

# 無線式簡易振動センサネットワークによる検知及び通信に関する検討

藤浪武史\*<sup>1</sup>・阿部孝章\*<sup>1</sup>・船木淳悟\*<sup>1</sup>

## 1. はじめに

北海道には活火山が 31 (北方領土を含む) あり、そのうち、監視・観測体制の充実が必要な常時観測火山は、十勝岳や北海道駒ヶ岳など 9 火山に上る(図-1)<sup>1)</sup>。このように火山が多く存在する北海道では、1926 年 5 月の融雪期に十勝岳が噴火し、積雪を融かして火山泥流を発生させ死者および行方不明者 144 名という大災害が起きた(写真-1)<sup>2)</sup>。土砂移動量が莫大で高速移動する融雪型火山泥流等に対する減災には、土砂移動の早期検知と的確な避難が重要である。現在検知に多用されているワイヤセンサは、土砂の流下によってワイヤが切断されるという単純な原理を使用している(写真-2)。しかし、積雪の荷重でワイヤが切断されることや 1 回切断するとワイヤの接続が必要となり維持管理に課題が生じている。

泥流等土砂移動の検知方法は多くあるが、それぞれ一長一短があり、図-2 に電源および通信基盤の整備水準と火口との距離に関する一般的な観測項目を示した。簡易な振動センサや免許が不要で機動的に整備できる無線による観測データ送信システムは、図-2 左下部に該当する。これらは、一定規模以上の振動加速度を検知・警告や複数の泥流検知が可能で、機動的な多点整備により被害の減少に有効と考えられる。一方、安価かつ小型のセンサによる土砂移動の監視に関する取り組みも開始されてきている<sup>3)</sup>。著者らのグループでも簡易振動センサの実用化に向けた室内検討および冬期の屋外試験<sup>4)</sup>を行っている。

易振動センサが通信ネットワーク機能をどの程度有するか確認した。



写真-1 1926年十勝岳山麓上富良野町の泥流被災状況  
(上富良野町郷土館刊 大正 15 年十勝岳大爆発記録写真集 1980 年 から引用)



写真-2 現在最も多く利用されている泥流検知用ワイヤセンサ(十勝岳山麓)

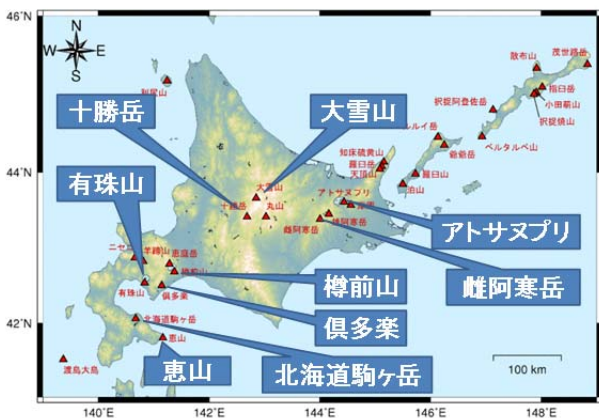


図-1 北海道の活火山と常時観測 9 火山の分布状況  
(気象庁「北海道の活火山」<sup>1)</sup> に道内常時観測 9 火山を加筆)

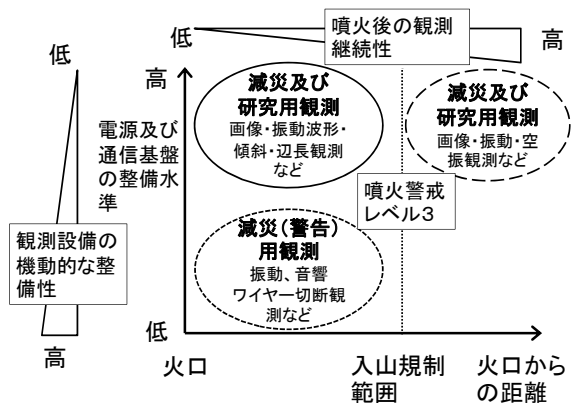


図-2 火山噴火関連の土砂移動観測項目の模式図

これらの背景を踏まえ、本検討では積雪寒冷環境下で簡

\*<sup>1</sup> 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

## 2. 実験方法

実験は、石狩川河口から約9km上流の石狩水理実験場において、降雪はなく見通し良好な環境下で行った。振動検知及び通信試験の概要を図-3、表-1、写真-3、4、5に示す。振動検知にはMEMS加速度センサKXR94-2050(Kionix社製)を使用し、センサを制御する汎用小型マイコンボードは、Arduino UNO R3互換機を使用した。通信には送受信ともDigi International社製のZigbeeモジュールを使用した。この通信モジュールは、データレート250Kbps、周波数帯域2.4GHzである。また、屋外見通しでの通信距離は公称値で最大120mである。これらの製作費は1セット当たり約1万円である。

隣接するSt間の距離は37m(共通)

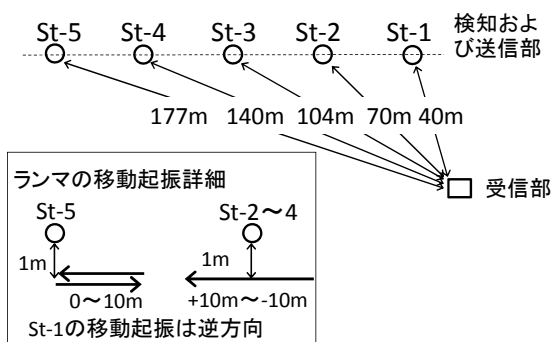


図-4 検知および送信部と受信部とのネットワーク形態

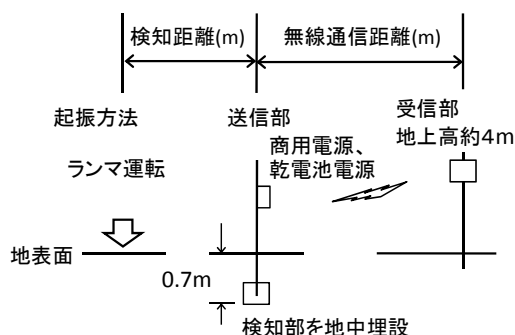


図-3 振動検知及び通信試験の概要

起振方法は、締固め用機械の1.8KW級ランマを除雪した地表で運転させた。振動数は毎秒約11回である。簡易振動センサは、直線上に37mの等間隔で配置した5地点に、砂質土で構成された地表下0.7mの掘削面に密着させてそれぞれ設置した。

以後、ことわりの無い場合は、5地点の振動センサから1箇所の受信機まで検知した加速度を順次送信した。なお、通信負荷軽減から、垂直方向1軸を観測・通信した。

### 2.1. 通信ネットワーク試験

泥流等の流下を模擬して振動源を移動させて起振した。一つのセンサ埋設地点から1m離して、センサ埋設方向と平行に前後10mずつランマを概ね毎秒0.2mの速度で移動させ、5地点で振動検知を行った(図-4)。これをSt-1前からSt-5前までの5地点で行った。

表-1 試験概要一覧

	通信ネットワーク試験	通信距離試験	通信間隔試験	電源別試験-1	電源別試験-2
実験実施日	2015~2016年 12月11日	12月17日	12月17日	2月25日	2月26日
起振箇所	St-1,2,3,4,5前	St-1,2,4前	St-1前	St-1~5前	St-1~5前
通信間隔	1.0秒毎	0.5秒毎	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5秒毎	1.0秒毎	1.0秒毎
通信形態	ネットワーク	1対1	1対1	ネットワーク	ネットワーク
電源(検知および送信)	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源 乾電池	乾電池
電源(受信)	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源	商用電源
気温	5.5~8.9℃	1.4~3.3℃	1.4~3.3℃	-2.7~-0.3℃	-2.0~-0.9℃



写真-3 検知部設置状況



写真-4 通信試験状況

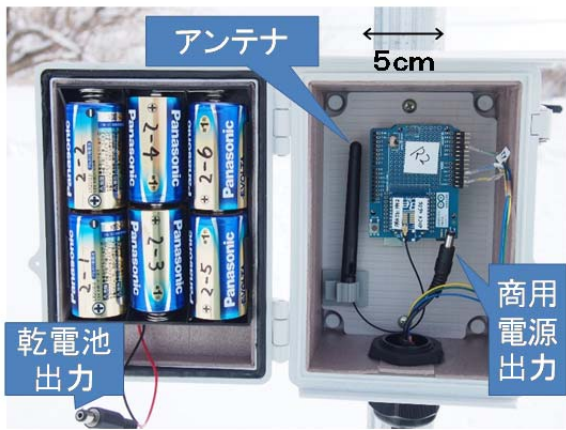


写真-5 送信部キャビネットの収納状況

## 2.2. 通信距離を変化させたデータ通信試験

通信距離を変化させたデータ通信試験は、通信の確実さと距離との関係を確認するため、検知および通信部と受信部との関係を1対1として実施した。起振条件は前節の通りである。無線通信距離を40m, 70m, 140mとし、データ通信間隔を一律0.5秒と設定した。

## 2.3. 通信間隔を変化させたデータ通信試験

通信距離をSt-1から受信部までの40mに固定して通信間隔を変化させ通信の確実さの確認を目的として実施した。通信間隔は0.1秒から0.5秒までの0.1秒おきである。検知および通信部と受信部との関係は1対1である。

## 2.4. 検知および送信電源を変化させたデータ通信試験

受信部は商用電源使用を共通とし、検知および送信部の電源を商用電源、アルカリ乾電池電源、一晚キャビネット内で野外に放置したアルカリ乾電池電源の3種類で実施した。野外放置時の最低気温は-9.1℃であった。

## 3. 結果と考察

通信ネットワークについて、代表例として図-5にSt-2前で起振し、5地点で同時に受信した結果を示す。通信間隔1.0秒間では5地点のデータを1箇所の受信部で円滑に受信できていた。図-6に通信距離試験の結果を示す。それぞれの観測所直近で起振して得た振動データの通信状況は、この条件下では通信距離に関わらず安定した受信状況であった。このうち、St-4は地表にササが残っていることによる振動吸収が考えられる。図-7にSt-1を送信地とする同一距離、通信間隔別の試験結果を示す。通信間隔が0.1秒の場合では、概ね1.5秒間の断続受信が見られ(グラフの直線部)、再開後6~11ミリ秒間に7~11個のデータを集中的に受信(グラフの上下線部)した。この現象は、Zigbee通信の特長である次善の送信先の探索と、通信再開後の集中的な情報伝達とに影響されていることが推察される。それ以外の通信間隔では円滑に受信出来ていた。図-8に検知

部および送信部の電源の違いに関する試験結果を示す。電源別に大きな相違は見られなかったことから、この試験条件下では乾電池への負荷は小さかったものと考えられる。既往の土石流の観測事例<sup>5)</sup>から10~15gal程度の加速度を取得できれば振動検知の実用可能性が考えられ、今回の試験ケースも検知に関する実用可能性が推察される。

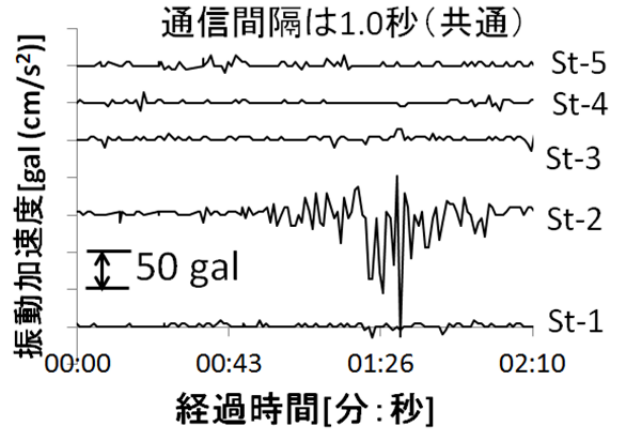


図-5 St-2前で起振のデータ受信状況(5地点)

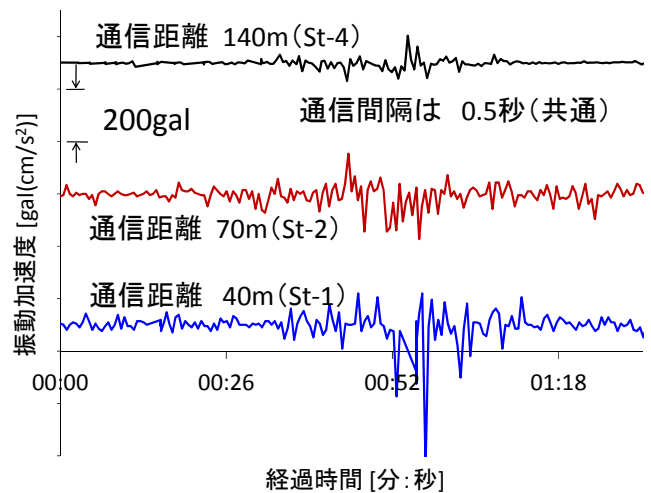


図-6 通信距離によるデータ伝達状況

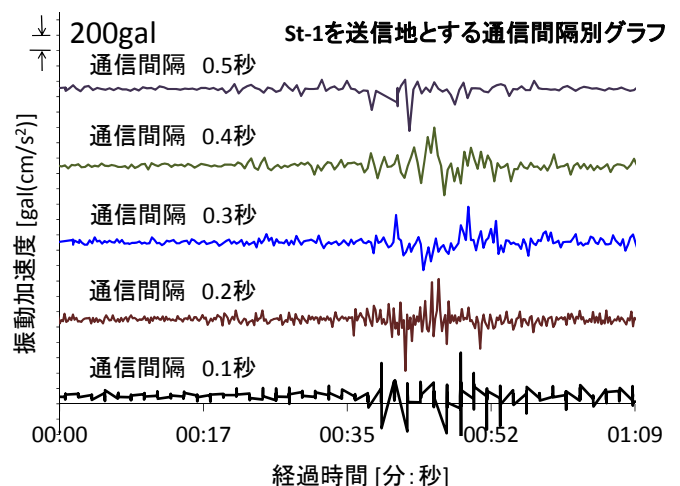


図-7 通信間隔によるデータ伝達状況

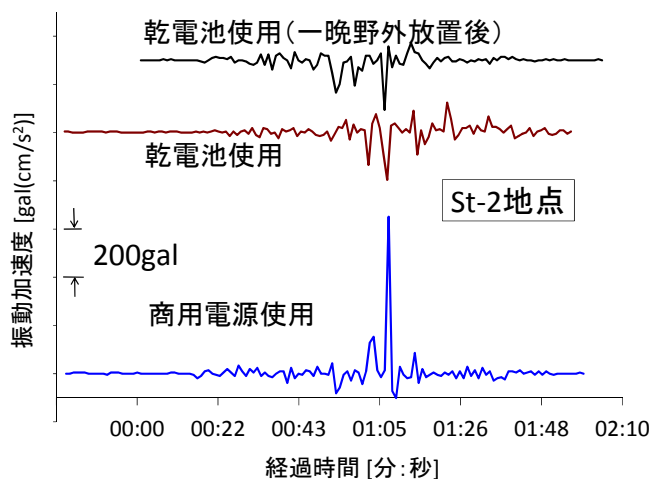


図-8 電源別のデータ伝達状況

#### 4. まとめ

一定規模以上の振動加速度検知の場合、通信距離・データ通信間隔・電源等の使用条件の選定により、外気温がマイナス2度程度では簡易振動センサを用いたネットワークが可能なのことがわかった。簡易振動センサを用いた観測システムは安価なこともあり、多点による面的観測が期待できる。

今後は火山地域での現地越冬試験等で、振動検知・通信・電池電源などの耐寒性・長期使用性・着氷雪による通信への影響等を明らかにして実用化につなげていきたい。

#### 参考文献

- 1) 札幌管区気象台 地域火山監視・警報センター：北海道の活火山，  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/sapporo/volcanosp.html>. (2016年10月17日閲覧)
- 2) 内閣府：過去の災害に学ぶ(第15回) 1926年十勝岳泥流災害，広報ぼうさい，No.42，2007年11月  
[http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyoukunnnokeishou/rep/1926-tokachiFUNKA/pdf/kouhou042\\_20-21.pdf](http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyoukunnnokeishou/rep/1926-tokachiFUNKA/pdf/kouhou042_20-21.pdf).  
 (2016年10月17日閲覧)
- 3) 水谷ら：安価かつ簡素な土砂移動時刻記録装置の開発と土石流発生時刻の検知事例，砂防学会誌 Vol.67，No.5，P.49-54，2015.
- 4) 藤浪ら：簡易振動センサによる寒冷環境下での検知及び通信に関する検討，平成27年度砂防学会研究発表会概要集B，P.424-425，2015.
- 5) 独立行政法人土木研究所ほか：振動検知式土石流センサーを活用した土石流監視手法に関する共同研究報告書，P.62，平成24年10月.