

九重火山群，松の台岩屑なだれ堆積物の地質学的研究

小林 哲夫*・筒井 正明**・奥野 充***

(2014 年 12 月 26 日受付, 2015 年 8 月 20 日受理)

Geology of the Matsunodai Debris Avalanche Deposit, Kuju Volcanic Group, Kyushu, Japan

Tetsuo KOBAYASHI*, Masaaki TSUTSUI** and Mitsuru OKUNO***

We investigated geology of the Matsunodai debris avalanche deposit (MDA) and its adjacent area in Kuju Volcanic Group, Kyushu, Japan. Based on the eruptive history, the source of the MDA should be inferred to be the Mimata-Gairinzan lava. Volume of the collapsed part of the lava is calculated to be *ca.* 0.3 km³. On the other hand, volume of the MDA is estimated as *ca.* 0.2 km³, which is almost consistent with collapsed volume. The MDA can be divided into three terraces on the surface. Debris avalanche rushed down 6 km to the north, and spilled over the gentle slope at least 40 m above the lower land. We could not find any evidence for high-temperature deposition from previous reports on rock-magnetism of the MDA.

Key words: Kuju Volcanic Group, Oita prefecture, Mimatayama, Matsunodai, debris avalanche

1. はじめに

九重火山群 (Fig. 1) は、20 以上の溶岩ドームや小型成層火山からなり (鎌田, 1997; 川辺・他, 2015), 1995 年にも硫黄山で水蒸気噴火が発生している (江原, 1995; 星住・他, 1995a, b). 九重火山群の先駆的な地質研究として, 小野 (1963), 太田・他 (1968) および松本 (1983) などがある. しかしその後, 始良 Tn テフラ (AT: 町田・新井, 1976) や鬼界アカホヤテフラ (K-Ah: 町田・新井, 1978) など広域テフラの存在が明らかになり, それらを利用し, まず小林・池辺 (1985) が東部の大船山周辺のテフラ層序を確立し, 太田 (1991), 鎌田 (1997), Kamata and Kobayashi (1997), 長岡・奥野 (2015) など同様の手法で九重火山全域の噴火史を解明する研究を行った.

北麓に広がる飯田高原は, 約 54 kBP (奥野・他, 2012) の飯田火砕流堆積物 (Kj-Hd: 鎌田・三村, 1981) からな

る台地面で, この面を覆って特徴的な流れ山地形を示す松の台岩屑なだれ堆積物 (MDA: 鎌田, 1985) が分布している (Fig. 2). その上流側には, 西に泉水山 (標高 1296 m), 東に湯沢山 (標高 1332 m), 南には三俣山 (標高 1745 m) や星生山 (標高 1762 m) などの溶岩ドームを主体とした山体が存在する (Fig. 1). 太田 (1991) は, 泉水山溶岩 (Sn) と湯沢溶岩 (Yz) が Kj-Hd と同時に噴出した九重第 1 軽石 (Kj-P1: 町田, 1980; 長岡・奥野, 2014) よりも古いとし, 湯沢溶岩が MDA の給源であると考えた. 一方, 鎌田 (1997) は, 分布や粒度変化などから, 泉水山溶岩を MDA の給源と推定した. また, この MDA は冷却途中の泉水山溶岩が崩壊して高温定置した「高温の岩屑なだれ堆積物」であるとされた (鎌田, 1985, 1997; 鎌田・他, 1996, 2001; 渡辺・他, 1999).

筆者らは, MDA を形成した山体崩壊の発生地点を特

* 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35

鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻
Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan.

** 〒331-0811 さいたま市北区吉野町 2-272-3

株式会社ダイヤコンサルタント 砂防・防災事業部
Sabo and Disaster Prevention Division, DIA Consultant Co., Ltd., 2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama 331-0811, Japan.

*** 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

福岡大学理学部・国際火山噴火史情報研究所
Department of Earth System Science, Faculty of Science, also AIG Collaborative Research Institute for International Study on Eruptive History and Informatics, Fukuoka University, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan.Corresponding author: Tetsuo Kobayashi
e-mail: koba@sci.kagoshima-u.ac.jp

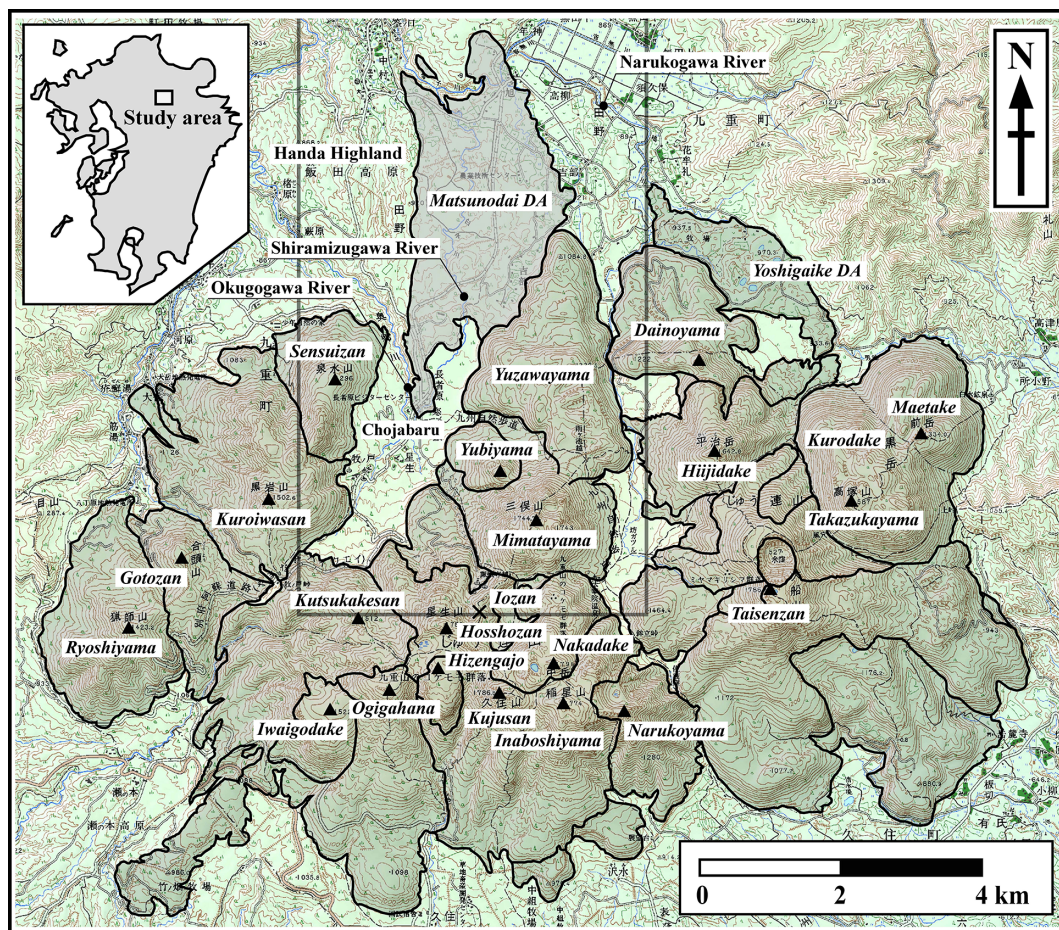


Fig. 1. Geologic map of Kuju Volcanic Group (modified from Kamata, 1997; Kobayashi *et al.*, 2008).

Solid triangle indicates the representative volcano of Kuju Volcanic Group. DA: debris avalanche deposit. "X" indicates vent position of the 1995 eruption. The rectangle corresponds to the area shown in Fig. 2. The base map is part of the 1 : 50,000 scale topographic map "Miyanojima" and "Kuju" issued by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

定することを目的として、火山地質学的調査を行った。なお調査地域の北東側 (Fig. 1) には、MDA とは別のよしが池岩屑なだれ堆積物 (小林・他, 2008) が分布するが、本論ではその部分の記載・議論は割愛した。

火山地質学的研究では、地質ユニットの分布が論文ごとに若干異なることもあり、露頭単位での比較が重要である。本稿でも、鎌田・他 (1996, 2001) や渡辺・他 (1999) の記載内容を露頭単位で把握し、議論に取り込むことができた。本稿では、岩石磁気データを例に露頭情報の記録・保全の重要性についても述べる。

2. MDA とその周辺地域の層序と年代値

2-1 層序の比較

太田 (1991), 鎌田 (1997) および本稿の MDA 周辺における地質層序を Fig. 3 に示す。MDA と泉水山溶岩 (Sn),

三俣山溶岩 (Mm) および湯沢溶岩 (Yz) との層位関係は三者の間で大きく異なっている。泉水山は、筆者らにより K_j-Hd に覆われていることが確認された。鎌田 (1997) は、太田 (1991) の湯沢溶岩を独立した火山とみなし、湯沢山溶岩と改称した。しかし、この溶岩は、三俣山から流下している (Fig. 2)、本稿では湯沢溶岩の名称を採用する。また、三俣山は、MDA の発生を挟んで、南側の古い山体である三俣外輪山溶岩と北側の新しい山体である三俣山溶岩に区分できる (Fig. 2)。鎌田 (1997) は、三俣山や湯沢山、星生山などがほぼ同時期に形成され、それに関連して約 12 cal kBP の A2 降下火山灰 (K_j-A2) が堆積したと考えた。

2-2 既報の年代値

MDA とその周辺地域の年代値を以下にとりまとめ

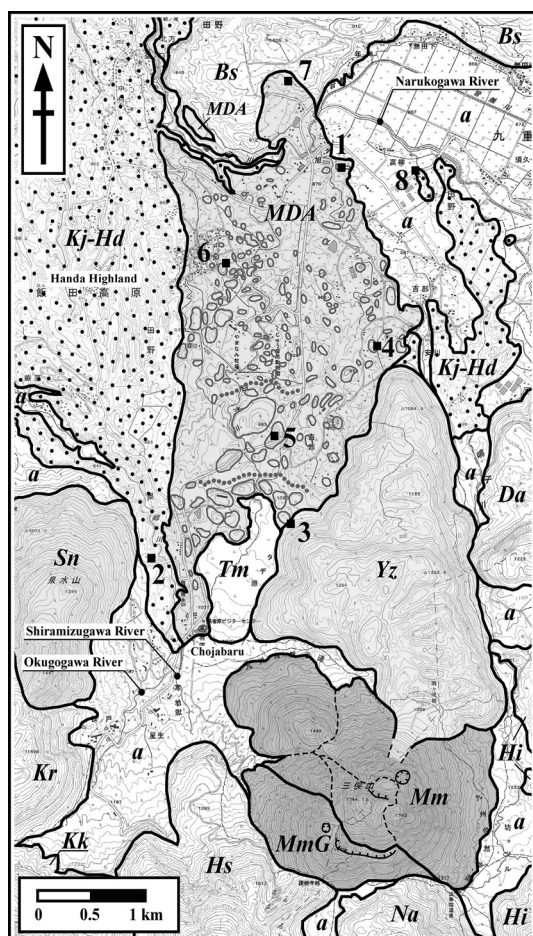


Fig. 2. Geologic map around Matsunodai debris avalanche deposit.

Numbers 1 to 8 refer to the location of outcrops described in the text. Gray-dotted line represents the approximate boundary of the terrace of different level of the Matsunodai debris avalanche deposit (MDA). Gray line outlines flow mound of MDA. a: alluvial plain, Bs: basement rocks, Da: Dainoyama lava dome, Hi: Hijidake lava, Hs: Hosshozan lava, KJ-Hd: Handa ignimbrite, Kk: Kutsukakesan lava, Kr: Kuroiwasan lava, Mm: Mimatayama lava, MmG: Mimata-Gairinzan lava, Na: Nakadake lava, Sn: Sensuizan lava, Tm: Tadewara Marshland, Yz: Yuzawa lava. The base map is part of the 1: 25,000 scale topographic map “Yutsubo” and “Taisenzan” issued by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

る。MDAに含まれる材試料の ^{14}C 年代は $17,050 \pm 60 \text{ BP}$ で(川辺・他, 2015), 約20 cal kBPに相当する。泉山水溶岩の年代は、 $0.17 \pm 0.04 \text{ Ma}$ のフィッション・トラック (FT) 年代 (Watanabe *et al.*, 1987), $72 \pm 6 \text{ ka}$ (下泉水) と44

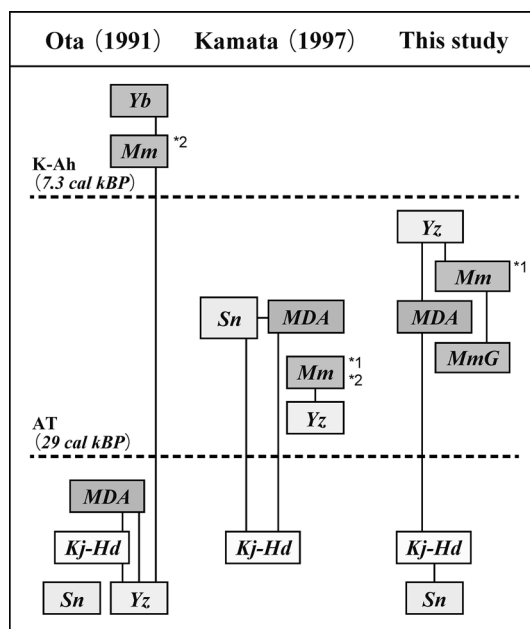


Fig. 3. Block diagram showing correlation of stratigraphy among previous studies and this study.

The color of the block is the same as Fig.2. KJ-Hd: Handa ignimbrite, MDA: Matsunodai debris avalanche deposit, Mm: Mimatayama lava, MmG: Mimata-Gairinzan lava, Sn: Sensuizan lava, Yb: Yubiyama lava, Yz: Yuzawa lava (Yuzawayama lava). K-Ah: Kikai-Akahoya tephra, AT: Aira-Tn tephra. Two widespread tephra and their eruptive ages (Okuno, 2002) are also shown in the diagram. *1: Yb corresponds to a part of the Mm in Kamata (1997) and this study. *2: Mm includes MmG in this study.

$\pm 3 \text{ ka}$ (上泉水) の熱ルミネッセンス (TL) 年代 (奥野・他, 2013) が得られている。坂口・他 (2015) は、湯沢溶岩を下段の下湯沢溶岩と上段の上湯沢溶岩に区分し、TL年代として、下湯沢溶岩 ($44 \pm 7 \text{ ka}$ と $43 \pm 3 \text{ ka}$)、上湯沢溶岩 ($19 \pm 4 \text{ ka}$)、さらに三俣山外輪山溶岩 ($35 \pm 6 \text{ ka}$ と $34 \pm 5 \text{ ka}$)、三俣山溶岩 ($25 \pm 7 \text{ ka}$) の年代を報告している。

3. 松の台岩屑なだれ堆積物とその周辺地域の地質記載

以下では、地質調査と複数時期の空中写真および旧版地形図をもとに判読した結果にもとづいて、MDAとその周辺地域の地質層序を述べる。

3-1 地形・地質

MDAの表面には多くの流れ山が点在し、凹凸地形が顕著である (Fig. 2)。その窪地には小規模な湿地や池がしばしば点在するが、MDAの上流側の長者原付近には

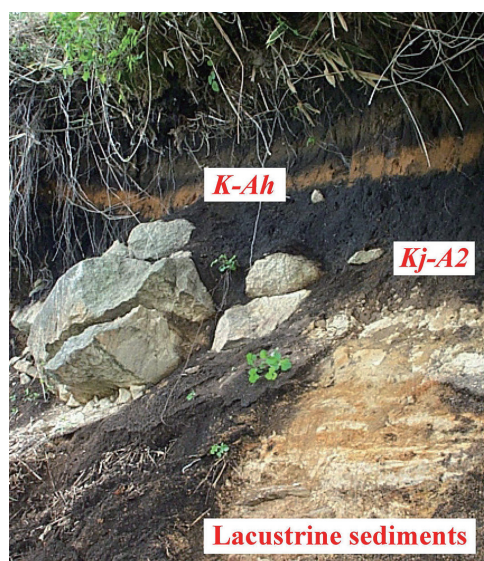


Fig. 4. Tephra layers and lacustrine sediments that overlie the debris avalanche deposit at Loc.1 (Fig. 2).

Blocks on the left are a part of debris avalanche deposit, which is overlain by pumiceous lacustrine sediments, Kj-A2 and K-Ah from Kikai caldera.

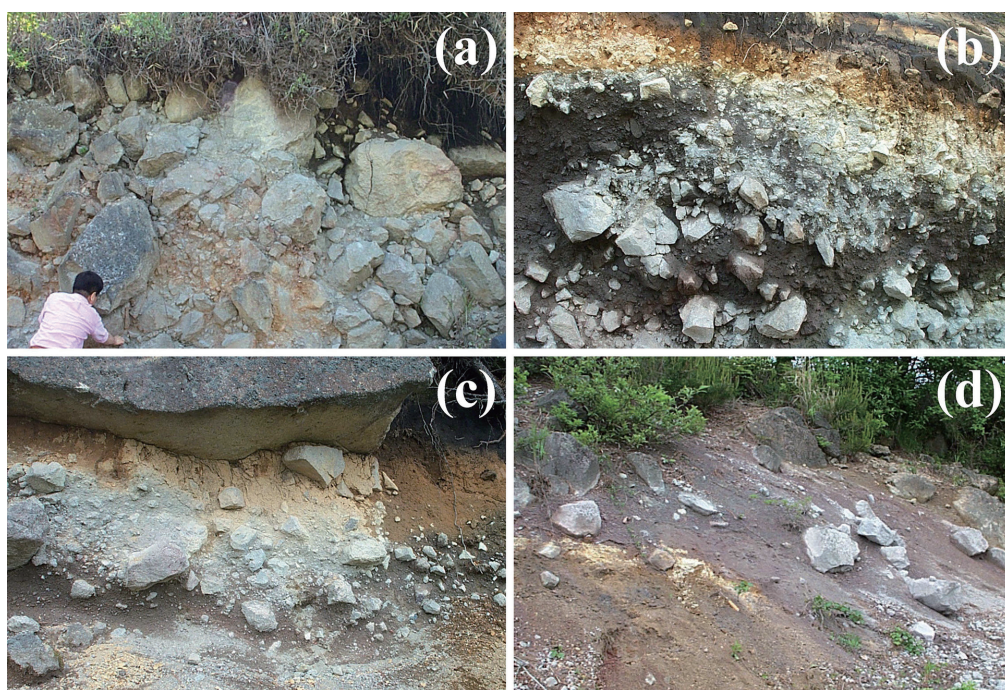
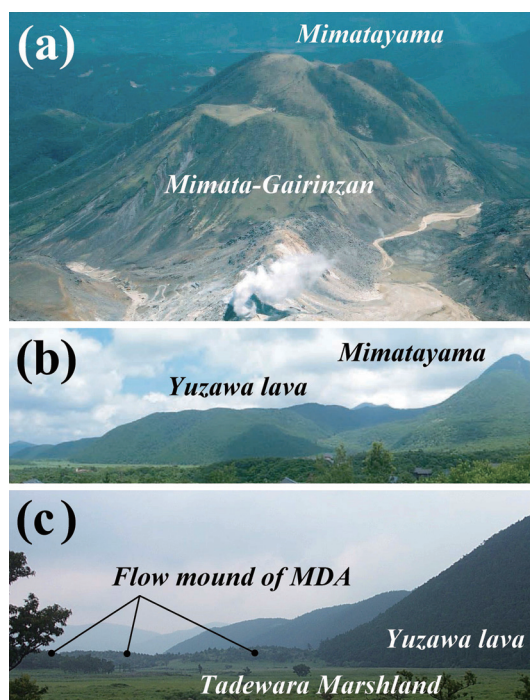


Fig. 6. View and representative outcrops of Matsunodai debris avalanche deposit.

(a) Large blocks with jigsaw cracks in a flow mound at Loc.1 in Fig. 2, (b) Large blocks with jigsaw cracks in a flow mound at Loc.4, (c) Occurrence of flow mound consisting mainly of block-and-ash flow deposits at Loc. 5, (d) A mound consisting of large blocks of various lithology: altered materials (left) and block-and-ash flow deposit (right) at Loc. 6.

Fig. 5. Photos of Mimatayama volcano.

(a) Oblique aerial photograph taken from the south (courtesy of H. Ito). (b) Photo taken from the west. Yuzawa lava is seen flowing down from Mimatayama. (c) Photo taken from the south-west. Yuzawa lava covers the flow mound of MDA at Loc. 3 (Fig. 2).

最も大きな湿地であるタデ原^{わら}湿原 (Fig. 2 の Tm) が存在している。MDA の分布面積は約 7 km² で、北側に向けて段階的に高度を下げる 3 段の地形面が識別され、概ね高位面は標高 1040~990 m、中位面は 990~930 m、低位面は 930~830 m である (Fig. 2)。流れ山のサイズは、最大で長径が 500 m を超えるものが存在する。高位面および中位面では、長径 200~300 m 程度のサイズの比較的大きな流れ山が多い。それに対して低位面では、長径 200 m を超えるものもあるが、概ね 200 m 未満のサイズの小さな流れ山が多い。

MDA の北東側に広がる平坦面は、人為的改変が広く及んでいるが、^{なるこがわ}鳴子川沿いに MDA の堰止で形成された湖成堆積物を確認できる。このうち地点 1 (Fig. 2) では、Kj-A2 が湖成堆積物を覆う (Fig. 4)。この湖成堆積物は層厚 2 m 以上で、Kj-Hd 起源の軽石粒を多く含む。Kj-A2 は砂質火山灰層で、ここでの層厚は約 40 cm であり、近傍地点と比較して 2 倍以上の厚さがある。これは、湿地的環境で火山灰が侵食をあまり受けずによく保存されたためと考えられる。

泉水山溶岩は北東麓で Kj-Hd に被覆されている。泉水山と流れ山の分布域の間を南北に流れる^{おくこうがわ}奥郷川右岸では MDA が Kj-Hd を覆うが、地点 2 などの左岸から泉水山にかけて MDA は認められない。

三俣山の最南部の三俣外輪山溶岩には、北側に開いた崩壊地形が認められる (Figs. 2 and 5a)。三俣山溶岩がその崩壊跡を埋めるように位置し、その北西~北側山麓には、^{ゆびやま}指山 (Yb)、湯沢溶岩が分布している。指山は三俣山の北西斜面に生じた小規模な溶岩ドームで、一部で三俣山溶岩を覆い一部で覆われていることから、三俣山溶岩の活動途中に形成されていることがわかる。本稿では、鎌田 (1997) 同様、三俣山溶岩の一部と判断した。湯沢溶岩は急な溶岩末端崖をもつ厚い溶岩流であり、溶岩の表面には概ね流れの方向に直行した顕著な溶岩じわと溶岩堤防が観察できる。西側から遠望すると、三俣山斜面の上方にまで連続しており、山頂付近から流下した状況が観察できる (Fig. 5b)。坂口・他 (2015) は、TL 年代などから、湯沢溶岩を下段の下湯沢溶岩と上段の上湯沢溶岩に区分したが、両者は地形的特徴や岩質が酷似しているため、同じ山頂火口から短期間のうちに流下したと判断した。

MDA の比較的平坦な堆積面と湯沢溶岩の末端崖の境

界は明瞭であり、湯沢溶岩の崖錐斜面の発達が悪い。境界付近の MDA の堆積面は一部溪流の侵食によって乱されているが、タデ原湿原の北東に隣接する MDA の流れ山の一部 (地点 3) は湯沢溶岩に覆われている (Fig. 5c)。

3-2 MDA の露頭記載

MDA は典型的な岩屑なだれ堆積物の特徴を示す部分と、block-and-ash flow 堆積物の特徴を示す部分が存在する。例えば、地点 1 や地点 4 (Fig. 2) では巨大な溶岩の岩体が破壊された産状を示し、ジグソークラックも顕著に認められる典型的な岩屑なだれ堆積物である (Figs. 6a and 6b)。一方、地点 5 では、全体が高温酸化を受けたような赤みを帯びた色調を呈し、構成岩塊もやや円磨した亜角礫が多く、岩塊と同質の基質からなる火砕流堆積物の産状を示す (Fig. 6c)。地点 6 では変質を受けた堆積物と火砕流堆積物が大きなブロックとして重なり合う (Fig. 6d)。

三俣山の北方約 6 km の基盤山地には南に面した緩斜面があり、地点 7 では最大で層厚 2 m の岩片層がこの緩斜面を覆っている (Fig. 7a)。この岩片層は MDA と同じ岩質から構成され、層位的にも Kj-A2 の下位、Kj-Hd の 1.5 m 上位に位置することから MDA に対比できる。この地点での Kj-Hd は、ignimbrite veneer deposit (Walker *et al.*, 1981) に特有なラミナ状の堆積構造を示す。MDA 中には直径 1 m を超える大きな岩塊は稀で、50 cm 以下の亜角礫に富む。全般に粒径が小さいためか、ジグソークラックは認められない。基底層は細粒で、下位のローム層と明瞭な境界をもって接しており (Fig. 7b)、下位層を削り込んだ構造も一部に認められる (Fig. 7c)。ただし、内部にラミナ状の構造は認められず、地層断面からは表面構造を推定することはできない。

4. 議 論

4-1 松の台岩屑なだれ堆積物の給源

MDA が泉水山溶岩から供給されたとする説 (鎌田, 1985, 1997) は、地質層序や年代値から考えられない。一方、東側の湯沢溶岩の南西端の急崖を MDA の給源とする説 (太田, 1991) は、その急崖が MDA の分布域とはほぼ逆向きの南西方向に向いており、急崖脚部周辺に堆積物が全く確認できないこと、縦断勾配が上に凸の地形を呈し、明らかに溶岩末端崖だと判断されることから、その可能性も否定される。

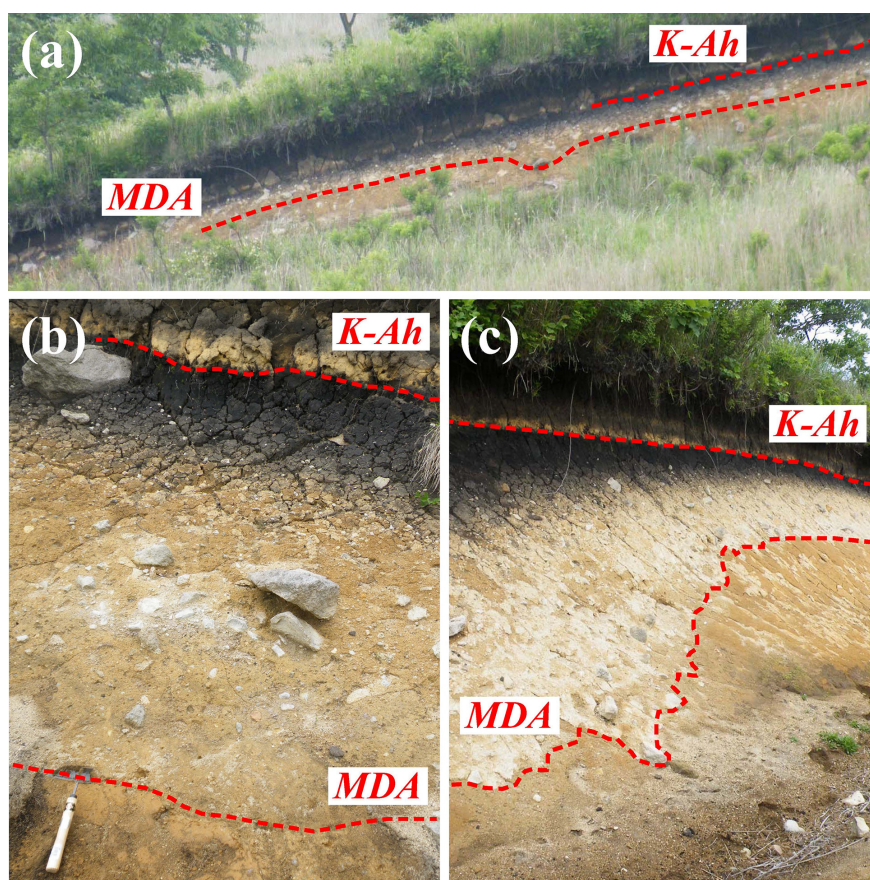


Fig. 7. Occurrence of overspill deposit of Matsunodai debris avalanche at Loc. 7 (Fig. 2).

(a) Overspill deposit mantling a gentle slope. (b) Close-up of the overspill deposit. Fine-grained basal layer overlies loam deposit with sharp boundary. (c) Erosional contact by overspill deposit.

これまで三俣山が給源候補にならなかった理由は、その北側に分布する湯沢溶岩が、地形的に三俣山に覆われており古い（鎌田, 1997; 太田, 1991）と考えられたためである。現在の三俣山も複数の山体が重なって形成された複雑な地形をしており、単純な崩壊地形とは判断しにくいのも事実である。そのため、松本（1983）は三俣山を複成の二重式火山とみなし、小野（1963）、太田（1991）および鎌田（1997）は、溶岩ドームの活動末期に生じた陥没構造が単成的にできたと考えた。しかし、三俣外輪山溶岩の崩壊後、その崩壊跡を埋めるように三俣山溶岩が形成され、最後に湯沢溶岩がMDAの一部を覆って流下したと考えれば、地形・地質関係を矛盾なく説明できる。三俣外輪山溶岩の崩壊による欠損量は、崩壊前の山体形状を地形的に推定することで約 0.3 km^3 と見積もられる。一方、MDAの平均層厚は、比高差が20~30mに達する流れ山が多数存在すること、3段の地形面のそれ

ぞれの段差が20~50mに達することから、概ね30mと判断した。現在地表面に出ているMDAの体積は、この層厚と分布面積（約 7 km^2 ）から 0.2 km^3 と算出される。MDAは三俣山溶岩や湯沢溶岩などによって一部が被覆されており、その部分を考慮するとMDAの体積は三俣外輪山溶岩の欠損量（ 0.3 km^3 ）とほぼ一致する。

MDAが3段の地形面を示すのは、給源に近い高位面および中位面にサイズの比較的大きな流れ山が多いということや基盤地形の形状の影響などが考えられるが、崩壊が段階的に進んだ可能性、異なる流路を使用した可能性もあるかもしれない。なお、低位面に小さなサイズの流れ山が多いのは、流走距離が長くなるにつれて岩塊相（宝田, 1991）がほぐれて小さくなるとともに基質相に埋もれる部分が多くなることが考えられる。

4-2 松の台岩屑なだれ堆積物の周辺相

MDAは、まず三俣外輪山溶岩から北麓の緩斜面をほ

ば真北に進み、約 6 km 先の基盤山地に到達したと推定できる。地点 7 の岩片層 (Figs. 2 and 7a) は、流下してきた岩屑なだれの基質相 (宝田, 1991) に相当する部分のみが、鳴子川を乗り越え、南向きの緩斜面に乗り上げて堆積したものである。標高 910 m 以上では堆積物の痕跡は認められないので、MDA は盆地状の低地から約 40 m の高さまで分布していることになる。

このような岩屑なだれが流路の正面や側面の高台に乗り上げる現象は、最近発生した岩屑なだれでも詳しく記載されている。特に 1984 年の御嶽山 (Endo *et al.*, 1989; 三村・他, 1988; 守屋, 1984) や 1997 年の Soufrière Hills (Voight *et al.*, 2002) の例では、高台上での強いせん断により堆積物が薄く引き延ばされ、縞模様をなして堆積していることが知られている。しかし、高台上の MDA の薄層部では、せん断による層構造や表面構造はまったく確認できなかった。地質時代に発生した岩屑なだれ堆積物では、その後の堆積物に覆われることが多く、薄い周辺相を見出すことも困難なため、詳細な内部および表面構造はわからないと考えられる。

MDA の北西側の到達限界は明瞭でないが、地形判読の結果、概ね標高 840 m 付近まで到達していると考えられる (Fig. 2)。北東側への広がりも、湖成堆積物に埋積されているため明確ではないが、埋積されなかった Kj-Hd からなる小丘の地点 8 では岩屑なだれ堆積物の痕跡が認められない。

4-3 地点 5 での産状を中心とした岩石磁気データの再検討

MDA の分布域の中央付近にある地点 5 (Fig. 2) の流れ山では、岩石磁気データが報告されている (鎌田・他, 1996, 2001; 渡辺・他, 1999)。以下では、本稿で明らかになった噴火史を踏まえ、これらの結果を再検討する。

鎌田・他 (1996) は、地点 5 において携帯用フラックスゲート磁力計で MDA の岩塊 5 個を測定し、高温の岩塊が存在することを指摘した。渡辺・他 (1999) は、地点 5 を含む 4 箇所で段階熱消磁によって磁化方位の変化を測定した。地点 5 と他のもう 1 箇所では高温成分が揃う傾向を認めたが、他の 2 箇所では不揃いであった。また地点 5 でも、直径 1.5 m より小さな岩塊では高温成分が揃わない結果を示した。鎌田・他 (2001) も地点 5 において精度を上げた段階熱消磁および段階交流消磁実験を行い、直径 1.5 m 以下の小岩塊では、高温成分 (400°C 以上) の方向は揃わないが (Fig. 8a)、低温成分 (300~100°C) が現在の磁北から約 90°西に振れた方向に揃うものがあることを示した (Fig. 8b)。ただし、同一の磁化傾向を示す岩塊は、露頭内で近接しており、1 つのブロックとして挙動したと考えた。低温成分が揃うのは、崩壊後

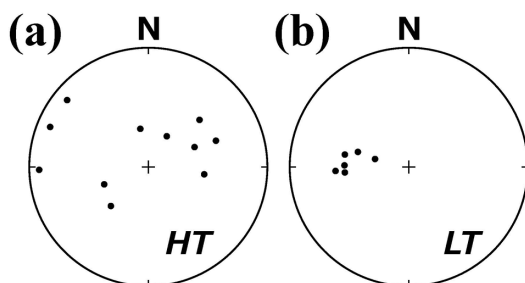


Fig. 8. Equal-area projection of directions of high-temperature component (HT: 400°C) and low-temperature component (LT: 100~400°C) in the blocks of Matsunodai debris avalanche deposit, obtained by stepwise thermal demagnetization (after Kamata *et al.*, 2001).

400~100°C にまで冷却した堆積物が、現在の位置まで移動・定置したため、これにより高温の岩屑なだれ堆積物と判断された。しかしこのような解釈は、まったく別々に運ばれた岩塊の低温成分 (300~100°C) が揃うのであれば問題ないが、全体が 1 つのブロックとして挙動した場合、崩壊前に山体近傍で獲得した磁化方位を概ね維持したまま移動・定置する可能性があり、必ずしも高温定置の証拠とはなりえない。渡辺・他 (1999) で「高温成分が揃う傾向がある」とされた直径 1.5 m 以上の岩塊でも揃っていない方が多い。また直径が 1.5 m 未満の岩塊ではすべて不揃いである。すなわち、MDA は山体近傍で冷却する際に獲得した磁化方位を維持した岩塊や火砕流堆積物が崩壊し、そのブロックが現在の位置に移動・定置したと考える方が、鎌田・他 (1996) および渡辺・他 (1999) の測定結果をよく説明している。すなわち、MDA は高温定置したものではないと判断できる。

5. ま と め

本稿では、九重火山群北麓に分布する MDA 周辺の噴火史を堆積物の地質記載をもとに明らかにし、MDA の給源が三俣外輪山溶岩であると結論づけた。崩壊した三俣外輪山溶岩の欠損量は約 0.3 km³ である。一方、現在地表面に出ている MDA は、分布面積が約 7 km²、平均層厚が約 30 m と推定され、体積は 0.2 km³ となる。MDA の被覆された部分を考慮すると、MDA の体積と三俣外輪山溶岩の欠損量とはほぼ一致する。MDA は 3 段の地形面を形成し、流走方向の正面にある基盤の緩斜面を少なくとも 40 m 以上の高さまで乗り上げ、山麓の盆地では谷の出口をふさぎ、一時的な堰止湖を出現させた。MDA の発生時期は約 20 cal kBP である。また、MDA の中央付近にある地点 5 の流れ山で露頭観察と岩石磁気的

データを見直したが、「高温」で堆積した証拠は認められなかった。

謝 辞

査読者の伊藤英之（岩手県立大）、星住英夫（産総研）、下司信夫（産総研）及び編集担当の長谷川健（茨城大）の各氏には、有益なコメントをいただき、本稿は大幅に改善された。齋藤武士氏（信州大）には、岩石磁気に関する問題で議論していただいた。記して感謝いたします。

引用文献

- 江原幸雄 (1995) 1995 年九重火山噴火。火山, **40**, 425-427.
- Endo, K., Sumita, M., Machida, M. and Furuichi, M. (1989) The 1984 collapse and debris avalanche deposits of Ontake Volcano, central Japan. In: Latter, J. H. (ed) *Volcanic hazards*, 210-229.
- 星住英夫・川辺禎久・鎌田浩毅・斎藤英二 (1995a) 1995 年 10 月の九重火山の噴火。地質ニュース, **498**, 1-2.
- 星住英夫・川辺禎久・鎌田浩毅・斎藤英二 (1995b) 九重火山 1995 年 10 月の噴火とその堆積物。地質ニュース, **498**, 33-35.
- 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。地調報告, **264**, 33-64.
- 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.
- 鎌田浩毅・三村弘二 (1981) インプリケーションから推定される九重火山飯田火砕流の流動方向。火山, **26**, 281-292.
- Kamata, H. and Kobayashi, T. (1997) The eruptive rate and history of Kuju Volcano in Japan during the past 15,000 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **76**, 163-171.
- 鎌田浩毅・星住英夫・川辺禎久・伊藤順一・渡辺一徳・横山勝三 (1996) 九重火山の小規模火砕流堆積物と高温岩屑なだれ堆積物。日本火山学会秋季大会講演予稿集, 121.
- 鎌田浩毅・斎藤武士・石川尚人 (2001) 九重火山と由布火山の火砕堆積物の地質と残留磁化。月刊地球, **23**, 522-527.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子 (2015) 九重火山地質図。火山地質図 no.19, 産総研地質調査総合センター。
- 小林哲夫・池辺浩司 (1985) 九重火山東部の地質。火山, **30**, 310.
- 小林哲夫・筒井正明・奥野 充 (2008) 九重火山, 松の台岩屑なだれの給源と堆積物の特性。日本地質学会第 115 年学術大会講演要旨集, 57.
- 町田 洋 (1980) 岩戸遺跡のテフラ (火山灰)。坂田邦洋編「大分県岩戸遺跡一大分県清川村岩戸における後期旧石器文化の研究」, 広雅堂書店, 443-454.
- 町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義。科学, **46**, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究, **17**,

143-163.

- 松本徂夫 (1983) 九重火山群の火山地質学的研究。山口大学理学部地鉱教室, 91p.
- 三村弘二・鹿野和彦・中野 俊・星住英夫 (1988) 1984 年御嶽岩屑なだれ—堆積物からみた流動・堆積機構—。地調月報, **39**, 495-523.
- 守屋以智雄 (1984) 長野県西部地震に伴う御岳火山南斜面の巨大崩壊と岩屑流。火山, **29**, 247-248.
- 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**, 139-156.
- 奥野 充 (2002) 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究。第四紀研究, **41**, 225-236.
- 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・葦本信太郎・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 **62**, 32-36.
- 小野晃司 (1963) 5 万分の 1 地質図幅「久住」および同説明書。地質調査所, 106p.
- 太田良平・松野久也・西村嘉四郎 (1968) 熊本県岳の湯および大分県大岳付近地質調査報告。地調月報, **19**, 481-486.
- 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.
- 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.
- 宝田晋治 (1991) 岩屑流の流動・堆積機構—田代岳火山起源の岩瀨川岩屑流の研究。火山, **36**, 11-23.
- Voight, B., Komorowski, J.-C., Norton, G.E., Belousov, A.B., Belousova M., Boudon, G., Francis, P. W., Franz, W., Heinrich, P., Sparkes, R.S.J. and Young, S.R. (2002) The 26 December (Boxing Day) 1997 sector collapse and debris avalanche at Soufriere Hills Volcano, Montserrat. In *The eruption of Soufriere Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999* (Druitt, T.H. and Kokelaar, B.P. eds), *Geol. Soc. London, Mem.*, **21**, 363-407.
- Walker, G.P.L., Wilson, C.J.N. and Froggatt, P.C. (1981) An ignimbrite veneer deposit: the trail marker of a pyroclastic flow. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 409-421.
- 渡辺一徳・横山勝三・高木秀和 (1999) 九重火山北麓に分布する松の台岩屑なだれ堆積物とその残留磁化特性。渡辺一徳編「高温岩屑なだれ」による火山災害に関する基礎研究。科研費研究成果報告書, 9-61.
- Watanabe, K., Hayashi, M., and Fujino, T. (1987) Fission track age of volcanoes in the Kuju Volcanic Region in relation to geothermal activity. *J. Geotherm. Res. Soc. Japan*, **9**, 207-217.

(編集担当 長谷川健)