

第 215 回地質調査所研究発表会講演要旨*

特集 「雲仙火山 1990—91 年の噴火」

噴火の経過

曾屋龍典・須藤 茂

雲仙・普賢岳は、1990年11月17日にほぼ200年ぶりに噴火した。この噴火に先立って、7月には火山性微動が観測され、しばしば地震が群発した。11月17日に普賢岳山頂部の九十九島火口及び地獄跡火口での水蒸気爆発で噴火が始まった。2月12日には屏風岩火口が開口し、4月には地獄跡火口及び屏風岩火口での活動が活発となった。

5月13日から山頂で地震が多発し、5月20日地獄跡火口に溶岩ドームが出現した。溶岩ドームは成長を続け、24日に地獄跡火口を埋め尽くした溶岩は、東の斜面に崩壊し火砕流として流下した。その後、火砕流の流下は続き、流走距離も次第に大きくなり、5月29日には、水無川で作業員が火傷を負った。6月3日と8日には、規模の大きな火砕流が発生し、6月3日の火砕流で43人が犠牲となった。6月8日の大火砕流に伴って爆発が起き、北東方に発泡の良い噴石が降下した。このような爆発的な噴火は6月11日にも起きた。8月中旬山頂部で地震が多発し、溶岩の湧き出しはそれまでよりも北東に移動し、それに伴って火砕流は北東斜面のおしが谷に流下した。9月中旬、山頂部で地震が多発し、溶岩ドームに大きな亀裂が入り、その部分が崩落し、おしが谷を通り、水無川まで流下する大きな火砕流が発生した。山頂部には、馬蹄形の火口が生じ、新たに溶岩が湧き出した。この溶岩ドームは第4ドームと呼ばれている。11月からふたたび山頂部での地震が増加し、第3ドームと第4ドームが隆起し、第5ドームが出現しつつある。

地質調査所の現地調査は、11月17日の普賢岳山頂で水蒸気爆発で噴火が始まった直後から行われた。また、平成2年度科学技術庁振興調整費による「雲仙岳噴火に関する緊急研究」で、EDM(光波測距儀)による眉山の連続測距を行った。本年5月には、普賢岳の普賢神社南400mに反射鏡(F2)を、野岳の北東の有料道路上に観

測点(T1)を設置してEDMの測線を設け、マグマの貫入による山体の変形を観測した。野岳からの光波測距は、平成3年度科学技術庁振興調整費「雲仙岳のマグマ活動に伴う諸現象に関する緊急調査」により、自動連続観測を行っている。

本年5月、マグマが出現する前から現在までの現地調査では、溶岩ドーム、火砕流の目視及びセオドライト等の機器観測、画像の収録等を行い、降下火山灰等の分布調査及び試料の採取を行った。これらの観測結果及び報道機関の画像を用いてマグマの噴出率、火砕流堆積物及び溶岩ドームの体積の見積、火砕流の到達位置、流下速度の計測等を行った。また、気象庁雲仙岳測候所で記録された火砕流の振動波形から計算された振動エネルギーが火砕流の体積に対応すると見なし、火砕流の体積と流走距離の関係を明らかにした。

溶岩ドームの移動をセオドライトで測量し、流動速度から溶岩の粘性が 10^{11} ポアズであり、溶岩の粘性の変化と溶岩の厚さ及び流動速度との関係を求め、溶岩ドーム観測の指針として提示した。

その他、新溶岩の化学分析及び顕微鏡観察を過去の噴出物と共にを行った。6月8日及び11日に起きた爆発的噴火のモデル化、デイサイトマグマの脱ガス過程のモデル化を行った。

これらの研究成果はそれぞれの研究者から詳細に報告される。また、それらは、火山噴火予知連絡会等にその都度報告されている。(環境地質部)

Keywords: Unzen volcano, eruption, lava dome, pyroclastic flow, dacite, phreatic explosion

雲仙噴火と地質調査所の対応

小出 仁*・津 宏治**
金沢康夫***・遠藤秀典*

自然現象は、人間の考える予定には関係なく発生し、その場所や時点において様相が変化する。したがって、現地におけるリアル・タイムの調査・観測が重要である。

*平成3年11月27日本所において開催

雲仙噴火においても、刻々変化する状況に対応し、可能な限り現地における調査・観測を実施した。

現地調査に当たっては、環境地質部火山地質課、地質部岩石地質課、九州地域地質センター、地質情報センター地形情報課等が参加して、常時連絡体制を整え、迅速な対応が可能になるように配慮した。

国立研究機関としての性格からくる様々な困難にもかかわらず、研究当事者の努力はもとより、科学技術庁及び工業技術院研究業務課からの支援や地質調査所内及び環境地質部内部等から様々な形の協力が得られた。その結果、本緊急調査が円滑に実施され多くの成果をあげることができた。研究の内容については、他の講演で報告されているので省略する。

(*環境地質部・**地殻物理部・***企画室)

Keywords: Unzen, volcano, eruption, emergent survey

雲仙火山の地質の概要と K-Ar 年代

星住英夫・渡辺一徳・板谷徹丸

雲仙火山の地質や年代については、従来多数の研究がなされてきた。しかし、雲仙火山地域ではドーム状の岩体が多く岩体相互の上下関係がはっきりしない場合が多いことや、鍵層となるテフラに乏しいこと、また、既存の年代測定値も十分だとはいえないことから、岩体区分や年代区分に諸説があり、火山層序が確立したとはいえない状況にある。雲仙火山の火山発達史とその年代区分を明らかにするために、地質調査とともに岩石の K-Ar 年代測定を行った。

年代測定は、斑晶鉱物をアイソダイナミックセパレーターなどを用いて取り除き、粒径を 60-80 メッシュに揃えた石基について行い、結果を得た(第1表)。測定の結果の内いくつかは誤差が大きすぎて必ずしも信頼性の高い結果ばかりではない。現在改良中の方法で改めて再測定を行い、その結果は改めて公表する予定であり、本報の K-Ar 年代測定結果は暫定的なものである。しかしながら、今回測定した年代値のいくつかは大気アルゴンの混入が少なく、誤差の十分小さい有意な差がある結果が得られている。

雲仙火山は、地形・地質及び年代測定値からみて大きく4つのステージに分けられる。それらは古い順に、先妙見岳期・妙見岳期・普賢岳期・有史期となる。先妙見岳期は、妙見岳以前の雲仙火山の大部分を形成した時期である。精度の良い年代値として、約 26 万年前から約 8 万年前にわたる値が得られた。この時期の火山体は、開

第1表 雲仙火山K-Ar年代測定値(暫定値)
渡辺ほか(1991)を一部改変。

Sample Number	Member (Stage)	rock name	測定対象	既存 F T 年代	年代測定値(Ma) (大気混入率%)
SB-29	礫石原火砕流 (普賢岳)	hor an	石基		40/36 = 292.2
SB-46	普賢岳溶岩 (普賢岳)	hor an	石基	0.07 ± 0.02* 0.11 ± 0.06*	40/36 = 294.8
SB-47	福生山溶岩 (普賢岳)	hor an	石基		40/36 = 295.0
SB-37	眉山溶岩 (普賢岳)	hor da	石基	0.07 ± 0.02* 0.10 ± 0.05*	0.02 ± 0.01 (96.7)
SB-44	妙見岳溶岩 (妙見岳)	hor an	石基	0.06 ± 0.03*	0.13 ± 0.19 (98.6)
SB-45	妙見岳溶岩 (妙見岳)	hor an	石基		0.04 ± 0.02 (96.8)
SB-26	千本木溶岩 (妙見岳)	hor an	石基		0.03 ± 0.12 (96.6)
SB-28	研修ヶ池溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基		1.33 ± 0.73 (96.3)
SB-38	眉山基底溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基		0.17 ± 0.02 (77.2)
SB-41	木場溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基		0.04 ± 0.05 (88.7)
SB-43	野岳溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基		0.08 ± 0.02 (88.7)
SB-79	烏甲山溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基		0.21 ± 0.01 (77.1)
SB-80	九千部岳溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基	0.17 ± 0.06* 0.13 ± 0.09*	0.20 ± 0.01 (73.5)
SB-81	矢岳溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基	0.26 ± 0.04*	0.24 ± 0.01 (69.0)
HO-1	猿蓑山溶岩 (先妙見岳)	hor an	石基	0.19 ± 0.03* 0.17 ± 0.06*	0.26 ± 0.02 (85.0)

その他の既存 F T 年代

高岳: 0.20 ± 0.05*, 0.19 ± 0.07* 高岩山: 0.24 ± 0.06*
 吾妻岳: 0.18 ± 0.06* 網笠山: 0.23 ± 0.06*
 電石層: 0.25 ± 0.05*, 0.28 ± 0.05*, 0.30 ± 0.09*
 *: Sugiyama et al. (1986) *: 宮地・太田 (1985)

析が進み地溝を形成する断層群による変位も大きい。これまでの研究報告では、この先妙見岳期をいくつものステージに区分している。しかし、論文ごとに分け方が異なる上、地形的にみて年代差が認められないものもあるので、ここでは一括した。次の妙見岳期は、妙見岳を形成した活動期でその最後に崩壊カルデラを形成した。その後生じた普賢岳を代表とする火山体の形成期を普賢岳期とし、有史の活動を有史期とする。暫定的な測定結果から、妙見岳期がおおよそ 4 万年前、普賢岳期がおおよそ 2 万年前といえる。一方、眉山の崩壊域の底面に、眉山本体とは異なるやや塩基性の岩石があり、測定値から眉山以前の古い岩体であることがわかった。崩壊時に眉山本体のみが崩れさり、古い緻密な基底部の溶岩が取り残されたということになる。

文 献

渡辺一徳・星住英夫・板谷徹丸 (1991) 雲仙火山
 眉山の地質。雲仙火山眉山の地学的・土質
 工学的環境の基礎的研究, 平成 2 年度文部
 省科学研究費総合研究 (A) 研究成果報告
 書, p. 6-16.

(九州地域地質センター・熊本大学教育学部・
 岡山理科大学理学部)

Keywords: Unzen volcano, K-Ar dating, Mayuyama

雲仙岳周辺の重力異常

駒澤正夫・志知龍一

海域も含めた既存の重力データ及び、'91 年度に取得した最新の調査データを編集して雲仙火山周辺域の重力異常図を作成した。仮定密度を $2.0\text{--}2.7\text{ g/cm}^3$ と段階的に変化させてブーゲー異常図のパターンの変化から密度構造を考察した結果、雲仙火山の密度構造は単純化すると以下に示す 3 層構造になる。つまり、眉山周辺の表層の平均密度は、山体が浸食を受けているせい 2.4 g/cm^3 と大きいものの、普賢岳をはじめとして雲仙火山の表層の数 100 m より浅い部分は密度 2.2 g/cm^3 程度の比較的低密度の層が、海水準より高い山体部は 2.4 g/cm^3 程度の高密度の岩脈あるいは圧縮状態の溶岩の存在を示していると考えられる中間層が、海水準下部については広域ブーゲー異常に対応する密度 $2.6\text{--}2.7\text{ g/cm}^3$ の基盤層が各々考えられる。

仮定密度が小さいときは、島原半島を挟むように西側の橘湾（千々石湾）と東側の島原湾（有明海）は低重力域になっており、特に橘湾の低重力域は環状を呈しておりカルデラという説に調和しているようにも見える。しかし、山体の平均密度と考えられる程度に仮定密度を大きくしていくと標高の高い雲仙岳周辺の高密度異常が消え、橘湾と島原湾の 2 つの低重力異常域が繋がって東

西に伸びた低重力異常帯を形成し、その低重力帯は東に伸びて別府湾まで追跡できる。その低重力帯とほぼ一致した部分を地質的には別府-島原地溝帯と呼んでいる。雲仙火山を広域的に見ると、地溝帯の中に噴出してきた火山であることが密度構造からよく理解できる。なお、重力から見える地溝状構造の北側は、地質の方から言われている島原地溝の北側を画する千々石断層に一致するが、南側については地質的に言われている金浜断層や布津断層の所に急傾斜帯はなく、そこよりは南で上記断層に斜行するところ、つまり金浜より北有馬に至る北西-南東方向に急傾斜帯が見える。重力の地溝状構造は、地質的な地溝構造よりは深く且つ古いものの構造を示していると考えられる。地溝帯の沈降量を重力の定量解析から見積もると、基盤層に 1 km 程度の地溝状構造で重力異常を説明できる。

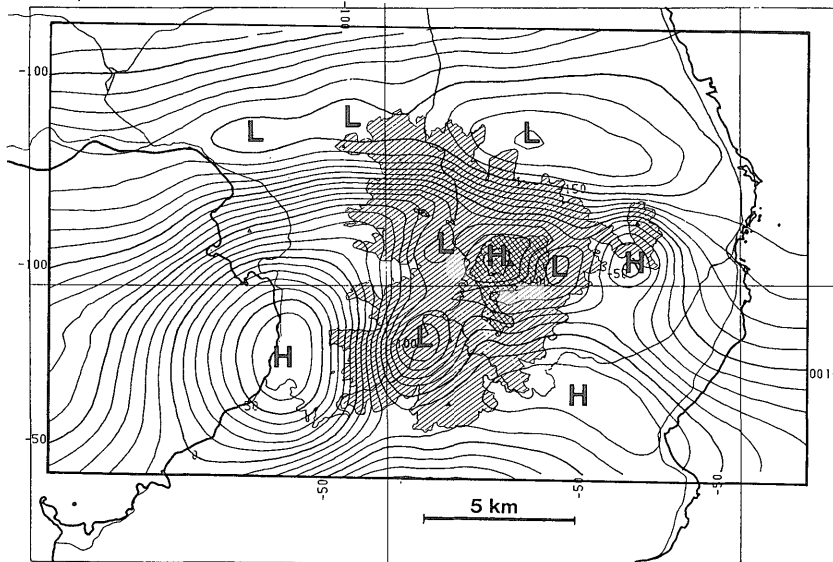
(地殻物理部・名古屋大学)

Keywords: Unzen volcano, Bouguer anomalies, surface density estimation, Beppu-Shimabara graben

雲仙岳周辺の空中磁気異常

中塚 正*・森尻理恵*・牧野雅彦*
曾屋龍典**・宮坂 聡***

今回の噴火後の 1991 年 8 月に、雲仙岳を中心とする東西約 25 km、南北約 15 km の範囲の空中磁気データが中



第 1 図 一様磁化を仮定した地形による影響を除去した全磁力異常分布（コンター間隔 10nT）。背景は単純化した地形を示し、標高 500m 及び 1000m 以上の部分がハッチしてある。

日本航空㈱の手によって取得された。主測線は東西方向で、普賢岳直上を除き約500mの測線間隔で、高度7,500フィートの全磁力異常分布が得られた。

既存の新エネルギー総合開発機構(NEDO)による調査データとの比較からは、大局的な磁気異常分布には変化が見られないものの、既存データの測線間隔の粗さに起因する磁気異常図間の相違が見られ、今回の取得データが、当該地域の磁氣的構造を定量的に検討する上で、有意義であることが示された。

得られた磁気異常分布は、地形の凹凸との相関を示しており、その解析からこの地域の地表付近の平均的な磁化強度は2.9 A/mと計算された。この磁化強度を仮定した地形モデルによる計算磁気異常と、観測磁気異常との差(第1図)は、表層付近の磁化強度分布のラテラルな変動と、より深層での一様磁化モデルからのずれによって説明されるが、その解析から以下の諸点が指摘される。

(1)雲仙岳本体(普賢岳・国見岳付近)及び眉山付近には、相対的に磁化強度の大きい岩石の分布があり、火山体の噴出中心を成すものと考えられる。

(2)普賢岳東方2km付近の地形の高まり(イナオ山)は、相対的に磁化強度が弱いと見られ、普賢岳等とは岩相を異にする可能性がある。

(3)雲仙温泉付近からそのやや南方は、明瞭な負の磁気異常で特徴づけられ、この付近がかなり大規模な熱水変質帯となり、磁化強度が大きく低下していることを想起させる。

(4)より広域的には橋湾中東部から島原半島東岸にかけての島原地溝帯には、地溝帯を埋める形で相対的に強磁性の岩石が分布し、その厚さは比高300-400mの地溝を相対的磁化強度3 A/mの岩石が埋めていることに相当

する程度であると見積られる。

(5)この地溝帯の磁気異常分布には、雲仙温泉付近の経度を中心に、その東側と西側とで様相を異にする面があり、また上記の地溝帯を埋める岩石の層厚にも100m程度の差(西側で厚い)が想定され、島原半島中央部に南北方向の何らかの構造的な境界が存在するものと見られる。(地殻物理部・**環境地質部・***中日本航空㈱)

Keywords: aeromagnetic survey, geomagnetic anomaly, Unrzen, volcano, topographic effect, graben

雲仙火山のマグマの脱ガス機構と物性変化

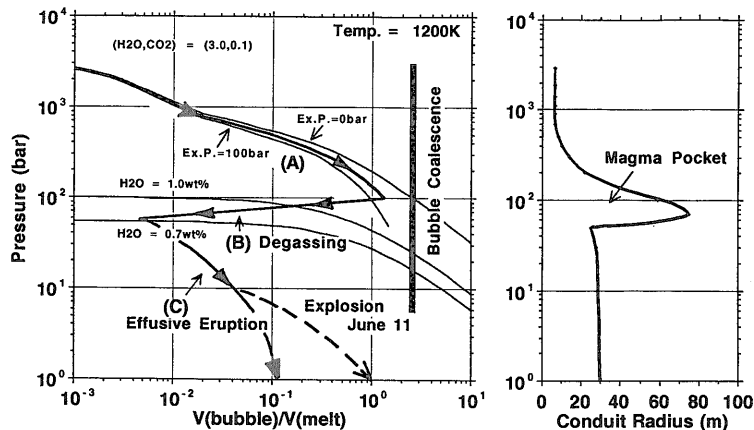
風早康平*・川辺禎久**・日下部実***・阪口圭一*
宝田晋治†・水野清秀**・曾屋龍典**

噴出物中にはHb, Btが含まれており、マグマ溜り中では含水量が、少なくとも2wt%以上あったと思われる。

含水量の多い酸性マグマは、爆発的活動をすることが多いが、今回の雲仙岳の活動では、大きな爆発的(プリニー式)噴火は見られなかった。マグマが地表に流出する前の脱ガスが原因と考えられる。マグマ上昇時の脱ガス機構・物性変化・火道パラメータについて考察した。

脱ガスに関連した測定結果は、次に示す2点である。

1)非常に効率の良い脱ガス(SO₂放出量200 ton/day)が、地表下浅所にて続いている。2)発泡の良いパン皮状噴石(6/11放出)のガラスの含水量は1wt%に達する。これは、爆発前の泡の圧力が100気圧に達していたこと



第1図 デイサイトマグマのP-V進化経路(左)及び火道半径の鉛直分布(右)

を示す。また、パン皮状の膨張跡を残していることから、このデイサイトマグマの泡の過剰圧は 100 気圧以下となる。第 1 図 (左) にデイサイトマグマの P-V 進化図を示す。地下深部で、発泡したマグマは、膨張しながら矢印 (A) に沿って上昇する。泡の過剰圧が 0 気圧の場合 (平衡)、圧力が 100 気圧で、マグマの体積が 4 倍に膨張する。泡の過剰圧が 100 気圧の場合では、2 倍膨張する。3-4 倍の体積膨張は、泡の合体を引き起こすので、効果的にマグマからガスを分離することが可能となる (第 1 図 (左) 中矢印(B))。マグマの上昇速度が、泡を分離するのに十分遅く遅ければ、マグマは爆発を起こさず静かに流出する (第 1 図 (左) 中矢印 (C))。

次に、マグマ上昇中の密度変化と粘性変化を見積った。mass flow の式を用い、マグマの上昇速度及び火道径の鉛直分布を求めた。火道径の鉛直分布を第 1 図 (右) に示す。圧力にして 70-200 気圧の領域で、直径約 150 m のマグマポケットが存在していることが示される。

(*地殻熱部・**環境地質部・

***岡山大学地球内部研究センター・†北海道支所)

Keywords: magma, degassing, volatile, conduit, volume expansion, Unzen

雲仙火山噴火に伴う山体変動 (光波測距)

斎藤英二*・渡辺和明*・須藤 茂**

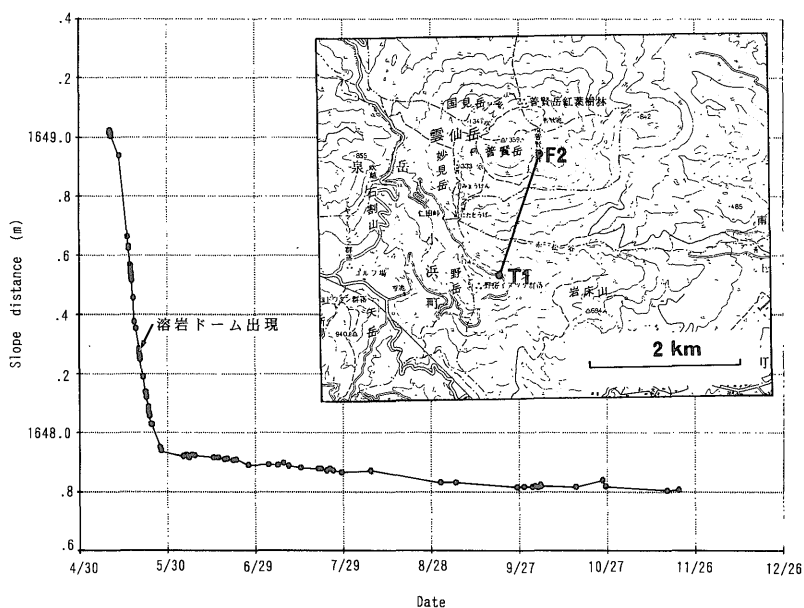
雲仙岳の火山活動に伴う山体変動を捉えるため、眉山、千本木及び普賢岳の 3 箇所に光波測距網を設け、繰り返し観測を行った、以下にその結果を報告する。

(1) 眉山測線

島原市運動公園内に設けた観測点 (G) と、眉山東斜面 (A, B, C) 及び島原市役所屋上 (R) の 4 箇所の反射鏡点からなる。観測点には光波測距儀のほか、パソコンやモデム等を常設し、1つの反射鏡方向に対して自動連続測定が可能になっている。本年 3 月から 11 月までに B, C, R の 3 点について連続または隔測方式で測定した。その結果、測距精度 $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$ を超える距離変化はみられなかった。

(2) 千本木測線

4 箇所の観測点 (SB-2~5) と 1 箇所の反射鏡点 (SB-1) からなり、測線は島原地溝北縁の千々石断層の東延長部を挟むように設定した。2 月から 6 月までに 10 回の測定を行った結果、測距精度を超える距離変化は検出されなかった。なお、6 月 9 日以降の測定は、測線付近が火



第 1 図 光波測距測線の位置及び斜距離の変化

T1は光波測距観測点、F2は反射鏡点を示す。T1-F2間の斜距離は、溶岩ドーム噴出を挟む17日間に1.1 mの急激な縮みを示した。地形図は国土地理院発行1:50,000「島原」を用いた。

砕流や土石流の危険にさらされているために行っていない。

(3) 普賢岳測線

測線の位置及び斜距離の変化を第1図に示す。T1点は仁田峠有料道路上に設けた観測点、F2点は地獄跡火口の南南西約400mの地点に設けた反射鏡点である。第1回の測定は5月10日に行った。朝夕2回の時間帯に分けて測定した結果、測距精度を超える変化がないことを確認した。第2回の測定は13日に行った。その結果、6-7cmの有意な縮みを観測し、さらに16日の測定で20cmを超える大きな変動であることが確認された。この急激な変化は27日まで続き、5月10日から17日間に1.1mの距離短縮が明らかになった。この間の短縮速度は、16日から溶岩ドームの出現が確認された20日頃まで10cm/日の最大値を示し、それ以降、24日まで6cm/日、27日まで3cm/日と斬減した。これらの現象は、13日未明より急増した山頂直下の地震活動とも対応しており、マグマの地下浅所への貫入、地表への噴出の過程で生じた山体変動を示すものと考えられる。

5月27日以降の変動は、依然として縮む傾向が続いているが、変化速度は1mm/日以下に激減した。また、この間(11月25日現在まで)に発生した山頂直下を震源とする群発地震活動とT1-F2間の距離変化との対応はみられない。 (*地質情報センター・**環境地質部)

Keywords: Unzen volcano, crustal movement, magma intrusion, electronic distance measurement

雲仙火山噴火に伴う山体変動(空中写真解析)

安田 聡*・須藤 茂**・遠藤秀典**

雲仙・普賢岳周辺では、光波測距により1991年5月に火口南方で1m以上の山体変動が生じていることが計測された。このため本研究では、マグマ噴出の前後に撮影された空中写真を用いて、普賢岳及びその周辺の露岩等の位置を図化機(ウイルドA10オートグラフ)及び座標読取り装置(EK-22)を用いて測定し、その様子を明らかにした。

使用した空中写真は、1984年8月1日撮影(国土地理院)縮尺約20,000分の1及び1991年6月16日撮影(国際航業株式会社)縮尺約12,500分の1のものである。作業に際しては、調査域の周辺部に5,000分の1火山基本図(国土地理院)上から標定用基準点を読取り写真の標定を行った。その標準偏差は各基準点で0.41mであっ

た。

変動量測定には、マグマ噴出前後の写真上ではっきり確認できる露岩等を選び、その位置のX, Y, Hを求め、その差から変動量を求めた。

その結果は、①地獄跡火口の南側の山体は南-南西に、北側の山体は北-北西にそれぞれ移動し、上昇した。地獄跡火口の北西の狭い範囲内の山体は沈降した。②測距のために設けたミラー点近くの露岩の変動は、光波測距の結果と矛盾しない。③地獄跡火口より約1km以上離れた地域ではほとんど変動は認められない。④普賢岳の山体について今回得られた変動は、地獄跡火口を通る東西ないし北西-南東方向に伸びた岩脈状のマグマが上昇したことによるためであると推定される。(参考 Koide and Bhattacharji, 1975)

なお、写真測量の精度は地上測量に比べて精度のオーダーが2-3桁は劣るので微量の変動の計測には適切でない。しかし活動中の火山体等においては、現地調査や機器の設置がきわめて困難であり、しかも、変動量が比較的大きいため、地形変動の分布の計測には最も有効であると考えられる。(*地質情報センター・**環境地質部)

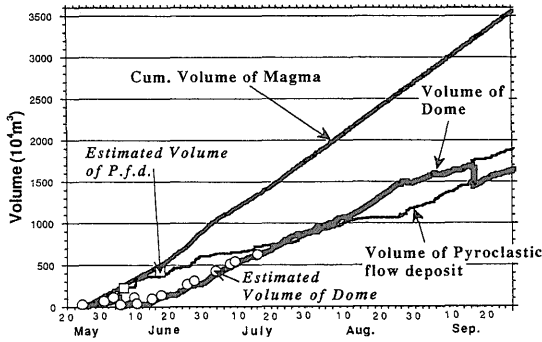
Keywords: photogrammetry crustal movement, Unzen Volcano

雲仙岳1991年噴火の噴出物量と
6/3・6/8の火砕流の発生機構

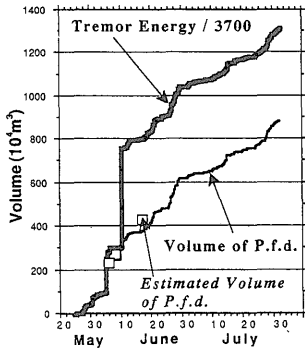
宝田晋治*・風早康平**・川辺禎久***
阪口圭一**・須藤 茂***・山元孝広†
曾屋龍典***・気象庁雲仙岳測候所

雲仙岳1991年噴火による5/23-9/28の溶岩ドーム・火砕流堆積物の体積、マグマの総噴出量の推定を、映像や火砕流に伴う振動波形の解析をもとに行った。解析の結果、6/3と6/8の火砕流が基盤の滑り落ちが引き金となって発生した可能性が高いことがわかった。また火砕流の体積と到達距離の相関も調べた。

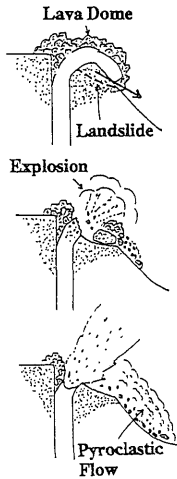
報道の映像、ヘリから撮影した写真や8ミリ、空中写真をもとに、溶岩ドームと火砕流堆積物の体積を求めた(第1図;実測値○, □)。火砕流に伴う711の振動波形(気象庁A点・矢岳の波形記録)の微動エネルギーを計算し、溶岩ドームと火砕流堆積物の体積の成長曲線を決定した。このとき、溶岩ドームの崩壊体積と火砕流に伴う振動波形の微動エネルギーが比例すると仮定した。マグマの総噴出量は、溶岩ドームと火砕流堆積物の体積の



第 1 図 溶岩ドームと火砕流堆積物の体積，マグマの総噴出量



第 2 図 火砕流堆積物の体積と微動エネルギーとのずれ



第 3 図 6/8の火砕流の発生機構

成長曲線の和から求めた、マグマの噴出率は、 $3.0 \pm 1.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、ほぼ一定である。

6/3と6/8の微動エネルギーは、実際の火砕流堆積物の体積から期待できる量よりも大きい(第2図)。そのエネルギーの差は、体積に換算して約 $5.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ に相当する。また6/3と6/8には、基盤の崩落によって、溶岩ドームがのっている山体斜面の傾斜は約33度から28度に変化している。基盤の欠損体積はそれぞれ $0.5 \sim 1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。したがって、6/3と6/8の火砕流は不安定な基盤の滑り落ちが引き金となって発生した可能性が高い(第3図)。基盤の滑り落ちは、a) 高温の溶岩によって焼かれることによる脆弱化、b) 泥水の噴出を起こすような不透水層(すべり面)の存在、c) 大量の溶岩が上部に乗ることによる不安定化などが原因となって起こったと考えられる。特に6/8の場合は、高压のドーム内部や火道の切断による急激な減圧が起こり、建設省の赤外線映像で示されたような爆発が起こった(第3図)。この爆発や滑り落ちに伴う振動が、微動エネルギーと崩壊量から期待できるエネルギーとが一致しない原因の1つであると考えられる。崩壊した高温の溶岩ドームと基盤の物質は破砕されて火砕流となった(第3図)。

また振動波形の微動エネルギーから5/25-6/11の個々の火砕流の体積を見積り、火砕流の体積と到達距離との相関を調べた。6/3の火砕流の体積は約 $8.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、到達距離は3,600mであった。6/8の火砕流の体積は約 $1.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、到達距離は5,600mであった。こうした相関関係から、今後崩落が起こりそうな部分の体積を見積ることによって、火砕流の到達距離が予測できる。

(*北海道支所・**地殻熱部・***環境地質部・†地質部)

Keywords: Unzen volcano, volume estimation, initiation mechanism, landslide, runout distance

雲仙岳 1991 年噴火の火砕流

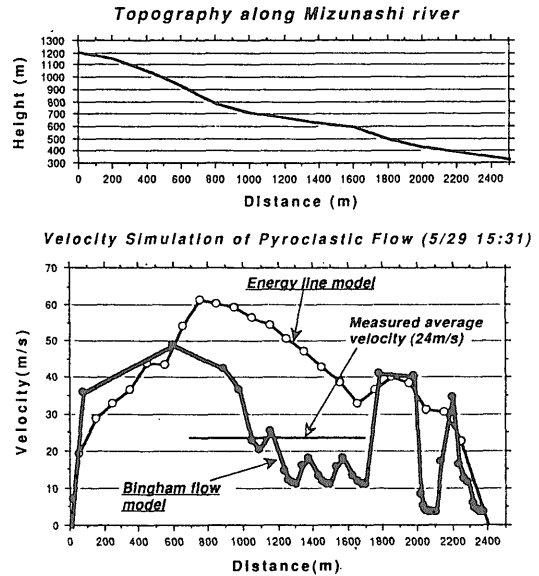
宝田晋治*・山元孝広**・中野 司***
村田泰章***・風早康平†・川辺禎久††
阪口圭一†・曾屋龍典††

雲仙岳では、1991年5月24日から溶岩ドームの崩落によって火砕流が発生している。火砕流の平均流速の実測値は約10-30 m/sである。火砕流の流動機構は下部の basal avalanche と上部の ash cloud でうまく説明できる。エネルギーライン(コーン)モデルとピンガムフローモデルによる火砕流のシミュレーションを行った。

雲仙普賢岳の地獄跡火口に噴出した溶岩ドームは、5/24 から崩落を繰り返している。効果的に溶岩の破砕が進んだ場合、破砕片は火砕流となって水無川を流れ下る。6/3 16:08 の火砕流は 3,600 m を流れ下って、山麓の北上木場の集落を襲い、43 名の犠牲者を出した。6/8 20:06 の火砕流の流走距離は 5,600 m であった。9/15 18:54 の火砕流はおしが谷に沿って 6,300 m を流れ下った。ヘリからの観察によると、火砕流堆積物は数 cm から数 m の溶岩の破砕片とそれらの間を埋める火山灰でできている。

報道や 8 ミリの映像を使って、5/24-5/29 の火砕流の流速を測定した(第 1 表)。これらの火砕流の平均流速は 10-30 m/s であり、最大流速も 50 m/s 以下である。この流速では、剪断速度・粒子の沈降速度・粒径・媒質の濃度を考慮すると、乱流によって運搬できる粒子の最大径は約 0.5 cm である。したがって、数 mm 以下の火山灰は溶岩のもつ熱による上昇流でできる乱流の効果で浮遊して、ash cloud を形成している。一方、数 cm から数 m の破砕片は火砕流の基底部に濃集して、basal avalanche を形成している。basal avalanche 中の粗粒な破砕片は、破砕片どうしの衝突による分散圧力や周囲の火山灰の降伏強度・粘性によるマトリックス強度、溶岩中のガスの上昇流による流動化の効果で運搬されていると考えられる。

火砕流などの、火山砕屑物が重力によって高速で流れ下る現象(火砕物重力流)の運動方程式は、 $dv/dt = g \sin \theta - \tau / \rho D$ (v : 流速, g : 重力加速度, θ : 斜面の傾斜, τ : 流れに対する抵抗, ρ : 流れの密度, D : 流れの厚さ) で与えられる(Mellor, 1978 など)。エネルギーライン(コン)モデルでは、流れに対する抵抗を、 $\tau = \mu Mg \cos \theta$ (μ :



第 1 図 5/29 15:31 の火砕流のシミュレーション

等価摩擦係数) とした (Hsu, 1975)。このモデルは、停止点での総エネルギーが 0 になるように摩擦によるエネルギーロスを与えて、出発点での位置エネルギーを運動エネルギーに変換しながら質点がすべり落ちるモデルである。このモデルでは、到達距離と比高との比 (H/L) が、等価摩擦係数と等しいので、容易にシミュレーションができる。5/29 15:31 の火砕流のシミュレーションを水無川に沿った地形断面で行った結果、 $\mu = 0.368$ で、最高速度は 61 m/s、到達時間は 74 s であった。この流速は実測値に比べて、約 1.3-2.5 倍速くなっている(第 1 図)。エネルギーコンは出発点を中心にエネルギーラインを放射方向に 360 度展開したものである。このモデルでは、エネルギー的に火砕流が到達可能な範囲を等価摩擦係数ごとに平面的に把握できる。ビンガムフローモデルでは、流れに対する抵抗を、 $\tau = \alpha + \eta dv/dy + 0.5 C_g \rho v^2$ (α : 降伏強度, η : 粘性, dv/dy : 速度勾配, C_g 抗力係数) とした (McEwen and Malin, 1989)。このモデルでは、同じ 5/29 13:31 の火砕流について、パラメータを $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$, $D = 2 \text{ m}$, $\alpha = 700 \text{ Pa}$, $\eta = 80 \text{ Pas}$, $C_g = 0.01$ としたとき、最高速度 50 m/s、到達時間 121 s となり、実測値に近い結果が得られた(第 1 図)。

(*北海道支所 **地質部 ***地質情報センター
†地殻熱部 ††環境地質部)

Keywords: pyroclastic flow, velocity, ash cloud, basal avalanche, simulation

第 1 表 火砕流の流速の実測値

5/24 8:07	流走距離=1000m	(テレビ長崎)
	L=0~1000m T=60s	$V=17\text{m/s}$
5/26 11:13	流走距離=1600m	(TBS)
	L=500~635m T=15s	$V=11\text{m/s}$
	L=635~985m T=30s	$V=13\text{m/s}$
	L=985~1575m T=25s	$V=23\text{m/s}$
5/26 14:28	流走距離=2250m	(フジTV)
	L=970~1600m T=21s	$V=30\text{m/s}$
	L=1600~1850m T=23s	$V=11\text{m/s}$
5/29 15:02	流走距離=1650m	(フジTV)
	L=730~950m T=14s	$V=16\text{m/s}$
	L=950~1275m T=14s	$V=23\text{m/s}$
5/29 15:31	流走距離=2400m	(地調 8 ミリ)
	L=700~1700m T=42s	$V=24\text{m/s}$

火砕流に伴う降下火山灰

星住英夫・渡辺一徳・小野晃司
阪口圭一・高田 亮

雲仙普賢岳では崩落型の火砕流に伴って、大量の火山灰の噴煙が火口上からではなく火砕流から立ち昇って噴煙柱を形成し、降下火山灰として遠方へ達している。このような小規模な火砕流 (10^3 - 10^4 km³ 程度) に伴う“co-ignimbrite ash fall” の例はあまり調べられていない。ここでは 91 年 5 月 29 日, 6 月 3 日, 6 月 8 日の 3 回の火砕流に伴って降下した火山灰について分布・降灰量・粒度組成・火山灰の形態などを調べた。

5 月 29 日の 19 時 08 分に発生した火砕流は, 3.3 km 流走し, 南風によって火砕流の北側に細粒火山灰を降らせた。6 月 3 日の 16 時 08 分の火砕流は, 4.5 km 流走し眼鏡橋に到達し, 43 名の犠牲者を出した。このときの火山灰は強い西風にのり, その日の 17 時 30 分には 130 km 離れた延岡測候所で確認されている。6 月 8 日の 19 時 51 分の火砕流は, 5.5 km 流走し国道 57 号に達する最大規模の火砕流であった。火山灰は北東の風にのり, 対岸の熊本・佐賀両県に加えて福岡・大分両県にも及んだ。降下火山灰の総量はそれぞれ 9 万 t, 50 万 t, 100 万 t であった。溶岩ドームの崩壊量は 5 月 29 日は不明だが, 6 月 3 日と 6 月 8 日はそれぞれ 190 万 t, 380 万 t (山体破片 220 万 t を含む) となり, 崩壊量のおよそ 1/4 が降下火山灰になったことになる。

火山灰は細粒であり, 粒度組成は通常 $\phi=4$ より細かいものがほとんどをしめるが, $\phi=1-2$ 程度の結晶片の濃集により, パイモーダルとなることがある。また, 対岸の熊本県側より供給源に近い島原側の方が細粒物に富むことがあり, これは島原側で細粒物が火山豆石として, あるいは雨滴とともに降ったことによると見られる。

細粒火山灰は, 斜長石・普通角閃石などの結晶片やガラス質の石基片からなる。ガラス質の石基片は, 内部に細かな石基鉱物が生じて濁っている。石基鉱物のない清澄なガラス火山灰はほとんど見つからない。大部分のガラス質石基片は一部に気泡壁があるものの, 基本的に破面に囲まれた多面体状である。これらのことから, ある程度冷却して石基鉱物が晶出した溶岩が, 脆性破壊により細粒火山灰を生成したといえる。

(九州地域地質センター・熊本大学教育学部・
応用地質(株)・地殻熱部・環境地質部)

Keywords: co-ignimbrite ash-fall, Fugen-dake, Unzen volcano, accretionary lapilli

溶岩流動の測定結果

須藤 茂*・風早康平**・川辺禎久*・阪口圭一**

雲仙火山普賢岳の 1991 年溶岩の流動過程をセオドライトにより測定した。測定は火口の南方及び北東方から行った。測定期間は短かったが, 溶岩の流動速度, 流動方向, 崩落量等を見積もることができ, 溶岩の粘性を推定することも可能となった。

溶岩の流動速度は日時及び場所により多少変化していた。すなわち 7 月下旬に第 2 ドーム表面の移動速度を測定した結果, 噴出口付近では最大約 3 m/時, 先端付近では約 1 m/時の値が得られた。また先端部の動きを詳細に測定した結果, 流れの上部ほど速く, 下底部は非常に遅いことが明らかになった。このため溶岩先端部はオーバーハングするようになり, オーバーハング角が 12° 程度になると崩落することを繰り返していた。

測定期間中は溶岩先端部は流下と崩落の両方の現象が起り, 全体としてそのバランスがとれていなかったため, ほとんど前進しなかった。先端の断面は幅約 190 m, 高さ約 70 m であり, 上端の流下速度が約 2 m/時であったため, オーバーハングして崩落する部分が三角柱状であるとすると, その体積は 1 日当り約 32 万 m³ となる。この時期には崩落と噴出のバランスがとれていたと考えられることから, この量は当時の噴出量に相当する。この値は別な手法による地質調査所の当時の噴出量の推定値と調和的である。

溶岩流動の測定値を Williams and McBirney (1979) の式に当てはめて粘性を算出した。すなわち Newtonian laminar flow を考えると, 粘性は (重力加速度×密度×斜面の傾斜の正弦×流れの厚さの 2 乗)/(3×流れの平均速度) で表わされる。ここで密度=2.3, 傾斜=25°, 厚さ=70 m, 平均速度=35 m/日 を代入し, 粘性として 3.8×10^{11} ポアズの値を得た。Bingham flow とすると, これよりは小さな値になるが, オーダーとしては変わらない。またこの値は Murase and McBirney (1973) の実験結果と比べても矛盾がない。

逆に溶岩の粘性が変化すると, 上記の値のうちのいずれか, たとえば溶岩の厚さや流速が変化することが期待される。しかしながらそれらの値の大きな変化は認められていない。このことから, 観測期間を通じて, 溶岩の粘性には大きな変化は認められなかったものと判断される。

(*環境地質部 **地殻熱部)

Keywords: Unzen, Fugendake, lava dome, theodolite, viscosity

雲仙火山の岩石の記載

川辺禎久

雲仙岳火山 1991年噴出物の薄片記載と全岩主成分分析を行い、過去の噴出物との比較、噴火機構についての考察を行った。

観察した資料は火砕流堆積物中の本質ブロック(5月24日火砕流など)、爆発的噴火によって島原市内に降下した発泡した噴石(6月8日, 6月11日)などである。これらの岩石はいずれも黒雲母角閃石デイサイトであり、いくつかの点を除くとその岩石学的な特長はいずれも同じであった。斑晶鉱物として斜長石, 角閃石, 黒雲母, 石英, 磁鉄鉱を含む。角閃石は褐色(火砕流中の未発泡本質ブロック)あるいは緑色(発泡した噴石, 本質ブロック)でオパサイト化をほとんど受けていない。黒雲母は角閃石に包有されるか, 分解して斜長石, 輝石, 不透明鉱物を生じている。石英は融食されており自形のもの認められない。石基鉱物は斜長石, 角閃石, 斜方輝石, 単斜輝石, 不透明鉱物などからなり, ガラスは少量である。全岩化学組成は $\text{SiO}_2=64-65\%$, $\text{K}_2\text{O}=2.2-2.3\%$ の比較的均質なデイサイト組成を示し, 特に経時変化は認められない。これらの斑晶鉱物組み合わせ, 全岩化学組成は過去の雲仙岳火山噴出物と概ね良く似ている。1792年の新焼溶岩との比較では, 石基角閃石が新

焼溶岩にはないこと, 石基斜長石サイズが新焼溶岩の方が小さく, 数が多いことなどの点が今回の噴出物と異なっている。

これらの観察事実から次のことが明らかとなった。

・1991年噴出マグマは黒雲母が角閃石に包有, あるいは分解していること, 石英斑晶が融食されていることなどから噴出前に温度上昇(おそらくマグマ混合)を経ている。

・角閃石の色は大気中での酸化程度を示していると考えられる。火砕流堆積物中の未発泡ブロックに含まれる褐色角閃石のほうが, 発泡噴石中の緑色角閃石より酸化が進んでいることを示しており, より長時間大気中に存在したと考えられる。Mt-Iの温度計のデータ(九大 中田氏による)などもあわせて考えると, 大部分の火砕流中の本質ブロックは徐冷, 酸化した溶岩ドームの崩壊物であり, 6月8日, 11日のような発泡噴石は溶岩ドーム内部あるいは火道のより高温, 未酸化の部分から爆発により直接投出されたことを示している。

・石基鉱物の組み合わせ, 斜長石結晶密度などから, 1792年新焼溶岩のほうが1991年噴出物より, 高温, dryであったことを示している。このことが今回と前回で溶岩噴出の形態が異なった理由の一つである可能性がある。(環境地質部)

Keywords: Unzen volcano, petrography, volcanology, lava dome, dacite