

Kaバンドドップラーレーダーで観測した噴煙内部の気流構造

Fluid structure in volcanic eruption column observed by Ka-band Doppler radar

*前坂 剛¹、真木 雅之²、小園 誠史³*Takeshi Maesaka¹, Masayuki Maki², Tomofumi Kozono³

1.防災科学技術研究所、2.鹿児島大学、3.東北大学

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Kagoshima University,

3.Tohoku University

爆発的噴火に伴う火山灰拡散・降下は、航空機の航行障害などの原因となるため、その高精度観測と予測が急がれている。この課題については、これまで、火山噴煙モデルの研究と風による火山灰移流拡散モデルの研究が独立になされてきた。前者は、巨大噴火の火口におけるマグマ噴出条件を与えた時に、噴煙ダイナミクスや重力流の物理に基づいて、噴煙内の気流構造や火山灰の移流を計算する手法であるが、その計算結果を検証したり、観測と比較することは難しい。後者は比較的小規模な噴火において、風の影響を受けて流される火山灰の広域拡散を再現するが、精度の良い再現のためには、確からしい初期値（噴煙濃度の三次元分布）が必要となる。これらの問題点を解決する方法の一つに、レーダーを用いたリモートセンシングによる噴煙の観測があげられる。

これまで、通常の気象レーダーを用いた噴煙の観測例はいくつかあるが、噴煙のレーダー反射因子は降水にくらべて小さいため、ある程度濃度の高い噴煙のみしか観測できなかった。一方、防災科研は2000年度に、降水だけではなく雲も観測することが可能なKaバンド（35 GHz帯）のドップラーレーダーを導入した。このレーダーを用いることにより比較的低い濃度の噴煙も観測可能で有り、かつ、電波のドップラー効果を利用して噴煙内の気流構造の観測が可能となることが期待された。そのような経緯から、2014年3月から6月にかけて京都大学桜島火山観測所の黒神観測室にKaバンドドップラーレーダーを設置し、桜島の噴煙観測を行った。本発表では、これまで気象学で用いられてきたドップラーレーダーの解析技術を噴煙に適用し、噴煙内部の気流構造を解析した結果を報告する。

キーワード：噴煙柱、気象ドップラーレーダー、Kaバンド

Keywords: Volcanic eruption column, Meteorological Doppler radar, Ka-band

Xバンド偏波レーダ観測による火山噴煙の微物理特性の研究

Microphysical Studies of Volcanic Ash Clouds by X-band Polarimetric Weather Radar Observation

*真木 雅之¹、Kim Yura²、Lee Ding-In²*Masayuki Maki¹, Yura Kim², Dong-In Lee²

1.鹿児島大学地域防災教育研究センター、2.Pukyong National University

1.Observation and Prediction Research Department, Kagoshima University, 2.Pukyong National University

気象レーダが火山噴煙を捉えることは1970年代から認識されていたが、定量的な噴煙の評価に関する研究は最近になってからである。本研究では、火山噴煙の定量的推定研究に必要な噴煙レーダエコーの微物理特性を調べた。使用したレーダは桜島の昭和火口から南々東約11kmに設置された国土交通省の現業Xバンドマルチパラメータレーダである。解析した事例は2013年8月18日（事例1）と2013年8月29日（事例2）の2つの噴火事例である。

事例1は噴煙高度が火口から5500mまで上がった例、事例2は噴煙エコーと降雨エコーが共存した例である。仰角が6°のPPIスキャン観測で得られた偏波レーダパラメータの解析をおこなった。噴火直後の各偏波パラメータの分布パターンを見ると、反射因子（ZH）と反射因子差（ZDR）には火口付近を中心に北北西から南南東に伸びる放射線状エコーが見られる。放射線状エコーの向きはレーダと火口を結ぶ直線方向と一致している。これは送信パルスのレンジサイドロブの影響によるエコーと考えられる。水平と垂直偏波の相関係数（RHOHV）も同様なパターンが認められる。噴火から6分後には放射線状のエコーパターンはほぼ無くなっている。噴火6分後～24分後までの噴煙エコーの変化で興味深いのはZHとZDRの変化である。ZHの強さは時間と共に弱くなるのに対してZDRは時間と共に大きな値を持つようになっている。RHOHVは噴火14分後までは0.8～0.9の値となっているが、24分後には値が小さくなりエコー中心では0.7～0.8、中心以外では0.5以下の値となっている。一方、噴煙のエコーの非偏波間位相差（KDP）は他の偏波レーダパラメータのパターンとは明らかに異なっている。有意な値が認められるのは噴火の14分後からで、その値は0.5deg/km程度と小さいが、その後、約1 deg/kmまで大きな値となった。本研究では、これらの偏波パラメータの時間変化は噴煙エコーの微物理特性の時間変化により説明出来ることを試みた。

噴火事例2は、事例1とは異なり大気環境場が湿った状況にあった。噴火前に降水エコーが桜島の西で発生し、東進して火口上空を噴火直後に通過した。気象レーダは噴火直後の噴煙エコーを捉えたが、その後、降水エコーと混在したためにレーダ反射因子の情報からは両者を区別することが困難になった。この事例について、偏波レーダパラメータの時間変化から噴煙エコーの微物理特性を推定し、降雨と降灰粒子の区別の可能性を調べた。

キーワード：レーダ、噴煙、火山噴火、三次元

Keywords: radar, volcanic smoke, volcanic eruption, three dimensional

衛星赤外サウンダデータの解析による火山灰物質情報

Information of volcanic ash material from satellite infrared sounder data

*石元 裕史¹*Hiroshi Ishimoto¹

1.気象研究所

1.Meteorological Research Institute

衛星赤外サウンダが計測した赤外窓領域における火山灰の輝度温度スペクトルを大気プロファイルや海面温度・射出率、大気的气体吸収、火山灰の光学的特性を考慮することで詳細に調べた。また最小二乗法を用いた繰り返し計算によって、火山灰の光学的厚さや有効半径・火山灰高度といった主要な火山灰パラメータと同時に火山灰物質の光学定数（複素屈折率）スペクトルを推定した。波長10ミクロン帯における複素屈折率の吸収特性スペクトルは火山より噴出したシリケート物質のSi-O結合の特徴を反映しており、鉱物の種類やSiO₂含有量と密接に関連している。いくつかの火山灰データについてリトリーバル計算を行った結果、求めた光学定数スペクトルから推定される鉱物種と、火山堆積物の組成分析によって求められていた鉱物種とがよく整合する結果が得られた。また衛星赤外サウンダデータを用いた火山灰解析は、室内でのFTIR計測実験で報告されている比較的弱い吸収帯の存在を検出することができることもわかった。

衛星赤外サウンダの解析によって求めた光学定数スペクトルは、衛星イメージャなど他の衛星による火山灰観測に利用することができる。赤外領域での詳細な光学定数データは特に次世代静止気象衛星ひまわり8号による火山灰量の推定や火山灰監視に役立つと考えられる。また過去データの解析結果との比較などから火山灰物質の変化についての情報を得ることが期待できる。

キーワード：火山灰、衛星赤外サウンダ、複素屈折率

Keywords: volcanic ash, satellite infrared sounder, refractive index

火山噴煙によるGNSS信号への影響について

Influence to GNSS signals by volcanic ash plume

上新 沙代¹、*島田 誠一²、竹内 章³Sayo Ueshin¹, *Seiichi Shimada², Akira Takeuchi³

1.富山大学理学部、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科・株式会社日豊、3.富山大学大学院理工学教育部
1.Faculty of Science, University of Toyama, 2.Graduate School of Frontier Sciences, University of
Tokyo, 3.Graduate School of Sci. and Eng. For Education, University of Toyama.

現在、GNSS連続観測システムGEONETのデータ波地殻変動などの測量や研究に利用されている。太田 他
(2013)は、2014年7月24日に発生した桜島南岳における爆発的噴火を対象に、GPS精密単独測位法
(PPP: Precise Point Positioning)を用いて搬送波位相残差を推定し、それらから噴火に伴う顕著な位相残差
の増加を見出した。

本研究では、他の噴火イベントを対象に同様の噴煙柱検知手法によるLC位相残差の変化を推定し、LC位相残差
が変化した要因について考察することを目的とした。対象とした噴火イベントは2015年5月29日9時59分
(UTC0時59分)に口永良部島の新岳で発生した爆発的噴火である。

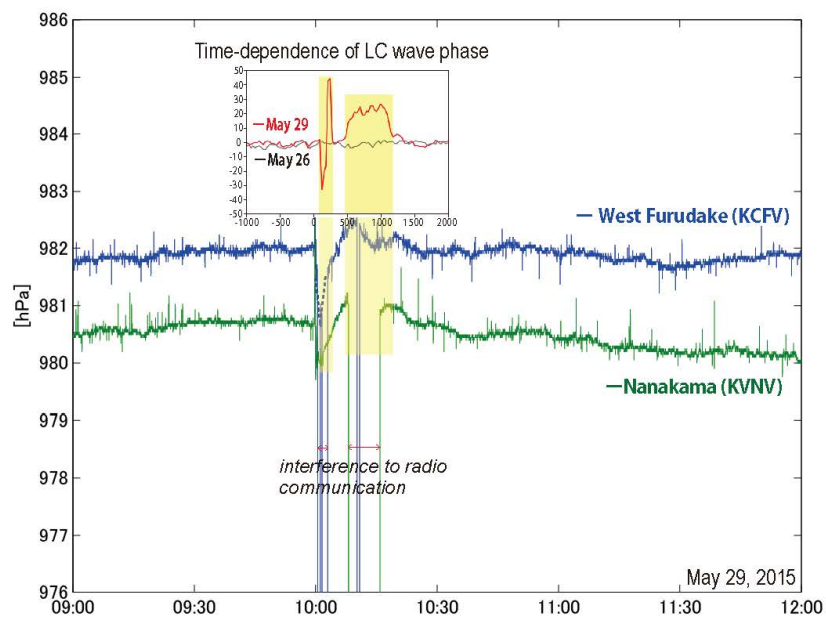
本研究では、国土地理院GEONETの観測点口永良部島においてGPS衛星データをGAMIT解析することでLC位相残差
を算出し、顕著に変化した要因について考察した。その際、人工衛星ひまわりの画像により、噴煙が一旦火山
体周辺に拡散して傘型噴煙を形成したのち、西北西-東南東方向へ流れたことを確認した。この噴煙の挙動と
GAMIT解析の結果を照合したところ、PRN18,22,26からの電波は拡散した傘型噴煙を通過して観測点に到達
し、PRN29の電波は噴煙柱を通過して到達していることが判明した。

口永良部島観測点におけるLC位相残差はPRN18,22,26,29が顕著な変化を示した。PRN18,22,26は20数cmの増加を
示したが、PRN29は90秒後に-32cm減少、185秒後に42cm増加、350秒後にやや長時間にわたり20数cmの増加を示
した。これらの変化は、山体北東山麓で記された気圧変化の異常な変化とほぼ同期していた。火山活動に
伴ってこのように極端なLC位相残差の変動が検出されたのはこれが世界で初めての発見である。

噴煙柱を通過したPRN29のLC位相残差における短時間（それぞれ100秒間程度）の鋭い極小と極大の原因につい
ては、噴火開始直後の映像記録や気圧計システムの通信障害のタイミングから、急速な噴煙柱の形成に伴う空
気の過膨張による急激な気圧の低下と回復および火山灰粒子の衝突による強い帯電やスパークの蓋然性が示唆
された。したがってPRN18,22,26に見られた1分間程度の増加は、PRN29の極大と同期していたことから、拡散
する傘型噴煙を通過したための、温度上昇や噴煙中の水蒸気による遅延が要因と考えられた。PRN29の長時間
(800秒間程度)のブロードな増加は、その後の長時間の噴煙傘の拡散による温度上昇または水蒸気など火山ガ
ス濃度の増加などの要因が考えられた。

本研究では、GNSS電波のLC位相残差変動と噴煙柱の成長・発達との相関を示唆したが、LC位相残差を変
化させた原因を明らかにするためには噴煙柱のダイナミクスとの関係について詳細な検討を行う必要がある。
引用文献：太田雄策・井口正人・植木貞人、出町知嗣、2013、GNSSデータにもとづく噴煙柱検知方法の開発(序
報)-2012年

7月24日桜島南岳火口における爆発的噴火への適用事例-、桜島火口における多項目観測に基づく火山噴火準備
過程解明のための研究、平成24年度分報告書、55-58・島田 他、1998、気象学ノート第192号、日本気象学
会、12,85,86・土屋 淳・辻 宏道、1997、新訂版 やさしいGPS測量、社会団体日本測量協
会、234,256-259,266-271



台風201408号に伴う竜巻親雲の遷移過程

Transition process of parent cloud causing tornadoes accompanied by Typhoon, 'Neoguri'

*湯浅 惣一郎¹、佐々 浩司²*Soichiro Yuasa¹, Koji Sassa²

1.高知大学大学院総合人間自然科学研究科理学専攻、2.高知大学教育研究部自然科学系理学部門

1.Graduate school of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, 2.Natural Science Cluster, Kochi University

2014年7月10日午前6時20分ごろ、九州の西にあった台風201408号のアウトーレインバンドが高知県を通過する際、高知平野の2か所で竜巻による突風被害が発生した(湯浅, 佐々, 2014)。これらの竜巻は親雲内の渦(mc1, mc2)と対応していた(湯浅, 佐々, 2015a)。mc1の親雲は一般的なスーパーセルの気流構造とは反対向きの特異な気流構造を持ち、親雲後方からの気流により構造が維持されるミニスーパーセルであった。またmc2は、低気圧性シアライン上の不安定性により発生した(湯浅, 佐々, 2015b)。しかし、渦上陸前後にはスーパーセルの特徴が見られなかった。そこで、このミニスーパーセルがノンスーパーセルにどのように遷移していったのかについて、レーダーデータ解析により調べた。

レーダー解析には、NICTアーカイブより取得した室戸ドップラーレーダーの極座標データを用い、気象研究所開発のDraftを用い解析を行った。風速分布の解析には、MSMの初期値データを京都大学生存圏アーカイブより取得し解析を行った。

図1に渦発生後の室戸レーダーPPI画像(仰角0.4deg.)を示す。mc1発生後mc2の発生時までは図1a, bのドップラー速度分布に見られるように、南西側から親雲に入り込むようなドップラー速度38m/s以上の気流が存在し、渦中心のすぐ南側にはV字型に切込まれた弱いエコー領域が認められた。また、その周辺には40dBZ以上の強エコー域がフック状に連なっていた。このときmc1の直径は10kmでメソサイクロンに相当していた。これらの特徴はスーパーセルの水平断面に対応するものであるが、一般的なものとはフックエコーの向きが逆であった。mc2発生後の5:45 JST (図1c)には渦径を急激に縮小させていた。渦の南側の強エコー域は親雲である強エコー域から離れ、フックエコーの形態は崩れた(図1c)。さらに渦上陸後(6:21 JST, 図1d)は南側の強エコー域は完全に衰弱していた。親雲周辺のドップラー速度分布には、東側が西側に比べて南風成分が強い低気圧性シアが見られた。ここでは示していないが、MSMの6:00JST初期値の地上風速分布にはアウトーレインバンド西側の南西風に比べ東側の南風が強い低気圧性シア環境場にあることを示していた(湯浅, 佐々, 2015b)。

mc1付近の鉛直断面図を図2に示す。渦発生直後(図2a, b)はmc1周辺にヴォールト状構造が明瞭に確認できる。しかし南西側からヴォールトに向かう30m/s以上の強い気流は5:41JSTにはすでに弱まりつつあった。mc1の渦径が縮小した5:45 JST(図2c)にも強風域は残っていたが、反射強度にはヴォールト構造が見られず、エコー頂の位置もmc1からはずれていた。渦上陸後の鉛直断面(図2d)では、渦の西側に比べ東側のドップラー速度が強い低気圧性水平シアは見られたが、スーパーセルの特徴は完全に失われていた。

このようなことから、mc1発生時の親雲は、後方からの気流の流入でメソサイクロンとヴォールト構造をもつミニスーパーセルの形態であった。その後、親雲後方からレインバンドに向かう気流の流入が弱くなり、スーパーセルの形態が崩れた。しかし、レインバンド内の低気圧性水平シアによって2つの渦は上陸まで持続した。すなわち、一般に知られているノンスーパーセル竜巻の発生過程(Wakimoto and Wilson, 1989)と異なり、ミニスーパーセルが衰退した後アウトーレインバンド内の水平シアにより渦が持続される特異な特徴を示していた。

キーワード：レーダー観測、竜巻、スーパーセル

Keywords: radar observation, tornado, supercell

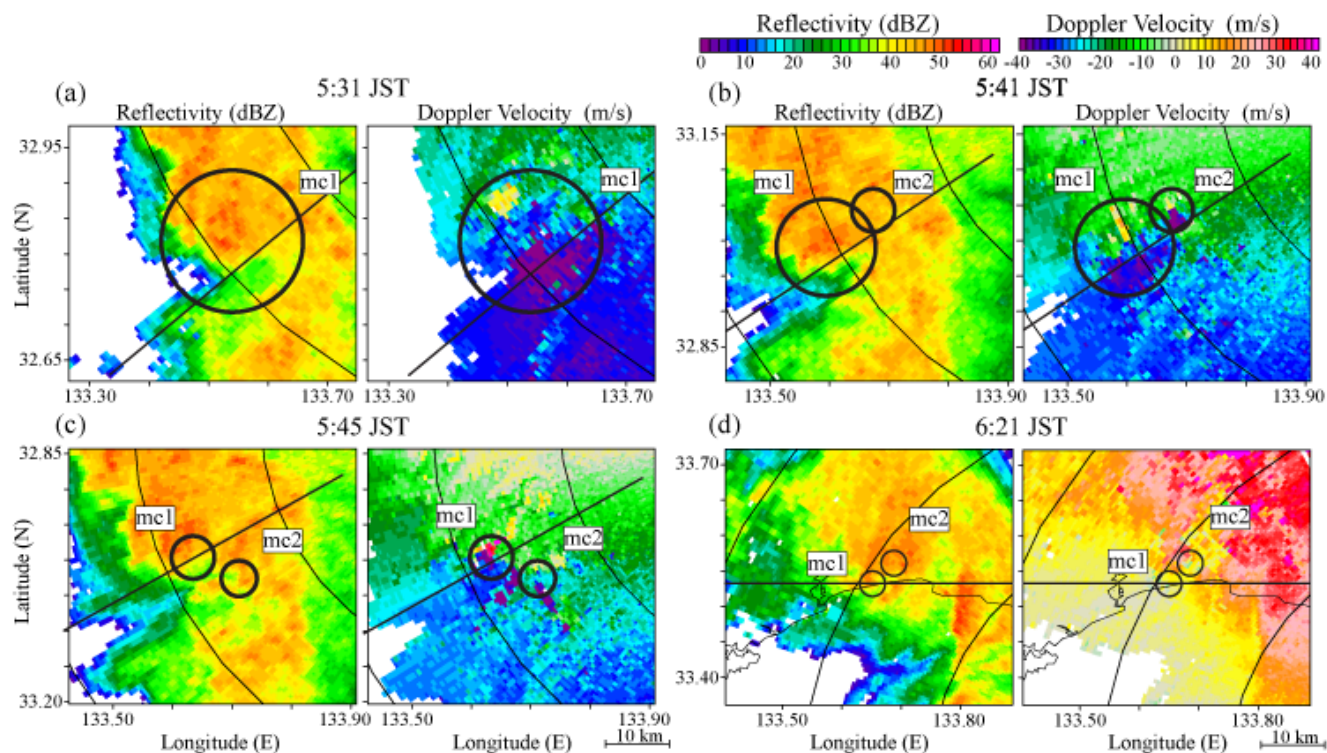


図1 渦発生後の室戸レーダー画像 (仰角 0.4deg.)。 (左; レーダー反射強度, 右; ドップラー速度) 図中丸はドップラー速度の極大極小から判断した渦付近を囲んだもの。実線は図2の鉛直断面の領域。

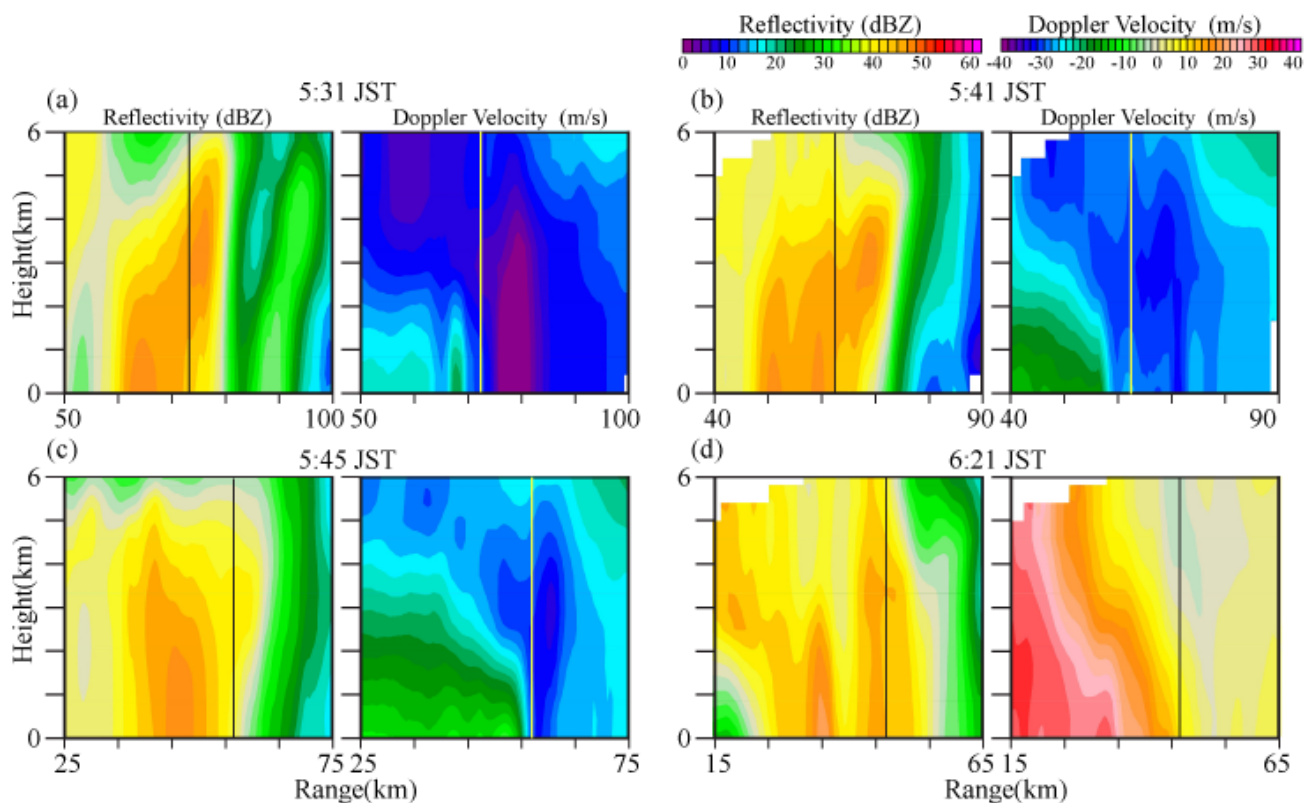


図2 mc1 渦中付近の室戸レーダーの断面図。図1の実線部 (30km) を高度 6km まで切出し、北から見た断面を示す。実線はmc1の渦中心。(左; レーダー反射強度, 右; ドップラー速度)

ひまわり8号による火山灰雲観測

Observation of Volcanic Ash Clouds by Himawari-8

*林 勇太^{1,2}、上澤 大作¹、別所 康太郎¹*Yuta Hayashi^{1,2}, Daisaku Uesawa¹, Kotaro Bessho¹

1.気象庁気象衛星センター、2.気象研究所

1.Meteorological Satellite Center, Japan Meteorological Agency, 2.Meteorological Research Institute

火山噴火に伴って放出される火山灰は、地上の広範囲に降り積もるだけでなく、風に流されて長期間にわたり空中を漂う。航行中の航空機が火山灰雲に遭遇すると、機体の損傷やエンジン停止といった重大事故につながるおそれがあるため、火山灰雲の位置や高度の情報は航空機の安全運航に必要不可欠となっている。地球上の広い範囲を均質に、かつ連続的に観測することができる静止気象衛星は、火山灰雲を監視するための重要な手段の一つである。

気象庁では平成27年7月より、次世代静止気象衛星ひまわり8号の運用を開始した。また、平成28年中にはバックアップとなるひまわり9号の打ち上げが予定されている。これらに搭載されている放射計（AHI）は、これまでのひまわり6号・7号（MTSAT-1R, 2）のものと比較して大幅に向上した観測性能を持つ。観測波長帯数が5バンドから16バンドと大幅に増強されたのに加え、水平解像度がほぼ2倍に高解像度化し、全球観測頻度が60分ごとから10分ごとに向上した。さらに日本周辺の領域では、2.5分ごとという高頻度観測が実現している。この高解像度・高頻度観測によって、火山噴火に伴う噴煙や急速に発達する積雲など、比較的スケールが小さく変化が早い現象の観測が可能となった。

火山灰の電磁波吸収強度の波長依存性を利用することで、衛星観測データから火山灰雲を検出することができる。さらに数値予報データや海面水温データなどと組み合わせることで、火山灰雲の高度や光学的厚さなどの見積もりが可能である。16バンドに増強されたひまわり8号観測データを活用することによって、火山灰雲検知や高度推定における精度向上が期待される。

本講演では、ひまわり8号による火山噴煙等の観測事例を紹介するとともに、衛星観測における火山灰検出の基本原則とそれを応用した火山灰RGB合成画像について解説する。また、火山灰雲高度や光学的厚さといった物理量を算出した衛星火山灰プロダクトについても簡単に紹介する。

キーワード：火山灰雲、リモートセンシング、静止気象衛星、ひまわり8号

Keywords: volcanic ash clouds, remote sensing, geostationary meteorological satellite, Himawari-8

火砕噴火後のテフラ分布調査の現状と課題

Current state and problems of field examination concerning tephra dispersal after pyroclastic eruptions

*宮縁 育夫¹*Yasuo Miyabuchi¹

1.熊本大学教育学部

1.Faculty of Education, Kumamoto University

テフラの分布や噴出物量は火砕噴火の様式や規模を決定する上で重要な要素である。しかしながら、その調査方法は極めて古典的であり、しかも高精度のデータを得るためにはさまざまな問題点が存在する。本発表では、筆者がこれまで霧島火山や阿蘇火山等で行ってきた噴火発生直後のテフラ調査の事例を紹介して、その実態を報告するとともに、浮かび上がってきた問題点を提示する。

霧島火山新燃岳2011年噴火は最近10年間ではわが国において最大級の噴火であった。1月26日～27日には複数回の準プリニー式噴火が起こり、20 km以上離れた地域にまでテフラが飛散した。筆者は噴火発生直後に調査を行うとともに、数か月経過してから追加調査を実施したが、堆積物が比較的良好に保存されており、詳細なテフラ分布が把握できただけでなく、細分した降下ユニットごとの追跡と対比も可能であった。とくに1月26日夕方～27日朝にかけての準プリニー式噴火に関しては、層厚分布と最大粒径分布の主軸方向が異なっていることも見出され(Miyabuchi et al., 2013)、このことは噴煙シミュレーション結果(Suzuki et al., 2013)とも調和的であった。しかしながら、筆者は2.5 kmより遠方でしか調査を行えなかったため、算出された噴出物量が他の調査事例に比べて1桁少ない値であった。噴火直後に火口近傍域において層厚や単位面積重量の測定ができないことにより、算出される噴出物量が過小評価されるという大きな問題点が判明した。

阿蘇火山中岳では、1989～1995年の活発な活動の後、湯だまりと呼ばれる火口湖が形成されるなど比較的穏やかな状態が続いていたが、2003年のごく小規模な噴火から2014年以降の本格的なマグマ噴火まで、さまざまな規模の噴火が発生し、そのたびごとに噴出物調査を行う機会があり(Miyabuchi et al., 2008)、テフラ調査に関する実践力を高めることができた。まず2003年頃には直径10 cm程度の火山灰採取容器を多地点に設置して火山灰の採取を試みたが、径が小さくて捕捉率が低く、実用に耐えないことが判明した。実際、2003年7月の小噴火時には人工物上に堆積した火山灰を採取する方が効率的であることに気づいた。しかし、人工物がない場所に関しては、植物の葉に付着した火山灰が確認できるくらいで、全般的には新たに堆積した火山灰の認定が難しいという問題にも直面した。一方で、2004年1月には積雪が存在する状態での降灰調査を経験し、そうした状況下では微量の火山灰でも採取可能であることがわかったが、降雪のない地域や春から秋の噴火ではこの方法での火山灰認定は難しい。

中岳における2014年11月からの本格的なマグマ噴火では、活動開始直後に人工物上に堆積した火山灰を40箇所以上で採取して何本かの等質量線を描いて、最初期の火山灰分布と噴出物量を見積もることができた。しかし、その後も小規模な火山灰噴出が継続したため、ある期間だけの火山灰を分離して採取することの難しさを痛感して、同年12月上旬には降灰トラップ(直径25 cmの火山灰採取容器)による調査に切り替えた。降灰トラップはできるだけ多くの地点や方向に設置することが望ましいが、回収する労力に限界がある。そこで、トラップの位置や数をどのように設置するかを模索し、阿蘇火山中岳で発生するような小規模噴火で効率的に火山灰分布と噴出物量を把握できる火山灰観測網を考案した。

そうした降灰観測システムは構築できたが、火山灰回収作業が道路網に規制されるという問題点も浮き彫りになった。中岳のように、多くの場合風下側となる火口東方域が山岳地域で登山道しかないような場合には現地調査に大きな制限を受ける。徒歩での回収も考えたが、一人での調査でもあるので、時間的にも労力的にも無理であった。さらに、噴火の危険性等により火口近傍のトラップは回収できない事例も多々あった。実際に1 kmよりも遠方域だけのデータを使用した際と火口近傍域のデータも使用して算出した噴出物量を比較した結果、平均して後者が前者の1.4倍の量になることがわかった。また、2015年10月23日噴火のようにほとんど無風状態の場合、火口近傍域にしか堆積物が分布しないという珍しい事例(1 km以遠のトラップでは火山灰が捕捉できない事例)もあった。同年9月14日発生の火砕密度流堆積物も火口近傍域にしか分布しておらず、同じよう

な状況であった。こうしたことは、霧島火山新燃岳噴火の事例と同様に、火口近傍域において噴出物データが取得できるかどうかで、その後の噴出物量計算結果に大きな影響を与えることを示している。

以上述べたように、噴火直後のテフラ調査には多くの課題が存在するものの、現地調査に基づく方法でしか噴出物の分布や量を把握できないというのが現状である。しかし、火口近傍調査時の安全上の問題は将来的にも解決が難しいため、今後は噴煙シミュレーション結果と比較できる事例を数多く積み重ねていくとともに、噴煙シミュレーション技術の発展を期待したい。

キーワード：火砕噴火、テフラ分布、噴出物量

Keywords: pyroclastic eruption, tephra dispersal, eruptive volume

火砕物密度流・降下火砕堆積物の解析にもとづく御嶽山2014年噴火の再構築と物理量推定

Reconstruction and estimation of physical parameters of a phreatic eruption on 27

September 2014 at Ontake volcano, Central Japan, based on pyroclastic density current and fallout deposits

*前野 深¹、中田 節也¹、及川 輝樹²、吉本 充宏³、小森 次郎⁴、石塚 吉浩²、竹下 欣宏⁵、嶋野 岳人⁶、金子 隆之¹、長井 雅史⁷

*Fukashi Maeno¹, Setsuya Nakada¹, Teruki Oikawa², Mitsuhiro Yoshimoto³, Jiro Komori⁴, Yoshihiro Ishizuka², Yoshihiro Takeshita⁵, Taketo Shimano⁶, Takayuki Kaneko¹, Masashi NAGAI⁷

1.東京大学地震研究所、2.産業技術総合研究所、3.山梨県富士山科学研究所、4.帝京平成大学現代ライフ学部、5.信州大学教育学部、6.常葉大学大学院環境防災科、7.防災科学技術研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2.Geological Survey of Japan, AIST, 3.Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government, 4.Faculty of Modern Life, Teikyo Heisei University, 5.Institute of Education, Shinshu University, 6.Graduate School of Environmental and Disaster Research, Tokoha University, 7.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

The phreatic eruption at Ontake volcano on 27 September 2014, which caused the worst volcanic disaster (58 deaths and 5 missing persons) in Japan in the past half-century, was reconstructed based on observation of proximal pyroclastic density current (PDC) and fallout deposits. Witnesses' observations were also used to clarify the eruption process. The deposits are divided into three major depositional units (Units A, B, and C) which are characterized by massive, extremely poor-sorted, and multimodal grain-size distribution with 30-50 wt.% of silt to clay component. The depositional condition was initially dry but eventually changed to wet. Unit A originated from gravity-driven turbulent PDCs in the relatively dry, vent-opening phase. Unit B was then produced mainly by fallout from a vigorous moist plume during vent development. Unit C was derived from wet ash fall in the declining stage. Ballistic ejecta continuously occurred during vent opening and development. As evidenced in the finest population of the grain-size distribution, aggregate particles were formed throughout the eruption, and the effect of water in the plume on the aggregation increased with time and distance. The lithofacies and grain-size characteristics of the poorly-sorted deposits observed in the proximal area are similar to those of mudflows or fallout tephra from past phreatic events. It is important to understand the similarity of the deposits when we interpret this type of poorly-sorted deposit solely based on geological records. Using geological records, witness observations, and a theoretical approach, the physical parameters of the Ontake eruption can be constrained. Based on the deposit thickness, duration, and grain-size data, the particle concentration and flow velocity for three PDC lobes in the initial phase were estimated to be 2×10^{-4} to 2×10^{-3} and 24-56 m/s, respectively, applying a scaling analysis using a depth-averaged model of turbulent gravity currents flowing down slopes. The tephra-thinning trend shows a steeper slope in the proximal area than on the trends of similar-sized magmatic eruptions, indicating a large tephra volume deposited over a short distance owing to the wet dispersal conditions. The Ontake eruption provided an opportunity to examine the deposits from a phreatic eruption with a complex eruption sequence that reflects the effect of external water on the eruption dynamics. Further studies may enable to quantitatively evaluate the major factors that caused the many casualties and severe damage to buildings near the eruption source.

キーワード：水蒸気噴火、御嶽、火砕物密度流、降下火砕物、粒径分布

Keywords: phreatic eruption, Ontake, pyroclastic density current, pyroclastic fallout, grain-size distribution

御嶽山2014年水蒸気噴火における火山灰粒子の輸送と再懸濁：花粉センサーデータからの推定
Transport and resuspension of ash particles from the 2014 phreatic eruption at Ontake
Volcano, inferred by pollen sensor data

*三輪 学央¹、長井 雅史¹、川口 亮平¹

*Takahiro Miwa¹, Masashi NAGAI¹, Ryohei Kawaguchi¹

1. 防災科学技術研究所

1. National research institute for earth science and disaster prevention

Behavior of ash particle from explosive eruptions is considered to influence many environmental and economic factors (e.g., Rose and Durant, 2011). Field survey on eruptive deposit have been performed to evaluate the behavior of ash particles and obtain ground truth for numerical simulation and satellite observation during explosive eruption (e.g., Gudmundsson et al. 2012). However, it is generally difficult to reconstruct timing and strength of ash transport from the field survey for small phreatic eruption, because ash deposit by such small eruption is easy to suffer reworking by wind and rain water. So, method which can detect ash particles *in situ* is favorable to infer the behavior of ash particles during the small phreatic eruption.

We examined time series data of pollen sensor to infer the transport and resuspension of ash particles from the 2014 phreatic eruption at Ontake volcano. The pollen sensor has been developed for *in situ* detection of pollen particle which causes allergy. The pollen sensor (PS2 by Shinyei technology Co. Ltd) is laser optical analyzer for particle matters, and consists of one light emitter and two light receptors. The particles are introduced into the chamber, and shot by linear polarized light emitted by the light emitter. The number of particles introduced into the chamber by intake of air are counted from the number of outputs recorded by a receptor every second. The combination of output voltage from the two receptors brings in a polarization factor (PF) reflecting shape of the particle matter. The polarization factor of pollen and water drop with spherical shape are higher (around 0.3 and 0.8) than that of soil particle from Kanto plain (around 0) (see HP of Shinyei technology Co. Ltd).

We analyzed pollen sensor data recorded by NTT Docomo Ltd from September 21th to October 19th, 2014 with a sampling frequency of 1 Hz at Kaida-kogen site which locates 11 km away from the summit of Ontake volcano. To remove the particle counts due to pollen and water drop, we recalculated hourly counts of particles having < 0.3 of polarization factor. Strong noise of the particle count prevents us to insight into behavior of ash particles in other 150 pollen sensor sites around Ontake volcano.

The time series of pollen sensor data from Kaida-Kogen allows us to infer the transport and resuspension processes of ash particles from the phreatic eruption. We find a sudden increase of the hourly count of particle matter with low polarization factor changing from few tens to maximum value of 5355 particles at 12:00-13:00 September 27th. Because the onset of the 2014 phreatic eruption at Ontake is 11:52 Sep 27th, we consider that unusual supply of particle matter by the eruption causes the sudden increase. In detail, count value by ten minutes interval provides maximum value of the count 80 minutes after the phreatic eruption. So, transport velocity of ash particles can be estimated to 2.3m/s which is comparable with velocity of local wind around the Ontake volcano. After the sudden increase, the particle count gradually decreases with some fluctuations, and becomes few particles per hour within 1 week. The fluctuations are well correlated with temporal variation of wind velocity in Kaida-Kogen, showing wind blowing induces resuspension of ash particles. Because the wind direction at the fluctuation are randomly oriented, we consider that ash particles on the leaf, tree and load around pollen sensor were resuspended by

the wind blowing. Finally, we conclude that pollen sensor data can be used to evaluate behavior of ash particles even in small phreatic eruption.

キーワード：火山灰粒子、花粉センサー、水蒸気噴火

Keywords: Volcanic ash, Pollen sensor, Phreatic eruption

新燃岳2011年噴火にともなう火山灰雲の再現性に関する初期粒径分布の検討

An examination of the impact of initial size distribution of volcanic ash particles on volcanic ash transport simulation in the case of Shinmoe-dake eruption 2011

*橋本 明弘¹、鈴木 雄治郎²、新堀 敏基¹、石井 恵介¹

*Akihiro Hashimoto¹, Yujiro Suzuki², Toshiki Shimbori¹, Kensuke Ishii¹

1.気象庁気象研究所、2.東京大学地震研究所

1.Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

気象庁非静力学モデルをもとに開発された噴煙-降灰モデルを用いて、2011年1月26-27日新燃岳噴火にともなって生じた火山灰雲を再現し、衛星観測データによる検証を行っている。この中で、火口上空での火山灰放出率は、火山灰粒子の粒径と放出高度の関数としてモデル化されており（火山灰供給源モデル）、火山灰雲の再現性はこれに強く依存することが分かっている。従来の供給源モデル(Suzuki, 1983, Shimbori et al., 2010)は、横風による噴煙の形状変化を無視し、噴煙内部の速度プロファイルを単純な関数で表した上で初期粒径分布を与え、火山灰粒子の粒径・空間分布の確率密度を決定していた。これを適用した火山灰輸送シミュレーションの結果は、火山灰雲の再現性に改善の余地があり、その原因が、横風と噴煙の力学的相互作用を無視している点にあることを強く示唆していた。そこで、横風をとともなう環境条件のもとで、噴煙ダイナミクスを考慮した3次元噴煙シミュレーションを行い（Suzuki and Koyaguchi, 2013）、横風と噴煙の力学的相互作用を反映した粒子の空間分布を再現した。これに、従来と同じ初期粒径分布を与えることで、新たな供給源モデルを作成した。新しい供給源モデル適用した火山灰輸送シミュレーションの結果、火山灰雲の再現性は従来に比べて改善された。現在、さらなる改善を目指し、初期粒径分布について検討している。供給源モデルで仮定している初期粒径分布の分散を、従来の2倍にして火山灰輸送シミュレーションを行ったところ、火山灰雲の再現性が向上した。供給源モデルにおける粒径分布に対する火山灰雲の応答について調べた結果を発表する。

謝辞

本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。

参考文献

Shimbori, T., Y. Aikawa, K. Fukui, A. Hashimoto, N. Seino, and H. Yamasato, 2010: Quantitative tephra fall prediction with the JMA mesoscale tracer transport model for volcanic ash: A case study of the eruption at Asama volcano in 2009. *Pap. Met. Geophys.*, 61, 13-29.

Suzuki, T., 1983: A theoretical model for dispersion of tephra. *Arc Volcanism: Physics and Tectonics. TERRAPUB*, 95-113.

Suzuki, Y. and T. Koyaguchi, 2013: 3D numerical simulation of volcanic eruption clouds during the 2011 Shinmoe-dake eruptions. *Earth Planets Space*, 65, 581-589.

キーワード：火山灰移流拡散モデル、新燃岳、粒径分布

Keywords: volcanic ash transport and dispersion model, Shinmoe-dake volcano, particle size distribution

降灰予測モデルの検証のための太陽電池発電量を利用した降灰量推定

Estimation method of tephra deposition using photovoltaic power generation data for model validation of tephra fall simulation.

*宇野 史睦^{1,2}、新堀 敏基²、橋本 明弘²、大竹 秀明^{1,2}、石井 徹之³

*Fumichika Uno^{1,2}, Toshiki Shimbori², Akihiro Hashimoto², Hideaki Ohtake^{1,2}, Tetsuyuki Ishii³

1.産業技術総合研究所、2.気象庁気象研究所、3.電力中央研究所

1.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.Meteorological Research Institute, 3.Central Research Institute of Electric Power Industry

2015年3月より気象庁は日本の火山を対象に新しい降灰予報の提供を開始し、その予測モデルの精度検証もいくつかの噴火事例において実施されている（Hashimoto et al 2012, 新堀ほか 2014）。しかし、国内火山の噴火に対して降灰量の測定は地点数が限られ、時間間隔も日/月積算値と粗く予測モデルの検証に不十分である。そのため、衛星や気象レーダーによるリモートセンシングを用いた予測の検証は盛んに実施されているが、大気中の火山灰輸送の時間変化や分布を評価できるが量的な議論は難しい。これらのことから、時間・空間的に高解像度・高密度な地上における降灰量データの取得が必要とされている。近年、太陽電池モジュール上に堆積する土壌や火山灰による発電量の低下が報告されており、堆積量と発電量の低下率に線形な関係があることが報告されている（Kaldellis and Kapsali 2011）。発電量データの多くは数分程度でモニタリングされており、また太陽光発電所はすでに数多く導入されている。つまり、発電量データから降灰量を推定することができれば、高い時間・空間解像度で降灰量データが得られる可能性がある。

本研究では、この関係を利用し太陽光発電量データを利用した降灰量の推定の構築を目的とする。今回は初期段階として先行研究で見られた火山灰の降灰量と発電効率の低下率について調査し、降灰量と発電量の低下率を利用した降灰量推定手法の利用可能性について検証を行った。2013年7月における鹿児島県桜島の噴火事例を対象とし、その北側に位置する霧島市における太陽光発電量データと降灰量観測データを利用した。

太陽光発電量、日射計による日射量はそれぞれ5分間隔で測定し、降灰量は臨時で6回期間の積算値として観測を行った。ただし、降灰量の観測間隔は不定期で実施された。また、本研究では発電量として短絡電流（ I_{sc} ）を利用する。本来は電流と電圧の積が発電量であるが、太陽電池モジュールにおける電圧はモジュールの温度によって変動するため、温度に影響がない I_{sc} を利用した。

その結果、太陽電池モジュール上への降灰による発電効率の低下が見られた（図）。7/8から7/18まで断続的な降灰があり、発電効率が平均して10%低下し、最大で20%の減少が確認された。その後再び降水により火山灰が洗い流され、7/19には発電効率は降灰以前の値まで回復した。このような発電効率の低下は他の月でも確認され、発電効率が20%以上低下した事例は2013年において72日確認された。

この結果から、桜島の火山灰による太陽電池モジュールの発電効率の減少を確認することができた。当日は、鹿児島県で実施している日降灰量データを利用した複数年における発電効率の低下事例について発表する予定である。

謝辞

本研究はJST/CREST「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築」（HARPS）並びに、気象庁気象研究所共同研究によって実施された。また本研究で利用した発電量データ等は産業技術総合研究所平成24年度分野イノベーション推進予算により取得し、データ取得に関して産業技術総合研究所九州センター佐藤梨都子氏にご助力いただいた。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

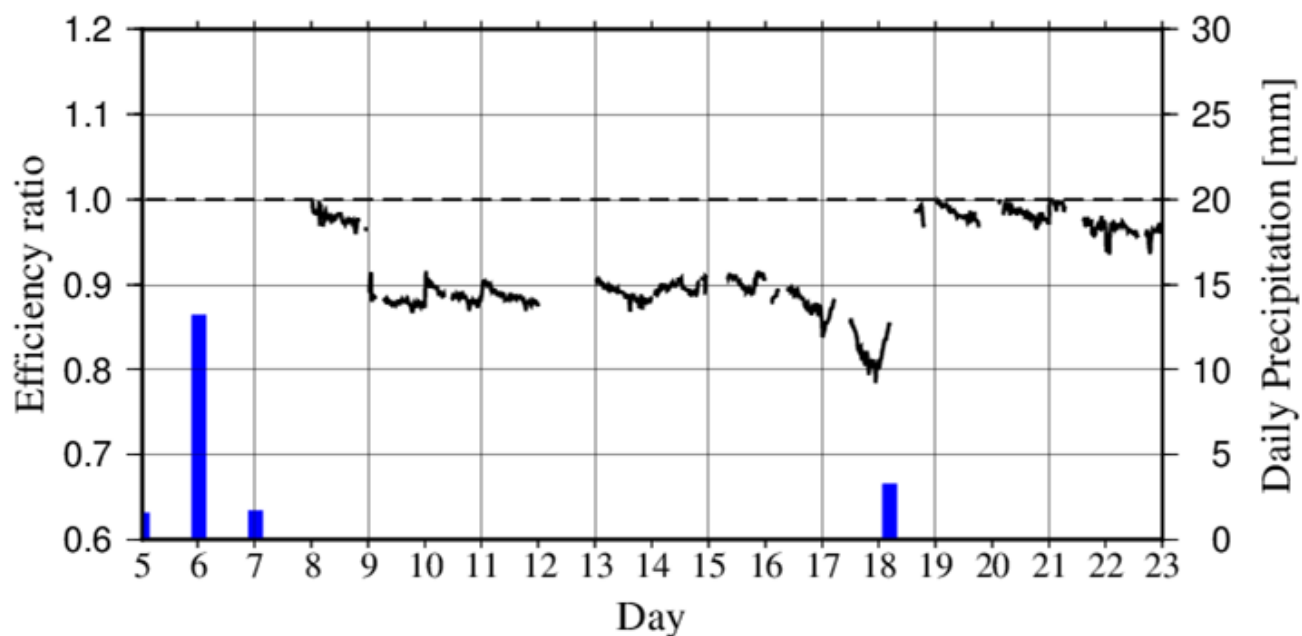
Hashimoto A., T. Shimbori, and K. Fukui, 2012: Tephra Fall Simulation for the Eruptions at Mt. Shinmoe-dake during 26-27 January 2011 with JMANHM, SOLA, Vol. 8, 037-040, doi:10.2151/sola.2012-010.

新堀敏基・甲斐玲子・林 洋介・林 勇太・菅井 明・長谷川嘉彦・橋本明弘・高木朗充・山本哲也・福井敬一, 2014: 領域移流拡散モデルによる降下火砕物予測 -2011 年霧島山（新燃岳）噴火の事例-, 気象研究所研究報告, 65, 75-107, doi:10.2467/mripapers.65.75

Kaldellis J. K., and M. Kapsali, 2011: Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements, *Energy*, 36, 5154-5161, doi:10.1016/j.energy.2011.06.018.

キーワード：降灰量推定、太陽光発電

Keywords: Estimation of tephra fall, Photovoltaic power generation



Figure, Comparison of time series of PV module efficiency and daily-accumulated precipitation in July 2013. The solid black line indicate PV module efficiency (see left axis), and blue bar indicate daily precipitation (see right axis, mm), respectively.

測風ライダーを用いた火山灰の粒径分布推定の試み：桜島での観測例

The feasibility study for the estimating the grain-size distribution of volcanic ashes with the wind profiler LIDAR

*星野 俊介^{1,2}、新堀 敏基²、福井 敬一²、石井 憲介²、佐藤 英一²、白土 正明³、藤原 健治⁴、駒崎 由紀夫^{1,2}
*Shunsuke Hoshino^{1,2}, Toshiki Shimbori², Keiichi Fukui², Kensuke Ishii², Eiichi Sato², Shomei Shirato³, Kenji Fujiwara⁴, Yukio Komazaki^{1,2}

1.高層気象台、2.気象研究所、3.気象庁、4.鹿児島地方気象台

1.Aerological Observatory, 2.Meteorological Research Institute, 3.Japan Meteorological Agency,
4.Kagoshima Local Meteorological Office

ミーライダーを用いた火山観測としては、酒井ほか(2014)のような火山灰の高度分布の解析例はあるが、対流圏内の火山灰の粒径分布に着目した報告例はまだ多くない。一方、ドップラーライダーではエアロゾルからの散乱光をスペクトル解析することにより大気の流れを推定するが、青木ほか(2015a,b)ではスペクトル強度分布を混合ガウス分布モデル(GMM)で近似することにより雲粒・雨滴の信号を抽出、粒径分布を推定する試みを行っている。この考え方を応用すれば、火山灰の粒径分布の推定も可能ではないかと考えられる。

気象研究所では鹿児島地方気象台との地方共同研究「桜島噴火に伴う降下火山レキによる被害軽減のための研究」の一環として、2015年3月25-26日に桜島にて測風ライダー(ドップラーライダー、以下WPL)による風の観測を行った。この観測期間中には計32回の噴火が観測されており、火山灰を含む大気の流れを観測していたことから、この結果を元にWPLのスペクトル解析による粒径分布推定を試みた。

まず、WPLで観測されたスペクトル分布をGMMで近似し、解析されたモード毎の中心ドップラー速度 V_r を算出した。次に、 V_r と平均場の水平風・鉛直風を用いて火山灰の落下速度 V_f を推定した。この V_f が新堀ほか(2014)で示された火山灰の終端速度と一致すると仮定してモード毎の代表粒径を推定した。ここで平均場については局地モデル(LFM)の客観解析値を使用した。データの検証には領域移流拡散モデル(RATM)にLFMを入力した予測したWPL観測点上空の火山灰粒径分布との比較を行った。

3月26日14:50-15:00JSTを対象とした事例解析では、WPL、RATMいずれも0.1mm付近に粒径の頻度のピークを持っており、両者は概ね整合的であった。ただし、WPLからの推定では粒径分布の幅が広く、20mmを超えるようなモードも解析されていた。これはスペクトルに含まれるノイズが十分に除去できていなかったことが主な原因と考えられるが、その他にも平均場の定常性の仮定が十分に成立するかどうかや客観解析値と実際の平均場との差が粒径の推定に与える影響についても検証が必要と考えられる。また、検証のためにはモデル以外の観測値との比較も必要であろう。

実際の火山周辺でのWPLによる観測にあたっては機器への降灰対策など留意すべき点も多いが、可搬性や下層の風観測が可能であるという利点もあり、どのように活用できるかについて考慮する価値はあるものとする。

キーワード：火山灰、ドップラーライダー

Keywords: Volcanic ashes, Doppler LIDAR

火山噴煙数値モデルのベンチマークテスト

Results of the eruptive column model inter-comparison study

*鈴木 雄治郎¹、コスタ アントニオ^{1,2}*Yujiro Suzuki¹, Antonio Costa^{1,2}

1.東京大学地震研究所、2.Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna

爆発的火山噴火で形成する噴煙柱の高度は、噴出率などの噴出条件を推定するための重要な観測可能量となる。また、大気中における火山灰の拡散計算において、噴煙高度は初期値として用いられる。したがって、噴煙高度と噴出条件の関係を定量的に正しく見積もることは、火山学において最も重要な課題のひとつである。これまで数十年間で、数多くの火山噴煙モデルが開発されてきた。特にこの10年で、水蒸気の相変化の影響を考慮したモデルや、圧縮性流体力学に基づいた時間発展モデルなど、洗練されたモデルが提案された。本研究では、これまでに提案されたこれらの噴煙モデルによるベンチマークテストを行った。なお、この比較研究プロジェクトは、IAVCEI Commission on Tephra Hazard Modellingによって推進された。

ベンチマークテストは、解析モデル、1次元モデル、3次元モデルの3種類を用いた。解析モデルでは、大気構造を単純化し、噴煙と大気の混合効率を経験的係数（エントレインメント係数）で表すことによって、噴煙高度と噴出率を解析的に取り扱った。1次元モデルでは、噴煙の中心軸方向に座標軸に沿った物理量プロファイルを計算する。ただし、1次元モデルでは、噴煙柱が定常的であると仮定し、噴煙・大気の混合効率を経験的に与える。3次元モデルでは、流体力学的な扱いをし、噴煙の非定常な振る舞いを計算する。3次元モデルでは、噴煙と大気の混合は渦拡散によって直接計算されるため、混合効率を仮定する必要がある。本ベンチマークテストでは、4個の解析モデル、9個の1次元モデル、4個の3次元モデルを用いた。噴火強度（噴出率）の異なる2つの噴火事例（weak plumeとstrong plumeと呼ぶ）に関し、共通する計算条件を与え、異なるモデルによる計算結果を比較した。

計算結果を比較したところ、モデルによって定式化が異なるにも関わらず、噴煙の最高高度に関していずれのモデルも非常に良い一致をみた。噴煙高度のばらつきの標準偏差は、weak plumeで20%以内、strong plumeで約10%であった。噴煙と大気の密度が釣り合う浮力中立点の高度についてもモデル間の一致は良く、標準偏差はweak plumeで9%、strong plumeで19%程度であった。噴煙の中心軸に沿った物理量分布を比較したところ、1次元モデルと3次元モデルに違いが見られ、その違いはstrong plumeで顕著であった。本比較により、1次元モデルで仮定されている噴煙・大気の混合効率は、weak plumeの場合には適切な噴煙高度を見積もることができるが、strong plumeの場合には噴煙高度を過小評価してしまうことが分かった。今後、3次元シミュレーションを用いて混合効率を求めることにより、1次元モデルの実用性が高まると考えられる。

キーワード：爆発的火山噴火、噴煙柱ダイナミクス、流体力学モデル、モデル間比較、噴火条件パラメータ

Keywords: explosive volcanism, eruptive plumes dynamics, fluid dynamic models, model inter-comparison, eruption source parameters

降礫予測における風の影響を考慮した供給源モデルの検討

Consideration of Wind Effects on the Eruption Source for the Lapilli Fall Prediction

*新堀 敏基¹、林 洋介²、菅井 明^{1,2}、黒木 英州²、白土 正明²、藤原 健治³、石井 憲介¹、佐藤 英一¹、福井 敬一¹

*Toshiki Shimbori¹, Yosuke Hayashi², Akira Sugai^{1,2}, Hidekuni Kuroki², Shomei Shirato², Kenji Fujiwara³, Kensuke Ishii¹, Eiichi Sato¹, Keiichi Fukui¹

1.気象研究所、2.気象庁、3.鹿児島地方気象台

1.Meteorological Research Institute, 2.Japan Meteorological Agency, 3.Kagoshima Local Meteorological Office

火山噴火発生に伴う降下火砕物のうち、比較的短時間で降ってくる小さな噴石（降下火山礫、以下、降礫）は、風の影響を受けると遠地まで輸送されることがある。このため近年の噴火でも、火口から10数km離れた居住地域まで達した粒径数cmの降礫により、怪我などの人的被害や自動車のガラス破損といった物的被害が発生している（例えば、気象庁地震火山部、2013）。このような災害を軽減するために、2015年3月から始まった気象庁の新しい降灰予報（Hasegawa et al., 2015; 菅井・他、2015）では、その定時と速報において、降灰とともに降礫の予想範囲を発表している。降灰予報は、領域移流拡散モデル（JMA-RATM、以下、RATM）の計算結果に基づくが、その初期値である火山灰・火山礫の供給源モデルにはこれまで、風の影響を考慮していなかった。このため、強風時の降灰・降礫の予想範囲は過小傾向になる問題がある。

この課題に対処するために気象研究所では、鹿児島地方気象台との地方共同研究「桜島噴火に伴う降下火山レキによる被害軽減のための研究」（2014～16年度）の一環として、高層気象台の測風ライダーを用いた火山近傍での観測（星野・他、本セッション）とともに、RATMの供給源モデルの改良を進めている。RATMの初期値は現在、経験的な供給源モデルであるSuzuki（1983）に依拠しているが、本研究では特に弱い噴煙において風の影響を考慮するにあたり、

- (i) 鉛直分布（Suzukiの粒子供給率関数）は変えない
- (ii) 水平分布のみ井田（2014）の方法で風下へシフト

の方針を取った。本発表では、このシンプルな方法を適用した供給源モデルを初期値とする、RATMによる降礫予測について、2013年桜島噴火や2015年口永良部島噴火などの事例で降灰予測とともに検証する。

風の影響を考慮した物理的な噴煙モデルには、BENTモデル（Bursik, 2001）を始め、SK-3Dモデル（Suzuki and Koyaguchi, 2015）や気象庁非静力学モデル（橋本・他、本セッション）などの研究がある。これらの成果を、降灰予報の初期値として運用で活用するためには、あらゆる気象条件の下で、全国の活火山を対象に、噴火時に観測できる物理量から、即時的に作成できることが必要であり、本研究における改良はそれまでの橋渡しと考えている。また供給源モデルの改良は、今後、気象レーダー（例えば、佐藤・他、本セッション）や気象衛星ひまわり8号（例えば、林・他、本セッション）による観測値を取り込んだ火山灰データ同化（石井・他、本セッション）に基づく解析値（初期値）作成において、その第一推定値を改善する意味でも重要になる。

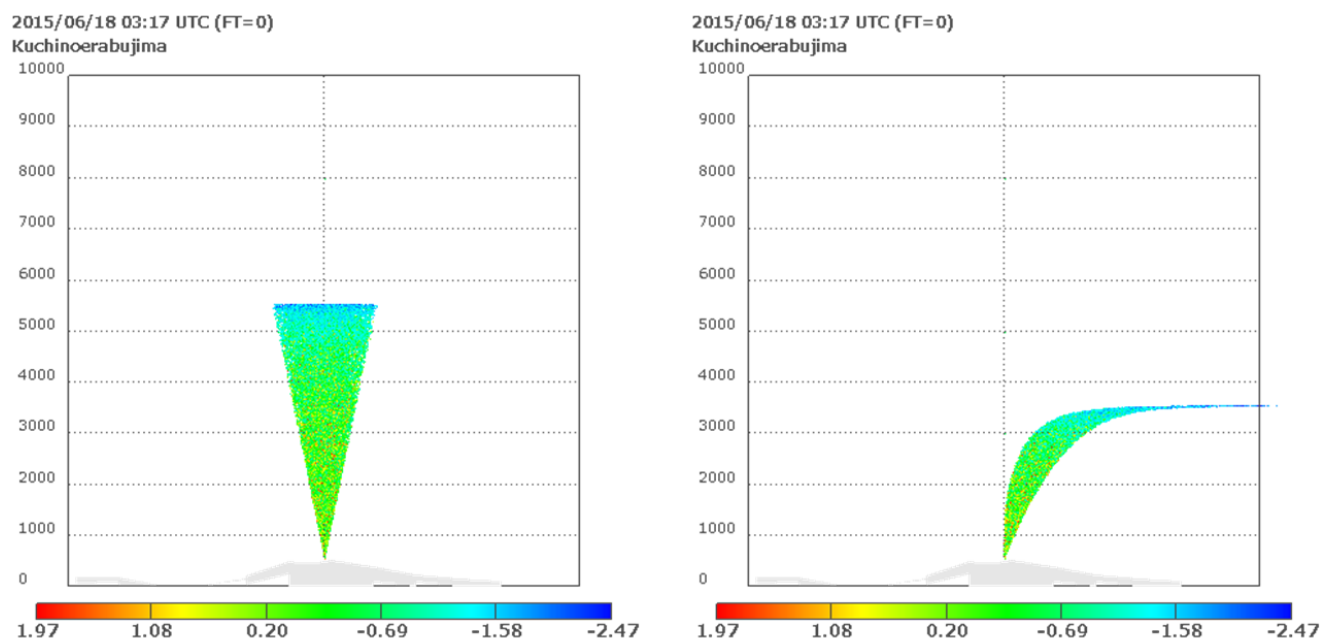
参考文献

- Bursik, M., 2001: Effect of wind on the rise height of volcanic plumes. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3621-3624.
- Hasegawa, Y., A. Sugai, Yo. Hayashi, Yu. Hayashi, S. Saito and T. Shimbori, 2015: Improvements of Volcanic Ash Fall Forecasts issued by the Japan Meteorological Agency. *J. Appl. Volcanol.*, 4: 2.
- 井田喜明, 2014: 自然災害のシミュレーション入門. 朝倉書店, pp. 139-154.
- 気象庁地震火山部, 2013: 降灰予報の高度化に向けた検討会 報告書, p. 259.
- 菅井 明・黒木英州・林 洋介・新堀敏基, 2015: 新しい降灰予報について. 日本火山学会講演予稿集, 155.
- Suzuki, T., 1983: A theoretical model for dispersion of tephra: Arc Volcanism. *TERRAPUB*, pp. 95-113.

Suzuki, Y. J. and T. Koyaguchi, 2015: Effects of wind on entrainment efficiency in volcanic plumes. J. Geophys. Res., 120, 6122-6140.

キーワード：移流拡散モデル、供給源パラメータ、風の影響、火山礫、火山灰、降灰予報

Keywords: Atmospheric Transport Model, eruption source parameter, effects of wind, lapilli, volcanic ashes, Volcanic Ash Fall Forecast



Examples of eruption sources (vertical cross-sections of initial tracers) in the JMA-RATM. Left: without wind effects based on Suzuki distribution. Right: with wind effects in this research. Colors indicate the logarithmic grain-sizes of tracers.

気象レーダー網を用いた噴煙高度のベイズ推定

Bayesian Estimation of Volcanic Ash Plume Height by Weather Radar Network

*佐藤 英一¹、福井 敬一¹、新堀 敏基¹、石井 憲介¹、高木 朗充¹、菅井 明²、黒木 英州²、真木 雅之³*Eiichi Sato¹, Keiichi Fukui¹, Toshiki Shimbori¹, Kensuke Ishii¹, Akimichi Takagi¹, Akira Sugai², Hidekuni Kuroki², Masayuki Maki³

1.気象研究所、2.気象庁、3.鹿児島大学

1.Meteorological Research Institute, 2.Japan Meteorological Agency, 3.Kagoshima University

現在、気象庁の降灰予報は、基本的に遠望カメラから得られた噴煙高度を用いて作成した初期値を利用している。この手法には、視界が悪い場合、目視観測による初期値の作成が困難であるという欠点がある。そのような状況の中、期待されているのが気象レーダー等のリモートセンシングによる噴煙高度の推定である。気象レーダーは電波を用いるため、曇りの天気でも噴煙を捉えることが出来る。ただし、雨天の場合、気象庁一般気象レーダーのような単偏波レーダーでは検出が難しい。

著者らは、2014年9月27日の御嶽山の噴火事例の解析を行い、気象庁一般気象レーダー網によるエコー頂高度は、間ノ岳から取られた写真から導出した噴煙高度の情報と比べて過大評価であったと結論付けた。噴煙を捉えたレーダー中、東京レーダーのビーム高度が異常伝搬により過大評価され、その結果、それらを合成したエコー頂高度も過大となってしまったことと考えられる。より高度な噴煙高度推定をするため、ベイズ推定を用いた手法を提案する。その手法は以下の通りである。各レーダーによる観測データから、噴煙のトップが存在する確率密度関数（PDF）を仮定する。噴煙高度の事前確率の中、それらのPDFを合成することで、エコー頂高度を単一の推定値ではなく、確率密度分布で表現することが出来る。また、事前確率については、ベイズ更新することで精度を高めることが出来る。この手法を用いることで、一部のレーダーが示す異常な噴煙高度は、他のレーダーが示す確率の低い領域に存在するため、合成された確率密度分布における確率も低くなる。この手法の欠点は、特に対象の火山をカバーしているレーダーが少ない場合に、噴煙の存在する範囲を十分絞ることが出来ないことである。その場合、事前確率の影響が大きくなると思われる。

本発表では、この手法を噴火事例に適用した結果を紹介する。

キーワード：噴煙高度、気象レーダー網、ベイズ推定

Keywords: Volcanic Ash Plume Height, Weather Radar Network, Bayesian Estimation

移流拡散モデルにおける噴煙のレーダー観測の即時的な利用

Real-time data assimilation of radar-based volcanic ash data in an atmospheric transport model

*石井 憲介¹、新堀 敏基¹、福井 敬一¹、佐藤 英一¹、橋本 明弘¹

*kensuke ishii¹, Toshiki Shimbori¹, Keiichi Fukui¹, Eiichi Sato¹, Akihiro Hashimoto¹

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

気象庁東京航空路火山灰情報センター（東京VAAC）では、航空路上の浮遊火山灰による航空機への影響を回避するために、全球移流拡散モデル（JMA-GATM）を用いて火山灰の予測を行っている。

火山噴火発生時の予測計算に用いる火山灰分布の初期値の作成には、Suzuki(1983)に基づく簡易な火山灰供給源モデルが用いられているが、このモデルでは噴煙の形状や火山灰粒子の粒径分布をあらかじめ仮定している。このため、事例によっては実際の噴煙の複雑な形状や粒径分布を表現することができず、予測精度の低下につながっていると考えられる。

一方、気象研究所火山研究部では、平成27年度末から桜島火山において、気象レーダーによる噴煙観測を開始する計画である。そこで、レーダー観測によって得られた観測値をJMA-GATMの初期値に同化し、観測に基づく現実的な噴煙の形状や粒径分布を初期値とすることにより、火山灰の予測精度を向上させることを目的として、火山灰データ同化システムの構築を目指している（日本火山学会2015年秋季大会，P72）。

データ同化手法は、即時性を重視し計算コストの小さな3次元変分法を採用した。解析変数は火山灰密度、及び、粒径パラメータ2個（中央粒径、分散）を選び、互いに独立な変数と仮定した。また、観測誤差共分散行列は対角行列、背景誤差共分散行列は距離に応じて減少するガウス型を仮定した。第一推定値は、火山灰供給源モデル、または、予報値を利用する予定であるが、第一推定値において火山灰が無い格子点には粒径パラメータの値は存在しないため、3次元変分法で計算するためには何らかの値を設定しておく必要がある。そこで、観測によって修正が行われる格子においては、第一推定値に火山灰が無い場合、近傍の第一推定値または観測値を内挿することにより第一推定値を修正することとした。

現在、レーダー観測は開始前であるため、仮想的な観測値を作成し、動作確認をしつつ開発を進めている。本発表では、開発の進捗と仮想的な観測値を用いた実験結果について報告する。

謝辞：プログラムの動作確認の中で、平成26年度東京大学地震研究所一般共同利用の支援を受け鈴木雄治郎先生からご提供頂いたシミュレーション結果を使用しました。

キーワード：データ同化、移流拡散モデル、レーダー、火山灰、数値シミュレーション

Keywords: data assimilation, Atmospheric Transport Model, radar, volcanic ash, numerical simulation

デジタルカメラ画像を利用した火山噴煙の噴火開始検知アルゴリズムの開発

An algorithm for detecting the onset of volcanic eruption from digital images

齊藤 雅典¹、*松本 恵子²、柳田 泰宏²、久利 美和³Masanori Saito¹, *Keiko Matsumoto², Yasuhiro Yanagida², Miwa Kuri³

1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻、2.東北大学大学院理学研究科地学専攻、3.東北大学災害科学国際研究所

1.Department of Geophysics, Graduate school of Science, Tohoku University, 2.Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 3.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

活動的火山の噴火現象の準リアルタイムモニタリングは、噴火現象の理解のためにも、また火山関連災害を減らすためにも重要である。しかし噴火発生時は立ち入り規制が敷かれるため、新たな観測点の設置は困難である。そこで本研究では、火口周辺に即時展開可能で簡便な小型火山観測装置に実装できる観測システム開発を目指し、一般的な可視領域のデジタルカメラから逐次取得した画像データを用いて、火山噴火の発生検知と噴煙域を判別するアルゴリズムを開発した。さらに、阿蘇山の2015年9月14日噴火の画像に対してアルゴリズムを検証した。

一般に、画像から対象を判別するには、統計的に決定された閾値を用いる方法が使われている。しかし、最適な閾値は大気の状態や太陽の位置などによって異なるため、固定した閾値による誤判別が生じる。そこで本研究では、画像から取り出したデジタル値を光学理論に基づいた物理パラメータに変換し、画像ごとに噴煙判別の最適な閾値を設定して対象を判別するアルゴリズムを開発した。特徴は、統計的な値を得るための事前データが不要で、またそれを用いることによるデータの偏りの影響がない点である。本研究で開発したアルゴリズムは2つのステップを要する。まず、入力画像（JPEG）から取り出したRGB値を、輝度を示すIntensity Index、及び散乱の波長依存性を示すSmall Particle IndexとMolecular Indexに変換する。これにRGBを加えた6つのパラメータから、固定した閾値を用いて晴天・雲域・噴煙域の判別が可能になった。次に、前後の時間の画像の噴煙域面積の時間微分から「噴火開始」を検知する。検知できた場合、新たに噴煙域として拡大した画素から物理パラメータを取得し、噴煙判別の最適な閾値を構築する。この画素における誤判別は非常に少ないことを確認した。このようなプロセスで、最適な閾値を逐次設定して、すべての画像に対して噴煙判別を行った。

開発したアルゴリズムを、阿蘇山の2015年9月14日噴火の気象庁の噴煙画像（9時4分～10時8分まで、2分おき）に適用した。定常的な白色噴煙を放出する状態（9時44分時点まで）では、解析画像は噴火活動が平穏である青色を表示した。一方、9時46分の画像では「噴火開始」を検知し、噴煙に該当する部分を赤色、それ以外に該当する部分を白色で表示できた。噴煙が発達している間は、噴煙域の時間変化に設定した閾値以上であれば噴煙域を赤色表示し続けた。しかし、噴煙が画像全体を覆ってしまつて噴煙域の時間変化が閾値以下になると青色表示に戻った。気象庁は9時43分に噴火が発生したと発表しているものの、対応する画像では9時44分までは定常的な噴煙を上げていて、灰色の噴煙が噴出したのは9時46分である（検知した「噴火開始」）。従って本手法は、画像のみから噴火の遷移や噴火の開始を検知するのに適していると言える。また、未噴火から噴火開始を検知できるだけでなく、阿蘇のように定常的に噴煙を放出している噴火から爆発的噴火への遷移を検知することも本アルゴリズムの特徴である。さらに今回は一枚の画像の解析に要する計算時間が1秒程度であるので、準リアルタイム解析が可能なシステムと言える。

現在、無人ヘリで運搬可能な小型火山観測装置にデジタルカメラを実装して試験運用しており、今後は、実際に取得した画像を本アルゴリズムで解析して火山活動を判断したいと考えている。

キーワード：噴煙、デジタルカメラ、準リアルタイム

Keywords: volcanic plume, digital camera, near real-time

噴煙柱崩壊に伴う火砕流の2層浅水波モデル計算

Numerical simulations of a two-layer shallow-water model for pyroclastic flows by column collapse

*志水 宏行¹、小屋口 剛博¹、鈴木 雄治郎¹

*Hiroyuki SHIMIZU¹, Takehiro KOYAGUCHI¹, Yujiro J. SUZUKI¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

爆発的火山噴火では、噴煙柱の崩壊によって生じる火砕流がしばしば観察される。火砕物粒子と火山ガスから成る火砕流は、周囲大気との密度差を駆動力に地表面を流動する重力流として振る舞う。火砕流の内部には、粒子濃度の低い上部領域（低密度部）と粒子濃度の高い底部領域（高密度部）から成る密度成層が発達する。火砕流の拡大速度や到達距離といったダイナミクスは、各領域における物理過程（例えば、周囲大気の取り込みや地表面との摩擦）や領域間の相互作用（例えば、沈降に伴う粒子の領域間移動）の影響を受ける。本研究では、火砕流ダイナミクスに対するこれらの影響を、重力流の流体力学的理論に基づく数値シミュレーションによって定量化し理解することを目的とする。

密度成層をもつ火砕流を表現するために、本研究では、低密度部と高密度部から成る2層流モデルを開発した。2層それぞれを浅水波方程式に基づいて定式化し、HLL数値流束を用いた有限体積法に基づいてそれらを離散化した。低密度部では、粒子の沈降・上面からの周囲大気を取り込み・下面での高密度部から受ける抵抗を考慮した。高密度部では、地表面との摩擦・低密度部からの粒子の供給・粒子の堆積作用を考慮した。また、浅水波方程式に基づいて重力流の振る舞いを解くためには、流れの先端において、流れの駆動力と周囲流体から受ける抵抗の力学的バランスを正確に計算することが重要であり、流れの密度によってその数値的取り扱いが異なる（志水ほか、2015, JpGU）。低密度部では、先端部にその力学的バランスを境界条件として与えた。一方、高密度部では、先端よりも先の領域に厚さが十分に薄く静止した仮想流体層を与えることによって、その力学的バランスを近似的に計算した。

単発的な噴煙柱崩壊による火砕流を想定した数値シミュレーションを行った。低密度部のみから成る静止した流体を矩形で与え、それが時間 $t=0$ において開放された際の水平面上での時間発展を観察した。計算の結果、初期に静止していた低密度部が重力流として発達する様子を捉えた。低密度部からの沈降粒子が供給されることで高密度部が発達し、その高密度部も重力流として拡大した。さらに、高密度部の粒子が沈降し、地表面に堆積層を形成した。粒子の沈降速度が高密度部や堆積層の発達に与える影響を調べるため、粒径を変えた計算を行った。粒径が小さい場合、低密度部から高密度部への粒子供給率は小さくなり、高密度部はあまり発達しなかった。その結果、高密度部の拡大速度は低密度部よりも小さく、高密度部は低密度部を追従するレジームとなった。一方、粒径が大きい場合、低密度部から高密度部への粒子供給率が大きくなり、高密度部が著しく発達した。その結果、高密度部の拡大速度は低密度部よりも大きく、高密度部が低密度部に先行するレジームとなった。これらのレジームの違いは、火砕流堆積物の最下層が低密度部と高密度部のどちらによって形成されるかを定めるため、野外観察で見られる堆積構造の多様性を説明する可能性がある。

キーワード：火砕流、浅水波モデル、2層流モデル、数値シミュレーション、噴煙柱崩壊、火砕流堆積物

Keywords: pyroclastic flows, shallow-water model, two-layer model, numerical simulation, volcanic column collapse, pyroclastic flow deposits