

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

国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所 大坂 剛 高橋英一 野村英伸
 独立行政法人土木研究所 山越隆雄
 一般財団法人日本気象協会 内田良始 桃谷辰也 寺谷拓治 ○辻本浩史

1. はじめに

大隅河川国道事務所管内では、桜島の土石流対策等を目的として、XバンドMPレーダが平成23年7月より試験運用されている。一方、鹿児島地方気象台の観測によると桜島では平成22年に1026回、平成23年に1355回、平成24年に1107回と噴火活動が活発化しており、今後、大規模噴火の発生が懸念されている。降灰量が土石流発生に及ぼす影響はこれまでも報告されており^{たとえ1)}、山腹斜面や溪床への火山灰堆積状況を把握することは土石流対策にとって重要である。しかし桜島の山頂周辺半径2kmは立入禁止区域に指定されており、直接的な測定は実施できない。XバンドMPレーダにより降灰量あるいは降灰分布が把握可能となれば、大量降灰時における緊急的な土石流対策や、改正土砂法に基づく緊急調査の範囲を確定するための基礎資料となることが期待される。

このような背景の下、XバンドMPレーダ観測値を降灰の定量的・面的な監視に活用するために、レーダ観測値(dBZ)と地上で測定した降灰量(kg/m²)を対比させ、XバンドMPレーダの降灰観測特性を検討した。

2. レーダ観測の概要

XバンドMPレーダは桜島の南東約10kmに位置する垂水国道維持出張所敷地内に設置されている。観測は図1および表1に示した通り $\theta_0 \sim \theta_{11}$ の12仰角を5分間で一巡するようにスケジュールされている。ただし、 θ_0 および θ_1 の2仰角については毎分交互に観測されるように仰角の観測順が工夫されている。図1から読み取れるように、桜島上空は θ_{11} (20.0°)により海拔4800m程度の高度まで観測が可能となっている。また、山体に遮蔽されず桜島全域が観測可能となるのは θ_1 (6°)よりも大きな観測仰角である。従って桜島全域の観測は2分に1回の頻度で実施されていることになる。 θ_1 は桜島上空では海拔約1500mの高度を観測しており、標高が1117m(北岳)であることを勘案すると、桜島上空の地抜約400mの高度を観測していることになる。

本調査で使用したXバンドMPレーダ観測値は、山体による遮蔽の影響を受けずに桜島全域が観測可能となる仰角のうち観測高度が最も低く、観測頻度が最も高い θ_1 (6°)による観測値である。

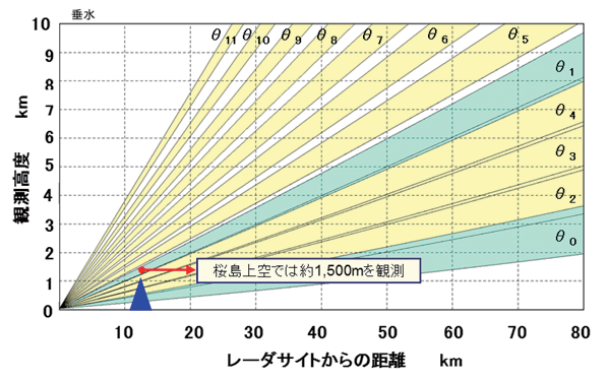


図-1 桜島におけるXバンドMPレーダの観測仰角

表-1 桜島におけるXバンドMPレーダの観測仰角

仰角名	θ_0	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}	θ_{11}
角度(°)	1.7	6.0	2.7	3.8	4.9	7.5	9.2	11.0	12.9	14.9	17.3	20.0

3. 地上降灰量調査

本調査ではXバンドMPレーダ観測値との対比を行うために、簡易トラップおよび電子天秤による地上降灰量測定を実施した。また、(独)土木研究所が実施している自動降灰量計による降灰量観測値および全島18箇所に設置されている大隅河川国道事務所による1か月単位の降灰量測定値も使用した。

表2に本調査で使用した降灰量測定値の測定手法等を示した。

表-2 検討に使用した降灰量測定手法

測定方法	測定(出力)間隔	捕灰面積	備考
簡易トラップ	約24時間	56cm ²	口径 8.5cm
電子天秤	10分	588cm ²	矩形 21cm×28cm
自動降灰量計	1分	314cm ²	口径 20cm
ドラム缶捕捉	1か月	2462cm ²	口径 56cm

表2に示した手法のうち電子天秤および自動降灰量計による測定は、10分以下の短時間間隔で捕灰量がサンプリングされる連続測定方式であり、降灰量の時系列変化が確認可能である。一方、簡易トラップおよびドラム缶捕捉は、一定期間の降灰を雨水とともに捕捉し乾燥重量を測定する方式である。

4. レーダ観測値と地上降灰量観測値の対比

4.1 地上降灰量と積算強度の関係

表2に示した各測定方法のうち、自動降灰量計による測定値を除く測定結果と、各測定方法の測定期間におけるレーダ観測値の積算値を作成し、図2の散布図に示した。ここでレーダ観測値は、地上降灰量測定地点直上メッシュ(250m×250m)を中心とする9メッシュの平均値を採用した。

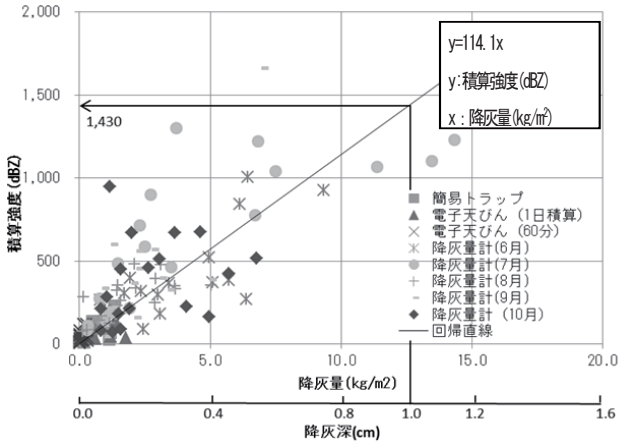


図2 地上降灰量(kg/m²)と積算強度(dBZ)の関係

図2より、地上降灰量と降灰量測定期間の積算強度の間には、ばらつきはあるものの正の相関が見られることがわかった。図2にプロットした地上降灰量測定値は、測定手法や測定期間が異なるものを一括して取り扱っている。それらの差異による測定結果への影響を検討することによってばらつきが小さくなり、両者の関係をより明確化できる可能性がある。また、火山灰の密度を1300kg/m³と仮定すると²⁾土砂災害防止法で定められた緊急調査の要件である「降灰深1cm」は、レーダ観測値の積算強度では1430dBZに相当することがわかる。

4.2 時系列変化の対比

図3に平成25年2月11日の18時～22時のレーダ反射強度および降灰量の時系列変化を示した。降灰量時系列変化は、有村川流域において自動降灰量計によって測定された値と、図2の散布図から求めた回帰式を用いて積算強度から推定した値を示した。

期間中に桜島は19時5分(噴火1)、20時14分(噴火2)の2回噴火している。図3をみると自動降灰量計による測定値は噴火1の直後から緩やかに上昇し始めている。一方、XバンドMPレーダでは噴火1に伴う反射強度は検出されておらず、噴火2の直後から反射強度が検知され(図3中の棒グラフ)、推定降灰量も増加している。噴火1はXバンドMPレーダでは未検知であるものの、2種類の降灰量時系列変化は同様な挙動を示している。従って降灰期間中の積算強度から、降灰量を定量的に監視することが可能であることが示唆されたと言える。

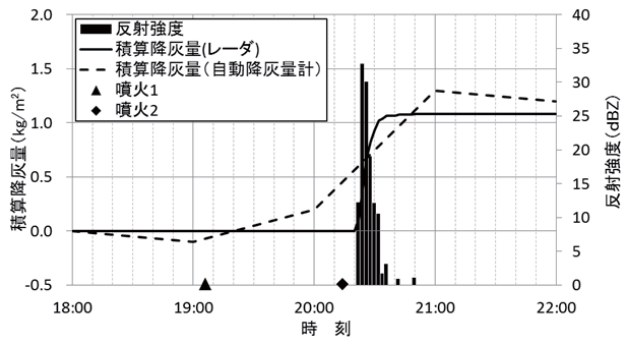


図3 降灰量観測値等の時系列変化

なお、気象庁の「桜島噴火観測表」によると、噴火1、噴火2の特徴は表3に示す通りであった。

表3 2月11日の噴火の特徴

噴火	種別	噴火				火口
		色	量	高さ	流行	
噴火1	爆発的	灰白色	中量	1600m	SE	昭和火口
噴火2	爆発的	灰白色	やや多量	2000m	SE	昭和火口

表3によると噴火1と噴火2の差異は噴煙の量および高さであり、いずれの点でも噴火2の方が規模の大きな噴火であったことが示されている。XバンドMPレーダによる定量的な監視の対象となる降灰は、一定規模以上の噴火に伴う降灰である必要がある(例えばレーダ観測高度以上でなければ検知できない)、図3および表3に示された結果はこれと整合している。

5. まとめと課題

XバンドMPレーダ観測値(dBZ)と地上降灰量(kg/m²)の間に、正の相関があることが明らかとなった。両者の関係から降灰量の時系列変化を推定して自動降灰量計測定結果と比較したところその挙動は類似しており、XバンドMPレーダによる降灰監視の実現性が示唆された。

従ってXバンドMPレーダ観測値を活用した降灰監視システムを構築、試行し、その活用性を検討すべきである。

一方、降灰監視高度化のためには、地上降灰量測定手法の差異が測定結果に及ぼす影響を明らかにしたうえで図2の関係(推定式)を高度化する必要がある。また、島外で緊急調査要件を満たすほどの大規模噴火が発生した際のXバンドMPレーダ適用限界(電波消散など)および対応策の検討が必要である。

参考文献

- 1) 國友ほか：土砂災害緊急情報における「時期情報」の精度向上に関する一提案～降灰等の堆積に起因する土石流の発生危険度評価～、砂防学会誌 Vol. 65, No. 6, pp. 3-11、2013
- 2) 春山 元寿ほか：桜島火山灰砂の物理的諸性質、鹿児島大学農学部演習林報告 5、pp. 65-92、1977