

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13624

研究課題名（和文）テクトニクス-気候の相互作用解明に向けた侵食変動の復元

研究課題名（英文）Reconstructing erosion rates to understand the interactions between tectonics and climate

研究代表者

中村 淳路（Nakamura, Atsunori）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員

研究者番号：60817419

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）：侵食は地球上の地形を形作る主要なプロセスの一つである。近年、侵食速度を求める地球化学的手法として、宇宙線生成核種が盛んに利用されている。本研究は宇宙線生成核種の測定法の発展に寄与する分析手法の開発を行った。これにより、これまで測定が困難であった速い侵食速度を記録した試料や、若い年代の試料中の宇宙線生成核種の測定が行えるようになった。また、本研究は過去約2万年前から現在にかけての侵食速度の変動を復元した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球上の地形がどのように形作られてきたかを明らかにするには、山地や山脈の侵食速度を知る必要がある。本研究は侵食速度を求めるために利用される宇宙線生成核種を用いた地球化学的手法の適用範囲を拡大させたことに意義がある。また、過去の侵食変動を明らかにすることは、気候変動に地表の侵食がどう応答するのかを把握する上で重要な知見となる。

研究成果の概要（英文）：Erosion is one of the main drivers that shapes the Earth's surface. This study developed methodologies in geochronology to improve the analytical techniques for measuring in-situ-produced cosmogenic nuclides. The results allowed us to obtain remarkably fast erosion rates and young exposure ages. We reconstructed the changes in erosion rates over the last twenty thousand years.

研究分野：地球化学，古気候学，地形学，年代測定学，第四紀学

キーワード：宇宙線生成核種 侵食 モンスーン テクトニクス 照射年代 加速器質量分析 10Be 26Al

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)

テクトニックな山脈の隆起は地表の侵食を増大させ、化学風化を介して大気中 CO_2 濃度に影響を与える (Raymo et al., 1988). これとは逆に、気候変動に起因する侵食変動が衝上断層群の活動やアイソスタシーに影響を与え、テクトニクスに影響を与える可能性も指摘されている (Lamb and Davies, 2003). このようにテクトニクスと気候には、地表の侵食を通じた相互作用があると考えられている。この相互作用を検証する際に鍵となるのは、降水量といった気候条件が地球表面の侵食に与える影響についてである。一般的に豪雨により土砂災害が起きることから、降水が侵食に与える影響については自明であると考えられがちである。しかし実際に地質学的な時間スケールでの侵食速度を求めた研究では、降水の侵食への影響の有無について、さまざまな結果が報告されている (e.g., Portenga and Bierman, 2011)。

(2)

地表の侵食速度を求める地球化学的な手法として、宇宙線生成核種が盛んに利用されている (Portenga and Bierman, 2011)。宇宙線生成核種とは、宇宙線により岩石の中の酸素やケイ素原子が壊れることで新たに生成する ^{10}Be や ^{26}Al といった核種のことである (Lal, 1991)。この反応は、宇宙線が透過する地表から数メートルの深さに限られている。ここで地表の侵食を、地下深くにあった岩石試料が地表の侵食によって地表に近づく現象として捉える。すると、宇宙線生成核種の蓄積量は、岩石試料が宇宙線による反応が起きる地下数メートルを通過するのにかかった時間に比例して大きくなる。そこで宇宙線生成核種の蓄積量から地表の侵食速度を求めることが可能である (Gosse and Phillips, 2001)。しかし、宇宙線生成核種の測定では試料処理の際に使用する Be キャリアに由来する ^{10}Be が測定を妨害するため、核種の濃度が低い地域、つまり侵食速度が速い地域での測定が極めて困難であるという手法上の限界がある (Merchel et al., 2008)。

2. 研究の目的

本研究はまず、宇宙線生成核種を利用した地球化学的手法の適用範囲を低濃度側に拡大することを目的とする。これにより、これまでは測定が困難であった若い年代の試料や大きな侵食速度を記録した試料の測定を可能にする。そして侵食変動を復元し、気候 (特に降水量) と侵食の関連性を明らかにすることを目的とする。本研究では最終氷期から完新世にかけての降水量変動の大きいモンスーン地域に着目し、新生代における降水変動のアナログとする。

3. 研究の方法

(1)

鉱物を直接 Cs スパッタリングすることで加速器質量分析器により Be 同位体比を測定することが可能なことが示唆されているが、手法の詳細については確立されていない (Merchel et al., 2013)。そこで本研究はまずキャリアに適した Be 同位体比の小さな鉱物の迅速分析法を開発し、試料の前処理法を改良する。

(2)

次に河川堆積物に含まれる石英中の宇宙線生成核種の分析を行い、氷期-間氷期スケールでの侵食速度の復元を行う。具体的には台湾南西部の大規模デルタである曾文溪河口から得られた堆積物コアを利用し、砂質堆積物に含まれる石英中の宇宙線生成核種を分析することで、川砂の起源地域である台湾南西部の山脈の侵食速度の復元を行う。曾文溪河口域は沈降速度が速いため、堆積物コアによって最終氷期から完新世にかけての河川堆積物が同じ地点から得られる世界的にも稀な地域である。河川堆積物中の宇宙線生成核種濃度から得られる侵食速度は、過去数百年間を平均した侵食速度である。この時間スケールは、宇宙線生成核種が蓄積している地表数メートル程度が侵食によって更新されるのに必要とする時間スケールである。ここで過去に堆積した河川堆積物中の宇宙線生成核種濃度を測定すると、堆積年代から過去数百年間の期間を平均化した侵食速度が求まる。また、本研究ではさらに核種生成の物理過程を取り入れた数値計算モデルにより核種蓄積のシミュレーションを行い、過去の侵食変動を復元する。

4. 研究成果

(1)

本研究では緑柱石とフェナカイトを直接 Cs スパッタリングし、Be 同位体比を測定することを試みた。その結果、鉱物試料からも、測定に有効なビームカレントが得られることが明らかになった。なお、フェナカイトは緑柱石よりも ^{10}Be の同重体である ^{10}B を多く含む傾向があり、見かけ上の $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$ 比が高い傾向があることが明らかになった。この分析手法の開発によって、宇宙線生成核種の測定可能領域を低濃度側に大きく広げることができ、これまで測定を行うことができなかった若い年代の試料や大きな侵食速度を記録した試料の測定が可能になった。また直接

Cs スパッタリングによる加速器質量分析は、将来的に 1 mm 以下のサイズの緑柱石 1 粒から迅速に宇宙線の照射履歴を求める手法としても有用である可能性が明らかとなった。これらの成果は Nakamura et al. (in press) に誌上発表した。

(2)

宇宙線生成核種の分析前処理の効率化を行った。国内の各研究機関で用いられている手法は日本独自の改良が加えられている一方で、国外の研究機関で標準的とされている手法が取り入れられていない部分があった。そこでアメリカ、バーモント大学を訪問し、試料前処理の効率化と統一化を図った。これにより、測定値の研究室間比較が容易となり、また今後の研究に向けて、国際的な研究体制を構築することができた。特にヒートブロックの導入と、イオン交換樹脂容量の低容量化は試料処理時間の短縮につながった。

(3)

台湾南西部に位置する曾文溪河口から得られた堆積物コア中の宇宙線生成核種の分析を行なった。まずコア長約 300 m の堆積物コアを観察し、最終氷期から完新世にかけて、分析対象の深度を決定した。分析の過程では、本試料の溶解の前に、分取した極少量の石英試料を用いて試料の純度の確認を行うことが有効であることが確認できた。分取した石英試料の元素組成は本試料の元素組成とよく一致しており、分取の重量スケールで試料の不均質性はないことが明らかになった。また分析の際には目的元素の収率を誘導結合プラズマ発光分光分析器で確認することで、確実な試料処理を行った。また本研究では核種生成の物理過程を取り入れた数値計算モデルにより核種蓄積のシミュレーションを行い、過去の侵食変動を復元した。

< 引用文献 >

- Gosse, J. C., Phillips, F. M., 2001. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. *Quaternary Science Reviews* 20, 1475–1560.
- Lal, D., 1991. Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. *Earth and Planetary Science Letters* 104, 424–439.
- Lamb, S. D., 2003. Cenozoic climate change as a possible cause for the rise of the Andes. *Nature* 425, 792–797.
- Merchel, S., Arnold, M., Aumaître, G., Benedetti, L., Bourlès, D., Braucher, R., Alfimov, V., Freeman, S., Steier, P., Wallner, A., 2008. Towards more precise ^{10}Be and ^{36}Cl data from measurements at the 10^{-14} level: influence of sample preparation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 266, 4921–4926.
- Merchel, S., Bremser, W., Bourlès, D., Czeslik, U., Erzinger, J., Kummer, N.-A., Leanni, L., Merkel, B., Recknagel, S., Schaefer, U., 2013. Accuracy of ^9Be -data and its influence on ^{10}Be cosmogenic nuclide data. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 298, 1871–1878.
- Nakamura, A., Ohta, A., Matsuzaki, H., Okai, T., $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ ratios of phenakite and beryl measured via direct Cs sputtering: Implications for selecting suitable Be carrier minerals for the measurement of low-level ^{10}Be . *Geochemical Journal* (in press).
- Portenga, E. W., Bierman, P. R., 2011. Understanding Earth's eroding surface with ^{10}Be . *GSA TODAY* 21, 4–10.
- Raymo, M. E., Ruddiman, W. F., Froelich, P. N., 1988. Influence of late Cenozoic mountain building on ocean geochemical cycles. *Geology* 16, 649–653.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakamura, A. Okai, T., Ohta, A.	4. 巻 54
2. 論文標題 Optimizing the Pratt-type titrimetric method to determine FeO in geochemical reference materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 337-350
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2343/geochemj.2.0605	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ohta, A., Imai, N., Okai, T., Manaka, M., Kubota, R., Nakamura, A., Tachibana, Y.	4. 巻 55
2. 論文標題 Watershed analysis for geochemical mapping in Japan based on a hydrologic model: The concentrations of 53 elements and the dominant lithology in a drainage basin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 59-88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2343/geochemj.2.0618	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yokoyama, Y., Yamane, M., Nakamura, A., Miyairi, Y., Horiuchi, K., Aze, T., Matsuzaki, H., Shirahama, Y., Ando, Y.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 In-situ and meteoric 10Be and 26Al measurements: Improved preparation and application at the University of Tokyo	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nimb.2019.01.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Obrochta, S.P., Yokoyama, Y., Yoshimoto, M., Yamamoto, S., Miyairi, Y., Nagano, G., Nakamura, A., Tsunematsu, K., Lamair, L., Hubert-Ferrari, A., Loughheed, B.C., Hokanishi, A., Yasuda, A., Heyvert, V.M.A., De Batist, M., Fujiwara, O., the QuakeRecNankai Team	4. 巻 200
2. 論文標題 Mt. Fuji Holocene eruption history reconstructed from proximal lake sediments and high-density radiocarbon dating	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 395 ~ 405
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.quascirev.2018.09.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 中村 淳路, 岡井 貴司, 太田 充恒
2. 発表標題 二価鉄滴定法の最適化: 地球化学標準物質の値付けおよび未知試料分析への示唆
3. 学会等名 2020年度日本地球化学会第67回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nakamura, A., Okai, T., Hiroyuki, M., Ohta, A.
2. 発表標題 10Be/9Be ratios of Be-bearing minerals and suitability for use as Be carrier
3. 学会等名 Goldschmidt 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 淳路, 岡井 貴司, 太田 充恒
2. 発表標題 地球化学標準物質の認証値決定のための二価鉄滴定法の最適化
3. 学会等名 2019年度日本地球化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura, A., Okai, T., Ohta, A., Hiroyuki, M.
2. 発表標題 Low-level 10Be measurements with phenakite carrier
3. 学会等名 EGU General Assembly 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 祐典, 山根 雅子, 中村 淳路, 宮入 陽介, 堀内 一穂, 阿瀬 貴博, 松崎 浩之, 白濱 吉起, 安藤 有加
2. 発表標題 地球表層物質の宇宙線生成核種(10Be, 26Al)の分析方法の改良と地球科学研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakamura, A., Yokoyama. Y., Hiroyuki M.
2. 発表標題 Climatic Controls on Paleo-Erosion Rates in Mid-Latitude Monsoon Regions
3. 学会等名 Goldschmidt 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村淳路
2. 発表標題 宇宙線照射生成核種(10Be)を用いた侵食速度の研究について
3. 学会等名 2018年度日本地球化学会年会(招待講演)
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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------