

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 敬久²⁾ 鈴木 佳代¹⁾ 高橋 唯¹⁾ 門叶 冬樹²⁾ 郡司 修一²⁾

Taichi SATOU, Hirohisa SAKURAI, Kayo SUZUKI, Yui TAKAHASI, Fuyuki TOKANAI, Syuichi GUNJI

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16年輪の系列測定の結果を用いて、その特性について調べた。

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と太陽圏磁場変動を利用することにより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、それより過去に向かって減少している¹⁾。また、約2万6千年から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⁾。従って、2万6千年前の年輪試料を用いて、著しく地磁気が弱かったときの太陽圏に到達してきた宇宙線スペクトルを調べることを計画した。

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。この目的のために、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系列として測定を行った。太陽11年及び22年周期活動に伴う宇宙線強度のモジュレーションの振幅は0.5%以下と予測される。一方、上山年輪試料の一回測定の実験誤差は1%程度である。従って、測定の実験誤差を目標として0.3%以下に設定して、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複数回系列測定の実験誤差について調べた。

2. 方法

上山年輪試料は山形県上市市宮脇地内の須川の河床から掘りお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³⁾。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。ここまでの行程を、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ム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で、4回の系列測定を行った。Table 1はマシントイム毎の試料数を記している。その内、33年輪を1系列する系列測定は2回行った。また、33試料中の16試料(KY121～KY151)を1系列とする系列測定は4回の全ての測定において行った。

Table 1 : マシンタイム毎の測定試料数

系列番号	測定試料番号(試料数)
系列1	KY103~151 (24 試料)
系列2	KY103~167 (33 試料)
系列3	KY121~151 (16 試料)
系列4	KY103~167 (33 試料)

3. 研究成果

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¹⁴C年代で表している。4回の系列測定の結果は、22753~22160 ¹⁴C yr BP の間に分布している。この平均の¹⁴C年代から構成曲線 IntCal09 を用いて実年代を計算すると27798~26616 cal BPであった⁴⁾。また、各点の1回測定の統計誤差は、100~142 ¹⁴C yrであった。これまで上山年輪試料の4回の測定のうち、33試料の系列測定については2回行っている。また、33試料中の16試料については4回の系列測定が行った。16試料の測定データを用いて複数回系列測定の特徴を調べた。

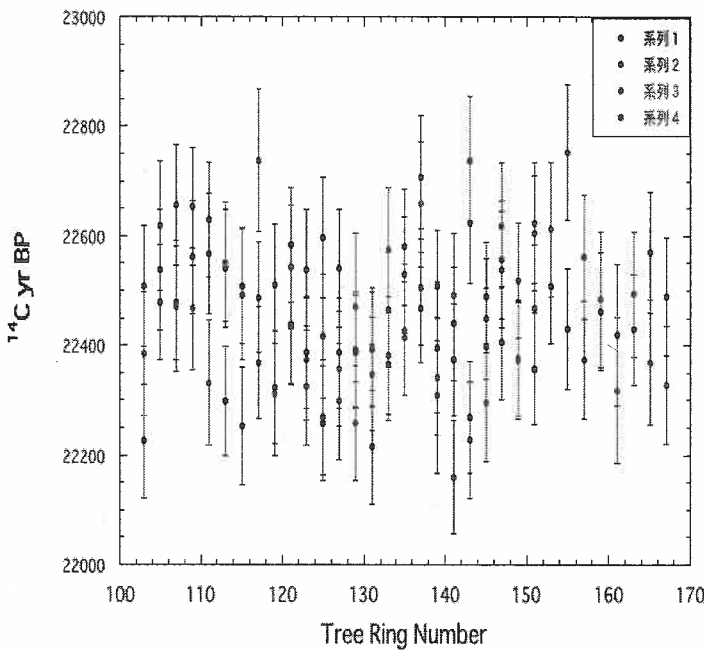


Fig.1 : 4回系列測定の測定結果

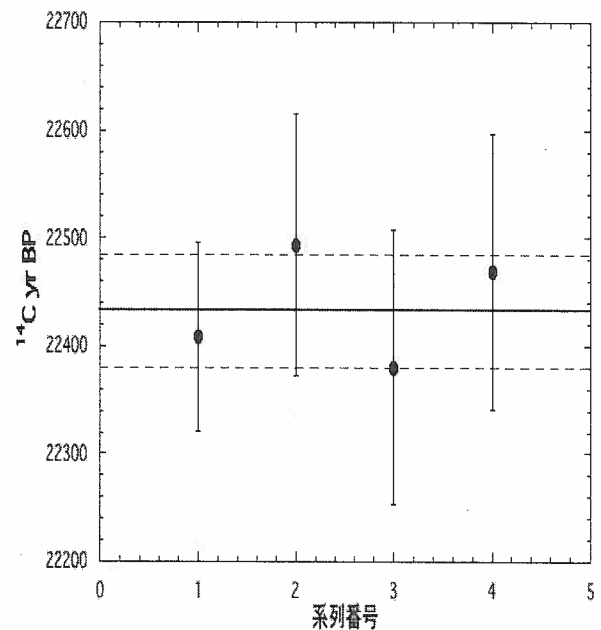


Fig.2 : 16試料系列データの平均値比較

4. 結論・考察

まず、16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22432 ± 56 ¹⁴C yr BPである。それに対し、4つの系列平均値の標準偏差は53 ¹⁴C yrであった。一方で、各系列データの標準偏差は、統計誤差に対して0.8 ~ 1.2σの間の大きさであった。これらの結果から、2万年を超える古い試料を複数個測定した場合でも、異なるマシンタイムにおいて安定した結果が得られていることがわかった。

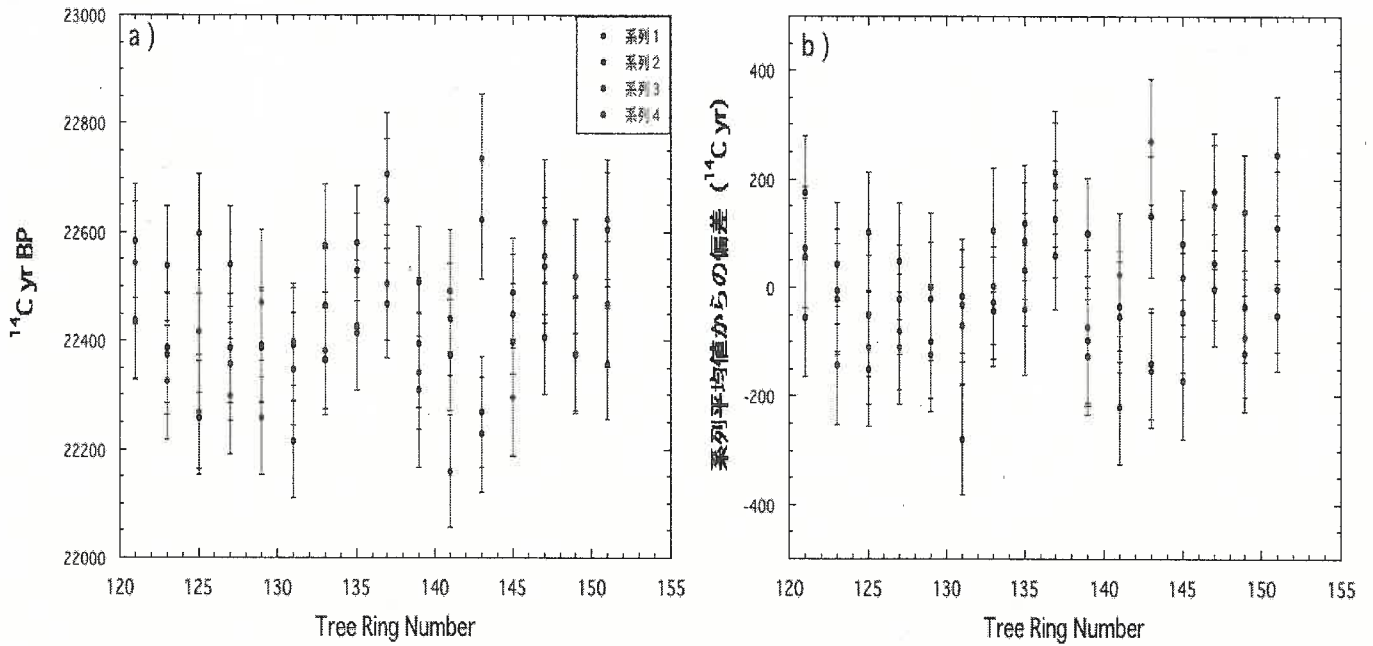


Fig.3 : 16 試料 4 回測定結果
 a) 平均値を揃える前 b) 変動成分のみ

次に、各系列データはマシンタイムや他の装置間の違いを考慮する必要があるため、各系列データから系列平均値を差し引いて平均値のまわりの変動成分の比較を行った。Fig.3 a)は16年輪試料の系列測定結果を示し、b)は変動成分についての結果を示している。

各試料4点の標準偏差は統計誤差の大きさに対して、 $0.7 - 2.3\sigma$ と 2σ を超える大きさのものもあり広い範囲で分布していたが、変動成分はそれぞれの試料で 1σ 付近の大きさになった。これらのことから、各系列データの変動成分はマシンタイムによる影響を受けていないと考えられる。従って、各系列の平均値を用いることで、マシンタイムの平均的な特性を取り除くことが可能で各系列データの変動成分を抽出することができることがわかった。

続いて、16試料の系列測定で得られた系列データから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平均化時系列データを作成した。

Fig.4は、16試料のJAEAで測定した4つの系列データから作成した平均化時系列データである。各点の統計誤差は、1回測定で $100 - 142$ ^{14}C yrであったが、4回の系列測定の平均化時系列データの各点の誤差は $52 - 57$ ^{14}C yrになった。この時系列データに対し、測定した16単年輪が全て一様な ^{14}C 年代であったと仮説をたてて χ^2 検定を行った。結果、 χ^2 値は24.07 (自由度 : 15)で有意水準 6%となり5%で棄却することはできなかった。

また、この時系列データに11年の期間 (KY131 - KY141) に、6点からなる変動パターンがあった。この6点のうち、両端2点の平均と間の4点の平均の差は 128 ± 54 ^{14}C yrであった。これは、 8 ^{14}C yrの変動を ^{14}C 濃度において0.1%変動とするとその大きさが $1.6 \pm 0.7\%$ の ^{14}C 濃度変動となる。

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年及び22年周期変動に起因する ^{14}C 生成率の変動についてEXPACS^{5), 6), 7)}を用いて見積もった。その太陽周期活動に伴う変動量は現在に比べて82.7%程度にまで大きくなることをシミュレーション計算は示している。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0.3-0.5%にたい

して、2万6千年前の太陽11年周期活動に伴う¹⁴C濃度変動は0.5～0.9%にまで大きくなると予測される。

これらのことから、一年おきの16単年輪（32年間）の複数回系列測定の結果は、11年の¹⁴C濃度変動が現れる可能性を示している。今後、33試料の系列測定の測定回数を増やすことにより、2万6千年前の太陽11年及び22年周期変動に起因する¹⁴C濃度変動の探索が期待できることがわかった。

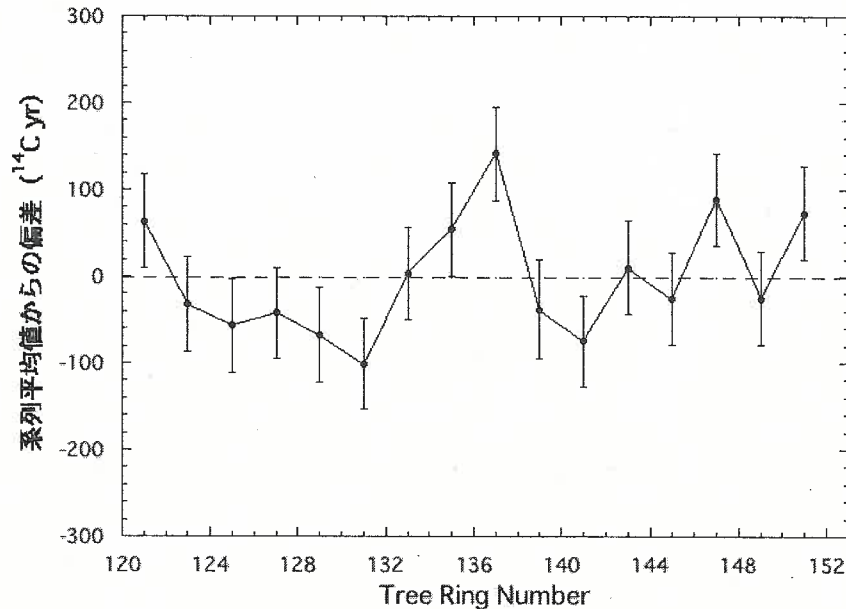


Fig.4 : 16 試料 4 回系列データから
作成した平均値時系列データ

5. 引用(参照)文献等

- 1) Chiu TC, Fairbanks RG, Cao L, and Mortlock RA: "Analysis of the atmospheric ¹⁴C record spanning the past 50000 years derived from high-precision ²³⁰Th/²³⁴U/²³⁸U, ²³¹Pa/²³⁵U and ¹⁴C dates on fossil corals." , *Quaternary Science Reviews* 26, 18–36 (2007).
- 2) Laj C, Mazaud A, and Duplessy JC: "Geomagnetic Intensity and ¹⁴C Abundance in the Atmosphere and Ocean During the Past 50 Kyr." *Geophysical Research Letters* 23 (16) , 2045–8 (1996)
- 3) Gandou T, Sakurai H and Kato W et al.: "¹⁴C concentration of single-year tree rings from about 22,000 years ago using a highly accurate measuring method." *Radiocarbon* 46 (1) , 949–55 (2004)
- 4) 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.
- 5) T. Sato and K. Niita. Analytical functions to predict cosmic-ray neutron spectra in the atmosphere. *Radiat. Res.*, Vol. 166, pp. 544–555, 2006.
- 6) 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.
- 7) EXPACS. <http://phits.jaea.go.jp/expacs/>.