

# 紀元前 4 世紀、宮崎クスノキ材年輪中の放射性炭素濃度の測定

永治健太朗<sup>1)</sup>・北澤恭平<sup>1)</sup>・増田公明<sup>1)</sup>・村木綏<sup>1)</sup>・宮原ひろ子<sup>2)</sup>・中村俊夫<sup>2)</sup>

- 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 : 052-789-4320, 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

## 1. はじめに

試料に含まれる  $^{14}\text{C}$  濃度を測定することでその年代を決定する炭素年代法においては、大気中の  $^{14}\text{C}$  濃度が太陽活動、地磁気の変動等の影響を受けて増減するため、 $^{14}\text{C}$  年代を実年代に較正するための較正曲線が必要となる。我々はこれを逆に利用し、年代が既知である樹木年輪中の  $^{14}\text{C}$  濃度を測定することで太陽活動の変動を調べている。

黒点数の変動に見られるように、太陽は 11 年ごとに活動期→衰退期→活動期を繰り返しているが(この周期性はシュワーベサイクルと呼ばれる)、望遠鏡を用いた黒点観測が始まった 17 世紀以降の黒点数の変動の記録を見ると、数十年にわたって黒点が消失する太陽活動極小期が存在したことが分かっている。このような無黒点期であっても、その年代に生育していた樹木年輪中の  $^{14}\text{C}$  濃度を測定することで、太陽活動の様子を知ることができる。

Stuiver らによる 1 万年前までの 10 年毎の  $^{14}\text{C}$  濃度の測定の結果から、過去に何度も太陽活動極小期が起こったことがわかっている。我々の研究グループでは 15 世紀のシュペラー極小期から 17 世紀のマウンダー極小期にかけて 1 年もしくは 2 年毎の  $^{14}\text{C}$  濃度の測定を既に終えており、その結果から以下のことが分かっている。

- ①黒点が現れなかっ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 年に比べて数年長い、14 年だった。
- ③シュペラー極小期にはシュワーベサイクルの周期長は 11~12 年であり、マウンダー極小期のような顕著な周期長の変化は見られなかった。

Stuiver は太陽活動極小期をその持続期間の長さに応じて 3 種類に分けており、持続期間の長い方から順に、シュペラー型(以下 S 型、持続期間 120 年)、マウンダー型(以下 M 型、80 年)、ウォルフ型(以下 W 型、50 年)と名づけている。これまでの我々の測定結果は、S 型と M 型がシュワーベサイクルの周期長に関して異なる性質を持っている可能性を示唆しており、これを検証するためには新たに別の極小期におけるシュワーベサイクルの周期長を調べ、マウンダー極小期、シュペラー極小期と比較する必要がある。本報告では宮崎県から出土したクスノキ試料を用いて紀元前 4 世紀の太陽活動極小期(M 型)における  $^{14}\text{C}$  濃度の測定を行った結果を報告する。

## 2. 太陽活動と $^{14}\text{C}$

炭素の放射性同位体である  $^{14}\text{C}$  は、一次宇宙線と地球大気との相互作用によって生成される二次宇宙線のひとつである中性子が大気中の窒素原子核に捕獲されることで生成される。荷電粒子である一次宇宙線は太陽磁場を主とする惑星間空間磁場や地磁気によって軌道をそらされるため、地球への到来量は太陽活動に応じて増減する。このように大気中の  $^{14}\text{C}$  濃度は太陽活動の指標となる。大気中で生成された  $^{14}\text{C}$  は酸化されて  $^{14}\text{CO}_2$  となり、 $^{12}\text{CO}_2$ 、 $^{13}\text{CO}_2$  と混合されて地球の炭素循環システム中を循環する。地表ではその一部が光合成によって樹木に取り込まれ、1年ごとに年輪を形成する。したがって、年輪中の  $^{14}\text{C}$  濃度を測定することで最大1年の時間分解能で太陽活動の変動を知ることができる。

図1に過去3000年間の年輪中の  $^{14}\text{C}$  濃度の変動を示す。太陽活動極小期を示す数十年にわたる  $^{14}\text{C}$  濃度の増加が度々起こっていることが分かる。

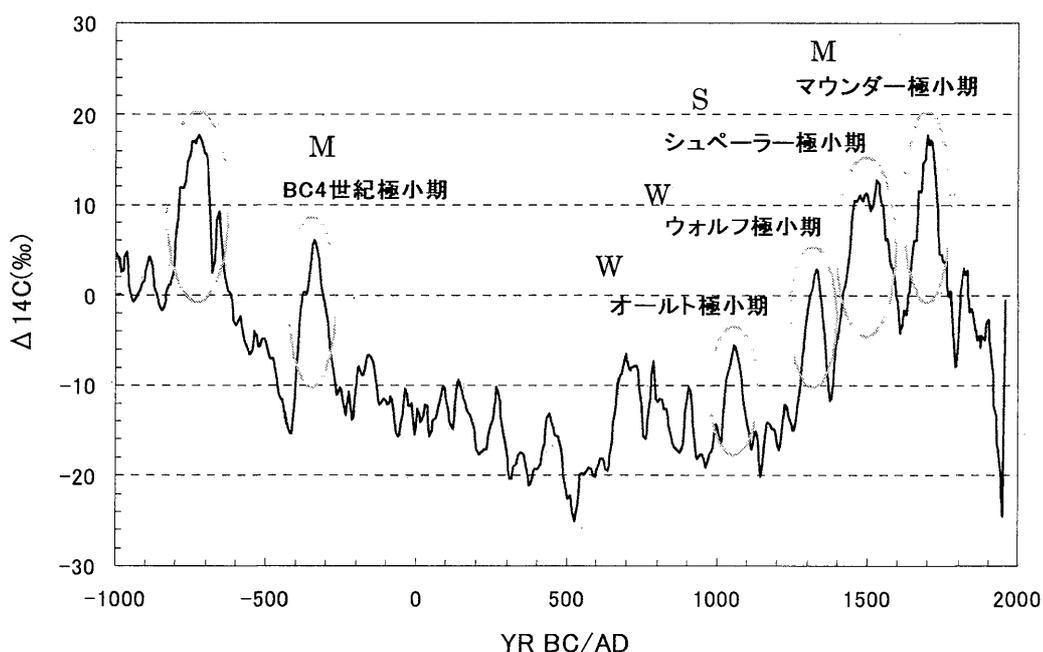


図1：過去3000年間の  $^{14}\text{C}$  濃度変動(Reimer et al., 2004)

図中の S、M、W はそれぞれの極小期の型を示す。

## 3. 試料と測定

測定試料として宮崎県串間市福島川河床から発見されたクスノキを用いた。推定樹齢は約500年、測定に使用できる年輪数は約300であった。1996年に最外年輪の  $^{14}\text{C}$  濃度が名古屋大学年代測定総合研究センターにて測定され、 $^{14}\text{C}$  年代が  $2020 \pm 90$  年という結果が得られているが(長岡信治 他、1998)、BC4世紀極小期を含んでいることを確認するためにはより精度よく年代を決定する必要があり、まずはディスクの内側と外側、その間を2点、計4点のみの測定を行い、IntCal04と比較することでこのクスノキがBC4世紀極小期を含んでいることを確認した。この測定によって最内年輪がBC4世紀極小期の  $^{14}\text{C}$  濃度の立ち上がりの時期にあたるということが判明したため最内年輪から順に隔年で計55点の測定を行った。実験は以下に示す様に試料調製を行い、名古屋大学年代測定総合研究センターのAMSを用いて測定を行った。

## 試料調製

### 1) 年輪の剥離

ブロック状に分割された試料を、カッターナイフを用いて1年輪ごとに剥離する。

### 2) AAA 処理

塩酸(1.2N)と水酸化ナトリウム溶液(1.2N)を用いて洗浄を行い、木片中の副成分等を除去する。

### 3) 塩酸酸性下垂塩素酸ナトリウムによる漂白

塩酸酸性下(1.2N)で亜塩素酸ナトリウム(試料の重量の約 1.6 倍量)による漂白を行い、リグニンを除去し、セルロースを得る。

### 4) 二酸化炭素生成

9mmφバイコール管に約 5mg のセルロースと約 1g の線状酸化銅を入れ、真空ラインで排気し、封管する。これを電気炉にて 850°C で 3 時間加熱し、セルロースを燃焼させて二酸化炭素を得る。

### 5) 精製

真空ライン中の冷却U字トラップで、燃焼時に生成した不純物ガスを除去する。

### 6) 水素還元によるグラファイト生成

9mmφのバイコール管に鉄粉(二酸化炭素に含まれる炭素重量の 1.5 倍量)、樹木試料から得た二酸化炭素、水素(モル比にして炭素量の 2.1 倍量)を入れ封管する。これを電気炉で 6 時間加熱(620°C)し、グラファイトを生成する。



図 2：測定に使用した試料

## 4. 結果

55 点の測定の結果、得られた  $^{14}\text{C}$  年代の変動パターンを IntCal04 と比較し、カイ二乗検定を行ってクスノキの年代を決定した。結果を図 3 に示す。決定した年代を用いて年代補正を行い  $\Delta^{14}\text{C}$  を算出した結果を図 5 に示す。我々の測定結果は全体の傾向としては IntCal04 と整合的であるが、BC360 年付近に  $\Delta^{14}\text{C}$  にして約 15% の差を持つ構造が見られる。また、前後の時系列データと 10% を越える差を持つ点があくつかあるが、太陽活動による  $^{14}\text{C}$  濃度の変動は炭素循環によってなまら

されるため、このような急激な変動が起きることは考えにくい。これらのデータに関しては再度測定を行なう必要があると考えられる。

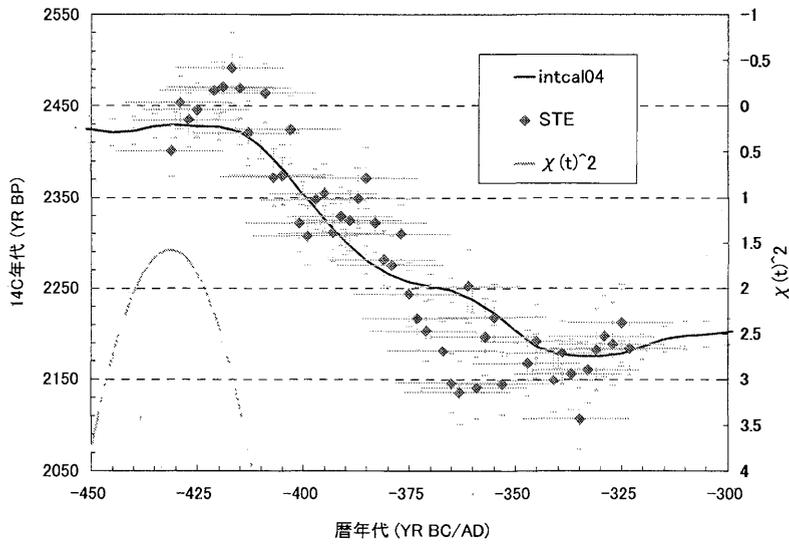


図 3：全測定結果とカイ二乗検定による年代決定の結果。最内年輪の年代を  $t$  として、全測定データと IntCal04 との差が最も小さくなるように  $t$  を決定した。

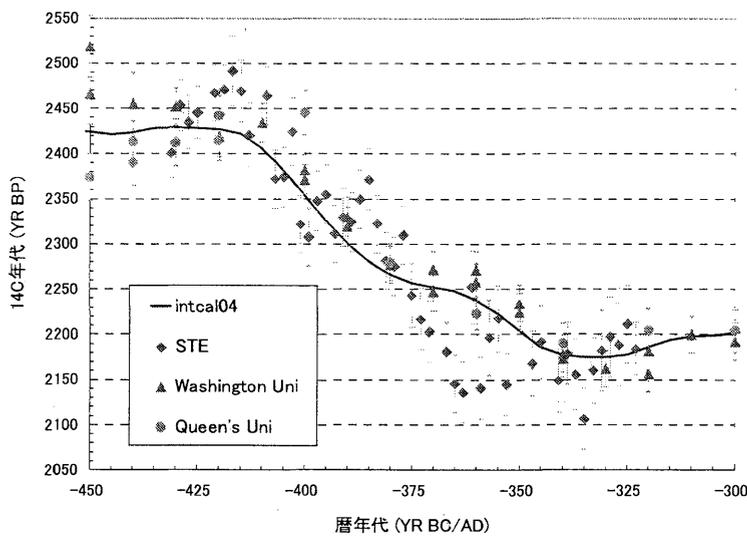


図 4：IntCal04 の作成に用いられた個々のデータとの比較。

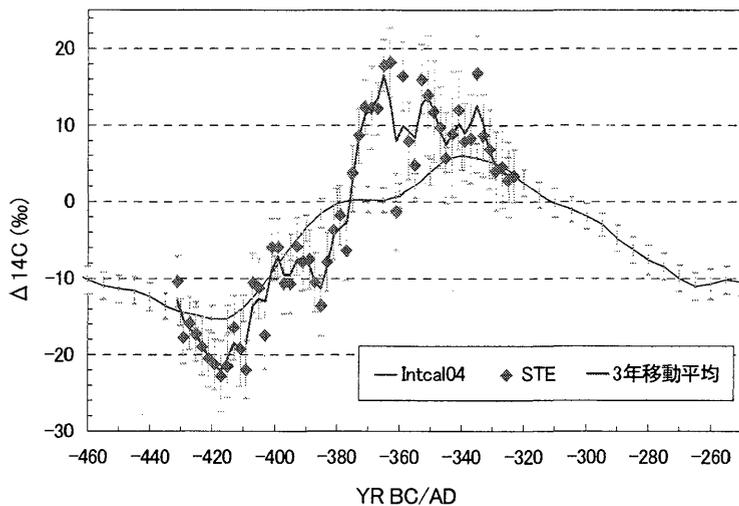


図 5：決定した年代を用いて算出された  $\Delta^{14}\text{C}$ 。

## 5. まとめ

宮崎県産の土埋クスノキを用いて BC4 世紀の太陽活動極小期(M 型)における  $^{14}\text{C}$  濃度の測定を行った。IntCal04 との比較によってクスノキの最内年輪の年代を BC431 年と決定し、BC4 世紀の  $\Delta^{14}\text{C}$  の立ち上がりからピーク付近にかけて測定を行った。今後、 $\Delta^{14}\text{C}$  のピーク後半部分のデータをそろえて周期解析を行い BC4 世紀極小期におけるシュワーベサイクルの周期長を解明することが期待される。

## 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（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」）および日本学術振興会科学研究費補助金（特別研究員奨励費、代表者：宮原ひろ子）を用いて行われました。

## 参考文献

H.Miyahara, et al., 2006, Journal of Geophysical Research

H.Miyahara et al., Advances in Geosciences (accepted)

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

長岡信治 他, 1998, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(IX)

# Measurement of $^{14}\text{C}$ content in 4<sup>th</sup> century BC Japanese camphor tree rings

Kentaro Nagaya<sup>1)</sup>, Kyohe Kitazawa<sup>1)</sup>,  
Kimiaki Masuda<sup>1)</sup>, Yasushi Muraki<sup>1)</sup>, Hiroko Miyahara<sup>2)</sup>, Toshio Nakamura<sup>2)</sup>

- 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

## Abstract

Sunspot numbers, which reflect solar activity, have presented clear 11-year periodicity since the beginning of the 18<sup>th</sup> century. But in the period around 1645 to 1715 AD sunspots were nearly absent, so we can not know if 11-year periodicity of solar activity was continued or not during the period by the records of sunspot numbers. This period is called as the Maunder Minimum.

Radiocarbon  $^{14}\text{C}$ , which is one of cosmogenic radioisotopes, is a good indicator of solar activity too. By determining the concentration of the  $^{14}\text{C}$  in each tree ring, we can get information on the change of solar activity in grand solar minima like Maunder Minimum. Variation of decadal  $^{14}\text{C}$  content measured by Stuiver et al. shows that grand solar minima, a period solar activity was extremely weak for decades or more, occurred several times in the last 10000 years. Stuiver classifies grand solar minima into 3 categories depending on the length of their durations. The Maunder type minima have a period of  $\sim 80$  yr and the Sporer type minima last  $\sim 40$  yr longer.

We have already obtained the records of  $^{14}\text{C}$  content in Japanese cedar tree rings of 1413 to 1745 AD including the Sporer Minimum and the Maunder Minimum with annual time resolution. As a result of frequency analysis of these  $^{14}\text{C}$  records, we found that the Sun maintained its periodic activity even if during the minima. We found, however, the cycle length of the "11-year cycle" during the Maunder Minimum was around 14 years and that during the Sporer Minimum was around 11 years. This suggests that a pattern of the "11-year cycle" cycle length variation depends on a type of minima. In order to verify this hypothesis, we have measured  $^{14}\text{C}$  content in Japanese camphor tree rings of 431 to 323 BC. The age, when this tree was growing has been determined by comparing  $^{14}\text{C}$  records measured by us with world typical  $^{14}\text{C}$  records called as the IntCal04. The period 431 to 323 BC covers start of  $^{14}\text{C}$  increase to around its peak in the 4<sup>th</sup> century BC solar minimum. We will measure and analyze the  $^{14}\text{C}$  content during the last half of the 4<sup>th</sup> century BC solar minimum and find out the actual cycle length of the "11-year cycle".

(学会発表)

宮原ひろ子, (2006), 9-10 世紀の樹木年輪中 C14 濃度変動による太陽活動の周期性, 日本物理学会 2006 年春季大会(愛媛大学)

永治健太郎, (2006), 樹木年輪中放射性炭素濃度変動を用いた太陽活動の周期性の研究, 日本物理学会 2006 年秋季大会(奈良女子大学)