

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31日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2012～2014

課題番号：22340129

研究課題名（和文） 過去4千万年間の古地磁気強度変動：地磁気逆転頻度と地磁気強度の関
係の解明研究課題名（英文） Geomagnetic paleointensity variations during the last 40 m.y. :
Possible relationship between polarity reversal frequency and paleointensity

研究代表者

山崎 俊嗣 (YAMAZAKI TOSHITSUGU)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：80344125

研究成果の概要（和文）：統合国際深海掘削計画（IODP）により東部赤道太平洋から採取された始新世～漸新世の堆積物コアを用いて、2300-4200 万年前の相対古地磁気強度を求める研究を行った。ロングレンジの相対古地磁気強度記録に、生物源と陸源の磁性鉱物の割合や堆積速度の変化の影響が混入することが判明した。従来、DSDP Site 522 のデータから地磁気逆転頻度と古地磁気強度が相関することが示唆されていたが、これは支持されなかった。一方、数万年スケールの変動として、非逆転時にも地磁気強度極小が繰り返していたことが明らかとなり、これは過去300 万年間について知られていた特徴と同じである。

研究成果の概要（英文）：A paleomagnetic study was conducted using Eocene to Oligocene sediment cores taken by IODP from the east equatorial Pacific in order to obtain relative paleointensity between 23 and 42 Ma. It was revealed that long-range relative paleointensity records can be contaminated by variations of the relative abundance of biogenic and terrigenous magnetic minerals and sedimentation rates. The positive correlation between polarity reversal frequency and paleointensity that was previously suggested from the data of DSDP Site 522 is not supported. As for short-term variations on the order of 10 kyrs, paleointensity drops were found during stable polarity periods as well as at reversals. This is the same as the characteristics of paleointensity variations known for the last 3 m.y.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2012年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2013年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2014年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：古地磁気学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：古地磁気、古地磁気強度、岩石磁気、IODP

1. 研究開始当初の背景

海底堆積物は、過去の地磁気変動を連続的

に記録している可能性のある唯一の物質である。海底堆積物を用いて古地磁気強度変動を連続的に復元しようとする研究は、1990年

頃から急速に進展し、本研究開始時には、現在から約 300 万年前までの変動の概略が明らかとなっていた。その結果、古地磁気強度は、地磁気逆転時に現在の 10%程度に減少するだけでなく、地磁気極性一定の間にも極めて大きな変動をしていて、地磁気逆転時に匹敵するような古地磁気強度の落ち込みが頻繁に起きたこと、地磁気エクスカージョン（地磁気極が自転軸から大きく離れる地磁気のゆらぎ）や極短期間の逆転は古地磁気強度の極小時に起きること等が明らかとなった。そして、地磁気変動には約 10 万年の準周期的変動成分が存在し、地球軌道要素の変動あるいは気候変動が地磁気変動に影響している可能性が議論されるようになった。しかし、信頼性の高い連続的な記録が得られているのはわずか過去 300 万年間にすぎず、上述した古地磁気変動の特徴は、地磁気の普遍的な性質であるかどうか明らかでなかった。これより古い時代については、火山岩を用いた平均的古地磁気強度については議論されているものの、連続的な古地磁気強度変動記録はほとんど得られていなかった。

地磁気逆転頻度は、数千年のオーダーで変動している。地磁気逆転タイムスケールからは、地磁気逆転が起きなかった白亜紀スーパークオン（約 8000 万～1 億 2000 万年前）から、しだいに逆転頻度が増加し、約 2000 万年前頃までに、現在と同じ 20 万年に 1 回程度の頻度に達したことが知られている。これは、時間スケールの長さから、コア・マントル境界の変動、つまり地磁気ダイナモの境界条件の変化に起因すると推定されている。地磁気強度はダイナモの活動度を反映すると考えられ、地磁気逆転頻度と地磁気強度の関係は、地磁気ダイナモを理解する上で重要な観測値の一つである。これまでに、深海掘削計画 (DSDP) Site 522 のコアを用いた 34-23 Ma の相対古地磁気強度変動記録 (Tauxe and Hartl, 1997) に基づき、地磁気逆転頻度と地磁気強度に相関がある可能性が示唆されていた。このデータは、この年代についての唯一の連続的な古地磁気強度記録であるが、当時の海底掘削技術の問題による堆積物の擾乱・欠損や、その後の古地磁気強度推定手法の進歩を考えると、信頼性の検討が是非必要であった。

2. 研究の目的

IODP (統合国際深海掘削計画) で掘削された海底堆積物コアを用いて、これまでに得られていない 4200 万年前～2000 万年前の相対古地磁気強度変動の連続的記録を得ることを目的とする。この時代は地磁気逆転頻度が増加する時期であり、得られた記録から地磁気逆転頻度と地磁気強度の関係を明らかに

できると考えられる。地磁気ダイナモの活動度を反映すると考えられる古地磁気強度は、地磁気ダイナモの数値計算結果と比較する上で最も必要とされる観測データである。また、これまでに得られている過去 300 万年間の古地磁気強度変動からは、地磁気強度極小時に地磁気エクスカージョンが起きることが知られているが、これが地磁気変動の普遍的性質であるかどうかを確かめるとともに、現在国際的に議論されている、地球軌道要素の変動が地磁気変動に影響しているとする仮説を、古い時代に遡って議論できるようにする。

3. 研究の方法

IODP Expedition 320/321 において、東部赤道太平洋の 7 地点で堆積物コアが採取された。このうち、古い年代をカバーする Site U1331 コアの上部約 80m, U1332 の 13-126 mbsf (meter below seafloor), U1333 の 10-163 mbsf を主な研究対象とした。Site U1331 の下部は頻繁にタービダイトが存在するため、年代的には対象とする始新世であるが本研究に用いなかった。

相対古地磁気強度を求めるため、半割コアから連続的に採取された U-channel 試料について、バススルー型超伝導岩石磁力計を用いて、自然残留磁化 (NRM) 測定及びその段階交流消磁、ARM (非履歴性残留磁化) 獲得・消磁実験、IRM (等温残留磁化) 獲得・消磁実験を行った。NRM の段階交流消磁は、2.5mT～5mT 間隔で行った。すべての測定は 1 cm 間隔で行い、主成分解析により古地磁気方位を求めた。これらの測定は、Site U1331 については産業技術総合研究所 (山崎)、Site U1332 は高知大学海洋コア総合研究センター (山本)、Site U1333 は University of California at Davis (海外共同研究者 Gary Acton, Carl Richter) で行った。相対古地磁気強度は、原理的には、NRM 強度を堆積物の磁化獲得能で規格化することにより求められる。ARM, IRM は、堆積物の磁化獲得能を評価するために、人工的に獲得させる残留磁化である。堆積物の年代は、古地磁気層序を地磁気逆転タイムスケールに対比することにより決定した。

得られた相対古地磁気強度記録に、地磁気レコーダーとしての堆積物の岩相や磁気特性変化の影響が混入している可能性を検討し、記録の信頼性を評価するため、主として Site U1331, U1332 の試料について、種々の磁気特性測定を行った。測定は、船上で採取されたキューブ状試料からサブサンプリングした試料を用いた。IRM 獲得曲線測定とその成分解析、First-order reversal curve (FORC) 図を用いた磁性鉱物間の磁気相互作用

用の評価、低温磁気特性測定及び熱磁気分析による磁性鉱物の推定等を行った。

4. 研究成果

NRMの段階交流消磁の結果、ほとんどの試料は安定な初生磁化を保持していて、掘削時に獲得された二次的磁化は、20mT程度の交流消磁で除去できることが判明した。従って、これらの試料は、相対古地磁気強度推定に適している。得られた古地磁気方位から、船上での半割コアを用いた予察的な測定で得られていた始新世～漸新世の古地磁気層序を精密化することができ、それに基づき堆積物の年代を決定した。Site U1331の試料は約2800-4100万年前、Site U1332は約2300-4100万年前、Site U1333は約2300-4200万年前をカバーする。次に、NRM強度をIRM強度で規格化することにより、規格化残留磁化強度を求めた。規格化パラメータとしてIRMを採用したのは、規格化残留磁化強度と規格化パラメータ間の相関が、IRMを用いた場合の方がARMを用いた場合より小さかったためである。Site U1331のコアではタービダイトが含まれているが、タービダイトではNRM強度が非常に小さく、規格化残留磁化強度が周囲より著しく小さくなることから判定可能であり、当該部分を除外した。

規格化残留磁化強度を相対古地磁気強度と解釈するためには、地磁気のリコーダーである堆積物の磁気的特性が均質であることが要求される。そのため、試料の詳細な磁気特性評価を行った。IRM獲得曲線測定とその成分解析、FORC図を用いた磁性鉱物間の磁気相互作用の評価、低温磁気特性測定による磁性鉱物の推定等を行った結果、この海域の堆積物の強磁性鉱物は主として陸源のマグヘマイトと生物源のマグネタイトの2成分からなり、その量比の変動をARM/IRM比を用いて推定できることが明らかとなった。

Site U1331～U1333のコアにおいて、上述の磁性鉱物組成を反映するARM/IRM比は一樣ではなく、特に始新世と漸新世とで平均的に大きく異なっていた。これは、始新世/漸新世境界(約33.6 Ma)における古環境変化による、炭酸カルシウム含有量の増加を反映している。これらのコアの規格化残留磁化強度とARM/IRM比には、負の相関関係が認められた。これは、生物源と陸源の磁性鉱物の堆積磁化獲得効率の違いが、規格化パラメータとして通常用いられるIRMやARMでは充分補正できず、その変動が相対古地磁気強度推定に影響することを示している。さらに、堆積速度と規格化残留磁化強度が、見かけ上相関していることも確認された。これらのことは、堆積物からロングレンジの地球磁場強度変動を求める際の障害となる。これまでに南大

西洋のDSDP Site 522 コアを用いた研究から、古地磁気強度と地磁気逆転間隔の間に弱い相関があると指摘されていたが、前述の結果に基づき Site 522 の元データを検討した結果、この相関は Site U1331-U1333 と同様に磁性鉱物組成や堆積速度の変化に影響された見かけのものであることが明らかとなった。従って、古地磁気強度と地磁気逆転間隔の間の相関は、真の地磁気変動を反映しているとは言えないと結論された。

一方、Site U1331-U1333 の記録を始新世と漸新世に分割すれば、それぞれの時代でのARM/IRM比の変動は比較的小さく、ARM/IRM比の変動より短い数万年オーダーの時間スケールについては、相対古地磁気強度変動を見積もることは基本的に可能であると推定された。実際、始新世、漸新世のそれぞれの区間について、Site U1331-U1333の各サイト間で整合的な相対古地磁気強度変動が得られ、数万年オーダーの変動はよく一致した。地磁気逆転境界だけでなく、地磁気極性一定の時にも相対古地磁気強度の顕著な減少が繰り返し起きていた。この変動は真の地磁気変動を表していると考えられる。この特徴は、過去300万年間の相対古地磁気強度変動と同様であり、地磁気変動の一般的性質であると考えられる。

堆積物の磁気特性検討の副産物として、陸源/生物源磁性鉱物量比の変動等から、現在は北緯4度～11度付近に位置している東部赤道太平洋における熱帯収束帯の位置が、約25万年前以前はより南に位置していたという古海洋学的成果も得られた。

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6件)

- ① Ohneiser, C., Acton, G., Channell, J.E.T., Wilson, G.S., Yamamoto, Y., and Yamazaki, T. (2013) A middle Miocene relative paleointensity record from the Equatorial Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, in press, doi:10.1016/j.epsl.2013.04.038.
- ② Channell, J.E.T., Ohneiser C., Yamamoto Y., and Kesler M.S. (2013) Oligocene-Miocene magnetic stratigraphy carried by biogenic magnetite at sites U1334 and U1335 (equatorial Pacific Ocean). *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, doi: 10.1029/2012GC004429.
- ③ Yamazaki T., Yamamoto Y., Acton G., Guidry, E.P., Richter C. (2013) Rock-magnetic artifacts on long-term

- relative paleointensity variations in sediments. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14, 29–43, doi: 10.1029/2012GC004546.
- ④ Yamamoto, Y. (2013) Data report: temporal variation in natural remanent magnetization observed for Pacific plate basement rocks: compilation from legacy data and new paleomagnetism and rock magnetism data from seafloor basalts cored during Expedition 320/321. *Proc. IODP*, 320/321, doi: 10.2204/iodp.proc.320321.213. 2013.
- ⑤ Guidry, E.P., Richter, C., Acton, G.D., Channell, J.E.T., Evans, H.F., Ohneiser, C., Yamamoto, Y. and Yamazaki, T. (2012) Oligocene–Miocene magnetostratigraphy of deep-sea sediments from the equatorial Pacific (IODP Site U1333). Geological Society, London, Special Publications, 373, doi: 10.1144/SP373.7.
- ⑥ Yamazaki, T. (2012) Paleoposition of the Intertropical Convergence Zone in the eastern Pacific inferred from glacial–interglacial changes in terrigenous and biogenic magnetic mineral fractions. *Geology*, 40, 151–154.
- [学会発表] (計 15 件)
- ① 山崎俊嗣, Acton, G., Channell, J., Guidry, E.P., Richter, C., 山本裕二 (2013) 相対古地磁気強度記録に見られる堆積物の磁気特性変化の影響. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2013 年 5 月 21 日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ② 山本裕二, 山崎俊嗣 (2013) 赤道太平洋域から初めて得られた 23–41 Ma における相対的地磁気強度変動記録. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2013 年 5 月 21 日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ③ 山本裕二, 山崎俊嗣 (2012) IODP Site U1331, U1332 堆積物試料からの漸新世～始新世にかけての古地磁気強度相対値の見積もり. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2012 年 5 月 24 日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ④ 山崎俊嗣, Acton, G., Channell, J., Palmer, E., Richter, C., 山本裕二 (2012) Long-term changes of relative paleointensity from sediments: geomagnetic field behavior or rock magnetic artifact? 日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2012 年 5 月 24 日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ⑤ 山崎俊嗣 (2012) Paleoposition of Intertropical Convergence Zone in the eastern Pacific inferred from glacial–interglacial changes in terrigenous and biogenic magnetic mineral fractions at IODP Site 1337. 2011 年度古海洋シンポジウム、2012 年 1 月 6 日、東京大学大気海洋研究所 (柏市)
- ⑥ Yamazaki, T., Acton, G., Channell, J., Palmer, E., Richter, C., Yamamoto, Y. (2011) Long-term changes of relative paleointensity from sediments: geomagnetic field behavior or rock magnetic artifact? American Geophysical Union 2011 Fall Meeting, 2011 年 12 月 8 日、サンフランシスコ (米国)
- ⑦ Yamazaki, T. (2011) Paleoposition of Intertropical Convergence Zone in the eastern Pacific inferred from glacial–interglacial changes in terrigenous and biogenic magnetic mineral fractions. American Geophysical Union 2011 Fall Meeting, 2011 年 12 月 8 日、サンフランシスコ (米国)
- ⑧ Yamamoto, Y., Acton, G., Channell, J., Palmer, E., Richter, C., Yamazaki, T. (2011) Paleomagnetic and rock magnetic study of the Site U1332 sediments – relative paleointensity during Eocene and Oligocene. American Geophysical Union 2011 Fall Meeting, 2011 年 12 月 5 日、サンフランシスコ (米国)
- ⑨ 山崎俊嗣 (2011) 東太平洋 IODP Site U1337 における陸源・生物源磁性鉱物の氷期–間氷期変動と熱帯収束帯の位置の変化. 地球電磁気・地球惑星圏学会 2011 年秋学会、2011 年 11 月 4 日、神戸大学 (神戸市)
- ⑩ 山崎俊嗣, 山本裕二 (2011) IODP Site U1332 で採取された堆積物柱状試料の古地磁気・岩石磁気学的研究—始新世と漸新世における相対古地磁気強度変動. 地球電磁気・地球惑星圏学会 2011 年秋学会、2011 年 11 月 4 日、神戸大学 (神戸市)
- ⑪ Palmer, E.C., Richter, C., Acton, G., Channell, J.E.T., Evans, H.F., Ohneiser, C., Yamamoto, Y., and Yamazaki, T. (2010) Paleomagnetic and environmental magnetic properties of sediments from IODP Site U1333 (Equatorial Pacific), American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, 2010 年 12 月 13 日、サンフランシスコ (米国)
- ⑫ Yamamoto Y., and IODP Expedition 320/321 Scientific Party (2010) Paleomagnetic and rock magnetic studies of basement basalts recovered during

IODP Expeditions 320/321, American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, 2010年12月13日, サンフランシスコ(米国)

- ⑬ 山崎俊嗣、Acton, G., Channell, J., Evans, H., Ohneiser, C., Richiter, C. 山本裕二、Delaney, M., Gussone, N., Hathorne, E.、木元 克典、沢田 健、山本 真也、 Expedition 320/321 Shipboard Science Party (2010) IODP Exp.320/321 赤道太平洋年代トランセクトの概要: 特に、古地磁気層序及び還元による堆積物の色相変化について. 日本地質学会第 117 年学術大会、2010年9月20日、富山大学 (富山市)
- ⑭ 山本裕二、IODP 320/321 航海乗船研究者一同 (2010) IODP Expeditions 320/321 で採取された海底玄武岩の古地磁気・岩石磁気学的研究. 日本地球惑星科学連合 2010年大会、2010年5月25日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)
- ⑮ 山崎俊嗣、Acton, G., Channell, J., Evans, H., Ohneiser, C., Richiter, C. 山本裕二、Delaney, M., Gussone, N., Hathorne, E., 木元 克典、沢田 健、山本 真也、 Expedition 320/321 Shipboard Science Party (2010) IODP Exp.320/321 赤道太平洋年代トランセクトの概要報告: 古地磁気層序、還元による堆積物の色相変化. 日本地球惑星科学連合 2010年大会、2010年5月24日、幕張メッセ国際会議場 (千葉市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 俊嗣 (YAMAZAKI TOSHITSUGU)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号: 80344125

(2) 研究分担者

山本 裕二 (YAMAMOTO YUHJI)
高知大学・海洋コア総合研究センター・助教
研究者番号: 00452699

(3) 連携研究者

高橋 太 (TAKAHASHI FUTOSHI)
東京工業大学・理工学研究科・助教
研究者番号: 20467012

(4) 研究協力者

Gary Acton
University of California at Davis

Carl Richter
University of Louisiana

下野 貴也 (SHIMONO TAKAYA)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・博士課程学生