

チバニ안의地層「千葉複合セクション」から 明らかになった最後の地磁気逆転の全体像

羽田 裕貴¹⁾・岡田 誠²⁾・菅沼 悠介³⁾⁴⁾・北村 天宏⁵⁾

* 本稿は 2020 年 9 月に、国立極地研究所、産業技術総合研究所、茨城大学が共同で行ったプレス発表を修正・加筆したものです。

1. はじめに

現在の地球上では、方位磁石は N 極が北を指し、S 極は南を指します。これは地球が、北極が S 極、南極が N 極の大きな磁石になっているためです。長い地球の歴史では、この磁石の向きが頻繁に入れ替わっていました。地磁気は現在とは逆向きであった「松山逆磁極期」から、現在と同じ向きの「ブルン正磁極期」に逆転したのは、今から約 77 万年前のことです。

過去の地磁気を調べる学問を「古地磁気学」と呼びます。地磁気逆転は世界規模で同時に起こることから、松山逆磁極期からブルン正磁極期への最後の地磁気逆転、すなわち「松山-ブルン境界」は世界中の地層に記録されています。そのため、松山-ブルン境界は地質年代層序境界の一つである前期-中期更新世境界の指標とすることが決められており、地層の年代決定と対比において非常に重要な役割を担っています。

松山逆磁極期からブルン正磁極期へ地磁気の向きが入れ替わる過程で、地磁気の分布や強さがどのように変化したのかを明らかにするために、溶岩や遠洋の海底をボーリングすることで得られる地層を用いた研究が行われてきました。しかし、溶岩は間欠的に噴出することから、数百年から数千年という地質学的には短い時間スケールの地磁気変動を連続的に捉えることは困難です。また、遠洋の海底では地層がゆっくりと堆積するため、地層中に保存された地磁気の向きなどの記録が平滑化されてしまい、短い時間スケールの地磁気変動は記録されません。そのため、松山-ブルン境界での地磁気逆転の詳しい様相を復元するためには、時間の空白がなく、比較的短い時間で堆積した地層が適しています。その条件をみたく代表的な地層の一つが、地質時代「チバニアン」の名称の由来になった千葉複合セクションです。

2. 千葉複合セクションの概要とこれまでの研究

千葉複合セクションは、千葉県市原市で観察することができる 5 ケ所の地層（養老川、養老田淵、小草畑、柳川、および浦白セクション）の総称です。主に泥岩と薄い砂層、火山噴出物（火山灰層や軽石層、スコリア層）から構成されます。各地点の地層は特徴的な火山灰層や砂層によって対比され、千葉複合セクションとしての層厚は約 130 m になります。市原市田淵地区の養老川沿いで観察できる養老川セクションの最下部の地層は、とくに「千葉セクション」と呼ばれ、チバニアン期（77 万 4000 年前から 12 万 9000 年前の地質時代）の下限を定義する地層（GSSP, Global boundary Stratotype Section and Point : 国際境界模式層断面とポイント）として、2020 年 1 月 17 日に国際地質連合（IUGS）によって認定されました（板木, 2020 ; Sugauma *et al.*, in press). チバニアン期の下限は、千葉セクションに挟まる厚さ 1 cm 程度の白色火山灰の地層（白尾火山灰層）の下限に定義されます（Sugauma *et al.*, in press).

千葉セクションを含めて、房総半島の地層に対する古地磁気研究は 1950 年代まで遡ることができます。これらの先駆的な研究によって、松山-ブルン境界は白尾火山灰層の約 2 m 下位に位置するとされてきました（例えば、Niitsuma, 1971）。しかし、Sugauma *et al.* (2015) が熱消磁という方法を用いて、古地磁気の記録を再検討したところ、松山-ブルン境界は白尾火山灰層の約 1 m 上位にあることが明らかになりました。さらに Okada *et al.* (2017) は、千葉セクションとその近傍の養老田淵セクションの下部の地層に対して、試料中の磁性鉱物が熱変質しない上限温度まで加熱した後に交流消磁を施すことで、松山-ブルン境界近傍の古地磁気の方位と強度を復元することに成功しました。その後、Simon *et al.* (2019) は、対象とする地層を養老田淵セクションの上限まで延ばし、古

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門

2) 茨城大学理学部 〒310-8512 水戸市文京 2-1-1

3) 国立極地研究所地圏研究グループ 〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3

4) 総合研究大学院大学極域科学専攻 〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3

5) 茨城大学大学院理工学研究科 〒310-8512 水戸市文京 2-1-1

キーワード：地磁気逆転、松山-ブルン境界、チバニアン、GSSP、千葉セクション、千葉複合セクション

地磁気の強度と同じく地磁気の強さの指標として用いられるベリリウム同位体比を分析することで、当時の地磁気強度の変動を復元しました。これらの一連の研究によって、新たに松山ーブルン境界の年代が約 77 万 3000 年前であること、地磁気逆転の際に地磁気強度が現在の約 30 % まで減少していたこと、地磁気逆転が起きた後の約 1 万年間は地磁気強度が非常に弱いままであったことが明らかになりました。しかし、千葉複合セクションの上位の地層では古地磁気分析が実施されておらず、そのため千葉複合セクションが堆積した当時の地磁気変動の全容は不明なままでした。また、千葉セクションから約 70 m 北東に位置する養老田淵セクションでの松山ーブルン境界の位置は明らかになっていませんでした。

本研究では、千葉複合セクションの一部である養老田淵セクション最下部と養老川セクション上位の地層に対して新たに古地磁気分析を行うことで、松山ーブルン境界での連続的かつ詳細な古地磁気記録を得ました (Haneda *et al.*, 2020a)。

3. 成果の概要

養老田淵セクションの最下部に地層から、新たに古地磁気分析用の試料を採取しました (写真 1)。古地磁気分析の結果、養老田淵セクションにおける松山ーブルン境界の地層上の位置が、白尾火山灰層から 1.6 m 上位になることがわかりました (第 1 図)。この結果は、千葉複合セクションの一部である千葉セクション、柳川セクション、および田淵地区で掘削されたボーリングコアで確認された松山ーブルン境界とよく一致しており、火山灰層による地層の対



写真 1 養老田淵セクション最下部でのサンプリングの様子

比を裏付けることができました。また、千葉複合セクションの 3 つの地層、および田淵地区のボーリングコアに記録された松山ーブルン境界は、その平均層位が白尾火山灰層から 1.1 m 上位に、平均年代が 77 万 2900 年前 (± 5400 年) と見積もられました。この年代値は、北大西洋、赤道インド洋、および赤道太平洋の海底堆積物から報告されている値とよく一致します (Channell *et al.*, 2010; Valet *et al.*, 2019)。

また、養老川セクション上位の地層から得た新しいデータと、これまでに千葉複合セクションから得られていたデータを統合することで、79 万年前から 75 万年前の約 4 万年間にわたる連続的な地磁気の方角と強度の変動記録を構築しました (第 2 図)。その結果、松山ーブルン境界の約 1 万年前から少なくとも 3 回、地磁気極が南極から大きく外れ、同時に地磁気強度も減少していたことが明らかになりました。同様に、北大西洋の海底堆積物やチリやハワイの溶岩を用いた研究は、松山ーブルン境界の約 1 万年前に、地磁気極が南極から低緯度へ大きく動いていたことを報告しています (Channell *et al.*, 2010; Singer *et al.*, 2019)。このことは、松山ーブルン境界の少なくとも約 1 万年前から、地磁気が不安定な状態であったことを意味します。また、地磁気が不安定な状態は、松山ーブルン境界の約 1 万年後まで続きます。これらの結果は、松山ーブルン境界をまたいだ約 2 万年間は、地磁気の大極子成分^{注1}が弱くなることで非大極子成分^{注2}が繰り返し卓越していた可能性を示唆します。

本研究で報告した松山ーブルン地磁気逆転の全容は、あくまで千葉複合セクションの古地磁気記録から復元したものです。しかし、今後、コンピュータシミュレーションと組み合わせることで地磁気逆転メカニズムの解明に近づくと考えられます。また、千葉複合セクションでは海のプランクトンや花粉の化石を用いることで、松山ーブルン境界を含む前期ー中期更新世境界の環境変動に関する研究も行われています (Suganuma *et al.*, 2018; Haneda *et al.*, 2020b; Kameo *et al.*, 2020)。これら当時の環境記録と古地磁気記録を比較することで、地磁気逆転が地球表層環境に与えた影響の有無を検証する手掛かりになると期待されます。

脚注

注1 大極子成分：一対のN極とS極のペア (棒磁石に例えることができる) が作る磁場成分。地球の磁場は、地球の中心に南北に向くようにおいて巨大な棒磁石が作り出す大極子磁場に近似できる。

注2 非大極子成分：地球の磁場から大極子成分を除いた時に残る磁場成分。

文 献

- Channell, J.E.T., Hodell, D.A., Singer, B.S. and Xuan, C. (2010) Reconciling astrochronological and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for the Matuyama–Brunhes boundary and late Matuyama chron. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **11**, Q0AA12.
- Haneda, Y., Okada, M., Suganuma, Y. and Kitamura, T. (2020a) A full sequence of the Matuyama–Brunhes geomagnetic reversal in the Chiba composite section, central Japan. *Progress in Earth and Planetary Science*, **7**, 44.
- Haneda, Y., Okada, M., Kubota, Y. and Suganuma, Y. (2020b) Millennial-scale hydrographic changes in the northwestern Pacific during marine isotope stage 19: teleconnection with ice melt in the North Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, **531**, 115936.
- Hyodo, M., Katoh, S., Kitamura, A., Takasaki, K., Matsushita, H., Kitaba, I., Tanaka, I., Nara, M., Matsuzaki, T., Dettman, D.L. and Okada, M. (2016) High resolution stratigraphy across the early–middle Pleistocene boundary from a core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba Prefecture, Japan. *Quaternary International*, **397**, 16–26. doi:10.1016/j.quaint.2015.03.031.
- Hyodo, M., Bradák, B., Okada, M., Katoh, S., Kitaba, I., Dettman, D.L., Hayashi, H., Kumazawa, K., Hirose, K., Kazaoka, O., Shikoku, K. and Kitamura, A. (2017) Millennial-scale northern Hemisphere Atlantic-Pacific climate teleconnections in the earliest Middle Pleistocene. *Scientific Reports*, **7**, 10036.
- 板木拓也 (2020) 日本初の GSSP: 千葉セクションとチバニアン. *GSJ 地質ニュース*, **9**, 185–191.
- Kameo, K., Kubota, Y., Haneda, Y., Suganuma, Y. and Okada, M. (2020) Calcareous nannofossil biostratigraphy of the Lower–Middle Pleistocene boundary of the GSSP, Chiba composite section in the Kokumoto Formation, Kazusa Group, and implications for sea-surface environmental changes. *Progress in Earth and Planetary Science*, **7**, 36.
- Niitsuma, N. (1971) Detailed study of the sediments recording the Matuyama–Brunhes geomagnetic reversal. *The science reports of the Tohoku University. Second series, Geology*, **43**, 1–39.
- Okada, M., Suganuma, Y., Haneda, Y. and Kazaoka, O. (2017) Paleomagnetic direction and paleointensity variations during the Matuyama–Brunhes polarity transition from a marine succession in the Chiba composite section of the Boso Peninsula, central Japan. *Earth Planets Space*, **69**, 45.
- Simon, Q., Suganuma, Y., Okada, M., Haneda, Y. and ASTER team (2019) High-resolution ^{10}Be and paleomagnetic recording of the last polarity reversal in the Chiba composite section: Age and dynamics of the Matuyama–Brunhes transition. *Earth and Planetary Science Letters*, **519**, 92–100.
- Singer, B.S., Jicha, B.R., Mochizuki, N. and Coe, R.S. (2019) Synchronizing volcanic, sedimentary, and ice core records of Earth's last magnetic polarity reversal. *Science Advances*, **5**, eaaw4621.
- Suganuma, Y., Okada, M., Horie, K., Kaiden, H., Takehara, M., Senda, R., Kimura, J., Haneda, Y., Kawamura, K., Kazaoka, O. and Head, M.J. (2015) Age of Matuyama–Brunhes boundary constrained by U–Pb zircon dating of a widespread tephra. *Geology*, **43**, 491–494.
- Suganuma, Y., Haneda, Y., Kameo, K., Kubota, Y., Hayashi, H., Itaki, T., Okuda, M., Head, M.J., Sugaya, M., Nakazato, H., Igarashi, A., Shikoku, K., Hongo, M., Watanabe, M., Satoguchi, Y., Takeshita, Y., Nishida, N., Izumi, K., Kawamura, K., Kawamata, M., Okuno, J., Yoshida, T., Ogitsu, I., Yabusaki, H. and Okada, M. (2018) Paleoclimatic and paleoceanographic records of Marine Isotope Stage 19 at the Chiba composite section, central Japan: A reference for the Early–Middle Pleistocene boundary. *Quaternary Science Reviews*, **191**, 406–430.
- Suganuma, Y., Okada, M., Head, M.J., Kameo, K., Haneda, Y., Hayashi, H., Irizuki, T., Itaki, T., Izumi, K., Kubota, Y., Nakazato, H., Nishida, N., Okuda, M., Satoguchi, Y., Simon, Q., Takeshita, Y. (in press) Formal ratification of the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Chibanian Stage and Middle Pleistocene Subseries of the Quaternary System: the Chiba Section, Japan. *Episode*.
- Valet, J.P., Bassinot, F., Simon, Q., Savranskaia, T., Thouveny, N., Bourlés, D.L. and Villedieu, A. (2019) Constraining the age of the last geomagnetic reversal from geochemical and magnetic analyses of Atlantic, Indian, and Pacific Ocean sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, **506**, 323–331.

HANEDA Yuki, OKADA Makoto, SUGANUMA Yusuke and KITAMURA Takahiro (2020) A full sequence of the Matuyama–Brunhes geomagnetic reversal in the Chiba composite section, Central Japan.

(受付: 2020年11月2日)