

## 研究プロフィールシート（終了時評価）

研究課題名：二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究

研究期間：令和2年度～令和4年度（3年計画第3年度）

研究費総額：290千円（令和2年度100千円、令和3年度98千円、令和4年度92千円）

研究代表者：気象研究所火山研究部第2研究室 佐藤英一

研究担当者：鹿児島地方气象台 星原一航，久保武史，小枝智幸，中橋正樹、緒方誠

### 1. 研究の背景・意義

#### （社会的背景・意義）

気象レーダーで火山噴煙を捉えた事例は数多くある（Wilson et al. (1966)、澤田 (2003)、Marzano et al. (2013) など）。1980年のセントヘレンズ火山噴火時には噴煙高度と空間的広がりの時系列が捉えられる（Harris et al. (1981)）など、気象レーダーによる火山噴火（噴煙）監視の有効性も示されてきた。2011年の霧島山（新燃岳）では、気象庁のレーダーを用いて観測したエコー頂データの推移（新堀・福井, 2012a；新堀・福井, 2012b；新堀ほか, 2013）を移流拡散（数値計算）モデルの初期値に用いることで、その後の降下火砕物（テフラ）の分布を再現することに成功したという研究（Hashimoto et al., 2012；新堀ほか, 2014）もある。こうした成功例とも呼べる事例がある一方で、課題の残る結果となった事例もある。2014年御嶽山噴火事例では、水蒸気噴火における量的推定（噴煙内部の水物質の影響）に関する課題が、2017～2018年新燃岳では気象レーダーによる雨灰判別の課題が、明らかとなった。そのような問題解決のキーとなる可能性を持っているのが、二重偏波気象レーダーである。二重偏波レーダーは降水量の高度な推定や降水粒子判別での実績があるが、火山噴煙ではまだ研究フェーズでの利用にとどまっている。日本含め、世界的に現業レーダーの二重偏波化が進んでおり、これら二重偏波レーダーを火山監視に有効活用するためにも、基礎的な研究の積み重ねが必要である。本研究では、二重偏波レーダーを用いた事例解析を進めることで、雨灰判別などの問題解決の糸口を見つけることを目指す。

#### （学術的背景・意義）

火山噴火の規模は、総噴出物量によって測られる。総噴出物量は、たいていの場合事後の現地調査によって明らかになるが、噴煙高度からおおよその噴火規模を見積もることが可能である。具体的には、噴出物量（率）は噴煙高度のおよそ4乗に比例することが理論（Morton et al. (1956)）及び実際のデータ（Mastin et al. (2009)）からも明らかになっている。しかし、この推定は大まかなものであり、噴出物量をより正確に推定するためには、噴煙内部に含まれる火山灰（礫）の量を直接的に推定する必要がある。噴煙内部の火山灰量を気象レーダーなどのリモートセンシングで推定する際には、大きく2つの問題がある。一つは粒径分布が分からないことと、もう一つ

は水物質の影響である。そのような問題を解決するために期待されている測器の一つが、二重偏波気象レーダーである。

二重偏波気象レーダーは、近年、気象学の分野において目覚ましい発展を遂げてきた。特に、降水量（強度）の高度な推定や、降水粒子判別の分野においては、実用化のフェーズに入りつつある。二重偏波レーダーを火山噴煙の観測に応用する試みは、2000年三宅島噴火の際に防災科学技術研究所によって行われた(Maki et al. (2001)、Maki and Doviak(2001)、真木・岩波 (2002))が、その後、約10年に渡って、そのような研究プロジェクトは存在しなかった。しかし、世界的には2010年のエイヤフイヤトラヨークトル火山噴火を機に、2011年頃からイタリアやアイスランドで火山噴煙を二重偏波レーダーで観測する取り組みが本格化している。日本では、2010年から国土交通省 X バンド MP レーダー網 (XRAIN・当時の略称) の整備が始まり、桜島局 (2011年～) などで噴火観測事例が蓄積されている。

国内では気象研究所の他に、京都大学防災研究所や鹿児島大学で気象レーダーによる火山噴煙の観測・解析が行われているが、コミュニティの規模が小さいため、十分な事例数の解析が行われているとは言えない。二重偏波レーダーデータによる解析事例を蓄積することで、噴煙内部のダイナミクス・素過程に関する理解を深めていく必要がある。

#### (気象業務での意義)

Mastin et al. (2009) の関係式は、気象庁の降灰予報及び航空路火山灰情報 (VAA) にも用いられている。本研究など、二重偏波レーダーによる火山噴煙による観測・解析が進めば、降灰予報や VAA の予測精度改善のための、基礎となるデータを得ることが出来る。

気象庁では、国内の主要空港に設置している DRAW の更新・二重偏波化を進めており、平成30年度までに羽田・成田・関西・那覇の各空港にある DRAW が二重偏波化している。また、全国の降水を監視している一般気象レーダー網については、今年度の東京レーダーを皮切りに、二重偏波化を進めていく計画である。近い将来、鹿児島 DRAW や種子島レーダーが二重偏波化した際に、本研究で培った知識や技術が地方での調査研究・技術開発にも役立つ。

雨灰判別に関しては、火山監視現業への直接的なメリットがある。本研究のような研究が進み、将来的に気象レーダーによる雨灰判別が可能になれば、現業における噴火 (噴煙) 監視の能力が格段に向上することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、地方 (現業) 官署における二重偏波気象レーダーを用いた噴煙解析技術の普及である。また、本研究を通じて、気象レーダーを用いた火山噴煙解析分野 (コミュニティ) の裾野拡大・職員のスキルアップも目指す。

## 3. 研究の目標

気象研究所 X バンド MP レーダー (MRI-XMP) や 2 次元ビデオディストロメーター

(2DVD)、国土交通省 XRAIN などの二重偏波レーダーで観測したデータを用いて、桜島などの噴火事例による事例解析を行い、噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違いについて、とりまとめる。

二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築し、その手順をマニュアル化する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 成果の概要

二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築し、その手順のマニュアル化を行った。解析環境の OS は centOS7 を、ソフトは気象研究所で開発されたレーダー解析ソフトウェア“Draft”を用いた。

二重偏波レーダーで観測したデータを用いて、桜島などの噴火事例による事例解析を行い、噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違いについて、とりまとめた。具体的には、晴れの日と曇りの日の噴火事例の事例解析を行った結果、晴れの日と曇りの日で、それぞれ降水エコーとは違う時間変化傾向がみられた。晴れの日と曇りの日では、噴火後時間が経つと反射強度 (Z) が弱く、反射因子差 (Zdr) が大きくなっていった。降水エコーであれば、弱い降水は Zdr がほぼ 0 になるため、それとは異なっていたことが分かる。この現象は、火山灰が空気抵抗を受けて横長の向きで落下していたために起きたと考えた。一方、曇りの日の事例では Zdr は最終的に 0 に近くなっていたが、偏波間相関係数 ( $\rho_{hv}$ ) が若干下がっていたことから、凝集が発生していた可能性があると考えた。 $\rho_{hv}$  は霧雨～弱雨で 1 に近くなることから、こちらも降水エコーとは特徴が異なる。

雨天時の事例についても解析を行い、噴火の発生に伴い、雨雲内部の噴煙に相当する部分の  $\rho_{hv}$  が下がっていたことが分かった。

これらの結果は、晴天時／雨天時の噴火検知に資する重要なデータである。

##### (2) 当初計画からの変更点 (研究手法の変更点等)

CentOS8 のサポート終了 (打ち切り) に対応するため、CentOS7 のインストール及び環境構築を行った。また、2年目に更新予定だったノート PC の調達が半導体不足の影響で遅れた。そのため、新しい PC での解析が最終年度 (3年目) に入ってからになってしまった。新しい PC については、引き続き、鹿児島地方気象台におけるデータの蓄積・解析に有効活用する予定である。

##### (3) 成果の他の研究への波及状況

本研究で選定した解析事例については、気象研究所経常研究「火山活動の監視・予測に関する研究」副課題 3 「火山噴出物の監視技術とデータ同化に基づく輸送予測」テーマ 1 においても、噴火現象の検知や噴煙に含まれる火山灰等の定量的推定手法の開発のための事例解析の対象とした。

##### (4) 事前・中間評価の結果の研究への反映状況

(中間評価を実施していないものは事前評価の結果の研究への反映状況)

- 雨と降灰の判別には別途検証が必要であり、二重偏波レーダーのデータで雨と降灰が混ざっている事例でどのように見えるかに集中した方が良い。

→本研究では、桜島上空に雨雲がかかっているときの噴火事例についても解析を行っており、(雨雲に比べて) 偏波間相関係数が下がっていることを確認した。

- 地方共同研究の研究分担者に作業を明示的に示しておく、効率的に進められるのではないかと。発見学習的な要素が強い研究の進め方となっているため、研究の進め方に注意が必要である。

→本地方共同研究は、主として2名の研究分担者(星原・久保)で進めたが、1名(星原)が主に環境構築・プログラム( $\rho_{hv}$ のSNR補正など)を、もう1名(久保)が事例解析・学会発表という形で、作業を分担して進めた。

- 本成果の活用先として、桜島以外の火山への適用も可能であることから、解析結果や解析ツールなどについて積極的にドキュメント化を行い、広く利用されることを目指してもらいたい。

→本研究の目標の一つでもある、二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築・手順のマニュアル化を行った。

- 二重偏波レーダーについての知見は防災科学技術研究所や土木研究所も有しているので、気象研究所担当者が知見を整理して地方官署担当者に共有して頂きたい。

→気象研究所担当者によるオンライン講習等を実施することで、知見を整理し、鹿児島地方気象台に共有した。

## (5) 今後の課題

本研究では主としてXバンドレーダーによる事例解析を行ったが、Cバンドレーダーである気象庁の一般気象レーダー(種子島レーダー)も二重偏波化された。また、今後、鹿児島空港 DRAW の二重偏波への更新も行われる。そのため、今後は気象庁一般気象レーダー・DRAWによる桜島噴火の解析事例も増やしていく必要がある。

## 5. 自己点検

### (1) 到達目標に対する達成度

本研究の到達目標である、噴煙/火山灰雲エコーと降水エコーの違いに関する取りまとめ及び二重偏波気象レーダーを用いた火山噴煙の解析環境を構築・手順のマニュアル化を達成した。それに加え、雨天時の噴火事例解析を行い、噴火検知に資する結果を得るなど、目標を上回る成果を上げた。

### (2) 到達目標の設定の妥当性

最終的には到達目標を上回る成果を上げることができたが、桜島の火山活動の状況次第では業務繁忙のため作業を進めることが出来なかった可能性があるため、到達目

標は妥当であったと考える。

### (3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

新型コロナウイルスの感染拡大の影響のため、研究代表者（佐藤）が鹿児島出張を控えていた時期があったが、オンラインによる講習やメール・Teams による打ち合わせなどを行うことで、効率的に研究を進めることが出来た。

### (4) 成果の施策への活用・学術的意義

今後、一般気象レーダーや DRAW の二重偏波化が進むにつれ、火山監視業務における二重偏波レーダーの重要性は増していくと考えられる。本研究ではそれに先駆けて、解析環境構築のマニュアル化・解析事例の蓄積を行った。これらは将来的に、二重偏波レーダーを使った火山活動の監視・評価の高度化に資すると考える。

学術的な観点からも、二重偏波レーダーを用いた火山噴煙（観測・）解析のプロジェクトは、世界的にもほとんどない。そのような状況の中で、本研究は研究コミュニティの拡大に寄与している。また、二重偏波レーダーという（火山監視としては）先駆的な観測機器のデータを利用し、噴煙内部のダイナミクス・素過程に関する理解を深めることが出来た。

### (5) 総合評価

本研究の到達目標である、噴煙／火山灰雲エコーと降水エコーの違いに関する取りまとめ及び解析環境構築手順のマニュアル化に加え、雨天時の噴火検知に資する結果を得るなど、目標を上回る成果を上げた。また、本研究の成果は、気象庁内の会議だけではなく、日本地球惑星科学連合大会（JpGU）や火山学会などの学会でも発表を行い、（主として火山研究の）専門家との議論も行うことも出来た。

## 6. 参考資料

### 6.1 研究成果リスト

#### (1) 査読論文

なし。

#### (2) 査読論文以外の著作物（翻訳、著書、解説）

なし。

#### (3) 学会等発表

##### ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等

なし。

・国内の会議・学会等

久保武史，星原一航，小枝智幸，中橋正樹，佐藤英一，二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究，鹿児島地方気象台 府県気象研究会，2022年11月，鹿児島県鹿児島市

久保武史，星原一航，小枝智幸，中橋正樹，佐藤英一，二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究，気象庁令和4年12月合同月検討会，2022年12月，オンライン

イ．ポスター発表

・国際的な会議・学会等

なし。

・国内の会議・学会等

星原一航，久保武史，小枝智幸，中橋正樹，佐藤英一，二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究（初期解析結果），日本地球惑星科学連合2022年大会，2022年6月，千葉県千葉市&オンライン

佐藤英一，二重偏波気象レーダーで観測した2021年阿蘇山噴火，日本地球惑星科学連合2022年大会，2022年6月，千葉県千葉市&オンライン

久保武史，星原一航，小枝智幸，中橋正樹，佐藤英一，二重偏波レーダーを用いた火山噴煙の解析的研究，日本火山学会2022年度秋季大会，2022年10月，オンライン

6.2 報道・記事

なし。

6.3 その他（4.（3）「成果の他の研究への波及状況」関連）

なし。