

XRAIN を活用した桜島の降灰および土石流発生監視について

国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所 大坂 剛※ 野田信幸 野村英伸
 一般財団法人日本気象協会 内田良始 ○寺谷拓治
 (※現 復興庁)

1. はじめに

桜島では平成 21 年より噴火活動が活発化し、平成 22 年～平成 24 年は毎年 1000 回を上回る噴火が記録されている。噴火回数の増加に伴い桜島の各河川流域における土石流発生回数の増加や降灰による社会活動への影響（例えば鉄道運行等）が発生している。

このような背景の下、大隅河川国道事務所では垂水国道維持出張所に配備された X バンド MP レーダ（以下、『XRAIN』と呼ぶ）の高度利活用をめざし、XRAIN による降灰監視の定量化および土石流発生監視手法の検討を行っている。

平成 25 年度には、降灰および土石流発生監視に係る基本的な検討結果を報告した⁽¹⁾⁽²⁾が、本発表会では昨年度に引き続き行った解析結果を報告する。

2. 工学的手法による降灰観測の定量化検討

2.1 Z-A 関係式の算定

気象レーダではレーダ機材固有の定数である雨量算定定数 (B、β) を用いて、以下の式により雨量とレーダ反射因子を関連付けている (Z-R 関係式)。

$$Z=B \cdot R^\beta \quad \dots (1)$$

Z: レーダ反射因子(mm⁶/m³)

R: 雨量強度(mm/h)

今、(1)式の R(mm/h)を降灰量 A(kg/m³)と置き換え

$$Z=B \cdot A^\beta \quad \dots (2)$$

とし(2)を Z-A 関係式と呼ぶこととする。

(2)式より

$$\log_{10} Z = \beta \cdot \log_{10} A + \log_{10} B \quad \dots (3)$$

となり、降灰量とレーダ反射因子の関係が縦軸を Z、横軸を A とした対数グラフ上の回帰直線の傾き β、切片 B により関連付けられる。

図 1 に地上で測定した降灰量 A(kg/m³)と一定時間積算した反射因子(mm⁶/m³)の関係を示した。用いた地上降灰量の測定手法、積算期間等は表 1 に示した通りである。

表 1 地上降灰量の測定手法と積算時間

測定手法	積算時間
ドラム缶式降灰量計	1 か月、10 日、1 日
自動降灰量計	1 日、12 時間
電子天秤	60 分

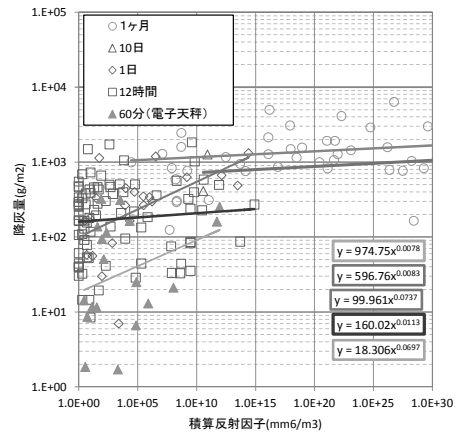


図-1 積算時間別の Z-A 関係式

図 1 より積算時間が長時間化するほど回帰直線の傾きが緩やかで、バラツキが少なくなることがわかる。積算時間の長短により両者の関係に明確な差異が見られることより、積算時間別に Z-A 関係式 (B、β) を使い分ける必要性が示唆されている。今後、短時間で比較的多量の降灰を観測することができれば現実的に実用性の高い「積算時間が短い領域」での高精度化が可能であると思われる。

2.2 降灰の粒径分布の算定

レーダ反射因子は対象物の粒径および個数に比例するため、粒径分布が異なれば降灰量換算値も異なる。そこで本調査で収集した地上降灰量試料をもとに、火山灰の粒径分布を算出した。粒径分布算出には粒径毎の落下速度が必要となるため、既存の理論式⁽³⁾を用いて落下速度を算出し、図 3 に算定した火山灰粒径分布を示した。

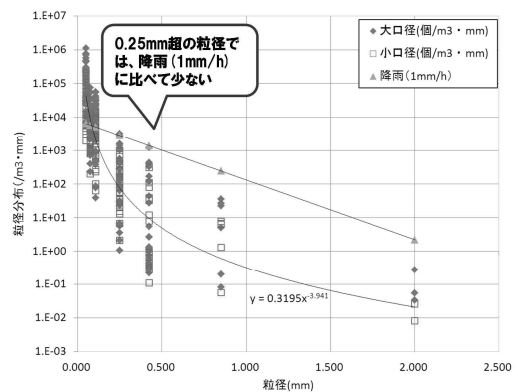


図 3 収集した火山灰から算出した粒径分布

2.3 降灰の観測限界

図3より、桜島の火山灰の粒径分布を雨滴の粒径分布と比較すると、0.25mm以上の粒径では100~1000分の1程度と非常に少ない一方で、0.1mm以下の粒径は雨滴に比較すると多くなっている。このことより降灰観測時のレーダ反射因子は降雨観測時より非常に小さくなると考えられる。図4に粒径分布を考慮した粒径毎のレーダ反射因子を示した。粒径0.475mmの降雨と降灰を比較すると、降灰観測時の反射因子が降雨観測時の100分の1程度となっている。これを反射強度に換算すると20dB程度小さな値となる。これは雨量強度0.1mm/h以上に相当する降灰であればエコーとして観測可能であることを示している。

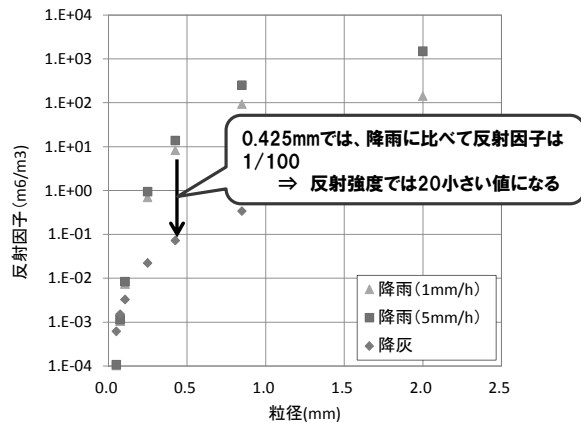


図4 粒径分布を考慮した粒径毎の反射因子

3. XRAINによる土石流発生監視

3.1 XRAINによる土石流警戒避難基準雨量

平成25年度の本発表会において、桜島の立ち入り禁止区域内（火口より半径2km圏内）でXRAINより算出される「流域最大メッシュ10分間雨量」が土石流の発生監視に有効であることを示した。本調査では平成25年の土石流発生事例を追加して同様の検討を行い、各河川における土石流警戒避難基準雨量を表2に示す通り設定した。

表2 桜島の各河川における土石流警戒避難基準雨量

河川	野尻川	有村川	持木川	黒神川	第一古里川	第二古里川	春松川
流域最大メッシュ10分間雨量	7mm	8mm	7mm	8mm	8mm	8mm	8mm

注：第一、二古里川および春松川は土石流発生事例が少ないため参考値

3.2 土石流捕捉率の既存基準との比較

現在、大隅河川国道事務所では平成16年度に策定された警戒避難基準雨量（CL）が土石流監視の基準雨量として運用されている。この基準と本調査で設定した土石流警戒避難基準雨量による土石流の捕捉率を比較検討した。検討に当たり、捕捉率は以下の式により定義した。

$$\text{捕捉率(\%)} = \frac{\text{基準超過後に発生した土石流}}{\text{対象期間中に発生した土石流}} \times 100$$

表3に既存基準（H16基準）とXRAINを用いた基準（H25基準）による土石流捕捉率をとりまとめた。

表3 土石流捕捉率

溪流名	土石流発生回数	土石流捕捉回数		捕捉率	
		H16基準	H25基準	H16基準	H25基準
野尻川	31	5	28	16.1	90.3
春松川	2	0	2	0.0	100.0
持木川	18	3	15	16.7	83.3
第二古里川	6	0	4	0.0	66.7
第一古里川	6	1	5	16.7	83.3
有村川	14	10	14	71.4	100.0
黒神川	10	9	10	90.0	100.0
合計/平均	87	28	78	32.2	89.7

H25基準では第二古里川で捕捉率が66.7%であるが、その他の溪流では8割以上の捕捉率となっており、平均で約9割の土石流捕捉率となっている。また、全ての溪流でH16基準を上回る捕捉率であった。各溪流の土石流発生域である源頭部付近は立ち入り禁止区域に指定されており、地上雨量が観測できない。そのようなエリアの雨量をXRAINによって観測することが土石流発生監視に有効であることが示された。

4. おわりに

XRAINによる降灰監視の定量化、高精度化を目的として工学的手法によるZ-A関係式の検討等を行った。検討の結果、積算時間別のZ-A関係式の特徴や粒径別観測特性等が示された。

また、桜島の立ち入り禁止区域内におけるXRAIN観測値を用いて土石流警戒避難基準雨量の検討を行った。検討の結果、約90%程度の捕捉率で土石流発生を監視可能であることが示めされた。

今後、Z-A関係式高精度化のためには、比較的規模の大きな噴火事例を蓄積が必要である。

また、土石流警戒避難基準雨量は、降雨規模、雨域移動速度などにより見逃しとなる事例が見受けられたため、見逃し発生時の降雨状況の詳細な解析が必要である。

5. 文献

- (1) 大坂ほか：桜島における土石流発生監視に対するXバンドMPレーダの有効性について、平成25年度砂防学会研究発表会概要集A, pp. A-21~22, 2013
- (2) 大坂ほか：XバンドMPレーダによる桜島の降灰監視高度化について、平成25年度砂防学会研究発表会概要集A, pp. B-134~135, 2013
- (3) Suzuki, T.: A theoretical model for dispersion of tephra Shimozuru, D. and Yokoyama, I. (eds.) Arc Volcanism : Physics and Tectonics : 95-116, Terra Scientific Publishing, 1983