群馬県富岡地域, 中新世北村・馬場凝灰岩の

K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代

—とくに浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界に関連して—

高橋雅紀*・齋藤和男**・梅津浩之***・市川なつみ****

K-Ar and ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of the Miocene Kitamura and Baba Tuffs
in the Tomioka area, Gunma Prefecture, central Japan

—with special reference to the N.13/N.14 boundary of planktonic foraminiferal zones—

Masaki Takahashi*, Kazuo Saito**, Hiroyuki Umetsu*** and Natsumi Ichikawa****

Abstract There are two correlation models of Middle and Late Miocene geomagnetic reversal sequences between the marine magnetic anomaly patterns and the magnetostratigraphy of sediment sections. One is the Anomaly 5-Chron 9 model (Ryan *et al.*, 1974; Theyer & Hammond, 1974), and another the Anomaly 5-Chron 11 model (Foster & Opdyke, 1970; Hsü *et al.*, 1984; Berggren *et al.*, 1985). Lack of reliable isotopic ages for calibrating the magneto-biostratigraphic time-scales has prevented the solution of this problem. In this work, we measured the K-Ar and ^{40}Ar - ^{39}Ar biotite ages of two tuff layers (the Kitamura and the Baba Tuffs) in order to calibrate the datum level of the first appearance of *Globigerina nepenthes*. A comparison between the K-Ar ages of two tuff layers and the magneto-biostratigraphic constraints shows that the Anomaly 5-Chron 9 correlation model is more preferable than the Anomaly 5-Chron 11 model.

Key words : K-Ar dating, ^{40}Ar - ^{39}Ar dating, Gunma Prefecture, Haraichi Formation, Kitamura Tuff, Baba Tuff, *Globigerina nepenthes*

はじめに

現在, 古地磁気年代尺度が年代学の発展の上で重要な役割を果たすようになったのは, Cox(1969)らによって熱残留磁化と K-Ar 年代をもとに, 4.5 Ma までの地磁気反転年代尺度が確立されたことに始まる。一方, 海

洋堆積物の古地磁気層序学は, 堆積残留磁気の極性の層位的変化と, 浮遊性微化石種の進化的イベントの層準との対応関係を明らかにした。そして, 堆積残留磁気の極性変化を Cox(1969)らの地磁気パターンにそれぞれ対応させ, 堆積速度が一定とする前提で間接的に年数を推定している(Opdyke, 1972)。ところが, 年齢がさらに古くなると K-Ar 年代の誤差が地磁気逆転の時間間隔より大きくなるために, より古い地質時代にさかのぼって年代尺度を作成するためには, 間接的な方法が必要である。1つの方法は, 海洋底玄武岩層による磁気異常の縞模様の解析に基づく年代尺度で, 80 Ma (Anomaly 32)まで延長されている(Heirtzler *et al.*, 1968)。一方, もうひとつの年代尺度は, 主に深海堆積物を中心と

1991年6月18日受付, 1991年12月16日受理。

* 地質調査所(科学技術特別研究員), Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba-city, Ibaraki 305, Japan.

** 山形大学理学部地球科学教室, Department of Earth Sciences, Yamagata University, 1-4-12 Koshirakawa, Yamagata-city, Yamagata 990, Japan.

*** 株式会社アイジー技術研究所, IG-Technical Research Inc., 1816-12 Kanisawa, Higashine-city, Yamagata 999-37, Japan.

**** 多賀城市立東豊中学校, Toho Junior High School, 5-4-1 Kasagami, Tagajo-city, Miyagi 985, Japan.

して発展した古地磁気層序と浮遊性微化石の基準面とを組み合わせた古地磁気-微化石年代尺度である。

ところで、この2つの年代尺度の対比に関し、従来2つの対比案が考えられてきた。1つは Anomaly 5-Chron 9 対比案 (Ryan *et al.*, 1974; Theyer & Hammond, 1974a) で、もう1つは Anomaly 5-Chron 11 対比案 (Foster & Opdyke, 1970; Hsü *et al.*, 1984; Berggren *et al.*, 1985) である。これら2つの対比案は、Chron 7 から Chron 14 までの範囲で対比が異なり、各対比案で見積もられる年代は、最大およそ 200 万年も異なる。この問題は、主に古地磁気-微化石年代尺度に目盛りを入れるための、確度の高い放射年代値の不足が起因している。

今回、K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代を測定した北村凝灰岩と馬場凝灰岩は、群馬県富岡地域に分布する中新世海成層に挟在する。富岡地域の中新統における浮遊性微化石に関する研究は非常に多く、いくつかの重要な浮遊性微化石の基準面が認識されている (高柳ほか, 1978 など)。とくに、浮遊性有孔虫化石帯 (Blow, 1969) の N.14 の下限を規定する *Globigerina nepenthes* Todd の初出現層準が、北村凝灰岩と馬場凝灰岩の間に位置することから、両凝灰岩の年代は N.13/N.14 境界に対し、年代学的に制約を与えられと考えられる。本論では、北村および馬場凝灰岩の K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定結果を報告するとともに、浮遊性微化石層序との関係、および海洋底地磁気異常と古地磁気層序における2つの対比案との関連について考察する。

富岡地域の地質および凝灰岩試料

1. 地質の概要

富岡地域は関東平野の北西部に位置し (Fig. 1)、中新統が広く分布する。本地域の地質学的研究は非常に多く、藤本・小林 (1938)、渡部ほか (1950)、渡部 (1952)、Matsumaru (1967)、松丸 (1977) らにより行われてきた。最近、大石・高橋 (1990) はこれらを整理し、下位より牛伏層、小幡層、井戸沢層、原田篠層、庭谷層、原市層および板鼻層の7層に区分した。一方、微化石層序学的研究は Saito (1963) をはじめとし、Matsumaru (1967)、Kurihara (1974)、紺田 (1975)、千地・紺田 (1978)、Takayanagi *et al.* (1976)、高柳ほか (1978) など多数の報告がある。また、鍵層となる凝灰岩については、高柳ほか (1978) により認識が容易で広範囲にわたって追跡しうる凝灰岩、および地層の境界の定義に用いられている凝灰岩について報告されている。さらに、生層序学的に重要な種の出現・消滅層準の

Fig. 1. Index map of the Tomioka area.

近傍に挟在する凝灰岩の放射年代の測定も行われている (柴田ほか, 1979; Kasuya, 1987)。これら富岡地域の中新統は、浮遊性有孔虫化石帯の N.9 に相当する層準に部分不整合 (庭谷不整合) が存在するが、この庭谷不整合を除いては整合一連であり、N.8~N.14 までの層序がほぼ連続的に露出している。なお、Fig. 2 に大石・高橋 (1990) の層序区分をもとに、高柳ほか (1978) によってコンパイルされた生層序学的に重要な浮遊性有孔虫化石のレンジを示す。また、Fig. 3 に試料採取地点周辺地域の地質図を示す。

今回、放射年代を測定した北村および馬場凝灰岩は、原市層の中部に挟在する (Fig. 2)。原市層は主に暗灰色塊状シルト岩よりなるが、下部に細粒砂岩が挟在することがある。さらに、珪長質凝灰岩が多数挟在し、それらは鍵層として側方によく追跡される。原市層の層厚はおよそ 550 m であり、分布地域においてほぼ一定している。地層は WNW-ESE の一般走向で北方に 10° ~ 30° ほどで傾斜する同斜構造を呈する。また、原市層は微化石を多産し、地質構造が単純で鍵層を多数挟有しているので、古生物学的研究が多数なされてきた。

2. 凝灰岩試料

放射年代測定試料は、原市層中部に挟在する北村凝灰岩については2地点 (Kt-1, Kt-2) より、また馬場凝灰岩は1地点 (Bb-1) より採取した (Fig. 3)。

[北村凝灰岩 (Kitamura Tuff)]

北村凝灰岩は浮石質凝灰岩で、碓氷川河岸では厚さ

Fig. 2. Generalized stratigraphic column of the Miocene sedimentary rocks in the Tomioka area, also showing the relationships between stratigraphic ranges of selected planktonic foraminifera and the level of key tuff layers.

5 m ほどであるが、東に向かって層厚を急激に増す。最下部は径数 mm ほどの浮石を含み、黒雲母の自形結晶が肉眼で認められる。今回、この部分をそれぞれおよそ 10 kg ずつ採取し、黒雲母を分離して K-Ar 年代を測定した。一方、北村凝灰岩中・上部は層理の顕著な白色細粒凝灰岩で、黒雲母と角閃石が認められる。

[馬場凝灰岩 (Baba Tuff)]

馬場凝灰岩は北村凝灰岩のおよそ 160~210 m 上位に挟在する白色の浮石質凝灰岩で、石英・長石・黒雲母が認められる。層厚は 1.5~2 m と調査地域内ではほぼ一定している。馬場凝灰岩については、藤木付近において採取したおよそ 15 kg の岩石試料より黒雲母を分離し、K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代を測定した。

これら 2 層の凝灰岩層と *Globigerina nepenthes* の初出現層準との層位的関係を明確にするために、本地域の中新統に挟在する凝灰岩層の分布と、各沢柱状図作成ルートをもとに Fig. 4 に、また各沢柱状図を北村および馬場凝灰岩の試料採取層準とともに Fig. 5 に示す。

G. nepenthes は生層序学的に重要な種であり、その初出現は浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界を規定する (Blow, 1969)。富岡地域では高柳ほか (1978) により馬場付近の碓氷川河岸 (Fig. 3 左上) において、また千地・紺田 (1978) によって下越沢付近 (Fig. 3 右下) で *G. nepenthes* の初産出が認められている。すなわち、碓氷川セクション (Fig. 5, セクション 1) において、*G. nepenthes* が産出した最下位の試料は US123 (高柳ほか, 1978) であり、その層準は馬場凝灰岩と北村凝灰岩のほぼ中間に位置している。一方、下越沢付近のセクション (Fig. 5, セクション 7) においては、試料 82 (千地・紺田, 1978) が *G. nepenthes* が産出した最も下位の試料である。ところで、千地・紺田 (1978) は、「試料 82 の直下に挟在する珪長質凝灰岩は藤木凝灰岩 (本論の馬場凝灰岩) に連続するものと思われる」と報告した。これを受けて柴田ほか (1979) は、藤木付近の馬場凝灰岩 (本論の Bb-1 に同じ) の K-Ar 年代を測定し、それを *G. nepenthes* の初出現年代とした (Shibata et al., 1984 年

Fig. 3. Geological map of the Tomioka area (Oishi & Takahashi, 1990, modified) The inserted topographic maps ("Tomioka" and "Matsuida", scale 1/25,000 issued by the Geographical Survey Institute) show localities of tuff samples used for radiometric dating.

Fig. 4. Routes of columnar sections as shown in Fig. 5 and the distributions of key tuff layers. (topographic maps : "Tomioka", scale 1/50,000 by the Geographical Survey Institute)

ど). しかしながら, 高柳ほか(1978)は, 富岡地域の野外調査に基づいて, 千地・紺田(1978)の指摘した凝灰岩を北村凝灰岩とした. 最近, 大石・高橋(1990)が本地域の詳細な地質図を作成したが, 彼らも下越沢付近における試料 82(千地・紺田, 1978)直下の凝灰岩を北村凝灰岩としている. さらに, 千地・紺田(1978)が指摘した凝灰岩のおよそ 200 m 上位に, 多量の黒雲母の自形結晶で特徴づけられる馬場凝灰岩が挟んでいることから, 彼らの指摘した珪長質凝灰岩は, 馬場凝灰岩ではなく北村凝灰岩であると判断される.

次に, 高柳ほか(1978)と千地・紺田(1978)の報告した *G. nepenthes* 初産出試料の採取地点および層準を, Fig. 3 の地質図と Fig. 5 の柱状図にそれぞれプロットした. 上述したように, 富岡地域では 2 セクションにおいて *G. nepenthes* の初産出が認識されているが, それらはどちらも北村凝灰岩と馬場凝灰岩の間に位置する. そして, 両者のうち千地・紺田(1978)の示した層準がより下位で, 北村凝灰岩の直上に位置することから, 彼らの報告した層準をもって, *G. nepenthes* 初出現層準とした. すなわち, 本地域における *G. nepenthes* の初出現層準は馬場凝灰岩より下位で北村凝灰岩の直上であるこ

とから, 両凝灰岩の年代は *G. nepenthes* の初出現, すなわち浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界に対し, 年代学的拘束を与えると考えられる.

K-Ar 年代測定

1. 試料の作成

北村凝灰岩(Kt-1, Kt-2)および馬場凝灰岩(Bb-1)について, K-Ar 年代測定を行った. まず採取した岩石試料を洗浄したのちステンレス乳針で粉砕し, 48~100 メッシュの粒度に揃え, 再び洗浄し常温または赤外線ランプの下で乾燥させた. 乾燥した試料をアイソダイナミック・セパレータを用いて磁性鉱物のみを, さらに重液により重鉱物のみを濃集した. 通常はこの時点で角閃石および黒雲母が濃集されるが, 検鏡した結果, 今回処理した試料はすべてこの時点ではほとんどが黒雲母であった. この方法を用いると, 原岩 1 kg に対する黒雲母の収率は北村凝灰岩で 1~5 g, 馬場凝灰岩で 13 g ほどであった.

2. カリウムの定量

カリウムの定量は, 日立 208 原子吸光光度計を用いて原子吸光・蛍光光度法で行った. この方法では, 分

Fig. 5. Columnar sections along the seven routes. Bb-1, Kt-1 and Kt-2 indicate the points of radiometric dating.

離・濃集した黒雲母の測定試料をさらにメノウ乳鉢で粉末にし、Cs 2000 ppm を含む 0.12 N の塩酸溶液として測定した。0.25~10 ppm までの 5 段階の検定溶液を用いて検定曲線を作成し、補間法を用いてカリウムの濃度を決定した。測定の信頼性は地質調査所の標準試料を同時に測定することにより確認した。なお、カリウムの分

析結果を標準試料の文献値とともに Table 1 に示す。

北村凝灰岩のうち、Kt-1 については 6 回カリウムの定量を行った。測定の正確度をチェックするために、地質調査所で作成した標準試料 JF-1 および JG-1a (松本, 1989) のカリウム濃度を測定した。標準試料のカリウム測定濃度は文献値より 3.9~7.9% 低いので、

Table 1. K contents for the dating samples. K contents of GSJ standard samples are also listed together.

Sample	No.	K wt%	Standard Sample	Literature Value *
Bb-1	(1)	6.46	JG-2	3.93±0.02
	(2)	6.48		
	(3)	6.68		
	(4)	6.70	JF-1	8.29±0.02
	(5)	6.55	8.29 (—)	
	(6)	6.54	JGb-1	
	(7)	6.51		0.19 (—)
6.56±0.09 (average)				
Kt-1	(1)	6.45	JF-1	8.29±0.02
	(2)	6.25	7.82 (5.7%↓)	
	(3)	5.99	JG-1a	3.34±0.02
	(4)	5.91	3.21 (3.9%↓)	
	(5)	6.15	JF-1	8.29±0.02
	(6)	6.18	7.63 (7.9%↓)	
			JG-1a	
			3.15 (5.7%↓)	3.34±0.02
6.15±0.17 (average) → 6.50±0.17 (corrected)				
Kt-2	(1)	6.46	JF-1	8.29±0.02
	(2)	6.14	8.32 (—)	
	(3)	5.81	JG-2	3.93±0.02
			3.92 (—)	
6.06±0.21 (average)				

* (Matsumoto, 1989)

In the case of Kt-1, we list the corrected contents as well as the original one, because the K content for the GSJ standard measured together with Kt-1 showed values significantly lower than the reported values, which are also listed in the table.

Kt-1 については測定値の平均をさらに標準試料の値の減少分だけ補正してカリウムの濃度とした。一方, Kt-2 については 3 回カリウムの定量を行った。また, 同時に JF-1 および JG-2 の標準試料のカリウム濃度を測定したが、それらは文献値とよく一致しているので、3 回の測定値を平均して Kt-2 のカリウム濃度とした。

馬場凝灰岩についてはひとつの露頭から採取した試料 (Bb-1) について、7 回カリウムを定量した。同時に測定した標準試料は JG-2, JF-1 および JGb-1 であるが、これらの測定値と文献値とはよく一致しているので、7 回の測定値の平均をもって、Bb-1 のカリウム濃度とした。

3. アルゴンの定量

アルゴンの定量は、山形大学理学部に設置した軌道半径 15 cm, 屈折角 60° の金属製質量分析計を用いて、 ^{38}Ar をスパイクとした同位体希釈法で行った。まず、試料をアルミニウム・フォイルで包み、Mo クルーシブルの中で 1600°C まで熱して溶かした。抽出したガスのうち活性な成分を Ti ゲッター, Sorb ゲッターポンプで除去・精製したのち、質量分析計に導入して測定した。スパイク量は国際標準試料 Bern4B を用いて随時補正し

Table 2. Results of the Ar analyses.

Sample	No.	^{36}Ar (10^{-9} cc/g)	$^{40}\text{Ar}^*$ (10^{-6} cc/g)	Atm. ^{40}Ar (%)
Bb-1	(1)	2.50	2.96	20.0
	(2)	0.56	3.08	5.1
	(3)	5.44	2.77	36.8
	(4)	2.51	2.97	20.0
	(5)	15.38	3.10	59.4
	(6)	4.28	2.97	29.9
	(7)	4.13	2.96	29.2
	(8)	1.16	2.89	10.7
	(9)	1.10	2.94	9.9
$^{40}\text{Ar}^*$ average : 2.96±0.10				
Kt-1	(1)	0.78	3.27	6.6
	(2)	0.93	3.41	7.5
	(3)	1.34	3.34	10.6
$^{40}\text{Ar}^*$ average : 3.34±0.06				
Kt-2	(1)	0.68	3.16	6.0
	(2)	0.87	3.20	7.4
	(3)	0.36	3.26	3.2
	(4)	0.68	3.04	6.2
	(5)	0.44	2.95	4.1
$^{40}\text{Ar}^*$ average : 3.12±0.11				

(error : 1σ)

ている。スパイク量はおよそ $1.2 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ STP}$ であり、誤差として 2.2% を見込んだ。

北村凝灰岩は Kt-1 について 3 回, Kt-2 については 5 回アルゴンを定量した。また、馬場凝灰岩 (Bb-1) については 9 回アルゴンを定量した。各試料のアルゴン定量結果を Table 2 に示す。

4. K-Ar 年代結果

先のカリウムおよびアルゴンの定量結果をもとに、K-Ar 年代を計算した (Table 3)。馬場凝灰岩の K-Ar 年代として $11.6 \pm 0.4 \text{ Ma}$ が得られた。また、北村凝灰岩より抽出した黒雲母の K-Ar 年代として、 $13.2 \pm 0.5 \text{ Ma}$ (Kt-1) および $13.0 \pm 0.7 \text{ Ma}$ (Kt-2) が得られた。これらの年代の計算に関しては、繰り返し測定したカリウム濃度および ^{40}Ar 含有量を用いた。また、年代の誤差は誤差の伝播式によった。

Kt-1 と Kt-2 の K-Ar 年代値は誤差範囲で一致し有為な差が認められないので、2 つの年代値から重みつき平均を求めた。重みつき平均は、それぞれの測定回数を考慮し平均値を求める方法で、仮に 2 つの年代値を求める場合は、

$$w_1 \times x + w_2 \times y$$

となる。ただし x, y は年代値, w_1, w_2 は誤差の 2 乗に逆比例する重みである。平均年代につける誤差は、誤差伝播の式を用いて求めた。以上の結果、北村凝灰岩の

Table 3. K-Ar ages of the Baba and the Kitamura Tuffs. K-Ar ages were calculated with the following decay constants (Steiger & Jäger, 1977).

Sample	Mineral	K wt%	$^{40}\text{Ar}^*(10^{-6}\text{cc/g})$	Age (Ma)
Bb-1	biotite	6.56±0.09	2.96±0.10	11.6±0.4
Kt-1	biotite	6.50±0.17 (corrected)	3.34±0.06	13.2±0.5
Kt-2	biotite	6.14±0.27	3.12±0.11	13.0±0.7
				13.1±0.4

(error : 1σ)

$$\lambda_e = 0.58 \times 10^{-10} / \text{year}$$

$$\lambda_g = 4.962 \times 10^{-10} / \text{year}$$

K-Ar 年代として 13.1 ± 0.4 Ma が得られた。

今回、北村・馬場両凝灰岩より抽出した鉱物(黒雲母)は、カリウムの濃度が高く (Table 1), 大気混入率が低い (Table 2) ので、K-Ar 年代測定には適した試料である。また、カリウムおよびアルゴンを複数回独立に定量し年代値を求めているので、今回得られた K-Ar 年代値は非常に確度の高い値であると考えられる。

^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定

馬場凝灰岩(Bb-1)の放射年代値について、その確度を増すために ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定を行った。今回の測定では、試料中の脱ガス温度を約 600~1600°C までの 9 段階に分けて段階加熱を行った。さらに、それぞれの段階での見かけ年代(apparent age), および全段階での ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代を算出した。年代算出のために比較に用いた年代標準試料は Abukuma biotite で、1990 年 1 月現在までの繰り返し測定によって決められた年代値は 90.2 ± 3.6 Ma (1σ 誤差) である。この年代値から算出される J-値は $(1.69 \pm 0.07) \times 10^{-3}$ であった。段階ごとに脱ガスされたアルゴン比および見かけ年代を Table 4 に示す。なお、見かけ年代は、リセット時にトラップされた $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 比を大気値 (295.5) と仮定して計算した。

Table 4 をもとに縦軸に $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar} (\times 10^{-3})$, 横軸に $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar} (\times 10^{-3})$ をとって、各段階でのアルゴンの組成比をプロットし、アイソクロン直線を求めた (Fig. 6)。なお、直線はそれぞれの段階ごとの誤差を考慮にいて、重みつきで引いた。Fig. 6 をみると、各段階でプロットされた測点は、非常によく直線に沿っていることが分かる。また、リセット時にトラップした $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 比は $(3.46 \pm 0.13) \times 10^{-3}$ であり、大気その値 (3.38×10^{-3}) と誤差の範囲で一致していることから、馬場凝灰岩(Bb-1)にはエキセスアルゴンは存在しないことが分かる。また、このアイソクロン直線から求められる ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代は、 11.9 ± 0.5 Ma (2σ 誤差) で

Table 4. Results of a ^{40}Ar - ^{39}Ar stepwise heating analysis.

Step	Temp. (°C)	^{39}Ar (%)	$^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar} (\times 10^{-3})$	$^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar} (\times 10^{-3})$	Apparent Age (Ma)
1	600	0.1	3.47±0.47	2.75±0.35	-28.4±3.8
2	700	1.2	2.84±0.19	41.85±0.71	10.3±0.5
3	800	14.8	0.99±0.02	186.27±2.71	11.6±0.5
4	900	9.0	1.17±0.05	166.06±2.91	12.0±0.5
5	1000	23.1	0.63±0.02	212.42±1.63	11.7±0.5
6	1100	48.5	0.32±0.02	228.43±1.52	12.1±0.5
7	1200	2.7	1.98±0.13	106.28±1.42	11.9±0.5
8	1300	0.4	3.06±0.34	19.31±0.55	15.1±0.7
9	1400	0.2	3.10±0.26	9.47±0.22	26.8±1.3

$J = (1.69 \pm 0.07) \times 10^{-3}$ (error : 2σ)

Fig. 6. A $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ inverse isochron plot for Bb-1 biotite.

An isochron age can be calculated from the intercept value with the $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ axis (F) by using the next equation;

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln(J/F + 1)$$

$$J = (1.69 \pm 0.07) \times 10^{-3}$$

$$\lambda = 5.543 \times 10^{-10} / \text{year}$$

あった。

次に、縦軸に見かけ年代、横軸に各段階ごとに脱ガスされた ^{39}Ar の割合をとった年代スペクトルを作成した

Fig. 7. Age spectrum for the Bb-1 biotite. A well defined plateau indicates that the age is geologically meaningful.

(Fig. 7). Fig. 7 の年代スペクトルは、段階 3～段階 7 までの見かけ年代がほぼ一定している。この段階間で算出されるプラトー年代は 11.9 ± 0.8 Ma であり、Fig. 6 のアイソクロン直線から得られた年代値 (11.9 ± 0.5 Ma) とよく一致している。また、この段階 3～段階 7 の間に脱ガスされたアルゴン量は全体のおよそ 92% に相当する。この約 92% のアルゴンで求められる段階ごとの年代がほぼ一定していることや、そのプラトー年代 (11.9 ± 0.8 Ma) が K-Ar 年代 (11.6 ± 0.4 Ma) と誤差の範囲で一致することからも、馬場凝灰岩中のアルゴンは二次的な脱ガスの影響を受けていないと考えられる。すなわち、馬場凝灰岩に関しては、閉鎖系が保たれていると判断した。

Globigerina nepenthes の出現年代

浮遊性有孔虫の *Globigerina nepenthes* は、浮遊性有孔虫化石帯の N.14 の下限を規定する重要な種である (Blow, 1969)。本邦において *G. nepenthes* の初出現が確認されているのは、富岡地域と富士川上流地域である (千地・紺田, 1978)。このうち富岡地域においては、*G. nepenthes* の初出現の層準近傍に珪長質凝灰岩が挟在しているので、この凝灰岩の放射年代を測定することにより、N.13/N.14 境界の年代が議論されてきた。

馬場凝灰岩に関しては、柴田ほか (1979) および Kasuya (1987) が放射年代を報告している。*G. nepenthes* の初出現層準は馬場凝灰岩より下位で、北村凝灰岩の直上に位置していることから、その年代は馬場凝灰岩の年代より古く、北村凝灰岩の年代にほぼ等しいと考えられる。今回得られた馬場凝灰岩の K-Ar 年代値は 11.6 ± 0.4 Ma であり、柴田ほか (1979) の年代値 (11.6 ± 0.4 Ma) と一致する。さらに、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法により得られた

プラトー年代 (11.9 ± 0.8 Ma) も K-Ar 年代値と誤差範囲で一致することから、今回得られた馬場凝灰岩の K-Ar 年代 (11.6 ± 0.4 Ma) は、非常に信頼性が高い。*G. nepenthes* の初出現の層準は馬場凝灰岩より下位に位置することから、その年代は 11.6 ± 0.4 Ma より古いと判断される。

一方、*G. nepenthes* の初出現の年代を示すと考えられる北村凝灰岩の年代については、2 地点より採取した試料についてカリウムおよびアルゴンをそれぞれ複数回定量し、各試料について年代を決定した。そして、両試料 (Kt-1, Kt-2) の K-Ar 年代値がほぼ一致していることから、重みつき平均を求めて北村凝灰岩の K-Ar 年代値 (13.1 ± 0.4 Ma) とした。さらに、北村凝灰岩については Kasuya (1987) によって 13.0 ± 0.7 Ma のフィッシュン・トラック年代が報告されており、今回の K-Ar 年代測定値とよい一致を示す。したがって、北村凝灰岩の K-Ar 年代値 (13.1 ± 0.4 Ma) は非常に確度の高い年代値であると判断される。

以上のことから、*G. nepenthes* の初出現の年代は北村凝灰岩の K-Ar 年代、すなわち 13.1 ± 0.4 Ma であると結論される。このことは、浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界の年代が 13.1 ± 0.4 Ma にほぼ等しいことを示している。

古地磁気-微化石年代尺度に関する考察

現在、地質年代をさかのぼって年代尺度を作るために、間接的な 2 つの方法が用いられている。1 つは海洋底玄武岩層による地磁気異常の縞模様の解析に基づく年代尺度である。各海洋での地磁気異常断面には、それぞれ共通のピークや谷があり、それらには共通の番号 (Magnetic Anomaly) がつけられている。また、Gauss/Gilbert 境界の年代値 (3.35 Ma) を基点として、拡大速度一定の保証が高い南大西洋の地磁気異常観測断面に外挿して求められた地磁気異常年代尺度は、80 Ma (Anomaly 32) まで延長された (Heirtzler *et al.*, 1968)。さらに、精密な海上磁気測量によって、地磁気異常年代尺度は修正・改良されてきた (Talwani *et al.*, 1971; Blakely, 1974; LaBrecque *et al.*, 1977)。

一方、もうひとつの年代尺度は、海成堆積物 (DSDP コア) の古地磁気層序と浮遊性微化石の基準面とを組み合わせた年代尺度である。まず、Foster & Opdyke (1970) が赤道太平洋域の深海堆積物の古地磁気を測定し、地磁気層序 Chron 11 まで定義した。さらに、Opdyke *et al.* (1974) が、赤道太平洋域の 5 本のコアを用いて Chron 19 まで延長した。また、Theyer &

Fig. 8. Correlation of the marine magnetic anomaly pattern (Anomalies; Berggren *et al.*, 1985) to the magnetostratigraphy of deep-sea sediments (Chron; Ryan *et al.*, 1974) after Kasuya (1987). Here are two models of correlation; *i. e.* Anomaly 5 vs Chron 9 and Anomaly 5 vs Chron 11.

Hammond(1974a, b)は8本のコアを放散虫化石より対比し, Chron 23 までの古地磁気層序を提唱した。

ところで, Theyer & Hammond(1974a, b)は古地磁気層位区分の Chron 9 を海洋底地磁気異常の Anomaly 5 に対比したが, Anomaly 5 を Chron 11 に対比する Foster & Opdyke(1970)の考え方と, Anomaly 5 と Chron 9 を対比する Dreyfus & Ryan の考え方(Ryan *et al.*, 1974)の2つの対比案(Fig. 8)について議論している。そして, 1974 年以来, 地磁気異常年代尺度と古地磁気層位区分の対比については, Anomaly 5 を Chron 9 に対比する古地磁気-微化石年代尺度で成り立っていた(Opdyke *et al.*, 1974; Theyer & Hammond, 1974a, b; Theyer *et al.*, 1978; Berggren & van Couvering, 1974; Ryan *et al.*, 1974; Keller *et al.*, 1982)。

ところが近年になって, DSDP leg 73 において, Anomaly 5 よりわずかに古い地点の玄武岩層の直上より CN6~CN7(Okada & Bukry, 1980)を指示する石灰質ナノ化石が報告され, Foster & Opdyke(1970)が最初に提示したように, Chron 11 は Anomaly 5 に対比される可能性が指摘された(Hsü *et al.*, 1984)。また, Berggren *et al.*(1985)は, Dalrymple(1979)の新しい K-Ar の壊変定数にしたがって新しく地磁気異常年代尺度を提唱したが, そこでも Anomaly 5 と Chron 11 が対比されるとしている。さらに, 赤道太平洋域では, 放

散虫化石 *Cyrtocapsella japonica* の消滅層準が Chron 11 の上限に位置づけられ(Johnson & Wick, 1982), 南大西洋 DSDP Hole 513A では *C. japonica* の上限近傍に挟在する火山灰の K-Ar 年代(8.7 ± 0.2 Ma; Ciesielski, 1983)が, Berggren *et al.*(1985)による Anomaly 5 の上限の年代(8.92 Ma)とほぼ一致することから, Anomaly 5-Chron 11 対比案が指示されるとしている(Barron *et al.*, 1985)。このように, 海洋底地磁気異常の Anomaly 5 が, 古地磁気層位区分の Chron 9 と Chron 11 のどちらに対比されるかに関し, 過去 20 年間議論されてきた。

日本では房総半島において, 地磁気極性の層位的変化と浮遊性微化石種の出現・消滅層準が, およそ 6 Ma まで対応づけられている(尾田, 1986)。6 Ma 以前については直接の対応関係は得られていないが, Kasuya(1987)は浮遊性微化石年代が確立されているセクションで, 古地磁気-微化石年代尺度とフィッシュン・トラック年代を比較し, Anomaly 5-Chron 11 対比案が, より妥当であるとした。一方, 柴田ほか(1979)は富岡地域の馬場凝灰岩の K-Ar 年代(11.6 ± 0.4 Ma)を, *Globigerina nepenthes* の初出現の年代とした。この年代は Berggren *et al.*(1985)の古地磁気年代尺度の Anomaly 5A の上限の年代(11.55 Ma)とほぼ一致することから, Anomaly 5-Chron 11 対比案が支持されてきた(尾田, 1986)。

さて, 今回得られた年代値に基づき, 両対比案の妥当性について考察を行ってみよう。Fig. 9 に海洋底地磁気異常に基づく地磁気異常年代尺度と, 深海成堆積物の古地磁気の極性変化に基づく古地磁気層位区分の対比における2つの対比案(Anomaly 5-Chron 9 対比案と Anomaly 5-Chron 11 対比案)を示す。さらに, 古地磁気層位区分と対応づけられている浮遊性有孔虫化石帯(Blow, 1969)と, 今回測定した北村および馬場凝灰岩の K-Ar 年代値をあわせて示した。*G. nepenthes* の初出現により規定される N.13/N.14 境界は, 古地磁気層位区分の Chron 12 の下部に直接対比されている(Ryan *et al.*, 1974)ので, 両対比案によって見積もられる N.13/N.14 境界の年代と, 直接的に N.13/N.14 境界に年代学的拘束を与えた今回の測定結果を比較することにより, それらの妥当性について議論することができる。

富岡地域においては, *G. nepenthes* の初出現層準は馬場凝灰岩より下位で北村凝灰岩の直上であることから, N.13/N.14 境界の年代は馬場凝灰岩の年代より古く, 北村凝灰岩の年代にほぼ等しいと考えられる。Fig. 9 の Anomaly 5-Chron 9 対比案では, N.13/N.14 境界は

* After Blow(1969)

Fig. 9. Two correlation models of the Magneto-biochronology scales for the Middle and Late Miocene (K-Ar ages of the Kitamura and the Baba Tuffs are plotted). The numerical scale of polarity history and the Anomaly 5-Chron 11 model follow Berggren *et al.* (1985), except for the chron nomenclature, which is followed with Opdyke (1972).

馬場凝灰岩の年代より古く、北村凝灰岩の K-Ar 年代の誤差範囲内にプロットされる。一方、Anomaly 5-Chron 11 対比案では、N.13/N.14 境界は、北村凝灰岩の K-Ar 年代の誤差範囲を超えて若く見積もられる。したがって、今回の K-Ar 年代測定結果は、Anomaly 5-Chron 11 対比案を棄却し、Anomaly 5-Chron 9 対比案を支持する。

ところで、微化石の基準面は地層という実態に基づいているが、微化石層序学的手段だけでは、その基準面の年代を直接決定することはできない。一方、物理的手段により求められる年代値は、その前提条件が変わるごとに変わるの避けられない。したがって、微化石層位学

的手段では、複数の微化石層位区分を組み合わせることにより、その分解能を増すことはできるが、微化石年代尺度に盛られる数値そのものは、その時点で妥当と解釈される年代値ということになる。尾田(1986)は、馬場凝灰岩の K-Ar 年代値をもって *G. nepenthes* の初出現の年代とし、それを根拠に Anomaly 5-Chron 11 対比案を採用し、微化石年代尺度を作成した。一方、今回の結果は、北村凝灰岩の年代値をもって *G. nepenthes* の初出現の年代とすべきであると指摘し、その年代値を根拠に Anomaly 5-Chron 9 対比案を支持した。しかしながら、Bukry(1985)と Hsü(1985)が相互に議論を重ねているように、まだまだ解決していかなければならない問題が多い。とくに、ふたつの対比案を支持する各見解は、それぞれいくつかの仮定や問題点を含んだうえで考察を行っており、仮定そのものの正当性についても検討すべき部分が非常に多いと思われる。たとえば、本論の議論では、*G. nepenthes* の初出現は汎地球規模で地質学的に同時であるという仮定に基づいて進められ、その結果 Anomaly 5-Chron 9 対比案が支持されること示した。しかしながら、Anomaly 5-Chron 11 対比案を支持する研究結果もあり(Kasuya, 1987 など)、今回の測定結果は、*G. nepenthes* の初出現のタイミングの地域的ばらつきを示しているのかも知れない。尾田(1986)が指摘しているように、北太平洋中緯度地域における微化石年代尺度をより完全なものにするために、微化石層位学の問題のほかに、物理的基準(古地磁気・放射年代)との同一セクションでの直接的な対応関係をより明確にし、Anomaly と Chron の対比を明らかにすることが最重要課題であろう。

ま と め

(1)群馬県富岡地域に分布する中新統中に挟在する凝灰岩(北村凝灰岩、馬場凝灰岩)について、K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代を測定した。北村凝灰岩の K-Ar (biotite)年代として、 13.1 ± 0.4 Ma の値が得られた。一方、馬場凝灰岩については、 11.6 ± 0.4 Ma の K-Ar 年代および 11.9 ± 0.8 Ma の ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代が得られた。これらの年代は、これまでに報告された K-Ar およびフィッション・トラック年代と調和的である。

(2)浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界を規定する *Globigerina nepenthes* の初出現の層準は、北村凝灰岩の直上であることから、その年代は 13.1 ± 0.4 Ma にほぼ等しいと考えられる。

(3)今回得られた N.13/N.14 境界の年代値(13.1 ± 0.4 Ma)は、Anomaly 5-Chron 11 対比案よりも Anomaly

5-Chron 9 対比案を支持する。

謝 辞

熊本大学理学部の尾田太良助教授には、本研究全般にわたり議論していただいた。また、大阪大学理学部の糟谷正雄博士には、本研究を進めるうえで適切なアドバイスをいただくとともに、粗稿を読んでいただいた。両氏に深く感謝いたします。

文 献

- Barron, J. A., Nigrini, C. A., Pujos, A., Saito, T., Theyer, F., Thomas, E. and Weinreich, N., 1985, Synthesis of central Pacific DSDP Leg 85 biostratigraphy: Refinement of Oligocene to Quaternary biochronology. In Mayer, L., Theyer, F. et al., eds., *Init. Repts. DSDP 85*, U. S. Gov. Printing Office, Washington D. C., 905-934.
- Berggren, W. A. and van Couvering, J. A., 1974, The late Neogene: Biostratigraphy, geochronology and paleoclimatology of the last 15 million years in marine and continental sequences. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleocool.*, **16**, 1-216.
- , Kent, D. V., Flynn, J. J. and van Couvering, J. A., 1985, Cenozoic geochronology. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **96**, 1407-1418.
- Blakely, R. J., 1974, Geomagnetic reversals and crustal spreading rates during the Miocene. *Jour. Geophys. Res.*, **79**, 2979-2985.
- Blow, W. H., 1969, Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H., eds., *Proc. 1st Intern. Conf. Planktonic Microfossils, Geneva 1967*. E. J. Brill, Leiden, **1**, 199-421.
- Bukry, D., 1985, Numerical ages of Cenozoic biostratigraphic datum levels: Results of South Atlantic Leg 73 drilling (Discussion). *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **96**, 813-814.
- 千地万造・紺田 功, 1978, 富岡層群および西八代層群・静川層群の浮遊性有孔虫による生層序—カブラン階についての考察—。「日本の新生代地質」池辺展生教授記念論文集, 73-92.
- Ciesielski, P. F., 1983, The Neogene and Quaternary diatom datum biostratigraphy of subantarctic sediments, Deep Sea Drilling Project Leg 71. In Ludwig, W. J., Krascheninnikov, V. A. et al. eds., *Init. Repts. DSDP 71*, U. S. Gov. Printing Office, Washington D. C., 635-665.
- Cox, A. V., 1969, Geomagnetic reversals. *Science*, **163**, 237-245.
- Dalrymple, G. B., 1979, Critical tables for conversion of K-Ar ages from old to new constants. *Geology*, **7**, 211-215.
- Foster, J. H. and Opdyke, N. D., 1970, Upper Miocene to Recent magnetic stratigraphy in deep-sea sediments. *Jour. Geophys. Res.*, **75**, 4465-4473.
- 藤本治義・小林 学, 1938, 群馬県碓氷川及び鐺川流域の第三紀層に就いて. 地質雑, **45**, 205-226.
- Heirtzler, J. R., Dickson, G. O., Herron, E. M., Pitman, W. C., III and Le Pichon, X., 1968, Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 2119-2136.
- Hsü, K. J., 1985, Numerical ages of Cenozoic biostratigraphic datum levels: Results of South Atlantic Leg 73 drilling (Reply). *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **96**, 814-815.
- , LaBrecque, J. L., Percival, S. F., Wright, R. C., Gombos, A. M., Pisciotto, K., Tucker, P., Peterson, N., McKenzie, J. A., Weissert, H., Karpoff, A. M., Carman, M. F., Jr. and Schreiber, E., 1984, Numerical ages of Cenozoic biostratigraphic datum levels: Results of South Atlantic Leg 73 drilling. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **95**, 863-876.
- Johnson, D. A. and Wick, B. J., 1982, Precision of correlation of radiolarian datum levels in the Middle Miocene equatorial Pacific. *Micropaleont.*, **28**, 1-30.
- Kasuya, M., 1987, Comparative study of Miocene fission-track chronology and magneto-biochronology. *Tohoku Univ. Sci. Rept., 2nd ser. (Geol.)* **58**, 93-106.
- Keller, G., Barron, J. A. and Burckle, L. H., 1982, North Pacific Late Miocene correlations using microfossils, stable isotope, percent CaCO₃ and magnetostratigraphy. *Marine Micropaleont.*, **7**, 327-357.
- 紺田 功, 1975, 群馬県鐺川流域における富岡層群の微化石層序. 日本新第三系の生層序と放射年代—環太平洋第三系の対比, 研究連絡紙, no.1, 17-23.
- Kurihara, K., 1974, Notes on the first appearance of *Orbulina* and the lower Middle Miocene planktonic foraminiferal zones in Japan. *Jour. Japan. Assoc. Petroleum Technol.*, **39**, 154-166.
- LaBrecque, J. L., Kent, D. V. and Cande, S. C., 1977, Revised magnetic polarity time scale for late Cretaceous and Cenozoic time. *Geology*, **5**, 330-335.
- Matsumaru, K., 1967, Geology of the Tomioka area, Gunma Prefecture, with a note on "*Lepidocyclina*" from the Abuta Limestone Member. *Tohoku Univ., Sci. Rept. 2nd ser. (Geol.)*, **39**, 113-147.
- 松丸国照, 1977, 関東山地北縁～北東縁の新第三系の層序. 地質雑, **83**, 213-225.
- 松本哲一, 1989, K-Ar 年代測定におけるカリウム定量法の改良. 地調月報, **40**, 65-70.
- 尾田太良, 1986, 新第三紀の微化石年代尺度の現状と問題点—中部および東北日本を中心として—. 北村 信教授退官記念地質学論文集, 297-312.
- Okada, H. and Bukry, D., 1980, Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 大石雅之・高橋雅紀, 1990, 群馬県高崎地域に分布する中新統一とくに庭谷不整合形成過程について—. 東北大地質古生物研報, no.92, 1-17.
- Opdyke, N. D., 1972, Paleomagnetism of deep-sea cores. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **10**, 213-249.
- , Burckle, L. H. and Todd, A., 1974, The extension of the magnetic time scale in sediments of the central Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **22**, 300-306.
- Ryan, W. B. F., Cita, M. B., Rawson, M. D., Burckle, L. H. and Saito, T., 1974, A paleomagnetic assignment of Neogene stage boundaries and the development of isochronous datum planes between the Mediterranean, the Pacific and Indian Oceans in order to investigate the response of the world ocean to the Mediterranean "Salinity Crisis". *Rev. Ital. Paleont.*, **80**, 631-688.
- Saito, T., 1963, Miocene planktonic foraminifera from Hon-

- shu, Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rept., 2nd ser. (Geol.)*, **35**, 123-210.
- 柴田 賢・内海 茂・中川忠夫, 1979, K-Ar 年代測定結果-1. 地調月報, **30**, 675-686.
- Shibata, K., Nishimura, S. and Chinzei, K., 1984, Radiometric dating related to Pacific Neogene planktonic datum planes. In Ikebe, N. and Tsuchi, R., eds., *Pacific Neogene Datum Planes: Contributions to Biostratigraphy and Chronology*. Univ. Tokyo Press, Tokyo, 85-89.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 高柳洋吉・酒井豊三郎・尾田太良・高山俊明・織山 純・金子 稔, 1978, Kaburan Stage に関する諸問題. 「日本の新生代地質」池辺展生教授記念論文集, 93-111.
- Takayanagi, Y., Takayama, T., Sakai, T., Oda, M. and Kitazato, H., 1976, Microbiostratigraphy of some Middle Miocene sequences in northern Japan. In Takayanagi, Y. and Saito, T., eds., *Progress in Micropaleontology, Selected papers in honor of Prof. Kiyoshi Asano*. Micropaleontology Press, New York, 356-381.
- Talwani, M., Windisch, C. C. and Langseth, M. G., Jr., 1971, Reykjanes ridge crest: A detailed geophysical study. *Jour. Geophys. Res.*, **76**, 473-517.
- Theyer, F. and Hammond, S. R., 1974a, Paleomagnetic polarity sequence and radiolarian zones, Brunhes to polarity epoch 20. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **22**, 307-319.
- and ———, 1974b, Cenozoic magnetic time scale in deep-sea cores: Completion of the Neogene. *Geology*, **2**, 487-492.
- , Mato, C. Y. and Hammond, S. R., 1978, Paleomagnetic and geochronologic calibration of latest Oligocene to Pliocene radiolarian events, equatorial Pacific. *Marine Micropaleont.*, **3**, 377-395.
- 渡部景隆, 1952, 関東山地東北縁部第三紀層中に見られる部分的不整合. 地質雑, **58**, 523-528.
- ・菅野三郎・高野 貞・村山猪久馬, 1950, 関東山地北東縁部第三紀層の地質学的研究. 秩父自然科博報, no.1, 93-146.

(要 旨)

高橋雅紀・齋藤和男・梅津浩之・市川なつみ, 1992, 群馬県富岡地域, 中新世北村・馬場凝灰岩の K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代—とくに浮遊性有孔虫化石帯の N.13/N.14 境界に関連して—. 地質雑, **98**, 323-335. (Takahashi, M., Saito, K., Umetsu, H. and Ichikawa, N., 1992, K-Ar and ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of the Miocene Kitamura and Baba Tuffs in the Tomioka area, Gunma Prefecture, central Japan—with special reference to the N.13/N.14 boundary of planktonic foraminiferal zones—. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **98**, 323-335.)

中・後期中新世における海洋底磁気異常と堆積物の古地磁気層序の対比に関し, 従来 2 つのモデルが考えられてきた. 1 つは Anomaly 5-Chron 9 対比案 (Ryan *et al.*, 1974; Theyer & Hammond, 1974) で, もう 1 つは Anomaly 5-Chron 11 対比案 (Foster & Opdyke, 1970; Hsü *et al.*, 1984; Berggren *et al.*, 1985) であり, 過去 20 年余り議論されてきた. この問題は主に, 古地磁気-微化石年代尺度に目盛りを入れるための, 確度の高い放射年代の不足に起因する. 本研究では, 浮遊性有孔虫化石帯 (Blow, 1969) の N.13/N.14 境界を規定する *Globigrerina nepenthes* の初出現の層準近傍に挟在する 2 層準の凝灰岩層 (北村および馬場凝灰岩) の黒雲母について, K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代を測定した. 北村・馬場両凝灰岩の K-Ar 年代と 2 つの対比案に基づく古地磁気-微化石年代尺度とを比較した結果, Anomaly 5-Chron 9 対比案が, Anomaly 5-Chron 11 対比案より妥当であることが明らかになった.