

# 論文内容要旨 (和文)

平成20年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 物理学分野

氏 名 \_\_\_\_\_ 高橋 唯



論文題目 鳥海神代杉単年輪中<sup>14</sup>C濃度の高精度測定データと炭素循環シミュレーションの開発による2600年領域における宇宙線強度変動についての研究

本研究は約2600年前に生育していた日本産樹木である鳥海神代杉を樹木年輪試料として、各単年輪中の放射生炭素 (<sup>14</sup>C) 濃度測定と、開発した地球炭素循環シミュレーションにより当時の宇宙線強度変動を高精度で探索することを目的としている。本研究で着目した2600年前の鳥海神代杉生育期間は、過去8000年間に於いても大気中<sup>14</sup>C濃度が極めて大きなピークから減少し急峻な小ピークを形成しており、宇宙線強度変動と太陽活動の大きな変化が予測され地球環境変化も合わせて極めて特徴的な時期である。

宇宙線は、銀河系内の超新星残骸が有力な発生源候補であり、星間磁気雲の間を荷電粒子が往復するフェルミ加速等が加速機構として考えられている。しかし、詳細な起源と加速機構についての問題は未だ解明しておらず、これらを調べるために宇宙線の発生源から地球までの道筋における伝播機構の正確な把握は重要である。地球近傍で観測する宇宙線は、太陽活動に伴う太陽圏磁場に大きく影響されている。太陽圏は太陽磁場の勢力圏で、恒星間磁場と拮抗して形成されており、太陽系を含み約100Auのサイズとなっている。太陽活動は、11年周期をもつ黒点数の変化をはじめとして長周期までさまざまなモードでの変動があり太陽磁場の変動と密接な関連がある。特に、太陽磁場の11年と22年の周期変動は、宇宙線の太陽圏でのドリフト運動に影響を与え宇宙線強度の時間変動のパターン変化として明瞭に現れる。このように地球で観測する宇宙線強度変動は、太陽活動、太陽圏構造、そして宇宙線の起源、加速、伝播の情報を包含しており、宇宙線と太陽活動、そして地球環境の研究に重要な位置を占めている。

そこで、宇宙空間のスケールから宇宙線、太陽活動を調べるとき過去にさかのぼった様々な時間スケールでの観測が必要となる。しかし、実際の観測データは太陽黒点数では1610年以降、宇宙線強度変動では1950年以降しかない。それ以前の過去の宇宙線および太陽活動を観測するためには、地球の大気や物質において宇宙線から生成された放射性同位体である宇宙線生成核種を用いる方法が唯一の手段である。

宇宙線生成核種のひとつである<sup>14</sup>Cは、1947年Libbyらにより発見され、<sup>14</sup>C年代測定法が確立された。<sup>14</sup>C年代測定法とは、試料中に残存している現在の<sup>14</sup>C量を測定し、試料形成時の炭素濃度が一定であった(過去の<sup>14</sup>C濃度が一定であった)と仮定することによって、その比から試料の形成された年代を推定する手法である。しかし、実際の大気中の<sup>14</sup>C濃度は、一定ではなく、宇宙線変化、地磁気の変動や、太陽活動の変動などの要因で変動しており、地球炭素循環の影響を受ける。樹木年輪は形成年ごとの大気中<sup>14</sup>C濃度を固定するので、1年輪ごとに放射性炭素の濃度変動を過去に遡って測定することにより、宇宙線変化、地磁気や太陽活動の変動を過去に遡った観測が可能となる。

実験測定は、～320年輪(～780-460BC)を有する鳥海神代杉のうちBC640～BC720年にある<sup>14</sup>C年代異常ピーク領域に対して高精度山形大学<sup>14</sup>C測定システムにより液体シンチレーションカウンタQuantulusを用いて1年輪ごとに<sup>14</sup>C測定を行い、<sup>14</sup>C濃度変動を調べた。測定における平均的な誤差は0.2%であった。液体シンチレーション測定の特性と単年輪を利用した測定により世界最高の高時間分解能・高精度の結果が得られた。

(10pt 2,000字程度 2頁以内)

実験測定におけるオフセットを確かめるためLSC法とAMS法の比較を行った。LSC測定、AMS測定ともに2650 yr BP-2600 yr BPにかけて急激な $^{14}\text{C}$ 年代のピークが現れている。LSC測定における典型的な測定誤差は $16\ ^{14}\text{Cyr}$ 、AMS測定は $30\ ^{14}\text{C yr}$ である。各測定値の差の標準偏差は $42.6\ ^{14}\text{Cyr}$ であった。LSC測定とAMS測定の平均値の差は $3.7\pm 5.2\ ^{14}\text{C yr}$ であり、誤差の範囲で一致していることがわかった。異なる測定法にも関わらずLSCとAMS間の整合性は、実験的なオフセットによるバイアスが鳥海データにはないことを確かめることできた。

2650 yr BP-2600 yr BPにかけての急激な $^{14}\text{C}$ 年代のピーク時における1年ごとの高時間分解能・高精度測定データは本研究によるものだけである。そこで、時間分解能は5-10年であるが、同時期の他研究機関のデータであるHeidelberg(欧米産樹木, 10年スパン)、国立歴史民俗博物館(日本産樹木, 5年スパン)との比較を行った。 $^{14}\text{C}$ 年代との比較から鳥海小ピーク期間における $^{14}\text{C}$ 年代の平均値は $2497.1\pm 3.0\ ^{14}\text{C yr BP}$ であり歴博の $2500.0\pm 8.8\ ^{14}\text{C yr BP}$ (日本産樹木)、 $2497.2\pm 7.2\ ^{14}\text{C yr BP}$ (ドイツ産樹木)とよく一致している。これらの結果は鳥海小ピークが世界的イベントであったことを示しており、このピーク領域における $^{14}\text{C}$ 濃度変動について1年輪ごと測定し詳細構造を明らかにした。そしてその中に太陽活動の指標となる11年周期変動(振幅0.2%)を導出した。50年という急激な $^{14}\text{C}$ 濃度変動期間の中に太陽11年周期に関連した構造を見出したのは新しい知見であり重要な研究成果である。

$^{14}\text{C}$ 濃度変動から宇宙線モジュレーションを復元するには、地球炭素循環による効果を見積もることが不可欠である。宇宙線生成核種である $^{14}\text{C}$ は $^{14}\text{CO}_2$ となり大気森林・海洋などを循環する。この炭素循環により大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度の変動は宇宙線のモジュレーションに比べ変動の振幅が小さくなり、時間差が生じる。これまでに地球を大きく大気・海洋表層・深海に分ける3BOXモデルが研究されてきた。本論文では、この3BOXモデルを拡張し $^{14}\text{C}$ の地域性を確認するために大気(北半球3つの地域・南半球)、森林および海洋からなる11BOX炭素循環シミュレーションモデルを開発した。大気圏核実験による $^{14}\text{C}$ 濃度変動プロファイルとの比較から $^{14}\text{C}$ 濃度のグローバルな大気運動パラメータ・生物圏・海洋圏との炭素交換率を決定した。さらに太陽黒点数データ・地磁気永年変化との比較から開発したモデルの有効性を確認した。

$^{14}\text{C}$ 濃度変動データと、開発した炭素循環シミュレーションを用いて、地球環境変化および地磁気変化の影響を評価し宇宙線強度変動を復元した。現代に直近の太陽活動の停滞期であるマウンダー極小期(A. D. 1645-1715)から通常期への太陽11年活動の位相関係と比較して、鳥海神代杉生育期間当時の位相関係を見出すことができた。

鳥海神代杉単年輪 $^{14}\text{C}$ 濃度測定により鳥海小ピークの変動は地球規模での変動を表していることがわかった。また、1年輪ごとの変動は太陽11年周期変動を表していることがわかった。 $^{14}\text{C}$ 濃度変動データと、開発した炭素循環シミュレーションより過去の宇宙線強度変動を推定する手法を確立できた。これらは過去の宇宙線強度変動を復元する上で重要な研究成果である。



# 論文内容要旨 (英文)

平成20年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 物理学分野  
氏 名 \_\_\_\_\_ 高橋 唯



論文題目 Study of time variations of cosmic rays intensity in 2600-yrBP measuring  $^{14}\text{C}$  concentrations of Choukai Jindai cedar single-yr tree rings and employing Global Carbon Cycle simulation method

In order to investigate ancient cosmic ray intensity, we have measured the  $^{14}\text{C}$  concentrations of single-yr tree rings using the Choukai Jindai cedar in Japan ranged from 2730 to 2410 yrBP (780 to 460 yrBC), because the period is a characteristic era implying weaker solar activity and considerable geomagnetic field.

The flux of cosmic rays reaching the earth are modulated by time variations of geomagnetic and heliomagnetic fields. Since  $^{14}\text{C}$  is produced by galactic cosmic rays in the atmosphere of the earth,  $^{14}\text{C}$  contents in tree rings are useful proxy data in reconstruction of cosmic rays in the past time.

For the Choukai Jindai cedar positioned in the period of a sharp hump of  $^{14}\text{C}$  during 2650–2600 yrBP, the  $^{14}\text{C}$  ages of 61 single-yr tree rings were measured with the highly accurate liquid scintillation counting (LSC) system with 0.2% accuracy. Comparing the  $^{14}\text{C}$  concentrations between the LSC and the AMS for the same tree rings, good consistency between the two measuring methods was confirmed. This result indicates that both the measurements are accurate for determining  $^{14}\text{C}$  ages.

The LSC data is compared with a few published data sets on 5-yr or 10-yr wood sections of the east Japanese and the European tree rings indicating that the sharp hump is a global event. Precise measurements showed that the Choukai tree rings in the sharp hump indicate variability related 11-yr solar activity.

The  $^{14}\text{C}$  exchanges among the various reservoirs by the global carbon cycle. In order to reconstruct the time variations of cosmic rays from the  $^{14}\text{C}$  datasets in the period, this thesis described the development of Global Carbon Cycle simulation method using the atomic bomb datasets from the tree ring  $^{14}\text{C}$  concentrations at present time. Using the exchange rates in the global carbon cycle obtained by the simulation method, the effectiveness of the simulation method for the reconstruction of past time cosmic rays was demonstrated.

(12pt シングルスペース 300語程度)