

한반도 봄철 강수량의 장기변동과 미래변화

김고운 · 옥 정 · 서경환* · 한상대

부산대학교 지구환경시스템학부 대기환경과학과

(접수: 2012년 7월 17일, 수정: 2012년 10월 29일, 게재확정일: 2012년 11월 13일)

Interdecadal Variability and Future Change in Spring Precipitation over South Korea

Go-Un Kim, Jung Ok, Kyong-Hwan Seo*, and Sang-Dae Han

Division of Earth Environmental System, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University,
Busan 609-735, Korea

(Received: 17 July 2012, Revised: 29 October 2012, Accepted: 13 November 2012)

Abstract This study presents the long-term variability of spring precipitation over the Korean peninsula. It is found that the significant interdecadal change in the spring precipitation has occurred around year 1991. Over the Korean peninsula the precipitation for the post-1991 period increased by about 30 mm per year in CMAP and station-measured data compared to the precipitation prior to year 1991. Due to an increased baroclinicity during the later period, the low-level negative pressure anomaly has developed with its center over northern Japan. Korea is situated at the western end of the negative pressure anomaly, receiving moisture from westerly winds and producing more precipitation. Also, we estimate the change in the near future (years 2020~2040) spring precipitation using six best performing Coupled Model Intercomparison Project 3 (CMIP3) models. These best model ensemble mean shows that spring precipitation is anticipated to increase by about 4% due to the strengthened westerlies accompanied by the northwestern enhancement of the North Pacific subtropical high.

Key words: Spring precipitation, interdecadal variability, future change, baroclinicity

1. 서 론

일반적으로 한반도의 계절별 강수량은 여름철, 가을철, 봄철, 겨울철 순으로 강하게 나타난다고 알려져 있다. 장마백서 (2011)에 따르면, 일 강수량 80 mm 이상 발생일수는 전 계절 대비 여름철 (6~8월) 약 70%, 가을철 (9~11월) 약 18%, 봄철 (3~5월) 약 11%를 차지하고, 일 강수량 150 mm 이상 발생일수는 여름철 약 77%, 가을철 약 16%, 봄철 약 8%를 차지한다고 한다. 이처럼 강수량은 여름철과 가을철에 가장 많이 발생하고, 이후 겨울철 동안 강수량이 적다가 봄철에

강수량이 증가하는 경향을 보인다. 이러한 과정에서 봄철에 내리는 강수는 산불을 예방하고, 가뭄의 해갈을 도우며 생활 및 공업용수와 영농기 농업용수를 안정적으로 공급하는데 유용하다. 반면에 봄철강수가 크게 증가하면 짧은 일조시간을 야기시켜 저온현상 및 성장저해 등 농작물 피해를 유발 하기도 한다. 이와 같이 봄철강수는 식량 및 수자원 공급, 인간의 생활과 생태계의 환경, 나아가 사회·경제적 분야까지 영향을 미치기 때문에 많은 연구가 이루어졌다.

봄철강수와 관련된 선행 연구들은 크게 봄장마와 장기변동에 대해서 이루어졌다. 먼저, 봄에 일시적으로 강수량이 증가하는 기간인 '봄장마'에 대해 중점적으로 분석하였다. 봄장마 기간은 4월 2~6일부터 5월 14~16일까지로 정의되었다 (Byun *et al.*, 1992a,b; Byun and Han, 1994; Byun and Lee, 2002). Byun

*Corresponding Author: Kyong-Hwan Seo, Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busandeahakro 63 Beon-gil, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea.

Phone : +82-51-510-2181, Fax : +82-51-515-1689
E-mail : khseo@pusan.ac.kr

et al. (1992a,b)과 Byun and Han (1994)은 봄철을 2mm 미만의 강수일이 14일 이상 연속되는 기간과 아닌 기간에 따라 봄가뭄과 봄장마를 구분하였고, Byun and Lee (2002)는 지역별 봄장마 기간을 정의 함으로서, 한반도 남쪽에서부터 봄장마가 시작하는 반면 동쪽 해안가에 위치한 지역에서는 봄장마가 나타나지 않음을 밝힌 바 있다. 또한, Han and Byun (2006)은 북반구 온도 상승에 따른 중국대륙의 하층 온도 증가로 인해 쓰촨성 지역에서의 열적 저기압 발달과 북태평양 고기압의 서쪽 확장으로 인해 수평 온도경도가 강화되어 봄장마기간의 강수량을 증가시켰다고 밝혔다.

한반도 봄철강수의 장기변동에 대한 연구로 Choi *et al.* (2010)은 1980년과 1981년 사이에 한반도 봄철 강수량의 레짐이동 (regime shift)이 발생되었음을 보였다. 1980년 초 이후에 한반도 봄철강수량은 약 35 mm 감소하였는데, 특히 한반도 남서지역 (소백산맥의 서쪽)에서 봄철강수량이 가장 뚜렷하게 감소하는 것을 보였다. 이러한 이유는 한반도의 서쪽에는 고기압, 동쪽에는 저기압이 위치하여 차가운 북풍이 한반도를 포함한 중위도 동아시아로 강하게 불었다. 이러한 패턴과 더불어 북서태평양 아열대 고기압이 한반도 동쪽의 저기압으로 인해 북서쪽으로 확장하지 못하며, 중위도 동아시아로 따뜻하고 습한 남풍계열의 바람이 유입되지 못했기 때문이라 주장했다.

그러나 이러한 장기변동 이후부터 현재까지 한반도 봄철강수량의 장기변동에 주목하는 연구는 거의 알려진 바 없고, 앞으로의 봄철강수량의 변화에 대해서도 살펴보는 연구도 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 1981년부터 2010년까지의 한반도의 봄철강수량의 장기변동을 살피고, 한반도를 포함한 동아시아의 대기순환 분석을 통해 한반도 봄철강수량 장기변동의 원인을 나타내고자 한다. 또한 유엔 (UN) 정부간기후변화패널 (IPCC; Intergovernmental Panel for Climate Change)의 4차 보고서에 참여한 CMIP3 (Couple Model Intercomparison Project 3)모델을 이용하여 미래 봄철 강수량의 변화를 전망할 것이다.

2. 자료 및 분석방법

본 연구에서는 한반도 봄철강수량 장기변동을 살펴 보기 위해 기상청 60개 기상관측소의 일 강수 자료와 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 격자간격의 CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 5일 평균 자료 (pentad)를 일자료로 내삽하여 사용하였다. 또한 한반도 봄철강수량 장기변동과 연관된 대기순환장을 나타내기 위해서 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 격자간격의 NCEP/DOE (National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy) 재분석자료를 사용하였다. 봄

철강수량은 3~5월 동안 내린 강수량으로 정의하였으며, 1981년부터 2010년까지 총 30년 자료에 대해 분석을 수행하였다.

한반도 봄철강수량에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해서, 한반도 주변의 대기순환 상층 (500 hPa)과 하층 (850 hPa)의 지위고도 (gpm), 기온 (K), 동서류 ($m s^{-1}$), 경압불안정 지수 (Eady growth rate; $\sigma = 0.31 |f/N \times \partial \bar{U} / \partial z \approx -0.31 |g/TN \times \partial \bar{T} / \partial y|$) (Lindzen and Farrell, 1980)를 이용하였다. 여기에서, 경압불안정 지수는 최대 성장률 (maximum nondimensional growth rate)인 0.31을 곱하여 최대 경압불안정 지수를 나타내며, f 는 전향력 (Coriolis parameter)이고, N 은 부력진동수 (Brunt-Vaisala frequency; $\sqrt{g/\theta \times \partial \theta / \partial z}$), $\partial \bar{U} / \partial z$ 는 수평바람의 연직시어를 의미한다.

미래인 2020~2040년 봄철강수량 변화를 정량적으로 나타내기 위해서, CMIP3 22개 모델의 A1B 시나리오 자료를 사용하였다. 여름철에 비해 봄철에는 적은 강수량이 모의되므로 연 총강수량을 가장 많이 차지하는 여름철강수를 모델의 선정기준으로 정하였다. 모델 선정방법으로 통계적 방법인 Taylor diagram을 이용하여 1979~1999년 메이유-장마-바이우 주요 강수대의 평균적 공간 분포와 동아시아 여름철 경년변동에 대한 모의성능을 평가하였다. Taylor diagram은 관측값과 모델의 공간상관계수, 정규화된 공간 내 표준편차의 비 (Model standard deviation/OBS standard deviation), 평균제곱근오차 (Root Mean Squared Error, RMSE)를 이용하는 방법이다 (Taylor, 2001). 이 방법에 따라 선정된 모델은 GFDL-CM2.0, GFDL-CM2.1, CNRM-CM3, ECHAM5, MIROC3.2 hires, UKMO-HadCM3으로 6개이고, 다른 모델보다 관측자료 (CMAP; Xie and Arkin, 1997)의 여름철강수 평균 공간패턴과 높은 공간패턴 상관계수 (0.6 이상)를 나타내었다. 또한, 정규화된 공간 내 표준편차의 비도 1을 기준으로 0.25 이내에 모델들이 위치하였고, 평균제곱근오차의 값도 상대적으로 낮았다 (그림 미제시). 특히, 6개 모델의 기후평균 공간장과 경년변동 공간장에서 모델간의 불확실성이 각각 낮게 나타났기 때문에 선정된 모델들이 우수한 모의성능을 가졌다고 볼 수 있다. 모델 선정에 대한 더욱 자세한 설명은 Seo and Ok (2012)에서 얻을 수 있다. 위를 바탕으로 우수한 모의성능을 지닌 6개 모델의 자료를 앙상블하여 미래 봄철강수량 변화를 살펴보았으며, 이러한 변화를 이끄는 주요 변수와의 연관성에 대해서도 분석하였다.

3. 결 과

3.1. 한반도 봄철강수량 장기변동

통계적으로 유의한 장기변동의 변화가 나타나는 해

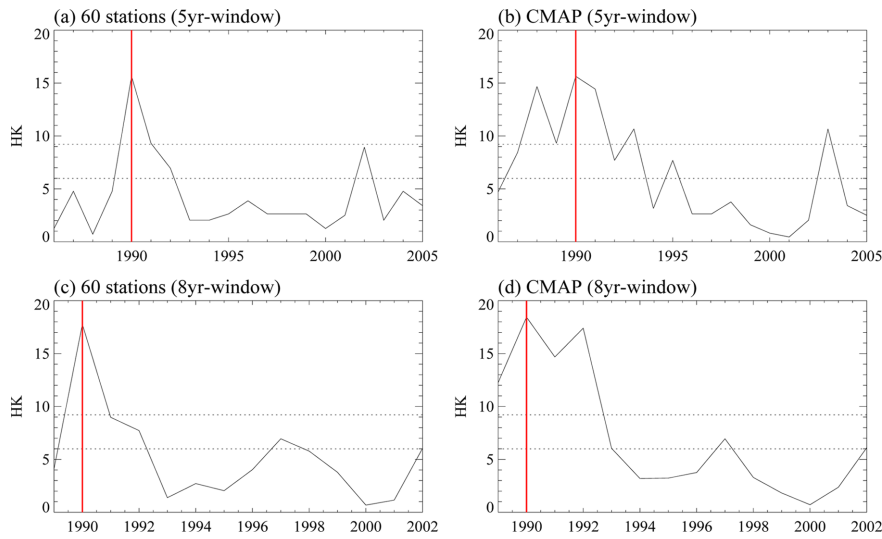


Fig. 1. Lepage test for the time series of spring precipitation (a), and (c) the averaged 60 stations data in South Korea, and (b), and (d) CMAP data averaged over 125°-130°E, 35°-40°N from 1981 to 2010. Thick red solid lines denote the year of the greatest variation.

를 찾기 위해서 30년 봄철강수량 시계열을 사용하여 Lepage test를 수행하였다 (Fig. 1). 사용한 30년 봄철 강수량 시계열은 60개 기상관측소의 봄철강수량을 평균한 값과 CMAP자료의 한반도 영역 (125°-130°E, 35°-40°N) 봄철강수량을 평균한 값이다. Lepage test는 총 시계열 개수에 대해 주어진 표본 개수에 따라 추출한 두 표본을 moving window하여 사이에 나타나는 각각의 평균변동을 시계열에 따라 나타내는 방법이며, 평균변동은 Lepage test statistic (HK)이라 한다. 여기에서, HK가 5.99 또는 9.21 이상일 때, 두 표본의 평균변동은 신뢰수준 95% 또는 99%에서 발생하였다고 한다. 자세한 식과 설명은 Lepage (1971)와 Yonetani and McCabe (1994)에서 얻을 수 있다. 이에 따라 기상관측자료의 5년과 8년 moving window를 살펴보면 (Fig. 1(a)와 (c)), 다른 해에 비해서 1990년에 HK가 각각 15, 17.5로 가장 큰 변동성을 나타낸다. CMAP 자료의 경우(Fig. 1(b)와 (d)), 기상관측자료에 비해 99% 신뢰 구간에서 평균변동이 나타나는 해가 많지만, 5년과 8년 moving window에서 공통적으로 장기변동이 1990년에 발생했음을 알 수 있다. 또한, 4년부터 10년까지 moving window를 해본 결과에서도 1990년에 가장 큰 장기변동이 각각의 자료에서 나타났다 (그림 미제시). 그러므로 본 연구에서는 99% 신뢰구간에 따른 한반도 봄철강수량의 장기변동이 1990년과 1991년에 가장 크게 나타났기 때문에, 이를 기준으로 91년 이전 (1981~1990년)과 91년 이후 (1991~2008년)로 나누어 분석을 수행하였다.

위의 장기변동이 일어난 시점을 기준으로 한반도 봄철강수량의 변동을 알아보기 위하여, 60개 기상관측지점 평균의 봄철강수량과 CMAP자료의 한반도 영역 평균의 봄철강수량 시계열을 나타내었다 (Fig. 2). 기상관측자료의 한반도 봄철강수량은 91년 이전 평균 188.29 mm, 91년 이후 평균 213.35 mm로 91년 이후에 25.06 mm가 증가하였다. 그리고 CMAP자료의 한반도 봄철강수량은 91년 이전 평균 210.85 mm, 91년 이후 평균 239.51 mm로 91년 이후에 28.66 mm가 증가하였다. 두 자료에서 91년 이후(91년 이전보다) 봄철강수량의 증가량은 연평균 약 30 mm로 비슷하며, 각 해 별 봄철강수량의 수치도 비슷하게 나타난다. 또한, 91년 이전 대비 91년 이후의 경년변동을 나타내는 표준편차의 차이는 기상관측자료에서 13.52 mm, CMAP자료에서 20.04 mm로 증가하였다. 두 자료에서 나타난 경년변동의 차이는 각각 10 mm 이상이므로 91년 이후에 한반도 봄철강수량의 변동성이 더 크게 나타남을 알 수 있고, 특히 기상관측자료에 비해 CMAP 자료에서 경년변동의 차이가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 한편, 30년 기간 중 2000년과 2001년의 봄철강수량이 다른 해에 비해 매우 작았으며, 이러한 봄철가뭄은 상층 고기압 때문에 나타난다. 특히, 2000년에 비해서 2001년의 봄철 가뭄은 극심하였고, 이는 중국 북부 내륙에서부터 한반도 근처까지 상층 고기압이 크게 발달하였기 때문임을 이종화 등(2001)에서 밝혔다.

연구자료인 CMAP의 한반도영역 봄철강수량과 한

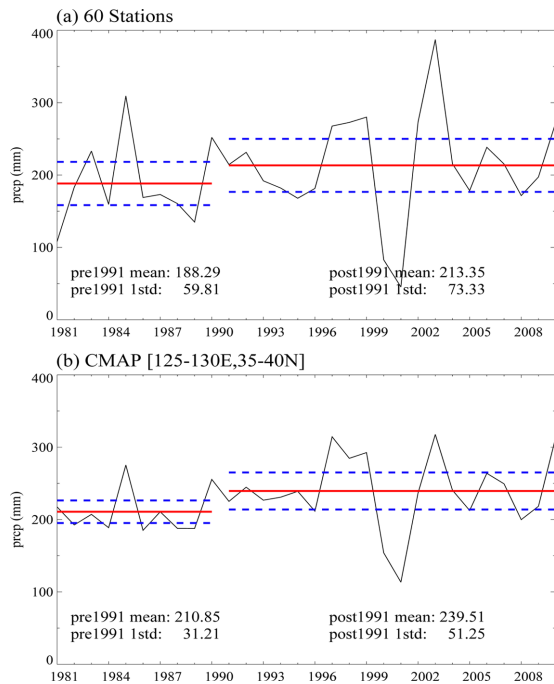


Fig. 2. Time series of spring precipitation (a) the averaged 60 stations data in South Korea and (b) CMAP data averaged over 125°-130°E, 35°-40°N from 1981 to 2010. Thick red solid lines denote mean spring precipitation and thick blue dashed lines represent +0.5 (–0.5) interannual standard deviation.

반도에 국한적인 기상관측지점의 봄철강수량이 비슷한 수치를 보였으며, 강수 시계열 역시 비슷한 변동을 보이고 있기 때문에 전구자료인 NCEP 재분석자료를 이용하여 한반도 봄철강수량의 장기변동과 한반도 주위 대기순환이 어떤 연관이 있는지 살펴보았다 (Fig. 3). Fig. 3(a)는 91년 이후와 이전의 공간장 차이를 나타낸 그림으로 하층 지위고도(선), 바람(화살표)을 보인 것이다. 한반도를 기준으로 기압 (Fig. 3(a), 선)을 살펴보면, 북서쪽에 고기압, 북동쪽에 저기압이 위치한다. 이러한 기압배치는 서풍계열의 기류가 한반도 남쪽으로 유입되는데 호의적인 환경 (favorable environment)을 제공한다. 특히, 40°N 이상 지역에서 고기압과 저기압의 세력이 수평방향으로 크게 나타나며, 한반도는 사할린 섬을 중심으로 생긴 저기압의 가장자리에 위치하여 이의 영향을 받는다. 또한, 연직적 기압패턴은 상층기압이 약하게 서쪽으로 기울어져 있는 상당순압 대기의 구조를 나타낸다 (그림 미제시). 그리고 일본열도와 그의 동쪽에 위치한 저기압에 의한 서풍계열의 바람은 해상의 따뜻하고 습윤한 공기

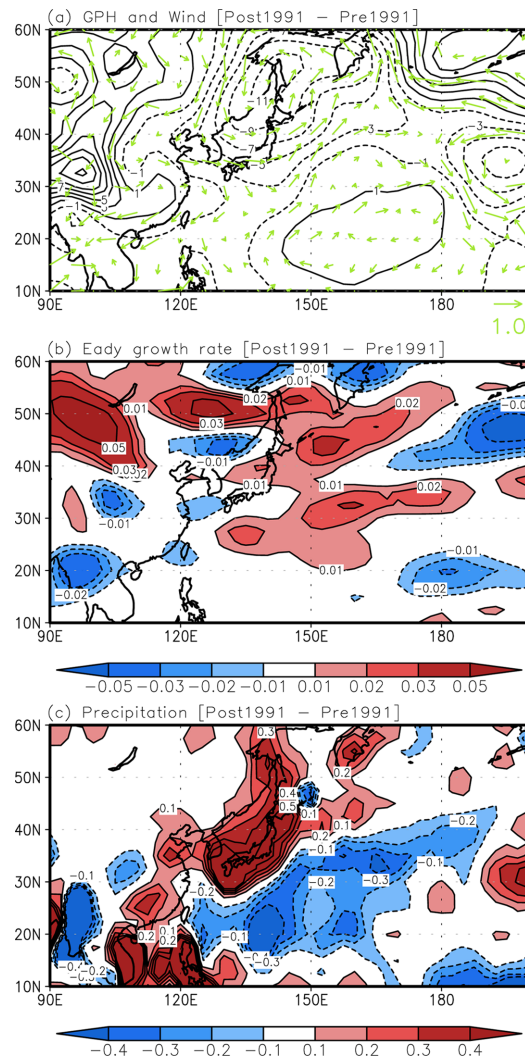


Fig. 3. Distribution of (a) geopotential height (contours, units: gpm), wind (vector, units: $m s^{-1}$) at 850 hPa, (b) Eady growth rate (day^{-1}), and (c) precipitation ($mm day^{-1}$) for the difference between post-1991 and pre-1991 during spring. The contour intervals are 2 gpm in (a).

를 고위도로 공급하여 moist static energy를 증가시킨다. 이에 따라 대기의 안정도를 살펴보기 위해서 상하층 간의 경압불안정 지수($\sigma = -0.31 |g/TN \times \partial T/\partial y|$)를 Fig. 3(b)에 나타내었다. 경압불안정 지수는 일본열도에서부터 캄차카반도 남쪽으로 증가한다. 따라서 경압불안정 지수가 높은 일본열도 주변으로 저기압이 더 많이 발달된 것으로 사료되고, 한반도는 이의 가장자리에서 영향을 받고 있다. 또한, 91년 이후 경압불안정 지수가 증가한 지역에서의 봄철강수량 장기변

동을 살펴보기 위해서, CMAP자료를 사용하여 Fig. 3(c)에 동아시아의 91년 이전과 이후의 강수량 차이를 나타내었다. 한반도와 일본열도를 포함한 지역에서 봄철강수량은 증가하며, 일본열도와 그 주위 해양에서 뚜렷하게 봄철강수량이 증가한다. 따라서 91년 이후 경압불안정 지수와 봄철강수량은 일본열도와 그 주변으로 증가했을 뿐만 아니라 이 지역에서 저기압이 강해지고, 서풍계열의 바람이 증가하였음을 알 수 있었다.

3.2. 한반도 봄철강수량 미래변화

앞서 1991년 이전과 이후 한반도 봄철강수량의 장기변동과 주위 대기순환장의 변화에 관하여 분석하였다. 이 절에서는 봄철강수량이 미래에 어떻게 변화하는지를 전망하고, 한반도와 주변의 미래 봄철강수량 변화 요인을 알아보았다.

미래 동아시아의 대기순환 변화를 살펴보기 위하여, 2020~2040년과 1979~1999년 강수량 (음영), 하층 지위고도 (선), 바람 (화살표)의 차이를 나타내었다 (Fig. 4(a)와 (b)). 사용된 자료는 앞서 설명된 1979~1999년의 주요 강수밴드와 경년변동을 잘 모의하는 6개 모델을 앙상블한 자료이다. 미래 봄철강수량의 변화를 보면 (Fig. 4(a)), 30°N 이남 해양 지역에서 강수량이 전반적으로 감소하는 패턴을 나타낸다. 반면, 중국 중부지역과 황해에서 시작하여 일본열도를 거쳐 감차카반도까지 강수량은 약 0.2 mm day⁻¹ 이상 증가한다. 이를 증감률로 나타내면, 1979~1999년에 비해서 2020~2040년에는 약 4% 정도, 2079~2099년 (그림 미제시)에는 약 15% 정도 한반도 근처 봄철강수량의 증가가 예상된다. 또한 그림으로 나타내지 않았지만, 2020~2040년 동아시아의 봄철기온은 30°N 이북지역에서 20%의 증가가 나타나는데, 이는 육지와 해양의 열적대비로 인하여 미래의 한반도 근처 봄철강수량의 증가요인으로 작용한 것으로 사료된다.

미래 봄철강수량의 변화가 어떻게 유도되는지를 살펴보기 위해서 하층 지위고도의 변화를 나타내었다. Fig. 4(b)는 1979~1999년 대비 2020~2040년의 하층 지위고도(선)를 나타낸 그림으로, 고기압이 전반적으로 발달하는데, 북태평양 고기압의 중심이 이동한 것인지 또는 고기압의 서쪽으로 세력을 확장한 것인지 자세하게 알아보기 위하여 Fig. 4(c)에 하층 지위고도를 각각 기간에 대해서 나타내었다. 두 기간에 대해 북태평양 고기압의 중심은 같은 위치에 나타나지만, 2020~2040년의 1540 gpm을 보면, 북태평양 고기압이 1979~1999년에 비해 서쪽으로 세력을 확장함을 알 수 있다. 특히 대만 쪽으로 고기압 세력이 크게 확장한다. 이러한 북태평양 고기압의 세력확장 및 증가는 서풍계열의 바람을 통하여 북태평양 고기압 연변부

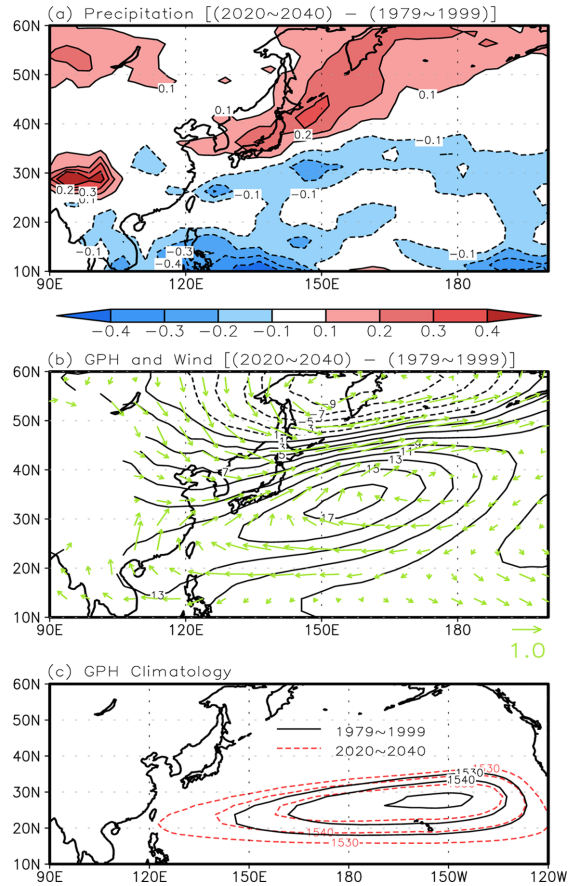


Fig. 4. Distribution of (a) precipitation (colors, units: mm day⁻¹), (b) geopotential height (contours, units: gpm) and wind (vector, units: m s⁻¹) at 850 hPa for the difference between 2020~2040 and 1979~1999, and (c) geopotential height (contours, units: gpm) at 850 hPa for the climatology 1979~1999 and 2020~2040 for spring period. Red dashed lines denote 2020~2040 and Black solid lines denote 1979~1999 in (c). The contour intervals are 2 gpm in (b), and 10 gpm in (c).

에 있는 아열대지역의 수증기를 한반도나 일본열도로 가지고 올 수 있으며, 실제 상하이 및 오사카에서 남서풍이 불고 있는 것을 확인 할 수 있다 (Fig. 4(b)). 한편, 저기압이 오토츠크해 주변에서 동서방향으로 길게 나타나는데 (Fig. 4(b)), 45°N을 기준으로 북쪽에는 저기압, 남쪽에는 고기압이 배치된 기압형태를 따라 기압경도력이 강해지고, 한반도 부근으로 불어오는 바람을 강하게 수렴시킨다. 결과적으로 이러한 과정을 통해 한반도 부근의 봄철강수량이 미래에 증가함을 알 수 있다.

4. 요약 및 제언

본 연구에서는 1981~2010년 (30년)동안 한반도 봄철 강수량의 장기변동과 발생 원인을 분석하였다. 그 결과, Lepage test를 통하여 한반도 봄철 강수량의 장기변동이 1991년을 기준으로 발생했음을 99% 신뢰 구간에서 확인하였고, 91년 이전에 비해 91년 이후 한반도 봄철 강수량은 연평균 약 30 mm 증가하였다. 이는 기상관측자료뿐만 아니라 전구자료에서도 나타났다. 이러한 봄철 강수량 장기변동의 원인은 한반도를 포함한 서태평양의 대기순환 변화이다. 91년 이후, 저기압은 일본열도와 일본열도의 동쪽에 크게 나타났고, 저기압을 따라 서풍계열의 바람이 증가하여 따뜻하고 습윤한 공기를 고위도로 더 많이 유입시켰다. 이로 인해 대기가 불안정하게 되었고, 이는 경압불안정 지수의 증가로 알 수 있었다. 이러한 저기압의 가장자리에 위치한 한반도는 이의 영향을 받았기 때문에 봄철 강수량의 장기변동이 발생하였다. 그리고 CMIP3 22개 모델 중에서 주요 강수대의 평균적 공간 분포와 동아시아 여름철 경년변동을 잘 모의하는 6개 모델을 앙상블한 결과, 미래 한반도 봄철 강수량은 1979~1999년에 비해 2020~2040년에는 약 4%, 2079~2099년에는 약 15%의 증가가 나타나며, 미래에는 강수대가 대체로 일본열도의 북동쪽으로 이동하였다. 이는 북태평양 고기압이 대만 근처까지 세력을 확장하였고, 강해진 고기압과 서풍계열의 바람으로 인하여 아열대 지역의 수증기 수송의 증가와 관련이 있는 것으로 나타났다.

따라서 91년 이후 한반도 봄철 강수량의 장기변동 발생은 사할린 섬을 중심으로 발달된 저기압 때문인 반면 미래의 한반도 봄철 강수량의 변화는 북태평양 고기압이 서쪽으로 확장함에 따라 나타났다. 이에 따라 각각 한반도 봄철 강수량은 증가했다. 향후에 한반도 봄철 강수량의 장기변동에 영향을 준 저기압의 빈도와 강도에 대해서 분석 및 수치모델 민감도 실험을 수행하여 정확히 규명하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비 (2년)에 의하여 수행되었습니다. 더 좋은 논문이 될 수 있도록 세심한 조언을 해주신 두 심사위원님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

기상청, 2011: 장마백서. 기상청, 268.

한국기상학회 대기 제22권 4호 (2012)

이중화, 변영화, 박정규, 2001: 2001년 봄 가뭄 특성 분석. *한국기상학회지*, **11**, 334-341.

Byun, H.-R. and D.-K. Lee, 2002: Defining three rainy seasons and the hydrological summer monsoon in Korea using available water resources index. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 33-44.

_____, D.-K. Lee, and C.-H. Jeong, 1992a: A study on the atmospheric circulation during the dry period before the Changma. Part I: existence and characteristics. *J. Korean Meteor. Soc.*, **28**, 72-85. (In Korean with English abstract).

_____, _____, and _____, 1992b: A study on the atmospheric circulation during the dry period before the Changma. Part II: compared with those before and after the period. *J. Korean Meteor. Soc.*, **28**, 86-102. (In Korean with English abstract).

_____ and Y.-H. Han, 1994: On the existence of the seasonal drought in the Korean Peninsula. *J. Korean Meteor. Soc.*, **30**, 457-467. (In Korean with English abstract).

Choi, K.-S., D.-W. Kim, and H.-R. Byun, 2010: The regime shift in the early 1980s of spring precipitation in Korea. *Int. J. Climatol.*, **30**, 721-732.

Han, S.-U. and H.-R. Byun, 2006: The existence and the climatological characteristics of the spring rainy period in Korea. *Int. J. Climatol.*, **26**, 637-654.

Lepage, Y., 1971: A combination of Wilcoxon's and Ansari-Bradley's statistics. *Biometrika*, **58**, 213-217.

Lindzen, R. S. and B. Farrell, 1980: A Simple Approximate Result for the Maximum Growth Rate of Baroclinic Instabilities. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 1648-1653.

Seo, K.-H. and Jung Ok, 2012: Assessing future changes in the East Asian summer monsoon using CMIP3 models: Results from the best model ensemble. *J. Climate*, in print.

Taylor, K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, **106**, 7183-7192.

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. Meteor. Soc.*, **78**, 2539-2558.

Yonetani, T. and G. J. McCabe, 1994: Abrupt changes in regional temperature in the conterminous United States. *Climate Res.*, **4**, 13-23.