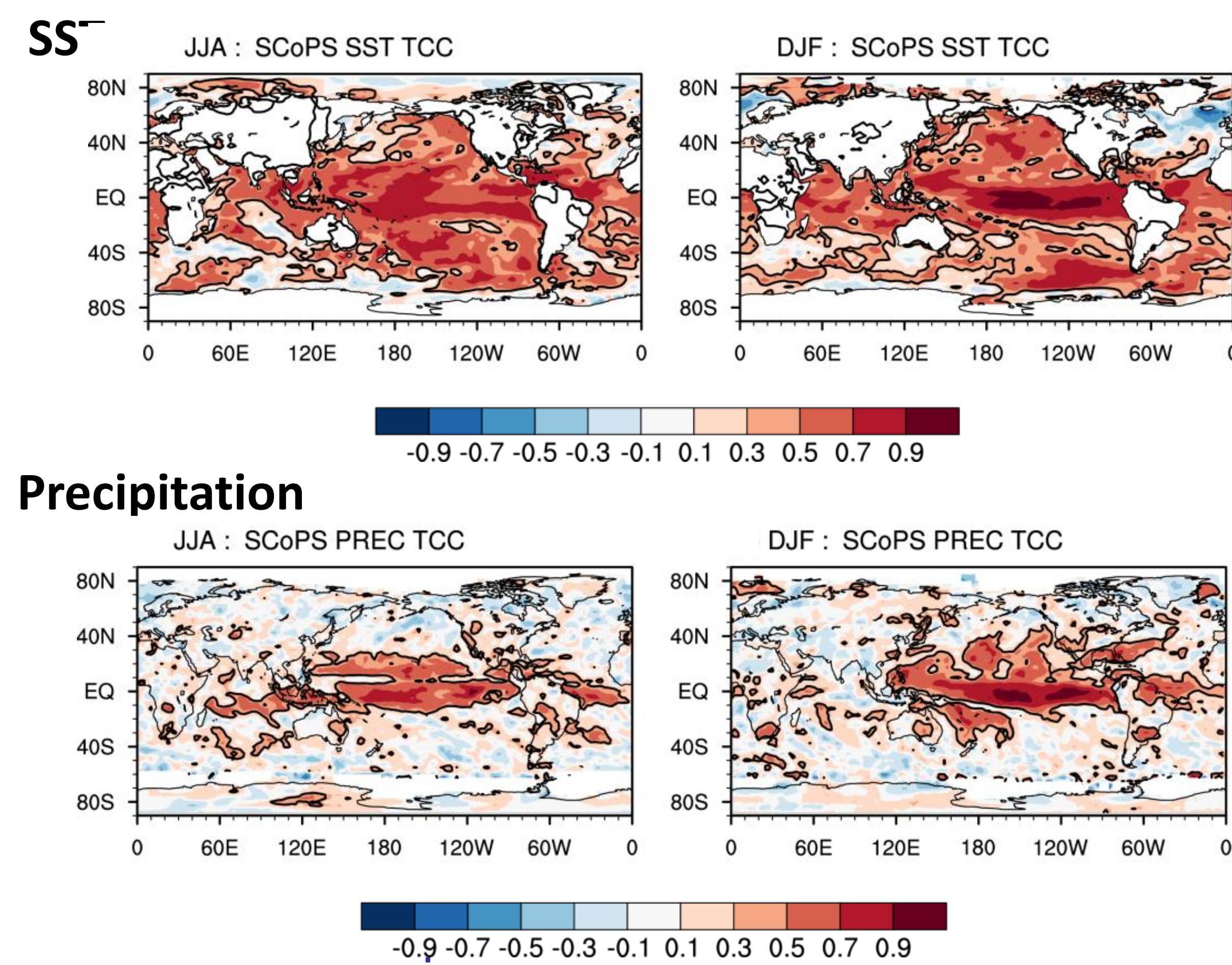
Model		SCoPS
		ECHAM v5.3
Resolution	Atmos.	T159L31
	Ocean	~1.0° × 0.5° / L40

- Integrated Atmosphere-Ocean Initialization** : combining 3-D atmospheric initialization and the advanced Ensemble Adjustment Kalman Filter (EAKF) methods
- CFSR atmosphere variable, XBT & ARGO ocean profile, 50S – 50N, till 400meter

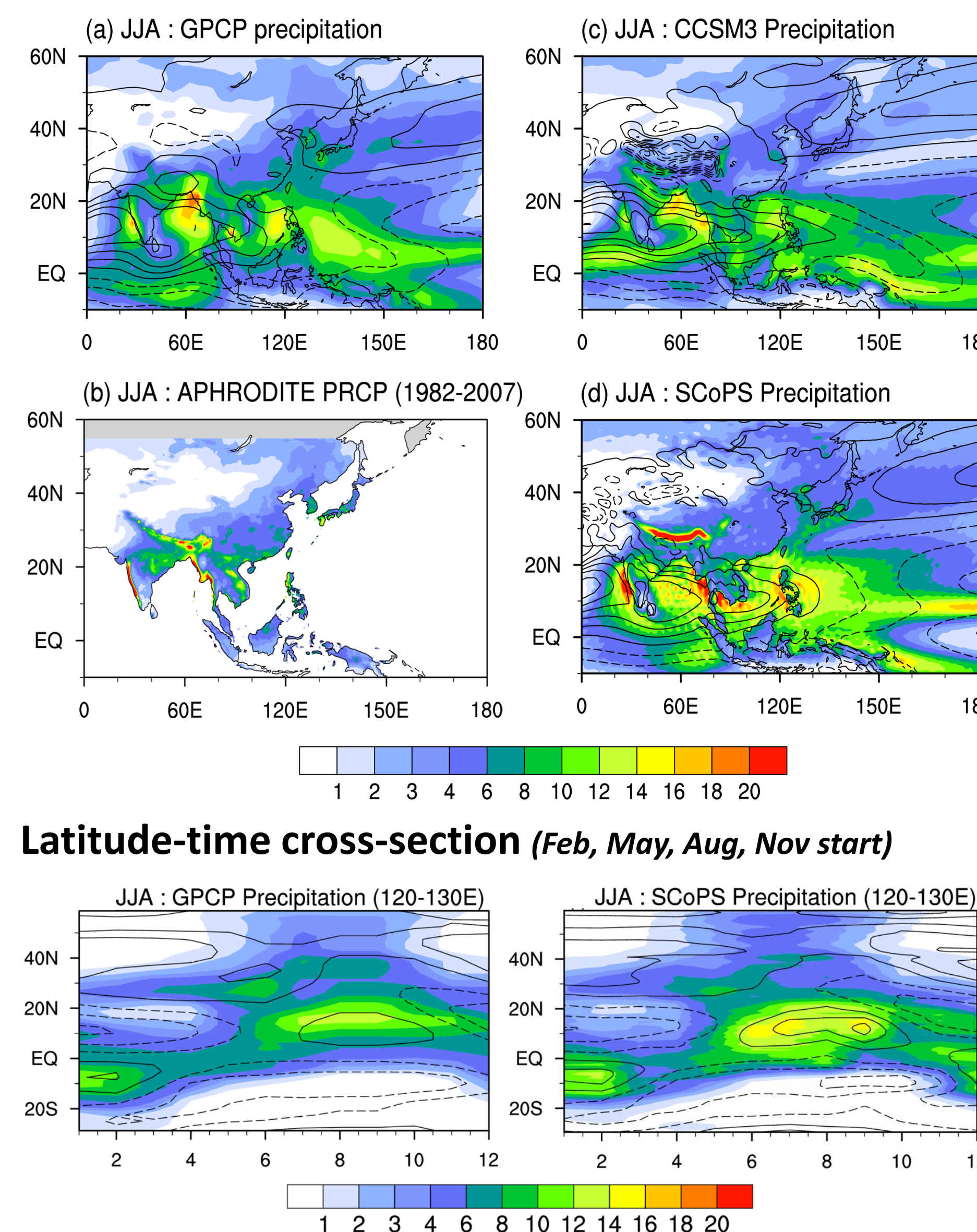
- Total Ensemble members : 10
- ATM/OCN/ICE ICs: the 1st, 5th of every month with 5 perturbation data
- Hindcast period: 1982~2013 (32 years) / Forecast period: 2014 ~
- 7month integration

Hindcast skill (1982-2013)

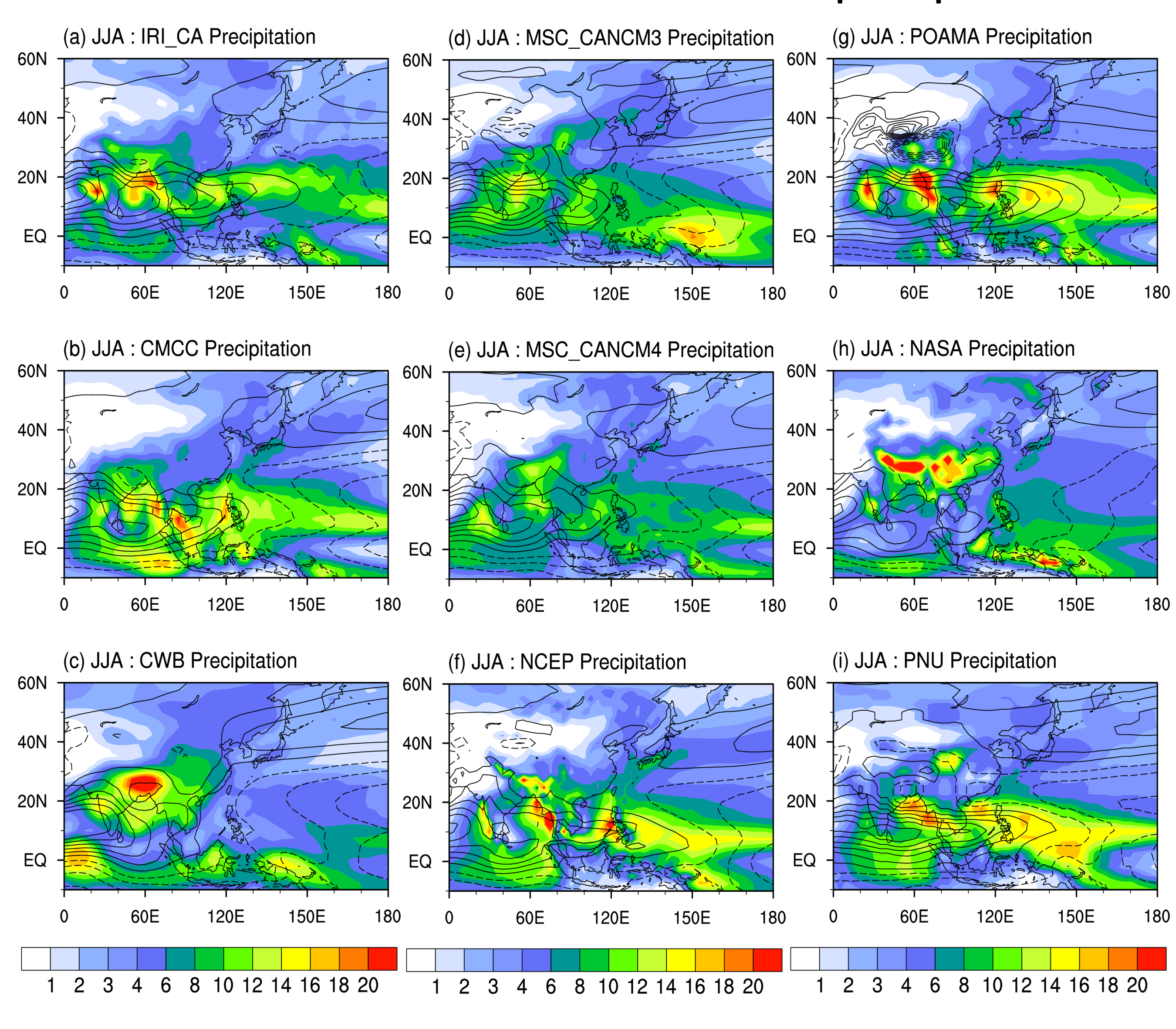
Climatological summer and winter biases



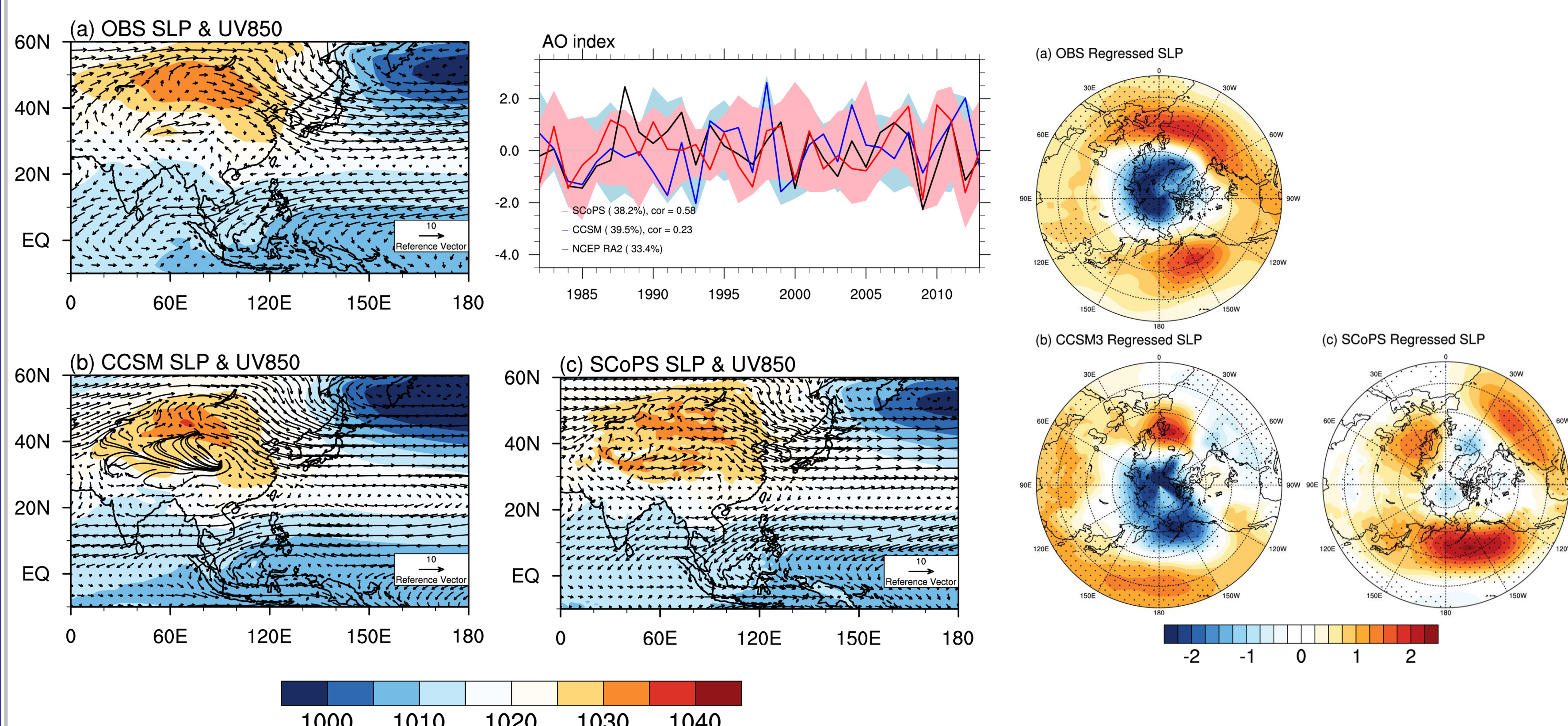
East Asia Summer Monsoon Precipitation



APCC MME participant models



East Asia Winter Climate



→ SCoPS: skillful than CCSM3 in predicting seasonal climate variability, representation of northeastward propagation of Precipitation, reasonable AO simulation

Improvement

✓ Ocean diffusivity adjustment

- Background diffusivity (in KPP mixing) : Large et al. 1994/ Ledwell et al. 2000

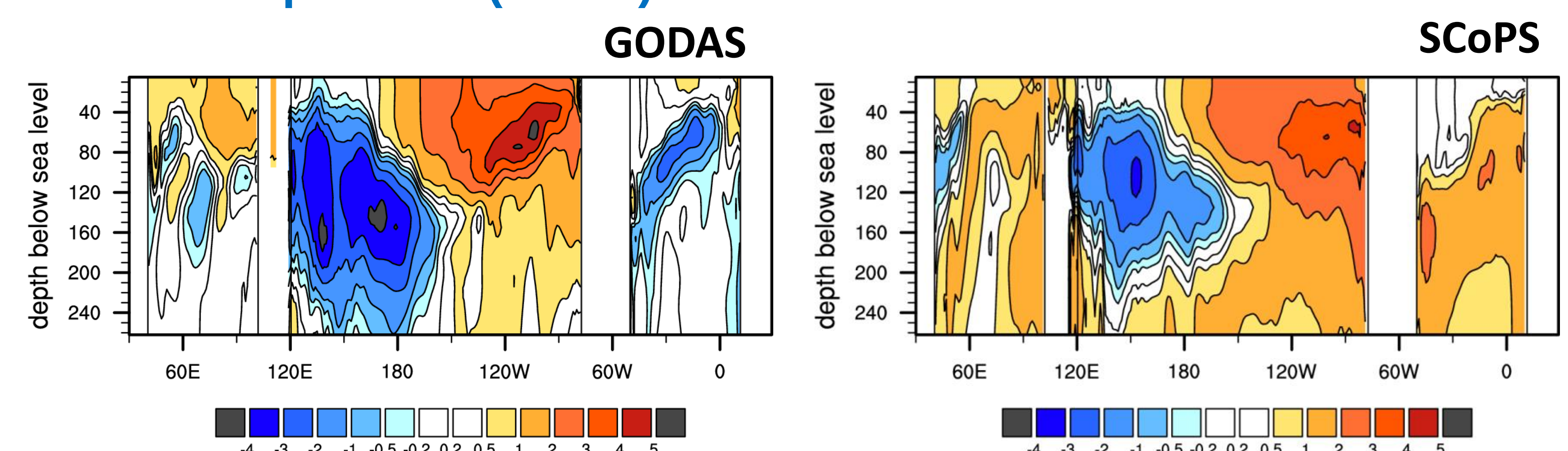
• $VDC = vdc1 + vdc2 * \text{atan}(|z| - \text{depth}) * \text{linv}$

$$vdc1 = 0.524 / vdc2 = 0.313 / \text{depth} = 250m / \text{linv} = 4.5e-5$$

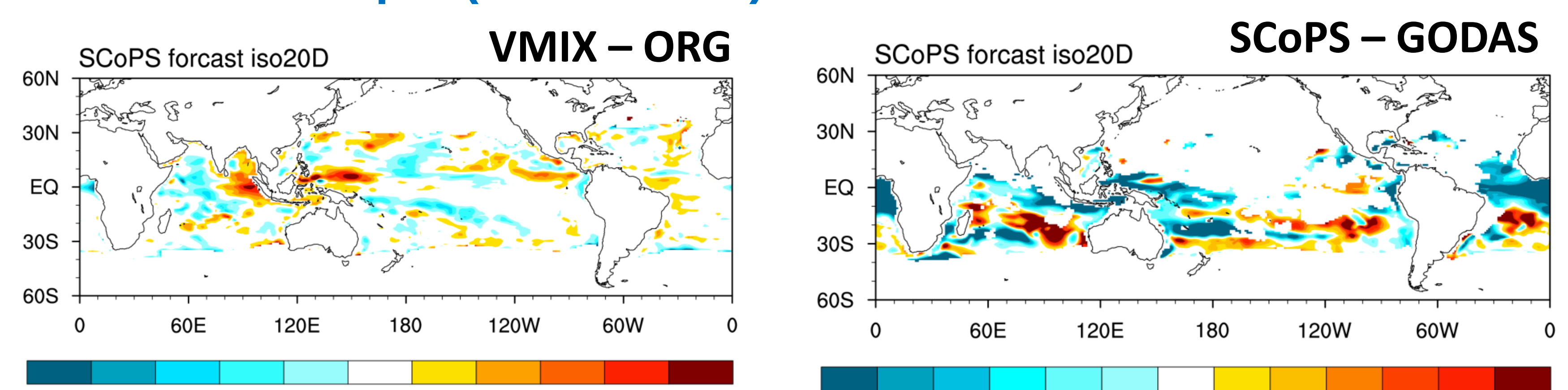
→ VMIX Experiment (testbed): VDC = **0.17 cm²/s**

- 2015. 11. Initial → 2016. 1. Forecast (2month lead time)

Vertical temperature (5S-5N)

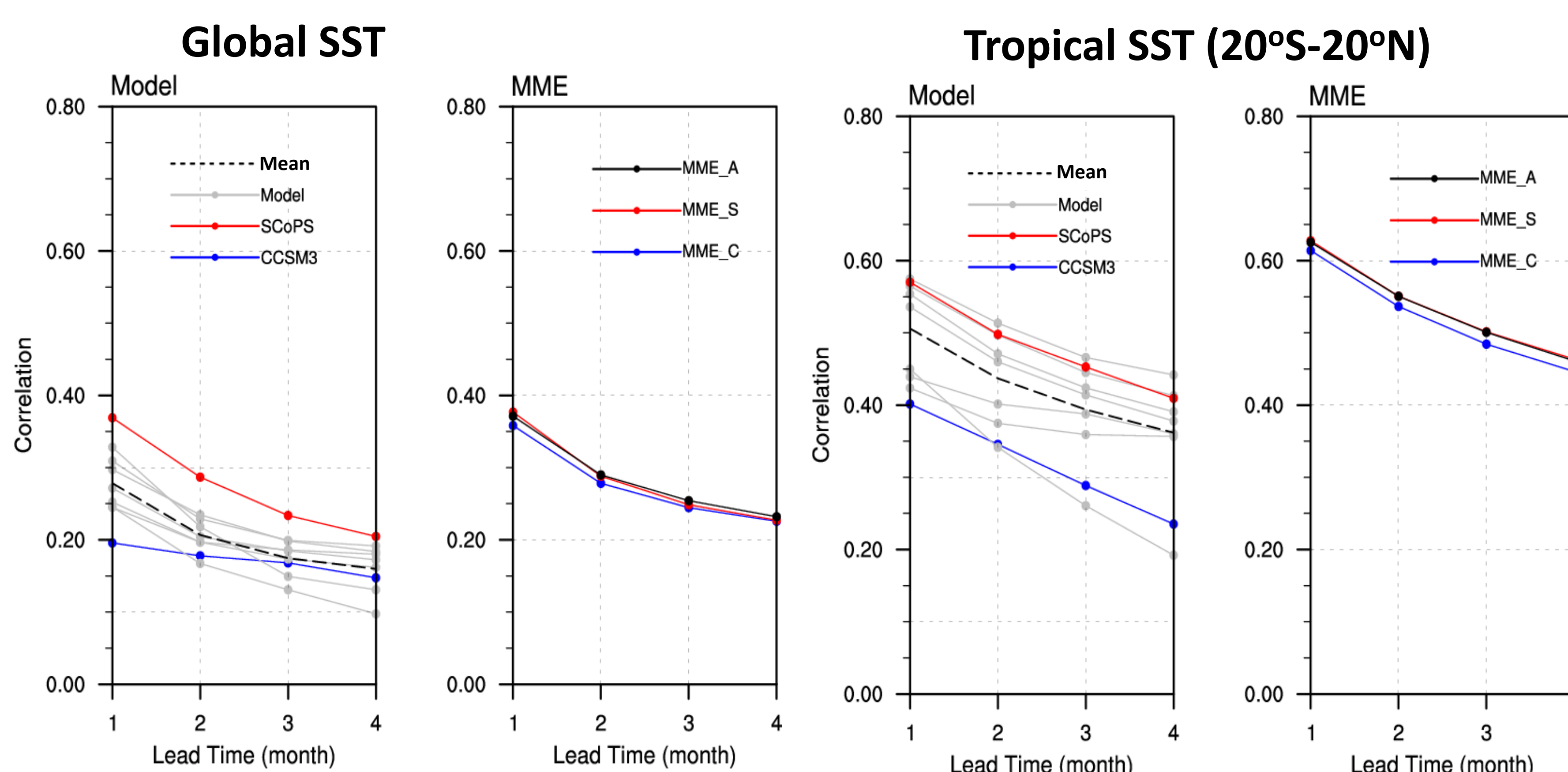


20C Isotherm depth (thermocline)



Real-time forecast skill (2014-2016)

SST Skill: Averaged TCC over GL and TR



Conclusion

- SCoPS has higher prediction skill than previous in-house model for SST, atmospheric variables, as well as East Asia climate variability.
- SCoPS model has participated in MME system since Nov. 2017.
- It is expected to be improved the prediction skill by ocean background diffusivity adjustment.

Inter-comparison of Regional Climate Models for summer climate over the Philippines

Yoo-Bin Yhang, Chang-Mook Lim, WonMoo Kim
APEC Climate Center, Busan, Korea
(ybyhang@apcc21.org)

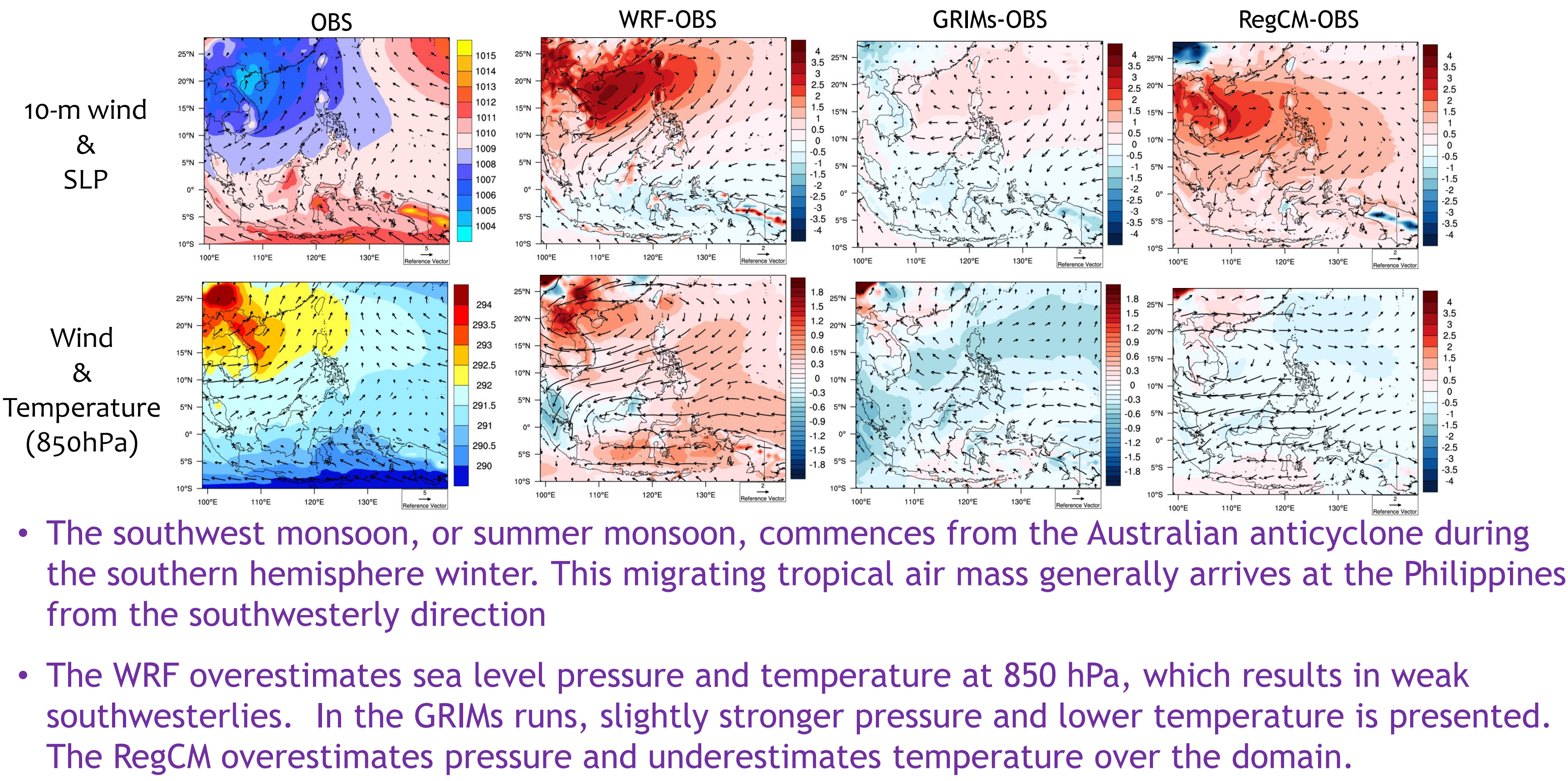
Introduction

The APEC Climate Center (APCC) aims to increase regional prosperity in the Asia-Pacific region by providing the climate information service, seeking to protect lives and property, reduce economic losses, and enhance economic opportunities. APCC utilizes up-to-date scientific knowledge and applies innovative climate prediction techniques to its climate prediction, interdisciplinary research, climate information services, and international cooperation. To this end, APCC's mission and vision are closely connected to the efforts of the Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA) toward disaster risk reduction.

Studies have shown that regional climate models (RCMs) can provide added value to GCMs, especially for areas with complex topography and coastlines (Feser et al. 2011). However, previous RCM studies on the Philippine climate have been limited to climate projection or reproduction. The final goal of the APCC-PAGASA Regional Prediction System (APCC-PRePS) project is to provide valuable high-resolution seasonal forecasts using downscaling techniques. The plan is for the APCC-PRePS project to be conducted over three years.

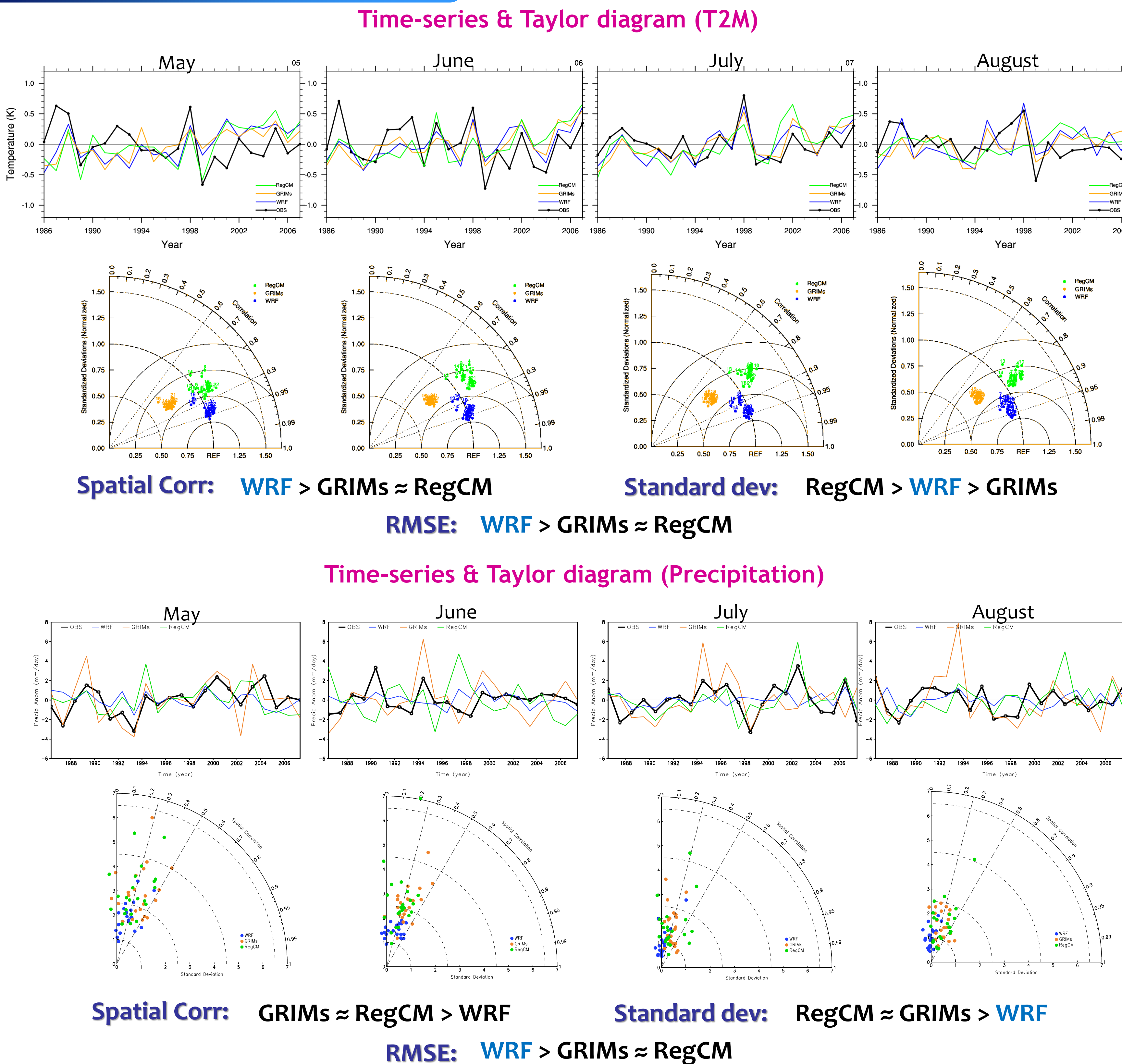
In the first year of the APCC-PRePS project, we conducted an inter-comparison of regional climate models. RCMs have their own characteristics due to varying dynamics and physical processes. Therefore, it is necessary to investigate the performance of regional climate models over the Philippines. This study is the first step in choosing a RCM for operational use in the future. The purpose of this study is to evaluate the performance of the regional models and investigate their characteristics in simulating the climate of the Philippines.

Climatological mean (MJJA)



- The southwest monsoon, or summer monsoon, commences from the Australian anticyclone during the southern hemisphere winter. This migrating tropical air mass generally arrives at the Philippines from the southwesterly direction
- The WRF overestimates sea level pressure and temperature at 850 hPa, which results in weak southwesterlies. In the GRIMs runs, slightly stronger pressure and lower temperature is presented. The RegCM overestimates pressure and underestimates temperature over the domain.
- Three regional models tend to underestimate temperature. Particularly, negative bias is most significant in the GRIMs due to differences in height between actual and model elevations. Compared to the WRF and RegCM, terrain heights in the GRIMs are lower, which affects the simulated temperature, e.g., higher temperature over the mountains.
- Three regional models capture the southwest monsoon and its associated high rainfall along the western coastline. However, all models tend to underestimate rainfall in Luzon and Visayas due to weaker monsoonal flow

Inter-annual variability



Model & Data

Experimental design

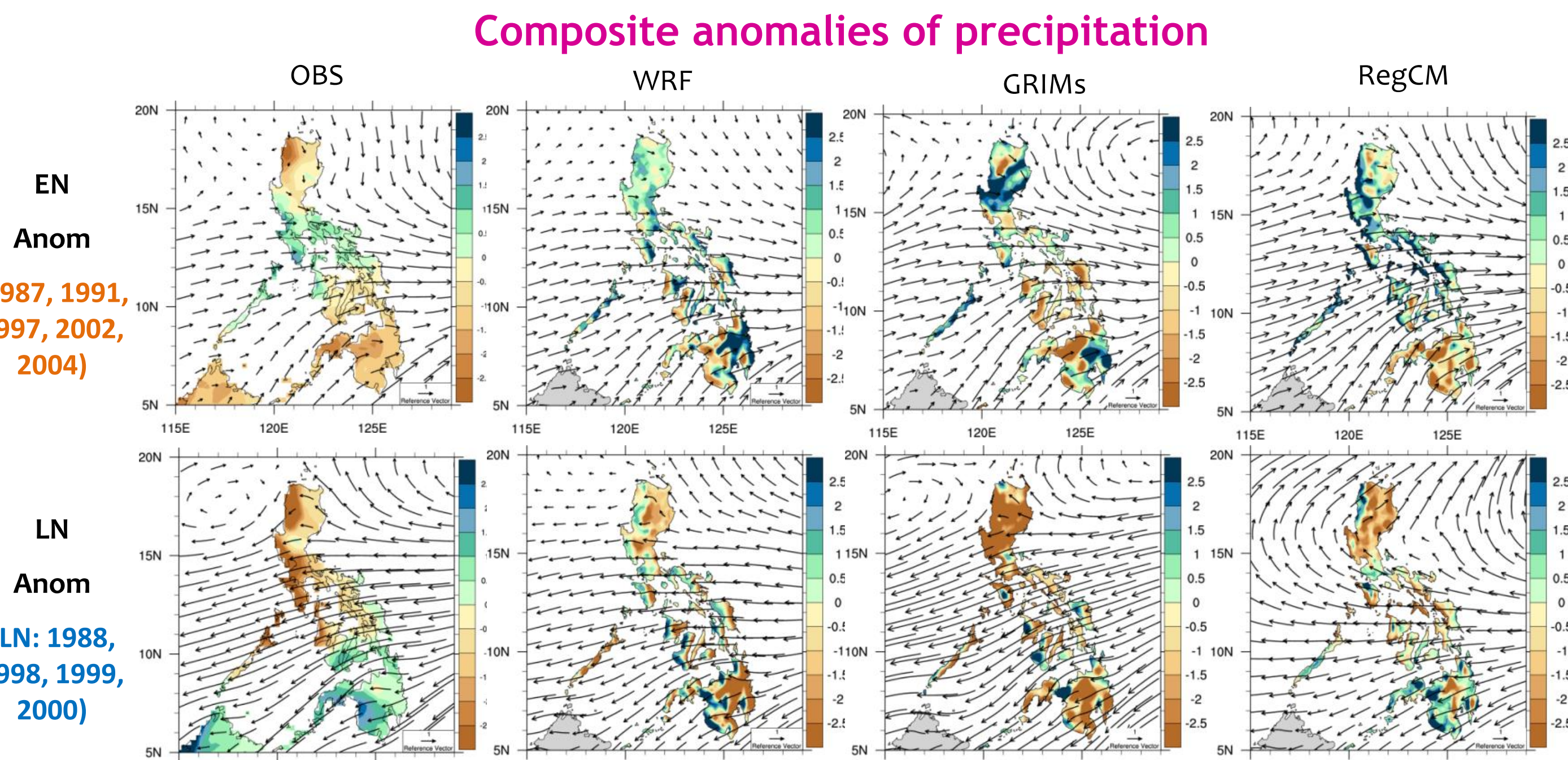
- Horizontal resolution: 20km
- Simulation period: rainy season (May-June-July-August) 1979-2010
- Initial & boundary condition: NCEP CFSR, OISST
- Observation data: ERA-interim, APHRODITE (1986-2007)

Three regional climate models as a candidate for the seasonal forecast system

	WRF	GRIMs-RMP	RegCM
Initial & body	CFSR (Saha et al. 2010)		
Dynamical core	Non-hydrostatic	Hydrostatic	Hydrostatic
Convection Parameterization	New SAS (Han and Pan 2011)	SAS (Park and Hong 2007; Byun and Hong 2007)	Emanuel (Emanuel and Zivkovic-Rothman 1999)
Microphysics	WSM3 (Hong et al. 2004)	WSM1 (Hong et al. 1998)	SUBEX (Pal et al. 2000)
PBL	YSU (Hong et al. 2006)	YSU (Hong et al. 2006)	Holtslag PBL (Holtslag et al. 1990)
Land surface	Noah (Chen and Dudhia 2001; Ek et al. 2003)	Noah (Yhang and Hong 2008; Ek et al. 2003)	BATS (Dickinson et al. 1993)

ENSO effect

The extreme phases of the ENSO phenomenon have a strong modulating effect on seasonal rainfall in the Philippines, with mature ENSO warm events (El Niño) often associated with drought and stresses on water resources and agriculture, while cold events (La Niña) often result in excessive rainfall (Jose 2002; Lyon et al. 2006). However, a number of sites in north-central Philippines show a summer reversal in the ENSO rainfall signal (Lyon and Camargo 2009), whereby it has often been wetter than average during July to September before the drier than normal conditions in the later months of the year and the following year associated with El Niño. The reversal is true during La Niña years.



A significant occurrence of above (below) average rainfall is seen under EN (LN) conditions in the north-central Philippines

Moisture flux composite anomalies at 850hPa

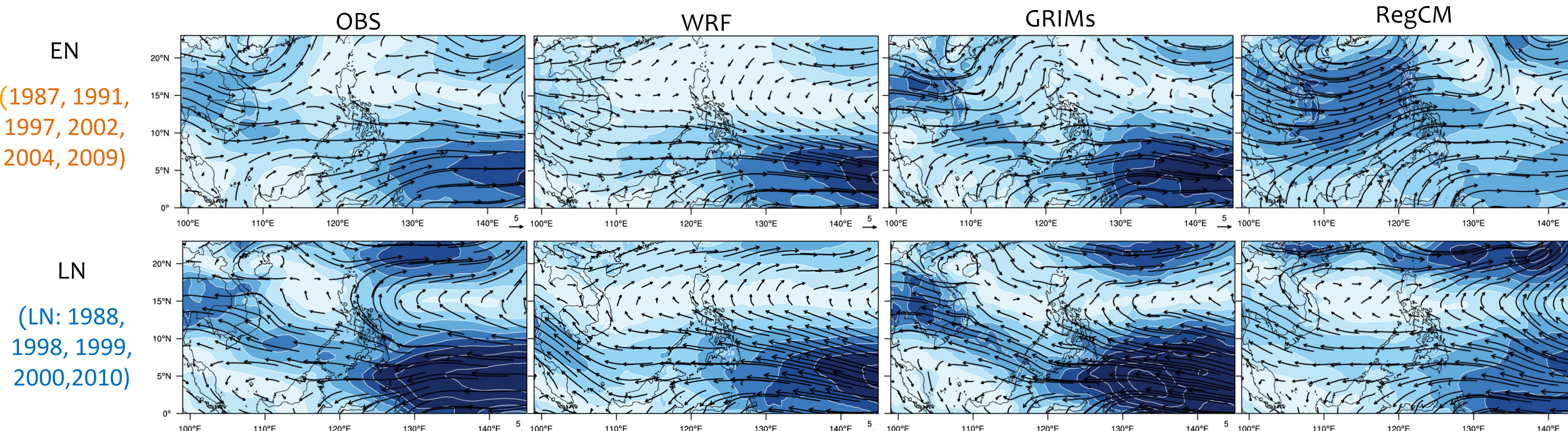
Previous work has shown that over the north-central Philippines, the total moisture flux tends to be enhanced (reduced) in July to September of EN (LN) years (Juneng and Tangang 2005; Lyon et al. 2006).

$$\text{Anomalous moisture flux: } (qV)_a = q_c V_a + (q_a V_c)_a$$

q : specific humidity, V : wind at 850hPa

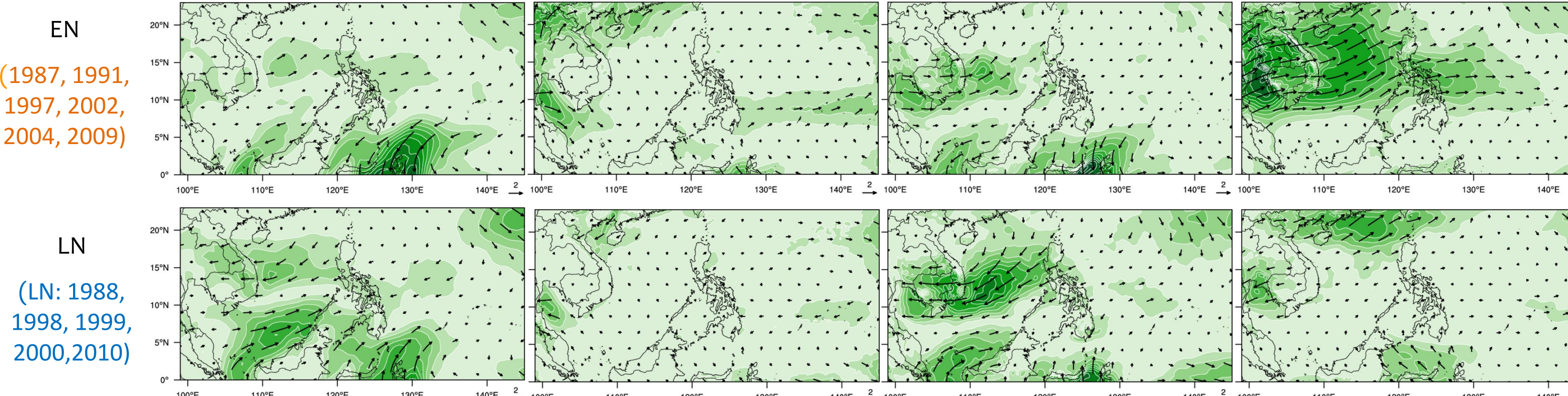
a : anomalous
 c : climatological

Anomalous wind acting on the climatological specific humidity field ($q_c V_a$)



$q_c V_a$ is by far the main contributor of the total anomalous flux. In July of EN years, a band of enhanced westerly moisture flux centered north of the equator extends from the South China Sea across the central Philippines. A generally opposite pattern with reversed direction is seen for the composite LN. Three models reproduce a band of enhanced westerly moisture flux in EN years and reversed flow in LN years. However, the RegCM shows underestimation of moisture flux over southeast area both in EN and LN years.

Anomalous specific humidity and climatological wind ($q_a V_c$)



$q_a V_c$, contribution of anomalous specific humidity on the moisture flux by the climatological wind, has a much smaller magnitude than the first term. It reinforces the first term across the central Philippines during both EN and LN years. This result indicates that the enhanced (reduced) monsoon flow across the central Philippines during JA of EN (LN) years also has slightly higher (lower) moisture content than the climatological mean.

Compared to observations, the contribution of the anomalous specific humidity on the moisture flux by the climatological wind is not significant in the WRF simulation in neither EN nor LN years. In the GRIMs simulation, the reinforcement is distinct over the South China Sea both in EN and LN years. However, the enhanced monsoon flow is located slightly westward, resulting in overestimated (underestimated) precipitation over northern Luzon in EN (LN) years. The RegCM simulates very erroneous flow both in EN and LN years.