

富山県氷見地域に分布するPMテフラ層の古地磁気方位

星 博幸

理科教育講座（地球科学）

Paleomagnetic Direction of the PM Tephra Bed in the Himi Area, Toyama Prefecture, Central Japan

Hiroyuki HOSHI

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

The PM tephra bed, a thick (~10 m), felsic tephra deposit in the Pliocene sedimentary sequence in the Himi area, has been sampled for determining its paleomagnetic direction. Ten oriented cores were collected from the uppermost fine-grained vitric ash portion at one locality, and stepwise alternating-field and thermal demagnetizations were performed for 20 cylindrical specimens in order to isolate remanent magnetization components. More than half of the specimens had a single magnetic component with a northerly and down direction close to the present geomagnetic field direction (i.e., normal polarity). However, six samples, which also provided a normal polarity linear component, displayed a directional change along a great circle during stepwise demagnetization, indicating the presence of another higher coercivity/unblocking temperature component. Application of the great circle method disclosed the component with a SSW and up direction (i.e., reversed polarity). A previous study has reported that the PM tephra bed is normally magnetized; however, the author interprets that the normal polarity direction is most likely a secondary component and the primary magnetization has reversed polarity. This interpretation is concordant with tephrostratigraphic investigations suggesting that the PM tephra bed is correlated to the reversely magnetized tephtras found in several areas of central Japan.

1. はじめに

PMテフラ層は富山県氷見地域の鮮新統阿尾層に挟在する珪長質テフラである（渡辺，1990）。PMテフラ層は新潟県の浜忠層に挟在する善久院パミス質テフラ層（Znpテフラ層：Kurokawa and Tomita, 1998），愛知県及び三重県の東海層群に挟在する大田テフラ層（中山・吉川，1995），房総半島に分布する三浦層群安野層中のAn85テフラ層（千葉県立中央博物館，1993，1995，1996）などと対比され，我が国における第一級の鮮新世広域テフラであると認識されている（Kurokawa and Tomita, 1998；黒川，2005；Tamura et al., 2008）。

PMテフラ層を含む氷見地域の鮮新統（阿尾層とその上位の藪田層）の古地磁気層序は伊藤・渡辺（1997）によって報告されている。それによると，PMテフラ層の残留磁化は正極性であり，PMテフラ層はGilbert Chronozone中の正極性卓越部（4.18–5.23 Ma: Cande and Kent, 1995）に対比されている。しかし，PMテフラ層に対比される大田テフラ層からは逆極性の残留磁化が報告されている（中山・吉川，1990；Nakayama et al.,

1995）。An85テフラ層も，古地磁気層序（新妻，1976）と浮遊性有孔虫化石層序（Oda, 1977）からGilbert Chronozone上部の逆極性部（3.58–4.18 Ma: Cande and Kent, 1995）に対比される（里口ほか，2005）。また，里口ほか（2005）は安野層の堆積速度を仮定することによってAn85テフラ層の年代を約3.9 Maと推定している。PMテフラ層のフィッシュン・トラック（FT）年代は 3.9 ± 0.2 Maであり（渡辺・檀原，2001），An85テフラ層の推定年代と一致する。しかし，PMテフラ層の古地磁気層序年代（上記）はこの約3.9 Maという年代と微妙ではあるが整合的ではない。また，阿尾層の古地磁気層序と珪藻化石層序の対応関係についても再検討の必要性が指摘されている（伊藤・渡辺，1997）。

PMテフラ層の古地磁気を再検討するために，今回筆者はPMテフラ層から試料を採取し残留磁化を測定した。その結果，PMテフラ層の古地磁気について新たな事実が明らかになった。

2. 試料

試料採取は、Kurokawa and Kanke (2003) がPMテフラ層の岩相を記載した氷見市阿尾地区の露頭 (36°53' 01" N, 136°58' 50" E) で行った (Fig. 1)。Kurokawa and Kanke (2003) によると、この露頭のPMテフラ層は層厚約10 mで、下位よりユニットA1(細礫とパミスが密集する火砕岩、厚さ約25 cm)、ユニットA2(シルト岩の偽礫とパミスを多量に含む火砕岩、厚さ約120 cm)、ユニットB(極粗粒砂サイズからシルトサイズまで級化を示す凝灰岩、最大径5 cm程度のパミスを含む) に区分される。PMテフラ層最上部(ユニットB最上部)は、弱い平行葉理がみられ、最大約2 cmのパミスが点在するシルトサイズの軟質凝灰岩であり、この層準から直径25 mmの定方位コアを10本採取した。コアの定方位付けには磁気コンパスを使用した。コア採取では露頭表面に現れているパミスを避けるように注意したが、いくつかのコアには最大1 cmを超えるパミスが含まれていた。コアを実験室に持ち帰り、岩石カッターで高さ22 mmの円筒形測定試料(以下、試料と呼ぶ)を2個または3個切り出した。その際も試料にパミスが含まれないように注意したが、それでも2個の試料には数mmから1 cm程度のパミスが含まれていることを確認した。

この露頭の地層は緩く傾斜しているが、層理面が不明瞭であったため走向・傾斜を正しく測定することが困難であった。そこで、渡辺(1990)の地質図に示されている走向・傾斜及び地層分布を地質図学の方法で解析し、この露頭の地層の走向・傾斜としてN30°E, 8°SEという推定値を得た。本研究ではこの走向・傾斜を用いて残留磁化方位の傾動補正を行う。

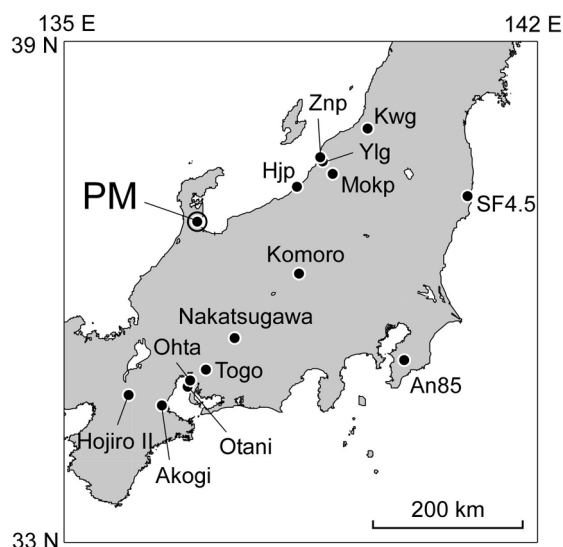


Fig. 1. Map showing the type localities of the PM tephra bed and other correlative local tephra in central Japan after Kurokawa (2005).

3. 残留磁化

残留磁化測定は、高知大学海洋コア総合研究センターの古地磁気・岩石磁気実験室(磁気シールドルーム)に設置されているパススルー型超電導磁力計(2G760R)を用いて行った。測定では1本のコアから2個の試料を選び、1個に段階交流消磁(AFD:パススルーで最高80 mTまで)を、もう1個に段階熱消磁(ThD:空気中で最高620°Cまで)を施した。ThDでは、試料の熱変質をチェックするために、各消磁ステップで初期磁化率も測定した。測定後、残留磁化ベクトルの変化を調べるために消磁結果を直交投影図と等積投影図に示した。直交投影図上で直線的な残留磁化成分が認められた場合は、Kirschvink (1980)の主成分解析によってその方位を決定した。その際、最大角偏差(MAD)が10°未満の結果を採用した。また、段階消磁の進行に伴って方位が変化し、等積投影図上で弧状の軌跡を描いた試料については、Kirschvink (1980)の方法によって最適消磁大円の極を決定した。

自然残留磁化(NRM)強度は、パミスを含む2個の試料を除くと $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.4 \times 10^{-3}$ A/mであった (Table 1)。パミスを含む2試料(4bt, 9bt)はこれよりも1桁大きな強度を示した。

測定したすべての試料から直線的な残留磁化成分が分離された (Table 1, Fig. 2)。パミスを含む2試料を除

Table 1. Paleomagnetic data from the PM tephra bed in the Himi area, Toyama Prefecture.

Specimen	Demag	J (10^{-3} A/m)	D (°)	I (°)	A (°)	P (°)
1a	AF	0.28	0.6	59.3		
1ct	TH	0.17	11.1	61.1		
2a	AF	0.18	16.1	61.0		
2bt	TH	0.13	8.3	57.1	112.3	9.1
3a	AF	0.15	10.3	53.7	186.1	42.0
3bt	TH	0.13	1.5	55.6	128.5	23.4
4a	AF	0.19	13.5	49.8	264.5	18.6
4bt*	TH	8.18	54.1	1.0		
5a	AF	0.26	4.1	64.0		
5bt	TH	0.20	9.5	53.8	169.3	32.1
6a	AF	0.26	16.0	51.8		
6bt	TH	0.23	359.8	53.4		
7a	AF	0.39	354.4	49.9	146.2	36.5
7bt	TH	0.35	7.6	48.8		
8a	AF	0.29	2.4	55.1		
8bt	TH	0.26	16.5	49.2		
9a	AF	0.32	14.1	60.3		
9bt*	TH	1.16	86.0	12.7		
10a	AF	0.35	15.5	48.7		
10bt	TH	0.30	10.0	51.3		

Demag, demagnetization (AF, alternating field; TH, thermal); J , intensity of natural remanent magnetization; D and I , declination and inclination of linear component determined by least square line fit; A and P , azimuth and plunge of pole to remagnetization plane determined by least square fit; samples with asterisk exhibited high intensities and inconsistent linear component directions due to contamination of pumice fragments.

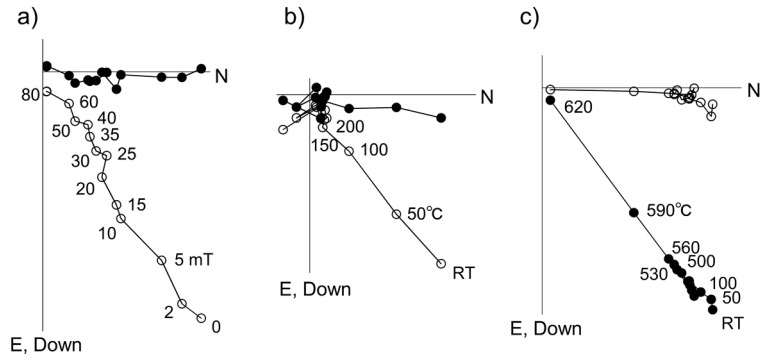


Fig. 2. Representative stepwise demagnetization results showing a single linear remanent magnetization component. These orthogonal plots display projections of vector endpoints onto the horizontal (solid circle) and north-south vertical (open circle) planes. (a) Alternating field (AF) demagnetization data from specimen 1a, representing a normal polarity component through all demagnetization steps from 0 to 80 mT. The natural remanent magnetization (NRM) intensity is 0.28×10^{-3} A/m. (b) Thermal demagnetization results from specimen 10bt, showing a normal polarity component in the range from room temperature (RT) to 250 °C, followed by an erroneous behavior near the origin. The NRM intensity is 0.30×10^{-3} A/m. (c) Thermal results of specimen 4bt, indicating a distinct linear component with a northeast and nearly horizontal direction in the range from 450 to 620 °C. This unexpected direction stems from a visible pumice fragment contained in the specimen (see text). The NRM intensity is 8.18×10^{-3} A/m, an order of magnitude higher than the other specimens.

くと、これらの直線成分はその場の状態 (*in situ*) において北寄りで下向き、すなわち地心軸双極子磁場を仮定したときの方位 (偏角 $D = 0^\circ$, 伏角 $I = 56.3^\circ$) に類似する正極性の方位を示した (Fig. 3)。AFDではNRM方位から最大消磁レベルである80 mTまでの範囲 (Fig. 2a), ThDでは室温 (NRM方位) または50°Cから200°Cまたは250°Cまでの範囲 (Figs. 2b, 4a) でこれらの直線成分が認められた。これらの直線成分は、ほぼ原点に向かって強度が減少するケース (Fig. 2b), 及び原点からやや外れて減少するケース (Fig. 4a) の両方があった。ThDでは、直線成分が分離された後、残留磁化ベクトルが原点付近で不規則な挙動を示した。なお、ThDにおいて初期磁化率の変化はほとんど認められなかった。これらの直線成分 ($n = 18$) の *in situ* 平均方位は $D = 8.5^\circ$, $I = 54.8^\circ$ であり、Fisher (1953) の95%信

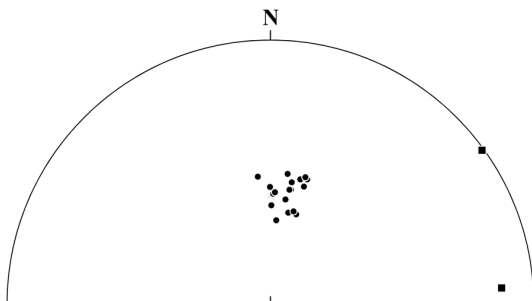


Fig. 3. Lower hemisphere equal area projection showing directions of linear components determined by the least square analysis of stepwise demagnetization results. Circles = low coercivity/unblocking temperature components. Squares = high unblocking temperature components in two specimens containing large pumice fragments (4bt, 9bt). Cross = geocentric axial dipole field direction. See Table 1 for data.

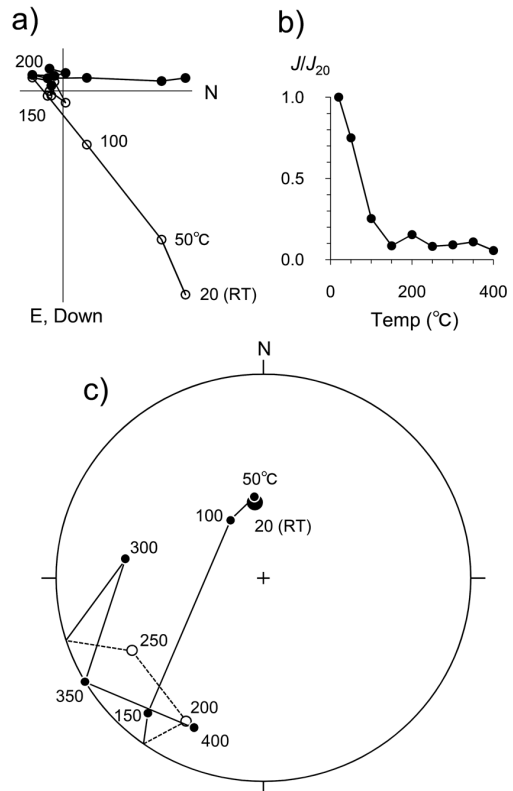


Fig. 4. Thermal demagnetization results from specimen 3bt (NRM = 0.13×10^{-3} A/m), suggesting a reversed polarity primary component with a superimposed larger normal polarity secondary remanence. (a) Orthogonal diagram. Solid and open circles show projections of vector endpoints onto the horizontal and north-south vertical planes, respectively. (b) Normalized remanence intensity (J/J_{20}) versus demagnetization temperature. (c) Equal area projection of the remanence direction. Solid (open) circles indicate directions in the lower (upper) hemisphere. Note that, from room temperature (RT) to 200 °C, the direction changed systematically so that it moved along a great circle; above 200 °C it showed erratic behavior.

頼限界円の半径 (α_{95}) は 2.7° 、精密度パラメータ (k) は 171.7 となった。この平均方位を上記の走向・傾斜 ($N30^\circ E$, $8^\circ SE$) を用いて傾動補正すると $D = 19.9^\circ$, $I = 57.0^\circ$ となる。この方位は伊藤・渡辺 (1997) が報告した傾動補正後の方位 ($D = 14.7^\circ$, $I = 66.6^\circ$, $\alpha_{95} = 7.8^\circ$, $k = 96.0$) と似ている。

パミスを含む2試料に PhD を適用した結果、 $560^\circ C$ 以上に主たるアンブロッキング温度を持つ単一の直線成分が認められた (Fig. 2c)。その方位はパミスを含まない試料の直線成分方位とは明らかに異なり (Table 1)、正磁極期または逆磁極期に地磁気永年変化の範囲で期待される方位とも大きく異なっている。残留磁化強度がパミスを含まない試料よりも1桁大きい (上記) ことも考慮すると、これら2試料の直線成分方位はパミスの残留磁化 (熱残留磁化と思われる) にほぼ支配されたものであり、テフラ堆積時あるいはその後に獲得されたその場の古地磁気方位を示すものではないと考えられる。

いくつかの試料は段階消磁の進行に伴って方位が変化し、等積投影図上で弧状の軌跡を描いた。代表例を Fig. 4 に示す。例外なくこれらの試料は現在の地磁気方位と類似した NRM 方位 (正極性) を持ち、消磁の進行に伴って残留磁化方位が大円に沿うように変化し (直交投影図では原点からやや外れて減少する直線成分として現れる)、2試料は $200 \sim 250^\circ C$ で上向きの方位になった。こうした方位変化はより高いアンブロッキング温度・高い保磁力の残留磁化成分が存在することを意味し、その成分の方位を決定するために McFadden and McElhinny (1988) の大円法を試みた。6試料について決定された最適消磁大円 (極を Table 1 に示した) から、*in situ* 平均方位として $D = 192.6^\circ$, $I = -48.5^\circ$, $\alpha_{95} = 6.6^\circ$, $k = 173.0$ という結果が得られた (Fig. 5)。これを上記の走向・傾斜を用いて傾動補正すると $D = 201.7^\circ$, $I = -50.3^\circ$ という逆極性の方位となる (α_{95} と k は変化しない)。大円法で平均方位を求める場合、直線成分方位の有無によって結果の確度 (accuracy) が左右され、直線成分方位が複数ある場合とまったくない場合とでは平均方位に数十度にも達する違いが生じることがある (McFadden and McElhinny, 1988)。今回の平均方位は最適消磁大円だけを使って決定されたものであるため、方位の取り扱いには注意を要するが、それでも高アンブロッキング温度・高保磁力の成分が逆極性であることは間違いないと考えられる。

今回の測定によって、PM テフラ層は正極性の残留磁化成分だけでなく逆極性の残留磁化成分も記録していることが判明した。正極性成分は傾動補正前の方位が正磁極期の地心軸双極子磁場方位と似ていること、及び比較的低い保磁力と低いアンブロッキング温度を示すことから、地層傾動後に獲得された二次磁化と

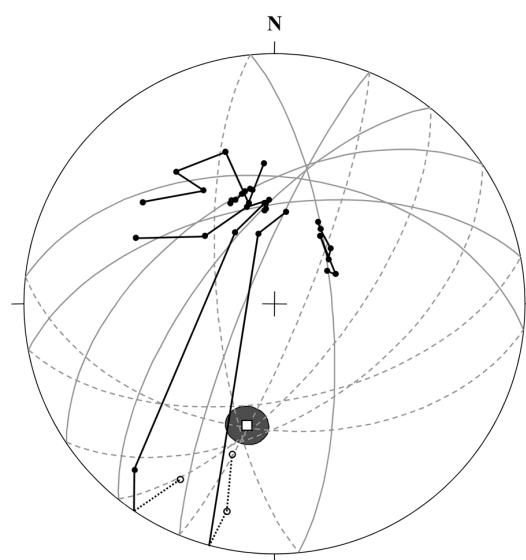


Fig. 5. Reversed polarity site mean direction (open square) and its 95% confidence limit (shaded oval) calculated with the great circle method of McFadden and McElhinny (1988), shown in the geographical (*in situ*) coordinate. Remagnetization great circles (solid gray, lower hemisphere; dashed gray, upper hemisphere) were determined by least square analysis of remanence vectors (solid circle, lower hemisphere; open circle, upper hemisphere) that changed systematically during the course of stepwise demagnetization.

考えられる。逆極性成分は正極性成分よりも高い保磁力とアンブロッキング温度を示し、これが PM テフラ層の初生的な残留磁化であると筆者は判断する。PM テフラ層の初生的な残留磁化が逆極性であることは、PM テフラ層が大田テフラ層や An85 テフラ層といった逆極性の残留磁化を持つテフラ層に対比されるといいうテフラ分析結果と整合する。

4. 謝 辞

産業技術総合研究所の渡辺真人氏には、PM テフラ層の露頭についてご教示頂いた。

5. 文 献

- Cande, S. C. and Kent, D. V., 1995, Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 6093–6095.
- 千葉県立中央博物館, 1993, 三浦層群中部鍵層集 I (1992年版). 千葉県立中央博物館, 124 p.
- 千葉県立中央博物館, 1995, 三浦層群上部鍵層集 I (1994年版). 千葉県立中央博物館, 77 p.
- 千葉県立中央博物館, 1996, 三浦層群上部鍵層集 II (1995年版). 千葉県立中央博物館, 83 p.
- Fisher, R., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, **217**, 295–305.
- 伊藤康人・渡辺真人, 1997, 富山県氷見地域に分布する新第三

- 系の古地磁気層序. 地調月報, **48**, 339-346.
- Kirschvink, J. L., 1980, The least squares lines and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- 黒川勝己, 2005, テフラ学入門—野外観察から地球環境史の復元まで—. 地学団体研究会, 205 p.
- Kurokawa, K. and Kanke, K., 2003, Stratigraphic section of the Znp Tephra Bed: a Pliocene submarine pumiceous gravity flow in Niigata region, central Japan. *Mem. Fac. Educ. Human Sci., Niigata Univ.*, **5**, 11-25.
- Kurokawa, K. and Tomita, Y., 1998, The Znp-Ohta Ash: an early Pliocene widespread subaqueous tephra deposit in central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 558-561.
- 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.
- 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.
- 中山勝博・吉川周作, 1995, 鮮新統広域テフラ層である大田テフラ層の堆積過程 (予報). 地球科学, **49**, 406-418.
- Nakayama, K., Yoshikawa, S. and Ito, T., 1995, Magnetostratigraphy of the Late Cenozoic Tokai Group in central Japan and its sedimentologic implications. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, **12**, 95-104.
- 新妻信明, 1976, 房総半島における古地磁気層位学. 地質雑, **82**, 163-181.
- Oda, M., 1977, Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Late Cenozoic sedimentary sequence, central Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, **48**, 1-72.
- 里口保文・樋口裕也・黒川勝己, 2005, 東海層群に挟在する大田テフラ層と三浦層群のテフラ層との対比. 地質雑, **111**, 74-86.
- Tamura, I., Yamazaki, H. and Mizuno, K., 2008, Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephtras in central Japan. *Quat. Int.*, **178**, 85-99.
- 渡辺真人, 1990, 富山県氷見・灘浦地域の新第三系の層序—とくに姿累層とその上位層との間の時間間隙について—. 地質雑, **96**, 915-936.
- 渡辺真人・檀原 徹, 2001, 富山県氷見・灘浦地域の新第三系の年代層序の再検討. 地質学会第108年大会演旨, 224.

(2011年8月1日受理)