

# 長野県北部，糸魚川—静岡構造線の鮮新世以降の活動様式： 大峰—SK110 テフラの古地磁気方位に基づいて

植木 岳 雪<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門

## Plio-Pleistocene Behavior of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line in Northern Nagano Prefecture, Central Japan: Paleomagnetism of the Omine-SK110 Tephra

Takeyuki Ueki<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST

### Abstract

This study aims to reveal Late Pliocene to Early Pleistocene geomorphic and structural evolution of the Omine Belt, North Fossa Magna, central Japan, associated with tectonic movement of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line. A comparison of the paleomagnetic directions of a distinct wide-spread tephra, which is exposed in different areas, is useful to detect tectonic rotation because it gives instantaneous paleomagnetic directions from proximal to distal areas. The Omine-SK110 tephra with an estimated age of 1.65–1.60 Ma is distributed in the Omine Belt as Omine Welded Tuff and in the west Tama Hills of the Kanto Plain as a co-ignimbrite of the Horinouchi 2 Tuff. Progressive alternating field and thermal demagnetization experiments reveal that both tephras have reversed paleomagnetic directions that are almost identical to each other. As the west Tama Hills had been in a tectonically stable area since Late Pliocene, there might be no vertical-axis rotation in the Omine Belt. Thus, the Omine Belt would not be a pull-apart basin with left-lateral strike-slip faulting between the Otari-Nakayama fault and the active fault system of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line.

**Key words:** Itoigawa-Shizuoka tectonic line, Omine-SK110 tephra, paleomagnetism, Early Pleistocene, thrust front migration

### 1. はじめに

中部日本を横断する糸魚川—静岡構造線はフォッサマグナ西縁を限る地質境界であり、長野県北部の小谷村から甲府盆地西縁にかけては長さ約 150 km の活断層系をなす (図 1: 活断層研究会, 1991; 奥村ほか, 1994, 1998; 下川ほか, 1995; Okumura, 2001). 糸魚川—静岡構造線活断層系の北部セグメントは、小谷村から大町市に至る長さ約 30 km の神代断層と大町市から松本市に至る長さ約 40 km の松本盆地東縁断層からなり、それらの最近の活動は 1~6 m/1000 年の垂直平均変位速度 (Une,

1985; 下川・山崎, 1987; 小口, 1990; 活断層研究会, 1991; 今泉ほか, 1997; 奥村ほか, 1998; 松多ほか, 2001, 2006; Okumura, 2001; 澤ほか, 2006), 4~5 m/1000 年のネット平均変位速度 (松多ほか, 2001; Matsuta *et al.*, 2004) を持つ東側隆起の逆断層運動が卓越するとされた。そして、北部セグメントは、中新世の日本海の拡大に伴う東西性の伸張場で生成した正断層が、テクトニック・インバージョンによって現在は逆断層として再活動していると考えられた (Elouai *et al.*, 2004; Sato *et al.*, 2004ab). 最近、松本盆地東縁断層の南部では左横ずれ

\* e-mail: gakusetsu-ueki@aist.go.jp (〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1 中央第 7)

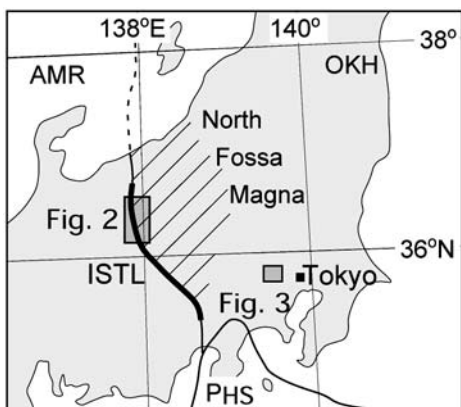


Fig. 1. Index map of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line (ISTL), Omine Belt in the north Nagano Prefecture and Tama Hills in the western flank of Kanto Plain, central Japan. Shaded area indicates the North Fossa Magna. Bold line on the ISTL indicates the active fault system. AMR, OKH and PHS are the Amurian, Okhotsk and Philippine Sea Plates.

変位が卓越することが明らかにされ、北部セグメントの境界の見直しが提案された（近藤ほか，2006）。

糸魚川—静岡構造線活断層系の北部セグメントの5～10 km 東には、小谷—中山断層（小坂ほか，1979）と呼ばれる南北走向で東側隆起の変位を示す地質断層があり、両者は広義の糸魚川—静岡構造線をなす。活断層系と小谷—中山断層にはさまれた地質帯は大峰帯（小坂，1980）と呼ばれ、上部中新統から下部更新統によって構成される（小坂，1991）。小谷—中山断層は、後期中新世から前期更新世まで活動的であったと考えられているが（加藤・佐藤，1983；加藤ほか，1989；小坂，1991，1999），鮮新世以降の糸魚川—静岡構造線の活動様式、大峰帯の成因、後期鮮新世から前期更新世の大峰帯における地層の堆積・変形様式には以下の3つの考えがある。第一には、小谷—中山断層から活断層系へ断層フロントが前進（thrust front migration: Ikeda, 1983）することによって、地質帯としての大峰帯が松本盆地から分化した。そして、大峰帯では地層の堆積が終了し、地層は東へ傾動したというものである（池田ほか，2002；Ueki, 2002）。第二には、小谷—中山断層と活断層系が同時に左横ずれ運動を行うことによって、プルアパート堆積盆として大峰帯が形成された。そして、大峰帯では厚い地層が堆積し、地層は北北東—南南西方向の褶曲変形を被ったというものである（三村・原山，2002）。第三には、小谷—中山断層と活断層系が同時に正断層運動を行うことによって、地溝（リフト）状堆積盆として大峰帯が形成された。

そして、大峰帯では地層の堆積中に火山岩が貫入したというものである（小坂，1991，1999；竹内，1991，1995，1999；Takeuchi, 2004）。大峰帯を含む北部フォッサマグナ地域における鮮新世以降の広域応力場は、糸魚川—静岡構造線のテクトニック・インバージョンを生じた北西—南東方向の圧縮場であったが（Elouai *et al.*, 2004；Sato *et al.*, 2004ab），第三の考えでは後期鮮新世から前期更新世にかけては伸張場であったとされる。また、糸魚川—静岡構造線活断層系の北部セグメントと小谷—中山断層の浅部構造は、第一と第二の考えでは東に低角で傾斜するという考え（Ikami *et al.*, 1986；横倉ほか，1987；大久保ほか，2000；松多ほか，2001，2007ab；Elouai *et al.*, 2004；Sato *et al.*, 2004ab；田力・松多，2005），第三の考えでは高角で傾斜するという考え（竹内・阿部，1999）を支持する。

鮮新世以降の糸魚川—静岡構造線の活動様式、大峰帯の成因、後期鮮新世から前期更新世の大峰帯における地層の堆積・変形様式を明らかにするためには、前期更新世初期の大峰—SK110 テフラ（長橋ほか，2000）の古地磁気方位を用いることが有効である。大峰—SK110 テフラは、大峰帯では大峰溶結凝灰岩層（長橋，1998）と呼ばれる火砕流堆積物である。大峰溶結凝灰岩層に対比される広域火山灰層は日本各地で見いだされており（里口，1999；長橋ほか，2000；町田・新井，2003を参照），関東平野西縁の多摩丘陵では堀之内第2タフ（高野，1994）と命名されている。多摩丘陵西部では地層の傾きは一般に数度であり、断層や褶曲は見出されないことから、堀之内第2タフは傾動、回転などのテクトニックな変形を受けていないと考えられる。したがって、堀之内第2タフの古地磁気方位を基準として、大峰溶結凝灰岩層の古地磁気方位から前期更新世以降の大峰帯の変形が求められる。本報告では、大峰溶結凝灰岩層を6地点、堀之内第2タフを5地点で採取し、それらの古地磁気方位に基づいて、前期更新世以降大峰帯では地層の回転が生じなかったことを示す。

## 2. 地質概要および試料採取地点

長野県北部の大峰帯は、東縁を小谷—中山断層、西縁を糸魚川—静岡構造線活断層系にはさまれた南北約65 km、東西5～10 kmの地質帯である（図2）。白馬村南部から安曇野市明科にかけての大峰帯は、鮮新統の小谷層中部層と、上部鮮新～下部更新統の大峰層中部層、上部層から構成される（小坂，1991）。これらの地層は、一般に東に20～40度傾斜している。小谷層中部層は、海成の貝化石を産出する砂岩と、その上位の火砕流堆積物は

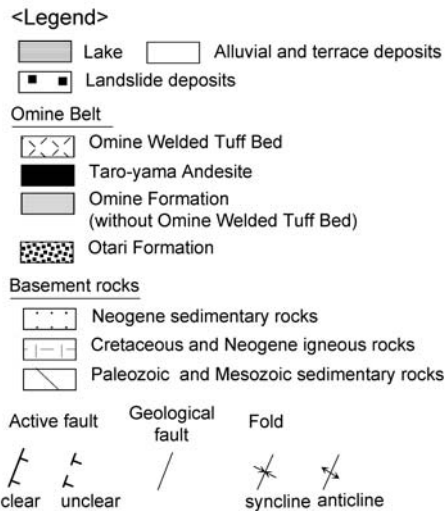
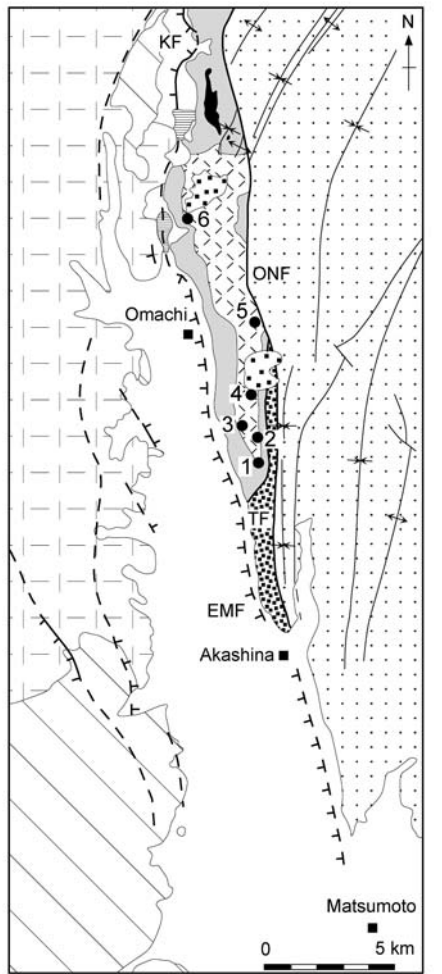


Fig. 2. Geology of the central to south Omine Belt and surrounding areas, and sampling sites for the Omine Welded Tuff

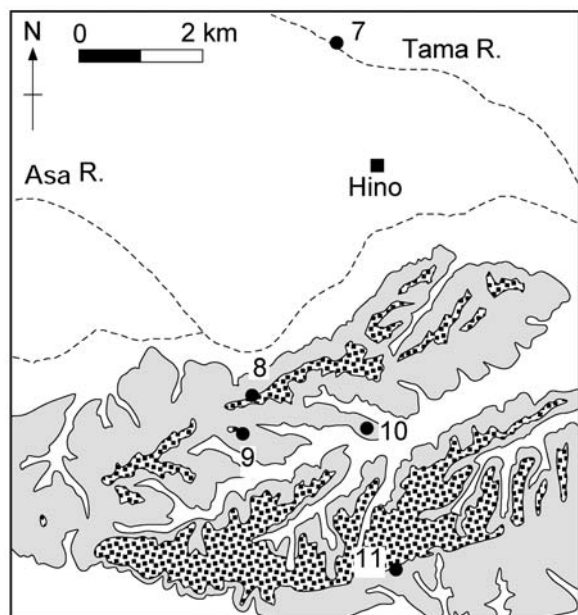
Geologic map is simplified after Yamada *et al.* (1989) and Kosaka (1991). 1-6 are the sampling sites for the Omine Welded Tuff. EMF, KF, ONF and TF are the Eastern Margin fault of the Matsumoto Basin, Kamishiro fault, Otari-Nakayama fault and Terama fault.

さむ中礫岩からなる (小林・平林, 1955; 姫川団体研究グループ, 1958; 加藤・佐藤, 1983; 加藤ほか, 1989 など). 大峰層中部層は細～中礫岩と泥岩の互層からなり, 多数の火砕流堆積物をはさむ (加藤・佐藤, 1983; 加藤ほか, 1989; 長橋, 1998). 最上部の鷹狩山凝灰岩層 I, II (長橋ほか, 1996) は, それぞれ飛驒山脈南部を給源とする火砕流堆積物であり, それらの噴出年代は 1.76～1.75 Ma と見積もられている (長橋ほか, 2000). 大峰層上部層はほとんどが大峰溶結凝灰岩層 (長橋, 1998) と呼ばれる最大層厚 300 m の強溶結した火砕流堆積物からなり, その給源は飛驒山脈中部と推定されている (町田ほか, 1997). 大峰溶結凝灰岩層とそれに対比される広域火山灰層は, 両者をあわせて大峰—SK110 テフラ (長橋ほか, 2000) あるいは大峰テフラ (町田・新井, 2003) と命名されているが, 本報告では長橋ほか (2000) に従って大峰—SK110 テフラと呼ぶ. 大峰—SK110 テフラの噴出年代は, 1.65～1.6 Ma と見積もられている (町田ほか, 1997; 長橋ほか, 2000; 町田・新井, 2003). 大峰溶結凝灰岩層の上位には, 1.6～1.3 Ma の K-Ar 年代, FT 年代を示す 2 枚の火砕流堆積物が見出されている (植木, 2005).

関東平野西縁の多摩丘陵は, 鮮新世から前期更新世の陸成～浅海成の上総層群 (三土, 1933; 植田, 1933) と, 中期更新世前期の河成の御殿峠礫層 (羽鳥・寿円 1958; 金子, 1958) から構成される (図 3). 多摩丘陵西部の上総層群は, 氷河性海水準変動の影響を受けた堆積シーケンスに従って累層区分されており (高野, 1994), 一般に東に数度傾斜している. その中で, 小山田層 (高野, 1994) には含まれる細粒なガラス質テフラは, 堀之内第 2 タフ (高野, 1994) と命名されている. 房総半島の上総層群黄和田層中の Kd25 火山灰層 (三梨ほか, 1959) は, 大峰溶結凝灰岩層の広域テフラとして対比されている (長橋ほか, 2000). また, Kd25 火山灰層と堀之内第 2 タフは高野 (2002), 多摩川足跡化石調査団・昭島市教育委員会 (2002) によっては対比されている. したがって, 堀之内第 2 タフは大峰溶結凝灰岩層の広域テフラとして対比される.

大峰—SK110 テフラの古地磁気測定用試料は, 大峰帯の大峰溶結凝灰岩層から 6 地点 (図 2), 多摩丘陵西部の堀之内第 2 タフから 5 地点 (図 3) で採取した. 大峰溶結凝灰岩層の採取にあたっては, 残留磁化ベクトルの傾動補正を行うため, 下位の堆積岩が近傍に露出する地点を選んだ. したがって, 大峰溶結凝灰岩層の最下部の層準を採取したことになる. 地点 1～6 の大峰溶結凝灰岩層は, 青灰色から赤褐色を呈する強溶結した火砕流堆積物





<Legend>

- Alluvial and terrace deposits
- Gotentoge Gravel Bed Formation
- Kazusa Group including the Oyamada Formation

Fig. 3. Geology of the west Tama Hills and sampling sites for the Horinouchi 2 Tuff  
 Geologic map is simplified after Takano (1994). 7-11 are the sampling sites for the Horinouchi 2 Tuff.

である。一般に、塊状で淘汰が悪い火山灰からなり、その中の軽石は扁平でユータキティック構造をなす。また、径数 cm の安山岩質の石質岩片を少量含む。地点7~11の堀之内第2タフは、下部は層厚5~10 cmの粗粒~中粒砂サイズのガラス質火山灰、上部は層厚10~20 cmの細粒砂~シルトサイズのガラス質火山灰からなり、その上位には平行葉理が発達する凝灰質シルト層が重なる(図4)。

3. 試料採取、残留磁化測定およびデータ解析の方法

方位試料の採取は、大峰溶結凝灰岩ではブロックサンプリングと携帯型ガソリンエンジンドリルを用いる方法を併用した。地点3, 6では、現地でこぶし大のブロック試料を3個採取し、実験室内で各ブロックから直径2.5 cmのコア試料を1本採取した。それ以外の地点では、ガソリンエンジンドリルを用いて直径2.5 cmのコア試料を5~8本採取した。堀之内第2タフでは、上部の細粒砂~シルトサイズのガラス質火山灰から、携帯型電動ドリルを用いて直径2.5 cmのコア試料を各地点で7~12本採取した。現地でのコア試料、ブロック試料の方

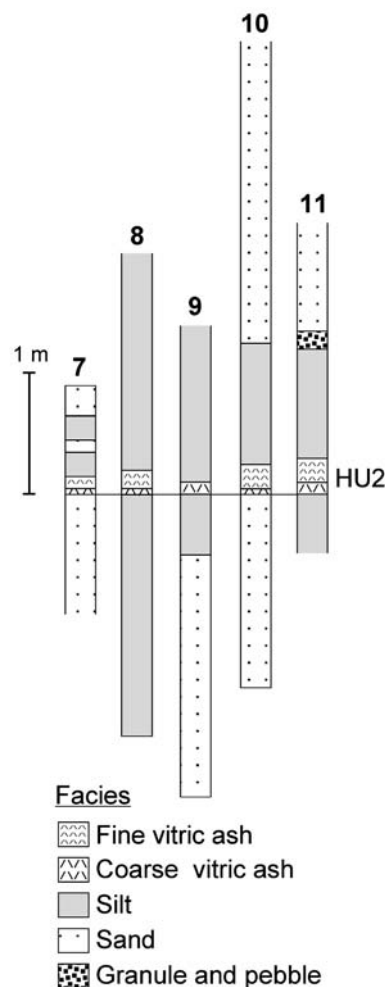


Fig. 4. Geologic columnar sections of the Oyamada Formation of the Kazusa Group intercalated with the Horinouchi 2 Tuff (HU2)  
 Location of the Site 7-11 are shown in Fig. 3.

位付けには、磁気コンパスを用いた。

各コア試料からは、岩石カッターを用いて高さ20 mmの試片を2つ切り出した。最初に、パイロット・コア試料の2つの試片を段階交流消磁実験(progressive alternating field demagnetization, PAFD)と段階熱消磁実験(progressive thermal demagnetization, PThD)に供した。地点9以外の大峰溶結凝灰岩、堀之内第2タフからは、PAFDとPThDによってパイロット・コア試料から同じ方向の安定な磁化成分が認められたので、残りの全てのコア試料の1つの試片をPAFDに供した。また地点7, 8, 10, 11では、残りの2~7本のコア試料のもう1つの試片をPThDに供した。地点9の堀之内第2タフからは、パイロット・コア試料から安定な磁化成分はPAFDによって得られなかったが、PThDによって得られたので、残りの全てのコア試料の2つの試

片をPAFDとPThDに供した。

残留磁化の測定およびPAFDには、産業技術総合研究所の磁気シールド室内に設置された2G社製超伝導磁力計(モデル760R)を用いた。PAFDは0~10 mTでは2.5 mTおきに、10~80 mTでは5 mTおきに行った。PThDには、Magnetic Measurements社製熱消磁装置(モデルMMTD-18)を用いた。PThDは、大峰溶結凝灰岩の試片には室温から650°Cまで、堀之内第2タフの試片には室温から620°Cまで行い、100~500°Cでは50°Cおき、500~650°Cでは30°Cおきの最高温度で行った。加熱は空気中で行い、各消磁段階の最高温度の加熱時間を30分とした。PAFD、PThDの各消磁段階における残留磁化ベクトルを直交面投影図(Zijderveld, 1967)に表し、主成分分析法(Kirschvink, 1980)によって原点に向かって直線的に減衰する安定な磁化成分の方向を求めた。そして、最大角分散(maximum angular deviation, MAD)が15°以下の場合にその方向を採用した。

地点9以外の大峰溶結凝灰岩、堀之内第2タフでは、PAFDとPThDによる安定な磁化成分の方向が同じだったので、PAFDによる安定な磁化成分の平均方向を各地点の残留磁化方位とした。一方地点9の堀之内第2タフでは、安定な磁化成分はPThDによって10本中4本のコア試料の試片から認められたが、PAFDによっては認められなかった。安定な磁化成分が認められなかった試片からは、PAFD、PThDの進行に伴って残留磁化ベクトルは等面積投影図上で大円を描くように変化した。そこで、主成分分析法によって各試片の最適大円の極を求め、McFadden and MacElhinny (1988)に従って、PThDによる安定な磁化成分の方向とPAFD、PThDの両方による最適大円から地点9の残留磁化方位を求めた。なお、残留磁化ベクトルの傾動補正は、大峰溶結凝灰岩層では採取地点近傍の堆積岩の走向、傾斜を用いて行ったが、堀之内第2タフでは地層の傾斜が数度であるので行わなかった。

#### 4. 段階消磁実験の結果

大峰溶結凝灰岩と堀之内第2タフの代表的なPAFDとPThDの結果を図5に示す。また、各地点の平均残留磁化方位を図6、表1にまとめる。

##### 4.1 大峰溶結凝灰岩

PAFDの消磁前から3~8 mTのある消磁段階までの範囲では、残留磁化強度は0~7%増加し、原点から遠ざかる残留磁化成分が認められた(図5の地点1の試片A1, 地点6の試片B1)。この残留磁化成分はBrunhes Chronの間に獲得された粘性残留磁化(Viscous rema-

nant magnetization, VRM)とみなされる。残留磁化強度は5~20 mTのある消磁段階から80 mTの範囲で連続的に減少した。80 mTの残留磁化強度は、地点2~5の試片ではVRMが除去された消磁段階の磁化強度の11~28%、地点1, 6の試片では48~50%であった。残留磁化強度が減少する磁場範囲では南向きの偏角と上向きの伏角を持つ安定な磁化成分が認められ、それらのMADは0.3~2.2°であった(表1)。

PThDの消磁前から150°Cの範囲では、残留磁化強度は0~14%増加し、VRMとみなされる原点から遠ざかる残留磁化成分が認められた(図5の地点1の試片A2)。地点6の試片では、残留磁化ベクトルの偏角は消磁前から100°Cにかけて西北西から南に急変し、そのほかの地点の試片に比べて大きなVRMが認められた(図4の地点6の試片B2)。地点1~5の試片の残留磁化強度は、150°Cまたは200°Cから590°Cの範囲で連続的に減少した(図5の地点1の試片A2)。地点6の試片では、400°Cまでは残留磁化強度と残留磁化ベクトルの方向はほとんど同じであったが、残留磁化強度は400°Cから560°Cの範囲で急激に減少した(図5の地点6の試片A2)。620°Cの残留磁化強度は、全ての試片でVRMが除去された消磁段階の磁化強度の1%以下であった。残留磁化強度が減少する温度範囲では、南向きの偏角と上向きの伏角を持つ安定な磁化成分が認められ、それらのMADは0.9~3.4°であった(表1)。

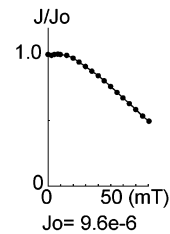
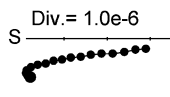
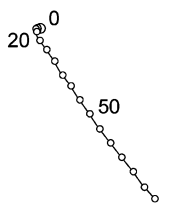
地点1~6の傾動補正前の平均残留磁化方位は偏角134.9~159.6°、伏角-21.3~-56.9°であり、傾動補正後の平均残留磁化方位は偏角170.9~200.3°、伏角-33.6~-60.7°であった(表1, 図6-1)。それらの95%信頼限界円錐の半径( $\alpha_{95}$ : Fisher, 1953)、集中度パラメーター( $\kappa$ : Fisher, 1953)は、地点1, 2, 4, 5ではそれぞれ2.0~4.3°, 303.0~888.4, 地点3, 6ではそれぞれ11.7~22.8°, 30.2~111.5であった(表1)。

##### 4.2 堀之内第2タフ

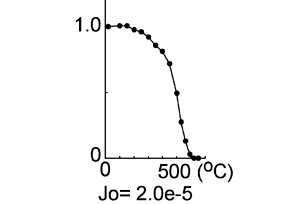
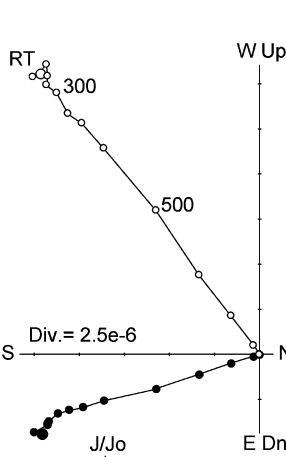
地点7, 8, 10, 11: 地点7, 8, 10, 11の試片からは、PAFD、PThDにより安定な磁化成分が認められた。PAFDの消磁前から5~25 mTのある消磁段階までの範囲では、地点7, 8, 11の試片の残留磁化強度は一般に1~25%増加し、地点10の試片は27~99%増加した(図5の地点7の試片A1)。そして、VRMとみなされる原点から遠ざかる残留磁化成分が認められた。残留磁化強度は、3~35 mTのある消磁段階から50~80 mTのある消磁段階の範囲で連続的に減少した。80 mTの残留磁化強度は、地点7の試片ではVRMが除去された消磁段階の磁化強度の34~47%、地点8, 11の試片では53~79%

**Site 1 (Omine Welded Tuff)**

A1: PAFD

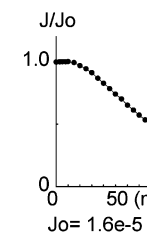
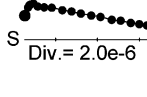
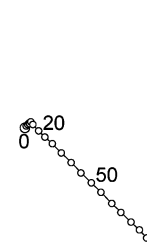


A2: PThD

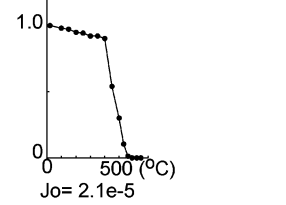
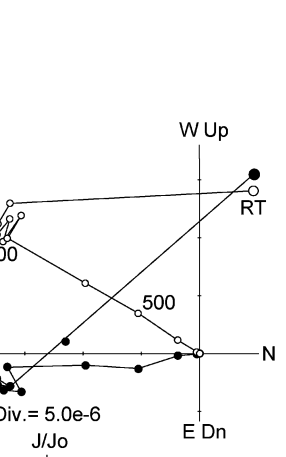


**Site 6 (Omine Welded Tuff)**

B1: PAFD

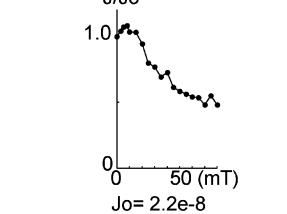
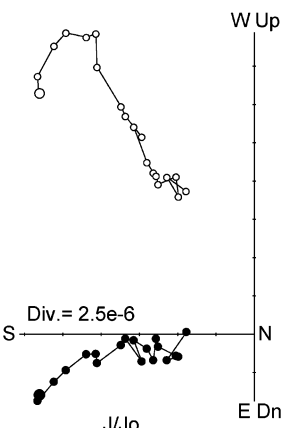


B2: PThD

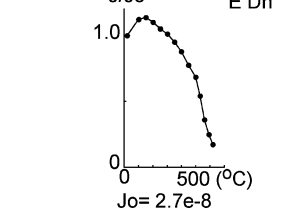
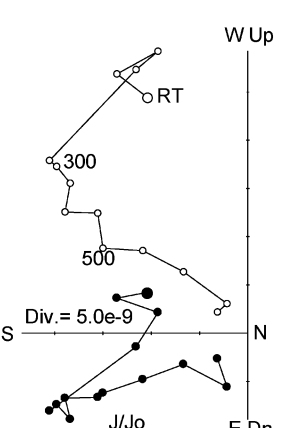


**Site 7 (Horinouchi 2 Tuff)**

A1: PAFD

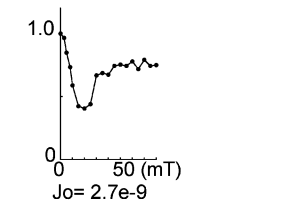
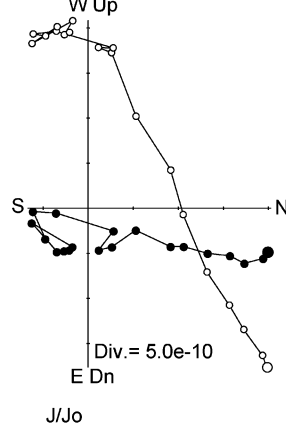


A2: PThD



**Site 9 (Horinouchi 2 Tuff)**

B1: PAFD



B2: PThD

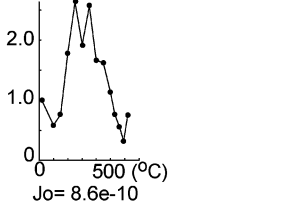
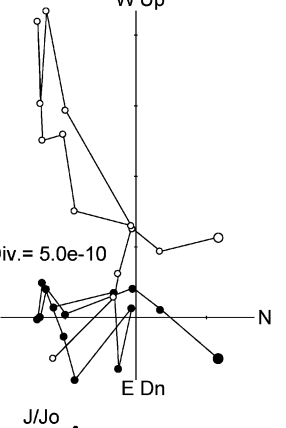


Fig. 5. Progressive alternating field and thermal demagnetization (PAFD and PThD) results for representative samples of the Omine-SK100 tephra plotted on orthogonal vector diagrams. Solid and open circles are the projections in the geographic coordinates of remanence vectors on the horizontal and north-south vertical planes, respectively. Unit of magnetization intensity is  $\text{Am}^2$ .

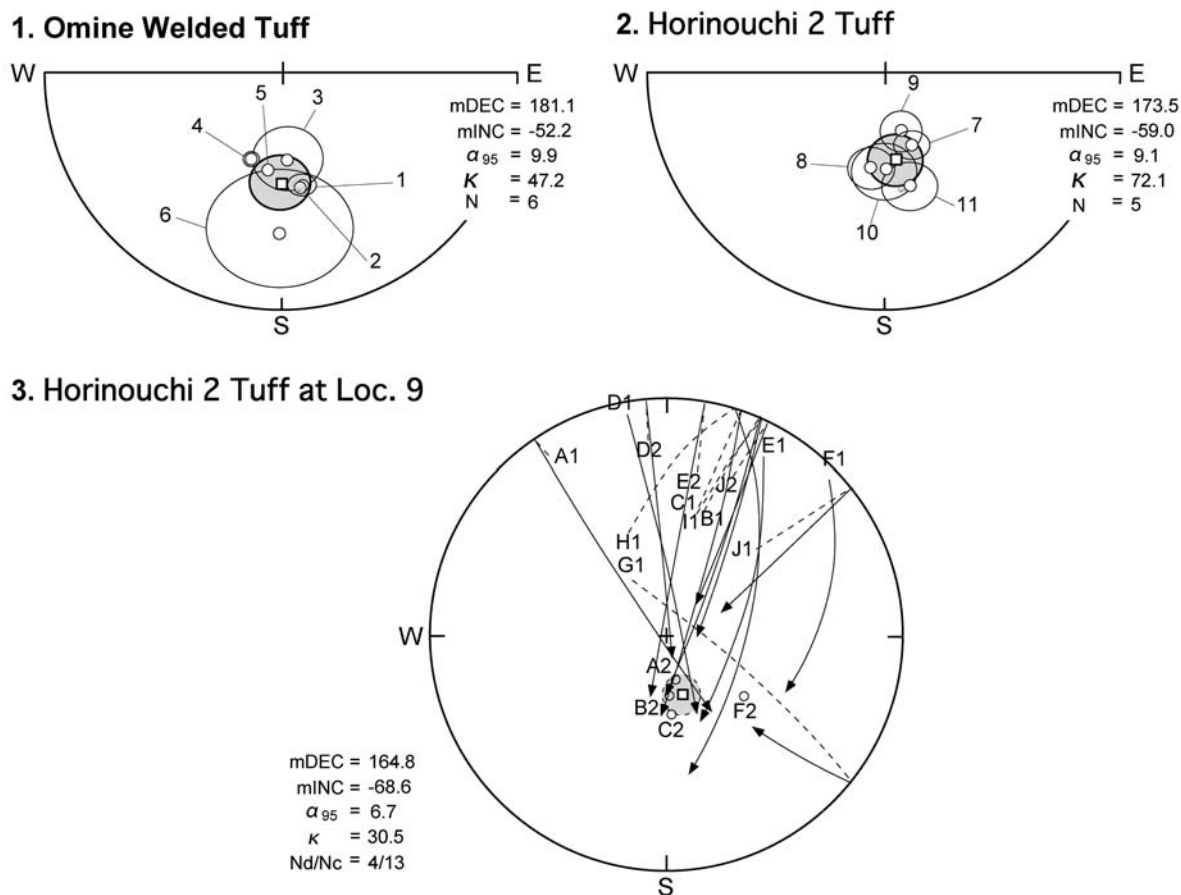


Fig. 6. Equal-area projections of site-mean remanent magnetization directions of the Omine-SK 100 tephra  
 1. Site-mean (open circles) and overall mean (open rectangles) remanent magnetization directions of the Omine Welded Tuff. Remanent magnetization directions are projected in the upper hemisphere. Gray ovals correspond to the 95% confidence cones of the overall mean remanent magnetization direction. mDec and mInc are overall mean declination and inclination.  $\alpha_{95}$ ,  $\kappa$ , N are radius of 95% confidence cone ( $^{\circ}$ ), Fisher's (1953) precision parameter, number of sampling sites. 1-6 are the sampling sites for the Omine Welded Tuff.  
 2. Site-mean (open circles) and overall mean (open rectangles) remanent magnetization directions of the Horinouchi 2 Tuff. 7, 8, 10, 11 are the sampling sites for the Horinouchi 2 Tuff.  
 3. Site-mean remanent magnetization direction (open rectangle) at Loc. 9, determined by combination of stable remanent directions and best-fit demagnetization circles following the method of McFadden McElhinny (1988). mDec and mInc are declination and inclination of site-mean remanent magnetization direction. Nd and Nc are numbers of stable remanent directions and best-fit demagnetization circles. A1-J1 and A2-J2 are the specimens for PAFD and PThD. Four open circles are the stable remanent magnetization directions of specimens projected in the upper hemisphere. Dashed and solid lines are parts of best-fit demagnetization circles projected in the lower and upper hemispheres, applied for principal component analyses by progressive demagnetization experiments. The arrows indicate trend of remanent magnetization direction during progressive demagnetization experiments. Gray oval corresponds to the 95% confidence cone of the site-mean remanent magnetization direction.

であったが、地点 10 の試片では 29~92% でばらつきが大きかった。残留磁化強度が減少する磁場範囲では南向きの偏角と上向きの伏角を持つ安定な磁化成分が認められ、それらの MAD は 0.9~7.4 $^{\circ}$  であった (表 1)。

PThD の消磁前から 100~350 $^{\circ}$ C のある消磁段階の範囲では、残留磁化強度は 6~68% 増加し、VRM とみな

される原点から遠ざかる残留磁化成分が認められた (図 5 の地点 7 の試片 A2)。地点 7, 8, 10, 11 の残留磁化強度は、それぞれ 150~400 $^{\circ}$ C のある消磁段階から 560~620 $^{\circ}$ C のある消磁段階の範囲, 100 $^{\circ}$ C あるいは 150 $^{\circ}$ C から 620 $^{\circ}$ C の範囲, 300~530 $^{\circ}$ C のある消磁段階から 560 $^{\circ}$ C あるいは 590 $^{\circ}$ C の範囲, 室温~350 $^{\circ}$ C のある消磁段階から



Table 1. Site-mean paleomagnetic data for the Omine Welded Tuff and the Horinouchi 2 Tuff.

Loc.	Tephra	Latitude	Longitude	S/D	Nd/Nc	D	I	Dc	Ic	MAD	$\alpha_{95}$	$\kappa$	$\lambda$	$\phi$
1	Omine WT	36° 26' 20"	137° 53' 46"	7/50	5/0	137.7	-21.3	170.9	-50.8	0.7	4.3	310.4	-81.0	-162.3
2	Omine WT	36° 26' 48"	137° 53' 57"	347/35	7/0	134.9	-41.6	171.9	-50.5	1.2	2.0	888.4	-81.6	-167.1
3	Omine WT	36° 27' 25"	137° 53' 30"	352/25	3/0	137.7	-53.8	176.6	-60.7	1.4	11.7	111.5	-84.2	-68.1
4	Omine WT	36° 28' 38"	137° 53' 19"	357/30	8/0	149.0	-56.9	200.3	-58.4	0.8	3.2	303.0	-73.8	32.5
5	Omine WT	36° 30' 49"	137° 53' 30"	17/25	8/0	159.6	-46.3	189.2	-56.4	1.5	2.2	640.8	-82.6	41.9
6	Omine WT	36° 33' 57"	137° 51' 03"	317/45	3/0	139.0	-53.5	181.4	-33.6	0.6	22.8	30.2	-71.7	133.6
7	HU2	35° 41' 20"	139° 23' 27"	—	6/0	162.0	-63.3	—	—	4.0	5.1	175.0	-73.6	-91.3
8	HU2	35° 38' 13"	139° 22' 21"	—	8/0	188.7	-56.0	—	—	2.2	7.4	188.7	-82.9	39.2
9	HU2	35° 37' 46"	139° 22' 00"	—	4/13	164.8	-68.6	—	—	12.6	6.7	30.5	-70.4	-169.5
10	HU2	35° 37' 53"	139° 23' 28"	—	5/0	180.7	-55.6	—	—	4.5	10.8	51.3	-89.2	3.3
11	HU2	35° 36' 22"	139° 23' 55"	—	8/0	167.0	-49.3	—	—	3.7	9.0	39.2	-77.9	-155.4

Omine WT and HU2 are the Omine Welded Tuff and Horinouchi 2 Tuff. Latitude and longitude of each locality are shown as the World Geodetic System 1984. S and D are strike and dip of sedimentary rocks immediately beneath the Omine Welded Tuff. Nd and Nc are the numbers of stable remanent magnetization components and best-fit great circles to calculate the site-mean remanent magnetization directions. D and I are declination and inclination of in situ site-mean remanent magnetization directions. Dc and Ic are declination and inclination of tilt-corrected site-mean remanent magnetization directions. MAD is averaged maximum angular deviation of stable magnetization components.  $\alpha_{95}$  and  $\kappa$  are radius of 95% confidence cone ( $^{\circ}$ ) and Fisher's (1953) precision parameter.  $\lambda$  and  $\phi$  are latitude and longitude of virtual geomagnetic pole.

300~530°Cのある消磁段階の範囲で減少した。620°Cの残留磁化強度は、一般にVRMが除去された消磁段階の磁化強度の6~22%であったが、地点10, 11ではそれぞれ51%, 47%の試片が1つあった。残留磁化強度が減少する温度範囲では南向きの偏角と上向きの伏角を持つ安定な磁化成分が認められ、それらのMADは2.8~10.1°であった(表1)。

地点7, 8, 10, 11の平均残留磁化方位は、偏角162.0~188.7°, 伏角-49.3~-63.3°であった(表1, 図6-2)。それらの $\alpha_{95}$ ,  $\kappa$ はそれぞれ5.1~11.8°, 39.2~175.0°であった(表1)。

**地点9:** 地点9の試片からは、安定な磁化成分はPThDによって10本中4本のコア試料の試片から認められたが、PAFDによっては認められなかった。PAFDの進行に伴って残留磁化ベクトルの偏角は北向きから南向きに、伏角は下向きから上向きに連続的に変化し、等面積投影図上では大円を描くように変化した(図5の地点9の試片B1)。そして、残留磁化強度は消磁前から15~45 mTのある消磁段階まで減少し、その後80 mTまでおおむね増加した。これらは、地点9の試片のVRMがそのほかの地点に比べて非常に大きく、安定な磁化成分とVRMの保磁力スペクトルが重なっていること、80 mTでも正極性のVRMが完全に除去されていないことを示唆している。

PThDでは、安定な磁化成分が認められた4つの試片の残留磁化強度は、室温から100°Cあるいは150°Cの範囲で減少、100°Cあるいは150°Cから200~300°Cのある

消磁段階の範囲で増加し、VRMとみなされる原点から遠ざかる残留磁化成分が認められた(図5の地点9の試片B2)。残留磁化強度は、200~300°Cのある消磁段階から590°Cあるいは620°Cの範囲ではおおむね減少し、620°Cの残留磁化強度は一般にVRMが除去された消磁段階の残留磁化強度の6~29%であった。一方、1つの試片では590°Cから620°Cの範囲で残留磁化強度が100倍以上に増加したが、これは加熱変質が生じたためと思われる。残留磁化強度が減少する温度範囲では南向きの偏角と上向きの伏角を持つ安定な磁化成分が認められ、それらのMADは10.6~14.0°であった(表1)。

安定な磁化成分が認められなかった試片では、残留磁化強度は室温から150~250°Cのある消磁段階の範囲で減少、150~250°Cのある消磁段階から200~400°Cのある消磁段階の範囲で増加した。そして、消磁の進行に伴って残留磁化ベクトルの偏角は北向きから南向きに、伏角は下向きから上向き連続的に変化し、等面積投影図上では大円を描くように変化した(図6-3)。それ以上の消磁段階では、残留磁化強度はおおむね減少したが、残留磁化ベクトルの方向は不規則に変化した。620°Cの残留磁化強度は室温の残留磁化強度の8~55%であった。このように、地点9の試片の安定な磁化成分とVRMのアンプロッキング温度が重なっているために、安定な磁化成分の方向が求められない。

地点9の平均残留磁化方位は、PThDによる4つの安定な残留磁化成分の方向とPAFD, PThDによる合計13個の最適大円の極から、偏角164.8°, 伏角-68.6°と求



められた (表 1, 図 6-3). その  $\alpha_{95}$ ,  $\kappa$  はそれぞれ  $6.7^\circ$ ,  $30.5$  であった (表 1).

## 5. 議 論

### 5.1 大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの古地磁気方位

地点 1~6 の大峰溶結凝灰岩層の傾動補正後の総平均残留磁化方位は偏角  $181.1^\circ$ , 伏角  $-52.2^\circ$  であり, その  $\alpha_{95}$ ,  $\kappa$  はそれぞれ  $9.9^\circ$ ,  $47.2$  であった (図 6-1). また, 地点 7~11 の堀之内第 2 タフの総平均残留磁化方位は偏角  $173.5^\circ$ , 伏角  $-59.0^\circ$  であり, その  $\alpha_{95}$ ,  $\kappa$  はそれぞれ  $9.1^\circ$ ,  $72.1$  であった (図 6-2). 大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの古地磁気方位は, 地点 1~6 の現在の地球磁場の方向 (偏角  $-7.5^\circ$ , 伏角  $50.5^\circ$ ), 地点 7~11 の現在の地球磁場の方向 (偏角  $-6.9^\circ$ , 伏角  $49.1^\circ$ ), 地心双極子磁場を仮定した時の地点 1~11 の地球磁場の方向 (偏角  $0^\circ$ , 伏角  $55.1-56.0^\circ$ ) と反平行である. このように, 大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの古地磁気方位の差は  $8.0^\circ$  であり, それぞれの古地磁気方位はもう一方の  $\alpha_{95}$  の範囲に入る. したがって, 大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの古地磁気方位は同じと判断される.

大峰—SK110 テフラの給源近傍相である大峰溶結凝灰岩層の残留磁化は熱残留磁化 (thermoremanent magnetization, TRM) であり, 遠隔地相の堀之内第 2 タフの残留磁化は堆積残留磁化 (detrital remanent magnetization, DRM) である. 堀之内第 2 タフがはさまれる小山田層は陸成~浅海成の堆積物からなり, その堆積速度は深海底の堆積物に比べて非常に大きく, 磁性鉱物の粒径も大きいと考えられる. また, 堀之内第 2 タフとその上位の凝灰質シルト層は生物擾乱を受けておらず, 堆積時の構造を保持している. これらから, 堀之内第 2 タフの DRM は堆積同時残留磁化 (depositional detrital remanent magnetization, dDRM) と考えられる. したがって, 大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの残留磁化は, ほぼ同時に獲得されたことになる. このように, 磁化獲得機構の異なる大峰溶結凝灰岩層と堀之内第 2 タフの古地磁気方位が一致することは, 両者の残留磁化の獲得時期がほぼ同じであること, 残留磁化が初生的で安定であることを示唆する.

### 5.2 後期鮮新世から前期更新世の大峰帯の変形様式

三村・原山 (2002) は, 小谷—中山断層の東側の新第三系の分布域と大峰帯とともに発達する北北東—南南西方向の褶曲構造は, 北西—南東方向の圧縮場で小谷—中山断層の左横ずれ運動によって形成されたと考えた. そして, 幅が狭い大峰帯に層厚  $3,000\text{ m}$  以上の厚い地層が

堆積していることから, 大峰帯を左横ずれ運動を行う小谷—中山断層と活断層系によって囲まれたプリアパート堆積盆とみなした. もしそうだとすると, 大峰帯の地層は褶曲構造の成長に伴って反時計回りの回転をしたと考えられる.

一方, 本報告では大峰溶結凝灰岩層と多摩丘陵西部の堀之内第 2 タフの古地磁気方位が一致することが明らかになった. 堀之内第 2 タフはテクトニックな変形を受けていないと考えられることから, 大峰溶結凝灰岩層は反時計回りの回転をしていないことになる. したがって, 鮮新世以降の糸魚川—静岡構造線の活動様式, 大峰帯の成因, 後期鮮新世から前期更新世の大峰帯における地層の堆積・変形様式に関する 3 つの考えのうち, 小谷—中山断層と糸魚川—静岡構造線活断層系の左横ずれ運動の同時性とプリアパート堆積盆としての大峰帯を主張した三村・原山 (2002) の考えは支持されない. 大峰帯をプリアパート堆積盆とみなす根拠とした北北東—南南西方向の褶曲構造は, 大峰帯では軸長が数 km と小規模であり, 小谷—中山断層の近傍に限られている (図 2). 加藤ほか (1989) のように, その褶曲構造は小谷—中山断層の活動のみで形成されたと思われる.

## 6. おわりに

本報告では, 鮮新世以降の糸魚川—静岡構造線の活動様式, 北部フォッサマグナ西縁の大峰帯の成因, 後期鮮新世から前期更新世の大峰帯における地層の堆積・変形様式を明らかにするために, 前期更新世初期の大峰—SK110 テフラとして対比される大峰帯の大峰溶結凝灰岩層と関東平野西縁の多摩丘陵の堀之内第 2 タフの古地磁気測定を行った. その結果, 大峰溶結凝灰岩層とテクトニックな変形を受けていない堀之内第 2 タフの古地磁気方位が一致したことから, 大峰溶結凝灰岩は回転を受けていないと考えられる. これは, 小谷—中山断層と糸魚川—静岡構造線活断層系の左横ずれ運動によって, プリアパート堆積盆として大峰帯が形成されたとする三村・原山 (2002) の考えに適合しない.

小谷—中山断層から活断層系への thrust front migration によって, 地質帯として大峰帯が松本盆地から分化したという考え (池田ほか, 2002; Ueki, 2002) と, 小谷—中山断層と活断層系の正断層運動によって, 地溝状堆積盆として大峰帯が形成されたという考え (小坂, 1991, 1999; 竹内, 1991, 1995, 1999; Takeuchi, 2004) のどちらが適当であるかを議論するためには, 大峰帯中部の太郎山安山岩 (図 2: 加藤ほか, 1989) の古地磁気測定を行うことが重要である. 竹内 (1991, 1995, 1999),

Takeuchi (2004) は、後期鮮新世の太郎山安山岩が南北方向の岩脈状の分布を示すことから、大峰帯は当時東西方向の伸張場にあったとしている。しかし、太郎山安山岩の分布は小谷一中断層の近傍の褶曲変形を受けた堆積岩の構造と調和するので、太郎山安山岩は堆積岩の層理面に垂直に貫入した岩脈ではなくて、層理面に平行に貫入した岩床である可能性もある。その場合、大峰帯は東西方向の圧縮場にあったことになる。太郎山安山岩が岩脈であるか岩床であるかは、褶曲の両翼で太郎山安山岩の古地磁気方位が同じかどうかを確かめればよい。このような展望を持って、今後太郎山安山岩の古地磁気測定を行う予定である。

## 謝 辞

東京大学地震研究所地震地殻変動観測センターの佃為成准教授には、地震研究所特定共同研究(A)「内陸直下地震の予知」に参加させていただき、多くの刺激を受けました。佃准教授の退官にあたり、本報告を献呈致します。また、神戸大学大学院理学研究科の乙藤洋一郎教授のコメントは本論を改善するのに役立ちました。産業技術総合研究所・地質情報研究部門の小田啓郎博士には英文要旨を校正していただきました。東京経済大学コミュニケーション学部の山田晴通教授には宿舎を提供していただきました。日本大学文理学部の近藤玲介博士には、地点8において試料採取を手伝っていただきました。以上の方に深く感謝致します。

## 文 献

- Elouai, D., Sato, H., Hirata, N., Kawasaki, S., Takeshita, T., Kato, N. and Takeda, T., 2004, Deep seismic reflection profiling across the Northern Fossa Magna: The ERI 1997 and the JNOC 1996 seismic lines, active faults and geological structures. *Earth Planets Space*, **56**, 1331-1338.
- Fisher, R., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. A*, **217**, 295-305.
- 羽鳥謙三・寿円晋吾, 1958, 関東盆地西縁の第四紀地史(I) — 多摩丘陵の地形発達 —. *地質学雑誌*, **64**, 181-194.
- 姫川団体研究グループ, 1958, 糸魚川—静岡線北部にそぐ地域の第三紀層. *地質学雑誌*, **64**, 431-444.
- Ikami, A., Yoshii, T., Kubota, S., Sasaki, Y., Hasemi, A., Moriya, T., Miyamachi, H., Matsu'ura, R.S. and Wada, K., 1986, A seismic-refraction profile in and around Nagano Prefecture, central Japan. *Jour. Phys. Earth*, **34**, 457-474.
- Ikedo, Y., 1983, Thrust front migration and its mechanism: evolution of intraplate thrust systems. *Bull. Dep. Geogr. Univ. Tokyo*, **15**, 125-159.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志, 2002, 「第四紀逆断層アトラス」, 東京大学出版会, 260頁.
- 今泉俊文・原口 強・中田 高・奥村晃史・東郷正美・池田安隆・佐藤比呂志・島崎邦彦・宮内崇裕・柳 博美・石丸恒存, 1997, 地層抜き取り調査とボーリング調査による糸魚川活断層系・神城断層のスリップレートの検討. *活断層研究*, **16**, 35-43.
- 金子史朗, 1958, 多摩丘陵西辺部と古相模川との関係. *地理学評論*, **31**, 495-499.
- 加藤碩一・佐藤岱生, 1983, 信濃池田地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93頁.
- 加藤碩一・佐藤岱生・三村弘二・滝沢文教, 1989, 大町地域の地質. *地域地質研究報告* (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 111頁.
- 活断層研究会, 1991, 「新編日本の活断層 一分布図と資料」, 東京大学出版会, 437頁.
- Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. Jour. Roy. astron. Soc.*, **62**, 699-718.
- 小林国夫・平林照雄, 1955, 松本盆地周辺のいわゆる“山砂利”について. *地質学雑誌*, **61**, 30-47.
- 近藤久雄・遠田晋次・奥村晃史・高田圭太, 2006, 糸魚川—静岡構造線活断層系・松本盆地東縁断層南部に沿う左横ずれ変位地形. *地学雑誌*, **115**, 208-220.
- 小坂共栄, 1980, 大峰帯の礫岩. *信州大学理学部紀要*, **15**, 31-46.
- 小坂共栄, 1991, 大峰帯の地質とそのフォッサマグナ発達史における意義. *信州大学理学部紀要*, **26**, 75-140.
- 小坂共栄, 1999, 北部フォッサマグナ西縁部, 大峰帯の地質とそのテクトニクス. *月刊地球*, **21**, 589-595.
- 小坂共栄・鬼頭一博・新井健司, 1979, 北部フォッサ・マグナ西縁部の第三系—第四系(1) —長野県姫川中流地域の第三系と第四系の層序と構造—. *地質学論集*, no. **16**, 169-182.
- 町田 洋・山崎晴雄・新井房夫・藤原 治, 1997, 大峰火砕流堆積物: 北アルプス形成史研究のための一指標テフラ. *地学雑誌*, **106**, 432-439.
- 町田 洋・新井房夫, 2003, 「新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]」, 東京大学出版会, 336頁.
- 松多信尚・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志, 2001, 糸魚川—静岡構造線活断層系北部神城断層の浅部構造と平均すべり速度(浅部反射法地震探査とボーリングの結果). *活断層研究*, **20**, 59-70.
- Matsuta, N., Ikeda, Y. and Sato, H., 2004, The slip rate along the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line active fault system, central Japan. *Earth Planets Space*, **56**, 1323-1330.
- 松多信尚・沢 祥・安藤俊人・廣内大助・田力正好・谷口 薫・佐藤善輝・石黒聡士・内田主税・佐野滋樹・野澤竜二郎・坂上寛之・隈元 崇・渡辺満久・鈴木康弘, 2006, 写真測量技術を導入した糸魚川—静岡構造線断層帯北部(桐池—木崎湖)の詳細変位地形・鉛直平均変位速度解析. *活断層研究*, **26**, 105-120.
- 松多信尚・池田安隆・佐藤比呂志・今泉俊文・東郷正美・柳博美・三ヶ田均・戸田 茂・堤 浩之・蔵下英司・越谷信・野田 賢・加藤 一・平川一臣・八木浩司・宍倉正展・越後智雄・石山達也・原口 強・荻野スミ子・新井慶将・河村知徳・田力正好・加藤直子・井川 猛・神城反射法地震探査グループ, 2007a, 糸魚川—静岡構造線活断層系神城断層の浅層および極浅層反射法地震探査. *地震研究所彙報*, **82**, 25-35.
- 松多信尚・池田安隆・佐藤比呂志・今泉俊文・田力正好・蔵下英司・河村知徳・加藤直子・戸田 茂・谷美由起・加藤一・東郷正美・中村洋介・越後智雄・田中淳彦・井川 猛・大町反射法地震探査グループ, 2007b, 糸魚川—静岡構造

- 造線活断層系北部大町地域の浅層反射法地震探査. 地震研究所彙報, **82**, 37-44.
- McFadden, P.L. and McElhinny, M.W., 1988, The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **87**, 161-172.
- 三村弘二・原山 智, 2002, 北部フォッサマグナ大峰帯火山岩の K-Ar 年代と大峰帯の堆積・変形. 地質調査研究報告, **53**, 439-444.
- 三土知芳, 1933, 両総地方に於ける鮮新, 更新両統の境界に就いて. 地質学雑誌, **40**, 400-401.
- 三梨 昂・安国 昇・品田芳二郎, 1959, 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序 — 養老川・小櫃川流域地質調査報告一. 地質調査所月報, **10**, 83-98.
- 長橋良隆, 1998, 中部日本, 大峰地域の鮮新世火砕流堆積物一層序・記載岩石学的特徴一. 地質学雑誌, **104**, 184-198.
- 長橋良隆・小坂共栄・日比伸子, 1996, 岐阜・長野県に分布する後期鮮新世の大規模火砕流堆積物とその対比 — 丹生川火砕流堆積物・恵比寿峠火砕流堆積物とその相当層の例一. 地球科学, **50**, 29-42.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作, 2000, 本州中央部における鮮新—更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および噴出年代. 地質学雑誌, **106**, 51-69.
- 小口 高, 1990, 松本盆地中部における活断層の垂直変位速. 活断層研究, **8**, 15-21.
- 大久保修平・池田安隆・隈元 崇・世田 学・松田信尚・千葉智章・新井慶将, 2000, 重力異常に基づく糸魚川—静岡構造線北部の構造解析. 測地学会誌, **46**, 177-186.
- Okumura, K., 2001, Paleoseismology of the Itoigawa-Shizuoka tectonic line in central Japan. *Jour. Seismol.*, **5**, 411-431.
- 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉, 1994, 糸魚川—静岡構造線活断層系の最近の断層活動 — 牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査一. 地震Ⅱ, **46**, 425-438.
- 奥村晃史・井村隆介・今泉俊文・東郷正美・沢 祥・水野清秀・菊谷愛彦・斎藤英二, 1998, 糸魚川—静岡構造線活断層系北部の最近の活動 — 神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査. 地震Ⅱ, **50** (別冊), 35-51.
- Sato, H., Iwasaki, T., Kawasaki, S., Ikeda, Y., Matsuta, N., Takeda, T., Hirata N. and Kawanaka, T., 2004a, Formation and shortening deformation of a back-arc rift basin revealed by deep seismic profiling, central Japan. *Tectonophysics*, **388**, 47-58.
- Sato, H., Iwasaki, T., Ikeda, Y., Takeda, T., Matsuta, N., Imai, T., Kurashimo, E., Hirata, N., Sakai, S., Elouai, D., Kawanaka, T., Kawasaki, S., Abe, S., Kozawa, T., Ikawa, T., Arai, Y. and Kato, N., 2004b, Seismological and geological characterization of the crust in the southern part of northern Fossa Magna, central Japan. *Earth Planets Space*, **56**, 1253-1259.
- 里口保文, 1999, 本州中央部に分布する鮮新—下部更新統の火山灰層序. 地球科学, **53**, 275-290.
- 澤 詳・田力正好・谷口 薫・廣内大助・松多信尚・安藤俊人・佐藤善輝・石黒聡士・内田主税・坂上寛之・隈元崇・渡辺満久・鈴木康弘, 2006, 糸魚川—静岡構造線断層帯北部, 大町—松本北部間の変動地形認定と鉛直平均変位速度解明. 活断層研究, **26**, 121-136.
- 下川浩一・山崎晴雄, 1987, 古神城湖堆積物から見た断層運動. 日本第四紀学会講演予稿集, no. **17**, 92-93.
- 下川浩一・水野清秀・井村隆介・奥村晃史・杉山雄一・山崎晴雄, 1995, 糸魚川—静岡構造線活断層系ストリップマップ. 地質調査所.
- 田力正好・松多信尚, 2005, 糸魚川—静岡構造線活断層系北部の活動に関連した犀川丘陵の変動地形. 活断層研究, **25**, 63-73.
- 高野繁昭, 1994, 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. 地質学雑誌, **100**, 675-691.
- 高野繁昭, 2002, 南関東における上総層群中のテフラ鍵層の対比. 日本第四紀学会講演要旨集, no. **32**, 114-115.
- 竹内 章, 1991, 中央日本のネオテクトニクスと伊豆小笠原弧. 地学雑誌, **100**, 540-551.
- 竹内 章, 1995, 応力場の変化と火山活動 — 中部山岳形成史一. 月刊地球, **18**, 92-96.
- 竹内 章, 1999, 北信越地区における鮮新世以降の応力場とテクトニクスの変遷. 月刊地球, **21**, 583-588.
- Takeuchi, A., 2004, Basement-involved tectonics in North Fossa Magna, central Japan: The significance of the northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line. *Earth Planets Space*, **56**, 1261-1269.
- 竹内 章・阿部健太郎, 1999, 北部糸魚川—静岡構造線のネオテクトニクスと地震. 日本地震学会講演予稿集 1999 年度秋季大会, A81.
- 多摩川足跡化石調査団・昭島市教育委員会, 2002, 「東京都昭島市の多摩川河床から産出したアケボノゾウ足跡化石の発掘調査報告書」, 昭島市, 15 頁.
- 植田房雄, 1933, 房総・三浦両半島に分布する新生代層の層序. 地質学雑誌, **40**, 799-801.
- Ueki, T., 2002, History of fault activity based on the paleogeography and paleo-geologic-structure since Pliocene: Examples of the northeastern Shikoku Island, southwest Japan, and the Omine area of the Northern Fossa Magna region, central Japan. PhD thesis of Tokyo Metropolitan University, 116p.
- 植木岳雪, 2005, 北部フォッサマグナ西縁, 大峰帯に分布する 2 つの前期更新世火砕流堆積物の放射年代測定. 地学雑誌, **114**, 623-625.
- Une, H., 1985, On the tectonic landforms in the northwestern part of the Nagano Prefecture, central Japan. *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **29**, 88-101.
- 山田直利・野沢 保・原山 智・滝沢文教・加藤慎一, 1989, 20 万分の 1 地質図幅「高山」, 地質調査所.
- 横倉隆伸・山口和雄・加野直巳・渡辺史郎, 1987, 松本盆地北部における反射法地震探査結果. 地震Ⅱ, **40**, 89-97.
- Zijderveld, J.D.A., 1967, A.C. demagnetization of rocks: Analysis of results, in "Methods in Palaeomagnetism" edited by Collinson, D., Creer, K. and Runcorn, S., Elsevier, pp. 256-286.

(Received May 15, 2008)

(Accepted September 29, 2008)