

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23654080

研究課題名（和文） 宇宙線生成核種・炭素14の超高精度分析による宇宙線異常増加イベントの年代決定

研究課題名（英文） Determination of absolute ages of annual scale GCR enhancements during the Maunder Minimum based on high precision measurements of radiocarbon content in tree rings

研究代表者

宮原 ひろ子 (MIYAHARA HIRIKO)

東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号：00532681

研究成果の概要（和文）：マウンダー極小期（西暦1645-1715年の黒点消失期）において発生していた約28年に一度の宇宙線の1年スケールの異常増加の正確な年代を決定するため、山形大学高感度加速器質量分析センターに導入された加速器質量分析計を用いて、樹木年輪中の炭素14の測定精度を向上させるための基礎実験を行った。多重測定によって加速器質量分析計の安定性の検証と測定精度向上のためのメソッド開発を行い、従来の1/4以下の測定誤差を達成することに成功した。

研究成果の概要（英文）：We have conducted multiply-repeated measurements of radiocarbon content in annually separated tree rings using the Accelerator Mass Spectrometer at Yamagata University, in order to improve the precision of radiocarbon measurement and to determine the absolute ages of annual-scale GCR events during the Maunder Minimum. We have successfully achieved four times higher precision.

交付決定額

(金額単位：円)

|       | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 交付決定額 | 2,900,000 | 870,000 | 3,770,000 |

研究分野：数物系科学

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、太陽活動、宇宙線生成核種、炭素14、宇宙気候学

### 1. 研究開始当初の背景

太陽系外から地球に飛来する宇宙線のうち数十ギガエレクトロンボルト以下のエネルギーのものは、太陽圏内において太陽磁場の変調を受ける。そのため、太陽活動の様々な周期的変動にともなって地球に飛来する宇宙線のフラックスは変化する。近年、太陽活動の変動にともなう宇宙線フラックスの変化が気候変動に重要な役割を果たしている可能性が高いことがいくつかの研究グループによって報告されており、注目を集めている。しかしながら、近年の数十年間におい

ては、宇宙線変動は太陽放射などの気候変動要因とほぼ同じ変動パターンを有しているため、宇宙線変動が気候変動に果たす役割を他の影響から切り離して評価することが非常に困難である。

一方、17世紀のマウンダー極小期（太陽活動の長期的な低下に伴う長期無黒点期）では、宇宙線の変動が特異になり、他の太陽活動に関連する気候強制力と全く異なる挙動を示すことが明らかになってきている。これは、黒点が極端に減少し、それが継続したことで、太陽圏磁場構造が現在と大きく変わっ

ていたことが原因と考えられる。

具体的には、氷床コアに含まれる宇宙線生成核種・ベリリウム 10 のデータにおいて、太陽活動周期の極小で、宇宙線が 1 年間だけ 40% 程度の異常増加を示すというイベントが発見された。このイベントは、宇宙線が太陽圏の赤道面に沿って地球に飛来する、太陽双極子磁場が負極性のときにのみ観測されている。マウンダー極小期では基本周期が 11 年から 14 年に伸びていたため磁場反転周期は 28 年であったが、上記の宇宙線の増加も約 28 年に 1 度の間隔で観測されている。太陽圏内における宇宙線の変調の物理はまだ解明されていない点が多いが、マウンダー極小期においては磁気ドリフト効果が宇宙線の太陽圏内での循環に重要な役割を果たしていた可能性が高いことが示唆される。

マウンダー極小期において発見されたこの宇宙線異常増加イベントは、宇宙線が地球気候に与える影響を評価する貴重な機会を与えている。実際、この時期の古気候復元データの解析から、周期的に発生した宇宙線異常増加が、小氷期の気候変動パターンの決定に重大な影響を及ぼしていた可能性があることが示唆された。具体的には、宇宙線の異常増加が観測された負極性の活動周期の極小において、1 年スケールの寒冷化やモンスーン活動の変化が観測された。

気候変動は年輪幅などの指標を用いて絶対年代で復元できるほか、古日記等の資料からも絶対年代での気候の年々変動の復元がなされている。一方、上記の宇宙線異常増加が見つかったデータは、氷床コアに基づくため、年代決定に 2~3 年以上の誤差がある。したがって、宇宙線変動と気候データの直接対比を行い、因果関係の検証や、影響の伝搬のプロセスやメカニズムを議論するためには、宇宙線増加イベントの正確な年代を決定することが求められる。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では、宇宙線変動を絶対年代で復元することが可能な樹木年輪を用いて上記の宇宙線イベントを検出するため、樹木年輪に含まれる宇宙線生成核種・炭素 14 の分析精度の向上に取り組んだ。樹木年輪は年輪年代法などにより絶対年代の決定が可能なため、正確な年代で宇宙線の変動を復元することができる。しかしながら、炭素 14 は、炭素循環を経て樹木に取り込まれるため、シグナルが大きく減衰する。従来の加速器質量分析計の精度は 0.3% 程度であり、通常の宇宙線の 11 年変動のシグナル 0.3% とほぼ同程度である。そこで、加速器質量分析計を用いて基礎実験を行い、分析精度向上の可能性を模索した。

## 3. 研究の方法

2010 年に山形大学に導入された炭素 14 専用の小型加速器質量分析計を用いて、基礎実験を行った。マウンダー極小期の年輪を有する室生寺杉を単年輪ごとに分離してセルロースを抽出し、加速器のセッティングを変化させての多重測定により、加速器の安定性の検証、ビーム強度に応じたデータの特異性、安定性を達成するための条件などを検証した。

## 4. 研究成果

以上の基礎実験により、加速器質量分析による従来の 1/4 以下の測定誤差を達成することに成功した。また、グリーンランド氷床コア中のベリリウム 10 によって検出されている宇宙線異常増加イベントに関連していると思われる炭素 14 濃度の単年増加を確認し、暫定的な年代を決定した。今後、さらなる基礎実験により安定的に高精度を達成するための手法を開発し、上記イベントについて最終的な年代を決定する。本研究で達成した精度で連続的にデータを取得することが可能になれば、宇宙線が気候システムに及ぼす影響をトレースできる重要な標識が確立できると考えられる。

## 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 11 件)

(1) Tokanai, F., Kato, K., Anshita M., Sakurai, H., Izumi, A. Toyoguchi, T., Kobayashi, T., Miyahara, H., Ohyama, M. and Hoshino, Y., Present Status of the YU-AMS system, Yamagata University, Radiocarbon, 査読有, 55, 3-4, 2013, in press.

(2) Kataoka, R., Miyahara, H., and Steinhilber, F., Anomalous  $^{10}\text{Be}$  spikes during the Maunder Minimum: Possible evidence for extreme space weather in the heliosphere, Space Weather, 査読有, 10, S11001, 2012.  
doi:10.1029/2012SW000835.

(3) Obrochta, S.P., Miyahara, H., Yokoyama, Y., and Crowley, T.J., A re-examination of evidence for the North Atlantic "1500-year cycle" at Site 609, Quaternary Science Reviews, 査読有, 55, 23-33, 2012.  
doi:10.1016/j.quascirev.2012.08.008.

(4) K. Nagaya, K. Kitazawa, F. Miyake, K. Masuda, Y. Muraki, T. Nakamura, H. Miyahara, H. Matsuzaki, Variation of the Schwabe Cycle Length During the Grand Solar Minimum in the 4th Century BC Deduced from Radiocarbon Content in Tree Rings, *Solar Physics*, 査読有, 280, 223-236, 2012.

doi:10.1007/s11207-012-0045-2.

(5) Steinhilber F., Abreu J., Beer J., Brunner I., Christl M., Fischer H., Heikkila U., Kubik P., Mann M., Miller H., Miyahara H., McCracken K.G., Oerter H., Wilhelms F., 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 査読有, 109, 5967-5971, 2012.

doi:10.1073/pnas.1118965109.

(6) 宮原ひろ子, 横山祐典, 宇宙線と気候変動, *物理科学月刊誌「バリテイ」*, 査読無, 27, 3, 2012.

(7) Y. Muraki, K. Masuda, K. Nagaya, K. Wada, and H. Miyahara, Solar variability and width of tree ring, *Astrophys. Space Sci. Trans.*, 査読有, 7, 395-401, 2011.

(8) P. K. Hong, H. Miyahara, Y. Yokoyama, Y. Takahashi, M. Sato, Implications for the low latitude cloud formations from solar activity and the Quasi-Biennial Oscillation, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 査読有, 73, 587-591, 2011.

[学会発表] (計15件)

①宮原ひろ子, マウンダー極小期における太陽活動・太陽圏変動, 第2回極端宇宙天気研究会, 東京工業大学, 2012.10.1-2.

②宮原ひろ子, 炭素14とベリリウム10の時系列解析に基づく太陽気候研究, 宇宙線生成核種の連続記録と古宇宙線・古環境変動 II, 弘前大学, 2012.8.24-25.

③H. Miyahara, K. Horiuchi, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, H. Motoyama, F. Tokanai, K. Kato, M. Anshita, Periodic cosmic-ray spikes at the Maunder Minimum indicated by the Be-10 content in Greenland and Antarctic Ice cores, Thirteenth International Solar Wind Conference, Hawaii, USA, 17-22 June, 2012.

④ H. Miyahara, Y.T. Yamaguchi, W. Sakashita, Y. Yokoyama, T. Nakatsuka, Y. Aono, M. Morales, Importance of

heliospheric environment as a parameter to determine the multi-decadal variations of terrestrial climate, Thirteenth International Solar Wind Conference, Hawaii, USA, 17-22 June, 2012.

⑤宮原ひろ子, 太陽圏の変動と気候・気象, 第56回気候影響・利用研究会, 気象庁, 2012.3.26. 招待講演

⑥宮原ひろ子, 横山祐典, 堀内一穂, 松崎浩之, 本山秀明, 門叶冬樹, 加藤和浩, 庵下稔, マウンダー極小期における宇宙線生成核種の22年変動について, 日本物理学会, 関西学院大学, 2012.3.24.

⑦H. Miyahara, Effects of Galactic Cosmic Rays on Weather and Climate, The 2nd Nagoya Workshop on the Relationship between Solar Activity and Climate Changes, 16-17, Jan, 2012, Nagoya, Japan.

⑧ H. Miyahara, Y. Yokoyama, Y. T. Yamaguchi et al., Variations of Solar and Cosmic Ray Cycles at the Maunder Minimum, IAU Symposium 286, Mendoza, Argentina, 3-7 October, 2011. 招待講演

⑨H. Miyahara et al., Decadal Variations of Solar Magnetic Field, Heliosphere and the Cosmic Rays, and Their Impact on Climate Change, SORCE Science Meeting, Sedona, Arizona, USA, 13-16 Sept., 2011.

⑩ H. Miyahara, Y. Yokoyama, Y. T. Yamaguchi et al., Influence of the 27-day Solar Rotational Period on Tropical Convective Cloud Activity, AOGS Meeting, Taipei, Taiwan, 8-12 Aug. 2011. 招待講演

⑪宮原ひろ子, 古宇宙線変動からの太陽活動変動要素の自律的抽出, 研究集会「宇宙線生成核種の連続記録と古宇宙線・古環境変動」, 東大, 2011.6.4.

⑫宮原ひろ子, 宗像一起, 高橋幸弘, 佐藤光輝, 宇宙線27日周期変動の雲活動への影響の可能性について, 日本地球惑星科学連合, 幕張, 2011.5.22-27. 招待講演

[図書] (計1件)

上出洋介・宮原ひろ子訳, *J Eddy*著, 丸善出版, 太陽活動と地球: 生命・環境をつかさどる太陽, 2012, 1-272.

[その他]

ホームページ情報

<http://miyahara-hiroko.webnode.com/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮原 ひろ子 (MIYAHARA HIROKO)

東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号：00532681

(2)研究協力者

門叶 冬樹 (TOKANAI FUYUKI)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：80323161

堀内 一穂 (HORIUCHI KAZUHO)

弘前大学・理工学研究科・助教

研究者番号：00344614

横山 祐典 (YOKOYAMA YUSUKE)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：10359648