

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22241003

研究課題名（和文）アイスコアに刻まれた十～千年スケールの宇宙線強度変動と地球環境変動

研究課題名（英文）Analysis of decadal to millennial scale variation of Cosmic Ray intensity recorded in ice core and its implication for the earth environment

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

南極ドームふじアイスコア中の過去 72 万年にわたる宇宙線生成核種記録を加速器質量分析で解析した。特徴的な宇宙線イベント（ラシヤンプ、ブレーク、アイスランドベイズン）を詳細に解析したところ、宇宙線生成核種（特にベリリウム 10）の記録が、グローバルなイベントの記録となっていることが証明された。これにより、古環境研究における、より信頼性の高い年代指標を確立する道が拓けた。

研究成果の概要（英文）：

The records of cosmogenic nuclides in Dome Fuji ice core, covering 720 kyr, were analyzed by means of Accelerator Mass Spectrometry. By analyzing several prominent geomagnetic events, Laschamp, Blake, Iceland Basin, in detail, the records of cosmogenic nuclides, especially Beryllium-10, were found to be excellent indicator of the variation of cosmic ray intensity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	15,800,000	4,740,000	20,540,000
2011 年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2012 年度	9,700,000	2,910,000	12,610,000
年度			
年度			
総計	36,900,000	11,070,000	47,970,000

研究分野：地球環境科学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：宇宙線イベント・環境変動・古気候・アイスコア・加速器質量分析・宇宙線生成核種・ベリリウム 10・塩素 36

## 1. 研究開始当初の背景

太陽系外から飛来する高エネルギーの放射線である銀河宇宙線は、太陽活動や地磁気の活動に寄って、強度が変動する。一方、太陽は地球への直接のエネルギー源であり、その活動は、直接間接に地球の気候・環境に影響を与えることになる。このことから、過去の宇宙線強度変動の記録は、地球小環境を調べ

る指標として注目されて来た。宇宙線強度変動の記録としては、様々なアーカイブに記録された宇宙線生成核種がある。例えば、年輪中の炭素-14 は、宇宙線と大気との相互作用で生成する核種であり、時間情報を持った年輪中の炭素-14 の濃度（実際には  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  比）変化は、過去の宇宙線強度変動を示すものとして、広く研究されて来た。炭素-14 は半減

期が 5730 年であり、この核種を利用した強度変動の時間スケールはせいぜい万年にとどまる。より長いタイムスケールにおける宇宙線強度変動を調べるためには、炭素-14 に替わる指標が必要である。そこで、本研究ではアイスコア中のベリリウム-10 および塩素-36 に着目した。平成 19~21 年度に実施された申請者らの研究「科学研究費補助金・基盤研究 (A) (一般): アイスコア中の宇宙線生成核種による宇宙線と地球環境の変動史に関する研究」では、以下の主な成果を得た。

(A) 過去三千年間の太陽活動変動史の復元に成功。

(B) 最終氷期後半において、十~千年スケールの宇宙線強度変動を検出。

(C) 太陽活動の 200 年周期に相当する変動を 13 万年前の最終氷期にも確認。

(D) 30~72 万年前に約 10 回の宇宙線イベントを発見。

(E)  $^{36}\text{Cl}$  や  $^{26}\text{Al}$  の放射減衰に基づくアイスコアの年代推定に成功。

## 2. 研究の目的

これらの成果を受け、本研究では、

(1) 顕著な宇宙線イベントの詳細 (高時間分解能多核種) 分析

(2) 太陽活動変動周期の連続分析

(3) イベントや変動周期の正確で精密な年代決定

を行うことによって、宇宙線強度変動や太陽活動変動と地球環境変動との関係史を解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

ドームふじアイスコアにて申請者らが発見、もしくは確認した顕著な宇宙線変動現象 (イベントや周期的変動) を対象に、加速器質量分析法を用いて、宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  の分析を、従来より高時間分解能で行う。また  $\text{O}_2/\text{N}_2$  法などを駆使して、得られたデータに正確で精密な (数十万年前で誤差 2 千年程度の) 年代軸を挿入する。さらにこれらに基づいて、宇宙線イベントの成因や継続期間などを明らかにする。最終的には、同アイスコアの他の古環境プロキシや微生物学的情報、さらには他の古環境アーカイブとの定量的な比較にて、宇宙線強度変動や太陽活動変動と地球環境変動との関係史について、総合的に解明する。

## 4. 研究成果

本研究では、退氷期 (18500 年前~10000 年前) の南極アイスコア中の  $^{10}\text{Be}$  の変動をおよそ 20 年という高精度な時間分解能で調べた (世界初)。その結果、グリーンランドアイスコアで得られている高時間分解能の  $^{10}\text{Be}$  変動の記録と、初めて詳細な対比をすること

が可能となり、その変動がよく一致することを示した。このことは、 $^{10}\text{Be}$  の変動が全球的な気候変動のシグナルとして利用出来ることを示す。

次に、これまで北半球のアーカイブにしから見出されていなかった、約 12 万年前の「ブレイクイベント」を、南極アイスコア中に  $^{10}\text{Be}$  の変動として初めて見出し、このイベントが全球的な地磁気イベントであることを示した。

さらに、4.1 万年前のラシンプイベント、18.9 万年前のアイスランドベイズンイベントにおいても、明確な  $^{10}\text{Be}$  のピークを確認した。あわせて、これらのイベントを含む過去 30 万年間の  $^{10}\text{Be}$  濃度 (フラックス) 変動の詳細解析により、 $^{10}\text{Be}$  が地球磁場の変動に由来する宇宙線強度変動を極めて詳細に記録していることが分かった。

以上の結果から、南極アイスコア中の  $^{10}\text{Be}$  の変動は、グローバルなイベントの記録となっていることが証明された。すなわち、アイスコア中の  $^{10}\text{Be}$  の記録を利用することにより、従来年代指標として広く用いられていた古地磁気記録と相補的に、より信頼性の高い年代指標を確立する道が拓けた。

その他、 $^{36}\text{Cl}$  の分析については、最終退氷期において、1 万 7 千年前に顕著なシグナルを見出した。また、過去 3000 年間における  $^{10}\text{Be}$  と  $^{26}\text{Al}$  の詳細な分析から、 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{26}\text{Al}$  の間の変動傾向がほぼ一致することを実データとして初めて示した。

## 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 3 件)

- 1) K. Horiuchi, I. Oniyanagi, H. Wasada, H. Matsuzaki, 2013,  $^{10}\text{Be}$  measurements at MALT using reduced-size samples of bulk sediments. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 294, 72-76. j.nimb.2012.06.022.
- 2) G. I. Matsumoto, R. Kanou, C. Sato, K. Horiuchi, T. Kawai, 2012, Paleoenvironmental changes in the northwest Mongolia during the last 27 kyr inferred from organic components in Lake Hovsgol sediment core record. Limnology, 13, 55-63. DOI 10.1007/s10201-011-0355-3.
- 3) C. Buizert, P. Martinerie, V. V. Petrenko, J. P. Severinghaus, C. M. Trudinger, E. Witrant, J. L. Rosen, A. J. Orsi, M. Rubino, D. M. Etheridge, L. P. Steele, C. Hogan, J. C. Laube, W. T. Sturges, V. A. Levchenko,

A. M. Smith, I. Levin, T. J. Conway,  
E. J. Dlugokencky, P. M. Lang,  
K. Kawamura, T. M. Jenk, J. W. C. White,  
T. Sowers, J. Schwander, T. Blunier,  
Gas transport in firn:  
multiple-tracer characterisation and  
model intercomparison for NEEM,  
Northern Greenland, Atmos Chem Phys,  
12, 4259-4277, DOI  
10.5194/Acp-12-4259-2012, 2012.

〔学会発表〕 (計 18 件)

- 1) H. Matsuzaki, Summary of current AMS system and research projects at MALT, The University of Tokyo, The 12<sup>th</sup> International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 2011.3.20-25, Wellington, New Zealand.
- 2) K. Sasa, <sup>36</sup>Cl profiles in the Dome Fuji ice core during the last deglaciation, 2011.3.20-25, Wellington, New Zealand.
- 3) 堀内一穂, ドームふじアイスコア第三期 AMS 研究計画, 第 12 回 AMS シンポジウム, 2010.5.24, 群馬県桐生市
- 4) 河原圭佑, <sup>10</sup>Be analysis at the 8.2 ka event from dome Fuji ice core, 第 13 回 AMS シンポジウム, 2011.1.29, 山形県山形市
- 5) H. Matsuzaki, Status report of MALT Accelerator Facility, The University of Tokyo, The 4<sup>th</sup> East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, 2011.12.16-17, Tokyo, Japan
- 6) K. Sasa, New AMS project at the University of Tsukuba, The 4<sup>th</sup> East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, 2011.12.16-17, Tokyo, Japan
- 7) T. Aze, Cosmogenic Be-10 analysis during the Laschamp geomagnetic excursion in the Dome Fuji ice core, Antarctica, The 4<sup>th</sup> East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, 2011.12.16-17, Tokyo, Japan
- 8) Y. Yokoyama, Blake geomagnetic excursion recorded as <sup>10</sup>Be and <sup>26</sup>Al flux anomaly in the Dome Fuji ice core, The 4<sup>th</sup> East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, 2011.12.16-17, Tokyo, Japan
- 9) K. Horiuchi, A 300-kyr <sup>10</sup>Be record from Dome Fuji (Antarctica) and cosmic-ray stratigraphy, The 4<sup>th</sup> East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium, 2011.12.16-17, Tokyo, Japan
- 10) 松崎浩之, 多核種 AMS の研究展望 (招待講演), 「筑波大学複合タンデム加速器施設の新展開 - タンデム加速器更新計画と今後の研究展望 - 」プレ戦略研究成果報告会, 2012.3.29, 筑波大学
- 11) K. Horiuchi, Long-term variations of

cosmogenic radionuclides recorded in ice cores, sediments and tree rings, H24 MALT progress symposium (Invited), 2012.9.20-21, Tokyo, Japan

12) H. Matsuzaki, Current status of MALT and future plan for technical developments, H24 MALT progress symposium, 2012.9.20-21, Tokyo, Japan

13) K. Sasa, The 6 MV tandem accelerator project for nuclear physics and ion beam applications at the University of Tsukuba, The 8<sup>th</sup> China-Japan Joint Nuclear Physics Symposium (Invited), 2012.10.15-19, Beijing, China

14) K. Horiuchi, Beryllium-10 analysis for the Dome Fuji ice cores and cosmic-ray stratigraphy, The 19<sup>th</sup> International Mass Spectrometry Conference, 2012.9.15-9.20, Kyoto

15) K. Kawamura, Timing of interglacials with respect to precession and obliquity, 4th PIGS Workshop (invited), 2012.7.2-5, Cambridge, UK

16) K. Kawamura, Climatic and atmospheric histories over the past 700,000 years from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica, G- COE 2012 Symposium (invited), 2012.9.25-28, Sendai, Miyagi, Japan

17) K. Kawamura, Accurate age scale of the Dome Fuji ice core, Antarctica from O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ratio of trapped air, EGU 2012 General Assembly, 2012.4.22-27, Vienna, Austria

18) K. Kawamura, Accurately dated 700,000-year climatic record from the Dome Fuji ice core, Antarctica, International Partnerships in Ice Core Sciences First Open Science Conference, 2012.10.1-5, Presque le de Giens, Cote d'Azur, France

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究分担者

笹 公和 (SASA KIMIKAZU)  
筑波大学・大学院数理物質科学研究科・准教授

研究者番号：20312796

堀内 一穂 (HORIUCHI KAZUHO)

弘前大学・大学院理工学研究科・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

柴田 康行 (SHIBATA YASUYUKI)

国立環境研究所・化学環境領域・領域長

研究者番号：80154251

村松 康行 (MURAMATSU YASUYUKI)

学習院大学・理学部・教授

研究者番号：70166304

本山 秀明 (MOTOYAMA HIDEAKI)

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号：20210099

川村 堅二 (KAWAMURA KENJI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：90431078

### (3) 連携研究者

瀬川 高弘 (SEGAWA TAKAHIRO)

情報・システム研究機構・新領域融合研究  
センター・融合プロジェクト特任研究員

研究者番号：90425835

宮原 ひろ子 (MIYAHARA HIROKO)

東京大学・宇宙線研究所・助教

研究者番号：00532681

戸崎 裕貴 (TOSAKI YUKI)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・助教

研究者番号：80533215