

한국 5월 가뭄과 북태평양진동의 연관성

최기선 · 김도우 · 이지선 · 변희룡*

부경대학교 환경대기과학과

(2009년 3월 2일 접수; 2009년 3월 17일 승인)

Relationship between Korean Drought and North Pacific Oscillation in May

Ki-Seon Choi, Do-Woo Kim, Ji-Sun Lee and Hi-Ryong Byun*

Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Rep. of Korea

(Manuscript received 2 March 2009; in final form 17 March 2009)

Abstract

A strong negative correlation has been detected between the North Pacific Oscillation Index (NPI) and the Effective Drought Index (EDI) in May over Korea. In May of positive NPI year, anomalous patterns caused a drought in Korea as follows: the anomalous south-low, north-high low-level pressure patterns in the northeast and southeast of Korea have strengthened the anomalous northerlies to Korea. In addition, these anomalous northerlies have prevented western North Pacific (WNP) high from moving northward. As a result, anomalous descending flows have strengthened in the mid-latitude region in East Asia. In the WNP, the anomalous south-high, north-low sea surface temperature (SST) has been widely distributed, which has strengthened anomalous south-low, north-high low-level pressure patterns. These anomalous characteristics of pressure and SST patterns observed in May of positive NPI years have already been detected in previous winter (December-February) and early spring (March, April). In addition, the anomalous negative sea ice concentration in the North Pacific during two seasons has strengthened the anomalous anticyclonic circulation in the same region and in turn made a contribution to formation of anomalous south-low, north-high pressure patterns in May.

Key words: North Pacific Oscillation Index, effective drought index, western North Pacific high, sea surface temperature, sea ice concentration

1. Introduction

한반도를 포함한 동아시아 지역은 겨울 건조기간 이후 봄철까지 항상 강수량이 부족하여 이 기간을 갈수기라 불리기도 한다. 봄철은 일년의 농사를 시작하는 계절이라 강수량의 작은 변동에도 경제사회의 반응은 민감할 수밖에 없다. 따라서 봄 강수량의 변동 특성에 대한 이해는 매우 중요하나, 여름 강수량의 변동 특

성에 비해 축적된 연구는 상대적으로 미흡한 편이다.

한국에서는 봄에 일시적으로 강수량이 증가하는 기간이 있는데, 이를 ‘봄 장마’라 한다 (Byun *et al.*, 1992a, b; Byun and Han, 1994; Byun, 1996; Byun and Lee, 2002). 한국의 제주도 산간 지방에서는 ‘봄 장마’란 말 대신에 오래 전부터 ‘고사리 장마’란 말을 사용하여 왔다. ‘고사리를 자라게 하는 장마’란 뜻이다. Byun and Lee (2002)는 이 ‘봄 장마’의 기간을 지역별로 나누어서 상세히 정의하였고, Han and Byun (2006)은 ‘봄 장마’ (Spring Rainy Period in Korea, SRK)의 발생 메커니즘을 설명하였다.

이와 같이 봄 철에도 비가 많이 오는 시기가 있다는 점을 조사한 연구는 제법 많은 편이나, 비가 적게 온다는 점을 조사한 연구는 많지 않다. Kim *et al.* (2005)은 북반구 대기대순환의 패턴변화 분석을 통해 한국의 봄

*Corresponding Author: Hi-Ryong Byun, Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Daeyon 3-Dong Nam-Gu Busan 608-737, Rep. of Korea.

Phone: +82-51-629-6640, fax: +82-51-629-6640

E-mail: hrbyun@pknu.ac.kr

가뭄은 유라시아 대륙에서의 대륙성 고기압의 비정상적인 발달과 함께 북서태평양에서의 아열대 고기압의 약화와 관련이 있음을 보인다. Lee and Kim (1997)은 북동아시아에서의 봄철 일기유형을 분류한 뒤, 한국에 봄 강수가 부족한 해에는 상층 한대제트의 남하현상이 뚜렷함을 제시하였다. 이 두 연구로부터 한국 봄 가뭄은 겨울에서 봄으로의 늦은 계절전이로 인해 겨울 기압계의 특성이 봄까지 강하게 지속될 때 발생한다는 공통점이 있다.

봄 기간 중에도 특별히 더 가뭄기간은 따로 있다. Byun and Han (1994)은 한반도의 봄 가뭄기간을 5월 23일-6월 13일과 같이 좀 더 구체적으로 정의한 바 있다. 또한 봄 가뭄 기간을 ‘장마 전 건기’ (Byun *et al.*, 1992a, b)라고도 하며, 그 원인으로 아시아 대륙의 동안에서 발생하는 북고·남저의 특이한 기온분포가 지목되기도 하였다. 한편 Han and Byun (2006)은 이 ‘장마전 건기’를 5월 15일-6월 16일로 분석하였다.

따라서 국가경제산업 중 농업이 차지하는 비율이 적지 않은 한국은 5월이 가장 건조한 시기이나, 이의 발생 메커니즘에 대해서는 여전히 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 이 시기에 강수부족으로 인하여 농작물의 성장에 문제가 발생한다면, 일년의 수확에 큰 차질을 가져올 수 있다. 이는 인간의 생존과 직결되는 중요한 문제이므로 5월 가뭄의 변동 및 메커니즘에 대한 정확한 이해가 절실히 요구된다.

본 연구는 한국에서의 5월 가뭄 발생이 가능한 메커니즘으로서 북태평양진동 (North Pacific Oscillation) 을 제시한다. Walker and Bliss (1932)는 북태평양에서도 북대서양진동 (North Atlantic Oscillation, NAO) 과 같이 동 시베리아로부터 캐나다의 서쪽지역까지 이어지는 고위도와 40°N미만의 아열대 중태평양 저위도 사이에 해면기압의 남북 시소현상이 있음을 발견하였다.

이 선행 연구 이후로 북태평양진동의 발생 메커니즘과 이와 관련된 모델링 및 북태평양진동의 지역적 영향 등이 많은 연구에서 조사되었다 (Rogers, 1981; Wallace and Gutzler, 1981; Hameed and Pittalwala, 1991; Pierce, 2002; Yeh and Kirtman, 2004; Wang *et al.*, 2007; Linkin and Nigam, 2008).

하지만 한국을 포함한 동아시아 지역 기후에 대한 북태평양진동의 영향에 대해서 깊이 있게 다루어진 연구를 찾아보기 힘들다.

한국에서의 5월은 봄에서 여름으로 이어지는 전이

기로서 이 시기의 종관적 상태는 여름우기의 강도로까지 연결될 수 있는 중요한 시기이다. 따라서 이 연구는 5월 북태평양진동 지수 (NPO index, NPI)와 한국 5월 가뭄의 가능한 관계 분석을 통해 한국 5월 가뭄의 예측에 도움이 되고자 함을 궁극적인 목적으로 한다.

2. Data and methodology

2.1 Data

1974-2008년 (35년) 동안 한국 기상청 산하 총 60개 기상 관측소에서 관측된 일 강수량을 이용하였다. 이로부터 일별 Effective Drought Index (EDI)와 월 평균 EDI를 산출하였다.

National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR) (Kalnay *et al.*, 1996; Kistler *et al.*, 2001)에서 제공하는 35년 동안의 동서 및 남북류 ($m s^{-1}$), 연직속도 ($hPa s^{-1}$) 등의 재분석 자료 (17층)를 사용하였다. 또 같은 기간의 NOAA interpolated Outgoing Longwave Radiation (외향장파복사, $W s^{-2}$) 자료와 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (해수면 온도, °C) 자료를 사용하였다 (Reynolds *et al.*, 2002). 이 자료들은 모두 월 평균되어 있으며, 공간해상도는 위·경도 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (NCEP-NCAR 재분석 및 외향장파복사 자료) 또는 위·경도 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ (해수면 온도 자료)로 이루어져 있다.

또 해빙 농도 (sea ice concentration, 이하 해빙으로 함) 자료는 1981년 12월부터 현재까지, $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 면적마다 존재하는 해빙의 백분율 (%)을 월 단위로서 구성되어 있는 것을 사용하였다.

한국 강수량을 제외한 위의 모든 자료는 NOAA의 Climate Diagnostics Center (CDC)의 웹사이트 (<http://www.cdc.noaa.gov>)에서 이용 가능하다.

2.2 Classification of El Niño and La Niña years

이 연구에서는 5월 NPI와 한국 가뭄과의 명확한 관계를 조사하기 위해 엘니뇨, 라니냐해를 선정하였다. 해들의 선정은 Niño-3.4 지역 ($120^{\circ}-170^{\circ}W$, $5^{\circ}S-5^{\circ}N$)에서 공간 평균된 해수면 온도 아노말리가 $+0.5^{\circ}C$ 이상인 해, $-0.5^{\circ}C$ 이하인 해로 각각 정의되었다.

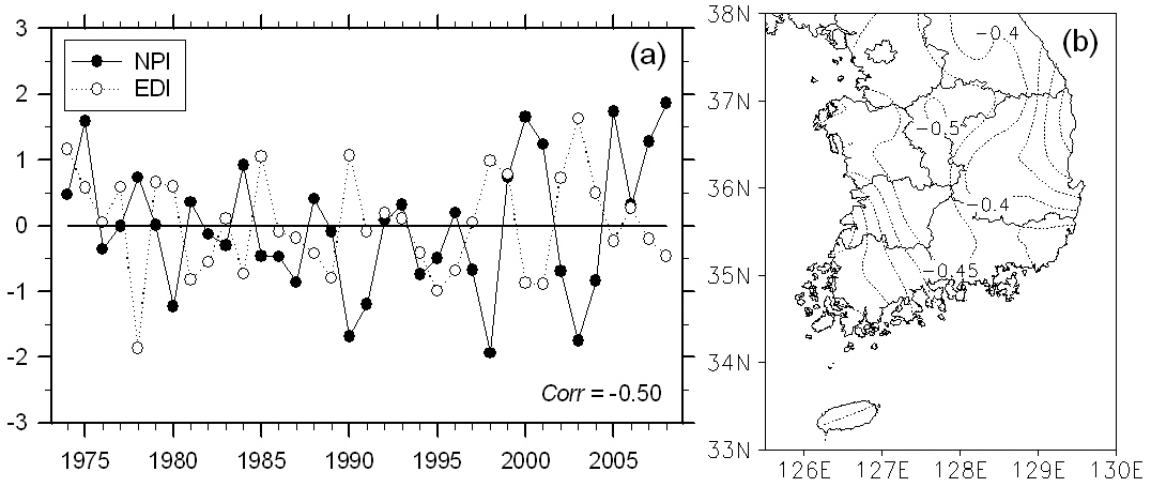


Fig. 1. (a) Time series of Effective Drought Index (EDI) averaged for 60 weather stations and North Pacific Oscillation Index (NPI) in May (left) and (b) spatial distribution of correlation coefficient between the two indices (right) during the period 1974-2008. In (b), contour interval is 0.05.

한 음의 관계가 있음을 볼 수 있다. 이 음의 관계는 1990년대 후반 이후에 가장 강하게 나타난다. 전체 분석기간인 35년을 1974-1984 (11년), 1985-1996 (12년), 1997-2008년 (12년)과 같이 세 기간으로 나누어 상관관계를 구해보면, 각각 -0.23, -0.42, -0.87로서 음의 상관관계가 최근으로 오면서 배로 증가하고 있다. 이로부터 한국에서의 5월 EDI와 NPI와의 음의 상관관계는 최근 들어 더욱 강화되고 있음을 알 수 있다.

두 지수 사이에 음의 상관관계에 대한 지역적 분포를 살펴보기 위해 한국 60개 기상관측소마다 두 지수 사이의 상관관계를 구하였다 (Fig. 1b). 35년의 분석기간 동안 가장 강한 음의 관계는 중부 내륙지역에 위치한 추풍령 (Chupungyong)에서 관측되었다 (-0.53). -0.45이상의 상관계수는 남해안으로부터 중부 내륙지역을 거쳐 북서내륙지역으로 이어져 있다. 결국 한국의 동서 해안지역으로 갈수록 두 지수 사이의 음의 관계는 약해짐을 알 수 있다. 하지만 상관관계에 대한 이러한 지역적 차의 원인은 좀 더 국지적으로 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. Difference between positive and negative NPI years

이 연구에서는 5월 NPI와 EDI사이의 명확한 관계를 알아보기 위해 먼저 5월의 엘니뇨/라니냐 해들을 선정하였다. 35년 동안 엘니뇨 해는 8년 (1982, 1983, 1987,

1991, 1992, 1993, 1997, 1998년)이며, 라니냐 해는 7년 (1974, 1975, 1985, 1988, 1999, 2000, 2008년)으로 정의되었다. 이후 엘니뇨/라니냐 해들을 제외한 20년 중 가장 높고 낮은 NPI를 갖는 7년씩을 각각 선택하여 이 두 기간에 대한 아노말리를 분석하였다. 여기서 기후 평균은 총 35년의 분석기간 중 엘니뇨/라니냐 해들을 제외한 20년 평균이며, 아노말리는 양 또는 음의 NPI 해의 평균에서 20년의 기후평균을 뺀 것으로 정의된다. 이는 한국 5월 EDI와 NPI와의 관계에 대해 엘니뇨/라니냐의 효과를 최소화 하기 위한 것이다. 여기서 양의 NPI 해는 1978, 1981, 1984, 2001, 2005, 2006, 2007년이며, 음의 NPI 해는 1980, 1990, 1994, 1995, 2002, 2003, 2004년이다. 분석을 위해 선택된 14년은 엘니뇨/라니냐 해들을 제외한 20년의 약 70%를 차지한다.

4.1 Spatial distribution of precipitation

양의 NPI 해와 음의 NPI 해 사이에 차이를 야기하는 대기환경 상태를 분석하기 전에 이 장에서는 먼저 5월 기후평균 강수량에 대한 두 기간의 평균 강수량의 백분율을 60개 기상대마다 구하였다 (Fig. 2). 두 지수 사이에는 음의 상관관계가 존재하기 때문에 양 (음)의 NPI 해에는 60개 모든 기상대에서 음 (양)의 백분율이 산출된다. 여기서 음의 백분율은 평균보다 비가 적게 관측됐다는 것을 의미한다. 특히, 두 시기에 가장 큰 음과 양의 백분율은 공통적으로 36°-37°N사이의 중부지역

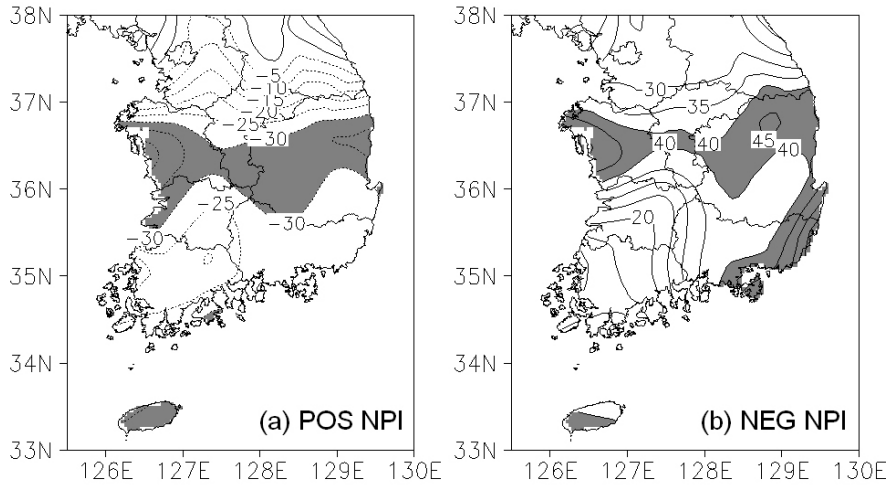


Fig. 2. Percentage (%) of seasonal mean precipitation relative to the precipitation averaged for (a) 7 positive (POS) NPI years and (b) 7 negative (NEG) NPI years for 1974-2008, respectively. Shaded areas indicate regions less than -30% for POS NPI and greater than 40% for NEG NPI. Contour interval is 5%.

에서 나타난다 (shaded areas in Figs. 2a and 2b). 이는 한국에서 가뭄 및 호우 (또는 홍수)가 발생하면 이들 지역에서 가장 민감하게 반응을 했다는 것을 의미한다.

4.2 Atmospheric environments

4.1장에서 양의 NPI 해가 음의 NPI 해보다 한국에서 5월 강수량 (가뭄)이 더 적었음을 (심했음을) 살펴 보았다. 이 장에서는 두 시기 사이에 이러한 강수량 (가뭄)의 차를 야기하는 대기환경 상태의 특징을 조사 하였다. Figure 3은 양의 NPI 해와 음의 NPI 해에 대한 850-hPa 지위고도 및 바람의 아노말리를 나타낸다. 이 그림에서는 두 시기 사이에 반대의 기압패턴이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 양의 NPI 해의 경우, 한국을 중심으로 북동쪽에는 고기압성 순환의 아노말리, 남동쪽에는 저기압성 순환의 아노말리와 같은 남저·북고의 기압패턴이 뚜렷하게 형성되어 있다. 이는 양의 북태평양진동에 있어 전형적인 기압 아노말리 패턴이다 (Rogers, 1981). 이로 인해 한국에는 북풍의 아노말리가 탁월하다. 이 기압패턴에서 한국의 남동쪽에 강화되어 있는 저기압성 순환의 아노말리는 북태평양 고기압이 북쪽으로 발달하지 못하였음을 의미한다. 따라서 양의 NPI 해의 5월에 한국 부근에 강화된 북풍의 아노말리는 한국에서의 가뭄을 강화하는 한 원인이 됨을 알 수 있다. 한편, 음의 NPI 해에는 양의 NPI 해와 반대의 기압패턴, 즉 남고·북저의 기압패턴이 형성됨으로 인해

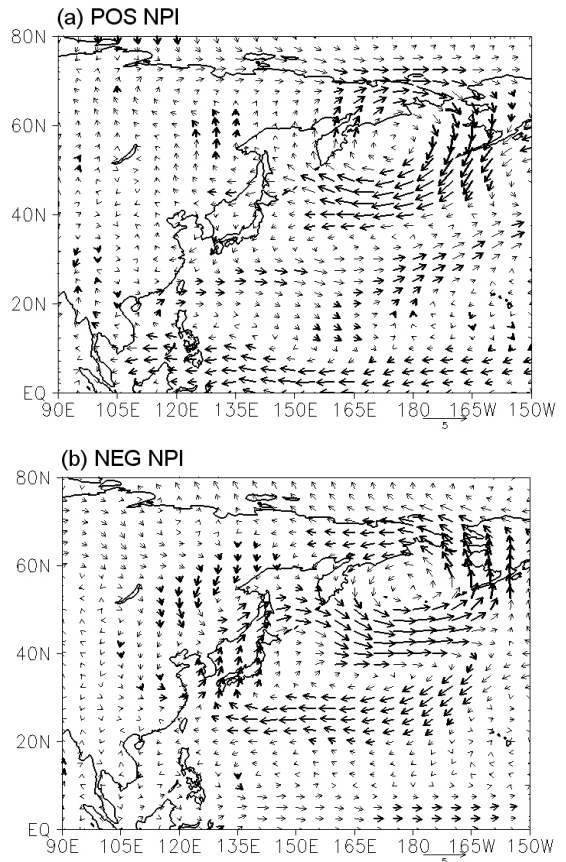


Fig. 3. 850-hPa wind ($m s^{-1}$) anomalies in May for (a) 7 POS NPI and (b) 7 NEG NPI years. Thick arrows are significant at the 95% confidence level.

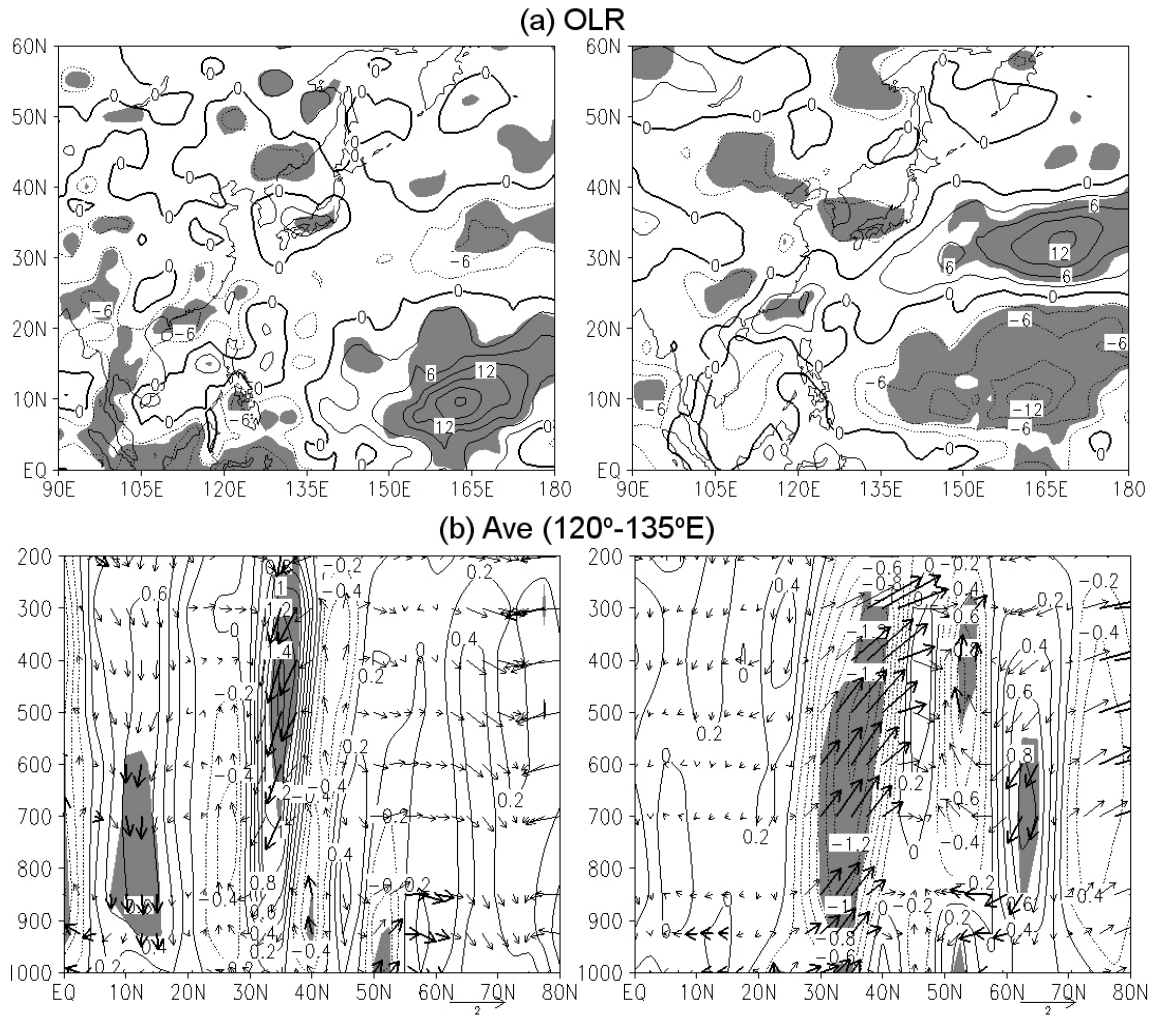


Fig. 4. (a) Outgoing longwave radiation (OLR, $W \cdot m^{-2}$) anomalies and (b) height-latitude cross section averaged for 120°-135°E for vertical wind ($m \cdot s^{-1}$) and vertical velocity ($hPa \cdot s^{-1}$) for 7 POS NPI years (left) and for 7 NEG NPI years (right). Shaded areas in OLR and in vertical velocity indicate regions greater than 95% and 90% confidence levels, respectively. Contour intervals are $3 W \cdot m^{-2}$ for OLR and $0.2 hPa \cdot s^{-1}$ for vertical velocity.

한국은 남풍 아노말리의 영향을 받고 있다. 하지만 거의 모든 계절 동안 한국에 북풍계열의 바람은 적은 강수량을, 남풍계열의 바람은 많은 강수량을 유발할 수 있다. 한국은 계절적으로 여름에 강수가 가장 많고, 다음으로 봄에 많다. 여름 동안의 강수 유발 메커니즘은 태풍, 국지적 집중호우, 초여름 동안의 장마 전선 등으로 매우 다양하다. 따라서 북태평양 진동에 의해 조절되는 남북류가 한국 여름 총 강수량에 미치는 영향은 미비할 수 있다. 하지만 봄의 경우, 강수 유발 메커니즘이 여름만큼 다양하지 않으며, 따라서 북태평양 진동에 의해 조절되는 남북류가 한국 봄철 총 강수량에 상당한 영향

을 줄 수 있다. 이런 이유로 NPI와 봄철 강수량의 연관성은 높으며, NPI와 여름철 강수량의 연관성은 낮게 나타날 수 있다고 판단된다.

두 기간 사이에 북태평양 고기압의 북쪽으로는 발달 정도는 외향장파복사 아노말리의 분석을 통해 알 수 있다 (Fig. 4a). 양의 NPI 해에는 20°-30°N의 동아시아 아열대 지역 및 인도차이나반도 부근지역에서 대류가 활발한 반면, 한국을 포함하여 40°N 이상의 동아시아 고위도 지역과 0°-20°N에서 140°E의 동쪽해역에서는 대류가 강하지 못하다. 이는 북태평양 고기압이 동아시아 중위도 지역으로 발달하지 못했음을 의미한다.

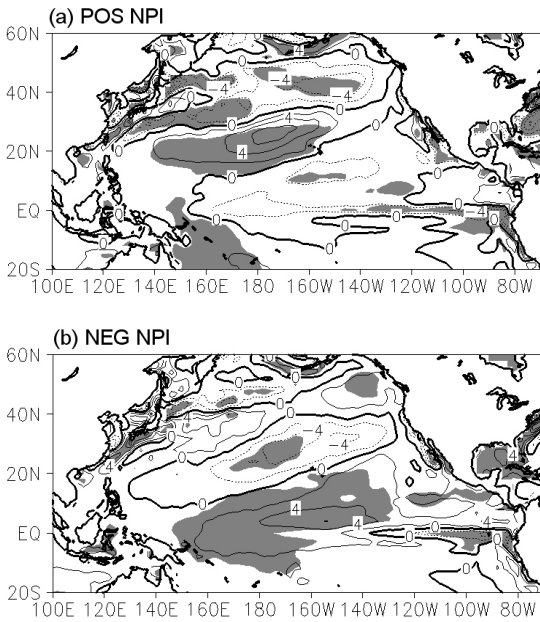


Fig. 5. Same as in Fig. 3, but for SST (°C). SST is multiplied by 10°C. Contour interval is 2°C.

반면에 음의 NPI 해에는 전반적으로 양의 NPI 해와 반대의 공간패턴을 나타내어 한국은 대류가 활발한 지역에 위치해 있다.

한국 부근 지역에서의 두 시기 사이에 연직순환의 차이를 알아보기 위해 한국이 속해 있는 경도대인 120°-135°E를 평균한 위도별 연직류 및 연직속도의 아노말리를 분석하였다 (Fig. 4b). 양의 NPI 해에는 모든 위도대 중 한국이 위치해 있는 위도대인 30°-40°N에서 하강류의 아노말리가 가장 강하게 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 반면에 음의 NPI 해에는 상승류의 아노말리 중심이 30°-40°N와 50°-60°N에 형성되어 있다. 그러나 그 강도는 한국의 위도대에서 더욱 강하다. 한국의 5월 가뭄해와 비 가뭄해를 선정하여 분석하지 않았음에도 불구하고, 한국 부근의 위도대에서 가장 강한 하강류와 상승류가 나타났다는 사실은 한국 5월 EDI가 북태평양진동에 상당한 영향을 받고 있음을 의미한다. 따라서 양의 NPI 해 5월에 한국의 위도대에서 강화된 하강류의 아노말리는 가뭄을 강화하는 원인이 된다.

4.3 Sea surface temperature

해수면 온도 역시 양의 NPI 해의 5월에 한국 가뭄에 직·간접적으로 영향을 줄 수 있다. 이를 알아보기 위

해 두 시기에 5월 해수면 온도 아노말리를 분석하였다 (Fig. 5). 양의 NPI 해에 적도 서태평양이 동태평양보다 해수면 온도 아노말리가 더 높으며, 적도 서태평양에서의 양의 해수면 온도 아노말리는 미국 서해안까지 남서에서 북동방향으로 이어져 있다. 이 양의 해수면 온도 아노말리의 바로 북쪽으로 동아시아의 중위도 해역으로부터 알류산 열도의 남쪽까지 남서에서 북동방향으로 음의 해수면 온도 아노말리가 위치했다. 이는 양의 NPI 해에 곤축되는 전형적인 해수면 온도 아노말리의 공간 패턴이다 (Wallace and Gutzler, 1981). 따라서 동아시아 지역의 저위도에서는 양의 해수면 온도 아노말리, 중위도에서는 음의 해수면 온도 아노말리와 같은 남고·북저의 분포를 이루고 있다. 이는 Fig. 3a에서 한국을 중심으로 하는 남저·북고의 하층기압 아노말리 패턴과 대조를 이룬다. 이에 대해 Hung *et al.* (2004)은 북서태평양에서 양의 NPI 해와 같은 해수면 온도 아노말리의 공간패턴은 적도 동태평양으로부터 로스비 파의 형태로 동아시아 저·중위도에 각각 저기압성 및 고기압성 순환 아노말리를 유발할 수 있다고 설명하였다. 따라서 동아시아에서의 이러한 남고·북저의 해수면 온도 아노말리의 공간패턴은 한국 5월 가뭄의 강화에 긍정적인 역할을 함을 알 수 있다. 북서태평양에서 형성되는 남고·북저의 해수면 온도 아노말리의 패턴은 타이완을 포함하는 남중국 지역에 양의 강수 아노말리를, 중국 중·북부, 한국 및 일본 등의 동아시아 중위도 지역에는 음의 강수 아노말리를 강화시킨다는 연구결과가 있다. (Lu, 2004; Fan *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008). 즉, 이 연구들은 이와 같은 해수면 온도 아노말리의 패턴으로 인해 열대 서태평양에는 저기압성 순환 아노말리를, 동아시아 중위도 지역에는 고기압성 순환 아노말리를 강화시키며, 그 결과 동아시아에서의 저위도 지역과 중위도 지역 사이에 이차 순환 (secondary circulation)의 아노말리가 형성됨을 보였다. 즉, 저위도 지역에서는 상승류의 아노말리, 중위도 지역에서는 이를 보상하는 하강류의 아노말리가 형성되는데, 이럴 경우 아열대 서태평양에는 태풍이 평균보다 많이 발생하며, 대신 한국 및 양쯔강 유역에는 강수량이 적게 관측되는 경향이 있음을 증명한 것이다. 하지만 해수면 온도와 바로 위 대기층 사이의 상호작용에 대해서는 여전히 명확하게 밝혀지지 않은 상태이다 (Gershunov and Barnett, 1998).

한편, 음의 NPI 해에는 양의 NPI 해와 반대의 해수면 온도 아노말리 공간 패턴을 나타내고 있다.

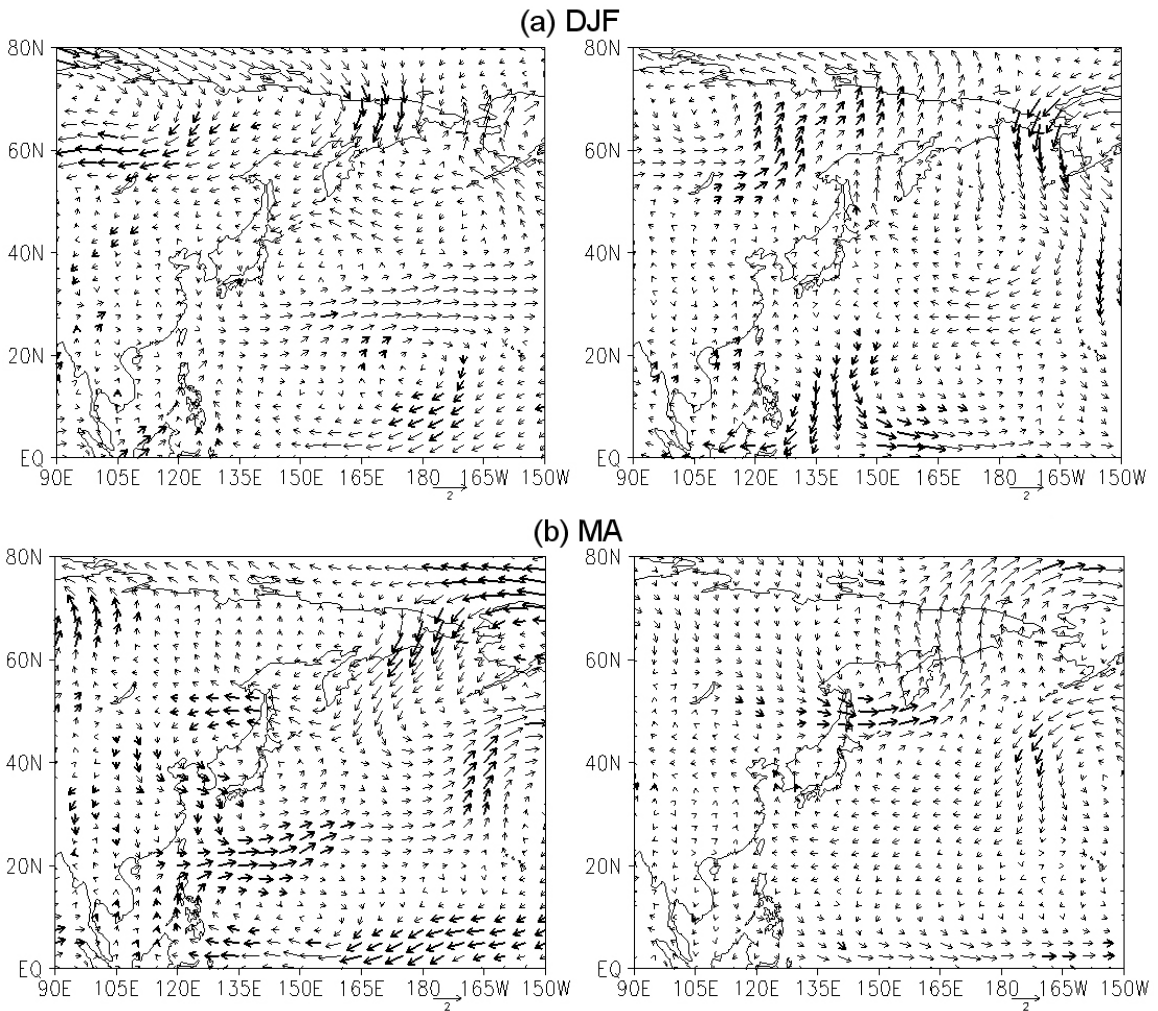


Fig. 6. 850-hPa wind anomalies (a) in December, January, and February (DJF) and (b) in March and April (MA) for 7 POS NPI years (left) and for 7 NEG NPI years (right). Thick arrows are significant at the 95% confidence level.

5. Atmospheric environments during the preceding winter

앞서 서론에서 언급하였듯이 한국 봄 가뭄과 관련된 연구의 대부분에서 한국 봄 가뭄은 봄으로의 늦은 계절전이로 인해 겨울 기압계의 특성이 봄까지 강하게 이어질 때 발생한다는 공통점이 있었다. 또한 가뭄은 강수량의 부족현상이 장기간으로 지속될 때 발생하는 기상현상이다. 따라서 이 장에서는 5월 두 지수 사이의 명확한 음의 관계에 대한 이전 시기의 대기환경 상태를 알아본다. 이를 위해 앞서 선택된 양의 NPI 해와 음의 NPI 해의 이전 겨울 (12, 1, 2월)과 초봄 (3, 4월)의

특성을 조사하였다.

먼저 850-hPa 지위고도 및 바람의 아노말리에서는 이미 겨울과 초봄에도 양과 음의 북태평양진동 패턴이 형성되어 있었음을 볼 수 있다 (Fig. 6). 양의 NPI 해의 겨울에는 비록 5월에서처럼 한국을 중심으로 하는 것은 아니지만 20°N 이상에서 남저·북고의 기압패턴이 형성되어 있다 (Fig. 6a-left). 초봄에는 이 기압패턴이 더욱 뚜렷하다 (Fig. 6b-left). 이러한 기압패턴으로 인해 이미 겨울과 초봄에도 한국은 북풍의 아노말리가 탁월함을 볼 수 있다. 한편 음의 NPI 해의 겨울에는 분석영역 중 일부 지역을 제외한 대부분에서 양의 지위고도 아노말리를 나타낸다 (Fig. 6a-right). 여기서는

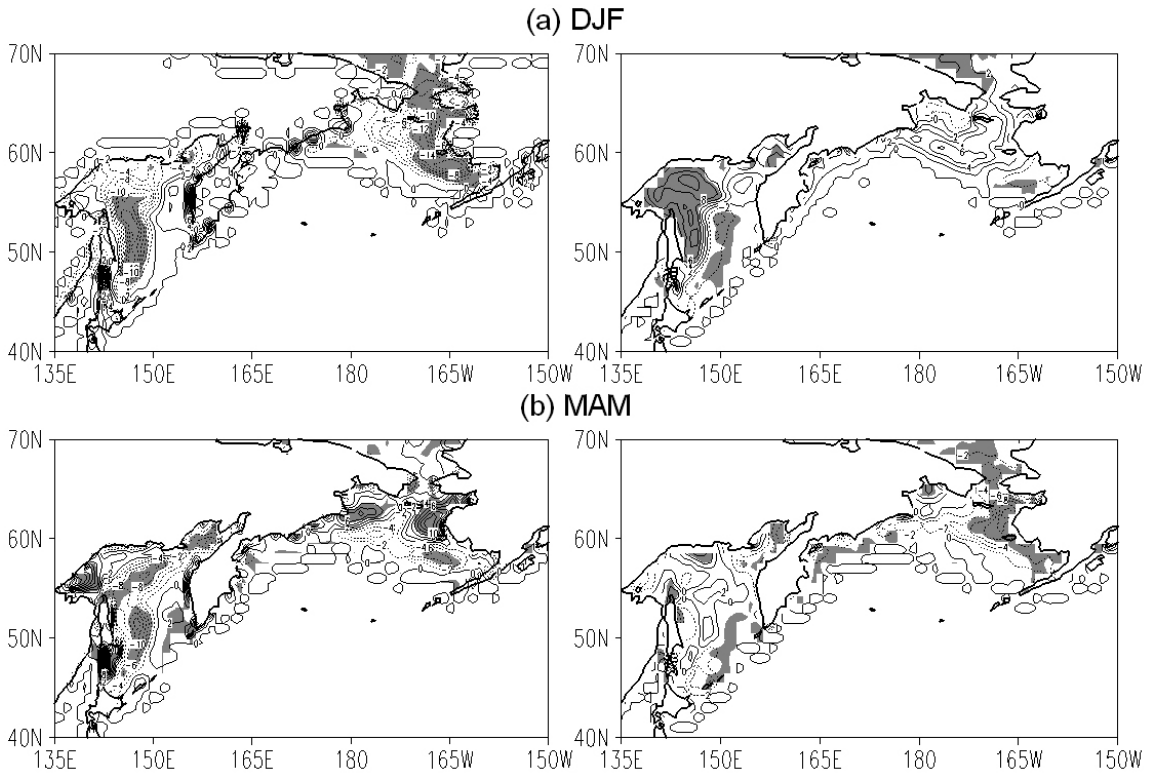


Fig. 7. Same as in Fig. 6, but for sea ice concentration (%). Contour interval is 2%.

비록 남고·북저의 기압패턴이 잘 나타나지 않지만, 겨울 음의 NPI 해와 양의 NPI 해의 차에서는 20°N 이상에서 좀 더 뚜렷한 남고·북저의 기압패턴을 볼 수 있었다 (그림 생략). 초봄에는 이러한 남고·북저의 기압패턴이 겨울보다 명확히 보여진다 (Fig. 6b-right). 따라서 양의 NPI 해의 겨울부터 이미 한국에 가뭄을 유발할 수 있는 대기환경의 상태가 갖추어져 있었음을 알 수 있다.

이렇게 두 시기에 대류권 하층에서 보여지는 남저·북고 또는 남고·북저의 아노말리성 기압패턴에서 북쪽 기압패턴의 중심은 오토츠크해 및 베링해 부근지역에 있음을 볼 수 있었다. 겨울과 봄 동안에 이들 부근지역에서의 대류권 하층 기압변화는 해빙의 변화에 상당한 영향을 받는다. 따라서 두 시기에 대해 겨울과 봄 (3, 4, 5월) 동안의 해빙 아노말리를 조사하였다 (Fig. 7). 여기서 해빙의 자료는 1981년 12월부터 제공되기 때문에 양의 NPI 해는 5년 (1984, 2001, 2005, 2006, 2007년), 음의 NPI 해는 6년 (1990, 1994, 1995, 2002, 2003, 2004년) 평균으로부터 계산된 아노말리를 의미

한다. 겨울과 봄 동안에 이들 부근지역에서의 해빙 아노말리는 양의 NPI 해보다 음의 NPI 해에 더 많음을 볼 수 있다. 이러한 특징은 봄보다는 겨울에 더 뚜렷하다. 하지만 봄의 경우에도 음의 NPI 해와 양의 NPI 해의 차에서는 이러한 특징을 볼 수 있었으며, 오토츠크해에서 더욱 뚜렷하게 나타났다 (그림 생략). 따라서 음의 NPI 해에는 이전 겨울부터 이 지역에 많이 분포되어 있던 해빙의 아노말리에 의해 5월에 저기압성 순환 아노말리가 이 지역에 강화되었음을 알 수 있다. Fan (2007)은 이 지역에서의 겨울과 봄 동안에 해빙이 평균보다 많으면 알류산 저기압이 강화됨을 보인바 있다. 따라서 양 (음)의 NPI 해의 이전 겨울과 봄 동안 오토츠크해와 베링해 부근에 존재했던 평균보다 적 (많)은 양의 해빙 아노말리는 한국에 북 (남)풍의 아노말리를 강화시켜 5월 가뭄에 긍 (부)정적인 역할을 하였음을 알 수 있다. 이에 대해 Zhao *et al.* (2004)은 봄철 오토츠크 및 베링해에서 감소된 해빙상태는 이 지역에 고기압성 순환 아노말리를 발달시키며, 이 순환 아노말리로부터 동아시아 지역으로 북풍의 아노말리가 역

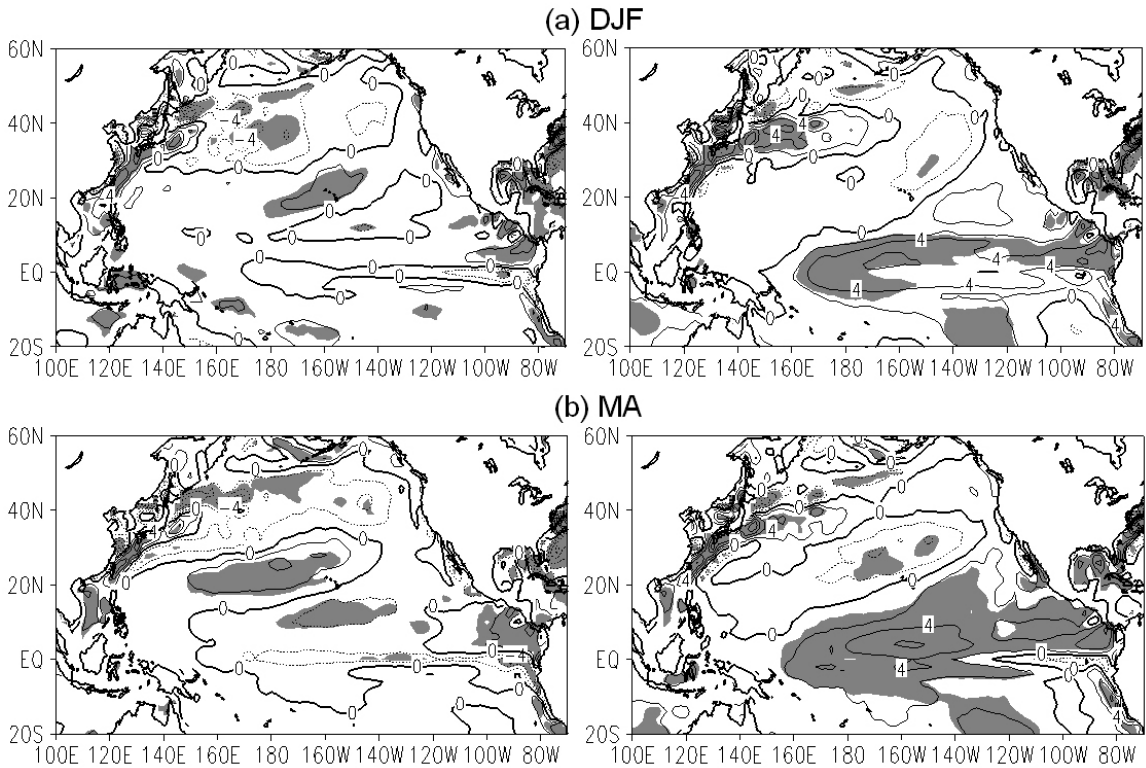


Fig. 8. Same as in Fig. 6, but for SST. SST is multiplied by 10°C . Contour interval is 2°C .

시 강화됨을 보였다. 또한 그들은 강화된 북풍의 아노말리로 인해 북태평양 고기압의 복상이 저지되고 여름 준정체전선(장마전선) 역시 북상하지 못하여 동아시아 중고위도 지역에는 평균보다 적은 여름 강수량이 관측 된다는 연구결과를 제시한 바 있다.

두 시기의 겨울 해수면 온도 역시 Fig. 5에서의 5월 해수면 온도의 공간패턴과 비슷해 보인다 (Fig. 8a). 양(음)의 NPI 해의 경우 북서태평양 저위도에서는 양(음)의 해수면 온도 아노말리가 중위도에는 음(양)의 해수면 온도 아노말리가 형성되어 있다. 이는 초봄까지 이어짐을 볼 수 있다 (Fig. 8b). 따라서 이미 이전 겨울부터 이와 같은 해수면 온도 아노말리 분포가 두 시기에 특징지어진 하층에서의 아노말리성 기압패턴이 형성되기 쉽도록 조성되어져 있었음을 알 수 있다.

6. Summary and conclusions

지난 35년 (1974-2008) 동안 5월 북태평양진동에 대한 한국에서의 5월 가뭄 상태를 조사하였다. 가뭄의

상태는 EDI를 이용하여 진단되었으며, 북태평양진동 지수인 NPI는 베링해 부근의 한 지점 (65°N , 170°E)과 아열대 중양태평양의 한 지점 (25°N , 165°E)사이의 해면기압 차를 정규화하여 계산되었다. 두 지수 사이에는 높은 음의 관계를 나타내었다. 즉, 베링해 부근지역에서의 해면기압이 높을수록 가뭄은 강화됨을 의미했다.

이러한 두 지수 사이의 음의 관계는 5월 NPI에서 엘니뇨/라니냐 해들을 제외한 가장 높은 값을 갖는 7년(음의 NPI 해)과 가장 낮은 값을 갖는 7년(양의 NPI 해)을 선정하여 이 두 시기에 대한 아노말리 분석을 통해 조사되었다. 양의 NPI 해에는 다음과 같은 아노말리의 특징이 나타났다. 한국의 여러 지역 중, 특히 한국의 중부지역에서 적은 강수량이 관측되었다. 이는 850 hPa에서 한국을 중심으로 남동쪽에는 저기압성 순환 아노말리, 북동쪽에는 고기압성 순환 아노말리가 위치하여 한국에 북풍의 아노말리가 강화되었기 때문이었다. 한국의 남동쪽에 강화된 이 저기압성 순환 아노말리는 북태평양 고기압이 북쪽으로 발달하지 못했음을

의미했다. 이는 외향장파복사와 연직류의 아노말리 분석을 통해 확인할 수 있었다. 한국을 포함한 40°N 이상의 동아시아 고위도 지역과 적도 서태평양의 동쪽지역은 대류가 약한 반면, 동아시아의 20°-30°N 지역에서는 대류가 활발하였다. 또한 한국의 5월 가뭄해를 선정하여 분석하지 않았음도 불구하고, 한국의 위도대(30-40°N)에서 가장 강한 하강류가 형성되어 있었다. 이러한 결과로부터 5월 북태평양진동은 한국의 5월 가뭄 및 비가뭄의 상태에 상당한 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

이러한 대기환경 외에도 해수면 온도 역시 직·간접적으로 영향이 있었음을 확인하였다. 엘니뇨/라니냐 해들을 제외하고 분석하였음에도 불구하고 적도 동태평양에는 음의 해수면 온도 아노말리가, 적도 서태평양에는 양의 해수면 온도 아노말리가 존재하는 라니냐 패턴을 나타내었다. 이는 양의 NPI 해에 나타나는 전형적인 해수면 온도 아노말리의 공간패턴이었다(Wallace and Gutzler, 1981). 적도 서태평양에서의 양의 해수면 온도 아노말리는 미국 서부해안까지 남서에서 북동방향으로 형성되어 있었으며, 이 남서-북동방향으로 이어진 양의 해수면 온도 아노말리 밴드의 북쪽에도 같은 방향으로 음의 해수면 온도 아노말리의 밴드가 형성되어 있었다. 따라서 동아시아 지역의 저위도에는 양의 해수면 온도 아노말리, 중위도에서는 음의 해수면 온도 아노말리가 형성되어 한국을 중심으로 한 남저·북고와 같은 하층 기압 아노말리 패턴의 강화에 도움이 된 것으로 분석되었다.

이러한 양의 NPI 해의 특징은 이미 이전 겨울과 초봄에도 형성되어 있었음이 확인되었다. 이전 두 계절 모두 5월보다는 약하지만 남저·북고의 하층 기압 아노말리 패턴이 형성되어 있었다. 특히, 오호츠크 해 및 베링해 부근에 중심을 둔 이와 같은 고기압성 순환 아노말리는 겨울과 봄 동안 이 지역에 평균보다 적게 존재했던 해빙 아노말리에 의해 영향을 받은 것으로 분석되었다. 결국 이 고기압성 순환 아노말리는 이전 두 계절에 알류산 저기압이 약화되었음을 의미했다. 북서태평양에서는 5월에 남저·북고의 하층 기압 아노말리 패턴 강화에 도움이 되었던 남고·북저의 해수면 온도 아노말리 분포를 이루고 있었다.

이 연구는 5월 NPI를 이용하여 한국 5월 가뭄과의 상관 가능성 및 이의 원인이 되는 다양한 대기환경 상태를 조사하였다. 차후에는 NPI를 이용한 한국 가뭄의 예측 연구가 이루어질 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 (CATER 2006-2306)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Akhtari, R., S. Morid, M. H. Mahdian, and V. Smakhin, 2009: Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices. *Int. J. Climatol.*, **29**, 135-145.
- Byun, H.-R., 1996: On the atmospheric circulation caused the drought in Korea. *Asia Pacific J. Atmos. Sci.*, **32**, 455-469. (In Korean with English abstract).
- _____, and D. A. Wilhite, 1999: Objective quantification of drought severity and duration. *J. Climate*, **12**, 2747-2756.
- _____, 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. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, **28**, 71-88. (In Korean with English abstract).
- _____, D.-K. Lee, and C.-H. Jeong, 1992b: A study on the atmospheric circulation during the dry period before the Changma. Part II: compared with those before and after the period. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, **28**, 89-107. (In Korean with English abstract).
- _____, and Y.-H. Han, 1994: On the existence of the seasonal drought in the Korean Peninsula. *Asia Pacific J. Atmos. Sci.*, **30**, 457-467. (In Korean with English abstract)
- Choi, K.-S., D.-W. Kim, and H.-R. Byun, 2008: Relationships between summer droughts in Korea and activities of tropical cyclones over the Northwestern Pacific. *Atmosphere*, **18**, 279-286. (In Korean with English abstract)
- Fan, K., 2007: North Pacific sea ice cover, a predictor for the western North Pacific typhoon frequency?. *Sci. China Ser. D earth Sci.*, **50**, 1251-1257.
- Fan, P., L. Zhexian, J. Jianhua, 2006: Differences between dynamics factors for interannual and decadal variations of rainfall over the Yangtze River valley during flood seasons. *Chi. Sci. Bull.*, **51**, 994-999.
- Gershunov, A., and T. P. Barnett, 1998: Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 2715-2725.
- Guo, D., and Z. B. Sun, 2004: Relationship of winter North Pacific Oscillation anomalies with the East Asian winter monsoon and the weather and climate in China. *J. Nanjing*

- Institute Meteorol.*, **27**, 461–470. (In Chinese).
- Hameed, S., and I. Pittalwala, 1991: The North Pacific Oscillation: observations compared with simulations in a general circulation model. *Clim. Dyn.*, **6**, 113–122.
- 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.
- Hung, C.-W., H.-H. Hsu, and M.-M. Lu, 2004: Decadal oscillation of spring rain in northern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, doi:10.1029/2004GL021344.
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.
- Kang, K.-A., and H.-R. Byun, 2004: On the developing processes of the climatological drought over the East Asia in 1982. *J. Korean. Meteor. Soc.*, **40**, 467–483. (In Korean with English abstract).
- Kim, S., C.-K. Park, and M.-K. Kim, 2005: The regime shift of the northern Hemispheric circulation responsible for the spring drought in Korea. *Asia-Pacific J. of atmos. sci.*, **41**, 571–585.
- Kim, Y.-W., and H.-R. Byun, 2006: On the causes of summer droughts in Korea and their return to normal. *Asia-Pacific J. atmos. sci.*, **42**, 237–251.
- Kistler, R., and Coauthors, 2001: The NCEP/NCAR 50-year reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 247–267.
- Lee, D.-K., and Y.-A. Kim, 1997: Springtime weather types over the Northeast Asia and relationship with yellow sand events during 1980–1989. *Asia-Pacific J. atmos. Sci.*, **33**, 17–40.
- Linkin, M. E., and S. Nigam, 2008: The North Pacific Oscillation–West Pacific teleconnection pattern: mature phase structure and winter impacts. *J. Climate*, **21**, 1979–1997.
- Lu, M.-M., 2004: Decadal oscillation of spring rain in northern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, doi:10.1029/2004GL021344.
- Morid, S., V. Smakhtin, and M. Moghaddasi, 2006: Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Int. J. Climatol.*, **26**, 971–985.
- Pierce, D. W., 2002: The role of sea surface temperatures in Interactions between ENSO and the North Pacific Oscillation. *J. Climate*, **15**, 1295–1308.
- 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.
- Rogers, J. C., 1981: The North Pacific Oscillation. *Int. J. Climatol.*, **1**, 39–57.
- Smakhtin, V. U., and D. A. Hughes, 2007: Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environ. Model. Software*, **22**, 880–890.
- Walker, G. T., and E. W. Bliss, 1932: World Weather V, Mem. R., *Meteor. Soc.*, **4**, 53–84.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784–812.
- Wang, H. J., J. Q. Sun, and K. Fan, 2007: Relationships between the North Pacific Oscillation and the typhoon/hurricane frequencies. *Sci. China ser. D-Earth Sci.*, **50**, 1409–1416.
- Yamaguchi, Y., and M. Shinoda, 2002: Soil moisture modeling based on multiyear observations in the Sahel. *J. Appl. Meteorol.*, **41**, 1140–1146.
- Yeh, S. W., and B. P. Kirtman, 2004: The North Pacific Oscillation-ENSO and internal atmospheric variability. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L13206, doi: 10.1029/2004GL019983.
- Zhao, P., X. D. Zhang, X. J. Zhou, M. Ikeda, and Y. H. Yin, 2004: The sea ice extent anomaly in the North Pacific and its impact on the East Asian summer monsoon rainfall. *J. Climate*, **17**, 3434–3447.