

土石流の動態を3次元点群データで捉える ～LiDARを用いた土石流観測の取り組み～

土木研究所

土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム

上席研究員 坂井佑介

土石流観測の歴史

◆羽越水害(1967年)

死者・行方不明者146人

住宅の全半壊・流失2,594戸¹⁾



※国土交通省北陸地方整備局飯豊山系砂防事務所HPより引用

◆飛騨川バス転落事故(1968年)

岐阜県の乗鞍岳に向かう観光バスが2台が国道41号を走行中、集中豪雨による土石流に巻き込まれて飛騨川に転落。乗客ら104名が亡くなった²⁾。

1970年代まで、土石流は正体不明の幻の現象をいわれていた・・・
⇒1970年代以降に長野県焼岳で土石流の総合的な観測が開始



記録日時：1999年6月27日 12:35頃

※多治見砂防国道事務所提供

土石流観測の困難さ

- 土石流の発生頻度は1つの溪流ではそれほど高くないため、観測したい現象がすぐ発生する可能性が低い
- 安全面から観測可能な場所が制限される
- ひとたび土石流が発生すると計測機器が破壊され、計測不能になる可能性が高い

継続的な土石流観測地の例³⁾

長野県 焼岳



静岡県 富士山



鹿児島県 桜島

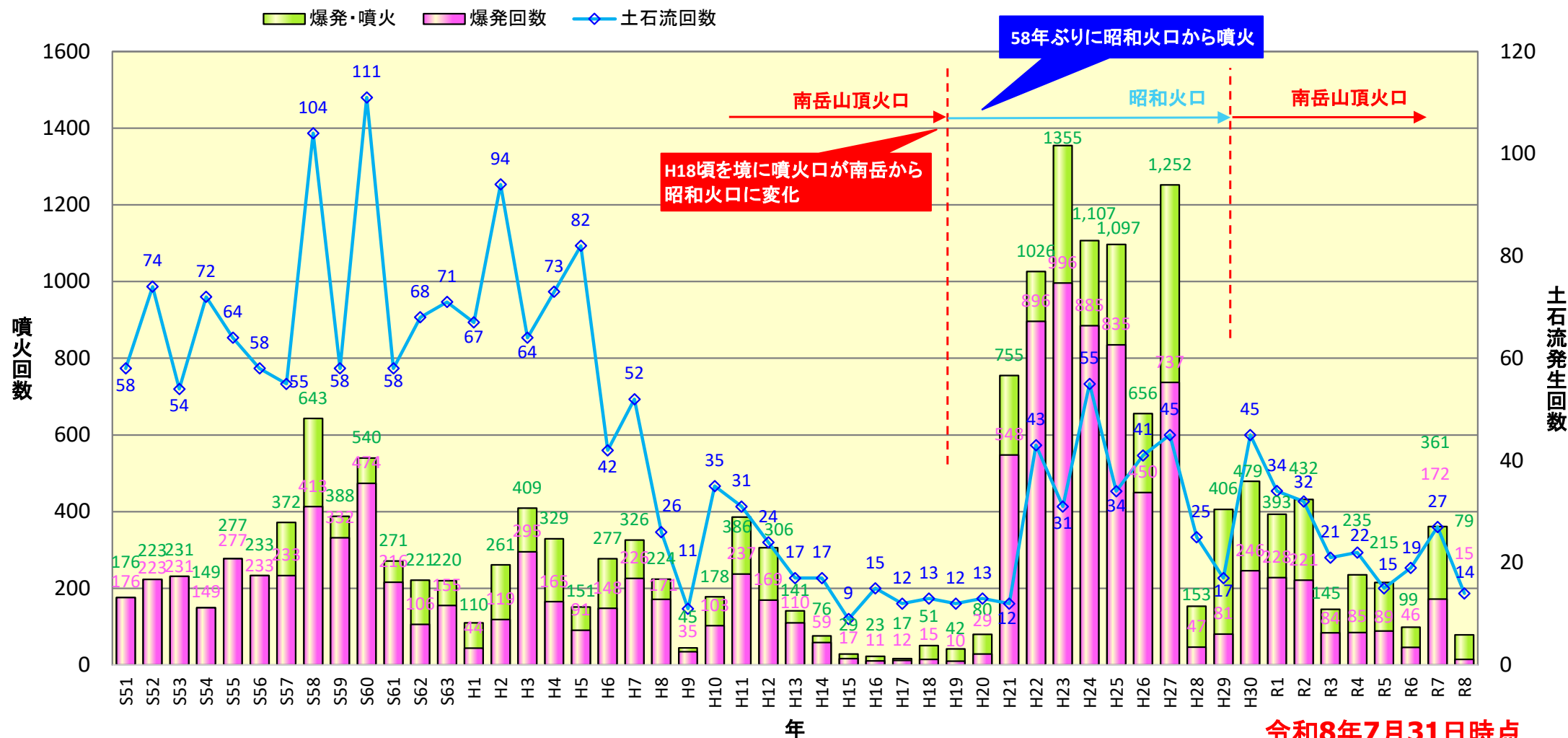


※ 写真は松本砂防事務所、富士砂防事務所、大隅河川国道事務所のHPより引用

今回紹介する3D LiDARの観測地

桜島の土石流観測について

- S47年～H17:南岳山頂火口、H18～H29:昭和火口、H30年以降:南岳山頂火口の活動が活発
- 活発な噴火活動に伴い、継続して土石流が発生している



桜島の場合

- ・爆発的噴火：爆発地震を伴い、爆発音または体感空振・噴石の飛散、空振を観測した場合
- ・噴火：噴煙量階級3*以上の有色噴煙を伴う噴火（噴煙高1000m以上）

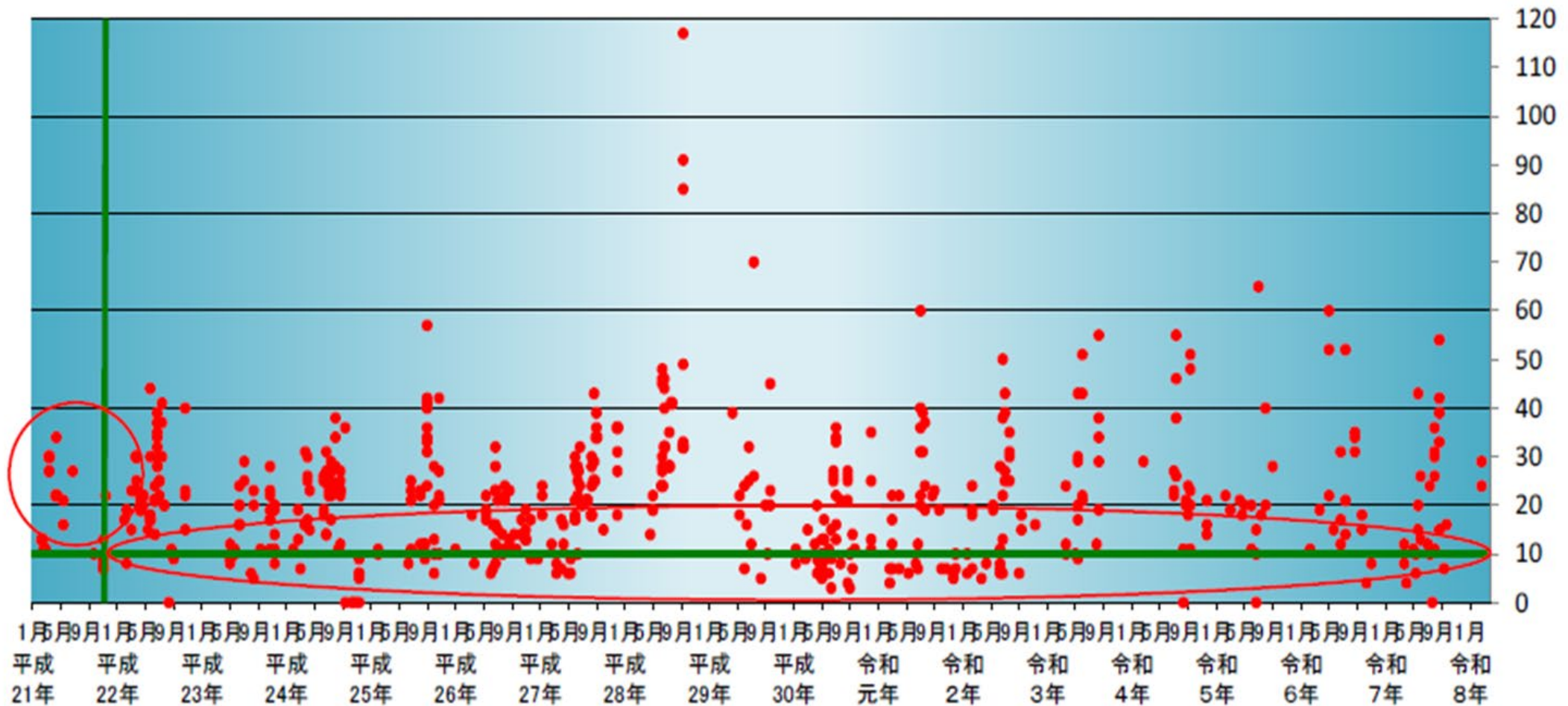
令和8年7月31日時点

※ 大隅河川国道事務所提供データ

桜島の土石流観測について

- 火山灰堆積の影響により、少ない降雨量でも土石流が発生

土石流発生直前の1時間雨量(mm)



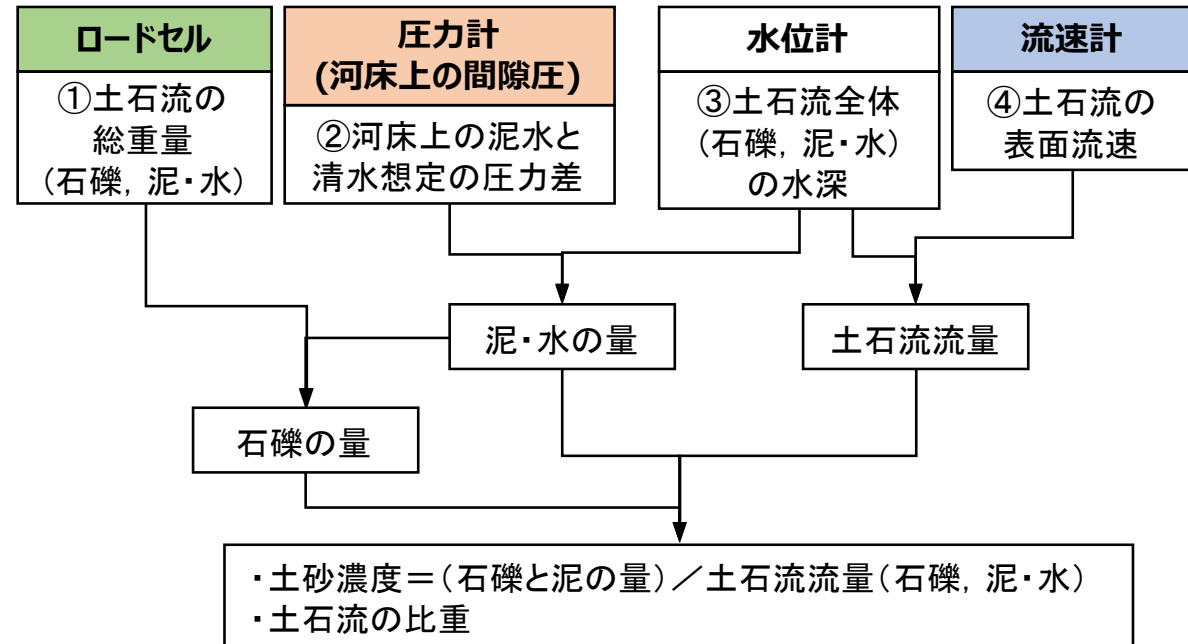
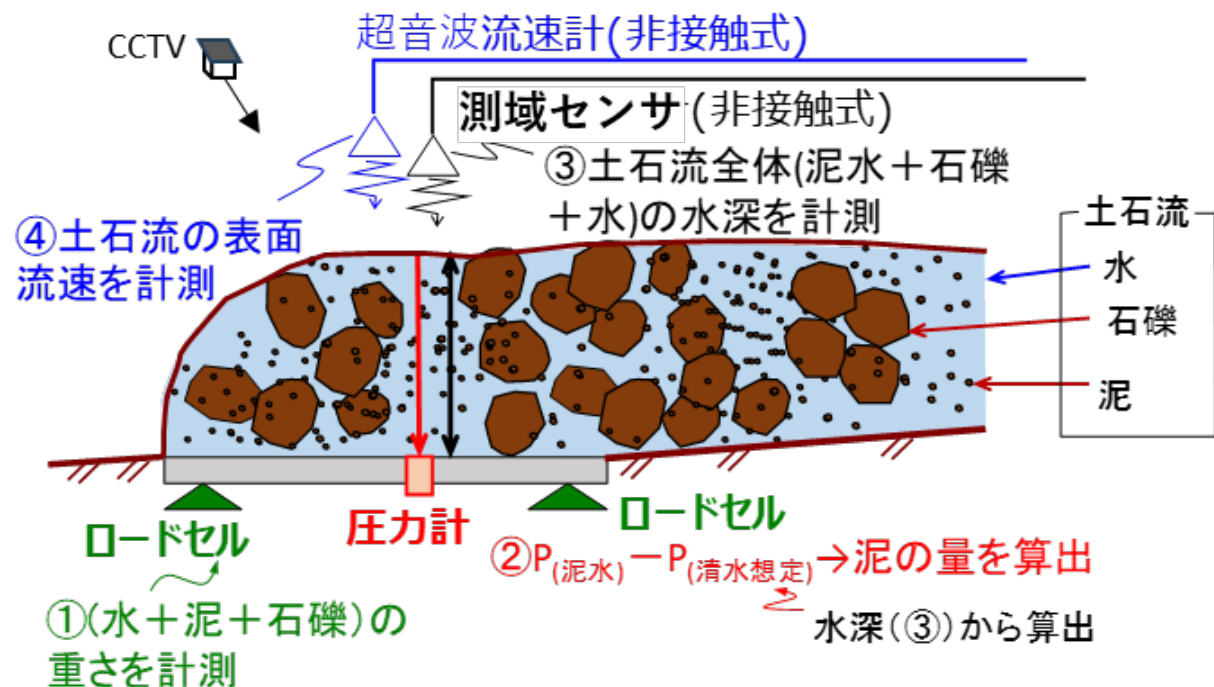
※ 大隅河川国道事務所提供データ

桜島の土石流観測について



※ 大隅河川国道事務所提供

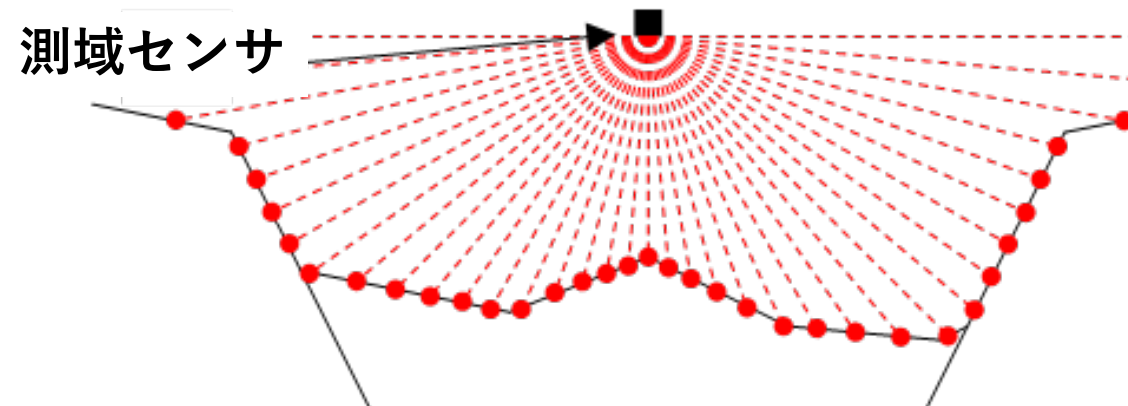
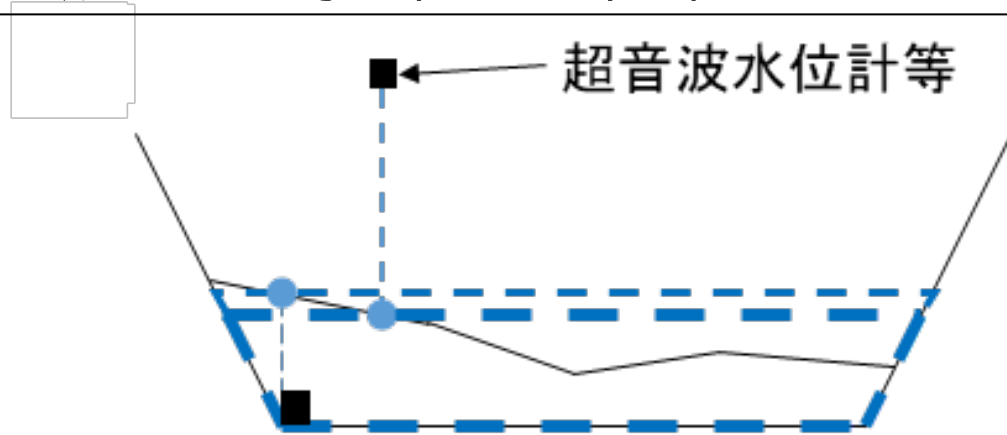
桜島の土石流観測について



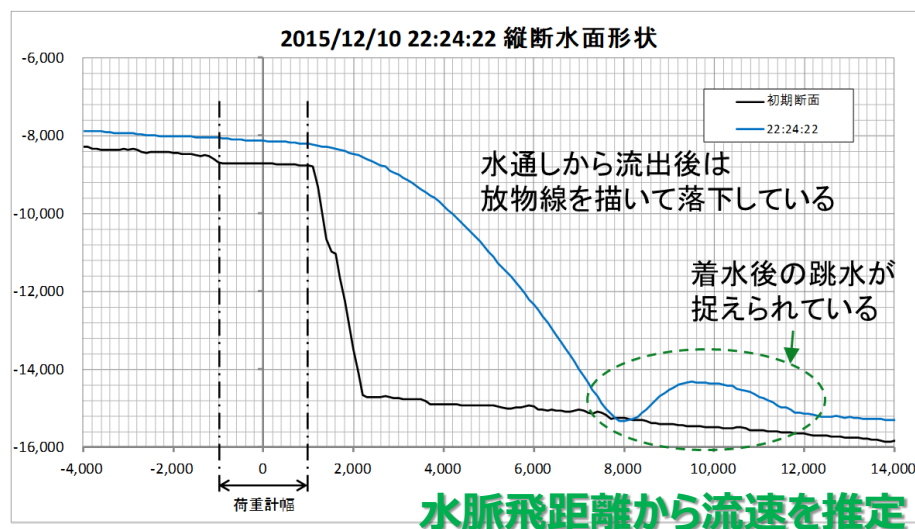
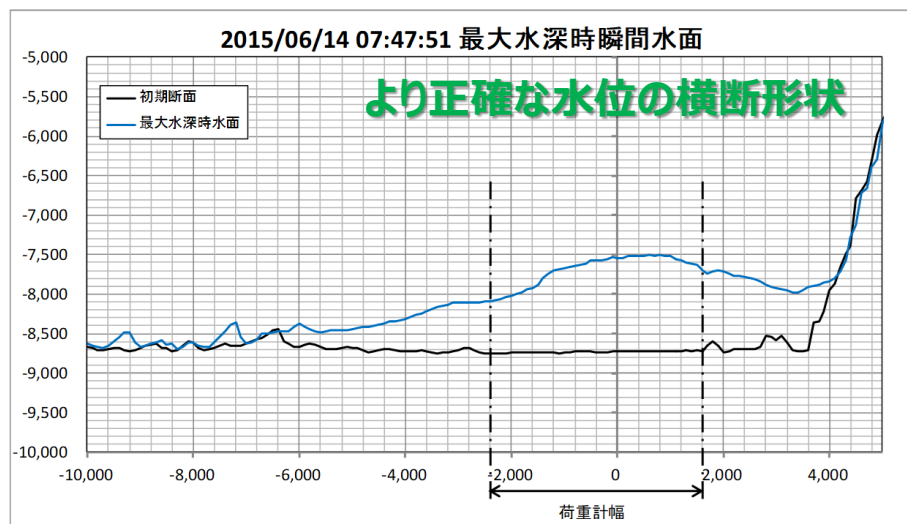
有村川3号砂防堰堤での観測状況
(現在は野尻川1号砂防堰堤に移設)

桜島の土石流観測について

- 従来の機器では計測が困難な、空間的に非一様である土石流の水位をより正確に計測するために測域センサを導入(2012年～)



横断方向、縦断方向の2側線で計測



- ✓ 測域センサは流速と断面積を取得するためには複数台必要
- ✓ 空間的に非一様である土石流の流速をより正確に計測



LiDARの導入

Livox Avia

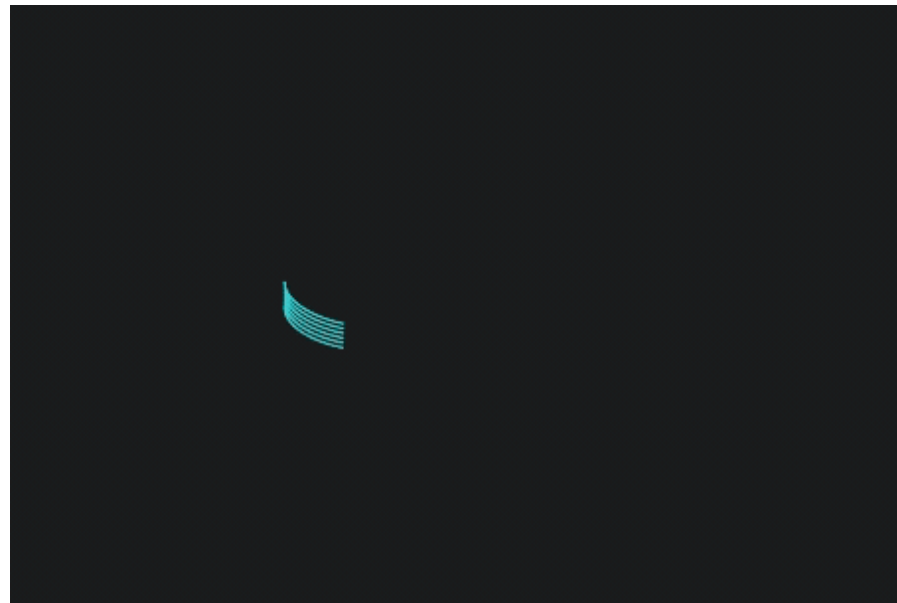
- 点率 | 240,000ポイント/秒
- 視野角 | 水平70.4°, 鉛直77.2°
- 最大測定距離 | 450 m
- 重量 | 約 500 g



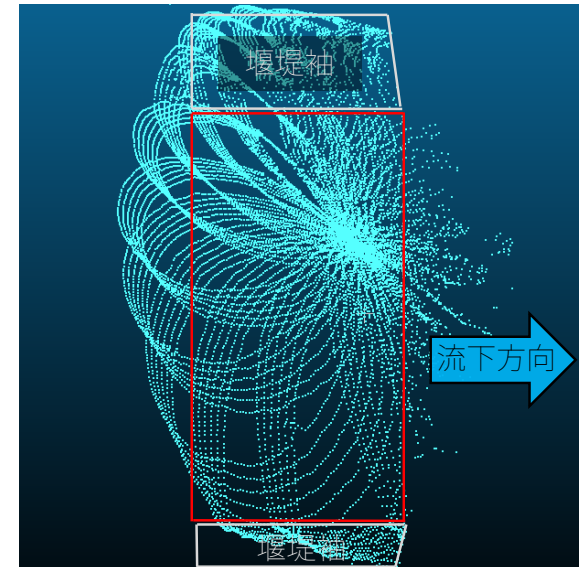
<https://www.livoxtech.com/jp/avia>

計測 | 非反復走査モード

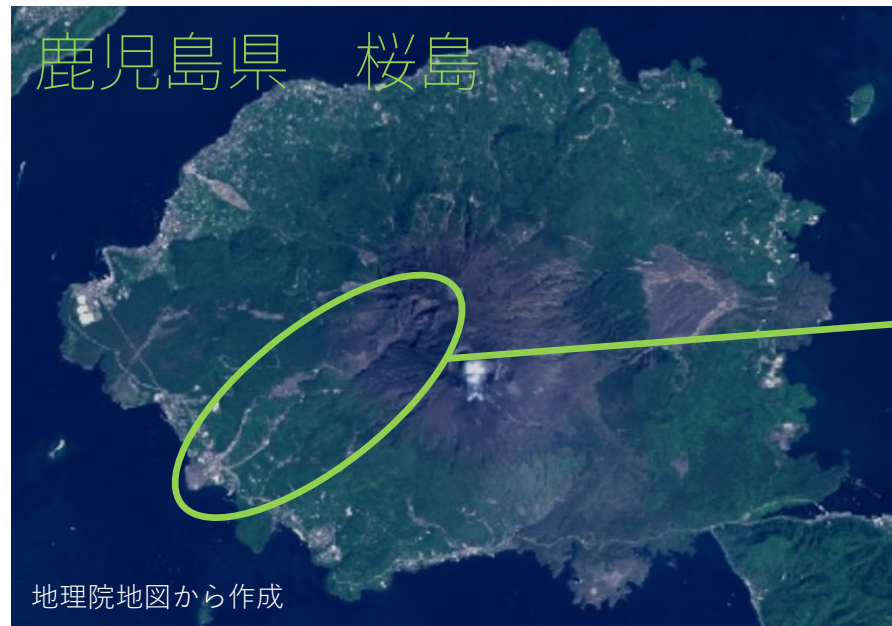
時間の経過とともに視野内の点群密度とカバー範囲が増加するスキャン方法



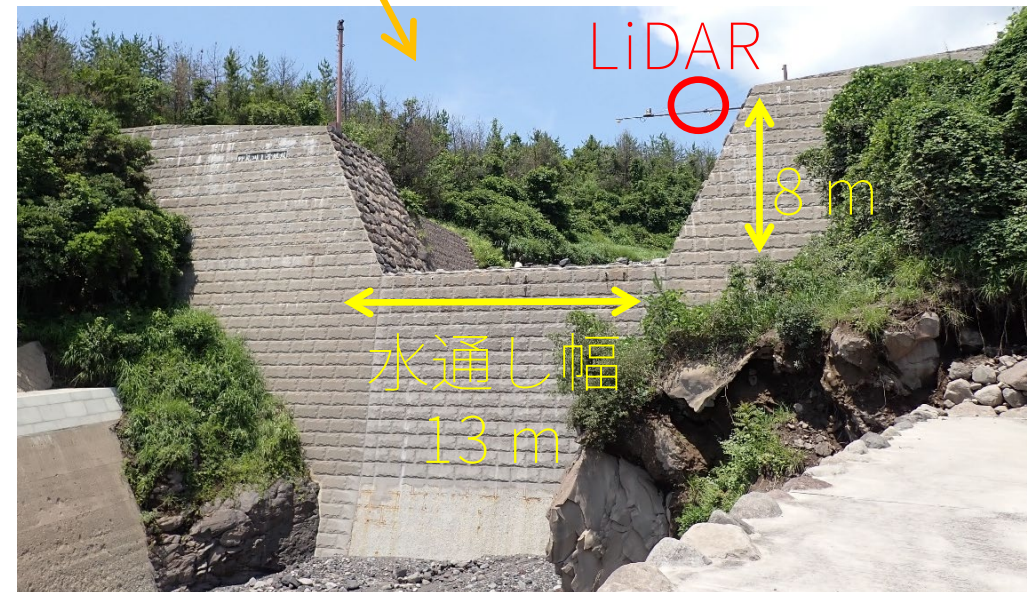
実際に取得された点群



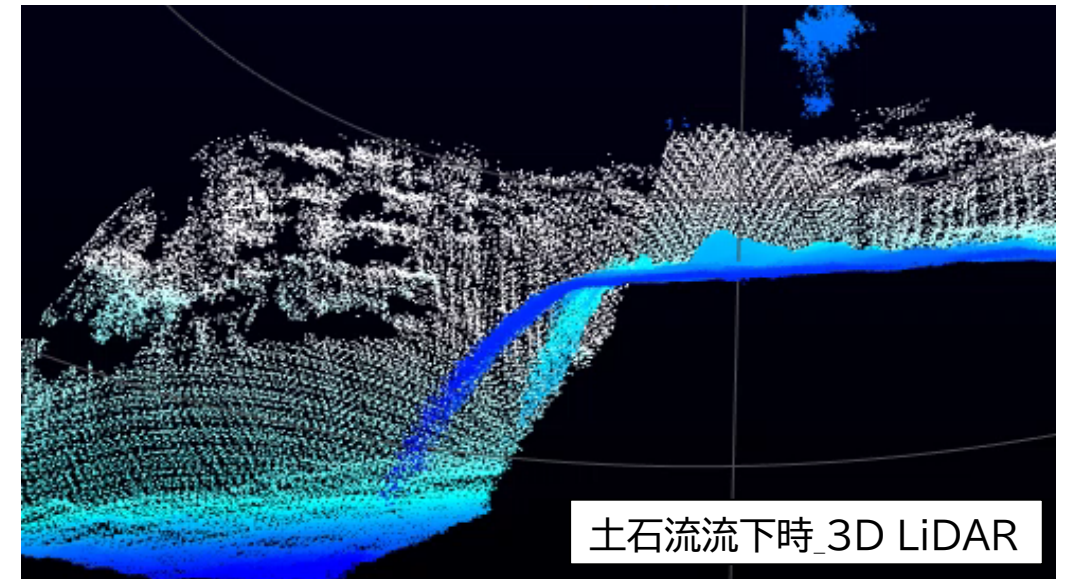
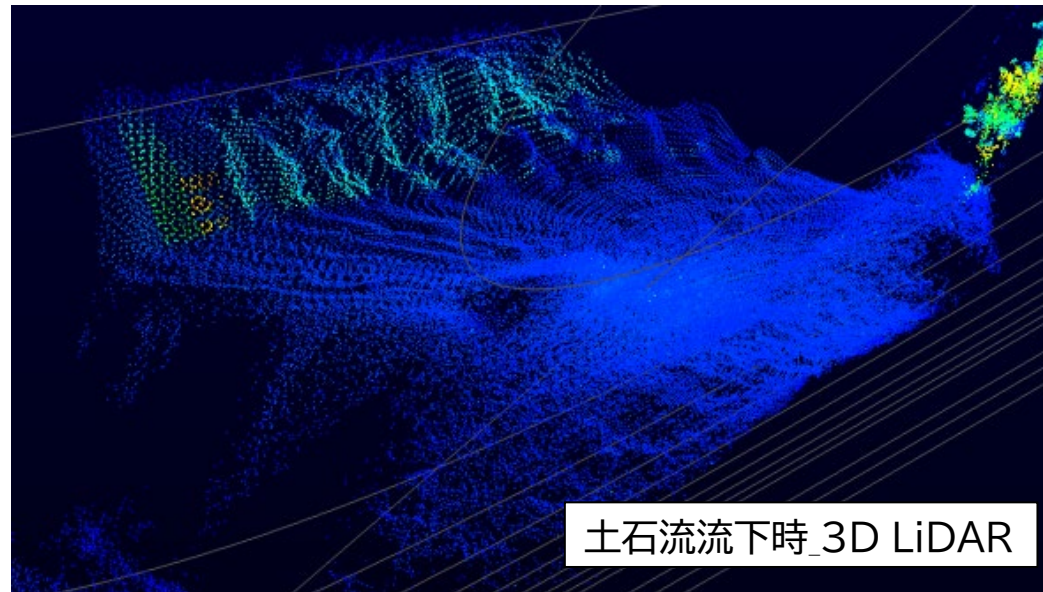
桜島での観測サイト



- 2025年2月までは有村川3号砂防堰堤、
2025年3月からは野尻川1号砂防堰堤左岸
側袖部にLiDARを設置
- 3分間隔・120秒間で観測
- 2025年3月からの野尻川での観測では、約7
カ月で計7回の土石流観測データを取得



LiDARで観測された土石流



2024/8/20 20:39に有村川で発生した土石流 ※当時は有村川3号砂防堰堤に設置

LiDARで観測された土石流

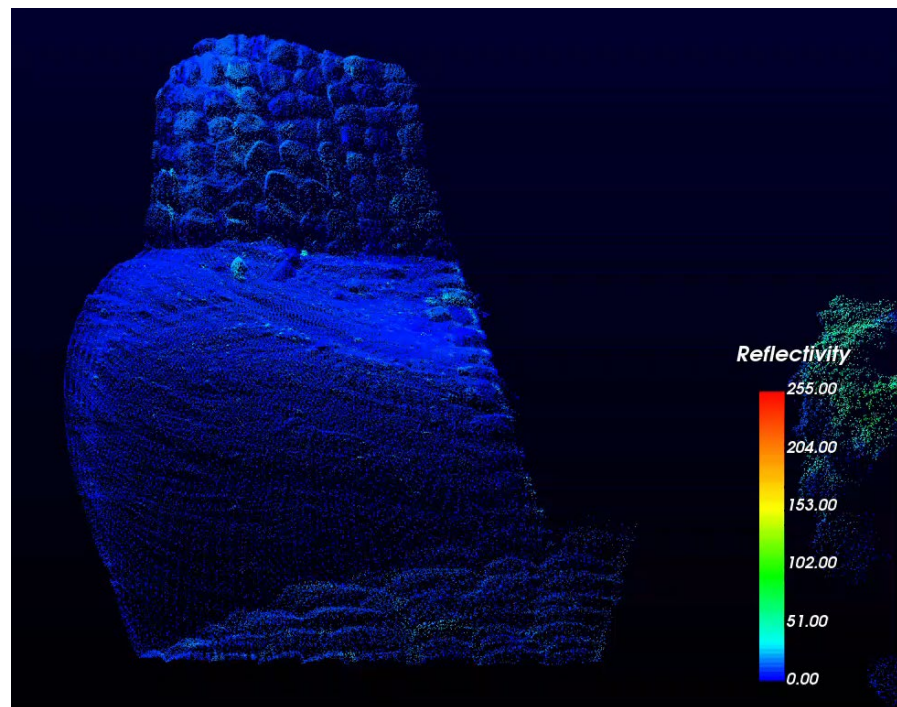
平常時
CCTV



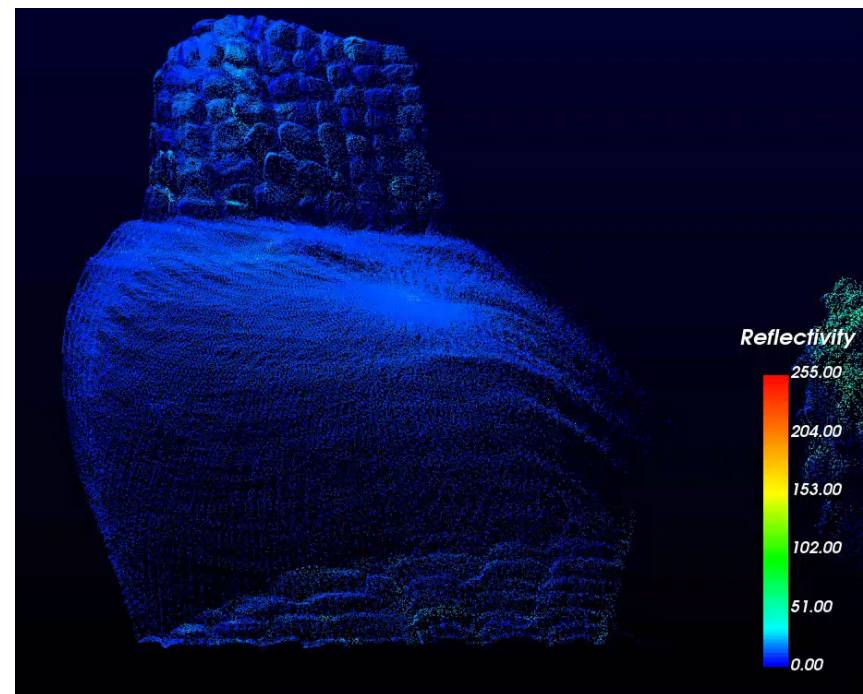
土石流
流下時
CCTV



平常時
LiDAR

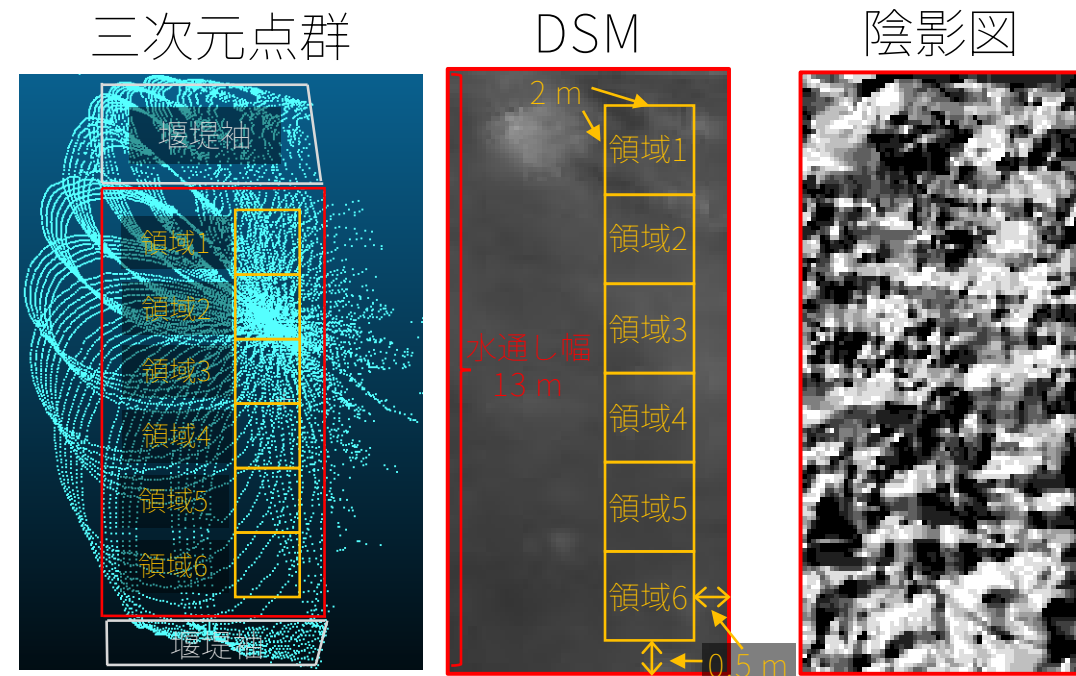
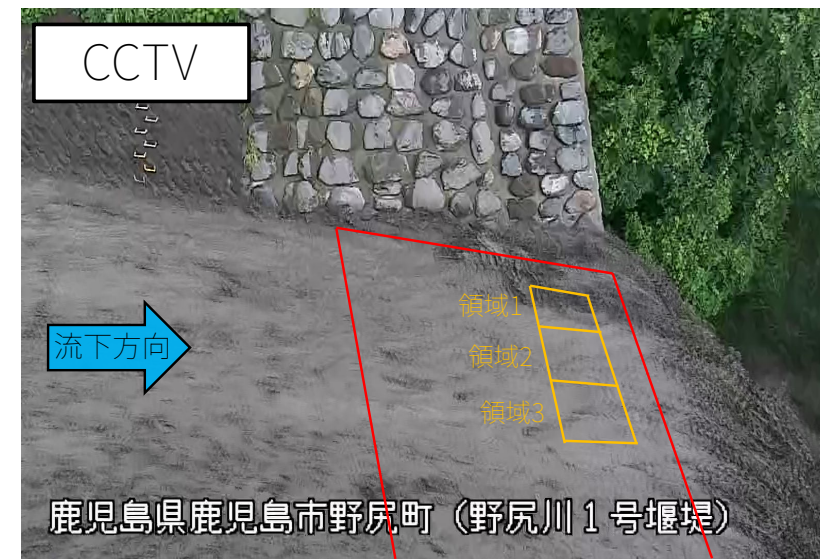
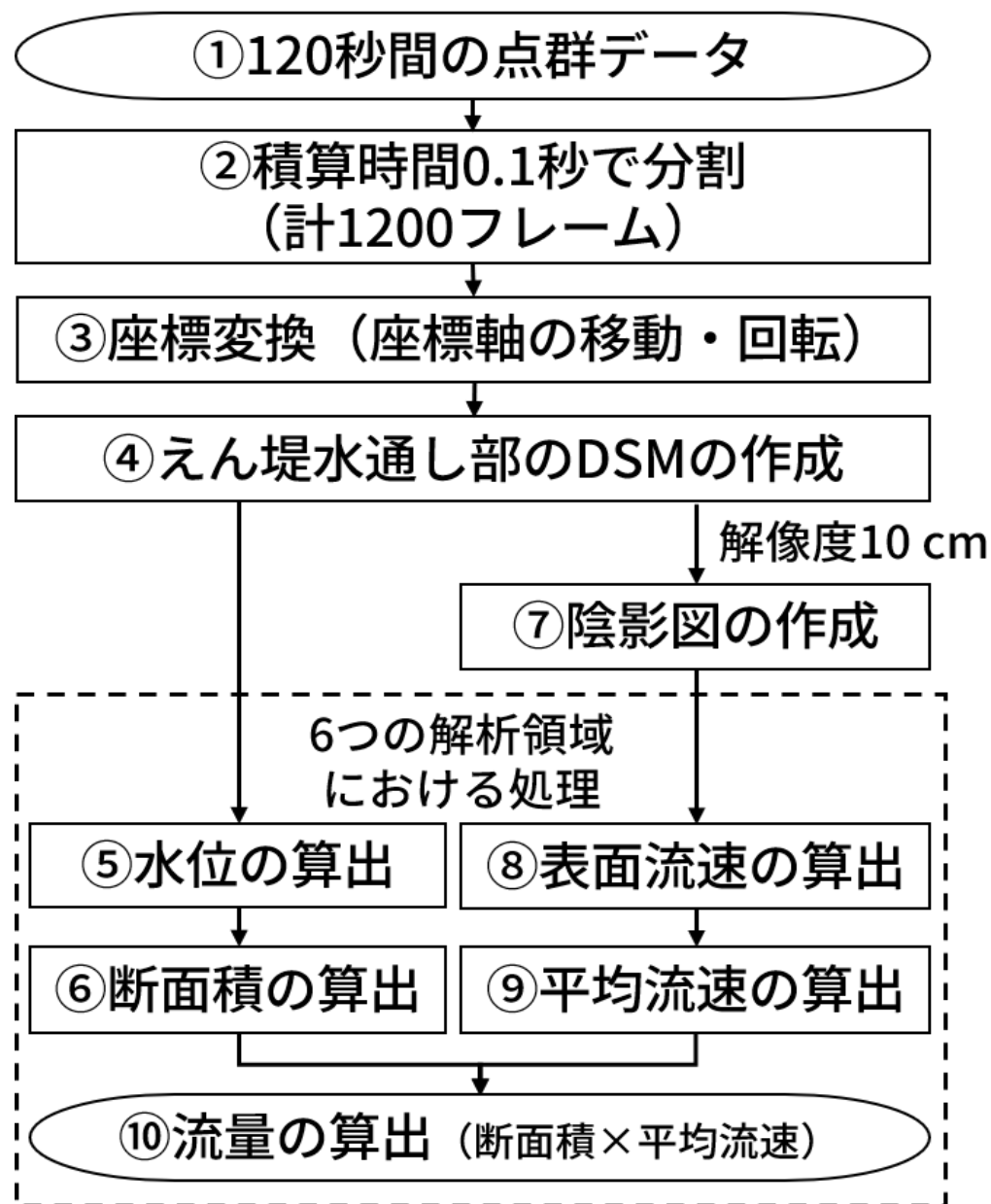


土石流
流下時
LiDAR

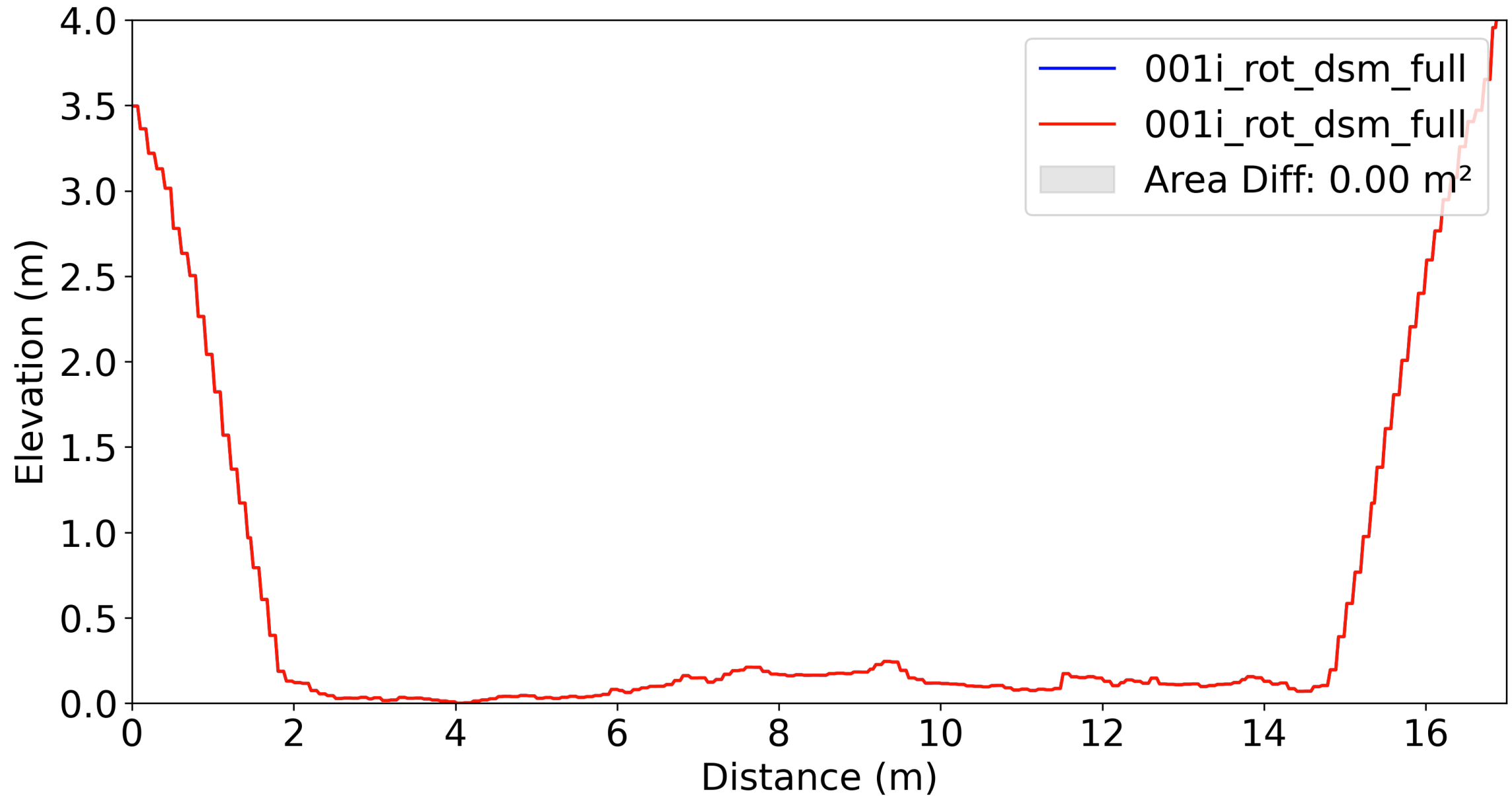


2025/9/13 15:50に野尻川で発生した土石流

土石流の水位・流速・流量算出のための点群データの処理工程



水位・断面面積の算出結果



表面流速・平均流速の算出方法

- 表面流速 | 連続する2時期(0.1秒)の陰影図を用いたオプティカルフロー⁴⁾によって算出
- 平均流速 | 表面流速 $\times 0.7$
- LiDAR表面流速は, CCTV画像のオプティカルフローの表面流速結果で検証

※ 水位, 表面流速は, 領域内の平均値を採用

※ オプティカルフロー

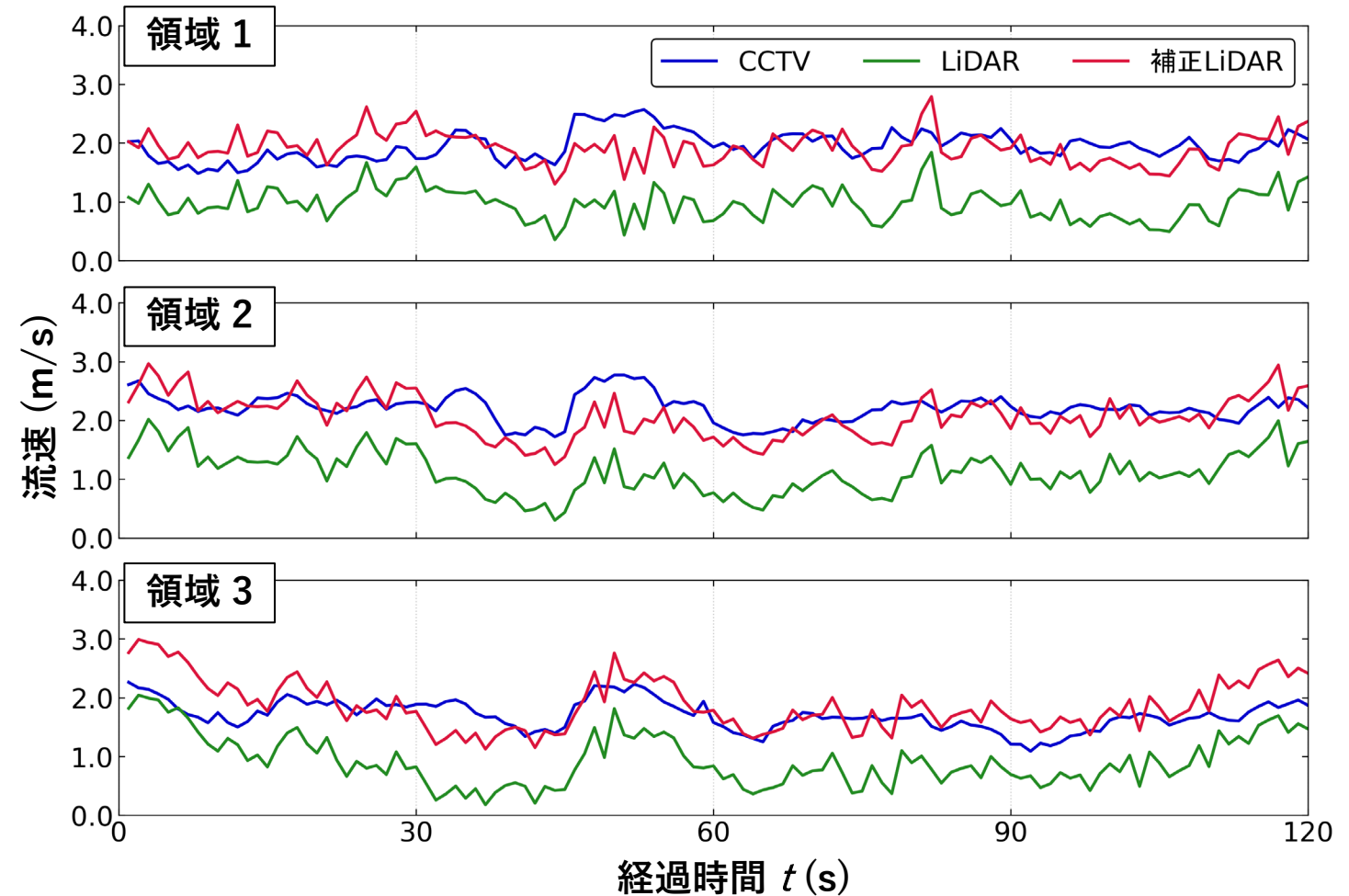
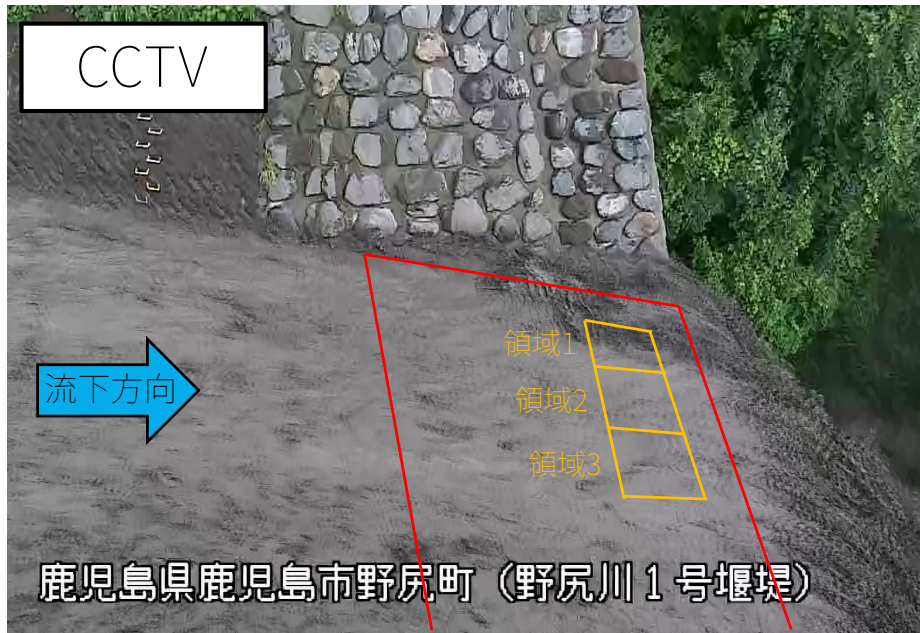
特徴点あるいは全画素が隣接フレーム間でどこからどこへ動いたかを検出する画像解析手法. 今回は, 全画素の移動を検出できるDense Inverse Search Optical Flowを採用.



色相は, 移動ベクトルの方向,
色の強度は, 移動ベクトルの大きさを表現.

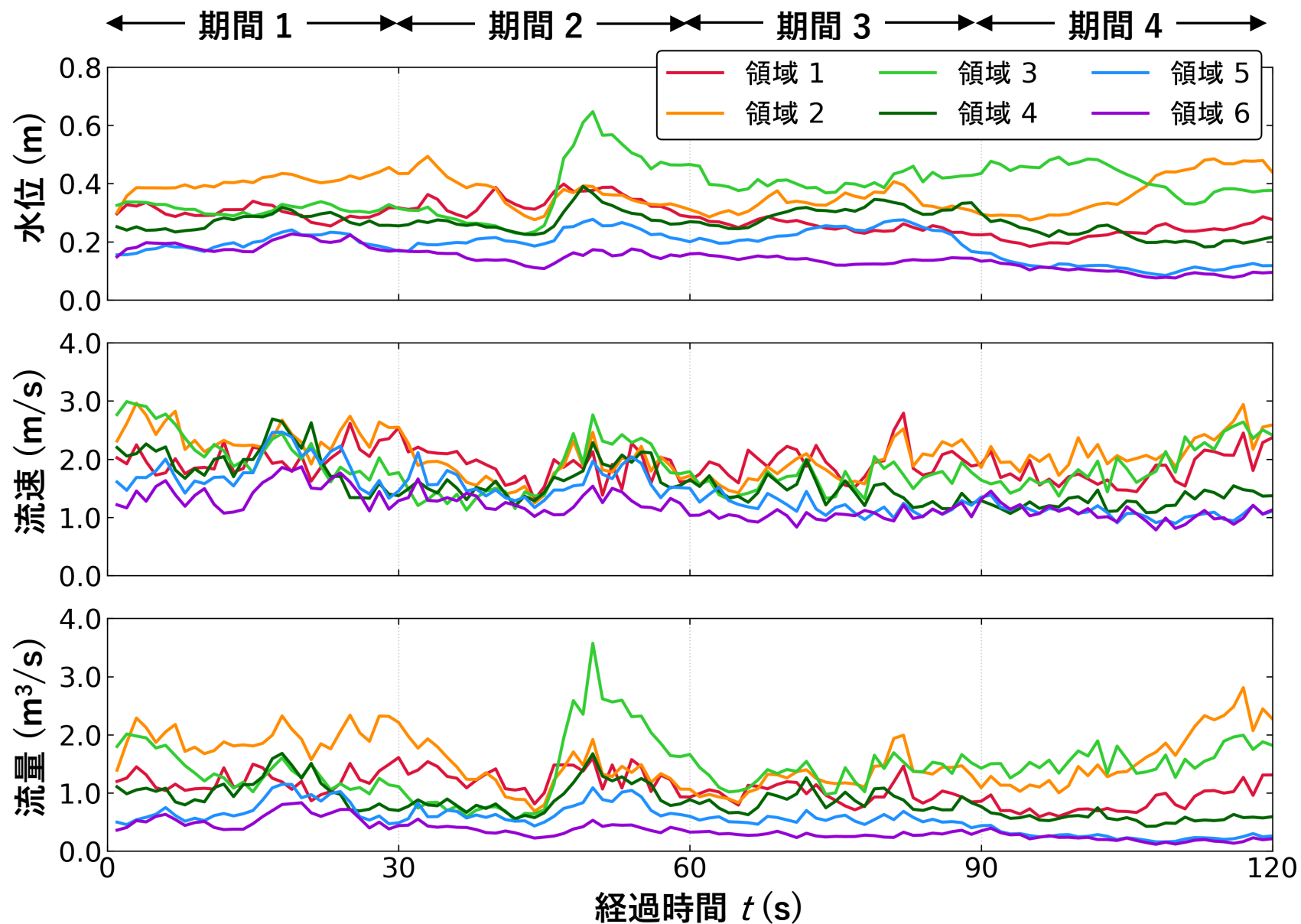
表面流速・平均流速の算出方法

CCTVに写る領域1～3で、LiDARの流速とCCTVの流速を比較・検証



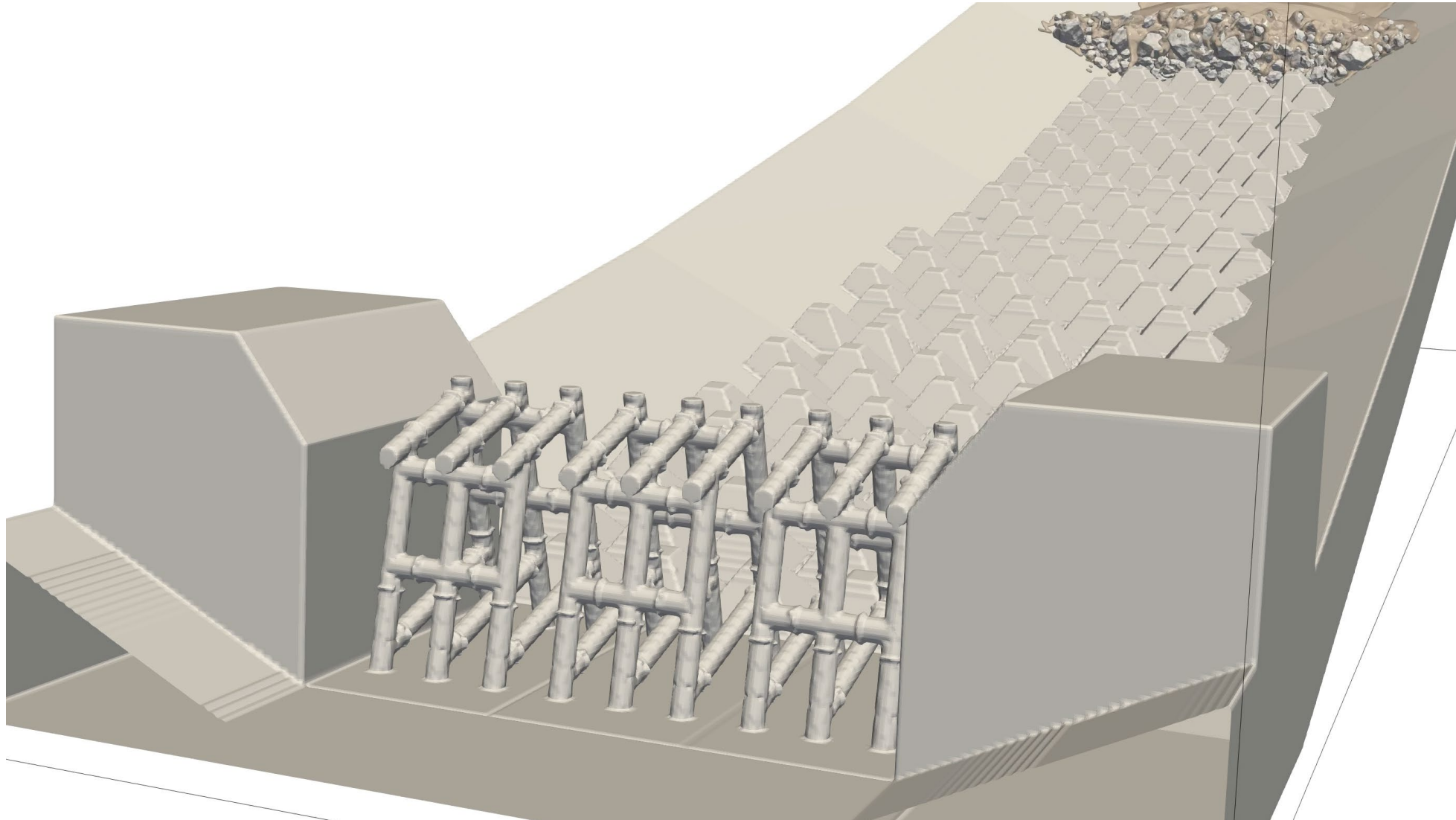
- LiDARの流速とCCTVの流速は、 $t = 30 \sim 60$ にかけての増減の変化など類似した傾向。
 - ただしLiDARの流速はCCTVの流速よりも常に低い。現時点で原因は不明。
- ⇒本検討では、領域1, 2, 3におけるCCTVとLiDARの流速の差分の平均値0.95を全領域のLiDARの流速に加えてLiDARの流速を補正。

水位・流速・流量の算出結果と時系列変化



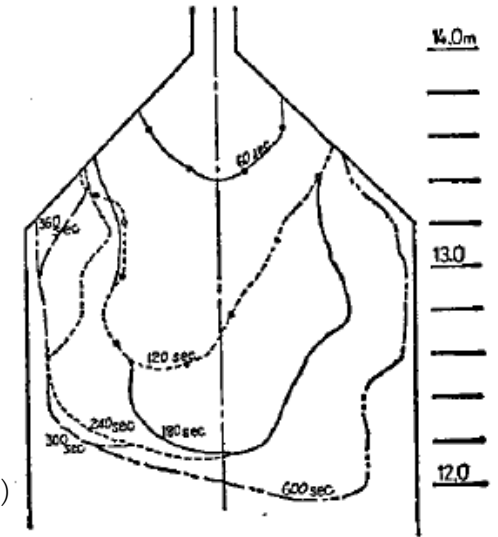
- ✓ 時系列変化の全体的な傾向は同じであるが、領域によって諸量が異なる
- ✓ $t=40\sim 50$ において、流量の最大が領域2と領域3で逆転(横断方向の流れの変化をとらえている)
⇒空間的に非一様な土石流の動態(水位、流速、流量)が計測できている

- 数値シミュレーション技術が発展していることも鑑み、より詳細な土石流観測データの蓄積



今後の展望

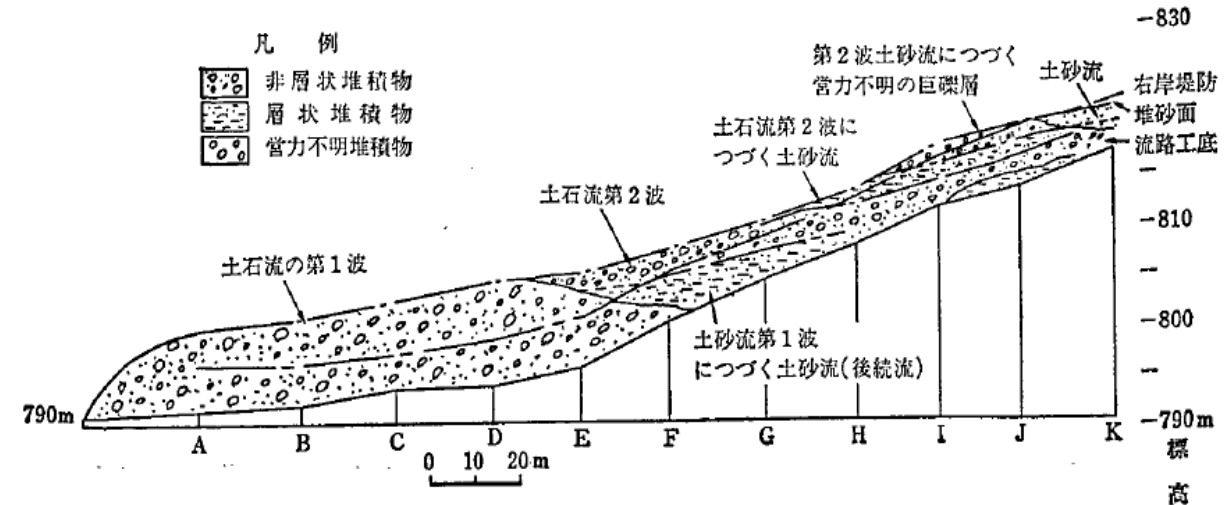
- 土砂移動現象の流下は精力的に観測されてきたが、今後は、その発生過程、氾濫・堆積過程まで拡張した研究が望まれる5)
 - ⇒ 土石流堆積区間における減勢・停止過程の位置情報を有する観測記録
- 土石流観測は点(1画角)もしくは1横断側線上の情報であり、縦断方向を含めた連続的な動態変化に関するデータは少ない
 - ⇒ 勾配変化点等における土石流の水位、流速、流量の連続的な変化



土石流の堆積過程（実験）⁶⁾



※国土交通省中部地方整備局より提供



土石流の堆積状況（現地調査）⁶⁾

- 1) 砂防便覧 令和4年版
- 2) 岐阜県HP <https://www.pref.gifu.lg.jp/page/6951.html>
- 3) 砂防学会(2022)砂防の観測の現場を訪ねて3～水の動きの不思議～、p.49-86
- 4) Kroeger, T., Timofte, R., Dai, D., and Gool, L.V. (2016): *Fast optical flow using dense inverse search*, *Proceedings of the European Conference on Computer Vision, ECCV*
- 5) 山田孝(2024)これからの土砂災害研究と減災のありかたについて想うこと、砂防学会誌、Vol.77、No.3、p.1-2
- 6) 池谷浩・水山高久(1981)土石流の流動と堆積に関する研究、土木研究所報告157号