

自動降灰量計の開発について

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC TEPHROMETER FOR MONITORING OF VOLCANO

田島 靖久 *・小原 大輔 **・福田 謙太郎 **・下村 幸男 **

Yasuhisa TAJIMA, Daisuke OHARA, Kentarou FUKUDA and Sachio SHIMOMURA

Large quantities of volcanic ash can cause serious problems to health, houses, traffic, agriculture and human life. Thick ash deposits may generate lahar or mud flows during rains. Hence, we developed the automatic ash or pyroclastic fall monitoring tools for volcanic eruption. The first meter was heavy drum type equipment but it took a long time for installation by many workers. Because of the need for mobile and light type equipment, we developed a new unit in 2008. The equipment structure is the same as the drum type; however, only a load cell under the bucket is used. This type can be carried by a few workers and installed in a half day. The measurement precision of this type is $\pm 1\text{mm}$.

Keywords : *Tephrometer, Automatic Tephra and Rain Gauge, Automatic measurement for weight and thickness of volcanic ashfall, Automatic measurement for rainfall, Monitoring tool for volcanic eruption*

1. はじめに

火山噴火の中で火砕噴火と呼ばれる種類の噴火では、噴火口から噴煙が上昇し、火山灰、礫、軽石、スコリアと呼ばれる火砕物が噴煙から落下し、降灰、礫（以下、降灰と総称）として地上に降り注ぐ。降灰は、噴火後から始まり、噴火が治まるとともに終息する。降灰は、概ね火口の風下に生じるが、降灰の量によって様々な被害が生じる。近年、2010年のアイスランドのエイヤフィヤトラヨークトル火山噴火によるヨーロッパ諸国の空港閉鎖被害は、メディアでも取り上げられ、我々の記憶に新しい。また、ごく僅かな降灰でも健康状態に悪化が生じ、ミリ単位の火山灰の堆積によって交通障害や農作物への被害が生じ始めることも知られている¹⁾。火山灰の堆積厚が30cmを超える場合には家屋の倒壊も危惧され、降灰による直接被害のほかに、雨によって2次的な土砂移動が生じ、川沿いに被害をおよぼす場合がある。このように降灰が、人間生活に及ぼす影響は、多様かつ多種におよび、その量によって被害の種類が変化する。一方、降灰量の計測は、地表に降った火山灰を刷毛や容器で集めるなど人手による計測が行われ、機械によるモニタリング手法の開発は遅れていた。多くの活火山が存在する日本では、降灰による影響を迅速かつ適切に把握するために、降灰量計測の自動化が急務の課題であった。

2. 自動降灰量計とその開発

降灰量の自動観測は、体系化された手法がなく、手探りの

状態から始めた。機器開発は、(独)土木研究所との共同研究によって平成15～18年度にかけ実施され、当初は降灰厚1cmの識別性能と、簡便な設置性を併せ持つ観測機器開発を目標とした。また、積雪地域での観測を考慮し、雪と火山灰の識別が重要な問題として想定された。初めに積雪深計を用いて火山灰厚を測る方法を検討したが、雪と火山灰の識別が困難となることもあり方針転換を行った。厚さを直接測る方法に対して、火山灰の重さを測る方法を開発のターゲットとした²⁾。なお、火山灰の重さは、水に飽和、不飽和な状態での計測が考えられたが、不飽和状態では機器構造が簡便となるものの継続的な観測で精度に劣り、粒子間を水で飽和した状態の計測法を選択した。ここでは降灰量を計る機器全般を降灰量計(Tephrometer)と呼び、雨量計測も可能となる機器を自動降灰・降雨量計(Automatic Tephra and Rain Gauge(ATR Gauge))と呼ぶ。本稿で示す自動降灰・降雨量計は、(独)土木研究所と日本工営(株)によって、平成24年2月3日に特許(第4915676号)を取得した。

(1) 自動降灰量計(ドラム缶式)

自動降灰量計の初期型として、ドラム缶式の観測機器を開発した。ドラム缶式は、(独)土木研究所の発案より、捕灰容器を市販のドラム缶(径567mm、高885mm)とし、ドラム缶の下に三角形に板軸(チャンネル)によってつながれた支持器を3個のロードセルで支える構造の部品とした(図-1)^{2),3)}。また、ドラム缶の中には水圧式水位計(最大計測100cm、誤差0.1%)を設置し、ドラム缶内の水深を計測し容積を求めた。降灰量計を火山近傍に設置することを念頭に、ドラム缶は耐酸性のステンレスのものとした。ドラム缶式自動降灰量計で

* コンサルタント国内事業本部 名古屋支店 技術部

** 技術本部 中央研究所 総合技術開発部

は、個々のロードセル（最大計測 2kN、誤差 0.1%）によって重さが計測され、その総合値（6kN）として全重さが計測される。ドラム缶式自動降灰量計の目標としては、桜島の大正噴火クラスをターゲットとし、1cm（10～15kg/m²）の降灰量を検知できるものとした。この型については、ロードセルによって計測される重さが、温度変化に対して大きな誤差を生じる課題が挙げられた³⁾。ただし、製品化された自動降灰量計については、温度による誤差を含めても目標精度は達しており、この課題は次に示すバケット式機器へ引き継がれることとなった。また、容器の重さのみで 50kg となることと、ロードセルに均等な荷重をかけるため精度の高い水平設置が必要となり、結果として設置に大きな手間がかかることが課題として残された³⁾。

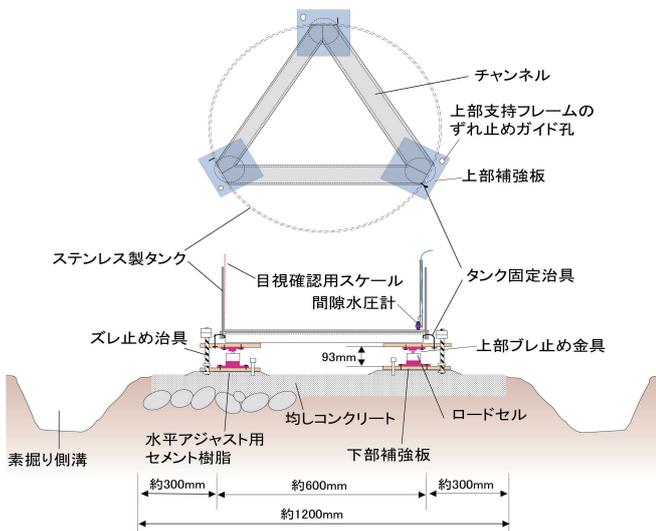


図-1 ドラム缶式自動降灰量計²⁾

(2) 自動降灰・降雨量計（バケット式）

1) 通常型

ドラム缶式自動降灰量計の課題を解決するために、小型化の検討を行った。また、近年桜島で発生する噴火では、火口から数 km 離れた地点にもたらされる降灰量は、1回の噴火では多く降る場合でも数 kg/m² であり、一般的な噴火では数百 g/m² 程である。この量はドラム缶式による検出限界の 1/10～1/100 の量となり、年単位では検出可能となるが、それより短い期間では検出が困難となる。そこで、1mm（概ね 1.5kg/m²）に相当する降灰量を検出できるような計測目標を設定し、バケットサイズの開発を行った。

バケット式自動降灰・降雨量計の全体構造としては、捕灰容器・センサー（水位計・ロードセル）・排水装置からなる上部構造、ロガー・通信装置・電源装置からなる下部構造に別れる（図-2、3）。ドラム缶式では、データロガー・通信装置を別の収納ボックスに配置していたが、バケット式では計測部と一体化した点が異なっている^{4), 5)}。火山灰や雨の受け口となるサイズは、市販されている雨量計を参考に直径 20cm とした。小型化による計測上の改善点は、温度変化による重さの計測誤差の縮小と、設置の簡便性であった。その解決を図るために、重心移動が計測に影響を与えないワン（シングル）ポイントロードセル（最大計測 0.2kN、誤差 0.02%）を導入し、1つのロードセルによって捕灰容器を支える構造としている。同時に、水位の計測精度を向上させるためフロート式水位計（最大計測 30cm、誤差 0.01%）を導入した。また、水位計内に火山灰を混入させず、水位計内の水深を瞬時に捕灰容器の水深と一致させるために、水位計の外側を金属網チューブ形状の保護管によって覆った。さらに、バケット式では、計測中に水が溢れると、降灰量の誤差が大きくなり、雨量計測機能を失うため越流対策として、水位計とリンクし自動的に排水を行う電磁弁を設置した^{4), 6)}。なお、フィルター下部の電磁弁は、自動透水試験を行うためのものであるが（別途報告予定）、透水試験実施により降灰量の誤差が大きくなるため、製作時点で使用目的に応じて要否を判断する。

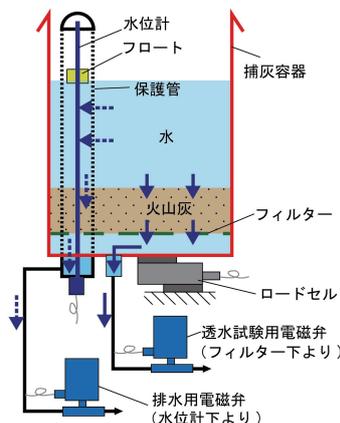


図-2 バケット式自動降灰・降雨量計^{4), 6)}

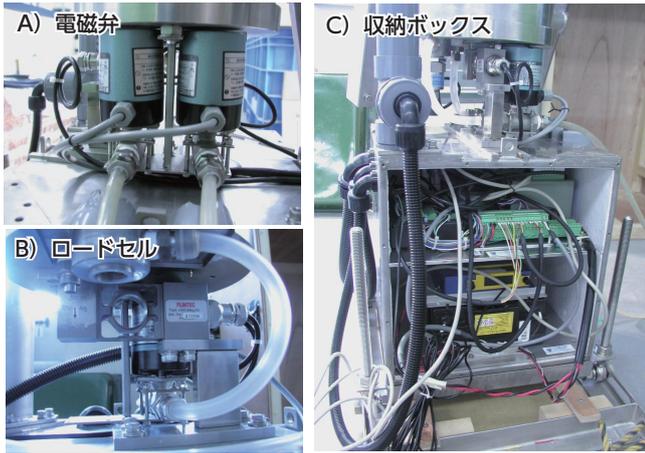


図-3 バケット式自動降灰・降雨量計の内部⁶⁾

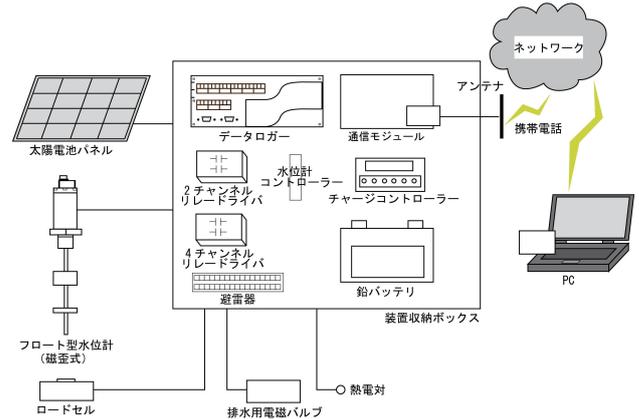


図-5 測定、制御、通信、電源システムの概要 (携帯電話通信、太陽電池パネルの場合を示した)

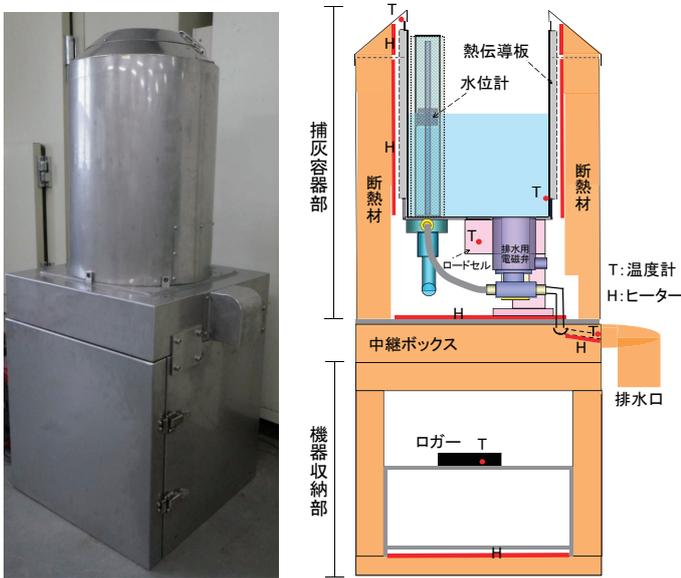


図-4 バケット式自動降灰・降雨量計(寒冷地型)

2) 寒冷地型

通常型バケット式の自動降灰・降雨量計は、保温機能がないため、気温が氷点下になると捕灰容器内の水が凍り始め計測が不能となる。日本において通年でほぼ氷点下にならない火山は、桜島以南か一部の伊豆諸島の火山であり、大半の火山では凍結対策が必要となる。そこで、凍結防止機能がある自動降灰・降雨量計の開発を行った。基本構造は通常型と同じであるが、捕灰容器部に3つ、排水部に1つ、機器収納ボックスに1つの凍結防止用ヒーターを常設し、捕灰容器と容器保護部の間に断熱材を入れ保温効果を高める構造とした(図-4)。捕灰容器内に3箇所、排水部に1箇所、ロガー内の計5箇所に温度計を設置し、各々に設定された温度が閾値に以下になると、ヒーターがONとなり、閾値以上となるとOFFになる。寒冷地型は、研究所内の大型冷蔵庫内において-25℃以下の環境となっても凍結しないことを確認しており、設計上は-20～+50℃での計測が可能となる。寒冷地型では、ヒーター稼働のために外部電源が必要である。

3. 計測システム

自動降灰量は、ロードセル、水位計のセンサーで検知した水位、重さの電気信号を水深値、重さ値に換算し、それらから求められる容積、捕灰容器・フィルターを除いた火山灰と水を合わせた全重さとして出力する。これらのデータは、ロガーに記録され、次に示す計算式を用い処理プログラムで火山灰のみの重さ、厚さとして算出される。また、この他に電源電圧、熱電対(-40～+125℃)によるロードセル付近の温度もロガーに記録される。オーバーフロー対策用の水位計保護管下部の自動排水電磁弁の開閉プログラムもロガーに組み込まれている。記録された各データは、携帯電話や光ファイバを用いた通信システムによって外部のPCから呼び出され、ダウンロードされる。

これらのセンサー、ロガー、電磁弁、通信装置を稼働させるために電源および電気供給が必要となる。商用の交流電源が確保できる場合には、コンバーターによって直流に変換した電気を用いる。しかし、火山周辺では商用電源の確保が難しく、その場合には太陽電池パネルとバッテリーを組み合わせた電源システムを作ることによって、センサー、ロガー等に電気を供給する(図-5)。

4. 降灰重さ・厚さの計算方法

ここでは、計測された重さ、水位からの降灰重さおよび厚さを算出する方法を示す(図-6)。計算方法は、ドラム缶式、バケット式いずれも同じである³⁾。捕灰容器下にあるロードセルによって火山灰と水の全重さが計測され、水位計によって容積が求められ、火山灰粒子密度と水密度の差を用いることによって、式(1)から火山灰の重さ(計算降灰重さ)が求められ、式(2)から火山灰の乾燥時のみかけ厚さ(計算降灰厚)が算出される^{3), 6)}。

$$W_s = (W - S \times D \times \rho_w) / (1 - \rho_w / \rho_s) \quad (1)$$

$$L = (W - S \times D \times \rho_w) \times \rho_s / ((\rho_s - \rho_w) \times \rho_d \times S) \quad (2)$$

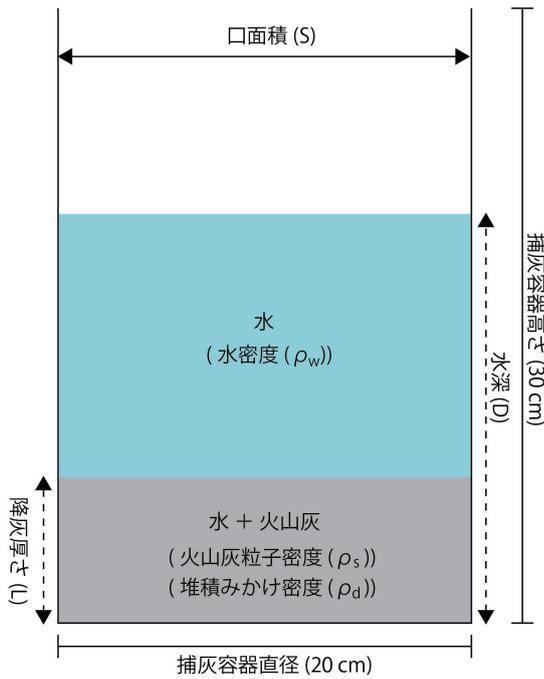


図-6 降灰量(重さ・厚さ)計算のパラメーター

- W_s : 火山灰の重さ(計算降灰重さ)
- W : 捕灰容器内の火山灰と水の重さ
- S : 捕灰容器の口面積
- D : 水深
- L : 火山灰の厚さ(計算降灰厚)
- ρ_s : 火山灰の粒子密度
- ρ_d : 乾燥条件における堆積みかけ密度
- ρ_w : 水密度

火山灰の粒子密度は豊浦標準砂の 2.64g/cm^3 を用い、水密度は温度による体積変化は微量と考へ 1.0g/cm^3 とした。火山灰の堆積みかけ密度は、 1.5g/cm^3 とした⁷⁾。なお、バケツ式の自動降灰・降雨量計については、10分ごとに水位・重さ計測を行い、1時間ごとの平均値として計算値を出力する。

5. 実験室における検証試験

バケツ式の自動降灰・降雨量計は、目標とした 1mm の厚さを検知できるか、研究所の実験室内での検証試験を行った。この試験は、火山灰とみなした豊浦標準砂(土粒子密度 2.64g/cm^3) を捕灰容器に投入し、ロードセルによる重さ値と、水位計による水位値を計測し、式(1)と(2)によって計算を行い、投入した豊浦標準砂の計算火山灰重さと厚さを求めた⁴⁾。

測定精度検証においては、豊浦標準砂をタンク上部より投入し、堆積厚 0.1mm に当たる約 4.5g (A1～A4) の投入を計4回、堆積厚 0.5mm に当たる約 22.5g (B1～B3) の投入を計3回、堆積厚 1mm に当たる約 45g (C1～C3) の投入を計3回繰り返した。堆積厚 0.5mm にあたるBのケースにおいて、測定装置は検知し始め、堆積厚 1mm のCのケースで明瞭に検知することを確認した(図-7)。室内の検証ケー

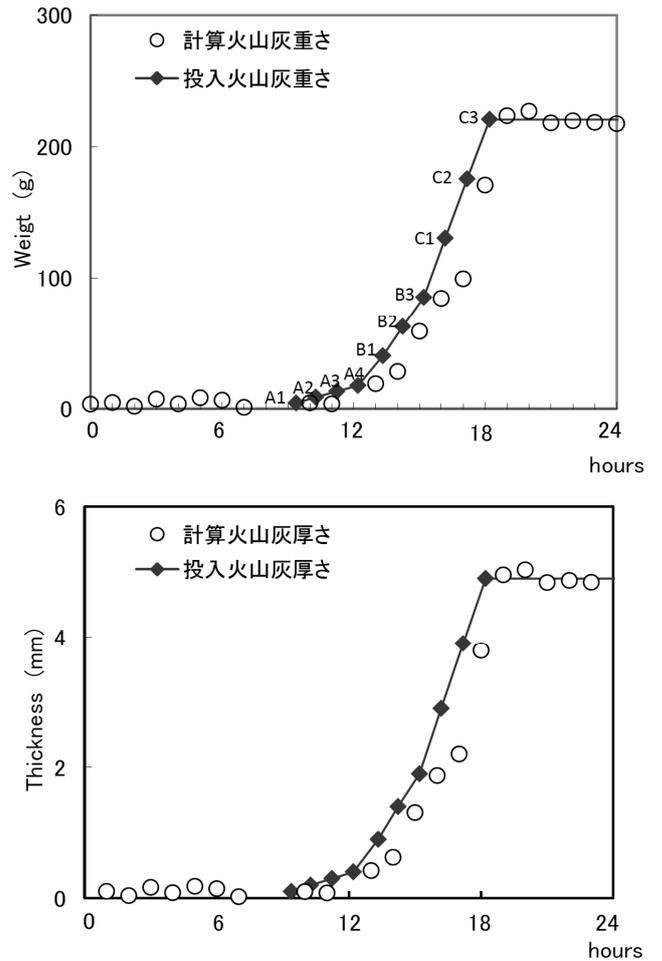


図-7 実験室における豊浦標準砂の投入試験結果⁴⁾

スに基づけば、当該装置の測定精度としては、少なくとも火山灰重さにして 45g 、火山灰堆積厚にして 1mm で検知し、それ以下でも検知している。

6. 桜島火山における精度検証

室内での検証試験では、気温、風、湿度が安定した環境条件下であったため、ミリ単位の降灰量観測精度を確認した。しかし、自動降灰・降雨量計は火山の側に設置する機器であり、火山の近くでは気温などの環境条件が目まぐるしく変化し、これらの変化に耐えるような長期の観測とその精度の検証が必要であった。桜島では、2006年に昭和火口から噴火が始まり、2007年、2008年と徐々にその噴火活動が活発化した。このため国土交通省大隅河川国道事務所が設置した有村や黒神等の地区の4機の自動降灰・降雨量計(以下、桜島自動降灰量計)について、観測期間中に許可を得て検証用データを取得した。なお、2012年時点で自動降灰量計は、11箇所に設置されている⁸⁾。

(1) 自動降灰・降雨量計の観測ノイズ

桜島自動降灰量計では、噴火のない時期にも計算で求め

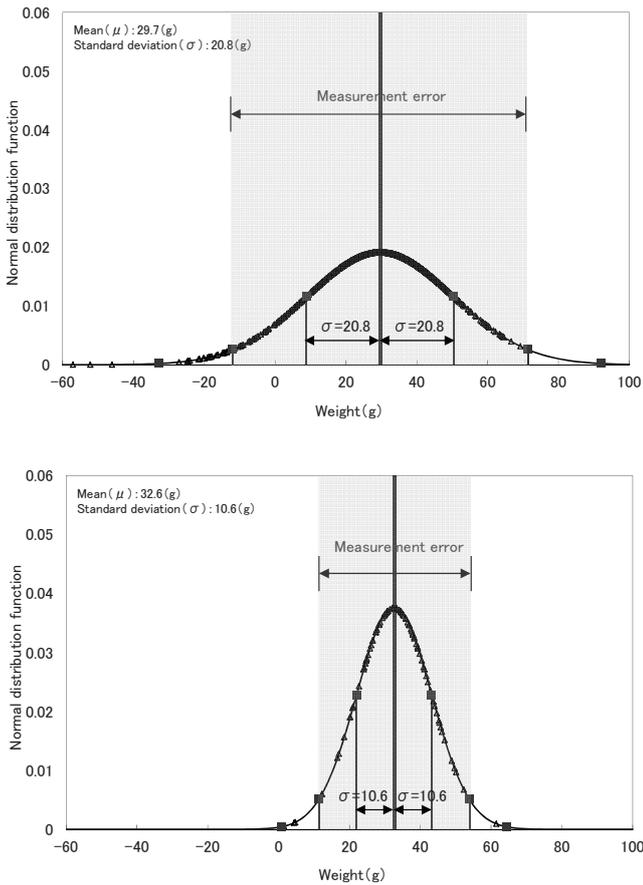


図-8 桜島火山の有村地点での無噴火期間における計測値の標準偏差(ハッチは 2σ)⁹⁾
上:1時間値、下:12時間値

られる火山灰重さに変動(ノイズ)が生じている。ノイズによる誤差量を把握するために、噴火が生じていない2008年12月18日16:00～2009年1月31日23:00の期間のデータを用いて、計算降灰重さの標準偏差を求めた(図-8)⁹⁾。桜島自動降灰量計は、10分に1回ロードセル、水位計の値を取得し、6個のデータを1時間の平均値として出力する。1時間値の場合、その間に計測された計算降灰重さの平均値は29.7gとなり、その標準偏差(σ)は20.8gとなる。このことより、屋外における1時間値の計測誤差は、ほぼ 2σ に相当する $\pm 40g$ と考えられる。これらの誤差はロードセル自体の温度誤差に加え、屋外では捕灰容器の外側などに湿りや水滴の付着が生じ水位計で計測されない余剰水が生じること、以下に示すように火山灰粒子密度の物理量に変化していることなどが要因と考えられる。なお、計測値を12時間の平均値とした場合、計測期間の計算降灰重さの平均値は32.6gとなり、その標準偏差(σ)は10.6gとなる。よって12時間値の誤差は、 2σ に相当する $\pm 20g$ と考えられる。桜島では、数分で終了する噴火や数時間継続する噴火など様々な種類の噴火があり、容易に適切な計測間隔を示すことはできないが、噴火が数時間の継続することを考慮し、12時間の平均値を用いることとしている。

表-1 自動降灰量計による降灰重さの長期観測結果⁹⁾

機器名称	観測期間	実火山灰重さ (kg/m ²)	計算火山灰重さ (kg/m ²)
Arimura-1	2008年12月19日 ～ 2010年3月13日	64.6	69.6
Arimura-1	2010年3月13日 ～ 2011年6月3日	60.0	59.7
Arimura-2	2010年3月3日 ～ 2010年7月30日	14.6	15.5
Arimura-2	2010年7月30日 ～ 2011年2月9日	25.9	31.8
Arimura-2	2011年2月9日 ～ 2011年6月3日	10.9	17.4
Nabeyama	2010年3月2日 ～ 2010年7月29日	16.6	16.6
Nabeyama	2010年7月29日 ～ 2011年2月9日	3.5	7.5
Nabeyama	2011年2月9日 ～ 2011年6月3日	8.3	10.4
Kurokami	2010年3月2日 ～ 2010年7月29日	19.3	19.3
Kurokami	2010年7月29日 ～ 2011年2月9日	2.0	5.8
Kurokami	2011年2月9日 ～ 2011年6月3日	4.2	4.2

(2) 計算火山灰重さと実火山灰重さの比較

桜島自動降灰量計について、捕灰容器内に入った火山灰を取り出し実測し、同じ期間内に計算された計算降灰重さとの比較検証を行った⁹⁾。検討に用いた機器は、有村、鍋山、黒神付近に設置された4機である。表-1には、観測期間と、その観測期間中に捕灰容器内に堆積した実降灰重さ、同じ期間中の計算降灰重さを列記した。実降灰重さは、観測期間の最後に機器を停止させ、中に堆積した火山灰をヘラによって掻き出し、実験室にて乾燥重さを計測した。

この結果、 10kg/m^2 を超えるような火山灰が堆積している場合には実測、計算いずれの降灰重さも、ほぼ近い値となる結果が得られた。 10kg/m^2 より小さい場合は、両者の差がやや大きくなるようにも見える場合があるが、捕灰容器内の火山灰をヘラによって採取しているため、フィルター内などでは完全に切り切れない火山灰もあり、それに起因している差と考えられる。よって、数ヶ月～数年にわたる長期計測によっても、安定した計算降灰重さ値が得られていると考えられ、長期の稼働にも耐えられるものと考えられる。

7. 桜島における降灰量モニターについて

(1) 降灰量観測結果

桜島自動降灰量計は、各自動降灰量計によって得られた水位、重さ、計算火山灰重さ、厚さの各データが、携帯電話網の場合12時間ごとにデータベース(DB)サーバ側からアクセスされ、ダウンロードされる。その値は、解析サーバによって表示される。図-9は、桜島南東の有村に設置された桜島自

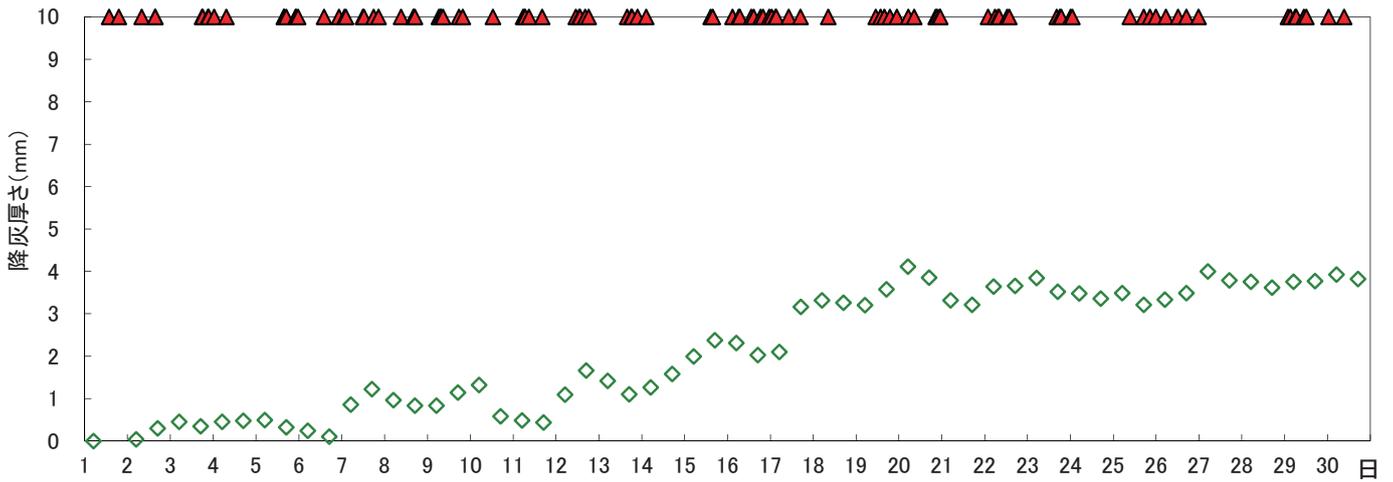


図-9 有村に設置した自動降灰量計による降灰量観測結果(2010年4月)

(▲: 気象庁による噴火発生 (http://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/kazan_top.html)、◇: 自動降灰量計による降灰量)

自動降灰量計によって得られた、2010年4月の火山灰厚さの例である。グラフの上の△は、気象庁発表の「噴火に関する火山観測報」による桜島の爆発もしくは噴火である。

降灰量は4月6日17時にはほぼ0mmであったが、4月7日5時には約1mmの厚さを示している。これは、6日夜もしくは7日明朝の噴火による降灰が影響したと考えられる。その後も、4月14日～17日に降灰を検知し、合計約3～4mmの降灰厚さを示している。このように、桜島に設置した通常型の自動降灰・降雨量計は、計測誤差範囲内の計測結果を出力していると言える。

なお、光通信ケーブルによる接続の場合には、リアルタイムに計測値がDBサーバに保存される。これらの結果は、値の処理がされ、解析サーバにおいて地図への表示、計算降灰重さ・厚さ・降灰量分布図の表示が行われ、WEB上で確認できる。また、テキストデータとして値を取得することも可能である。

(2) 雨量・火山灰粒子密度観測結果

自動降灰・降雨量計は、計算降灰重さを取り除いた後の重さが水量となり、その水量変化から水位上昇（雨量）の値が得られる。図-10は、有村に設置した桜島自動降雨量計と近隣の雨量計との日雨量の比較であり、両者は、近似した値が得られている。なお、雨量計測に関する課題は、降雨中に排水機能が働いた状態、すなわち水位低下中の雨量補間方法である。自動・降灰降雨量計は、水位高閾値の27cmを超えると自動排水が始まり、排水開始から終了までの時間は約100秒であり、10分計測では正確な排水時間がわからない。そこで、通常は10分単位の水位計測を、排水時には10秒単位に切り換え水位モニターを行うこととした。これによって、排水中の雨量を弁開放直前の雨量（現在は時間雨量）と同じと見なし、排水中の雨量の補間を行っている。

この他、無降雨時に明らかな降灰が生じていると判断された

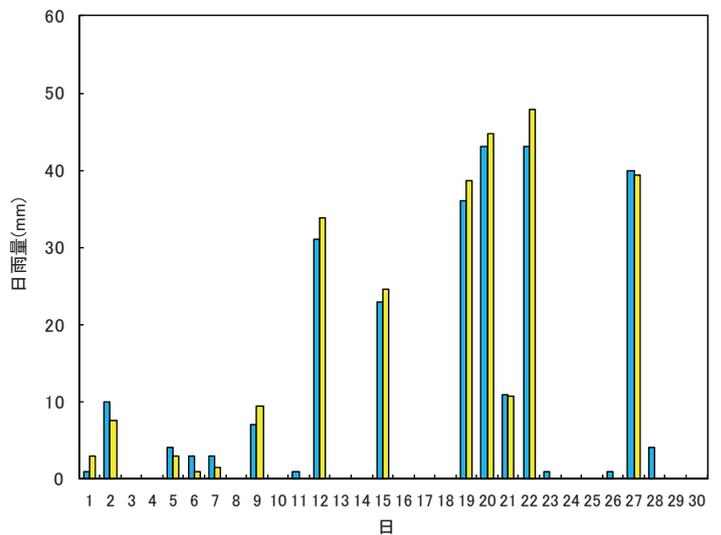


図-10 有村付近の自動降灰量計と雨量計による雨量観測値の比較(2010年4月)

(青: 雨量計、黄: 自動降灰量計)

状態では、重さ増加と水位上昇から降灰の平均粒子密度を式(1)より逆算できる。2010年4月～2010年12月における逆算した平均火山灰粒子密度は、 $2.59 \sim 2.74 \text{ g/cm}^3$ となり、初期設定値の 2.64 g/cm^3 は概ね妥当な設定と言える。この火山灰の平均粒子密度の観測については、噴火の推移状況をモニターするツールとなる可能性も考えられる。

8. 自動降灰量計の活用及び課題

桜島自動降灰量計による観測では、長期に渡り $\pm 1 \text{ mm}$ の精度で安定した結果を出力できることが、ほぼ確認できた。他の火山に設置する場合、次のような課題を検討し設置する必要がある。

設置場所については、上空が開けている地点を選定し、道

路沿いでは車両による巻き上げの影響に配慮する。木の実がなる樹種が近くにある所では鳥が捕灰容器に実を入れることが観察され、木の実がなる樹木から機器を離れた方が好ましい。森林地では、捕灰容器の内側に藻が繁茂することも観察された。また、水位低下による火山灰の露出は欠測につながる。これらは、定期的な点検によって解決するしかなく、年に数回は機器の点検を行う必要がある。火山灰が捕灰容器を満たした場合、計測不能となり、定期的な火山灰の除去も必要である。

桜島では火山灰粒子密度を 2.64 g/cm^3 、堆積みかけ密度を 1.5 g/cm^3 と設定している。桜島で発生するようなブルカノ式噴火に伴う降灰では、いずれの値も観測結果を説明できるものとなっている。一方、軽石やスコリアを伴う噴火が生じた場合には、これらの設定値から適切な厚さを計算できない可能性も考えられる。このような場合は、対象火山の噴火履歴に基づき堆積物を現地調査し、粒子密度、みかけ堆積密度を実測し、適切な初期値を検討する必要がある。また、現在は半日単位で降灰量の観測が行われているが、計測時間を短時間化し降灰量の観測能力を高めることも必要である。計測の短時間化は、自動排水時の雨量補間の精度向上にもつながる。

桜島自動降灰量計の観測結果については、大隅河川国道事務所資料として、火山噴火予知連会に提出されるなど活用が行われている。国土交通省は、土砂災害防止法に基づく緊急調査の実施基準として、降灰厚さ 1 cm を挙げている¹⁰⁾。噴火が発生した場合、立入が困難となる可能性がある火口～ 4 km 内では、火山灰厚さの把握が不能になることが考えられ事前の機器設置が有用と考えられる。御嶽山では、2014年9月27日に水蒸気噴火が発生し、周辺地域では立ち入り制限が行われている。今後、火山活動が活発化した場合には、火口近傍において人による降灰量の観測が難しくなることも考えられ、機器による降灰量観測が必要となる。また、気象庁では、 0.1 mm 未満を少量、 0.1 mm 以上 1 mm 未満をやや多量、 1 mm 以上を多量とした降灰量階級区分を行い¹¹⁾、平成27年3月からその情報を含む量的降灰予報の運用を始める予定としている。この降灰予報には、数値シミュレーションが用いられるが、その検量機器としての役割も考えられる。降灰の検量もしくは検知機器として役割を果たす場合には、基準を超えた場合の表示方法、関係機関での情報共有方法、通知の仕組みを検討する必要がある。なお、この役割を果たすためには、現状の半日単位の観測から分単位の観測へと短時間化が必要条件となる。

この他、噴火推移を把握する機器としての役割も考えられる。分単位での降灰量観測は、噴火がどのようなメカニズムで発生しているのかを理解することに寄与すると考えられる。噴火中の降灰量変化を地盤変動や地震発生と合わせれば、総合的な噴火予知の仕組みが構築できる可能性がある。このように降灰量の自動計測は、火山学の新たな側面を開く可能性を秘めていると考えられ、行政、研究機関など様々な目的での活用が考えられる。なお、観測システムには火山灰の楕円近似分

布⁷⁾による火山灰堆積量推定機能も備わっているが、火山近傍における実現象との検証作業や、計測した値の面への換算方法などに課題が残されている。これらの課題を解決し、将来的には、地震計、雨量計データと同様に取得された降灰量データの開示、流通を念頭におく必要がある。

9. まとめ

これまで手法が確立されていなかった降灰量の自動観測について機器開発を行うことができ、その観測手法を概ね確立できた。降灰厚さ 1 cm の目標から始めた降灰量の自動観測であったが、現時点では $\pm 1\text{ mm}$ の精度、状況によってはそれより高い精度での降灰量観測が長期かつ安定的に実施できるようになった。また、自動降灰量計を活発に噴火する火山周辺に設置し、長期間観測が行えることも確かめた。ただし、自動降灰・降雨量計によって得られたデータの取得運用システムやシステム管理については、初期型の導入が始まったばかりであり、精度検証を含め高い次元のシステムへと改善していく必要がある。また、寒冷地型の自動降灰・降雨量計の設置や運用についても順次実施されており、今後その観測結果が待たれる。

謝辞:本機器の開発に当たり、(独)土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チームには、共同研究に際して多くの助言を承り、データの使用許可をいただいた。国土交通省大隅河川国道事務所には自動降灰量計データ、気象庁には噴火に関する火山観測報を使用させていただいた。2名の査読者には適切なコメントをいただいた。関係機関、諸氏には、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 富士山ハザードマップ検討委員会:富士山ハザードマップ検討委員会報告書、富士山ハザードマップ検討委員会事務局、pp.132-138、2004
- 2) (独)土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム:火山灰堆積厚計測手法に関する研究、pp.1-10、2004
- 3) 日本工営(株):手動計測技術、自動計測技術(専用機器)、火山灰堆積調査法に関する共同研究報告書((独)土木研究所土砂管理グループ火山土石流チーム、(財)砂防・地すべり技術センター、朝日航洋(株)、アジア航測(株)、日本工営(株))、整理番号 第391、pp.80-87、pp.103-142、2009
- 4) Tajima, Y., Ohara, D., Shimomura, S., Numao, S., Shimada, M., Tamura, K., Yamakoshi, T., Takezawa, N., and Yanagimachi, T.:Development of an automatic weight measurement system for volcanic ash, IAVCEI General Assembly, 2008
- 5) 武澤永純、伊藤洋輔:桜島における降灰量のリアルタイム監視、土

- 木技術資料、50-11、pp.52-53、2008
- 6) 小原大輔、田島靖久、沼尾信二、下村幸男、田村圭司、山越隆雄、武澤永純、伊藤洋輔:自動降灰・降雨量計の開発、日本地球惑星科学連合2009年大会、V159-P025、2009
 - 7) Tajima, Y., Tamura, K., Yamakoshi, T., Tsune, A. and Tsurumoto S.: Ellipse-approximated isopach maps for estimating ashfall volume at Sakurajima volcano,Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, pp.291-306, 2013
 - 8) 国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所:桜島火山砂防調査研究成果集～桜島の土石流の調査・研究と対策～、砂防広報センター編、pp.1-67、2013
 - 9) 田島靖久、福田謙太郎、國友 優、高橋英一、下窪和洋、阿蘇修一、井口正人:自動降灰量計によって捉えた桜島のブルカノ式噴火、日本火山学会秋期大会講演予稿集、p.100、2011
 - 10) 国土交通省砂防部砂防計画課、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター、独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ:土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き(噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編)、pp.1-29、2011
 - 11) 降灰予報の高度化に向けた検討会:降灰予報の高度化に向けた提言、気象庁、pp.1-16、2013