



---

# PREFACE

It is our pleasure to present this report on the APEC Climate Center (APCC)'s research activities in 2013, which has been a very productive year for our Center.

APCC has expanded its research scope, in response to regional societal and scientific needs. While building expertise in climate prediction remains a priority, we are extending our reach to include policy-relevant climate applications and value-added climate information products.

APCC has accelerated efforts to better our service to the region. As one of the main services provided by APCC, the MME 3-month prediction information has been productively applied by scientists in developing countries that are unable to produce their own prediction information. Furthermore, in order to better prepare for climate-related hazards in a timely manner, APCC launched its 6-month MME prediction service in September 2013. We also began to release forecasts of the Boreal Summer Intraseasonal Oscillation (BSISO), starting from July 2013, as the world's first operational BSISO forecast service. Our researchers also achieved great success in publishing their papers in noted academic journals. Dr. Ok-Yeon Kim, for example, published a paper in *Climate Dynamics* and her research was later selected as one of the Research Highlights by another distinguished journal, *Nature Climate Change*. The following research report provides more information about our research outcomes from 2013.

We will continue to promote the best use of our research outcomes in various scientific and application areas. Our successes and achievements would not have been possible without the support of our valued partners. In this regard, I extend my thanks to you and I hope you enjoy this 2013 Research Report.

Chin-Seung Chung  
Director, APEC Climate Center

---

# CONTENTS

---

## 서태평양 대류와 연관된 동아시아 강수예측

■ 이두영 | 기후예측팀

1. 서론	4
2. 연구 자료 및 방법	6
2.1 사용 자료	6
2.2 통계적 방법	6
3. 관측에서의 서태평양 대류 활동과 동아시아 몬순 강우와의 관련성	10
3.1 서태평양 대류 활동의 특성 분석	10
3.2 EASM 지역에 대한 서태평양 대류 활동의 영향	14
3.3 서태평양 대류 활동에 대한 관측과 모델의 비교 검증	19
4. 동아시아 몬순 강우 지수 개발과 재생산 강수의 평가	20
4.1 MP 지수를 이용한 새로운 동아시아 강우 지수	20
4.2 동아시아 강우 지수를 이용한 재생산 강수의 생산 및 평가	23
5. 요약 및 결론	26



# 서태평양 대류와 연관된 동아시아 강수예측

이두영 | 기후예측팀

**ABSTRACT**

The impact of convective activity in the western tropical Pacific on rainfall over East Asia is investigated to develop a statistical and empirical method using the inter-relationship between western Pacific convection and rainfall variance in East Asia. We examine the prediction skill of the reconstructed summer rainfall over the East Asian region by applying the developed method to the individual models and multi-model ensemble (MME).

The model data used in this diagnostic study consists of seasonal retrospective forecasts for the 23-year period (1983–2005) from the seven operational coupled forecast models of the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) Climate Center (APCC). National Centers for Environmental Prediction (NCEP)-Department of Energy (DOE) Reanalysis 2, Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP) and NOAA Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 are used for the same period as observational data. The target season is summer (June–August).

The East Asian summer monsoon region is subject to complex variability and spatial and temporal structures, and is not only influenced by climate variations originating in the tropics, but also by those from mid-latitudes. In this study, for the boreal summer, lower-tropospheric circulation anomalies over the western tropical Pacific affect moisture transport into East Asia and thus have an important role in influencing precipitation in East Asia. Given this relationship, we try to overcome the limitations of dynamical model prediction for summer precipitation in East Asia.

We examine the characteristics of convection in the western Pacific affecting the East Asian monsoon rainfall. We found two types of distinct structure patterns in the western tropical Pacific. It is noteworthy that the first and second patterns are related to El Niño–Southern Oscillation (ENSO) developing and decaying mode, respectively. Normalized Maritime continent–western tropical Pacific Indices (MPIs), as the major influences on the East Asian summer rainfall, are developed using two distinct western Pacific convection related patterns. We investigate the inter-relationship, in terms of teleconnection pattern for precipitation, atmospheric low-level wind, 500 hPa geopotential height, and sea level pressure to assess the possible use of the developed MPIs. As a result, we find teleconnection patterns with a meridional tripole structure for each variable, confirming the suitability of the MPIs in representing the East Asian summer monsoon variability. These patterns remind us of the well-known Pacific–Japan (PJ) and East Asia/Pacific (EAP) teleconnection patterns. Based on these results, it turns out that MPIs are a significantly useful predictor for precipitation prediction in the East Asia region. We also find that the regressed precipitation on MPIs and the interannual variability of MPIs have a statistically significant and strong correlation with the pattern and variability of observed precipitation over East Asia.

In this study, we select the principal component time series of the first EOF mode for precipitation over East Asia as a predictand and two newly developed MP indices as predictors and develop the East Asia Rainfall Index (EARI), which indicates the interannual variability of the East Asian monsoon rainfall using a multiple linear regression method. It can be seen that the regressed rainfall pattern from EARI has better performance than those from the East Asia summer monsoon index (EASMI) or each MP index. This result demonstrates the necessity of two new MP indices



representing western Pacific convection to improve the prediction skill of East Asian precipitation. From a practical perspective as far as application to real-time forecasts, we use the leave-one-out cross-validation for each target year for the study period from 1981-2003 and obtain multiple linear regression coefficients for 23 years by calculating the observed and cross-validated EARl (EARlcv). The normalized predicted MP indices obtained from the individual climate model and MME prediction are applied to multiple regression to produce the predicted and cross-validated EARl (EARlcv). The developed EARlcv of the individual climate model and MME is applied statistically to the observed and regressed precipitation pattern to reconstruct a novel empirical predicted precipitation over the East Asia region. We evaluate the reconstructed East Asia summer precipitation of the individual models and MME, and find that the observed characteristics over East Asia are captured well. In general, the predictions of the individual models and MME using the statistical and empirical method show better performance in comparison to those of the dynamical models and MME. In addition, it can be discerned that the prediction skills of the MME are generally superior to those of individual models.

In the present study, the relatively small size of the available hindcast datasets poses a sampling limitation. In addition, we only considered climate drivers from the western tropical Pacific convection for the summer rainfall variability in East Asia, which is influenced by various climate drivers, originating not only in the tropics but also from the mid- and high-latitudes. Nonetheless, it is noteworthy that the prediction skill of the reconstructed precipitation, through the empirical method producing the predictors in a statistically significant region, has been enhanced. Based on this, the developed approach method can be applied to the current operational forecast system for further improvement of forecast information.

## 1. 서론

동아시아 지역은 전 세계적으로 유명한 몬순 기후 지역 중에 하나이며, 여름철의 경우 심각한 홍수와 가뭄의 피해 지역으로 자주 오르내리고 있다. 많은 과학자들은 동아시아 지역의 강수대와 대규모 순환장과 관련된 동아시아 여름 몬순 (East Asian summer monsoon, 이하 EASM)의 특징에 관해 연구를 진행해 오고 있다. EASM지역의 대기 순환은 열대지역으로부터의 남풍과 중위도 지역으로부터의 북풍에 의한 하층 수렴대 형성의 특징을 보이며, 여기에 더불어 아열대 고압대 북쪽에서의 상층 중위도 편서풍의 영향도 받는다.

통계적 접근 방법을 통해 어느 정도의 예측성 향상을 이룰 수도 있고 (Zhu et al.

2008; Wang and Fan 2009; Lang and Wang 2010; Ke et al. 2011; Lang 2011), 최신의 기후예측 모델들도 현재 상당한 수준에 올라 온 상황 (Wang et al. 2007, 2008, 2009)임에도 불구하고, 동아시아 여름철 강우의 계절 예측에 대한 연구는 도전할 과제이면서 아직 많은 한계에 직면해 있는 실정이다. 모델 수행으로는 아시아 지역, 특히 EASM 지역의 몬순 평균 기후장을 모사함에 있어 어려움이 있고, 여름철 평균 강수 아노말리의 큰 변동성의 예측에 부족함을 보인다는 여러 연구 결과들도 있다 (Kang et al. 2002; Kang and Shukla 2006; Wang et al. 2004, 2008, 2009; Yang et al. 2008; Liang et al. 2009, Lee et al. 2010; and many others).

동아시아 지역과 달리, 열대 및 아열대 서태평양 지역에서의 여름철 기후 아노말리 값은 상대적으로 매우 높은 예측 성능을 보이고 있다 (Lee et al. 2011; Li and Dong 2011). 이는 본 연구의 Figure 2와 3에서의 결과에서도 확인 할 수 있다. 대부분의 개별 모델들이 동아시아 지역과 비교해서 서태평양지역에서 강수 및 온도에 대한 예측 성능을 높게 모사하고 있다. 특히, MME 예측에서도 뚜렷하게 잘 보여주고 있다 (Figure 1, 2 and 3). 서태평양에서의 하층 대기 순환 아노말리가 동아시아로의 수증기 공급에 영향을 주며, 동아시아 지역의 강수형성에 영향을 미치면서 매우 중요한 역할을 하고 있기 때문에 (Nitta, 1987; Huang and Sun 1992; Lau et al. 2000; Lu 2001), 서태평양 여름 아노말리의 예측 성능은 동아시아 여름 강수의 계절 예측에서 상당한 비중을 차지하고 있다.

본 연구에서는 역학적 기후 모델을 이용한 계절 예측에 대한 한계 및 이를 극복할 가능성을 살펴본다. 그리고 서태평양과 동아시아의 여름 강우와 하층 순환에 초점을 맞추었다. 사용된 모델 자료는 APEC 기후센터 (Asia Pacific Economic Cooperation Climate Center; 이하 APCC) 에서 현업 기후 예측에 사용되는 1983-2005년의 23년간의 과거 기후 재현 자료를 이용한다. 본 연구의 목적은 EASM 강우에 영향을 미치는 서태평양 대류 활동을 이용하여, EASM 강우의 예측 성능을 좀 더 향상 시키고자 새로운 접근 방법을 모색하는데 있다. 이를 위해 EASM 강우와 서태평양 대류를 모사하는 APCC 기후 모델들의 예측 능력을 평가하고, 예측 가능한 정보를 찾아서 서태평양과 동아시아 몬순 강우의 예측성 향상을 위한 가능성을 객관적으로 파악할 것이다. 또한 예측 성능이 우수한 지역의 예측정보를 성능이 취약한 지역의 예측성 향상에 실용적으로 활용하는 것은 주목할 만한 접근 방법이라 생각된다. 연구 결과는 현업 수행에 있어서 실제 계절 예측에 도움을 줄



것이고, 현재 현업 예보 시스템의 장·단점의 이해에 유용할 것이다. 또한 본 연구의 결과는 모델 예측 결과를 제공해 주는 여러 연구 기관에 모델 성능의 개선과 유용한 모델 정보 제공에 기여 할 것이다. 2.1과 2.2장은 연구에 사용된 관측 및 모델 자료와 통계적 방법을 설명하였다. 그리고 3장에서는 서태평양 대류 활동과 동아시아 몬순 강우의 연관성과 각 모델 예측 결과로부터 서태평양에서의 대류 활동에 대한 비교 검증을 기술하였다. 동아시아 몬순 강우 지수 개발에 대한 설명과 동아시아 강우 지수를 이용한 재생산 강수의 평가는 4장에 나열하였고, 마지막으로 본 연구의 요약 및 결론은 5장에 서술하였다.

## 2. 연구 자료 및 방법

### 2.1 사용 자료

본 연구에서는 대기 중 관측 자료로 사용하기 위해서 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)-DOE (Department of Energy)에서 제공되는 위, 경도 2.5° 간격의 재분석 2 자료를 사용하였다 (Kanamitsu et al, 2002). 또한, 관측 강수 자료로 사용하기 위해 CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation; Xie and Arkin 1997) 자료를 사용하였으며, 해수면 온도로는 NOAA에서 제공하는 OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature; Reynolds et al, 2002) V2를 이용하였다. 본 연구의 자료 사용 기간은 1983-2005년의 23년간이며, 계절은 여름철 (June-August(JJA))을 목표로 삼았다. 본 모델 진단 연구에서 사용된 모델 자료는 관측과 같은 기간 내에서 APCC 현업 시스템에서 제공하는 계절 예측 과거 재현 자료 (hindcast)를 이용하였다. 사용된 모든 모델들은 7개의 해양-대기 접합 모델들이며 관련 정보는 Table 1에 서술되어 있다.

### 2.2 통계적 방법

본 연구에서는 개별 모델들의 앙상블 평균 예측에 동일한 가중치를 부여하는 것으로 알려진 SCM (simple composite method; Peng et al, 2002; Kang et al, 2009; Lee

et al. 2008, 2009, 2011, 2013a, b) 기법을 채택하였다. 이 기법의 성능은 현업으로 사용 중인 다른 방법들 중에 가장 우수한 MME 기법중의 하나이다 (Lee et al. 2009). 앞으로 본 연구에서 사용하는 MME는 다른 설명이 없는 한 SCM 기법을 의미한다.

관측과의 상관관계에 대한 통계적 유의성을 계산하기 위하여 스튜던트  $t$  검정 (two-tailed Student's  $t$  test) 을 도입하였다 (Wiks 1995; Spiegel and Stephens 2008). 23년의 연구 기간 ( $N=23$ )에 따라 시간적 상관관계에 대한 자유도 (degree of freedom)는  $N-2$ 로 계산되어 21개를 취하였다.

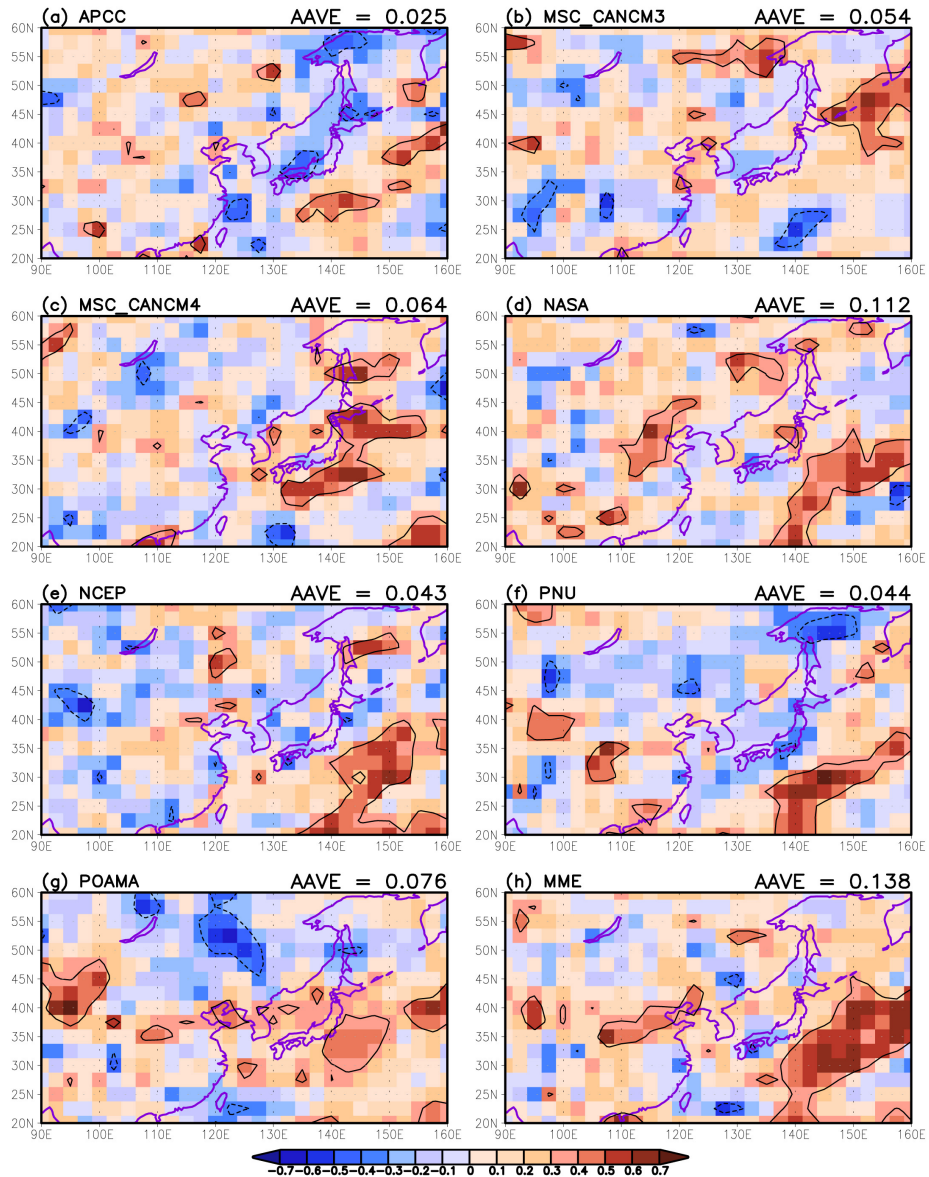
그리고 MME 결과들은 기본적인 leave-one-out 교차 검증 (cross-validation; Michaelsen 1987; Jolliffe and Stephenson 2003; WMO 2006; Lee et al. 2013a, b) 방법을 통해 얻은 모델 예측 아노말리에 편차 보정 (bias correction; Lee et al. 2009, 2011)을 적용하여 생산하였다. 또한 관측뿐만 아니라 각 모델 변수에 대한 계절 예측 아노말리의 계산에도 교차 검증방법을 사용하였다.

**Table 1** Description of the coupled atmosphere-ocean general circulation models used

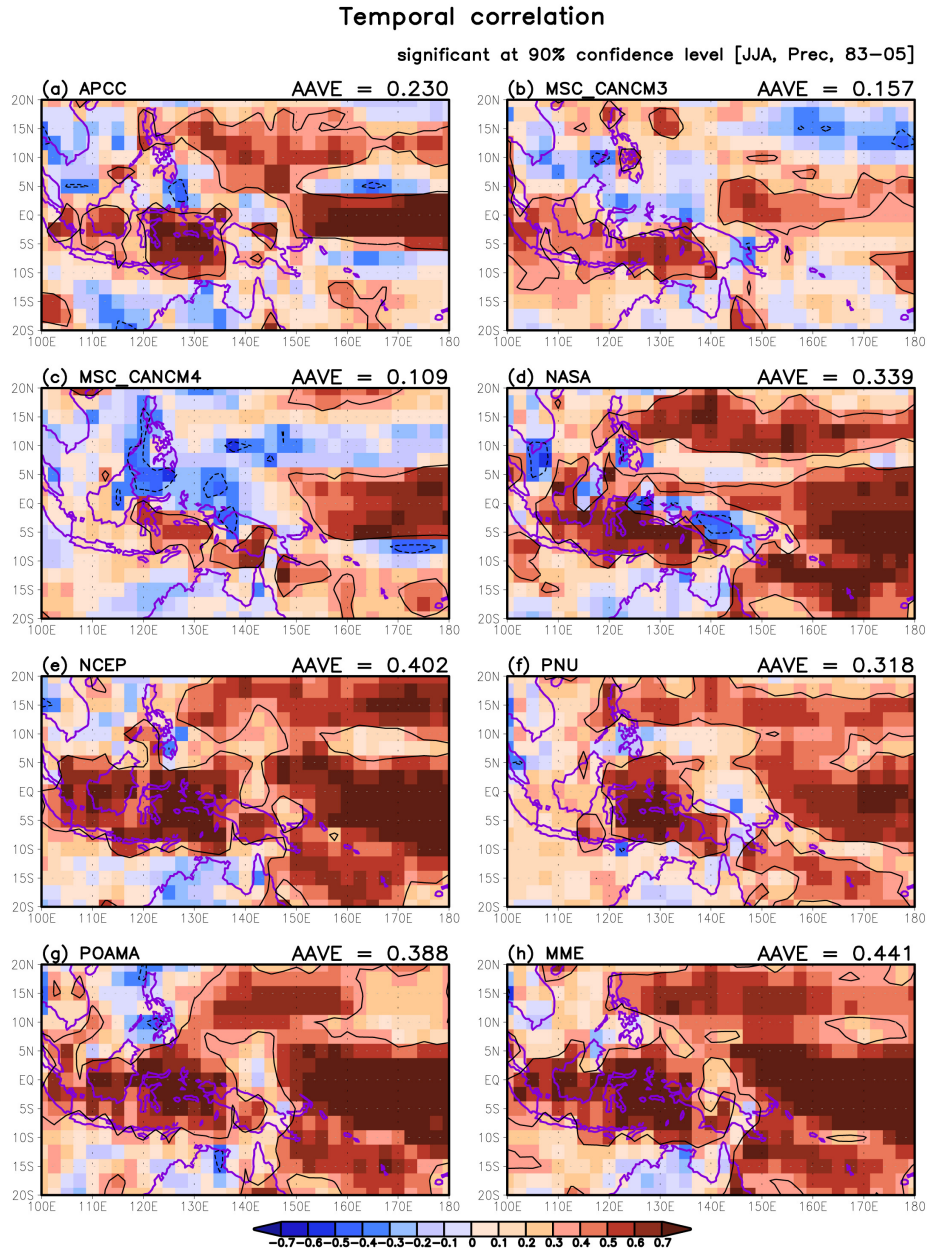
Institutes	Model Name	AGCM	Resolution	OGCM	Resolution	Ensemble Member
APCC	APCC-CCSM3	CAM3	T85L26	POP 1.3	gxlv3_L40	10
MSC	MSC_CANCM3	AGCM3	T63L31	OGCM4	0.94°lat x 1.41°lon L40	10
MSC	MSC_CANCM4	AGCM4	T63L35	OGCM4	0.94°lat x 1.41°lon L40	10
NASA GSFC	NASA	GEOS-5	288x181L72	MOM4	720x410 L40	9
NCEP	NCEP (CFSv2)	GFS	T126L64	MOM4	0.25° at the tropics, 0.5° northwards and southwards of 10°N and 10°S, L40	20
PNU	PNU	CCM3	T42L18	MOM3	-0.7 (low lat) -1.4 (mid lat) and -2.8 (high lat) L29	10
BOM	POAMA (v2.4)	BAM v3.0d	T47L17	ACOM2	0.5-1.5°lat x 2°lon L25	30

### Temporal correlation

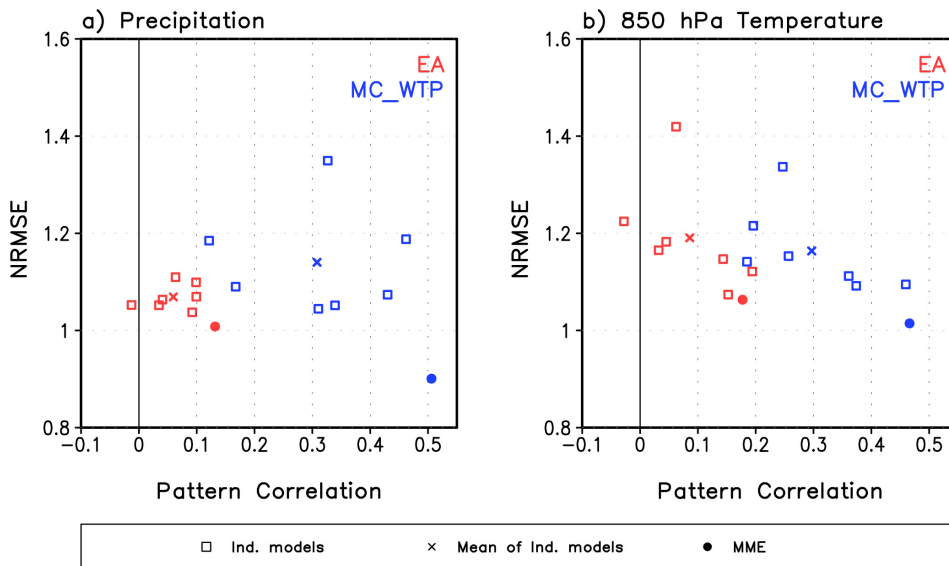
significant at 90% confidence level [JJA, Prec, 83–05]



**Figure 1** Temporal correlation coefficients between the observed and predicted precipitation over the East Asian (90°E–160°E, 20°–60°N) region from individual models and MME. The contour line depicts the region of significant correlation (0.352) at the 90% confidence level from a two-tailed Student’s t test. The term AAVE stands for area averaged temporal correlations of each model and MME.



**Figure 2** As in Fig. 1, but for the western Pacific (100°E-180°E, 20°S-20°N) region.



**Figure 3** Scatter diagram between the spatial correlation skills and normalized root mean square errors (NRMSEs) for precipitation (left) and temperature at 850 hPa (right) over the two regions of the East Asia (red) and western Pacific (blue) derived from the individual model and MME predictions.

### 3. 관측에서의 서태평양 대류 활동과 동아시아 몬순 강우와의 관련성

#### 3.1 서태평양 대류 활동의 특성 분석

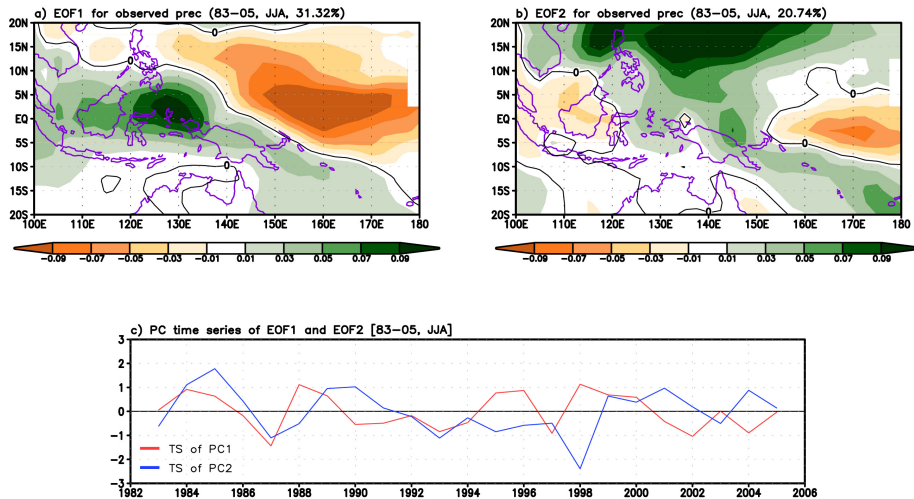
열대 서태평양 지역에서의 하층 순환장이 동아시아 지역의 강수 변동성에 중요한 영향을 미친다는 사실은 여러 연구 결과들로부터 보고되고 있다 (Nitta 1987; Huang and Sun 1992; Lau et al. 2000; Lu 2001). 이에 본 연구에서는 서태평양 지역의 대류 활동에 대한 열적 원인이 동아시아 지역 여름 강수와 밀접한 연관성이 있을 것이라고 가정하고 두 지역 사이의 경험적 관련성을 파악한다면, 실제 동아시아 여름철 강수 예측 향상에 도움이 될 것이라 생각하였다. 먼저, 경험적 관련성 파악에 앞서 현재 사용하고 있는 기후예측 모델들과 MME 결과들의 강수에 대한 예측 성능을 살펴보았다.

Figure 1은 1983년부터 2005년까지 23년 기간 동안 동아시아 (East Asia; EA; 90°E-

160°E, 20°-60°N) 지역에 대한 개별 모델 및 MME 결과에 대한 동시 상관관계 (Temporal Correlation Coefficient; TCC)를 나타낸 것이다. 전반적으로 대부분의 모델들에서, 육지 지역의 예측 성능이 해양 지역의 예측 성능에 비해 낮은 결과를 보이고 있다. 대부분의 모델들의 지역 평균 예측 성능이 매우 낮게 나타나고 있으나, MME의 결과에서 다소 성능의 향상을 보이고 있다. 하지만, 본 연구 결과는 여전히 중위도 지역인 동아시아 지역의 강수 예측 개선의 절실함을 깨닫게 하고 있다. 이와 같은 우려와는 달리, Figure 2의 열대 서태평양 (Maritime Continent\_Western Tropical Pacific; MC\_WTP; 100°E-180°E, 20S°-20°N) 지역에 대한 동시 상관관계의 결과는 상당히 의미 있는 결과를 나타내고 있다. 대부분의 모델 예측 결과들이 높은 예측성을 보이고 있으며, 특히 MME의 경우 지역 평균 예측 성능이 신뢰수준 90%에서 통계적으로 의미 있는 0.4 이상을 상회하고 있다. 하지만, 다른 예측 모델들과 달리 MSC\_CANCM3와 MSC\_CANCM4의 경우 다소 성능이 떨어지는 경향을 보이며, NCEP 모델의 경우 서태평양 지역에서 매우 우수한 성능을 보인다. Figure 3에서는 앞서 설명된 두 지역 사이의 공간 상관관계 (Pattern Correlation Coefficient; PCC)와 표준 평균 제곱근 오차 (Normalized Root Mean Squared Error; NRMSE)의 분포를 한눈에 살펴보기 위해 산포도 (scatter diagram)를 이용하였다. 또한 강수뿐만 아니라 850 hPa 온도도 같이 살펴보았으며, 그 결과 두 지역 사이의 모델 및 MME 예측에 있어 성능의 확연한 차이가 나타남을 알 수 있었다. 그리고 두 지역 사이의 MME 결과의 비교를 통해서 NRMSE에 비해 PCC의 경우 두 지역 사이의 성능 차이가 좀 더 크게 발생함을 알 수 있었다. 또한 강수에 대한 두 지역 사이의 예측 성능 차이가 온도에 대한 두 지역 사이의 예측 성능 차보다 훨씬 크게 나타나고 있었다.

위 결과와 같이, 서태평양 지역에서 강수에 대한 관측과 모델 예측결과 사이의 밀접한 관련성을 기반으로, 서태평양 대류 활동의 특성 및 경년변동을 살펴보기 위해 강수에 대한 경험적 직교함수 (Empirical Orthogonal Function; EOF)의 분석 방법을 적용하였다. 이를 통해 서태평양 지역에서 발생하는 대류 활동으로 표현되는 주요 강수 패턴을 살펴 볼 수 있었다. Figure 4는 관측 강수에 대한 EOF 첫 번째와 두 번째 모드에 대한 공간 패턴과 주성분 (Principal component; PC) 시계열을 나타내며, 두 EOF 모드의 변동성은 약 50% 이상을 나타내고 있다. EOF 첫 번째 모드에서는 동서방향의 양극 모드 (zonal dipole mode) 형태가 발생하고 있으며, 그 양극의 중심은 각각 필리핀 남쪽 (양의 모드)의 적도와 경도

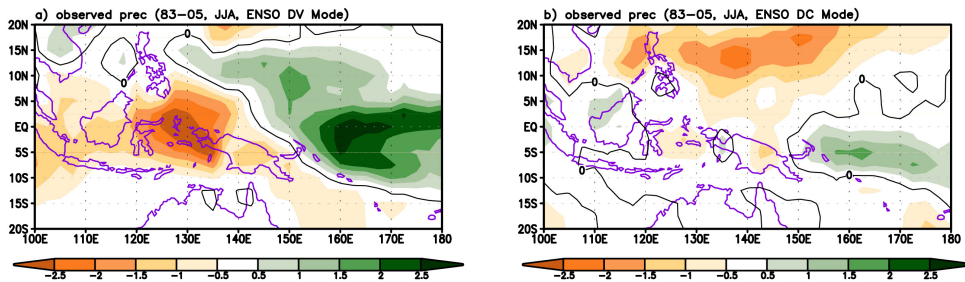
130°E 부근과 서태평양 (음의 모드)의 경도 160°E 부근에 위치하고 있다. 두 번째 모드에서는 동서와 남북 방향 사이의 삼극 모드 (tripole mode) 구조를 보이고 있다. 가장 큰 양의 모드 중심은 필리핀 해 부근 (15°N, 130°E)에 위치해 있으며, 적도의 보르네오 섬 (115°E)과 서태평양 부근의 170°E 근처에는 음의 모드 중심이 위치해 있다. 그리고 EOF 주요 모드에 대한 교차검증 (cross-validation)을 해 보았을 경우 Figure 4a, b와 큰 차이를 보이지 않았으나 몇몇 해에 있어서 변동성의 차이가 있음을 보였다 (Figure A1 and A2).



**Figure 4** The distribution of the spatial pattern of (a) the first and (b) the second EOF mode for the observed precipitation. (c) The principal component time series of the first (red line) and the second (blue line) EOF mode.

열대 서태평양 대류 현상에 대한 엘니뇨-남방진동 (El Niño-Southern Oscillation; ENSO)의 효과와 관련성을 살펴보고자 ENSO 발달 모드 (ENSO developing mode; ENSO DV)와 ENSO 소멸 모드 (ENSO decaying mode; ENSO DC)로 나누어 여름철 강수 아노말리에 대한 합성 분석 (composite analysis)을 시도하였다. ENSO DV와 DC로 나누는 기준으로 Niño 3.4 지수를 사용한 Wu et al. (2009)을 참고하였다. 분류된 ENSO DV에는 7번의 여름 (El Niño: 1987, 1991, 1994, 1997, 2002, 2004, La Niña: 1999)이 포함되었고, ENSO DC 여름에는 13번의 소멸 해 (El Niño: 1983, 1988, 1992, 1995, 1998, 2003, 2005, La Niña: 1984, 1985, 1989, 1996, 2000, 2001)가 포함되었다. 그 결과, Figure 4와

동일한 영역인 서태평양 지역에 대하여 Figure 5a, b와 같이 강수 아노말리에 대한 합성 분석을 이용하여 각 패턴을 구하였고, Figure 4의 EOF 분석 결과와 매우 유사함을 발견할 수 있었다. 더구나 ENSO DV와 Figure 4a의 EOF 첫 번째 모드 사이의 PCC는  $-0.861$ 이었으며, ENSO DC와 EOF 두 번째 모드 (Figure 4b) 사이에는  $-0.816$ 의 PCC를 나타내는 매우 강한 연관성을 보였다. 요약하자면, 본 결과는 서태평양 지역의 대류를 표현하는 여름철 강수의 주요 패턴이 동일 시기의 동태평양 ENSO의 발달 및 소멸과 매우 밀접한 연관이 있음을 입증하는 증거자료가 될 수 있다.



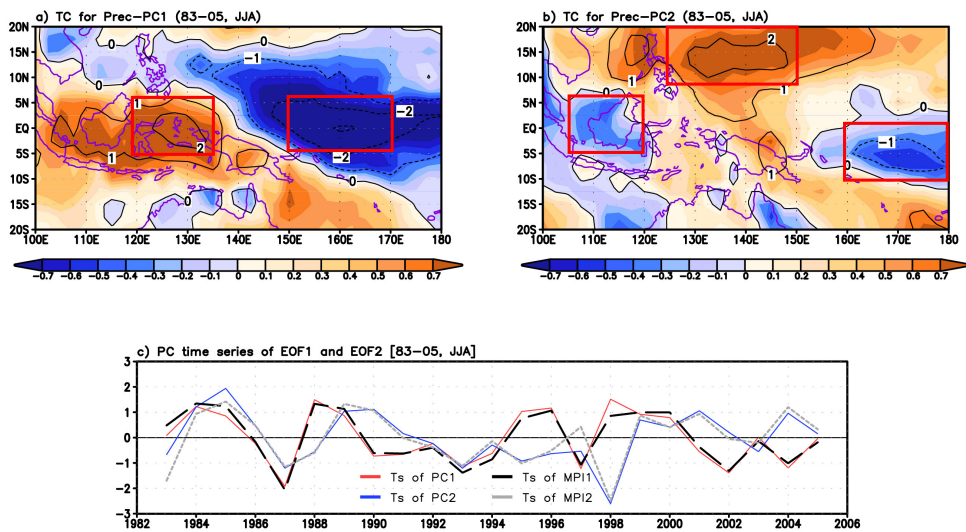
**Figure 5** Composite patterns of precipitation anomalies ( $\text{mm day}^{-1}$ ) for (a) ENSO developing summers and (b) ENSO decaying summers.

실제 열대 서태평양 지역에서의 대류 활동을 보다 쉽게 활용하기 위해, Figure 4의 EOF 분석을 통한 두 가지 주성분을 사용하지 않고, 주성분의 특징을 잘 묘사하는 열대 서태평양 지역의 강수 패턴을 직접 이용하는 방법을 선택하고자 Figure 6과 같은 결과를 생산하여 이용하였다. Figure 6은 Figure 4c의 표준화된 두 PC 시계열 (normalized PC time series)을 각각 강수 패턴에 적용하여 TCC와 회귀 패턴의 분포를 구한 결과이다. 각 PC에 대한 TCC와 회귀패턴은 서로 유사하게 나타났으며, Figure 4a와 b의 EOF 모드들과 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 본 결과의 dipole 모드 (Figure 6a, 식 1)와 tripole 모드 (Figure 6b, 식 2) 형태의 주요 패턴에서 면적 평균 강수 아노말리 차이로 정의한 표준화된 지수인 MPI (Normalized Maritime continent–western tropical Pacific Index)를 생성하였고, 그 결과를 Figure 6c에 두 가지 PC 시계열과 함께 나타내었다. 표준화는 각 MPI의 표준편차 (standard deviation)를 이용하였다. 그리고 각 MPI와 PC 시계열 사이의 TCC를 살펴 본 결과 MPI1과 PC1은  $0.972$ 이며, MPI2와 PC2 사이에는  $0.938$ 로

거의 일치하는 모습을 보였다. 더불어 두 PC 시계열 사이의 상관계수와 두 MPI 사이의 상관계수 또한 서로 유사하게 직교 함수의 특성을 보이고 있다.

$$\text{MPI1} = \text{PREC}_{(5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}-135^{\circ}\text{E})} - \text{PREC}_{(5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}, 150^{\circ}-170^{\circ}\text{E})} \quad (1)$$

$$\text{MPI2} = \text{PREC}_{(10^{\circ}-20^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}-150^{\circ}\text{E})} - 0.5\text{PREC}_{(5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}, 105^{\circ}-120^{\circ}\text{E})} - 0.5\text{PREC}_{(10^{\circ}\text{S}-0^{\circ}, 160^{\circ}\text{E}-180^{\circ})} \quad (2)$$

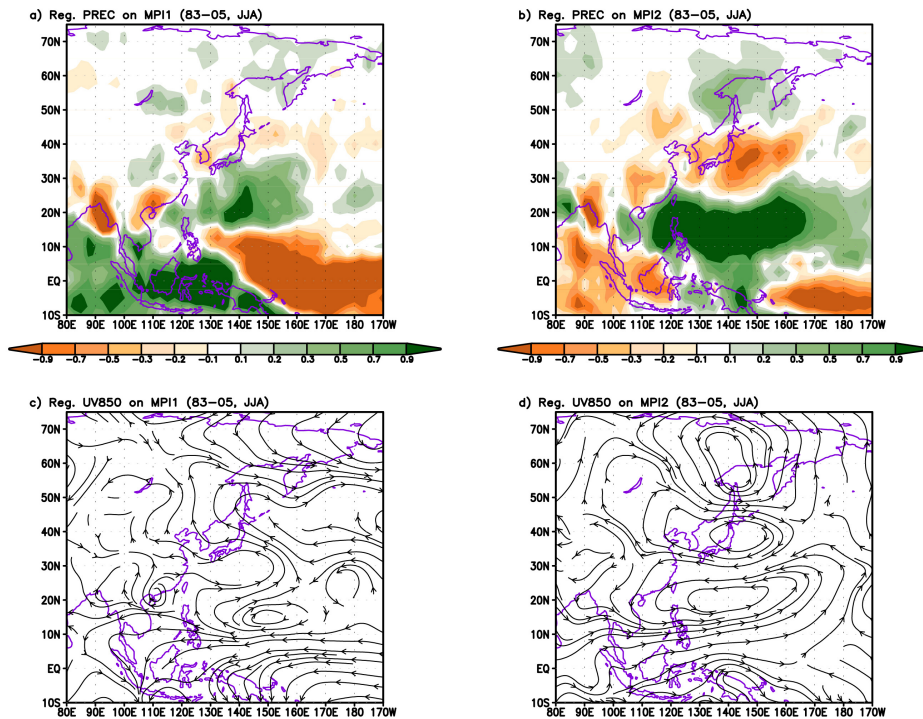


**Figure 6** The spatial distribution of temporal correlation coefficients (shaded) and regressed patterns (contour) between the observed precipitation and normalized principal component (PC) time series of (a) the first and (b) the second EOF mode for the observed precipitation. (c) The corresponding normalized PC time series of the first (red line) and the second (blue line) EOF mode, and normalized MP indices obtained by the area-averaged precipitation anomaly differences.

### 3.2 EASM 지역에 대한 서태평양 대류 활동의 영향

앞서 개발된 MPIs를 이용하여 열대 서태평양 지역의 대류 활동이 EASM 지역의 강우와 바람장 순환에 미치는 영향을 살펴보면서 MPI의 사용에 대한 객관적 검증을 수행하였다 (Figure 7). Figure 7a와 b의 경우 남북방향의 tripole 구조를 보이며 다소 비슷한 형태를 나타내고 있다. 특히, 중국의 동부지역, 한반도, 일본과 일본 동쪽 해역을 가로지르는 동서방향 밴드와 남쪽으로는 남중국해, 필리핀 해를 포함하는 서태평양 부근, 북쪽으로는

오호츠크 해 부근의 반대 부호를 갖는 패턴들이 Figure 7b에서 나타나고 있는데, 이는 Nitta (1987)에 의해 제안된 Pacific-Japan (PJ) 패턴으로 많이 알려져 있다. 그리고 Figure 7a의 경우 PJ 패턴이 다소 전체적으로 약간 북쪽으로 치우치며 이동된 형태처럼 보인다. Figure 7d의 바람장의 경우 강수의 회귀패턴과 유사하게, 한반도와 일본 상공에서는 고기압성 흐름이, 그 남쪽과 북쪽에는 저기압성 흐름이 발생하는 모습을 나타내고 있다.

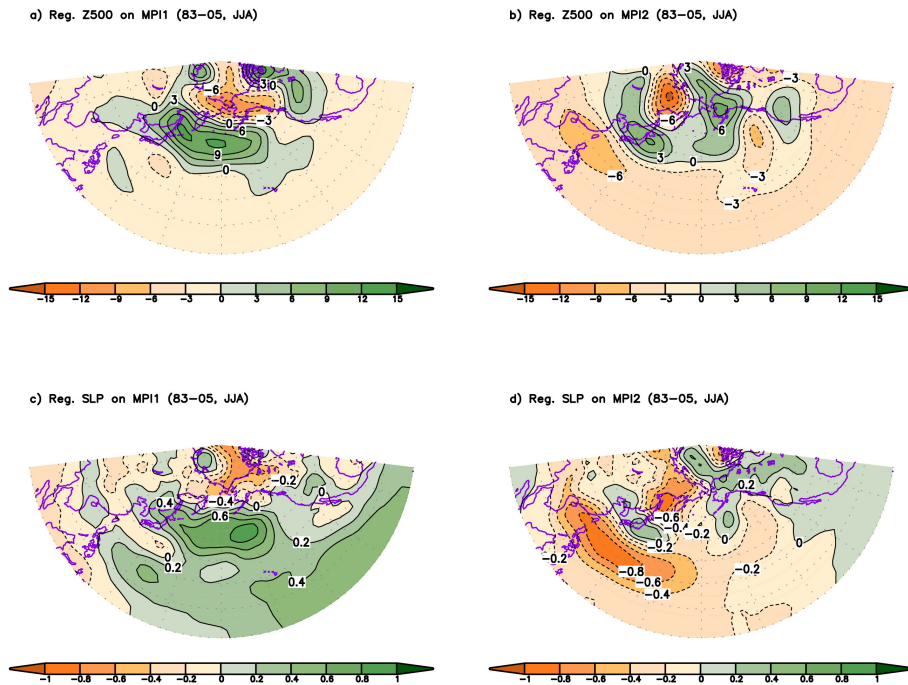


**Figure 7** The spatial distribution of regressed (a) precipitation ( $\text{mm day}^{-1}$ ) and (c) 850 hPa wind circulation pattern on the normalized MPI1. (b) and (d) As in (a) and (c), but for the normalized MPI2.

Figure 8에서는 서태평양 지역에서의 MPI가 동아시아 지역 부근의 해수면 기압 및 상층 기압 패턴에 어떻게 영향을 미치고 있는지를 보여주고 있다. 500 hPa에서의 기압 패턴을 살펴보면, 필리핀 부근에서 시작하여 한반도를 포함한 일본 부근을 지나 알류산 열도를 넘어 가면서 북미 대륙으로 진행해 가는 원격상관 패턴을 보이고 있다 (Figure



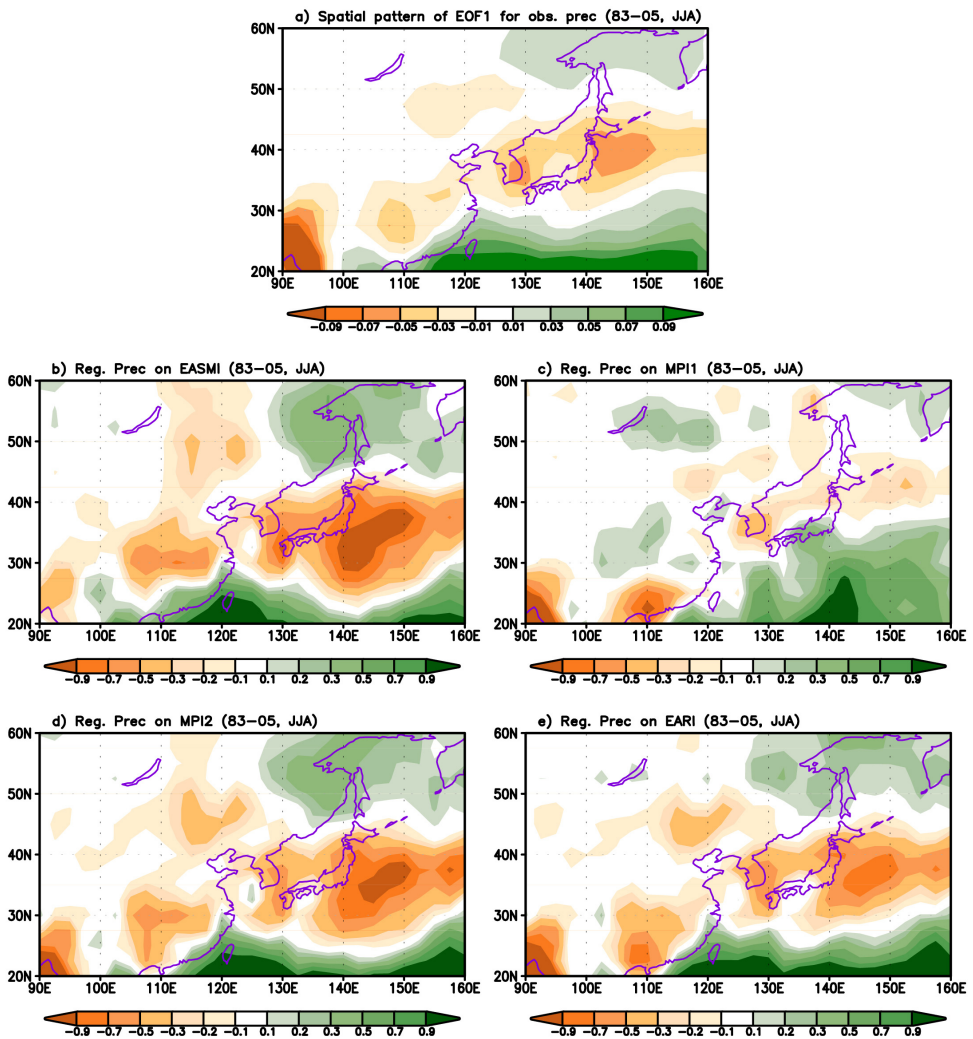
8a, b). 이와 같은 패턴은 해수면 기압에서도 유사하게 나타나고 있으나 상층 기압 패턴에 비해 다소 약한 모습을 보이고 있다 (Figure 8c, d). 또한 본 연구의 강수나 상층 기압 배치의 원격상관 패턴은 Huang and Sun (1992)의 EAP (East Asia/Pacific) 패턴이나 Huang (2004)의 EAP 지수에 의한 원격상관 패턴 결과와 매우 유사하게 나타나고 있다.



**Figure 8** The spatial distribution of regressed (a) 500 hPa geopotential height and (c) sea level pressure pattern on the normalized MPI1. (b) and (d) As in (a) and (c), but for the normalized MPI2.

앞선 연구 결과에서는 EASM 지역에 미치는 영향에 대한 MPI의 사용 가능성에 관하여 객관적으로 입증하였다. 동아시아 지역의 강수 패턴과 경년 변동성에 관한 주요 특징을 서태평양 대류현상을 나타내는 MPI에 의해 영향을 받는 동아시아 지역의 회귀 강수 패턴이 어느 정도의 표현을 하는지 살펴보고자한다 (Figure 9, 10). Figure 9는 Wang and Fan (1999)에 의한 850 hPa의 지역평균 동서바람의 차이를 이용한 동아시아 여름 몬순 지수 (East Asia summer monsoon index; 이하 EASMI)와 MPI1과 MPI2에 관한 회귀 강수 패턴과 동아시아 지역에 대한 EOF 첫 번째 모드 (변동성 크기: 26.56%)의 분포 패턴

을 상호 비교 하였다. 그리고 Figure 10에서는 위에서 언급한 각각의 지수들의 경년 변동성에 대해 살펴보았으며, 또한 각 패턴 및 경년 변동에 관한 PCC와 TCC를 Table 2에 서술하였다. 참고로, 동아시아 강수 지수인 EARI (East Asian Rainfall Index)에 관한 자세한 설명은 4.1 장에서 할 것이다.



**Figure 9** The spatial distribution of (a) the first EOF mode for the observed precipitation over the East Asia and regressed precipitation ( $\text{mm day}^{-1}$ ) pattern on the normalized (b) EASMI, (c) MPI1, (d) MPI2 and (e) EARI.

Table 2를 살펴보면, 실제 EASMI를 이용한 강수 패턴보다 MPI를 적용한 강수 패턴이 동아시아 지역의 EOF 첫 번째 모드 패턴과 더욱 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉, EASMI에 관한 회귀강수 패턴과 EOF 패턴과의 상관성은 0.6정도이지만 MPI를 적용한 경우는 0.7이나 그 이상의 관련성을 보이고 있었다. EASMI에 관한 회귀강수 패턴은 MPI1과는 거의 유사성을 찾아 볼 수 없었으나, MPI2에 관한 회귀강수 패턴과는 0.9 이상의 값을 갖는 매우 비슷한 형태를 보이고 있었다. 각 지수들의 경년 변동에 관한 상호 연관성을 살펴본 Figure 10에서는 EASMI (2.5-4년 주기)를 제외한 각 지수들이 준 4-5년 주기의 변동성을 보이는 것을 발견 할 수 있었다 (Figure A3). 각 지수들 사이의 상호 TCC를 살펴본 Table 2를 보면, EOF PC1과 MPI2사이의 관련성이 0.75 정도로 다른 EASMI와 MPI1보다 매우 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 그리고 앞서 설명된 회귀강수 패턴의 비교와 마찬가지로 EASMI는 MPI2와 보다 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다. 즉, Wang and Fan (1999)의 EASMI가 서태평양 지역의 대류 현상의 특징으로 나타나는 강수의 두 번째 모드인 tripole 구조와 매우 관련성이 높음을 시사하고 있다.

지금까지 서태평양 지역의 대류 활동으로 표현한 강수의 주요 패턴을 이용하여 생산된 관측의 MPIs를 이용하여 실제 동아시아 몬순 지역의 강수와 연관성을 살펴보면서 동아시아 지역의 강수 예측에 예측인자 (predictor)로서 얼마나 유용한 요소인지를 살펴보았다. 다음 장에서는 앞서 검증 생산된 관측의 MPIs와 기후예측 모델들의 MPIs 사이에 상호 비교를 한 결과를 서술하였다.

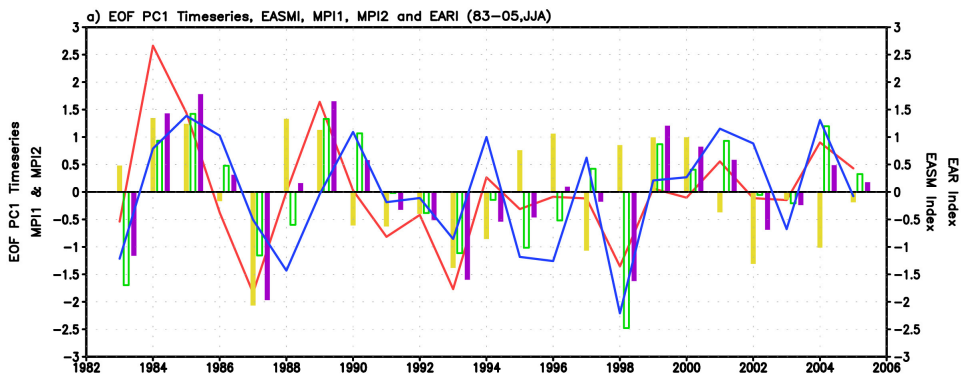


Figure 10 Interannual variation of normalized PC time series of the first EOF mode (red line) for observed precipitation, the normalized EASMI (blue line), MPI1 (yellow bars), MPI2 (green bars) and EAR1 (violet bars).

**Table 2** (Upper triangle) Inter-spatial pattern correlation between the spatial pattern of the first EOF mode for the observed precipitation and regressed precipitation patterns on the observed various indices. (Lower triangle) Inter-temporal correlation between the principal component time series of the first EOF mode for the observed precipitation and the observed various indices.

	EOF 1st mode / PC1	Reg. Prec. on / EASMI	Reg. Prec. on / MPI1	Reg. Prec. on / MPI2	Reg. Prec. on / EARI
EOF 1st mode / PC1		0.611	0.699	0.765	0.875
Reg. Prec. on / EASMI	0.540		0.066	0.920	0.749
Reg. Prec. on / MPI1	0.490	-0.268		0.373	0.684
Reg. Prec. on / MPI2	0.746	0.837	0.098		0.932
Reg. Prec. on / EARI	0.855	0.558	0.572	0.872	

### 3.3 서태평양 대류 활동에 대한 관측과 모델의 비교 검증

실제 Figure 2에서 보여 주었던 서태평양 지역에서의 모델과 관측의 높은 강수 관련성이, 서태평양 지역의 강수현상의 특징을 뽑아낸 MPIs에 대한 관측과 모델의 비교에서도 그 관련성이 잘 나타나는지를 분석하였다. 동아시아 지역의 강수 예측에 있어서 각 모델 및 MME의 예측 결과로부터 얻은 MPIs를 예측 인자로서 적절히 사용하게 된다면, 관측에서 얻은 동아시아와 서태평양 대류 활동의 연관성을 통해 실제 동아시아 지역 강수 예측에 보다 향상된 예측 성능을 얻을 수 있을 것으로 판단되어 진다.

Figure 11과 Table 3에서는 관측을 통해 개발된 MPIs를 개별 모델 및 MME 예측 결과를 이용하여 생산하고, 그 결과를 TCC를 통해 비교하였다. 전반적인 MPIs의 경년 변동성이 관측과 개별 모델들 그리고 MME 예측 결과가 유사하게 분포하고 있으며 (Figure 11), Table 3의 TCC 결과를 보시다시피 대부분의 모델들 및 MME 예측 결과들에서 MPI1이 MPI2의 결과에 비해 다소 높은 경향을 보이고 있다. 다만, NASA 모델의 경우 둘의 차이에 있어 MPI2의 예측 성능이 높게 나타나고 있다. 그리고 MSC의 두 모델인 MSC\_CANCM3와 MSC\_CANCM4의 예측 결과를 통한 MPIs 값이 다른 모델들에 비해 다소 성능이 낮은 결과를 보였다. MSC\_CANCM3의 경우 MPI1에서 0.35정도이며, MPI2에서 -0.12였으며, MSC\_CANCM4의 경우 MPI2의 경우 0.11정도로 관측과 상관성이 매우 낮게 나타났다. 개별 모델 중에서 MPI1의 경우 APCC 모델의 예측 결과가 가장 높은 0.86의 값을 보였고,



MPI2의 경우에는 NASA 모델의 예측 결과가 0.83으로 가장 높은 성능을 보였다. MME의 경우에는 MPI1과 MPI2에 대해 각각 약 0.90과 0.74로 상당히 높은 성능을 보이며, 개별 모델들의 MPIs와 비교했을 때 그 성능의 우수성이 두드러지게 나타났다 (Table 3).

## 4. 동아시아 몬순 강우 지수 개발과 재생산 강수의 평가

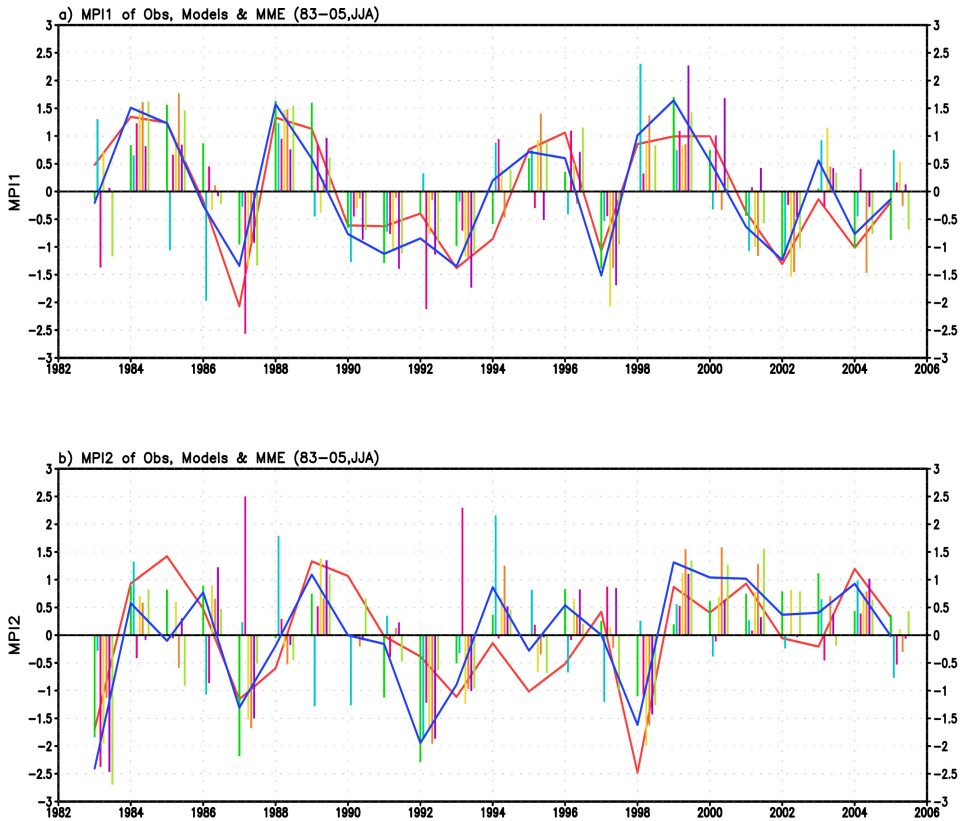
### 4.1 MP 지수를 이용한 새로운 동아시아 강우 지수

이전까지 열대 서태평양 지역의 대류 활동에 대한 주요 특징을 표현하는 MPIs의 생산과 검증을 수행하였다. 또한 MPIs에 의한 동아시아 지역에 미치는 영향을 살펴보고 동아시아 지역 강수 예측에 MPIs를 예측인자로 사용 할 수 있는지에 대한 잠재적 능력을 조사하였다. 그리하여 이번 장에서는 실제 예측인자 (predictor)로서 MPIs를 이용하여 동아시아 지역 강수 예측을 수행하기 위해 다중 선형 회귀 (Multiple Linear Regression) 방법을 이용한 새로운 동아시아 강우 지수 (East Asian Rainfall Index; EARI)를 개발하였다. 예측변수 (predictand)로서 관측의 동아시아 지역 강우의 표준화된 EOF PC1 (Normalized PC1)과 관측의 표준화된 MPIs를 예측인자로 이용하여 다중 선형 회귀 계수를 계산하였으며, 아래와 같이 동아시아 여름 몬순 강우 경년 변동성을 나타내는 동아시아 강우 지수 (EARI)를 나타내었다 (식 3).

$$\text{EARI} = 0.411 \times \text{MPI1} + 0.689 \times \text{MPI2} \quad (3)$$

개발된 EARI와 EOF PC1 사이의 시간 상관관계가 0.85 이상으로 매우 높은 관련성을 보이는 것을 발견하였고 (Table 2, Figure 10), EARI에 대한 회귀강수의 경우는 0.87 이상의 상당히 의미 있는 공간 상관관계를 나타내었다 (Table 2, Figure 9). 이 결과는 EASMI나 개별 MPIs를 사용한 경우와 비교해 훨씬 향상된 높은 상관성을 갖고 있음을 보여주며, 실제 동아시아 강수 예측에 있어서 두 MP 지수의 사용을 고려할 필요성을 일깨워주고 있다. 과거 자료에 대한 검증을 통한 실용성 파악을 위해 관측의 EARI의 계산에 있어서 23년간의 자료에 대한 교차 검증 (cross-validation)을 수행하였다. 그 결과, 교차 검증된

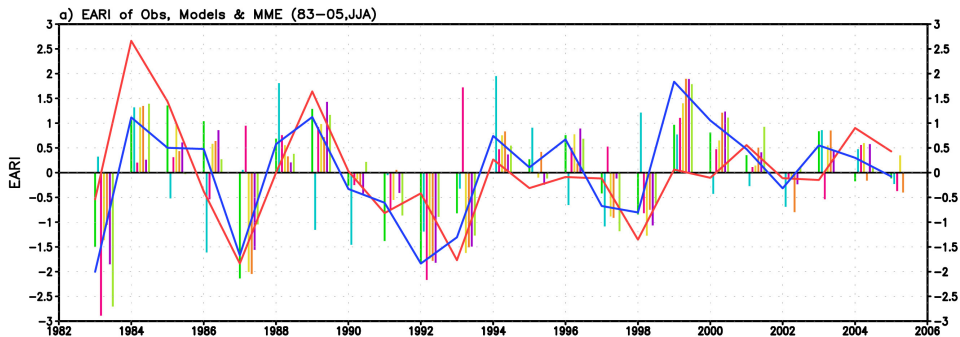
관측의 EARI (cross-validated EARI; EARIcv)와 EOF PC1 사이의 TCC의 값이 0.848 정도로 교차 검증을 하지 않았을 때 (Table 2에서 0.855)와 거의 차이를 보이지 않았다.



**Figure 11** Comparison of (a) the normalized MPI1 between observation (red line), individual models (bars) and MME (blue line). (b) As in (a), but for the normalized MPI2.

**Table 3** Temporal correlation between MP indices of observation and those of individual models / MME

	APCC	MSC_ CANCM3	MSC_ CANCM4	NASA	NCEP	PNU	POAMA	MME
OBS (MPI1)	0.858	0.347	0.638	0.766	0.804	0.749	0.842	0.899
OBS (MPI2)	0.626	-0.120	0.107	0.831	0.630	0.721	0.691	0.742



**Figure 12** Comparison of (a) the normalized EOF PC1 (red line) for observed precipitation over the East Asia with normalized and cross-validated EARIs of individual models (bars) and MME (blue line).

**Table 4** Temporal correlation between the principal component time series of the first EOF mode for the observed precipitation and normalized EARIcv of individual models / MME

	APCC	MSC_ CANCM3	MSC_ CANCM4	NASA	NCEP	PNU	POAMA	MME
OBS (PC1)	0.671	0.055	0.113	0.762	0.606	0.584	0.603	0.643

관측에서의 서태평양 대류 활동과 동아시아 강수사이의 연관성을 개별 기후 모델 및 MME 예측 결과에 실용적으로 적용하기 위해, 관측의 교차 검증 과정에서 생산된 23년에 대한 교차 검증 회귀 계수와 개별 기후 모델 및 MME의 표준화된 MPIs를 이용하여 모델 및 MME의 교차 검증된 동아시아 강수 지수인 EARIcvm (cross-validated EARI in individual models / MME)을 생산하였고, 이에 대한 표준화된 결과를 관측의 동아시아 지역의 표준화된 EOF PC1과 함께 Figure 12와 Table 4에 나타내었다. 개별 모델들 중에서는 NASA와 APCC 모델의 EARIcvm가 관측과 유사하게 나타났으며, 각각 0.76과 0.67 정도로 TCC 또한 높게 나타났고, 두 종류의 MSC 모델의 경우 다소 낮은 성능을 유지하고 있었다. 이 결과는, Table 3에서의 MPIs의 성능이 EARIcvm에 그대로 반영된 것으로 보인다. 또한 주목할 만한 사실은 전반적으로 MME의 TCC값이 0.64로 개별 모델인 APCC와 NASA에 비해 다소 낮은 성능을 보이는 것이다. 이는 두 MSC의 영향이 반영이 되어서 나타난 결과 일 것으로 예상된다. 그리하여 개별 모델들 중에서 MPIs와 EARIcvm의 결과가 좋지 않은 MSC 모델을 제외하고, 5개의 모델들을 이용한 MME의 EARIcvm 생산하였고, 기존의 7개의 모델을 이용한 MME의 EARIcvm 결과와 비교하였다. 그 결과, 강수의

변동성에 대한 상관관계가 0.66으로 다소 향상된 결과를 볼 수 있었다 (결과 미제시).

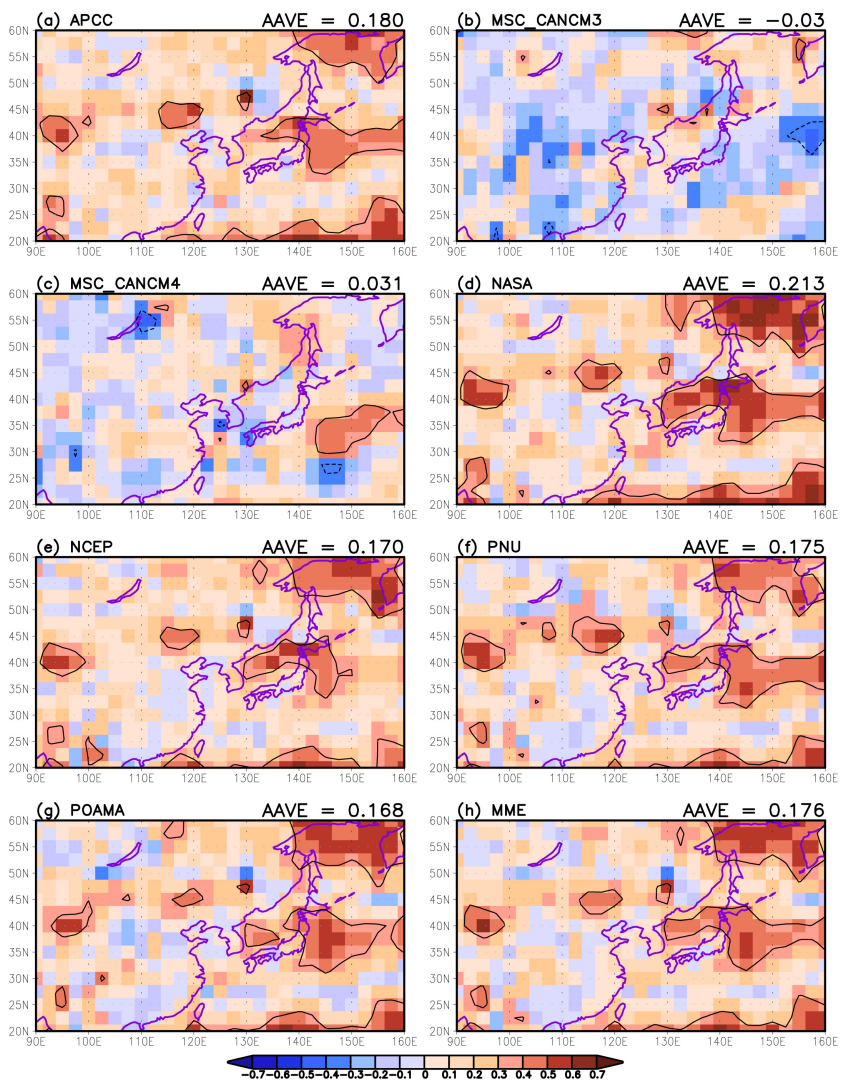
## 4.2 동아시아 강우 지수를 이용한 재생산 강수의 생산 및 평가

앞서 생산된 관측의 EARICv를 강수자료에 적용한 회귀강수 패턴과 각 모델 및 MME의 23년간의 EARICvm을 서로 투영과정을 거쳐 통계적으로 새로운 모델 및 MME 강수 자료를 재생산하였고, Figure 13에서 1983년부터 2005년까지의 기간에 대한 관련 개별 모델 및 MME에 대한 TCC를 계산 하였다. Figure 1과 비교해 보면, 전체적으로 동아시아 영역에 있어서 예측 성능이 개별 모델뿐만 아니라 MME에서 기존의 역학적 모델 예측에 대한 성능보다 많이 향상된 경향을 보이고 있다. Figure 1에서 나타나던 육지 지역에서의 음의 TCC의 값이 Figure 13에서는 대부분이 양의 TCC 값으로 나타나고 있다. 또한 개별 모델들의 면적 평균한 TCC의 값이 역학적 모델의 예측에 비해 통계적 예측의 재생산 강수에 있어서는 0.1 이상의 성능 향상을 보이고 있다. 하지만 MSC의 두 모델의 경우에는 통계적 예측에 있어서 기존 역학적 모델 예측에 비해 오히려 낮은 예측 성능을 나타내고 있다. 이는 MSC의 두 모델의 MPIs와 그에 따른 EARIs에 대한 두 역학 모델의 예측 성능이 기대와 달리 낮게 나타났고 그에 따른 통계적 처리를 통한 재생산 강수에 영향을 미쳤기 때문일 것으로 생각되어진다. 또한 이와 같은 영향이 MME 예측을 이용한 재생산 강수에도 미치고, 그에 따른 성능 향상의 폭이 줄어들 것으로 예상된다. 결국, 이런 사실은 개별 모델들의 성능 강화가 MME 계절 예측의 한계를 극복하는 기본이 되어야만 한다는 것을 보여주고 있다.

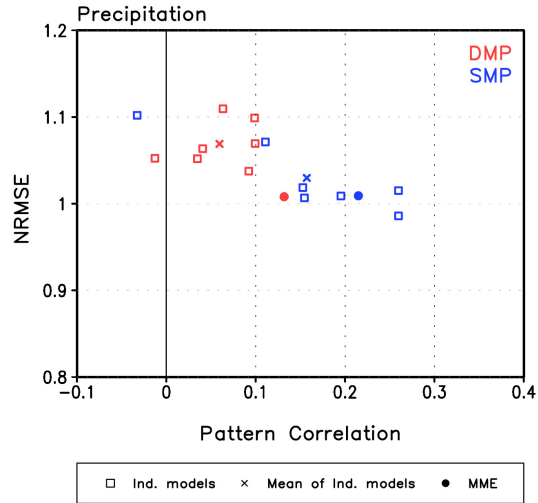


### Temporal correlation

significant at 90% confidence level [JJA, Prec, 83-05]



**Figure 13** As in Fig. 1, but for the reconstructed precipitation obtained by the normalized and cross-validated EARIs of individual models and MME.



**Figure 14** Scatter diagram between the spatial correlation skills and normalized root mean square errors (NRMSEs) for the dynamical predicted precipitation derived from the each model and MME predictions and statistical reconstructed precipitation obtained by the normalized and cross-validated EARIs of each model and MME over the East Asia.

재생산된 동아시아 지역 강수에 대한 공간 패턴의 상관성인 PCC와 관측과의 오차인 NRMSE를 산포도를 통해 그려보았고, Figure 3a에서의 동아시아 지역의 역학적 모델 예측 결과를 함께 비교해 보았다 (Figure 14). 그 결과, PCC의 경우 Figure 13의 TCC 결과와 마찬가지로 역학적 예측 결과 보다 통계적 예측 결과에서 전반적으로 향상된 성능을 보이고 있다. MME의 경우 PCC가 약 0.1 정도의 향상을 보이고 있으며, 전체 모델들의 예측 결과에 대한 PCC의 평균값도 비슷한 결과를 보이고 있다. 또한 개별 모델들의 PCC와 NRMSE의 분포가 전반적으로 우하향으로 이동하면서 PCC의 향상과 NRMSE가 줄어들면서 전체적인 성능이 강화되어 있음을 발견 할 수 있었다. 하지만, MME 에 있어서는 NRMSE의 변화가 거의 없었고, PCC의 성능 강화만 볼 수 있었다. 또한 통계적 예측 결과에서, PCC의 성능이 오히려 약화되는 경향을 보이는 개별 모델도 발견 할 수 있었다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 동아시아 강우에 대해 열대 서태평양 지역의 대류 활동이 미치는 영향을 파악하고 조사하여, 발견된 동아시아 강우와 열대 서태평양 대류의 상호 관련성을 이용한 통계적 및 경험적 기법을 개발하고, 그 개발된 기법을 개별 모델 및 MME에 적용해 재생산된 동아시아 강우의 예측성을 역학적 모델 예측 결과와 비교 분석하였다.

사용된 관측 대기 자료로는 NCEP-DOE 재분석 2 (Kanamitsu et al. 2002) 자료이며, 관측 강수 자료로는 CMAP 강수 (Xie and Arkin 1997)를 이용하였고 또한, OISST v2 (Reynolds et al. 2002)를 해수면 온도 자료로 사용하였다. 본 연구의 연구 기간은 1983년부터 2005년의 23년간의 기간이며, 여름철 (JJA)을 연구 목표 계절로 삼았다. 사용된 모델 자료로는 APCC 현업 시스템의 계절 예측 자료를 이용하였다.

동아시아 지역은 시간 및 공간적으로 매우 복잡한 구조로 얽혀진 지역이다. 열대지역으로부터 발생된 기후 변동성뿐만 아니라, 중위도 지역에서의 여러 기후요인들에 의해서도 영향을 받는다. 본 연구에서는 북반구 여름철동안에 열대 서태평양에서의 하층 순환장이 동아시아 지역으로의 수증기 공급원의 역할을 하면서 동아시아 지역의 여름 강수형성에 매우 중요한 비중을 차지하고 있음에 중점을 두며, 이와 같은 관련성을 이용하여 실제 동아시아 지역의 여름철 강수 예측에 대한 역학적 모델 결과의 한계를 극복하고자 노력하였다.

먼저, 동아시아 몬순 강우에 영향을 미치는 서태평양 지역에 대한 대류 활동의 특징을 분석하였다. 그 결과, 두 가지 주요 구조 패턴을 보이는 것을 발견하였고, 첫 번째 패턴은 ENSO 발달 모드 (ENSO DV)와 그리고 두 번째 패턴은 ENSO 소멸 (ENSO DC) 모드와 매우 연관성이 큰 것을 알 수 있었다. 이와 같은 두 가지 주요 구조를 갖는 패턴을 동아시아 지역 강우에 영향을 주는 주요 요인으로 파악하고, 이를 보다 쉽게 활용하고자 표준화된 MP 지수 (Normalized Maritime continent-western tropical Pacific Index; MPI)를 개발하였다. 그리고 개발되어진 MPIs가 동아시아 지역 강수 및 대기 순환장에 미치는 영향을 고려하여 실제 사용 가능성을 살펴보았다. 그 결과로서, Nitta (1987)의 연구 결과에 의한 PJ (Pacific-Japan) 패턴과 Huang and Sun (1992)에 의해 발견된 EAP (East Asia/Pacific) 패턴처럼 남북방향의 tripole 구조의 원격상관 패턴이 강수와 하층 바람장,

상층 기압과 해수면 기압에서 발생하는 것을 발견할 수 있었다. 또한 MPIs를 통해 동아시아 강수와 서태평양 대류 활동 사이의 상호 연관성을 살펴보면, MPIs가 동아시아 지역의 강수 예측에 상당히 유용한 예측인자 (predictor)로 활동하고 있음이 밝혀졌다. 이는 관측과 모델 예측 결과로부터의 MPIs의 비교 검증을 통해서도 잘 나타나고 있다. 몇몇 모델을 제외하고는 대부분의 예측 모델들이 MPIs의 경년 변동성과 MPIs를 통한 회귀 패턴을 관측과 유사하게 모사하고 있었으며, 그 예측 성능에 있어서도 우수함을 보였다.

새롭게 개발된 예측인자 (predictor)로서 두 MP 지수와 동아시아 강수 예측을 위한 예측변수 (predictand)로 강수의 EOF PC1을 선정하여 동아시아 여름 몬순 강우의 경년 변동성을 나타내는 동아시아 강우 지수 (EARI)를 개발하였다. EARI의 경우 Wang and Fan (1999)의 EASMI나 각각의 개별 MPIs를 사용한 동아시아 회귀강수 패턴들과 비교해 우수한 성능을 보여주었고, 이는 곧 서태평양 대류 활동으로 개발된 두 MP 지수의 동시 사용에 대한 필요성을 보여주었다. 또한 실제 예측에 적용하기 위한 실용적 관점에서 23년간의 자료에 대한 교차 검증을 수행하고 이를 통해 23년간의 다중 선형 회귀 계수를 관측의 EARIcv의 계산으로부터 얻었다. 그리고 각 개별 기후 모델 및 MME예측 자료로부터 표준화된 MP 지수를 적용하여 교차 검증된 동아시아 강수 지수인 EARIcvm를 생산하였다. 그 결과로부터 개별 모델 및 MME의 동아시아 강수의 예측 성능을 미리 파악 할 수 있었다. 이와 더불어 각 모델 및 MME의 EARIcvm을 관측의 회귀 강수 패턴에 통계적 방법으로 적용을 하여 새로운 강수를 재생산하고 이에 대한 각 모델 및 MME의 성능을 평가해 보았다. 전반적으로, 역학적 모델 및 MME 예측 결과에 비해 통계적·경험적 기법을 통한 모델 및 MME 예측 결과에서 성능이 향상된 모습을 발견할 수 있었다. 또한 참고로 역학 및 통계적인 서로 다른 방식의 MME 결과의 성능을 Figure A4에서 비교해 놓았다.

본 연구에서는 사용된 자료의 크기가 겨우 20년이 넘을 정도 밖에 안 되는 자료 샘플링에 대한 한계와 시·공간적으로 매우 다양한 기후 요인들에 의해 영향을 받는 복잡한 지역인 동아시아 영역에 대해서 단순히 열대 서태평양 지역의 대류 활동에 의한 기후 요인만을 고려한 점과 같은 여러 가지 제한이 있다. 그리고 Kwon et al. (2005), Ha et al. (2009), Choi et al. (2010)과 같은 연구결과들에서 언급된바와 같이, 동아시아 지역에서 1990년대 중반을 기점으로 전과 후의 강수량 변동의 변화에 대한 경향 또한 동아시아 강수의 계절 예측을 위해 고려해야 할 사항 중의 하나다. 하지만 그럼에도 불구하고, 관측과 모델 예측



결과의 비교를 통해 통계적으로 의미 있는 지역의 예측인자를 이용한 경험적 기법을 통해서 재생산된 강수의 예측 성능이 강화된 점은 의미 있고 주목할 만한 결과이다. 이를 기반으로, 개발된 통계적 접근 방법을 예측 정보개선을 위한 현업 예측 시스템에 적용 할 수 있을 것이다. 그리고 본 연구는 동아시아 지역뿐만 아니라 전 지구적으로 모델 예측의 성능 향상을 위해서는 개별 모델들 자체에 대한 예측 능력의 강화 및 개선이 우선시 되어야 함을 보여주고 있다.

Appendix

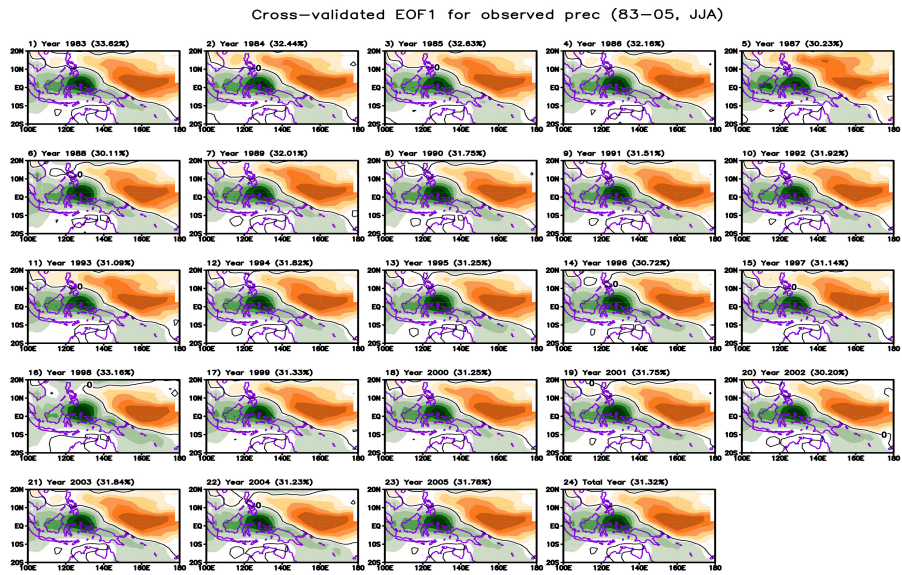


Figure A1 The distribution of the spatial pattern of the first mode of cross-validated EOF for the observed precipitation in the 23-year period of 1983-2005.

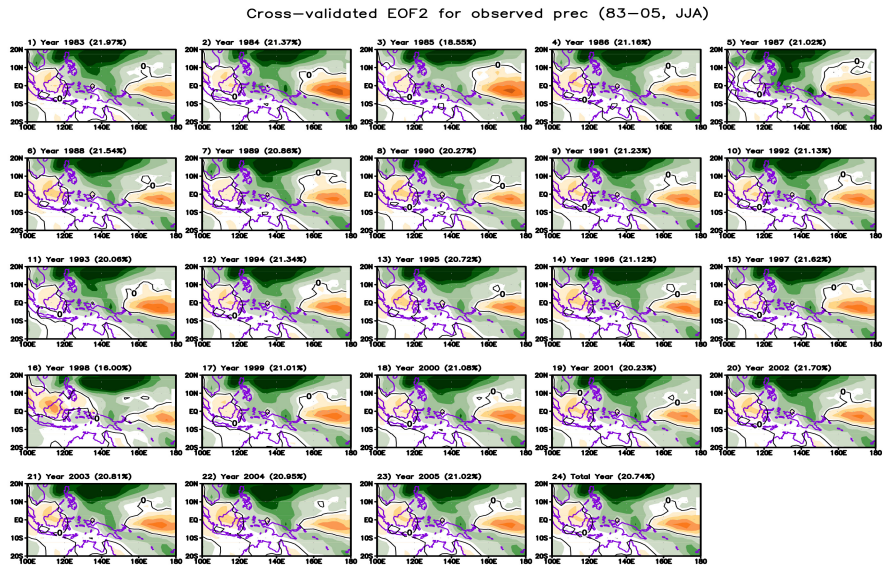
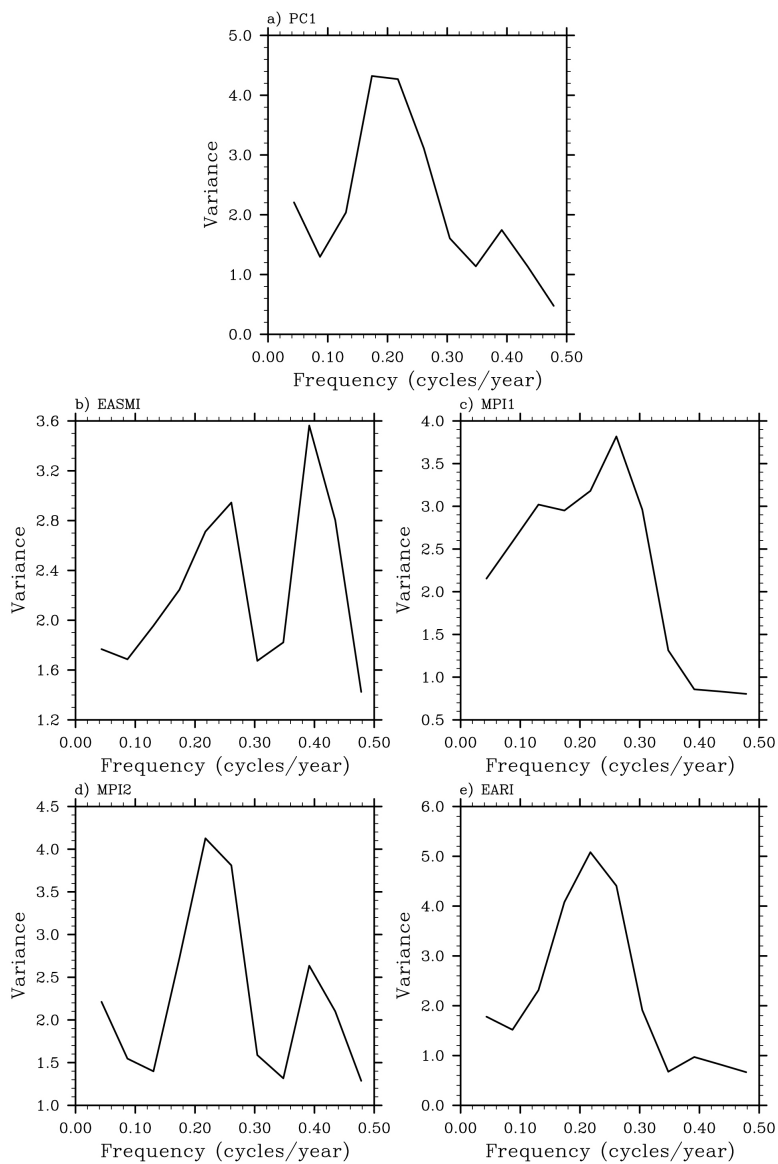
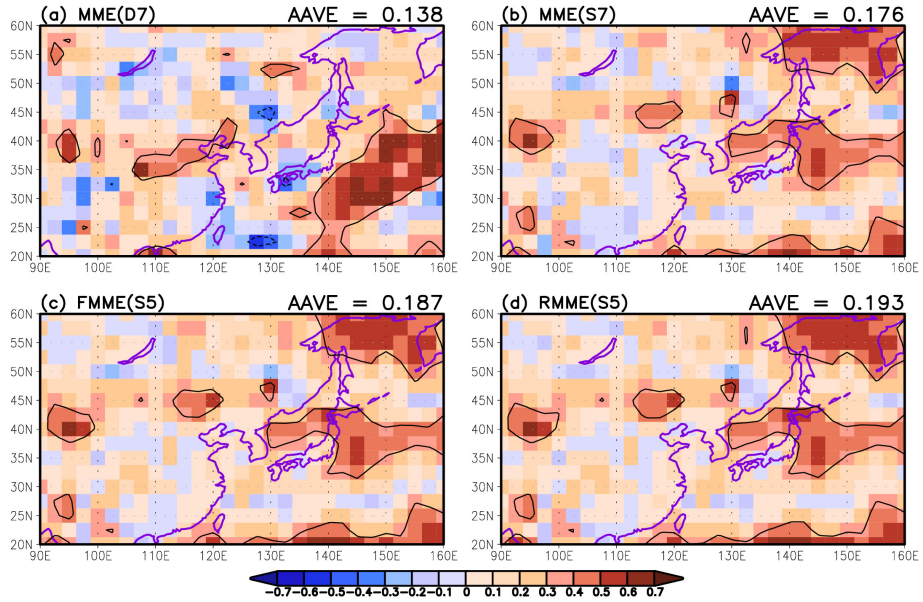


Figure A2 As in Fig. A1, but for the second EOF mode.



**Figure A3** Spectra of (a) the normalized PC time series of the first EOF mode for observed precipitation over the East Asia, the normalized (b) EASMI, (c) MPI1, (d) MPI2 and (e) EARI. The frequency is given in cycles per year.



**Figure A4** Temporal correlation coefficients between the observed and predicted precipitation over the East Asian (90°E-160°E, 20°-60°N) region from four different MMEs. (a) dynamical MME prediction, (b) the reconstructed precipitation obtained by EAR1 of MME, (c) the reconstructed precipitation obtained by EAR1 of the filtered MME with the five better models, and (d) MME of the reconstructed precipitation of the five better models. The contour line depicts the region of significant correlation [0.352] at the 90% confidence level from a two-tailed Student's t test. The term AAVE stands for area averaged temporal correlations of each MME.

**REFERENCES**

- Choi, K. S., Moon, J. Y., Kim, D. W., Byun, H. R., and Kripalani, R. H., 2010: The significant increase of summer rainfall occurring in Korea from 1998, *Theoretical Applied Climatology*, Doi:10.1007/s00704-010-0256-0.
- Ha, K.-J., K.-S. Yun, J.-G. Jhun, and J. Li (2009), Circulation changes associated with the interdecadal shift of Korean August rainfall around late 1960s, *J. Geophys. Res.*, 114, D04115, doi:10.1029/2008JD011287.
- Huang, R., and F. Sun, 1992: Impacts of the tropical western Pacific on the East Asia summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 243–256.
- Huang, G., 2004: An index measuring the interannual variation of the East Asian summer monsoon-The EAP index, *Adv. Atmos. Sci.*, 21, 41– 52.
- Jolliffe, I. T. and D. B. Stephenson, 2003: *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 0-471-49759-2.
- Kanamitsu, M., and co-authors, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83, 1631-1643.
- Kang, I.-S., and Coauthors, 2002: Intercomparison of the climatological variations of Asian summer monsoon precipitation simulated by 10 GCMs. *Climate Dyn.*, 19, 383-395.
- Kang IS and Shukla J, 2006: Dynamic seasonal prediction and predictability (Chap. 15). *The Asian Monsoon*, Springer Praxis, Chichester, pp 585-612.
- Kang, H., and Coauthors, 2009: Statistical Downscaling of Precipitation in Korea Using Multimodel Output Variables as Predictors, *Mon. Wea. Rev.*, 137, 1928-1938
- Ke, Z.-J., P.-Q. Zhang, L.-J. Chen, et al., 2011: An experiment of a statistical downscaling forecast model for summer precipitation over China, *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, 4, 270–275.
- Kwon, M., J.-G. Jhun, B. Wang, S.-I. An, and J.-S. Kug, 2005: Decadal change in relationship between east Asian and WNP summer monsoons, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L16709, doi:10.1029/2005GL023026.
- Lang, X.-M., and H.-J. Wang, 2010: Improving extraseasonal summer rainfall prediction by merging information from GCMs and observations, *Wea. Forecasting*, 25, 1263–1274.
- Lang, X.-M., 2011: An effective approach for improving the real-time prediction of summer rainfall over China, *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, 4, 75–80.
- Lau, K.-M., K.-M. Kim, and S. Yang, 2000: Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, 13, 2461–2482.
- Lee, D. Y., C.-Y. Tam, and C.-K. Park, 2008: Effects of multicumulus convective ensemble on East Asian summer monsoon rainfall simulation, *J. Geophys. Res.*, 113, D24111, doi:10.1029/2008JD009847.
- Lee, D. Y., K. Ashok, and J.-B. Ahn, 2011: Toward enhancement of prediction skills of multimodel ensemble seasonal prediction: A climate filter concept, *J. Geophys. Res.*, 116, D06116, doi:10.1029/2010JD014610.

- Lee, D. Y., J.-B. Ahn, and K. Ashok, 2013: Improvement of multi-model ensemble seasonal prediction skills over East Asian summer monsoon region using a climate filter concept, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 1127-1138. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0123.1>
- Lee, D. Y., J.-B. Ahn, K. Ashok, and A. Alessandri (16 Jul. 2013), Improvement of grand multi-model ensemble prediction skills for the coupled models of APCC/ENSEMBLES using a climate filter. *Atmosph. Sci. Lett.*, 14, 139-145, doi: 10.1002/asl2.430
- Lee JY, Wang B, Kang IS, Shukla J et al, 2010: How are seasonal prediction skills related to models' performance on mean state and annual cycle? *Clim Dyn.* doi:10.1007/s00382-010-0857-4
- Lee, S.-S., J.-Y. Lee, K.-J. Ha, et al., 2011: Deficiencies and possibilities for long-lead coupled climate prediction of the western North Pacific-East Asian summer monsoon, *Climate Dyn.*, 36, 1173–1188.
- Lee, W.-J., and Coauthors, 2009: APEC Climate Center for Climate Information Services, APCC 2009 Final Report [Available at [http://www.apcc21.net/eng/research/pub/rep/japcc040602\\_1st.jsp](http://www.apcc21.net/eng/research/pub/rep/japcc040602_1st.jsp)].
- Li, C., R. Lu, and B. Dong, 2012: Predictability of the western North Pacific summer climate demonstrated by the coupled models of ENSEMBLES, *Climate Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1274-z.
- Liang J, Yang S, Hu ZZ, Huang B, Kumar A, Zhang Z, 2009: Predictable patterns of the Asian and Indo-Pacific summer precipitation in the NCEP CFS. *Clim Dyn* 32:989-1001
- Lu, R., 2001: Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool, *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 771–783.
- Michaelsen, J., 1987: Cross-validation in statistical climate forecast models, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 1589-1600.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373–390.
- Peng, P., A. Kumar, H. van den Dool, and A. G. Barnston, 2002: An analysis of multimodel ensemble predictions for seasonal climate anomalies, *J. Geophys. Res.* 107, 4710, doi:10.1029/2002JD002712.
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- Spiegel, M. R. and L. J. Stephens, 2008: *Schaum's Outline of Theory and Problems of Statistics Fourth Edition*, 577 pp., McGraw-Hill.
- Wang, B., and Z. Fan, 1999: Choice of South Asian Summer Monsoon Indices. *Bull. Amer. Meteor. Sci.*, 80, 629-638.
- Wang, B., I.-S. Kang, and J.-Y. Lee, 2004: Ensemble simulations of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs. *J. Climate*, 17, 803-818.
- Wang B, Lee JY, Kang IS, Shukla J, Hameed SN, Park CK, 2007: Coupled predictability of seasonal tropical precipitation. *CLIVAR Exchanges* 12:17-18
- Wang B, Lee JY, Kang IS, Shukla J et al, 2008: How accurately do coupled climate models predict the Asian-Australian monsoon interannual variability? *Clim Dyn* 30:605-619



- Wang B, Lee JY, Kang IS, Shukla J et al, 2009: Advance and prospectus of seasonal prediction: assessment of the APCC/CliPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Clim Dyn* 33:93–117
- Wang, H. J., and K. Fan, 2009: A new scheme for improving the seasonal prediction of summer precipitation anomalies, *Wea. Forecasting*, 24, 548–554.
- Wilks, D. S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*, 467 pp., Academic, San Diego, Calif.
- WMO, 2006: Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF). New Attachment II-8 to the Manual on the GDPFS (WMO-No. 485), vol. I. 83 pp., Geneva, Switzerland.
- Wu, Bo, Tianjun Zhou, Tim Li, 2009: Contrast of Rainfall–SST Relationships in the Western North Pacific between the ENSO-Developing and ENSO-Decaying Summers\*. *J. Climate*, 22, 4398–4405. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2648.1>
- Xie, P., and P. A. Arkin, 1997: Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 78, 2539–2588.
- Yang S, Zhang Z, Kousky VE, Higgins RW, Yoo SH, Liang J, Fan Y, 2008: Simulations and seasonal prediction of the Asian summer monsoon in the NCEP Climate Forecast System. *J Climate* 21:3755–3775
- Zhu, C., C.-K. Park, W.-S. Lee, et al. 2008: Statistical downscaling for multi-model ensemble prediction of summer monsoon rainfall in the Asia-Pacific region using geopotential height field, *Adv. Atmos. Sci.*, 25, 867–884, doi:10.1007/s00376-008-0867-x.



## APCC RESEARCH REPORT 2013-03

- A study on the Prediction of East Asian Summer Rainfall in Relation to the Western Pacific Convection
- Seasonal Predictability of Artic Oscillation and its Impact on the East Asian Winter Monsoon using a Multimodel Ensemble
- Seasonal Track Feature Analysis of the Western North Pacific Tropical Cyclones using APCC MME

### 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](http://www.apcc21.org)

비매품



94550



9 788897 333950

ISBN 978-89-97333-95-0  
ISBN 978-89-97333-92-9 (세트)