

CCTVカメラによる噴火位置の推定

久須美 晨夫¹

¹中部地方整備局 富士砂防事務所 調査課 (〒418-0004 静岡県富士宮市三園平1100)

火山噴火時に砂防部局では、土砂災害防止法に基づく緊急調査や火山噴火緊急減災対策砂防計画に基づき緊急対策を実施する。これらの火山砂防対策を実施する上で、噴火位置をいち早く推定することは、ハード・ソフト対策の両面で重要な要素となる。富士山周辺に設置されたCCTVカメラの画像と地図データ（位置情報を持つラスター）、地形データ（DEM・DSM）を用いて、配信されている映像から3次元座標を推定する手法について報告を行う。

キーワード 火山砂防, 緊急減災, CCTV, 富士山

1. はじめに

(1) 富士山火山噴火の特徴

富士山は、フィリピン海プレート、北米プレート、ユーラシアプレートが接する地域に位置する玄武岩質の成層火山である。1707年の宝永噴火から300年以上噴火していないが、過去5600年間で約180回の噴火があり、概ね30年に1回の頻度で噴火している。噴火の規模は小規模（噴出量2000万m³DRE以下）から大規模（噴出量2億m³DRE以上）まで発生しており、発生現象も噴石、溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流、降灰後土石流と多様である。また、想定火口範囲が広大であり、噴火の予測が困難である。

(2) 富士山噴火への対応と支援

富士山周辺の3県27市町村は火山災害警戒地域に定められており、活動火山対策特別措置法に基づき、関係県、市町村、砂防部局、火山専門家等が一体となり、専門的知見を取り入れながら対策を検討するための火山防災協議会の設置が義務づけられている。火山災害の発生に備え、協議会では、噴火警戒レベルの設定、これに沿った避難体制の構築等、一連の警戒避難体制を協議する。

火山噴火時、砂防部局は緊急ハード対策、緊急ソフト対策の組み合わせで対応する。緊急ハード対策としては、除石、ブロック堰堤工の設置等、緊急ソフト対策としては、土砂災害防止法に基づく緊急調査の実施及び県・市町村への土砂災害緊急情報の提供等がある。

(3) リアルタイムハザードマップ

リアルタイムハザードマップ（以下RTHMという）とは、緊急減災対策時における緊急ハード・ソフト対策を検討するために、想定火口位置や地形を踏まえた噴火に起因する土砂移動の影響範囲を示すもので、事前に様々な条件でシミュレーションを行い、噴火時にシミュレーション

の与条件に最も近いものを抽出する「プレアナリシス型」と火山活動の発生時にその火口位置や地形変化等に応じて、新たな被害想定範囲を迅速に地図上に示す「リアルタイムアナリシス型」がある。（図-1）

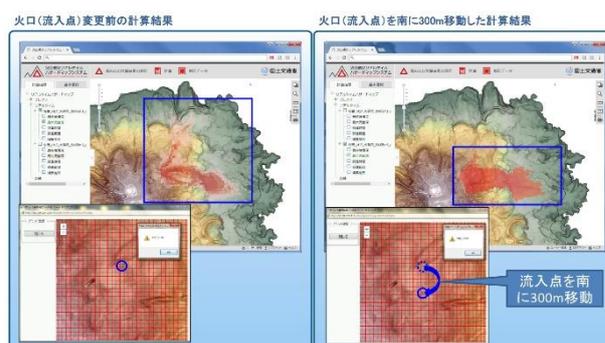


図-1 リアルタイムハザードマップ計算結果の例
(令和6年5月27日 九州地方整備局説明資料より引用)

RTHMは緊急ハード対策・ソフト対策の検討や、地方自治体の避難指示、警戒避難体制を検討するために資する情報であり、早期の情報提供が必要である。しかしながら、RTHM作成の入力条件の一つである「火口位置」をはじめとした火山噴火情報の収集・発表は気象庁が担っており、また、提供される情報についても、緯度・経度等の位置情報が付与されたものではない。そのため、噴火後に迅速にRTHMを提供できるようにするための、国土交通省のCCTVカメラの活用について検討を行った。

(4) CCTVカメラの活用検討

富士山周辺に設置されている富士砂防事務所が管理するCCTVカメラで撮影されたカメラ画像と地図、地形データ（DEM・DSM）を用いて、配信されている映像から3次元座標を推定する手法について検討し、精度検証を行った。カメラ画像から3次元座標を取得するため、カメラの位置（緯度・経度・標高）、撮影方向（方位角・仰俯

角・回転角), 画角(縦横ピクセルサイズ・視野角)を調整し, カメラ画像と3次元モデルが重なるデータを作成した(カメラ標定). このデータを用いることで, カメラ画像上で火口位置と思われる箇所を選択すると, 平面図上での火口位置情報を得ることができる. なお, 前述したように火山噴火情報の発表は気象庁が行うものであり, 推定する火口位置情報はあくまでRTHMを提供するための参考情報という位置づけである.

2. 火口位置の推定方法

(1) 使用するCCTVカメラ及び地図データ・地形データ

本検討では, 精度検証位置(火口位置)を宝永山とし, 富士砂防事務所が管理するCCTVカメラのうち, 宝永山が確認できる4台(太郎坊, 勢子辻, 富士宮市役所, 富士市役所)を対象とした(図-2). カメラ画像は, JPEG形式で, 可視画像は1360×765ピクセル, 熱画像は1280×720ピクセルの解像度である. 地図データ・地形データは, 想定火口範囲すべてが含まれている平成31年度の航空レーザ測量成果を用いて作成した.



図-2 対象としたCCTVカメラの位置とカメラ画像例

(2) 火口位置の推定手法

カメラ画像を用いた火口位置の推定は, 次項に示す3つの手法により算出した.

a) 手法1 1台のCCTVカメラによる火口位置の推定

1台のCCTVカメラによる火口位置の推定は, 3次元モデルから位置推定する手法とした. この手法は, 画像がどの位置からどのような向きで撮影されたかという情報(カメラ標定情報)をもとにカメラ画像と3次元モデルを重ね合わせ, 3次元座標を算出する(図-3).

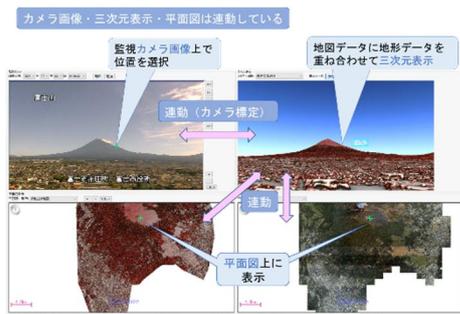


図-3 手法1による位置推定のイメージ

b) 手法2 2台のCCTVカメラによる火口位置の推定

2台のCCTVカメラによる火口位置の推定は, 前方交会法によって3次元座標を取得する方法とした. 前方交会法は, 対象物座標を求めるため, 2箇所以上の場所から対象物への方位角を計測し, その交点から座標を求める手法である. 計測で使用する2つのカメラの位置関係は, カメラの視線が直交するような組み合わせが最適であり, カメラ同士が近い場合や, 正対するような位置関係は適さない(図-4).



図-4 手法2による座標推定のイメージ

c) 手法3 3台以上のCCTVカメラによる火口位置の推定

3台以上のCCTVカメラによる火口位置の推定は, 視体積交差法によって3次元座標を取得する手法を採用する. この手法は, 複数地点から撮影された物体のシルエットを使用し, 各視点を頂点, シルエットを断面とする錐体の共通部分を求めることによって3次元形状を復元する方法である(図-5).

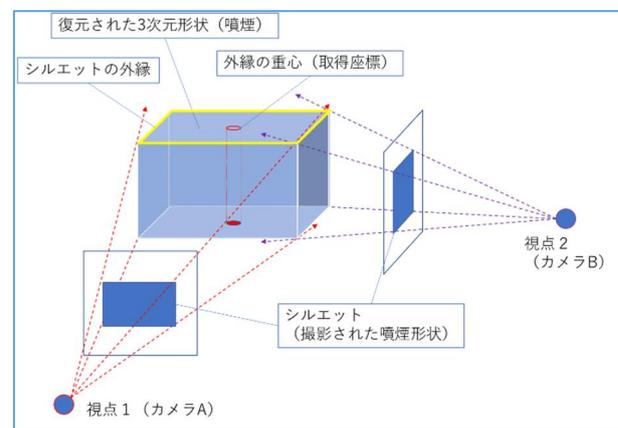


図-5 視体積交差法のイメージ

本検討では, カメラ位置を各視点, 噴煙形状をシルエットとし, 推定されたシルエットの外縁の重心を火口位置の座標として抽出する. そのため, 本手法は, 植生や噴煙で火口が直接確認できないときにも用いることができる.

3. 精度検証結果

3つの手法を用いて算出した3次元位置の座標と精度検証位置における航空レーザ測定の座標値とを比較し, 較

差を確認した。検証位置の選択は、カメラ標定した3次元画像とカメラ画像を見比べ手動で行った。精度検証位置とカメラ位置との距離は、太郎坊：約4 km、勢子辻：約11 km、富士宮市役所：約18 km、富士市役所：約21 kmである。

表-1～表-3に検証結果を示す。

表-1 手法1での精度検証結果

No.	CCTVカメラ	誤差 (m)
1	太郎坊	49.8
2	勢子辻	39.3
3	勢子辻 (熱画像)	144.4
4	富士宮市役所	192.6
5	富士市役所	179.2

表-2 手法2での精度検証結果

No.	CCTVカメラ組み合わせ	カメラ位置関係	誤差 (m)
1	勢子辻・富士宮市役所	直交	8.3
2	勢子辻・富士市役所	近接	89.2
3	勢子辻・太郎坊	直交	39.6
4	太郎坊・富士宮市役所	直交	32.5
5	太郎坊・富士市役所	直交	51.7
6	富士宮市役所・富士市役所	近接	207.3

表-3 手法3での精度検証結果

No.	CCTVカメラ組み合わせ	誤差 (m)
1	太郎坊・富士宮市役所 ・富士市役所・勢子辻	88.4

4. 考察

(1) 手法1について

手法1での誤差の幅は、39.3～192.6 mとなった。そのうち、精度検証位置とカメラの位置の距離が比較的近いカメラの誤差は39.3 m (勢子辻)、49.8 m (太郎坊)、比較的遠いカメラの誤差は179.2 m (富士市役所)、192.6 m (富士宮市役所) であり、検証位置までの距離が長くなると精度が下がっている。これは、距離が遠くなるほどカメラ画像から検証位置を選択することが難しくなるためと考える。本検証では、一定画角のカメラから検証位置を選択している。そのため、距離が遠くなるほどカメラ画像内の検証位置が小さくなり、手動での選択にずれが生じやすくなる。勢子辻 (熱画像) についても、検証位置の選択の難しさから同一地点の可視画像よりも精度が低くなったと考える。

(2) 手法2について

手法2での誤差の幅は、8.3～207.3 mとなった。2. (2) b)で述べたように、前方交合法はカメラの組み合わせにより計測精度に差が出る。「勢子辻・富士市役所」と「富士宮市役所・富士市役所」の組み合わせは、カメラの位置が近接しており、前方交合法に適しておらず、差

が大きくなったと考える。前述の2つの組み合わせを除いた組み合わせでは、誤差が8.3～51.7 mとなる。

(3) 手法3について

手法3での誤差は、88.4 mであった。視体積交差法は、設定したシルエットを基とするため、手法1、2と比較すると誤差が大きくなると考える。

(4) まとめ

精度検証の結果、手法1において遠い位置のカメラを用いた場合の結果及び手法2において2つのカメラが近接する場合といった前方交合法が適さない組み合わせの結果を除くと、誤差は8.3～88.4 mであり、各手法により推定した火口位置の誤差に大きな差はない。各手法の最適結果から、火口位置がカメラ画像から確認できるかつ距離が近い場合は手法1、火口位置がカメラ画像から確認できるかつ前方交合法が適するカメラ位置関係の場合は手法2、火口位置がカメラ画像から確認できない場合は手法3による推定が適していると考えられる。

また、実際の利用場面を想定した場合、富士山におけるRTHMの計算メッシュは20 mであり、本検討での精度では数メッシュのずれである。火口位置を推定した結果一番近い計算開始地点のプレアナリシス型RTHMの画像を抽出することになるが、今回の検証精度で抽出は可能であると考えられる。

5. おわりに

富士砂防事務所におけるCCTVカメラを用いた火口位置の推定については、一定の精度で行えることが検証の結果わかった。しかしながら、今回の検証では、数十mオーダーの誤差が生じており、「リアルタイムアナリシス型」の計算を実施する場合は、計算開始地点が前述したように数メッシュずれ、計算結果が変わる可能性がある。誤差の原因の一つにカメラ画像の解像度がある。今回使用したカメラ画像は圧縮されたものであり、1ピクセルあたり約12.5 mの精度であった。そのため、カメラ標定作業や手動での検証位置の選択に影響したと考える。本検討では、日常的に保存している圧縮した画像を用いて検証を行ったが、設定を変更すれば高解像度での保存も可能であるため、今後は高解像度画像での検証も行う必要がある。高解像度画像は容量が大きく、保存できる期間に限られるという課題があるため、運用の際はその対応策も検討が必要である。

謝辞：本論文を作成するにあたり、アジア航測株式会社の協力をいただいた。感謝申し上げます。