

北海道中央部, 十勝岳火山の最近 3,300 年間の噴火史

藤原伸也*・中川光弘*・長谷川撰夫*・小松大祐*

(2007年4月18日受付, 2007年8月10日受理)

Eruptive History of Tokachi-dake Volcano during the Last 3,300 Years,
Central Hokkaido, Japan

Shinya FUJIWARA*, Mitsuhiro NAKAGAWA*, Setsuo HASEGAWA* and Daisuke KOMATSU*

Tokachi-dake volcano is one of the most active volcanoes in Japan, and magmatic eruptions occurred three times during the 20th century. We reinvestigated the recent eruptive history and eruption style of this volcano on the basis of geological and petrological studies. Distinct whole-rock chemistry of proximal deposits from each source crater area allows us to correlate distal tephra with proximal deposits.

The volcanic activity during the last 3,300 years can be divided into four stages, which has occurred from distinct craters areas. Stage I: Most explosive and voluminous eruptions had occurred after >10,000 years' repose period to form the Ground crater. The eruption was initiated by scoria and pumice fallout followed by pyroclastic flows (3,300 calyBP). This stage was terminated by effusion of lava flow. Stage II: Explosive eruptions had repeated three times to form a maar and multiple scoria cones at the northwestern flank of the edifice. The activities were followed by effusion of basaltic lava flows. These activities would occur around ca. 1,000 yBP. Stage III: After several hundreds years' dormancy, magmatic activity started again with explosive eruption to form the Central cone, which was followed by effusion of lava flows from the cone. This possibly continued from 800 to 300 years ago. Stage IV: Since AD1926, magmatic eruptions have repeated near the Central cone. In AD 1962, explosive and voluminous eruption occurred to form new craters at the southern flank of the cone. Considering the similar temporal change of eruption style in each stage, from explosive to lava effusion, it could be considered that 1962 eruption was the initial explosive eruption of the new stage.

Total amount of effused magma during 3,300 years is about 0.1 km³ DRE (dense rock equivalent), and that of each eruption is less than 0.02 km³ DRE. Thus, magma discharge rate of the volcano is quite small compared with other active volcanoes in Japan. However, mud flows had repeatedly occurred during the last 3,300 years, suggesting that serious hazard by mud flows should be considered in the volcano as in the case of 1926 eruption.

Key words: Tokachi-dake volcano, eruptive history, eruptive style, tephra

1. はじめに

北海道中央部, 北東-南西方向に連なる十勝岳火山群の中央部に位置する十勝岳火山は, 20世紀に3度のマグマ噴火を数え, さらに最近では2004年2月および同年4月にごく小規模な水蒸気噴火を起こすなど, 国内でも最も活動的な火山のひとつである。これまで十勝岳火山に対しては山体形成の概要が高橋(1960), 勝井・他(1963a)によって構築され, その後石川・他(1971)によって放射性炭素年代のデータが加えられ, 本火山が2,000-3,000年前に爆発的噴火を発生させて以来, 噴出源を移

動させながら現在まで活動を継続していることが明らかにされている。これらに加え, 20世紀における3度のマグマ噴火(1926, 1962, 1988-89年)に対する研究も数多く行われてきた(例えば, 勝井・他, 1963b; Katsui *et al.*, 1990; 多田・津屋, 1927)。しかしながら, 20世紀以前の本火山の噴火史, またそれぞれの噴火の様式や噴出量, およびマグマの多様性の詳細はいまだ明らかにされていない。近年, 伊藤・他(1997), 尾関・伊藤(1999), 伊藤・尾関(1999)では東部に分布するテフラを記載し, 北西側の噴出物を含め, 3,000年前以降の噴火層序につ

* 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目
北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate
School of Science, Hokkaido University, N10 W8 Kita-

ku, Sapporo 060-0810, Japan.

Corresponding author: Shinya Fujiwara
e-mail: shinya@mail.sci.hokudai.ac.jp

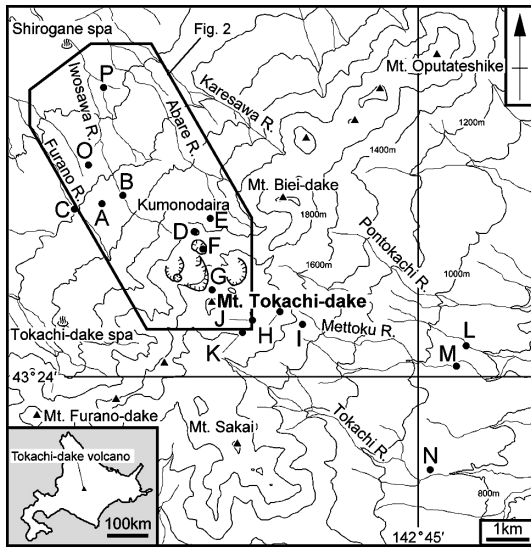


Fig. 1. Topographic map of Tokachi-dake volcano. Symbols A to N indicate the locations of stratigraphic columns in Fig. 6. Symbols A, B, O, and P also show the locations where charcoals for radiometric ages have been gained (Table 2). The area surrounded by solid line indicates that of Fig. 2. Contour lines are 200 m intervals.

いて議論しているが、テフラとその給源火口との対比は十分ではなかった。本火山のように噴出物の岩相や岩質が類似している場合、火山噴火史を議論するには火山地質学的手法だけではなく岩石学的手法も重視することが不可欠であろう。我々は、特に最近の約3,300年間の十勝岳火山の活動に注目し、火口周辺のテフラ・溶岩流の調査および山体東部のテフラ層序を再検討した。それに加えて、噴出物の岩石学的特徴を検討することで、テフラの対比だけでなくそれぞれのテフラと山体構成物（特に火口近傍堆積物）について噴出源の特定を行った。その結果、十勝岳火山における最近3,300年間の火山層序を確立し、噴火史を構築することができたので、ここに報告する。

2. 地形・地質概説

十勝火山群は北東-南西方向へ約15 kmにわたって、標高1,300-2,000 m級の成層火山体および少数の溶岩ドームが連なって形成される火山群である（池田, 1982; 池田・向山, 1983; 勝井・他, 1963a; 高橋, 1960）。その中央部に位置する十勝岳火山は比較的新鮮な火山体を保持しており、主として溶岩流および火砕岩から構成される。その山頂を形成する溶岩ドームの北~北西部には複

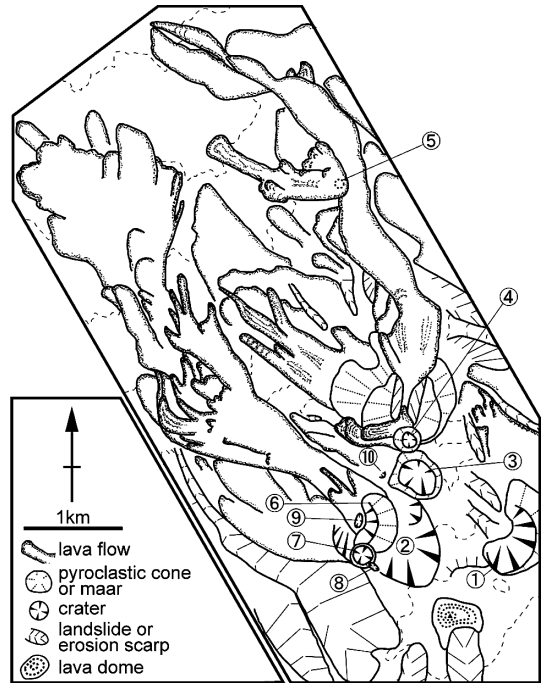


Fig. 2. Geomorphological map of north-west slope of Tokachi-dake volcano. ① Nokogiri-dake crater, ② Ground crater, ③ Suribachi crater, ④ Kitamuki crater, ⑤ Yakeyama crater, ⑥ Central crater, ⑦ 62-II crater, ⑧ 62-III crater, ⑨ Taisho crater, ⑩ Showa crater

数の火口および火砕丘が認められ、おもな火口としてはのこぎり 岳火口、グラウンド 火口、すりばち 火口、きたむき 火口、中央火口、62-II火口などが挙げられる（Fig. 2）。北西山麓では、各所で溶岩堤防や末端崖が作る10-20 m程度の地形の高まりが確認でき、特に最近3,300年間に流出した溶岩流は表層の植生が未発達である（Fig. 2）。一方、溶岩ドームからなる山頂から東側には火口は認められず、比較的緩やかな傾斜が卓越し、河川の侵食により深い谷地形が形成されている。

十勝岳火山群の主な基盤は、日高累層群、新第三系的美瑛層、および大規模珪長質火砕流堆積物である（勝井・他, 1963a）。このうち大規模珪長質火砕流堆積物は、鮮新世から前期更新世にかけての複数回の大規模噴火の産物であり、代表的なものとしては美瑛火砕流堆積物、十勝火砕流堆積物が挙げられる（池田, 1982; 池田・向山, 1983）。これらの基盤上に、おおよそ100万年前頃から安山岩マグマ主体の活動によって火山体の骨格部分形成され始め（NEDO, 1990）、これが十勝岳火山群と称される（勝井・他, 1963a）。勝井・他（1963a）は高橋

(1960) に述べられた概略的な十勝岳火山群の地質を細分化し、侵食期を挟んで火山群全体の活動を古期、中期、新期に区分している。十勝岳火山のほとんどは中期から新期に区分されており(勝井・他, 1963a), 中期最終期の活動とされる十勝岳山頂のドーム溶岩からは 0.11–0.16 Ma の K-Ar 年代値が報告されている(NEDO, 1990)。新期の活動開始時期は明らかではないが、主として十勝岳火山北～北西斜面に形成された複数の火口から噴火が発生している。十勝岳火山は後述のように、1 万年以上の比較的静穏な時期を経て 3,300 年前から活動期に入り、本報で扱う最近 3,300 年間の活動は新期の活動のうち、^{のこぎり} 鋸岳火口と美瑛富士火山の活動を除いた期間に相当する。歴史時代に入ってから 19 世紀に 2 回(1857, 1887 年)の噴火記録が残っているが、詳細はわかっていない(石川・他, 1971)。そして、20 世紀にはマグマ噴火を 3 回(1926, 1962, 1988–89 年)起こしており、このうち 1962 年噴火では新たな火口群が形成され、現在も噴気活動が継続している。

3. 分析手法

本研究では以下の手法で岩石学的分析を行った。全岩化学組成分析の際には、肉眼で均質かつ新鮮なサンプルを選び、粉碎した。粒径 3 cm を超えるテフラは粒子 1 個につき 1 個の粉末試料を作成した。粒径が 3 cm 以下のサンプルについては複数個を合わせて粉碎し、1 試料とした。各パウダーからは融剤(Li₂B₄O₇)で 1:2 に希釈したガラスビードを作成し、北海道大学理学部の XRF (スペクトリス社製 MagiX Pro) で測定した。また、各ユニットの代表的な試料について薄片を作成し、モード組成分析を行った。モード組成はモードカウンターを用いて 1 枚の薄片につき 2,000 ポイント以上カウントした。広域テフラの対比には北海道大学理学部の SEM-EDS システム(JEOL-JSM-T330+LINK ISIS)でガラス組成を測定した。

4. 地質各説

本稿では約 3,300 年前に起こったグラウンド火口形成期から 1988–89 年噴火にかけての活動を Stage I～IV の 4 つのステージに区分した。ステージ区分の際には、(1) 給源火口が異なること、(2) 本質物質の岩石学的特徴が異なること、(3) 数百年以上の時代間隙を挟むこと、を考慮した。本調査で明らかとなった噴火層序を示すブロックダイアグラムを Fig. 3 に、地質図を Fig. 4 に、代表的な露頭の各柱状図を Fig. 5 に示した。また、遠方相の降下火砕堆積物の層厚分布図を Fig. 6 に示す。なお、本稿で言及する露頭位置(地点 A–N)を Fig. 1 に記し

た。なお各噴出物については、降下火砕物・火山灰(遠方相)については下位から Tk-1～Tk-8(新称)までを区分し、火口近傍にのみ見られる火砕物および溶岩流については別に命名した。

4-1 Stage I 以前の活動

十勝岳東方山麓では Stage I のテフラ層の下位に厚さ 1.5 m 以上のローム層が発達し、明瞭なマグマ噴火の産物は認められない。しかし、地点 I では Stage I のテフラの下位に、15 cm の厚さの土壌を挟んで、層厚が約 5 cm で黄白色の粘土質細粒物と粒径 3 mm 以下の岩片および遊離単斜輝石結晶からなるテフラが存在する。これらはマグマ起源と考えられる新鮮な火山ガラスを含まず、円磨された変質岩片が多くを占め、水蒸気噴火に由来する堆積物であると考えられる。十勝岳山頂方向へ層厚を増すため、十勝岳火山起源と考え、Tk-1 テフラと命名した(伊藤・他(1997)の To-E7 に相当)。本テフラについては給源火口を特定できず、現時点で厳密なステージ区分は困難と判断した。

4-2 Stage I

Stage I はグラウンド火口を形成した活動期である。グラウンド火口は十勝岳山頂の北西部に位置し、長径約 600 m の火口と、その北部の長径約 200 m の 2 つの火口が接合しており、いずれも北西側に開口した形状を持つ(Fig. 2)。Stage I ではまず、降下火砕物(Tk-2)を噴出する噴火が起こり、その後北西斜面に火砕流(Gfl-1, -2)を流出させた。また、この火砕流の流出に前後して、泥流(Sm, Fm-1, -2)が複数回発生している。これらの爆発的噴火によってグラウンド火口が形成され、その後火口の北方山腹から溶岩流(GI)を流出した。

4-2-1 グラウンド火口下部火砕堆積物(Tk-2: 新称)

Tk-2 は十勝岳山頂から東南東方向へ分布する降下火砕堆積物である(Fig. 6)。地点 I では、下位から Tk-2-1, Tk-2-2, Tk-2-3 の 3 つのフォールユニットに分けられる。これらは黒色スコリア、白色～黄白色軽石、縞状軽石および類質岩片から構成される。Tk-2-1 は地点 I で層厚 32 cm で、本質物の粒径は 2–5 cm のものが多く、最大で 20 cm である。全体的に本質物の表面は黄褐色の火山灰にコーティングされる。Tk-2-2 は地点 I で層厚 23 cm で、本質物の粒径は 2–3 cm のものが多く、最大で 10 cm である。最下部 5 cm では細粒(平均 5 mm)で、かつ類質岩片の量比が大きい。Tk-2-3 は茶褐色を呈し、地点 I で層厚 22 cm、本質物の粒径は 2–3 cm のものが多く、最大で 5 cm である。地点 G では、Tk-2-3 の下部は類質岩片を多く含む角礫層で構成される。Tk-2 の岩石は、スコリアが斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩、軽石がカンラン石石英含有斜方輝石単斜輝石安山岩である。

Distal area (Northwest) ——— Proximal area ——— Distal area (East)

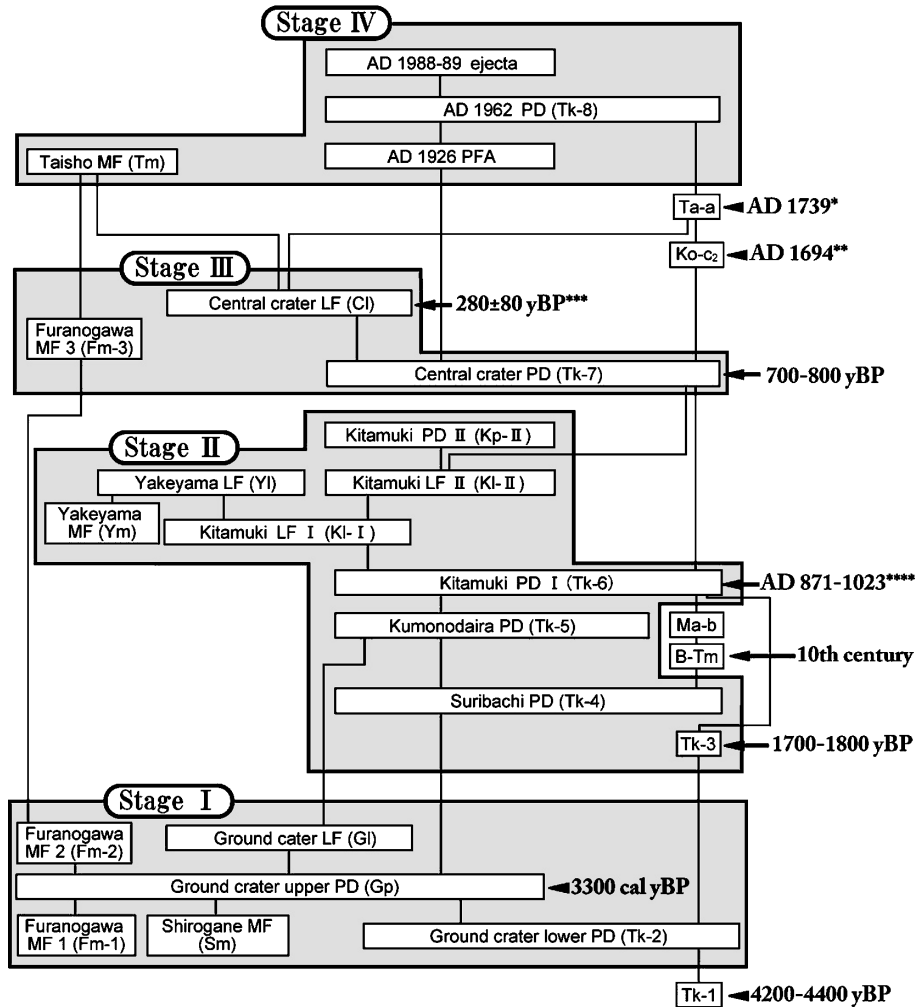


Fig. 3. Block diagram showing volcanic history of Tokachi-dake volcano during the last 4,400 years. Ages: *, Katsui and Ishikawa (1981); **, Katsui *et al.* (1989); ***, Ishikawa *et al.* (1971); ****, Ito *et al.* (1997). PFA: pyroclastic fall deposit, PD: pyroclastic deposits, LF: lava flow, MF: mud flow deposit.

4-2-2 白金泥流堆積物 (Sm: 新称)

地点 A を含む枯れ沢と、アバレ川上流の地点 B において見られる複数枚の泥流堆積物の総称である。Sm は地点 A では、0.5-1 cm 程度の土壌を介して 2 つの泥流に分けられ、厚さ約 1 cm 程度の土壌を介してグラウンド火口上部火砕堆積物 (後述) に覆われる。下位の泥流は層厚 80 cm 以上、粘土質、灰白色の基質を有し、最大粒径 1 m の礫を含むが、最上位の約 3 cm の部分では、白色の砂~粘土質細粒物が主体となり、礫サイズの岩片は稀である。上位の泥流は地点 A で層厚約 3 cm、黒灰色の砂~粘土質細粒物が主体で、礫サイズの岩片は少ない。

4-2-3 富良野川泥流堆積物 1 (Fm-1: 新称)

富良野川上流の地点 C において、グラウンド火口上部火砕堆積物 (後述) に直接覆われる泥流堆積物であり、層厚は 2 m 以上である。砂質の褐色基質で、最大粒径 60 cm の礫を含む。

4-2-4 グラウンド火口上部火砕堆積物 (Gp: 勝井・他 (1963a) のグラウンド火口碎屑噴出物に相当)

Gp は十勝岳北西麓に分布する火砕流堆積物とグラウンド火口周辺に分布するアグルチネートからなる。富良野川上流の地点 C および地点 G を模式地とし (Fig. 7 a), Tk-2 を覆う。火砕流堆積物はおもに沢沿いに露出

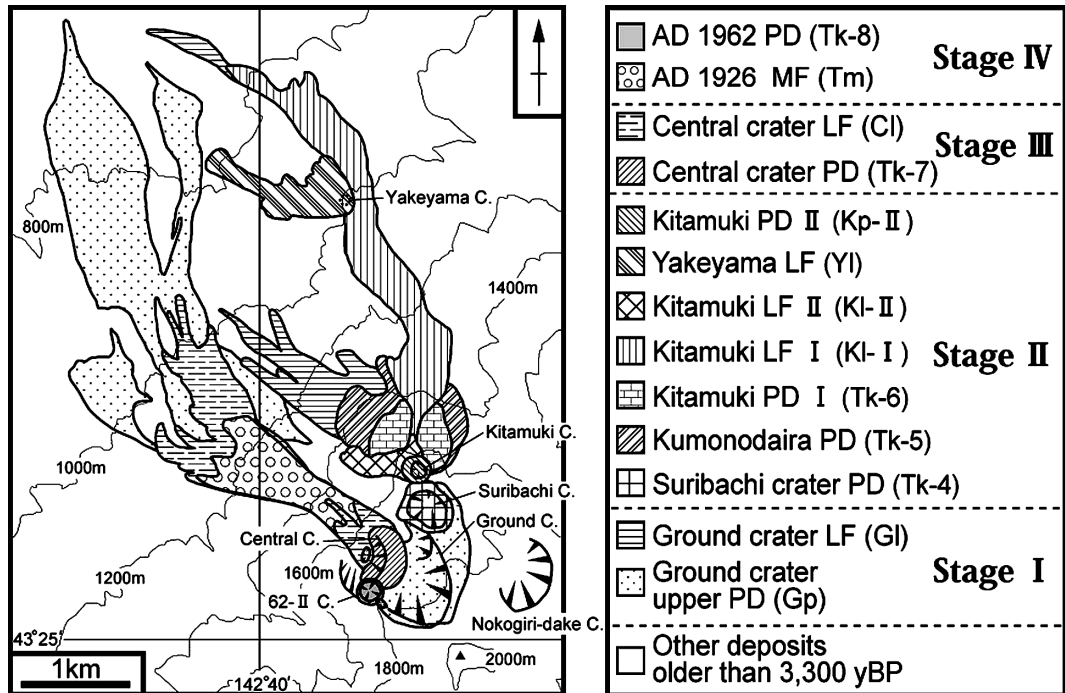


Fig. 4. Geological map of Tokachi-dake volcano, showing deposits ejected during the last 3,300 years. Contour lines are 200 m intervals.

し、基質の色調の違いから下部ユニット (Gfl-1: グラウンド火口火砕流 1) と上部ユニット (Gfl-2: グラウンド火口火砕流 2) に大別される。両ユニット間には時代間隙を示す堆積物や構造は存在しない。Gfl-1 は茶褐色～黄褐色の基質を有し、地点 C での層厚は約 4 m である。本質岩片は黒色スコリア、白色～黄白色軽石および縞状軽石からなる。特徴的に類質岩片を多量に含み、その重量比は最大で 80 wt.% を超える。全体的に弱い成層構造が見られる場合もあり、本層の下部には不連続に本質岩片の巨礫が濃集するフローユニットが確認できる場合がある。最下部には層厚が一定しない褐色砂質の火砕サージ堆積物が存在する。火砕流本体下部および最下部の火砕サージ中に炭化木片を産する。Gfl-2 は黒色の基質を有し、地点 C での層厚は全体で約 3 m である。本質岩片のほとんどは黒色のスコリアからなり、軽石や縞状軽石は稀である。類質岩片は Gfl-1 に比べて極端に少ない (< 40 wt.%)。地点 C では粒度の違いから少なくとも 4 つのフローユニットが確認でき、他の地点においても Gfl-2 は各層厚が 50 cm-2 m 程度の複数のユニットから構成されている場合が多い。地点 G では、下位の Gfl-1 から漸移して、粒径が最大 60 cm の黒色のスコリアで構成される、層厚 1.4 m の淘汰の悪いアグルチネートに移化する。

このアグルチネートはグラウンド火口壁をマントルベディングしており、火砕流の流出とともに火口近傍に堆積した火砕岩であると考えられる。Gp の岩石は、スコリアがカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩、軽石がカンラン石含有斜方輝石単斜輝石安山岩である。

4-2-5 富良野川泥流堆積物 2 (Fm-2: 新称)

富良野川上流の地点 C およびアバレ川上流の地点 B において Gp を覆う泥流堆積物である。模式地の地点 C では層厚 150 cm で、下流の標高 900 m 付近まで追跡できる。砂質の褐色基質を有し、最大粒径 40 cm の礫を含む。

4-2-6 グラウンド火口溶岩流 (GI: 勝井・他 (1963a) のスリバチ火口丘溶岩を再定義)

GI はグラウンド火口北西の標高 1,000-1,400 m 地帯に流出したほか、一部は北方に流下し、標高 680 m 付近まで末端が到達している、アア溶岩流である。Gp を地形的に覆う。層厚は 5-10 m、末端で 15 m 以上で、地形の新鮮な舌状ローブが確認できる。表面は黒色～黒灰色を呈するクリンカーで覆われ、植生は未発達である。岩石はカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩で、稀に発泡した軽石様の白色包有物を含む。この溶岩流は従来、摺鉢火口の活動に伴うと考えられていたが、岩石学的類似性から、本研究でグラウンド火口活動の末期の噴出物

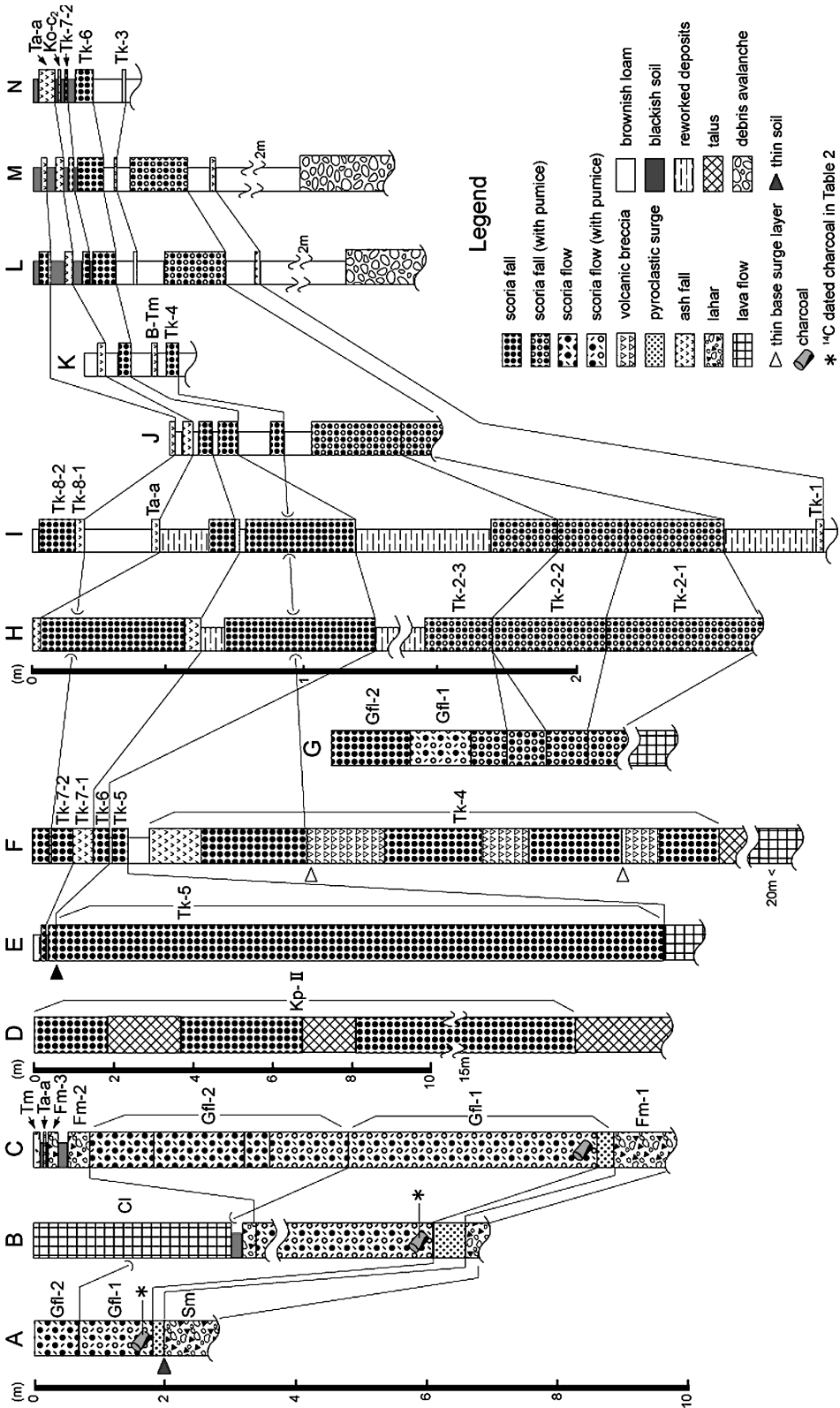


Fig. 5. Correlative stratigraphic columns for representative sections. Locations of each section are shown in Fig. 1. Note that the scales are different between groups of A to C, D to G, and H to N, and that F shows schematic column along Suribachi crater wall.

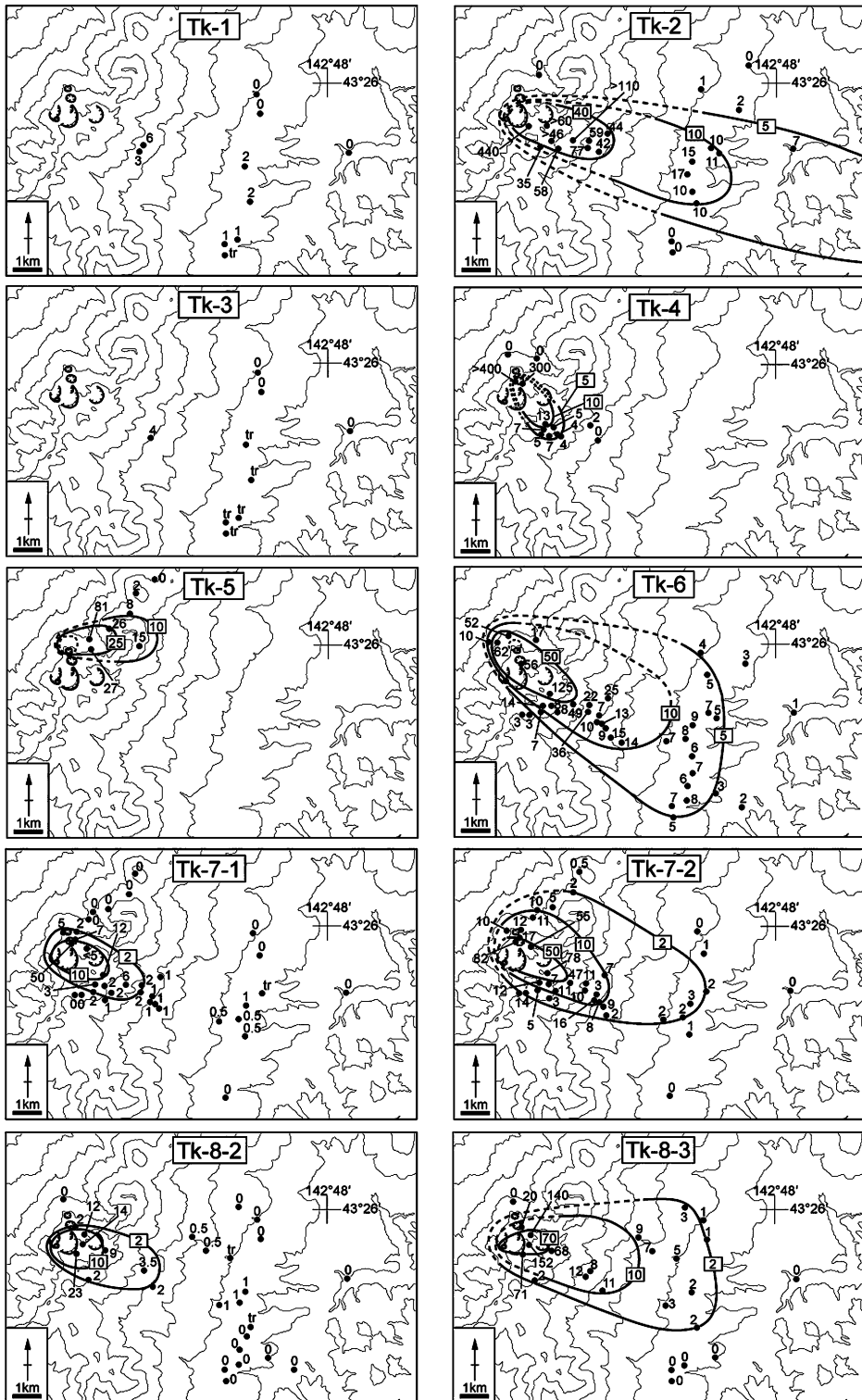


Fig. 6. Location and distribution maps for tephra beds distributed to distal area. Numerals show the thickness of tephra in centimeters. Contour lines are 200 m intervals.

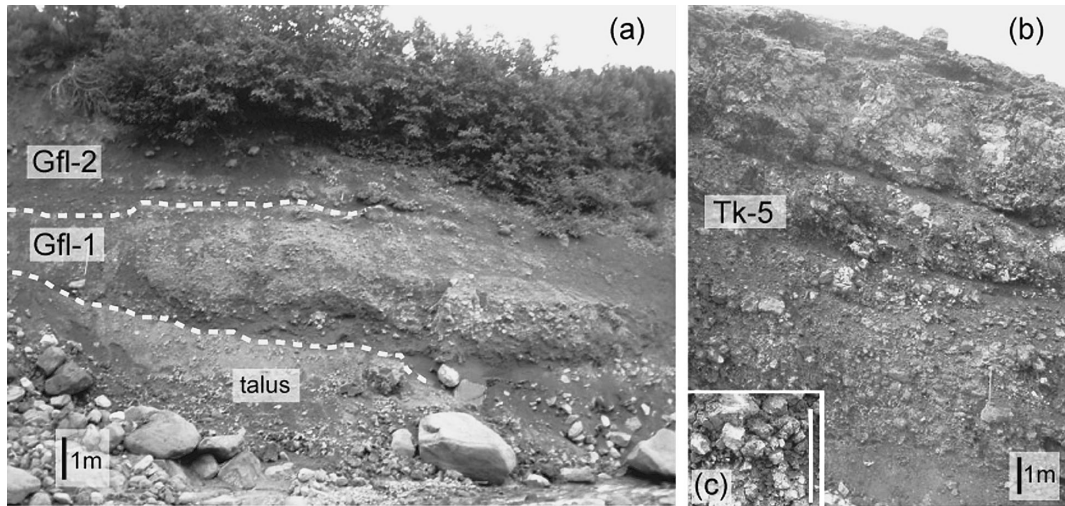


Fig. 7. Outcrop photographs. (a) Ground crater pyroclastic flow deposits (Gfl-1, Gfl-2) at location C. Gfl-2 is directly covered by Gfl-1. (b) Kumonodaira pyroclastic deposits (Tk-5) at location E. Tk-5 consist of many layers of pyroclastic fall and their rolling deposits. (c) A close-up photograph of (b) showing clast-supported structure. The scale shows 40 cm.

とした (後述).

4-3 Stage II

Stage II はグラウンド火口の北部から、北西-南東方向に配列した、摺鉢、北向および焼山火口を開いた活動である。このうち摺鉢火口ではマグマ水蒸気噴火を伴っており、マールを形成している (摺鉢マール)。北向火口では、地形的に3つの火砕丘が形成されていることがわかり、さらにそこから溶岩 (KI-I, -II) も流出している (Fig. 8)。これらの火砕丘を形成順に、雲ノ平火砕丘、北向第一火砕丘、北向第二火砕丘と呼ぶ。また、北向第一火砕丘形成後に流出した溶岩流を流出順に、北向第一溶岩流 (KI-I) および北向第二溶岩流 (KI-II) と呼ぶ。焼山火口では明瞭な火砕丘は認められないが、そこから溶岩 (YI) が流出した。

4-3-1 Tk-3 (伊藤・他 (1997) の To-E4 に相当)

Tk-3 は東麓にのみ見られ、地点 L では Stage I の Tk-2 の上位, Stage II の Tk-6 (後述) の下位に、それぞれ厚さ 16 cm, 10 cm の土壌を挟んで堆積する火山灰である。上下のテフラとの土壌厚から類推した時間間隙から、本報では Stage II の最初期の噴火と考えた。層厚は最大 4 cm で、白色の粘土質細粒物と粒径 1-2 mm 程度の変質岩片および少量の遊離結晶からなる。マグマ片は認められず水蒸気噴火の産物と考えられる。

4-3-2 摺鉢火口火砕堆積物 (Tk-4: 勝井・他 (1963a) のスリバチ火口火砕屑噴出物に相当)

本堆積物は、グラウンド火口の北部に位置する、摺鉢

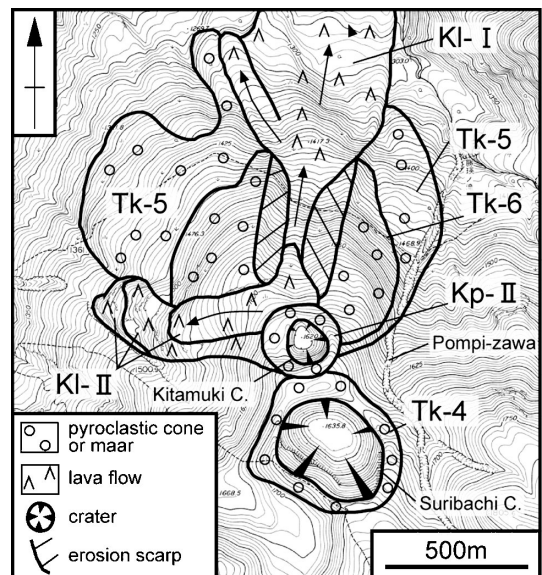


Fig. 8. Geological map showing pyroclastic cones and lava flows of Stage II drawn on the base map (1:10,000) published by the Geographical Survey Institute. Arrows show directions of lava flow. Abbreviations are same as those in Fig. 3.

マールの形成時に噴出したテフラの総称で、Gp を覆う。摺鉢火口は直径約 300 m のほぼ円形で、火口壁の上部 5-20 m には本火口噴出物の Tk-4 が露出するが、底部から

上位約 40 m にかけては十勝岳火山群の中期噴出物に属する平ヶ岳溶岩（勝井・他，1963a）が露出している。火口南壁では（地点 F），少なくとも 4 枚のアグルチネートと，それらに挟在する類質岩片からなる火山角礫層とベースサージ堆積物，および最上部の火山灰層から構成される（Fig. 5）。アグルチネートは弱～強溶結しており，層厚は 1.5–4 m である。本質物であるスコリアの粒径は 20–30 cm のものが多く，最大で 80 cm である。これらの各アグルチネート層に挟在する角礫層には本質物は認められず，砂質の火山灰および最大 50 cm の角礫岩から構成される。アグルチネートと角礫層の間には層厚 10 cm 程度で，褐色砂質のベースサージ堆積物が確認できる。最上部の火山灰層は層厚約 1 m で灰白色粘土質の火山灰から構成される。これらの各層の間には顕著な時間間隙を示す証拠は認められない。また，4 層あるアグルチネートのうち，最上部の層は降下スコリアとして火口から南東方向へ飛散している（Fig. 6）。以上，火口に基盤が露出すること，および噴出物の堆積状況から，摺鉢火口はマグマ噴火とマグマ水蒸気噴火（または水蒸気噴火）が繰り返して形成されたマールと判断した。本質物質の岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-3 雲ノ平火砕堆積物（Tk-5: 新称）

本堆積物は雲ノ平火砕丘を構成する，降下スコリアおよびその転動堆積物と，東方に軸を持って分布している遠方相の降下テフラの総称である（Fig. 6）。Tk-4 を覆う。雲ノ平火砕丘の形状から判断して，Tk-4 は現在の北向第二火砕丘のやや北寄りの地点を噴出源としていると考えられる。雲ノ平火砕丘はやや偏平し，緩やかな傾斜を有しているが，これは堆積後に再流動したためと考えられる（Fig. 8）。地点 E では累層厚は約 15 m で，単層厚が 20 cm–3 m の複数のフォールユニットが識別できる（Fig. 7b）。単層内では黒色または赤色を呈するスコリアが多くを占め，その他に最大直径 3 m におよぶ火山弾が認められ，火口近傍のため淘汰は悪いが clast-supported の構造を有している（Fig. 7c）。また，雲ノ平火砕丘の東側に見られる露頭では，Tk-5 の最上部に最大層厚 1 m の類質岩片からなる火山角礫層が見られ，その下部には層厚 10 cm 程度の褐色のベースサージ堆積物が存在する。伊藤・尾関（1999）では地点 E 付近の Tk-5 を摺鉢火口由来の火砕流堆積物としているが，上記の観察からはベースサージ堆積物以外はすべて降下火砕堆積物と判断でき，後述の本質物の岩石学的特徴から摺鉢火口由来ではないと判断できる。本質物質の岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-4 北向第一火砕堆積物（Tk-6: 伊藤・他（1997）の To-E3 に相当）

本堆積物は半径約 700 m のほぼ円形の北向第一火砕丘を構成するテフラとその転動堆積物，および南東方向に飛散した降下テフラ（Fig. 6）の総称で，Tk-5 を覆う。これらの噴出中心は Tk-5 とほぼ同じである。地点 F では層厚 55 cm で，発泡の良い黒色スコリアを主体とし類質岩片を稀に含み，長径 1 m を超える火山弾も見られる。伊藤・他（1997）により Tk-6 直下の土壌から 1,100±80 yBP（較正暦年代で AD 871–1, 023）の放射性炭素年代値が得られている。本質物質の岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-5 北向第一溶岩流（KI-I: 勝井・他（1963a）の摺鉢火口丘溶岩の一部に相当）

本溶岩流は北向第一火砕丘形成後，同じ火口から北方に流出し，アバレ川に沿って約 3.5 km 流下した。黒色のアア溶岩流で，部分的に高温酸化により赤色を呈する。表面はハイマツなどの植生に覆われるが，溶岩流地形は比較的明瞭である。層厚は平均的には 5–10 m で，標高 1,300 m 付近の沢沿いでは柱状節理の発達した 20 m 以上の末端崖が観察できる。北向第一火砕丘の火口壁は北方に開口しており，北向第一火砕丘および雲ノ平火砕丘の北部には凹地形が見られる（Fig. 8）。このことから，本溶岩流は流出の際に火砕丘を破壊して，流出したと考えられる。岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-6 北向第二溶岩流（KI-II: 勝井・他（1963a）の北向火口溶岩に相当）

本溶岩流は KI-I と同じ火口から，西方へ約 600 m 流下した少なくとも 3 枚のアア溶岩流の総称で，KI-I を覆う。層厚は約 20 m で，きわめて新鮮な舌状地形を保っており，表面は黒色～黒灰色のクリンカーが発達する。また，溶岩流の側面では弱いランプ構造も確認できる。岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-7 北向第二火砕堆積物（Kp-II: 新称）

本堆積物は KI-II を覆い，北向第二火砕丘を形成した。火口壁では崖錐堆積物を挟んで計 3 枚のアグルチネートが見られる。これらは黒色～赤色のスコリアからなり，部分的に溶結している。火口周辺 500 m 以内の範囲には，北向第二火砕丘形成期に噴出したと考えられる，直径 1–2 m 程度の火山弾が散在している。火山弾は冷却節理に沿った割れ目が発達し，表面の一部は高温酸化により淡い赤色を帯びている。本質物質の岩石はカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-3-8 焼山泥流堆積物（Ym: 新称）

硫黄沢川支流の標高 780 m 地点において，焼山溶岩流

(後述)の直下に確認できる泥流堆積物である。本堆積物は本地点から上流へ標高 850 m 付近まで追跡できる。層厚は 30 cm 以上で砂～粘土質の褐色基質を有し、数 cm 程度の安山岩質の礫を含む。

4-3-9 焼山溶岩流 (Y1: 勝井・他 (1963a) の焼山溶岩に相当)

本溶岩流は北西山麓の標高 1,000 m 付近の火口から流出し、780-1,000 m 地帯に広がり (Fig. 4), KI-I および Ym を覆う。黒色を呈するアア溶岩流で、末端部で厚さは約 10 m である。周囲と比較して表面の植生は未発達であり、空中写真から明瞭にその溶岩じわなどの溶岩微地形が判別できる。岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-4 Stage III

Stage III はグラウンド火口北西縁を噴出中心とし、中央火口丘を形成した活動期で、中央火口火砕堆積物 (Tk-7) と中央火口溶岩流 (Cl) を噴出した。両者は岩石学的に識別できることから (後述)、活動時期が異なると考えられる。

4-4-1 中央火口火砕堆積物 (Tk-7: 勝井・他 (1963a) の中央火口丘碎屑噴出物に相当)

Tk-7 は中央火口丘を形成するテフラとその転動堆積物、および東南東方向へ分布する降下テフラ (Fig. 6) 総称で、Tk-6 および KI-II を覆う。中央火口丘に形成された大正火口壁には Tk-7 の火口近傍相として、崖錐堆積物を挟んで層厚がそれぞれ約 2 m の黒灰色～赤色を呈するアグルチネートが 2 枚露出している。これらの層は強溶結の岩塊から構成されるが、著しく硫気変質しており、以下に述べる降下テフラとの層序関係は不明である。地点 F では 2 つのユニットに細分できる降下スコリア層が観察できる。下位の Tk-7-1 は層厚が約 50 cm で、白色～黄白色の砂～粘土質火山灰および礫サイズの類質岩片を主体とし、火山灰にコーティングされたスコリアを少量含む。上位の Tk-7-2 は層厚が約 82 cm で、よく発泡したスコリアで構成され、類質岩片は稀である。これら 2 枚の降下火砕物は摺鉢火口の南壁に沿って連続的に追跡でき、北東方向に向かって層厚を減じ、同時に最大粒径も小さくなる。本質物質の岩石は斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩である。

4-4-2 中央火口溶岩流 (Cl: 勝井・他 (1963a) の中央火口丘溶岩に相当)

中央火口から北西山麓の標高 900 m 付近まで分布する複数枚のアア溶岩流であり、Tk-7 を地形的に覆っている。登山道沿いの標高 900-1,000 m 地帯では、本溶岩流の作る溶岩堤防と末端崖が観察され、末端部では層厚が 10 m 以上である。B 点では層厚 5 m で、上下のクリン

カーに挟まれて、鉛直方向に弱い冷却節理のある塊状部分が観察できる。この地点で見出された溶岩流直下の黒色土中の炭化木片から、 280 ± 90 yBP の放射性炭素年代値 (石川・他, 1971) が得られている。岩石はカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩である。

4-4-3 富良野川泥流堆積物 3 (Fm-3: 新称)

富良野川に沿って流下した泥流である。地点 C では黒色土壌を挟んで Fm-2 を覆う。黄褐色、砂質の基質を有し、地点 C では層厚 60 cm である。最大粒径 40 cm の安山岩質の礫を含む。地点 C の Fm-2—Fm-3 間に発達する土壌の層厚 (10 cm) が地点 B における Fm-2—Cl 間の土壌層厚 (7-15 cm) とほぼ同じであることから (Fig. 5)、本泥流は Cl と近い時期に発生したものと考えられ、Stage III に含めた。

4-5 Stage IV

Stage IV は 1926 年以降の活動であり、マグマを放出した噴火は 1926 年、1962 年そして 1988-89 年の 3 回である。これら 3 度の噴火は中央火口およびその周辺域で発生し、1962 年噴火では新たな火砕丘が形成された。それぞれの噴火では、噴火推移や噴火直後の堆積物について詳しい研究報告がなされている。そのためここでは簡単に述べるにとどめる。

4-5-1 1926 年降下火砕堆積物および大正泥流堆積物

1926 年の噴火推移については噴火直後に調査を行った多田・津屋 (1927) や、石川・他 (1971) に詳しい。これらの文献によると、5 月 24 日の 16 時 17 分の爆発によって中央火口の北西部が崩壊し、それに伴って融雪型の泥流が発生した。そして泥流の発生とともに、火山岩塊や火山灰が放出され、その後マグマ物質とされる火山弾が中央火口周辺に放出された。泥流堆積物は北西斜面に広く分布しており、現在でも遠くは中央火口から約 20 km 下流の上富良野町の田園地において層厚数 cm で堆積しているのが確認できる。この噴火によって噴出した降下火砕堆積物は、既存の山体物質からなる火山岩塊が $10,000 \text{ m}^3$ 、本質物の火山弾が $3,000 \text{ m}^3$ と見積もられており (多田・津屋, 1927)、非常に微量であった。

4-5-2 1962 年火砕堆積物 (Tk-8)

1962 年の噴火によって計 4 つの火口が開かれたが、そのうちの 62-II 火口が最も大きく成長し、火砕丘を形成するに至った。62-II 火口は直径 140 m の円形をなし、火口の北壁には約 35 m の層厚で層状のスコリアや火山岩塊が累積する (勝井・他, 1963b)。1962 年噴火によって噴出し、62-II 火砕丘を形成するテフラとその転動堆積物、および東方へ飛散した降下テフラを総称して本報では Tk-8 と呼ぶ。Tk-8 は最下部の火山弾を主体とする層 (Tk-8-1)、その上位の白色火山灰層 (Tk-8-2) および最上

部の降下スコリア層 (Tk-8-3) から構成される (Fig. 6). 勝井・他 (1963b) によれば, 1962 年 6 月 29 日 22 時過ぎに第 1 回目の噴火が開始し, 大型の岩塊が主として北方に放出するとともに, 灰色細粒の火山灰が東南方へ分布した, とあり, Tk-8-1 と Tk-8-2 はこの「第一回目の噴火」に相当する噴出物と考えられる. Tk-8-1 は粒径が最大 30 cm 程度の青灰色を呈するブロック状またはスコリア質の火山弾と, 少量の火山岩塊からなり, 連続性に乏しい. 山体東部の標高 1,600 m 地点では粒径 0.5–1 cm 程度の不連続なテフラ層として確認できる. Tk-8-2 は白色～灰色の粘土質火山灰を主体とし, 火口から東南東方向に分布する. 火山灰からはマグマ起源と考えられる物質は見出せず, 水蒸気噴火による堆積物と判断される. Tk-8-3 は発泡した黒色～青灰色スコリアを主体に構成され, 本格的なマグマ噴火に移行した, 勝井・他 (1963b) による「第 2 回目の噴火」に対応すると考えられる. また, 火口付近では Tk-8-3 に最大 80 cm に達するスコリア質の火山弾が含まれる場合がある. これらは東方に分布するスコリアと同時に, おもに火口から北方に放出された火山弾であると考えられる (勝井・他, 1963b). 本質物質の岩石はカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩である.

4-5-3 1988–89 年噴出物

1988–89 年の活動推移は Katsui *et al.* (1990), Miyaji *et al.* (1990) に詳しい. この噴火によって 62-II 火口からは火山弾が放出され, しばしば小規模な火砕流・火砕サージを伴った (Katsui *et al.*, 1990, Miyaji *et al.*, 1990). この噴火で放出された火山弾は, 給源の 62-II 火口から北部～東部のグラウンド火口内にかけて分布し, 長径が数十 cm のものから最大 20 m に及ぶものまで存在する. ブロック状の類質岩片からなる岩塊も多数見られる. 本質物の多くは扁平し, 多角形状の割れ目を生じているものが多く, 堆積時は未固結であったことを示している. 火砕流堆積物は 62-II 火口から北西約 1 km の地点まで分布が確認でき, 標高 1,400 m 付近の一帯で層厚は約 80 cm で 1926 年泥流堆積物を直接覆っている. 灰褐色基質を有し, 本質物は発泡の悪いブロック状の黒色岩塊からなる. また多量の類質岩片を含む. 本質物質の岩石はカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩質安山岩である.

4-6 広域テフラ

本調査域では十勝岳火山以外の, 樽前火山 (Ta-a), 北海道駒ヶ岳 (Ko-c₂), 摩周火山 (Ma-b) および中朝国境の白頭山 (B-Tm) を噴出源とする広域テフラを見出した. 対比には層準や岩相上の特徴に加え, ガラス組成を既存のデータ (古川・他, 1997; Furuta *et al.*, 1986; 町田・新井, 1992; 吉本・宇井, 1998; 和田・他, 2001) と比較した (Fig. 9). Ta-a は西暦 1739 年 (勝井・石川,

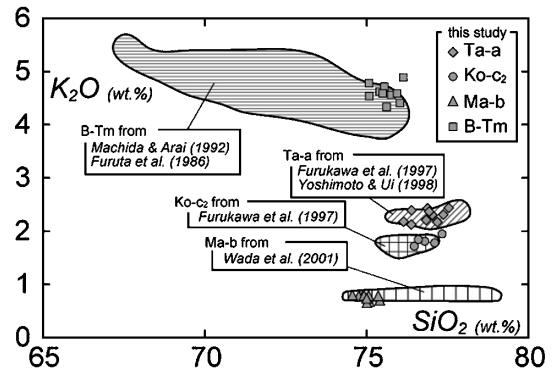


Fig. 9. SiO₂-K₂O diagram of volcanic glass of wide-spread tephra for identification of their source volcanoes.

1981), Ko-c₂ は西暦 1694 年 (勝井・他, 1989), B-Tm は 10 世紀噴火のテフラである (例えば, 福沢・他, 1998; Horn and Schmincke, 2000). また, Ma-b は北海道東部において直下に B-Tm が位置すること (徳井, 1989) や, 直上の土壌から 980 ± 100 yBP の放射性炭素年代が得られていること (Katsui *et al.*, 1975; 庄子・増井, 1974) から, 約 1000 年前のテフラであると考えられる. 本調査では, Ta-a および Ko-c₂ は東部山麓において Tk-7 と Tk-8 の間に見出され (Fig. 5), さらに Ta-a は Cl の上位に堆積する土壌中からも確認できた. B-Tm は地点 K において Tk-4 と Tk-6 の間に見出された (Fig. 5). また, Ma-b は十勝岳山頂の南東部, 標高 1,850 m の地点において, Tk-4 と Tk-5 の間の土壌中から見出した.

5. 岩石学的特徴

5-1 岩石記載

Stage I の軽石を除き, 全ての噴出物は斜長石, カンラン石, 単斜輝石, 斜方輝石, Fe-Ti 酸化物を含む, 斑晶量 30–50 vol.% のカンラン石斜方輝石単斜輝石玄武岩～玄武岩質安山岩あるいは斜方輝石カンラン石単斜輝石玄武岩～玄武岩質安山岩である. Stage I の軽石は, 稀にカンラン石および石英斑晶を含む, 斑晶量 20–45 vol.% のカンラン石含有またはカンラン石石英含有斜方輝石単斜輝石安山岩である.

斜長石はモード組成で 13–37 vol.%, 長柱状または粒状で長径は最大で 4.4 mm である. 自形から半自形であり, 累帯構造を持つものが多い. 結晶内に汚濁帯や蜂の巣構造を有するものが多いが, 径の小さい斑晶には清澄なものも見られる. 汚濁帯の入り方はコア部分のみ, リム部分のみ, あるいは結晶全体におよぶものまで混在する. カンラン石はモード組成で 0–4 vol.%, 粒径は 0.2 mm

Table 1. Representative whole rock chemistry of Tokachi-dake volcanic rocks erupted during the last 3,300 years.

No.	G1-low2-112-2	G3-up1-112-p1	36-1-C	Gslp-36-10	36-8-A	Sl-154-1	121-SAS1-4low	Sp-0922-6-1
Unit	Tk-2	Tk-2	Gfl-1	Gfl-1	Gfl-2	Gl	Tk-4	Tk-5
Type	scoria	pumice	scoria	pumice	scoria	lava flow	scoria	scoria
(wt.%)								
SiO ₂	53.97	58.17	53.36	57.08	53.92	54.34	52.97	52.09
TiO ₂	1.11	0.94	1.11	0.94	1.04	1.05	1.12	1.15
Al ₂ O ₃	17.99	16.61	17.42	17.22	17.54	17.83	18.34	18.51
Fe ₂ O ₃	10.13	8.62	10.17	8.17	9.50	9.54	10.34	10.31
MnO	0.19	0.16	0.18	0.15	0.17	0.18	0.19	0.19
MgO	4.63	3.67	4.45	3.48	4.12	4.28	4.72	4.68
CaO	8.01	6.83	8.85	7.40	8.31	8.29	8.97	9.34
Na ₂ O	2.80	2.78	2.77	2.80	2.70	2.81	2.66	2.75
K ₂ O	1.44	1.99	1.46	2.08	1.54	1.49	1.18	1.10
P ₂ O ₅	0.18	0.15	0.17	0.14	0.17	0.17	0.17	0.17
total	100.44	99.93	99.94	99.46	99.01	99.97	100.64	100.28
No.	To-C2-121-1	Kl-68	Kl-153-2	Yl-kom-2	KAS2-51-1	To-C1-121-1	Cl-151-1	62-2-91-2
Unit	Tk-6	Kl-I	Kl-II	Yl	Kp-II	Tk-7-2	Cl	Tk-8-3
Type	scoria	lava flow	lava flow	lava flow	scoria	scoria	lava flow	scoria
(wt.%)								
SiO ₂	51.13	51.23	52.12	51.74	52.47	51.11	52.23	52.33
TiO ₂	1.18	1.17	1.18	1.20	1.09	1.24	1.17	1.09
Al ₂ O ₃	18.04	18.33	18.31	18.06	17.80	18.39	17.95	17.90
Fe ₂ O ₃	10.75	10.60	10.60	10.80	10.06	11.01	10.49	10.08
MnO	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19
MgO	4.73	4.76	4.84	4.90	4.58	5.03	4.68	4.47
CaO	9.27	9.41	9.18	9.26	8.98	9.57	8.92	8.86
Na ₂ O	2.64	2.78	2.76	2.74	2.76	2.72	2.76	2.79
K ₂ O	1.07	1.09	1.09	1.11	1.25	0.95	1.17	1.26
P ₂ O ₅	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19
total	99.16	99.73	100.43	100.17	99.36	100.41	99.75	99.16

以下のものが多くを占め、最大で0.5 mmである。粒状で自形から他形である。細粒な輝石の反応縁を持つものも存在する。カンラン石班晶量は、全岩SiO₂量の減少にしたがって、系統的に増加する。単斜輝石はモード組成で2-10 vol.%, 長柱状または粒状で自形から他形、長径は最大で2.6 mmである。結晶内に褐色のガラスやFe-Ti酸化物を包有するものもある。また、累帯構造が見られるものもある。斜方輝石はモード組成で0-6 vol.%, 長柱状または粒状で長径は最大で2.8 mmである。褐色のガラスや他形のFe-Ti酸化物を包有するものもある。また、単斜輝石や粒状のカンラン石の反応縁を有するものも存在する。Fe-Ti酸化物はモード組成で0.5-3 vol.%, 粒径は0.2 mm程度のものが多く、最大で0.8 mmである。粒状で多くは他形である。軽石に含まれる石英は粒径0.3-0.6 mm程度で、顕著な融食形を示す。

5-2 主成分全岩化学組成

Table 1 に代表的な本火山噴出物の主成分全岩化学組成を、Fig. 10 にハーカー図およびSiO₂-FeO*/MgO図(Miyashiro, 1974)を示した。本火山の最近3,300年間の岩石のSiO₂量は51-60 wt.%であり、SiO₂量の変化に対

して、全体的傾向としてはTiO₂, Al₂O₃, FeO*, MnO, MgO, CaO, P₂O₅は負の相関、Na₂O, K₂Oは正の相関が見られる(Fig. 10)。Gill (1981)による分類では噴出物の多くはmedium-Kに属し、Stage I噴出物の一部はhigh-Kに属する。また、SiO₂量の増加に対してFeO*/MgOはほとんど変化がなく、噴出物全体ではカルカルカリ系列のトレンドを描いている(Miyashiro, 1974)。

噴出物はステージ毎あるいは火口毎で異なったSiO₂組成領域を示し、ハーカー図上では概ね一直線のトレンドを描いているが、MnOやP₂O₅ではステージあるいは火口毎で異なるトレンドを描いている。Stage I噴出物は最も組成幅が広いが(SiO₂=53-60 wt.%), 活動初期のTk-2およびGfl-1のスコリアはより苦鉄質(SiO₂=53-56 wt.%), 軽石はより珪長質(SiO₂=57-60 wt.%)な組成を有し、中間組成に欠ける。以後のGfl-2, Glには軽石はほとんど見られず、SiO₂量は53-57 wt.%の範囲でユニモーダルとなる。Stage II-IVではSiO₂=51-54 wt.%の玄武岩〜玄武岩質安山岩のマグマが卓越し、見かけ上均質なスコリアおよび溶岩流が噴出物の大半を占める。Stage IIの、摺鉢火口と北向・焼山火口とでハーカー図

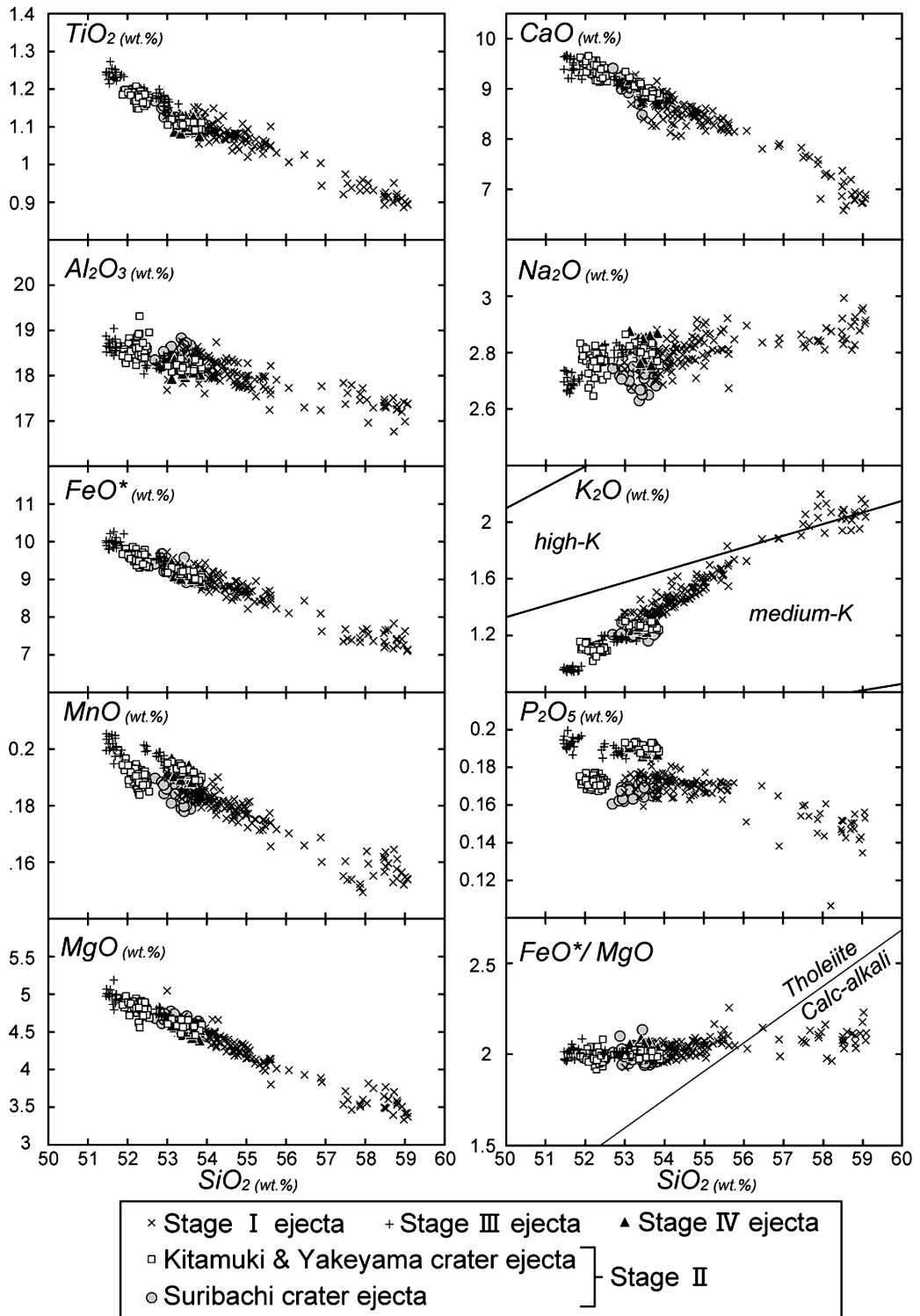


Fig. 10. Whole rock compositions for Tokachi-dake volcanic rocks erupted during the last 3,300 years. The lines drawn in SiO_2 - K_2O and SiO_2 - FeO^*/MgO diagrams are from Gill (1981) and Miyashiro (1974), respectively.

上で組成領域が異なり、噴出物の近傍相と遠方相との対比が可能である (Fig. 11)。例えば東部山麓の岩相上類似した降下スコリアは、異なる組成領域を持つ北向、摺鉢火口近傍層のそれぞれの領域にプロットされ、これにより給源火口を決定できる。中央火口を形成した Stage III では、降下スコリア層 (Tk-7-2) が $\text{SiO}_2=51.4\text{--}51.9\text{ wt.}\%$ であるのに対し、溶岩流 (CI) は $\text{SiO}_2=52.4\text{--}53.3\text{ wt.}\%$ で両者の組成領域は一致しない (Fig. 12)。一方、Stage IV に当たる 1962 年、1988-89 年噴出物は $\text{SiO}_2=53\text{--}54\text{ wt.}\%$ で、類似した化学組成を有する。

6. 噴出年代

6-1 グラウンド火口形成時の放射性炭素年代

今回、グラウンド火口形成時の噴出物である Gfl-1 下

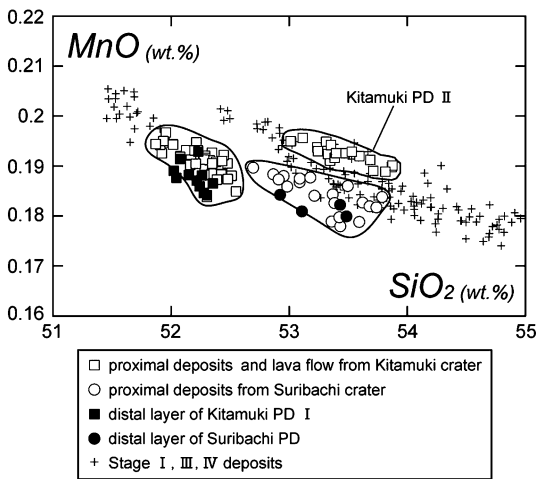


Fig. 11. $\text{SiO}_2\text{-MnO}$ variation diagram for whole rock samples of Suribachi and Kitamuki crater. Open and close symbols show proximal and distal deposits, respectively.

部から採取した 4 地点 5 試料の炭化木片から放射性炭素年代を得た。試料採取地点と測定結果を Table 2 にまとめる。測定はすべて BETA ANARYTIC 社に依頼した。 $\delta^{13}\text{C}$ 値を用いて同位体分別効果を補正し、さらに Stuiver *et al.* (1998) のデータベースから暦年較正を施した。5 試料の測定結果は、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代で $2,990\pm 60\sim 3,170\pm 80\text{ yBP}$ 、暦年代で $2,970\sim 3,570\text{ cal yBP}$ (2σ) となった。これらの結果から Gfl-1 の噴火年代は $3,300\text{ cal yBP}$ となり、本研究で取り扱った活動は約 3,300 年前から開始したことが明らかになった。

6-2 レスクロノメトリーによる噴火年代の推定

次に山麓部に見られるテフラ層序とロームの間隔をもとに、年代未知のテフラの噴出年代を議論する。年代推定に当たっては、早川 (1995) のレスクロノメトリーの手法を参考にし、1) 年代既知のテフラが存在すること、2) できる限り平坦な面上に堆積し、かつ火口から 5 km 以上離れた露頭を選ぶ、3) 砂層を狭在していたり礫が混入している露頭は避ける、の条件を満たす 2 つの露頭 (地点 L, M) を用いて、深度-年代図を作成した。作成に

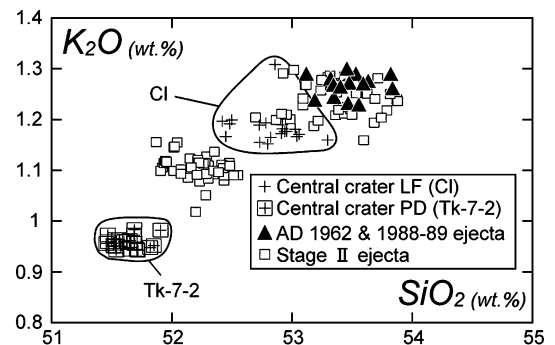


Fig. 12. $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ variation diagram for whole rock samples of Stage II-IV.

Table 2. Results of ^{14}C dating for charcoals. Locations of each sample are shown in Fig. 1.

Sample No. (Lab No.)	Location	Measured age (yBP)	$\delta^{13}\text{C}$ (permil)	Conventional age (yBP)	Calendar age (2σ)
Tk-Hok-1 (Beta-194750)	P	3150 ± 70	-24.1	3170 ± 80	BC 1620-1270 (3570-3220 cal yBP)
Tk-Hok-2 (Beta-194751)	O	3030 ± 50	-24.6	3030 ± 50	BC 1410-1120 (3360-3070 cal yBP)
Tk-Hok-3 (Beta-194752)	B	3030 ± 40	-24.3	3040 ± 40	BC 1400-1190 (3350-3140 cal yBP)
Tk-Hok-4 (Beta-194753)	B	2980 ± 60	-24.2	2990 ± 60	BC 1400-1020 (3350-2970 cal yBP)
Tk-Hok-5 (Beta-194754)	A	3090 ± 60	-23.3	3120 ± 60	BC 1510-1260 (3460-3210 cal yBP)

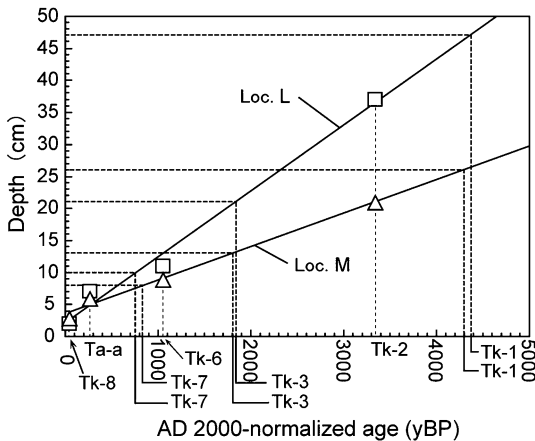


Fig. 13. Age-depth diagrams for tephra beds at Loc. L and M. The depth means the cumulative thickness of loam from the surface. Open squares: Loc. L, open diamonds: Loc. M, solid lines: approximate line of each location. Note that ages are normalized by AD 2000.

当たっては、Tk-2 を Gfl-1 の噴火年代 3,300 cal yBP とし、また、Tk-6 の噴火年代を伊藤・他 (1997) による較正暦年代値 (AD 871-1, 023) の中央値から、AD 947 と仮定した。

作成した深度-年代図 (Fig. 13) から、ロームの堆積速度は地点 L で約 10 cm/ky、地点 M で約 5 cm/ky となり、早川・由井 (1989) が日本各地で測定したロームの堆積速度 (4-15 cm/ky, 平均 7 cm/ky) と矛盾しない。推定年代を AD 1950 から遡った数値で示すと、Tk-1 は地点 L で 4,340 yBP, 地点 M で 4,250 yBP, Tk-3 は地点 L で 1,790 yBP, 地点 M で 1,750 yBP, Tk-7 は地点 L で 700 yBP, 地点 M で 790 yBP となり、2 地点間で比較した各層の推定年代値の差は 100 年以内にとまる。これらの推定年代は、前述した年代既知の広域テフラとの層序関係とも矛盾しない。

また、上記のローム堆積速度を Tk-1 の下位に発達するローム層の層厚に外挿すると、その時間間隙は 20,000-40,000 yBP, となる。このことから 3,300 年以前については、本火山は少なくとも 1 万年間は山麓にテフラを堆積させる程度の活発なマグマ噴火はなかったと考えられる。

7. 噴出量

各噴出物の噴出量 (DRE: Dense Rock Equivalent) は以下のように見積もった。まずガラスビーズ法 (佐々木・勝井, 1981) を用いて噴火様式別に代表的な噴出物の見かけ密度を測定し、岩石密度を 2.7 g/cm³ と仮定し

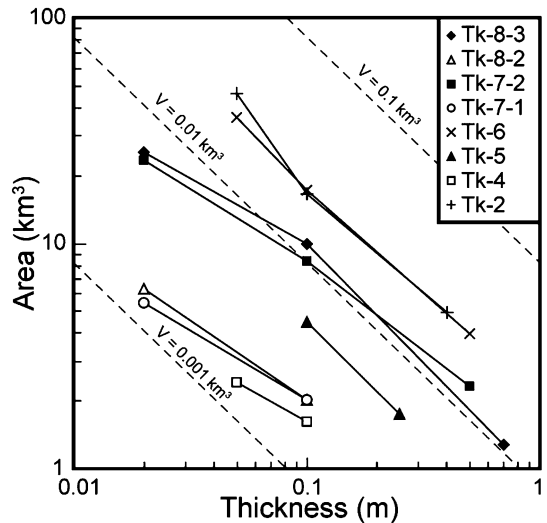


Fig. 14. Relation between the area enclosed by isopachs (S) and the thickness (T), for tephros from Tokachi-dake volcano. Dashed lines are isovolume lines assuming $V = 12.2 TS$ (Hayakawa, 1985).

て換算した。また、スコリア、軽石および相当量の類質岩片を含む Gfl-1 や Tk-2 は、代表的な露頭においてこれらの重量比を測定し、本質物の噴出量を割り出した。なお、Tk-8-1, -2 および Tk-7-1 は含まれる本質物質が少量であるので、マグマ噴出量としては無視した。等層厚線の描ける降下火砕堆積物は Hayakawa (1985) の経験式 $V = 12.2 TS$ (V : テフラの総体積, T : 等層厚線の厚さ, S : 等層厚線が囲む面積) を用いて体積を求めた。複数の等層厚線が得られたテフラについては、Fig. 14 に層厚とその分布面積の関係を示した。これらの層厚-面積曲線は Hayakawa (1985) の等体積線とほぼ平行している。また、Hayakawa (1985) の式では火砕丘の体積を含めることができないとする報告がある (萬年, 1999) ことから、本稿では火砕丘の分布を地形図から見積もり、それに火口近傍の溶結層の層厚を乗じることで火砕丘に含まれる本質物質の体積とした。

以上のようにして求めた本火山のマグマ噴出量を Table 3 に、積算マグマ噴出量の推移を Fig. 15 に示した。最近 3,300 年間のマグマの噴出量は合計で約 0.1 km³ DRE, 平均噴出率にして約 0.03 km³ DRE/ky となった。ステージ毎で見ると、Stage I が最も大規模で 0.04 km³ DRE, その後 Stage II で 0.037 km³ DRE でほぼ Stage I と同程度のマグマが噴出し、Stage III で 0.019 km³ DRE, Stage IV で 0.006 km³ DRE となり、徐々に低下する傾向にある。また、各ステージ内のテフラと溶岩流の噴出量

Table 3. Estimated magmatic volumes, eruptive styles, rock types, and main ejecta types of deposits erupted during the last 3,300 years. *: from Katsui *et al.* (1990), **: from Tada and Tsuya (1927). Ex: explosive, Ef: effusive, B: basalt, BA: basaltic andesite, A: andesite. DREs are calculated by setting density of each product as follows; 1.2 g/cm³ for scoria and pumice in distal fallouts, 1.8 g/cm³ for scoria in pyroclastic flows, 1.4 g/cm³ for pumice in pyroclastic flows, 1.5 g/cm³ for agglutinate, 2.4 g/cm³ for bomb (AD 1926 and 1988–89) and lava flow.

Stage	Unit	Volume (km ³)	DRE (km ³)	Eruptive style	Rock type	Main ejecta type	DRE (km ³) in each stage
IV	AD 1988-89 PFA & PFL	1.4×10 ⁻⁴ *	1.2×10 ⁻⁴	Ex	BA	bomb	0.006
	Tk-8	1.5×10 ⁻²	5.8×10 ⁻³	Ex	BA	scoria	
	AD 1926 PFA	3.0×10 ⁻⁶ **	2.7×10 ⁻⁶	Ex	BA**	bomb	
III	Cl	1.3×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	Ef	BA	lava flow	0.019
	Tk-7	1.7×10 ⁻²	7.3×10 ⁻³	Ex	B	scoria	
II	Kp-II	4.0×10 ⁻⁴	2.2×10 ⁻⁴	Ex	BA	scoria & bomb	0.037
	Yl	4.1×10 ⁻³	3.6×10 ⁻³	Ef	BA	lava flow	
	Kl-II	1.6×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³	Ef	BA	lava flow	
	Kl-I	1.1×10 ⁻²	9.4×10 ⁻³	Ef	BA	lava flow	
	Tk-6	2.6×10 ⁻²	1.2×10 ⁻²	Ex	BA	scoria	
	Tk-5	1.6×10 ⁻²	8.4×10 ⁻³	Ex	BA	scoria	
	Tk-4	3.4×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³	Ex	BA	scoria	
I	Gf	2.0×10 ⁻²	1.8×10 ⁻²	Ef	BA	lava flow	0.04
	Gp	3.5×10 ⁻²	1.4×10 ⁻²	Ex	BA & A	scoria & pumice	
	Tk-2	2.4×10 ⁻²	8.4×10 ⁻³	Ex	BA & A	scoria & pumice	

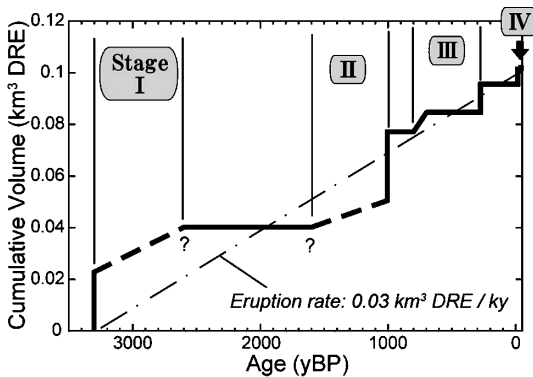


Fig. 15. Cumulative magma volume versus time for deposits erupted during the last 3,300 yBP.

はほぼ同程度であった。

8. 議 論

8-1 噴火史

8-1-1 Stage I

火砕流 Gfl-1 の放射性炭素年代については石川・他 (1971) によって 2,200±100 yBP の年代値が得られてい

るほか、過去に大量の炭化木片試料に対して測定が行われた (旭川土木現業所, 未公表データ). それによると年代値は 2,200–3,500 yBP の範囲を占め, 2,200 yBP 付近と 3,000 yBP 付近に活動時期が分かれることが指摘されていた. しかし今回改めて複数の試料に対して測定を行った結果, $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値は誤差を考慮するとばらつきは 50 yBP の範囲に収まり, すべて同時期の試料と判断できる. したがって Gfl-1 の噴出年代は $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代で 3,100 yBP, 較正暦年で 3,300 cal yBP と考えるのが妥当である. さらに, Gfl-1 の上位には Gfl-2 が直接覆っており, 両者の間に顕著な時間間隙は存在しない.

Stage I の活動は現在のグラウンド火口の位置からの爆発的噴火によって開始し噴煙柱が形成され, 降下火砕物 (Tk-2) が東方に分布した. その後, 火砕流が複数回発生し (Gfl-1, Gfl-2), 北西斜面を流下した. Tk-2 や Gfl-1 には最大 80 wt.% に上る多量の類質岩片が含まれることから, 火砕流発生と同時に山体崩壊もしくは新たな火道拡大を伴った可能性がある. また, 火砕流の前後には泥流が発生したと見られる (Sm, Fm-1, Fm-2). Sm を除くこれらの堆積物中に時間間隙を示す痕跡が見られないことから, 3,300 年前には爆発的噴火により, 堆積物

として残る降下火砕物，火砕流および泥流が頻発した可能性が高い。

Gp を地形的に覆うグラウンド火口溶岩流（以下 G1）は，勝井・他（1963a）により「スリパチ火口丘溶岩」と記載され，摺鉢火口起源の溶岩流と考えられていた。しかし，現在の摺鉢火口近傍には G1 に相当する溶岩流の露出は見られず，さらに摺鉢火口形成時に噴出した火砕岩は全岩化学組成から G1 とは対比されない（Fig. 16）。一方で，G1 の組成領域はグラウンド火口起源の火砕岩の領域とはほぼ一致している（Fig. 16）。したがって，本溶岩流はグラウンド火口の一連の活動による溶岩流と考えられ，「グラウンド火口溶岩流」として再定義した。ただしその分布から考えて，G1 の噴出口はグラウンド火口内ではなく，北方山腹であり，現在は雲ノ平火砕丘に覆われていると考えられる。

Stage I では過去 3,300 年間で最も爆発的な噴火が起こり，山麓まで層厚数 m 以上の堆積物として残る火砕流を流出したことで特徴づけられる。これ以降の活動では，1988-89 年噴火の極小規模の火砕流を除いて，火砕流の発生は確認できていない。この時期の噴火が特に爆発的であった理由は，過去 3,300 年間で最も SiO_2 に富んだ比較的高粘性のマグマが活動しているためであろう。Stage II 以降では，噴出物は玄武岩質に変化したために，火砕流の発生は伴わなかったと考えられる。

8-1-2 Stage II

Stage II における最初期のテフラ（Tk-3）の年代が，レスクロノメトリーから 1,700-1,800 yBP と推定できるので，Stage I との間には 1,000 年以上の時間間隙があったと考えられる。Tk-4, -5, -6 の間にはそれぞれ時間間隙を挟むが，Tk-4 の上位には B-Tm, Ma-b 火山灰が堆積すること，また，Tk-6 直下の土壌から AD 871-1,023 の暦年代値が得られていること（伊藤・他，1997）から，摺鉢マールから北向第一火砕丘形成までの噴火は，約 1,000 年前に断続的に起こったと判断できる。

爆発的噴火後，複数の溶岩流が流出した。そのほとんどが現在の北向火口より噴出したが，焼山溶岩流の噴出口は，北向火口から約 2.5 km 離れている。その点で焼山溶岩流は別の活動期として区別すべきかもしれない。しかしながら，北向火口と焼山火口の噴出物がほぼ同一の化学組成を有することから（Table 1），焼山溶岩流を Stage II に含めた。

8-1-3 Stage III

Stage III は 700-800 yBP に現在の中央火口の位置からの爆発的噴火によって開始する（Tk-7-1, -2）。Stage II との時間間隙は最大でも 200-300 年程度である。その後，280±80 yBP に中央火口から溶岩流が流出する（Cl）。こ

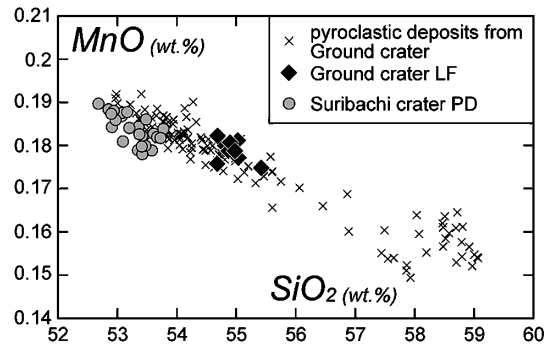


Fig. 16. SiO_2 -MnO variation diagram for whole rock samples of Suribachi and Ground crater ejecta.

のように中央火口丘の形成と溶岩流出時期が異なることは，Tk-7 のスコリアと Cl の全岩化学組成が明瞭に異なっていること（Fig. 12）からも支持される。なお中央火口丘形成から溶岩流出まで 500 年近い時間間隙があることになるが，溶岩流の炭素放射年代はデータが古く，再検討を行う必要がある。

8-1-4 Stage IV

今回，以下の理由から 1926 年噴火以降を Stage IV として区別した。1926 年噴火は中央火口丘から発生したが，1962 年には爆発的な噴火が起こり，新たな火口が形成され，1988-89 年噴火もその火口で発生している。さらに中央火口溶岩流の発生から 200-300 年程度の時間間隙を挟む。また 1962 年と 1988-89 年噴火のマグマは Stage III のマグマとは全岩化学組成によって区別できる（Fig. 12）。

8-2 噴火様式の推移と 20 世紀噴火活動の意義

各ステージの噴火様式の推移を見ると，特に Stage I ~ III では共通点が多い。すなわち Stage I ~ III の各ステージは，いずれも火砕流または降下火砕物を噴出する爆発的噴火に始まり，溶岩流出に推移するという活動を繰り返しているのがわかる（Table 3）。Stage II では溶岩流出の後に，北向火口から火山弾を放出する噴火が見られるが，その規模は非常に小さいので，全体としては Stage I や III と同じ推移と考えられる。このような噴火推移は多くの他の火山で認められるものであり，マグマ中の揮発性成分のマグマ溜まり内での垂直方向の濃度の違い（例えば Hildreth, 1981）や，噴火に際しての火道内における脱ガス効率の違い（例えば Eichelberger *et al.*, 1986）などによって説明がなされている。ただし，本報では噴火様式の推移の要因については議論しないこととする。

先に 1926 年噴火以降を Stage IV として区別した。そ

の1962年噴火の噴出量は、Stage IIIの爆発的噴火、Tk-7と同程度の規模である。Stage IからIIIのそれぞれの噴火様式の推移からも、十勝岳では20世紀から新たな活動ステージが開始したと考えるべきであろう。

8-3 噴出率と火山災害

本研究で見積もった十勝岳火山の最近3,300年間の平均マグマ噴出率は0.03 km³DRE/kyであった。この噴出率は、三宅島火山における最近3,000年間の噴出率0.32 km³DRE/ky(津久井・鈴木, 1998)の10分の1程度であり、また、小野(1990)がまとめた日本国内の活火山の噴出率(0.1-1 km³/ky)と比べてもやや低い値である。しかしながら、本火山は噴火に伴って頻繁に泥流を発生させており、したがってマグマの噴出率が比較的小さい火山ではあっても、今後も山麓部では泥流に対して警戒が必要である。

8. ま と め

本報告で明らかとなった十勝岳火山の噴火史は以下のようにまとめられる。

- 1) 十勝岳火山の最近約3,300年間の活動は、火口ごとの活動にはほぼ対応した4つのステージに大別できる。
- 2) 噴出物はステージ毎または火口毎の全岩化学組成で対比が可能である。
- 3) Stage I〜IIIまで、爆発的噴火の後に溶岩流出を起こす噴火様式の推移を繰り返している。
- 4) 1926年から新たなステージが開始したと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、産業技術総合研究所の石塚吉浩博士および東京大学地震研究所(当時)の吉本充宏博士には、野外調査に同行していただき、有益な助言を数多くいただいた。また、産業技術総合研究所の古川竜太博士には広域テフラに関するデータを提供していただいた。国際航業(株)の佐々木寿氏には¹⁴C年代測定の際に大変お世話になった。旭川土木現業所には放射性炭素年代の公表を許可していただいた。薄片製作にあたっては、北海道大学の桑島俊昭技官(当時)、野村秀彦技官にお世話になった。最後に、2名の匿名査読者、および編集担当の伴 雅雄氏の助言により、本稿は大きく改善した。記して謝意を表します。

引用文献

Eichelberger, J.C., Carrigan, C.R., Westrich, H.R. and Shannon, J.R. (1986) Non-explosive silicic volcanism.

- Nature*, **323**, 598-602.
- 福沢仁之・塚本すみ子・塚本 齊・池田まゆみ・岡村真・松岡裕美(1998)年縞堆積物を用いた白頭山-苦小牧火山灰(B-Tm)の降灰年代の推定。Laguna(汽水域研究), no. 5, 55-62.
- 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英(1997)北海道駒ヶ岳火山は1694年に噴火したか?—北海道における17~18世紀の噴火年代の再検討—。火山, **42**, 269-279.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephra around Japan—petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, **72**, 125-42.
- Gill, J.B. (1981) *Orgenic andesites and plate tectonics*. Springer-Verlag, 390p.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **60**, 507-592.
- 早川由紀夫(1995)日本に広く分布するローム層の特徴とその成因。火山, **40**, 177-190.
- 早川由紀夫・由井将雄(1989)草津白根火山の噴火史。第四紀研究, **28**, 1-17.
- Hildreth, W. (1981) Gradients in silicic magma chambers: implications for lithospheric magmatism. *J. Geophys. Res.*, **86**, 10153-10192.
- Horn, S. and Schmincke H.-U. (2000) Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD. *Bull. Volcanol.*, **61**, 537-555.
- 池田保夫(1982)北海道十勝川上流地域の酸性火砕流堆積物の層序と火山活動史。地質雑, **88**, 55-70.
- 池田保夫・向山 栄(1983)北海道、富良野一旭川地域の火砕流堆積物の層序と対比。地質雑, **89**, 163-172.
- 石川俊夫・横山 泉・勝井義雄・笠原 稔(1971)十勝岳、火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策。北海道防災会議, 136p.
- 伊藤英之・尾関信幸(1999)十勝岳、すり鉢火口の形成過程。日本火山学会1999年度秋季大会講演予稿集, 3.
- 伊藤英之・尾関信幸・楨納智裕・安養寺信夫(1997)十勝岳火山東部地域における火山層序。日本火山学会1997年度秋季大会講演予稿集, 4.
- Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K. (1975) Formation and magmatic evolution of Mashu volcano, east Hokkaido, Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, **16**, 533-552.
- 勝井義雄・石川俊夫(1981)樽前山の活動史、噴出物調査およびDisaster Mapと災害評価。文部省科学研究費自然災害特別研究研究成果自然災害科学総合研究班報告書「噴火災害の特質とHazard Mapの作成およびそれによる噴火災害の予測の研究」(代表者:下鶴大輔), 9-13.
- Katsui, Y., Kawachi, S., Kondo, Y., Ikeda, Y., Nakagawa, M., Gotoh, Y. and Yamagishi, H. (1990) The 1988-1989 explosive eruption of Tokachi-dake, central Hokkaido, its sequence and mode. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **35**, 111-129.
- 勝井義雄・鈴木建夫・曾屋龍典・吉久康樹(1989)北海道駒ヶ岳火山地質図。地質調査所, 8p.
- 勝井義雄・高橋俊正・土居繁雄(1963a)5万分の1地質図幅「十勝岳」および説明書。北海道開発庁, 47p.

- 勝井義雄・高橋俊正・大場与志男・平井喜郎・岩永将輝・西村 豪・曾屋龍典・伊藤 宏 (1963b) 十勝岳 1962 年の噴火. 岩鉱, **49**, 213-226.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 萬年一剛 (1999) 伊豆大島 1986 年噴火 TB テフラの全噴出物粒度組成・全噴出量. 火山, **44**, 55-70.
- Miyaji, N., Sumita, M., Yoshida, M., Kondo, Y., Yamazaki, T., Kouyama, K., Sone, T. and Muto, H. (1990) Tephrostratigraphical study of 1988-1989 eruptions of Tokachidake volcano, central Hokkaido. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **35**, 131-145.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, **274**, 321-355.
- NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (1990) 平成元年度全国地熱資源総合調査 (第 3 次), 広域熱水流動調査十勝地域. 火山岩分布・年代調査報告書, 456p.
- 小野晃司 (1990) 火山噴火の長期的予測. 火山, **34**, S201-S204.
- 尾関信幸・伊藤英之 (1999) 十勝岳, グラウンド火口群の火山層序. 日本火山学会 1999 年度秋季大会講演予稿集, 2.
- 佐々木龍男・勝井義雄 (1981) ガラスビーズを使った軽石の密度測定法. 火山, **26**, 117-118.
- 庄子貞雄・増井淳一 (1974) 北海道川上郡標茶町のカムイヌプリ岳火山灰土壌の ^{14}C 年代—日本の第四紀層の ^{14}C 年代 (97). 地球科学, **28**, 101.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998) INTICAL 98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, **40**, 1041-1083.
- 多田文男・津屋弘達 (1927) 十勝岳の爆発. 震研彙報, **2**, 40-84.
- 高橋俊正 (1960) 大雪—十勝火山列南西部の地質および岩石, I 十勝火山群の地質および火山構造について. 北海道地質要報, **39**, 7-18.
- 徳井由美 (1989) 北海道における 17 世紀以降の火山噴火とその人文環境への影響. お茶の水地理, **30**, 27-33.
- 津久井雅志・鈴木裕一 (1998) 三宅島火山最近 7000 年間の噴火史. 火山, **43**, 149-166.
- 和田恵治・中村瑞穂・奥野 充 (2001) 旭岳の表層にみられる広域火山灰の化学組成とその給源火山の特定. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, **35**, 9-18.
- 吉本充宏・宇井忠英 (1998) 北海道駒ヶ岳火山 1640 年の山体崩壊. 火山, **41**, 137-148.

(編集担当 伴 雅雄)