

Note(단보)

북서태평양 아열대고기압 지수를 이용한 북동아시아 여름철 강수의 진단

권민호*

한국해양과학기술원 해양순환기후연구부, 426-744, 경기도 안산시 상록구 해안로 787

Diagnosis of Northeast Asian Summer Precipitation using the Western North Pacific Subtropical High Index

MinHo Kwon*

Ocean Circulation and Climate Research Division,
Korea Institute of Ocean Sciences and Technology, Gyeonggi 426-744, Korea

Abstract: The intensity of the East Asian summer monsoon has a negative correlation with that of the western North Pacific summer monsoon. Based on the relationship, we suggest the potential predictability of Northeast Asian summer precipitation by using the relationship. The western North Pacific subtropical high (WNPSH) properly represents the intensity of the western North Pacific summer monsoon. It also dominates climate anomalies in the western North Pacific-East Asian region in summertime. The estimates of the Northeast Asian summer rainfall anomalies using WNPSH variability have a greater benefit than those using the western North Pacific monsoon index.

Keywords: monsoon, potential predictability, seasonal prediction, the western North Pacific subtropical high

요약: 동아시아 여름몬순의 강도와 북서태평양 여름몬순의 강도는 음의 상관을 갖는 것으로 알려져 왔다. 여기서 우리는 이 관계를 이용하여 북동아시아 여름철 강수의 잠재예측성을 조사하였다. 북서태평양 아열대 고기압은 북서태평양 여름몬순을 적절히 나타내며, 북서태평양-동아시아 지역 여름철 기후편차에 주된 성분이다. 그리고 북서태평양 아열대고기압 변동성을 이용한 북동아시아 여름철 강수 편차의 추정값은 북서태평양 여름몬순지수를 이용하는 것보다 더 낮다.

주요어: 몬순, 잠재예측성, 계절예측, 북서태평양 아열대고기압

서론

아시아 여름몬순(summer monsoon)은 인도 여름몬순, 동아시아 여름몬순, 그리고 북서태평양 여름몬순

으로 나누어 질 수 있다(Wang and LinHo, 2002). 우리나라는 연중 강수량의 70% 이상이 여름철에 집중되는 동아시아 여름몬순 지역이다. 매해 반복되는 재해에 대한 방제를 위해서 우리나라를 포함하는 북동아시아 지역의 여름철 강수량 변동성의 이해는 과학적·경제적으로 중요하다.

동아시아 여름몬순은 경년변동성(interannual variability) 뿐만 아니라 십년변동성(decadal variability) 또는 수십년변동성(inter-decadal variability)을 가지고 있다(e.g., Wu and Wang, 2002). 동아시아 여름몬순의 경년변동성은 자체의 내적 역학뿐만 아니라 티벳고원(the Tibetan plateau)의 열적 강제력, 서태평양의 대

*Corresponding author: mhkwon@kiost.ac

Tel: +82-31-400-7761

Fax: +82-31-408-5829

류활동, 엘니뇨, 인도몬순 등에 의해서 영향을 받는다(e.g., Huang, 1985; Nitta, 1987; Wang et al., 2000). 특히 북서태평양 지역의 대류활동은 동아시아 여름몬순에 크게 영향을 준다(Lee et al., 2005). 통계 모형과 대기대순환모형(Atmospheric General Circulation Model)을 이용하여 북동아시아 여름철 강수를 예측하려는 많은 노력이 있었다(e.g., Kang et al., 1992; Yun et al., 2005). 그러나 그 예측률은 적도 부근의 지역에 비해 아직 현저히 떨어진다(Wang, 2006).

경계조건 해수면온도에 따른 현재 수준의 대기대순환모형을 이용하여 북동아시아 지역의 여름철 강수를 직접 예측하는 것은 어려우나 상대적으로 예측률이 좋은 북서태평양 여름몬순(the western North Pacific summer monsoon)의 원격상관을 이용하면, 북동아시아 지역 여름철 강수의 예측성을 크게 향상시킬 수 있다. Kwon et al.(2005)는 북동아시아 지역 여름철 강수와 북서태평양 몬순 강도의 음의 상관성이 1990년대 중반 이후 크게 증가하였음을 보였다. 본 연구에서는 북서태평양 아열대고기압(the western North Pacific subtropical high)과 북동아시아 지역 여름철 강수의 상관성을 보고자 한다. 또한, 북서태평양 아열대고기압이 정확히 예측되었다고 가정하였을 때, 통계적인 방법을 이용하여 북동아시아 지역 여름철 강수의 잠재예측성(potential predictability)을 제시하고자 한다.

자료

분석을 위하여 월평균 NCEP/NCAR (the National Centers for Environmental Prediction/the National Center for Atmospheric Research) 재분석 자료가 이용되었다(Kalnay et al., 1996). NCEP/NCAR 재분석 자료의 수평격자는 위도 2.5°와 경도 2.5°이다. 재분석자료의 분석에 이용된 기간은 1979년부터 2011년까지이다. 강수량 자료로 월평균 CMAP (the CPC Merged Analysis of Precipitation)이 이용되었다(Xie and Arkin, 1997). CMAP자료의 수평격자는 위도 2.5°와 경도 2.5°이고 분석에 사용된 기간은 1979년부터 2009년까지이다.

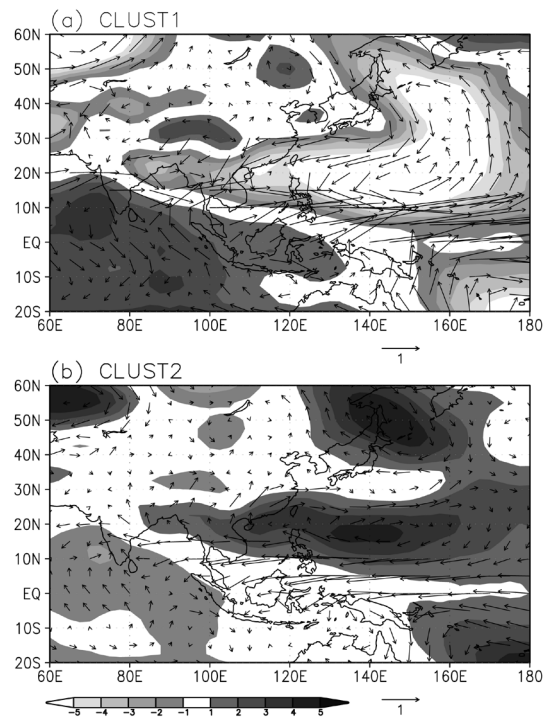


Fig. 1. Composite JJA (June, July, and August) - mean geopotential height anomalies (shaded), and horizontal wind anomalies (vectors) at 850 hPa for (a) the most dominant cluster and (b) the second cluster. Units are geopotential meter and $m s^{-1}$, respectively. The each cluster was obtained by that the hierarchical cluster analysis was performed for JJA-mean zonal wind anomalies during 1979-2009.

북동아시아 여름철 강수와 북서태평양 아열대 고기압의 관계

동아시아 지역 여름철 하층 바람장에 대한 경년변동성의 특징을 살펴보기 위하여 1979년부터 2009년까지 850 hPa 여름철 동서바람편차에 대하여 군집분석(the cluster analysis)을 수행하였다. 군집분석은 자료를 소수의 군집으로 묶는 방법으로 종관패턴이나 예측 앙상블의 분류에 활용될 수 있다(Kalkstein et al., 1987). 사용된 군집분석 방법은 계층적 군집분석(the hierarchical clustering analysis)이며, 패턴과의 유사성을 나타내는 지표로 패턴 상관계수(the pattern

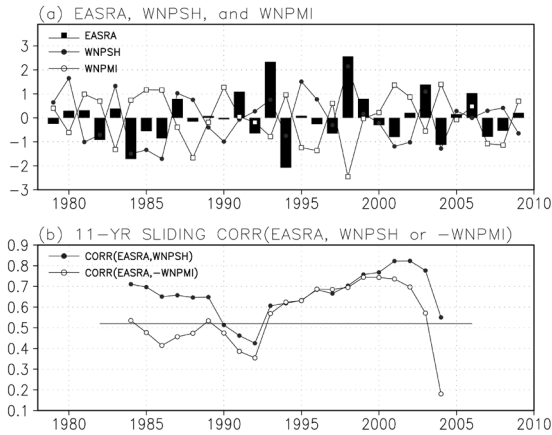


Fig. 2. (a) Normalized EASRA (East Asian summer rainfall anomaly), WNPSH (western North Pacific subtropical high), and WNPPI (western North Pacific monsoon index) are represented by bars, closed circles, and open circles, respectively. (b) Sliding correlation coefficients between EASRA and WNPSH in a closed circles (EASRA and WNPPI is an open circles) with a window of 11 years. Horizontal solid line is denoted by 95% confidence level.

correlation coefficient)를 이용하였다. 군집분석 결과, 전체 31개의 패턴 중 18개가 하나의 군집(CLUST1)으로 묶을 수 있으며, 10개가 또 다른 군집(CLUST2)으로 묶을 수 있었다. 각 군집에 대한 850 hPa 수평 바람 및 지위고도(geopotential height)의 합성도가 Fig. 1에 도시되었다. 그림에서 보이듯이 전체 31개의 패턴 중 28개 즉 약 85%가 북서태평양 아열대 고기압과 관련된 패턴이다. Fig. 1a는 북서태평양 아열대 고기압의 음의 위상 즉, 북서태평양 여름몬순의 양의 위상을 나타내고, Fig. 1b는 Fig. 1a의 반대 위상을 나타낸다.

북서태평양 여름몬순과 북동아시아 지역 여름철 강수를 지수화하기 위하여 WNPPI (western North Pacific monsoon index; Wang et al., 2001)와 EASRA (East Asia summer rainfall anomaly; Lee et al., 2005)가 각각 이용되었다. 한편, 여름철 850 hPa 지위고도편차의 분산은 북서태평양 일부 지역(115°E-150°E, 15°N-25°N)에서 크게 나타나는데, 그 지역을 평균한 지위고도편차가 북서태평양 아열대 고기압지수로 이용되었다. 편의를 위해서 이 지수를 이후 WNPSH (western North Pacific subtropical high)라고 한다. 이 세 지수가 Fig. 2a에 비교되었다. 선행연

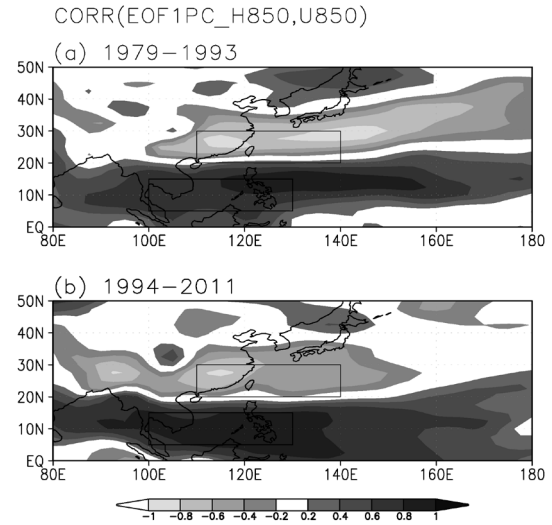


Fig. 3. Maps of the correlation coefficients between JJA-mean zonal wind anomalies and the most dominant principal components of EOF (Empirical Orthogonal Function) of JJA-mean geopotential height anomaly during (a) 1979-1993 and (b) 1994-2011. Boxed areas indicate regions for definition of WNPPI.

구에서 지적된 것과 같이 WNPPI는 EASRA와 통계적으로 유의한 음의 상관(상관계수는 -0.47)을 가지고 있고(Lee et al., 2005), WNPSH와 EASRA의 상관계수는 상대적으로 더 높은 0.60이다. 한편, WNPPI와 EASRA의 상관관계는 1990년대 중반을 전후로 강화되는데(Kwon et al., 2005), WNPSH와 EASRA의 상관관계는 1990년대 초반을 제외한 분석자료의 기간에 대하여 보다 더 통계적으로 유의하다(Fig. 2b).

두 지수가 차이가 나는 이유는 북서태평양 아열대 고기압의 수평구조가 달라졌기 때문이다. Fig. 3은 여름철 평균 850 hPa 지위고도편차의 EOF (empirical orthogonal function) 첫 번째 모드의 PC (principal components)와 여름철 평균 850 hPa 동서바람 편차의 상관도를 보인다. 사각형들은 Wang et al.(2001)에서 정의한 동서바람 영역을 의미하는데, 1994년에서 2011년까지 기간에서는 그 사각형의 영역과 상관계수 패턴이 잘 일치하나 1979년부터 1993년까지는 사각형 영역과 상관계수 패턴이 잘 일치하지 않는다. 즉 WNPSH의 수평구조가 시간에 따라 달라지기 때문에 WNPPI와 WNPSH의 시계열은 약간의 차이를 가질 수 있다.

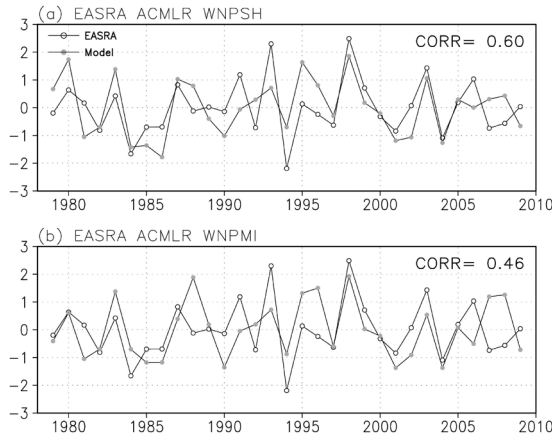


Fig. 4. Normalized EASRA (open circles) and estimated EASRA (closed circles) using (a) WNPSH, and (b) WNPMI by the additionally constrained linear regression model. See text for details.

WNPSH를 이용한 EASRA의 잠재예측성

WNPSH를 이용하여 EASRA를 추정하는데 다음과 같은 간단한 선형회귀모형이 이용되었다.

$$\hat{y} = Xa$$

여기서 \hat{y} 는 예측변수벡터, X 는 예측인자행렬, 그리고 a 는 선형회귀계수벡터이다. 한편, 북동아시아 지역 여름철강수는 시공간적으로 노이즈가 많기 때문에 선형회귀모형에 다음과 같은 강제조건이 추가되었다.

$$\frac{\partial}{\partial a} [\varepsilon^2 + \gamma(\hat{y} - \tilde{y})^2] = 0$$

여기서 ε 은 관측벡터(y)과 예측변수벡터의 차이이고, γ 는 상수, 그리고 \tilde{y} 는 소수의 EOF모드의 재조합(reconstruction)된 관측벡터이다. 이와 같은 강제조건이 추가되면 선형회귀모형의 추정정확도는 더 높아진다고 알려져 있다(Weare, 1987). 위 방정식을 풀면, 선형회귀계수벡터 a 는 다음과 같이 표현된다.

$$a = \frac{1}{1+\gamma} (X^T X)^{-1} X^T (y + \gamma \tilde{y})$$

WNPSH를 예측인자로, EASRA를 예측변수로 두어 위 모형을 이용하여 EASRA를 예측하였다(Fig. 4a). 추가적 강제조건을 위하여 EASRA 지역의 강수량을 EOF하고 5개 모드만 재조합하였다. 5개 모드

변동성의 합은 전체변동성의 약 68.6%이다. 는 0.5를 이용하였다. 모형의 검증은 교차검증법(cross-validation method)이 이용되었다. WNPSH를 이용한 모형의 상관계수 성능은 약 0.60이지만, WNPMI를 이용한 모형의 상관계수 성능은 약 0.46이다(Fig. 4b). 즉 북동아시아 여름철 강수를 예측하는데, WNPSH가 효율적으로 이용될 수 있으며, 비교적 높은 잠재예측성을 가지고 있다.

토 의

현재 수준의 대기대순환모형을 이용한 중위도 지역 강수 예측률은 물리모수화과정 등의 이유로 충분히 높지 않기 때문에, 북동아시아 여름철 강수를 예측하는데 통계적인 방법이 상보적으로 이용될 수 있다. 특히, 대기대순환모형에서 예측된 북서태평양 아열대고기압의 변동성을 이용하면, 북동아시아 여름철 강수를 더 정확히 예측할 수 있다. 북서태평양 아열대고기압의 기작(mechanism)은 인도양-북서태평양 결합 모드와 라니냐 강제 모드(La Nina-forced mode)로 설명할 수 있어(B. Xiang과 개인적 교류), 그 변동성을 진단하거나 예측하기 용이하며, 특히 대기대순환모형은 물론 대기-해양 결합 대순환모형에서도 그 변동성이 잘 모의된다(Lee et al., 2008). 북서태평양 아열대고기압 지수 즉, WNPSH를 이용한 EASRA의 잠재예측성은 상관계수 성능이 약 0.60이지만, 그 잠재예측성은 대기해양의 장기변동성에 따라 변화할 수 있다. 본 연구에서는 대기대순환모형에서 예측된 WNPSH와 EASRA의 관계는 고려되지 않았다. 향후 예측모형의 WNPSH와 EASRA의 관계를 재조명할 필요가 있으며, EASRA를 직접 예측한 것과 예측된 WNPSH를 이용한 예측의 예측률을 비교하여야 한다.

한편 북서태평양 아열대고기압 변동성뿐만 아니라, 북동아시아 여름철 강수량을 변화시킬 수 있는 요인은 많다. 특히, 북인도양 해수면온도변동성이나 EU패턴(Eurasian pattern)은 대기의 파동을 통해 북동아시아의 여름철 강수량 변동성에 영향을 줄 수 있다(Lee et al., 2005; Kripalani and Ashwini, 2001). 북인도양 해수면온도와 EU패턴을 알 수 있다면 북동아시아 여름철 강수량을 더욱 정확히 추정할 수 있다. 계절시간 규모에서 우리나라를 포함하는 북동아시아 지역 여름철 강수량을 정확히 예측하기 위하여 동아시아 여름몬순변동성의 지배역학을 이해하기 위하여

더욱 노력하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 기상청 기상기술개발관리단의 기후변화 감시 예측 및 국가정책지원 강화사업 (CATER 2012-3072)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Huang, R., 1985, Numerical simulation of the three-dimensional teleconnections in the summer circulation over the Northern Hemisphere. *Advanced Atmospheric Sciences*, 2, 81-92.
- Kalkstein, L.S., Tan, G., and Skindlov, J.A., 1987, An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 717-730.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of American Meteorological Society*, 77, 437-471.
- Kang, I.S., Ho, C.H., and Min, K.D., 1992, Long-range forecast of summer precipitation in Korea. *Journal of Korean Meteorological Society*, 28, 283-292. (in Korean)
- Knutson, T.R. and Tuleya, R.E., 1999, Increased hurricane intensities with CO₂-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system. *Climate Dynamics*, 15, 503-519.
- Kripalani, R.H. and Ashwini, K., 2001, Monsoon rainfall variations and teleconnections over South and East Asia. *International Journal of Climatology*, 21, 603-616.
- Kwon, M.H., Jhun, J.-G., Wang, B., An, S.-I., and Kug, J.-S., 2005, Decadal change in relationship between east Asian and WNP summer monsoons. *Geophysical Research Letters*, 32, L16709, doi:10.1029/2005GL012026.
- Lee, E.J., Jhun, J.G., and Park, C.K., 2005, Remote connection of the east-Asian summer rainfall variation revealed by a newly defined monsoon index. *Journal of Climate*, 17, 4381-4393.
- Lee, S.M., Jhun, J.-G., Kwon, M.H., and Kim, W.M., 2008, Changes in the western North Pacific summer monsoon circulation due to the CO₂ increase in IPCC AR4 CGCMs. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 44, 351-368.
- Nitta, T., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the North-ern Hemisphere summer circulation. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 65, 373-390.
- Wang, B., 2006, *The Asian monsoon*. Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK, 787 p.
- Wang, B. and LinHo, 2002, Rainy season of the Asian-pacific summer monsoon. *Journal of Climate*, 15, 386-398.
- Wang, B., Wu, R., and Fu, X., 2000, Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *Journal of Climate*, 13, 1517-1536.
- Wang, B., Wu, R., and Lau, K.M., 2001, Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific-east Asian monsoons. *Journal of Climate*, 14, 4073-4090.
- Weare, B., 1987, Examples of additionally constrained multiple linear regression. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, 216-221.
- Wu, R.G. and Wang, B., 2002, A contrast of the east Asian summer monsoon-ENSO relationship between 1962-77 and 1978-93. *Journal of Climate*, 15, 3266-3279.
- Xie, P. and Arkin, P.A., 1997, Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical outputs. *Bulletin of American Meteorological Society*, 78, 2539-2558.
- Yun, W.T., Lee, W.S., and Krishnamurti, T.N., 2005, Seasonal prediction of precipitation using multi-model synthetic superensemble algorithm. *Journal of Korean Meteorological Society*, 41, 159-172.

2013년 1월 3일 접수
2013년 1월 22일 수정원고 접수
2013년 2월 9일 채택