

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18178

研究課題名（和文）東アフリカの環境変動復元に向けた海洋堆積物のベリリウム10分析の有用性評価

研究課題名（英文）Assessment of beryllium-10 in offshore sediments for reconstructing environmental change in East Africa

研究代表者

山根 雅子（Yamane, Masako）

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：30785928

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：国際深海科学掘削計画第361次航海において、アフリカ沿岸からの距離が異なる複数の地点から掘削された堆積物コアのベリリウム10分析を行い、海洋堆積物に含まれるベリリウム10への陸から運ばれたベリリウム10の寄与を推定し、海洋堆積物のベリリウム10が気候・環境変動の指標として有効であるか評価した。

沿岸堆積物に含まれるベリリウム10のうち、陸から運ばれたベリリウム10の寄与率は70%以上であることが明らかになった。さらに、沿岸堆積物に記録された過去400万年間のベリリウム10変動の長期トレンドは、東アフリカの植生の変化と同期しており、陸域の気候・環境変動の指標として利用できる可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東アフリカは乾燥地域であり、過去数百万年間の連続的な気候・環境変動の復元は非常に困難である。本研究により、連続性に優れたアーカイブである海洋堆積物のベリリウム10から陸域の気候・環境変動を復元できる可能性が示された。これにより、東アフリカの過去数百万年間にわたる連続的な気候・環境変動が復元され、東アフリカ地域の気候・環境変動と人類進化との関係の議論に進展をもたらすと期待される。

研究成果の概要（英文）：To assess the usability of beryllium-10 contained in the coastal marine sediments as a proxy of environmental changes on land, beryllium-10 in the marine sediments collected from various sedimentary environment were analyzed. Ratio of the beryllium-10 brought from the land contained in the beryllium-10 of the coastal marine sediments is 70 % or more. The beryllium-10 variation during past 4 million years recorded in the coastal marine sediment, obtained from offshore of the East Africa, shows a long-term variation that is synchronized with the vegetation change in East Africa. There is a possibility that the beryllium-10 variation of coastal marine sediments reflects the environmental changes of land.

研究分野：古気候学

キーワード：ベリリウム10 海洋堆積物 東アフリカ 陸域環境変動 鮮新世 更新世 完新世 国際深海科学掘削計画

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東アフリカは人類が誕生し進化した地域であり、この地域の気候や環境の情報は、地球科学のみならず古生物や生物進化などの理解に有用である。近年、「気候変動が初期人類の進化に影響を与えた」という仮説が提唱されており(例えば、deMenocal, 2011)、東アフリカの気候・環境変動の復元が期待されている。東アフリカは乾燥地域であり、過去の気候や環境を連続的に記録しているものがなく、過去数百万年間の連続的な気候・環境変動の復元は非常に困難である。海洋堆積物は、陸域堆積物より連続性に優れており、過去数百万年間の連続的な気候・環境変動を記録している。したがって、東アフリカの過去の気候・環境変動を復元する海洋堆積物を用いた新たなアプローチが望まれる。

ベリリウム¹⁰(¹⁰Be)は136万年の半減期(Nishiizumi *et al.*, 2007)をもつ放射性同位体である。¹⁰Beは地球に存在する原子と宇宙線との核破砕反応によって生成される。大気中で生成される¹⁰Beは、地球に入射する宇宙線強度(すなわち、太陽活動や地球磁場の強度)を反映して生成量が変動し、湿性・乾性沈着によって地球表層に降下する(以後、「直接降下¹⁰Be」という)。陸域に降下した¹⁰Beは、その後、気候変動の影響を受ける侵食や風化などの地球表層プロセスを通し、海洋へ運ばれる(以後、「陸起源¹⁰Be」という)。したがって、海洋堆積物には、直接降下¹⁰Beと陸起源¹⁰Beの両方が含まれており、¹⁰Beデータを単純には解釈できない。ただし、直接降下¹⁰Beと陸起源¹⁰Beを分離することができれば、過去の太陽活動や地球磁場強度だけでなく、陸源物質の供給量などの情報が得られ、¹⁰Be供給地域の気候・環境変動についても調べることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、国際深海科学掘削計画(IODP)第361次航海において、アフリカ沿岸からの距離が異なる複数の地点から掘削された堆積物コアの¹⁰Be分析を行い、海洋堆積物に含まれる¹⁰Beへの陸起源¹⁰Beの寄与を推定する。その上で、東アフリカの気候・環境変動の指標としての¹⁰Be分析の有効性の評価を目指す。

3. 研究の方法

(1) 使用する堆積物コアの古環境アーカイブとしての妥当性の検証: 本研究で用いる5本の海洋堆積物コア(下記)は、IODP第361次航海で掘削されたものである。これらの堆積物コアの上部に含まれる浮遊性有孔虫の炭素14(¹⁴C)年代測定を行った。また、IODP航海期間中に船上で行われた各種分析の結果も検証に用いた。

U1475 コア: アフリカ大陸から南におよそ850 km離れた南大洋アガラス海台(南緯41°25.61、東経25°15.64、水深2669 m)で掘削された遠洋性堆積物コア。堆積層は石灰質ナノ化石軟泥。

U1476 コア: アフリカ大陸とマダガスカル島との間にあるモザンビーク海峡(南緯15°49.25、東経41°46.12、水深2165 m)で掘削された半遠洋性堆積物コア。堆積層は石灰質ナノ化石軟泥。

U1477 コア: アフリカ東部を流れるザンベジ川の近傍の大陸斜面上(南緯15°49.25、東経41°46.12、水深429 m)で掘削された沿岸堆積物コア。堆積層は砂質粘土。

U1478 コア: アフリカ東部を流れるリンボボ川の近傍の大陸斜面上(南緯25°49.26、東経34°46.16、水深488 m)で掘削された沿岸堆積物コア。堆積層は砂および泥質/砂質シルト。

U1479 コア: 南アフリカ・ケープタウンのおよそ160 km沖のケープ海盆(南緯35°03.53、東経17°24.06、水深2615 m)で掘削された半遠洋性堆積物。堆積層は石灰質ナノ化石軟泥。

(2) 海洋堆積物に含まれる¹⁰Beへの陸起源¹⁰Beの寄与の推定: 沿岸堆積物(U1477 コア、U1478 コア)、半遠洋性堆積物(U1476 コア、U1479 コア)及び遠洋性堆積物(U1475 コア)の¹⁰Be分析を行い、分析結果を比較検討した。すべての堆積物コアにおいて、中期~後期完新世(8,200年前から現在まで)並びに、最終氷期最盛期(22,000年前から19,000年前まで)の層準の試料を使用した。試料の前処理は名古屋大学宇宙地球環境研究所で行い、¹⁰Be分析は東京大学総合研究博物館のタンデム型加速器質量分析装置を用いて行った。

(3) 陸起源¹⁰Be変動の復元、並びに、気候・環境指標としての有用性評価: U1478 コアの¹⁰Beを分析した。試料数は130、時間分解能は平均30,000年である。堆積層などの観察結果も参照したうえで、U1478 コアの¹⁰Be分析データから、古地磁気強度変動から推定された直接降下¹⁰Beの変動を差し引き、陸起源¹⁰Beの変動を求めた。得られた陸起源¹⁰Beの変動を、先行研究で示唆されている東アフリカの気候・環境・植生・テクトニクスの記録と比較することにより、海洋堆積物の陸起源¹⁰Beを制約する気候・環境因子を特定し、¹⁰Beが気候や環境変動の指標として有用であるか検討した。

4. 研究成果

(1) 使用する堆積物コアの古環境アーカイブとしての妥当性の検証

U1475 コアから 3 層準、U1476 コアから 3 層準、U1477 コアから 8 層準、U1478 コアから 3 層準、U1479 コアから 2 層準の浮遊性有孔虫の ^{14}C 年代を得た。U1478 コア以外の 4 本のコアは、 ^{14}C 年代の逆転が見られなかった。また、 ^{14}C 年代から見積もられた堆積速度は、船上での古地磁気・微化石層序から見積もられた堆積速度 (Hall *et al.*, 2017) と整合的であった。したがって、これらのコアは古環境アーカイブとして使用できると考えられた。一方、U1478 コアでは ^{14}C 年代の逆転が見られ、再堆積の可能性が示唆された。U1478 コアの下部(深度 150 m から 230 m)では、古地磁気層序及び石灰質ナノ化石層序による年代と比較して、浮遊性有孔虫生層序による年代が古い年代を示す傾向が報告されている (Hall *et al.*, 2017)。U1478 コアは、コアを通して砂層とシルト層の互層から成り、有孔虫は砂層から得られている。以上のことから、U1478 コアの砂層(の少なくとも一部)はコンターライトの可能性があり、古環境アーカイブとしての使用に適していないと考えられた。この結果を受け、研究(3)で実施する ^{10}Be 分析は、主にシルト層を用いることにした。本研究成果は、2018 年 7 月に開催された IODP 第 361 次航海ポストクルーズ会議にて発表された。

(2) 海洋堆積物に含まれる ^{10}Be への陸起源 ^{10}Be の寄与の推定

海洋堆積物コアに含まれる ^{10}Be 濃度は、遠洋性及び半遠洋性堆積物では高く、沿岸堆積物では低い傾向が見られた。特に、堆積速度が顕著に高い U1477 コアの ^{10}Be 濃度は最も低かった。この理由として、陸から運ばれる砕屑物による希釈が考えられた。一方、 ^{10}Be フラックスは遠洋性及び半遠洋性堆積物より沿岸堆積物の方が高かった。二つの時代の ^{10}Be フラックスを比較すると、遠洋性堆積物の U1475 コアでは、最終氷期最盛期の方が中期～後期完新世よりも高かった。古地磁気強度変動 (Laj *et al.*, 2004) と地磁気強度の変化による ^{10}Be 生成率の変化の見積り (Lal, 1988) から、最終氷期最盛期の ^{10}Be 生成率は中期完新世より 25 %程度高かったと推定され、U1475 コアの ^{10}Be フラックスの傾向と整合的であった。U1475 コアの ^{10}Be フラックスがすべて直接降下 ^{10}Be によると仮定すると、沿岸堆積物の U1478 コアには 70 %以上、U1477 コアには 90 %以上の陸起源 ^{10}Be が含まれると推測された。また半遠洋性堆積物の U1476 コアと U1479 コアには、それぞれ 30 %以上と 40 %以上の陸起源 ^{10}Be が含まれていると推測された。各コアに含まれる陸起源 ^{10}Be の割合は、堆積物の物理特性データや堆積層などの情報とも整合的であった。本研究成果は、下記の研究成果(3)と合わせて、国際誌に投稿中である。

(3) 陸起源 ^{10}Be 変動の復元、並びに、気候・環境指標としての有用性評価

過去 400 万年間の記録を持つ U1478 コアの 130 層準の ^{10}Be 分析を行った。 ^{10}Be 濃度は、400 万年前から 350 万年前にかけて(前期鮮新世)と 100 万年前以降(中期更新世以降)に高い傾向が見られた。 ^{10}Be フラックスは、400 万年前から 350 万年前にやや高く、350 万年前から 270 万年前(後期鮮新世)は低く、270 万年前以降(前期更新世以降)は現在まで続く上昇傾向が見られた。過去 400 万年間のほとんどの期間は現在よりも地球磁場は弱かったため (Valet and Meynadier, 1993)、現在より過去の方が、U1478 コアの ^{10}Be フラックスにおける陸起源 ^{10}Be の割合は低かったと推測された。すなわち陸起源 ^{10}Be の割合は、後期鮮新世に低く、その後、更新世を通して増加したことになる。この長期のトレンドは、東アフリカにおける森林から草原への植生の変化、すなわち、湿潤環境から乾燥環境への変化(例えば、Levin, 2013)と同期していた。したがって、沿岸堆積物の ^{10}Be 変動は陸域の気候・環境変動の指標として有用である可能性が高い。本手法は、連続的な気候・環境変動の復元が困難な東アフリカのような乾燥地域において有力な研究手法となりうる。さらに今後、東アフリカ地域の気候・環境変動と人類進化との関係の議論に進展をもたらすことが期待される。本研究成果は、上記の研究成果(2)と合わせて、国際誌に投稿中である。

引用文献

- deMenocal (2011) Climate and Human Evolution. *Science*, 331, 540-542.
- Hall *et al.* (2017) *South African Climates (Agulhas LGM Density Profile)*. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 361: IODP, College Station, TX.
- Laj *et al.* (2004) High resolution global paleointensity stack since 75 kyr (GLOPIS-75) calibrated to absolute values. In *Timescales of the Paleomagnetic Field, Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 145, pp. 225-265: AGU, Washington, D. C.
- Lal (1988) Theoretically expected variations in the terrestrial cosmic-ray production of isotopes. In *Solar-Terrestrial Relationships*, pp. 216-233: Soc. Italiana di Fisica-Bologna-Italy, Bologna.
- Levin (2013) Compilation of East African soil carbonate stable isotope data. Interdisciplinary Earth Data Alliance (IEDA). <https://doi.org/10.1594/IEDA/100231>.
- Nishiizumi *et al.* (2007) Absolute calibration of ^{10}Be AMS standards. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 258, 403-413.
- Valet and Meynadier (1993) Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years. *Nature*, 366, 234-238.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masako Yamane, Yusuke Yokoyama, Hiroyuki Matsuzaki, Keiji Takemura and Hiroyuki Kitagawa |
| 2. 発表標題 Interpreting 10Be records in sediments with a chemometric analysis of optical properties |
| 3. 学会等名 The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Masako Yamane |
| 2. 発表標題 Radiocarbon dating of IODP Expedition 361 cores |
| 3. 学会等名 IODP Exp.361 Post-cruise meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山根雅子 |
| 2. 発表標題 陸域環境変動復元のための海洋堆積物のベリリウム10 分析の有効性の検証 |
| 3. 学会等名 第21回AMS シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|