



PREFACE

It is our pleasure to present to you the APEC Climate Center (APCC)'s Technical Report 2012, which reports the core outcomes of our research activities from the past year.

Since 2005, APCC, as a hub of climate information in the Asia-Pacific region, has strived to share our analysis and prediction of abnormal climate and to apply this information to regional development. The Center has established the most extensive Multi-Model Ensemble (MME) system for seasonal prediction in the world through its international science network and has provided value-added products to various stakeholders. Recently, APCC has expanded its mandate to include enhancing the capacity of APEC member economies to respond effectively to climate change and variability through better application of climate information.

In 2012, APCC continued to make an effort to improve the quality and quantity of our short-term climate forecasts and our online climate information systems, as information dissemination tools. Additionally, APCC began its endeavor to produce more applicable climate information through interdisciplinary research among various sectors, such as agriculture and hydrology. The following technical report provides more information about our research outcomes from 2012.

In 2013, following APCC's goal to enhance socioeconomic well-being through better utilization of climate information, APCC will continue to improve the quality and accuracy of its climate information, recognizing that the utility of this information is only as good as its quality. We would like to make the best use of our research outcomes in various scientific and application areas. We welcome any feedback on this report or on our services.

My best and warmest regards to all of you.

Dr. Chin-Seung Chung
Director/APEC Climate Center

CONTENTS

Detailed Seasonal Prediction in East Asia Using Bias-corrected Dynamic Downscaling System

■■ Mr. SuChul Kang

1. 서론	35
2. 지역기후모델 및 자료생산 방법	37
2.1 지역기후모델	37
2.2 실험 방법	37
2.3 관측자료	39
3. Results and discussion	39
3.1 지역기후모델의 기후재현성능 평가	39
3.2 지역기후모델의 계절예측성능 평가	49
4. 요약 및 결론	53

Detailed Seasonal Prediction in East Asia Using Bias-corrected Dynamic Downscaling System

Mr. SuChul Kang

ABSTRACT

We assessed the performance of climate reproduction and seasonal prediction using the Regional Climate Model 4.3 (RegCM4.3) for the period from 1989–2008. In order to determine the optimal configuration of RegCM4.3 for the East Asian region, RegCM4.3 was driven by Era-interim reanalysis as initial and boundary conditions, while applying two other land schemes and PBL schemes. According to our analysis, RegCM4.3 reproduced both spatial patterns of mean state and interannual variability well over East Asia. RegCM4.3 with the CLM3 land model, instead of the BATS land scheme, demonstrated a more realistic reproduction over East Asia in the summer and winter time. The impact of the PBL scheme is generally smaller compared to the land schemes. Therefore, we selected the CLM3 land model as the best model configuration. Using this selected configuration, we produced seasonal predictions using RegCM4.3, driven by APCC/CCSM3(CCSM/CLM) and bias-corrected APCC/CCSM3(BC_CCSM/CLM) as initial and boundary conditions. The BC_CCSM/CLM showed better predictability, in terms of both climatological mean and RMSE, compared to the CCSM/CLM. However, the bias-corrections do not help to improve the temporal correlation coefficient because these do not change the climatic trends and phases of interannual variability simulated by APCC/CCSM3.

1. 서론

최근 기후변화가 가속화됨에 따라 이상기후현상의 발생이 빈번해지고 이에 따른 피해가 커지고 있다. 이러한 피해를 줄이기 위해 예측기간이 길어지고 계절예측분야가 발전하게 되었다. 일반적으로 계절규모의 기후예측시스템은 전지구 대기대순환모델 또는 전지구 접합대순환 모델을 기반으로 한다. 전지구 대순환 모델(General Circulation Model, 이하 GCM)은 지속적인 발전을 통해 계절예측에 대한 1차적인 정보를 제공하게 되었다. 고성능 슈퍼컴퓨팅기술의 지속적인 발전에도 불구하고 GCM의 수평 분해능은 100km 정도의 수준에 머물러 있어 지역기후시스템의 물리적 과정이나 중위도 고저기압 시스템의 이동 같은 종관규모 이하를 모의 하는 데는 한계가 있다(IPCC, 2007).

이러한 한계를 극복하고 지역규모의 계절예측 정보를 얻기 위해서는 대순환 모형이 가지는 공간 분해능, 물리적인 모수화와 같은 여러 제약들을 극복해야 한다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방안으로 고해상도 역학모형을 사용하여 GCM이 해독 할 수 없는 지역규모에서 일어나는 일련의 과정들을 고려하는 상세화 방법이 있다. 이 상세화 방안은 대순환



모형으로부터 생산된 대규모 강제력을 지역기후모형(Regional Climate Model, 이하 RCM)의 초기 및 경계조건으로 제공하는 역학적 규모축소 방법이다(Dickinson *et al.*, 1989; Giorgi, 1990; IPCC, 2007). RCM을 이용하여 상세한 지역기후 정보를 생산하기 위한 연구는 예측시간규모에 따라 기후변화전망과 계절예측의 상세화를 위한 연구로 세분할 수 있다(Wang *et al.*, 2004). RCM을 이용한 기후변화시나리오의 상세화 연구는 많이 진행되어 왔으나, 계절예측자료의 상세화 연구는 매우 드물게 이루어지고 있다.

Wang *et al.*(2004)은 RCM을 이용하여 계절예측결과를 시공간적으로 상세화 하였을 때, GCM보다 지형성 강수, 극한기후사례, 강수의 일변동성 등이 보다 현실적으로 모의된다고 보고 하였다. Kim *et al.*(2011)은 기상청 계절예측결과를 RCM의 초기 및 경계조건으로 하여 동아시아 겨울철 계절예측을 실시하고 검증함으로써 RCM을 이용하여 동아시아지역에 대한 상세계측예측이 가능함을 보였다.

하지만, 현재 개발된 GCM들이 완벽한 기후상태를 재현할 수 없어 RCM을 이용하여 상세화 하였을 때 역시 GCM이 가지는 계통적오차가 그대로 유지된다. 즉 RCM의 예측성은 GCM의 예측성에 크게 의존한다고 할 수 있다. 이러한 GCM의 계통적 오차를 줄이기 위해 RCM의 초기 및 경계조건을 bias-correction하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 Holland *et al.*(2010)은 허리케인재현실험에 bias-correction 기법을 적용하여 적도대서양 지역의 vertical wind shear의 양의 아노말리를 제거함으로써 tropical cyclone 발생 빈도 정확성이 크게 증가함을 보였다.

따라서 본 연구에서는 최근 개발된 ICTP(International Centre for Theoretical Physics)의 RegCM4.3을 기반으로 하는 지역기후예측시스템을 구축하고 동아시아지역에 최적화된 모델 configuration을 찾기 위해 4가지 configuration을 이용하여 여름철, 겨울철에 대한 기후재현실험을 20년 동안 실시하였다. 이를 통하여 동아시아 지역에 대한 시스템의 기후재현성능을 평가하고 아울러 최상의 성능을 보이는 모델 configuration을 이용하여 APCC/CCSM3 계절예측자료를 초기 및 경계자료로 하여 여름과 겨울철에 대한 상세 계절예측 실험을 20년 동안 실시하였다.

2. 지역기후모델 및 자료생산 방법

2.1 지역기후모델

RegCM4.3는 MM4(Grell *et al.*, 1994)의 3차원 정역학 방정식 계를 따르며, Arakawa-B 형태의 등거리 격자계를, 연직으로는 σ 좌표계를 사용한다. 주요 물리과정으로 CCM3 복사물리과정(Kiehl *et al.*, 1996)을 사용하며, 강수과정은 격자규모와 아격자규모의 강수를 구분하며, 격자규모의 강수 방안은 Subgrid Explicit Moisture Scheme(SUBEX) (Pal *et al.*, 2000)을, 아격자규모의 대류성 강수 방안으로는 Simplified-Kuo-scheme(Anthes *et al.*, 1987), Grell-scheme(Grell, 1993), MIT-scheme(Emanuel and Zivkovic-Rothman, 1999), 그리고 Tiedtke(Tiedtke, 1989)을 선택적으로 사용할 수 있다. RegCM3에서 RegCM4로 개선되면서 경계층 모수화 기법은 기존의 비국지 경계층 물리과정(Holtslag, 1990) 뿐 아니라 University of Washington에서 개발된 중층운 생성과정이 포함된 UW-PBLscheme(Bretherton *et al.*, 2004)이 선택 가능하게 되었다. 그리고 지면 모델인 CLM3 (Community Land Model3: Steiner *et al.*, 2009)가 결합되어 기존의 BATS 지면물리과정(Dickinson *et al.*, 1993)으로 처리되던 지면에 대한 계산과정이 개선 되었다. 본 연구에서는 수평해상도 30km, 연직 23개 층으로 설정하였으며, 연구영역은 동아시아로 설정하였다. 최근 개발된 University of Washington(UW)-PBLscheme(O'Brien *et al.*, 2012)과 CLM3를 이용한 기후재현 실험과 계절예측 실험을 실시 하였다. 자세한 설명은 다음 2.2 실험방법에 소개 되었다. RegCM4의 개발 과정, 역학 및 물리과정은 Giorgi *et al.*(2012)에 상세히 소개되어있다.

2.2 실험 방법

2.2.1 기후재현실험

상세 기후재현 자료를 생산하기 위해 6시간 간격의 Era-interim 재분석 자료를 지역기후모델의 초기 및 경계 조건으로 하여 1989~2008년 20년 동안 여름철 및 겨울철에 대하여 적분을 실시 하였다. 모델의 spin-up을 고려하기 위해 여름철은 5월 25일을 적분시작일로



하여 7일을 제외한 6~8월을, 겨울철은 11월 24일을 적분시작일로 하여 7일을 제외한 12~2월을 분석기간으로 하였다. 연구 대상 영역과 지형고도 및 모델 configuration은 Fig. 1에 나타내었다. 기후재현 성능평가를 위해 4가지 모델 configuration을 사용하였으며 다음과 같다.

- 1) ERA/BAT: RegCM4 의 기본적인 model configuration인 BATS 지면물리과정과 비국지 경계층 물리과정을 사용
- 2) ERA/CLM: ERA/BAT 와 동일하나, 비국지 경계층 물리과정을 사용하고 BATS 지면 물리과정이 아닌 CLM3 지면 모델을 이용.
- 3) ERA/BAT-UW: ERA/BAT와 동일하나, 경계층 과정을 최근 개발된 UW 경계층 물리과정을 사용
- 4) ERA/CLM-UW: ERA/CLM과 동일하나, UW PBL 과정 사용.

2.2.2 계절예측실험

계절 예측 실험은 크게 두 가지로 나뉘어 진다. 하나는 APCC/CCSM3 계절예측자료를 6시간 간격으로 지역기후모델의 초기 및 경계 조건으로 기후재현실험과 동일한 기간에 대해 적분을 실시하였고, 다른 하나는 APCC/CCSM3 6시간 간격 계절예측자료가 가지는 계통적 오차를 추정하고 이를 기후재현실험에 사용한 Era-interim 재분석자료로 보정하여 지역기후모델의 초기 및 경계조건으로 적분을 실시하였다. 보정 방법은 아래와 같으며, 보정된 변수는 경계자료로 사용되는 연직변수로 온도, 비습, 동서바람, 남북바람이며, 보정시 사용된 기후값과 표준편차는 교차검증기법을 적용하여 계산하였다.

$$BC_CCSM3 = \overline{ERA I} + CCSM^* \times \left(\frac{Std_{ERA I}}{Std_{CCSM}} \right) \quad \text{Eq.(1)}$$

- $\overline{ERA I}$: 6-hourly climatology of Era-interim
- $CCSM^*$: 6-hourly anomaly of APCC/CCSM3
- $Std_{ERA I}$: 6-hourly standard deviation of Era-interim
- Std_{CCSM} : 6-hourly standard deviation of APCC/CCSM3

2.3 관측자료

지역기후모델의 기후재현 및 계절예측 성능을 평가하기 위하여 1989~2009년까지 CRU(Climatic Research Unit) TS3.1 (Mitchell and Jones, 2005)의 지표온도와 강수량 자료와 연직변수에 대해서는 약 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 의 해상도를 가지는 Era-interim 재분석 자료 (Berrisford *et al.*, 2009; Dee *et al.*, 2011)를 사용하여 비교 검증하였다. CRU TS3.1의 경우 해양을 제외하고 지면 관측자료를 재분석하여 고해상도로 산출한 것으로 약 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 의 해상도를 나타낸다. CRU TS3.1이 포함하지 않는 해양지역에 대해서는 지표온도의 경우 약 $0.3125^{\circ} \times 0.3125^{\circ}$ 의 해상도를 가지는 NCEP-CFSR (National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System Reanalysis, Saha *et al.*, 2010) 자료를, 강수량의 경우 약 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 의 해상도를 가지는 GPCP(Global Precipitation Climatology Project, Adler *et al.*, 2003) 자료를 각각 사용하였다.

3. Results and discussion

3.1 지역기후모델의 기후재현성능 평가

4가지 재현실험의 성능평가를 위하여 사용된 관측자료(CRU, CFSR, GPCP)와 Era-interim 재분석자료는 모델 격자(30km)와 동일하게 내삽하여 비교 분석 하였다. 초기 및 경계자료에 대한 역학적 상세화 및 계통적 오차를 살펴보기 위해 지표온도와 일평균 강수량에 대해서는 초기 및 경계자료로 사용된 Era-interim 자료도 함께 비교 분석하였다.

3.1.1. 계절 평균장

3.1.1.1 여름철

Fig. 2는 20년 평균된 여름철 지표온도와 일평균 강수량의 관측자료(a)와 Era-interim 재분석자료와 4가지 재현실험에 의해 유도된 결과와 관측과의 차이(bf)를 나타낸 것이다(오른쪽 상단에 관측과의 공간상관계수를 나타냄). 먼저 초기 및 경계자료로 사



용된 Era-interim 재분석자료와 관측자료와의 차이는 주로 한반도 및 일본의 산악 지역 등 지형고도가 높은 지역에서 나타난다. 이는 지형고도 차이에 의해 발생하는 편차로 볼 수 있다. 4가지 재현실험결과 에서는 이러한 편차가 나타나지 않으며, 이는 지역기후모형의 지형고도가 현실과 유사함을 의미한다. 하지만 Era-interim 재분석자료에서는 나타나지 않는 지역기후모델의 개통적 오차가 몽골지역 이남과 만주지역에 공통적으로 나타난다. ERA/BAT의 경우 전 영역에 대해서 온도를 다소 높게 모의하고 있으며, ERA/CLM에서는 이러한 양의 편차가 상당부분 감소하지만, 일본 지역에 대해서는 온도를 낮게 모의한다. UW 경계층 물리과정을 이용한 ERA/BAT-UW, ERA/CLM-UW 실험은 한반도와 일본 주변에 기온을 다소 낮게 모의 하는데, 이는 O'Brien (2012) *et al*의 분석결과와 동일한 것으로 UW 경계층 물리과정을 사용시 해안지역 및 그 주변지역의 온도를 다소 낮게 모의하는 특징을 보인다고 보고한 것과 동일한 결과라 할 수 있다. 4가지 실험 모두 공간상관계수가 0.98 이상으로 관측과 유사한 공간분포를 모사한다. 그 차이는 작지만, CLM 지면모델을 이용한 기후재현실험이 BAT 지면물리과정을 이용한 재현실험보다 관측과 유사한 공간분포를 보임을 알 수 있다. 일평균 강수량의 경우, 관측자료의 공간분포를 살펴보면 두 가지 강수 밴드를 확인 할 수 있는데, 이는 동아시아 몬순의 특징을 나타낸 것으로 하나는 남중국해에 위치하면 다른 하나는 중국, 한국, 일본에 걸쳐 위치하고 있다. Era-interim 재분석자료의 일평균 강수량은 중국대륙지역에서는 편차가 거의 나타나지 않지만, 두 가지 강수 밴드가 위치하는 남중국해 부근과 한국일본 부근에서 강수를 다소 낮게 모의한다. ERA/BAT의 경우 중국대륙지역에서는 강수를 다소 높게 모의하고 해양지역에서는 낮게 모의한다. ERA/CLM에서는 중국대륙지역에서 나타나는 양의 편차가 상당부분 감소하며, 이는 Steiner *et al* (2009)의 분석결과에서 CLM 지면 모델이 soil-precipitation feedback 과정이 고려되어 육지지역에서 강수량을 감소시킨다고 보고한 것과 동일한 것이다. 하지만, 해양지역에서 강수를 다소 적게 모의하는 특징은 ERA/BAT와 유사하게 나타난다. UW 경계층 물리과정을 이용한 ERA/BAT-UW는 ERA/BAT와 유사한 편차를 보이나, 한반도 주변과 대만 주변에 음의 편차가 감소 됨을 알 수 있다. 이는 ERA/CLM-UW에서도 동일하게 나타난다. 공간상관계수를 살펴보면, CLM 지면 모델을 이용한 기후재현 실험이 BAT 지면물리과정을 이용한 재현실험보다 공간상관성이 높게 나타나며, UW 경계층 물리과정을 이용한 기후재현 실험이 비국지 경계층 물리과정을 이용한 실험보다 공간상관성이 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 3는 Era-interim 재분석자료와 4개의 재현실험으로 유도된 850hPa 바람장과 비습을 나타낸 것이다. CRU자료는 지표면 변수에 국한되어 제공되고 있어 850hPa 바람장 분석에서 제외되었다. 먼저 Era-Interim 재분석자료를 살펴보면, East Asia Summer Monsoon(EASM) 기간 동안 고기압성 흐름에 의한 저위도 서태평양에서 중국남부지역과 한국, 일본으로 불어 들어오는 남서풍이 우세하며, 이러한 기류에 의해 따뜻하고 습한 공기가 유입되어 Fig. 2에서 보인바와 같이 한국, 일본, 남중국해에 높은 온도와 비습을 야기한다. 이러한 고기압성 흐름은 4개의 실험에서 모두 전반적으로 잘 모의된다. ERA/BAT의 경우, Era-Interim 재분석자료에서 나타났던 고기압성 흐름이 북쪽으로 더 확장되어 한반도 지역에 수렴대가 형성되어 수증기량이 증가된 것으로 보인다. 이러한 특징은 ERA/BAT-UW에서도 유지된다. ERA/CLM은 ERA/BAT와 ERA/BAT-UW에서 한반도 중심에 나타나는 강한 고기압성 흐름이 다소 약해진 반면, 중국남부지역에서 남서풍이 좀 더 강하게 모의된다. 결과적으로 강해진 남서풍은 이 지역에 발산대를 형성하면서 수증기량의 유출을 증가시켰다. ERA/CLM-UW은 한반도 주변의 바람장을 잘 모사한 반면, 중국 남쪽 대륙에 강한 발산대를 형성하여 이 지역의 공기를 ERA-Interim 재분석자료보다 더 건조하게 모의한다.

동북아시아 지역에 대한 대기 변수의 수평적 공간 분포와 더불어 연직 분포를 비교하여 살펴보았다. Fig. 4는 Era-interim 재분석자료와 재현된 여름철 기온과 비습의 연직분포 차이를 지역별로 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역(Fig. 4 (a))을 살펴보면, 700hPa 이상의 경우 같은 지면 모델로 재현된 자료가 정성적뿐만 아니라 정량적으로 매우 유사한 연직 분포를 가지고 있다. 즉, 상층의 기온과 비습은 경계층 물리과정과 무관하게 지면 모델의 종류에 크게 의존한다. 그러나 700hPa 이하의 경우, 기온과 비습의 연직 분포는 지면 모델과 함께 경계층 물리과정의 종류에도 영향을 받는다. 이러한 특징은 경계층이 대표적인 지표층 모수화 과정의 하나로 700hPa 이하의 대류권 하층의 열역학적 구조 형성에 중요한 역할을 하기 때문이다(Seol and Hong, 2006). UW 경계층 물리과정은 비국지 경계층 물리과정보다 경계층 혼합을 더 강하게 모사함으로써, 지표면 부근의 기온과 비습을 더 낮게 모의한다. 또한 BAT 지면 물리과정이 CLM 지면 모델을 사용하였을 때 보다 기온, 비습을 모두 높게 모의한다. 이러한 특징은 한국일본, 중국 북부, 남부에서도 나타나며, 비습 보다 기온에서, 저위도 보다 고위도에서 뚜렷하게 나타난다.



기후재현성능을 보다 정량적으로 평가하기 위해 영역별 지표기온과 일평균강수량을 Taylor diagram으로 나타내 보았다(Fig. 5). 먼저 강수를 살펴보면, 재분석 자료는 중국 남부지역을 제외한 나머지 세 지역에 대해 95% 신뢰성을 가지며, 관측과 유사한 변동성을 가지고 있다. ERA/CLM-UW, ERA/CLM이 중국 북부와 한국일본 지역에 대해 95% 신뢰성을 가지고 있는 반면, ERA/BAT-UW는 한국일본 지역을 제외한 모든 지역, ERA/BAT는 모든 지역에 대해 통계적으로 유의하지 않는다. 표준편차의 경우 ERA/CLM-UW, ERA/BAT-UW, ERA/CLM, ERA/BAT 순으로 관측과 유사한 변동성을 가지고 있다. 지표온도를 살펴보면, 모든 재현자료가 모든 영역에 대해 95% 이상의 신뢰성을 가진다. 즉, 지표온도의 선형적 요소 때문에 다양한 경계층 물리과정과 지면 모델 조합에서도 지표온도는 상대적으로 잘 재현된다. 특히 ERA/CLM-UW와 ERA/CLM은 모든 영역에 대해 99% 신뢰 구간에 포함되고 있어, BAT 지면 모델을 이용하여 재현한 지표온도 보다 높은 신뢰성을 가진다. Taylor diagram 분석에 의하면 결과적으로 CLM 지면 모델을 이용하여 재현한 지표온도, 강수 자료가 BAT 지면 모델을 이용하였을 경우보다 높은 신뢰성을 가진다.

3.1.1.2 겨울철

Fig. 6은 20년 평균된 겨울철 지표온도와 일평균 강수량의 관측 자료(a)와 Era-interim 재분석자료와 4가지 재현실험에 의해 유도된 결과와 관측과의 차이(b-f)를 나타낸 것이다. ERA-Interim 재분석자료의 경우, 관측과의 편차가 여름철 지표온도와 유사하게 한반도 및 일본의 높은 산악 지역에서 뚜렷하게 나타난다. 이러한 차이는 재분석 자료의 저분해능과 비현실적 지형자료의 처방 등에 기인한 것으로, 규모축소법을 통해 감소될 수 있다. 역학적으로 규모축소된 지표온도는 상세한 지형자료 처방에 의해 재분석 자료에서 나타났던 편차가 감소되었다. 하지만 재현자료는 재분석 자료에서 나타나지 않았던 몽골, 중국 북부지역과 중국 남부지역에 편차가 뚜렷하게 나타난다. 즉, 재현자료는 몽골과 중국 북부 대륙의 지표온도를 과대 모사하고, 중국 남부대륙과 한반도-일본 지역을 과소 모의한다. 이러한 편차를 계통적 오차라고 할 수 있으며, 이러한 오차들은 지역기후모델의 초기장 및 경계자료, 물리 모수화 과정의 불확실성 등에 의해 야기된다(Ahn *et al.*, 2012). 이러한 몽골과 중국 북부, 남부지역에 뚜렷하게 나타나는 겨울철 지표온도의 오차는 RegCM4.3뿐만 아니라 다른 지역기후모형에서도 나타나는 일반적인 오차이다. BAT 지면

물리과정을 사용한 경우 (ERA/BAT)는 CLM 지면 모델 (ERA/CLM)보다 중국 북부 지역을 더 과대모의하는 반면, ERA/CLM에서 나타나는 중국 남부 지역의 강한 음의 편차를 약하게 모의한다. 같은 지면 모델을 사용하였을 경우, UW 경계층 물리과정은 중국 북부 지역의 양의 편차를 더 약하게, 중국 남부 지역의 음의 편차를 더 강하게 모의하였다. 결과적으로 겨울철 지표온도의 경우 특정한 지면 모델과 경계층 물리과정을 사용한 재현실험이 더 좋은 모사능력을 가지고 있다고 설명하기가 어렵지만, ERA/CLM이 다른 3가지 재현실험과 비교해 현실과 가까운 겨울철 지표온도를 재현하고 있다. 일평균 강수량의 경우, 관측 자료의 공간 분포를 살펴보면 겨울철 동아시아 몬순에 의해 일본과 남해안 인근에 상대적으로 강한 강수 구역이 나타난다. 한반도를 중심으로 서쪽에 시베리아 고기압이, 동쪽에 알루산 저기압이 위치하면서 서고동저형의 기압패턴을 가지는데, 이 지역은 고기압의 연변부에 해당한다. ERA-Interim 재분석자료는 관측자료의 강수 패턴을 전반적으로 유사하게 잘 모의하나(공간상관계수:0.931), 단 일본과 중국 남부지역에서 관측보다 높은 강수량이 나타난다. ERA/BAT는 Era-Interim 재분석자료의 오차를 그대로 가지고 있으면서, 실험 영역의 북쪽 경계에서 강수를 더 많이, 동태평양 위의 동쪽 및 남쪽 경계에서 더 약하게 모의하고 있다. 북쪽 경계에서 강수량을 높게 모의하는 특징은 4개의 재현실험에서 모두 나타나며, 태평양의 동쪽과 남쪽 경계에서 발생하는 과소 모사 경향은 UW 경계층 물리과정을 사용하였을 때 약하게 나타난다. CLM 지면 모델을 사용하였을 때가 BAT 지면물리과정을 사용하였을 때보다 중국 남부지역의 양의 편차를 약하게 모사하며, UW 경계층 물리과정을 사용하였을 때가 사용하지 않았을 때 보다 일본 주변의 양의 편차가 강하게 나타난다. 공간 상관계수를 살펴보면, 지면 모델의 종류와 상관없이 UW 경계층 물리과정을 이용한 기후재현 실험이 비국지 경계층 물리과정을 이용한 실험보다 공간상관성이 높게 나타났다.

Fig. 7은 Era-interim 재분석자료와 4개의 재현실험으로 유도된 850hpa 바람장과 비습을 나타낸 것이다. 먼저 Era-Interim 재분석자료의 분포를 살펴보면, 한반도 북서쪽에 위치하는 시베리아 고기압에 의해 한반도에 북서풍이 우세하다. 이러한 고기압성 흐름은 이 기간에 차고 건조한 공기를 유입하여 Fig. 6에서 보인 바와 같이 한반도에 낮은 기온과 비습을 야기한다. 모든 재현실험 결과는 이러한 한반도 위의 고기압성 흐름을 전반적으로 잘 모의하나, Era-interim 재분석 자료에서 일본 북부까지 위치하던 저기압성 흐름을 축소



하여 나타낸다. 이로 인해 일본 남부지역에 고기압성 흐름이 생성되고, 우측 경계에 강한 북풍이 야기된다. 이 고기압성 흐름은 우측 경계에 수증기 발산대를 형성하면서 수증기량의 유출을 증가시켰다. 이러한 우측과 하측 경계면에 위치하는 음의 비습 편차는 UW 경계층 물리과정보다 비국지 경계층 물리과정에서 뚜렷하게 나타나며, Fig. 6에서 나타난 강수의 과소 모의 특징과 일치한다.

동북아시아 지역에 대한 겨울철 대기 변수의 연직 분포를 살펴보았다. Fig. 8은 Era-interim 재분석자료와 재현된 겨울철 기온과 비습의 연직 분포 차이를 지역별로 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역(Fig. 8 (a))을 살펴보면, 700hPa 이상의 경우 4가지 재현실험결과들이 모두 유사한 연직 분포를 가지고 있다. 즉, 지면 모델에 크게 의존했던 여름철과 달리 겨울철 상층의 기온과 비습은 경계층 물리과정과 지면 모델의 종류에 크게 의존하지 않는다. 그러나 700hPa 이하의 경우, 기온과 비습의 연직 분포는 지면 모델과 함께 경계층 물리과정의 종류에도 영향을 받는다. UW 경계층 물리과정은 비국지 경계층 물리과정보다 지표면 부근의 기온과 비습을 더 낮게 모의하여, 연직적으로 큰 편차를 가진다. 또한 BAT 지면 물리과정을 이용한 재현실험이 CLM 지면 모델을 사용하였을 때 보다 기온, 비습을 모두 낮게 모의한다. 이러한 특징은 다른 지역에서도 모두 나타나며, 기온과 고위도에서 뚜렷하게 나타난다.

Fig. 9는 겨울철 지표온도, 강수에 대한 Taylor diagram을 나타낸 것이다. 먼저 강수를 살펴보면, 비선형 강수가 감소하는 겨울철은 여름철보다 상대적으로 모형의 모사 능력이 높아진 것을 알 수 있다. 재분석 자료와 모든 재현실험결과는 중국 남부지역을 제외한 나머지 세 지역에 대해 95% 신뢰성을 가지며, 재분석자료는 전체영역에서, ERA/CLM-UW은 중국 북부 지역에서 99% 이상의 높은 신뢰성을 가진다. 즉, 모든 자료는 중국 북부 지역을 제외한 나머지 지역에 대해 통계적으로 유의하다. 같은 지역에 대한 상관계수는 ERA/CLM-UM, ERA/BAT-UW, ERA/CLM, ERA/BAT 순으로 높다. 변동성의 경우, 모든 자료는 중국 북부 지역에 대해 관측과 가장 다른 변동성을 가지며, Era-interim 재분석 자료는 한국일본 지역에 대해 가장 유사한 변동성을 가진다. 지표온도를 살펴보면, 모든 재현자료가 모든 영역에 대해 99% 이상의 신뢰성을 가진다. 즉, 겨울철 지표온도는 여름철 지표온도와 유사하게 공간적으로 더 큰 오차를 가지지만, 관측의 시간적인 변화를 더 잘 재현한다. Taylor diagram 분석에 의하면 결과적으로 강수는 UW 경계층 물리과정을 이용하여

재현한 자료가 비국지 경계층 물리과정을 이용하였을 경우보다 높은 신뢰성을 가지고, 지표온도는 지면 모델과 경계층 물리과정의 종류와 무관하게 모두 높은 신뢰성을 가진다.

3.1.2. 기후변동성

3.1.2.1 여름철

관측자료와 재현자료의 시·공간적 변동성을 비교하여 살펴보기 위해 경험적 직교함수(Empirical orthogonal function, 이후 EOF라 함) 분석을 수행하였다. Fig. 10은 관측자료, Era-interim 재분석자료, 그리고 4가지 재현자료들로 유도된 여름철 평균 강수량을 이용하여 EOF를 수행한 결과이다. 관측자료를 살펴보면, 첫 번째와 두 번째 모드는 각각 전체 분산의 23.1%, 16.8%를 설명한다. 첫 번째 모드는 한국, 일본에 양의 값, 남중국해에 음의 값을 가지는 공간 패턴을 가진다. 두 번째 모드는 한국, 일본, 중국 남부 지역에 강한 양의 값, 동중국해에 음의 값을 가진다. 총 분산의 18.7%를 설명하는 Era-interim 재분석자료의 첫 번째 모드는 관측 자료의 공간 패턴과 다르게 나타난다. 즉 Era-interim 재분석자료의 첫 번째 모드의 공간 패턴은 관측자료의 첫 번째 모드의 공간 패턴과 0.08의 낮은 공간 상관성을 가진다. 반면 총 분산의 13% 내외를 설명하는 재현실험결과의 첫 번째 EOF 모드는 관측 자료에 나타났던 동북서남의 양음 패턴이 그대로 나타난다. 두 번째 모드는 10% 내외의 분산으로 관측에서 나타난 한국, 일본을 비롯한 중국 대륙 지역의 양의 값을 음으로 나타내어, 관측과의 공간 상관 관계성이 낮게 나타났다. 공간 상관 계수는 첫 번째 모드에서 ERA/CLM-UW이, 두 번째 모드에서 ERA/CLM이 가장 높았다. 주 성분(principal component, 이후 PC라 함) 시계열 분석 결과, ERA/CLM이 첫 번째, 두 번째 모드에서 0.83, 0.38의 상관 계수로 관측의 주 성분 변동성을 가장 잘 설명하였다.

Fig. 11은 관측, 재분석자료, 그리고 재현된 지표 온도에 대한 처음 두 번째 모드와 그에 상응하는 PC 시계열을 나타낸 것이다. 첫 번째 주 성분 모드는 전체 분산의 50.4%로 25°N를 경계로 남북방향의 음양 공간패턴을 가진다. 총 분산의 11.7%를 설명하는 두 번째 모드는 동서 쌍극자(dipole) 패턴을 가진다. 재현자료의 첫 번째, 두 번째 EOF 모드는 각각 50.0%와 12.8%를 설명한다. 각 모드의 공간 패턴이 관측 자료와 매우 유사하여, 0.93 이상의 높은 공간 상관 계수를 가진다. 재현된 지표온도의 첫 번째 EOF 모드는 관측보다



7%가 낮은 43% 내외의 분산으로 설명되며, 관측자료에서 유도된 첫 번째 모드의 공간 패턴과 유사하다. ERA/BAT, ERA/BAT-UW, ERA/CLM, ERA/CLM-UW의 두 번째 모드는 각각 총 분산의 14.5%, 12.6%, 15.0%, 14.0%을 설명하며, 모든 재현자료는 관측 자료에서 나타난 동서 음양 패턴에서 몽골에 위치한 양의 값을 더 크게 모의하였다. 첫 번째, 두 번째 모드에서 공간 상관 계수는 ERA/CLM가 가장 높았다. PC 시계열 분석 결과, 모든 재현자료들이 첫 번째, 두 번째 모드에서 각각 0.97, 0.80 이상의 높은 상관 성을 보였다. 하지만, 지면 모델과 경계층 물리과정에 크게 의존하지 않고 관측의 주요 변동성을 모두 잘 설명하였다.

관측 자료의 시간 변동성에 대한 Era-interim 재분석 자료와 4가지 재현실험결과의 모의 능력을 살펴 보기 위해 지역별 아노말리 시계열을 비교하여 살펴보았다. Fig. 12는 1989년부터 2008년까지 20년 동안의 여름철 강수량에 대한 시간 변동성을 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역을 살펴보면, Era-interim 재분석 자료와 재현실험결과는 관측자료에서 나타나는 1993년, 1998년 양의 아노말리와 2001년, 2004년 음의 아노말리를 잘 모의하는 반면, 2005년부터 2008년까지의 변동성은 잘 모의하지 못한다. 정량적으로 살펴보면, 재현자료는 Era-interim 재분석자료 보다 시간 상관계수가 높고, RMSD(Root Mean Square Difference)가 낮아, 관측자료의 시간 변동성을 상대적으로 더 잘 모의한다. 그러나 이러한 특징은 세부 영역에서 달라진다. 특히 중국북부지역에 대해서는 아노말리 시간변동성 모의성능이 다소 낮은 것을 알 수 있다. 한국일본 지역의 경우 4가지 재현실험 모두 1993~1994년의 큰 강수변동성을 잘 모의하고 있다. 중국 북부 및 남부 지역은 ERA/CLM-UW, 한국일본 지역은 BAT-UW가 가장 관측 자료의 시간변동성을 잘 모의하였다.

Fig. 13은 Fig. 12와 동일하나, 여름철 지표온도를 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역을 살펴보면, Era-interim 재분석 자료와 4가지 재현실험은 관측자료에서 나타나는 1993년부터 1996년까지의 음-양-음 패턴뿐만 아니라 모든 기간의 시간 변화 패턴을 잘 모사한다. 정량적으로 살펴보면, Era-interim 재분석자료는 0.99 이상의 높은 시간 상관계수와 0.06 이하의 낮은 RMSD를 가지고 있어, 관측자료와 유사한 시간 변동성을 나타낸다. 이러한 특징은 중국 북부, 남부지역, 한국일본 영역에서도 나타난다. 4가지 재현 실험결과 역시 중국 북부지역을 제외하고는 0.9 이상의 시간 상관계수와 0.2 이하의 낮은 RMSD를 가진다. 재현실험결과 중에서는 ERA/CLM, ERA/CLM-UW가 모든 영역에서 가장 높은 시간 상관

계수와 낮은 RMSD를 가지고 있어 다른 재현실험결과와 비교하여 상대적으로 관측 자료의 시간 변동성을 잘 모의한다.

3.1.2.2 겨울철

Fig. 14는 관측자료, Era-interim 재분석자료, 그리고 재현실험결과들로 유도된 겨울철 일평균 강수량을 이용하여 EOF를 수행한 결과이다. 관측자료를 살펴보면, 첫 번째와 두 번째 모드는 각각 전체 분산의 51.6%, 11.4%를 설명한다. 첫 번째 모드는 일본 남부 해안부터 동중국해까지 음의 값, 35°N 이상의 고위도 지역에 양의 값을 가지는 공간 패턴을 가진다. 두 번째 모드는 135°E를 경계로 동서 방향의 음양 패턴을 가진다. 총 분산의 47.8%를 설명하는 Era-interim 재분석 자료의 첫 번째 모드는 관측 자료에서 나타나는 음양 패턴이 나타나, 관측자료와 0.93의 높은 공간 상관성을 가진다. 반면 총 분산의 35% 내외를 설명하는 4가지 재현실험결과의 첫 번째 EOF 모드는 관측 자료에 나타났던 음양 패턴이 Era-interim 재분석자료보다 약하게 나타나, 재분석자료보다 0.18 낮은 0.75 내외의 공간 상관성을 가진다. 재현실험결과의 두 번째 모드는 12% 내외의 분산으로 관측에서 나타난 한반도의 양의 값을 음으로 나타내어, 관측과의 공간 상관 관계가 낮다. 공간 상관 계수는 첫 번째 모드에서 ERA/BAT-UW이, 두 번째 모드에서 ERA/CLM-UW가 가장 높았다. PC 시계열 분석 결과, ERA/CLM-UW가 첫 번째, 두 번째 모드에서 0.93, 0.26의 상관 계수로 관측의 주 성분 변동성을 가장 잘 설명하였다.

Fig. 15는 Fig. 14와 동일하나, 단 겨울철 지표 온도에 대해 나타낸 것이다. 관측자료의 첫 번째 주 성분 모드는 전체 분산의 49.3%로 동중국해 일부를 제외하고 대부분 지역에 양의 값을 가진다. 총 분산의 19.5%를 설명하는 두 번째 모드는 중국 북부지역과 러시아 지역에 강한 양의 값, 중국 남부 지역에 약한 음의 값을 가진다. Era-interim 재분석자료의 첫 번째, 두 번째 EOF 모드는 각각 48.1%와 21.7%를 설명한다. 각 모드의 공간 패턴이 관측 자료와 매우 유사하여, 0.94 이상의 높은 공간 상관 계수를 가진다. 4가지 재현실험결과의 지표온도의 첫 번째 EOF 모드는 40%~50%의 분산으로 설명되며, 관측자료에서 유도된 첫 번째 모드의 공간 패턴과 유사하다. ERA/BAT, ERA/BAT-UW, ERA/CLM, ERA/CLM-UW의 두 번째 모드는 각각 총 분산의 23.8%, 24.4%, 21.4%, 20.7%를 설명하



며, 모든 재현실험결과는 관측 자료에서 나타난 중국 남부 지역의 음의 값을 더 강하게 모의하였다. 첫 번째 모드에서는 ERA/CLM, 두 번째 모드에서는 ERA/BAT가 높은 공간 상관 계수를 가졌다. PC 시계열 분석 결과, CLM 지면 모델을 사용한 재현실험들이(ERA/CLM, ERA/CLM-UW) BAT 지면 물리과정을 사용한 재현실험들(ERA/BAT, ERA/BAT-UW)보다 관측의 주요 변동성을 잘 설명하였다.

Fig. 16은 재현 자료의 시간 변동성 모의 능력을 살펴 보기 위해 1989년부터 2008년까지 20년 동안의 겨울철 강수량에 대한 아노말리 시계열을 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역을 살펴보면, Era-interim 재분석자료와 4가지 재현실험결과는 관측자료에서 나타나는 1996년부터 1998년까지의 급격한 변화를 잘 모의하는 반면, 2005년부터 2008년까지의 작은 변동성은 잘 모의하지 못한다. 정량적으로 살펴보면, Era-interim 재분석자료는 0.94와 0.08의 시간 상관계수와 RMSD를 가지고 있어, 모든 재현실험결과보다 관측 자료의 시간 변동성을 더 잘 나타내었다. 하지만, 재현실험결과 역시 관측과 유사한 시간변동성을 보여주고 있는데 지역별로 살펴보면, 중국 북부 지역은 BAT/CLM 자료가 다른 재현실험결과보다 더 높은 시간 상관 계수와 더 낮은 RMSD를 가진다. 다른 지역에서도 BAT/CLM 자료는 다른 재현실험들과 비교하여 가장 관측 자료의 시간 변동성을 잘 모의하였다.

Fig. 17은 Fig. 16와 동일하나, 단 겨울철 지표온도를 나타낸 것이다. 먼저 전체 영역을 살펴보면, Era-interim 재분석자료와 재현실험결과들은 관측자료에서 나타나는 1995년부터 1999년까지의 큰 변동성뿐만 아니라 모든 기간의 시간 변화 패턴을 정성적, 정량적으로 잘 모의하였다. 상관계수를 살펴보면, Era-interim 재분석자료는 0.94로 다른 재현실험결과들과 비교하여 가장 높은 시간 상관 계수를 가지고 있어, 관측자료의 시간 변동성을 가장 잘 나타내었다. 재현실험결과들 중에서는 전체 영역에서 ERA/BAT, 중국 북부 지역은 ERA/BAT-UW, 한국일본 지역은 ERA/CLM, 중국 남부 지역은 ERA/CLM-UW가 큰 상관계수를 가졌다. 즉, 특정 지면 모델에서 높았던 여름철 지표온도와 달리, 겨울철 지표온도의 모사능력은 특정 지면 모델(물리과정) 또는 경계층 물리과정에 의존하지 않는다고 할 수 있다.

3.2 지역기후모델의 계절예측성능 평가

지역기후모델의 여름철 및 겨울철 기후재현성능 평가에서 BAT 지면 물리과정을 이용한 ERA/BAT, ERA/BAT-UW 보다 CLM3 지면모델을 이용한 ERA/CLM, ERA/CLM-UW가 지표온도, 일평균 강수량 등의 기후값 재현결과 및 경년변동성 분석에서 더 나은 재현성능을 보였다. ERA/CLM과 ERA/CLM-UW 중에서는 UW 경계층 물리과정을 사용한 ERA/CLM-UW가 겨울철 지표온도 및 일평균 강수량 기후값 재현결과에서 음의 편차, 양의 편차를 각각 더 크게 모의하였다. 따라서, ERA/CLM의 기후재현성능이 가장 우수하다고 평가하여, 계절예측실험은 RCM의 model configuration을 ERA/CLM과 동일하게 하여 실시하였다. 계절예측실험은 크게 두 가지로 구분되는데, 6시간 간격 APCC/CCSM3 자료를 RCM의 초기 및 경계자료로 이용하는 것(CCSM/CLM)과 6시간 간격 APCC/CCSM3 자료를 6시간 간격 Era-interim 재분석자료의 climatology와 standard deviation을 이용하여 보정된 초기 및 경계자료로 이용한 것(BC_CCSM/CLM)이다. 계절예측성능 평가에서는 계절예측정보 제공 시 주로 사용되는 850hPa 기온을 지표온도 대신 주요 평가변수로 정하였다.

Fig. 18은 RCM의 초기 및 경계조건을 보정전과 후의 850hPa 기온, 850hPa 비습, 200hPa 기온을 여름철과 겨울철에 대해서 연도별 평균값을 나타낸 것이다. 여름철의 경우 APCC/CCSM3는 기온, 비습에서 모두 큰 계통적 오차를 보인다. 보정 후 결과(BC_CCSM3)에서 시간적인 변화량은 보정되지 않으나, 평균적인 편차 값이 보정되어 절대적인 평균값은 관측과 유사하게 보정됨을 알 수 있다. 하지만, 겨울철의 경우 APCC/CCSM3의 기온 및 비습이 Era-interim 재분석자료와의 차이가 여름철만큼 크게 나타나지 않아 보정 후에도 큰 편차를 보이지 않는다. 이는 초기 및 경계조건 보정효과가 겨울철에 크게 나타나지 않음을 의미한다.

3.2.1 여름철

Fig. 19는 850hPa 기온의 여름철 20년 평균값과 기후재현실험의 초기 및 경계조건으로 사용된 APCC/CCSM3 계절예측자료의 여름철 20년 평균값의 차이 그리고 2가지 예측실험



의 20년 평균값과의 차이를 나타낸 것이다(오른쪽 상단에 관측과의 공간상관계수를 나타냄). 먼저 초기 및 경계자료로 사용된 APCC/CCSM3는 몽골 주변과 해양지역에서 기온을 다소 낮게 예측한다. 이러한 계통적 오차가 역학적 규모축소를 통해 CCSM/CLM 에서는 몽골주변의 음의 편차는 제거되나, 해양지역의 음의 편차는 더 크게 나타났다. 보정된 APCC/CCSM3를 이용하여 역학적 규모축소를 실시한 BC_CCSM/CLM 에서는 이러한 계통적 오차가 제거된 것을 알 수 있다. BC_CCSM/CLM 은 공간상관계수가 0.995로 관측과 매우 유사한 공간분포를 나타냈다.

Fig. 20은 Fig. 19와 동일하나, 일평균 강수량을 비교한 것이다. APCC/CCSM3는 중국 남부와 한국일본부근에서 일평균 강수량을 다소 적게 모의한다. 이러한 특징은 규모축소된 CCSM/CLM 에서도 나타나는데, 한반도에서의 낮은 강수편차는 제거되었지만, 중국남부와 해양지역에서 그 편차가 커짐을 알 수 있다. 하지만, BC_CCSM/CLM 에서는 이러한 음의 편차가 제거된 것을 알 수 있다. 공간분포 역시 BC_CCSM/CLM(0.360) 이 CCSM/CLM(0.144)보다 관측과 유사한 분포를 보임을 알 수 있다.

Fig. 21은 Fig. 19와 동일하나, 850hPa 바람장과 비습을 비교한 것이다. APCC/CCSM3는 전 영역에 대해서 비습이 과소모의 되는 특징을 보이며, 여름철 적도로부터 불어 오는 남서풍(저층제트기류)을 모의하지 못함을 알 수 있다. 이러한 영향으로 따뜻하고 습한 공기의 수송이 약하게 발생하여 일평균 강수량이나 850hPa 기온을 낮게 모의하는 것으로 보인다. CCSM/CLM 에서도 APCC/CCSM3가 가지는 계통적 오차가 그대로 나타난다. 하지만, BC_CCSM/CLM은 남서풍의 모의가 잘 이루어져서 기온이나 온도에서의 계통적 오차가 제거 된 것으로 보인다.

Fig. 22는 1989~2008년 여름철 850hPa 기온과 일평균 강수량의 RMSE 분포도이다. 850hPa 기온의 경우, APCC/CCSM3는 여름철 평균값 편차 분포와 마찬가지로 몽골지역 주변과 북태평양지역에서 오차가 크게 나타났다. 이러한 오차는 규모축소를 통해 몽골지역 주변은 어느 정도 감소하는데 반해, 북태평양지역의 오차는 더욱 크게 나타난다. BC_CCSM/CLM 은 이러한 오차가 작게 나타나지만 한반도 주변에서는 CCSM/CLM 보다 오차가 약간 커지는 것을 알 수 있다. 일평균 강수량의 경우, APCC/CCSM3에서 나타나는 중국남부 지역과 한국일본 주변의 큰 오차가 역학적 규모축소를 실시한 CCSM/CLM에서는 한반도 지역을 제외하고는 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, BC_CCSM/CLM

에서는 이러한 오차가 작게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 23은 1989~2008년 여름철 850hPa 기온과 일평균 강수량의 시간상관계수 분포도이다. 850hPa 기온의 경우, APCC/CCSM3는 여름철 중국중부지역과 남중국해 지역에서 비교적 높은 상관관계를 보인다. 역학적 규모축소를 실시한 CCSM/CLM에서는 한반도 주변과 중국 중부지역에서 상관관계가 높아지는 것을 알 수 있다. 하지만, BC_CCSM/CLM에서는 전체 영역에 대해서 시간상관성이 CCSM/CLM 보다 낮게 나타난다. 이러한 특징은 일평균 강수량의 경우에서도 나타난다. 지역 기후모델은 초기 및 경계조건에 절대적인 영향을 받는데, 초기 및 경계조건으로 사용된 APCC/CCSM3의 시간변동성이 관측과 다르게 모의되기 때문에 이러한 영향으로 역학적 규모축소를 실시하여도 시간변동성의 예측성 향상을 기대 할 수 없는 것이다. 더욱이 Fig.18에서도 살펴 보았듯이 APCC/CCSM3의 계통적 오차를 보정하더라도 이는 APCC/CCSM3의 시간적인 변화량은 보정되지 않아 BC_CCSM/CLM의 시간상관성 역시 크게 개선되지 않는 것이다.

Fig. 24는 1989~2008년 여름철 850hPa 기온의 연도별 공간상관계수를 지역별로 나타낸 것이다. 대상지역 전체를 살펴보면 APCC/CCSM3의 계통적 오차가 역학적 규모축소를 통해 조금 더 커져 공간상관성이 조금 낮아진 것을 알 수 있다. 하지만, 계통적 오차를 제거한 후 역학적 규모축소를 실시한 BC_CCSM/CLM에서는 공간상관성이 전체적으로 높게 나타나며 평균적으로 CCSM/CLM 보다 0.07 정도 높게 나타난다. 지역별로는 중국 북부지역에서는 CCSM/CLM과 BC_CCSM/CLM이 공간상관성이 높게 나타나며, 한국 일본 지역과 중국남부지역에서는 BC_CCSM/CLM의 공간상관성이 높게 나타난다.

Fig. 25는 Fig. 24와 동일하나, 일평균 강수량을 나타낸 것이다. 전체 영역에서 강수에 대한 공간상관성은 그리 크게 나타나지 않는다. 역학적 규모축소를 통해 강수에 대한 공간상관성이 오히려 낮아지는 특징을 보인다. 하지만 세부 지역별로 살펴 보면, 중국 북부 지역과 한국 일본 지역의 경우 역학적 규모축소를 통해 공간상관성이 높아지며 이는 BC_CCSM/CLM에서 더 크게 나타난다. 중국남부 지역에서는 규모축소를 실시하지 않은 결과에서 더 높은 공간상관성을 보인다. CCSM/CLM과 BC_CCSM/CLM만을 비교해 보면, 계통적 오차를 보정함으로써 역학적 규모축소로 인해 발생하는 연도별 공간분포의 계통적 오차가 제거되어, 850hPa 기온과 일평균 강수량에서 BC_CCSM/CLM의 공간상관성이 향상됨을 알 수 있다.



3.2.2 겨울철

Fig. 26은 850hPa 기온의 겨울철 20년 평균값과 기후재현실험의 초기 및 경계조건으로 사용된 APCC/CCSM3 자료의 겨울철 20년 평균값의 차이 그리고 2가지 예측실험의 겨울철 20년 평균값과의 차이를 나타낸 것이다(오른쪽 상단에 관측과의 공간상관계수를 나타냄). 먼저 초기 및 경계자료로 사용된 APCC/CCSM3는 중국 중부지역부터 몽골까지 기온을 다소 낮게 모의한다. 이는 여름철에서도 나타난 특징과 일치하며, 이러한 계통적 오차는 역학적 규모축소를 통해 육지 지역에서는 낮아지며 해양 지역에서는 커진다. BC_CCSM/CLM에서는 대륙지역의 오차가 조금 더 제거되는 반면, 해양지역의 음의 편차는 CCSM/CLM과 동일하게 나타난다. 공간상관성은 APCC/CCSM3(0.996)에 비해 역학적 규모축소를 실시한 결과(CCSM/CLM, BC_CCSM/CLM: 0.998)에서 조금 더 높게 나타나지만, 그 차이는 크지 않다.

Fig. 27, Fig. 26과 동일하나, 일평균 강수량을 나타낸 것이다. APCC/CCSM3는 일본 지역과 인근 해양에서 강수를 다소 높게 모의한다. 이러한 계통적 오차는 역학적 규모축소를 통해 다소 제거되지만 중국남부 지역에서 강수를 다소 적게 모의한다. BC_CCSM/CLM에서는 대상영역 경계부분에서 강수를 다소 강하게 모의하고 APCC/CCSM3에서 나타났던 계통적 오차가 조금 더 크게 나타난다. 공간상관성 역시 BC_CCSM/CLM(0.489)에서 가장 낮게 나타난다.

Fig. 28은 Fig. 26과 동일하나, 850hPa 바람장과 비습을 비교한 것이다. APCC/CCSM3는 중국남부 지역에 비습이 과소모의 되는 특징을 보이며, 겨울철 시베리아 고기압에 의한 북서풍을 다소 강하게 모의한다. 이러한 특징으로 중국 대륙지역에 낮은 기온 분포를 보인 것으로 보인다. 이러한 특징은 역학적 규모축소를 통해서 다소 약화되지만, 유사하게 나타난다. 보정된 BC_CCSM/CLM에서는 시베리아 고기압에 의한 북서풍을 관측과 유사하게 모의된다.

Fig. 29는 1989~2008년 겨울철 850hPa 기온과 일평균 강수량의 RMSE 분포도이다. 850hPa 기온의 경우, APCC/CCSM3는 겨울철 평균값 편차 분포와 마찬가지로 몽골지역 주변과 중국북부에서 중부지역에서 오차가 크게 나타났다. 이러한 오차는 규모축소를 통해 몽골지역 주변은 어느 정도 감소하는데 한반도주변의 오차는 더욱 크게 나타난다.

BC_CCSM/CLM 은 해양지역을 제외하고는 APCC/CCSM3 보다 낮은 RMSE 값을 나타낸다. 일평균 강수량에서도 역시 평균값 편차분포와 동일하게 BC_CCSM/CLM에서 오차가 크게 나타나며, 역학적 규모축소를 통해서도 이러한 오차는 크게 줄어들지 않는 특징을 보인다.

Fig. 30은 1989~2008년 겨울철 850hPa 기온과 일평균 강수량의 시간상관계수 분포도이다. 850hPa 기온과 일평균 강수량 모두 여름철과 동일하게 역학적 규모축소를 통해서 예측성이 크게 향상되지 않음을 알 수 있다.

Fig. 31은 1989~2008년 여름철 850hPa 기온의 연도별 공간상관계수를 지역별로 나타낸 것이다. 전 영역에 대해서 APCC/CCSM3, CCSM/CLM, BC_CCSM/CLM 은 0.9 이상의 높은 공간상관성을 나타낸다.

Fig. 32는 Fig. 31과 동일하나, 일평균 강수량을 나타낸 것이다. 전체 영역에서 강수에 대한 공간 상관성은 여름철 보다는 높게 나타난다. 하지만, 겨울철 역시 역학적 규모축소를 통해 강수에 대한 공간 상관성이 오히려 낮아지는 특징을 보인다. 하지만, 중국남부 지역을 제외하고는 계통적 오차가 보정되어 BC_CCSM/CLM 의 공간상관성이 CCSM/CLM 보다 높은 공간상관성을 보임을 알 수 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 동아시아 영역에 대해서 RegCM4.3을 이용하여 1989~2008년동안 여름철, 겨울철에 대한 기후재현실험 및 계절예측실험을 실시하였다. 기후재현 실험은 서로 다른 지면 물리과정(지면모델), 경계층 물리과정을 조합한 4가지 model configuration을 이용하여 실시하고 기후재현성능을 평가하였다. 그 결과 CLM3 지면모델이 soil-precipitation feedback 과정이 고려되어 BATS 지면 물리과정에 비교해 육지에서 보다 관측과 유사한 기후재현성능을 보였다. UW 경계층 물리과정은 해안지역에서 CLM3나 BATS를 이용한 재현성능에 영향을 줄 뿐 크게 재현성능이 크게 향상되지 않았다. EOF 주성분모드 분석에서도 지표온도와 일별강수량에서 모두 CLM3를 이용한 재현실험결과가 관측과 유사한 공간패턴과 PC 시간변동성을 보였다. 영역별로 살펴본 지표온도와 일별강수량 아노말리의



경년변동성 역시 CLM3를 이용한 재현실험결과가 낮은 오차와 높은 시간상관관계를 나타내었다.

따라서, 기후재현성능평가에서 가장 좋은 성능을 보인 ERA/CLM의 model configuration을 계절예측실험에 적용하였다. 계절예측실험은 APCC/CCSM3를 초기 및 경계조건으로 하는 실험(CCSM/CLM)과 APCC/CCSM3의 6시간 간격 climatology와 standard deviation을 기후재현실험의 초기 및 경계자료로 사용된 Era-interim 재분석자료를 이용하여 보정된 초기 및 경계조건으로 사용한 실험(BC_CCSM/CLM)으로 나누어 실시하였다.

그 결과 여름철과 겨울철 850hPa 기온의 경우, APCC/CCSM3가 가지는 평균적인 계통적 오차는 CCSM/CLM 결과에서 육지지역의 경우 다소 제거가 되었고 해양지역에서는 그 한랭편차가 다소 강하게 나타났다. 하지만, BC_CCSM/CLM의 경우 이러한 편차가 대부분 제거 되는 것으로 나타났다. 이러한 특징은 RMSE 분포 및 연도별 공간상관계수에서도 그대로 적용되어 BC_CCSM/CLM이 낮은 RMSE 분포와 연도별 높은 공간상관성을 보였다. 하지만, 일별 강수량의 경우 여름철에는 BC_CCSM/CLM에서 계통적 오차가 보정되어 낮은 RMSE 분포와 연도별 높은 공간상관성을 보였지만, 겨울철에는 이러한 영향이 적게 나타났다. 시간상관계수 분포에서는 BC_CCSM/CLM이 여름철과 겨울철 850hPa 기온과 일평균 강수량에서 낮은 시간상관성을 보였다. 이는 절대적인 계통적 오차는 제거되었지만, 상대적인 시간변동성은 크게 향상되지 않았음을 의미한다. 이는 앞서 Fig. 18에서 살펴본 바와 같이 계통적 오차보정이 APCC/CCSM3의 시간변동성에는 영향을 주지 못한 것과 관련이 있다. 따라서 이러한 시간변동성 예측성을 향상시키기 위해서는 기후재현실험을 바탕으로 한 통계적인 후처리 방법이 개발되거나 APCC/CCSM3의 개선을 통해 보다 현실적인 예측값이 생산되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Ahn, Joong-Bae, J. Lee, and E.-S. Im, 2012: The Reproducibility of Surface Air Temperature over South Korea Using Dynamical Downscaling and Statistical Correction, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90(4), 493-507, DOI:10.2151/jmsj.2012-404
- Anthes RA, Hsie EY, Kuo YH, 1987: Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). National Center for Atmospheric Research Tech Note TN-282+ STR, NCAR, Boulder, CO
- Adler RF, Huffman GJ, Chang A, Ferraro R, Xie P, Janowiak J, Rudolf B, Schneider U, Curtis S, Bolvin D, Gruber A, Susskind J, Arkin P, 2003: The version 2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *J Hydrometeorol* 4:1147-1167
- Berrisford, P., Dee, D., Fielding, K., Fuentes, M., Kallberg, P., Kobayashi, S., and Uppala, S.: The ERA-Interim archive (version 1.0), 2009: ERA Report Series: European Centre for Medium Range Weather Forecasts
- Bretherton CS, McCaa JR, Grenier H, 2004: A new parameterization for shallow cumulus convection and its application to marine subtropical cloud-topped boundary layers. I. Description and 1D results. *Mon Weather Rev* 132: 864-882
- David, Tai-Wai Hui, K. K.-Y. Shum, J. Chen, S.-C. Chen, J. Ritchie and J. O. Roads, 2007: Case studies of seasonal rainfall forecasts for Hong Kong and its vicinity using a regional climate model. *Nat. Hazards*, 42 , 193-207.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Holm, E. V., Isaksen, L., Kallberg, P., Kohler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J. J., Park, B. K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J. N., and Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137, 553-597, doi:10.1002/QJ.828
- Dickinson, R. M. Errico, F. Girogi, and G. T. Bates, 1989: A regional climate model for the western United States. *Climatic Change*, 15, 383-422.
- Dickinson RE, Henderson-Sellers A, Kennedy P, 1993: Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model. Tech Rep, National Center for Atmospheric Research Tech Note NCAR.TN-387+ STR, NCAR, Boulder, CO
- Emanuel KA, Zivkovic-Rothman M , 1999: Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. *J Atmos Sci* 56: 1766-1782
- Holland, G. J., J. Done, C. Bruyere, C. Cooper, and A. Suzuki, 2010: Model investigations of the effects of climate variability and change on future Gulf of Mexico tropical cyclone activity. *Proc. Offshore Technology Conf.*, Houston, TX, ASCE, OTC 20690.
- [Available online at http://www.netl.doe.gov/kmd/RPSEA_Project_Outreach/07121-DW1801_OTC-20690-MS.pdf.]
- Holtslag A, de Bruijn E, Pan HL, 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon Weather Rev* 118:1561-1575



- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis, Working group I contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Summary for Policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996pp.(eds.).
- Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, 3, 941-963.
- Giorgi F, Coppola E, Solmon F, Mariotti L and others, 2012: RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim Res* 52:7-29
- Grell G, Dudhia J, Stauffer DR, 1994: A description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). National Center for Atmospheric Research Tech Note NCAR/TN-398 + STR, NCAR, Boulder, CO
- Grell GA, 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon Weather Rev* 121: 764-787
- Kiehl J, Hack J, Bonan G, Boville B, Breigleb B, Williamson D, Rasch P, 1996: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). National Center for Atmospheric Research Tech Note NCAR/TN-420+ STR, NCAR, Boulder, CO
- Mitchell and Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatology*, 25, 693-712, Doi: 10.1002/joc.1181.
- O'Brien, T. A., Chuang, P. Y., Sloan, L. C., Faloon, I. C., and Rossiter, D. L., 2012: Coupling a new turbulence parametrization to RegCM adds realistic stratocumulus clouds, *Geosci. Model Dev.*, 5, 989-1008, doi:10.5194/gmd-5-989-2012
- Pal JS, Small EE, Eltahir EAB. , 2000: Simulation of regional scale water and energy budgets: representation of sub-grid cloud and precipitation processes within RegCM. *J Geophys Res* 105(D24): 29 579-29 594.
- Saha S et al, 2010: The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bull Am Meteorol Soc* 91:1015-1057
- Seol, K.-H. and Hong, S.-Y., 2006 : Effects of Physical Parameterizations on the Simulation of a Snowfall Event over Korea Caused by Air-mass Transformation, *Atmosphere*, 16(3), 203-213
- Steiner AL, Pal JS, Rauscher SA, Bell JL and others 2009: Land surface coupling in regional climate simulations of the West Africa monsoon. *Clim Dyn* 33: 869-892
- Tiedtke M, 1989: A comprehensive mass-flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon Weather Rev* 117: 1779-1800
- Wang, Y., L. R. Leung, J. L. McGregor, D.-K. Lee, W.-C. Wang, U. Ding, and F. Kimura, 2004: Regional climate modeling: Progress, challenges, and prospects. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 82(6), 1599-1628.
- 김문현, 강현석, 변영화, 박수희, 권원태, 2011: 지역기후모델을 이용한 상세계절예측시스템 구축 및 겨울철 예측성 검증, *Atmosphere. Korean Meteorological Society*, 21(1), 17-33.

FIGURES

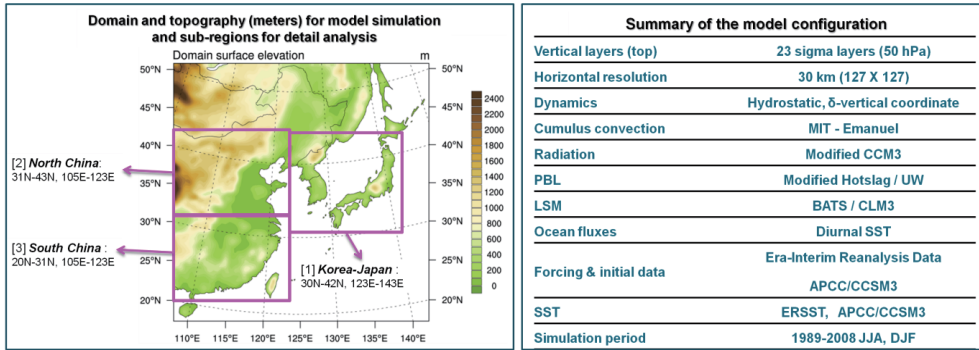


Figure 1 Model domain and topography (left), summary of model configuration (right)

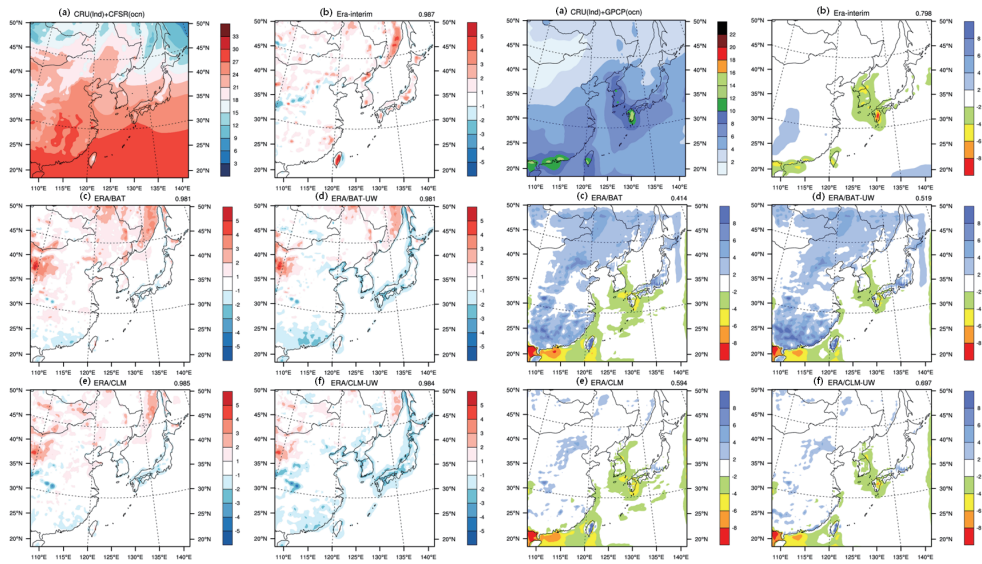


Figure 2 The 20-year summer mean surface temperature (left) and precipitation (right) of the (a) CRU/CFSR and (b) Era-interim minus CRU/CFSR, (c) ERA/BAT minus CRU/CFSR, (d) ERA/BAT-UW minus CRU/CFSR, (e) ERA/CLM minus CRU/CFSR and (f) ERA/CLM-UW minus CRU/CFSR

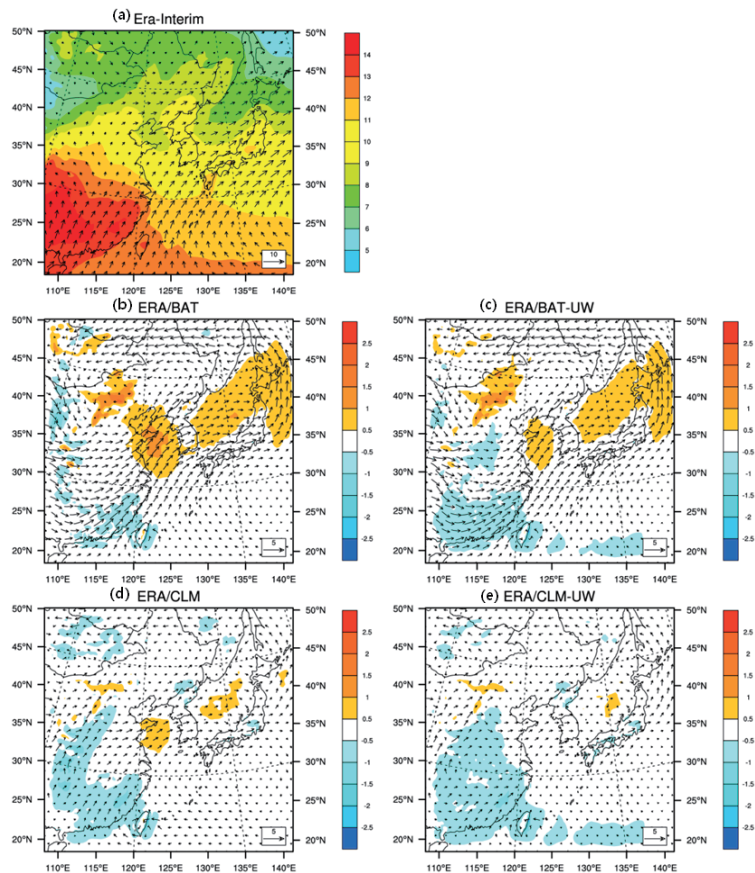


Figure 3 The 20-year summer mean 850hPa wind (vector) and specific humidity (shaded) of the (a) Era-interim, (b) difference between ERA/BAT and Era-interim, (c) difference between ERA/BAT-UW and Era-interim, (d) difference between ERA/CLM and Era-interim, (e) difference between ERA/CLM-UW and Era-interim

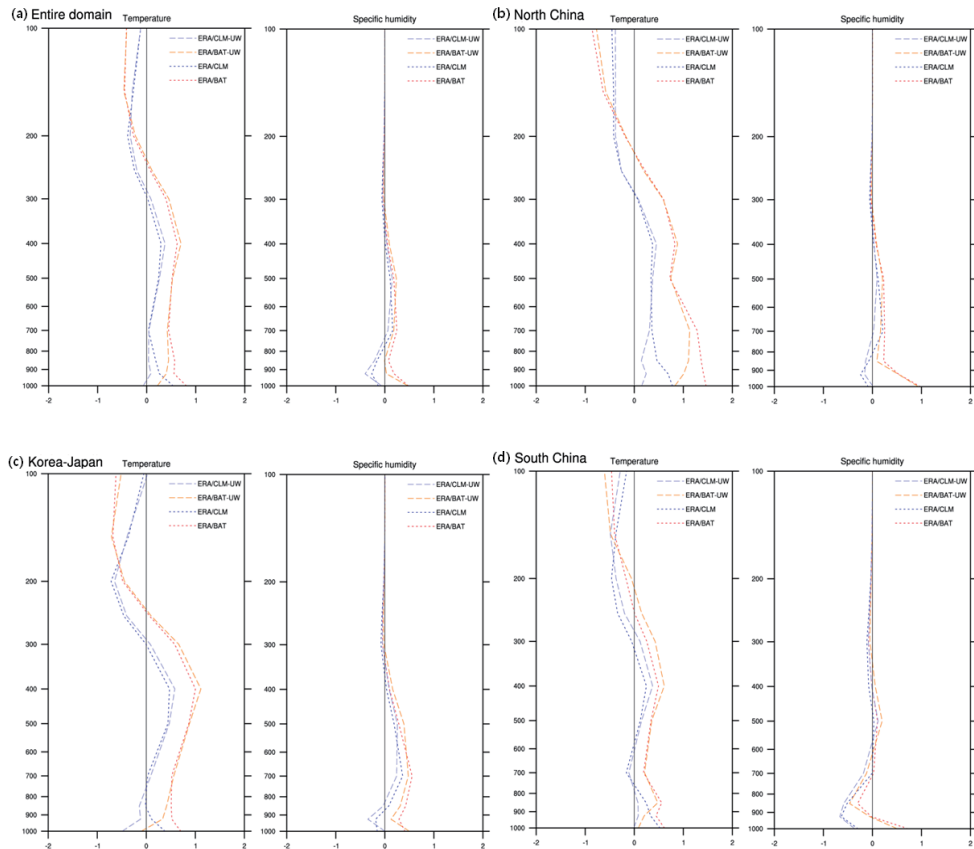


Figure 4 Vertical distribution of the 20-year summer mean difference in temperature (K) and specific humidity (g/kg) averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1.

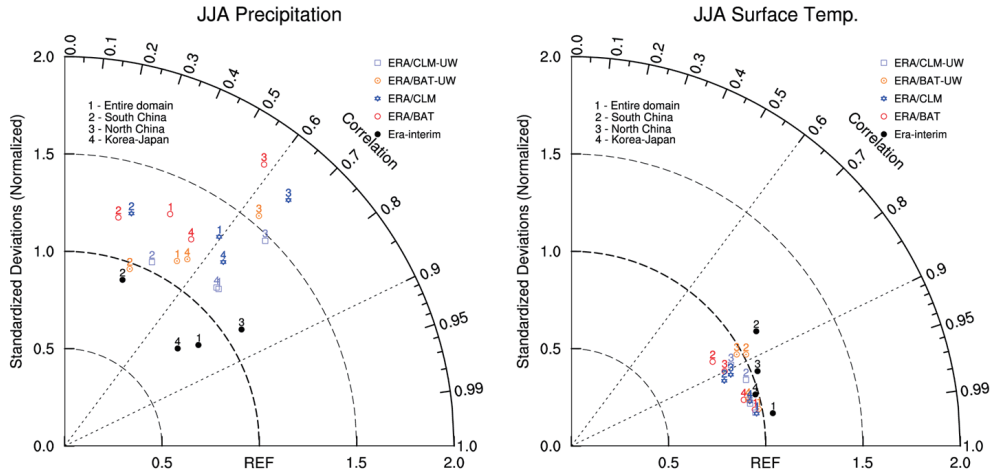


Figure 5 Taylor diagram of summer precipitation (Left) and summer surface temperature (Right) over sub-regions. (In this Fig, correlation means pattern correlation)

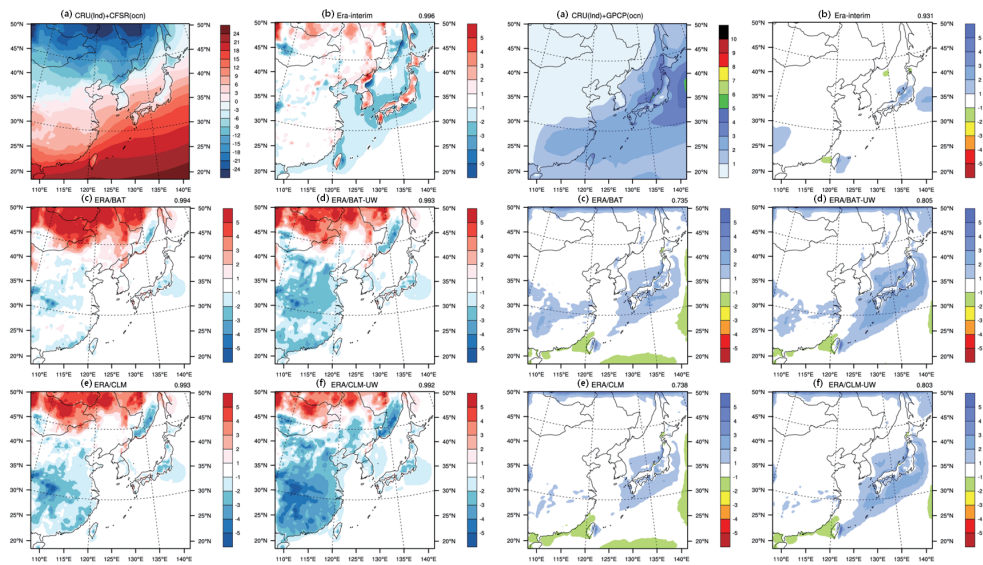


Figure 6 The 20-year winter mean surface temperature (left) and precipitation (right) of the (a) CRU/CFSR and (b) Era-interim minus CRU/CFSR, (c) ERA/BAT minus CRU/CFSR, (d) ERA/BAT-UW minus CRU/CFSR, (e) ERA/CLM minus CRU/CFSR and (f) ERA/CLM-UW minus CRU/CFSR

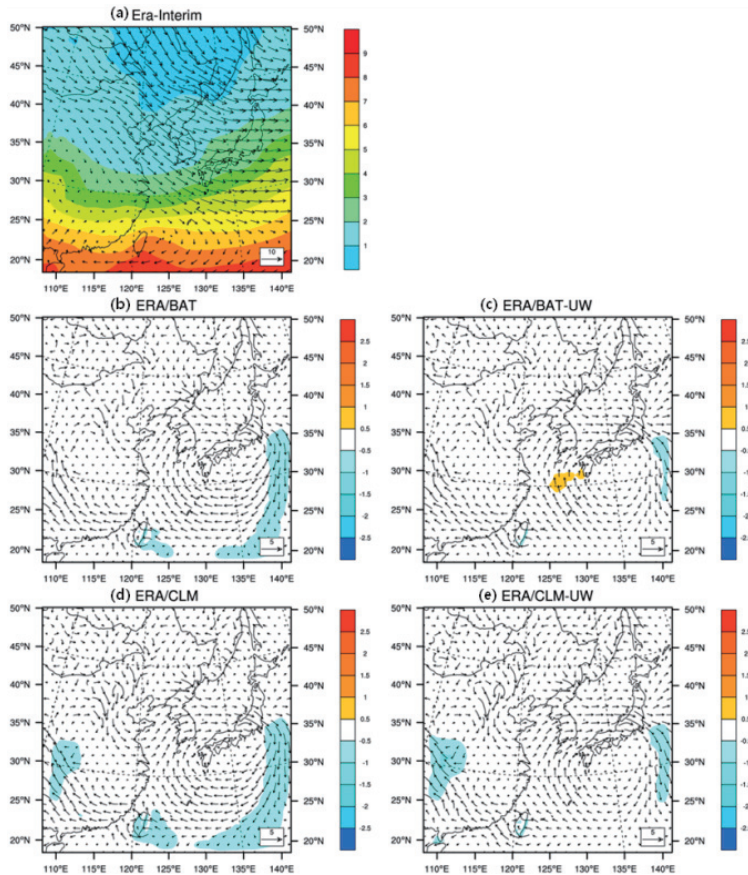


Figure 7 The 20-year winter mean 850hPa wind (vector) and specific humidity (shaded) of the (a) Era-interim, (b) difference between ERA/BAT and Era-interim, (c) difference between ERA/BAT-UW and Era-interim, (d) difference between ERA/CLM and Era-interim, (e) difference between ERA/CLM-UW and Era-interim

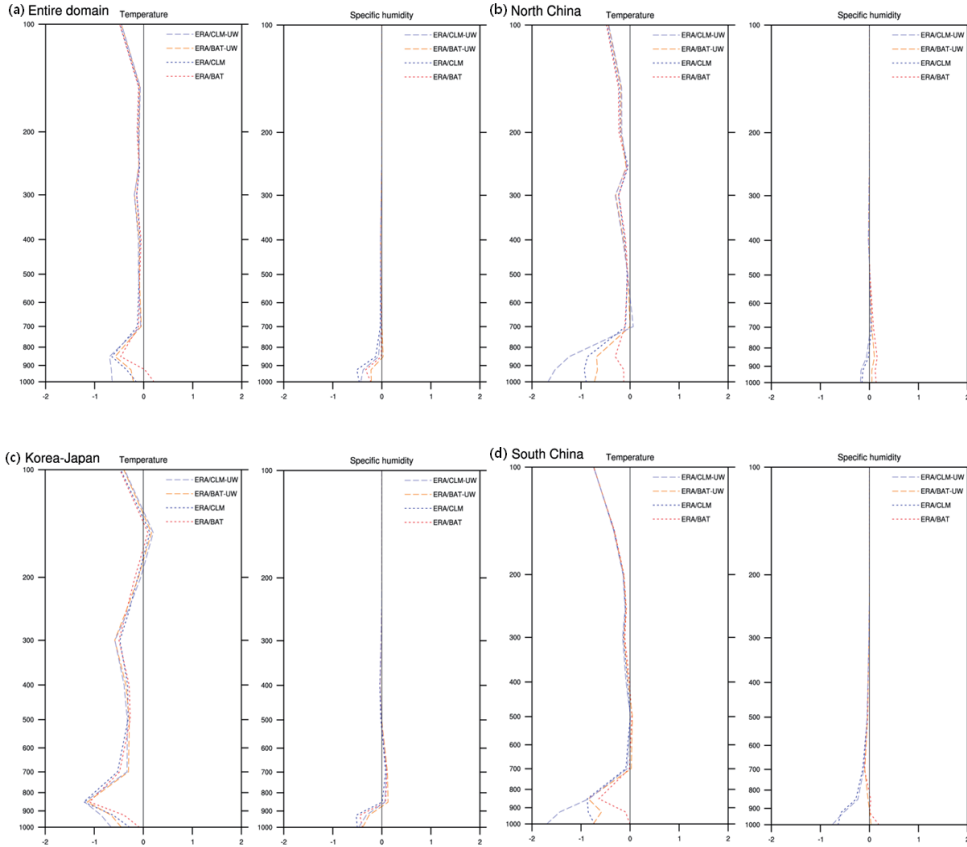


Figure 8 Vertical distribution of the 20-year winter mean difference in temperature (K) and specific humidity (g/kg) averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

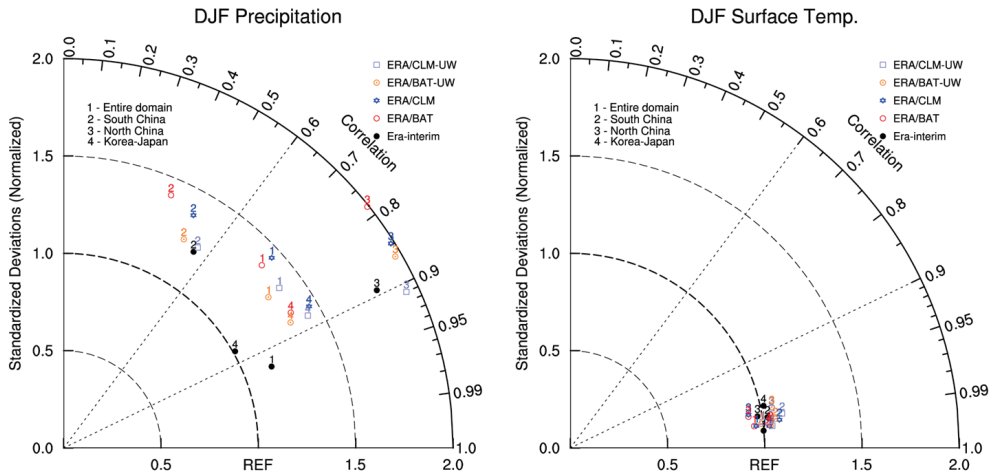


Figure 9 Taylor diagram of winter precipitation (Left) and winter surface temperature (Right) over sub-regions. (In this Fig, correlation means pattern correlation)

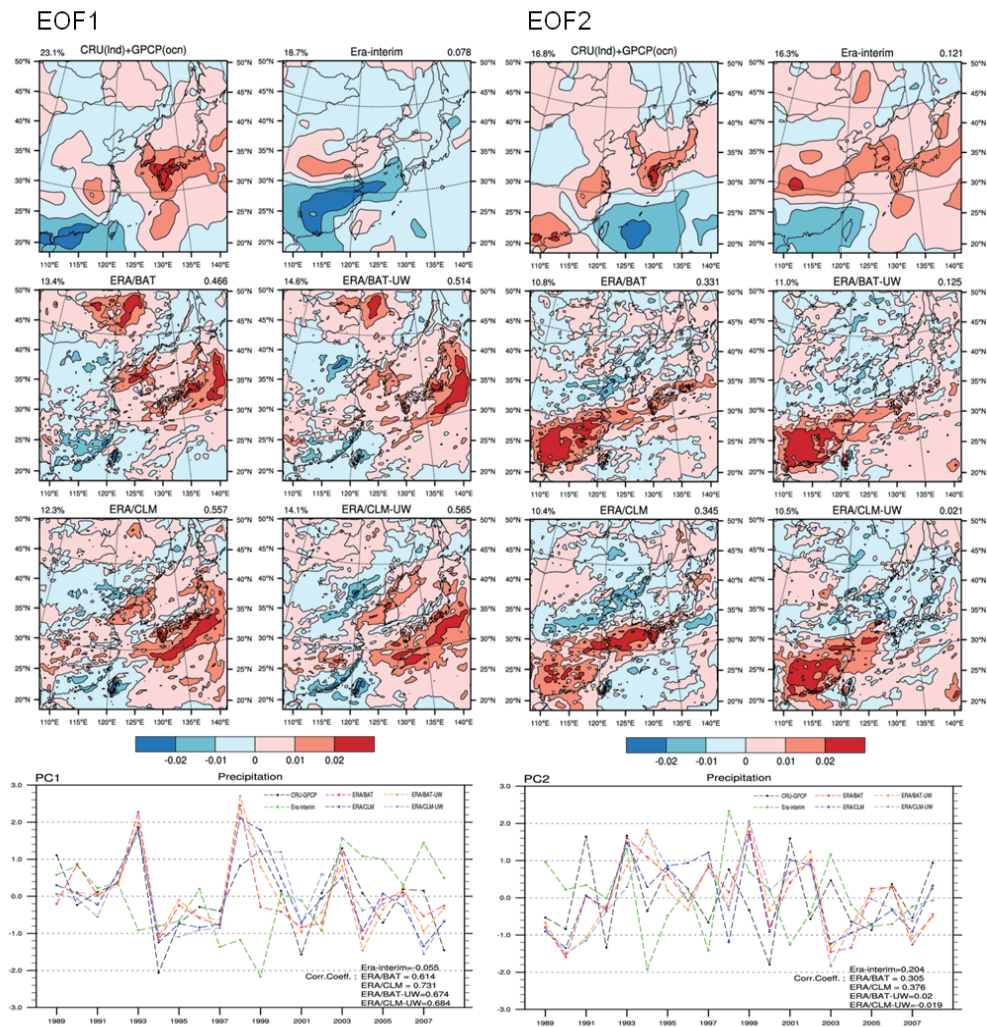


Figure 10 Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of summer (JJA) mean precipitation (1st mode : left, 2nd mode : right)

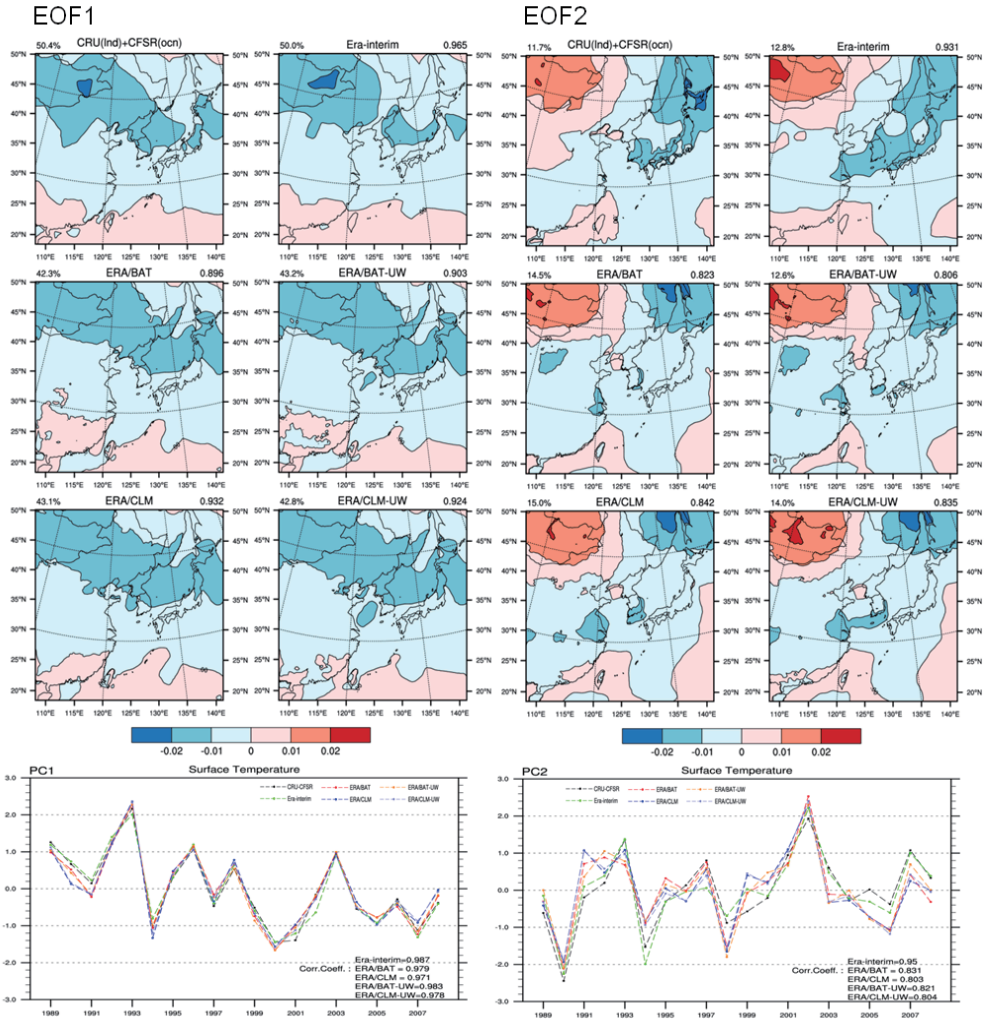


Figure 11 Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of summer (JJA) mean surface temperature (1st mode : left, 2nd mode : right)

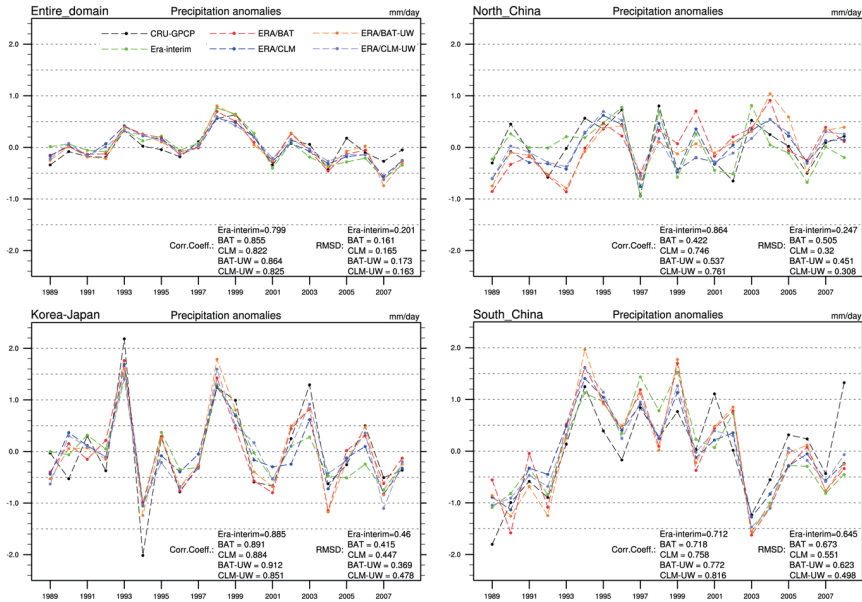


Figure 12 Temporal variability of summer mean precipitation from 1989-2008 averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

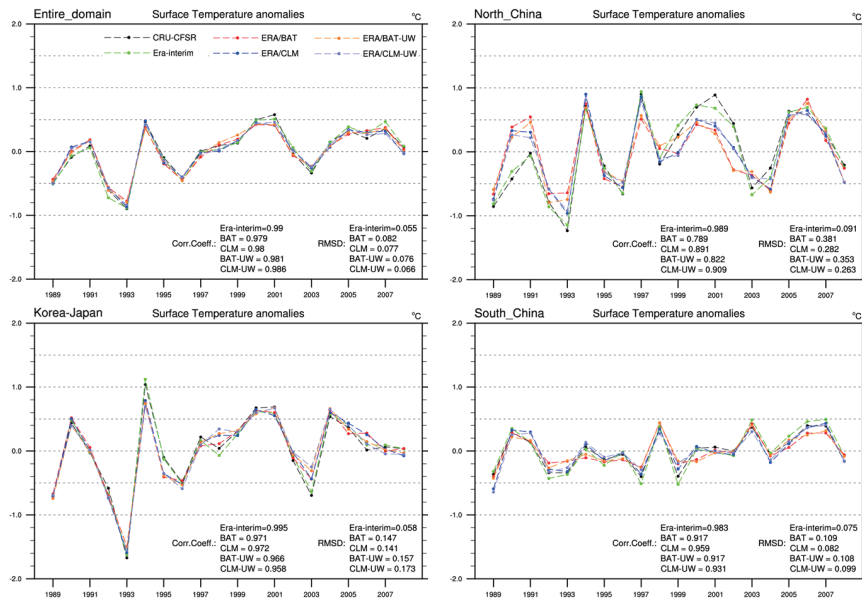


Figure 13 Temporal variability of summer mean surface temperature from 1989-2008 averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

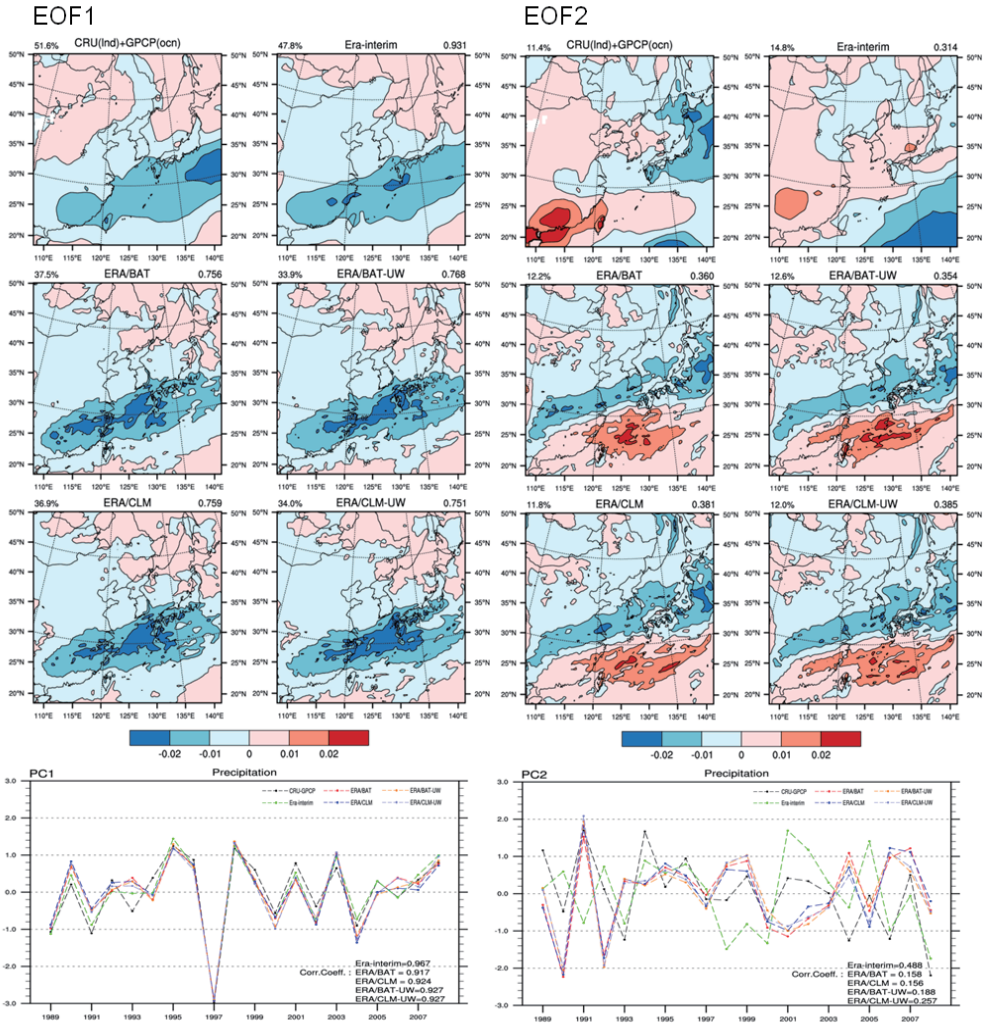


Figure 14 Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of winter (DJF) mean precipitation (1st mode: left, 2nd mode: right)

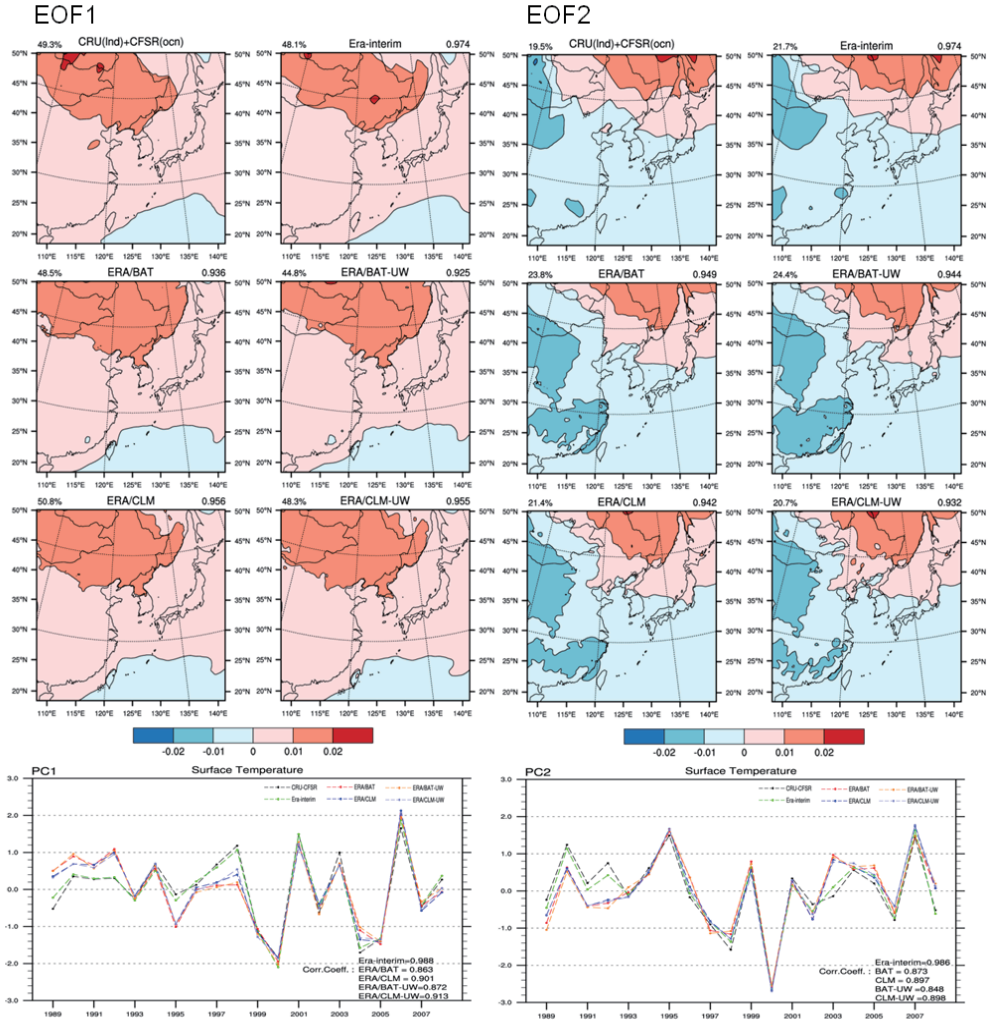


Figure 15 Eigenvectors and principal component (PC) time series of the leading EOF of winter (DJF) mean surface temperature (1st mode: left, 2nd mode: right)

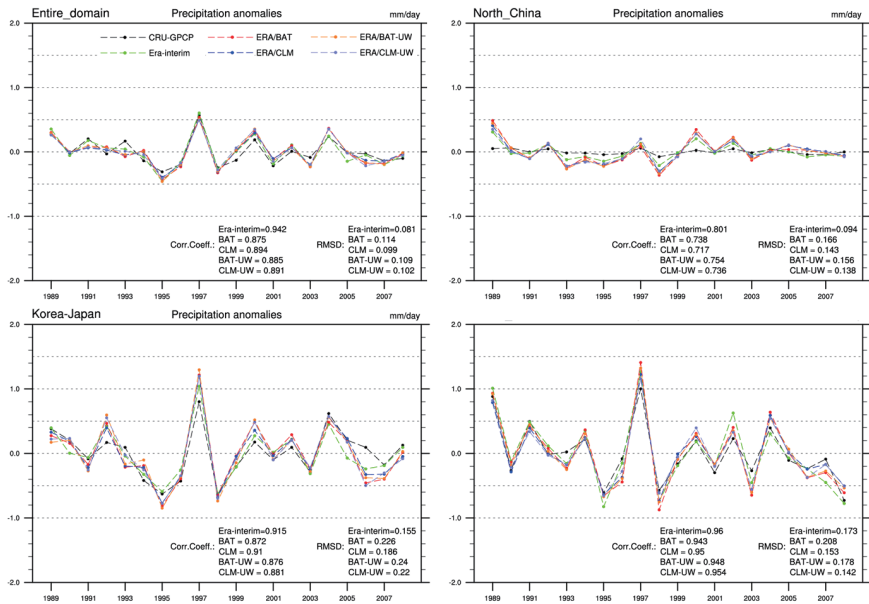


Figure 16 Temporal variability of winter mean precipitation from 1989-1998 averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

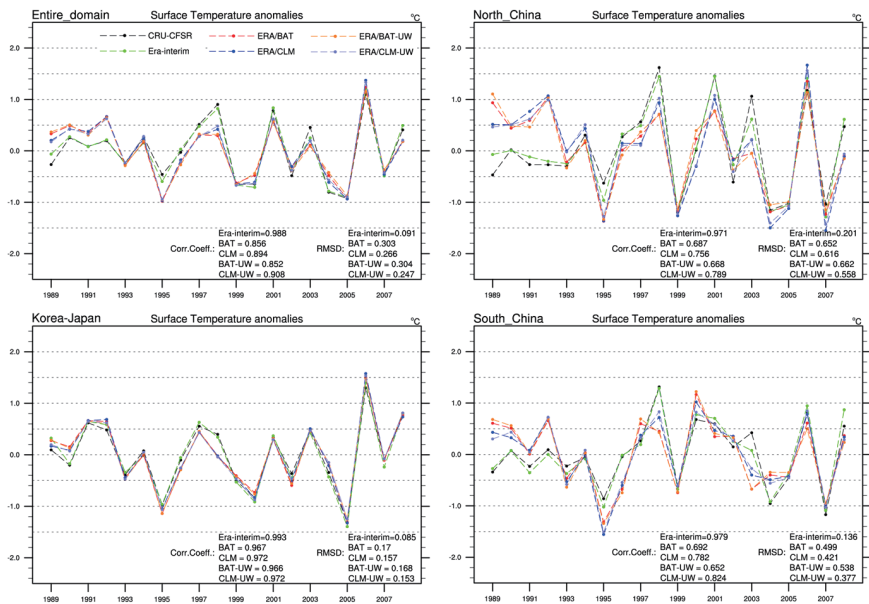


Figure 17 Temporal variability of winter mean surface temperature from 1989-1998 averaged over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, Sub-regions are depicted in Fig.1

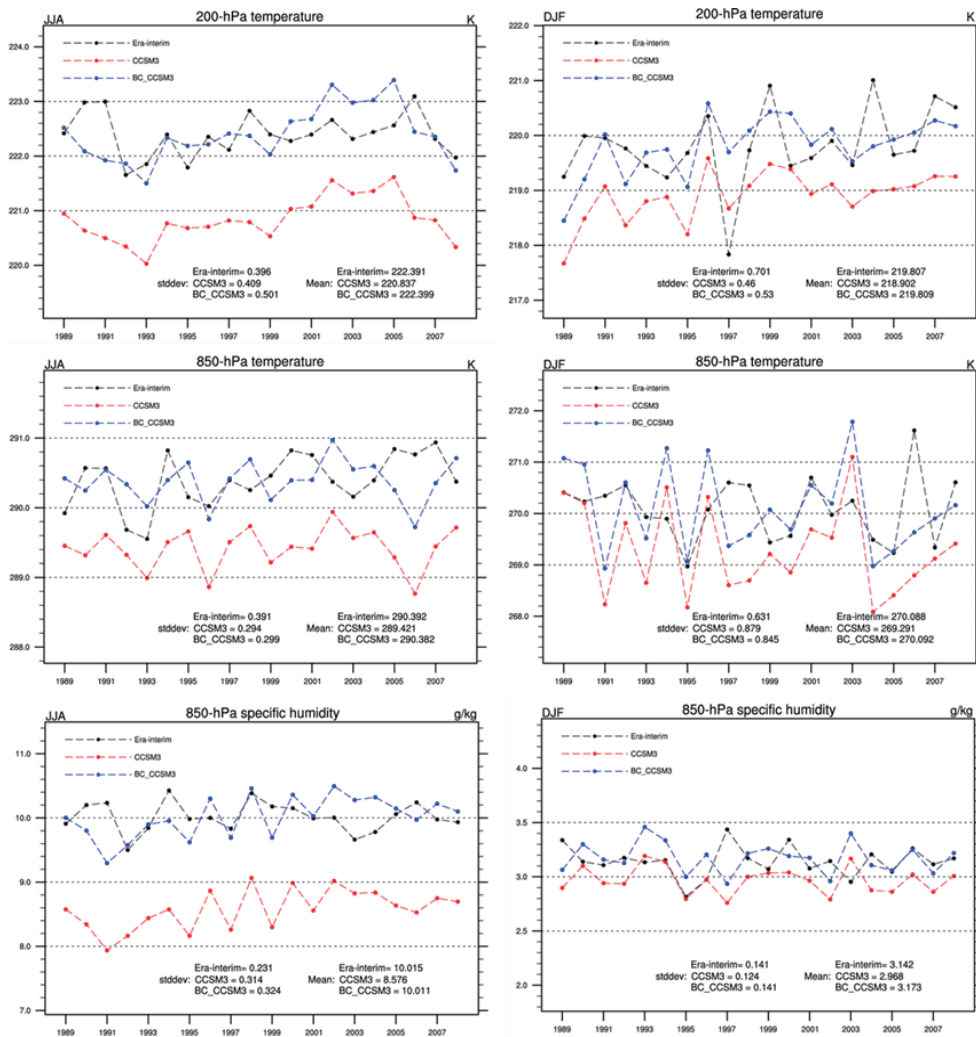


Figure 18 Interannual variation of 200hPa temperature, 850hPa temperature and 850hPa specific humidity over entire domain in summer(Left) and winter(Right). The 20-yr averaged value and standard deviation for each individual data are also shown in the figure

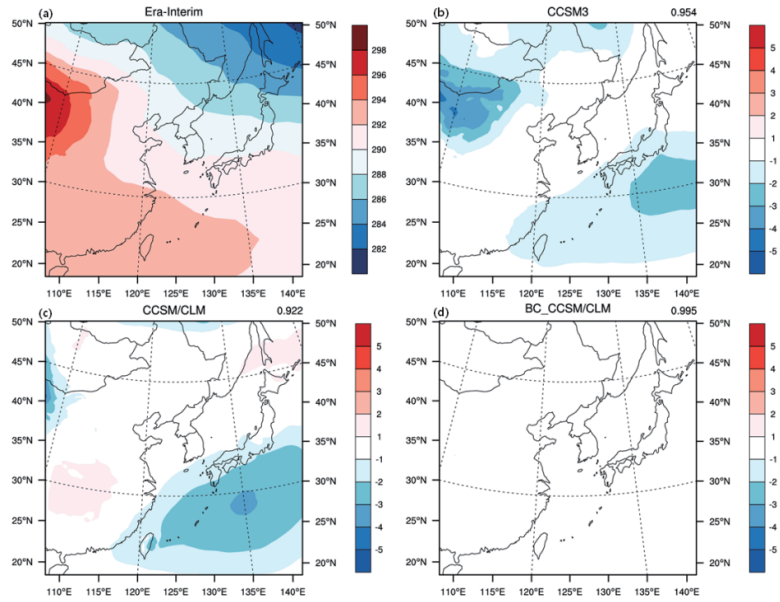


Figure 19 20-year summer mean 850hPa temperature (a) Era-interim and (b) CCSM3 minus Era-interim, (c) CCSM/CLM minus Era-interim, (d) BC_CCSM/CLM minus Era-interim

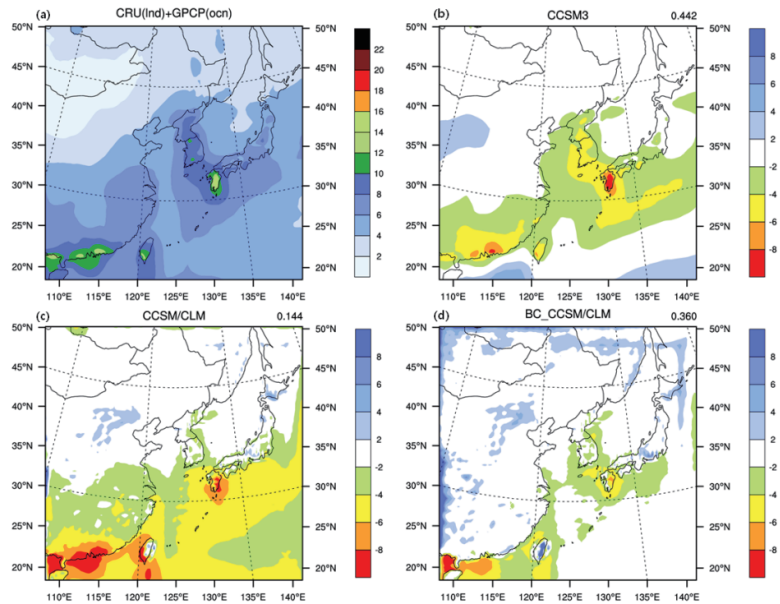


Figure 20 20-year summer mean precipitation of the (a) CRU/GPCP and (b) CCSM3 minus CRU/GPCP, (c) CCSM/CLM minus CRU/GPCP, (d) BC_CCSM/CLM minus CRU/GPCP

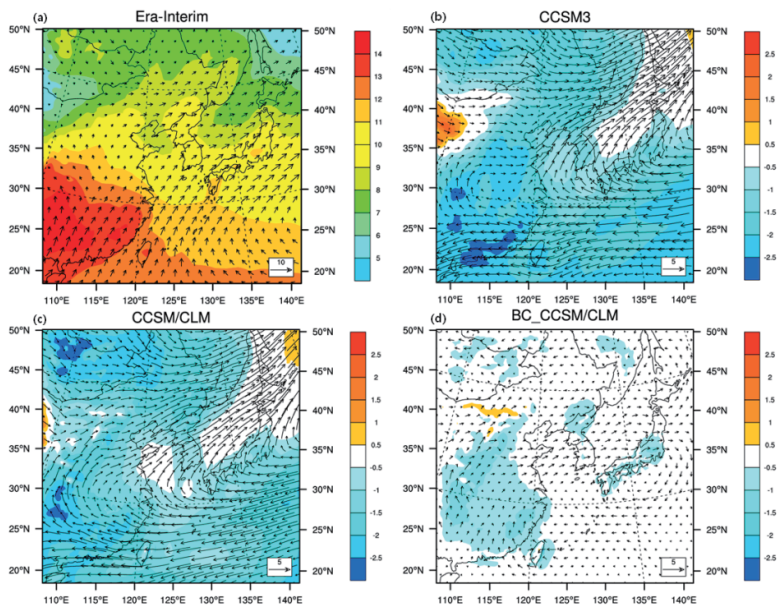


Figure 21 20-year summer mean 850hPa wind (vector) and specific humidity (shaded) of the (a) Era-interim, (b) difference between CCSM3 and Era-interim, (c) difference between CCSM/CLM and Era-interim, (d) difference between BC_CCSM/CLM and Era-interim

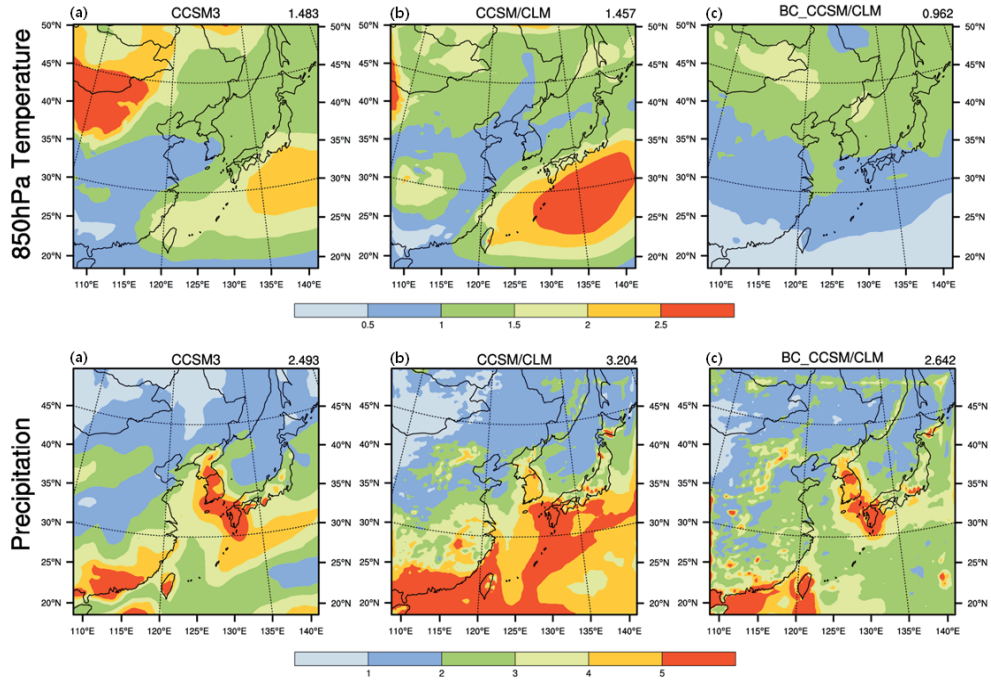


Figure 22 The spatial distribution of RMSE of the summer mean 850hPa temperature (top) and precipitation (bottom) between (a) Era-interim and CCSM3, (b) Era-interim and CCSM/CLM and (c) Era-interim and BC_CCSM/CLM

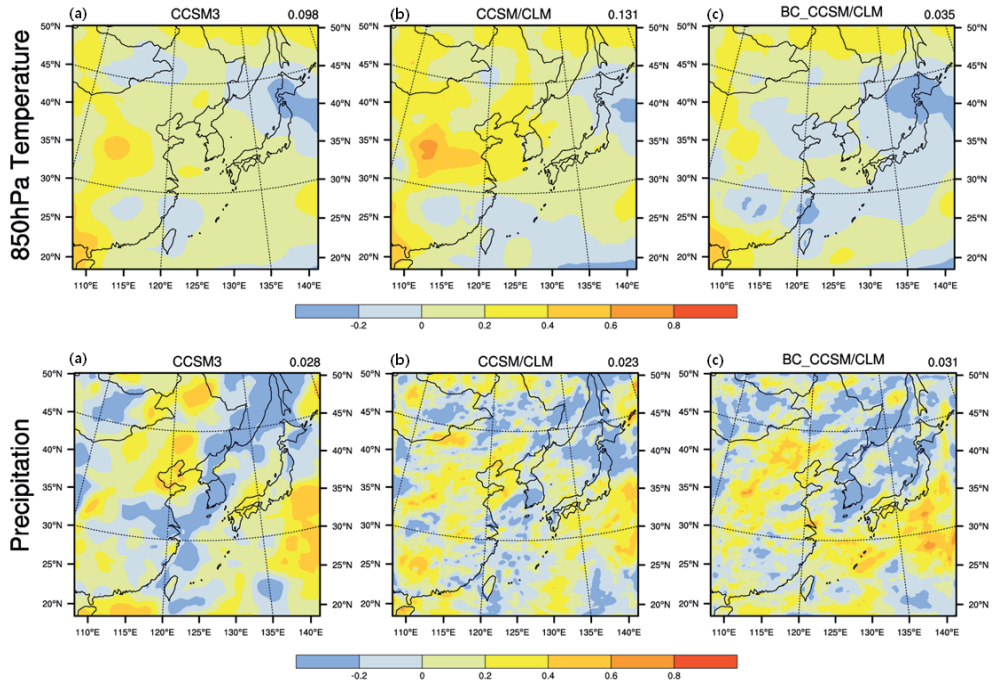


Figure 23 The spatial distribution of the temporal correlation coefficient of the summer mean 850hPa temperature (top) and precipitation (bottom) between (a) Era-interim and CCSM3, (b) Era-interim and CCSM/CLM and (c) Era-interim and BC_CCSM/CLM

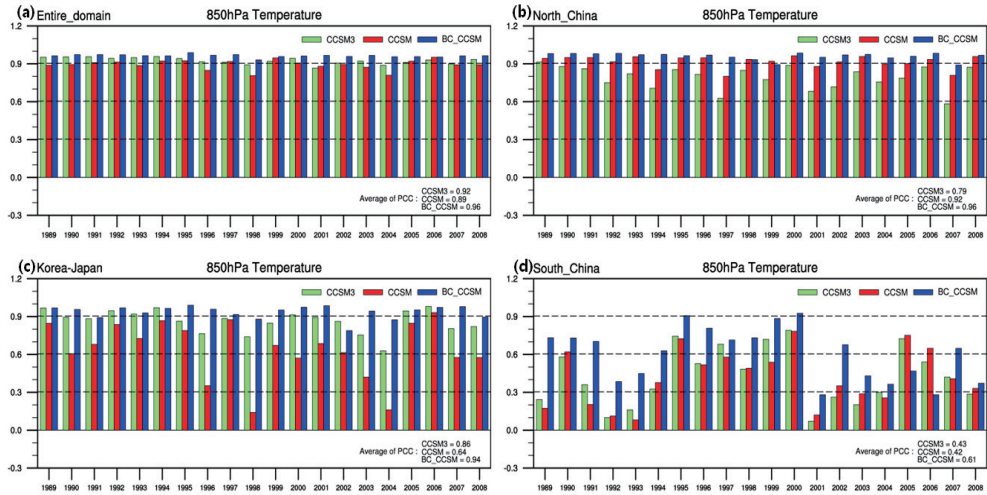


Figure 24 The pattern correlation coefficient (PCC) of the summer 850hPa temperature from 1989-2008 over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

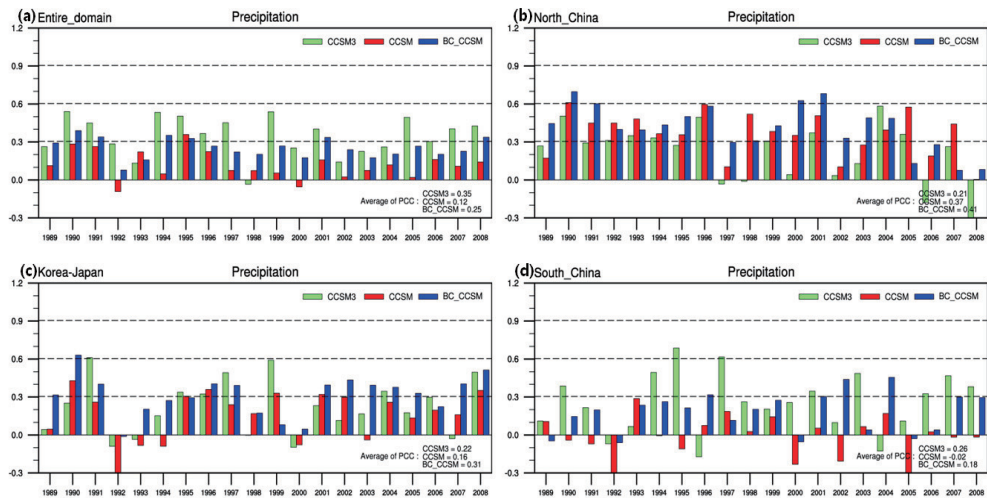


Figure 25 The pattern correlation coefficient (PCC) of the summer precipitation from 1989-2008 over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

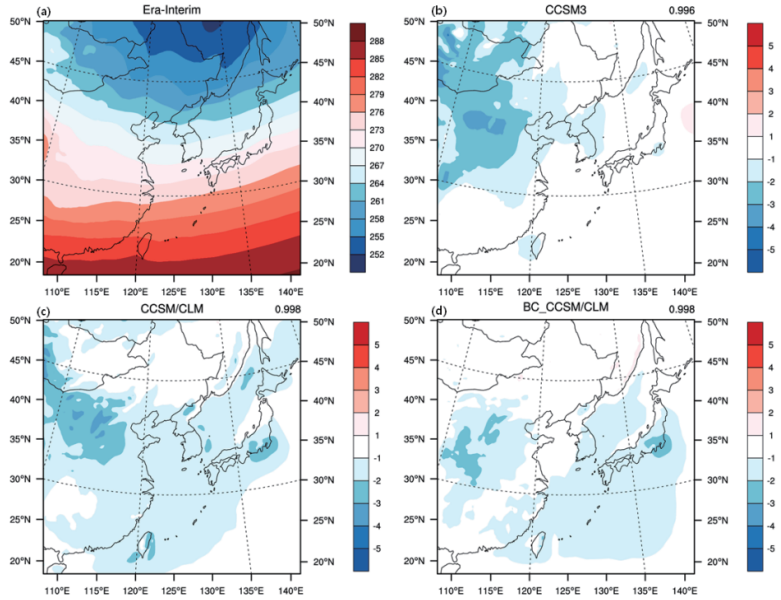


Figure 26 20-year winter mean 850hPa temperature (a) Era-Interim and (b) CCSM3 minus Era-Interim, (c) CCSM/CLM minus Era-Interim, (d) BC_CCSM/CLM minus Era-Interim

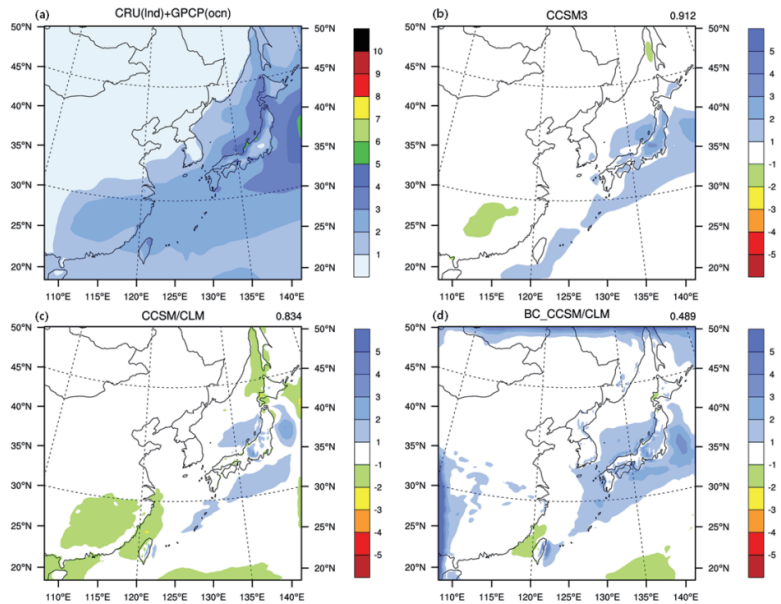


Figure 27 20-year winter mean precipitation of the (a) CRU/GPCP and (b) CCSM3 minus CRU/GPCP, (c) CCSM/CLM minus CRU/GPCP, (d) BC_CCSM/CLM minus CRU/GPCP

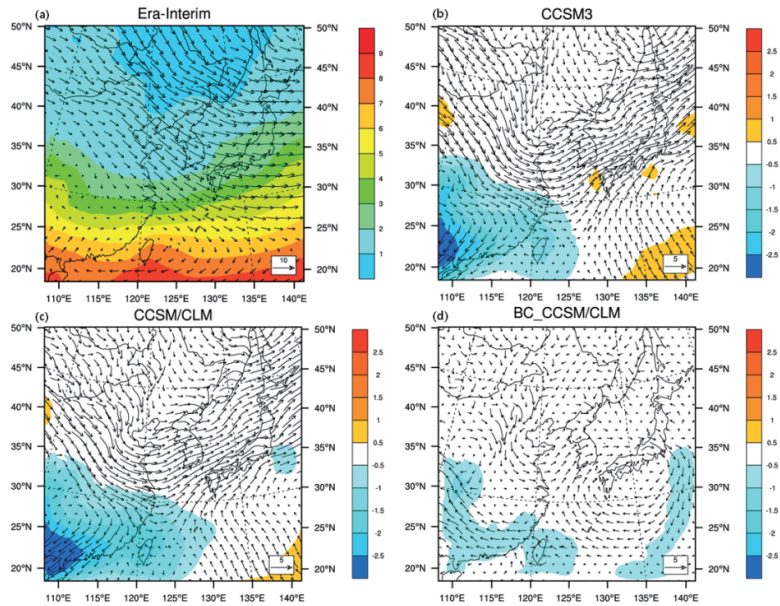


Figure 28 20-year winter mean 850hPa wind (vector) and specific humidity [shaded] of the (a) Era-interim, (b) difference between CCSM3 and Era-interim, (c) difference between CCSM/CLM and Era-interim, (d) difference between BC_CCSM/CLM and Era-interim

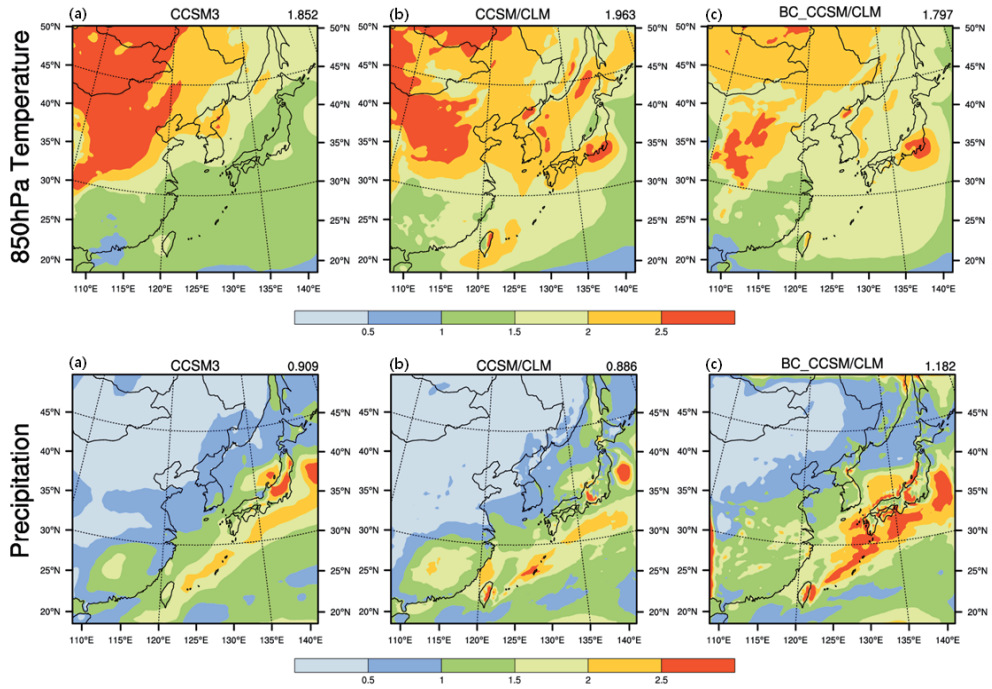


Figure 29 The spatial distribution of RMSE of the winter mean 850hPa temperature (top)/precipitation (bottom) between (a) Era-interim/CRU-GPCP and CCSM3, (b) Era-interim/CRU-GPCP and CCSM/CLM and (c) Era-interim/CRU-GPCP and BC_CCSM/CLM

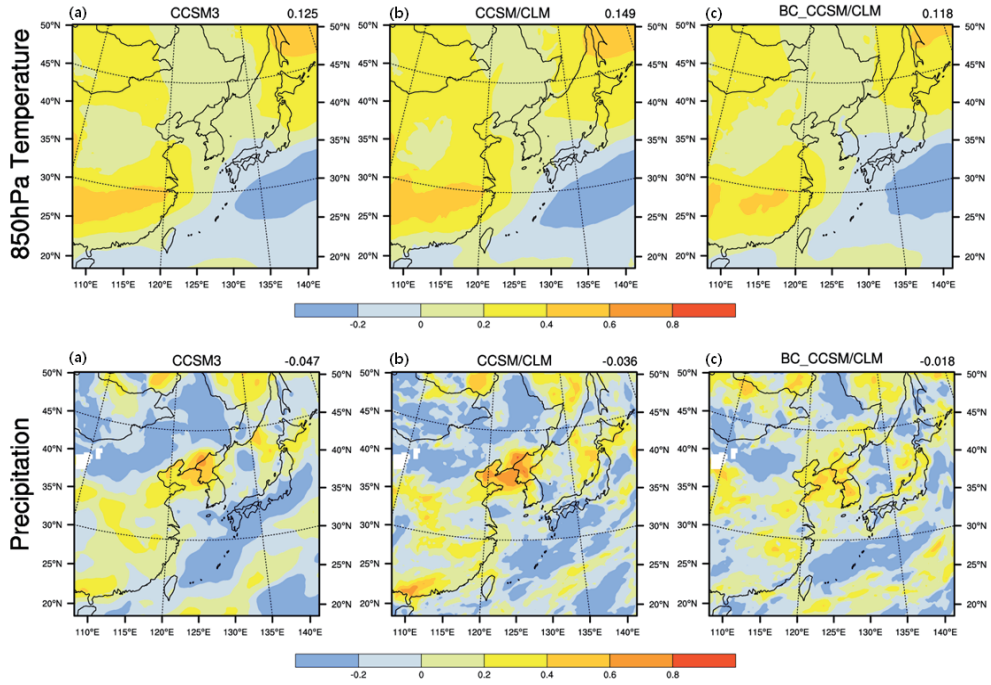


Figure 30 The spatial distribution of the temporal correlation coefficient of the winter mean 850hPa temperature (top) and precipitation (bottom) between (a) Era-interim and CCSM3, (b) Era-interim and CCSM/CLM and (c) Era-interim and BC_CCSM/CLM

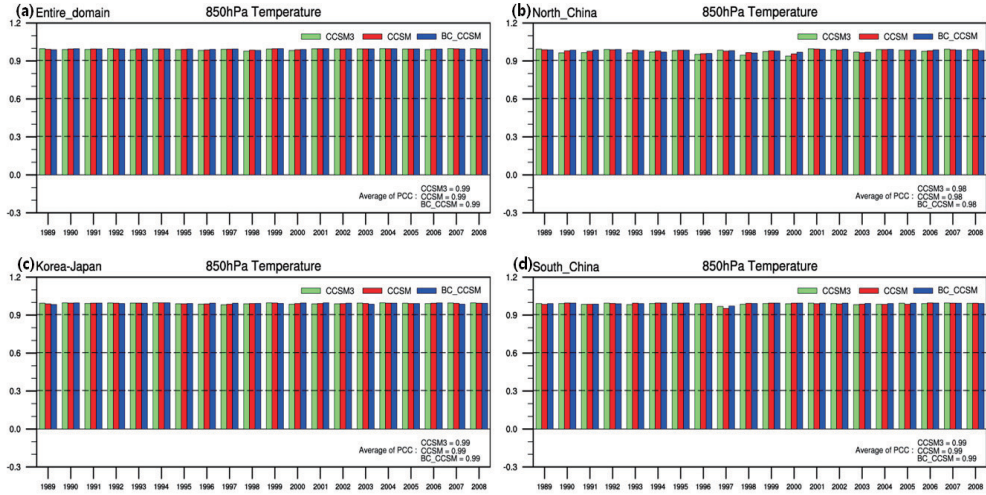


Figure 31 The pattern correlation coefficient (PCC) of the winter 850hPa temperature from 1989-2008 over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1

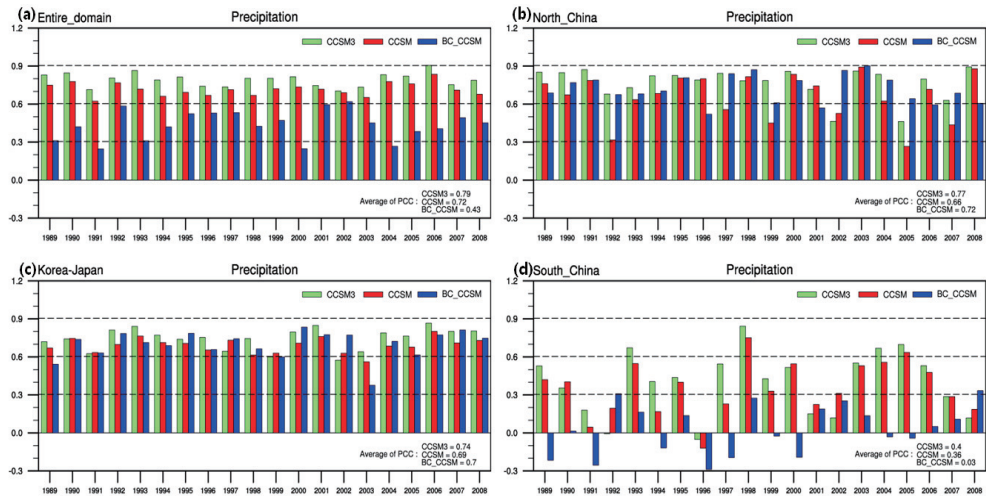


Figure 32 The pattern correlation coefficient (PCC) of the winter 850hPa temperature from 1989-2008 over (a) the entire domain, (b) North China, (c) Korea-Japan, (d) South China, sub-regions are depicted in Fig.1



APCC TECHNICAL REPORT 2012-04

- The Development of a Precipitation Retrieval Algorithm Using Multi-Satellites
- Detailed Seasonal Prediction in East Asia

APEC Climate Center

12, Centum 7-ro, Haeundae-gu, Busan 612-020,
Republic of Korea
Tel: +82-51-745-3900 Fax: +82-51-745-3949
www.apcc21.org



9 788997 333394
ISBN 978-89-97333-39-4
ISBN 978-89-97333-35-6 (세트)