

여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선(Ⅲ) : BSISO 예보 해석 및 활용 가이드언스 마련

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (Ⅲ) :
Understanding practical usefulness of BSISO information by making
a guide for operational forecasts

김해정

여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선(Ⅲ) : BSISO 예보 해석 및 활용 가이드언스 마련

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (Ⅲ) :
Understanding practical usefulness of BSISO information by making
a guide for operational forecasts

김해정

발간사

과학과 기술이 눈부시게 발달함에 따라 오늘날 우리는 세계 유수의 기상 현업 기관들로부터 생산되는 다양하고 풍부한 기후 정보들(특히 기후 예측 정보)로 둘러 싸여 있습니다. 이렇게 많은 정보의 양과 질에 비해, 기후 정보는 여전히 기후 기반 융합 연구 분야에 있어서 그 가치가 낮거나 사용하기 힘든 것으로 인식되고 있는 실정입니다. 여기에는 여러 가지 이유가 있겠지만 기후 예보 콘텐츠를 해석함에 있어서 최종 수요자가 가지는 어려움 혹은 불편함이 그 중 한 가지 원인이라 여겨집니다. 즉, '고품질 예측 자료를 제공한다.'라는 것과 '실제 사용자에게 의미 있는 정보를 전달한다.'는 것은 또 다른 이야기가 될 수 있다는 것입니다. 물론 더 정확한 예측 정보는 응용 분야에서의 더 나은 활용을 보장할 수 있습니다. 그러나 사용자에게 있어서 기후 정보는 '과학적으로 이 기상학적 현상의 원인이 무엇이고 그 영향이 어떠한 지에 대한 지식, 그리고 그것을 어떻게 보고 읽고 활용해야 하는지'에 관한 것들을 함께 전달하는 과정 없이, 기후 정보 그 자체만으로는 사용하기에 충분하지 않다는 것입니다. 그 결과 사용자들은 기후 정보의 홍수 속에 살면서도 '이해하기 쉬운 기후 예측 정보'라는 것에 여전히 갈증을 느끼고 이러한 이유로 사용자 친화적인 기후 예측 콘텐츠나 정보의 중요성이 커져 가고 있는 실정입니다.

2016년 우리는 APEC 기후센터에 의해 제공되고 있는 여름철 계절내 진동(Boreal Summer Intraseasonal Oscillation, BSISO) 실시간 예측 정보의 실질적인 활용을 높이기 위하여 기존 방식의 BSISO 정보를 안정적으로 제공함과 동시에 BSISO 예측 지수에 기반한 호우 확률 예보를 함께 생산함으로써 좀 더

사용자 친화적인 정보를 제공하게 되었습니다. 이 새로운 콘텐츠를 통해 우리는 메콩강 유역에서의 호우 확률 예보에 대한 사용자 가이드를 제작함으로써 홍수 취약 지역에 대한 BSISO 예측의 활용과 이해에 초점을 맞추었습니다. 메콩강 유역에서의 여름철 호우 발생은 BSISO의 활동이 강하고 특정 위상(BSISO1의 경우 위상 3~7, BSISO2의 경우 위상 1과2, 그리고 7과8)을 가질 때 그 확률이 상당히 높았는데 이 때 BSISO는 필리핀 해에서는 동풍, 그리고 북서태평양에서는 서풍이 강화되어 강한 인도차이나 몬순을 만들어 내는 호조건을 만들기 때문입니다. 상향장파복사의 동-서 시소 패턴(BSISO1) 혹은 남-북 대칭 구조(BSISO2)의 활동에 따라 동풍과 서풍의 위치는 약간씩 움직이어나 이 위상들에서 메콩강 유역에 많은 비가 올 수 있는 기상학적 환경이 마련되는 것은 변함이 없었기에 BSISO 예측 지수로 2주 전에 미리 메콩강 유역의 호우 발생 가능성을 예측하는 것이 가능했습니다. 이렇게 예측된 메콩강 유역에서 호우 확률은 기후학적으로 접근하여 예보했을 때보다 최대 30-50%의 개선을 보였고 이는 BSISO 정보를 활용하여 메콩강 호우 확률을 예보하는 것이 충분히 가능하고 의미 있는 일이란 것을 의미합니다. 즉 본 연구를 통해 APCC의 BSISO 예측 지수는 메콩강 유역에서 호우 확률 가능성을 최대 2주 앞서 예측할 수 있다는 것을 보여주었고 더불어 메콩강 유역의 사용자가 BSISO 정보를 어떻게 읽고 호우 예보에 활용할 수 있는지를 알기 쉽게 가이드를 제작하였습니다.

이처럼 APEC 기후센터는 아태지역 거주민들을 위해 BSISO 예보의 가치를 창출하여 최종 수요자들의 의사결정을 지원할 수 있게 만드는데 끊임없는 노력을 기울이고 있습니다. 기후 예측 정보와 실질적인 활용, 그 사이의 간극을 메우기 위하여 우리는 APCC BSISO 예측에 의존하고 있는 이들이 어떤 나라의 어떠한 일을 하는 사람인지 고객의 정보에 대해 면밀히 알아야 할 필요가 있습니다. 또한 우리는 대상 지역의 날씨 및 기후를 조절하는 주요 기상학적

기작에 대해 APCC 예보자의 이해를 향상시킴과 동시에 APCC의 BSISO 예보 활용법에 대한 대상 지역 수요자들의 지식 또한 고취시킬 필요가 있습니다. 추후 consultative approach를 통해서 예보와 활용 사이의 원활한 흐름에 대해 잘 짜여진 프레임워크를 개발하는 것이 필요하다고 보여 집니다.

끝으로 연구를 맡아 수행해 준 김해정 선임연구원과 실시간 현업 운영을 담당한 정유림 연구원의 노고에 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데도 자문과 조언을 아끼지 않으신 부산대학교 안중배 교수, 포항공과대학교 민승기 교수, 울산과학기술대학교 이명인 교수에게도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

2017년 1월
APEC 기후센터
원장 정 홍 상

ABSTRACT

In order to promote the practical use of real-time BSISO information provided by APEC Climate Center (APCC), we create user friendly information, which estimates heavy rainfall probability forecasts using BSISO forecast indices. To achieve this, there are two objectives: the first is to give guidance on the practical use and interpretation of the BSISO forecast for heavy rainfall probability forecast over Mekong river, and the second is to provide stable and reliable BSISO information by delivering the probability forecast of heavy rainfall occurrence to the APCC webpage and making leap year recognized in the operational system.

Heavy rainfall probability at the 90th percentile in the Mekong river basin during summer is high when BSISO is active and has particular (P3–7 for BSISO1; P1–2,7–8 for BSISO2) phases, which have favorable conditions for making a strong Indochina monsoon with strong easterlies (westerlies) over the Philippine sea (Northwest Pacific). Within the phases, the location of easterlies and westerlies can be slightly changed according to the motion of east–west seesaw (BSISO1) or south–north dipole (BSISO2) structure in Outgoing Longwave Radiation. Based on the observed relationship between heavy rainfall probability and BSISO, we produce ‘heavy rainfall probability forecasts’ by combining the observed relationship and predicted BSISO indices for 2013–2016.

Probability forecasts of heavy rainfall in Mekong river basin show improvements of 30%–50% over climatological forecasts at week–2 lead time. That means APCC’s BSISO forecast indices are capable of predicting heavy rainfall probability forecast

over Mekong river basin. In order to enhance the practical use of APCC BSISO indices, a guide for the application and interpretation of BSISO forecast indices in heavy rainfall probability forecasts over Mekong river is developed.

목 차

1. 서론	1
2. 연구 자료 및 방법	4
2.1 연구 자료	4
2.1.1 BSISO 지수	4
2.1.2 호우에 대한 정의	5
2.2 연구 방법	6
2.2.1 BSISO-호우 관계 분석	7
2.2.2 연구 대상 지역 선정	8
2.2.3 메커니즘 분석	10
2.2.4 BSISO 예측 지수 기반 호우 발생 가능성 예보 생산	11
2.2.5 Forecast Skill assessment	12
2.2.5.1 Dichotomous (yes/no) forecasts	13
2.2.5.2 Multi-category forecasts	13
3. 연구내용	16
3.1 BSISO impact on heavy rainfall over Asia monsoon region	16
3.1.1 BSISO-heavy R relationship analysis	16

3.1.2 BSISO-heavy R relationship analysis over Mekong river-----	18
3.1.3 Mechanism-----	20
3.1.4 BSISO 예측 지수 기반 호우 발생 가능성 예측 자료 평가-----	29
3.1.4.1 General forecast skill for rainfall amount-	29
3.1.4.2 Probability Forecast skills -----	34
3.1.4.3 Guidance -----	38
3.1.4.4 Case Study Evaluation -----	43
 4. 토론 및 결론-----	 46
4.1 토론-----	46
4.2 성취업적-----	52
4.3 결론-----	52
 I REFERENCE-----	 54
 I 부록	
[부록 1]-----	56
[부록 2]-----	65
[부록 3]-----	77

1. 서론

S2S (Subseasonal to seasonal)는 기상과 기후 서비스를 한데 모을 수 있는 중요한 연결도구이자 극한 현상이 가장 빈번히 발생하는 시간 규모이기 때문에 그에 대한 충분한 이해와 신뢰도 높은 예측은 농업, 수자원, 보건, 에너지, 재해의 사전 대비 등과 같은 사회·경제적으로 중요한 의미를 가진다 (e.g. Vitart et al. 2012). 그럼에도 불구하고 S2S 예측은 대기 초기 조건의 영향이 지속되기에는 다소 길고, 해양의 변동이 영향을 미치기에는 너무 짧은 시간 범위가기 때문에 예측하기에 어려운 시간 범위로 여겨져 단기 예보나 계절 예측에 비해 상대적으로 주목받지 못하였다. 그러나 최근 이 시간 범위에서 예측의 중요한 잠재적 인자가 될 수 있는 현상들이 많이 연구되고 있고, 여름철 계절내 진동(Boreal Summer Intraseasonal Oscillation, BSISO) 또한 아시아 몬순 지역에서의 열대 저기압 생성과 발달 (e.g. Liebmann et al. 1994; Maloney and Hartmann 2001; Goswami et al. 2003), 몬순의 시종(e.g. Wang and Xu 1997; Kang et al. 1999; Wu and Wang 2000; Kajikawa and Yasunari 2005; Goswami 2011; Lee et al. 2013) 및 중위도 대기 순환에 상당한 기여를 하는 것으로 밝혀져 수문 기상학적 극한 현상 발생을 예측하는데 중요한 인자로 잘 알려져 있다(Moon et al. 2013).

APEC 기후센터는 2013년 이후부터 BSISO 지수에 대한 실시간 예측 정보를 제공하고 있는데(Kim. 2013) 일반적으로 짧게는 2주에서 길게는 1개월 이상 믿을 만한 수준의 BSISO 예보를 생산하는 것으로 나타나(Kim. 2014) BSISO의 영향으로 인한 수문 기상학적 극한 현상에 대한 예측뿐만 아니라 계절내 시간 규모에 내에서 다양한 응용 분야에서의 활용도 가능해졌다. 실시간 현업으로 예측되는 BSISO 지수를 활용한 극한 기상 증장기 예보까지 연구를 확장시키기 위해서는 계절내 변동이 어떻게 극한 현상들의 빈도, 강도 및 발생 지역을 바꾸는지에 대한 연구부터 선행되어야 한다. 그러나 기본적인 관측 연구뿐만 아니라 아시아 몬순 지역의 증장기 예측에 실시간 BSISO 예측의 기여도가 어느 정도인지에 대한 연구 역시 아직까지는 미흡한 실정이다. 특히 여느 해와 달리 BSISO의 변동이 상당히 활발했던 2015년의 경우 이른 엘니뇨 발달과 빈번한 서태평양 태풍 발생, 그리고 아시아 몬순 지역 곳곳에서 나타난 몬순으로 인한 홍수 발생이 특징적이었으나 이들 간의 연관성에 대한 체계적인 분석이

미흡하여 BSISO 모니터링 및 예측 정보 해석에 있어 다소 아쉬운 점이 있었다. 그러나 BSISO에 대한 지속적인 모니터링과 검증의 과정에서 만들어 낸 metrics와 극한 강수 및 태풍과 같은 계절내 규모에서의 주요 현상에 대한 단서들은 BSISO 예보 해석 및 활용의 가이드스 마련에 밑거름이 되었고 본 연구에서 이러한 분석들을 확장하여 BSISO 예측 정보의 활용도를 높이고자 한다. 이렇듯 APEC 기후센터는 BSISO에 대한 좀 더 개선된 그리고 좀 더 사용자 친화적인 정보를 제공하기 위해 지속적으로 노력하고 있다.

연구 목적

- BSISO 예보 해석 및 활용 가이드스 마련
- BSISO 현업의 안정적인 운영 및 사용자 친화적 정보 전달

APCC의 응용분야 연구들이 현재 기후 정보를 활용하여 각자의 목적에 맞는 응용 정보를 생산해내는 틀을 개발하여 융합 연구에 대한 상당한 기틀을 잡았고, BSISO의 모니터링 및 예측 정보가 사회·경제적으로 큰 영향을 미치는 극한 기상 현상의 변동에 미치는 중요성을 고려해 볼 때 본 연구는 S2S기반 융합연구의 성공사례 (그림 1.1)를 창출하여 APCC의 미션을 달성(그림 1.2)할 수 있는 근간이 될 수 있다.

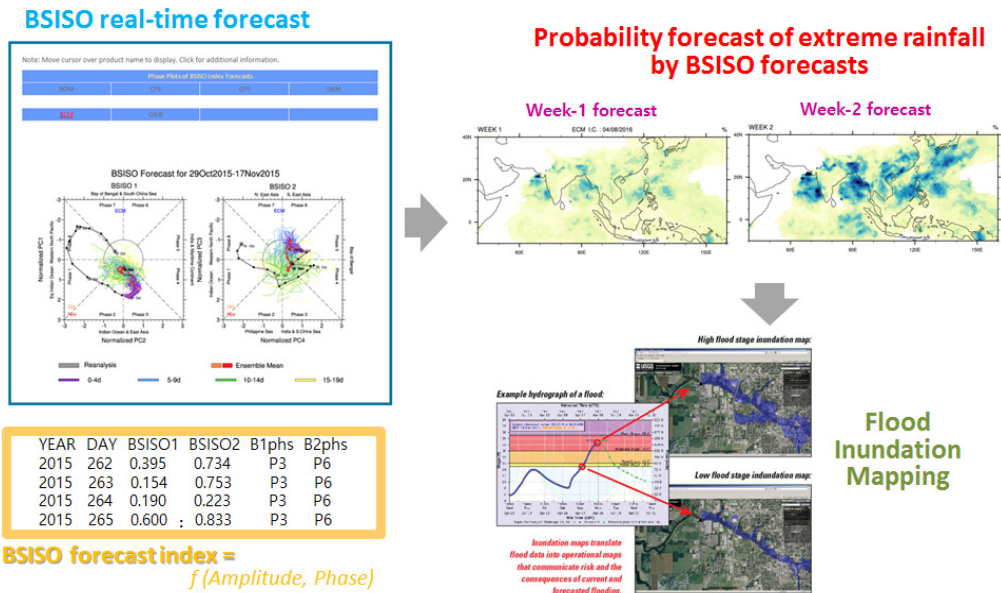


그림 1.1 Real-time BSISO forecast and its application

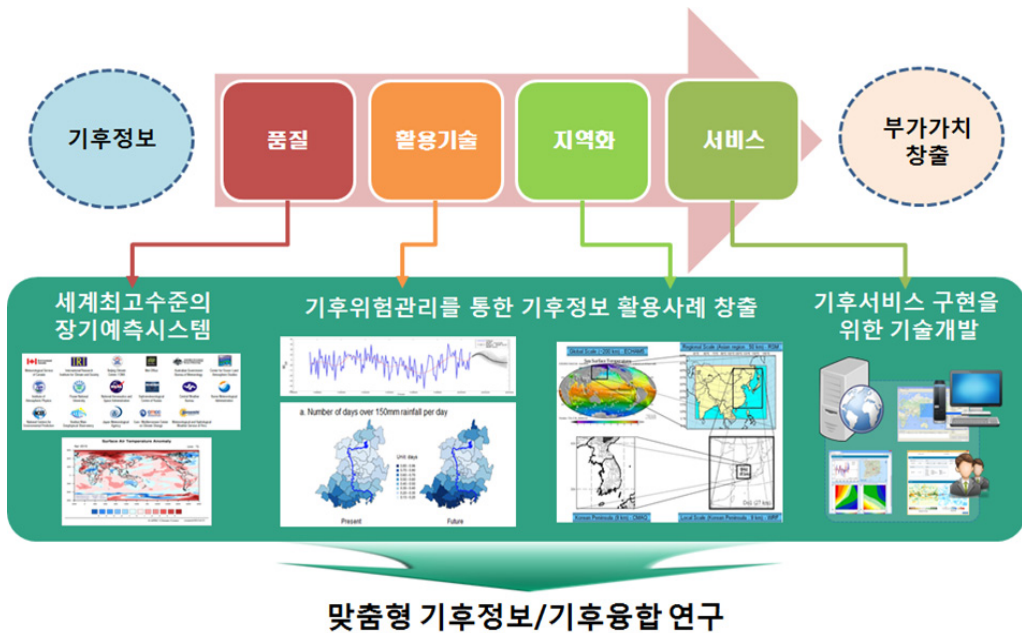


그림 1.2 Mission of APCC in the view of real-time BSISO forecast and its application

2. 연구 자료 및 방법

2.1 연구 자료

아시아 몬순 지역 호우에 대한 BSISO의 영향을 분석하기 위해서는 기본적으로 BSISO 지수와 강수 자료가 필요하다.

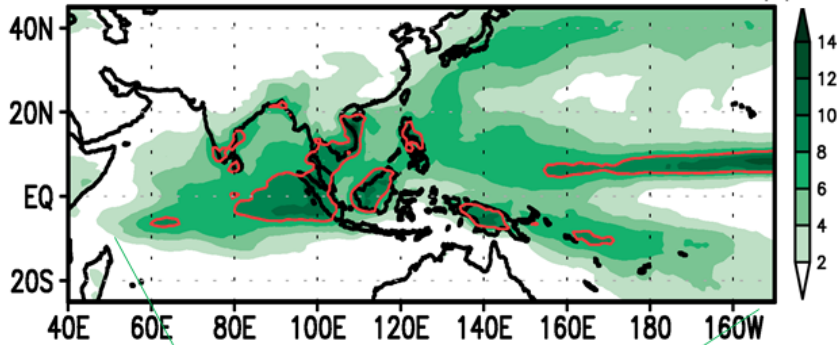
2.1.1 BSISO 지수

APCC에서는 Lee et al.(2013)에서 정의한 방법에 따라 매 년 5월에서 10월동안 실시간으로 모니터링 지수와 예측 지수를 생산한다. 본 연구에서 사용한 모니터링 지수는 1981년부터 2015년까지 35년간의 자료를 사용하였다. 예측 지수는 표 2.1에서 나타난 5개 모형으로부터 생산되었고 2013년부터 2016년 동안의 자료를 본 연구에서 활용하였다.

표 2.1 Details of available models on BSISO operational forecast

Institute	Model	Ensemble Size	Forecast Period	Update Frequency	Resolution
NCEP	Climate Forecast System	4	40 days	Once a day	T126 L64
	Global Forecast System	1	16 days	Once a day	T574, T190 L64
BOM	POAMA 2.4 multi-week model	33	40 days	Twice per week	T47 L17
ECMWF	ECMWF Ensemble Prediction System	51	32 days	Twice per week	T639, T319 L62
Taiwan CWB	CWB EPS T119	6	40 days	Every 5 days	T119 L30

2.1.2 호우에 대한 정의



Sample size = $(NX \times NY \mid \text{clim}(i,j) > 2\text{mm}) \times 31 \text{ (30) days} \times 18\text{yr}$

그림 2.1 Diagram on sample size applied by heavy rainfall definition

아시아 몬순 지역 [10S-40N, 40E-180E]의 호우를 분석함에 있어서 1997년도에서 2015년동안의 여름철(5월 ~ 10월) GPCP (Global Precipitation Climatology Project, Huffman and Bolvin 2013) 일평균 강수 자료가 사용되었고 이 강수 자료의 해상도는 $1^\circ \times 1^\circ$ 이다. 호우는 분석 기간 동안의 일평균 강수량에 대해 감마 분포를 적용한 뒤 90번째 강수량을 threshold value로 정하였다. 이 때 월별로 임계값을 정의하였는데 그 이유는 아시아 몬순 지역 강수는 월별로 그 특징이 다른 seasonality를 가지고 있기 때문이다 (Adhikari et al. 2010). 또한 강수 변동의 locality를 고려하지 않기 위하여 threshold value를 정의할 때 각 격자 마다 그 값을 계산하기 보다는 그림 2.1과 같이 대상 영역 전체 격자를 sample로 활용하였다. locality를 고려하여 호우를 정의할 시에는 비가 실제 인간 사회에 미치는 영향과는 다른 사례들이 호우로 선정되거나 혹은 선정되지 않을 우려가 있다. 가령 예를 들면 기본적으로 비가 많이 오지 않는 사막지역에서는 아주 작은 양의 강수량도 threshold value를 넘게 되어 실제 인간에게는 단비 같은 양이나 연구에서는 호우 사례로 선정되어버리는 경우가 있다. 혹은 반대로 원래 비가 많이 오는 지역에 있어서는 비록 threshold value에 미치지 않는 비가 온다 할지라도 충분히 홍수를 유발할 수 있는 경우들이 생기게 되므로 실제 홍수 발생에 대한 사전 대비를 하고자 본 연구를 수행한다면 locality를 고려하지 않는 것이 적절하다 판단된다. 이러한 방법으로 본 연구에서 정의된 월별 호우의 임

계값(그림 2.2)은 5월 20.7mm/day, 6월 22mm/day, 7월 22.9mm/day, 8월 22.6mm/day, 9월 21.8mm/day, 10월 21.4mm/day 이다. 이 값들은 Tank et al. (2009)에서 “very heavy precipitation days” 로 정의한 20mm/day 보다 큰 값으로 호우에 대한 정의가 잘 되었다고 볼 수 있다. 호우 정의에 대한 자세한 설명은 Lee et al. (2016) 혹은 2015년 APCC 위탁과제 최종보고서(과제명 : 계절내 아태지역 수문기상학적 극한사상의 예측성 평가)를 참고할 수 있다.

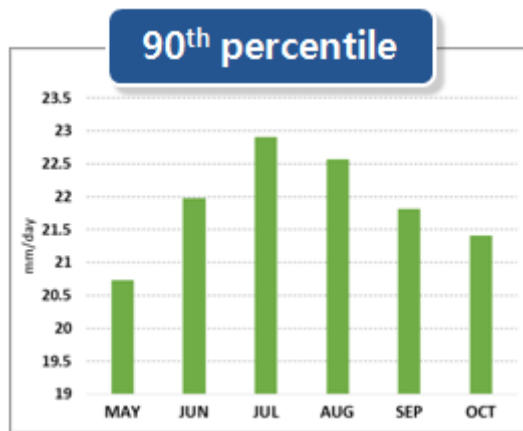


그림 2.2 The monthly rainfall thresholds of heavy rainfall events.

2.2 연구 방법

가이드스 작성을 위한 연구의 논리 흐름은 그림 2.3과 같다. 먼저 BSISO의 각 위상에 따라 아시아 몬순 지역 호우 발생의 특징을 파악하고 연구 대상지역을 선정하고 그 지역의 호우 발생에 대한 BSISO의 기여 기작을 살펴본다. 이후 BSISO 예측 지수로 최근 3년간의 대상지역의 호우 발생 확률 예보를 추정하고 그 예보들이 얼마나 정확한지 평가를 한 후 최종적으로 BSISO 예측 지수를 활용한 대상지역 호우 발생 예보 가이드스를 만들고자 한다.

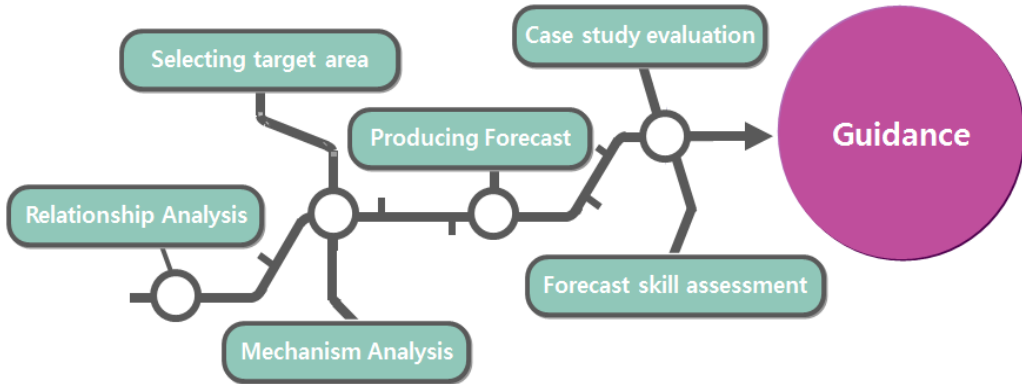


그림 2.3 Flow chart on how to research

2.2.1 BSISO-호우 관계 분석

1997년 ~ 2015년 19년간의 강수와 BSISO 지수를 사용하여 매 달 BSISO 로 추정할 수 있는 호우 발생 확률을 계산하였다. 먼저 5월에서 10월 각각에 대해서 BSISO의 위상과 크기에 따라 그림 2.4와 같은 체계로 사례일들이 구분되어지고 그에 대한 호우 발생 확률은 수식 2.1과 같다. 이 때 BSISO 지수는 그 크기가 1.0보다 큰 경우 일 때만을 사용함으로써 BSISO가 active 한 사례만을 고려하였다. BSISO 지수에 기반 한 호우 발생 확률 계산은 Lee et al. (2016)과 2015년 APCC 위탁과제 최종보고서(과제명 : 계절내 아태지역 수문기상학적 극한사상의 예측성 평가)에서 좀 더 자세히 확인할 수 있다.

$$\frac{\text{number of days [BSISO1}_{AMP} \geq 1, \text{ BSISO1 phase1, daily PRCP} > 90\text{th percentile}]}{\text{number of days [BSISO1}_{AMP} \geq 1, \text{ BSISO1 phase1}]} \times 100$$

(EQ. 2.1)

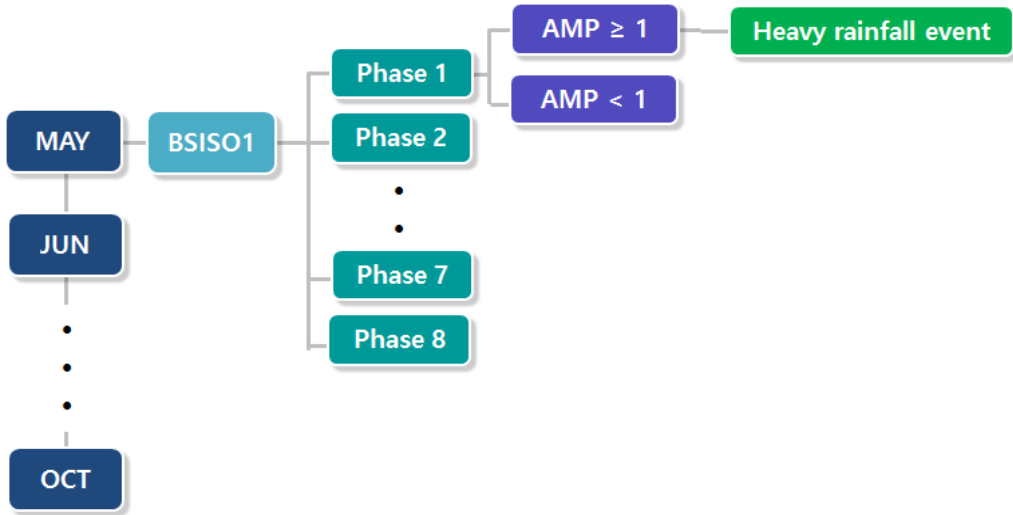


그림 2.4 Classification for calculating probability of heavy rainfall occurrence estimated by BSISO indices

2.2.2 연구 대상 지역 선정

본 과제의 결과물을 잘 활용하기 위해선 연구 대상지역의 선정이 중요하고 이를 위해 고려해야할 세 가지 요건이 있다.

첫째, APCC의 설립취지에 부합하기 위하여 아태지역 개발도상국이 우선적으로 선정될 수 있다. 둘째, 기후학적으로 강수의 예측성이 보장되는 지역이어야 한다. 셋째, 자료를 활용할 수문학자의 관점에서는 장기간의 수문 data가 축적이 된 큰 강을 끼고 있는 홍수 취약 지역에 대한 연구가 필요하다.

Weisheimer 등 (2014)에 따르면 현 과학 기술에 있어서 동남아시아 지역의 강수 예측의 품질은 완벽한 정도에는 미치지 못 하지만 여전히 활용할만한 수준이라고 추정하였다. 이는 또한 동남아시아가 본 연구에서 대상지역으로 선정할만한 전제조건들 중 처음 두 가지를 만족시키는 근거가 될 수 있음을 의미한다.

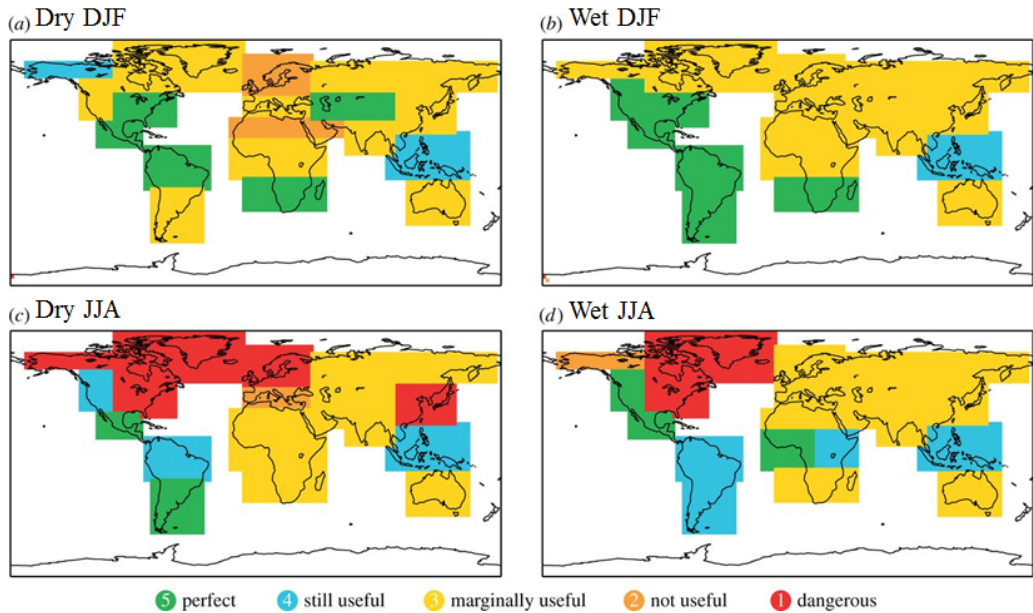


그림 2.4 그림 5 from Weisheimer et al.(2014)

동남아시아 국가들 중 메콩강이 흐르는 인도차이나반도는 세 번째 전제조건을 만족할만한 지역이다. 메콩강은 미얀마, 라오스, 태국, 캄보디아, 베트남 등 5개국에 걸쳐 흐르는 길이 48,800km의 큰 강이다. 메콩강은 인근 약 6천만명의 삶의 터전이지만 해마다 극심한 물난리를 겪는 대표적인 홍수 취약 지역(그림 2.5) 중 하나이므로 인적·물적 재해를 피하기 위해서는 홍수에 대한 사전 대비가 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 세 가지 전제조건을 만족하는 메콩강 유역을 연구 대상지역으로 선정하고 특히 캄보디아 지역에 좀 더 관심을 두었다.

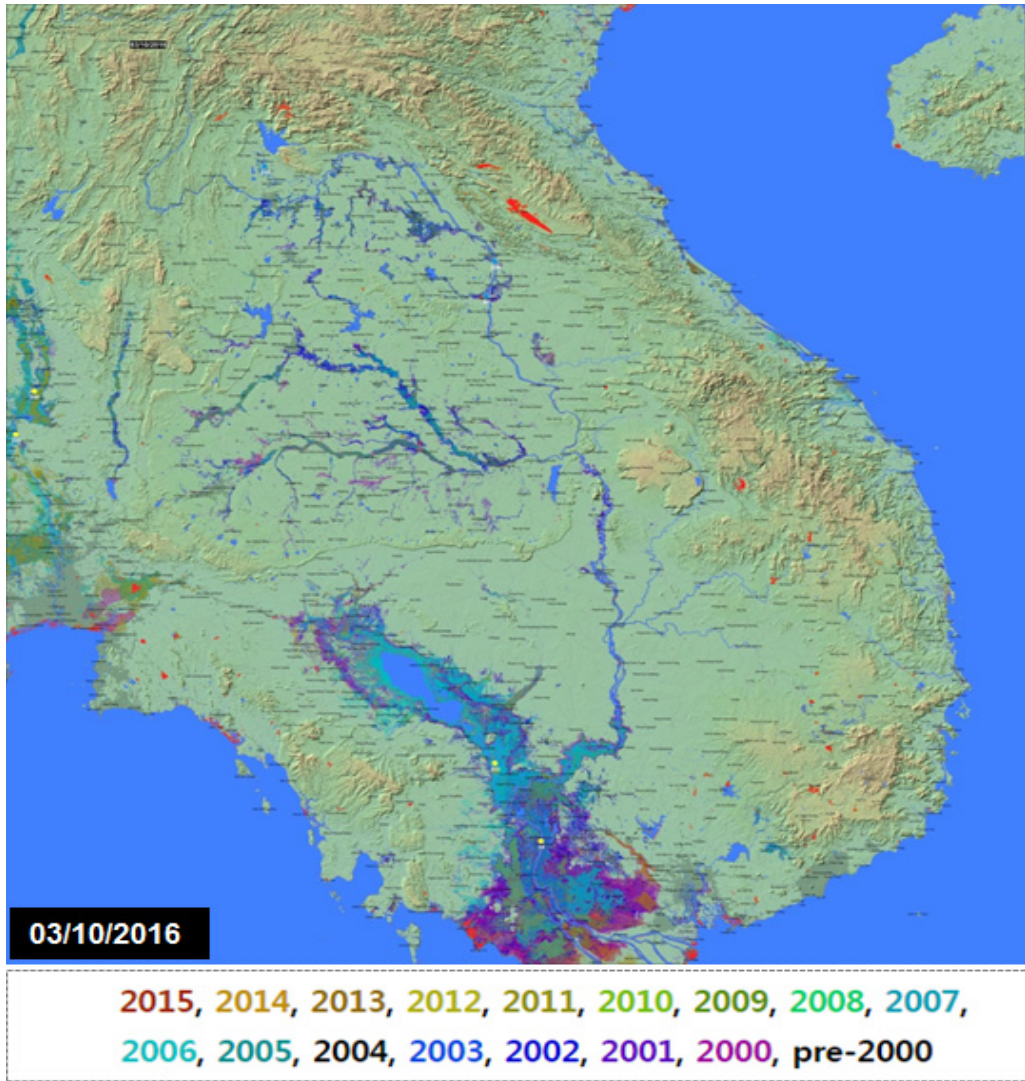


그림 2.5 Historical flood affected area from <http://floodobservatory.colorado.edu>

2.2.3 메커니즘 분석

메콩강 유역의 호우 발생에 BSISO가 영향을 미칠 때 일어날 수 있는 대규모 대기 순환장을 분석하기 위하여 BSISO 위상에 따른 합성장 분석을 수행하였다. 이 때 대규모 순환장으로는 ERA-interim 으로부터 850hPa 동서류, 남북류를 그리고 NOAA 로부터 상향장파복사 자료를 사용하였다.

2.2.4 BSISO 예측 지수 기반 호우 발생 가능성 예보 생산

BSISO 예측 지수를 활용하여 호우 발생 가능성을 추정할 시 그림 2.6과 같은 방법을 따랐다. 관측에서 보여지는 BSISO와 호우 발생 확률 합성장에다가 예측된 BSISO 지수를 결합함으로써 호우 발생 가능 확률의 예측장을 생산할 수 있게 되었다. 즉, BSISO 예측 지수가 가지는 위상에 해당하는 관측에서의 호우 발생 가능 확률 합성장을 가져온 뒤 BSISO 예측 지수의 크기를 곱하는 방식이고 최종적으로는 BSISO1과 BSISO2 각각이 추정된 호우 발생 확률 예측장을 평균한다. 이렇게 BSISO 예측 지수에서 도출되는 위상과 크기의 함수로 호우 발생 확률의 예측장을 추정함으로써 사용자 하여금 2주 뒤의 대기 상황을 좀 더 직관적으로 이해시킬 수 있다. 이로써 phase diagram 으로 표출되던 BSISO 정보가 좀 더 사용자 친화적인 정보로 재생산될 수 있었고 이는 리드타임 1주, 2주로 평균된 뒤 APCC 홈페이지를 통해 2016년 8월부터 서비스되고 있다 (그림 2.7).

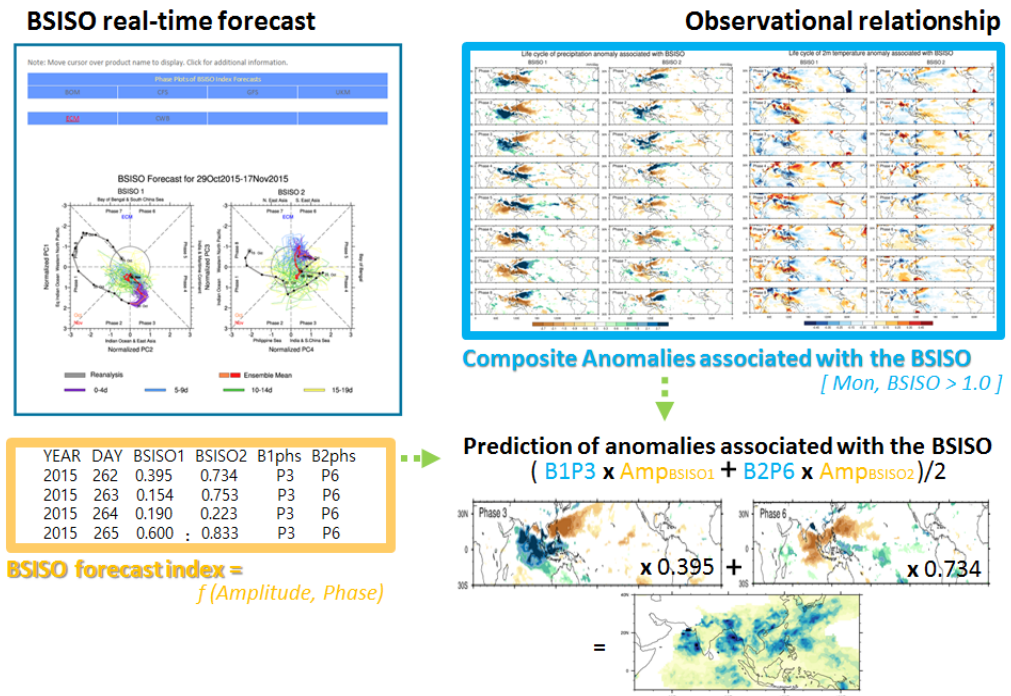


그림 2.6 Flow chart for producing heavy rainfall probability forecast using the BSISO forecast indices

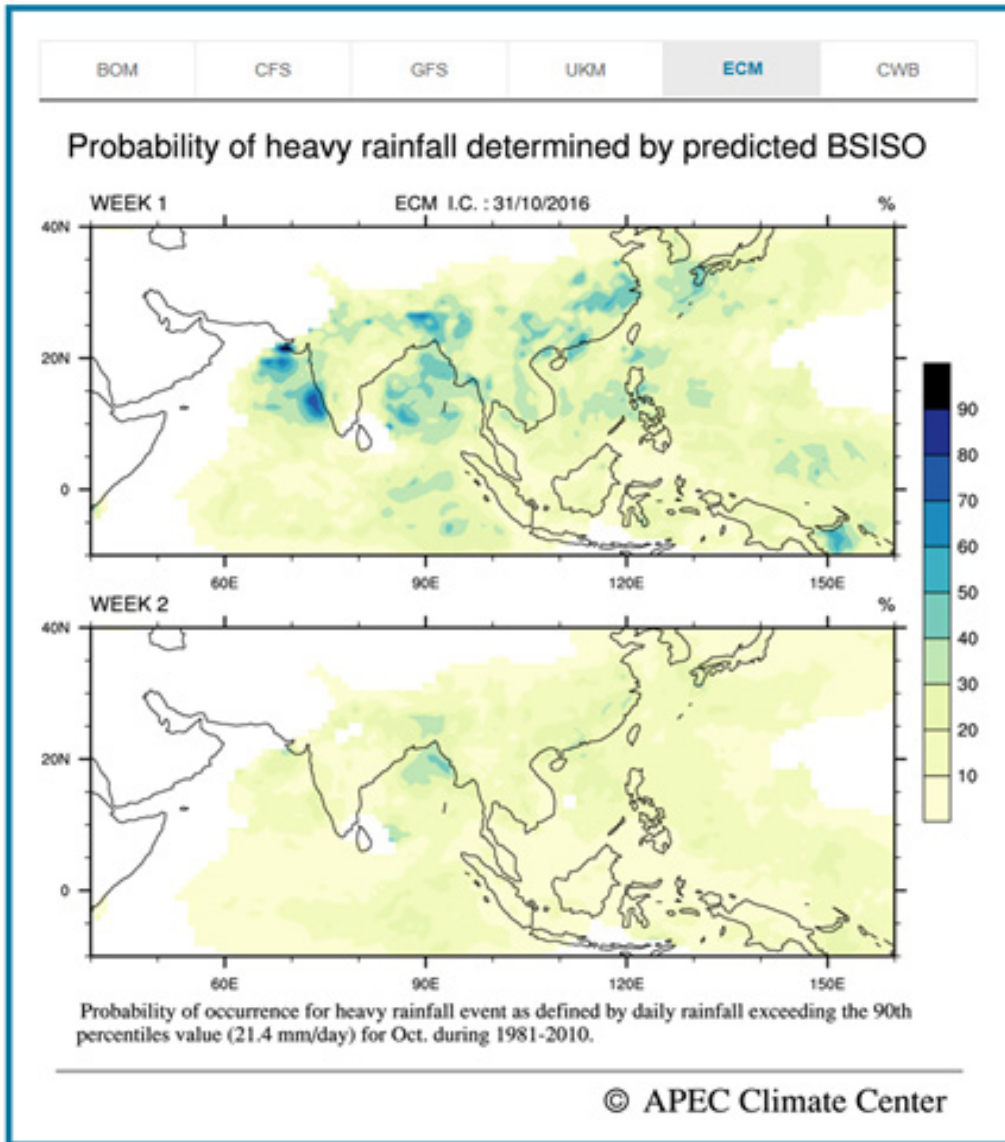


그림 2.7 Web service on the probability of heavy rainfall determined by predicted BSISO indices.

2.2.5 Forecast Skill assessment

BSISO 예측 지수에 기반하여 생산된 호우 발생 확률 예보의 신뢰도를 평가하기 위하여 몇 가지 검증 방법을 활용하였다. 이 때 강수라는 변수의 특성 상 dichotomous (yes/no) forecasts와 multi-category forecasts 두 가지 방식을 적용하였다.

2.2.5.1 Dichotomous (yes/no) forecasts

강수량에 기준을 두고 호우가 발생 했을 때와 아닌 때를 구분한 표 2.2를 토대로 Hit Rate, False Alarm Rate, Threat Score 그리고 Hanssen and Kuipers discriminant를 계산하였고 각 기법에 대한 식은 수식 2.2 ~ 2.5에서 확인할 수 있다.

표 2.2 Contingency Table for dichotomous forecasts

		Observed		
		yes	no	Total
Forecast	yes	hits	false alarms	forecast yes
	no	misses	correct negatives	forecast no
Total		observed yes	observed no	total

$$\text{Hit Rate} = \frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{misses}} \quad (\text{EQ 2.2})$$

$$\text{False alarm rate} = \frac{\text{false alarms}}{\text{correct negatives} + \text{false alarms}} \quad (\text{EQ 2.3})$$

$$\text{Threat score} = \frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{misses} + \text{false alarms}} \quad (\text{EQ 2.4})$$

Hanssen and Kuipers discriminant =

$$\frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{misses}} - \frac{\text{false alarms}}{\text{false alarms} + \text{correct negatives}} \quad (\text{EQ 2.5})$$

2.2.5.2 Multi-category forecasts

무강수, 호우, 호우보다 적은 양의 강수가 발생했을 때 이렇게 세 가지 카테고리를 만들었고 Accuracy, Heidke Skill Score, Hanssen and Kuipers discriminant를 계산하였다 (수식 2.6 ~ 2.8).

표 2.3 Contingency Table for multi-category forecasts

		Observed			Total
		1 Rain ≤ 0.3mm	2 0.3 < Rain < THR	3 THR ≤ Rain	
Forecast	1	n(F1,O1)	n(F1,O2)	n(F1,O3)	N(F1)
	2	n(F2,O1)	n(F2,O2)	n(F2,O3)	N(F2)
	3	n(F3,O1)	n(F3,O2)	n(F3,O3)	N(F3)
Total		N(O1)	N(O2)	N(O3)	N

$$\text{Accuracy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K n(F_i, O_i) \quad (\text{EQ 2.6})$$

$$\text{Heidke Skill Score} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^K n(F_i, O_i) - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^K N(F_i) N(O_i)}{1 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^K N(F_i) N(O_i)} \quad (\text{EQ 2.7})$$

$$\text{HK} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^K n(F_i, O_i) - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^K N(F_i) N(O_i)}{1 - \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^K (N(O_i))^2} \quad (\text{EQ 2.8})$$

강수량이 아닌 강수 확률에 대해서도 표 2.3의 카테고리에 따라 확률 예측의 신뢰도를 산정할 수 있었다. 이 때 Brier Skill Score를 사용하였다 (수식 2.9).

표 2.4 Contingency Table for multi-category forecasts

		Observed			Total
		1 PoHR ≤ 0.3mm	2 0.3 < PoHR < THR	3 THR ≤ PoHR	
Forecast	1	n(F1,O1)	n(F1,O2)	n(F1,O3)	N(F1)
	2	n(F2,O1)	n(F2,O2)	n(F2,O3)	N(F2)
	3	n(F3,O1)	n(F3,O2)	n(F3,O3)	N(F3)
Total		N(O1)	N(O2)	N(O3)	N

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{clim}} \quad (\text{EQ 2.6})$$

$$BS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (Y_k - O_k)^2 \quad (\text{EQ 2.7})$$

Y_k = 정의된 호우의 기준값보다 비가 더 많이 올 확률

O_k = 0(no event) ; 1(yes event)

$BS_{clim} = clim(1 - clim)$

clim = the climatological probability of heavy rainfall values

3. 연구내용

3.1 BSISO impact on heavy rainfall over Asia monsoon region

3.1.1 BSISO-heavy R relationship analysis

그림 3.1은 관측에서 보여지는 BSISO1에 의한 호우 발생 확률을 나타낸 것으로 5월의 사례를 보여준다. Phase 1 일 때 인도양에서 약하게 호우 발생 가능성을 보이다가 Phase 2부터 점차 확률이 높아지면서 위상이 변함에 따라 동쪽으로 그리고 북쪽으로 확률패턴이 움직이는 것을 알 수 있다. 즉, BSISO1의 phase에 따라 호우 발생 확률의 패턴이 움직이는 것을 볼 수 있고 이는 호우 발생 가능성이 phase preference 하다는 것을 의미한다.

또한 그림 3.2는 BSISO2와 관련이 있는 7월의 호우 발생 확률을 예로써 보여주고 있다. Phase 1과 2 일 때 인도양에서 Phase 3,4일 때는 벵갈만 지역에서 약하게 호우 발생 가능성을 보이다가 Phase 5~7일 때는 벵갈만에서 북서태평양으로 북서-남동 방향으로 기울어진 강한 호우 발생 가능성을 가지게 된다. 이 역시 호우 발생 확률은 BSISO2의 위상에 preference 함을 의미한다. 본문에서 제시하지 않았지만 호우 발생 확률은 월별로도 그 위치나 강도에 차이가 있으므로 호우 발생 가능성은 intraseasonal change를 갖는다고 볼 수 있다.

본문에서 모두 제시하지 못한 BSISO1과 BSISO2에 의한 매 월의 호우 발생 확률은 [부록 1]에서 확인 할 수 있다.

BSIS01 (05,90%, over1.0)

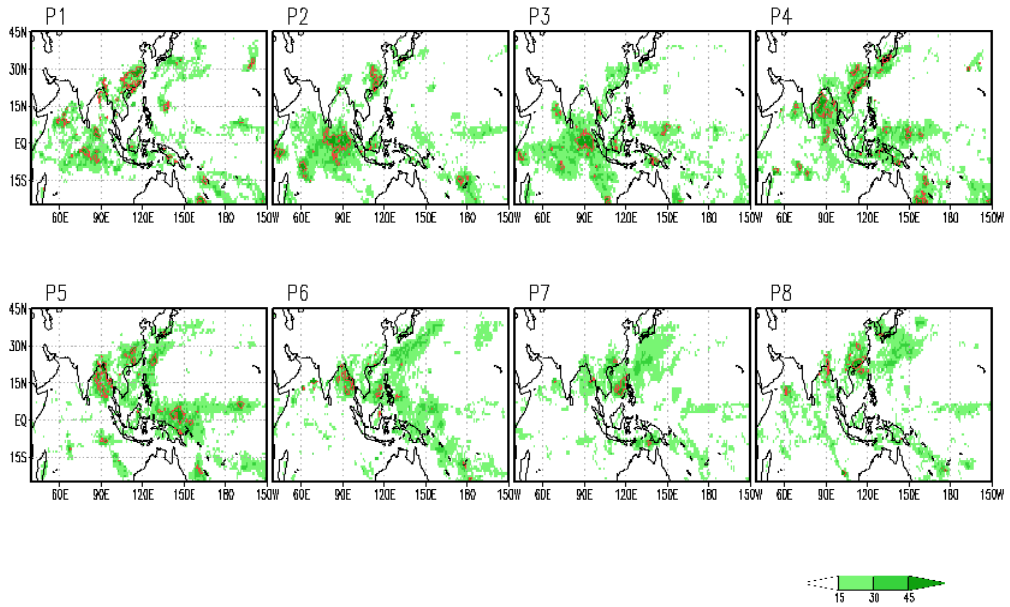


그림 3.1 Probability of heavy rainfall occurrence according to each of BSIS01 phase during MAY.

BSIS02 (07,90%, over1.0)

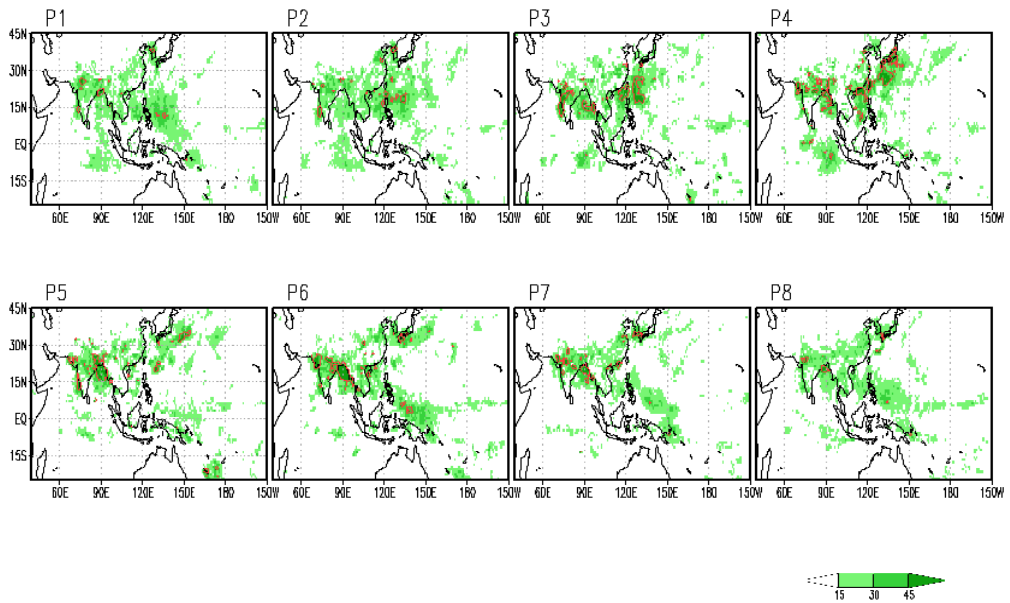


그림 3.2 Probability of heavy rainfall occurrence according to each of BSIS02 phase during JUL.

3.1.2 BSISO-heavy R relationship analysis over Mekong river

본 연구의 대상지역인 인도차이나반도를 중심으로 BSISO로 인한 호우 발생 확률을 상세히 살펴보았다. 10월의 사례를 예로 든 그림 3.3은 BSISO1의 각 phase에 따른 호우 발생 확률을 보여주는데 특히 BSISO1의 위상이 5~7 일 때 인도차이나 반도 전역에 호우가 발생할 확률이 높은 것을 알 수 있다. 이는 6개월, 두 가지의 BSISO 지수, 그리고 각 지수마다 8개의 phase 총 96개의 그림으로 만들어질 수 있는데 대상지역을 중심으로 확률들을 면적 평균함으로써 한 눈에 보기 쉽게 정리할 수 있었다 (그림 3.4, 3.5).

BSISO1에서는 주로 7월부터 phase 4,5,6,7 일 때 호우 발생 가능성이 높고 이러한 양상은 약간의 위상과 정도의 차이는 있으나 10월까지 이어진다 (그림 3.4). BSISO2에서는 8월부터 10월까지 주로 phase 1,2,3 혹은 8이 호우 발생에 큰 기여를 하는 것으로 보여지는데 이 역시 월별로 위상과 정도의 차이가 조금씩은 나타난다 (그림 3.5).

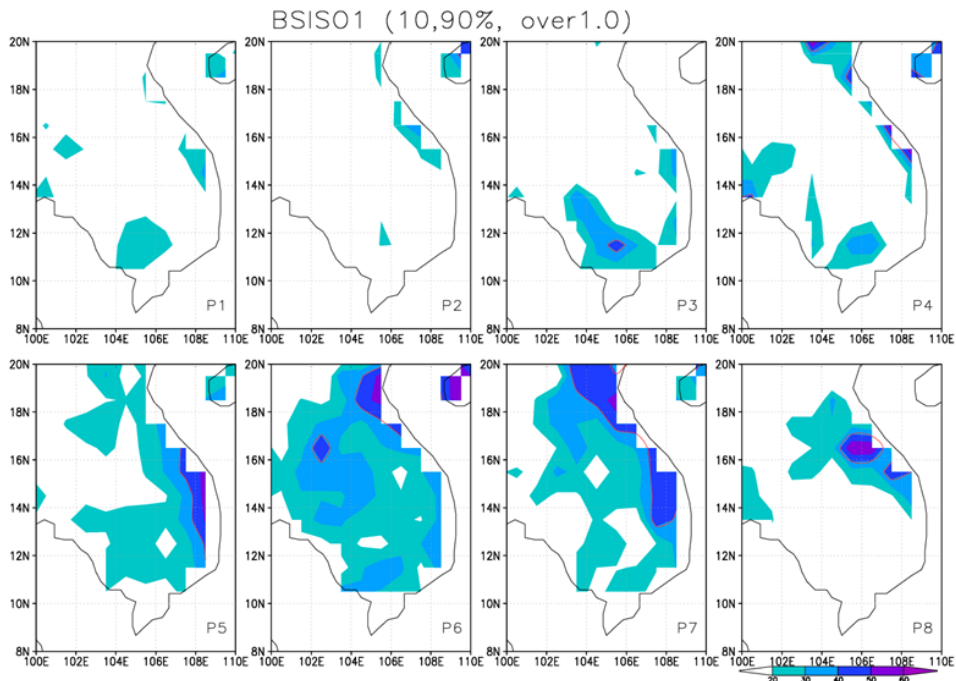


그림 3.3 Probability of extreme rainfall occurrence for Oct. based on BSISO1 phases over Mekong River.

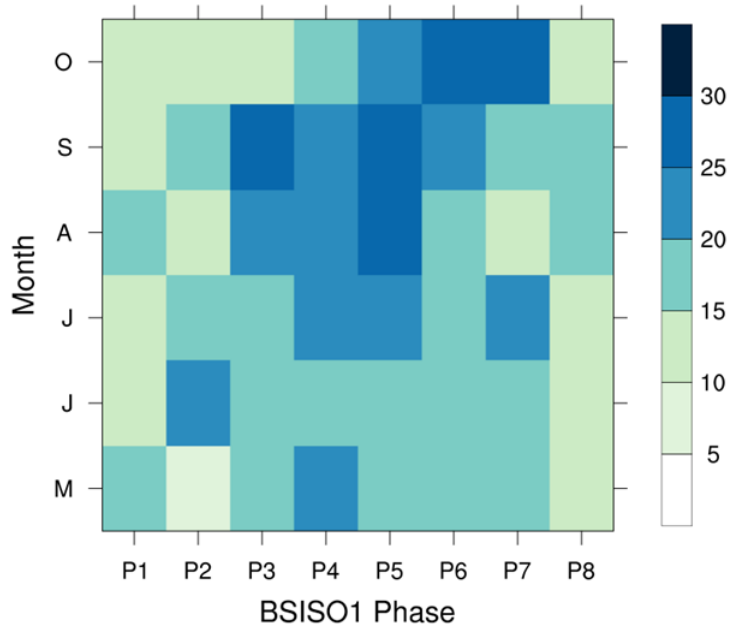


그림 3.4 Probability of Heavy Rainfall occurrence over Mekong River based on BSISO1 index.

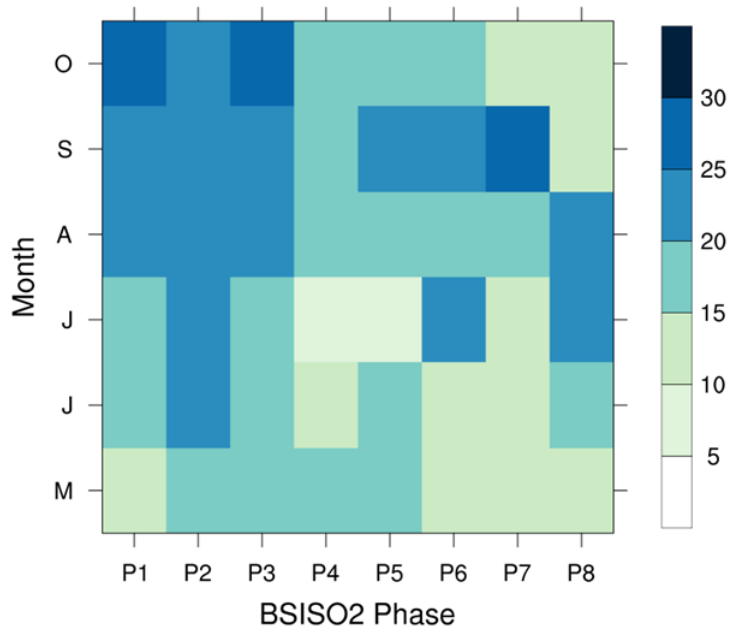


그림 3.5 Same as in Fig. 3.4, but for BSISO2.

3.1.3 Mechanism

인도차이나 반도는 북반구 여름철(5월 ~ 10월)에는 기본적으로 남서풍의 영향을 받는다. (그림 3.6) 그림 3.8에서 보듯이 여름철 평균 강수는 반도의 서쪽 해안을 따라 강하게 분포하고 본 연구의 대상 영역인 캄보디아 지역도 많은 비가 내리는 지역인데 여기엔 지형의 영향(그림 3.7)을 배제할 수 없다.

인도차이나 반도는 여름철에 기본적으로 인도 몬순과 북서태평양 몬순의 영향을 받아 따뜻하고 습한 남서풍의 유입이 우세하다고 알려져 있다. 그러나 최근 Tsai et al.(2015)에 따르면 태국과 캄보디아 지역의 강수는 인도 몬순과 북서태평양 몬순과 상관성이 낮고 오히려 지역적인 지형의 영향을 많이 받는다고 주장하였다(Fig 3.9). 그들은 해양으로부터 습윤한 공기가 내륙으로 유입이 되면 대기 불안정으로 상승한 공기가 응결하여 구름을 만들어내 결과적으로 비를 만들어낸다고 밝히며 습윤한 공기의 유입이 태국 및 캄보디아 지역의 호우 발생에 기본적인 조건임을 주장하였다. 따라서 그들은 습윤한 공기가 유입될 수 있는 해양의 세 지역을 인도차이나의 새로운 몬순 지수로 정의하였고 본 연구에서는 새로운 몬순 지수(Indochina monsoon indices, ICMI)에 BSISO의 기여 여부를 판단함으로써 BSISO으로 인한 메콩강 유역의 호우 발생 메커니즘을 설명하고자 하였다. Tsai et al.(2015)에 의해 정의된 세 지역은 그림 3.10에 나타내었다.



그림 3.6 Monsoon in Indochina.

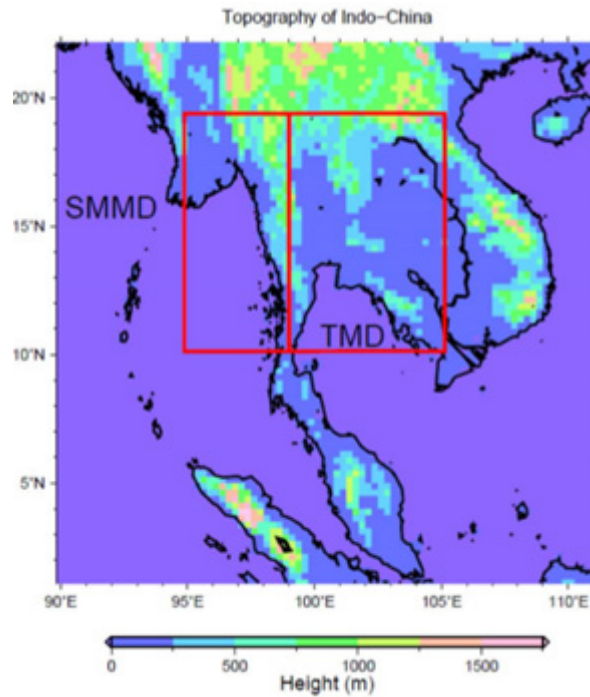


그림 3.7 Topography map for Indochina from Tsai et al.(2015)

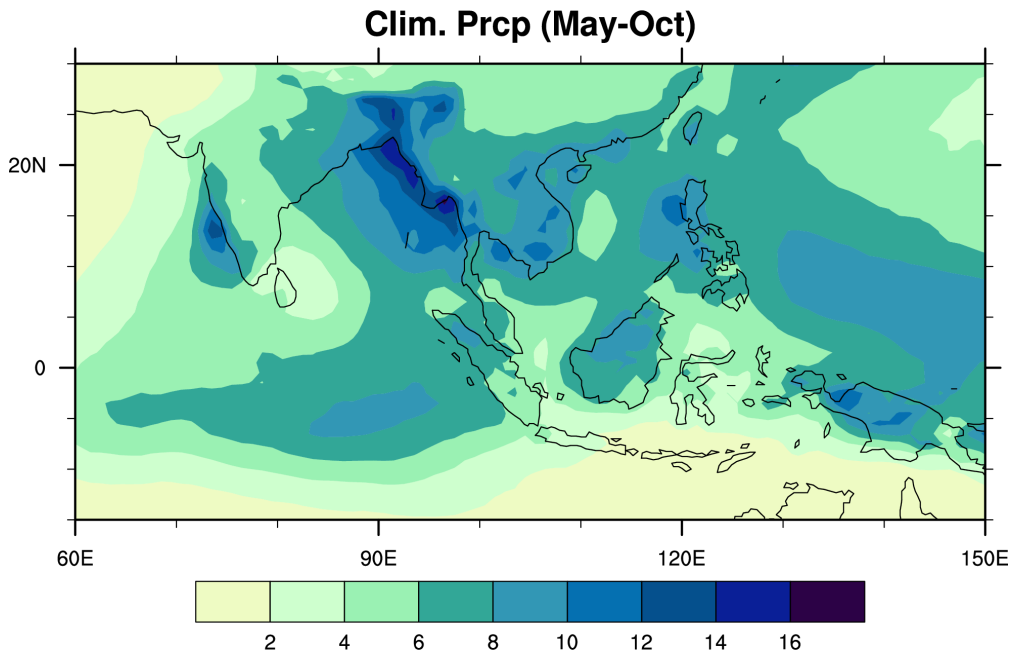


그림 3.8 Climatology of precipitation for MJJASO during 1997-2010.

Table 1 | Correlation coefficients and partial correlation coefficients (in brackets) between SMI and TI with IMI, WNPMI, ICMs, Niño 3 index, EMI and DMI for MAM, JJA and SON. It should be noted that partial correlation between Niño 3 with SMI and TI has excluded the influence of EMI and DMI, and the same process was done to EMI and DMI. For the partial correlation between IMI with SMI and TI, it has excluded the influence of Niño 3, EMI and DMI. The same was done for WNPMI and ICMs. The significant value for 95% two-tailed Student t-test is 0.29

	SMI			TI		
	MAM	JJA	SON	MAM	JJA	SON
Niño 3.0	-0.51 (-0.52)	0.16 (0.03)	-0.15 (-0.13)	-0.62 (-0.63)	-0.17 (-0.21)	-0.05 (-0.03)
EMI	-0.15 (-0.23)	0.15 (0.18)	-0.14 (-0.11)	-0.09 (-0.18)	0.08 (0.08)	-0.12 (-0.11)
DMI	0.19 (0.16)	0.29 (0.26)	-0.05 (0.07)	0.11 (0.05)	0.03 (0.13)	-0.02 (0.03)
IMI	0.57 (0.48)	0.01 (0.07)	0.39 (0.42)	0.58 (0.47)	0.27 (0.20)	0.25 (0.28)
WNPMI	0.29 (0.11)	0.31 (0.23)	0.02 (-0.04)	0.39 (0.21)	0.02 (0.02)	0.03 (0.04)
ICMI I	0.65 (0.61)	-	0.55 (0.59)	0.71 (0.67)	-	-
ICMI II	-	0.66 (0.62)	-	-	-	-
ICMI III	-	-	-	-	0.42 (0.49)	-
ICMI IV	-	-	-	-	-	0.58 (0.61)

그림 3.9 Correlation table from Tsai et al.(2015)

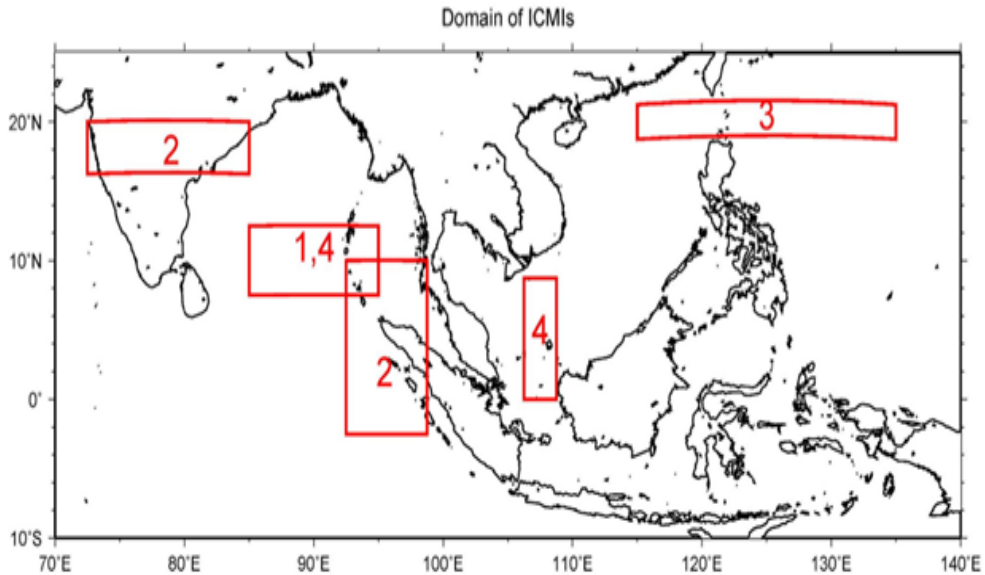


Figure 8 | Domain of ICMI. The boxes represent the domains of ICMI and the numbers represent the type of ICMI.

그림 3.10 Domain of Indochina monsoon from Tsai et al.(2015).

ICMIs의 영역 중 본 연구에서는 하이난 섬 아래의 3으로 표시된 지역을 ICMI 3, 인도양에 1,4로 표시된 지역을 ICMI 4-1, 인도차이나 반도 아래의 지역을 ICMI 4-2 로 표기하겠다.

그림 3.11은 인도차이나에 동풍 유입을 나타내는 지수인 ICMI 3지수와 BSISO 각 지수와의 관련성을 분석한 그림으로 7월의 경우를 한 예로 보여주고 있다. 아래의 box plot에서는 지수와 관계가 높은 phase 들을 빨간색으로 표시하고 해당 phase 일 때 대기 순환장을 box plot 위에 제시하였다. 그림에서 보듯이 BSISO1이 phase 3,4,5,6 일 때 필리핀 해에 고기압성 순환이 자리 잡고 있어서 인도차이나로의 동풍 유입에 호조건인 대기 순환장을 가지고 있음을 알 수 있다. BSISO2는 phase 1,2와 7,8 이 주로 ICMI 3과 관계가 있는 것으로 보여지는데 phase 1,2 일 때는 필리핀 해의 저기압성 순환이 인도차이나로의 동풍을 만들어내는 것으로 보이고 phase 7,8 일 때는 아시아 몬순 지역 전반에 걸쳐 큰 고기압성 순환이 자리 잡음으로써 동풍의 유입이 수월한 것으로 보인다.

그림 3.12는 인도차이나에 서풍 유입을 나타내는 지수인 ICMI 4-1지수와 BSISO

각 지수와의 관련성을 분석한 그림으로 5월의 경우를 예로써 보여주고 있다. BSISO1이 phase 4,5,6,7 일 때 인도양에서 만들어진 저기압성 순환이 점차 동진하게 되므로 인도차이나로의 서풍 유입에 호조건인 대기 순환장을 가지고 있음을 알 수 있다. BSISO2는 phase 3과 4,5가 주로 ICMI 4-1과 관계가 있는 것으로 보여지는데 phase 3 일때는 인도양의 저기압성 순환이 인도차이나로의 서풍을 만들어내는 것으로 보이고 phase 4,5일 때는 남쪽의 고기압과 북쪽의 저기압이 인도차이나 위에 대치하는 형국으로 아시아 몬순 지역 전반에 걸쳐 서풍대가 길게 뻗어있음을 볼 수 있다.

그림 3.13은 인도차이나에 남풍 유입을 나타내는 지수인 ICMI 4-2지수와 BSISO 각 지수와의 관련성을 분석한 그림으로 10월의 경우를 예로써 보여주고 있다. 인도차이나 반도에서 10월은 여름 몬순이 겨울 몬순으로 전환되는 시기이므로 남풍 아노말리의 유입은 건조한 겨울 몬순을 차단하는 효과를 가지게 되어 상대적으로 비가 많이 올 수 있는 조건을 만든다. BSISO1은 phase 6,7 이 BSISO2는 phase 1,2,7,8 일 때 남풍 유입의 호조건을 만들어내는 것으로 나타났고 BSISO1의 phase 6,7의 경우 말레이시아와 인도네시아를 지나는 고기압성 순환으로 인해 남풍의 유입이 수월한 것으로 보인다. 그러나 위에서 언급된 phase 모두 아노말리의 크기가 그리 크지 않고 다른 phase에 비해 뚜렷한 차이를 만들어내지는 못 하는 것으로 나타나 남풍 유입에 BSISO의 기여는 그리 크지 않아 보인다.

그림 3.11 ~ 13에서 보여준 것 이외에 세 가지 몬순 지수에 영향을 주는 BSISO 위상과 순환장 분석 결과들은 [부록 2]에서 상세히 찾아볼 수 있다.

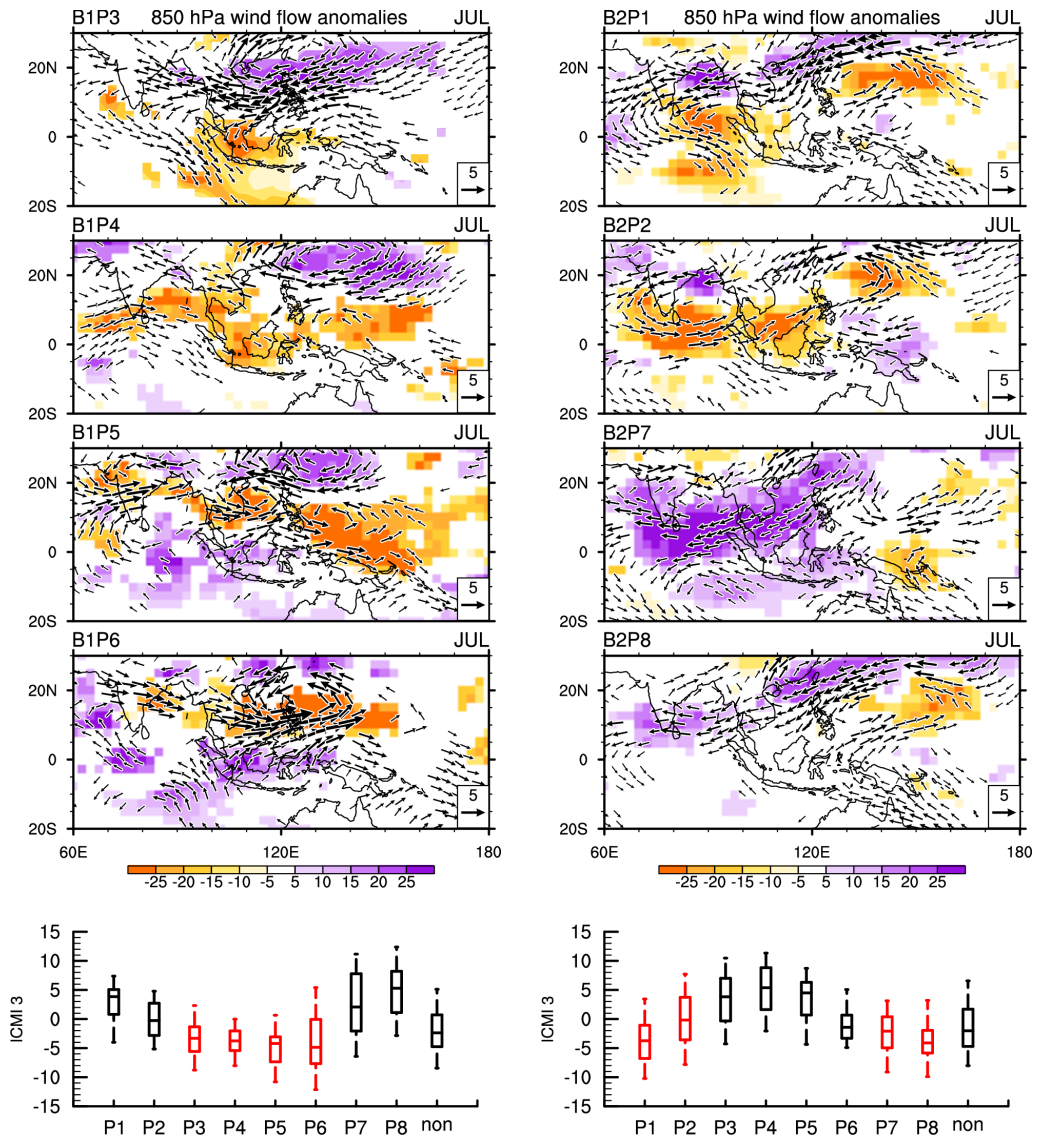


그림 3.11 Relationship between BSISO and ICMI 3 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICMI 3 during Jul.

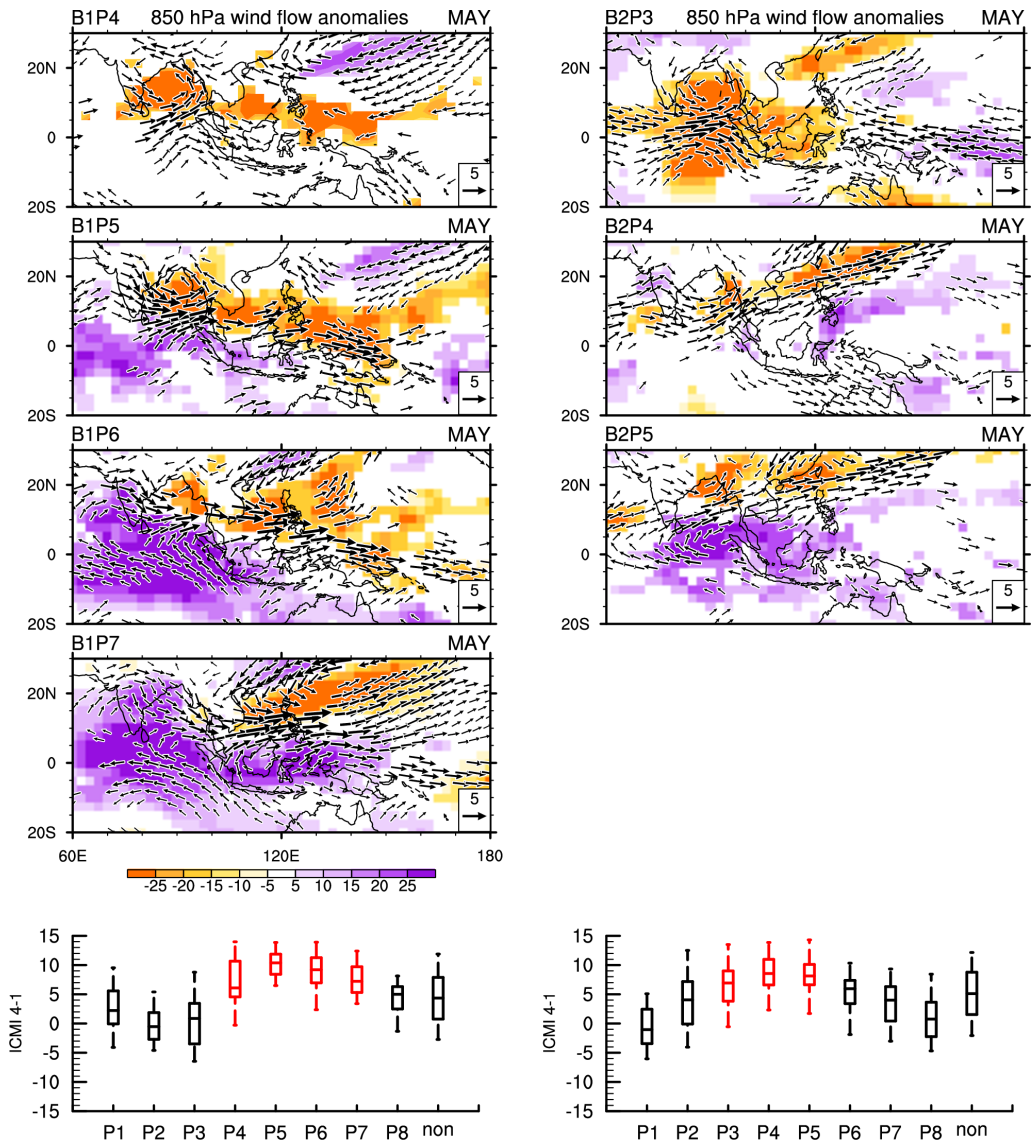


그림 3.12 Relationship between BSISO and ICMI 4-1 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICMI 4-1 during May.

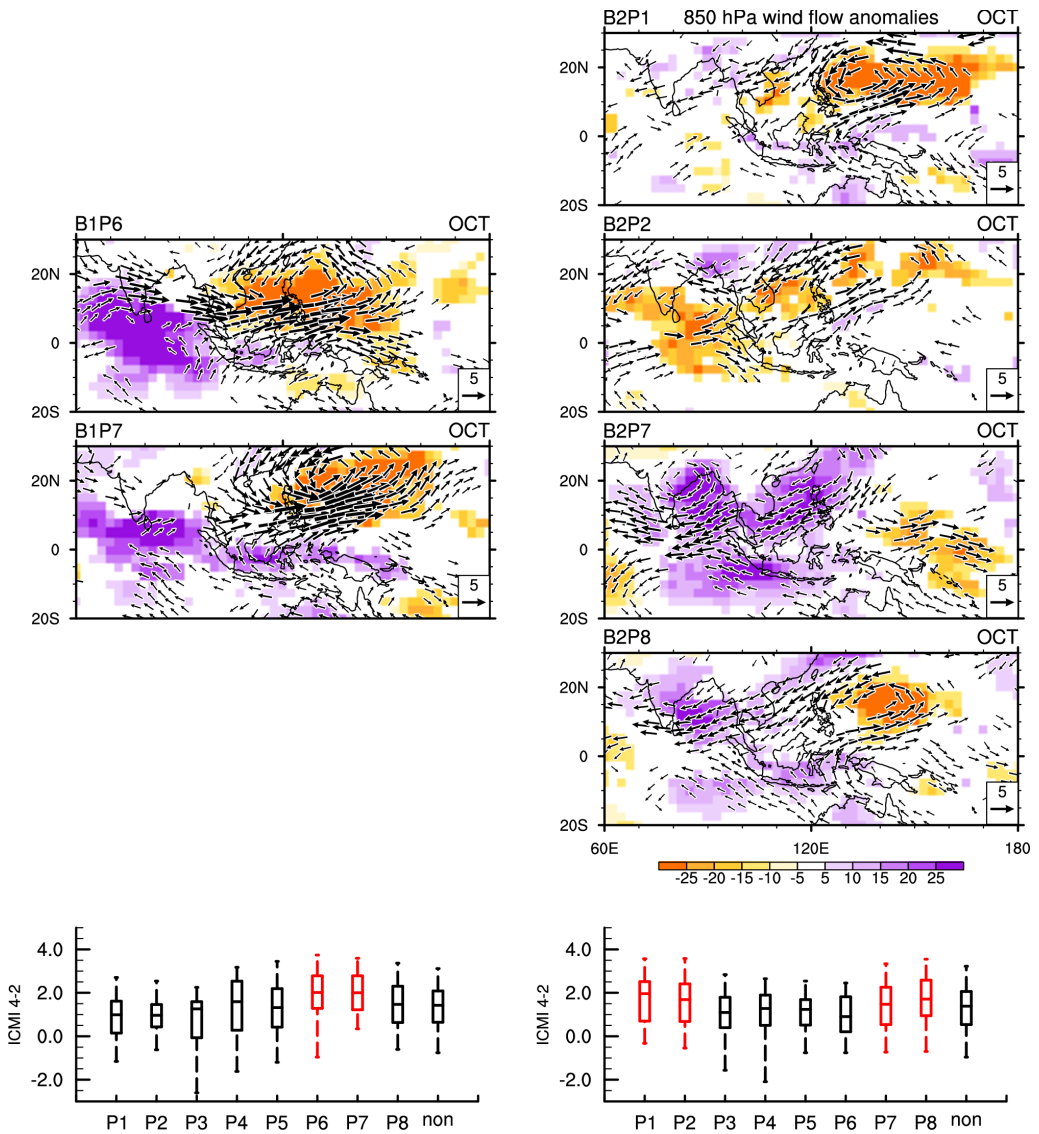


그림 3.13 Relationship between BSISO and ICMI 4-2 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICMI 4-2 during Oct.

그림 3.14와 3.15는 위에서 언급한 세 가지 ICMI와 BSISO와의 관계를 한 눈에 볼 수 있게 정리한 그림이다. 동풍을 지칭하는 ICMI 3은 E로, 서풍을 나타내는 ICMI 4-1은 W로, 남풍의 기여를 말하는 ICMI 4-2는 S로 표기하였다.

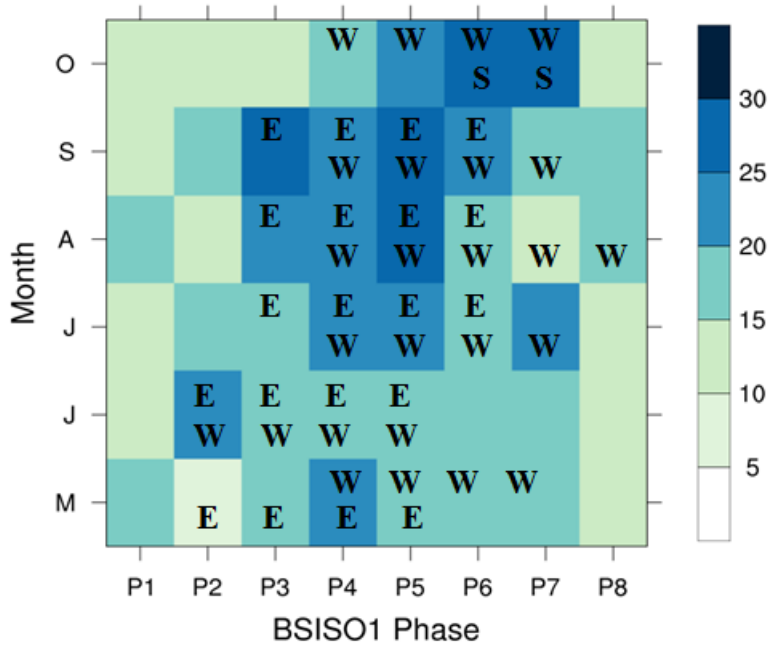


그림 3.14 Table for relationship between phase of BSISO1 and heavy rainfall probability as well as mechanism.

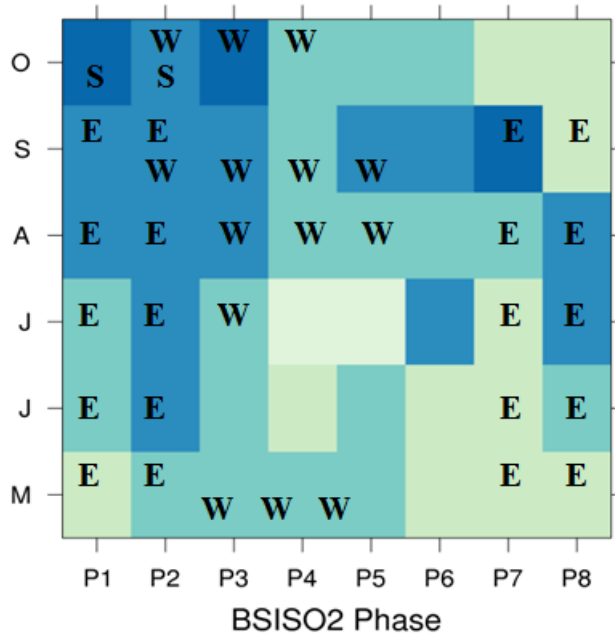


그림 3.15 Table for relationship between phase of BSISO1 and heavy rainfall probability as well as mechanism.

3.1.4 BSISO 예측 지수 기반 호우 발생 가능성 예측 자료 평가

2.2.4에서 논의된 방법에 따라 5개 모형으로부터 생산된 호우 예측장의 신뢰도를 평가하였다. CWB를 제외하고는 작게는 80개에서 많게는 300개까지 예측 스킬을 평가하기에는 충분한 sample size 라고 판단된다. 3.1.4.1과 3.1.4.2에서는 호우 시 강수량에 대한 예측성을 평가하였고 3.1.4.3에서는 호우 확률에 대한 예측 스킬을 살펴 보았다.

표 3.1 Sample size for each forecast model

	ECM	BOM	CFS	GFS	CWB
# of sample	104	80	285	300	29

3.1.4.1 General forecast skill for rainfall amount

그림 3.16과 3.17은 Dichotomous (yes/no) forecasts에 기반하여 호우 시 강수량에 대한 예측성을 평가한 결과로써 ECMWF로부터 예측된 BSISO 지수로 추정된 리드타임 week1의 강수량을 예로 보여준다. 제일 윗 패널은 2.2.4의 방식을 따른 (no LOC) 예측장에 대한 신뢰도이다. 영역 전반에 걸쳐 0.9에 달하는 Hit Rate 값이 나타났다. 그러나 인도차이나 지역에서 False Alarm Rate 역시 상당히 높은 값을 보여 결과적으로 Hanssen and Kuipers discriminant는 0에 가까운 값을 가진다. 또한 Threat Score 역시 영역 전반에 걸쳐 스킬이 없는 것으로 나타나고 있다. 이렇게 예측성이 낮은 데에는 세 가지 원인을 생각해볼 수 있는데 호우 정의 시 지역성 고려 여부, BSISO의 가중치 적용 여부 그리고 호우에 대한 BSISO의 기여도이다. 가능할 법한 원인에 대한 처방으로 첫 째로 호우를 정의할 때 지역성을 고려한 뒤 동일한 과정을 거쳐 신뢰도를 평가해보았다 (위에서 두 번째 패널, LOC). 그 결과 no LOC에 비해 약간의 예측 스킬이 향상되는 것으로 나타났으나 여전히 유의할만한 신뢰도는 아니다. 두 번째로 호우 예측장 생산 시 먼저 BSISO 1과 BSISO 2 각각에 대해 호우 예측장을 만들게 되는데 이 때 동일한 가중치(0.5)를 적용하여 하나의 예측장으로 결합하게 된다. 그러나 실제 대기 변동을 BSISO1과 2가 설명하는 정도는 12%와 7%정도로 차이가 있기에 가중치를 각각 달리하여 계산한 뒤 예측성을 평가해보았다. 그 결과 기존의 방식 (no LOC)을 따랐을 때와 예측 스킬에 차이가 거의 없음을 확인 할

수 있었다 (위에서 세 번째 패널, weighting). 이 두 원인을 함께 고려한 뒤 산정한 예측성을 제일 아래 패널에서 볼 수 있는데 no LOC보다 조금 개선된 예측 스킬을 가지고 있으나 여전히 신뢰하기 힘든 수준이다. 그림 3.17은 week2에 대한 결과로 False Alarm Rate에 있어서 week1에 비해 상당히 개선된 결과를 보이고 있다는 점이 흥미롭다.

그림 3.18과 3.19는 three-category forecasts를 근거로 호우 시 강수량의 신뢰도를 평가하였다. Accuracy에 있어서는 인도차이나 지역에 30% 정도의 예보 정확도를 가지고 있으나 Heidke Skill Score에서는 대부분 지역에서 스킬이 0로 나타나 BSISO 지수로 추정된 호우량 예보는 가치가 없는 것으로 보여진다. 여기서도 locality를 고려할 시에 약간의 예측성 개선이 보이지만 여전히 낮은 신뢰도를 가지고 있다. 그림 3.19에서 보듯이 three-category forecasts를 적용했을 때에도 WEEK1 보다는 WEEK2에서 더 나은 예측성이 나타나고 있지만 신뢰할만한 수준은 아니다.

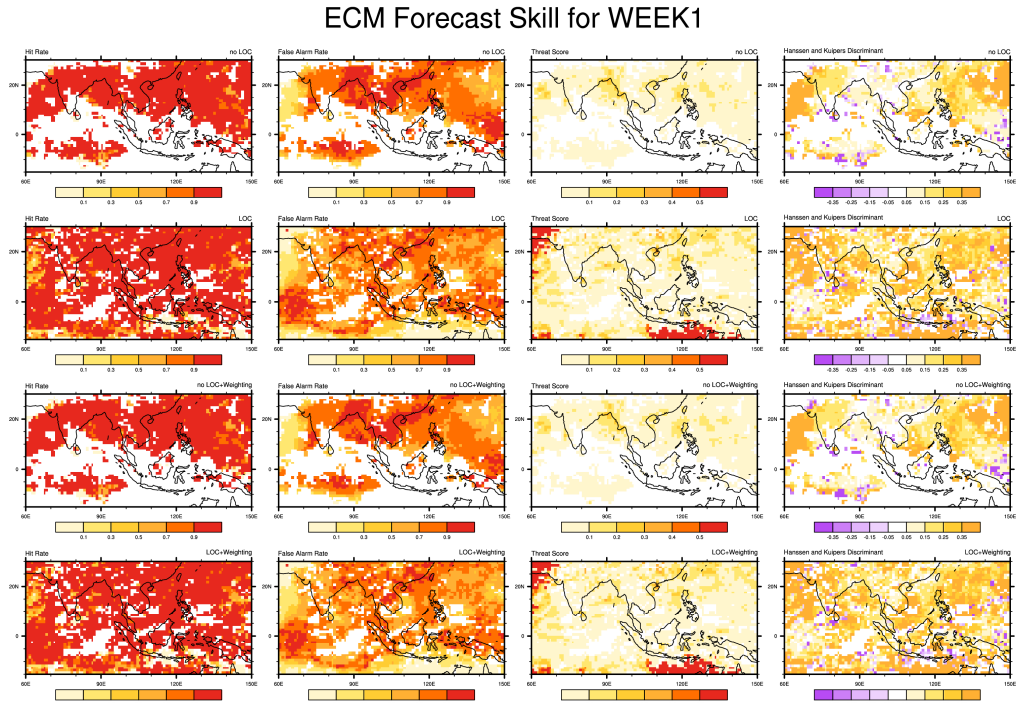


그림 3.16 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using ECMWF for week1

ECM Forecast Skill for WEEK2

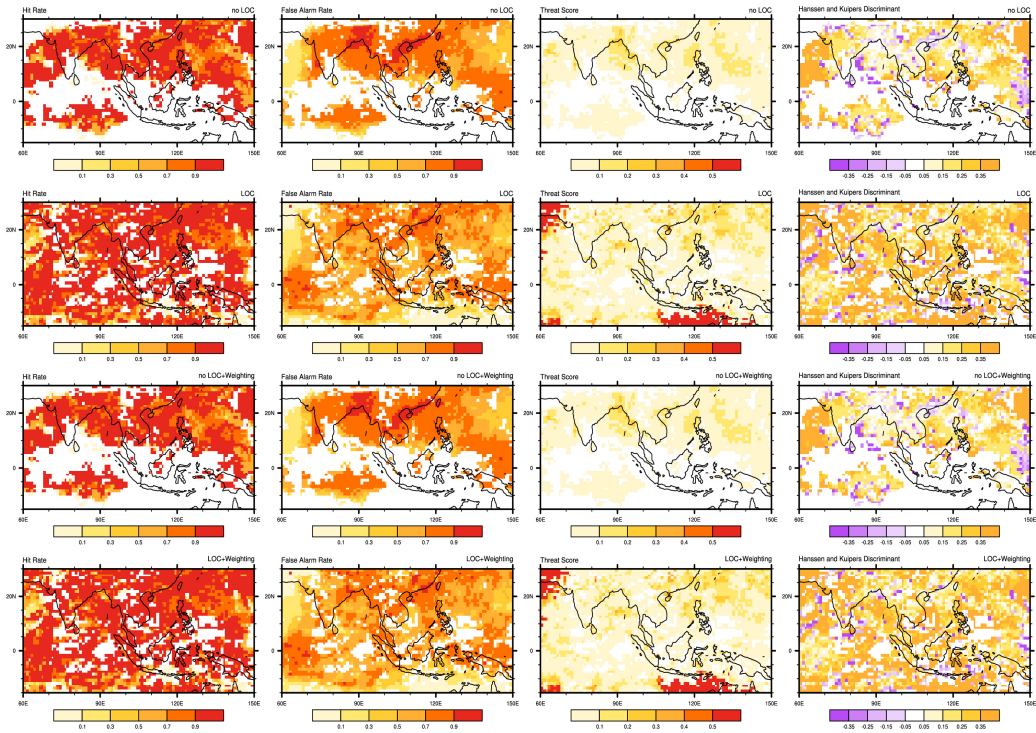


그림 3.17 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using ECMWF for week2

ECM Forecast Skill for WEEK1

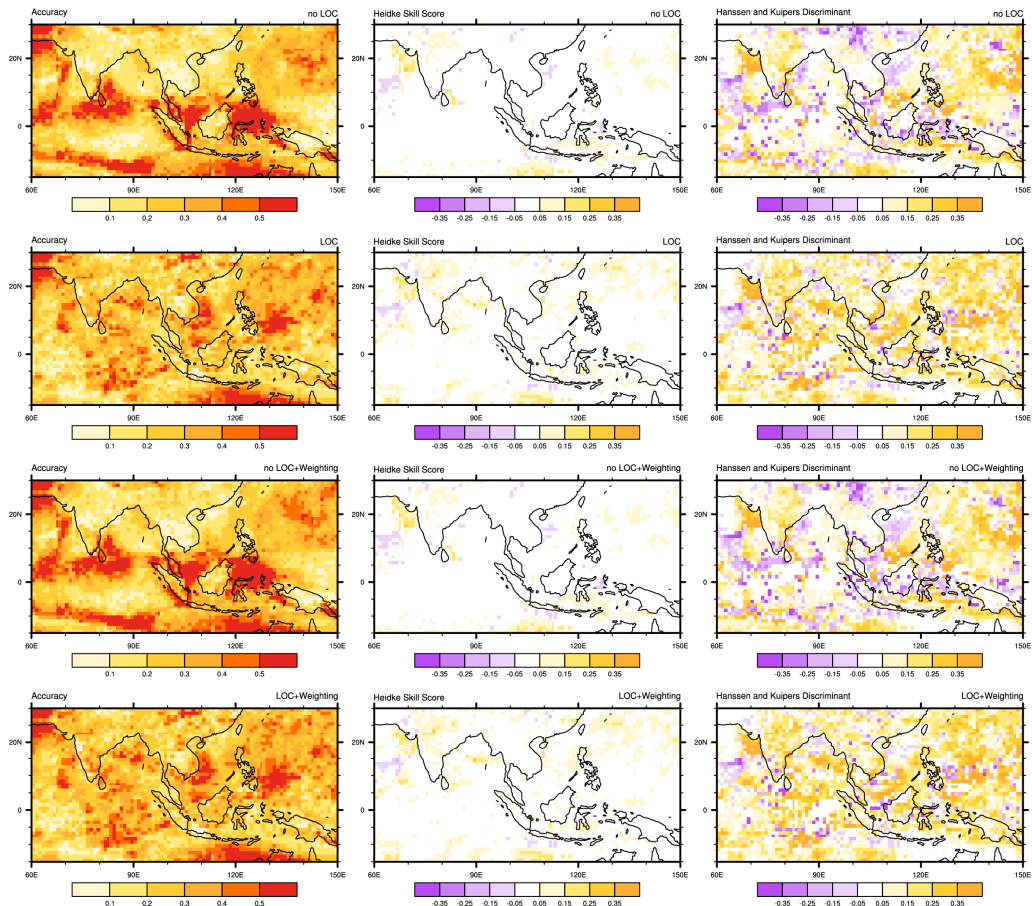


그림 3.18 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using ECMWF for week1

ECM Forecast Skill for WEEK2

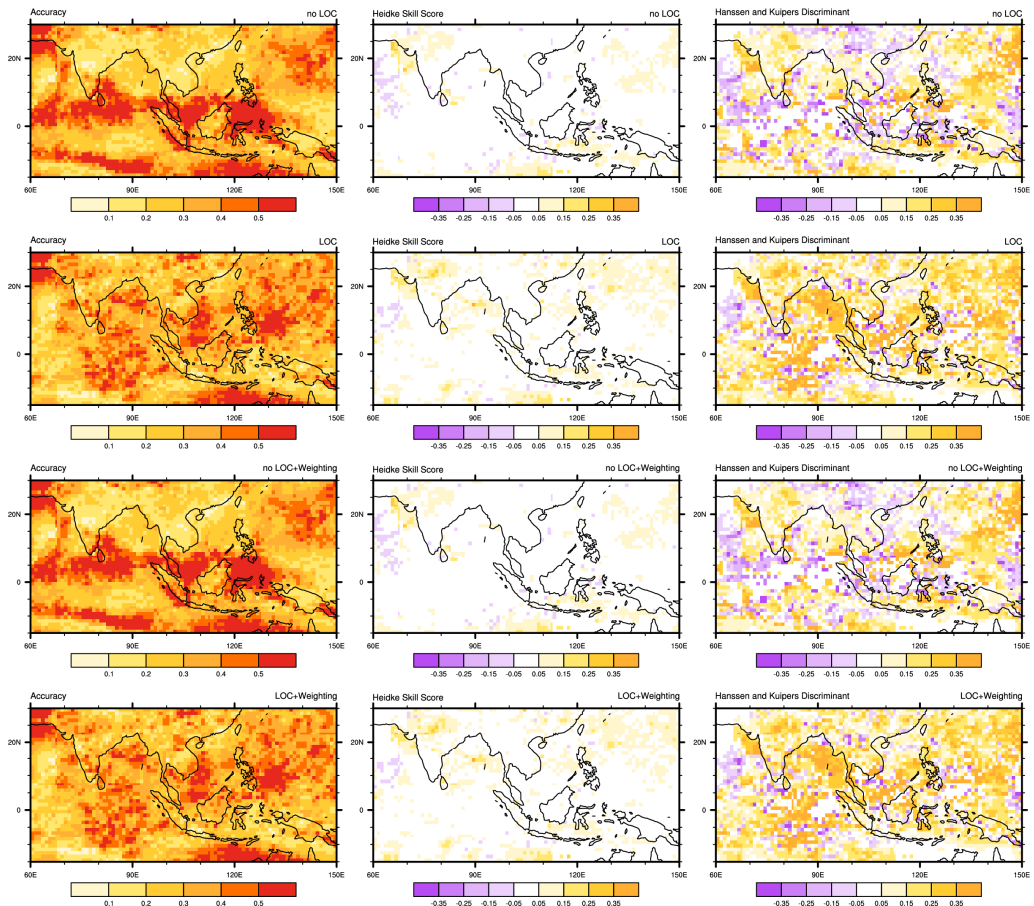


그림 3.19 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using ECMWF for week2

3.1.4.2 Probability Forecast skills

BSISO 예측 지수가 추정한 호우량에 대한 예보는 신뢰도가 낮았다. 그러나 3.1.4.1에서 사용된 검증 기법들은 대부분이 호우와 같은 rare event에는 맞지 않는 기법들로 알려져 있다. 또한 APCC 홈페이지에서 제공하는 서비스는 호우량 예보가 아닌 호우 확률 예보이므로 위에서 다른 검증 방식을 고려해야 한다.

그래서 가끔 발생하는 호우의 특성을 반영할 수 있고 확률 예보의 스킬을 평가할 수 있는 검증 방식인 Brier Skill Score를 적용해보았다. 그림 3.20은 ECMWF로 예측된 BSISO지수가 추정한 호우 확률 예보들을 모아 Brier Skill Score를 계산한 결과이다. 위 패널은 no LOC 일 때 결과이고 아래 패널은 LOC+weighting 일때의 결과이다. 인도차이나 대부분 지역 특히 캄보디아 지역에서 WEEK1 (WEEK2)에는 reference forecast 보다 30%~50% (50%) 개선된 예측을 가진다는 결과를 얻을 수 있었고 WEEK2에서의 예측성이 WEEK1 보다 좀 더 높은 것을 알 수 있었다. 지역마다 편차는 있지만 LOC+weighting의 결과는 오히려 LOC 보다 조금 낮은 값을 가지는 것으로 나타나 BSISO 지수로 추정된 호우 확률예보 시 locality를 고려하지 않는 편이 더 좋은 예측 field를 만들어 낼 수 있음을 알 수 있었다. Jones et al.(2015)에 따르면 리드타임이 일주일 쯤 되는 시점에서의 북미 지역 호우 확률 예보의 Brier Skill Score는 climatological forecast에 비해 약 20%, 이주일 쯤 될 때는 일부 지역에서 10~20%의 개선을 보인다고 한다. 선행 연구에 견주어 볼 때 BSISO 지수로 추정된 호우 확률 예보는 활용의 가치가 높다고 판단된다.

그림 3.22는 BSISO의 CFS에서 생산된 BSISO의 각 phase에 따라 호우 발생 확률의 Brier Skill Score를 살펴본 그림으로 캄보디아 지역[10N-14N, 102E-108E]에 대해 면적평균 하였다. 대체적으로 작게는 30%부터 많게는 70%까지 호우 발생 예측 스킬의 향상이 있고 높은 phase들도 자주 나타나고 있다. 특히 메콩강 유역의 호우 발생에 기여도가 높은 BSISO1의 phase 3~7일 때도 climatological forecast 보다 약 50% 정도의 예측성 향상이 나타나고 있어 BSISO 예측 지수로 추정된 호우 발생 확률 예보가 메콩강 유역에서 predictable 하고 충분한 활용 가능성이 있음을 시사한다. 상대적으로 리드타임이 긴 WEEK2에서 스킬의 값이 WEEK1보다 높은 phase들도 자주 나타나고 있어서 subseasonal timescale에서 BSISO의 활용이 호우 확률 예

측에도 신뢰할만한 수준으로 잘 이루어 질 수 있음을 보여준다. CFS의 경우 BSISO 2의 WEEK1의 경우 스킬이 phase 3,4,5,6 일 때가 높고 나머지 phase에서는 상대적으로 낮아 호우 발생 확률의 예측성에 phase dependency를 보인다.

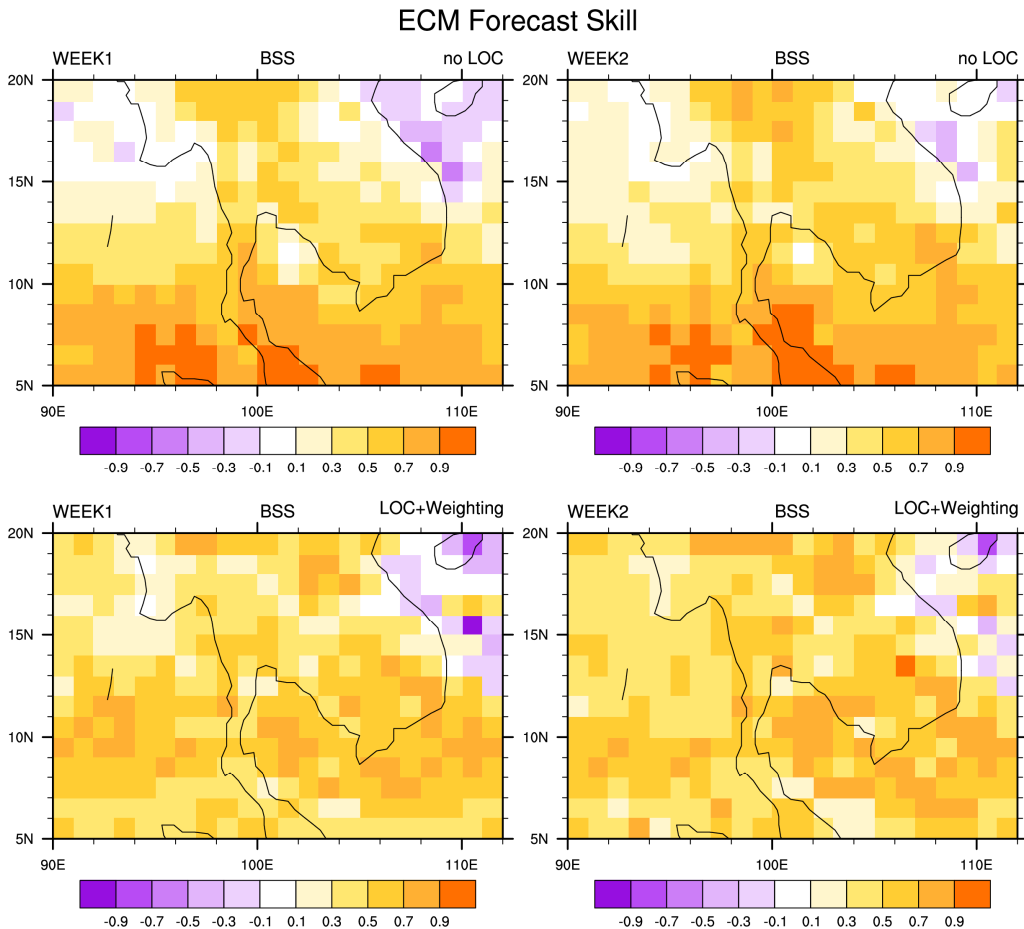


그림 3.20 The Brier skill score for probability forecasts of heavy rainfall estimated by BSISO forecast indices using ECM. Lead times and methodologies for making heavy rainfall forecast are shown in the upper left and right of each panel, respectively.

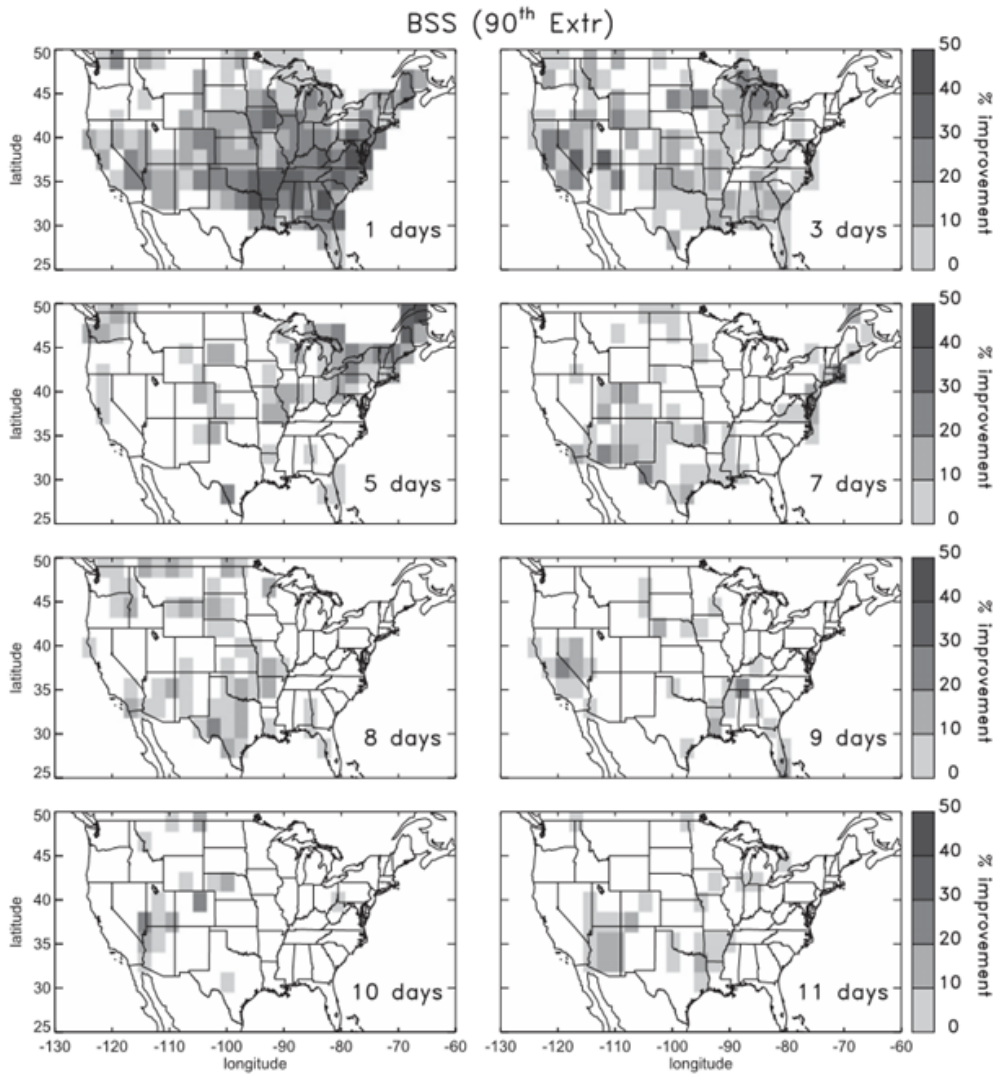


그림 3.21 The Brier skill score for probability forecasts of heavy rainfall from Jones et al.(2015).

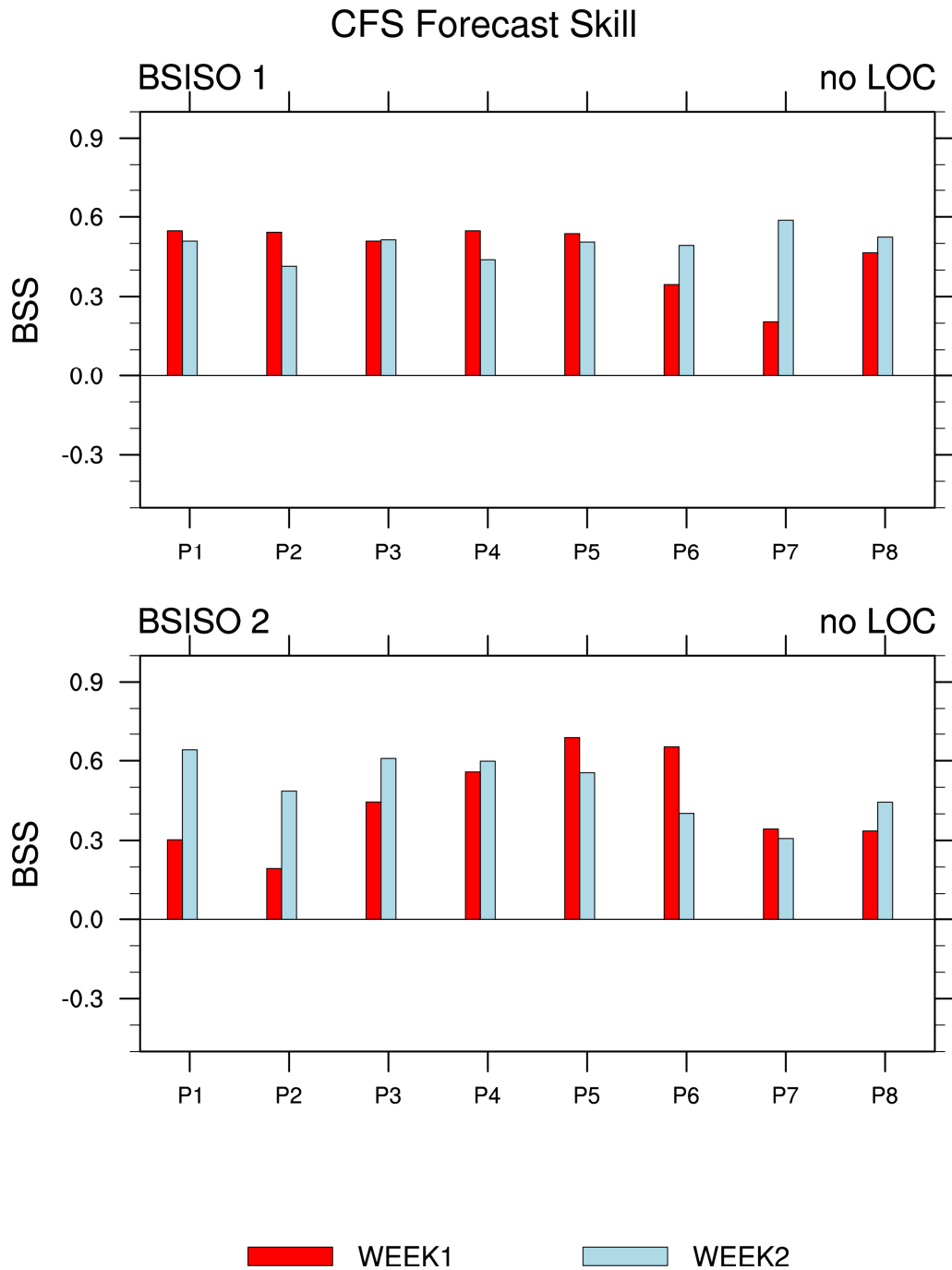


그림 3.22 The BSS for probability forecasts of heavy rainfall estimated by BSISO forecast indices using CFS. The BSS was validated on each phase of the eight BSISO1(upper panel) and BSISO2(lower panel) phases. Red(blue) bars show distributions for WEEK1 (WEEK2) lead time.

3.1.4.3 Guidance

지금까지의 연구 결과들을 토대로 메콩강 유역에서의 BSISO 예보 활용 방법을 정리하고자 한다. 가이드스는 2013년 9월의 호우 사례를 중심으로 작성해보았다.

1 단계. BSISO 예측 지수 확인

APCC의 홈페이지에서 BSISO phase diagram을 통해 BSISO의 위상과 크기를 중심으로 향후 2주에 대한 BSISO의 변화를 확인한다.

그림 3.23은 2013년 9월 2일로부터 2주간의 BSISO 예측을 보여주고 있다. BSISO 1은 강한 크기를 가지고 phase 1에서 머물다가 시간이 지남에 따라 빠르게 약화 된 뒤 9월 15일경 phase 7의 모습으로 다시 active해 지는 것을 볼 수 있다. BSISO 2는 예보 초기에는 약한 크기를 가지다가 9월 15일경부터 점차 강해진 후 이후 일주일 간 phase 1과 phase 2의 모습으로 활발하게 활동한다. 공통적으로 9월 15일부터 일주일 정도는 BSISO 1과 BSISO 2 모두 강한 강도를 가지는 것으로 예측되고 이 때 각각의 위상은 B1P7, B2P1-2 이다.

2 단계. BSISO-호우 Relationship table 확인

본 보고서의 그림 3.14와 3.15를 찾아서 예보일에 해당하는 월을 중심으로 예측된 BSISO phase일 때의 호우 발생 확률과 그 때의 주요 메커니즘을 파악한다.

그림 3.14에서 본다면 9월에 B1P7은 15%의 호우 발생 확률을 가지고 이 때 인도차이나 반도 서쪽에서 불어오는 습윤한 서풍이 대상지역의 호우 발생에 주된 메커니즘임을 알 수 있다. 또한 그림 3.15로부터 9월의 B2P1-2는 메콩강 유역에 25% 이상의 호우를 발생시킬 수 있는 환경을 만들 수 있는데 이 때 주로 하이난 섬 아래에서 불어오는 동풍과 인도양에서 불어오는 서풍의 영향을 받음을 확인할 수 있다. 이러한 relation table을 통해 우리는 9월 15일부터 이후 일주일간 메콩강 유역에는 서풍과 동풍의 유입이 유리한 대기 조건에 놓이게 되어 작게는 15%부터 많게는 25%이상의 호우 발생 확률을 예상할 수 있다.

사흘 뒤인 9월 5일에 다시 예보된 9월 15일 이후의 BSISO phase diagram에서도 BSISO1은 phase 7-6, BSISO2는 phase1-2을 보여주고 있다 (그림 3.24). Relationship table을 근거로 9월 15일부터 이후 메콩강 유역에는 서풍과 동풍의 유입이 유리한 대기 조건에 놓이게 되어 작게는 15%부터 많게는 25%이상의 호우 발생 확률이 예상된다.

일주일 뒤인 9월 12일에 예보한 9월 15일 ~ 20일의 BSISO는 BSISO1이 강하게 phase 7-6의 모습을 가지고 BSISO2 역시 크기 1.0 이상의 phase 2-3의 모습을 가지므로 메콩강 유역에 서풍과 동풍으로 인한 최대 25% 이상의 호우가 발생할 것으로 예상된다.

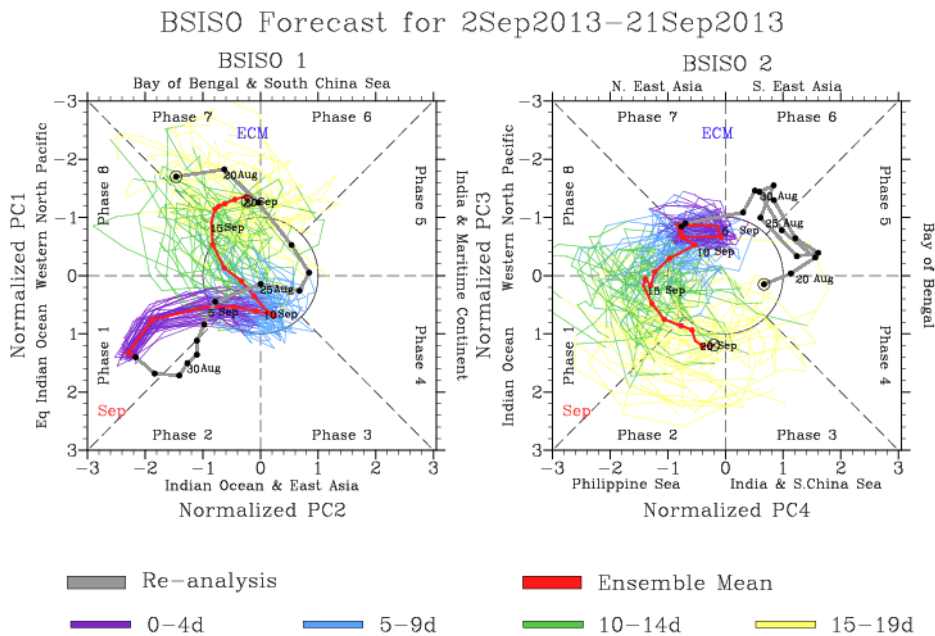


그림 3.23 BSISO phase diagram for forecasts initiated from 2 SEP, 2013.

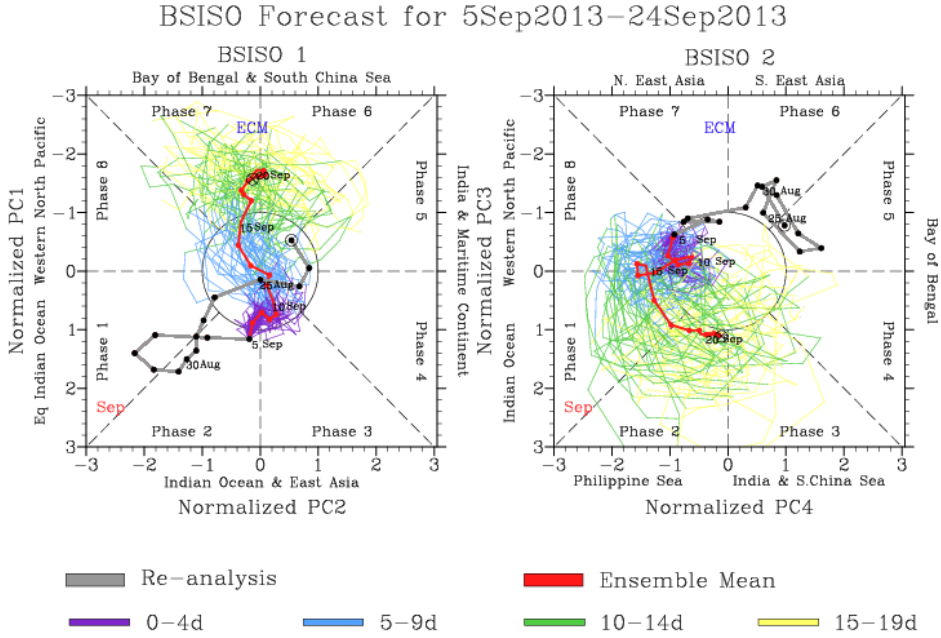


그림 3.24 Same as Fig. 3.23, but for 5 SEP, 2013.

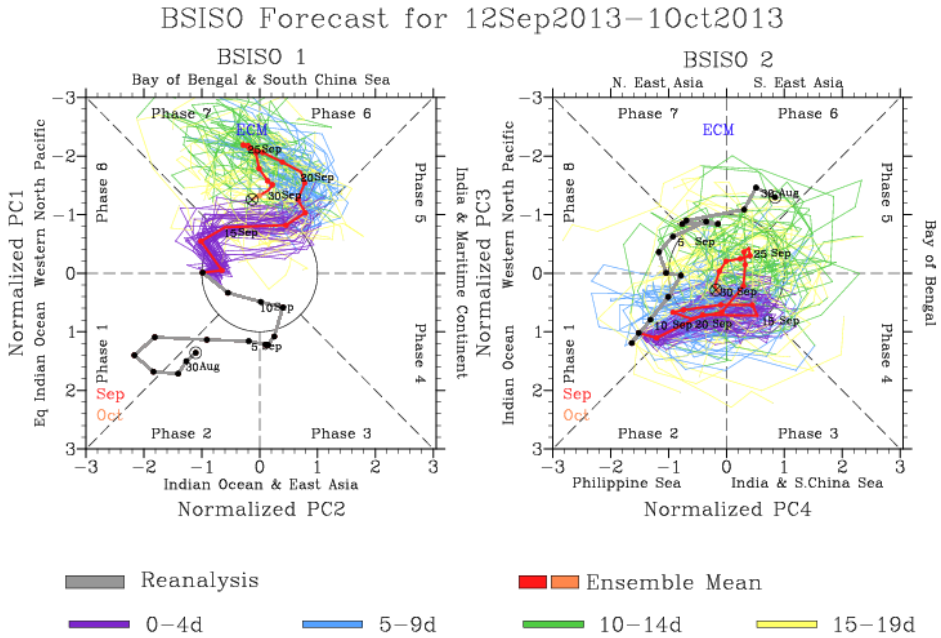


그림 3.25 Same as Fig. 3.23, but for 12 SEP, 2013.

3 단계. 호우 확률 예보 콘텐츠 확인

좀 더 쉽게 호우 발생 확률 예보를 알고자 한다면 APCC 웹페이지에서 실시간으로 제공하는 BSISO로 추정된 호우 발생 확률 예보 map을 확인한다.

2016년부터 BSISO phase diagram과 더불어 호우 확률 예보가 APCC 웹페이지를 통해 실시간으로 제공되고 있다 (그림 2.7). 위에서 제시한 사례일에 예보된 호우 발생 확률 예보장을 메콩강 유역을 중심으로 확대하여 그림 3.26에서 보여주고 있다. 메콩강 유역은 9월 2일에 예측된 2주 후의 호우 확률에서는 약 15% 이상의 값을 가지고 있는데 이후 초기장의 날씨가 시간이 점차 지날수록 호우 발생 확률이 30%까지 증가하고 있다. 이는 2단계에서 예상한 바와 유사한 결과로 phase diagram에 대한 이해도가 낮고 BSISO-heavy rainfall relationship map을 가지지 못한 사용자라 할지라도 직관적으로 관심지역의 호우 발생 확률을 예측할 수 있다는 장점이 있어 사용자 친화적인 서비스 콘텐츠라고 볼 수 있다.

ECM Forecast Skill for WEEK2

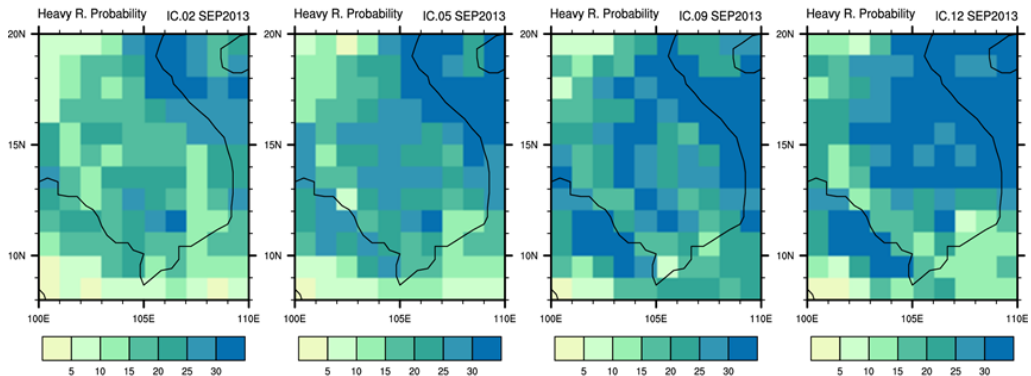


그림 3.26 Probability forecast of heavy rainfall determined by predicted BSISO indices for Sep. 2013.

4 단계. 메커니즘 이해

2 단계에서 얻은 정보와 관련하여 메커니즘을 좀 더 알고 싶다면 본 보고서의 3.1.3절 혹은 [부록2]에서 찾아볼 수 있다.

[부록 2]의 그림 A2.5와 A2.10 으로부터 볼 수 있듯이 BSISO1이 6,7의 위상을 가질 경우 남중국해에 강한 대류성 순환이 인도차이나 남서쪽 아래 적도인도양에 고기압성 순환이 자리잡음으로써 인도차이나 반도의 북쪽으로는 동풍이 남쪽으로는 서풍이 유입되기 쉬운 조건을 가지게 된다. 또한 BSISO2가 1,2의 위상을 가질 경우에는 중국 남부에서 미얀마까지 대륙에는 고기압성 순환이, 필리핀해에서부터 인도네시아에 이르는 해양 지역에는 동서로 넓은 저기압성 순환이 남북 dipole 구조로 대치하면서 인도차이나 지역으로 동풍의 유입의 호조건이 만들어진다.

5 단계. 예측의 신뢰도 고려

단, 본 연구를 통해 생산한 BSISO 정보 기반 호우 발생 확률에 대한 2주 예보를 활용할 시 메콩강 유역은 climatological forecast에 비해 30%~50% 정도의 예측성 향상의 효과를 볼 수 있음을 염두해 두어야 한다.

3.1.4.4 Case Study Evaluation

그림 3.26에 상응하는 관측의 강수 아노말리를 그림 3.27에 함께 나타냄으로써 2013년 9월 호우 사례에 대해서 가이던스에서 예상한 바가 실제 나타났는지 검증을 하고자 한다. 9월 9일-15일에는 평년보다 약 10mm/day 정도의 강수가 더 내리다가 이후 12일-18일에 내륙에 22mm/day 이상의 많은 양의 강수 아노말 리가 나타나고 이는 16일-22일에도 지속되다가 19일 이후에 사라졌다. ECMWF에 의한 2주후의 호우 확률예보들은 시간에 따른 강수 아노말리의 변화와 지역적 특징을 잘 모의하는 것으로 보여진다.

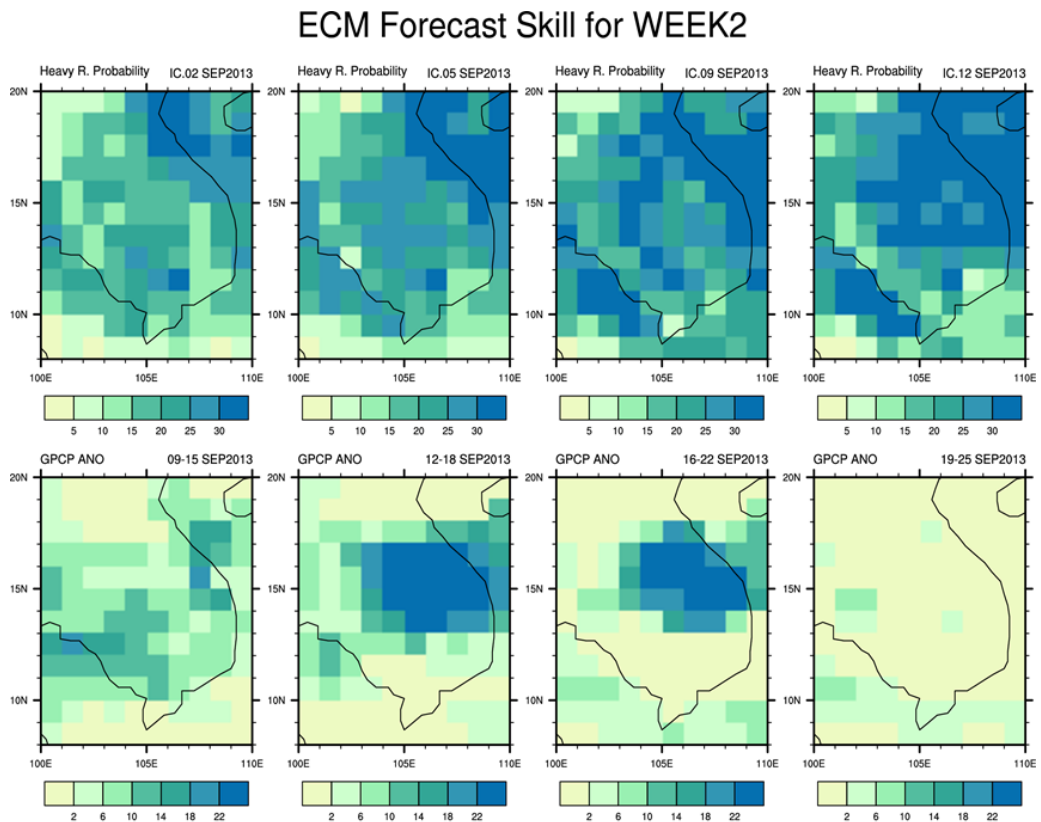


그림 3.27 Probability forecast of heavy rainfall determined by predicted BSISO Indices and observed precipitation anomalies for Sep. 2013.

phase diagram에서 굵은 주황색 선은 본 연구에서 사례로 두고 있는 9월 15일-20일의 BSISO 지수인데 세 번의 예측에서 예상한바와 같이 BSISO1은 phase 6에 BSISO2는 phase 2의 환경에 놓여있다. 이 때 메콩강 일대의 강수와 하층 바람장 아노말리를 그림 3.29에서 나타내었는데 9월 16일에 강한 양의 강수 아노말리를 가진 저기압성 순환이 인도차이나 동쪽에 발생했고 이것이 서쪽으로 이동하면서 17일-19일 사흘에 걸쳐 내륙에 많은 양의 비를 내리게 했음을 확인할 수 있다.

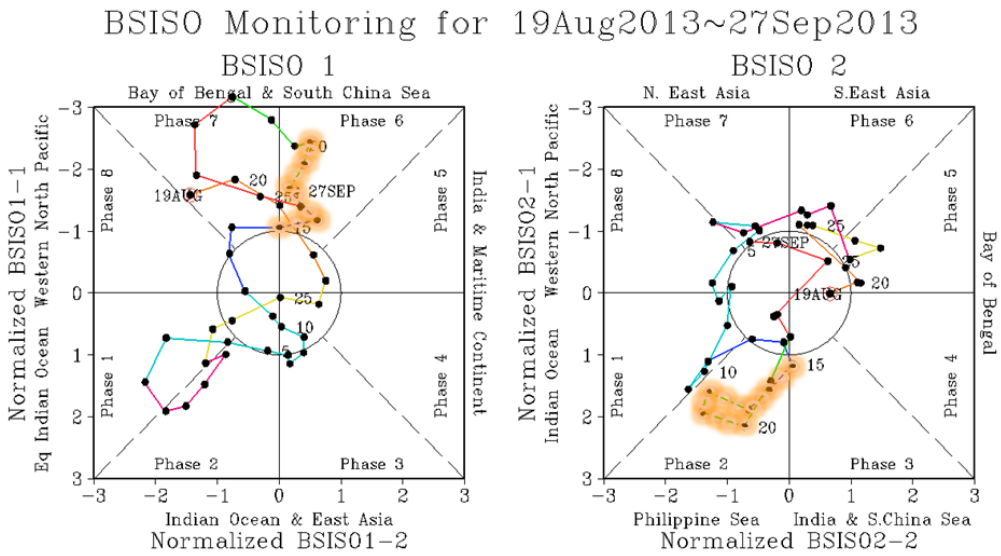


그림 3.28 BSISO phase diagram for observation during SEP, 2013.

Precip. & 850hPa Wind ANO (09-20SEP 2013)

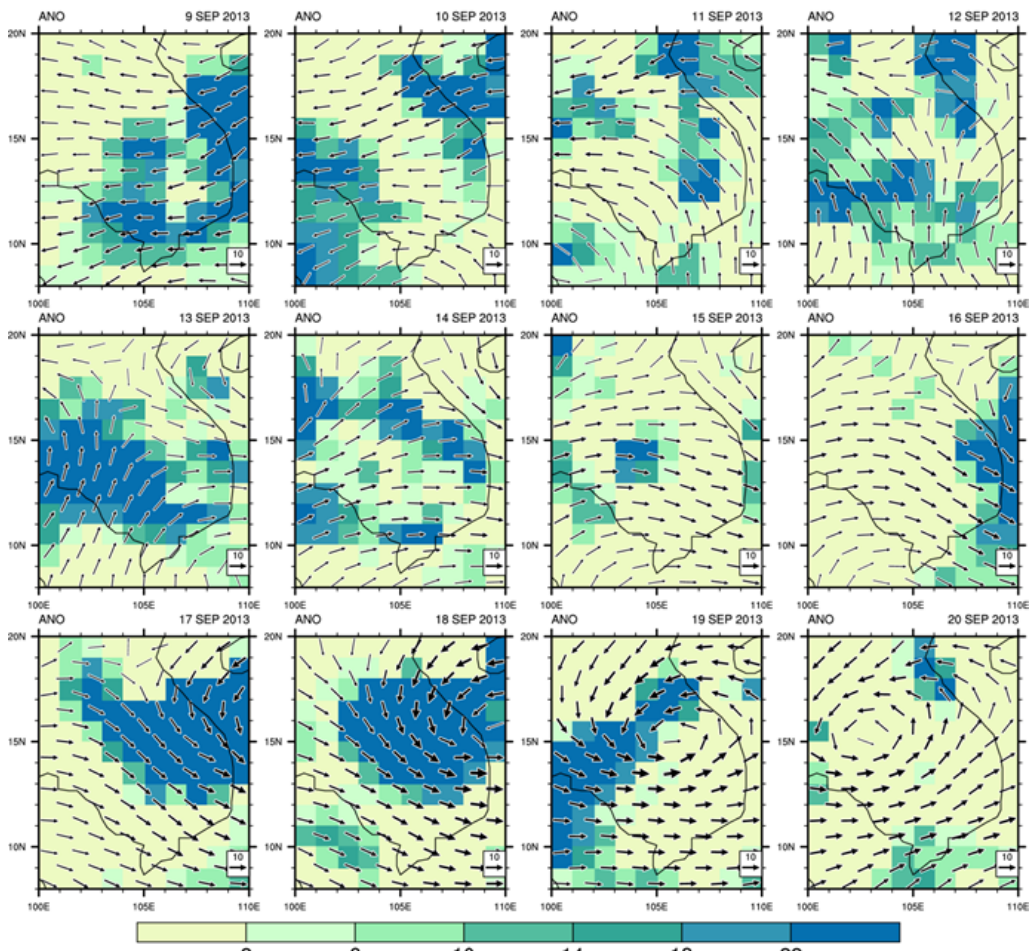


그림 3.29 Observed anomalies for precipitation and wind field at 850hPa during case study period.

4. 토론 및 결론

4.1 토론

3.1.4.1에서 논의되었던 바 있듯이 BSISO 지수에 기반하여 호우 시 강수량 혹은 호우 확률을 예측할 때 세 가지 정도 짚어볼 것들이 있다. 호우 정의 시 지역성 고려 여부, BSISO의 가중치 적용 여부 그리고 호우에 대한 BSISO의 기여도이다.

BSISO의 가중치 문제에 대해서는 우리는 이미 3장에서 가중치가 전체 결과에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 그렇다면 향후 연구에서는 실제 대기에서 BSISO가 기여하는 정도를 고려한 가중치를(BSISO1 : 0.62, BSISO2 : 0.38) 사용하는 것이 더 적절한 방법일 듯하다.

호우 정의 시 지역성 고려 여부에 대해서는 그림 3.20에서 보듯이 지역성을 고려하지 않았을 때 더 실제 호우 발생과 유사한 예측을 만들어 내는 것으로 보인다. 특히 Brier Skill Score 계산 시 사용된 climatological forecast인 그림 4.1과 4.2를 비교하여 볼 때 지역성을 고려하지 않았을 때 가질 수 있는 호우의 climatological probability 분포가 실제 여름철 강수의 기후장(그림 3.8)과 그 패턴이 더 유사하다는 것을 알 수 있다. 따라서 많은 비로 인해 실제 발생할 수 있는 홍수의 피해를 염두한 연구라면 locality를 고려하지 않고 호우를 정의한 본 연구의 방식이 reality에 더 가까우면서도 더 의미를 가진다고 판단된다.

BSISO 예측 지수로 호우를 추정하는 방식에 있어서 호우의 예측성을 증가시킬 수 있는 여지가 있는 부분은 BSISO 예측 지수의 스킬 개선이다. 관측에서 생산된 BSISO 지수는 우리가 perfect model을 가졌을 경우의 상황이라고 여길 수 있기에 관측의 지수와 관측의 호우 발생 확률을 결합하여 '호우확률 예측장'을 생산하고 그 신뢰도를 그림 4.3에 나타내었다. 관측지수를 사용했을 때가 ECMWF 예측 지수를 사용했을 때 보다 오히려 더 낮은 호우 확률 예측성을 보여주었다. 이를 통해 우리는 세 번째 문제인 호우에 대한 BSISO의 기여도 정도를 살펴볼 수 있는데 완벽한 모델이라 할지라도 호우 발생에 대한 BSISO의 기여도는 한계가 있음을 알 수 있고 BSISO가 전체 대기 변동의 약 20%만을 설명할 수 있는 현상이므로 이는 당연한 결과라고 생각된다. 그러나 호우에 미치는 BSISO의 영향이 한계가 있음에도 불구하고

본 연구에서 밝혔듯이 BSISO 예측 지수는 메콩강 유역의 호우확률을 예보하기에 충분한 활용 가치가 있다.

또한 본 연구에서는 BSISO와 호우 발생 확률을 계산할 때 (2.2.1절) BSISO 지수의 크기가 1.0인 날들에 대해서 분석하였다. 이렇게 만들어진 합성장은 2.2.4절에서 설명된 것처럼 호우 발생 확률 예보 생산 시 BSISO 예측 지수와 함께 활용된다. BSISO 강도를 1.0으로 두는 것이 호우 확률 예보에 적합한가를 판단하기 위해서 BSISO 강도의 기준에 따라 호우 확률 예보의 예측성을 비교해보았다 (그림 4.4). BSISO 지수의 강도가 1.0, 1.5 그리고 2.0 이렇게 세 가지 경우일 때 호우 확률 예보의 Brier Skill Score를 계산하였다. 그 결과 지역에 따라 조금씩의 차이는 있지만 대체로 BSISO 지수의 크기가 1.0일 때 호우 확률 예보의 신뢰도가 나은 것으로 보인다. 특히 본 연구의 주요 대상 지역인 캄보디아 인근은 BSISO 지수의 크기가 1.0일 때 Brier Skill Score가 가장 높은 것으로 나타나 본 연구에서 설정한 BSISO 강도의 기준(1.0)이 메콩강 유역의 호우 확률 예보 생산에 적합한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 호우 발생 확률 예측에 있어서 BSISO 예측 지수의 활용성을 평가하기 위하여 호우로 인한 홍수 발생에 취약한 메콩강 유역을 대상 지역으로 선정하여 분석하였다. 향후 실제 메콩강 지역의 강수량 및 홍수 자료와의 비교를 통해 본 연구에서 사용한 호우 기준값에 대한 적합성을 평가하고 나아가 더 유용한 기준값 산정 및 민감도를 살펴보는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

연구의 확장성 측면에서 BSISO라는 현상에 의한 호우 발생이라는 전제를 두고 다른 지역으로의 적용 가능성을 살펴본다면, 부록1에서 보듯이 BSISO의 주요 center가 활동하고 이동하는 즉, BSISO로 인해 직접적으로 강수의 영향을 받을 수 있는 5°S ~ 25°N 인근의 아시아 몬순 지역은 기본적으로 BSISO로 인한 영향을 살펴볼 수 있는 조건을 갖추었다고 보여 진다. 특히 이 영역은 2.2.2절에서 언급한 것처럼 현 강수 예측 기술 수준에서 활용할 만한 가치가 있는 지역으로 고려되는 만큼 수문학적 조건을 만족하는 홍수에 취약한 지역이 있다면 충분히 확장 적용할 수 있으리라 생각된다. 그 중 미얀마는 기후학적으로 여름철에 많은 비가 내리는 지역 중 하나이며(그림 4.1) 큰 강 옆에 위치한 지리적 특성상 해마다 큰 홍수로 피해에 시달리고 있다. 게다가 이 지역은 BSISO로 인한 강수 영향이 유의하므로(부록1), 호우 발생에 대한 BSISO 예측 지수 활용에 있어서 잠재력 있는 대상지역으로 여겨진다. 추후 미얀마

호우 확률 예보로의 BSISO 예측 지수 활용 가능성에 대해 연구를 통해서 해당 지역의 홍수로 인한 재난 대비 계획 수립에 도움을 줄 수 있길 기대한다.

호우뿐만 아니라 다양한 기상 현상들이 BSISO의 변동에 영향을 받지만 그들에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정이다. 그 중 서태평양 지역 태풍과 기온 변동은 아시아 몬순 지역의 여름철에 가장 큰 이슈라 할 수 있다. 호우 발생 확률 이외에 BSISO를 활용하여 추정할 수 있는 현상이라는 측면에서 본 연구 확장 가능성을 살펴본다면, 서태평양 태풍과 아시아 몬순 지역 기온 변동에 대한 BSISO의 기여도와 BSISO 예측 정보의 활용 가능성을 파악하는 것이 우선적으로 수행이 되어야 한다. 관측 자료에 기반 한 BSISO와 태풍 발생 그리고 BSISO와 한반도 폭염과의 관련성 분석이 2016년에 일부 수행되었고 상당한 관계가 있음이 확인되었다. 따라서 이 연구는 APCC에서 2017년도에 ‘여름철 계절내 진동 예보 해석 및 활용 가이드선 마련’이라는 연구로 수행될 계획이고 이들에 대한 BSISO 예보의 활용 가이드선을 마련하여 APCC BSISO 예측 정보의 활용을 증진시킬 뿐만 아니라 사용자의 의사결정에 좀 더 유의미한 정보를 제공할 수 있게 되길 기대한다.

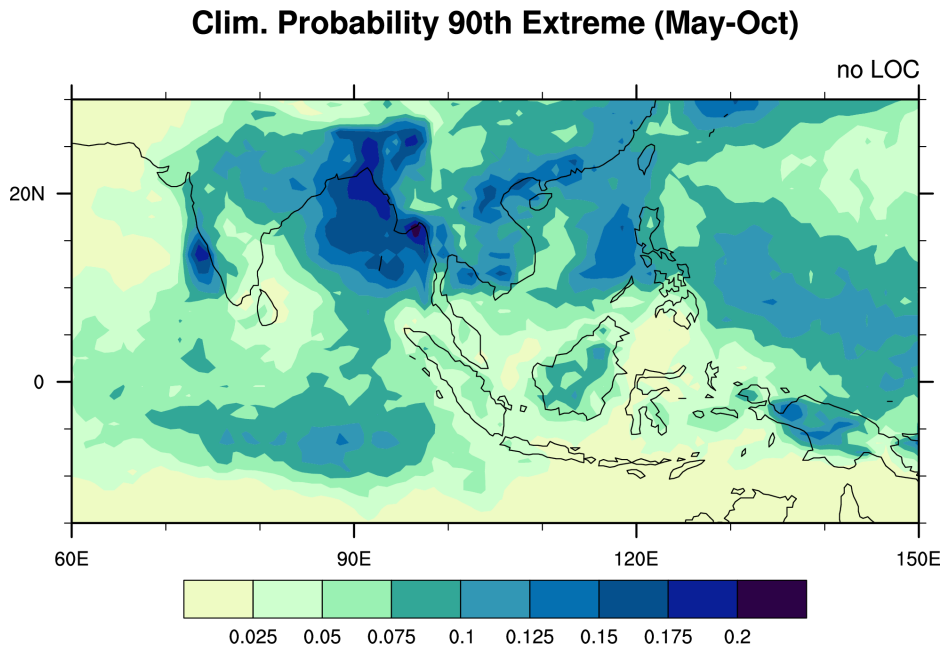


그림 4.1 Climatological probability of heavy rainfall during summer. The threshold of heavy rainfall (90th extreme) was calculated without considering locality.

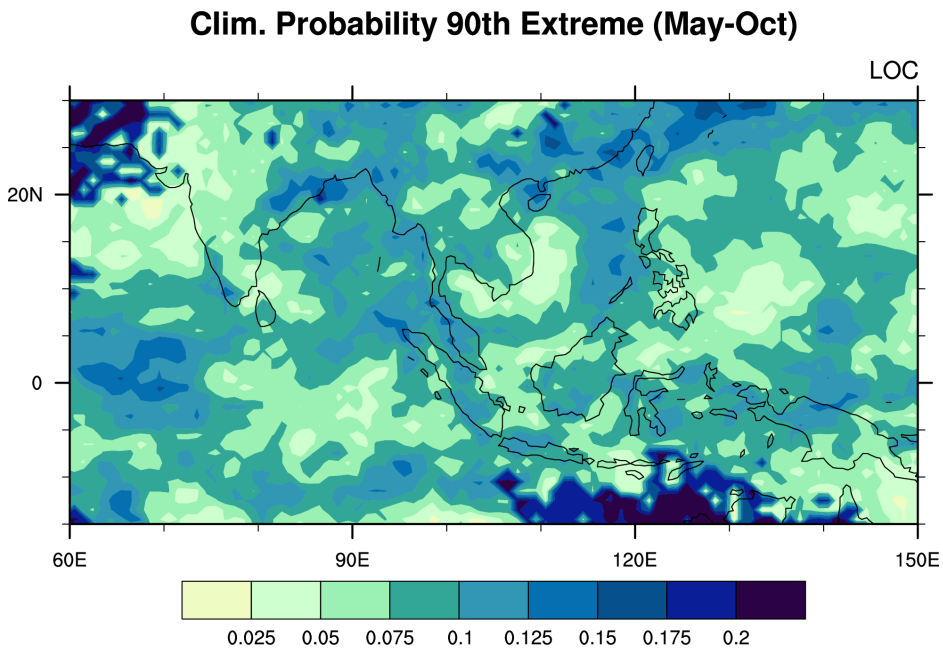


그림 4.2 Climatological probability of heavy rainfall during summer. The threshold of heavy rainfall (90th extreme) was calculated at each grid point.

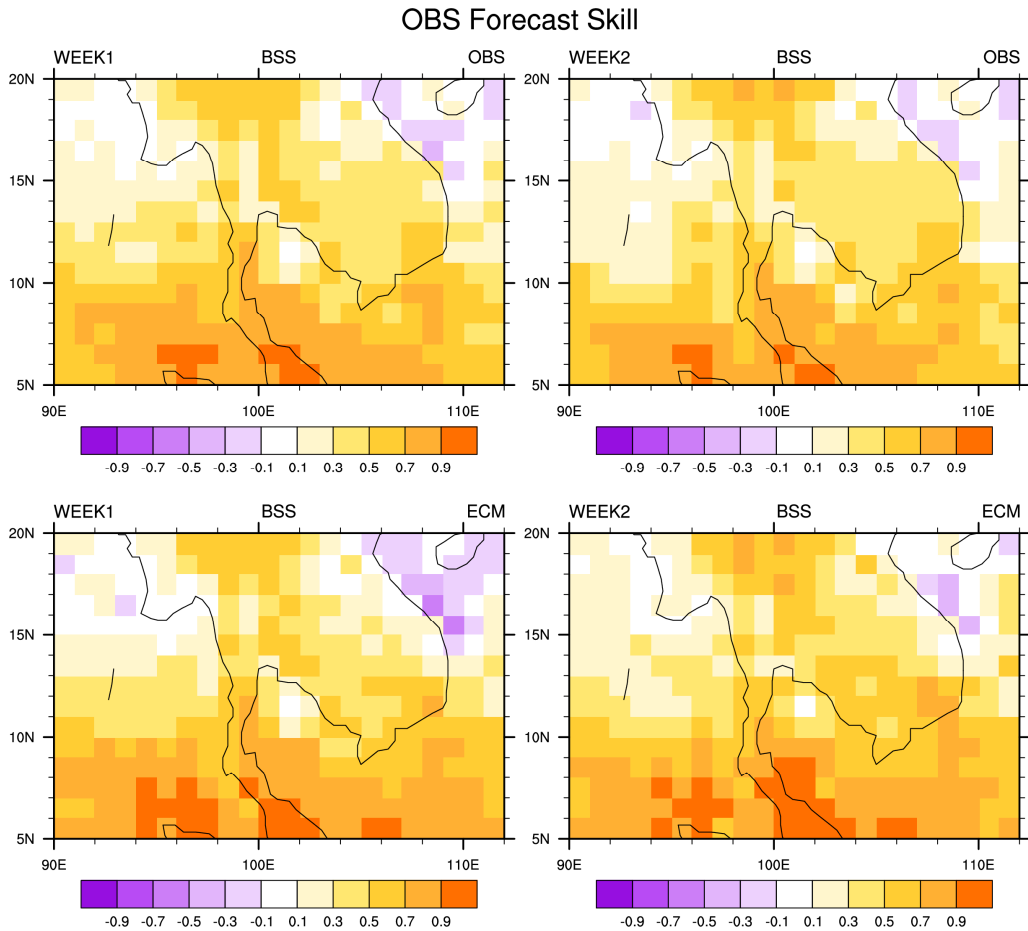


그림 4.3 Forecast skills of heavy rainfall probability estimated by observed BSISO indices, which were considered as a perfect model.

ECM Forecast Skill

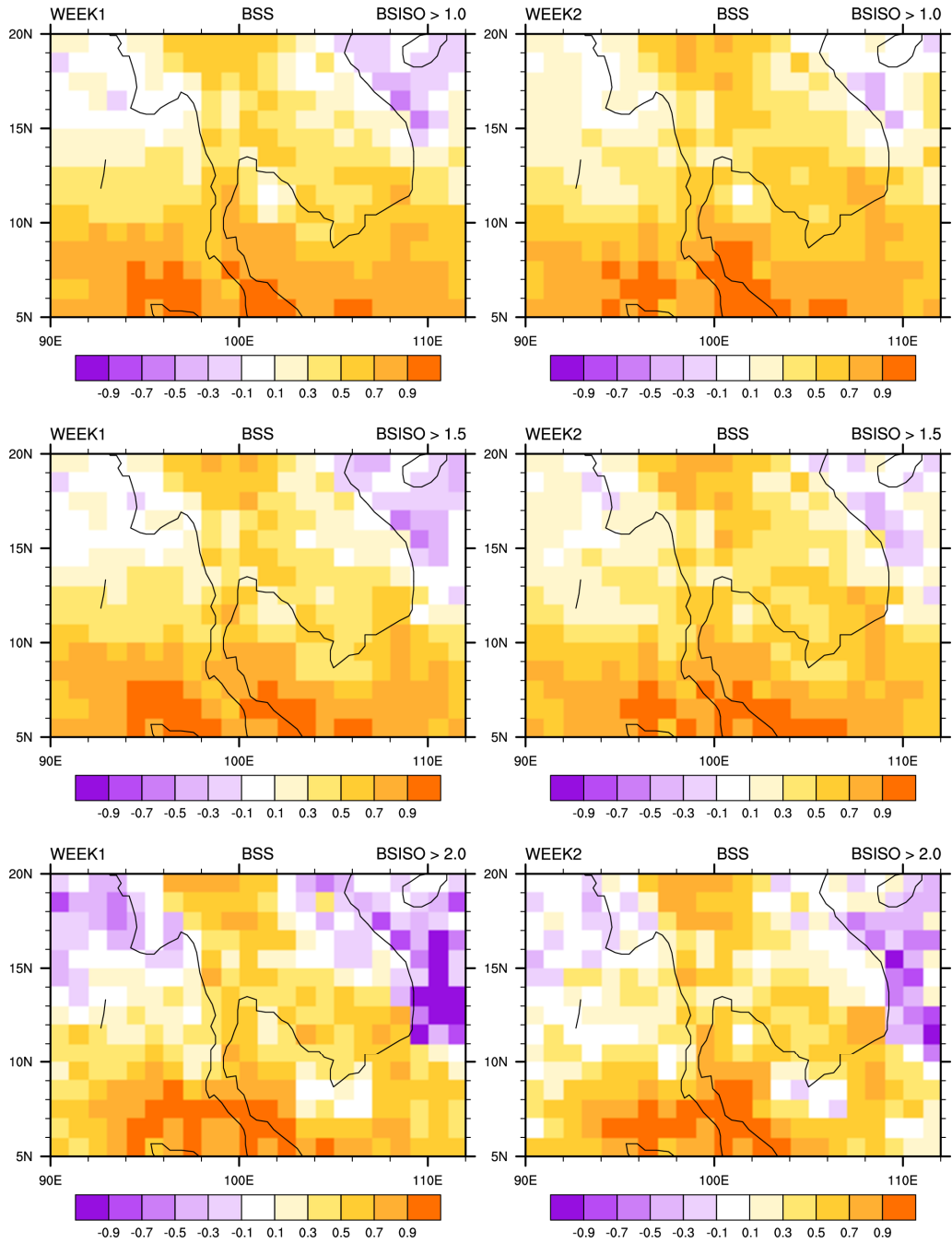


그림 4.4 Sensitivity analysis of BSISO strength for forecast skills of heavy rainfall probability (for example, ECMWF forecast).

4.2 성취업적

본 연구를 통해 달성한 2016년도의 연구 및 현업적 성과는 다음과 같다.

1. BSISO 정보의 활용과 해석에 관한 가이드스 마련

: 메콩강 유역 호우 발생 확률 추정에 적용

→ 메콩강 유역의 호우 확률예보에 대한 BSISO 지수 활용 및 해석 가이드스 마련

2. 실시간 BSISO 현업 시스템의 운영 및 개선

: 사용자 친화적 콘텐츠 개발 및 서비스, 윤년 기능을 고려한 현업 시스템 개선

→ 2016년 BSISO 현업 운영 (5월 ~ 10월)

→ APCC 홈페이지를 통한 아시아 몬순 지역 호우 확률 예측 서비스 개시

→ 기상청 기후감시전망시스템으로의 BSISO 정보 전송 (기후예측과 활용)

4.3 결론

본 연구에서는 APCC에서 생산하고 있는 BSISO 예측의 활용도를 높이기 위하여 BSISO 예측 지수를 활용하여 호우 발생 확률을 추정함으로써 phase diagram의 형태를 벗어나 좀 더 사용자 친화적인 정보를 만들고자 노력하였다. 이를 위해 두 가지 목표를 설정하였는데 첫 째는 홍수에 취약한 메콩강 유역의 호우 확률 예보에 대한 BSISO 지수 활용 및 해석 가이드스를 마련하는 것이고, 둘째는 이렇게 만들어진 호우 확률 예보 콘텐츠를 서비스함으로써 믿을만한 수준의 BSISO 정보를 안정적으로 제공하고자 하는 것이다. 안정적인 현업 운영을 위해 또한 현업 시스템에서 윤년을 고려할 수 있는 기능을 추가하였다.

이를 위해 호우일은 아시아 몬순 지역 일강수량의 90번째 값을 넘는 날들로 선정이 되었고 그 임계값은 월별로 정의되었다. 메콩강 유역에서의 여름철 호우 발생 확률이 BSISO 지수의 위상에 기반하여 계산이 되었고 대체로 BSISO1에 있어서는 phase 3 ~ 7이, BSISO2에 있어서는 phase 1,2와 7,8이 호우 발생에 기여를 하는 것으로 나타났다. BSISO 지수가 이와 같은 위상을 가질 때 해양으로부터 상대적으로

습윤한 동풍과 서풍이 인도차이나 반도로 쉽게 유입되고 이는 내륙에 강수가 발생할 수 있는 호조건을 만들어 낸다는 것을 메커니즘 분석을 통해 살펴볼 수 있었다. 이렇게 관측으로부터 만들어진 BSISO와 호우 발생 확률의 합성장은 모델을 통해 생산된 BSISO 예측 지수와 결합하여 '호우 발생 확률 예측장'을 만들어 낼 수 있었다. 2013년부터 2015년 동안의 호우발생 확률 예측장은 Brier Skill Score를 통해 그 신뢰도를 평가할 수 있었는데 그 결과 BSISO 지수로 추정된 호우 발생 확률 예보는 climatological forecast에 비해 30%~50%의 예측 스킬 개선을 꾀할 수 있어 믿을 만한 예측 자료임을 증명할 수 있었다.

이러한 분석들을 통해 본 연구에서는 메콩강 유역의 호우 발생 확률에 있어서 BSISO의 활용이 충분히 가능함을 알 수 있었고 그 활용을 용이하게 하기 위해 아래와 같이 가이드언스를 작성하였다.

1 단계. APCC의 홈페이지에서 BSISO phase diagram 을 통해 BSISO의 위상과 크기를 중심으로 향후 2주에 대한 BSISO의 변화를 확인한다.

2 단계. 본 보고서의 그림 3.14와 3.15를 찾아서 예보일에 해당하는 월을 중심으로 예측된 BSISO phase일 때의 호우 발생 확률과 그 때의 주요 메커니즘을 파악한다.

3 단계. 좀 더 쉽게 호우 발생 확률 예보를 알고자 한다면 APCC 웹페이지에서 실시간으로 제공하는 BSISO로 추정된 호우 발생 확률 예보 map을 확인한다.

4 단계. 2 단계에서 얻은 정보와 관련하여 메커니즘을 좀 더 알고 싶다면 본 보고서의 3.1.3절 혹은 [부록2]에서 찾아볼 수 있다.

5 단계. 단, 본 연구를 통해 생산한 BSISO 정보 기반 호우 발생 확률에 대한 2주 예보를 활용할 시 메콩강 유역은 climatological forecast에 비해 30%-50% 정도의 예측성 향상의 효과를 볼 수 있음을 염두 해 두어야 한다.

본 연구를 통해서 BSISO 정보의 활용과 해석에 관한 가이드언스를 마련하였는데 그 적용 사례로 메콩강 유역을 대상 지역으로 선정하여 호우 발생 확률을 추정하고 예측성을 평가하였다. 향후 메콩강 유역 호우 대비 운영계획 수립 등 실제 해당지역 실수요자들의 의사결정을 지원하기 위해서는 강수량 및 홍수에 대한 현지 자료들을 수집하여 본 연구의 적합성을 평가하여 연구 보완할 필요가 있다.

REFERENCE

- Adhikari, P., Y. Hong, K. R. Douglas, D. B. Kirschbaum, J. Gourley, R. Adler, and G. Robert Brakenridge, 2010: A digitized global flood inventory (1998–2008): compilation and preliminary results. *Natural Hazards*, 55, 405–422.
- Goswami, B. N., 2011: South Asian Summer Monsoon, in *Intraseasonal Variability of the Atmosphere–Ocean Climate System*, 2nd Edition, edited by W. K. M. Lau and D. E. Waliser, Springer, Heidelberg, Germany.
- Goswami, B. N., R. S. Ajayamohan, P. K. Xavier, and D. Sengupta, 2003: Clustering of synoptic activity by Indian summer monsoon intraseasonal oscillations. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1431.
- Huffman, G. J., and D. T. Bolvin, 2013: Version 1.2 GPCP one-degree daily precipitation data set documentation. [Available at ftp://precip.gsfc.nasa.gov/pub/1dd-v1.2/1DD_v1.2_doc.pdf.]
- Jones, C., J. GOTTSCHALCK, L. CARVALHO, and W. HIGGINS, 2011: Influence of the Madden–Julian Oscillation on Forecasts of Extreme Precipitation in the Contiguous United States. *Monthly Weather Review*, 139, 332–350.
- Kajikawa, Y., and T. Yasunari, 2005: Interannual variability of the 10–25- and 30–60-day variation over the South China Sea during boreal summer. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L04710, doi:10.1029/2004GL021836.
- Kang, I.-S., C.-H. Ho, Y.-K. Lim, and K.-M. Lau, 1999: Principal modes of climatological seasonal and intraseasonal variations of the Asian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 322–340.
- Kim, H-J., 2013: Improvement of real-time forecast system on the BSISO (I) : Verification of the BSISO forecast, APCC Research Report
- Kim, H-J., 2014: Improvement of real-time forecast system on the BSISO (II) : Multi-model ensemble method development in BSISO forecast, APCC Research Report
- Klein Tank, A. M. G., F. W. Zwiers, and X. Zhang, 2009: Guidelines on ‘Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation’. pp 54, WMO–TD No. 1500.
- Lee, S.-S., J.-Y. Moon, B. Wang, and H.-J. Kim, 2016: Probabilistic sub-seasonal prediction of extreme precipitation events over Asian–Pacific Region. *Journal of Climate*, in revision

- Lee, JY., B. Wang, M.C. Wheeler, et al., 2013: Real-time multivariate indices for the boreal summer intraseasonal oscillation over the Asian summer monsoon region. *Climate Dynamics*, 40: 493. doi:10.1007/s00382-012-1544-4
- Liebmann, B., H. Hendon, and J. Glick, 1994: The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden-Julian Oscillation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 72, 401-412.
- Maloney, E., and D. Hartmann, 2001: The Madden-Julian Oscillation, barotropic dynamics, and North Pacific tropical cyclone formation. Part I: observations. *J. Atmos. Sci.* 58, 2545-2558.
- Vitart, F., W. Robertson, and D. L. T. Anderson, 2012: Subseasonal to Seasonal Prediction Project: Bridging the gap between weather and climate. *WMO Bulletin*, 61(2), 23-28.
- Wang, B., and X. Xu, 1997: Northern Hemisphere summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation. *J. Climate*, 10, 1071-1085.
- Weisheimer, A., and T. N. Palmer, 2014: On the reliability of seasonal climate forecasts. *Journal of the royal society interface*, 11, DOI: 10.1098/rsif.2013.1162
- Wu, R., and B. Wang, 2000: Interannual variability of summer monsoon onset over the Western North Pacific and the underlying processes. *J. Climate*, 13, 2483-2501.
- Tsai, C., S.K. Behera, and T. Waseda, 2015: Indo-China Monsoon Indices. *Scientific Reports*, 5, 8107; DOI:10.1038/srep08107

부록 1

A1.1 BSISO1

BSISO1 (05,90%, over1.0)

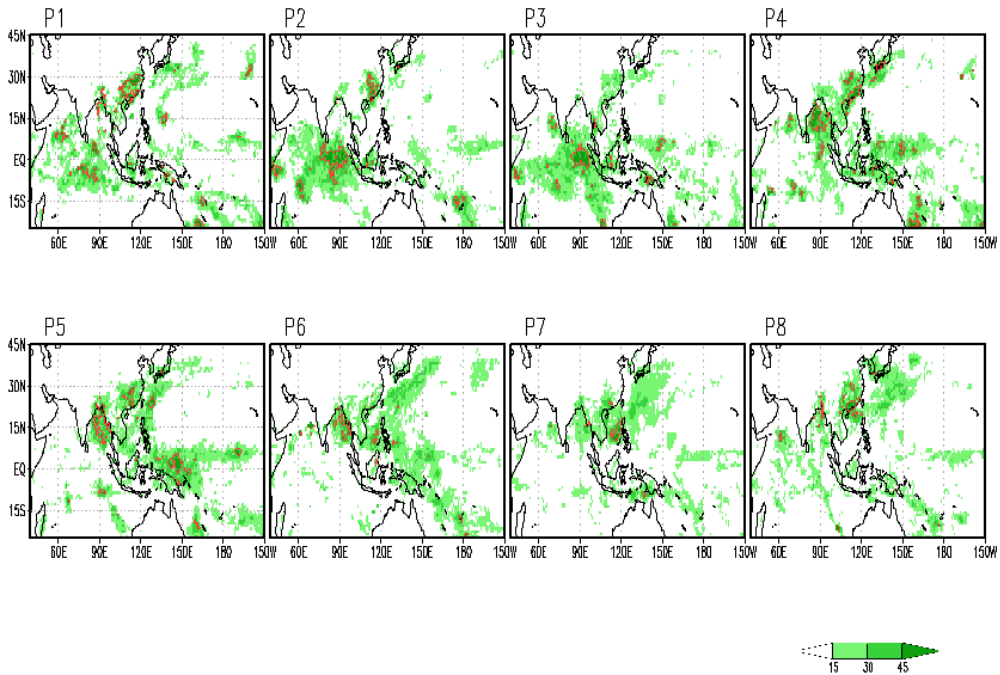


그림 A1.1 Probability of heavy rainfall occurrence according to each of BSISO1 phase during MAY.

BSIS01 (06,90%, over1.0)

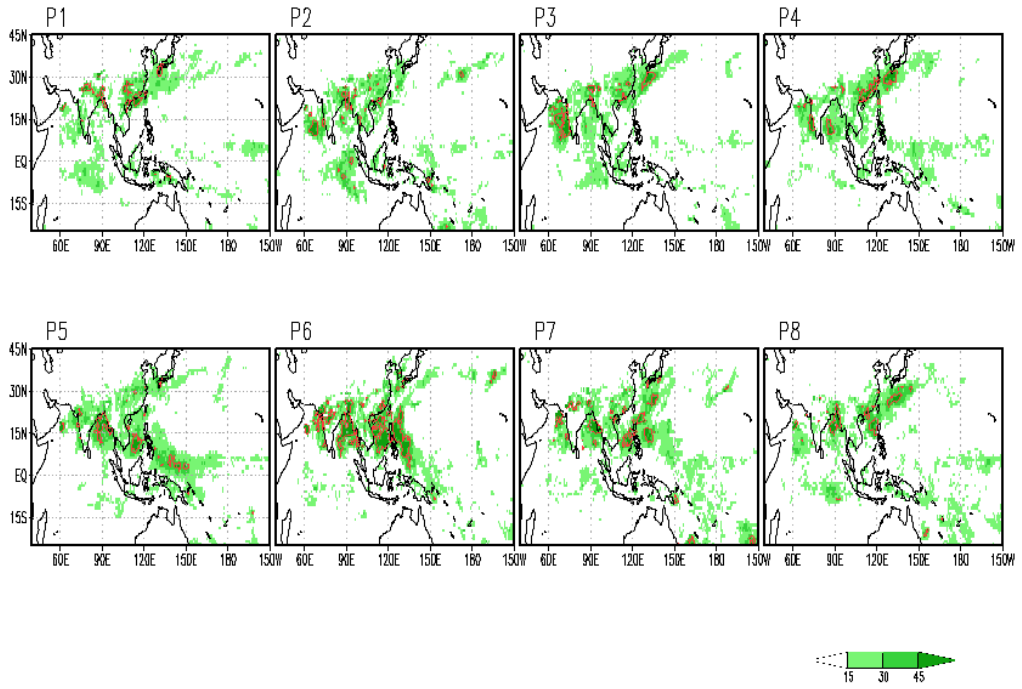


그림 A1.2 Same as Fig.A1.1, but for JUN.

BSISO1 (07,90%, over1.0)

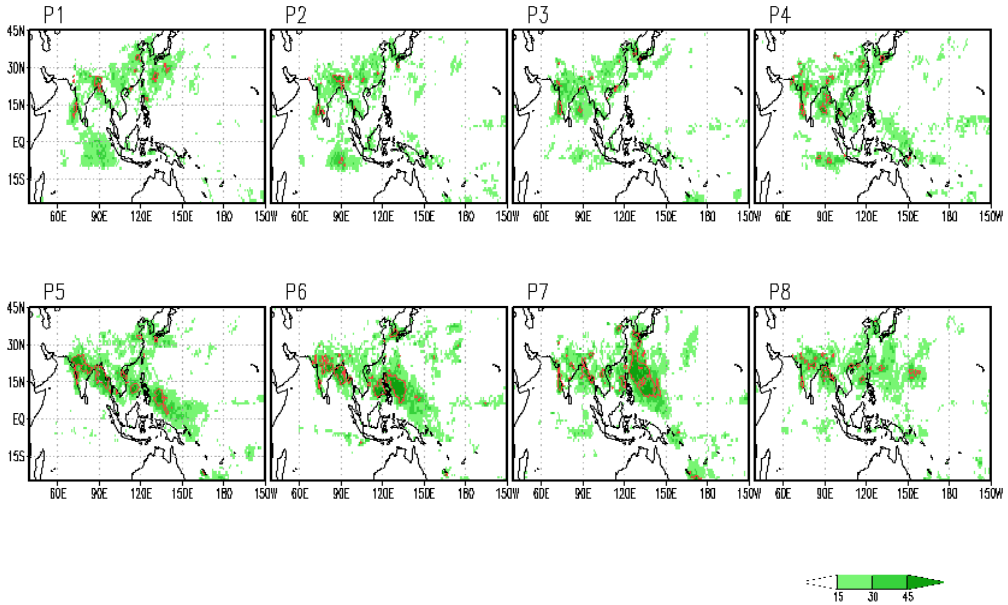


그림 A1.3 Same as Fig.A1.1, but for JUL.

BSISO1 (08,90%, over1.0)

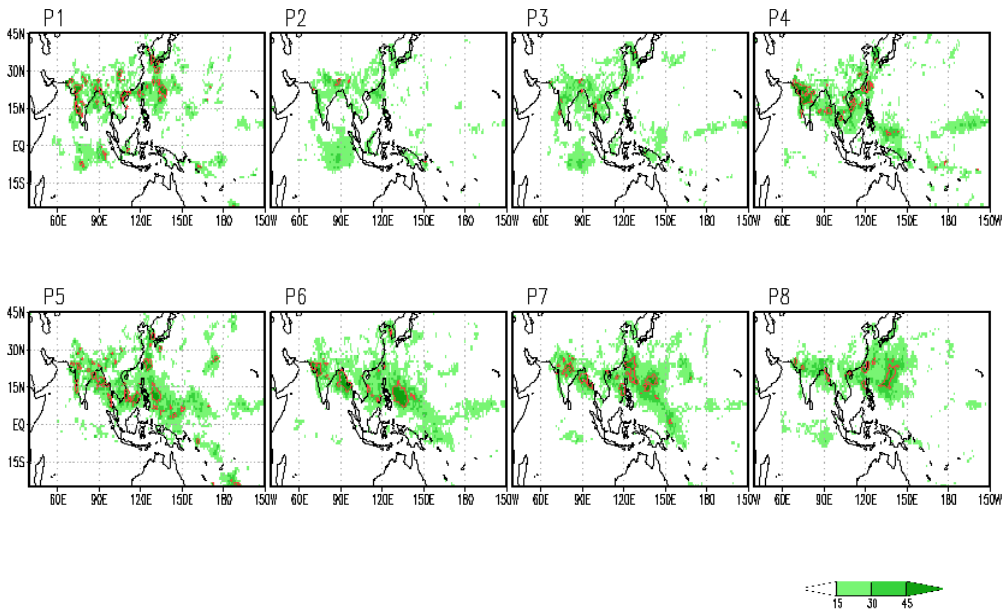


그림 A1.4 Same as Fig.A1.1, but for AUG.

BSIS01 (09,90%, over1.0)

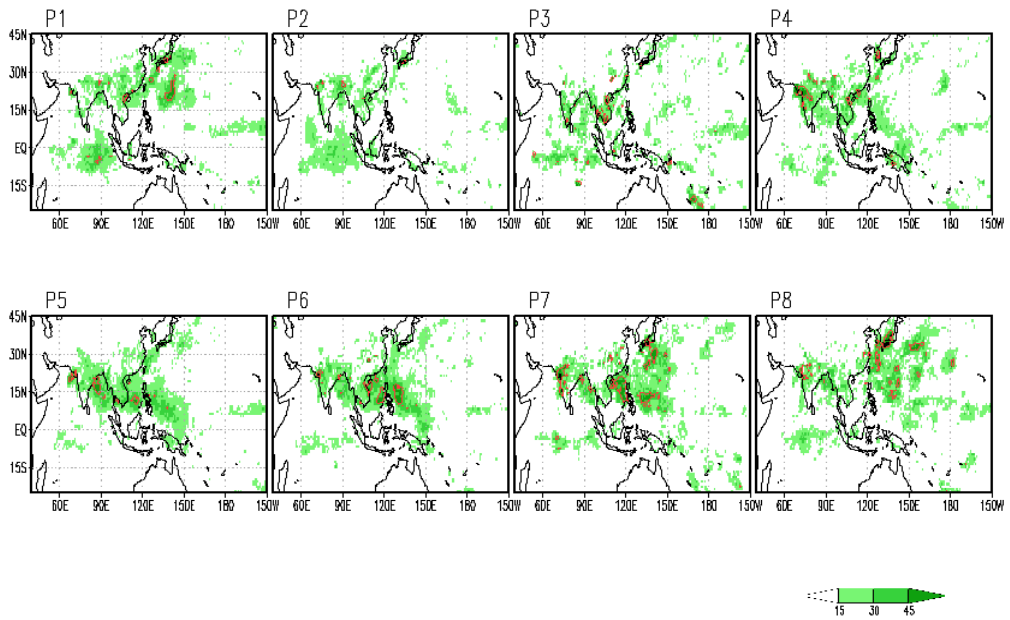


그림 A1.5 Same as Fig.A1.1, but for SEP.

BSIS01 (10,90%, over1.0)

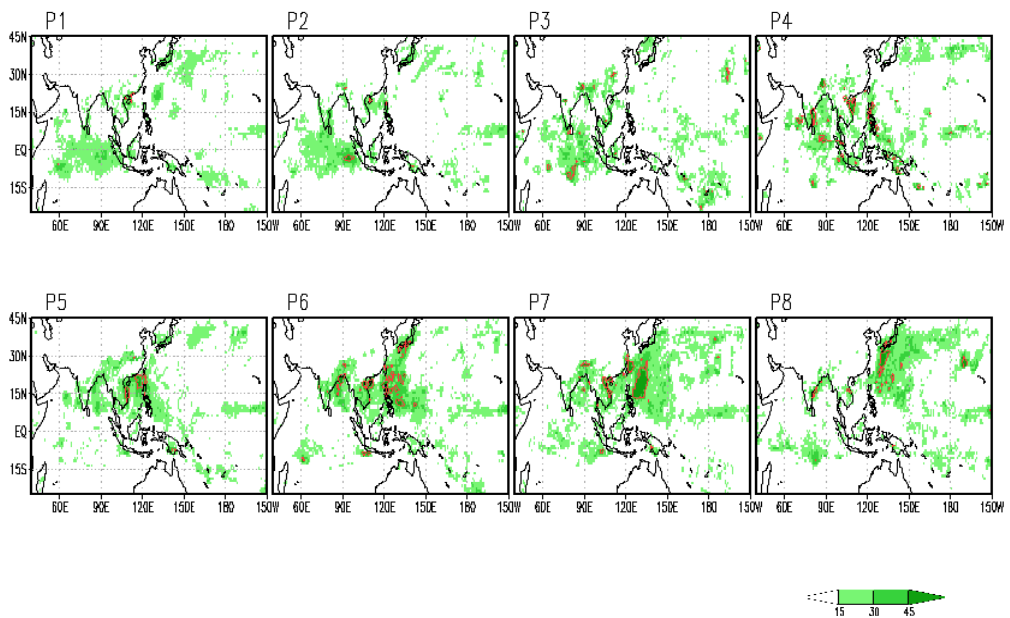


그림 A1.6 Same as Fig.A1.1, but for OCT.

A1.2 BSISO2

BSISO2 (05,90%, over1.0)

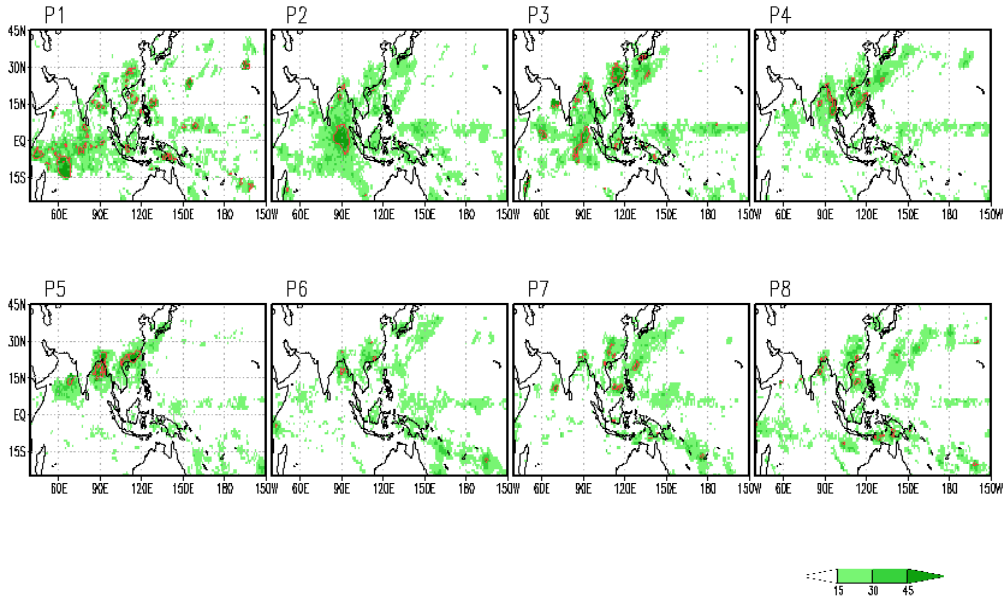


그림 A1.7 Probability of heavy rainfall occurrence according to each of BSISO2 phase during MAY.

BSIS02 (06,90%, over1.0)

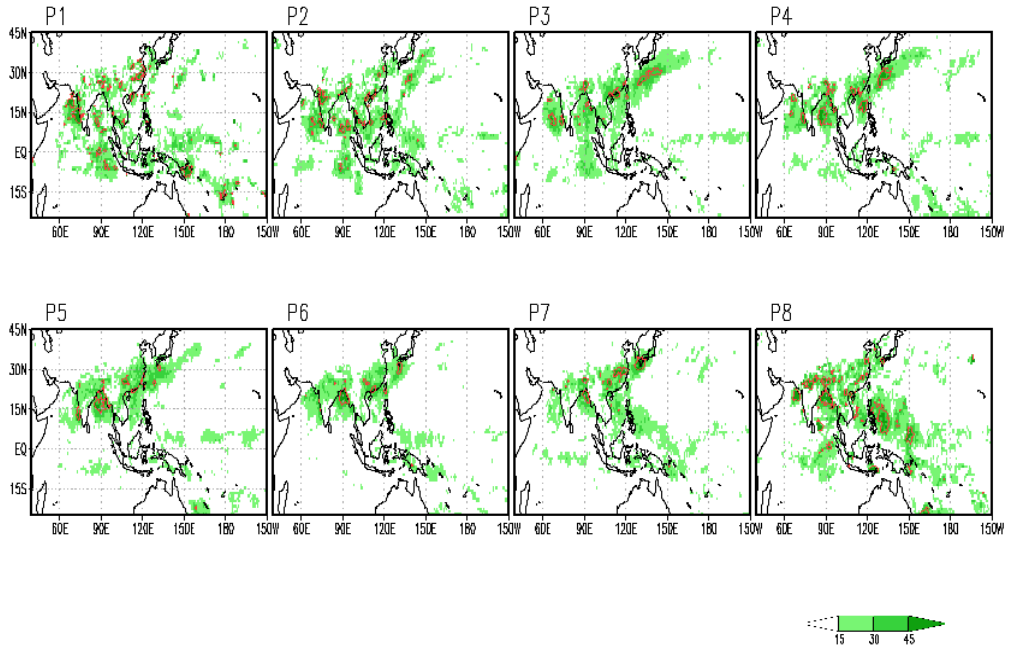


그림 A1.8 Same as Fig.A.1.7, but for JUN.

BSISO2 (07,90%, over1.0)

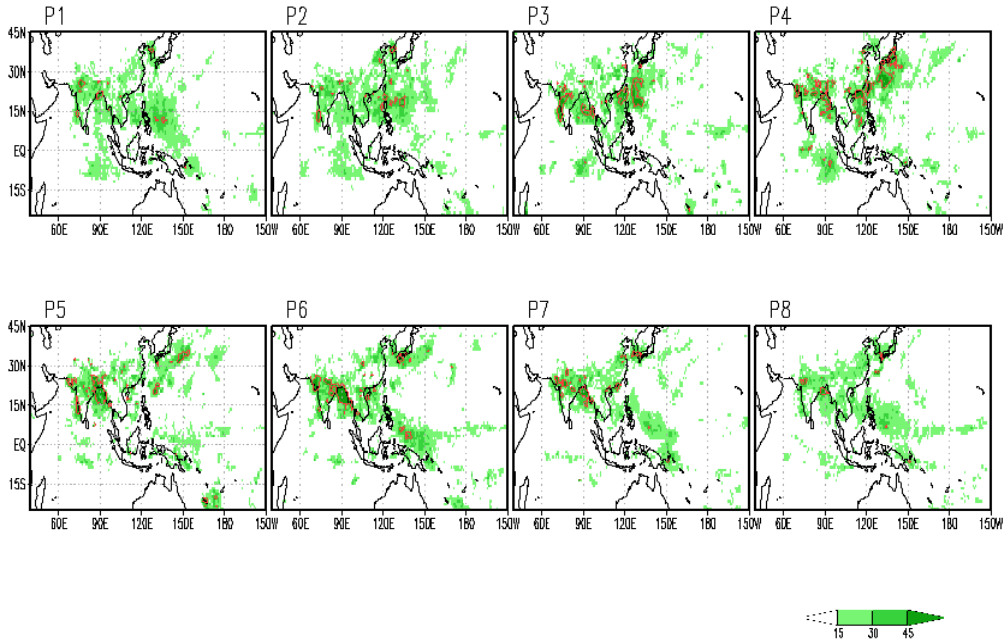


그림 A1.9 Same as Fig.A.1.7, but for JUL.

BSIS02 (08,90%, over1.0)

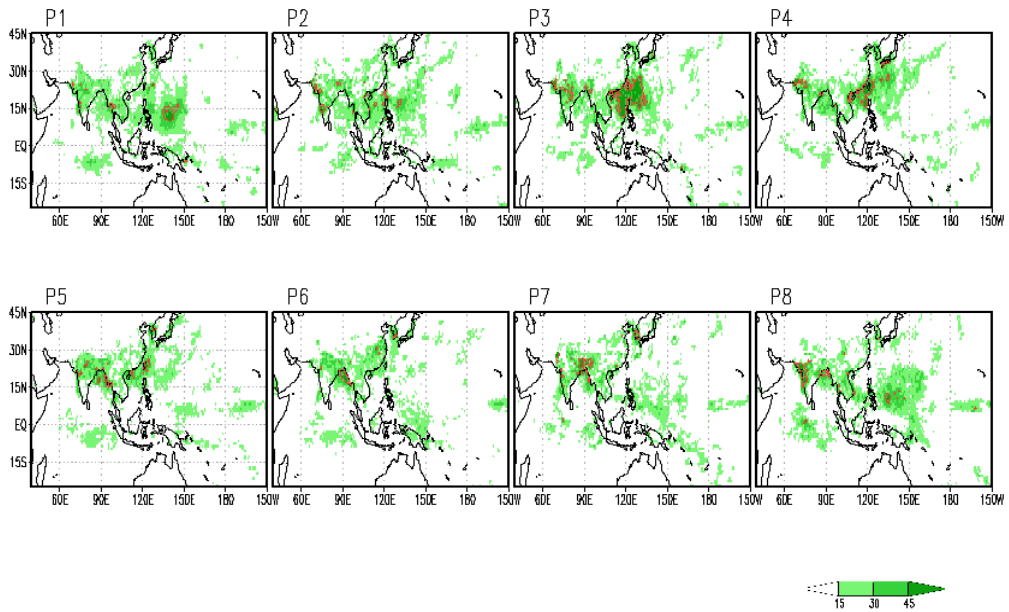


그림 A1.10 Same as Fig.A.1.7, but for AUG.

BSIS02 (09,90%, over1.0)

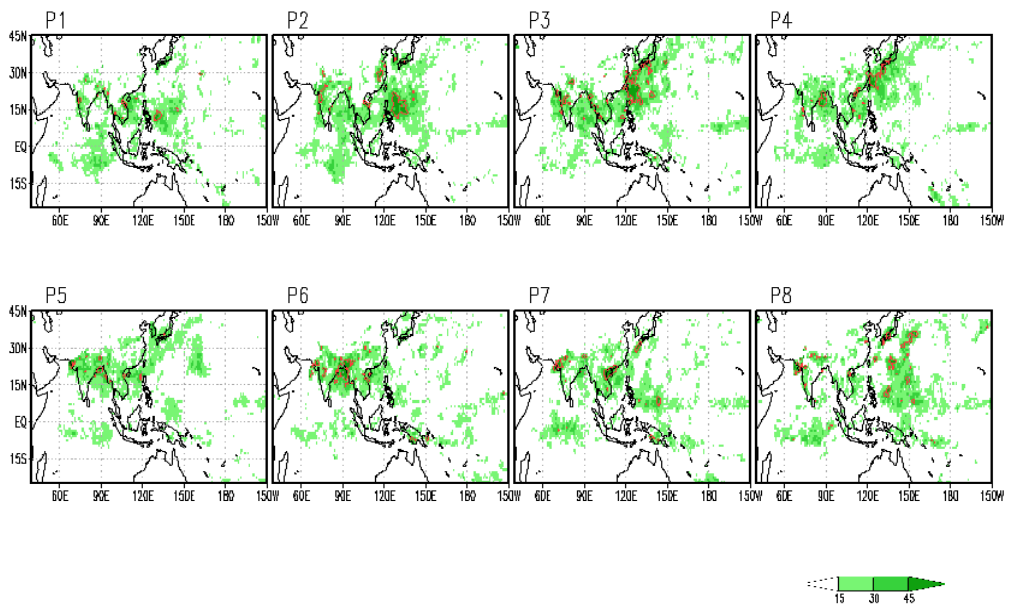


그림 A1.11 Same as Fig.A.1.7, but for SEP.

BSIS02 (10,90%, over1.0)

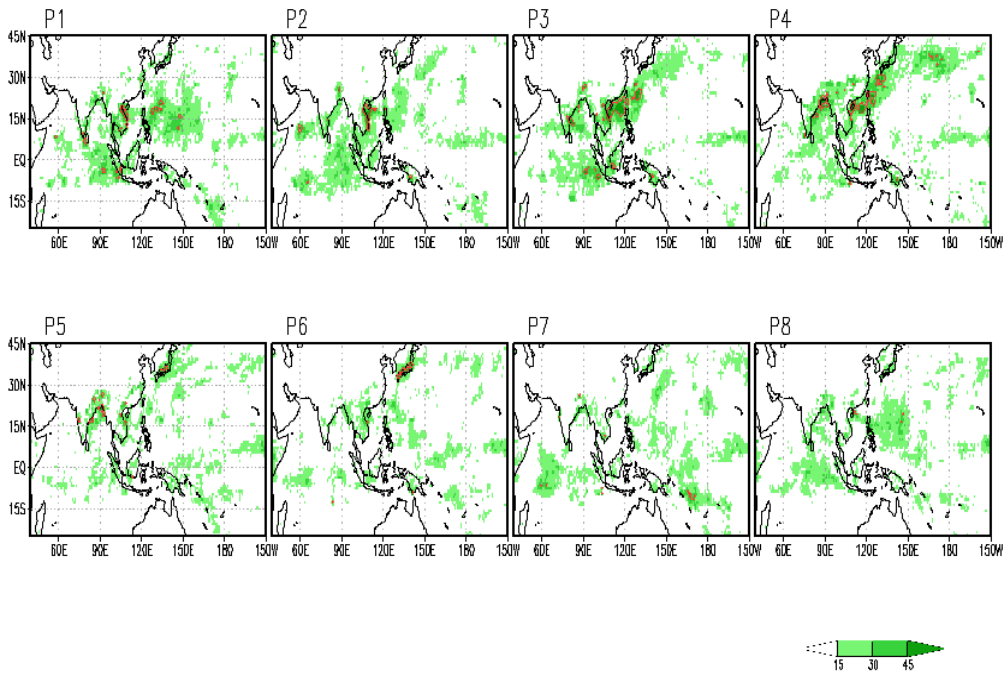


그림 A1.12 Same as Fig.A.1.7, but for OCT.

부록 2

A2.1 BSISO로 인한 호우 발생 메커니즘 분석

A2.1.1 동남아시아 몬순 지수(동풍 지수, ICMI 3)와의 관련성

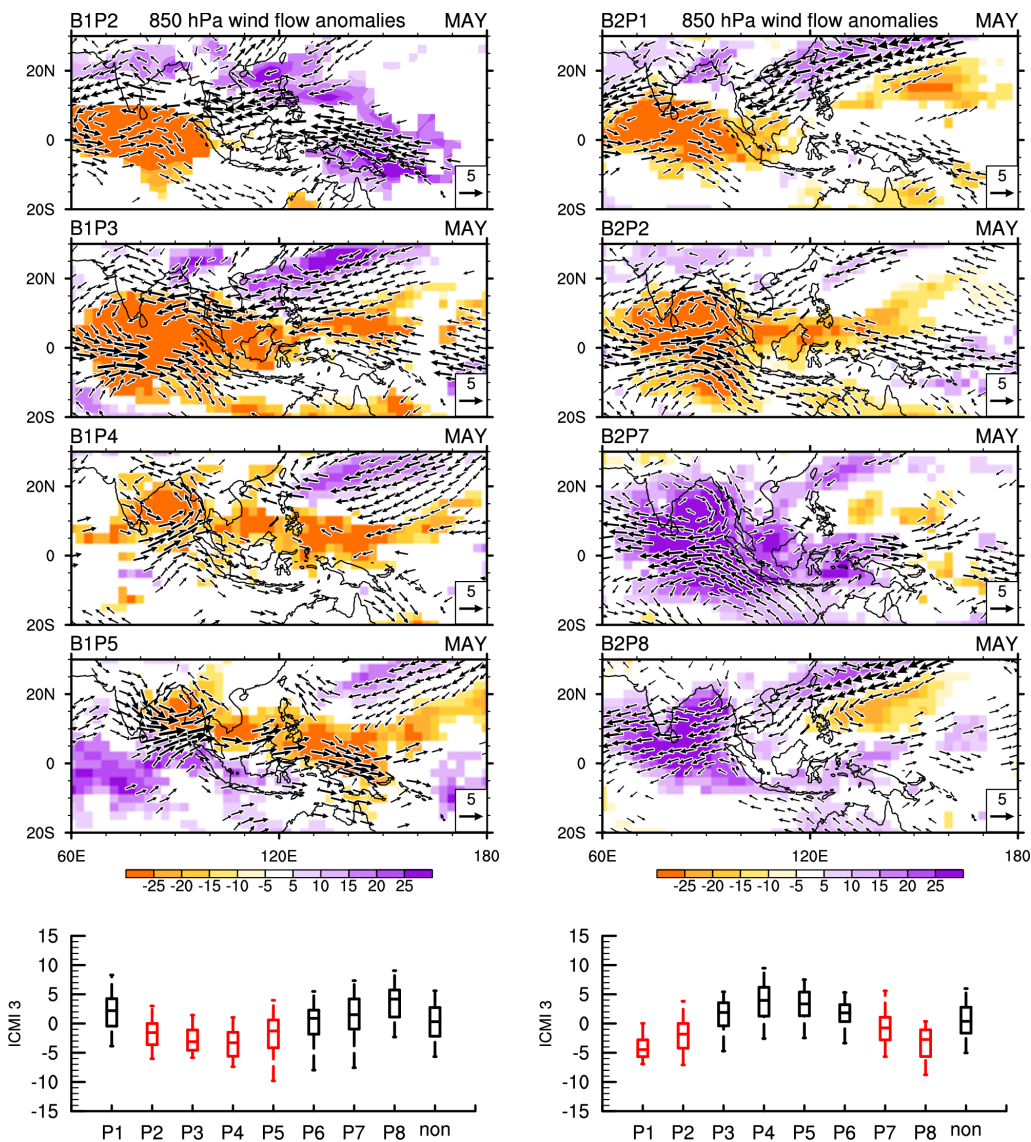


그림 A2.1 Relationship between BSISO and ICMI3 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICMI3 during May.

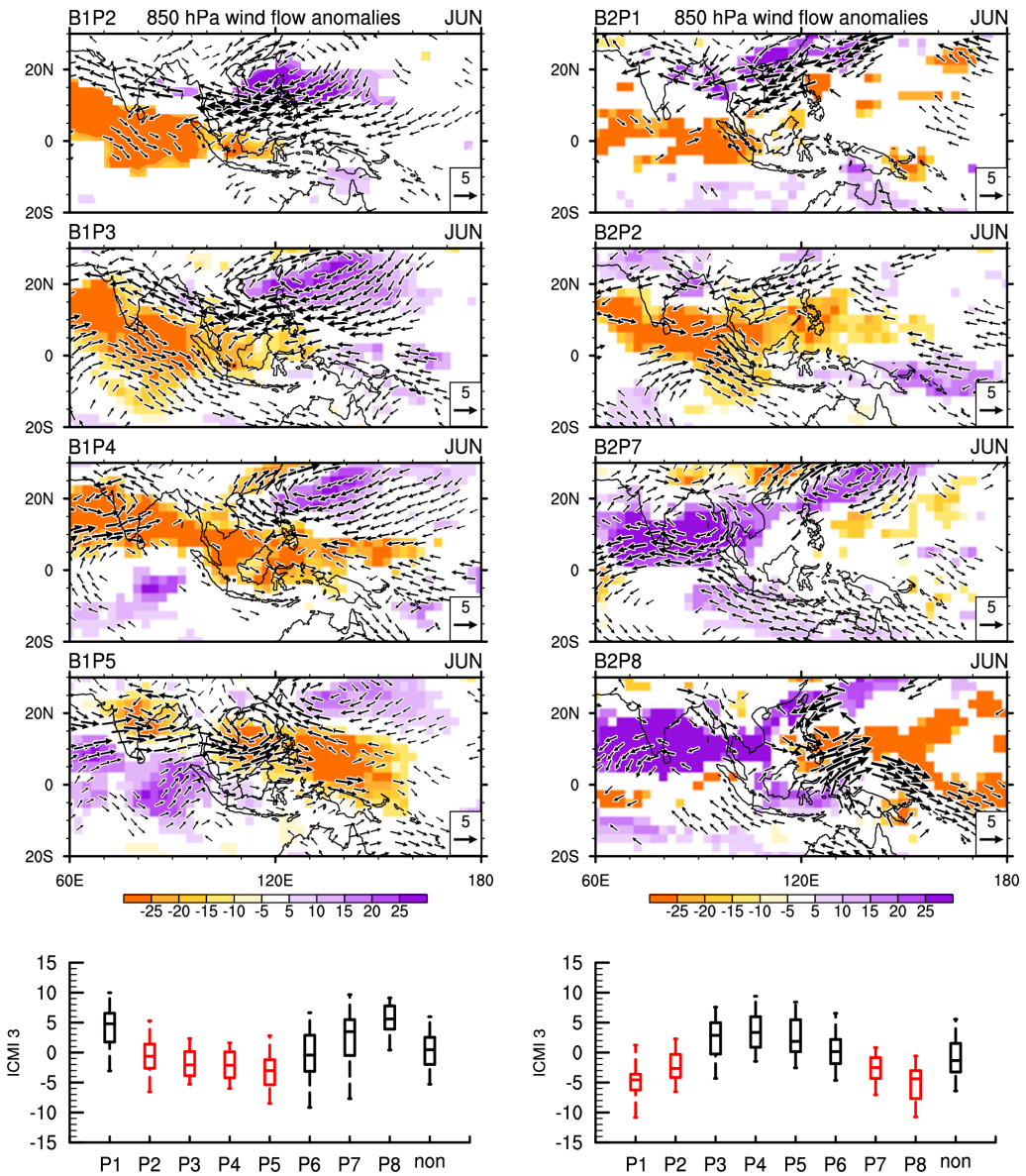


그림 A2.2 Same as in Fig. A2.1, but for Jun.

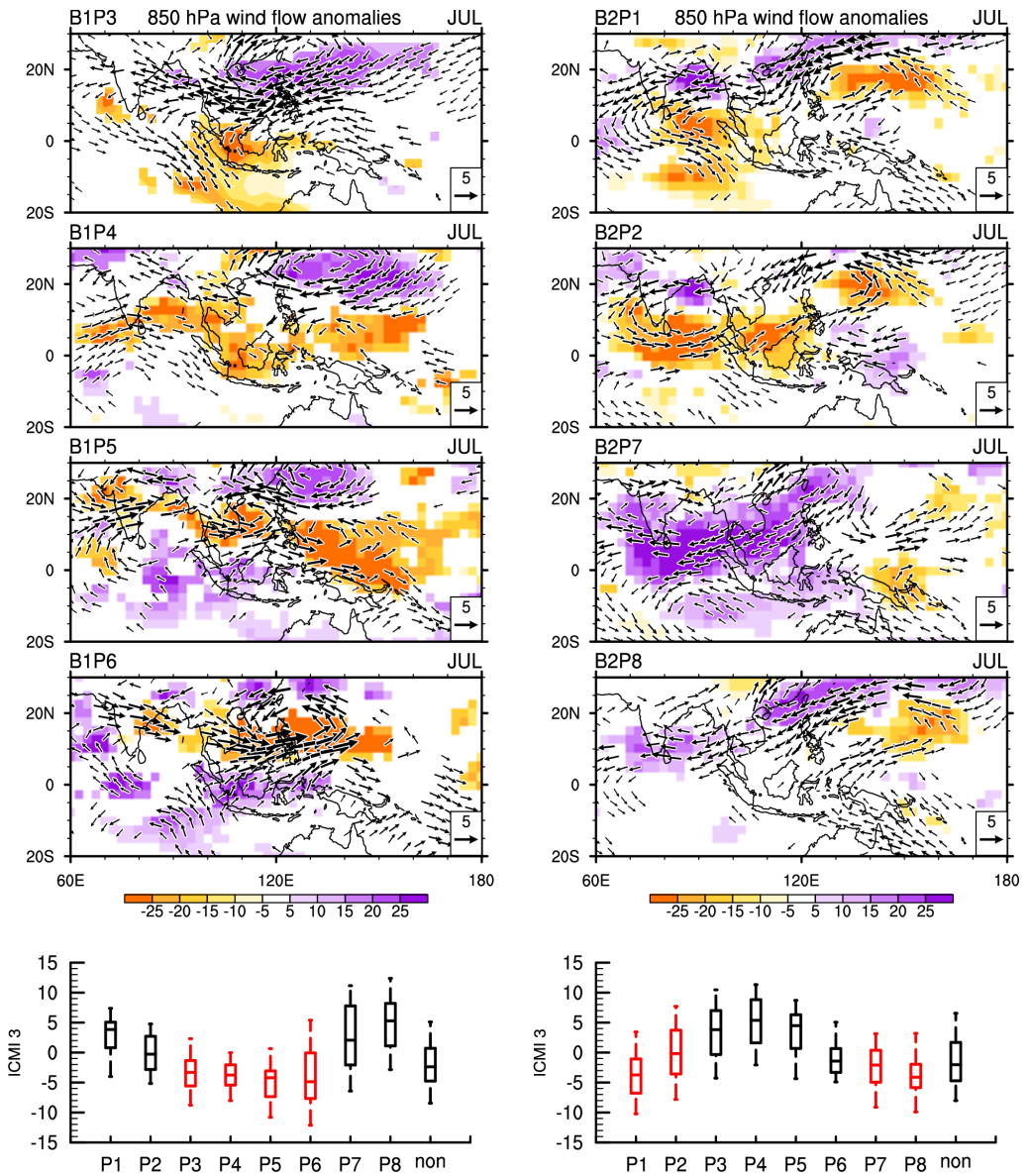


그림 A2.3 Same as in Fig. A2.1, but for Jul.

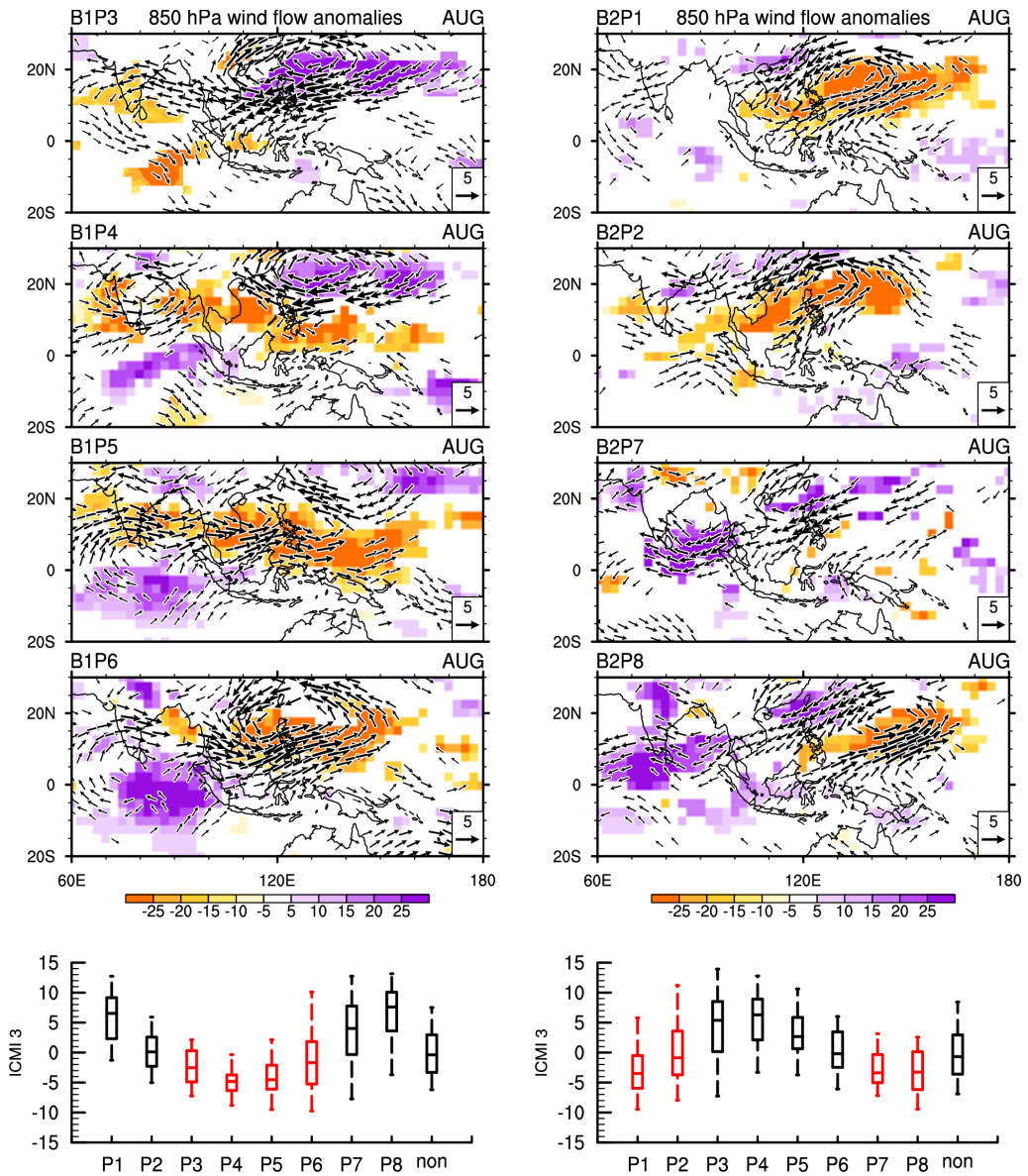


그림 A2.4 Same as in Fig. A2.1, but for Aug.

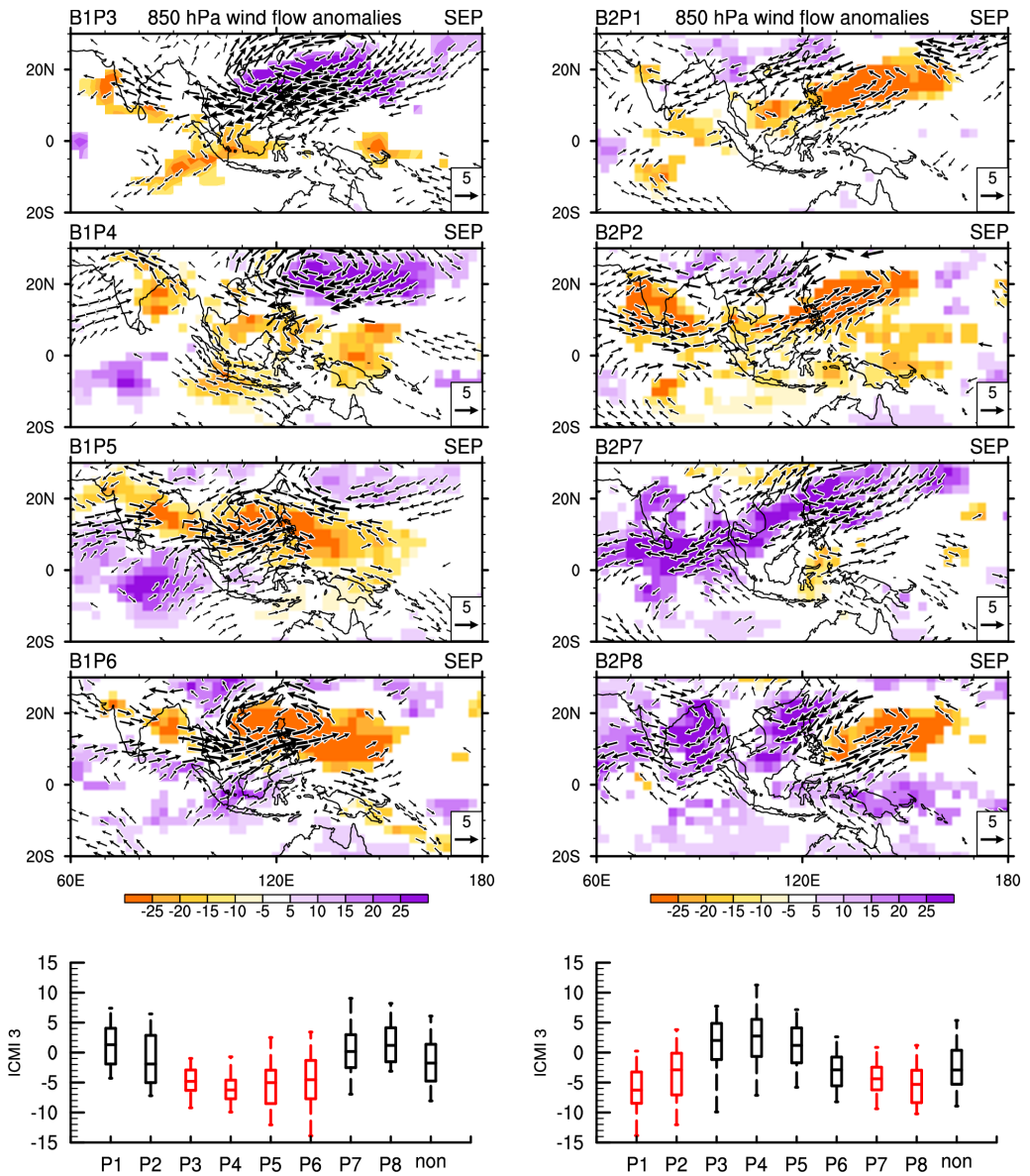


그림 A2.5 Same as in Fig. A2.1, but for Sep.

A2.1.2 동남아시아 몬순 지수(서풍 지수)와의 관련성

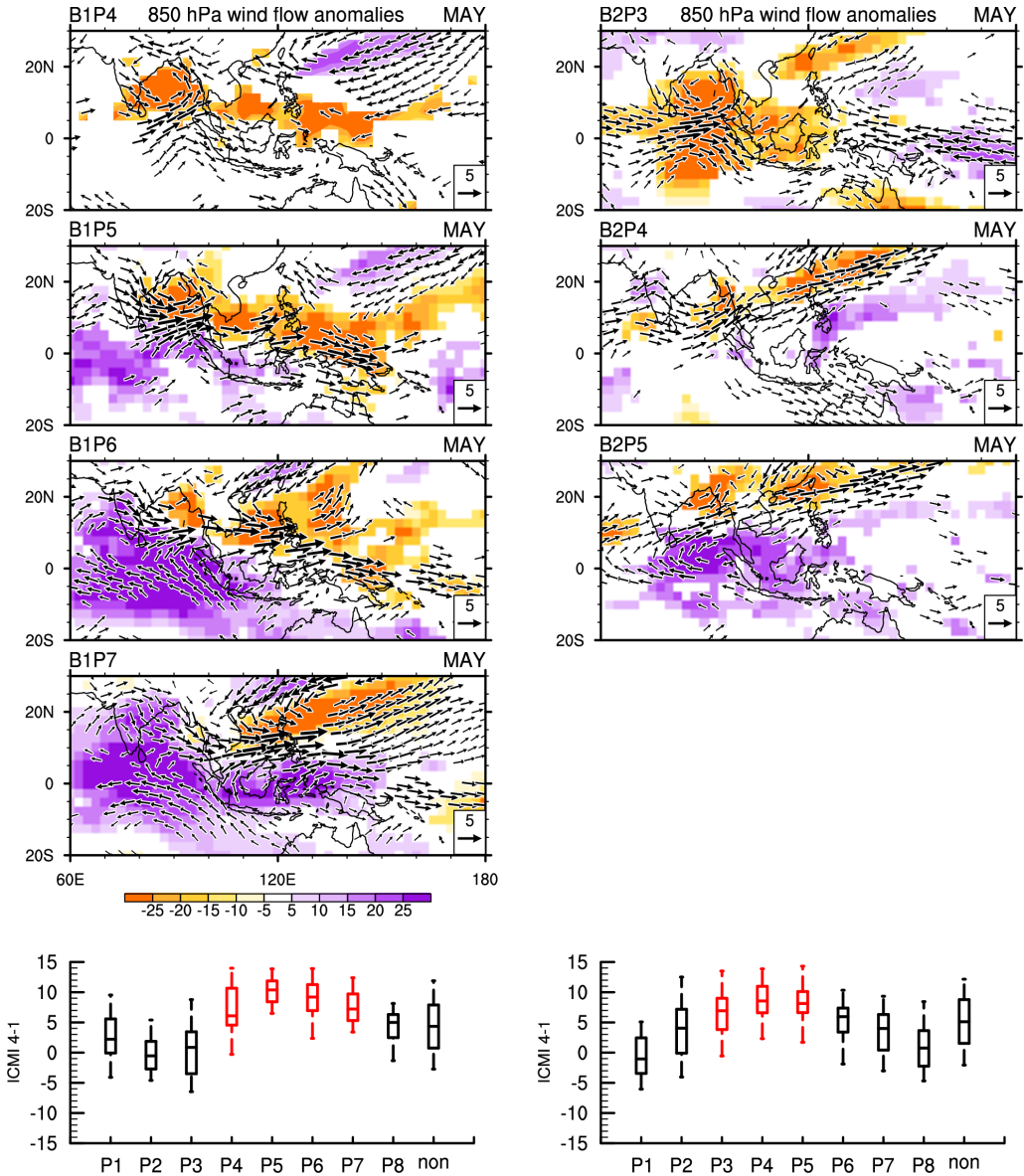


그림 A2.6 Relationship between BSISO and ICM4-1 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICM4-1 during May.

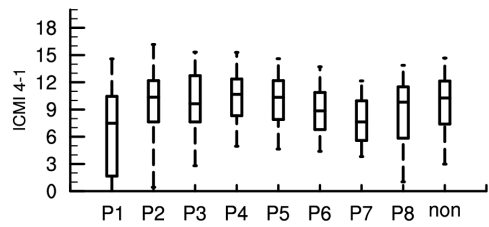
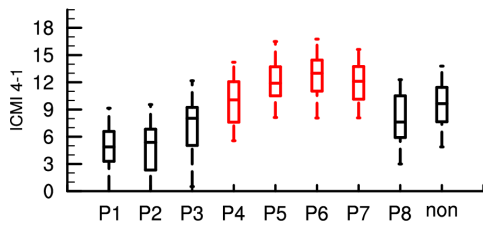
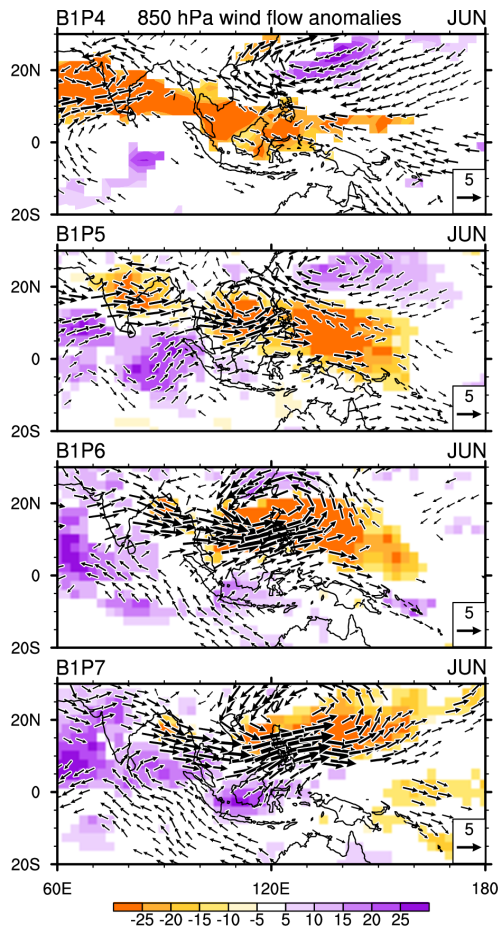


그림 A2.7 Same as in Fig. A2.6, but for Jun.

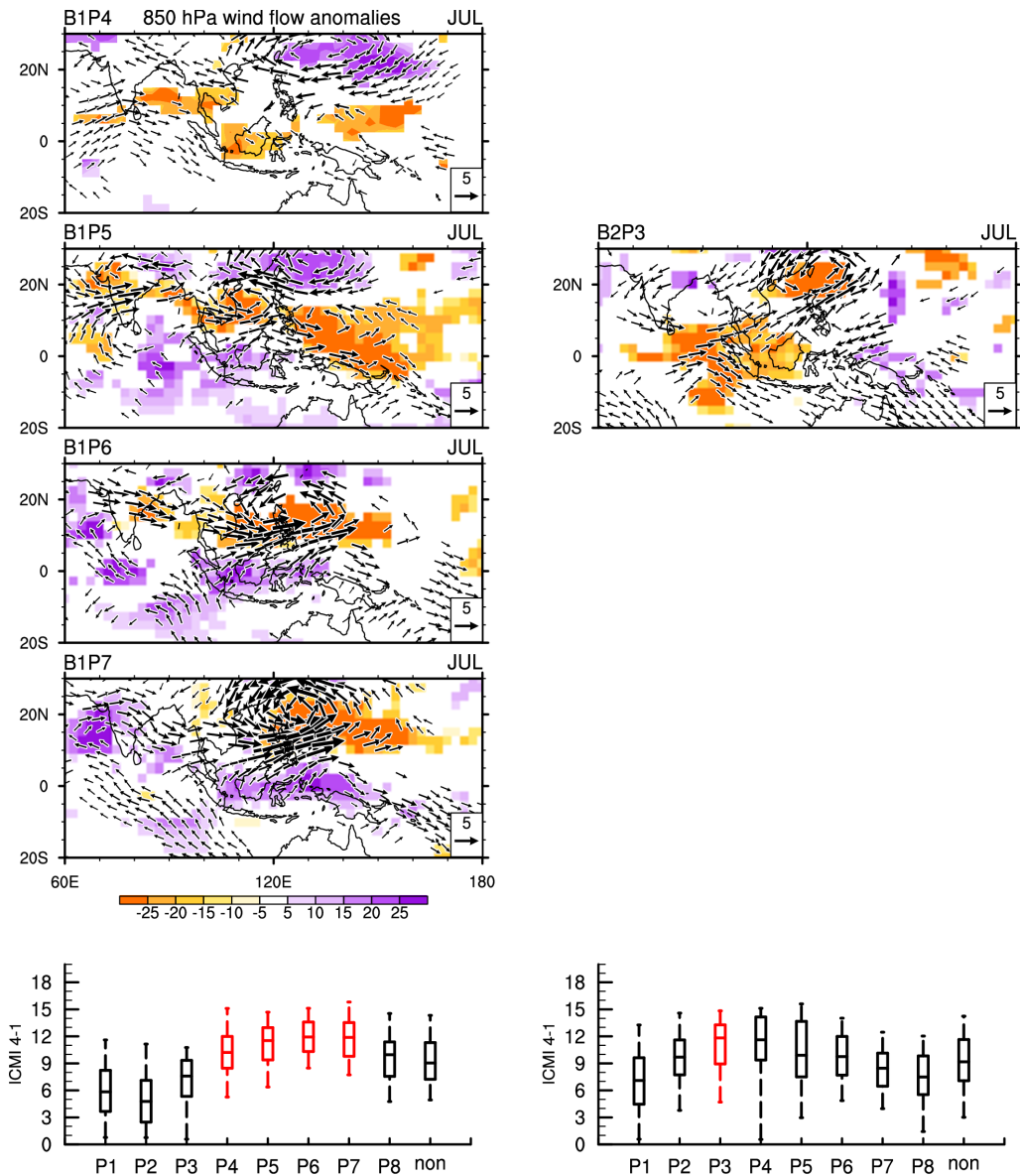


그림 A2.8 Same as in Fig. A2.6, but for Jul.

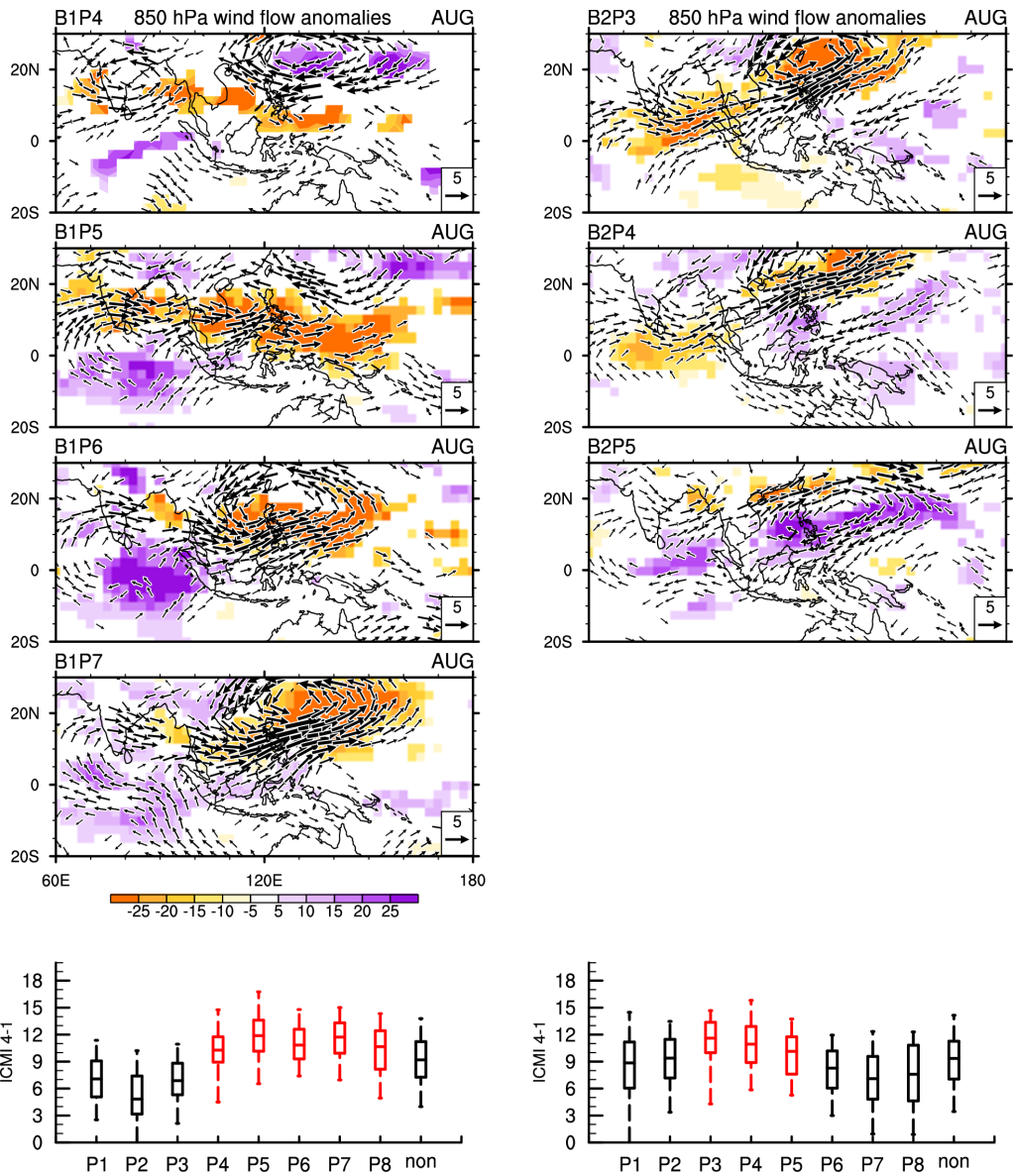


그림 A2.9 Same as in Fig. A2.6, but for Aug.

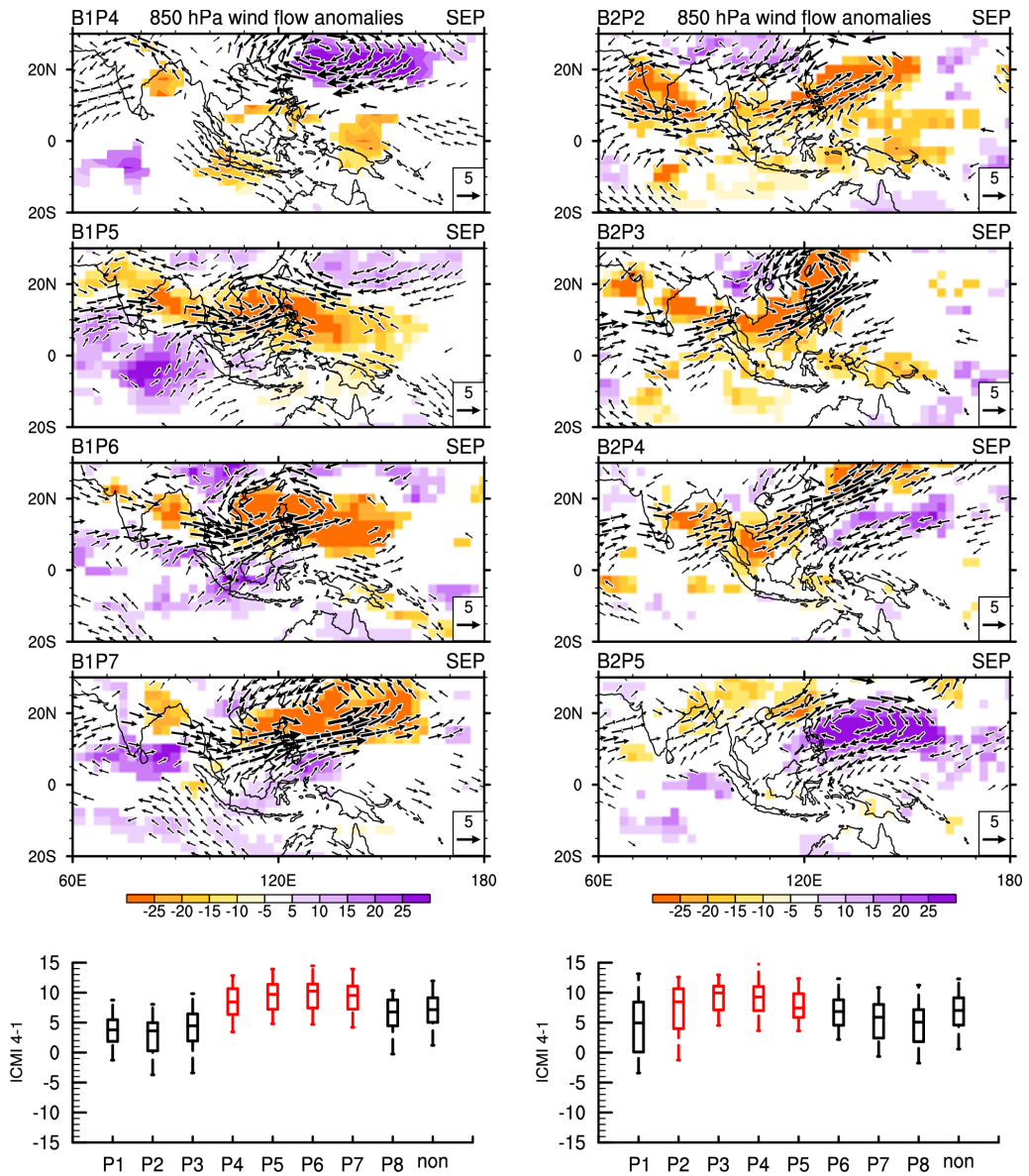


그림 A2.10 Same as in Fig. A2.6, but for Sep.

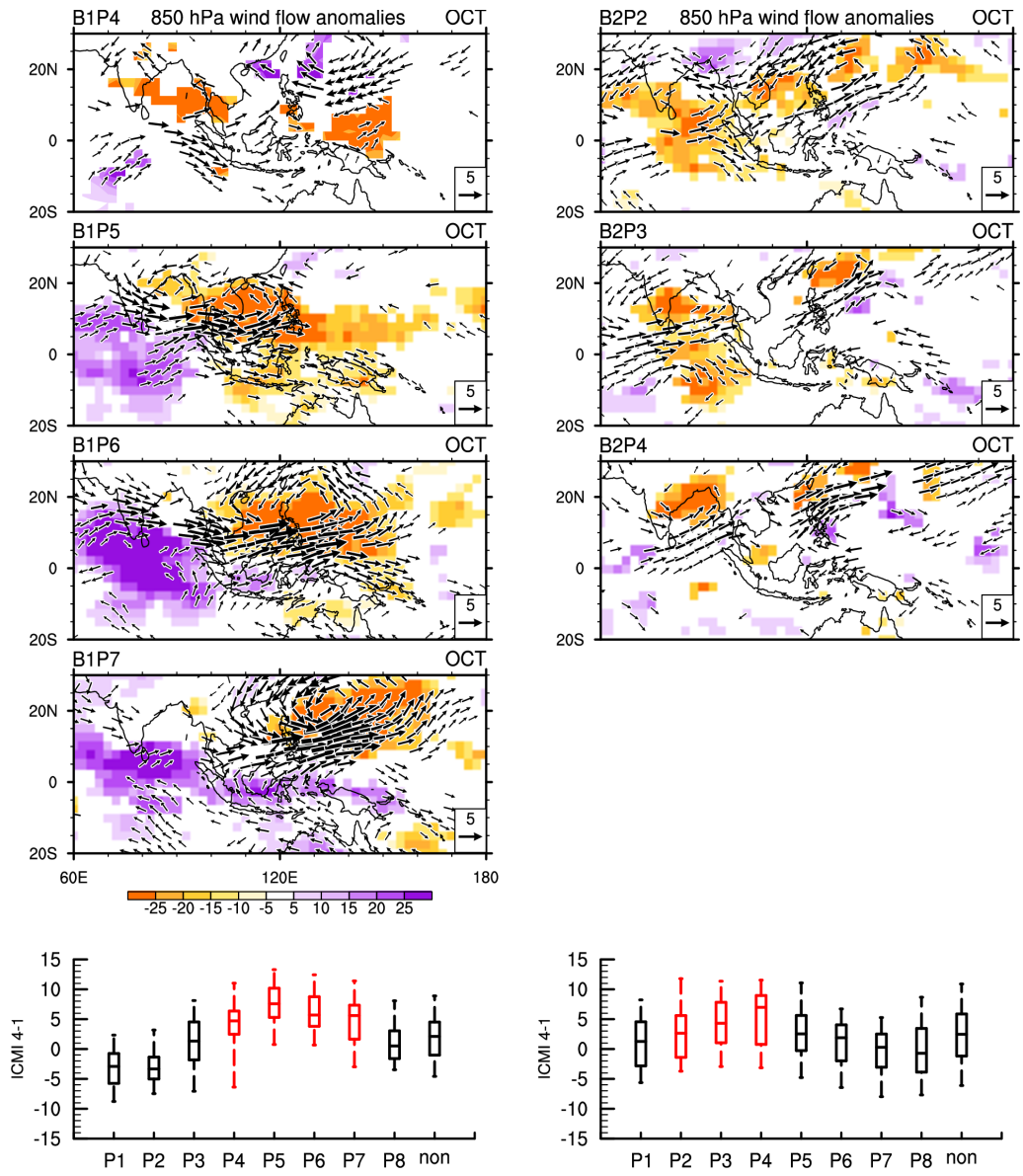


그림 A2.11 Same as in Fig. A2.6, but for Oct.

A2.1.3 동남아시아 몬순 지수(남풍 지수)와의 관련성

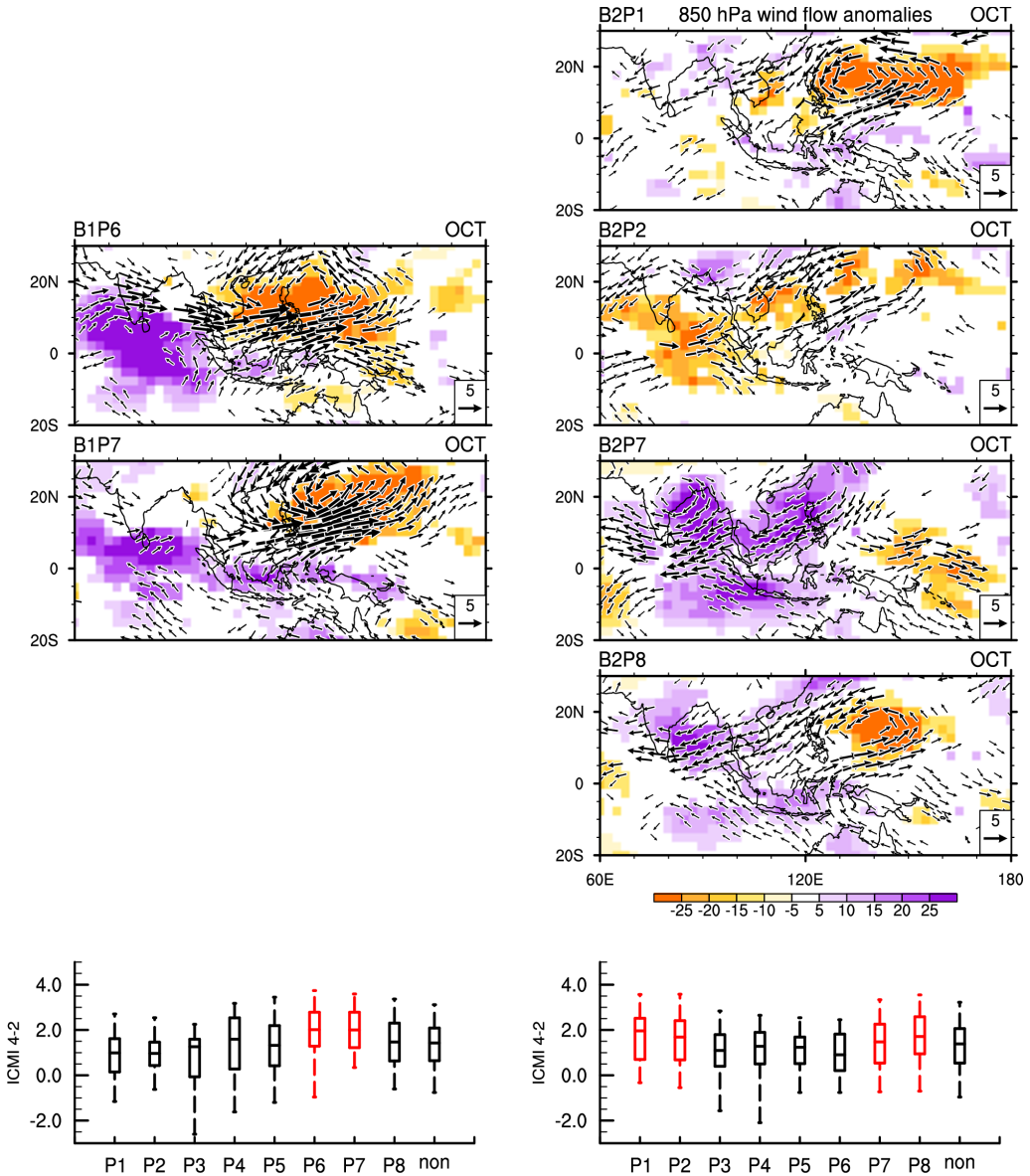


그림 A2.12 Relationship between BSISO and ICMI4-2 (box plot) and composite maps for OLR (shaded) and 850hPa wind (vector) anomalies when BSISO phase has a distinctive relationship (red box) with ICMI4-2 during Oct.

부록 3

A3.1 강우량에 기반한 호우 예보 검증

A3.1.1 BOM

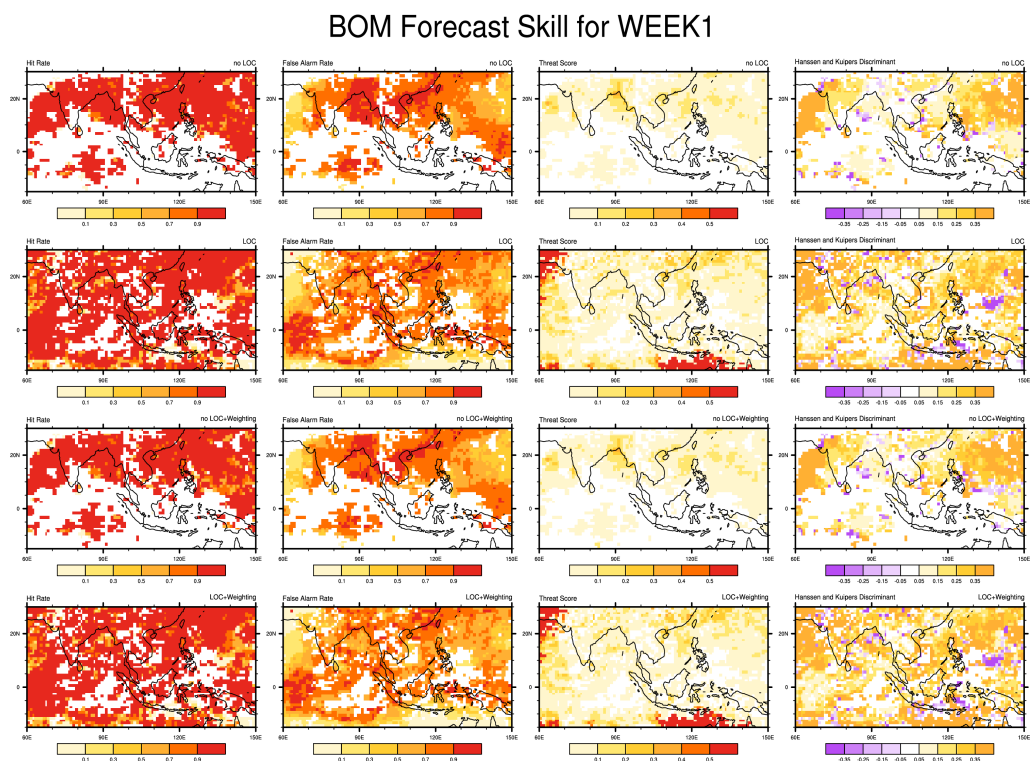


그림 A3.1 WEEK-1 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using BOM. The skills were calculated for dichotomous forecasts.

BOM Forecast Skill for WEEK2

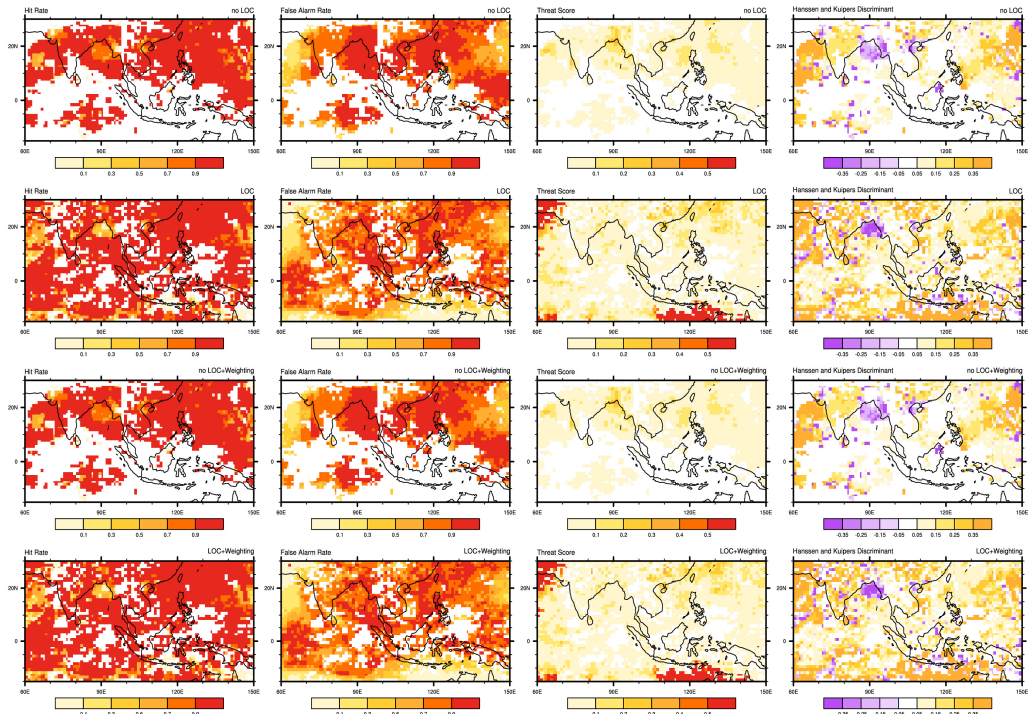


그림 A3.2 WEEK-2 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using BOM. The skills were calculated for dichotomous forecasts.

BOM Forecast Skill for WEEK1

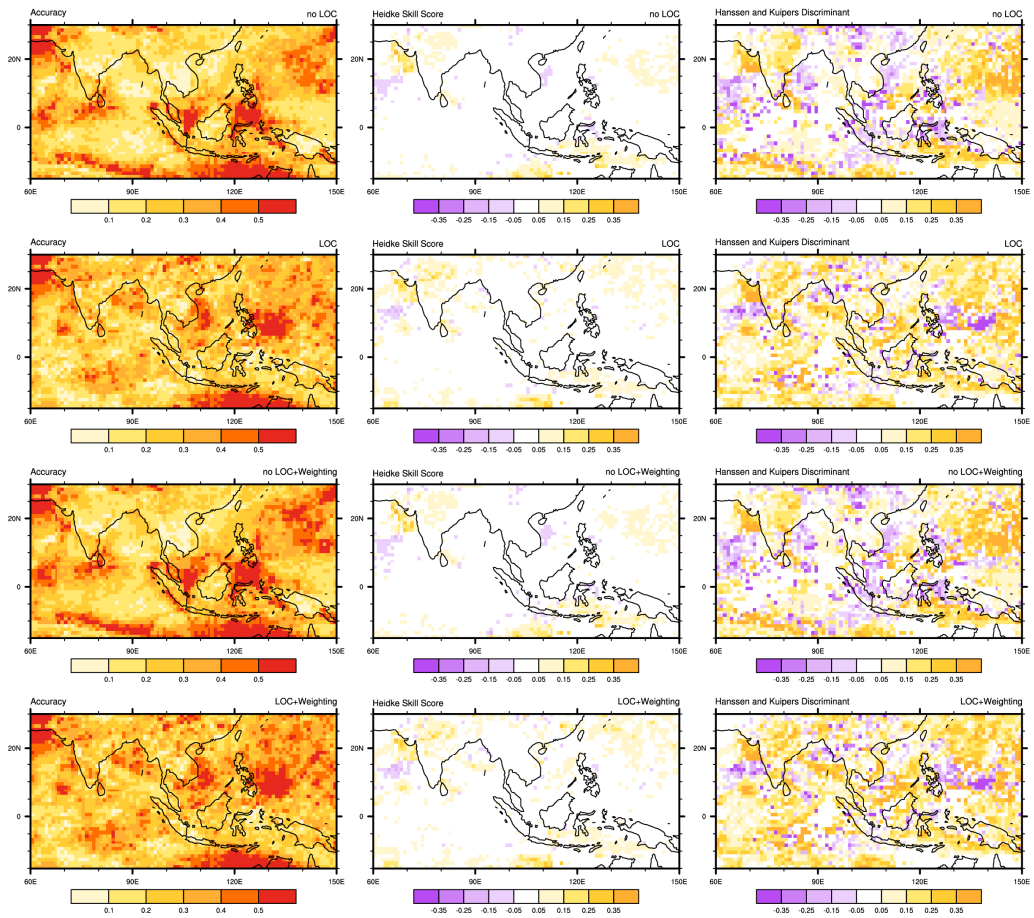


그림 A3.3 WEEK-1 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using BOM. The skills were calculated for multi-category forecasts.

BOM Forecast Skill for WEEK2

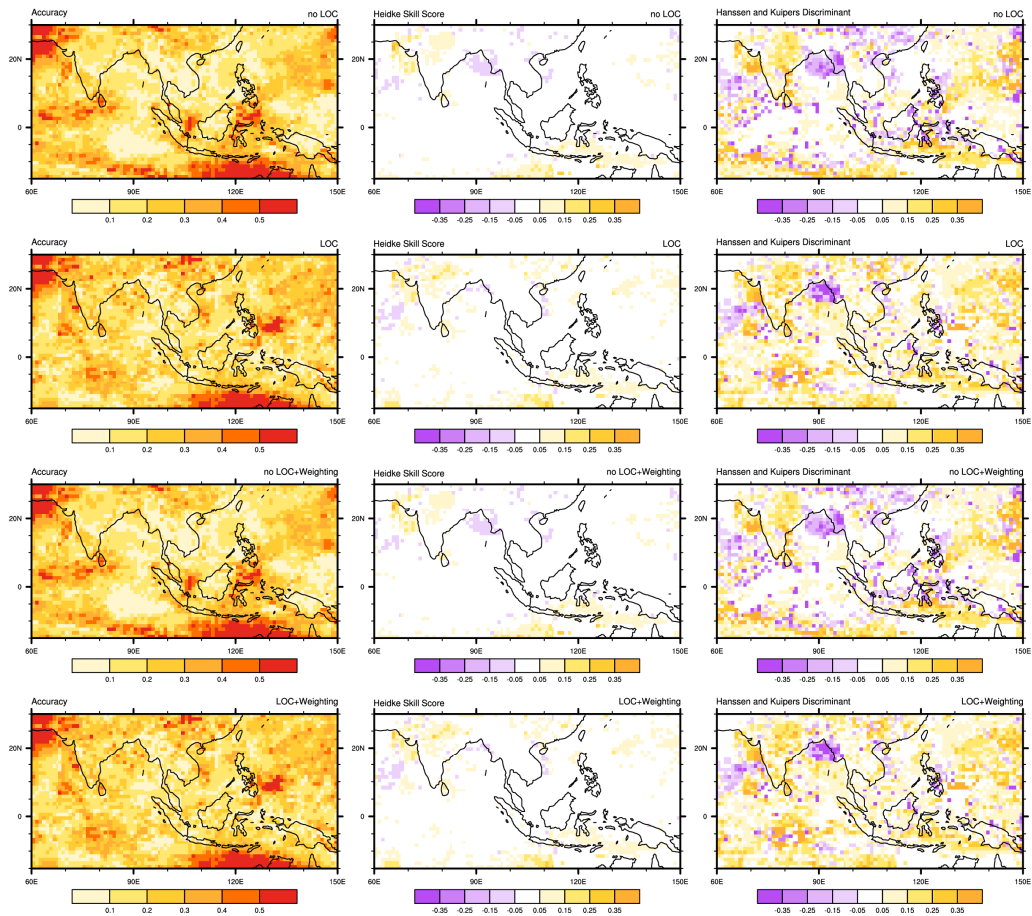


그림 A3.4 WEEK-2 Forecast skills of heavy rainfall amount estimated by BSISO forecast indices using BOM. The skills were calculated for multi-category forecasts.

A3.1.2 CFS

CFS Forecast Skill for WEEK1

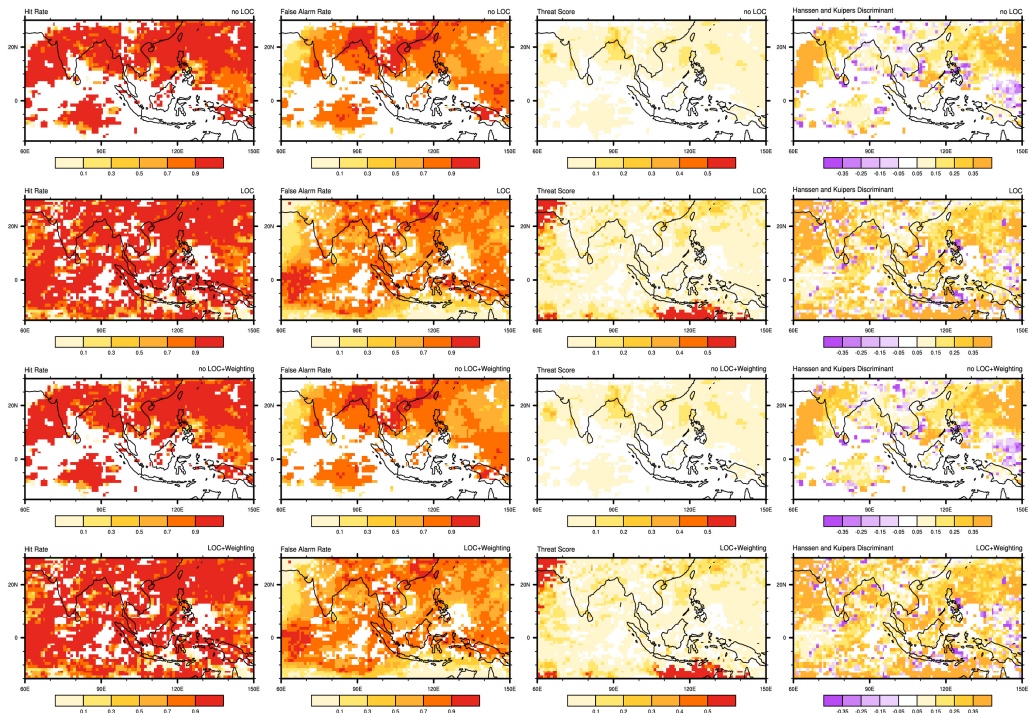


그림 A3.5 Same as in Fig. A3.1, but for CFS

CFS Forecast Skill for WEEK2

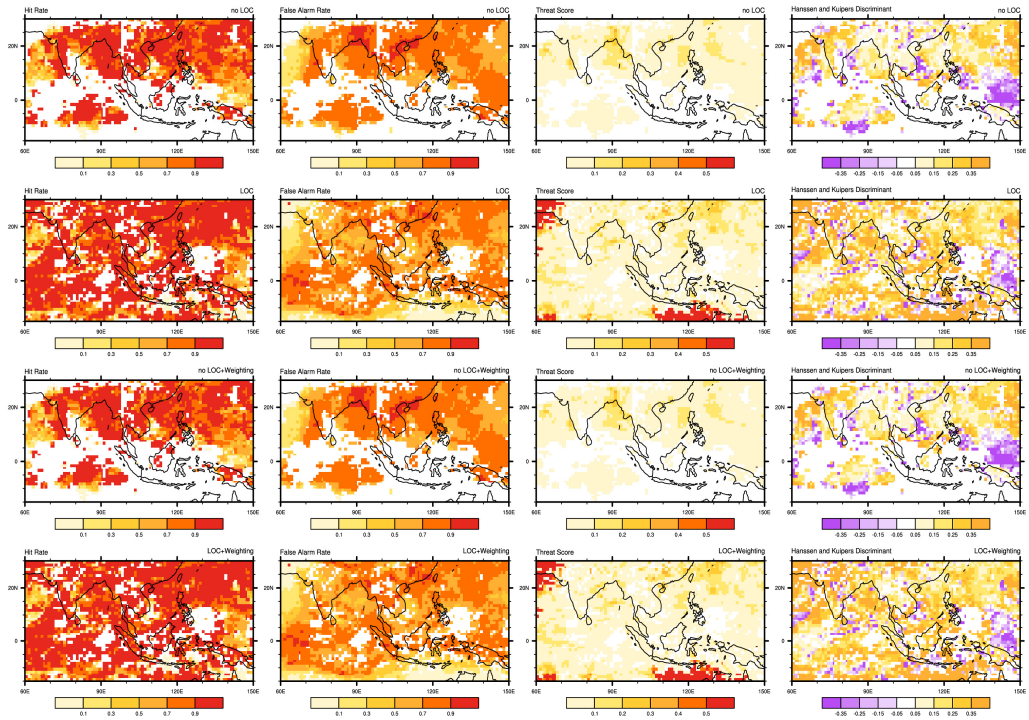


그림 A3.6 Same as in Fig. A3.2, but for CFS

CFS Forecast Skill for WEEK1

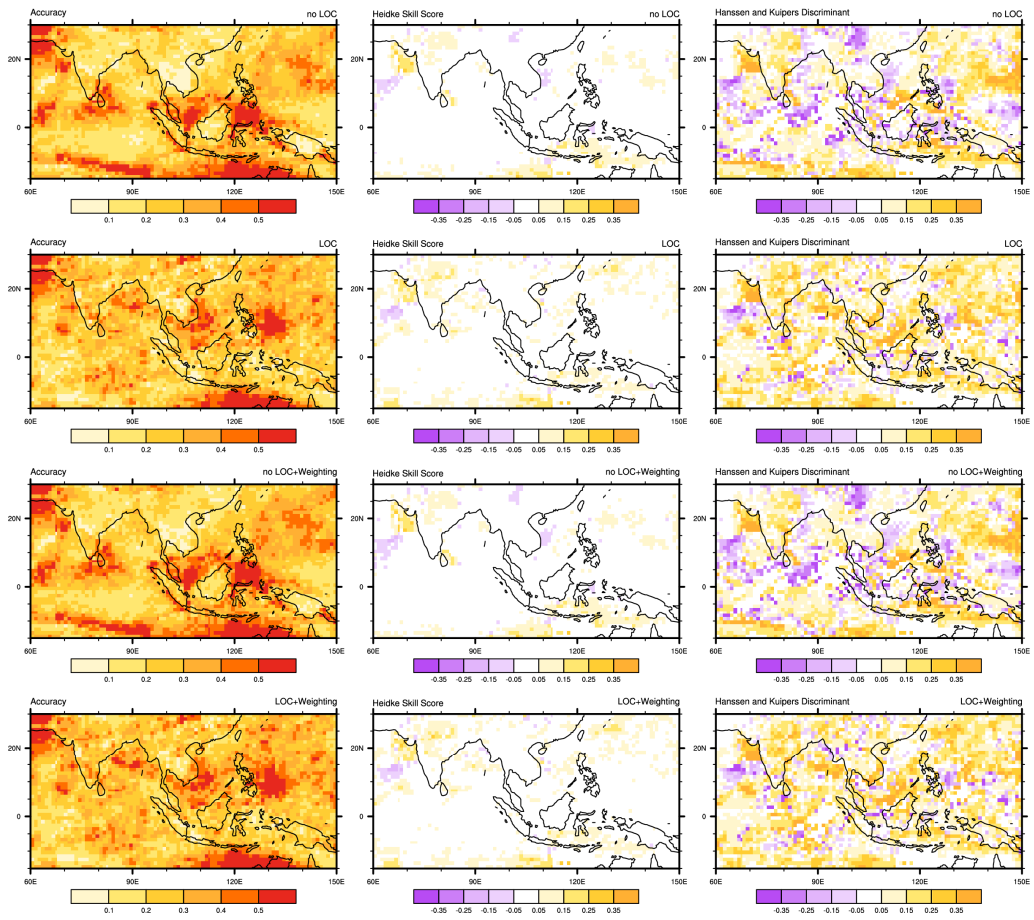


그림 A3.7 Same as in Fig. A3.3, but for CFS

CFS Forecast Skill for WEEK2

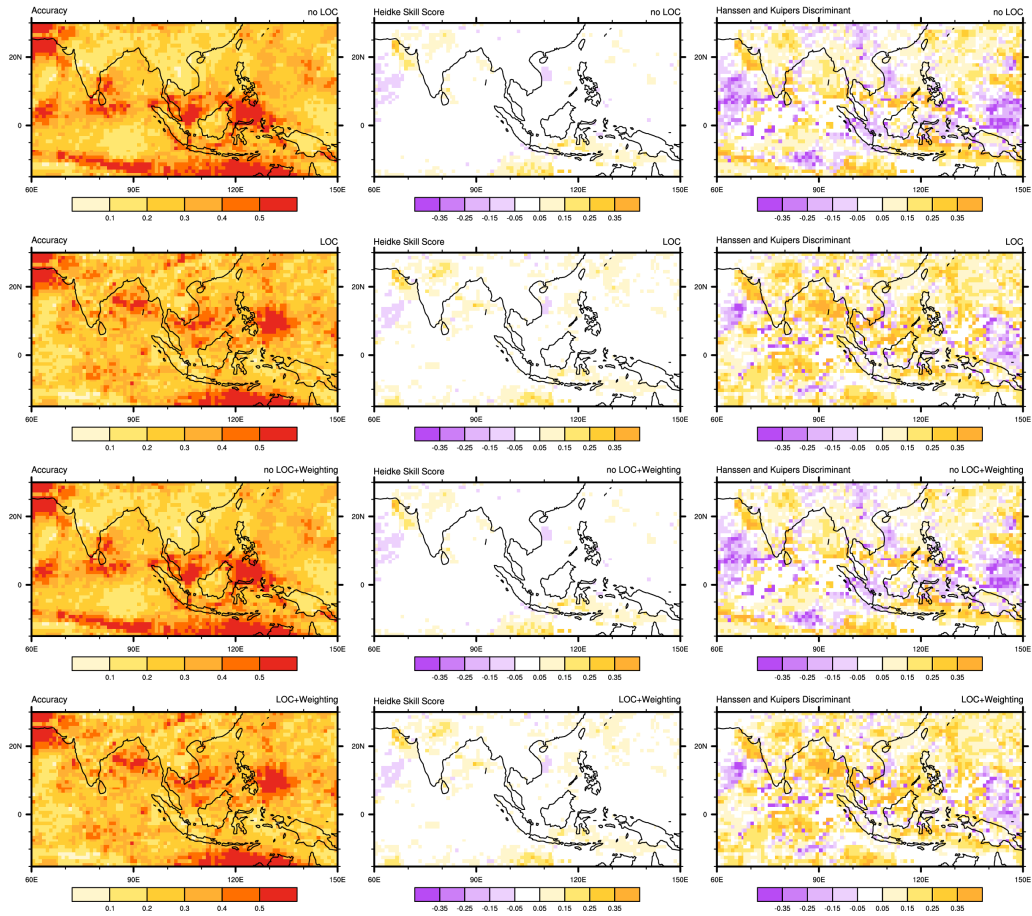


그림 A3.8 Same as in Fig. A3.4, but for CFS

A3.1.3 GFS

GFS Forecast Skill for WEEK1

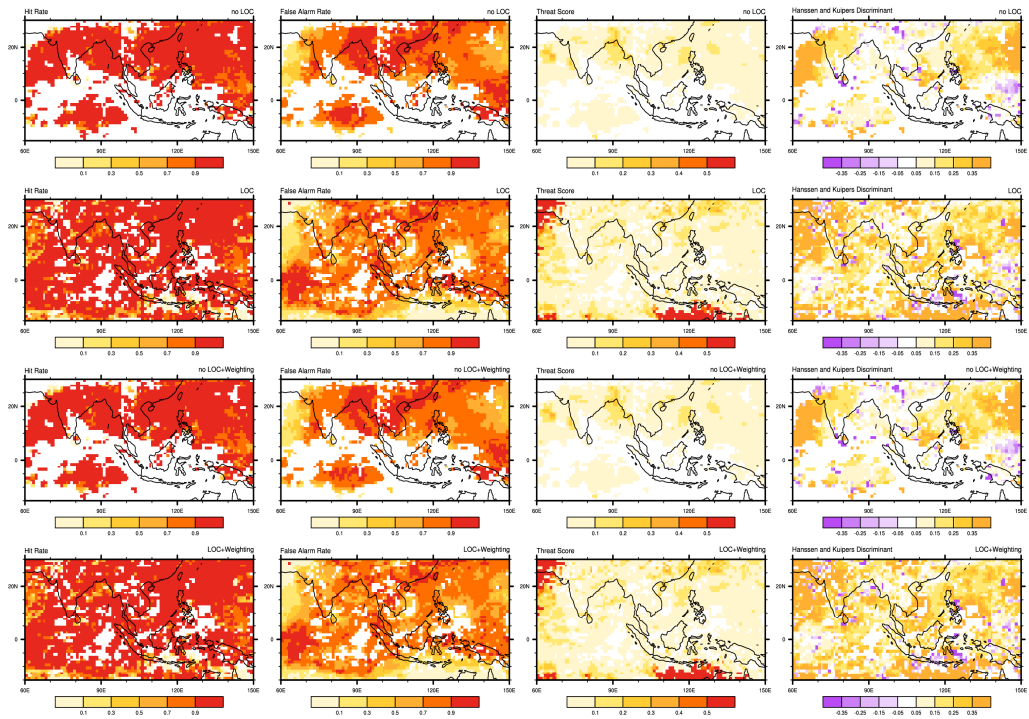


그림 A3.9 Same as in Fig. A3.1, but for GFS

GFS Forecast Skill for WEEK2

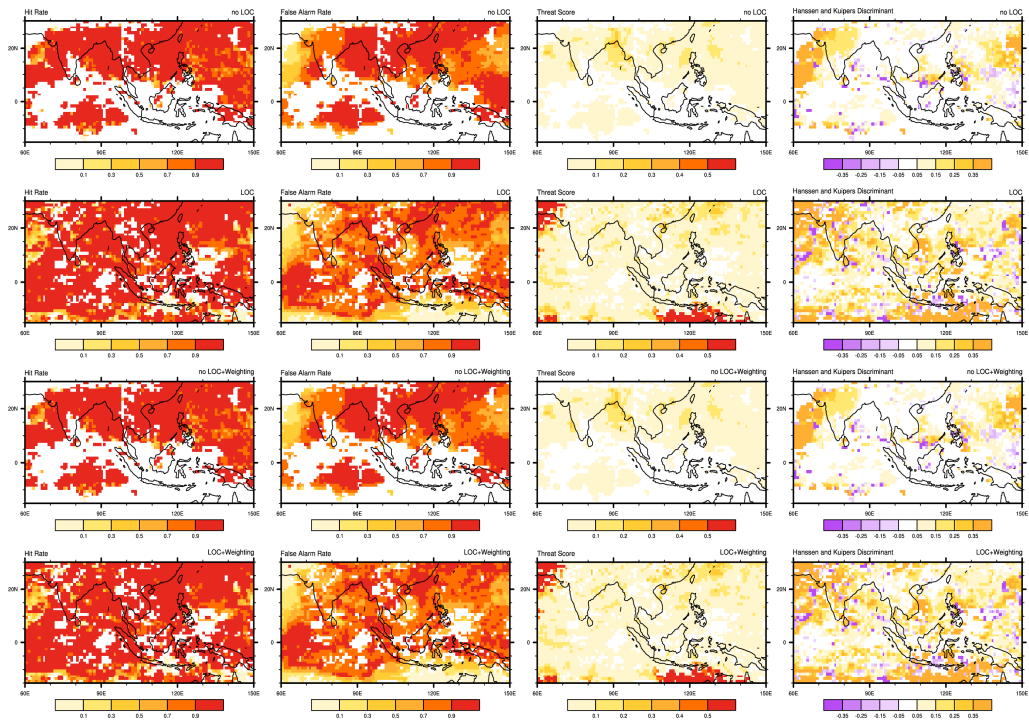


그림 A3.10 Same as in Fig. A3.2, but for GFS

GFS Forecast Skill for WEEK1

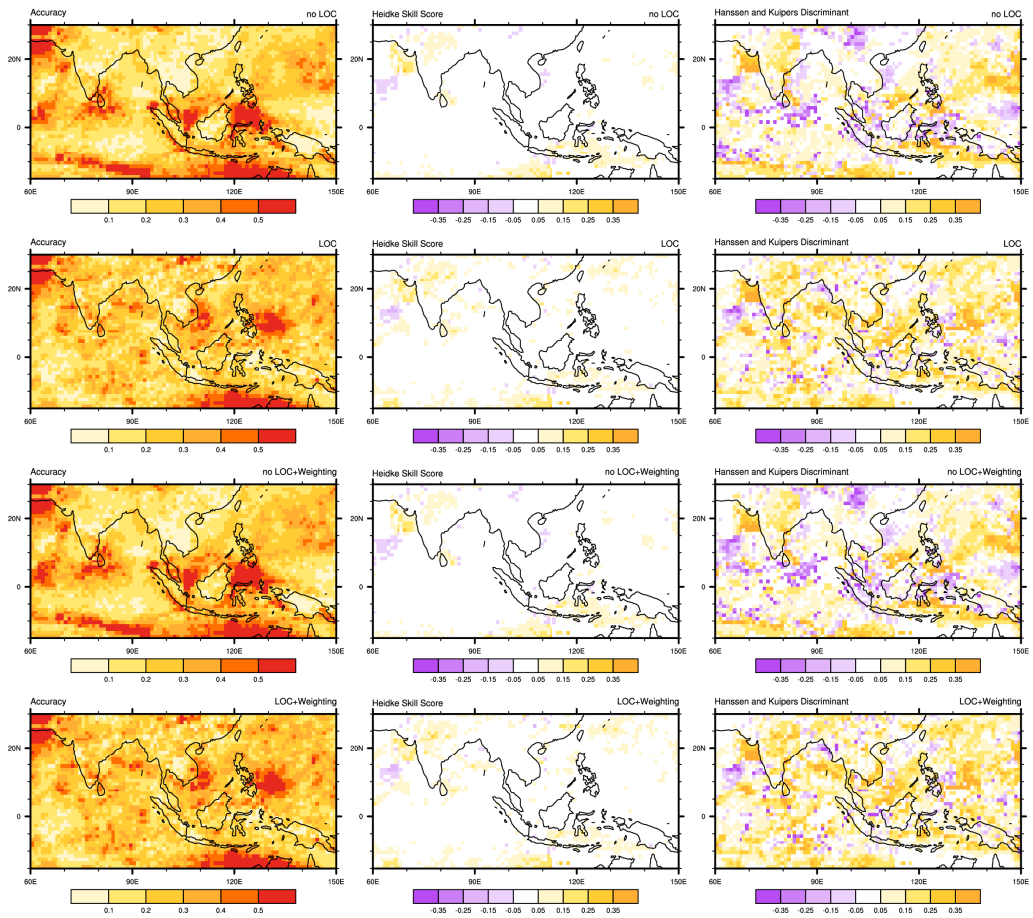


그림 A3.11 Same as in Fig. A3.3, but for GFS

GFS Forecast Skill for WEEK2

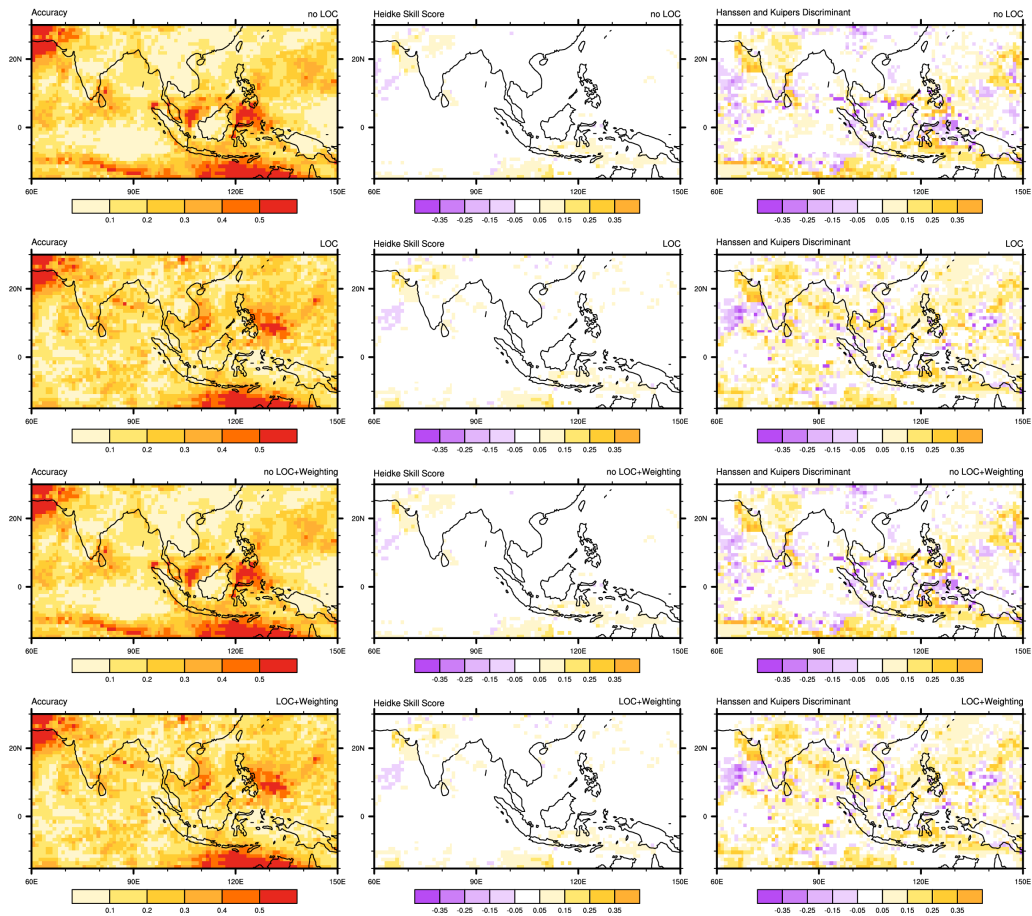


그림 A3.12 Same as in Fig. A3.4, but for GFS

A3.1.4 CWB

CWB Forecast Skill for WEEK1

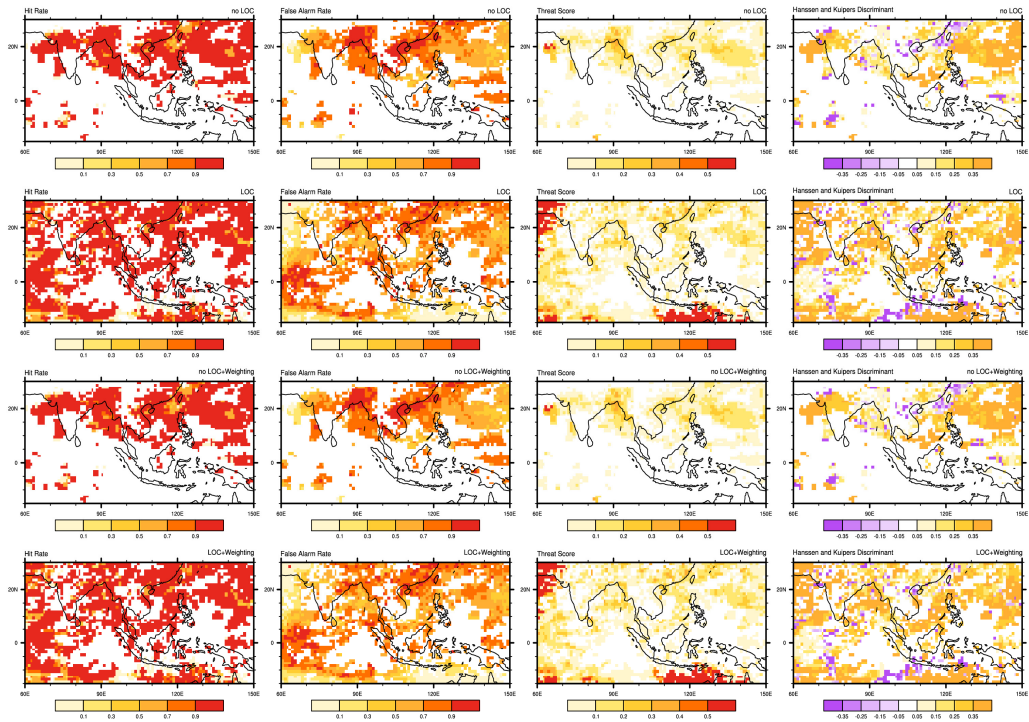


그림 A3.13 Same as in Fig. A3.1, but for CWB

CWB Forecast Skill for WEEK2

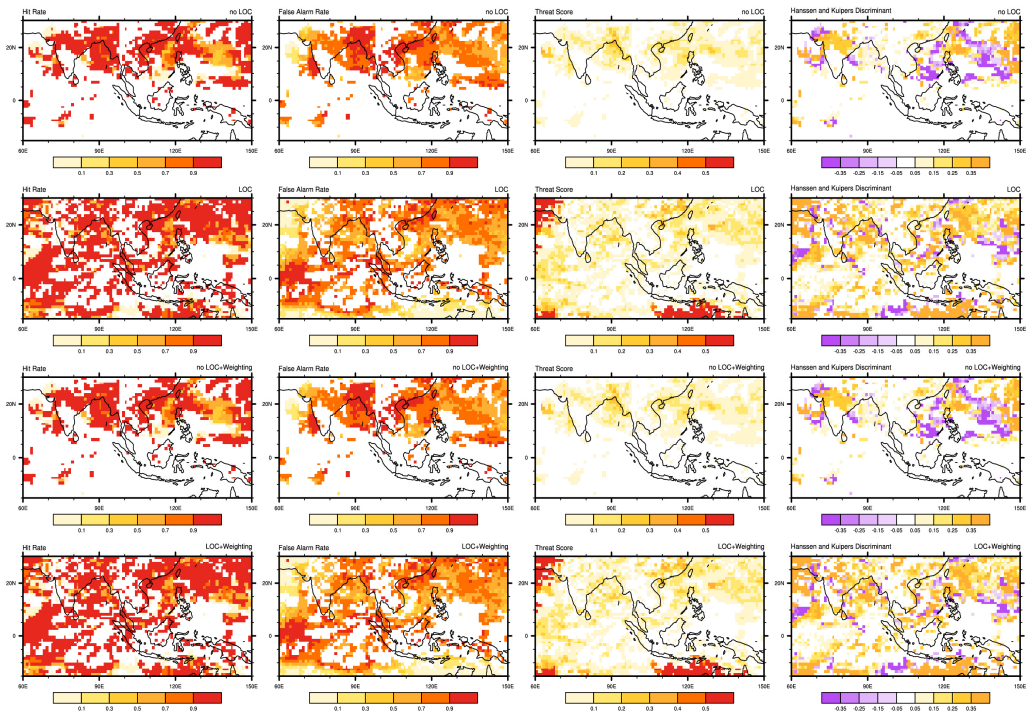


그림 A3.14 Same as in Fig. A3.2, but for CWB

CWB Forecast Skill for WEEK1

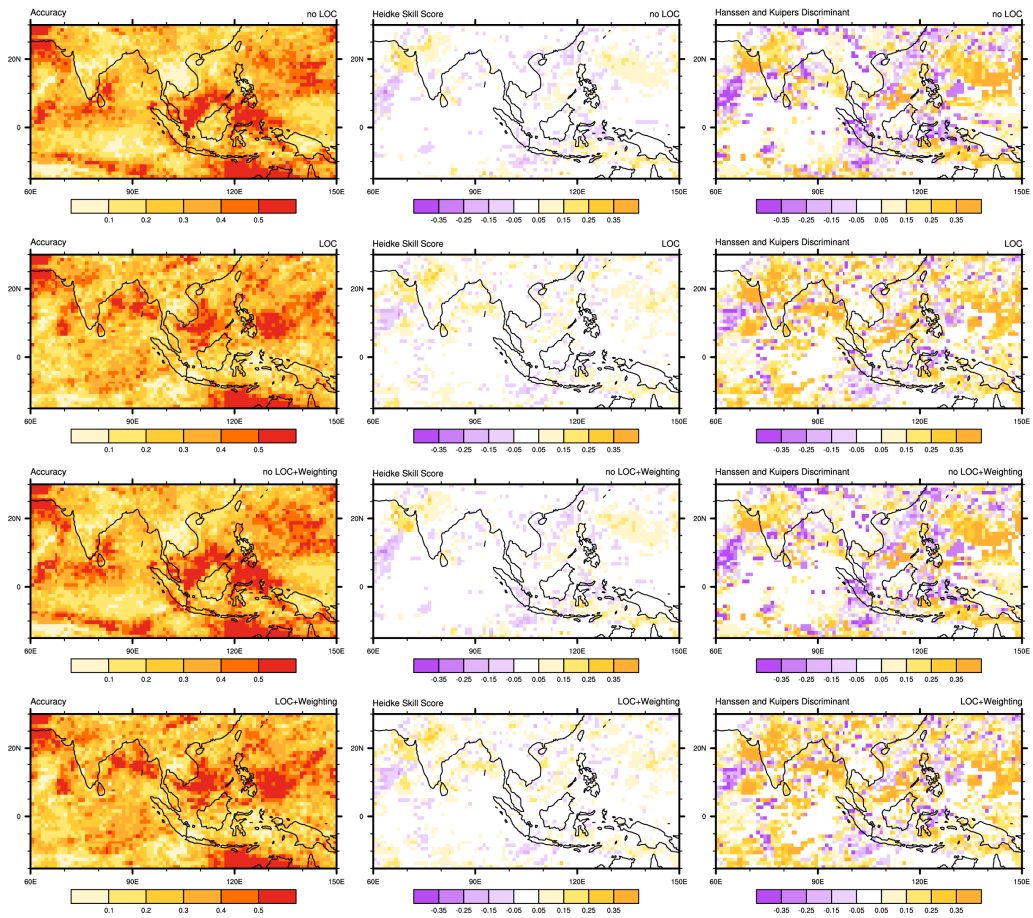


그림 A3.15 Same as in Fig. A3.3, but for CWB

CWB Forecast Skill for WEEK2

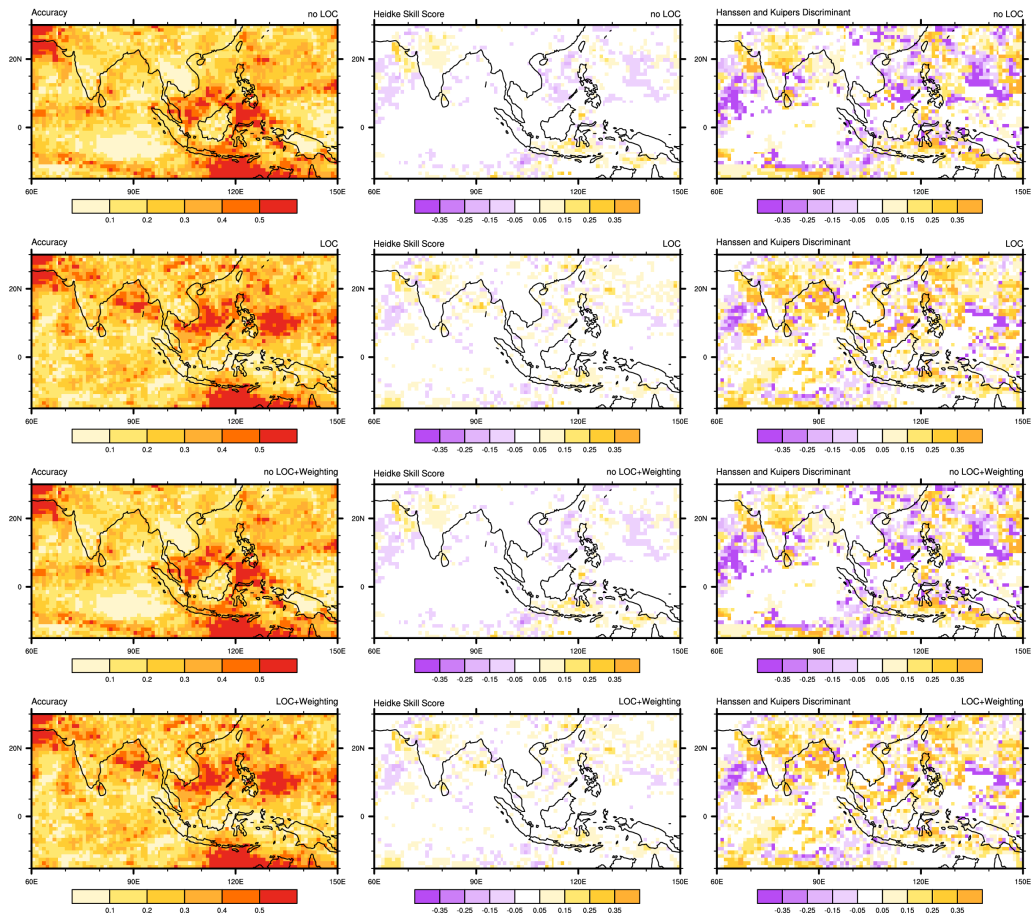


그림 A3.16 Same as in Fig. A3.4, but for CWB

A3.2 호우 확률 예보 검증

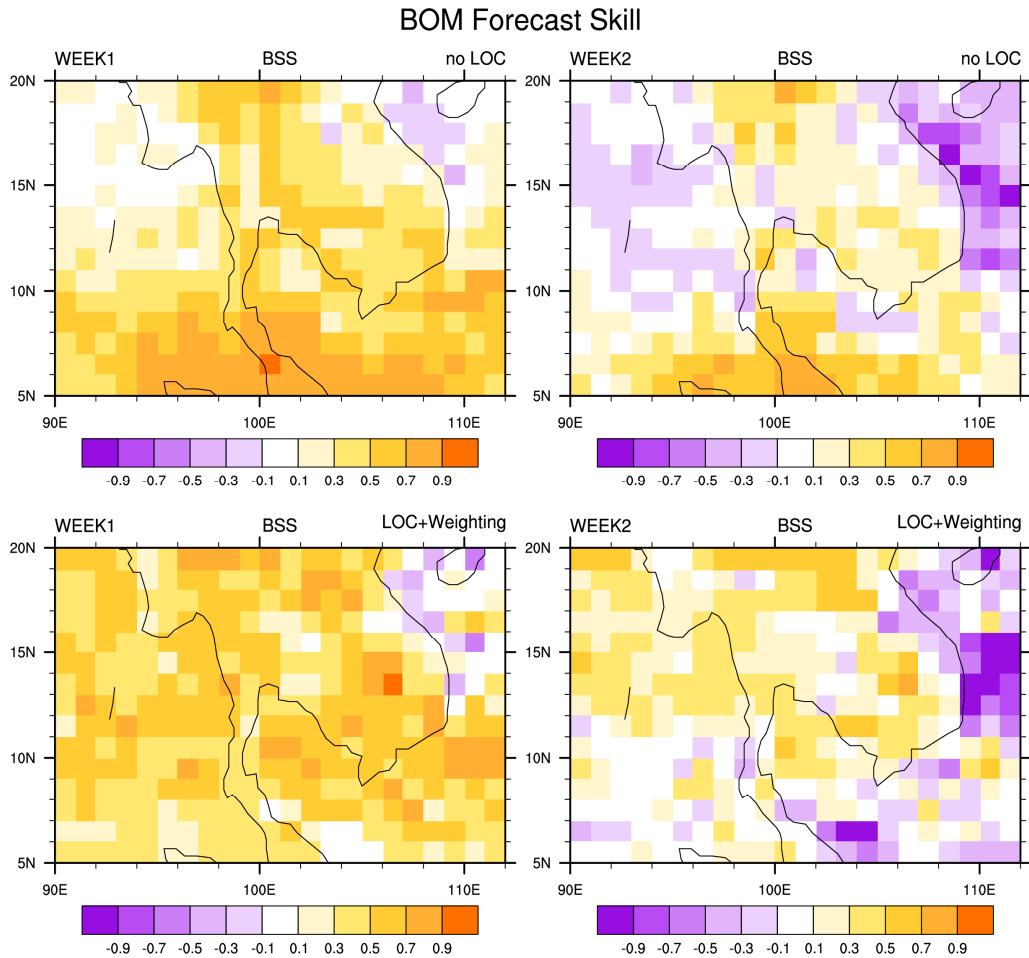


그림 A3.17 The Brier skill score for probability forecasts of heavy rainfall estimated by BSISO forecast indices using BOM. Lead times and methodologies for making heavy rainfall forecast are shown in the upper left and right of each panel, respectively.

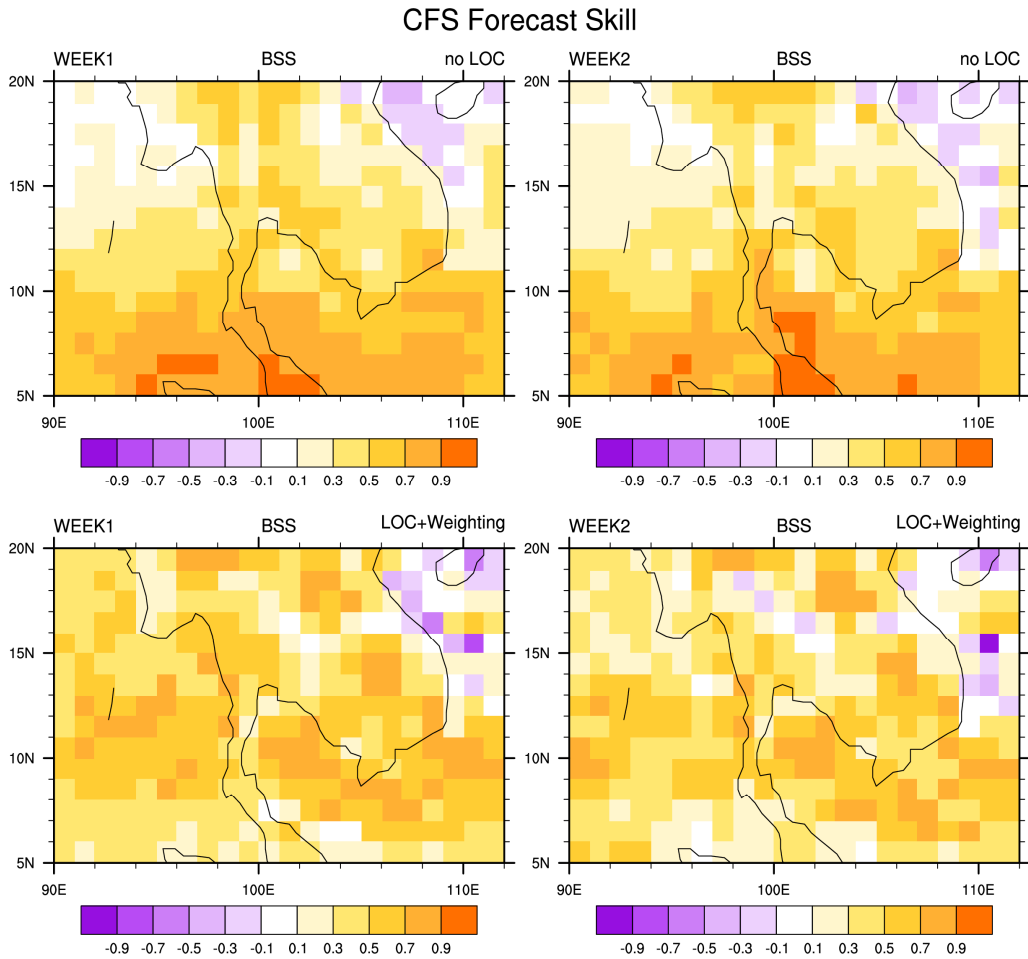


그림 A3.18 Same as 그림 A3.17 but for CFS.

GFS Forecast Skill

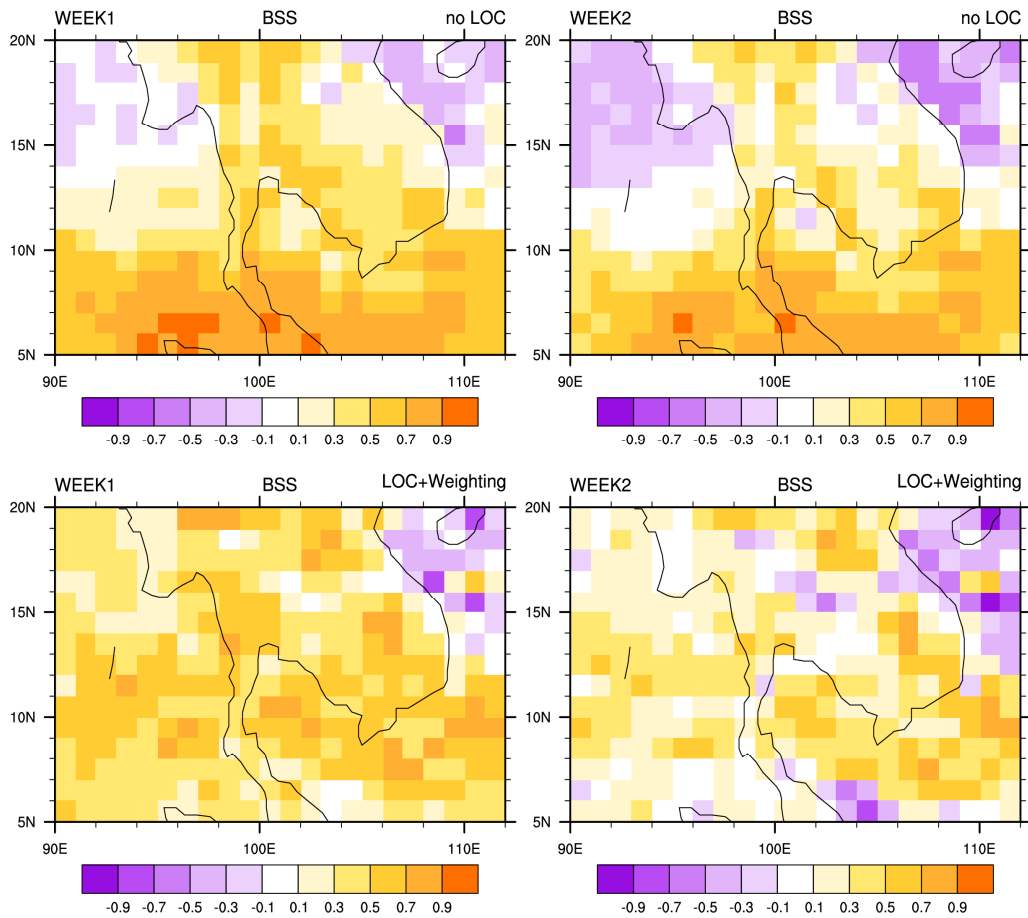


그림 A3.19 Same as 그림 A3.17 but for GFS.

CWB Forecast Skill

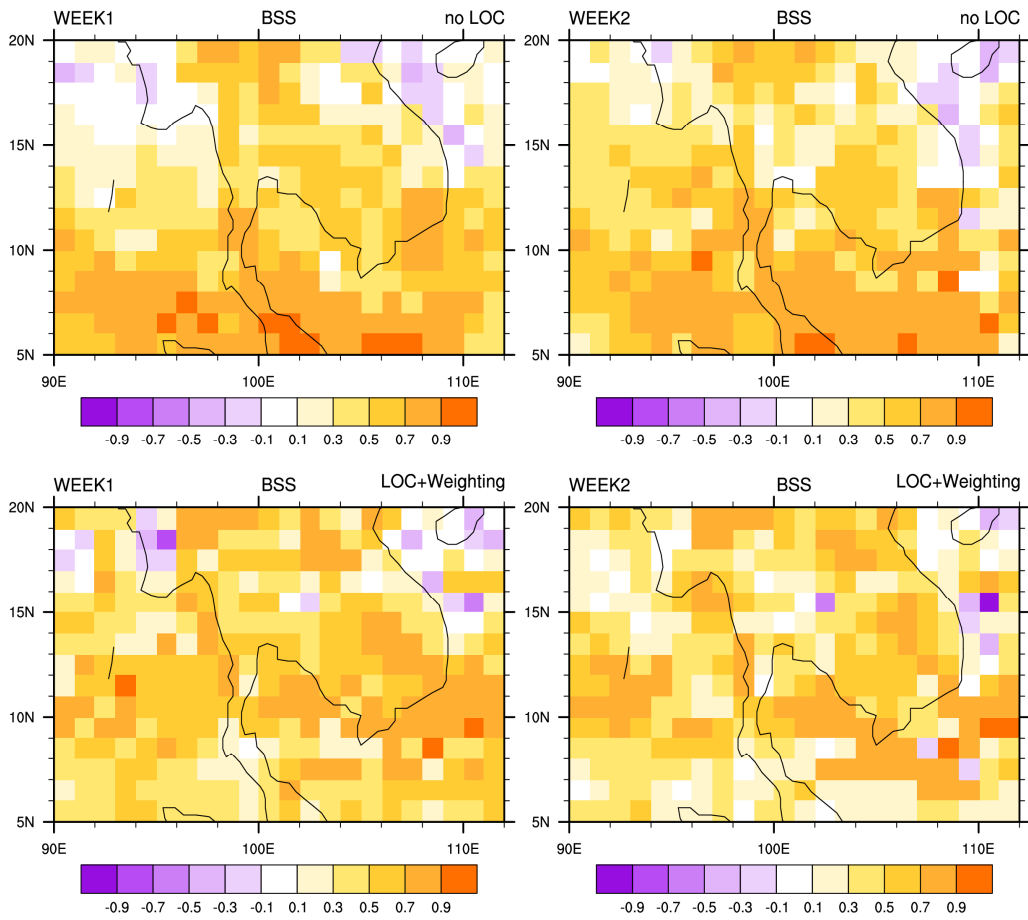


그림 A3.20 Same as 그림 A3.17 but for CWB.

A3.3 BSISO 위상에 따른 호우 확률 예보 검증

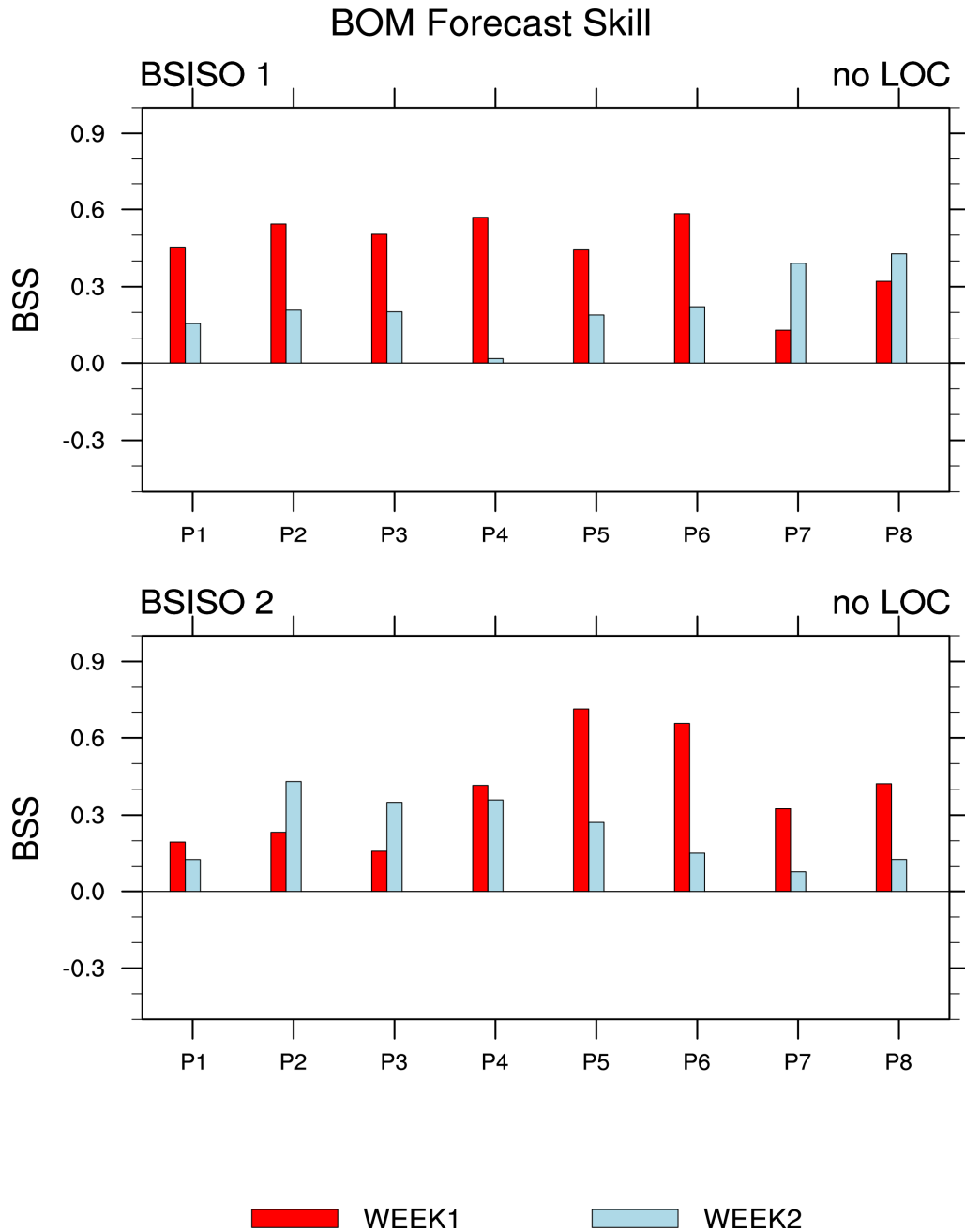


그림 A3.21 The BSS for probability forecasts of heavy rainfall estimated by BSISO forecast indices using BOM. The BSS was validated on each phase of the eight BSISO1(upper panel) and BSISO2(lower panel) phases. Red(blue) bars show distributions for WEEK1 (WEEK2) lead time.

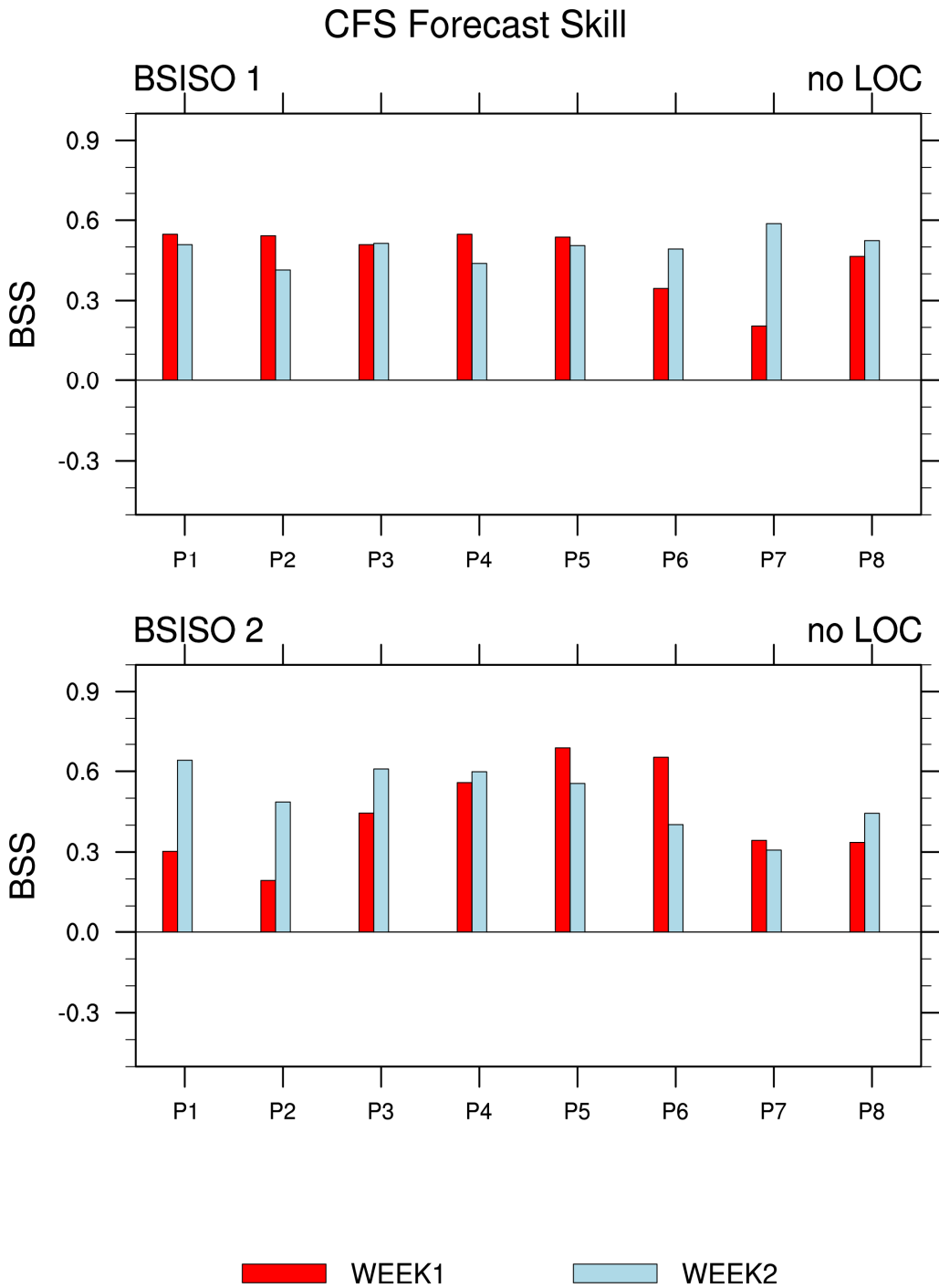


그림 A3.22 Same as 그림 A3.21 but for CFS.

GFS Forecast Skill

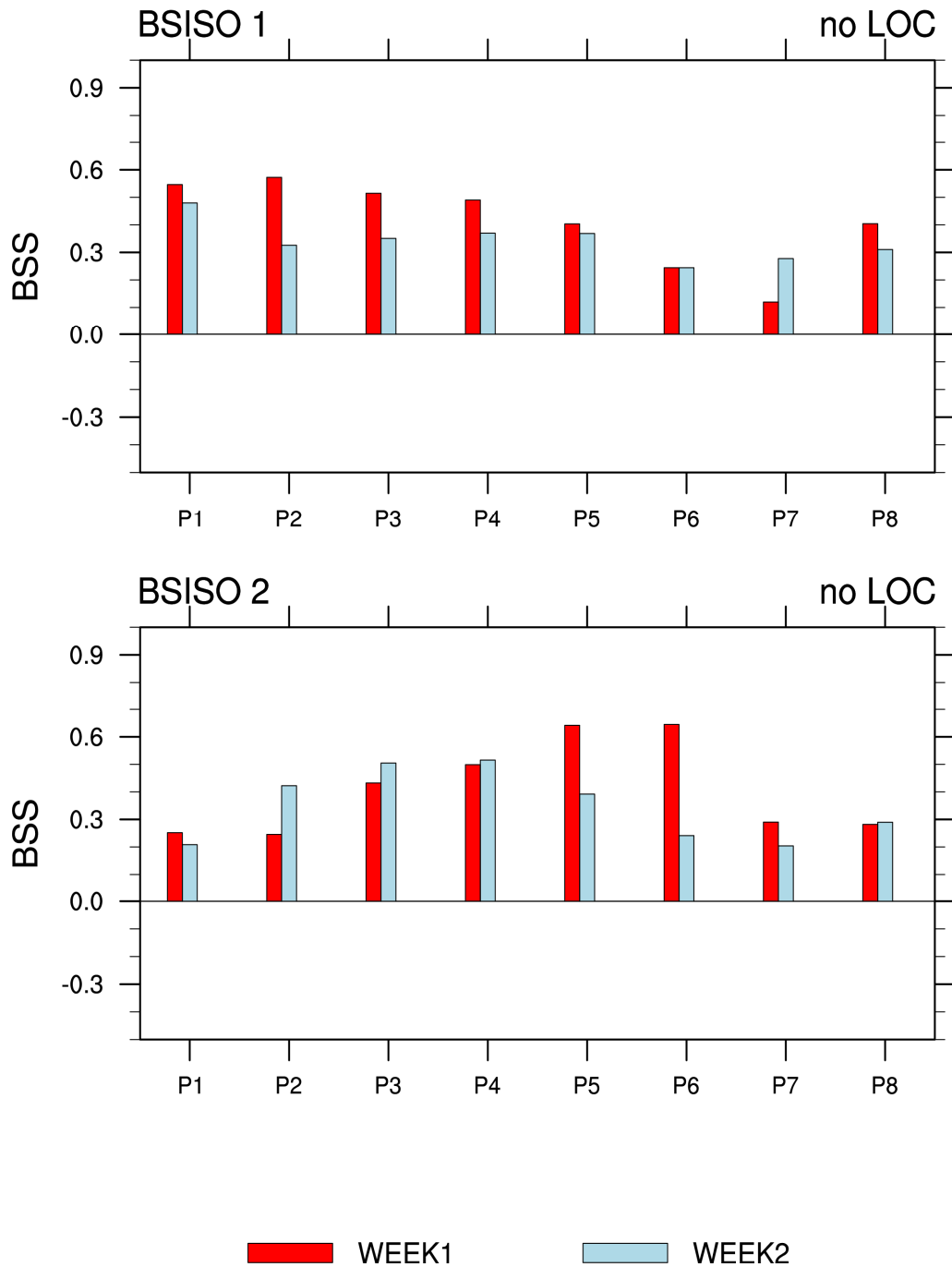


그림 A3.23 Same as 그림 A3.21 but for GFS.

연구보고서 2016-06

**여름철 계절내 진동 예측 시스템 개선(III) :
BSISO 예보 해석 및 활용 가이드언스 마련**

Improvement of real-time forecast system on the BSISO (III) :
Understanding practical usefulness of BSISO information by making a guide
for operational forecasts

김해정



APEC 기후센터
48058 부산광역시 해운대구 센텀7로12
Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949
www.apcc21.org

