

九重火山群の上湯沢，下湯沢，三俣外輪山溶岩および松の台岩屑なだれ堆積物の熱ルミネセンス年代と全岩化学組成

Thermoluminescence Age and Whole-Rock Chemical Compositions of Kami-Yuzawa, Shimo-Yuzawa, Mimata-Gairinzan Lavas and Matsunodai Debris Avalanche Deposit, Kuju Volcanic Group, Central Kyushu, Japan

坂口 巧^{1†} 柚原雅樹¹
山崎 圭二² 高島 勲³
奥野 充^{1,4}

Takumi Sakaguchi^{1†}, *Masaki Yuhara*¹,
*Keiji Yamasaki*², *Isao Takashima*³
and *Mitsuru Okuno*^{1,4}

平成27年5月29日受理

- 1 福岡大学理学部地球圏科学科（地球科学分野）
Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan
 - 2 福岡大学大学院理学研究科地球圏科学専攻
Graduate School of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan
 - 3 秋田大学名誉教授
Professor Emeritus, Akita University, 43 Tegata-Aza-Hebino, Akita 010-8502, Japan
 - 4 福岡大学産学官連携研究機関国際火山噴火史情報研究所
AIG Collaborative Research Institute for International Study on Eruptive History and Informatics (ACRIFIS-EHAI), Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan
- † 現所属：中央開発株式会社東北支店
Present Address: Chuo Kaihatsu Corporation, 50-2 Kabamachi-Aza-Higashi, Wakabayashi-ku, Sendai 984-0037, Japan

Corresponding author: M. Okuno,
okuno@fukuoka-u.ac.jp

はじめに

中部九州の九重火山群は、阿蘇火山の北東、由布一鶴見火山の南西に位置し（Fig.1a）、豊肥火山活動の中で最も新しい活動が認められる地域である（Kamata, 1989）。松の台岩屑なだれ堆積物（MDA：鎌田, 1985）は、九重火山群の北麓に分布する（Figs. 1b and c）。九重火山群の活動は、第1期（200 ~ 54 ka）、第2期（54 ka）、第3期（54 ~ 15 ka）、第4期（15 ka以降）に分けられる（川辺ほか, 2015）。山頂に溶岩ドームが形成され、山麓に block-and-ash flow が流下する噴火を起こしてきた（奥野ほか, 2012；長岡・奥野, 2014, 2015）。この地域には年代既知の広域テフラ（阿蘇4

Abstract

We conducted a field survey, and performed thermoluminescence (TL) dating and whole-rock chemical composition analysis of the Mimata-Gairinzan, Shimo-Yuzawa and Kami-Yuzawa lavas, and Matsunodai debris avalanche deposit (MDA) in the Kuju Volcanic Group, Kyushu, Japan, to reveal their source, age and depositional characteristics. The obtained TL ages were 44 ± 7 and 43 ± 3 ka for Shimo-Yuzawa lava, 35 ± 6 and 34 ± 5 ka for Mimata-Gairinzan lava, 25 ± 7 ka for Mimata-Yama lava, 19 ± 4 ka for Kami-Yuzawa lava, and 46 ± 3 , 42 ± 4 , 26 ± 3 , and 26 ± 5 ka for blocks in the MDA. The TL ages for these lavas are consistent with the geomorphological relationship. Note that part of the MDA is also distributed on Shimo-Yuzawa lava. The range in the TL ages for MDA corresponds to these lavas. Regarding the SiO₂ content, Mimata-Gairinzan lava ranges from 60.1-61.5 wt.%, while the Shimo-Yuzawa and Kami-Yuzawa lavas are 58.6 to 58.7 wt.%. Blocks in the MDA are 58.9-60.5 wt.%, which matches with these lavas. The whole-rock chemistry, petrographic characteristics and TL ages indicate that the source of the MDA is Mimata-Gairinzan.

Key Words: Kuju Volcanic Group, Thermoluminescence age, whole-rock chemical compositions, Mimata-Yama, Yuzawayama, Matsunodai debris avalanche deposit

火山灰：Aso-4, 始良 Tn 火山灰：AT, 鬼界アカホヤ火山灰：K-Ah）が広く分布しており、テフロクロロジーにもとづく地質学的研究がなされてきた（小林・池辺, 1985；太田, 1991；鎌田, 1997；Kamata and Kobayashi, 1997；長岡・奥野, 2014, 2015）。太田(1991)や鎌田(1997)は、九重火山群の噴火史の大枠を示したが、植生に乏しい山頂付近ではローム層や黒ボク土が累積しにくいいため、テフラの保存が悪い（奥野ほか, 2012）。MDAの上流には、西に泉水山（標高1296 m）、南に三俣山（1745 m）、東に湯沢山（1332 m）があるが（Fig.1c）、これらを構成する岩石は類似しているため、MDAの給源は湯沢山（太田, 1991）、泉水山（鎌田, 1997）、三俣山（小林ほか, 2015）と定まっていない。

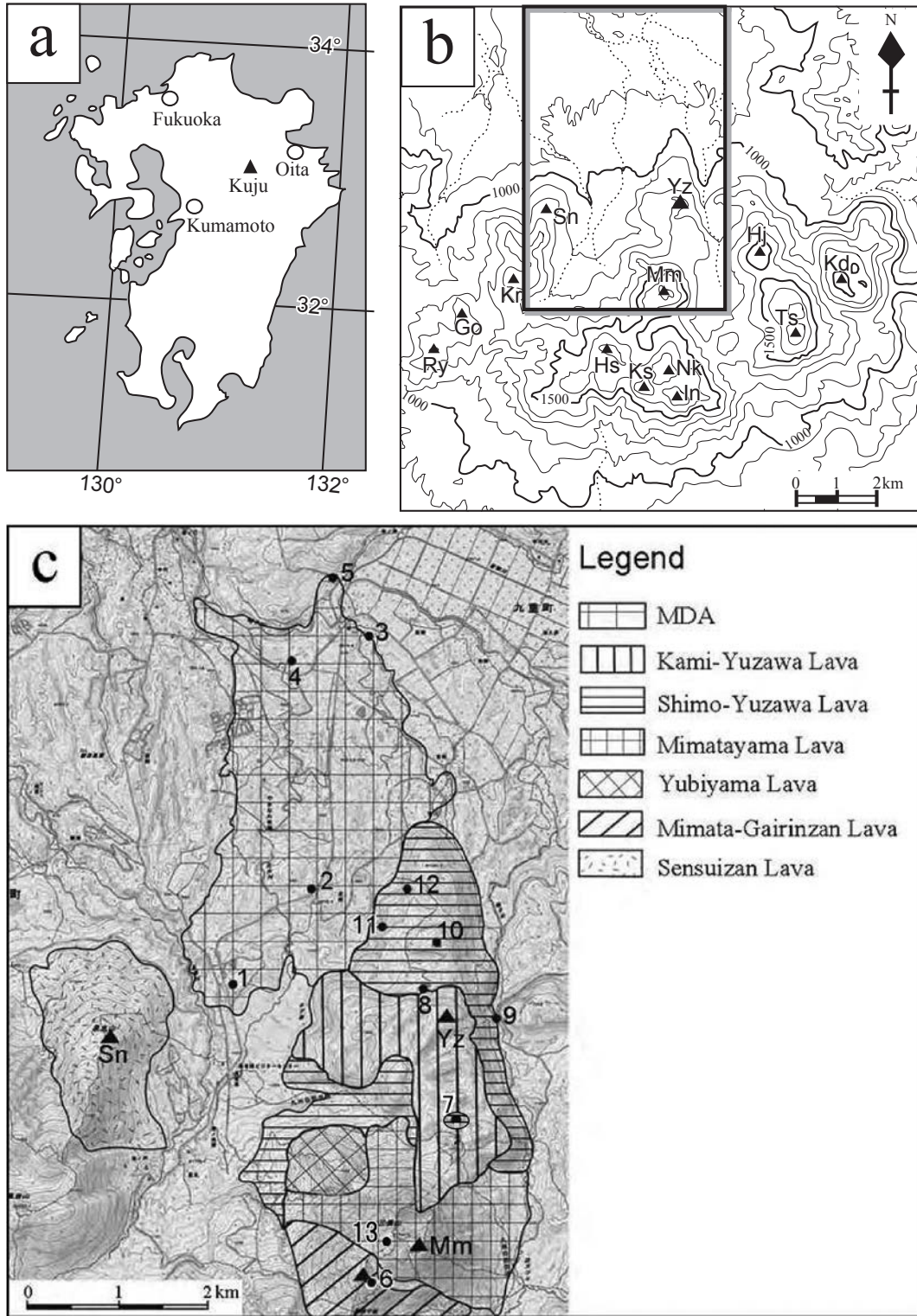


Fig.1. Index maps of the Kuju Volcanic Group. (a) Location map. (b) Topographic map. The rectangle corresponds to the area shown in Fig. 1c. The contour interval is 100 m. Solid triangles indicate the summit of each volcano. Go: Gotosan, Hj: Hijiidake, Hs: Hosshosan, In: Inaboshiyama, Kd: Kurodake, Kr: Kuroiwayama, Ks: Kujusan, Mm: Mimatayama, Nk: Nakadake, Ry: Ryoshiyama, Sn: Sensuizan, Ts: Taisenzan, Yz: Yuzawayama. (c) Geological map showing the locations of the sampling sites (solid circles). MDA: Matsunodai debris avalanche deposit. The base map is part of the 1:25,000 scale topographic maps “Yutsubo” and “Taisenzan” issued by Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

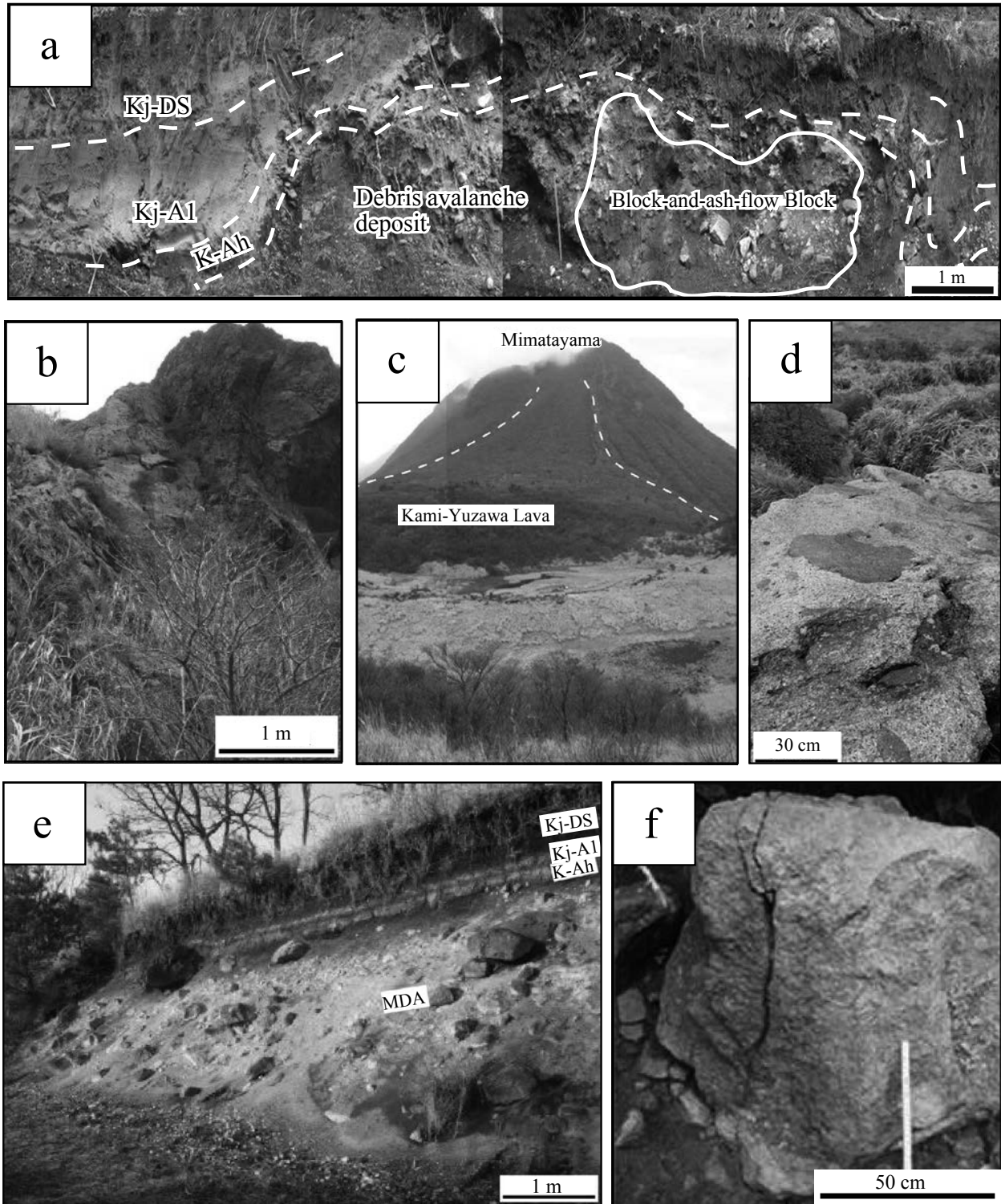


Fig.2. Photographs of selected outcrops and geomorphology. (a) Block of debris avalanche deposit on Shimo-Yuzawa lava (Loc. 12). (b) Cliff of Shimo-Yuzawa lava at Amegaiki (Loc. 7). (c) Kami-Yuzawa lava on the northern slope of Mimatayama. (d) Mafic inclusion in Mimata-Gairinzan lava (Loc. 6). Diameter is about 30 cm. (e) Outcrop of the Matsunodai debris avalanche deposit (MDA) and Holocene tephra layers (Loc. 4). K-Ah: Kikai-Akahoya ash, Kj-A1: A1 Ash, Kj-DS: Danbaru scoria. (f) Jigsaw crack in a block of the MDA (Loc. 3).

この研究では、MDA、湯沢山および三俣外輪山(西峰: 標高 1679 m) の野外調査を行い、採取試料の熱ルミネッセンス (TL) 年代と全岩化学組成から MDA の給源と調査域の地形形成プロセスを考察した。

地形・地質記載

湯沢山、三俣山および MDA の主な調査地点 (Fig. 1c) での露頭写真を Fig.2 に、模式柱状図を Fig.3 に、MDA の地形分類図を Fig.4 にそれぞれ示す。

1. 湯沢山

湯沢山は、三俣山北麓に位置する厚い溶岩流からなり (太田, 1991), その上位には K-Ah, A1 降下火山灰 (Kj-A1), 段原降下スコリア (Kj-DS) が累重する (鎌田, 1997). 灰色~黒灰色塊状の安山岩で、最大径 15 cm の苦鉄質包有物を含み、産状や岩相が類似していることから湯沢溶岩や湯沢山溶岩と一括されてきた (小野, 1963; 太田, 1991; 鎌田, 1997). しかし、地形的には、標高 1100 ~ 1200 m, 厚さ約 200 m の下段と、標高約 1300 m, 厚さ約 200 m の上段に区分できるため、本稿では下段を下湯沢溶岩、上段を上湯沢溶岩とよぶ (Fig.3b). 下湯沢溶岩の表面には、MDA に対比

できる堆積物 (Fig.2a) と流れ山地形 (Fig.4) が確認できる. 三俣山北麓にある雨ヶ池付近では、下湯沢溶岩が比高 6 m の崖として露出する (Fig.2b). この高まりの上に直径約 2 m の岩塊がのる (地点 7). 三俣山の北側斜面には、上湯沢溶岩が流下した痕跡も観察できる (Fig.2c).

2. 三俣外輪山

三俣山は、地形的に下湯沢溶岩を覆い (Fig.1c), K-Ah より上位のテフラと黒ボク土に覆われる (鎌田, 1997). 新鮮な部分は灰色の角閃石安山岩であるが、しばしば酸化されて暗赤色を呈す. この酸化による暗赤色は、節理に沿った部分または包有物のみに見られる. 包有物は稀に最大 30cm に達する (Fig.2d). 地形的には、中央部の溶岩ドームと外輪山に区分される (Fig.1c). この成因としては、火道内を降下したマグマが再上昇したためと考えられた (小野, 1963). しかし、小林ほか (2015) は、三俣外輪山溶岩が北側に開いた崩壊地形を持つ旧山体 (古期三俣山) であると考えた.

3. 松の台岩屑なだれ堆積物

MDA は湯沢山の北西麓に位置し、K-Ah を挟む黒

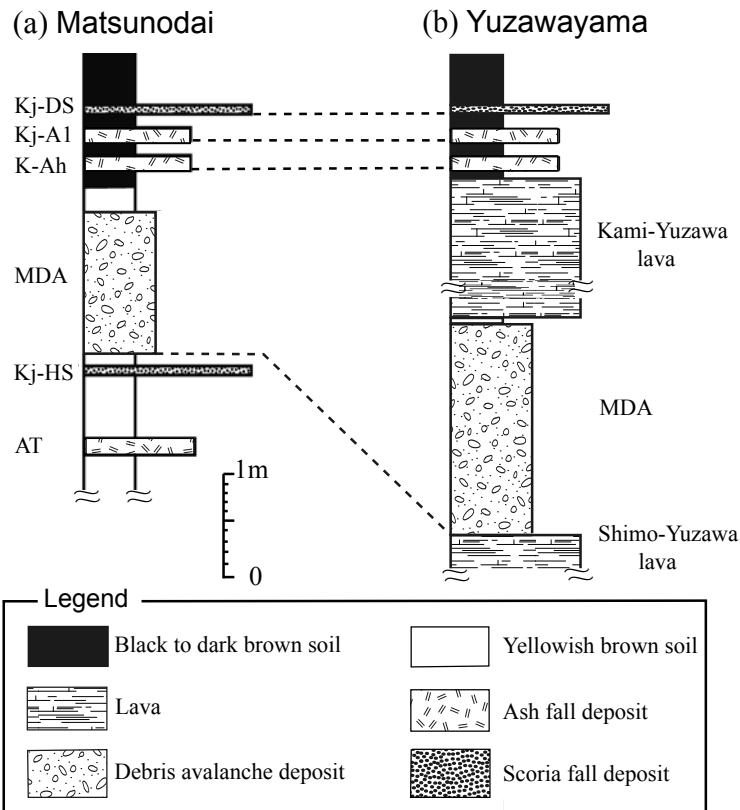


Fig.3. Idealized columnar sections at (a) Matsunodai (Nagaoka and Okuno, 2014) and (b) Yuzawayama. Approximate thicknesses are shown by scale.

ボク土とその下位の褐色ローム層に覆われる（鎌田，1997）（Figs.2e and 3a），平均層厚は約 30 m である（小林ほか，2015）。MDA は標高により上段，中段，下段の 3 段に分けることができ（小林ほか，2015），試料を各段から採取した（Figs. 1c and 4）。MDA の分布域には数多くの流れ山地形が見られる。この流れ山の長軸方向を把握するため，空中写真判読において 500 m

メッシュで区切った地域ごとの流れ山に短径／長径が 0.5 以下，水平投影が 1000 m² 以上という条件で，分布を判読した。流れ山の長軸方向を投影した（Fig.4 and 5）。流れ山の長軸方向は，下段では北－南方向，中段では北北東－南南西方向，上段では北北西－南南東方向に卓越する。すなわち，各段で異なる方向を示す。MDA 中の岩塊は酸化されて暗赤色を呈す安山

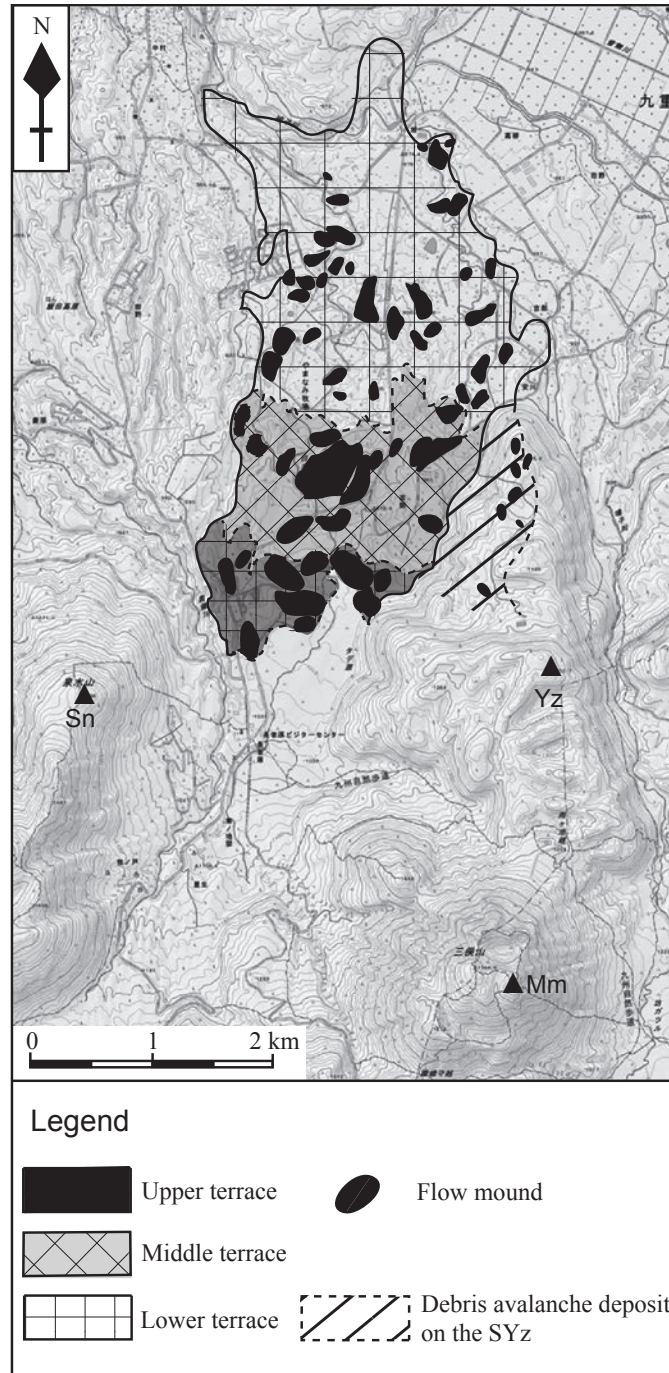


Fig.4. Geomorphological map of the Matsunodai debris avalanche deposit (MDA). The dashed line indicates the approximate boundary between the terraces in the MDA. The base map is part of the 1:25,000 scale topographic maps “Yutsubo” and “Taisenzan” issued by GSI.

岩が主体であるが、酸化されていない灰色～黒灰色の安山岩もある。これらの岩塊にはジグソークラック構造が発達している (Fig.2f)。岩塊の大きさは最大 5 m であり、上段から下段にかけて小さくなる。また、高

温酸化を示す赤紫色の脆弱な火砕流堆積物も最大径 4 m のブロックとして含まれる。一方、基質部の割合は、岩塊の径とは逆に増加する傾向がある。

岩石記載

1. 下湯沢溶岩および上湯沢溶岩

下湯沢溶岩および上湯沢溶岩は、いずれも灰色～黒灰色の黒雲母含有斜方輝石単斜輝石普通角閃石安山岩である。斑晶は斜長石、普通角閃石、単斜輝石、斜方輝石、黒雲母と少量の石英からなる。石基部分はハイアロピリティック～インターサタル組織を呈し、火山ガラスのほか少量の微細な斜長石や不透明鉱物から構成されている。斑晶の斜長石は自形から半自形で直径 0.1～1.5 mm が主体であり、最大で 4 mm に達する。累帯構造、双晶を示し、蜂の巣状構造や汚濁帯がしばしば認められる。普通角閃石斑晶は自形で直径 0.3～2 mm が主体であり、周縁部にオパサイト化が認められる。斜長石や不透明鉱物を包有する。単斜輝石は柱状自形から半自形で直径 0.1～0.4 mm であり、砂時計構造を呈する。斜方輝石は粒状～短柱状で直径 0.1～0.4 mm の自形から半自形である。斜方輝石と単斜輝石、斜長石の集斑状がしばしば認められる。黒雲母は希であり、長柱状や板状の自形、直径 0.5～0.7 mm で、周縁部にオパサイト化が認められ、斜長石を包有している場合もある。石英は直径 0.2～1.3 mm で融食形を示し、輝石類の反応縁を伴うことがある (Fig. 6a)。

2. 三俣外輪山溶岩

三俣外輪山溶岩は、黒雲母含有単斜輝石斜方輝石普通角閃石安山岩である。雨ヶ池付近 (地点 7) の下湯沢溶岩上部にのる岩塊もこれに当たる。斑晶は斜長石、普通角閃石、斜方輝石、単斜輝石、黒雲母と少量の石英からなる。石基部分はインターサタル組織を呈し、微細な柱状の斜長石や輝石、不透明鉱物から構成されている。斑晶の斜長石は自形から半自形で直径 0.1～1.2 mm を主体とし、最大 4.5 mm に達する。累帯構造、双晶を示し、ガラスや輝石、不透明鉱物を包有していることも多く、蜂の巣状構造や汚濁帯もよく見られる。普通角閃石斑晶は自形で直径 0.2～2.3 mm であり、ほとんどがオパサイト化している。斜長石や不透明鉱物を包有することがある。斜方輝石は粒状～短柱状で、直径 0.1～0.4 mm の自形から半自形である。単斜輝石は粒状～柱状の自形から半自形で直径 0.1～1.5 mm である。砂時計構造を呈する。黒雲母は長柱状や板状の自形で、直径 0.2～1.1 mm である。石英は直径 0.2～1.3 mm で融食形を示し、その周縁には輝石などの

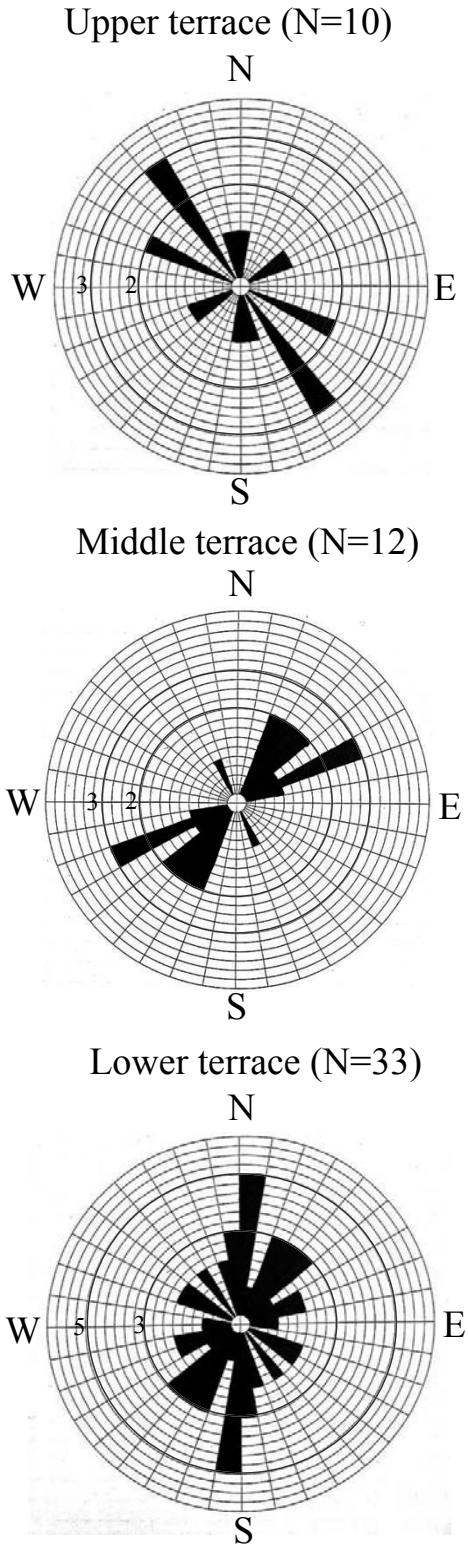


Fig.5. Rose diagram showing the direction of the longitudinal axes of the mounds in the MDA. Note that the dominant direction differs for each step.

Plane-polarized light

Crossed light

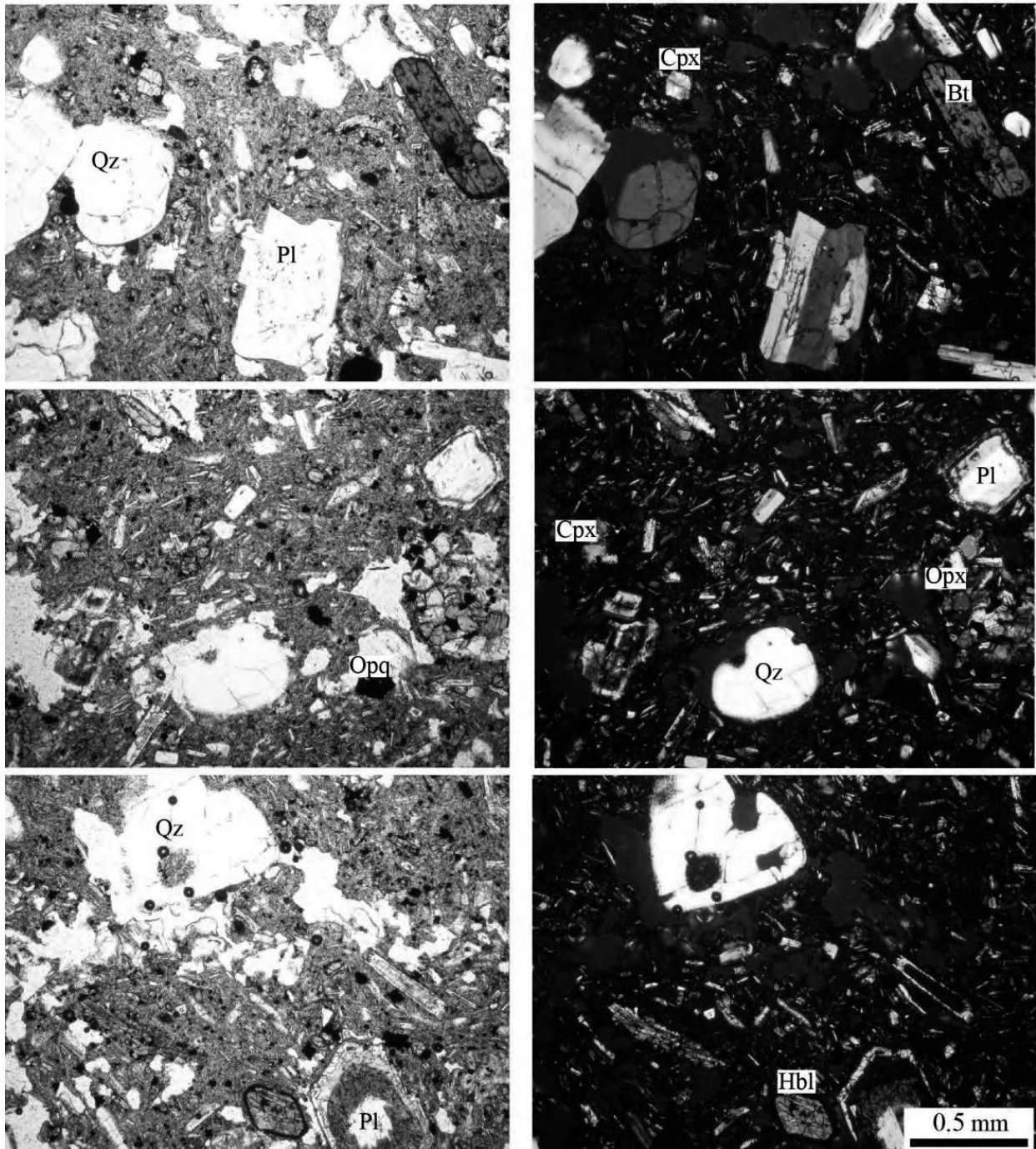


Fig.6a. Photomicrographs of Shimo-Yuzawa, Kami-Yuzawa and Mimata-Gairinzan lavas and blocks in the MDA. Pl, plagioclase; Hbl, hornblende; Opx, orthopyroxene; Cpx, clinopyroxene; Bt, biotite; Qz, quartz. (a) Shimo-Yuzawa and Kami-Yuzawa lavas. (b) Mimata-Gairinzan lava. (c) Blocks in the MDA at Locations 1, 2 and 3. (d) Blocks in the MDA at Locations 2 and 4.

反応縁を伴うことがある (Fig.6b).

3. 松の台岩屑なだれ堆積物中の岩塊

MDA 中の岩塊は，岩石記載学的特徴により 2 種類に区分できる．以下にそれぞれ分けて記載する．

(1) 黒雲母含有斜方輝石単斜輝石普通角閃石安山岩

地点 1～3 (Fig.1c) の岩塊の斑晶鉱物は，斜長石，普通角閃石，単斜輝石，斜方輝石，黒雲母と少量の石英からなる．石基部分はハイアロピリティック～インターサータル組織を示し，火山ガラスのほか長柱状斜長石と輝石，不透明鉱物からなる．斑晶の斜長石は自

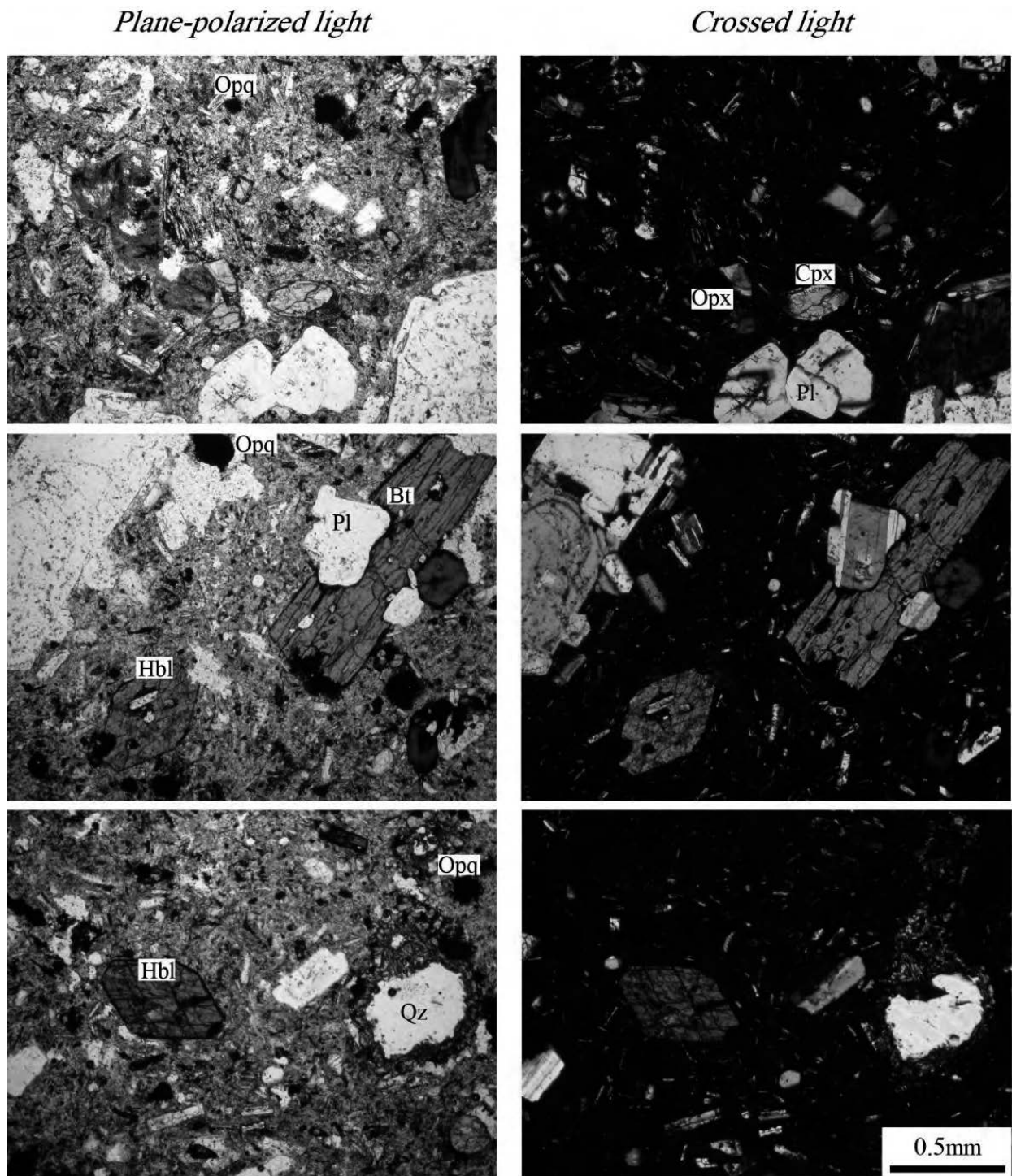


Fig.6b

形から半自形で直径0.1～1.4 mmが主体であり、最大3.5 mmのものが存在する。累帯構造、双晶を示し、蜂の巣状構造や汚濁帯がしばしば認められる。普通角閃石斑晶は自形で直径0.3～1.2 mmであり、オパサイト化が認められ、しばしば不透明鉱物、斜長石、斜方輝石を包有している。単斜輝石は粒状～短柱状で直径0.1～0.3 mmの自形から半自形であり、砂時計構

造が認められる。斜方輝石は粒状～短柱状で自形から半自形の直径0.1～0.3 mmである。角閃石、斜長石、斜方輝石、不透明鉱物の集斑状がしばしば認められる。黒雲母は希で長柱状や板状の自形で、直径0.5～0.7 mmである。オパサイト化が認められ、斜長石や不透明鉱物を包有する。石英は直径0.3～1.5 mmで融食形を示し、輝石類の反応縁を伴うことがある (Fig.6c)。

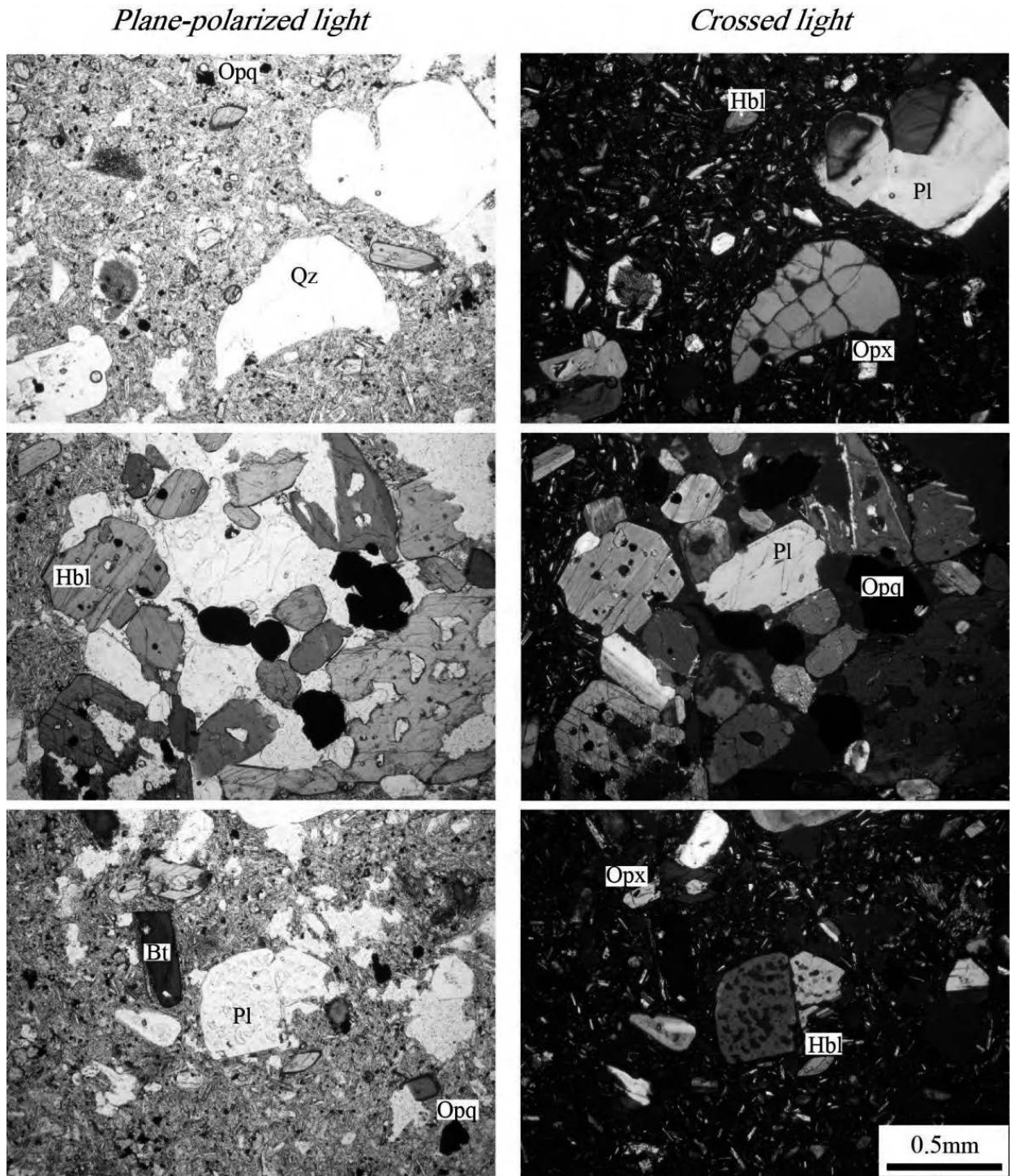


Fig.6c

(2) 黒雲母含有単斜輝石斜方輝石普通角閃石安山岩

地点2と4 (Fig.1c) の岩塊の斑晶は，斜長石，普通角閃石，斜方輝石，単斜輝石，黒雲母と少量の石英からなる．石基部分はインターサタル組織を示し，微細な柱状の斜長石や輝石，不透明鉱物から構成されている．斑晶の斜長石は自形から半自形で直径0.1～

2.0 mm であり，累帯構造，双晶を示し，蜂の巣状構造や汚濁帯が認められる．普通角閃石斑晶は自形で直径0.2～1.5 mm である．周縁部はオパサイト化が認められ，斜長石や不透明鉱物を包有する．斜方輝石は小型のものが多く，粒状～短柱状で直径0.1～0.3 mm の自形から半自形である．単斜輝石は粒状～柱状で直径0.1～0.4 mm の自形から半自形である．砂時計構

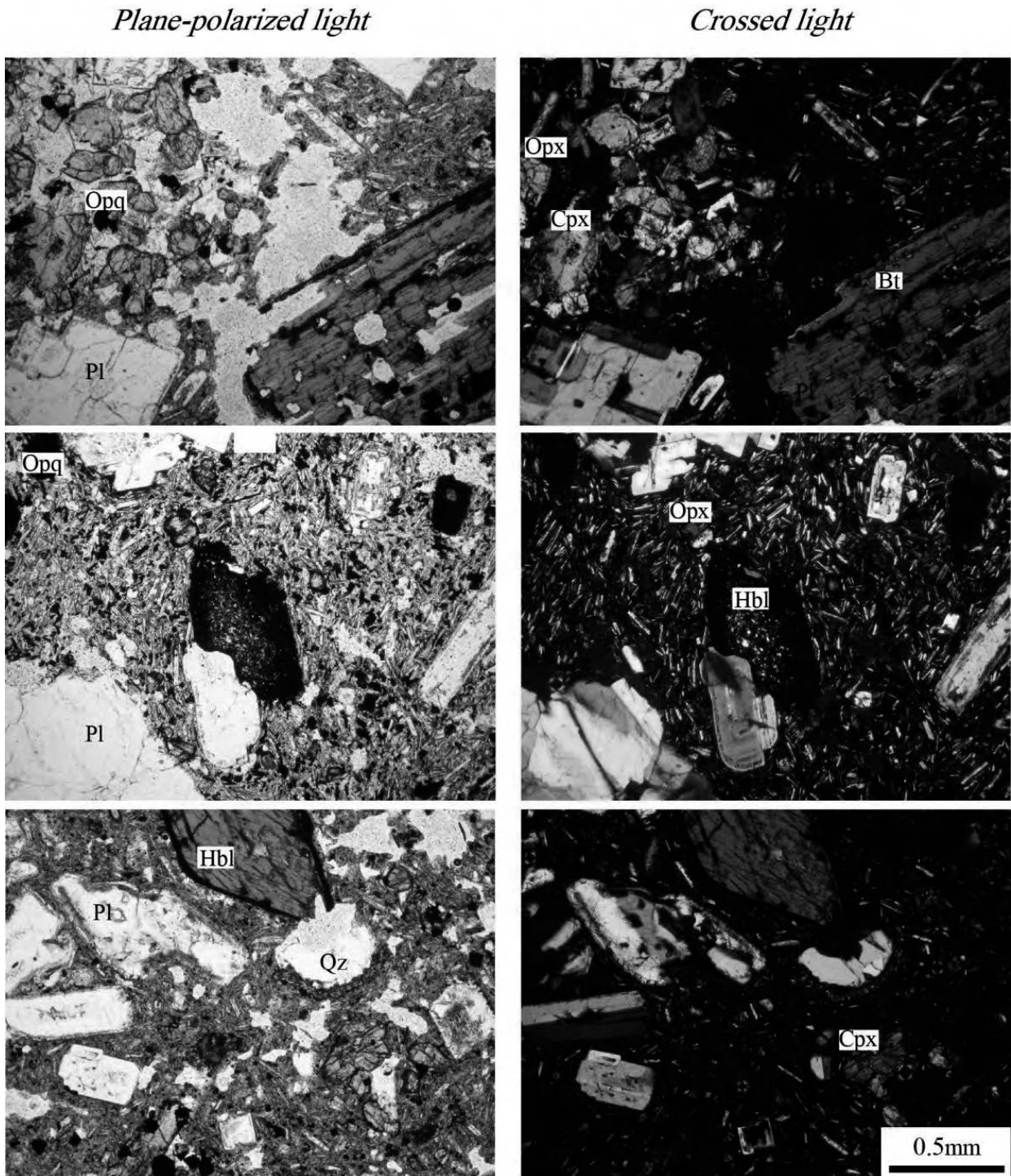


Fig.6d

造が認められる。単斜輝石，斜方輝石，斜長石，不透明鉱物の集斑状が認められる。黒雲母は長柱状や板状の自形で直径0.5～1.5 mmであり，オパサイト化が認められ，斜長石や不透明鉱物を包有する。石英は直径0.2～1.5 mmで融食形を示し，輝石類の反応縁が認められる (Fig.6d)。

分析手法

1. 全岩化学組成分析

下湯沢溶岩から1試料(地点7)，上湯沢溶岩から1試料(地点8)，三俣外輪山溶岩から2試料(地点6)，MDAから暗赤色と灰色の岩塊それぞれ2試料(地点1, 2, 3, 4)，下湯沢溶岩を覆う岩屑なだれ堆積物中

の岩塊を1試料(地点12), 苦鉄質包有物を2試料(地点2と10)の計11試料について, 福岡大学理学部に設置されている蛍光X線分析装置(理学電機工業社製, ZSX100e)を用いて全岩化学組成を測定した。試料調製および測定方法は, 柚原・田口(2003a, b, 2006), 柚原ほか(2004), 高本ほか(2005)に従った。

2. TL年代測定

測定方法は, 高島(1995)および高島ほか(2006)に従った。まず, ステンレス乳鉢により粉碎した岩石試料からふるいを用いて径0.25~0.074 mm(60~200メッシュ)の粒子を回収し, 蒸留水による洗浄と定温乾燥機(45°C)での乾燥後, 磁石を用いて強磁性鉱物を除去した。さらにアイソダイナミックセパレーター(Frantz社製, Model L-1)により磁性鉱物を分離した後, 塩酸およびフッ酸処理により純化・精製して石英試料を得た。この分離石英を①無処理, ②無処理のものに γ 線照射, ③320°C, 1時間処理したものに γ 線照射の3種類について各3回の発光測定を行った。その結果から成長曲線を求めて蓄積線量を算出した。年間線量を算出するための放射性元素分析は, 試料を0.84 mm(20メッシュ)のふるいを通させ, 粒径0.84 mm以下の画分を290 g回収し, NaI結晶を使用した γ 線スペクトロメーターで24時間測定した。この分析結果と岩石試料の水分量, 石英斑晶の粒径を用いて β 線量を補正した。

結果と考察

1. 全岩化学組成

分析結果をTable1に, SiO_2 -酸化物図ならびに微量元素図をFig. 7に示す。全鉄は Fe_2O_3 として扱い, Fe_2O_3^* と表記する。下湯沢溶岩と上湯沢溶岩は, 測定数が少ないものの $\text{SiO}_2 = 58.62 \sim 58.67 \text{ wt.}\%$ の範囲にある。一方, 三俣外輪山溶岩は, $\text{SiO}_2 = 60.1 \sim 61.50 \text{ wt.}\%$ の範囲にある。溶岩の噴出量や噴出率などの要因も考えられるが, 三俣外輪山溶岩がより珪長質であるため, 溶岩ドームを形成した可能性がある。 SiO_2 の増加とともに, MgO , Fe_2O_3^* , CaO が減少し, K_2O は増加する(Fig. 7)。このほか SiO_2 含有量の増加とともにZn, Sr含有量は減少し, Al_2O_3 含有量は一定, Na_2O , Zr, Ba, Rbは増加する傾向がある。YとNbの含有量はバラつくが, Yは減少してNbは増加する。全岩化学組成にもとづいた詳しい議論には, データのさらなる蓄積が必要である。

MDA中の岩塊は, 三俣外輪山溶岩と下湯沢溶岩の組成範囲にまたがり, 両者に由来することを示す。また, 下湯沢溶岩を覆う岩屑なだれ堆積物中の岩塊

は, 三俣外輪山溶岩の組成範囲内にある。すなわち, MDAの一部が下湯沢溶岩を覆うことや(Fig. 4), 三俣外輪山溶岩に崩壊跡と考えられる地形が確認できること(小林ほか, 2015), 岩石記載学的特徴(Fig. 6)と全岩化学組成(Fig. 7)から, MDAの給源は三俣山であると考えられる。

2. TL年代値

TLの成長曲線と各地点での年代値をそれぞれFig. 8とFig. 9に, 測定結果をまとめてTable 2に示す。得られたTL年代値は, 下湯沢溶岩が $44 \pm 7 \text{ ka}$ と $43 \pm 3 \text{ ka}$, 三俣外輪山溶岩が $35 \pm 6 \text{ ka}$ と $34 \pm 5 \text{ ka}$, 三俣山溶岩が $25 \pm 7 \text{ ka}$, 上湯沢溶岩が $19 \pm 4 \text{ ka}$ である。一方, 地形からは, 下湯沢溶岩からなる台地上に三俣外輪山溶岩(古期三俣山)が成長し, その崩壊後に三俣山溶岩(新期三俣山)が再度成長し, 最後にその北側斜面上湯沢溶岩の流下跡が残ると考えられる。この噴出順序と得られたTL年代は, よく調和している。また, 地点7の下湯沢溶岩上に存在する直径約2 mの岩塊は, 岩石の特徴や年代が三俣外輪山溶岩と類似することから, 三俣外輪山溶岩由来と判断した。MDA中の岩塊には, 下湯沢溶岩の年代に対応するもの($46 \pm 3 \text{ ka}$ および $42 \pm 4 \text{ ka}$)と三俣山溶岩の年代に対応するもの($26 \pm 3 \text{ ka}$ および $26 \pm 5 \text{ ka}$)がある(Fig. 9)。米国のセントヘレンズ火山の1980年噴火では, 粘性の高いマグマの貫入により火山体の一部が破碎・変形し, 火山性地震をきっかけとして山体崩壊が発生したことがよく知られている(Moore and Albee, 1981; 宇井・荒牧, 1983)。この噴火では崩壊ブロックが上昇したマグマの頂部を切ったため, 岩屑なだれ堆積物に本質岩塊が含まれた。これと同様にMDA内の若い年代を示す岩塊は, 三俣外輪山溶岩に新たに貫入したマグマの一部(=新期三俣山)であると考えられる。MDAは上流から下流にかけて年代が若くなる(Fig. 9)。これは選択的に十分に冷えた岩塊を上流で落としながら, まだ高温の貫入した岩塊を選択的に下流へ運んだ可能性が考えられる。

地形形成プロセス

以上の結果から考えられる地形形成プロセスは, 以下の通りである。まず下湯沢溶岩が約44 kaに形成された後, その上に三俣外輪山溶岩からなる溶岩ドーム(古期三俣山)が約35 kaに成長した。そして, 約26 kaの新たなマグマの貫入により古期三俣山が崩壊してMDAが形成された。MDAには古期三俣山北麓に堆積していたblock-and-ash flow堆積物, 下湯沢溶岩および新たに貫入したマグマの一部も岩塊として取り

込まれた。この貫入したマグマは、三俣外輪山溶岩の崩壊地形をほぼ埋める形で新期三俣山(現在の三俣山)を形成した。最後に上湯沢溶岩が三俣山の北側火口から約 19 ka に噴出し、下湯沢溶岩の一部を覆うように流下したと考えられる。

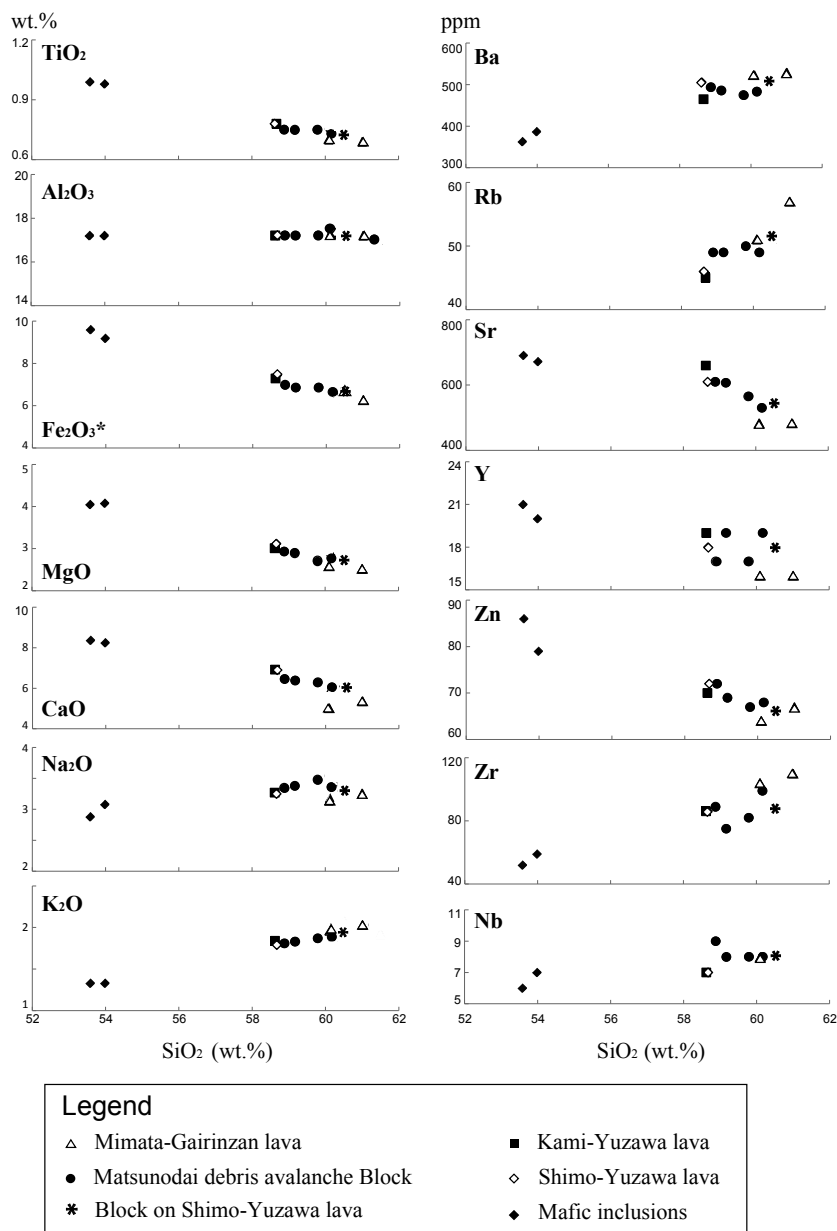


Fig.7. Whole-rock variation diagrams of major and trace elements for Mimata-Gairinzan, Shimo-Yuzawa, and Kami-Yuzawa lavas and blocks in the MDA.

Table 1. Whole-rock chemical compositions

Geologic unit	Block in the MDA				Block on the Shimo-Yuzawa		Mimata-Gairinzan lava	Shimo-Yuzawa lava		Kami-Yuzawa lava	
Loc. No.	1	2	3	4	2	12	6	6	7	10	8
Sample No.	14073002	14073005	14082703	14091002	1410200201	14102102	14082801	14082802	14111702	14102101	14091102
SiO ₂ (wt%)	58.88	60.17	59.17	59.79	53.58	60.51	61.01	60.1	58.62	53.98	58.67
TiO ₂	0.75	0.73	0.75	0.75	0.99	0.72	0.69	0.7	0.78	0.98	0.78
Al ₂ O ₃	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21	17.21
Fe ₂ O ₃ *	6.99	6.65	6.86	6.85	9.6	6.65	6.28	6.35	7.29	9.19	7.45
MnO	0.14	0.13	0.13	0.13	0.17	0.13	0.13	0.13	0.14	0.16	0.14
MgO	2.93	2.77	2.89	2.72	4.05	2.71	2.52	2.59	3.01	4.08	3.12
CaO	6.45	6.05	6.38	6.3	8.37	6.25	5.36	5.02	6.92	8.25	6.9
Na ₂ O	3.35	3.36	3.38	3.48	2.88	3.34	3.26	3.14	3.27	3.08	3.25
K ₂ O	1.81	1.89	1.83	1.87	1.33	1.97	2.03	1.96	1.84	1.33	1.79
P ₂ O ₅	0.15	0.12	0.15	0.13	0.16	0.11	0.09	0.08	0.09	0.16	0.12
L.O.I.	1.47	1.40	1.40	0.47	1.28	0.69	1.92	3.04	0.78	1.18	1.06
Total	100.13	100.48	100.15	99.70	99.62	100.29	100.50	100.32	99.95	99.60	100.49
As (ppm)	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<	<4
Ba	494	483	486	475	363	508	529	523	506	387	465
Cr	11	9	9	9	21	14	10	9	17	10	15
Cu	17	13	15	12	13	14	16	13	27	9	10
Ga	18	17	18	17	18	17	16	17	17	18	17
Nb	9	8	8	8	6	8	9	8	7	7	7
Ni	5	5	n.d.	4	n.d.	n.d.	4	4	4	n.d.	4
Pb	5	7	8	7	6	7	10	25	7	5	7
Rb	49	49	49	50	30	51	57	51	46	27	45
S	n.d.	26	n.d.	17	75	n.d.	151	1452	12	51	28
Sr	610	530	607	565	691	544	483	483	660	672	609
V	174	175	156	179	296	167	155	164	202	279	215
Y	17	19	19	17	21	18	16	16	19	20	18
Zn	72	68	69	67	86	66	67	64	70	79	72
Zr	89	99	75	82	52	87	110	104	86	59	86

*: Total iron as Fe₂O₃. L.O.I.: loss on ignition. n.d.: not detected.

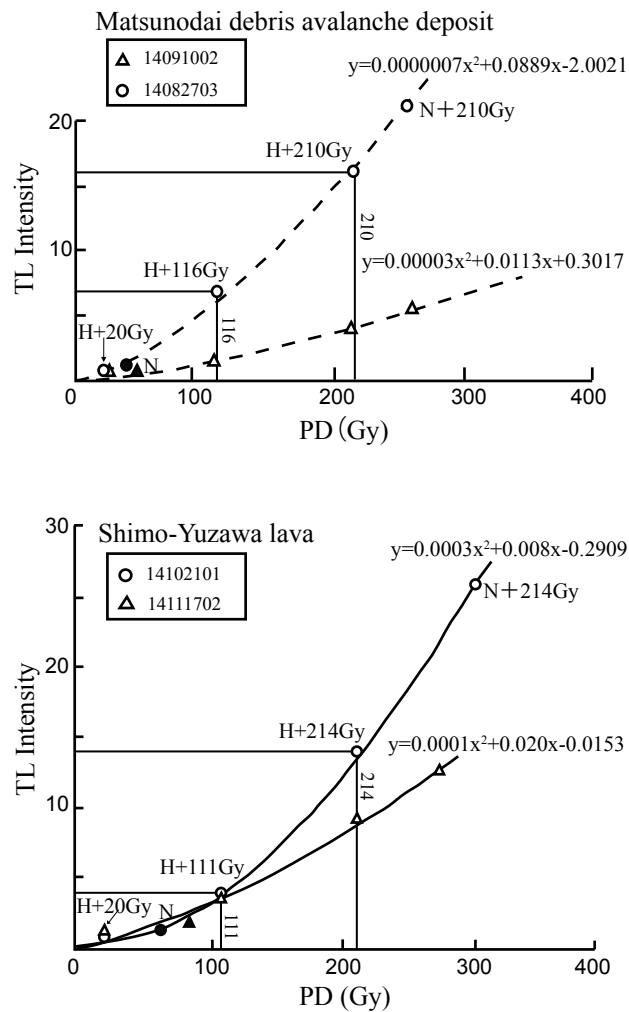


Fig.8. TL growth curves of Mimata-Gairinzan, Shimo-Yuzawa, and Kami-Yuzawa lavas and blocks in the MDA.

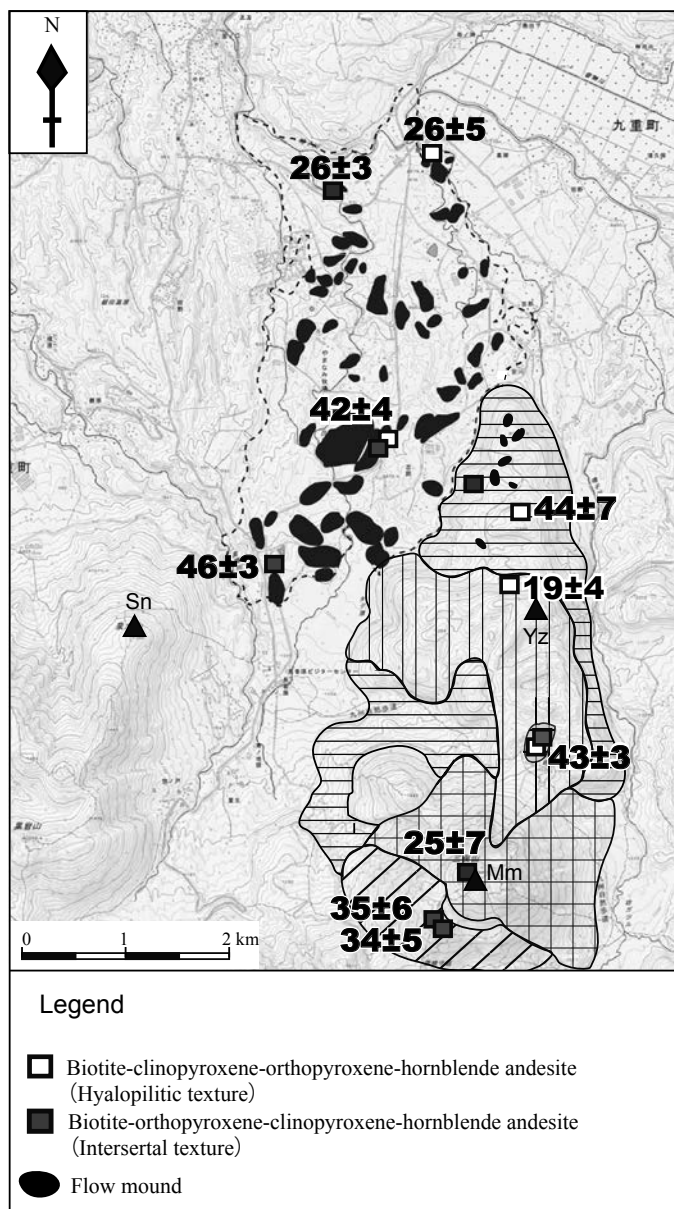


Fig.9. TL ages on a geologic map of the study area. The base map is part of the 1:25,000 scale topographic maps “Yutsubo” and “Taisenzan” issued by GSI.

Table 2. Results of TL dating

Geological unit	Loc. No.	Sample No.	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	D* (mm)	H ₂ O (%)	AD (mGy/a)	PD (Gy)	TL age (ka)
Mimata-Gairinzan lava	6	13080502	1.84	6.97	2.30	0.47	1.47	1.51	53.1	35±6
	6	14082801	1.64	6.61	1.95	1.24	4.98	1.22	41.9	34±5
Kami-Yuzawa lava	8	14091102	1.85	4.20	1.51	1.33	1.23	1.54	43.3	19±4
Shimo-Yuzawa lava	10	14102101	1.45	3.88	1.39	1.06	2.00	1.44	63.5	44±7
	7	14111702	2.26	6.56	2.11	1.42	1.54	2.09	88.9	43±3
Block in the MDA	3	14082703	1.58	5.05	1.83	1.49	1.87	1.67	43.4	26±3
	4	14091002	1.58	5.01	1.87	1.16	1.19	1.83	47.4	26±4
	2	14073005	1.73	6.17	2.03	0.70	2.54	2.21	93.2	42±4
	1	14073002	1.76	5.15	1.98	1.01	3.49	1.95	90.0	46±3
Mimatayama lava	13	13102901	3.27	9.48	2.81	0.78	1.15	1.99	49.2	25±7

*Weighted average diameter of Quartz phenocryst

謝 辞

本稿は、筆頭著者の坂口が福岡大学理学部地球圏科学学科に提出した平成 26 年度卒業論文に加筆修正したもので、その骨子は日本地質学会西日本支部第 166 回例会 (平成 27 年 2 月 21 日 (土), 山口大学吉田キャンパス) で口頭発表した。本研究を進めるに当たり、田口幸洋教授をはじめとした地球圏科学学科の皆様には有益な助言をいただいた。鮎沢 潤, 中西利典 (本学国際火山噴火史情報研究所), 筒井正明 (ダイヤコンサルタント) の各博士のコメントにより本稿は大幅に改善された。現地調査においては、(株)丸雄林業の浮島雄三社長ならびに社員の方々に物心両面に渡るご協力をいただいた。環境省くじゅう自然保護官事務所担当官の新田一仁氏には、国立公園内の試料採取の許可申請の際にご助言いただいた。著者のひとりである山崎は、福岡大学大学院理学研究科の高度化推進経費 (タイプ III) の一部を使用した。以上を記して心から感謝します。

引用文献

鎌田浩毅, 1985, 九州中北部における火山活動の推移と地質構造。地質調査所報告, 豊肥地熱地域における研究, 地質調査所, no. 264, 33-64.

Kamata, H., 1989, Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.* **51**, 41-50.

鎌田浩毅, 1997, 宮原地域の地質。地域地質研究報告, 5 万分の 1 地質図幅, 地質調査所, 127p.

Kamata, H. and Kobayashi, T., 1997, The eruptive rate and history of Kuju Volcano in Japan during the past 15,000 years. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **76**, 163-171.

川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子, 2015, 九重火山地質図。産総研地質調査総合センター, 火山地質図 no. 19. 6p.

小林哲夫・池辺浩司, 1985, 九重火山東部の地質。日本火山学会講演予稿集, **30**, 310-310.

小林哲夫・筒井正明・奥野 充, 2015, 九重火山群, 松の台岩屑なだれ堆積物の地質学的研究。火山, 印刷中。

松本徭夫, 1983, 九重火山群の火山地質学的研究。山口大学理学部地質学鉱物科学教室, 91p.

Moore, J.G. and Albee, W.C., 1981, Topographic and structural changes, March-July 1980. In Lipman, P.W. and Mullineaux, D.R., eds., *The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington, U.S.* Geological Survey Professional Paper, no. 1250, 123-134.

長岡信治・奥野 充, 2014, 九重火山のテフラ層序。月刊地球, **36**, 281-296.

長岡信治・奥野 充, 2015, 九州中部, 九重火山群の噴火史。地形, **36**, 141-158.

奥野 充・長岡信治・小林哲夫, 2012, 九重火山の噴火史研究 (レビュー)。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (XXIII), 164-170.

奥野 充・高島 勲・長岡信治・鮎沢 潤・稲永康平・今里 博・大淵真吾・葺本信太郎・兼田大道・小林哲夫, 2013, 九重火山中西部の熱ルミネッセンス年代。月刊地球, 号外 no. 62, 32-36.

小野晃司, 1963, 久住。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅説明書), 地質調査所, 106p.

太田岳洋, 1991, 九重火山群, 東部及び中部域の形成史。岩鉱, **86**, 243-263.

高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祓川流域の元素濃度分布。福岡大学理学集報, **35** (2), 41-66.

高島 勲, 1995, 熱ルミネッセンス年代測定。第四紀研究, **34**, 209-220.

高島 勲・村上英樹・ホン ディク グエン・エディ ステプタ・毛利陽司・柴田能辰, 2006, 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代。岩石鉱物科学, **35**, 70-77.

宇井忠英・荒牧重雄, 1983, 1980 年セントヘレンズ火山のドライアバランシュ堆積物。火山, **28**, 289-299.

柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光 X 線分析装置 ZSX100e による, 珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量元素の定量分析。福岡大学理学集報, **33** (1), 25-34.

柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による珪酸塩岩石の Co および S の蛍光 X 線分析。福岡大学理学集報, **33** (2), 77-81.

柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004, 粉末ペレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光 X 線分析。福岡大学理学集報, **34** (1), 43-49.

柚原雅樹・田口幸洋, 2006, ガラスビード法による炭酸塩岩石の主成分および微量元素の蛍光 X 線分析。福岡大学理学集報, **36** (2), 29-35.

(要 旨)

坂口 巧・柚原雅樹・山崎圭二・高島 勲・奥野 充, 2015, 九重火山群の上湯沢, 下湯沢, 三俣外輪山溶岩および松の台岩屑なだれ堆積物の熱ルミネッセンス年代と全岩化学組成. 福岡大学理学集報, 45, 137-152. (Sakaguchi, T., Yuhara, M., Yamasaki, K., Takashima, I., Okuno, M., Thermoluminescence age and whole-rock chemical compositions of Kami-Yuzawa, Shimo-Yuzawa and Mimata-Gairinzan lavas and Matsunodai debris avalanche deposit, Kuju Volcanic Group, central Kyushu, Japan. *Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, 45, 137-152.)

松の台岩屑なだれ堆積物(MDA)は, 中部九州の九重火山群北麓に分布し, その南東には湯沢山, 南には三俣山が位置する. 湯沢山は, 地形・地質学的特徴や TL 年代などから, 上湯沢溶岩と下湯沢溶岩に区分できる. 三俣山は, 下湯沢溶岩からなる台地上に形成され, 北側に開く崩壊地形が存在する. MDA は, この崩壊地形が給源であると考えられ, 含まれる岩塊の岩石記載的特徴, 全岩化学組成, TL 年代などもこれを支持する. MDA の岩塊は, 主に三俣外輪山溶岩と下湯沢溶岩に由来し, 一部に三俣山のドーム部を形成したものも含まれる. 地形形成プロセスとしては, 約 44 ka に下湯沢溶岩が形成され, 約 35 ka の三俣外輪山溶岩により古期三俣山が形成され, 約 26 ka のマグマ貫入による山体崩壊で MDA が堆積した. 崩壊地形は直後に三俣山のドーム部(新期三俣山)により埋積され, 約 19 ka の噴火で新期三俣山の北側火口から上湯沢溶岩が流下した.