

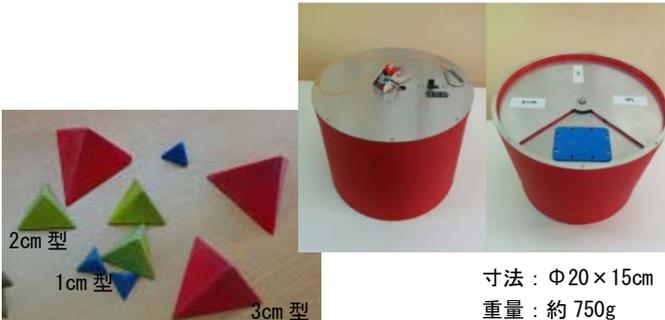
火山噴火時における土石流発生区域に関する無人調査手法の開発 その2 ドローン搭載用調査デバイスによる土石流発生リスクの評価手法の提案と実証試験ー

国際航業株式会社 ○金崎裕之, 森山裕二, 島田徹, 永田直己, 皆川淳
東北大学 永谷圭司, 久利美和, 桐林星河, 谷島諒丞, 菊地泰洋
株式会社アールティ 中川範晃

1. はじめに

火山噴火時には、噴出物（火山灰や軽石など）の堆積により、地形及び流出特性が変化する。そこに雨が降ると、少ない雨量でも堆積物の二次移動現象（降灰後土石流）が発生しやすくなる。土石流発生区域である火山体源頭部は、立入規制区域となるため調査員を派遣できず、現地情報を踏まえた降灰後土石流の発生予測は困難であった。そこで筆者らは、マルチコプター型の小型無人機（通称：ドローン）に吊り下げて運搬するデバイス（表 1）の開発をおこない、それらを用いた無人調査手法について前報で報告している。しかし、その後の実証実験によって、確実なデータ取得やデータ分析の迅速化などの課題が見付かった。また、降雨のように長期間の連続観測を必要とする場合には、ドローンを用いた運搬・回収に課題があった。そこで、課題解決を目的とした改良型調査デバイスと機器を運搬可能な小型移動ロボットの開発、現地で迅速・簡易的に実施可能な土石流発生リスク評価手法の検討をおこなった。本稿ではその結果について報告する。

表 1：無人調査デバイス一覧

投下型降灰厚スケール(左)と投下デバイス(右)	サンプリングデバイス	表面流確認デバイス
 <p>2cm 型 1cm 型 3cm 型</p> <p>寸法：Φ20×15cm 重量：約 750g</p>	 <p>GoPro</p> <p>寸法：18×18×9cm 重量：約 800g</p>	 <p>GoPro</p> <p>寸法：35×35×32cm 重量：約 900g</p>

2. 調査デバイスの運用課題とその改善

「投下型降灰厚スケール」は、大きさと色調の異なる正四面体で、降灰前に地表に投下し、埋積後に視認できる色調から降灰厚を計測できる。従来の 1～3cm 型のスケールは、火山灰に被覆された後、発見困難になるおそれがあるという課題があった。それを解決するために、10cm と 15cm の大型スケール（図 1 左）を開発した。これらを改良型投下デバイス（図 1 右）で小型スケールと共に運搬・投下することで、3cm 以上堆積した場合でも投下ポイントの確認が可能となった。

「表面流確認デバイス」は、水風船を割って散水した後の地表痕跡をカメラで撮影することで浸透性を確認できるデバイスである。従来型は、傾斜地での機体転倒の危険やカメラ画角から散水痕跡が外れるという課題があった。それらを解決するために、脚部の角度調整やカメラ取付け位置及び画角の調整をおこなった（図 2）。その結果、高い安定性を得た他、散水後の表面流発生の有無を確実に撮影することができるようになった。また、追加機能として、水風船を 2 つ格納し、時間差で連続散水することができるようになった。

3. センサー運搬が可能な小型移動ロボット

観測機器をピンポイントに運搬・設置し、長期間の連続観測をした後に回収するために小型ロボット『CLOVER』（図 3）を開発した。このロボットは、車体前方側面に搭載したカメラから受信した撮影映像を見ながら遠隔操縦及び現地状況の確認ができる。映像受信及び遠隔操縦には携帯電話回線を用い、最大 3km 程度の遠隔操縦実績をもつ。『CLOVER』を立入制限区域内へ運搬する際は、ドローンと専用運搬ネット（図 4）を使用し、ネットが着陸後、遠隔操縦で発進する。回収する際も同様の方法で、映像を確認しながら遠隔操縦でネット上に『CLOVER』を乗り込ませる。さらに、車体中央に設けた定型のホルダーに同じ規格で製作したセンサーボックスを適宜換装することで、様々な計測機器を搭載することができる。現在、換装可能な機器として、光学式雨滴センサーやガス検知センサーを開発中である。

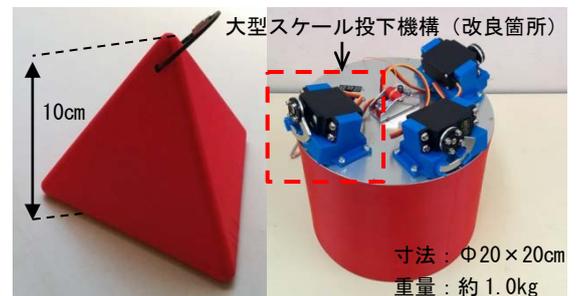


図 1：大型降灰厚スケールと投下機構



図 2：改良型表面流確認デバイス



図 3：小型移動ロボット（通称：CLOVER）



図 4：小型移動ロボット運搬用ネットと撮影映像受信の様子

4. 現地情報を用いた迅速・簡易的な土石流発生リスク評価手法

土石流発生リスクを評価するための指標として、透水係数が考えられる。サンプリングデバイスで採取した火山灰について、室内分析で透水係数を測定するには数日を要し、迅速な結果報告が困難であるため、より迅速かつ簡易的に透水係数の推定値を把握する手法を考案した。この手法の作業手順を図 5 に示す。ふるい分けには、現地にて人力でふるうことが出来るメッシュサイズとして、 $850\mu\text{m}$ 、 $250\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m}$ の 3 つを使用した。また、土粒子の粒度（20%粒径）と透水係数の関係性を「クレーガーの式」（図 7）を用いて確認した（この式で算出した透水係数は、あくまでも概略的な浸透能の大小について迅速に推定するための目安値であることに留意）。この評価手法を検証するために、室内分析で測定した透水係数と簡易的に推定した透水係数の比較をおこなった。比較結果を表 2 に示す。この火山灰では、試験値と同一オーダーの透水係数推定値が得られた。今後、各火山の既往噴出火山灰について粒度分布・透水係数などのデータベースを蓄積および比較し、この手法の信憑性を高められるよう検証を進める。

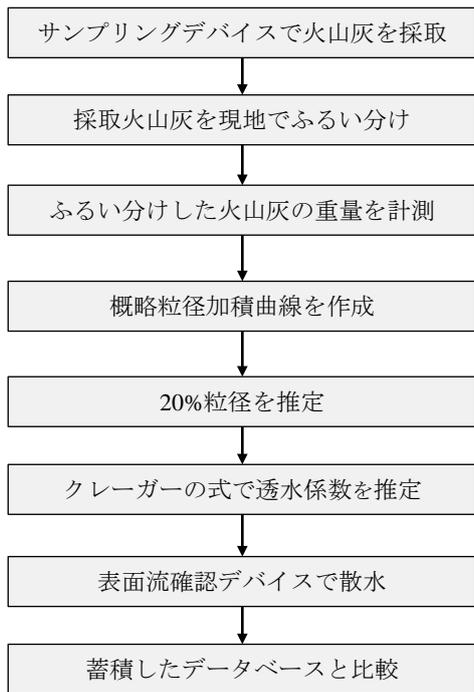


図 5：作業フロー

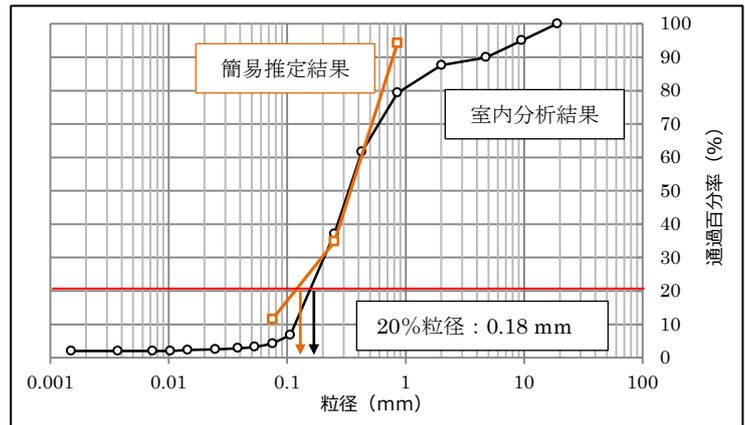


図 6：室内分析と簡易推定結果の比較（粒径加積曲線）

$$\text{透水係数 } k = 0.359 \times d_{20}^{0.327} \text{ (単位: cm/s)}$$

図 7：クレーガーの式（近似式）

表 2：室内分析と簡易推定結果の比較（透水係数）

	室内分析結果	簡易推定手法
20%粒径	0.18 mm	約 0.12~0.14 mm
透水係数	3.69×10^{-5} m/s	$2.60 \sim 3.80 \times 10^{-5}$ m/s

5. まとめと謝辞

大型降灰厚計測スケールの開発、及びスケール投下デバイスや表面流確認デバイスなど既往の開発成果の改良により、無人調査実施における課題の解消と運用性の向上をすることが出来た。また、小型移動ロボットや換装型センサーの運用により、既存観測機器がない箇所における雨量や火山ガス検知など無人調査の種類も今後増えることが期待される。

従来までは、火山源頭域の現地情報の取得は立入規制により困難であったが、無人調査手法及び概略浸透能推定手法により、より迅速な土石流発生リスク評価が可能となった。今後も各火山の既往噴出火山灰について粒度分布・透水係数などのデータベースを蓄積し、比較用サンプルを増やすことを目標とする。

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成を受け、実施することができた。ここに厚く御礼申し上げる。