

CMIP6 KIOST-ESM을 통해 살펴본 한반도 주변 해역 해양열파 발생 전망

gdp@kiost.ac.kr

박군도¹, 박영규¹, 김영호²

¹한국해양과학기술원 해양순환연구센터
²부경대학교 해양학과



KIOST-Earth System Model



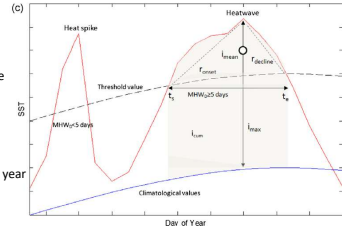
	GFDL CM2.5 (Reference model)	KIOST Earth System Model (KIOST-ESM)
Reference	Delworth et al. 2012	Pak et al. 2021
Land	LM3.0	LM3.0 + UNIST scheme (Kim et al. 2019)
Atmosphere	AM2 (~50 km)	AM2 (~200 km)
PBL	Lock 2001	Bretherton and Park 2009
Convection	Relaxed Arakawa/Schubert (Moorthi and Suarez 1992)	UNICON (Park 2014)
Ocean	MOM4.1 (~28 km)	MOMS (~100 km)
Vertical mixing	KPP (Large et al. 1994)	Noh et al. 2016
Data assimilation	-	EnOI (Kim et al. 2015)

- KIOST-ESM's simulation list
AMIP, PI, 1PCO2, 4xCO2, Historical, SSP126, SSP245, SSP585

Marine Heat Wave event

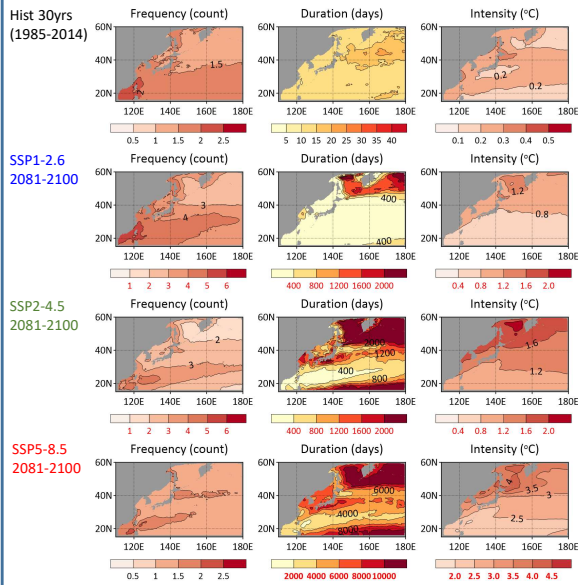
- Marine Heat Wave definition in literature

- 1) Get 90th percentile value of SST (Historical 30 years, 11day window)
- 2) Smoothing of 90th percentile (30d)
- 3) Select days higher than 90th percentile
- 4) Remove heat spikes (< 5days)
- 5) Fill short gaps (<= 2days)
- 6) Frequency: number of MHW event in year
- 7) Duration: length of MHW event
- 8) Intensity: mean SST anomaly relative to the threshold (90th percentile)

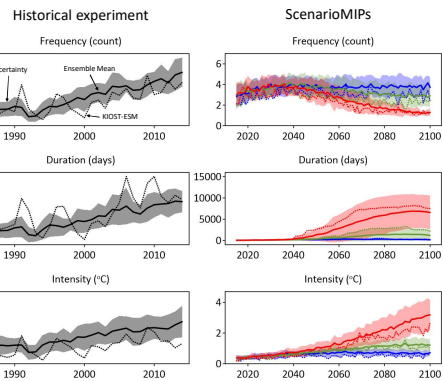


Hobday et al. (2016)

MHW predictions

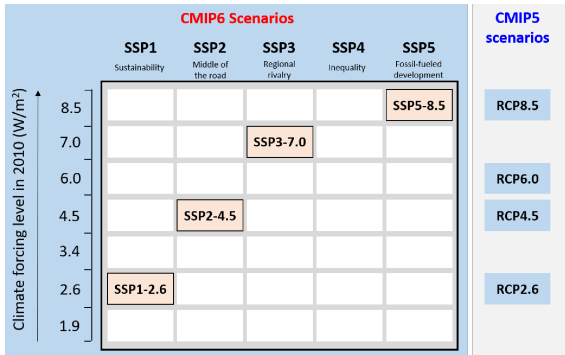


- Area-mean Time series

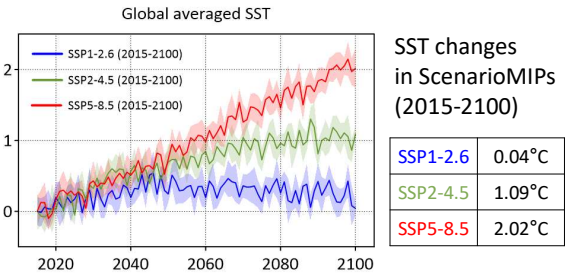
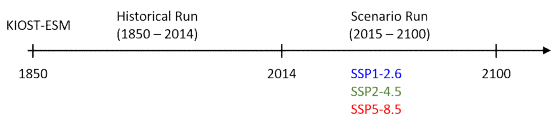


SSP Scenarios in CMIP6

- Tier-1 Climate Scenarios



- SSP1-2.6 지속 가능한 개발의 저탄소 시나리오
- SSP2-4.5 중간 정도의 이산화탄소 배출 시나리오
- SSP3-7.0 중상위 정도의 이산화탄소 배출 시나리오
- SSP5-8.5 기후변화 적응 단계의 고탄소 배출 시나리오



CMIP6 model list

- Download from ESGF server (<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6>)
- CMIP6 model list containing daily historical and ssp126,245,585 results

#	GROUP	MODEL	Hist	126	245	370	585	Grid	Historical Calendar	Scenario Calendar
1	NUIST	NESM3	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Noleap
2	MIROC	MIROC6	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
3	NCAR	CESM2-WACCM	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
4	CCCma	CanESM	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
5	MRI	MRI-ESM2.0	o	o	o	o	o	gr, gn	Gregorian	Gregorian
6	KIOST	KIOST-ESM	o	o	o	o	o	gr1	Noleap	Noleap
7	NOAA-GFDL	GFDL-ESM4	o	o	o	o	o	gr, gn	Noleap	Noleap
8	DKRZ	MPI-ESM1-2-HR	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
9	MPI-M	MPI-ESM1-2-LR	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
10	AWI	AWI-CM-1-1-MR	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Noleap
11	CMCC	CMCC-CM2-SRS	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
12	CMCC	CMCC-ESM2	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
13	CSIRO-ARCCSS	ACCESS-CM2	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
14	CSIRO	ACCESS-ESM1-5	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
15	IPSL	IPSL-CM6A-LR	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
16	NCC	NorESM2-MM	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
17	NCC	NorESM2-LM	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Noleap
18	EC	EC-Earth3	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
19	EC	EC-Earth3-Veg	o	o	o	o	o	gn	Gregorian	Gregorian
20	BCC	BCC-CSM2-MR	o	o	o	o	o	gn	Noleap	Gregorian

Future works

- Comparison with global MHW statistics
- Improving KIOST-ESM

- Bretherton CS, Park S (2009) A new moist turbulence parameterization in the community atmosphere model. *J Climate* 22:3422-3448
- Delworth TL, Rosati A, Anderson W, Adcroft AJ, Balaji V, Benson R, Dixon K, Griffies SM, Lee H-C, Pacanoski RC, Vecchi GA, Wittenberg AT, Zeng F, Zhang R (2012) Simulated climate and climate change in the GFDL CM2.5 high-resolution coupled climate model. *J Climate* 25:2755-2783
- Hobday AJ, Alexander LV, Perkins SE, Smale DA, Straub SC, Oliver ECJ, Benthuysen JA, Burrows MT, Donat JM, Feng M, Holbrook NJ, Moore PI, Scannell HA, Gupta AS, Wernberg T (2016) A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography* 141: 227-238
- Kim, Y.H., C. Hwang, B.-J. Choi (2015) An assessment of ocean climate reanalysis by the data assimilation system of KIOST from 1947 to 2012. *Ocean Modelling* 91: 1-22
- Kim D, Lee M-I, Jeong S-J, Im J, Cha DH, Lee S (2018) Intercomparison of terrestrial carbon fluxes and carbon use efficiency simulated by CMIP5 earth system models. *Asia-Pac J Atmos Sci* 54:145-163
- Kim, D., M.-I. Lee, E. Seo (2019) Improvement of soil respiration parameterization in a dynamic global vegetation model and its impact on the simulation of terrestrial carbon fluxes. *Journal of Climate*, 32, 127-143
- Large, W. G., J. C. McWilliams, S. C. Doney (1994) Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Reviews of Geophysics*, 32(4), 363-403
- Lock AP (2001) The numerical representation of entrainment in parameterizations of boundary layer turbulent mixing. *Mon Weather Rev* 129:1148-1163
- Moorthi, S., M. J. Suarez, Relaxed Arakawa-Schubert. A parameterization of moist convection for general circulation models. *Monthly Weather Review*, 120, 978-1002
- Noh Y, Ok H, Lee E (2016) Parameterization of Langmuir circulation in the ocean mixed layer model using LES and its application to the OGCM. *J Phys Oceanogr* 46(1): 57-78
- O'Neill BC, Tebaldi C, van Vuuren DP, Eyring V, Friedlingstein P, Hurtt G, Knutti R, Kriegler E, Lamarque JF, Lowe J, Meehl GA, Moss R, Riahi K, Sanderson BM (2016) The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci Model Dev* 9:3461-3482
- Pak G, Noh Y, Lee M-I, Yeh S-W, Kim D, Kim S-Y, Lee J-L, Lee H-J, Hyun S-H, Lee K-Y, Lee J-H, Park Y-G, Jin H, Park H, Kim YH (2021) Korea Institute of Ocean Science and Technology Earth System Model and Its Simulation Characteristics. *Ocean Science Journal* 1(1):1-28
- Park S (2014) A unified convection scheme (UNICON). Part I: formulation. *J Atmos Sci* 71:3902-3930

한국해역의 아열대성 착생와편모류 번성과 기후변화



이원호^{1,2}, 김형섭¹, 오미령¹, 장건강¹, 박종우³
 1) 군산대학교 해양생물공학과, 2) (주)지오시스템리서치, 3) 수산과학원 갯벌연구소



요약

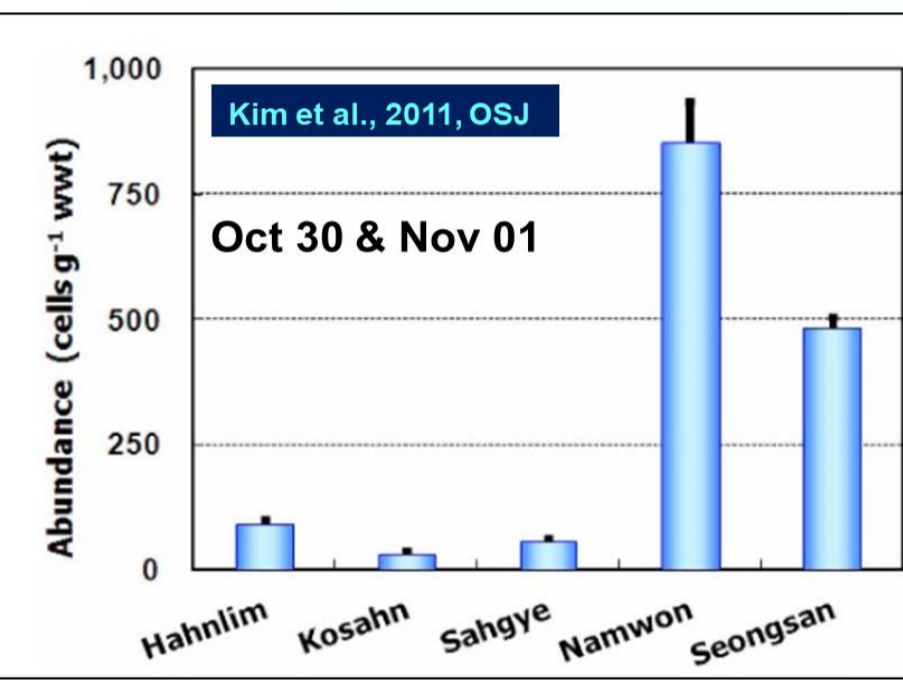
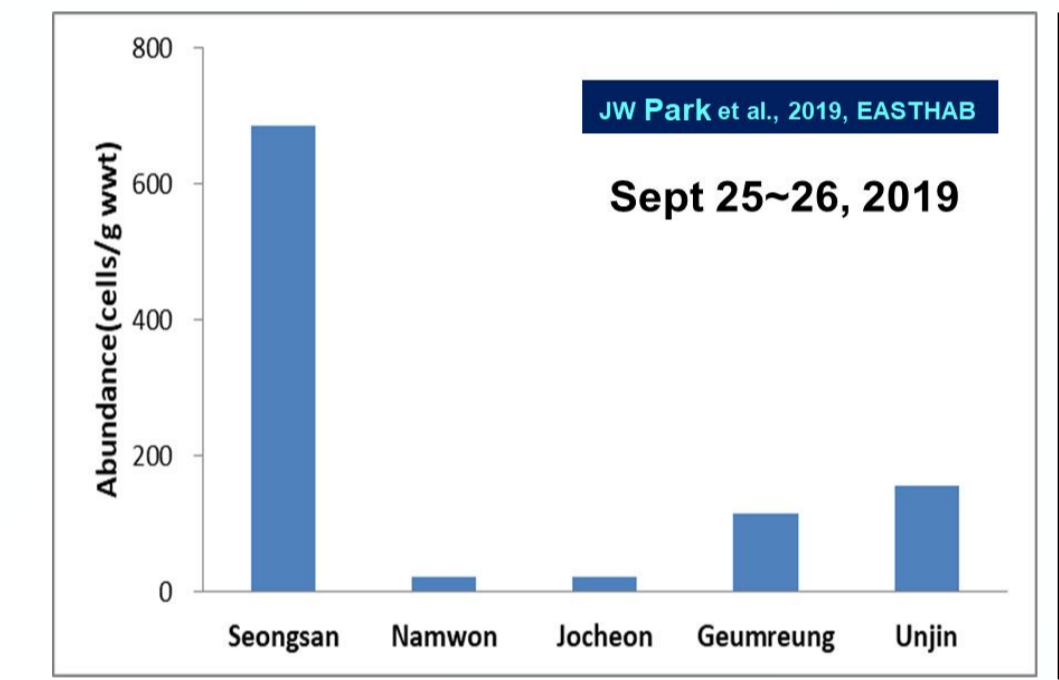
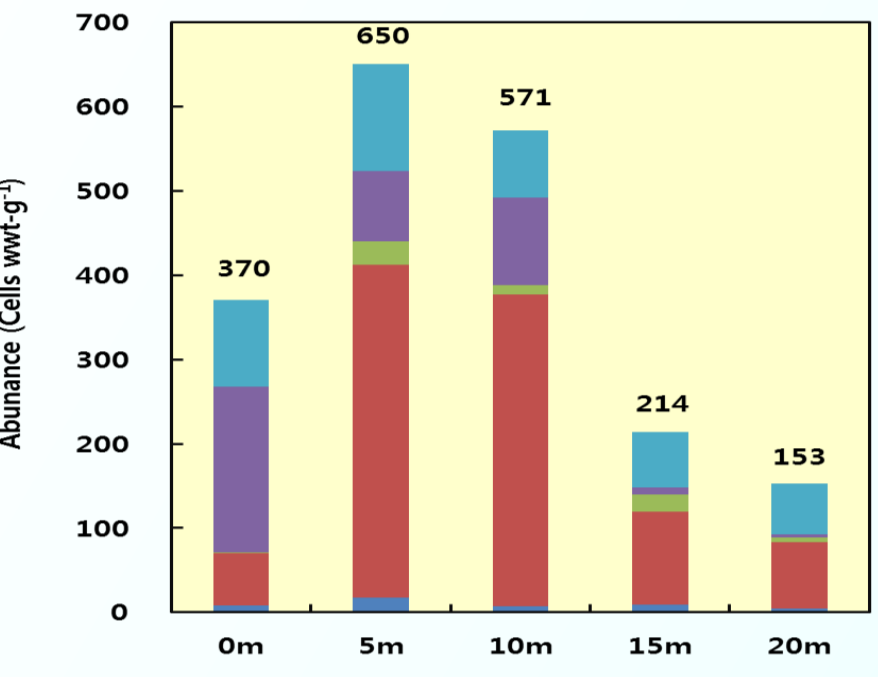
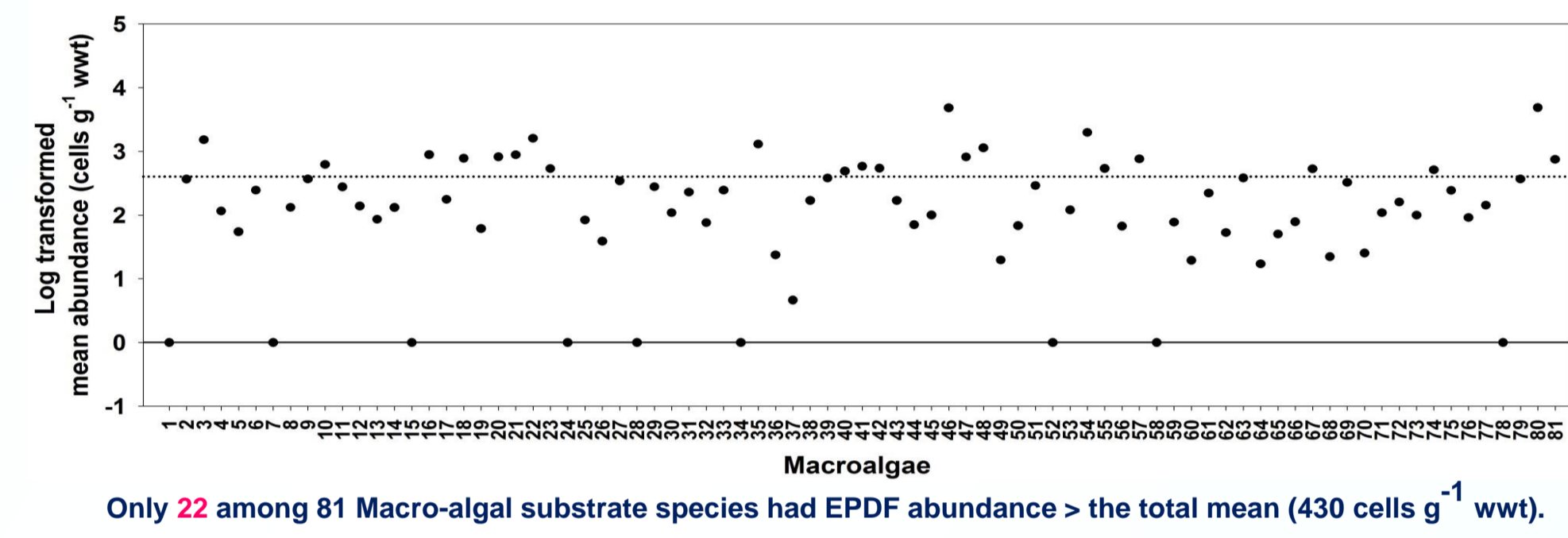
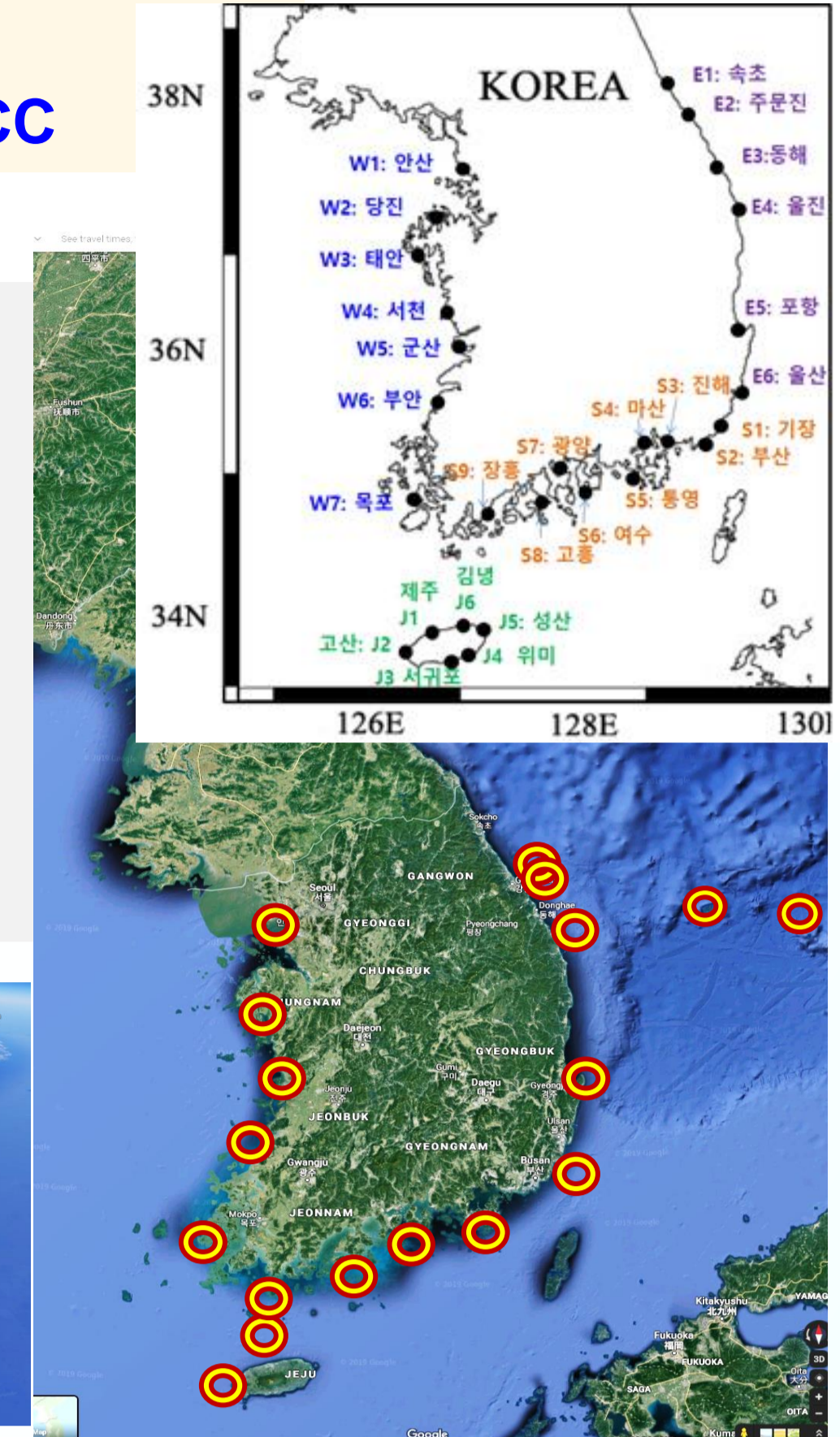
Nie와 Wang(1944)은 신속 *Sinophysis*을 기재하여, 극동아시아 해역에서는 최초로 저서성 와편모류에 대한 연구업적을 남겼다. 1981년에 시작된 일본 연안역에서 저서성 와편모류의 분류 및 독성에 관한 연구는 러시아 Ussuriiskii 만의 *Ostreopsis*에 관한 2010년의 보고로 이어졌다. 저서성, 특히, 착생성 와편모류(epiphytic dinoflagellates, EPDs)의 출현에 대한 한국해역 최초의 2009년 조사(Kim 등 2011)를 기점으로 하여, 한국 연안의 EPD 모니터링, 배양중주 기반의 분류학 및 생태생리학적 연구, 한국산 EPD 중주의 대량배양체를 이용한 신규성 해양천연물 탐색 및 응용 등에 이르는 일련의 최신연구로 발전해 나가고 있다.

다섯 가지 주요 속의 EPD 가운데, *Ostreopsis*와 *Gambierdiscus* 등의 두 속은 이미 2009년부터 제주 연안역에 널리 분포하여, 이들의 잠재적인 독성 문제가 특별한 관심의 대상이 되었다. 비록 현장 생물량이 유럽 지중해 또는 기타 아열대역에 비해 아직은 그리 높지 않은 편이지만, 기후변화에 따라 평균수온이 상승하는 추세로 전환될 경우, 우리 해역에서도 이들 두 속이 급속하게 번성할 수 있다. 단순하고도 명료한 기후변화의 지시자로 응용할 수 있기 때문에, 이들 *Ostreopsis*와 *Gambierdiscus* 농도분포 곡선의 시공간적 추이를 Eulerian 및 Lagrangian 방법론으로 장기-감시해야 할 것이다. 그 첫 걸음으로 그리 어렵지 않은 일은, 국민과 해양생태계의 건강을 위한 과학적 노력의 하나로써, 한국해역에 EPDs 생태계 주적을 위해 설정한 3-4개 고정점에 대하여 최소한 30년 이상의 시계열적 모니터링 사업을 국제적 수준으로 과감하게 착수하는 것이다.

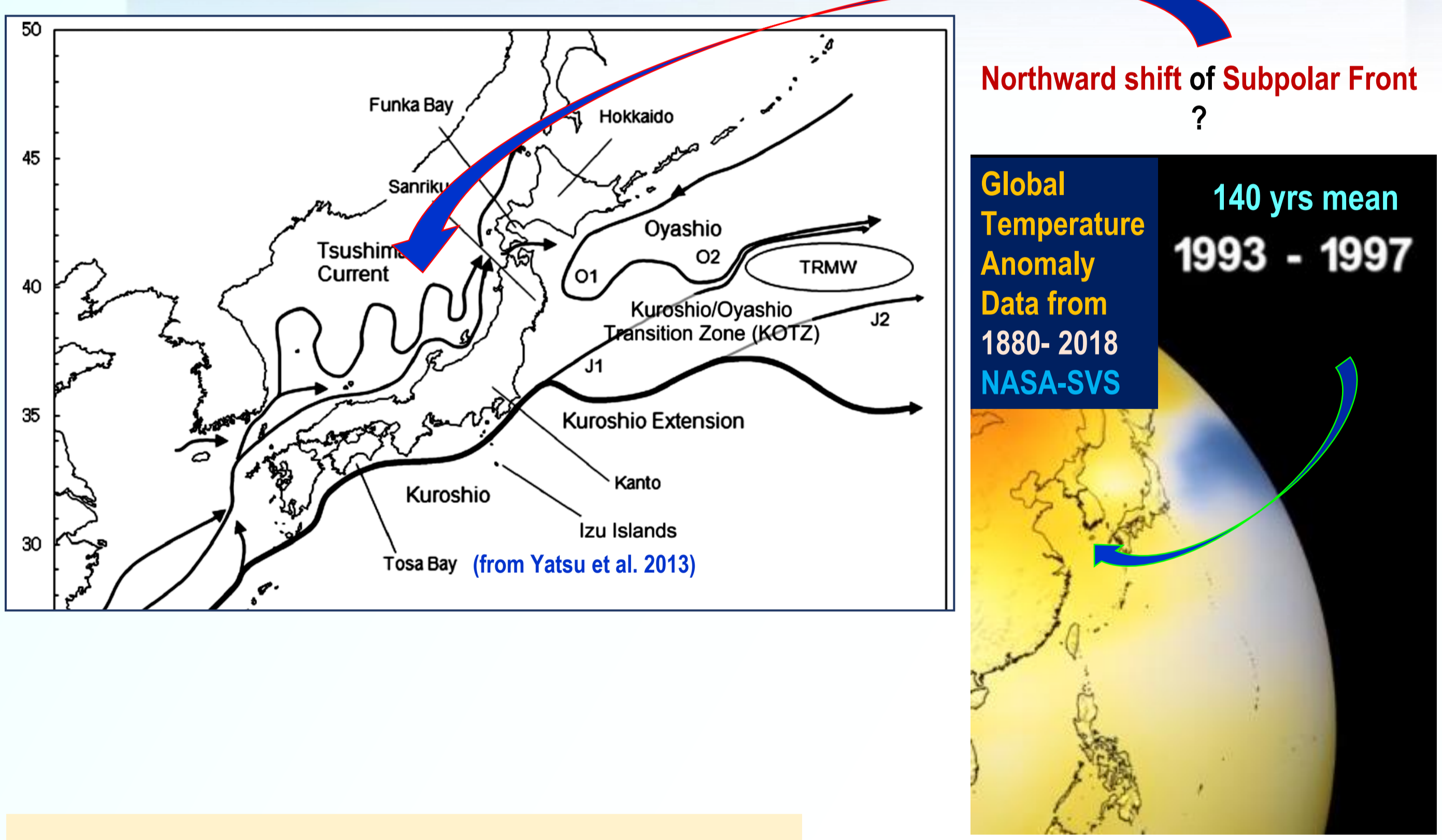
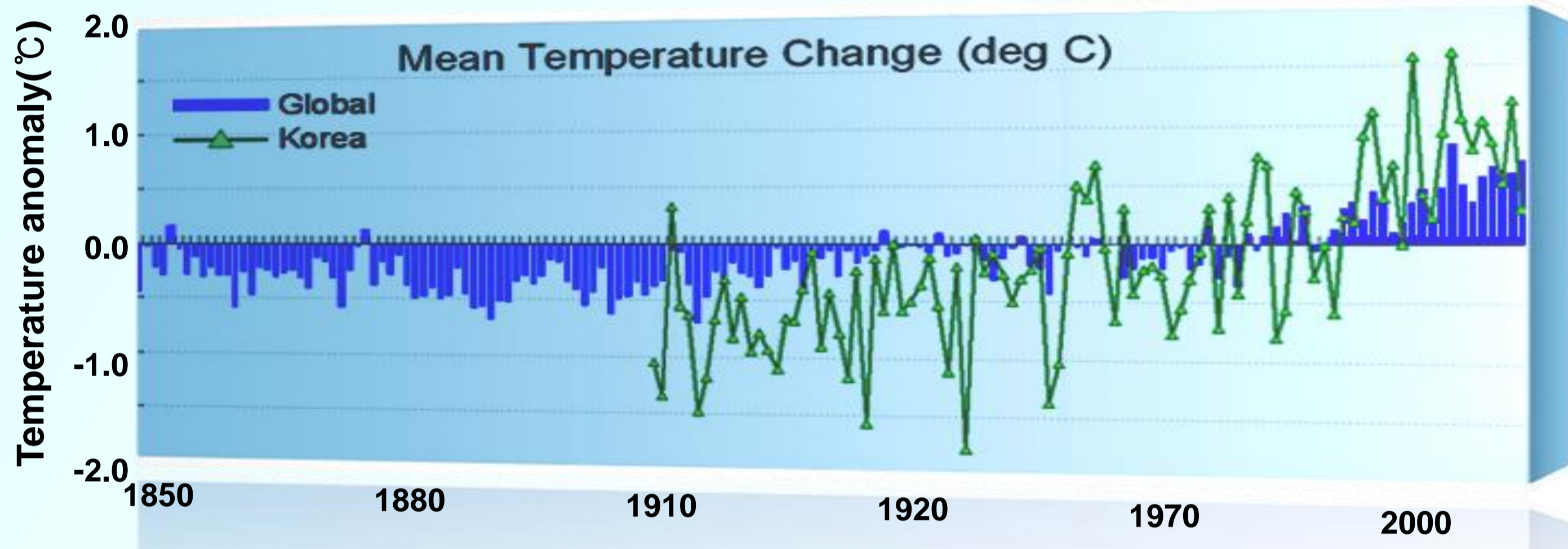
Amphidinium operculatum 1859 Claparède, É & Lachmann, J
Coolia monotis 1919 Meunier, A
Gambierdiscus toxicus 1979 Adachi, R & Fukuyo, Y
Ostreopsis siamensis 1901 Schmidt, J
Prorocentrum micans 1834 Ehrenberg, CG
Sinophysis microcephala 1944 D.Nie, D & Wang, CC



Epiphytic Dinoflagellates in Korean Seas
 2011-2021
 Over 25 Papers
 several project reports
 Over 2 MS, 1 PhD Thesis

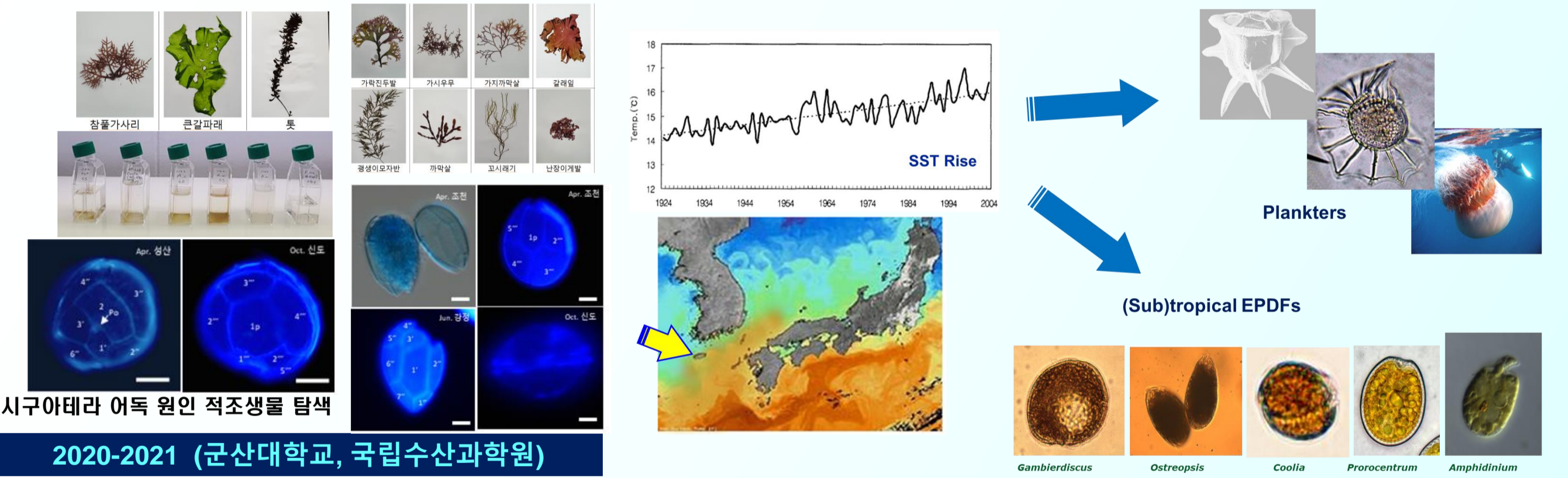


제주 등 한국해역, 전지구적 SST 상승의 Hotspot

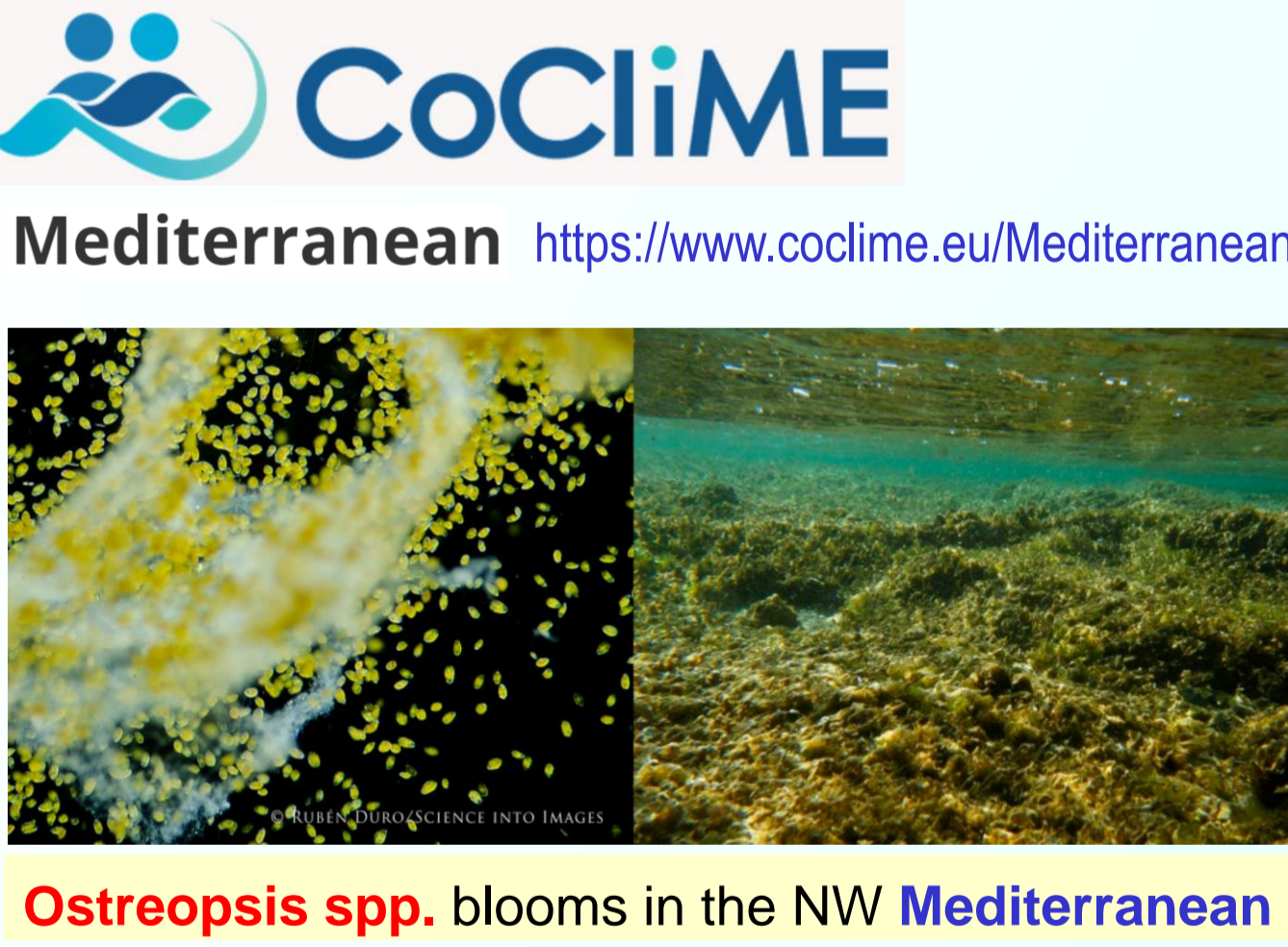


Strain cultivation
 Potential of benthic dinoflagellate cultures and screening of their bioactivities in Jeju Island, Korea
 Toxicity of the dinoflagellate *Gambierdiscus* sp. toward the marine copepod *Tigriopus japonicus*
 Distribution and Molecular Phylogeny of the Toxic Benthic Dinoflagellate *Coscinodiscus* sp. in the Coastal Waters of Jeju Island, Korea
 Feeding by heterotrophic protists on the toxic dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *ovata*

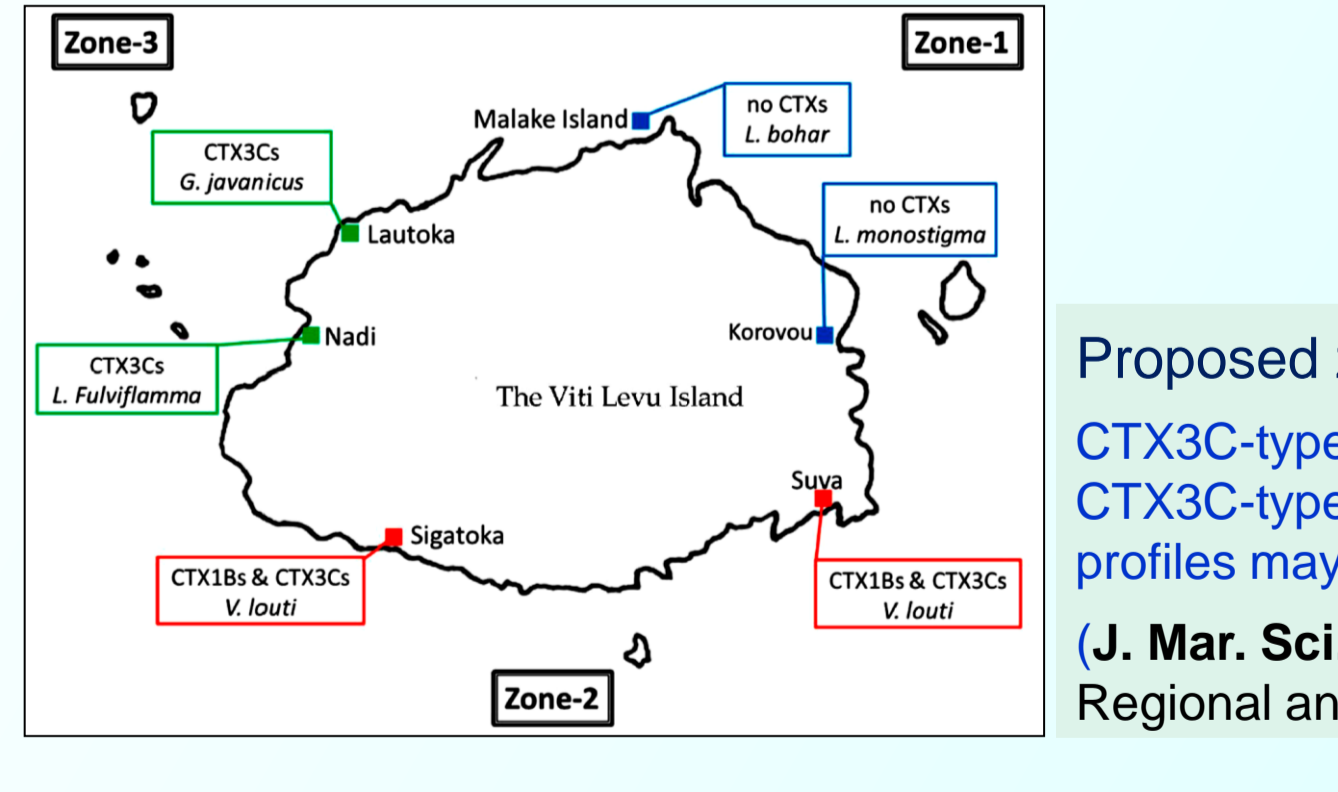
Bioactive novel Molecules
 Ostreol A: A new cytotoxic compound isolated from the epiphytic dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *ovata* from the coastal waters of Jeju Island, Korea
 Determination of the Absolute Configuration of Polyhydroxy Compound Ostreol B Isolated from the Dinoflagellate *Ostreopsis* cf. *ovata*
 Relative Configurational Assignment of 4-Hydroxyprorocentrone and Prorocentrone C Isolated from a Benthic Dinoflagellate (*Prorocentrum lima*)



Ostreopsis & Gambierdiscus



FSN Food Safety News
 Breaking news for everyone's consumption
Gambierdiscus toxicus
 Project confirms growing threat in Europe from toxins created by microalgae
 January 10, 2021
 (https://www.foodsafetynews.com/2021/01/) An international scientific meeting was held in October for the EuroCigua project which began in April 2016 and ends this month. The presence of *Gambierdiscus* in the Mediterranean Sea, Cyprus and Greece was also detected, as well as the first finding in the Balearic Islands.



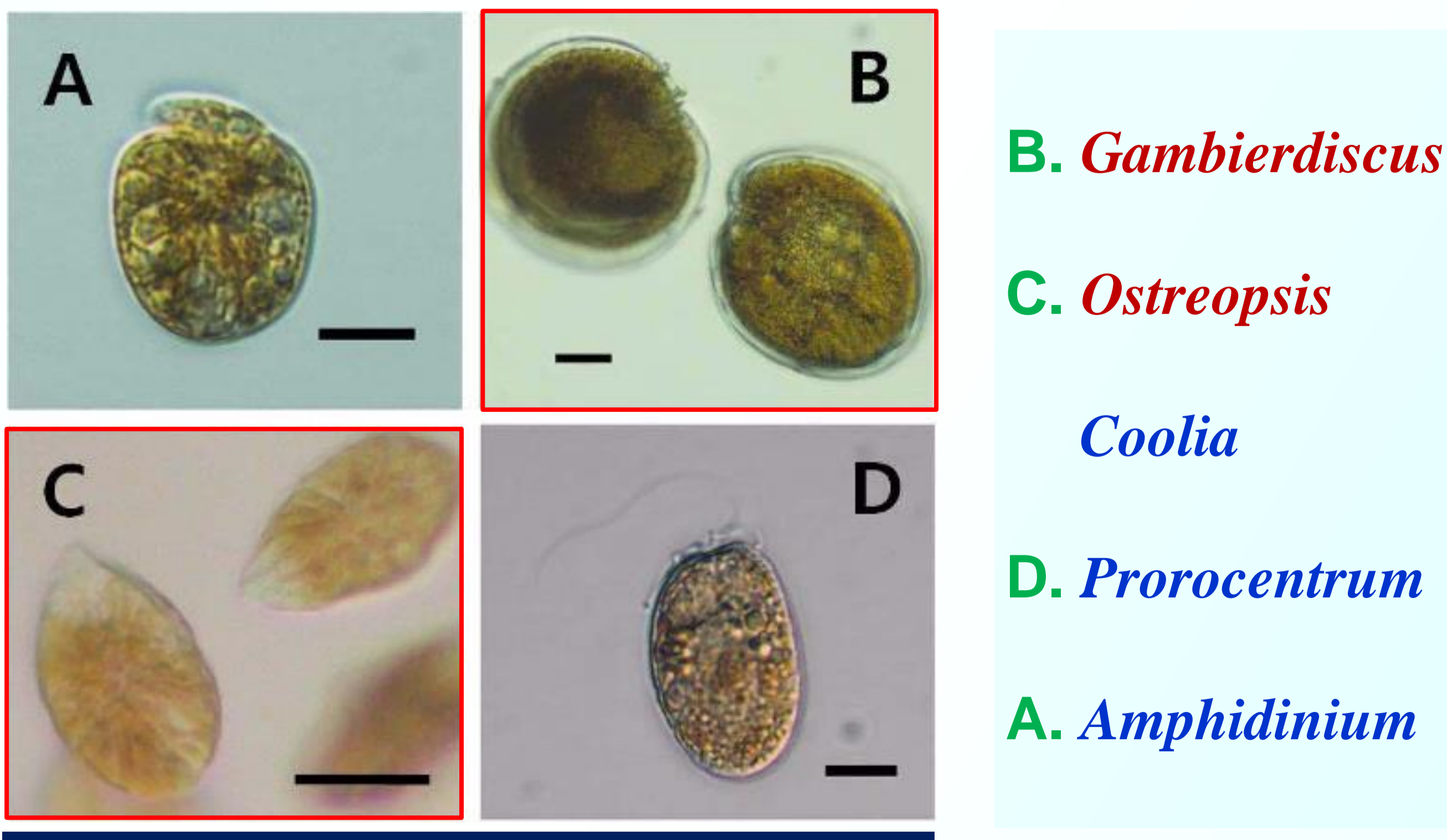
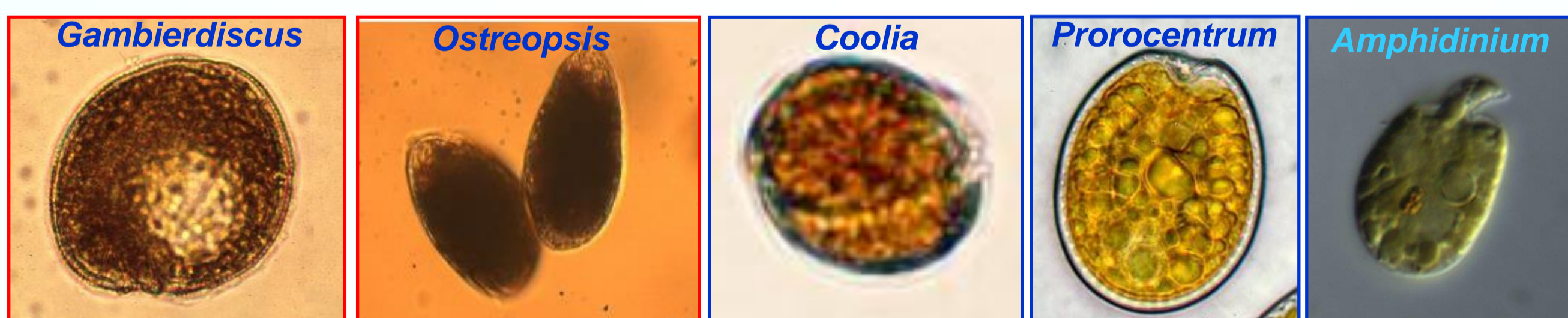
Proposed zonation of Viti Levu Island, Fiji, based on CTX profiles
 CTX3C-type toxins were present in low levels in the fish. CTX1B-type and CTX3C-type toxins co-occurred in the fish present in Zone-3. The toxin profiles may have reflected the variation in *Gambierdiscus* spp.
 (J. Mar. Sci. Eng. 2021. LC-MS/MS Analysis of Ciguatoxins Revealing the Regional and Species Distinction of Fish in the Tropical Western Pacific)

결론
 Northernmost EPDF habitats in Korea
 1) Potential northward shift
 2) Northward shifting velocity

1) Quantitative monitoring, (20 stations) x (>5 years) → Hints
 2) LT-increase rates of (species x station x season)-specific population → Northward shifting velocity of the overwintering boundary



아열대성 착생와편모류



착생성 와편모류(epiphytic dinoflagellates, EPDs)의 hosts 해조류 (제주 해역의 예)



역학적 규모 축소법을 사용한 기후변화 시나리오에 따른 한반도 주변 해수면 상승 모의

2021년 제2차 APCC 기후예측워크숍



김용열*, 조양기, 김복관, 이은일, 변도성, 정광영*

kimy208@snu.ac.kr

1. 서울대학교 지구환경과학부/해양연구소, 2. 국립해양조사원 해양조사연구실

1. 서론

- 기후변화에 따라 빙하의 녹음과 해수의 열팽창에 의해 한반도 주변의 해수면은 지속적으로 상승 중
- 해수면 상승 예측 및 기작 이해를 위하여 수치모델을 이용한 연구가 수행되어 왔으나, 기존의 많은 연구들에서 사용한 전구 기후모델(GCM)은 해상도가 낮아 우리나라 주변의 상세한 지형 및 해류를 해상하는데 한계
- 역학적 규모 축소법을 이용하여 전구 기후모델 결과를 외력으로 하는 고해상도 지역해양모델(RCM)을 수행하여 낮은 해상도의 전구기후모델이 가진 한계점을 개선 (그림 1)

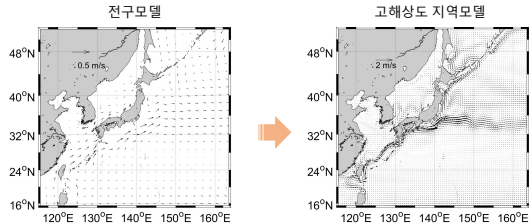


그림 1. 역학적 규모 축소법의 효과

- 전구기후모델 결과를 외력으로 하는 고해상도 북서태평양 지역해양모델 수행 (그림 2)

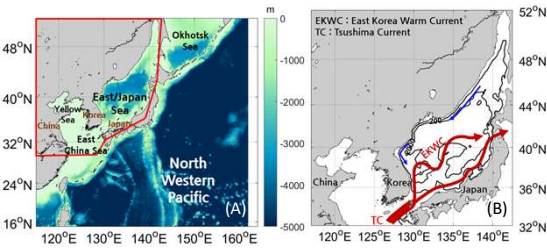


그림 2. (A) 북서태평양 모델 영역 (115 ~ 164°E, 15 ~ 52°N) 및 연구 영역 (붉은 박스). (B) 한반도 주변 주요 해류 모식도

2. 모델 및 방법

- 필요한 강제력 변수가 모두 존재하는 전지구 기후모델들 (표 1) 을 대상으로 지역해양모델 북서태평양 해수면 모의성능 (I_{SSH})과 표층수온의 모의성능 (I_{SSHTST})을 평가

기준	모델 수
자료 공개 모델	48
SSH 변수를 제공하는 모델	41
모든 RCP 시나리오 자료를 제공하는 모델	24
필요한 강제력 변수를 모두 제공하는 모델	13

표 1. 자료 제공 기준에 따른 CMIP5 전지구 기후모델 수

$$I_{SSH} = \frac{X_{SSH}/X_{SSH} + E_{SSH}/E_{SSH}}{2}$$

X_{SSH} : detrended yearly model SSH RMSE
 E_{SSH} : model SSH trend absolute error

$$I_{SSHTST} = \frac{X_{SSH}/X_{SSH} + E_{SSH}/E_{SSH} + X_{SST}/X_{SST} + E_{SST}/E_{SST}}{4}$$

X_{SSH} : detrended yearly model SSH RMSE
 E_{SSH} : model SSH trend absolute error
 X_{SST} : detrended yearly model SST RMSE
 E_{SST} : model SST trend absolute error

- 각 평가에서 모의 성능이 좋았던 모델 2개씩 선정 (그림 3)
- IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR 모델이 해수면 모의 성능 우수
- NorESM1-M, MPI-ESM-LR 모델이 해수면 및 표층수온 모의 성능 우수
- 모의 성능이 우수한 4개 모델을 외력으로 고해상도 지역해양모델을 수행 (표 2)

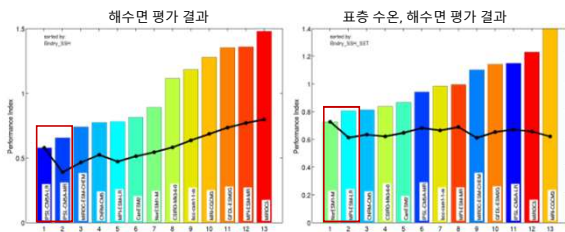


그림 3. 전구 기후모델 모의성능 평가 결과

	1/20° 고해상도 지역 해양모델			
	IPSL-CM5A-LR (RCM-IPSL-L)	IPSL-CM5A-MR (RCM-IPSL-M)	NorESM1-M (RCM-Nor)	MPI-ESM-LR (RCM-MPI)
수행 기간	Historical : (1976 ~ 2005); RCP 2.6, 8.5 : (2006 ~ 2100)			
개방경계조건	GCM-IPSL-L	GCM-IPSL-M	GCM-Nor	GCM-MPI
표층경계조건	GCM-IPSL-L	GCM-IPSL-M	GCM-Nor	GCM-MPI
위도	15°N ~ 52°N, 920 grid			
경도	115°E ~ 164°E, 980 grid			
수평 해상도	1/20°			
초기조건	World Ocean Atlas 1998			
수치 모델	Regional Ocean Modeling System (ROMS) 3.7v			

표 2. 고해상도 지역해양모델 모델 설정

3. 결과

- 전구모델과 지역모델의 표층수온은 동해의 아극전선 주변에서 큰 차이를 보임 (그림 4)
- 전구모델은 대마난류 및 동한난류가 매우 약하고, 뚜렷하게 나타나지 않았으나 지역모델에서는 뚜렷하게 나타나며 사행하는 모습도 나타남 (그림 5)
- 전구모델은 공간적인 해수면 차이가 크지 않으나 지역모델은 그 차이가 뚜렷함 (그림 6)

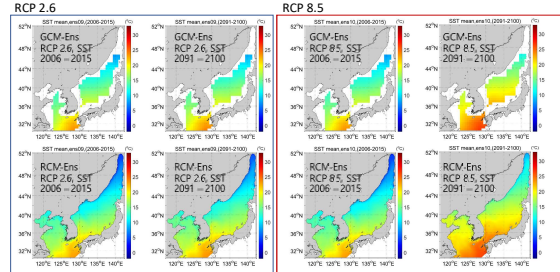


그림 4. 전구기후모델 및 고해상도 지역해양모델 표층수온 모의 결과 비교 (RCP 2.6, RCP 8.5)

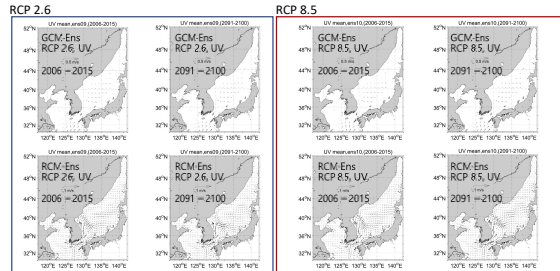


그림 5. 전구기후모델 및 고해상도 지역해양모델 표층염분 모의 결과 비교 (RCP 2.6, RCP 8.5)

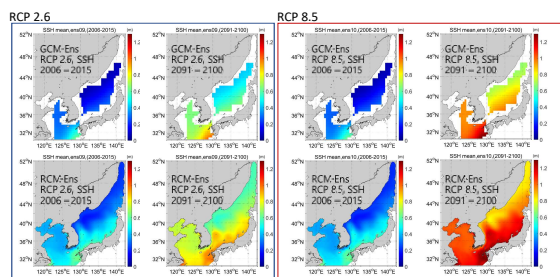


그림 6. 전구기후모델 및 고해상도 지역해양모델 해수면 모의 결과 비교 (RCP 2.6, RCP 8.5)

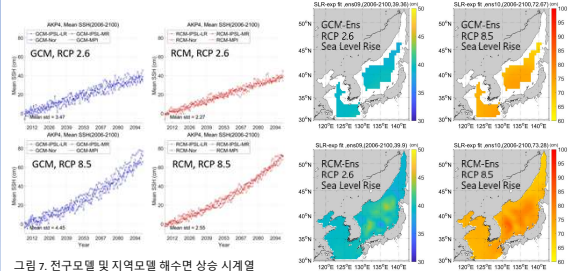


그림 7. 전구모델 및 지역모델 해수면 상승 시계열

그림 8. 전구모델 및 지역모델 해수면 상승 공간분포 모의 결과

4. 요약

- 저해상도의 전구기후모델들은 낮은 해상도와 상세 지형 모사 불가로 인하여 한반도 주변의 복잡한 해양현상 모의 시 한계
- 우리나라 주변 상세 해수면 모의를 위하여 역학적 규모축소법을 적용해 고해상도 지역해양모델을 수행
- 고해상도 지역해양모델 수행 시 표층수온, 해류, 해수면, 해수면 상승의 지역적인 차이를 상세하게 모사
- 21세기 우리나라 주변 해수면 상승은 RCP 2.6 시나리오에서 약 40cm 가량이었으며, RCP 8.5 시나리오에서 약 73cm 이었음

5. 진행 중 연구

- CMIP6 전구기후모델을 대상으로 평가 및 고해상도 지역해양모델 수행 예정
- 평가 기간 : 1993~2014
- $PI = \frac{1}{6} \left(\frac{X_{SSH}}{X_{SSH}} + \frac{E_{SSH}}{E_{SSH}} + \frac{M_{SSH}}{M_{SSH}} + \frac{X_{SST}}{X_{SST}} + \frac{E_{SST}}{E_{SST}} + \frac{M_{SST}}{M_{SST}} \right)$
- E_* : absolute * trend error averaged over whole domain (장기 경향 모의 성능)
- X_* : yearly RMSE * averaged over whole domain (연변화 모의 성능)
- M_* : spatial RMSE * averaged over whole period along lateral boundary (개방경계 공간변화 모의 성능)

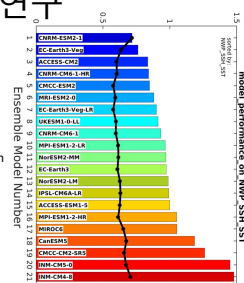


그림 8. CMIP6 전구기후모델 평가 결과

배경 및 목적

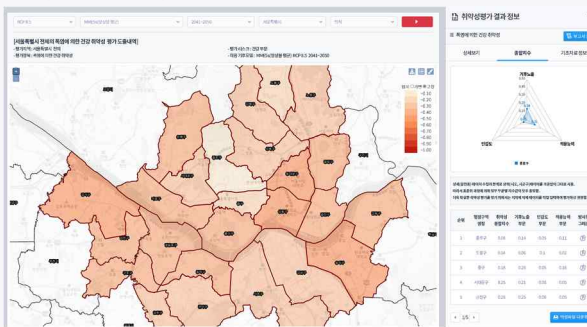
- 기후변화 대응은 적응(adaptation)과 완화로 구분됨
- 기후변화 적응은 기후변화로 발생할 수 있는 모든 부정적 영향(impact)을 최소화하고, 기회로 활용하는 활동을 뜻함
- 환경부와 국가기후변화적응센터는 국가 기후변화 적응대책, 광역 및 기초지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획을 수립, 이행·평가하며, 공공기관과 민간기업의 적응대책 수립·이행 전과정을 지원하고 있음
- 특히, 작년('20) 제3차 국가 기후변화 적응대책('21-'25)을 수립하고, 올해('21) 전국 16개 광역시·도의 제3차 기후변화 적응대책 세부시행계획('22-'26) 수립이 추진 중임
- 본 발표에서, ① 기후변화 취약성 평가도구인 VESTAP, ② 미래 기후변화 영향 예측모형인 MOTIVE, ③ 제3차 국가 기후변화 적응대책('21-'25)에 수록된 기후변화 평가 부문의 발전방향에 대해 소개하고자 함

기후변화 영향, 취약성, 리스크

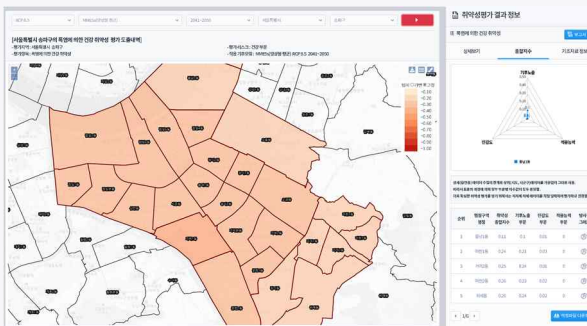
- 영향: 부문별, 정량적, 장·단기적 피해(변화)를 의미함
- 취약성(vulnerability)(AR4): 적응능력(adaptive capacity) 고려시, 영향이 더 클 것이 예상되는 우선순위 개념이 강함
취약성 = f(노출성, 민감도, 적응능력)
- 리스크(risk) 평가(AR5): 과거의 피해 기록, 통계, 영향 예측, 취약성 평가 및 의사결정자의 의지를 종합하여, 기후변화에 따른 부문별 리스크 항목 리스트를 도출하는 과정임

VESTAP - 지자체 취약성 평가도구 (vestap@kei.re.kr)

- Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan
- 사업 추진 경과:
 - ('11, 환경과학원) 전국 부문별 기후변화 취약성 지도 및 평가도구(CCGIS, LCCGIS) 개발·제공
 - ('13, 환경과학원→적응센터) 취약성 평가도구 이관
 - (~'20, 적응센터) 총 7개 부문 57개 평가항목 구축
- 대상연도/기후변화 시나리오:
 - 기준('01-'10), 미래(~'50, 10년 단위)/ RCP4.5, 8.5
- 방법: 기후노출, 민감도, 적응능력에 가중치 부여 후 연산,
 - Rescaling 및 계층화분석(AHP)을 통한 가중치 산정
- 연구진('21): 정휘철(책임), 유인상, 박진택
- <https://vestap.kei.re.kr>



▲ 서울특별시 폭염건강취약성 예시. 동대문구, 강서구, 송파구 등이 취약성 순위가 높은 것으로 나타남. 우측에서 취약성이 왜 높은지 요소별 기여도를 확인하여, 정책수립에 활용할 수 있음.



▲ (예시) 송파구 폭염건강취약성 예시. 우선순위가 높은 송파구의 동별 취약성 우선순위를 확인할 수 있음. 가락동이 높게 나타남.

MOTIVE - 부문별 영향 예측 모형 (motive@kei.re.kr)

- Model of Integrated Impact and Vulnerability Evaluation of Climate Change
- 개요: ('14.~'21. 3.) 환경부 기후대응R&D, 총163명 참여
- 개발체제



주요기능

MOTIVE 개요 및 주요기능	
시간적 범위	2030년, 2040년, 2050년, 2080년 (모형 결과연대에 대한 10년 간의 누년 평균값)
공간적 범위	남한 1km x 1km (단, 분야별로 행정구역, 유역, 해역 단위로 분석)
활용 기본 DB	공통의 기후변화 시나리오(KMA, KEI) 및 분야별 비기후적 DB
사용자	중앙정부, 지자체 및 발전연구원, 학계, 산업계 등 기후변화의 전문가 및 관계자
평가 부문	건강, 물, 농업, 산림, 생태계, 해양, 수산
시스템 구성	사용자 편의 GUI 기반 web/stand-alone 시스템

세부분	주요 영향 및 취약성 평가 대상
해양/수산	해수면 상승, 생태량 크기 스펙트럼, 적조 발생
건강	폭염, 대기오염, 매개체 감염병
물관리	수질, 수량, 수생태
산림	수종분포, 산림생장, 산림탄소순환, 산림재해(산불, 산사태), 토지피복 변화
농업	작물생산성, 재배지, 농지온실가스순환, 병해충
생태	생태계 교란종, 기후변화 민감종, 취약 서식지

- 연구진('21): 송영일, 홍제우, 유명수, 구혜윤, 박송미, 유혁균
- 시연영상(약 22분 길이): *시스템은 환경부 협의 후 공개예정



<https://youtu.be/G9PBo03GfHw>



제3차 국가 기후변화 적응대책('21-'25)

- 비전: 기후위험으로부터 안전한 국가 구현
- 국가 기후변화 리스크 목록('19) 84개 바탕, 총 39차례 협치 포럼, 공청회, 토론회, 관계부처협의 의견수렴으로 수립
- 6대 부문(물관리, 생태계, 국토·연안, 농수산, 건강, 산업·에너지) 적응력 제고, 감시·예측/평가 강화, 적응 주류화 실현 목표
- 평가 부문 수립 과제 - "평가도구 및 정보제공 강화"
 - 목표: 기후변화 평가 방안 개선 및 적응정보 관리체계 마련
 - 기후리스크 진단 방법론 개발
 - 기후변화 주요 리스크 진단 기법 개발
 - 기후변화 주요 리스크에 대한 시범 진단 실시
 - 기후변화 영향·취약성 평가 도구 고도화
 - 지자체 적응대책 성과 중심의 적응능력 지표 개선
 - 취약성 평가 결과의 공간적 상세화 및 절대평가 체계 개발
 - VESTAP 고도화 및 MOTIVE 연계방안 정립
- 기후변화 적응정보 관리체계 마련 및 정보 확산
 - 기후변화 적응정보 통합 플랫폼 구축
 - 한국 기후변화 평가보고서 2025(환경부-기상청) 발간

감사의 글

- 본 발표는 한국환경정책·평가연구원에서 환경부의 수탁과제로 수행된 「기후탄력성 제고 기반 마련 (2021-001-03)」의 지원으로 작성되었습니다.

연락처 - KEI KACCC 홍제우 부연구위원

jwhong@kei.re.kr, 044-415-7567, 010-3123-6183

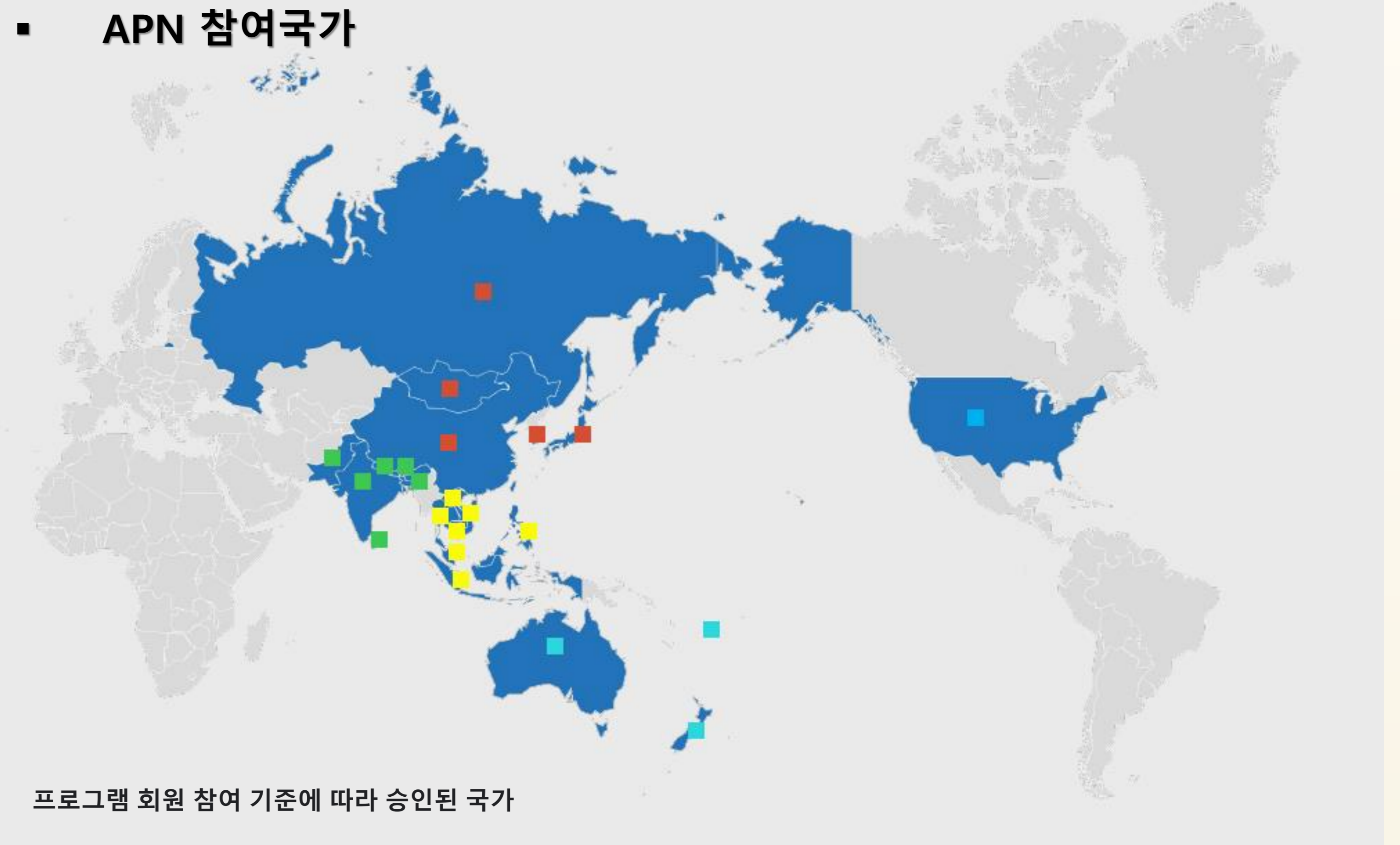
아태지역의 기후변화 연구를 위한 국제협력 INTERNATIONAL COOPERATION TO STUDY CLIMATE CHANGE IN ASIA-PACIFIC REGION

명수정*
한국환경정책·평가연구원
sjmyeong@kei.re.kr

요약

...아태지역의 전 지구적 변화에 대한 연구 네트워크 APN(Asia-Pacific Network for Global Change Research)는 아시아 태평양 지역의 지구적 변화와 관련된 정책 중심의 연구 및 역량 강화 활동을 장려하는 정부 간 네트워크로 1996년 3월에 창립되었다. 현재 호주, 방글라데시, 부탄, 캄보디아 등 아태지역 총 22개의 회원국을 가지고 있는 APN은 우리나라를 비롯하여 일본, 미국 및 뉴질랜드 정부로부터 재정 지원을 받으며 아태지역 내 국가 간의 연구협력을 지원해오고 있다. APN의 전 지구적 변화와 관련된 다양한 주제를 다루는데, 주요 분야는 1)기후변화, 2)생물다양성과 생태계, 3)대기, 토지 및 해양과 연안, 4)식량과 물과 에너지, 5) 리스크와 회복탄력성, 그리고 인간에 대해 다루고 있다. 이중 기후변화는 가장 중요하게 다루고 있는 연구 주제이다. APN의 주요 연구 프로그램은 Collaborative Regional Research Programme (CRRP)과 Capacity Development Programme(CAPaBLE)이 있으며, 또한 젊은 연구자들을 위한 연구기회 등 아태지역 내 연구자들간의 네트워크 강화와 연구 지원을 통해 전 지구적 변화로 인한 문제를 해결하는데 기여하고자 노력하고 있다. APN은 아태지역 내 이웃 국가 간의 연구와 선개도국 간의 연구협력을 독려하고 있다. 기후변화는 APN에서 가장 중요하게 다루고 있는 연구주제이며, 기후변화 문제해결을 위해서도 국제 연구협력의 중요성이 높은 만큼 APN을 활용한 기후변화 분야 국제협력을 고려할 만하다. 또, 개도국 회원국들의 기후변화에 대한 공동 연구 수요가 높아 우리나라의 기후변화 연구자들이 관심을 가지고 국제공동연구를 추진할 기회로 활용하는 것을 고려할 필요가 있을 것이다.

APN 참여국가



- | South Asia (SA) | Southeast Asia (SEA) | Temperate East Asia (TEA) | Pacific |
|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Bangladesh Bhutan India Nepal Pakistan Sri Lanka | <ul style="list-style-type: none"> Cambodia Indonesia Lao PDR Malaysia Philippines Thailand Viet Nam | <ul style="list-style-type: none"> China Japan Mongolia Republic of Korea Russian Federation | <ul style="list-style-type: none"> Australia Fiji New Zealand United States of America |

APN이란?



- 1996년에 설립된 APN은 아태지역의 22개 국가가 지구적 변화에 대한 각종 도전적인 문제를 함께 다루기 위해 노력하는 정부간 협의체
- APN은 지구적 수준의 각종 변화에 대한 아태지역의 국제 연구 네트워크

APN의 연혁

Year	Development of APN	World
1990	White House Conference on Science and Economic Research related to Global Change	
1992	Preparation for the establishment of APN started, based on Agreement of Japan-US Summit	Rio de Janeiro Earth Summit (UNCED)
1996	Establishment of APN. First Intergovernmental Meeting (IGM) in Thailand	
1997	First Open Call for Collaborative Regional Research Proposals	UNFCCC COP3
2003	Capacity Development Programme (CAPaBLE) launched (registered as a Type II Partnership Initiative by MOEJ at WSSD)	World Summit on Sustainable Development (WSSD)
2007	Establishment of the first Subregional Committee (SRC)	
2012	First Science-Policy Dialogue (SPD)	IPCC Fifth Assessment Report (2014)
2015	Fourth Strategic Plan 2015-2020 launched	SDGs Paris Agreement
2018	Endorsement of substantial changes in the roles of APN organs: strengthening the subregions	

비전

글로벌 변화와 도전 과제를 성공적으로 해결하고 아시아 태평양 지역의 지속 가능성 추구

목표

- 지구적 변화에 대한 연구에 있어 지역의 협력연구 지원
- 글로벌 변화 및 지속가능성 연구에 대한 역량 강화 및 과학 기반의 의사 결정 지원
- 과학자와 정책 입안자 간의 적절한 상호 작용을 강화하고 정책 결정에 대한 과학적 정보와 지식을 시민사회와 대중에게 전파
- 지구적 변화와 지속가능성에 대한 다른 네트워크 및 조직과의 협력을 강화

조직구조



APN 제4차 전략계획 개요

- | 주제 영역 | 관리 접근 | 액션 아젠다 |
|---|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 기후변화와 기후 변동성 생물 다양성과 생태계 대기, 육상 및 해양 영역의 변화 지속 가능한 발전을 위한 자원 활용 및 경로 리스크 감소 | <ol style="list-style-type: none"> 회원국의 참여 프로젝트 및 활동 관리 재정 자원 및 관리 글로벌 변화 및 지속 가능성 커뮤니티와의 연계 | <ol style="list-style-type: none"> 글로벌 변화 및 지속 가능성 연구 촉진 및 강화 역량 개발 과학-정책 상호 작용 연구 강화 커뮤니케이션 및 아웃 리치 |

APN의 주요 활동

- Regional collaborative research
- Scientific capacity development
- Proposal development training
- Science-policy dialogue
- Subregional science-policy activity
- Engaging in science-policy processes at the international level

Science-Policy Dialogue

- Southeast Asia Science-Policy Dialogue, Bangkok, Thailand (2012) - "Challenges of Global Environmental Change in Southeast Asia"
- South Asia Science-Policy Dialogue, Thimphu, Bhutan (2014) - "Global Environmental Change: Reducing Risk and Increasing Resilience"
- Temperate East Asia Science-Policy Dialogue, Ulaanbaatar, Mongolia (2015) - "Land Use and Climate Change in Temperate East Asia"
- Southeast Asia Science-Policy Dialogue, Bangkok, Thailand (2018) - "Climate Change: Low carbon and Adaptation Initiatives in Asia"
- Japan Biodiversity Fund: Science-Policy Dialogues on the IPBES Asia-Pacific Regional Assessment Report (2018-2019)

Call for Proposals

- CRRP: the Collaborative Regional Research Programme
- CAPaBLE: the Capacity Development Programme
- CRECS: Collaborative Research Programme for Early Career Scientists
- PDTW: Proposal Development Training Workshop

현업기후예측시스템의 계절내 잠재 태풍 예측성 분석

1. Introduction

- 한반도를 포함한 북서태평양은 타 지역에 비해 상대적으로 높은 해수면 온도로 인해 전 세계 열대성 저기압의 30%가 발생하는 주요 지역으로서 태풍 활동 예측에 많은 관심이 있음
- 우리나라를 포함한 동아시아 국가에 막대한 사회·경제적 피해를 입히며, 우리나라의 경우 전체 재해 피해액의 44%를 태풍이 차지
- 태풍과 같은 이상기후의 피해를 최소화하기 위해서는 2주~2개월에 걸치는 선제적인 대비·대응이 필요하며, 이를 위해서는 해당 기간에 대한 예보의 중요성이 강조되고 있음
- 우리나라는 이를 위해 현업기후예측시스템인 GloSea5를 이용하여 S2S (Seasonal to Sub-Seasonal) 연구프로젝트에 참여하고 있으며, 계절 예보를 제공하고 있음
- 현재 계절내 시간규모에 대한 태풍과 같은 이상기후 예측 연구는 부족한 실정임
- 본 연구에서는 우리나라가 사용중인 GloSea5를 대상으로 계절내 시간규모의 잠재 태풍 예측성을 평가하고자 함
- 이에 추가하여 북서태평양 지역의 태풍활동에 영향을 주는 기후인자인 ENSO (El Niño-Southern Oscillation) 의 모의성능을 평가하였음

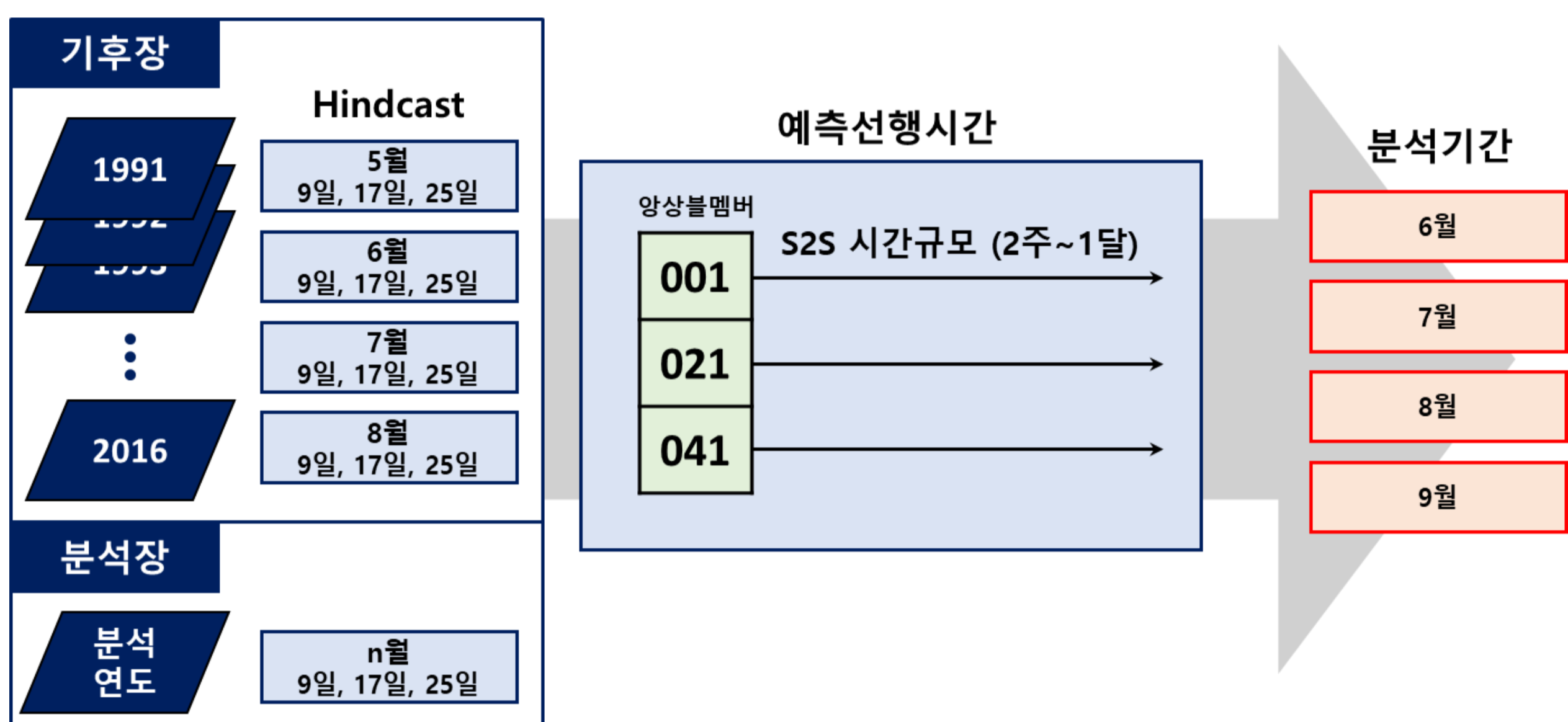
2. Data & Method

● 모델 환경

: 현업기후예측시스템 (GloSea5)

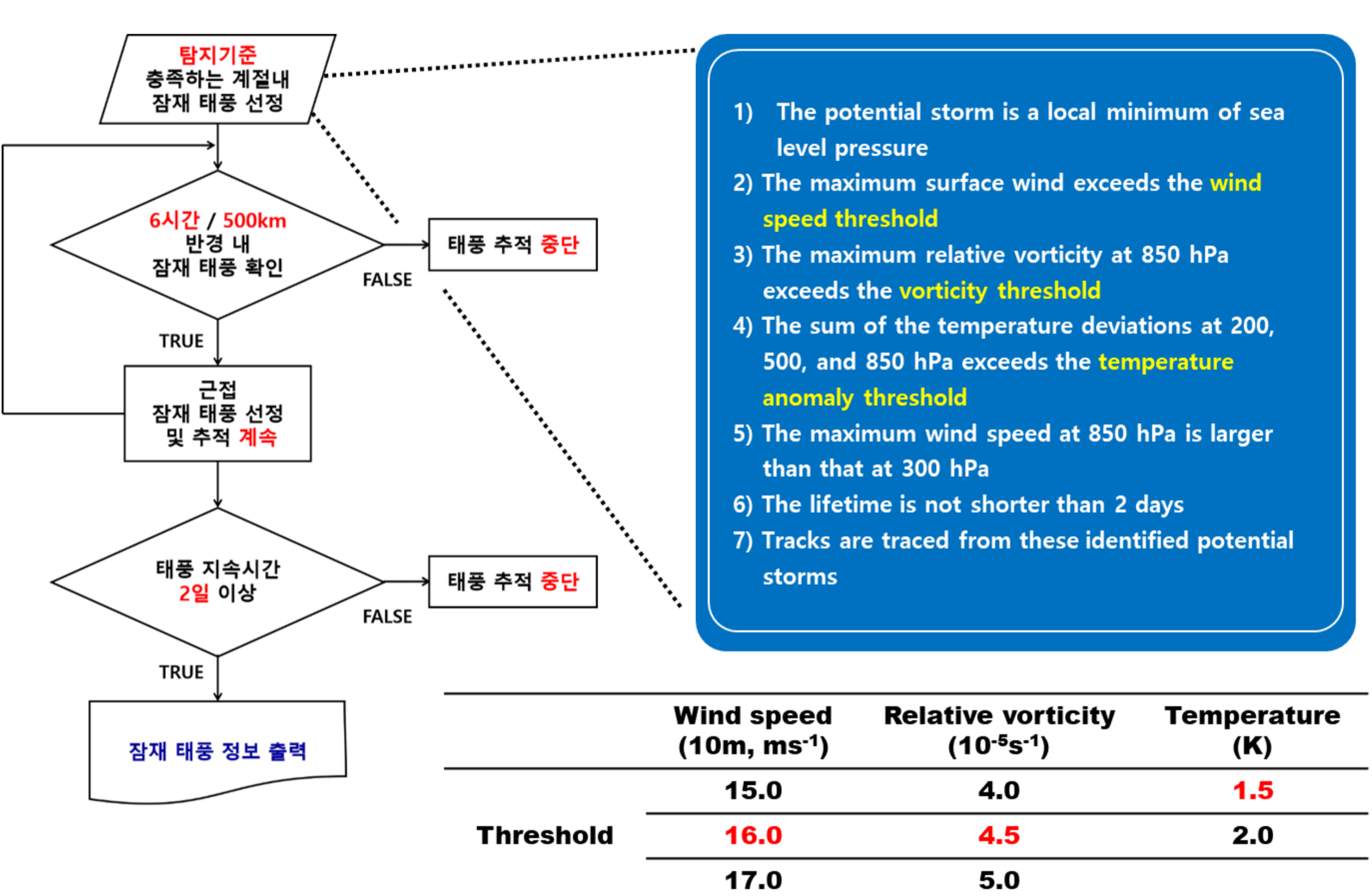
구분	내용	
모델 구성	대기	UM 8.6 GA 6.0
	해양	NEMO 3.4 GO 5.0
	해빙	CICE 4.1 GSI 6.0
	지표	JULES 4.7 GL 6.0
해상도	커플러	OASIS 3
	대기	N216L85, 0.83° x 0.56°, Top : ~85km
	해양	ORCA025L75, 0.25° on tri-polar grid

● 모델 자료

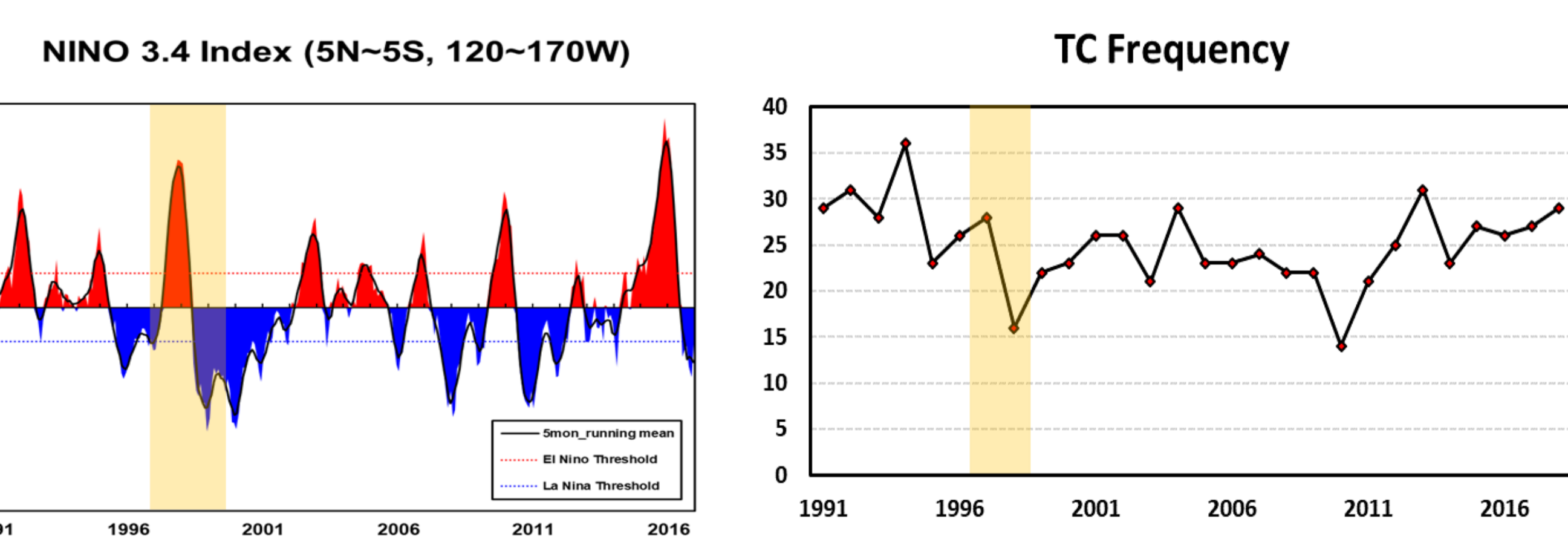


- 분석기간 전월의 9일, 17일, 25일을 초기장으로 하는 Hindcast 자료를 사용함
- 분석기간 전월의 15일을 기준으로 거리별 가중치를 차등으로 적용하여 앙상블 분석 수행

● GloSea5 잠재 태풍 탐지 방법



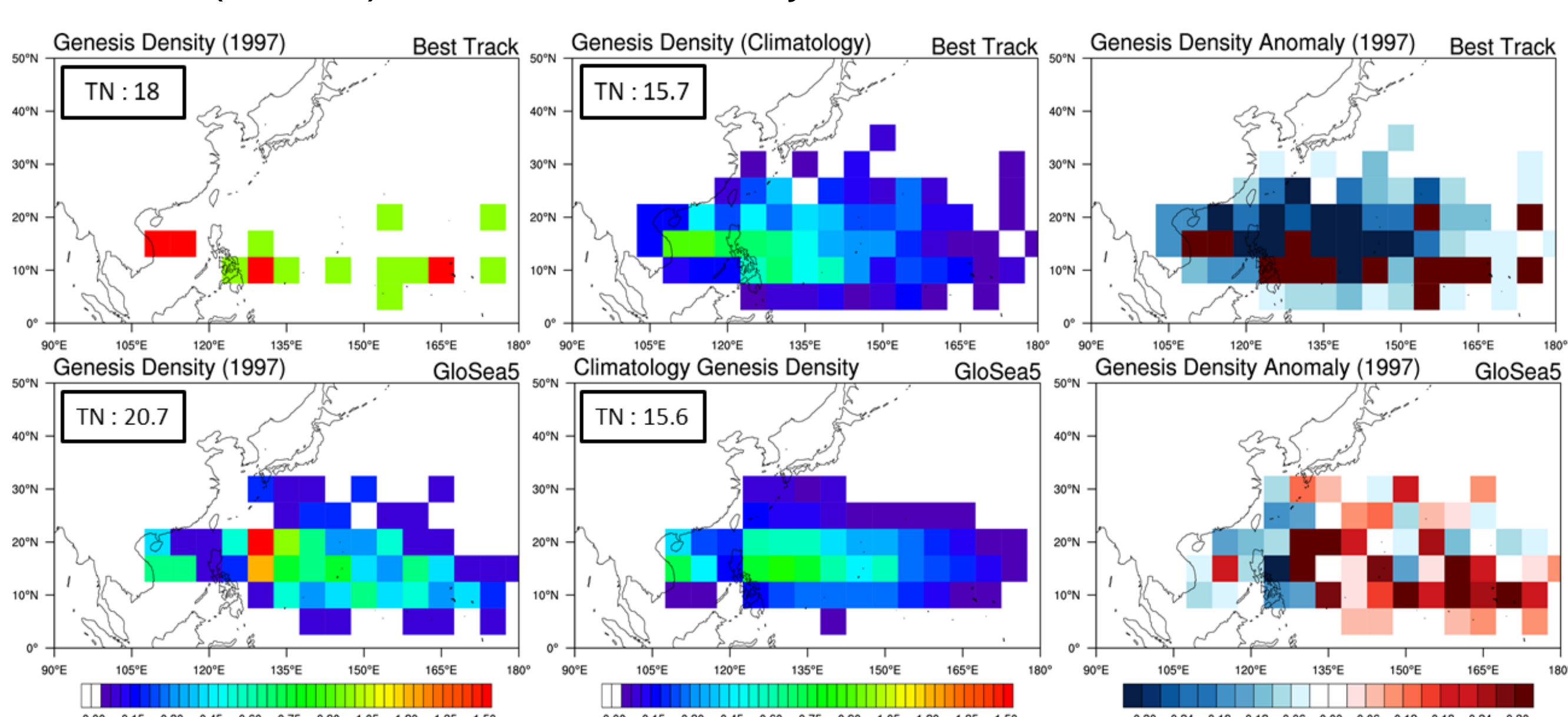
● 대규모 기후 현상 - ENSO



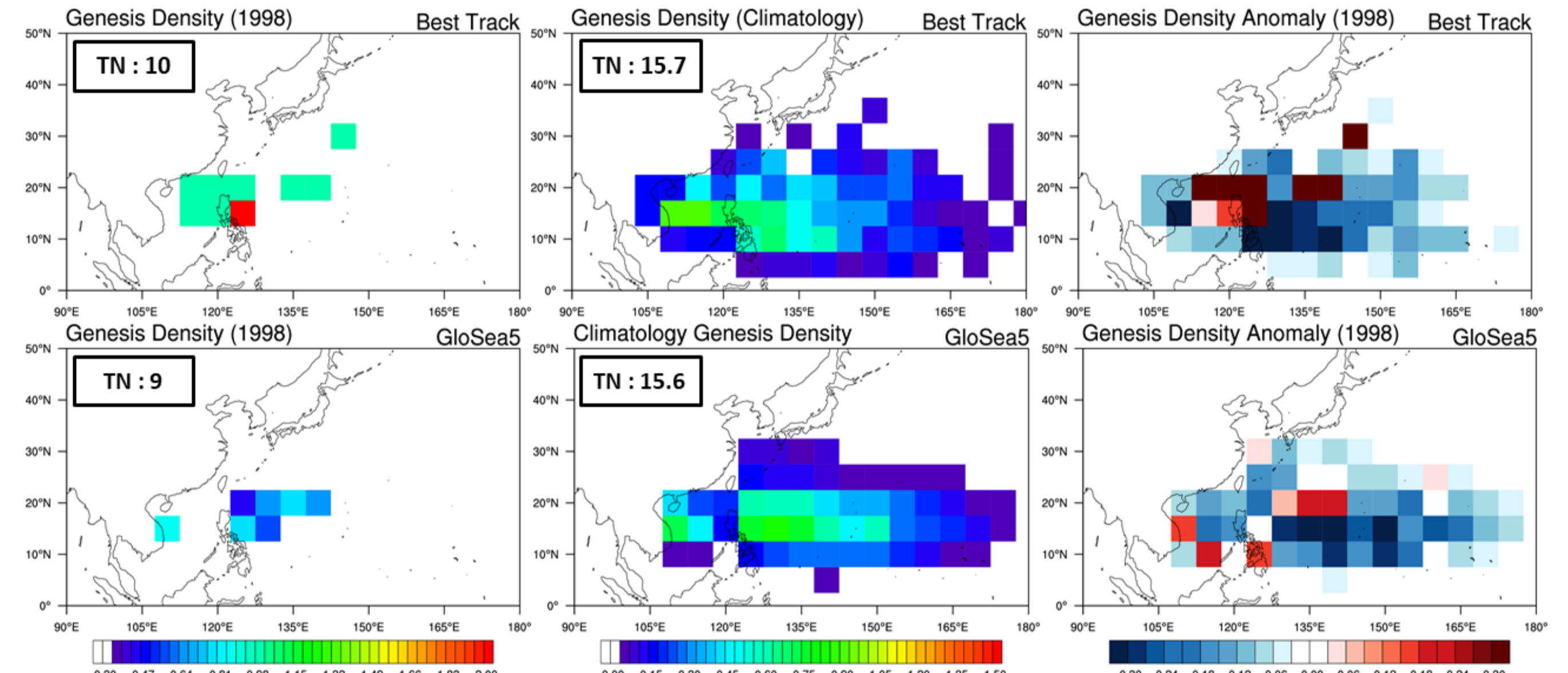
- 통상 모델 예측 오차가 크게 발생하는 Extreme Case 를 선정하여 분석
- 대표적인 엘리뇨 해이자 태풍 빈도가 평년에 비해 상당히 감소한 97/98년을 대상

3. Result

● Y1997 (El Niño) - TC Genesis Density

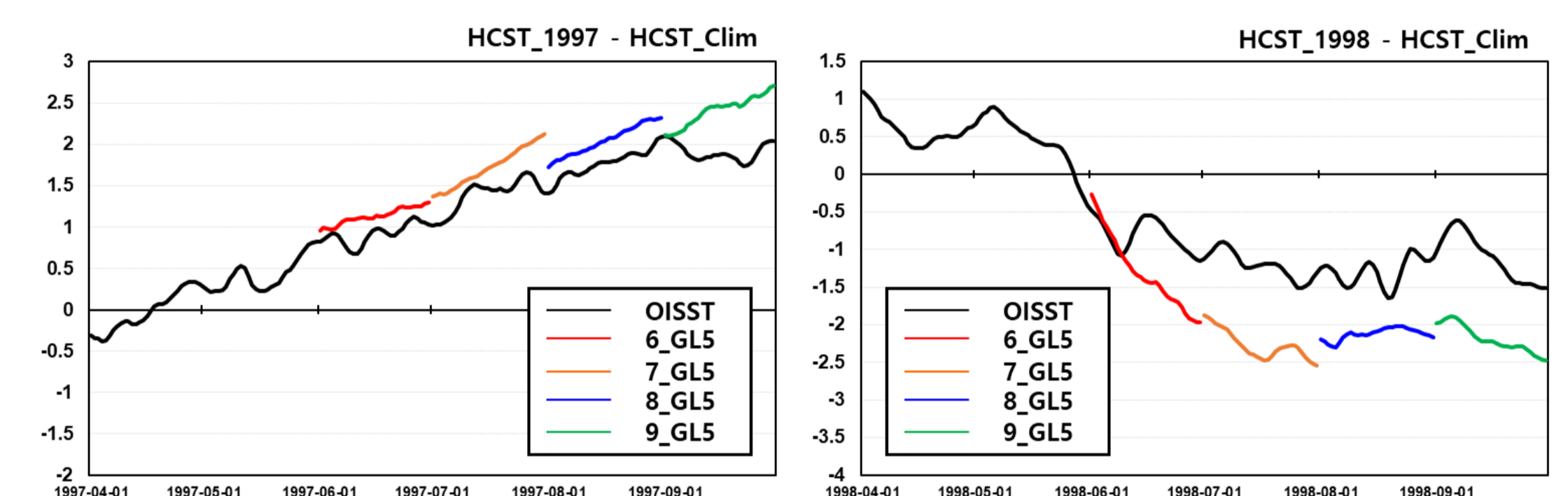


● Y1998 (La Niña) - TC Genesis Density



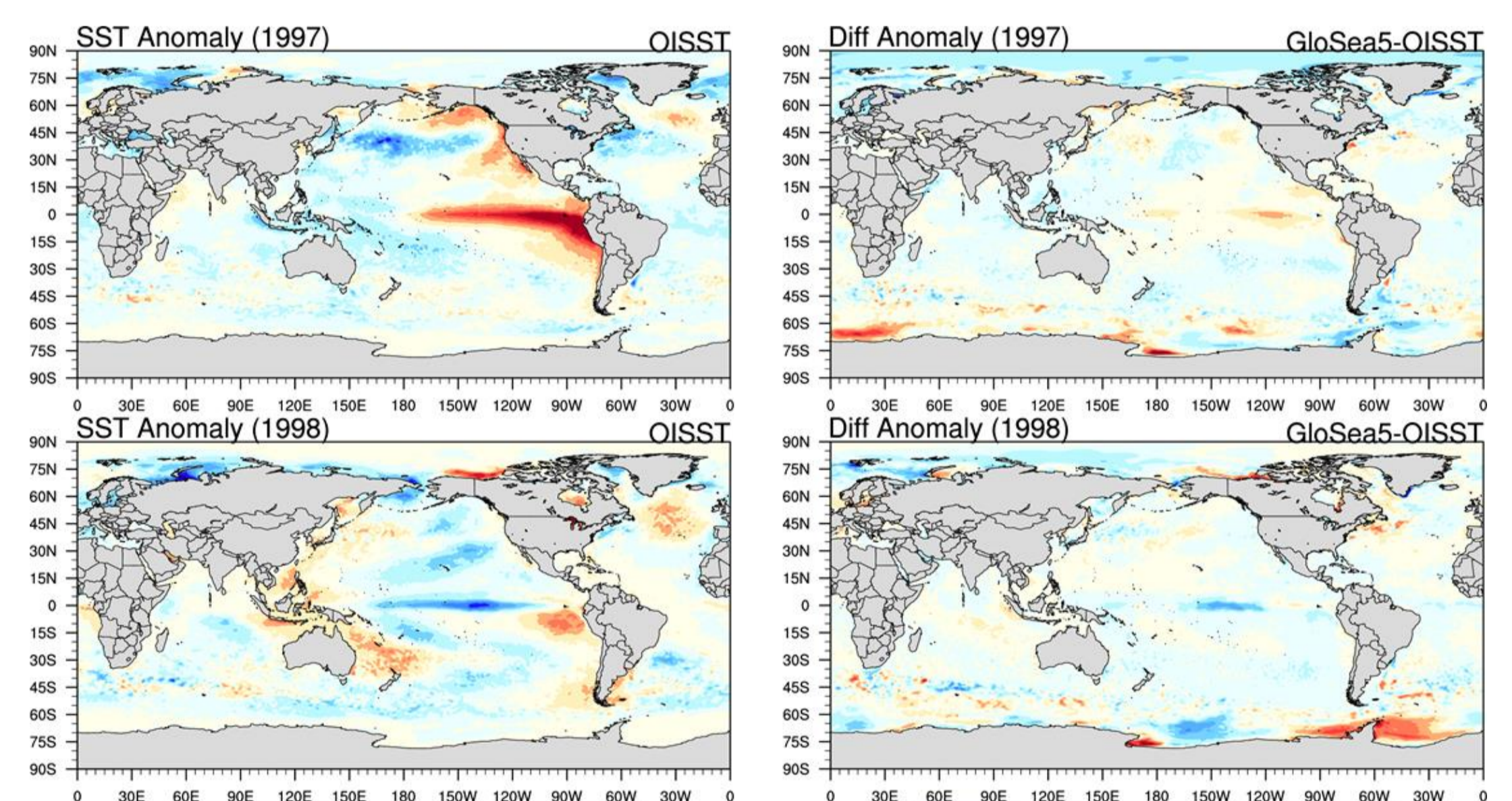
- 엘리뇨/라니냐 시기의 태풍 발생 빈도 및 위치 특징을 잘 모의함
- 엘리뇨 (라니냐) 시기의 태풍 발생 빈도 아노말리가 관측 보다 큼 (작음)

● 97/98 NINO 3.4 Index 비교



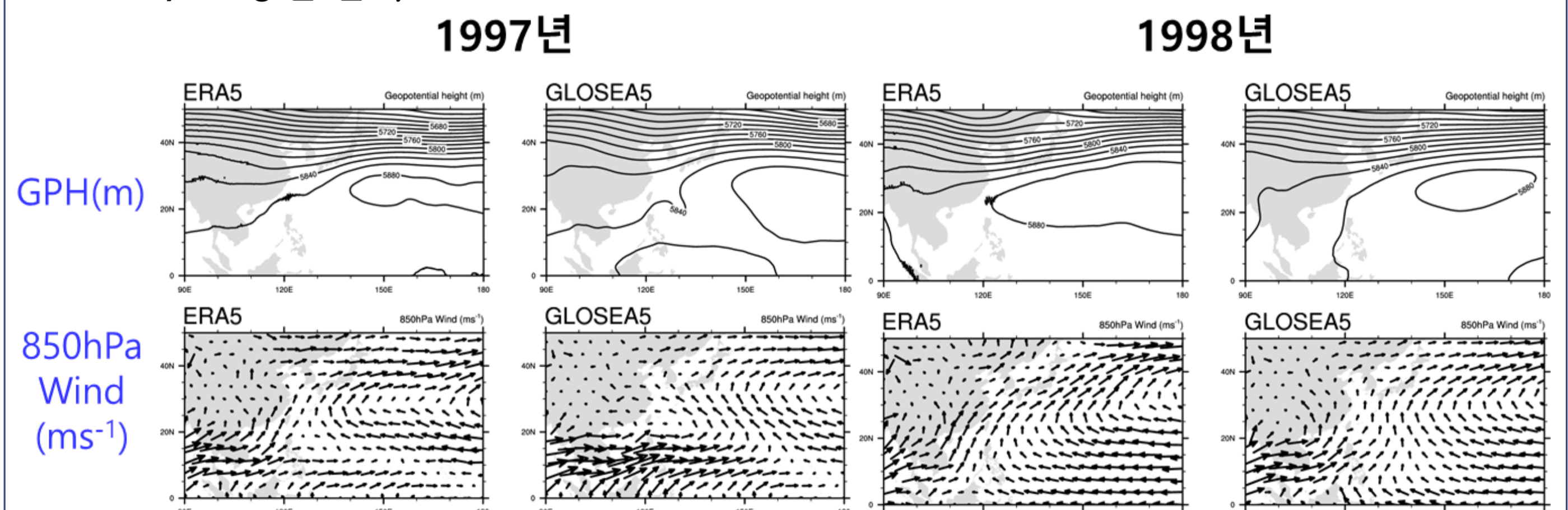
- 예측선행이 길어질수록 그리고 극한 기후로 변화할 때, 더 큰 오차를 생산함 (ENSO 및 TC Density)

● 97/98 SST 분석



- 엘리뇨 때, Warm Bias (Cold Bias) 를 NINO 3.4 지역 (북서태평양) 에 생산함
- 라니냐 때, Cold Bias (Warm Bias) 를 NINO 3.4 지역 (북서태평양) 에 생산함
- SST 분석 결과도 마찬가지로 GloSea5 가 극한 기후를 생산할 때, 더 큰 오차를 생산함

● 97/98 종관 분석



- 북서태평양 고기압을 재분석장보다 상대적으로 약하고 수축하게 모의하였으나, 엘리뇨/라니냐 때 특징을 잘 모의함
- GloSea5가 강한 하층바람을 생산하면서 고기압을 동쪽으로 수축하게 모의하였으며, 태풍 발생 지역 또한 관측에 비해 동쪽으로 치우침

4. Summary and Future Plan

- 본 연구는 현업기후예측시스템인 GloSea5의 계절내 잠재 태풍 예측성과 태풍 기인 기후 인자의 모의성능을 분석하였음
- 태풍 발생 위치는 엘리뇨/라니냐해 특징을 잘 나타내게 모의하였으나, 태풍 빈도 아노말리에서는 큰 오차가 발생하였음
- 해수면 온도 분석 결과, 극한 기후로 변화할 때, 더 많은 오차를 생산함
- 해수면 온도 오차로 인해 엘리뇨/라니냐 시기 특징을 강하게 모의하여 태풍활동 빈도에 영향을 미치는 것으로 판단됨
- 추후 오차 발생의 역학적 메커니즘 심층 분석할 계획임
- ENSO 이외의 태풍 활동에 영향을 미치는 대규모 기후 인자 모의 성능을 분석할 계획임

* 이 연구는 기상청 <「기후 및 기후변화 감시·예측정보 응용 기술개발사업」>(KMI2020-01211)의 지원으로 수행되었습니다.

1990년대 전·후시기 동아시아 여름철 극한 기온 발생요인의 변화

이용한¹, 예상욱¹, 홍진실¹

¹한양대학교 해양융합과학과

Introduction

Data & Method

- 최근 기후변화로 인하여 전 지구 평균 기온이 상승함에 따라 폭염, 열대야와 같은 극한 고온현상의 발생 빈도와 지속 기간이 증가했으며, 이는 인적, 사회적, 경제적으로 많은 영향을 미치고 있다.
- 선행 연구 결과에서 북반구 대륙 여름철 폭염과 열대야의 빈도수 월평균 시계열을 통해 폭염은 선형 추세에 따라 증가하며, 반면 열대야의 경우 1990년대 후반에 뚜렷한 regime shift가 발생했음을 제시하였다.
- 본 연구에서는 동아시아 대륙 여름철 폭염, 열대야가 동시에 발생한 날을 극한 기온 날 (Extreme Heat day, EHD)이라고 정의하였으며, 발생 빈도수의 월평균 시계열을 그려본 결과 1990년대 후반에 regime shift가 발생했음을 확인하였다.
- Regime shift가 발생한 1997년 이전 기간을 P1 기간(1979년~1996년), 이후 기간을 P2 기간(1997년~2019년)으로 나누어 EHD 발생 요인의 차이를 조사해보았다.

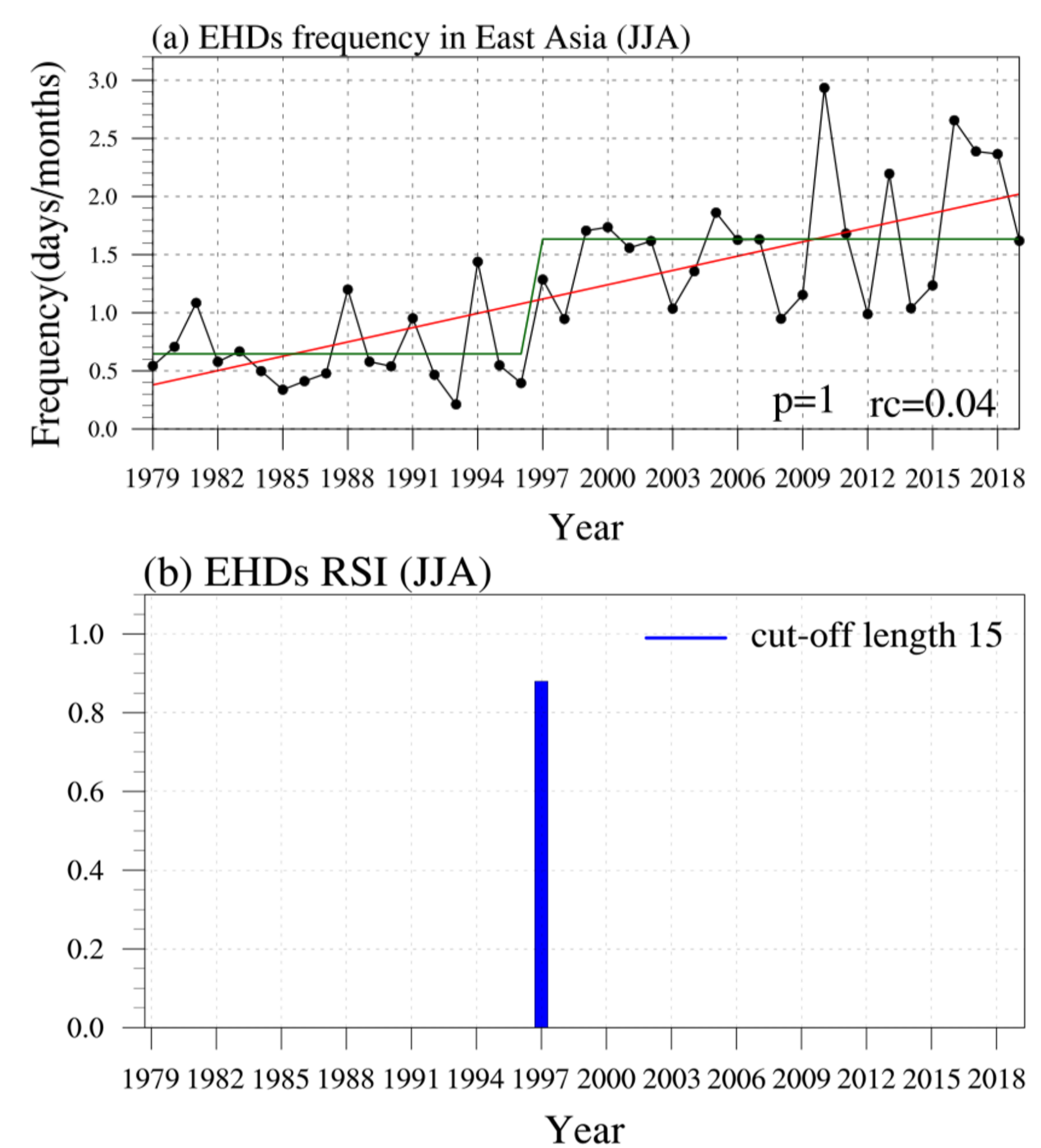
- 일 최고/최저 온도 : CPC daily Tmin/Tmax ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$)
- 해수면 온도 : HadISST monthly ($1^\circ \times 1^\circ$)
- 지위고도, 지표면 온도, OLR : NCEP R1 monthly ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)
- 강수 : GPCP monthly ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)
- 분석기간 : 1979-2019 여름철 (JJA)
- 평년 : 1981-2010
- 분석지역 : EAS (20N-50N, 100E-145E)
- Regime Shift (significance level 0.05, cut-off length 15, and Huber weight parameter 1)

Results

1. 동아시아 EHD의 정의 및 시계열 분석

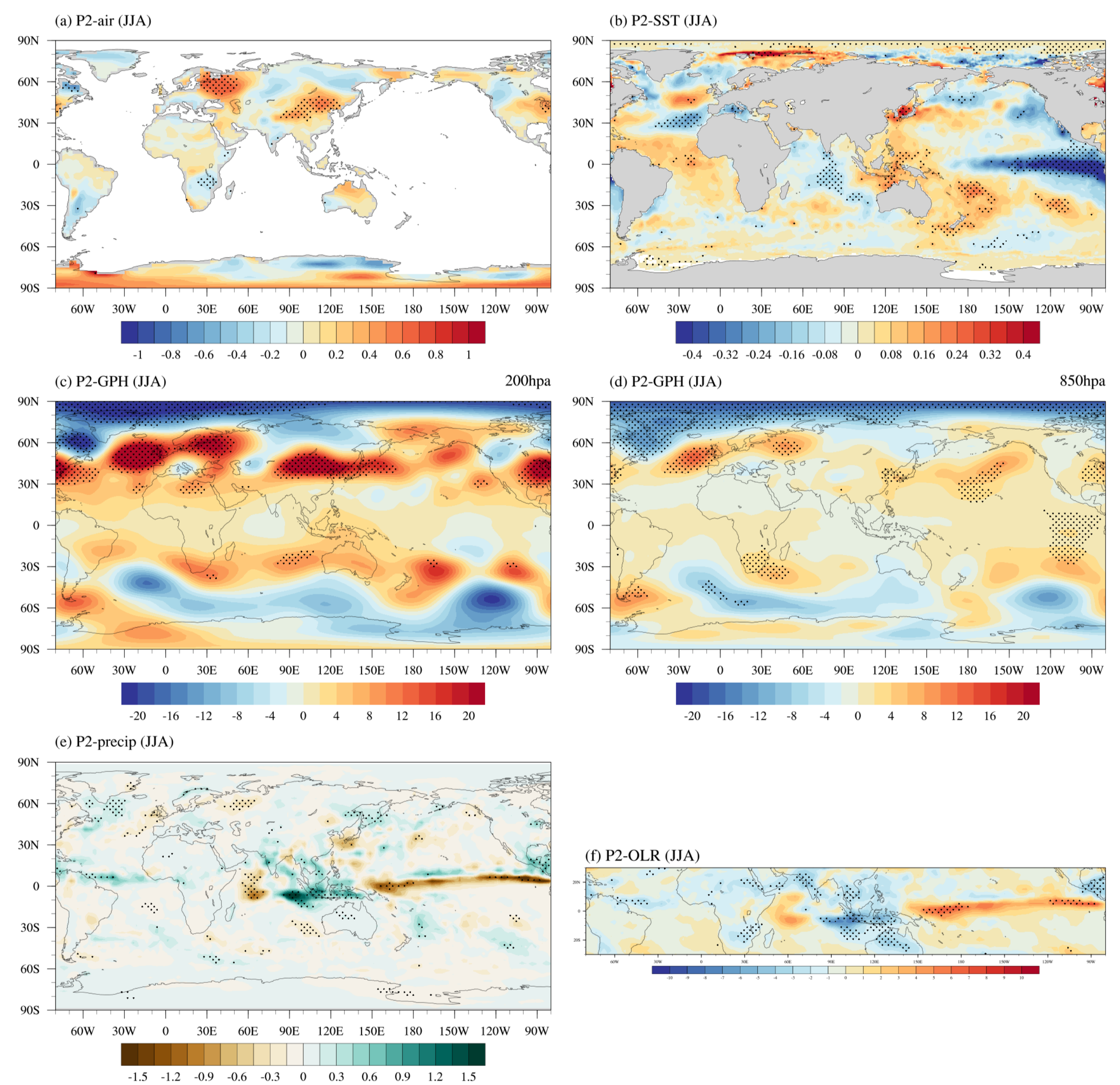
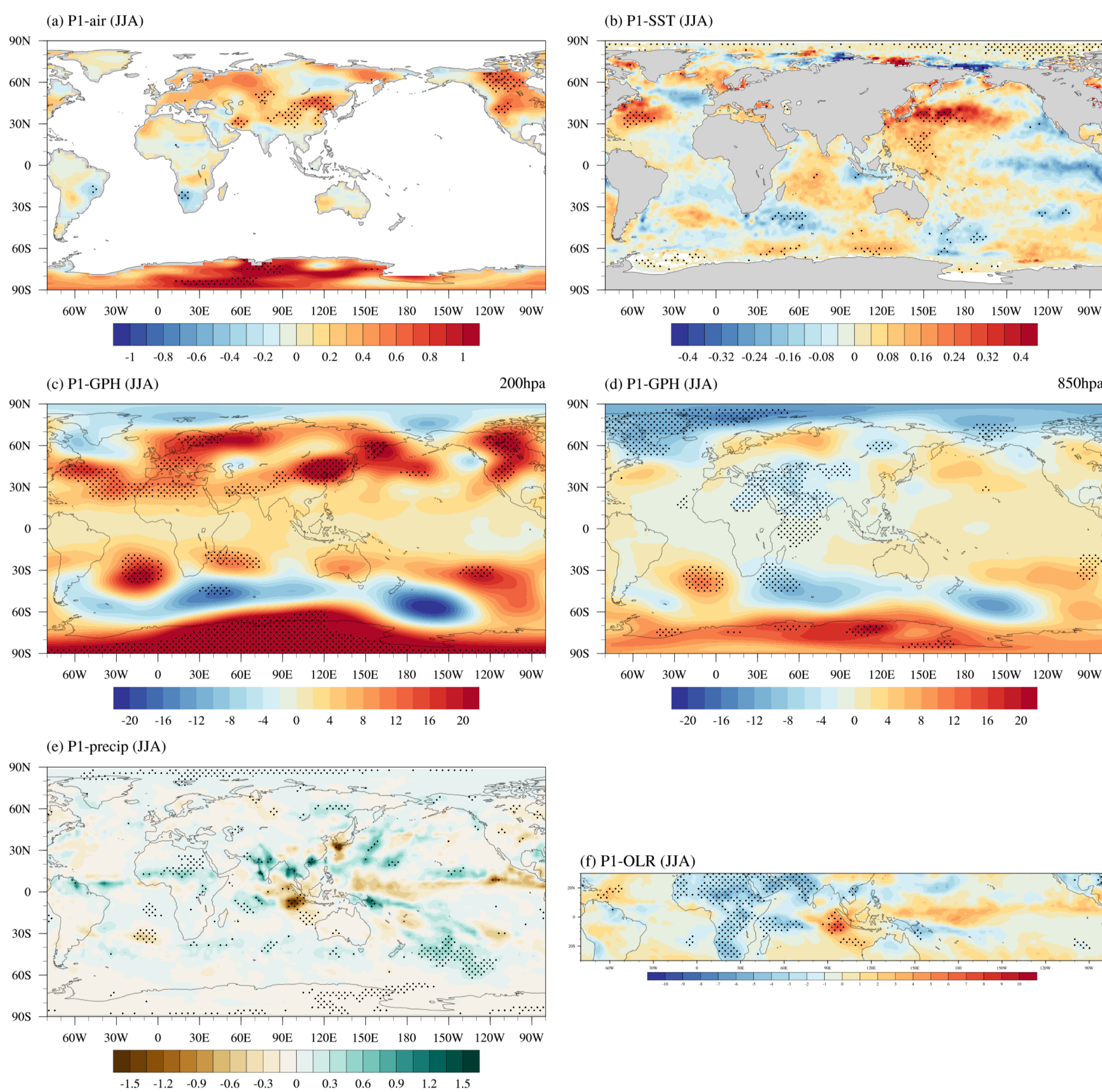
EHD	
$T_{max} \geq 90^{\text{th}}$ percentile threshold of climatological T_{max}	and
$T_{min} \geq 90^{\text{th}}$ percentile threshold of climatological T_{min}	

- 동아시아 EHD는 일 최고 / 최저 기온이 평년(1980년~2010년)동안의 상위 90%를 넘는 날을 의미하며, 동아시아 전 지역 여름철 (92일)의 발생 빈도 월평균 시계열을 그려보았다.
- 초록색 실선은 P1, P2기간의 평균, 빨간색 실선은 선형 추세를 보여준다.
- 1997년에 regime shift가 발생했다.



2. P1 기간 시계열과 해양·대기변수들의 regression map

3. P2 기간 시계열과 해양·대기변수들의 regression map



- (a)는 선형추세를 제거하고 정규화한 P1 기간의 시계열과 SAT JJA anomaly의 regression map을 그려보았다. 95% 유의구간에서 유의한 지점을 점으로 표시하였다. (b), (c), (d), (e), (f)는 SST, 200hpa GPH, 500hpa GPH, 강수, OLR의 regression map이다.
- P1 기간은 열대태평양의 기여도가 낮다.
- 서인도양과 Sahel지역의 대류 강제력과 연관성이 높았으며, 강제력으로부터 기인한 wave pattern과 몬순이 동아시아 EHD와 관련이 있는 것으로 보인다.

- (a)는 선형추세를 제거하고 정규화한 P2 기간의 시계열과 SAT JJA anomaly의 regression map을 그려보았다. 95% 유의구간에서 유의한 지점을 점으로 표시하였다. (b), (c), (d), (e), (f)는 SST, 200hpa GPH, 500hpa GPH, 강수, OLR의 regression map이다.
- P2기간은 뚜렷한 La Nina의 특징을 보이는 열대태평양과 밀접한 관련성이 있으며, 특히 인도-서태평양 지역의 대류 강제력이 동아시아 EHD와 관련이 있음을 확인할 수 있었다.
- 또한 P2기간으로 오면서 대서양과 연관성이 높아지며, 대서양에서 유래되는 wave pattern들이 동아시아에 영향을 주는 것으로 보인다.

Summary

- 동아시아 여름철 EHD의 빈도수는 1997년에 regime shift가 발생했으며, 1997년 전·후로 EHD 변동성을 야기하는 주요한 요인의 근본적인 차이가 있었다.
- P1기간에는 인도양과 Sahel 지역에서의 대류 강제력과 EHD의 변동성이 높은 관련성을 가지고 있었으며, P2기간은 La Nina의 특징을 갖는 열대태평양과 북서대서양에서의 강제력이 EHD 변동성과 관련성을 가지고 있었다.

Discussion

- 동아시아 EHD의 regime shift가 자연변동성으로부터 발생한 것인지, 혹은 지구 온난화와 같은 인간활동, 다른 외부 강제력에 의하여 발생한 것인지에 대한 이해가 필요하다.

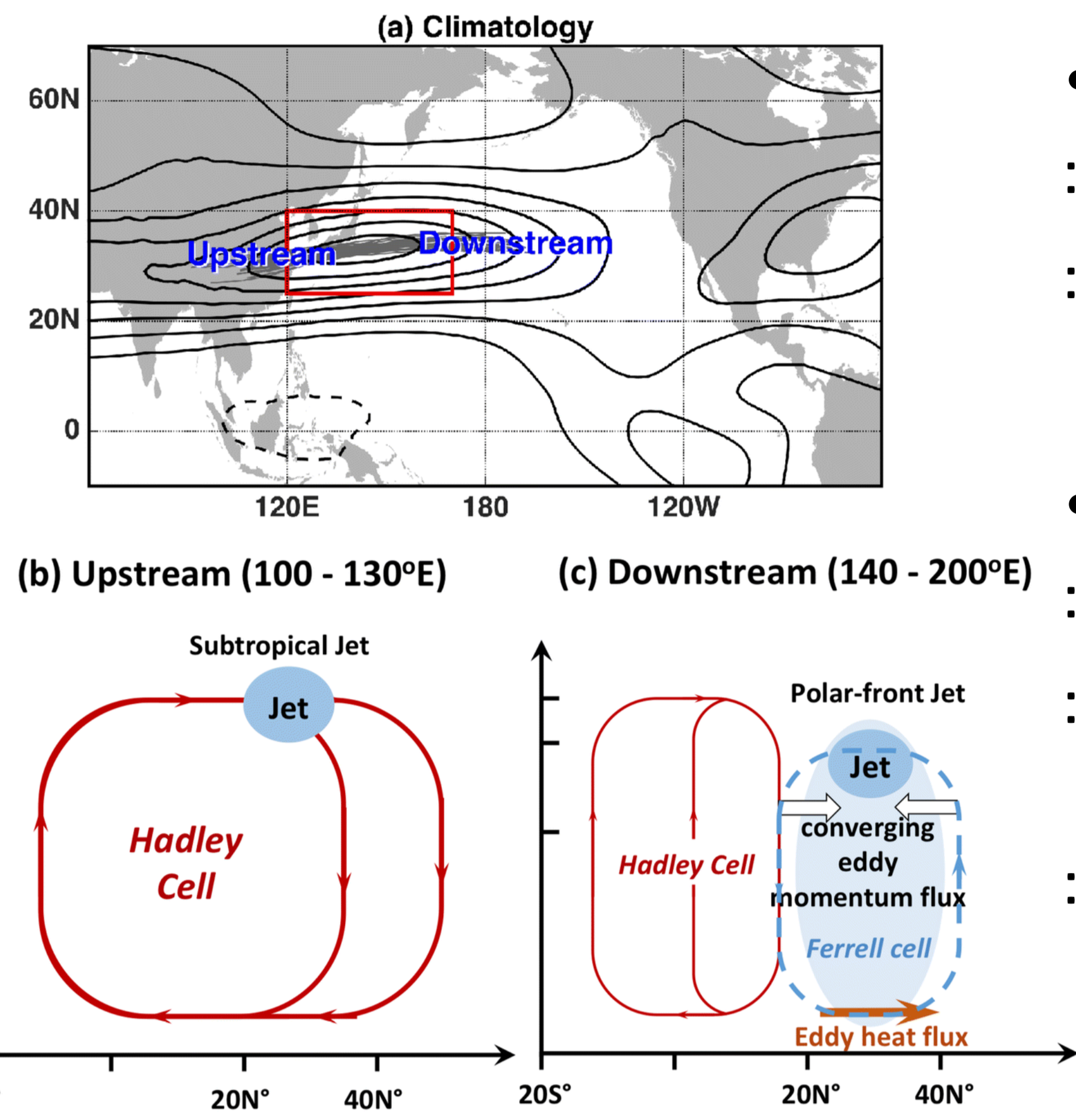
겨울철 북미 표층 기온에 영향을 미치는 북태평양 제트의 변동 특성 변화 연구

송세용¹⁾, 예상욱¹⁾, 조현수²⁾

¹한양대학교 해양융합과학과
²전남대학교 지구환경과학부

Introduction

■ Climatology of the wintertime North Pacific Jet (NPJ)



- **Upstream**
 - : thermally-driven jet
 - : meridional angular momentum transport via the local Hadley circulation
- **Downstream**
 - : eddy-driven jet
 - : tropics and subtropics → Hadley cell
 - mid-latitude → eddy-driven Ferrell cell
 - : momentum flux convergence induced by synoptic transient eddies

Chan et al. 2020

Data & Method

■ Data

- ERA5 (1°), HadISST (1°)
- 1979-2018, DJF & without linear trend

■ Index

Inetensity: U200 average [30-35N, 120E-160W]
latitudinal: Latitude on U200_{max} [15-70N, 120E-160W]

■ Method

- Eady Growth Rate (EGR, Eady 1949)
- : baroclinicity (static stability & vertical shear)
- Wave Activity Flux (WAF, TN01)
- : Stationary Rossby Wave propagation related to NPJ

1. NPJ characteristics

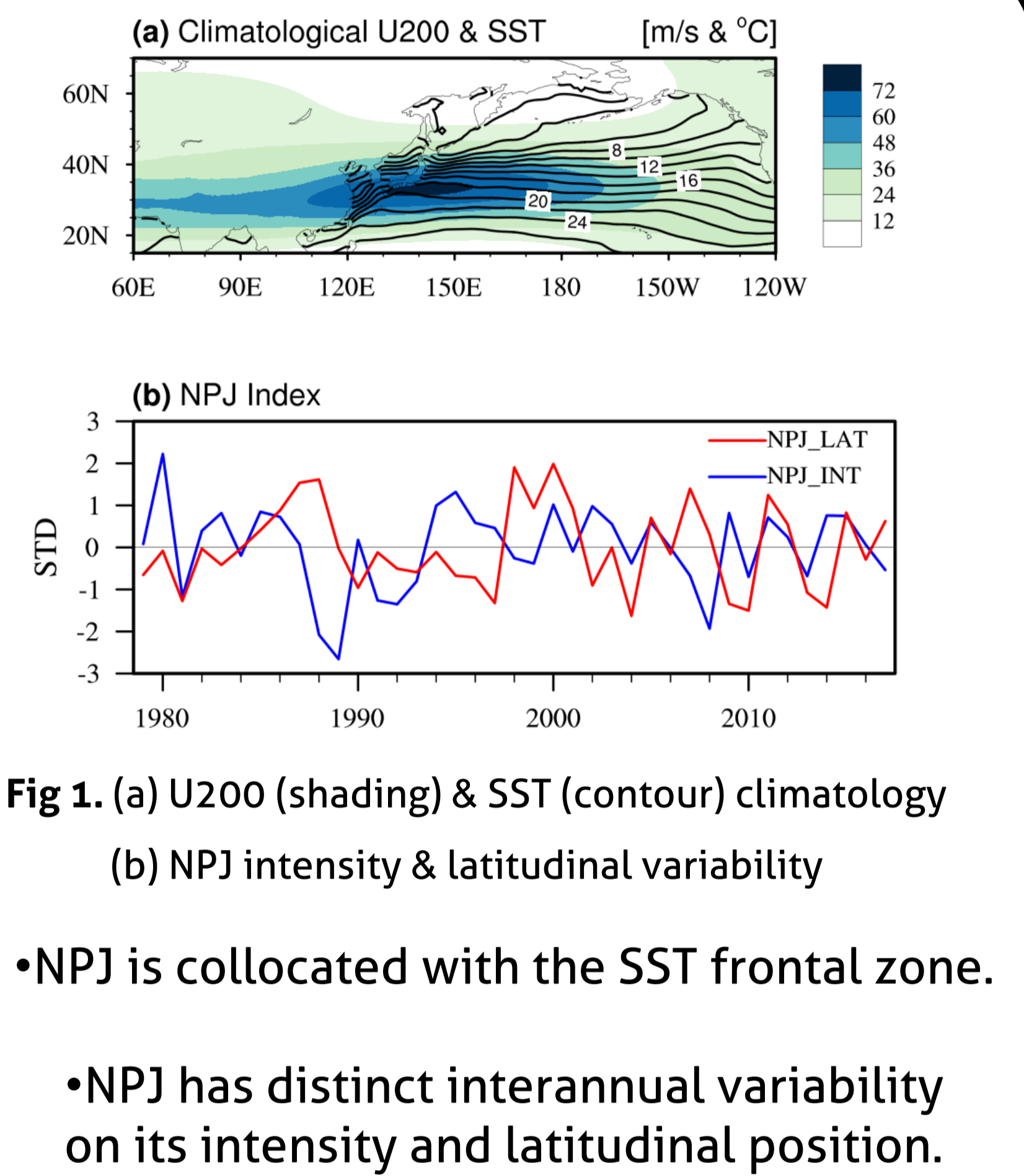


Fig 1. (a) U200 (shading) & SST (contour) climatology
(b) NPJ intensity & latitudinal variability

- NPJ is collocated with the SST frontal zone.
- NPJ has distinct interannual variability on its intensity and latitudinal position.

2. NPJ impacts on US winter climate

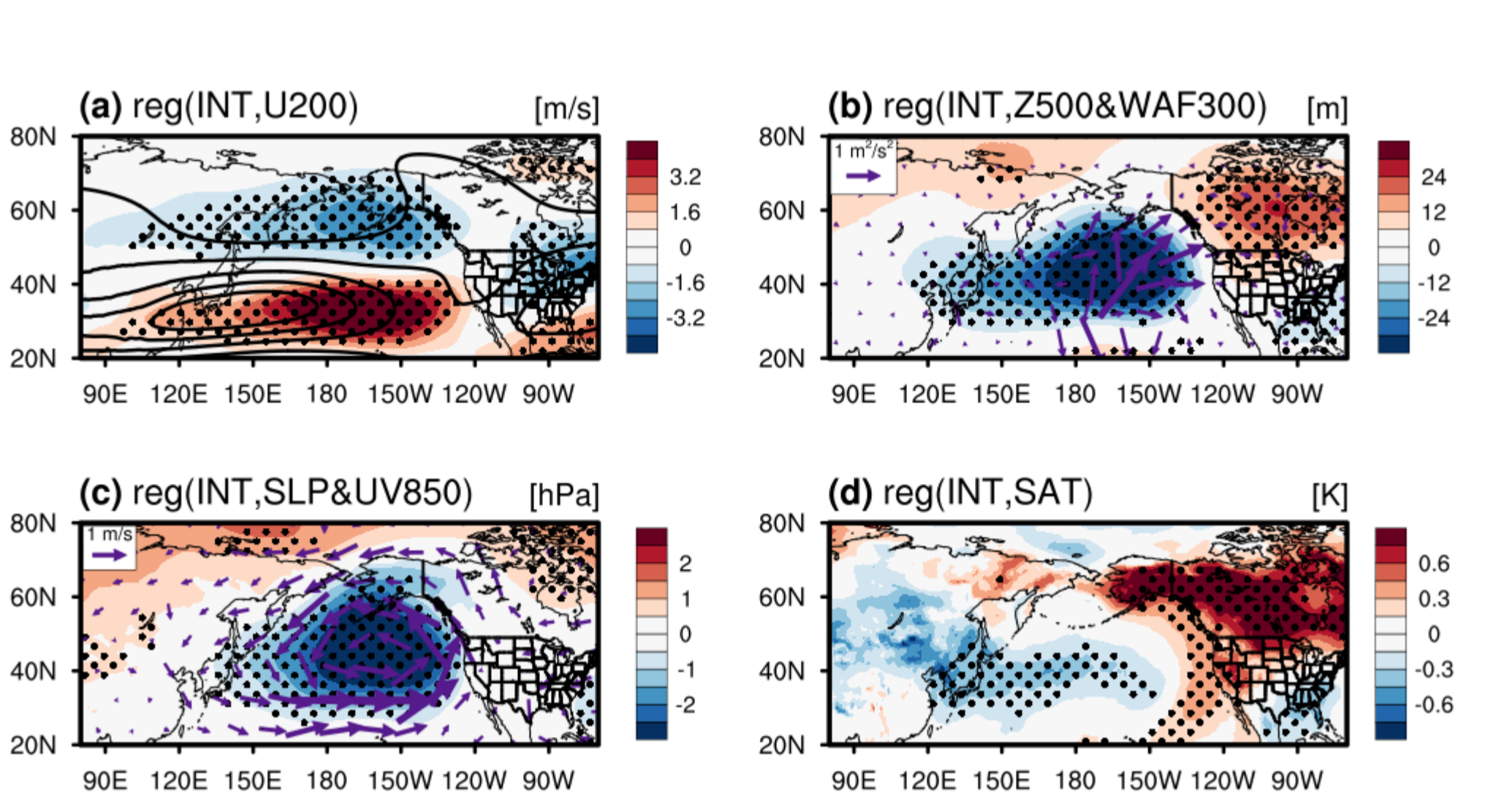


Fig 2. Regression onto NPJ_INT index during 1979-2017
(a) U200, (b) Z500&WAF, (c) SLP&UV850, (d) SAT

- Each NPJ variability has distinct teleconnection pattern over the Asian-Pacific-American region.
- The variability of NPJ's intensity and latitudinal position are closely associated with the SAT pattern over the US.

3. Decadal changes in NPJ variability

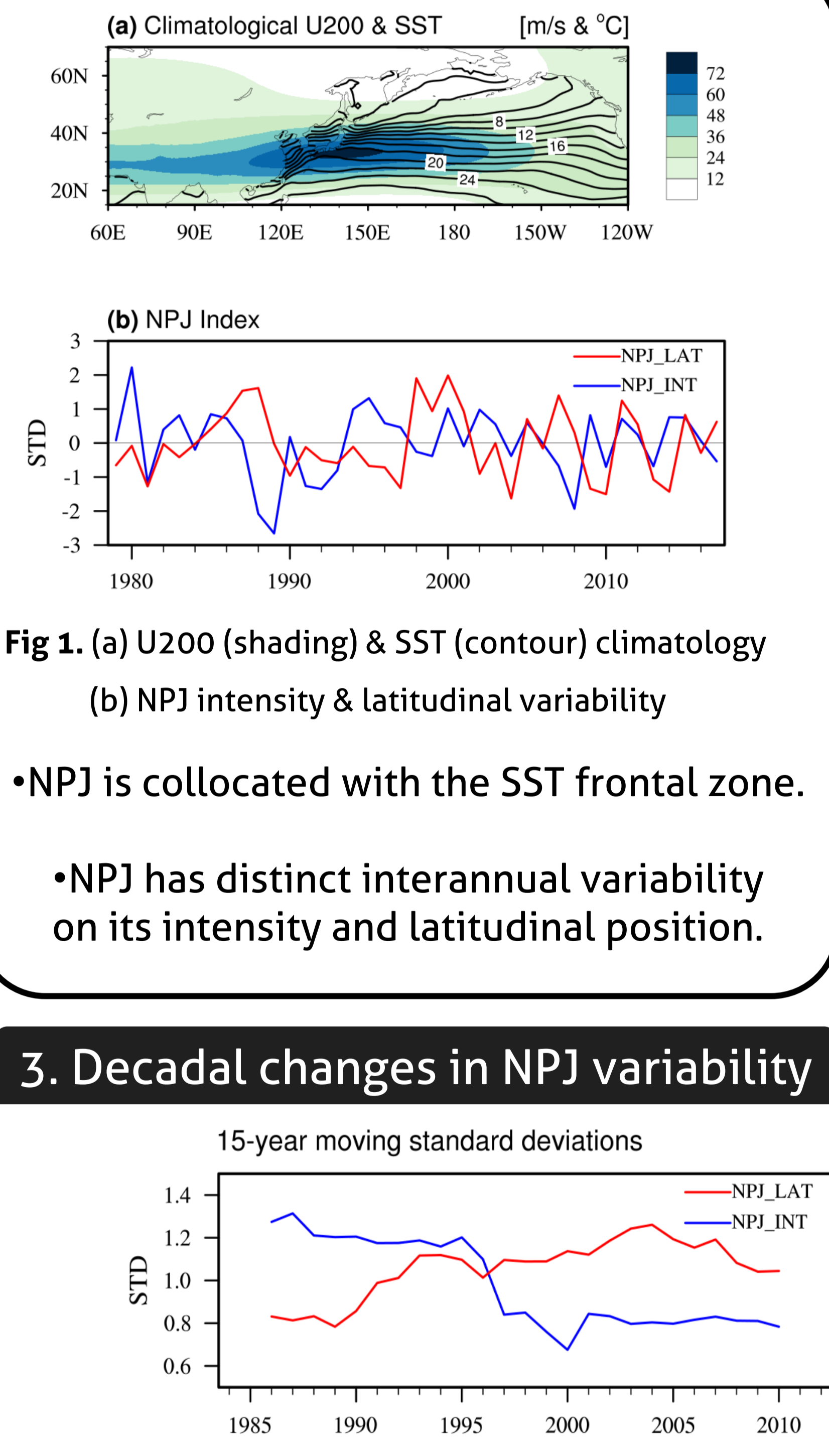


Fig 4 15-year moving std for NPJ_INT&LAT index

- Significant decadal changes in NPJ variance : NPJ_INT → NPJ_LAT across the late 1990s

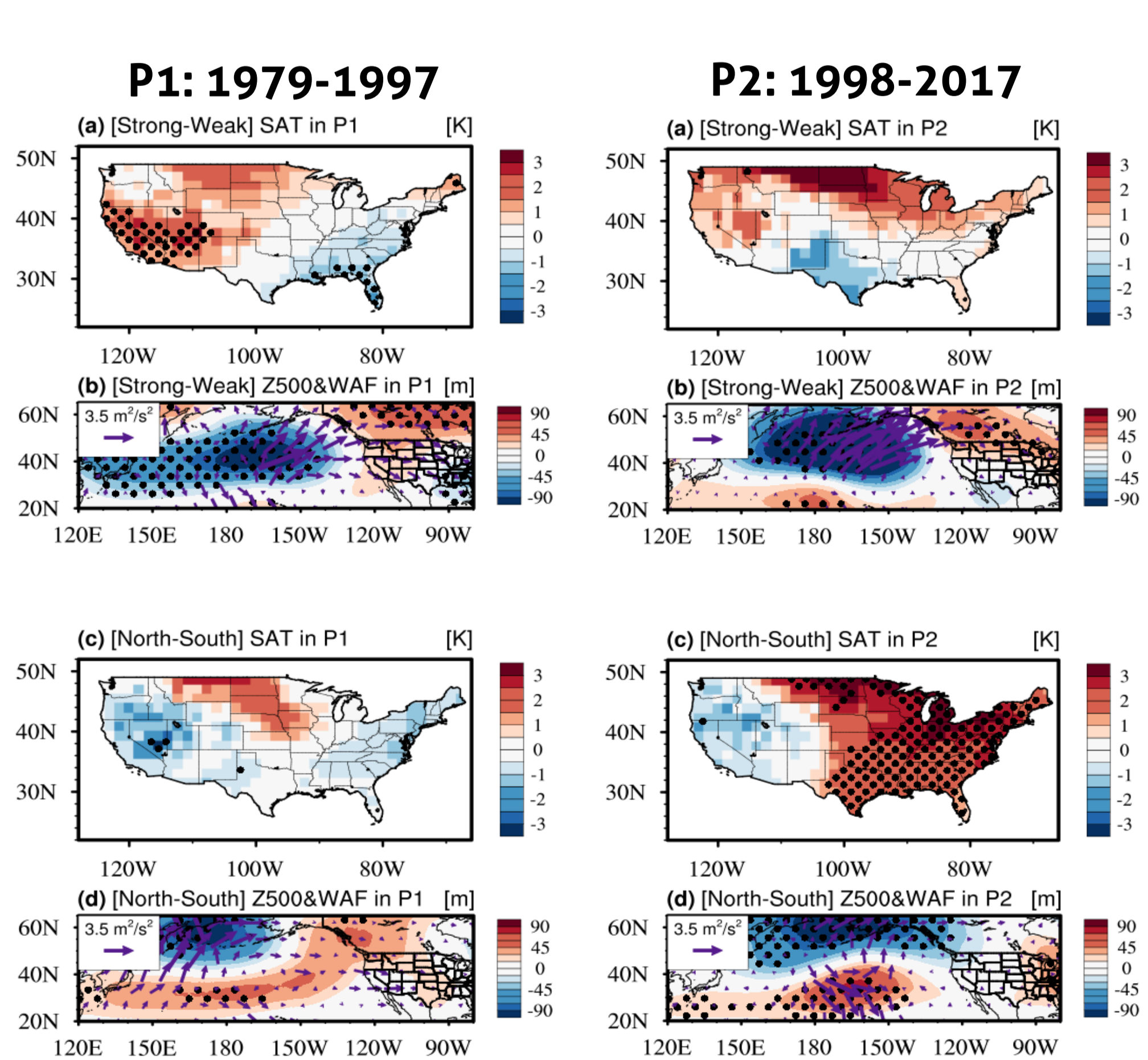


Fig 5 Composite map for (a,b) [Strong-Weak], (c,d) [North-South] for the period (left) 1979-1997 and (right) 1998-2017

- Significant decadal changes in NPJ's role for US climate : NPJ_INT → NPJ_LAT across the late 1990s

4. Decadal SST warming & NPJ shift

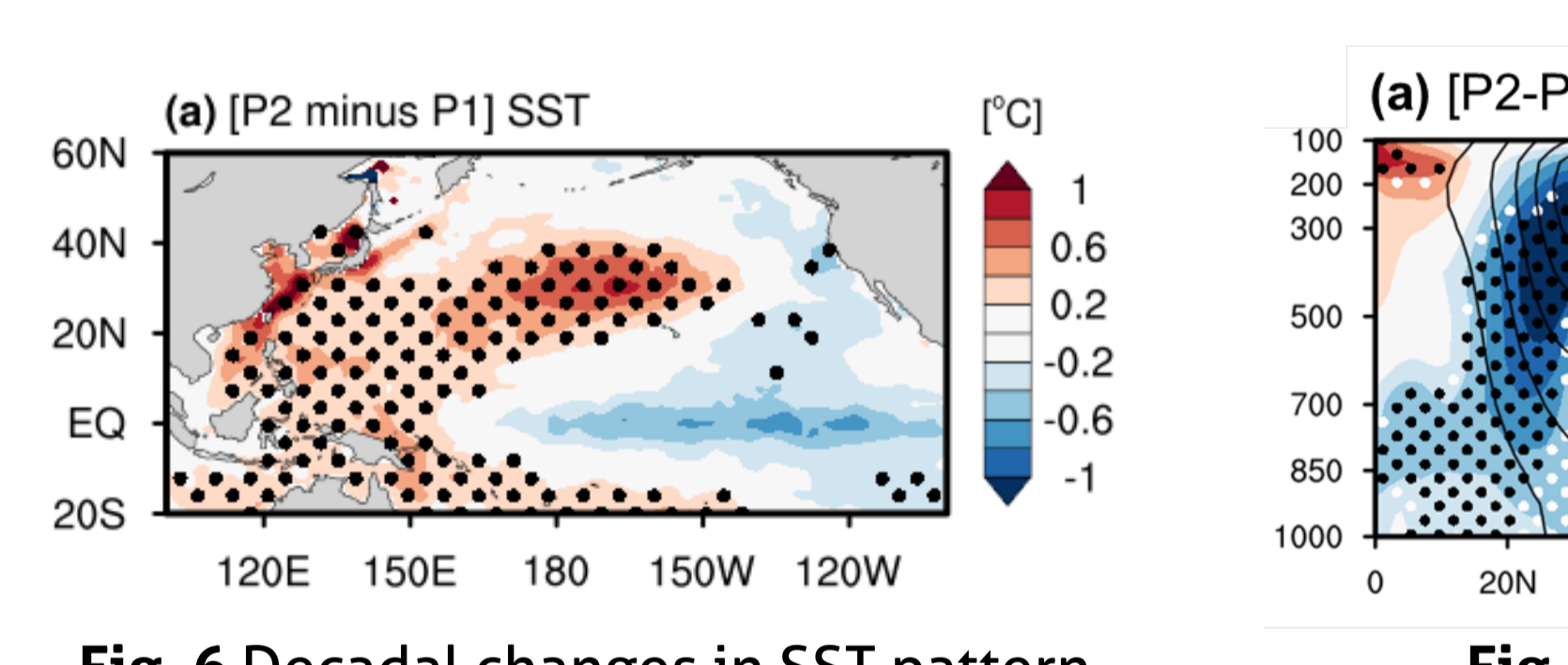


Fig 6 Decadal changes in SST pattern

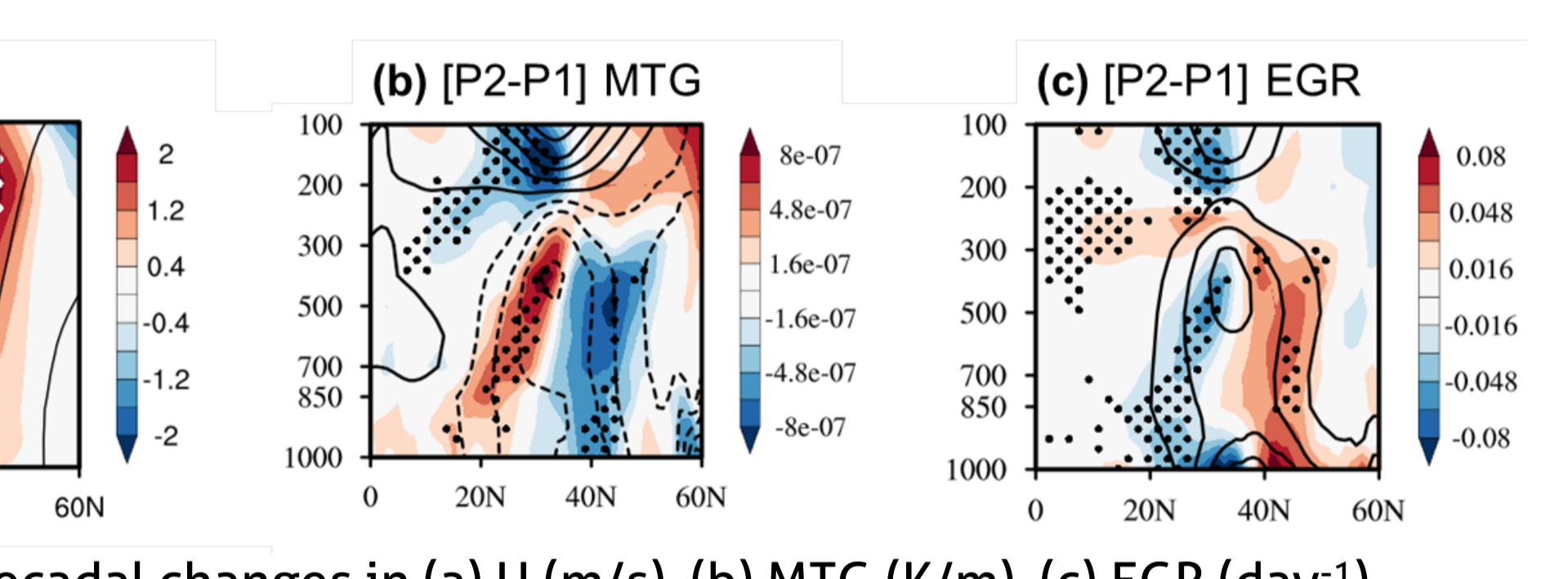


Fig 7 Decadal changes in (a) U (m/s), (b) MTG (K/m), (c) EGR (day⁻¹)

- Decadal SST warming may induce the northward NPJ shift related to change in atmospheric baroclinicity
- NPJ regime changes from a merged to a doubled jet, contributing to enhanced NPJ latitudinal variation

• **idealized model experiment**
NCAR CESM CAM5 (1.9° × 2.5°)
- CTRL (Control): SST/SIC CLIM
- NP (Sensitivity): +decadal NP SST anom.
[NP-CTRL]: Decadal NP SST > NPJ shift

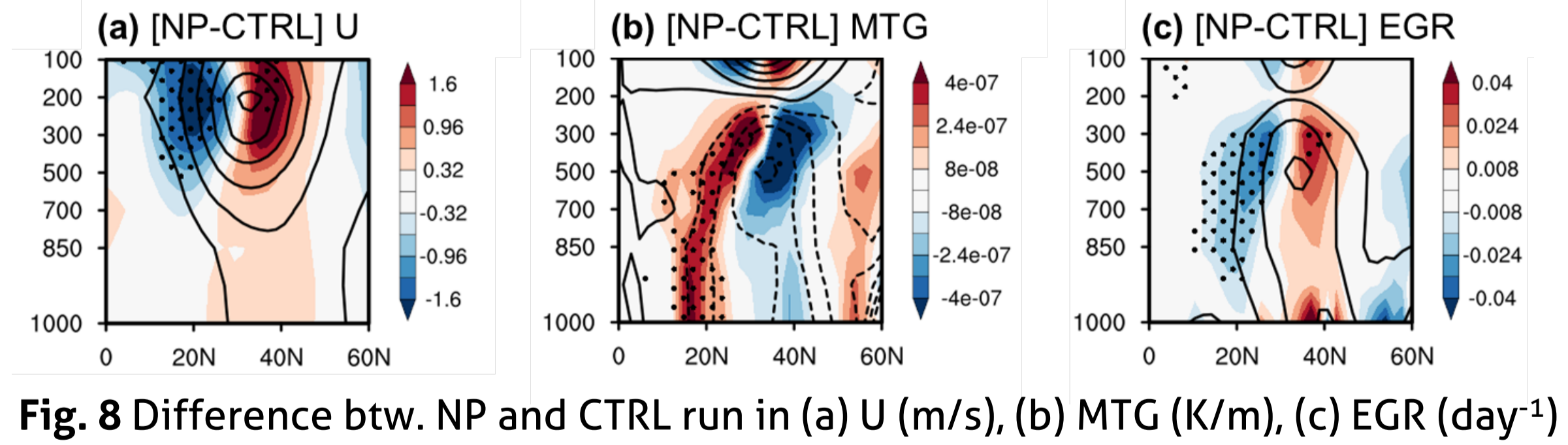


Fig 8 Difference btw. NP and CTRL run in (a) U (m/s), (b) MTG (K/m), (c) EGR (day⁻¹)

Summary

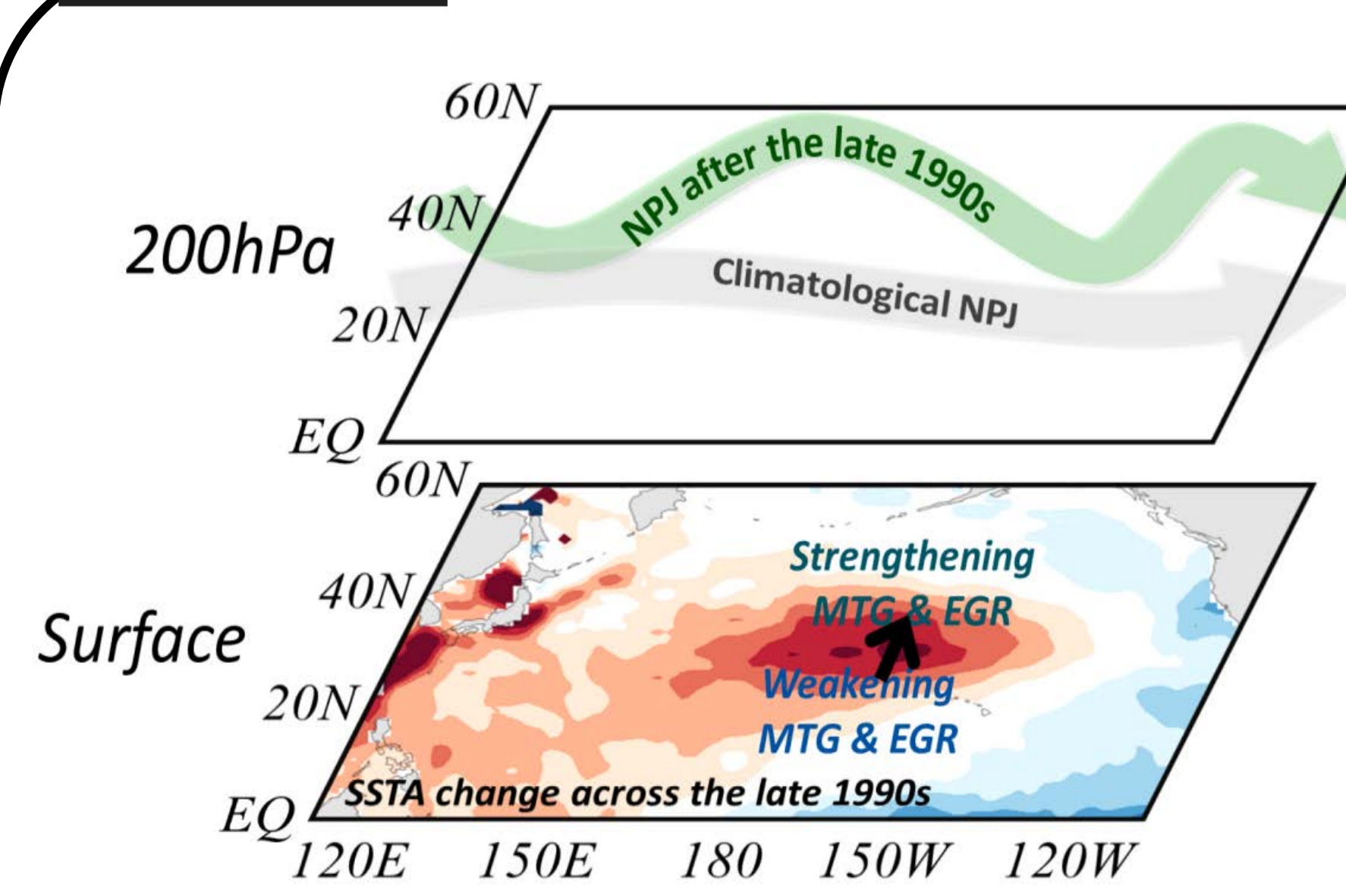


Fig 9 Schematic diagram for NPJ changes

- Decadal SST warming
- Northward NPJ shift
- Doubled jet regime
- Enhanced latitudinal variation
- Changes in role of NPJ as a conduit for US climate

Introduction

동아시아 겨울철 기온 편차를 결정하는 겨울 몬순은 ENSO (El Niño–Southern Oscillation)나 PDO (Pacific Decadal Oscillation)와 같은 다양한 기후 변동성들의 영향을 받는다. 한편 세계 기상 기구 WMO에서는 대기 변동성을 정의할 때 사용되는 표준 평년을 1981년부터 2010년까지 30년으로, 사용하고 이를 10년마다 재정의를 할 것을 권장하는데, 2021년 올해 **표준 평년이 1991년부터 2020년으로 변경되었다**. 따라서 서로 다른 표준 평년 기간에서 기후 변동성들의 특성 차이에 대한 이해가 요구된다.

Data and Definition

- 분석 기간 : 1948 ~ 2018 (winter season, DJF)
- 자료 : Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST 1.1), NCEP-NCAR Reanalysis 1, NOAA GHCN_CAMS Land Temperature Analysis, GPCP V2.3 Precipitation
- Old normal period : 1981-2010
- New normal period : 1991-2019
- Reference period : 1981-2010
- PDO (Pacific Decadal Oscillation) : The leading pattern (EOF) of sea surface temperature (SST) anomalies in the North Pacific basin (poleward of 20°N)
- 동아시아 겨울 기온 (East Asia winter Temperature) : 2m Temperature with ocean masking (20-50N, 100-145E)

1948-2019 DJF EA Temp(bar) and Index(line)

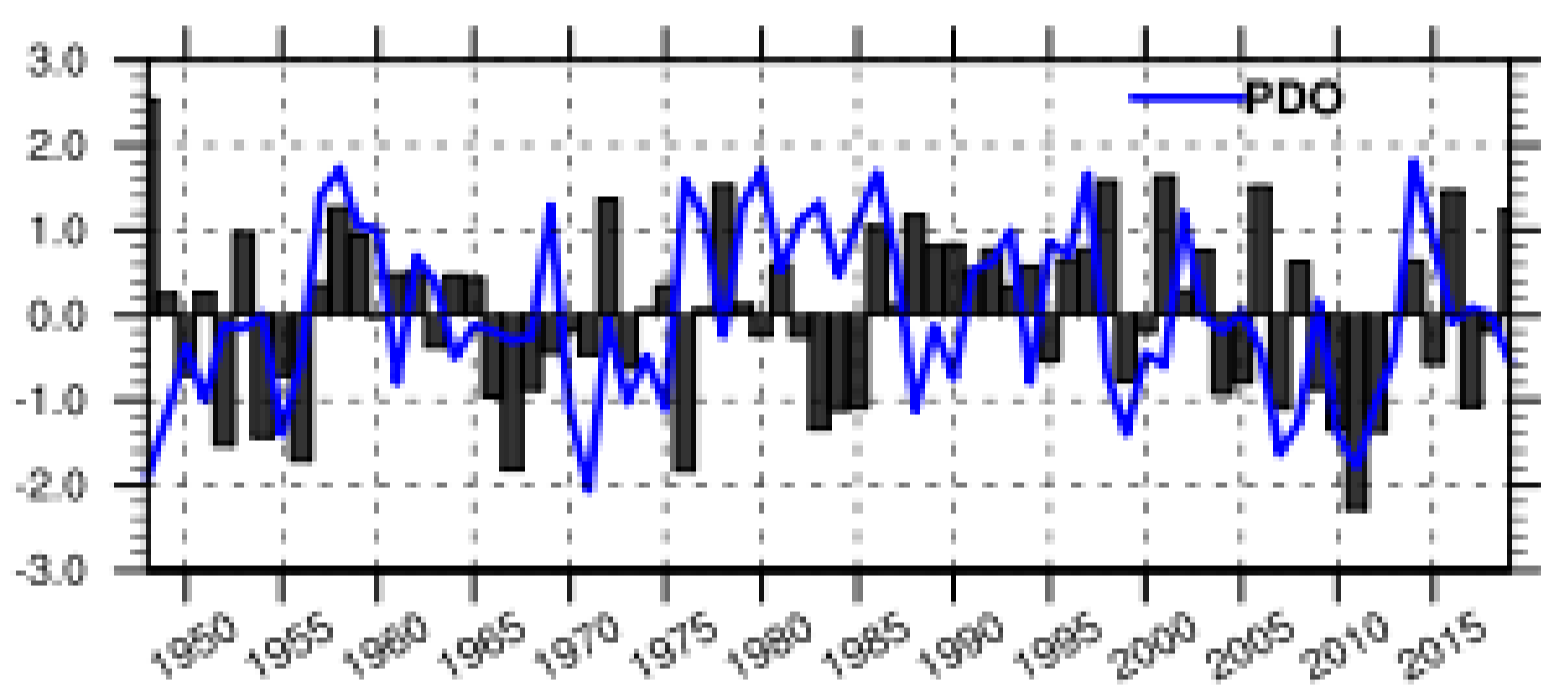


Table 1. 각 기간별 동아시아 겨울기온과 PDO의 상관관계

Corr.	1948-2019	1981-2010	1991-2019
PDO	0.05	-0.02	0.33

Results

• Change relationship

PDO & EA temp 31yr running corr.(DJF)

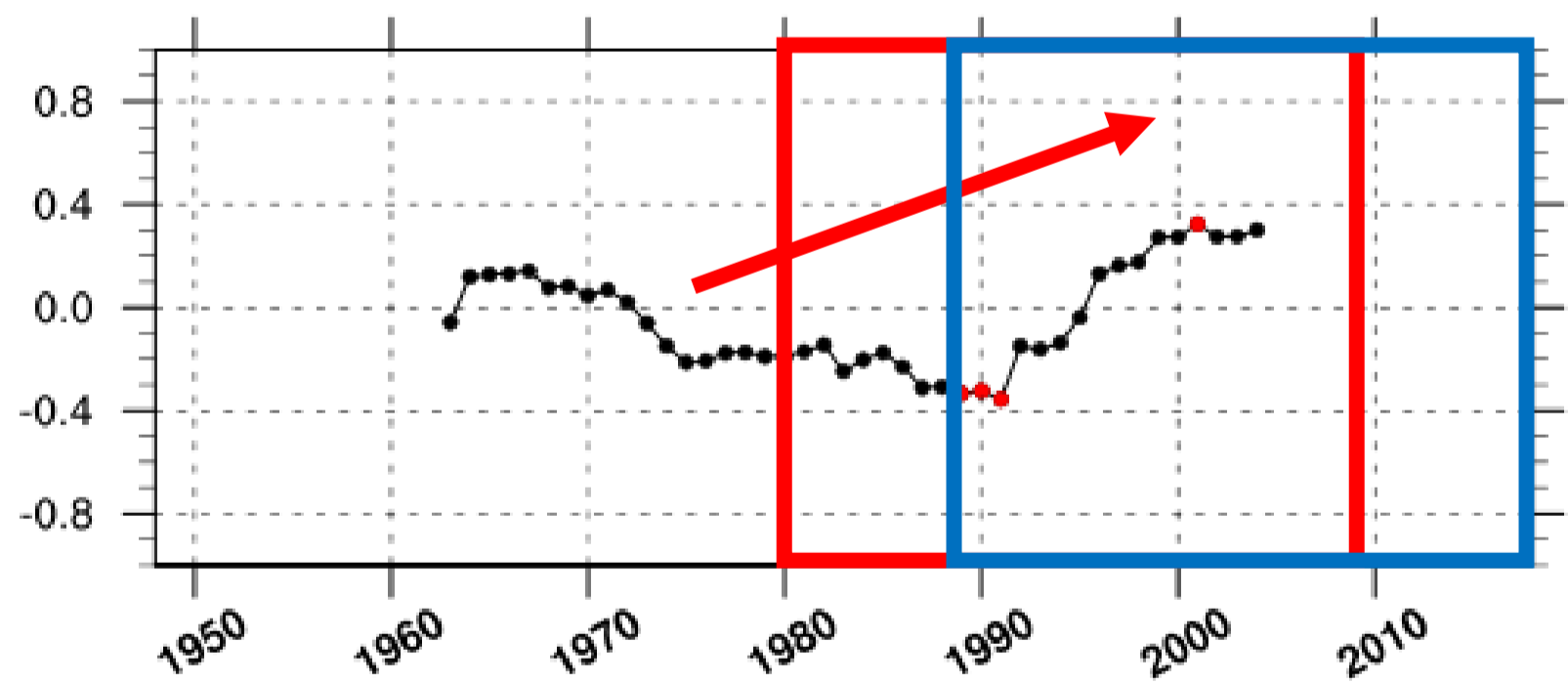


Fig 1. 동아시아 겨울 기온과 PDO의 31년 이동상관분석

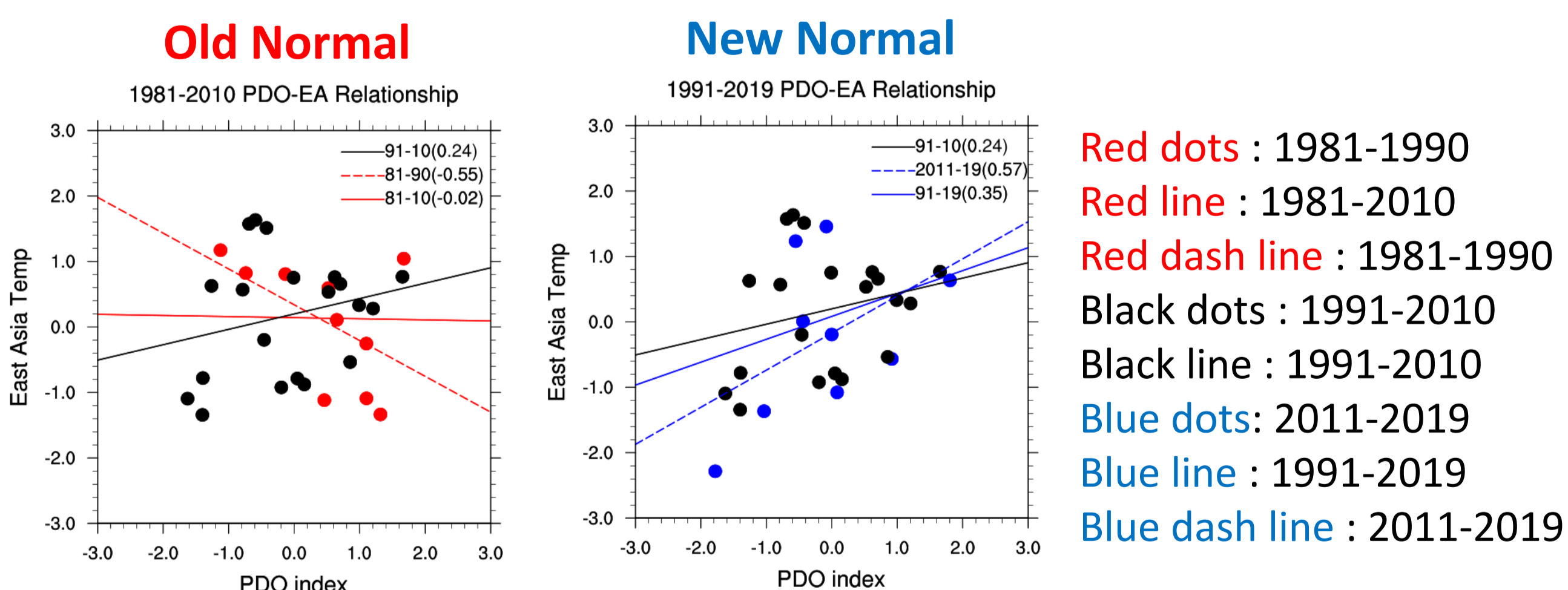


Fig 2. Old normal 과 New normal에서 동아시아 겨울기온과 PDO index 값의 산점도 및 회귀선

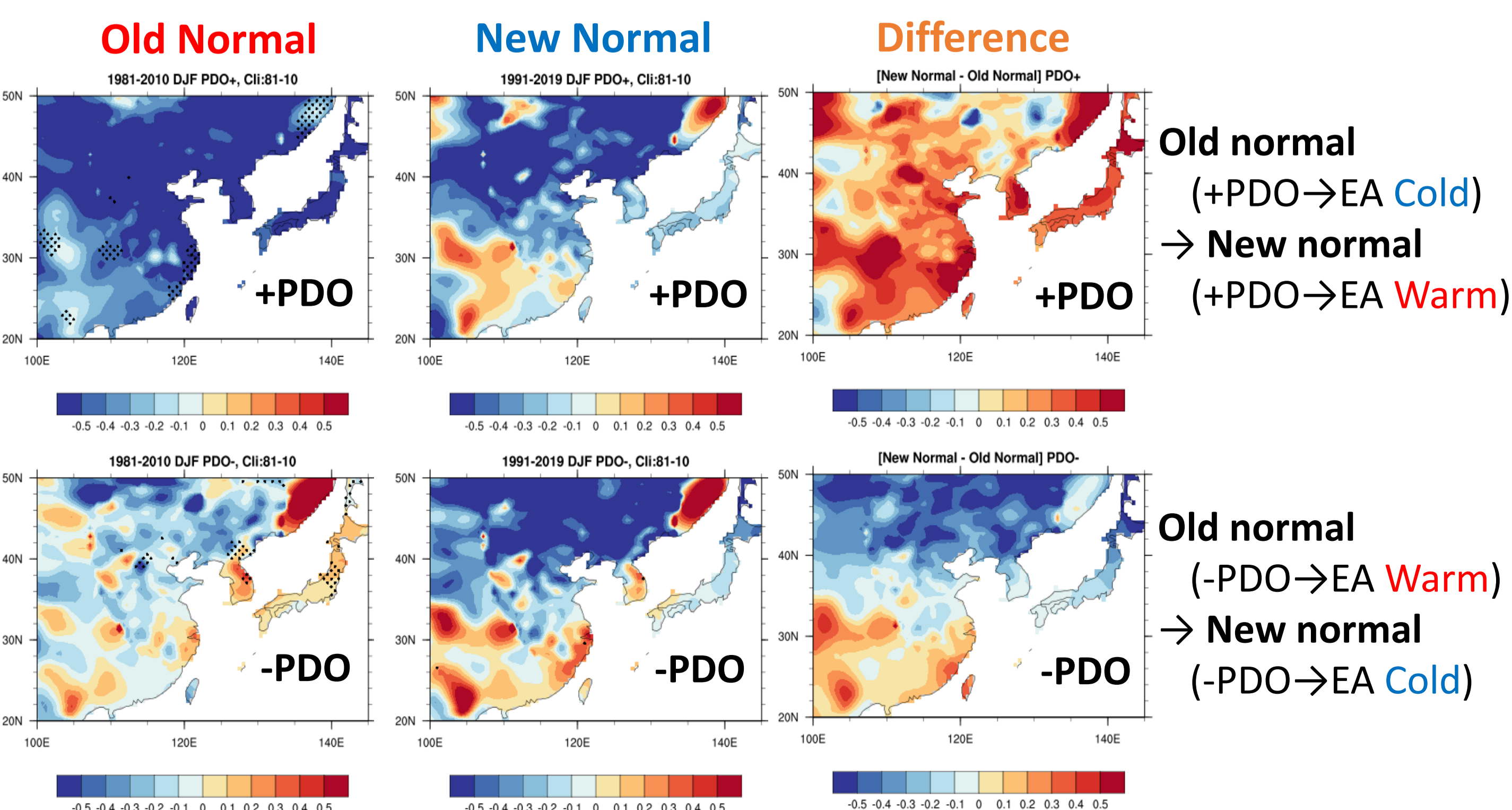


Fig 3. Old normal 과 New normal 에서 PDO 위상에 따른 동아시아 기온 합성장

Results

• Difference maps

New Normal(1991-2019) – Old normal(1981-2010)

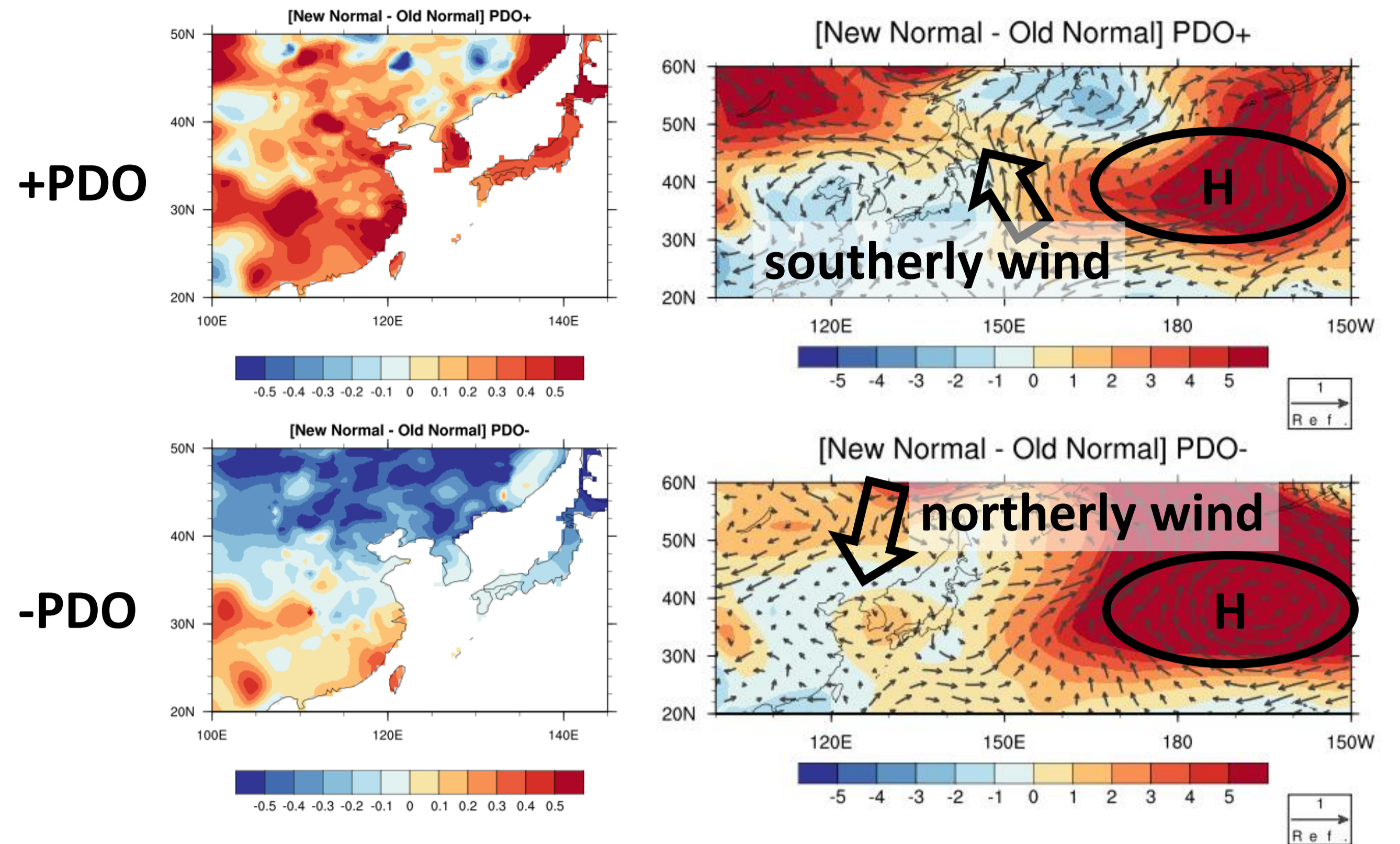


Fig. 4. 동아시아 지역에서 New normal과 Old normal 기간의 표층 기온과 하층 대기 순환(850hPa) 차이

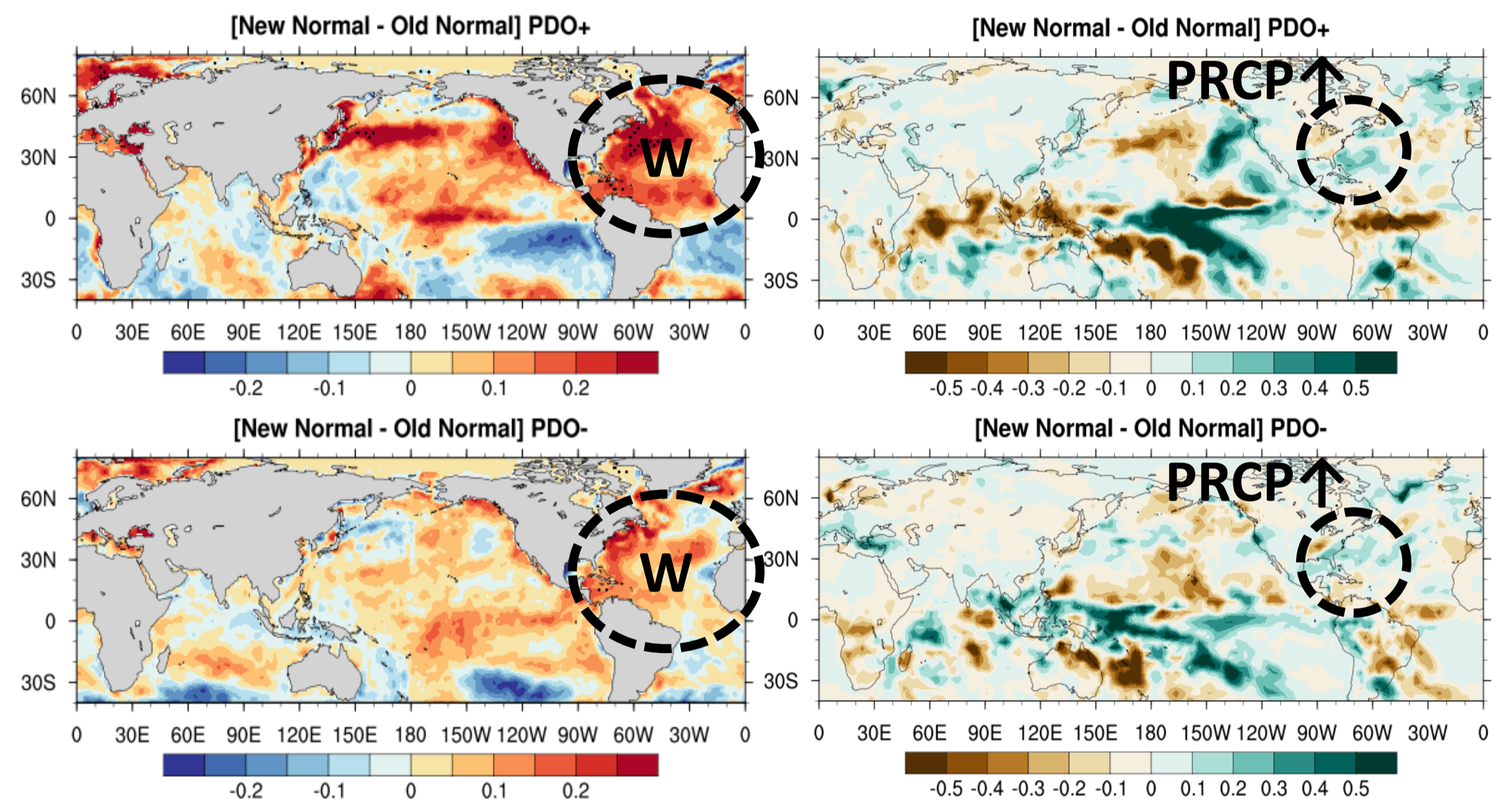


Fig. 5. New normal과 Old normal 기간의 SST 및 강수량 차이

• Atlantic forcing

1948-2019 DJF Regression AMO

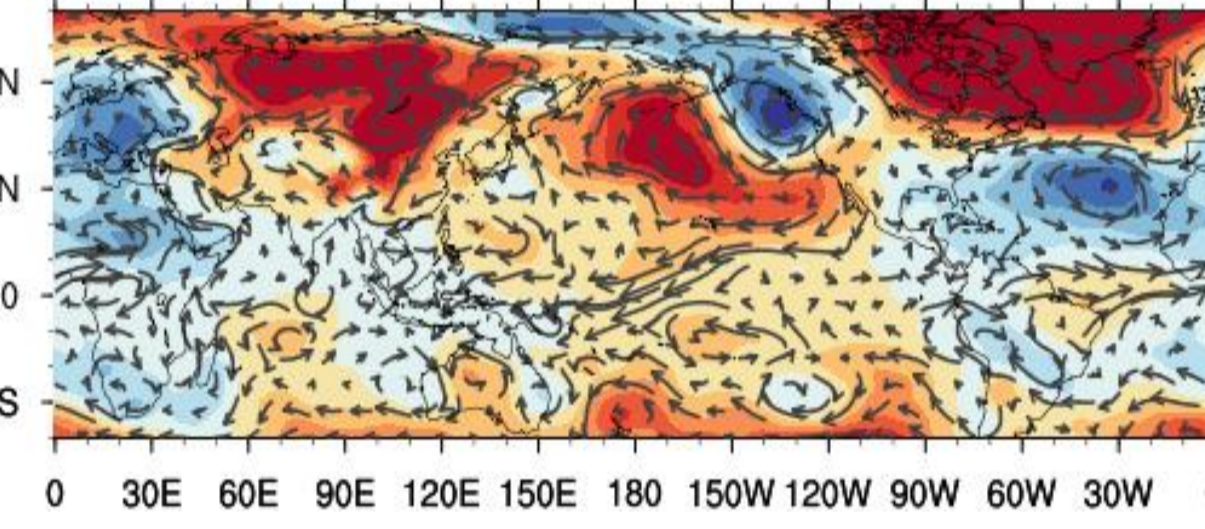
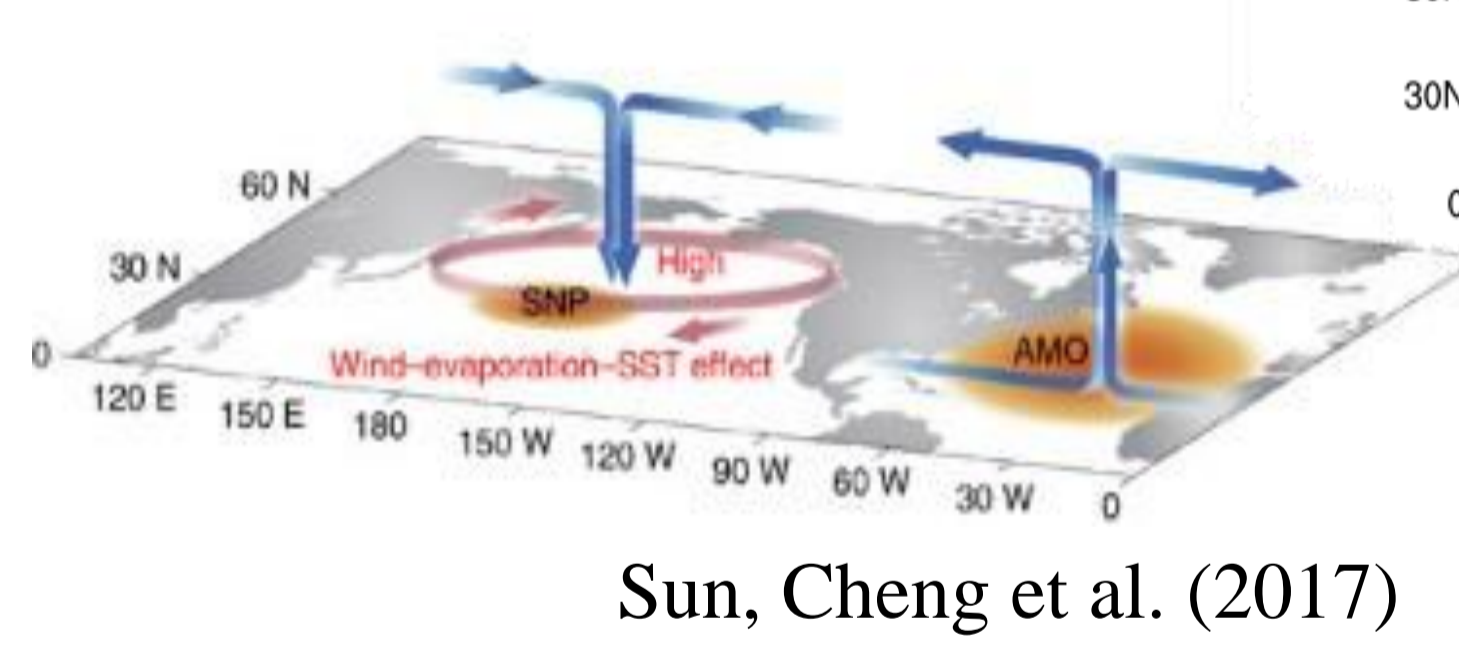


Fig. 6. AMO index와 하층대기(850hPa) 회귀분석 map

1) Direct effect of AMO



Sun, Cheng et al. (2017)

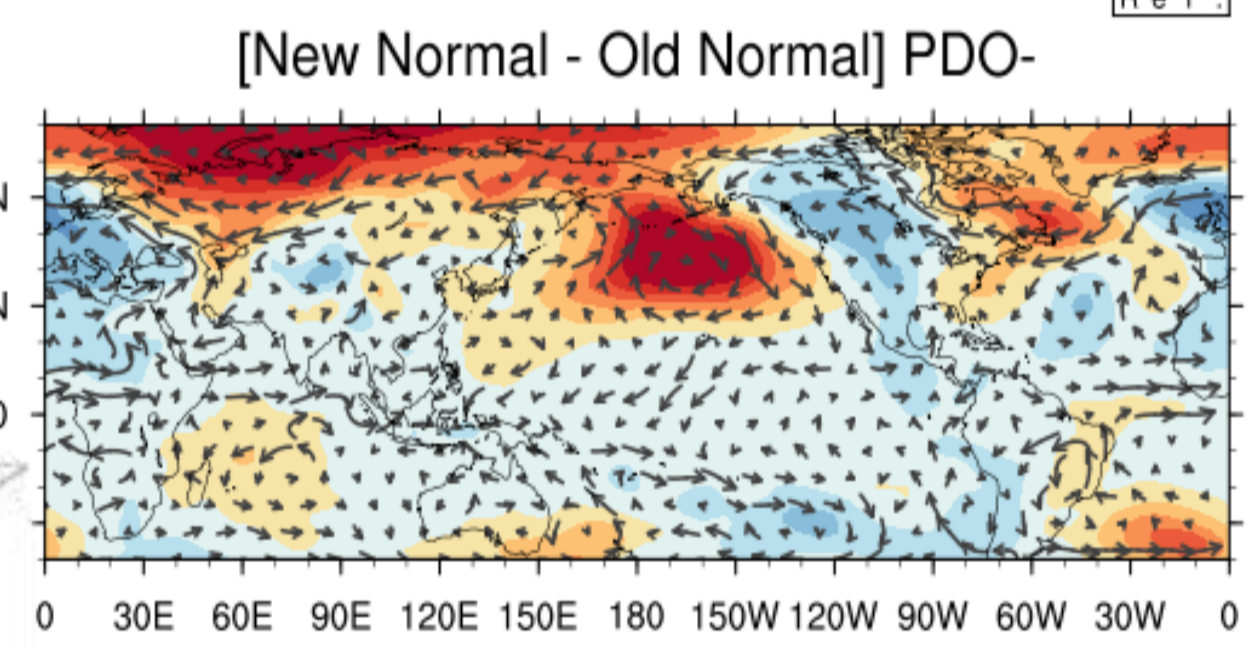
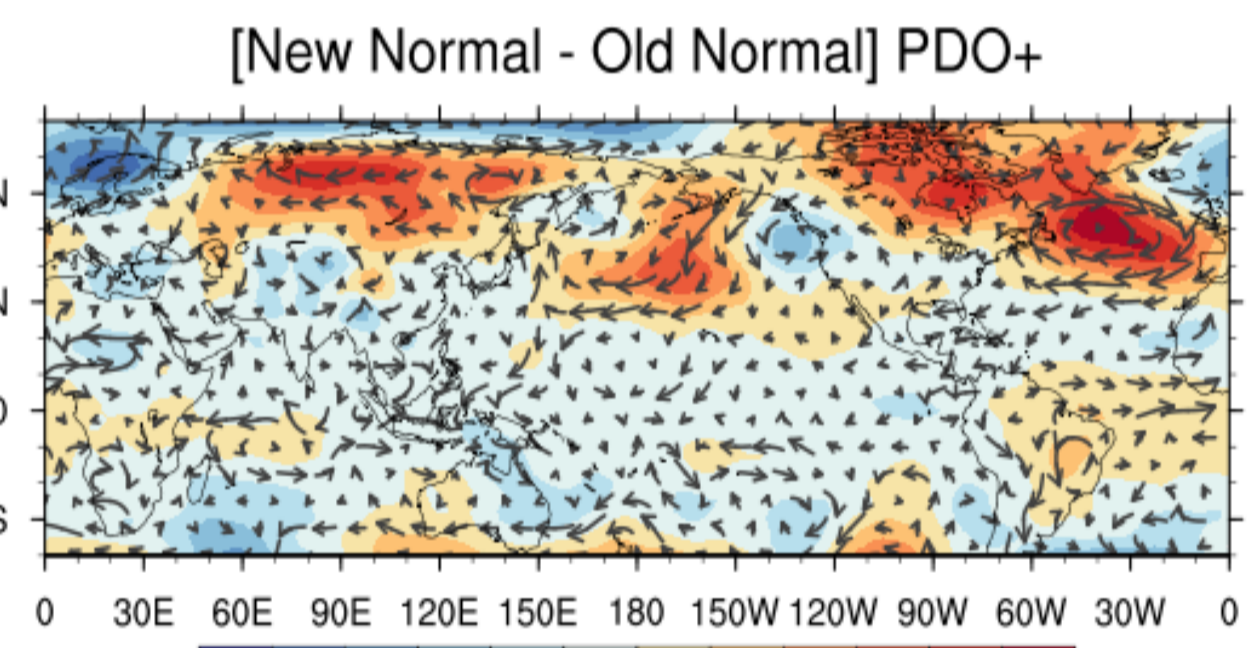


Fig. 7. New normal과 Old normal의 하층 대기(850hPa) 차이

2) Wave teleconnection from the North Atlantic (AMO)

1948-2019 DJF Regression AMO & GPH500

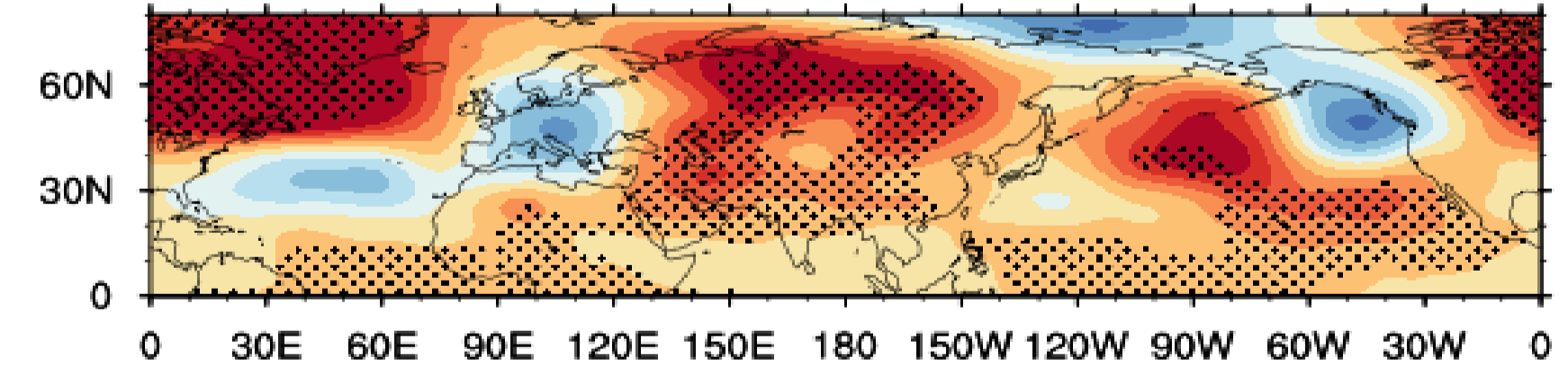
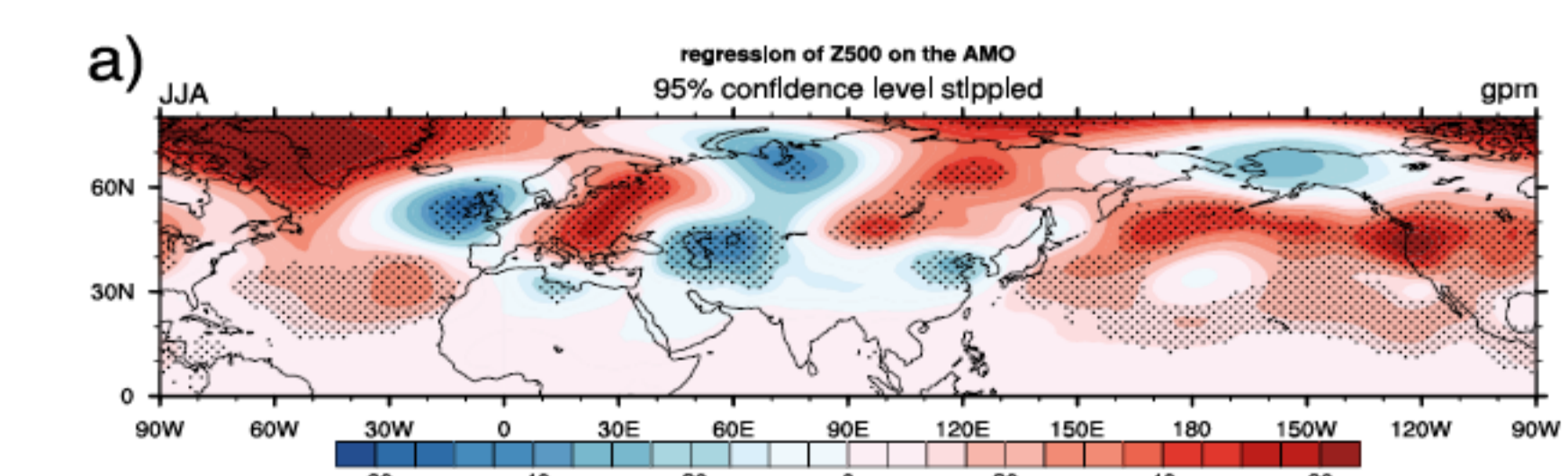


Fig. 8. AMO index와 중층대기(500hPa) 회귀분석 map



Si and Ding (2016)

Summary

- Reference period(1981-2010) 하에서, 기존의 표준 평년(1981-2010)과 새로운 표준 평년(1991-2019)에서 PDO와 동아시아 겨울 기온 사이의 관계가 달라졌다.
- 새로운 표준 평년에서 +PDO일 때는 남풍 계열 바람의 유입으로 동아시아가 따뜻해 지고, -PDO일 때는 북풍 계열 바람의 유입으로 동아시아 차가워지는 양의 상관관계가 있다. 이는 북태평양에 나타나는 고기압성 순환과 관련이 있다.
- 한편 북태평양에 나타나는 고기압성 순환은 북대서양에 +AMO와 관련이 있을 것으로 사료되며, 이는 선행연구 결과 와도 일치한다.

마승주, 오세윤, 예상욱
한양대학교 해양융합과학과

1. Introduction

- 겨울철 북서·북중대서양의 해수면 온도 강제력은 대기 원격 상관성을 통해 동아시아 겨울 몬순의 변동성과 관련이 있는 것으로 알려져 있지만 이러한 관계가 북대서양에서 해양-대기 상호작용의 특성에 따라 어떻게 달라지는 지에 대해서는 잘 알려져 있지 않음.
- 이와 같은 관련성을 이해하기 위해 관측, 재분석 및 모델 Pacemaker 실험 데이터를 이용해 북서·북중대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 많은 강수량을 동반하는 사례-해양이 대기의 강제력으로 작용하는 사례-와 북서·북중대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하는 사례-대기가 해양의 강제력으로 작용하는 사례-의 합성도를 분석하였음.

3. Results

북서·북중대서양 해양이 대기의 강제력으로 작용하는 사례 - 관측, 재분석

검은 점: 통계적으로 유의한 (90% 수준) 상관 계수가 존재하는 지역

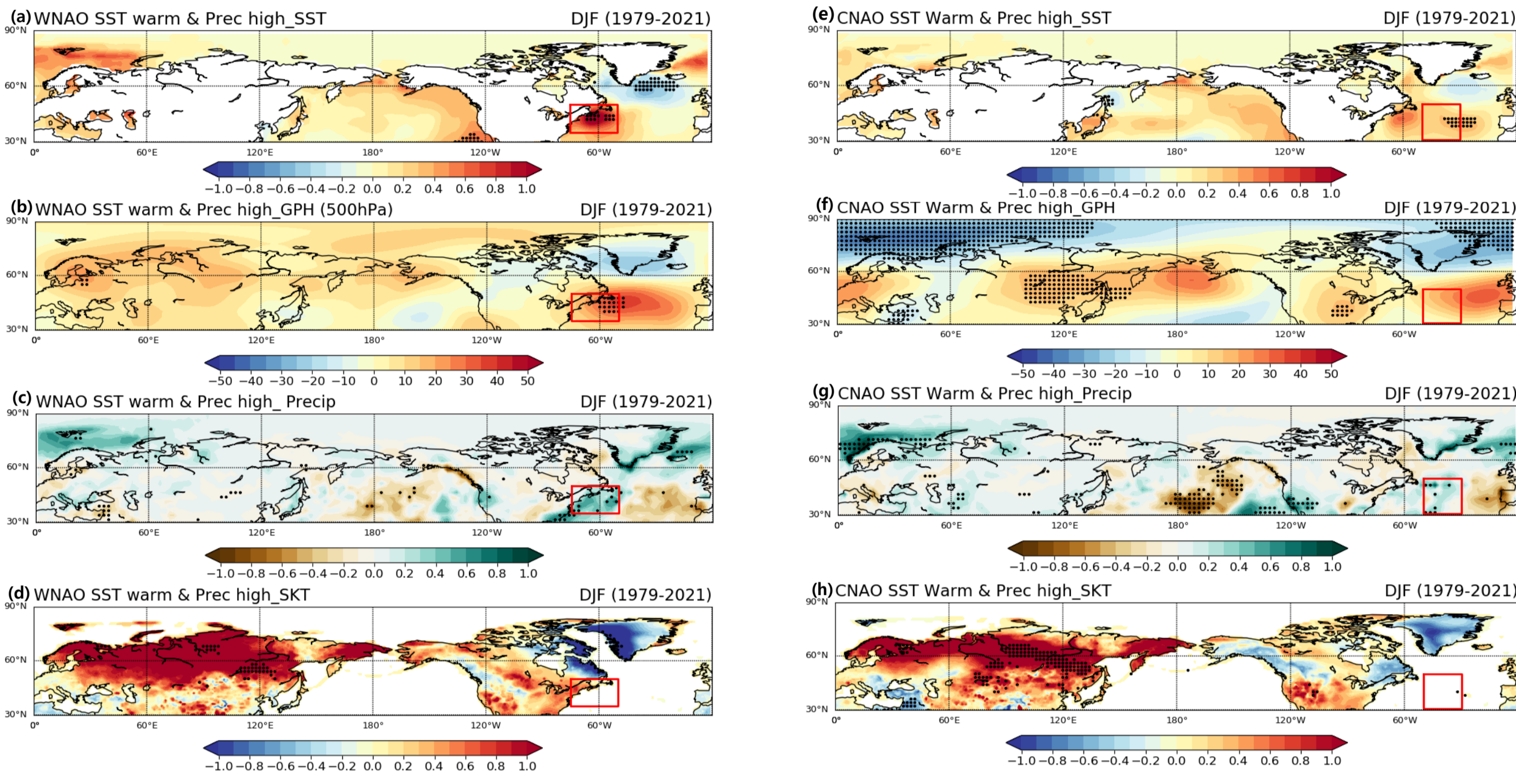


그림 1. 북서 대서양의 해양이 대기의 강제력으로 작용하는 사례 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-500 hPa 지위 고도, (c)-강수, (d)-표면 온도 합성도 그림. 북중 대서양에서 같은 조건 연도들의 (e)-표층 수온, (f)-500 hPa 지위 고도, (g)-강수, (h)-표면 온도의 합성도 그림.

: 유라시아 지역이 전체적으로 양의 편차가 나타나고, 동아시아 북부 지역이 유의한 양의 편차가 나타났음 (그림 1d, 그림 1h).

북서·북중대서양 대기가 해양의 강제력으로 작용하는 사례 - 관측, 재분석

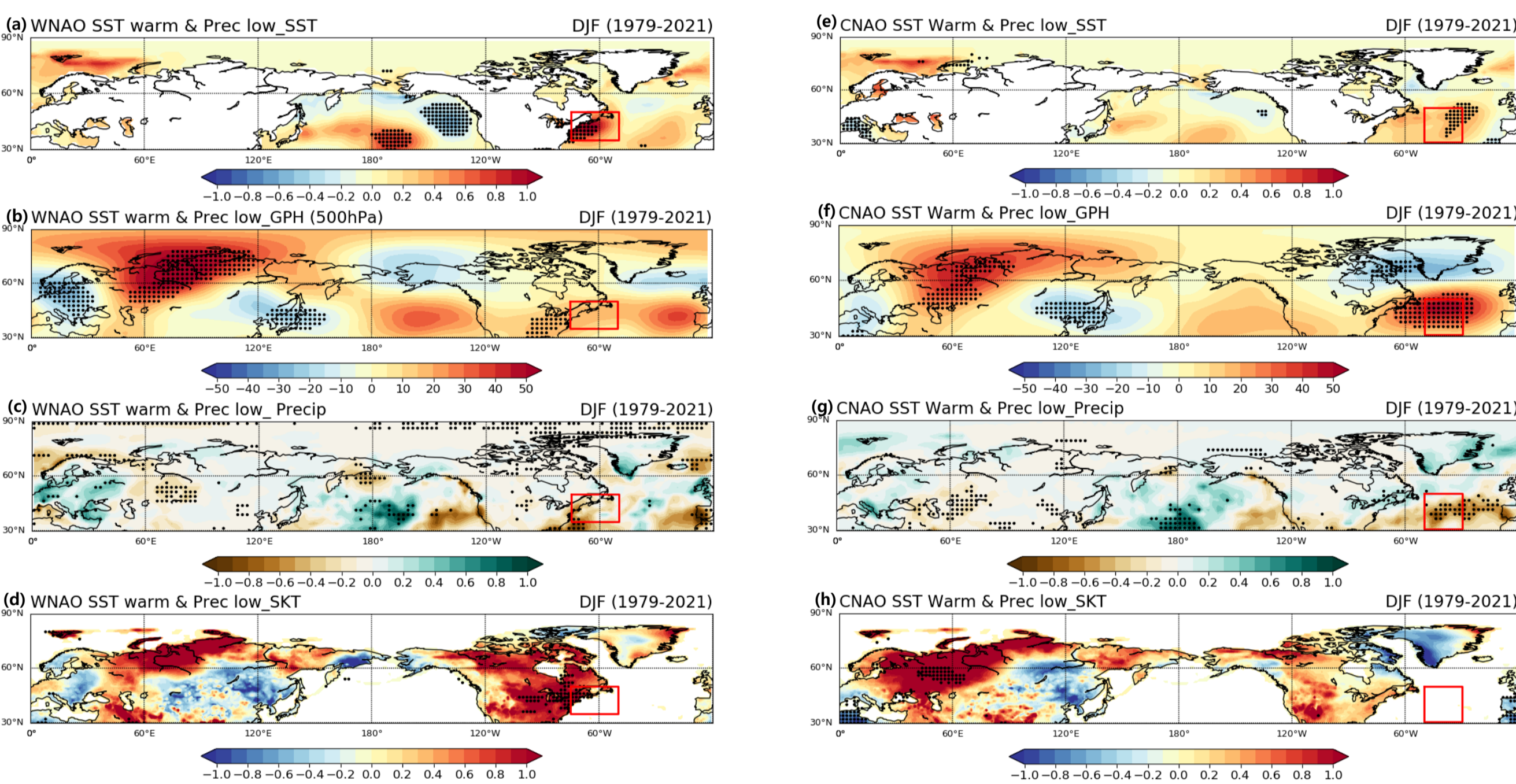


그림 2. 북서 대서양의 대기가 해양의 강제력으로 작용하는 사례 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-500 hPa 지위 고도, (c)-강수, (d)-표면 온도 합성도 그림. 북중 대서양에서 같은 조건 연도들의 (e)-표층 수온, (f)-500 hPa 지위 고도, (g)-강수, (h)-표면 온도의 합성도 그림.

: 서유럽 지역부터 동아시아 지역까지 음, 양, 음 패턴의 지위 고도 편차가 보였고 유의하게 나타났음 (그림 2b, 그림 2f).

: 동아시아 지역이 약하지만 유의한 음의 편차가 나타났음 (그림 2d, 그림 2h).

- 그림 1과 그림 2를 통해 북서·북중대서양에서 해양-대기 상호작용 차이에 의해 겨울철 동아시아 몬순 특성이 달라질 수 있음을 시사함.
- 그림 1과 그림 2 각각의 강수 합성도를 통해 겨울철 동아시아 몬순 특성이 북중대서양보다는 북서대서양의 해양-대기 상호작용과 더 관련성이 있을 것이라 추측함.
- 그리고 열대 태평양 지역의 영향을 받았을 가능성이 있음.

열대 태평양 영향 확인 - 관측, 재분석

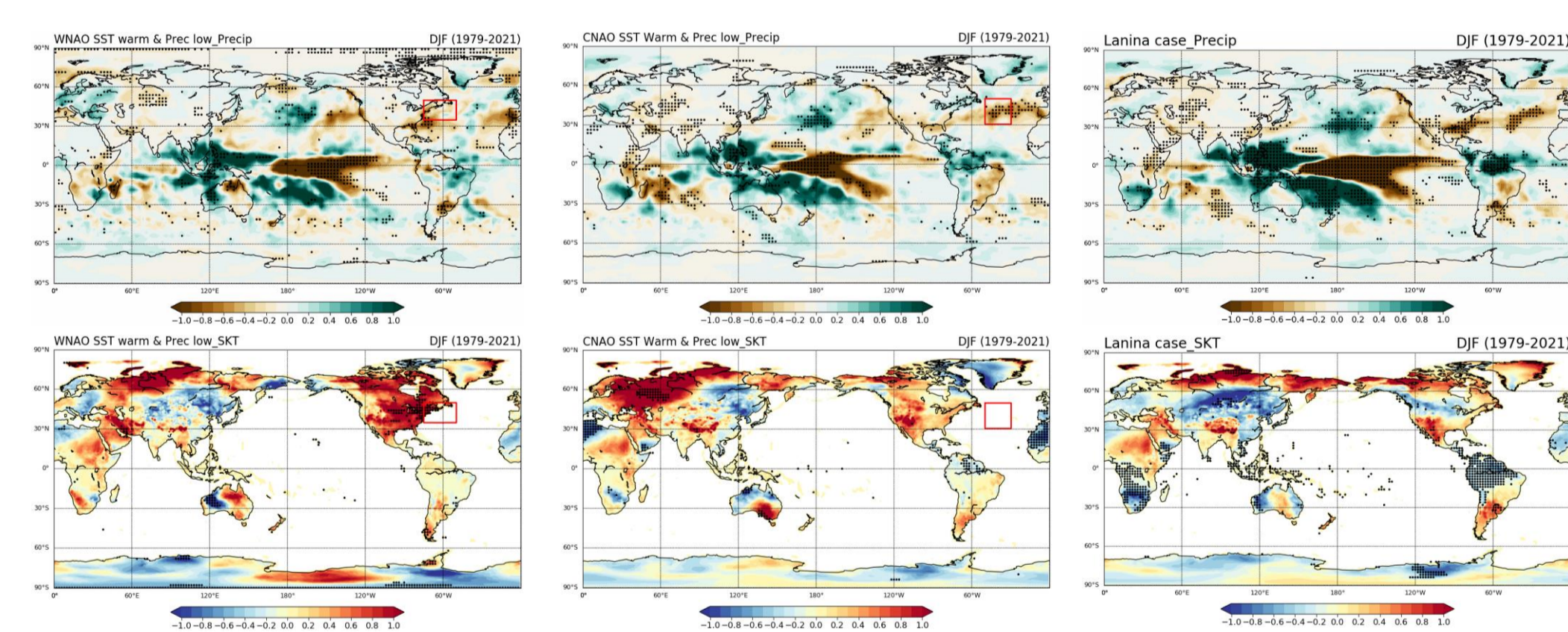


그림 3. 왼쪽 위아래 두 그림은 그림 2c, 그림 2d의 전 지구 그림, 가운데 위아래 두 그림은 그림 2g, 그림 2h의 전 지구 그림, 오른쪽 위아래 두 그림은 Nino3.4 지수를 이용해 라니냐 연도만 뽑아 합성한 강수, 표면온도 합성도 그림.

- 겨울철 동아시아 몬순의 특성이 열대 태평양의 해수면 온도 조건에도 크게 영향을 받을 수 있음을 시사함.
- 열대의 영향을 최소화하여 순수한 북서·북중대서양의 해양-대기 상호작용에 따른 겨울철 동아시아의 몬순 특성을 확인할 필요가 있음.
- 각 사례에서 열대 태평양이 중립인 해를 뽑아 합성도를 그려보려 했으나 관측 자료는 1979년부터 2021년까지 42년으로 기간이 짧아 각 사례의 case가 적어 NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험을 통해 확인해 보기로 함.

북서·북중대서양 표층 수온이 따뜻하면서 많은 강수량을 동반하는 사례 - NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험

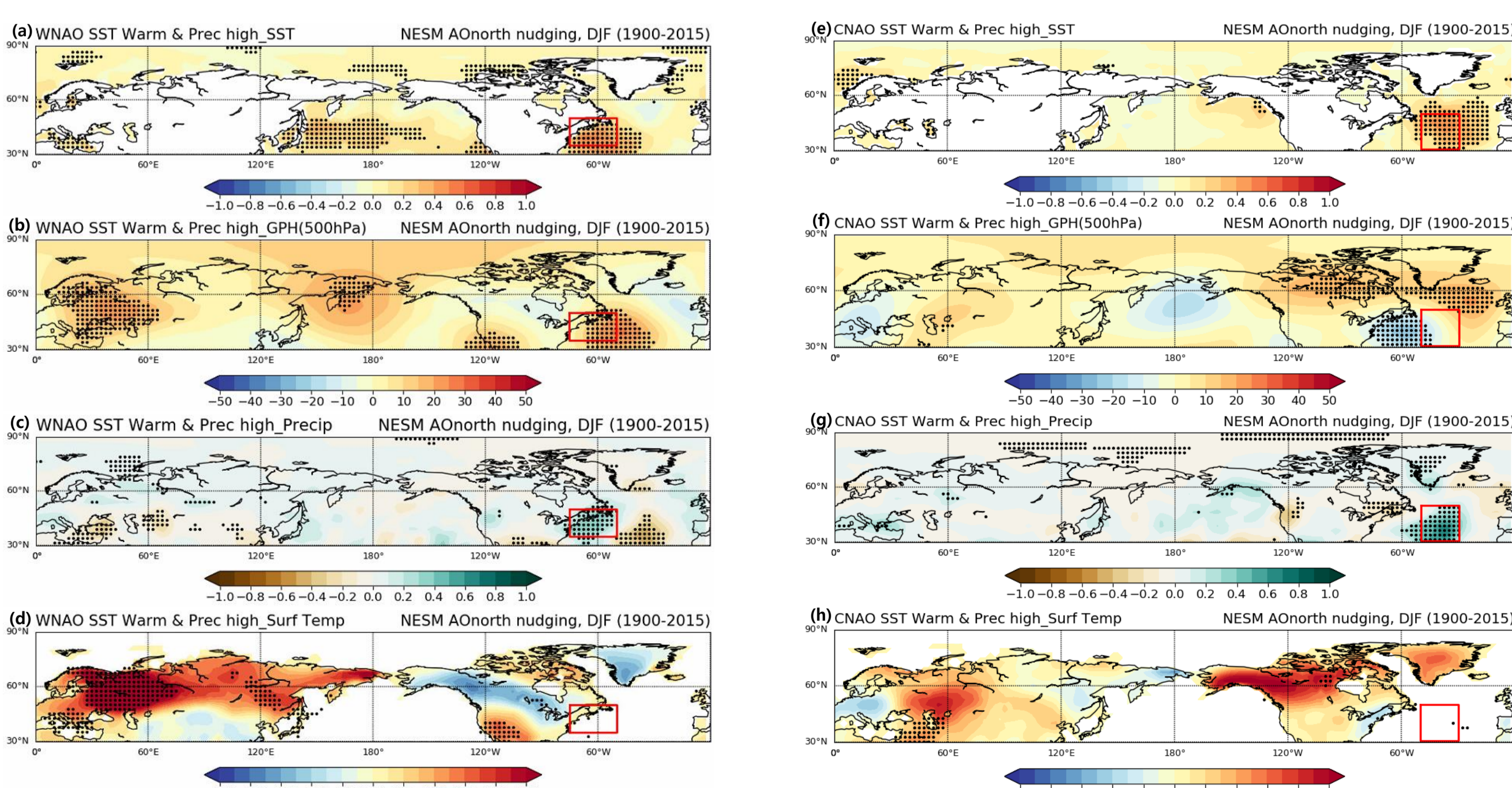


그림 4. NESMv3 북대서양 Nudging Pacemaker 실험에서 북서 대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 많은 강수량을 동반하는 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-500 hPa 지위 고도, (c)-강수, (d)-표면 온도의 합성도 그림. 북중 대서양에서 같은 조건일 때 연도들의 (e)-표층 수온, (f)-500 hPa 지위 고도, (g)-강수, (h)-표면 온도의 합성도 그림.

: 같은 조건의 관측 합성도와 유사하게 유라시아 지역이 전체적으로 양의 편차가 나타났고, 동아시아 지역에서 양의 편차가 유의하게 나타났음 (그림 4d).

: 같은 조건의 관측 합성도와 다르게 동아시아 지역에 큰 특징이 나타나지 않았음 (그림 4h).

2. Data & Methods

- 관측, 재분석 자료
 - ERSSTv5, GPCP, NCEP/NCAR R1, ERA-interim
 - Period: 1979 - 2021 (42년) [1979 D(0)JF(+1) - 2020 D(0)JF(+1)]
 - Climatology: 1981 - 2010 (30년)
- The NUIST Earth System Model v3 (NESMv3) : North Atl. With obs. Pacemaker 실험, Pacific With obs. Pacemaker 실험
 - 표층 수온을 관측 값으로 Nudging 실험 (Historical CO2)
 - Period: 1900 - 2015 (115년) [1900 D(0)JF(+1) - 2014 D(0)JF(+1)]
 - Climatology: 전 기간

- 북서 대서양 지수: 50-75W, 35-50N
- 북중 대서양 지수: 30-50W, 30-50N
- 열대 태평양 지수: Nino3.4 (120-170W, -5S-5N)

3. Results

북서·북중대서양 표층 수온이 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하는 사례 - NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험

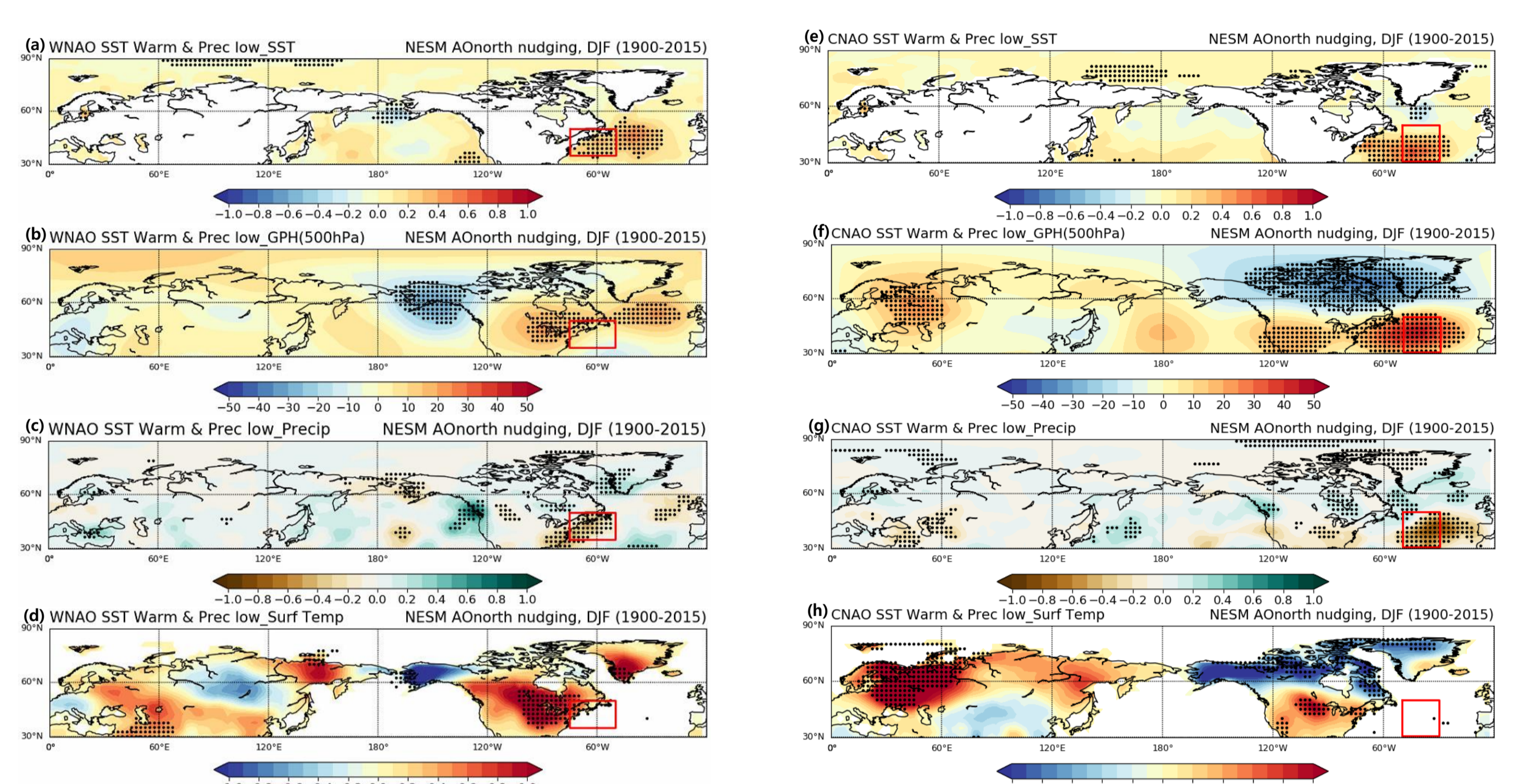


그림 5. NESMv3 북대서양 Nudging Pacemaker 실험에서 북서 대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하는 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-500 hPa 지위 고도, (c)-강수, (d)-표면 온도의 합성도 그림. 북중 대서양에서 같은 조건일 때 연도들의 (e)-표층 수온, (f)-500 hPa 지위 고도, (g)-강수, (h)-표면 온도의 합성도 그림.

: 동아시아 지역에서 유의하지는 않지만 같은 조건의 관측 합성도와 유사하게 음의 편차가 나타났음 (그림 5d).

: 같은 조건의 관측 합성도와 다르게 동아시아 북부 지역에 유의하지 않은 양의 편차가 나타났음 (그림 5h).

- NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험 데이터로 분석한 그림 4와 그림 5를 통해 북서대서양 표층수온이 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하는 사례에서는 동아시아에 유의한 영향을 끼쳤다고 할 수는 없지만 관측과 마찬가지로 북서대서양에서 해양-대기 상호작용 차이에 의해 겨울철 동아시아 몬순 특성이 달라질 수 있음을 시사함.
- 하지만 북중대서양의 동일한 사례에서는 동아시아 지역에서 관측과 다른 편차가 나타났음.
- 겨울철 동아시아 몬순 특성이 북중대서양보다는 북서대서양의 해양-대기 상호작용과 관련성이 있음을 시사함.
- 따라서, 겨울철 동아시아 몬순 특성과 관련성이 있다고 시사한 북서대서양의 경우만 열대 태평양의 영향을 최소화하여 보기 위해 북서대서양의 각 사례에 열대 태평양이 중립인 조건 추가하여 연도를 뽑아 합성도 분석.

북서대서양 각각의 사례 + 열대 태평양 중립 - NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험

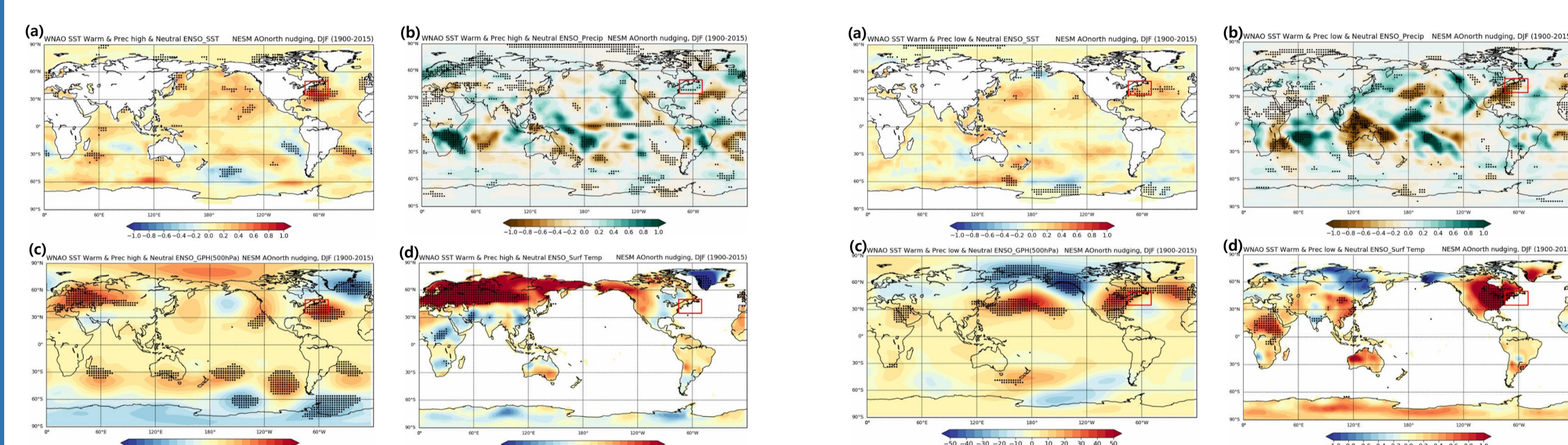


그림 6. NESMv3 북대서양 Nudging Pacemaker 실험에서 북서 대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하며 열대 태평양이 중립인 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-강수, (c)-500 hPa 지위 고도, (d)-표면 온도의 합성도 그림.

그림 7. NESMv3 북대서양 Nudging Pacemaker 실험에서 북서 대서양의 해수면 온도가 따뜻하면서 적은 강수량을 동반하며 열대 태평양이 중립인 연도들의 (a)-표층 수온, (b)-강수, (c)-500 hPa 지위 고도, (d)-표면 온도의 합성도 그림.

- : 열대 태평양이 중립인 경우에서도 동아시아 지역이 양의 편차가 나타났음 (그림 6d).
- : 열대 태평양이 중립인 경우에서도 유의하지 않은 음의 편차가 나타났음 (그림 7d).
- 북서대서양의 각각의 사례에 대한 NESMv3 North Atl. With obs. Pacemaker 실험에서 열대 태평양이 중립인 경우와 중립을 고려하지 않았을 때의 겨울철 동아시아 지역의 표면 온도의 편차 패턴이 거의 차이 나지 않은 것으로 나타났음.
- 따라서, 북서대서양에서 해양-대기 상호작용의 차이에 따른 겨울철 동아시아 몬순 특성이 달라짐을 Pacemaker 실험을 통해 확인함.
- 하지만, 관측에서 겨울철 동아시아 몬순의 특성이 열대 태평양의 해수면 온도 조건에도 크게 영향을 받을 수 있음을 시사하였으므로 이 또한 NESMv3 Pacific With Obs. Pacemaker 실험으로 동아시아에 대한 열대의 영향을 보기 위해 합성도 분석을 진행함.

열대 태평양 영향 확인 - NESMv3 Pacific With Obs. Pacemaker 실험

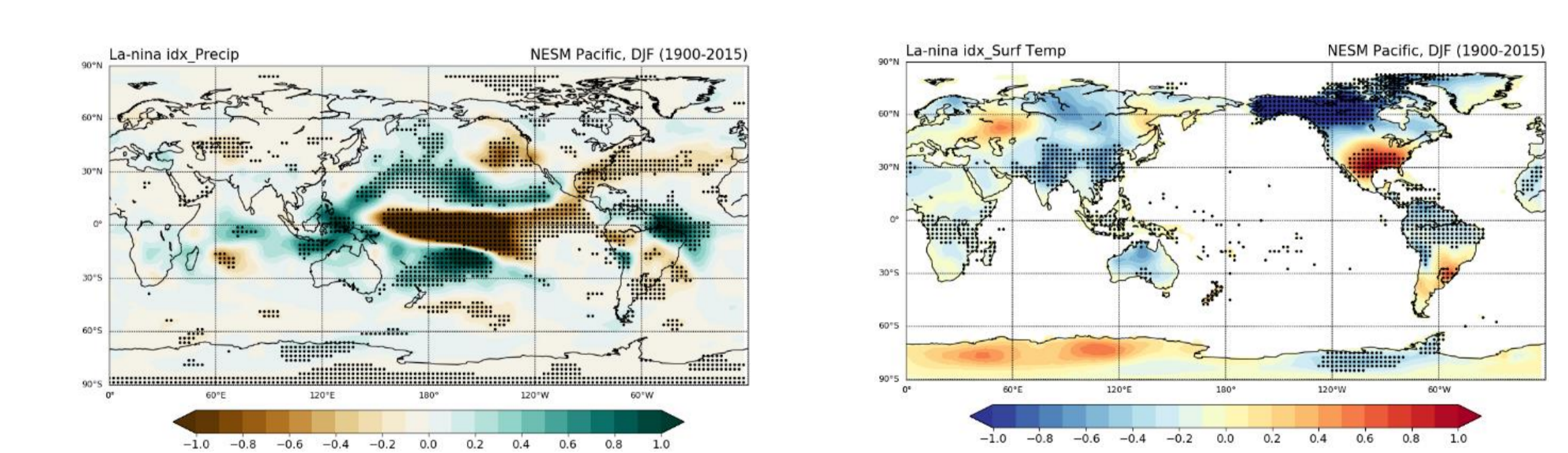


그림 8. 왼쪽 그림은 NESMv3 Pacific With Obs. Pacemaker 실험 데이터에서 Nino3.4 지수를 이용해 라니냐 연도를 뽑아 합성한 강수 합성도 그림. 오른쪽 그림은 같은 방법으로 라니냐 연도를 뽑아 합성한 표면 온도 합성도 그림.

: 그림 8을 통해 겨울철 동아시아 몬순의 특성이 열대 태평양의 해수면 온도조건에도 크게 영향을 받을 수 있음을 Pacific With Obs. Pacemaker 실험으로 확인함.

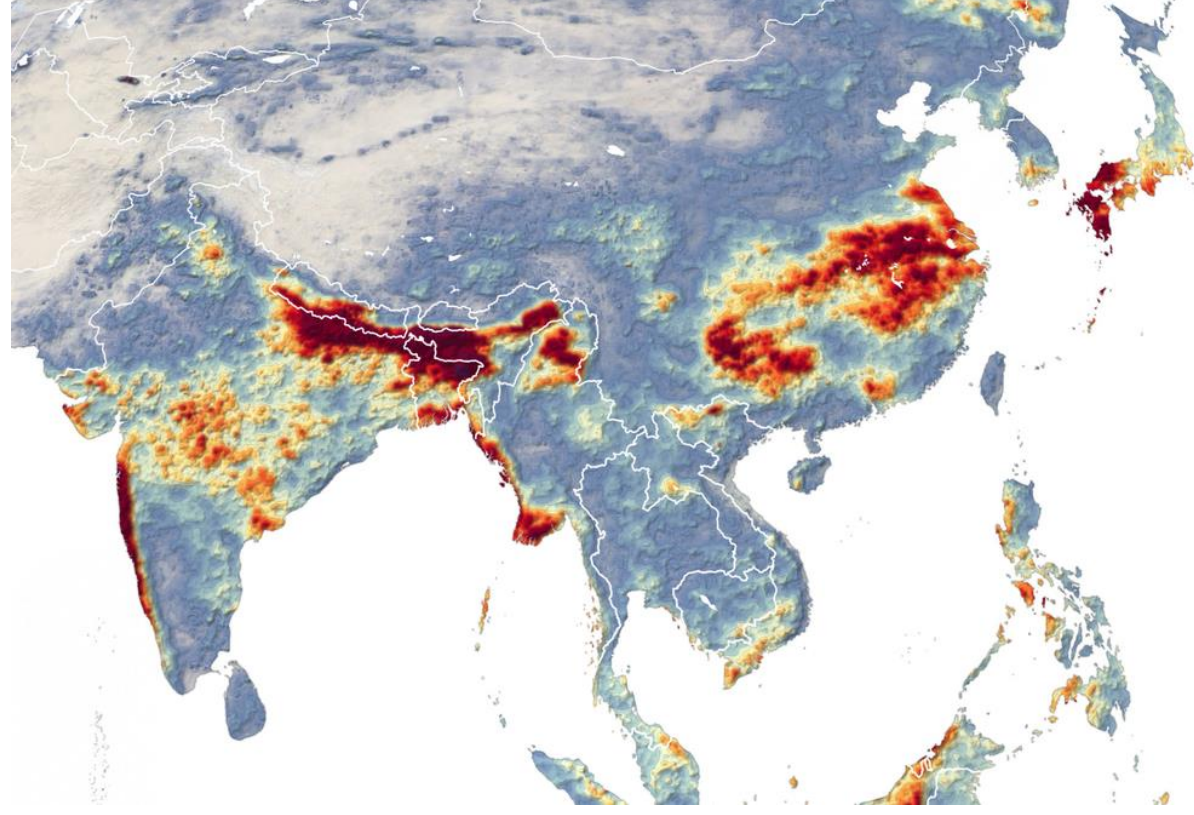
- 이 분석들을 통해 북서·북중대서양 해수면 온도가 동아시아 겨울 몬순 변동성에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 북중대서양보다는 북서대서양 지역의 해양-대기 상호작용의 특성과 열대 태평양 해수면 온도 조건을 동시에 고려해야함을 알 수 있었음.

4. Summary

- : 관측, 재분석 자료 합성도 분석을 통해 북서 대서양에서 해양-대기 상호작용 차이에 의해 겨울철 동아시아 몬순 특성이 달라질 수 있음을 시사하였고 북중대서양보다는 북서대서양의 해양-대기 상호작용과 더 관련성이 있을 것이라 추측함.
- : 겨울철 동아시아 몬순의 특성이 열대 태평양의 해수면 온도 조건에도 크게 영향을 받을 수 있음을 시사함.
- : 열대의 영향을 최소화하여 순수한 북서·북중대서양의 해양-대기 상호작용에 따른 겨울철 동아시아의 몬순 특성을 확인할 필요가 있어 NESMv3 Pacemaker 실험 자료 합성도 분석을 통해 열대의 영향을 최소화한 북서대서양의 영향으로 인한 동아시아의 반응과 열대에 대한 동아시아의 반응 확인.
- : 북서·북중대서양 해수면 온도가 동아시아 겨울 몬순 특성에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 북중대서양보다는 북서대서양 지역의 해양-대기 상호작용의 특성을 고려함과 동시에 열대 태평양 해수면 온도 조건을 고려해야함을 알 수 있었음.

서론

2020년 6월 1일-7월 20일 누적강수



The New Humanitarian

한겨레
7월이 6월보다 덜 더웠다...통년 갯 2020년 '이상 기후'
이른 폭염, 최장 장마까지...2020년 여름 '반전의 연속'

2020년 여름철 월별 기온					
6월	7월	8월			
순위	평년편차	순위	평년편차	순위	평년편차
1위	22.8℃ ▲1.6	44	22.7 ▼1.8	6	26.6 ▲1.5
1위	28.0℃ ▲1.5	46	26.3 ▼2.5	14	30.7 ▲0.9
2위	18.4℃ ▲1.7	41	19.8 ▼1.3	2	23.7 ▲2.2
7	220.4hr ▲39.0	42	113.9 ▼34.0	32	157.4 ▼16.3
1	2.0일 ▲1.4	45	0.1 ▼3.8	19	6.4 ▲1.1
14	0일	43	0.3 ▼2.0	5	7.9 ▲5.2

장마 기간
 중부 6.24-8.16 54일
 남부 6.24-7.21 38일
 제주 6.19-7.28 49일

- 2020년 아시아 전역에 기록적인 여름 강수로 인해 홍수, 산사태 및 인명피해 발생
- 우리나라에도 평년보다 많은 강수량과 긴 장마기간 관측
- 동아시아 여름 강수 발생에 대한 이해 및 메커니즘 분석 필요
- 연구목표: 7월과 8월 동아시아 강수 발생과 관련한 열대 인자를 추출하고 역학 과정 제시

자료

- 자료: NCEP2, CMAP, ERSSTv5 월평균 자료
- 기간: 1979-2020년 (42년) 6-8월
- 월별 기후평균 및 선형 장기추세 제거

결과

2020년 동아시아 기록적인 여름 강수 발생

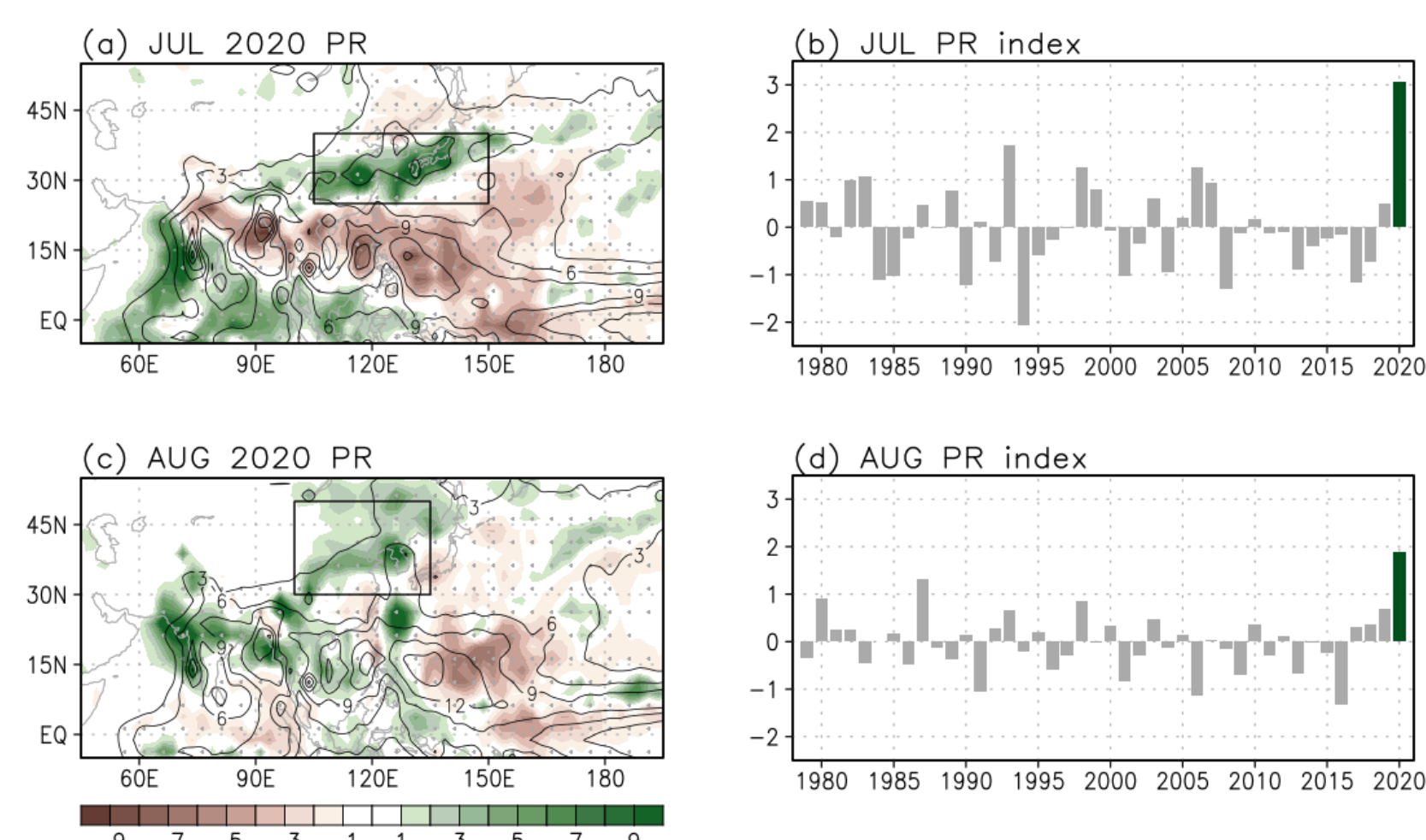


그림 1. 2020년 (a) 7, (b) 8월 강수 아노말리. 동아시아 강수 영역 네모로 표시. 1979-2020년 기간에 대해 영역평균된 동아시아 (a) 7, (b) 8월 강수의 시계열 (2020년 값 초록색 막대로 표시).

- 2020년 7월, 북위 30도 부근 동아시아 지역에 동서방향으로 긴 형태의 강수대 발생. 1979-2020년 동안 관측된 7월 강수량 중 역대 가장 높은 값을 나타내며 3.27 표준편차 이상
- 인도양 강수 증가와 남중국해-북서태평양-아열대 중태평양으로 이어지는 강수 감소가 뚜렷함
- 2020년 8월 강수는 7월에 비해 상대적으로 약하고 북상하여 내륙에 중심이 위치. 1979-2020년 동안 관측된 8월 강수량 중 가장 높으며 3.0 표준편차 이상
- 7월과 마찬가지로 북서태평양에 강수 감소가 나타나고, 인도 반도와 남중국해 강수 증가

동아시아 여름 강수 예측인자

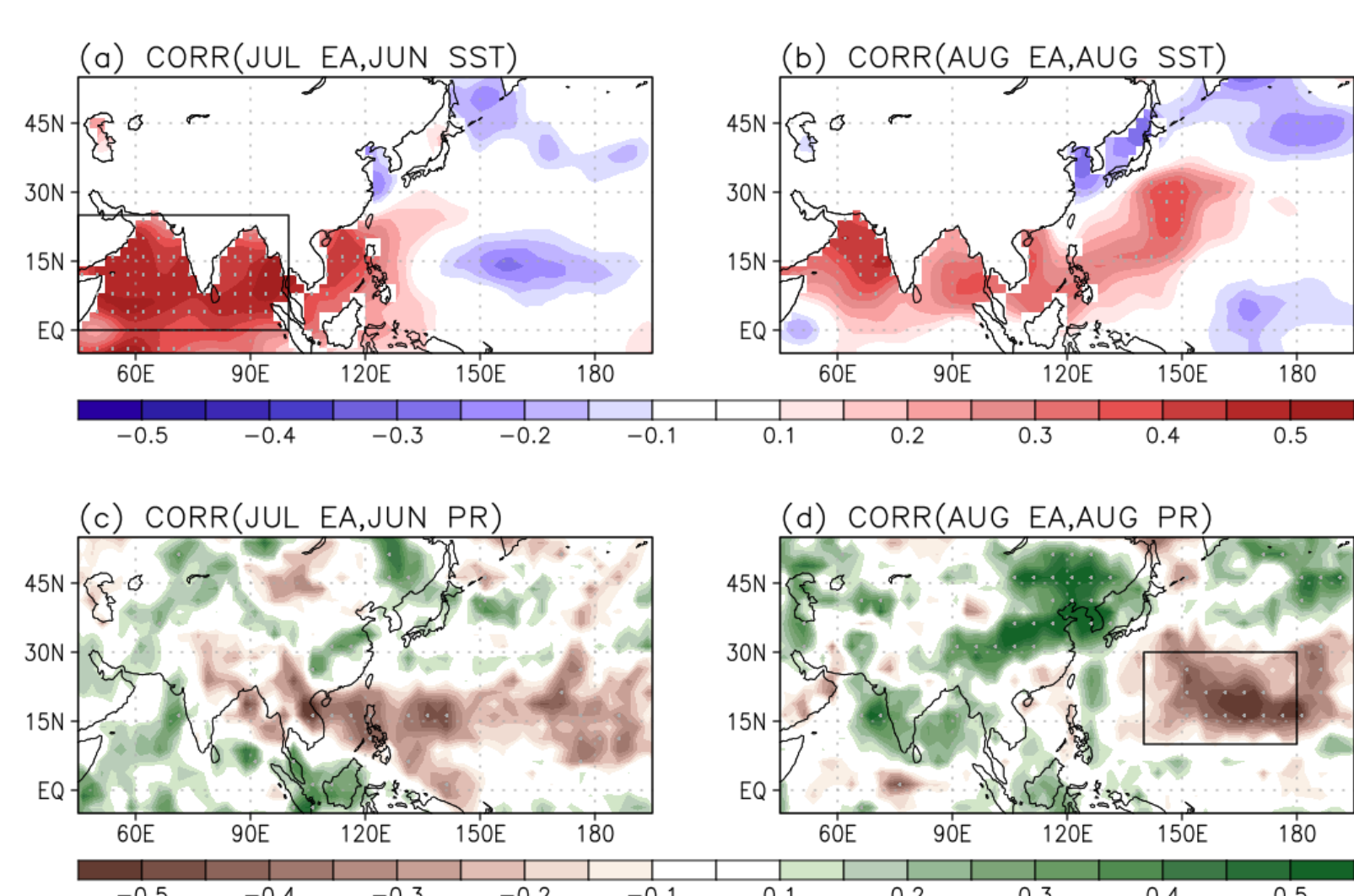


그림 2. 7월 동아시아 강수 지수와 6월 (a) SST, (c) 강수의 지연 상관관계, 8월 동아시아 강수와 8월 (b) SST, (d) 강수의 동시 상관관계. 동아시아 강수 예측인자 네모로 표시.

- 7, 8월 동아시아 강수 발생과 관련한 SST, 강수 패턴 분석
- 7월 동아시아 강수 증가는 한달 선행하는 6월 열대 인도양 SST 상승과 유의미한 상관관계
- 8월 동아시아 강수 증가는 동시상관의 아열대 북서태평양 강수 감소와 유의미한 상관관계
- 열대 인도양 SST, 아열대 북서태평양 강수 변동성과 관련한 대기순환 및 동아시아 강수 발생 역학 이해 필요

결과

7월 동아시아 강수 발생 메커니즘: 6월 열대 인도양 SST 상승 관련

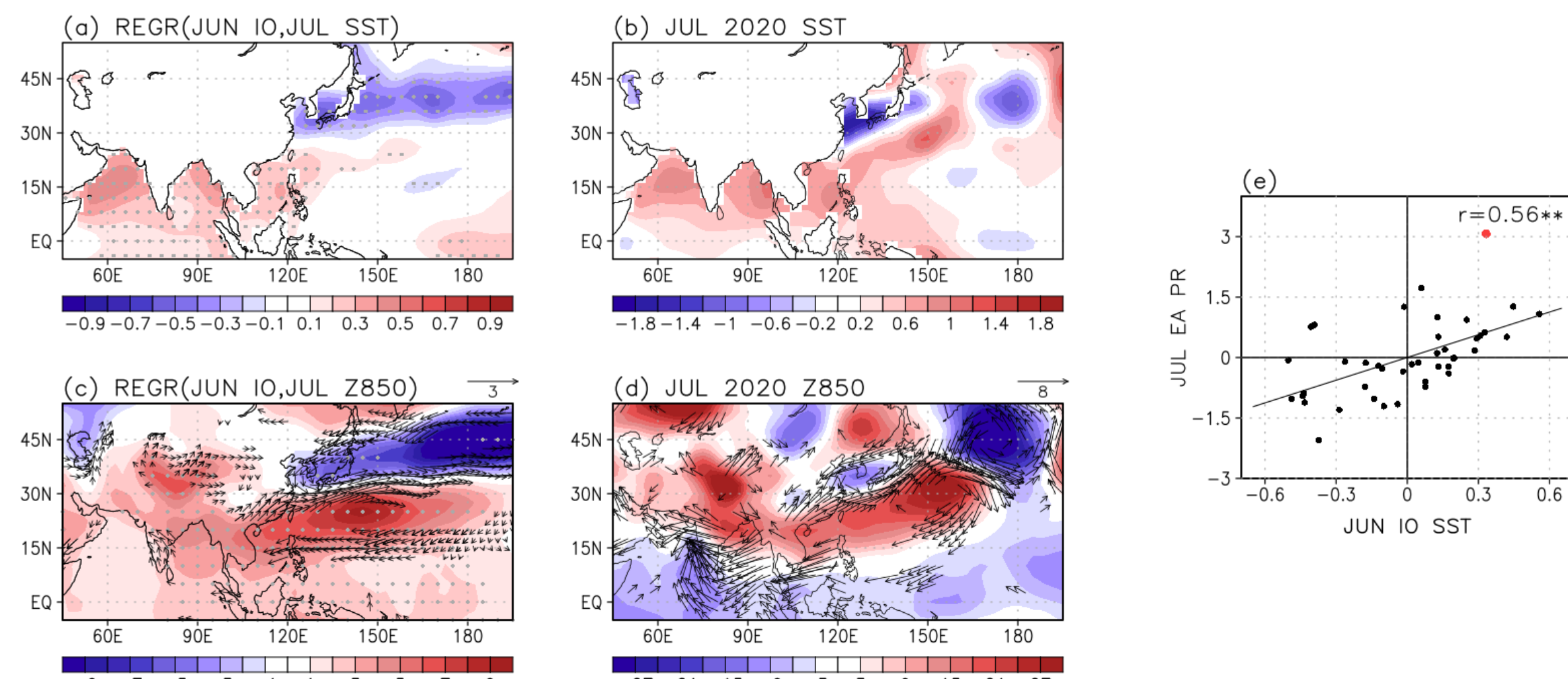


그림 3. 6월 인도양 SST 지수로 회귀분석한 7월 (a) SST, (c) 850 지위고도 대기순환 (2020년 6월 인도양 SST 값을 곱함), 2020년 7월 (b) SST, (d) 850 지위고도 아노말리. (e) 6월 인도양 SST 지수와 7월 동아시아 강수 관련성. 2020년 값 빨간색 점으로 표시.

- 6월 인도양 SST 상승으로 적도 대기의 온도가 상승하고, 대기 중 발생한 적도 켈빈 파가 서태평양으로 동진. 적도 서태평양에서 에크만 수렴, 아열대 북서태평양에서 발산이 나타나 북서태평양의 대류활동을 억제하고 고기압 유도 (Indo-western Pacific Ocean Capacitor (IPOC) 모드; Xie et al. 2009)
- 북서태평양 고기압과 Pacific-Japan (PJ; Nitta, 1987) 패턴으로 발생한 동아시아의 저기압 사이에 위치한 남서풍 아노말리가 따뜻하고 습한 열대의 공기를 수송. 7월 동아시아에 동서방향으로 긴 형태의 강수대 발생
- 6월 인도양 SST 지수로 회귀분석한 7월 SST, 하층 대기순환 패턴은, 2020년 7월에 관측된 SST, 하층 대기순환 패턴과 유사하며 높은 공간 상관관계를 나타냄 (SST 0.52, 하층 대기순환 0.66)
- 정량적으로 6월 인도양 SST와 7월 동아시아 강수는 0.56의 유의미한 상관관계를 나타냄
- 6월 열대 인도양 SST 상승이 7월 동아시아 강수의 발생에 기여할 수 있음을 제시

8월 동아시아 강수 발생 메커니즘: 8월 북서태평양 강수 감소 관련

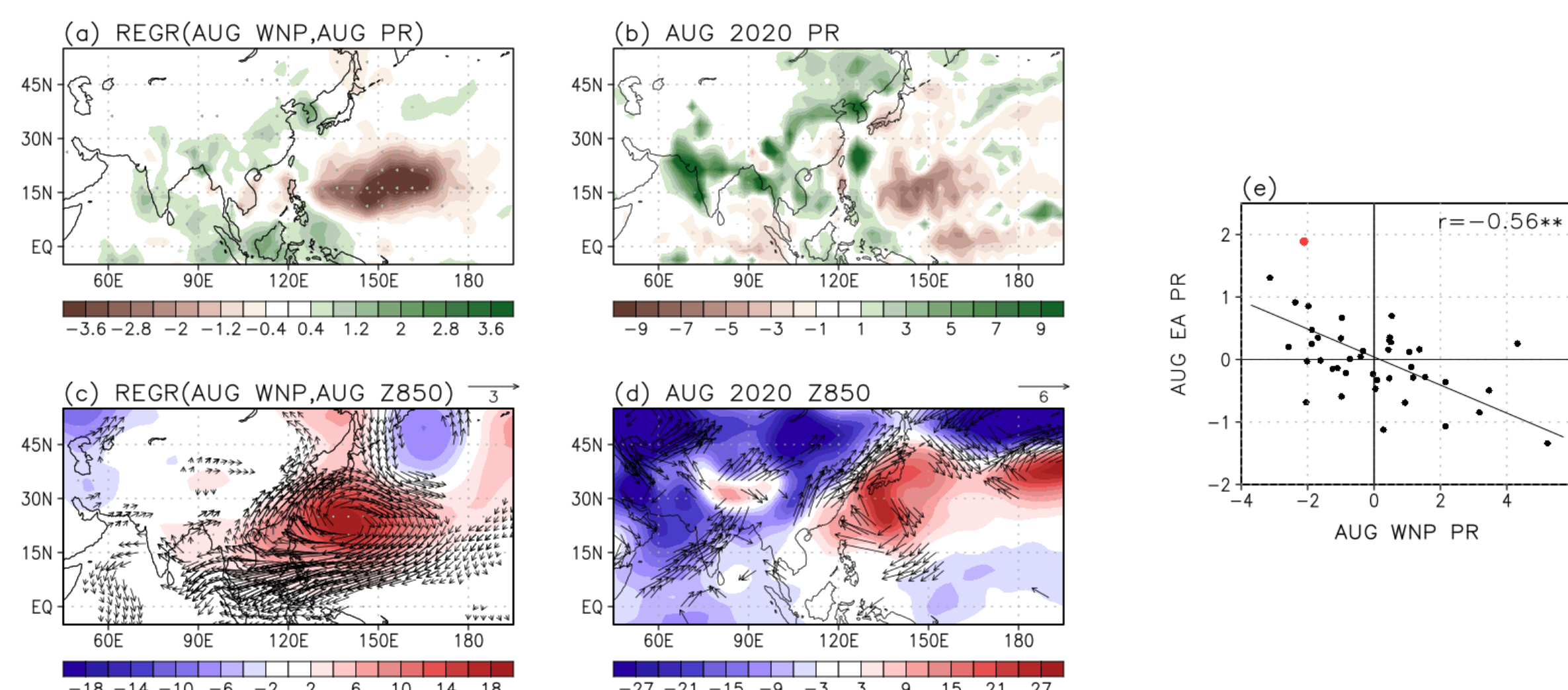
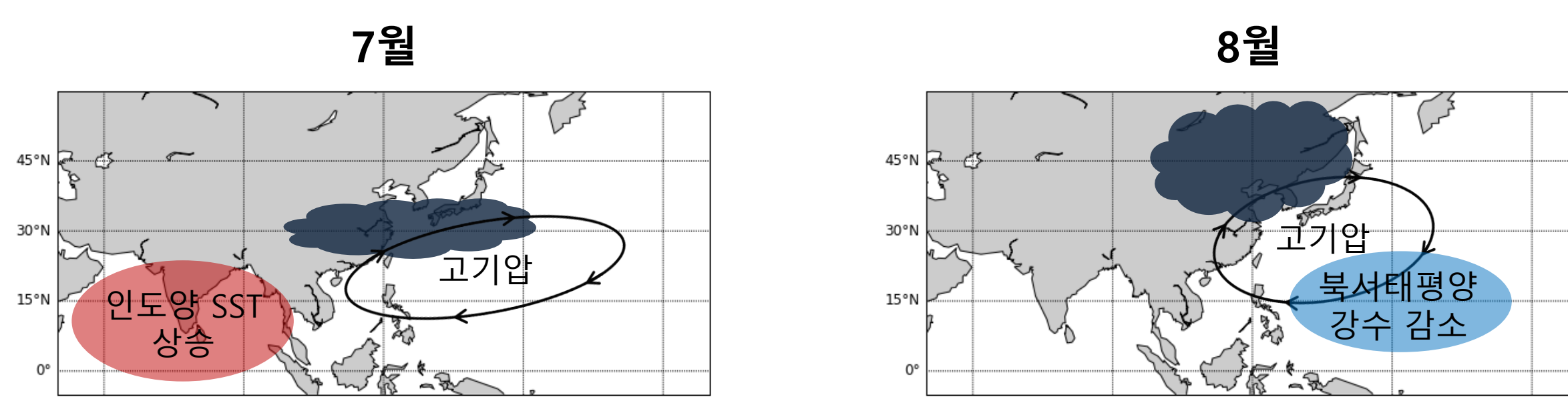


그림 4. 8월 북서태평양 강수 지수로 회귀분석한 8월 (a) 강수, (c) 850 지위고도 대기순환 (2020년 8월 북서태평양 강수 값을 곱함), 2020년 8월 (b) 강수, (d) 850 지위고도 아노말리. (e) 8월 북서태평양 강수 지수와 8월 동아시아 강수 관련성. 2020년 값 빨간색 점으로 표시.

- 8월 북서태평양 강수 감소에 의한 로스비 반응으로 대기 하층 고기압 발생. 아열대 강제력은 적도에서 다소 떨어져 있기 때문에 상대적으로 고위도에서 대기 반응이 나타남.
- 아열대 고기압에 의한 남서풍 영향으로 7월에 비해 상대적으로 북서쪽에 동아시아 강수대 위치
- 8월 북서태평양 강수 지수로 회귀분석한 8월 강수, 하층 대기순환 패턴은, 2020년 8월에 관측된 강수, 하층 대기순환 패턴과 유사하며 높은 공간 상관관계를 나타냄 (강수 0.42, 하층 대기순환 0.66)
- 정량적으로 8월 북서태평양 강수와 8월 동아시아 강수는 -0.56의 유의미한 상관관계를 나타냄
- 8월 아열대 북서태평양 강수 감소가 8월 동아시아 강수의 발생에 기여할 수 있음을 제시

요약 및 토의



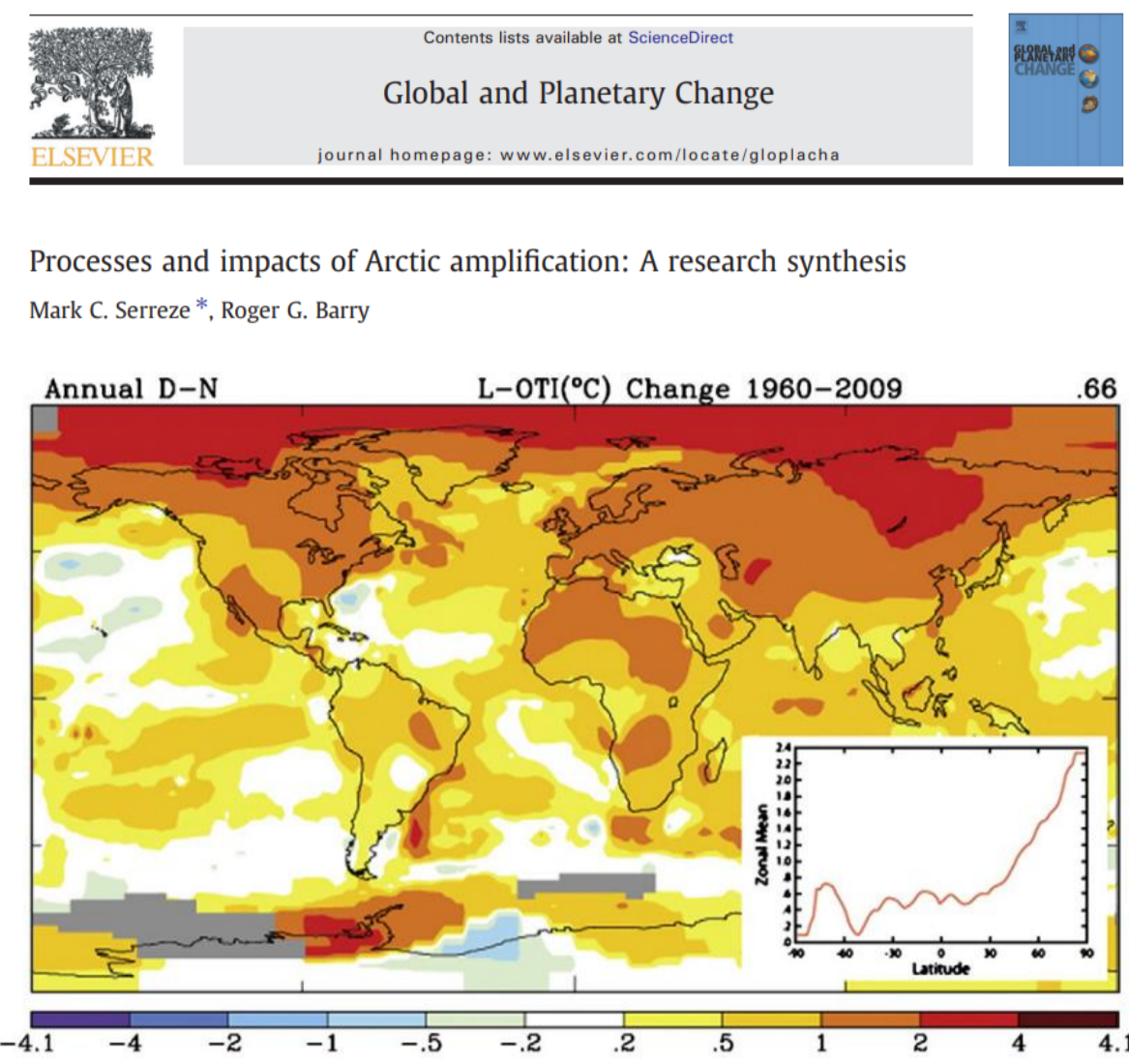
- 2020년 기록적인 동아시아 여름 강수 발생에 대한 열대 관련성 제시 및 메커니즘 분석
- 7월 강수: 6월 인도양 SST 상승 -> 북서태평양 하층 고기압 (IPOC 모드) -> PJ 패턴
- 8월 강수: 8월 북서태평양 강수 감소 -> 북서태평양 하층 고기압 (로스비 반응)
- 북서태평양 고기압의 북서쪽에 위치한 남서풍 아노말리가 열대의 따뜻하고 습한 공기 수송하여 동아시아 강수 발생
- 2020년 여름 인도양 SST 상승에는 2019년 가을에 발생한 강한 Indian Ocean Dipole (IOD) 모드, 2019/20년 겨울 엘니뇨가 영향을 줄 수 있음이 선행연구에서 제시됨
- 8월 북서태평양 강수 변동성은 열대 대서양 SST 변동성 및 북태평양 평균 ITCZ의 북상에 따른 변동성 증가, 상층 대기 전파 등의 역학이 기여할 수 있음
- 다만, 7, 8월 북서태평양 강수 변동성의 연속성, 독립성 등에 대해서는 추가적인 연구가 필요함
- 열대 지역은 예측모형에서 비교적 정확도가 높은 지역이기 때문에, 본 연구에서 제시된 열대 인자를 이용하면 실제 동아시아의 7, 8월 강수를 예측하는데 도움이 될 것으로 기대됨

Influences of Arctic warming on summer over East Asia



Da-Seul Kim¹⁾, Jong-Seong Kug¹⁾, Sang-Yoon Jun²⁾ and Myong-In Lee³⁾
 1) Pohang university of Science and Technology (POSTECH)
 2) Korea Polar Research Institute (KOPRI)
 3) Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

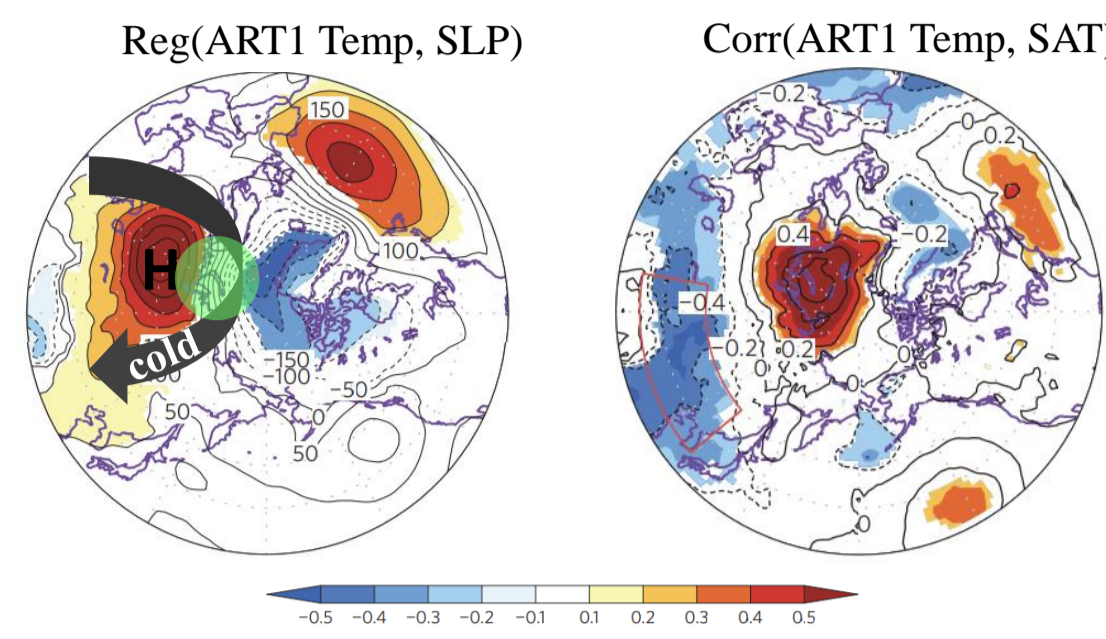
Background



(Serreze et al. 2011)

Published: 31 August 2015
Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia

Jong-Seong Kug, Jee-Hoon Jeong[✉], Yeon-Soo Jang, Baek-Min Kim, Chris K. Folland, Seung-Ki Min & Seok-Woo Son
Nature Geoscience, 8, 759–762(2015) | Cite this article
 1455 Accesses | 230 Citations | 215 Altmetric | Metrics

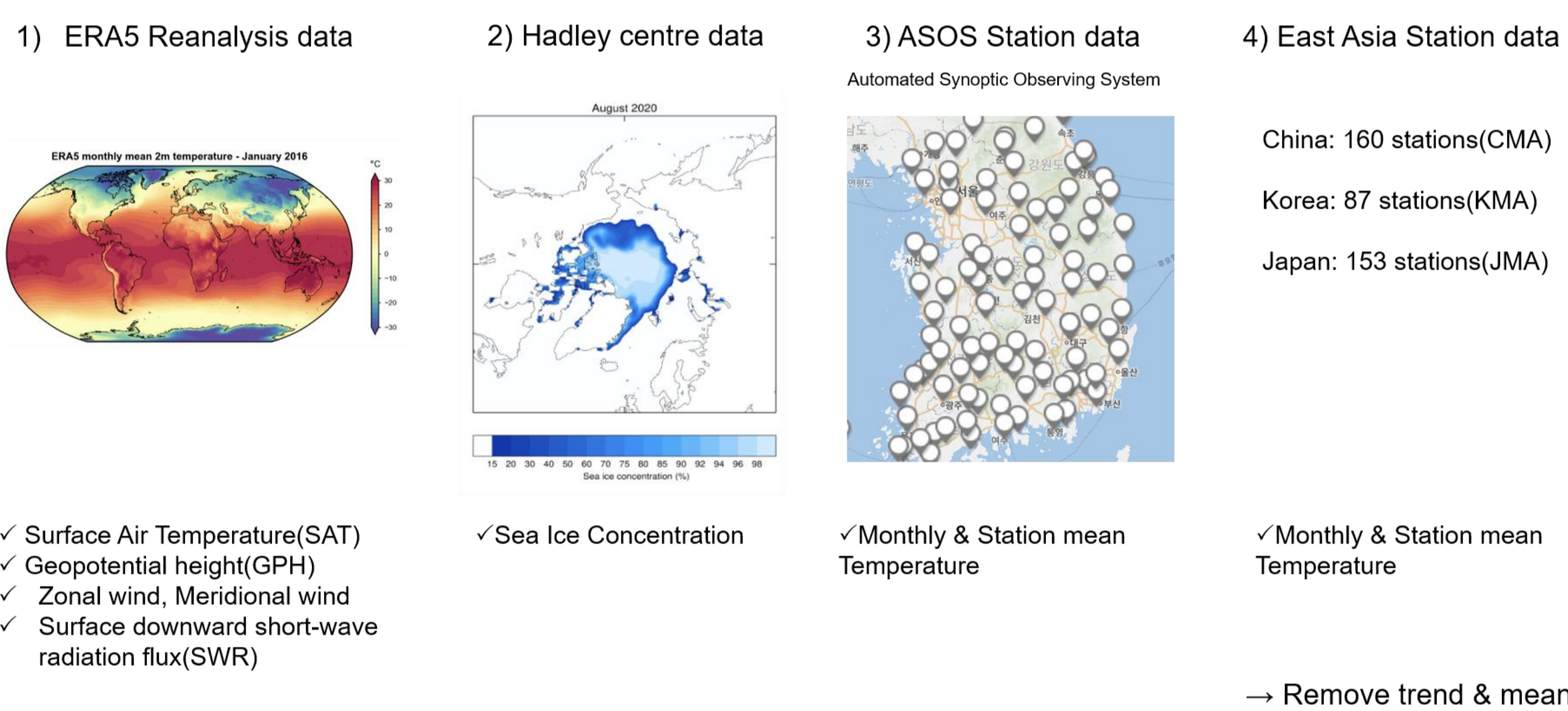


(Kug et al. 2015)

The Arctic region is known to be sensitive to global warming. By considering the annual average trend for 50 years from 1960 to 2009, the warming rate of the Arctic region becomes twice, comparing to the Northern Hemisphere average. Recently, many previous studies suggest that warming in the Arctic region can affect the mid-latitude climate.

When the high temperature over the Barents Kara Sea, high pressure appears in Western Russia. When the high pressure is formed in Russia, the Russia cold winds are carried over to East Asia, causing cold winter over East Asia. That is, when the temperature over Barents Kara Sea is high, the winter East Asian monsoon intensifies, resulting in a cold winter.

Data



The data used for the study are surface temperature, geopotential height, wind, shortwave radiation in the ERA5, sea ice concentration in the Hadley Centre, and station monthly average temperature data in Korea, China and Japan Meteorological Administration. The data period is 41 years from 1979 to 2019.

Results

1. SIC index and SAT index

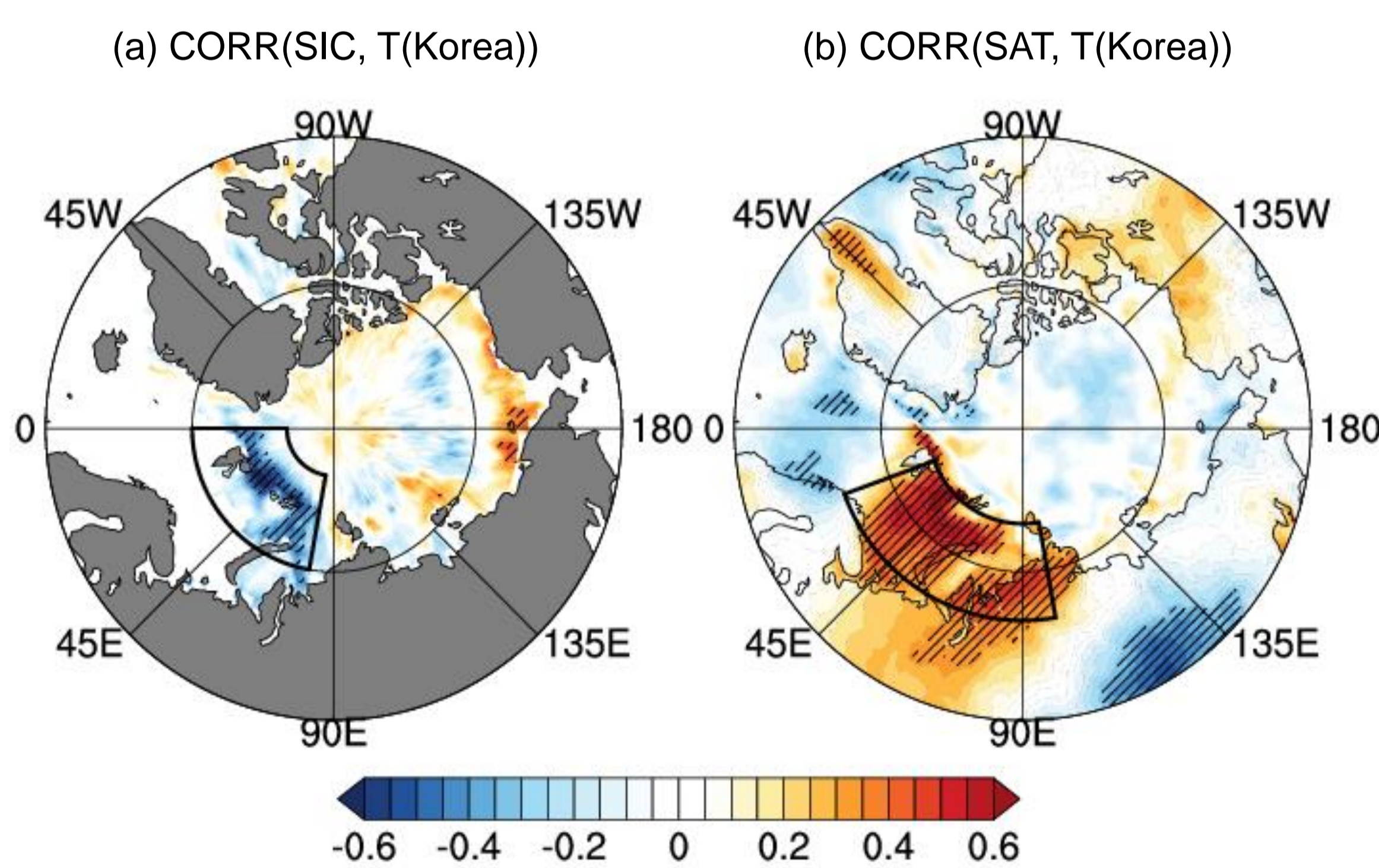


Figure 1. A month lag correlation between the average temperature over the Korea Peninsula in August with the (a) surface air temperature (SAT) and (b) sea ice concentration (SIC) over the Arctic region in July. Hatched areas are regions that are significant at the 95% confidence level of r test.

$$\text{combined index} = \frac{-\text{Norm}(\text{SIC index}) + \text{Norm}(\text{SAT index})}{2} = \frac{-\text{SIC index}}{\sigma_{\text{SIC index}}} + \frac{\text{SAT index}}{\sigma_{\text{SAT index}}}$$

The sea ice concentration (SIC) and surface air temperature (SAT) in the Barents-Kara (B-K) Sea in July have a strong correlation with the temperature on the Korean Peninsula in August. Regions having a high correlation with the temperature of the Korean Peninsula were defined as SIC index and SAT index, respectively.

The combined index is defined as the average of the normalized SIC index and SAT index. The correlation coefficient between the combined index in July and the average temperature on the Korean Peninsula in August is about 0.69 in the 99% confidence range.

2. Correlation between combined index and temperature in East Asia

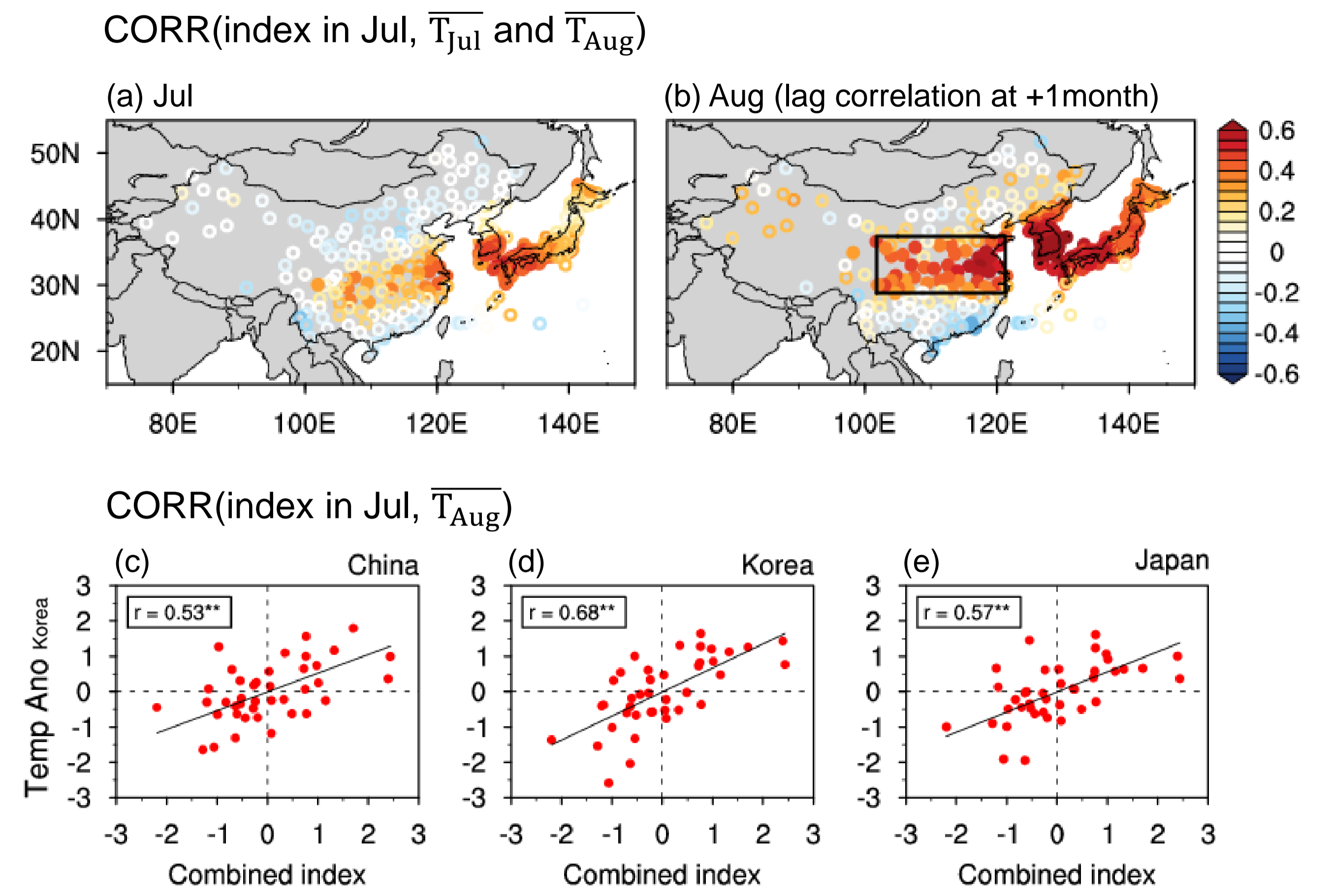


Figure 2. Correlation coefficient of Combined index in Jul and the monthly mean temperature over the East Asia(EA) in (a) July and (b) August. Filled circles denote values over 95% confidence level based on the r test. Scatter diagram between combined index in July and the average temperature over (c) China (black box), (d) Korea, and (e) Japan in August. ** denotes that the value is significant at the 99% confidence level based on the r test.

The combined index is positively correlated with the July mean temperature in weather stations located in 25N-35N. However, the positive correlations become higher and more significant in August. The higher lag correlation than the simultaneous correlation suggests that the Arctic signals can be used as a precursor of the East Asia temperature. The correlation coefficients are 0.53, 0.68, and 0.57 for China (black box), Korea and Japan, respectively, which are all significant at the 99% confidence level.

3. Upper level atmospheric pattern (barotropic)

Regression(index in Jul, Z200 in Jul and Aug)

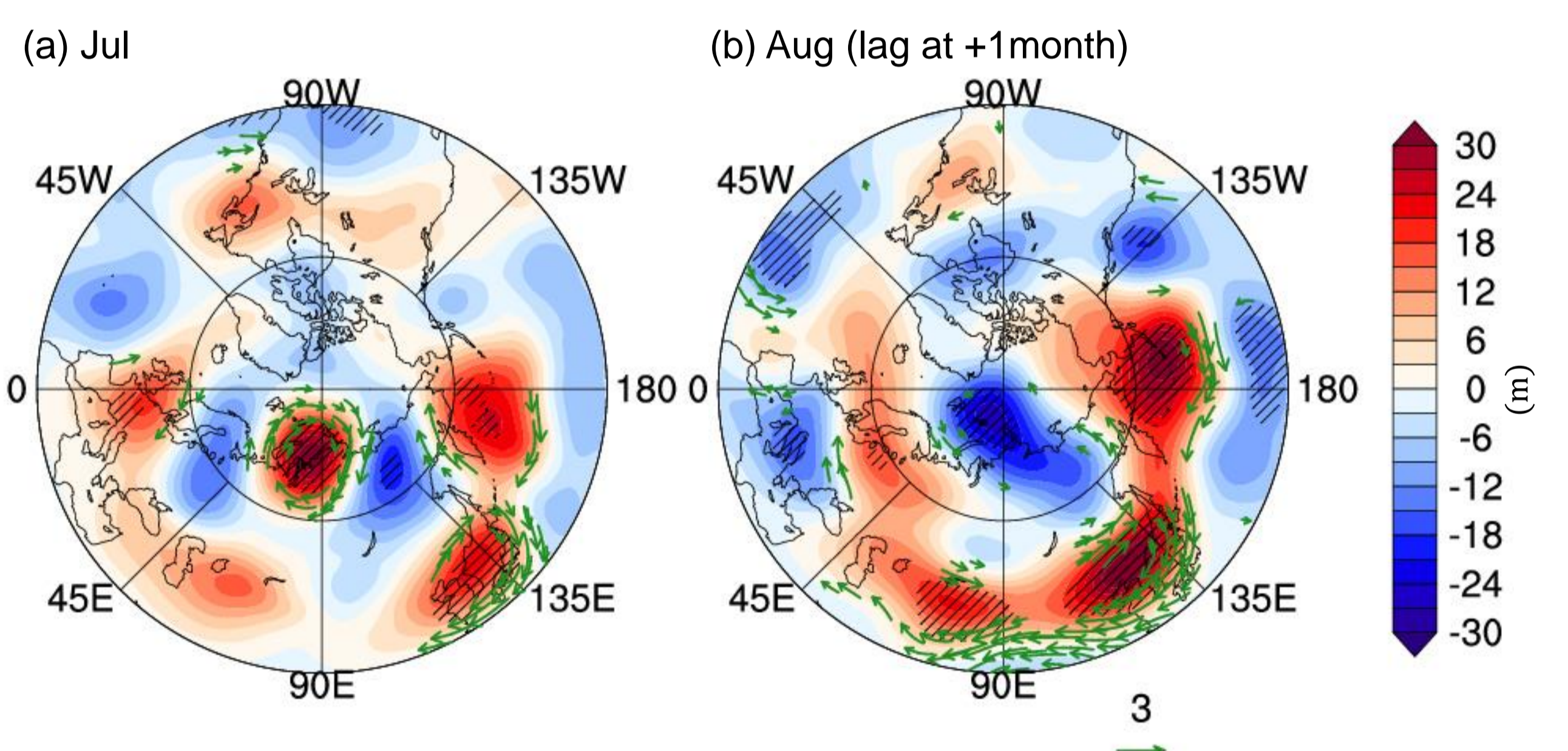


Figure 3. Regression coefficients of the geopotential height(GPH) anomalies (shading) and wind anomalies (vector) at 200 hPa in (a) Jul and (b) Aug onto the combined index in July. Hatched and vectored areas are regions that are significant at the 95% confidence level of r test.

There is strong anticyclonic circulation over the Kara Sea, which has a barotropic structure. It is possibly a response of the warm surface forcing. It is interesting that there is clear wave train pattern from the Atlantic to the Pacific in July.

In August, the wavetrain pattern in July disappear, and the cyclonic circulation is established in Kara and Laptev Sea. The anticyclone circulation is further intensified and slightly shifted to the East. Consistently, the anticyclone circulation over the Korean Peninsula is largely amplified. The enhanced anticyclone can directly affect the warming in East Asia

4. Temperature rise due to increase in SWR and warm advection

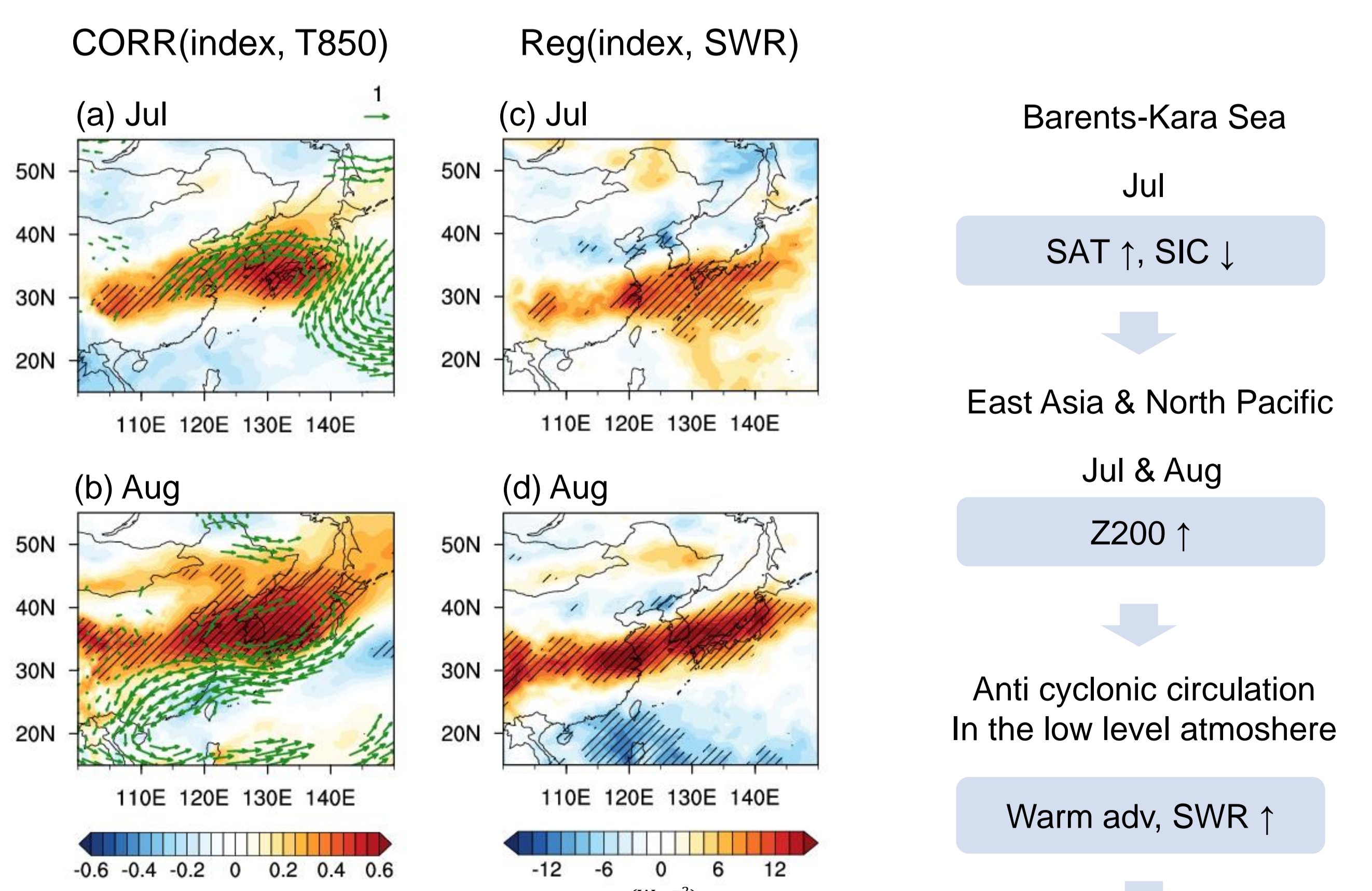
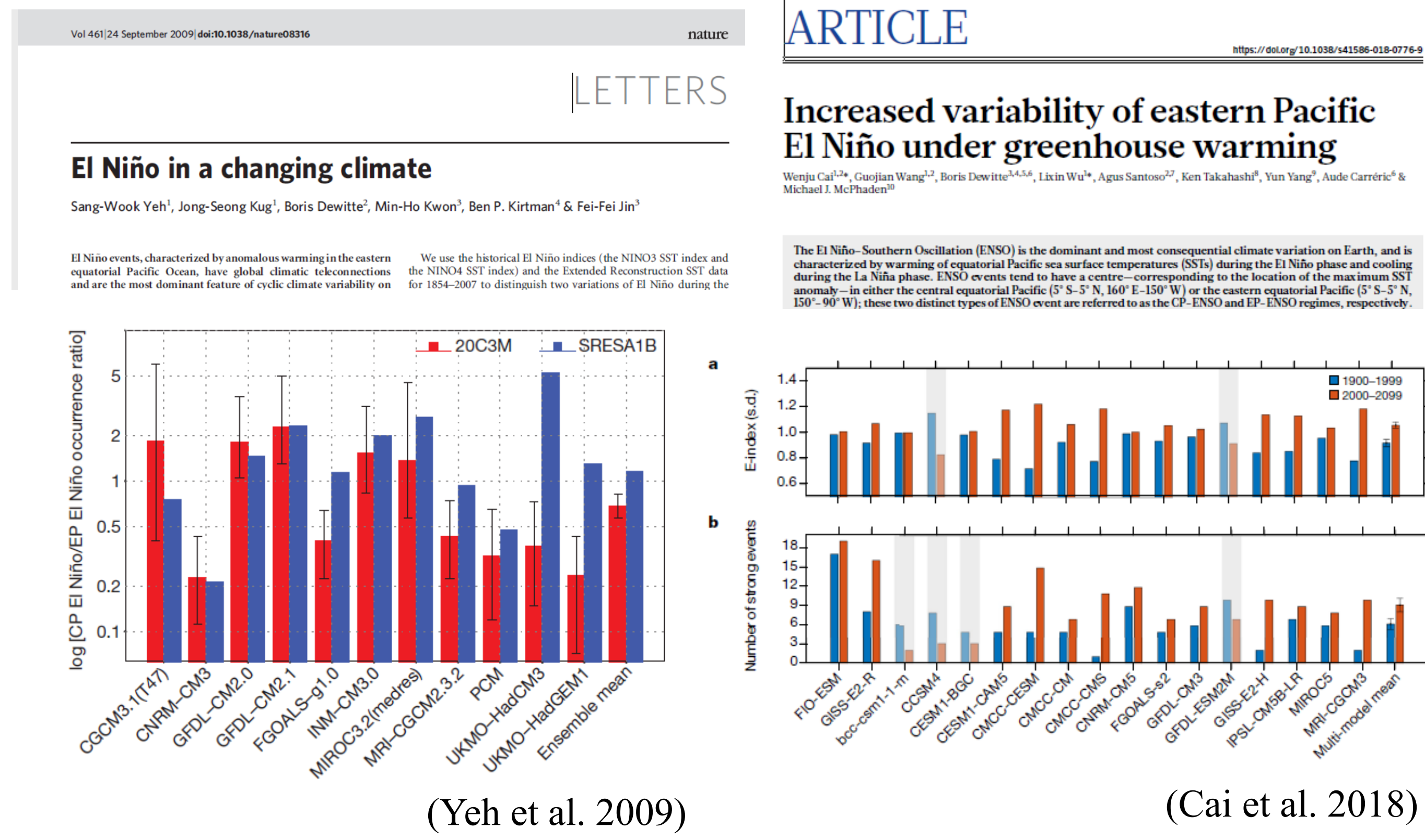


Figure 4. Correlation coefficient of temperature anomalies (shading) and regression coefficients of wind (vector) anomalies at 850 hPa in (a) July and (b) August with combined index in July. And the regression coefficient of downward short wave radiation(SWR) anomalies at 850 hPa in (c) July and (d) August with combined index in July. Hatched and vectored areas are regions that are significant at the 95% confidence level of r test.

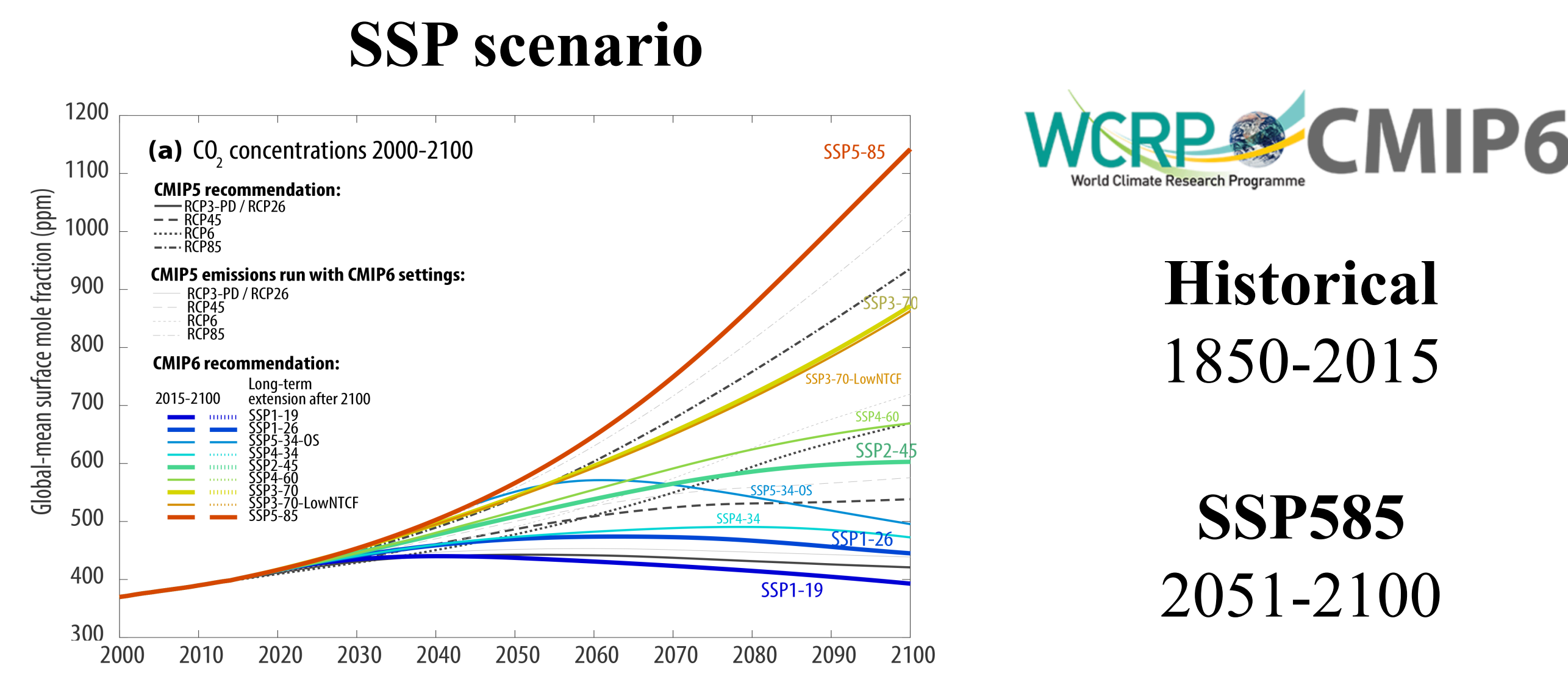
Background



Under the climate change, previous studies have been conducted steadily on how ENSO diversity will change. Especially, changes to the spatial diversity has also been noted. Yeh et al. 2009 argued that central Pacific (CP) type El Niño would increase, while Cai et al. 2018 claimed that eastern Pacific variability would increase the occurrence of strong eastern Pacific (EP) type El Niño.

Since the results of both studies appear contradictory, we would like to examine the change of ENSO diversity in a warmer climate through this study.

Data



We used climate model data in the Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6). Due to the different variables provided for each model, 30 for SST, 16 for the zonal wind stress and zonal current, and 20 for potential temperature were used. The trend and seasonality are linearly removed.

More CP-type El Niño

Observation

< Peak detection >

1. Moving average with 30° window along the longitude
2. Select > 1STD (in NDJ)
3. Detect maximum SSTA peak as a center of El Niño

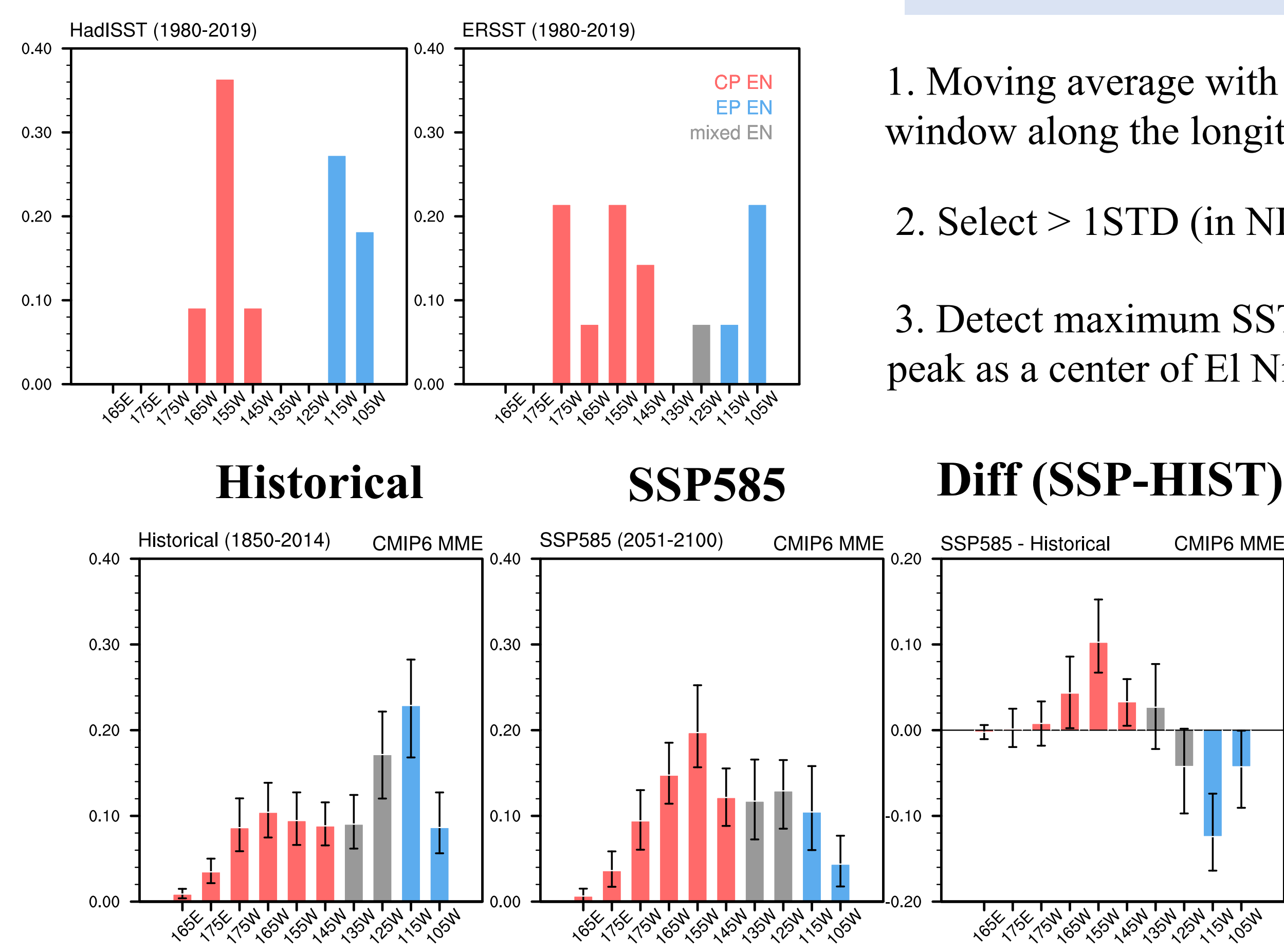


FIG. 1. Identifying the changes of distribution of El Niño center. Probability density functions (PDFs) of El Niño longitudinal center. First row represents the distribution in the reanalysis data for the ERSST and HadISST. Second row represents the distribution of the multi-model ensemble mean in the CMIP6 30 models during Historical period, last 50-yr of SSP585, and difference between Historical and SSP585. The red, blue, gray bars denote the CP El Niño, EP El Niño, and mixed-type El Niño, respectively. The error bars indicate 95% confidence level through bootstrap method.

In observation, the PDF of El Niño peaks have bimodal distribution with a local minimum at 125-135W. Although weaker than observations, CMIP6 MME also has a bimodal distribution. The difference in the probability clearly shows that the probabilities at 165W to 145W are significantly increased and they at 115W to 105W are significantly decreased. This suggest that the CP El Niño will occur more frequently in a warmer climate.

Enhanced variability of EP-type El Niño

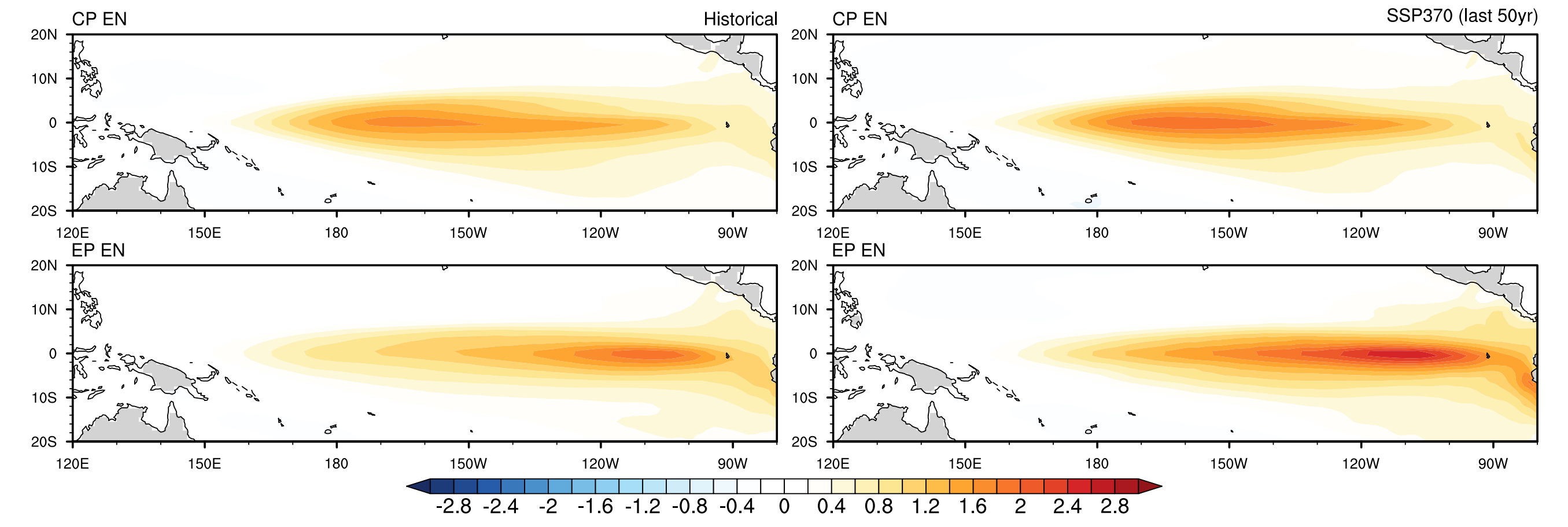


FIG. 2. Enhanced magnitude of EP-type El Niño. Composite of each El Niño. First row is for the CP-type El Niño and second row is for the EP-type El Niño. Left column is for the historical period and right column is for the SSP585 scenario. Shades indicate 95% confidence level through bootstrap.

The amplitude of both of El Niño increase in a warmer climate. In particular, the magnitude of EP-type El Niño more increased than the CP-type El Niño.

Increased ocean stratification

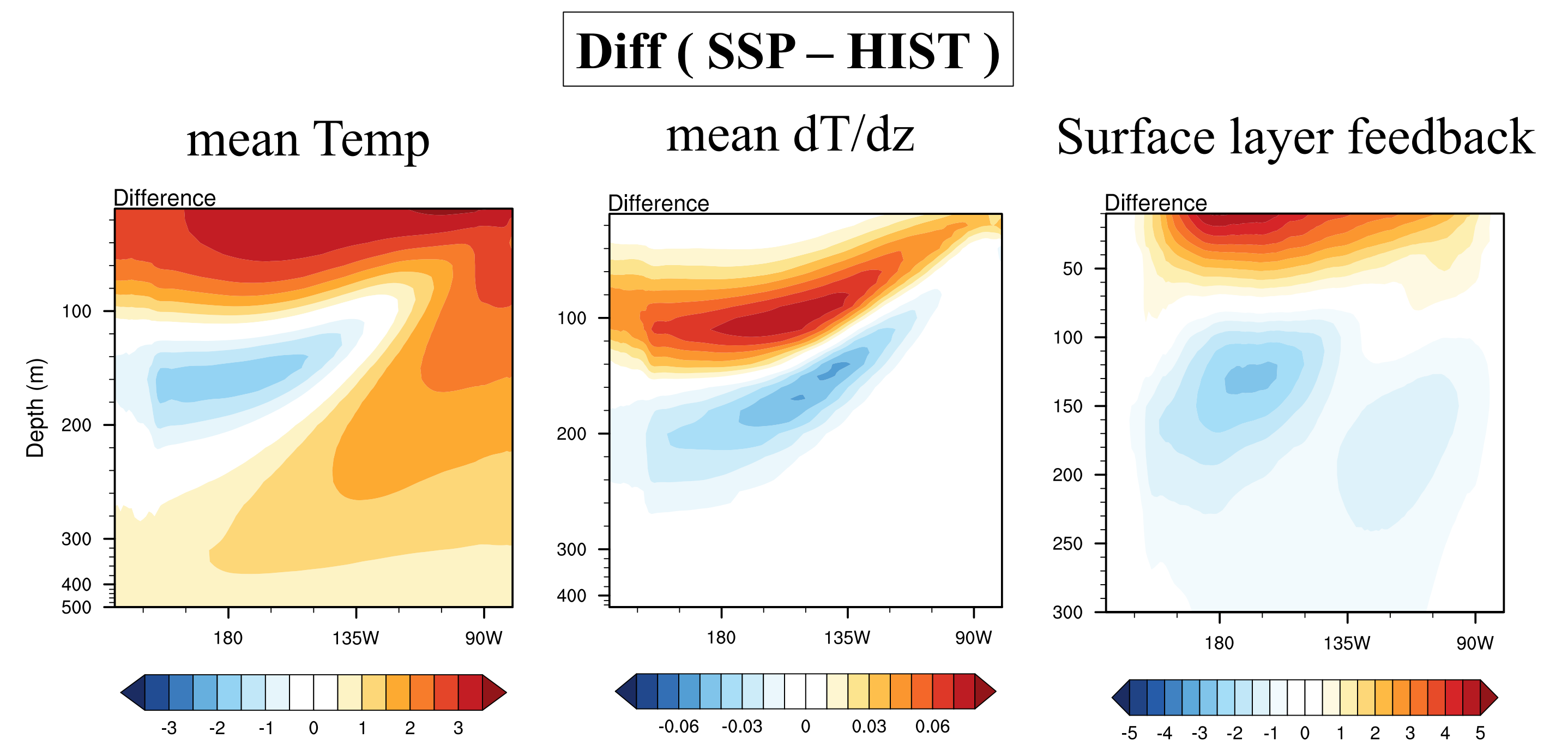
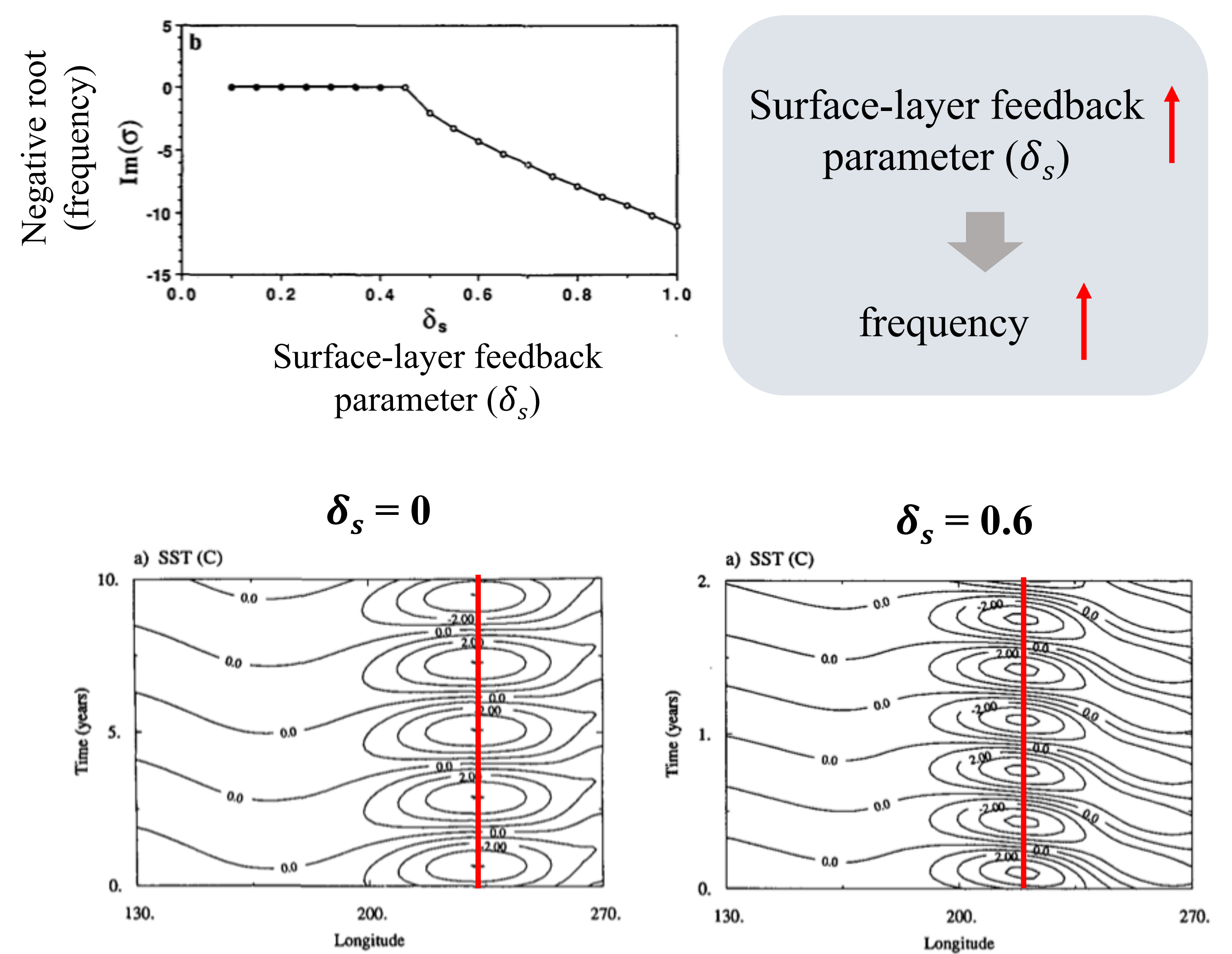


FIG. 3. The reason that increased CP El Niño in a warmer climate : strong stratification and enhanced surface-layer feedback. The difference of vertical climatological temperature (left) and dT/dz (center) under the global warming. The difference of zonal current anomalies response to the zonal-mean (5°S-5°N, 120°E-90°W) zonal wind stress anomalies represent in right. The shadings indicate 95% confidence level. The units are [°C] for left, [°C m⁻¹] for center, and [m³ N⁻¹ s⁻¹] for right.

What causes the robust change in the response to greenhouse warming? Previous studies suggested that the enhanced stratification is responsible for the changes in El Niño diversity. Consistent with the previous studies, the CMIP6 MME commonly simulate the enhanced stratification in the upper ocean. The faster warming in the surface layer increase vertical density difference, indicating stronger stratification. The stronger stratification leads to stronger air-sea coupling. That is, the surface layer responses to a given wind stress anomaly become stronger under the stronger stratification, indicating stronger surface-layer feedback.

Role of increased surface-layer feedback



(Jin and Neelin 1993)

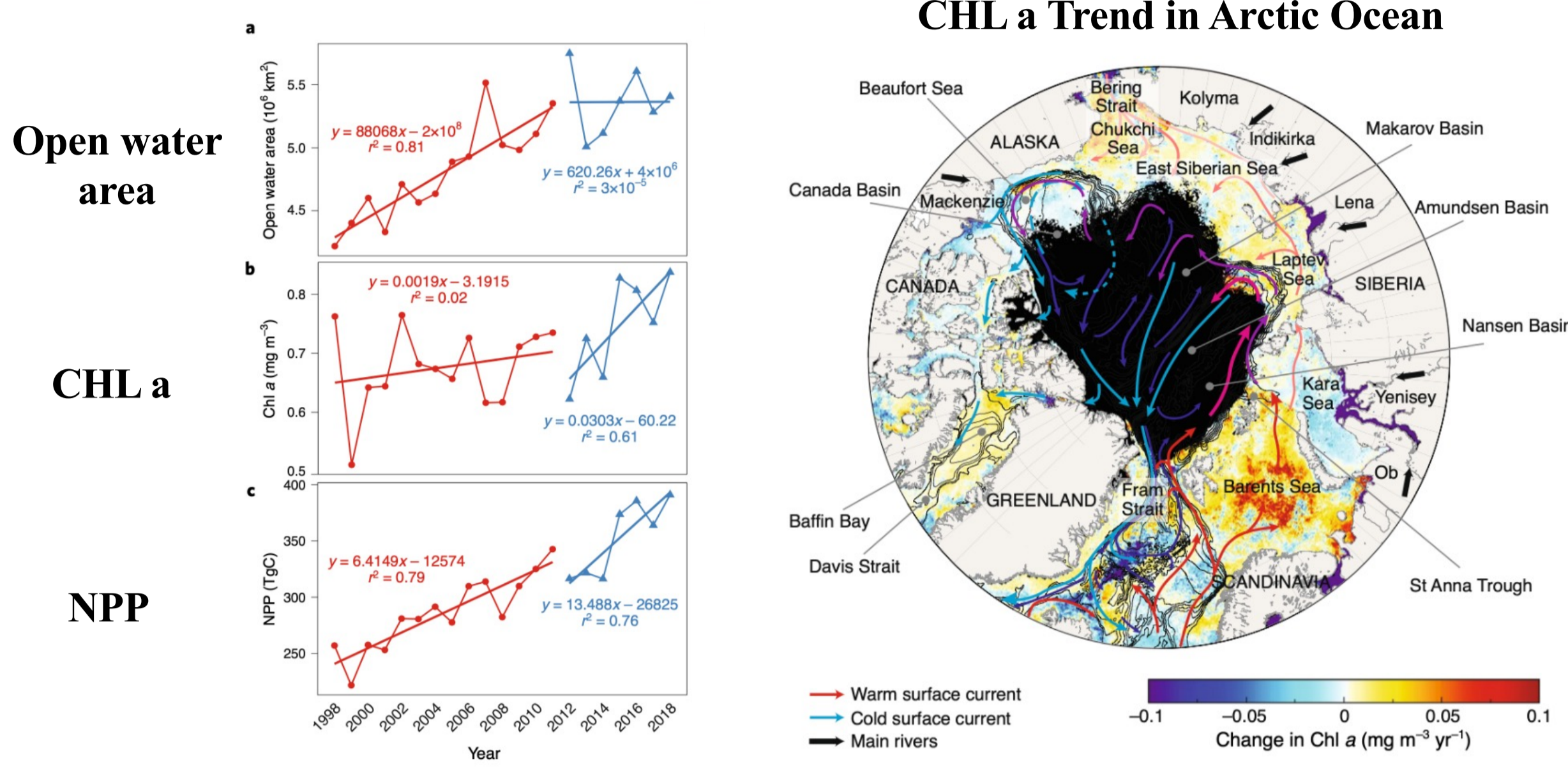
The stronger surface-layer feedback plays an important role in controlling two major ENSO characteristics. First, it leads to stronger ENSO variability by increasing positive feedback, especially, it leads stronger zonal advective, which prefers to shifting active SST center westward. Second, the stronger surface-layer feedback can play a role in shortening ENSO period.

Background

ARCTIC PRODUCTIVITY

Changes in phytoplankton concentration now drive increased Arctic Ocean primary production

K. M. Lewis, G. L. van Dijken, K. R. Arrigo

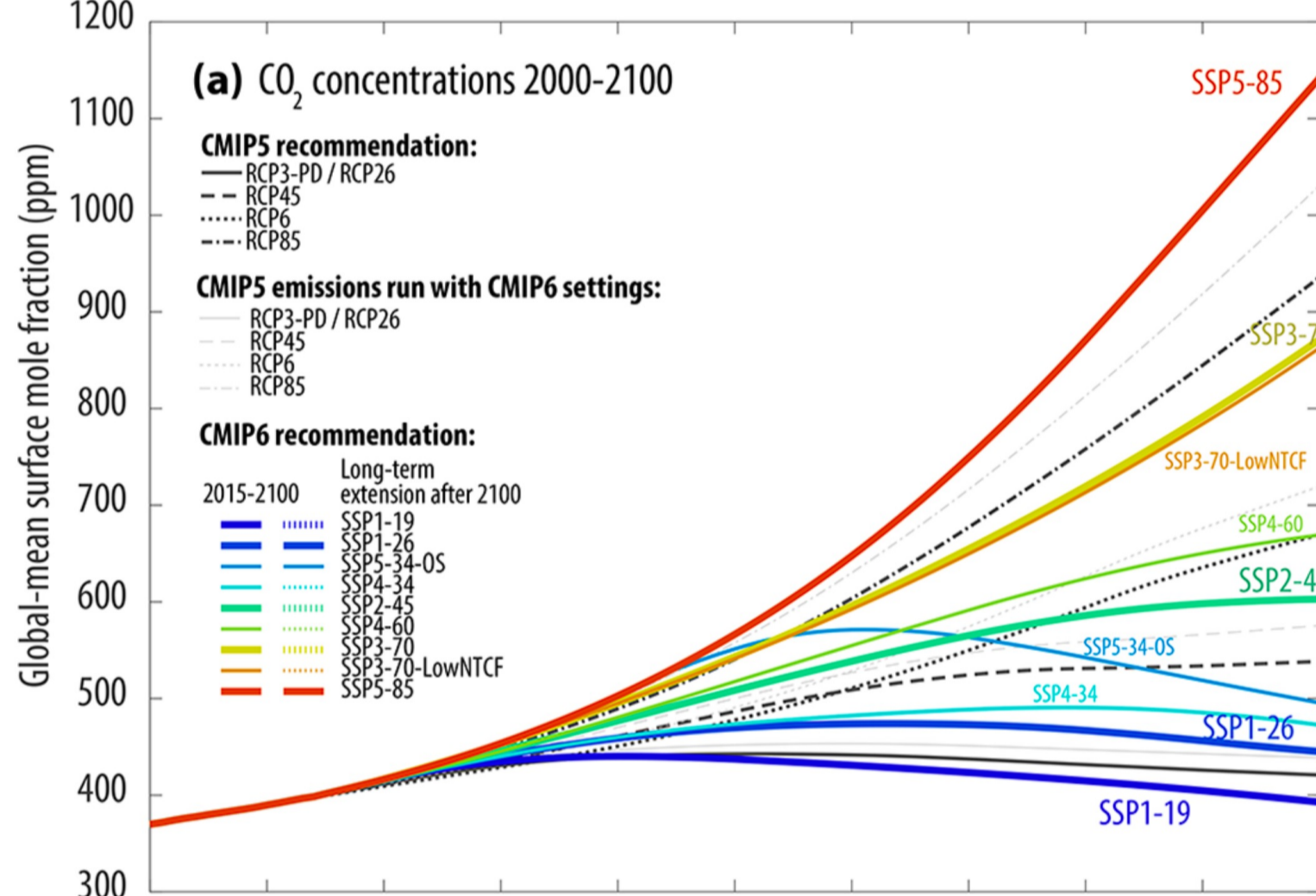


(Lewis et al. 2020)

- Global climates has been suffered by increases in greenhouse gases that especially lead to the **rapid warming** the **Arctic Ocean** than the other regions resulting in enhancing the sea ice melting, intensified vertical stability and increased runoff.
- These environmental changes also have influenced the **phytoplankton dynamics**, such as phytoplankton community and size, blooming timing and biomass, via decreased nutrient supplies, increased light transmissions.
- Precise projection of **chlorophyll** is important for understanding Arctic climate in projection of **net primary production** and **climate feedbacks** in Arctic Ocean.

Data

RCP and SSP scenario



(Meinshausen et al. 2020)



Historical 1850-2015
RCP85 & SSP585 2016-2100

We used Earth System Model data in the **Coupled Model Intercomparison Project** phase 5 and 6 (CMIP6). 13 CMIP5 and 13 CMIP6 models are used for the analysis, which both provided biogeochemical variables, chlorophyll and nitrate, and other physical variables such as surface temperature, salinity, and sea ice concentration.

Results

1. Higher Uncertainty of Chlorophyll Projection

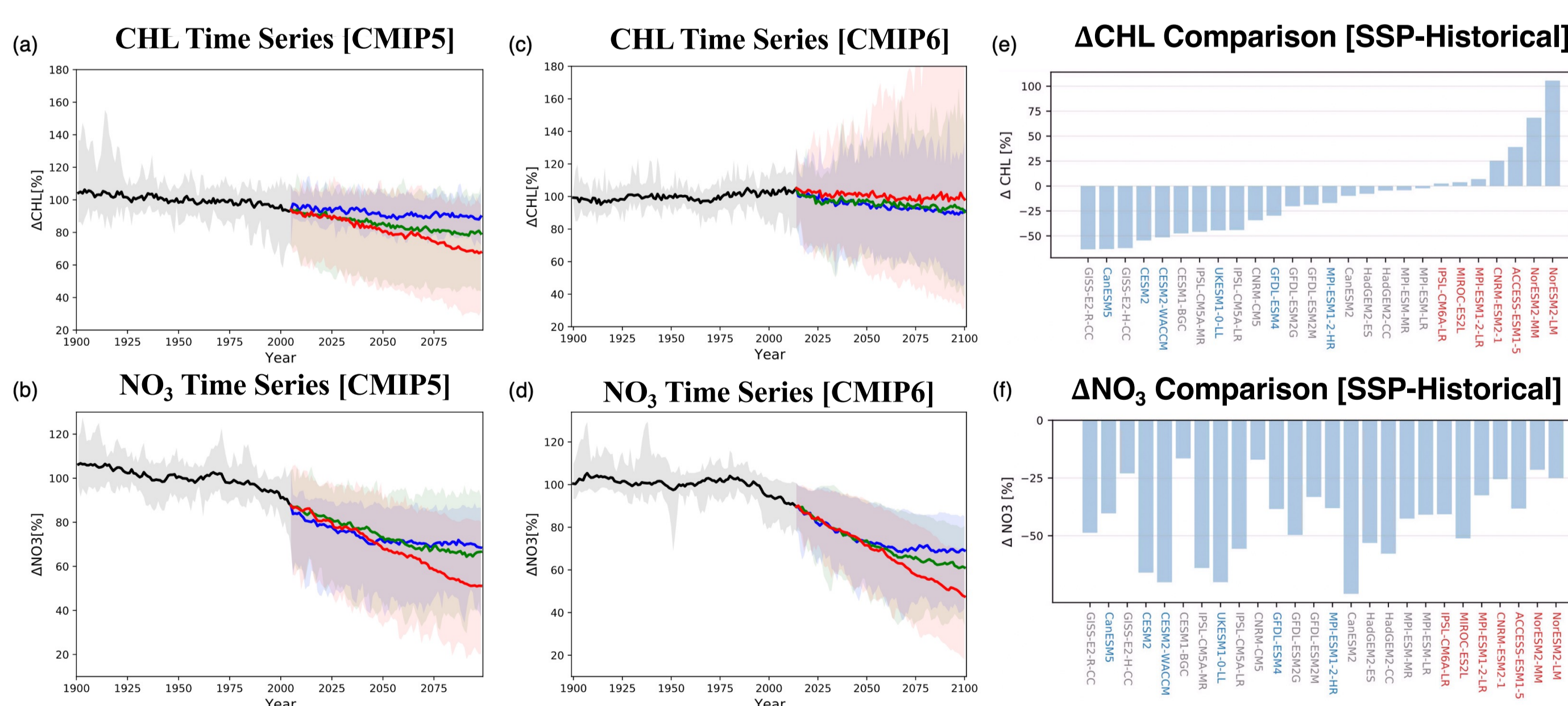


FIG. 1. Projections of chlorophyll and nitrate concentration in the Arctic Ocean. Time series of the annual mean chlorophyll (a,c) and nitrate (b,d) concentration in CMIP5,6 in historical experiment: historical (black), RCP26, SSP1-26 (blue), RCP45, SSP2-45 (green), and RCP85, SSP5-85 (red). Projected chlorophyll change rate (e) under RCP85, SSP5-85 (2090-2099) relative to historical simulations (1980-2000). Projected nitrate change rates (f) relative to historical simulations were arranged by the same order as (e).

- Uncertainty of the chlorophyll projection** in CMIP6 shows larger inter-model spread than CMIP5 despite of the same decline of nitrate concentration projections.
- The order of the nitrate changes has been weak relationship with the order of chlorophyll changes ($r=0.35$). In terms of understanding the inter-model diversity in rates of chlorophyll and nitrate change, we cannot simply conclude that the decrease of the **nitrate** is the dominant factor to determine the **chlorophyll diversity** in future projections.

2. Different Patterns for Chlorophyll Projections

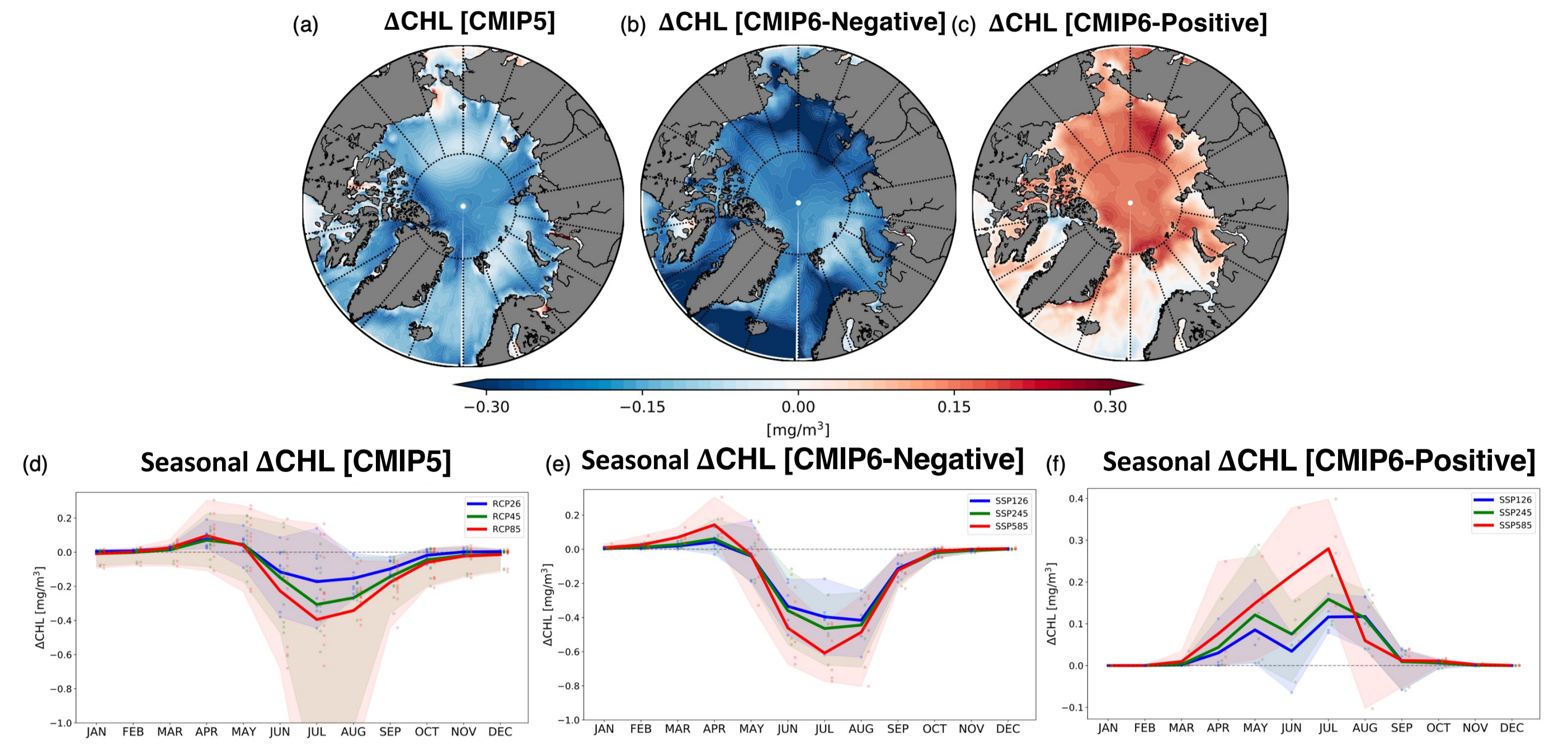


FIG. 2. Spatial distribution and seasonality changes of the chlorophyll projection. The composite map of chlorophyll changes under RCP85, SSP5-85 (2080-2099) to historical simulations (1980-2000): CMIP5 (a), CMIP6-Negative (b), CMIP6-Positive (c). The changes of chlorophyll seasonality on each group: CMIP5 (d), CMIP6-Negative (e), and CMIP6-Positive (f).

- We classify individual CMIP models: CMIP5, CMIP6-Negative, CMIP6-Positive groups depending on chlorophyll projections.
- Strong seasonal difference** is distinctively shown on each group: consistent chlorophyll increase in winter and spring with increased light availability and diverse chlorophyll responses in summer.

3. Large Seasonal Diversity in Boreal Summer

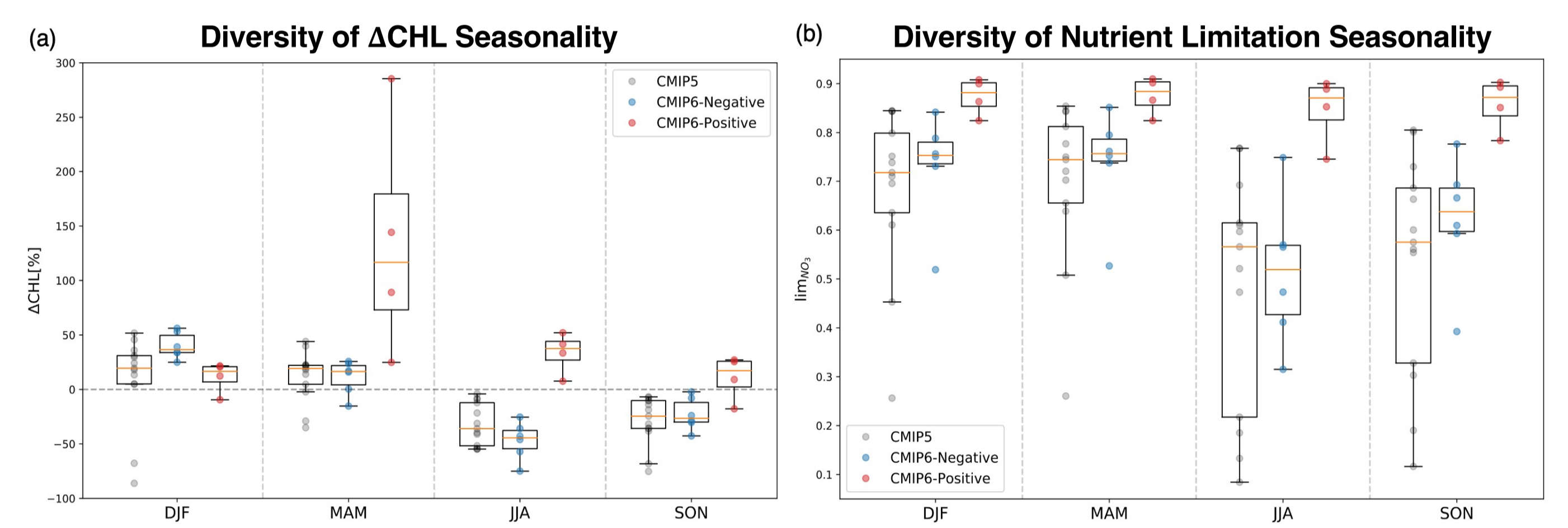


FIG. 3. Diversity of the seasonality in chlorophyll projections and nutrient limitation. Inter-model spreads of chlorophyll change rate (a) and nutrient limitation (b) in each season. Each box means an interquartile range between 25th percentile and 75th percentile and the orange horizontal line shows the median value of each group.

- The **different seasonality** of chlorophyll projections is caused by the nutrient limitations of each group, which is controlled by the **background nitrate concentration**.
- Although the light availability is enhanced by reduced sea-ice in all models, the chlorophyll of each group differently responded to the warming because of the **background nitrate diversity** in the Arctic Ocean.

4. Emergent Constraint for Phytoplankton Changes

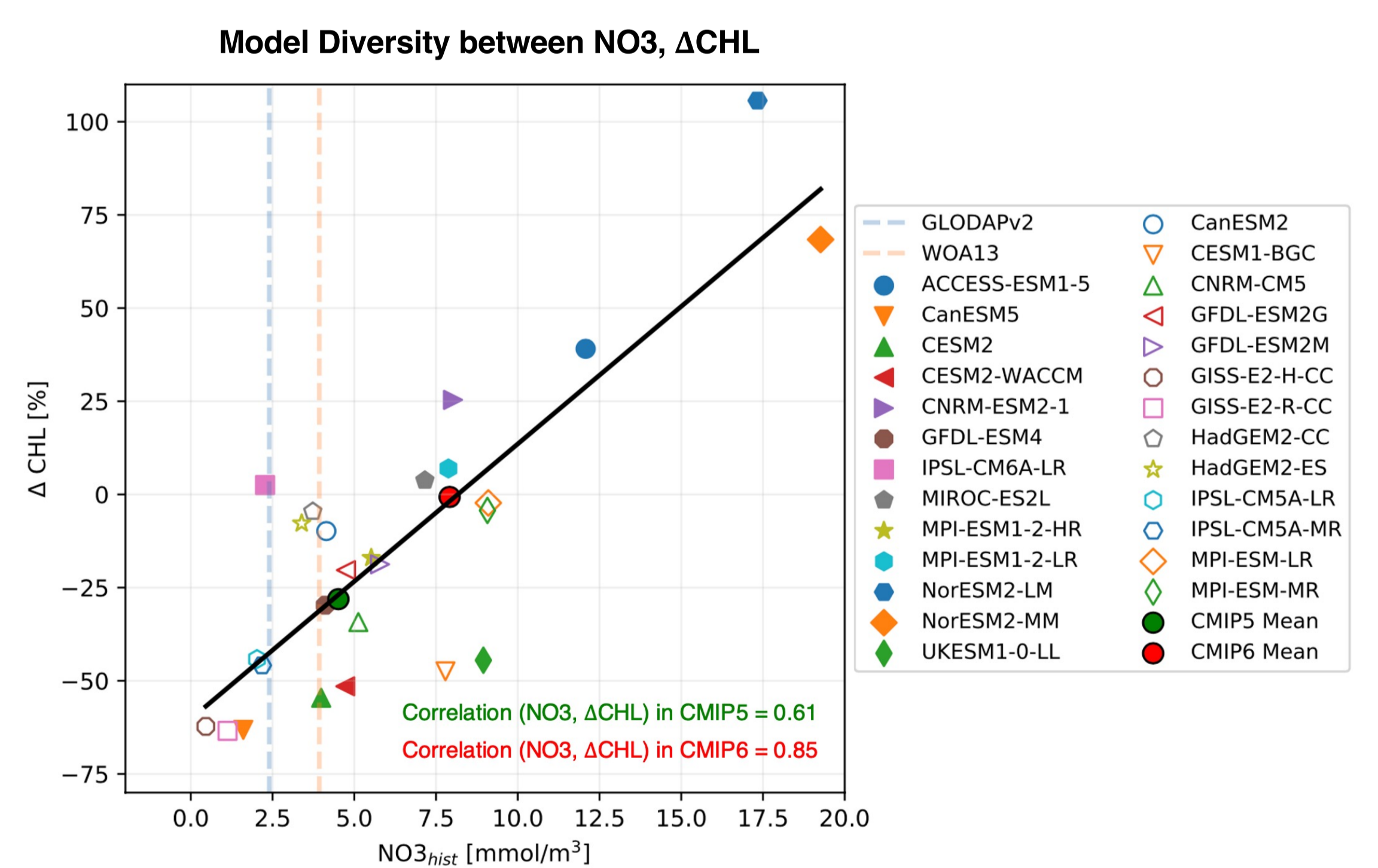


FIG. 4. The inter-model diversity between background nitrate and the chlorophyll change rate. The annual mean of nitrate and chlorophyll change rates over pan-Arctic Ocean in each model are represented as individual scatters. The black line shows the regression line between background nitrate and chlorophyll change rate of total CMIP5,6. The blue and orange vertical line shows the GLODAPv2 and WOA13 observation nitrate concentration..

- Combining the CMIP5,6 models, it shows a strikingly **high positive correlation** ($r = 0.83$, $P < 0.001$) between the background nitrate concentration and chlorophyll future changes.
- Using the **Emergent Constraint (EC)** method, we can estimate that the chlorophyll concentration will be decreased about **31% (WOA13) to 42% (GLODAPv2)** than the current state under a strong global warming scenario.
- This estimation is distinctively lower than the projection of CMIP5 and CMIP6 **multi model mean (-15%)**, suggesting that the current ESMs tend to **underestimate the reduction** of the Arctic chlorophyll in a warmer climate

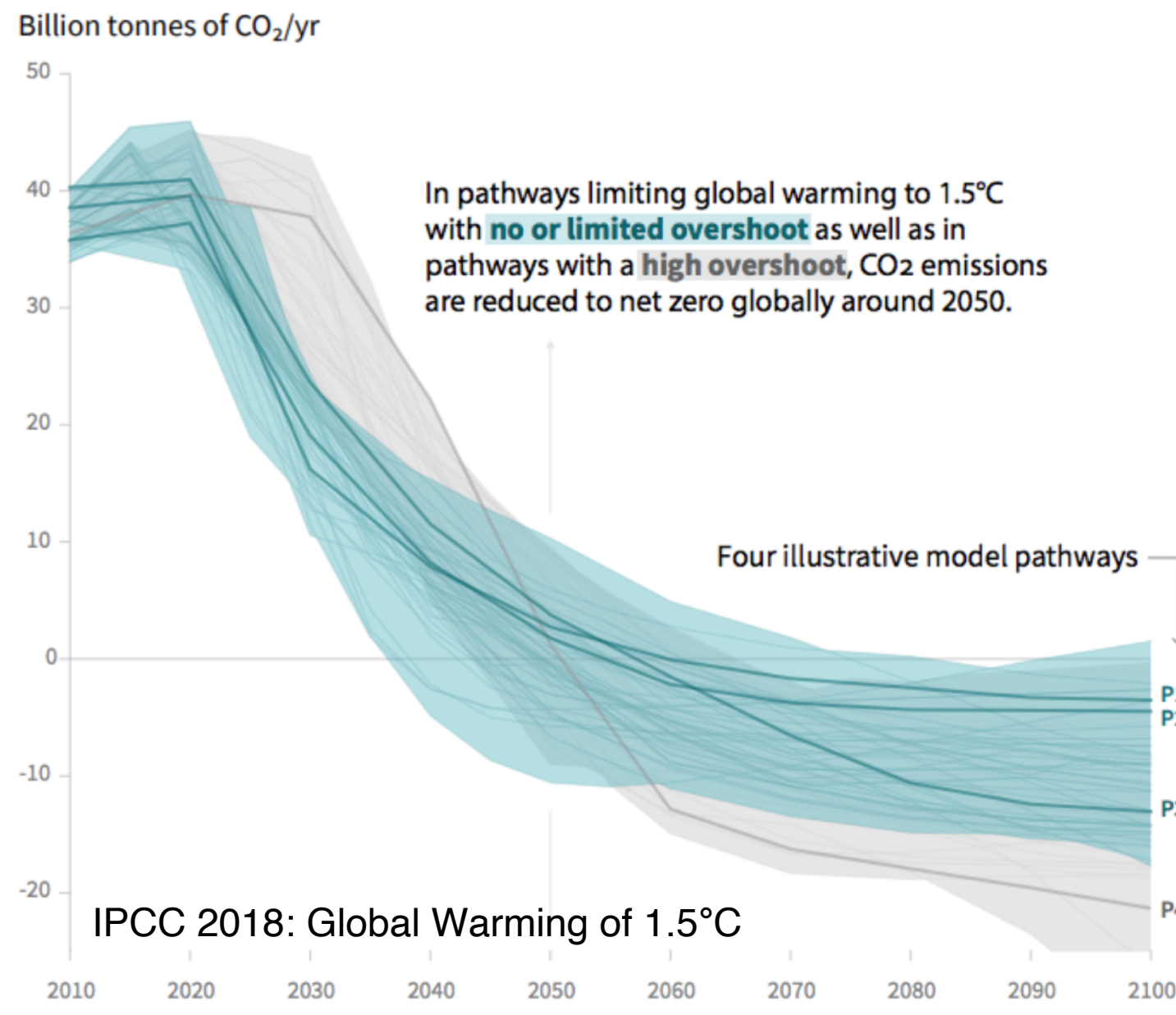
Latitudinally varying hysteresis behavior of terrestrial carbon stock

So-Won Park and Jong-Seong Kug

Division of Environmental Science and Engineering,
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

Background

Global total net CO₂ emissions

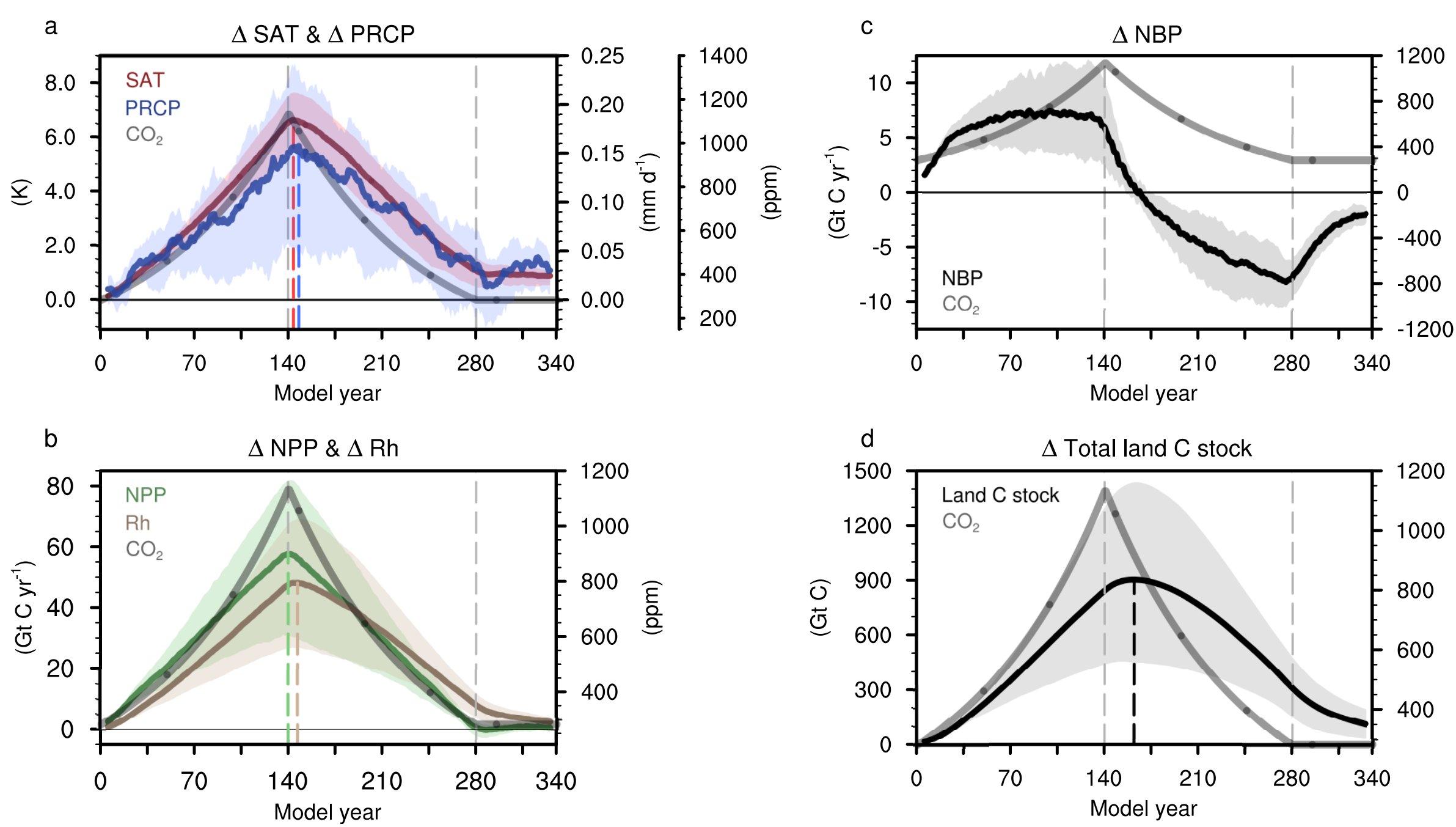


- The global CO₂ emissions need to reach **net zero** around 2050 to give a reasonable change of limiting warming 1.5°C.
→ Carbon dioxide removal using **negative emission technologies** is inevitable.

- In addition to anthropogenic carbon emission, the terrestrial biosphere as a natural carbon sink determines the future levels of CO₂ and climate change.
- However, there still remain **large uncertainties of future land carbon cycle** especially including its behavior under the negative emission situation.

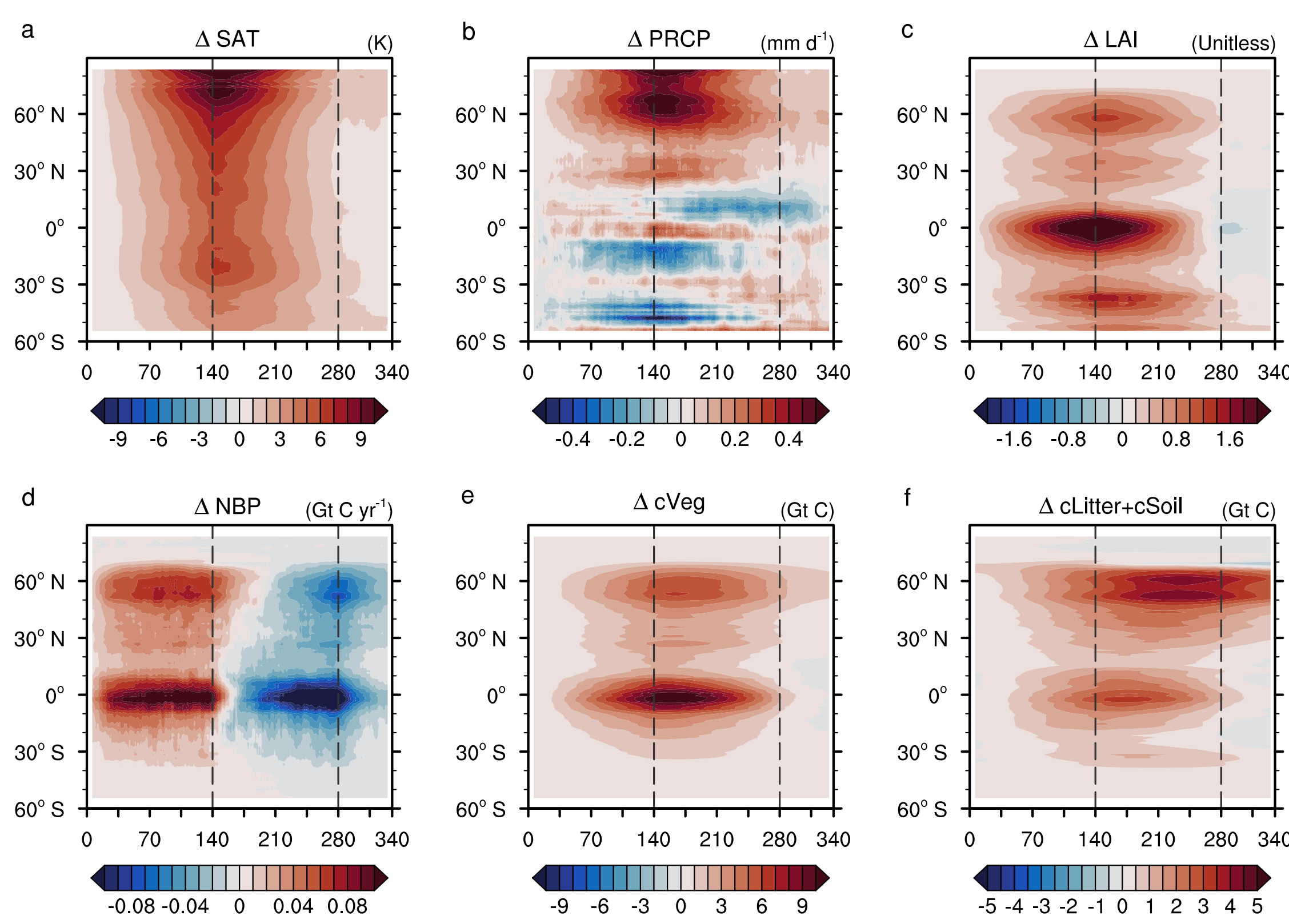
Results

1) Temporal evolution of global land carbon fluxes and stock



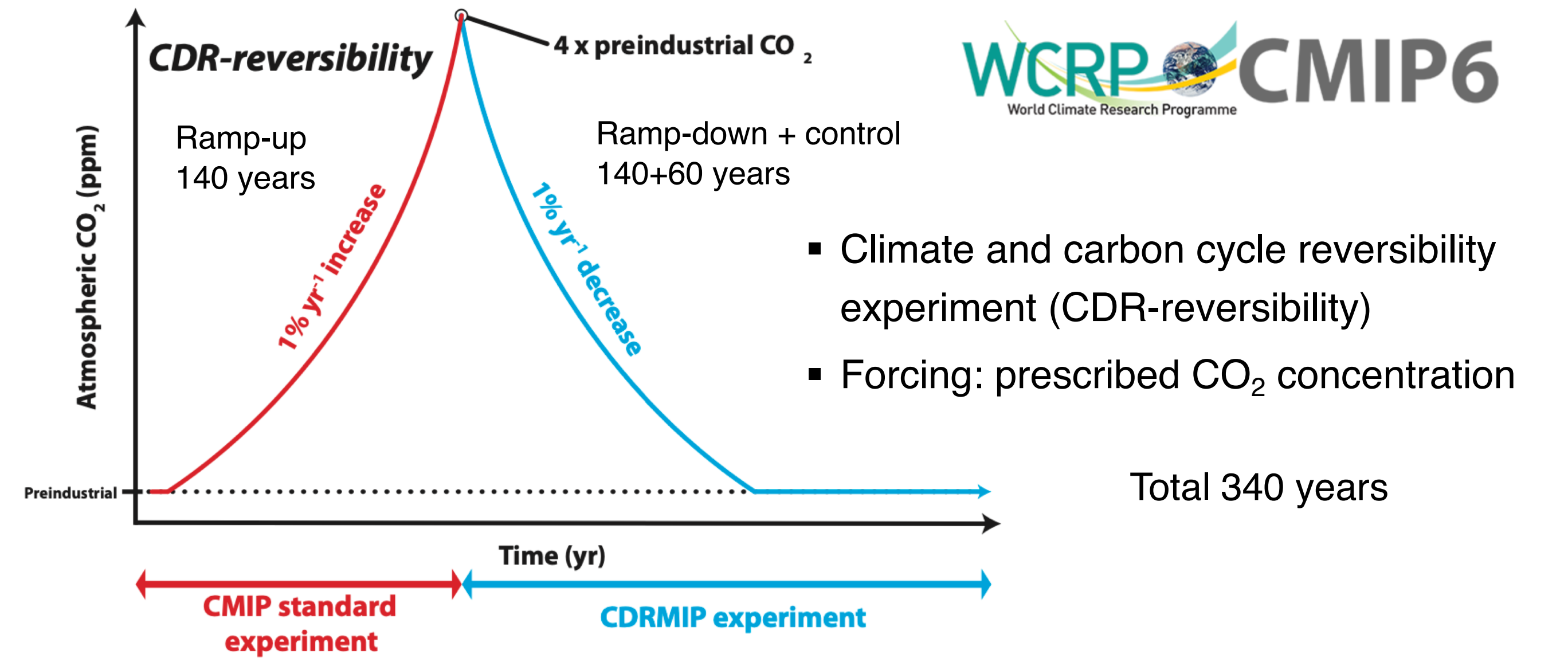
- Globally, the **net atmosphere-to-land carbon flux**, net biome productivity (NBP), exhibits a **large hysteresis behavior**; NBP is still positive, absorbing more C for decades after the CO₂ peak, and afterwards the land is converted into C source.
- The **total land C stock anomaly**, the accumulation of NBP, remains higher even after the CO₂ concentration returns to the initial level.

2) Latitudinally-dependent land carbon cycle response to CO₂



- Such **hysteresis behaviors** are **latitudinally-dependent** and the timescales of reversibility is much longer in high-latitude regions because of the inertia of vegetation dynamics under favorable climate condition.
- Therefore, the **transition of C sink to source in high latitudes is more delayed** than in tropics and thus terrestrial biosphere continues to absorb C for decades after the atmospheric CO₂ decreases.

Data and Method

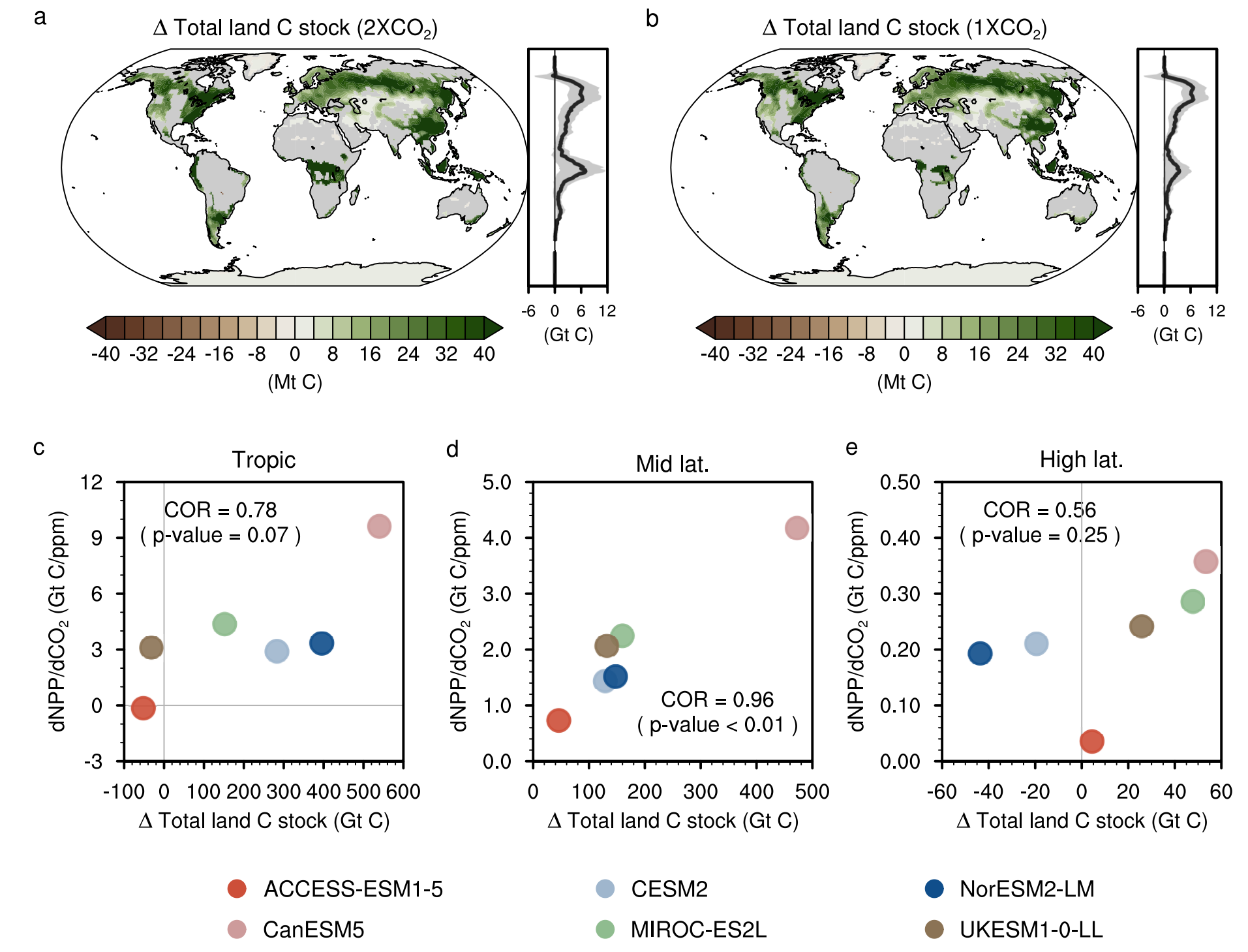


WCRP CMIP6
World Climate Research Programme

- Climate and carbon cycle reversibility experiment (CDR-reversibility)
- Forcing: prescribed CO₂ concentration

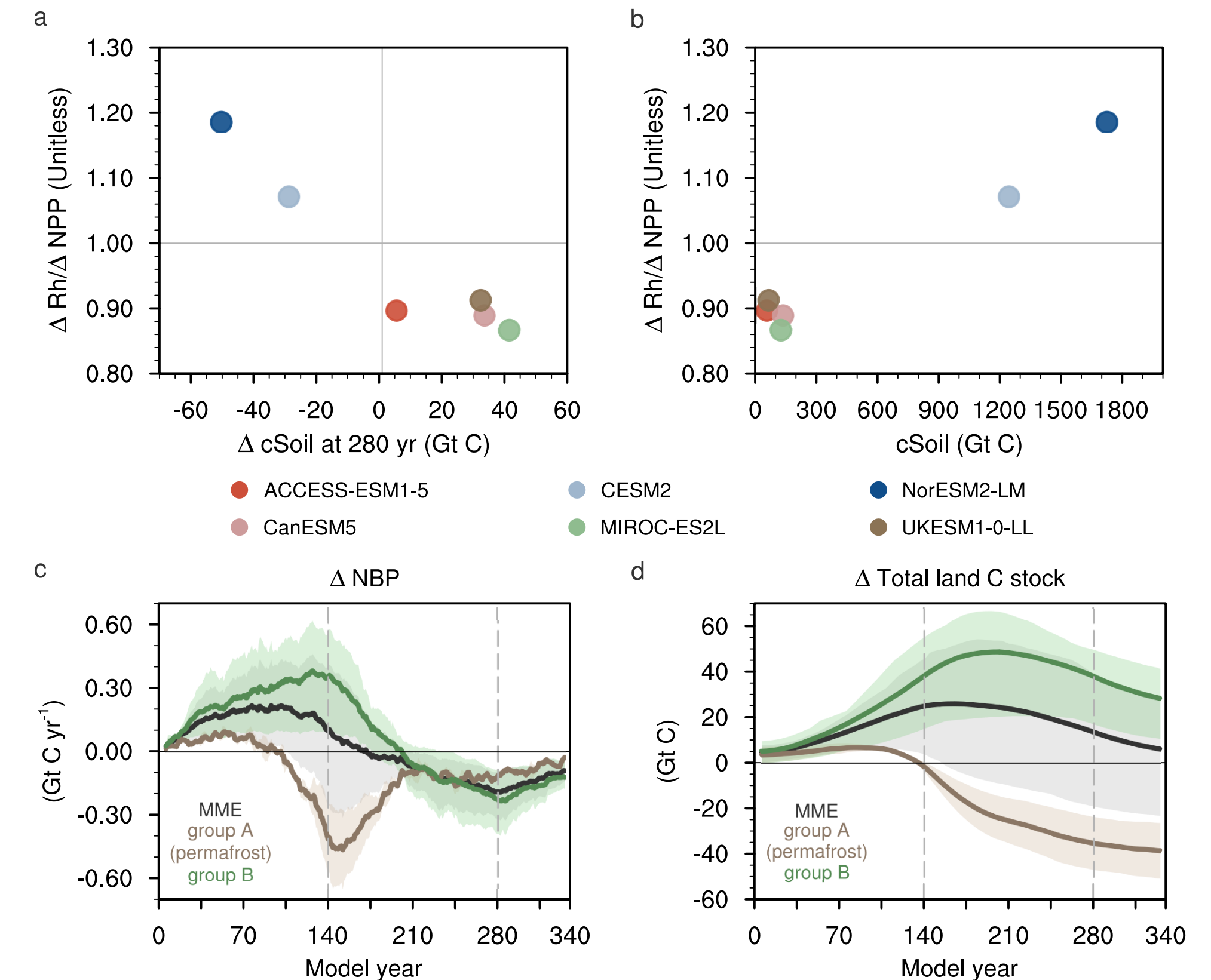
CMIP6 Experiment	Simulation description
piControl (baseline)	Preindustrial prescribed CO ₂ control simulation
1pctCO2	Prescribed 1% yr ⁻¹ CO ₂ increase to 4 X the preindustrial level
1pctCO2-cdr	1% yr ⁻¹ CO ₂ decrease from 4 X the preindustrial level until the preindustrial CO ₂ level is reached and held for at least 60 years

3) Hysteresis of land carbon stock and its inter-model diversity



- At a regional scale, the total land C stock on CO₂ ramp-down phase distinctly increases especially in **boreal forests, the Maritime Continents and East Asia**.
- The inter-model diversity can be explained by the sensitivity of NPP to CO₂ increase to a large extent, but in high-latitudes cannot be sufficiently explained.

4) Irreversible terrestrial carbon loss in the permafrost region



- In two ESMs coupled with **CLM5** (including permafrost, group A), the climatology of soil carbon is ~15 times greater than the other ESMs and the Rh exceeds the NPP.
- Therefore, unlike other ESMs, group A simulates C release in pan-Arctic region even during the CO₂ ramp-up period, thereby showing the **irreversible carbon loss about 38 Gt C in the permafrost** at the end of simulation.

Discussion and Conclusion

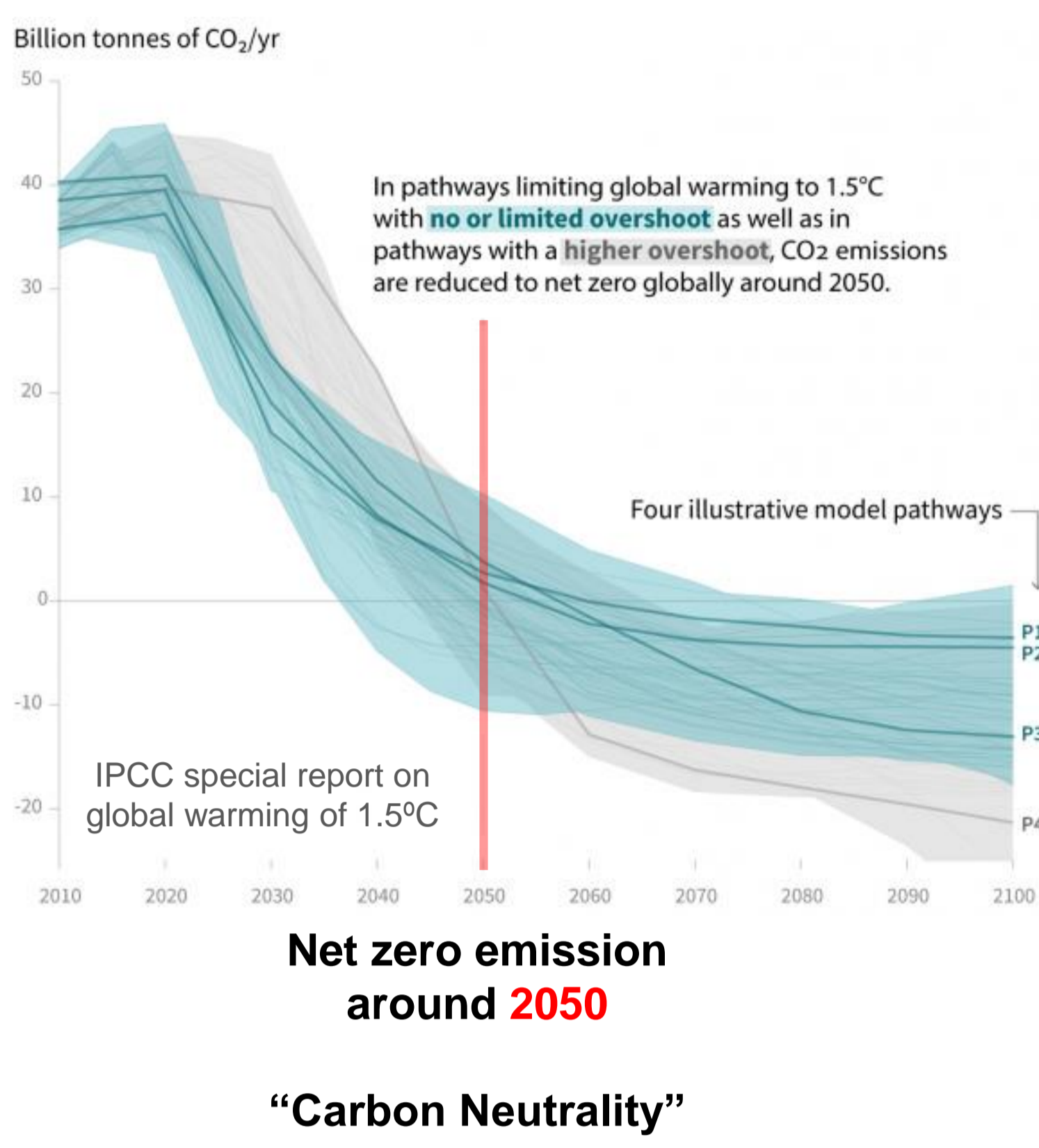
- In this study, we investigated the reversibility and hysteresis behavior of land C fluxes and stock, especially with a focus on carbon cycle response to the negative emission.
- The land C stock also remains higher even after the CO₂ concentration returns to the initial level due to the hysteresis behavior of land C flux, **implying the potential mitigation of climate change along with the possibility of decreased burden on the negative emissions**.

- The hysteresis behaviors of land C are **latitudinally-dependent** with a longer timescales of reversibility in high-latitudes and regionally **boreal forests** can store C for a long time than any other region under the removal of CO₂.
- These **spatiotemporal characteristics** could be considered for establishing the **effective strategy of natural climate solution** such as forest management.

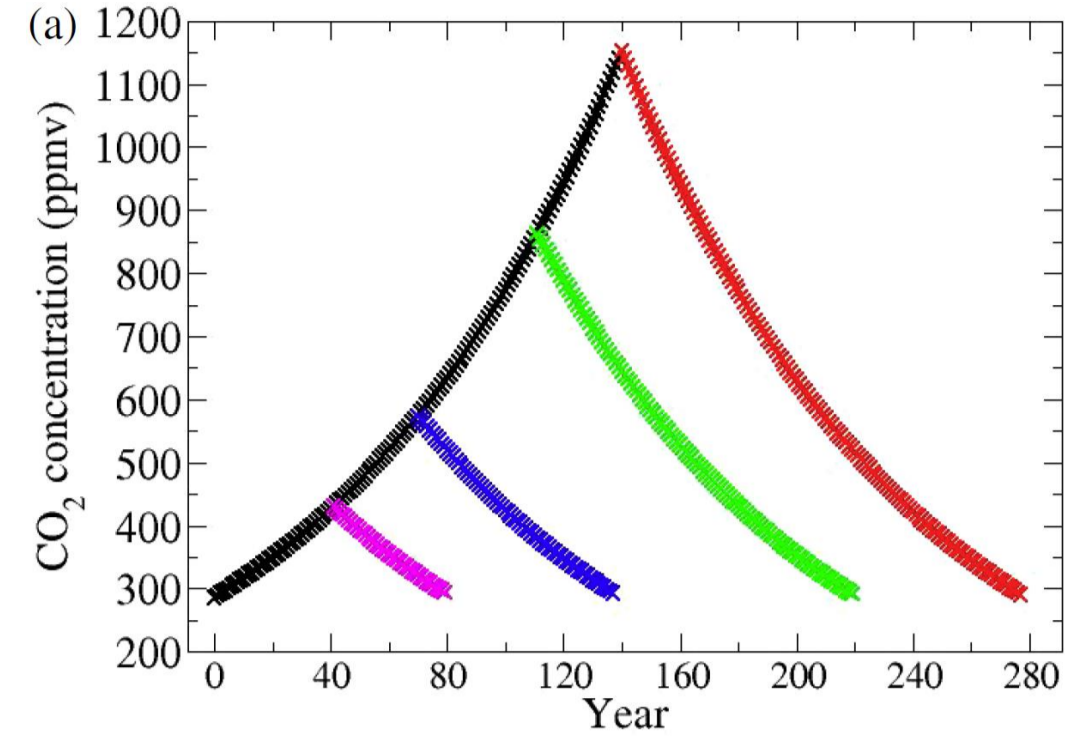
Role of the internal AMOC variability in the Arctic climate change in a carbon dioxide removal experiment

Introduction

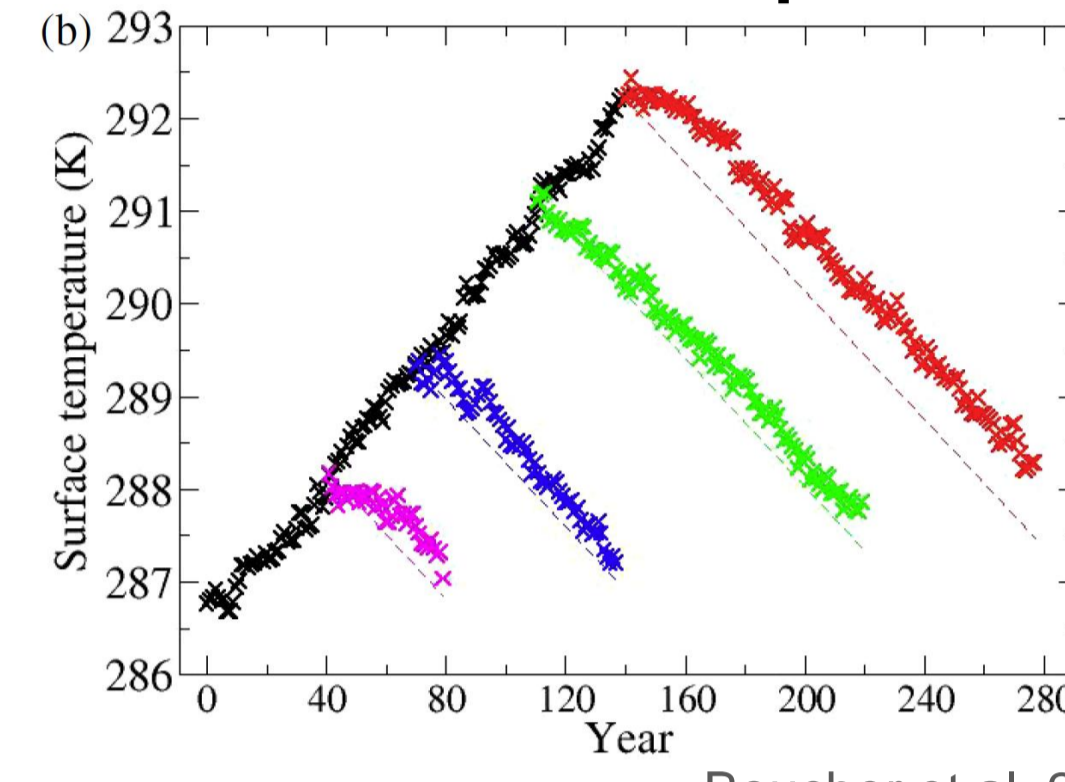
Global total net CO₂ emissions scenario to limit global warming under 1.5 °C



CO₂ forcing



Global mean surface air temperature



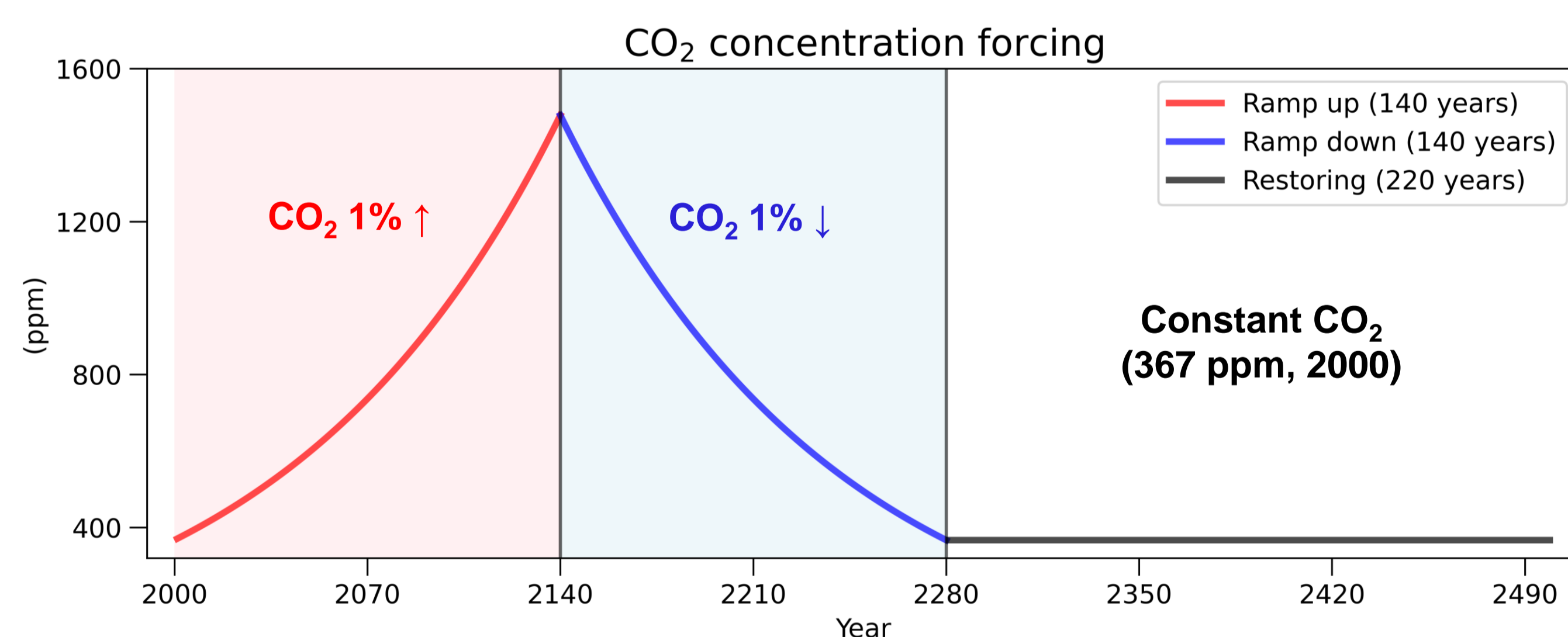
- Based on the transient CO₂ reversibility experiment by a climate model, the surface temperature was largely reversible from the global mean perspective.
- However, the inter-model or inter-ensemble diversity important for the future projection in our climate recovery has not been investigated before.
- Thus, here we examined the inter-ensemble diversity from a series of CO₂ ramp-up and -down experiments, and what components can induce the diversity.

Data

❖ Experiment design

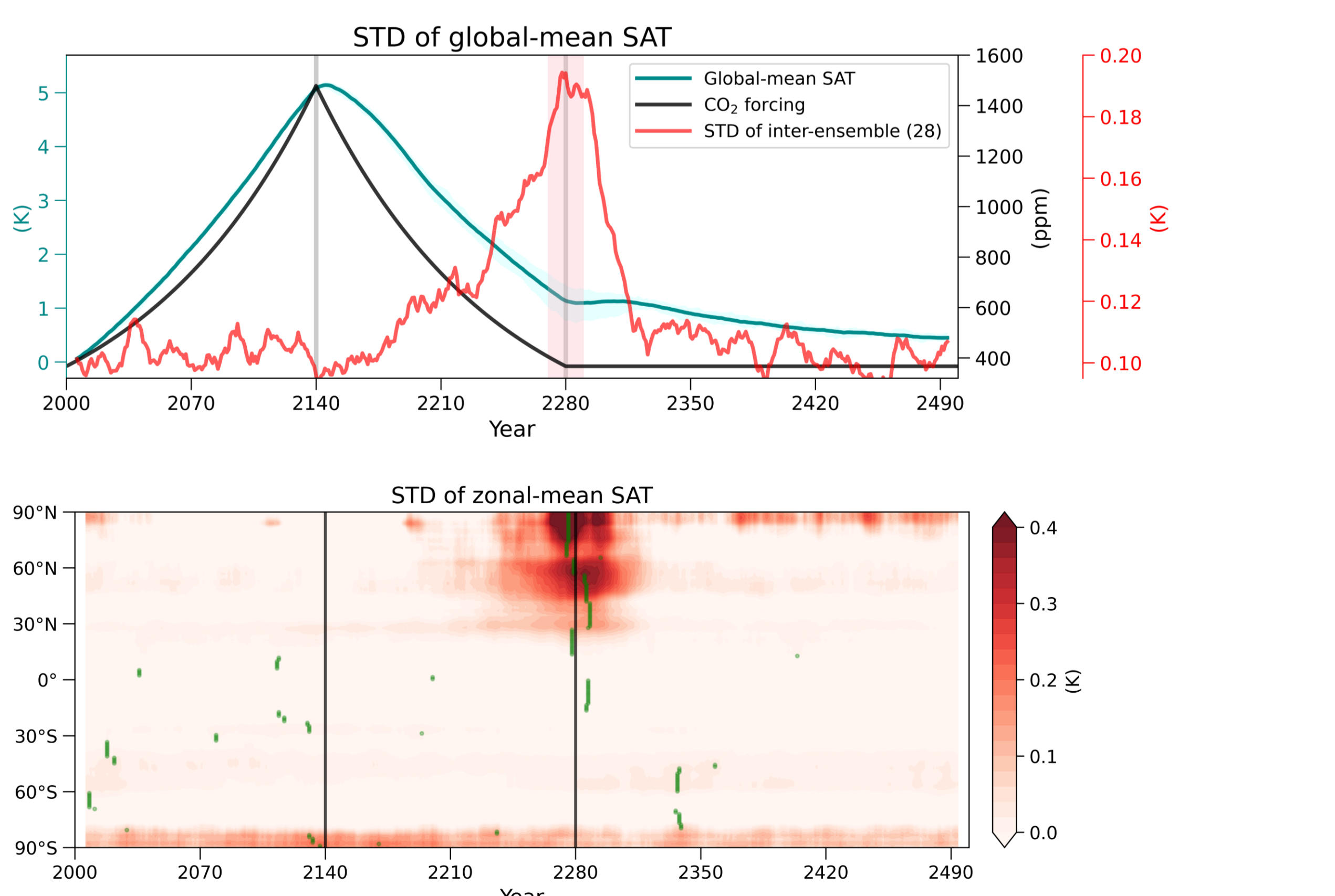
Idealized CO₂ ramp-up and -down experiment

- Used Model: fully coupled CESM1.2.2
- Length: 500 years for each ensemble (140 + 140 + 220)
- Ensemble #: 28



Result

❖ Increasing diversity in the ramp-down period

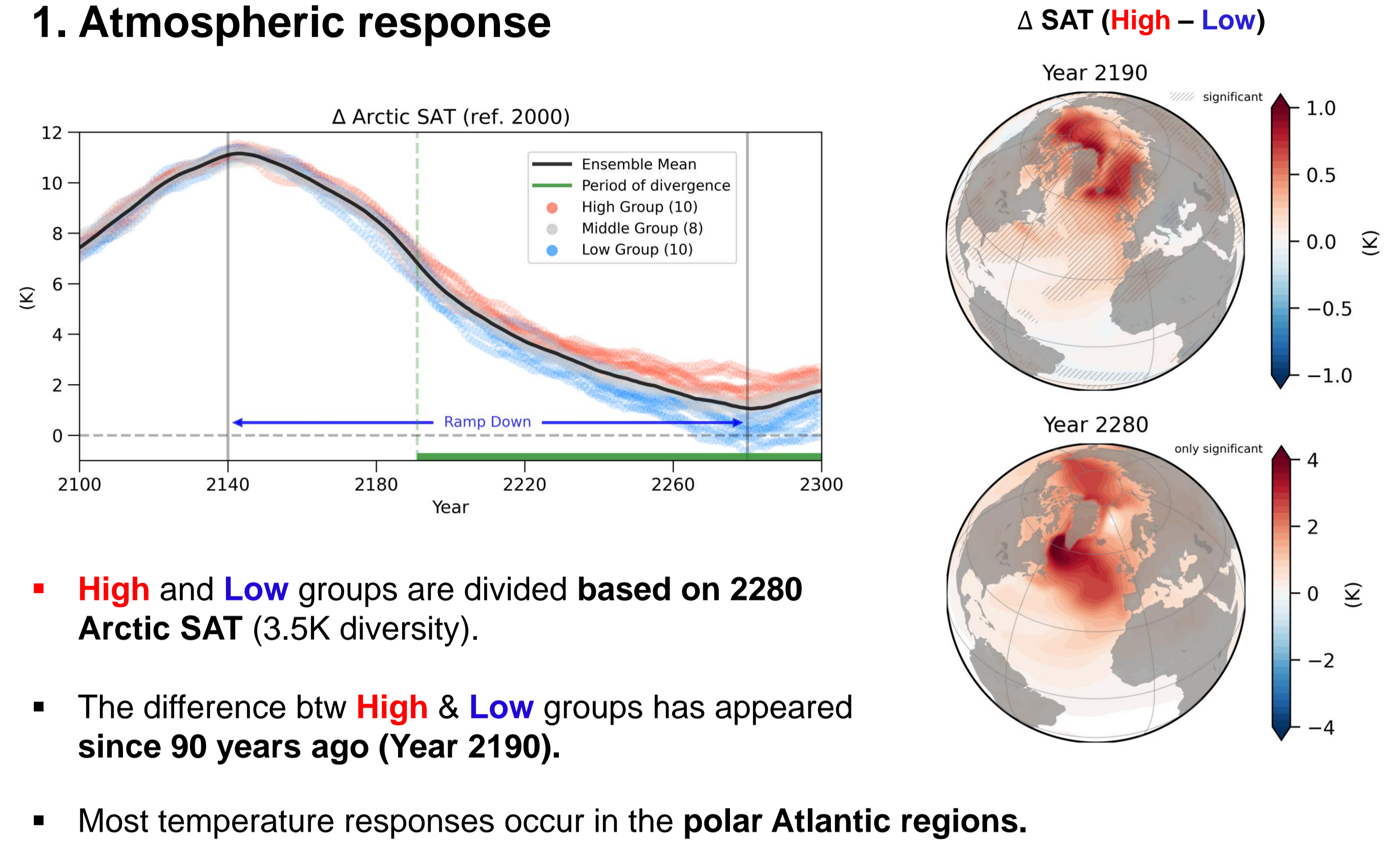


- The diversity of global-mean temperature does not change in the ramp-up period but fastly increases in the ramp-down period (peak at Year 2280).
- This increasing diversity in the ramp-down period mostly comes from the Arctic region.

Result

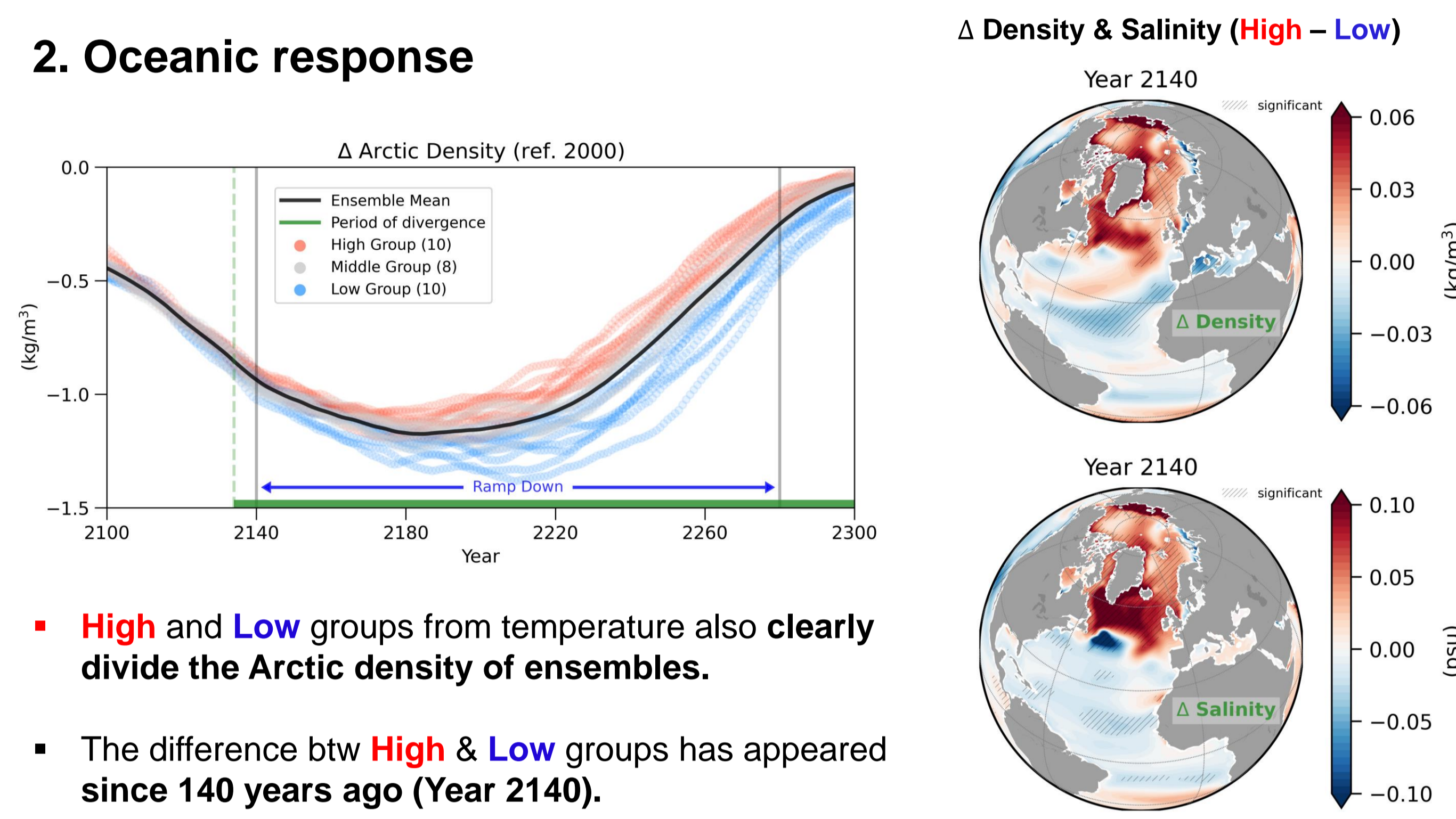
❖ Large diversity in the northern polar Atlantic

1. Atmospheric response



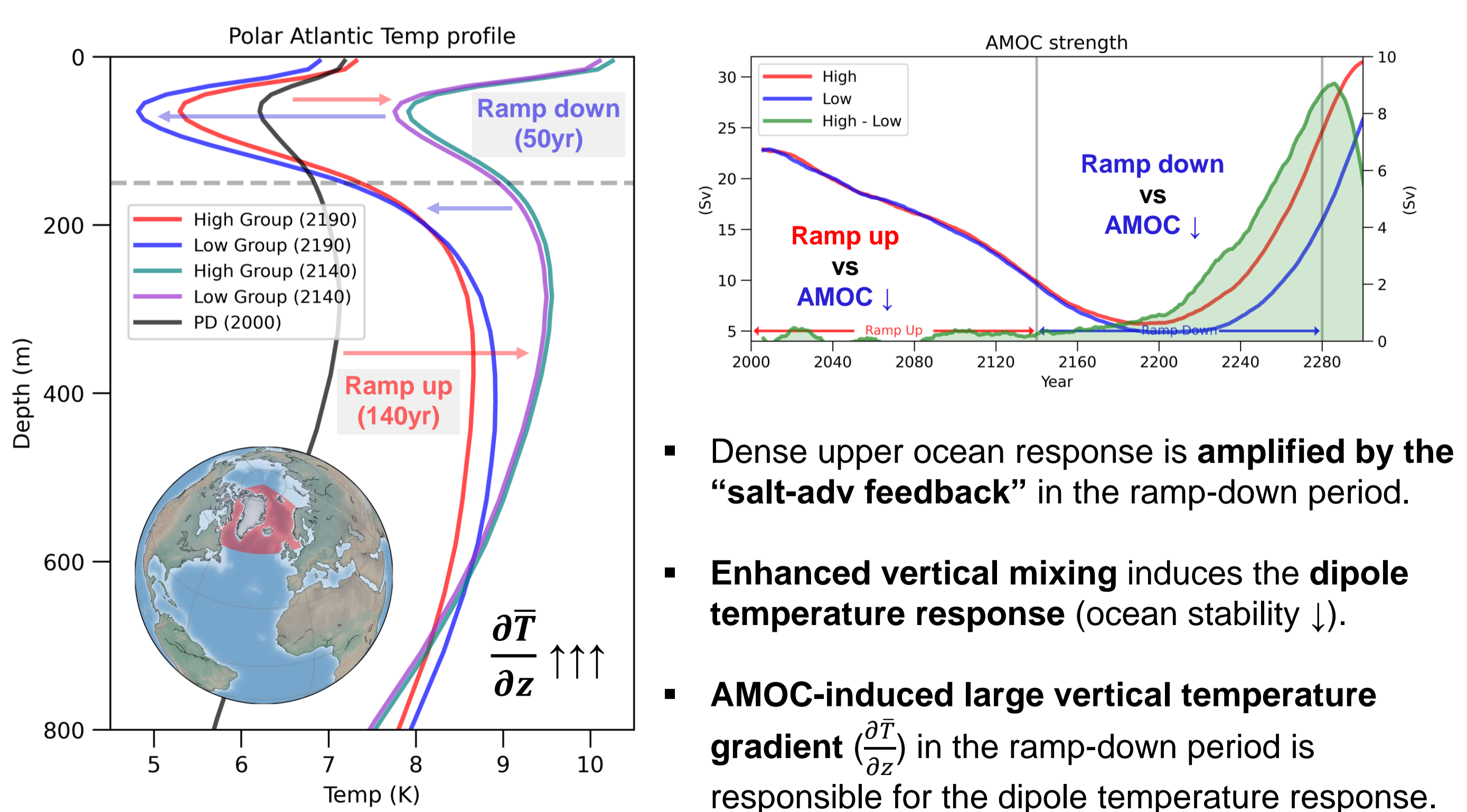
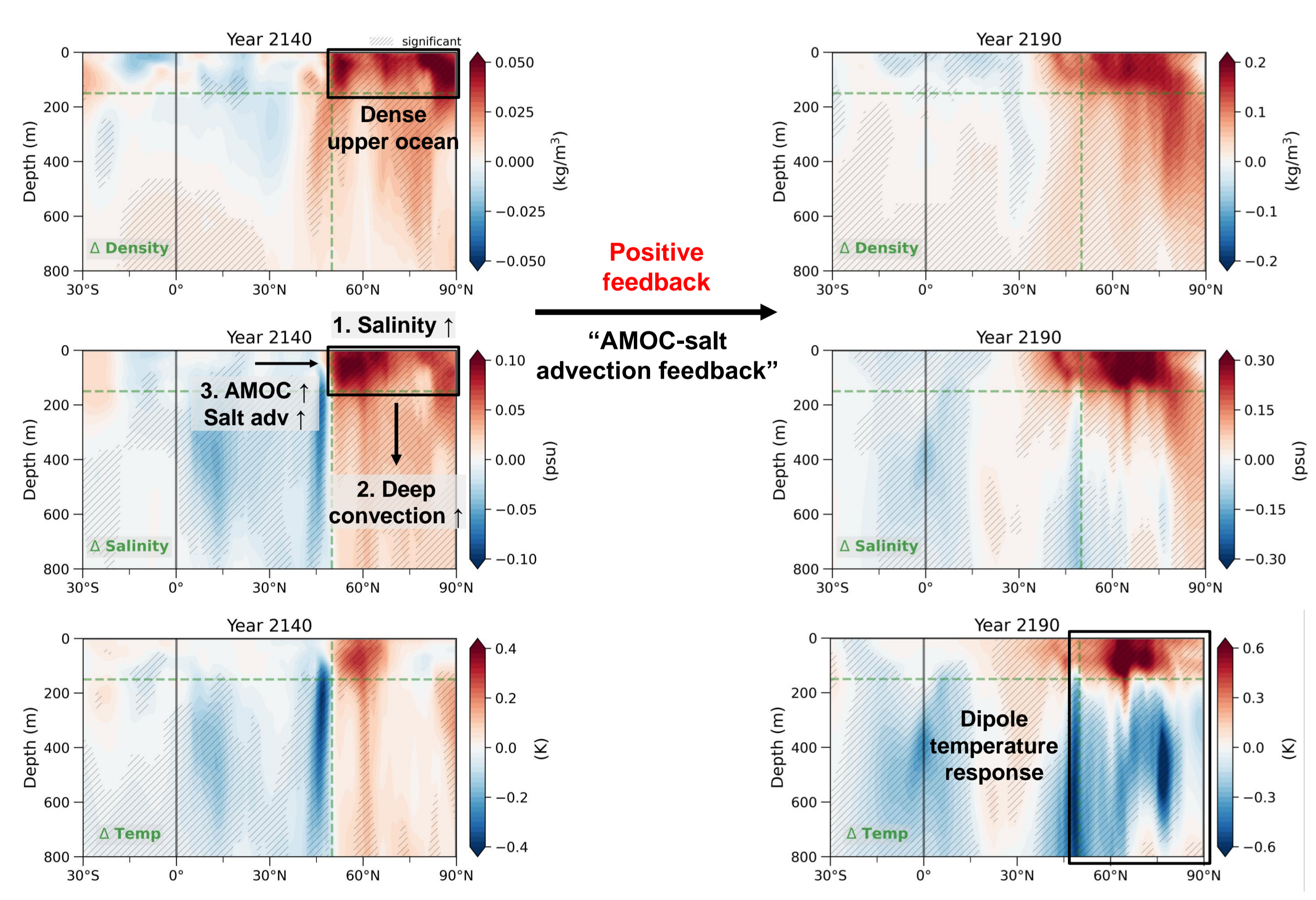
- High and Low groups are divided based on 2280 Arctic SAT (3.5K diversity).
- The difference btw High & Low groups has appeared since 90 years ago (Year 2190).
- Most temperature responses occur in the polar Atlantic regions.

2. Oceanic response



- High and Low groups from temperature also clearly divide the Arctic density of ensembles.
- The difference btw High & Low groups has appeared since 140 years ago (Year 2140).
- Most oceanic responses also occur in the polar Atlantic regions.

Δ Density & Salinity & Temp (High - Low) only in the Atlantic Ocean (depth vs latitude)



- Dense upper ocean response is amplified by the "salt-adv feedback" in the ramp-down period.
- Enhanced vertical mixing induces the dipole temperature response (ocean stability ↓).
- AMOC-induced large vertical temperature gradient ($\frac{\partial T}{\partial z}$) in the ramp-down period is responsible for the dipole temperature response.

Summary

- During the decarbonization, the small ocean diversity can be amplified via AMOC-driven positive feedback and AMOC-induced large vertical mean temperature gradient.
- The accumulated large diversity induces the large uncertainty in Arctic climate recovery projection, further in the global-mean temperature projection.

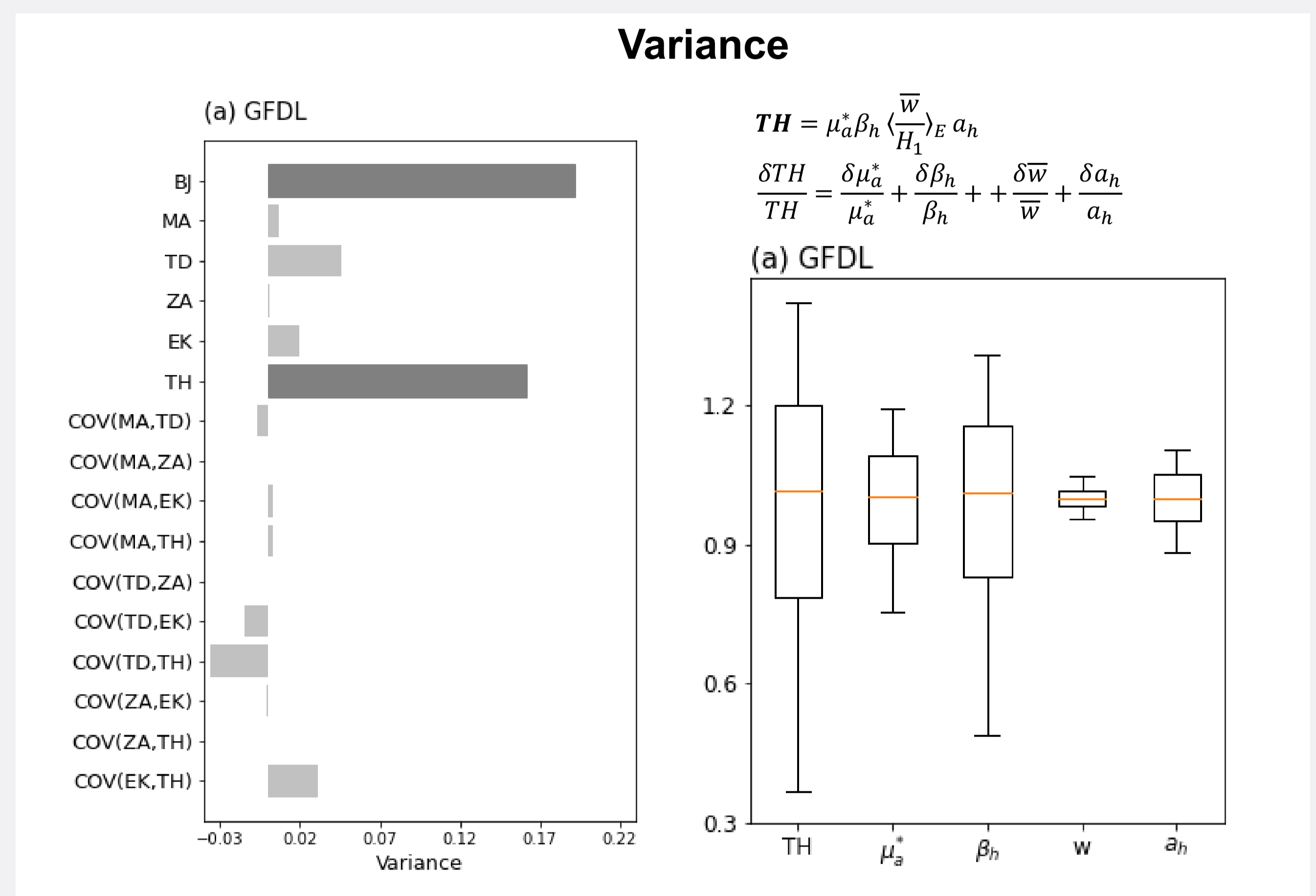
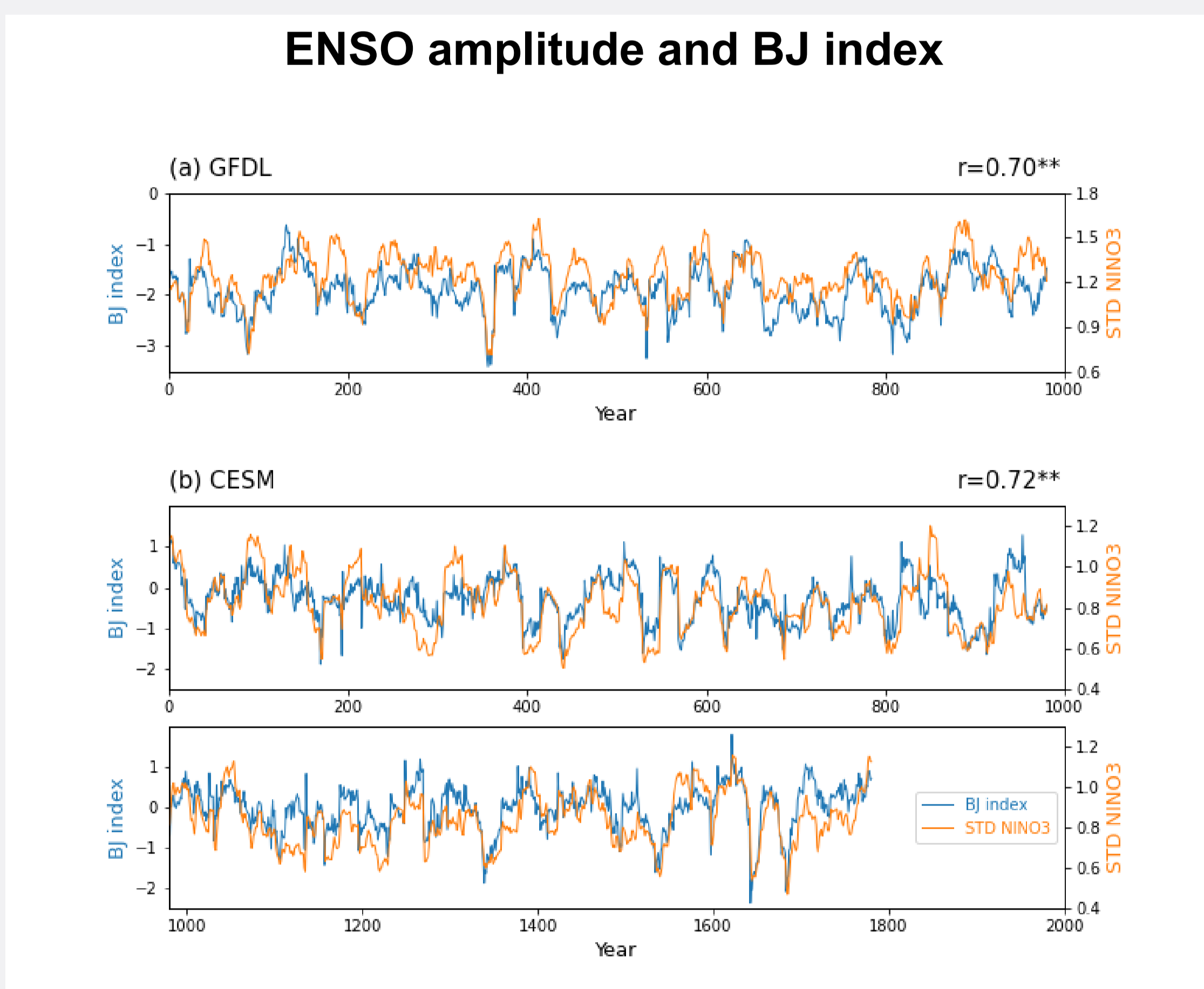
What controls decadal modulation of El-Niño–Southern-Oscillation amplitude in coupled global climate models?

Geon-Il Kim and Jong-Seong Kug

Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, Korea

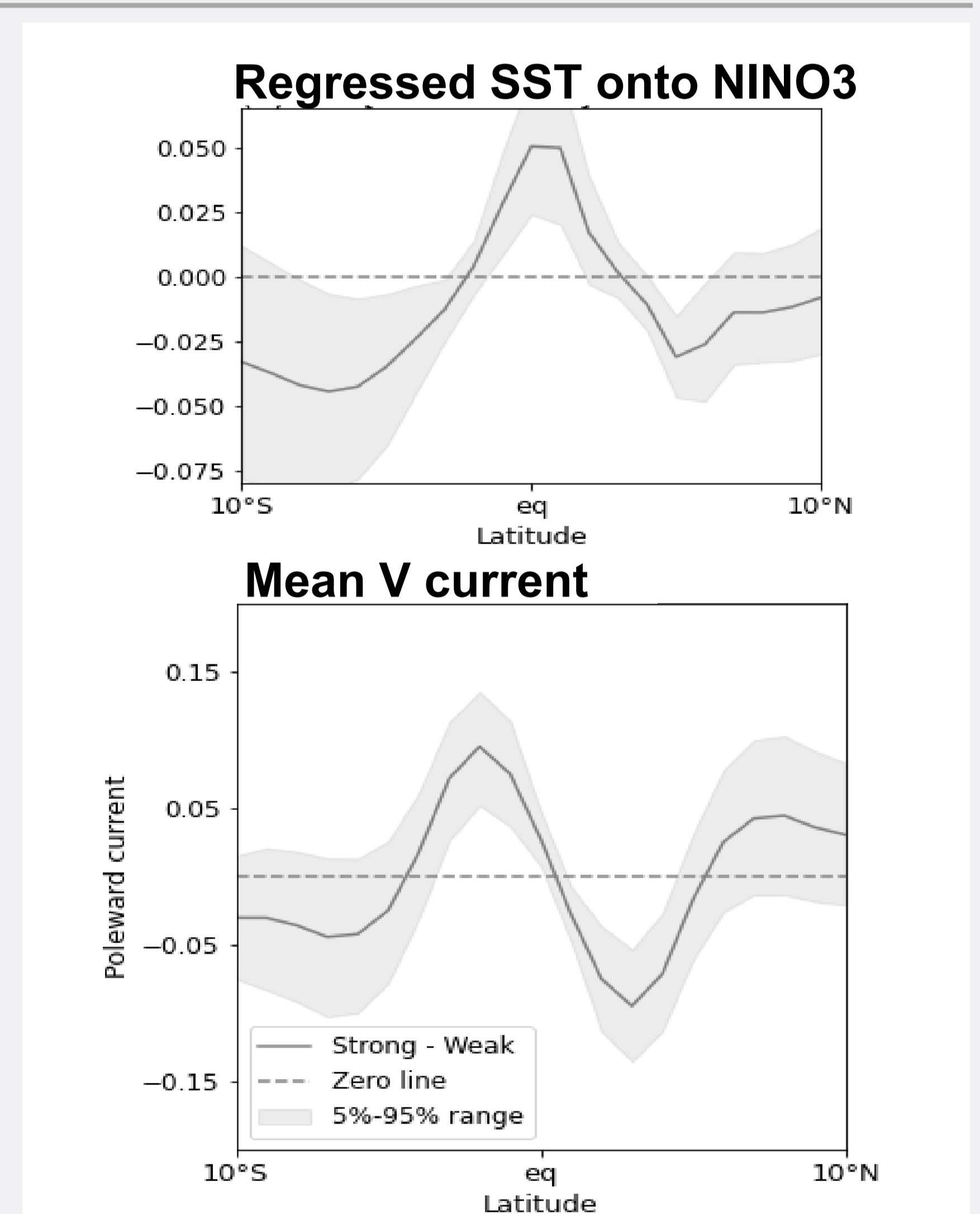
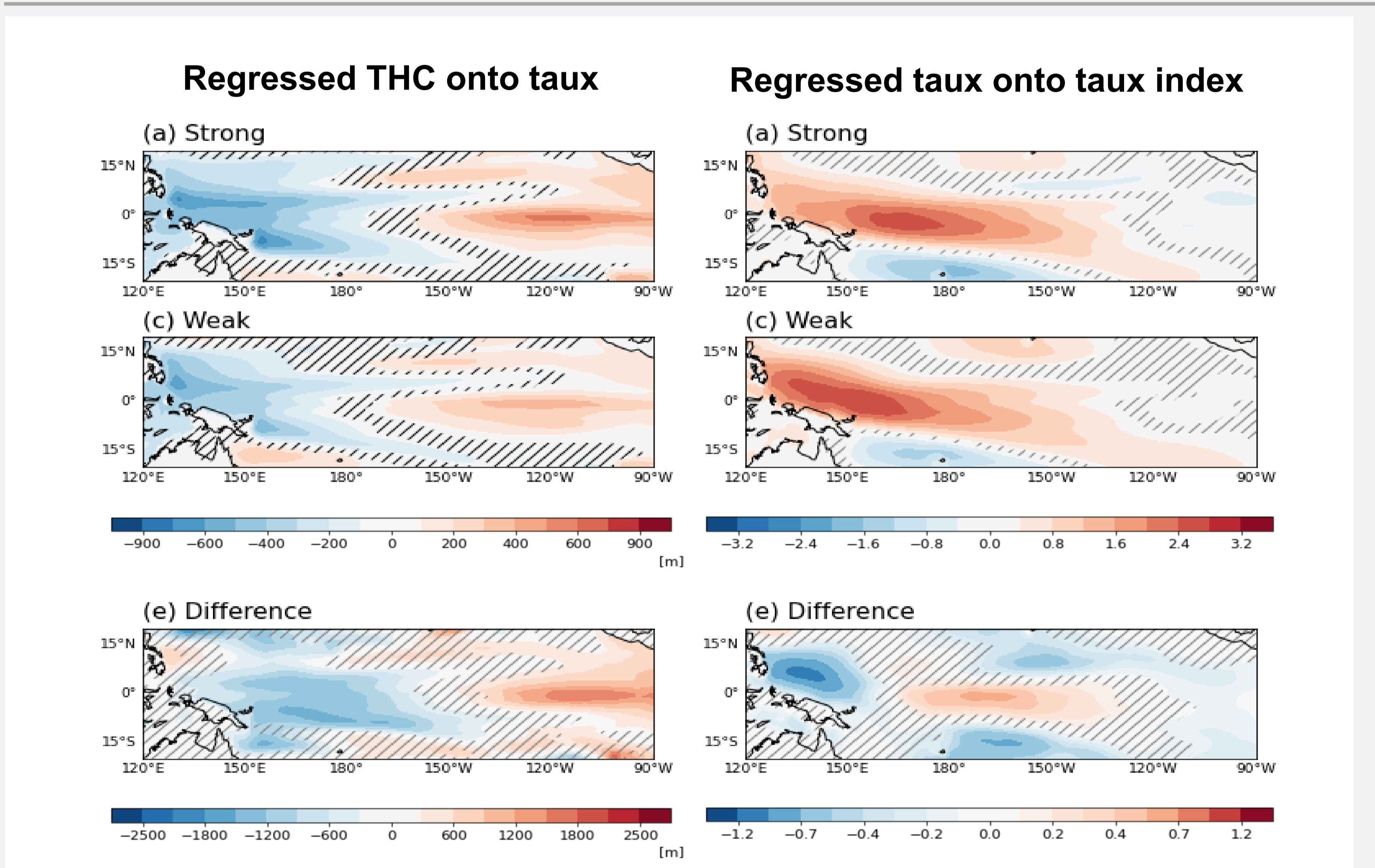
INTRODUCTION

A number of previous studies have shown that ENSO behavior is complicated and modulated from decade to decade. Due to the decadal modulation of ENSO characteristics, the global impacts of ENSO also change in decadal timescale. Therefore, understanding the decadal modulation of ENSO characteristics and its underlying mechanisms is important for predicting related weather and climate phenomena.



Decadal changes of ENSO amplitude and thermocline feedback

- It is evident that the decadal changes in the BJ index match well with that of the Niño3 standard deviation in both models, suggesting that the BJ index is a good representation of the decadal modulation of ENSO amplitude.
- The strength of the thermocline feedback is the most important for ENSO decadal modulation.
- The decadal changes in thermocline feedback are primarily controlled by changes in the oceanic thermocline response to a given wind-stress forcing.

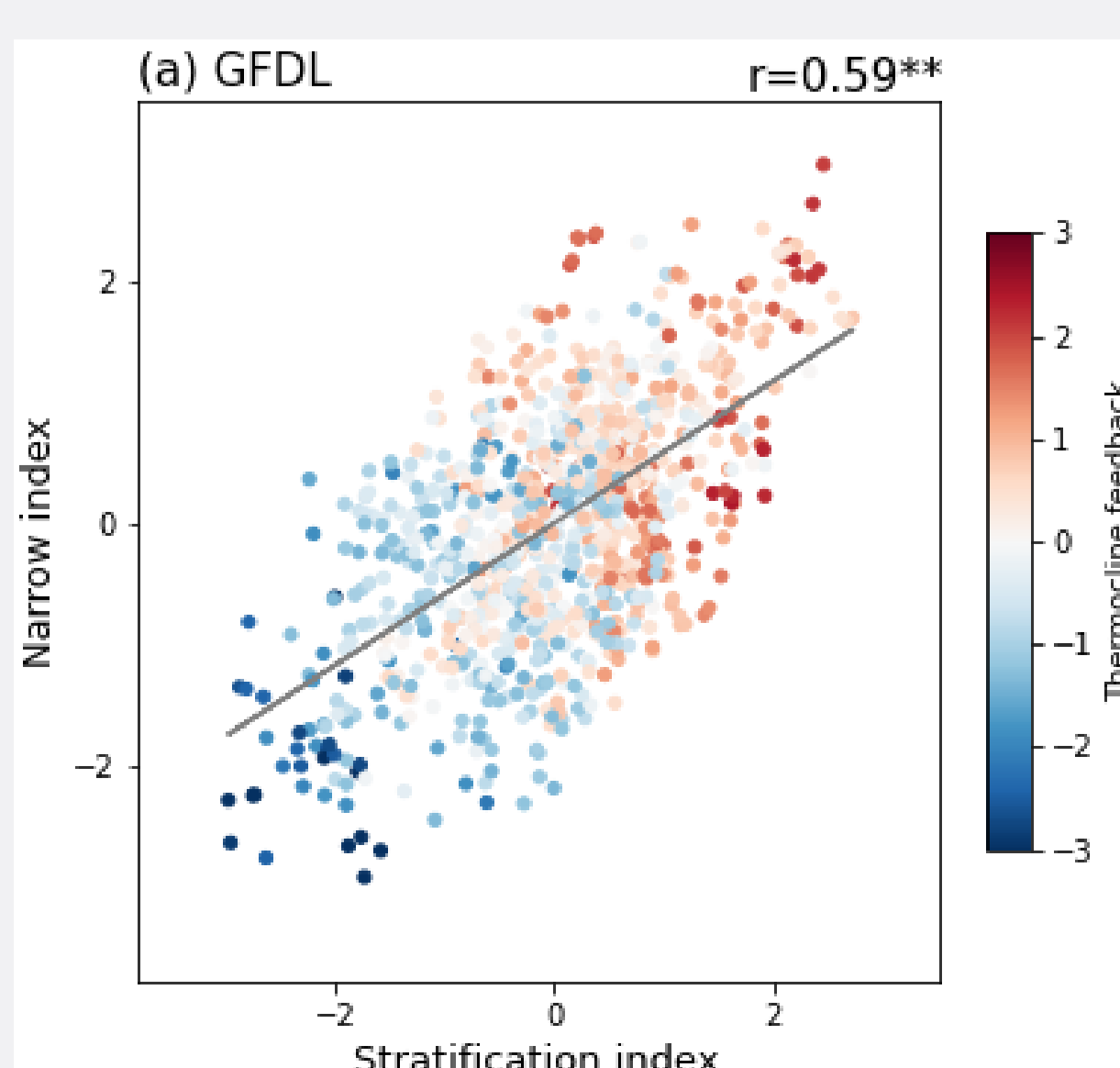
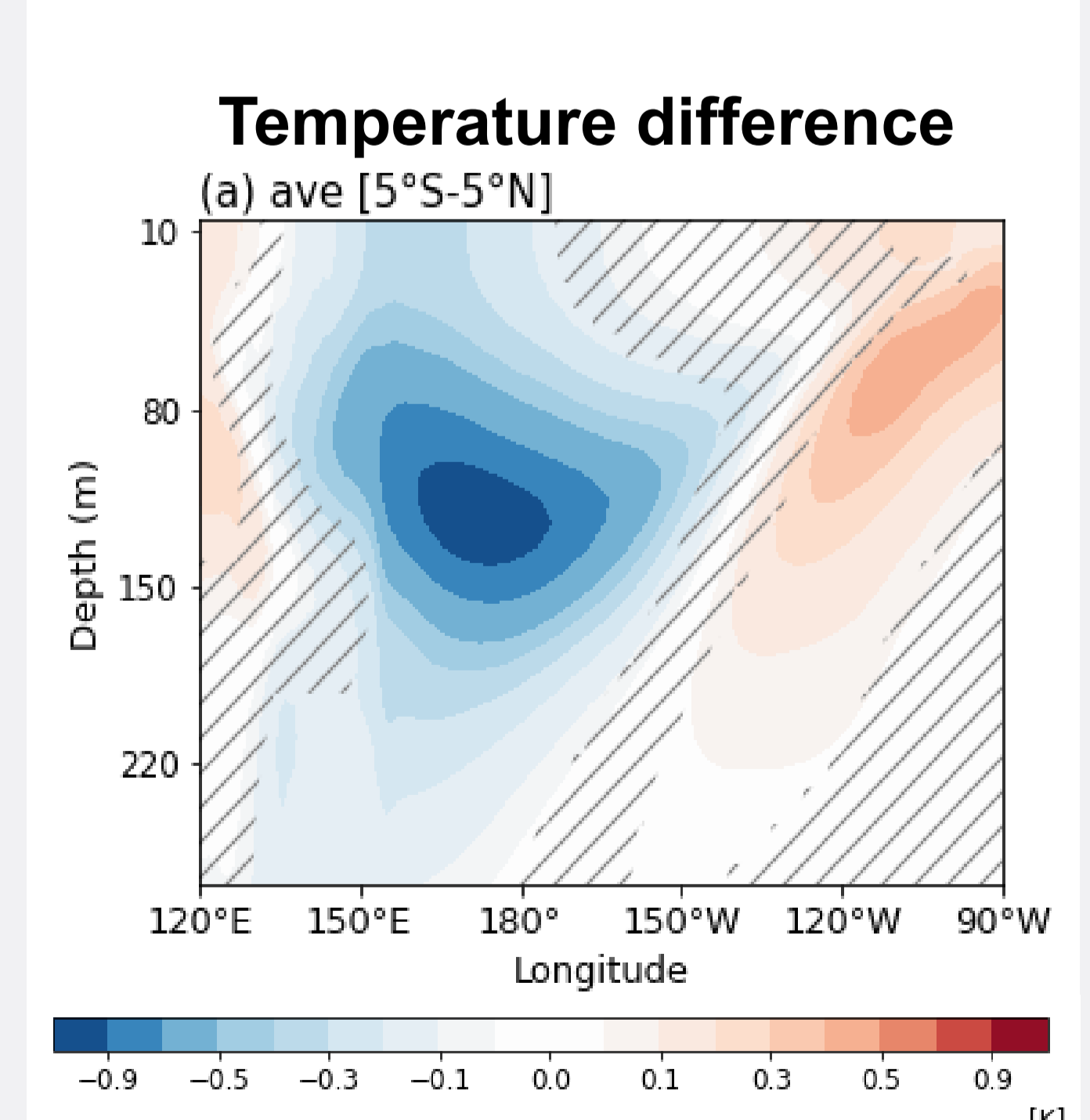


Cause 1: The meridional scale of ENSO

- The oceanic response is more sensitive to wind-stress forcing, which eventually leads to strong ENSO variability
- The east–west thermocline responses are stronger in response to narrower zonal wind-stress forcing.
- The SST anomaly associated with ENSO is narrow during the strong period.
- The meridional scale of the SST anomalies is controlled by the strength of the poleward current

Cause 2: Ocean stratification

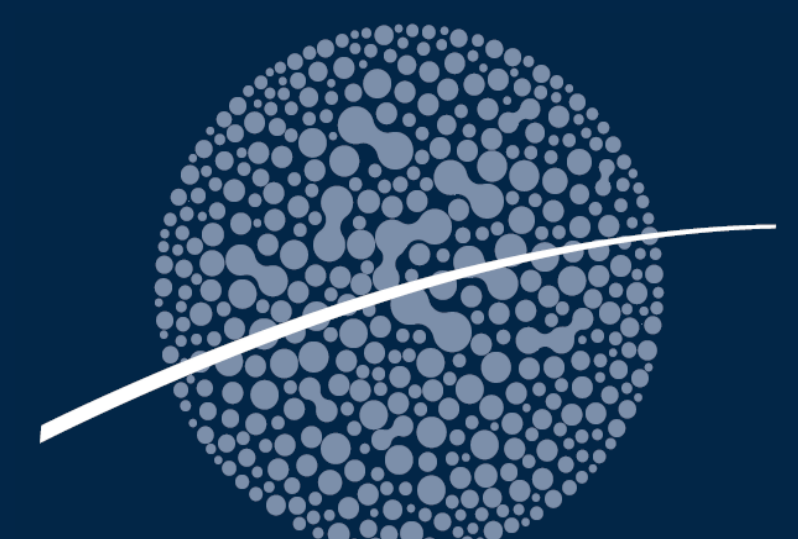
- The western-to-central Pacific is more stratified during the strong period
- Enhanced stratification increases the contribution of the high-order baroclinic mode. The narrow SST anomaly during the strong period.
- This increased contribution leads to a stronger oceanic response in the upper layer.
- Oceanic stratification changes contribute to the decadal modulation of ENSO amplitude in the two models.



DISCUSSION / CONCLUSION

Two critical features of the background states contribute significantly to decadal modulation of ENSO: 1) the ENSO meridional scale and 2) ocean stratification. Background subtropical meridional overturning circulation plays a role in regulating the meridional expansion of sea surface temperature and associated zonal wind-stress anomalies. Ocean stratification also modulates the sensitivity of ocean responses to a given wind-stress forcing, which affects ENSO amplitude.

When the thermocline feedback is strong, both narrowing and stratification indices are high, whereas both are low when the thermocline feedback is weak. The correlation coefficient between them is 0.59. This result implies that the ENSO meridional scale and ocean stratification may work together.



선제적 대응을 통한 APCC 다중모델 앙상블 (MME) 계절예측 정확도 향상

APCC
APEC CLIMATE CENTER

민영미 · 양유빈 · 임창욱 · 정다은
APEC 기후센터 예측운영과 / cmim@apcc21.org

2021 제 2차 APEC 기후센터 기후예측워크숍

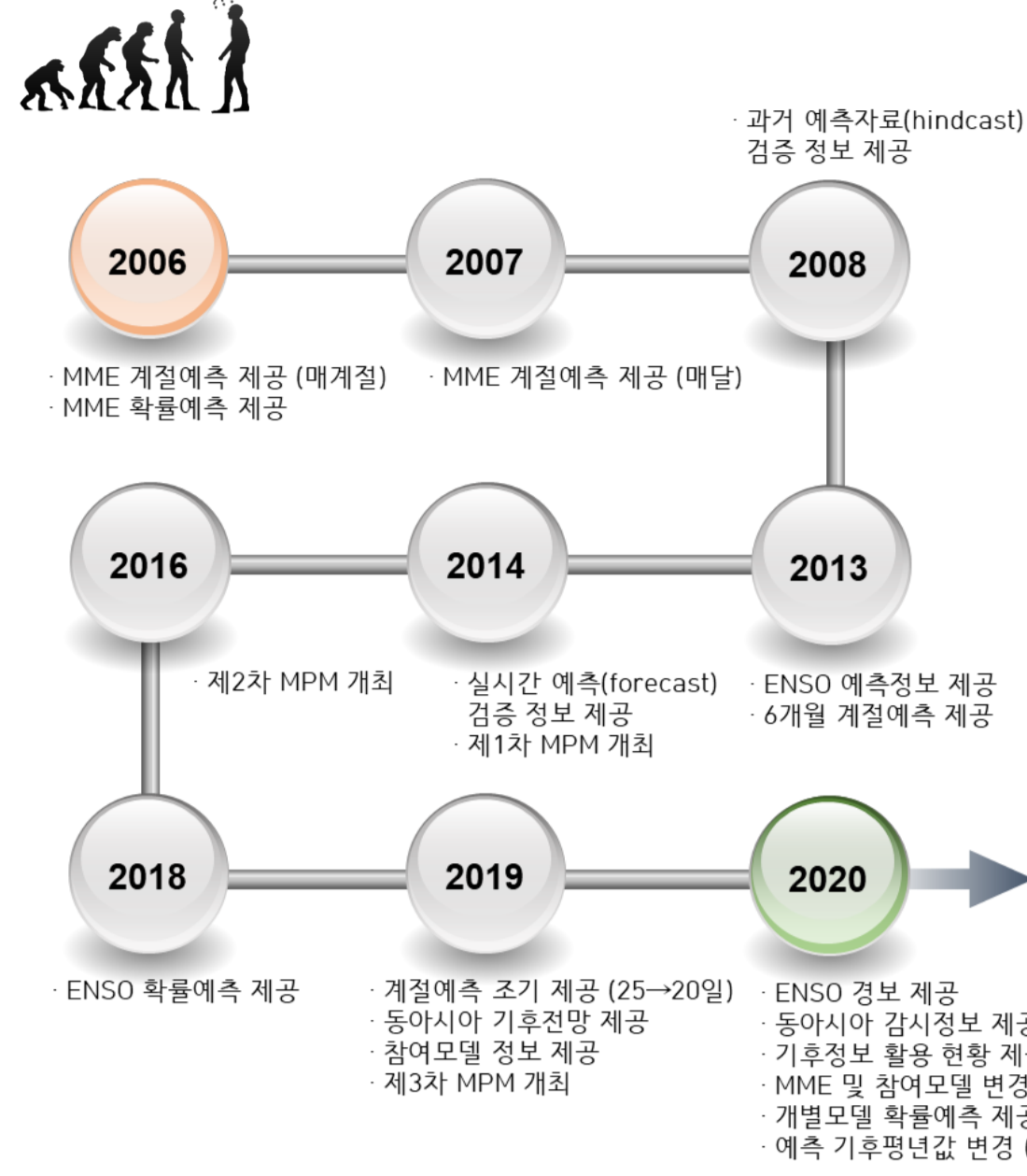
Introduction

- APCC는 2006년 설립 이후 다양한 기후 예측 모델이 참여한 다중모델앙상블(Multi Model Ensemble, MME) 기법 기반의 계절예측정보를 제공하고 있음
- 2021년 기준 11개국 15개의 우수 현업기관의 협조와 참여를 통해 결정론적(Deterministic) 및 확률론적(Probabilistic) MME 기법을 적용하여 3-6개월 기간의 예측정보 제공
- APCC는 계절예측정보 뿐만 아니라 다양한 검증정보도 함께 제공하고 있으며, 해당 정보는 APCC 홈페이지 (<https://www.apcc21.org>)를 통해 매월 20일 경 제공함
- 이러한 MME 계절예측정보의 신뢰도와 예측 정확도를 보다 향상시키기 위해 내부적/대외적인 선제적 대응을 더불어 매년 많은 노력을 기울이고 있음 (Min et al. 2014; Sohn et al. 2013; Min et al. 2017; Kim et al 2017; Shin and Moon 2017).
- 본 연구는 APCC의 다양한 노력을 통한 (2019년 대비) 2020년의 계절예측 정확도 향상 정도를 진단하고 평가함으로써 APCC MME 계절예측정보의 우수성을 제시하고, 예측력 향상의 각 주요 요인 별 기여 정도를 제시하고자 함



APCC MME 계절예측정보 이력 및 모델 수집 현황

APCC MME 계절예측정보 서비스 과거 이력 : 2006 - 2020년



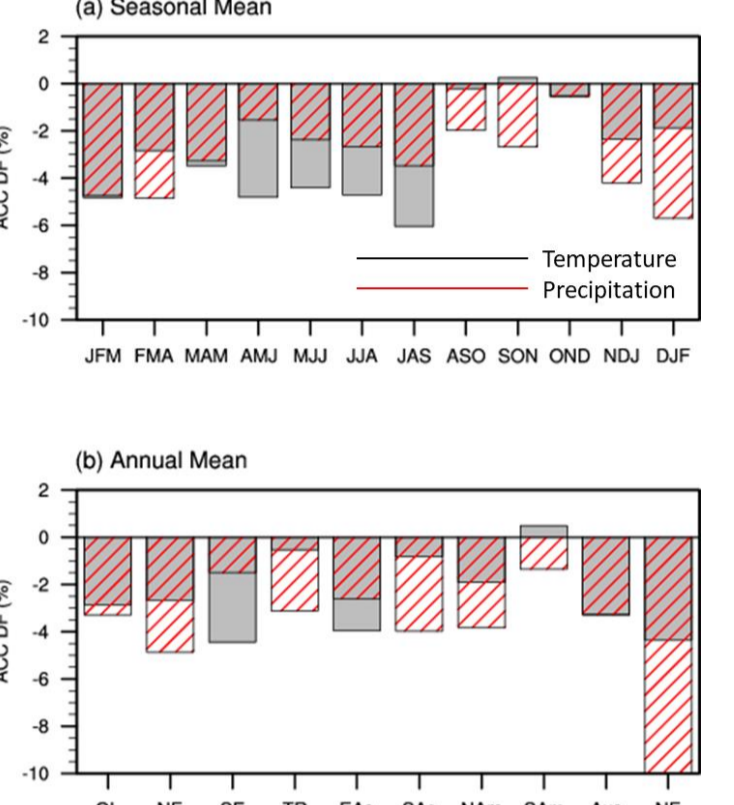
2021년 기준 APCC MME 계절예측정보 참여 모델 정보

#	Institute	Model Name	Ens. (WF)	Forecast Period	Hindcast Period	Resolution
1	APCC	SCoPS	10/10	6-month	1982-2013	T159, L31
2	BCC	CSM1.1m	24/24	6-month	1991-2015	T106, L26
3	BoM	ACCESS-S1	11/11	6-month	1990-2012	N216(-60km), L85
4	CMCC	SPS3	20/20	5-month	1993-2016	1°x1°, 46L
5	CWB	TCWBTv1.1	30/30	6-month	1982-2019	T119, L40
6	HMC	SL-AV	10/20	3-month	1985-2010	1.125x1.40625, L28
7	JMA	JMA-MR-CP2	10/51	3(6)-month	1979-2014	T159, L60
8	KMA	GLOSEA5	12/42	6-month	1991-2016	0.83°x0.86°, 85L
9	MeiFR	Sys 7	25/51	5-month	1993-2016	1.0°x1.0°
10	MSC	CanSIPSv2	20/20	11-month	1981-2010	T63, L35
11	NASA	GEOS-S2S-2.1	10/11	6-month	1982-2016	288x181, L72
12	NCEP	CFSv2	20/20	6(9)-month	1982-2010	T126, L64
13	PNU	CGCM2.0	35/35	6-month	1980-present	T42, L18
14	UKMO	GloSea5	12/42	5-month	1993-2016	1.875x1.25, L85
15	MGO	MGOAM-2	6/10	3-month	1979-2004	T42, L14
MME						3(6)-month / 1991-2010 / 2.5°x2.5°

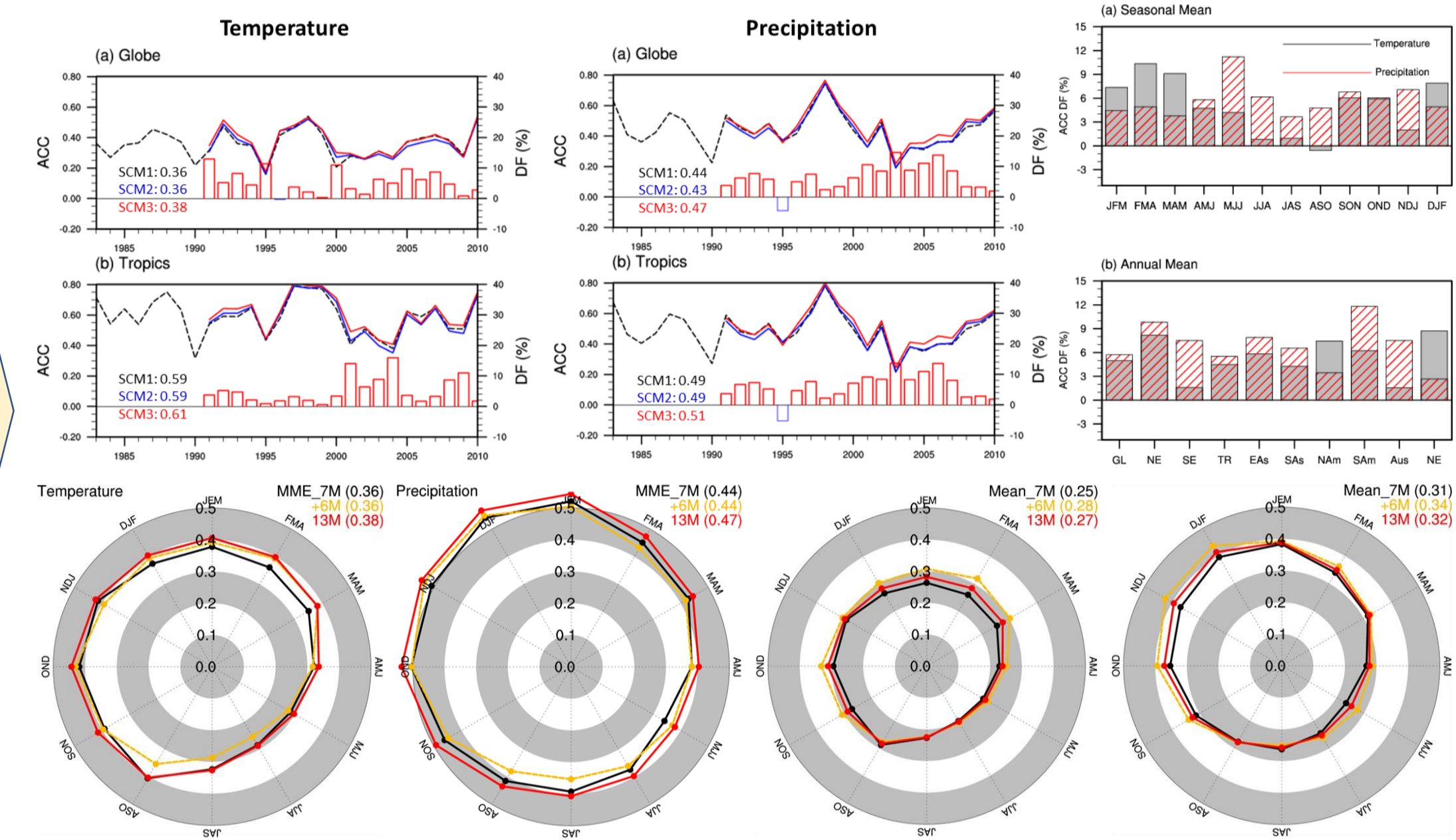
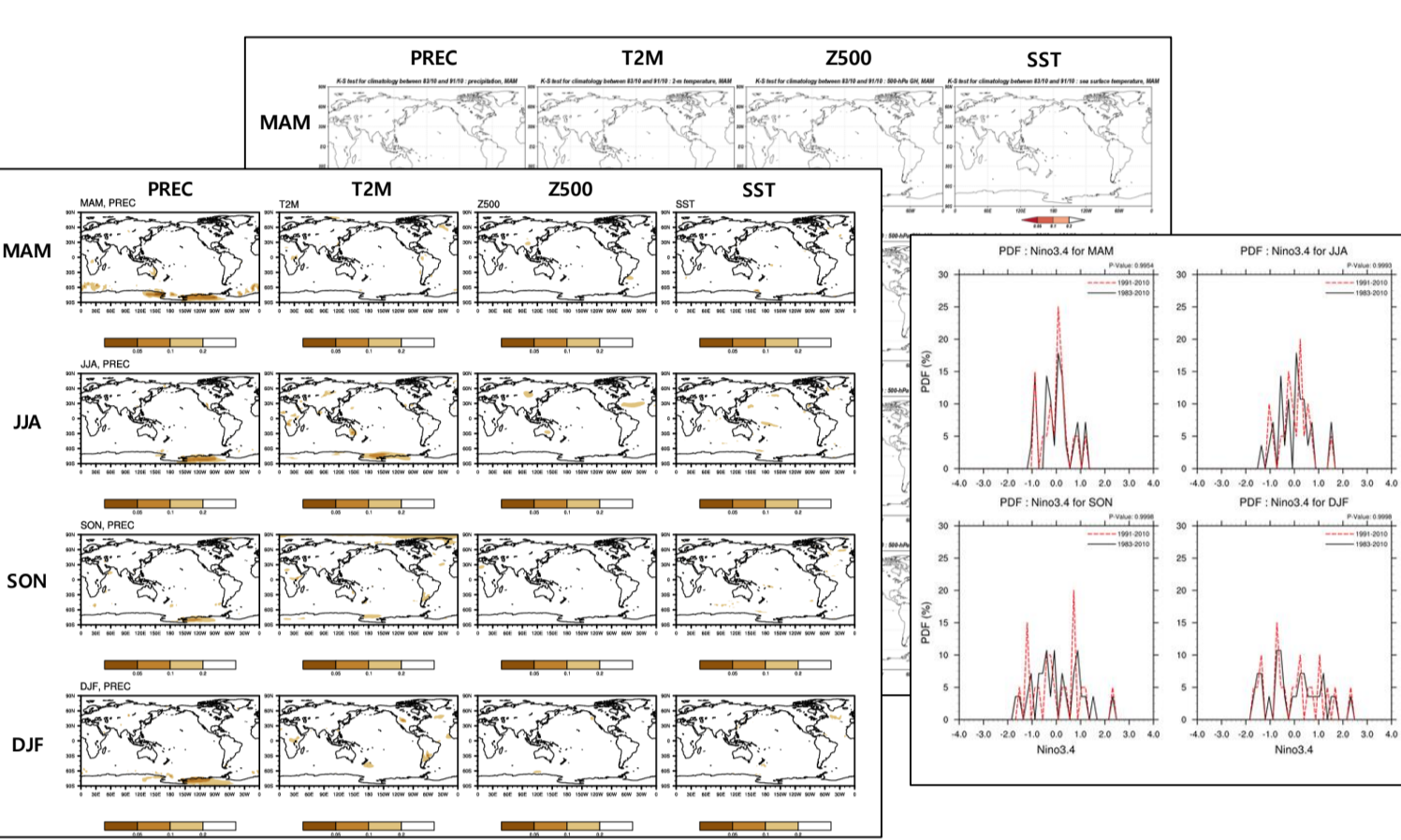
➔ 11개국 15개 기관 참여!

기후 평년기간 변경 및 참여모델 확장

기존 Hindcast 기간(1983-2010)을 계속해서 고수한다면?



1983-2010년 기후평년값 vs. 1991-2010년 기후평년값 차이 통계적 유의성 검증 수행 (T-Test / KS-Test / Nino3.4 PDF)



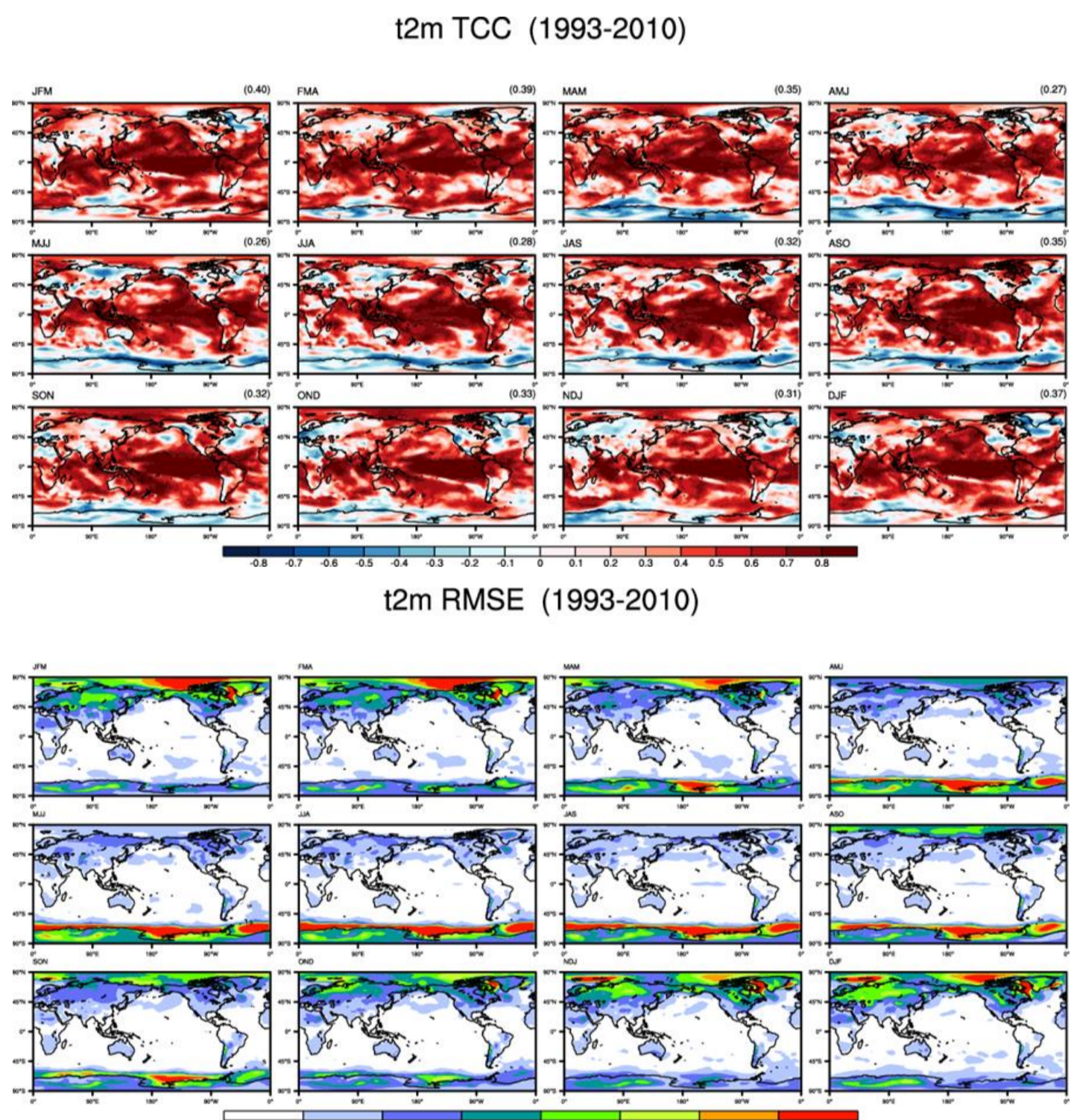
1991-2010년의 기후 평년기간으로 변경함에 따라 최근 개선/개발된 모델이 참여할 수 있게 되면서 APCC MME 예측력 향상에 기대됨!

- 최근 개선/개발되는 모델의 MME 포함 비율 증가
- 비교적 과거 기후로서 향후 미래 기후상태와의 괴리 가능성
- MME 예측력 하락이 예견됨!

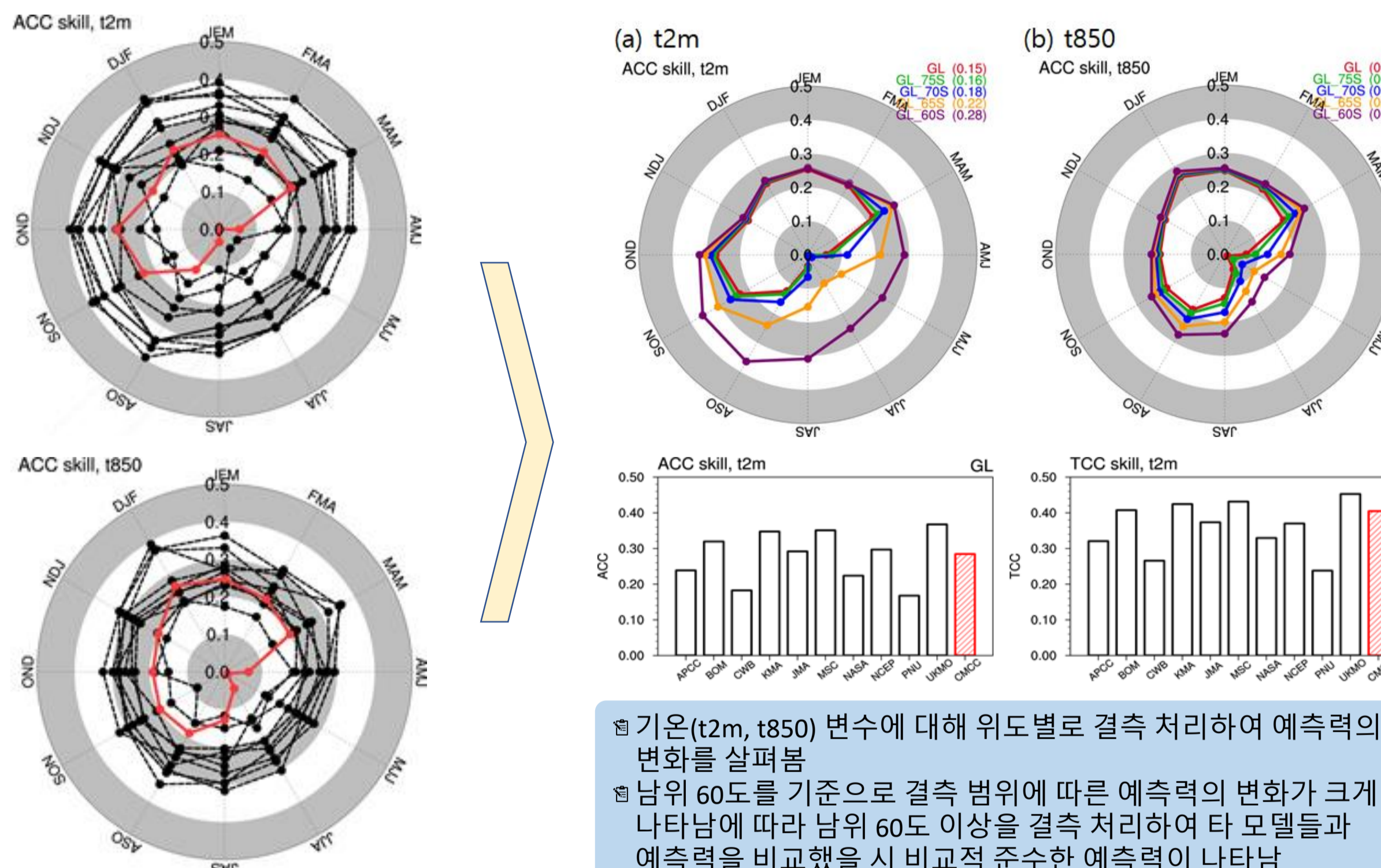
➔ Hindcast 기간 1991-2010년 변경!

참여모델 후처리 적용

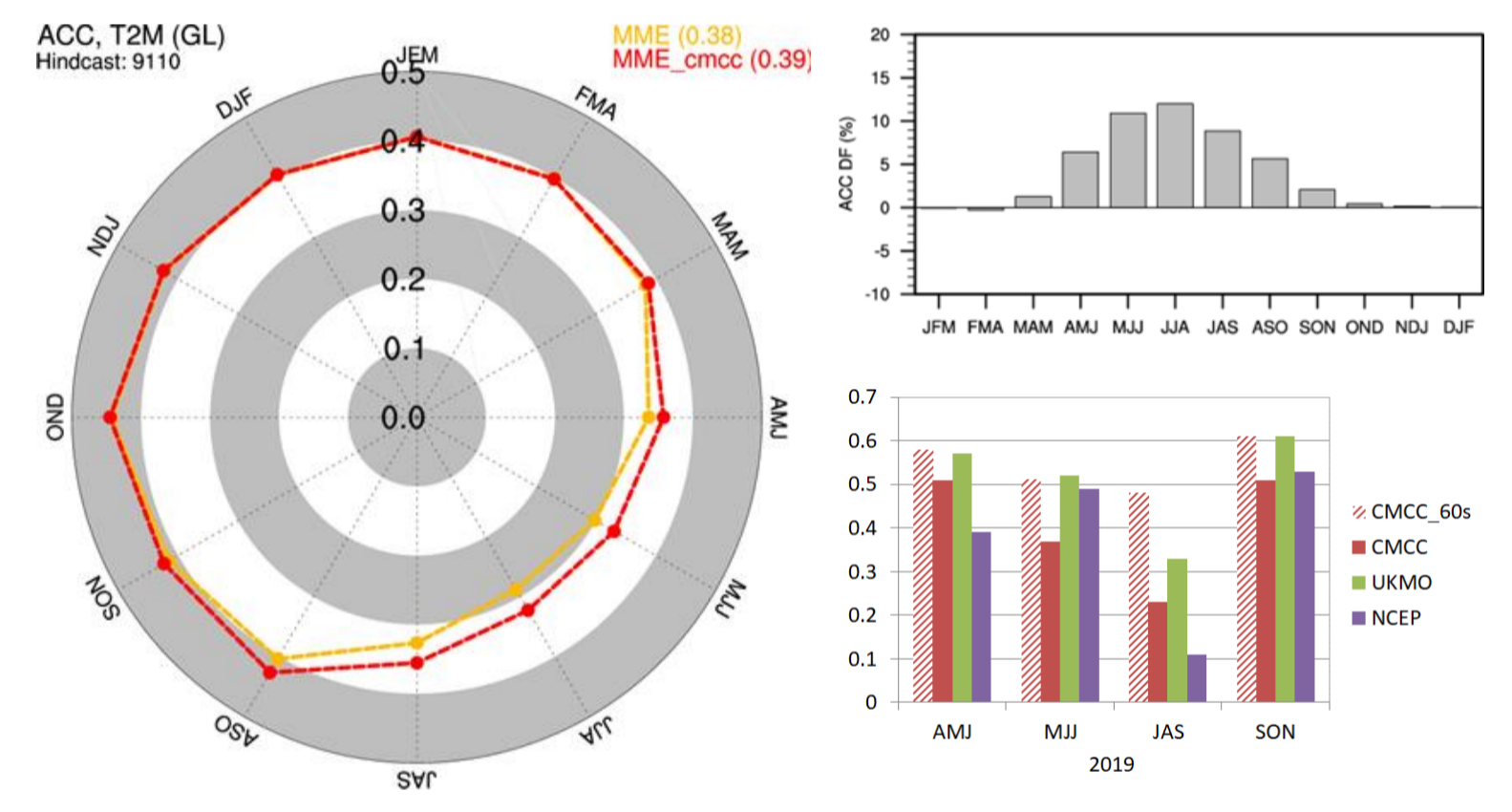
CMCC-SPS3 모델 여름철 기온(t2m, t850) 남반구 고위도 예측 이상 → MME 참여 X



CMCC-SPS3 모델 후처리 과정 및 효과



CMCC-SPS3 모델 후처리 적용 후 MME 참여 전/후 예측력 비교



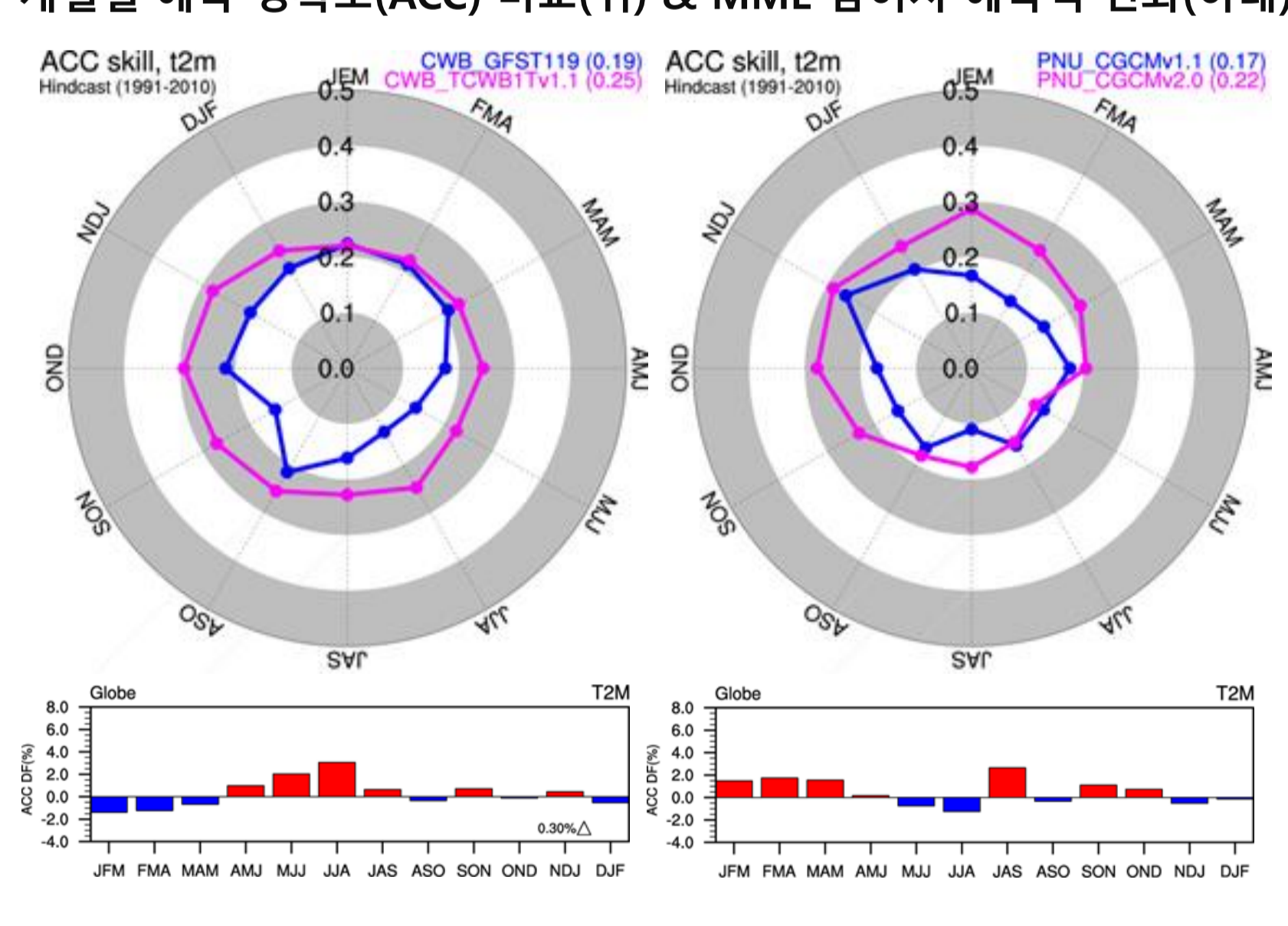
➔ CMCC-SPS3의 후처리 이후 MME 참여 시 예측력 향상!

참여 기관에서의 모델 개선 및 즉각 대응

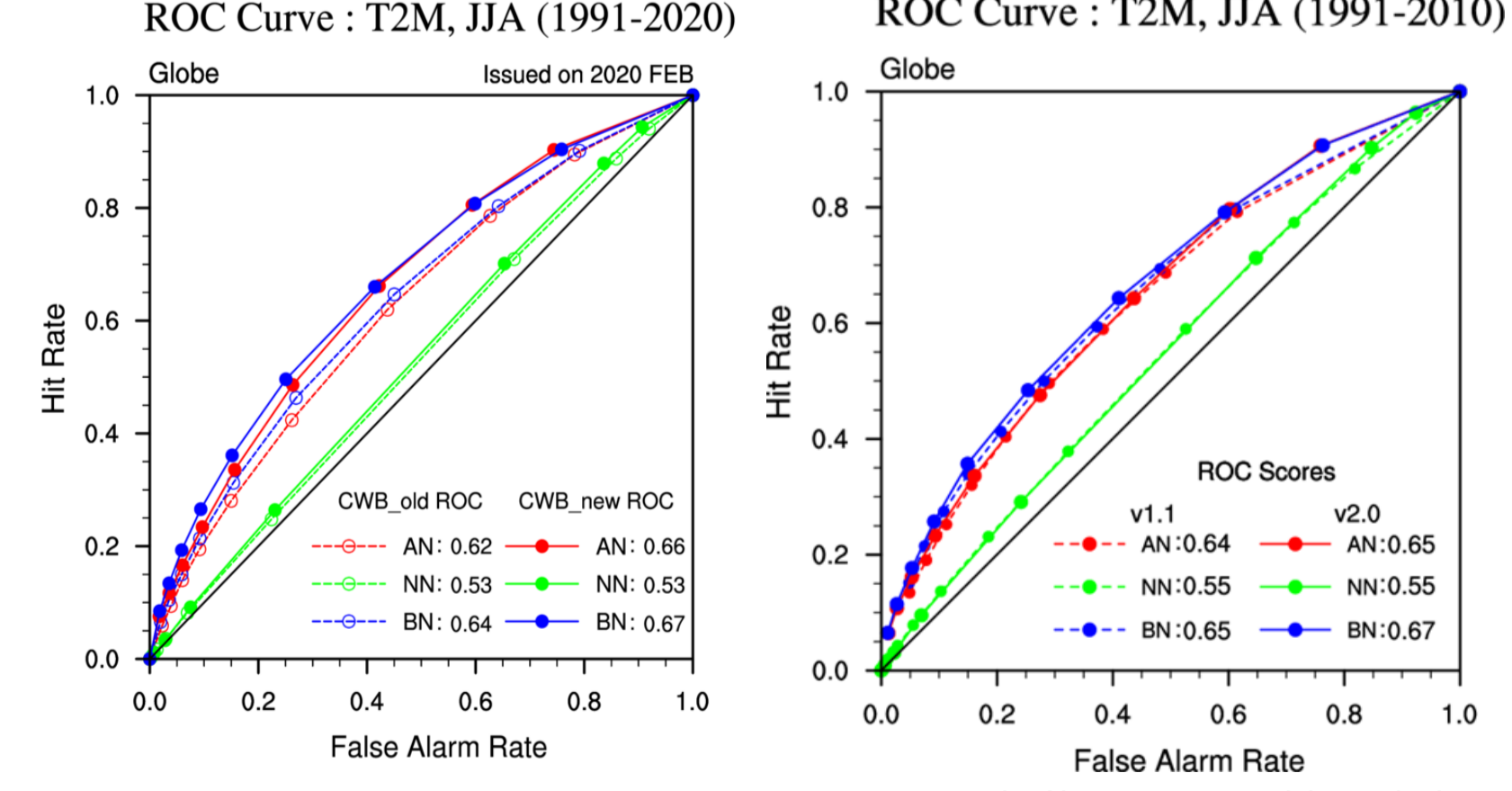
대만기상청(CWB) 및 부산대학교(PNU) 모델 개선 사항

기관명	CWB	PNU
모델명	GFST119L40-OPGSSTv2	TCWBTv1.1, CGCMv1.1, CGCMv2.0
해상도	T119, L40	T119, L40, T42, L18, T42, L18
앙상블 (FN)	3030	55, 3535
선행시간 (FN)	0.5-6 months	1-6 months
hindcast 기간	1982-2011	1982-2019, 1980-present, 1980-present
대기모델	GFS	CCM3, CCM3
해양모델	MOM3	MOM3, MOM3
지면모델	NOAH	LSM, LSM
해빙모델	-	LANL_EVP, LANL_EVP
대기초기조건	Interpolated from CDAS/NCEP	Interpolated from CDAS/NCEP, NCEP Reanalysis data 2, NCEP Reanalysis data 2
해양초기조건	Interpolated from CDAS/NCEP	OSSIT, OMP run with the MOM3 & ODA with CDAS
지면초기조건	Interpolated from CDAS/NCEP	AMP run with the CCM3
SST초기조건	(BC) Interpolated from CGPSST(GCWB, 2-mer)	-
해빙초기조건	-	OMP run with the MOM3

CWB(좌) 및 PNU(우) 모델 개선 전/후 계절별 예측 정확도(ACC) 비교(위) & MME 참여시 예측력 변화(아래)



CWB(좌) 및 PNU(우) 모델 개선 전/후 확률 예측 정확도(ROC) 비교



선제적 대응 및 자체 노력을 통한 예측력 향상!

✓ 예측력 향상 기여도 분석을 위한 실험 설계

실험	기후값	모델 구성
실험1	8310	2019년 참여모델
실험2	9110	2019년 참여모델
실험3	9110	2019년 참여모델 + 2020년 개선된 모델
실험4	9110	기존 모델+Hindcast 변경으로 참여 가능한 모델+CMCC 후처리
실험5	9110	기존 모델+Hindcast 변경으로 참여 가능한 모델+CMCC 후처리+2020년 개선된 모델

• 실험1 vs. 실험4 = 자체 노력(기후평년기간 변경 + 모델 후처리)을 통한 예측력 비교
 • 실험2 vs. 실험3 = 참여모델 개선에 따른 예측력 비교
 • 실험1 vs. 실험5 = 자체 노력 + 참여모델 개선이 모두 반영된 예측력 비교

✓ 예측력 향상 기여도 분석 결과

2019년 대비 기존의 경우 총 6.87% 예측력 향상 중 자체적인 노력만으로 6.83%의 예측력 향상을 보였고, 강수의 경우 모델의 개선 효과가 0.62%, 자체적인 노력 3.24%를 통해 총 3.37%의 예측력이 향상됨!

Summary

- 2020년 APCC는 MME 계절예측정보의 예측 정확도 향상을 위해 자체적인 노력(기후평년기간 변경, 참여모델 후처리)과 대외적인 노력(참여기관 모델 개선 및 대응)이 있었음
- APCC MME는 상대적으로 과거의 기후평년기간(1983-2010년)을 사용함으로써 최근 개발/개선되는 기후 모델이 점차 참여하지 못하여 예측력 하락될 것으로 예견되었으나, 기후평년기간에 따른 통계적 유의성 검증을 기반으로 기후평년기간 변경을 통해 최근 개선 및 개발된 비교적 예측력이 우수한 모델이 참여할 수 있게 됨에 따라 예측력 향상이 나타남
- 최근 개선된 CMCC(이탈리아)의 SPS3 모델은 남반구 고위도에서 매우 낮은 예측력이 나타나면서 MME에 참여하지 못하였으나, 다양한 민감도 실험 및 후처리 과정을 통하여 타 모델의 예측 수준과 유사한 정도로 회복되었으며, 이러한 후처리 과정을 통해 CMCC의 예측정보가 MME에 참여하게 되면서 MME 예측력 향상이 나타남
- 대만기상청(CWB) 및 부산대학교(PNU) 모델이 개선됨에 따라 APCC MME에도 예측력 향상이 나타났으며, 즉각적인 대응을 통해 보다 신속하게 APCC MME에 반영될 수 있었음
- 이러한 노력을 통해 2019년 대비 2020년의 APCC MME 예측력은 기존 6.87%, 강수 3.37% 향상되었으며, 그 중 자체적인 노력(기후평년기간 변경 및 참여모델 후처리)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 향후에도 본 연구에서와 같은 꾸준한 노력을 통해 APCC MME 계절예측정보의 신뢰도와 위상을 높이고, 보다 활용성 높은 정보를 생산하고자 함

감사의 글

본 연구는 기상청 아태 기후정보서비스 및 연구개발 사업 지원을 통해 수행되었으며, APCC MME Producing Centres (PCs)에 의해 생산된 hindcast/forecast 자료를 바탕으로 수행되었습니다. 자료를 제공해주신 11개국 15개 기관에 감사드립니다.

Thank You!

기계학습모델을 활용한 이상기후 확률전망 생산 기법 개발

APEC기후센터 기후분석과 이진영 선임연구원 jyrhee@apcc21.org

연구의 목적

이 연구에서는 정교한 혹서기 이상기후 대응을 위해 기계학습모델을 활용하여 최고·최저·평균 기온의 3개월 확률전망 생산기법을 개발하였다. 이상기후의 빈번한 발생과 그 빈도의 증가에도 불구하고 평균기온 전망만 제공된다면 이상기후에 대한 장기 대응은 미흡할 수 있다. 여름의 초입인 6월과 더위가 한창일 7월과 8월의 최고·최저·평균기온을 여름이 오기 전인 5월 초·중반에 예측하고자 관측자료 기반의 다양한 예측인자를 가우시안 프로세스 모델에 적용하여 전국 뿐만 아니라 10개 지역별로 이상기후 확률전망정보를 생산하였다.

연구의 방법

가우시안 프로세스는 베이지안 추론에 기반한 비모수 베이지안 모델로 적은 자료로도 결과를 잘 모의하는 것으로 알려져 있으며 확률예측을 통해 불확실성 정보를 제공한다.

예측인자의 다양한 구성을 고려하여 다음과 같이 여러 모델을 만들어 비교하였다.

- GD: 장기예보 가이던스에서 제시한 예측인자와 선행감시 시점을 이용한 모델
- GD_MOD: 이들 기후감시요소와 이상기후지수와의 상관관계를 이용하여 인자를 선정한 모델
- CL: 대기해양 변수와 이상기후지수와의 상관계수를 여러 군집으로 묶어 도출한 인자를 이용한 모델
- CL_PC: 군집으로 묶은 인자의 주성분을 이용한 모델

또한 베이지안 모델 평균을 이용하여 이 결과들을 통합하여 결합모델(BMA) 결과를 생산하였다.

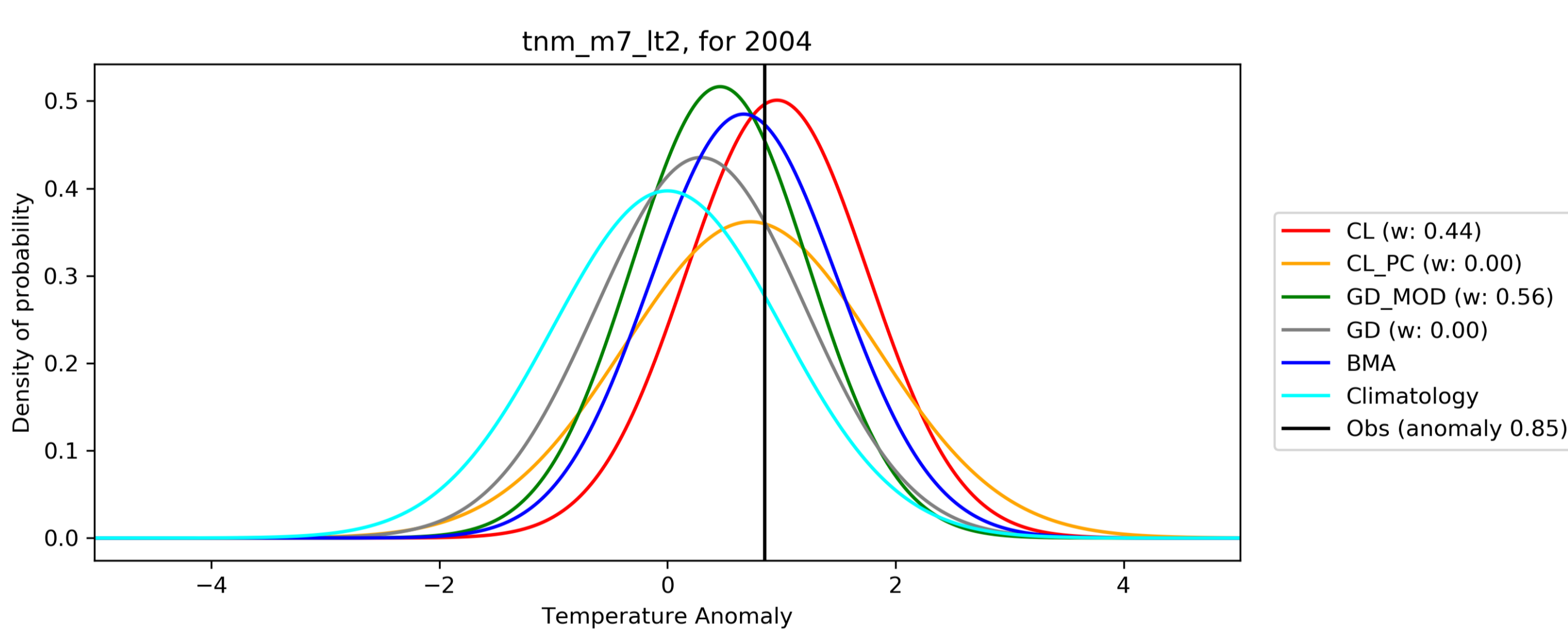


그림 2. 베이지안 모델 평균을 이용한 다양한 확률전망정보 통합 예시: 개별 모델과 결합 모델의 2004년 7월 최저온도 확률예측결과

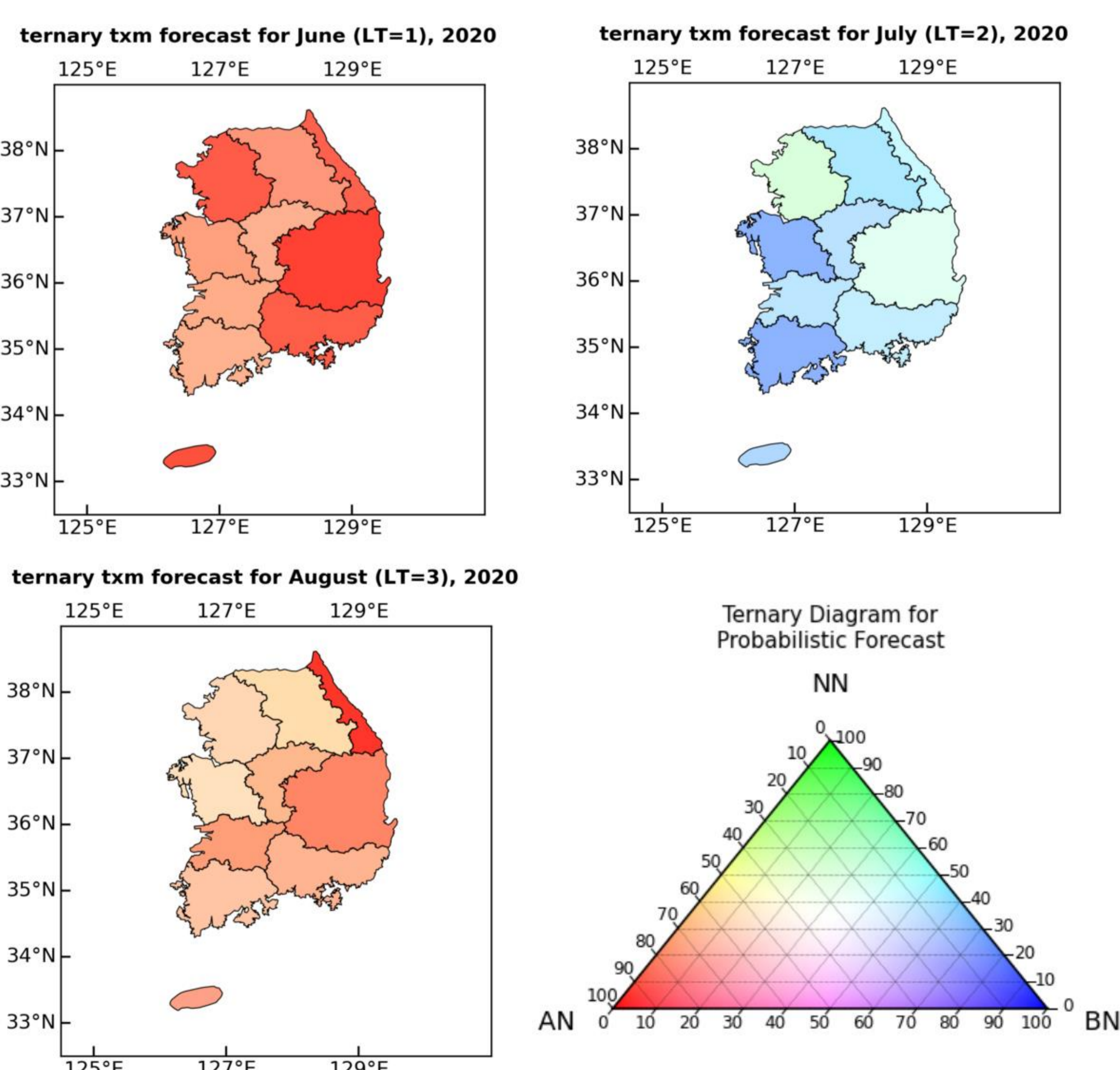


그림 3. 삼분위 다이어그램을 이용한 확률전망정보 표현 예시: 2020년 6, 7, 8월의 지역별 확률전망결과

자료

예측인자로 는 전년도 12월부터 금년도 4월까지의 장파복사, 해수면온도, 강수, 눈덮임, 850hPa 및 500hPa 지위고도와 해빙을 활용하였으며 GD모델을 제외하고는 NOAA에서 제공하는 여러 대기해양 인자도 함께 활용하였다.

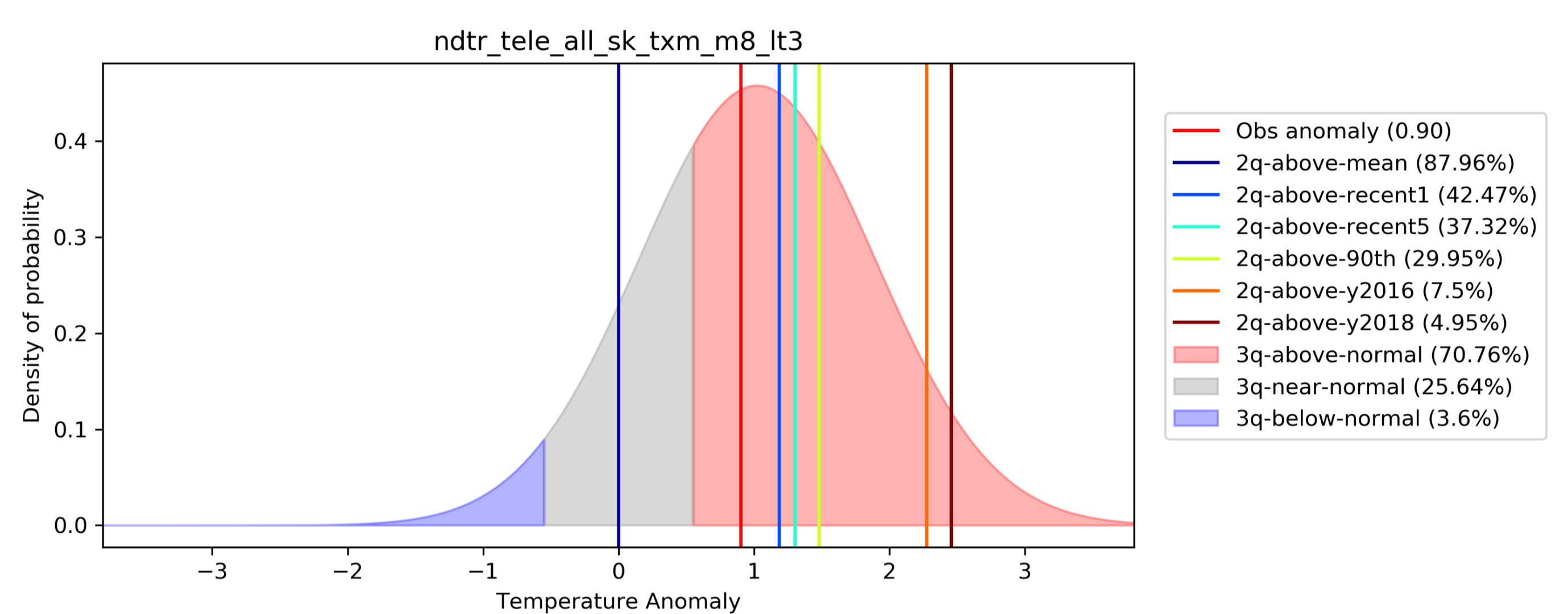


그림 1. 확률전망결과 예시: 2020년 8월 최고온도 확률예측결과

결과 및 기대효과

군집을 이용한 모델들과 결합모델의 예측성능이 우수함을 확인하였다. 기존에 평균기온 전망을 위해 활용하던 예측인자를 확장하여 3개월 최고·최저·평균기온 예측성을 향상했으며, 지역별 삼분위 확률전망정보를 시각적으로 전달하는 표현방안을 제시하여 예보관의 장기예보 및 사용자의 계절전망에 대한 활용성을 증대 시키고자 하였다.

특히 이 연구에서 초점을 맞추고 있는 혹서기에는 폭염 및 열대야로 인한 피해의 사전 예방과 조기 대응에 이상기후 장기전망정보의 제공이 필수적이라고 할 수 있을 것이다. 이 연구에 이어 관측 자료와 모델의 예측정보를 결합하고 다양한 예측정보를 통합하는 후속 연구를 진행하고 있으며 이를 통해 예보관의 의사결정 지원을 확대하고 이상기후 정보 서비스 개선의 기반을 마련하고자 한다.

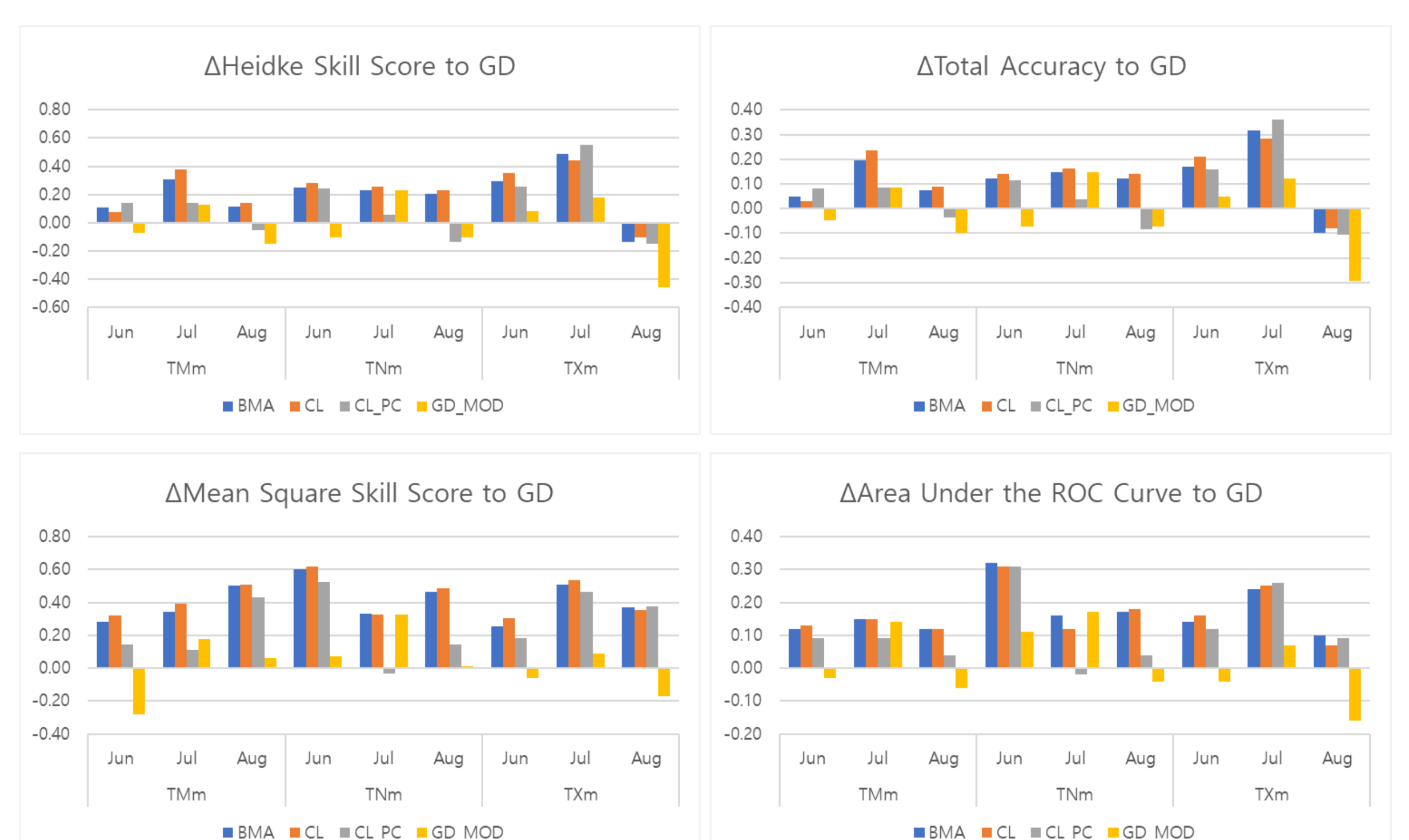


그림 4. 일년 씩 교차검증하여 평균한 과거재현기간에 대한 모델 성능: GD모델에 대한 증가분

계절 예측 자료의 현업 활용을 위해서는 전문가의 개입을 동반한 상당한 후처리가 필요

수 개월 후의 기후 특성을 예측하는 계절 예측 기술은 꾸준히 발전하여, 다양한 분야의 의사 결정 과정에 필수적인 정보를 높은 신뢰도로 제공할 수 있게 되었다. 통계적인 접근을 통한 계절 예측이 시작된 이래, 기후 물리/역학 과정에 대한 이해 증진과 함께 통계/역학 기반의 다양한 예측 기술이 개발되었고, 에이펙기후센터 역시 선도적인 기후 정보 서비스 기관으로서 다중모델앙상블을 기반으로 고품질 계절 예측 정보를 제공하고 있다. 그러나, “다양한 연구/운영 기관들에서 생산되고있는 예측 정보를 현업에 직접 활용하기 위해서는 편차 보정, 관측 결과 반영, 결과 해석 등 여전히 많은 후처리 과정이 필요”하다.

후처리 작업을 자동화되 전문가의 지식 경험을 살릴 수 있는 ESPreSSO를 개발

이러한 기후 예측 정보 후처리 과정의 표준적인 절차를 바탕으로 맞춤형 다중모델앙상블 후처리 시스템인 ESPreSSO (Expert Seasonal Prediction System for Seasonal Outlook; Kor. Patent No. 10-19 01311, 2017)가 개발된 바 있다. 이는 전문가의 지식과 경험을 토대로 다중모델앙상블 결과를 우리나라 기후 실정에 맞게 변환해주고 예측 결과의 해석에 도움을 주는 “통계-역학 하이브리드 계절예측 시스템”이다. 초기 버전은 전문가가 수동으로 제안한 예측 인자를 객관적 선별을 통해 적용하는 방식으로 Heidke Skill Score (HSS) 기준 기준 0-10% 수준의 예측 성능을 30-50% 까지 끌어올린 바 있다. 그러나 이러한 “전문가의 직접 개입 방식은 변화하는 다중모델 환경에 빠르게 대처하기 어려운 측면”이 있었다.

전문가+인공지능 협업 기반으로 수동적 개입을 최소화하고 활용도를 높인 ESPreSSO^{v3}

새로 개발된 ESPreSSO^{v3} 는 “예측 인자 선택 과정을 자동화하여 환경 변화에 민첩하게 대처하고, 예측 과정에 대한 설명과 모식도를 제공함으로써 예보 활용도를 높이고자” 하였다. 새 시스템은 잠재 예측 변수와 지역에 대한 전문가의 개략적인 가이드를 바탕으로 다중모델앙상블의 예측 성능, 대륙-해양의 차이, 위도 의존성, 그리고 영향 변경 등을 고려하여 실제 기후에 맞는 베이스 보정 사상을 자동으로 생성한다. 한편, 새 시스템은 사용자 접근성 향상에도 공을 들여, 일반적인 확률 예측 결과 뿐만 아니라, 권역별 예보, 과거 예측 성능 검증, 그리고 기후 인자의 예측 상황과 이에 대한 우리나라 기후 반응에 대한 개념 모식도를 제공한다. 또한 계절 전망, 예측 인자 정보, 예측 상황 개요에 대한 자연어 요약을 제공하여 ESPreSSO^{v3} 가 어떠한 근거로 계절 예측 전망을 생산하였는지 쉽게 이해할 수 있도록 하였다.

ESPreSSO^{v3}의 구동 원리와 연산의 흐름

예측 인자 선택 > 주/부인자 선별 > 다중 베이스 회귀 > 앙상블 및 조정 > 통합 계절 전망 제공

[선택부] 전구적인 기후 현상의 물리/역학적 과정과 이에 따른 우리나라 기후의 반응, 그리고 기후 예측 모델의 특성을 이해하고 있는 전문가가 기후 예측 기저 모델(APCC-MME)의 변수와 공간적 특성을 선별하여 “전문가 가이드”를 작성한다. ESPreSSO^{v3}는 이러한 전문가 가이드와 기저 모델의 성능, 위도에 따른 격자 왜곡, 영향 변경 등을 고려하여 기저 모델의 예측값을 우리나라 기후에 적합하기 위한 예측 인자를 선별한다.

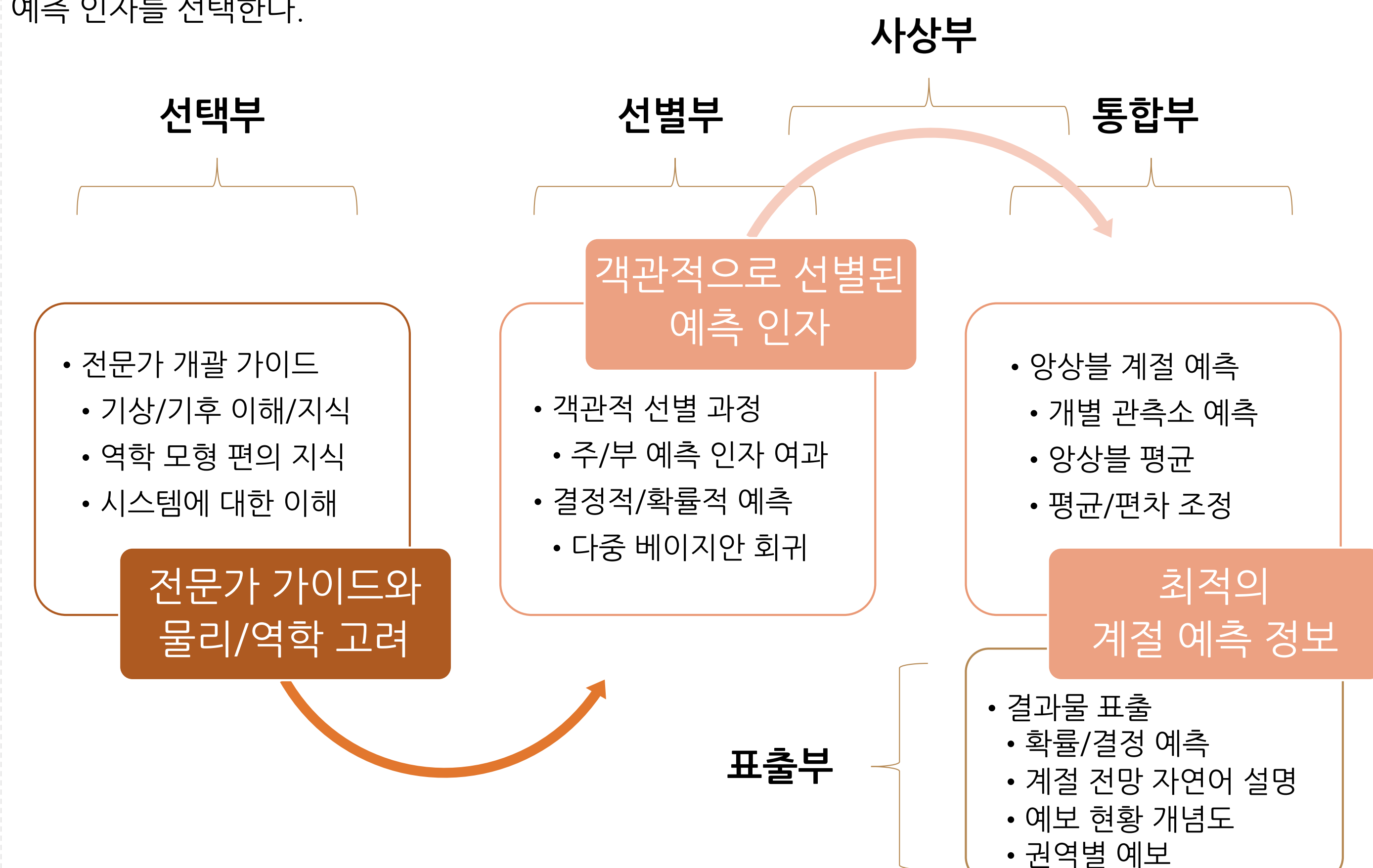


그림 1. ESPreSSO의 전체 개념 흐름도

[선택부] 각 관측소에 맞춰 추출된 예측 인자를 객관적 선별 과정을 거쳐 주인자와 부인자로 여과하고, [사상부] 다중 베이스 회귀를 통해 각 관측소에 대한 개별 예측값을 생성한다. [통합부] 이렇게 예측된 개별 예측값의 앙상블을 통해 안정적인 예측값을 추정하고, 현업 운영에 맞춰 통계량을 미세 조정하는 최종적인 예측 결과를 생산한다. [표출부] 최종 확률/결정 예측값 뿐만 아니라, 예측 정보, 예측 인자의 활동과 우리나라 기후에 미치는 영향, 예측 현황, 권역별 상세 예보, 검증 정보 등을 포함한 통합 계절 전망을 자연어로 제공하여 예보자의 편의와 접근성을 향상시키고, 예측 현황이 정리된 기후 모식도를 제공하여 현재 눈 여겨 보아야 하는 예측 인자의 활동과 이들이 우리나라 기후에 미치는 영향, 그리고 최종 예측 결과를 이해하기 쉽도록 하였다.

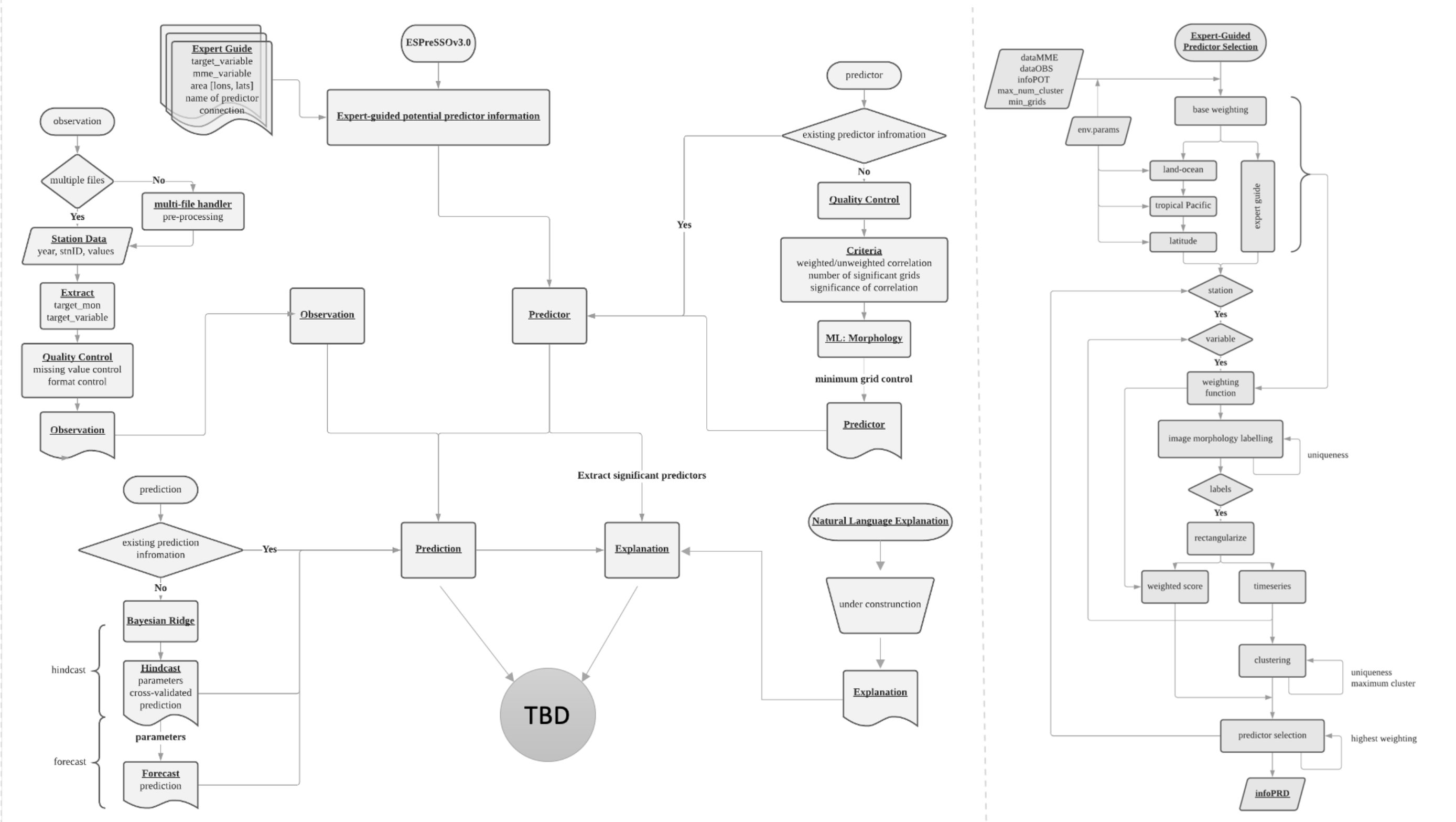
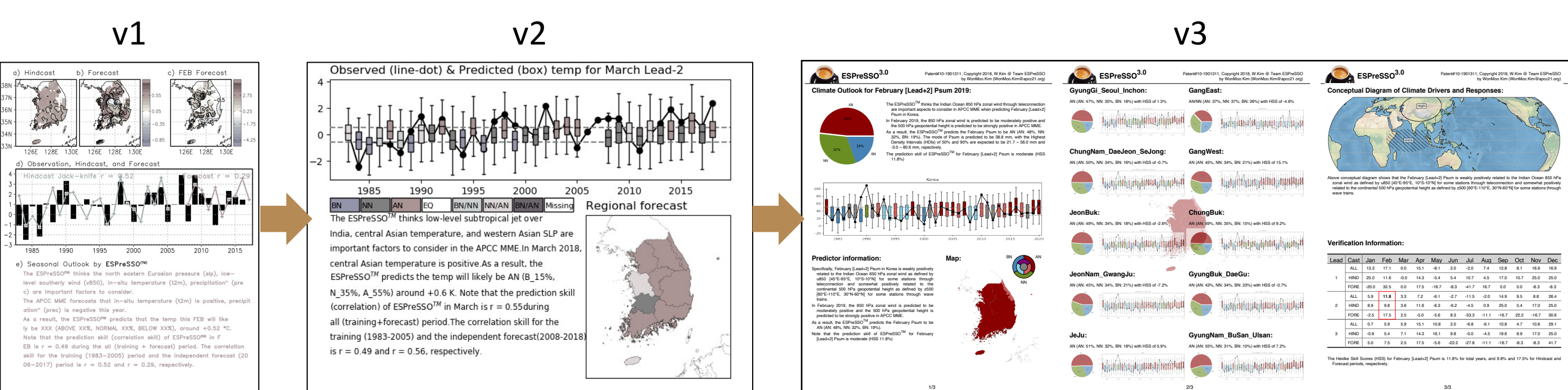


그림 2. ESPreSSO^{v3}의 (좌) 전체 연산 흐름 및 (우) 전문가 선택부 세부 흐름도



ESPreSSO^{v3}의 전문가+AI 협업 기반의 자동 예측 인자 선별 시스템

전문가의 직접 개입에서 전문가+AI 협업 시스템으로 진화

기존의 ESPreSSO는 전문가의 직접적인 개입에 의한 잠재 인자 선택 시스템을 이용하여, 기저 모델에 맞는 예측 인자 설정이 수동으로 이루어졌다. 새로운 ESPreSSO^{v3}는 “전문가의 소극적인 가이드와 인공지능 선별 시스템이 협업”하도록 개발하여 환경 변화와 변수 추가에 능동적으로 대처할 수 있게 되었다.

전문가 가이드는 우리나라에 영향을 미치는 대기/해양 변수와 그 위치 등에 대한 지식(예시 그림 3)과 기저 모델의 예측 성능에 대한 경험을 정리한 표의 형태로 ESPreSSO^{v3}의 예측 인자 자동 선별 시스템에 제공된다. ESPreSSO^{v3}는 입력 받은 전문가 가이드, 대륙-해양 간의 차이, 기저 모델의 예측 성능, 위도에 따른 격자 왜곡, 기후 현상의 영향 변경 등을 가중치로 고려하여 예측 인자를 선정한다.

이후, 이미지 프로세싱을 통해 산재된 예측 인자 격자값으로부터 해당 인자의 대푯값을 추정하고 클러스터링을 통해 잠재 예측 인자의 군집을 형성한 후, 군집 선별 및 인자별 가중 점수를 통하여 최종 주/부인자를 선택하게 된다.

필요한 경우, 전문가가 직접적인 개입을 통하여 자동 선별 시스템의 결과를 오버라이드할 수 있도록 조치하여 추가적인 예측 성능 향상을 꾀하였다.

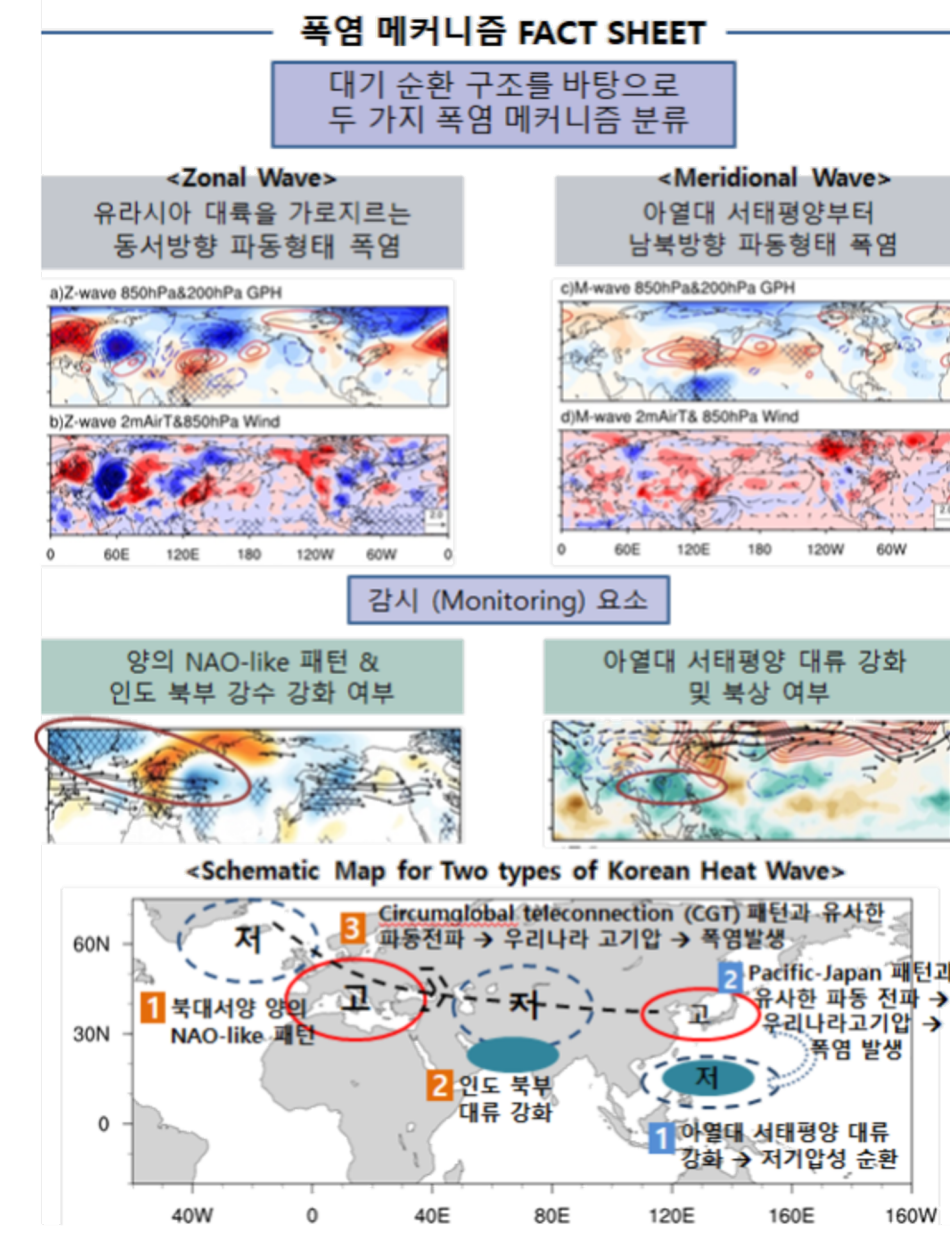


그림 3. 전문가 가이드를 통해 고려되는 기후 현상의 예시

ESPreSSO^{v3}의 이해하기 쉬운 통합 계절 전망

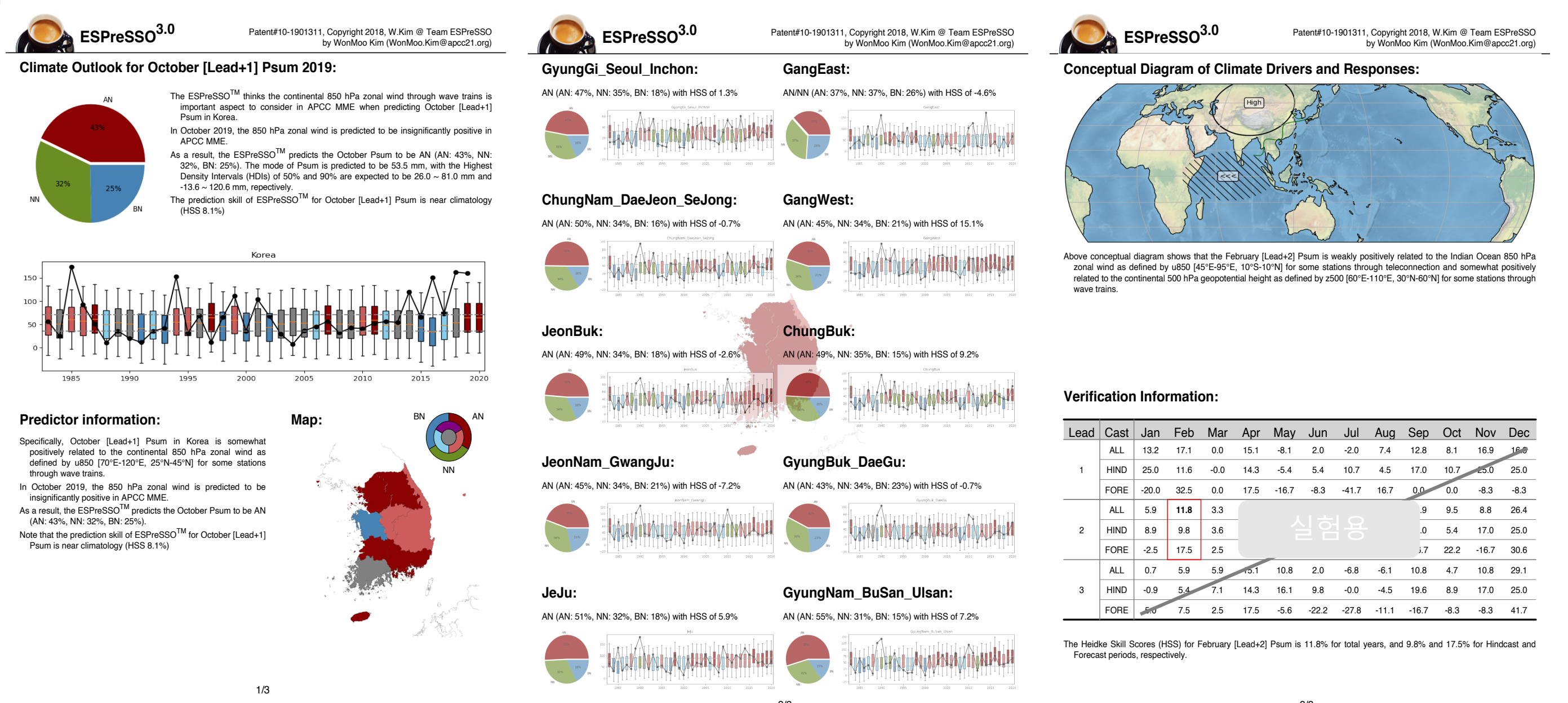


그림 4. ESPreSSO^{v3}를 통해 생산된 통합 계절 전망의 예시

자연어 해설

ESPreSSO^{v3}는 기본적으로 다양한 예측 정보(상분위 확률, 50% 및 90% 최고일도구간, 대푯값)과 검증 정보(Heidke Skill Score 및 구간)를 제공한다. 이와 함께, 사용자가 예측 결과를 쉽게 이해하여 현업 계절 전망 작성에 도움이 될 수 있도록 현재 예측 인자의 활동과 이들이 우리나라 기후에 미치는 영향, 예측 현황 및 영향 강도 등을 자연어로 표출한 “통합 계절 전망” 보고서를 제공한다.

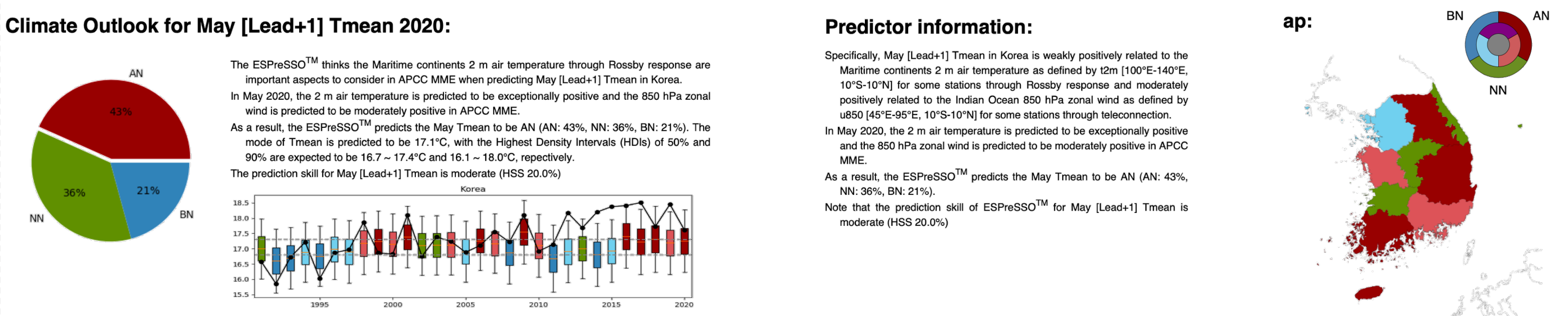
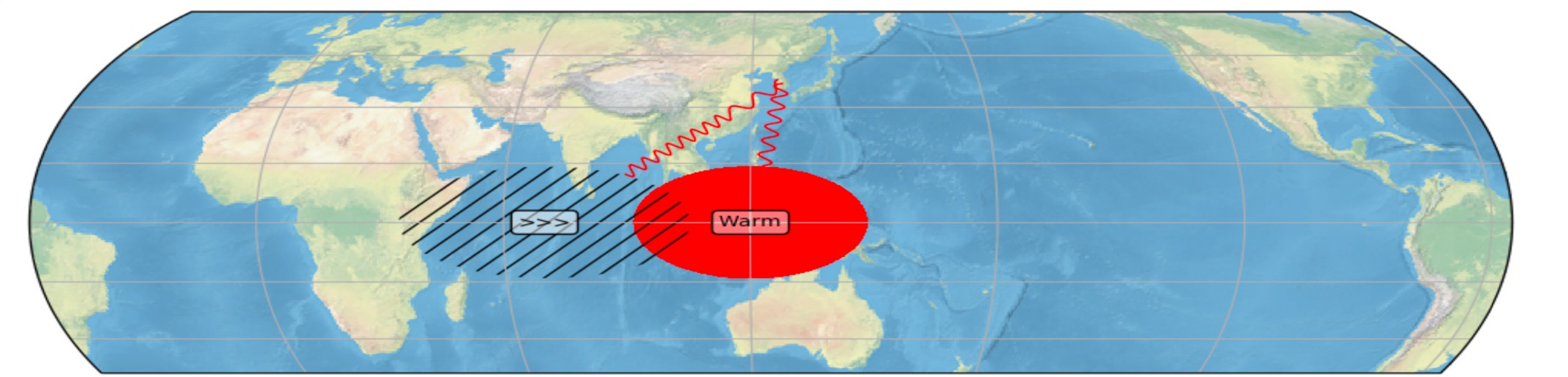


그림 5. ESPreSSO^{v3}가 제공하는 기본 예측 정보

예측 현황 모식도

통합 계절 전망에는 ESPreSSO^{v3}의 전문가+AI 협업 시스템을 통해 선별된 예측 인자의 활동 전망과 우리나라 영향을 정리한 “예측 현황 모식도”가 포함되어있다. 예측 현황 모식도를 통해 기후 영향 인자의 기저 모델 예측 현황, 우리나라에 영향을 미치는 강도, 방향성 및 물리/역학적 방식, 그리고 최종적으로 우리나라 기후에 대한 영향을 그림으로 정리하여 사용자의 접근성을 향상시키고자 하였다.

Conceptual Diagram of Climate Drivers and Responses:



Above conceptual diagram shows that the May [Lead+1] Tmean is weakly positively related to the Maritime continents 2 m air temperature as defined by t2m [100°E-140°E, 10°S-10°N] for some stations through Rossby response and moderately positively related to the Indian Ocean 850 hPa zonal wind as defined by u850 [45°E-95°E, 10°S-10°N] for some stations through teleconnection.

그림 6. ESPreSSO^{v3}의 기후 현황 모식도 및 자연어 설명

권역별 상세 예보 및 검증 시스템 고도화

사용자의 요청 사항이었던 권역별 상세 예보 정보를 고도화하여, 영역 평균 삼분위 예측은 물론, 과거 검증 시계열 및 검증 정보(HSS) 등을 상세히 제공하고 있으며, ESPreSSO^{v3}의 과거 예측 성능을 모든 계절 및 선행 시간에 대해 함께 제공함으로써, 계절별, 선행 시간별 예측 성능 변화의 추이를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

운영 지원 기능 강화

전문가 가이드, 영향 변경, 클러스터 거리 및 개수, 우리나라 기후와 관계성, 대륙-해양 차이, 역학 모델의 예측 성능 등의 가중치 민감도 실험을 통해 최적의 조합을 도출, 예측 성능 및 안정성을 향상시켰으며, ESPreSSO^{v3}를 쉽게 구동하고 검증할 수 있도록 운영자용 편의 시스템(스타터, 개별 구동, 검증 구동 등)을 개발하고 버전 관리 시스템을 도입하였다.

예측 성능 평가 및 추가 예측성 향상 요소

ESPreSSO^{v3}는 다양한 후처리 기법을 민첩하게 실험하기 위한 시험대로 가능하고 있으며, 이에 도입된 여러 기능은 빠른 실험을 위해 최대한 단순하게 구현하였다. 현재 ESPreSSO^{v3}의 전문가 가이드는 APCC-MME ver1을 기준으로 제작되었으나, 올해 하반기에 새로운 APCC-MME ver2에 맞춰 전문가 가이드를 갱신할 예정이다. 이를 통해 예측 성능이 추가 향상될 것으로 기대한다. 현재 구성의 HSS 기반 예측 성능은 일부 이상치를 제외하고 대략 10~30% 수준(테스트 버전 기준, 기저 모델 예측 수준은 0~10%)으로 기존 적극적인 전문가 개입을 통한 성능 30~50%보다 낮은 수준이나, 전문가 오버라이드 기능을 통해 예측성을 향상시킬 수 있을 것으로 보인다.

APEC기후센터 ESGF 데이터 노드를 활용한 CORDEX동아시아 자료 서비스

한정민¹, 최재원¹

¹APEC기후센터, goal@apcc21.org

지역 모델을 적용한 기후변화 시나리오 자료의 해상도가 증가됨에 따라 대용량 기후자료를 공동으로 관리하고 운영하기 위한 ESGF (Earth System Grid Federation)가 주요 기관을 중심으로 구축되었다. ESGF는 P2P(Peer to Peer) 컴퓨팅 기술을 이용하여 모델의 출력, 관측 자료 관리, 보급 및 분석을 제공하기 위한 표준 소프트웨어를 개발하고 각 역할에 따라 인덱스 노드와 데이터 노드로 구분하였다. 인덱스 노드는 사용자들에 서비스를 담당하는 역할을 수행하고 있고, 데이터 노드는 각 지역에서 생산된 자료를 배포하는 역할을 수행한다. 그리하여, 동아시아 지역의 기후변화 연구를 위해 국립기상과학원, 울산과학기술원, 포항공과대학, 부산대학교, 공주대학교에서 생산하고 있는 CORDEX(Coordinated Regional Climate Down-scaling Experiment) 동아시아 지역기후변화 시나리오 자료를 전 세계에 공유하기 위해 APEC 기후센터에 ESGF데이터 노드를 구축 하였다. APEC기후센터의 데이터 노드는 ESGF로의 요구조건을 충족하여 2019년 정식 노드로 인증을 받아 스웨덴의 인덱스 노드와 연동이 가능하였다. 국내에서 생산된 CORDEX 고해상도 동아시아 지역기후모델 자료(데이터셋: 291건, 파일: 5,238건)를 ESGF데이터 노드를 통해 배포되었으며 CORDEX자료를 전 세계에 제공하는 중요한 역할을 수행하고 있다.

서론 (Introduction)

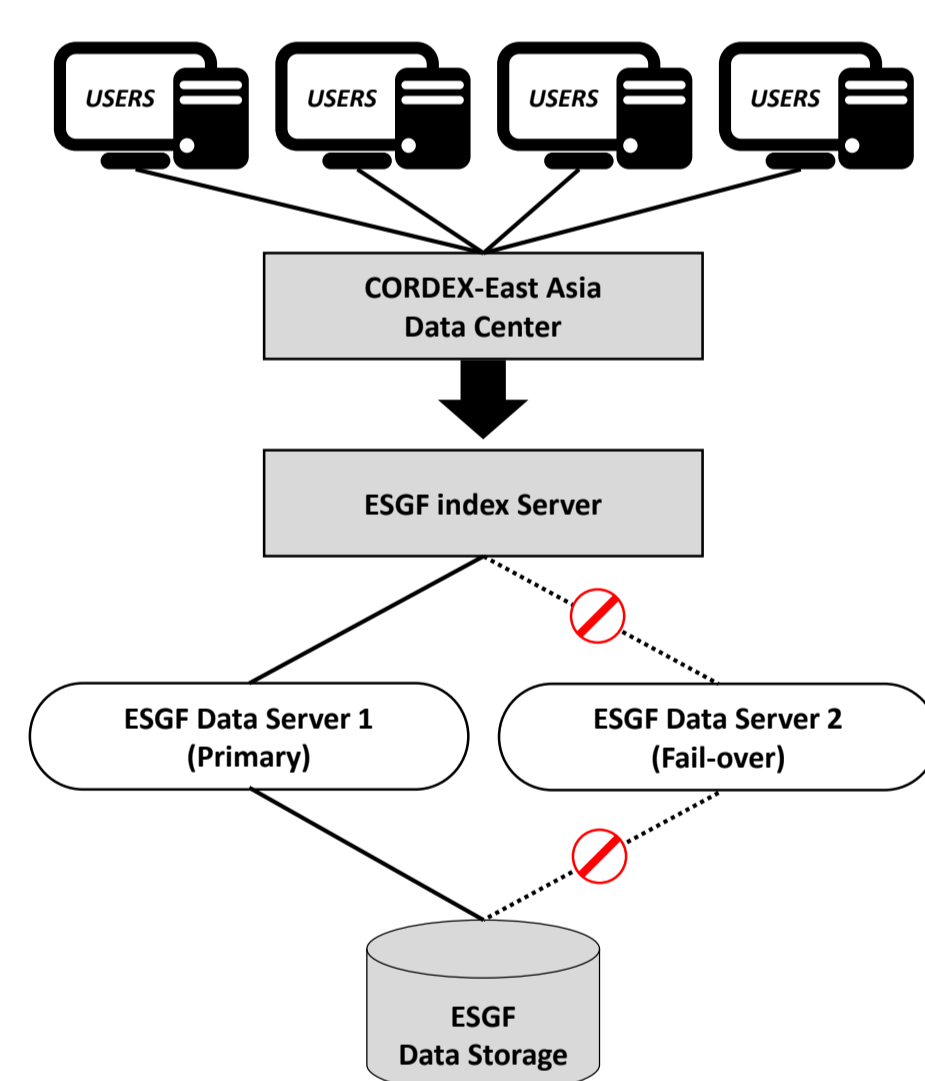
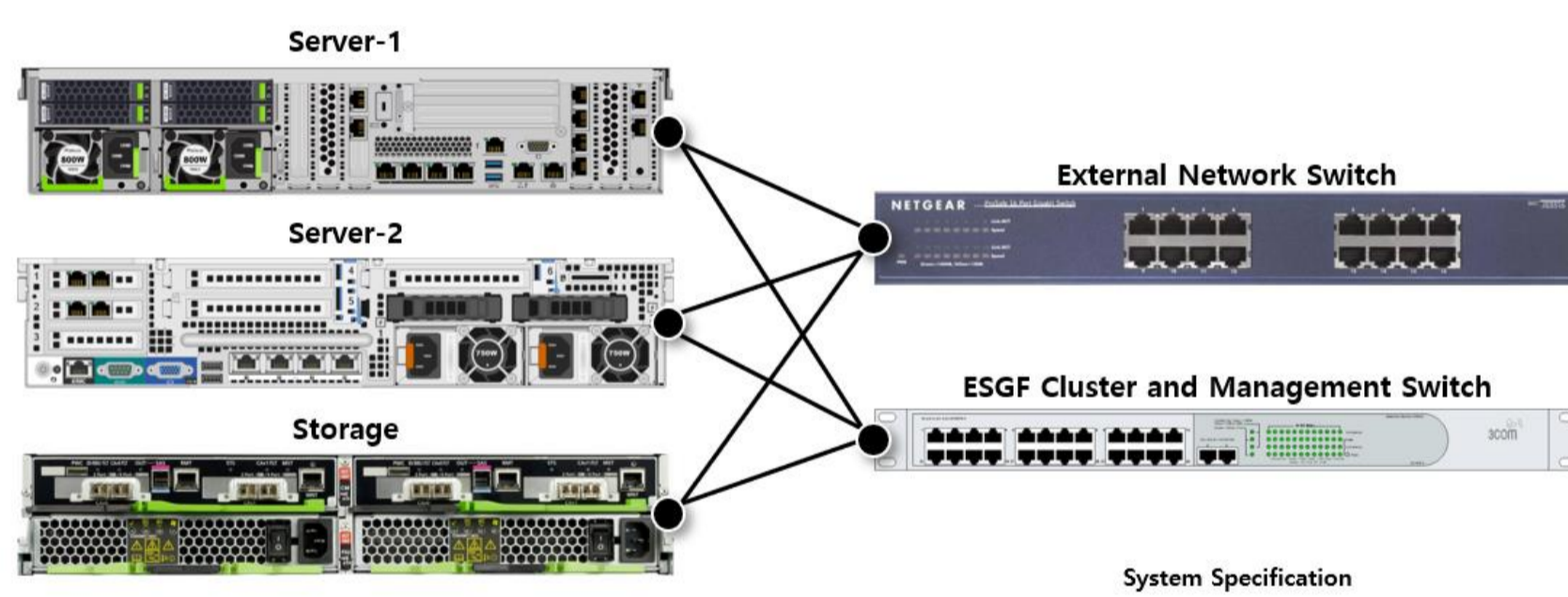
- ✓ 국제표준 실험이 급격히 증가로 자료의 용량이 증가되고 있음.
- ✓ CMIP6/AR6 대응을 위해 국제적으로 연구가 활발히 진행중임.
- ✓ CORDEX자료의 모델 해상도를 높여 ESGF 참여를 통해 전세계 공유
- ✓ 2018년 APEC기후센터는 기후자료를 공동으로 관리 운영하는 ESGF에 참여
- ✓ 2019년 고해상도 CORDEX동아시아 지역기후모델 자료서비스 개시

ESGF 참여 준수요건 (Requirements)

- ✓ 서비스 개시 후, 90% 이상의 가동 시간 준수(329일 이상 정상 가동).
- ✓ ESGF 소프트웨어 스택에 대한 데이터 노드 역할 지원해야 함.
- ✓ ESGF의 가장 최신 버전으로 유지해야 함.
- ✓ 신규 버전 배포 후 2주 이내에 설치되어야 함.
- ✓ 보안침입이 탐지되었을 경우, 즉각(7일 이내) 조치해야 함.
- ✓ 데이터 노드 운영 기관은 노드 관리 및 운영에 책임이 따름.
- ✓ 주요 데이터 배포 및 발행의 역할을 수행해야 함.
- ✓ 충분한 저장공간과 네트워크 대역폭을 유지해야 함.

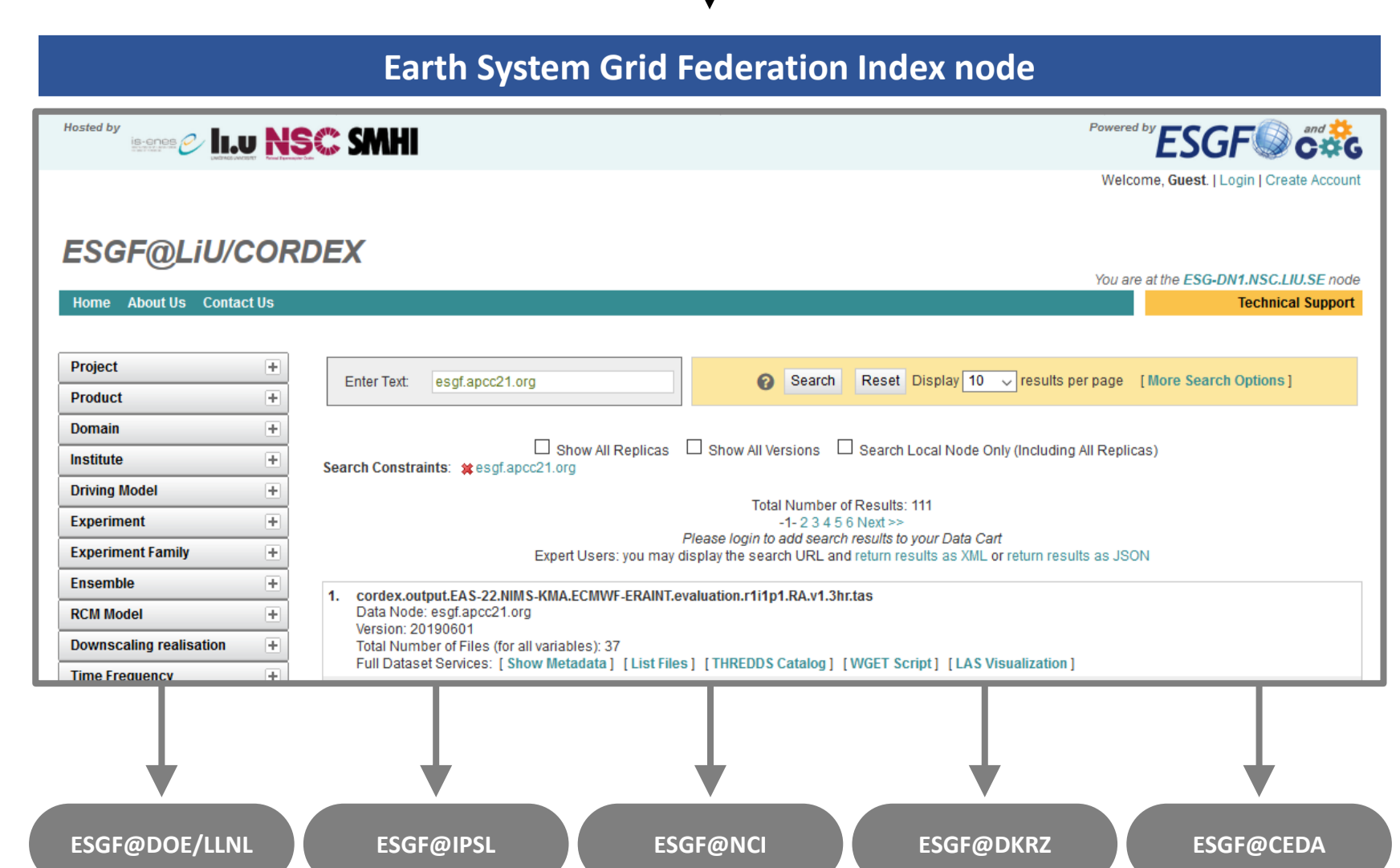
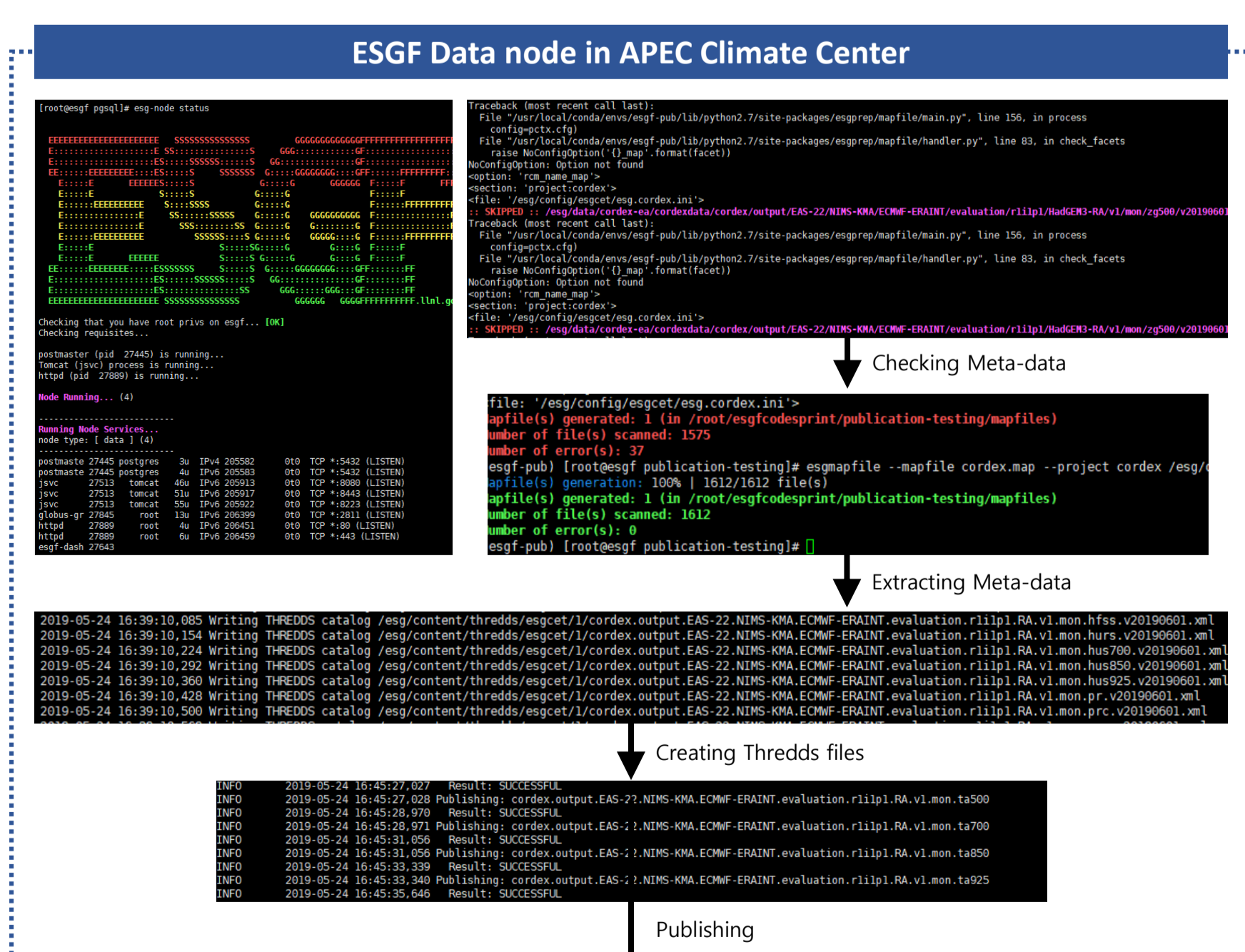
장애발생 대응 방안 구성 (Systems)

- ✓ 데이터 노드 시스템 이중화를 통한 안정성 확보
- ✓ Active-Standby 클러스터링으로 신속한 장애대응

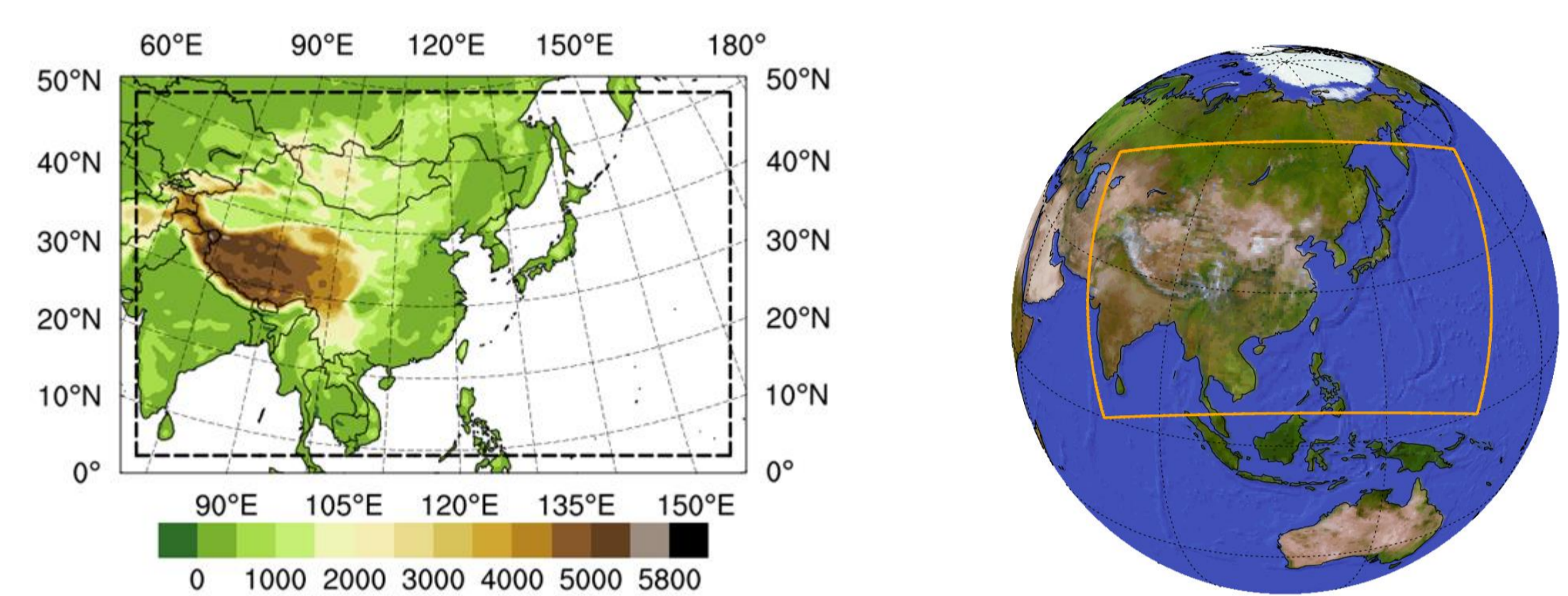


메타데이터 생산 및 배포 (Publishing)

- ✓ APEC기후센터에서 원본 자료의 메타정보 무결성 점검.
- ✓ JAVA기반 XML 문서 파킹 처리를 통해 스웨덴 인덱스 노드 연동
- ✓ ESGF인덱스 노드의 메타정보는 ESGF 전체 노드 동기화.



CORDEX 동아시아 지역 (Domain)



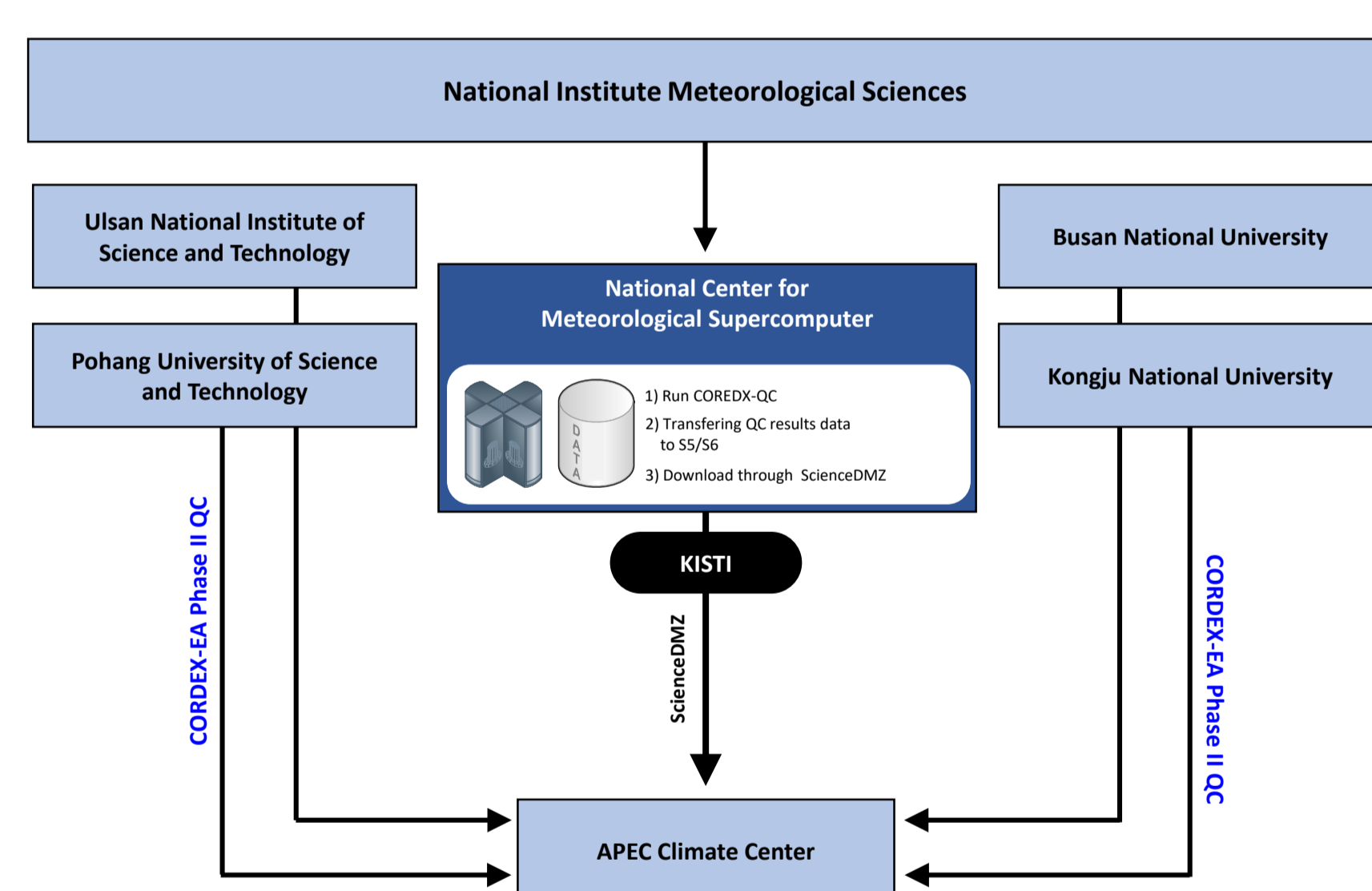
* For rotated polar RCMs(in rotated coordinates): RotPloce(296.3; 61.0), TLC(316.77; 32.90), Nx=203, Ny=167

CORDEX 동아시아 모델 (Models)

	RCP	HadGEM2-AO	MPI-ESM-LR	GFDL2M
RCP8.5 (2006~2100)	CCLM(POSTECH)	MM5(UNIST)	WRF(PNU)	RegCM4(KNU)
RCP2.6 (2006~2100)	RegCM4(KNU)	MM5(UNIST)	WRF(PNU)	RegCM4(KNU)
HISTORICAL (1979~2005)	CCLM(POSTECH)	MM5(UNIST)	WRF(PNU)	RegCM4(KNU)

생산자료 전송체계 구성 (data transfer)

- ✓ 망 분리 정책으로 기상슈퍼컴퓨터 센터의 과학연구망을 이용한 자료전송.
- ✓ 생산기관의 신규자료는 ESGF자료 제공을 위한 특정 APEC 기후센터 적재.



ESGF CORDEX-EA 자료서비스 (data Service)

- ✓ 데이터 기본 검색 및 확장검색 기능.
- ✓ 검색결과와 XML,JSON포맷 정보 제공 및 메타정보 제공
- ✓ 다운로드를 위한 HTTP, OPeNDAO, Wget Script 제공.

웹 주소: <http://cordex.org/data-access/esgf/>

사용자 맞춤형 계절예측 자료 추출 및 가공 웹 서비스

한정민¹, 임창묵¹

¹APEC기후센터, goal@apcc21.org

APEC기후센터는 여러 기관에서 독자적인 개별모델로 생산된 예측자료를 이용하여 다중모델 앙상블 기법을 적용한 계절예측자료를 생산하고 제공하는 역할을 수행한다. 다중모델 앙상블 계절예측자료는 결정론적 다중모델 예측과 확률론적 예측 기법을 이용하여 기후 평년값에 대한 편차를 제공하며 전 지구 영역의 정해진 hindcast기간을 이용하여 계절평균과 월별평균 정보를 제공한다. 이렇게 생산된 계절예측자료는 아시아 태평양 지역의 많은 국가들에게 제공하고 있으며 각 나라들의 자신의 환경에 맞도록 활용하고 있지만, APEC기후센터에서 제공하는 자료는 공간정보와 시간정보가 함께 존재하는 파일 포맷으로 이루어져 있어, 일반 연구자들이 이해하기 어려울 뿐만 아니라, 이를 가공하거나 분석하기 위해서는 고성능 네트워크·컴퓨터 자원이 필요하다. 전산자원이 부족한 아시아 태평양 지역의 여러 국가들을 위하여 APEC기후센터의 컴퓨팅 계산 자원을 활용하여 사용자가 필요로 하는 변수, 지역에 대해 사용자가 원하는 정보를 추출하고 개별모델을 이용하여 사용자가 기간을 직접 선택하여 예측자료의 평균, 편차를 계산하는 등 사용자가 원하는 정보를 추출하고 가공하여 다양한 파일 포맷으로 제공할 수 있는 사용자 맞춤형 웹 서비스를 개발하였다. 이 연구에서 사용자는 계절예측자료를 사용함에 있어 전산자원의 제약을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 자신이 원하는 형태로 자유롭게 자료를 가공하여 제공함으로써 사용자 편리성을 증대하였다.

연구 필요성 (Introduction)

- ✓ APEC기후센터는 다중 앙상블 기법을 적용한 계절예측자료 생산 및 제공.
- ✓ 계절예측자료를 활용한 특정 지역 분석을 위해 자료추출 서비스 제공 필요
- ✓ 개별모델을 활용하여 평균과 편차(Anomaly) 계산 서비스 제공 필요
- ✓ 편차계산을 위해 평년값을 사용자가 자유롭게 정하여 폭넓은 분석결과 제공 필요
- ✓ 고성능 컴퓨팅 자원없이 자료계산, 처리, 결과를 제공받을 수 있는 서비스 필요
- ✓ 사용자가 원하는 지역, 변수, 평균/편차계산, 시각화 정보, 파일포맷 변환 필요

연구방법 및 제안 (Method)

- ✓ 개인 컴퓨터 설치 버전인 기후정보처리시스템(CLIPs) 확장서비스 개발.
- ✓ 통일된 형식 파일 관리를 위한 기후자료 표준화 처리.
- ✓ 빠른 자료처리 결과 제공을 위해 분산,병렬처리 기술 적용.
- ✓ 추가 소프트웨어 설치 없이 순수한 웹 기술(HTML5)을 활용.
- ✓ 안정적인 서비스를 위해 비동기식 자료전송 기술 적용.
- ✓ 다양한 단말기에서 접속이 가능하도록 동적 웹 기술 적용.

개별모델 예측자료 (Individual Models)

[* F: Forecast, H: Hindcast]

기관(국가)	모델명	해상도	앙상블 개수(F/H)	Hindcast 기간
APCC (Korea)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013
BCC (China)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015
BOM (Australia)	ACCESS-S	N216L85	11/11	1990-2012
CMCC (Italy)	SPS3	1x1, L46	20/20	1993-2016
CWB (Taiwan)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019
HMC (Russia)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10	1985-2010
JMA (Japan)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	51/10	1979-2014
KMA (Korea)	GloSea5GC2	N216L85	42/12	1991-2016
MGO (Russia)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004
MSC (Canada)	CanSIPsv2	T63L35	20/20	1981-2010
NASA (USA)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	4/4	1981-2016
NCEP (USA)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010
PNU (Korea)	CGCMv2.0	T42L18	30/30	1980-현재
UKMO (UK)	GloSea5	N216L85	42/28	1993-2016

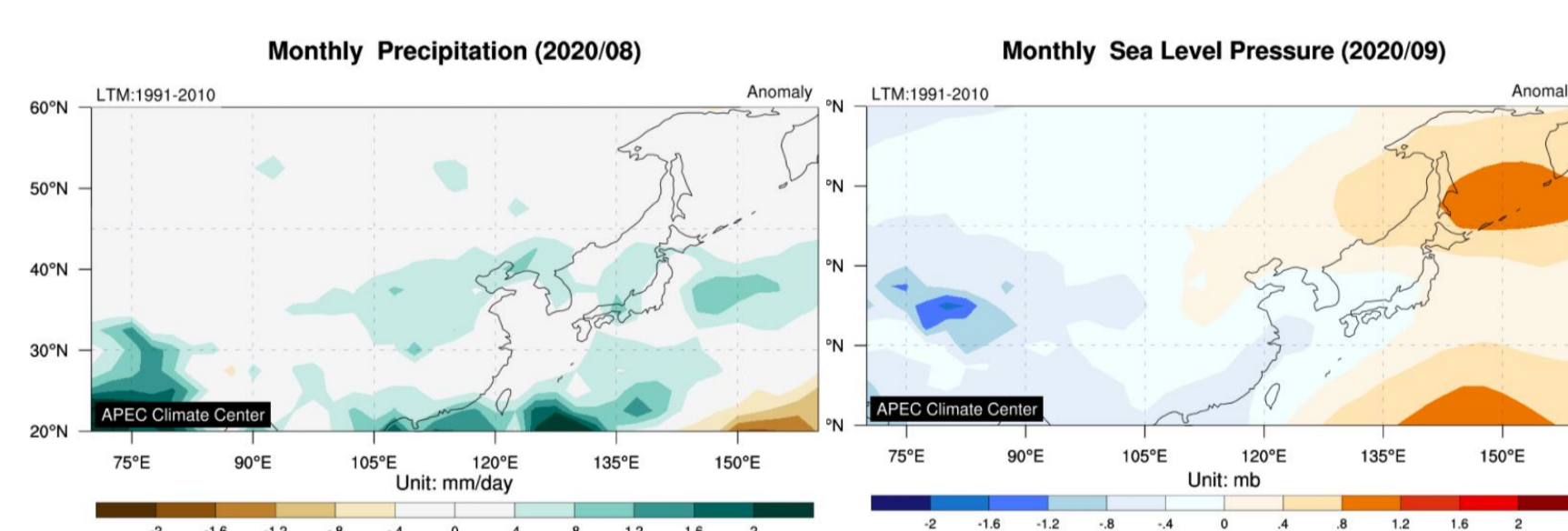
결론 (Results)

- ✓ 고성능 컴퓨팅 자원 없이 계절예측자료(MME, 개별모델) 사용자가 원하는 지역, 변수를 선택하여 Mean, Anomaly를 계산하여 시각화 결과와 사용자가 원하는 파일 포맷으로 변환하여 제공하여 전산자원의 제약을 극복할 수 있음.
- ✓ 평년 기간 사용자가 자유롭게 선택하여 Anomaly 계산 가능하여 폭넓은 계산으로 사용자 편리성 증대.

자료추출(Extraction)

- 사용자가 선택한 변수, 지역 추출
- 추출결과의 지도기반 시각화 제공

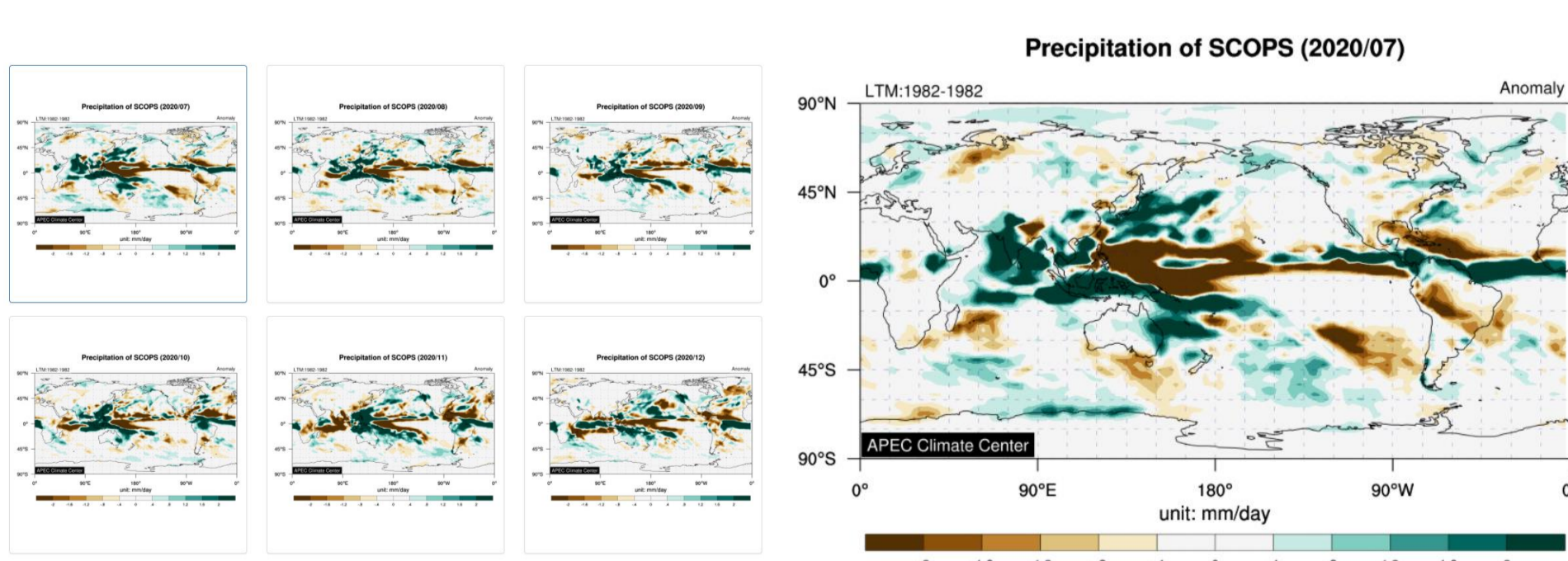
Ex) 특정기간 동아시아 지역의 강수와 해수면기압 결과



자료처리(Processing)

- Mean(total) 및 사용자가 설정한 기후 평년값에 대한 Anomaly 계산

Ex)APCC의 SCoPS모델 2020년 6월 예측 1982-2010 강수기후 평년기간 계산



자료표준화 관리(Management)

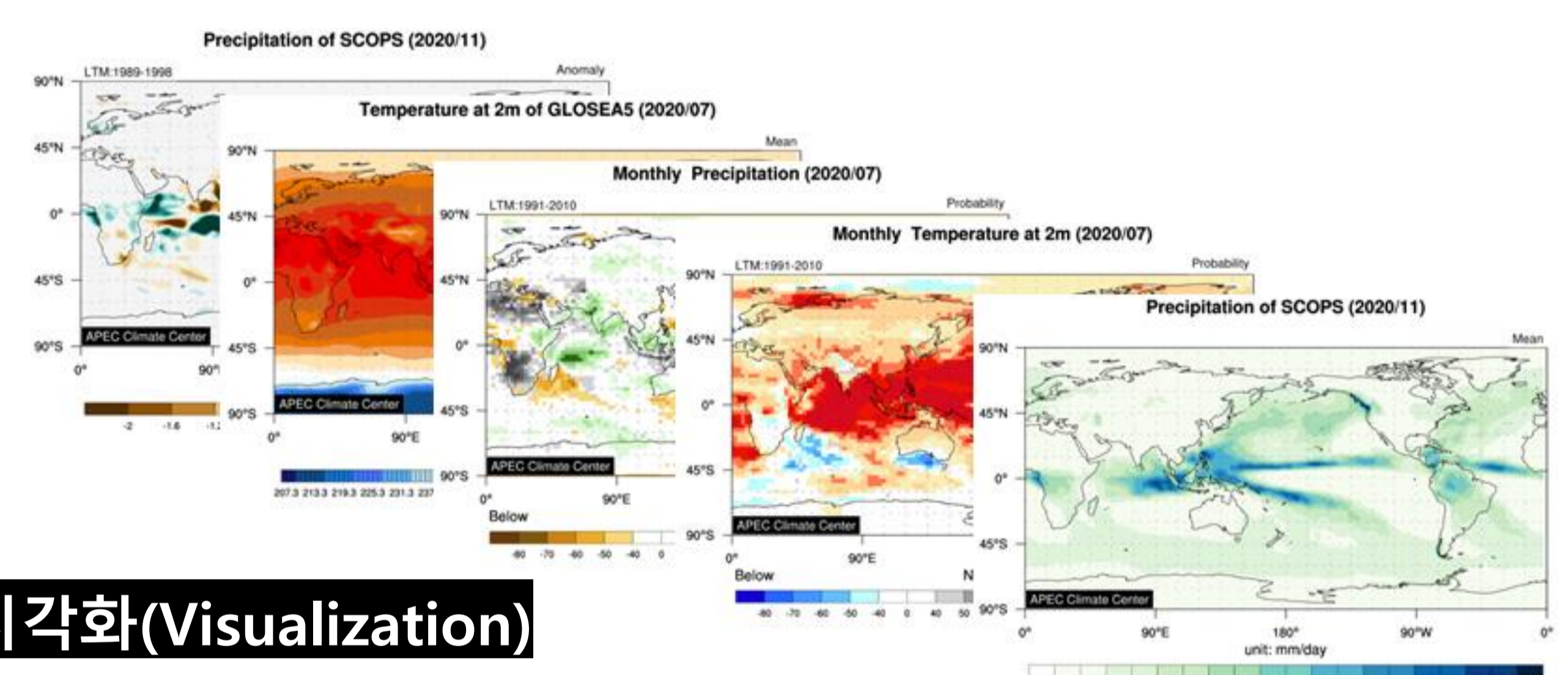
- 매월 생산되는 자료 무결성 점검 및 사용자가 처리한 이력목록 제공

```

[jmhan@localhost DataCovertforClipping] $ ls
INDFctttoClips.py  NME3FctttoClips.py  NME6FctttoClips.py
INDHctttoClips.py  NME3HctttoClips.py  NME6HctttoClips.py
[jmhan@localhost DataCovertforClipping] $
    
```

자료 시각화(Visualization)

- 계절예측 자료 및 관측자료에서 추출된 변수 및 기간에 대한 Anomaly, Mean 값을 지도기반 시각화 서비스 제공
- 사용자가 원하는 지역 및 변수자료를 이미지 결과 제공



<https://cliks.apcc21.org/processing/clipping>

입력 조건
변수, MME기간,
모델, 좌표(지역),
계산조건

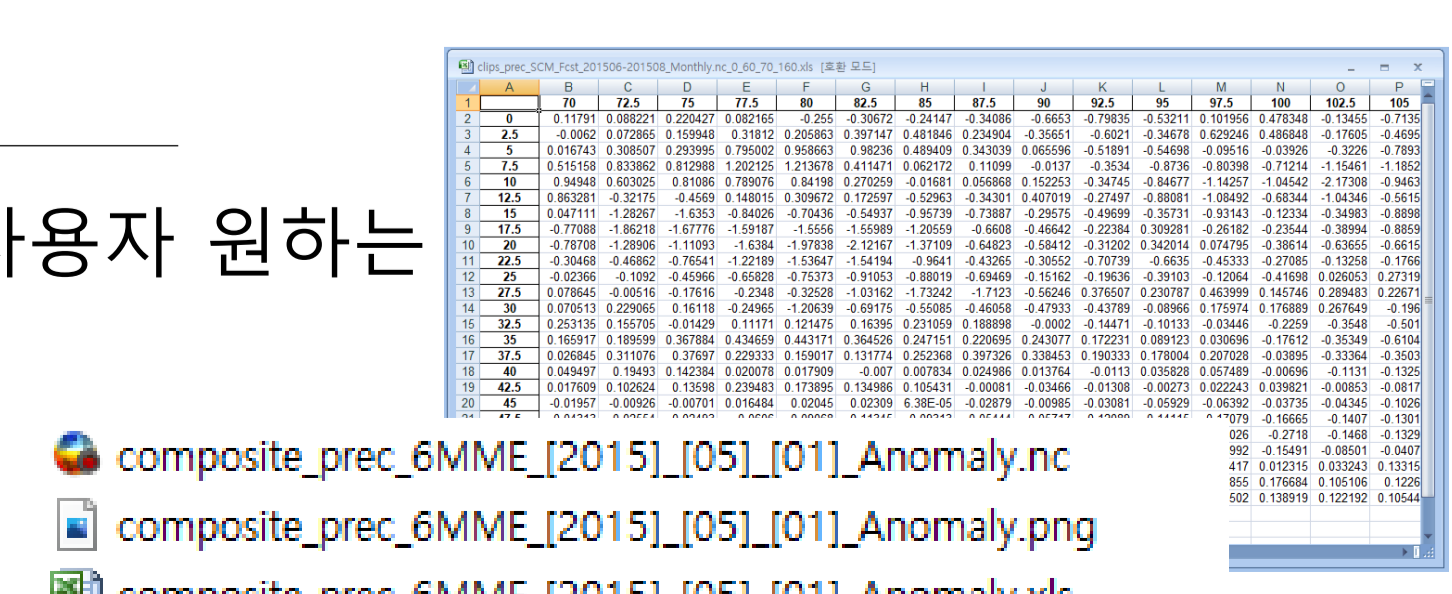
시각화 결과
예측, 관측자료의
추출 및 Mean,
Anomaly 계산 결과

파일 추출/제공
변수, 기간 별
자료추출 파일
포맷 변화 제공

파일 포맷변환(Converting)

- 추출된 자료, 합성된 결과값에 대해 사용자 원하는 파일포맷으로 변환 제공

Ex) nc, png, xsl파일 내려받기 제공



APEC기후센터 계절예측 및 관측 자료 합성 서비스

한정민¹, 임창묵¹

¹APEC기후센터, goal@apcc21.org

APEC기후센터는 11개국 15개 기후 예측 현업 및 연구기관으로부터 기후예측모델(이하 개별 모델)의 계절예측자료를 제공받아 다중모델 앙상블(Multi-Model Ensemble, MME) 기법을 적용한 고품질계절예측자료를 생산하고 있다. 참여하는 개별 모델 간의 불확실성을 최소화하기 위해 다중모델 앙상블 기법을 이용하여 개별 모델이 갖는 예측성을 보다 안정적이고, 향상된 예측성으로써 제공하고 있다. 특정 기후 현상에 대해 보다 정확히 이해하기 위해서는 유사하게 나타난 기후 현상들의 특성 및 양상을 우선 파악해야 하며, 그 방법으로 유사한 현상들이 나타난 사례들을 시간에 따라 종합한 합성(Composite)방법을 활용하여 기후학적 특성을 파악하고 원인을 분석하는 등 에 주로 이용된다. 이 연구에서는 사용자가 원하는 변수 및 시간 정보에 대한 다양한 합성 기능을 제공하기 위하여 APEC기후센터에서 제공하는 기후 예측자료 및 관측자료의 합성을 직관적이고 손쉽게 수행할 수 있는 서비스를 개발하였다. 또한, 사용자가 관심 있는 기후 평년기간을 사용자가 자유롭게 선정하여 원하는 편차 정보(Anomaly)를 산출할 수 있을 뿐만 아니라, 예측 정보와 관측 정보를 동시에 상호 비교할 수 있는 서비스를 구축하여 사용자 편의성을 제공하고자 하였다.

서론 (Introduction)

- ✓ APEC기후센터는 아시아 태평양 지역의 기후예측 서비스 기여를 위해 계절예측자료를 생산하여 제공하고 있음.
- ✓ 기후예측정보는 앞으로 발생할 기후현상을 대비하고 다양한 분야의 주요 참고자료로 활용되고 있어 예측력 향상을 위한 기술개발에 활용됨.
- ✓ 여러가지 기후현상을 보다 정확히 이해하기 위해 유사 기후현상들이 나타난 사례들에 대한 시/공간적으로 종합한 합성방법이 주로 이용됨.

연구 방법 (Method)

- ✓ 시/공간적 합성을 위해서는 계산을 위한 충분한 전산자원이 필요하므로 온라인 기반 자료처리 서비스를 제공함.
- ✓ 다양한 기간 선택이 가능하도록 카트 기능을 제공하여 사용자가 자유롭게 가감 할 수 있는 기능을 제공함.
- ✓ 계절예측자료와 관측자료의 합성(Composite)를 비교할 수 있도록 하나의 화면에서 표출되도록 비동기식 웹서비스 기술을 적용함.
- ✓ 사용자의 자유로운 사용을 위해 합성결과 파일 포맷변환 기능 제공함.

결론 (Results)

- ✓ APEC기후센터에서 생산하는 계절예측자료와 관측자료를 이용하여 사용자가 원하는 기간을 선택하여 합성(Composite) 하고 처리된 결과를 이미지나 원하는 파일 포맷으로 변환하여 제공함으로써 사용자들의 자유로운 합성연구에 도움을 줄 수 있음.

자료 (Data)

✓ 예측자료

[* F: Forecast, H: Hindcast]

기관(국가)	모델명	해상도	앙상블 개수(F/H)	Hindcast 기간
APCC (Korea)	SCoPS	T159L31	10/10	1982-2013
BCC (China)	CSM1.1m	T106L26	24/24	1991-2015
BOM (Australia)	ACCESS-S	N216L85	11/11	1990-2012
CMCC (Italy)	SPS3	1x1, L46	20/20	1993-2016
CWB (Taiwan)	TCWB1Tv1.1	T119L40	30/30	1982-2019
HMC (Russia)	SL-AV	1.125x1.40625, L28	20/10	1985-2010
JMA (Japan)	JMA/MRI-CPS2	T159L60	51/10	1979-2014
KMA (Korea)	GloSea5GC2	N216L85	42/12	1991-2016
MGO (Russia)	MGOAM-2	T42L14	10/6	1979-2004
MSC (Canada)	CanSIPSv2	T63L35	20/20	1981-2010
NASA (USA)	GEOS-S2S-2.1	0.5x0.5, L72	4/4	1981-2016
NCEP (USA)	CFSv2	T126L64	20/20	1982-2010
PNU (Korea)	CGCMv2.0	T42L18	30/30	1980-현재
UKMO (UK)	GloSea5	N216L85	42/28	1993-2016

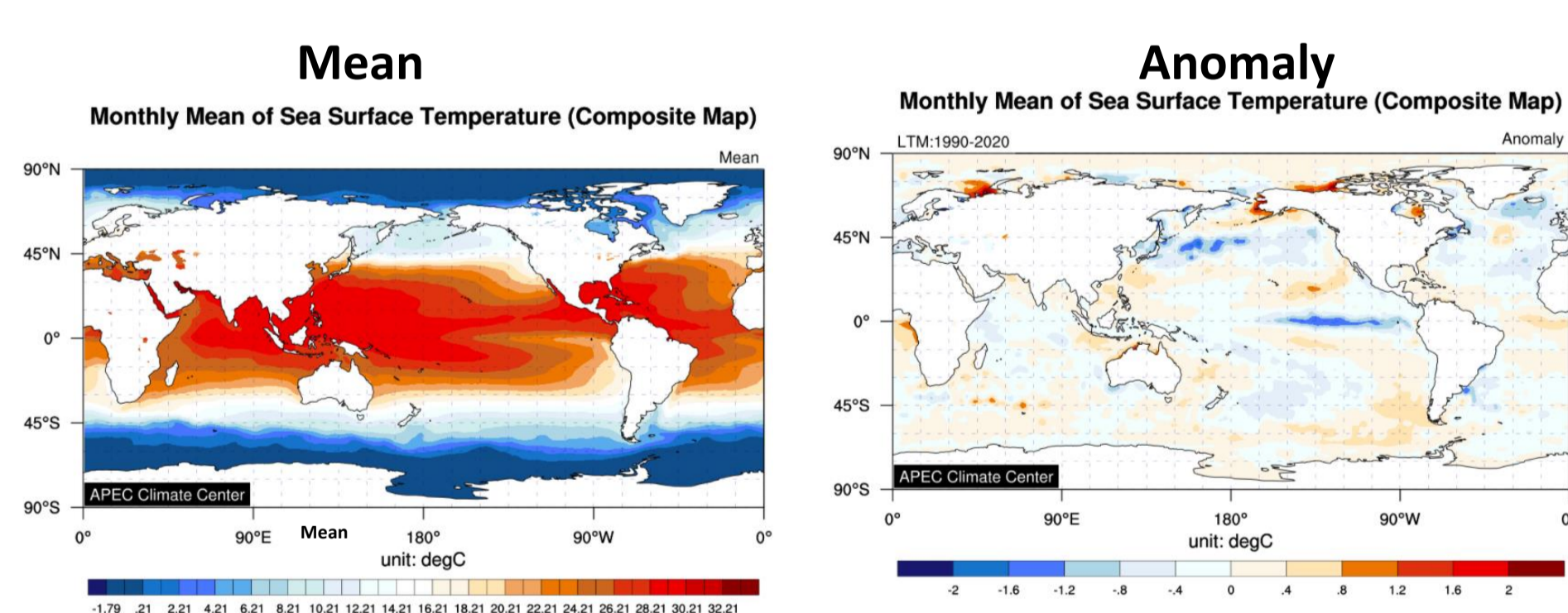
✓ 관측자료

	내용
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.reanalysis2.derived/
변수	surface gauss: 2m 기온(t2m), pressure: 850hPa 기온(t850), 500hPa 지위고도(z500)
기간	1979. 1. ~ 현재 (매월 업데이트)
형식	surface gauss: T62 Gaussian grid with 192x94 points pressure: 2.5 x 2.5 degree
출처	ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/data-req/cams_opi_v0208
변수	강수(prec)
기간	1979. 1. ~ 현재 (매월 업데이트)
형식	2.5 x 2.5 degree
출처	ftp://ftp.cdc.noaa.gov/Datasets/noaa.oisst.v2
변수	해수면온도(sst)
기간	1981. 12 ~ 현재 (매월 업데이트)
형식	1.0 x 1.0 degree

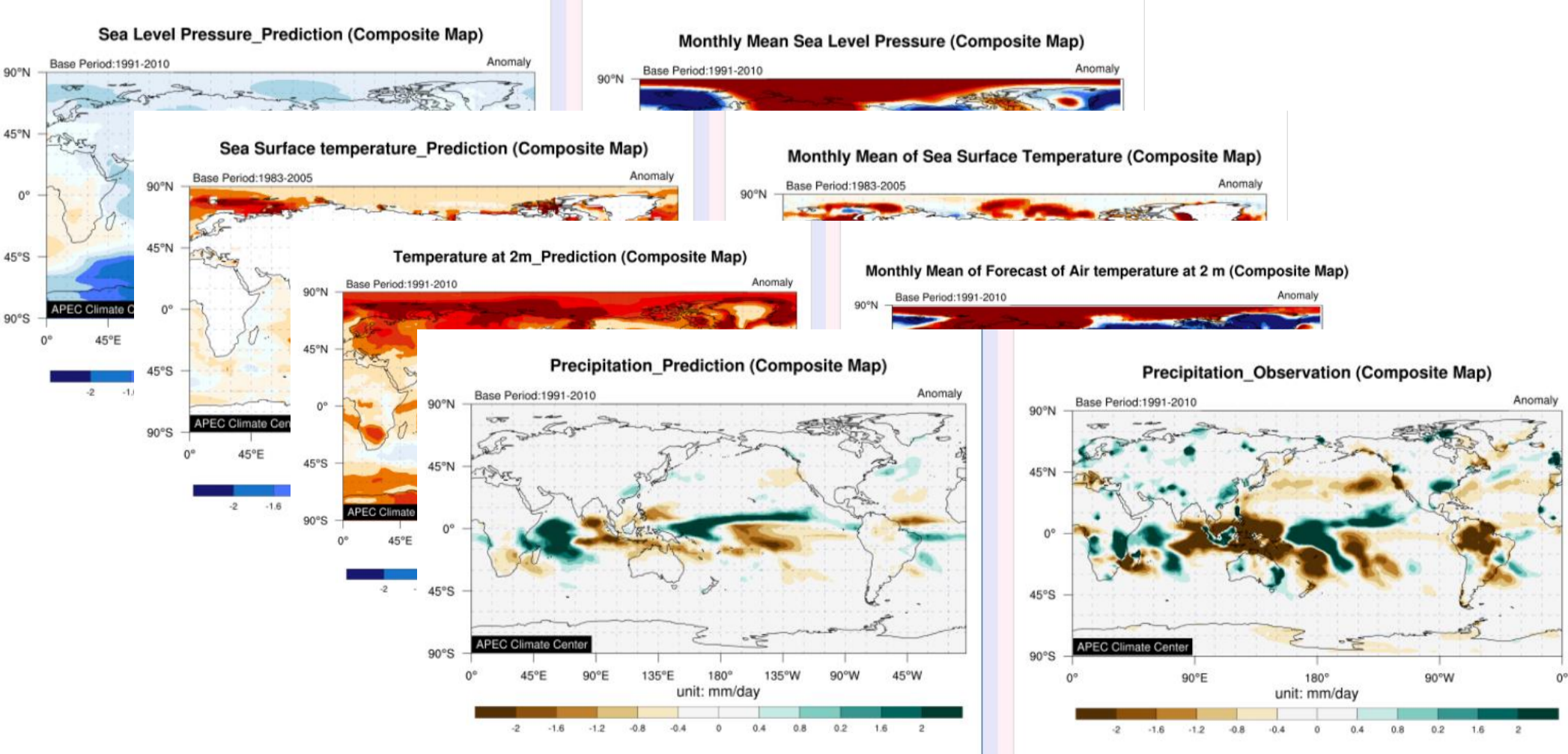
자료합성 서비스(Composite)

-원하는 기간 및 월을 선택하여 평균, 편차합성을 제공.

-Ex) 엘니뇨가 있던 1988년, 1993년, 2016년의 7월,8월 해수면온도 합성



-다양한 변수 합성 결과 예시



<https://cliiks.apcc21.org/processing/composite>

입력 조건
변수, MME기간,
모델, 좌표(지역),
계산조건

조건 추가 장바구니
원하는 조건을
추가하거나 삭제하는
기

합성결과 시각화
예측, 관측자료의 추출
및 Mean, Anomaly
계산 결과

파일 추출/제공
변수, 기간 별
자료추출 파일
포맷 변화 제공

자료표준화 관리(Management)

-매월 생산되는 자료 무결성 점검 및 사용자가 처리한 이력목록 제공

```
[jmh@localhost DataCovertforClipping]$ ls
INFOFstttoClips.py  MME3FstttoClips.py  MME6FstttoClips.py
INDHcstttoClips.py  MME3HcstttoClips.py  MME6HcstttoClips.py
[jmh@localhost DataCovertforClipping]$
```

파일 포맷변환(Converting)

-추출된 자료, 합성된 결과값에 대해 사용자 원하는 파일포맷으로 변환 제공

Ex) nc, png, xls파일 내려받기 제공

