

TRAVEL REPORT FORM

출장보고서

결재	선임연구원	과장	부서장	원장
	04/17	04/17	04/17	04/18
	이승수	김형진	유진호	권원태
협조	과장			
	04/17			
	이우섭			

I. Travel Overview 출장개요

1. Traveler(s) 출장자

Department 소속	Position 직위(직급)	Name 성명	Note 비고
기후사업본부	선임연구원	여새림	
		명복순	
		이승수	

2. Travel Period 출장기간

: 4/6 ~ 4/14(여새림, 이승수), 4/7 ~ 4/14(명복순)

3. Occasion and destination 행사 및 출장지

■ 출장세부 내용

일시	출발지	도착지	업무수행내용	비고
4/6	부산	Vienna	이동	
4/7	Vienna		학회 등록	이동 및 학회 등록 (명복순)
4/8~4.12	Vienna		학회 발표회 참석	개인발표 4/8 여새림 4/11 이승수 4/12 명복순
4/13~4/14	Vienna	부산	이동	

II. Major Activities 주요업무 수행내용

1. Main Contents and Activities 주요내용 및 활동

○ APEC 기후센터 출장자 발표 세션 및 발표 제목

발표자	발표 일시	제목	비고
여새림	4/8	Two types of heat wave in Korea associated with atmospheric circulation pattern	붙임1
이승수	4/11	Application of Sub-seasonal to Seasonal (S2S) data for river flood risk forecasting using LSTM technique	붙임2
명복순	4/12	Drought Predictions in the mid-latitude regions during recent decade	붙임3

○ 주요 연구 성과 및 연구 동향 파악

2019년 EGU 미팅은 총 17000여개의 초록이 접수 되었는데 2018년에 비하여 6.2%정도 감소한 숫자임.

1. 대기 순환 구조를 바탕으로 한 우리나라 여름철 폭염 분석에 관한 연구 논문 발표

- 우리나라 여름철 폭염 사례를 대기 순환 구조를 바탕으로 대륙 기원 파동 형태인 zonal wave structure와 열대 서태평양 기원 파동 형태인 meridional wave structure로 나누어서 각 특징에 대하여 분석하고 예측 인자를 찾는 연구를 Extreme heat events: processes, impacts and adaptation 세션에서 PICO (Presenting Interactive Content) 형식으로 발표함
- PICO presentation은 세션 참가자들 모두 2분 동안 연구의 개요 및 주요 연구 결과에 대하여 구두 발표를 수행하고 그 후 관심 있는 부분에 대해서 좀 더 자세한 토의를 할 수 있도록 개별 디스플레이를 통해 발표를 하는 형식임 (※PICO 발표 현장을 사진으로 첨부함)
- PICO 발표를 통한 discussion 내용으로는 우리나라 폭염을 유도하는 zonal wave 형태가 대체로 대서양 지역에서의 양의 NAO 신호와 관련되어서 나타나는데 이 때 대부분의 경우 대서양 지역에서부터 출발한 wave 신호는 인도지역에서 사라지는 특징이 있는데 이때 인도 몬순이 강화된 경우 이것이 다시 wave source의 역할을 하여 우리나라 및 동아시아 지역까지 wave가 연결될 수 있다고 함. 즉, 대서양 지역부터 시작되어 우리나라 지역으로 영향을 미치는 zonal wave 형태의 경우 대서양 forcing 뿐만 아니라 인도 몬순활동까지 함께 감시함으로써 이에 대한 예측력을 높일 수 있을 것으로 판단됨
- Meridional wave와 관련해서는 최근에 서태평양 대류활동과 우리나라 강수와의 관련성이 음의 관련성에서 양의 관련성으로 크게 변화하였고 그 원인으로는 서태평양부터 동아시아까지 three-cell 구조의 강수 형태가 자주 형성되기 때문으로 알려짐. 본 연구에서 제시한 구조는 two-cell 구조의 강수 형태로써 최근에 나타나는 변화와 함께 고려할 필요가 있음을 토의함
- 일별 자료를 바탕으로 heat wave 사례를 추출하고 합성도 분석을 수행하였는데, 그 보다는 heat wave를 event 별로 고려하여 composite 하는 방안에 대해서도 토의함
- zonal wave 발생 시 유럽지역과 동아시아 지역의 warming signal이 함께 나타나는데 흥미로운 현상으로 생각되며 북대서양 변동성이 동아시아 지역 기후에 미치는 영향을 좀 더 자세히 고려할 필요가 있음을 토의함

2. ENSO 변동성 및 예측성 분석관련 연구

- ENSO evolution 다양성의 원인을 분석하기 위해 Multivariate EOF 분석을 통해 Bjerknes mode, charge-discharge (CD) mode, seasonal footprinting (SF) mode를 추출함, 이 중 Bjerknes mode는 ENSO의 amplitude를 설명하는 모드이고, CD와 SF mode가 ENSO의 evolution을 설명하는 모드인데, CD mode는 엘니뇨에서 라니냐로의 transition을 설명하는 모드이고, SF mode는 positive phase인 경우 중립에서 엘니뇨의 발달을 negative phase인 경우 라니냐의 지속을 설명하는 모드임. 이를 통해 지속적인 라니냐가 지속적인 엘니뇨 보다 발생 빈도가 높은 이유를 설명할 수 있음. 또한, 대부분의 모델들은 SF모드를 잘 모의하지 못하므로 ENSO evolution의 다양성이 잘 나타나지 않음 → ENSO evolution 의 mechanism을 이해할 수 있었고 이를 적용한 기후 분석을 고려할 수 있음
- CMIP5 모델에서의 ENSO dynamics 변화에 대해 분석함. CMIP5 RCP 8.5 시나리오와 historical run

에서 나타나는 linear recharge oscillator의 특징 분석을 통해 미래 기후에서 ENSO dynamics의 변화를 조사함. 전체적인 ENSO 변동성에는 큰 변화가 나타나지 않았지만, atmospheric net radiation feedback과 Bjerknes wind SST feedback 과 residual ocean feedback 에는 큰 변화가 나타났고 이는 ENSO predictability에 영향을 미칠 수 있음 → ENSO predictability에 영향을 주는 모델 역학에 대한 상세 분석이 필요할 것으로 보임

- ENSO 분야의 대가라고 할 수 있는 Michel McPhaden이 가장 최근에 나타난 엘니뇨인 2018-19 엘니뇨의 특성에 관해 발표함. 2018-19 엘니뇨의 특성이 2015-16년에 나타난 매우 강한 엘니뇨 발생 전인 2014-15년 엘니뇨 특성과 상당히 유사한 특징을 나타냄. 2014년 약한 엘니뇨로 인해 열대 지역에 heat content가 축적되면서 2015-16 엘니뇨가 매우 강하게 발달하는데 기여하였음. 따라서 2018-19 엘니뇨 특성 분석을 통해 실제 2019-20년에 2015-16년과 같은 강한 엘니뇨가 발생할 것 인지에 대한 감시가 필요함. 개개의 ENSO가 독특한 특징을 보이는 이유는 atmospheric noise forcing, westerly wind burst, heat content 등 다양한 요소들이 ENSO 발생에 영향을 미치는데 각 요소들의 상대적인 기여도에 따라 개개의 ENSO 특징이 달라짐, 그 중 heat content는 강한 엘니뇨 발생에 있어서 연료 역할을 한다면 westerly wind burst는 spark 역할을 한다고 볼 수 있음. 이번 2018-19 엘니뇨를 통해서 heat content가 열대 지역에 높아지면서 2019-20년에 강한 엘니뇨 발생에 필요한 조건은 충족되었으나, westerly wind burst 및 atmospheric low-frequency forcing 등 다른 조건들의 역할이 어떻게 나타날 지에 따라서 향후 엘니뇨 발생 전망이 변할 것으로 보임 → 향후 ENSO 예측에 있어서 주요 정보로 사용할 수 있을 것으로 보임
- ENSO event를 진단하는 NINO 지수에 대해 global warming signal을 제거함으로써 실제 ENSO dynamics에 의한 지수를 생산하고자 함. 이 때 long-term variability인 Pacific Decadal Oscillation (PDO) 의 영향은 제거하지 않고 global warming signal만을 제거하기 위하여 PDO phase에 따른 warming signal 제거 방법을 취함. global warming signal 제거 후 계산 한 NINO index의 경우 original NINO index와 비교했을 때 큰 차이는 나타나지 않지만, 2015-16 엘니뇨의 amplitude가 약해지는 특성이 있으며 약한 엘니뇨의 경우 엘니뇨로 detect되지 않는 경우도 있음. 특히 climate model에서도 실제와 유사한 tropical Pacific warming trend가 나타나는지 확인 할 필요가 있음
- MJO와 ENSO의 상호작용에 대한 simple model을 구축함. 2015년 3회의 강한 MJO의 발생으로 인한 intraseasonal variability가 엘니뇨 발생에 중요한 역할을 함. 특히 MJO가 엘니뇨의 diversity와 seasonality에 큰 역할을 한다고 알려져 있는데, 그에 대한 simple model을 구축함
- ENSO 발생에 영향을 미치는 Pacific Meridional Mode에 관한 분석. 2013-14년도에 북태평양에 강한 SST anomaly가 형성되었는데 이는 대기의 North Pacific Oscillation pattern을 통해 Wind-Evaporation-SST (WES) feedback을 통해 나타난 현상으로 Pacific Meridional Mode (PMM) 로 알려짐. 봄철 PMM 구조는 ENSO 변동성의 15-20%를 설명할 수 있는데 이를 모델 실험을 통해 확인하기 위해 PMM forcing을 모델에 준 결과 WES feedback을 통한 SST propagation, Bjerknes feedback을 통한 ENSO 발생, SFM의 역할 등이 모델에서도 잘 재현됨을 확인함

3. 열대-중위도 지역 변동성과 teleconnection 관련 연구

- ENSO의 강도에 따른 atmospheric response의 non-linearity를 조사하기 위해 model 실험을 수행함. moderate ENSO의 경우 대기 반응이 대체로 linear하게 나타나나 strong ENSO의 경우 비대칭성이 강하게 나타남. 예를 들면 strong El Nino일 때 북태평양을 거쳐 북대서양까지 wave가 전파되는 모습이 나타나나 strong La Nina인 경우 북대서양까지 wave 전파가 나타나지 않음. 이는 열대지역의 convection 차이에서 기인하는 것으로 해석됨
- 티벳지역 snow cover가 북미 기후에 미치는 영향 분석. 티벳 지역 가을철 snow cover변동성이 atmospheric wave 전파를 통해 북미지역 기후에 미치는 영향을 살펴봄. Tibet snow cover는 1994년을 기준으로 증가하는 경향을 나타내는 decadal change를 보이는데, 이를 기준으로 두 시기를 나누어 북미 기후와의 관련성을 살펴봄. 1994년 이전에는 sensible heat flux가 많이 방출되면서 북미

지역까지 wave 전파가 강하여 영향력이 강하게 나타난 반면 최근 시기에 이러한 영향이 줄어들음

- 티벳 지역 기온이 계절과 상관없이 증가하는 경향을 보이며 이에 따른 sensible heat flux의 방출이 증가하는 특징을 나타냄. 특히 이러한 특징은 5월에 강하게 나타나는데 이에 따라 인도와 남중국해의 subtropical high가 약화되는 특징을 보임
- 빅토리아 모드와 ENSO 관련성의 10년 변화 분석. 빅토리아 모드와 ENSO관련성이 높은 decade와 낮은 decade를 나누어서 분석한 결과 관련성이 높을 때에는 victoria mode의 강도가 강하게 나타남. 이때 SFM의 WES feedback이 강하게 나타나면서 엘니뇨 발생에 영향을 미치게 됨
- Subseasonal Pacific-Japan pattern의 형성에 대한 분석. 여름철 15-30N, 110-150E 850hPa GHP daily 자료에 대해 EOF 분석을 수행하여 두 번째 보드를 PJ pattern으로 정의함. subseasonal time scale에서 PJ pattern은 발생 일주일 전 extratropics에서 weak disturbance와 관련 있음을 제시함
- 티벳 지역 및 인도양 sub-continent의 diabatic heating이 우리나라 여름철 폭염에 미치는 영향 조사. 티벳 지역에서 열적으로 유도된 북동 파키스탄과 북서 인도 지역의 대류활동이 zonal wave structure 형성을 통해 우리나라 폭염에 영향을 미침
- 북동아시아 여름철 기후에 영향을 미치는 요소의 최근 변화. 2000년대 중반을 기준으로 그 이전 시기에는 북서태평양 몬순과 동아시아 몬순 사이에 매우 강한 음의 상관관계가 나타났으나 최근 시기에 들어 양의 관계가 나타나는 변화를 보임. 이는 2000년대 이전에는 북서태평양부터 동아시아까지 dipole 형태의 convection, 대기 패턴이 우세한 반면 최근 들어 tripole 및 one cell 구조의 대기 패턴 및 대류활동 구조가 나타나기 때문임. 이러한 변화의 원인으로는 최근 CP 엘니뇨 및 북태평양 mode의 영향이 강하게 나타나는 것과 관련된 것으로 해석됨
- North America Dipole (NAD) pattern과 CP 엘니뇨 관련성 조사. 보통 NPO signal이 CP 엘니뇨를 유도한다고 알려져 있는데, 82/83이나 97/98 같은 강한 EP 엘니뇨의 경우에도 NPO pattern이 나타났음. 따라서 CP 엘니뇨의 precursor로서 NPO가 아닌 좀 더 정확한 대기 패턴에 대한 분석이 필요함. 이 연구에서는 북미지역에서 나타나는 atmospheric dipole pattern인 NAD pattern이 CP 엘니뇨와 관련되어 있음을 제시함

4. 몬순 관련 연구

- 동아시아 여름 몬순 및 북서태평양 여름 몬순의 경년 변동성과 장기 변동성 분석. 경년 변동성의 경우 북인도양과 북서태평양의 SST와 그로 인한 PJ pattern이 동아시아 및 북서태평양 여름 몬순에 주요 변동 source로 작용함. CGT like pattern의 경우 동아시아 여름 몬순의 경년 변동성에는 중요한 요소이나 북서태평양 여름몬순에는 큰 영향을 미치지 않음. 장기 변동성의 경우 IPO pattern이 중요한 역할을 한다고 제시됨
- 엘니뇨 decaying 시기 여름철에 나타나는 북서태평양 아열대 고기압의 온난화 기후에서 변화 연구. CMIP5 온난화 시나리오에서 열대 인도양과 북서태평양의 SST zonal gradient의 약화로 인해 북서태평양 아열대 고기압의 강도가 약화 될 것으로 모의됨
- 유라시아 대륙의 파동 형태인 circumglobal teleconnection pattern의 장기 변화 원인에 대해 조사함. 인도지역의 상승 운동, 즉 대류활동 및 Pacific Decadal Variability 및 Atlantic Decadal variability가 유라시아 wave 활동의 decadal variability와 관련되어 있음이 제시됨

5. 대서양 관련 연구

- 북대서양의 온난화가 지구 온난화의 50%를 설명함. 북대서양의 다른 지역은 1900이후 온난화 경향이나 그린랜드의 남쪽인 Irminger sea지역은 온난화 경향보다 decadal change가 강하고 최근들어 (2005년 전후) 냉각화의 추세를 보이고 있음(1966년 고점, 85~95 저점, 2006 고점, 그이후로 감소 추세) Irminger sea지역의 해수면 온도가 평균 이하 일 때 우리나라 봄철과 여름철 강수량이 줄어들었던 점을 감안 할 때 2010년 이후에 남한 강수량이 이전에 비해 감소한 현상과도 연관되어 있을 수 있음

- 이 지역의 냉각화 현상에 대하여 해양학자들은 AMOC 순환의 감소를 이유로 추정하고 있는 반면 기상학자들은 대기의 forcing(cyclone의 증가와 그로 인한 열손실)이 원인일수 있음을 제시하여 두 그룹 사이의 긴장감이 느껴질 정도로 토의가 활발했음.
- 북대서양 cyclone이 어떻게 북극지역을 온난화 시키는지에 대하여 PV를 이용한 역학적 분석. 대류권 중간에 저기압과 관련된 양의 PV가 발생하면 PV 변화의 연직구조가 cyclone을 강화시키게 되며 더 먼 북극쪽으로의 수송을 용이하게 함. 이런 상황에서 대기에 저장된 장파복사열이 북극의 해빙을 녹이게 됨. 북대서양 cyclone이 활발했던 이듬해 여름 우리나라 여름철 폭염과 가뭄이 많았던 경향성이 있어 보임
- 한편 캐나다 북동부에서는 1982년 이후 겨울 및 여름철에 온난화가 강하게 나타나고 있는데 열대지방에서 오는 시그널(Ding et al. 2014)보다는 지역적 프로세스와 연관된 현상일 수 있음. 이 현상은 연변화에서는 NAO와 비슷하나 decadal 변화에서는 AMO와 유사하나 그 이유는 정확히 아직 알려지지 않았음

6. 해빙/눈덮임에 관한 연구

- 2004년 이후로 감소 추세인 북극 해빙의 EOF 분석결과 PC1과 바렌츠 해 SST가 0.94의 상관관계를 보임. 여름철 Atlantic water temperature와 겨울철 바렌츠해 해빙 사이 높은 상관관계를 갖는데 이는 여름철 storm track과 관련이 있어 보임
- Warm Arctic and cold Eurasia(WACE) 현상의 개별 분석 결과 life cycle은 주로 2주 정도이며 convective heating rate로 EOF 분석한 결과 PC3 패턴과 상관성이 높았음
- 대서양의 SST보다는 convective heating rate로 분석할 때 연관성이 높게 나온다고 함. 하지만 대서양과 연관되지 않은 WACE의 경우도 많기 때문에 예측이 쉽지 않음
- 중국 북부 여름 가뭄과 봄철 바렌츠해 해빙과의 관계와 기작 연구. 여름철 중국 북부의 고기압성 흐름이 그 이전 3월 바렌츠 해의 해빙과 4월 유라시아 서부 눈덮임과 높은 상관성을 보이는데 이는 1990년대 중반 이후에 상관관계가 높음. 모델링 결과도 유사함
- 중국 북부 고기압성 순환은 우리나라 폭염과도 연관되어 있으며 재작년에 수행된 한반도 10월 SPI6의 변동성 연구 결과와 유사했음
- 겨울철 NAO가 유라시아 가을철 snow cover dipole과 ~0.9 정도의 높은 상관관계를 보이는데 성층권 돌연 승온 현상과 연관되어 있음. 이러한 높은 상관관계는 겨울철 NAO의 예측에 사용될 수 있음

7. 이상기후 연구

- 이상기후 지수 연구는 주로 폭염 지수에 관한 발표들이 많았으며 지역별로 어떤 폭염지수가 더 적절한 한지에 관한 연구들이 눈에 띄었음
- 이상기후의 원인 분석으로는 주로 지구 온난화와 연관성 여부에 초점을 맞추고 있으며 주로 CMIP 모델 결과를 비교 분석함. 한편 미국 허리케인 모델링 연구자는 허리케인 모의 실험에서 관측 초기장을 사용한 모의 결과를 온난화 경향을 제거한 초기장 모의 결과와 비교하여 지구온난화에 의해 허리케인의 강도가 증가되었음을 강조함
- 또한 APCC를 포함하여 해양기술원, UNIST에서 한국 폭염의 원인에 대한 발표들이 있었음

8. Large scale hydrology modeling

- Message Passing Interface(MPI) 기법을 활용한 Large scale 수문 모델링에 관한 연구가 활발히 수행되고 있었음
- Continental 규모뿐만 아니라 고해해상도 격자를 활용하는 경우 domain을 decomposition 하는 방법에 따른 계산 효율과 결과가 어떻게 달라지는 지에 대한 비교 분석에 관한 연구도 눈에 띄었음
- 기후변화 시나리오에 따른 유량변화와 침수 발생 빈도 분석에 관한 연구가 상당 수 있었으며 기후자료를 이용하는 만큼 계산 효율을 높이기 위한 기법과 시나리오에 따른 유량변동/침수 발생 빈도의 변

화를 보여주는 연구가 주를 이루었으며 현재까지는 관측자료의 부족으로 인하여 모의 결과의 신뢰도에 대해서는 상당한 의구심이 들었음

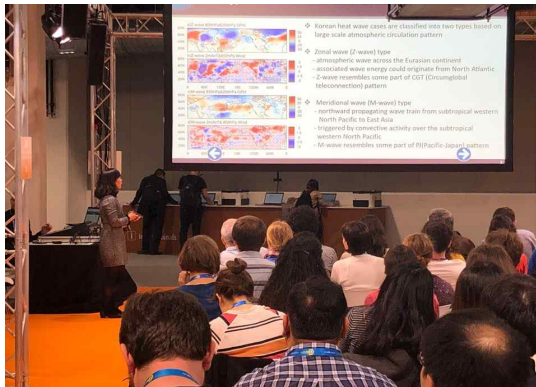
- 특히 ECMWF 예측자료를 수문모델과 연계하여 S2S to water resource outlook에 대한 시범적 연구가 있었는데 기후자료의 불확실성으로 인해 outlook의 불확실성은 회피 할 수 없었으나 상당히 모범적 연구 사례가 다수 있었음
- 그 중 Switzerland에서 온 연구자들의 연구에 이목이 쏠렸는데 ECMWF 자료를 이용하여 앙상블 수문 모의 후 2차원 범람 모의와 1차원 하도추적까지 수행하여 앙상블 모의 결과를 수행한 연구가 있었으며 ECMWF 예측자료를 이용하여 기후정보 제공과 더불어 수문정보 제공까지 이어지는 modeling chain을 제시하는 연구가 있었음
- Wageningen University에서는 ANYWHERE MH-EWS라는 유럽지역 다중 재해 조기 경보 시스템을 개발한 연구결과를 발표 하였는데 Weather forecast 자료를 이용하여 홍수, storm surge, health, 산불, 가뭄 강수, 돌풍 등에 대한 정보를 실시간으로 생산하여 실제 지역 커뮤니티에까지 전파하는 프로젝트를 수행하였음
- 기상·기후 정보 활용방안의 모범적 사례로 판단되었음

9. 홍수 예측에 관한 연구

- 일본 교토대학에서는 자체 개발한 Rainfall Run-off Inundation(RRI) 모델을 이용하여 칼만필터 기반 앙상블 수리해석(하천 유량 및 수위 예측)을 수행하였는데 6시간 예측을 수행하기 위해 관측자료를 이용한 Data Assimilation(DA)을 통해 예측 모델의 정확도를 높이기 위한 연구가 있었음

10. 딥러닝 기법을 활용한 연구

- 단순하게는 유역 규모의 홍수량, 하천 수위 예측에 관한 연구에서부터 재분석자료를 대체할 수 있을 만한 기후정보 생산에 관한 연구까지 상당히 넓은 스펙트럼의 영역에서 딥러닝 기법을 활용한 연구 주제 발표가 있었음
- 그중 AXA에서는 Total Column Water Vapour(TCWV), Sea Level Pressure(SLP)를 이용하여 ERA5의 결과에 버금가는 강수 예측정보를 생산하는 연구 결과 발표가 있었음
- 그러나 정확도는 상당히 높게 나타난 것으로 평가되나 실제 예측정보를 활용한 자료가 아닌 관측자료 변수 기반 민감도 평가 수준에서 끝난게 아쉬움으로 남음



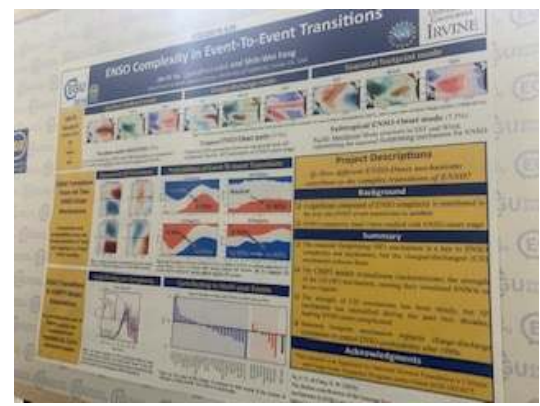
PICO 2분 구두 발표 현장



PICO 개별 발표 현장



학회 구두발표 현장



학회 포스터발표 현장

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

- ▶ ENSO, 몬순, 중위도 teleconnection 등 기후 변동성 관련 다양한 세션이 개최되었으며 최근 연구 동향을 파악할 수 있었음
- ▶ Pacific Meridional Mode, Victoria Mode 등과 관련한 최근 변화하는 ENSO의 특징에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 모드들이 우리나라 기후에 미치는 영향에 대해 분석하여 APCC 연구과제에 적용할 가능성이 있음
- ▶ 동아시아 지역 기후분석과 관련해서는 최근 티벳지역의 열적 상태에 대한 분석이 활발히 진행되고 있으며 실제 티벳 지역에서부터 형성된 대기 파동이 우리나라 여름철 기온에 큰 영향을 미치는 것이 알려져 있으므로 정확한 기후예측을 위해 이에 대한 지속적인 감시가 필요함
- ▶ 기후 분석 관련하여 global warming signal과 long-term variability의 영향을 분리하여 살펴볼 필요가 있는데 이에 대한 방법론에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음
- ▶ 우리나라 폭염 관련 연구 내용에 대한 토론을 통해 연구 논문을 좀 더 발전시킬 수 있었으며 다양한 기후 분석 기법 및 최근 기후 이슈 사항등을 파악함으로써 기후 분석 기반 우리나라 기후예측성 향상 과제에 적극 활용하고자 함
- ▶ 많은 유럽 대학과 연구기관이 대서양의 순환과 물리작용, 다른 해양과의 연관성에 관한 연구를 주도하고 있으나 그 영향에 대한 연구는 상대적으로 적었음.
- ▶ 많은 연구들이 21년 또는 15년 이동 상관관계를 통해 decadal change를 강조함
- ▶ 이상기후 원인 분석 분야는 지구 온난화와의 연관성에 주로 초점이 맞춰져 있으며 물리적 기작에 대한 연구는 극소수였던 것으로 보아 우리 기관의 이상기후 프로젝트의 독창성이 기대되는 상황임
- ▶ 특별한 연구 결과가 아니더라도 이상기후 현상을 청중이 쉽게 직관적으로 이해할 수 있도록 시각화 할 필요가 있음
- ▶ 기후자료와 수문 모델을 이용한 물관리 예측 정보 생산을 위한 프레임 구축과 관련한 연구가 상당 부

분 눈에 띄었던 점이 인상적이었음

- ▶ 향후 APCC가 예측된 기후정보를 제공함과 동시에 기후정보의 활용방에 대한 예시, 기후자료 처리 시 반드시 고려해야 할 사항 등과 같은 가이드스를 제공할 수 있는 연구를 수행할 수 없게 된 점에 대해서 많은 아쉬움이 남았음

3. Suggestions and Remarks 건의사항

III. References (Presented and Collected Materials) 주요 수집자료

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

[2019 EGU 학회 출장자별 세부 일정]

1. 명복순 선임연구원

날 짜		세부 일정
4/8(월)	오전	• Oral session 참석 : AS4.31: Extreme heat events: processes, impacts and adaptation • Oral session 참석 : CL4.12: Climate variability and prediction in high latitudes
	오후	• Oral session 참석 : CL4.02: Monsoon systems and climatic tipping points in Asia: past, present, future
4/9(화)	오전	• Oral session 참석 : CL2.10: ENSO: Dynamics, Predictability and Modelling • Oral session 참석 : AS4.46: The Third Pole Environment (TPE) under Global Changes • Oral session 참석 : OS1.3: The North Atlantic : natural variability and global change
	오후	• Oral session 참석 : ITS4.7: High impact events and climate change
4/10(수)	오전	• Poster session 참석 : OS1.3: The North Atlantic: natural variability and global change • PICO session 참석 : OS1.8: Tropical & subtropical Ocean circulation, equatorial to mid-latitude air sea interactions • Oral session 참석 : AS4.35: Large Ensemble climate model simulations: exploring natural variability change signals and impacts
	오후	• Poster session 참석 : ITS4.7: High impact events and climate change • Oral session 참석 : OS1.7: Understanding the Indian Ocean's past,present and fugure
4/11(목)	오전	• Oral session 참석 : AS1.7: Subseasonal-to-Seasonal (S2S) prediction: meteorology and impacts • Oral session 참석 : CL4.24: Dynamics and impacts of tropical extratropical variability and teleconnections from interannual to multidecadal time scales, including tropical Atlantic • Oral session 참석 : AS4.32: The 2018 European drought - scientific observations and societal implications • Oral session 참석 : AS1.14: Dynamical Extremes in Climate and Geophysical Sciences
	오후	• Poster session 참석 : OS1.2: Changes in the Arctic Ocean, sea ice and subarctic seas systems: Observations, Models

		and Perspective • Poster session 참석 : ITS3.8: The 2018 European drought-scientific observations and societal implications
4/12(금)	오전	• Oral session 참석 : CL4.25: Dynamics of the atmospheric circulation in past, present and future climate • Oral session 참석 : AS1.15: Extreme meteorological and hydrological events induced by severe weather and climate change
	오후	• <u>Poster session 발표 : AS1.15: Extreme meteorological and hydrological events induced by severe weather and climate change 16:15-18:00</u> • Oral session: CL4.23: Detecting and attributing climate change: trends, extreme events, and impacts

2. 여새림 선임연구원

날 짜		세부 일정
4/7(일)		Opening reception 참석
4/8(월)	오전	- Poster session 발표 : PICO 1.12: Extreme heat events: processes, impacts and adaptation (10:45-12:30) - Oral session 참석 : CL4.12: Climate variability and prediction in high latitudes
	오후	Oral session 참석 : CL4.02: Monsoon systems and climatic tipping points in Asia: past, present, future
4/9(화)	오전	- Oral session 참석 : CL2.10: ENSO: Dynamics, Predictability and Modelling - Oral session 참석 : CL3.12.2: Challenges in climate prediction: multiple time scales and the Earth system dimensions
	오후	Oral session 참석 : ITS4.7: High impact events and climate change
4/10(수)	오전	- Poster session 참석 : OS1.3: The North Atlantic: natural variability and global change - PICO session 참석 : OS1.8: Tropical & subtropical Ocean circulation, equatorial to mid-latitude air sea interactions - Oral session 참석 : AS4.35: Large Ensemble climate model simulations: exploring natural variability change signals and impacts
	오후	- Poster session 참석 : ITS4.7: High impact events and climate change - Oral session 참석 : CL1.06.2: Climate Change in the geological record: what can we learn from data and models? - Oral session 참석 : OS1.7: Understanding the Indian Ocean's past, present and future
4/11(목)	오전	- Oral session 참석 : AS1.7: Subseasonal-to-Seasonal (S2S) prediction: meteorology and impacts - Oral session 참석 : CL4.24: Dynamics and impacts of tropical extratropical variability and teleconnections from interannual to multidecadal time scales, including tropical Atlantic
	오후	- Poster session 참석 : OS1.2: Changes in the Arctic Ocean, sea ice and subarctic seas systems: Observations, Models and Perspective - Poster session 참석 : ITS3.8: The 2018 European drought-scientific observations and societal implications - Oral session 참석 : NP5.3: Advances in statistical post

		processing for deterministic and ensemble forecast
4/12(금)	오전	• Oral session 참석 : CL4.25: Dynamics of the atmospheric circulation in past, present and future climate • Oral session 참석 : OS1.4: South to North variability and connectivity along the oceanic current systems from the south atlantic to the north atlantic and into the arctic ocean
	오후	• Oral session 참석 : AS 1.34: The global monsoons in current future and paleoclimates and their role in extreme weather and climate • Oral session 참석 : CL4.23: Detecting and attributing climate change: trends, extreme events, and impacts

3. 이승수 선임연구원

날 짜		세부 일정
4/7(일)		• Opening reception 참석
4/8(월)	오전	• Oral session 참석 : Hydrological extremes: from droughts to floods
	오후	• Oral session 참석 : Big data and machine learning in geosciences
4/9(화)	오전	• Oral session 참석 : Ensemble hydro-meteorological forecasting
	오후	• Oral session 참석 : Hydrological change: Regional hydrological behaviour under transient climate and land use conditions
4/10(수)	오전	• Oral session 참석 : Precipitation Modelling: uncertainty, variability, assimilation, ensemble simulation and downscaling
	오후	• Oral session 참석 : Remote Sensing for Flood Dynamics Monitoring, Water Level, Storage and Discharge
4/11(목)	오전	• <u>Poster session 발표 : From sub-seasonal forecasting to climate projections: predicting hydrologic extremes and servicing water managers</u>
	오후	• Oral session 참석 : Flash floods and associated hydro-geomorphic processes: observation, modelling and warning
4/12(금)	오전	• Oral session 참석 : From observations to models - journey of model development
	오후	• Meet the Experts : Transit time modeling in hydrology

Two types of heat wave in Korea associated with atmospheric circulation pattern

Sae-Rim Yeo

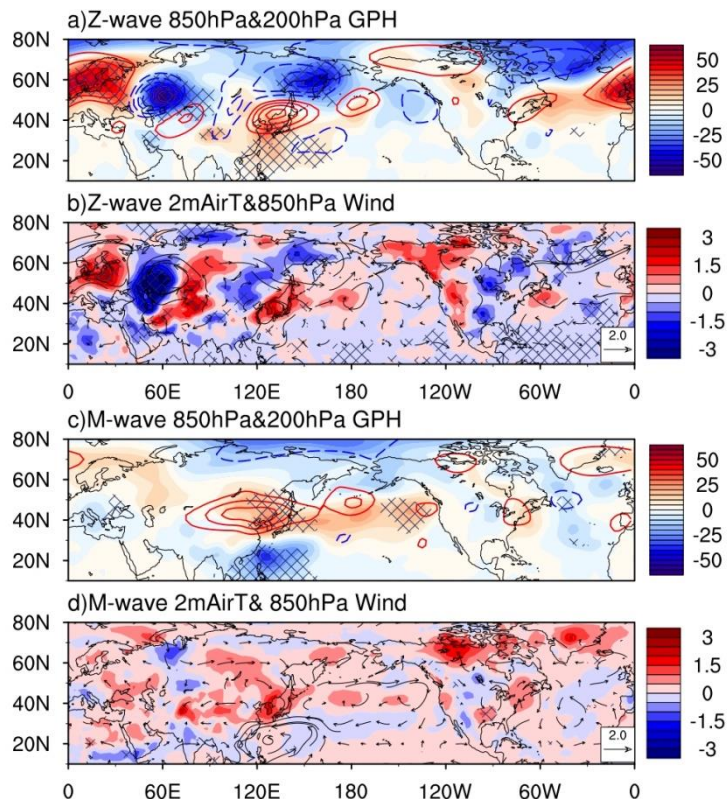
APEC Climate Center (sryeo@apcc21.org)

NH1.9/AS4.31:Extreme heat events: processes, impacts and adaptation

PICO Introduction



Two types of Korean heat wave: Zonal & Meridional wave

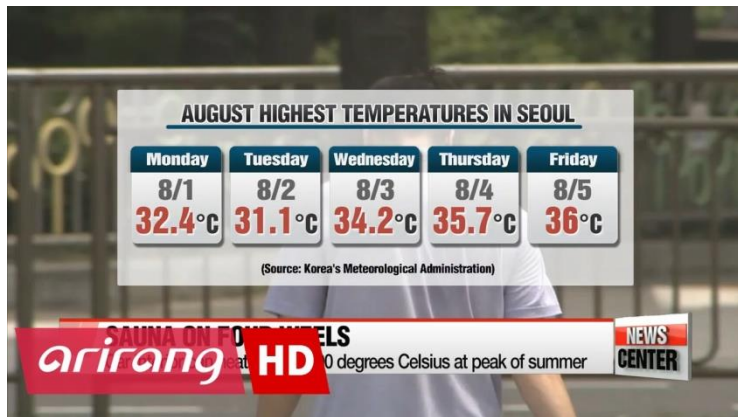


- ❖ Korean heat wave cases are classified into two types based on large scale atmospheric circulation pattern
- ❖ Zonal wave (Z-wave) type
 - atmospheric wave across the Eurasian continent
 - associated wave energy could originate from North Atlantic
 - Z-wave resembles some part of CGT (Circumglobal teleconnection) pattern
- ❖ Meridional wave (M-wave) type
 - northward propagating wave train from subtropical western North Pacific to East Asia
 - triggered by convective activity over the subtropical western North Pacific
 - M-wave resembles some part of PJ (Pacific-Japan) pattern

PICO presentation

Introduction

2018 Summer Korean Heat Wave



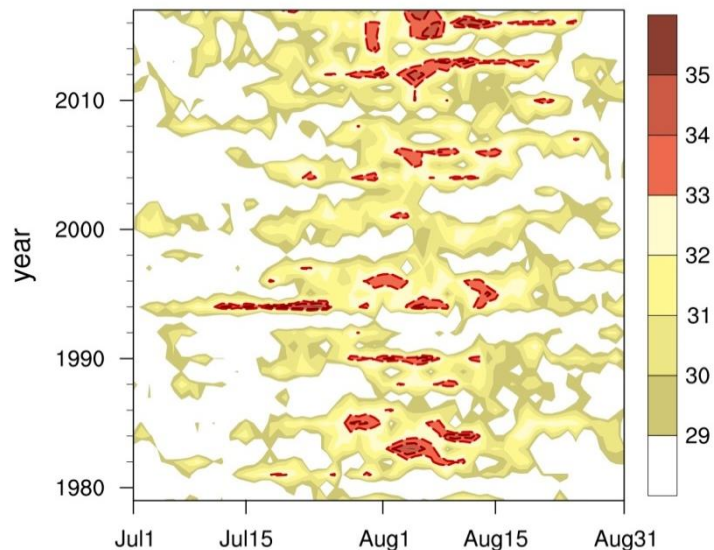
- ❖ Atmospheric heat wave bring serious consequences for society, economy, ecosystem and human health
- ❖ Most extreme heat waves in Korea occurred in recent years (August 2013, August 2016, July-August 2018)
- ❖ Considering increasing number of extreme heat waves over Korea in recent years and their widespread impacts, it is important to understand physical processes of heat waves in Korea and improve their predictability

Data

- ❖ Daily mean maximum temperature from 61 weather station in Korea 1979-2017 (KMA)
- ❖ Large scale atmospheric variables: NCEP Reanalysis 2
- ❖ NOAA OISST v2, OLR

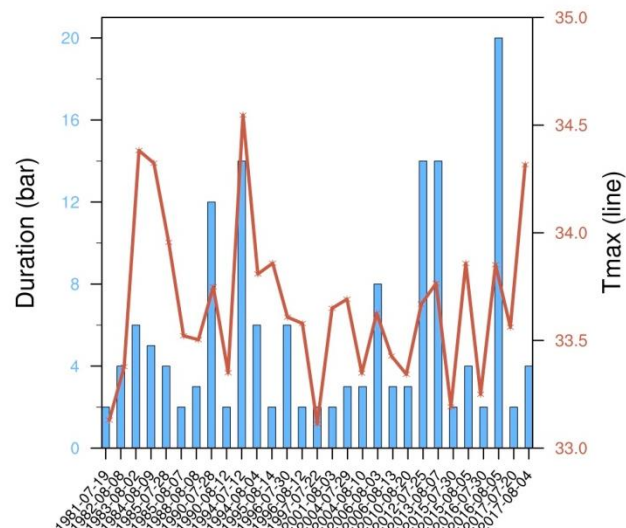
General characteristics of heat waves in Korea

Maximum temperature in Korea (JUL-AUG)



- ❖ Definition of Korean heat wave (KMA)
: a period of at least 2 consecutive days in which the daily T_{max} exceeds 33°C

Heatwave intensity & duration

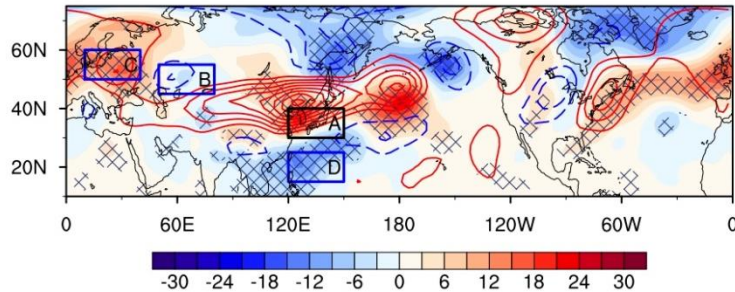


- ❖ Duration and intensity of Korean heat wave cases
29 cases of heat wave
long-lasting heat wave: 2016 (20days) 1994 (20days)
maximum intensity: 1994
There is no strong relationship between heat wave duration and intensity

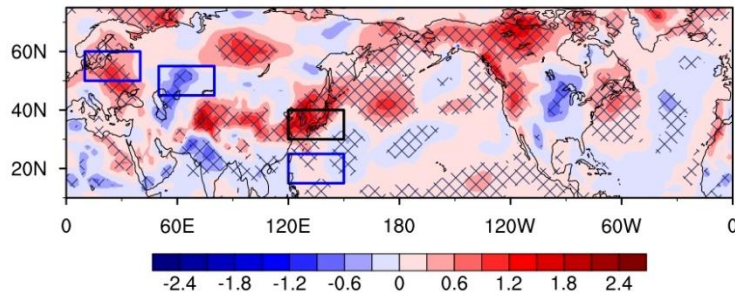
General characteristics of heat waves in Korea

Heatwave Composite

a) 850hPa & 200hPa GPH



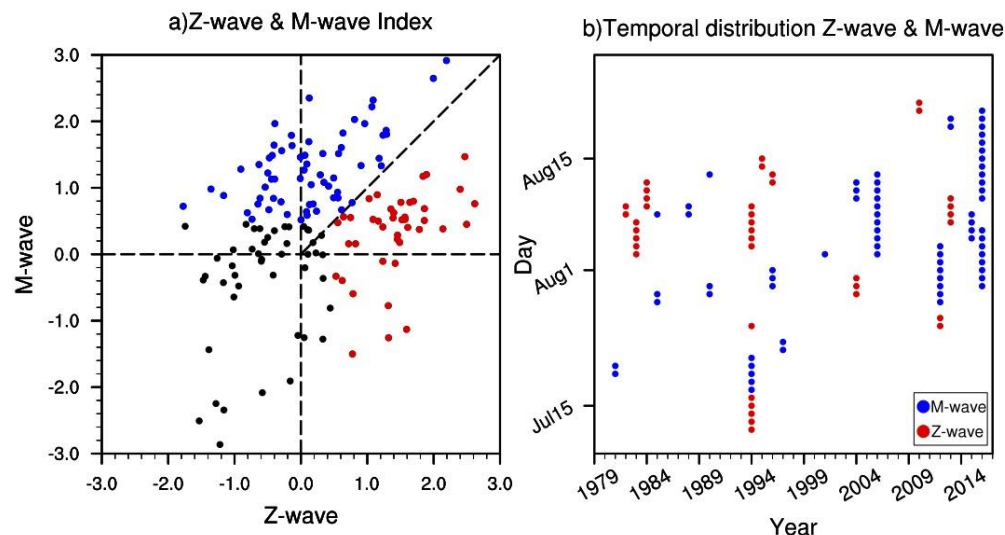
b) 2m airT



Composite anomalies of 850hPa/200hPa GPH
and 2m air temperature

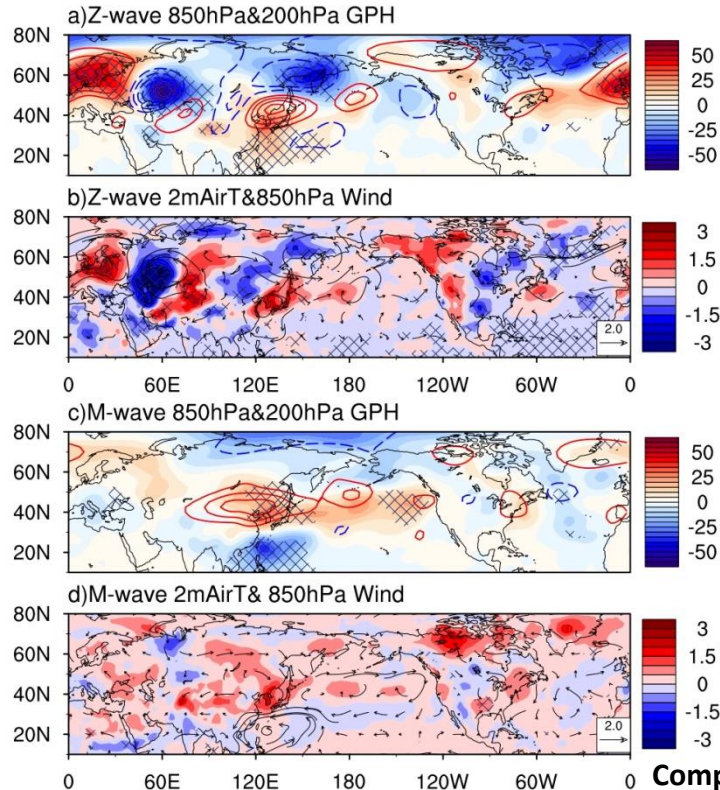
- ❖ High pressure anomaly over Korea
 - fundamental component for sustaining heat wave
 - extending from northeastern China to Lake Baikal
 - nearly barotropic structure
 - flanked by negative anomaly to the south and north constituting meridional wave like structure
 - zonal wave like pattern across the Eurasian continent and positive NAO like structure
- ❖ 2m temperature anomaly generally resembles the circulation anomaly
- ❖ Simple circulation indices are designed to capture the dynamical features of Korean heat waves
 - Z-wave index: Korea-Japan(30-40N,120-150E) – Middle East(45-55N, 50-80E) + Europe(50-60N, 10-40E)
 - M-wave index: Korea-Japan(30-40N,120-150E) – subtropical WNP(15-25N, 120-150E)

Classification of Z-wave and M-wave



- ❖ Most heat wave cases are plotted where either Z-wave or M-wave index is greater than zero
→ Korean heat waves are generally related to the large-scale atmospheric circulations represented by Z-wave and M-wave indices
- ❖ Z-wave type heat wave is defined by Z-wave (M-wave) index being greater than 0.5 standard deviation and being greater than M-wave (Z-wave) index
- ❖ M-wave type heat wave tends to occur more frequently in recent years (2013, 2015, and 2016)

Large scale circulation for two types of heat wave



❖ Z-wave

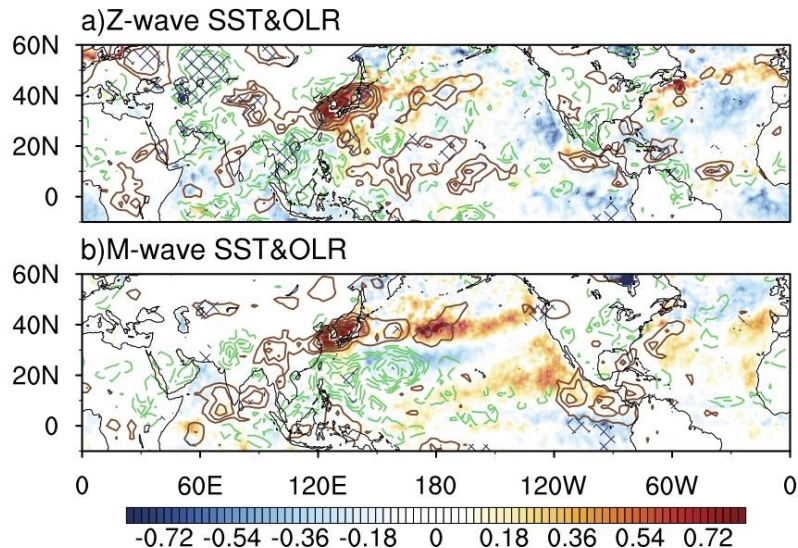
- zonal wave train across Eurasian continent is obvious
- positive NAO-like structure
- nearly equivalent barotropic structure, except for the tilted baroclinic structure over central Asia
- warm air T over Europe and Korea-Japan coincide with high pressure anomaly

❖ M-wave

- positive GPH over Korea-Japan and negative over subtropical WNP
- baroclinic structure in WNP → low level circulation may be induced by the heat related convective activities

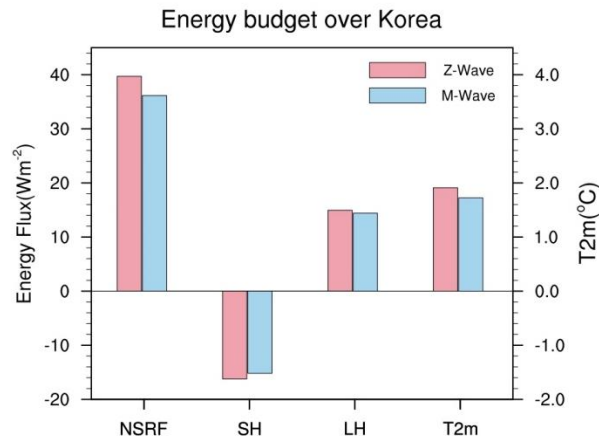
Composite of 850 hPa /200 hPa GPH and 2m Temp/850hPa Wind for Z-wave and M-wave

Large scale circulation for two types of heat wave



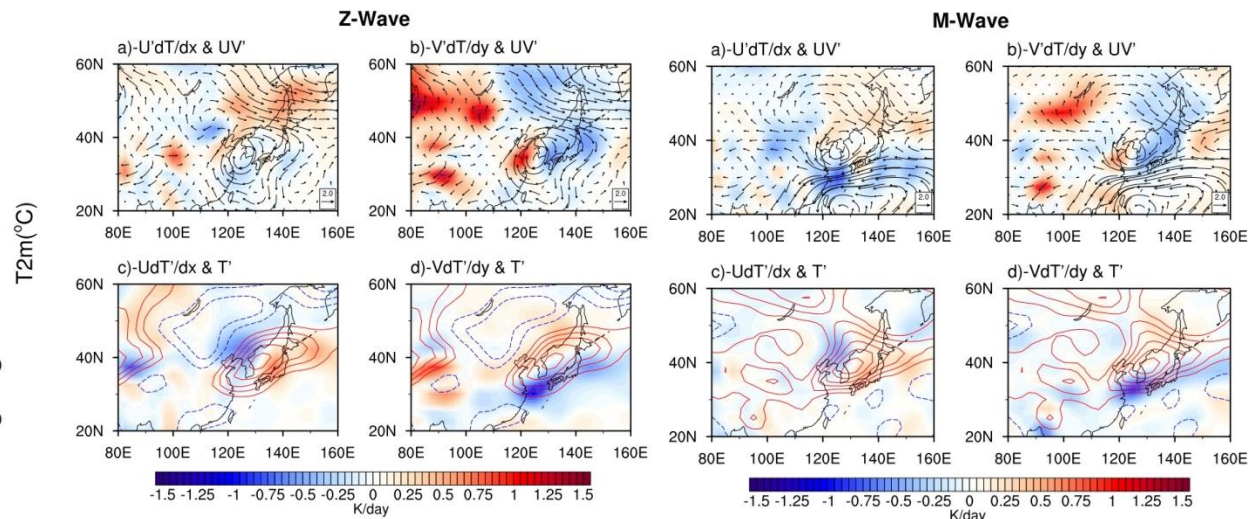
- ❖ Z-wave and M-wave
 - suppressed convection over Korea-Japan → increased solar radiation via reduced cloud cover
 - negative SST anomalies are commonly found over tropical eastern Pacific
- ❖ Z-wave
 - tripole SST pattern over North Atlantic → consistent with positive NAO-like atmospheric structure
 - enhanced convection over Bay of Bengal, south Asia, Pakistan → Similar to CGT pattern
- ❖ M-wave
 - well organized enhanced convection over subtropical WNP and suppressed convection over Korea-Japan → Similar to PJ pattern

Thermodynamical characteristics of the two types of heat wave



Net surface heat flux (Positive fluxes are defined to be directed downward)

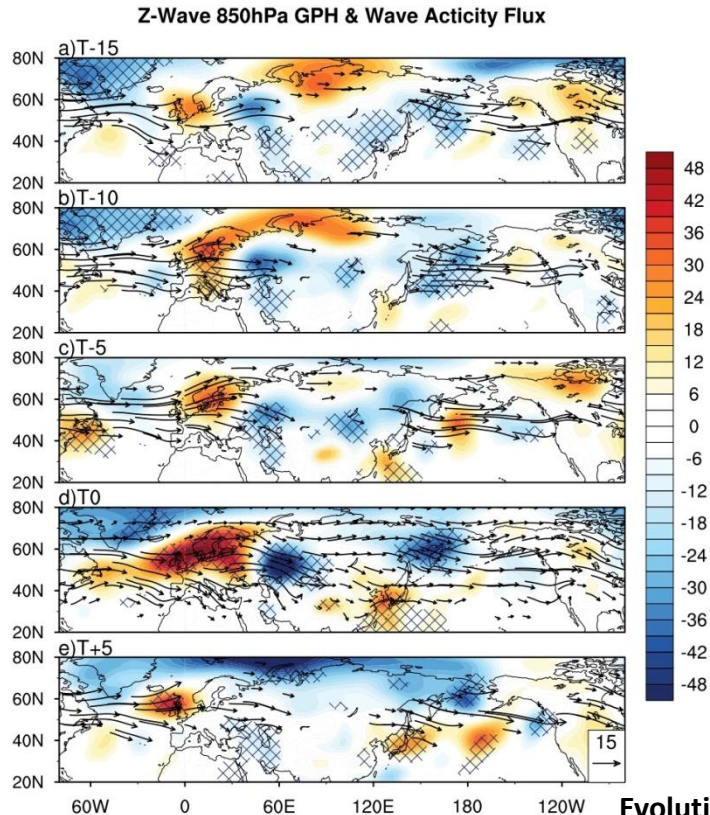
- ❖ high pressure → clear sky → downward net radiation flux
- ❖ dry condition → suppressed evapotranspiration → reduced latent cooling
- ❖ excessive net surface radiation flux and reduced latent cooling lead to atmospheric heating



Thermal advection: $-u' \partial \bar{T} / \partial x$, $-v' \partial \bar{T} / \partial y$, $-\bar{u} \partial T' / \partial x$, $-\bar{v} \partial T' / \partial y$

- ❖ mean temperature advection by anomalous southerly wind ($-v' \partial \bar{T} / \partial y$) largely affects warming over west Korea for both Z-wave and M-wave
- ❖ Warming over Korea during heat wave event is mainly driven by the net surface radiation flux and latent heat flux

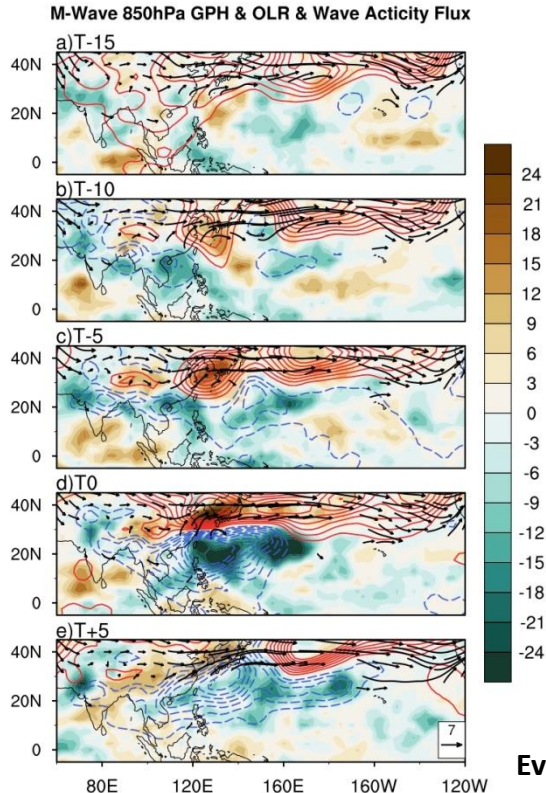
Temporal evolution of two types of Korean heat wave



- ❖ Wave propagation feature of Z-wave horizontal wave activity flux following Takaya and Nakamura (2001)
 - T-15: low pressure anomaly over North Atlantic → part of wave train
 - T-10: wave structure gets stronger
 - T-5 : positive and negative anomaly over Europe and Russia moves eastward and high pressure anomaly appears over South of Korea
 - T0 : propagation of wave activity flux is evident across Eurasian continent to East Asia
- ❖ Z-wave : wave train started over North Atlantic Ocean and Europe from about 15 days before the onset of heat wave
- ❖ Previous studies also highlighted the role of North Atlantic Ocean in affecting East Asian climate by triggering Rossby wave that propagates east ward (Lin et al., 2016; Moneri et al., 2018; Wu et al., 2016)

Evolution of composite anomalies of 850GPH and wave activity flux at 500hPa for Z-wave

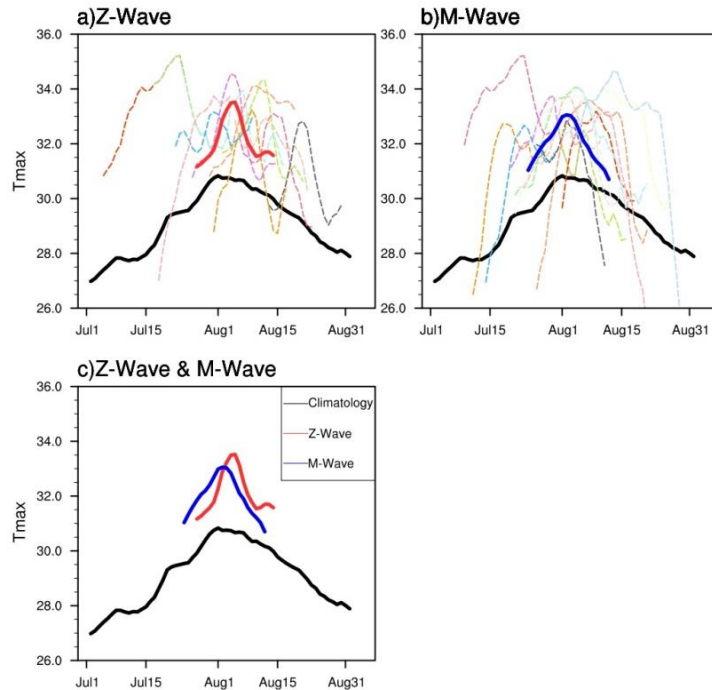
Temporal evolution of two types of Korean heat wave



- ❖ Wave propagation feature of M-wave
 - T-15: enhanced convection appears over tropical western Pacific
 - T-10: enhanced convection over subtropical WNP and suppressed convection over Korea-Japan
 - T-5 : low-pressure anomaly appears over subtropical WNP and high pressure anomaly dominates over subtropical WNP
 - meridional propagation of wave activity flux from WNP to Korea-Japan
 - T0 : strong and well organized enhanced convection over subtropical WNP
- ❖ Z-wave : anomalous convective heating over the subtropical WNP leads atmospheric Rossby wave that propagates poleward and forms M-wave Pattern, which is very similar to mechanism of PJ pattern

Evolution of composite anomalies of 850GPH/OLR/ wave activity flux at 500hPa for M-wave

Temporal evolution of two types of Korean heat wave



- ❖ Z-wave generally occur during late-July to early-August, while occurrence of M-wave shows large inter-event spread from mid-July to mid-August
- ❖ Z-wave generally sustains above the climatology after the peak of heat wave, while M-wave steeply decrease below the climatology within 10 days
- ❖ Z-wave has stronger intensity than M-wave after the peak phase of heat wave
- ❖ M-wave exhibits larger amplitude before the peak phase of heat wave
- ❖ Z-wave type shows steeper temporal evolution than M-wave type

Temporal evolution of Korean Temperature during day-10 to day +10



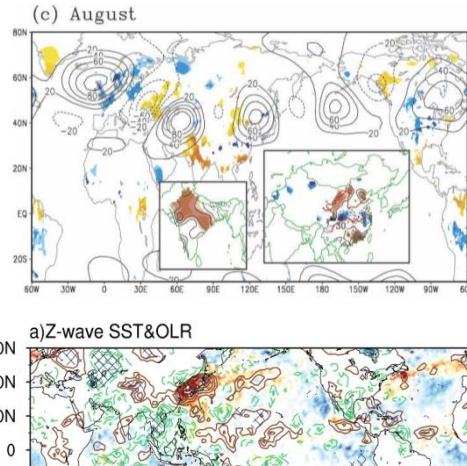
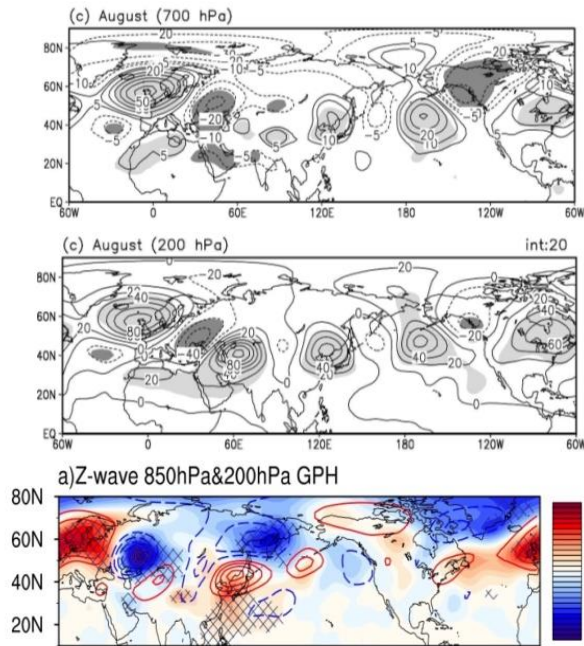
Summary

- ❖ Most of Korean heat waves for the period of 1979-2017 are classified into two types based on atmospheric circulation features as Z-wave and M-wave
- ❖ Z-wave type is characterized by a pronounced zonal wave train across the Eurasian continent
The dynamical properties and circulation anomalies of Z-wave are similar to those of CGT pattern
- ❖ M-wave type is characterized by meridional dipole atmospheric structure over subtropical WNP and East Asia
It seems that northward propagation of Rossby waves induced by anomalous convective heating over the subtropical WNP lead to the development of M-wave as in PJ pattern
- ❖ Downward net radiation flux and the reduced latent cooling are mainly responsible for the both types of Korean heat wave
- ❖ Wave propagation across the Eurasian continent to East Asia started from North Atlantic Ocean about 15 days before the occurrence of Z-wave
- ❖ The development of M-wave is accompanied by northward propagation of meridional dipole structure of convective activity from tropical western Pacific to East Asia

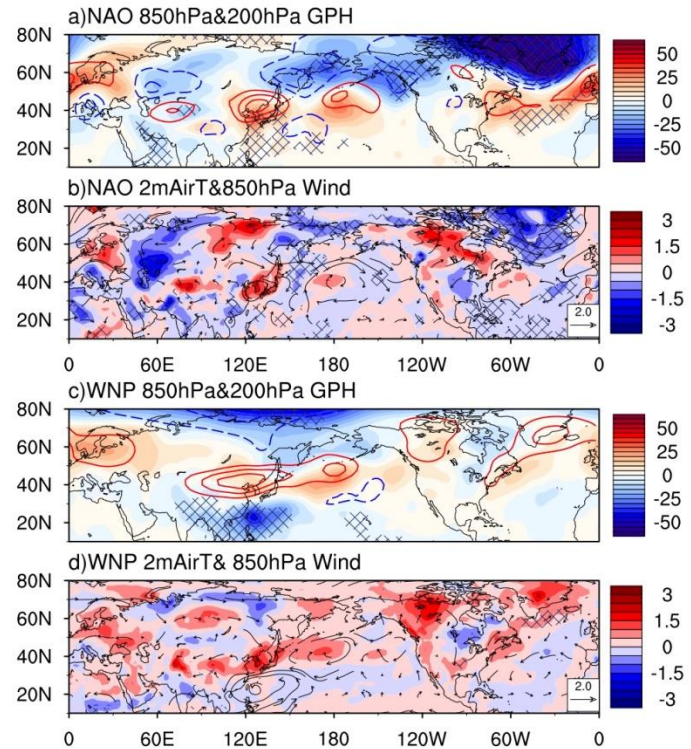
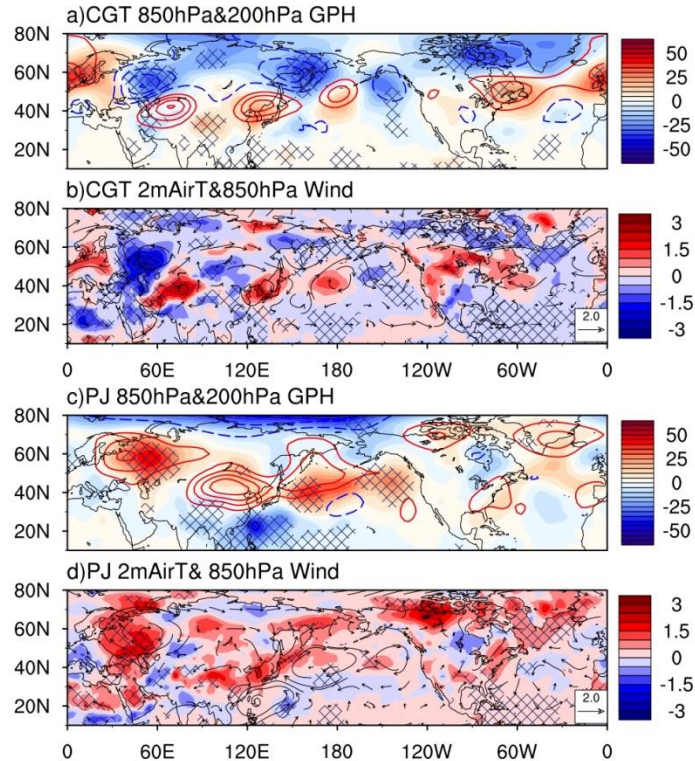
Thank You



Large scale circulation for two types of heat wave



Large scale circulation for two types of heat wave



Drought Predictions in the mid-latitude regions during recent decades

Boksoon Myoung¹, Jinyoung Rhee¹, Sang-Wook Yeh², Jinwon Kim³, Changhyun Yoo⁴ and Menas Kafatos³

¹APEC Climate Center, Busan, South Korea

²Dept. of Marine Sciences and Convergent Technology, Hanyang University, Ansan, South Korea

³Center of Excellence in Earth Systems Modeling and Observations, Chapman Univ., USA

⁴Dept. of Climate and Energy Systems Engineering, Ewha Womans University, Seoul, South Korea

Contact Information: bmyoung@apcc21.org



Wet Season Droughts in S. Korea (SK) and California (CA)

- ✓ Droughts can cause significant damages to the environment as well as society due to their long-term persistency over extensive areas.
- ✓ Socio-economic damages caused by droughts can be substantially large, especially when meteorological droughts are developed into agricultural and/or hydrological droughts.
- ✓ Severe wet-season droughts occurred in both SK (May-Oct, MtO) and CA (Dec-Feb, DJF) in the consecutive years from 2013/14 and 2014/15.
- ✓ Understanding and predicting wet-season droughts are critical for agricultural productivity and water resource management under global warming.

Objectives

The present study investigates precipitation variability of the wet seasons of SK (MtO) and CA (DJF) and related large-scale circulations for the recent 21 years (1994/95-2014/15) in order to develop drought prediction models.

Data and Methodology

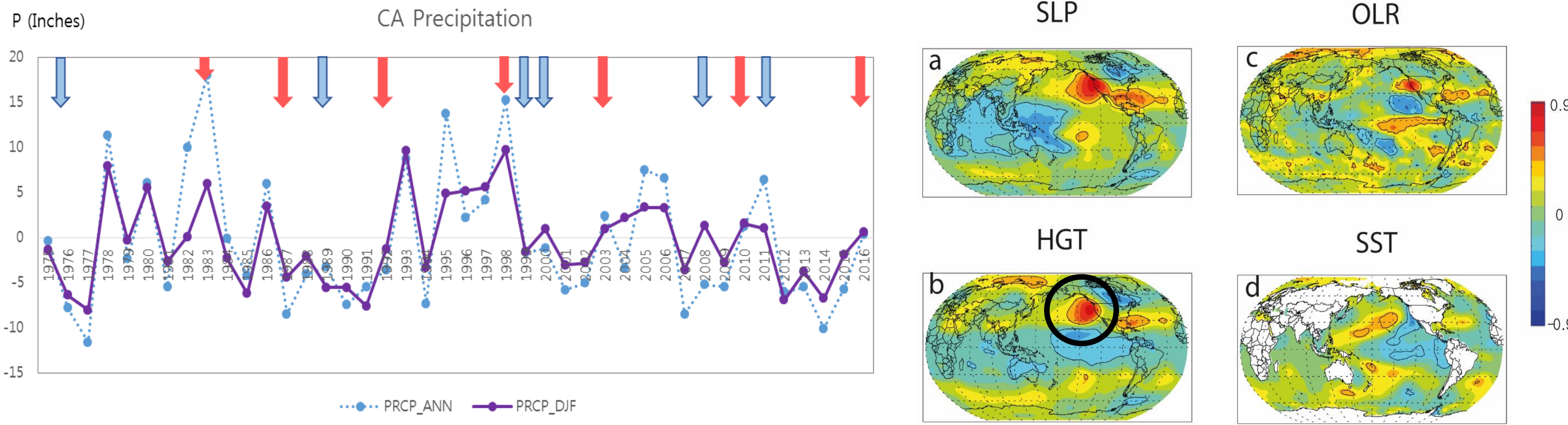
- ✓ Global/station surface temperature and precipitation data from Climate Research Unit, CRU, US climate division data, and Korean Meteorological Administration
- ✓ NCEP Reanalysis dataset for atmospheric variables,
- ✓ NOAA SST (extended, v4) and OLR (monthly interpolated)
- ✓ Research Period: 1975-2015 (41 years) focusing on 1995-2015 (21 years)
- ✓ Perform statistical analyses including EOF (Empirical Orthogonal Function), linear correlation, regression, and composite analyses.
- ✓ Long-term trends were removed.

Main Conclusions

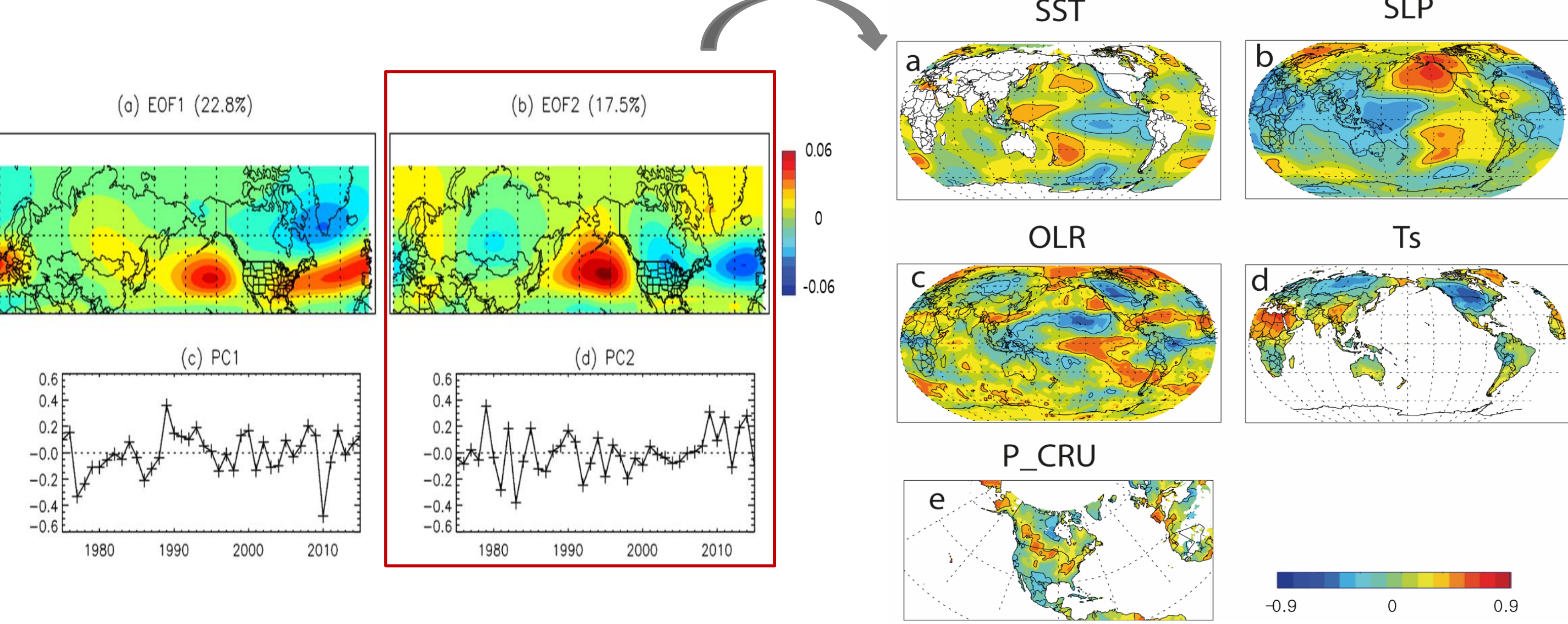
- ✓ Primary meteorological causes of the precipitation deficits and droughts are persistent geopotential height anomalies in the neighboring oceans; for CA, anti-cyclonic circulations in the northeastern Pacific and for S. Korea, cyclonic circulations in the east of Japan. The height anomalies tend to be pronounced in weak ENSO years.
- ✓ The former is associated with warm western-cool eastern tropical Pacific and the latter is so with cold Norway Sea and warm Barents Sea.
- ✓ The North Atlantic and polar SST pattern (NA_dipole) in winter affects the May-Oct precipitation variability in S. Korea via Rossby wave-like teleconnections, as well as changes in sea-ice and snow depth in Eurasia.
- ✓ The linkages above show significant decadal changes, in particular, since the mid-1990s.

Reference: Myoung, B., Yeh, S. W., Kim, J., & Kafatos, M. (2018). Impacts of Pacific SSTs on Atmospheric Circulations Leading to California Winter Precipitation Variability: A Diagnostic Modeling. *Atmosphere*, 9(11), 455.

California Drought (Wet Season: Dec-Feb)

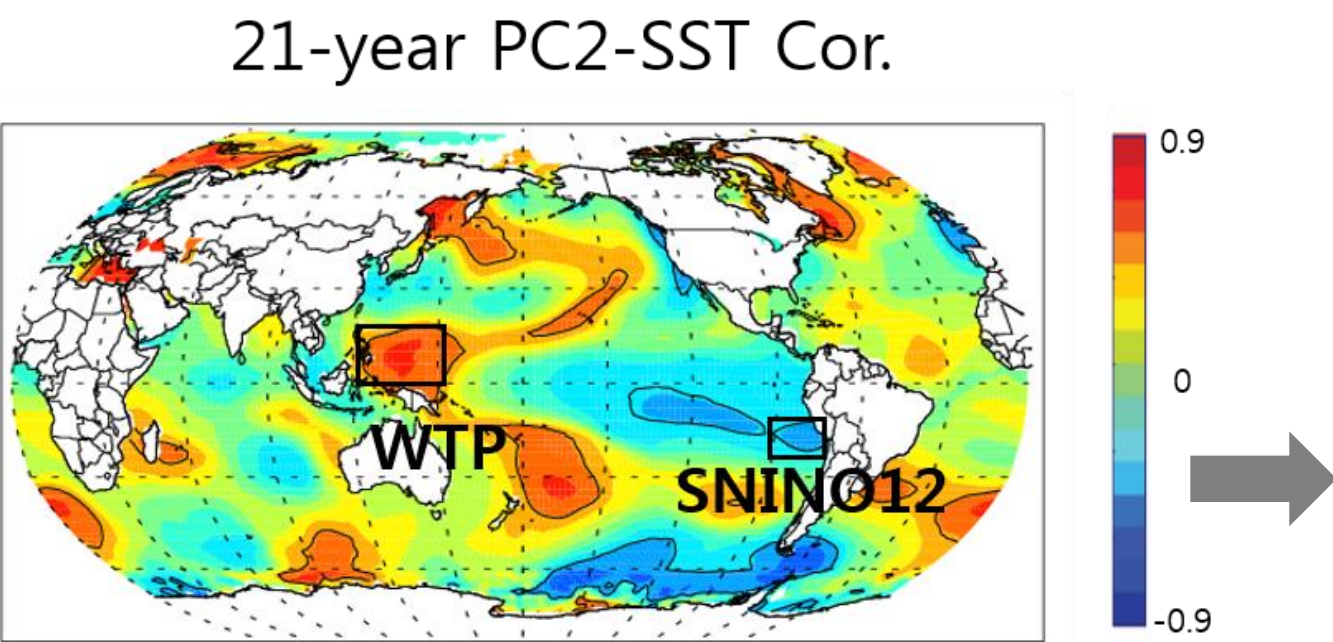


(Left) Time series of DJF mean precipitation (1975-2016) and (right) reversed correlations with atmospheric/SST variables (1995-2015) : **Anti-cyclonic circulation in the NE Pacific is directly responsible for dry winters in CA.**

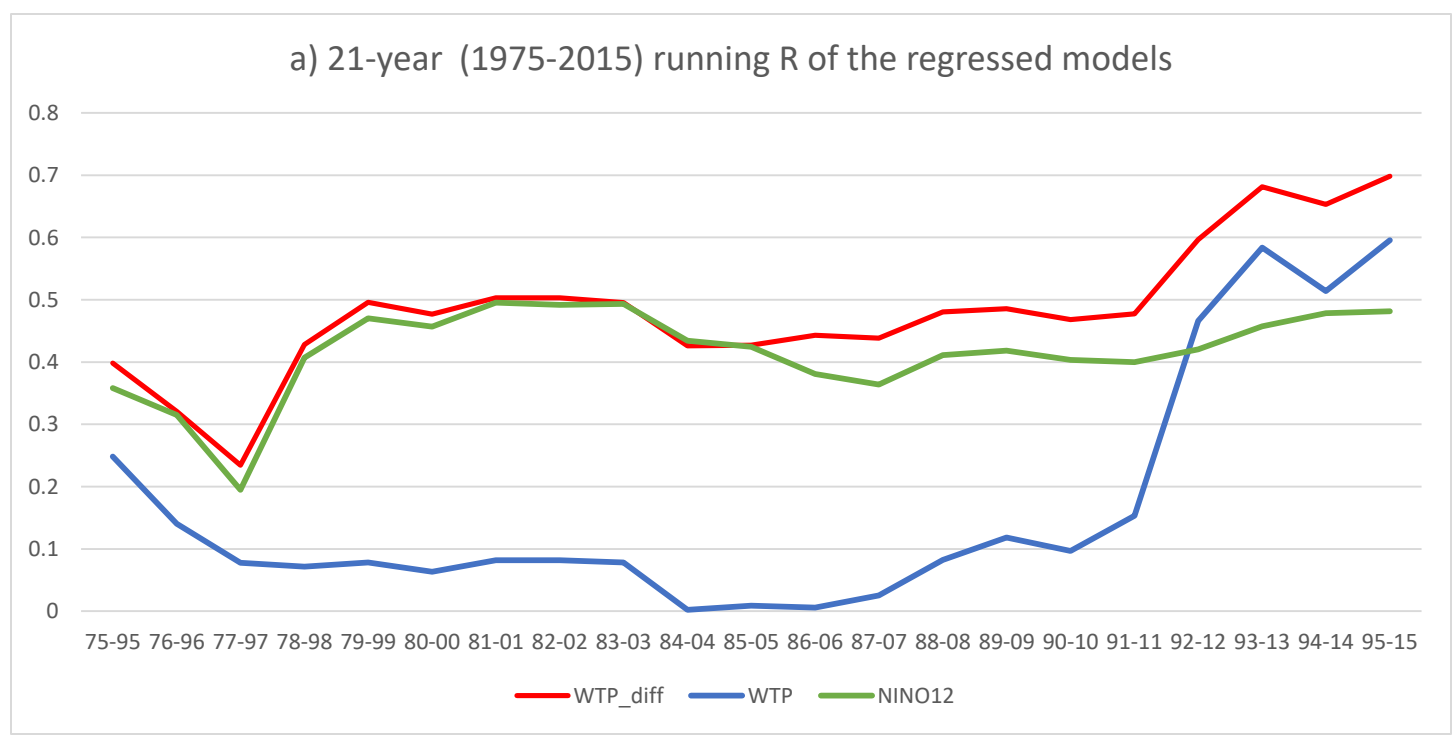


(Left) EOF1/PC1 and EOF2/PC2 of 500 hPa geopotential height and (right) correlations of PC2 with atmospheric/SST variables (1995-2015): **EOF2 is more important to DJF precipitation variability than EOF1 (right figure and table).**

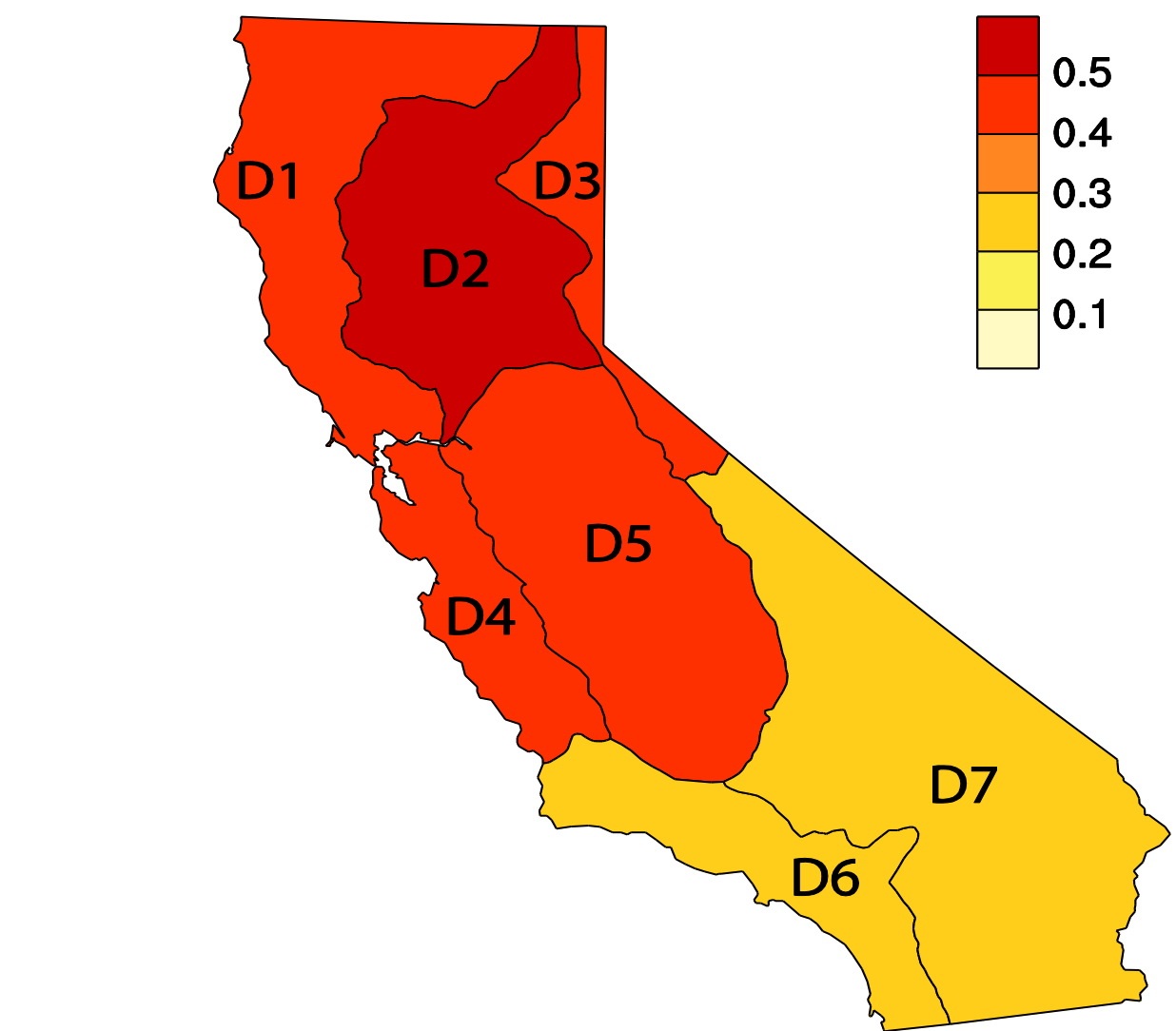
R With DJF Precip	PC1	PC2
41 years	-0.27	-0.35
21 years	-0.37	-0.44



Key predictor
WTP_diff = WTP – SNINO12

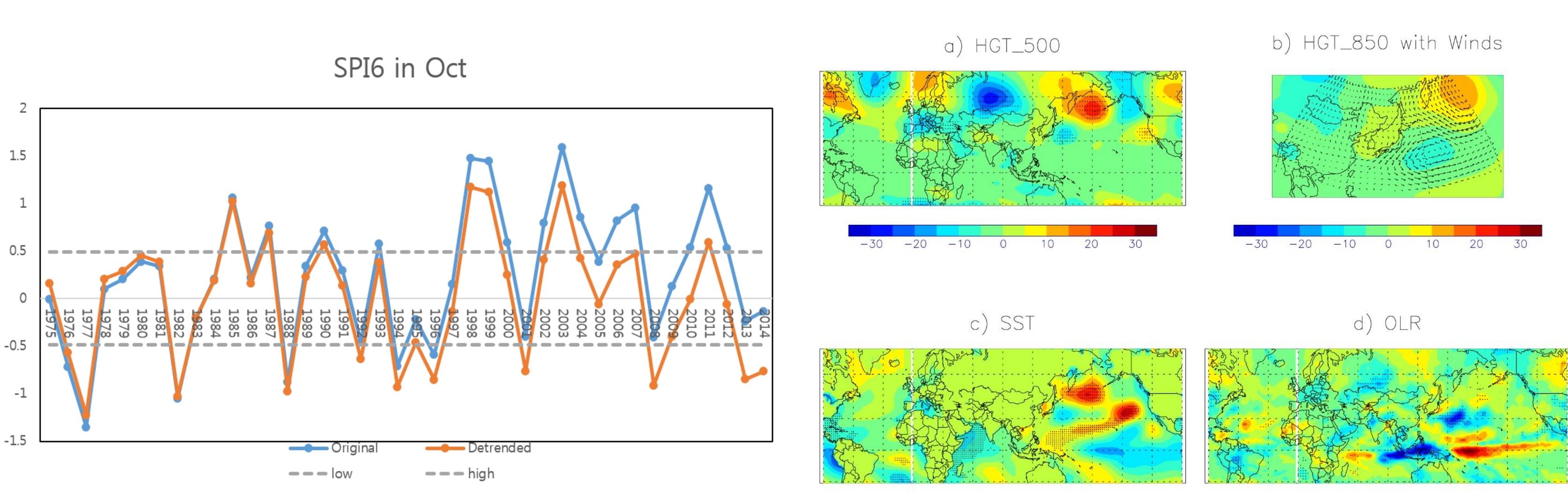


Correlation coefficients (21-year running) btw the DJF precipitation and WTP_diff (red solid line): **During the recent two decades, WTP_diff (=WTP-SNINO12) is tightly correlated with DJF precipitation (r=0.70).**

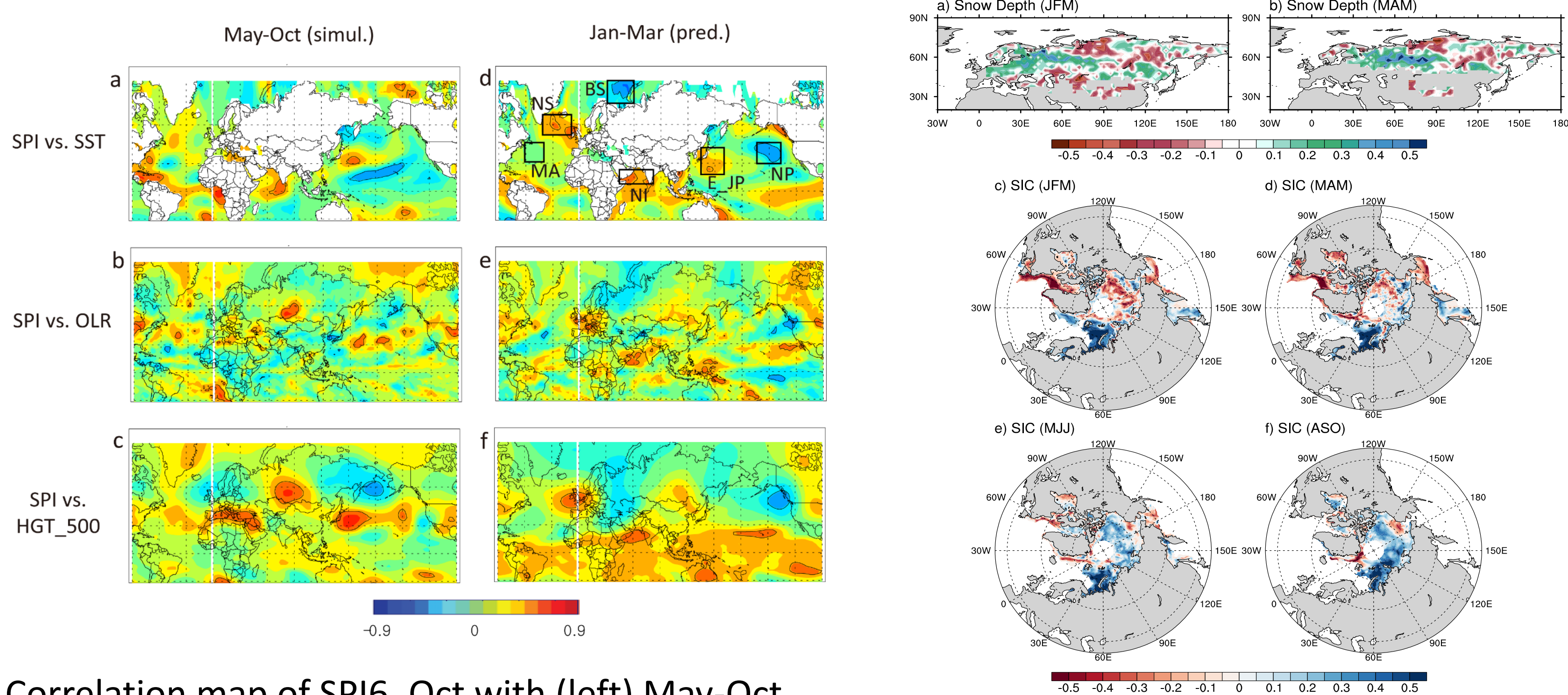


R² values of precipitation estimation using WTP_diff in each climate division of CA.

South Korea Drought (Wet Season: May-Oct)

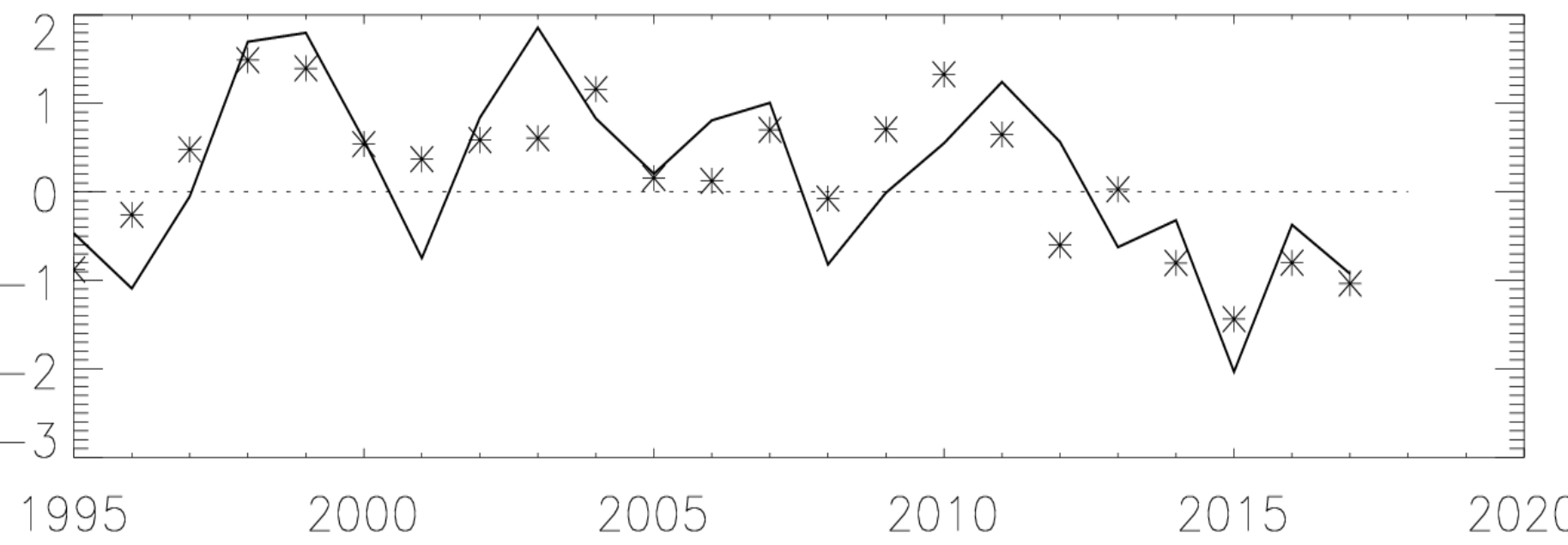
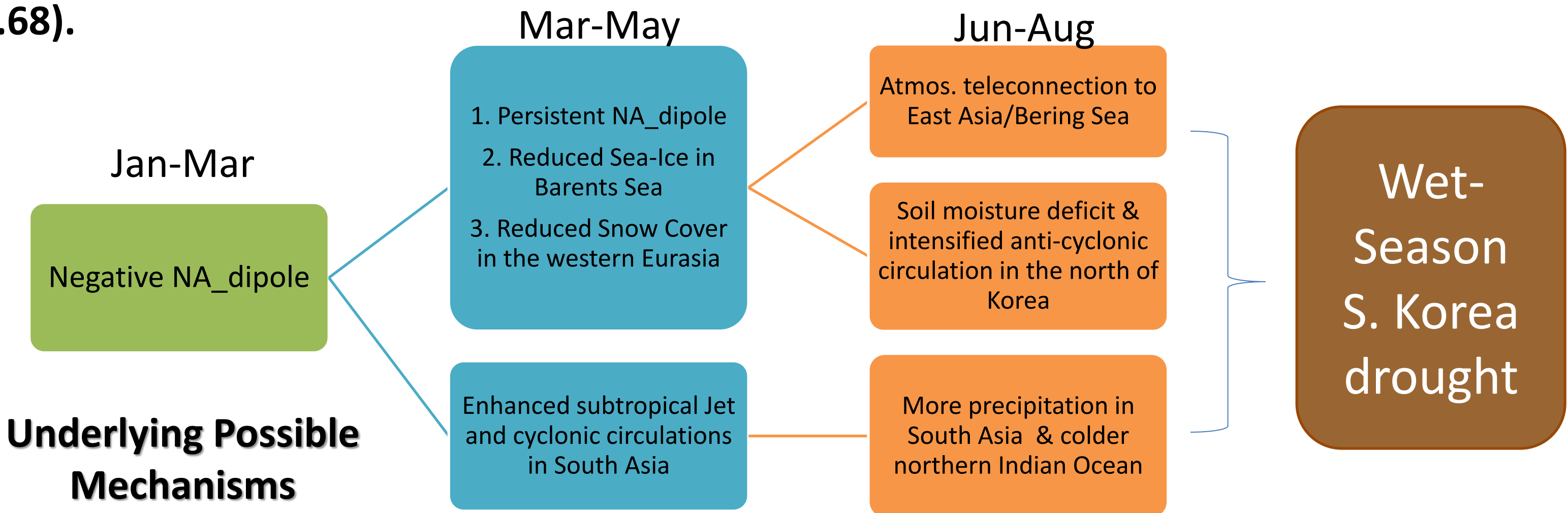


(Left) Time series of SPI6 in Oct (1975-2014) and (right) 6-month (May-Oct) mean composites in the dry years (1996, 2001, 2008, 2013, 2014): **Cyclonic (anti-cyclonic) circulation in the east of Japan (Korea) is directly responsible for dry wet seasons in SK.**



Correlation map of SPI6_Oct with (left) May-Oct and (right) Jan-Mar averaged SST, OLR, and HGT at 500 hPa for the 21 years (1995-2015): **Among the potential predictors (black boxes), NA_dipole (=NS-BS) is tightly correlated with SPI6 in Oct (r=0.68).**

(Top) Correlations of NA_dipole index with snow depth in JFM and MAM and (down) with sea-ice concentration in JFM, MAM, MJJ, and ASO.



Observed (black solid line) and predicted (star) SPI6_Oct using NA_dipole from 1995 to 2017

Submitted to *J. Climate*

Application of Sub-seasonal to Seasonal (S2S) data for River Flood Risk Forecasting using LSTM technique

Seungsoo Lee, Research Fellow, APEC Climate Center, Busan, Republic of Korea (Email : seungsoo_lee@apcc21.org)

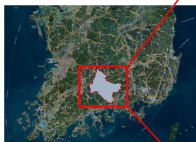
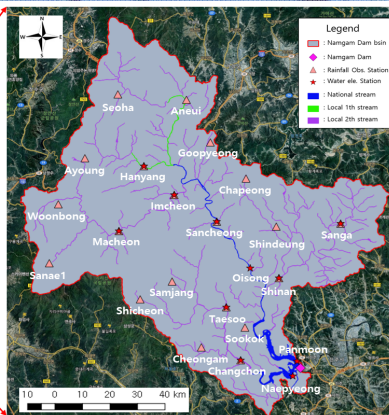
Gayoung Kim, Researcher, APEC Climate Center, Busan, Republic of Korea (Email : chorong@apcc21.org)

① Introduction

sub-seasonal time scale forecasts(S2S) between weather and climate models have shown that an empty space in the construction of the seamless numerical forecasting system. Due to its high spatial and temporal resolution, it cannot be used immediately in hydrological or other application fields. In this study, we evaluated the accuracy of S2S forecast data, which is increasing in recent importance and interest of seamless weather and climate forecast information, and evaluated its applicability to disaster area, especially change of water elevation in river based on Long- Short-Term Memory (LSTM) Technique. As the result of the study, if the LSTM model is constructed by using the S2S prediction data and the river water elevation, the river flood risk can be grasped in terms of disaster preparedness.

② Study area (Namgang Dam basin)

Time period :
2013/2/5 AM 01 ~ 2018/8/27 PM 24



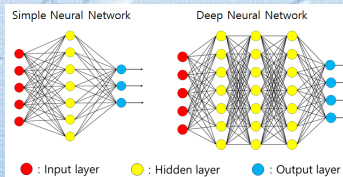
8 water elevation
observation stations
20 rainfall observation
stations

③ Data and Methodology

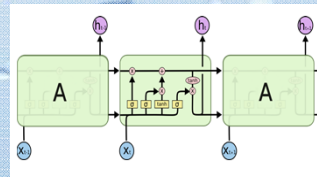
<ECMWF S2S data>

Center	Forecast Frequency	Forecast Time range	Forecast Ens. Size	Hindcast Frequency	Hindcast Ens. Size	Hindcast length
ECMWF	2/week (Mon,Thu)	0-46 days	51	2/week (Mon, Thu)	11	past 20 years

➤ Artificial Neural Network



➤ Long Short-Term Memory (LSTM)



<Summary of Study case>

Case	Prediction Target	Input data	Method
1	Observed rainfall	S2S	Multilayer Perception
2		Observed water elevation (hourly)	
3		Observed water elevation (daily)	
4	Observed water elevation	Observed rainfall	LSTM
5		S2S	
6		Observed water elevation & rainfall	
7		Observed water elevation & S2S	

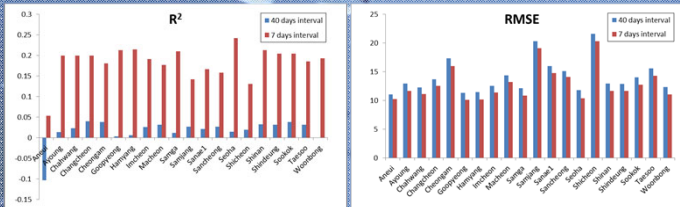
- Case 1 : S2S data(Grid) is compared with observed rainfall data(point) directly
- Case 2~7 : Trained water elevation data which have variable lead-time are compared with observed water elevation data

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - y_n)^2}{N}}, \quad R^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - \bar{y}_n)^2}{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y}_n)^2}$$

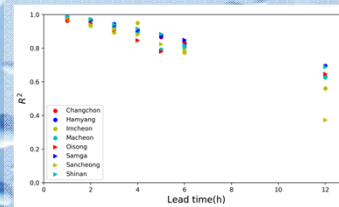
where, N is number of data, $\hat{y}_n$ is prediction value, y_n is observation value and $\bar{y}_n$ is average value of observation

④ Result and analysis

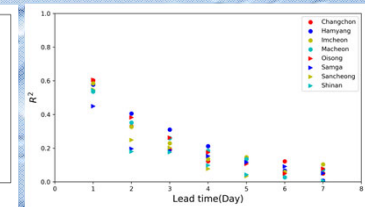
➤ Case 1



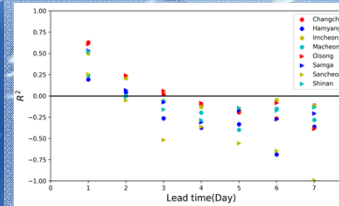
➤ Case 2



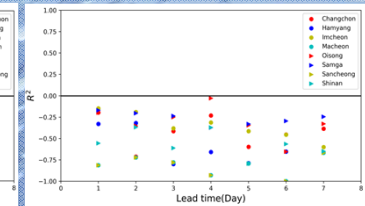
➤ Case 3



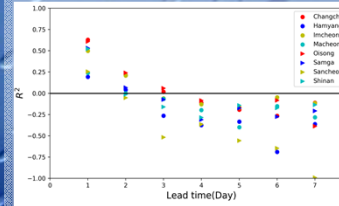
➤ Case 4



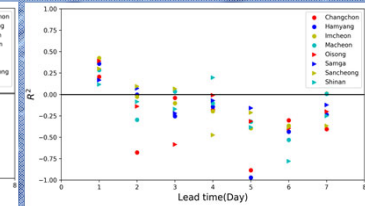
➤ Case 5



➤ Case 6



➤ Case 7



⑤ Conclusions

- As the result of the study, if the LSTM model is constructed by using the S2S prediction data and the river water elevation, the river flood risk can be grasped in terms of disaster preparedness. However, since the R^2 value is very low from the 2nd day due to the limit of predictability of rainfall within the S2S forecast data itself, it is necessary to develop the accuracy improvement method of the S2S forecast data based on the ensemble technique in the future.