

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610145

研究課題名（和文）高時間分解能な古地磁気変動の解読を目指した高速・高温下磁化測定法の提案

研究課題名（英文）Development of high-temperature magnetometer: toward rapid paleomagnetic measurement to increase temporal resolution

研究代表者

白井 洋一（USUI, Yoichi）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・研究員

研究者番号：20609862

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：古地磁気記録の時間解像度を数万年まで上げることができれば、地球中心核中の流れと直接対応する変動が観測されると期待されている。これまでのところ、そうした記録は過去200万年間程度からしか得られていない。本研究では、（1）2000-1000万年前の地磁気を記録している海底掘削試料の取得・測定と、（2）高解像度測定に必要な高速測定を可能にする高温磁力計の開発、を行った。高温磁力計のプロトタイプを作成し、今後測定感度および温度コントロールを高度化するための課題を明確にした。

研究成果の概要（英文）：In order to increase the temporal resolution of paleomagnetic record before a few Ma, we conducted paleomagnetic study on ocean drilling samples. We also developed a high-temperature magnetometer. A prototype of the magnetometer successfully operated, and future challenges to increase sensitivity and temperature control are clarified.

研究分野：古地磁気学

キーワード：古地磁気強度 IODP 高温磁力計 MIセンサー

### 1. 研究開始当初の背景

1980 年台までの古地磁気学の多くはプレート運動や極性反転史など、10 万年以上の時間スケールでの変動を主な対象としていた。その後、海底堆積物の分析が急速に進み、過去 200 万年間程度については、数万年程度の時間スケールで地磁気強度に大きな変動が見られることがわかってきていた (山崎, 2005)。この時間スケールはコア中の対流の変動に想定されるスケールと重複するため、地磁気の数万年スケール変動は、コア対流のダイナミクスの情報を持っている可能性が考えられていた。コア対流のダイナミクスはマントル対流や地球熱史に応じて変化してきたと考えられるため、過去 200 万年間だけではなく、地球史を通じ地磁気の数万年スケール変動がどのように変化してきたかを知ることが、異なる境界条件下でのコアダイナミクスの変化を知ることにつながる。また、こういった情報から逆に地球熱史を制約できる可能性がある。

数万年スケールの地磁気変動を数億年以上過去で復元するために乗り越えるべき大きな困難は 3 つ考えられる。1 つ目は適切な試料の採取、2 つ目は数万年スケールでの年代決定、3 つ目は高解像度化に伴う試料数の急増に対応した測定・解析方法の確立である。このうち 1 つ目の困難は、過去 2 千万年程度については海底掘削などで、より古い堆積物試料を回収することで解決できる。さらに過去にさかのぼるには、陸上の岩石を対象とすることになる。また 2 つ目の困難は、地球軌道要素による相対年代決定である程度カバーできるようになりつつあった (Wu et al., 2013)。一方、3 つ目の困難には高速測定という技術的な解決方法が必要であると考えられた。特に、陸上の試料については熱消磁が必須であるが、広く用いられている加熱・冷却を繰り返す方式では、炉の冷却にかかる時間が測定時間の大半を占めており、測定の高速度化は困難であった。

熱消磁には、加熱・冷却を繰り返す方式の他に、高温磁力計を用い加熱中に磁化を測定する方法がある。高温磁力計でも古地磁気情報が得られることは古くから知られていた。この方式であれば炉の冷却時間が不要になり、大量の試料を処理するための高速測定が可能になるかもしれない。しかし、高感度磁気センサーを加熱部分に近づけることは難しかったため、これまでに開発された高温磁力計は多くの場合感度が限られており、天文年代が適用可能であるような堆積岩の磁化を測定することはできなかった (例えば Wack and Matzka, 2007)。唯一、超電導磁力計を利用した高感度システムが作成されたことがあったが (Sugiura, 1989)、維持の困難さから余り運用されなかったようである。

本研究計画の申請までに、研究代表者は赤外線導入炉による岩石・鉱物の加熱システムを構築していた。赤外線導入炉では、SiC 製

の試料ホルダー自体が発熱体となるため、これまでの高温磁力計に比べ高温部分の体積を抑えることができ、磁気センサーと試料の距離を近づけることができると思われる。これが可能であれば、超電導ではなく室温で動作する磁気センサーを用い、維持の容易な高温・高感度磁力計が開発できる可能性がある。そこで、赤外線導入炉に新たに磁気センサーを加える本研究計画を立案した。

### 2. 研究の目的

数万年スケールでの地磁気変動の記録を 1000 年から数億年前まで拡大するために、海底掘削試料の測定と、高感度高温磁力計の開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 海底掘削試料の測定

北インド洋東部の IODP サイト U1443 の掘削に参加し、過去 2000 - 1000 万年程度の年代を持つ連続試料を取得し、その古地磁気測定を行う。

#### (2) 高感度高温磁力計の開発

既設の赤外線導入炉に、磁気インピーダンス素子を用いた磁気センサーを組み合わせ、高温中で試料の残留磁化を測定可能な装置を作成する。試料シグナルを分離するために、試料には周期的な振動運動をさせる。

### 4. 研究成果

#### (1) 海底掘削試料の測定

サイト U1443 において、船上の微化石年代や古地磁気年代にもとづいて、約 2000 - 1000 万年前の堆積物を同定し、U-Channel を用いた連続的な試料採取を行った。堆積物はナンノ化石軟泥であり、堆積速度はおよそ 0.8 cm/kyr 程度と見積もられた (図書)。

得られた堆積物の残留磁化は弱く、申請者所属機関に既設の装置そのままでは測定が困難であった。外部磁場の変動が主なノイズ源であることがわかったため、その軽減のために、新たに部屋を覆う形でヘルムホルツコイルを設置し、アクティブ磁場キャンセリン

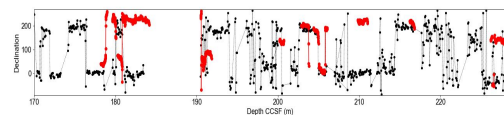


図 1. 残留磁化偏角の測定結果。黒は船上測定、赤は本研究での測定

グシステムを構築した。2015 年度秋から本格的な測定を開始し、現在までに全体のおよそ 1/3 の測定が完了している (図 1)。

古地磁気測定と合わせ、帯磁率測定および反射分光測色を行った。どちらの量も数十センチのスケールでの変動を示した (図 2)。堆積速度を考慮すると、この変動は 4.1 万年のミランコビッチサイクルを反映している可

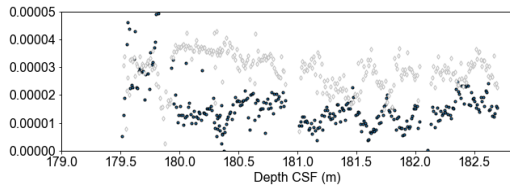


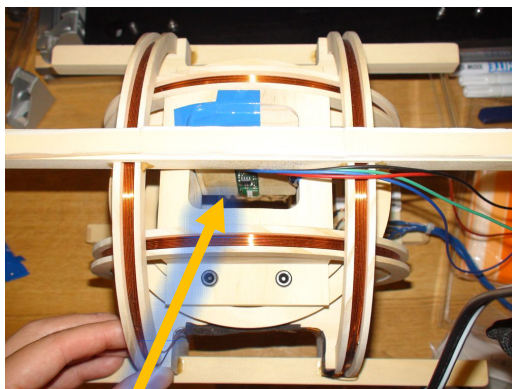
図 2. 帯磁率 (黒) と強度 (灰色) の測定例。

能性がある。この周期性を古地磁気記録と組み合わせることで、数万年以下の時間解像度を持つ古地磁気変動が復元できる (学会発表)

### (2) 高感度高温磁力計の開発

既設の赤外線導入加熱装置 (サーモ理工社製 GA298S) と、MI センサー (アイチ・マイクロ・インテリジェント社製) を組み合わせた高温磁力計を設計、製作した。試料振動機構としては、DC モーターとスコッチヨークを利用した振動装置を製作した。現状では 5Hz, 0.5cm 程度のストロークで振動を与えることができる。試料振動機構に外径 8mm の真鍮管を取り付け、その先に直径 6mm 程度の試料をマウントできるようにした。発熱体である SiC ホルダーは、赤外線導入用石英管の先端のガラスポートの上に固定し、真鍮管に取り付けられた試料が SiC ホルダー内で振動する機構とした。

磁気センサーは既存の三軸ヘルムホイールコイルに、木製の治具を製作して取り付けるようにし、直流磁場条件下での測定も可能とした (図 3)。センサーと試料との距離は 5cm 程度である。



磁気センサ

図 3. ヘルムホルツコイルと MI 磁気センサー。

ヘルムホルツコイルおよび磁気センサーは二重ミューメタル磁気シールド内に設置した。

試験測定として、 $10^{-3} \text{ Am}^2$  の磁化強度を持つ玄武岩の小片を取り付け、高温磁化測定を行った。熱電対で測定した SiC ホルダー温度が 600 度に上昇し、再度冷却するまでセンサ

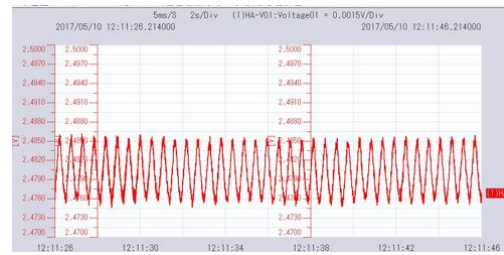


図 4. 高温磁力計シグナルの例。約 200 度での測定結果。

は破損せず、磁化測定を行うことができた (図 4)。また、常温では  $10^{-5} \text{ Am}^2$  の磁化強度を持つ試料の測定も可能であった。

試験測定から今後の改善点として、大きく三つの点が明確になった。第一に、常温へ回収後の試料は完全には消磁されていなかった。用いた試料のキュリー温度は 550 度程度であることが分かっているため、振動に伴って試料温度が低下し、SiC ホルダー温度よりも低くなっていることを示している。今後、SiC ホルダー自体を振動させる方式に切り替え、温度制御をより正確にする必要がある。第二に、最終目標である堆積岩の磁気測定を行うためには、測定感度をさらに 2 ケタ程度改善する必要がある。そのためには試料振動機構の工作精度を向上し、より高速の振動を行うとともに、振動に同期したシグナルのみをフィルターしてノイズを軽減する必要がある。第三に、センサー温度の上昇によるシグナルの劣化を防ぐ必要がある。試験測定ではホルダー温度 400 度付近からシグナルのベースラインが著しく変動してしまった (図 5)。これを防ぐために、断熱材などを加える必要がある。これらの点を改善することで、ほとんど前例のない高温残留磁化測定が可能であることが分かった。

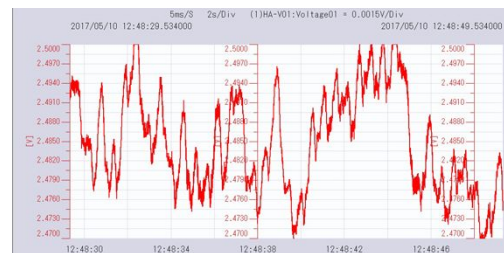


図 5. 高温でのシグナルの乱れ (図 4 と同じ試料を 400 度で測定した例)。

### <引用文献>

- 山崎俊嗣 (2015) 地学雑誌 114(2), 151.
- Wu, H., et al. (2013) Nature Communications, 4, 2452.
- Wack, M., & Matzka, J., 2007, Earth Planets and Space, 59, 853.
- Sugiura, N., 1989, Journal of

Geomagnetism and Geoelectricity, 41,  
3.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件) 査読なし

Clemens, S.V., Kuhnt, W., LeVay, L.J.  
et al. (32 名中 29 番目) (2016) Indian  
Monsoon Rainfall, Proceedings of the  
International Ocean Discovery Program,  
353: College Station, TX  
(International Ocean Discovery  
Program).  
[http://dx.doi.org/10.14379/iodp.proc.  
.353.2016](http://dx.doi.org/10.14379/iodp.proc.353.2016)

〔学会発表〕(計 1 件)

Usui Y., Taylor, S. (2017) High  
resolution paleomagnetism, magnetic  
susceptibility, and core color  
reflectance data from Site U1443 -  
preliminary results. 日本地球惑星科  
学連合2017年大会, 2017年5月23日, 幕  
張メッセ, 千葉県千葉市, ポスター発  
表.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

臼井 洋一 (USUI, Yoichi)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
深部ダイナミクス研究分野・研究員  
研究者番号: 20609862

(2) 研究協力者

TAYLOR, Samuel