

八尾地域の前期中新世地磁気層序の精密化

伊藤康人* 渡辺真人**

Yasuto ITOH and Mahito WATANABE (2000) Refined magnetostratigraphy of the Early Miocene sequence in the Yatsuo area, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (1), p. 37-45, 7 figs., 2 tables.

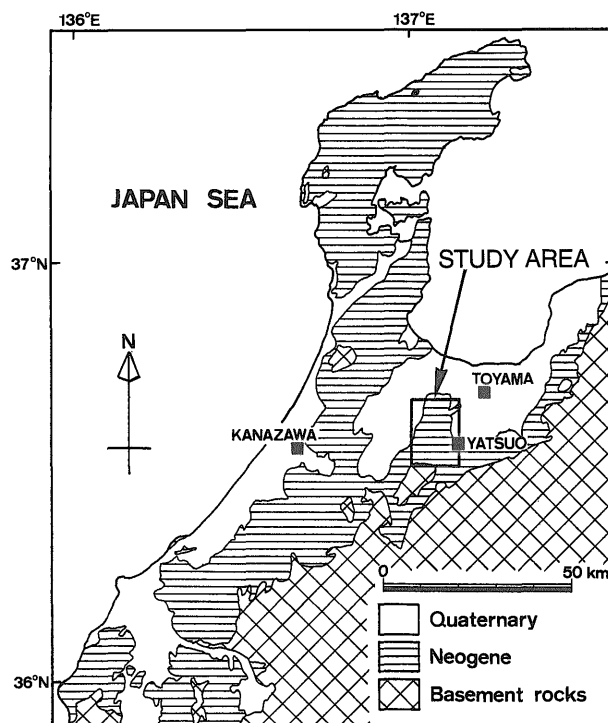
Abstract: We have refined magnetostratigraphy of the Early Miocene sequence in the Yatsuo area, central Japan. On the basis of progressive alternating field and thermal demagnetization tests for samples from the Iwaine, Iozen and Kurosedani Formations, primary remanent magnetization of the normal polarity was suggested for the Iwaine Formation although correction for tectonic tilting is not applicable. On the other hand, stable remanent magnetization of samples from the Iozen and Kurosedani Formations show the reversed polarity. Untilted characteristic directions of the Kurosedani Formation do not have significant deflection in magnetic declinations, which is concordant with previous studies. Together with biostratigraphic and chronological framework, the present result indicates that the Iwaine / lower Iozen Formations and upper Iozen / Kurosedani Formations are assigned to the Chron C5Cn and C5Br of the standard geomagnetic polarity time-scale, respectively.

要 旨

富山県八尾地域に分布する下部中新統について地磁気層序の精密化を行った。岩稲層・医王山層・黒瀬谷層の試料について段階交流消磁と段階熱消磁を行った結果、岩稲層の初生磁化は正帯磁であることがわかった。一方、医王山層と黒瀬谷層から得た試料の安定磁化方位は逆帯磁である。傾動補正を施した黒瀬谷層の残留磁化方位は、従来の研究と同様、有意な偏角偏位を示さない。八尾地域の化石層序学的研究と年代データを考慮すると、岩稲層・医王山層下部と医王山層上部・黒瀬谷層は、それぞれ標準地磁気層序のChron C5CnとC5Brに対比される。

1. はじめに

富山県中部の八尾地域(第1図)には、下部の火山岩と上部の堆積岩からなる新第三系が広く分布している。本地域は古くから北陸新第三系の模式地とされ、多くの地質学的研究が行われてきた(楨山, 1930; 坂本, 1966など)。1980年代には、古地磁気学的研究(Otofuji *et al.*,

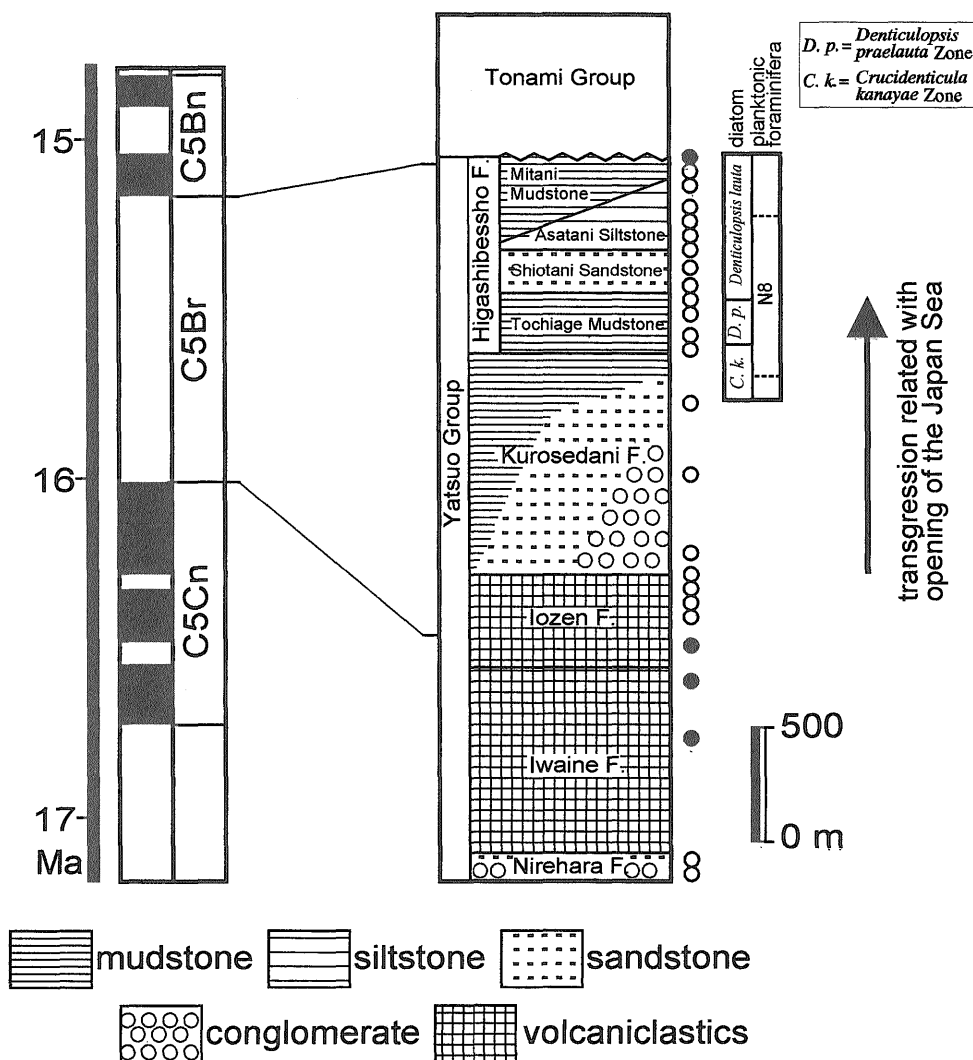


第1図 調査地域位置図。
Fig. 1 Index map of the study area.

*大阪府立大学総合科学部自然環境科学科; 資源エネルギー地質部非常勤職員 (Department of Earth Sciences, College of Integrated Arts and Sciences, Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai, Osaka 599-8531, Japan; Fellow of Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

**資源エネルギー地質部 (Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

Keywords: Yatsuo, Toyama, Japan, magnetostratigraphy, Miocene, Neogene



第2図 八尾地域の層序区分と従来の古地磁気データ。岩相層序は早川・竹村(1987)による。古地磁気層序(丸印)は伊藤ほか(1999)に基づき、黒塗りが正帯磁、白抜きが逆帯磁である。標準地磁気層序(Berggren *et al.*, 1995)への対比は伊藤ほか(1999)に、珪藻化石層序は柳沢(1999)による。

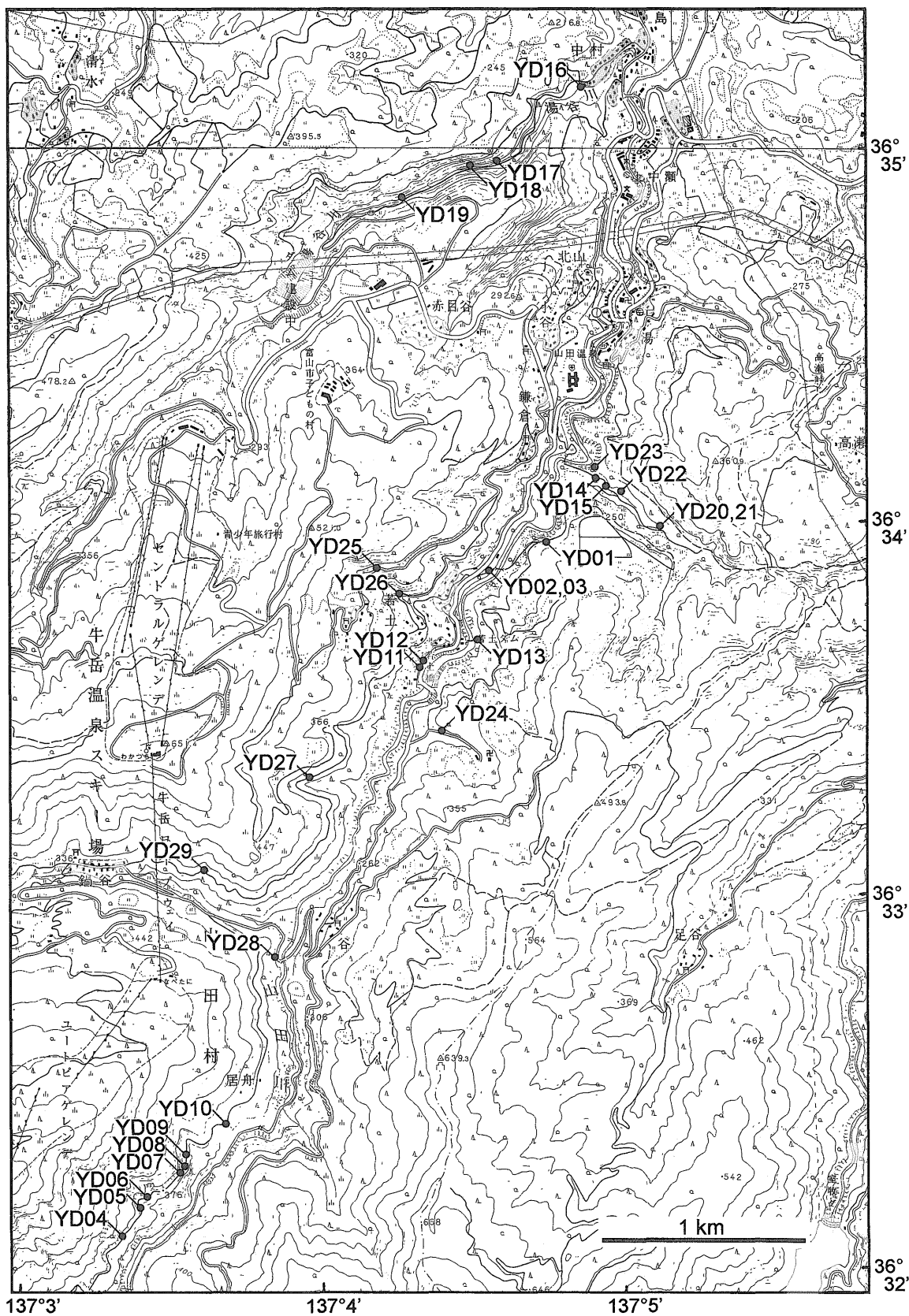
Fig. 2 Schematic lithostratigraphy of the Yatsuo area after Hayakawa and Takemura (1987). Previous magnetostratigraphic results are shown by circles after Itoh *et al.* (1999). Solid (open) symbols correspond to normal (reversed) polarity data. Correlation with the geomagnetic polarity time-scale (Berggren *et al.*, 1995) is shown by thin solid lines (Itoh *et al.*, 1999). Diatom biostratigraphy is after Yanagisawa (1999).

1985など)から日本海が中新世に拡大したと考えられるようになったのを受け、日本海側に分布する新第三系の層相変化を縁海形成に関連付けて解釈する試みが盛んになった。八尾地域においては、早川・竹村(1987)が層序の再検討を行い、新第三系が不整合で下位の八尾層群と上位の礪波層群に分けられること、両者は岩相・構造・化石・堆積環境などの点で非常に異なることを明らかにした。そして彼らは、同地域から得られている多くの微化石/放射年代を検討し、八尾層群堆積時に生じた基盤の急激な沈降の原因を、西南日本の回転(ならびに回転を起こした日本海西部の拡大;第2図)に求めた。

このような層序学的研究を礎として、伊藤・早川(1988, 1989)は八尾層群から得られた古地磁気方位を総括し、

標準地磁気層序への対比を試みた。彼らは、八尾層群最上部の東別所層最下部に認められた正帯磁の1地点を考慮して、東別所層を標準地磁気層序のChron C5Bnに対比した。これに対して、長谷川ほか(1990)・Hasegawa and Takahashi(1992)は黒瀬谷層上部と東別所層の微化石層序の再検討を行い、東別所層をChron C5Brに対比する案を示した。この食い違いを受けて、伊藤ほか(1999)は東別所層下部の古地磁気測定を行い、以前報告した正帯磁データは二次磁化成分が除去できていない可能性を認め、医王山層上部・黒瀬谷層・東別所層(最上部を除く)をChron C5Brに対比した。

第2図に示すように、これまでの研究では八尾層群下部に地磁気極性データの欠落が多く、上記の対比案には



第3図 古地磁気試料 (YD01~29) 採取地点位置図。2万5千分の1地形図「宮森新」「山田温泉」の一部を使用。
 Fig. 3 Paleomagnetic sampling sites (YD01-29) plotted on parts of topographic maps "Miyamori-shin" and "Yamada-onsen" at 1:25,000 scale.

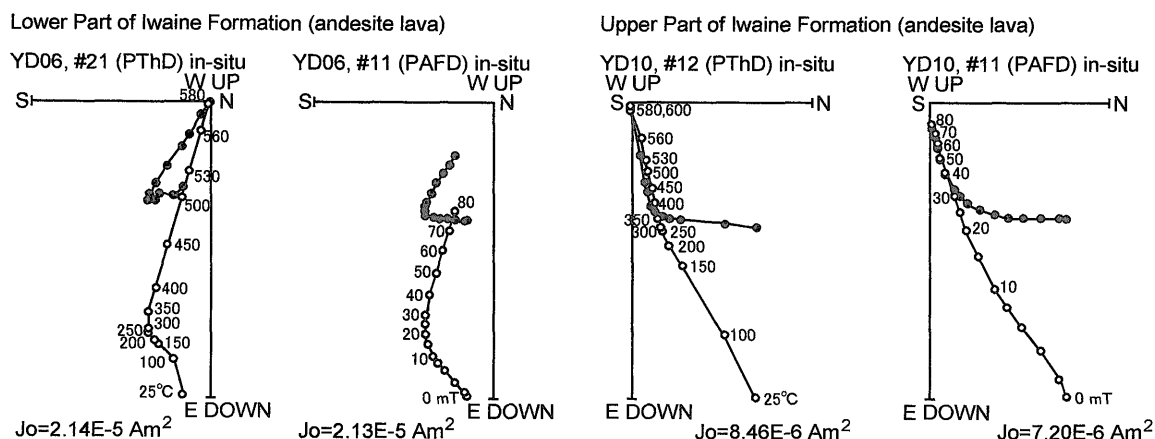
不確かさが残されている。そこで本研究では、八尾地域中部の山田川ルートにおける古地磁気測定結果を報告し、標準地磁気層序との対比を論じる。

2. 試料採取と古地磁気測定

八尾層群は、下位より楡原層・岩稲層・医王山層・黒瀬谷層・東別所層からなる(早川・竹村, 1987; 第2図)。本研究の対象である岩稲層は安山岩質の溶岩と火砕岩、医王山層は流紋岩質の火砕岩、黒瀬谷層は上方細粒化の傾向を示し凝灰岩を挟在する海成堆積岩を主体とする。古地磁気測定用試料は、山田川とその支流で採取した(第3図)。携帯型エンジンドリルを用いて1地点につき3~8本のコア試料を抜き取り、磁気コンパスで方位付け

を行った。

実験室に持ち帰った試料から、直径25mm高さ22mmの円筒形測定用試料片を切り出した。残留磁化の測定には、地質調査所と京都大学総合人間学部の2-G Enterprise製超伝導磁力計を用いた。作成した全試料片(1地点につき6~14個)の自然残留磁化と磁化率を測定した後、各地点の平均的な残留磁化強度・方位・磁化率を示すパイロット試料片を選び、段階交流消磁・段階熱消磁実験によって磁化の安定性を検討した。段階交流消磁は、最高80mTまで14段階で行った。段階熱消磁は無磁場に近い空气中で、最高660°Cまで12~15段階で行った(試料が崩壊した場合は実験を中止した)。ただしYD15,16地点の試料(黒瀬谷層中・上部のシルト岩)は整形中から崩壊が激しく、段階熱消磁は行っていない。



第4図 岩稲層の火成岩試料(YD06, 10)の段階消磁結果。傾動補正前の磁化方位をvector-demagnetization図に示す(左が熱消磁, 右が交流消磁)。黒丸は水平面, 白丸はN-S方向の垂直面への投影。

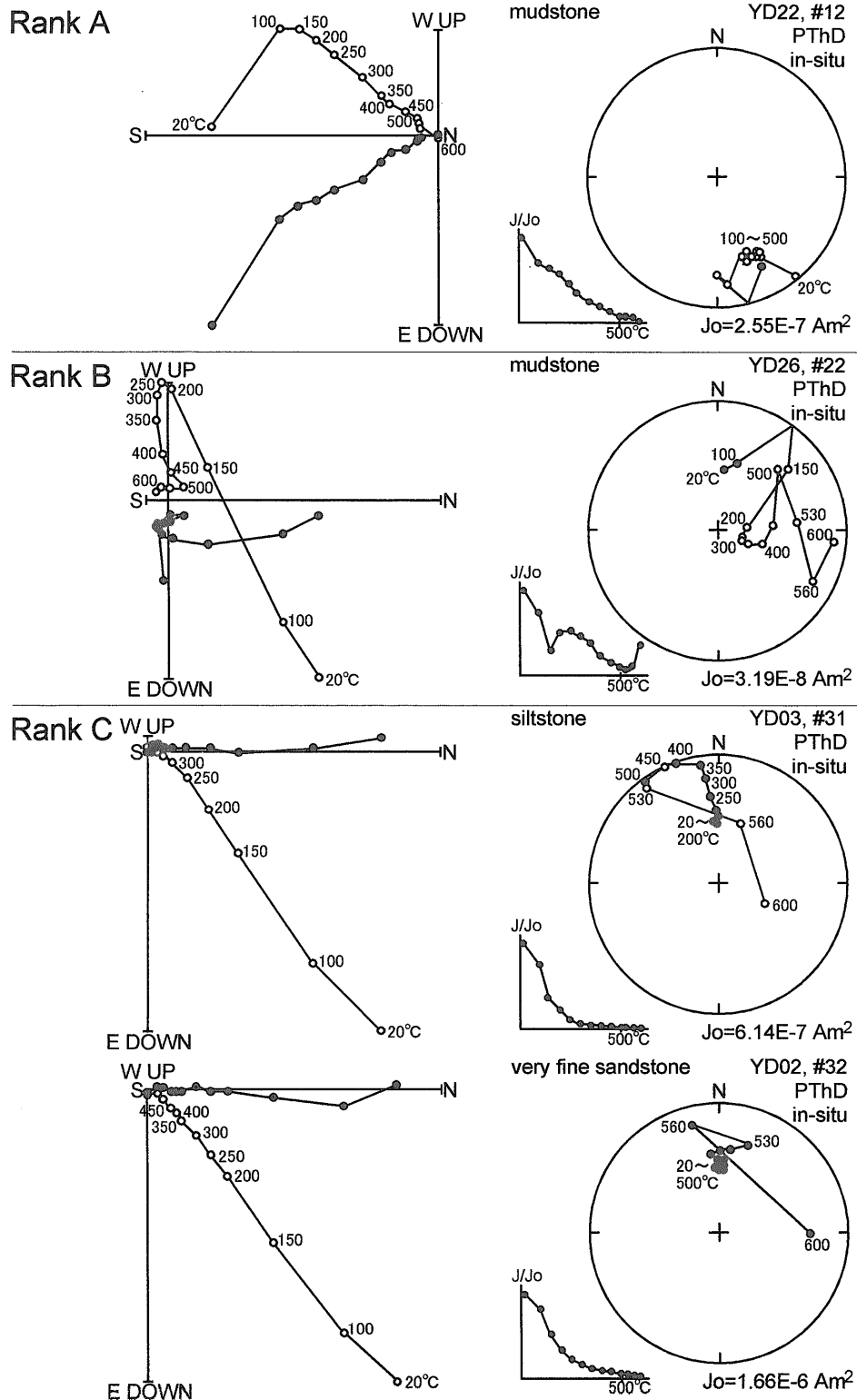
Fig. 4 Result of progressive demagnetization tests (PThD and PAFD are progressive thermal and alternating-field demagnetization, respectively) for igneous rocks of the Iwaine Formation (YD06, 10). Vector-demagnetization diagrams are drawn in in-situ coordinates. Unit of coordinates is bulk remanent intensity. Solid and open circles are projections on horizontal and N-S vertical planes, respectively.

第1表 岩稲層のサイト平均磁化方位。

Table 1 Site-mean magnetic directions of the Iwaine Formation.

Site	Primary component						Secondary component					
	DMG	D	I	α_{95}	k	N	DMG	D	I	α_{95}	k	N
YD04	250 - 600 °C	138.4	51.4	2.7	604.0	6						
YD05	250 - 600 °C	150.3	73.0	2.1	986.7	6						
YD06	300 - 600 °C	121.2	61.5	1.2	3215.1	6	100 - 300 °C	-5.1	52.2	7.9	73.6	6
YD07	200 - 600 °C	145.4	68.4	2.2	940.5	6	25 - 250 °C	3.8	58.8	5.8	172.1	5
YD08	250 - 600 °C	143.4	69.8	3.1	594.8	5						
YD09	200 - 600 °C	161.7	68.8	7.7	101.0	5						
YD10	300 - 600 °C	78.7	41.6	1.2	3859.9	5	25 - 200 °C	7.5	54.9	3.5	478.7	5

DMG is temperature range adopted for calculation of characteristic direction by principal component analysis; D and I are site-mean declination and inclination in degrees, respectively; α_{95} is the radius of 95% confidence circle; k is the Fisherian precision parameter; N is number of specimens.



第5図 黒瀬谷層の堆積岩試料 (YD22, 26, 03, 02) の段階熱消磁結果。傾動補正前の磁化方位をvector-demagnetization図にプロットしたものを左側に示す。黒丸は水平面、白丸はN-S方向の垂直面への投影。右側には等積投影図 (黒丸は下半球, 白丸は上半球投影) と磁化強度減衰曲線を示す。図中の数字は消磁温度 (°C) である。Rankの定義は本文参照。

Fig. 5 Result of progressive thermal demagnetization tests for sedimentary rocks of the Kurosedani Formation (YD22, 26, 03, 02). Vector-demagnetization diagrams (left) are drawn in in-situ coordinates. Unit of coordinates is bulk remanent intensity. Solid and open circles are projections on horizontal and N-S vertical planes, respectively. Equal-area projections and normalized intensity decay curves are shown on the right. Solid and open circles are on the lower and upper hemispheres of the projection, respectively. Numbers attached to symbols are degrees in Celsius. See text for ranking criteria.

3. 結果

3.1 火成岩

第4図に、岩稲層の安山岩質溶岩の段階消磁実験結果を示す。段階熱消磁と段階交流消磁の両方で、原点に収束する安定残留磁化成分が確認された。その方位は、傾動未補正で現在の地球磁場方向と大きく異なり、溶岩が冷却する際に獲得した初生的な熱残留磁化と考えられる。低い消磁レベルで消去される成分は、現在の地球磁場方向に平行であり、二次的に獲得した磁化と考えられる。岩稲層からは、今回試料を採取したすべての地点(YD04~10)で同様な結果が得られたので、試料片を追加して段階熱消磁を行い、Kirschvink (1980)の方法で磁化方位を決定して地点毎の平均磁化方位を計算した。それらについては傾動を補正する手がかりがないため、八尾地域の回転・移動に関する議論はできないが、岩稲層の下位(楡原層)と上位(医王山層)の構造トレンド(北方に10~40°傾斜)と同様と仮定して補正すると、正帯磁方向と判断できる。第1表に、傾動未補正の状態での初生磁化方位と二次磁化方位(明瞭に分離できた地点のみ)を示す。

医王山層(YD28, 29)については、パイロット試料片の段階熱消磁で初生磁化と二次磁化を完全に分離できなかったが、初生磁化成分の極性は逆帯磁と判定された。すべてのコアについて同様な結果が得られたので、2地点ともに逆帯磁とした。

3.2 堆積岩

第5図に、黒瀬谷層の堆積岩の段階消磁実験結果を示す。本研究では、段階熱消磁の結果を用いて、試料を以下に示す3つのRankに分類した。

Rank A: パイロット試料片の段階熱消磁によって、安定で初生的と考えられる古地磁気方位が得られる場合。安

定な磁化成分は、vector-demagnetization図上で直線として表現される。第5図の例では、200°C以上で図の原点に向かう直線成分が見られる。その方位は、傾動補正前の状態で現在の地球磁場方向と大きく異なっており、堆積時に獲得した初生磁化と考えられる。このような結果が得られた地点については、試料片を追加して段階消磁を行い、Kirschvink (1980)の方法で磁化方位を決定して、地点毎の平均磁化方位を計算した。その際、同様の初生磁化成分が段階交流消磁実験でも得られた地点については、加熱による試料片の損傷を避けるために、交流消磁を採用した。第2表に、地点毎の平均磁化方位に関する情報を示す。

Rank B: パイロット試料片の段階熱消磁によって、初生磁化と二次磁化を完全には分離できないが、初生磁化成分の極性が判定できる場合。第5図の例では、熱消磁によって磁化方位が傾動補正前の状態で現在の地球磁場方向から遠ざかり、いったんはvector-demagnetization図の原点に収束する傾向を示す。しかし、消磁レベルが高くなると磁化方位が不安定になり、明瞭な直線成分が認定できない。同時に磁化強度も上昇するので、加熱によって生成した磁性鉱物の影響と考えられる。段階交流消磁でも同じ傾向が認められ、直線磁化成分を分離するには至らない。このような地点では、試料片を追加して段階熱消磁を行い、すべてのコアについて同様な結果が得られた場合について、原点に向かう部分の磁化ベクトル伏角から初生磁化極性を判定した。平均磁化方位は計算していない。

Rank C: 段階熱消磁によって、初生磁化の方位・極性もとめられない場合。第5図の例では、vector-demagnetization図において、傾動補正前の状態で現在の地球磁場方向に一致する磁化成分が見られ、安定な二次磁化と考えられる。上の例(YD03)では、等積投影図において消磁進行とともに磁化方位が地球磁場方向から

第2表 黒瀬谷層のサイト平均磁化方位。

Table 2 Site-mean magnetic directions of the Kurosedani Formation.

Site	DMG	In-situ		Tilt-corrected		α_{95}	k	N	VGP	
		D	I	D	I				ϕ	λ
YD16	8 - 80 mT	148.4	-64.1	-177.8	-51.4	6.6	103.8	6	85.1	-65.4
YD20	8 - 80 mT	-177.7	-53.0	-160.9	-45.7	5.9	106.9	7	71.3	-108.1
YD21	10 - 80 mT	163.0	-51.3	178.3	-48.7	5.2	97.3	9	82.9	-30.8
YD22	150 - 600 °C	163.2	-34.6	171.2	-29.1	8.2	55.8	7	67.6	-20.2
YD23	150 - 500 °C	176.9	-50.9	-175.9	-43.4	10.1	45.0	6	78.2	-61.4
YD25	100 - 450 °C	-169.0	-72.4	-174.4	-49.6	7.3	69.4	7	82.3	-81.8

DMG is range of demagnetization levels adopted for calculation of characteristic direction by principal component analysis; D and I are site-mean declination and inclination in degrees, respectively; α_{95} is the radius of 95% confidence circle; k is the Fisherian precision parameter; N is number of specimens; ϕ and λ are latitude and longitude of virtual geomagnetic poles for tilt-corrected site-mean directions, respectively.

遠ざかる傾向はあるが、二次磁化の影響が大きく、原点に向かう成分は確認できない。下の例 (YD02) では、そのような傾向もなく、消磁実験を通して磁化方位は安定している。このような地点は、初生磁化成分に関する情報が得られなかったものと判断し、棄却した。なお、Rank BおよびCに分類されるYD26, 03, 02は、ほぼ同じ層準から得た岩相の異なる試料である。

4. 考察

4.1 平均磁化方位

第6図に、黒瀬谷層から得られた平均磁化方位を、傾動補正後の状態で示す。それらはすべて逆帯磁で、反転させた方位は地球磁場方向と有意差を持たない。黒瀬谷層は日本海拡大期に堆積したと考えられている (早川・竹村, 1987) が、同時期の西南日本の堆積岩から得られている古地磁気方位は大きく異なっている。Hayashida (1986) は、岐阜県瑞浪地域の明世層から大きく東偏する古地磁気方位を得、日本海拡大に伴う西南日本の時計回り回転を表すと考えた。

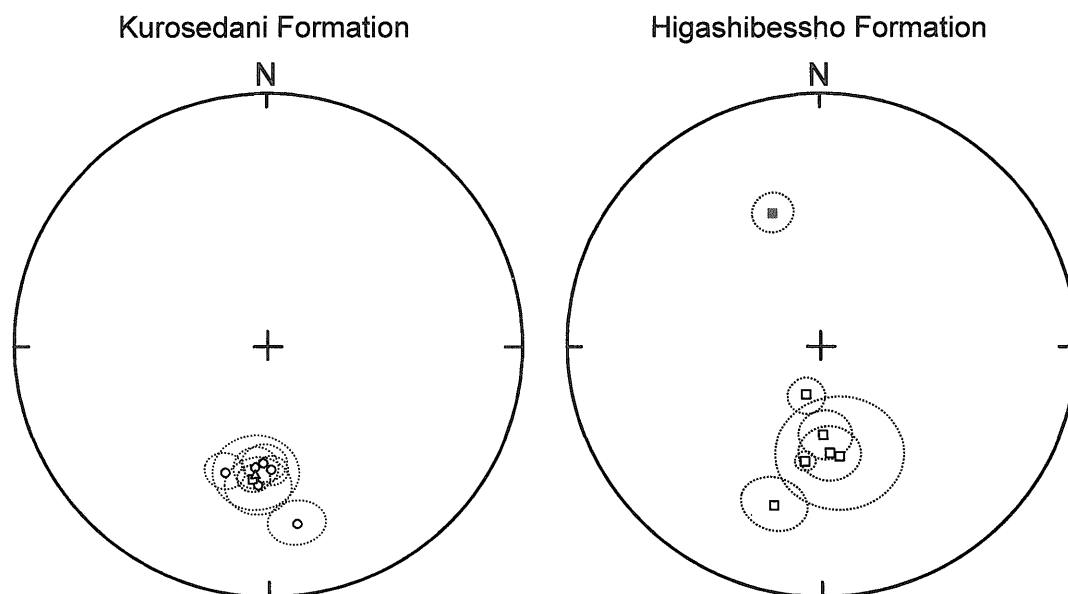
この食い違いは以前から指摘されており、Itoh (1988) は中期中新世に西南日本弧の東端と伊豆-小笠原弧が衝突し、西南日本東端が反時計回り回転を伴う変形を起こしたため、古地磁気偏角が東偏しないと考えた。そのプロセスを明らかにするには、八尾層群上部における古地磁気方位の変化が重要である。これまでに黒瀬谷層とそ

の上位の東別所層から得られた平均磁化方位 (第6図) は大きな違いを示さず、八尾地域の急速な沈降期には有意の回転運動は認められない。

4.2 地磁気層序

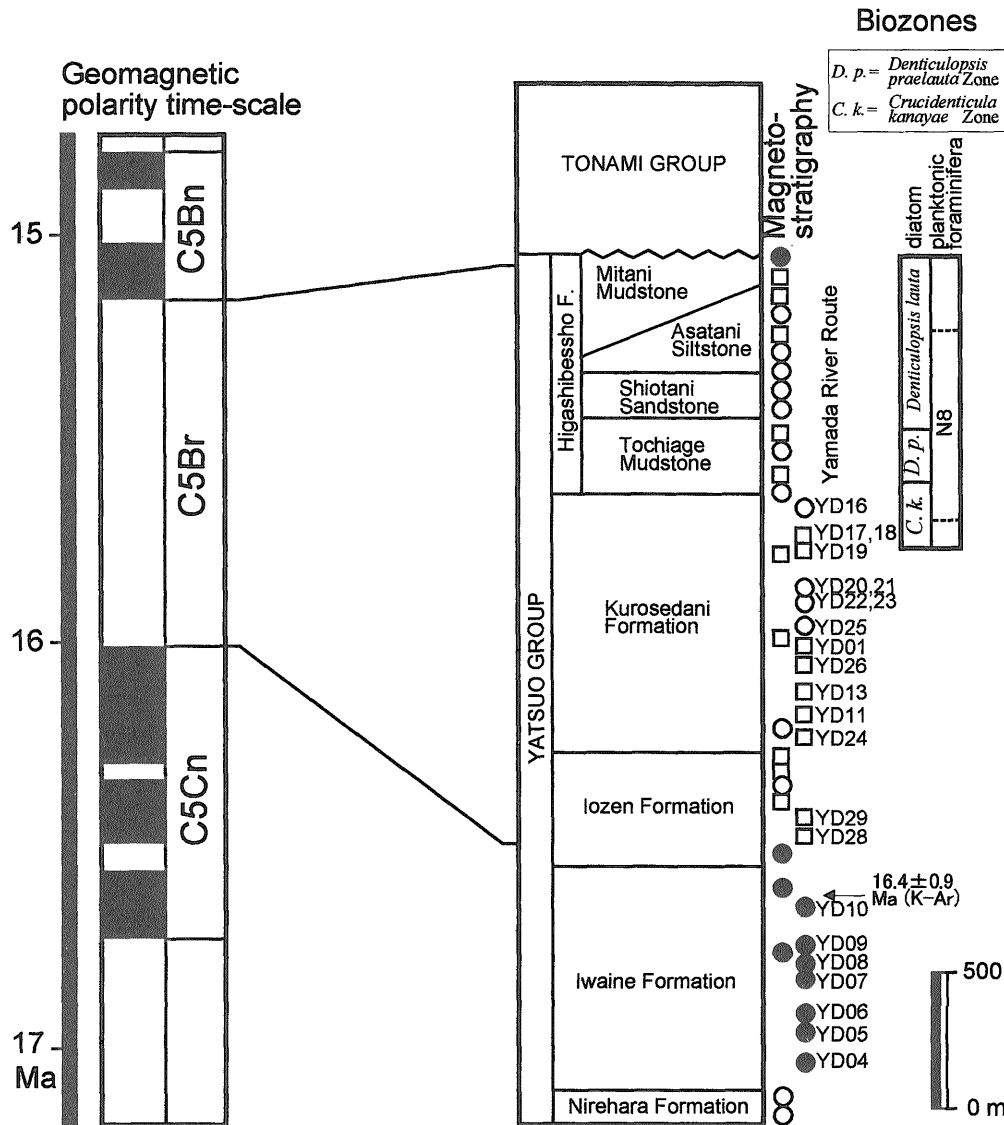
八尾地域 (山田川ルート) の八尾層群下部の古地磁気測定結果は、岩稲層が正磁極期に、医王山層中部と黒瀬谷層が逆磁極期にあたることを示唆している。伊藤・早川 (1989) によると、医王山層の下部は正帯磁、上部は逆帯磁なので、正/逆磁極期境界は医王山層下部 (YD28の下位) にあると考えられる。第7図に、これまでの研究結果を総合した対比案を示す。

本研究で得られた医王山層と黒瀬谷層の古地磁気極性はすべて逆帯磁であり、八尾層群上部を標準地磁気層序 (Berggren *et al.*, 1995) のChron C5Brに対比した伊藤ほか (1999) の案を支持する。正帯磁を示す岩稲層と医王山層下部は、柴田 (1973) の放射年代に基づき、Chron C5Cnに対比される。伊藤・早川 (1989) と本研究の結果により、C5Cn / C5Br境界は医王山層下部に引かれる。最近の北陸地域の層序学的検討 (鹿野ほか, 1999) では、八尾地域の黒瀬谷層と医王山層の年代は16~18 Maとされている。しかし、C5CnとC5Dnを含む期間に形成された地層がすべて逆帯磁を示すのは極めて不自然である。また、鹿野ほか (1999) では岩稲層の年代を18~20 Maとしたが、柴田 (1973) の放射年代値 (16.4 Ma) と、上位層との間に顕著な時間間隙が確認されていないことを勘案す



第6図 黒瀬谷層と東別所層の地点平均磁化方位 (傾動補正後)。黒印は下半球、白印は上半球への投影である。点線は、95%の信頼円を示す。丸、三角、四角印は、それぞれ本研究、伊藤・早川 (1989)、伊藤・早川 (1988) による。

Fig. 6 Tilt-corrected site-mean magnetic directions obtained from the Kurosedani and Higashibessho Formations. Solid and open symbols are on the lower and upper hemispheres of the equal-area projection, respectively. Dotted ovals are 95% confidence limits. Circle, triangle and square symbols are after this study, Itoh and Hayakawa (1989) and Itoh and Hayakawa (1988), respectively.



第7図 八尾における、最新の地磁気層序。従来の地磁気極性データ(伊藤ほか, 1999)を左側に、本研究の成果を右側にプロット(黒塗りが正帯磁, 白抜きが逆帯磁)してある。丸印は平均磁化方位が決定されているデータ(本研究のRank A), 四角印は地磁気極性のみ決定されているデータを示す。標準地磁気層序はBerggren et al. (1995)に、珪藻化石帯(Yanagisawa and Akiba, 1998)への対比は柳沢(1999)に、放射年代は柴田(1973)に基づく。

Fig. 7 A refined magnetostratigraphy of the Yatsuo area. Previous paleomagnetic results (Itoh et al., 1999) are plotted on the left, and the present results are on the right. Solid and open symbols correspond to the normal and reversed polarities, respectively. Circles denote paleomagnetic data with site-mean directions (Rank A of this study), whereas squares denote magnetic polarity data without numerical mean. Standard geomagnetic polarity time-scale and a K-Ar age are after Berggren et al. (1995) and Shibata (1973), respectively. Correlation with diatom biostratigraphy (Yanagisawa and Akiba, 1998) is after Yanagisawa (1999).

ると、Chron C5Cnへの対比が現状では最も妥当であると考えられる。岩城ほか(1999)によると、富山県東部の魚津地域に分布する岩稲層の初生磁化は逆帯磁である。これは、北陸に広く分布する下部中新統の安山岩類の年代を、一括して論じることは危険であることを示唆している。

東別所層下部からは、珪藻化石層序(Akiba, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1998)の*Crucidentacula kanayae* / *Denticulopsis praelauta*帯境界と*Denticulopsis praelauta* / *Denticulopsis lauta*帯境界が見出されている

(第7図; 柳沢, 1999)なので、これらの示準面はChron C5Brに対比されることになる。一方、東北日本太平洋側の松島丘陵では、Yamazaki(1989)が新第三系松島湾層群の古地磁気層序を検討し、*C. kanayae* / *D. praelauta*帯境界を含む松島層は正磁極期にあたるとして、同層を標準地磁気層序のChron C5Cnに対比した。これは、柳沢・秋葉(1999)が指摘するように、本研究の結果と矛盾している。今後、八尾地域の地磁気層序については、珪藻生層帯が確認されたユニットを中心に更なる検討が必要である。

謝辞 本研究を行うにあたって、試料採取に協力いただいた阪本龍馬・井上進・岩城啓美・隅田剣生の各氏に、深謝致します。古地磁気実験室を使用するにあたり、便宜を図っていただいた地質調査所の山崎俊嗣・小田啓邦の各氏、ならびに京都大学総合人間学部の石川尚人・玉井雅人の各氏に、御礼申し上げます。

文 献

- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. *et al.*, *Initial Reports DSDP, 87*, US Government Printing Office, Washington, 393-481.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, III, C. C. and Aubry, M-P. (1995) A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M-P. and Hardenbol, J., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Publication No.54*, Society for Sedimentary Geology, Tulsa, Oklahoma, 129-212.
- 長谷川四郎・丸山俊明・小笠原憲四郎・酒井豊三郎・茂林俊宏・高橋利宏・田中裕一郎 (1990) 富山県八尾地域の中新統複合浮遊性微化石層序。日本古生物学会1990年年会講演予稿集, 62.
- Hasegawa, S. and Takahashi, T. (1992) Faunal succession of benthic foraminifera in the upper Yatsuo Group of the Hokuriku District, Central Japan - A temporal faunal trend during an Early-Middle Miocene transgression in Japan -. In Ishizaki, K. and Saito, T., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, Terra Publishing Co., Tokyo, 51-66.
- 早川秀樹・竹村厚司 (1987) 富山県八尾地域の新第三系。地質雑, **93**, 717-732.
- Hayashida, A. (1986) Timing of rotational motion of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of the Setouchi Miocene Series. *J. Geomagn. Geoelectr.*, **38**, 295-310.
- Itoh, Y. (1988) Differential rotation of the eastern part of southwest Japan inferred from paleomagnetism of Cretaceous and Neogene rocks. *J. Geophys. Res.*, **93**, 3401-3411.
- 伊藤康人・早川秀樹 (1988) 富山県八尾地域に分布する新第三系の古地磁気層序。地質雑, **94**, 515-525.
- 伊藤康人・早川秀樹 (1989) 富山県八尾地域の新第三系における磁極期C5B/C5C境界について。地質雑, **95**, 133-136.
- 伊藤康人・柳沢幸夫・渡辺真人 (1999) 八尾地域に分布する新第三系の古地磁気/珪藻化石層序。地調月報, **50**, 215-223.
- 岩城啓美・伊藤康人・渡辺真人 (1999) 富山県東部魚津地域に分布する新第三系の磁気層序。日本地質学会第106年学術大会講演要旨, 193.
- 鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (1999) 20万分の1地質図幅「金沢」, 地質調査所。
- Kirschvink, J. L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- 榎山次郎 (1930) 石川富山両県下の第三紀層概観。地球, **14**, 161-174.
- Otofuji, Y., Hayashida, A. and Torii, M. (1985) When was the Japan Sea opened?: Paleomagnetic evidence from Southwest Japan. In Nasu, N., Uyeda, S., Kushiro, I., Kobayashi, K. and Kagami, H., *Formation of Active Ocean Margins*, Terra Publishing Co., Tokyo, 551-566.
- 坂本亨 (1966) 富山積成盆地南半部の新生界とその構造発達史。地調報告, no. 213, 1-27.
- 柴田賢 (1973) 北陸層群中の火山岩類のK-Ar年代。地質学論集, **8**, 143-149.
- Yamazaki, T. (1989) Paleomagnetism of Miocene sedimentary rocks around Matsushima Bay, Northeast Japan and its implication for the time of the rotation of Northeast Japan. *J. Geomagn. Geoelectr.*, **41**, 533-548.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *J. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫 (1999) 富山県八尾地域の下部-中部中新統の珪藻化石層序。地調月報, **50**, 139-165.
- 柳沢幸夫・秋葉文雄 (1999) 松島地域の中新世珪藻化石層序の再検討。地調月報, **50**, 431-448.

(受付: 1999年11月24日; 受理: 1999年12月2日)