

2026年1月30日

報道機関 各位

4000万年前の地球磁場で “前例なき長期反転”を新発見

【ポイント】

- ・約4,000万年前の地層から、最大7万年にも及ぶ“長期磁場反転”を新発見
- ・深海堆積物の高時間解像度解析により、複雑な磁場反転プロセスを詳細に捉えることに成功
- ・地球ダイナモモデルの予測とも整合し、“長期反転は地球磁場の本来の性質”である可能性を示唆

概要

地球の磁場は、過去に何度も「南北が入れ替わる」反転現象を起こしてきました。これまでの研究では、こうした磁場反転は一般的に1万年ほどの比較的短い期間で進行すると考えられていました。

このたび、高知大学海洋コア国際研究所の山本裕二教授、フランス国立科学研究中心およびソルボンヌ大学の BOULILA Slah 博士、九州大学大学院理学研究院の高橋太准教授、米国ユタ大学の LIPPERT C. Peter 准教授らによる国際研究チームは、約4,000万年前の深海堆積物に残された古地磁気記録を高精度で解析し、当時起きた2回の磁場反転を特定しました。解析の結果、これらの反転は約1万8千年と約7万年をかけて進行していたことが判明し、従来想定されてきた「反転は1万年程度で完了する」という理解を大きく上回るものであることが明らかになりました。さらに、地球内部で磁場を生み出すプロセスを扱う数値モデルでも、反転の継続時間には大きな幅が生じ得ることが示されており、今回の成果は磁場反転の時間尺度には本質的な多様性が存在することを裏付ける重要な証拠となります。

反転期には磁場が弱まり、太陽から到来する高エネルギー粒子に対する地球表面の防御力が低下します。そのため、今回明らかになったような“長く続く反転”が発生した場合、当時の地球環境や生態系は、より長期間にわたり強い放射線の影響を受けていた可能性があります。

この研究成果は、2026年1月20日付で科学雑誌 Communications Earth & Environment 電子版に掲載されました。

【研究の背景と目的】

地球の磁場は、地球内部の液体金属（鉄・ニッケル）の対流運動に伴う電磁誘導現象（ダイナモ）によって生み出され、約42億年前にはすでに形成されていたと考えられています。この磁場は地球の歴史を通じて絶えず変動し、ときには南北が入れ替わる「磁場反転」を繰り返してきました。反転現象は約35億年前にはすでに始まっていたとされ、地球内部のダイナミクスを理解するうえで極めて重要です。

磁場の形状は主に北磁極と南磁極を持つ双極子です。磁場が反転する際には双極子成分が大きく弱まり、磁場の強さ・方向が急激に変化します。この過程を理解するためには、過去の磁場変化を記録する岩石や地層の精密解析が欠かせません。火山岩は方向・強度を高精度に記録できる一方、堆積の連続性が低く、反転の全過程を追うことは困難です。これに対し海底堆積物は、磁場の変化をほぼ連続的に記録できるため、反転プロセスの詳細解明に適しています。

近年の堆積物および火山岩記録に基づく研究により、過去180万年以内の4回の反転では、方向変化の完了までに約1千～1万2千年を要したと推定されています。また、78万年前～1千7百万年前および1億8000万年前の2つの期間にわたる7回の地磁気逆転を記録した溶岩流の連続層からは、反転過程が「前兆期（約2.5千年）」「主反転期（約1千年）」「回復期（約2.5千年）」の3段階から構成されることが示され、一般に「反転は1万年前後で完了する」と理解されてきました。

しかし、地球史の中では、最近の約1億7千万年の間にも約540回もの磁場反転が起きており、詳細解析が行われたのはその1%未満に過ぎません。このため、従来の「反転は1万年程度」という理解が地球磁場の本質的なふるまいを十分に反映しているかどうかは不明です。一方、地球ダイナモの数値モデルでは、反転継続時間が幅広く、長期化する場合も示唆されているものの、実際に“長期間の反転”を裏付ける高精度の地質記録はこれまで報告されていませんでした。

そこで本研究では、約4,000万年前（始新世）に発生した磁場反転に注目し、高時間解像度で記録された深海堆積物の古地磁気データと地球ダイナモ計算を組み合わせることで、反転継続時間の多様性をより深く検証することを目的としました。

【研究の内容・成果】

1. 深海堆積物コアから始新世の磁場反転を高精度で復元

研究チームは、北大西洋海嶺近く、ニューファンドランド沖で実施された統合国際深海掘削計画（IODP）第342次航海において掘削地点Site U1408から採取された中期始新世（約3,840～4,320万年前）の深海堆積物コアを対象に、精密な古地磁気解析を行いました。

Site U1408の堆積物コアは1千年あたり約2.4cmと相対的に高い堆積速度をもち、化学・物理データから明瞭な層相変化が確認される連続堆積物です。走査型X線蛍光分析で得られた元素組成（Ca/Fe）比に、地軸傾斜角（obliquity）の変化と約17.3万年周期の天文サイクルに関連する堆積リズムを取り込むことで、高精度の年代モデルを構築しました（図1）。

層厚8mにわたる反転区間について、2cm間隔で採取した個別試料を用いて磁気分

析を行い、連続試料で生じる信号の平滑化を排除しました。その結果、主要な磁化の担い手が生物起源の微粒子磁鉄鉱（biogenic magnetite）であることを確認し、当時の地磁気を忠実に記録している高品質なデータセットを取得しました。古地磁気方向の変化から仮想的地磁気極（VGP）の緯度の変化を計算し、さらに地磁気強度相対値（RPI）の変化を統合することで、始新世における2つの磁場反転区間を明瞭に特定しました。

2. 2つの反転が“異例に長い”継続時間を持つことを発見

堆積物コアの詳細解析により、以下の2つの反転区間を高精度で復元しました：

- ・反転1 (C18n.2n → C18n.1r)：堆積物厚 50 cm
- ・反転2 (C18n.1r → C18n.1n)：堆積物厚 170 cm

年代モデルに基づく推定から、それぞれの反転継続時間は

- ・反転1：18 ± 3 千年
- ・反転2：70 ± 6 千年

と算定され、従来理解してきた「反転は約1万年」という時間スケールを大きく上回る、きわめて長期の反転プロセスであることが明らかになりました。特に反転2では、前兆期→主反転期→回復期が複数回発生する複雑な挙動が見られました（図2）。このような多段階的挙動は、最も最近の反転（約77万年前、ブルン-松山反転）でも報告されており、磁場反転は本来多様で複雑な現象である可能性が示唆されます。

3. 数値地球ダイナモモデルにより「長期反転の可能性」を理論的に検証

最新の数値シミュレーションでは、反転継続時間が幅広い分布をもち、長期化するケースも自然に発生し得ることが指摘されています。研究チームは独自の地球ダイナモモデルを用いて160回の反転イベントを解析し、反転継続時間が対数正規分布的に広がることを示しました。数値シミュレーションの結果を実際の地球時間に換算すると、最長で約3万3千～13万年に相当する可能性があることが分かりました（図3）。

今回深海堆積物から明らかになった2つの反転（約1.8万年・約7万年）はいずれもこの範囲に収まり、理論的にも十分起こり得る現象であることが確認されました。また、反転中に前駆的な方向変化や複数回の“反転未遂”が生じる複雑な磁場挙動も、堆積物コアとモデル双方で認められました。

【成果の意義/今後の展望】

本研究で明らかになった「反転継続時間の大きなばらつき」は、地球ダイナモが本来持つ変動特性を反映しており、磁場反転が1万年を大きく超えて長期化する可能性を実証的に示した重要な成果です。今回解析した堆積物は古緯度 約 22°N に位置していましたが、この地点でみられた「反転2」の継続時間は 約 7万年 に及びました。反転継続時間には緯度依存性があるため、当時の中～高緯度では、さらに長期間にわたる反転状態が生じていた可能性があります。

このように、反転状態や地磁気強度が弱い期間が数万年以上続くと、太陽や宇宙か

らの高エネルギー粒子が地表に到達しやすくなり、始新世の地球表層環境、さらには生物活動や地球化学サイクルに影響を与えた可能性があります。磁場弱化と環境変動の関連性は、今後検証すべき重要な科学的テーマです。

人類と地球が共生する知を追求するためには、人為的な影響が及んでいない遙か過去の地球史に遡り、地磁気を含む地球システムの変動を解明する必要があります。こうした過去の地球環境変動の記録は、深海域の海底下の深度数十～数百メートルの地層に詳細に保存されています。これらの深部地層を掘削し、体系的に試料を取得したうえで、国際共同研究を推進することが不可欠です。現在、日本と欧州各国を中心となって進めている「国際海洋科学掘削計画（IODP³）」の進展により、これらの課題についてさらなる解明が期待されます。

【論文情報】

掲載雑誌 : Communications Earth & Environment

URL : <https://www.nature.com/articles/s43247-026-03205-8>

論文名 : Extraordinarily long duration of Eocene geomagnetic polarity reversals (始新世における地磁気極性反転の異常に長い継続時間)

DOI : 10.1038/s43247-026-03205-8

著者 : 山本 裕二 (高知大学海洋コア国際研究所)、BOULILA Slah (フランス国立科学研究センター、ソルボンヌ大学)、高橋 太 (九州大学理学研究院)、LIPPERT C. Peter (米国ユタ大学)

【問い合わせ先】

＜研究内容＞

所属 : 高知大学海洋コア国際研究所
教授 山本 裕二

所属 : 九州大学大学院理学研究院
准教授 高橋 太

＜報道関係＞

高知大学広報・校友課広報係
TEL : 088-844-8643 FAX : 088-844-8033
E-mail : kh13@kochi-u.ac.jp

九州大学広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139
E-mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

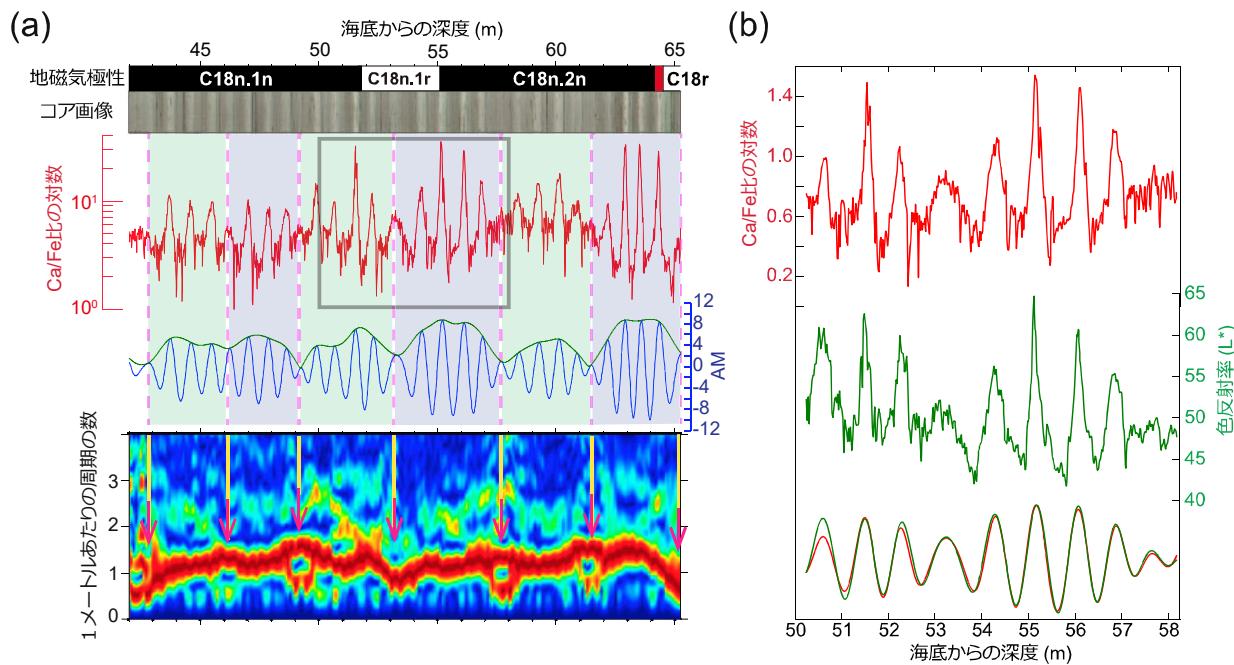


図 1 IODP Site U1408 堆積物コアの統合層序データ

(a) 古地磁気極性層序、岩相、そして走査型蛍光 X 線 (XRF) 分析による Ca/Fe 比のデータを示す。堆積物コアにみられる周期的な岩相変化では、暗色部が粘土質堆積物、明色部が炭酸塩質堆積物に対応する。元素組成に基づく岩相の周期性（地軸傾斜角変化に対応する約 4 万年周期）は、縦破線で示した約 17.3 万年のより長い周期変動によって束（バンドル）状にまとまりを形成している。この長周期は、高解像度（2 cm 間隔）で取得した XRF Ca/Fe 比データに振幅変調（AM）法を適用し、その振幅スペクトルから検出された。図中のスペクトル線は、元素組成に基づく岩相の周期性を示しており、縦矢印で示したスペクトル線の分岐は、約 17.3 万年の長周期変動を追跡している。

(b) 研究対象区間の拡大図を示す。XRF Ca/Fe データおよび色反射率 L^* データに加えて、ガウシアン・バンドパスフィルタ (1.1 ± 0.5 cycles/m) を適用したフィルタ出力を併せて示し、元素組成に基づく周期性を抽出している。

(Yamamoto et al.(2026)の Figure 1 を一部改変)

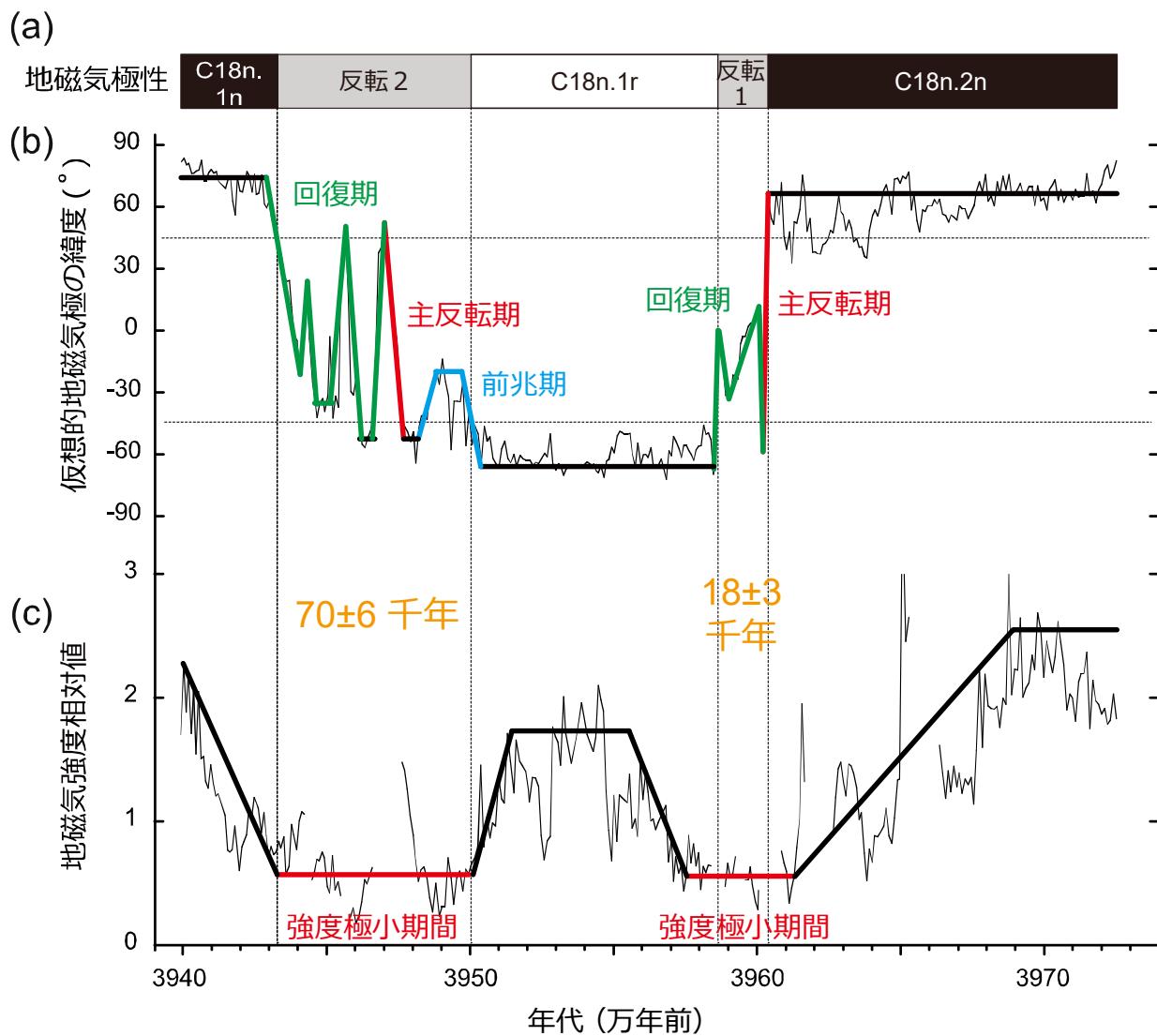


図 2 中期始新世における 2 つの磁場反転期間を挟んでみられる地磁気変動

(a) 地磁気極性の変化。

(b) 仮想的地磁気極 (VGP) 緯度の変化。細線は堆積物コアから得られた分析結果を、太線は解釈結果（黒：通常期、青：前兆期、赤：主反転期、緑：回復期）を示す。

(c) 地磁気強度相対値 (RPI) の変化。細線は堆積物コアからの分析結果、太線は解釈結果（黒：通常期または遷移期間、赤：強度極小期間）を示す。磁場反転期間の前後には強度極小期間が認められる。

(Yamamoto et al.(2026)の Figure 3 を一部改変)

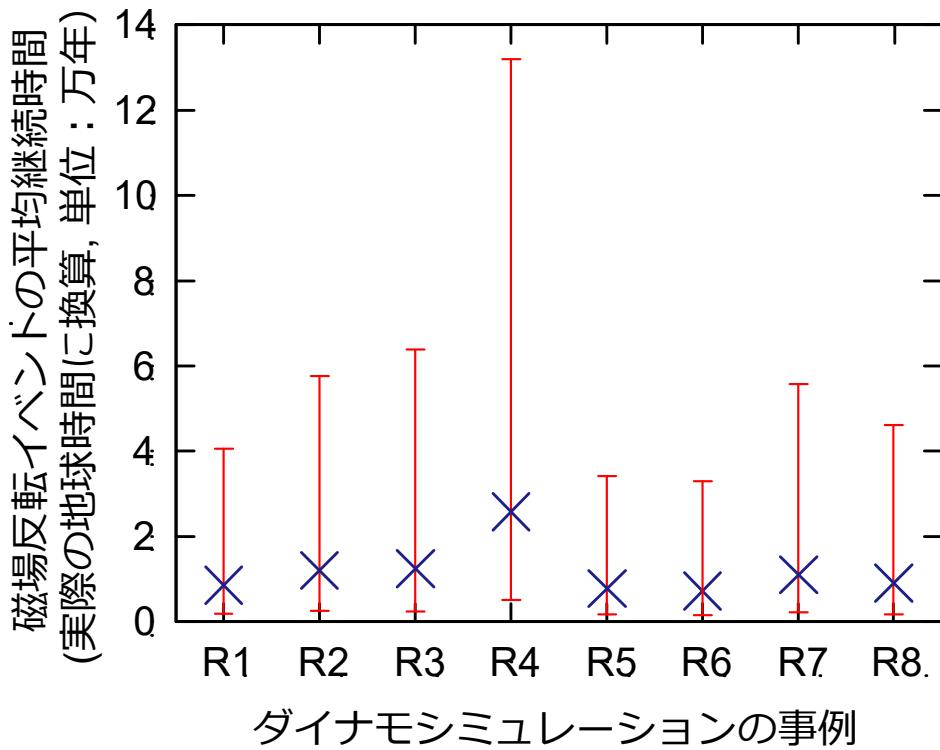


図 3 数値地球ダイナモモデルによる磁場反転イベントの平均継続時間

横軸には、パラメーター設定が異なるダイナモシミュレーション事例 R1～R8 を示す。一方、縦軸は各事例における磁場反転イベントの継続時間を示しており、値は実際の地球時間に換算している。継続時間の範囲は、 2σ (2 シグマ) レベルの区間として表示している。

(Yamamoto et al.(2026)の Figure 4 を一部改変)