

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2008

課題番号：20710134

研究課題名（和文） 火山噴煙のPIV解析

研究課題名（英文） PIV analysis of volcanic ash clouds

研究代表者

石峯康浩（ISHIMINE YASUHIRO）

防災科学技術研究所・任期付研究員

研究者番号：40450259

研究成果の概要：画像解析技法の一つである Particle Image Velocimetry 法（以下、PIV 法）を火山噴煙の映像に適用した。特に、2006 年以降、噴火活動が活発になっている桜島火山の昭和火口で発生した噴火において、火山噴煙の速度を定量的かつ面的に抽出することに成功した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	1,900,000 円	570,000 円	2,470,000 円
年度			
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000 円	570,000 円	2,470,000 円

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、自然災害科学

キーワード：火山噴火、噴煙

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 2000 年に火山噴火が発生した伊豆諸島の三宅島では、火砕流の発生を伴う「噴煙柱崩壊」という現象が 2000 年 8 月 29 日に発生した。噴煙柱崩壊は、過去に世界各地で大規模な災害を引き起こしている危険な現象であり、三宅島でも全島民避難のきっかけとなった。そのため、噴煙柱崩壊の発生メカニズムを解明することは防災上、極めて重要である。

(2) 噴煙や火砕流などの火山噴火に伴う地

表面現象は、定量的な観測を行う技術の開発が進んでないため、火山災害発生時の状況把握が十分にできない恐れが高い。そのような現状を打破するため、コンピュータ技術の発達に伴って進展した画像解析技術を火山観測に適用する技術の確立が急務である。

## 2. 研究の目的

(1) 流れ場の計測手法として発展著しい PIV 法を利用して、噴煙の速度を求める技術を確

立することが、本研究の主要な目的である。そのため、いくつかの活火山において実際に観測を行い、効率的に定量的なデータを取得するための観測手法を構築することを目指している。

(2) 研究代表者が 2006 年に提案した「噴煙柱崩壊」に関する理論予測の妥当性を、実現象における観測データを利用して検討することも本研究の重要な課題である。特に、三宅島の 2000 年噴火の際に得られた映像を解析し、噴煙柱が崩壊した条件を可能な限り定量的に特定することも目的の一つとしている。

### 3. 研究の方法

(1) 実際に噴火している火山から噴出する火山噴煙をビデオカメラで撮影し、その映像に PIV 法を適用する。この作業を通して、フレームレートや解像度など PIV 法に適した撮影条件の検討を行う。その上で、噴煙の移動速度を面的に同定する効率的なノウハウを蓄積する。

(2) 画像解析の結果得られた噴煙の速度から、火口直上における噴煙の上昇速度の高さ変化を見積もり、噴煙柱が崩壊して火砕流を発生させる条件を求める基礎データとする。このデータを利用して、研究代表者が提唱している噴煙柱の崩壊条件に関する理論予測が、実現象を表現する適切な指標となっているかの検証を行う。

### 4. 研究成果

研究課題の申請時には、三宅島の 2000 年噴火当時に、三宅島に留まっていた一般住民によって撮影され、研究代表者が提供を受けた噴煙の映像を中心に解析を進める予定だったが、下の 2 つの理由により、実際の作業は、鹿児島県の桜島火山で撮影された噴煙映

像の解析を中心に進めた。

対象火山を変更した一つ目の理由は、三宅島で撮影された映像は、一般住民が家庭用ビデオカメラを手持ちして撮影しているため、画像のぶれが大きく、PIV 解析には不向きであることが分かったからである。もう一つの理由は、2006 年以降、噴火活動が活発になっている桜島火山の昭和火口は、山体斜面に位置しているため、山頂火口よりも噴煙形成直後の運動が観察しやすく、噴煙の映像取得に好都合であると考えられたからである。また、2008 年 2 月には、本研究課題がメカニズムの解明を目標に掲げていた「噴煙柱崩壊」が小規模ながら発生した点も大きな要因として挙げられる。このときの噴火では、火砕流が山麓に向かって約 1.5 キロ流れ下り、地域住民への影響が懸念された。このため、防災的な観点から、同火口での活動の検討が急務であると判断して、桜島を主要な検討対象とすることにした。

桜島に関しては、昭和火口から発生する噴煙を撮影することを目指して、本研究課題以外の経費による出張を含め、平成 20 年度内に計 4 回、桜島火山を訪問し、撮影の機会を探った。しかし、残念ながら訪問中には噴火が発生せず、本研究課題で購入した撮影システムでは噴煙を記録することができなかった。

そこで、京都大学防災研究所火山活動研究センターが日本放送協会と共同で撮影した噴煙映像を同研究所から提供していただき、その映像に PIV 解析を適用することを試みた。この映像は、昭和火口から約 4 キロの黒神観測点 (図 1) において、2006 年 6 月以降、24 時間体制で高感度カメラにて常時撮影されているものである。解像度は 640×480 画素、フレームレートは 30fps である。

本来の PIV 法は、異なる時刻に撮影した画

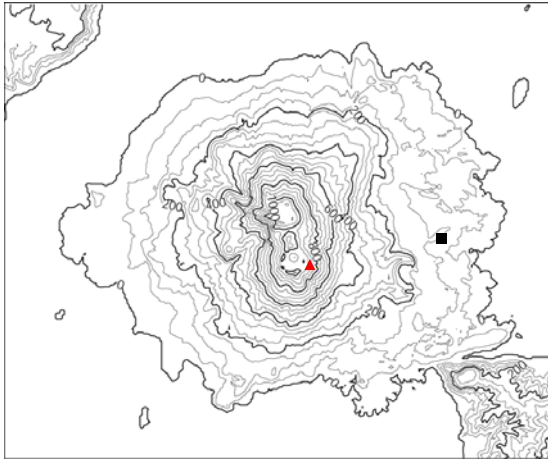


図1. 桜島火山・昭和火口（赤三角）と黒神観測点（黒四角）の位置。

像における相関から、流体の流れに追従して運動する粒子の移動量を同定し、流れそのものの速度を求める流速測定法である。しかし、火山噴煙の場合、実験室で行う流体解析とは異なり、流れの中に可視化用の粒子を流し込むことができない。そのため、本研究では、粒子の代わりに乱流渦の濃淡をトレーサーとする逐次棄却法（加賀・他、1994）を適用して、噴煙の移動速度の抽出を試みた。解析には、ライブラリー社製の商用ソフト「FlowPIV」を利用した。

ここでは、定量的な速度抽出に成功した2007年5月24日午前10時19分に発生した噴煙の映像（図2）を例に、解析手順を説明する。元映像では、R（赤）、G（緑）、B（青）それぞれの輝度値を持つカラー画像であったため、それをまず、256階調のグレースケールに変換した。このままの映像にPIV解析を試みると図3のように、噴煙の部分では、速度が特定できない領域が多くなってしまった。その反面、大きな速度での移動がないと予想される噴煙の背景部分で、画像ムラによって生じる高い相関部分を不適切に抽出して得られる、一般に過誤ベクトルと呼ばれ



図2. 2007年5月24日午前10時19分に昭和火口で発生した噴煙の映像の一コマ。

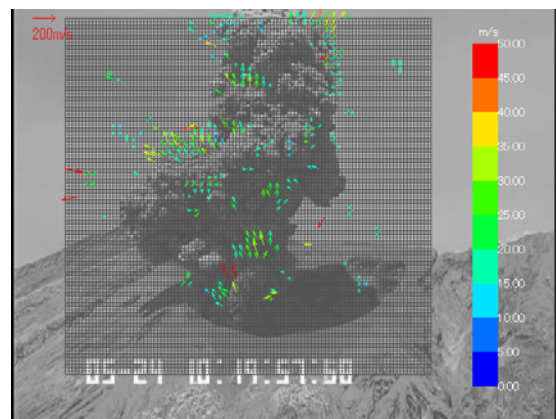


図3. 図2の画像を用いて直接PIV解析を行った結果。過誤ベクトルが多く含まれるなど不適切な結果しか得られない。

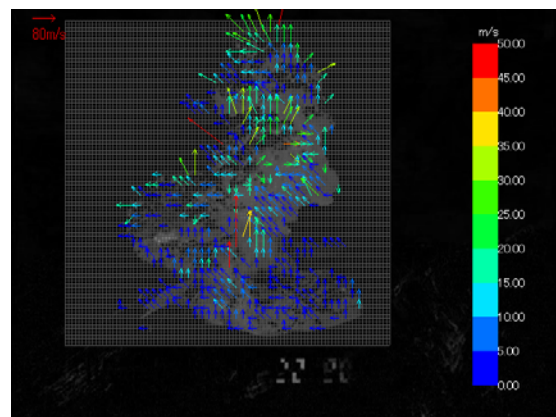


図4. 図2の画像に差分処理を行った後にPIV解析を行った結果。良好な結果が得られている。

る解析上のエラーを多く含む結果となった。そこで、グレースケールに変換した各フレームの画像を、さらに、噴煙発生直前の画像と

差分を取り、その連続画像に対して、PIV 解析を行った。その結果、**図 4**のように信頼できる速度分布を得ることに成功した。ここで示した 2007 年 5 月 24 日午前 10 時 19 分の噴火の例では、噴火開始後 5 秒間の火口直上における最高速度の平均値は約 83 m/s だった。この速度は、同じ 5 秒間での噴煙最高点の平均上昇速度（約 31 m/s）の約 2.7 倍だった。このように、噴煙の噴出速度と最高点の上昇速度を同時に特定することが可能になったことは、大きな成果であると思われる。

このような結果は、他の噴火についても、乱流渦の濃淡が明瞭な、天気の良い日中に撮影した噴煙映像では、同様の信頼できる速度分布を得ることができた。しかしながら、夜間や明け方など、十分な明るさが得られない場合や、曇りがちで視界が不明瞭な場合などでは、良好な結果が得られなかったため、今後、さらなる手法の改良が必要な状況である。

また、三宅島の噴煙映像に関しては、指紋認証などのパターンマッチングの技術を応用して位置合わせを行うことで、PIV 解析に適した画像データを作成することができないか、長崎大学の濱田剛氏らと予備的な検討を行った。この点については、GPU(グラフィックス・プロセッシング・ユニット)を利用して、Phase Correlation Function を用いた画像処理を高速に行うことで、大量の映像データを実用的なレベルで処理できる可能性について有用な示唆を得ることができた。

以上のような本研究課題における解析を通じて、PIV 解析によって噴煙のダイナミクスを解明できる可能性について、非常に良好な見通しを得ることができた。特に、桜島火山など頻繁に噴火を繰り返す火山において、PIV 解析を前提として映像取得を行っていけば、噴煙運動の一般的な特性を特定でき

るだけの十分なデータが蓄積できるものと期待できる。今後は、噴煙運動の詳細をさらに明らかにしていくために、PIV 解析によって得られた結果を、一次元モデルや数値シミュレーションの結果と比較しながら、噴煙柱の崩壊条件に関する理論モデルの妥当性を検討していく必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

石峯康浩、瀧本浩史、神田学、木下紀正、横尾亮彦、井口正人、桜島火山で発生する噴煙の予察的PIV解析、京都大学防災研究所研究発表講演会 (2009)

松尾堅太郎、三好正之、石峯康浩、濱田剛、GPU を用いたPhase Correlation Functionの高速化とPIV 解析への応用、第14回計算工学講演会 (2009)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石峯康浩 (ISHIMINE YASUHIRO)

防災科学技術研究所・任期付研究員

研究者番号：40450259