

장기적인 태양활동의 주기분석에서 새로운 차원의 도입

리현철, 김철준

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지구우에 존재하는 모든 생명체와 자연현상은 태양의 영향을 크게 받고있습니다. 그러므로 인간생활과 직접 잇달아있는 태양부터 잘 연구하여 태양의 변화를 미리 예견하고 그것을 사람들에게 알려주어야 합니다.》(《김정일전집》 제3권 380페이지)

최근시기 과거의 태양활동을 재현하기 위한 연구가 매우 활발히 진행되고있다. 이러한 연구는 주로 우주선으로부터 생겨나는 방사성핵 ^{14}C 와 ^{10}Be 에 대한 분석에 기초하고있다. ^{14}C 는 나무년륜에서 그리고 ^{10}Be 은 남극과 그린랜드의 얼음층에서 측정한다. 두가지 핵에 대하여 관측된 자료들을 종합적으로 반영하여 태양활동을 재현한 시계열은 선행연구[1]에서 처음으로 제기되었다. 선행연구[2]에서는 흑점수(SSN)시계열을 ^{14}C (INTCAL09)자료와 6개의 ^{10}Be 자료(그린랜드에서 GRIP, NGRIP, Dye3, 남극에서 EDML, DF, SP)로부터 얻었다. 이 시계열은 홀로센기(약 9 000y)를 포괄한다.

장기적인 태양활동을 재현한 다음에는 태양활동의 주기를 분석해야 한다. 선행연구[3]에서는 태양활동의 장기적인 변화에서 홀스태트주기(약 2 400y)가 가장 뚜렷하다는것을 보여주었다. 한편 선행연구[4, 5]에서는 207y의 수에스/드 브리스주기와 88y의 글리스버그주기가 우세한 주기로 된다고 하였다. 그러나 이 주기들의 봉우리가 출력스펙트럼에서는 너무 좁고 웨블레트도표에서는 퍼옴퍼옴 나타난다. 이로부터 이 주기들을 우연적인 겉보기주기들과 구별하기 힘들다.[4, 5] 흑점시계열은 일종의 확률과정으로 볼수 있으며 결정론적인 진동성분외에 우연적인 진동성분이 렬에 포함되므로 겉보기주기들이 나타난다.

론문에서는 고전적인 푸리에해석이나 웨블레트해석대신에 확률안정성을 평가하여 주기를 선택할수 있는 새 방법을 연구하였다.

출력스펙트럼에서 우연잡음을 억제하기 위하여 다음의 과정들을 받아들이자.

① 재현된 태양활동성시계열에서 표본화간격을 변화시킨다. 즉 표본화간격에 들어가는 걸음들을 평균한다.

② 시간밀림과 함께 자체상관을 평가한다. 즉 시계열자체와 일정한 시간 밀림(혹은 앞선) 시계열과의 상관을 구한다. 상관을 통하여 확률과정의 우연부분은 크게 감소된다. 이때 자체상관은 시간밀림의 함수로서 다음과 같이 표시된다.

$$R(m) = \frac{\sum_{i=1}^{N-m} \left(X_i - \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} X_i \right) \sum_{i=m+1}^N \left(X_i - \frac{1}{N-m} \sum_{i=m+1}^N X_i \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-m} \left(X_i - \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} X_i \right)^2 \sum_{i=m+1}^N \left(X_i - \frac{1}{N-m} \sum_{i=m+1}^N X_i \right)^2}}$$

여기서 X_i 는 흑점수시계열이고 i 는 원소번호, N 은 시계열의 전체 원소수이며 m 은 변위된 시간걸음수이다.

③ 자체상관에 그것의 시간밀림에 기초한 푸리에해석을 적용한다. 자체상관의 푸리에상은 시계열의 출력스펙트럼이다.

④ 위의 과정을 재현된 태양활동성시계열의 계차렬에 적용한다. 계차렬은 시계렬에서 린접한 두 걸음들사이의 차로 구해진다.

⑤ ①부터 ③까지의 과정을 재현된 태양활동성시계열의 2계계차렬에 적용한다. 2계계차렬은 계차렬의 매 린접한 두 걸음들사이의 계차로 구해진다.

홀로슨기의 흑점수재현시계열[2]에 대하여 표본화간격에 따르는 출력의 변화를 보여주었다.(그림의 ㄱ)) 어두운 부분은 밝은 부분보다 출력값이 더 크다. 그림에서는 주어진 주기에 해당하는 봉우리의 높이가 표본화간격에 따라 어떻게 변하는가를 보여주었다.

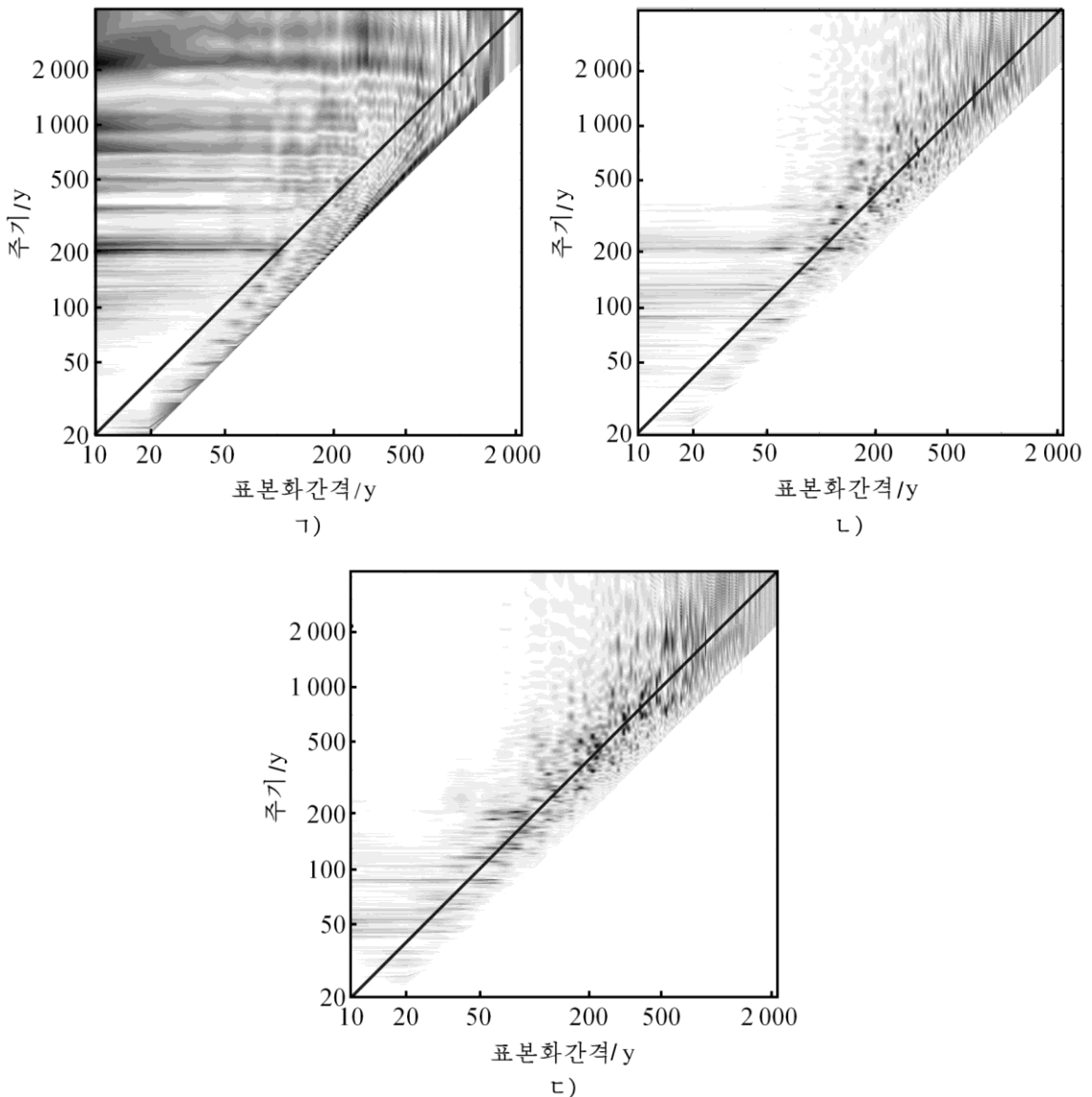


그림. 표본화간격에 따르는 출력의 변화
ㄱ) 흑점수시계열, ㄴ) 계차렬, ㄷ) 2계계차렬

표본화간격을 증가시킬 때 봉우리들이 사라진다는것을 알수 있다. 그러나 약 210y 주기에 해당하는 봉우리는 나이퀴스트표본화한계까지 유지된다. 표본화정리에 의하면 대역제한신호는 거기에 포함된 최대주파수성분의 적어도 2배를 넘는 주파수로 표본화될 때에만 정확히 재현될수 있다. 실제로 시계열을 100y 간격으로 표본화한다면 200y보다 짧은 주기성에 대해서는 논하지 말아야 한다. 즉 매 주기에 대하여 최대로 허용되는 표본화간격이 있는데 그것은 주목하는 주기의 절반과 같다. 이것을 나이퀴스트표본화간격 혹은 나이퀴스트한계라고 부른다. 그림에서 나이퀴스트한계는 실선으로 표시되었다.

약 207y 주기(수에스/드 브리스주기)의 거동을 보면 이 주기에서는 나이퀴스트한계까지 출력봉우리가 유지되고있다. 나이퀴스트한계를 넘어서면 봉우리는 급격히 사라진다. 이것은 바로 이 주기가 우연과정의 결정론적주기라는것을 보여준다.

계차렬에 대해서는 이러한 특성이 보다 명백히 나타난다. 계차렬(그림의 L))에서 207y 주기에 해당하는 봉우리는 나이퀴스트한계까지 보다 뚜렷하게 유지된다. 이로부터 스펙트르해석에서 계차렬을 우선시할수 있다. 여기서는 100y근방의 주기들에 해당하는 봉우리집단이 나타난다. 그러나 이것들은 나이퀴스트한계까지 유지되지 못한다.

2계계차렬의 경우에는(그림의 C)) 88y 주기가 나타난다. 이것이 바로 글리스버그주기이다.

또한 봉우리분포는 시계열과 계차렬에서 차이난다. 이것은 어떤 진동량의 시간도함수에 주기의 거꿀수가 곱해지기때문이다. 따라서 긴주기성분은 본래의 렬에서보다 계차렬에서 더 약해진다. 그러나 207y 주기는 본래렬과 계차렬에서 다 나타나며 봉우리가 나이퀴스트한계까지 유지된다. 그러므로 이 주기를 우연주기라고 말할수 없다. 2계계차렬(그림의 C))에서는 이 주기가 오직 나이퀴스트한계근방에서만 나타난다. 보다 긴 주기에 대해서는 350, 450y 주기가 나이퀴스트한계까지 유지될수 있다.

맺 는 말

장기적인 태양활동을 재현한 흑점수시계열을 분석하였다. 표본화간격을 변화시킬 때 207y의 수에스/드 브리스주기가 결정론적주기의 특성을 나타낸다. 그리고 계차 및 2계계차렬에서는 보다 짧은 주기들이 나타난다. 이 방법은 일반확률과정해석에도 적용할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. Steinhilber et al.; PNAS, 109, 5967, 2012.
- [2] C. J. Wu et al.; Astronomy and Astrophysics, 615, A93, 2018.
- [3] I. G. Usoskin et al.; Astronomy and Astrophysics, 587, A150, 2016.
- [4] R. H. Cameron et al.; arXiv:1307.5988v2[astro-ph.SR].
- [5] R. H. Cameron et al.; Astronomy and Astrophysics, 625, A28, 2019.

Introduction of New Dimension in Analysis for Cycles of Long-term Solar Activity

Ri Hyon Chol, Kim Chol Jun

Recently many works have been done in researches on reconstructions of the past solar activities. But some cycles looked hard to be distinguished from spurious ones. We adopted a new approach in terms of variation of the sampling interval and the difference series. Via this approach, we showed that the Suess/de Vries cycle of 207 years and others have properties of the deterministic cycle.

Keywords: solar activity, solar cycle, Suess/de Vries cycle