

## 年輪中 $^{14}\text{C}$ 濃度測定によるシュペーラー極小期の太陽活動の研究

宮原ひろ子<sup>1)</sup>, 古澤秀樹<sup>1)</sup>, 増田公明<sup>1)</sup>, 村木綏<sup>1)</sup>, 中村俊夫<sup>2)</sup>, 北川浩之<sup>3)</sup>

1) 名古屋大学太陽地球環境研究所

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

TEL : 052-789-4318, FAX : 052-789-4313

E-mail : miyahara@stelab.nagoya-u.ac.jp

2) 名古屋大学年代測定総合研究センター

3) 名古屋大学環境学研究科

### 1. はじめに

太陽黒点数の記録は古いものでも約 400 年前までのものしかない。しかし、古木などの年輪に含まれる放射性炭素  $^{14}\text{C}$  の濃度を 1 年ごとに測定すると、それ以前に太陽活動がどのような変動をしていたのかを知ることができる。この方法により、過去に太陽活動極小期と呼ばれる太陽活動が極度に低下する時期が何度か起きていたことがわかった。この太陽活動極小期は、過去 1000 年間においては、3 度起きている。この時期は、太陽活動の極端な低下により黒点がほとんど消滅し、地球の気候は寒冷化した。

それでは、この黒点が消滅した極小期において、太陽活動はどのような変動をしていたのだろうか。マウンダー極小期における年輪中  $^{14}\text{C}$  濃度を 2 年ごとに測定した Kocharov らは、マウンダー極小期において、11 年周期が減衰し、22 年周期が強くあらわれていたことを指摘した。

そこで我々は、この特性が何を意味するのか、またこの特性が太陽活動極小期に共通であるのかを明らかにするために、マウンダー極小期とシュペーラー極小期における太陽活動の特性を調べることにした。現在までに、シュペーラー極小期の年輪中  $^{14}\text{C}$  濃度をほぼ 1 年ごとに測定した結果が得られているので、その変動から示唆されたシュペーラー極小期における太陽活動の特性について報告する。

### 2. 太陽活動と $^{14}\text{C}$

放射性炭素  $^{14}\text{C}$  は、宇宙線と地球大気との相互作用により生成される。太陽磁気圏に突入する宇宙線は、太陽磁場による遮蔽効果を受ける。そのため、太陽活動が活発になり太陽磁場が強くなると、地球大気に到達できる宇宙線の量は減少し (図 1)、それにともない  $^{14}\text{C}$  の生成量も減少する。逆に、太陽活動が低下すると、 $^{14}\text{C}$  の生成量は増加する。したがって、大気中に存在する  $^{14}\text{C}$  の濃度は、太陽活動の強度と逆相関の変動を示す。

$^{14}\text{C}$  は二酸化炭素として大気中を循環し、その一部は光合成により樹木に取り込まれ年輪を形成

する。したがって、年輪に含まれる  $^{14}\text{C}$  の濃度は、その年輪が作られた年の大気中の  $^{14}\text{C}$  濃度、つまり太陽活動の強度を反映している。

図 2 に過去 1000 年間における年輪中  $^{14}\text{C}$  濃度の変動を示す (Stuiver, 1998)。 $^{14}\text{C}$  濃度が高く出ている時期が太陽活動極小期と呼ばれる時期である。それぞれウォルフ極小期 (1282-1342 AD)、シュペーラー極小期 (1415-1534 AD)、マウンダー極小期 (1645-1720 AD) と呼ばれている。一番最近に起きたマウンダー極小期については黒点数の記録が残っているが、図 3 に示すようにその数は極端に少なく、はっきりとした周期性も失われている。このマウンダー極小期における  $^{14}\text{C}$  濃度を Kocharov らが測定したところ、図 4 のようになった。マウンダー極小期の前後で顕著にあらわれている 11 年周期が、マウンダー極小期では失われており、かわりに 22 年周期が強くあらわれている。

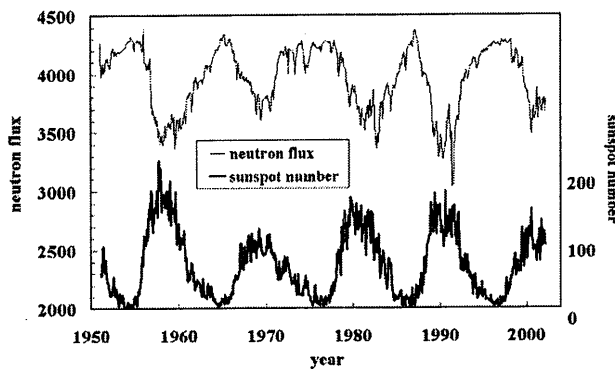


図 1 Climax における中性子モニターによる宇宙線到来量と太陽黒点数

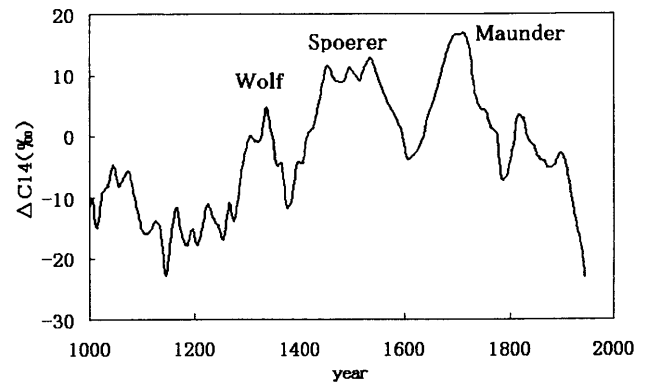


図 2 過去 1000 年間の年輪中  $^{14}\text{C}$  濃度の 10 年値 (Stuiver et al.)

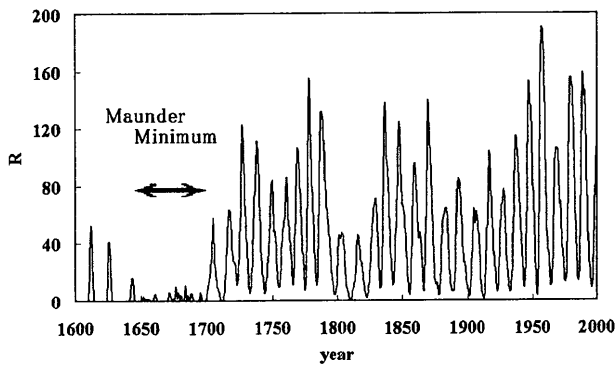


図 3 太陽黒点数の変動

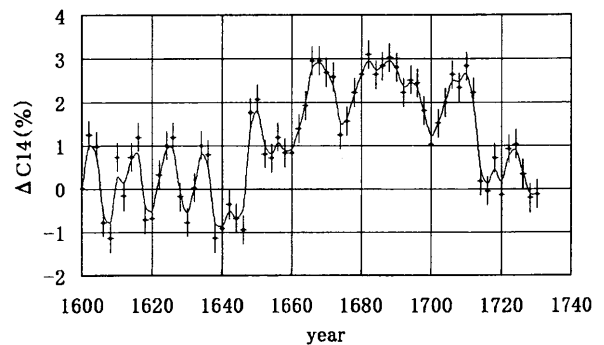


図 4 マウンダー極小期における年輪中  $^{14}\text{C}$  濃度 (Kocharov et al.)

### 3. 試料調製

我々は樹齢 714 年の屋久杉 (図 5) を用い、シュペーラー極小期における太陽活動の変動を調べた。図 5 の屋久杉は、北緯  $30^\circ$  東経  $130^\circ$  にて採取されたもので、半径は約 1.5m である。

この屋久杉から、シュペーラー極小期とその前後にあたる 1410-1550 年の年輪を 1 年ごとに削

りだし、洗浄したのちにグラファイトを合成した。そして、加速器質量分析計で  $^{14}\text{C}$  濃度の測定をおこなった。以下にその詳細を述べる。

#### 削りだし

屋久杉をブロック状 (約  $25\text{cm} \times 9\text{cm} \times 6\text{cm}$ ) に分割し、圧力鍋で 30 分蒸す。柔らかくなったところで、のみやピンセットを用いて年輪を 1 年ごとに剥離する。

#### 粉碎処理

削りだした木片を、粉碎機を用いて 2mm 程度の大きさに粉碎する。

#### 副成分の除去

ソックスレー抽出機を用いて、ベンゼン・エタノール (1 : 1) 混合液により試料を洗浄し、樹脂や灰分などの副成分を除去する。

#### リグニンの除去

塩酸酸性下 (pH3) で亜塩素酸ナトリウムにより試料を洗浄し、リグニンを除去する。試料の量に対し約 1.6 倍の量の亜塩素酸ナトリウムを用い、約  $80^\circ\text{C}$  で 6 時間洗浄した。

#### 熱水による洗浄

試料を熱水に入れ、30 分沸騰させる。最後に蒸留水で洗浄し、吸引ろ過したのちに、オーブン ( $80^\circ\text{C}$ ) で乾燥させ、セルロースを得る。

#### 燃焼 ( $\text{CO}_2$ 化)

真空ラインを用いて、セルロース約 8mg を酸化銅約 1g とともにバイコール管に封じる。これを電気炉 ( $850^\circ\text{C}$ ) で 3 時間加熱し、セルロースを燃焼させる。そして、真空ラインを用いて、生成したガスを精製し、 $\text{CO}_2$  ガスを得る。

#### グラファイト化

二酸化炭素の水素還元によりグラファイトを得る。その際、鉄粉を触媒として用いる。

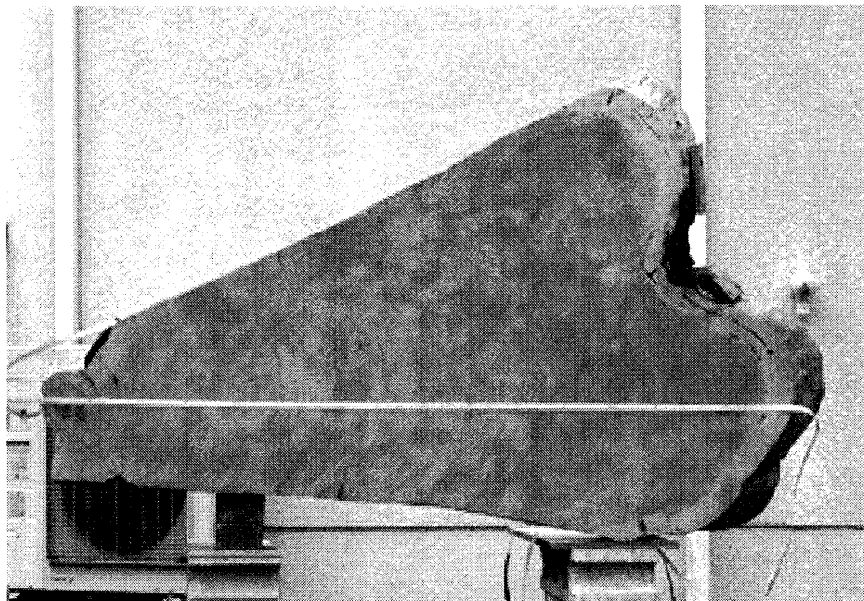


図5 樹齢 714 年の屋久杉

#### 4. 測定結果

1410-1550年の計140試料のうち、2002年度までに計116試料の $^{14}\text{C}$ 濃度の測定を完了した。図6にその結果を示す。また、比較のために Stuiver らの10年値もあわせて示す。

まず、 $^{14}\text{C}$ 濃度の変動にどのような周期性があらわれているかをフーリエ解析により調べた。その結果、7.4年、10.8年、23.3年にピークが得られた(図7)。このうち20.8年のピークは太陽活動の11年周期(シュワーベサイクル)、23.3年のピークは太陽活動の22年周期があらわれているものと考えられる。マウンダー極小期における $^{14}\text{C}$ 濃度の変動において、Kocharovらは11年周期よりも強い22年周期の存在を示唆したが、シュペーラー極小期においては22年周期よりも11年周期のほうが強くあらわれている。

次に、この2つの周期性の振幅が、シュペーラー極小期においてどのように変化したかをバンドパスフィルターにより調べた。図6の測定点の変動から、11年の周期成分と22年の周期成分を抜き出したものを図8に示す。ただし、フーリエ解析の結果を考慮に入れ、10-12年の周期成分と23-24年の周期成分をそれぞれ抜き出した。

図8を見ると、11年の周期成分と22年の周期成分では、その強度変動に明らかな違いが見られる。まず、22年周期がシュペーラー極小期全体にほぼ一貫した強度であらわれているのに対し、11年周期は、1460年から1500年にかけて、強度が弱くなっている。つまり、この40年間でシュペーラー極小期の中でも最も太陽活動が弱まった時期である可能性がある。そして、その間においては、11年周期と22年周期の強度がほぼ同程度になっている。

11年周期の減衰は、太陽活動の低下にともなうものであると考えられるため、マウンダー極小期においても同様に11年周期が減衰し、相対的に22年周期が強くあらわれた可能性がある。このことが、Kocharovらが $^{14}\text{C}$ 濃度の変動に22年周期を見いだした原因であると考えられる。

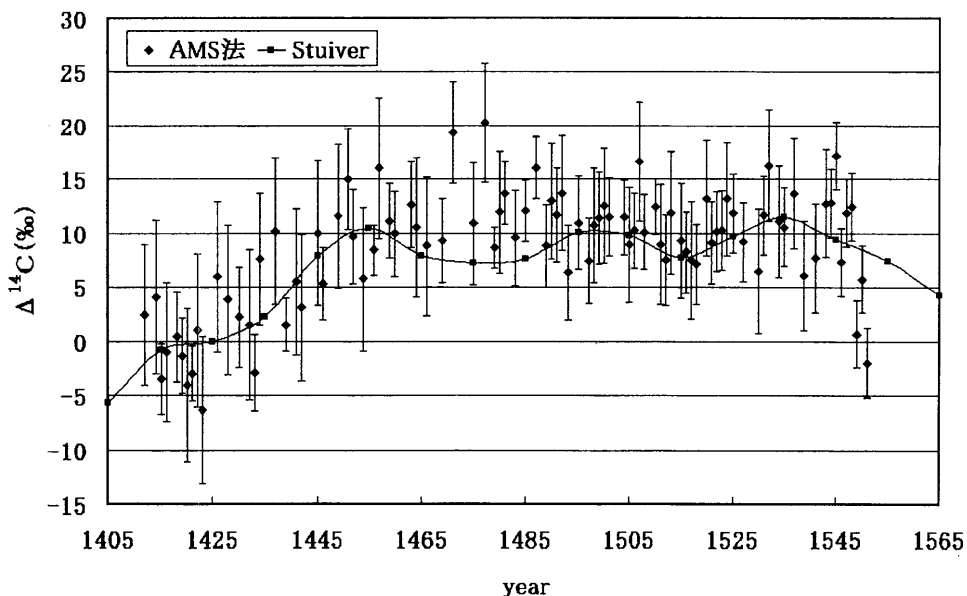


図6 シュペーラー極小期における年輪中 $^{14}\text{C}$ 濃度の変動(測定結果)

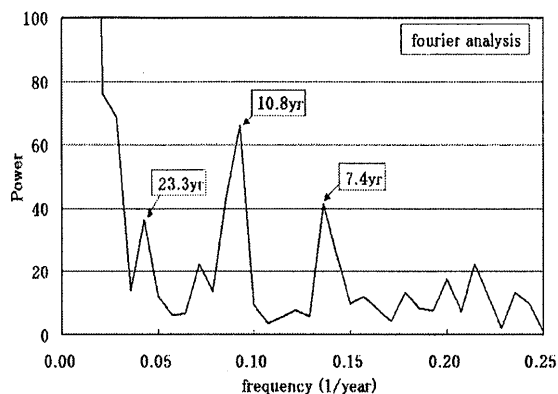


図7 フーリエ周期解析

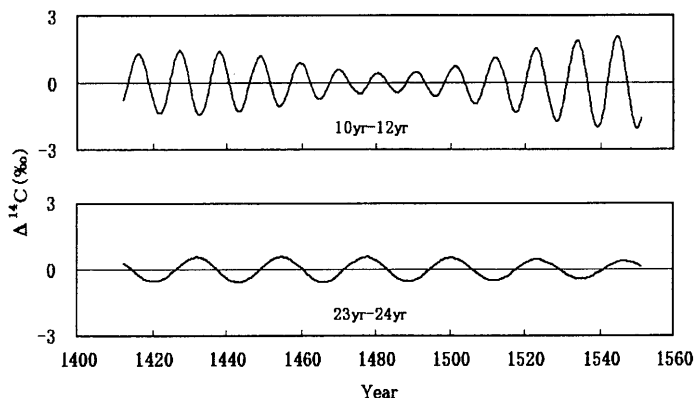


図8 シュペーラー極小期における11年周期と22年周期の強度変動

## 5. まとめ

マウンダー極小期と同様に、シュペーラー極小期においても黒点はほとんど消滅していたと考えられている。しかし、太陽の11年周期はやはり失われてはおらず、太陽が周期的に活動していたということがわかった。しかし、太陽活動が低下するにつれ、11年周期は弱まっており、最も太陽活動が低下したと考えられる1460-1500年においては、22年周期が11年周期と同程度あらわれていた。マウンダー極小期の結果とあわせて考えると、この傾向は太陽活動極小期に共通である可能性が高い。しかし、 $^{14}\text{C}$ 濃度の変動に対して測定誤差が大きいため、最終的な結論に言及することはできない。今後は、さらに測定範囲を広げ、マウンダー極小期における年輪中 $^{14}\text{C}$ 濃度を1年ごとに測定し、太陽活動極小期における太陽活動の特性についてさらに詳しく調べていく予定である。

## 謝辞

本研究を行うにあたって、多くの方々の御指導、御協力を頂きました。特に、名古屋大学年代測定総合研究センターの中村俊夫先生、池田晃子さん、丹生越子さん他センターの皆様には、測定および試料調製等において数多くの御指導と御協力を賜りました。また、名古屋大学環境学研究所の北川浩之先生には、試料調製等において様々な御指導と御協力を賜りました。スイス連邦環境科学技術研究所のJ. Beer先生には、解析を行うにあたり多大な御指導を頂きました。この場をお借りして、皆様に深く感謝いたします。

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金（基礎研究B、代表者：増田公明、課題番号14340071）を使用して行われました。

## 参考文献

1. Kocharov, G. E., 1995 : Radiocarbon content variation and Maunder Minimum of solar activity, *Solar Physics*, 159, 381-391.
2. Stuiver, M., 1998 : High-precision Radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples, *Radiocarbon*, 40, 1127-1151.

## Variation of solar activity during the Spoerer Minimum

Hiroko Miyahara<sup>1)</sup>, Hideki Furuzawa<sup>1)</sup>, Kimiaki Masuda<sup>1)</sup>, Yasushi Muraki<sup>1)</sup>,  
Toshio Nakamura<sup>2)</sup>, Hiroyuki Kitagawa<sup>3)</sup>

1) Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Furo-cho Chikusa-ku Nagoya, 464-8602 Japan

Tel : +81-52-789-4318, Fax : +81-52-789-4313

E-mail : miyahara@stelab.nagoya-u.ac.jp

2) Center for Chronological Research, Nagoya University

3) Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

### Abstract

Radiocarbon  $^{14}\text{C}$ , which is one of cosmogenic radioisotopes, is a good index of change in the solar activity. Investigation of the  $^{14}\text{C}$  contents in each tree ring gives information on the change of solar activity in the past. We have focused on the solar variation during the grand minima, when the solar activity was extremely weak and almost no sunspot appeared. In some prior studies, the existence of the 22-year periodicity during the Maunder Minimum (1645-1720 AD) was suggested.

To clarify whether the 22-year periodicity is common in the grand minima, we have investigated the solar activity during the Spoerer Minimum (1514-1534 AD). We measured the  $^{14}\text{C}$  contents in the 714-year-old Japanese cedar tree by the accelerator mass spectrometry (AMS).

Time series of the data were examined by Fourier analysis and by the band pass filtering. They showed the following periods; 7.4yr, 10.8yr and 23.3yr. The amplitude of 10.8yr period was stronger than that of 23.3yr, though the feature of amplitude variation of them differed. The periodicity of 22 years showed constant amplitude, however 11-year cycle was attenuated during the mid 40 years of the Spoerer Minimum. During the mid 40 years, the amplitude of 11-year cycle and 22-year cycle were equivalent. Thus, It is possible to say that the 22-year periodicity can be observed when the solar activity is quite weakened.

We continue this study to get more detailed characteristics of the solar activity during the grand minima.