

# 解説：地磁気（地球磁場）の逆転

## A note on geomagnetic reversals

星 博幸  
Hiroyuki HOSHI

愛知教育大学理科教育講座地学領域 (hoshi@auecc.aichi-edu.ac.jp)

キーワード：ブリュンヌ-松山逆転境界, チバニアン, 千葉セクション, 地磁気 (地球磁場), 地球磁気学, 古地磁気学, 地磁気逆転

**Key words:** Brunhes-Matuyama boundary, Chibanian, Chiba section, geomagnetic field, geomagnetism, paleomagnetism, geomagnetic reversal

### 1. はじめに

チバニアン申請が日本でこれほどの騒ぎになるとは、多くの地質学関係者はもちろんのこと、申請に直接関わった研究者も想像できなかったに違いない。名称がアニメのキャラクターを連想させるとか、地磁気逆転 (後述) が記録されている地層がパワースポットを連想させるなど、非科学的な理由も騒ぎの一因になっているようである。そのため、この騒ぎにほとんど関心を示さない地質学研究者も多い。しかし、この騒ぎのおかげで、地質学のいくつかの専門用語が新聞や一般雑誌、テレビのニュースなどで見たり聞いたりする機会が増えた。こうした状況は、国際地質科学連合が千葉セクション (地層) を更新世前期/中期境界層の国際標準模式地 (global boundary stratotype section and point; GSSP) として正式に登録すれば、その後しばらくの間は続くことになるに違いない。それは地質学関係者だけでなく学校教育や理科教育に携わる教育関係者にとってもプラスに働くと考えられる。

チバニアン騒ぎでよく耳にするようになった専門用語の一つに地磁気逆転がある。地磁気逆転は、通常時に地磁気の大部分 (90% 程度) を構成している双極子磁場成分が逆転 (反転) する現象であり (図 1), 英語では geomagnetic reversal あるいは単に reversal (リバーサル) という (URL1)。地磁気逆転をポールシフト (pole shift) と呼ぶ非専門家もいるが、それは不正確である。地磁気の性質と成因について研究する学問分野を地球磁気学 (geomagnetism) という。過去に起こった地磁気逆転は、堆積物や火成岩の残留磁化 (remanent magnetization) を測定・解析することによって研究される。そうした過去の地磁気について残留磁化記録を頼りに研究する学問分野を古地磁気学 (paleomagnetism) という。

ここでは地磁気逆転について、読者の多くがあまり知らないと思われる事実と解釈について簡潔に紹介する。地磁気についてより深く知りたい読者には『なぜ磁石は北をさす：地球電磁気学入門』(力武, 1978), 『地球磁場とその逆転』(力武, 1980), 『地球の真ん中で考える』(浜野, 1993), 『地磁気逆転 X 年』(綱川, 2002) などの啓蒙書が参考になるだろう (いずれも残念ながら 2017 年現在品切れ状態)。専門的に学びたい読者には『地球をはかる』(藤井ほか, 1994), 『古地磁

気学』(小玉, 1999), 『太陽地球系科学』(地球電磁気・地球惑星圏学会学校教育ワーキング・グループ編, 2010) を薦める。筆者が学校教育関係者向けに書いた解説論文 (星ほか, 2016) も参考になると思われる。SF 小説を通じて地磁気とその逆転について知りたい読者には『磁極反転』(伊与原, 2014) を薦める (この文庫版が『磁極反転の日』というタイトルで新潮文庫から出版されている)。なお、伊与原新はペンネームで、この作家は地磁気・古地磁気分野の研究者・大学教員であった人物である。

### 2. 千葉セクションが注目される理由

更新世前期/中期境界はブリュンヌ正磁極期 (Brunhes normal polarity chron) と松山逆磁極期 (Matuyama reverse polarity chron) の境界と定められている (ちなみに英語で松山は Matsuyama ではなく Matuyama と書くことになっている)。ここでブリュンヌ正磁極期とは約 77 万年前から現在まで続く期間であり (図 2), この期間は地表の大部分において方位磁針の N 極側がほぼ北を指す状態 (正の状態, ノーマルな状態) が続いてきた。ブリュンヌはフランスの地球物理学者 Bernard Brunhes (1867-1910) にちなむ。一方、松山逆磁極期とはブリュンヌ正磁極期より前の、地表の大部分において磁針の N 極側がほぼ南を指す状態 (逆の状態, リバ

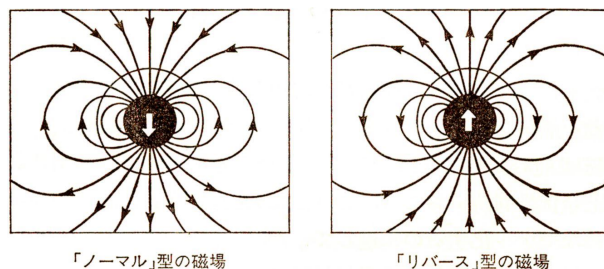


図1 地磁気 (地球磁場) を双極子磁場で近似したイメージ (河野, 1982 から引用)。左は正磁極期, 右は逆磁極期の状態を示す。黒い丸が地球の核で, その外側の円が地球を示す。核の中に描かれている白い矢印は地磁気双極子 (仮想的な磁石) のイメージで, 矢尻のある側が N 極。矢印のある曲線は磁力線。

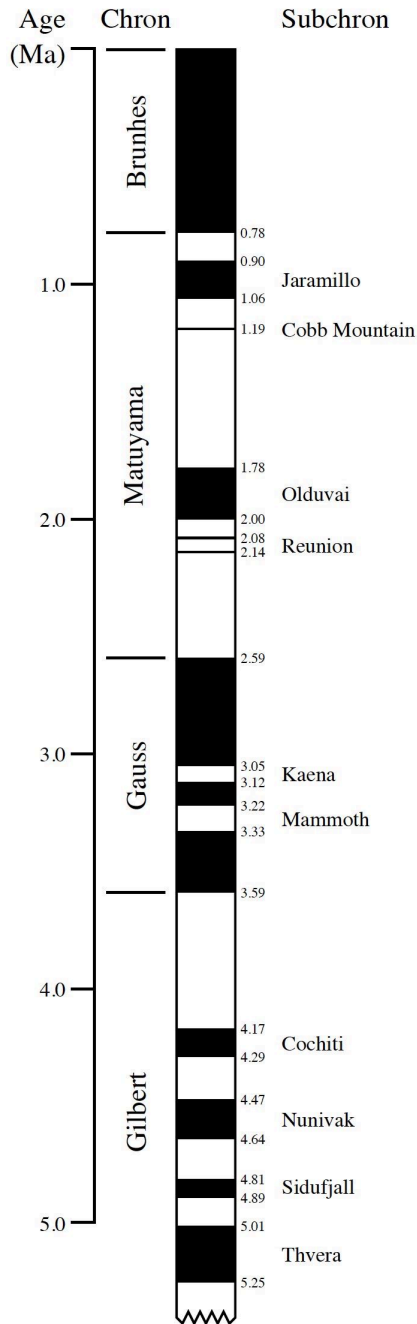


図2 過去500万年間(0–5 Ma)の地磁気逆転史(URL2)。黒色で塗られた期間が正極期、白色の期間が逆極期。ブリュンヌ-松山境界年代が0.78 Ma(78万年前)となっているが、最近では0.77 Ma(77万年前)が受け入れられつつある。

一貫した状態)が卓越していた期間である(図2)。その名称が日本の地球物理学者・松山基範(1884–1958)にちなんでいることは読者の多くが知っていることであろう。松山基範については笹嶋・前中(2003)が詳しい。

GSSP登録において千葉セクションがイタリアの競合セクションよりも優位と考えられるのは、このブリュンヌ-松山逆転境界(以下、B-M逆転あるいはB-M境界)が千葉セクションで見出されているためである。岡田 誠(茨城大学教授)を中心とする研究グループは千葉セクションの海成層の残留磁化を調査し、この地層の残留磁化が露頭下部では松山

逆極期に対応する逆極性を示すが露頭上部ではブリュンヌ正極期に対応する正極性を示すことを見出し、極性が移り変わる際の地磁気ベクトル(方向と強さ)の変化の様子も明らかにした。そのデータは2017年に論文として発表された(Okada et al., 2017)。実はイタリアの競合セクションからはB-M境界を明示する残留磁化データが報告されていない。もちろんイタリアでも残留磁化の検討がされたが、質の良い残留磁気データが得られず、間接的にB-M逆転を示唆するデータは報告されているものの直接的には境界が明らかになっていない。なお、千葉セクションでは火山灰層の高精度放射年代や微化石などのデータも得られており、それらも千葉セクションの優位性を高めていると考えられる。

実は、千葉セクションの残留磁化の解読には困難を伴った。この研究は途中経過が学会で報告されていたので、筆者のように古地磁気学を専門とする研究者の間では論文が発表される前から研究状況がある程度知られていた。困難の原因は、地層堆積後に地層中に生成した強磁性硫化鉄鉱物が無視できない大きさの二次磁化(地層堆積後に獲得された残留磁化)を持っており、それが初生磁化(地層堆積時に獲得された残留磁化)の解読の障害になったことである。この強磁性硫化鉄は還元状態で続成作用が進行した堆積物にしばしば含まれているが、千葉セクションではこの強磁性硫化鉄の二次磁化がかなり大きく、それが磁鉄鉱の記録する初生磁化を見えなくしていた。通常の方法ではうまくいかない。そこで岡田らは試行錯誤を重ね、堆積物試料を無磁場中で300°Cで加熱することによって強磁性硫化鉄の二次磁化の大部分を消磁し、その後試料を交流消磁法によって分析して磁鉄鉱が担っている初生磁化を分離することに成功した。地磁気逆転中に堆積した地層の初生磁化シグナルは小さいため(後述のように逆転中は地磁気強度が弱いため)、初生磁化データの質が高いとは言えない試料もある。それでも、初生磁化の極性が層序的に逆転したことは明らかである。

### 3. 地磁気が逆転すると…

逆転という言葉の強さのためか、地磁気逆転は地球磁気学と古地磁気学を専門としない人も高い関心を示す現象である。筆者が勤務する大学でも、地磁気と古地磁気に関する講義の中で、地磁気逆転については学生から質問が寄せられることが多い。ここでは地磁気逆転に関して学生からよく質問される事柄について簡単に解説する。

#### 1) 地磁気逆転にかかる時間は?

地磁気はかなり短い時間(一瞬)のうちに逆転すると想像する人がいるが、露頭試料と掘削コアを用いたB-M境界の研究によれば、地磁気逆転は人間の一生の時間スケールよりもずっと長い時間スケールで起こる現象のようだ。逆転にかかる時間の見積もりには幅があるが、1千年から1万年程度と見積もられている(例えば、Merrill and McFadden, 1999)。見積もりに1桁もの違いがあるのは、逆転の開始と終了の認定が容易ではない場合があることや、同じ逆転現象(例えば、

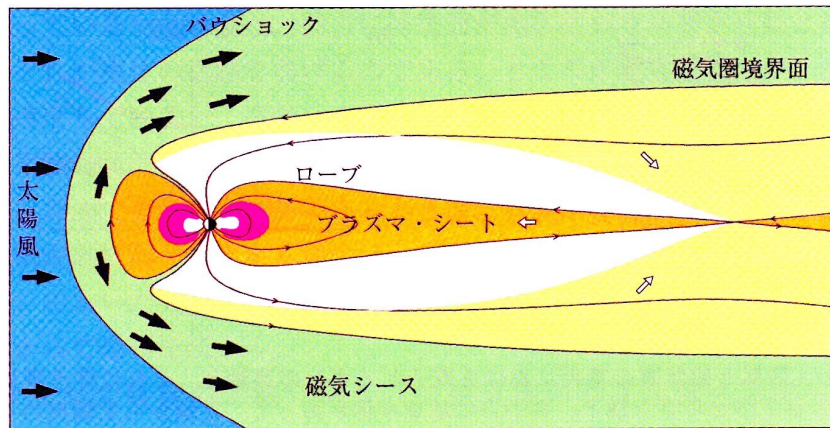


図3 地球磁気圏。地球電磁気・地球惑星圏学会学校教育ワーキング・グループ編 (2010) から引用。

B-M 逆転) であっても地磁気ベクトル変化が地域によって異なっていた可能性があることなどの理由が考えられる。いずれにせよ、地磁気逆転はある安定状態(極性)から別の安定状態(極性)へ、ある程度の時間をかけて移り変わる現象である。英語では polarity transition と表現されることがある。数千年という時間は地質学を深く学んだことのない人にとっては非常に長く感じられるだろうが、地質学を学んだ人なら「一瞬」と思うであろう。事実、例えば平均堆積速度が1千年に20 cmの泥岩層の場合、5千年と1万年に対応する地層の厚さはそれぞれ1 mと2 mであり、厚さが数百メートルやそれ以上に及ぶ地層の調査に慣れている人は瞬間的な時間と思うであろう。堆積速度が1千年に数センチほどの遠洋深海堆積物の場合は、地磁気逆転は地層中でほとんど面として認識される。

## 2) 地磁気逆転時に地磁気は消失する?

地磁気は生命の維持にとっても重要であるため、「逆転 → 地磁気の消失あるいは弱化 → 生物の絶滅や大きな変化?」と想像する人がいる。事実、新妻信明(静岡大学名誉教授)はかつてそうした観点でB-M逆転と化石記録との対応関係について研究した(新妻, 1971)。しかし、現在までのところ地磁気逆転が生物の大量絶滅あるいは大きな変化を引き起こしたと多くの研究者が認める結果は報告されていない。地磁気は固体地球を取り巻く地球磁気圏を形成しており(図3)、それは太陽風や銀河宇宙線が直接地表に届くのを防ぐバリアの役割を果たしている(地球電磁気・地球惑星圏学会学校教育ワーキング・グループ編, 2010)。太陽風や銀河宇宙線の粒子(電子やイオン)が細胞に当たると、DNA中の遺伝情報がダメージを受ける。地磁気逆転時に地磁気完全に消失したならば、その期間は地球磁気圏というバリアもなくなったと考えられるので、太陽風や銀河宇宙線の粒子が地表に届いた可能性が考えられる。そうなれば地表の生物も影響を受けた可能性が考えられるが、上述のように実際にはそうしたことは起こらなかったようである。

マグマが冷却・固結して火成岩が生成するとき、火成岩に含まれる強磁性鉱物はその場の地磁気を熱残留磁化(thermoremanent magnetization; TRM)として記録する。火成

岩のTRMの強さは、岩石に含まれる強磁性鉱物の種類や量、TRM獲得時の地磁気強度などによって決まる。実験室で、ある磁場中で火成岩に人工的にTRMを記録させる実験を行うと、その岩石のTRMの獲得効率がわかる(同じ磁場中で実験しても岩石が異なればTRM強度が変わる)。獲得効率がわかれば、その岩石が記録している天然TRMの強度から、その獲得時の地磁気強度を推定できる。このようにしてTRMの解析から過去の地磁気強度(古地磁気強度)を復元することができる。B-M逆転時の古地磁気強度復元は世界各地で試みられているが、その結果を見るとやはり地磁気完全に消失したようには見えない。しかし、逆転時には逆転前後(通常状態)の1/10程度にまで減衰したようである(Mochizuki et al., 2011)。

## 3) 次の地磁気逆転はいつ?

この数百年間、地磁気強度が徐々に減少していることはよく知られている(例えば、気象庁地磁気観測所のホームページを参照; URL3)。1950年から2010年までの60年間に、地磁気双極子(地球中心にある棒磁石のようなものと思えばよい)の強さは約7%減少した(図4)。この速さで地磁気今後も減少し続けると、地磁気はあと1000年も経たないうちに消失してしまうことになる。

この減少が地磁気逆転へ向かう過程であるならば、数百年後の人類はまさに地磁気逆転の真っ只中に生きることになる。約77万年前から続いてきたブリュンヌ正磁極期が終了し、1千年後かそれより少し後には方位磁針のN極が南を指す状態になるかもしれない。上記のように地磁気逆転時でも弱いながら地磁気が存在する可能性が高いため、人類を含む地上の生物は次の逆転時も地球磁気圏に守られて生き延びる可能性が高い。

しかし、この減少は単に地磁気の永年変化(百年~千年スケールの周期的な変化; URL3)に過ぎず、そのうち減少傾向が止まって今後は増加傾向に転じるという可能性も十分考えられる。考古遺物や湖沼堆積物から得られた完新世の古地磁気変動の記録は地磁気の永年変化を明瞭に示しており、現在は日本での地磁気偏角(真北を基準とした磁北の偏向角で、東回りを正として表す)がわずかに西偏を示すが江戸時

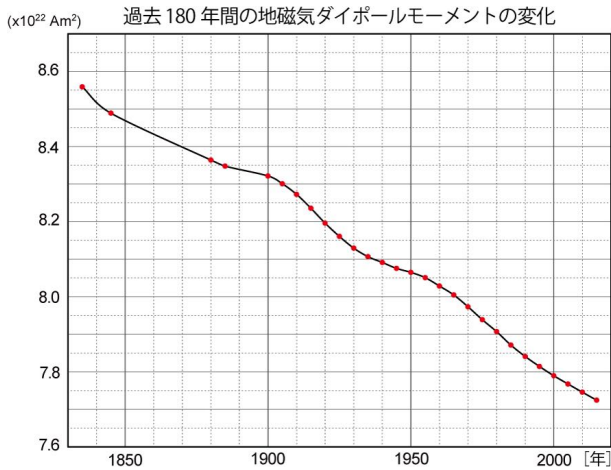


図 4 過去 180 年間の地磁気双極子モーメントの変化。京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センターのホームページ (URL4) から引用。

代にはわずかに東偏していたことはよく知られている。ただし完新世の信頼できる古地磁気強度データは方位データに比べると少ない。地磁気強度の減少傾向が永年変化の範囲で説明可能かどうかを知るには信頼できる古地磁気強度データを充実させる必要があり、これは現在の古地磁気学の第一線の研究テーマになっている。

#### 4. 謝辞

古地磁気学に関する筆者の研究は JSPS 科研費(17K05680)と高知大学海洋コア総合研究センター共同利用研究(10A007, 10B007, 12A004, 12B003, 13A003, 13B003, 14A014, 14B012, 15A004, 15B004, 16A003, 16B003, 17A001, 17B001)の支援を受けており、本解説もその成果の一部である。

#### 5. 文献・URL

藤井陽一郎・藤原嘉樹・水野浩雄, 1994, 地球をはかる (新版地学教育講座 1)。東海大学出版会, 194p.

浜野洋三, 1993, 地球の真ん中で考える。岩波書店, 146p.

星 博幸・山本裕二・渋谷秀敏, 2016, 磁極と地磁気極。地学教育, **68**(4), 197–203. doi: 10.18904/chigakukyoiku.68.4\_197

伊与原新, 2014, 磁極反転。新潮社, 445p.

小玉一人, 1999, 古地磁気学。東京大学出版会, 248p.

河野 長, 1982, 岩石磁気学入門。東京大学出版会, 146p.

Merrill, R. T. and McFadden, P. L., 1999, Geomagnetic polarity transitions. *Reviews of Geophysics*, **37**(2), 201–226.

Mochizuki, N., Oda, H., Ishizuka, O., Yamazaki, T. and Tsunakawa, H., 2011, Paleointensity variation across the Matuyama-Brunhes polarity transition: Observations from lavas at Punaruu Valley, Tahiti. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, **116**(6), B06103. doi: 10.1029/2010JB008093

新妻信明, 1971, 地球磁場逆転と古環境並びに有孔虫群集変化について。第四紀研究, **10**(2), 60–68.

Okada, M., Sugauma, 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 and Space*, **69**, 45. doi: 10.1186/s40623-017-0627-1

力武常次, 1978, なぜ磁石は北をさす: 地球電磁気学入門。講談社ブルーバックス, 247p.

力武常次, 1980, 地球磁場とその逆転。サイエンス社, 236p.

笹嶋千鶴子・前中一晃, 2003, 新編 今始庵だより: 地球科学者松山基範の世界。中西印刷, 138p.

地球電磁気・地球惑星圏学会学校教育ワーキング・グループ (編), 2010, 太陽地球系科学。京都大学出版会, 306p.

綱川秀夫, 2002, 地磁気逆転 X 年。岩波ジュニア新書, 222p.

URL1: <https://ja.wikipedia.org/wiki/地磁気逆転>

URL2: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagnetic\\_reversal](https://en.wikipedia.org/wiki/Geomagnetic_reversal)

URL3: [http://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/mg\\_bg.html](http://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/mg_bg.html)

URL4: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/dmvar-j.html>