

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19540258
 研究課題名（和文）宇宙線 11 年周期変動パターンによる 4 万年前の大強度変動時宇宙線スペクトルの探索
 研究課題名（英文）AN INVESTIGATION OF COSMIC RAYS BEFORE FORTY THOUSANDS WITH 11-YEAR CYCLE VARIATION PATTERN
 研究代表者
 櫻井 敬久（SAKURAI HIROHISA）
 山形大学・理学部・教授
 研究者番号：60150265

研究成果の概要：放射性炭素は宇宙線が大気中の窒素などと衝突して生成され樹木などに固定されるため、古木年輪は過去の宇宙線強度変動を記録している。4 万年前に地球に降り注いでいた宇宙線強度およびその当時の太陽活動を調べるために、古木の単年輪中の放射性炭素濃度測定を行った。古木年輪による太陽 11 年周期変動探索法について約 2 万 5 千年前の古木により調べ、約 4 万年前の古木単年輪の測定を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：宇宙線物理学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線 放射性炭素 単年輪 古木 太陽活動

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙線が大気と衝突して生成する宇宙線生成核種である放射性炭素 C-14(半減期 5730 年)は、地球、太陽系、銀河系を含めた過去の宇宙環境を記録しており過去の宇宙を探索するための重要なツールの一つである。

(2) 最近、湖底堆積物などの放射性炭素 C-14 の測定から、C-14 大気中濃度は過去 4 万 5 千年の間で現在より 80%も増加していたことがわかってきた。特に 4 万年あたりでは約 2 千年間で 80%まで急激な立ち上がりを示している。

(3) この大気中の C-14 濃度は、1960 年代の大気中核実験による C-14 濃度の増加(約 100%)に匹敵する非常に大きな変動である。

(4) 一方、銀河宇宙線は、太陽磁場により支配されている太陽圏に進入し地球へ到達するまでに太陽磁場により変調を受ける。従って、宇宙線強度変動、そしてそれ故に宇宙線生成核種である放射性炭素の生成量は、太陽活動と密接な関係がある。特に太陽活動の指標である太陽黒点の太陽 11 年周期変動は有名であるが、過去の太陽活動の探索には放射性炭素濃度の変動測定が重要となる。

(5) 宇宙線が大気中で生成する放射性炭素

は C-14 の二酸化炭素となり樹木などに取り込まれ年輪に固定される。放射性炭素は 5730 年の半減期により減衰するが、この半減期を利用することにより古木の年代を推定できる。

(6) 古木単年輪中の放射性炭素濃度を測定し、その変動を調べることににより当時の宇宙線強度を年輪の 1 年の時間分解能を使って測定できる。従って過去の太陽 11 年周期変動の探索が可能である。

(7) しかし、4 万年前程度の過去の年輪試料中の放射性炭素濃度はかなり測定限界に近いいため測定についての特性の基礎研究が重要である。

2. 研究の目的

(1) 過去の宇宙線の 11 年強度変動に着目してその変動パターンから当時の宇宙線スペクトルを探索し太陽活動について調べる。

(2) 過去の宇宙線強度は古木年輪中の宇宙線生成核種 C-14 濃度を測定することにより 1 年の時間分解能で探索する。

(3) 約 4 万年前までの樹木年輪試料を用いて 1 年輪毎の濃度を測定して太陽 11 年周期変動に相当する C-14 濃度変動プロファイルを調べる。

3. 研究の方法

(1) 年輪中の C-14 濃度を 1 年輪毎測定し変動パターンを調べる。特に太陽 11 年周期変動に着目した変動解析を行う。

古木年輪試料は、約 2500 年前の鳥海神代杉、2 万 5 千年前



の上山年輪試料、そして約 4 万年前の蔵王年輪試料を用いた。



図 1 上山年輪試料、蔵王年輪試料

開発した圧力釜での試料煮沸により年輪剥離を 1 年輪毎剥離し、試料油脂成分を除去するため有機溶媒で洗浄後、化学処理によりその年の樹木固定成分で年輪間を移動しないアルファセルロースを抽出した。抽出したセルロースの一部について酸素同位体分析し 0-18 から当時の温度を推定した。

年輪試料の C-14 濃度は、主に東大原子力研総合センタータンデム加速器を使用して加速器質量分析法(AMS)により測定を行った。測定

試料は、アルファセルロースを燃焼して二酸化炭素にし、それから化学処理により加速器質量分析測定のためのグラファイト試料を作成した。グラファイト試料作成までの工程は山形大学の試料作成システムにより行った。

試料の調製法の開発により通常の約 100 倍の感度がある山形大学の極低レベル液体シンチレーション測定システムを使って、年代測定を行い AMS 測定と比較した。

(2) 測定法の開発

2 万 5 千年を越す古木年輪の放射性炭素濃度は、1 回の AMS 測定において計数の統計誤差が 1% 程度となる。

しかし、C-14 は、大気と海洋との間の炭素循環にのるため常にある一定量が大気中に蓄積されており、そのため宇宙線 11 年強度変動も、C-14 濃度変動としては約 1/100 にうすめられてしまう。このため、推定される宇宙線 11 年強度変動に伴う C-14 濃度変動は、約 0.5% 程度である。

1 回の測定では変動の検出は困難であるため多数回の系列測定を行う方法を開発した。

一方、多数回系列測定に対する計数の統計誤差の影響度について乱数を用いたモンテカルロシミュレーションにより調べた。

4 万年以上の古木単年輪の放射性炭素濃度の測定は、バックグラウンドの評価を考慮する必要があるため、測定バックグラウンドデータの考察を行った。

4. 研究成果

(1) 複数回系列測定法についてのシミュレーション

宇宙線強度の太陽 11 年周期変動は、1950 年以降の宇宙線中性子強度観測データから約 30% が予測され、地球炭素循環を考慮すると古木年輪中 C-14 濃度変動は 0.5% 程度と予測される。

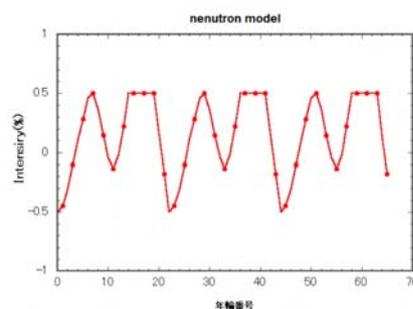


図 2 宇宙線強度変動パターン

1 回の測定による計数の統計誤差が 1% のとき、0.5% の変動を抽出するためには複数回の系列測定が必要となる。1 回 1 回の測定計数はポアソン統計に従うとして乱数を用いたモンテカルロシミュレーションに

より必要な系列測定回数を見積もった。宇宙線強度変動は、中性子強度変動データから図2のようなパターンを仮定した。また比較のために単純な正弦関数による変動に対しても計算した。

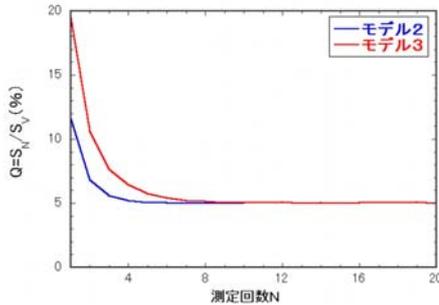


図3 必要な系列測定回数

ランダム変動と区別して0.5%の周期変動を抽出するために必要な最小系列回数は、図3に示されるように宇宙線中性子パターンに対して10回、正弦関数変動に対して7回であった。

(2) 上山年輪試料による複数回系列測定

複数回系列測定の特性をシミュレーションと比較して調べるために、上山年輪試料を用いた。蔵王試料は、放射性炭素濃度が測定限界に近いためかなりの多数回系列測定が必要となる。

1年輪おきの13単年輪、つまり26年輪を1系列として7回のAMS測定を行った。図4に各系列測定の結果をC-14年代にて示す。C-14年代は22749~21506年の範囲(1239年)に分布した。

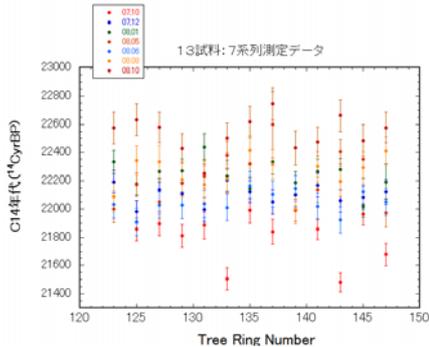


図4 13単年輪試料に対する7系列測定結果

7回の系列測定の平均値は 22243 ± 239 (標準偏差)年であった。これらの系列測定は2つのAMS加速器を使って行っているが、加速器1および2の平均値は、各々 22143 ± 211 , 22429 ± 270 年であった。差は286年であるが、統計誤差の範囲であった。

上山年輪試料の実年代は、これらのC-14年代の平均値から、フェアバンクスの暦年代較正曲線を用いると、 26747 ± 297 年であった。

系列測定の利点は、各系列測定時における

各単年輪試料間の相対的変動を比較できることである。各系列測定の平均値の周りの変動を図5に示す。変動幅は745年であり、測定誤差の約7.7倍であった。

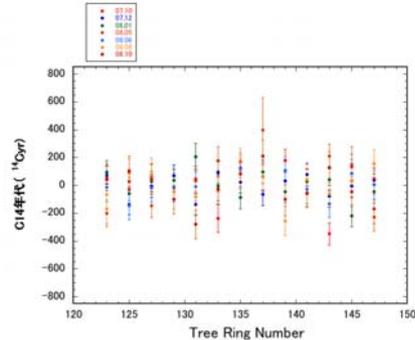


図5 13単年輪試料に対する7系列測定の変動成分

図6は、7回の系列測定について各系列測定の平均値に対する変動成分を各単年輪について系列測定回数7により荷重平均した結果である。変動幅は116年で誤差が35年であり、誤差の約3.3倍であった。プロファイルは26年輪のなかに約12年の山が形成されていることを示している。

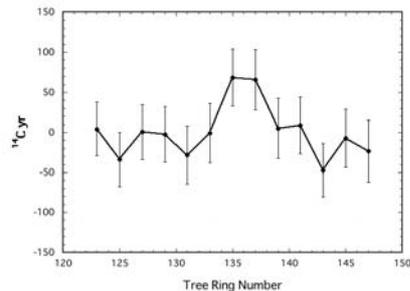


図6 7系列測定の変動成分の荷重平均

2万6千年前の古木単年輪のC-14測定データは、これまで無かった。特に複数回系列測定による特性評価は、世界に先駆けた結果である。

(3) AMS測定におけるバックグラウンド

バックグラウンドは、大きく2つの要因が考えられる。1つ目は試料作成中の混入である。2つ目は、AMSマシン測定そのものにおけるC-14計数である。

試料作成に関わるバックグラウンドは、年輪試料のAMS測定毎に、年輪試料と同一の作成ラインを使って大理石から作成した試料(C1)を測定して評価した。

図7は、標準試料により正規化したC1測定値C14/C12の結果である。C14年代に換算して50812~55681年の間であった。従って、このC14年代値が現在の測定限界であると思われる。

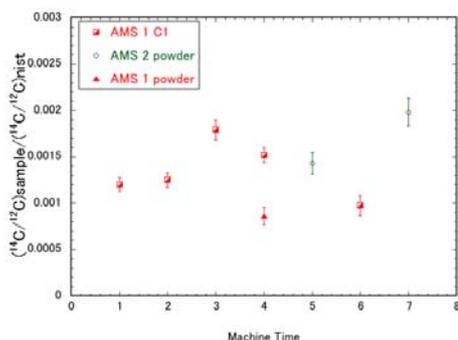


図7 バックグラウンド値の標準試料に対する比

AMS マシン測定そのもののバックグラウンド評価は難しいが、薬品会社が販売しているグラファイトの測定値を用いると AMS 1 で 56672 ± 833 、AMS2 で 52629 ± 679 、 50001 ± 614 年であった。

(4) 蔵王単年輪試料の測定

蔵王試料9単年輪のC14年代は、上山年輪試料と同様にセルロースを抽出して2種類のAMSにより測定された。図8は、各単年輪のC14年代を示している。全体の平均値は、47340 C14yrBP であるが、C14年代は大きく二つの集団を示している。それらは、 46240 ± 683 と 49152 ± 540 C14yrBP であった。また、単年輪ではないが、極低レベル液体シンチレーションカウンターでの測定は 45843 ± 394 C14yrBP を示した。測定結果には、ばらつきがあるが測定限界に近い古木についての単年輪試料の測定は未知の領域である。この結果から5万年近くの古木まで単年輪測定が可能であることが分かった。

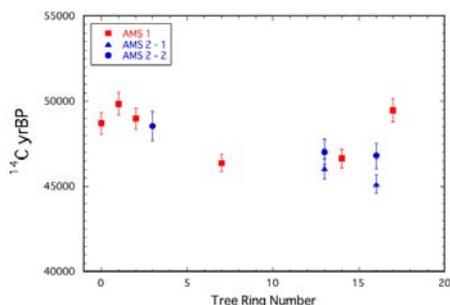


図8 蔵王単年輪試料のC14年代

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2件)

Y.Takahashi, H. Sakurai, K. Suzuki, T. Sato, S.Gunji, F.Tokanai, Variation o

f ^{14}C concentrations of single-yr tree rings at the rapid change in 2600-yrBP, Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference, vol1, 673-676, 2008, 査読無し

K.Suzuki, H.Sakurai, Y.Takahashi, S.Gunji, F.Tokanai, H.Matsuzaki, Y.Sunohara, ^{14}C AGES OF CONSECUTIVE SINGLE YEAR TREE RINGS BETWEEN 2710 AND 2655 CAL BP USING ACCELERATOR MASS SPECTROMETRY, Radiocarbon, 49, 459-464, 2007, 査読有り

〔学会発表〕(計 3件)

K. Suzuki, ^{14}C ages of tree rings during 278 years from 2695 to 2417 cal BP for a Japanese cedar, 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 2008.9.14, Rome (Italy)

T.Sato, Multi-sequential measurements of ^{14}C ages for 66 consecutive tree rings at about 26,000 years before the present, 11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 2008.9.14, Rome (Mexico)

Y.Takahashi, Variation of ^{14}C concentrations of single-yr tree rings at the rapid change in 2600-yrBP, 30th International Cosmic Ray Conference, 2007.7.7, Merida (Mexico)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 敬久 (SAKURAI HIROHISA)

山形大学・理学部・教授

研究者番号: 60150265

(2) 研究分担者

松崎 浩之 (MATSUZAKI HIROYUKI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号: 60313194

(3) 連携研究者

門叶 冬樹 (TOKANAI FUYUKI)

山形大学・理学部・准教授

研究者番号: 80323161