

平成30年5月15日現在

機関番号：32681

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13488

研究課題名（和文）トウファ堆積物を用いた宇宙線強度変動復元手法の開拓

研究課題名（英文）Development of a method for reconstruction of cosmic-ray variations using terrestrial carbonate deposits

研究代表者

宮原 ひろ子 (Miyahara, Hiroko)

武蔵野美術大学・造形学部・准教授

研究者番号：00532681

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、古い年代でも厳密な1年分解能で宇宙線変動を復元できる手法を開拓すべく、炭酸塩堆積物に含まれるベリリウム10の基礎分析を行った。トウファ堆積物およびトラバーチン堆積物の濃度特性、トラバーチン堆積物の雨季層および乾季層ごとの濃度、また経年変化の分析を行った。あわせて、ベリリウム9および微量金属元素についても分析を行った。研究の結果、堆積速度の補正を行い、さらに微量金属元素による補正を行うことにより、中性子モニターで測定された宇宙線変動と矛盾しない変動が、トラバーチン堆積物の乾季層のベリリウム10から得られる可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted basic analysis of beryllium-10 content in carbonate sediments to explore methods which enable the reconstruction of past cosmic ray variations with one year resolution. Characteristics of tufa deposits and travertine sediments, concentrations in the rainy and dry seasons, and the secular variation were analyzed. In addition, beryllium-9 and trace elements were analyzed. As a result, beryllium-10 calibrated with beryllium-9 and trace element shows variations that are consistent with cosmic ray variations measured by neutron monitors.

研究分野：宇宙線物理学，太陽物理学

キーワード：宇宙線 宇宙線生成核種 太陽活動 炭酸塩堆積物 ベリリウム10

### 1. 研究開始当初の背景

太陽活動と気候変動には、数十日から数千年に及ぶ様々な時間スケールで、相関関係が見られている。太陽活動には、基本となる11年周期のほかに、200年周期や1000年/2000年周期といった長周期的な変動があり、階層構造をなしている。しかしながら、太陽活動の変動にともなう太陽総放射量の変動は約0.1% (表層気温に換算して約0.05程度)であり、観測されている気温や降水の応答を充分には説明できないため、太陽活動が気候に影響するメカニズムの解明が急務となっている。可能性としては、紫外線が成層圏温度場に影響することにより対流圏に影響している可能性が考えられているほか、太陽磁場により遮蔽される銀河宇宙線が雲核生成/雲粒成長に及ぼしている可能性が示唆されており、多角的に検証が進められている。

現代の気候データから銀河宇宙線の影響を検証する際には、中性子モニターで計測された宇宙線量のデータが用いられる。一方、古気候学的な観点から宇宙線影響を検証する際には、宇宙線の代替指標となる宇宙線生成核種のデータが用いられる。太陽放射と宇宙線変動は、似通った変動パターンを示すことが多いため、宇宙線の影響を厳密に分離するためには、22年周期などの宇宙線特有の変動に着目するほか、地磁気強度変動にともなう宇宙線変動を手掛かりにするなどの方法が考えられる。地磁気強度の低下時には、太陽活動の変動に関連する宇宙線変動成分が増幅することも示唆されており、その間の宇宙線の11年周期/22年周期変動を正確に理解し、古気候データと比較することで、宇宙線影響についての大きな手掛かりが得られる可能性がある。

地磁気変動の時間スケールは、太陽活動の変動に比べて非常に長く、規模の大きな強度低下はおよそ1万年に1度程度しか発生しない。また、強度が極端に低下する地磁気反転期は、数十万年に1度程度しか発生しない。したがって、地磁気変動の観点から宇宙線の気候への影響を探るには、地磁気強度が大きく変動していた古い年代についても、正確な時間軸で宇宙線変動を知ることのできる指標が必要である。

### 2. 研究の目的

過去の太陽活動および宇宙線量の変動は、一般的に、樹木年輪中の炭素14や氷床コア中のベリリウム10などの宇宙線生成核種の分析によって復元される。しかしながら、氷床コアによって得られる時系列データには、年代誤差が伴うほか、古い年代ほど年層が圧縮され時間分解能が下がるという問題点がある。一方、樹木年輪を用いる場合は、1年の分解能でのデータの取得が可能だが、炭素14の半減期が5730年であるため、約6万年前までの分析が限界である。

そこで本研究では、古い年代でも厳密な1

年分解能で宇宙線変動を復元できる手法の開拓を行った。

### 3. 研究の方法

本研究では、中国雲南省にて採取された炭酸塩堆積物(トラバーチン堆積物およびトゥファ堆積物)に含まれるベリリウム10濃度の分析を行い、初期解析、数g試料による分析手法の最適化、また、ベリリウム10のキャリブレーション手法の開拓を行った。トラバーチン堆積物は、トゥファ堆積物に比べてベリリウム10含有量が非常に低いが、明確な年層を持っており、数十万年前についても厳密な1年分解能で宇宙線変動を復元できる可能性を持っている。

本研究では、トラバーチン堆積物およびトゥファ堆積物の濃度特性、トラバーチン堆積物の雨季層および乾季層ごとの濃度、また経年変化の分析を行った。あわせて、原子吸光によりベリリウム9含有量の分析を行い、炭酸塩の堆積速度の補正の妥当性を検証した。また、微量元素元素についても分析を行った。

### 4. 研究成果

分析の結果、ベリリウム9により堆積速度の補正が可能であることが確かめられた。しかしながら、集水域の変化等の影響により、ベリリウム9のみによるキャリブレーションでは、宇宙線変動とのあいだに強い相関は認められなかった。そのため、さらに微量元素による補正を行ってみた。その結果、中性子モニターで測定された宇宙線変動と矛盾しない変動が、トラバーチン堆積物の乾季層から得られる可能性が示唆された。今後、現代のトラバーチン堆積物のさらなる詳細分析により、新たな宇宙線変動の代替指標を確立することができるかと期待される。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5件)

Márta Polgári, Szaniszló Bérczi, Kazuho Horiuchi, Hiroyuki Matsuzaki, Tibor Kovács, Sándor Józsa, Zsolt Bendő, Krisztián Fintor, József Fekete, Zoltán Homonnay, Ernő Kuzmann, Arnold Gucsik, Ildikó Gyollai, János Kovács, István Dódy, 2017, Characterization and <sup>10</sup>Be content of iron carbonate concretions for genetic aspects - Weathering, desert varnish or burning: Rim effects in iron carbonate concretions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 査読有, 173, 58-69.

doi: 10.1016/j.jenvrad.2016.11.005

V.M. Velasco Herrera, W. Soon, G. Velasco Herrera, R. Traversi, and K. Horiuchi, 2017, Generalization of the cross-wavelet function. *New Astronomy*, 査

読有, 56, 86-93.

doi: 10.1016/j.newast.2017.04.012

Kataoka R., Isobe H., Hayakawa H., Tamazawa H., Kawamura A. D., Miyahara H., Iwahashi K., Yamamoto K., Takei M., Terashima T., Suzuki H., Fujiwara Y., Nakamura T., Historical space weather monitoring of prolonged aurora activities in Japan and in China, Space Weather, 査読有, 15, 392-402, 2017.  
DOI: 10.1002/2016SW001493.

Wataru Sakashita, Hiroko Miyahara, Yusuke Yokoyama, Takahiro Aze, Takeshi Nakatsuka, Yasuharu Hoshino, Motonari Ohya, Hitoshi Yonenobu, Keiji Takemura, Hydroclimate reconstruction in central Japan over the past four centuries from tree-ring cellulose 180, Quaternary International, 査読有, 455, 1-7, 2017.

Sakashita, W., Y. Yokoyama, H. Miyahara, Y.T. Yamaguchi, T. Aze, S.P. Obrochta, T. Nakatsuka, Relationship between early summer precipitation in Japan and the El Niño-Southern and Pacific Decadal Oscillations over the past 400 years, Quaternary International, 査読有, 397, 300-306, 2016.

〔学会発表〕(計 17 件)

堀内一穂, 10Be から見た過去の宇宙線変動, 「宇宙線考古学」研究会, 名古屋大学東山キャンパス, 2018年3月10日.

Kazuho Horiuchi, Hiroko Miyahara, Wataru Sakashita, Hiroyuki Matsuzaki, Limin Zhou, Hongyang XU, Measurement of beryllium-10 in endogenic travertine deposits at Baishuitai, China: A pilot study. The Fourteenth International AMS Conference, University of Ottawa campus, Ottawa, 2017.

Hongyang Xu, Hiroko Miyahara, Kazuho Horiuchi, Limin Zhou, Reconstruction of the flux of galactic cosmic rays using travertine deposits: A pilot study, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2017.

H. Miyahara, W. Sakashita, K. Horiuchi, L. Zhou, H. Xu, H. Matsuzaki, Cosmogenic 10Be in endogenic travertine deposits at Baishuitai, China: A pilot study, 日本地球惑星科学連合, 2017.

H. Miyahara, K. Horiuchi, F. Tokanai, T. Moriya, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, H. Motoyama, Precise dating of cosmic ray

events in the 17th century found by the analysis of beryllium-10 content in Antarctic ice core, 日本地球惑星科学連合, 2017.

H. Miyahara et al., Investigating the cosmic-ray impact on climate in the past, 1st PSTEP International Symposium, 2016.

堀内一穂, ベリリウム同位体による地磁気低下期の宇宙線変動史の解明, 「両極域における第四紀の気候・環境変動史」研究集会, 2016.

堀内一穂・鎌田佳苗・前島 舜・佐々木 祥・佐々木宣欣・山崎俊嗣・藤田秀二・本山秀明・松崎浩之, アイスコアと堆積物の 10Be が示す地磁気極小期の宇宙線強度変動, 日本地質学会, 2016.

堀内一穂・鎌田佳苗・前島 舜・佐々木 祥・佐々木宣欣・山崎俊嗣・藤田秀二・本山秀明・松崎浩之, アイスコアと堆積物の 10Be が示す 17~20 万年前の長周期太陽変動, 日本地球惑星科学連合, 2016.

H. Miyahara, Characteristic Variations of Cosmic Rays During the Maunder Minimum and Their Possible Influence on Climate, AOGS, 2015. 招待講演

宮原ひろ子, マウンダー極小期の太陽圏と宇宙線変動, 第 5 回 極端宇宙天気現象研究会, 2015.

宮原ひろ子, 堀内一穂, 門叶冬樹, 森谷透, 横山祐典, 松崎浩之, 本山秀明, 片岡龍峰, マウンダー極小期の宇宙線変動詳細解析と年代決定, 研究集会「複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開」- 宇宙線生成核種の連続記録と古宇宙線・古環境変動 III-, 2015.

宮原ひろ子, 太陽活動低下時の太陽圏と宇宙線変動について, 太陽圏・宇宙天気予報・気候変動研究会, 2015.

Hiroko Miyahara, Kazuho Horiuchi, Fuyuki Tokanai, Kazuhiro Kato, Toru Moriya, Yusuke Yokoyama, Hiroyuki Matsuzaki, Hideaki Motoyama, Ryuhō Kataoka, Variation of the intensity of galactic cosmic rays during the Maunder Minimum, 日本地球惑星科学連合, 2015.

堀内一穂, キャリア 10 μg での 10Be 分析の可能性 研究集会「複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開」, 2015

Kazuho Horiuchi and Hiroyuki Matsuzaki,

An attempt to reduce the sample size for cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  dating, XIX INQUA Congress, 2015.

Hiroko Miyahara, Kazuho Horiuchi, Fuyuki Tokanai, Kazuhiro Kato, Toru Moriya, Yusuke Yokoyama, Hiroyuki Matsuzaki, Hideaki Motoyama, Ryuho Kataoka, Variation of the intensity of galactic cosmic rays during the Maunder Minimum, 日本地球惑星科学連合, 2015.

〔図書〕(計 3件)

宮原ひろ子(分担), 放射化学の事典, 朝倉書店, 2015, 376.

堀内一穂、宮原ひろ子(分担), 加速器ハンドブック, 2018, 560.

宮原ひろ子(分担), 気候変動の事典, 朝倉書店, 2015, 472.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮原 ひろ子 (MIYAHARA, Hiroko)  
武蔵野美術大学・造形学部・准教授  
研究者番号: 00532681

### (2) 連携研究者

堀内 一穂 (HORIUCHI, Kazuho)  
弘前大学・理工学研究科・助教  
研究者番号: 00344614

### (3) 研究協力者

Limin Zhou (ZHOU, Limin)  
East China Normal University・Professor

Hongyang Xu (XU, Hongyang)  
East China Normal University・Professor

坂下 渉 (SAKASHITA, Wataru)  
筑波大学・生命環境系・研究員