

栃木県茂木地域に分布する下部中新統の磁気層序

星 博幸* 高橋雅紀**

Hiroyuki HOSHI and Masaki TAKAHASHI (1999) Lower Miocene magnetic polarity stratigraphy in the Motegi area, Tochigi Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50 (7), p. 449-455, 4 figs., 1 table.

Abstract : The paleomagnetism of four basalt flows in the Motegi area, Tochigi Prefecture, Japan has been measured for establishing the magnetic polarity stratigraphy of the lower Miocene series in the area. Demagnetization with the alternating field and thermal methods revealed magnetic polarity of all the analyzed flows. Our results, together with previously reported paleomagnetic data, have demonstrated the existence of two polarity-reversal horizons in the lower Miocene sequence that separate the sequence into three polarity zones (MTG-C reversed polarity zone, MTG-B normal polarity zone, and MTG-Ab reversed polarity zone). These polarity-reversal horizons should be useful for calibrating the standard geomagnetic polarity time scale by future radiometric dating.

要 旨

栃木県茂木地域に分布する下部中新統の磁気層序を確立するために、4枚の玄武岩溶岩流について古地磁気を測定した。段階交流消磁および段階熱消磁を施すことにより、採取した4枚すべての溶岩流の磁気極性が明らかになった。以前報告されたデータと今回の結果から、下部中新統のなかに2つの極性反転層準があることが示され、それらの層位的位置が従来に比べてより明確になった。この2つの極性反転層準は、放射年代測定をおこなうことによって地磁気年代尺度に対して制約条件を与えると期待される。

1. はじめに

本論文の主旨は、①栃木県茂木地域に分布する下部中新統の磁気層序(星・高橋, 1996a)を確立するためにおこなった新たな古地磁気解析の結果を提示し、②その結果に既存のデータを組み入れて磁気層序を確立することである。

栃木県茂木地域(第1図)には、中川層群とよばれる陸成の下部-中部中新統が分布し、Kawada (1953), 星・高橋 (1996b) などの地質学的研究がおこなわれてきた。星・高橋 (1996a) は中川層群の火山岩について古地磁気を検討し、中川層群上部の磁気層序を示した。そ

の結果から、中川層群上部には下位から逆帯磁→正帯磁→逆帯磁という一連の磁気極性変化が認められることが判明している。しかし、正帯磁→逆帯磁の磁気極性反転層準の層位的位置は詳しくわかっているものの、逆帯磁→正帯磁へと極性が反転する部分については、極性データが不足していたためにその層位的位置がよくわかっていなかった。そこで筆者らは、この問題を解決して中川層群の磁気層序を確立するために、逆帯磁→正帯磁への極性反転が期待される層準の層位的周辺に挟在する4枚の玄武岩溶岩流について残留磁化を測定した。

2. 地質概説

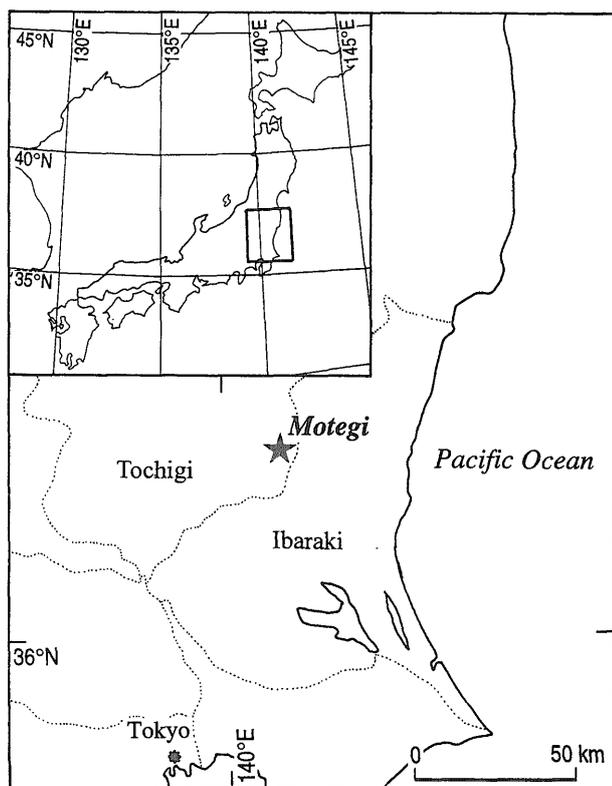
本調査地域の地質図を第2図に示す。中川層群は市場層、元古沢層、山内層、茂木層の4層から構成される(Kawada, 1953)。市場層と元古沢層は陸水域で堆積したと考えられる砕屑岩を主体とする。山内層と茂木層は陸上噴出の溶岩流と火山砕屑岩を主体とする。多くの放射年代に基づいて、中川層群の形成年代は約19-16 Maの期間と推定されている(星, 1998a)。調査地域に分布する本層群は南東に傾く同斜構造を示し、南北走向の断層群によって1-1.5 km 間隔で切られている(星・高橋, 1996b)。

星・高橋 (1996a) が磁気層序を編んだのはおもに山内層で、本研究で古地磁気を測定した溶岩流も山内層のものである。山内層は下位の元古沢層を不整合に覆い、上位の茂木層にも不整合に覆われる(第3図)。本層は陸

* 愛知教育大学地球環境科学領域 (Department of Environmental Earth Sciences, Aichi University of Education, Kariya, Aichi, 448-8542, Japan)

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

Keywords : magnetic polarity stratigraphy, Motegi, lower Miocene, paleomagnetism



第1図 位置図。
Fig. 1 Location of the Motegi area.

上で噴出した玄武岩と安山岩の溶岩流, および玄武岩-安山岩質火砕岩を主体とし, 最大積算厚層は約 1400 m である。溶岩流の多くは暗褐色のクリンカーを伴うアア溶岩流である。岩石は, 表層風化部を除くと本邦の中新世火山岩としては新鮮なほうと思われる, しばしばカンラン石斑晶が未変質のまま残っている。星・高橋 (1996a) は本層の最下部から最上部にかけて系統的に残留磁化を測定し, 下位から上位に向かって逆帯磁→正帯磁→逆帯磁の極性変化を見出した (第3図)。そして星・高橋 (1996a) と星 (1998a) は, それらを MTG-C 逆磁極帯, MTG-B 正磁極帯, MTG-Ab 逆磁極帯と定義した。MTG-Ab/MTG-B 磁極帯境界 (極性反転層準) は3つのセクション (第3図のセクション A, B, C) で制約される。一方, MTG-B/MTG-C 境界の制約は甘く, その層位的位置は不明確であった。石塚・星 (1997) は MTG-Ab 逆磁極帯の玄武岩および安山岩溶岩流4枚について K-Ar 年代を測定し, 16.6 Ma から 16.9 Ma にわたる年代値を得ている。

3. 古地磁気解析

山内層の下部に挟在する4枚の玄武岩溶岩流 (NK 165, NK 195, NK 205, NK 245) から残留磁化測定用の試料を採取した。試料採取地点 (サイト) を第2図に, 試料の層準を第3図にそれぞれ示す。各サイトから6本の

コア試料を携帯型エンジンドリルによって採取した。試料の方位づけには磁気コンパスを使用した。実験室において, 岩石カッターを用いて各コア試料から1-3個の測定用試料 (直径 25 mm, 高さ 22 mm) を得た。

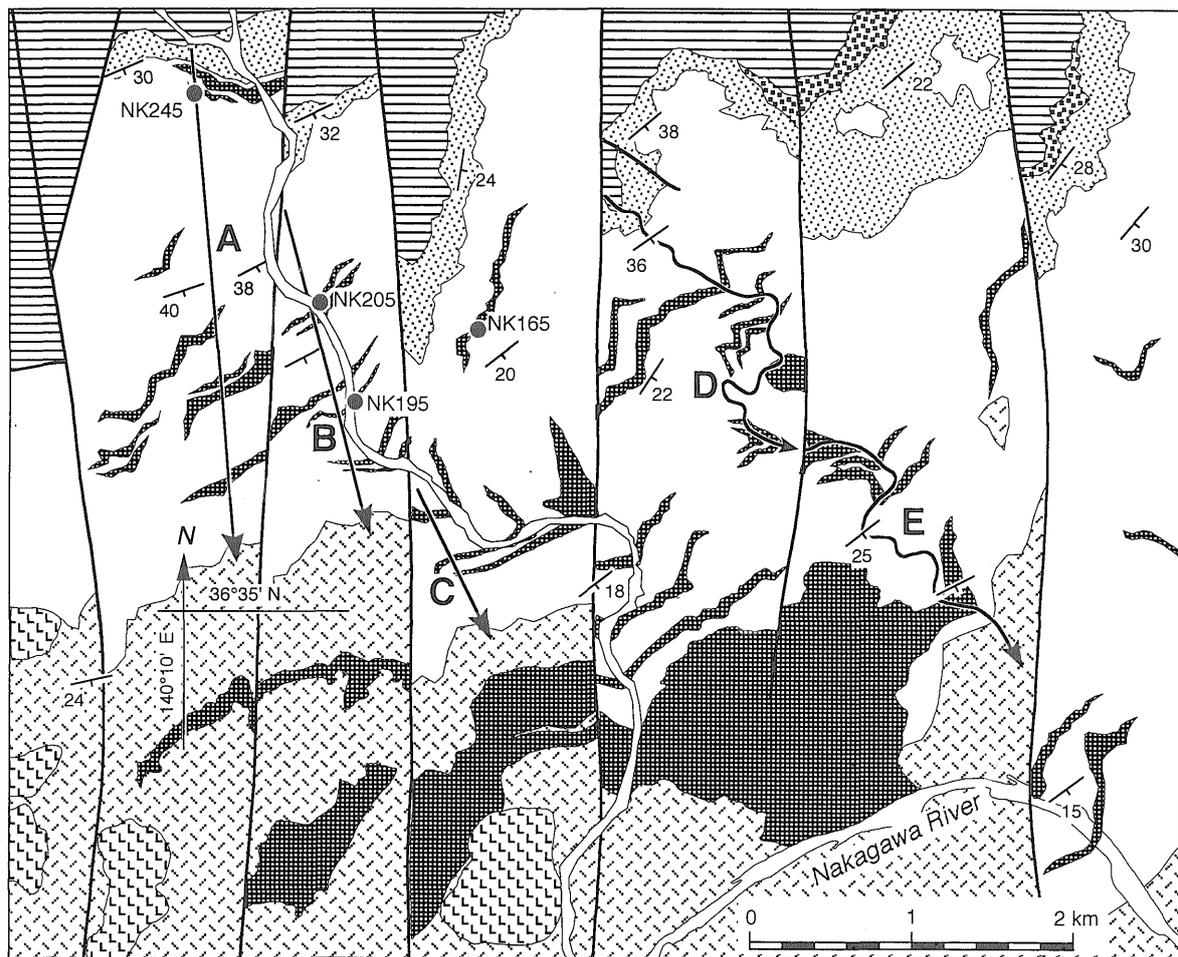
残留磁化の測定には地質調査所の夏原技研製 SMM-85 スピナー磁力計を用いた。まず, 各サイトにつき任意に2個のパイロット試料を選び, それぞれについて自然残留磁化 (natural remanent magnetization : NRM) を測定した後, 1個に段階交流消磁 (progressive alternating field demagnetization : PAFD) を, もう1個に段階熱消磁 (progressive thermal demagnetization : PThD) をおこない, 残留磁化の成分と安定性を検討した。PAFD は夏原技研製 DEM 8601 交流消磁装置を用い, 10-15 ステップで最大 100 mT までおこなった。PThD は Magnetic Measurements 製 MMTD-18 熱消磁装置を用い, 10-15 ステップで最大 650°C まで, 空気中でおこなった。残留磁化の成分と安定性を視覚的に検討するために, 消磁データをベクトル成分図 (Zijderveld, 1967) と等積ネットに投影した。

段階消磁結果を第4図に示す。サイト NK 165 からは PAFD, PThD の両方で安定な特徴成分 (characteristic component : Zijderveld, 1967) を得ることが困難であるが, その他の3サイトからは PAFD, PThD の両方を通じて特徴成分を抽出できた。

<NK 165 (第4図A)> PAFD において, 5 mT の消磁で残留磁化強度が消磁前の強度の約3割にまで急減し, 磁化方位も大きく変化した。5 mT 以上のステップでも磁化強度は減衰し続けたが, 方位は安定せず, 安定な特徴成分を分離することは困難と判断される。PThD でも, 磁化強度は消磁ステップの増加とともに次第に減衰したが, 方位のばらつきが大きく, 特徴成分を抽出することは難しいと判断した。ただし, 磁化ベクトルの軌跡から本サイトの試料は正帯磁と判断できる。

<NK 195, NK 205, NK 245 (第4図B-D)> PAFD および PThD の両者において, はじめの数ステップで不安定な磁化成分が消去され, それ以降は磁化ベクトルの強度のみが減衰するだけで方位の変化は認められない。サイト内で, PAFD と PThD のそれぞれによって得られた特徴成分の方位には大差がなく, PAFD と PThD のどちらでも特徴成分を抽出できると判断される。

パイロット試料に対する段階消磁実験の後, 安定な特徴成分を抽出可能と判断した3サイトについて, パイロット試料以外の残りの測定試料についても PAFD と PThD をおこなった。ベクトル成分図上で, おおよそ原点に向かう直線的な磁化ベクトル (特徴成分) の軌跡について Kirschvink (1980) の方法によって方位を求め, そうして決められた試料の残留磁化方位をもとに各サイトごとにサイト平均磁化方位を求めた (第1表)。平均方位に付随する 95% 信頼限界 (α_{95}) と精密度パラメータ



LEGEND

- | | | |
|----------------------|---------------------|--------------------------|
| Motegi Formation | Ichiba Formation | Pre-Neogene |
| Yamanouchi Formation | Basalt and andesite | Strike and dip of strata |
| Motokozawa Formation | Dacite | Fault |

第2図 調査地域の地質図 (星・高橋, 1996a, を変更・加筆). 第3図の柱状図作成ルートおよび試料採取地点も示す.

Fig. 2 Geologic map around the study area. (Modified from Hoshi and Takahashi, 1996a). The routes along which the columns A-E in Fig. 3 were constructed and the sampling sites for the paleomagnetic measurements are also shown on the map.

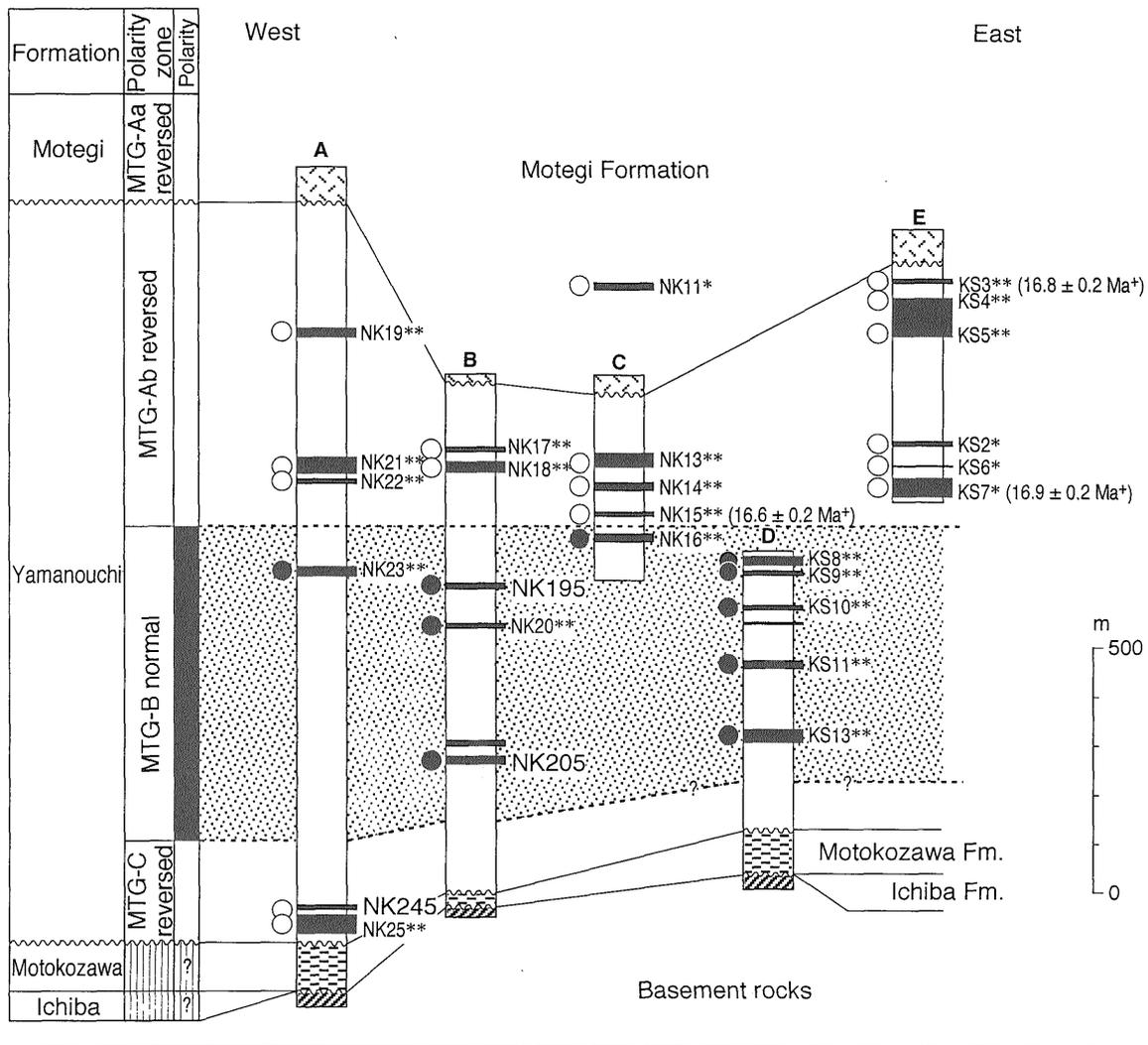
(k) の算出には Fisher (1953) の統計を用いた。傾動補正には、溶岩流の層位的近傍から得られた凝灰質碎屑岩または凝灰岩の走向傾斜データを使用した。仮想地磁気極 (virtual geomagnetic pole: VGP) の位置は、本地域の代表的緯度経度を 36.6°N , 140.2°E とし、その値と傾動補正後の偏角および伏角値から算出した。

NK 195 と NK 205 は正帯磁, NK 245 は逆帯磁である。前述したように, NK 165 からは特徴成分を抽出できなかったものの, 磁化ベクトルの軌跡から正帯磁と判断される。

4. 考 察

第3図に, 今回の結果と星・高橋 (1996a) により報告

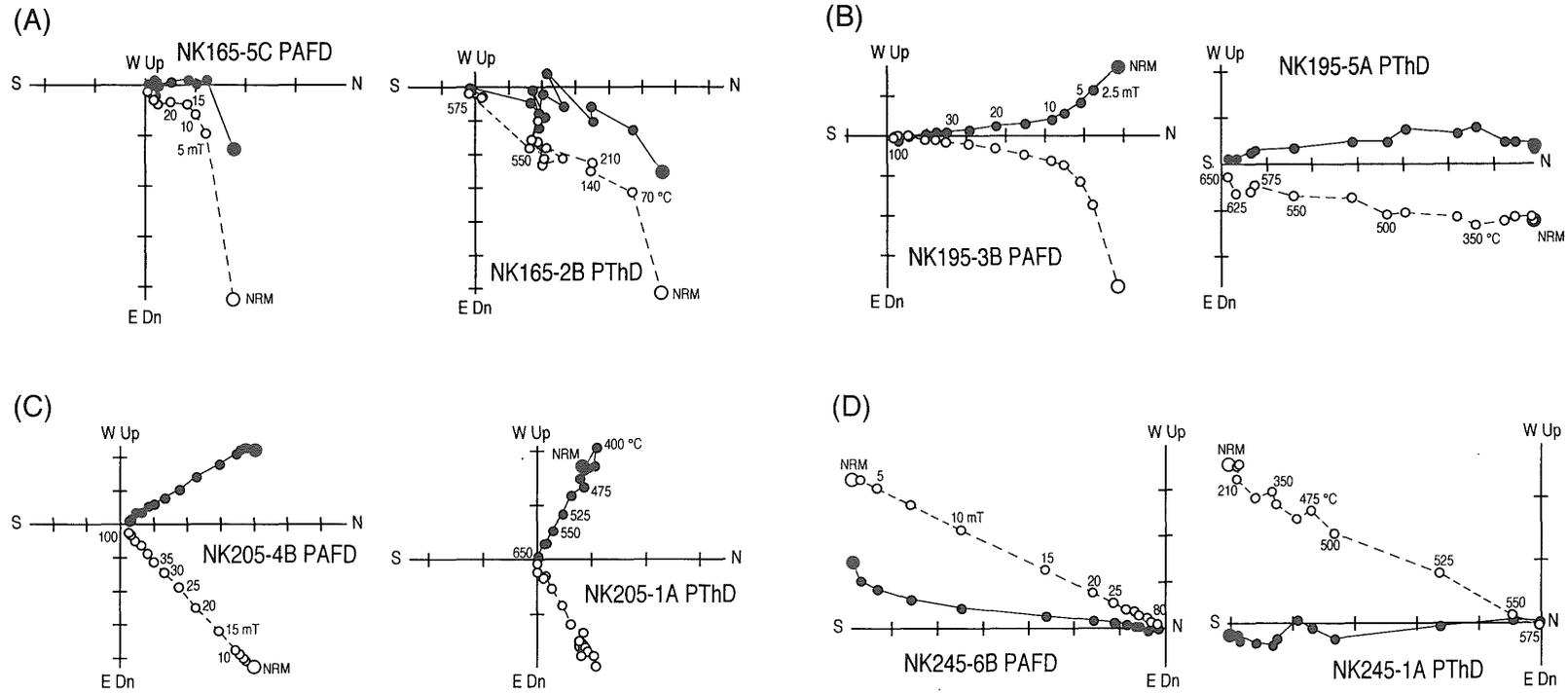
された結果をあわせて示す。星・高橋 (1996a) は, VGP の緯度が 90°N - 60°N のものを正帯磁, 90°S - 60°S のものを逆帯磁と定義し, その間のものはエクスカージョンや地球磁場の逆転などともなう異常帯磁とみなした。しかし, 磁気層序学では北半球に VGP がある場合は正帯磁, 南半球に VGP がある場合は逆帯磁と定義するのが普通である (Opdyke and Channell, 1996, p. 74)。外来性の地塊 (テレーン), 付加帯, または大きな回転運動を被った地域などではしばしば極性の判断が難しいことがある。しかし, 本地域は約 18 Ma 以降有意な回転運動を被っていない (Hoshi and Takahashi, 1997)。したがって, 本研究では上述した“普通の定義”にしたがうことにし, 第3図の極性もこの定義に則って示してある。



第3図 下部中新統山内層の磁気層序。各柱状図の作成ルートは第2図。
 Fig. 3 Magnetic polarity stratigraphy of the lower Miocene Yamanouchi Formation, showing stratigraphic positions of the sampling sites (see Fig. 2 for the routes of the columns).

今回の結果から、MTG-B 正磁極帯 / MTG-C 逆磁極帯境界の層位的位置がより明確になった。この逆帯磁→正帯磁の極性反転層準は、第3図のセクション A では NK 245 と NK 23 の間に、セクション B では NK 205 の下位に、セクション D では KS 13 の下位に位置する。とくに NK 205 が正帯磁であることは意義深い。星・高橋 (1996 a) では、セクション D において MTG-B 正磁極帯の層位的“厚さ”が 450 m 以上あることはわかっていたが、調査地域の西半部(セクション A, B, C) でその厚さがどの程度なのか限定できなかった。今回、セクション B に

おいて MTG-B 正磁極帯の厚さが 500 m 以上あることが確定した。セクション B と D を比較すると、両者での MTG-B 正磁極帯の厚さにそれほど大きな違いがないことがわかる。このことは、両セクションの平均堆積速度に大きな差異がないことを意味する。セクション A では、挟在する溶岩流が少ないために MTG-B/MTG-C 境界を厳密に定めることはできない。しかし、セクション A と B の測線は 500-800 m しか離れておらず(第2図)、この距離は B と D の間隔よりも小さい。したがって、セクション A においても MTG-B 正磁極帯の厚さは



第4図 パイロット試料のベクトル成分図。(A) サイト NK 165, (B) サイト NK 195, (C) サイト NK 205, (D) サイト NK 245. 黒丸は傾動補正前の残留磁化ベクトルを水平面に投影したベクトル端点, 白丸はN-S軸を含む鉛直面に投影したベクトル端点を示す。

Fig. 4 Vector demagnetization diagrams of pilot specimens from (A) site NK 165, (B) site NK 195, (C) site NK 205, and (D) site NK 245. Solid and open circles represent projections in the geographic coordinates of vector endpoints on the horizontal and N-S-vertical plane, respectively.

第1表 サイト平均古地磁気データ.
Table 1 Site-mean paleomagnetic data.

Site	$n_A/n_T/N$	J_n (A/m)	D (°)	I (°)	S/D	D_c (°)	I_c (°)	α_{95} (°)	k	VGP	Polarity
NK195	6/2/08	1.35	357.2	8.2	075/46	5.2	52.7	2.6	463.2	84.6°N, 266.6°E	Normal
NK205	6/4/10	1.12	323.2	45.2	065/35	292.6	77.7	7.2	45.6	42.1°N, 110.4°E	Normal
NK245	6/5/11	3.59	185.5	-27.1	043/33	206.7	-42.6	4.3	113.0	64.3°S, 70.2°E	Reverse

$n_A/n_T/N$: number of specimens subjected to progressive AF demagnetization/number of specimens subjected to progressive thermal demagnetization/total number of specimens used for calculating the site-mean direction; J_n : intensity of natural remanent magnetization; D and I : in-situ declination and inclination; S/D: strike/dip; D_c and I_c : tilt-corrected declination and inclination; α_{95} : radius of 95% confidence circle; k : precision parameter; VGP: position of virtual geomagnetic pole.

少なくとも 500 m 以上と考えられ, NK 245 が逆帯磁なので, これらの制約により MTG-B/MTG-C 境界は NK 245 の上位約 100-200 m に位置するものと推定される。

正帯磁を示す NK 165 の溶岩流は測線 C 上にはない(第 2 図)。そのため, 第 3 図のセクション C にみられる 4 枚の溶岩流との層位的な関係は周辺の地層の走向傾斜から推定するほかない。Hoshi and Takahashi (1997) に示されている地質図および第 2 図から, NK 165 はセクション C の NK 16 とほぼ同層準か, ほんのわずか(数 10 m) 下位に位置するものと推定される。NK 16 は正帯磁なので(星・高橋, 1996 a), この層位推定と両溶岩流の残留磁化極性は調和的である。

5. おわりに

茂木地域では, 極性反転層準の年代を放射年代測定によって高精度で決定しようとする試みが進行しつつある(星, 1998 b)。この試みの主旨は, Cande and Kent (1995) や Wei (1995) による新生代地磁気年代尺度に対していくつかの問題点が指摘されているため(星・高橋, 1996 a; Takahashi and Danhara, 1997), 地磁気年代尺度に茂木から制約データを与え, よりよい年代尺度の構築に貢献しようということである。本研究により山内層の磁気層序が確立されたが, この成果は茂木という地域の中で閉じてしまうものではなく, 将来的に地磁気年代尺度の作成に関連するというポテンシャルを有している。

謝辞 地質調査所海洋地質部の山崎俊嗣博士には原稿を査読していただき, 本論文の改善に有意義な指摘およびアドバイスをいただいた。深く感謝いたします。

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.
Fisher, R. (1953) Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, **217**, 295-305.
星 博幸 (1998 a) 栃木県茂木地域に分布する下・中部中新統中川層群に対する磁気層序磁極帯の修正と意義. *地質雑*, **104**, 60-63.
星 博幸 (1998 b) 陸上セクションの磁気極性層序と高精度年代測定: 茂木地域の下部中新統に対する研究. 日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, 32.
星 博幸・高橋雅紀 (1996 a) 茂木地域に分布する前・中期中新世火山岩類の古地磁気層序と火山活動の時期. *地質雑*, **102**, 573-590.
星 博幸・高橋雅紀 (1996 b) 八溝山地中部, 茂木地域に分布する下部中新統の地質構造—N-S 系断層の運動と中新世テクトニクス—. *地質雑*, **102**, 25-39.
Hoshi, H. and Takahashi, M. (1997) Paleomagnetic constraints on the extent of tectonic blocks and the location of their kinematic boundaries: Implications for Miocene intra-arc deformation in Northeast Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 523-542.
石塚 治・星 博幸 (1997) 栃木県茂木地域に分布する前・中期中新世火山岩類の K-Ar 年代. *地質雑*, **103**, 964-970.
Kawada, K. (1953) Geological studies on the Yamizo, Torinoko and Toriashi mountain blocks and their neighborhood in the north-eastern Kwanto district. *Sci. Rep. Tokyo Bunrika Daigaku, Ser. C*, **2**, 217-307.
Kirschvink, J.L. (1980) The least squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
Opdyke, N.D. and Channell, J.E.T. (1996) Magnetic stratigraphy. Academic Press, San Diego, 346 p.

Takahashi, M. and Danhara, T. (1997) Fission track age of Miocene Kn-3 Tuff in central Japan : Towards better age-control on magneto-biostratigraphic time scale. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **49**, 89-99.

Wei, W. (1995) Revised age calibration points for the geomagnetic polarity time scale. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 957-960.

(受付 : 1999 年 1 月 25 日 ; 受理 1999 年 3 月 17 日)