

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年9月6日現在

機関番号：62611

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K13581

研究課題名(和文) 海底堆積物の高解像度宇宙線生成核種分析に基づく超新星爆発イベントの探索

研究課題名(英文) Search for evidence of supernova events based on cosmogenic nuclides analysis of the marine sediment

研究代表者

菅沼 悠介 (Suganuma, Yusuke)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：70431898

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)：地球環境は、隕石衝突による大量絶滅など地球外からの影響を受けてきたことが知られる。しかし、これまでに明確な超新星爆発イベントやその地球環境への影響の記録は見つかっていなかった。そこで、本研究は海底堆積物中の宇宙線生成各種(Be-10)の存在量を調べ、過去の超新星爆発イベントを探索した。この結果、過去300万年間分の海底堆積物のBe-10変動には優位なピークは見当たらなかった。これは対象期間に顕著な超新星爆発イベントが存在しないことを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、研究対象とした過去300万年間において顕著な超新星爆発イベントの存在を示すデータは得られなかった。しかし、今回確立した手法はさらに古い時代での探索にも利用可能であり、今後の研究の進展によっては超新星爆発イベントが発見されるかもしれない。一方、宇宙線生成核種(Be-10)データのリファレンスとした地磁気逆転イベント(Matuyama-Brunhes境界)については、地磁気逆転に対応した銀河宇宙線量増大が確認された。この知見は、今後地磁気変動メカニズムについての研究を進める上で極めて重要なデータを提供するものとなる。

研究成果の概要(英文)：The Earth's environment has been affected by extraterrestrial events, such as mass extinctions due to the impact of a meteorite. However, there is no clear evidence of supernova event and relating the Earth's environmental change in the geological record. In this study, we tried to detect a signature of the supernova based on cosmogenic nuclides (Be-10) analysis of the marine sediment. However, there is no clear peak of Be-10 flux in the marine sediments for the last 3 million years. This suggests that there is no significant supernova event during this interval.

研究分野：古地磁気学

キーワード：海底堆積物 超新星爆発

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超新星爆発は、大質量の恒星がその一生を終えるときに起こす大規模な爆発現象である。この爆発に伴って、強烈なガンマ線が周囲に放たれるため(ガンマ線バースト)、もし地球から 30 パーセク(約 990 光年)の距離で超新星爆発イベントが発生した場合には、地上において現在の 10 倍以上の宇宙線被爆が 10 万年以上続いたと考えられ、大量絶滅のような被害はなくとも地球表層環境に大きな影響を与えた可能性がある。一方、近年、氷床コアや年輪中の宇宙線生成核種の生成率を用いて、このような地球外からの影響を見積もる研究が進められるようになってきた。宇宙線生成核種は、主に大気上層で超新星爆発起源の高エネルギーの銀河宇宙線と酸素・窒素原子の核破碎反応によって生成される。従って、もし地球近傍で超新星爆発が発生した場合には、銀河宇宙線量の急増の影響で大気中での宇宙線生成核種の生成率が高くなり、結果として、地表にもたらされる宇宙線生成各種フラックスも増加するはずである。しかし、現在までに超新星爆発の確実な証拠は見つかっておらず、地球表層環境への影響の存在も不明だった。これは、地球近傍での超新星爆発が極めて珍しい現象であるのに対して、氷床コアや年輪の記録は最大でも過去 80 万年間までしか遡れないことに原因があると考えられる。つまり、これらより長い期間の記録を分析できれば、過去の超新星爆発イベントの痕跡を発見できる可能性がある。

深海底堆積物は、地球の歴史を連続的に記録しているレコーダーである。従って、「深海底堆積物に残される超新星爆発の痕跡」を調べることができれば、本分野の研究に新たな展開が期待できる。超新星爆発の発生確率については、天の川銀河の中での発生率は 100 年に一回程度、太陽系から 30 パーセクでは、1000 万年に 1 回程度と見積もられている。一方、地球大気中での宇宙線生成核種の生成率を変動させるためには、地球近傍(30 パーセク以内)での超新星爆発が必須である。従って、本研究手法においても必ず発見できるという保証はない。しかし、本研究で過去の 300 万年分の堆積物を連続的に解析することによって、少なくとも宇宙線生成核種の生成率の長期的な変動を復元することができる。宇宙線生成核種の生成率は、超新星爆発イベントなどの急激な銀河宇宙線量の変動がない場合には、主に地磁気強度の変動を示す。従って、本研究で超新星爆発イベントが発見できない場合でも、宇宙線生成核種の生成率変動を復元することで、過去 300 万年間の地磁気強度変動を求めることができる。これは従来のデータよりも非常に高解像度のデータとなるため、地磁気強度変動のスタンダードとしても利用できる。

2. 研究の目的

本研究は、深海底下に沈積した堆積物中の宇宙線生成核種である ^{10}Be に注目し、その存在量の異常増加から過去の超新星爆発イベントの検出を試みる。対象試料は、赤道太平洋から採取された過去 300 万年間分の海底堆積物で、既に ^{10}Be 濃度の分析に適していることが確かめられている。この試料を分析することで、過去 300 万年間における地球近傍(30 パーセク以内が有望)での超新星爆発イベントの発生の有無を明らかにすることができる。本研究手法で過去の超新星爆発イベントを発見することができれば、同手法の有用性が確認される。その結果、更に長い時間スケールでの超新星爆発イベントの探査や、古くから提案されてきた生物進化や気候変動などの地球環境変動と、宇宙環境との関係性に対して、データを基にした具体的な議論が可能となる。

3. 研究の方法

深海底堆積物は、非常に安定した環境で連続的に堆積するため、長期間の地球環境変動に関する連続的な記録を保持している。本研究では、赤道太平洋から採取された深海底堆積物試料を用いて、過去 300 万年間の ^{10}Be 存在量を連続的に復元する。そして、同試料から同じく求めた地磁気強度データを用いて ^{10}Be 存在量を規格化することで、宇宙線生成核種の生成率変動を復元する。この際に、堆積物中で地磁気や ^{10}Be の変動が記録されるメカニズムについての基礎的な研究も実施する。この結果に基づき、過去の超新星爆発イベントに起因する銀河宇宙線量の急増イベントを探索する。もし、宇宙線量の急増イベントが発見された場合には、数値シミュレーションを用いて、その宇宙線量の変化プロファイルから超新星爆発イベントの発生距離を推定する。これによって、超新星爆発イベントを発生させた恒星系の特定を試みる。また、超新星爆発に由来する被ばく量などを推定することで、気候・生物への影響を評価する。

4. 研究成果

研究開始当初においては、まず効率よく海底堆積物中の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ を分析するため、堆積物の化学的処理方法を確立し、ニュージーランド核科学機構(GNS Science, NZ)において加速器質量分析を実施する研究フローを構築した。その後、確立した手法を用いて、赤道太平洋域で採取された海底堆積物試料の ^{10}Be 濃度と $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 変動を加速器質量分析によって求め、過去 300 万年間分の海底堆積物を対象とした宇宙線生成

核種変動の復元を行った。この結果、最後の地磁気逆転イベントである Matuyama-Brunhes 境界については、地磁気逆転時の地磁気強度低下に対応した変動を確認することが出来た。これは地磁気逆転現象のリファレンスとして千葉県房総半島の地層中に見いだされた Matuyama-Brunhes 境界の超高解像度の地磁気強度および ^{10}Be / ^{9}Be 変動と整合的であった。また、Suganuma et al. (2010) が示した「残留磁化の獲得機構に由来する ^{10}Be に対する地磁気記録の遅れ」も確認された。しかし、過去 300 万年間分の海底堆積物の ^{10}Be 変動には優位なピークは見当たらなかった。これは少なくとも対象とした深海底堆積物には対象期間において顕著な超新星爆発イベントが記録されていなかったことを示す。一方、今回得られた ^{10}Be 濃度と ^{10}Be / ^{9}Be 変動は主に地磁気変動を反映するものであることから、今後さらに高精度の分析を続けることによって、300 万年間の地磁気強度変動のスタンダードの構築が可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- (1) Simon, Q., Suganuma, Y., Okada, M., Haneda, Y., ASTER Team, High-resolution ^{10}Be and paleomagnetic recording of the last polarity reversal in the Chiba composite section: Age and dynamics of the Matuyama-Brunhes transition, *Earth and Planetary Science Letters*, 519, 92-100, 2019.
- (2) 千葉セクション GSSP 提案書 提案チーム (責任著者 菅沼悠介) 千葉セクション: 下部-中部更新統境界の国際境界モード層断面とポイントへの提案書 (要約), *地質学雑誌*, 125, 5-22, 2019.
- (3) Suganuma, Y., Haneda, Y., Kameo, K., Kubota, Y., Hayashi, H., Itaki, T., Okuda, M., Head, M.J., Sugaya, M., Nakazato, H., Igarashi, A., Shikoku, K., Hongo, M., Watanabe, M., Satoguchi, Y., Takeshita, Y., Nishida, N., Izumi, K., Kawamura, K., Kawamata, M., Okuno, J., Yoshida, T., Ogitsu, I., Yabusaki, H., Okada, M., Paleoclimatic and paleoceanographic records through Marine Isotope Stage 19 at the Chiba composite section, central Japan: A key reference for the Early– Middle Pleistocene Subseries boundary. *Quaternary Science Reviews*, 191, 406-430, 2018.
- (4) Okada, M., Suganuma, Y., Haneda, Y., Kazaoka, O., Paleomagnetic direction and paleointensity variations during the Matuyama-Brunhes polarity transition from a marine succession in the Chiba composite section of the Boso Peninsula, central Japan. *Earth, Planets and Space*, 69, 2017. DOI 10.1186/s40623-017-0627-1

〔学会発表〕(計 5 件)

- (1) Suganuma, Y. Paleoclimatic and paleoceanographic records through Marine Isotope Stage 19 at the Chiba composite section, central Japan, ICAMG-9, 2018.
- (2) Suganuma, Y. and Chiba composite section community members, The Chiba section, Japan: a proposal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Middle Pleistocene Subseries, JpGU, 2018.
- (3) Takiguchi, S., Suganuma, Y., Kataoka, R., Yamaguchi, K., Toward detection of supernova event near the Earth based on high-resolution analysis of cosmogenic nuclide ^{10}Be in marine sediments, AGU, 2017.
- (4) Suganuma, Y., Okada, M., Haneda, Y., A new constraint for Matuyama-Brunhes geomagnetic boundary age based on U-Pb zircon dating and a high-resolution oxygen isotope chronology in highly resolved marine sediments in Japan, AGU, 2017.
- (5) 菅沼悠介, 海底堆積物表層における堆積残留磁化の獲得メカニズム, 日本地質学会, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

該当なし。

〔その他〕

ホームページ:

<http://polaris.nipr.ac.jp/~suganuma/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

研究分担者氏名：菅沼 悠介
ローマ字氏名：Yusuke Suganuma
所属研究機関名：国立極地研究所
部局名：研究教育系
職名：准教授
研究者番号（8桁）：70431898

(2)研究分担者

研究分担者氏名：片岡 龍峰
ローマ字氏名：Ryuho Kataoka
所属研究機関名：国立極地研究所
部局名：研究教育系
職名：准教授
研究者番号（8桁）：90462671

(3)研究協力者

瀧口 省吾（Syogo Takiguchi）
東邦大学理学部化学科/卒業生
中原 幸奈（Nakahara Yukina）
東邦大学理学部化学科/卒業生
Albert Zondervan (GNS Science, NZ)