

赤外線カメラを用いた表面流抽出のための基礎実験

工学院大学 ○森田宙 大嶋陸 生出将士 羽田靖史
 東京農工大学 白木克繁
 北海道大学 厚井高志
 国際航業株式会社 金井啓通 皆川淳 島田徹

1. 緒言

本研究では降雨時に発生する地表面の表面流を検出する。地表面に堆積した火山灰は透水性を低下させ、降雨時に浸透されない水は表面流となって地表面を侵食し、リルやガリーが形成される[1]。リル／ガリーの形成によって生じた土砂は、表面流と混じり土石流として下流域に被害をもたらす危険性がある。これまでにガリーの発達過程に関する研究はいくつか存在するが、表面流の監視／検出に着目した研究はあまりなされていない。そこで、本研究では赤外線カメラを用いて地表面を流れる表面流を観察し、自動検出できるか試みる。

2. これまでの研究と本研究の位置づけ

ガリーの発達過程の監視手法としては、主に航空レーザによる観測がなされている[2]。航空機を用いることで広い範囲の発達過程を観察できるが、コストや他の問題から観察間隔は数か月～1年程度と離散的であった。また計測誤差は数十cm程度であり、細かな地形変化に着目するには十分ではない。一方、目視でガリーの発達過程を確認する試みもなされている[3,4]が、やはり観察間隔は離散的であり、計測精度は目視のため数cm程度と思われる。また噴火時の立入規制区域では目視観察はできないことも問題である。

そのため我々の研究グループでは、ドローンでセンサデバイスを運搬・設置し、ガリーを地上から長期間無人監視する装置の開発を行った[5]。特にセンサとしてLiDARを用いることによって、10m離れた地表面の3cm程度の変化を監視することができた。しかし、浸食初期の数mm程度の細かな変化や表面流を計測することはできなかった。

本研究にて我々は、リル／ガリーが発生する以前の表面流を検出することを目標とした。図1に手法とその検出精度の比較を示す。浸食過程の初期段階の変化を捉えることにより、より早く土石流発生の危険性を知ることができる。

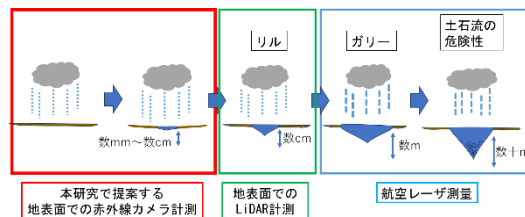


図1 手法と検出可能な地形変化の大きさ

3. 赤外線カメラによる表面流観察

本研究では、地表面の表面流を赤外線カメラで自動検出することを考え、以下の3つの仮説を立てた。

- 仮説1) 表面流部分の温度は周囲より低い
- 仮説2) 表面流は細長い形状を示す
- 仮説3) 降雨中でも表面流を確認可能である

これらの仮説を検証するため実験を行った。2025年12月14日の午前中に立川郊外において、気温4度、時間雨量2mm～3mm程度の降雨時にアスファルト斜面において発生した表面流を赤外線カメラ(FLIR社製Lepton3.5)で撮影した。図2に実際の路面の様子を示す。目視では図中右下から左上に向けて表面流が流れているのがわかる。図3は同じ環境の赤外線画像である。表面流が発生している領域では周囲と比較して温度が1度から2度低いことが確認できた。また降雨中でも表面流を確認でき、その形状は細長いことが確認できた。これにより、今回の実験環境においては、表面流は相対的に温度が低く細長い形をしているという仮説は正しいといえる。



図2 表面流が発生しているアスファルト面

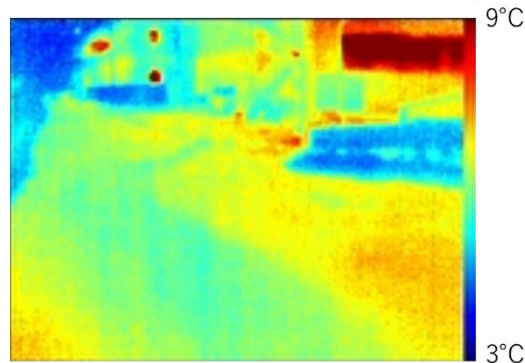


図3 赤外線カメラで撮影した表面流

4. 赤外線カメラ画像を用いた表面流検出

前節の実験で取得した赤外線カメラ画像を用いて、表面流の自動検出を試みた。まず赤外線カメラ画像を二値化することにより、温度が相対的に低い領域を抽出し、さらにノイズ除去後に一定面積以上の領域に対してラベリングを行った。図4が二値化データ、図5がラベリング結果である。このうち、画面上部は地表面が写っていないことを考慮すると、対象となる表面流領域は図5中の4番がラベリングされた領域となる。二値化の閾値は手動で定め摂氏5度から6度とした。

次に、線状性を定量的に評価するために、ラベリング処理により得られた図5中の4番の領域形状に対し、主成分分析を行った。領域に対して第一主成分及び第二主成分を算出し、その標準偏差の比を求めた。図6ならびに表1に主成分の方向および長さを示す。第一主成分はデータのばらつきが最大となる軸であり、第二主成分はこれと直交する軸である。すなわち、その長軸/短軸の標準偏差の比は領域の縦横の長さの比率を表し、この値が大きければ線状、1に近づけば円状に近いことを意味する。今回計測した領域の比は2.7となり、比較的細長い形状であることが確認できた。

表1 表面流領域の主成分分析結果

領域番号	第一主成分分散の標準偏差 σ_1/px	第二主成分分散の標準偏差 σ_2/px	縦横比 (σ_1/σ_2)
4	21.6432156	8.0087456	2.70



図4 赤外線カメラ画像の二値化結果



図5 ラベリング結果

5. 結言

本稿では、火山噴火後に発生する表面流を無人で検出するため、赤外線カメラによる検出手法を提案し、有効性を確認した。今回検証した例は、アスファルト斜面を流れる表面流を用いたため、今後は実際に、火山灰により浸透能が低下した斜面で実験を試みる。

また今回の例では降雨中ではあったものの雨量雨量 2~3mm と小雨であったため、より激しい 20mm~30mm 程度の大雨かつ表面流が発生しているときの実験を行いたい。



図6 主成分分析結果

謝辞

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187(研究推進法人:土木研究所)によって実施されました。

参考文献

- [1] 池谷ら：“有珠山西山川流域における土砂移動について”，砂防学会誌，Vol.32, No.2, p.22-27, 1979.
- [2] 手塚ら：“2010年から2018年の航空レーザー測量データに基づく桜島・有村川流域における斜面等の浸食量・堆積量の水位と降灰量，土石流の発生との関係”，砂防学会誌，Vol.74, No.4, p.32-41, 2021.
- [3] 野口ら：“解説された作業道における表面流の発生一現地踏査と植生調査の解析一”，日林誌，Vol.96, No.6, p.342-347, 2014.
- [4] 柏谷ら：“ガリーの発達に関する計測と考察”，地理学評論，Vol.47, No.7, p.413-425, 1974.
- [5] 生出ら：“長期計測を行う地上設置型ガリー監視装置の開発と設置方法に関する研究”，令和7年度砂防学会研究発表会概要集，p.397-398, 2025.