

## 御嶽火山 2014 年 9 月 27 日噴火で発生した火砕流

山元 孝広

Takahiro Yamamoto (2014) The pyroclastic density currents generated by the September 27, 2014 phreatic eruption of Ontake Volcano, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 65 (9/10), p. 117-127, 5 figs, 1 table.

**Abstract:** A phreatic eruption occurred on September 27, 2014 at Ontake Volcano, and was accompanied with pyroclastic density currents. This currents shot by the Chubu Regional Development Bureau's camera at Takigoshi had the following characteristics. 1) Pyroclastic density currents occurred in two places (Jigokudani and western-flank) at the beginning of phreatic eruption. 2) The eruption column collapse height of the pyroclastic density currents did not exceed 300 m above the vents. 3) The front of the pyroclastic density currents traveling down the southern valleys moved at a speed of 8 to 20 m/s and reached 2 km from the vents. 4) Conspicuous secondary plume was observed rising from the current to ca. 2 km above the valleys; this suggests that the density currents possessed sufficient heat for the ash cloud to have risen due to its buoyancy. 5) However, no charring of trees was observed by helicopter observations. The Heim coefficient for the energy cone slope for the density currents is 0.45 to 0.55, when the column collapse height is 200 m.

**Keywords:** Ontake Volcano, 2014, phreatic eruption, pyroclastic density current, Takigoshi

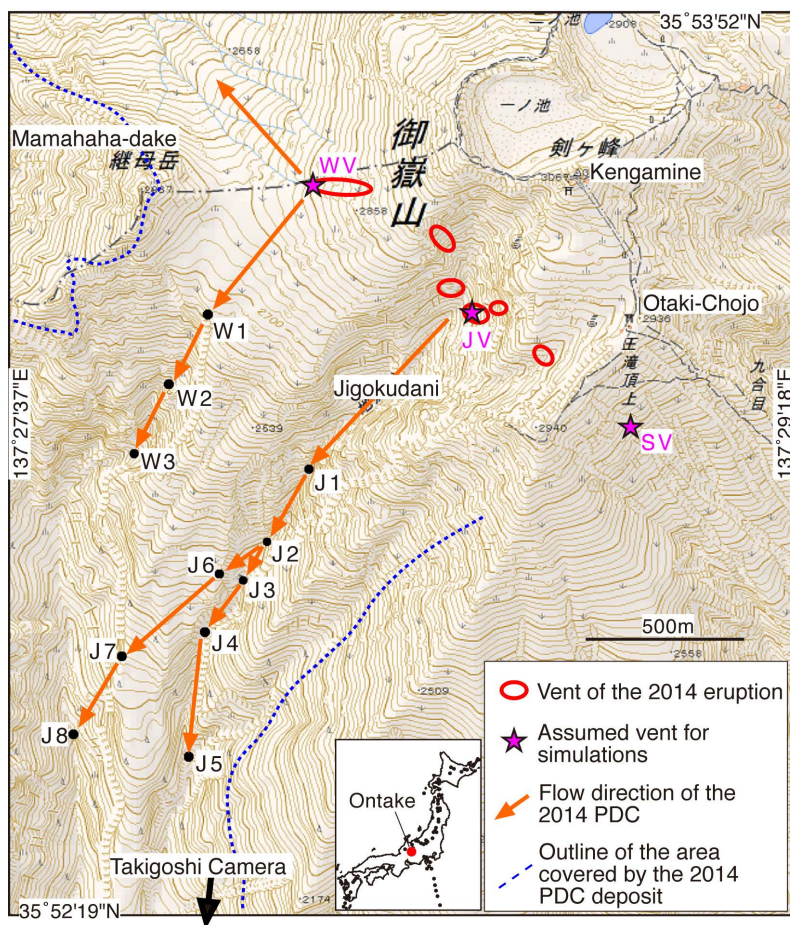
### 要 旨

国土交通省多治見砂防国道事務所の滝越カメラに記録された御嶽火山2014年9月27日の水蒸気噴火による火砕流は、以下の特徴を持つ。1) 火砕流は、噴火開始時の11時52分頃に山頂南の地獄谷の上部斜面と山頂の西斜面の2箇所からほぼ同時に発生した。2) 火砕流発生時の噴煙高度は低く、300 mを大きく超えることはなかった。3) 谷沿いを流れ下る火砕流先端部の速度は8～20 m/sで、地獄谷沿いには火口から約2 km流下した。4) 斜面を流れ下った火砕流からは顕著な二次噴煙が上昇したが、このことは火砕流がある程度の熱量を持つ流れであったことを示唆しており、灰雲が大気と混合して浮力を得たものと理解できる。5) しかし、火砕流が通過した領域では樹木の損傷や火災、炭化は認められず、火砕流自体は樹木を焦がすほどの温度ではなかったと推定される。エネルギーコーンモデルによる火砕流到達域の数値計算では、噴煙柱崩壊高度を200 mとして、見かけの動摩擦係数が0.45～0.55とすると到達域との一致が良い。

### 1. はじめに

長野・岐阜県境の御嶽山において2014年9月27日午

前11時52分頃(気象庁発表)に水蒸気噴火が発生し、噴石により山頂部にいた登山者多数が被災した。噴火で生じた火口群は、御嶽山の山頂部(剣ヶ峰)の西斜面から、山頂南の地獄谷の源頭部にかけて、北西から南東方向に伸びる向きに形成されている(Fig. 1; 中野ほか, 2014)。御嶽山は、山頂の標高が3000 mを超える大型の成層火山で(山田・小林, 1988; 竹内ほか, 1998)、1979年10月28日に有史時代初めての噴火を起こし(例えば 小林, 1979; 曾屋ほか, 1980)、その後、1999年、2007年にも小規模な水蒸気噴火が起きていた。このような火山活動の状況から、地元の長野・岐阜両県では火山防災マップを2008年に整備し、1979年の噴火と同程度の水蒸気噴火は今後も発生する可能性が十分にあるものと想定していた(岐阜県, 2008)。今回の2014年9月27日の噴火は、基本的にこの想定通りの水蒸気噴火であり、火口位置や噴石の到達距離、降下火山灰の降下状況は防災マップの想定範囲の中に収まっている。噴火に先立つ9月11日には火山性地震の増加を受け「火山の状況に関する解説情報第1号」が気象庁から発表されたが、2007年の水蒸気噴火の際のような山体の膨張や火山性地震・微動の増加を伴わなかったため、噴火警戒レベル2(火口周辺規制)は発令されなかった。気象庁の「御嶽山の火山活動解説資料(平成26年9月)」によると、今回の噴火では微動の



第1図 御岳火山山頂部の地形図。赤線は2014年火口(中野ほか, 2014), オレンジ矢印は火砕流(PDC)の流走方向, 青破線は火砕流堆積物被覆域の輪郭を示す。ピンク星印は第5図のエナジーコーンモデルで仮定した火口を示す(WV=西山腹火口; JV=地獄谷火口; SV=南山腹火口)。地形図は国土地理院の電子国土Webを利用。

Fig. 1 Topographic map of the summit region of Ontake Volcano. Red solid lines, orange arrows and blue dotted lines show the 2014 vents (Nakano *et al.*, 2014), flow direction of the density currents (PDC) and outline of the area covered by the PDC deposits. Pink stars are assumed vents for calculations using the energy cone model in Fig. 5. WV = western-flank vent; JV = Jigokudani vent; SV = southern-flank vent. Topographic map is taken from GSI Maps of the Geospatial Information Authority of Japan.

発生開始は噴火の約10分前, 山上がりの傾斜変動は7分前に起きている。

今回の水蒸気噴火で特徴的なことは, 噴火開始時に火砕流の発生を伴ったことで, 南の地獄谷沿いに火口から約2 km, 北西側の兵衛谷源頭部に約1.5 km流下している(中野ほか, 2014)。しかもその流動する様子は山の南側に設置されていた国土交通省中部砂防事務所の監視カメラで捉えられ, 貴重な映像記録を我々に提供した(Fig. 2)。なお, ここでは火砕流を火山現象で生じる気体と固体粒子からなる空気よりもやや重い密度流(pyroclastic density current [PDC]: 例えば Valentine and Fisher, 1993; Druitt, 199)として扱い, 本質物質の有無は問わない。水蒸気噴火ケースでの火砕流の発生は御嶽山火山防災マップでは想定されてはなかったが, 御嶽山1979年噴火でも噴火初日の最盛時に噴煙柱から地獄谷を流れ下る粉体流(本報の定義の火砕流)が発生している(小林, 1979)。また, 水蒸気噴火に伴う火砕流は, 三宅島2000年8月29日の噴火や口之永良部島2014年8月3日の噴火でも発生しており, むしろマグマ噴火に伴うものよりも水蒸気噴火に伴う方がその頻度は高い。本報告では, 監視カメラの映像から今回の火砕流の特徴を記載するものである。

## 2. 火砕流の運動形態

火砕流を捉えた監視カメラは国土交通省多治見砂防国道事務所が御嶽山の南約10 kmの滝越に設置しているものである。好天時には剣ヶ峰-継母岳間の稜線や1979年火口からの噴気が遠望できる位置にあるものの, 噴火当日の9月27日には標高2500 m前後に底をもつ雲が層状にかかり, 山頂部は隠れていた。火砕流は, 噴火開始約1分後の11:53:00 JSTから映像で確認でき, 火砕流に伴う灰雲の運動が15分程度連続して記録されている(Fig. 2)。その動きは, 以下の4つのフェーズに分けることができる。

### 2-1. フェーズ1 (11:51:45 ~ 11:54:54 JST)

気象庁は山頂の南東に設置した傾斜計の山上がりの傾斜変動が反転した11時52分を噴火開始としている。滝越の映像では, 11:51:45 JSTから, 山頂付近の層状の雲の中から白色の噴煙がわずかにドーム上に吹き上がり始める様子が捉えられている(Fig. 3-1)。これは, 位置的には山頂西斜面の標高2800 m付近の火口からの噴煙に対応しよう。引き続く火砕流は少なくとも2箇所の別の場所から流れ下っていることが確実で, 地獄谷の上部斜面

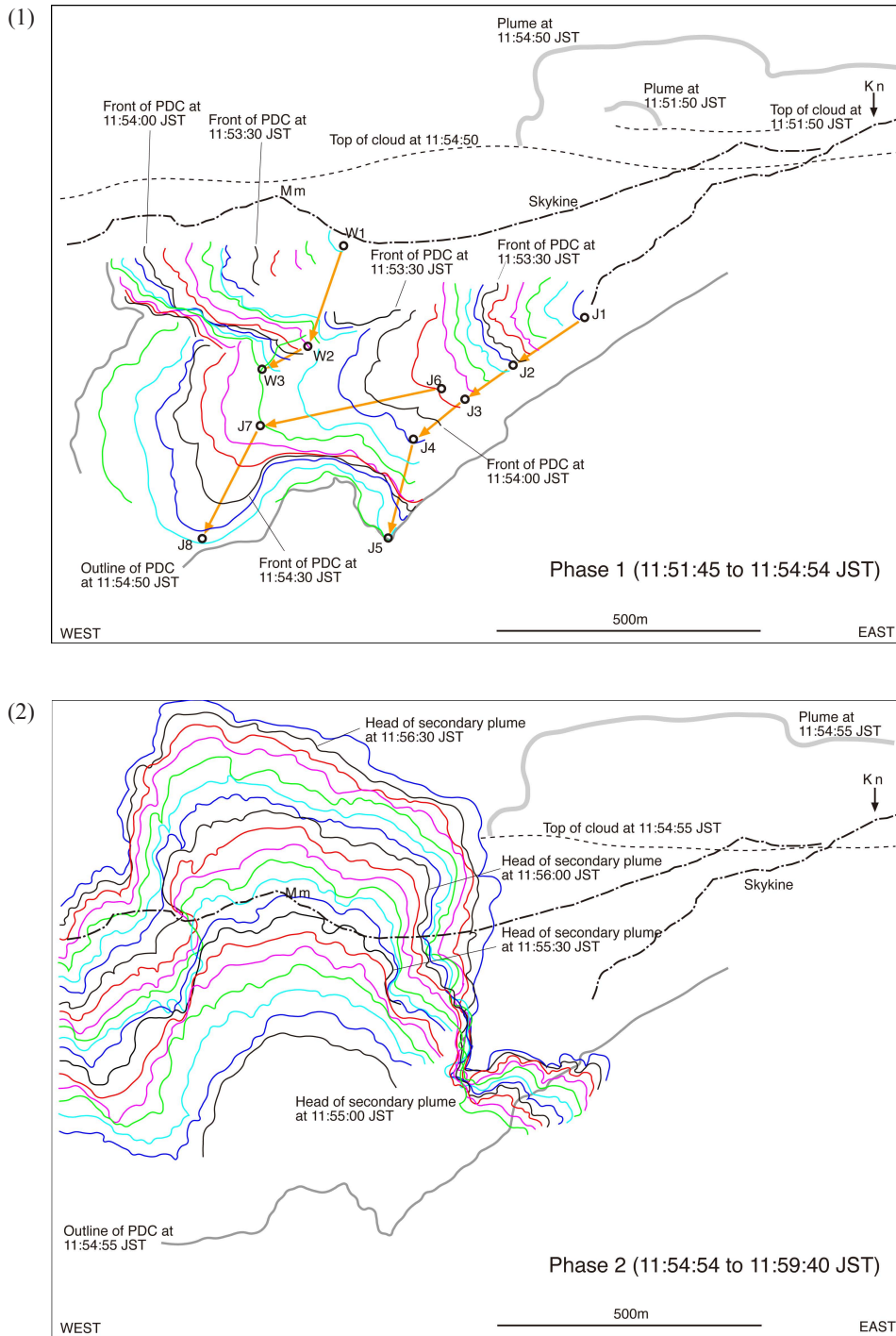


第2図 国土交通省多治見砂防国道事務所滝越カメラの噴火映像。(1) 南山腹を流れ下る火砕流(11時54分30秒; フェーズ1); (2) 火砕流から上昇する二次噴煙(11時56分10秒; フェーズ2); (3) 二次噴煙からの下降流(12時1分35秒; フェーズ3); (4) 横方向に広がる灰雲(12時5分25秒; フェーズ4).

Fig. 2 Photographs captured from the Chubu Regional Development Bureau's camera at Takigoshi. (1) The pyroclastic density currents cascading down at 11:54:30 JST; Phase 1. (2) Secondary plume uprising from the pyroclastic density currents at 11:56:10 JST; Phase 2. (3) Downburst from the secondary plume at 12:01:35 JST; Phase 3. (4) Laterally moving ash-cloud at 12:05:25 JST; Phase 4.

から流下したものをフロー J、山頂の西斜面から発生したものをフロー Wと呼ぶ(Fig. 1)。フロー Jは、まず地獄谷沿いに11:53:00JSTに雲底から現れ、その先端が谷沿いに標高2250 m付近まで進んだ後、谷沿いに南に流下するロープと尾根を乗り越し南西に直進するロープに分かれて流下している(Figs. 1 & 3-1)。南に進んだロープの先端は谷底に沿って流れ、11:54:38 JSTにはJ5に到達し、ほぼ停止している。後続の流れは先端に遅れるものの、谷壁まで横に広がりながら流れ、火砕流到達域の幅を広げている。尾根を乗り越したロープは同時刻にJ8に到達後も若干前進しているようだが、先端は尾根の影になり映像では確認することができない。一方、フロー Wは継母岳の東のコルに11:43:08 JSTに雲間から現れ、継母岳南面の急斜面を斜面に影響されることなくほぼ面上

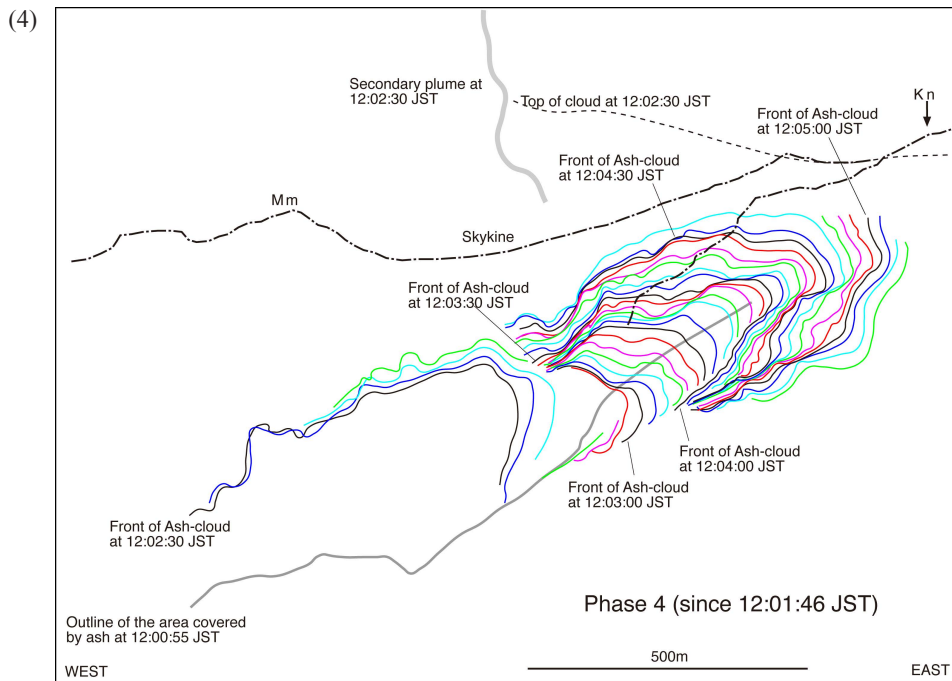
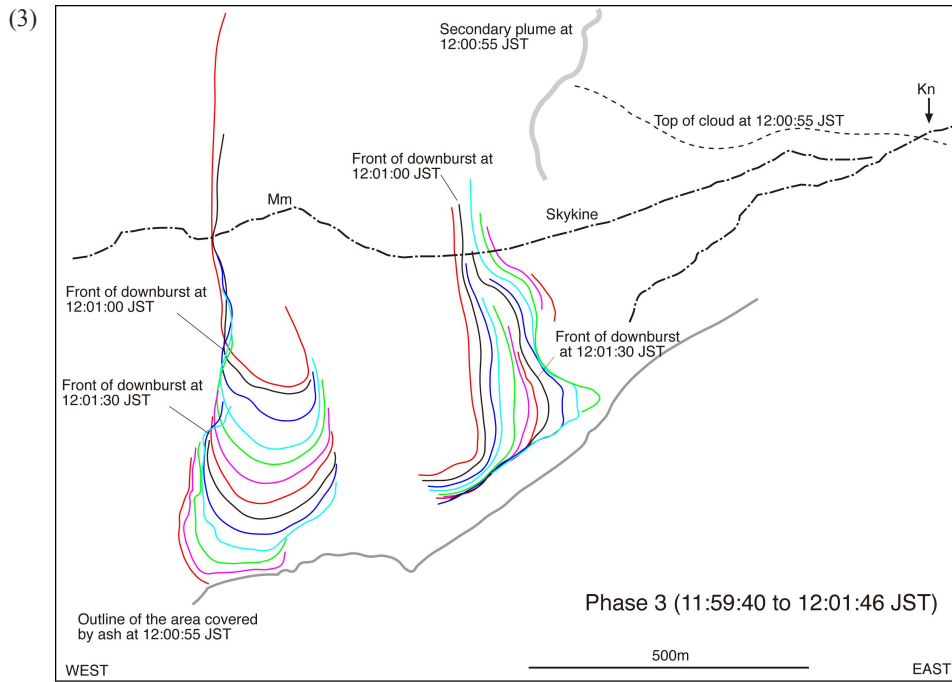
に直進している。谷沿いの先端の位置は11:54:15 JSTのW3まで追跡できるが、その後はフロー Jの背後に入るため映像で確認できなくなる。映像で位置が特定できた各地点間の位置と時間から求めた火砕流先端部の速度は、フロー Jが8～20 m/s、フロー Wが9～12 m/sと見積もられる(Table 1)。この速度から逆算すると、フロー Jは地獄谷内の火口から、フロー Wは頂上西斜面の火口から11時52分丁度前後にほぼ同時に発生したとして矛盾はない。この時点でフロー Jを発生させた火口からの噴煙は層状の雲の上面に達しておらず、火砕流を発生させた時点の噴煙の高度は300 mを大きく超えていないと推定される。山頂部にかかる雲の上面が激しく擾乱し始めるのは、火砕流発生後の11:52:20 JST以降である。



第3図 火砕流の運動図。コンター線は滝越カメラ映像の灰雲輪郭を5秒間隔で示している。(1)フェーズ1 (11時51分45秒～11時54分54秒)；(2)フェーズ2 (11時54分54秒～11時59分40秒)；(3)フェーズ3 (11時59分40秒～12時1分46秒)；フェーズ4 (12時1分46秒以降)。Kn=剣ヶ峰；Mm=継母岳。地点J1, J2, W3等は第1図に示されている。

Fig. 3 Diagram showing the movement of the pyroclastic density currents (PDC). The contours represent the outline of ash-clouds shot by the Takigoshi camera with 5-second-intervals. (1) Phase 1 (11:51:45 to 11:54:54 JST). (2) Phase 2 (11:54:54 to 11:59:40 JST). (3) Phase 3 (11:59:40 to 12:01:46 JST). (4) Phase 4 (since 12:01:46 JST). Kn = Kengamine; Mm = Mamahaha-dake. J1, J2, W3, etc. are shown in Fig. 1.

御嶽火山 2014 年 9 月 27 日噴火で発生した火砕流 (山元)



第3図 つづき  
Fig. 3 Continued.

第1表. 火砕流の到着時刻と速度. 地点J1, J2, W3等は第1図に示されている.

Table 1. Arrival times and speeds of the pyroclastic density currents. J1, J2, W3, etc. are shown in Fig. 1.

Point	Arival time (JST)	Lap time (s)	Horizontal distance (m)	Vertical drop (m)	Velocity (m/s)
J1	11:53:04	0	-	-	-
J2	11:53:42	39	275	140	8
J3	11:53:53	11	135	50	13
J4	11:54:03	10	195	50	20
J5	11:54:38	35	405	175	13
J6	11:53:54	0	-	-	-
J7	11:54:16	22	315	90	15
J8	11:54:38	22	290	180	16
W1	11:53:08	0	-	-	-
W2	11:53:51	43	305	225	9
W3	11:54:15	24	225	175	12

## 2-2. フェーズ2 (11:54:54 ~ 11:59:40 JST)

南山腹を先行して流れ下った火砕流の先端はほぼ停止した後、その背後の灰雲は横に広がりながら前進するとともに、上方に向かって膨張し、顕著な二次噴煙を形成する (Fig. 3-2)。二次噴煙の上昇速度は10 m/s弱で、フロー JのJ7付近から最も勢よく上昇を始め、その頂部は11:56:00 JST頃に山頂高度を超え、更に上昇を続けている。上昇による噴煙の激しい脈動は11:58:00 JST過ぎまで続くので、上昇速度から判断して2 km弱上空までは達したものとみられる。同時に、映像では右手の雲の上に山頂部の火口群から上昇し東にたなびく別の噴煙も確認することができる。気象庁の長野レーダーで12時前後に捉えられた山頂から南に伸びるエコーは、これらの二つの噴煙の合わさったものに相当するものとみられる。翌日の上空からの映像で確認された火砕流による堆積物 (中野ほか, 2014) のうち、少なくとも映像で確認できる地獄谷沿いのものはこのフェーズ2で形成されている。

## 2-3. フェーズ3 (11:59:40 ~ 12:01:46 JST)

南山腹を流れ下った火砕流の二次噴煙の上昇が弱まりながらも続く中、11:59:40 JSTからは上空の噴煙の一部が下降し始める (Fig. 3-3)。下降流は複数のローブに分かれており、J4とJ7周辺へと10 m/s弱の速度で落下する。少なくともフェーズ3以降は地獄谷を流れ下る火砕流は、映像で確認することはできない。

## 2-4. フェーズ4 (12:01:46 JST以降)

下降流の落下地点から舞い上がった灰雲が横方向に広

がり、東側の先端部が王滝頂上から南西に伸びる尾根斜面沿いにゆっくり這い上がっていく (Fig. 3-4)。移動する灰雲は、映像手前、すなわち南方に広がることなく、主に右手の東へ流れている。このことは、この灰雲の運動が噴火時の西風に流されていたことを示唆しており、灰雲自体は自らの運動エネルギーをほとんど失っていたことを意味している。翌日の上空からの写真では、灰雲通過後の尾根斜面にほとんど堆積物は確認できない。気象庁の長野レーダーでは12時20分前後に山頂部から7000 mまで上昇し東にたなびくエコーのみが捉えられているが、この時点までには火砕流からの二次噴煙は消失したものと判断されよう。

## 3. 考察

### 3-1. 火砕流の特徴

今回の火砕流の特徴をまとめると、以下の通りである。1) 火砕流は、噴火開始時の11時52分頃に山頂南の地獄谷の上部斜面と山頂の西斜面の2箇所からほぼ同時に発生した。2) 火砕流発生時の噴煙高度は低く、300 mを大きく超えることはなかった。3) 谷沿いを流れ下る火砕流先端部の速度は8 ~ 20 m/sである。4) 斜面を流れ下った火砕流からは顕著な二次噴煙が上空2 km程度まで上昇した (フェーズ2)。このことは火砕流がある程度の熱量を持つ流れであったことを示唆しており、灰雲が大気と混合して浮力を得たものと理解できる。ただし、上昇した二次噴煙は上空で冷やされ、約5分後には下降流を発生させ (フェーズ3)、その後消滅した (フェーズ4)。5) 噴火翌日以降の上空からの写真 (例えば 中野ほか, 2014)

では、流れの底部に粗粒火砕物が濃集した火砕流本体の存在を示す末端崖を持ったローブ状の堆積地形は確認できない。火砕流通過域では白色の堆積物が薄く原地形を覆っている。6) 火砕流が通過した領域では樹木の損傷や火災、炭化は認められず、火砕流自体は樹木を焦がすほどの温度ではなかったと推定される(中野ほか, 2014)。

火砕流からの二次噴煙の上昇過程については、Wood and Kienle (1994)の1990年のアラスカRedoubt火山の解析例が参考になる。すなわち、二次噴煙は鉛直方向の初速がほとんどないサーマルとして上昇するものであり、その上昇高さはサーマルの熱量の関数となっている。仮にサーマルの初期温度を100℃程度とすると、サーマルが高さ2 km弱まで上昇するためには $10^{13}$ J程度の熱量が必要なのがWood and Kienle (1994)のFig. 10-bから読み取れる。今回の上昇開始時の二次噴煙を映像から見積もった半径200 mの球体(体積 $3 \times 10^7$  m<sup>3</sup>)とし、密度を大気と同じ1.2 kg/m<sup>3</sup>、比熱を水蒸気と同じ $2.0 \times 10^3$  J/kg Kとするとその熱量は期待される $10^{13}$  Jを満たすので、火砕流中心部の温度が100℃前後であれば今回の二次噴煙は十分に形成可能であったとみられよう。

### 3-2. 水蒸気噴火の噴煙挙動

今回の噴火は、噴出した火山灰構成物の解析から、本質マグマ物質を含まない水蒸気噴火と結論づけられた(宮城ほか, 2014)。火山灰の構成粒子は強変質岩片が全体の90%以上を占め、石英・クリストバライト・トリディマイト・黄鉄鉱・硬石膏・石膏・カオリナイト・イライトなどの熱水鉱物が伴われる。これらの構成鉱物は酸性熱水による変質作用を示唆しており、イライトの生成温度は200℃程度以上である。発生した火砕流は当然ながら、このような水蒸気噴火の特性を反映したものと考えられる。

水蒸気噴火はマグマからの熱により過熱・加圧された状態で閉塞していた地下水が、減圧に伴い爆発的に気化して地表に噴出す噴火現象である。固体噴出物は過熱水溜り周辺や火道壁を構成する既存の岩石からなり、高温のマグマ自体は爆発によって破碎・放出されることはない。過熱水と周辺母岩は平衡状態にあるものの、過熱水の圧力が静岩圧を大きく超えたり、山体の変形により新たな開口割れ目が形成された場合に、加熱水の平衡が一気に破綻して水蒸気爆発にいたるものと考えられている(例えばHedenquist and Henley, 1985; 谷口, 1996)。減圧に伴い過熱水が水蒸気に転移するフラッシュ率 $X$ は、過熱水は水のみからなること、系のなかの過熱水と母岩は熱平衡にあること、減圧過程で熱の損失がないものとして以下のように示される。

$$X = (C_w + C_r / R) (T_w - T_v) / L$$

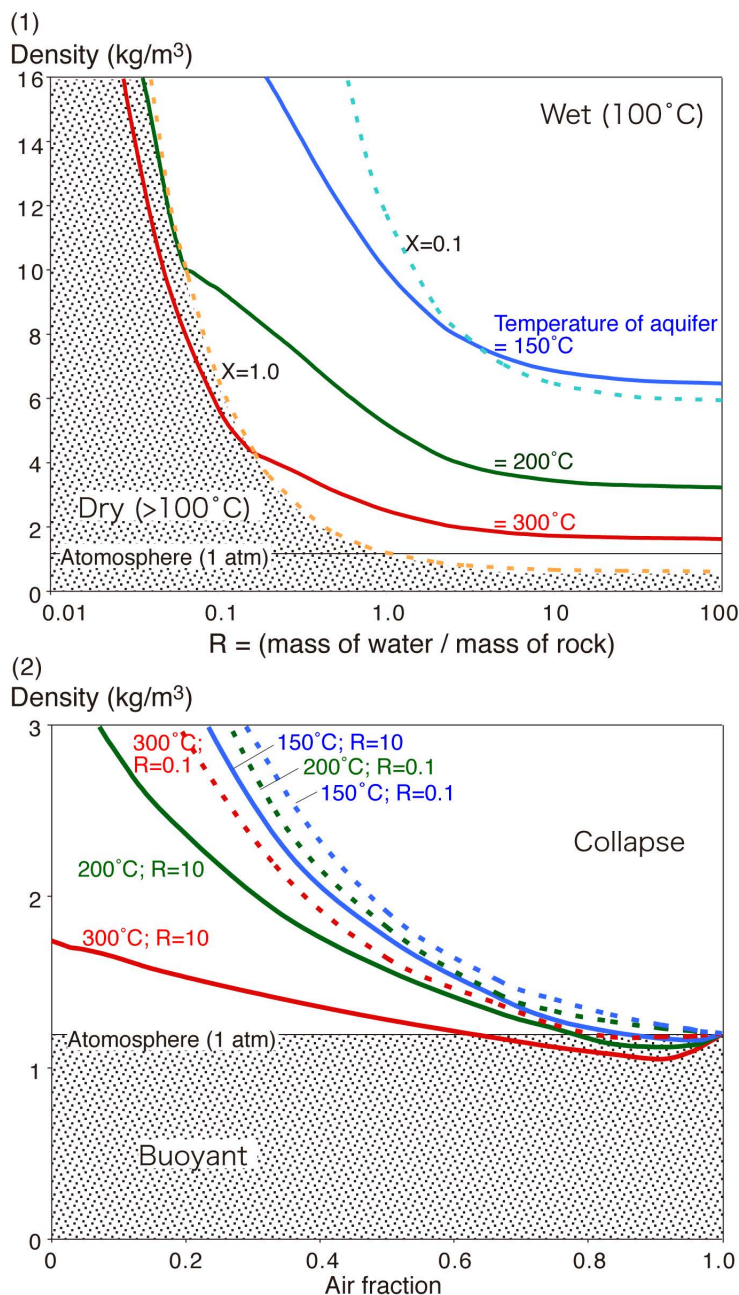
ただし、 $C_w$ は水の定圧比熱(=  $4.2 \times 10^3$  J/kg K)、 $C_r$ は火山灰の定圧比熱(=  $1.2 \times 10^3$  J/kg K)、 $L$ は気化熱(=  $2.3$

$\times 10^6$  J/kg K)、 $R$ は水/破碎した母岩の質量比、 $T_w$ は自己閉塞した過熱水の温度、 $T_v$ は大気圧下での水の沸点である。マグマによる加熱で周辺母岩中の地下水に生じる最大増加圧力は母岩の空隙率と浸透率に大きく依存し、浸透率が大きいほど圧力は容易に緩和され圧力の増加量も小さくなる。また、マグマ貫入等の急激な温度上昇がなくとも、熱水対流系が形成されている場合には循環する熱水の沸騰が熱水鉱物(石英や方解石など)の晶出をもたらすため、通路である割れ目や孔隙の浸透率が著しく低下する自己閉塞作用が絶えず進行している(Hedenquist and Henley, 1985)。自己閉塞した熱水通路内の圧力は徐々に上昇し、何らかのトリガーによりこれが急激に開放された際には水蒸気爆発となる可能性が大きい。

Fig. 4-1は水蒸気爆発の噴出物(熱水と破碎した母岩の混合物)の1気圧でのバルク密度を、過熱水とその母岩の混合質量比を横軸に示したものである(Yamamoto *et al.*, 1999)。過熱水と母岩の温度は、150, 200, 300℃を想定している。噴出物のバルク密度は、過熱水の温度が高いほど小さく、かつ過熱水/母岩混合比が小さいほど大きくなる。一方、フラッシュ率も過熱水/母岩混合比と負の相関があり、混合比がごく小さい領域ではフラッシュ率が1.0となり、100℃以上のドライな噴出物となる。反対に混合比が大きいほどフラッシュ率が低くなり、噴出物中の液相の水の量が増加する。しかしながら、噴出物の液相の水の量よりも、破碎された母岩の量の方がバルク密度には効くため、結果的にフラッシュ率が大きいほど噴出物のバルク密度が大きくなる傾向が現れる。

Fig. 4-2は水蒸気爆発の噴出物が同じく1気圧で大気を取り込んでできる噴煙のバルク密度を示している(Yamamoto *et al.*, 1999)。噴出物が噴煙柱として安定して上昇するためには、噴煙に取り込まれた大気が噴煙の熱で膨張して大気中で浮力を獲得する必要がある。しかし、水蒸気爆発の噴出物の熱量は元々低いため、安定した噴煙柱をつくるためには大きな制約が存在する(山元, 2001)。すなわち、過熱水の温度が高く(200℃以上)、かつ過熱水/母岩混合比が大きくないと(噴出物に含まれる火砕物量がごく僅か)、いくら大気を取り込んでも水蒸気爆発の噴煙が浮力を得ることはあり得ない。噴出物が多くの火砕物を含む際には、フラッシュ率が1.0となり、水蒸気爆発にしては高温で、火砕流となりやすい重力的に不安定な噴煙が発生しやすい(Yamamoto *et al.*, 1999)。

上記のような水蒸気爆発の噴煙の一般的特徴を踏まえると、今回の水蒸気噴火は以下のように説明できる。すなわち、今回の噴火は1979年噴火とは異なる場所で起きており、新規に火道が形成されている。従って、噴火開始時が最も過熱水/母岩混合比が小さく、火砕流を発生させやすい噴煙条件であった。火砕流発生後に引き続く噴煙は上空7000 m程度まで上昇したが、この噴煙は火砕



第4図 噴出した水蒸気・水・破碎母岩の混合物の密度. 加熱地下水の温度は150, 200, 300°Cを仮定している. Xは水蒸気へのフラッシュ率. 母岩の密度は2500 kg/m<sup>3</sup>とした. (2)水蒸気噴火の噴煙密度と大気混合率の関係. Rは初期噴出時の水/破碎母岩の混合比. 大気温度は20°Cとしている. Yamamoto *et al.* (1999)による.

Fig. 4 (1) Density of the ejected mixture of steam, water and rock fragments with the aquifer temperature at 150, 200 and 300°C. X is the fraction of steam produced. The density of the rock fragments is 2500 kg/m<sup>3</sup>. (2) Relationship between the density of the phreatic plume and the mixed air fraction. R is the initial mass ration of water/rock fragments in the ejected mixture. The temperature of the ambient air is 20°C. After Yamamoto *et al.* (1999).

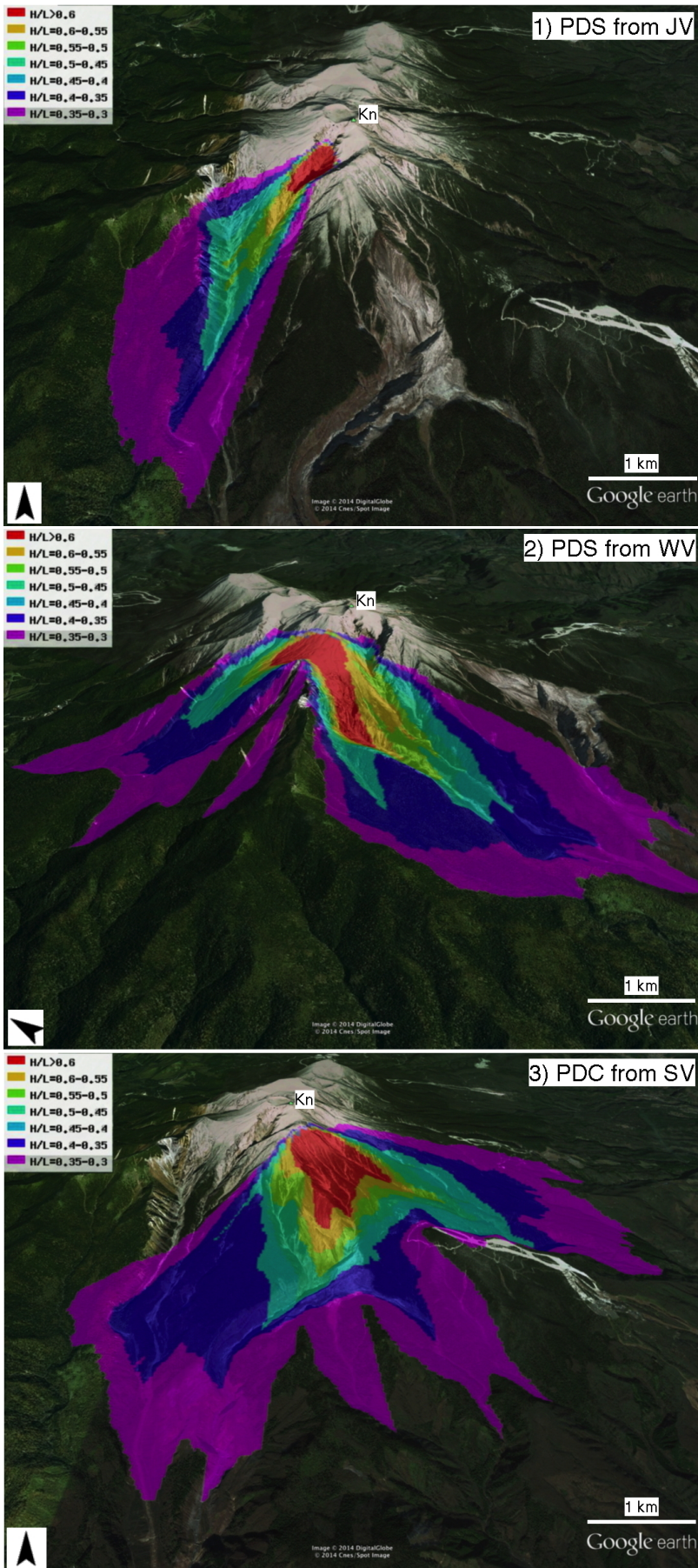
流を伴わず、噴煙からは灰混じりの雨が降ってきた。このことは、過熱水/母岩混合比が大きくなり、噴煙密度が小さくなった分、フラッシュ率も小さくなったことを意味している。

### 3-3. 水蒸気爆発の火砕流に対する防災上の考慮事項

G-EVERが公開しているエナジーコーンモデル (<http://volcano.g-ever1.org/vhazard/HazardAssessment/>) を用いて火砕流到達域の数値計算を行った (Fig. 5)。噴出地点は、山頂西斜面の標高2800 m (WV)、地獄谷の標高2700 m 地点 (JV)、大滝山頂南の標高2800 m (SV) である (Fig. 1)。噴煙柱崩壊高度は、200 mを仮定している。JVから発生したフローJの到達範囲は、見かけの動摩擦係数が0.45

～0.50で計算範囲との一致が良く、J6からJ8へと火砕流が尾根を乗り越える部分も良く再現されている (Fig. 5-1)。また、WVから発生したフローWの北西方向への到達範囲は、見かけの動摩擦係数が0.50～0.55で計算範囲との一致が良く、継母岳東のコルで北西と南に分岐することも良く再現されている。これらの値は火砕流としては大きい、すなわち流動性の低いものである (Fig. 5-2)。SVについては実際には開口していないものの、WVからJVへと続く割れ目の延長上にあり、噴火の危険性のあり得た場所である。もしこの地点で噴火が起きて、他と同様に高度200 mで噴煙柱崩壊したとすると、火砕流は「おんたけ2240」スキー場へと至る登山道のある尾根上を面状に広がっていたことになる (Fig. 5-3)。





第5図

エネルギーコーンモデルによる火砕流到達域の計算結果。噴煙柱崩壊高度は200 mを仮定している。Heim係数(H/L)は0.3～0.6で計算した。(1)地獄谷火口(第1図のJV)からの火砕流。実際の火砕流到達範囲とは、H/Lが0.45～0.50で一致する。(2)西山腹火口(第1図のWV)からの火砕流。実際の火砕流到達範囲とは、H/Lが0.50～0.55で一致する。(3)南山腹火口(第1図のSV)からの火砕流。噴火火口列が東に拡大し王滝頂上南の斜面で開口し、火砕流を発生させた場合には、東山腹の複数の登山道を含む広範囲が被災する恐れがある。矢印は北方向を示す。Kn=剣ヶ峰。地形表示にはGoogle Earthを使用した。

Fig. 5

The results of calculations using the energy cone model for the pyroclastic density currents (PDC), when the eruption column collapse height is 200 m. The Heim coefficient (H/L) varies from 0.3 to 0.6. (1) PDC from the Jigokudani vent (JV in Fig. 1). The distribution of the actual PDC in the southern valley matches the area of 0.45-0.50 in H/L. (2) PDC from the western-flank vent (WV in Fig. 1). The distribution of the actual PDC in the northwestern valley matches the area of 0.50-0.55 in H/L. (3) PDC from the southern-flank vent (SV in Fig. 1). If the eruption crater line had expanded in an eastward direction, erupted on the southern slopes of the Otaki-Choyo and generated a pyroclastic flow, then there is a possibility that such a flow would have impacted a wide area on the mountain's eastern slopes including several mountain trails. Arrows indicate the north direction. Kn = Kengamine. Topographic images are made by Google Earth.

今回の御嶽火山噴火では、滝越カメラに記録された火砕流に直接巻き込まれた登山者はいなかった。水蒸気爆発に伴う火砕流はマグマ物質が含まれないため、樹木の炭化を起こすほどの高温の流れではない。しかしながら、磐梯火山1888年の水蒸気噴火では山頂から6 km流下した火砕流によって森林破壊や家屋の倒壊などの甚大な被害が発生している(Sekiya and Kikuchi, 1890)。また、安達太良火山1900年の水蒸気噴火では、火口から谷沿いに逃げた鉱山夫が火砕流に襲われ火傷をおった死傷者が多数出ている(震災予防調査会, 1901)。水蒸気噴火の火砕流であっても、火口近傍や大気との混合が起きにくい流れの中心の谷底部では、前述の噴煙の特性から考えて、その流れは100℃を超える火砕物と気体の混合物からなる暴風であり、直撃した場合には相当な人的被害を及ぼし得るものである。水蒸気爆発に伴う火砕流の災害は、これまでの国内の火山災害予測でほとんど考慮されていないが、火口開口時に発生し易いその突発性も鑑みると十分その影響を考慮すべき事象であろう。

#### 4. まとめ

御嶽火山で2014年9月27日に起きた水蒸気噴火は、火砕流を伴ったことが国土交通省多治見砂防国道事務所の滝越カメラに記録されている。この映像からは、以下のことが指摘できる。1) 火砕流は、噴火開始時の11時52分頃に山頂南の地獄谷の上部斜面と山頂の西斜面の2箇所からほぼ同時に発生した。2) 火砕流発生時の噴煙高度は低く、300 mを大きく超えることはなかった。3) 谷沿いを流れ下る火砕流先端部の速度は8~20 m/sで、地獄谷沿いには火口から約2 km流下した。4) 斜面を流れ下った火砕流からは顕著な二次噴煙が上昇したが、このことは火砕流がある程度の熱量を持つ流れであったことを示唆しており、灰雲が大気と混合して浮力を得たものと理解できる。ただし、翌日の上空からの観測によると火砕流による樹木の炭化などは報告されていない。今回の御嶽火山の噴火では、火口が山頂からやや離れた斜面であったため、発生した火砕流は登山者のいない斜面や谷を流れ下り、直接の災害をもたらしていない。しかしながら、水蒸気噴火では、その噴煙の特徴から、今回の事例のように火口開口時に火砕流を発生させ易く、防災上は十分に警戒すべき現象である。

**謝辞:** 国土交通省多治見砂防国道事務所には、滝越カメラの噴火映像の使用を許可していただいた。原稿は吉岡敏和さんの査読により改善された。ここに感謝いたします。

#### 文献

- Druitt, T.H. (1998) Pyroclastic density currents. In: Gilbert, J. and Sparks, R.S.J. (eds.), *The Physics of Explosive Volcanic Eruptions*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **145**, 145-182.
- 岐阜県 (2008) 御嶽山火山防災マップ. 岐阜県庁県土整備部砂防課 (<http://www.pref.gifu.lg.jp/kendo/michi-kawasabo/sabo/sabo-jigyoku/kazanbosai/ontakemap.html>). (2014年11月5日参照)
- Hedenquist, J.W. and Henley, R.W. (1985) Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: their origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization. *Econ. Geol.*, **80**, 1640-1668.
- 小林武彦 (1979) 1979年御嶽山火山活動. *地球科学*, **33**, ii-iiib.
- 宮城磯治・下司信夫・濱崎聡志・東宮昭彦 (2014) 御嶽山2014年9月噴火の火山灰粒子. 日本火山学会講演要旨集2014年度秋季大会, U18.
- 中野 俊・及川輝樹・山崎誠子・川辺禎久 (2014) 御嶽山, 2014年9月の噴火(速報) — 上空観察および報道映像から見る火口周辺の状況と火砕流の分布 —. *GSI地質ニュース*, **3**, 289-292.
- Sekiya, S. and Kikuchi, Y. (1890) The Eruption of Bandai-san. *Jour. College Sci., Imperial Univ., Japan*, **3**, 91-172.
- 震災予防調査会 (1901) 沼尻山噴火. 震災予防調査会報告, no.35, 117-119.
- 曾屋龍典・近藤善教・下坂康哉 (1980) 御嶽山1979年噴火. *地質ニュース*, no.306, 6-13.
- 竹内 誠・中野 俊・原山 智・大塚 勉 (1998) 木曾福島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 94p.
- 谷口宏充 (1996) 高温流紋岩質溶岩流—水接触型マグマ水蒸気爆発の発生機構. *地質学論集*, no.46, 149-162.
- Valentine, G.A. and Fisher, R.V. (1993) Glowing avalanches: new research on volcanic density currents. *Science*, **259**, 1130-1131.
- Woods, A.W. and Kienle, J. (1994) The dynamics and thermodynamics of volcanic clouds: theory and observations from the April 15 and April 21, 1990 eruptions of Redoubt Volcano, Alaska. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **62**, 273-299.
- 山田直利・小林武彦 (1988) 御嶽山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 山元孝広 (2001) 有珠火山2000年噴火でのマグマ水蒸気爆発と火砕流到達域予測. *地質調査研究報告*, **52**, 231-239.

Yamamoto, T., Nakamura, Y. and Glicken, H. (1999)  
Pyroclastic density current from the 1888 phreatic  
eruption of Bandai volcano, NE Japan. *Jour. Volcanol.*

*Geotherm. Res.*, **90**, 191-207.

( 受 付 : 2014 年 11 月 6 日 ; 受 理 : 2014 年 11 月 27 日 )

