

**令和6年度**  
**大規模土砂災害対策研究機構年報**

**大規模土砂災害対策研究機構**

## 1. 研究機構の概要

---

大規模土砂災害対策研究機構は、平成 23 年紀伊半島大水害において多数発生した大規模な土砂災害を契機として、大規模土砂災害への対応技術の高度化に対して行政・大学・研究機関が連携して取り組むために平成 26 年度に設立され、様々な取り組みを進めている。

### 1.1 構成機関

大規模土砂災害対策研究機構は下記の 9 機関により構成される。

- ・ 国土交通省近畿地方整備局（大規模土砂災害対策技術センター）
- ・ 国土交通省国土技術政策総合研究所
- ・ 国立研究開発法人土木研究所
- ・ 和歌山県
- ・ 那智勝浦町
- ・ 北海道大学
- ・ 三重大学
- ・ 京都大学
- ・ 和歌山大学

### 1.2 研究機構の取り組む課題

研究機構では、主として下記の課題に対して取り組みを行う。

- ・ 大規模土砂災害に係る危険箇所の抽出・評価
- ・ 中山間地域の危機管理対策
- ・ 国土監視及び国土管理の強化
- ・ 次世代災害対応技術の開発・導入

### 1.3 研究機構の果たす役割

上記の取り組みに加え、地域に根ざした研究機関として、研究機構は下記の役割を果たすことを目指す。

- ・ 土砂災害防止に関わる人材育成支援
- ・ 地域防災力の充実・強化支援
- ・ 防災知識普及のための広報
- ・ 諸外国に向けての技術の発信

## 2. 研究課題

---

研究機構における研究として、大規模土砂災害対策技術センターが主体となり、構成機関の助言を受けながら実施する研究と、センターを含め構成機関相互の連携により共同で実施する研究を実施している。

令和6年度は下記のテーマについて研究を行った。

### 2.1 大規模土砂災害対策技術センター・国土技術政策総合研究所

- ・ 地盤振動データによる大規模な土砂移動を検知するための観測局設置方法の検討
- ・ 大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響
- ・ 那智川流域における景観に配慮した砂防工事の取組
- ・ 砂防設備の維持管理における高度化に向けた取組み
- ・ SfM-MVS を用いた発災直後の地形把握手法の検討
- ・ UAV を用いた砂防設備点検の自動化に向けた検討

### 2.2 土木研究所

- ・ 数値標高モデルと土砂移動範囲情報による簡便な河道閉塞箇所抽出の試み

### 2.3 和歌山県

- ・ プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践
- ・ 小学校理科と土砂災害を組み合わせた総合的な学習の実践
- ・ 災害伝承碑紹介動画の制作とその活用について
- ・ 土石流による地形変化の検証と侵食量に着目した土石流予測計算
- ・ ステレオカメラを活用した支障木調査の一考察
- ・ 和歌山工業高等専門学校と連携した土砂災害防災学習教材の開発
- ・ 有田川水害における災害教訓伝承の取組みについて
- ・ 小学校の学習教科等に防災教育を取り入れた学習の実践
- ・ 中山間地域の小学校での土砂災害防災リテラシー向上のための AR 技術を活用した防災教育の取組み

### 2.4 京都大学

- ・ 大規模崩壊跡地における二次的土砂移動に関する解析

# 地盤振動データによる大規模な土砂移動を検知するための観測局設置方法の検討

## METHOD OF CONSIDERING OBSERVATION STATIONS FOR DETECTING LARGE-SCALE SEDIMENT MOVEMENT BASED ON SEISMIC DATA

小林正直<sup>1</sup>・岸本優輝<sup>2</sup>・竹下航<sup>2</sup>・海原荘一<sup>3</sup>・谷田佑太<sup>3</sup>

Masanao KOBAYASHI, Yuki KISHIMOTO, Wataru TAKESHITA,

Soichi KAIHARA and Yuta TANIDA

<sup>1</sup> 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

<sup>2</sup> 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所

(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター) (〒637-0002 奈良県五條市三在町 1681)

<sup>3</sup> 株式会社エイト日本技術開発 (〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町 3-1-21)

**Key Words:** seismic wave, large-scale sediment movement, seismic station

### 1. はじめに

深層崩壊等による河道閉塞(天然ダム)に対する対策としては、第一に、物理的現象に対する早期覚知と迅速な被害想定が重要である。国土交通省では、高感度地震観測網の地盤振動によって深層崩壊等の発生位置を早期に検知するための「大規模土砂移動検知システム」の整備を全国的に実施している。これは、深層崩壊など大規模な土砂移動では、発生位置から数十 km 先まで地盤振動が到達することが明らかになっている<sup>1,2)</sup>に基づき、崩壊発生時の地盤振動を複数の振動センサーで捉え、大規模な土砂移動の発生位置・時刻を特定するシステム<sup>3)</sup>である。しかしながら、国土交通省が設置している振動センサー観測局の中には、観測局の環境条件の変化により移転を検討すべきものや、近傍の車両通行等の生活ノイズの影響により、検知範囲が比較的狭いものがある。そこで、本研究では振動センサーの移設検討事例を通して、望ましい振動センサー観測局の設置(移設を含む)方法について検討を行った。

### 2. 大規模土砂移動検知システムについて

「大規模土砂移動検知システム」は、高感度地震観測網により降雨による深層崩壊等を検知するもので、国土交通省の観測局と国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下、「防災科研」と表記)の高感度地震観測網(Hi-net)のデータに基づき運用されている。本システムの各構成要素の役割を表-1に、大規模土砂移動検知システムの判定フローを図-1に示す。本システムは深層崩壊の発生頻度の高いエリアに対して、降雨時において約300万m<sup>3</sup>規模の崩壊を検知する性能を維持することを目標としている。

なお、このシステムにおいては、原理上降雨に伴う現象のみを対象としており、大規模な地震に伴う土砂移動の検知は対象としていない。

#### (1) 観測局設置(移設を含む)方法検討の目的

現在の大規模土砂移動検知システムは、国土交通省の観測局だけでなく、防災科研のHi-netのデータも利用し、統合監視局で検知を行っている。

表-1 大規模土砂移動検知システム各構成要素の役割

構成要素	役割
観測局	観測局は大規模な土砂移動現象が発する地盤振動を観測する設備であり、測定箇所1箇所につき1局が設置される。地盤振動を観測するための振動センサー、観測記録を監視局に伝送するデータロガー、ネットワークへ接続するための伝送装置、電源装置等で構成される。
通信設備	観測局で得られた観測記録を監視局まで伝送するためのインフラ設備である。
中継局	中継局は各地方整備局等に設置されており、各地方整備局内の観測局のデータを受信し、統合監視局にデータを送信する役割を担う。
統合監視局	全国の国交省観測局及び全国のHi-net データを受信し、受信した地盤振動を解析して、大規模土砂移動が生じたと判断される場合に、関係者へ情報を伝達するものである。

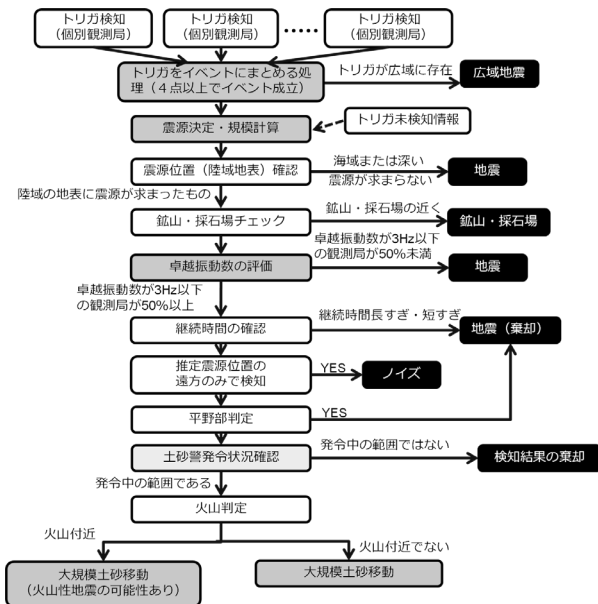


図-1 大規模土砂移動検知システムの判定フロー

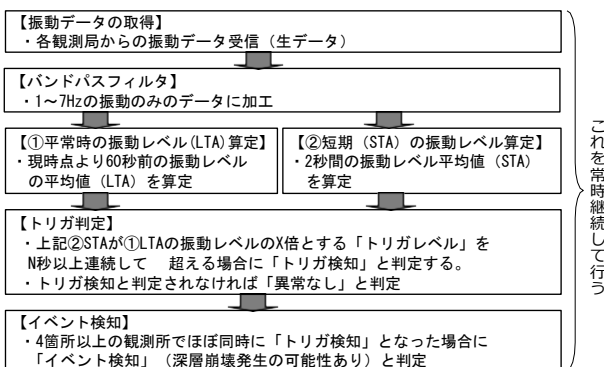


図-2 大規模土砂移動検知システムにおける振動データ処理フロー

ただし、システム整備の着手時点では、Hi-net のデータの使用を想定していなかった。加えて、検知

可能な崩壊規模に関わる知見もシステム整備開始時点では十分ではなかったために、観測局の見直しで検知性能が向上すると考えられる観測局がある。そのため、振動センサーの故障により、ボーリングによる観測孔の設置等を伴う観測局の機器等の更新が必要となった場合には、検知すべき範囲である深層崩壊推定頻度マップにおける発生頻度の高い・特に高いエリア等と、その観測局およびその周辺観測局の検知範囲を踏まえ、観測局の統廃合、移設、新規設置等を検討するのが望ましいと考えられる。そこで、観測原理に基づく検知範囲の確認と観測局の設置(移設を含む)方法について検討した。

(2) 観測原理

大規模土砂移動検知システムでは、土砂移動の発生場所(緯度・経度)、深度、発生時刻の4つを特定するため、4観測局が普段のノイズレベルよりも大きな振動を検知した場合に、地震や土砂移動等、何らかの現象が生じたものと判断する。大規模土砂移動検知システムの各観測局の振動データの検知方法は、図-2に示すように、普段のノイズレベルであるLTA(Long Term Average RMS(RootMeanSquare)の60秒間平均値)の数倍を閾値とし、STA(Short Term Average RMSの2秒間平均値)の超過状況をみて判定する方法による。RMSとは式(1)に示す振幅の二乗平均平方根のことである。なおLTAとSTAデータ長さについては、過去の土砂移動時の解析<sup>4)</sup>で使用されているものである。

$$RMS(i) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \{y(i,j)\}^2} \quad (1)$$

ここに、 $y : i$ 秒目における100Hzサンプリングの $j$ 番目の速度成分データ、 $N : 1$ 秒間のサンプル数(100)である。

LTAは振幅の60秒平均、STAは2秒平均とし、トリガレベル、トリガ超過時間を超えたときにトリガ検知したと判定する。なお、各観測局のトリガレベル、トリガ超過時間は観測局によって異なる。このため、小さい規模の崩壊を検知するため、誤検知を減らすためには、ノイズレベルの小さい環境に観測局を構築することが重要である。国交省観測局および防災科研のHi-netの観測局の振動センサーは、主に速度計を用いており、振動データは速度振幅、データサンプリング間隔は100Hzである。

(3) 検知範囲

a) 検知対象とする範囲

大規模土砂移動検知システムの検知すべき範囲は、深層崩壊推定頻度マップ<sup>5)</sup>における発生頻度の「特に高い」エリアと「高い」エリアである。

b) 現状の検知範囲の確認方法

大規模土砂移動検知システムの各観測局の検知範囲は、過去の深層崩壊事例の崩壊規模と Hi-net の振動データに基づき、崩壊地直近の振動規模と距離減衰（地盤内の伝播に伴う振幅の減少）に基づいて検討されている<sup>3)</sup>。観測局の検知可能な範囲（検知半径）は各観測局の LTA の N 倍のトリガレベルと崩壊規模から(2)式にて求める。

$$rr = 10^{\frac{0.92 \times \log_{10} V \times 10^4 - \log_{10} X \times NN \times 10^{-8} - 11.02}{1.15}} \quad (2)$$

ここに、 $r$ ：検知半径、 $V$ ：崩壊規模(万  $m^3$ )、 $X$ ：10 分間 RMS 平均値(LTA=ノイズレベル)( $\mu$  kine)、 $N$ ：トリガ倍数である。

国土交通省と Hi-net の観測局の各観測局のトリガレベルとトリガ超過時間は、生活ノイズによるトリガ超過に伴う誤検知が生じにくいよう調整を行っている。大規模土砂移動検知システムでは、60 秒間の RSM の平均値である LTA の数倍を閾値とし、この

トリガレベルを 2 秒間平均の STA が、超過するかどうかを判定している。大規模土砂移動は降雨時に伴い発生するが、振動センサーはボーリング孔内に設置しているものの風雨の影響により同時に LTA も上昇するため、無降雨時よりも降雨時の方が土砂移動は検知しにくくなる。また、生活ノイズは昼間と夜間で異なる。台風などの出水時のノイズレベルとトリガレベル、それに基づいた各観測局の検知範囲（検知半径）を算定し、観測原理に基づき 3 次元的な位置と時刻を特定するのに必要な、4 円以上の検知円が重複する範囲が検知可能な範囲である（図-3）。

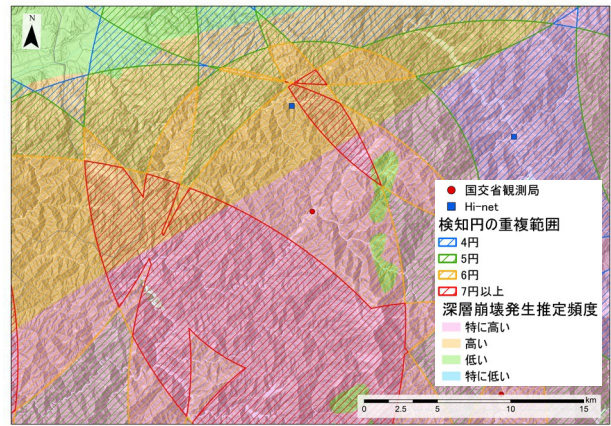
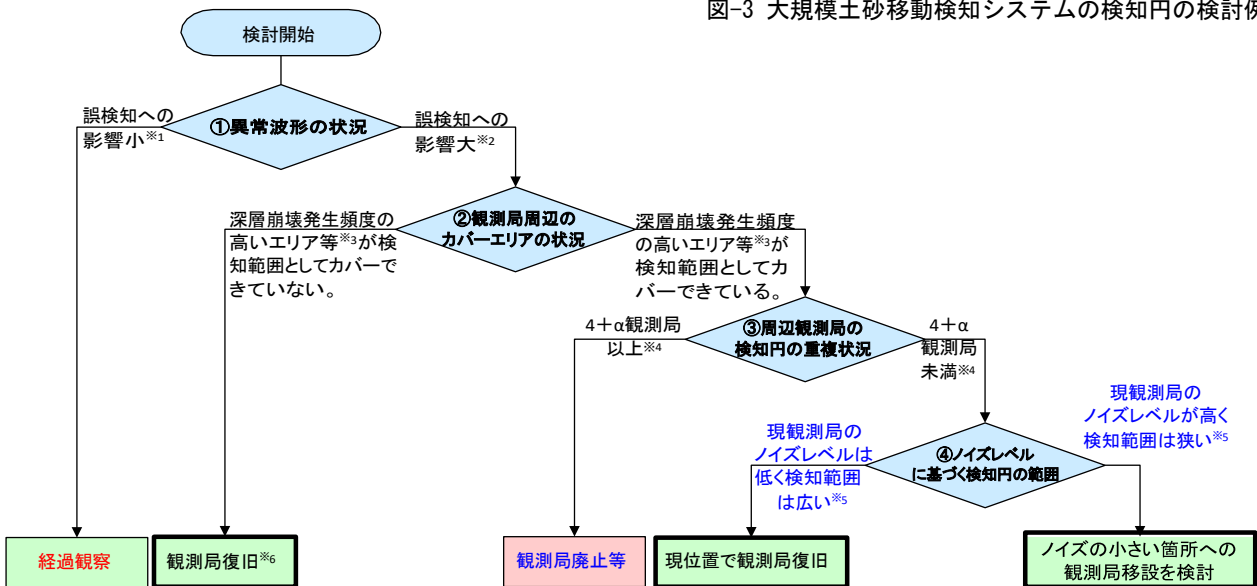


図-3 大規模土砂移動検知システムの検知円の検討例



- ※1 トリガ超過を判定している速度 UD(Z)成分でノイズ発生頻度が低いなど誤検知への影響が小さいケース。トリガ超過は速度 UD (Z) 成分で判定し、NS・EW はトリガ超過には影響しないがイベント成立後に震源決定・崩壊規模推定等で使用している。
- ※2 センサー故障やノイズにより明らかに土砂移動が検知できない状態のもの。
- ※3 深層崩壊の発生頻度の高いエリア・特に高いエリア、その他降雨による大規模土砂移動の発生実績がある等、検知対象とするエリア
- ※4 異常波形の生じた観測局周辺について、防災科研の Hi-net 観測局含む観測局の検知円の重なり具合を確認する（降雨時・300 万  $m^3$  規模）。
- 4 観測局以上のトリガ超過で土砂移動の可能性を判定しているが、降雨時には欠測等もあるため余裕を見込むのが望ましい。
- ※5 既存資料や計測データから降雨時・300 万  $m^3$  のノイズレベルでの対象観測局の検知範囲を踏まえて検討する。
- ※6 観測局復旧にあたっては、④のフローに準じて現観測局のノイズレベルを確認し、検知対象エリアをカバーできるよう、ノイズレベルが高い等の場合は観測局の廃止と機器の再利用等を検討する。

図-4 振動センサーに異常が生じた観測局の見直し等の対応フロー(案)

### 3. 大規模土砂移動検知システム観測局の移設検討事例

本章では、振動センサーの設置箇所を移設する必要が生じたことに伴う、観測局の移設に関する検討内容の一事例を報告する。

#### (1) 振動センサーの故障等に伴う観測局の見直し判断

異常波形の頻度や程度が著しい場合など、振動センサーの交換が必要な場合には、観測局の設置の見直しのタイミングとする必要がある。Hi-net を含む周辺の観測局の検知円の重複範囲を確認して、廃止、復旧、移設を判定するフロー案を作成した (図-4)。

なお、図-4 に示される観測局のノイズレベルについては、大規模土砂移動検知システムの管理資料として、毎月の 10 分間 RMS 値を求めており、その値を参照するのがよいと考えられる。また、検知範囲が十分でない場合は観測局を追加設置するといった対応も考えられる。

#### (2) 観測局の候補地の選定

本事例では、観測局を設置していた施設の移転の予定に伴い、既設観測局の検知円について重複範囲を確認した結果、検知範囲を維持するために観測局についても移設が必要と考えられたため、候補地の選定を行った。観測局については、同施設の敷地内に移設することとして施設管理者の了承を得た。この移転に伴う観測局の移動距離は直線距離で約 100 m であったため、観測局周辺のカバーエリアについて大きく変わることがないことを確認した。

#### (3) 観測局の候補地の調査

見直しにあたっては、観測局見直し後の検知範囲の確認が必要である。候補地調査の流れを図-5 に示す。調査では、地表のノイズレベル計測結果から、地中埋設時のノイズレベルを想定して、観測局を設置した場合の降雨時における崩壊規模 300 万 m<sup>3</sup> に対する検知範囲を求め、検知対象範囲を 4 円以上でカバーできるかを確認することを最終目的とする。

なお、候補地が 3 箇所以上かつ複数の観測局の見直しを行う等の場合、それらの観測局設置位置の組み合わせ候補の中から選定することとなるが、観測局の検知時刻の差を利用して、その発生位置を推定しているため、観測局は互いに離れた位置がよいと考えられる。

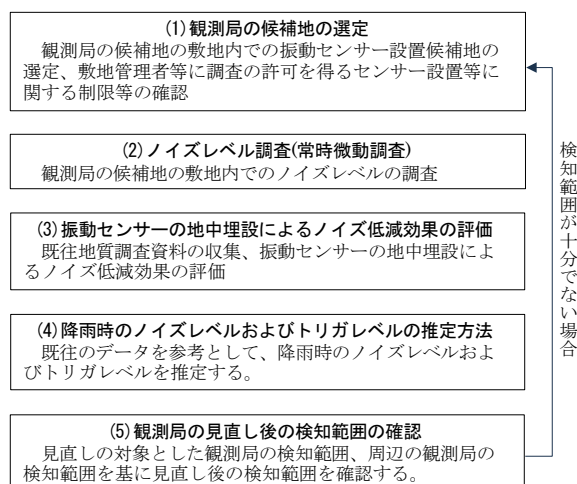


図-5 観測局の候補地の調査の流れ

#### a) センサー埋設位置の選定

観測局の候補地を選定した後は、電源・通信施設の設置作業、ボーリング孔の設置作業を考慮して、その敷地内において、ノイズレベルを計測するなどし、いくつかの振動センサー埋設候補地を選定することが望ましい。

本事例における候補地は、3 箇所程度で実施された既往ボーリング調査により深度 10 m 前後付近で N 値 50 以上の岩盤が見られ、センサーの設置に適すると考えられた。一方、既往研究<sup>9)</sup>により、埋設深度を深くすることと同様にノイズ発生源から遠い箇所に設置することが重要であると考えられることから、ノイズレベル調査 (常時微動調査) を実施した。

#### b) ノイズレベル調査(常時微動調査)

常時微動計測に適した、微小な地盤振動を計測できる振動センサーを用いて、センサー設置候補地について図-6 の例に示すように、地上での常時微動調査を行った。ここでは 1 回で 10 分以上の振動計測を実施した。

微動計測で得た振動データは、大規模土砂移動検知システムと同様、1~7 Hz のバンドパスフィルターで処理後、式(1)に示す RMS 値 (Root Mean Square) の 10 分間平均値を求め、評価する。

振動波形の中に電氣的ノイズ(矩形的な波形や一定周期の波形の立ち上がりなど)の有無を確認することで、各箇所の電気ノイズの混入を把握可能となる場合もある。なお、計測中に地震等の大きな振動混入があれば、その計測結果を除外してもよいとした。

本事例では地点を 4 箇所定め、計測を行った。地点及び周囲の状況図を図-7 に、結果を表-2 に示す。10 分間 RMS 平均値は、地点 1 (3.7  $\mu$  kine)、地点 4 (4.0  $\mu$  kine) が低い値となり、地点 2 (7.6  $\mu$  kine)、



図-6 観測局設置候補地での常時微動調査の例

地点 3 (7.3  $\mu$  kine) はやや高い値となった。10 分間の微動計測中に、数台の車両の通行が見られたが、通行時間のノイズの増大は見られなかった。そのため、地点 1~4 は道路に近いところにはなるが、影響は少ないと考えられる。

なお、振動波形の中に電氣的ノイズ(矩形的な波形や一定周期の波形の立ち上がりなど)は全計測地点で見られなかった。図-8 に各地点 1 回目の振動波形の例を示す。地点 2, 地点 3 と地点 4 はノイズが混入していたが、ノイズの発生源は不明であった。(理由: 車両通過時間と不一致。周辺建物は当該時刻には不使用。埋設管は近くなかった。また、RMS 値が低い地点 4 と高い地点 2・地点 3 は距離が数メートルしか離れていない。) 10 分間 RMS 平均値が低い、地点 1・地点 4 がセンサー設置位置として良いと考えられたが、地点 4 の近くに空調室外機が設置予定のため、最適箇所としては地点 1 を現段階で選定することとした。

#### 4. 今後の調査について

本事例における移設に関する検討は継続中であるが、今後必要となる調査項目について整理して報告する。

##### (1) 振動センサーの地中埋設によるノイズ低減効果の評価

候補地を設定した後は、地中埋設時ノイズの評価を行う。既往の振動センサーの埋設深度とノイズ低減効果に関する調査結果<sup>6)</sup>を図-9 に示す。埋設深度が深くなるにしたがい、ノイズ比率(地下/地上)は低くなる傾向となっている。一方、図-9 に示す全国の国交省観測所のデータによれば、埋設深度が浅い箇所(25 m 以下)の平均値は 0.82 で低減効果はあまりみられなかった。加えてばらつきもあることから、

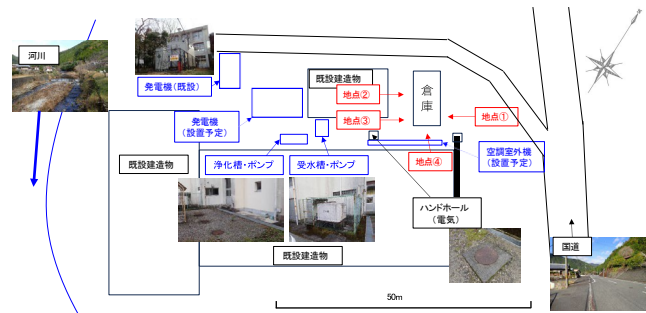


図-7 観測局設置候補地概況図

表-2 各計測地点における微動計測結果

No.	計測地点	計測回数	天候	計測日	計測開始時間	計測終了時間	10分間RMS値 (m/s)	10分間RMS値 ( $\mu$ kine)	10分間RMS平均値 ( $\mu$ kine)
1	地点1	1回目	晴れ・微風	2022/12/7	10:40	10:50	3.65E-08	3.7	3.7
2		2回目	晴れ・微風	2022/12/7	10:50	11:00	3.69E-08	3.7	
3	地点2	1回目	晴れ・微風	2022/12/7	11:20	11:30	5.88E-08	5.4	7.6
4		2回目	晴れ・微風	2022/12/7	11:30	11:40	9.23E-08	9.2	
5	地点3	1回目	晴れ・微風	2022/12/7	11:50	12:00	5.41E-08	5.4	7.3
6		2回目	晴れ・微風	2022/12/7	12:10	12:20	9.16E-08	9.2	
7	地点4	1回目	晴れ・微風	2022/12/7	12:40	12:50	4.48E-08	4.5	4.0
8		2回目	晴れ・微風	2022/12/7	12:50	13:00	3.45E-08	4.4	

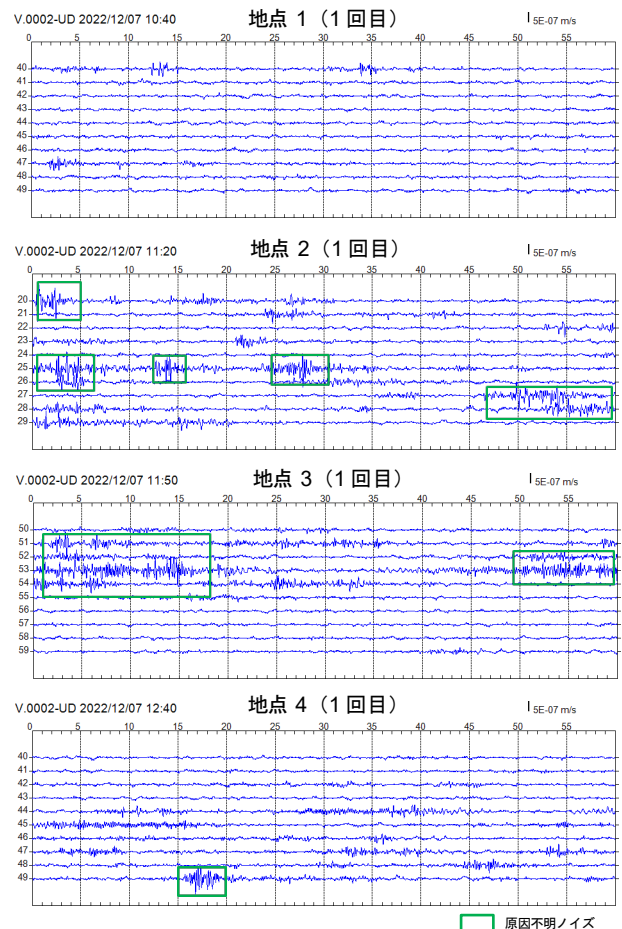


図-8 各地点における微動計測結果(1回目)

特に埋設深度が浅い地点においては、設置前時点で地下埋設による低減効果は見込まず、安全側で想定しておくのがよいと考えられる。

##### (2) 降雨時のノイズレベルおよびトリガレベルの推定

観測局の検知範囲を求めるため、ノイズレベルが

高くなる降雨時のノイズレベルおよびトリガレベルを、センサー設置後を想定して推定する。

ノイズレベル調査で得られる振動データは地表の昼間のノイズレベルであるが、埋設深度に応じ、ノイズ低減効果を設定してノイズレベルを推定する。加えて、全国の国交省観測局のデータを使用し、推定された昼間の地中のノイズレベルから降雨時のノイズレベルを推定する。

観測局のトリガレベルは、観測局設置後に取得した1箇月程度の振動データから、トリガ倍数・超過時間の候補について、昼間と夜間の超過頻度を求めて設定する(2.5回/hr程度で最も低いトリガ倍数のものを設定する手法が考えられる)。しかし、調査段階では実測の振動データがないことから、全国の国交省観測局のデータを使用し、推定された昼間の地中のノイズレベルからトリガレベルを推定する。

国交省観測局のデータでは、昼間(無降雨)のノイズレベル(RMS値)と、降雨時RMS平均値、および、トリガレベルの関係はリニアな関係になっていない。昼間のノイズレベルについて10μkine程度を境に2つに区分できると考えられる(図-10)。よって、ヒストグラムを整理したものを用いて設定する方法が考えられる。また、推定された昼間の地中のノイズレベルに基づいて、「降雨時のノイズレベル」と「トリガ倍数」を安全側の値として75パーセンタイル(上位25%)や95パーセンタイル(2σ)の値を採用するといった選択肢が考えられる。

### (3) 観測局の見直し後の検知範囲の確認

見直しの対象とした観測局の検知範囲、周辺の観測局の検知範囲を基に、GISで検知円の重複状況を確認し、4円以上の重複範囲で検知対象範囲が網羅されているかを確認する。

## 5. おわりに

本研究では、観測局の検知性能の求め方や観測局設置場所の検討方法について検討し、現地調査や既往の調査資料を整理することで、観測局の設置前に検知範囲を想定することが可能であることが明らかとなった。また、本稿では紙面の関係上割愛したが、本手法で検討した観測局の更新事例において、更新後の計測データに基づいて設定したトリガレベルが、更新前に想定していたトリガレベルより低く設定でき、想定より検知範囲が広がった事例もある。今後も、観測局移転に伴う調査と観測局の移転作業を進めていくとともに、観測局の適切な維持管理と、

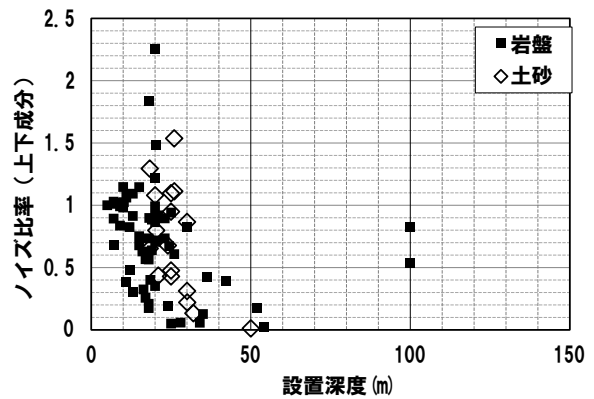


図-9 振動センサー設置深度とノイズ比率の関係<sup>6)</sup>

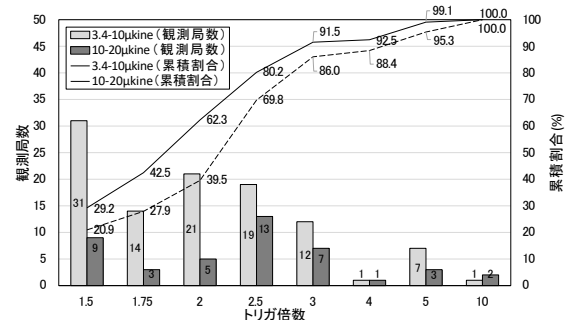


図-10 全国の国交省観測局データにおける昼間のノイズレベルが10μkine以上と未満の場合のトリガ倍数の分布の違い

観測データや知見の蓄積に取り組んで参りたい。

### 参考文献

- 1) 森脇寛：崩壊型土石流の流下に伴う地盤の震動特性—小谷村蒲原沢土石流—，地すべり，第36巻，第3号，pp.99-107，1999。
- 2) 大角恒雄，浅原裕，下川悦郎：2004年8月10日奈良県大塔村斜面土砂移動時のHi-netデータ解析—斜面土砂移動検知への応用—，自然災害科学，Vol.24，No.3，pp.267-277，2005。
- 3) 海原荘一，浅原裕，木下篤彦，中谷洋明，田中健貴：高感度地震観測網による大規模土砂移動発生時の地盤振動特性と検知，砂防学会誌，Vol.73，No.5，pp.27-37，2021。
- 4) 木下篤彦，海原荘一，山路広明，廣瀬昌宏，只熊典子，浅原裕：崩壊時の地盤振動特性に着目した大規模土砂移動の検知に関する研究，河川技術論文集，第23巻，pp.441-446，2017。
- 5) 国土交通省：深層崩壊推定頻度マップ，<https://www.mlit.go.jp/common/001197941.pdf>，2010。
- 6) 高原晃宙，木下篤彦，水野秀明，長谷川真英，梅田ハルミ，海原荘一，浅原裕：振動センサー設置深度とノイズ低減率の関係，平成28年度砂防学会研究発表会概要集，B-336~337，2016。

(2024.5.31 受付)

## 論文

## 大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響

## Influence of large earthquakes on the occurrence of landslides caused by subsequent rainfall

後根 裕 樹\*<sup>1</sup>

Yuki USHIRONE

北本 楽\*<sup>4</sup>

Gaku KITAMOTO

海原 莊 一\*<sup>1</sup>

Soichi KAIHARA

小杉 恵\*<sup>5</sup>

Megumi KOSUGI

中谷 洋 明\*<sup>2</sup>

Hiroaki NAKAYA

鈴木 素 之\*<sup>6</sup>

Motoyuki SUZUKI

木下 篤 彦\*<sup>3</sup>

Atsuhiko KINOSHITA

## Abstract

To examine the impact of earthquakes on the occurrence of landslides caused by subsequent rainfall and its period, the number of rainfall events before and after the earthquakes, the number of landslide occurrences, and the periods of high intensity rain after the earthquakes were investigated for 12 large earthquakes. 9 of the 12 earthquakes increased the rate of landslides (number of rainfall events triggering landslides/number of total rainfall events) in the first and second year after the earthquake compared to pre-earthquake period. In the case of the Kumamoto earthquake, in the first year after the earthquake, areas with more significant seismic intensity at the time of the earthquake tended to have a larger increase in the rate of landslides than in the pre-earthquake period. 8 of the 12 earthquakes had a much smaller increase in the rate of landslides compared to the pre-earthquake period than the Kumamoto earthquake, and the increase tended to be in the areas with intensity levels of 4 or 5 lower at the time of the earthquake. The three earthquakes did not increase in the rate of landslides in the two years after the earthquake compared to the pre-earthquake period. In the case of the Kumamoto earthquake, many landslides were caused by torrential rains two months after the earthquake. On the other hand, the other earthquakes tended to occur landslides caused by torrential rains at least 3 months after the earthquake or to have less number of rainfalls and smaller rainfall magnitudes than the Kumamoto earthquake.

**Key words** : major earthquake, rainfall, secondly disaster, Landslide alert information

## 1. はじめに

大規模地震後には、地震の影響により地震前よりも降雨による崩壊や落石、土石流等の土砂災害が発生しやすくなると考えられている。例えば兵庫県南部地震では、地震時に崩壊した斜面が4~6カ月後の降雨により複数回拡大したことが報告されている(富田ら, 1996)。また、平成28年熊本地震では、地震より約2カ月後の降雨により、阿蘇地域を中心に多数の土砂移動が発生し、二次被害を及ぼしたことが報告されている(石川ら, 2016)。

このような地震後の降雨により発生した土砂災害は地震前よりも少ない降雨で発生するケースが知られている。富田ら(1996)は、兵庫県南部地震後の崩壊の拡大とそ

の周辺における地震前の崩壊発生時の降雨規模を比較した結果、地震後は地震前の3~5割程度小さい値であったと報告した。渡邊ら(2016)も、阿蘇地域を対象として、熊本地震前後に発生した土砂災害の降雨規模を複数の指標のもと比較した結果、地震後は地震前の1~8割程度小さい値であったとしている。

地震後に地震前よりも少ない降雨で土砂災害が発生する要因として、地震時に形成された斜面上の亀裂が影響した可能性が指摘されている。熊本地震では、斜面上に多数の亀裂が発生し、その一部がその後の降雨により崩壊に至ったことが報告されている(熊本県, 2020)。また、平松ら(1999)は、兵庫県南部地震により形成された斜面の亀裂を対象とした数値シミュレーションを実施した結果、斜面上の亀裂が下流部斜面の地下水を上昇さ

\*1 正会員 株式会社エイト日本技術開発 Member, Eight-Japan Engineering Consultants Inc. (ushirone-yu@ej-hds.co.jp) \*2 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所(現 一般財団法人砂防・地すべり技術センター) Member, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT (Now in Sabo & Landslide Technical Center) \*3 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(現 国土交通省関東地方整備局日光砂防事務所) Member, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT (Now in Nikko Sabo Office, Kanto Regional Development Bureau, MLIT) \*4 正会員 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(現 国土交通省水管理・国土保全局砂防部) Member, Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT (Now in Water and Disaster Management Bureau Sabo Department, MLIT) \*5 正会員 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター(現 国土交通省近畿地方整備局) Member, Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Regional Bureau, MLIT (Now in Kinki Regional Bureau, MLIT) \*6 正会員 山口大学大学院創成科学研究科 Member, Yamaguchi University Graduate School of Sciences and Technology for Innovation

せ、斜面の安全率を低下させる可能性があることを指摘した。

さらに、大規模地震がその後の降雨による土砂移動発生に及ぼす影響として、地盤剛性・強度の低下も考えられている。澤崎（2017）によると、大規模地震に生じる地盤剛性の低下は、地震波速度（例えば、S波速度）の低下としてあらわれ、その変化は、強震動が終息した後も元に戻らず、数年かけて回復するとされている。

一方、鳥居ら（2007）は、平成7年兵庫県南部地震後の降雨により多発した斜面崩壊に地震動が与えた影響を実験的に検討するため、崩壊地で採取したまさ土にわずかに石こうを添加した不攪乱試料を模擬的に再構成した実験を行い、繰返し載荷過程を地震動の影響、水浸過程を降雨の影響と見立て、それぞれの過程を経た供試体に対する圧密排水（CD）試験から得られたピーク強度を比較した。その結果、繰返し載荷を行った試料の強度は、繰返し載荷・水浸過程のない試料よりも18%低下し、さらに繰返し載荷後に浸水過程を行った試料の強度は44%低下したことを報告した。

このような研究事例から、地震時に土砂移動の発生に至らなくても亀裂の発生や、地震動による地盤剛性・強度の低下等が要因となり、地震後には地震前より少ない降雨でも土砂移動が発生しやすくなるメカニズムが考えられる。

地震後の降雨により発生する土砂災害から被害を軽減するため、土砂災害警戒情報は、震度5強以上の範囲を対象に基準雨量（Critical Line, 以下、CLという）を暫定的に引き下げる処置（以下、暫定CLという）がとられている（気象庁, 2021b）。野村・岡本（2013）は、平成23年東北地方太平洋沖地震後の約半年間に発生した土砂災害データをもとに暫定CLによる捕捉率を検証し、その有効性を報告するとともに、その結果から震度5強と震度6弱以上を経験した市町村において、それぞれ通常のCL基準の8割と7割に引き下げ値を適応する措置を提案した。

このように大規模地震後の降雨により発生する土砂移動については複数の地震を対象とした研究事例が報告され、それらの結果は、大規模地震後の土砂災害警戒情報の運用に反映される形で社会実装がなされている。しかし、暫定CLを適応する期間、すなわち大規模地震がその後の土砂災害発生に及ぼす影響の度合いや影響期間について、近年発生した複数の大規模地震を対象として網羅的に分析された事例は少ない。

現状、暫定CLの引き上げに際しては、地震後に1出水期（6～10月）における土砂災害の発生状況を踏まえ、引き上げの検討を行っている。しかし、長期にわたる暫定CLの運用は、空振りの増加を招き、土砂災害警戒情報の精度低下の要因の1つとなっている可能性もある。以上のことから、大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響の度合いや影響期間を明らかにす

ることは、地震後の土砂災害発生リスクのよりの確な評価を可能とするとともに、暫定CL基準の適応期間をより適切に設定するうえで重要になると考えられる。

中谷ら（2020）の検討事例では、地震後の余震回数と地震後にCLを超過せずに発生した災害事例をもとに分析を行い、余震が多発した地域や、締まりが緩い堆積層（汽水成層ないし海成混合層）や火山岩・火砕岩の段丘の混在する境界に位置する地下水の豊富な地域はCL未超過で発生した事例が多いのに対し、西南日本で発生した地震や強い余震が少なかった地震の場合は、そのような災害は発生していないとしている。しかし、地震がその後の土砂災害発生に及ぼす影響の大きさは、本震時の震度レベルや地震発生からの経過時間も関係すると考えられ、また、地震前後の降雨数や降雨規模等を踏まえ評価する視点も必要と考えられる。

本研究では、近年、最大震度6強以上（気象庁）を記録した12の大規模地震を対象として、地震前後にて発生した土砂災害と降雨データをもとに、降雨により発生した土砂災害の発生頻度を震度階級エリア別、および後述するRBFN値という指標に基づいた降雨規模別に集計し、それぞれの特徴を地震前と地震後（1年目、2年目）で比較した。さらに、その結果をもとに大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼした影響の有無やその影響期間に関する考察を行った。

## 2. 調査手法

### 2.1 調査対象地震・解析単位と使用データ

本研究では、1996年以降に発生した最大震度6強以上（気象庁観測）を記録した12の大規模地震を対象とした（表-1）。また、各地震の解析単位を3次メッシュ単位（約1km四方；以下メッシュという）とした。

使用データのうち、各大規模地震の地震動データについては、QuakeMap（産業技術総合研究所, 2009）のホームページよりダウンロード可能であった推計震度分布を採用し、そのファイル形式はGEO-TIFFファイル（計測震度、座標等の情報が格納されたイメージファイル）のものを使用した。

降雨データは、気象庁による土壌雨量指数と60分積算雨量データ、Surfaceデータ（国土交通省ほか, 2023）を用いた。土壌雨量指数は5kmメッシュ、60分積算雨量データは1kmメッシュ単位のものそれぞれを使用した。

災害データは、1996年4月～2021年10月31日にかけて各都道府県から国土交通省へ報告された「土石流」、「がけ崩れ」データを用いた。これらの災害報告データは、住民等からの通報や、巡視、調査等により明らかになったもの等が対象となっており、人命や家屋・インフラに被害を与えなかったものも含まれる。データ中には、災害の発生日時や位置、被害状況、誘因となった異常気象名などが整理されている。本研究では、誘因となった

表-1 解析対象地震の諸元  
Table 1 Specifics of analysis earthquakes

地震名	地震発生日	震央地名	緯度	経度	震源深さ	M	最大震度	発生機構
鳥取県西部地震	2000/10/6	鳥取県西部	35°16.4' N	133°20.9' E	9 km	7.3	震度6強	左横ずれ断層
宮城県北部地震	2003/7/26	宮城県中部	38°24.3' N	141°10.2' E	12 km	6.4	震度6強	スラブ内地震 (逆断層)
新潟県中越地震	2004/10/23	新潟県中越地方	37°17.5' N	138°52.0' E	13 km	6.8	震度7	逆断層
能登半島沖地震	2007/3/25	能登半島沖	37°13.2' N	136°41.1' E	11 km	6.9	震度6強	逆断層
新潟県中越沖地震	2007/7/16	新潟県上中越沖	37°33.4' N	138°36.5' E	17 km	6.8	震度6強	逆断層
岩手・宮城内陸地震	2008/6/14	岩手県内陸南部	39°01.7' N	140°52.8' E	8 km	7.2	震度6強	逆断層
東北地方太平洋沖地震	2011/3/11	三陸沖	38°06.2' N	142°51.6' E	24 km	9.0	震度7	海溝型
長野県北部地震	2011/3/12	長野県北部	36°59.1' N	138°35.8' E	8 km	6.7	震度6強	逆断層
静岡県東部地震	2011/3/15	静岡県東部	35°18.5' N	138°42.8' E	14 km	6.4	震度6強	左横ずれ断層
熊本地震	2016/4/16	熊本県熊本地方	32°45.2' N	130°45.7' E	12 km	7.3	震度7	右横ずれ断層
北海道胆振東部地震	2018/9/6	胆振地方中東部	42°41.4' N	142°00.4' E	37 km	6.7	震度7	逆断層
山形県沖地震	2019/6/18	山形県沖	38°36.4' N	139°28.7' E	14 km	6.7	震度6強	逆断層

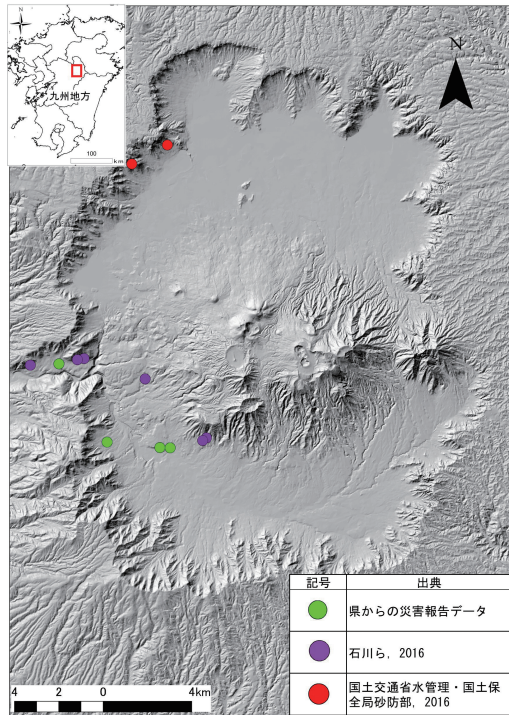


図-1 県からの災害報告と関連文献に基づく阿蘇外輪における土砂災害箇所 (2016年6月豪雨時)

Fig.1 Location of landslides in Aso Outer Rim during the June 2016 heavy rainfall based on disaster reports from the prefecture and relevant literature

異常気象名が融雪，地震であったデータは除外し，降雨により発生したデータを解析対象とした。本稿ではこれらのデータの中から発生日時と位置に関する情報を解析に用いた。

また，地震後の降雨により発生した土砂災害については，上述した災害報告データ以外についても事例を収集するため，関連文献（論文，報告書等）の収集・確認を行った。その結果，熊本地震については，地震後の約2か月後の2016年6月豪雨時（2016年6月19日～6月29日）にかけて，阿蘇外輪地域において多数の二次災

害が発生したことが複数の文献より報告されており，その中には，災害報告データ中にない土砂災害が複数確認されたため，それら複数の関連文献（石川ら，2016；国土交通省水管理・国土保全局砂防部，2016）により確認された阿蘇外輪山地域の土砂災害データを追加した（図-1）。

熊本地震以外にも，岩手宮城内陸地震（村上ら，2013）と東北太平洋沖地震（木下ら，2014）についても地震後の降雨により崩壊の拡大や新規崩壊が発生した報告例が確認された。しかし，いずれも崩壊が発生した降雨イベントは明確に特定されておらず，少なくとも熊本地震の事例のように二次災害を引き起こすほどの規模ではなかったと推察された。また，残り9地震については地震後の降雨により土砂災害が多発したとされる文献を確認することができなかった。以上のことから，熊本地震以外の地震については，文献を基にした災害データの追加は行わず，都道府県からの災害報告データのみを使用した。

2.2 解析範囲

解析範囲の設定にあたり，まず各地震の推計震度分布（250 m メッシュ）とその周辺の3次メッシュデータを重ね合わせ，各メッシュ内にある推計震度の値の最大値を各メッシュの震度として割り当てた。そして，その中から震度4以上となるメッシュを各地震における解析対象範囲とした（図-2）。これは，気象庁震度階級関連解説表（気象庁，2009）より，震度5弱以上のエリアでは地震時に落石やがけ崩れ等の発生が懸念されている点を参考とし，それよりも震度が1ランク低いエリアまでを対象としたことによる（表-2）。また，解析範囲はできる限り土砂災害が発生する可能性があるメッシュだけを解析対象とするため，海域や水域，平地などにかかるメッシュは除外した。

表-3 左欄に各地震の解析対象メッシュ数を震度階別（震度6弱以上，震度5強，震度4・5弱エリア）に示す。また，表-3 右欄には，各震度階エリアにおける土砂災

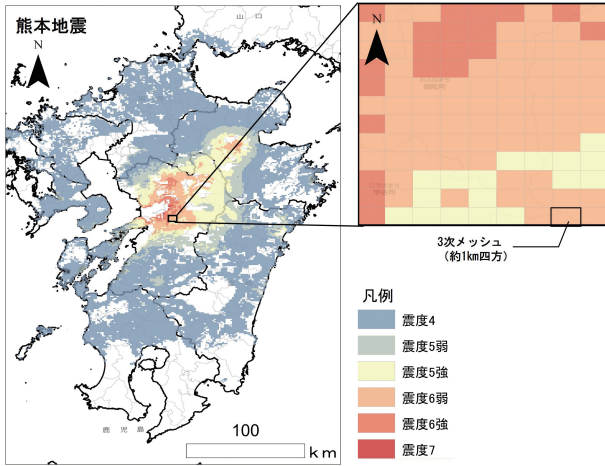


図-2 解析エリアの例 (熊本地震)

Fig.2 Example of analysis area (Kumamoto earthquake)

表-2 気象庁震度階級関連解説表(斜面の状況) 気象庁 (2009 a)  
Table 2 Explanation Tables of JMA intensity scale (Slope stability)

震度階級	斜面等の状況
5弱	落石やがけ崩れが発生することがある。
5強	
6弱	がけ崩れや地すべりが発生することがある。
6強	がけ崩れが多発し、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。
7	

※ 大規模な地すべりや山体の崩壊等が発生した場合、地形等によっては天然ダムが形成されることがある。また、大量の崩壊土砂が土石流化することもある。

害発生リスクを大まかに確認するため、各震度階級エリアにおいて、国土数値情報 (国土交通省, 2010) による土砂災害危険箇所を含んだメッシュ数とエリア内に占められる割合を整理した。これによると、宮城県北部地震と北海道胆振東部地震については、各震度階級エリアにおける土砂災害危険箇所を含むメッシュ数が全体の約 3%~45% と少なくなっている。しかし、それ以外の地震については、およそ 59%~96% の範囲にあり、各地震で極端に大きな差は認められない。このことから、各地震の解析範囲では、この 2 地震を除き、土砂災害の発生リスクとしては極端に大きな差がないものと推察した。

### 2.3 解析手法

解析では、地震前後における降雨による土砂災害の発生頻度や、地震後 2 年間における降雨数、降雨が特に多かった時期などの特徴を、各地震の震度階級エリア別・降雨規模別に比較するため、それぞれの地震前後に発生した降雨数と、その中でも土砂災害が発生した降雨 (以下、発生降雨という) の数を以下の手順により集計した。

まず、降雨を集計するにあたり、1つの降雨とは、前後に 24 時間雨量の無降雨期間があるひとまとまりの降雨 (以下、一連降雨という) と定義した (国土交通省水管理ほか, 2023)。また、降雨数は、それぞれのメッシュ内にて発生した一連降雨のすべてをカウントし、発生降雨は、各メッシュ内における降雨期間と災害データの発生日時を照らし合わせ、一連降雨中に土砂災害が 1 件以上発生したと判断した降雨をカウントした。なお、土砂災害警戒情報の基準設定や検証等にあたっては、各メッシュ内での一連降雨をある一定の領域でまとめ整理し

表-3 解析対象メッシュと土砂災害危険箇所 (国土交通省, 2010) が含まれるメッシュの割合  
Table 3 Number of analysis mesh and rate of dangerous spots for Sediment-related disaster in analysis areas

解析対象地震	震度エリア	土砂災害危険箇所			解析対象地震	震度エリア	土砂災害危険箇所		
		メッシュ数 (A)	を含むメッシュ (B)	B/A*100 (%)			メッシュ数 (A)	を含むメッシュ (B)	B/A*100 (%)
鳥取県西部地震	震度 4・5弱	19,849	17,301	87.2%	東北地方太平洋沖地震	震度 4・5弱	39,733	28,558	71.9%
	震度 5強	1,182	1,029	87.1%		震度 5強	10,707	7,017	65.5%
	震度 6弱以上	687	600	87.3%		震度 6弱以上	10,940	6,439	58.9%
宮城県北部地震	震度 4・5弱	11,946	4,502	37.7%	長野県北部地震	震度 4・5弱	4,108	3,608	87.8%
	震度 5強	661	260	39.3%		震度 5強	369	336	91.1%
	震度 6弱以上	728	20	2.7%		震度 6弱以上	97	93	95.9%
新潟県中越地震	震度 4・5弱	7,937	5,939	74.8%	静岡県東部地震	震度 4・5弱	3,547	3,191	90.0%
	震度 5強	1,263	1,089	86.2%		震度 5強	180	128	71.1%
	震度 6弱以上	1,115	982	88.1%		震度 6弱以上	184	142	77.2%
能登半島沖地震	震度 4・5弱	5,495	4,545	82.7%	熊本地震	震度 4・5弱	20,160	17,271	85.7%
	震度 5強	696	576	82.8%		震度 5強	1,944	1,572	80.9%
	震度 6弱以上	841	638	75.9%		震度 6弱以上	1,223	974	79.6%
新潟県中越沖地震	震度 4・5弱	8,479	7,127	84.1%	北海道胆振東部地震	震度 4・5弱	7,948	3,387	42.6%
	震度 5強	809	703	86.9%		震度 5強	693	253	36.5%
	震度 6弱以上	427	340	79.6%		震度 6弱以上	796	362	45.5%
岩手・宮城内陸地震	震度 4・5弱	17,583	11,946	67.9%	山形県沖地震	震度 4・5弱	10,946	7,244	66.2%
	震度 5強	1,095	661	60.4%		震度 5強	171	143	83.6%
	震度 6弱以上	1,214	728	60.0%		震度 6弱以上	13	12	92.3%

たものを採用することが多いが（国土交通省水管理ほか、2023）、本稿ではあくまで地震前後の降雨による土砂災害の頻度の変化、地震後の降雨の多寡や降雨が多かった時期などを各地震で比較することを目的としたため、一連降雨は1 km メッシュ単位で集計されたものを解析に用いた。

降雨の集計期間は、地震前については1996年4月～各地震の発生日前日までとした。地震後は、現行の暫定CLが地震後に1出水期経過後の土砂災害発生状況を見て引き上げ検討がなされていることを踏まえ、少なくともそれより長い期間を解析対象とするため、各地震の発生日翌日から2年間までとした。

上記の手順により集計した降雨数と発生降雨数は、そこからさらに、各メッシュで割り当てた3ランクの震度階級別（6弱以上、震度5強、震度4・5弱）に区分するとともに、それぞれの降雨のRBFN値に基づき3ランクの降雨規模別に区分することで、計9カテゴリに分類した。

ここで、RBFN（Radial Basis Function Network）とは、機械学習の一種である階層型ニューラルネットワークであり、現在のCLの設定に用いられている解析手法である（倉本ら、2001）。

具体的には、各メッシュの降雨データをもとに図-3に示すRBFN応答局面（以下、Surfaceデータという）を各メッシュにて作成し、水平方向に切り出して非線形のCLを作成して、CLの対象とする災害を捕捉可能となるよう非線形のCLを選定する。Surfaceデータは、土壌雨量指数と60分間積算雨量をそれぞれX軸・Y軸の値とし、この2軸の値より求められるSurface上の点の高さ（Z値）がRBFN値となる。RBFN値は、各メッシュ位置における降雨の発生頻度を表し、その値は0～1（0：発生頻度低、1：発生頻度高）の範囲を示す。すなわち、RBFN値が小さいほど降雨規模が大きく、反対にRBFN値が大きいほど小さい降雨規模であることを示している。RBFN値により、前述した2つの降雨指標を1軸化でき、かつ降雨特性の異なる地域間の降雨規模を比較する指標として用いることができる。

本稿では、解析対象とする地震エリアによって、降雨

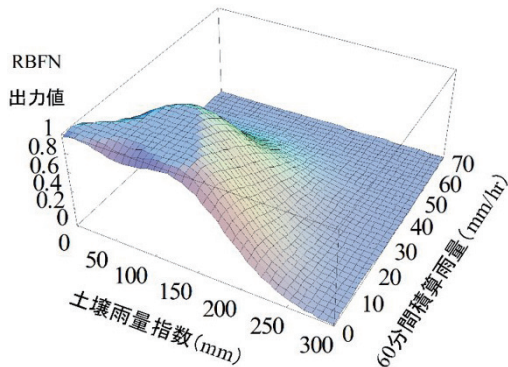


図-3 RBFN 応答局面（国土交通省水管理ほか、2023）より転載  
Fig.3 RBFN Response surface

特性が異なることを勘案し、RBFN値を降雨規模の指標として用いた。具体的には、各降雨のRBFN値のうち、災害が発生しなかった降雨は、一連降雨中に記録したRBFN値の最小値を採用した。

発生降雨では、一連降雨中において災害が発生した時刻より以前のRBFN値の最小値を採用したが、災害の発生時刻まで正確に分からないケースでは、一連降雨中に記録したRBFN値の最小値を採用した。RBFN値は、0.0以上～0.3未満（降雨規模大）、0.3以上～0.6未満（降雨規模中）、0.6以上～0.99（降雨規模小）の3ランクに区分した。RBFN値の最小値が0.99より大きい降雨は小規模かつ膨大な降雨数となるため、解析対象外とした。

上記の集計結果をもとに、本研究では各震度エリアにおける地震前後の降雨状況、降雨による土砂災害の発生状況について、以下1)～2)に示される特徴を調査した。

### 1) 地震前後の土砂災害発生率の調査

各地震の前後で集計された降雨数と発生降雨数をもとに、降雨による土砂災害発生率（＝発生降雨数/降雨数×100%；以下、発生率という）を地震前後で算出した。そして、発生率をカテゴリ別に一覧表に示すとともに（表-4）、グラフに示すことで（図-4）、地震前後で発生率がどのように変化したかを震度階級別・降雨規模別に調査した。

### 2) 地震後の降雨数や降雨の多発時期に関する調査

各地震のカテゴリ別に集計した降雨数を1年目、2年目に分けてグラフに示し（図-5）、地震後の降雨数の多寡や降雨規模の特徴を大まかに確認した。

また、各地震のカテゴリ別に集計した降雨数と発生降雨数を約1カ月単位の時系列順に整理を行い、ヒートマップに図示（図-6）することで、各地震において、地震後に降雨が特に多かった時期、その降雨規模の特徴、降雨による土砂災害の発生が多発した時期を震度階級別に調査した。

なお、この調査では、解析対象エリアの範囲が地震によって異なることを考慮し、各震度階級にて集計した降雨数をそれぞれの震度エリアのメッシュ数（表-3参照）で割り、1メッシュ当たりの降雨数とした値を使用した。

## 3. 結果

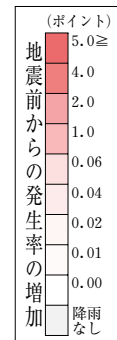
### 3.1 地震前後の土砂災害発生率の調査

表-4に各地震における発生率の算出結果を示す。また、図-4に地震後に地震前より発生率が増加した9地震を対象に、地震前後の発生率の増減について、それぞれ震度エリア別、降雨規模別の1年目と2年目にわけてグラフに示す。表-4では、地震後1年目、2年目に発生率が地震前より増加したカテゴリは暖色で示している。これによると、12地震中9地震は、地震後1年間、2年間のいずれかのカテゴリで地震前から発生率の増加が認められる。一方、残り3地震（鳥取県西部地震、宮城県北部地震、北海道胆振東部地震）は、地震前と比較した

表-4 地震前後の土砂災害発生率と地震前からの発生率の変化  
Table 4 Occurrence rate of landslides before and after earthquake and its change after earthquake

対象地震	降雨規模	震度 4, 震度 5 弱			震度 5 強			震度 6 弱以上		
		地震前	地震後		地震前	地震後		地震前	地震後	
			1 年目	2 年目		1 年目	2 年目		1 年目	2 年目
鳥取県西部地震	大	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%			0.00%		
	中	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
	小	0.03%	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%
宮城県北部地震	大	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%			0.00%		
	中	0.12%	0.00%	0.00%	0.39%			0.00%		
	小	0.03%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
新潟県中越地震	大	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%	0.00%	0.00%	3.08%		
	中	0.25%	0.25%	0.00%	0.39%	0.43%	0.00%	0.36%	0.47%	0.00%
	小	0.01%	0.03%	0.05%	0.00%	0.04%	0.00%	0.03%	0.09%	0.00%
能登半島沖地震	大	0.04%		4.71%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%
	中	0.09%	0.00%	0.55%	0.47%	0.00%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%
	小	0.04%	0.06%	0.08%	0.07%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%
新潟県中越沖地震	大	0.35%	0.00%	0.00%	0.38%			0.00%		
	中	0.22%	0.00%	0.50%	1.49%	0.00%	0.00%	0.25%	0.00%	
	小	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%
岩手・宮城内陸地震	大	0.05%	0.00%		0.00%			0.00%		
	中	0.06%	0.00%	0.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%		
	小	0.03%	0.03%	0.10%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%
東北地方太平洋沖地震	大	0.12%	1.19%	2.44%	0.02%	0.00%	0.00%	0.11%	0.00%	0.00%
	中	0.15%	0.49%	0.15%	0.09%	0.07%	0.00%	0.09%	0.04%	0.00%
	小	0.04%	0.05%	0.05%	0.03%	0.01%	0.03%	0.04%	0.02%	0.01%
長野県北部地震	大	0.42%	5.40%		0.00%	4.88%		0.00%		
	中	0.26%	0.94%	0.00%	0.08%	0.00%		0.00%	0.00%	
	小	0.01%	0.08%	0.00%	0.01%	0.17%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%
静岡県東部地震	大	0.16%	0.52%	0.00%	0.16%	0.88%		0.00%	0.00%	
	中	0.32%	0.86%	0.12%	0.40%	0.00%	0.00%	0.20%	0.00%	0.00%
	小	0.10%	0.20%	0.11%	0.10%	0.15%	0.00%	0.02%	0.00%	0.15%
熊本地震	大	0.20%	3.10%	12.57%	0.32%	0.81%	13.33%	0.58%	3.04%	0.00%
	中	0.29%	0.99%	0.80%	0.33%	1.00%	0.26%	0.41%	1.56%	0.48%
	小	0.08%	0.20%	0.08%	0.09%	0.13%	0.10%	0.09%	0.04%	0.10%
北海道胆振東部地震	大	0.00%	0.00%	0.00%	0.36%	0.00%		0.00%		
	中	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%		0.00%
	小	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
山形県沖地震	大	0.38%	2.41%	0.00%	0.00%			0.00%		
	中	0.29%	0.98%	0.75%	0.43%		0.00%	0.00%		
	小	0.03%	0.04%	0.11%	0.08%	0.00%	0.24%	0.00%	0.00%	0.00%

各降雨規模のRBFN値  
大：0.0~0.3  
中：0.3~0.6  
小：0.6~0.99



発生率の増加は、いずれのカテゴリにおいても認められない。なお、宮城県北部地震と北海道胆振東部地震では、地震後2年間において降雨による土砂災害の報告がなく、地震後の発生率はすべてのカテゴリで0%となっている。

地震後に地震前よりも発生率が増加した9地震のうち、熊本地震については、地震後1年目において、多くのカテゴリで地震前よりも発生率の増加が見られる。特に中～大規模の降雨における地震前からの発生率の増加は、全体に他の地震よりも大きい傾向にあり、震度6強エリアは、他の地震に比べ1桁程度大きくなっている(図中青矢印)。また、震度5強、震度6強エリアのみに着目すると、中～大規模の降雨においては、震度5強よりも震度6強のほうが発生率の増加が大きい関係性がある。地震後2年目は、震度4・震度5強エリアにおいて、大規模の降雨にて地震前からの発生率の増加がかなり大きくなっているが、それ以外のカテゴリでは、1年目より

小さくなっている。

新潟県中越地震においても、地震後1年目に多くのカテゴリで地震前より発生率の増加が見られ、震度階が高いエリアほど発生率の増加がわずかに大きくなる関係性が認められるものの、熊本地震に比べその値は1桁も小さく、関係性は明瞭とは言い難い(図-4赤矢印)。

能登半島沖地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、東北地方太平洋沖地震、長野県北部地震、静岡県東部地震、山形県沖地震については地震後1年目において、発生率が地震前より増加した傾向にあるが、全体に震度5強、6弱のエリアよりも震度4・5弱のエリアのほうが発生率の増加がかなり大きくなっているほか、能登半島沖地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震では、地震後1年目よりも2年目のほうが発生率の増加が大きい傾向にある。

以上のことから、各地震による地震後の発生率の増加

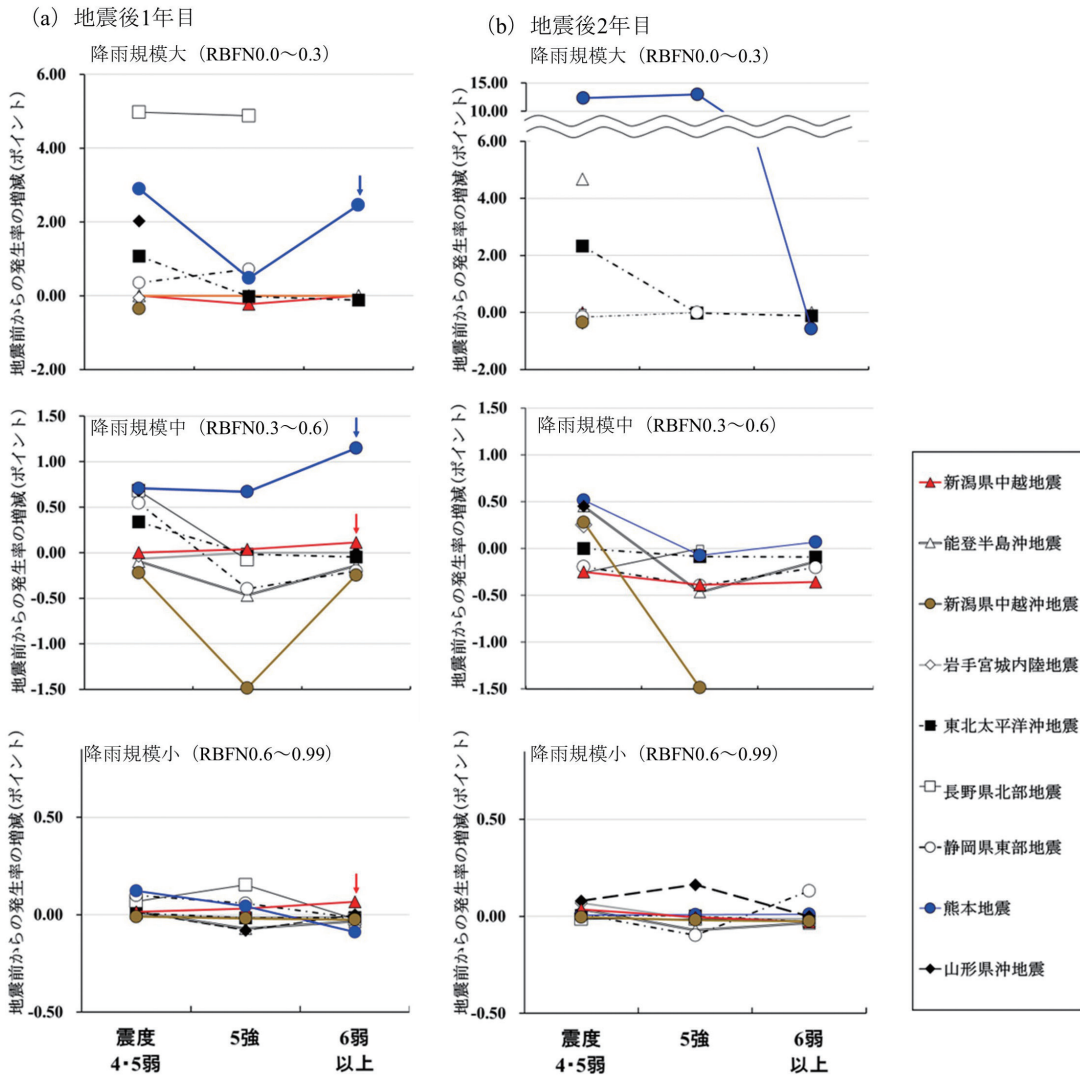


図-4 地震前と比較した地震後の発生率の増減 (a) 地震後1年目 (b) 地震後2年目  
 Fig. 4 Increase and decrease in rate of occurrence after the earthquake compared to before the earthquake  
 (a) 1 year after the earthquake (b) 2 years after the earthquake

は、熊本地震だけがその他の地震とは大きく異なる傾向を示す。

3.2 地震後の降雨数や降雨の多発時期に関する調査

図-5に各地震の地震後1年目, 2年目における1メッシュあたりの降雨数を震度階級別に示す。

この図によると, 12地震中6地震(新潟県中越地震, 能登半島沖地震, 東北地方太平洋沖地震, 長野県北部地震, 静岡県東部地震, 熊本地震)では, すべての震度エリアで平均と同等か, それ以上を示すカテゴリが多く確認され, 特に地震後1年目には, 震度5強以上のエリアにおいて, RBFN値0.3~0.6, 0.0~0.3を示す中~大規模の降雨の発生数が相対的に多い傾向にある(図中のアのグループ)。

鳥取県西部地震, 山形県沖地震は, 震度4エリアでは, 平均と同等かそれ以上を示すカテゴリがあるが, 震度5強, 震度6弱以上のエリアでは, 1年目, 2年目ともにすべてのカテゴリで平均を下回り, 全般に降雨数が少ない傾向にある(図中のイのグループ)。

残り4地震(宮城県北部地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 北海道胆振東部地震)は, すべての震度エリアにおいて, 1年目, 2年目ともに平均を下回っているため, 地震後2年間の降雨数は全般に少なく, かつ中~大規模の降雨もほとんど発生しなかったことがうかがえる(図中のウのグループ)。

図-6に地震後2年間に発生した降雨数と発生降雨数の時系列図を示す。この図では, 各地震の地震後2年間における降雨数と発生降雨が多かった時期を地震発生から約1カ月の期間にわけて, 青と橙の濃薄で示しており, 着色が濃い期間ほど地震後に降雨数が多かったこと, 降雨による土砂災害の発生頻度が多かったことをそれぞれ示す。また, 地震後1年目のうち, 最も降雨数が多かった期間は太枠で囲んだ。

この図によると, 地震後の降雨数の分布は, 地震の発生月が出水期(6月~10月), 非出水期(11月~5月)かどうかにより傾向が異なる。ここでは, 各地震の特徴について, 地震が発生した月ごとに, 特に地震後1年目に

後根ら：大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響

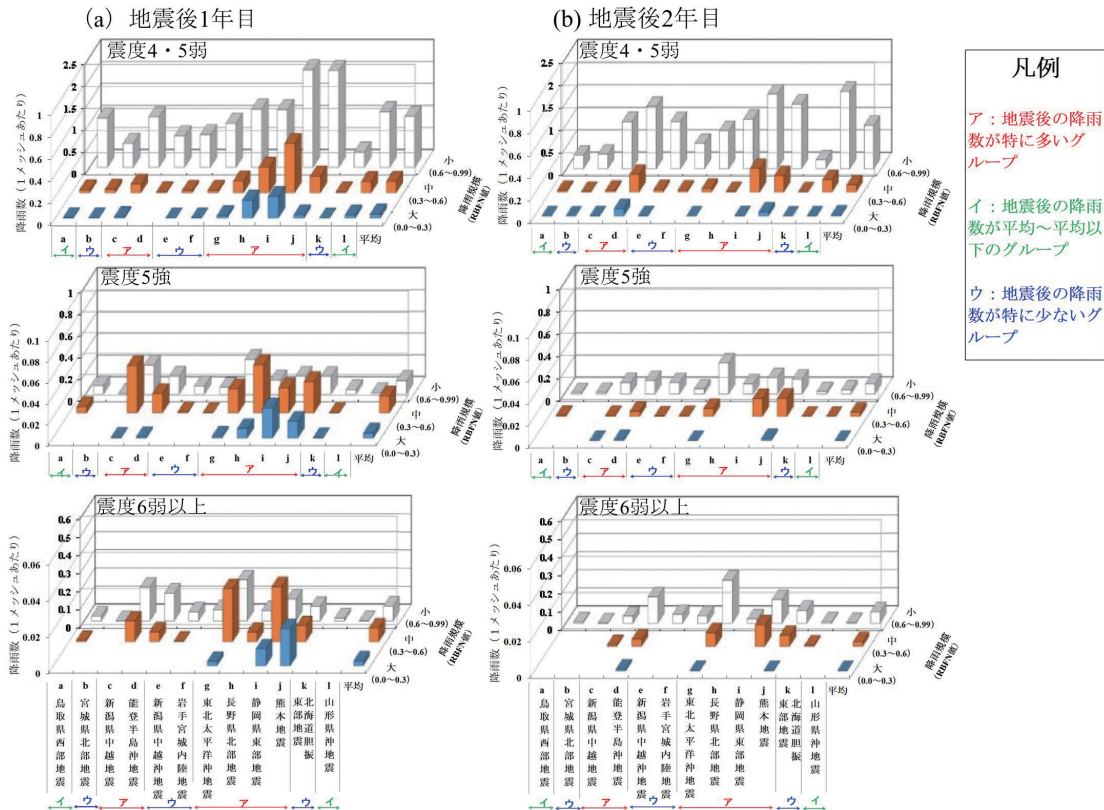


図-5 地震後2年間にわたる1メッシュ当たりの降雨数 (a) 地震後1年目 (b) 地震後2年目  
 Fig.5 Number of rainfall per mesh in two years after earthquakes (a) 1 year after the earthquake (b) 2 years after the earthquake

着目して見ると、熊本地震(図-6j)では、2016年4月に地震が発生し、その約2カ月後の降雨数・発生降雨数が相対的に多くなっており、他の対象地震に比べ、地震発生から降雨が多くなる時期が比較的短く、その降雨数も多い傾向にある。

鳥取県西部地震と新潟県中越地震(図-6a,c)は、10月に発生し、地震後の約7カ月間は、主に非出水期であるため降雨数自体が非常に少ないが、地震後約8~10カ月後の出水期に降雨数が多くなり、発生降雨数もやや多くなっている。

宮城県北部地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、北海道胆振東部地震、山形県沖地震(図-6b,e,f,k,l)では、出水期に地震が発生し、宮城県北部地震を除くと全体に地震直後から4カ月以内の降雨数が多くなっている。この間、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、山形県沖地震は発生降雨が見られるが、震度4・5弱エリアに限られている。

能登半島沖地震、東北地方太平洋沖地震、長野県北部地震、静岡県東部地震(図-6d,g,h,i)は3月に発生し、地震後約5~7カ月後にかけた出水期に降雨数が特に多くなっている。また、能登半島地震を除くと、この時期に発生降雨も多くなっている傾向にある。

地震後2年目は、多くの地震で1年目よりも降雨数・発生降雨数が少なくなっているように見える。例外として、能登半島沖地震については、地震後1年よりも2年

目の方が、出水期に降雨数が多く、発生降雨も多くなっているが、震度4・5弱エリアに限られる(図-6d)。

#### 4. 考察

現状、土砂災害警戒情報のCLは発生降雨が極めて少なく、土砂災害が発生していない非発生降雨がほとんどを占める不均衡データを基に設定しているという課題を抱えている(国土交通省ほか、2023)。本研究においても、各地震における地震前後の発生率は多くのカテゴリで1%未満を示し(表-4)、2つのデータ数は偏りがかなり大きくなっている。このような不均衡データをもとに期間、範囲を限定し解析したため、あらゆる分類の素因箇所が発生した災害データが十分得られているわけではないが、震度分布データと土砂災害発生との両方のデータが存在する期間における実績として、熊本地震では、地震後1年目において、中~大規模の降雨での地震前からの発生率の増加が、他の地震より大きい傾向にあり、特に震度6強エリアは、他の地震より1桁程度大きかったほか、震度5強に比べより揺れの大きかった震度6強のほうが地震前からの発生率の増加が大きいという、他の地震では確認できなかった関係性が認められた。このような特徴から、熊本地震に関しては、地震後1年目において、地震が土砂災害発生に及ぼした影響があったことが示唆される。

その他8地震(新潟県中越地震、能登半島沖地震、新

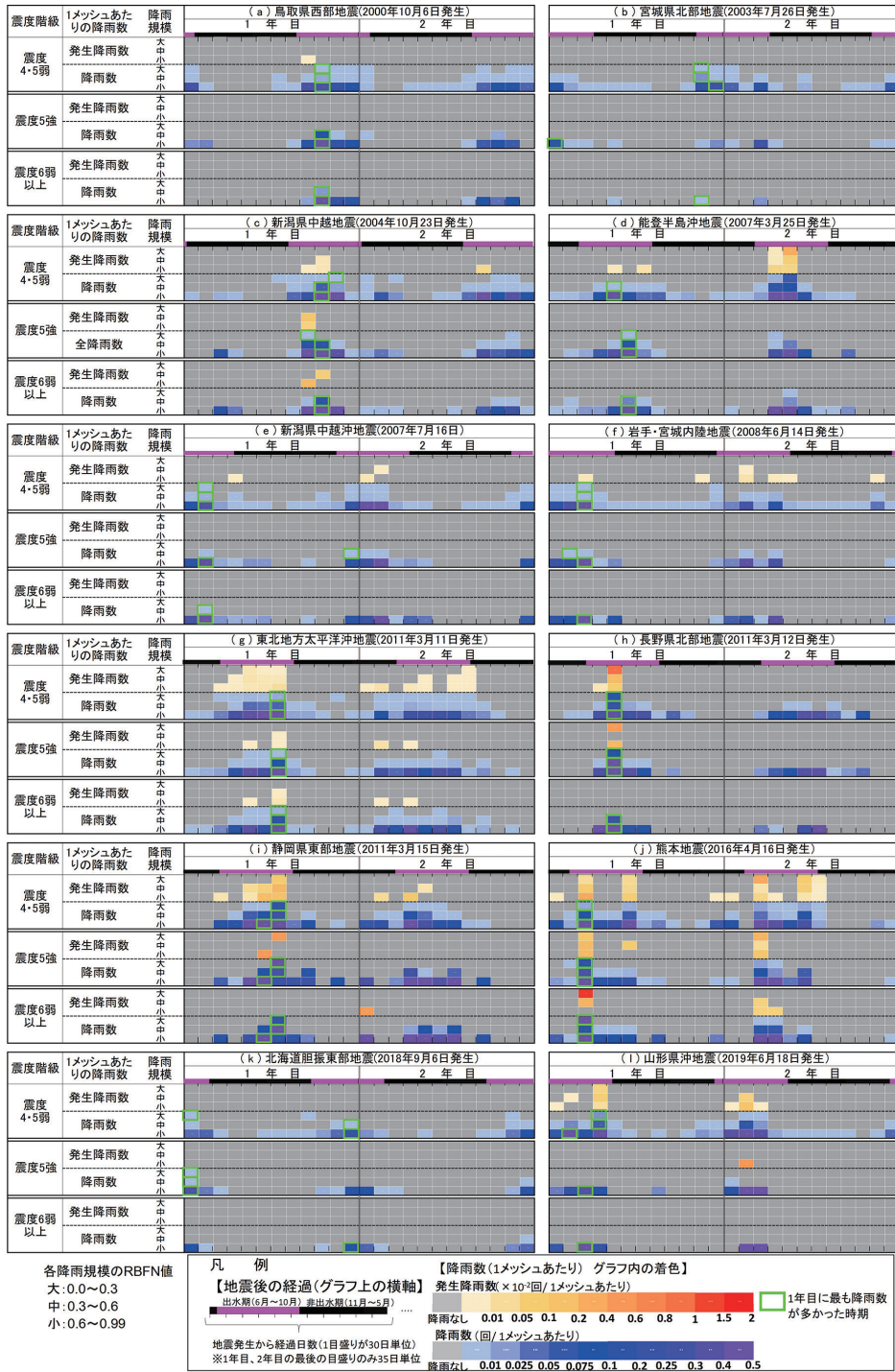


図-6 地震後2年間における1メッシュあたりの降雨数と発生降雨数の時系列図

Fig.6 Time series of the number of rainfalls per mesh and the rainfalls per mesh that caused by landslides in the two years after the earthquake (s)

潟県中越沖地震，岩手・宮城内陸地震，東北地方太平洋沖地震，長野県北部地震，静岡県東部地震，山形県沖地震)についても，地震前よりも発生率が増加する傾向にあったが，熊本地震に比べその値は小さい傾向にあった。また，新潟県中越地震を除くと相対的に揺れが大きかった震度5強，震度6弱以上よりも，揺れが小さかった震度4・5弱エリアのほうが，発生率が増加した傾向にあり，熊本地震に比べ，地震時の震度と地震後の発生率の

増加との関係性に矛盾があった(表-4，図-4)。このような特徴から，これらの8地震は，熊本地震に比べ地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼした影響が明確ではないと考えられる。

残る3地震(鳥取県西部地震，宮城県北部地震，北海道胆振東部地震)では，地震前からの発生率の増加は確認されず，地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼした影響は示唆されない結果となった。

熊本地震を除く 11 地震にて地震の影響が明確に確認されなかった理由として、災害報告データの質が影響した可能性も考えられる。具体的には、災害報告がされていない未知の土砂移動が実際には多数あった可能性や、異なる時期・地域にて発生した災害データを同じ水準で評価することが本質的に難しい点が挙げられる。

しかし、解析では主に都道府県の災害報告データを用い、データの均質性に配慮した点や、2.1 節で述べたように、熊本地震を除く 11 地震では、関連文献の確認結果から、熊本地震の事例ほど地震後に降雨による土砂移動が多発した報告が確認されず、解析結果との間に矛盾がない点を踏まえると、災害報告データの質が解析結果に及ぼした影響は小さいと判断している。

以上のことから、熊本地震を除いた 11 地震については、地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼした影響は、少なくとも熊本地震に比べると小さかった可能性が高い。

この理由については、各地震の地震波特性や地形地質の条件、地震により生じた斜面上の亀裂の多寡など、さまざまな要因が関与すると考えられるものの、ここでは、既往文献に示される地震前後の地盤剛性の変化に関する知見と、本研究にて集計した地震後の降雨数や地震後の降雨の多発時期などの特徴を踏まえ、その要因を次のように考察した。

Sawazaki *et al.* (2018) によると、熊本地震にて大きな揺れを記録した周辺 8 地点の地震観測点を対象として地震前後の S 波速度の変化を観測した結果、地震時にはほとんどの観測地点で S 波速度が低下したが、地震後は図-7 に示す模式図のように経過時間の対数に比例しながら 1 年以上かけて回復したことを報告している。澤崎 (2017) によると、S 波速度低下の要因は、浅層地盤の損傷による地盤剛性の低下を挙げている。また、その影響は概ね数 100 m より浅い領域で発生し、浅部ほど強震動による速度低下が生じやすいと考えられている。

このことから、地震時に揺れが特に大きかったエリアの地盤浅部では、地盤剛性の低下により地盤の緩みが生じることで、その後の降雨による土砂災害が発生しやすくなっている可能性が考えられる。また、図-7 の模式図に基づくと、地盤が元の状態に戻るには時間を要するものの、地震直後より時間経過の対数に比例しながら急速に回復するため、地震直後の影響は大きい、その後は時間の経過とともに急速に小さくなることを示唆される。

図-8 に本稿の解析結果から、各地震の地震後 1 年目にて最も降雨数が多かった期間と、その期間における 1 メッシュあたりの降雨数、および 1 年目における地震前からの発生率の増加との関係をグラフに整理した。

この図では、地震時に特に揺れが大きく、地盤剛性の低下があった可能性の高いエリアと、その影響が大きかった期間として震度 5 強、震度 6 弱以上エリアのうち地震後 1 年目のデータを示した。グラフでは、横軸に地震

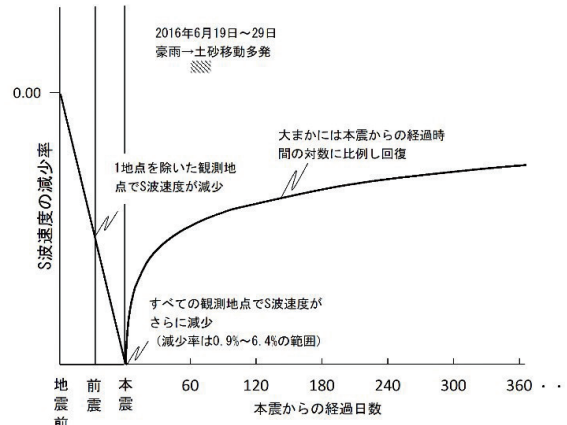


図-7 S 波速度減少率の回復過程の模式図 (熊本地震)  
※Sawazaki ほか (2018) をもとに作成

Fig.7 Schematic diagram of recovery process of S-wave velocity reduction rate, Kumamoto earthquake (Created based on Sawazaki et al (2018))

後 1 年目における地震前からの発生率の増減、縦軸に地震後 1 年目に最も降雨数が多かった期間をプロットし、円の大きさは、それぞれ横軸の期間における 1 メッシュあたり降雨数の多寡を示す。

熊本地震は、非出水期の 4 月に発生し、図-8 によると、地震後より 2~3 カ月後の出水期に入った時期の降雨数が最も多く、地震前からの発生率の増加は小規模の降雨を除き、他の地震よりも大きい傾向にある。また、熊本地震は他の対象地震よりも地震発生から豪雨を経験するまでの期間が比較的短く、その期間の降雨数・降雨規模も比較的多い特徴がある (図-8 の j: 赤色のグループ)。これらの点から、他の対象地震よりも降雨による影響に加え、地盤剛性の低下による影響も大きく受け、地震前よりも土砂災害が多発した可能性が考えられる。

新潟県中越地震は出水期の終わり頃の 10 月、能登半島沖地震、東北太平洋沖地震、長野県北部地震、静岡県東部地震は非出水期にあたる 3 月にそれぞれ発生し、降雨数が最も多くなる時期は地震から約 3~10 カ月後であるが、地震前からの発生率の増加はほとんど見られなかった (図-8 の c, d, g, h, i: グラフ中の緑色のグループ)。例外として、長野県北部地震と静岡県東部地震は、震度 5 強エリアにおいて、大規模の降雨での地震前からの発生率の増加が熊本地震よりも大きい、中規模の降雨では地震前からの発生率の増加は確認されていないことを踏まえると、地震影響よりは、降雨規模が特に大きかったことが要因である可能性がある。以上の点から、これらの 5 地震は、熊本地震よりも地震後の豪雨の時期が少なくとも 1 カ月以上遅いため、その間に地震により低下した地盤剛性の回復が進み、熊本地震よりも地震影響を大きく受けなかった可能性がある。

残りの 6 地震 (鳥取県西部地震、宮城県北部地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震、北海道胆振東部地震、山形県沖地震) は、出水期 (6 月~10 月) に発生

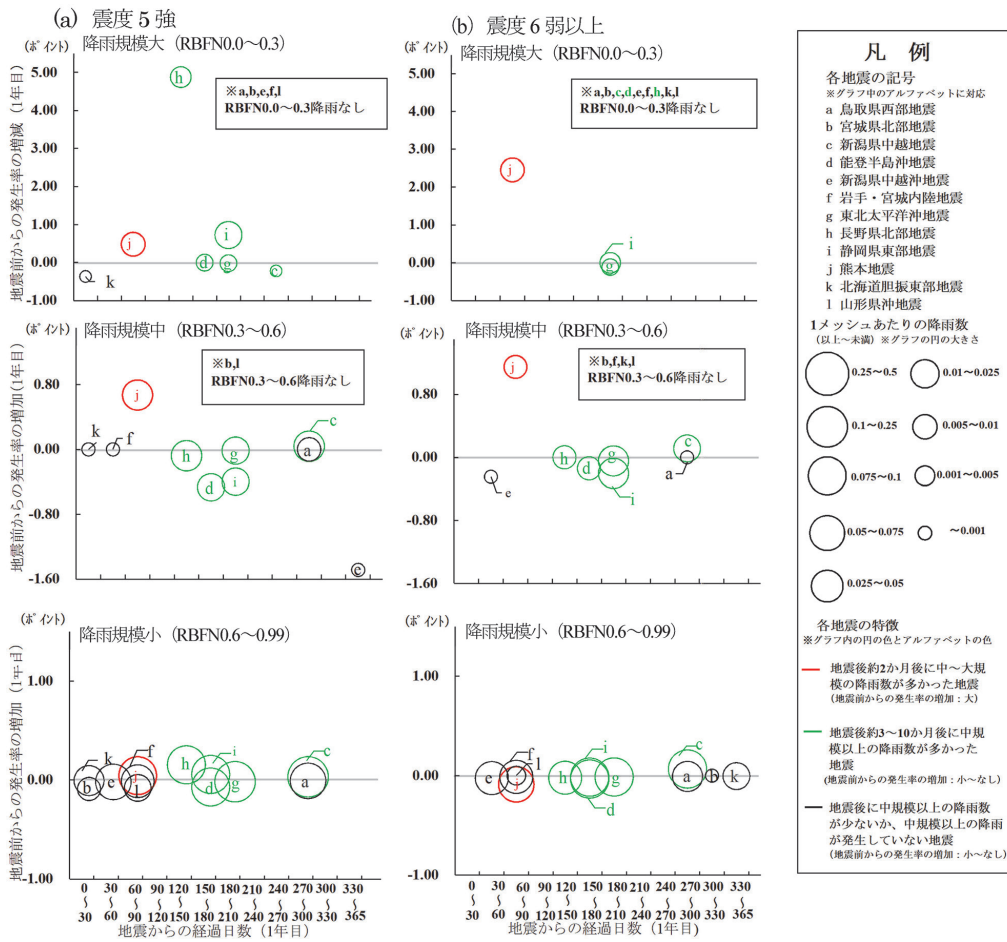


図-8 地震後1年目における最も降雨数が多かった期間とその1メッシュあたりの降雨数、および地震前からの発生率の増加との関係 (a) 震度5強 (b) 震度6弱以上

Fig.8 Relationship between the period with the highest number of rainfall events in the first year after the earthquake, the number of rainfall events per mesh, and the increase in incidence from before the earthquake. (a) seismic intensity of upper 5 (b) seismic intensity of lower 6 or higher

し、地震直後~3カ月以内と早い時期に小規模な降雨が比較的多く発生した地震も見られるが、中規模以上の降雨は、かなり少ないか、発生していない(図-8のa, b, e, f, k, l: グラフ中の黒色の地震)。図-5によると、これらの地震は、対象期間である2年間を通し1メッシュ当たりの降雨数が平均を下回り、中~大規模となる降雨数も少ない傾向にあった(図-5のイとウのグループ)。そのため、これらの地震については、降雨数が全般に少なく、中規模以上の降雨もほとんど発生しなかったことから、地震の影響が顕著に表れなかった可能性がある。また、宮城県北部地震と北海道胆振東部地震については、各震度階エリアにおける土砂災害危険箇所を含むメッシュ数が少なく、土砂災害発生リスクが元々小さかったことも地震前後にて発生率が増加しなかった要因となった可能性がある(表-3)。

### 5. まとめ

本稿では、近年において最大震度6強以上(気象庁)を記録した12の大規模地震を対象として、地震前後に発生した土砂災害や降雨数の整理結果をもとに、地震が

その後の降雨による土砂災害発生に及ぼした影響について検討した。その主要な検討結果は以下のとおりであった。

(1) 熊本地震では、地震後1年目において、中~大規模の降雨における地震前からの発生率の増加が、他の地震より大きい傾向にあり、震度6弱以上エリアは、その値が他の地震より1桁程度大きかったほか、震度5強エリアよりも揺れの大きかった震度6弱以上エリアのほうが地震前からの発生率の増加が大きい関係性があった。これらの特徴から、熊本地震では地震後1年目において、地震が降雨による土砂災害発生に及ぼした影響があったことが示唆される。

(2) 熊本地震を除いた9地震においても地震前からの発生率の増加が確認されたが、熊本地震に比べるとその値は小さい傾向にあったほか、多くは揺れが小さかった震度4.5弱エリアでの増加が主体であり、熊本地震よりも地震時の震度と地震後の発生率の増加との関係性に矛盾が見られた。残りの3地震では、地震前と比較した発生率の増加も確認されなかった。このことから、熊本地震を除いた11地震については、地震がその後の降雨に

よる土砂災害発生に及ぼした影響は、少なくとも熊本地震に比べると小さかった可能性が高い。

(3) 熊本地震が他の地震よりも地震影響が大きかった理由として、地震後に豪雨を経験するまでの期間が他の地震に比べ短かったため、降雨による影響に加え、地震直後の地盤剛性の低下を大きく受けた可能性がある。一方、それ以外の地震では、熊本地震よりも地震後にまとまった降雨を経験した時期が遅かったため地震直後の地盤剛性の影響を大きく受けなかったこと、あるいは地震後2年間における降雨数が少なく、中規模以上の豪雨も少なかったことが主な要因となり、地震前からの発生率の増加がほとんど確認されなかった可能性が考えられる。

以上の点から、地震がその後の降雨による土砂災害に及ぼす影響は、大まかには大規模地震発生から比較的早いタイミングに中規模以上の降雨を多く経験することで顕在化しやすく、その影響は、熊本地震の事例に基づくと、少なくとも地震発生より約2~3カ月内は生じる可能性がある。また、そのように考えると、出水期や出水期の直前に発生した地震では、地震直後に豪雨を経験する可能性が高いため、留意する必要がある。

今後は、このような考察をより正確に検証するために、地形・地質条件の要因も踏まえた分析が必要であると考えている。すなわち、本稿のような震度階級によるエリア区分に加え、地形・地質の条件によりエリアをさらに細かく区分し、その後の降雨による土砂災害の発生状況等を降雨規模別に比較・分析する必要がある。そのためには、あらゆる地形・地質条件における箇所で発生した災害データをより多く蓄積していくことが重要な課題となる。

また、本稿のような、降雨特性の異なる地域間において降雨による土砂災害の発生状況を比較・分析するケースでは、CL設定に使用されるRBFN値が有効な降雨指標となると考えられ、今後も同種の分析を行っていくうえでの有効な降雨指標として、活用の幅を広げていきたいと考えている。

## 謝 辞

本研究で使用した震度分布については、産業技術総合研究所の地震動マップ即時推定システム(QuakeMap)を用いた。また、雨量データについては気象庁保有のデータを使用した。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

平松晋也・水山高久・石川芳治・小山内信智(1999):地震により斜面上に形成された亀裂が土砂生産危険度に及ぼす影響,日本地すべり学会誌(地すべり),Vol.36, No.2, p.3-12  
石川芳治・赤澤史顕・植弘隆・大野宏之・小山内信智・海堀正博・久保田哲也・古賀省三・権田豊・坂島俊彦・地頭蘭隆・清水収・武士俊也・樽角晃・鳥田英司・中濃耕司・西真佐人・野呂智之・平川泰之・平松晋也・藤田正治・松尾新二郎・山田孝(2016):平成28年熊本地震後の降雨によ

る二次土砂移動と二次土砂災害,砂防学会誌,Vol.69, No.4, p.25-36  
木下祐介・八反地剛・八木勇治(2014):東北地方太平洋沖地震とそれ以降の降雨による斜面崩壊:茨城県北部の花崗岩産地における事例,地形,Vol.35, No.1, p.25-39  
気象庁(2009 a):気象庁震度階級関連解説表,https://www.jma/kishou/known/shindo/jma-shindo-kaisetsu.pdf,参照2023-02-09  
気象庁(2021 b):土砂災害警戒情報・土砂キキクル,https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/doshakeikai.html,参照2023-02-09  
国土交通省(2010):国土数値情報ダウンロードサービス,https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/,参照2021-11-15  
国土交通省九州地方整備局阿蘇砂防事務所(2023):阿蘇作業事務所-事業概要-2023,https://www.qsr.mlit.go.jp/asosabo/site\_files/file/sabo/asogaiyou2023.pdf  
国土交通省水管理・国土保全局砂防部・気象庁大気海洋部・国土交通省国土技術政策総合研究所(2023):土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方,https://www.mlit.go.jp/river/shishin\_guideline/sabo/dsk\_kizyun\_kensho\_r0503.pdf,参照2023-05-28  
国土交通省水管理・国土保全局砂防部(2016):平成28年熊本地震による土砂災害の概要平成28年9月14日時点,https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h28doshal60914\_gaiyou\_sokuhou.pdf  
熊本県(2020):立野地区亀裂対策検討委員会報告書について,https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/93/1875.html,参照2021-11-15  
倉本和正・鉄賀博己・東博和・荒川雅生・中山弘隆・古川浩平(2001):RBFネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界雨量線の設定に関する研究,土木学会論文集, No.672/VI-50, p.117-132  
村上亘・大丸裕武・江坂文寿(2013):2008年岩手・宮城内陸地震後に発生した2次的な斜面崩壊の地形・地質的特徴,森林総合研究所研究報告,Vol.12, No.1 (No.426), p.23-40  
中谷洋明・瀧口茂隆・岸本優輝・山田拓・池田寛(2020):地震後の降雨による土砂災害事例に関する統計分析,砂防学会誌,Vol.73, No.4, p.35-40  
野村康裕・岡本敦(2013):地震時の斜面崩壊危険度評価と警戒避難降雨基準の検討,土木技術資料,Vol.55, No.4, p.22-25  
産業技術総合研究所(2009),地震動マップ即時想定システム- QuiQuake/QuakeMaphttps://gbank.gsj.jp/Quake/QuakeMap,参照2021-11-05  
澤崎郁(2017):大地震に伴う地下構造変化とその回復過程について,地震,Vol.70, No.2, p.57-79  
Sawazaki, K., Saito, T. and Shiomi, K. (2018): Shallow Temporal Changes in S Wave Velocity and Polarization Anisotropy Associated with the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, Japan, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol.123, No.11, 9899-9913, doi: 10.1029/2018JB016261  
富田陽子・桜井亘・中庸充(1996):六甲山系における地震後の降雨による崩壊地の拡大について,砂防学会誌(新砂防),Vol.48, No.6, p.15-21  
鳥居宣之・沖村孝・加藤正司(2007):地震後の降雨による斜面崩壊発生機構に関する実験的検討,土木学会論文集C, Vol.63, No.1, p.140-149  
渡邊輝嗣・桂真也・林真一郎・梅谷涼太・齋藤はるか・野呂智之・村田郁央(2018):平成28年熊本地震前後の阿蘇地域における土砂移動現象発生時の各種降雨指標値の比較,土木学会西部支部,第9回土砂災害に関するシンポジウム論文集, p.151-156

(Received 1 June 2023 Accepted 24 January 2025)

那智川流域における景観に配慮した砂防工事の取組

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター（現 紀伊山系砂防事務所） ○竹下航  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 追鳥裕樹 廣澤元彦 岸本優輝 小林正直

1. はじめに

2011年9月の台風第12号により、紀伊半島の広い範囲で総降水量が1,000mmを超え、奈良県・和歌山県では多数の大規模な崩壊が発生した。特に和歌山県那智勝浦町の那智川流域では、各支渓流において大規模な土石流が発生し、大量の土砂や流木が本川に流出した結果、広範囲にわたって甚大な被害が生じた(図-1)。国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所では、この那智川流域において緊急対策として砂防工事を実施している。本稿では、世界遺産登録地という地域性を考慮し、景観の観点も踏まえた砂防工事の取組について報告する。



図-1 那智川流域被災状況

2. 対策方針

2011年9月の台風第12号により、那智川流域で発生した土砂災害の実態を踏まえ、流域特性に配慮した対策の方針や内容についてとりまとめることを目的として、那智川土砂災害対策検討委員会が設置され、災害の実態を踏まえた対策の基本方針や対策内容について検討を行った。2012年10月には、委員会の検討結果が提言としてまとめられ公表された。提言においては、土砂災害の発生原因、計画土砂量、土砂処理対策の基本方針についての検討結果がまとめられるとともに、景観への配慮に関する基本方針として、以下の事項が挙げられた<sup>1)</sup>。

- ・ 砂防施設の整備にあたっては、世界遺産登録地という地域性を考慮し、周辺景観と調和させることを基本とする。
- ・ 景観対策は、観光客や地域住民の目に触れる機会の多い那智川本川沿いの主要地方道46号線・43号線と熊野古道・遊歩道を主要動線と考え、主要動線からの事業箇所の見え方に基づき定めた景観対策ランクの考え方に従って実施する(図-2,表-1)。
- ・ 特に、主要動線から対策施設の全体が見通せる場合は、積極的に周囲と調和した景観を創出する。
- ・ 修景の方法は、この流域の代表的な景観として、石積みが多く活用されている景観との調和を図るため、地元の石を用いた石積みを施すことを基本とする。
- ・ 景観対策の実施に際しては、設計時・施工時・管理時の各段階において、地域の代表的な景観に馴染むよう学識経験者の助言を得ながら進めること。

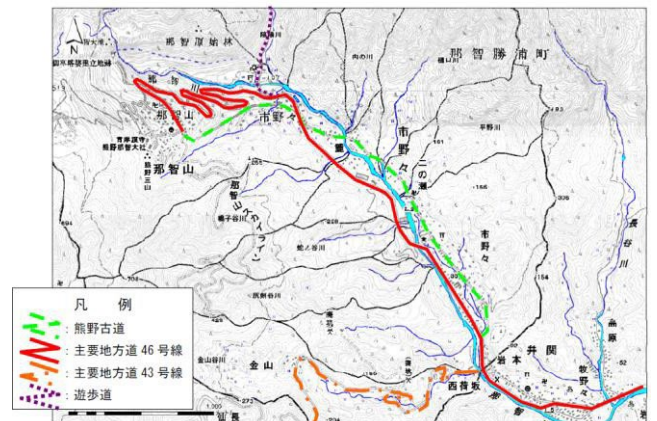


図-2 那智川流域内の主要な動線

表-1 事業箇所の見え方と景観対策ランク

ランク	事業箇所の見え方	整備目標
Aランク	事業箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	地域の代表的な景観を積極的に創出する対策を行う (ex.自然石を用いた修景)
Bランク	部分的に対象箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない場合	周囲の景観と違和感のない修景を行う (ex.擬石型枠を用いた修景)
Cランク	部分的に対象箇所が見通せ、遮蔽等の対策が可能な場合、対策箇所が見通せない場合	従来から実施されている修景対策を行う (ex.化粧型枠等を用いた修景)

### 3. 景観対策ランク毎の修景方法検討

各事業箇所の見え方別に設定した各ランクにおける修景方法について以下の通り検討した。

#### (1) A ランク

観光地へ向かう主要動線及び地域住民から身近に事業箇所が見通せ、遮蔽等の対策ができない箇所であり、積極的に文化的景観を保全・創出する対策を行うことを整備目標とした箇所である。よって A ランク箇所では「原風景」を基調とした周囲にあった違和感のない修景対策を行うため、現地で採取出来る自然石を用いた修景方法とした(図-3)。



図-3 A ランクの砂防堰堤イメージ

#### (2) B ランク

B ランク箇所は視点場からの遮蔽等の対策はできないが部分的に事業箇所が見通せる箇所である。視点場からある程度の距離があり、砂防施設とその周囲の景観が合わせて見通せる位置にあることから、周辺の景観と調和した違和感のない修景を行う必要があるため、擬石型枠等を用いるとともに、自然石に近い色合いとするため着色等を行う修景方法とした(図-4)。



図-4 B ランクの砂防堰堤イメージ

#### (3) C ランク

C ランク箇所は視点場から離れ、遮蔽等の対策が可能若しくは、対策箇所が見通せない箇所ではあるが、近隣が国定公園の指定や世界遺産登録地でもあることから、修景対策を施すこととした。なお、修景方法は従来から用いられている化粧型枠等を用いた修景方法とした。また、必要に応じ B ランク同様に自然石に近い色合いとするため着色等も実施することとした。

### 4. 景観対策を施した砂防施設の整備

紀伊山系砂防事務所では、那智川土砂災害対策検討委員会の提言をふまえ、那智川流域において砂防工事を継続して実施している。例えば、鳴子谷川においては、2基の砂防堰堤が完成し、主要地方道46号線に近接する1号砂防堰堤においては、A ランクの修景方法として、自然石を1個ずつ積み上げて修景対策を実施した。1号砂防堰堤の上流の2号砂防堰堤については、視点場からある程度の距離はあるが、部分的に事業箇所が見通せる位置にあることから、B ランクの修景方法により施工した(図-5)。

地域の安全度向上に向けて、景観にも配慮したうえで、引き続き事業を進めてまいりたい。



図-5 鳴子谷川における砂防堰堤の整備状況

参考文献 1) 那智川土砂災害対策検討委員会：那智川土砂災害対策検討委員会提言（平成24年10月），  
[https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/committee/debris\\_flow.html](https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/committee/debris_flow.html)（参照日：2024年4月8日）

砂防設備の維持管理における高度化に向けた取組み

国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター ○小林正直, 竹下航, 岸本優輝  
 ジア航測株式会社 佐藤厚慈, 江口友章, 上杉温子, 神馬和歌子, 家崎遥, 橋本侑弥

1. はじめに

大規模土砂災害対策技術センターではインフラ分野の DX 整備の一環として、技術の進歩が著しい UAV を活用した砂防設備点検ならびに維持管理の効率化、高度化のための各種技術開発に取り組んでいる。本発表では近年検討した以下の2つの技術に焦点を当て、各技術の開発状況や特徴等について報告する。

- ① 点検データを一元管理し、点検や台帳作成にかかる作業を効率化可能なデータプラットフォーム
- ② ICP を活用した二時期点群データの自動位置合わせ、ならびに差分解析による変状の自動抽出

2. 点検結果蓄積のためのデータプラットフォーム

砂防施設の点検は定期的に行われており、多様かつ膨大なデータの管理が課題となっている。一方、砂防施設の点検調査は Excel 形式等で作成されていることが多く、作成に労力を要するほか UAV の利点を十分に活かし切れていなかった。このような背景のもと、以下の特徴を有するデータプラットフォームを検討した上で、河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)に準拠した三次元管内図システム α-Flumen をベースに、開発優先度の高い一部機能を実装した。2.1~2.3 に開発した機能の概要を記す。

- 施設点検に関わる膨大な点検結果データ(写真, UAV フライト情報, 変状レベル, 施設健全度), 三次元地形データ(LP データ, SfM 点群モデル, CIM モデル)を蓄積し一元管理可能。
- 三次元ビューワの機能を有し, 多時期データの表示・閲覧【図 1】、三次元モデル上での計測, 差分解析による変動量算出等が可能。
- 多くの労力を必要とする変状情報の記録, 点検台帳作成の支援機能を有する。
- 官用パソコンで稼働可能。

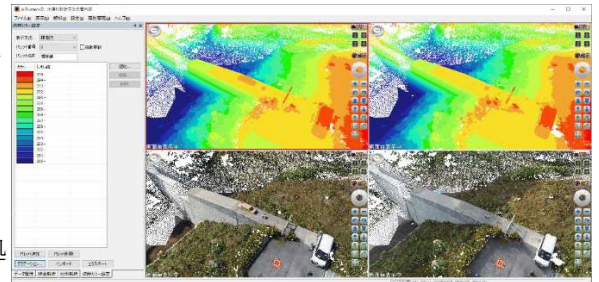


図 1 点群表示機能

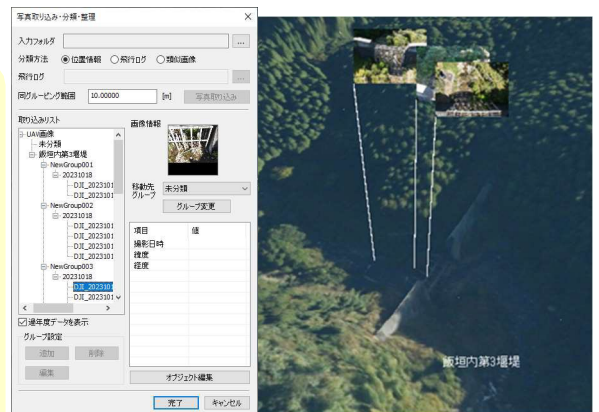


図 2 UAV データインポート機能

2.1. UAV データ自動インポート機能

UAV で撮影された写真の EXIF 情報と飛行ログデータの緯度・経度情報から、各データがどの設備で取得されたものを判別し、データを所定のフォルダに自動分類する機能である【図 2】。どの設備で取得されたかは、設備位置や当該設備における過去の写真撮影位置に半径 100m のバッファを設定し、そのバッファに含まれるかで判別する(バッファ範囲は変更可能)。なお、未分類の画像が生じることも想定し、ユーザによる手動分類を支援する機能も備えた。

2.2. 変状情報の記録支援機能

登録した三次元モデル上に、変状位置や諸元を記録するための三次元ピンを配置する機能である【図 3】。三次元ピンには座標、変状種別、変状レベル等の属性を付与できる。また損傷の経年変化を容易に比較できるように、ピンに紐づく複数の写真を同時に閲覧できる機能も実装した【図 4】。

2.3. 電子点検台帳出力機能

施設ごとの点検台帳(砂防設備点検票, 異常箇所概要図, 写真帳, 変状の進行性確認, フライト諸元)を XLS 形式で出

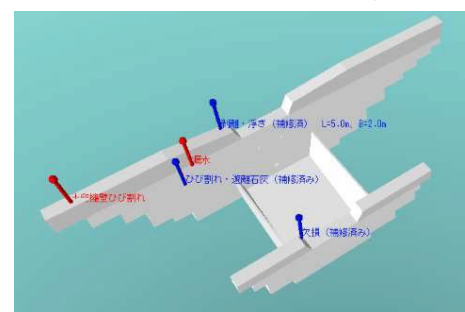


図 3 三次元ピンの配置例



図 4 写真表示機能

力できる機能である【図 5】。データベースに登録した情報や写真、三次元モデル等を活用し自動入力可能な欄を埋めた状態で出力することで、台帳作成にかかる労力を低減した。

### 3. 点群データと ICP を用いた変状自動抽出の試行

将来的に変状の自動抽出システムをデータプラットフォームに実装することを目的として、二時期点群の差分解析により堰堤欠損や摩耗、洗堀等を自動抽出する方法を検討した。

#### 3.1. 自動抽出方法

点群を用いた変状の自動抽出の流れを図 6 に示す。二時期点群で小さな変状を正確に抽出するためには、差分解析の前に点群どうしの位置ずれを最小化しておく必要がある。本研究では、その処理手法として ICP (Iterative Closest Point) を採用した。これは、二時期点群で対応する点どうしの誤差が最小となるよう繰り返し計算を行い、自動で位置合わせをするものである。なお、ICP で位置合わせをするには二時期でほぼ変化していない不動点を指定する必要がある。本研究では砂防設備がそれにあたると考え、点群から人工的な平面形状を抽出可能な RANSAC 法 (Random Sample Consensus) により砂防設備を自動抽出することとした。RANSAC 法は、ランダムに選んだ 3 点を通る平面を生成し、平面から一定距離内の点数を数えることを繰り返すことで高速に最大の平面を取得する手法である。これらの前処理を行った上で、差分解析により変状を抽出した。

#### 3.2. 検証

堰堤周辺に変状 (袖部の欠損等) に見立てた段ボールを配置した状態と、配置前の状態とで SfM 解析により点群を作成し、図 6 の処理を行うことで、考案した手法の妥当性を検証した。図 7 に RANSAC 法により自動抽出した人工物平面を示す。これから砂防堰堤を構成する平面が概ね正確に抽出されていることが分かる。次いで ICP により点群の位置合わせを行い、二時期点群の差分解析を行った。図 8 から分かる通り、疑似変状に見立てた段ボールが正確に抽出できていることが確認できた。

さらに、より大きな点群のずれがあった場合でも ICP が有効であることを検証するために、元の点群の三次元位置を手動で 1.6° 回転させて疑似的に変化のある点群を作成した。そのデータを使って ICP で位置合わせをして差分解析を行った結果を図 9 に示す。ICP の位置合わせを行わなかった場合、全体的に 0.1m 以上の変化が発生しているのに対し、ICP を適用した場合には全体的に誤差が軽減されていることを確認できた。

### 4. おわりに

本研究により UAV 点検を効率化するためのデータプラットフォームならびに ICP を用いた変状自動抽出の有効性を確認できた。今後の課題として、データプラットフォームについては運用を想定したデータプラットフォームの機能改善、その他機能の開発、ユーザビリティの向上、ICP を用いた変状自動抽出については GNSS 精度の低い点群への対応や、データプラットフォームへの機能追加等が考えられる。

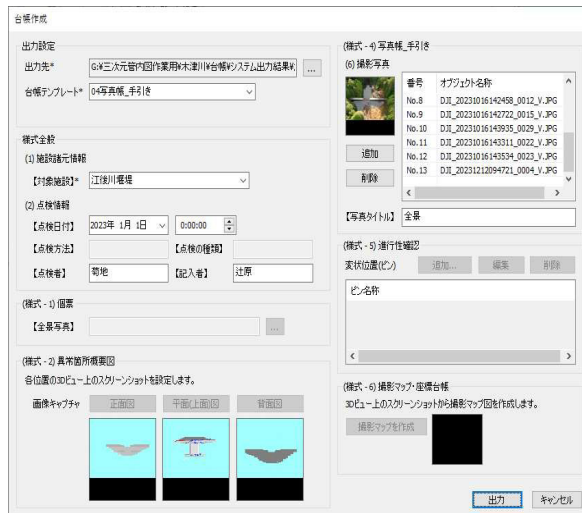


図 5 電子点検台帳出力機能

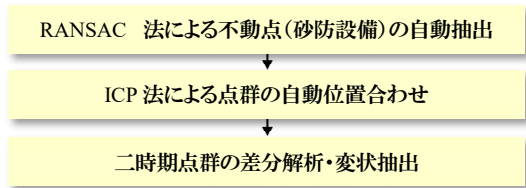


図 6 点群を用いた変状自動抽出のながれ



図 7 RANSAC 法による砂防設備の抽出結果

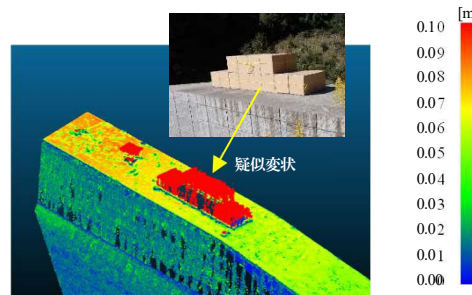


図 8 二時期点群データの差分解析結果

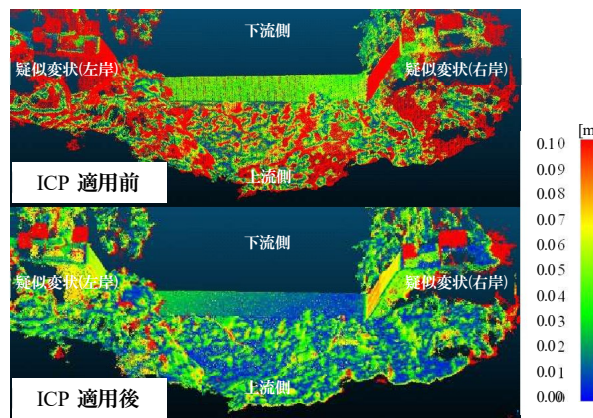


図 9 点群を回転させた場合の差分解析結果 (上図: ICP 適用前, 下図: ICP 適用後)

SfM-MVS を用いた発災直後の地形把握手法の検討  
 ～能登半島地震 市ノ瀬町での事例～

国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 ○水流竜馬、竹下航\*1、山越隆雄\*2、瀧口茂隆、村木昌弘  
 \*1：現 国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所  
 \*2：現 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 地震・火山室

1. はじめに

令和 6 年に発生した能登半島地震において、崩壊した土砂が河道を閉塞することによって各地で河道閉塞が形成された。河道閉塞が形成された際は、土砂災害防止法による緊急調査の着手の判断や現地への踏査ルート設定など、初期期における地形状況の把握が重要である。しかし、今回の地震では、地盤変動により基準点が測位できなかつたり、主要道路の損傷によって現場への立ち入りが制限されたり、即時的な地形情報の把握が困難であった。

2. 目的

本検討では前述の状況を踏まえ、発災直後における調査方針の策定や緊急調査着手等の判断材料となる地形状況を把握するための手法の検討を目的とした。

3. 三次元地形モデルの作成

輪島市市ノ瀬町猿谷で発生した河道閉塞箇所を対象に検討を行った。災害直後（1月7日まで）に入手可能な画像データを SfM-MVS (Structure from Motion-Multi view Stereo) 解析することで三次元地形モデルを作成する手法を検討した。

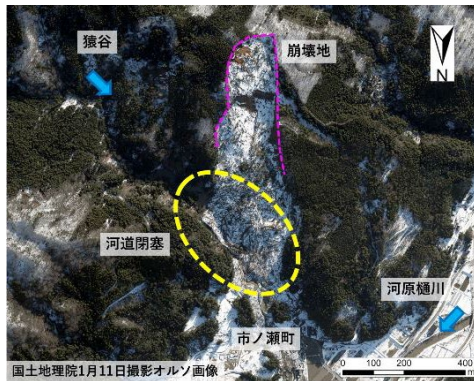


図 1 市ノ瀬町河道閉塞箇所

3.1 発災直後に入手可能なデータの収集

能登半島地震の発災直後に被災状況を把握するために取得したデータの時系列を表 1 に示す。本研究の解析には、「地整へり動画のキャプチャ」「アジア航測株式会社の斜め写真」「現場撮影 UAV」を使用した。

表 1 収集データ時系列

日付	データ収集状況
1月1日	令和6年能登半島地震 発生
1月2日	北陸地整へり動画 撮影
	アジア航測株式会社 斜め写真 撮影
1月7日	国総研土砂災害研究部 UAV 撮影
1月11日	航空レーザー測量開始
1月15日	災害前DSM G空間情報センター 公開
1月20日	北陸地整 災害後DEM 提供

また、各写真データの枚数及び位置情報の有無を表 2 に整理した。また、現場撮影 UAV については河道閉塞箇所を中心に撮影したため、河道閉塞箇所のみを解析した。

表 2 収集した各写真データについて

画像データの諸元	画像の位置情報の有無	枚数
北陸地整へり動画キャプチャ	無	29
アジア航測の斜め写真	有	10
現場撮影UAV	有	162

3.2 SfM-MVS 解析における評定点

画像の位置情報を推定する際に精度を上げる目的で評定点を机上で設定した。評定点は現地で測量を行うのが一般的である。しかし、災害時の初期期では、現地で測量を行うことが容易ではない。そこで、本研究では災害前のオルソ画像から、撮影された画像内で判読可能な建物の屋根や道路、山地内の樹種や樹齢が異なる境界などの特徴的な地点かつ、発災後も変わらない地点のポイントを作成し、そのポイントの標高を災害前の DSM データより推定した。設定例を図 2、図 3 に示す。

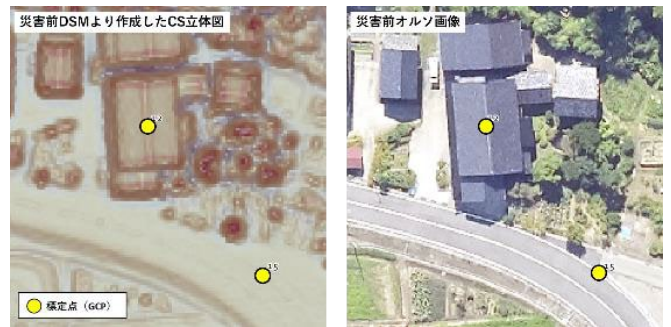


図 2 標定点設定イメージ（屋根、道路）

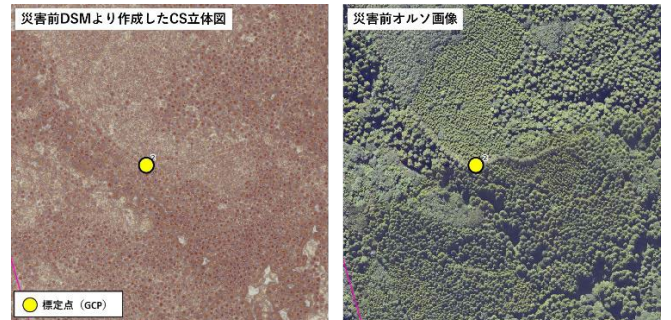


図 3 標定点設定イメージ（樹種・樹齢の境界）

4. 災害後 DEM との比較

作成した三次元地形モデルを、河道閉塞調査の用途ごとの観点から災害後 DEM と比較した。

## 2.1 相互連携に基づく研究 テーマ5

### 4.1 河道閉塞部の堤高の把握

作成した三次元地形モデルより作成した縦断図を図4に、河道閉塞の堤高と考えられる箇所(580m)地点の堤高を表3に示す。縦断図と580m地点の堤高が最も災害後DEMと近いのは、北陸地整へり動画の縦断図であった。また、いずれの縦断図も災害後DEMとの標高差は10m以内であった。

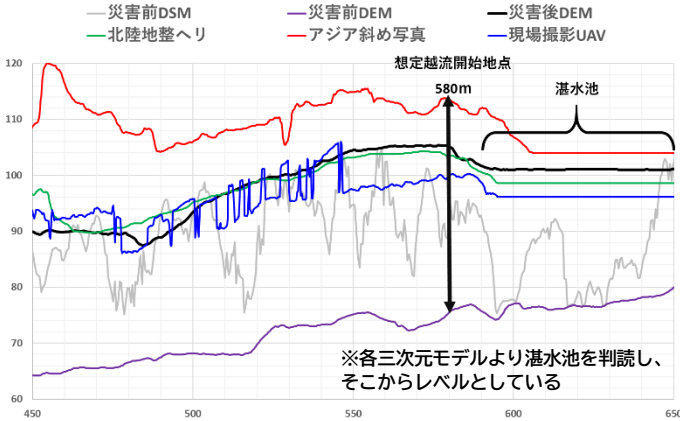


図4 河道閉塞部縦断図

表3 580m 地点堤高

地形モデル	堤高 (m)
災害後DEM	29.6
北陸地整へり動画キャプチャ	28.0
アジア航測斜め写真	37.9
現場撮影UAV	24.5

### 4.2 大規模崩壊斜面の形状の把握

作成した三次元モデルより作成した大規模崩壊斜面の縦断図を図5に示す。大規模崩壊斜面の形状は、それぞれの縦断図で、災害後DEMの崩壊地形状とおおまかに一致することが確認できた。

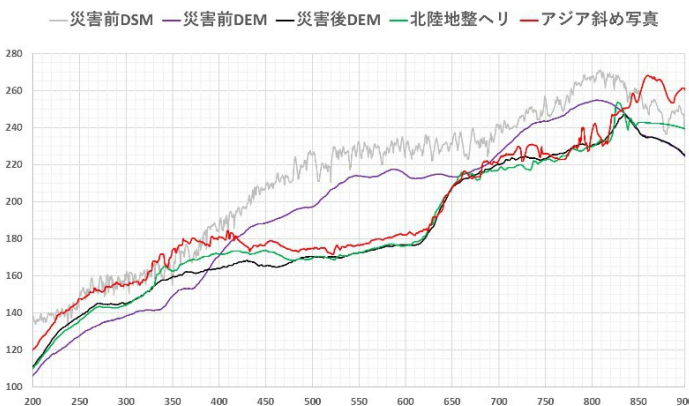


図5 大規模崩壊斜面 縦断図

### 4.3 大規模崩壊斜面の侵食堆積差分の把握

災害後DEMおよび作成した三次元地形モデルに対して、災害前DEMをそれぞれ差分解析した結果を図6に示す。崩壊地内の侵食堆積の大きな形状(破線緑部)が災害後DEMとほぼ一致することが確認できた。

また、侵食堆積差分の数量整理を表4に示す。侵食堆積差分は北陸地整へり動画より作成した三次元モデルで最も災害後DEMの結果に近い結果を得ることができた。これについては、北陸地整へり動画の方が、斜め写真に比べて、画像枚数が多かったことと撮影位置のばらつきが大きかったことが要因であると考えられる。

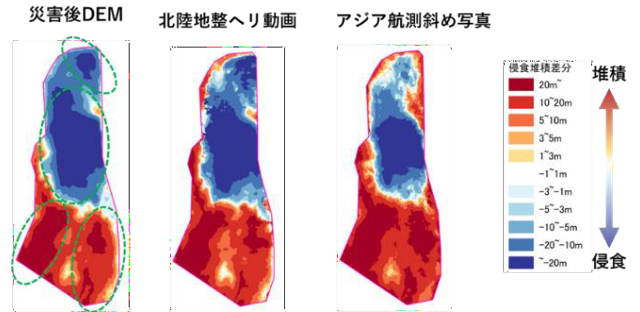


図6 大規模崩壊斜面 差分図

表4 差分数量

差分内容 (対象から災害前DEMを引いた)	土砂量(万m <sup>3</sup> )		
	侵食	堆積	計
災害後DEM	-139	105	-33
北陸地整へり動画	-134	113	-22
アジア航測株式会社斜め写真	-108	184	77

## 5. 結論

本研究では、へり動画のキャプチャや斜め写真のように写真測量を目的としない画像と災害前のDSMより推定した評定点から作成した三次元地形モデルを用いて、発災後数日でおおまかな地形状況の把握ができることが確認できた。おおまかな地形状況を把握することで、土砂災害防止法における緊急調査着手の候補地選定や調査計画の立案へ早期に着手できるようになると考えられる。

また、今回検討した手法は、能登半島地震のような情報収集が制限された場面における緊急時の地形把握手法であり、発災後数日のデータ取得に制限がある中での活用に留めるべきである。

そして、今回のような検討を行うためには、災害前のDSMデータおよびオルソ画像が必要である。今後、災害の発生に備えて、平時より各所が保有している航空レーザー測量データのオープン化が必要と考えられる。

## 6. 謝辞

災害前後のDSMおよびDEMデータをご提供いただいた北陸地方整備局および石川県砂防課、斜め写真をご提供いただいたアジア航測株式会社に深謝の意を表す。

## 参考文献

- 『土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き(河道閉塞による土砂災害対策編)』(平成28年3月一部改訂 国土交通省)

# UAVを用いた砂防設備点検の 自動化に向けた検討

小林 正直<sup>1</sup>・岸本 優輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒647-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

現在、砂防堰堤といった砂防施設の点検においては、定期点検・臨時点検の別なく、人力を基本とする点検調査と手動による点検調査報告様式へのとりまとめが必要となっている。一方でUAV、いわゆるドローンを用いた各種計測技術およびその利活用手法の展開はめざましいものがある。本研究においては、山間地域等に多く位置することと、その結果のとりまとめ量が膨大であることなどから多大な労力を要していると考えられる、砂防施設の点検作業及びその点検結果のとりまとめにおける省人化および自動化の取り組みについて、UAVによる砂防施設の点検自体に関する手法の高度化と、点検結果とりまとめ手法の高度化について検討する。

キーワード UAV、砂防施設、維持管理、3次元モデル、DX

## 1. はじめに

近年、建設DXに関する社会的要請が強くなってきており、インフラメンテナンスに関する各領域においても、ICT技術等を活用した省人化が急務となっている。砂防分野においては、砂防堰堤等の砂防施設の維持管理について、その環境的・社会的等の各要因から、UAVによる省人化が検討されてきた。

砂防施設点検については、砂防施設の機能維持のための技術的判断の観点から、定期点検のほか・暴風雨及び台風などの風水害発生後の臨時点検・地震発生後の臨時点検が必要で、場合によっては損傷箇所を詳細に追加点検し、施設の部位毎の変状レベルを評価した上で、施設周辺の状況も踏まえ、総合的に健全度が評価されることとなる。これらにおいて、砂防関係施設点検要領(案)<sup>1)</sup>では、定期点検は目視点検もしくはUAV点検を基本とし、臨時点検においても定期点検に準じて目視点検もしくはUAV点検による点検を基本とするとされている。一方で、UAVの活用ポイント(表-1)として挙げられている観点としては、外観からの変状把握の代替、点検作業が危険な箇所における写真撮影または、広範囲を短時間で撮影した写真によって効率的に全体像を把握すること、などがあり、光学カメラ画像による点検手法が主となっている。即ち、現状想定されているUAV点検の適用範囲や利点としては、目視点検でも実施されてきたような作業の代替等に主眼が置かれ、UAVにより砂防施設点検の手間自体が削減されるような手法、たとえば3次元デ

ータによる点検等の自動化や高度化、あるいは、UAV点検データを用いることによる調査報告の省人化といった要素については確立されていないのが現状である。砂防施設の維持管理という課題に対して、デジタル技術を活用して事業全般のモデル変革を行うデジタルトランスフォーメーションの段階に至るには、これらの確立されてきた技術をさらに適用し、推進を図っていくのと同時に、データ取得から変状把握・解析・調査報告に至る各段階のデジタルライゼーションが不可欠であると考えられる。

本研究では、UAVを活用した砂防施設点検または維持管理の効率化に関し、以下の2つの観点について技術開発を行い、報告する。

### (1) 2時期の点群データを自動で比較し、変状や堆砂量を自動で抽出する手法の確立に向けた検討

UAVに搭載された各撮影機器により、点群による砂防施設の3次元モデルを得ることができる。この点群データを2時期で比較することにより、砂防施設の各種変状を把握する技術が開発されている。本研究においては、その比較や差分解析の自動化を目指し、ICPと呼ばれる点群同士の位置ずれを最小化する手段について検討するとともに、RANSAC法と呼ばれる手法で点群データ中の砂防施設を自動抽出する技術について検討した。加えて、砂防堰堤堆砂域における土砂の堆砂量算出についても自動化に向けた検討を行った。

表-1 現行要領案における砂防関係施設点検でのUAV活用ポイント<sup>1)</sup>

施設（種類）		活用ポイント
砂防設備	砂防堰堤等	UAV点検では、UAVが飛行可能な空間であれば、点検作業が危険な場所、高低差が大きい箇所、着目する部位が地上から見えにくい箇所、設備全体像を把握する場合において効率的に画像を得ることができ、変状の変化を的確に比較できる。また、施設の周辺状況（溪岸浸食、斜面崩壊、堆積地の変化等）も効率的に情報を得ることが可能である。 ただし、樹木の繁茂やGPS情報の取得困難箇所、あるいはコンパス・ジャイロ等に影響がでる飛行困難空域、猛禽類の保護エリアでの点検や詳細な計測が必要な場合は目視点検が必要となる。 なお、「目視外飛行」となる場合は、改正航空法に伴い、点検ごとの飛行許可申請等の手続きが必要となる。
	溪流保全工	UAV点検が効果的な砂防施設で、広範囲を短時間で確認できる。施設の変状、河道の異常堆積や浸食等の全体像を把握することが可能（ウェイポイントフライト）で、変状がみられる施設、箇所については、垂直写真、水平写真、俯瞰写真などの画像により、時期的な変化を的確に比較できる。ただし、都道府県条例の空域制限、人口密集地上空、コンパス・ジャイロ等に影響がでる飛行困難空域である場合や、詳細な計測が必要な場合は目視点検が必要となる。なお、「目視外飛行」となる場合は、改正航空法に伴い、点検ごとの飛行許可申請等の手続きが必要となる。
	山腹工	UAV点検が効果を発揮する施設で、広範囲を短時間で確認でき、効率的に全体像を把握することが可能である。アンカーキャップや法枠の変状がみられる箇所については、垂直写真、水平写真、俯瞰写真などの画像を得ることができ、時期的な変化を的確に比較できる。なお、「目視外飛行」となる場合は、改正航空法に伴い、点検ごとの飛行許可申請等の手続きが必要となる。
地すべり防止施設	抑制工	地下構造物のUAV点検は不向きである。ただし、地表面の施設や斜面、滑落崖周辺の状況については広範囲を効率的に把握できるとともに、変状がある箇所などは水平写真、俯瞰写真などから時期的な変化を的確に比較できる。また、集水井工や排水トンネル工では、照明装置を設けることで構造物内の状況を把握することができる。
	抑止工	地下構造物のUAV点検は不向きであり、施設のほとんどが地下構造物となる抑止工は、原則として目視点検が必要となる。ただし、アンカー工の受圧板やアンカーキャップ等の露出部については広範囲を効率的に把握できるとともに、変状がある箇所などは水平写真、俯瞰写真などから変化を把握することができる。
急傾斜地崩壊防止施設（雪崩防止施設含む）	擁壁工等	擁壁工等は家屋に隣接し、家屋の上空を近接して飛行するため、安全性の課題とともに飛行許可申請等の手続きが煩雑となりUAV点検は不向きであるため、目視点検が必要となる。
	法面工	UAV点検が効果的な施設で、施設や斜面の全体像を効率的に把握することが可能である。また、アンカーキャップや法枠など施設の変状がみられる箇所については、家屋から適切な距離をとった上で、水平写真、俯瞰写真などを撮影することにより、時期的な変化を的確に比較できる。なお、都市部での飛行では、改正航空法に伴って点検ごとの飛行許可申請や地元住民の理解を得る措置などが必要となる。
臨時点検		地震・豪雨後に実施される臨時点検はUAV点検が効果を発揮するケースで、広範囲を短時間で、かつ安全に被災状況等を確認できる。飛行では、ウェイポイントフライトによって、垂直写真、水平写真、俯瞰写真、パノラマ写真などの画像を得ることができる。ただし、「目視外飛行」となる場合は、改正航空法に伴い飛行許可申請等の手続きが煩雑となる。

(2) 点検データを一元管理すると共に、点検データの整理や調査報告様式への出力を容易にする電子台帳の開発  
砂防施設の点検台帳は多くが紙媒体でのデータ管理となっており、電子化が必要である。一方、各種点検データ取得はデジタル写真データや動画データ、あるいは点群データなどの3次元データなど、電子化が進んできたが、調査報告のとりまとめ様式は紙媒体での出力を想定したものとなっており、データ管理状況とちぐはぐであるだけでなく、とりまとめに人的な手間を要しており、省人化のためにはこれらデータの取り扱いや台帳とりまとめにかかる手間を排す必要がある。そのため、過去の砂防施設台帳データや新規に取得したUAV等による点検データを蓄積・管理する電子プラットフォーム（台帳）について試行的に作成し、省人化寄与度について検討を行った。

## 2. 点群データを用いた変状自動抽出の検討

変状を自動で抽出するシステムを後述するデータプラットフォームに実装することを目的として、2時期点群の差分解析により、砂防施設の欠損や摩耗・洗掘を自動抽出する手法について実験を行った。

### (1) 変状自動抽出の流れ

点群を用いた変状の自動抽出の流れを図-2、図-3に示す。まずUAVによる撮影により得られた画像データから、SfM処理によって点検対象となる砂防施設を範囲に含んだ3次元モデルを作成する。次に、2時期のデータ間で不動点となる平面、即ち砂防堰堤の部分をRANSAC法と呼ばれる手法で推定し、当該部分を分割して抽出する。次に、点群を2時期のデータで比較するために、ICP法での位置合わせ（レジストレーション）を行う。最後に点群

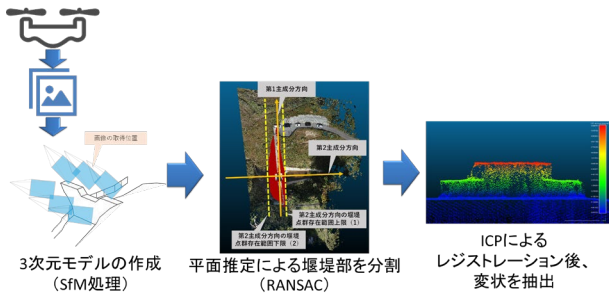


図-2 UAV点検の流れ

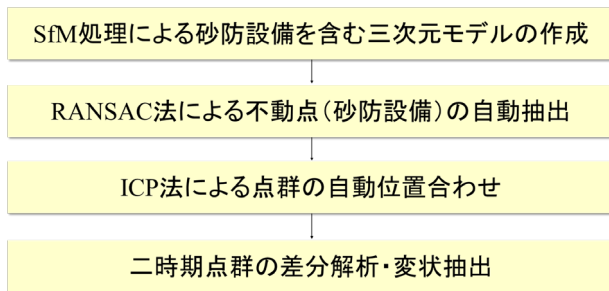


図-3 UAV点検における変状自動抽出のイメージ

同士の差分を解析し、変状部分を抽出する。これらの流れを自動で行うことが可能かどうか、検討を加えた。なお本研究においてはこれらの第1段階となる3次元モデルの作成自動化については、十分に実用化が可能な既知の技術として、検討を行わない。

## (2) RANSAC法とICP法による砂防施設の自動抽出と点群の位置合わせ

まず、2時期の点群で小さな変状を正確に抽出するためには、差分解析の前に、点群同士の位置ずれを最小化しておく必要がある。本研究においてはこの作業を自動で行うことができるかどうか、データ処理方法としてICP (Iterative Closest Point) 法を採用した。これは、3次元空間中の点の集合が2つ与えられた時について互いに重なるように各点を移動(レジストレーション)させるもので、最近接点との平均二乗誤差が最小になるように、回転と平行移動を繰り返し、自動で位置合わせを行うものである。なお、本手法で位置合わせを行う際には、2時期でほぼ変化のない不動点を指定することから、砂防施設の構造体がそれにあたると考え、点群から人工的な平面形状を抽出可能なRANSAC (Random Sample Consensus) 法により、砂防堰堤の特に人工物平面を自動抽出することとした。本手法は、観測地に外れ値が含まれているときに、外れ値の影響を抑えることを目的としたロバスト推定と呼ばれる方法の一つで、観測値からランダムにサンプリングを行ったデータの中から最適なパラメータを推定する処理を繰り返し、その中で最良の推定結果を出力する方法である。本研究では人工物平面を抽出するため、多数の点群の中から平面の存在を仮定した上で、ランダムに抽出した3点から仮の平面を生成し、

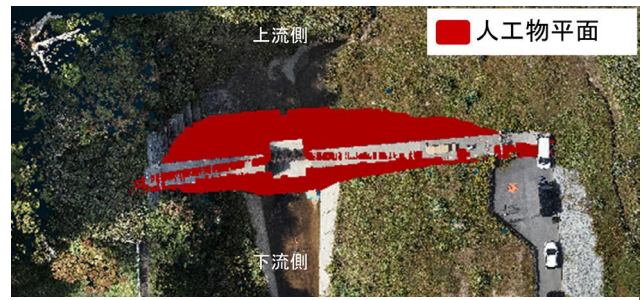


図-4 RANSAC法による砂防設備の抽出結果

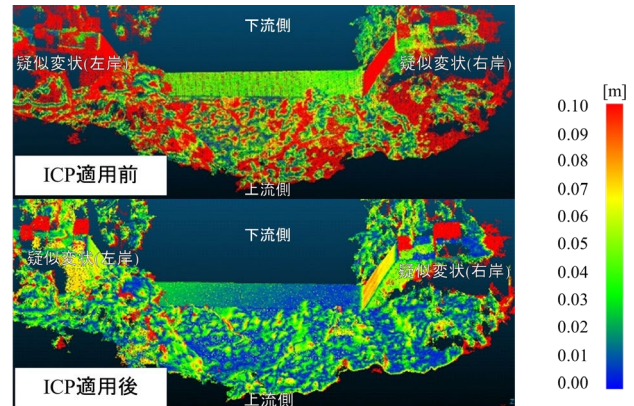


図-5 点群を回転させた場合の差分解析結果 (上段:ICP適用前, 下段:ICP適用後)

その平面から一定距離内の点数を数えることを繰り返し、点群内における平面を高速に得る処理を行った。得られた抽出結果の例を図-4に示す。

また、本研究では作成された2時期の点群の位置情報が大きくずれていた場合にも、同手法が有効であることを示すため、元の点群の3次元位置を手動で1.6°回転させ、疑似的に変化のある点群を作成した。この点群データを用いてICP手法により位置合わせ及び差分解析を行った結果を図-5に示す。ICP手法による位置合わせを行わなかった場合には全体的に0.1m以上の差が生じているのに対し、ICP適用後には全体的に誤差が軽減されていることが確認された。

これらの点群に対する処理は機械的に実施される手法であることから、後述するデータプラットフォーム等における処理ソフトウェア等に組み込むことにより、自動化が可能であることが確認された。

## (3) 2時期点群の差分解析による変状抽出

砂防堰堤周辺に変状(袖部の欠損等)を想定した段ボールを配置した状態と、配置前の状態とで、点群を作成し、上記の処理を行った上で差分解析による変状抽出をテストした。図-6に差分解析結果を示す。点群同士の差が10cm以上ある部分を赤色で着色しているが、疑似変状に見立てた段ボールが正確に抽出されており、加えて、前後で変化がないと思われる周辺の部分について、若干の着色がある部分も見受けられるが、概ね変化がない平面として抽出されていることが分かる。これにより、前

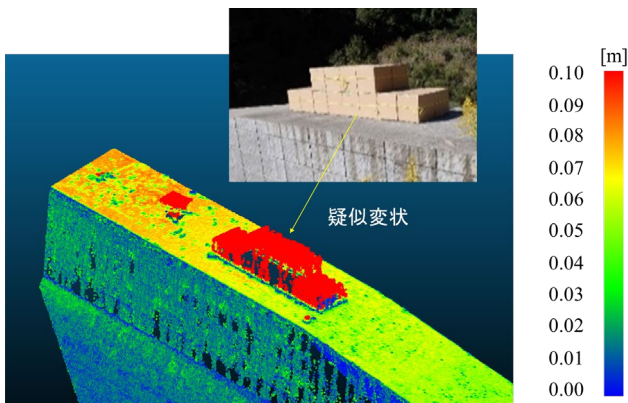


図-6 2時期点群データの差分解析結果

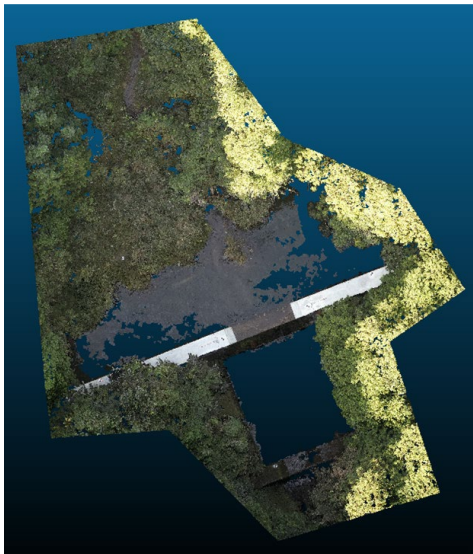


図-7 堆砂量変化抽出に使用した点群

後の点群をほぼズレなく、自動的に処理する手法により比較し、変状を抽出することが可能であると確認された。

### 3. 点群データを用いた堆砂量自動算出の検討

#### (1) 解析手法

砂防堰堤における堆砂量の変化について、点群データから自動で抽出・算出するための実証を行った。解析手法は、第2章に示す、変状の抽出手法と同様に、「UAVによるデータ取得」、「SfM処理による3次元モデルの作成」、「2時期点群の位置合わせ」、「差分解析」の順とした。

#### (2) 解析結果

解析には、第2章第2節で砂防施設を自動抽出した点群を使用した。簡単のため手動で範囲を区切った後、解析に使用した点群を図-7に、ICPレジストレーションを行った後に差分抽出を行った解析結果を図-8に、ICPレジストレーション後の断面図の例を図-9に示す。なお、今回は堆砂域に擬似的に段ボールを設置することにより精

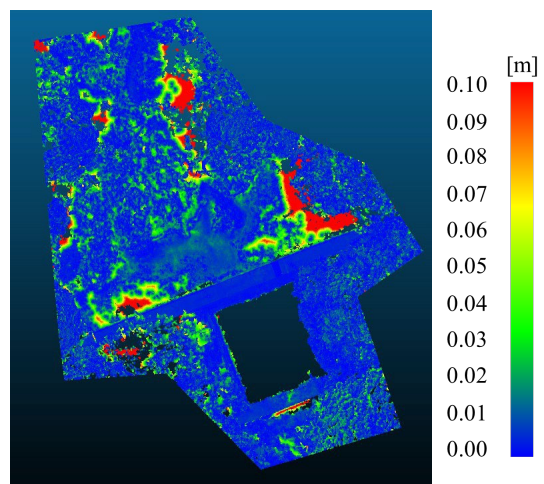


図-8 ICPレジストレーション後の差分抽出結果

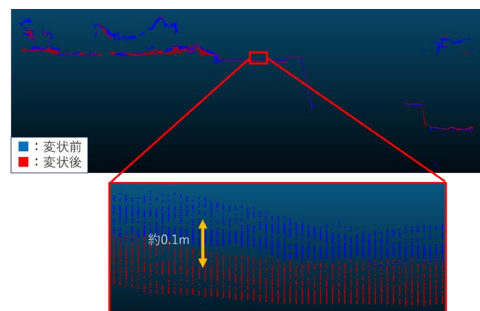


図-9 ICPレジストレーション後の断面例

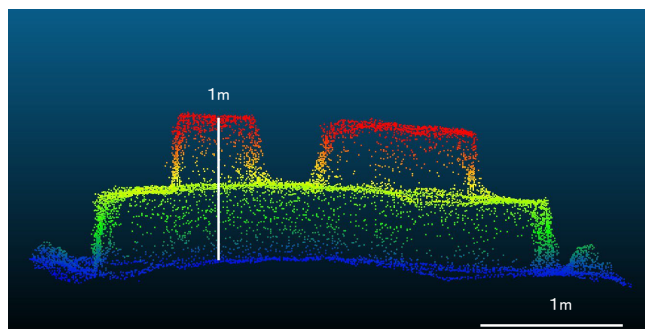


図-10 疑似変状の抽出状況の例

度を検証した。疑似変状の抽出状況を水平で見た図の例を図-10に示す。結果として、ICPレジストレーションを行った点群の比較では、2時期点群の不変点の差分は数cmオーダーと、十分に小さくなることが分かり、加えて堆砂域における地形変化、即ち堆砂量変化をほぼ正確に把握することが可能であることが分かった。

### 4. UAV点検データを一元管理する電子台帳の開発

現在主流である目視点検による砂防施設の巡視データと、UAV点検による巡視データの双方を蓄積させるためや、維持管理上比較的頻繁に参照と思われる砂防施設台帳等の情報を一元管理し効率的に活用するための、電子台帳の開発を行った。電子台帳の様式作成にあつ

ては、過年度に実施された設備点検台帳の様式を参考にした。

### (1) 台帳により蓄積される情報の整理

UAV概略点検、即ち画像による点検に際し、取得されることが必要かつ蓄積されることが望まれる情報を整理した。整理にあたっては、SfM解析による点群データやオルソ画像作成を視野に、近年のUAV汎用機における自動操縦ルート設定方法も踏まえ検討を加えた。電子台帳の様式としては、砂防設備点検票、異常箇所概要図、写真帳、変状進行性確認票のほか、フライト諸元等とし、フライト諸元には、写真撮影の際の3次元座標とカメラ方位角のほか、オルソ撮影のためのオーバーラップ率・サイドラップ率・カメラ角度・飛行高度・地上解像度を記録するものとした。これにより、過年度に撮影された画像と画角その他情報が同等の画像を蓄積することが可能となり、効率的になると考えられる。

### (2) 電子プラットフォームの試作

前述した電子台帳を自動で出力可能かつ、点検結果の蓄積・閲覧が可能となる電子プラットフォームを試作した。UAV画像を取り込んだ際に、画像の位置情報EXIFデータ・飛行ログデータの取り込みが可能であり、画像の位置情報と過年度の類似画像抽出機能やユーザーによる分類機能を実装した。また、既往の3次元データビューアの機能も活用し、点群を表示し、画面分割による比較、標高色分け等が可能にした(図-11)。加えて、砂防施設の3次元モデルを表示すること及び、モデル上に3次元ピンを設定し、変状の状態、変状写真をピンと紐付けて管理できる機能を開発した(図-12)。さらに、写真情報は整理して管理され、過年度または多時期の画像を比較して閲覧できる機能を実装した(図-13)。最後に、施設毎の台帳をXLS形式で出力することで、手作業による点検台帳に比べ効率性・性能・安定性・視認性が高まるかどうか検討した。

結果として、砂防設備の点検とデータ整理・台帳作成にかかる時間を1施設あたり約70分低減することができた。これは、従来手法によるものと比べ、約37%の時間短縮に相当するものと試算された。また、点検台帳作成労力についてはシステム操作の習熟につれ向上されること、台帳作成・出力の前段階として写真取り込みを行った際に適切に写真をグルーピングし、グループ名を適切に設定しておくことなどの習熟性が重要であることが分かった。また、実際に運用を見越してシステム構築する際には、扱うデータの重さが問題になる可能性があることから、端末性能に留意することや、サーバを設置するなどして適切にデータ管理を行うことなどが必要であることが明らかになった。視認性については、3次元空間で砂防施設や変状等を可視化することで、点検情報や変状の視認性が高まり、変状の把握や過年度の結果との比

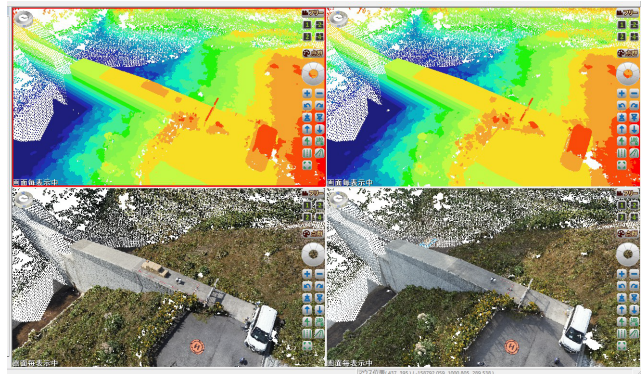


図-11 点群表示機能の例

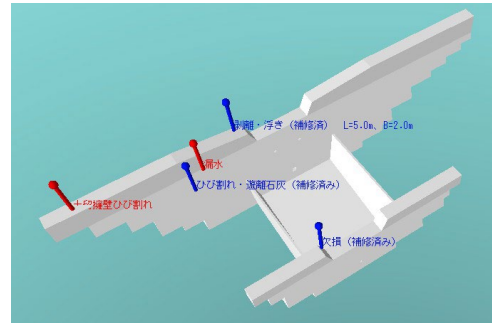


図-12 砂防堰堤表示と3次元ピン表示の例



図-13 写真比較表示画面

較に有効であることが明らかとなった。

## 5. おわりに

本研究によりUAV点検を効率化するためのデータプラットフォームならびにICPを用いた変状自動抽出技術の有効性を確認できた。今後の課題として、事務所実装のためのシステム開発、運用を想定したデータプラットフォームの機能改善、GNSS精度の低い点群への対応検討や堆砂数の実際の変化に対して本手法を適用し実用性の確認をすることなどが考えられる。

**謝辞：**本検討課題においてはアジア航測(株)に受託いただきご尽力いただいた。また、国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の竹下航氏(現：紀伊山系砂防事務所)、水流竜馬氏に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省砂防部保全課：砂防関係施設点検要領(案)；令和4年3月

## 数値標高モデルと土砂移動範囲情報による簡便な河道閉塞箇所抽出の試み

国立研究開発法人土木研究所 ○影山大輔、清水武志、伊藤誠記

## 1. はじめに

河道閉塞の決壊に伴う被害の防止には、河道閉塞を迅速に発見する必要がある。災害初期における河道閉塞の広域かつ網羅的な探索手法の一つとして空中写真の判読がある。しかし、山地河川で森林などの遮蔽物がある場合や災害直後で湛水が始まっていない場合には、空中写真による河道閉塞の判読は困難である。河道閉塞は河道上で形成されるため、河道網に関する情報を活用すると判読を簡便にできる可能性がある。しかし、既存のデータセットは、例えば水がい線（基盤地図情報）のように、必ずしも山地河川を含まない。山地河川の河道網データは、数値標高モデル（以下、DEM）から地理情報システム（以下、GIS）で実装される地形解析ツールで補うことができると考えられる。

土木研究所では、これまでも投下型水位観測ブイの開発等を通じて、国土交通省や都道府県の河道閉塞に伴う災害対応を技術的に支援してきた。筆者らは、令和 6 年能登半島地震で発生した河道閉塞への対応では、1 月 5 日にヘリ調査、1 月 6 日に現地調査を行い、国土交通省北陸地方整備局と石川県に対して報告・助言を行った。その際、ヘリ調査ではフライト可能時間内に広域を効率的に調査する必要があること、そのためにはその時点で入手可能な情報から河道閉塞を簡便に抽出する技術が必要であることが再認識された。当該現地調査に先立って、河道閉塞の空中写真判読を試みたところ大まかな傾向は把握できたものの、河道閉塞の抽出精度や所要時間に関する課題が残った。これらの経験を踏まえ、迅速な河道閉塞の発見を支援する方法を検討する必要が生じた。

そこで本研究では令和 6 年能登半島地震で発生した河道閉塞の発生位置を DEM と土砂移動範囲情報から抽出し、抽出性能を評価した。

## 2. 方法

## 2.1 データ

国土地理院の数値標高モデル（基盤地図情報；5 m メッシュ；2016 年、2022 年作成）と令和 6 年能登半島地震における斜面崩壊・堆積判読分布図（珠洲地区、輪島東地区、輪島中地区、穴水地区、2024 年 1 月 6 日公表）を用いる。斜面崩壊・堆積判読分布図には、土砂移動（崩壊、流下、堆積）の発生した範囲（以下、土砂移動範囲）（1,475 箇所）が示されている。ただし、崩壊、流下、堆積ごとの区別はされていない。なお、斜面崩壊・堆積判読分布図は雲による判読不可領域（約 16%）を含む。

## 2.2 地形解析

地形解析ツールには White Box Tools [1]（以下、WBT）を使用する。他の GIS 処理やデータ可視

化と連携するため QGIS 上で利用する。数値標高モデルのモザイク処理や地理座標変換に双一次関数の内挿による DEM を作成した後、WBT で河道網を生成する。以下、河道網生成の概略を説明する。

まず、DEM の窪み埋めの処理 [2] した後で、D8（隣接する 8 つのセルのうち最急勾配となるセルへ流下するモデル）メソッド [3] で、流向図と累積流量図（ラスタ）を作成する。次に、WBT のツールで任意の閾値を設定して累積流量図（ラスタ）からその閾値以上の累積流量を持つセルを抽出することによって、河道網（ラスタ）を作成する。本稿では、任意の閾値で河道網を生成するこの処理を河道化と呼び、その際に設定される閾値を河道化の閾値と呼ぶこととする。河道化の閾値が小さい場合は小さい溪流も含めた河道網（密な河道網）が生成され、河道網の閾値が大きい場合は大河川のみ河道網（疎な河道網）が生成される（図 1 参照）。最後に、WBT のツールで流向図と河道網（ラスタ）から河道網（ベクタ）を作成する。土砂移動範囲のうち、河道網と交差するものを、河道閉塞の候補箇所（以下、河道閉塞候補箇所）として抽出する。今回は河道化の閾値を 8 ケース（10、100、1,000、10,000、25,000、50,000、100,000、500,000）に変化させて、8 つの河道網を生成する。

## 2.3 評価対象

本研究では、令和 6 年能登半島地震における斜面崩壊・堆積判読分布図（珠洲地区、輪島東地区、輪島中地区、穴水地区）上の土砂移動範囲（1,475 箇所）のうち、土砂移動面積 10,000 m<sup>2</sup> 以上の土砂移動範囲（123 箇所）を分析対象とする。

過去の河道閉塞の発生事例 [4] では、日本で 2008 年までに発生した 61 災害で、形成・決壊した河道閉塞は 168 件あり、うち 141 件について発生源面積、堰止幅、堰止長が判明している。そこで、堰止幅に堰止長を乗じて河道閉塞面積とし、発生源面積を加えて土砂移動面積を算出したところ、約 96.5%（136 件/141 件）の河道閉塞では土砂移動面積が 10,000 m<sup>2</sup> 以上であった。これらを踏まえて、本研究では土砂移動面積 10,000 m<sup>2</sup> 以上の土砂移動を分析対象とした。

## 2.4 評価方法

河道化の閾値が河道閉塞の抽出に与える影響を評価する方法を示す。

抽出性能の評価には、真値として国土交通省が 2024 年 1 月 23 日に発表した、令和 6 年能登半島地震で発生した 14 箇所の河道閉塞の位置座標を用いる。ただし、これらの真値は河道上に位置するように、現地写真を参考にしつつ、必要に応じて微調整する。河道閉塞候補箇所が真値の半径 10 m 以内にあるときは真陽性（True Positive; TP）、

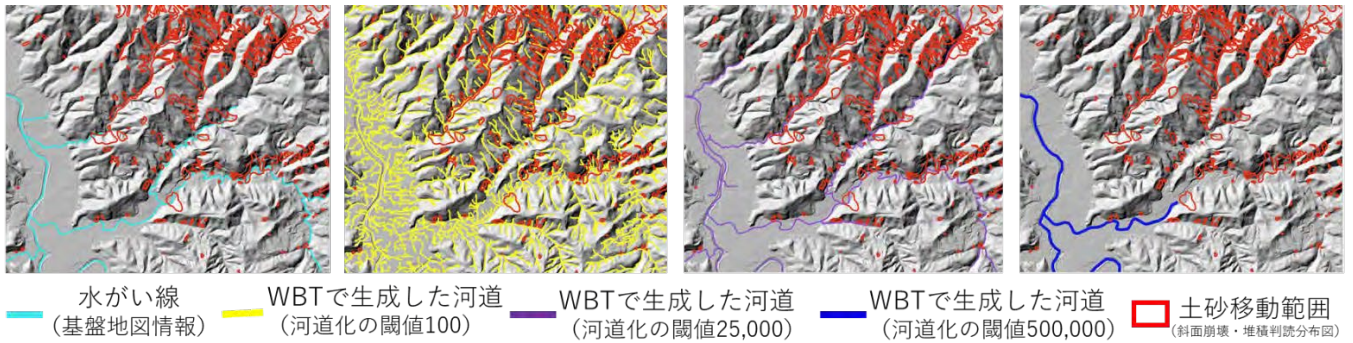


図-1 水がい線（基盤地図情報）と WBT で生成した河道の例（石川県輪島市町野町周辺）※背景は陰影図

真値の半径 10 m 以内には偽陰性 (False Negative; FN)、真値の半径 10 m 以外にあるときは偽陽性 (False Positive: FP) と判定する。また、真値判定結果に基づいて適合率 (TP/(TP+FP)) と再現率 (TP/(TP+FN)) を算出する。この判定に対する河道化の閾値の影響を評価する。なお、比較対象として水がい線（基盤地図情報）を河道網とした場合の抽出性能も評価する。

### 3. 結果と考察

河道化の閾値を変化させた場合の適合率と再現率を図-2 に示す。河道化の閾値は適合率との間に概ね正の相関があり、再現率との間には負の相関があった。この結果は、河道化の閾値が小さすぎた場合は山腹斜面にも河道網が生成され誤検知（偽陽性）が増加した一方で、河道化の閾値が大きすぎた場合には河道網が疎となり河道閉塞の見逃し（偽陰性）が増加したと考えられる。

河道網として水がい線（基盤地図情報）を用いた場合、河道閉塞候補箇所として抽出されたのは 27 箇所であり、適合率は 33.3%、再現率は 64.3% となった。水がい線を河道網として用いた場合に見逃しとなった河道閉塞は山地河川で発生していた。やむをえず水がい線を河道網として用いる場合、山地河川がないため河道閉塞の抽出を見逃すおそれがある。

河道化の閾値の最適化について考察する。防災実務では河道閉塞の見逃しは許されないことから、河道化の閾値は再現率 100% の範囲内で設定することが望ましい。その上で、河道化の閾値が大きくなるほど適合率は向上することから、最大限大きな値を設定する。この基準で河道化の閾値の最適値を決定すると、今回は河道化の閾値の最適値は 25,000 であった。この時の河道閉塞候補箇所は 37 箇所であり、適合率は 37.8% であった。この結果は水がい線を用いた場合よりも、適合率・再現率の両面で優位であり地形解析ツールで生成した河道網を用いる有効性が示された。

### 4. おわりに

本研究では、発災初期に入手可能な DEM と土砂移動範囲情報のみを用いて、河道網を用いて河道閉塞を抽出する手法を提案し、令和 6 年能登半島地震で発生した河道閉塞の発生位置の抽出を試み

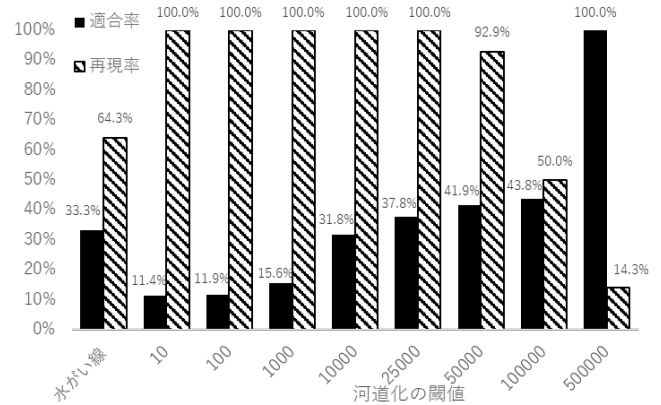


図-2 河道化の閾値と抽出性能の関係

た。その結果、河道化の閾値が適切に設定されており、大規模な土砂移動（土砂移動面積 10,000m<sup>2</sup> 以上）による河道閉塞を防災での利用を想定し再現率 100% の範囲内で抽出する場合、適合率 37.8% で抽出できることが分かった。令和 6 年能登半島地震の場合、斜面崩壊・堆積判読分布図上の土砂移動範囲のうち、約 2.5% (37 箇所/1,475 箇所) の箇所に注目すればよいことになる。

今後の課題として小さな規模の河道閉塞の抽出、真値が不明な場合の河道化の閾値の探索方法の検討が考えられる。

### 謝辞

本研究では国土地理院の基盤地図情報と斜面崩壊・堆積判読分布図を利用させていただきました。

### 参考文献

- [1] <https://www.whiteboxgeo.com/>; [2] Lindsay, J. B., & Dhun, K. (2015). Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using LiDAR. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(3), 397-411. <https://doi.org/10.1080/13658816.2014.975715>. ; [3] O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28(3), 323-344. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0). ; [4] 森俊勇, 坂口哲夫, 井上公夫編著(2012). 「日本の天然ダムと対応策」水山高久監修, 古今書院, 4-13.

### プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践

国立和歌山工業高等専門学校 谷口晃祥 片嶋将人 辻原治  
和歌山県土砂災害啓発センター ○岐山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋

#### 1. はじめに

2020年の小学校学習指導要領の改正で、防災学習の必要性が指摘され、「自然災害に関する知識を得ること」などの指導が追記された。また、同時に「プログラミング」に関しても必修化された。

上記2点の改定は小学校の先生にとってなじみの薄い分野である。さらに先生自身が多忙であることも相まって、新しい教材開発は容易ではない。

以上のような状況を踏まえ、今回、国立和歌山工業高等専門学校と協力し、プログラミング学習の要素を取り入れて、生徒がゲーム感覚でロボットの動きをコントロールしながら、土砂災害について楽しく学習できる教材を開発し、実践授業を実施したので報告する。

なお、本企画は、(株)村田製作所の取り組み「動け！！せんせいロボット」<sup>1)</sup>に刺激を受けており、令和5年5月に同所を訪問した際、担当者からアドバイスを受けた。また、独自の技術で低コストの人間ロボットを作成して防災教育を行う企画に賛同していただいた。

#### 2. 教材の概要

土砂災害の発生するフィールドにおいて、危険を避けるルートを考えて、ロボット役に指示をしてゴールへと導く。

システムは、小学校で使うタブレットまたはPC、「micro:bit」、ロボットの着ぐるみ、土砂災害のフィールドなどから構成される。ロボット、土砂災害、フィールドは段ボール等で作成しており、デジタル一辺倒とならず親しみが持ちやすいよう工夫している。

ロボットの動きを指示する仕組みとして、多くの小学校で導入されているビジュアルプログラミング言語「scratch」を用いる。ロボットの

被り物内に「micro:bit」を設置しており、「scratch」でプログラミングした進行方向が矢印となって「micro:bit」に無線転送される。ロボット役は、その信号を頼りにフィールドを進み、避難所（ゴール）を目指す。（図1）

重視する学習内容として、防災に関しては、土砂災害に対する知識、有効な対策、そしてそれらを考慮した避難行動に重点を置いた。プログラミングに関しては、行動を分析し組み合わせていくアルゴリズム的思考を意識させることに重点を置いた。



図1 教材の概要

#### 3. 実践授業

実践授業には、那智勝浦町立市野々小学校5、6年生にご協力いただいた。（写真1）

初めに、代表的な土砂災害及びその対策工について講義を行った。

次に、教材の使い方について説明した後、個人でプログラミング練習をする時間を設けた。

最後に、3つの班に分けてそれぞれに土砂災害の対策状況が異なるフィールドを課題として出題し、班ごとに相談してロボットを避難させるようにした。

Scratch を用いたプログラミング実践は避難行動（移動）のみであるが、プログラミング的思考は避難行動全般に通じるものである。実際の避難行動では、

- ①ハザードマップを見て自宅、避難所、ハザードの位置を確認する。また、対策工の有無は普段から確認しておく。
- ②避難ルートを検討する。
- ③避難ルートの安全性を検証する。もし安全であればそのルートで避難する。安全でなければ再度ルート検討を行う。

となる。これは授業で用いたフィールドで実践した内容と同じである。普段無意識に行っていることではあるが、手順を分解し、順序だてて物事を考え、条件によってルートの通行可否を考えることなどを含んでおり、プログラミング的思考と避難行動全般の親和性は高いといえる。

授業実施後、児童及び教職員を対象にアンケートを実施した。児童には「楽しく学習できた」と好意的に受け止められた。また、教職員からは、プログラミング要素を取り入れるという視点や、児童が関心を持って取り組めたことに対し好意的な意見をいただいた。一方、「もう少し難度を上げてよかった」「場の設定、準備や片付け等をいかに負担少なくするか」といった指摘をいただき、難易度調整や準備・運営の簡便化が今後の課題といえる。

#### 4. おわりに

プログラミングと土砂災害を組み合わせた授業を実施し、児童が楽しく学習してくれたのは喜ばしいことである。指示通りにロボットが動くというゲーム感覚は生徒が授業に興味を持つうえで非常に重要であり、今回の授業のポイントである。一方で、そこにフォーカスしすぎると「ゲームをして終わった」に過ぎず、防災教育として成立しないため、そのバランス感覚が要求される。

そのため、今回は



写真1 授業の様子

- ・避難ルートの判断に土砂災害の危険個所や、対策工の知識を用いることができる
- ・避難行動において、「事前に準備すべき事項は多く、災害発生後に考えていても間に合わない」ため、「事前に落ち着いて分解・順序だてて考えておく（プログラムの思考）」ことの重要性や、「いざというときはそれを呼び出す（行動の自動化）だけにする」ことでパニックを防ぐことができる

という内容を授業やまとめに盛り込むことで、防災教育として成立させた。

この他にも多様な切り口やまとめ方があると思うので、今後も改良を重ねていくことでより良い学習教材になりうるのではないかと考えている。

1) 村田製作所：体験型プログラミング教育「動け!! せんせいロボット」紹介映像  
<https://video.murata.com/ja-jp/detail/videos/stem%E6%95%99%E8%82%B2/video/6025379553001>

### 小学校理科と土砂災害を組み合わせた総合的な学習の実践

和歌山県土砂災害啓発センター ○岐山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋

#### 1. はじめに

当センターは小中学生を対象とした土砂災害に関する防災教育・研修に力を入れており、毎年多くの学校から授業のご依頼をいただいている。

防災というテーマは、2020年より小学校の学習指導要領に記載されており、理科や社会の各単元の題材のひとつとして、自然災害が教科書で触れられることも多くなった。

今回、小学校から防災学習の実施依頼を受け、土砂災害及び理科の複数単元を絡めて授業を行った。その結果、子どもたちから地域に防災知識が伝達されるという流れにつながったため、その概要を報告する。

#### 2. 学習実践に至る経緯

対象となる学習を行ったのは那智勝浦町立色川小学校5、6年生である。担任より、5年生理科で学習する「流れる水のはたらき」と、6年生理科で学習する「大地のつくりと変化」の実験やフィールドワークを、当センターの器具や近くのフィールドを使って実施してほしいとの依頼を受けた。

この学校は5、6年生がともに学ぶ複式学級である。学年が混在する難しい面がある一方、各単元の内容と土砂災害の仕組みを一気通貫して結びつけることができるという良い面も大きい。最終的に、地域で起こった大災害である「平成23年紀伊半島大水害で起こった現象を小学校の理科知識を用いて説明する」という方向性を取った。

#### 3. 学習内容

各単元の中には様々な学習項目があるが、当地域の土砂災害を説明するのに関係の大きい項目に絞って授業を行った。

##### 3.1 土砂災害一般

代表的な土砂災害3種類（土石流、がけ崩れ、

地すべり）、それらがどのような箇所で起こりやすいか、地域のハザードマップの見方について説明した。

当地域は棚田での稲作が盛んであるが、棚田は土が崩れた後の地形を利用して作られることが多いことも学習した。

##### 3.2 流れる水のはたらき（理科：小5）

この単元では、川を流れる水の3つのはたらきである「浸食」「運搬」「堆積」について、模型実験を用いて説明した。大雨が降り、水量が増加し、流れる水のはたらきが急激に大きくなることが土砂災害を引き起こす誘因となることも説明した。

##### 3.3 大地のつくりと変化（理科：小6）

この単元では、地層・岩石のでき方やそれを構成する粒の違い、風化した岩が脆く崩れやすいことなどを実験やフィールドワークを交えて説明した。

小学校の地元である那智勝浦町の地質は、堆積作用により作られた堆積岩（砂岩泥岩互層）の上に、火山活動により作られた火成岩（花崗岩・花崗斑岩）が覆い被さるようにしてできている。この水や大地の活動の結果できた地質は、那智の滝など雄大な自然風景である「南紀熊野ジオパーク」として当地域の重要な観光資源となっている。一方、平成23年紀伊半島大水害においては、風化した巨石が土石流となって大きな被害につながったという側面もある。

「観光・風土」と「災害」という一見繋がりが見えづらいところを「地層・岩石」という理科知識で結びつけることで教科の面白さを感じてもらうことを意図した構成である。

##### 3.4 紀伊半島大水害

平成23年紀伊半島大水害においては、土石流によって谷の土砂が「浸食」「運搬」され、最も低地である那智川で土砂を「堆積」させた。その結果、大雨で増水していた河川の水があふれ、洪

水となり甚大な被害をもたらした。

また、山頂や山腹に存在した巨大なコアストーンが大雨による浸食で露出し、それが運搬され土石流と混ざり甚大な被害をもたらしたことも、この水害の特徴であった。

#### 4. 授業の構成

授業は2日に分けた2部構成で行った。

まず、1日目に、土砂災害一般の知識（3. 1）について学習を行った。ただし、この授業ではあえていくつかの疑問を残しておくようにした。例えば「どうして増水したときに水が濁るのか？」「どうして堤防があるのに洪水が起こったのか？」「丸くて大きな石が山の中から流れてきたのはなぜ？」などである。これらの疑問については、「次の授業で理科の内容を学習すればわかる」という構成とした。

続いて、2日目に、「流れる水のはたらき（3. 2）」「大地のつくりと変化（3. 3）」「紀伊半島大水害（3. 4）」について学習を行った。複数トピックを長時間にわたって扱うため、集中力が保てるよう、実験やフィールドワークを交えて、児童が実際に触る・体験することを意識して授業を行った（写真1）。

教科書の知識で身の周りの現象を説明できるということ、自分たちのわかる知識に災害を落とし込むことで、よりリアルに土砂災害の危険性を伝えられたのではないかと考えている。



写真1 授業の様子

#### 5. 学習発表会

令和5年12月1日、色川小学校講堂にて学習発表会が開催された。これは、地域の園児・児童・生徒（大野保育所、色川小学校、色川中学校）が、地域の方々に日ごろの学習の成果を発表する地区を挙げての一大イベントである。ここで、小学校5、6年生は、当センターの授業で学んだことをまとめて発表してくれた。（写真2）

授業で教えたポイントをうまくまとめていたことに加え、「土砂災害の前兆現象」「防災持ち出し袋に入れるべきもの」「キキクルについて」など、時間の都合上授業内では扱えなかった発展内容まで独自に調べてまとめていた。授業の後、町役場や地区の出している災害資料を独自に調べなおして作成したそうで、授業が児童の防災意識を高めることにつながったと嬉しく感じた。

さらに、児童の発表ということで、大人たちが真剣に内容を聞いてくれていたことも非常に印象深かった。

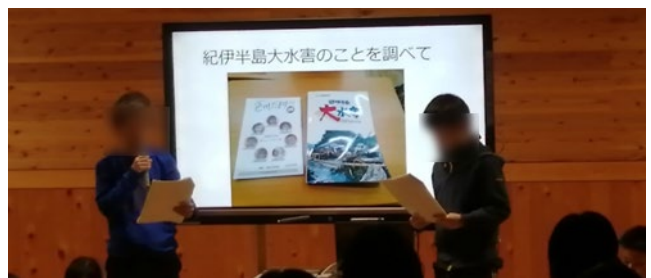


写真2 学習発表会で児童が発表

#### 6. おわりに

当センターでは、子どもたちへの防災教育について、センターの活動の柱の一つとして取り組んでいる。これは、将来の防災の担い手となる子どもが知識を身につけるだけでなく、子どもから家庭へ、さらには地域へと防災意識が普及する効果が期待できるためである。今回の授業は子どもたちの理解促進を主目的としてその構成を工夫したが、その結果、授業以上のものを子どもたちが地域に伝達してくれるという効果を発揮した。

今後も子どもたちが興味を持てる教材づくり・授業構成を意識して防災教育を実施していきたい。

## 災害伝承碑紹介動画の制作とその活用について

和歌山県土砂災害啓発センター  
那智勝浦町

有田貴洋・中村豊・稲田健二・筒井和男・岐山雄亮  
佐藤純子

### 1. はじめに

和歌山県では、過去に明治22年・昭和28年・昭和33年・平成23年と歴史的な大規模土砂災害があり、各地には石碑等の災害伝承碑や災害記録が残っている(写真-1)。過去の災害を風化させることなく後世に伝えることで、過去の災害から学び備えることが重要である。

一方、平成30年7月豪雨で多くの犠牲者を出した広島県坂町の小屋浦地区では、100年以上前に起きた水害を伝える石碑があったものの、関心を持って碑文を読んでいなかったという住民の声が聞かれるなど、地元であっても災害伝承碑が十分に認知されていない状態である<sup>1)</sup>。そこで、本研究では和歌山県全域に遺る災害伝承碑の位置図及び紹介動画を制作するとともに、防災教育・研修を通じて地元の災害伝承碑を伝達した事例及びYouTubeを活用した広報活動について報告する。



写真-1 各地に残る災害伝承碑

### 2. 位置図の制作

災害伝承碑の位置を把握するため、和歌山県立博物館が公開している石に刻まれた災害の記憶<sup>2)</sup>、大規模土砂災害対策技術センターが公開している「60年毎(1889年, 1953年, 2011年)に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害」<sup>3)</sup>、その他郷土誌や災害誌をもとに現地調査を行った。

### 3. 動画の制作

現地調査で使用したカメラはSONYのミラーレス一眼α7III、レンズは崩壊跡地を明確に撮影できるよう、中距離望遠レンズであるTAMURON 28-75mm F/2.8 Di III RXDを使用した。また、動画編集ソフトはWondershareのfilmoraバージョン12.3、音声読み上げソフトとして、PIXIV FANBOXのVOICEVOXを使用し、登場するキャラクターに音声をつけることで視聴する人が見やすい動画となるものとした。また、動画は和歌山県PRキャ

ラクターである「きいちゃん」が災害伝承碑に興味を持ち、視聴者が「きいちゃん」と一緒に学んでいくシナリオとした。

### 4. 制作した災害伝承碑位置図・動画

#### 4.1 位置図

調査結果を図-1に示す。位置図は①和歌山県紀北を流れる紀の川流域。②和歌山県紀中を流れる有田川流域。③日高川流域。④和歌山県紀南に位置する田辺市・西牟婁。⑤新宮市・東牟婁。以上の合計5地区に分類して整理するとともに、和歌山県全域を網羅した。

また、災害発生時期を色別で表示することや、地図の縮尺を大きくすることで、位置を特定できるものとした。



図-1 現地調査箇所と制作した位置

#### 4.2 動画

災害伝承碑の紹介だけではなく、過去に発生した災害や崩壊跡地の説明を加えることで、災害をより自分事として捉えるようにした。特に東牟婁郡那智勝浦町編では、紀伊半島大水害の被災経験を紙芝居で伝える久保榮子さんに出演いただき、当時の状況を説明していただいた(写真-2)。



写真-2 語り部の久保榮子さんと「きいちゃん」

## 5. 災害伝承碑を活用した防災教育・研修

防災教育・研修を通じて地元の災害伝承碑を伝達した事例一覧を以下に示す(表-1)。参加者からは「地元のことであるが災害伝承碑や過去の災害のことについて詳しく知らなかった」といった感想をいただいた。

表-1 事例一覧表

実施日	対象者	人数
令和4年10月6日	田辺市立中山路小学校5・6年	11
令和4年10月21日	田辺市立大坊小学校4・5・6年	12
令和5年2月25日	地域講演会 Vol.7 in 田辺市	90
令和5年5月23日	上富田町連合婦人会	43
令和5年6月1日	田辺市立龍神中学校1年	22
令和5年7月12日	那智勝浦町立市野々小学校3・4年生	5
令和5年7月18日	日高川町立江川小学校5・6年生	13
令和5年10月12日	新宮市立熊野川小学校3・4年生	14
令和5年10月29日	日高川町川原河区	30
令和5年11月14日	田辺市女性会連絡協議会	70
令和5年12月1日	紀の川市立荒川中学校	57
令和6年2月17日	防災の寺子屋実行委員会	70
計		437

## 6. YouTube における広報活動

制作した動画は広く周知するために公式 YouTube チャンネルで公開している。公開した動画は合計5本で各動画のサムネイルを以下に示す(写真-3)。動画も位置図同様、和歌山県全域分を制作した。再生回数は公開から約1か月で合計400回再生を超えた。また、今回の取組みは国土交通省国土地理院 HP の映像作品・報道での活用事例でご紹介いただき、ますます多くの方の目に留まることが期待できる。



写真-3 YouTube サムネイルと  
二次元コード(左:YouTube 右:国土地理院 HP)

## 7. おわりに

現地調査を行うにあたって、災害伝承碑に刻まれた文字が風化の進行により、判読が困難であるものがいくつかあった。さらに、草木をかき分けなければ発見できないものもあった。過去の災害の記憶を後世に伝えるためには、手入れをする人や伝承する人の存在が必要であるが、石碑自体の意味を把握していない場合が多くあるように感じた。今後も制作した位置図や紹介動画を活用し、地元に伝達していく予定である。

**謝辞:** 撮影のご協力をいただきました。那智勝浦町立市野々小学校の皆様大変お世話になりましたことを、この場を借りて感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院：自然災害伝承碑，<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>，参照 2023-8-4
- 2) 和歌山県立博物館：石に刻まれた災害の記憶災害記念碑一覧，<https://www.hakubutu.wakayama-c.ed.jp/saigai/kouzui-list.pdf>，参照 2023-8-4
- 3) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：60年毎に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害，<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaisaihi.pdf>，参照 2023-8-4

### 土石流による地形変化の検証と侵食量に着目した土石流予測計算

和歌山県 土砂災害啓発センター（現：防災科学技術研究所）

○筒井和男

京都大学防災研究所

齊藤隆志

#### 1. はじめに

近年、豪雨により発生する土石流災害が増加し、発生した土石流は短時間で人家を襲うため、多くの人的被害が生じている。土石流の被害範囲予測は避難情報としてきわめて重要であり、土石流による災害情報の一つとして、土砂災害警戒区域等が指定されている。しかし、その設定は地形の情報にのみよる簡便な方法である。土石流の数値計算手法は多く提案されており<sup>例えば1)</sup>、iRIC<sup>2)</sup>には、土石流・泥流解析用ソルバの Morpho2DH が実装されている。これを用いることで視覚的に現象と被害範囲を理解することが可能であるが、計算に用いる条件として侵食量等の値によってその計算結果には大きな差が生じると考えられる。

Morpho2DH は全解析区間で平面二次元土石流モデルを適用できることから、侵食量を一律にではなく、地形的根拠に基づく詳細な空間分布により設定することで、土石流による被害予測の高度化を図ることができると考えられる。

ここでは、2014年の広島市安佐南区で発生した土石流を対象に、土石流発生前後の地形変化の検討、また侵食量の空間分布を与え、土石流計算を

行った。

#### 2. 土石流発生前後の地形変化

2014年の土石流発生後の土砂災害予測基本図（特許第7153330号）を図-1に示す。災害前に比べて尾根付近で侵食崖が明瞭になり、また溪流沿いで側方への侵食が確認できた。現地調査でも同様の傾向が確認された。侵食された土砂が土石流の発達に寄与したことが示唆される。

次に、前後の地形データより、河道形状の変化を検証するため災害前後の落水線（図-2）および、災害後の落水線上での侵食量分布（図-3）を求めた。直線的な河道への変化が源頭部で多く確認された。河床を侵食し土砂を取り込みながら、直線的に高速度で流動することで土石流が発達しつつ溪流を流下したことが推測される。また、傾斜の変化点で侵食が大きくなり、特に堆積に入る部分で侵食量が大きくなることが確認できた。河床や側壁から土砂が取り込まれ土石流の発達に寄与する。堆積域は下流部に存在することから、市街地付近で土石流が発達し、被害の拡大につながった可能性が示唆される。

以上から、適切な侵食量の評価が土石流の流下

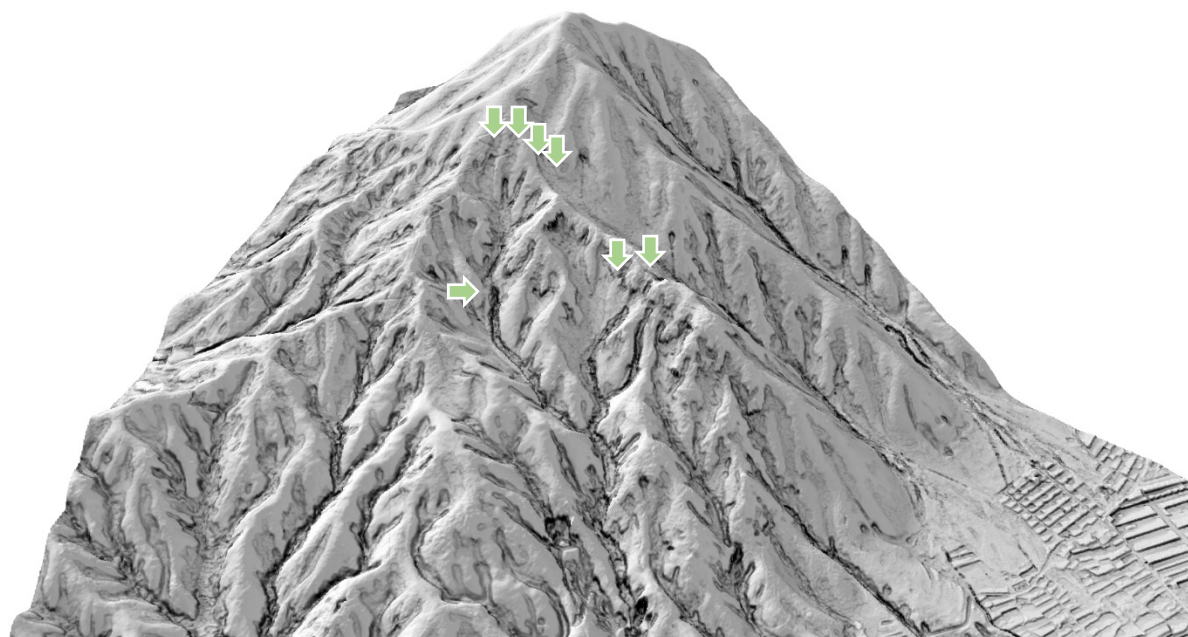


図-1 災害後の土砂災害予測基本図

予測において重要なことが示された。

### 3. 侵食量分布を変化させた土石流計算

土石流発生前の土砂災害予測基本図から侵食可能な量を定量的に評価(図-4)し、iRICでの最大侵食深さとして与えて土石流の数値計算を行った(Case1)。土石流が著しく発達しながら、大きい速度で流下し73秒後に市街地に到達した。計算開始後100秒での土石流の流動深を図-5に示す。

上記では市街地に流入後も侵食が発生する結果となったため、市街地では侵食が発生しないよう設定したCase2も試行した。市街地での侵食がなくなり、土石流が過大に発達しないことが確認できた(図省略)。

### 4. 終わりに

2014年の広島での土石流の数値計算をiRICにて実施した。発生前後の地形を比較し、侵食量を定量的に評価した。河道の形状変化や勾配変化点での河床、側壁からの土砂の取り込みが土石流の発達に大きな影響を与えることが示唆された。また、侵食深の空間分布を定量的に評価することで、土石流の発達や流下状況をより高度に計算できることを示した。

#### 謝辞

本研究は、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所、拠点間連携共同研究プログラムの援助を受けました。

#### 参考文献

- 1) Takebayashi, H. and Fujita, M.: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geosciences, Vol. 10, No. 2, pp. 45, 2020.
- 2) iRIC プロジェクト, <https://i-ric.org/ja/>, 2024年3月30日.

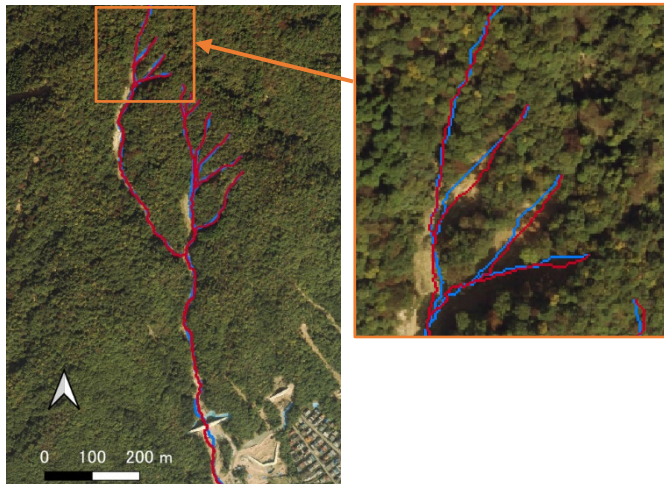


図-2 災害前後の落水線

青：災害前、赤：災害後

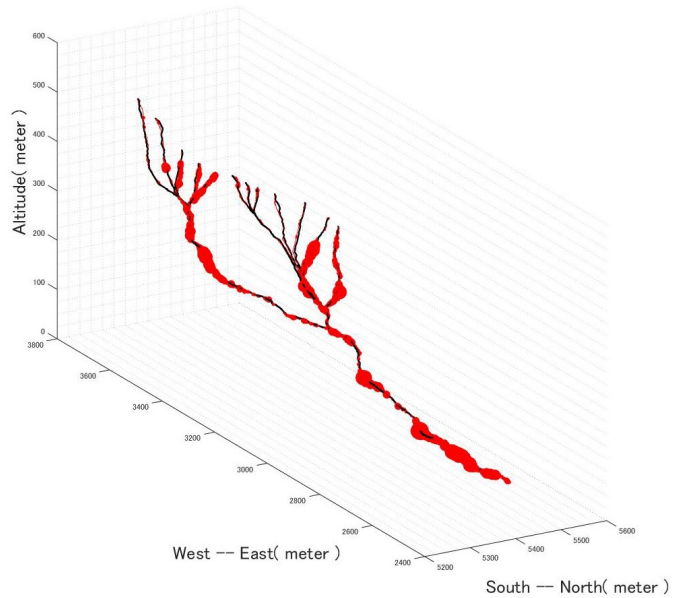


図-3 土石流発生後谷線での侵食量  
赤丸の大きさが侵食量を示す。

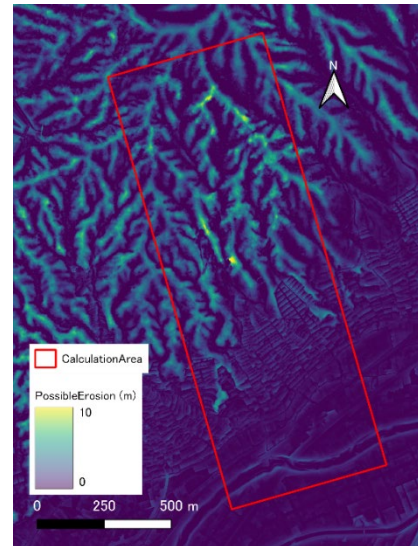


図-4 可能侵食量の空間分布  
赤枠は計算範囲を示す。

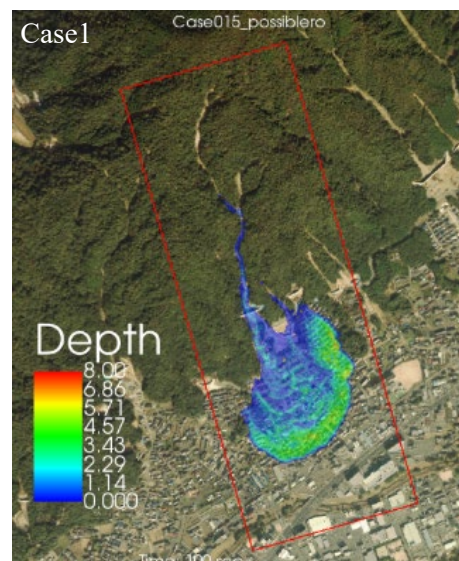


図-5 Case1 の流動深の空間分布 (100 秒後)

ステレオカメラを活用した支障木調査の一考察

和歌山県土砂災害啓発センター

○中村豊・岐山雄亮・嶋田圭悟・稲田健二

1. はじめに

山間部の工事現場において支障木調査は、煩雑な作業であり、計画段階では、立木材積の精度よりも概算の把握が求められる。

概算とはいえ、なるべく正確に把握した方が良く、効率的に行えるのが良い。

毎木調査か標準地調査かにより人員の投入量は違ってくるが、直径と樹高を測る作業はどちらにしても必要になってくる。

今回、現場での胸高直径の調査について、ステレオカメラの撮影で、持ち帰り、写真データから計測する手法を考察した。

これにより、現場での作業が効率化される。

樹高については、将来計画として、ステレオカメラの活用や、ドローンの活用を考えている。別な機会に、手法、効率性やその精度を検証していく予定である。

2. 検討内容

2-1 カメラで直径を測ることの検討

カメラは、3次元情報を2次元（フィルム等）へ投影したものである。

写真は、どのくらい引き伸ばすかによるが、レンズから対象物までの関係とレンズから映像素子（写真）の関係は相似である。

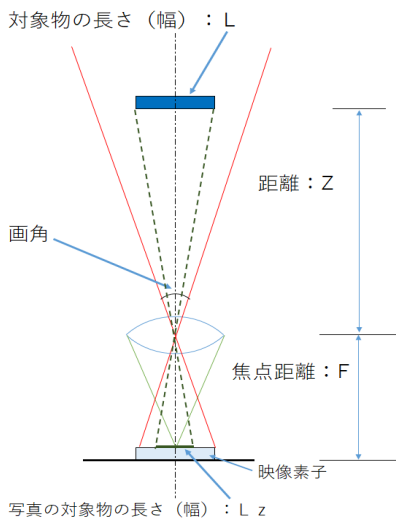


図-1：対象物の長さ写真データ

よって、対象物までの距離が分かれば、対象物の長さ（幅）は、焦点距離と写真の中の対象物の長さ（実際にはピクセル数）の関係で推定できる。

<使用カメラのデータについて>

まず始めに距離と対象物の長さを決めて写真を取り、推定に必要な条件を調べる。

- ・対象物までの距離 : Z
- ・対象物の長さ（幅） : L
- ・焦点距離 : F
- ・写真の対象物の長さ（幅） : L<sub>z</sub>

焦点距離については、実際に対象物を撮影して次式により推定した。

$$F = Z * L_z / L$$

1回目：1033cm × 521ピクセル / 162cm = 3322

2回目：342cm × 1543ピクセル / 162cm = 3257

平均 F = 3289ピクセル (整数止め)

※ L : 30cm

Z : 1033cmと342cmの2回撮影

写真からL<sub>z</sub>を計測

<直径の推定について>

図-1の対象物と距離等は、 $L : Z = L_z : F$ の関係なので、 $L = Z * L_z / F$ となる。

また、ステレオカメラの視差は、任意の距離でのカメラ間の距離の投影になるので、カメラ間  $B = 30cm$  から、 $(1cmのピクセル値) = (視差 \div 30cm)$  となり、任意の距離での対象物の長さは、写真から読み取ったピクセル値を、1cmのピクセル値で割れば、推定出来る。

※ 次節のステレオカメラの条件から

$$視差D = F * B \div Z$$

2-2 簡易ステレオカメラの作成と検証

適当な台（板等）に2台のカメラを平行に固定すれば簡易ステレオカメラが出来るが、実際に試作してみて問題が発生した。

<ステレオカメラの条件式と実験結果>

ステレオカメラでは、次式が成立するので、視差により距離が分かる。

$$Z/B = F/D \quad (Z = B \times F / D)$$

Z : カメラからの距離    B : カメラ間距離

F : 焦点距離                D : 視差

<簡易ステレオカメラの検証>

カメラの焦点距離Fは2-1で求めたが、本来未知数であるZを測っておいて撮影し、Dを計測し焦点距離Fを計算したところ相違した。

原因は、簡易な台への取り付けのため、平行が担保されていなかったためと推察され、5m程度(距離を測って)で撮影し、本来の視差を計算し(D = F × B / Z) その差(ズレ)を求めて視差を補正することで、使用出来ると考えた。

また、撮影時のブレ等による不確定の誤差が生じる場合もあり得ることが判明したが、1m程度の距離からの撮影なら許容範囲と考えた。

それは、仮に1°のズレがあったとして、写真データで約57ピクセルのズレなので、1mでの視差が約987ピクセルであるから5%強の誤差となる。

### 2-3 現地調査での活用実験

標準地は100㎡とし、円と四角で設定し実験した。

標準地の設定から現地調査に要した時間等を以下にまとめた。

- ・調査1 (比較的平坦な場所で半径5.64mの円)  
調査時間 : 24分・データ数 : 8本
- ・調査2 (平坦な場所で10m四方)  
調査時間 : 11分・データ数 : 8本
- ・調査3 (斜面で半径5.64mの円)  
調査時間 : 24分・データ数 : 11本
- ・調査4 (斜面で10m四方)  
調査時間 : 16分・データ数 : 11本

### ※ 使用機材等

- ・作成したステレオカメラ  
(カメラは、Nikon COOLPIX AW120)
- ・ポール 2本、スタッフ 1本

- ・樹木テープ、トラバーピン 10本

### 3. 検討・結果

今回は、近くから撮影したので胸高を写真の縦軸の中心値で設定して横データから直径を推定した。

#### 実験結果

カメラの設置誤差確認		Z=500cmで撮影			
< 実験前 >	ズレ :	-29.66 ピクセル	-0.52 °		
< 実験後 >	ズレ :	-10.66 ピクセル	-0.19 °		
実験結果					
実験 : 2_平_10Cm角 から抜粋					
距離 :	151.8 cm	142.1758	直径	左写真から	43 cm
1Cm画素	21.66667 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	42 cm
距離 :	166.9543 cm	164.45	直径	左写真から	35 cm
1Cm画素	19.7 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	35 cm
距離 :	140.5556 cm	136.0966	直径	左写真から	25 cm
1Cm画素	23.4 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	24 cm
距離 :	103.1034 cm	159.6602	直径	左写真から	30 cm
1Cm画素	31.9 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	41 cm
距離 :	164.7245 cm	169.5361	直径	左写真から	39 cm
1Cm画素	19.96667 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	40 cm
距離 :	110.4927 cm	85.42857	直径	左写真から	43 cm
1Cm画素	29.76667 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	34 cm
距離 :	135.3498 cm	133.6992	直径	左写真から	43 cm
1Cm画素	24.3 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	43 cm
距離 :	142.5867 cm	142.1758	直径	左写真から	39 cm
1Cm画素	23.06667 ピクセル/Cm	参考 ↑		右写真から	39 cm

調査作業としては、写真をとるだけになるので、1人でも出来て簡易な方法であった。

しかし、机上の構想では、中心を決めて8方向を撮影し、写った数本について、それぞれの距離を計算して8回の写真から標準地データを得ることを期待したが、持ち帰って写真を検証したところ、写真だけでは対象木の識別は難しかった。

### 4. 考察

今回の直径調査は、幹材積表が2cm単位なので、精密な測定より現場作業の効率化を念頭においたものである。

その視点からの結果は良好であったと考える。実際の調査で、林尺により測定する場合は、直径の最小値を探る作業も含む。なので、1方向からの写真で推定したデータは少し過大と推察されるがこれも概数の把握なら問題無いと考える。

今後は、調査で時間が係る標準地の設定無しで、写真撮影だけで完結する撮影方法なり手法の確立が課題である。

# 和歌山工業高等専門学校と連携した 土砂災害防災学習教材の開発

嵯山 雄亮<sup>1</sup>・有田 貴洋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町大字市野々3027-6）

<sup>2</sup>和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課（〒647-8551 和歌山県新宮市緑ヶ丘 2-4-8）

和歌山県土砂災害啓発センターでは、過年度より、国立和歌山工業高等専門学校と共同で、土砂災害に関する研究および防災学習教材作成を行っている。高専の学生とともに取り組むため、災害復旧におけるDX推進や、若年層が興味を持って取り組める防災学習教材の開発など、比較的新しい課題の解決をテーマとして取り組んでいることが特徴である。本発表では、令和5年度に実施した取り組み3件の概要を報告する。

キーワード 土砂災害, 防災学習, すごろく, プログラミング, バーチャル現場

## 1. はじめに

和歌山県土砂災害啓発センター（以下、当センター）は、平成23年紀伊半島大水害により甚大な被害を受けた那智勝浦町に、土砂災害に関する研究および啓発の拠点として設置された施設である。

当センターでは、子ども向けの防災学習を重視している。これは、子どもから家族へ、そして地域の方々へと防災意識が伝達されていくことを意図しているためである。そのため、子どもたちが興味を持って学習できる教材開発は非常に重要な意味を持つ。

そこで、当センターは国立和歌山工業高等専門学校（以下、和高専）と共同で土砂災害に関する防災学習教材を開発してきた。過去には、防災RPG<sup>1)</sup> <sup>2)</sup> や防災学習砂場<sup>3)</sup> などを開発し、それらを県内の小中学校での出前授業や防災関連のイベントで活用している。

今回の発表では、令和5年度に当センターと和高専が共同開発した2件の防災学習教材の概要を報告する。

また、防災学習教材の開発ではないが、令和5年度に共同で取り組んだ研究の概要についても併せて報告する。

## 2. 防災すごろく～土砂災害編～の開発

防災学習はそのテーマ上「堅く」「難しい」というイメージを持たれることが多く、教材としての「敷居の低さ」は重要である。

そのため、誰もが遊んだことのある「すごろく」の形式で土砂災害の知識を学べる教材として「防災すごろく

～土砂災害編～（以下：防災すごろく）」を開発した。

### (1) 教材の概要

防災すごろくはPC上で遊べるようにMicrosoft Excelを用いて開発した。プログラミングはVBAで行っている。

プレイヤーが行う操作は、基本的にマウスの左クリックのみで完結するため、子どもでも操作がわかりやすい。

この防災すごろくは一度のプレイで1名～4名まで遊ぶことができる。スタートは自宅に設定しており、ゴールは避難所である。「サイコロを振る」ボタンを押すと、画面上でサイコロが振られ、サイコロの目の分だけ自動でプレイヤーが進んでいく。

止まったマスには、マスのコメントとともに「土砂災害に関するクイズ」や「ゲーム」が仕込まれており、それに正解したり勝ったりすることでアイテム（非常持ち出し品）が手に入る。反対に、アクシデントによりアイテムを落とすこともある（図-1）。

すごろくのマスはプレイヤーが進むにつれて「自宅」「がけ崩れ警戒エリア」「土石流警戒エリア」「洪水警戒エリア」「地すべり警戒エリア」「避難所」へと移り変わっていく。そこで起こるイベントや出題されるクイズもそのエリアにちなんだものである。

通常のすごろくは一番早くゴールにたどり着くことを目的とするが、この防災すごろくでは、最終的にクイズの正解（：土砂災害に関する知識）数や持っているアイテム（：非常持ち出し品）数も加味して、最終的な総合順位を決めるようにしている。早く避難することだけに気を取られて知識や物資を軽視してほしくないためである。

## 防災すごろく（土砂災害編）








21:→ 石につまづいちゃった。 (アイテムロス)	22:↓ さらにいやな予感がする。 (クイズ)		27:→ 水かさが増している気がする。 (クイズ)	28:↓ 急ごう！		33:→ そうか〜。こういう場所で「アレ」が起こるのか〜。	34:↓ 道路に段差ができています。 (クイズ)	38:→ 親戚のおじさんに連絡したい。携帯電話がなければ7マス戻る。 (アイテム→戻る)	39:↓ 緊張がゆるんで眠くなってきた。毛布がなければ8マス戻る。 (アイテム→戻る)
20:↑ いやな予感がする。 (クイズ)	23:↓ 川が近づいてきた。		26:↑ あ！水たまりにはまっちゃった。 (アイテムロス)	29:↓ 水が堤防に激しく打ち付けられている。 (クイズ)		32:↑ 緩い斜面に棚田が広がっている。 (映像問題)	35:↓ 足をねんざした。 (アイテムロス)	37:↑ 避難所に到着。水を飲んで一休み。水がなければ6マス戻る。 (アイテム→戻る)	40: な ご か る み た
19:↑ あ！この地形。なんて言ったっけ？ (クイズ)	24:→ ちょっと休憩。ゲームしよう。 (ゲーム)		25:↑ 大きな川に差し掛かる。 (クイズ)	30:→ ヤバいよ、ヤバいよ。	31:→↑ 洪水の浸水危険区域を抜けた。		36:→↑ 地すべりの危険区域を抜けた。ゲームデモしよう。 (ゲーム)		
18:↑ 谷川に差し掛かる。 (映像問題)									
	14:→↓ もう少しで頂上だ。		13:→ 山の険しさが気になる。 (クイズ)		8:↓ 防災無線が鳴り「避難指示」発表。 (クイズ)	7:→ おじいさん、おばあさんに連絡する。 (クイズ)	2:↓ リビングで非常持ち出し品を見つける。 (水をゲット)		
17:↑ がけ崩れの危険区域を抜けた。 (クイズ)	15:↓ いやな予感がする。 (クイズ)		12:↑ 足がすべった。 (アイテムロス)		9:↓ 避難場所に迷う。 (クイズ)	6:↑ 裏山の安全性が気になる。 (クイズ)	3:↓ ついついゲームをしてしまう。 (ゲーム)	1:→↑ スタート	
	16:→↑ あ〜疲れた。ゲームしよう。 (ゲーム)		11:↑ 山道に入る。 (映像問題)		10:→ 避難しよう。忘れ物はないかな？	5:↑ 天気予報が気になる。 (クイズ)	4:→ 雨が強まった。避難準備だ。もう一つ非常持ち出しを見つけた。 (懐中電灯をゲット)		

図-1 防災すごろくの盤面

また、特定のアイテム（水や携帯電話など）を持っていない場合、避難所エリアにたどり着いた際にトラブルに見舞われ「6マス戻る」などの結果になる。アイテムの重要性を到着順位にも反映するための処置である。

さらに、すごろくの特徴として「自分が止まったマスに他のプレイヤーも止まる」ことや、「自分が止まらなかったマスに他のプレイヤーが止まる」ことが多々ある。これにより、同じクイズを復習したり、他のプレイヤーの回答を見て新たな知識を得たりする効果が期待できる。

### (2) ふれあい土木展における実践

実践のフィールドとして、国道交通省近畿地方整備局近畿技術事務所で行われた「ふれあい土木展」にて展示させていただき、来場の方々に遊んでいただいた（写真-1）。

小学生から社会人まで幅広い年齢層の方々に楽しそうに遊んでいただけた。中には親子で対戦し、負けた子どもが泣き出すほど白熱した場面もあった。

遊んでいただいた後アンケートを実施し、15の回答を得た。いただいた回答の中で、「楽しかった」「避難中に起こりそうな場面が想定されていて良かった」「単純に進めるだけでなく、ゲットしたアイテムを失ったり特定のアイテムがないと戻されるという要素がいいと思った」など、おおむね好意的な感想をいただいた。一方、「持っていないでもゲームに影響のないアイテムが複数

あったのが少し気になった」「クイズに正解／不正解したときの演出がわかりにくい」「もう少し長いバージョンがあってもよい」など改善点も書いていただいたので、それを反映し改良ができれば、当センターの展示や出前授業等に活用していこうと考えている。



写真-1 ふれあい土木展の様子

### 3. プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践

2020年の小学校学習指導要領の改正で、防災学習の必要性が指摘され、「自然災害に関する知識を得ること」

などの指導が追記された。また、同時に「プログラミング」についても必修化された。

上記2点の改定は小学校の先生にとってなじみの薄い分野である。さらに先生自身が多忙であることも相まって、新しい教材開発は容易ではない。

以上のような状況を踏まえ、プログラミング学習の要素を取り入れて、生徒がゲーム感覚でロボットの動きをコントロールしながら、土砂災害について楽しく学習できる教材を開発し、実践授業を実施した。

なお、本企画は、(株)村田製作所の取り組み「動け!! せんせいロボット」<sup>4)</sup>に刺激を受けており、令和5年5月に同所を訪問した際、担当者からアドバイスを受けた。また、独自の技術で低コストの人間ロボットを作成して防災教育を行う企画に賛同していただいた。

### (1) 教材の概要

土砂災害の発生するフィールドを設定し、危険を避けるルートを考えて、ロボット役に指示をして避難所（ゴール）へと導くことを目的とする。

学習内容として、防災に関しては、土砂災害に対する知識、有効な対策、そしてそれらを考慮した避難行動に重点を置いた。プログラミングに関しては、行動を分析し組み合わせていくアルゴリズム的思考を意識させることに重点を置いた。

教材は、小学校で使うタブレットまたはPC、教育向けマイコンボードの「micro:bit」、ロボットの頭部、土砂災害の模型とそれを設置したフィールドなどから構成される。ロボットの頭部や土砂災害の模型は段ボール等で作成しており、デジタル一辺倒とならず親しみを持ちやすいよう工夫している。

ロボットの動きを指示する仕組みとして、多くの小学校で導入されているビジュアルプログラミング言語「Scratch」を用いる。ロボットの頭部内には「micro:bit」が設置されており、「Scratch」でプログラミングした指令（進行方向）が信号（矢印）となって「micro:bit」に無線転送される。ロボット役は、その信号を頼りにフィールドを進み、避難所（ゴール）を目指す。（図-2）

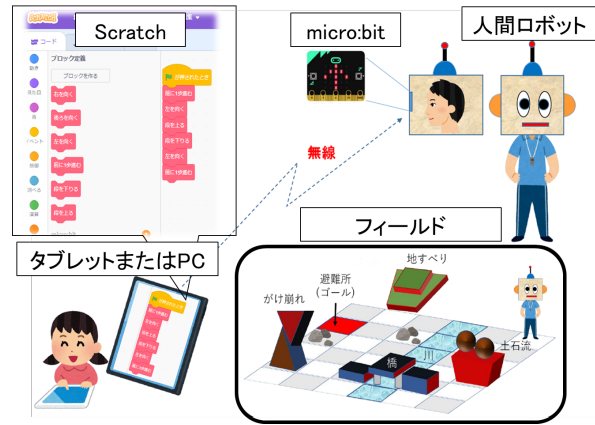


図-2 教材の概要

### (2) 小学校における実践授業

実践授業には、那智勝浦町立市野々小学校5、6年生にご協力いただいた。

最初に代表的な土砂災害及びその対策工について講義を行った。

次に、教材の説明や各個人でのプログラミング練習を行った。

最後に、3つの班に分けてそれぞれに土砂災害の対策状況が異なるフィールドを課題として出題し、班ごとに相談してロボットを避難させるようにした（写真-2）。

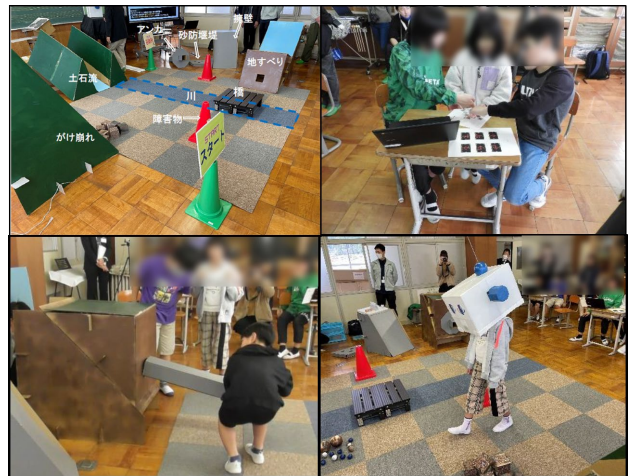


写真-2 授業の様子

特に授業で工夫した点は下記の通りである。

- ・班ごとに土砂災害の位置・対策工の有無を変更した。これに伴い避難ルートが変わり、フィールドのバリエーションをつくることができる。
- ・土砂災害に児童自らが対策工を実施することで、課題のとなるフィールドが完成するようにした。これにより土砂災害に対応する対策工が何だったか（最初の講義の内容）を復習する効果を狙った。
- ・災害時にパニックにならず行動するには、前もって、順序立てて考えておくことが大切であることを強調した。ゴールするためには20個程度のプログラミングブロック

が必要となるが、これを順序立てて組み合わせるには時間がかかる。実際の避難行動はより複雑な選択肢から自分の行動を選ぶ必要があり、その分パニックを起こしやすい。そのため、事前に「どのような行動パターン（プログラミングブロック）があるか」、そして「どのような組み合わせ方（プログラミング方法）があるか」を考えておくことが大切になる。

Scratchを用いたプログラミング実践は避難行動（移動）のみに限定しているが、プログラミング的思考は避難行動全般に通じるものである。実際の避難行動では、①ハザードマップを見て自宅、避難所、ハザードの位置を確認する。また、対策工の有無を確認しておく。②避難ルートを検討する。③避難ルートの安全性を検証する。もし安全であればそのルートで避難する。安全でなければ再度ルート検討を行う。

となる。これは授業で用いたフィールドで実践した内容と同じである。普段無意識に行っていることではあるが、手順を分解し、順序立てて物事を考え、条件によってルートの通行可否を考えることなどを含んでおり、プログラミング的思考と避難行動全般の親和性は高いといえる。

授業実施後、児童及び教職員を対象にアンケートを実施した。児童には「楽しく学習できた」と好意的に受け止められた。また、教職員からは、プログラミング要素を取り入れるという視点や、児童が関心を持って取り組めたことに対し好意的な意見をいただいた。一方、「もう少し難度を上げてよかった」「場の設定、準備や片付け等をいかに負担少なくするか」といった指摘をいただき、難易度調整や準備・運営の簡便化が今後の課題といえる。

#### 4. フリーウェアによる土砂災害応急対応バーチャル現場の作成

令和5年度には、防災学習教材開発以外でも共同で研究を実施した。

i-ConstructionやBIM/CIMなどDX技術を用いて建設業界の働き方改革を行おうという動きが活発化している一方、システムの導入費用や専門知識の壁などのため、地方まで普及しきっていないのが現状であり、担当者がその有用性を実感するに至っていない。

そのため、土木におけるDX技術の代表例として取り上げられることも多い「3次元バーチャル現場」を、地方自治体や学生レベルでも「安全・安価・迅速」に実現できないかを試みた。

##### (1) 3次元バーチャル現場作成の流れ

3次元バーチャル現場作成の流れを下記①～④に示す。基本的な流れは土木研究所地すべりチーム作成の「地す

べり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」<sup>5)</sup>を参考にしている。

- ①発災後の崩壊地形をUAV（本研究ではMAVIC AIR2（DJI社）を使用）にて空中写真撮影を行う。
- ②撮影した写真データから、SFMソフトウェア（本研究ではwebODMを使用）により3次元バーチャル現場を作成する。また、同ソフトより3次元点群データを取得する。
- ③発災前の同箇所の3次元点群データをオープンソースにより取得する。
- ④発災前後の3次元点群データをGISソフトウェア（本研究ではQGISを使用）により地図上に展開し、差分から崩壊土量を算出する。

①で用いるMAVIC AIR2は空撮用の入門機という位置づけであり、比較的安価な部類である。②で用いるwebODMと③で用いるQGISは無料で利用できるソフトウェアである。地方自治体や学生にとって、①②④で使用する機材・ソフトウェアが高額になることは避けたいので、できる限り費用を抑えた選択となっている。

##### (2) 災害現場での実践

実践のフィールドとして、和歌山県日高振興局建設部管内にある県道たかの金屋線で発生した災害現場を撮影させていただいた（写真-3）。



写真-3 災害現場

まず、UAV（MAVIC AIR2）により、崩壊後の地形を空撮した。115枚の写真を約30分で撮影できた。機材や飛行アプリのセッティング等を含めても所要時間は約1時間であった。

次に、SFMソフトウェア（webODM）に、現場で撮影した写真データをアップロードし、画像解析を行った。約50分で解析が完了し、3次元バーチャル現場が再現できた（図-3）。このバーチャル現場はPC画面上で拡大、縮小、回転、延長・高さ・表面積などの測定も可能である。また、画像解析後、3次元点群データをテキストデータとして取得できる。

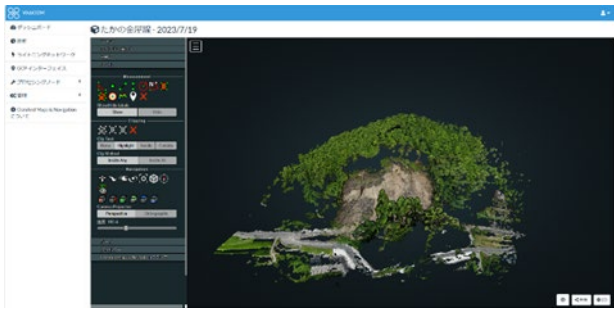


図-3 3次元バーチャル現場

次に、このようにして取得した3次元点群データ（以下「発災後データ」）をGISソフトウェア（QGIS）上でレイヤとして重ねる。QGISの無償プラグインを用いれば、発災後データの断面形状を任意の位置で確認することが可能である。

また、和歌山県HPよりダウンロードした地形図データ（以下、発災前データ）をレイヤとして重ねることで、発災後－発災前の断面図を比較することも可能である（図-4）。

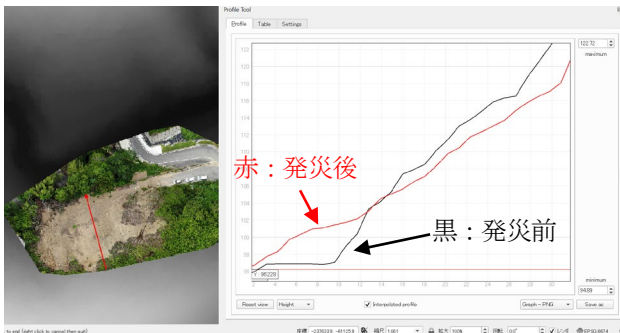


図-4 発災前後の断面比較

さらに、発災後データと発災前データの標高の差分をとり、それを新たなレイヤ（以下：差分レイヤ）とすることで、土砂が崩壊した箇所と堆積した箇所が明確になる（図-5）。この差分レイヤを崩壊箇所と堆積箇所に分類した上でそれぞれを積分することで、崩壊土砂量と堆積土砂量を求めることができた。断面図確認から崩壊土砂量の求積まで、一定の手順に従えば約1時間で実施可能である。

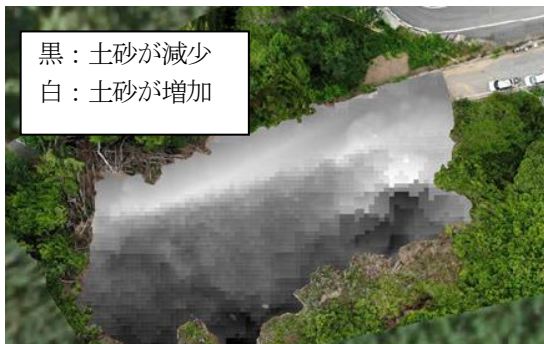


図-5 発災前後の標高差分(土砂の差分)

以上に示した流れは合計約3時間で実現できた。実際にはこれに加えて事務所から災害現場への往復時間を考慮する必要がある。

発災時には現場状況をいかに迅速に把握できるかが求められる。災害報告第一報として必要な情報（例えば、崩壊延長・高さ・面積・崩壊土砂量の概算）は、自らの手持ちの機材とこの程度の手順で得ることができると認識できることが、自治体等の災害復旧活動の助けになると考えている。

また、現場経験の浅い職員が災害現場を確認して上司に報告する場合、撮影すべき・計測すべきポイントのずれや見落としなどで手戻りが発生することがある。今回の手法であれば、事務所でモニター上の現場を見ながら上司と相談しつつ計測ができるので、OJT用の手法としても効果があると考えている。

## 5. おわりに

以上、令和5年度に和歌山工業高等専門学校と共同で実施した取り組みを紹介した。地方自治体職員と学生が共同でテーマを持って取り組むことで、異なる視点が得られるなど双方にとってメリットは大きいと考えている。

### 参考文献

- 1) 岸畑明宏, 坂口隆紀, 筒井和男, 宮崎徳生, 西萩一喜, 辻原治, 木下篤彦: 土砂災害ロールプレイングゲーム「土砂災害が発生したとき」の開発とゲームを用いた防災教育の検証, 第70回令和3年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 169~170, 2021.
- 2) 西萩一喜, 辻原治, 坂口隆紀, 岸畑明宏, 筒井和男, 宮崎徳生, 木下篤彦: 土砂災害啓発のためのRPGコンテンツの開発と評価, 砂防学会誌, Vo. 74, No. 4, pp. 48-53, 2021.
- 3) 辻原治, 田中勇摩, 山添成毅, 稲田健二, 筒井和男, 岸畑明宏, 有田貴洋: 学官連携によるAR砂場の構築と土砂災害啓発教育の取り組み, 土木学会第78回年次学術講演会公演概要集, pp. CS1-06\_1- CS1-06\_2, 2023.
- 4) 株式会社村田製作所: 体験型プログラミング教育「動け!!せんせいロボット」紹介映像, <https://video.murata.com/ja-jp/detail/video/6025379553001>, 2024. 7. 9 閲覧.
- 5) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム: 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルに関する技術資料 (土木研究所資料 第 4412 号), 2021.

# 有田川水害における災害教訓伝承の 取組みについて

中村 豊<sup>1</sup>・有田 貴洋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

<sup>2</sup>和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課（〒647-8551 和歌山県新宮市緑ヶ丘 2-4-8）

和歌山県では過去に歴史的な大規模土砂災害が繰り返し発生しており、和歌山県紀中を流れる有田川では昭和28年に有田川水害（紀州大水害）と呼ばれる災害が発生した。有田川流域には、有田川水害の被害状況や教訓を標した「災害伝承碑」が数多く存在しているため、文献等をもとに現地調査を行った。

地域の防災意識を高めることを目的に、調査結果を有田川流域の地域住民に対し伝承を行った。また、地元の人が自分から興味を持って災害伝承碑を訪れるよう、動画や画像付きの位置図を制作した。

現地調査を行う中で、災害伝承碑は場所がわかっても目につく場所がない、もしくは隠れている等といった課題も見つかり、認知されるためには継続的に地元で伝承していくことが重要である。

キーワード 災害伝承、有田川水害、YouTube

## 1. はじめに

和歌山県では過去に明治22年・昭和28年・昭和33年・平成23年と歴史的な大規模土砂災害があり、中でも昭和28年7月18日に発生した有田川水害（紀州大水害）は県内各地で大きな被害をもたらした。人的被害は約26万2千人で和歌山県民の約4分の1に相当する人が被災した。

特に有田川流域（図-1）に位置する市町の被害は甚大で、上流に位置するかつらぎ町花園では金剛寺の崩壊をはじめとする多数の大規模崩壊が発生して壊滅的な被害を被った。また、下流に位置する有田市・有田川町でも、有田川の氾濫により多数の浸水被害が発生した（写真-1）。今後また自分の住んでいる地域で発生するかもしれない土砂災害・水害に備えるためには「過去の災害に学び、生かす」取組みが重要である。<sup>1)</sup>

有田川流域には、有田川水害の被害状況や教訓を標した「災害伝承碑」が数多く存在していることが文献等<sup>2)3)4)5)</sup>から読み取れる。そこで本研究では文献の位置情報や画像を手掛かりに、実際に現地調査を行った結果について報告する。また、地域の防災意識を高めるために、有田川流域の地域住民に対し伝承を行った事例について報告する。さらに、調査結果をもとに地元の人が自分から興味を持って災害伝承碑を訪れるよう、動画や画像付きの位置図を制作したのでこれも報告する。



図-1 有田川流域



写真-1 有田川水害の被災状況写真  
出典：和歌山県災害史<sup>6)</sup>

## 2. 現地調査

文献の中には小字名の表記のみで位置の特定が困難なものもあったため、事前にGoogleマップのストリートビュー機能で周辺を調査し、伝承碑と思われるものにめぼしを付け、大まかな位置を特定し現地調査を行った。

また、文献には伝承碑の写真がないものも多く、現地を訪れてから発見に時間を要したものであったり、砂や雑草で隠れて発見が困難なものもあった(写真-2)。

有田川水害の伝承碑の調査を行う中で、昭和より昔の江戸時代や奈良時代に発生した土砂災害・水害を伝えるものも調査を行った。



写真-2 砂や雑草で隠れた災害伝承碑

有田川流域の市町の調査結果は表-1に示す。文献等に記載があるが発見できなかったものも複数あった(表-2)。

表-1 有田川流域の市町の調査結果

有田川流域	調査伝承碑(基)
有田市(保田地区)	3
有田市(千田地区)	3
有田市(宮原地区)	2
有田川町(吉備地区)	3
有田川町(金屋地区)	1
有田川町(二川地区)	2
有田川町(清水地区)	1
かつらぎ町(花園地区)	5
合計	20

表-2 文献に記載があるが発見できなかった伝承碑  
出典: 7.18 水害保田復興記念誌<sup>9)</sup>

所在	備考
有田市下中島	島垣内道路傍
有田市星尾	秋葉山麓登口
有田市千田東	千田東公民分館敷地内

## 3. 地元に伝承した事例

現地調査の結果をもとに、地域の防災機関や消防団へ防災研修と合わせて災害教訓の伝承も行った。

防災の寺子屋実行員会は有田川町金屋地区にある金屋文化保健センターで実施した。会場の近くには有田川水害で被災し、有田川上流から流されていた死者を吊う石碑があるため紹介した。

また、五郷消防団の中には、令和5年台風第2号で被災経験がある方の参加もあり、当時の被害概要と災害の恐ろしさを書き記した手記を紹介した。さらに、有田川水害で被害を出した、五郷地区に近接する二川地区の当時の被害状況と、近く遺された災害伝承碑災害を紹介した。

災害をより自分事として感じてもらうためには自分の住んでいる地域で起こった災害について知ることが有効な手段のひとつであると考え、参加された方は地元で発生した過去の写真や伝承碑を見て、より一層集中して聴いているように見えた(写真-3)。



写真-3 防災研修の様子

## 4. 動画と位置図の公開

調査結果をもとに地元の人が自分から興味を持って災害伝承碑を訪れるよう、動画や画像付きの位置図を制作した。

動画は災害伝承碑の紹介だけではなく、当時の被災状況の説明や、災害伝承碑が建てられるに至った経緯を入れた。制作した動画は有田川流域だけではなく県内全域を対象とし、合計5本の動画を公式YouTubeチャンネル

で公開した（写真-4）．再生回数は公開から約1か月で合計400回再生を超えた．また、今回の取組みは国土交通省国土地理院 HP の映像作品・報道での活用事例で紹介いただき、ますます多くの方の目に留まることが期待できる．



写真-4 公開した動画のYouTube サムネイルと  
二次元コード(左:YouTube 右:国土地理院HP)

また、位置図についても県内全域を対象とし、合計38枚と96基の伝承碑（有田川流域については合計9枚と20基の伝承碑）を写真付きで作成し、ホームページで公開した（写真-5）．また、災害伝承碑の凡例の色で災害伝承碑が建てられる機会となった災害の発生時期が分かる工夫をした．

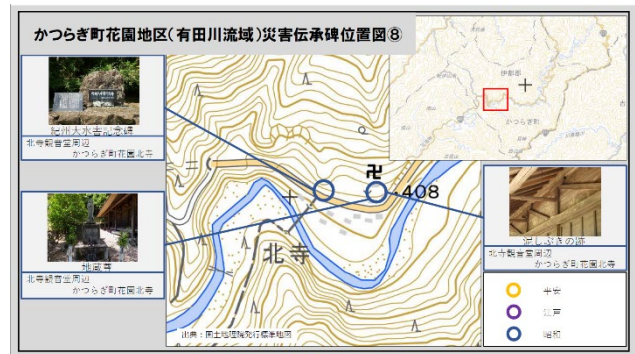


写真-5 制作した位置図と二次元コード

## 5. 伝承における課題と考察

有田川水害は発生から70年あまりが経過し、実際に経験したことがない世代へ移り変わっている．さらにはそれを語り継ぐ人が徐々に減少していく中、地元に残された災害伝承碑の重要性はますます増してきているといえる．しかし、文献等をもとに現地調査を行った結果から、

- ・そもそもどこにあるかわからない、もしくは知られていない．
- ・場所がわかっても目につく場所にない、もしくは隠れている．
- ・石碑に刻まれた文字が風化の進行で判読できない（写真-6）．

といった課題点も見つかった．これらは災害伝承碑が認知されていないことから生じる課題であるため、今回の調査結果をもとに制作した動画や位置図を用いて積極的に広報していくことで解決に近づくことができると考えられる．今後も継続して地元へ伝承していく予定である．



写真-6 風化が進行した災害伝承碑

※本論文は令和5年度第63回治山研究発表会で投稿した「災害伝承碑調査と紹介動画の制作について」の続報である。

#### 参考文献

- 1) 宮崎徳生・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・木下篤彦：後世に伝える過去の山地災害に関する調査と防災学習の取り組みについて，第61回治山研究発表会抄録集，p23-24，2021
- 2) 和歌山県立博物館：石に刻まれた災害の記憶災害記念碑一覧  
<https://www.hakubutu.wakayama-c.ed.jp/saigai/kouzui-list.pdf>, 参照 2024-2-6
- 3) 国土交通省国土地理院：自然災害伝承碑，  
<https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/denshouhi.html>，参照 2024-2-6
- 4) 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：60年毎に繰り返される紀伊半島の歴史的な大規模土砂災害，<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf>，参照 2024-2-6
- 5) 7.18 水害保田復興記念誌，著者：地方行政総合研究センター編，p357
- 6) 和歌山県災害史，発行者：和歌山県

# 小学校の学習教科等に防災教育を 取り入れた学習の実践

## ATTEMPTS OF THE SEDIMENT DISASTER PREVENTION EDUCATION INTO ELEMENTARY SCHOOL SUBJECTS

稲田 健二<sup>1</sup>・岐山 雄亮<sup>1</sup>・辻原 治<sup>2</sup>・筒井 和男<sup>1\*</sup>・有田 貴洋<sup>3</sup>・坂口 隆紀<sup>4</sup>  
Kenji INADA, Yusuke HAGEYAMA, Osamu TSUJIHARA, Kazuo TSUTSUI, Takahiro ARITA and  
Takaki SAKAGUCHI

<sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027 番 6)

E-mail: e0806041@pref.wakayama.lg.jp

<sup>2</sup>和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77)

<sup>3</sup>和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課 (〒647-8551 和歌山県新宮市緑ヶ丘 2-4-8)

<sup>4</sup>和歌山県河川下水道局砂防課 (〒640-8269 和歌山県和歌山市小松原通一丁目 1 番地)

\*現 国立研究開発法人防災科学技術研究所

**Key Words:** disaster prevention education, sediment disaster, digital contents

### 1. はじめに

小学校における標準授業時数については、学習指導要領で示している各教科等の内容を指導するのに要する時数を基礎として、学校教育法施行規則において教科ごと、学年ごとに定められている。各学校においては、標準授業時数等を踏まえ、学校の教育課程全体のバランスを図りながら、児童生徒・学校・地域の実態等を考慮し、学習指導要領に基づいて各教科等の教育活動を適切に実施するための授業時数を具体的に定めている。

防災学習については、学習指導要領が改訂<sup>1)</sup>され、「自然災害に関する知識を得ること」や「災害から身を守ること」、「災害から人々を守る行動」などについて指導することが強化されたものの、独立した教科となっていないため、総合的な学習の時間に割り当てられることが多い。

文部科学省の全国で防災教育を積極的に実践している学校を対象としたアンケート調査では防災教育の実施は、学校行事や学級活動が 8 割近くを占め、教科における実施も 1 割程度見られるが、そのほと

んどが総合的な学習の時間であり、防災教育に積極的な学校であっても、各教科の中ではほとんど実施されていない実情が示されている<sup>2)</sup>。また、新たに教科化された外国語が加わったことや学校教育に求められる課題は多岐に渡ることなどから、小学校では、学校行事や学級活動、総合的な学習の時間において、多くの時間を防災教育に割くことは難しいと考えられる。

文部科学省は、そのための工夫のひとつとして「学校安全参考資料『生きる力』をはぐくむ学校での安全教育」<sup>3)</sup>において、各教科の中で、防災を「教材や題材」として取り入れる方法を提案している。また、小学校の学習指導要領においても「災害等を乗り越えて次代の社会を形成することに向けた現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を、教科等横断的な視点で育成していくこと」が求められている。

このような現状を鑑み、学校の負担が増えないよう、また防災について必要な能力を育てるため、理科や国語など既存の教科等に溶け込ませて扱えるような防災学習や教材開発に取り組んだので、その事例を紹介する。

## 2. 和歌山県土砂災害啓発センターによる防災教育

和歌山県では、2011年紀伊半島大水害で甚大な被害を受けた那智勝浦町に、土砂災害に関する研究および啓発の拠点となる施設として土砂災害啓発センター(以下、啓発センター)を設置し、土砂災害に関する講義やジオラマ模型を使った実験などを行っており、効果的な教材開発を継続している。

また、啓発センターでは、地元の小学校等と連携・協働し、子どもたちが「自分ごととして考え・行動できる」ことを学習目標に、さらに児童への防災学習を進める中で児童から家庭へ、さらには地域へ防災意識が広がることを期待し、以下の点に配慮し積極的に防災教育に取り組んでいる。

- ・出張授業：啓発センターでの授業だけでなく、学校へのお出張授業の実施
- ・学校・地域に合わせた教材の作成：学校区のハザードマップなど、学校周辺に合った教材の作成
- ・さまざまな実験・現地体験：児童・生徒が興味をもつような各種実験・現地体験の実施
- ・年齢に合わせた学習低学年から中学生まで発達(学習)段階に合わせた授業の実施
- ・授業内容・時間の柔軟性：授業内容・時間は、教員との打ち合わせにより調整し決定

なお、令和5年度の実施校や学習回数については、実施校23校、学習回数39回となっている。表-1に防災学習の実施状況を示す。

表-1 防災学習の実施校数と学習回数

年 度	小学校	中学校	高等学校	計	学習回数
平成28年度	3	2	0	5	5
平成29年度	6	2	0	8	8
平成30年度	3	2	0	5	5
令和元年度	5	3	0	8	10
令和2年度	17	11	3	31	58
令和3年度	30	11	5	46	70
令和4年度	26	12	0	38	60
令和5年度	15	5	3	23	39

## 3. 取組事例① 小学校理科と土砂災害防災学習の組み合わせ

### (1) 取組のねらい

今回防災学習を行った那智勝浦町立色川小学校の

ある色川地域は、紀伊半島大水害において大規模な土石流災害が発生した地域である。色川小学校の5年生と6年生に対して「この時に起こった災害の現象を小学校の理科知識を用いて説明する」というコンセプトの下、5年生理科で学習する「流れる水のはたらき」と、6年生理科で学習する「大地のつくりと変化」の実験やフィールドワークを、啓発センターの器具や近くのフィールドを使って実施した。

### (2) 授業内容

那智勝浦町的那智川流域は、前弧海盆堆積体である熊野層群(砂岩泥岩互層)に火成岩である熊野酸性岩(花崗斑岩)が貫入して出来ている。流水の運搬作用や火山活動に加え、地殻変動や風化浸食作用によって那智の滝をはじめとした雄大な自然風景を形成していることで、「南紀熊野ジオパーク」の一部として重要な観光資源となっている。一方、紀伊半島大水害においては、風化した巨石(コアストーン)が土石流となって流下し大きな被害をもたらした。今回の授業は「観光」と「災害」という一見無関係に見える事柄を理科の知識によって結びつけることで、学習の面白さを感じてもらいたいと意図したものである。

2023年9月21日と26日の2回に分けて色川小学校の5年生と6年生合計11名の児童に授業を行った。1日目は色川小学校での1時限の出前授業として、土砂災害についての一般的な知識について学習し、土砂災害の現象(土石流、がけ崩れ、地すべり)の起こりやすい箇所や、地域のハザードマップの見方などについて説明した。色川地域は美しい棚田が広がる地域であるが、土砂災害で崩れた土砂がたまった地形が棚田作りには適していることが多いことも学習することとした。この時点ではあえて詳しい説明を行わず、疑問を児童になげかけておくこととした。例としては「川の水が増えるとどうして濁るのか?」や「丸くて大きな岩が山から流れてきたのはどうして?」などである。これらの答えは2日目の授業で理科を学べばわかるという構成にしたことで、児童が次回の授業まで興味を持ち続けてもらうように工夫した。

2日目には、場所を啓発センターに移し、実験やフィールドワークを主体に授業を行った。まず「流れる水のはたらき」である「浸食」「運搬」「堆積」



写真-1 流れる水の働きについての実験



写真-3 地層や地質の観察



写真-2 風化後の岩石の脆さを体感する実験

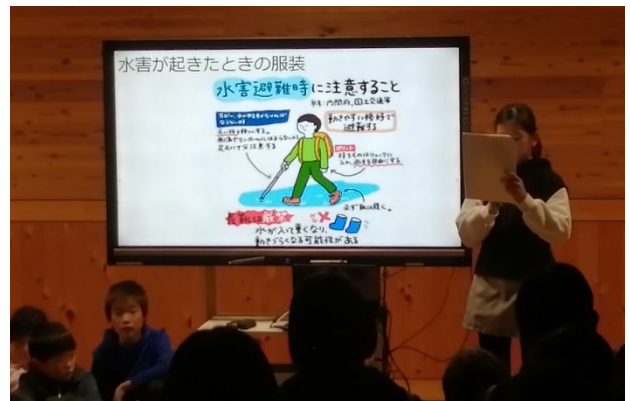


写真-4 学習発表会の様子

の各作用について、模型実験(写真-1)を用いて説明した。大雨が降ると、水量や流速が増加し、流れる水のはたらきが急激に大きくなるのが土砂災害を引き起こす誘因となることも併せて説明した。次に「大地のつくりと変化」における授業として、地層・岩石のでき方やそれを構成する粒の違い、風化した岩が脆く崩れやすいことなどを実験(写真-2)やフィールドワークによる地層・地質の観察(写真-3)を通じて説明した。最後におこなった平成23年伊半島大水害についての学習では、この災害の特徴である、土石流によって谷の土砂が「浸食」「運搬」され、最も低地である那智川で土砂を「堆積」させた結果、大雨で増水していた河川の水があふれ、洪水となり甚大な被害をもたらしたこと、山頂や山腹に存在した巨大なコアストーンが大雨による浸食で露出し、それが運搬され土石流と混ざり甚大な被害をもたらしたことなどについて、児童が学習した理科の知識を下敷きに説明を行った。これらの一連の取組により、教科書の知識で自分たちの身の周りの現象を説明できるということや、自分たちのわかる知識に「災

害」という現象を落とし込むことで、土砂災害というもの身近に伝えられたのではないかと考えている。なお、2回目は120分という長時間の学習であったが、児童が実際に岩石に触ったり、様々な実験やフィールドワークを主体的に行うことで、児童が興味を持ち続けて学習に集中できるよう意識して授業を構成した。

### (3) 学習の更なる展開

授業が行われた約2ヶ月後の12月1日、色川小学校の講堂にて学習発表会が開催された。これは、地域の園児・児童・生徒(大野保育所、色川小学校、色川中学校)が、地域の方々に日ごろの学習の成果を発表するイベントであり、色川小学校5年生と6年生は、啓発センターの授業で学んだことを発表(写真-4)してくれた。

発表内容は授業で教えたポイントをうまくまとめていたことに加え、「土砂災害の前兆現象」「防災持ち出し袋に入れるべきもの」「キキクルについて」など、時間の都合上授業内では扱えなかった発展内容まで独自に調べてまとめていた。担任の先生によれば、授業の後に町役場や地区の災害資料を児童が独

自に調べなおして作成したそうで、今回の授業が児童の防災意識や学習意欲を高めることにつながったと実感した。また、児童の発表を地域の大人たちが真剣に内容を聞いてくれていた様子も非常に印象深く、防災授業がその学年や学校だけで完結するのではなく、家庭や地域の人びとに防災意識が普及し地域防災力の向上につながっていくことが防災教育の一つの理想であることを改めて感じる事ができた。

#### 4. 取組事例② プログラミング学習と土砂災害防災学習の組み合わせ

##### (1) 取組のねらい

小学校におけるプログラミング教育は2020年の小学校学習指導要領の改正で必修化された。小学校におけるプログラミング教育のポイントは、「プログラミング的思考」を育成することであり、この「プログラミング的思考」とは、ある動きの組み合わせを考えて、どう組み合わせるべきなのか、どう改善すればより意図した動作につながるか、ということを論理的に考える力のこととされている。

例えば実際にプログラミングを体験しながら、コンピューターに意図した処理を行わせて、論理的思考力を身に付けるようなカリキュラムが想定されている。独立した科目としてプログラミングの授業があるわけではなく、算数など既存の教科の中で指導していくことが前提となっている。一方、土砂災害から身を守るためには、気象警報や土砂災害警戒情報、避難指示等の情報に基づいて、適切な行動をとることが重要で、ハザードマップ等を読み取って、土砂災害の恐れのある区域を避け、避難所等の安全な場所へ移動することが必要である。つまり、一連の避難行動をアルゴリズム的に考えることで、適切な避難行動を行う思考の醸成に有効となる事が期待できる。

「プログラミング学習」は同じく2020年の指導要領改正により必修化された「防災学習」と同様、新設科目ではないものの多忙な教員にとって新たな分野の指導をするためには、準備などが負担となる。このような状況を踏まえ、今回、国立和歌山工業高等専門学校と協力し、プログラミング学習の要素を取り入れて、児童がゲーム感覚でロボットの動きをコントロールしながら、土砂災害について楽しく学習できる教材を開発し、授業を実施することとした。

なお、教材のアイディアは、「出前授業」というスタイルで積極的にSTEAM教育に取り組んでいる株式会社村田製作所(京都府長岡京市)の2019年から

の体験型プログラミング教育の取組み「動け!!せんせいロボット」<sup>4)</sup>を参考にしており、2023年5月に同社を訪問して担当者から助言をいただいた。

##### (2) 教材の概要

体育館等に避難所や土砂災害(土石流、がけ崩れ、地すべり)の発生箇所、川などの障害物のあるフィールドを準備し、児童が危険を避けるルートを考えてプログラミングを行い、ロボット役に指示をして無事にゴールである避難所へと導く教材となっている。

システムは、小学校で使うタブレットまたはPC、プログラミング教育用に開発された小型のコンピュータボード「micro:bit」、ロボットの着ぐるみ、土砂災害のフィールドなどから構成(図-1)される。ロボット、土砂災害の発生箇所、フィールドは段ボール等で作成しており、アナログらしさを残すことで児童が親しみやすさや愛着を持ちやすいよう工夫している。また、ロボットの動きを指示する仕組みとして、多くの小学校で導入されているビジュアルプログラミング言語「scratch」を用いることとした。ロボットの被り物の内部に「micro:bit」を設置しており、「scratch」でプログラミングした進行方向が矢印となって「micro:bit」に無線転送される。ロボット役は、その信号を頼りにフィールドを進み、避難所(ゴール)を目指す。

重視する学習内容として、防災に関しては、土砂災害に対する知識、有効な対策、そしてそれらを考慮した避難行動に重点を置いた。プログラミングに関しては、行動を分析し組み合わせていくアルゴリ

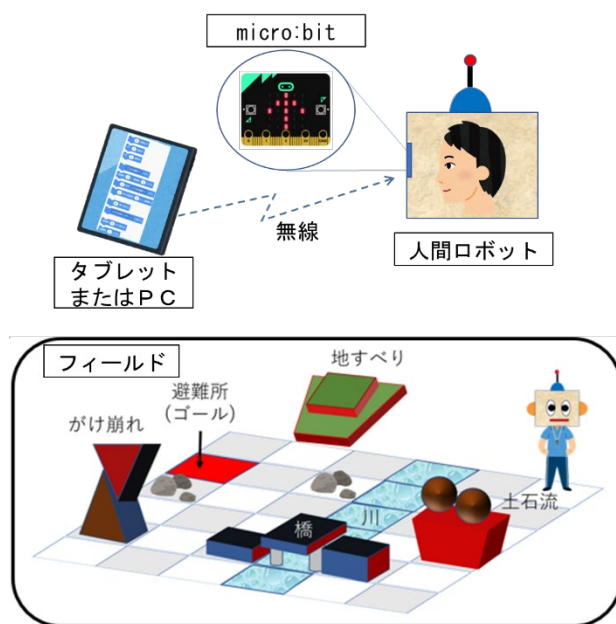


図-1 概要図

ズムの思考を意識させることに重点を置いた。

### (3) 授業の内容

2023年12月14日に那智勝浦町立市野々小学校において本教材を用いた授業を行った。対象は5年生と6年生で合計10名の児童である。

一限目に、教室において土砂災害の一般知識やその対策工について講義を行い、次に、教材の使い方について説明した後、各個人でプログラミングの演習をする時間を設けた。

二限目は教室から実際のフィールドを設置した音楽室に移動し、まずロボットに扮した啓発センター職員が土砂災害の被災デモを行った後に、児童を3つのグループに分けてそれぞれに土砂災害の対策状況が異なるフィールドの図面を配付した。グループごとに相談してプログラミングを考えて(写真-5)順次プログラミングを実行させてロボットを避難

(写真-6)させるようにした。最後に授業の振り返りを行った。



写真-5 プログラムを相談する児童



写真-6 ロボット役をつとめる児童

### (4) 効果の検証

授業実施後、児童及び教員を対象にアンケートを実施した。「楽しく学習できた」「土砂災害がどのような場所でどのように起こるか理解できた」との回答したのは全児童で、「プログラミングに興味をもった」と回答した児童も90%と全般的に好意的に受け止められた。また、教員からは、「とても集中し、主体的に取り組んでいた」、「プログラミングと実生活を結びつけることはすごく面白い」など好意的な意見をいただいた。一方、全グループが誤りなくプログラミングできたことからトライアンドエラーの場面がなく「もう少し難度を上げてよかった」といった意見や、広いスペースの確保や準備物の多さから「場の設定、準備や片付け等をいかに負担少なくするか」といった意見もあり、今後横展開を図るためには、難易度の調整や準備・運営の省力化・簡便化が課題といえる。

タイムラインのように自然災害のリスクを事前に確認し、前もって避難の手順やルートを考えておくことは、いざ災害が発生した場合の避難行動を起こすためのスイッチとして重要である。このような災害に対する思考と行動連鎖の過程が「プログラミング的思考」と共通すると言え、プログラミング学習に防災を題材として取り入れるのは有効であると考ええる。

## 5. 防災学習を溶け込ませて行うためには

防災学習を教科等の授業に溶け込ませて行う上での課題は、教員が教科書の内容を理解していても、防災と関連付けることに発想が及びにくい点にあると考える。そのため、啓発センターでは防災教育の実施に当たり、事前に学校で使用している教科書を借用し内容を確認するとともに、防災学習前に教員との打合せなどを丁寧に行っている。

今回、プログラミング学習に防災学習を溶け込ませることとなったきっかけは、プログラミング学習が、教材もなく専門的な教員もなかなか確保できないため、児童に教えることが難しいという教員の意見が発端である。このような教員との意見交換を通じて課題を共有することで教材開発につながっている。

## 6. おわりに

教科に溶け込ませた防災学習の例としては、国語と防災学習を組み合わせた取組もある。紀伊半島大

水害で大きな被害を受けた那智勝浦町立市野々小学校では、啓発センターが提供した防災に関わる様々なデータを用いて児童が市野々の将来を考える国語の学習を行っている。これは小学校5年生の国語の学習指導要領にある「引用したり図表やグラフなどを用いたりして、自分の考え方が伝わるように書き表し方を工夫すること」の内容に沿った学習である。児童は、地域の気象や土砂災害の統計データ、地質図、インフラ整備状況等、様々なデータを活用し、「市野々の未来を予想する」を題に作文を作成・発表し、発表内容について学校で意見交換をしている。文章を作る勉強をすると同時に、地域の災害リスクに気づき、各々が防災に取り組んでいくことの必要性について学んでいるのである。

このように、防災教育を実施する際に各教科の特性に応じて題材として溶け込ませて行うことで、総合的な学習の時間に行われることの多い防災学習が、各教科の時間に行えるようになる。防災学習における学校や教員の負担が少しでも軽減する様、啓発センターでは学習教科等に防災学習を組み入れた方法について引き続き提案していきたい。

**謝辞：**学校での防災教育に当たり、那智勝浦町教育委員会、色川小学校、市野々小学校、株式会社村田製作所におかれましては多大なご協力をいただきました。この場を借りて感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省:小学校学習指導要領(平成29年度告示), 2009.
- 2) 政策研究所:平成25年度文部科学省委託事業「防災教育の体系的な指導に関する調査研究」報告書, pp. 34, 2014.
- 3) 文部科学省:学校安全参考資料「生きる力」をはぐくむ学校での安全教育, pp. 40-41, 2010.
- 4) 村田製作所:体験型プログラミング教育「動け!!せんせいロボット」紹介映像 <https://video.murata.com/ja-jp/detail/videos/stem%E6%95%99%99%E8%82%B2/video/6025379553001>, 2024.5.24

(2024. 5. 31 受付)

## 中山間地域の小学校での土砂災害防災リテラシー向上のための AR技術を活用した防災教育の取り組み

Initiatives for education of sediment disaster prevention using AR technology  
at elementary schools in hilly and mountainous area

筒井 和男<sup>1</sup>, 辻原 治<sup>2</sup>, 田中 勇摩<sup>3</sup>, 山添 成毅<sup>4</sup>, 有田 貴洋<sup>5</sup>,  
岸畑 明宏<sup>6</sup>, 峠山 雄亮<sup>7</sup>, 稲田 健二<sup>7</sup>

Kazuo TSUTSUI<sup>1</sup>, Osamu TSUJIHARA<sup>2</sup>, Yuma TANAKA<sup>3</sup>, Nariki YAMAZOE<sup>4</sup>,  
Takahiro ARITA<sup>5</sup>, Akihiro KISHIHATA<sup>6</sup>, Yusuke HAGEYAMA<sup>7</sup> and Kenji INADA<sup>7</sup>

<sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 国立研究開発法人防災科学技術研究所）

Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government

<sup>2</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科

Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College

<sup>3</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科（現在 紀の川市役所）

Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College

<sup>4</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科（現在 海南市役所）

Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College

<sup>5</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 和歌山県東牟婁振興局）

Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government

<sup>6</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 和歌山県県土整備部）

Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government

<sup>7</sup>和歌山県土砂災害啓発センター

Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government

Education from childhood is important for accurate response to sediment disasters. The ability to decipher topographic features, which are a prime cause of landslides, from topographic maps is a challenge for elementary and junior high school students. We have developed a sandbox (AR sandbox system) that utilizes augmented reality (AR) technology as a tool for learning topographic maps (contour lines) and topographic features. The system was implemented in two elementary schools in Wakayama Prefecture, and a questionnaire survey was conducted among students and teachers. The system developed in this study is portable and inexpensive and expected to be used for disaster education in educational and public institutions.

**Keywords:** *sediment disaster, sandbox, augmented reality, projection mapping, contour map*

### 1. はじめに

2011年の東日本大震災や紀伊半島大水害を契機に防災教育の重要性が強く認識され、正しい知識と理解および避難行動に関する教育が取り込まれるようになった。小学校では、学習指導要領が改訂<sup>1)</sup>され、「自然災害に関する知識を得ること」や「災害から身を守ること」、「災害から人々を守る行動」などについて指導することが追記された。国土交通省水管理・国土保全局砂防部では土砂災害防止のためのハード整備とともに避難警戒体制の整備などのソフト対策を推進し、学習指導要領の改訂に対応するため、土砂災害から命を守る防災教育の充実・拡大・継続を図り、「土砂災害防止教育支援ガイド

ライン（案）<sup>2)</sup>」を作成している。

和歌山県では、2011年に発生した紀伊半島大水害で甚大な被害を受けた那智勝浦町に、土砂災害に関する調査・研究および啓発・防災教育活動の拠点となる施設として土砂災害啓発センターを設置し、土砂災害に関する講義やジオラマ模型を使った実験などを行っている。併せて、デジタルコンテンツを利用した教材の開発も行っており、小学校における土砂災害および避難に関する授業の副教材としての利用を想定したRPG（ロールプレイングゲーム）コンテンツを開発し、授業での実践を通して、児童と教員から概ね良好な結果を得ている<sup>3)</sup>。

土砂災害への的確な対応には、子供の頃からの教育が有効であると指摘されており、自らの確かな判断で意思決

定する能力の涵養が重要となる<sup>4)</sup>。小中学校での土砂災害に関する防災教育の事例は多数報告されているが、防災クイズを扱った事例<sup>4)</sup>、土砂災害の恐れのあるフィールドや砂防施設の見学、土砂災害が発生する様子を再現した模型実験教材、土石流など現象を撮影したビデオ教材を用いた事例（例えば、山田他<sup>5)</sup>）が多い。

小学校段階における防災学習の目標としては、「地域で起こりやすい災害や地域における過去の災害について理解し、安全な行動をとるための判断に生かすことができる」とされている<sup>6)</sup>。土砂災害に関して起こりやすい災害を理解するには、地形を正しく認識することが求められる。つまり、地形図を読み取る能力が必要となる。しかし、小中学生にとって地形図は日常的に扱うものでもなく、地形図から尾根や谷などの地形的特徴を把握するのは困難との指摘<sup>4)</sup>がある。鹿江他<sup>7)</sup>は、土砂災害危険箇所が記載されたハザードマップを中学生が興味深く観察する様子を確認した上で、地形図を配布しその上に土砂災害危険箇所を書き込ませたが、多くの生徒が地形の特徴をイメージできていなかった。また、地形図から地形の特徴を把握できるようになるため、VRの立体地図による観察や地形断面図の作成を練習させたところ、有効であったと報告している。

著者らはこれまで中山間地域での土砂災害に関する防災学習実践の経験から、教員や児童の意見を直接聴く機会を多く持っている。土砂災害警戒区域等を示したハザードマップを用いた学習は、学校や児童の自宅周辺等の危険性を認識する上で効果的である。児童たちは地図から自宅や小学校と、土砂災害警戒区域等との位置的な関係は認識できるが、なぜそこが危険なのかについて、地図や地形から正しく認識できていない様子が伺われた。また、ある教員から「(教員を含めて)等高線を見て、ここが谷だから、あそこが崖だから危険だと言われても、そもそも谷や崖の地形の理解が及んでいない。それを地図上に示されても具体的なイメージや危険性が想像できない。」との発言があった。著者らの防災学習では地形模型を使った土石流実験を使い、谷がどういう地形か理解が及んでいるとの認識の上で、等高線が掲載されたハザードマップを用いて説明を行っていた。小学校4年生の社会科目で等高線の見方は学習することになっている。

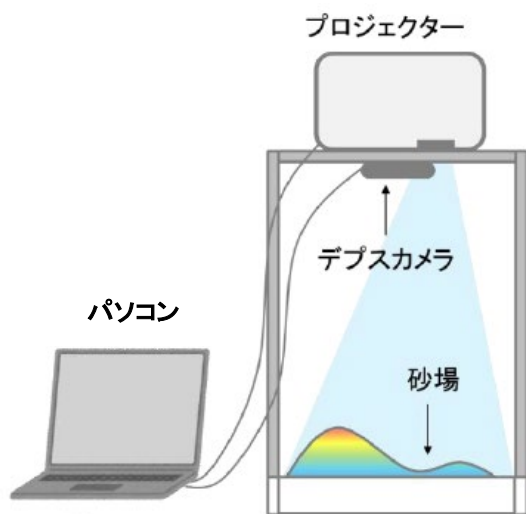


図1 防災学習砂場 (AR 砂場システム) 装置構成

しかし、地形と地図の見方の間にはギャップがあり、地形を正しく読み取ったうえで、土砂災害の危険性を認識しているのではないという課題が明らかとなった。先述した鹿江他<sup>7)</sup>の取り組みは小学生を対象とするには教材のレベルとして難易度が高いと考えた。

そこで、著者らは、土砂災害学習教材として、地形図から地形の特徴を把握する教材の開発を試みた。地形と地形図(等高線)との関係性を学習するツールとして次の2つの教材開発に取り組んだ。

①AR(拡張現実)技術を用いた防災学習砂場 (AR砂場システム)

②立体地形模型へのプロジェクションマッピング教材  
これらにより、土砂災害に関する防災学習をより効果的に行うことを目指した。特に防災学習砂場は、砂で作った地形とその変化に合わせて等高線などがリアルタイムで表示できる。体験型の教材として児童・生徒の知的好奇心を刺激し、その後の防災教育の動機づけの役割が期待できるものである。これらを活用した防災教育を実践し、その効果について検討したので報告する。

## 2. 防災学習砂場 (AR砂場システム) の概要

### (1) 開発の経緯

AR砂場システムとは、主に米国カリフォルニア大学デービス校で開発され<sup>8)</sup>、AR (Augmented Reality, 拡張現実) 技術を活用したもので、プロジェクターとセンサーを組み合わせ、砂場の表面形状を地形に見立て、その形状変化をセンサーで捉え、砂場上に等高線などをプロジェクターで投影するシステムである<sup>9)</sup>。カリフォルニア大学デービス校のシステムは米国 Microsoft 社 Kinect をセンサーとして用いている。その他ドイツの openARsandbox<sup>9)</sup>等がオープンソースとして公開されている。商用のもの<sup>10)</sup>も存在するが高価であり、また、防災教育向けのカスタマイズが容易ではない。当初オープンソースのソフトウェアを利用することを検討したが、Kinect は製造が中止されていること、後述する本研究で用いたセンサーが上記のソフトウェアに対応していないこと、小中学校での導入にかかる経費低減、また防災学習教材として必要な機能に限ることと今後の機能追加を考慮して、独自にソフトウェアを開発することとした。

### (2) 装置の構成

防災学習砂場の装置の構成を図1に示す。装置は主に地形を表現するための砂とその入れ物、砂場の表面形状を認識するデプスカメラ(深度センサー)、等高線等投影のためのプロジェクター、データ処理のためのパソコンおよびプロジェクター等を設置するための設置台から構成される。

設置台の天板にプロジェクターのレンズを下に向けて設置する。天板の裏側(下面)にデプスカメラを下に向けて固定する。床に砂場を設置し、デプスカメラで砂場の形状を深度データとして取得する。データの受信と解析はパソコンで行い、等高線を描画しプロジェクターに送る。このようなデータの取得、処理、プロジェクターへの送信がリアルタイムに行われる。

設置台は安価で入手性が高く、可搬性にも優れた市販のアルミパイプ製の物干し台を利用した。デプスカメラと物干し台、砂等の費用の総額は約10万円程度で、安価に抑えることができた。パソコン、プロジェクターは特殊なものである必要はなく一般的な機材であり、小学校

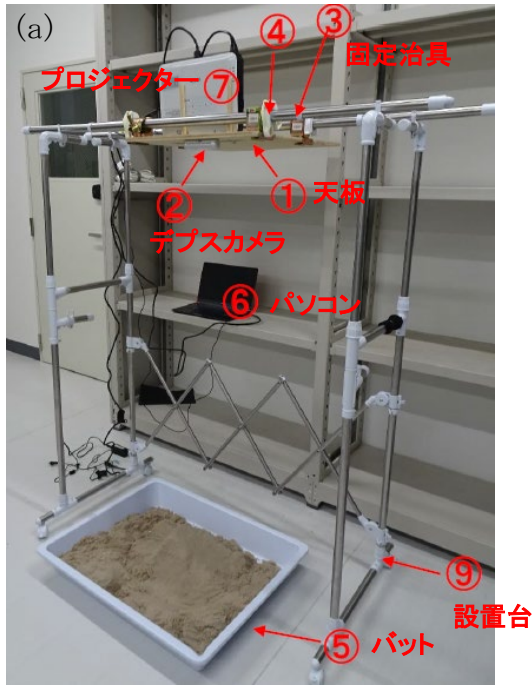


図2 防災学習砂場とデプスカメラの外観  
(a)防災学習砂場の外観  
(b)デプスカメラ

に備え付けの機材で流用可能である。なお、商用のシステムの見積を取得したところ、約170万円であったことを申し添える。設置状況を図2(a)に示す。砂場は大きいほど多くの人に体験してもらえるが、運搬性を考慮し幅75 cm、奥行60cm、高さ12cm程度のバットを用意した。これに砂を入れる。砂は一般的な川砂などでもよいが、適度な湿り気があるキネティックサンドを用いると、急な斜面の表現などができ、地形の再現に有効である。センサーとしてのデプスカメラは米国Intel社製のREALSENSE DEPTH CAMERA D455 (図2(b))を用いた。解像度は最大1280×720ピクセル、フレームレートは最大90fpsである。

### (3) 装置の構成

ソフトウェアの開発はWindowsをはじめ多様なプラットフォームで動作し、多くのライブラリが利用可能なPython環境で行うこととした。処理のフローと使用したライブラリ等の関係を図3に示す。Intel社が公開しているREALSENSE SDKにより深度データの取得、フィルター処理等を行い、データを2次元行列として生成する。生成された行列は数値計算ライブラリnumpyで扱い、砂場に投影する範囲の抽出を行う。抽出したデータをグラフ描画ライブラリMatplotlibで等高線やグラデーションにグラフ化し、プロジェクターから投影する。使用したデプス

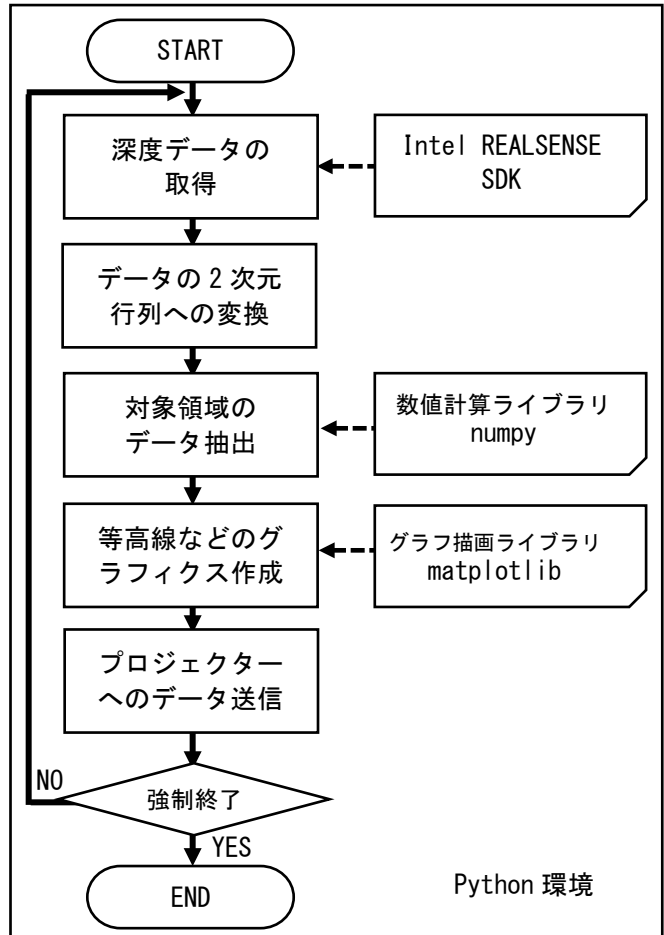


図3 プログラムのフローと利用したライブラリ等

カメラは、搭載された2つのカメラの視野差を利用し深度を測定するが、当初、深度情報が安定的に得られなかったためフィルター処理を追加した。

### (4) 機能

砂の動きに合わせて、等高線等がリアルタイムで投影される(図4)。投影される画像は、等高線+グラデーション、もしくはグラデーションのみを随時、設定ファイルを更新することで変更できる。等高線の間隔やグラデーションの色(虹色など)も随時変更できる。

等高線の更新頻度も随時変更できるが、短周期では等高線が安定せず、一方、長周期では砂の動きからラグが生じ、リアルタイム感を得られない。また、砂を動かさない状態でも深度測定誤差のため、等高線が多少変化する。児童に誤解が生じないか、等高線更新頻度に違和感がないか、実践校の教員に対し事前に実演し実際の動作を確認した上で実践授業に臨んだ。本研究では2秒間隔を採用した。

また、砂場とプロジェクターの位置関係で投影される等高線等がずれやすく、調整が必要であるが、描画対象とする範囲を設定ファイルで適宜調整できる機能を付加し、教室でのセッティングが円滑にできるよう工夫した。パソコンでの操作状況を図5に示す

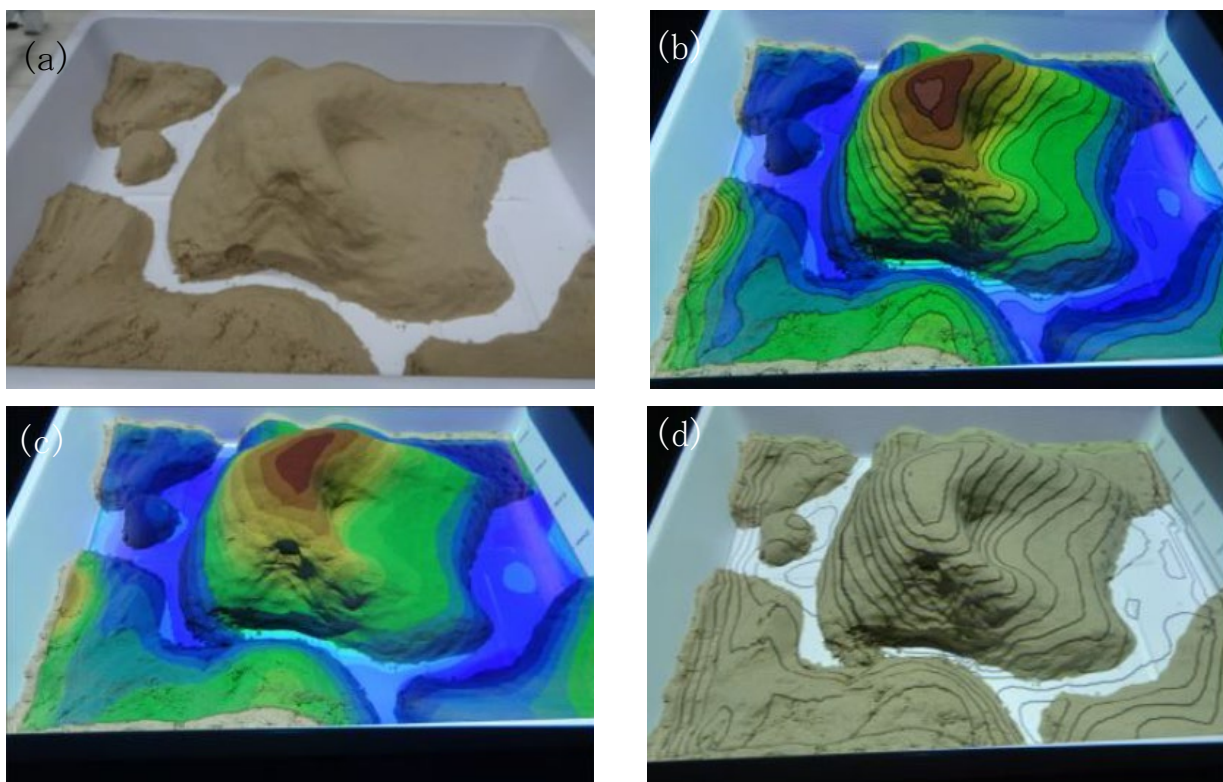


図4 防災学習砂場の等高線投影の様子  
 (a) 砂で作った地形 (b) 等高線とグラデーション (c) グラデーションのみ (d) 等高線のみ  
 なお、等高線は2秒間隔で更新され、深度測定精度から常に同じ等高線は得られない。

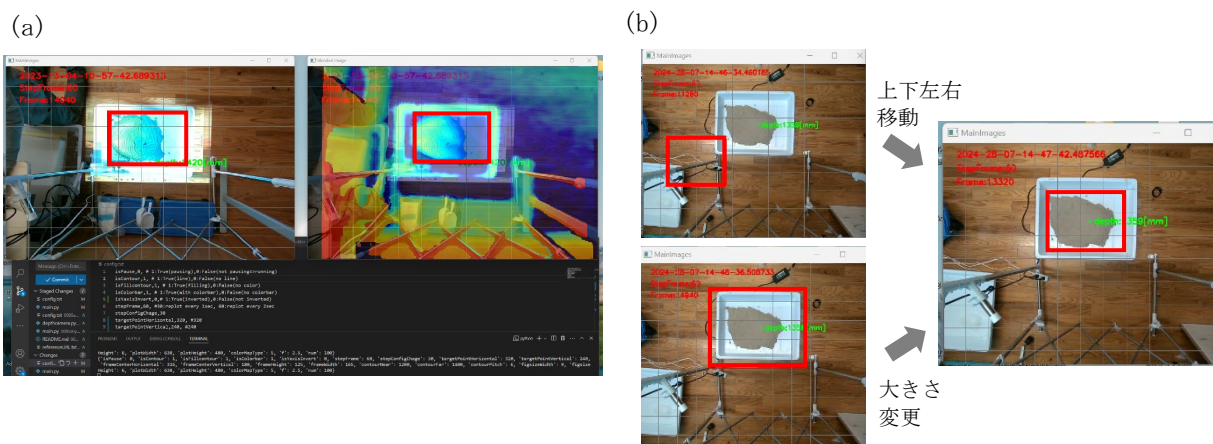


図5 防災学習砂場の操作画面  
 (a) 操作画面例 (b) 設定ファイルの操作による調整の様子  
 赤枠がグラフの描画範囲を表し、設定ファイルの更新で上下左右移動、大きさ変更ができ、砂場の位置に合わせることができる。

### 3. 地形模型プロジェクションマッピング教材の概要

防災学習砂場のプロジェクターとパソコンを流用し防災学習の対象とする地域の地形模型にハザードマップや衛星写真などをマッピングするようにした(図6)。地形模型は、スチレンボードを等高線に沿って切り取り、それを重ねることで地形を再現したもの(同図(a))と、砂の上に等高線を投影し、それに合わせて砂で地形を再現したものの2種類を用いた。また、ランドマークとなる

学校の同等のスケール模型を設置することで、対象者の興味を引くよう工夫した(同図(a))。小中学生にとって、地域の地形をマクロな視点で見ることが少ないことから、ランドマークを示すことで、より身近に感じることができる。

これらに土砂災害警戒区域(同図(d))や衛星画像(同図(b))を投影する。ポジティブな情報として、ミカン畑などの位置も表示し(同図(c))、土砂災害の恐れのある地形は地域の資源として活用されていることも説明できる。子供たちにとってネガティブな災害に関する情報だけを提供するのではなく、斜面を利用することで、甘味の多いミカンが獲れるといったポジティブな情報を提供するこ

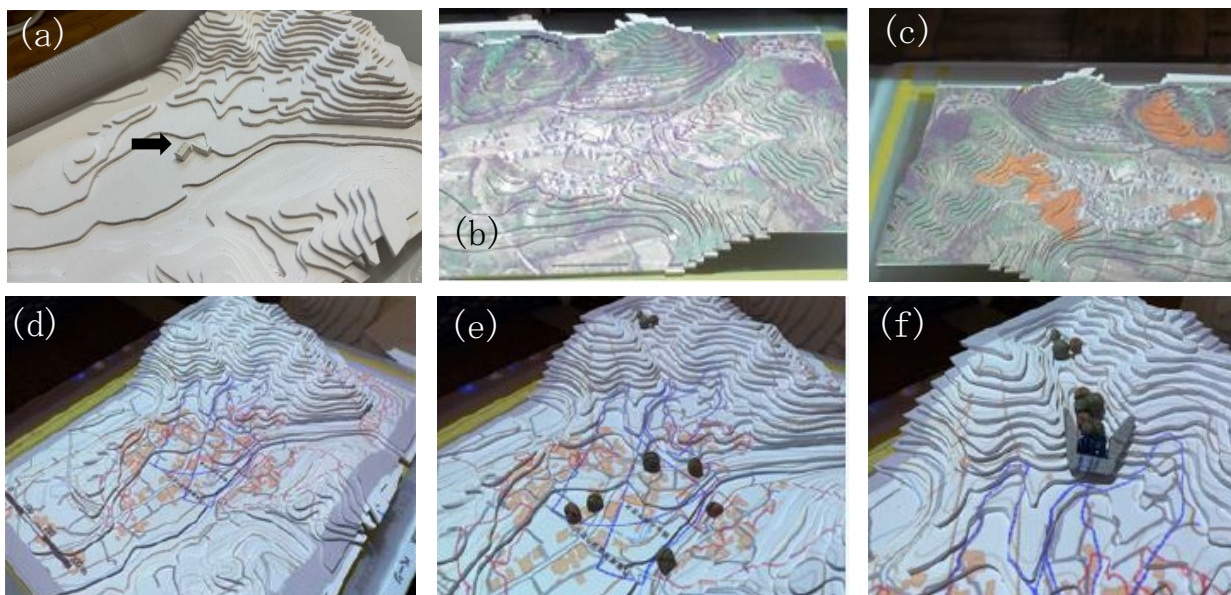


図6 立体地形模型へのプロジェクションマッピングの様子  
 (a) 山野小学校付近の立体地形模型（図中矢印はランドマークとしての小学校校舎）  
 (b) 衛星画像の投影 (c) 斜面利用状況（ミカン畑）の投影  
 (d) 土砂災害警戒区域の投影 (e) 土石流の簡易実験 (f) 砂防堰堤模型を用いた簡易実験



図7 砂で作った地形模型へのプロジェクションマッピングの様子  
 (a) 土砂災害啓発センター付近の土石流溪流の地形模型  
 (b) iRIC で計算した土石流流下動画と衛星画像の投影

とで、郷土に愛着を持ちながら災害に備えるような気持ちを育むことが大切である。

その他の活用としては、石に模したボールを転がして土石流の簡単な実験(同図(e))や、そこに砂防堰堤の模型を設置(同図(f))して砂防堰堤の効果を説明する実験ができるようにした。また、砂で地形を再現したもの(図7(a))の上に、土石流の流下状況を iRIC プロジェクト<sup>11)</sup>の土石流計算ソルバーMorph2DH で計算した土石流の動画もマッピングした(図7(b))。土石流が末端に到達した様子等の写真資料は多くあるが、視覚的にわかりやすく谷に沿って流れてくる様子が説明できる。

これらにより、児童が暮らす地域の地形と土砂災害との関係を把握し、自分事としてより深く認識できるものとなることをねらった。

#### 4. 学習の実践と効果

##### (1) 授業の構成と実施概要

令和5年1月20日と27日に、それぞれ日高川町立山野小学校(5年生7名,6年生3名 計10名)と那智勝浦町立市野々小学校(5年生5名,6年生7名 計12名)

で、防災学習砂場を用いて、土砂災害に関する防災授業を実施した。両校は、中山間地域に存在し、2011年に発生した紀伊半島大水害で被害が発生した自治体内に立地している。どちらも45分の授業を2コマ利用して行った。

授業の構成は、

- ①土砂災害の概要(動画を用いた説明)
- ②2011年紀伊半島大水害の被害状況の解説
- ③土砂災害と地形の関係
- ④地形と等高線の関係
- ⑤防災学習砂場による地形学習
- ⑥紀伊半島の立体地図による学習
- ⑦ハザードマップによる周辺の確認
- ⑧地形模型プロジェクションマッピング教材による学習
- ⑨土砂災害に関する避難行動

の順とした。授業の構成の検討に当たっては、両校の教員から、これまでの授業内容や普段の教材の提供を受け、本研究で開発した教材を事前に実演した上で、授業内容が小学生高学年に対してレベルが適正かどうか、地域の災害の危険性を認識する上で適切な内容かどうかのヒアリングを行った。

山野小学校での授業の様子を図8に示す。授業では、

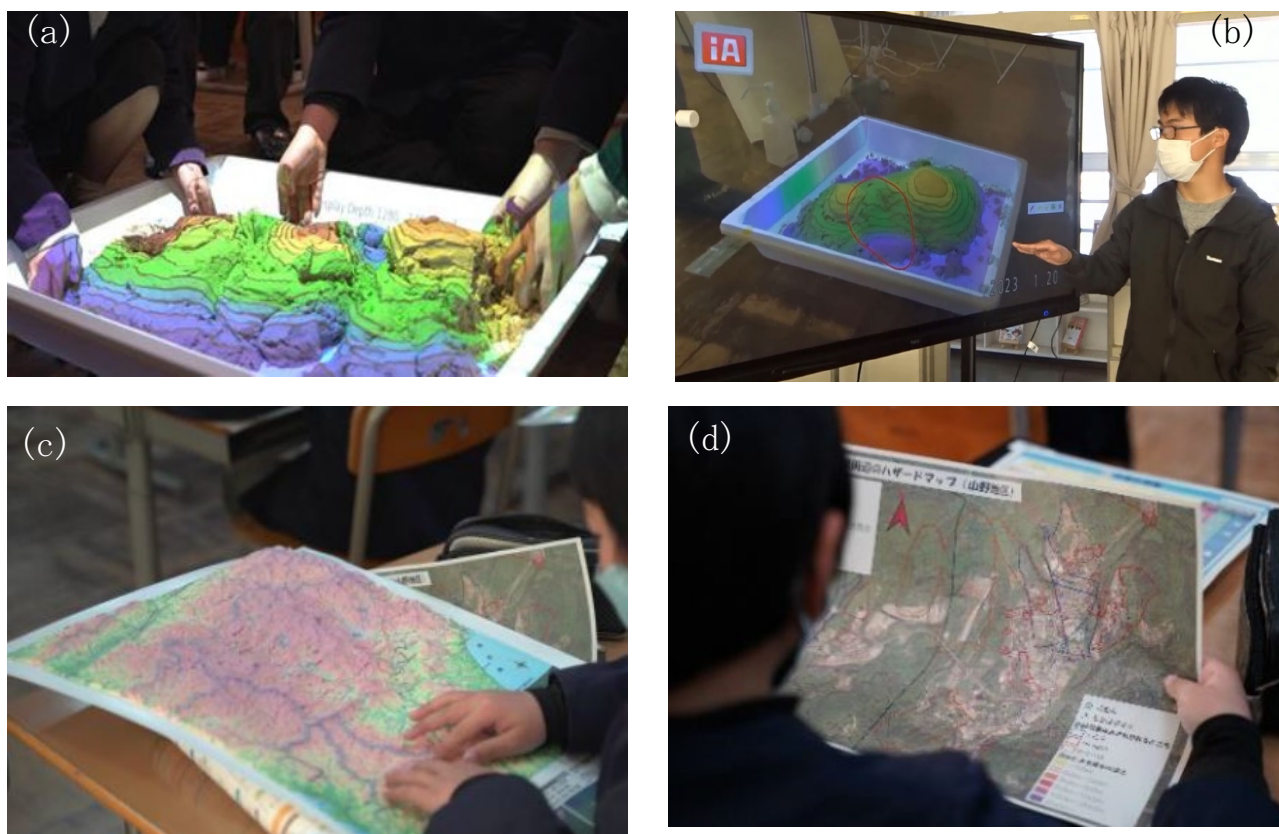


図8 日高川町立山野小学校での授業の様子  
 (a) 防災学習砂場を体験する児童 (b) 電子黒板を用いた説明 (c) 立体地図を観察する様子  
 (d) ハザードマップを観察する様子

表1 児童アンケート調査結果

質問	回答数※			
	A	B	C	D
A1: 楽しく学習できた	21	1	0	0
A2: 高さがひくい色と高い色がわかった	18	4	0	0
A3: 色がつくと高さがわりやすかった	19	2	0	0
A4: 山や谷がくれた	14	8	0	0
A5: 小学校のまわりのあぶないところがわかった	12	8	2	0
A6: 土砂災害以外の災害についてもくわしく知りたいとおもった	14	7	1	0
A7: 土石流のことがわかった	19	3	0	0
A8: もっと砂場をさわってみたかった	14	6	2	0
A9: 土砂災害ハザードマップの見方が、授業前よりわりやすくなった	9	12	1	0
A10: ハザードマップをくわしく見てみたいとおもった	9	10	3	0
A11: 授業前から等高線の見方は理解していた	2	3	7	9
A12: この授業で等高線の見方の理解が深まった	10	9	3	0
A13: 砂場を使うことで、土砂災害が起こりやすい場所の理解が深まった	17	4	1	0
A14: 山や谷がどのような地形かわかった	17	3	2	0
A15: がけがどのような地形かわかった	14	8	0	0

※A: とてもあてはまる, B: あてはまる, C: あまりあてはまらない, D: まったくあてはまらない

紀伊半島の地形を認識するため立体地図を使うなどの工夫を行った(図8(c))。

市野々小学校での様子を図9に示す。市野々小学校では低学年時から卒業までの期間に、著者らの協力の下、定期的に土砂災害について学ぶ取り組みが進められている。このため、児童の土砂災害への理解が深まっている

ことから、土砂災害の概要は簡略化し、より防災学習砂場を用いた地形学習に重点を置き、児童の等高線への理解を確認するため、市野々小学校の近くを流れる那智川流域の地形の再現を課題として与えた。流域内の山や川の配置状況を地形図で説明した上で児童に取り組みさせた。10分程度かけて砂で周辺の山や谷を表す地形を概ね再現

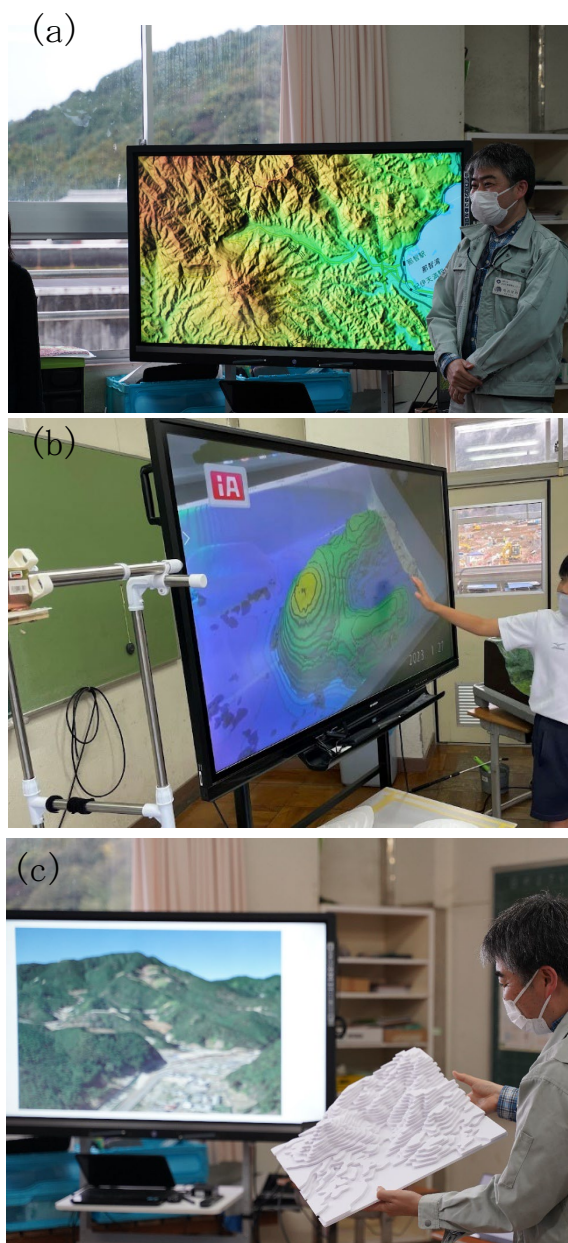


図9 那智勝浦町立市野々小学校での授業の様子  
 (a) 那智川流域の地形の説明 (b)再現した地形を  
 児童が説明する様子 (c)地形模型による説明の様子

できたこと(図9(b))から、本研究の教材を用いた学習により地形への理解が進んだ可能性がある。

なお、本研究で開発した防災学習砂場は学校での出前授業を前提に簡単に組み立てられることも特長の一つである。2校での実践にあたり、機材の搬入、装置の組み立てを行ったが、30分程度で準備が可能とも確認した。これは、既存のAR砂場システムに比して、本研究で開発したシステムの長所であるといえる。

## (2) アンケート調査結果と考察

児童・教員を対象に、学習終了後に効果評価のためアンケート調査を実施した。

児童に対する調査は4段階(とてもあてはまる・あてはまる・あまりあてはまらない・まったくあてはまらない)の15項目の設定問と自由記述欄を設けた。児童のアン

ケート結果を表1に示す。

全員が楽しく学習できたと答え、防災学習砂場が児童の興味を引く教材であることが確認できる。高さに応じたグラデーションも全員が分かりやすかったと答えた(A2, A3)。実践校での事前のヒアリングにおいて、「二次元の情報を頭の中で三次元に展開することは小学生にとって極めて難しい。現場学習も容易ではなく、等高線については触れる程度で効果的な学習になっていない。」との指摘があり、三次元モデルを使ったアプローチに期待が寄せられた。また、岩戸<sup>12)</sup>は、小学校において等高線の意味を分からせるために、直ちに平面図を通じて行うことは、児童の発達段階を無視したもので一足飛びの指導であると指摘している。これは実践校でのヒアリング結果を裏付けるものと考えられる。本研究では、平面地図上の等高線の理解度について事前調査を行っていないため、それとの比較はできないが、事前ヒアリングなどから、等高線の見方について初学者並みと考えられる。これは、授業前に等高線の見方を理解していないと答えた児童が22人中16人であった(A11)ことから分かる。一方で、授業後は19人(86%)が等高線の見方が深まったと回答した(A12)ことから、防災学習砂場が等高線の理解を支援する教材として効果があったといえる。山や谷、がけがどのような地形か分かったと答えた児童も多数を占めた(A14, A15)。このように、防災学習砂場を使うことで、等高線と地形的特徴の関係の理解が深まったと考えられる。本研究の目的は、教材開発を通じた防災教育である。等高線の理解はその一環である。等高線に対する理解が深まることで、これまで読み取れなかった情報がハザードマップから入手できることを知り(A9)、これが知的好奇心を刺激し、ハザードマップを詳しく見たい(A10)や土砂災害以外の災害についても詳しく知りたかった(A6)の回答につながったと考えられる。自由記述でも「砂に触るのが楽しかった」「わかりやすかった」などの感想が見られ、防災学習砂場が学習の動機づけや知的好奇心の刺激に効果的な役割を果たしたと考えられる。興味の連鎖の端緒として等高線の理解があり、その一定の役割を果たしたと考えられる。

一方で、ハザードマップに関する2項目については、土砂災害ハザードマップの見方が分かりやすくなったか、ハザードマップを詳しく見たいと思ったかの項目は、それぞれ21人、19人が肯定的回答であった(A9, A10)ものの、その内訳は、他の項目に比べて「とてもあてはまる」の回答が低い傾向であった。本研究で実施した授業では、等高線の見方や立体地図の学習に時間が多く割いたことでハザードマップや避難行動に関する説明の時間が少なくなったこと、急な斜面が崖崩れの恐れがある、谷出口では土石流の恐れがある等の土砂災害に関するリスクに対する説明は、授業の前半で行っており、地形とリスクの関係性の認識がうまく行われなかった可能性もある。また、2コマ連続の授業のため集中力や興味が低下したことにより後半の授業への理解が低下したことが考えられる。防災学習砂場やプロジェクトマップは興味を引くが、ハザードマップの詳細な説明や避難行動に関する授業は、日時を改めて設定するなどの工夫が必要と思われる。

防災教育において最も重要なことの一つは、いかに自分ごととしてリスクの認識を深めることである。対象とする地形の概形を砂で作り、空中写真やハザードマップのプロジェクトマップも行った。複数の教材を

表 2 教員アンケート調査の質問内容と回答

番号	質問内容	回答
B1	防災学習砂場を使用しているときの生徒の様子はどうでしたか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・触った感覚も心地よさそうでした。作った地形に合わせてすぐに線が変化するところに驚いていました。</li> <li>・教具が実際に目の前にあったので、より関心を持って学習に集中できていた。</li> <li>・最初はどうか触ってよいのかわからないようでしたが、徐々に慣れていき、とても楽しそうに触っていました。</li> </ul>
B2	防災学習砂場は生徒の好奇心、やる気の向上につながると思えますか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・そう思います。</li> <li>・とてもそう思います。</li> <li>・つながると思えます。</li> </ul>
B3	防災学習砂場を使った授業は、生徒が防災に興味をもつきっかけとなると思えますか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防災というよりも地形に興味をもち、そこから地形を見て災害を予測することにつながると思えます。</li> <li>・授業の後半に那智山系の地形を再現し、疑似的に土砂の流出をさせたことで、より興味を持ったと思います。</li> <li>・砂場の授業だけでは難しいのではないのでしょうか。逆に防災についていろいろと学ぶ中で、砂場を体験することが良いと思います。そうすることで、より防災学習に対する興味関心が高まる。</li> <li>・どんな地形が谷で「危ない場所」なのかなどが分かりやすく、興味につながると思えます。</li> </ul>
B4	授業展開の中で、防災学習砂場は有効に活用されていたと思えますか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平面図で等高線の理解、イメージは難しいです。砂場を使うことですぐに等高線が変化し、わかりやすかったです。等高線から地形をイメージして災害予測する力をつけるために、まず「等高線とは？」の学びに有効でした。</li> <li>・防災学習の新しい取り組みとして、とても勉強になりました。社会科の地理学習とリンクさせることで、より効果が広がると思えます。</li> <li>・良かったと思います。せっかくの素晴らしい教材なので、もう少し時間をとって、子供たちがゆっくりと砂場を触りながら、気づいたり交流したりする時間をとれるとさらに良いと思います。</li> <li>・思います。谷の定義を確認してから作る流れだったので、自然な流れだったと思います。</li> </ul>
B5	立体と平面（等高線）を結びつける教材として防災学習砂場の効果をどのように感じましたか	<ul style="list-style-type: none"> <li>・谷の地形（U字になること）を理解するのによかったです。</li> <li>・地形を変形し、リアルタイムで等高線を色分けがなされていたので、2D と 3D の変換が子供たちの思考の中でとらえやすくなったと思います。</li> <li>・とても効果を感じました。発達段階によって、使い方は変わるとは思いますが、小学生・中学生にとって、とても効果的な学びのツールになるのではないのでしょうか。中学校地理の授業でも、ぜひ協力していただきたいと思いました。</li> <li>・プロジェクションマッピングと連携させることで、子どもたちにとっても、地形を体験的に学ぶことができたと思います。</li> </ul>
B6	より効果的な教材にするため、改善点や効果的な使い方の意見があればご記入ください	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形の学習なら、等高線が出るタイミングを変えてもいいのではないのでしょうか。作っているときに常に出るのではなく、学習の内容によって、完成したものに写すなど。今回も場合によって変えてくれましたが。</li> <li>・この教具（装置）の事前準備や後片付けがたいへんなように感じました。学校としてはとてもありがたいのですが、簡易的にできる方法があればと思いました。</li> <li>・一度にたくさん子どもたちが活動できるように、子どもたちの机の上ののるくらいの少し小さめの砂場があれば良いと思いました。</li> <li>・今回の展開だと地形の理解でとまってしまっていた感じがしたので、地形を砂場で確認したあと、どの場所が災害におそわれる危険があるのか、砂場と立体模型で説明などしていただければ、もっと子どもたちの防災への理解も深まると思いました。子供たちも大変面白かったようで、等高線についても理解できました。</li> </ul>

※重複する回答や表現を一部簡略化

組みあわせることで、児童は自分ごととして学校周辺の危ないところの認識も進んだ (A5) と考えられる。

教員に対する調査は 6 項目の設問に自由記述で回答もらった。質問内容と回答を表 2 に示す。山野小学校 1 名、市野々小学校 3 名から回答を得た。「児童が楽しみながら学習できた (B1)」、「防災学習砂場が今後の防災学習への興味関心が高まる (B3)」、「プロジェクションマッピングとの連携が効果的である (B5)」等、教育現場で課題となっている地形図 (等高線) の理解が深まったとする肯定的意見を得られた。一方、「地形の理解に留まり地域の土砂災害リスクの説明時間が少なかった (B6)」との指摘があり、時間の限られた授業枠 (45 分 2 コマ) の中で、ハザード情報への理解が低い傾向が見られた児童へのアンケート結果と符合する意見が得られた。防災学習としてより効果的な授業の構成とすることが授業内容の改善点としてあげられる。

また、教員アンケートにも準備等の負担がまだ大きいとの指摘もある。本研究で開発したシステムの導入もプログラミングの知識が一定程度必要であり、すぐに教育現場に導入できないことも分かった。開発したプログラムや必要なライブラリを梱包したアプリ化、機材の組み立て、運用マニュアルの整備等により、教育現場導入のハードルを下げるのが今後、広く教育現場で利用されるための重要な課題である。また、描画を一時停止し説明を詳しくできる機能も必要と考えられる。当面は、著者らが実施する出前授業で活用し、更なる改善点の抽出を進めていきたい。

## 5. まとめ

土砂災害の素因である谷や尾根等の地形を地形図から読み解く能力の習得は児童にとって課題であり、地形図 (等高線) と地形の特徴を学習するツールとして AR (拡張現実) 技術を活用した防災学習砂場 (AR 砂場システム) と、立体地形模型へのプロジェクションマッピング教材を開発した。これらを用いた土砂災害の防災学習プログラムを構築し、土砂災害に関する防災学習が課題となっている中山間地域にある和歌山県内の 2 つの小学校において実践した。授業プログラムの検討・構築にあたっては、両校の教員へのヒアリングを行い、適正な授業レベルか、地域の災害危険性を認識する上で適切な内容かを確認した。

児童・教員に対しアンケート調査を行った結果、児童が砂場を触って地形の学習を行う体験型教材として、等高線と地形的特徴の理解促進に効果的であり、また、児童の興味を十分に引くことができ、知的好奇心を刺激するのに有効な教材であることが確認できた。一方で、ハザード情報の理解が低い傾向が確認できたことから、授業の構成や時間配分の設定が課題となった。

開発したシステムでは、デブスカメラ以外は学校でも手持ちの機器で対応できることから安価に構成することができる。また、持ち運びも簡易に行える。このため、小中学校での授業だけでなく、行政機関での活用などの横展開も期待できる。しかし、教育現場での導入には、プログラム群のアプリ化や GUI 操作による簡便化、マニュアル整備等が必要である。また、等高線描画の一時停止などの機能の向上が今後の課題であり、開発を進めて

いきたい。

本研究で開発したソフトウェアのソースコードは、<https://github.com/kzt206/ARfielder> で公開している。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、日高川町教育委員会、日高川町立山野小学校、那智勝浦町教育委員会および那智勝浦町立市野々小学校の教職員・児童の皆様には大変お世話になった。国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所には紀伊半島の立体地図のご提供をいただいた。本研究の一部は JSPS 科研費 (課題番号: 21K12188) の助成を受けて行われた。ここに、記して御礼申し上げる。また、第 1 回高専防災減災コンテスト<sup>13)</sup>からの支援を受けた成果の一部であることを申し添える。

## 参考文献

- 1) 文部科学省: 小学校学習指導要領 (平成 29 年度告示), 2009.
- 2) 国土交通省: 土砂災害防止教育支援ガイドライン (案), 2009.
- 3) 西萩一喜・辻原治・坂口隆紀・岸畑明宏・筒井和男・宮崎徳生・木下篤彦: 土砂災害啓発のための RPG コンテンツの開発と評価, 砂防学会誌, Vol. 74, No. 4, pp.48-53, 2021.
- 4) 檜垣大助・緒續英章・井良沢道也・今村隆正・山田孝・丸山知己: 土砂災害と防災教育, pp. 10-59, 朝倉書店, 2016.
- 5) 山田孝・井良沢道也・佐藤創: フィールドゼミと模型教材の組み合わせによる児童への土砂災害教育手法, 砂防学会誌, Vol. 59, No. 3, pp.13-22, 2006.
- 6) 文部科学省: 学校の防災のための参考資料「生きる力」を育む防災教育の展開, 2013.
- 7) 鹿江宏明・有田正志・西井章司・土井徹・吉原健太郎・中田高・北川隆司・山崎博史・林武広・鈴木盛久・(協力者) 吉森正尚・佐竹靖: 防災リテラシーの確立をめざした小・中・高等学校一貫教育の創造(4) 一広島県防災情報システムを活用した土砂災害に関する授業実践 II-, 広島大学学部・附属学校共同研究機構研究紀要, Vol. 33, pp. 273-278, 2005.
- 8) Reed, S., Hsi, S., Kreylos, O., Yikilmaz, M. B., Kellogg, L. H., Schladow, S. G., Segale, H. and Chan, L.: Augment-ed reality turns a sandbox into a geoscience lesson, Eos, Vol. 97, 2016.
- 9) Wellmann, F., Virgo, S., Escallon, D., de la Varga, M., Jüstel, A., Wagner, F.M., Kowalski, J., Zhao, H., Feh-ling, R. and Chen, Q.: Open AR-Sandbox: A haptic in-terface for geoscience education and outreach. Geo-sphere, Vol.18, No.2, pp.732-749, 2022.
- 10) Universal Terminal Systems : i-Sandbox  
<https://isandbox.tokyo/> (2023.4.2 閲覧)
- 11) iRIC プロジェクト : morpho2DH  
<https://i-ric.org/solvers/morpho2dh/> (2024.4.28 閲覧)
- 12) 岩戸栄: 小学校教育における等高線の指導の問題点, 日本地理教育学会, 新地理, Vol.10, No.1, pp.66-74, 1962.
- 13) 防災科学技術研究所: 第 1 回高専防災減災コンテスト  
[https://www.bosai.go.jp/labo/ExtremeWeather/contest/contest\\_2022.html](https://www.bosai.go.jp/labo/ExtremeWeather/contest/contest_2022.html) (2024.4.28 閲覧)

(原稿受付 2024.5.11)

(登載決定 2024.8.31)

## 大規模崩壊跡地における二次的土砂移動現象と降雨特徴との関係

京都大学大学院 農学研究科 ○加地慧一 小杉賢一郎

## 1. はじめに

斜面崩壊が発生すると、それによる直接的な土砂移動に加えて、崩壊後も継続的に、崩壊裸地や堆積した崩壊土砂の侵食、崩落崖の後退等による土砂移動が起こることが知られており、特に規模の大きな崩壊では河道閉塞や高濃度の濁水が発生するなど影響も大きい。本研究では大規模崩壊発生後の二次的な土砂移動現象を明らかにすることを目的とし、加地ら(2024)が解析を行った大規模崩壊跡地において崩壊地内部の土砂移動の経年変化を求め、降雨量との関係を考察した。

## 2. 手法

## 2. 1. 研究対象地

調査地は、石川県の手取川上流約 60 km、大汝国有林中ノ川右岸に位置する大規模崩壊跡地に設定した。この崩壊は 2015 年 5 月上旬に雪解け水等により引き起こされたもので、1955 年時点で既に存在する地すべり地形の内側で発生した(柳井, 2017)。崩壊後には崩壊地直上部から崩壊地を有する斜面全体にかけて新たな地すべりが発生し、2022 年 8 月時点でも継続的に移動を続けている(加地ら, 2024)。2015/12~2022/8 での標高の変化量を図 1 に示す。図中の赤~黄色が+の変化、緑~紫色が-の変化を表す。

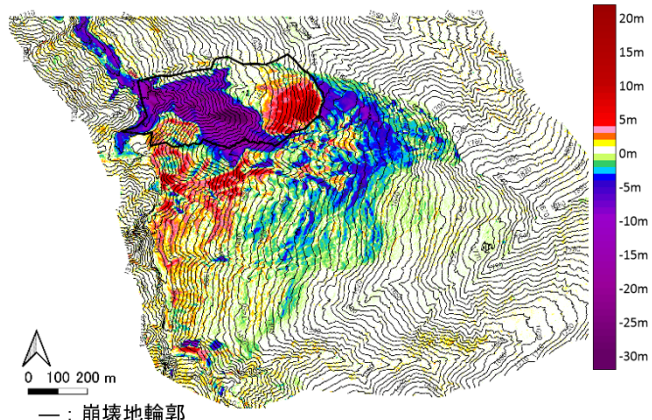


図 1 2015/12~2022/8 の差分

## 2. 2. 土砂移動解析

航空レーザー測量が崩壊前の 2014/11/8 に一回、崩壊後は 2015/12/16、2016/12/26、2017/6/5、2018/6/14、2019/8/3、2022/8/2 に計 6 回実施された。それらから作成された 0.5m グリッド (2014 年のみ 1m) の DEM (Digital Elevation Model) を用いて Z 座標の差を計算し、計測日と計測日との間での土砂移動を求めた。

## 2. 3. 降雨量

国土交通省水文水質データベースより雨量観測所「尾添」のデータを使用した。欠測部分は気象庁アメダス「白山白峰」のデータを用いた。LP 計測日と計測日との間の期間における最大 1 時間雨量、積算雨量に加え、崩壊や侵食への影響の小さい弱い降雨を除外するため時間雨量 5mm/h 以上の積算雨量を計算した。

## 3. 結果と考察

## 3. 1. 崩壊地内部の土砂移動実態

崩壊地内部の土砂移動の様子は時間とともに変化した。図 2 に 2014/11~2015/12、図 3 に 2015/12~2016/12、図 4 に 2016/12~2017/6、図 5 に 2017/6~2018/6、図 6 に 2018/6~2019/8、図 7 に 2019/8~2022/8 の期間における崩壊地内部の標高変化を示す。左側が全体図、右側が左側青枠内の拡大図であり、中心に明瞭なガリーが形成されている。

2014~15 年では大量の崩壊土砂が斜面下部に堆積したと考えられる変化が生じた。その後の 2015~16 年での変化はその堆積土砂の侵食、流下と考えられる変化が主であり、その他の部分の変化は少ない。次の 2016~17 年は唯一冬から夏にかけての半年間で生じた変化である。この期間ではガリーの脇の 4 か所で崩壊とみられる変化があった。またガリー内部では堆積が生じた。他の部分については目立った変化は生じなかった。次の期間の 2017~18 年では大規模な崩壊が生じた他にも多くの崩壊や侵食が見ら

れた。また崩壊地直上部の変位がより大きく表れ始めたことから、地すべり運動の加速が推察された。2018～19年でも多くの侵食や崩壊が見られるが、それまでの期間と比較してより局所的な変化が生じた。2019～22年は期間が3年と長く、+と-の変化が入り乱れる結果が得られた。これは地すべり運動の影響が考えられたため、図中青枠内で特徴的な地形を抽出し地すべりの方向と距離を求めたところ、斜面下方(図中左方向)に水平距離約10mの変位が見られた。したがってこの期間では局所的な侵食に加えて地すべり運動によってより局所的な標高の変化が生じたと考えられた。

### 3. 2. 期間ごとの降雨

表1に各期間での積算雨量、最大1時間雨量、5mm/h以上の積算雨量を示す。残存土砂の侵食が主とみられる2015～16年は積算雨量、5mm/h以上の積算雨量ともに比較的低い値となった。大きな崩壊があり地すべりの加速も見られた2017～18年は5mm/h以上の積算雨量が1772mmと最も高く、最大1時間雨量も41mm/hで2020～21年に次ぐ値となっている。局所的な侵食が目立つ2018～19年では積算雨量は3327mmと比較的少なく最大1時間雨量も28mm/hと大きくない値だが、5mm/h以上の積算雨量は1635mmと高い。以上の結果から、積算雨量や最大1時間雨量より5mm/h以上の積算雨量が土砂移動に大きく影響していることが推察された。この崩壊地では侵食・崩壊と地すべりが同時に発生しているため、地すべり運動のより詳細な解析や地すべりが活発でない崩壊跡地との比較が必要であると考えられる。

表1 各期間の降雨の緒元(単位はmm)

期間	積算雨量	最大1時間雨量	積算雨量(>=5mm)
2014/11~2015/12	4403	31	963
2015/12~2016/12	3286	37	1161
2016/12~2017/6	1500	11	202
2017/6~2018/6	3919	41	1772
2018/6~2019/8	3327	28	1635
2019/8~2020/8	3993	38	1712
2020/8~2021/8	3996	47	1651
2021/8~2022/8	3158	33	1312

謝辞 DEMデータおよび航空写真を提供いただいた林野庁近畿中国森林管理局ならびに国交省金沢河川国道事務所に謝意を表す。

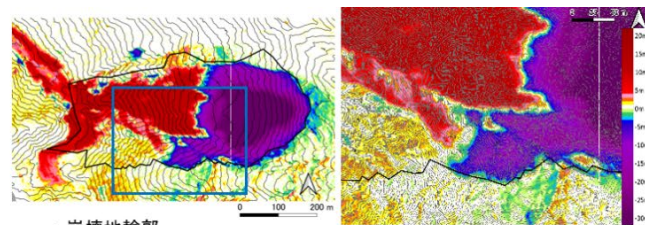


図2 2014/11~2015/12

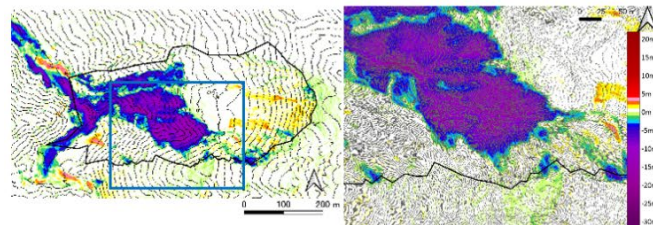


図3 2015/12~2016/12

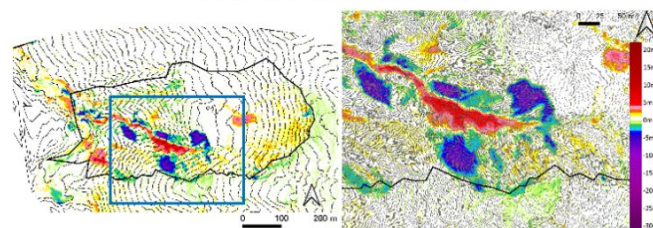


図4 2016/12~2017/6

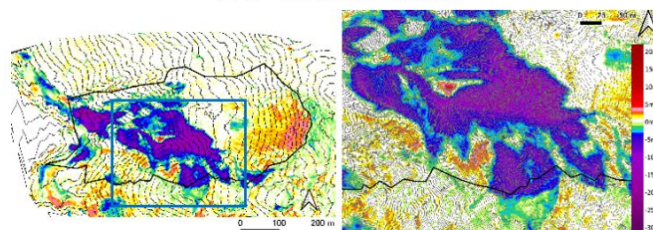


図5 2017/6~2018/6

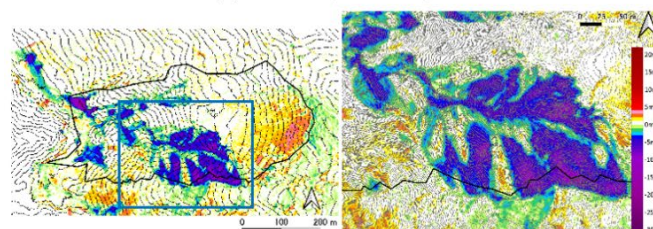


図6 2018/6~2019/8

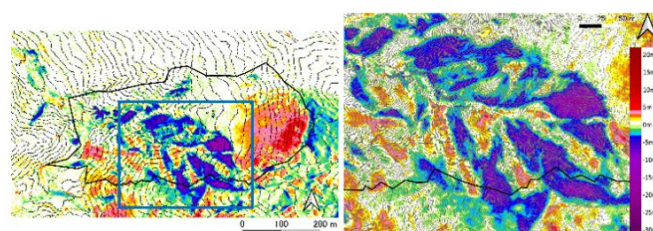


図7 2019/8~2022/8

#### 引用文献

加地慧一, 小杉賢一郎 (2024): 大規模崩壊跡地における二次的土砂移動に関する解析, 令和6年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 617-618.

柳井清治 (2017): 2015年5月に白山源流で発生した地すべりと濁水の発生, 水利科学, No. 355, pp. 74-91.

### 3. 学会活動

---

#### 3.1 学会誌掲載

タイトル	執筆者（連名含む）	雑誌名	巻号	論文種別	発行年月
天然ダム調査におけるUAV測量技術の活用に向けた取組み	竹下航 小林正直 岸本優輝 山越隆雄	土木技術資料	Vol.66 No.5	情報誌	2024.5
大規模地震がその後の降雨による土砂災害発生に及ぼす影響	後根裕樹 海原荘一 中谷洋明 木下篤彦 北本楽 小杉恵 鈴木素之	砂防学会誌	Vol.77 No.6	論文	2025.3

### 3.2 学会発表

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
1	那智川流域における景観に配慮した砂防工事の取組	竹下航 追鳥裕樹 廣澤元彦 岸本優輝 小林正直	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
2	砂防設備の維持管理における高度化に向けた取組み	小林正直 竹下航 岸本優輝 佐藤厚慈 江口友章 上杉温子 神馬和歌子 家崎 遥 橋本侑弥	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
3	SfM-MVS を用いた発災直後の地形把握手法の検討	水流竜馬 竹下航 山越隆雄 瀧口茂隆 村木昌弘	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
4	大規模土砂生産流域におけるインターバルカメラを用いた簡易観測手法について（その2）	滝澤雅之 岡野和行 井之本 信 吉安 征香 鈴木 心 小林正直 竹下 航 岸 本優輝	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
5	山地河川の合流点における流況観測 - 滝川・栗平川の事例 -	岡野和行 滝澤雅之 井之本 信 吉安 征香 鈴木心 小林正直 竹下航 岸本優 輝	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
6	奈良県赤谷西地区における地中変位に影響を与える降雨指標の分析	林幸一郎 葛巻怜香 山田友 小林正直 岸本優輝 竹下航	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
7	熱赤外計測による砂防構造物の損傷検出	辻原諒 佐藤厚慈 江口友章 新井瑞穂 上杉温子 吉安征香 清水勇児 松本恭 小林正直 竹下航 岸本優輝	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
8	ドローンとCar-SAT等を組合せた大規模崩壊地の変状把握	濱田隆敬 荒木義則 河井恵美 大盛泰 我 猿渡雄二 竹下航 岸本優輝 小林 正直	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
9	UAV 空中電磁探査データの空間フィルタ解析による重力変形斜面の可視化	金山健太郎 馬場敬之 奥村稔 河戸克 志 城森明 竹下航	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
10	深層崩壊斜面付近の断層が地下水水位に与える影響に関する一考察	束原純 藤田慶太 竹下航 廣澤元彦 日朝洋明 後藤和明	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
11	UAV 空撮による崩壊地の地下構造情報の把握の可能性検討	佐原 拓海 内田 太郎 瀧口 茂隆 竹下 航	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5
12	那智川流域における溶存イオン観測による流出特性の検討事例	豊福恒平 巽隆有 野中大樹 田村友紀 夫 梅田侑子 小林正直 竹下航 岸本 優輝	2024年度砂防学会研究 発表会概要集	2024.5

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
13	大規模地震後の土砂災害警戒情報発表基準の引き下げに係わる検討	西内卓也 伊倉万理 高橋和樹 小林正直 竹下航 岸本優輝	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
14	LTE圏外におけるUAVを活用した砂防施設点検の試行	吉安征香 佐藤厚慈 江口友章 新井瑞穂 上杉温子 辻原諒 最上谷真仁 樋口志樹 小林正直 竹下航 岸本優輝	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
15	人工衛星強度差分SAR 画像判読による災害時土砂移動箇所判読の事例紹介	吉田巧 柴山卓史 平田育士 杉本惇 橋本裕紀 小林正直 岸本優輝 竹下航 瀧口茂隆 金澤瑛	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
16	紀伊半島大水害後の土砂流出活発期間を対象とした検証計算	石川莉紗子 松原智生 西口幸希 日名純也 村井臣成 伊藤巧 西尾潤太 岸本優輝 山本洋	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
17	数値標高モデルと土砂移動範囲情報による簡便な河道閉塞箇所抽出の試み	影山大輔 清水武志 伊藤誠記	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
18	プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践	谷口晃祥 片嶋将人 辻原治 岨山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
19	小学校理科と土砂災害を組み合わせた総合的な学習の実践	岨山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
20	災害伝承碑紹介動画の制作とその活用について	有田貴洋 中村豊 稲田健二 筒井和男 岨山雄亮 佐藤純子	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
21	土石流による地形変化の検証と侵食量に着目した土石流予測計算	筒井和男 齊藤隆志	2024年度砂防学会研究発表会概要集	2024.5
22	和歌山工業高等専門学校と連携した土砂災害防災学習教材の開発	岨山雄亮 有田貴洋	近畿地方整備局研究発表会	2024.9
23	有田川水害における災害教訓伝承の取組みについて	中村豊 有田貴洋	近畿地方整備局研究発表会	2024.9
24	UAVを用いた砂防設備点検の自動化に向けた検討	小林正直 岸本優輝	近畿地方整備局研究発表会	2024.9

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
25	ステレオカメラを活用した支障木調査の一考察	中村豊 岐山雄亮 嶋田圭悟 稲田健二	治山研究発表会	2024.9
26	地盤振動データによる大規模な土砂移動を検知するための観測局設置方法の検討	小林正直 岸本優輝 竹下航 海原荘一 谷田佑太	第12回土砂災害に関するシンポジウム	2024.9
27	小学校の学習教科等に防災教育を取り入れた学習の実践	稲田健二 岐山雄亮 辻原治 筒井和男 有田貴洋 坂口 隆紀	第12回土砂災害に関するシンポジウム	2024.9
28	中山間地域の小学校での土砂災害防災リテラシー向上のためのAR技術を活用した防災教育の取り組み	筒井 和男 辻原治 田中 勇摩 山添 成毅	地域安全学会	2024.11
29	和歌山工業高等専門学校と連携した土砂災害防災学習教材の開発	岐山雄亮 有田貴洋	国土技術研究会	2024.12

**(1) 砂防学会研究発表会**

和歌山県で開催された【砂防学会研究発表会】に参加し、研究発表を行った。

期 間：令和6年5月15日（水）～17日（金）

**(2) 土砂災害防止「全国の集い」**

広島県で開催された【第42回土砂災害防止「全国の集い」】に参加した。

期 間：令和6年6月6日（木）～7日（金）

**(3) 治山研究発表会**

東京都で開催された【第64回治山研究発表会】に参加し、研究発表を行った。

期 間：令和6年9月10日（火）～11日（水）

**(4) 土砂災害に関するシンポジウム**

鹿児島県およびオンラインで開催された【第12回土砂災害に関するシンポジウム】に参加し、研究発表を行った。

期 間：令和6年8月26日（木）～27日（金）

**(5) 地域安全学会研究発表会**

静岡県で開催された【第55回（2024年度）地域安全学会研究発表会（秋期）】に参加し、研究発表を行った。

期 間：令和6年11月16日（木）～17日（金）

## 4. 研修活動等

---

### (1) 砂防学会関西支部 砂防オープンゼミ

砂防に携わる技術者、研究者、実務者が一堂に会して研究発表や意見交換、討論を行うことで、今後の砂防技術の向上に資することを目的とした、研究集会と現地見学会が開催され、話題提供を行った。

開催日：令和6年11月23日（土）～24日（日）

会場：和歌山県土砂災害啓発センター

参加者：20名

## 令和 6 年度 大規模土砂災害対策研究機構年報

---

発 行	令和 8 年 2 月
編集・発行	国土交通省 近畿地方整備局
住 所	大阪府中央区大手前3-1-41 大手前合同庁舎
連絡先	河川部 河川計画課 TEL 06-6942-1141 (代表)
機構 HP	<a href="https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/outline.html">https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/outline.html</a>