

などを考慮に入れた流域全体の内水・外水排除計画が総合的にバランス良く計画されなければならない。

3.4 おわりに

低平地域の高水・内水対策は、基本的には総合水管理の観点に立って考えることが重要であり、治水事業と利水事業（農業用水事業）を一体化して全流域を対象とし、短、長期的に水管理を行わねばならない。河川改修や樋管等の整備は当然の事ながら、農業用水路（クリーク）の排水路、遊水地としての効果的な活用、既存水利施設の改善と管理体制の見直しなども必要であり、これらを流域全体の水系ネットワークとして位置づけた時の流水管理を評価する水理モデルの構築が不可欠である。

水資源の貧弱な低平地では、水資源の確保と内水排除という相反する課題を同時に解決せねばならない。低平地にとって地球温暖化による海面上昇の問題が一層深刻化する中で、排水不良解消のためには干拓によって陸地を海へ延ばさざるを得ない宿命にあるのも事実である。

最後に、貴重な資料を提供していただいた建設省九州地方建設局武雄工事事務所及び佐賀県土木部河川砂防課に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐賀県土木部河川砂防課：低平地対策の歩み，1996.
- 2) 佐賀県土木部河川砂防課：佐賀の河川と海岸，1984, 1993.
- 3) 佐賀県環境保全課：佐賀平野の地盤沈下，1996.
- 4) 佐賀県：地盤沈下の概要，1997.
- 5) 九州地方建設局武雄工事事務所：嘉瀬川水系水管理計画検討業務報告書，1990.
- 6) 宮地米蔵，江口辰五郎：佐賀平野の水と土，信評社，1977.
- 7) 佐賀県土木部：佐賀江川.
- 8) 権藤幸彦，遠田勝美，古賀憲一，野原昭雄，渡辺訓甫，荒木宏之：佐賀低平地における水管理—内水排除システムの観点から—，環境システム研究，Vol.20, pp.365-371, 1992.

4. 雲仙普賢岳の噴火活動と火山災害 —特に火山灰による溶岩噴出の予知—

渡辺 公一郎*

4.1 はじめに

九州はわが国でも有数の活動的火山の集中した地域である。過去 10 年を振り返っても，1990-1995 年の雲仙普賢岳の溶岩ドーム形成，火砕流発生など一連の噴火活動をはじめ，阿蘇火山における 1989-1991 年の噴火活動の活発化，桜島火山のほぼ定常的な火山灰の放出，1991 年の霧島新燃岳の水蒸気爆発，1995 年の九重硫黄山噴火が次々と発生した。

雲仙普賢岳の噴火活動による火山災害では，火砕流により 1991 年 6 月に 43 名，1993 年 6 月に 1 名の人命が奪われ，併せて 800 棟の家屋が焼失し，また最多時 1 万 1 千人が避難を余儀なくされた¹⁾。阿蘇火山では 1989-1997 年に火山ガス人身事故が 6 件発生し，高濃度二酸化硫黄により計 7 名が死亡している^{2), 3)}。また，1990 年の豪雨時には，降灰を遠因とする土石流および山崩れにより，阿蘇火山周辺で 11 名が亡くなった⁴⁾。火山活動と直接関係は認められないが火山ガスによる災害は 1989 年に霧島新湯でも発生しており，硫化水素により 2 名が亡くなっている²⁾。このように九州では過去わずか 10 年の間に 10 件の火山災害によって 64 名もの尊い人命が奪われている。

さらに桜島南岳からの降灰による住民の健康への影響，作物被害の大きさはわが国でも突出している⁵⁾。桜島付近では火山灰による航空機の飛行障害も懸念されている。過去にさかのぼっても，九州は火山災害の発生頻度と住民への被害の大きさにおいては世界でも有数の地域であるとともに，近年，火山災害は目立って増加していると思われる。

雲仙普賢岳の噴火活動が終息して 3 年が経過し，被災者や関係者を除くとその記憶も薄れつつある。雲仙普賢岳で生じた災害は，戦後わが国で発生した火山災害の中で最も規模が大きいものであった。我々は，噴火および火山災害の予測とその結果に

* 九州大学大学院工学研究科地球資源システム工学専攻

ついて詳しい吟味を行い、教訓を将来に生かしていく必要がある。本稿では、特に雲仙普賢岳の噴火活動と災害の概要を述べ、噴火予知に有効であったと思われる観測手法や、今回の噴火活動の研究過程で新たに開発された観測手法を紹介する。

4.2 雲仙普賢岳の噴火活動と予知

雲仙普賢岳は1990年11月17日に198年ぶりに噴火活動を開始した。その1年前には群発地震が西方の千々石湾の地下10数km付近で発生し、震源が次第に普賢岳浅部に向かって移動した。さらに1990年7月に火山性微動が検出され、8～11月に頻発した¹⁾。200年近い噴火の休止期があったにもかかわらず噴火のシナリオが用意されていた⁶⁾。九大島原地震火山観測所（太田一也所長、当時）で、噴火に先立って観測体制が強化されつつあったことは特筆すべきであろう。

最初の噴火は水蒸気爆発であったとされている。翌年1月15日に新噴気が見られ、1月末より火山性微動が再発し、噴気中の炭酸ガス濃度が急増し⁷⁾、2月12日に再噴火が始まった。火山灰より新鮮な発泡ガラスが検出されたことから、マグマが地表に近づいていることが指摘された^{8),9)}。発泡ガラス量は次第に増加し、5月10日頃には普賢岳山頂付近で微小地震が頻発し、さらに傾斜観測、光波測量によりマグマの上昇による山体膨張が捕捉された¹⁰⁾⁻¹²⁾。5月14日からは全磁力観測によりマグマの上昇を示す熱消磁が検出され¹³⁾、5月17日には火口一帯で地割れが確認された。同日、火山噴火予知連絡会より溶岩流出の可能性が公表された後、5月20日にデイサイト質の溶岩ドームが出現するに至った。出現の日時まで正確に予知されたわけではないが、種々の観測により噴火活動の推移がかなりの確度で予測されていた。

その後、溶岩ドームは成長を続け、5月24日に最初の火砕流が発生し、26日にはいち早く避難勧告が出された。火砕流の発生頻度は次第に増加し、6月3日に発生した規模の大きい火砕流により避難勧告地域内にいた43名が亡くなった。火砕流は避難勧告地域を越えなかったものであり、避難勧

告が遵守されていれば人命を失うことはなかった。火山防災には、研究者による災害予知だけでは対処できない別の問題があることが顕在化した。その後も、噴火活動の推移予測に必要な各種の観測が強化されるとともに、同年6月7日に立ち入り禁止に法的強制力のある警戒区域がわが国の火山災害で初めて設定された。翌日、それまでで最大規模の火砕流が発生し、約200棟の建物を焼失したが、人的被害は皆無であった。

太田¹⁾の記述によれば溶岩ドーム出現後の噴火活動度評価に最も有効であった観測手法は、山科¹⁴⁾による溶岩供給量の算出法である。傾斜計の長周期振動の大きさから溶岩供給量が即日求められ、避難勧告地域および警戒区域の拡大・縮小を判断するのに重視された。さらに二酸化硫黄放出量の遠隔測定¹⁵⁾や地上・空中からの観測による噴出量の計測結果¹⁶⁾なども噴火活動度の評価に有用で、防災に活用された。溶岩ドームの成長にともない、火山ガスを含む高温の不安定な溶岩塊が崩落して火砕流が繰り返し発生し、その総数は6,000回（自衛隊の目視観測結果）にも及んだ。比較的規模の大きな火砕流は同年6月8日および9月15日、さらに1993年6月23-24日に発生し、多くの家屋が焼失したが、死亡災害は1993年6月23日の1名だけであった。火砕流の発生は当初予知不可能であったが、経験の蓄積が進むにつれ規模の大きなものは亀裂の状態の空中観察、レーダー、暗視カメラなどを用いてほぼ予測されるようになり、未然に人的被害が防止された¹⁾。1991年6月8日および11日にはやや爆発的な軽石噴出がみられ、住民にパニックを拡げるきっかけとなったが、大事には至らなかった。

一方、1991年5月以降、水無川にて土石流の発生がみられ、火砕流が頻発するようになり（写真4-1）、土石流の規模も大きくなっていった。6月30日には大規模な土石流が発生したが、人的被害は皆無であった。土石流は断続的に発生し、被害を及ぼしたもののだけでも10回を数えた。全壊したものも含め約1,700棟の建物が被害を受けたが、人的被害は最終的には2名の負傷者のみで、死亡者は皆無であった。高精度の災害予知に基づ

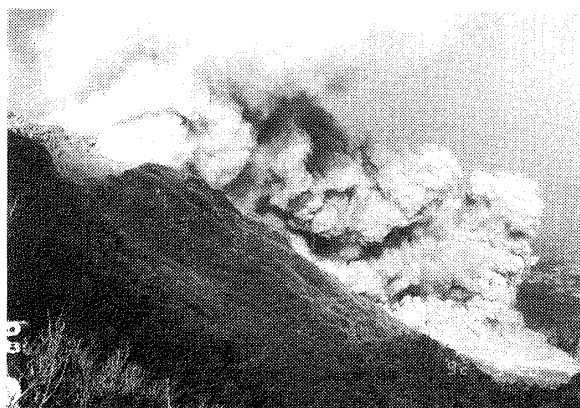


写真 4-1 雲仙普賢岳より赤松谷方面へ流下する火砕流 (1992 年 5 月 20 日撮影)

く九州大学島原地震火山観測所を中心とした情報発信と助言により、自治体の適切な警戒区域の設定が有効に機能したことが評価されている。

1995 年 2 月に、それまで続いていた山頂付近の地震活動も激減し、溶岩の噴出も停止した。溶岩のせり出しによる火砕流の発生も小崩落も激減し、新しく形成された溶岩ドームの噴気温度の低下、冷却と自重による溶岩ドームの沈降も確認され、1996 年 6 月に噴火活動終息の最終判断が太田所長により下された¹⁾。その後、再噴火の兆しはなく、終息宣言も適切であったと思われる。総噴出量は $2 \times 10^8 \text{ m}^3$ で、1914 年の桜島噴火、1929 年の北海道駒ヶ岳噴火に次いで、わが国では今世紀三番目の規模であった。

4.3 噴火活動の新しいモニタリング手法

雲仙普賢岳の噴火活動を通して、数多くの観測が実施され、噴火予知の各ステージで効果的であった観測手法が太田(1997)¹⁾により自己評価されている。また、今回の噴火活動の研究過程で新たに開発された観測手法もいくつか報告されている。1) 傾斜計の長周期振動振幅から推計されたマグマ供給量の推移、2) 空中からの溶岩ドームの成長の観察、3) レーダーや暗視カメラによる火砕流の監視、4) 火山灰モニタリング、など多くが挙げられる。これらのすべてに触れるには紙面に限りがあるので、一例として著者らのグループが関わった火山灰モニタリングの手法を取り上げ、その経緯と意義について概要を述べる。

噴火活動初期の、マグマが地表に出現していない段階でマグマの挙動を予測するためには、火山ガスの検討、火山性地震、全磁力、山体変動の観測などいくつかの方法が挙げられる。雲仙普賢岳噴火の際にもこれらの観測が各研究機関によって始められた。溶岩ドームの出現以前には、震源の浅所への移動が捉えられ、マグマの上昇の動きが推定された。溶岩ドーム出現直前にはマグマの地表への到達が予知されたが、どのような性質のマグマが現れるのかは上記の観測では不明であった。

著者らのグループは、1990 年 11 月の噴火開始以降に噴出した火山灰の検討を開始した。1991 年 2 月に噴出した火山灰からは、新しいマグマに由来すると思われる発泡ガラスを見出し、デイサイト質マグマの浅所における存在を予知した⁸⁾。当初はこれらの発泡ガラスを新しいマグマ起源とすることに異論があったが、3 ヶ月後に実際に溶岩ドームが出現するに至り、予測の正しさが検証された。雲仙火山の噴火活動を通して、初めてこのような火山灰モニタリングの手法の重要性が認識されたといえる。

火山灰を用いたモニタリングの手法は、マグマ物質を火山灰の中から確実に識別することさえできれば、マグマ物質を構成する火山ガラスや微結晶の化学分析を行ったり、発泡の程度、組織などを検討することによりマグマの挙動を予測する重要な情報を入手できる。

1991 年 2 月の噴火火山灰は、既存の火山岩の岩片やそれらの変質物から構成されていたが、両面を研磨した薄片の観察過程で、微量の透明な発泡ガラスが見出された(写真 4-2)。通常の火山灰の薄片観察では発泡ガラスを検出できないこともあったが、重液を用いて濃集することにより、1990 年 11 月より 1991 年 5 月の溶岩ドーム出現までの 6 ヶ月間に放出された火山灰試料のすべてに発泡ガラスが認められた。これらは加熱実験(200℃, 1 時間)の前後で屈折率の変化が見られないことから 2 次的な加水作用を受けていない、つまり、既存の古い火山ガラスではないことが判明した。さらに、これらの発泡ガラスは無色と褐色の色を呈する 2 種類から成ることが分かった。

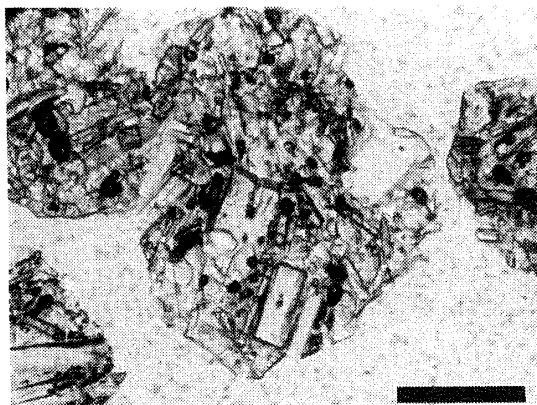


写真 4-2 雲仙普賢岳 1991 年 2 月噴火火山灰中に含まれる発泡ガラスの顕微鏡写真（スケール：0.1 mm）。重液により、見かけ比重の小さい発泡ガラスが濃集している。

EPMA によりこれらの火山ガラスの化学組成を検討すると、無色と褐色の発泡ガラスには大きな差が見られる（図 4-1）。また褐色ガラスの無色ガラスに対する量比は時間とともに減少している。これらのことから、デイサイト質のマグマ溜まりに玄武岩質マグマが注入し、一部の玄武岩質マグマが急速に冷却・発泡し、マグマ溜りの上部に到達し、噴火活動の引き金となったことが推測される。このように、噴火活動初期に放出される火山灰を注意深く検討することにより、噴火の主活動に至る前に、地下深部でのマグマプロセスについての情報を入手できる可能性がある。

このような噴火火山灰によるモニタリングの手法は、1995 年 10 月に始まった九重火山の噴火活動の際にも取り入れられ、同年 12 月以降に噴出

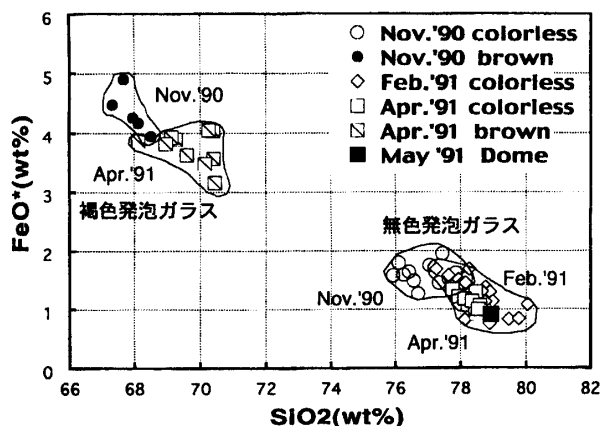


図 4-1 雲仙普賢岳の溶岩ドームが出現する前の初期噴火活動中に放出された 2 種類の発泡ガラスの化学組成

した火山灰からも、新しいマグマに由来する発泡ガラスが検出された^{17), 18)}。同様の手法が、国内外における噴火活動のモニタリングとして利用されると考えられる。

4.4 おわりに

九州の最近の火山災害の概要を紹介した。多数の人命を失った雲仙普賢岳の噴火活動については、膨大な観測・研究が実施され防災への活用が試みられた。これらは国内外で将来発生するかもしれない火山災害を未然に防ぐための重要な指針を与えるであろう。

火山噴火の短期的予測は地球物理学および地球化学の種々の手法に基づくとされていたが、雲仙や九重の今回の噴火活動を通して火山灰モニタリングや目視観察などの地質学的な手法が重要となる場合があることを紹介した。

九大島原地震火山観測所前所長の太田一也博士は昨年 3 月に九州大学をご定年で退職された。雲仙普賢岳の噴火災害に際しては氏の学者としての的確・迅速な判断が人的被害を最小限に食い止めた。長期にわたる心労は想像を絶するものであったと思う。著者も氏に噴火活動のモニタリングについて貴重なご意見をいただいたことに深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 太田一也：1990～1995 年雲仙岳噴火活動の予知と危機管理支援，火山，Vol.42, No.1, pp.61-74, 1997.
- 2) 小坂丈予・平林順一・山本雅弘・野上健治：わが国に於ける火山ガス人身災害の発生要因とその防止対策，自然災害科学，Vol.17, No.2, pp.131-154, 1998.
- 3) 木下紀正・池辺伸一郎・金柿主税・直江寛明・今村和樹：高濃度火山ガスの動態と気象条件，自然災害西部地区部会報・論文集，No.22, pp.133-138, 1998.
- 4) 下川悦郎・地頭蘭隆・丸谷知巳・水山高久：阿蘇一の宮の豪雨災害と火山活動，自然災害西部地区部会報・論文集，No.11, pp.70-75, 1991.
- 5) 例えば，角 明夫・鈴木義則：桜島南岳からの降灰による作物生育被害に関する研究(1) 降灰被害

- の発現様式に関する実験的解析, 自然災害科学, Vol.17, No.2, pp.167-176, 1998.
- 6) 太田一也: 火山と災害, 九州大学公開講座 22, 生活と科学 II, pp.55-85, 九州大学出版会, 1989.
 - 7) 太田一也: 1990-1992 年雲仙岳噴火活動, 地質雑, Vol.99, No.10, pp.835-854, 1993.
 - 8) 渡辺一徳・星住英夫・池辺伸一郎: 雲仙普賢岳 1990 年～1991 年 5 月の噴火活動, 熊本大学教育学部紀要, No.41, 自然科学, pp.47-60, 1992.
 - 9) Watanabe K., Danhara T., Watanabe K., Terai K. and Yamashita T.: Juvenile volcanic glass erupted before the appearance of the 1991 lava dome, Unzen volcano, Kyushu, Japan, J. Volc. Geothermal Res. (印刷中).
 - 10) 須藤 茂: 溶岩の噴出と山体変動, 月刊地球, 号外 No.15, pp.82-86, 1996.
 - 11) 山科健一郎・井上義弘・清水 洋・松尾綱道: 雲仙火山の噴火と傾斜変動, 平成 3 年度文部省科研費成果報告書, 雲仙岳溶岩流出の予知に関する観測研究, pp.50-59, 1992.
 - 12) 竹田豊太郎・小山悦郎・山口 勝: 光波観測で捉えたマグマ溜りの挙動, 月刊地球, 号外 No.15, pp.36-41, 1996.
 - 13) Tanaka Y.: Volcanomagnetic effects on the Unzen Volcano (1990-1992): J. Geomag. Geoelectr., Vol.47, pp.325-336, 1995.
 - 14) 山科健一郎: 傾斜計の動きからみた雲仙火山の溶岩噴出過程, 月刊地球, 号外 No.15, pp.76-81, 1996.
 - 15) 平林順一: 雲仙岳からの火山ガス放出量, 月刊地球, 号外 No.15, pp.150-155, 1996.
 - 16) 中田節也: 雲仙岳火山, 噴出率・ドーム成長様式・溶岩組成の関係, 月刊地球, 号外 No.15, pp.64-69, 1996.
 - 17) 渡辺公一郎・渡辺一徳・檀原 徹・中田節也・本村慶信・江原幸雄・筒井智樹: マグマの挙動を予測する火山灰モニタリング—九重火山 1995 年噴火の場合—, 自然災害西部地区部会報・論文集, No.20, pp.123-128, 1996.
 - 18) 波多江憲治・渡辺公一郎・渡辺一徳・筒井智樹・本村慶信: 九重火山 1995-96 年噴火活動に伴う火山灰中の発泡ガラス含有量の経時変化, 火山, Vol.42, No.5, pp.345-353, 1997.

5. 九州—南西諸島域の地震災害

角田 寿喜*

5.1 はじめに

1997 年 3 月 26 日, 九州の内陸地震では最大級の地震 (M6.5) が鹿児島県北西部に発生し, 鶴田町・宮之城町・東郷町・阿久根市・川内市など, 周辺の市や町がかなり大きな被害を受けた。また, 5 月 13 日には, 再び発生した M6 クラスの地震 (M6.3) により, さらに被害が拡大した。幸い人命に関わる被害は無かったものの, 2 つの本震と 4 月 3 日の最大余震 (M5.5) によって, 111 名が重軽傷を負い, 住家 73 棟が全半壊した。震源域の北東約 15 km に M5.7 が発生した 1994 年 2 月 13 日以来, 1995 年 10 月 18 日奄美大島近海 (M6.7), 1996 年 9 月 9 日種子島南部 (M5.7), 10 月 19 日および 12 月 3 日の宮崎市南東沖 (いずれも M6.6) と, 軽微な被害を含め, 九州南部—南西諸島域には 4 年にわたって地震災害が続いている。

最近 100 年ほどの間に起こった九州—南西諸島域の被害地震¹⁾を見ると, プレート境界地震では 1911 年喜界島地震 (M8.0), 内陸地震では 1914 年桜島地震 (M7.1) のマグニチュードが最大であり, それぞれ, 1946 年南海地震 (M8.0) および 1948 年福井地震 (M7.1) と同じである。しかし, 被害の程度ははるかに軽度である。これには, 社会的状況の違いとともに, 地球内部構造に起因する地震発生過程の違いなどが関連すると考えられる。

5.2 津波災害

1771 年八重山津波地震 (M7.4) および 1792 年島原地震 (M6.4) により, それぞれ, 10,000 人を大きく上回る死者が出たことに見るように, 九州—南西諸島域の地震災害でとりわけ大きいのは津波災害である。また, 1596 年豊後地震 (M7.0) の被害も大きく, 最大波高 7～8 m の津波が別府湾を襲っている²⁾。

津波を生じる地震は, 震源が浅く縦ずれ型の断層運動を伴う。多くは陸と海のプレート境界ある

* 鹿児島大学理学部