

古木中の¹⁴C濃度測定による古代宇宙線強度変動の探索

Research of an ancient cosmic ray intensity variation
by ¹⁴C concentrations measurement in old woods

佐藤 太一¹⁾ 櫻井 敏久²⁾ 鈴木 佳代¹⁾ 高橋 唯¹⁾

Taiichi SATOU, Hirohisa SAKURAI, Kayo SUZUKI, Yui TAKAHASI,

¹⁾山形大学大学院理工学研究科 ²⁾ 山形大学理学部

本研究は、古木年輪試料中の¹⁴C濃度を測定し、2万6千年前の太陽活動における11年および22年周期変動の抽出を目的としている。今年度は、1年輪おきの33年輪の系列測定の結果について考察した。

キーワード：古木単年輪、¹⁴C濃度変動、2万6千年前、上山年輪試料、複数回系列測定

1. 目的

この研究は、古木年輪試料¹⁴C濃度プロファイルを測定して地球磁場永年変動の情報を利用し測定データからの太陽圏地場変動の抽出と合わせて過去の宇宙線スペクトルを観測するものである。過去5万年までの¹⁴C濃度変動において、約2万年～2万6千年前の¹⁴C濃度は現在に比べ40%～63%と非常に高い値を示し、4万年前頃までに80%程度にまで上昇し、そこから過去に向かって減少している¹⁾。また、約2万6千年后4万年にかけて地磁気の強度は現在の約40%程度であったと報告されていて概略の¹⁴C濃度変動は地磁気変動に対応している²⁾。本研究は2万6千年前の古木年輪試料（上山年輪試料）を用いて、著しく地磁気強度が弱かった時期における単年輪の¹⁴C測定を行い太陽11年周期変動の探索することにより当時の宇宙線スペクトルを観測するものである。

年輪の¹⁴C濃度プロファイルの測定は、2万6千年前の太陽活動における11年および22年周期変動の抽出を目的としている。このために、本研究では上山年輪試料の連続する66単年輪に対して1年輪おきの33年輪を1系列として多数回の系列測定を行った。太陽11年活動に伴う宇宙線強度のモジュレーションの振幅は、Stuiverによると最大で約0.2%と予測される³⁾。一方、上山年輪試料の一回測定の統計誤差は試料年代が古いため1%程度であるので、測定の統計誤差を目標として0.3%以下にするため、複数回の系列測定を行った。

これまでJAEA-AMS-MUTSUで測定を行って得られた結果を中心に、上山年輪試料の測定データを用いて33単年輪試料の複数回系列測定の特性について調べた。

2. 方法

上山年輪試料は山形県上山市宮脇地内の須川の河床から掘り起こした古木試料を単年輪毎に剥離したもので、この古木試料は約2万6千年前に生育していたものである⁴⁾。この剥離した単年輪を、粉碎し有機溶媒洗浄を行い、化学処理によってセルロースを抽出する。このセルロースからAMS測定用試料となるグラファイトを作成する。ここまで行程を、全て山形大学で行っている。作成したグラファイト試料はJAEA青森研究開発センターのタンデトロンAMSにより測定された。上山年輪試料については、連続する66年輪に対して1年輪おきの33年輪(KY103～KY167)を1系列試料として準備した。これまでのJAEAにおいて33試料の系列測定を、4回の系列測定を行った。

3. 測定結果

Fig.1はこれまで行った4回の系列測定の結果を、年輪試料毎に ^{14}C 年代で表している。4回の系列測定の結果は、22753～22139 ^{14}C yr BP の間に分布している。この平均の ^{14}C 年代から構成曲線 IntCal09 を用いて実年代を計算すると 27782～26573 cal BP であった⁵⁾。また、各点の1回測定の統計誤差は、100～142 ^{14}C yr であった。

次に、33 試料の系列測定で得られた4つの系列データの平均値の比較を行った。Fig.2 は各系列データの平均値を比較した結果である。誤差棒は各系列データの標準偏差を示している。4つの系列データ全体の平均値は 22423 ^{14}C yr BP で全体の標準偏差は 133 ^{14}C yr であった。各平均値は、各々の標準偏差の約 1σ 中にあることが確かめられた。また、各系列での標準偏差は 132 ～ 110 ^{14}C yr とほぼ同様な値を示しているため4回の異なるマシンタイム測定での差はほとんど無いと考えられる。

これらの結果から、2 万年を超える古い試料を複数回測定した場合でも、異なるマシンタイムで安定した測定結果が得られていることがわかった。

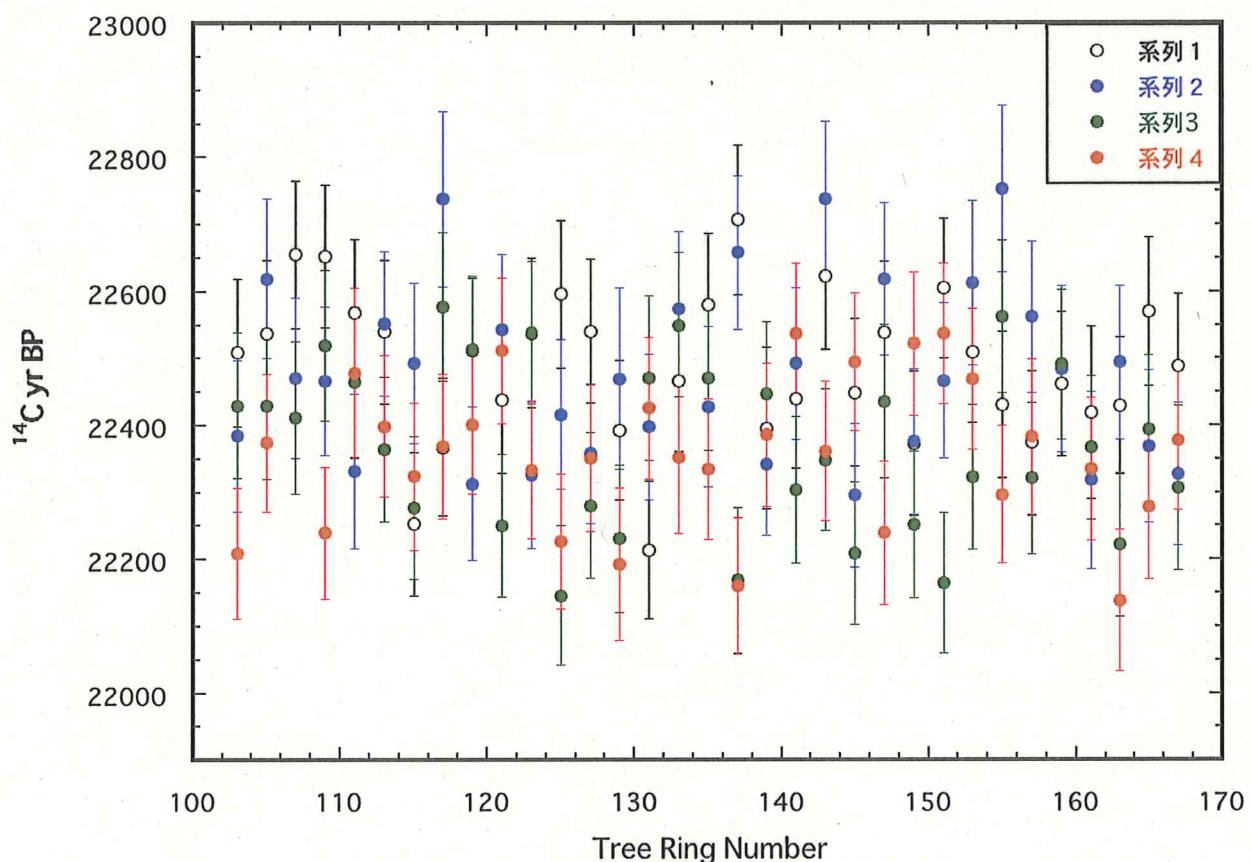


Fig.1 : 4回系列測定の測定結果

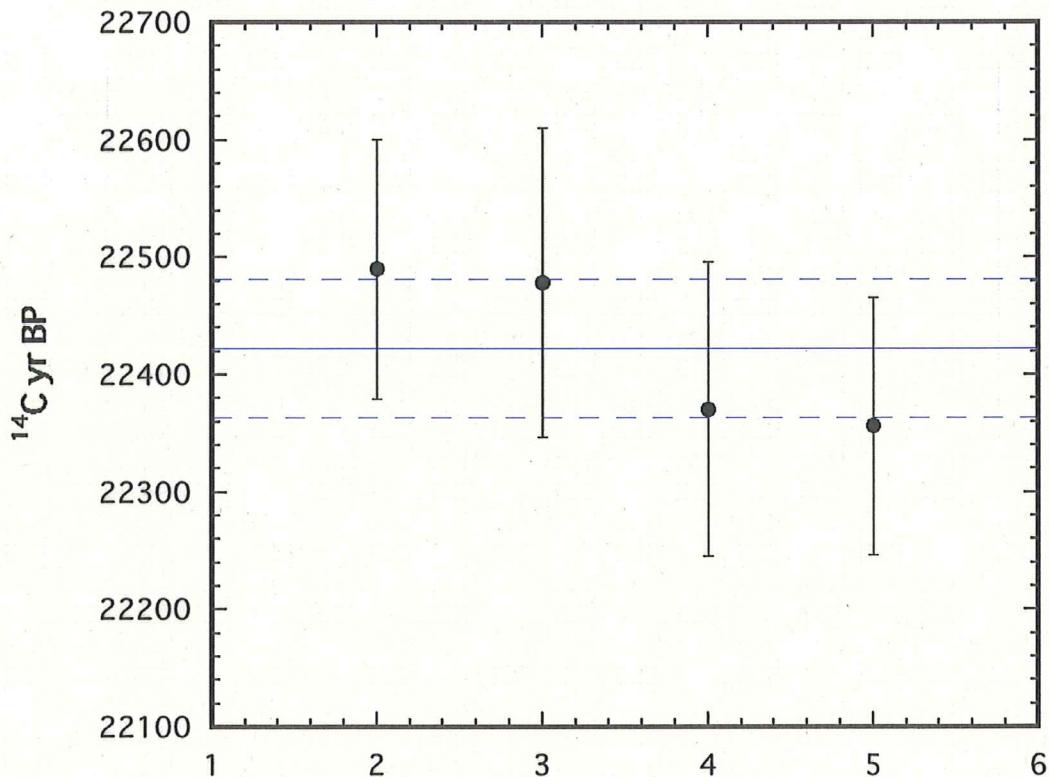


Fig.2 : 33試料系列データの平均値比較

4. 結論・考察

33試料の系列測定で得られた4つの系列データからそれぞれの系列平均値を差し引き抽出した変動成分に対して各年輪で加重平均値を計算し変動成分のみの時系列データを作成した。Fig.3は、33試料のJAEAで測定した4つの系列データを含むから作成した変動成分の時系列データである。各点の統計誤差は、1回測定で $100\text{--}133\text{ }^{14}\text{C yr}$ であるが、4回の系列測定の平均化時系列データの各点の誤差は $53\text{--}66\text{ }^{14}\text{C yr}$ になった。

4回の測定では、統計的有意性をもった議論はまだ困難であるが、各点を折れ線で結ぶと谷の間隔が10年から14年を示している。

ところで、当時の地磁気の強度は現在の値の約40%程度と弱かったと考えられているため、この地磁気効果を考慮して約2万6千年前の太陽11年周期変動に起因する ^{14}C 生成率の変動についてエクセル用プログラム EXPACS^{6), 7), 8)}を用いて見積もった。シミュレーション計算は、その太陽11年周期活動に伴う変動量が、現在が $2.75\text{ }^{14}\text{C kg/yr}$ に対して当時は $4.97\text{ }^{14}\text{C kg/yr}$ となり80.7%大きくなることを示している。従って、 ^{14}C 濃度変動が ^{14}C 生成率の変動割合と同様だと仮定すると、現在の ^{14}C 濃度変動が3~5%にたいして、2万6千年前の太陽11年周期活動伴う ^{14}C 濃度変動は5~9%にまで大きくなると予測される。

今後、33試料の系列測定の測定をさらに4回程度行うことにより、2万6千年前の太陽11年及び22年周期変動に起因する ^{14}C 濃度変動の探索が期待できることがわかった。

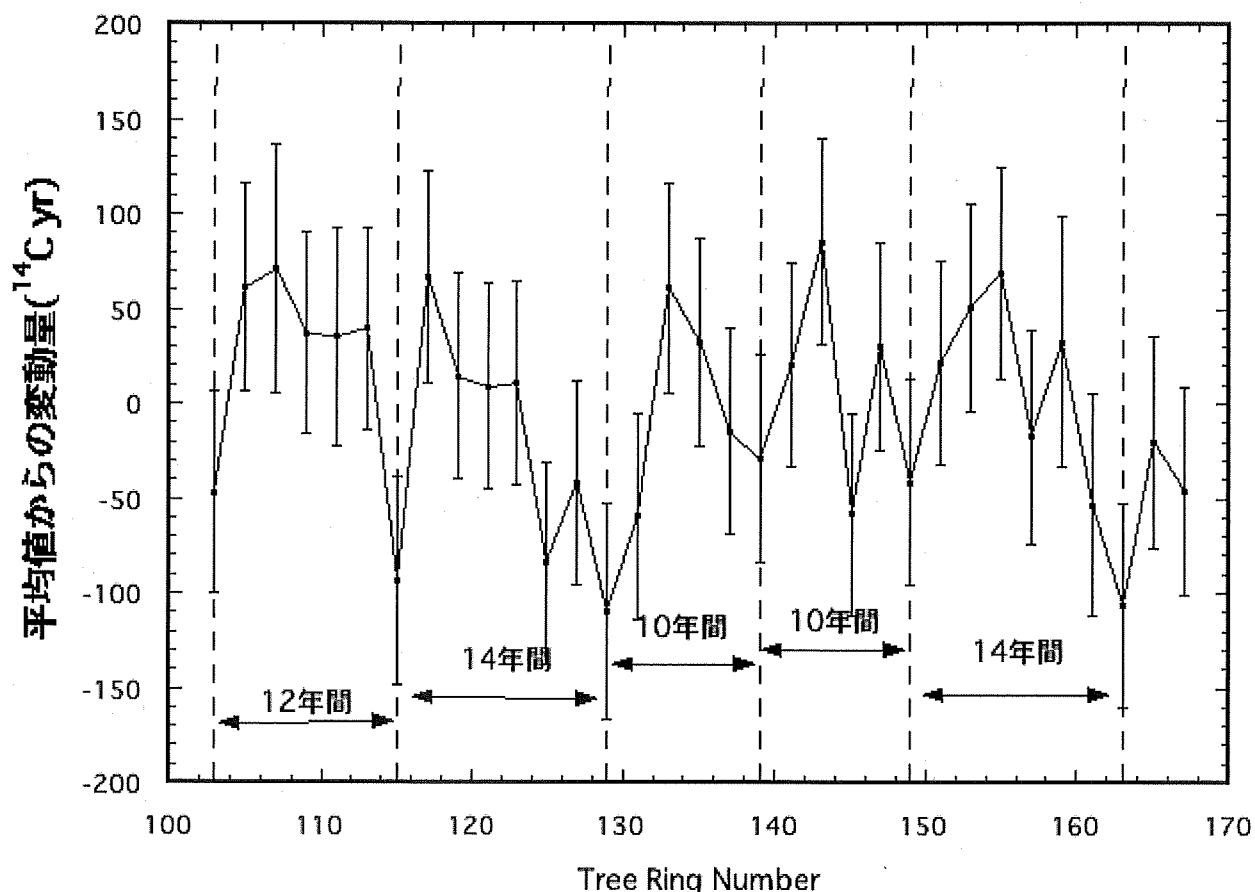


Fig.3 : 33 試料(66 年間)の系列データから
作成した変動成分のみの時系列データ

5. 引用(参照)文献等

- 1) Chiu TC, Fairbanks RG, Cao L, and Mortlock RA: "Analysis of the atmospheric ^{14}C record spanning the past 50000 years derived from high-precision $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{231}\text{Pa}/^{235}\text{U}$ and ^{14}C dates on fossil corals.", *Quaternary Science Reviews* 26, 18–36 (2007).
- 2) Laj C, Mazaud A, and Duplessy JC: "Geomagnetic Intensity and ^{14}C Abundance in the Atmosphere and Ocean During the Past 50 Kyr." *Geophysical Research Letters* 23 (16), 2045–8 (1996)
- 3) Stuiver, M and Braziunas, F."Sun,Ocean,Climate and Atmospheric ^{14}C O₂ :an Evalution of Causal and Spectral Relationships" *The Holocene*(Edward Arnold)3,4 pp.283-305, 1998
- 4) Gandou T, Sakurai H and Kato W et al.: " ^{14}C concentration of single-year tree rings from about 22,000 years ago using a highly accurate measuring method." *Radiocarbon* 46 (1), 949–55 (2004)
- 5) Reimer PJ, Baillie MGL, Bard E et al. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51(4):1111–50.
- 6) T. Sato and K. Niita. Analytical functions to predict cosmic-ray neutron spectra in the atmosphere. *Radiat. Res.*, Vol. 166, pp. 544–555, 2006.
- 7) T. Sato, H. Yasuda, K. Niita, A. Endo, and L. Sihver. Development of parma: Phits based analytical radiation model in the atmosphere. *Radiat. Res.*, Vol. 170, pp. 244–259, 2008.
- 8) EXPACS. <http://phits.jaea.go.jp/expacs/>.