

降灰後の土石流危険溪流の上流域における 火山灰の堆積厚の推定

藤村直樹・山本 望・水野正樹

1. はじめに

火山が噴火して、斜面に火山灰が堆積すると浸透能が低下し小さな雨でも土石流が発生すると考えられる¹⁾。このため、噴火後、土石流の危険性が高まった土石流危険溪流を抽出し対策を行うためには、火山灰の分布を推定する必要がある。

土石流危険溪流内の火山灰の堆積厚の分布の推定には、上流域の堆積厚の把握が重要となるが、2014年の御嶽山噴火時（写真-1）のように火口周辺4km以内の火口付近の範囲に入山規制がかけられる場合には、直接計測による火山灰の堆積厚の情報は得ることができない。

そこで、降灰した土石流危険溪流の上流域における火山灰の堆積厚の推定を目的として、鹿児島県の桜島を事例として、複数時期のLiDAR(Light Detection And Ranging)データ(航空レーザ測量で計測された数値標高データ)に基づき、火口付近の火山灰の堆積厚の分布を調査した²⁾。調査結果をもとに、火口付近の火山灰の堆積厚の分布を簡便に数式で表すことで、火口から離れた地点で計測した火山灰堆積厚から火口付近の堆積厚を推定する手法を検討したので報告する。

2. 火山灰の堆積厚の調査方法

図-1に、桜島における火山灰の堆積厚の分布の調査と、調査結果に基づく土石流危険溪流の上流



写真-1 2014年9月27日の御嶽山の噴火
(中部地方整備局提供)

域となる火口付近の火山灰の堆積厚の推定方法の検討フローを示す。

桜島における火山灰の堆積状況を明らかにするため、桜島の複数時期のLiDARデータにより、それぞれの計測期間ごとの標高の差分を求めることにより火山灰の堆積厚の面的な分布を把握した。桜島では、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所により、2010年から概ね1年ごとに桜島の航空レーザ測量が実施され、山体周辺のLiDARデータが得られている。本報告では、2016年までに計測されたLiDARデータを用いて、2時期の標高の差分を求め、これらの差分による標高の変化が火山灰の堆積厚と扱うことができるか、気象庁が観測する桜島の噴火状況³⁾との比較により評価した。さらに、測線を複数設定し、火山灰の堆積が顕著な範囲において、火口からの距離と火山灰の堆積厚の関係を分析した。また、この関係を用いて、火口付近の火山灰の堆積厚の推定する方法を検討した。なお、航空レーザ測量の計測期間における桜島の噴火回数は図-2のとおりで、噴火のほとんどは昭和火口から発生している。

3. 火山灰の分布

3.1 桜島の各年の標高変化

図-3は、2011年9月と2012年9月に計測されたLiDARデータの差分による桜島の昭和火口周辺の標高変化である。この事例では、昭和火口の

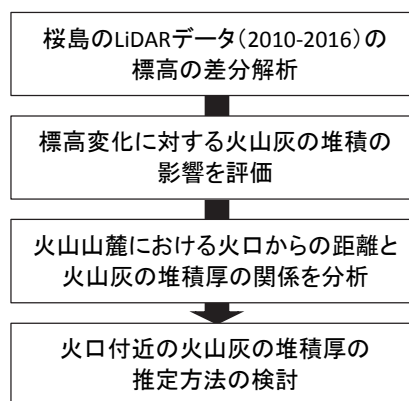


図-1 調査及び検討フロー

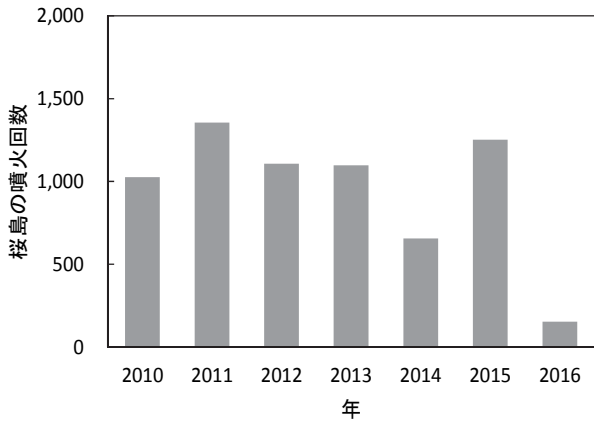


図-2 桜島の年間噴火回数

東側に4m以上標高が変化している範囲が確認できる。このような顕著な標高の変化は、2010年～2016年の航空レーザ測量の計測期間において、図-2に示す噴火回数が極端に少ない2016年以外は、概ね同様に昭和火口の東側で認められた。

図-4は、昭和火口の東側の傾斜量を示し、標高の変化が顕著に見られる範囲は起伏の少ない平坦な斜面となっている。これは、火山灰の堆積の影響が考えられ、図-3の標高の変化が火山灰によるものと示唆している。なお、昭和火口の西側の火口内でみられる8m以上の変化量の範囲は、噴火の少ない2016年には僅かな範囲しか認められないことから、同様に火山灰の堆積と考えられる。

次に、計測期間毎に昭和火口の中心から200mの範囲から、50mごとの標高変化を方向1～4ごとに算出しそれらを平均した値を、火山灰の噴出が多いと想定される爆発的噴火回数と比較した(図-5)。2011年9月から2012年8月にかけての爆発的噴火回数は調査期間中で最も多く、標高の変化は4～6mと最も大きい。一方、爆発的噴火回数が低減している2013年12月から2014年10月、2015年11月から2016年10月では、標高の変化はいずれの地点においても2m以下と低減している。このように、桜島山体の東側で確認された標高の変化は、火山灰の堆積に寄与する噴火回数と同様の挙動を示すことから、噴火で生じた火山の堆積によるものと推定される。

3.2 火口からの距離と火山灰の堆積厚

図-6は、火口からの距離と火山灰の堆積厚の関係を分析した9測線を示す。測線はいずれも桜島の南北方向の横断線よりも東側に分布している自動降灰・降雨量計の設置位置を通過するように設定した。今回行った解析では、降雨時の表面流の流出に寄与

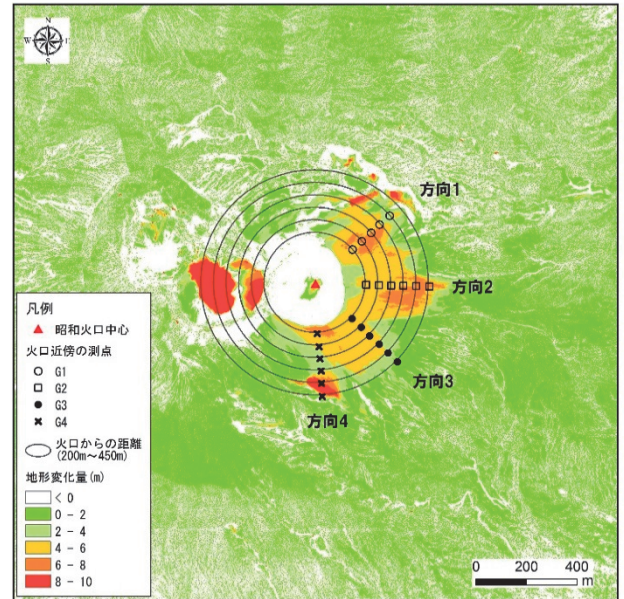


図-3 桜島の火山灰の変化 (2011年～2012年)

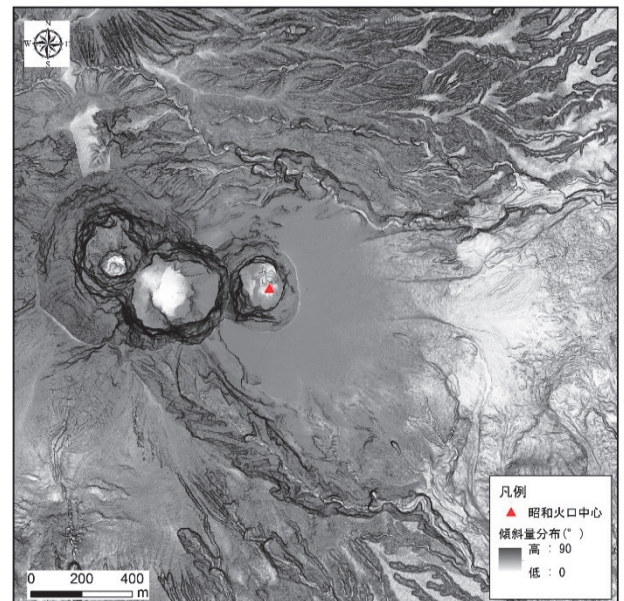


図-4 桜島の傾斜量図 (2012年)

する火口縁より外側にあたる範囲の火山灰の堆積厚の分析を行うものとし、昭和火口からの距離200m以上離れた範囲のLiDARデータによる火山灰堆積厚のデータを採用した。また、斜面の微地形に起因すると考えられる堆積厚の値のばらつきを低減させるため50mの区間ごとに平均値を求め、火口からの距離と火山灰の堆積厚の関係を分析した。

図-7は、分析例として2011年から2012年にかけて堆積した火山灰の堆積厚と火口からの距離を示す。火山灰の堆積厚は、火口に近づくほど急激に厚くなり、火口からの距離とべき乗の関係で近似することができる。同様に、2010年～2016年の計測時期ごとの各測線の火口からの距離と火山

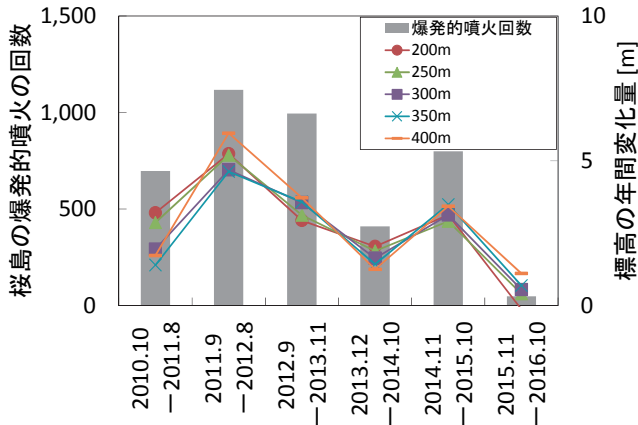


図-5 LiDARデータの計測期間ごとの爆発的噴火回数と標高変化

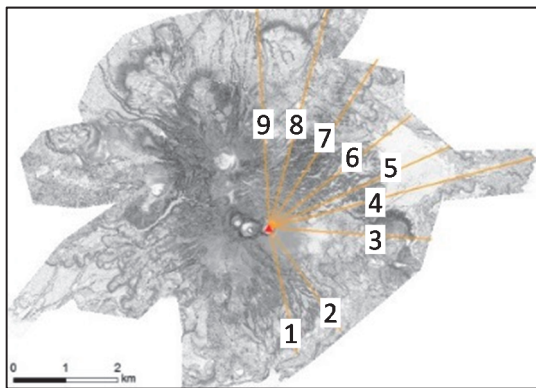


図-6 火山灰の堆積厚を分析した測線

灰の堆積厚は、火山灰の堆積が特に顕著な測線2と測線3において、べき乗の関係で近似でき、決定係数(R^2)は0.72~0.89であった。

4. 火山灰の堆積分布に関する考察

既往の噴火事例において、火山灰の噴出量の推定のため、火山灰の堆積厚と火口からの距離の関係を分析した事例が報告されている。たとえば、メキシコのエルチヨン火山とポポカテペトル火山において、火口から数kmから最大600km程度の範囲の現地観測データにより、火山灰層厚と火口からの距離の関係性が指数近似法とべき乗近似法で検討されている⁴⁾。この報告では、より火口に近い調査地点においては、べき乗近似の方が指数近似より良い相関が得られている。また、桜島では、火口から3~50kmの降下火砕物の厚さと火口からの距離との関係がべき乗近似できることが報告されている⁵⁾。

今回LiDARデータにより分析を行った5km以内の火山灰の堆積厚においても、火口との距離の間にべき乗の関係が成り立つことが示されたことから、火口付近の火山灰の堆積厚の推定に式(1)

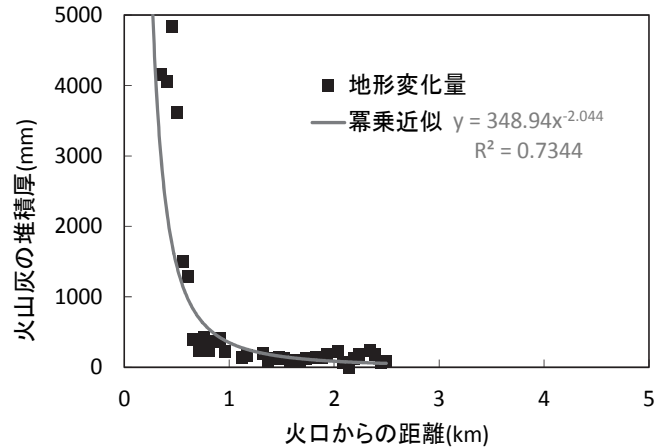


図-7 火口からの距離と火山灰の堆積厚の関係 (桜島2011年~2012年)

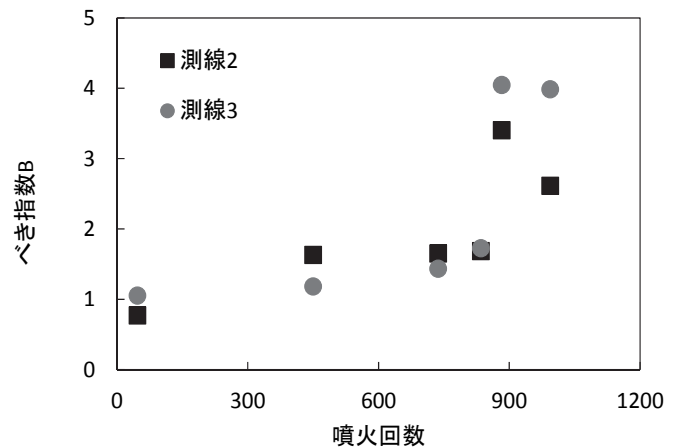


図-8 噴火回数と火山灰の堆積厚に対する火口からの距離のべき乗近似におけるべき指数 (桜島)

が適用できるものと考えられる。

$$T(x) = T_0 \cdot x^{-B} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $T(x)$: 火口から x km離れた地点における火山灰の堆積厚、 T_0 : 係数、 x : 火口からの距離、 B : べき指数

5. 火口付近の火山灰の堆積厚さの推定方法

火口付近においても火山灰の堆積厚は、火口からの距離とべき乗の関係で近似できることを示したが、この関係を用いて火山灰の堆積厚を推定するためには、係数 T_0 とべき乗のべき指数 B が得られている必要がある。

ここで、噴火時に行われる火山灰の堆積厚調査により、火口から a km離れた地点の堆積厚 $T(a)$ (mm) が得られている場合は、式(1)により a kmの観測点の堆積厚の関係は、式(2)で表される。

$$T(a) = T_0 \cdot a^{-B} \quad \text{式(2)}$$

この関係から、係数 T_0 は式(3)のように表すことができる。

$$T_0 = \frac{T(a)}{a^{-B}} \quad \text{式(3)}$$

したがって、係数 T_0 は、噴火に応じて設定することが可能となる。

べき指数 B は、今回LiDARデータにより分析を行った桜島の事例においては、火山灰の堆積が顕著であった測線2と測線3で図-8に示すように1~4程度の値を示した。桜島の調査期間においては噴火回数が少ないほど、べき指数は小さい値を示しており、今回の調査で得られたべき指数の値から噴火の回数に応じた火山灰の火口付近の分布を予測することができる。既往の噴火により、べき指数の傾向が得られている場合は、これらの値を参考にべき指数を設定することで、式(4)によって任意の火口からの距離の地点の火山灰の堆積厚の推定ができる。

$$T(x) = \frac{T(a)}{a^{-B}} \cdot x^{-B} \quad \text{式(4)}$$

6. まとめ

本報告では、火山の噴火により降灰した土石流危険渓流の火山灰の堆積状況を把握するため、火山灰の堆積厚と火口からの距離の関係を示した。桜島での分析からは、火口からの距離と火山灰の堆積厚が火口に近い5km以内の範囲においてもべき乗の関係で近似できることが示された。今後、他の火山で噴火が生じた場合においても、この関係を用いることで、降灰した土石流危険渓流の上流の火山灰の堆積厚さが推定できる可能性が考えられる。火口付近の火山灰の堆積厚を火口からの距離によるべき乗の関係で表した場合の係数は、

火口から離れた1地点の情報から求めることができる。べき指数は、桜島のLiDARデータによる分析例では、噴火回数に応じ1~4程度の値を示しており、他の火山噴火時においては、噴火の継続性を考慮したうえで参考とすることが考えられる。今後、既往の噴火事例における火山灰の堆積厚と火口からの距離の関係について分析を行い、噴火様式や規模に応じた火山灰の堆積の傾向を明らかにする予定である。また、国内の火山では、LiDARデータの整備が進んでいる。今後、噴火が生じた場合には、噴火前後のLiDARデータによる分析を行うとともに、本報告で行った調査方法の適用範囲を明らかにする必要がある。

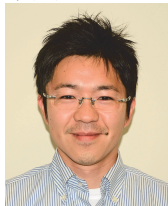
謝 辞

本研究にあたり、LiDARデータをご提供頂いた国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所にて深謝する。

参考文献

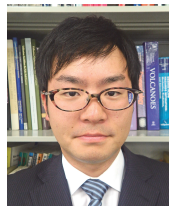
- 1) 地頭菌 隆、下川悦郎：火山灰に覆われた桜島山腹斜面における表面流出、砂防学会誌(新砂防)、Vol.42、No.3、pp.18~23、1989
- 2) 藤村直樹、水野正樹、寶杰、西井洋史、瀬戸秀治、ワンチャオウエン：降灰厚さと火口からの距離の関係について-桜島の事例-、平成30年度砂防学会研究発表会概要集、pp.781~782、2018
- 3) 気象庁：火山活動解説資料（桜島）
http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_vact_doc/monthly_vact_vol.php?id=506
- 4) A. O. Gonzalez-Mellado, S. De la Cruz-Reyna: A simple semi-empirical approach to model thickness of ash-deposits for different eruption scenarios, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, pp.2241-2257, 2010
- 5) 江頭庸夫、石原和弘：火山灰の降下堆積状態に対する上層風の影響、第16回自然災害科学総和シンポジウム講演論文集、pp.77~86、1979

藤村直樹



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員
Naoki FUJIMURA

山本 望



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員
Nozomi YAMAMOTO

水野正樹



土木研究所土砂管理研究グループ 上席研究員(特命)、博士(学術)
Dr. Masaki MIZUNO