

新潟県加茂地域, 三条市塩野淵の中部中新統七谷層中に見つかった テフラの記載岩石学的特徴とフィッション・トラック年代

工藤 崇^{1,*}・檀原 徹²・岩野英樹²・山下 透²・柳沢幸夫¹

Takashi Kudo, Tohru Danhara, Hideki Iwano, Tohru Yamashita and Yukio Yanagisawa (2011) Petrographical feature and fission-track age of a tephra found from the Middle Miocene Nanatani Formation at Shionofuchi, Sanjo City, Kamo District, Niigata Prefecture. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 62 (7/8), p. 273-280, 5 figs, 1 table.

Abstract: The Shionofuchi-biotite (Sbi) tephra was found from the Middle Miocene Nanatani Formation at Shionofuchi, Sanjo City, Kamo District, Niigata Prefecture. The Sbi tephra is a crystal-rich coarse tuff layer (9 cm thick) intercalated between the basalt to andesite volcanoclastic rocks and light gray massive mudstone of the Nanatani Formation. This tephra contains plagioclase (oligoclase and bytownite in composition), quartz, sanidine, biotite, opaque minerals and a trace amount of zircon and allanite. Fission-track age of Sbi tephra was determined to be 13.8 ± 0.3 Ma (1 σ). This age is consistent with the biostratigraphic data. The Kbi tephra that is correlated to the Muro Pyroclastic Flow Deposit in Kii Peninsula is intercalated in the similar horizon to the Sbi tephra. Furthermore, the lithofacies of the Sbi tephra resembles that of the Kbi tephra. However, according to the inconsistency of plagioclase composition, trace heavy mineral assemblage and uranium contents in zircon, the Sbi tephra is not correlated to the Kbi tephra. Therefore, we have to pay attention to correlate these tephras.

Keywords: Middle Miocene, Sbi tephra, petrography, fission-track age, correlation, Nanatani Formation, Niigata sedimentary basin

要 旨

新潟県加茂地域, 三条市塩野淵において, 中部中新統の七谷層から黒雲母に富むテフラを発見し, 塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラと命名した。本テフラは灰色を呈する層厚 9 cm の結晶質中粒~極粗粒砂サイズの凝灰岩で, 七谷層の玄武岩~安山岩火山砕屑岩と明灰色塊状泥岩の間に挟在する。本テフラの構成鉱物は, 斜長石 (オリゴクレーヌ及びバイトゥナイト組成), 石英, サニディン, 黒雲母, 不透明鉱物を主体とし, 微量のジルコンと褐れん石を伴う。本テフラのジルコン FT 年代は 13.8 ± 0.3 Ma であり, 微化石層序と調和する。本テフラは, 同じく七谷層に挟在し, 紀伊半島の室生火砕流堆積物に対比される Kbi テフラと同様な層準にあり, 非常によく似た層相を示す。しかし, Sbi テフラと Kbi テフラは, 斜長石組成の不一致, 微量に含まれる重鉱物の組み合わせの不一致, ジルコンのウラン濃度の不一致から対比されない。したがって, 今後, 両者の対比にあたっては注意が必要である。

1. はじめに

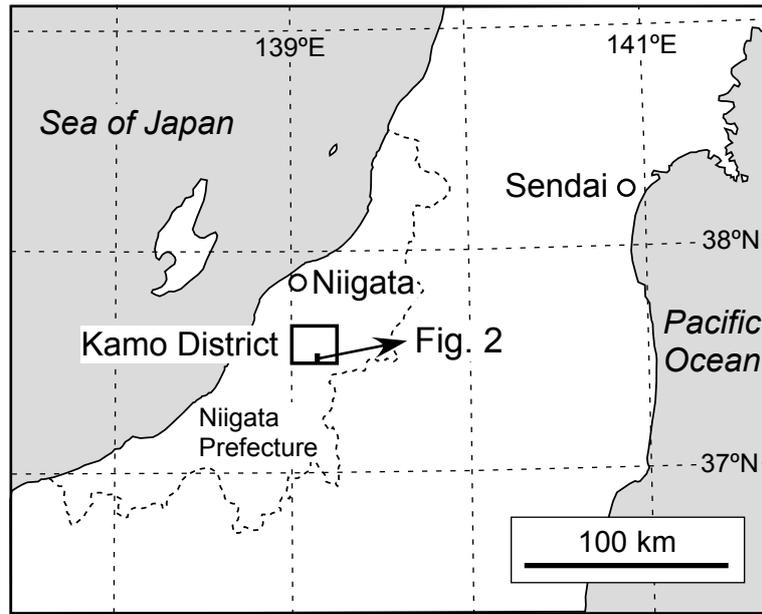
加茂地域は新潟県中部に位置し (第 1 図), 新潟地域坑井層序 (工藤ほか, 印刷中; 片平 (1974) などによる「新潟標準層序」に相当) の 1 つである中部中新統七谷層の模式地として知られている。そのため, 本地域の七谷層については, これまでに多くの層序学的研究が行われ, 本邦の新第三系の年代層序を確立するための基礎資料を提供してきた (大村, 1928; 橋本, 1941; 茅原ほか, 1967; 三梨・宮下, 1970, 1974; 片平, 1974; 米谷, 1978, 1988; 佐藤, 1982; 津田ほか, 1984; 島津・高野, 1986; 佐藤ほか, 1991; 柳沢, 1993; 平松ほか, 1997; 工藤ほか, 印刷中)。しかしながら, 七谷層のテフラ層序に関しては, 中期中新世テフラのデータ蓄積が進んでいないことに加え, 時代が古く変質が進んでいることが多く, 火山ガラスや苦鉄質鉱物の特性を用いた対比が困難である等の理由から, 未だ十分な検討は行われていない。

七谷層のテフラ層序については, これまでに黒川ほか

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² (株)京都フィッション・トラック (Kyoto Fission-Track Co., Ltd., 44-4 Minamitajiri-cho, Omiya Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

* Corresponding author: T. KUDO, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: kudo-taka@aist.go.jp



第1図 新潟県加茂地域の位置図.

Fig.1 Locality map of Kamo District, Niigata Prefecture.

(1998) 及び工藤ほか (2011) の報告がある。黒川ほか (1998) は、三条市駒出川ルート^{こまでがわ}の七谷層に挟在するテフラの記載岩石学的特徴を報告した。しかし、他の地域との対比や給源に関する検討は行われていない。その後、工藤ほか (2011) は、同一のルートにおいて、黒川ほか (1998) が未記載の黒雲母に富む1枚のテフラを発見し、これを駒出川バイオタイト (Kbi) テフラと命名した。そして、このテフラが紀伊半島の室生火砕流堆積物及び房総半島木の根層中の Kn-1 テフラに対比され、熊野酸性岩の形成に関連した広域テフラの可能性が高いことを示した。しかし、これまでのところ、Kbi テフラは駒出川ルートの1箇所のみで見つかっていない。

今回、駒出川ルートの南方約 3 km に位置する三条市塩野淵^{しおのふち} (第2図) における七谷層中に、Kbi テフラとよく似た層相を示す1枚のテフラを新たに見いだした。このテフラを塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラ (新称) と命名する。このテフラについて、記載岩石学的特徴を明らかにし、フィッシュン・トラック (FT) 年代を測定することで、Kbi テフラとの対比を検討した。その結果、両者は対比されることがわかったので、ここに報告する。

2. 地質概説

Sbi テフラは、加茂地域南東部、三条市塩野淵の七谷層中に産する。三条市北五百川～塩野淵付近の地質図を第2図に示す。なお、第2図では簡略化のため沖積層及び段丘堆積物を省略した。地層の定義及び区分は、工藤ほか (印刷中) に従った。

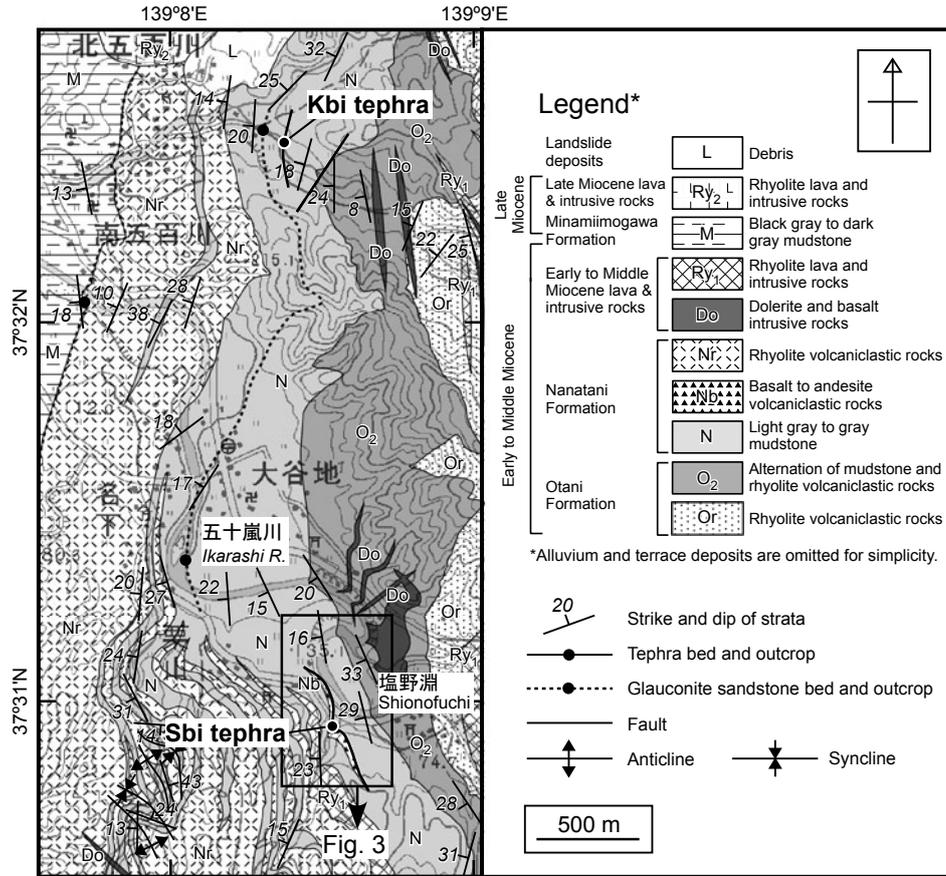
北五百川～塩野淵付近の新第三系は、下部～中部中新統からなり、下位より大谷層、七谷層、南五百川層の順に東から西に向かって累重し、前期～後期中新世の貫入岩がこれらを貫いている (第2図)。

七谷層は、大村 (1928) により命名され、工藤ほか (印刷中) により再定義された。本層の模式地は、三条市北五百川の駒出川及び祓川^{はらいがわ}流域である。北五百川～塩野淵付近での本層は、南北に帯状に分布し、南北～北東方向の走向を示し、10～40°で西方～北西方に傾斜する (第2図)。本層は、主部を占める明灰色～灰色塊状泥岩 (N)、中～上部に挟在する玄武岩～安山岩火山碎屑岩 (Nb) 及び流紋岩火山碎屑岩 (Nr) から構成される。また、本層の中部と最上部には、層厚数 10 cm～数 m の海緑石砂岩層が認められる (第2図)。本層は、下位の大谷層の泥岩・流紋岩火山碎屑岩互層 (O₂) を整合に覆い、上位の南五百川層の黒灰色～暗灰色泥岩 (M) に整合に覆われる。また、本層は前期～中期中新世の流紋岩 (R_{Y1}) 及びドレライト・玄武岩 (Do)、後期中新世の流紋岩 (R_{Y2}) の貫入を受けている。

3. Sbi テフラの産状

塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラは、三条市塩野淵の五十嵐川本流から南方に延びる枝沢左岸の露頭において、七谷層中に挟在する (第3図及び第4図)。この地点 (世界測地系で北緯 37° 30' 56", 東経 139° 8' 32") を Sbi テフラの模式地とする。

Sbi テフラは、七谷層・大谷層境界より約 63 m 上位の層準において、層厚約 8 m の玄武岩～安山岩質のスコ



第2図 加茂地域, 北五百川~塩野淵付近の地質図及び地形図. 位置を第1図に示す. 国土地理院発行5万分の1地形図「加茂」を使用. 簡略化のため, 沖積層及び段丘堆積物を省略してある.

Fig.2 Geological and topographical map of Kita-imogawa and Shionofuchi area in the Kamo District. Its locality is shown in Fig. 1. A part of 1:50,000 topographic map “Kamo” published by the Geographical Survey Institute is used. Alluvium and terrace deposits are omitted for simplicity.

リア火山礫凝灰岩と明灰色塊状泥岩の間に挟在する (第3図及び第4図). スコリア火山礫凝灰岩は, 長径6 cm 以下の変質した無斑晶質スコリアで構成され, 五十嵐川本流左岸においても露出する (第3図). しかし, ここではスコリア火山礫凝灰岩と泥岩の境界部分の露頭が欠如しており, Sbi テフラを確認することはできなかった. Sbi テフラ直下の明灰色塊状泥岩中には, 海緑石が散在する. ただし, これが七谷層中部の海緑石砂岩層に相当するものかどうかは不明である.

Sbi テフラは, 灰色を呈する結晶質中粒~極粗粒砂サイズの凝灰岩で, 不明瞭な平行葉理が認められる. 模式地における層厚は9 cm である. 肉眼で大量の比較的新鮮な黒雲母 (最大で長径1 mm 程度) を確認できる.

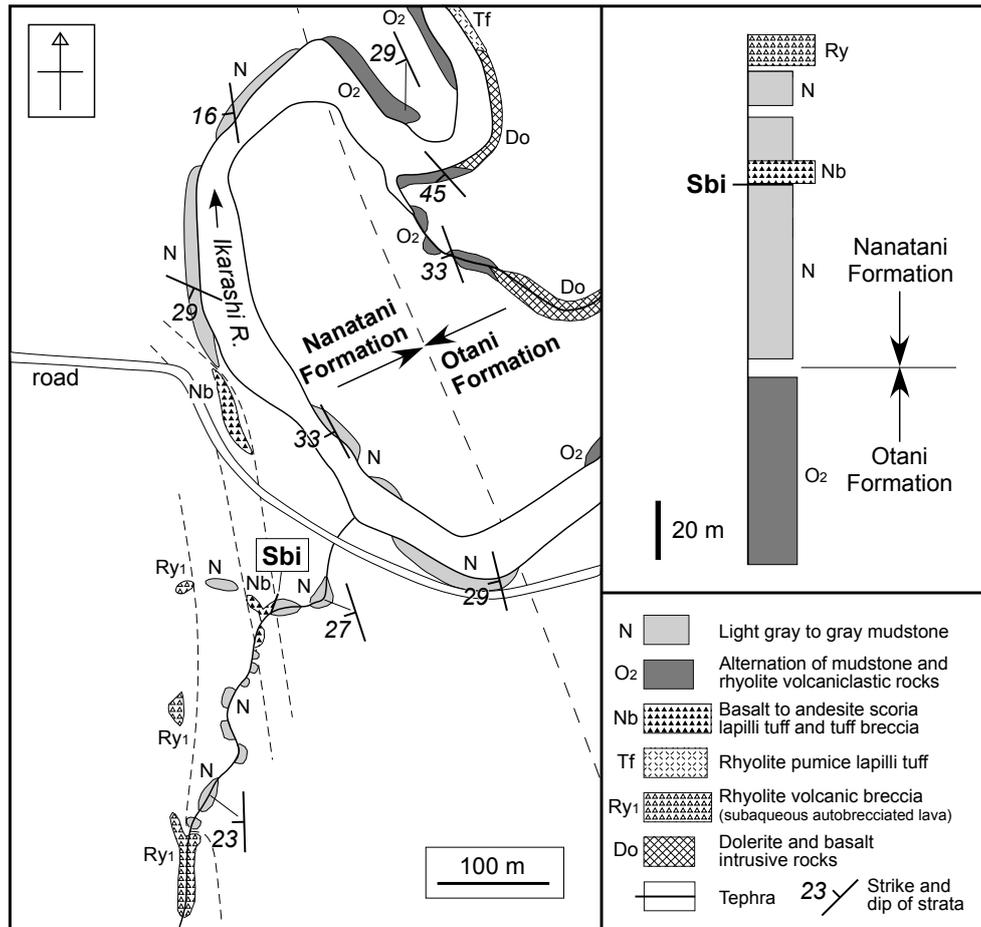
4. 試料及び分析手法

Sbi テフラの記載岩石学的特徴及び堆積年代を明らかにするため, 本テフラ試料を対象として, 鉱物組成分析, 軽鉱物の屈折率測定などのテフラ分析及び FT 年代・

FT 長測定を行った.

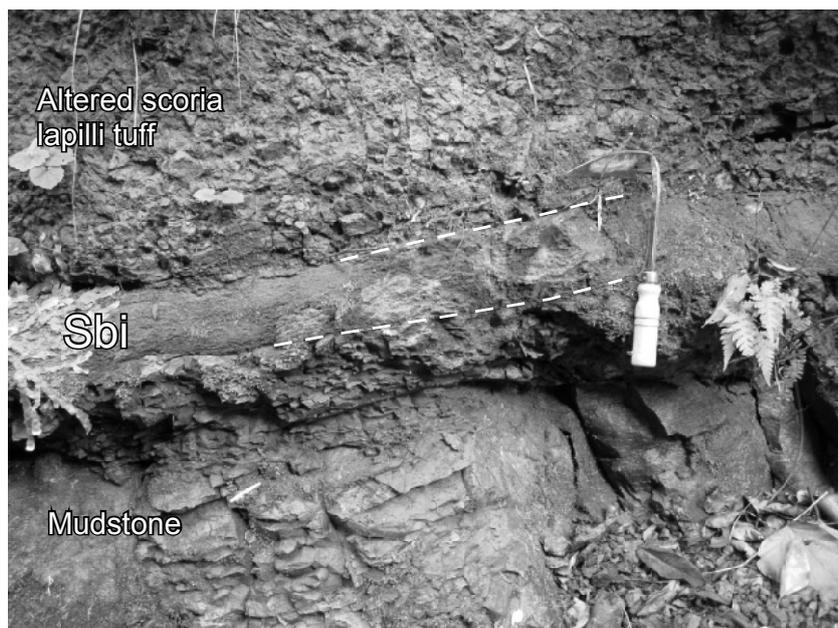
4.1 テフラ分析

Sbi テフラ試料 30 g をステンレス乳鉢で 1 mm 以下になるように粉碎した後, 超音波洗浄器を用いて極細粒物を懸濁させ, 上澄み液の濁りがなくなるまで水を替えながら取り除いた. 使い捨てメッシュ (60, 120, 250 メッシュ) を用いて水中で篩い分け, 各フラクションの試料を乾燥・回収した. 120-250 メッシュ (1/8-1/16 mm) の試料の一部を光硬化剤 (屈折率: $n_d=1.54$) でスライドガラス上に封入し, 偏光顕微鏡下でこの薄片を観察し, 全鉱物組合せモード分析 (火山ガラス, 軽鉱物, 重鉱物, 岩片, その他を対象) と重鉱物組合せモード分析 (かんらん石, 斜方輝石, 単斜輝石, 角閃石, 黒雲母, 燐灰石, ジルコン, 不透明鉱物を対象) を行った. 次に, 温度変化型屈折率測定装置 (RIMS: 檀原, 1991; Danhara *et al.*, 1992) を用い, 軽鉱物の屈折率測定を行った. 屈折率から軽鉱物は, 斜長石, 石英, カリ長石に分



第3図 三条市塩野淵付近のルートマップと柱状図。位置を第2図に示す。

Fig.3 Route map and columnar section at Shionofuchi, Sanjo City. Its locality is shown in Fig. 2.



第4図 Sbi テフラの産状を示す露頭写真。位置を第2図及び第3図に示す。ねじり鎌の長さは約25 cm。

Fig.4 Field occurrence of the Sbi tephra. Its locality is shown in Figs. 2 and 3. Length of the sickle is about 25 cm.

類し、斜長石は更に6つの組成(アルバイト, オリゴクレーヌ, アンデシン, ラブラドライト, バイトゥナイト, アノーサイト)に分類した。なお、火山ガラスは変質のため消失しており、屈折率測定は不可能であった。これらの分析方法のより詳しい説明は山下ほか(2007)に記載されている。

4.2 FT 年代及び FT 長測定

Sbi テフラ試料をステンレス乳鉢で粉碎し、水洗、篩分後、磁性分離と重液による比重分離を行い、60メッシュより細かいジルコン結晶を得た。年代測定には色調による区別を行わずランダムに約100粒子を選び、マウント材に埋め込んだ。測定方法は外部ディテクター法(Gleadow, 1981)を採用した。本研究では、結晶を研磨して露出させた結晶内部面を測定するED1法を選択し、コンファインドFT長を測定することで、再加熱の影響の有無を評価した。コンファインドFT(confined fission track)とは、FTの両端が結晶内部にあり、エッチングされたFTの全長が観察できるもので(Wagner, 1988)、ジルコンでは10–12 μm の長さ(平均値は10.5–11.0 μm ; Hasebe *et al.*, 1994)をもつ。FTは熱を受けると短縮する性質があることから、その短縮率から敏感に熱影響を検知できる。以下では、コンファインドFT長を単にFT長と略す。

具体的な年代測定手順はDanbara *et al.* (1991, 2003)に、FT長測定はIwano *et al.* (1996)に準拠した。ジルコン中の自発トラックのエッチングはKOH-NaOH共融液(225 $^{\circ}\text{C}$)で31時間行い、ジルコンマウントは2セット用意した。誘導FTの外部ディテクターにはDAP(diallyl phthalate)樹脂を用いた。熱中性子照射は日本

原子力研究開発機構のJRR-3号炉気送管(Auに対するCd比は24)で2回行った。その際、熱中性子線量測定用の標準ガラスはNIST-SRM612を用いた。年代較正はゼータ法(Hurford and Green, 1983)で行い、ゼータ値は 414 ± 3 である(Danbara and Iwano, 2009)。ウラン濃度は、原子炉での熱中性子照射によって一定の確率で誘導核分裂が生じる ^{235}U の濃度(誘導FT密度に比例)と、天然の $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比が一定であることを利用して求めた(岩野ほか, 2000)。FT長の測定システムはIwano *et al.* (1996)を利用した。

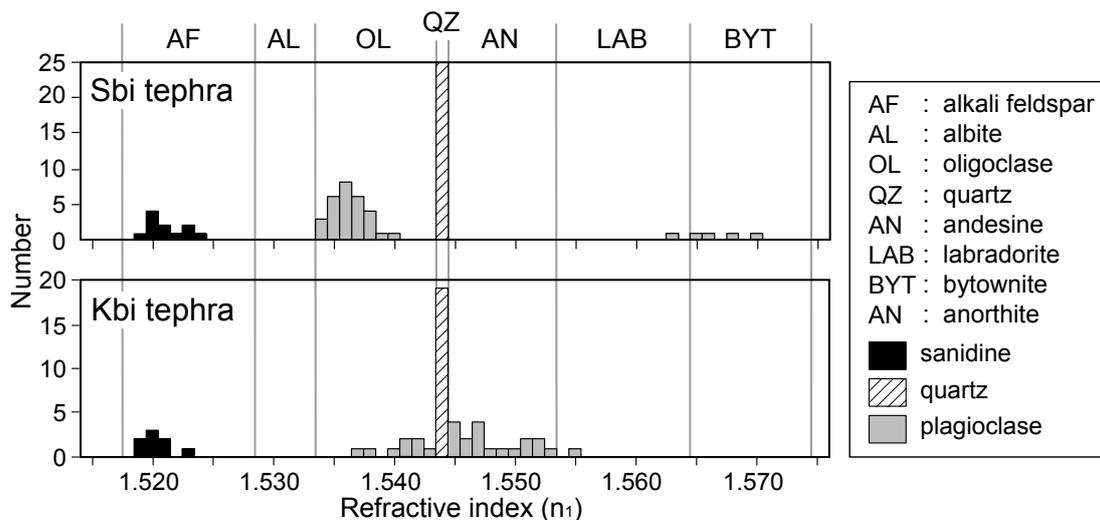
5. 分析結果

5.1 テフラ分析

Sbi テフラの主要構成鉱物は、斜長石、石英、サニディン、黒雲母、不透明鉱物からなり、微量のジルコンと褐れん石を含む。軽鉱物と重鉱物の量比は85:15である。斜長石の屈折率は、 $n_1=1.534-1.540$ のオリゴクレーヌ組成領域のものが主体であるが、 $n_1=1.563-1.570$ のラブラドライト～バイトゥナイト組成領域のものを伴い、バイモーダルな分布を示す(第5図)。火山ガラスは変質のため失われている。変質鉱物として方解石を多く含む。

5.2 FT 年代及び FT 長測定

Sbi テフラは赤色と淡桃色を呈する2種類の自形ジルコン結晶と外来結晶を含む。本質結晶と思われる前2者のウラン濃度は約1,000 ppmと非常に高い。Sbi テフラに含まれるジルコンのFT年代測定を2回行った結果、 13.3 ± 0.4 Maと 14.5 ± 0.5 Ma(誤差は1 σ , 以下同じ)が得られ、両測定とも χ^2 検定(Galbraith, 1981)に合



第5図 Sbi テフラ及び Kbi テフラに含まれる軽鉱物の屈折率ヒストグラム。Kbi テフラのデータは工藤ほか(2011)による。

Fig.5 Refractive index histograms of light minerals from the Sbi tephra and Kbi tephra. Data for the Kbi tephra are from Kudo *et al.* (2011).

第1表 Sbi テフラのジルコンフィッション・トラック年代測定結果.
Table 1 Zircon fission track ages for the Sbi tephra.

Sample name	n	Spontaneous $\rho_s (cm^{-2})$ (Ns)	Induced $\rho_i (cm^{-2})$ (Ni)	Dosimeter $\rho_d (cm^{-2})$ (Nd)	$P(\chi^2)$ (%)	r	U (ppm)	Age ($\pm 1\sigma$)
08100802 Sbi Tef.2	20	7.69×10^6 (2216)	1.53×10^7 (4398)	1.275×10^5 (4591)	58	0.91	1130	13.3 ± 0.4
08100802 Sbi Tef.3	20	7.31×10^6 (1631)	1.49×10^7 (3327)	1.430×10^5 (3432)	21	0.84	980	14.5 ± 0.5
Weighted average								13.8 ± 0.3

n, number of grains; ρ and N , density and total number of counted tracks, respectively; Analyses were made by using the external detector method that applied to internal surface of zircon (ED1: Danhara *et al.*, 1991); NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter; $P(\chi^2)$, probability of obtaining the χ^2 value for ν degrees of freedom (ν = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981); r , correlation coefficient between ρ_s and ρ_i ; U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000); Zircon grains were irradiated using the pneumatic tube of reactor unit JRR-3 at the Japan Atomic Energy Agency, Japan; Ages were calculated by using a zeta calibration factor of $\zeta_{ED1} = 414 \pm 3$ (1 σ) for HI with DAP detectors (Danhara and Iwano, 2009).

格した。Sbi テフラの年代の代表として、Taylor (1982) による加重平均値を求めると、 13.8 ± 0.3 Ma となった。35本のコンファインド FT 長は 9.8–11.9 μ m に集中し、平均値として 11.0 ± 0.5 μ m が得られた。

6. 考察

6.1 堆積年代

今回、Sbi テフラから 13.8 ± 0.3 Ma のジルコン FT 年代が得られた。コンファインド FT 長分布は 10–12 μ m に1つのピークをもち、有意な短縮化は認められないことから、本試料は二次的な再加熱を受けていないと判断される。したがって、得られた年代 13.8 ± 0.3 Ma は Sbi テフラの堆積年代を示すと解釈される。

七谷層は、これまでに多くの微化石層序学的研究 (三梨・宮下, 1970, 1974; 菅野・中世古, 1975; 米谷, 1978, 1988; 佐藤, 1982; 佐藤ほか, 1991; 柳沢, 1993; 平松ほか, 1997; 柳沢・工藤, 2011; 工藤ほか, 2011) が行われてきた。それらによると、七谷層からは、浮遊生有孔虫化石帯区分 (Blow, 1969) の N.8 から N.10 帯、石灰質ナノ化石帯区分 (Okada and Bukry, 1980) の CN3 から CN5a 帯、底生有孔虫化石帯区分 (米谷, 1987) の BF1 帯 (三梨・宮下, 1970, 1974; 米谷, 1988)、珪藻化石帯区分 (Akiba, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1998) の NPD4Bb ~ 5B 帯下部に相当する化石が報告されている。これらの微化石層序データによれば、七谷層の堆積年代は 15.2–12.3 Ma と推定され (工藤ほか, 印刷中)、今回得られた FT 年代との矛盾は認められない。

七谷層は主に泥岩から構成されるが、中部~上部には玄武岩~安山岩及び流紋岩火山砕屑岩を挟在する。Sbi テフラはこれらの火山砕屑岩の基底に挟在する。した

がって、今回得られた年代は、七谷層堆積期における火山活動の開始時期を示す年代として重要である。

6.2 Kbi テフラとの対比の検討

Sbi テフラは Kbi テフラと非常によく似た層相を示す。両者とも層厚が同程度であり、肉眼で容易に黒雲母を確認でき、主要構成鉱物の組み合わせも似る。挟在する層準も七谷層・大谷層境界から前者が約 63 m 上位、後者が約 80 m 上位と比較的近く、ジルコン FT 年代も前者が 13.8 ± 0.3 Ma、後者が 14.6 ± 0.3 Ma (工藤ほか, 2011) と近い。しかし、両者には以下の違いが認められる。

(1) Sbi テフラに含まれる斜長石は主にオリゴクレーヌとバイトゥナイトであるが、Kbi テフラに含まれる斜長石はオリゴクレーヌ~ラブラドライトであり、頻度分布に大きな差が認められる (第5図)。

(2) Sbi テフラに含まれるジルコンは赤色・淡桃色の組み合わせであるが、Kbi テフラに含まれるジルコンは赤色・無色ジルコンの組み合わせである。

(3) Sbi テフラには微量の褐れん石が含まれるが、Kbi テフラには含まれない。また、Kbi テフラには少量の燐灰石と微量のざくろ石が含まれるが、Sbi テフラには含まれない。

(4) ジルコンのウラン濃度が Sbi テフラでは約 1,000 ppm であるのに対し、Kbi テフラでは 400 ppm と低く、有意な違いがある。

以上の違いから、Sbi テフラは Kbi テフラには対比されず、両者は別のテフラであると判断される。また Sbi テフラは、黒川ほか (1998) が駒出川ルートで記載したいずれのテフラとも鉱物組み合わせが一致せず、対比されない。

以上のように、七谷層のテフラ層序については、現時

点では断片的にデータが報告されている段階にあり、今後の更なる検討が必要である。Sbi テフラと Kbi テフラは、両者とも黒雲母が目立つ特徴から露頭での検出は比較的容易であり、今後の発見地点の増加が期待される。しかし、両者は近接する層準に挟在されることは事実であるが、層序関係については今のところ不明である。また、両者は非常によく似た層相を示し、詳細な顕微鏡観察や分析を行わないと判別が難しいことから、今後、対比にあたっては注意が必要である。

謝辞：加茂地域の調査・研究を進めるにおいて、産業技術総合研究所の内野隆之氏、小松原 琢氏、高橋 浩氏、中江 訓氏には諸般にわたってお世話になった。査読者の中澤 努氏及び編集委員の川邊禎久氏には、本論を改善する上でお世話になった。ここに記して深く感謝申し上げます。

文 献

- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene though Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. et al., *Initial Report of Deep Sea Drilling Project*, no.87, 93-480.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneve, 1976)*, Leiden, no.1, 199-421.
- 茅原一也・津田禾粒・須田光治・島津光夫・吉村尚久・佐藤 彬・百武松児・宮沢勝雄・石橋輝樹 (1967) 新潟県五十嵐川上流地域黒鈹床調査報告書. 26 p.
- 檀原 徹 (1991) RIMS による屈折率測定とその応用. *地球*, **13**, 193-200.
- Danhara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 141-145.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003) Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **109**, 665-668.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M. (1992) An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method. *Quaternary International*, **13/14**, 89-91.
- Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Gleadow, A. J. W. (1981) Fission-track dating methods: what are the real alternatives? *Nuclear Tracks*, **5**, 3-14.
- Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S. (1994) Towards zircon fission-track thermochronology: Reference framework for confined track length measurements. *Chemical Geology*, **112**, 169-178.
- Hurford, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 橋本克巳 (1941) 新潟県加茂・七谷地方の地質. *石油技誌*, **9**, 27-35.
- 平松 力・三輪美智子・井上洋子・深沢和恵 (1997) 東北地方の日本海沿岸地域における中新統の石灰質ナンノ化石層序. 瑞浪市化石博物館研究報告, no. 24, 27-38.
- Iwano, H., Yamashita, T. and Danhara, T. (1996) Three-dimensional analysis of fission track length in minerals — A measuring system and its application —. *Fission Track News Letter*, no. 9, 13-22.
- 岩野英樹・吉岡 哲・檀原 徹 (2000) フィッション・トラック法による年代及びウラン濃度算出式の再検討：次世代年代測定システムに向けて. *フィッション・トラックニュースレター*, no. 13, 1-10.
- 片平忠実 (1974) 新潟県中部・北部地域の含油新第三系の層序—新潟県中越・下越地方の石油地質学的研究 (その I) —. *石油技誌*, **39**, 167-178.
- 工藤 崇・内野隆之・小松原 琢・高橋 浩・柳沢幸夫 (印刷中) 加茂地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター.
- 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・三輪美智子・平松 力・柳沢幸夫 (2011) 新潟堆積盆七谷層中に見つかった中期中新世広域テフラ：Kbi テフラと紀伊半島室生火砕流堆積物の対比. *地質雑*, **117**, 277-288.
- 黒川勝己・星野勝紀・石田隆一 (1998) 新潟県下田村五百川周辺の七谷層相当層 (中新世中期) 中の凝灰岩層. 新潟大学教育学部紀要, **39**, 47-75.
- 米谷盛寿郎 (1978) 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 日本の新生地地質 (池辺展生教授記念論文集), 35-60.
- 米谷盛寿郎 (1987) 裏日本油田地域における底生有孔虫化石帯区分の現状と問題点. *石油技誌*, **52**, 351.
- 米谷盛寿郎 (1988) 有孔虫化石群の変遷に見られる新第三紀イベント. 土 隆一ほか編, 新第三紀にお

- る生物の進化・変遷とそれに関するイベント, 大阪市立自然史博物館, 31-48.
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1970) 日本油田・ガス田図 no. 9, 「七谷」, 地質調査所.
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1974) 七谷・大谷川流域の層序及び構造. 地質調査所報告, no. 250-1, 25-50.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude cocolith biostratigraphic zonation. *Marine Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 大村一蔵 (1928) 石油地質学概要 (十七). 地球, **9**, 215-223.
- 佐藤時幸 (1982) 石灰質微化石群集に基づく七谷層と西黒沢層の生層序的考察. 石油技誌, **48**, 88-92.
- 佐藤時幸・馬場 敬・大口健志・高山俊昭 (1991) 日本海側における海成下部中新統の発見と東北日本の台島期—西黒沢期における環境変動. 石油技誌, **56**, 263-279.
- 島津光夫・高野 肇 (1986) 五十嵐川上流, 七谷層中の酸性火山岩類—グリーンタフ貯留岩のガス田の坑井地質との比較—. 田口一雄教授退官記念論文集, 127-135.
- 菅野耕三・中世古幸次郎 (1975) 新潟堆積盆地中部の化石放散虫群集について. 大阪教育大学紀要, **24**, 159-166.
- Taylor, J. R. (1982) *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measure-*ments. Univ. Sci. Books, Mill Valley, CA, 270 p.
- 津田禾粒・白井健裕・長谷川美行・新川 公 (1984) 表層地質図「加茂」, 土地分類基本調査「加茂」説明書, 新潟県, 27-43.
- Wagner, G. A. (1998) Apatite fission-track geochronometer to 60°C: Projected length studies. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, **72**, 145-153.
- 山下 透・檀原 徹・岩野英樹・星 博幸・川上 裕・角井朝昭・新正裕尚・和田穰隆 (2007) 紀伊半島北部の室生火砕流堆積物と周辺に分布する凝灰岩の対比及びそれらの給源: 軽鉱物屈折率を用いたモード分析によるアプローチ. 地質雑, **113**, 340-352.
- 柳沢幸夫 (1993) 新潟堆積盆地の七谷層及び寺泊層相当層の炭酸塩団塊から産出した中期中新世珪藻化石群. 日本珪藻学会誌, **8**, 51-62.
- 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. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・工藤 崇 (2011) 5万分の1地質図幅「加茂」地域 (新潟県) の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料. 地質調査総合センター資料集, no. 537, 59 p.

(受付: 2011年4月11日; 受理: 2011年6月16日)