

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 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340146

研究課題名（和文） マイクロ古地磁気学と局所年代学による惑星磁場研究の地質学的アプローチ

研究課題名（英文） Spot laser chronology-assisted micro-paleomagnetism and its application to planetary geology

研究代表者 中村 教博 (Norihiro Nakamura)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80302248

研究成果の概要（和文）：

今後の太陽系惑星探査は、過去 45 億年間の複雑な歴史に支配された物質を探る必要がある。そこで、現在開発中の局所段階レーザー加熱装置によるマイクロ古地磁気学をさらに進展させ、微小領域放射年代学とのコラボレーションによって、原始惑星系の太陽活動進化、原生代の地球ダイナモ進化やクレーター磁気異常に関して、時間軸を持つ地球・惑星磁気圏の復元をおこなった。また、非線形磁化緩和理論から、石垣島津波石が複数回の津波履歴とその定置機構を有する事を示した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a spot laser heating system for thermal demagnetization and thermal acquisition by using ramp-assisted Nd-YAG laser and a laser attenuator. A simultaneous measurement of paleomagnetic remanence and Ar-Ar laser chronology has done.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
平成 23 年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
平成 24 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：局所段階レーザー消磁、非線形緩和理論、津波、隕石孔

1. 研究開始当初の背景

先カンブリア時代の岩石や隕石は、激しく風化や変成作用をこうむっているものの、10 億年スケールの地球ダイナモ進化や原始惑星の磁気圏情報を提供できるため、アメリカ・ロチェスター大学、MIT やフランス・CEREGE 研究所など精力的に研究がすすめられている。これらの研究の方向

性は、風化や変成作用を可能な限り避けるべくサイズダウンした、1) ケイ酸塩単結晶によるマイクロ古地磁気や 2) 走査型超電導量子干渉 (SQUID) 磁場顕微鏡によるマイクロ古地磁気学である。ケイ酸塩単結晶によるマイクロ古地磁気学を先導するロチェスター大学は、炭酸ガスレーザーによる段階熱消磁を導

入し、太古代の地球ダイナモ開始時期を追及しているが、単結晶そのものの放射年代を計測していない。SQUID 磁場顕微鏡を駆使する CEREGE や MIT も薄片レベルでのマイクロ古地磁気情報を測定しているが、その場の放射年代や熱消磁を計測していない。研究代表者の中村は日本初の磁場センサーである磁気インピーダンスを利用した磁場顕微鏡を開発し、隕石や衝撃を受けた岩石の強い磁化の原因鉱物を世界に先駆けて発見した。さらに、同研究代表者は金属の吸収が高いグリーンレーザーを利用した局所段階熱消磁システムを世界に先駆けて開発している。また、超音波カッターによる微細試料を用いたマイクロ古地磁気学の技術にも成熟している。このように我々が開発しているマイクロ古地磁気システムは、薄片のスポットレーザー消磁ができる点で世界最先端である。さらに、共同研究者の岡山理科大学・兵藤はレーザー段階加熱法に精通し、複雑な熱史を持つ隕石や初期地球の岩石鉱物の極微量試料から抽出した希ガス同位体分析をルーチンで実施している。そこで、我々のマイクロ古地磁気学の技術に加え、微小領域希ガス同位体年代学の協力を得ることで、年代軸が加味された磁気圏進化を描画できる、世界で唯一の研究グループを構成することになる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、衝撃溶融脈や岩脈の定方位薄片もしくは微細切り出し試料の古地磁気情報に、微細希ガス同位体年代を加え、隕石母天体や地球の磁気圏進化の描像をとらえることである。そのために、初年度は局所段階レーザー加熱装置、走査型MI 磁場顕微鏡と反射鉱物像の詳細な位置あわせを確立し、残留磁化を担う部位の段階加熱・鉱物同定のルーチン化をおこなう。ターゲット試料は古地磁気測定を終えた隕石中衝撃溶融脈と南アフリカ Vredefort

隕石孔花崗岩である。これらに局所段階レーザー消磁実験を実施し、さらに微細希ガス同位体年代測定を試みる。次年度以降は、局所段階レーザー消磁による古磁場強度推定実験を東北大学でルーチン化するための技術開発をおこない、地球・惑星の磁気圏進化過程を描く。

3. 研究の方法

- (1) 反射鉱物像と局所段階レーザー加熱装置との測定位置あわせの組み上げ
- (2) 定方位薄片・微小切り出し試料の局所段階レーザー消磁実験
- (3) 原生代岩脈群と隕石孔地質調査とその古地磁気・放射年代解析
- (4) 局所段階レーザー消磁による古磁場強度推定実験
- (5) 非線形磁化緩和と配位子場理論による異常磁化の究明

4. 研究成果

2011 年に発生した東日本大震災の影響で実験機器と実験室が多大な影響を受け、研究環境の回復に時間を要した。そのため、研究計画通りに成果が得られなかったことは反省しなければいけない。以下に成果をまとめる。

(1) レーザー消磁装置の温度管理：

今年度はランプ式レーザーの利点である高出力域でのパワー安定性に着目し、安定した高出力レーザー光を偏光板回転式レーザー出力調整器に導入し、パソコンによる偏光板の極微小回転によって±5℃を達成した。これによって、伝統的な古地磁気学の熱消磁実験（特に古地球磁場強度推定実験）で必要な数℃単位での温度調整が可能になった。また、加熱領域に安定な直流磁場を発生させるためのコイルを導入し、制御磁場環境

下での熱消磁・着磁が行えるように改良した。現在はこの装置を利用して、野島断層岩中に発達する磁化しているケルビン・ヘルムホルツ型の褶曲帯形成時の最高到達温度の推定を実施している。さらに今後、この技術開発を推し進め、スポット古地球磁場推定実験に取り組んでゆく。

(2) カナダ・グレンビル岩脈の古地磁気 :

先カンブリア時代の古地球磁場強度の推定は、地球深部の核マントル境界の熱輸送の進化に制約を与えられるため、重要であると考えられるが、これまで 25 億年前後の内核が形成されたと考えられている時期を除いて、ほとんどデータが得られていない。そこでカナダ・オンタリオ州に分布するグレンビル岩脈の地質調査と試料採集調査を実施した。この岩脈は約 5 億 7 千万年の年代を示しているにもかかわらず、古地磁気岩脈テストに合格している極めてまれな岩石である。これまでに得られているパイロット試料について、テリエ法による古地磁気強度推定実験を実施した。その結果、現在の地球磁場の 10% 以下の非常に弱い磁場であることが判明した。実験試料数が 20 試料と少ないため、現在実験データを増やしている。

(3) 南アフリカ Vredefort 隕石孔周辺の強く磁化した花崗岩 :

地球最大の隕石クレーターである Vredefort 隕石孔には、地表磁気探査によってリング状の地殻磁気異常が見出されている。この地殻磁気異常の原因として、基盤花崗岩の衝撃磁化・雷磁化と衝撃貫入岩（グラノファイヤー）の熱残留磁化があげられている。雷磁化は一番有力ではあるもののリング状に落雷することは難しい一方、グラノファイヤー岩脈はリング状に貫入しているものの幅数十メートルのた

め強く磁化していない限り、地殻磁気異常として観測されない。そこで、南アフリカ・Vredefort 隕石孔の野外調査を実施し、今回世界で初めてグラノファイヤー岩脈と基盤花崗岩との接触境界部の露頭を発見し、境界部分の試料採集に成功した。また、一昨年度に採集したグラノファイヤー岩脈の古地磁気研究を実施し、一部地殻磁気異常を説明できる規模の熱残留磁化強度を持つことを示した。一方、強く磁化した基盤花崗岩に関して、Spring-8 の高輝度放射光による磁気円 2 色性磁区解析も進めた結果、磁鉄鉱が強く磁化している原因として、軟磁性の磁鉄鉱中に硬磁性の赤鉄鉱のラメラが発達することであることを見出した。

(4) 石垣島産津波巨礫の回転史 :

石垣島東岸には 1771 年の明和津波によって運ばれたサンゴ礁起源の巨礫が分布する。一部 700 トンを超える巨礫が陸上に打ち上げられている。水理学シミュレーションではこのような巨礫を陸上に運搬することは困難であるため、その運搬起源が謎である。また、放射性炭素年代から過去数回の津波を経験していることが明らかであるが、個々の巨礫が複数回の津波によって運搬されたかどうかは不明である。石垣島の基盤岩は変成岩や枕状溶岩から構成されているため、磁性碎屑粒子がサンゴ礁に取り込まれ、当時の地磁気の方向に磁化を獲得する。そのサンゴ礁が津波によって運搬されると、その時点からの年月に比例して、2 次的な残留磁化を獲得する。この 2 次的な残留磁化を用いることで 1 つの津波石が幾度の津波をいつ経験したかを探ることができる。今回、石垣島において津波性巨礫の試料採集を行い、分析の結果、海拔 12m に定置している 700 トンを超える津波大石が 3000 年前と 1000 年前の過去 2 回の明和津波クラスの巨大津波によ

って運搬され、定置したことを示す結果を得た。この結果は、津波の数理計算の結果との整合していることが判明している。

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 1 件)

- 1) Sato, Y. and Nakamura, N. Shock melt veins of Tenham chondrite as a possible paleomagnetic recorder: rock magnetism and high-pressure minerals. [Geochemistry, Geophysics and Geosystems, 11 (Q04Z16), (2010), 1-15] 査読有 (ISI 誌)
DOI: 10.1029/2009GC002937
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GC002937/abstract>

[学会発表] (計 26 件)

- 1) N. Nakamura, Y. Bando, A. Kumamoto, and K. Ono, (2012) The Depth of magnetic source body Beneath Reiner Gamma on the Moon and the limitation of the Lunar Radar Sounder [International symposium on Lunar Science and Exploration using Data from multi-instruments (SELENE symposium 2013, 2013 年 1 月 25 日, Sagami-hara, Japan) 口頭発表
- 2) S. Kon, N. Nakamura, S. Sakanaka, and M. Funaki, (2012) High magnetic susceptibility granodiorite as a source of surface magnetic anomalies in the King George Island, Antarctica (GP13A-1116) [AGU fall meeting, 2012 年 12 月 3 日, San Francisco, U. S. A.] ポスター発表, GP13A-1116
- 3) S. Kon, N. Nakamura, S. Sakanaka, and M. Funaki (2012), Vertical intrusive magnetite series granodiorite as a source of surface magnetic anomalies in the King George Island, Antarctica, [The 32nd Symposium on Polar Geoscience]

(2012 年 11 月 29 日, Tachikawa, Tokyo, Japan) ポスター発表

- 4) N. Nakamura (2012), Shock melt vein as alternative paleomagnetic recorder against chondrules: the case study for chondrite and eucrite [The 32nd Symposium on Polar Geoscience] (2012 年 11 月 29 日, Tachikawa, Tokyo, Japan) 招待講演
- 5) 三國屋しおり、中村教博、長濱裕幸 (2012), 野島断層の層状断層岩の電磁波伝搬特性 [Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space sciences] (2012 年 10 月 22 日、北海道・札幌), ポスター発表 (学生優秀発表賞), A003-P007
- 6) 佐藤哲郎、中村教博、長濱裕幸 (2012), 石垣島産津波石の古地磁気からみる堆積記録 [Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space sciences] (2012 年 10 月 22 日, 北海道・札幌, ポスター発表 (学生優秀発表賞), A004-P001
- 7) 中村教博, 小嗣真人, 大河内拓雄, 寺田健太郎 (2012), 天然永久磁石の放射光 X 線磁気円二色性分析 [Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space sciences] (2012 年 10 月 22 日、北海道・札幌), ポスター発表, A004-P005
- 8) 佐藤哲郎、中村教博、箕浦幸治 (2012), 石垣島サンゴ礁津波石の粘性残留磁化による回転史 [日本地質学会第 119 回年会] (2012 年 9 月 16 日、大阪・堺), 口頭発表, R18-0-7
- 9) 佐藤哲郎、中村教博、長濱裕幸、箕浦幸治 (2012) 石垣島産津波石の古地磁気からみる堆積記録 [Japan Geoscience Union Meeting] (2012 年 5 月 25 日、千葉・幕張), ポスター発表, SEM21-P02
- 10) 昆周作、中村教博、船木實、坂中伸也 (2012) 南極キングジョージ島マグマの古流向解析 [Japan Geoscience Union Meeting]

- (2012年5月25日、千葉・幕張), ポスター発表, SEM21-P19
- 11) 坂東雄一、中村教博、熊本篤 (2012) Subsurface magnetized basalt layers underneath the Mare Crisium by Lunar Radar Sounder (月レーダーサウンダーによる'危難の海' 磁気異常下の地下玄武岩溶岩層) [Japan Geoscience Union Meeting] (2012年5月23日、千葉・幕張), 口頭発表, PPS25-05
- 12) Nakamura, N. (2011) 歪んだ磁鉄鉱と残留磁化: 南アフリカVredefort 隕石孔の例 [地球電磁気・地球惑星圏学会] (2011年11月4日, 神戸) ポスター (一般) A004-P004
- 13) Kubo, H., Nakamura, N., Kotsugi, M., Ohkochi, T., Fukuda, K. and Terada, K. (2011) Synchrotron X-ray magnetic circular dichroism analysis of strained magnetite from Vredefort granites [地球電磁気・地球惑星圏学会] (2011年11月4日, 神戸) ポスター (一般) A004-P007
- 14) Makioka, D. and Nakamura, N. (2011) 南アフリカ・フレデフォート・ドーム周辺の古地磁気強度に関する研究 [地球電磁気・地球惑星圏学会] (2011年11月4日, 神戸) ポスター (一般) A004-P006
- 15) Kaneshige, Y., Nakamura, N. and Hyodo, H. (2011) カナダ_ グレンビル岩脈 (570Ma) の古地磁気研究の予察的結果 [地球電磁気・地球惑星圏学会] (2011年11月4日, 神戸) ポスター (一般) A004-P005
- 16) Bando, Y., Kumamoto, A., Nakamura, N., Nagahama, H. and Ono, T. (2011) ライナーガンマ領域の電波減衰特性: かぐや月レーダーサウンダーの例 [日本惑星科学会] (2011年10月24日, 神奈川県相模原市) ポスター (一般) S13-04P
- 17) Tachibana, S., Nakamura, N. and TCDP hole-B Research Group (2011) 台湾車籠埔断層掘削計画試料の熱履歴の古地磁気解析 [地球惑星科学関連学会] (2011年5月26日, 幕張) ポスター (一般) SEM036-P09
- 18) Kuriyama, Y., Nakamura, N., Muto, J., Nagase, T. and Pati, J. K. (2011) インド・Dhala衝突構造の衝撃石英の微細組織解析 [地球惑星科学関連学会] (2011年5月26日, 幕張) ポスター (一般) PPS003-P02
- 19) Nakayama, Y. and Nakamura, N. (2011) カナダ・グレンビル岩脈の古地球磁場強度の予察的結果 [地球惑星科学関連学会] (2011年5月26日, 幕張) ポスター (一般) SEM036-P07
- 20) Nakamura, N. and Okuno (2011) 南アフリカVredefortクレーター中の歪んだ磁鉄鉱とその残留磁化 [地球惑星科学関連学会] (2011年5月26日, 日本国, 幕張) ポスター (一般) SEM001-P01
- 21) Bando, Y., Kumamoto, A., Nakamura, N. and Nagahama, H. (2011) かぐや月レーダーサウンダ観測によるライナーガンマ領域の電波吸収特性について [地球惑星科学関連学会] (2011年5月22日, 幕張) ポスター (一般) PPS024-P06
- 22) Kuriyama and Nakamura (2011) Ballen quartz from the Dhala impact structure and its crystal orientation pattern by electron back scattered diffraction (EBSD) [Lunar Planetary Science Conference] (2011年3月10日, アメリカ合衆国, テキサス) ポスター (一般)
- 23) 中村教博 (2010) 微小磁性体の非線形緩和過程と新しい温度・時間関係 [地球電磁気・地球惑星圏学会] (2010年11月2日, 日本, 那覇) 口頭 (一般)
- 24) Tachibana, S., Nakamura, N. et al.

(2010) Paleomagnetism of fault gouge samples from the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP) [American Geophysical Union fall meeting] (2010年6月24日, 台湾, 台北) ポスター (一般)

25) 濱田望起子・中村教博 (2010) 鉄炭酸塩の磁鉄鉱への熱分解と火星磁気異常 [地球惑星科学関連学会] (2010年5月25日, 幕張) ポスター (一般) PPS004-P12

26) Nakamura, N. (2010) 段階加熱レーザーポット熱消磁装置の開発 [地球惑星科学関連学会] (2010年5月25日, 幕張) ポスター (一般) SEM032-P02

[図書] (計3件)

- 1) 東北大学特色G Pワーキンググループ編 (2012) 東北大学全学教育科目テキスト「文系のための自然科学総合実験：課題1 温暖な惑星地球」東北大学出版会、12-23
- 2) 東北大学自然科学総合実験ワーキンググループ編 (2012) 2011年度 自然科学総合実験テキスト, 東北大学出版会, 編集委員長 53-72
- 3) Global 30 program, Text for Introductory Science Experiments (Chapter 3: Gravity on the Earth) 東北大学出版会、2012、24-32.

[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

<https://sites.google.com/site/norihironakamura21/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 教博 (Norihiko Nakamura)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80302248

(2) 研究分担者

兵藤 博信 (Hironobu Hyodo)
岡山理科大学・自然科学研究所・教授
研究者番号：50218749

(3) 連携研究者

船木 實 (Minoru Funaki)
情報システム研究機構・国立極地研究所・准教授
研究者番号：10132713