

## 태양의 북-남 비대칭성을 고려한 태양활동과 기후변화와의 관계

조일현<sup>1,2</sup>, 광영실<sup>2</sup>, 조경석<sup>2</sup>, 최호성<sup>2</sup>, 장현영<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 천문대기과학과

<sup>2</sup>한국천문연구원

### On the Relation Between the Sun and Climate Change with the Solar North-South Asymmetry

I.-H. Cho<sup>1,2</sup>, Y.-S. Kwak<sup>2</sup>, K.-S. Cho<sup>2</sup>, H.-S. Choi<sup>2</sup>, and H.-Y. Chang<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Astronomy and Astmospheric Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: ihcho@kasi.re.kr, hyc@knu.ac.kr

(Received December 3, 2008; Accepted February 6, 2009)

#### 요 약

태양의 북-남 비대칭성을 고려하여 태양활동과 기후변화 사이의 관계에 대하여 연구하였다. 이를 위해 흑점 수와 지구연평균 기온아노말리(temperature anomalies) 시계열을 이용하여 이동 상관계수를 계산하였고 상관계수의 부호가 바뀌는 시점을 태양의 북-남 비대칭성의 부호가 바뀌는 시점과 비교하였다. 상관계수의 부호는 1907년을 기준으로 음의 상관에서 양의 상관으로 바뀌었고 1985년을 기준으로 양의 상관이 음의 상관으로 바뀌었다. 이 두 시점은 태양의 북-남 비대칭성의 부호가 바뀌는 시점과 잘 일치하였다. 흑점 수에 대한 기온아노말리 변화 그래프를 통해 태양활동과 기후변화 사이의 관계가 1907년과 1985년으로 나뉘어진 세 기간으로 분류되었고 각 기간에 대해서 기온아노말리의 흑점 수에 대한 상관계수를 계산하였다. 이를 통해 태양의 남반구에서 태양활동이 강할 때는 태양활동과 기후변화의 관계가 음의 상관을 보이고 북반구의 태양활동이 강할 때는 양의 상관을 보인다는 것을 확인하였다.

#### Abstract

We report the relation between the solar activity and terrestrial climate change with the solar north-south asymmetry. For this purpose, we calculate sliding correlation coefficients between sunspot numbers and earth's mean annual temperature anomalies. Then, we compare the epoch that the sign of correlation changes with the epoch that the sign of the solar north-south asymmetry changes. We obtain that corresponding times are 1907 and 1985, respectively. Further more, these two epoches are well consistent with those of signs of the solar north-south asymmetry changes. We also obtain that the plot between sunspot numbers and temperature anomalies could be classified by 1907 and 1985. We conclude that temperature anomalies are shown to be negatively correlated with sunspot numbers when the southern solar hemisphere is more active, and vice versa.

*Keywords:* north-south asymmetry, climate change, solar activity

---

<sup>†</sup>corresponding author

## 1. 서 론

태양활동의 변화는 직-간접적으로 지구의 기후변화에 기여하고 있다(Lockwood & Foster 2000, Solanki & Krivova 2003, Georgieva & Kirov 2008). 예를 들어 태양의 광도 변화는 직접적으로 지구에 입사되는 에너지의 양을 결정함으로써 기후변화에 기여한다(Scafetta & West 2005, 2006). 긴 기간 동안의 태양활동의 변화는 태양권 및 지구자기권에 영향을 주어 구름의 형성에 관계하는 대기의 특성을 변화시킴으로써 기후변화에 기여한다(Tinsley 2000, Marsh & Svensmark 2000, 2003). 이러한 태양활동의 변화가 기후변화의 주된 요인이라는 데에 많은 연구자들이 동의하고 있지만 최근 몇 십년 동안의 기온상승을 설명하지는 못하고 있다(Friis-Christensen & Lassen 1991, Laut 2003).

이들 선행 연구들은 기본적으로 기후변화 신호와 태양활동 신호의 일관된 상관관계로부터 추론되었다. 한편 Georgieva et al.(2007)에 의해 태양의 북-남 비대칭성이 태양-기후 변화 관계의 변화와 대략 일치한다는 것이 보고되었다. 이들은 북대서양 진동지수<sup>1</sup>를 이용하여 남반구에서 태양활동이 더 활발할 경우에는 지구대기의 동서순환(zonal circulation)이 우세하고 북반구에서 더 활발할 경우에는 지구대기의 남북순환(meridional-type circulation)이 우세하다고 하였다. 더욱이 이들은 X급 플레어, 자기기름 및 빠른 태양풍 발생 후 북대서양 진동 지수의 평균 프로파일의 수일 범위에서 변한다는 것을 확인하였고 특히 자기기름의 방향과 태양풍의 속도가 태양 북-남 비대칭성과 직접 관련이 있다고 제안하였다. Lukianova & Alekseev(2005)는 1940년 이후부터 태양활동과 북태평양 진동 지수가 높은 양의 상관을 보인다고 하였다. 이들은 북태평양 진동지수의 변화를 1940년 이후부터 유래 없이 활발해진 태양활동과 이에 따른 고위도 지역의 고층 대기의 전류계의 변화에 기인하는 것으로 해석하였다.

이 연구에서는 태양의 북-남 비대칭성과 태양활동-기후변화 관계를 비교하여 일관된 상관관계로부터 설명될 수 없는 최근의 기온상승과 태양활동의 변화와의 관련성을 살펴보고자 한다. 이를 위해 흑점 수와 기온아노말리(temperature anomalies)의 이동 상관계수를 계산하여 그 부호가 바뀌는 시점이 태양의 북-남 비대칭성의 부호가 바뀌는 시점과 일치하는지 알아보았다. 또한, 나뉘어 진 기간들에 대해서 기온아노말리의 흑점 수에 대한 상관관계를 알아보았다. 2장에서는 이 연구에 사용된 자료를 소개하고 3장에서는 분석방법 및 연구 결과를 소개하였다. 4장에서 이 연구에서 사용한 방법과 결과에 대해 토의하였다.

## 2. 자 료

그림 1은 이 연구에서 사용된 태양 흑점 수, 북-남 비대칭성 및 지구의 기온아노말리 시계열을 보여주고 있다. 실선은 7년 평균값인데 이를 선택한 이유는 태양활동주기의 최소값이 대략 7년 정도이기 때문이다. 흑점 수 시계열은 벨기에의 SIDC<sup>2</sup>에서 제공된다. 흑점 수는 2008년 10월 현재 약 60개 관측소의 관측 자료로부터 계산되고 있다. 이 연구에서는 기온관측이 이루어진 1850년부터 2007년까지의 자료를 사용하였다.

태양의 북-남 비대칭성 계산에 사용되는 흑점면적은 RGO<sup>3</sup>에서 1874년부터 1976년까지 수집되

<sup>1</sup>NAO, Northern Atlantic Oscillation, See <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao.htm>, 북대서양 진동지수는 영구적으로 기압이 높고 낮은 두 지역의 정규화 된 대기압차이로 정의된다. 대기압의 차이는 두 지역 간의 공기의 이동을 의미하며 이는 공기덩어리가 가진 정역학적 양(기온, 습도, 강수량 등)들의 이동을 의미한다.

<sup>2</sup>Solar Influences Data Analysis Center, <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>

<sup>3</sup>Royal Greenwich Observatory

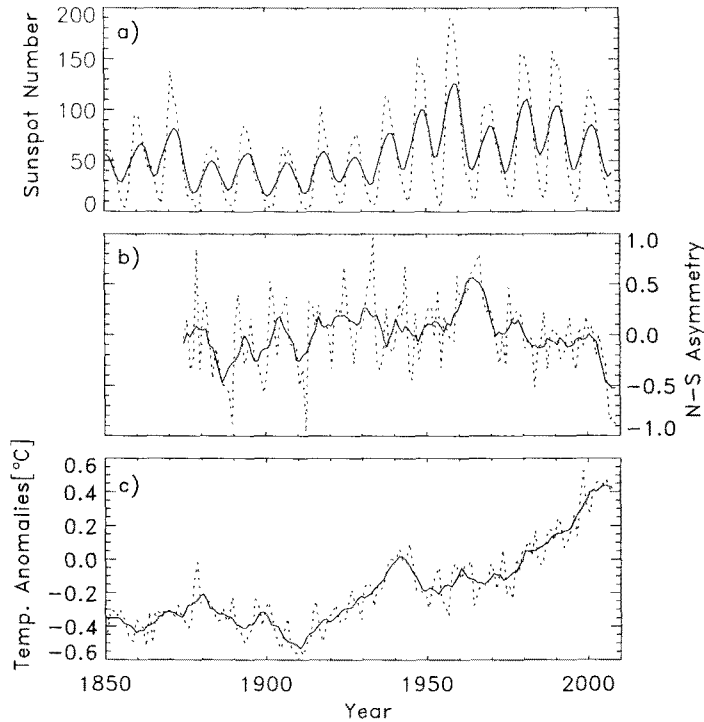


그림 1. 태양 흑점 수(a), 태양의 북-남 비대칭성(b) 및 지구 기온아노말리 시계열(c). 각 실선은 7년씩 평균한 값이다.

었고 1977년부터는 미 공군에서 지원하는 SOON<sup>4</sup>에서 관측 및 수집되고 있다. 이 자료는 NASA<sup>5</sup>의 MSFC<sup>6</sup>에서 제공되고 있으며 태양의 북-남 비대칭성은 월평균 흑점면적을 이용하여 식 (1)과 같이

$$A = (A_n - A_s) / (A_n + A_s) \quad (1)$$

계산하였다.  $A$ 는 북-남 비대칭성,  $A_n$  및  $A_s$ 는 각각 북반구와 남반구의 흑점 면적을 나타낸다(Chang 2007). 흑점의 면적은 태양 원반면적의  $10^{-6}$ 의 단위로 기록된다.  $A > 0$ 는 북반구의 흑점면적이 남반구의 흑점 면적보다 더 크고 북반구의 태양활동이 더욱 활발하다는 것을 의미한다.

지구 연평균 기온아노말리 시계열은 CRU<sup>7</sup>에서 제공하고 있고 지구 표면의  $5^\circ \times 5^\circ$  크기 격자에 대한 월 평균값을 제공한다. 아노말리란 임의의 기준 값에 대한 차이를 의미하는데, 여기서 각 격자의 기준 값은 1961년부터 1990년까지의 지구 평균 기온이 사용 되었다. 기온의 측정은 1850년부터 이루어 졌고 해마다 관측소의 수가 늘어나 현재는 약 4,300여 곳에서 측정되고 있다. 각 격자 내에 포함된 관측소의 수에 일관성이 없고 관측방식이 모두 다르므로 격자마다 각각 다른 분산을 가지게 되는데 이 연구에서는 이러한 차이가 조정된 시계열을 사용하였다(Jones et al. 2001).

<sup>4</sup>Solar Optical Observatory Network

<sup>5</sup>National Aeronautics and Space Administration

<sup>6</sup>Marshall Space Flight Center, <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>

<sup>7</sup>Climate Research Unit, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>

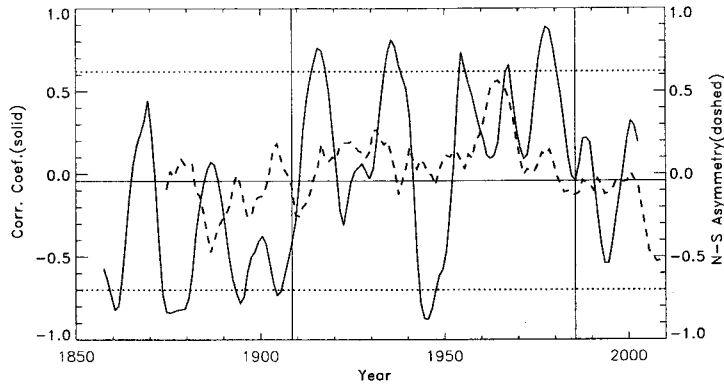


그림 2. 흑점 수와 기온아노말리의 이동 상관계수(실선) 및 태양의 북-남 비대칭성(파선). 이동 상관계수는 두 시계열의 7년 평균된 값을 13년씩 묶어 계산하였다. 위와 아래의 점선은 상관계수들의 2-편차 신뢰도를 나타낸다. 중앙의 점선은 평균값으로 -0.04이다. 1907년과 1985년을 기준으로 흑점 수와 기온아노말리의 상관계수의 부호와 태양 북-남 비대칭성의 부호가 바뀌고 있다.

### 3. 분석 방법 및 결과

태양 흑점 수와 기온아노말리 사이의 이동 상관계수는 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$r(t) = \frac{\sum_{i=t-6}^{t+6} (x_i - \bar{x}_t)(y_i - \bar{y}_t)}{\sqrt{\sum_{i=t-6}^{t+6} (x_i - \bar{x}_t)^2} \sqrt{\sum_{i=t-6}^{t+6} (y_i - \bar{y}_t)^2}} \quad (2)$$

각  $t$ 에 대한 상관계수  $r$ 을  $t$ 를 포함하여 13개의 값을 이용하여 계산하였다.  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 각 구간에 대한 흑점 수와 기온아노말리의 7년 평균값을 나타낸다. 그림 2에서 흑점 수-기온아노말리의 상관계수 변화(실선)가 태양의 북-남 비대칭성(파선)의 그것과 대체로 일치함을 볼 수 있다: 1907년 이전과 1985년 이후는 흑점-기온아노말리와의 이동 상관계수 값이 대략 0보다 작고 이때, 태양의 북-남 비대칭성도 각각 0보다 작다. 1907년부터 1985년에 해당되는 기간 중 1940년대를 제외한 흑점-기온아노말리와의 이동 상관계수가 대체로 0보다 크고 태양의 북-남 비대칭성도 0보다 크다. 이것은 북반구의 태양활동이 더 강할 때 태양-기후변화 관계는 양의 상관관계가 나타났고 남반구의 태양활동이 더 강할 때는 음의 상관관계가 나타났음을 의미한다. 특히, 지구온난화가 두드러지게 나타나는 1985년 이후는 음의 상관을 보인다. 세 개의 점선 중 위와 아래의 점선은 각각 -0.70, 0.62에 표시되었다. 이 값은 자유도 5에 해당되는 T-통계분포의 99.75%(약 2-편차)의 신뢰도에 해당되는 값을 나타낸다. 이동 상관계수를 계산할 때 흑점 수는 기온아노말리보다 6년 이전까지 짝을 이루어 계산될 수 있으므로 5의 자유도를 가진다.

그림 2에서 구분된 세개의 기간에서 태양활동과 기후변화의 관련성을 살펴보기 위해서 각 기간에 해당되는 흑점 수에 대한 기온아노말리 시계열을 그림 3에 나타내었다. 검은색 원은 1985년 이후에 해당되고 빈 원은 1907년 이전에 해당된다. 십자 및 마름모로 표시된 값은 1907년과 1985년의 기간에 해당된다. 마름모 표시는 7년 평균된 흑점 수가 100보다 큰 기간에 해당되는데 이는 1940년대의 값을 구분하기 위해 달리 표시하였다. 세 개의 기간에 대한 흑점 수-기온아노말리의 상관계수는 각각 -0.337, 0.536 및 -0.532이다. 세 개의 상관계수에 대한 90% 신뢰구간은 각각 [-0.32, 0.64],

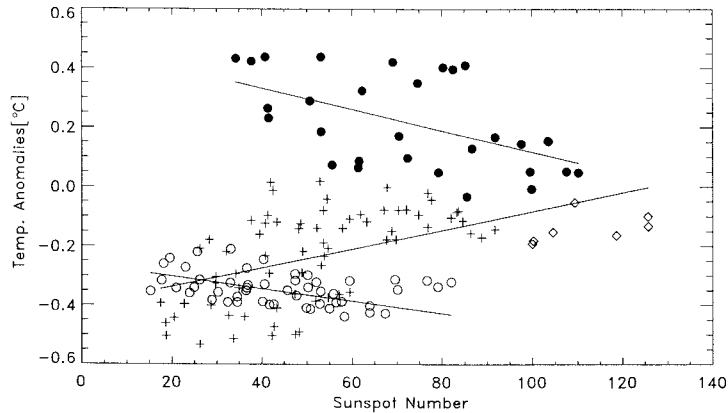


그림 3. 1907년과 1985년으로 구분된 각 기간의 흑점 수에 대한 기온아노말리. 위에서부터 1850년 ~ 1907년, 1907년 ~ 1985년 및 1985년 ~ 2007년에 해당된다. 세 기간에 대한 상관계수는 각각  $-0.337$ ,  $0.536$  및  $-0.532$ 이며 90% 신뢰구간  $[-0.32, 0.64]$ ,  $[-0.10, 0.48]$ ,  $[-0.21, 0.57]$ 보다 바깥에 위치한다. 각각의 직선은 선형회귀에 의한 1차항 계수로써  $-0.0021$ ,  $0.0032$  및  $-0.0036$ 이다.

$[-0.10, 0.48]$  및  $[-0.21, 0.57]$ 으로 계산되었고 90% 신뢰도를 확보해 준다.<sup>8</sup> 통계적 검증을 위해 관측 값을 임의로 섞어 가상의 흑점 수 및 기온아노말리 시계열의 짝을 1,000개 생성하고 이들로부터 세 개의 기간에 대한 통계분포를 얻었다. 각각의 직선은 선형회귀에 의한 1차항 계수로써  $-0.0021$ ,  $0.0032$  및  $-0.0036$ 으로 계산되었고 1907년 이전에 해당되는 1차항 계수  $-0.0021$ 은 1985년 이후에 해당되는  $-0.0036$ 에 대해 약 60%의 비율을 갖는다.

#### 4. 토 의

두 시계열의 상관계수를 계산하기 위해 7년 평균값을 선택한 이유는 태양활동 주기의 최소길이가 대략 7년 정도이기 때문이다. 7년의 너비를 갖는 창을 적용함으로써 상관계수의 값이 높아지는 효과가 있다. 상관계수는 두 시계열의 편차의 곱을 합한 것으로부터 정의되기 때문이다. 그러나 7년 보다 작은 변화척도를 갖는 신호를 제거하는 효과도 가지고 있다. 7년 이외의 너비를 적용 할 경우 태양의 북반구 혹은 남반구가 더 활발해지기 시작하는 시점이 달라진다. 또한 1940년대의 기온아노말리가 감소하는 기간이 창의 너비를 크게 함에 따라 1940년 이전과 1950년 이후의 값에 큰 영향을 주게 된다. 이에 7년의 너비에 대한 신뢰구간을 제시하였다. 선행 연구들은 대부분 태양활동을 지시하기 위해 사용한 시계열의 선형변화를 제거한 후 이동 상관계수를 계산했기 때문에 1940년대의 태양활동 증가나 갑작스런 기온아노말리 감소에 의한 효과가 나타나지 않는다.

태양활동 북-남 비대칭성이 갖는 물리적 의미를 상관관계 연구를 통해 제시하는 것은 부족한 면이 있으나 지구온난화에 대한 온실기체의 증가만이 중요시되는 시점에서 또 다른 시각을 가질 수 있으리라 판단된다. 최근의 지구온난화가 나타나는 기간은 남반구의 태양활동이 더 강한 기간으로써 태양활동 변화와 기온아노말리의 관계가 음의 상관을 가진다. 그리고 최근의 태양활동은 이전에 비

<sup>8</sup>95% 신뢰구간은 각각  $[-0.46, 0.74]$ ,  $[-0.19, 0.54]$  및  $[-0.26, 0.64]$ 로서 1985년 이전의 기간에 대한 상관계수는 신뢰도 95%를 확보할 수 없었다.

해 약해지고 있기 때문에 태양활동의 변화가 지구온난화에 기여하고 있다는 정황적 증거를 제시할 수 있다. 태양의 북-남 비대칭성은 태양 각 반구의 흑점면적의 차이만으로 계산된다. 그러나 태양활동의 다양한 측면에서 이러한 비대칭성이 나타나는 것으로 알려져 있다(Chang 2007 및 인용문헌). 행성간의 변화와 고위도 상층대기의 전류계의 관련성, 나아가 이들 전류계 특성의 변화와 하층 대기의 정역학적 양들의 관련성을 찾고자 하는 연구가 수행되고 있다(Bochníček et al. 1999, Kodera 2003, Boberg & Lundstedt 2003).

복사평형을 이루는 대기의 온도는  $\sigma T^4 = S_0(1 - \alpha)/(1 - \beta)$ 로 근사된다. 지구대기의 반사율을 의미하는  $\alpha$ 는 수증기량이나 빙하의 면적 등과 관련이 있으며 일반적인 경우 태양활동 변화에 의한 영향이 배제된다.  $\beta$ 는 지구의 총 장파복사에 대해 대기에 흡수되는 장파복사의 비를 나타낸다. 이 역시 온실기체의 역할이 중요시 되고 있으며 약 70%나 기여하는 구름의 양 혹은 수증기량의 역할은 배제되고 있다. 태양활동 변화에 따라 태양의 광도가 변하지만 행성간의 특성도 태양활동 변화를 따른 것으로 판단되며 이러한 행성간의 변화는  $\alpha$ 와  $\beta$ 로 표현된 양과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 백반(faculae)은 태양광도( $S_0$ )를 증가시키는 작용을 한다. 또한 흑점의 면적이 클수록 백반이 차지하는 면적도 크다(Chapman et al. 1997, 2001). 이는 태양광도가 흑점 수의 변화와 같은 태양활동 주기를 잘 따른다는 것을 의미한다. 이 연구에서 얻은 결과는 1985년 이후의 흑점 수가 대체적으로 감소하고 있으므로 태양광도의 변화에 기인한다고 볼 수 없다.

**감사의 글:** 이 연구는 학술진흥재단(KRF-2006-521-C00072)의 지원으로 연구되었습니다.

### 참고문헌

- Boberg, F. & Lundstedt, H. 2003, *GRL*, 30, 1825  
 Bochníček, J., Hejda, P., Bucha, V., & Pýcha, J. 1999, *AnGeo*, 17, 925  
 Chang, H.-Y. 2007, *JA&SS*, 24, 91  
 Chapman, G. A., Cookson, A. M., & Dobias, J. J. 1997, *ApJ*, 482, 541  
 Chapman, G. A., Cookson, A. M., Dobias, J. J., & Walton, S. R. 2001, *ApJ*, 555, 462  
 Friis-Christensen, E. & Lassen, K. 1991, *Science*, 254, 689  
 Georgieva, K., Kirov, B., Tonev, P., Guineva, V., & Atanasov, D. 2007, *Advances in Space Research*, 40, 1152  
 Georgieva, K. & Kirov, B. 2008, eprint arXiv, 0803.1959, submitted  
 Jones, P. D., Osborn, T. J., Briffa, K. R., Folland, C. K., Horton, E. B., Alexander, L. V., Parker, D. E., & Rayner, N. A. 2001, *JGR*, 106, 3371  
 Kodera, K. 2003, *GRL*, 30, 1175  
 Laut, P. 2003, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65, 801  
 Lockwood, M. & Foster, S. 2000, in *The Solar Cycle and Terrestrial Climate*, ed. A. Wilson (Netherlands: ESA Publications Division), p.85  
 Lukianova, R. & Alekseev, G. 2005, *Solar Physics*, 224, 445  
 Marsh, N. D. & Svensmark, H. 2000, *Phys. Rev. Lett.*, 85, 5004  
 Marsh, N. D. & Svensmark, H. 2003, *JGR*, 108, 4195  
 Scafetta, N. & West, B. J. 2005, *GRL*, 32, L18713  
 Scafetta, N. & West, B. J. 2006, *GRL*, 33, L05708  
 Solanki, S. K. & Krivova, N. A. 2003, *JGR*, 108, 1200  
 Tinsley, B. A. 2000, *Space Science Reviews*, 94, 231