

## 論 説

### 栃木県鬼怒川低地の西縁および地下に分布する珪長質軽石凝灰岩の FT年代測定

山田隆二・林 広樹・笠原敬司

Fission-track dating of felsic pumice tuff distributed in and around the Kinugawa  
Lowland of Tochigi Prefecture, central Honshu, Japan  
Ryuji Yamada\*, Hiroki Hayashi\* and Keiji Kasahara\*

\* 防災科学技術研究所, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

#### Abstract

Zircon fission-track ages were determined for Miocene felsic pumice tuffs distributed in and around the Kinugawa Lowland of Tochigi Prefecture, central Japan. The ages of outcrop samples of Fukaya, Oya and Nagaoka Formations were  $13.7 \pm 0.6$ ,  $12.9 \pm 0.6$  and  $12.9 \pm 0.7$  Ma ( $1\sigma$ ), respectively. The felsic pumice tuff was located at a depth of 1010.3 m in a borehole core drilled for the Moka Observatory of the High Sensitivity Seismograph Network Japan (NIED Hi-net) in the middle of the Lowland. Groups of zircons were distinguished in the tuff on the basis of their crystal color and shape. Each group formed peaks at  $13.8 \pm 0.5$  and  $55.8 \pm 4.0$  Ma in the single grain age distribution. The younger age of the core sample is concordant with the ages of three outcrop samples whilst the older age is presumed to be a mixture from Cretaceous or Paleogene igneous rocks in the vicinity of the Lowland. It is concluded that Miocene felsic pumice tuffs at the western edge of the Lowland are not correlated with the Motegi Formation (~16 Ma) at the eastern edge.

Keywords: fission-track dating, Kinugawa Lowland, Miocene, radial plot, Tochigi Prefecture

#### 1. はじめに

関東平野北部、筑波一八溝山地と足尾山地に挟まれた鬼怒川低地（図1）には、地下に厚さ1000 mを超える中新統が伏在していると考えられている（例えば鈴木，2002）。こうした厚い堆積層の分布を把握する事は、関東平野の強震動予測をするうえで重要な課題である。また、低地帯東縁には重力急変帯として烏山一菅生沼（すごうぬま）構造線が推定され（石井，1962）、他方、北部西縁には活構造としての関谷断層（例えば、宮下ほか，2001）が存在する。こうした地質構造の発達過程

を復元することは、関東平野の形成機構を解明する観点からも重要である。

低地帯の東西両縁、すなわち足尾山地東縁と八溝山地西縁には下部—上部中新統が露出しており、地下に伏在する中新統に連続するものと考えられる。したがって、陸上に露出するこれら中新統の層序を確立し、ボーリング調査によって得られる地下層序と精密に対比することが、この地域の地質構造を解明する重要な戦略のひとつである。しかし、低地帯西縁に分布する下部—中部中新統は微化石に比較的乏しいため、これまで地域間の詳

細な対比は困難であった。

低地帯西縁部、宇都宮市周辺には中新統の厚い珪長質軽石凝灰岩が分布し（大谷層とその相当層）、石材として盛んに採掘されている。また、低地帯東縁部の茂木（もてぎ）町周辺にも同様の岩相が分布する（茂木層）。低地帯の西縁部と東縁部でこれまで報告されている放射年代や古地磁気層序の結果を比較すると、西縁部の方が東縁部のものより 100 万年以上若いとされている（林ほか、2004）。これら東西両縁に分布する軽石凝灰岩は発泡良好な軽石から構成されること、層理が不明瞭で塊状を呈することなど、岩相上類似しているため、放射年代や古地磁気記録等を用いて慎重に対比を行う必要がある。一方、この岩相は、ボーリング調査によると低地帯の地下にも厚く分布している。この低地帯地下に分布する軽石凝灰岩が、地表地質におけるどの層準に対比されるのかはまだ判っていない。

本研究では、防災科学技術研究所によって低地帯中央部で掘削された栃木県真岡市のボーリングで得られた珪長質軽石凝灰岩をフィッシュン・トラック（FT）法により年代測定する。さらに、これまで年代資料に乏しかった低地帯西縁部に分布する大谷層とその相当層の年代測定を行い、東縁部の茂木町周辺の層序と対比する事によって、低地帯の基盤構造発達史に制約を与える事を目的とする。

## 2. 地質概要

栃木県鬼怒川低地の周辺丘陵部には中新統が分布する（図 1）。それら中新統は、大局的に低地帯の中央部に向かって緩やかに傾斜している。低地帯東縁の烏山一菅生沼構造線では基盤の大きな高度差が生じていると考えられる。低地帯の全域にわたって第四系ローム層・砂礫層が分布し、それらが中新統を不整合に覆っている。

低地帯東側、栃木県烏山一茂木地域に分布している中新統は、下部中新統の中川層群（河田、1947）と、それを傾斜不整合で覆う中部一上部中新統の荒川層群（酒井、1986a）に大別される

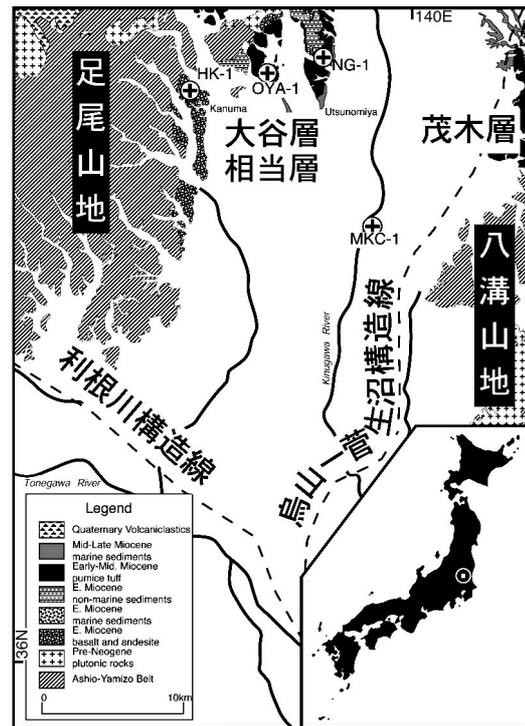


図 1. 栃木県鬼怒川低地周辺の地質図および試料採取地点（+印）。太い点線は重力異常に基づく推定断層を示す。地質図は地質調査所発行 20 万分の 1 地質図「宇都宮」を一部改変した。

（図 2）。中川層群は主に陸成の火山碎屑岩類および溶岩から構成され、荒川層群は海成碎屑岩類から構成される。このうち、中川層群最上部の茂木層は、珪長質軽石凝灰岩を主体とし、最大層厚 400 m 以上に達する（星・高橋、1996）。茂木層は放射年代や古地磁気層序により古地磁気極性層序の Chron C5Br に対比され、その堆積年代はおよそ 16 Ma である（石塚・星、1997；高橋・星、1995；星、1998）。

低地帯西側、宇都宮市北部の丘陵に分布する中新統は下位よりナガド坂層、茗荷沢（みょうがざわ）層、風見山田（かざみやまだ）安山岩、横山層、長岡層、山本層、大曾（おおぞ）層に区分され、横山層より上位の地層は一括して宇都宮層群と呼ばれている（図 2）（阿久津、1953；酒井、1986b）。各層の境界は横山層と風見山田安山岩が傾斜不整合であるほかは、概ね整合的である。このうち、珪長質軽石凝灰岩を主体とする地層は長岡層である。長岡層は不明瞭ながら層理を持つ

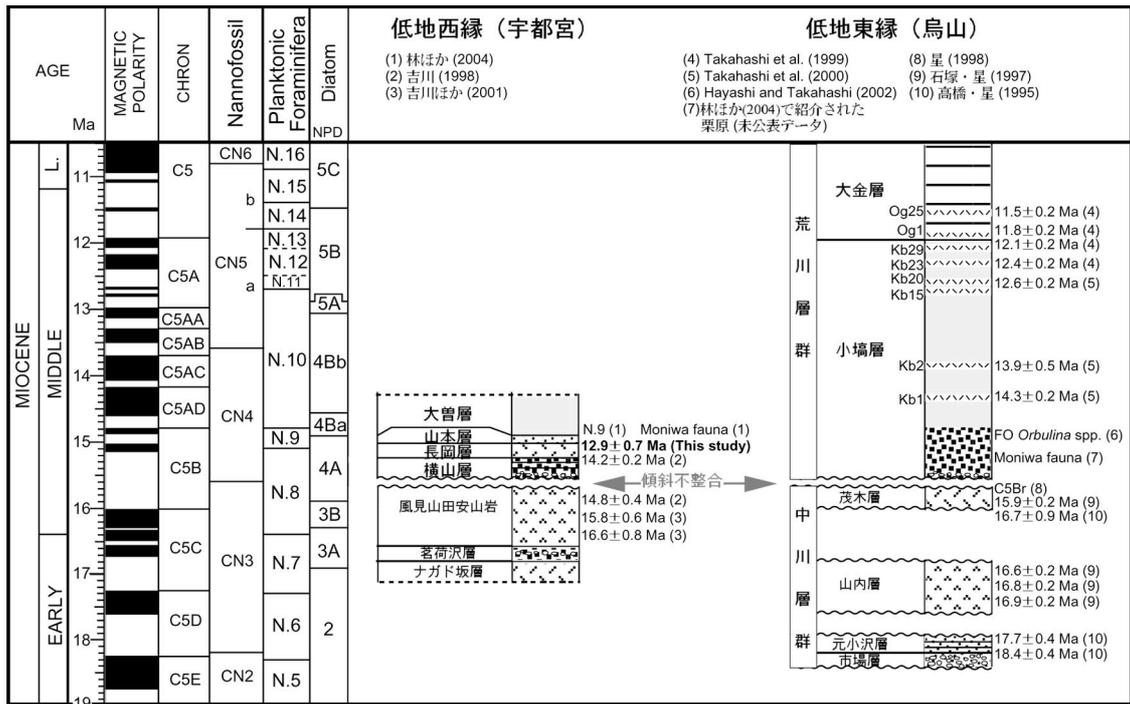


図 2. 栃木県鬼怒川低地東縁部および西縁部における従来の年代測定結果のレビュー。微化石および古地磁気の複合年代尺度には斎藤 (1999) を用いた。

発泡良好な軽石凝灰岩によって構成されるが、上位に向かって砂質になり、それに伴って斜交層理が発達する事、また貝化石や有孔虫化石を産出する事など、他の大谷層相当と言われる地層には見られない特徴も有する。長岡層は分布の北部で 14.2 Ma の K-Ar 年代を示す流紋岩に貫入されており (吉川, 1998), また上部の凝灰質砂岩から浮遊性有孔虫化石帯 N.9 帯を示す浮遊性有孔虫群集、および茂庭型動物群に対比される貝類化石群集が産出する (林ほか, 2004)。これらの化石記録から、長岡層上部は烏山地域の荒川層群小壩層最下部付近に対比される (林ほか, 2004) (図 2)。宇都宮市大谷付近における珪長質軽石凝灰岩は大谷層と呼ばれ (太田, 1948), 塊状の発泡良好な軽石凝灰岩からなり、石材として盛んに採掘されている。大谷層の最大層厚は 300 m を超える。宇都宮市の南西、鹿沼地域には、同様の珪長質軽石凝灰岩から構成される地層が分布し、深岩層と呼ばれる (栃木県, 1977)。大谷層と深岩層からはこれまで放射年代は報告されていない。

### 3. 分析試料

岩石試料の採取は、宇都宮市から鹿沼市にかけての丘陵部 3 地点、および真岡市で掘削されたボーリングコアより行った (図 2, 図 3)。各試料から一般的な鉱物分離法により十分な量のジルコン粒子を得た。以下、各試料の概要を述べる。

HK-1: 深岩層の模式地である鹿沼市深岩から、本層最下部の黒雲母を含む塊状軽石凝灰岩を採取した。この試料はやや珪化・固結しており、均質な自形のジルコン結晶を含む。

OYA-1: 宇都宮市大谷付近に露出する、大谷層中部の発泡良好な塊状軽石凝灰岩を採取した。この試料は均質な自形のジルコン結晶を含む。

NG-1: 長岡層の模式地である長岡百穴周辺から、長岡層中部のやや砂質な軽石凝灰岩試料を採取した。この試料は薄いピンク色 (80%) と濃い赤色 (20%) のジルコン結晶を含む。

MKC-1: 防災科研真岡中深層観測井で得られたボーリング試料中、深度約 710-1090 m の区間は、長岡層ときわめて類似する発泡良好な軽石凝灰岩を主とする地層から構成されていた。この

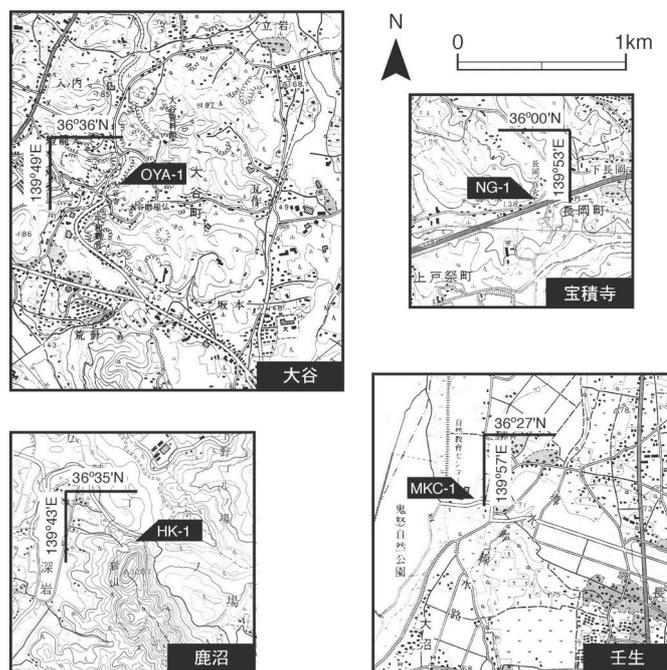


図 3. 試料採取位置図. 国土地理院発行 2.5 万分の 1 地形図「大谷」「鹿沼」「宝積寺」「壬生」をそれぞれ使用した.

うち、深度 1010.3 m の珩長質軽石凝灰岩を年代測定試料として採取した。肉眼観察によると、含まれる異質碎屑粒子としては極粗粒砂から細礫大の円磨された黒色頁岩片、および風化花崗岩起源と見られる極粗粒砂大の円磨された石英粒が卓越する。これら異質粒子の除去は特に行わなかった。この試料から分離したジルコンは、ピンクから赤色の自形結晶 (50%) と褐色の自形結晶 (25%)、紫色の碎屑性結晶 (25%) から成る。紫色の結晶は明らかに外来結晶であるため、測定対象から除いた。

#### 4. FT 年代測定

FT 年代測定は外部ディテクター法を用いて行った (ED1; Gleadow, 1981)。年代値はゼータ法により更正した (Hurford, 1990)。自形でトラック密度が均等な結晶 30 粒子を選んだ。各粒子の結晶形と色を記載した。手順の詳細については Danhara et al. (1991), Danhara et al. (2003) を参照されたい。測定結果を表 1 に、単結晶年代の分布を図 4 に示す。

HK-1: 各粒子の単結晶年代はほぼ一致した。

$\chi^2$  確率 (Green, 1981) は 5%以下であったが、これはおそらく, Danahara et al. (1991) が指摘しているように、ED1 法ではトラック計測に際してポアソン分布以外の要素によって  $\chi^2$  確率が下がりやすくなるためであると考えられる。この試料について、結晶の観察結果、および年代値ヒストグラム、トラック密度の相関、radial plot からは外来粒子の混入の可能性は低いと判断された。そこで各単結晶年代の誤差による加重平均年代値を算出すると  $13.7 \pm 0.6$  Ma となった。この年代値は 30 粒子によって得られた年代値  $13.3 \pm 0.4$  Ma とよく一致する。

OYA-1: 各粒子の単結晶年代はよく一致し、 $\chi^2$  確率も 5%以上である。測定粒子は同一起源であると考えられる。年代値は  $12.9 \pm 0.6$  Ma、 $\chi^2$  確率は 12%となった。

NG-1: 各粒子の単結晶年代はほぼ一致した。しかし、 $\chi^2$  確率は 5%以下であった。年代測定した 30 粒子の中に濃い赤色の結晶が 2 粒子含まれており、これらの  $\chi^2$  値が大きいため  $\chi^2$  確率が低くなった。この 2 粒子を除くと、年代値は  $12.9 \pm 0.7$  Ma、 $\chi^2$  確率は 50%となった。この年代値

表 1. ジルコン FT 年代測定結果

Sample	Mineral	No. of crystals	Etching time (h)	Spontaneous		Induced		Dosimeter		P( $\chi^2$ ) (%)	Age $\pm 1\sigma$ (Ma)												
				$\rho_s$	$N_s$	$\rho_i$	$N_i$	$\rho_d$	$N_d$														
HK-1	Zircon	30	22	59.0	( 3166 )	76.4	( 4104 )	0.907	( 4643 )	0	13.3 $\pm$ 0.4	Pooled for 30 grain											
											13.7 $\pm$ 0.6	Weighted mean ag											
OYA-1	Zircon	30	42	5.49	( 908 )	7.34	( 1214 )	0.909	( 4655 )	12	12.9 $\pm$ 0.6	Pooled for 30 grain											
NG-1	Zircon	30	43	8.02	( 970 )	9.27	( 1122 )	0.912	( 4667 )	0	15.0 $\pm$ 0.7	Pooled for 30 grain											
													28	43	5.78	( 650 )	7.77	( 874 )	0.912	( 4667 )	50	12.9 $\pm$ 0.7	Pooled for 28 grain
MKC-1	Zircon	30	28	48.9	( 3750 )	35.3	( 2711 )	0.914	( 4680 )	0	24.0 $\pm$ 0.7	Pooled for 30 grain											
													19	28	34.4	( 1643 )	43.1	( 2060 )	0.914	( 4680 )	6	13.8 $\pm$ 0.5	Pink-red grains
											55.8 $\pm$ 4.0	Weighted mean ag											

All track densities ( $\rho$ ) are in  $10^5$  tracks/cm<sup>2</sup>, while the numbers of counted tracks (N) are given in parentheses. All samples were analyzed with the external detector method, using  $\zeta$ -calibration with dosimeter glass SRM 612 ( $\zeta = 380 \pm 3, 1\sigma$ ). The  $4\pi/2\pi$  geometry correction factor is 0.5. P( $\chi^2$ ) is the probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom where  $\nu = (\text{number of crystals} - 1)$  (Galbraith, 1981). For NG-1, age is recalculated using 28 grains where two dark-red ones excluded. Weighted mean ages are also given where P( $\chi^2$ ) < 5%.

は 30 粒子によって得られた年代値  $15.0 \pm 0.7$  Ma よりも  $1\sigma$  レベルでは有意に若い。

MKC-1: 年代ヒストグラムや radial plot を見ると、単結晶年代値には 2 つの明瞭なピークが認められる。若いグループには 19 個のピンクから赤色の自形結晶が含まれ、古いグループには 11 個の褐色粒子が含まれる。ピンクから赤色結晶の若いグループだけで見ると、単結晶年代はほぼ一致し、再計算年代値は  $13.8 \pm 0.5$  Ma、 $\chi^2$  確率は 6% となった。褐色結晶の古いグループでは、単結晶年代は約 35 から 81 Ma と広く分布し、再計算年代値は  $56.1 \pm 2.7$  Ma、 $\chi^2$  確率は 1% となった。 $\chi^2$  確率が低いので、加重平均年代値を算出すると  $55.8 \pm 4.0$  Ma となった。これら新旧の年代値は、全粒子から計算した年代値  $24.0 \pm 0.7$  Ma とはどちらも有意に異なる。

## 5. 議論

露頭で得られた 3 試料 HK-1, OYA-1, NG-1 のジルコン FT 年代は  $12.9 \pm 0.7$  Ma から  $13.7 \pm 0.6$  Ma の範囲で  $1\sigma$  レベルにて一致している。コア試料 MKC-1 では、radial plot などから単結晶年代の分布には複数の成分があることが分かる (図 4)。若い方のグループは露頭から得られた 3 試料の年代とよく一致した。一方古い方のグループの年代値は周辺の先新第三系基盤岩類から混入した試料のものであると考えられる。

これらの測定結果から、低地帯西縁の丘陵部に露出する深谷層、大谷層、長岡層、およびポーリングコア深度 1010.3 m 地点の軽石凝灰岩の年代は、いずれも中期中新世中期であると判断される。これまで、低地帯西縁の軽石凝灰岩は低地帯東縁の中川層群茂木層に対比されてきたが (吉川ほか, 2001)、茂木層は 16 Ma 前後の年代を示すため、本研究により大谷層およびその相当層と茂木層は別個の凝灰岩層である事が示された。前述のように、浮遊性有孔虫および貝類化石に基づく長岡層上部の凝灰質砂岩は小埴層最下部に対比される (林ほか, 2004)。この化石に基づく見解は本研究によって測定された長岡層中部の軽石凝灰岩の FT 年代と矛盾しない。ただし、化石年代と FT 年代には有意差があるようにも見受けられる (図 2)。また、本研究によって測定された低地帯地下 1010.3 m に分布する軽石凝灰岩の FT 年代は、大谷層相当層の FT 年代と良く類似するものの、茂木層の年代と比べると誤差を考慮しても有意に若い。したがって、この軽石凝灰岩は茂木層よりも大谷層相当層に対比される可能性が高い。なお、低地帯東縁の茂木地域では小埴層の下位に、最大積算層厚 2000 m の中川層群が分布している。したがって、低地帯の地下 1010.3 m に認められた軽石凝灰岩が大谷層相当層である事を前提とすると、それよりも下位に中川層群相当層が厚く伏在している可能性がある。もし低地帯地下に中川層

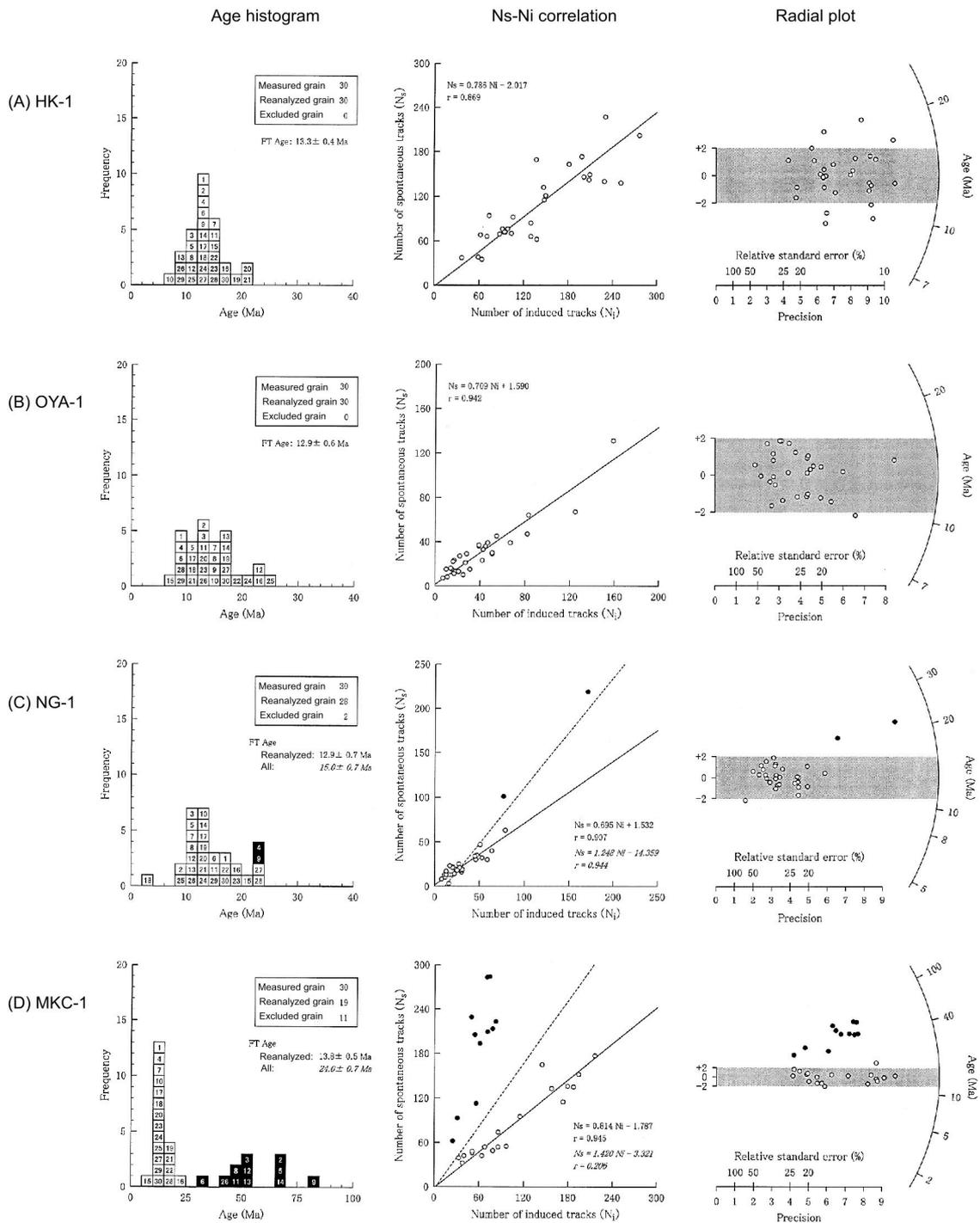


図 4. 各試料における単結晶年代ヒストグラム, 自発・誘導 FT 相関図および radial plot. HK-1, Oya-1 では概ね良好な一致を示す. NG-1 で色の異なる 2 粒子のみ傾向が異なる. MKC-1 では, 複数の起源を持つ粒子の混合であることが明瞭に示されている.

群が茂木地域と同様に厚く発達するならば, 低地帯中央部の先新第三系基盤の深度は地下 1010.3 m から最大で 2000 m 深く, すなわち 3000 m 以上に達する可能性が指摘される. こうした大きな基盤の起伏形状およびその成因を把握するため

には, ボーリング調査や物理探査等の手法により, 低地帯地下における地層の分布を詳細に把握する事が求められる.

最後に, コア試料 MKC-1 で得られた古い方のグループの年代値について補足する. radial plot

によって単結晶年代を解析した結果見つかった古いグループの年代値は、 $\chi^2$  確率が低いものの、再計算年代値は  $56.1 \pm 2.7$  Ma となった。低地帯西方では、長岡層および大谷層の分布地域に隣接して、奥日光流紋岩類と言われる後期白亜紀一晩新世にかけての珪長質溶結凝灰岩類および花崗斑岩が分布している。これらの K-Ar 年代値は 65 Ma および 56 Ma であり (矢内, 1972), コアで得られた古いグループの年代値と良く似ている。一方、低地帯東方の八溝山地に分布する八溝花崗岩類の K-Ar 年代は 60-70 Ma であり (柴田ほか, 1973), 誤差を考慮すると本研究による古いグループの年代値に近い。試料 MKC-1 には先述のように風化花崗岩類起源と思われる石英粒子が多数混入していることから、古い年代値を示すジルコンは、これら低地帯周辺に分布する白亜紀-古第三紀の火成岩類を起源とする可能性が高い。

## 謝辞

査読者の星 博幸氏, 大平寛人氏には本文の改善に有用なコメントをいただいた。本研究は文部科学省の新世紀重点研究創世プラン (RR2002) による、大都市大震災軽減化特別プロジェクトの中の大都市圏地殻構造調査研究 (研究代表者: 平田 直) の一部として行われた。

## 文献

- 阿久津純, 1953. 宇都宮付近の層序. 宇都宮大学学芸学部研究論集, 3, 41-49.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H., Yamashita, T., 1991. Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *J. Geol. Soc. Japan*, 97, 977-985.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T., Tsuruta, T., 2003. Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *J. Geol. Soc. Japan*, 109, 665-668.
- Galbraith, R. F., 1981. The radial plot: Graphical assessment of spread in ages. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 17, 207-214.
- Gleadow, A. J. W., 1981. Fission-track dating method: what are the real alternatives? *Nucl. Track Detection*, 2, 105-117.
- Green, P. F., 1981. A new look at statistics in fission-track dating. *Nucl. Tracks*, 5, 77-86.
- 林 広樹・栗原行人・酒井豊三郎, 2004. 浮遊性有孔虫および貝類化石に基づく宇都宮丘陵地域に分布する海成中新統の年代対比. *石技誌*, 69, 361-373.
- Hayashi, H., Takahashi, M., 2002. Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Miocene Arakawa Group in central Japan. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 19, 190-205.
- 星 博幸, 1998. 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・高橋雅紀, 1996. 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.
- Hurford, A. J., 1990. Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I. U. G. S. Subcommission of Geochronology. *Chem. Geol.*, 80, 171-178.
- 石井基裕, 1962. 関東平野の基盤. *石技誌*, 27, 615-640.
- 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*, 104, 964-970.
- 河田喜代助, 1947. 栃木県鷺子山塊周縁の第三紀層について. *地質雑*, 53, 92.
- 宮下由香里・杉山雄一・山元孝広・吉岡敏和・寒川 旭・穴倉正展・丸山直樹・大石 朗・細矢卓志,

2001. 栃木県関谷断層の活動履歴調査, 活断層・古地震研究報告(産業技術総合研究所地質調査総合センター), no.1, 53-76.
- 太田苗司, 1948. 大谷石の研究—石材としての性質について, 地質雑, 55, 85-89.
- 斎藤常正, 1999. 最近の古地磁気層序の改訂と日本の標準化石層序. 石技誌, 64, 2-15.
- 酒井豊三郎, 1986a. 中新統荒川層群(栃木県)の模式地における層序. 宇都宮大教養研報, 19, 49-70.
- 酒井豊三郎, 1986b. 新第三系関東地方北部足尾山地周辺部宇都宮地域. 大森昌衛・端山好和・堀口万吉編: 日本の地質3「関東地方」, 127-129, 共立出版.
- 柴田 賢・蜂須紀夫・内海 茂, 1973. 八溝山地の花崗岩類の K-Ar 年代. 地調月報, 24, 513-518.
- 鈴木宏芳, 2002. 関東平野の地下地質構造. 防災科研研報, 63, 1-19.
- 高橋雅紀・星 博幸, 1995. 栃木県茂木地域に分布する前期中新世火山岩類の放射年代. 地質雑, 101, 821-824.
- Takahashi, M., Tanaka, Y., Mita, I., 1999. Chronostratigraphy of the middle Miocene marine sequence in the Karasuyama area, central Japan: with special reference to the CN5a/CN5b boundary. Jour. Japan Assoc. Petrol. Technol., 64, 454-461.
- Takahashi, M., Hayashi, H., Tanaka, Y., Okada, T., 2000. Integrated stratigraphy of the lower part of the Miocene Karasuyama sequence, central Japan. Jour. Japan Assoc. Petrol. Technol., 65, 282-289.
- 栃木県, 1977. 栃木県地質図及び同説明書, 81p.
- 矢内桂三, 1972. 足尾山地北部の後期中生代酸性火山岩類その1: 地質. 岩鉱, 67, 193-202.
- 吉川敏之, 1998. 栃木県宇都宮地域に分布する新第三系の地質と層序. 地質雑, 104 (5), 346-356.
- 吉川敏之・高橋雅紀・岡田利典, 2001. 足尾山地東縁部に分布する中新世火山岩の K-Ar 年代. 地質雑, 107 (1), 41-45.