

画像を利用した桜島噴火の自動検知手法の開発

地震火山地域防災センター 中谷 剛

1. はじめに

桜島は日本で最も活発な活動をしている火山の一つで、2019年には393回（気象庁）の噴火と爆発があった。このうち噴煙高度が3000mを超えるケースが18回であった。また桜島の10km西には、60万人都市の鹿児島市の中心部が位置しており、都市圏に近い火山でもある。

最近の大噴火は1914年で死傷者も出ている。現在、当時に匹敵するマグマ量の蓄積が観測されており、近い将来に大噴火が起きる可能性があるという警鐘が鳴らされている。また、中規模な噴火であっても、都市圏に近い火山であることから、観光、農業、漁業、一般的な生活・健康への被害等、経済的損失は地域の発展の妨げともなる。

桜島噴火を監視するために国や県だけでなく、民間企業も多数の監視カメラを設置している。しかし、噴火の判断は目視に頼らざるを得ないため、火山防災システムとしての利用は限定的となっている。そこで、監視画像を利用した噴火の自動検知手法を開発した。人に頼らず監視映像から自動で噴火の瞬間を捉えることができると、既に整備されている注意喚起システムや警報システムと連動した火山防災のシステム化が可能となり、防災の高度化に貢献することができる。

2. 画像による噴火の検知

(1) 画像による監視の課題

火山噴火に関する監視情報としては、以下のようなものがある。

- 地震情報
一定レベル以上の振幅を持つ地震波形を観測する。火山の活動状況の判断材料として利用。
- 空振情報
噴火による空気の振動を空振計（マイクロフォンの一種。耳に聞こえない低音も観測できる）によって観測する。火山の活動状況の判断材料として利用。
- 傾斜計
マグマの活動等に伴い火山体の傾斜が変化することを傾斜計で観測する（地殻変動観測）。噴火の前兆等の火山活動の推移を予想する。
- 監視カメラ画像情報
火山の活動状況を画像・高感度または熱赤外面像等として記録する。長時間の録画が可能。
- 土砂移動検知情報
ワイヤセンサ、振動センサ、音響センサ等により、火山堆積物の土砂移動を検知する。
- その他
火山ガスや気象条件等

これらの火山監視情報の中で、監視カメラ画像情報以外は、観測センサからの出力によってその後の情報処理の自動化が可能であるが、監視カメラの画像利用では目視等の人の判断を要する。

(2) 混合ガウス分布による動体検知

画像を利用する検知手法の最も一般的な方法は、画像の「背景差分」を利用する方法である。この方法は、予め背景として対象とする現象前（例えば噴火前）の状況を画像として準備し、現象が起きた後（噴火後）の画像との差分から相違点を求めることで、対象とする現象を捉えようとする方

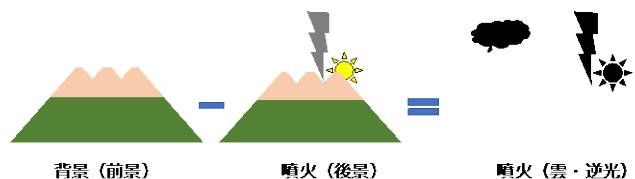


図1 背景差分の概要

法である。

この方法は、室内の環境変化が少ないか、制御可能な空間での現象を対象とする場合はある程度適用できる。一方、火山噴火のような自然環境の中で起こる現象を対象とする場合は、雲や太陽の逆光、雨等の天候による自然変化が背景画像に大きく影響するので不向きである。

この欠点を改善する方法として、直前の画像を背景差分として置き換えていく方法、差分後の画像から速度ベクトルを求めることで背景と対象とする現象を分離する方法等が提案されているが、防災を目的とする野外監視の場合は、自然条件も厳しくカメラの振動や画質劣化など背景画像に依らない影響も大きく実用化を妨げている。

本研究では、最近特に技術が進んできた混合ガウス分布による「動体検知」手法を応用する。火山噴火に限らず土石流や地滑り等の現象は、静止状態から動的状態へ突発的に変化する現象といえるので、動体検知手法が適用できる。この手法は、画像の入力毎に混合ガウス分布モデルを用いて背景モデルを構築できるため、背景画像を準備しなくても良いというメリットがあり、リアルタイム処理に向いている。

(3) 画像を用いた検知実験

動体検知手法の適用性を確認するため、国交省よりご提供頂いた噴火画像を用いた検知実験を行った。噴火画像は、噴火の直前から約2分間の動画ファイルで、10地点(内2地点は赤外画像)、23の異なる時間帯の230ケースとなっている。検知実験に用いた動画の諸元を表1に示す。また、表2には検知実験の結果を示す。監視カメラの機器によって著しく画像の悪いものを除いた202ケースの内、約90%のケースで画像による噴火の検知ができた。検知不可のケースは、目視によっても噴火を確認できないものも多数含まれていた。図2に、画像による検知事例を示す。

表1 動画の諸元

監視カメラ地点(10地点)	観測期間2013年	画像ファイル数	観測時間	画像ファイル数
海潟	5月	10	6-12時	80
黒神川1号ダム上流右岸	6月	20	12-18時	120
黒神川1号ダム上流左岸	7月	50	18時以降	30
黒神川右岸導流堤	8月	30		
重富	9月	50		
早崎	10月	60		
浮津	11月	10		
野尻川砂防センター				
黒神川(赤外)				
早崎(赤外)				

表2 画像による検知

画像ファイル総数	230	46ファイルが、赤外画像ファイル
有効画像ファイル数	202	14ファイルが、カメラ機器による画像の乱れ、振動、録画ミス等 14ファイルが、夜間撮影、雲によって目視でも確認できない
検知画像ファイル数	181	21ファイルは、コントラスト不足、雲による部分的な遮蔽、低い画質等により目視でも確認が難しいものが含まれている



図2 画像による検知事例(左:可視画像、中央:赤外画像、右:噴石検知事例)
(緑線は噴火として判断された画像の輪郭を示している)

3. 噴火の自動検知手法

動体検知の手順を図3に示す。図4にはそれぞれの処理事例を画像で示す。動体検知によって画像による噴火の検知は確認できた。しかし、このままでは噴火の判断は目視に寄らなくてはならない。そこで、動体検知画素数に着目して、噴火の自動判定基準を検討する。

図3 画像による動体検知のフローチャート

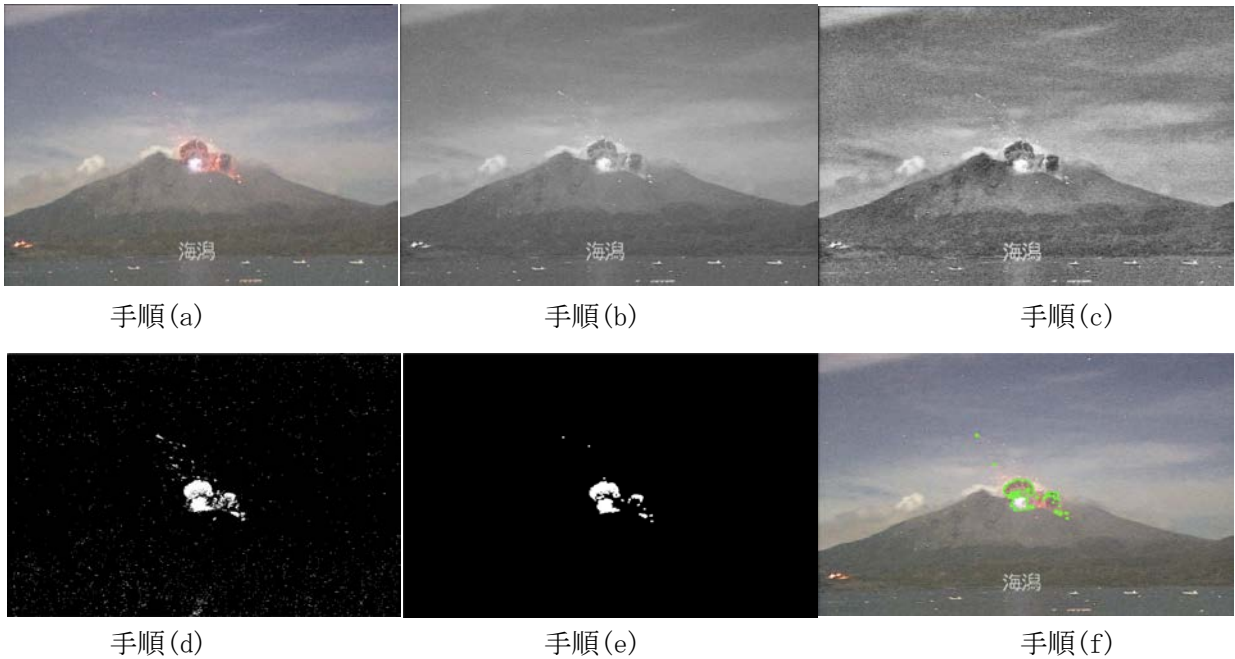
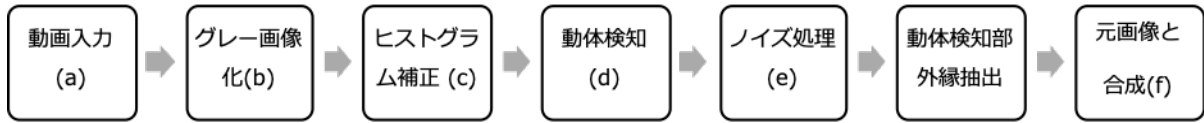


図4 動体検知処理による画像

図5に、検知画像（処理手順(e)）を用いて、動体として検知された画素数（動体画素数）の時間変化を示した。図中の矢印で示す時刻に動体画素数が急増していることがわかる。この時刻は噴火の発生時刻と一致している。したがって、動体画素数が急増する点を判定することで、噴火の自動検知が可能となる。

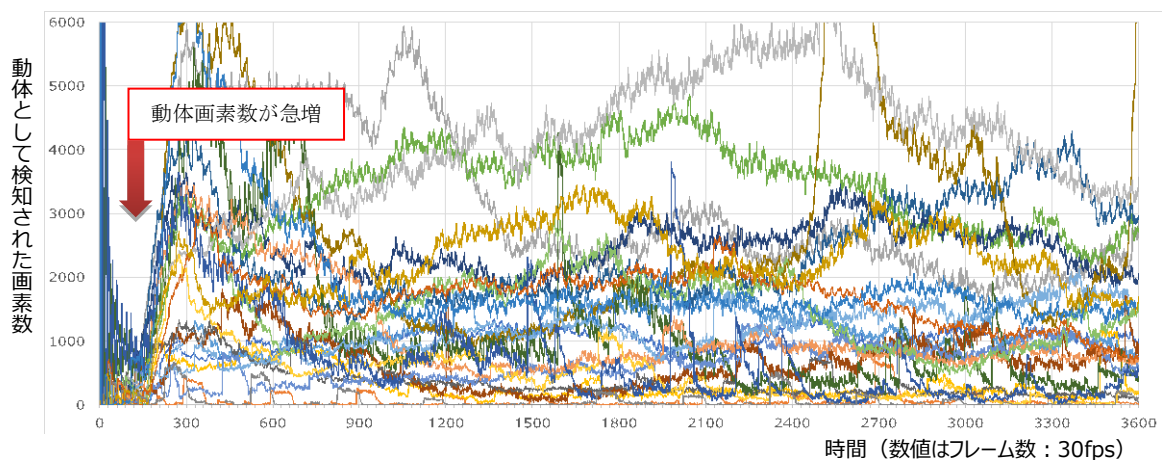


図5 動体（噴火）として検知された画素数の変事例（手順(e)の画像）

噴火の自動検知の判定は、時刻 t での動体検知画素数を $P_x(t)$ 、噴火前の一定時間内で想定さ

れる動体検知画素数の最大値を $P_{max}(t-1)$ とすると、次のように決定できる (図 6)。

$$P_x(t)/P_{max}(t-1) > \alpha \quad (\alpha \cong 1.0) \quad (\text{eq. 1 噴火の判定基準})$$

画像を用いた噴火検知実験の全ての動体画素数の時間変化から、噴火前画像には一定数のノイズによる動体検知画素が含まれていることがわかった。この噴火前ノイズには、噴火とは関係のない動体検知 (例えば雲や雲影、虫や鳥等の飛行体、船舶や車両、夜間照明等) によるものと、監視カメラ機器によるノイズや振動等から構成されていることがわかった (図 7)。そこで、噴火前の動体検知画素数の想定される最大値を以下のように定義する。

$$P_{max}(t-1) = \text{ave}P_x(t-1) + 3\sigma(t-1) + N \quad (\text{eq. 2})$$

ここに、 $\text{ave}P_x(t-1)$ は一定時間前の動体検知画素数の平均値、 $\sigma(t-1)$ は平均値周りの画素数の標準偏差、 N は監視カメラの機器によるノイズ (画素数) である。

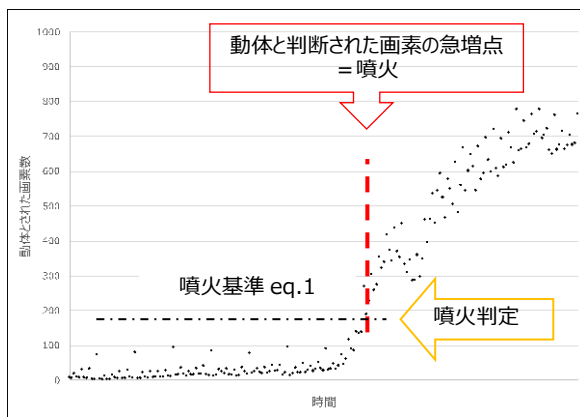


図 6 噴火の検知基準の概要

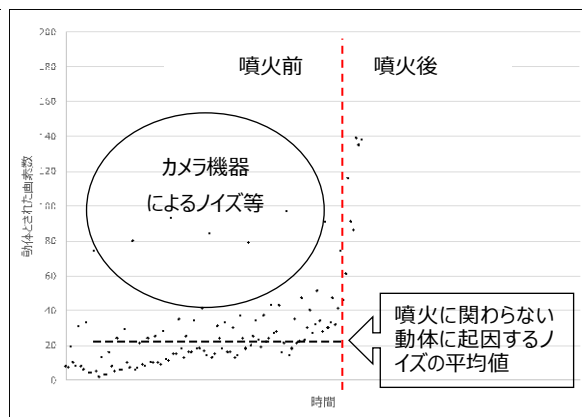


図 7 検知基準の構成

eq. 1 と eq. 2 の判定基準による噴火の自動検知手順を図 8 に、また噴火の自動検知事例を図 9 に示す。図 9 の事例では、30fps の画像入力に対して 1 秒間前までの $\text{ave}P_x(t-1)$ を、1 フレーム毎 (1/30sec) に更新した。また $N=100$ とした。噴火を検知したら、画像に「Eruption」と表示させた。図中の緑線は噴火として判断された画像の輪郭を示している。噴火の瞬間に検知ができていくことがわかる。

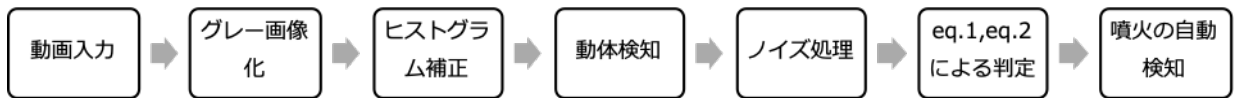


図 8 噴火の自動検知のフローチャート



図 9 噴火の自動検知事例 (N=100)

4. 土石流発生の自動検知への応用

動体検知手法は突発的な現象への応用が可能であると考えられるため、土石流の自動検知への応用について検討した。今回開発した自動検知手法の特徴の一つは、画像全体に対してだけでなく、動体検知の妨げとなる部分を除いた特定の領域を指定して解析できることにある。最も対象領域を狭くすることで、ライン状の領域を検知対象とすることもできる。

1999年9月11日に雲仙赤松谷川で発生した土石流画像（鹿児島大学・地頭菌先生より提供）による自動検知実験を行った。解析対象は画像中央1/3領域とした。図10にその結果を示す。図中（右）の緑線は土石流として判断された画像の輪郭を示している。土石流画像による検知ができることがわかる。図11には動体検知画素数の時間変化を、画面全体を検知対象とした場合（図中の青色）と中央領域とした場合（図中の茶色）の比較で示す。入力画像には、動体検知には不利な霧や降雨が映っているが、対象領域を狭めることでノイズを低減し、自動検知を行い易くする効果があることがわかる。



図10 土石流の画像による検知事例（左：検知範囲（緑枠）、中央：入力画像、右：検知事例）

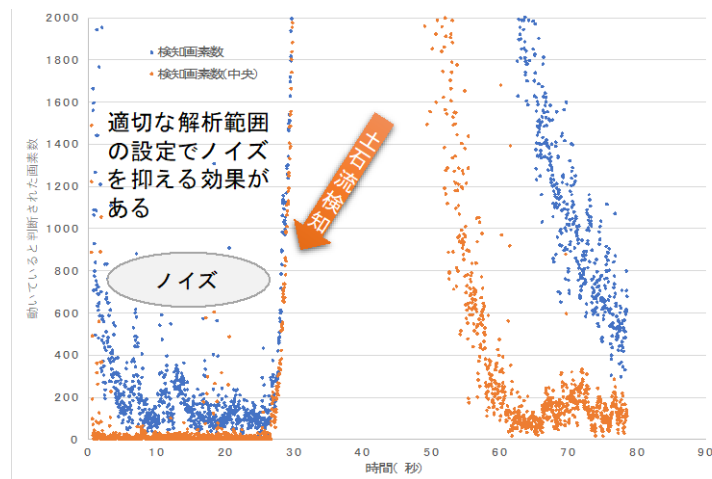


図11 適切な検知領域によるノイズ低減効果（青：画面全体、茶：画面中央1/3）

5. おわりに

大規模噴火時の危機管理は重要であるが、火山には観光資源としての側面もある。また防災意識を高めるためには、手軽な防災システムも必要になる。そこで自動検知ソフトを組み込んだ簡易な自動検知カメラを試作した（図12）。この自動検知カメラは安価で製作できるので、個人利用、小さなコミュニティでの利用、観光施設での利用等も期待ができる。

今後は、自動検知カメラの検知情報をトリガーに、メールやLINE、スマートプラグやスマートスピーカーといったソーシャルメディアを活用した情報提供システムについても検討を行う。



図12 自動検知カメラ（試作品）