

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03755

研究課題名（和文）地磁気による津波性巨礫・断層破碎帯の活動年代法の実用化

研究課題名（英文）Paleomagnetic geochronology and its applications to tsunami boulders and fault gouges

研究代表者

中村 教博（Nakamura, Norihiro）

東北大学・高度教養教育・学生支援機構・教授

研究者番号：80302248

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地磁気を利用した年代推定法を高度化し、トンガ王国や先島諸島に分布する津波性巨礫や火山地域に分布する泥流堆積物中の巨礫に応用することで、これら巨礫の定置年代を推定することを試みた。また、長期間地表で風雨や熱水にさらされることで、鉄酸化物が生成して巨礫の残留磁気に影響を及ぼすことがあるため、この不要な鉄酸化物を化学的に還元化する手法を確立することもおこなった。その結果、これまで伝統的に利用されてきた指数関数型緩和理論ではなく、拡張型指数関数型緩和理論が天然の結果を説明できることを実証した。また、ナノバブルによる還元化学消磁法を実用化し、これまで見えなかった2次磁化成分を見出せた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三陸沿岸には多くの巨礫があり、その巨礫を祀る神社が多い。これは巨大津波を経験した先人が、未来の私たちに宗教儀式として、津波の危険性を知らせるためのタイムマシンなのだろう。しかし、津波の危険性は理解できても、「いつ・どれぐらいの規模」の津波が襲ったのかの定量的なデータはわからない。さらに、巨礫が移動したことから規模は推定できても、「いつ」については推定する術がこれまでなかった。本研究にいたるこれまでの地磁気による年代推定研究により、巨礫ひとつから「いつ・どれぐらいの規模」の津波が発生したことを推定できる手法を開発した。これにより、宗教的なお祀りだけでなく、津波に関する定量的な知識が得られる。

研究成果の概要（英文）：We have developed a paleomagnetic viscous dating with a stretched exponential relaxation for various grain-size distributions of magnetite. Also we have developed the effective method of reductive chemical demagnetization with a nano-bubble generator. These two methods allowed us to determine the date of tsunamigenic boulder. Examination of the tsunamigenic coral boulders, whose emplacement ages are determined by radiocarbon, has revealed the age estimated from paleomagnetic viscous dating indicates an older age. The stretched exponential relaxation method we have developed succeeded to explain the older ages. Our newly-developed nano-bubble method for reductive chemical demagnetization of volcanic rocks revealed two components, the characteristic remanence during the eruption and the viscous remanence acquired after the emplacement. We found that many boulders are distributed along the coral reefs of the western coast of Eua island where is located western side of the Tonga trench.

研究分野：地球電磁気学

キーワード：古地磁気学 津波性巨礫 ナノバブル

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

この研究の原動力は、2011年の震災がきっかけとなっており、津波による被害を最小限に食い止めたいという強い思いである。また、図1は石巻市の釣石神社であるが、左下の巨礫はいつ坂下に落ち、右上の巨礫はいつから落ちずにここに鎮座しているのか知りたいと思いませんか？このように、先人が沿岸部に神社として祀ったように、巨礫は千年以上もの時を越えて、巨大災害の発生を未来の人類に教えてくれるのである。2011年の津波でも沿岸部に巨礫が運ばれていて、また世界各地の特に島嶼地域には多くの巨礫が分布している(図2)。さらに、火山地域には過去の火山噴火に伴う泥流により巨礫が分布している地域も多数ある。これらの巨礫は過去の大規模地質災害時に定置したことは明白だが、その定置年代を決める術がなかった。一部、サンゴ礁沿岸部では海棲生物遺骸やサンゴそのものの放射性炭素年代が利用できるものの、一般的な年代推定法が適用できなかった。そこで、磁気時間が時間と温度に依存して緩和する知識を応用して、地磁気から年代を推定する手法を開発してきた。しかし、放射性炭素により定置年代が決定されているサンゴ岩塊を調べると、地磁気から推定した年代がより古い年代を示すことが判明した。



図1：宮城県石巻市釣石神社の巨礫  
右上の巨礫下まで津波が到達した(水色線)。  
左下にも巨礫があることが見て取れる。  
図は下記 URL：  
<https://goo.gl/maps/W15rycVPNFtEmiEy8>  
の写真に加筆して作成した。

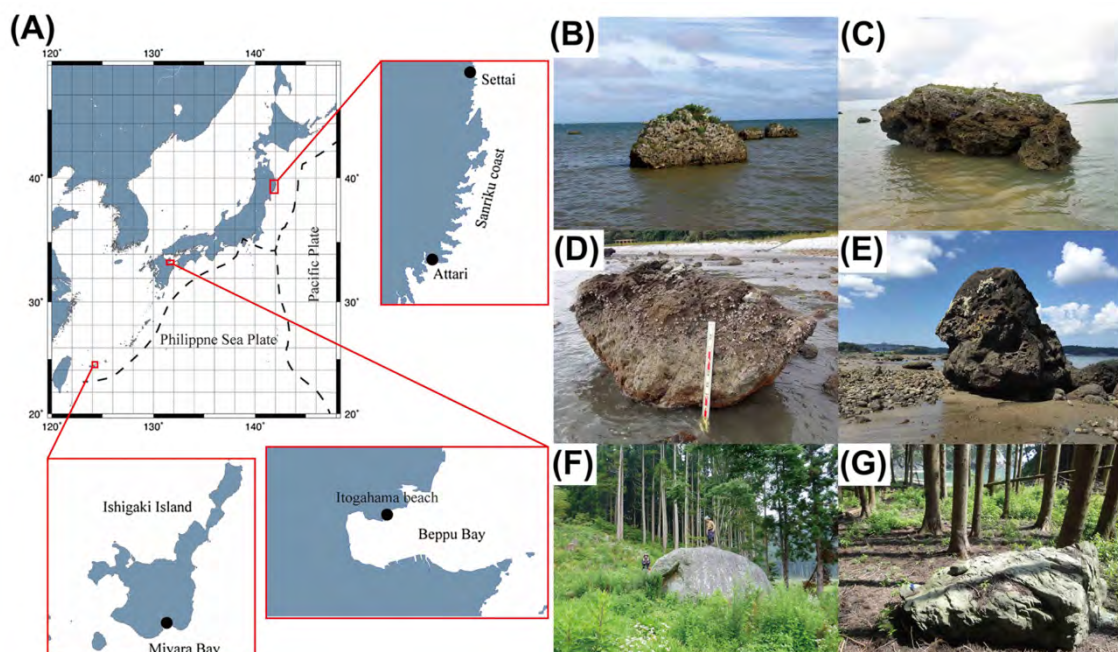


図2：日本沿岸部に分布する津波性巨礫(研究対象例)  
Sato et al. (2020)の Fig. 36.2 より引用

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地磁気を利用した年代推定法を高度化し、トンガ王国や先島諸島に分布する津波性巨礫や火山地域に分布する泥流堆積物中の巨礫に応用することで、これら巨礫の定置年代を推定することである。また、長期間地表で風雨や熱水にさらされることで、鉄酸化物が生成して巨礫の残留磁気に影響を及ぼすことがあるため、この不要な鉄酸化物を化学的に還元化する手法を確立することも本研究の目的の一つである。

## 3. 研究の方法

地磁気による年代推定は、Louis Néel(ノーベル物理学賞受賞者)が極細粒で単一な粒径を持つ磁性鉱物を仮定し、その磁性鉱物が有する残留磁気は指数関数的に緩和することを定式化したことに基づいている。つまり図3の通り、残留磁気(黒矢印)をもつ巨礫が、津波により沿岸部に運搬された後、数百年間以上もの間、外気温下で地磁気にさらされると、既存の残留磁気は緩和し、現在の地磁気と平行に新しく残留磁気(赤矢印)が獲得されることを利用している。この新しく獲得された磁気は、実験室に持ち帰り、無磁場環境で加熱することでその磁気を失う。Néelが示した磁気の緩和は、低温条件下で長期間かけて獲得した磁気が高温条件下で短時間かけてその磁気を消失することを示す。したがって、高温条件下で短時間で失われた残留磁気は、仮に低温条件下では何年かかった磁気を獲得するのかを逆算でき、巨礫が津波によって運搬された年代を推定できるのである。

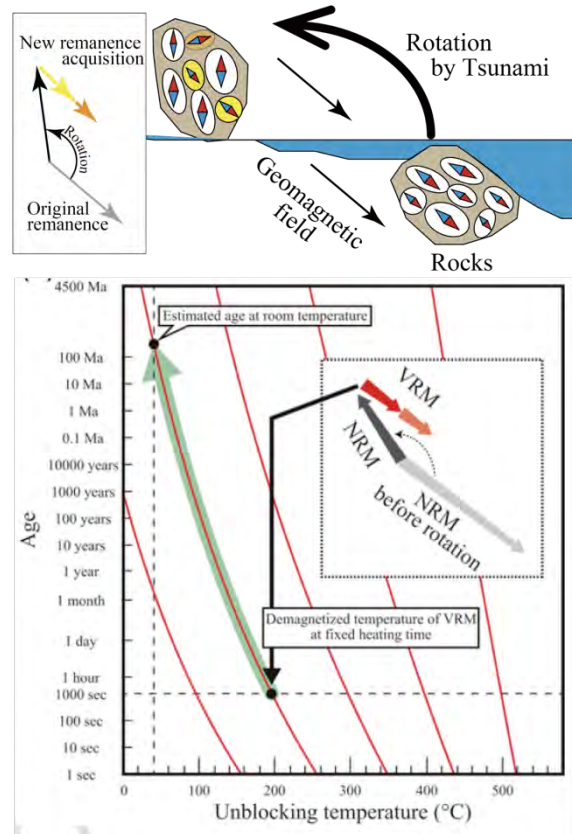


図3 研究手法の概念図

数百年間も地表にて風雨に晒されたり、火山地域のように熱水に晒される環境下では、巨礫表面に鉄質酸化物が生成し、微弱な残留磁気を帯びたり、実験中に磁鉄鉱に変化してしまうことがある。本研究では、この鉄質酸化物を化学的に還元する既存の手法(還元的化学消磁法)を改良し、ナノバブル発生装置と組み合わせることで還元反応を促進させ、細かな空隙中で生成していた鉄質酸化物も効率的に取り除く手法も開発した。具体的には、ナノバブル発生装置に5%のアスコルビン酸溶液と研究試料を入れ、これをミュメタルシールドで覆って無磁場空間中で3時間放置することで鉄質酸化物を除去する手法である。

## 4. 研究成果

研究対象とした試料の大部分は、伝統的な Néel による指数関数緩和(単一な粒径)による年代推定値と放射性炭素年代が一致していたが、3割程度の試料は指数関数緩和による年代推定値が古い年代を示していた。この推定年代値の違いは、我々の研究グループが以前提案した一つの未知変数(n)を導入して、ある粒径分布(複合的な緩和時間分布)をもつ場合に磁気の緩和が従う拡張型指数関数による新しい数理緩和モデルを用いる必要がある。これを実証するために、研究試料の残留磁気は時間とともに緩和する実験を行い、この緩和が拡張型指数関数であること



を示した。これは国際誌にて公表した。

これまで実施してきた巨礫の残留磁気から年代を推定する手法に関して、津波堆積物に関する最新の研究をまとめた書籍にレビュー論文を公表し、新しい手法の利点と欠点、具体的な測定方法について紹介した。

まだ業績にはなっていないが、トンガ王国に野外調査に出かけ、本研究で作成した巨礫表面下30cmまでドリリングできるコアラー（当初内径80mmを予定していたが、コアリングにかかる時間がかかりすぎることが判明したため、内径を25mmに変更した）を用いて、巨礫内部の試料を採集することに成功した（図4左）。また、トンガ王国本島から東側のトンガトレンチ側に位置するエウア島にも赴き、巨礫の分布調査をおこなった。その結果、エウア島西側沿岸部のサンゴ礁～沿岸に多くの巨礫が分布していることを発見した（図4右）。これからこれらの試料の残留磁気と放射炭素年代を測定して、定置年代を推定していく。



図4：左は長尺コア試料，右はエウア島巨礫

福島県安達太良山酸川流域に分布するラハール堆積物の地質調査と、ラハール堆積物中に狭在する数メートル規模の巨礫試料採集調査をおこなった。巨礫を狭在する地層は大きく分けて三層あり、下位二層は堆積物中に含まれる木材の放射性炭素年代から1～2万年程度と見積もられているが、最上位層は年代が決められていない。そこで、この最上位層に狭在する巨礫を中心に試料を採集し、定置年代を推定する予定である。ただし、熱水の影響により、2次的な残留磁気成分が付加されており、この2次的な成分を取り除くために、ナノバブル発生装置を利用した還元的化学消磁法を適用した。その結果、2次的な磁気成分を取り除くことができ、さらに火山噴火時の初生的に獲得した磁気と定置後に獲得した磁気の2つの成分を見出すことができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Pati Jayanta Kumar, Poelchau Michael H., Reimold Wolf Uwe, Nakamura Norihiro, Kuriyama Yutaro, Singh Anuj Kumar	4. 巻 54
2. 論文標題 Documentation of shock features in impactites from the Dhala impact structure, India	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 2312 ~ 2333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13369	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
1. 著者名 Watanabe Masashi, Goto Kazuhisa, Imamura Fumihiko, Kennedy Andrew, Sugawara Daisuke, Nakamura Norihiro, Tonosaki Takayuki	4. 巻 44
2. 論文標題 Modeling boulder transport by coastal waves on cliff topography: Case study at Hachijo Island, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth Surface Processes and Landforms	6. 最初と最後の頁 2939 ~ 2956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/esp.4684	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
1. 著者名 Sato Tetsuro, Nakamura Norihiro, Goto Kazuhisa, Kumagai Yuho, Nagahama Hiroyuki, Minoura Koji, Zhao Xiang, Heslop David, Roberts Andrew P.	4. 巻 520
2. 論文標題 Dating of tsunami boulders from Ishigaki Island, Japan, with a modified viscous remanent magnetization approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 94 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.05.028	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 該当する
1. 著者名 Yuho Kumagai, Norihiro Nakamura, Tetsuro Sato, Toshitaka Oka, Hirokuni Oda	4. 巻 8
2. 論文標題 Ferromagnetic Resonance Spectroscopy and Rock Magnetic Characterization of Fossil Coral Skeletons in Ishigaki Islands, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 geosciences	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geosciences8110400	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 Ishiyama Ken, Kumamoto Atsushi, Takagi Yasuhiko, Nakamura Norihiro, Hasegawa Sunao	4. 巻 319
2. 論文標題 Effect of crack direction around laboratory-scale craters on material bulk permittivity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 512 ~ 524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2018.09.030	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 Sato Tetsuro, Nakamura Norihiro, Goto Kazuhisa, Yamada Masaki, Kumagai Yuho, Nagahama Hiroyuki, Minoura Koji	4. 巻 36
2. 論文標題 Paleomagnetic dating of wave-emplaced boulders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves (eds. Engel, M., Pilarczyk, J., May S.M., Brill, D, Garrett, E.)	6. 最初と最後の頁 777 ~ 793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/B978-0-12-815686-5.00036-5	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 Minoura Koji, Nakamura Norihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Eustatic, Climatic and Tectonic Controls on the Evolution of a Middle to Late Holocene Coastal Dune System in Shimokita, Northeast Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 410 ~ 410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/geosciences10100410	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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 中村 教博, 関根 勉, 田嶋 玄一, 須藤 彰三
2. 発表標題 東北大学における初年次理科実験科目「自然科学総合実験」と実験レポート作成支援
3. 学会等名 工学教育研究講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村教博
2. 発表標題 融合型理科実験による自然理解と論理的思考: これまでの経緯とこれから
3. 学会等名 教育フォーラム「学生の興味がわく実験教育をめざそう! -論理的思考力を身に着ける現代の実験教育」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato T., Nakamura N., Kumagai Y., Goto K., Nagahama H., Minoura K., Zhao X., Heslop D., and Roberts A. P.
2. 発表標題 Dating of tsunami boulders from Ishigaki Island, Japan, with a stretched exponential relaxation approach
3. 学会等名 American Geophysical Union (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤哲郎, 中村教博, 後藤和久, 熊谷祐穂, 長濱裕幸, 箕浦幸治, Zhao Xiang, Heslop David, Roberts Andrew P
2. 発表標題 Dating of tsunami boulders from Ishigaki and Tongatapu Islands
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第144回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村教博, 昆周作, 長濱裕幸
2. 発表標題 Fabric tensor and its application to magnetic fabric of sediments and dikes
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第144回講演会
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
研究 分担 者	後藤 和久  (Goto Kazuhisa)  (10376543)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授    (12601)	

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
---------	---------