

## 桑名市力尾地区に分布する更新世堆積物の古地磁気層序

星 博幸・長谷川敬彰 (愛知教育大学)

Magnetostratigraphy of the Pleistocene sediments in the Chikarao area,  
Kuwana City, Mie Prefecture

Hiroyuki HOSHI and Takaaki HASEGAWA (Aichi University of Education)

## 1. はじめに

筆者らは今回、力尾地区学術調査の一環として桑名市力尾地区に分布する東海層群大泉層下部堆積物の古地磁気層序を検討した。古地磁気を測定したのは、下位から、坂東2火山灰層と考えられる火山灰層(以下、坂東2火山灰層)、其原火山灰層と考えられる火山灰層(以下、其原火山灰層)、シルト岩、嘉例川火山灰層である(図1)。小論ではその結果を記載し、古地磁気層序の観点から堆積物の年代について考察する。

東海層群の古地磁気層序はTakemura and Torii (1978)、中山・吉川(1990)、Nakayama *et al.* (1995)などによって全容がほぼ明らかにされている。Nakayama *et al.* (1995)によると、本地区の堆積物はChron C2n (Olduvai)前後の松山逆磁極期(2 Ma前後)に堆積したものと考えられる。しかし最近、愛知県常滑市に分布する約4 Maの火山灰層について中山らの先行研究と有意に異なる古地磁気方位が報告された(星・出口、印刷中)。よって本地区の堆積物(火山灰層を含む)についても古地磁気を詳細に検討し、中山らの結果と比

較する必要がある。

なお、本地区の地質については多度団体研究グループ(1998)の詳細な報告がある。本研究の試料採取地点・層準を含む地質の詳細については、本報告書の層序・地質構造関係報告(田中・宇佐美, 2013)を参照されたい。

## 2. 試料および測定方法

試料は上記のように3枚の火山灰層(坂東2、其原、嘉例川)および其原火山灰層と嘉例川火山灰層の間にあるシルト岩から採取した(図1)。試料採取地点の緯度・経度を表1に示した。地点名は坂東2火山灰層が「力尾I」、其原火山灰層が「力尾II」、その上位のシルト岩が「力尾III」、そして嘉例川火山灰層が「Kr」である。嘉例川火山灰層は後述のように火山灰中の異なる3層準から試料を採取し、下位からKr-c、Kr-b、Kr-aとした。本報告書の田中・宇佐美(2013)と居川(2013)には地質図および柱状図に試料採取位置・層準が示されている。

試料採取には充電式ドリルを使用し、露頭で直径25 mmのコアを採取した。力尾I(坂東2火

表1 古地磁気測定結果.

Site	Lat (N)	Long (E)	Strike/Dip	<i>N</i>	<i>D</i> (°)	<i>I</i> (°)	<i>Dc</i> (°)	<i>Ic</i> (°)	$\alpha_{95}$ (°)	<i>k</i>	Polarity
Kr-a (Karegawa VA)	35°06'14.0"	136°37'05.8"	N17°E/80°E	7	6.5	61.0	77.6	13.8	11.6	28.2	ND
Kr-b (Karegawa VA)	35°06'14.0"	136°37'05.8"	N17°E/80°E	8	155.1	4.0	183.1	-40.1	1.5	1453.0	Reversed
Kr-c (Karegawa VA)	35°06'14.0"	136°37'05.8"	N17°E/80°E	6	150.8	6.1	178.6	-43.5	7.4	82.4	Reversed
Chikarao III (siltstone)	35°06'08.9"	136°37'03.1"	N03°E/84°E	4	308.9	-13.4	334.3	49.4	22.3	23.7	Normal
Chikarao II (Sonohara VA)	35°06'09.4"	136°37'01.3"	N03°E/84°E	5	134.8	15.7	154.9	-43.3	5.0	235.0	Reversed
Chikarao I (Bando 2 VA)	35°06'14.9"	136°37'00.6"	N18°E/90°E	14	135.1	12.5	172.1	-60.4	4.4	84.3	Reversed

Site = 試料採取地点(VA = 火山灰層); Lat = 緯度; Long = 経度; Strike/Dip = 地層の走向/傾斜; *N* = 平均方位計算に用いた試料の数; *D/I* = 傾動補正前の偏角/伏角; *Dc/Ic* = 傾動補正後の偏角/伏角;  $\alpha_{95}$  = 95%信頼限界円の半径; *k* = 集中度パラメータ; Polarity = 古地磁気極性(Normal = 正極性; Reversed = 逆極性; ND = 決定できない)。

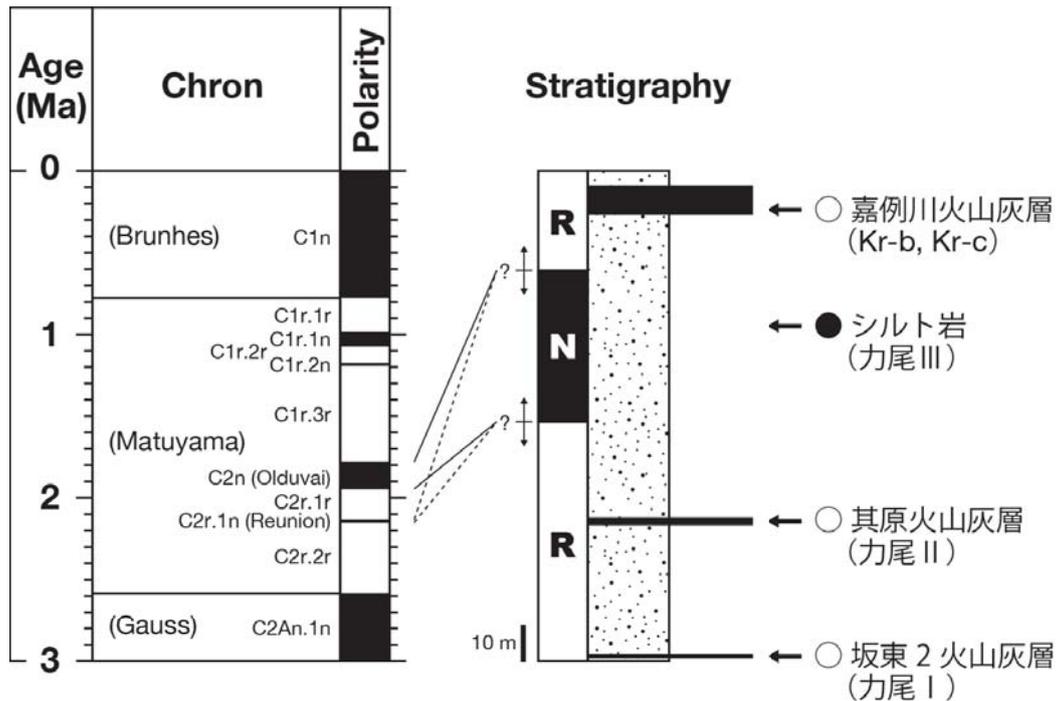


図1 試料採取層準と古地磁気極性. 地磁気年代尺度 (Chron/Polarity) は Ogg and Smith (2004) による. シルト岩 (力尾Ⅲ) の正極性は Chronozone C2n (Olduvai) に対比される可能性が高いが, Chronozone C2r.1n (Reunion) に対比される可能性も否定はできない.

山灰層) では平行葉理の発達する細粒～極細粒砂サイズの火山灰のコアを8本採取した. 力尾Ⅱ (其原火山灰層) では風化により粘土化した火山灰のコアを5本採取した. 力尾Ⅲ (シルト岩) では青灰色シルト岩のコアを8本採取した. Kr-c は嘉例川火山灰層基底部の粗粒～中粒砂サイズの結晶質火山灰で, コアを4本採取した. Kr-b は火山灰層基底から1 m 上位に位置し, 葉理のある細粒砂～極細粒砂サイズのガラス質火山灰のコアを4本採取した. Kr-a は火山灰層基底から5.8 m 上位に位置し, 葉理のある中粒砂サイズのガラス質火山灰のコアを8本採取した. コアの定方位付けには磁気コンパスを用いた. コアを愛知教育大学の実験室に持ち帰り, 岩石カッターを用いて高さ約22 mm の円筒状試料を各コアから1～2個切り出した.

測定は愛知教育大学の古地磁気・岩石磁気実験室で実施した. まず, 複数の試料に対して段階交

流消磁法 (AFD) および段階熱消磁法 (ThD) によるパイロット測定を行った (力尾ⅡはAFDのみ). 試料の自然残留磁化 (NRM) を測定後, AFD, ThDとも10ステップ以上に消磁レベルを段階的に上げながら消磁と残留磁化測定を繰り返し (AFDは最高80 mTまで, ThDは最高650℃まで), 残留磁化の安定性を調べた. パイロット測定後, 残りの試料に対してより少ない消磁ステップ数で段階消磁を行った (パイロット測定結果をもとに消磁法を判断). 残留磁化の測定には夏原技研 ASPIN スピナー磁力計を用いた. 磁力計のノイズレベル (ブランク測定値) は約  $2 \times 10^{-10} \text{ Am}^2$  であった. AFDには Schonstedt GSD-5 交流消磁装置 (夏原技研により電源・制御部とタンブラーを更新) を, ThDには Schonstedt TSD-1 熱消磁装置 (夏原技研によりコントローラー部を更新) を使用した. AFD, ThDとも, 残留磁化強度が NRM 強度の2%以下まで減少したとき, または

測定結果に大きな乱れが生じ始めた時点で測定を終了した。Kr-c と Kr-b では 80 mT の AFD 後も NRM の半分以上の磁化強度が残っていたため、引き続き ThD を適用した (ハイブリッド消磁)。測定後、段階消磁結果を直交投影図、等積投影図、消磁強度曲線に示し、残留磁化成分の認定を試みた。直交投影図上で原点に向かって直線的に減衰する固有磁化成分 (特徴磁化成分) が認められた

試料については、3次元の主成分解析 (Kirschvink, 1980) を適用して固有磁化成分方位および最大角偏差 (MAD) を決定した。本研究では  $MAD < 20^\circ$  の方位を採用した。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方位変化を示した試料については、Kirschvink (1980) の方法によって最適消磁大円の極を決定した。最終的に地点平均方位は、固有成分のみから求める場合 (力

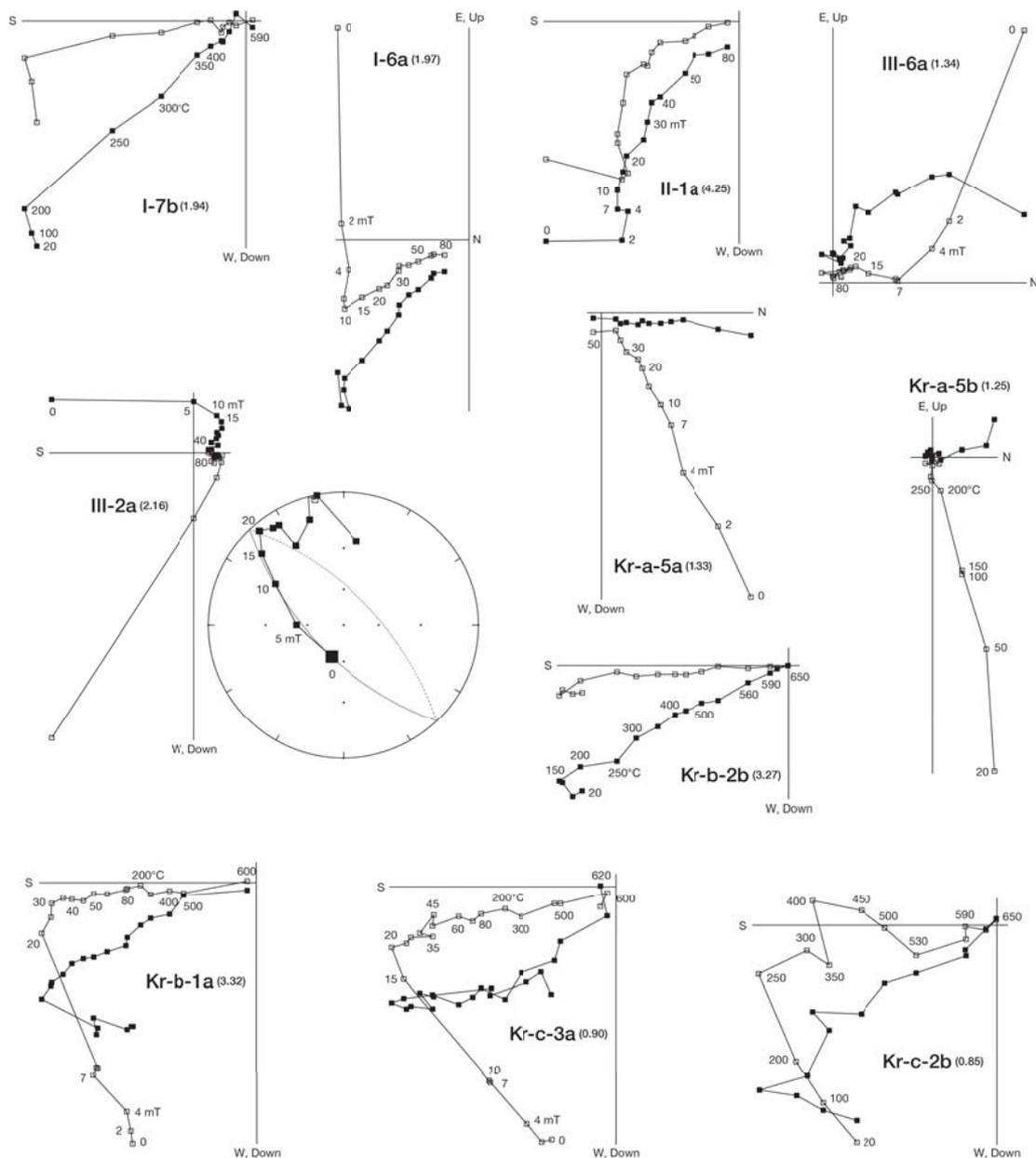


図2 各地点 (カ尾 I, カ尾 II, カ尾 III, Kr) の段階消磁結果の例 (ベクトル直交投影図)。■は残留磁化ベクトルの水平面投影 (横軸 N-S, 縦軸 E-W), □は鉛直面投影 (横軸 N-S, 縦軸 Up-Down)。印の数字は消磁レベル。括弧内の数値は自然残留磁化 (NRM) の強度 ( $\times 10^{-6} \text{ Am}^2/\text{kg}$ )。

尾Ⅲを除く5層準が該当)は試料方位を長さ1の単位ベクトルとして平均方位を計算する一般的な方法で、最適消磁大円を含めて求める場合(力尾Ⅲのみ該当)はMcFadden and McElhinny (1988)の大円法によって決定した。95%信頼限界半径( $\alpha_{95}$ )と集中度パラメータ(k)の計算はFisher (1953)の方法に従った。

### 3. 測定結果

代表的な段階消磁結果を図2に示す。各地点(層準)の結果は次の通りである。

#### 力尾Ⅰ(坂東2火山灰層)

すべての試料に二次磁化と考えられる不安定な残留磁化成分が認められたが、図2の例(試料I-7b, I-6a)に見られるように、不安定成分は10 mT前後あるいは200°C前後の消磁で完全に除去され、固有磁化成分が分離された。

固有磁化成分の方位を図3下段に示す。地層の傾動を補正する前の状態(*in situ*)において方位は南東下向き(浅い伏角)を示したが、露頭で計測した走向・傾斜(表1)を用いて傾動を補正すると南方上向きという方位になった。傾動補正後の方位は逆磁極期の地心軸双極子磁場方位(偏角180°, 伏角-54.6°)に近く、この地点の坂東2火山灰層は逆極性と判断できる。

#### 力尾Ⅱ(其原火山灰層)

上述の力尾Ⅰと同様、この地点でもすべての試料に二次磁化と考えられる不安定な成分が認められたが、AFDおよびThDによって除去することができた。図2に示した例(試料II-1a)では、20 mTの消磁で不安定成分が除去され、それ以降固有磁化成分が現れている。

固有磁化成分の方位を図3上段に示す。力尾Ⅰの場合と同様、*in situ*で方位は南東下向き(浅い伏角)を示したが、傾動を補正すると南東上向き

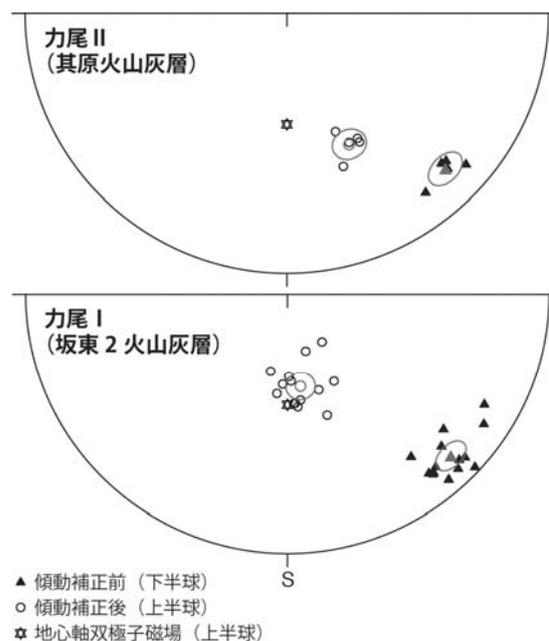


図3 坂東2火山灰層(地点:力尾Ⅰ)と其原火山灰層(地点:力尾Ⅱ)の残留磁化方位。グレーの方位は地点平均で、平均方位のまわりの楕円は95%信頼限界域(半径 $\alpha_{95}$ )を示す。

の方位になった。傾動補正後の方位は逆磁極期の地心軸双極子磁場方位とやや離れているが(地磁気永年変化のためと思われる)、この地点の其原火山灰層も逆極性と判断できる。

#### 力尾Ⅲ(シルト岩)

この地点のシルト岩は他地点の火山灰層に比べて消磁に対する残留磁化の安定性が低かった。固有磁化成分を分離できたのはわずか2試料であり、他試料で決定された最適消磁大円と組み合わせ大円法によって地点平均方位を求めた。固有磁化成分を分離できた試料にも大きな不安定磁化成分が付着しており(図2の試料III-6a)、固有磁化成分の決定精度は他地点の試料に比べて良くない。試料III-2a(図2)ではNRMから20 mTまでのデータに対して最適消磁大円を決定した。

固有磁化方位(2試料)と最適消磁大円(2試料)を図4左に示す。大円法によって求めた平均方位は北西偏角で伏角が水平に近い。この方位を傾動

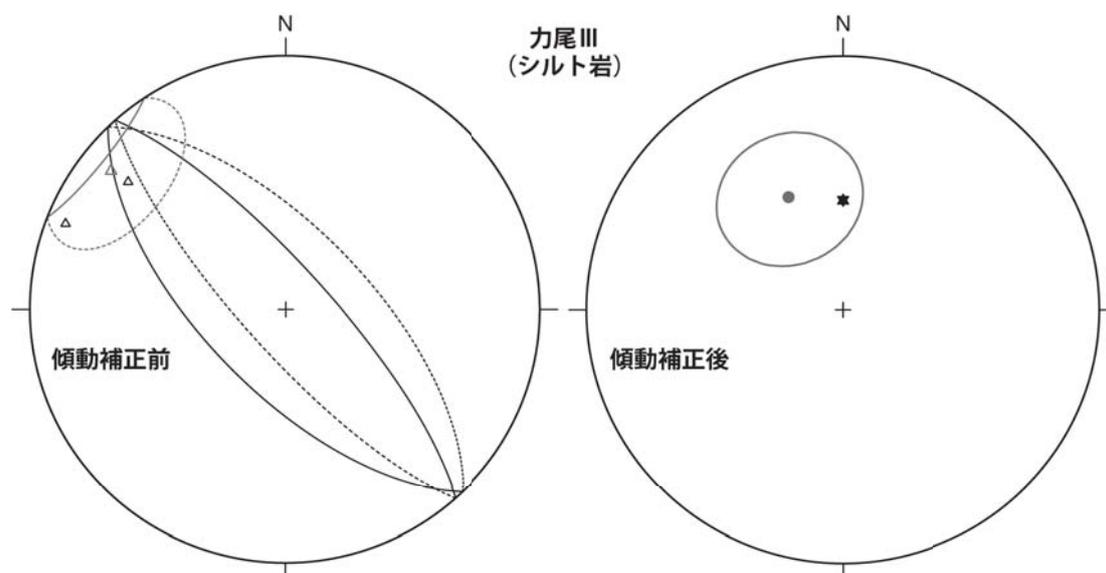


図4 シルト岩（地点：力尾Ⅲ）の残留磁化方位。左図の大円は最適消磁大円で、実線が下半球投影、破線が上半球投影。グレーの方位は地点平均で、平均方位のまわりの楕円は95%信頼限界域を示す。

補正すると正磁極期の地心軸双極子磁場方位（偏角  $0^\circ$ ，伏角  $54.6^\circ$ ）に近くなる（図4右）。方位の精度にやや難があるものの（ $a_{95}$ が比較的大きい），この地点のシルト岩が正極性であることは間違いない。

#### Kr（嘉例川火山灰層）

嘉例川火山灰層中の3層準について残留磁化方位を検討した結果、Kr-c（火山灰層基底部）とKr-b（基底から1 m 上位）については堆積残留磁化に由来すると考えられる方位を決定できたが、Kr-a（基底から5.8 m 上位）については信頼できる方位を決定できなかった（図5）。

Kr-c と Kr-b のほとんどすべての試料には二次磁化と考えられる不安定成分が多かれ少なかれ付着していたが、図2の例（試料 Kr-b-2b, Kr-b-1a, Kr-c-3a, Kr-c-2b）に示されているように、AFD および ThD によって不安定成分を完全に除去することができた。固有磁化成分の方位は、傾動補正前には南東偏角でほぼ水平であったが、傾動補正後には南方上向きの方位になった。2層準の方位は95%の信頼度で区別することができない（ほぼ

一致している）。逆磁極期の地心軸双極子磁場方位に比べてやや浅いが、これは地磁気永年変化のためと思われる。これら2層準は逆極性と判断できる。

一方、Kr-aの試料は大きく異なる結果を示した。AFD および ThD によって直線性のよい固有磁化成分を分離できたが（図2の試料 Kr-a-5a, Kr-a-5b），それは傾動補正前に北方下向きを示し、その平均方位は正磁極期の地心軸双極子磁場方位と95%の信頼度で区別できない。この平均方位を傾動補正すると、東方偏角で伏角が浅いという異常方位になった。よって、この固有磁化成分は明らかに傾動後に獲得された二次磁化である。この層準の結果は古地磁気層序の検討に用いないことにする。

#### 4. 考察および結論

本研究によって明らかになった力尾地区の大泉層下部の古地磁気極性層序を図1に示す。堆積物は下位から逆，正，逆という3つの磁極帯に区分できる。

この古地磁気層序 (magnetostratigraphy)

を Ogg and Smith (2004) の地磁気年代層序 (geomagnetic chronostratigraphy) に対比し、堆積物の年代を古地磁気の観点から探ってみる。その際、火山灰層の年代に関する情報が重要になるため、以下に鍵となる情報をまとめてみる。

坂東2火山灰層：本火山灰層は大隅石を含むという際立った特徴があり、古琵琶湖層群の原火山灰層、大阪層群の東畑火山灰層、北陸層群大桑層の O1 火山灰層などに対比されている (田村ほか, 2004)。本火山灰層からは  $2.2 \pm 0.2$  Ma のフィッショントラック (FT) 年代が得られている (森ほか, 2012)。

嘉例川火山灰層：本火山灰層は中部地方を中心に関東、近畿地方に渡って分布する広域火山灰層であることが判明しており (吉川ほか, 1996)、対比される各地の火山灰層は一括して「恵比寿峠-福田テフラ」と呼ばれる (長橋ほか, 2000)。FT 年代や広域層序対比から、本層は Chronozone C2n (Olduvai, 1.95 ~ 1.78 Ma; Ogg and Smith, 2004) 直上の層準 (年代は約 1.75 Ma) にあることが判明している (吉川ほか, 1996; 長橋ほか, 2000)。

これらの情報を頼りにすると、本地区堆積物の中部に認められた正磁極帯は Chronozone C2n (Olduvai) に対比され、その上位および下位の逆磁極帯はそれぞれ Chronozone C1r.3r と Chronozone C2r.1r に対比される。中部の正磁極帯が Chronozone C2r.1n (Reunion) に対比される可能性もないとは言えないが、坂東2火山灰層直下から Takemura and Torii (1978) によって正帯磁が見出されており、中山・吉川 (1990) はこの正帯磁層準が Chronozone C2r.1n に対比される可能性が高いと考えている。

Nakayama *et al.* (1995) も嘉例川火山灰層の

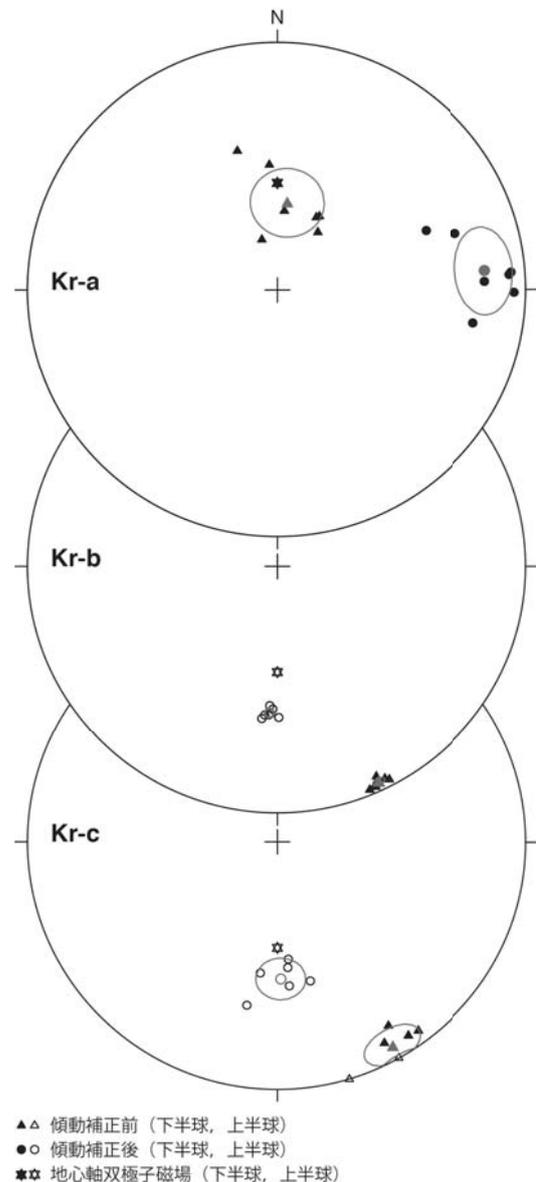


図5 嘉例川火山灰層 (地点: Kr) の3層準の残留磁化方位。グレーの方位は地点平均で、平均方位のまわりの楕円は95%信頼限界域を示す。

下位の層準から正帯磁を見出しており、それを Chronozone C2n に対比している。今回筆者らが力尾地区で明らかにした古地磁気層序およびその地磁気年代層序との対比は Nakayama *et al.* (1995) と基本的に同じであり、中山らの見解を追認したことになる。

以上の考察より、本地区の火山灰層の年代について次のように結論できる。

- 1) 嘉例川火山灰層は 1.78 Ma よりも若い。

2) 其原火山灰層および坂東2火山灰層は1.95 Maよりも古い。

## 5. 謝 辞

試料採取では森 勇一氏, 田中里志氏, 宇佐美徹氏, 津村善博氏, 小竹一之氏, 居川信之氏, 齊藤 毅氏ら力尾地区学術調査団の皆様のご協力を得た。本研究の磁気測定の一部は科研費(基盤(C), no. 23540532)によった。

## 文 献

Fisher, R. (1953) Dispersion on a sphere. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 217, 295-305.

星 博幸・出口久美子(印刷中) 東海層群に挟在する Znp- 大田テフラ層の古地磁気再検討. 豊橋市自然史博研報, no. 23.

居川信之(2013) 多度力尾地区周辺の地形と地質構造. 本報告書, 20-28.

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.

森 勇一・齊藤 毅・宇佐美徹(2012) 東海層群のフィッシュ・トラック年代と昆虫および花粉化石群集. 第四紀学会 2012年大会演旨, 4-5.

長橋良隆・里口保文・吉川周作(2000) 本州中部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質雑, 106, 51-69.

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. and Smith, A. G. (2004) The geomagnetic polarity time scale. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G. and Smith, A. G., eds., A geologic time scale 2004, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 63-86.

多度団体研究グループ(1998) 三重県北部の鮮新・更新統東海層群の古環境. 地球科学, 52, 115-135.

Takemura, K. and Torii, M. (1978) Magnetostratigraphy of the Plio-Pleistocene Age Group in the northern part of Mie Prefecture, Japan. Rock Mag. Paleogeophys., 5, 69-72.

田村糸子・山崎晴雄・水野清秀・時実良典(2004) テフラ対比から見た大桑層の堆積年代—大桑O1火山灰(北陸層群)と坂東2(東海層群)・原(古琵琶湖層群)火山灰との対比—. 地惑関連学会 2004年合同大会予稿, Q042-005.

田中里志・宇佐美徹(2013) 三重県桑名市力尾地区に分布する嘉例川火山灰層層準の東海層群の地質と堆積環境. 本報告書, 7-19.

吉川周作・里口保文・長橋良隆(1996) 第三紀・第四紀境界層準の広域火山灰層: 福田・辻又川・Kd38火山灰層. 地質雑, 102, 258-270.