

年輪中 ^{14}C 濃度測定による紀元前 4 世紀太陽活動極小期における 太陽活動周期の研究

永治健太郎¹⁾・増田公明¹⁾・中村俊夫²⁾・宮原ひろ子³⁾・松崎浩之⁴⁾・村木綏⁵⁾

- 1) 名古屋大学太陽地球環境研究所, 〒464-8601 名古屋市千種区不老町
TEL : 052-789-4326, FAX : 052-789-4313
E-mail : nagaya@stelab.nagoya-u.ac.jp
- 2) 名古屋大学年代測定総合研究センター
- 3) 東京大学宇宙線研究所
- 4) 東京大学大学院工学系研究科
- 5) 甲南大学理工学部

1. はじめに

太陽活動の指標としてはフレアの規模と頻度、10.7cm 電波強度、黒点数などがあげられるが、中でも黒点数は観測の歴史が比較的長く、太陽活動の数十年以上の時間スケールでの変動を知る上で代表的な指標である。黒点数の変動は、18 世紀以降定常的に存続しているシュワーベサイクル (11 年周期) と 1645 年~1715 年の約 70 年間に亘って黒点が消失したマウンダー極小期の存在を示しているが (Fig. 1) (Hoyt and Schatten, 1998)、西暦 1600 年以前の黒点数の連続的な観測の記録はなく、マウンダー極小期のような太陽活動極小期の性質を知るためには数百~数千年に及ぶ時間スケールでの太陽活動の変動を知る必要がある。そのような太陽長期変動の指標として現在は、年輪、年層やアイスコアに含まれる ^{14}C 、 ^{10}Be などの宇宙線生成核種を用いた研究が行われているが、我々の研究グループでは樹木年輪を試料として用いた際の年代決定精度、時間分解能の高さから ^{14}C を太陽活動の指標として用いる。

IntCal (Reimer et al, 2004) に代表される大気中の ^{14}C 濃度変動からはマウンダー極小期における $\Delta^{14}\text{C}$ の上昇を確認することができる。また、14 世紀半ば~19 世紀半ばには地球全体で平均気温が低下したこと (Little Ice Age) が示唆されており (Fig. 2) (Loehle, 2008)、マウンダー極小期と地球規模の寒冷化の関連が指摘されている。このように、地球環境の変動を評価する上でも太陽長期変動を理解することは重要である。本研究では太陽活動極小期におけるより詳細な太陽活動の変化を調べることで極小期に対する理解を深め、その発生メカニズム解明の足掛かりとすることを目指している。

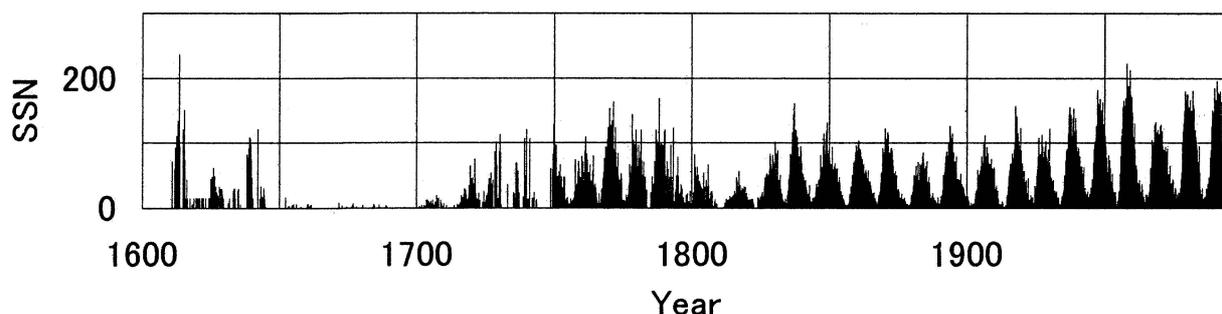


Figure. 1 17 世紀から現代までの太陽黒点数 (SSN: sun spot number) の変動

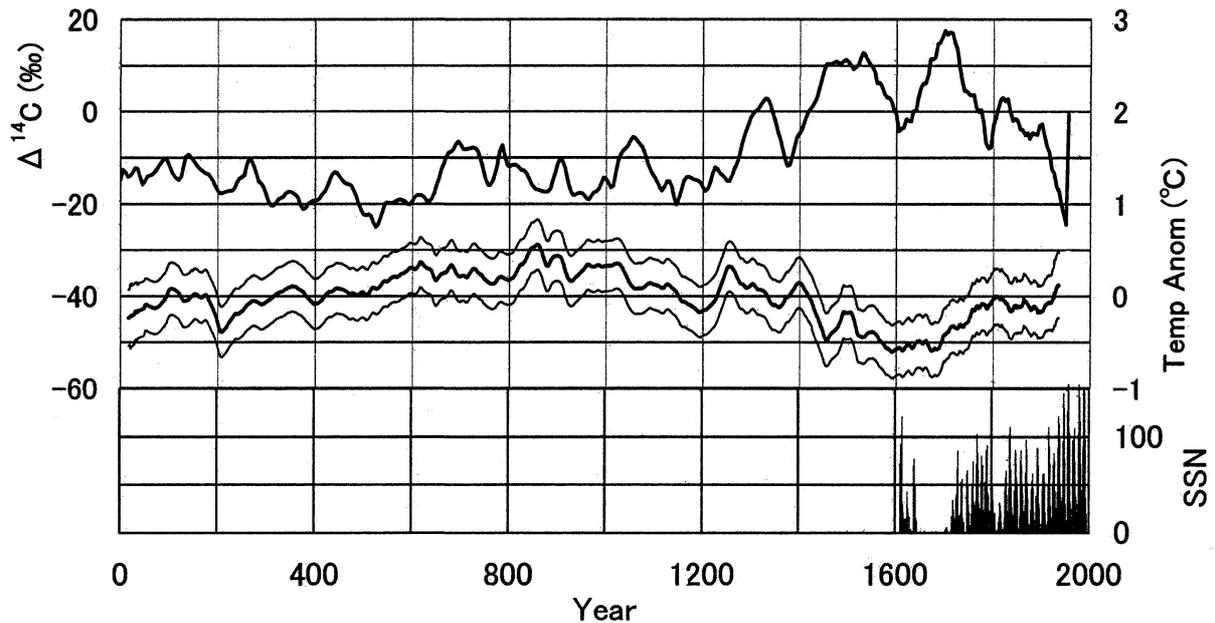


Figure. 2 上段: IntCal04 $\Delta^{14}\text{C}$ 値 (Reimer et al, 2004)、中段: 復元された過去の地球の平均気温とその 95%信頼域、下段: 太陽黒点数 (SSN) の変動

2. 本研究の目的

過去 1 万年間の ^{14}C 濃度変動からは、約 20 の太陽活動極小期を示すと考えられる $\Delta^{14}\text{C}$ の上昇を確認することができ、それぞれの極小期は ^{14}C 生成率のピークの幅によってシュペーラー型 (S 型 ~120 年)、マウンダー型 (M 型 ~80 年) の 2 種類に分類されている (Fig. 3) (Stuiver, 1989)。我々の研究グループではこれまでにシュペーラー極小期 (S 型)、マウンダー極小期 (M 型) を含む 14 世紀後半~18 世紀後半までの単年輪中の ^{14}C 濃度の 1 年毎もしくは隔年での測定を終えており、その結果から以下のことが分かっている。

- ①黒点が消失したマウンダー極小期にもシュワーベサイクルは持続していた。
 - ②マウンダー極小期 (M 型) にはシュワーベサイクルの周期長は、現代の標準的な 11 年に比べて数年長く、約 14 年であった (Miyahara, 2004)。
 - ③シュペーラー極小期 (S 型) にはシュワーベサイクルの周期長は 11~12 年であり、マウンダー極小期に見られた顕著な周期長の変化は見られなかった (Miyahara, 2006)。
- ②は太陽活動極小期においてシュワーベサイクルの周期長が数年長くなる可能性を示唆しているが、③から両者の関連は明確ではない。そこで本研究では新たに紀元前 4 世紀の M 型極小期の測定を行うことで、極小期の型ごとにシュワーベサイクルの周期長と極小期の関連を検証する。

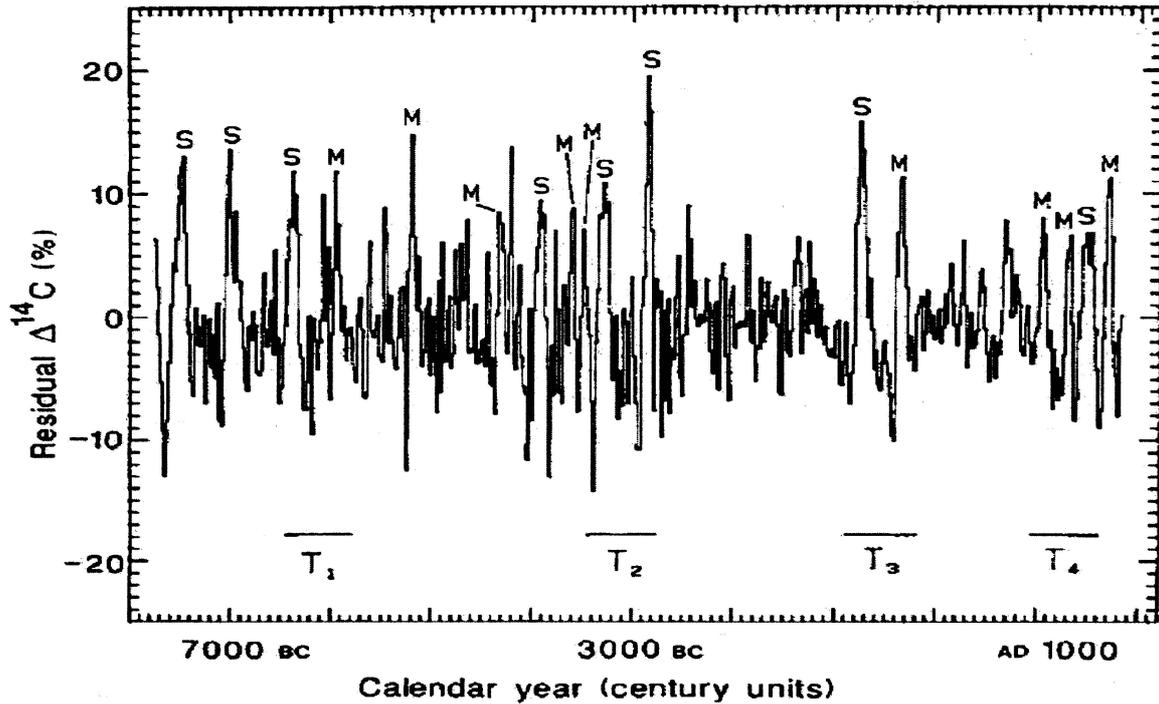


Figure. 3 過去1万年間の $\Delta^{14}\text{C}$ 濃度変動から地磁気の影響と考えられる長期変動成分を差し引いた値、M: M型極小期、S: S型極小期

3. 測定

試料は宮崎県串間市福島川河床から出土したクスノキを用いた(長岡 他, 1998)。試料の推定樹齢は約500年、測定に使用できる年輪数は約300であり、年輪年代は測定によって得た ^{14}C 年代データセットとIntCal04曲線の間のカイ二乗値が最小になる年代を用いた(永治 他, 2007)。

試料調製は、化学洗浄～グラファイト化を名古屋大学太陽地球環境研究所内の実験室で、ターゲットホルダへのプレスを名古屋大学年代測定総合研究センターもしくは東京大学MALTで行った。AMSによる測定は、名古屋大学年代測定総合研究センターでBC434年～BC284年(隔年)、東京大学MALTでBC434年～BC320年(隔年)を測定し、それぞれのシステムで測定した結果が独立に紀元前4世紀のピークをカバーする。

4. 測定結果

名古屋、MALTそれぞれにおける測定結果の $\Delta^{14}\text{C}$ 値の2点移動平均をFig. 4に示す。同一年輪から複数個のターゲットを調製し、それぞれ測定を行った場合には統計誤差を基に加重平均をその年代の $\Delta^{14}\text{C}$ 値として移動平均を算出した。本来、測定誤差には ^{14}C 計数値に起因する統計誤差と、試料調製システムやAMS測定システムの不安定性に起因する系統誤差が含まれるが、本報告の段階では系統誤差の評価が不十分であるため結果は予備的なものである。

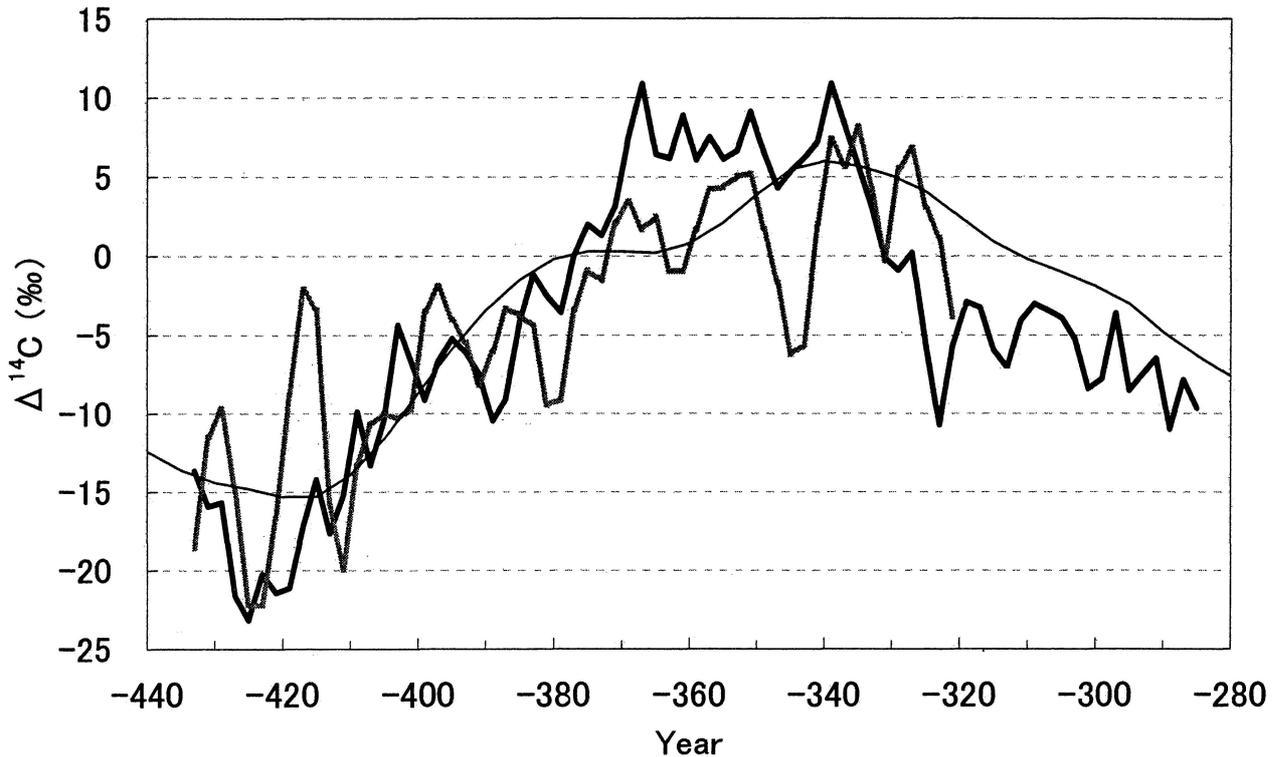


Figure. 4 測定された $\Delta^{14}\text{C}$ 値 (preliminary)、黒細線: IntCal04 (Reimer et al, 2004)、
黒太線: 名古屋での測定結果、灰太線: MALT での測定結果

5. 考察

IntCal データは 5 年値であるため、シュワーベサイクルによる変動を示さない。我々の測定結果は IntCal 同様の、BC420 年頃に立ち上がり BC340 年頃に頂点に達する振幅 20% を超える大きな変動と、数年～十数年の時間スケールでの振幅 10% 以下の細かな変動を示しており、後者は主に測定誤差とシュワーベサイクルの影響による変動であると考えられる。名古屋と MALT の測定結果の一致度合いについて誤差の評価が不十分な現段階で言及することは難しいが、ウェーブレット変換を用いてそれぞれのデータセットの周期解析を行った結果、いずれのデータセットからも BC380 年～BC340 年頃に 11 年より数年長い周期に強いパワースペクトルが得られており、BC4 世紀の極小期においてもマウンダー極小期同様に周期長が数年長くなっていた可能性がある。今後は系統誤差の評価、周期解析結果のノイズに対する有意性の評価を行った上で、BC4 世紀におけるシュワーベサイクルの特性を示すことができると思われる。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、名古屋大学年代測定総合研究センター、東京大学 MALT の皆様には多くのご指導、ご協力を頂きました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

本研究の一部は、文部科学省研究拠点形成費補助金(名古屋大学 21 世紀 COE プログラム No.G-4 「太陽・地球・生命圏相互作用系の変動学」および名古屋大学グローバル COE プログラム「宇宙基礎原理の探求 —素粒子から太陽系、宇宙に至る包括的理解—」)を用いて行われました。

引用文献

- [1] Hoyt, D. V. and Schatten, K. H., *Solar Physics*, 181, 491-512, 1998

- [2] Loehle, C., and McCulloch, J., H., *ENERGY & ENVIRONMENT*, Vol19, No.1, 93-100, 2008

- [3] Miyahara, H., et al., *Solar Physics*, 224, 317-322, 2004

- [4] Miyahara, H., et al., *Journal of Geophysical Research*, 111, A03103, 2006

- [5] Reimer, P., J., et al., *RADIOCARBON*, Vol 46, No.3, 1029-1058, 2004

- [6] Stuiver, M., *Nature*, 338, 405-408, 1989

- [7] 長岡信治 他, 1998, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (I X)

- [8] 永治健太郎 他, 2007, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (X V III)

学会発表

永治健太郎, 北澤恭平, 増田公明, 中村俊夫, 宮原ひろ子, 松崎浩之, 村木綏, 「炭素 14 濃度測定による太陽活動極小期におけるシュワーベサイクルの特性の研究」2008 年 5 月 25~30 日, 日本地球惑星科学連合, 2008 年大会, 幕張メッセ国際会議場

永治健太郎, 北澤恭平, 増田公明, 中村俊夫, 宮原ひろ子, 松崎浩之, 村木綏, 「炭素 14 濃度測定による太陽活動極小期におけるシュワーベサイクルの特性の研究」2008 年 9 月 20~23 日, 日本物理学会, 2008 年秋季大会, 山形大学

永治健太郎, 増田公明, 中村俊夫, 宮原ひろ子, 松崎浩之, 村木綏, 「樹木年輪中 ^{14}C 濃度測定による紀元前 4 世紀太陽活動極小期における太陽周期活動の研究」, 2009 年 1 月 14~15 日, 日本 AMS 研究協会, 第 11 回 AMS シンポジウム, 名古屋大学

Variation of the solar cycle length during the grand solar minimum in the 4th century B.C. deduced from ¹⁴C contents in Japanese camphor tree rings

Kentaro Nagaya¹⁾, Kimiaki Masuda¹⁾, Toshio Nakamura²⁾,
Hiroko Miyahara³⁾, Hiroyuki Mtsuzaki⁴⁾, Yasushi Muraki⁵⁾

- 1) Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan
Tel : +81-52-789-4320, Fax : +81-52-789-4313
- 2) Center for Chronological Research, Nagoya University
- 3) Institute for Cosmic Ray Research, Tokyo University
- 4) School of Engineering, Tokyo University
- 5) Faculty of Science and Engineering, Konan University

Variation of the sunspot number, which reflects solar activity, has shown the periodicity of around 11-year since the early 18th century. However, in the period of 1645 to 1715 AD sunspots were almost absent, and this period is called the Maunder Minimum, one of grand solar minima implying weak solar activity. Variation of solar activity in grand solar minima can be investigated by determining the concentration of cosmogenic isotope ¹⁴C in annual tree rings. We previously obtained the ¹⁴C records of 1413 to 1745 AD including the Spoerer Minimum (1416-1534 AD) and the Maunder Minimum with annual time resolution. As a result of frequency analysis of these ¹⁴C records, we found that the cycle length of the "11-year cycle" during the Maunder Minimum was around 14 years while that during the Spoerer Minimum was modulating slightly from 11 years. This result suggests that a pattern of the "11-year" cycle length variation depends on a type of minima classified by their duration of estimated sunspot absence. In order to verify this hypothesis, we have measured ¹⁴C contents in Japanese camphor tree rings during a possible grand solar minimum in the 4th century B.C. Preliminary result shows the solar cycle length was several years longer than 11 years, as in the Maunder Minimum.