

小型 PC ボードによる火山泥流の熱画像検知に向けた実験的検討

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 ○阿部 孝章, 藤浪 武史, 船木 淳悟

1. はじめに

急傾斜地における土砂移動の検知のために、センサ技術を活用した監視システムは防災上有効であるが、北海道のような積雪寒冷地域においては厳しい環境下において検知性能や耐環境性能を担保する必要があり、コスト的な負担増加に繋がりやすい。近年、安価かつ小型なセンサ技術を活用した多点モニタリングシステムの開発が、建設や土木だけでなく様々な分野において盛んに行われている^(例えば¹⁾)。砂防分野でも類似の技術による多点同時観測が実現できれば、高密度に土砂移動の監視を実施し、環境的な制限を観測点数を増やし補うことで土砂災害の防止軽減に寄与できる可能性がある。

このような背景の下、本稿では特に火山砂防分野において、冬期の積雪環境下で発生する可能性のある融雪型火山泥流とその早期検知技術の開発を目的とした。そこで近年、市販品として入手が容易となった超小型サーモグラフィカメラを活用した熱画像監視のための機器開発を行う。そしてこれを用い、室内実験により熱や土砂の移動を検知可能かどうかについて検討を行ったものを報告する。

2. 手法

本稿でサーモグラフィカメラの制御のために使用したのは小型 PC ボード Raspberry Pi Model B+ (Raspberry Pi 財団, 英国)である(写真-1 左)。Raspberry Pi に代表される、いわゆる「名刺サイズ」の小型 PC ボードは近年種類が増加し、その汎用性から様々な用途に活用されており、一部では現地や気象観測にも導入されている。小型サーモグラフィカメラと

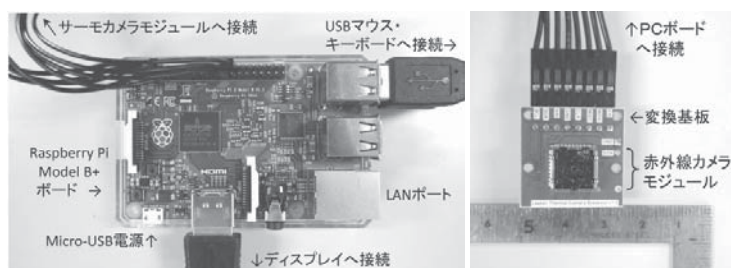


写真-1 小型 PC ボードの接続状況 (左), 小型サーモカメラ (右)

としては写真-1 右の小型長波長赤外線カメラコア FLIR Lepton (FLIR Systems Inc., 米国)を採用し、小型 PC ボードの GPIO (General Purpose Input/Output) ピンに接続した。小型 PC ボードの制御には標準の Raspbian OS²⁾を用い、サーモグラフィカメラから自動で熱画像を取得できるスクリプトを構築し、計測範囲における熱源の発生や移動を把握できる仕組みとした。スクリプトの一部では、GitHub, Inc. でオープンソースとして公開されているサーモカメラモジュール用のソフトウェア³⁾を活用した。本稿ではこの小型 PC ボード制御によるサーモカメラを用いて、実験室内において試験を行い、その適用性や課題について検討を行った。2016 年度現在で、参考価格は小型 PC ボードが 5,000 円程度、サーモカメラが 50,000 円程度である。火山災害は頻度としては高くないため、融雪型火山泥流の発生検知への適用性を検証するにはまず実験的なアプローチによるのが効率的であろう。今後は現地試験も想定しているが、まずは実験室内での熱画像検知へ適用することとした。室内での簡易試験として、比較的均一な温度の屋内実験棟

にて直径 25cm の円形水槽に 60 度の温水を入れ、高さ 4 m から水平距離 L を変化させて、小型サーモカメラでどの程度熱源として検知できるか確認した。次に熱を伴う土砂移動を模擬するため、写真-2 に示した水路長 1 m, 幅 7 cm, 勾配 $\theta_0 = 20^\circ$ でポンプ給水が可能な小型実験水路⁴⁾を用い、図-1 のように 2 通りの実験条件を設定した。すな



写真-2 小型実験水路

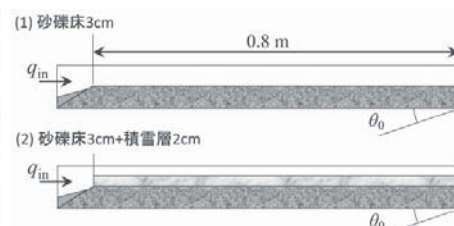


図-1 水路実験の概念図

わち(1)砂礫床 3 cm と(2)砂礫床 3 cm の上に積雪層 2 cm を設置した場合である。砂礫床の平均粒径は概ね 3 mm である。ここに 30 度の温水を $q_{in} = 20 \text{ L/min}$ で給水し、模擬的な土石流ないしは融雪泥流を発生させ、これを小型 PC ボードに制御されたサーモカメラで撮影し、流下時の高温部の移動や時系列的なフロント位置の変化などを検討した。今回構築した小型 PC 制御下のサーモカメラの比較用として、市販のサーモカメラ FLIR ONE (FLIR Systems Inc.) を併設し、熱画像計測結果の比較を行うこととした。

3. 結果

図-2 に示したのは水槽の熱画像検知結果で、水平距離 L ごとに結果を示している。 $L=3, 6, 12$ m のケースでは明確に高温域として水槽を検知している。 $L=18$ m の場合のみやや微弱であるものの点状熱源は画像内に捉えられている。本実験では直径 25 cm と小面積の熱源を用いているが、尾根から沢筋に向け適切にこのカメラを設置することで、流下する泥流を捕捉できる可能性がある。

次に土砂を使用した実験について述べる。図-3 に示したのは、水路内に土石流を発生させた際の熱画像計測結果の比較で左が小型 PC ボードによるサーモカメラ、右が市販のサーモカメラである。下流端から約 1.5 m 離れた地点にカメラを設置し、水路下流側から上流方向を撮影している。画像内では水路上流部に温水が供給開始された時点時刻 0 s として表示している。水路外にも高温領域が見られ、これは室内実験であるため貯水槽・給水ホース内部の温水を検知したためである。図中で側壁側からの矢印によって土石流のフロント位置を示している。水路内に限って見れば、流下開始直後の $t=0.5$ s から水路を半分程度流下した $t=1.5$ s 時点、下部の土砂受けまで土石流が流下した 2.8 s にわたり、高温領域は試作カメラと市販品で概ね一致していることが確認された。

次に、砂礫層の上部に 2 cm 厚の積雪層を敷設し、融雪が発生する条件での実験結果を示す。図

図-4 は熱画像計測結果の比較である。小型サーモカメラの結果においては、流路内のみ積雪層の低温を検知して周囲は相対的に高温の表示となっているが、融雪を伴って泥流が流下するに伴い、フロント位置が下流に推移していく様子が確認でき、これは市販機においても対応する時刻で同様の傾向が確認できた。但し、いずれのカメラでも確認できたことだが、この融雪泥流のケースにおいては泥流のフロント部分が図-3 のケースほど明瞭では無かった。これは、図-3 の土石流のみの場合は温水を伴う部分と水路床部で温度境界をはっきりしていたのに対し、図-4 の場合には温水による積雪の融解が発生しており、活発な熱交換が発生し泥流のフロント部分の温度分布がゆるやかに変化していたためと考えられた。ただ実際には融雪型の火山泥流が発生した場合には、周囲は必然的に低温環境であり、泥流の流下部は相対的に高温であると考えられるから、本稿の小型サーモカメラでも検知できる可能性がある。

4. まとめ

本稿で試作した小型 PC ボード制御のサーモグラフィカメラは、撮影範囲内の熱源発生による高温領域の検知に機能を絞ったものである。市販のサーモカメラに比較すれば解像度や精度は劣るものの、今回試験的に起こした温水による土石流の流れや融雪を伴う泥流の流れを有意な温度変化として検知することに成功した。こうした小型かつ安価なカメラシステムが実用化されれば、火山地域の熱画像監視にあたって大幅にコストを削減できる可能性がある。本稿での結果はあくまで第一段階として室内実験に適用した状況であり、今後屋外での熱画像観測試験による性能確認や現地耐久試験の実施が必須であるものと考えられる。

謝辞：本研究では、(株)水工リサーチに水路実験のご協力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 門田ら，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol.70(2)，pp.1_887-1_897，2014。 2) Raspberry Pi Foundation，URL: <https://www.raspberrypi.org/> (2016/4/1 参照)。 3) GitHub, Inc., URL: <https://github.com/groupgets/LeptonModule> (2016/4/1 参照)。 4) 木下ら，砂防学会誌，Vol.65(2)，pp.28-31，2012。

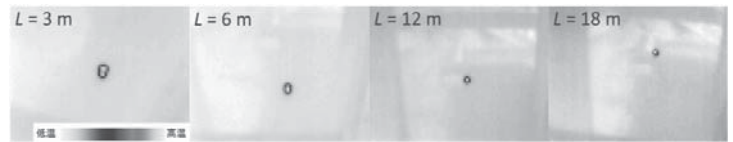


図-2 温水で満たした水槽の熱画像検知状況

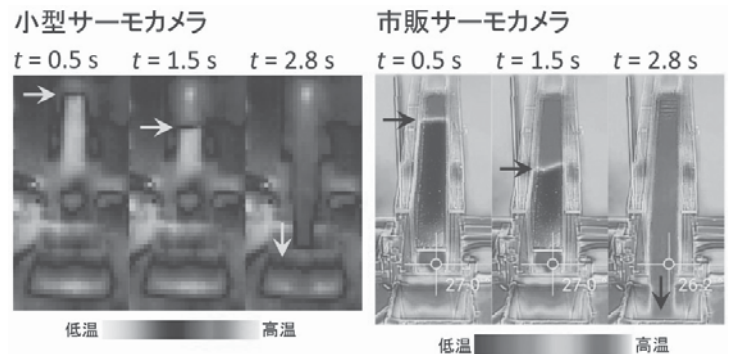


図-3 土石流実験での熱画像計測結果の比較

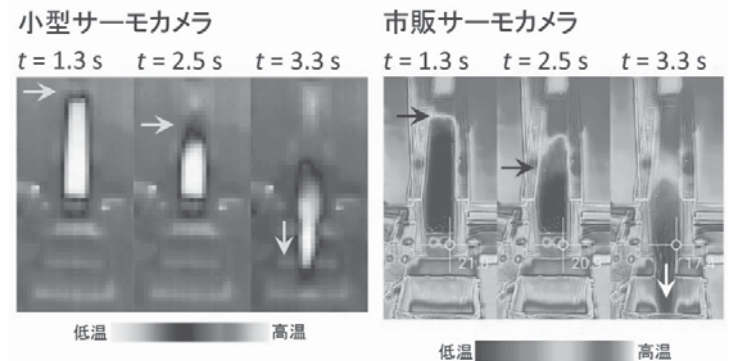


図-4 融雪泥流実験での熱画像計測結果の比較