

東海層群， Gauss-松山境界直上の亀山層上部から得られた 古地磁気測定結果

星 博幸* 田中 里志** 宇佐美 徹*** 中川 良平****
津村 善博***** 小竹 一之*****

*理科教育講座（地球科学）

**京都教育大学理学科

***愛知県立杏和高等学校

****三重県総合博物館

*****三重県多気郡多気町立津田小学校

Paleomagnetic Results from the Upper Part of the Kameyama Formation Immediately above the Gauss–Matuyama Boundary in the Tokai Group, Central Japan

Hiroyuki HOSHI*, Satoshi TANAKA**, Toru USAMI***,
Ryohei NAKAGAWA****, Yoshihiro TSUMURA*****,
and Kazuyuki KOTAKE*****

*Department of Science Education (Geology), Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

**Kyoto University of Education, Fushimi, Kyoto 612-8522, Japan

***Kyowa High School, Inazawa, Aichi 495-8505, Japan

****Mie Prefectural Museum, Tsu 514-0061, Japan

*****Tsuda Elementary School, Taki, Mie 519-2186, Japan

Abstract

We report paleomagnetic directional data from the upper part of the Plio-Pleistocene Kameyama Formation of the Tokai Group in Mie Prefecture, central Japan. Mudstone samples were taken from four sites on a 10-m-thick outcropping section, which is expected to be correlated with the lowermost portion of the Matuyama Chronozone. Characteristic remanent magnetization components found using principal component analysis yield reverse-polarity site-mean directions, confirming our expectation. These directions, together with recently published data from our paleomagnetic studies for other sections, are valuable for establishing the magnetostratigraphy of the Tokai Group.

1. はじめに

鮮新統と更新統（新第三系と第四系）の境界を地層中に認定するのに有効な方法の一つは、地磁気年代層序の Gauss・クロノゾーン（Gauss Chronozone）と松山クロノゾーン（Matuyama Chronozone）の境界（以下、G-M境界）に対比可能な古地磁気極性境界を見出すことである。鮮新統-更新統境界は古地磁気の G-M境界にほぼ対応するため（Gibbard et al., 2010），多くの地層では G-M境界を鮮新統-更新統境界とみなして大きな問題はない（ただし、堆積速度が大きい地層

では G-M境界と鮮新統-更新統境界とのずれを無視できない可能性があり、堆積速度が小さい地層では堆積残留磁化の lock-in depthの問題を無視できない可能性がある）。日本には鮮新統や更新統が各地に分布するが、陸上の露頭において鮮新統-更新統境界をきちんと認定した研究事例はほとんどない。最近、星ほか（2013）は三重県鈴鹿市に分布する東海層群亀山層上部に G-M境界が存在することを明らかにした。星ほか（2013）は従来の研究（中山・吉川, 1990; Nakayama et al., 1995）で考えられていた G-M境界の層位を大きく修正した。その成果を受けてさらに G-M境界の探索

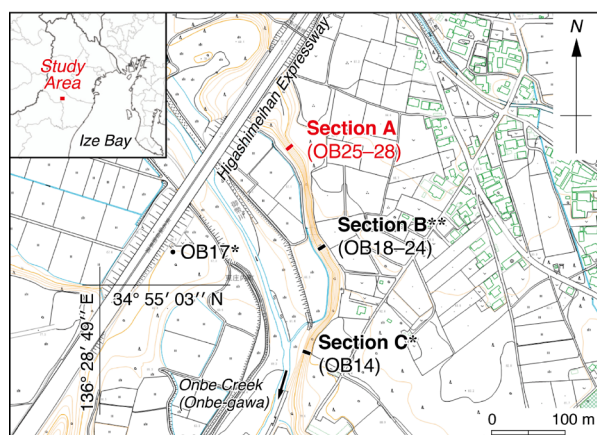


Fig. 1. Map of the study area (downloaded from the geographical information website of Suzuka City; <http://www1.genavis-map.ne.jp/aigssuzuka/Main.aspx>), showing the location of sampling sites (OB25–28 on section A).

* Sites investigated by Hoshi et al. (2013).

** Sites investigated by Hoshi et al. (2014).

を続けた結果、筆者らは1つの露頭内でG–M境界を決定するに至った（星ほか, 2014）。これら一連の成果は今後、東海層群の地史や古生物の研究、さらには火山灰（テフラ）の広域対比研究などに大きな手がかりを与えるものと期待される。

星ほか（2013, 2014）によって東海層群中のG–M境界の層位は明らかになったが、G–M境界直上の古地磁気データが層位区間約10 mにわたって欠如している。この区間の古地磁気は当然ながら逆極性（＝松山クロノゾーンに対比される）と期待されるが、地磁気逆転前後は地磁気が不安定である場合が知られているため（例えば、Merrill and McFadden, 1999）、この欠如区間についてもきちんと古地磁気データを取得する必要がある。そこで筆者らは今回、星ほか（2014）がG–M境界を決定した露頭（Fig. 1; 本論文ではセクションBと呼ぶ）の北方約150 mに新たに調査セクションを設定し（セクションAと呼ぶ）、亀山層上部の細粒碎屑岩の古地磁気を測定した。両セクションはいずれも御幣川左岸に発達する段丘崖に位置する。なお、ガウス・クロノゾーンに対比される正磁極帯最上部古地磁気層準（星ほか, 2013の地点OB14）を含む露頭（セクションCと呼ぶ）も同じ段丘崖に位置する。

2. 地質概説

東海層群や亀山層の地質の概要については他の文献を参照されたい（宮村ほか, 1981; Takemura, 1985; 吉川・吉田, 1989; 吉田, 1990; 吉川ほか, 1991; 田中・宇佐美, 2013など）。ここでは調査地である三重県鈴鹿市西部の御幣川流域（Fig. 1）の地質について、田中・宇佐美（2013）および星ほか（2013, 2014）の記載に基づいて簡潔に述べる。

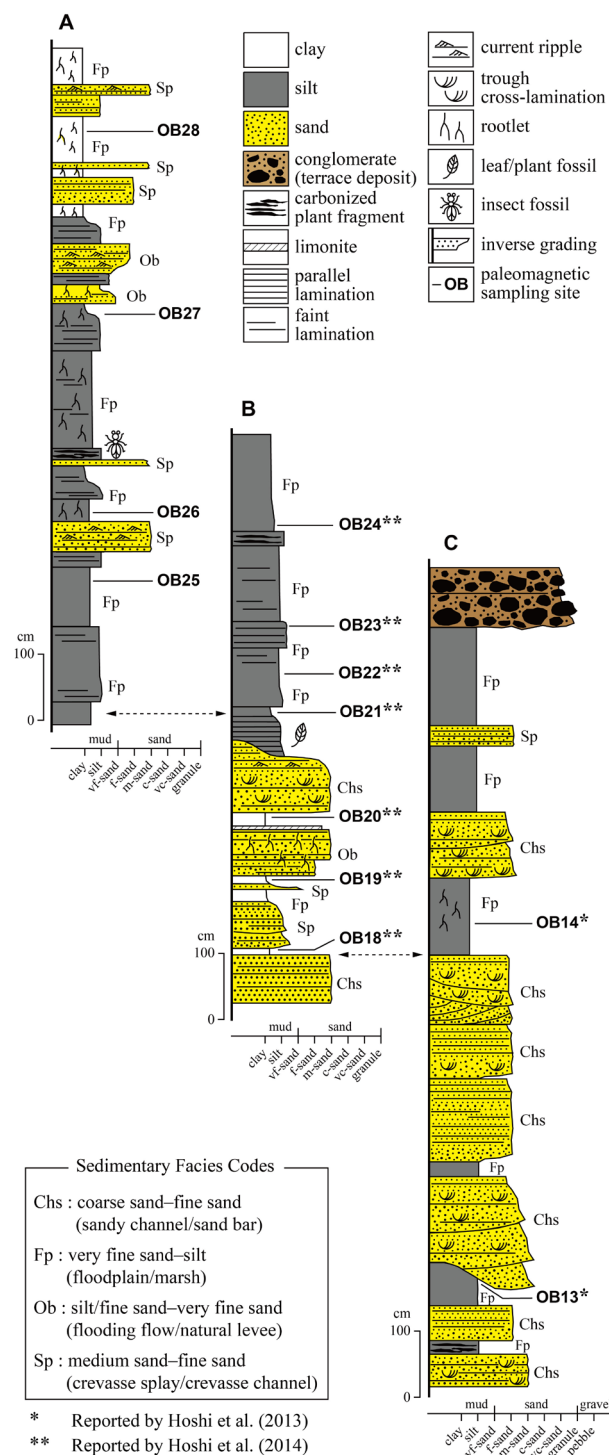


Fig. 2. Sedimentary columns of sections A–C, with interpretations of sedimentary facies (after Tanaka and Usami, 2013). The horizons sampled for paleomagnetic measurements are also indicated.

調査地には亀山層上部が分布している。亀山層は全層厚が500～700 mで、粘土優勢の泥（粘土＋シルト）および砂の厚さ数m～十数mごとの互層からなる。粘土層は青灰色～青緑色を示すことが多い。砂層は細粒砂～粗粒砂であるが、一部に砂礫層が挟まれる。調査地の堆積物（Fig. 2）について田中・宇佐美（2013）は堆積相解析を行い、地層の累重関係と層相の垂直的変

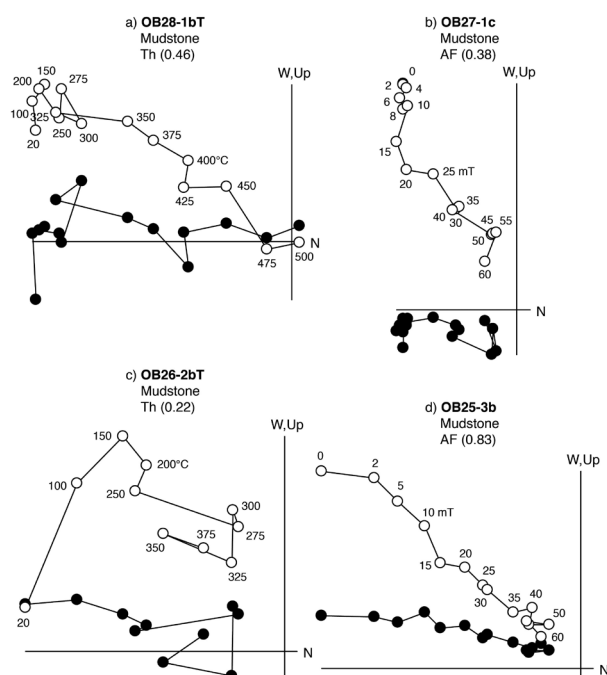


Fig. 3. Orthogonal plots of representative stepwise demagnetization results. Closed and open circles indicate, respectively, projections of vector endpoints onto the horizontal and vertical planes. Values in parentheses are NRM intensity in 10^{-3} A/m. AF = alternating-field demagnetization; Th = thermal demagnetization (in air).

化を議論している。田中・宇佐美 (2013) はこの地域の堆積物を4つの堆積相に区分し、それぞれの堆積環境を次のように推定した。

- ・堆積相 Chs: 砂質河道 (充填) / 砂質バー (砂州) 堆積物
- ・堆積相 Fp: 湿地 / 池沼堆積物
- ・堆積相 Ob: 氾濫洪水 (溢流) / 自然堤防堆積物
- ・堆積相 Sp: クレバス・スプレー / クレバス・チャネル堆積物

調査地の地層は全体として砂質河道堆積物 (堆積相 Chs) と氾濫原堆積物 (堆積相 Fp) が主体であり、まれに氾濫洪水堆積物 (堆積相 Ob) や堤防決壊堆積物 (堆積相 Sp) が挟在している。調査地の地層の垂直的な堆積環境変遷を概観すると、砂質の河川 (河道) 環境 (露頭下部) から湿地や池沼、洪水流堆積物などが見られる氾濫原の環境 (露頭上部) へと変化したことがわかる。

今回試料を採取したセクションAの堆積物は氾濫原堆積物の泥層を主体とし、砂層 (堤防決壊堆積物と氾濫洪水堆積物) を伴う。泥層は塊状のことが多く、炭化植物片や黒色有機物などが混在し、根痕も確認できることがある。

地層の側方追跡と調査地における地層の一般走向・傾斜 (N58°W, 5°N; 星ほか, 2013) から、セクションA, B, Cの層位関係はFig. 2のようにになっている (田中・宇

佐美, 2013)。ここで、調査地の亀山層上部は岩相の側方変化が大きいこと、および3つのセクションには火山灰鍵層がないことから、3セクションの対比 (Fig. 2に破線矢印で示してある) には無視できない程度の誤差が含まれている可能性がある。それでも、誤差が数m以上に達する可能性は低いと考えられる。

3. 試料と方法

セクションAでは高さ約10mの露頭に梯子をかけて岩相調査、層厚測定、試料採取を行った。試料はOB25~28の4層準 (地点) から採取した。試料は粘土岩とシルト岩 (以下、両者をまとめて泥岩とする) で、泥岩は常温でのチョコレート程度の硬さであった。採取方法と使用した機材は星ほか (2013, 2014) と同じである。露頭表層の風化部を可能な限り除去した後、直径25mmのコアを各地点で3または4本採取した。実験室にて各コアから高さ22mmの円筒状試料を2個以上切り出した。

残留磁化の消磁と測定は高知大学海洋コア総合研究センター (以下、コアセンター) 古地磁気実験室の磁気シールドルームで実施した。星ほか (2014) と同じ測定装置を使用し、測定法とデータ解析法も同じであるため、詳細は星ほか (2014) を参照されたい。

4. 結果

段階消磁結果の例をFig. 3に示す。すべての地点において、一部の試料を除き測定したほとんどの試料から固有磁化成分 (直交投影図上で原点に向かって直線的に減衰する成分) が分離された。固有磁化成分の方位は主成分解析 (Kirschvink, 1980) によって決定した。その際、最大角分散 (MAD; maximum angular deviation) が15°以下の方位を採用した。多くの試料には不安定な二次磁化成分が付着していたが、それらは20mTまたは200°Cまでの消磁によって除去された。段階熱消磁では、二次磁化の除去後、500°C前後で磁化が実質的に失われるまで安定なベクトル挙動が続いた試料があった (例えば、Fig. 3a)。しかし多くの試料は残留磁化強度が325°Cまたは350°Cで自然残留磁化 (NRM; natural remanent magnetization) の半分程度かそれ以下になり、それ以降は系統的なベクトル変化を示さなかった (例えば、Fig. 3c)。交流消磁を施した試料のほとんどは60または80mTまで安定なベクトル変化を示した (Fig. 3b, 3d)。本研究では岩石磁気の詳細な検討を行わなかったが、先行研究 (星ほか, 2013, 2014) の岩石磁気検討結果は調査地の砕屑岩の固有磁化成分が堆積残留磁化に由来する初生磁化である可能性を強く示唆している。そのため今回4地点で分離された固有磁化成分も初生磁化とみなすことにする。

Table 1. Site-mean paleomagnetic data.

Site	<i>n</i>	<i>D</i> (°)	<i>I</i> (°)	<i>D_C</i> (°)	<i>I_C</i> (°)	α_{95} (°)	<i>k</i>	λ (°)	ϕ (°)	Pol.
OB28	6	183.7	-45.2	185.8	-40.8	8.7	60.4	-77.4	111.4	R
OB27	8	187.3	-58.0	190.2	-53.4	9.8	33.1	-81.5	50.1	R
OB26	5	190.7	-48.4	192.5	-43.7	12.5	38.7	-75.7	84.1	R
OB25*	7	194.1	-48.7	195.6	-43.9	9.4	44.6	-73.7	76.7	R

n = number of specimens used to calculate site-mean direction.

D and *I* = *in situ* declination and inclination.

D_C and *I_C* = tilt-corrected declination and inclination.

α_{95} = semiangle of the 95% confidence cone for the mean direction.

k = precision parameter.

λ and ϕ = latitude and longitude of virtual geomagnetic pole (VGP).

Pol. = polarity (R = reverse).

* Mean direction was determined by the great circle method of McFadden and McElhinny (1988).

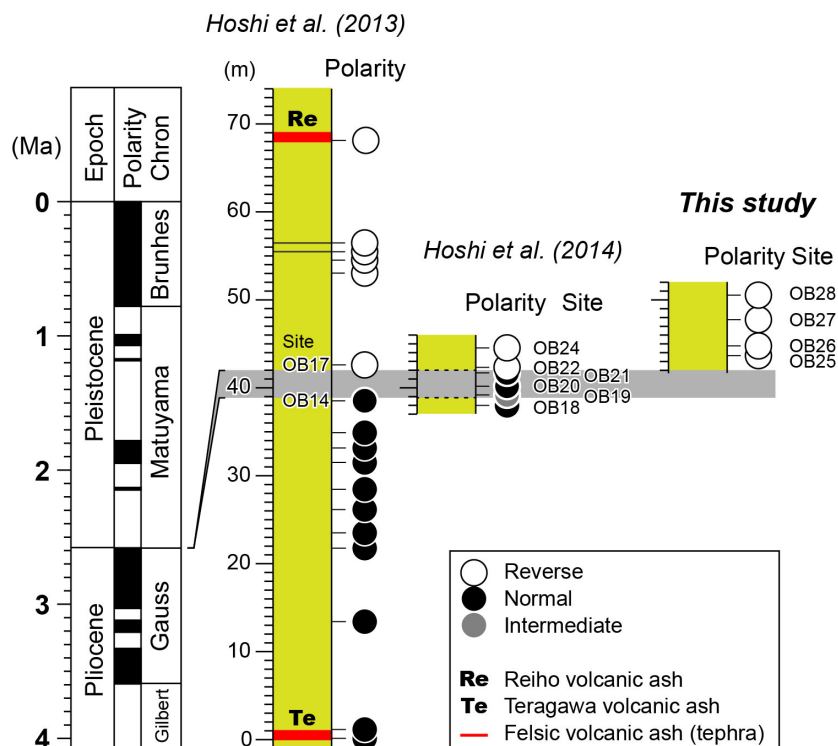


Fig. 4. Summary of magnetostratigraphic data from the study area, modified from Hoshi et al. (2014). The thick gray line indicates the normal-reverse transition zone (ca. 3 m thick) in the upper part of the Kameyama Formation, correlated with the Gauss-Matuyama reversal. The geomagnetic polarity time scale is after Ogg (2012).

固有磁化成分の地点平均方位を Table 1 に示す。OB25 の平均方位は大円法 (McFadden and McElhinny, 1988) により求め、5 つの固有磁化成分と 2 つの消磁大円を使用した。地点平均方位の決定精度は OB26 を除いて高い (95% 信頼限界を示す α_{95} が 10° よりも小さい)。OB26 の α_{95} がやや大きくなったが (12.5°)、これは固有磁化成分を分離できた試料がやや少なかったためと考えられる。それでも極性を判定する上で問題はない。4 地点はすべて逆極性を示した。4 地点は OB17

(逆極性; 星ほか, 2013) やセクション B の OB22 (逆極性; 星ほか, 2014) よりも上位に位置すると推定されるが (Figs. 2, 4)、本研究の結果はこれと矛盾していない。今回、G-M 境界直上の約 7 m の層位区間 (OB25 ~ 28 の間) が一様に逆極性を示すことが判明し、星ほか (2013, 2014) の検討でデータの空白区間になっていた部分の極性を明らかにすることができた。星ほか (2013, 2014) で報告されたデータと合わせて、今回の結果は東海層群の古地磁気層序の確立に向けて貴重で

ある。また, 東海層群の年代層序の高精度化にも役立つと考えられる。

5. 謝辞

本研究は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用研究(13A003, 13B003)のもとで実施され, 測定では小玉一人氏と山本裕二氏にお世話になった。本研究の一部には科研費(基盤(C), no. 23540532, 26400488)を使用した。以上の方々および関係機関に感謝します。

6. 引用文献

- Gibbard, P.L., Head, M.J., Walker, M.J.C. and The Subcommission on Quaternary Stratigraphy, 2010, Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *J. Quat. Sci.*, **25**, 96–102.
- 星 博幸・服部憲児・田中里志・宇佐美徹・中川良平・津村善博・小竹一之・森 勇一, 2013, 三重県亀山地域に分布する東海層群のガウス-松山古地磁気極性境界. 地質雑, **119**, 679–692.
- 星 博幸・田中里志・宇佐美徹・中川良平・津村善博・小竹一之, 2014, 岩石磁気・古地磁気測定から示唆される東海層群のガウス-松山逆転層準. 地質雑, **120**, 313–323.
- Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **62**, 699–718.
- McFadden, P.L. and McElhinny, M.W., 1988, The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in palaeomagnetism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 161–172.
- Merrill, R.T. and McFadden, P.L., 1999, Geomagnetic polarity transitions. *Rev. Geophys.*, **37**, 201–226.
- 宮村 学・吉田史郎・山田直利・佐藤岱生・寒川 旭, 1981, 亀山地域の地質(地域地質研究報告5万分の1図幅). 地質調査所, 128p.
- 中山勝博・吉川周作, 1990, 東海層群の古地磁気層序. 地質雑, **96**, 967–976.
- Nakayama, K., Yoshikawa, S. and Ito, T., 1995, Magnetostratigraphy of the Late Cenozoic Tokai Group in central Japan and its sedimentologic implications. *J. Southeast. Asian Earth Sci.*, **12**, 95–104.
- Ogg, J.G., 2012, Geomagnetic polarity time scale. In Gradstein, F.M., J.G. Ogg, M. Schmitz and G. Ogg, eds., *The Geologic Time Scale 2012*, Elsevier, Oxford, 85–113.
- Takemura, K., 1985, The Plio-Pleistocene Tokai Group and the tectonic development around Ise Bay of central Japan since Pliocene. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Mineral.*, **51**, 21–96.
- 田中里志・宇佐美徹, 2013, 鈴鹿市御幣川流域に分布する東海層群の堆積環境. 三重県立博物館編, 鈴鹿市御幣川流域の地層・化石総合調査報告書, 三重県環境生活部, 11–23.
- 吉田史郎, 1990, 東海層群の層序と東海湖盆の古地理変遷. 地調月報, **41**, 303–340.
- 吉川周作・吉田史郎, 1989, 三重県亀山地域の東海層群火山灰層. 地調月報, **40**, 285–298.
- 吉川周作・吉田史郎・須川栄司, 1991, 東海層群の火山灰層とその対比. 地球科学, **45**, 453–467.

(2014年9月5日受理)