

論文内容要旨 (和文)

平成21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 佐藤 太一



論文題目 2万6千年前の古木単年輪中宇宙線生成核種 ^{14}C の濃度変動に関する研究

本研究は、約2万6千年前に生息していた古木である上山年輪試料を用いて、単年輪毎の放射性炭素(^{14}C)濃度測定を行い、太陽活動に伴う ^{14}C 濃度の年変動を調べて、当時の宇宙線強度変動を探索することを目的としている。成層圏に入射した宇宙線は大気中で二次宇宙線を生成させる。宇宙線生成核種 ^{14}C は、主に二次宇宙線の中の熱中性子と大気中の窒素原子による核反応によって生成される。生成された ^{14}C はすぐに酸化し二酸化炭素として他の炭素と同様に地球炭素循環を行う。その炭素循環中に樹木に取り込まれる。従って、樹木年輪中の ^{14}C 濃度を測定することで、宇宙線強度変動を調べることができる。

過去5万年の ^{14}C 濃度変動において、約2万6千年前の ^{14}C 濃度は現在に比べ60%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。一方で、2万6千年付近の地磁気の強度は、現在に比べ40%程度とかなり弱い時期を示しており ^{14}C 濃度変動は地磁気変動に対応していると考えられる。

太陽活動に伴う宇宙線強度の変動は約100GeV以下の宇宙線に顕著である。しかし、地球上に入射する宇宙線の多くが荷電粒子のであり、運動エネルギーが低い宇宙線は地磁気によるローレンツ力により入射を制限される。それ故、約2万6千年前のような地磁気の強度が弱い時期では、地磁気の影響は小さくなり、より低エネルギーの宇宙線も入射してくる。これにより地磁気強度の弱いことにより、次の2つの効果が現れると考えられる。

効果1. より低エネルギーの宇宙線が入射可能なため、現在より全体の入射量が増える。

これにより、宇宙線生成核種である ^{14}C の大気中濃度は高くなる。

効果2. 太陽活動に伴う宇宙線強度変動は、より低エネルギーの宇宙線に顕著に現れるため、現在より宇宙線強度変動が大きく現れる。従って、それに伴う ^{14}C 濃度変動の変動量も大きくなると考えられる。

宇宙線生成核種である ^{14}C の濃度は、2万6千年前に現在の60%高い値を示している。これは効果1.で説明される影響であると考えられている。一方、効果2.を示すデータについては、今まで発表されておらず調べられていない。そこで本研究では、地磁気の弱かった約2万6千年前の ^{14}C 濃度変動を測定によって明らかにすることで、当時の宇宙線強度変動の変調と太陽活動との関連性を考察する。はじめに、約2万6千年前の太陽活動に伴う ^{14}C 濃度変動の大きさをエクセル用プログラムEXPACSを用いて見積もった。当時の地磁気強度を現在の40%として ^{14}C 生成率を計算した結果、太陽活動に伴う ^{14}C 生成率の変動の大きさは現在の1.6倍になることがわかった。このことから、太陽11年周期活動に伴う ^{14}C 濃度変動は、現在で0.3~0.5%であるのに対して、当時は0.5~0.8%であると推測される。

次に、約2万6千年前の ^{14}C 濃度変動を調べるために、当時の古木である上山年輪試料を用いて単年輪の ^{14}C 濃度測定を行った。具体的には、連続する単年輪試料に対して1年おきの33年輪試料を測定を行い66年間における ^{14}C 濃度の時系列変動を調べた。しかし、予測される太陽11年周期活動に伴う ^{14}C 濃度変動が0.5%以下なのに対し、上山年輪試料の一回測定の統計誤差は2%程度と大きいため多数回の測定が必要になる。そこで、AMS測定法を用いて33年

輪を一系列とする複数回の系列測定を行った。必要最小の系列測定回数は、モンテカルロ法によって13回と見積もられたが、33年輪の系列に対しては16回の系列測定を行った。

これらの測定から上山年輪試料の ^{14}C 年代は、平均値として 22371 ± 95 ^{14}C yr BP であることがわかった。この結果から、IntCal09を用いて上山年輪試料の生育した実年代を算出したところ27705～26556年前であることがわかった。測定によって得られた33年輪の ^{14}C 濃度に対する16セットの時系列データから、それぞれ変動成分のみを取り出し、各年輪で平均を求め平均時系列データとしてまとめた。16回の測定によって各年輪試料の平均誤差は0.5%である。この ^{14}C 濃度の時系列には、48年間で $3.2 \pm 0.4\%$ の大きさの ^{14}C 濃度変動があることがわかった。また、その中に短時間の変動構造が示唆していることがわかった。

本論文は、以上の実験結果および結果に基づく考察の結果についてまとめた。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成24年 2月 13日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 櫻井敬久 (印)
副査 郡司修一 (印)
副査 柳沢文孝 (印)
副査 門叶冬樹 (印)
副査 (印)
副査 (印)

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 地球共生圏科学専攻
氏 名 佐藤 太一

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記する。)

..... 2万6千年前の古木単年輪中宇宙線生成核種 ^{14}C の濃度変動に関する研究
.....
.....

3. 審査年月日

論文審査 平成24年 1月24日 ~ 平成24年2月10日
論文公聴会 平成24年 2月10日
場所 理学部12番教室
最終試験 平成24年 2月10日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入する。)

(1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別 紙

専 攻 名	地球共生圏科学専攻	氏 名	佐藤太一
学位論文の審査結果の要旨			
本論文は、地磁気強度が現在に比べて約 40%も弱かったと考えられている 2 万 6 千年前の宇宙線強度を単年輪中放射生炭素 (^{14}C) の濃度測定により調べ、当時の宇宙線強度変動を明らかにすることを目的としている。地球に進入してくる銀河宇宙線は、太陽活動による太陽圏磁場変動および地磁気の強度変化により変調を受ける。^{14}C は宇宙線が大気に衝突して生成する放射性核種であり光合成により樹木に取り込まれ年輪に固定されているため、単年輪中 ^{14}C 濃度は宇宙線強度の変動を受ける。26000 年前の年輪中 ^{14}C 濃度は極めて微量のため、多数回系列測定法を開発して加速器質量分析法 (AMS) により単年輪中 ^{14}C 濃度変動を求め、^{14}C 生成率変動を計算して地磁気強度の影響を評価した。論文は以下の 5 つの章で構成されている。 第 1 章：本研究の目的・意義を示している。 第 2 章：宇宙線の強度変動、宇宙線と ^{14}C、試料となる樹木年輪中の ^{14}C 濃度、宇宙線強度変動と太陽活動および太陽圏の関係、過去 5 万年の地磁気と ^{14}C 濃度の変動について本研究の背景と基礎概念の関係について記述している。 第 3 章：本研究の中核の一つである地磁気強度と ^{14}C 生成率の関係について、全地球大気に対してシミュレーションを行っている。その結果、2 万 6 千年前の太陽活動および銀河宇宙線スペクトルが現在と同様と仮定すると、太陽活動による宇宙線強度の変調が現在の約 1.6 倍の ^{14}C 生成率変動となることが分かった。 第 4 章：本研究で使用した年輪試料、試料処理、AMS による ^{14}C 測定法についてまとめている。そして複数回系列測定法の導入および太陽活動の変調を評価するために必要な測定回数のシミュレーション法を示しており、13 回以上の系列測定が必要であることが分かった。 第 5 章：連続する 1 年輪おきの 33 単年輪中 ^{14}C 濃度について合計 524 グラファイト試料を作成して 16 回の系列測定を行った。1 回毎の系列測定は、試料年代が古いため統計誤差が大きく系統誤差除去を 2 種類の方法を用いてデータ解析し 33 単年輪の ^{14}C 濃度変動を求めた。その結果、44 年間で $32.4 \pm 4.0\%$ の変動があることが分かった。 第 6 章：炭素循環モデルを用いて ^{14}C 生成率変動を求めた。2 万 6 千年前の地磁気強度を考慮すると太陽活動変動度は現代とほぼ同様であることが分かった。 第 7 章：本研究の成果と結論をまとめて記述している。 本論文は、^{14}C が極めて微量な 2 万 6 千年前の樹木単年輪中の ^{14}C 濃度変動を 5% の高精度で求め、44 年間に $32.4 \pm 4.0\%$ の変動があることを世界に先駆けて明らかにした。 これらの研究成果の一部は、国際専門誌に申請者を筆頭著者とする英文論文 1 編が掲載済み (Radiocarbon, vol. 52 (2010) pp901-906) である。また、国際会議では 1 件の研究成果発表 (Proc. of the 32th Int. Cosmic Ray Conf. 2011@Beijing) を行っている。 以上より、本論文の内容は博士学位論文に値すると判断し、合格と判定する。			
最終試験の結果の要旨			
公聴会における学位論文の内容を要約した約 1.5 時間の口頭発表と質疑応答を最終試験とした。研究の目的、意義、方法、結果、考察、結論の発表内容は関係する専門分野について知識を持ち、順序立ててまとめた説明ができた。また、内容に関わる質疑に対して、自らの知識を基に応答しており、課程博士としての能力を有していると認め、最終試験を合格と判定した。			