

令和4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4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

- ・ 輝度に着目した、カメラ画像を用いた土砂移動検知システムの検討
- ・ 熊野川・日置川流域における流砂 水文観測データを用いた土砂移動検知手法の検討
- ・ 室内人工降雨実験によるカメラ画像から雨量強度を推定する手法の検討
- ・ 地層境界が存在する那智川支川流域における渓流水の水質形成機構と表層崩壊発生検知への応用に向けた予察
- ・ 土砂移動に伴う輝度変化を活用した画像検知手法の取組み
- ・ 流砂量観測装置を用いたアラートシステム構築への取組み
- ・ 2011年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区における比抵抗探査を用いた水理地質構造の検討
- ・ 物理探査技術を活用した深層崩壊リスク評価手法の試行事例と今後の課題
- ・ 2011年紀伊半島大水害に学ぶ

2.2 和歌山県

- ・ 土砂災害防災ロールプレイングゲームを用いた教育機関・行政機関との連携
- ・ 大規模斜面崩壊時の地盤振動特性に関する数値実験及び室内実験による比較と検討
- ・ 和歌山県土砂災害啓発センターにおける土砂災害オンライン学習の取組み
- ・ 土砂災害防災教育の実践とこれに対する防災教育受講者の認識に関する分析
- ・ マイ・タイムライン防災学習の実施とその後の学校での取組み
- ・ 土砂災害啓発RPG「命を守るハザードマップ」の開発
- ・ お手軽オリジナルハザードマップ作製アプリの開発
- ・ 防災RPG「台風こそなえて、じゅんびをしよう！」の開発
- ・ 和歌山県日高川町におけるデジタルコンテンツを用いた土砂災害 防災教育の取組み
- ・ 和歌山県公式キャラクターを用いた災害伝承碑紹介動画の作成について
- ・ 教職員や自治体職員を対象とした防災教育セミナーの開催
- ・ Case Study of Interpolation Method of Missing River Stage of Mountainous Flash Floods Based on Microseismical Monitoring Network

- ・ 和歌山県における土砂災害に関する防災教育
- ・ 和歌山県土砂災害啓発センター —あの被害を繰り返さないために—

2.3 北海道大学

- ・ 地表面変位速度を用いた深層崩壊危険斜面の推定

2.4 京都大学

- ・ 崩壊性地すべりを引き起こす降雨の特徴について

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ1

輝度に着目した、カメラ画像を用いた土砂移動検知システムの検討

国土交通省国土技術政策総合研究所(近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター)

○木下篤彦

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

北本楽

国土交通省国土技術政策総合研究所

中谷洋明・金澤瑛

株式会社エイト日本技術開発

海原荘一

株式会社ブレインズ

井深真治

1. はじめに

国土交通省では土砂災害が発生するおそれのある箇所での監視や災害後の2次災害防止のため、CCTV等のカメラが多数設置されている。これらのカメラによる監視を24時間長期に渡って技術者が実施するのは限界があり、近年ではカメラ画像から輝度やRGBの変化から自動的に土砂移動を検知する試みが行われている¹⁾²⁾。画像から土砂移動を検知するにあたっては、計算負荷を可能な限り小さくするとともに誤検知を減らす必要がある。本研究では、誤検知を減らす試みとして、これまで0.5秒としていた差分計算の間隔を長くすること、画像の白黒二値化によるチェックにより、誤検知を減らす検討を行ったので報告する。

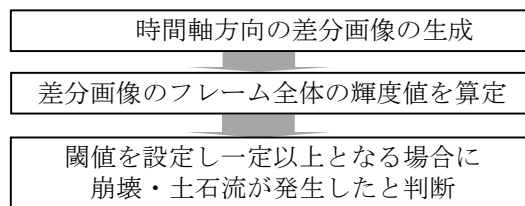


図-1 輝度差分値による崩壊・土石流の検知方法

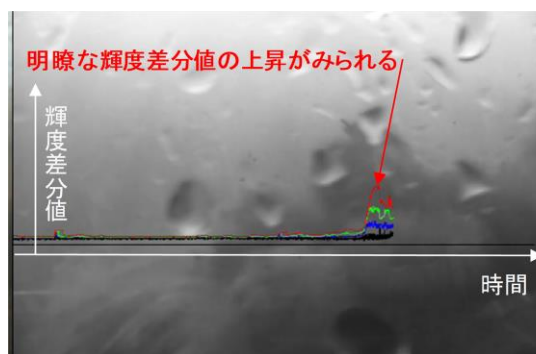


図-2 2014年台風第11号による赤谷地区における崩壊映像の解析事例(解像度1/2, モノクロ映像)

2. 既往研究による誤検知の頻度・内容

柴田ら²⁾は計算負荷を減らすために、輝度差分値を用いた検知手法を提案している。この手法は、図-1のように0.5秒間隔の2枚の画像の輝度を計算し、輝度の差分値が事前に設定した閾値以上となった場合に、土砂移動が発生したと判定する。図-2のように解像度を半減させ、かつモノクロ映像で検討した結果、2014年の台風第11号による赤谷地区(奈良県五條市)での崩壊では、明瞭な輝度差分値の上昇がみられた。柴田らの成果²⁾では、既往の全国から集めた土石流や崩壊の事例から、閾値を100と設定することで、精度良く土砂移動が検知できることが分かっている。

輝度差分値は計算負荷が小さい反面、誤検知も多くなることが分かった。表-1に赤谷地区に設置したCCTVカメラでの2021年4月1日～6月30日の3ヶ月間の誤検知の内容及び回数を示す。なお、調査期間内には土石流や崩壊は発生していない。ワイパーの作動・雨・虫の飛来・霧の発生が誤検知の主要要因となっていることが分かる。

表-1 3ヶ月間(2021年4月1日～6月30日)の

誤検知の内容及び回数

昼/夜区分 降雨区分 内容	昼間		夜間		合計
	無降雨 件数	降雨時 件数	無降雨 件数	降雨時 件数	
ワイパー	138	20	0	0	158
雨	2	12	115	47	176
雨・虫	0	2	23	42	67
影の移動	1	0	0	0	1
画像なし	1	1	0	0	2
画像異常	6	0	0	0	6
回転	4	0	0	0	4
丸い影	0	0	0	1	1
丸い光	0	0	0	8	8
黒いゴミ	1	0	0	0	1
消灯	8	0	0	0	8
信号	3	2	0	0	5
水滴	1	0	0	0	1
虫	29	1	33	662	725
虫・丸い光	0	0	0	3	3
鳥	1	1	0	0	2
点灯	7	0	0	1	8
不明	127	29	128	898	1,182
霧	25	8	37	77	147
総計	354	76	336	1,739	2,505
	日当たり				27.5

3. 誤検知を減らすための検知アルゴリズム改良とその効果

3.1 長いスパンでの輝度差分値の計算

誤検知の原因の多くが短時間で生じる現象によるもので

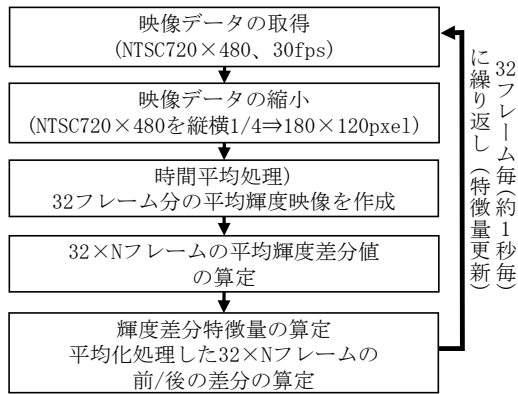


図-3 32×N フレームの輝度の差分による検知フロー



図-5 雲影の移動時の映像の白黒二値化

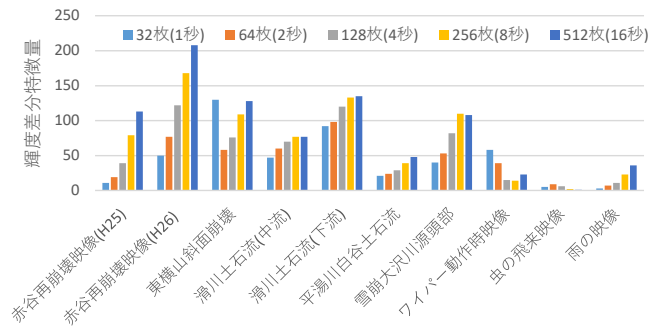


図-4 土砂移動及び誤検知映像の 32×N フレームの輝度差分値

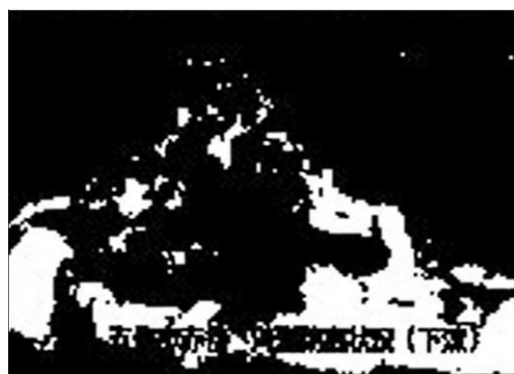


図-6 2013年赤谷地区での崩壊時映像の白黒二値化の例

ある。それに対して土石流や崩壊などの顕著な土砂移動の映像の変化は数十秒程度継続する。このため、図-3に示すように、より長い期間の輝度差分値で検知を行うこととした。輝度差分値の長期指標化については、32 フレームを1つのユニットとして、32 フレーム分の連続する画像の同じ座標の輝度を平均した画像を求め、32×N フレームの平均輝度差分値を求めものとした。本研究では、Nを1(32 フレーム)～16(512 フレーム)まで変化させて値を確認した。傾向としては枚数が多くなるほど、検知すべき現象と誤検知となる現象の判別がしやすくなった。一方で、場所や現象によって、ピークや輝度差分特徴量の大きさが様々であり、想定する現象や場所に応じてNや特徴量の閾値を変える必要がある。

3. 2 白黒の二値化画像

表-1の誤検知以外にも、時期や時間帯によっては雲の影の移動による誤検知が想定され、追加のアルゴリズムを検討した。晴天時、日射のある領域と雲の影となる領域の輝度差が顕著になった場合に誤検知が発生すると想定された。雲の影が移動した場合、山肌の細かい凹凸や樹木のテクスチャが鮮明となり、図-5のように白黒二値化した場合に白と黒の面積の小さい領域が分布する。一方、大規模土砂移動が発生した場合は、流下する土砂等によりテクスチャが不鮮明になり、白と黒の面積の小さい領域の分布は小さくなる(図-6)。

4. おわりに

上記の検討により、赤谷地区では誤検知を平均で1日1件未満まで減らすことができた。今後は、土砂移動検知の精度をさらに上げる研究を行うとともに、夜間の土砂移動検知手法についても取り組んでいく。

参考文献 1) 五十嵐ら(2019): 画像の RGB 空間における濁水の立体分布と3次元ベクトル空間モデルを用いた流況変化検知手法の基礎的検討, Vol. 71, No. 6, pp.28-34, 砂防学会誌 2) 柴田ら(2020): 輝度の差分映像による斜面崩壊・土石流の検知と降雨・夜間の監視映像の鮮明化, pp.79-84, 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集

熊野川・日置川流域における流砂水文観測 データを用いた土砂移動検知手法の検討

SEDIMENT TRANSPORT DETECTION METHOD USING BED-LOAD SEDIMENT
TRANSPORT OBSERVATION IN THE KUMANO AND HIKI RIVER BASIN

北本 楽¹・小杉 恵¹・木下 篤彦²・岡野 和行³・井元 成治⁴・吉安 征香⁵

井之本 信⁵・滝澤 雅之³・武石 久佳³・鈴木 心⁵

Gaku KITAMOTO, Megumi KOSUGI, Atsuhiko KINOSHITA, Kazuyuki OKANO, Seiji IMOTO,

Yuka YOSHIYASU, Makoto INOMOTO, Masayuki TAKISAWA, Hisayoshi TAKEISHI and

Kokoro SUZUKI

¹国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所（〒637-0002 奈良県五條市三在町 1681）

²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（〒649-5332 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市
野々3027-6）

³(株) アジア航測株式会社（〒812-0011 福岡市博多区博多駅前 4-9-2）

⁴(株) アジア航測株式会社（〒950-0087 新潟市中央区東大通 2-3-28）

⁵(株) アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪市北区天満橋 1-8-30）

Key Words: *bed-load, sediment transport, hydrophones, early warning, hysteresis loop*

1. はじめに

平成 23 年（2011 年）9 月の紀伊半島大水害による豪雨では、紀伊半島を中心として 3,000 箇所以上の崩壊および 17 箇所の深層崩壊に伴う河道閉塞（天然ダム）が生じた。紀伊山系砂防事務所（前；紀伊山地砂防事務所）ではこれらの災害を契機として、直轄砂防事業により深層崩壊斜面および河道閉塞部からの残存土砂流出対策として砂防施設の整備を進めている。しかしながら、河道閉塞部には未だ土砂が多量に残存した状態であることから、ハード対策としての砂防施設整備のほかにソフト対策として、流域内の土砂動態の把握および流砂水文観測に基づく流域の土砂移動検知・監視を行うべく、河道閉塞部下流に水位計、濁度計、プレート型ハイドロフォンおよびインターバルカメラを設置して観測を実施している¹⁾。ハイドロフォン等の機器による流砂観測については、山間地の溪流においてハイドロフォンと濁度計を組み合わせる粒径別に適した観測手法を提案した例²⁾や流域面積数百 km²の河川におけるパルス波解析を用いた掃流砂観測をした例³⁾など、これまで

にも山地溪流から下流域の河川に至るさまざまな箇所でも適用されている。また、田方ら⁴⁾は常願寺川本川の複数箇所においてハイドロフォンによる計測を実施して、出水規模や時期に応じた流砂流況にパターンがあることを明らかにしており、縦断連続的な土砂動態把握にも活用されている。こうした研究は、総合土砂管理の観点に立った流域の長期的な土砂動態把握⁵⁾を目的としてこれまでも数多く研究されている。一方、近年では、流砂観測による土石流等の短期的かつ突発的な土砂移動検知にも活用が期待されている。例えば、池田ら⁶⁾は、鬼怒川水系大谷川流域において上流域で発生した土石流が下流域に設置した音響式掃流砂計や濁度計によって検知できたことを報告している。また、Uchida *et al.*⁷⁾は、天竜川水系与田切川において上流域で発生した土石流の有無によって下流域で観測される掃流砂量の違いについて報告している。上流域での土石流等の土砂移動を検知して下流域に対して警戒避難情報を提供する流域監視の分野については、水位や流量と、濁度あるいは掃流砂量とのヒステリシスの関係に着目した研究がある。例えば、今泉ら⁸⁾は、荒廃小流域において

サンプラーを用いた流砂採取を行い、流量と掃流砂および浮遊砂のヒステリシスループと粒径の関係について分析している。また、桜井ら¹⁾は、ハイドロフォンを用いて観測した流量と掃流砂量の左回りヒステリシスループから土石流等の異常な土砂移動を検知する流域監視の手法を提案している。本稿では、熊野川水系および日置川水系の各支川で継続的に実施してきたハイドロフォン等による流砂水文観測データを用いて、桜井らが用いた左回りヒステリシスループに着目した異常な土砂移動の検出方法について検討した結果と今後の課題について報告する。

2. 対象流域及び観測解析手法

(1) 流砂観測対象流域

紀伊山系砂防事務所では、奈良県、和歌山県、三重県の3県を流れる一級河川熊野川水系の川原樋川、栗平川（滝川支流）、神納川、三越川、高田川、及び和歌山県を流れる二級河川日置川水系の熊野川を対象に流砂観測を実施している（図-1）。特に、川原樋川、栗平川、



図-1 流砂観測箇所の位置図

三越川、熊野川の4地点には上流域に紀伊半島大水害により生じた深層崩壊地があり、斜面および河道閉塞箇所を監視を目的として横断構造物天端上にハイドロフォン、水位計、濁度計等の流砂観測機器を設置している（写真-1）。本研究では、上記の観測地点の中で、比較的長期間にわたり、大きなデータ欠損がなく、良好なデータが取得できている川原樋川、三越川、熊野川の3流域のデータを対象とした。なお、川原樋川は、上流の池津川合流付近と下流の赤谷川合流付近の2箇所を観測が実施されている。対象とした4観測地点の流域面積、河床材料調査結果による粒径と、ハイドロフォンによる観測期間を表-1に示す。

(2) 流砂水文観測手法

a) 掃流砂量の算出

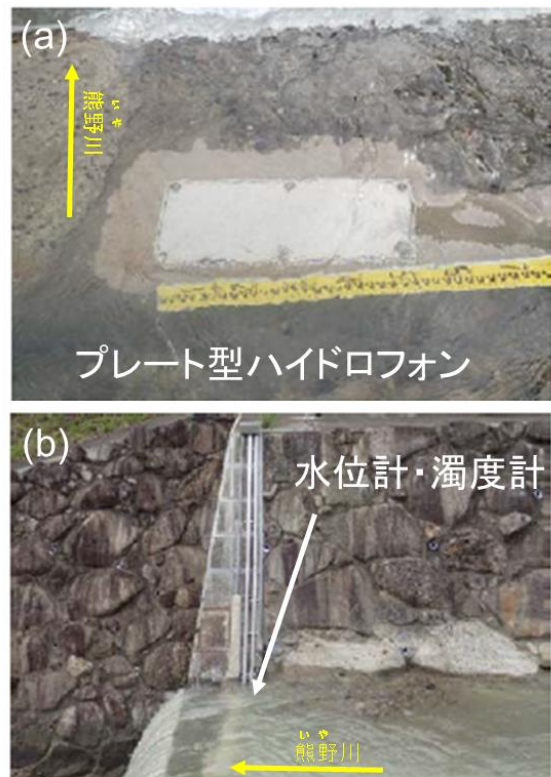


写真-1 日置川流域熊野川の流砂観測施設
(a) プレート型ハイドロフォン, (b) 水位計・濁度計

表-1 流砂観測所の概要

観測地点名	水系	流域	流域面積 (km ²)	粒径			解析対象期間
				d10 (mm)	d60 (mm)	d90 (mm)	
熊野地区	日置川	熊野川	5.4	1	30	80	2018年3月～8月（パイプ型） 2019年2月～2021年9月（プレート型）
川原樋川上流 (池津川合流)	熊野川	川原樋川	130.9	2	25	70	2018年9月～2021年9月（プレート型）
川原樋川下流 (赤谷川合流)	熊野川	川原樋川	150.8	4	40	95	2018年3月～2021年9月（プレート型）
三越川流域	熊野川	三越川	23.3	0.7	40	70	2018年9月～2021年9月（プレート型）



写真-2 平成30年台風第20号時の熊野川におけるカメラ画像

ハイドロフォンによる掃流砂量換算は、パルス数による算出方法と音圧波形の積分値による算出方法（音圧法）に大別されるが、本研究では、音圧法を用いることとした。なお、音圧法による掃流砂量変換は国土技術政策総合研究所から掃流砂量算出プログラムを借用して算出した。

b) 水位と掃流砂量の関係分析

桜井ら⁹⁾は、土石流等の異常な土砂流出が生じた場合の出水中の掃流砂量の変動について、横軸に水位、縦軸に掃流砂量の関係を示すことで、土石流発生時において、平常時には観察されない左回りのヒステリシスループが確認されることを報告した。通常の出水における掃流砂量は、流量に対して一意的に決定される関数関係を有していると考えられ、増水時（出水前半）と減水時（出水後半）で流量に対する掃流砂量の関係は正の相関または直線的である場合が多い。それに対し、異常な土砂移動の際には、土砂移動が流量のピークから遅れて到達するため、増水時に掃流砂量が増加した後、減水時に流量は低下するが掃流砂量は増加したままである。その結果、横軸水位、縦軸掃流砂量の平面上で、左回りのヒステリシスループを描く、という考え方に基づいている。

本研究では、先行研究同様、各流砂観測箇所を観測された水位と掃流砂量の関係図を作成し、異常な土砂移動および左回りヒステリシスループの有無を確認するとともに、既往研究で提案されている掃流砂量公式から推定される流砂量と、ヒステリシスが通過する範囲との関係を解析した。

c) 左回りヒステリシスループの検出手法の検討

流砂観測中に左回りヒステリシスループが確認された際に、下流域に対する警戒避難情報等の早期提供が可能となる技術を開発するために、流砂観測データによる左回りヒステリシスループの検知手法を検討した。

一般に、平衡流砂量式は、各流量に対して河床の平衡状態が達成される場合に観測される流砂量を算出する式であり、自然河川においては、平常時の流砂量の

上限に近いと考えられる。芦田らによる式¹⁰⁾（以下、「A.T.M式」とする。）やMeyer-Peter and Müllerの式¹¹⁾（以下、「M.P.M式」とする。）において平均粒径を任意に変化させ、水位と掃流砂量の関係を示す線を複数作成できる。これらの線から、各観測箇所を観測された平常時の水位と掃流砂量から推定されるヒステリシスの上限を包絡する線を決定すれば、平常時のヒステリシスと異常な土砂移動時のヒステリシスを分離することができる。そこで、本研究では、掃流砂量公式による水位と掃流砂量の関係線が平常時のヒステリシス上限を包絡する線を閾値線とすることで、平常時と異常時の分離および、異常な土砂移動の検出を試みた。さらに、その閾値線を作成する際の平均粒径が、観測箇所周辺の粒度分布の何%程度の粒径に相当するかを確認した。

3. 結果

(1) 左回りヒステリシスループの確認事例

2018年（平成30年）8月の台風第20号による総降雨量600mmを越す大規模降雨により日置川水系熊野川の流砂観測箇所では、パイプ型ハイドロフォンが被災を受けるような土砂流（写真-2）が生じた（後にプレート型ハイドロフォンに交換）。この出水時の雨量、水位、濁度、掃流砂量を図-2に示す。また、この出水イベント中に水位と掃流砂量の関係から左回りヒステリシスループが確認された（図-3）。なお、表-1に示すすべての観測期間中で左回りヒステリシスループの事例が確認されたのは、熊野川でのこの台風第20号による出水イベント中のみであった。

(2) 左回りヒステリシスループの検出閾値線の設定

台風第20号時の熊野川流砂観測箇所における左回り

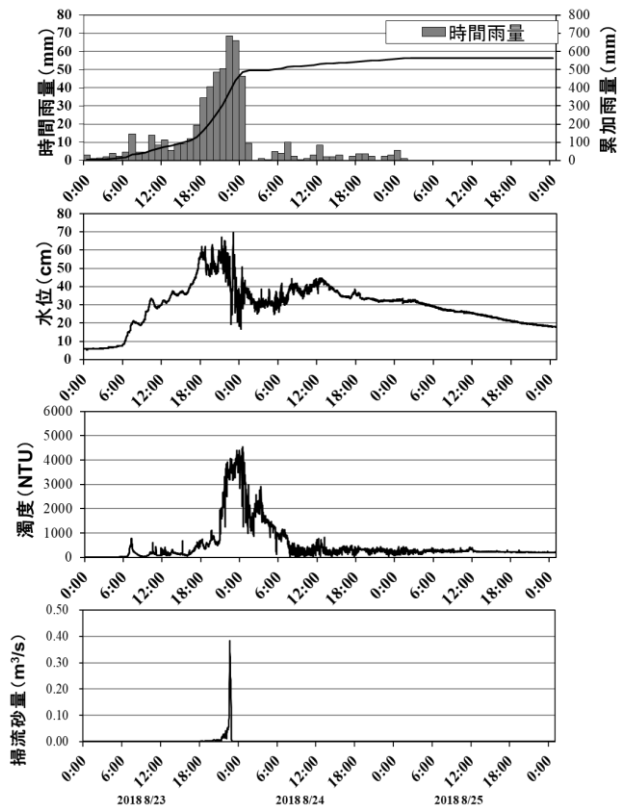


図-2 平成30年台風第20号時に観測された熊野川流砂観測箇所
の雨量，河川水位，濁度，掃流砂量

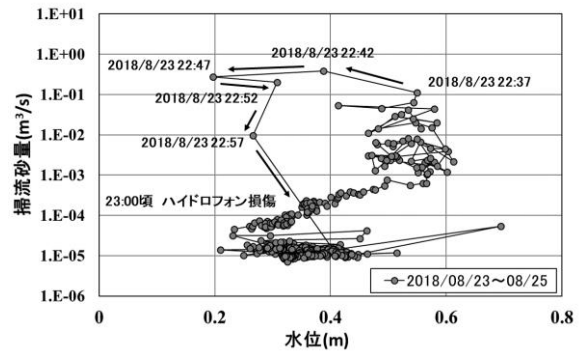


図-3 平成30年台風第20号時の熊野川流砂観測箇所における水位と掃流砂量の左回りヒステリシスループ

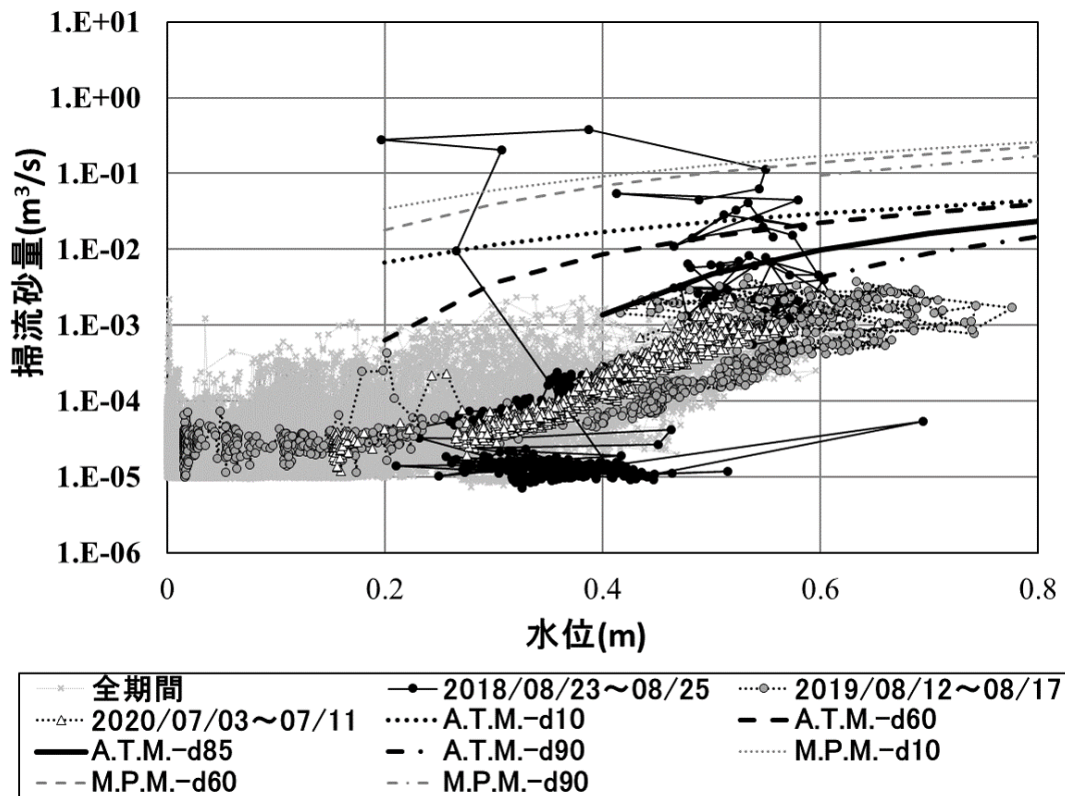


図-4 熊野川流砂観測箇所における掃流砂観測結果と掃流砂量公式による閾値線

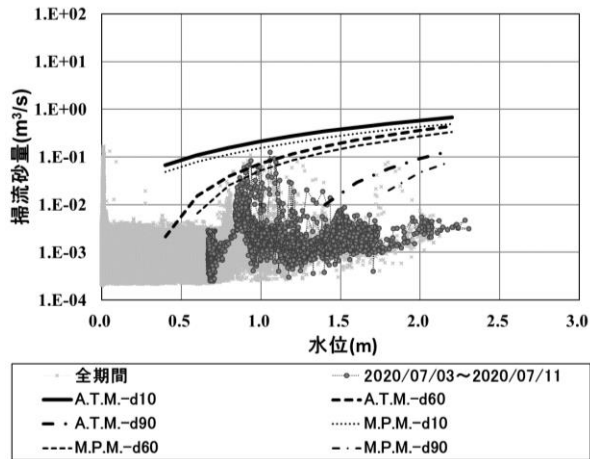


図-5.1 川原樋川上流流砂観測箇所における
掃流砂観測結果と掃流砂量公式による閾値線

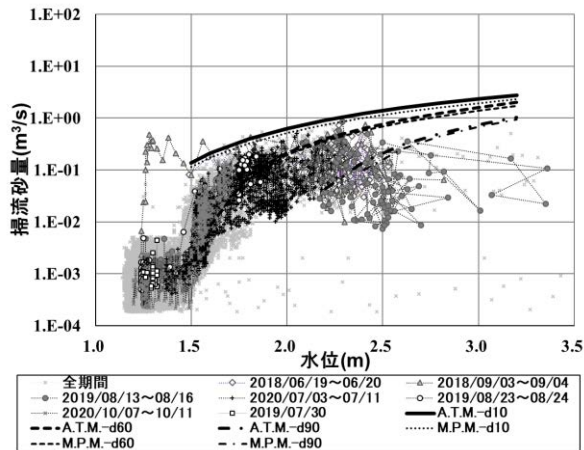


図-5.2 川原樋川下流流砂観測箇所における
掃流砂観測結果と掃流砂量公式による閾値線

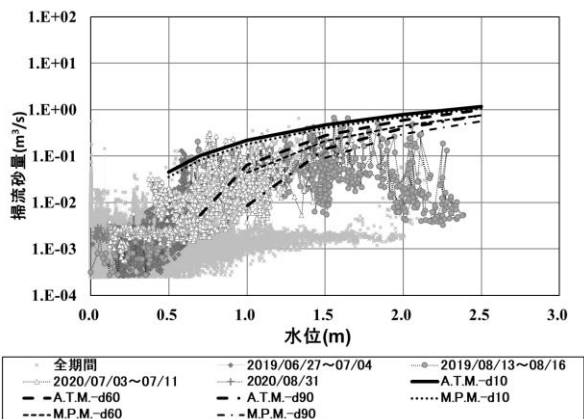


図-5.3 三越川流砂観測箇所における
掃流砂観測結果と掃流砂量公式による閾値線

ヒステリシスループを検出するために、観測されたヒステリシスループと、A.T.M式およびM.P.M式の各掃流砂量公式の平均粒径を変化させた閾値線を図-4に示す。なお、図には、観測所周辺の粒度分布からおおよその粒径を示す際によく用いられる10%、60%、90%の粒径に加え、85%粒径を用いた線をそれぞれd10、d60、d85、d90として示し、各粒径の限界掃流力となる水位以下の領域は対象外として作図した。熊野川で観測された左回りヒステリシスループとそれ以外の平常時出水における水位と掃流砂量のヒステリシスを切り分けるために掃流砂量公式や平均粒径を変化させて、平常時のヒステリシスと比較した結果、その上限値を包絡しつつ、平常時のヒステリシスと、2018年8月の土砂流による左回りヒステリシスループを分離ための境界となる閾値線は、平均粒径d85を適用したA.T.M式が最適であることがわかった。一方でM.P.M式による閾値線は、イベント発生時の上限付近に位置し、その他の観測結果と離れていた。なお、この時の平均粒径d85はあらかじめ流砂観測箇所近傍で行った粒度分布調査結果に基づき設定している。

また、明瞭な左回りヒステリシスループが確認できなかった熊野川以外の流砂観測箇所について、ヒステリシスループと閾値線の関係を図-5.1~3に示す。最適な掃流砂量公式や粒径には多少のばらつきがあるが、限界掃流力となる水位以上を対象とすると、掃流砂量公式を用いた閾値線は、各観測箇所の平常時のヒステリシスを概ね包絡していることから、掃流砂量公式を用いた閾値線で異常時の土砂流出を分離できる可能性が示唆された。特に、熊野地区以外の三越川、川原樋川上流（池津川合流）、川原樋川下流（赤谷川合流）の3箇所の流砂観測箇所では、共通して、A.T.M式による平均粒径d10の掃流砂量が平常時のヒステリシスを概ね包絡していた。左回りヒステリシスループが確認できなかった箇所においても掃流砂量公式を用いた異常時の土砂移動の抽出が期待できる結果となった。

4. 考察

(1) 流砂水文観測データを用いた土砂移動検知の可能性

本研究では、鬼怒川水系大谷川における土石流発生時の左回りヒステリシスループ解析事例を先行研究として参照し、管内の流砂観測データにおける掃流砂量公式を用いた異常な土砂流出時のヒステリシス検出を試みた。これまでの流砂観測データを解析した結果、平常時の多くの出水では、ヒステリシスが掃流砂量公式

を上限とする範囲内を通過することが確認された。また、1事例だけであったが、平常時のヒステリシスを包絡する閾値線を超過し、左回りヒステリシスループが確認されたことから、管内の流砂観測箇所においても、異常な土砂移動を検知できる可能性が示唆された。熊野川での出水では85%粒径で、A.T.M.式で土砂移動を検知できるという結果になったが、どの大きさの粒径でどの掃流砂量公式を使うと良いかは流域によって異なると考えられる。熊野川以外の流砂観測箇所では異常な土砂移動が観測されていないため、引き続き、流砂観測を継続するとともに、他流域の流砂観測データと観測箇所近傍の粒径をA.T.M.式にあてはめた閾値線とを比較することで、適用性と課題が確認できると考える。

(2) 流砂観測に基づく土砂移動検知技術の課題

本研究で用いた音圧式データによる掃流砂量はデータ容量が大きいことから、現行ではネットワークを用いたテレメータ化ができておらず、作業員が定期的に現地に設置したロガーからデータを回収して持ち帰ってパソコンで解析をしている。上流域で検知した異常な土砂移動をリアルタイムで解析し、下流域の警戒避難に活用するためには、音圧式データの軽量化や、現地でデータを解析する手段を検討する必要がある。

また、異常な土砂移動による左回りヒステリシスループの検知には、今回報告した掃流砂量公式を用いた閾値線を超過したことを判定する仕組みと合わせて、ヒステリシスループが実際に左回りをしているかどうかを判定する仕組みが必要となる。

5. おわりに

全国の直轄砂防事務所にて流砂観測を開始してから古いところでは数十年が経過し、流域の土砂動態把握や総合土砂管理の検討のための観測の他に、警戒避難としての流砂量観測について活用が期待される。本研究では、水位と掃流砂量のヒステリシスに注目して、異常な土砂移動の検知技術の実用化に向けて、観測データを用いた閾値の設定について検討した。流砂観測データに基づく警戒避難情報等の情報提供の実用化に向けては、流砂観測データを蓄積し、土砂流出とヒステリシスの関係、ヒステリシス発生の要因の検討が必要である。そのためには、紀伊山系のみならず、全国の流砂観測データを用いたヒステリシス解析や基準線設定の検

討が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 井元成治, 岡野和行, 吉安征香, 井之本信, 小竹利明, 山田拓, 柴田俊, 木下篤彦: 熊野川流域における流砂水文観測データに基づく土砂移動状況の把握(その2), 2020年度砂防学会研究発表会概要集, pp.719-720, 2020.
- 2) 堤大三, 水山高久, 野中理伸, 藤田正治, 志田正雄: 山地流域における土砂動態の定量的モニタリング手法の開発, 京都大学防災研究年報, 第51号B, pp.661-668, 2008.
- 3) 中谷洋明, 鶴田謙次, 吉村暢也: 手取川上流域でのハイドロフォンを用いた流砂量観測及び解析, 砂防学会誌, Vol.60, No.3, pp.20-25, 2017.
- 4) 田方智, 長山孝彦, 後藤健, 伊藤隆郭, 水山高久, 三上幸三, 越野正史, 奥井淳: 常願寺川における縦断的な掃流砂観測と津之浦下流砂防堰堤での集中観測, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集 As, pp.224-225, 2013.
- 5) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 山地河道における流砂水文観測の手引き(案), 国土交通省国土技術政策総合研究所資料, No.686, 2012.
- 6) 池田幸太郎, 長井斎, 松原智生, 田島規雄, 光永健男, 佐藤勇, 斎藤一裕: 流砂量自動観測装置が捉えた日光大谷川(稲荷川)の土石流発生事象, 平成25年砂防学会研究発表会概要集 B, pp.276-277, 2013.
- 7) Uchida, T., Sakurai, W., Iuchi, T., Izumiyama, H., Borgatti, L., Marcato, G. and Pasuto, A.: Effects of episodic sediment supply on bedload transport rate in mountain rivers. Detecting debris flow activity using continuous monitoring, *Geomorphology*, Vol. 306, 1, pp. 198-209, 2018.
- 8) 今泉文寿, 山本享, 土屋智, 逢坂興宏: 荒廃小流域における掃流砂・浮遊砂の流出実態—直接採取法による実態把握と流出機構の考察—, 砂防学会誌, Vol.57, No.6, pp.13-20, 2005.
- 9) 桜井亘, 内田太郎, 泉山寛明, 井内拓馬, 杉山実, 松田悟, 伊藤隆郭: 流砂水文観測から得られた異常な土砂生産時の掃流砂流出特性と観測結果の山地流域監視への適用について, 砂防学会誌, Vol.72, No.2, pp.25-31, 2019.
- 10) 芦田和男, 高橋保, 水山高久: 山地河川の掃流砂量に関する研究, 砂防学会誌(新砂防), Vol.30, No.4, pp.9-17, 1978
- 11) Meyer-Peter, E. and Müller, R.: Formulas for bed-load transport, Proc. 2nd IAHR Meeting, Stockholm, pp. 39-64, 1948.

室内人工降雨実験によるカメラ画像から 雨量強度を推定する手法の検討

STUDY ON ESTIMATION METHODS OF THE RAINFALL INTENSITY BASED
ON CAMERA IMAGES BY THE ARTIFICIAL RAINFALL EXPERIMENTS

木下 篤彦¹・海原 荘一²・井深 真治³・北本 楽⁴・中谷 洋明⁵・金澤 瑛⁵
Atsuhiko KINOSHITA, Soichi KAIHARA, Shinji IBUKA, Gaku KITAMOTO, Hiroaki NAKAYA
and Akito KANAZAWA

¹国土交通省国土技術政策総合研究所(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番6号)

²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丁目1番21号)

³株式会社ブレインズ(〒158-0094 東京都世田谷区玉川2丁目27番8号)

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
(〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6号)

⁵国土交通省国土技術政策総合研究所(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

Key Words: *rainfall intensity, image analysis, artificial rainfall, luminance, fast Fourier transform*

1. はじめに

2011年台風第12号により、紀伊半島では土砂災害により大きな被害が発生した。災害復旧工事実施箇所では、再度発生する斜面崩壊や土石流により、工事従事者に被害が出るおそれもある。また、工事を実施していない夜間でも、崩壊や土砂流出が発生すると下流域の住民に被害が発生するおそれもある。このため、水位計や監視カメラ等の監視・観測体制を強化するとともに¹⁾、これらのデータを周辺自治体や住民に広く周知し、土砂移動発生時に速やかな避難を促す必要がある。

監視・観測技術のうち、近年比較的安価かつ簡便な手法として、監視カメラを活用した画像解析技術の進歩がめざましい²⁾⁵⁾。例えば、カメラを活用した土砂移動を検知するシステムとして、輝度の変化から検知する方法²⁾³⁾と色調の変化から検知する方法⁴⁾等が提案されている。その他、金澤ら⁵⁾は、砂防が対象とするような山地流域において CCTV(監視カメラ)の画像を用いて、降雨強度を推定する手法を提

案しており、降雨強度が大きくなるにつれ輝度も大きくなることが示された。また、精度向上のポイントとして、背景の輝度が小さい(暗い)こと、カメラから背景までの距離が長いこと、解析領域の設定サイズを大きくしすぎないこと、の3点を挙げている。なお、画像による雨量推定は、降雪や火山噴火により地上雨量計による雨量観測が困難な場合に、代替手段とできる可能性がある。また、CCTVカメラのネットワークにより、降雨現象の映像の連続的な取得が可能となることも利点である。

一方で、夜間の映像に対する研究事例が少ない。これは、夜間は照明を照射しても監視対象物の視認性が低いこと等が理由として挙げられる。しかし、過去の土砂災害の多くは夜間に発生しており、夜間の監視・観測技術の研究が求められている。降雨強度は雨滴径分布とその落下速度の総積和であり、現象解明には少なくともこの2つの面を検出できる測器が必要となる。本研究では、夜間を対象に、CCTVの解像度と感光特性の制約の下で、見え方(視程)の特性から、降雨現象の結果として得られる地上の降

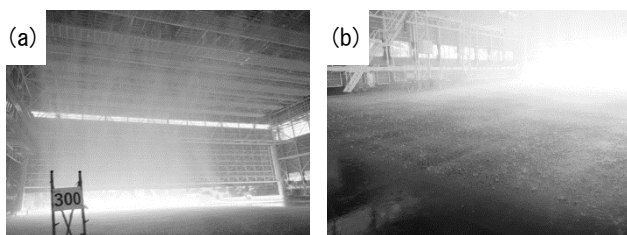


写真-1 予備実験（昼間）の際（300mm/h）の実験施設での降雨の様子。(a)施設内の全景、(b)路面の様子。

雨強度を推定する手法について検討した。

本研究では、夜間に室内で降雨強度と照明の個数や位置・強さを变化させた人工降雨実験を行い、その映像を撮影した。画像の輝度から求まる2指標について、指標値と降雨強度との関係を分析した。指標値と降雨強度の相関性から、今後の夜間の降雨強度の推定精度を高めるための照明条件や最適な指標について提案する。

2. 室内での人工降雨実験の概要

輝度による夜間での雨量推定手法を確立すること、照明条件の違いによる推定精度への影響確認を目的として、室内での人工降雨実験を行った。実験は2021年10月4～7日（4日間）にて、国立研究開発法人防災科学技術研究所の大型降雨実験施設で行った。実験では約20mの高さから径の異なる4種類のノズルを使って雨を降らせ、目標とする降雨強度を15, 75, 135, 300mm/hの4条件とした。降雨強度については、実験施設の能力により設定した。実験中は10秒に1回ディストロメータにより降雨強度をチェックした。

写真-1に予備実験として昼間に実施した約300mm/hの時の実験施設の様子を示す。照明については、照明の位置や強度、角度等を様々に变化させた24ケース（図-1～24）を行い、CCTVと同等の諸元のHD-SDIカメラを用いて、1ケース1降雨強度当たり約2分間の映像データを取得した。図-1～24では、カメラ・照明の配置と約300mm/h（実際の各ケースの雨量は図中に記載）の時の画像を示す。

24ケースについて、Case 0は街灯がある状況下でカメラの照明を使用していない状況を、Case 1は、カメラに付属の照明を使用した状況を再現した実験である。Case 2～7は、Case 1のカメラに追加で照明の位置や方向、照明の色の種類などの条件を変えて追加照明を設置した実験である。Case 8～10は照明台数を変えた実験である。Case 11・12は着色したフィルム（赤・青）を照明に付けて照明の光の波長を変

えた実験である。Case 13～15は照明の照射角度を、Case 16・17は光源の台数を、Case 18～20は照明の照射方向を変化させた実験である。Case 21～23は背景が黒一色になるよう背景の黒いカーテン部分を拡大（ズーム）して撮影を行った実験である。

3. 降雨強度推定のための指標

夜間に雨の中、照明を当てると雨は線状の映像となり、雨量が増えるほど光が反射して明るい画像となる。また、降雨は鉛直に近い方向を主体とする方向性をもって降っていると考えられる。このため、画像の輝度値を周波数解析とフィルタにより、方向ごとに輝度のパワースペクトルを計算することで降雨強度を推定する。

図-25に、降雨映り込み映像の例と2次元周波数解析の結果を示す。ほぼ鉛直下方向に降る雨は周波数解析によってほぼ水平に近い強いスペクトルとなる。一方、虫の飛来は鉛直方向に移動するとは限らないため、水平以外の方向の弱いスペクトルとなる。

図-26に方向性ヒストグラムの算定フローを示す。具体的には映像の2次元周波数解析の結果を180個の1度ごとの方向性フィルタで処理し、角度1度ごとの輝度値のヒストグラム（方向性ヒストグラム）を求める。また、背景の構造材の影響等を低減するため、1枚の映像に対し、ガウジアンフィルタでぼかす処理を行った映像のヒストグラムとの差分を求め、そこから降雨特徴量を算定した。本研究では、降雨量推定指標として、特徴量1（ヒストグラムピーク値/半値全幅）と、特徴量2（方向性ヒストグラムの $\Sigma 90^{\circ} \pm 20^{\circ}$ ）を提案する。特徴量1は、ヒストグラムの集中度を示す指標である。雨が強くなるほどある方向に降雨角度が集中し、スペクトルのピークが大きく、幅も狭くなる可能性があると考えた（図-27）。特徴量2は、予備的に実施した各ケースの方向性ヒストグラムから、雨粒の降下が鉛直方向 $\pm 20^{\circ}$ 程度に収まると考えて提案した指標である（図-28）。

4. 指標とした特徴値と降雨強度との相関性

各ケースについて、特徴量1・2と降雨強度との関係を整理した。なお、関係性を整理する上で、背景の影響を受けると考え、図-29のようにROI (Region of Interest) 1～4を設定し、それぞれについて関係性を整理するとともに、画像全体との相関性についても合わせて整理した。

表-1に、降雨強度と特徴量1・2との相関性に関

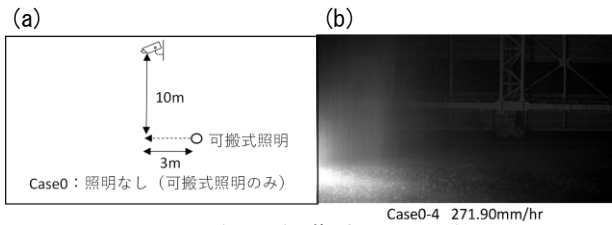


図-1 Case 0 : 照明なし (可搬式照明のみ).

(a) 配置図, (b) 271.90mm/h の時の画像.

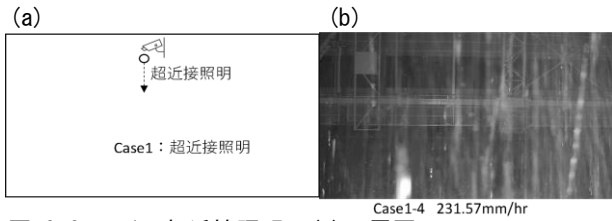


図-2 Case 1 : 超近接照明. (a) 配置図,

(b) 231.57mm/h の時の画像の時の画像.

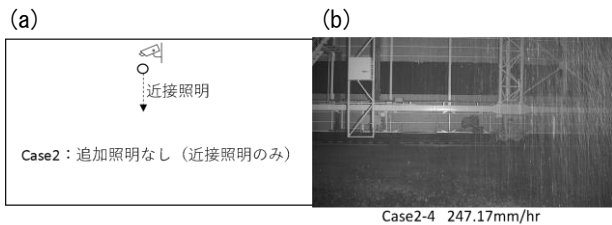


図-3 Case 2 : 追加照明なし (近接照明のみ).

(a) 配置図, (b) 247.17mm/h の時の画像の時の画像.

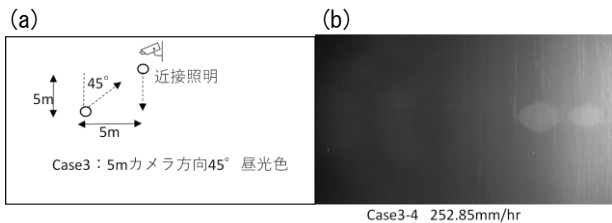


図-4 Case 3 : 5m カメラ方向 45° (昼光色).

(a) 配置図, (b) 252.85mm/h の時の画像の時の画像.

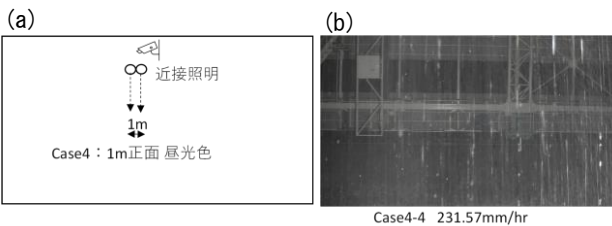


図-5 Case 4 : 1m 正面 (昼光色). (a) 配置図,

(b) 231.57mm/h の時の画像の時の画像.

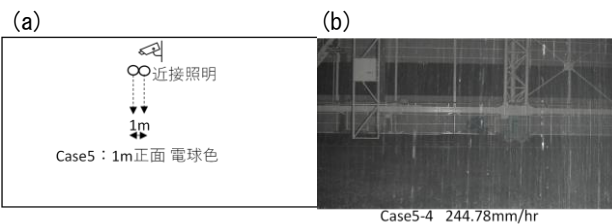


図-6 Case 5 : 1m 正面 (電球色). (a) 配置図,

(b) 244.78mm/h の時の画像の時の画像.

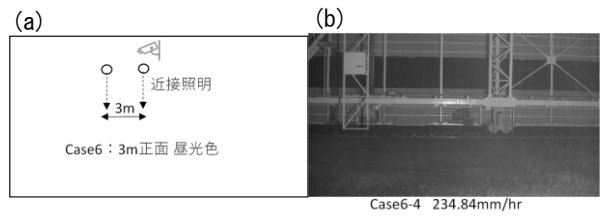


図-7 Case 6 : 3m 正面 (昼光色). (a) 配置図,

(b) 234.84mm/h の時の画像.

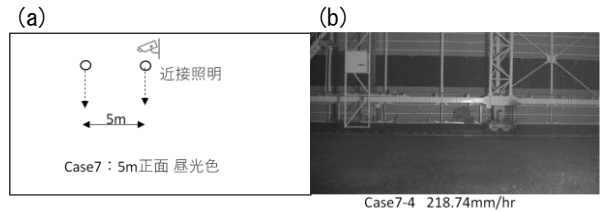


図-8 Case 7 : 5m 正面 (昼光色). (a) 配置図,

(b) 218.74mm/h の時の画像.

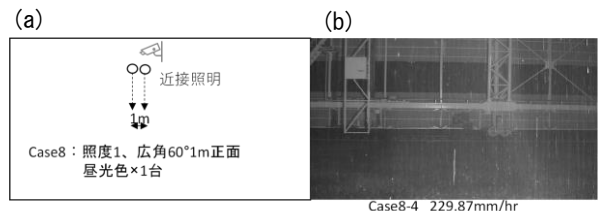


図-9 Case 8 : 照度 1, 広角 60° 1m 正面 昼光色 × 1 台.

(a) 配置図, (b) 229.87mm/h の時の画像.

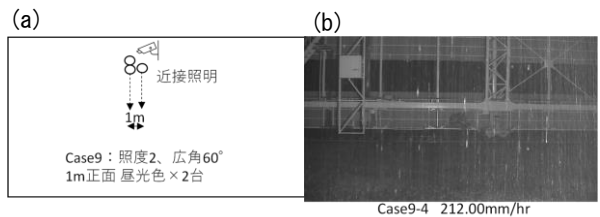


図-10 Case 9 : 照度 2, 広角 60° 1m 正面 昼光色 × 2 台.

(a) 配置図, (b) 212.00mm/h の時の画像.

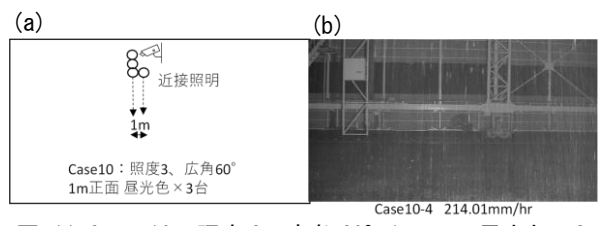


図-11 Case 10 : 照度 3, 広角 60° 1m 正面 昼光色 × 3 台.

(a) 配置図, (b) 214.01mm/h の時の画像.

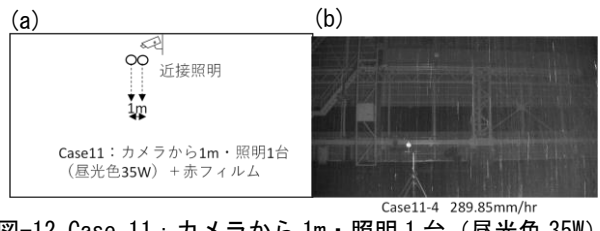


図-12 Case 11 : カメラから 1m・照明 1 台 (昼光色 35W)

+ 赤フィルム. (a) 配置図, (b) 289.85mm/h の時の画像.

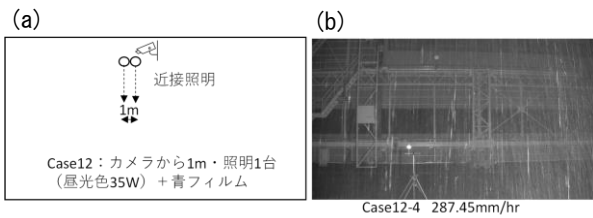


図-13 Case 12 : カメラから 1m・照明 1 台 (昼光色 35W) + 青フィルム. (a) 配置図, (b) 287. 45mm/h の時の画像.

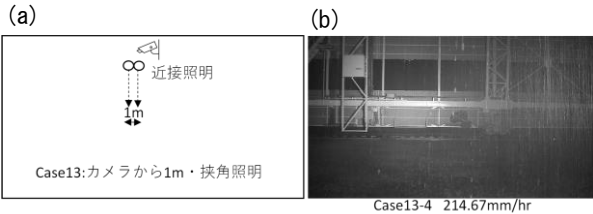


図-14 Case 13 : カメラから 1m・挟角 (28°) 照明. (a) 配置図, (b) 214. 67mm/h の時の画像.

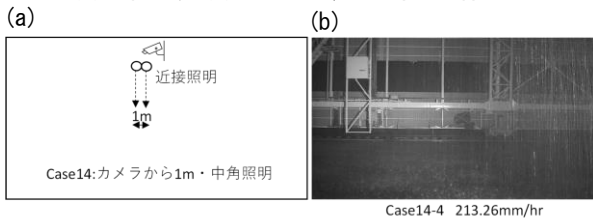


図-15 Case 14 : カメラから 1m・中角 (48°) 照明. (a) 配置図, (b) 213. 26mm/h の時の画像.

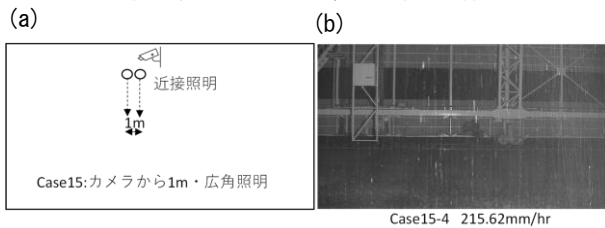


図-16 Case 15 : カメラから 1m・広角 (104°) 照明. (a) 配置図, (b) 215. 62mm/h の時の画像.

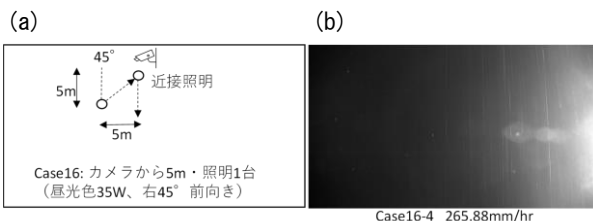


図-17 Case 16 : 光源 1 台 (昼光色 35W, 右 45° 前向き). (a) 配置図, (b) 265. 88mm/h の時の画像.

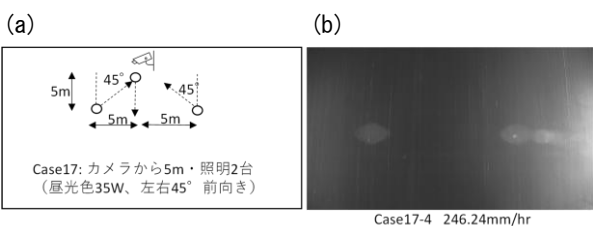


図-18 Case 17 : 光源 2 台 (昼光色 35W, 左右 45° 前向き). (a) 配置図, (b) 246. 24mm/h の時の画像.

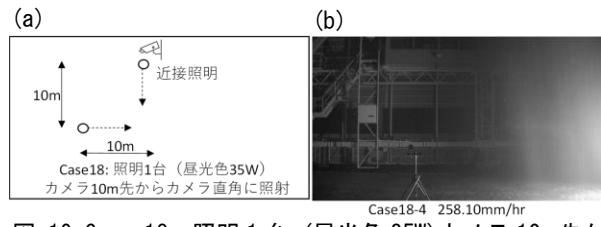


図-19 Case 18 : 照明 1 台 (昼光色 35W) カメラ 10m 先からカメラ直角に照射. (a) 配置図, (b) 258. 10mm/h の時の画像.

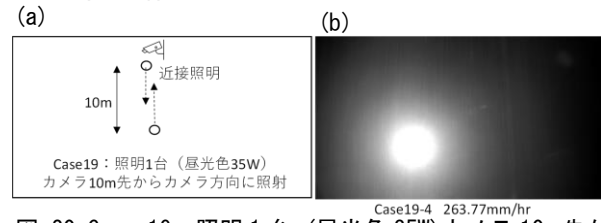


図-20 Case 19 : 照明 1 台 (昼光色 35W) カメラ 10m 先からカメラ方向に照射. (a) 配置図, (b) 263. 77mm/h の時の画像.

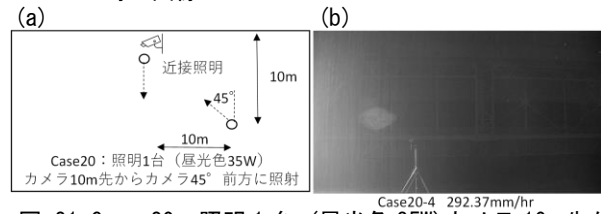


図-21 Case 20 : 照明 1 台 (昼光色 35W) カメラ 10m 先からカメラ 45° 前方に照射. (a) 配置図, (b) 292. 37mm/h の時の画像.

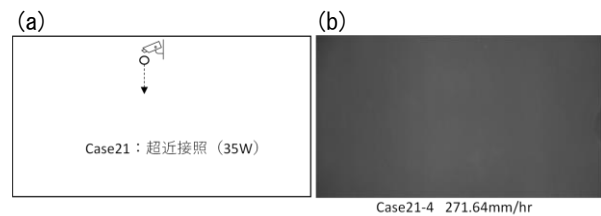


図-22 Case 21 : Case 1 (超近接照明) の背景のカーテンアップ. (a) 配置図, (b) 271. 64mm/h の時の画像.

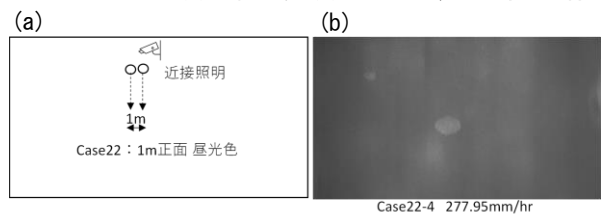


図-23 Case 22 : Case 4 (1m 正面 昼光色) の背景のカーテンアップ. (a) 配置図, (b) 277. 95mm/h の時の画像.

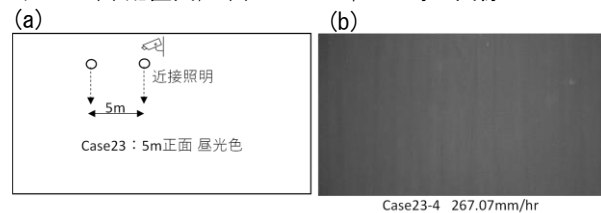


図-24 Case 23 : Case 7 (5m 正面 昼光色) の背景のカーテンアップ. (a) 配置図, (b) 267. 07mm/h の時の画像.

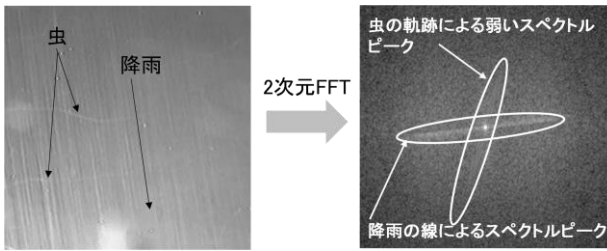


図-25 降雨映り込み映像の2次元周波数解析の結果

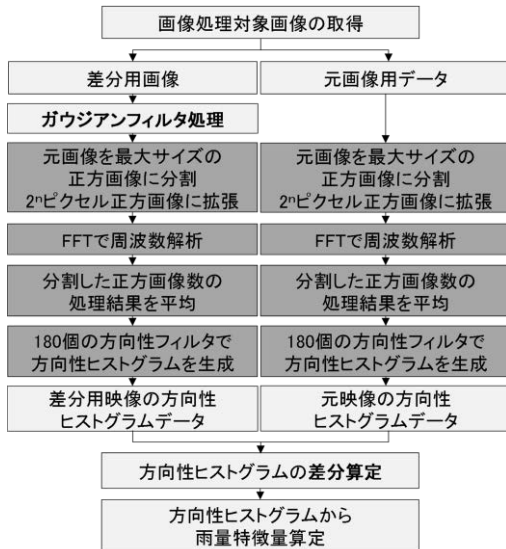


図-26 方向性ヒストグラムの算定フロー

する結果を示す。なお、「正の相関性あり」の定義は、寄与度で $r \geq 0.5$ (相関係数 ≥ 0.7) のものを示しており、定義に合致する ROI もしくは画角全体を表示している。定義に合致する ROI (画角全体) の無い Case は、「相関性なし」と表示している。

- Case 8~10 のように照明の台数を変化させても、特徴量と降雨強度の関係性の傾向に変化はないが、特徴量の値自体は変化した。
- カメラ側に向けて照明を照射した Case 16・17・19・20 でも特徴量と降雨強度の関係に、一部の特徴量・ROI に正の相関性が見られたが、監視対象となる背景は見えづらくなった。
- 青色や赤色のように照明の光の波長を変化させた Case 11・12 では、特徴量と降雨強度との関係は大きな変化はなかった。
- 全体的に特徴量 1 よりも特徴量 2 の方が、降雨強度との相関が高かった。
- 映像全体よりも背景が黒い (暗い) ROI (ROI 2・4) の方が相関性は高かった。
- 背景に水平・斜め方向の構造部材の多い ROI 1 では、多くの Case で特徴量 1・2 とともに降雨強度との相関性が低かった。原因としては、ガウジアンフィルタ画像との差分映像では十分背景の影響が除去できなかったことが影響している可能性がある。

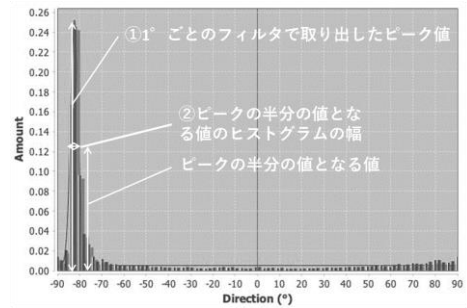


図-27 特徴量 1 (ヒストグラムピーク値/半値全幅)

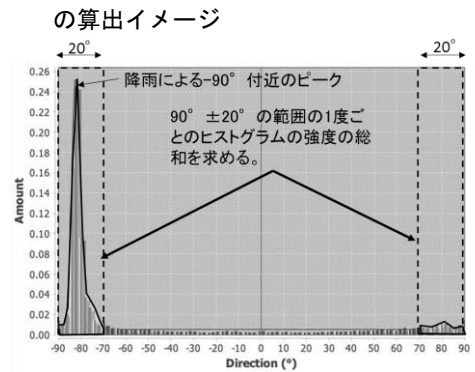


図-28 特徴量 2 (方向性ヒストグラムの $\Sigma 90^\circ \pm 20^\circ$)

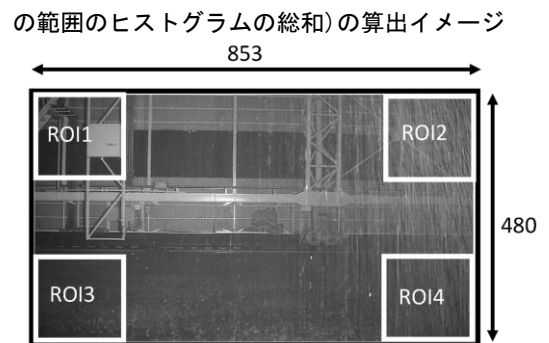


図-29 背景のパターンとする4ケースの関心領域 (ROI)。なお、数字の単位はピクセル。

- 特徴量と降雨強度の関係性が最も線形に近く、かつ特徴量が降雨強度によって大きく増加するのは、特徴量 2 を指標とした場合の Case 1 (超近接照明) であった (図-30)。これが最適であると判断される。

5. おわりに

実際の降雨は、風や地形条件によって、ある程度の角度をもって降る。今後は、屋外で、豪雨時のカメラ画像を取得し、降雨の角度に関するデータを増やす。これにより、特徴量 2 の妥当性を検証するとともに、降雨強度推定技術の精度を向上させる。また、降雨の有無判定に与える日照、明暗度等の条件を整理し、強度推定の信頼性を高める。さらに、降雨強度だけでなく、土砂移動検知技術も含めた、一石二鳥となるような画像解析技術の確立を図る。

表-1 Case ごとの特徴量 1 (ヒストグラムピーク値/半値全幅 (FWHM : 最大値の半分の値となるスペクトル幅))・

特徴量 2 (方向性ヒストグラムの $\Sigma 90^\circ \pm 20^\circ$ の範囲のヒストグラムの総和)と降雨強度との相関関係の結果

Case	特徴量 1	特徴量 2
Case 0 : 照明なし (可搬式照明のみ)	相関性なし	相関性なし
Case 1 : 超近接照明	相関性なし	ROI 2~4 で正の相関性あり
Case 2 : 追加照明なし (近接照明のみ)	相関性なし	ROI 3 で正の相関性あり
Case 3 : 5m カメラ方向 45° (昼光色)	ROI 2・4 で正の相関性あり	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 4 : 1m 正面 (昼光色)	相関性なし	ROI 2~4 で正の相関性あり
Case 5 : 1m 正面 (電球色)	ROI 4 で正の相関性あり	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 6 : 3m 正面 (昼光色)	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 7 : 5m 正面 (昼光色)	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 8 : 照度 1, 広角 60° 1m 正面 昼光色×1 台	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 9 : 照度 2, 広角 60° 1m 正面 昼光色×2 台	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 10 : 照度 3, 広角 60° 1m 正面 昼光色×3 台	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 11 : カメラから 1m・照明 1 台 (昼光色 35W) +赤フィルム	相関性なし	ROI 1~4・画角全体で正の相関性あり
Case 12 : カメラから 1m・照明 1 台 (昼光色 35W) +青フィルム	相関性なし	ROI 1~4・画角全体で正の相関性あり
Case 13 : カメラから 1m・狭角 (28°)照明	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 14 : カメラから 1m・中角 (48°)照明	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 15 : カメラから 1m・広角 (104°)照明	相関性なし	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 16 : 光源 1 台 (昼光色 35W, 右 45° 前向き)	ROI 2・4 で正の相関性あり	ROI 2・4 で正の相関性あり
Case 17 : 光源 2 台 (昼光色 35W, 左右 45° 前向き)	ROI 1~4・画角全体で正の相関性あり	ROI 1~4・画角全体で正の相関性あり
Case 18 : 照明 1 台 (昼光色 35W) カメラ 10m 先からカメラ直角に照射	相関性なし	相関性なし
Case 19 : 照明 1 台 (昼光色 35W) カメラ 10m 先からカメラ方向に照射	相関性なし	ROI 1・3・4 で正の相関性あり
Case 20 : 照明 1 台 (昼光色 35W)カメラ 10m 先からカメラ 45° 前方に照射	相関性なし	ROI 1・3 で正の相関性あり
Case 21 : Case 1 (超近接照明)の背景のカーテンアップ	相関性なし	相関性なし
Case 22 : Case 4 (1m 正面 昼光色)の背景のカーテンアップ	相関性なし	相関性なし
Case 23 : Case 7 (5m 正面 昼光色)の背景のカーテンアップ	相関性なし	相関性なし

参考文献

- 1) 木下篤彦, 北本 楽, 山越隆雄, 中谷洋明, 海原荘一, 荒木義則 : 2011 年紀伊半島大水害で深層崩壊により発生した河道閉塞箇所の監視・観測手法, 環境システム計測制御学会誌, 26 巻, 4 号, pp.60-66, 2022.
- 2) 柴田 俊, 小竹利明, 山田 拓, 木下篤彦, 中谷洋明, 金澤瑛, 海原荘一, 井深真治 : 輝度の差分映像による斜面崩壊・土石流の検知と降雨・夜間の監視映像の鮮明化, 第 10 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.79-84, 2020.
- 3) 木下篤彦, 海原荘一, 井深真治, 北本 楽, 中谷洋明, 金澤瑛, 山越隆雄 : CCTV 画像の平均輝度差分値に基づく災害検知システムの開発, 河川技術論文集, 28 巻, pp.13-18, 2022.
- 4) 五十嵐和秀, 水谷 佑, 木下篤彦, 井深真治, 肥後明豪, 池島剛, 秋田寛己, 水野秀明 : 画像の RGB 空間における濁水の立体分布と 3 次元ベクトル空間モデルを用いた流況変化検知手法の基礎的検討, 砂防学会誌, 71

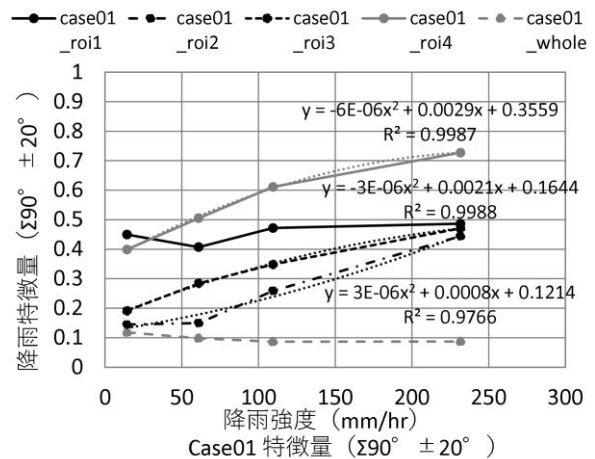


図-30 Case 1 (超近接照明)の降雨強度と特徴量 2 との関係

- 5) 金澤 瑛, 内田太郎, 中谷洋明 : 監視カメラ画像の画素値を用いた降雨強度の推定, 砂防学会誌, 74 巻, 3 号, pp.37-48, 2021.

地層境界が存在する那智川支川流域における 渓流水の水質形成機構と表層崩壊発生検知への 応用に向けた予察

STUDY ON WATER QUALITY FORMATION MECHANISM OF MOUNTAIN
STREAM WATER IN THE NACHI RIVER TRIBUTARY BASIN WHERE THE
GEOLOGICAL BOUNDARY EXISTS AND ITS APPLICABILITY FOR DETECTION
OF SHALLOW LANDSLIDE

竹下 航¹・巽 隆有²・豊福 恒平²・松澤 真³・北本 楽¹・木下 篤彦¹
Wataru TAKESHITA, Takakuni TATSUMI, Kouhei TOYOFUKU, Makoto MATSUZAWA,
Gaku KITAMOTO and Atsuhiko KINOSHITA

¹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）

²パシフィックコンサルタンツ株式会社 大阪本社（〒530-0004 大阪市北区堂島浜1-2-1）

³公益財団法人深田地質研究所（〒113-0021 東京都文京区本駒込2丁目13番12号）

Key Words: shallow landslide, electric conductivity, hydrological survey, geological boundaries

1. はじめに

2011年台風第12号に伴う大雨により、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町を流れる那智川流域では、表層崩壊が多発し、下流域において甚大な被害が発生した¹⁾。土石流の多くは上流部の崩壊に起因しており、上流部において表層崩壊が発生するおそれのある斜面を抽出することや、表層崩壊により発生した渓流内の土砂の堆積をいち早く捉えることが、被害軽減を図るために必要である。

那智川流域で発生した表層崩壊は、地層境界周辺で多数発生したことが指摘されている²⁾。また、地層境界がある場合、境界に沿った地下水の流れが生じ、地下水位が上昇することが浸透流解析によって示されている³⁾。このように那智川流域では、地層境界付近の水文挙動が表層崩壊の発生に大きく関係し、地質構造や水文特性に着目した表層崩壊危険箇所抽出について検討がされている⁴⁾。

那智川で表層崩壊が発生した場合、地層境界等の

斜面内部からの水の流入が発生している可能性があることに加え、崩土が渓流内に堆積することや新鮮な基盤岩が露出するため、渓流水の溶存イオン濃度等の明瞭な水質変化が生じると想定される。このため、渓流水中の溶存イオンの総量であるECが変化すると考えられ、渓流出口や地層境界付近で簡易にECを連続観測することで、土石流の発生源となり得る渓床堆積物の堆積状況等を把握できる可能性がある。

そこで本研究では、渓流水の水質調査や岩石試料の溶出試験を実施して、那智川流域鳴子谷川の水質形成機構と、水質観測による渓流内の崩壊源の推定について検討するとともに、予察的に表層崩壊発生検知への利活用の可能性について検討した。

2. 調査地と調査方法

(1) 調査地の概要

那智川は、那智山を源流として那智湾へ注ぐ、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町に分布する二級河川であ

る。地質図⁵⁾、人工改変地・溪床堆積物の分布⁶⁾を記した那智川流域の概要を図-1に示す。那智川流域の地質は、新第三紀堆積岩の熊野層群（泥岩・砂岩主体）の上に貫入岩である熊野酸性岩類（花崗斑岩）が覆う特殊な構造となっている⁷⁾。花崗斑岩が分布する上流域（高標高部）は起伏に富んでいることが特徴であり、一方で下流域（低標高部）は緩やかな地形を有している。これは地質分布に規制された地形発達であると考えられ、起伏に富んだ範囲は熊野酸性岩類（花崗斑岩）、緩やかな地形は熊野層群（堆積岩）から構成される。海成層である熊野層群の泥岩には、黄鉄鉱が含まれることが知られており、新鮮な泥岩が風化すると黄鉄鉱から硫酸が形成され、それに伴い、溶存イオン、pHに変化が生じる。そのため、崩壊により新鮮岩が露出した場合、花崗斑岩地域よりも溶存イオンに変化が生じる可能性が高い。そこで、泥岩が多く分布し、アクセス性の良い鳴子谷川を対象として調査を実施した。

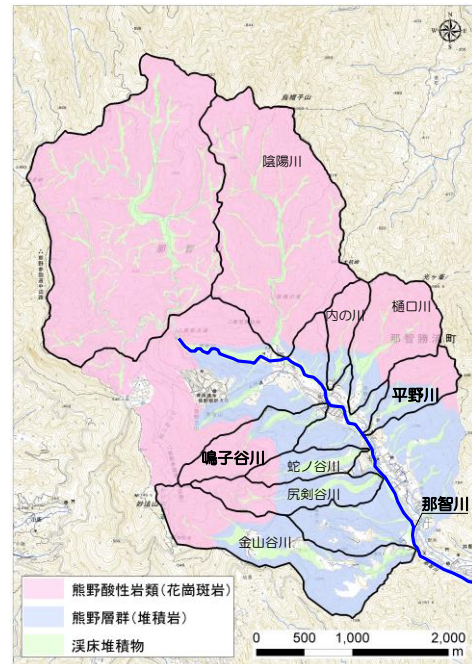


図-1 那智川流域の概要（地理院地図に加筆）

(2) 調査方法

a) 渓流水の水質分析

鳴子谷川の渓流水の平常時の水質の経時変化を把握することを目的として、図-2に示した3箇所（地点①、②、③）で2020年8月～2022年4月にかけて定期的に採水を実施し、採水試料のpHおよびECの簡易水質分析を実施した。平常時との比較のため、台風接近時の2020年10月9日14時～10日13時までの間については1時間間隔で採水を実施し、同様の簡易水質分析を実施した。比較した期間の雨量の経時変化を図-3に示す。上流の地点①は花崗斑岩主体の地質、中流の地点②は花崗斑岩と泥岩の地層境界付近、下流の地点③は泥岩主体の地質となっている。

また、平常時と豪雨時における渓流水の水質を比較するため、図-2に示した3箇所（地点①、②、③）で平常時と豪雨時に渓流水を採水し、表-1に示す分析項目について水質分析を実施し、図-4に示すヘキサダイアグラムおよびトリリニアダイアグラムによる水質区分を行った。

b) 花崗斑岩・泥岩試料を用いた溶出試験

ECが高くなる要因としては、地下水が地山中を流下して地山中のイオン等を取り込むためであり、岩種によって湧水等に含まれる主要なイオンが異なることが想定される。また、風化の程度により岩石中の鉱物の崩壊状況が異なるため、各種イオンの溶解度が異なることが想定される。泥岩等の海成堆積岩は、堆積時に海水中の硫酸根等を取り込むことで黄鉄鉱を含有することがあり、新鮮な岩盤に亀裂等が

生じると、亀裂に沿って酸素や水が供給されることで黄鉄鉱が酸化され、硫酸酸性化を呈する可能性があり、これによりpHが変化して各種イオンの溶解度も異なることが想定される。このため、岩石の基礎的性状や岩種や風化の有無、酸性化等による溶出特性を把握するため、鳴子谷川から花崗斑岩と泥岩の岩石試料を採取（図-2）し、溶出試験を実施した。

花崗斑岩および泥岩ごとに簡易ボーリングマシンで試料採取を行った。採取した花崗斑岩は、灰色部、茶色部、皮殻部、マサ部の4つに区分⁸⁾した。泥岩は鳴子谷川の河床から採取し、灰色の新鮮な部分と若干白色に変質しているものを風化部に区分した。

区分した岩石試料ごとに、概ね1～2mm程度に破碎を行い、6試料に分取し、1試料は採取時点の状態を確認することを目的とし、溶出試験を実施した。残る5試料については、酸化と溶出傾向の関係を把握することを目的とし、日本土壤肥料学会の土壤分析法に示される保温静置法を参考とし、分取した試料ごとに加水しポリエチレン袋に入れ30℃の恒温器で保管し、各期日（1日、3日、7日、14日、28日）で溶出試験を実施した。

なお、本試験では、岩石試料からの溶出傾向を把握することを目的としていることから、短期溶出試験（建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）を参照）により溶出量を把握した。

c) 地下水試料の水質分析

渓流水の水質がどの層の地下水で構成されているか

を把握することを目的とし、花崗斑岩層および泥岩層の地下水を採水・分析した。鳴子谷川の近隣で地下水観測を実施している平野川流域では、花崗斑岩と泥岩の地層境界付近の地下水位を対象として、観測深度が異なる各4孔の観測孔がそれぞれ設置されている。これらの地下水観測孔のうち、花崗斑岩および泥岩層の地下水を採水できる箇所である「Bor-H29-Un-1」の観測孔から、地層境界付近の花崗斑岩層の地下水を把握できる H29-Un-1-2、泥岩層の地下水を把握できる H29-Un-1 より採水を行った(図-5, 6)。また、季節変動等を把握することを目的に、豊水期の2021年9月8日、渇水期の2021年12月6日に採水を行った。

3. 調査結果

(1) 渓流水の水質分析

鳴子谷川で採水した渓流水の簡易水質分析結果を図-7, 8に示す。pHは各地点ともに平常時と豪雨時で大きな変化はなかった。ECについては、平常時では、花崗斑岩が分布する上流部(地点①)で低く、地層

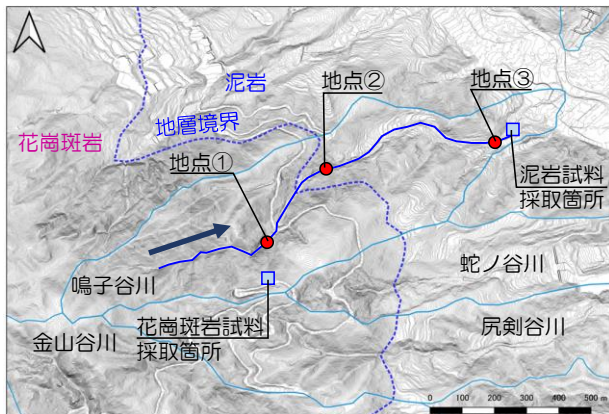


図-2 鳴子谷川における渓流水及び岩石試料採取箇所

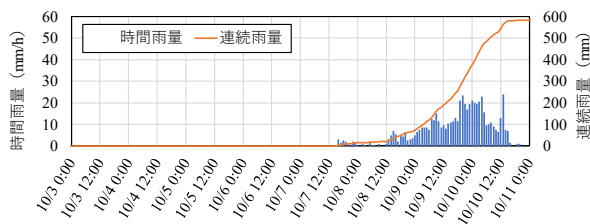
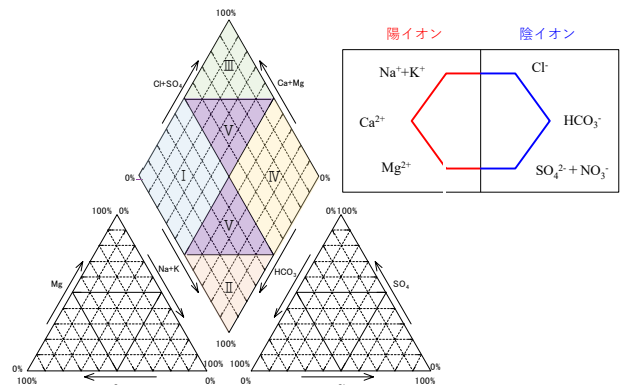


図-3 試料採水期間中の雨量経時変化図

表-1 水質分析項目

分析項目	分析方法
ナトリウムイオン	ICP発光分光分析法
カリウムイオン	ICP発光分光分析法
マグネシウムイオン	ICP発光分光分析法
カルシウムイオン	ICP発光分光分析法
塩化物イオン	JIS K 0102-35.3 イオンクロマトグラフ法
炭酸水素イオン	JIS K 0102-25.1 備考2 全炭酸濃度及びpHから計算
硫酸イオン	JIS K 0102-41.3 イオンクロマトグラフ法
硝酸イオン	イオンクロマトグラフ法
イオン状シリカ	ICP発光分光分析法



水質区分	地下水の種類	ヘキサダイアグラムの形状
I	【アルカリ土類炭酸塩型】Ca-HCO ₃ タイプ 日本の循環性地下水の大半がこのパターンに該当し、浅い地下水、河川水など。	Ca-HCO ₃ タイプ
II	【アルカリ炭酸塩型】Na-HCO ₃ タイプ 停滞的な環境にある地下水がこのパターンに該当し、涵養されてから比較的長時間経過が長い水であり、被圧(深層)地下水など。	Na-HCO ₃ タイプ
III	【アルカリ土類非炭酸塩型】Ca-SO ₄ またはCa-Clタイプ 海岸地帯の初期段階の塩水化地下水など。鉱泉水・温泉水・化石水に多く見られる。一般的な河川水や地下水では特殊なケースであり、温泉水や工場排水等特殊な水の混入が考えられる。	Ca-SO ₄ タイプ Ca-Clタイプ
IV	【アルカリ非炭酸塩型】Na-ClまたはNa-SO ₄ タイプ 火山起源の温泉水、またはその影響を受けた地下水や海水が混入した塩水化地下水など。	Na-Clタイプ
V	【中間混合タイプ】 各タイプの中間的なパターンで、いくつかのタイプの水が混合した河川水、伏流水、浅層地下水など。	中間混合タイプ

図-4 ヘキサダイアグラムおよびトリリニアダイアグラムによる水質区分

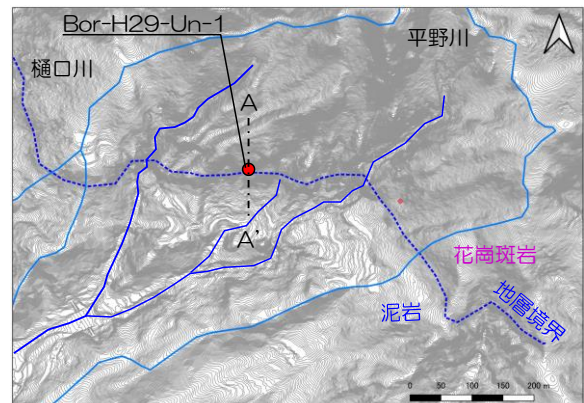


図-5 平野川流域における地下水試料の採水箇所

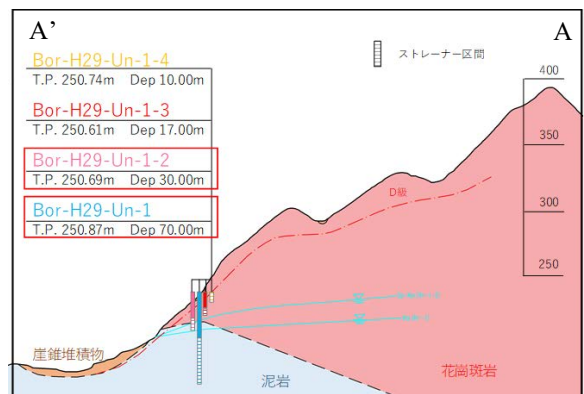


図-6 平野川流域における地下水試料の採水孔

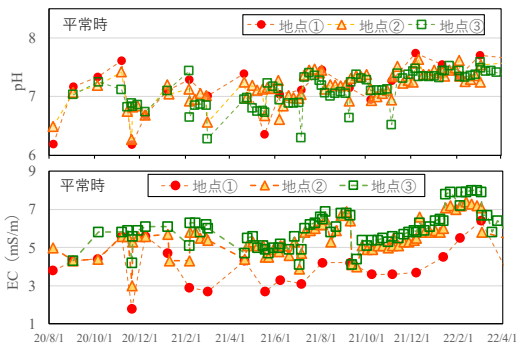


図-7 鳴子谷川の渓流水の簡易水質分析結果（平常時）

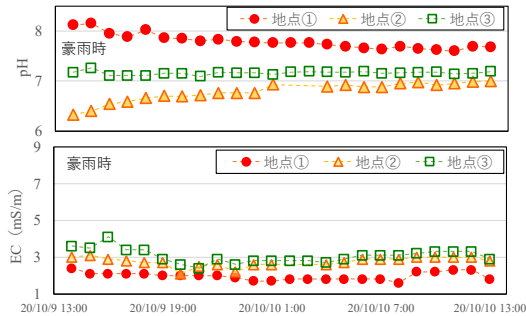


図-8 鳴子谷川の渓流水の簡易水質分析結果（豪雨時）

境界付近（地点②）では3～7mS/m程度で推移し、泥岩主体の下流側（地点③）では地点②と同様の傾向が確認された。一方、豪雨時では、各地点ともに1～4mS/mで推移し、平常時と比較してECが低い傾向を確認した。

平常時と豪雨時に採水した渓流水のヘキサダイアグラムおよびトリリニアダイアグラムを図-9 および図-10 に示す。豪雨時に採水した雨水のヘキサダイアグラムは、炭酸水素イオン、カルシウムイオン、硫酸イオンが少ない。地点①～③の各地点ともに豪雨時にはイオンバランスの形状が小さく、雨水の影響が大きいと考えられる。特に地点①では平常時と比較して炭酸水素イオンの減少が顕著であり、雨水が表流水として流出していることが想定される。地点②では、地点①や雨水と比較して炭酸水素イオンが発達していることが確認された。地点③も地点②と同様の傾向を示した。トリリニアダイアグラムでは、図-4 に示した5つのタイプのうち、地点①の豪雨時は領域IVに分類され、平常時は領域Vに近い領域IVに分類された。地点②と③は、平常時・豪雨時ともに領域Iと領域IVと領域Vの境界付近に分類されたことから、混合水に近い性状と考えられる。

(2) 溶出試験

花崗斑岩、泥岩の保温静置試料の溶出試験結果の経時変化を図-11 および図-12 に、採取直後の試料の溶出試験結果のイオンバランスを図-13 に示す。

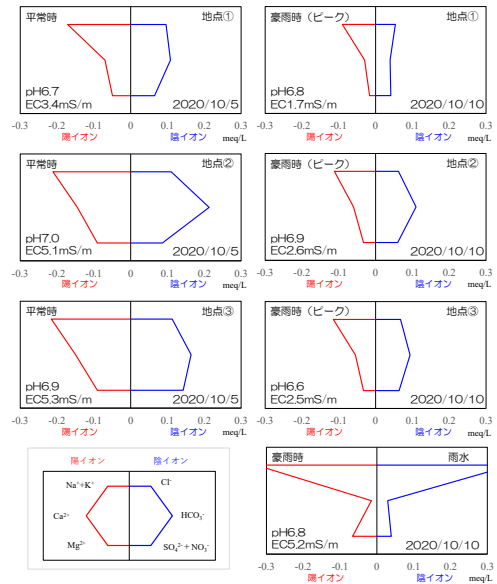


図-9 鳴子谷川の渓流水のヘキサダイアグラム

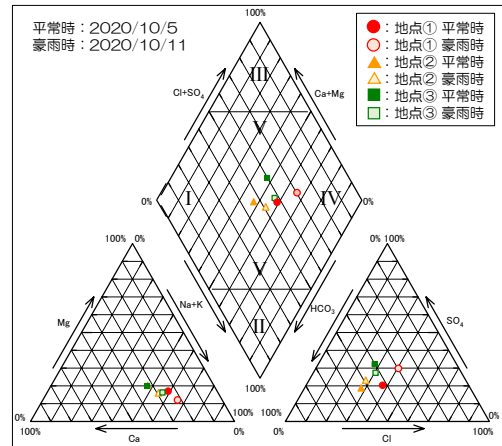


図-10 渓流水のトリリニアダイアグラム

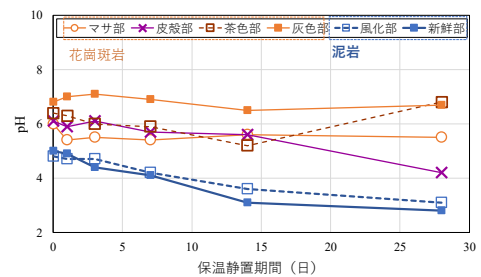


図-11 溶出液 pH の経時変化

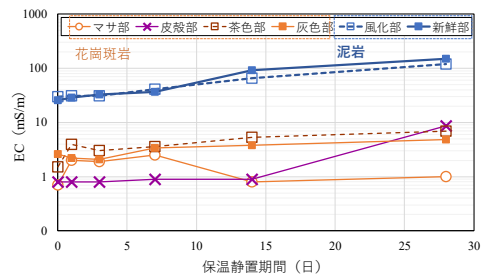


図-12 溶出液 EC の経時変化

全期間を通して pH は花崗斑岩の方が高く、EC は泥岩の方が高い傾向を示した。なお、一般的に花崗斑岩は岩石を構成する鉱物が明瞭で安定しているた

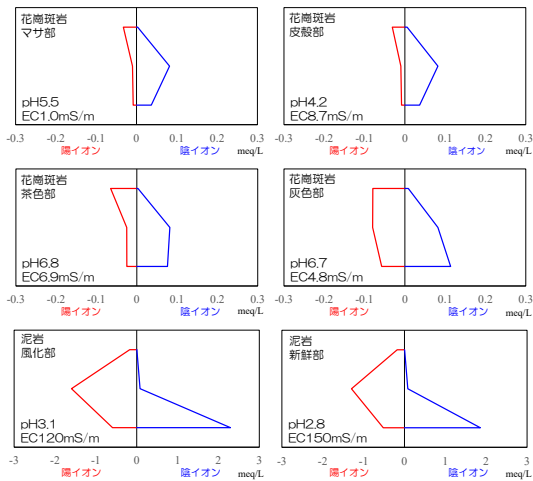


図-13 採取直後試料のイオンバランス

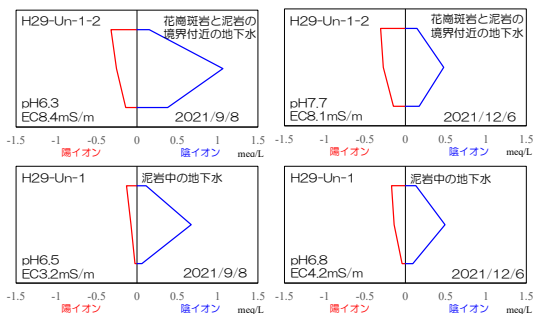


図-14 地下水試料のイオンバランス

め、イオン等は溶出しにくく、堆積岩は間隙中等にイオン等が含まれるため溶出しやすい傾向がある。区分した試料毎にみると、花崗斑岩（マサ部）は、1日保温静置後にpHが減少し、ECが上昇した。その後、7日後から14日後にかけてECが減少した。花崗斑岩（皮殻部）は、14日後から28日後にかけてpHが減少し、ECは大きく上昇した。花崗斑岩（茶色部）は、1日保温静置後にECが上昇し、その後概ね横ばいであった。また14日後から28日後にかけてpHが上昇した。花崗斑岩（灰色部）は、酸化（保温静置）に伴いpHとECともに概ね横ばいであった。一方、泥岩は、風化部および新鮮部のいずれも酸化（保温静置）に伴いpHは低下し、ECは上昇した。

(3) 地下水分析

ボーリング孔で採取した地下水試料の水質分析結果に基づき整理したイオンバランスを図-14に示す。花崗斑岩と泥岩の地層境界付近、および泥岩中の地下水は、ともに炭酸水素イオンが卓越する形状であった。また、図-13の溶出試験結果と比較すると、花崗斑岩のマサ土や皮殻部のイオンバランスの形状に近いことから、地下水は花崗斑岩層の表層の風化したところを流れ、泥岩からの溶脱等は少ないことが推定される。以上から、中流の地層境界付近から湧

出する渓流水（地点②）は、今回採水した地下水のイオンバランスに近いと、主に花崗斑岩を通過した地下水で構成されているものと考えられる。

4. 鳴子谷川における水理地質構造と水質形成機構の検討

これまでの調査結果をふまえ、鳴子谷川における水理地質構造について検討した結果を図-15に示す。

鳴子谷川上流の花崗斑岩斜面の渓流水は、年間を通してECが低く、水質区分の結果からも雨水の影響が大きいと考えられた。また、花崗斑岩層の地下水は花崗斑岩のマサ等の風化したところを流れたものと推定された。これより、斜面の表層がマサ等の透水係数が高いもので覆われているため降雨は浸透が主体となり、伏流した状態で流下するため、花崗斑岩斜面の渓流水は雨水が主体となると想定される。

中流の地層境界付近の渓流水は、平常時の水質は典型的な地下水に分類されたことから、花崗斑岩の方が泥岩よりも透水係数が大きいため、花崗斑岩斜面を伏流した水が地層境界付近より湧水し、上流からの渓流水と合流することとなり、渓流水は湧水が主体で、ECが若干高く、花崗斑岩由来の炭酸水素イオンを含むことが想定される。

泥岩の溶出試験では酸化に伴いECは上昇したが、泥岩斜面の渓流水は、中流の水質と同様の傾向でECの顕著な上昇はなかった。このため、強風化部は薄く緻密な状態のため、降雨は浸透しにくく表面流出が主体となり、渓流水は地層境界から流出した湧水と雨水の混合状態となり、ECは若干高く、泥岩由来と考えられる硫酸イオンを含むことが想定される。

以上の水理地質構造の推定と調査結果をふまえると、花崗斑岩が分布する上流で表層崩壊が発生して土砂が渓流内に堆積した場合には、堆積した土砂を渓流水が伏流するため、イオンバランスが変化することが想定され、ECも若干上昇する可能性がある。また、泥岩が分布する斜面が不安定化した場合には、泥岩斜面内に新たに亀裂等が発生し、溶出試験の結果から泥岩の酸性化の影響により局所的に高EC・低pHの渓流水を形成する可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究では、那智川流域鳴子谷川の水質形成機構と、水質観測による渓流内の土砂堆積状況推定手法について検討し、予察的に表層崩壊発生検知への利活用の可能性について検討を行った。得られた結論

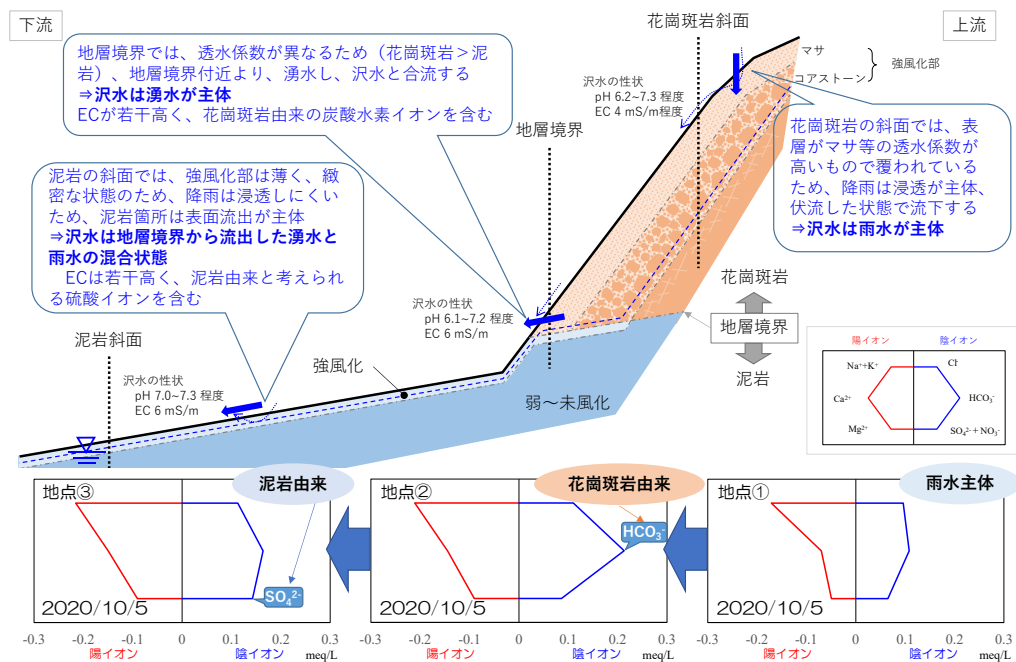


図-15 鳴子谷川の水利地質構造と水質形成機構

は以下の通りである。

- ・ 渓流水採水結果から、表層崩壊の発生を伴わない場合の EC は一定程度で推移するものの、豪雨時には EC が低下した。
- ・ 泥岩の溶出試験では、酸化に伴い EC の顕著な上昇を確認した。このため、渓流水の EC を連続観測し、泥岩の新規亀裂発生に伴う EC の上昇を検知することにより、崩壊監視や土石流発生の前兆現象を捉えられる可能性が考えられる。
- ・ EC の上昇等の変化が認められた際に、詳細なイオン分析を行うことで、炭酸水素イオンを多く含む場合は花崗斑岩由来、硫酸イオンを多く含む場合は泥岩由来と推定できるため、どの地質の斜面の安定性が低下しているか推定が可能と考えられる。

本調査期間では対象溪流における大きな崩壊現象は確認されていないが、引き続き溶存イオン観測を実施し、崩壊現象に伴う渓流水の水質把握を行い、水文観測や流砂観測等の他の観測データも踏まえて溪流内の表層崩壊発生を総合的に検知し、土石流発生可能性の高まった流域の監視への活用に向けて検討してまいりたい。

参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英次, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 64, No. 5, pp. 43-53, 2012.
- 2) 柳井一希, 笠井美青: WOE法及びロジスティック回帰法による和歌山県那智川流域における表層崩壊危険度分布, 日本地すべり学会誌, 57巻, 3号, pp. 90-98, 2020.
- 3) 田中健貴, 木下篤彦, 小竹利明, 柴田俊, 山田拓, 松澤真, 伊藤達哉: 地質構造に起因する透水性境界上の浅層地下水位上昇を再現した浸透流解析～2011年台風12号による那智川流域での表層崩壊の事例～, 日本地すべり学会誌, 59巻, 2号, pp. 60-66, 2022.
- 4) 榎原伴樹, 崎山朋紀, 坂口武弘, 岸畑明宏, 田中健貴, 木下篤彦, 野池耕平, 松澤真, 河戸克志: 地質境界が存在する斜面での地質構造や水文特性に着目した表層崩壊危険度評価手法の提案, 河川技術論文集, pp. 687-692, 2019.
- 5) 野池耕平, 木下篤彦, 水野秀明, 今森直紀, 西岡恒志, 島田徹: 球状風化を呈した地質帯における表層崩壊発生場の特性と土層厚推定手法の検討, 第8回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp. 103-108, 2016.
- 6) 松澤真, 伊藤達哉, 南智好, 木下篤彦, 山田拓, 柴田俊, 田中健貴: 地形・地質的特性に基づく豪雨による崩壊危険度評価の試みー平成23年紀伊半島大災害時の那智川流域を対象としてー, 砂防学会誌 (投稿中).
- 7) 久富邦彦: 紀伊半島南部の熊野層群の地質と堆積, 地質学雑誌, Vol. 87, pp. 157-174, 1981.
- 8) Hirata, Y., Chigira, M., Chen, Y.: Spheroidal weathering of granite porphyry with well-developed columnar joints by oxidation, iron precipitation, and rindlet exfoliation, Earth Surface and Processes Landforms, Vol. 42, No. 4, pp. 657-669, 2016.

土砂移動に伴う輝度変化を活用した画像検知手法の取組み

木下篤彦・北本 楽・中谷洋明・金澤 瑛

1. はじめに

2011年台風第12号による紀伊半島の大規模な土砂災害発生箇所では、天然ダム(河道閉塞)発生箇所をはじめとして、監視体制強化の目的で多数のCCTVカメラが設置され、災害から約10年経った現在でも監視を続けている。一方で、監視を担当する行政職員が、24時間多数のカメラを見張るのは現実的ではなく、夜間などに発生した場合には誰も気づかないおそれもある。

これまで、土砂移動を検知する方法として、五十嵐ら¹⁾のRGBを用いる手法や柴田ら²⁾の輝度の変化を用いる手法が提案されている。RGBによる手法は水が濁るとR(赤色)成分が大きくなることを利用して、土砂移動の前兆現象を早めに捉えられるメリットがある。一方で、計算負荷が大きいのがデメリットであった。また輝度の変化に基づく柴田らの手法は、計算負荷が小さいというメリットがある一方で、虫の飛来やワイ

パー、降雨などによる輝度の変化に伴う誤検知が課題であった。

本稿では、計算負荷が小さい輝度の変化による手法を基本とし、誤検知の削減を目指した取り組みにより、改良された最新の土砂移動検知手法について紹介する。

2. 従来の輝度差分による崩壊・土石流検知方法

輝度差分による崩壊・土石流検知は図-1のようなフローで行われる。CCTVの画像は1秒で約30枚撮影されるが、全ての画像を使わず、0.5秒間で1枚の画像を取得し、その輝度を算出し、0.5秒前の画像の輝度との差分を取る。土砂移動が発生すると、差分値が大き

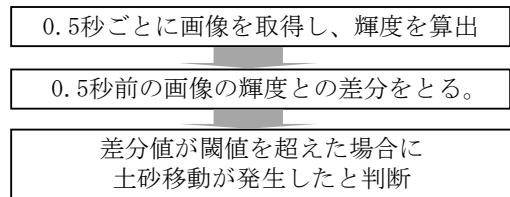


図-1 輝度の差分による崩壊・土石流の検知方法

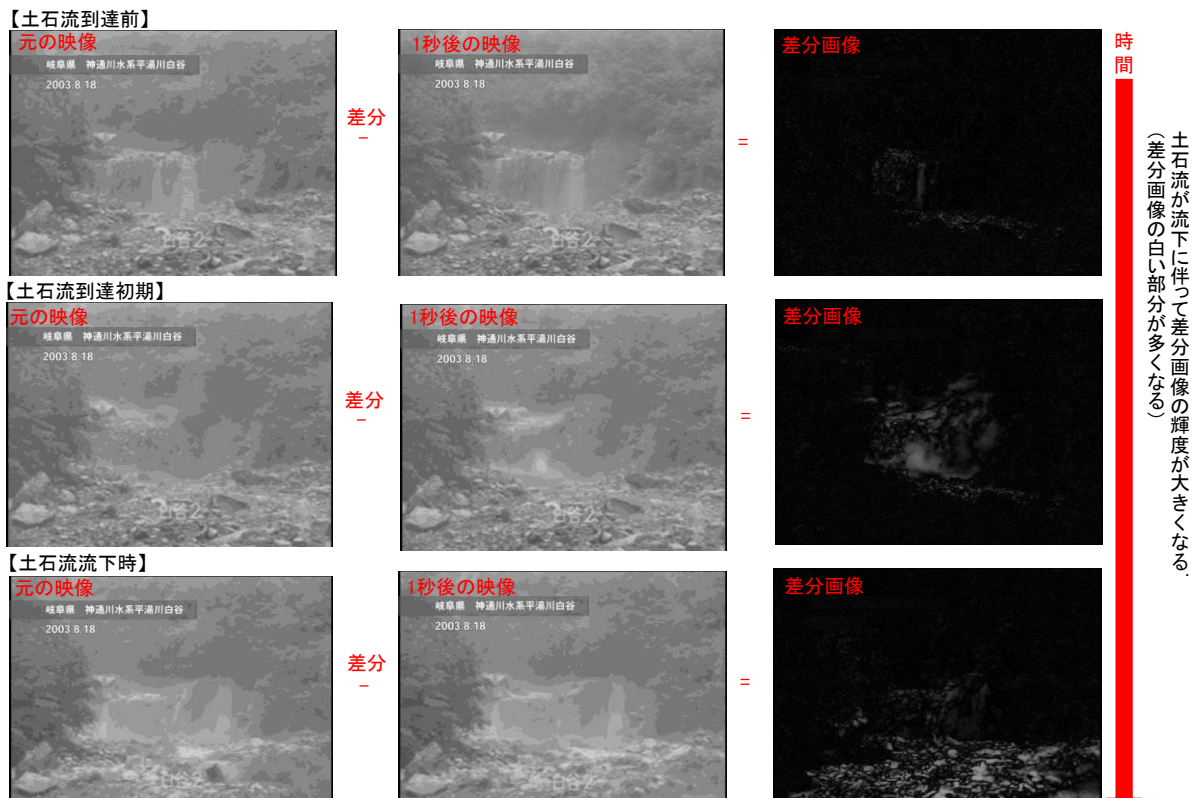


図-2 土石流到達前後の輝度の差分例

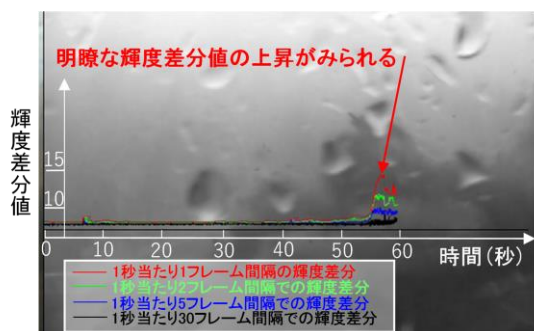


図-3 2014年台風11号の赤谷地区(奈良県五條市)における崩壊における映像の解析例(解像度1/2、モノクロ映像)

くなることを利用して、検知する仕組みである。図-2に土石流到達前後の輝度差分画像を示す。土石流到達前には輝度差分を取ってもほとんど差が無いが、土石流到達初期、土石流流下時となるにつれて輝度に差が生じる範囲が広がっているのがわかる。

図-3に2014年台風第11号による赤谷地区(奈良県五條市)で発生した崩壊の映像の解析例を示す。輝度の変化の差分をとる映像の時間間隔を変更した4種類(1秒間隔・0.5秒間隔・0.2秒間隔・0.033秒間隔)について示す。これらの中で、1秒間隔や0.5秒間隔の輝度差分値が大きくなっており、土砂移動の検知に適していることが分かった。

写真-1に、紀伊山系砂防事務所に2021年2月より設置されている土砂移動検知装置とその周辺機器の配置状況を示す。災害現場や工事現場に設置されたCCTVのデータは、NTSC(アナログ信号)で土砂移動検知装置に送られ、そこでNTSCの映像出力(720×480pixel)を縦横1/4のサイズ(180×120 pixel)に平均してダウンサイズし、2枚/秒(2fps=0.5秒間隔)2枚の差分画像を連続的に生成し、その輝度差分値を求め、閾値以上となった場合に崩壊・土石流の発生を判定する。図-4に、赤谷地区におけるカメラ画像と土砂移動検知のための輝度差分の時間変化を監視しているシステムの画面を示す。崩壊・土石流発生と判定された場合(過去の土砂災害の発生事例の画像を用いた検証結果から、閾値を100に設定している。)には、メールサーバーに信号を送り、そこから職員に検知メールが送信される仕組みになっている。

3. 現在の輝度差分の手法による誤検知

現在のシステムは、計算負荷の小さい計算である輝度の差分から土砂移動を検知できるというメリットがある。一方で、計算の簡易さゆえに例えば日常に起こりうる現象でも検知をしてしまうデメリットもある。

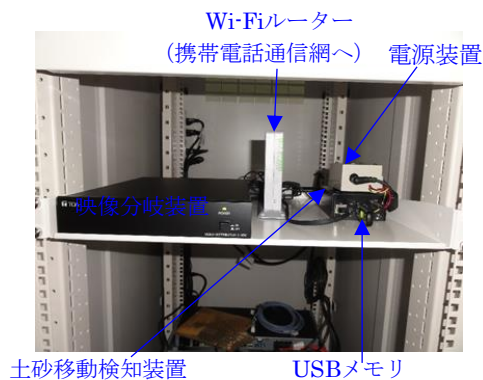


写真-1 土砂移動検知装置とその周辺機器の設置状況

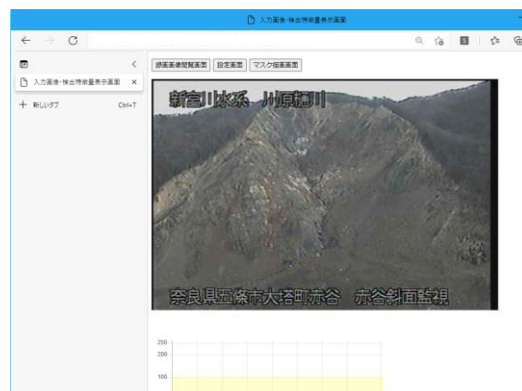


図-4 2014年台風第11号の赤谷地区における再崩壊における映像の解析事例(表示はカラー映像、解析は解像度1/2にしたモノクロ映像)

写真-2に紀伊山系以外の事例も含めて、画像から検知したい土砂移動現象の例を示す。なお、(a)・(b)は本検討で対象とした地区であり、(c)～(g)は対象外の地区であり、既往土砂災害の動画³⁾をキャプチャーしたものである。斜面崩壊や土石流、雪崩などを対象としている。写真-3に誤検知が生じやすい現象の例を示す。いずれの現象でも輝度に変化が生じるため、誤検知が生じる可能性がある。

現在の検知システムの誤検知を把握する目的で、2021年4月1日～6月30日までの91日間、赤谷地区に設置してある崩壊斜面監視用のCCTVカメラ(1台)で誤検知内容の把握調査を行った。表-1に調査期間中の原因別誤検知数を示す。昼間は、ワイパー、カメラの首振りなど、機械的操作を誤検知している。中にはテスト信号(カラーバー)が含まれており、また、検知画像からのみでは原因が明確にならなかったものもある。夜間は、霧、雨、虫に対する照明の反射などが原因となっている。また、原因が「不明」である誤検知が約47%と多いのも特徴として挙げられる。なお、「無降雨」での雨の検知とは、降雨はあるものの、0.5mm/hr未満で、雨量計が検知しなかったケースの



写真-2 検知したい土砂移動現象の例。(a)・(b)は対象とする地区、(c)～(g)は対象外で既往土砂災害の動画³⁾をキャプチャーしたものである。

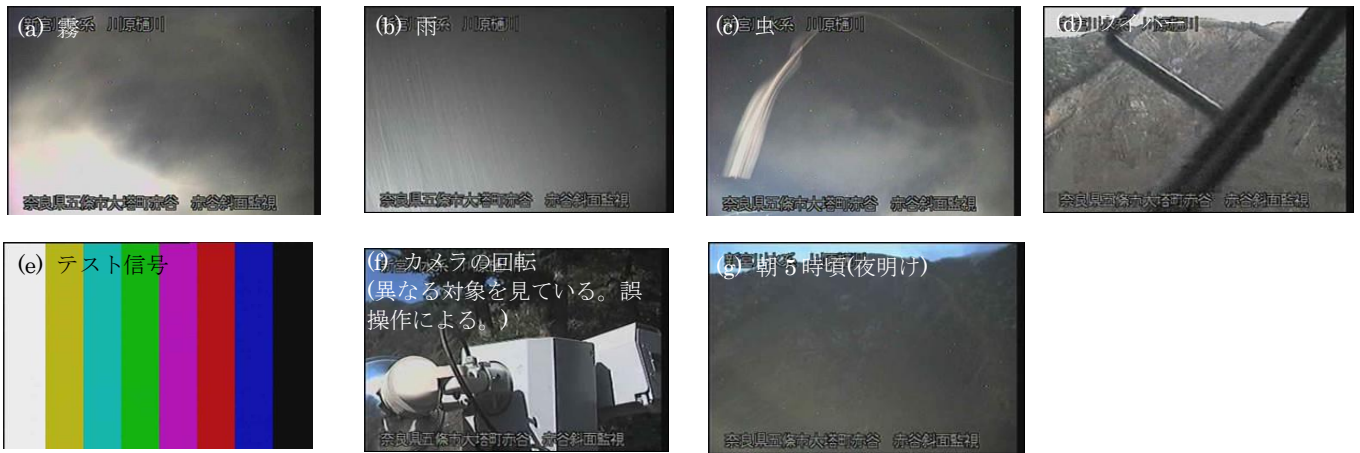


写真-3 誤検知が発生しやすい現象の例

ことを示している。

現段階では、原因は照度の急な変化（太陽光の入射など）、照明の消灯や点灯、カメラパラメータの自動切り替えによる画質変化などと推定される。夜間（便宜的に20時～4時）、昼間（4時～20時）、降雨時・無降雨時（1時間単位で判定）で集計した結果、平均的には27.5件/日（2,505÷91日）の誤検知が生じた。

4. 誤検知を減らすための工夫

表-1において、ワイパーの動きや虫の飛来は土砂移動現象と比べると短時間の現象である。また、日射や雲の移動など、移動に伴う輝度の変化やその特徴を把握し対策を講じれば、誤検知を防げるものも多い。4章では、誤検知を減らすために取り組んだ工夫の内容について紹介する。

4.1 短時間の現象による誤検知対策

表-1に示した多くの誤検知は、閾値の100を大きく超過しており、閾値の調整のみでは誤検知の削減は困難と判断された。しかし、その誤検知の原因の多くが

表-1 2021年4月1日～6月30日までの91日間の原因別誤検知数

昼/夜区分 降雨区分 内容	昼間		夜間		合計
	無降雨 件数	降雨時 件数	無降雨 件数	降雨時 件数	
ワイパー	138	20	0	0	158
雨	2	12	115	47	176
雨・虫	0	2	23	42	67
影の移動	1	0	0	0	1
画像なし	1	1	0	0	2
画像異常	6	0	0	0	6
回転	4	0	0	0	4
丸い影	0	0	0	1	1
丸い光	0	0	0	8	8
黒いゴミ	1	0	0	0	1
消灯	8	0	0	0	8
テスト信号	3	2	0	0	5
水滴	1	0	0	0	1
虫	29	1	33	662	725
虫・丸い光	0	0	0	3	3
鳥	1	1	0	0	2
点灯	7	0	0	1	8
不明	127	29	128	898	1,182
霧	25	8	37	77	147
総計	354	76	336	1,739	2,505

短時間で生じる動作によるものであり、また、検知方法も0.5秒間隔の2枚の画像の差分をとるという短期の

変化を捉える指標となっている。それに対して土石流や崩壊などの顕著な土砂移動の映像の変化は数十秒程度継続することから、より長い期間の輝度差分値で検知を行うこととし、差分時間間隔の調整を行った。

図-5に、改良した輝度差分の検知フローを示す。輝度差分値の長期指標化は、CCTVカメラの1秒のフレーム数（約30枚）に近い2のn乗となる32フレームを1つのユニットとして、32フレーム分の連続する画像の同じ座標の輝度を平均した画像（「時間平均輝度映像」という）を求め、32×Nフレームの平均輝度差分値を求める。Nについては、土砂移動自体が稀な現象（カメラを設置して構えていてもなかなか発生しない）であるため、既存の映像で最適な値を検証した上で設定することとした。図-6に、Nを8とした場合の差分値の算定の概念図を示す。

図-7に、既存の映像について、Nを1（32フレーム）～16（512フレーム）まで変化させた場合の輝度最大差分値を示す。なお、図-7では検知対象でない現象（ワイパー動作時映像・虫の飛来映像・雨の映像）による輝度最大差分値も合わせて示す。検知対象でない現象について、32×2フレームでは、ワイパー動作時の映像で輝度差分最大値が39と大きかったが、32×4フレームとすることで15まで低減できた。また、平均輝度を算出するフレーム数が多くなるほど、検知すべき現象と誤検知となる現象の判別がしやすくなった。閾値は少なくとも32×4フレーム以上で「検知対象現象」と「検知対象でない現象」を区別することができ、32×8フレームでは30～70あたりに閾値を、32×16フレームでは、40～70あたりに閾値を設けるのが良いと考えられるが、32×16フレームの場合は、フレーム数が多くて、輝度が平均化されすぎて差分値の

ピークが捉えにくいと考えた。このため、32×8フレームを採用するとともに、閾値は50とした。

新しいアルゴリズムで再度42日間（2021年9月24日～11月4日）検証を行った結果を表-2に示す。誤検知の頻度については、表-1の27.5件/日から17.5件/日まで減らすことができた。一方で、太陽光の入射と雲の影の移動による輝度の変化による誤検知を十分に排除することができなかった。このため、これらについては別途対策を講じることにした。

4.2 太陽光の入射による誤検知対策

太陽光の入射時に発生時における誤検知の映像は、図-8(a)の入射が無い状況と比較すると(b)は山頂の一部の範囲に強い日光が差し込んでいる映像となっている。非常に明るい部分があるため、CCTVカメラのAGC（自動ゲイン制御機能）が動作し、その影響で、斜面部分は崩壊が発生しても検知できないほど暗いのが特徴であった。誤検知の映像の日光照射の部分の輝度値は220～230程度の値となっており、また、220を超える輝度値のピクセル数を100程度に設定し、検知メールを送信しないことで誤検知を低減することとした。

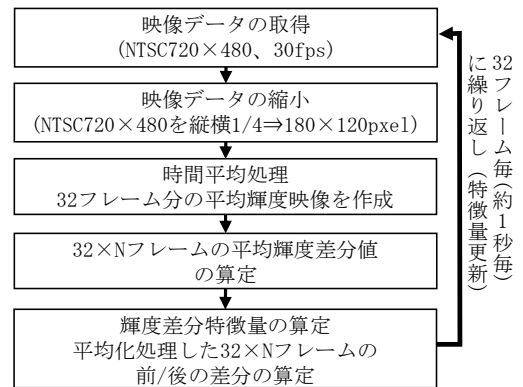


図-5 32×Nフレームの輝度の差分による検知フロー

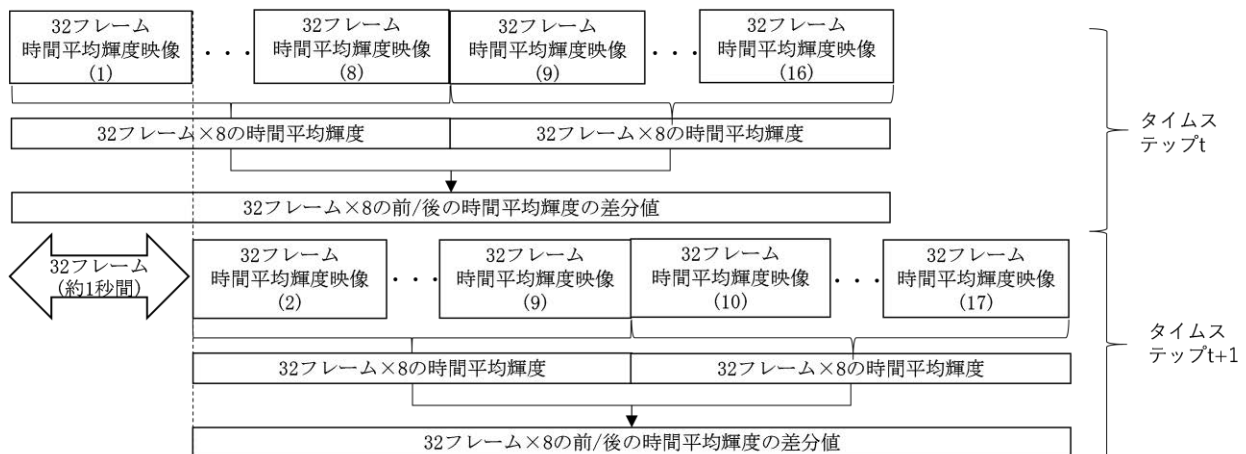


図-6 32フレーム×約8秒を1つのユニットとした場合の輝度差分計算の概念図

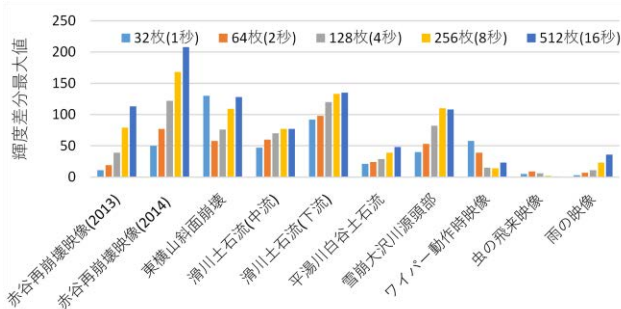


図-7 土砂移動及び誤検知映像の32×Nフレームの輝度差分最大値

(a) 日光の入射無し



(b) 日光の入射あり



図-8 太陽光の入射時の映像の例。(a)日光の入射無し、(b)日光の入射あり。

(a) 雲の移動による誤検知時の画像(解像度を落としたもの)



(b) 白黒二値化した画像

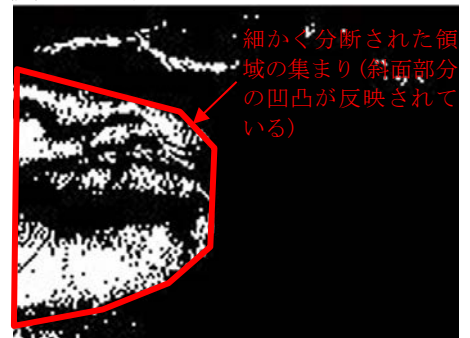
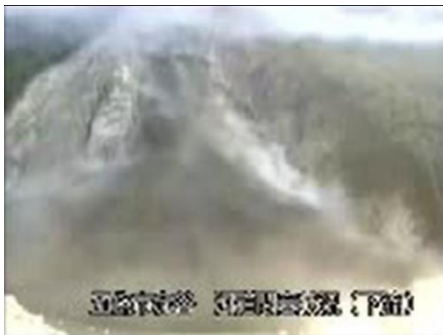


図-9 雲の移動による白黒二値化の事例。(a)元画像、(b)白黒二値化した後の画像。

(a) 崩壊時の画像(解像度を落としたもの)



(b) 白黒二値化した画像



図-10 2013年赤谷地区崩壊時の白黒二値化の事例。(a)元画像、(b)白黒二値化した後の画像。

4.3 雲影の移動による誤検知対策

雲影の移動による誤検知の特徴としては、晴天時、日射のある領域と雲の影となる領域の輝度差が顕著になった場合に生じていることが挙げられる。日射のある領域では、図-9(a)に示すように崩壊斜面部分の山

肌の細かい凹凸や樹木のテクスチャが鮮明となるという特徴がある。このため、(b)のように白黒二値化(CCTVカメラの画像のピクセルの色が白に近い場合は白に、黒に近い場合は黒に変換する。)した場合に、黒の部分が細かい多数の領域に分かれる。一方、図-

表-2 32×8フレームの平均輝度を算出するアルゴリズムでの42日間の誤検知内容・件数

内容	回数	割合
雲の影の移動	576	78.26%
雨粒	6	0.82%
画像異常	3	0.41%
霧	18	2.45%
ビデオ映像欠測	2	0.27%
太陽光の入射	131	17.80%
不明	1	0.14%
計	736	100%
平均	17.5件/日	

表-3 2022年3月2日～3月17日の16日間の内容別誤検知数

内容	件数	割合
霧	3	20.0%
雲の影の移動	9	60.0%
ビデオ映像欠測	3	20.0%
計	15	100%
平均	0.94件/日	

10(a)のような大規模土砂移動が発生した場合は、流下する土砂等によりテクスチャが不鮮明になり、輝度差分発生領域が一様となる。このため、(b)のような白黒二値化した映像には、図-9(b)で見られたような細かい多数の黒色の領域が少ない。

輝度差分の白黒二値化画像に対して領域分割処理を、分割領域の平均面積を算出し、その平均面積値が一定の閾値以下である場合に雲の影の移動による現象と判断することとし、雲の影の移動による映像の値を確認し、閾値を50と設定した。

4.4検討した全ての対策を行った上での誤検知

時間平均輝度映像を採用し、輝度値220以上のピクセル数による対策、白黒二値化後の平均面積での対策後、2022年3月2日～3月17日の16日間の検知状況を表-3に示す。誤検知の頻度は、対策前の27.5件/日より大幅に減少し、平均で1件/日未満となった。特に、表-1で約47%も占めていた誤検知原因「不明」についても、表-3では発生しなかった。改良したアルゴリズムの成果と考えられる。一方で、雲の影の移動による誤検知がいくつか発生した。これは、冬季で日差しが弱いのではないかと推察されるが、不明点も多い。この点については、今後さらに誤検知を減らす検討を進めていきたい。

5. まとめ

本稿では、映像から斜面崩壊や土石流といった顕著な土砂移動や雪崩を検知する手法と誤差を減らすための工夫について紹介した。今後も誤差を減らしながら対象とする土砂移動を検知するシステムの開発に取り組んでいきたい。

また、これまで、昼間の検知について重点的に取り組んできた。今後は夜間の検知について、必要なカメラの性能や照明の配置などについて取り組んでいきたい。

その他、国総研では、画像雨量計の開発⁴⁾にも取り組んでおり、一つのカメラで土砂移動を検知しながら、土砂移動発生時の雨量も推定できるようなシステムの開発にも取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 五十嵐和秀、水谷佑、木下篤彦、井深真治、肥後明豪、池島剛、秋田寛己、水野秀明：画像のRGB空間における濁水の立体分布と3次元ベクトル空間モデルを用いた流況変化検知手法の基礎的検討、砂防学会誌、Vol.71、No.6、pp.28~34、2019.
- 2) 柴田俊、小竹利明、山田拓、木下篤彦、中谷洋明、金澤瑛、海原荘一、井深真治：輝度の差分映像による斜面崩壊・土石流の検知と降雨・夜間の監視映像の鮮明化、第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集、pp.79~84、2020
- 3) NPO法人砂防広報センター（企画：社団法人全国治水砂防協会）：土砂動態（DVD）、2009
- 4) 金澤瑛、内田太郎、中谷洋明：監視カメラ画像の画素値を用いた降雨強度の推定、砂防学会誌、74巻、3号、pp.37~48、2021

流砂量観測装置を用いたアラートシステム構築への取り組み

北本 楽・小杉 恵・木下篤彦

1. はじめに

2011年9月台風第12号による豪雨では、多数の斜面崩壊、崩壊に伴う河道閉塞が生じた。崩壊斜面および河道閉塞からの土砂流出を監視するために、河道閉塞下流にハイドロフォン等を設置し、流砂水文状況の観測監視を実施中である¹⁾。土砂移動監視における流砂量観測研究は、例えば、天竜川水系と田切川において、上流域で発生した土石流の有無により、下流域で観測される掃流砂量に違いが生じた事例²⁾があり、上流域の異常な土砂移動を流砂量観測によって検知できることが報告されている。また、桜井ら³⁾は、鬼怒川水系大谷川での土石流発生時に、流量と掃流砂量の関係が左回りのヒステリシスループを描くことに着目し、ヒステリシス解析に基づいて、警戒避難情報等を提供するアラートシステムを提案している。本稿では、紀伊山系砂防事務所管内（以下「管内」という。）における流砂量観測結果を解析し、桜井ら³⁾が用いたヒステリシスに着目した異常な土砂移動の検出方法の適用性および流砂量観測に基づくアラートシステム構築に向けた今後の課題について報告する。

2. 対象流域及び観測解析手法

2.1 流砂量観測対象流域

管内では、熊野川水系の川原樋川、栗平川、神納川、三越川、高田川、及び和歌山県を流れる日置川水系の熊野川を対象に流砂量観測を実施している（図-1）。川原樋川、栗平川、三越川、熊野川の4箇所の上流域には2011年9月台風第12号時の豪雨により生じた深層崩壊地がある。各箇所にはハイドロフォン、水位計、濁度計等の流砂量観測機器を設置している（写真-1）。本研究では、上記観測箇所の内、比較的長期間にわたり、大きなデータ欠損がなく、良好なデータが取得できている川原樋川、三越川、熊野川の3流域のデータ

を対象とした。なお、川原樋川は、上流の池津川合流付近と下流の赤谷川合流付近の2箇所で見守りを実施している。対象とした4観測箇所の流域面積、河床材料調査による粒径と、ハイドロフォンの観測期間を表-1に示す。

2.2 掃流砂量の算出

ハイドロフォンは、金属板に衝突する砂礫が生じた衝突音をマイクで収集して電圧に変換することで、間接的に掃流砂量を計測する機器である。本研究では、パルス法と音圧法の2手法のうち、



図-1 流砂観測箇所の位置図



写真-1 日置川流域熊野川の流砂観測施設

表-1 流砂観測所の概要

観測地点名	水系名 流域名	流域面積 (km ²)	粒径			解析対象期間
			d10 (mm)	d60 (mm)	d90 (mm)	
いや 熊野地区	日置川 熊野(いや)川	5.4	1	30	80	2018年3月 ~2018年8月 2019年2月 ~2021年9月
川原樋川上流 (池津川合流)	熊野(くまの)川 川原樋川	130.9	2	25	70	2018年9月 ~2021年9月
川原樋川下流 (赤谷川合流)	熊野(くまの)川 川原樋川	150.8	4	40	95	2018年3月 ~2021年9月
三越川流域	熊野(くまの)川 三越川	23.3	0.7	40	70	2018年9月 ~2021年9月



図-2 2018年台風第20号時の熊野川におけるカメラ画像

音圧法を用いることとした。掃流砂量変換は国土技術政策総合研究所から掃流砂量算出プログラムを借用して算出した。

2.3 水位と掃流砂量の関係分析

流砂量観測結果を、横軸に水位、縦軸に掃流砂量の関係を示すことで、平常時には観察されない左回りのヒステリシスループが観測されたのか確認した。平常時出水では、増水時（出水前半）と減水時（出水後半）で水位に対する掃流砂量の関係は正の相関または直線的である場合が多い。一方で、異常な土砂移動時には、水位が低下する減水時においても、掃流砂量が多く、水位-掃流砂量の関係が左回りのヒステリシスとなる場合があり、これを左回りヒステリシスループと表記する。

2.4 異常な土砂移動の検出手法の検討

平常時の出水の際の水位-掃流砂量の関係と異常な土砂移動の際の水位-掃流砂量の関係との判別は、芦田らによる式⁴⁾（以下「A.T.M式」という。）やMeyer-Peter and Müllerの式⁵⁾（以下「M.P.M式」という。）を利用した。掃流砂量公式は、平均粒径を任意に変化させることで、平常時の水位-掃流砂量の関係を複数パターン推定できる。掃流砂量公式による水位-掃流砂量の関係（以下、「推定曲線」という。）を、流砂量観測結果に重ねて、推定曲線から逸脱するような異常な土砂移動、つまり、左回りヒステリシスループの分離を試行した。また、粒径を変化させて、複数の推定曲線を設定することで、どの粒径を設定した際に、推定曲線が左回りヒステリシスループの分離に適する閾値線となるか確認した。

3. 解析結果

3.1 左回りヒステリシスループの確認事例

2018年8月の台風第20号による総降雨量約600mmの大規模降雨により日置川水系熊野川の流砂観測箇所では、ハイドロフォンが被災を受ける土

砂流（図-2）が生じた。この出水時の雨量、水位、掃流砂量を図-3に示す。また、この出水イベント中に水位-掃流砂量の関係から左回りヒステリシスループが確認された（図-4）。なお、表-1に示すすべての観測期間中で左回りヒステリシスループの事例が確認されたのは、熊野川での台風第20号による出水イベント中のみであった。

3.2 異常な土砂移動の検出閾値線設定

熊野川で観測された水位-掃流砂量の関係および、A.T.M式およびM.P.M式の各掃流砂量公式の平均粒径を変化させた複数パターンの推定曲線を図-5に示す。なお、推定曲線のうち、各粒径の限界掃流力となる水位以下は表示していない。観測期間のうち、2018年8月、2019年8月、2020年7月において、特に水位が上昇する降雨イベントが生じた。2018年8月の土砂流以外の出水では、水位-掃流砂量の関係は正の相関を示すような平常時出水であった。続いて、平常時出水における水

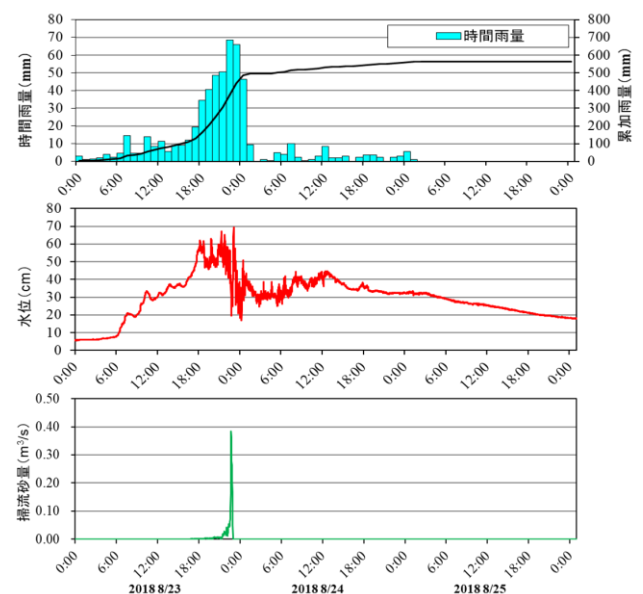


図-3 2018年台風第20号時に観測された熊野川流砂観測箇所の雨量、河川水位、掃流砂量

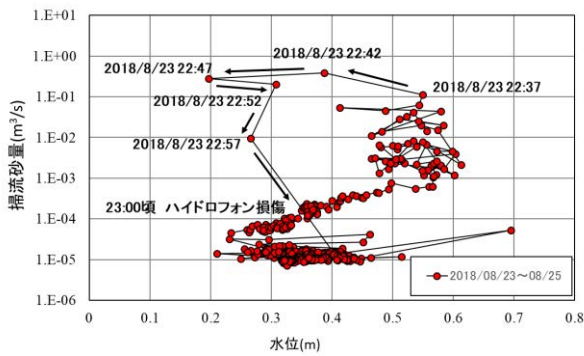


図-4 2018年台風第20号時の熊野川流砂観測箇所における水位-掃流砂量の左回りヒステリシスループ

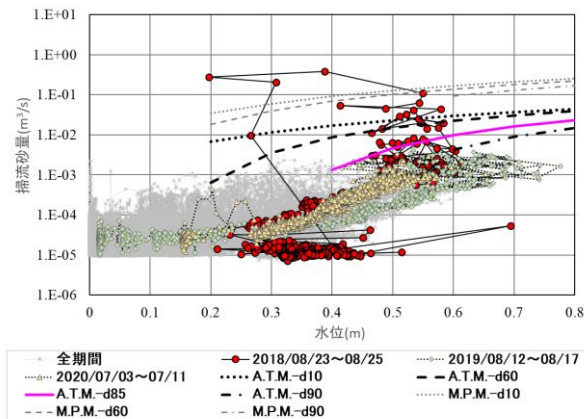


図-5 熊野川流砂観測箇所における掃流砂観測結果と推定曲線

水位-掃流砂量の関係と異常な土砂移動を分離するために、平常時の水位-掃流砂量の関係を包絡し、かつ、左回りヒステリシスループとの閾値線になるような推定曲線を求めた。図-5に示した複数パターン of 推定曲線のうち、平均粒径d85を適用したA.T.M式が平常時の水位-掃流砂量の関係と異常な土砂移動による左回りヒステリシスループを分離するのに最適であることがわかった。M.P.M式による推定曲線は、イベント発生時の上限付近に位置し、その他の観測結果と離れていた。なお、この時の平均粒径d85はあらかじめ流砂量観測箇所近傍で行った粒度分布調査結果に基づき設定している。また、異常な土砂移動および明瞭な左回りヒステリシスループが確認できなかった熊野川以外の流砂観測箇所について、水位-掃流砂量の関係と推定曲線を図-6.1~6.3に示す。熊野川の観測箇所以外の三越川、川原樋川上流、川原樋川下流の3箇所の流砂観測箇所では、共通して平均

粒径d10のA.T.M式による推定曲線が、水位-掃流砂量の関係を包絡していた。異常な土砂移動が発生していない観測箇所においても、掃流砂量公式を用いた推定曲線を閾値線として活用し、異常な土砂移動と平常時の出水を分離できる可能性がある。

4. 考察

4.1 流砂水文観測データを用いた土砂移動検知の可能性

本研究は、桜井ら³⁾を先行研究として参照し、管内の流砂観測データにおける掃流砂量公式を用いた異常な土砂移動の検出を試みた。本研究においては、左回りヒステリシスループを確認したのは熊野川での土砂流、1事例だけであったが、掃流砂量公式による推定曲線を用いることで、平常時とは違う異常な土砂移動として、土砂流等を検知できることが示唆された。熊野川以外の流砂観測箇所では異常な土砂移動が観測されていないため、引き続き、流砂観測を継続し、他流域の流砂観測結果と掃流砂量公式を用いた推定曲線とを比較することで、閾値線の適用性と課題が確認できると考える。

4.2 流砂観測に基づくアラートシステム構築への課題

本研究で用いた音圧式データの掃流砂量はデータ容量が大きいことから、テレメータ化ができておらず、作業員が定期的に現地にてデータを回収して、内業で解析をしている。上流域で検知した異常な土砂移動をリアルタイムで解析し、下流域の警戒避難に活用するためには、音圧式データの軽量化や、流砂観測箇所現地でデータを解析する手段を検討する必要がある。また、異常な土砂移動の検知には掃流砂量公式を用いた閾値線の超過を判定する仕組みと合わせて、ヒステリシスループが左回りしたタイミングを判定する仕組みが必要となる。

3. おわりに

本研究では、異常な土砂移動時に水位-掃流砂量の関係において左回りヒステリシスループが生じることに着目し、掃流砂量公式を用いて、異常な土砂移動を判別する手法について検討した。今後は、流砂量観測結果を蓄積しつつ、土砂流出と

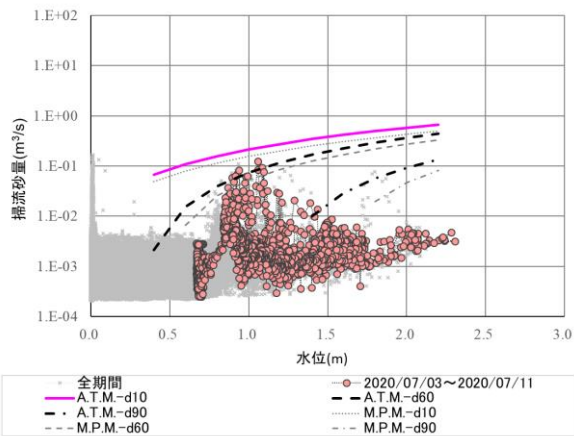


図-6.1 川原樋川上流流砂観測箇所における掃流砂観測結果と推定曲線

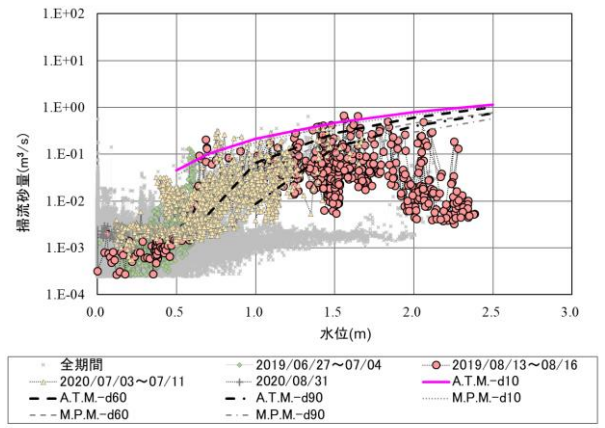


図-6.3 三越川流砂観測箇所における掃流砂観測結果と推定曲線

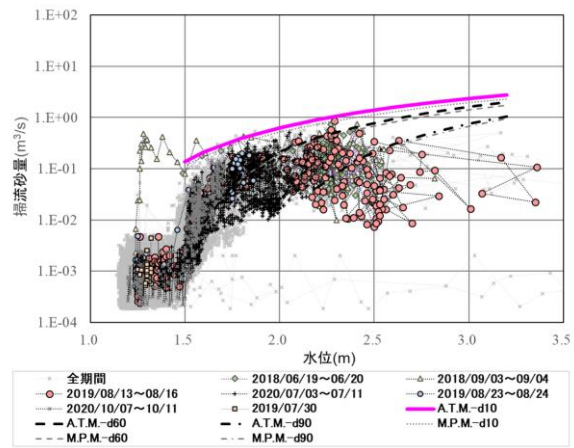


図-6.2 川原樋川下流流砂観測箇所における掃流砂観測結果と推定曲線

ヒステリシスの関係性、ヒステリシス発生 of 要因についても検討が必要である。管内の流砂量観測結果のみならず、全国の流砂観測データを用いた解析や閾値線設定の検討が有効だと考えられる。

参考文献

- 1) 井元成治、岡野和行、吉安征香、井之本信、小竹利明、山田拓、柴田俊、木下篤彦：熊野川流域における流砂水文観測データに基づく土砂移動状況の把握（その2）、2020年度砂防学会研究発表会概要集、pp719-720、2020
- 2) Uchida, T., Sakurai, W., Iuchi, T., Izumiyama, H., Borgatti, L., Marcato, G. and Pasuto, A. : Effects of episodic sediment supply on bedload transport rate in mountain rivers. Detecting debris flow activity using continuous monitoring, *Geomorphology*, Vol. 306, 1, pp. 198-209, 2018
- 3) 桜井亘、内田太郎、泉山寛明、井内拓馬、杉山実、松田悟、伊藤隆郭：流砂水文観測から得られた異常な土砂生産時の掃流砂流出特性と観測結果の山地流域監視への適用について、砂防学会誌、Vol.72、No.2、pp.25~31、2019
- 4) 芦田和男、高橋保、水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究、砂防学会誌（新砂防）、Vol.30、No.4、pp.9-17、1978
- 5) Meyer-Peter and Müller : Formulas for bed-load transport, Proc. 2nd IAHR Meeting, Stockholm, pp. 39-64, 1948

2.1 相互連携に基づく研究 テーマ7

2011年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区における 比抵抗探査を用いた水理地質構造の検討

Analysis of hydrogeological structure by resistivity surveys at the 2011 deep-seated landslide in Iya,
Tanabe city, Wakayama prefecture, Japan -

竹下航（国総研，大規模土砂災害対策技術センター）*，中野英樹・藤原康正（エイト日本技術開発），
木下篤彦・北本楽（大規模土砂災害対策技術センター），山越隆雄（国総研）
Wataru TAKESHITA (NILIM)*, Hideki NAKANO, Yasumasa FUJIWARA (EJEC),
Atsuhiko KINOSHITA, Gaku KITAMOTO(MLIT), Takao YAMAKOSHI(NILIM)

キーワード：深層崩壊，断層破碎帯，電気探査，水文プロセス，ボーリング調査

Keywords: deep-seated landslide, fault fracture zone, electrical prospecting, hydrological process, boring survey

1 はじめに

2011年9月の台風第12号では、紀伊半島の広い範囲で総降水量が1,000mmを超え、深層崩壊が72箇所発生し、さらには17箇所河道閉塞(天然ダム)が発生し、大きな被害が出た。地質や水文からの発生メカニズムの検討においては、近年では、深層崩壊の原因の一つとして、断層破碎帯の性状やその分布と地下水の挙動に着目する研究が行われている¹⁾。本研究では、2011年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区の斜面に隣接した斜面において比抵抗探査を実施し、比抵抗分布と地下水位観測やボーリング調査の結果を比較して、隣接斜面が深層崩壊斜面と同様の水理地質構造を有するものと仮定して検討した内容について報告する。

2 2011年台風第12号での熊野地区の災害概要

熊野地区は、日置川水系の熊野川上流域にあり、堆積岩類が広く分布している。日置川水系では、2011年台風第12号では、熊野地区でのみ深層崩壊が発生している(図-1)。深層崩壊の規模は、幅440m、高さ250m、長さ480mで崩壊土砂量は約526万m³であった。崩壊斜面の上部に百間谷川が流れ、百間谷川と熊野川は崩壊斜面の約1km下流で合流する。

3 比抵抗探査による水理地質構造の推定

地下水位が低いと想定される時期(非出水期)と、地下水位が高い時期(出水期)の二時期で比抵抗探査を同一測線にて実施し、差分解析を行った(図-2)。

出水期の比抵抗分布では、尾根付近に高比抵抗帯に挟まれた低比抵抗帯が確認され、断層破碎帯と推定される(図-3)。また、比抵抗変化率断



図-1 熊野地区被災状況

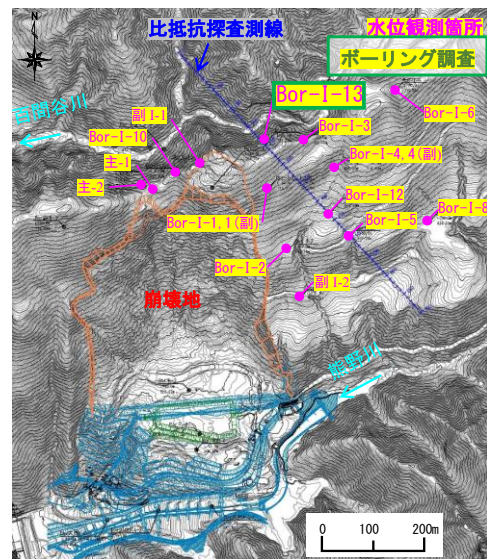


図-2 調査項目と位置図

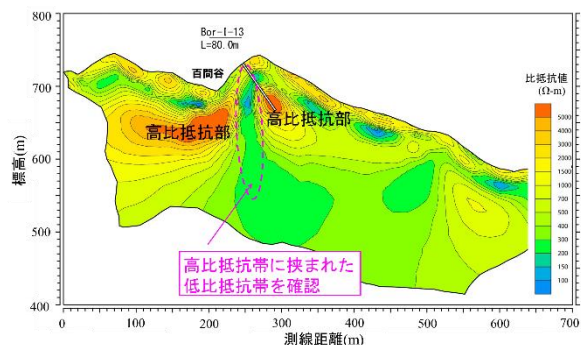


図-3 比抵抗断面図(出水期)

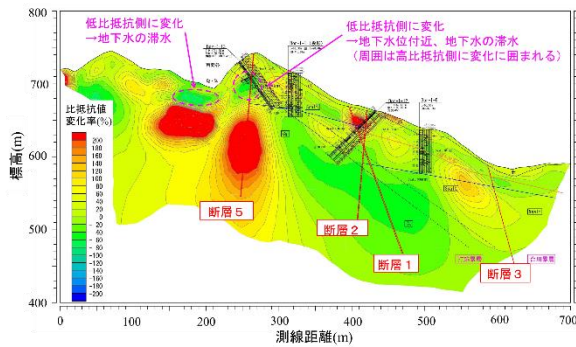


図-4 比抵抗変化率断面図（出水期/非出水期）

面図では、百間谷川の標高付近で、推定された断層付近に低比抵抗側に変化する領域が見られるため、地下水の滞水域と考えられる（図-4）。

4 ボーリング調査結果との比較

(1) 地下水位観測

地下水位観測を通年実施し、断層と各観測孔の位置と水位変動の特徴について検討した。水位変動の特徴は大きく3つ（①定高性のある水位が顕著、②水位低下速度が遅い、③水位上昇・低下が早い）に区分でき、斜面上部では「①定高性の水位が顕著な水位変動パターン」の水位変動であるのに対し、斜面中腹～下部では「③水位上昇・低下ともに早い水位変動パターン」がみられた（図-5）。

(2) ボーリング調査

比抵抗探査での低比抵抗部と高比抵抗部の地下構造（破砕帯、亀裂、岩質、透水性等）を把握するために、ボーリング調査を実施した。比抵抗探査において低比抵抗部が確認された位置において、細粒分が多い脆弱な破砕帯が確認され、この深度付近で地下水が確認された（図-6）。

(3) 比抵抗探査結果をふまえた水理地質構造の検討

水位変動パターンが異なる水位観測孔の間には「断層1」「断層2」が通過していることから、断層が水位変動パターンに影響を与えていると考えられる。またボーリング調査により、比抵抗探査により推定されていた断層と同位置に破砕帯が確認され、調和的な結果が得られた（図-7）。

5 おわりに

本研究では地下水理地質構造を比抵抗探査から分析し、その有用性を示した。今後、断層に影響する地下水の水位観測結果と降雨との関係から、断層背後における間隙水圧の上昇について検討し、

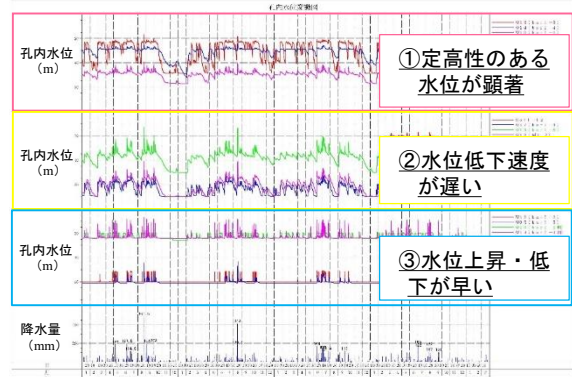


図-5 隣接斜面（未崩壊地）における地下水位観測孔の水位変動の特徴

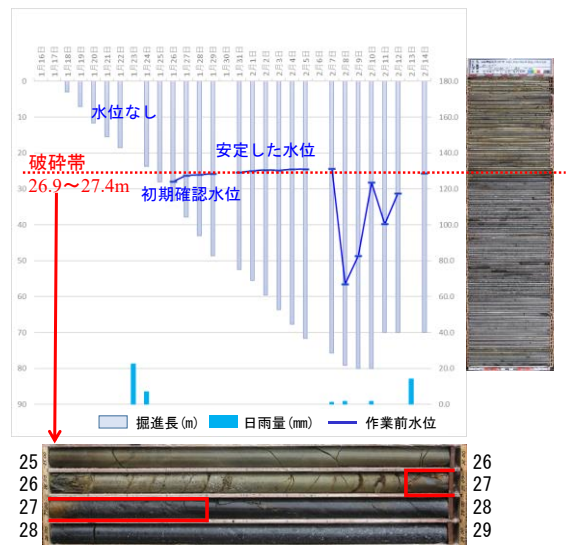


図-6 ボーリング調査結果 (Bor-I-13)

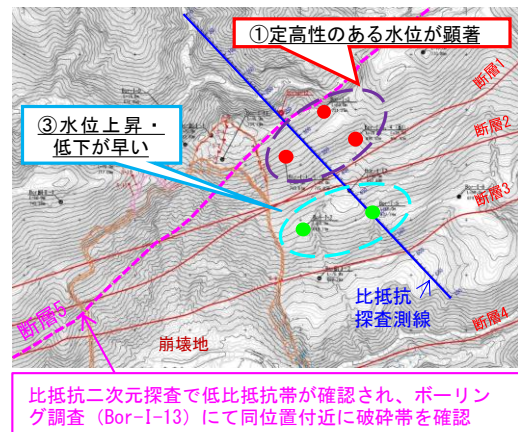


図-7 断層位置と地下水位変動の特徴との関係

崩壊発生メカニズムの解明を進めて参りたい。

1)木下ら(2021):2011年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入過程の検討, 日本地すべり学会誌, Vol. 58, No.1, pp.40-47.

物理探査技術を活用した深層崩壊リスク評価手法の試行事例と今後の課題

木下篤彦・北本 楽・山越隆雄・中谷洋明

1. はじめに

2011年台風第12号では、紀伊半島の72箇所では深層崩壊が発生し、17箇所では河道閉塞し、天然ダムが発生した。紀伊半島では、これまでの発生履歴の調査結果から、将来的に再度深層崩壊が発生する可能性が高いため、ハード対策およびソフト対策を行うためには、事前に危険度評価手法の開発が必要である。

国土交通省では、2010年8月に全国の深層崩壊の発生危険度を表した「深層崩壊推定頻度マップ」を公表したことに続いて、深層崩壊の推定頻度が特に高いとされた地域を中心にさらに調査し、2012年に深層崩壊に関する溪流（小流域）レベルの調査結果を公表した。深層崩壊の発生要因等は、未だ全てが解明されているものではないが、当時の技術レベルで判明している知見を踏まえ、空中写真判読等による全国的な調査を進めて得られた結果である。

その後、紀伊山地を対象にして、大規模土砂災害対策技術センターにおいて更なる調査研究を進め、平成23年に紀伊山地で発生した深層崩壊地におけるボーリング調査結果等と物理探査結果の間に一定の整合性を確認し、物理探査結果によって、地下水の流入、せき止め断層破碎帯が地下水をせき止めたり、流入を促している可能性があることを示したり。これらの知見を踏まえ、物理探査技術を活用した深層崩壊の危険性が特に高い斜面の抽出手法を提案した²⁾。本報文では、その評価手法と実施事例の紹介とともに、さらに追加してドローンを用いて複数時期実施されたより詳細な空中電磁探査結果との比較を踏まえ、提案している評価手法の課題と今後の方向性について述べるものである。

2. 優先的に調査する斜面の抽出方法

国土交通省では、危険斜面の抽出や斜面の変動状況を把握するため、奈良県南部地域で航空レーザ測量および航空写真撮影を行っている。その結果を基に、二重山稜や線状凹地等を判読し、将来的に深層

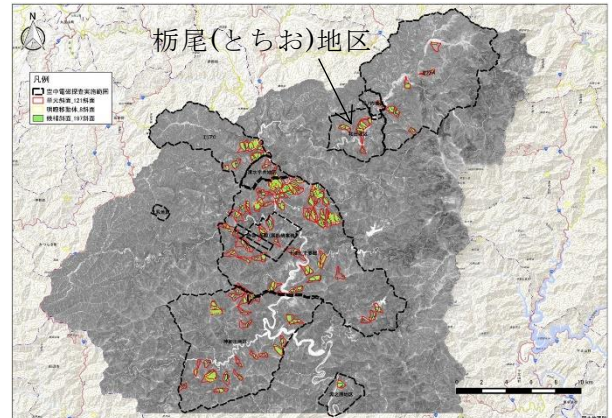


図-1 奈良県南部でのレーザ測量・航空測量範囲(灰色で表示)と変形している斜面の判読結果(国土地理院地図に追記)。点線で囲まれたエリアがヘリコプター空中電磁探査実施範囲。



写真-1 奈良県十津川村での変形斜面(岩盤クリープ斜面)の事例



写真-2 奈良県天川村の深層崩壊発生斜面(冷水(ひやみず)地区)でのヘリコプター空中電磁探査の様子(2012年12月)

崩壊が発生すると考えられる岩盤クリープ斜面を抽出した(図-1・写真-1)。また、これらのエリアのうち、約280km²の範囲で、2012～2014年に、地下の比

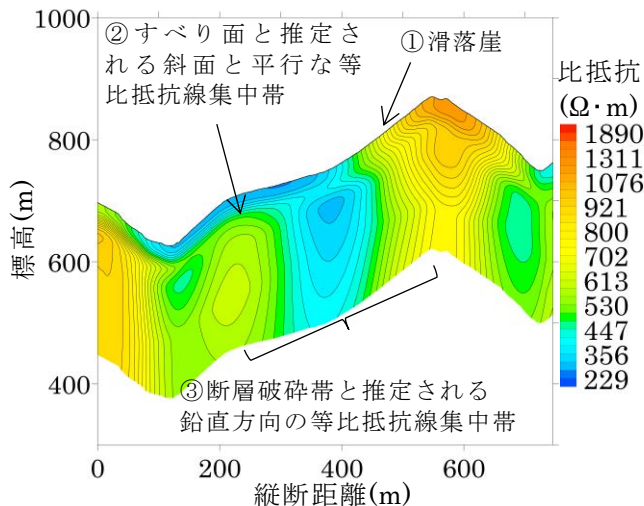


図-2 奈良県南部における岩盤クリープ斜面でのヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断図の一例とリスク評価の指標

抵抗構造や地下水の分布の把握を目的としてヘリコプター空中電磁探査(写真-2)を行った。ヘリコプター空中電磁探査は、ヘリコプターに吊るされた電磁センサから周波数の異なる電磁場を発生し、地面から深さ約200mまでの間の地盤内部の比抵抗を得る。比抵抗が得られれば、地盤内の空隙や固結度、地下水の状況などの情報が分かる。

既往研究²⁾によるリスク評価はレベル1～3で表している。図-2に評価に用いた指標を示す。レベル1は、2011年台風第12号時の実績から、5%以上のひずみ(滑落崖の高さを斜面長で除した値)が生じていることを条件とした。レベル2は、レベル1に加え、ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断図に、すべり面と考えられる等比抵抗線集中帯が斜面と平行に走っていることを条件とした。レベル3は、レベル2に加え、ヘリコプター空中電磁探査による主測線の比抵抗縦断図に、断層と推定される鉛直方向の比抵抗線集中帯が存在することを条件とした。

3. 既往研究によるリスク評価

約280km²の範囲(図-1)で、既往研究を基にリスク評価を行った(図-3)。このエリアで岩盤クリープ斜面は198箇所で見つかった。このうち、ひずみ率が5%を超えている斜面は、80箇所であった(レベル1)。80箇所のうち、主測線の比抵抗縦断図に斜面と平行な等比抵抗線集中帯(推定すべり面)が見られたのは、14箇所であった(レベル2)。さらに、比抵抗縦断図に鉛直方向の等比抵抗線集中帯(推定断層)が見られたのは、14箇所であった(レベル3)。

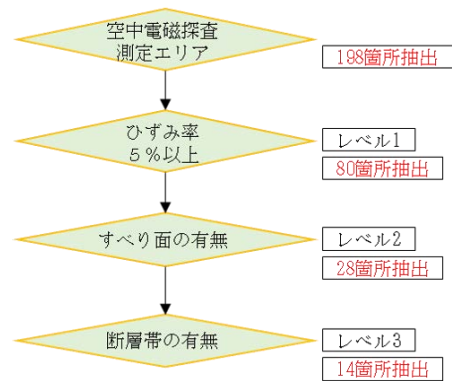


図-3 既往研究による奈良県南部における岩盤クリープ斜面のリスク評価結果

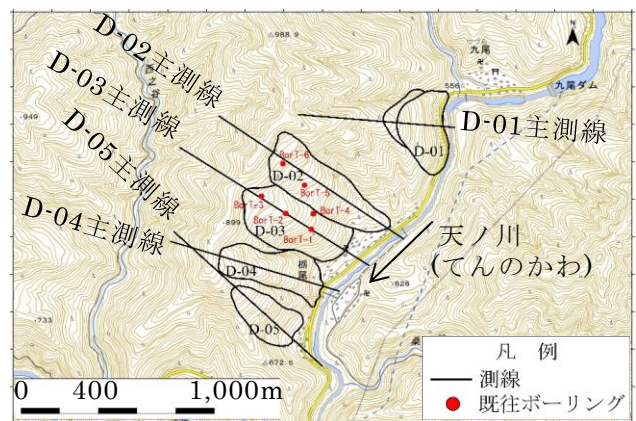


図-4 栃尾地区の5箇所の岩盤クリープ斜面の位置図(国土地理院地図に追記)



写真-3 栃尾地区でのドローン空中電磁探査の様子(ドローンが飛び立つところ、2021年10月)

4. リスク評価手法の妥当性の検証

4.1 調査方法

図-3のリスク評価結果の妥当性を検証するには、出水期における断層破碎帯による周囲からの地下水の誘導やせき止めを調査する必要がある。そこで、レベル3の斜面が見つかった箇所のうち、機器設置の容易さや道路からの近さ等の点から、栃尾地区(図-4)にて、ドローン空中電磁探査(写真-3)による2時期(出水期・乾燥期)の比抵抗調査を行った。ドローン空中電磁探査では、対象斜面及び現地状況に応じて数百メートル～1kmに渡って電流送信ケーブルを張り、電流を流す。電流を切断することで発生する磁

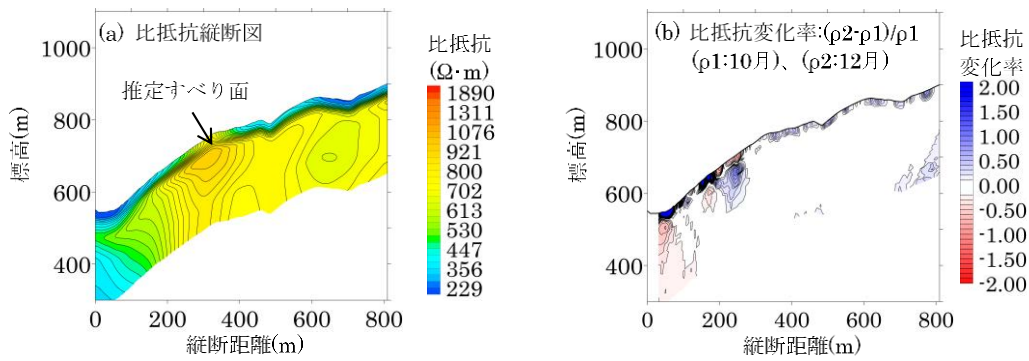


図-5 図-4中、D-01斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

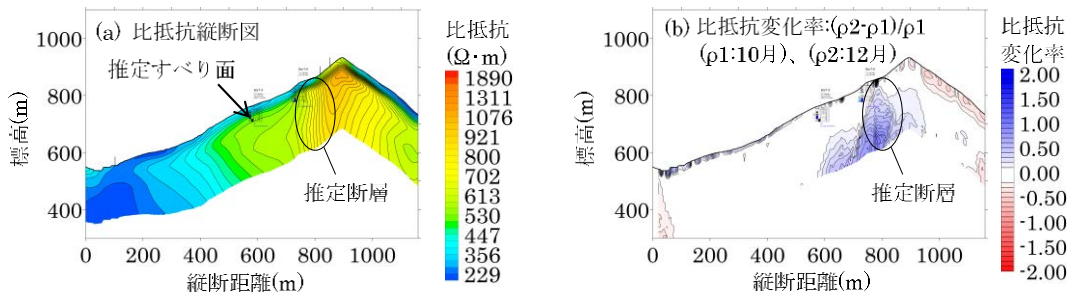


図-6 図-4中、D-02斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

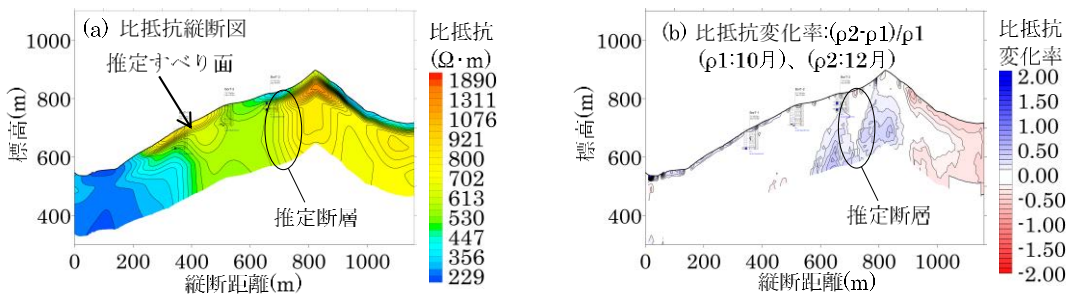


図-7 図-4中、D-03斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

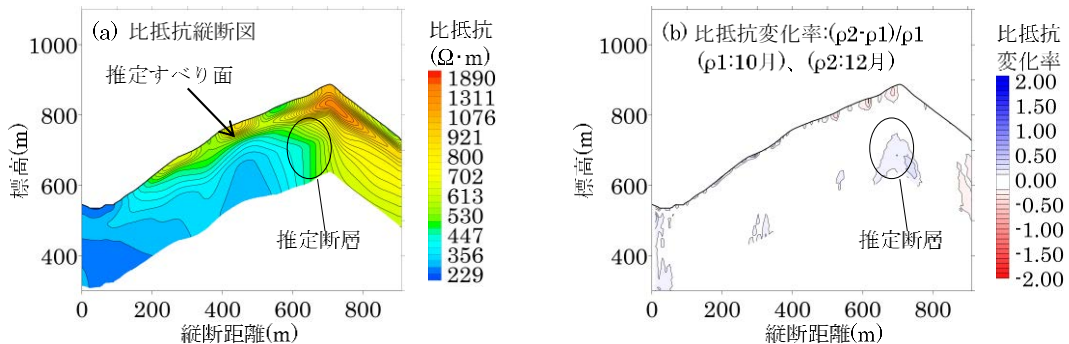


図-8 図-4中、D-04斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

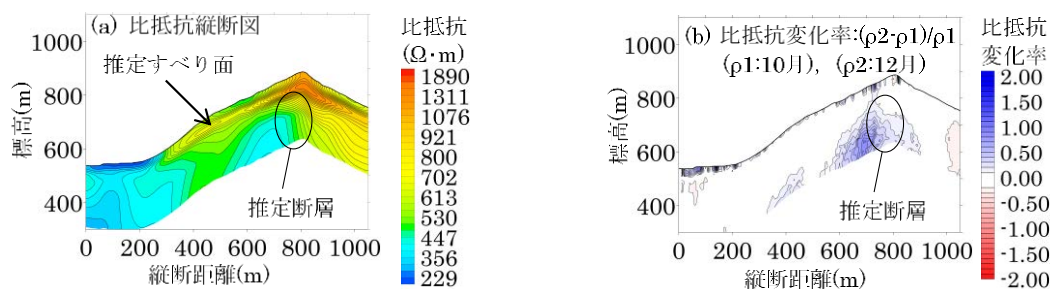


図-9 図-4中、D-05斜面主測線での、(a)ヘリコプター空中電磁探査による比抵抗縦断面図、(b)ドローン空中電磁探査による2時期の比抵抗変化率

場の強さをドローンの受信センサで読み取り地盤の比抵抗を得る。栃尾地区にはレベル3の斜面が2か所(D-02・03)ある他に、岩盤クリープ斜面が3箇所あり、合わせて調査を行った。

4.2 調査結果

図-5～9に、図-4中D-01～05の斜面の2013年11月に実施したヘリコプター空中電磁探査の比抵抗縦断面図、ドローン空中電磁探査による2時期(2021年10月と12月)の比抵抗変化率((12月の比抵抗値・10月の比抵抗値)/10月の比抵抗値)を示す。比抵抗変化率は、青が濃いほど10月出水期の比抵抗値が12月に比べて小さいことを示しており、含水率が高かったと考えられる。なお、10月・12月のドローン空中電磁探査実施時は、いずれも降雨は無かったが、D-02斜面で計測中の2孔の水位観測孔では、10月実施時の水位の方が高いことを確認している。

調査結果をまとめると、表-1のようになった。D-01は、ヘリコプター空中電磁探査でも断層破碎帯が確認されておらず、ドローン空中電磁探査でも地下水への影響は確認されなかった。D-02と03は、既往評価手法ではレベル3であったが、断層破碎帯による地下水への影響が確認されており、既往評価手法は妥当であった。D-04と05については、ひずみ率が5%未満であり、リスク対象外と評価したが、ドローン空中電磁探査では地下水への影響が確認された。ひずみ率が小さくても断層破碎帯による地下水への影響がある事例が確認された。ひずみ率のしきい値については、孔内傾斜計等の観測結果によって今後検証していく必要がある。

また、図-6～9の(b)を見比べると、断層破碎帯による地下水への影響は差があることが分かった。図-6(b)のD-02斜面のような2時期の比抵抗変化率の高いものが断層破碎帯による地下水の挙動への影響が

表-1 栃尾地区5斜面の既往評価と2時期のドローン空中電磁探査による検証結果

斜面名	既往評価				2時期のドローン空中電磁探査による検証結果
	ひずみ率	すべり面	断層破碎帯の有無	既往リスクレベル	断層破碎帯による地下水への影響の有無
	5%以上	あり	あり		
D-01		○			
D-02	○	○	○	3	○
D-03	○	○	○	3	○
D-04		○	○		○
D-05		○	○		○

大きかったと考えられる。変化率の程度が、崩壊リスクにどう寄与するか、さらなる検討が必要である。

5. まとめ

山地流域を対象とする調査はその範囲が広域であるため、依然として主に地形情報等に基づく場合が多い。空中電磁探査を活用したリスク評価手法には未だ課題は残されているが、広域にわたる地下情報を踏まえていることから、有望な手法であると考えしており、今後とも手法の改良に努めていく。

参考文献

- 1) 木下篤彦ほか：2011年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入過程の検討，日本地すべり学会誌，Vol.58，No.1，pp.40-47，2021
- 2) 木下篤彦ほか：紀伊山系におけるヘリコプター及びドローンによる空中電磁探査を活用した深層崩壊危険度評価手法、物理探査学会第146回学術講演会論文集、pp.50～53、2022.

砂防学会誌 シリーズ「大規模斜面崩壊, 土石流, 土砂・洪水氾濫に学ぶ」

『2011年紀伊半島大水害に学ぶ』北本楽・小杉恵・上田成人

口絵写真-1



奈良県十津川村栗平地区の深層崩壊と河道閉塞(2022/9/6, 国土交通省)

口絵写真-2



奈良県十津川村宇井地区の深層崩壊と河道閉塞の越流決壊(2022/9/6, 国土交通省)

口絵写真-3



和歌山県那智勝浦町那智川流域の同時多発的土石流の状況(2022/9/10, 国土交通省)

口絵写真-4



和歌山県那智勝浦町那智川流域の土砂・洪水氾濫(2022/9/11, 国土交通省)

2011年紀伊半島大水害に学ぶ

北本楽・小杉恵・上田成人

1. はじめに

2011年（平成23年）8月30日～9月5日、台風第12号による総降雨量1,000mmを超える豪雨に伴い、奈良県・和歌山県・三重県の3県を中心として、深層崩壊、表層崩壊、土石流が多発し、甚大な被害が生じました。奈良県南部を中心に多発した深層崩壊では、深層崩壊の崩壊土砂による河道閉塞（天然ダム，口絵写真-1, 2）が17箇所形成され、河道閉塞が決壊して土石流化し下流集落に大きな被害が生じることが懸念されました。また、和歌山県那智勝浦町那智川流域では、表層崩壊に伴って複数の支川から同時多発的な土石流が生じ、那智川本川河道を埋設したことで、土砂・洪水氾濫を併発し、下流集落に大きな被害が生じました（口絵写真-3, 4）。台風第12号とその後の台風第15号により紀伊半島にもたらされた大災害は、被害が集中した3県の提案により「紀伊半島大水害」と名付けられました。

紀伊半島大水害から今年で約12年の年月が経過しますが、国、県、自衛隊、警察、消防等の各機関が連携し、一丸となって災害対応や救助活動等を実施してきたこと、また、多くの大学等研究機関が調査、研究を実施してきたことは、その後の土砂災害対策・防災減災対策に資する重要な知見や画期的な技術開発に寄与したと考えられます。そこで、本稿では、紀伊半島大水害により生じた災害状況を振り返るとともに、これまでの調査研究成果を踏まえながら、国土交通省で実施してきた紀伊半島大水害災害対応や対策工事の概要と、対策事業の中で生まれた土砂災害対策技術の報告をしたいと思えます。

2. 土砂移動現象と被害の概況

2.1 災害発生箇所の概要

2011年8月25日9時にマリアナ諸島の西海上で発生した台風第12号は、大型で強い台風となり、9月2日に日本列島で上陸、台風の動きが遅かったため、8月30日から9月5日にかけて日本の広い範囲で降雨が長時間継続し、西日本から北日本の山沿いを中心に大雨となりました。紀伊半島では特に降雨量が多く、紀伊山地の広い範囲で8月30日18時から9月5日24時までの総降雨量が1,000mmを超え、一部の地域では解析雨量が2,000mmを超える記録的な大雨となりました（図-1）。この大雨によって土砂災害、浸水害、河川の氾濫な

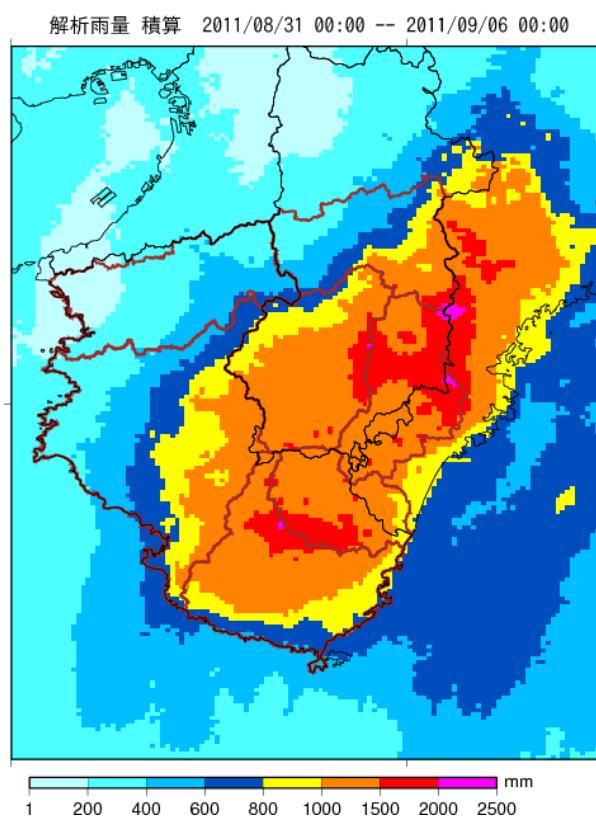


図-1 2011年台風第12号による紀伊山地での総降雨量分布

どが発生し、全国で床上・床下浸水などによる住宅被害、田畑の冠水被害、道路損壊などによる通行止めが多発しました。奈良県・和歌山県・三重県の3県では、死者73名、行方不明者15名を超えるなど3県に被害が集中しました（全国では死者83名、行方不明者15名（消防庁応急対策室, 2017））。

特に土砂災害については、長時間継続した降雨によって地盤がゆるみ、紀伊半島各地で土石流、地すべり、崖崩れ、深層崩壊が多発しました。国土交通省が実施した航空写真を用いた判読結果から、奈良県・和歌山県・三重県の3県では、3,000箇所を超える斜面崩壊が発生（図-2）し、その崩壊土砂量は紀伊半島全体で約1億m³（京セラドーム大阪または東京ドーム約80倍の量に相当）に達すると推定されました。これは豪雨による土砂災害としては戦後最大の崩壊土砂量です。紀伊半島全体の崩壊土砂量1億m³のうち、

実に9割近い約8,600万m³が奈良県内の斜面崩壊によって生じました。奈良県・和歌山県・三重県の3県において深層崩壊は72箇所が発生し、このうち54箇所が奈良県南部に集中しています。また、奈良県・和歌山県では深層崩壊により17箇所で河道閉塞が発生し、特に奈良県五條市赤谷、十津川村長殿、栗平、野迫川村北股、和歌山県田辺市熊野の5箇所については大規模な河道閉塞および湛水池が形成されました。この5箇所については、豪雨後も河道閉塞が決壊せず河道が完全に閉塞しており、今後の降雨で越流・決壊・土石流による甚大な被害が生じるおそれがあるため、土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（以下、「土砂災害防止法」という）による緊急調査を実施しました（国土交通省近畿地方整備局, 2014）。

紀伊半島大水害において和歌山県では56名の死者が出ましたが、このうち約半数の28名（ほかに行方不明者1名）が和歌山県東牟婁郡那智勝浦町の二級河川那智川流域（流域面積24.47km²）の土石流災害で亡くなっています（和歌山県那智勝浦町, 2013）。那智川流域で特に被害が大きかった理由としては、那智川本川に流れ込む8支川で表層崩壊および土石流が同時多発したこと、支川から供給された土砂や流木により本川河道が埋塞したことにより広範囲に洪水氾濫が生じたこと、土石流発生時刻が9月2日の夜中0時～3時に集中しており、避難が困難だったことが挙げられます。

2.2 紀伊半島における過去の土砂災害

紀伊半島では、過去にも豪雨に伴う大規模な土砂災害が発生しています。1899年（明治22年）8月の十津川大水害では、和歌山県から奈良県南部の範囲に台風通過に伴う総降雨量1,000mmを超える集中豪雨が 발생し（国土交通省近畿地方整備局, 2021）、深層崩壊や土石流が多発し、河道閉塞の越流決壊による下流集落への被害も大きく、奈良県吉野郡（現十津川村を含む郡）では約250名の方が亡くなっています。本災害は十津川村大水害と呼ばれることが多いですが、和歌山

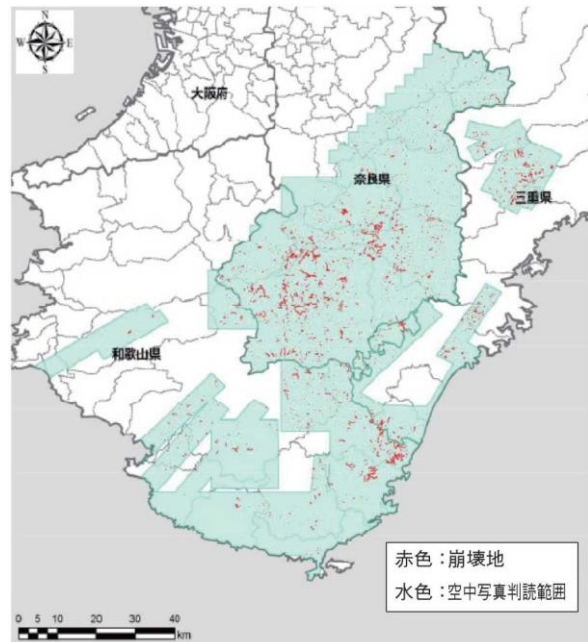


図-2 紀伊半島大水害における航空写真による崩壊地分布判読の結果

県上富田町では死者 394 名、田辺市は 320 名と和歌山県西牟婁郡地域でも死者が極めて多く、まさに明治の紀伊半島大水害と呼べる災害でした。1953 年（昭和 28 年）7 月の有田川水害では和歌山県・奈良県のほぼ全域で総降雨量 500～1,000mm を超える集中豪雨が発生し、有田川流域上流では、深層崩壊や河道閉塞が発生・越流決壊し、甚大な被害が生じました。和歌山県内では土砂・洪水災害による死者約 600 名、行方不明者約 400 名にもおよび、有田川流域（流域面積:467.8km²）の斜面崩壊による崩壊土砂量は約 3000 万 m³ 程度と考えられています。まさに、昭和の紀伊半島大水害です。これまでの研究から、深層崩壊の発生確率については概ね 1～200 年に一度、長い時は数千年に一度という見解（清水・畑中, 2010 ; 内田ら, 2017）が示されてきました。しかしながら、1899 年、1953 年、そして 2011 年と約 60 年毎に歴史的な大規模土砂災害が発生している紀伊半島は、その大規模土砂災害の発生頻度においては類を見ない確率の高さを示しており、紀伊半島において土砂災害からの復旧・復興そして次の土砂災害に備えた災害対策技術の開発や災害機構の調査研究は非常に重要かつ重大な使命を持つことが分かります。

2.3 深層崩壊および河道閉塞への災害対応と対策

紀伊半島大水害における国土交通省による深層崩壊、河道閉塞の災害対応とその後の対策工事について記録を紹介します。総降雨量 1,000mm を超える大規模な降雨が落ち着いた 9 月 5 日、国土交通本省・国土技術政策総合研究所の砂防等の専門家 7 名からなる先遣隊が、奈良県・和歌山県に派遣され、現地踏査とヘリによる上空からの調査を行った結果、多数の大規模な深層崩壊・河道閉塞が発生していることなどが判明しました。5 日のヘリコプター調査では奈良県十津川村長殿地区の河道閉塞のみを発見していましたが、同日夕刻に実施された高分解能 SAR 衛星 TerraSAR-X の緊急観測結果と長殿地区の崩壊地・河道閉塞を照らし合わせることで、長殿地区と同様の画像パターンから、奈良県五條市赤谷地区、奈良県十津川村栗平地区等、8 箇所において河道閉塞が形成されている可能性が高い箇所を判読しました。翌 9 月 6 日、国土技術政策総合研究所・土木研究所がヘリコプターから河道閉塞を目視調査し、新たに栗平地区と赤谷地区の大規模河道閉塞を発見し、同時に、同乗していた土木研究所研究員がヘリコプターに持ち込んだ手持ちレーザ測距器で赤谷地区、長殿地区、栗平地区、熊野地区 4 箇所の河道閉塞を計測しました。これらの調査結果を受けて、同日に近畿地方整備局は土砂災害防止法による緊急調査を開始し、8 日には、河道閉塞の越流決壊に伴う土石流氾濫数値シミュレーション（清水ら, 2012）にて算出した結果から「重大な土砂災害が想定される区域」を土砂災害緊急情報として関係自治体に通知しており、これを基に、関係市村は河道閉塞箇所下流地区に避難指示等を発令しました。9 月 13 日には、奈良県野迫川村北股地区においても緊急調査を追加実施しており、赤谷、長殿、栗平、熊野、北股の河道閉塞 5 箇所については、2011 年 5 月に改正施行された土砂災害防止法に基づく河道閉塞としては初の緊急調査対象事例となりました。台風第 12 号以降も、まとまった降雨が予想される度に、近畿地方整備局は重大な土砂災害の想定される時期について緊急情報を自治体等に通知し、土砂災害による被害防止を図りました。土砂災害緊急情報の発信は、奈良県十津川流域に 12 回、和歌山県日置川流域に 7 回、越流確認等の随時情報は同 26 回、15 回にのびりました。また、継続監視期における深層崩壊斜面および河道閉塞の監視についてはヘリコプターからの巡視のほかにも、監視カメラ、斜面崩壊センサー、土石流ワイヤーセンサーの設置や、雨量観測、土研式水位観測ブイ等による湛水池水位観測などを実施しました。

一方、河道閉塞現場では、湛水地が越流しても安定的に流下する構造とするため、仮排水路を築造する緊急工事も並行して進めました。9月16日に赤谷地区と熊野地区で着手したのに続き、30日に北股地区で、10月8日に長殿地区と栗平地区にて緊急対策工事に着手しました。赤谷、北股および熊野地区では進入路となる道路が被災、長殿地区と栗平地区については道路自体がなかったため、工事用進入路の整備から実施しました。道路がない長殿、栗平の両地区についてはヘリコプターによる分解型油圧ショベル等の建設重機・資材等の運搬を行いながら工事を進めました。赤谷、長殿および北股地区では崩壊斜面に不安定土塊が残存していたため、遠隔操作による無人化施工を採用し、崩壊土砂を防護する土堤設置等を実施しました。工事用道路が整備されると、一時的に湛水池水位をできるだけ低くするためにポンプ排水を実施するとともに、湛水池自体を埋立て可能な地区については埋立て工事を行い、埋立て困難な地区については、河道閉塞前面に仮排水路の設置工事を実施しました。赤谷、栗平、長殿地区においては対策のための綿密な検討がなされています（桜井, 2015）。栗平では2012年9月の台風第17号で仮排水路が被災したことを受け、推進工法による暗渠排水管が設置されました（桜井, 2015）。推進工法が河道閉塞対策として採用されたのは我が国で初です。各河道閉塞箇所への進入路の整備や倒木処理、仮排水路の建設などが進むことで、万が一越流しても仮排水路を用いた通水が可能となり、越流に伴う土石流発生の危険性が低下したため、熊野地区では12月3日に、北股地区では12月23日に湛水池の埋立て完了とともに警戒区域が解除されました。また、赤谷地区および長殿地区では、仮排水路の底面処理が完了し土石流の危険性が低減したことなどから、2012年2月7日に警戒区域が解除されました。

国土交通省では緊急調査を実施した5箇所以外の奈良県五條市清水地区、天川村冷水地区、和歌山県田辺市三越地区においても両県の要請を受けて国の緊急対策工事として12月15日から深層崩壊地斜面对策を開始しました。これらの地区については、河川に埋設した河道閉塞土砂の除去については河川管理者である県が担当し、国では仮設護岸の設置や崩壊斜面の法面工、防護土堤の施工を実施しました。

災害直後の応急対策に引き続き、本格的な河道閉塞・崩壊斜面对策については、全国的にも対策実施事例が乏しく、砂防工学のみならず地質・地形学、河川工学等の幅広い知見が求められるため、各分野の有識者の助言を得ながら対策工法を検討するために河道閉塞等対策委員会を24年5月に設置しました。赤谷、長殿、栗平、北股、熊野の5地区では崩壊地・崩壊土砂・河道閉塞部・下流河道部の4つのエリアに、清水地区、冷水地区では崩壊地・崩壊土砂・河道部の3つのエリアに、三越地区では崩壊地・崩壊土砂・河道部・下流河道部の4つのエリアに区分し、各エリアで想定される土砂移動現象とその影響、緊急性等を考慮して対策工を検討し、対策工事を実施中です。これまでの直轄砂防工事によって、8地区のうち三越地区と清水地区の斜面对策工事がそれぞれ2018年度末と2021年度末に完成しています。

2.4 那智川流域における土石流災害対応と対策

国土交通省による那智川流域での土石流災害対応とその後の対策工事について記録を紹介し、那智勝浦町那智川流域で同時多発的な土石流および土砂・洪水氾濫が発生したことを受けて、近畿地方整備局は9月7日に那智勝浦町役場にリエゾンを派遣し、さらにTEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）高度技術支援班を出動させて那智川と支川の土砂災害調査を実施し、県と町に情

報提供と技術アドバイスをを行いました。国土技術政策総合研究所、土木研究所も専門家を派遣し、高度技術支援調査を実施しています。その後、和歌山県の要請を受け、10月31日に那智川流域の7支川（内の川、樋口川、平野川、鳴子谷川、蛇ノ谷川、尻剣谷川、金山谷川）で国による砂防堰堤工の緊急工事に着手しており、本格的な対策工事として、先の7支川に陰陽川を含めた8支川には砂防堰堤等の整備、那智川本川には遊砂地工の整備を実施しています。那智川流域の対策を検討するに際しては、各被害溪流および那智川本川を含めた流域全体の土砂処理方針の検討に加えて、那智川流域が世界文化遺産や国立公園に指定されていることから、景観に配慮した砂防設備整備として修景工等の対策（図-3）をとりまとめることを目的として、専門家による那智川土砂災害対策検討委員会を設置し、対策の基本方針を提言しています。また、2014年4月には、深層崩壊や同時多発的土石流などの大規模土砂災害に関する調査・研究、技術開発を行うことを目的として、近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターを那智川流域内に設置しました。本センターでは、和歌山県が設置した土砂災害啓発センターと連携し、土砂災害発生機構に関する研究をはじめとし、土砂災害調査に関する技術開発、防災出前講座などの啓発活動、地域講演や研修等の人材育成を実施し、紀伊半島をフィールドとして土砂災害対策に関する新しい知見・技術を全国に発信すべく取り組んでいます。



図-3 那智川流域鳴子谷川の修景工を施した1号砂防堰堤

3. この災害に学ぶ

紀伊半島大水害後はさまざまな調査研究、そこから得られた成果による新しい災害対策技術が生まれました。ここでは、①大規模河道閉塞対策技術、②自動化施工による砂防設備工事技術、③深層崩壊発生機構の研究と深層崩壊発生危険斜面抽出技術の開発、④UAVを用いた災害調査技術について概観します。

3.1 紀伊山地における大規模河道閉塞対策技術

紀伊半島大水害において形成された河道閉塞はそれぞれ特性（現場へのアクセス、河道閉塞の規模、河道閉塞前面の勾配、河道閉塞部への土砂流入頻度、流入量、越流頻度など）が異なっており、有識者やコンサルタント、ゼネコン等の多くの関係者による協力を得てその特性に応じて様々な工夫を凝らして対策が講じられてきました。その経験から紀伊山地における大規模河道閉塞(天然ダム)対策の考え方(案)（以下、考え方(案)）をまとめました。考え方(案)は3章立てとなっており、河道閉塞形成直後の対策計画検討、対策工法の検討、各地区での対策工法の立案事例をについて述べています。河道閉塞形成直後の対策計画および対策工法として河道閉塞切り下げおよび湛水池の埋め立て、排水路の確保、基幹堰堤の構築、崩壊地からの土砂流出抑制などの観点から整理しています。対策工法の検討に関しては、湛水池の排水方法について内容豊富に整理しており、砂防堰堤等の対策工の選定方法についても整理しています。湛水池の排水方法、ポンプ排水は湛水池への流入量よりもポンプの排水量が大きい場合（例：北股地区）には有効ですが、湛水池への流入量の方が大きい場合（例：赤谷地区）はポンプ排水による湛水池の水位上昇を抑制している間に開水路等の別の排水方法を実施する必要があります。栗平地区では河道閉塞の規模が大きく、排水管が長くなって閉塞した場合の除去が困難など多くの課題がありました。開水路の設置に関しては、例えば越流頻度が高いと考えられる場合（例：赤谷地区）は越流侵食による開水路の埋没や石礫の衝突による破損を防止するために呑口標高をできるだけ低く設定することとシュート部に表面保護工を実施することなどを定めています。また、土砂流入頻度が高いと考えられる場合（例：赤谷地区、北股地区）は開水路が埋没しても排水可能とするように暗渠排水管の設置を検討することなどを記載しています。河道閉塞の規模が大きい場合（例：栗平地区）は土工量が少なくなるように水路線型を設定する、流速の低減のために粗度をつけるなどが提案されています。暗渠排水管は崩壊地からの土砂流出による影響を受けず、越流頻度が高い現場における排水方法として有効でしたが、閉塞に備えて開水路と併用設置することが望ましいと考えます。そのほか、河道閉塞対策を実施する上での様々な苦労、独創的なアイデアに基づく工法の採用がなされていることを読み取ることができます。

3.2 赤谷地区における自動化施工技術

奈良県五條市赤谷地区の深層崩壊（崩壊土砂量:1,138万 m³）における深層崩壊対策工事は、これまで崩壊斜面から離れた箇所ですべての渓流保全工や砂防堰堤等の整備を進めてきましたが、3号砂防堰堤の施工では崩壊斜面直下の危険な箇所での作業になることから、従来まで実施してきた無人化施工に変わり、砂防事業では全国初となる自動化施工(図-4)を採用しました(古江・江口, 2022)。3号砂防堰堤はプレキャストコンクリートブロック積み、堰堤背面はソイルセメントで満砂させて、上流の河道閉塞部および崩壊斜面脚部の安定化を図るための設備です。自動化施工を行うに

あたり、鹿島建設（株）の全面的な協力の下、設計、施工手法、材料等から見直しを行っています。この自動化施工は、あらかじめプログラムされた作業に従って建設重機が自動で施工を行うものであり、先端を独自開発したバックホウによるブロック据付の自動化、21 t 級ブルドーザによるソイルセメント敷均し、振動ローラーによるソイルセメント転圧を自動化しています。ブロック据付については、自動化施工用に新たに開発した AR マーカー付のブロックを用いており、バックホウ先端に取り付けた AR カメラが画像認識し、自動運転の相対座標を瞬時に計算、ブロック据付を行っています。自動化施工を採用したことで遠隔操作の無人化施工と比べて、ブロック据付では約 25%、ソイルセメント敷均し、転圧作業で 40%の効率向上が確認でき、有人施工と比べても同等の効率を確保することが可能となりました。砂防工事現場においては、広いヤード確保ができず同時使用する重機台数に制限がある場合が多いものの、自動化施工を用いることによりオペレーター1 名あたりが管理する重機台数が無人化施工に比べて増加することで、大幅な省人化に成功し、安全かつ効率よく施工を進めることが期待されます。



図-4 奈良県五條市赤谷地区における自動化技術を用いた3号砂防堰堤の施工

3.3 深層崩壊発生機構の解明と深層崩壊発生危険斜面の抽出

3.3.1 紀伊半島における深層崩壊機構

紀伊半島大水害後に実施された膨大な調査研究により紀伊半島における深層崩壊発生機構についても理解が進みました。そこで、紀伊半島大水害で深層崩壊が生じた斜面に関する素因・誘因の整理をしてみます。地すべり・大規模崩壊の発生には、斜面に下刻がおよぶことが重要である（寺戸，1977；平野ら，1984；上野・田村，1992；Chigira，2009）と指摘されていますが、紀伊半島では 100 万～120 万年前から隆起速度の増大によって浸食基準面が相対的に低下し、河川の下刻が活性化したと考えられます（平石・千木良，2011）。河川の下刻が進むにつれて応力解放や重

力作用によって、ゆるみが発生するとともに、斜面の変形に伴う亀裂の発生、地下水の浸透、炭酸塩鉱物の溶出、さらなる地下水の深部への浸透が起こることで、斜面が力学的に不安定化していくと考えられます（田中ら、2019）。紀伊半島大水害で発生した深層崩壊についても崩壊前の航空レーザ測量成果から岩盤クリープに伴う小崖等の特徴的な微地形が発達していたことが明らかになっています（Chigira *et al.*, 2013）。紀伊半島の地質については、紀伊山地北部は変形の強い付加コンプレックスである日高川帯で形成されています。層理面やせん断面、衝上断層といった面構造が斜面に対して流れ盤構造で形成されており、重力によるクリープ変形をしやすい地質をしています。紀伊半島大水害後の調査からも衝上断層と破碎帯を含む斜面の河川浸食が深層崩壊発生に影響していることが報告されています（Arai and Chigira, 2018）。クリープ変形した岩盤や亀裂岩体状の岩盤は節理やせん断面が開口することで緩み岩盤となっていく、透水性の高く深部まで地下水浸透する岩盤となっていく。このように、紀伊半島は長期的な地形変形やクリープ変形現象により斜面が不安定化していったと考えられます。深層崩壊発生場においては、地下深くに浸透した地下水の湧水が確認されています（地頭菌・下川, 1998）が、紀伊半島大水害で深層崩壊が生じた斜面においてもクリープ変形により岩盤内の亀裂が開口していくことで、地下深部にて水みちが形成されたと考えられます。こうした岩盤内の亀裂開口には数千年から数万年の期間の間に発生した地震による影響も指摘されています（小川内ら, 2021）。

岩盤の緩みが進行してきた斜面において、深層崩壊の引き金となったのはリターンピリオド100年超過（松村ら, 2012）の総降雨量1,000mm以上の大規模な豪雨です。国土交通省が実施した赤谷地区崩壊地縁辺部に設置した地下水位孔での地下水位観測では、総降雨量300mm以上の豪雨イベントの際に、地下水位が50m程度上昇を記録している場合もありました。地すべり地や大規模崩壊地域の地下水位変動については実効雨量との対応関係が高いこと（例えば、海野ら, 2008; 増山, 2009）や、地下水位降雨ピークと崩壊発生時刻の遅れ時間が大きくなると崩壊規模が大きくなること（八反地, 2003）など、既往研究においても地下水帯の形成が土砂移動の誘因となること示しており、紀伊半島大水害においても長時間の大規模豪雨により高圧の地下水帯が形成されたことが斜面崩壊の誘因になったと考えられます。

3.3.2 深層崩壊発生危険斜面の抽出技術

国土交通省では深層崩壊の蓋然性が高い斜面の抽出技術を体系化し、将来の深層崩壊に対する防災・減災技術の開発を目指しています。ここでは、航空レーザ測量結果と物理探査手法を併用した深層崩壊発生危険斜面抽出技術について紹介します。既往研究によると、地すべりや深層崩壊の誘因となる地下水帯に対して斜面内部の断層等の地下水理構造が影響していることが指摘されています。例えば、断層による地下水の遮水、誘導が地すべりの滑動に影響していること（川上, 2007）や、断層等の地下水理構造を考慮した対策工により地すべり滑動を抑制できた事例（山崎ら, 2003）があり、地すべりや深層崩壊地におけるボーリング調査と物理探査を用いて断層および地下水位帯の位置を把握することが可能であること（茂木ら, 2018; 木下ら, 2021a）が報告されています。これらの研究成果に基づき、国土交通省では調査の効率性も考慮して、ヘリコプターやUAVによる空中電磁探査（図-5）を用いた斜面内部の比抵抗探査を実施し、比抵抗探査結果に基づく地下水帯や地下水を遮水・誘導するような断層破碎帯等の地下水理構造の把握に関する技術開発（田中ら, 2017）を進めています。また、航空レーザ測量成果による微地形判読結果と

空中電磁探査結果を併用した深層崩壊発生リスクマップ（木下ら, 2021b）の作成にも取り組んでいます。



図-5 和歌山県田辺市熊野地区におけるUAVを用いた空中電磁探査の様子

3.4 ドローンを活用した災害調査技術

12年前の紀伊半島大水害時ではヘリコプターを用いて上空から深層崩壊・河道閉塞の記録・監視や土砂災害防止法に基づく緊急調査を実施しましたが、ヘリコプターは各地方整備局に1機しか配備されていないことや、有視界飛行では雲高300m以上を飛行しなければならず、山際の下を飛行できないことなど、迅速かつ機動的な調査が困難な場合も多くありました。そこで近年機体性能の向上が著しく、安全かつ調査員の近づけない危険な箇所にも接近して画像や映像の取得ができることから、UAVの災害調査への活用に取り組んでいます。例えば、TEC-FORCEでは新たにドローン飛行部隊を編成し、全国の災害対応における現場記録等に活用しています。他にも、UAVの飛行に関する検討では、携帯電波不感地帯において目視外補助者なし飛行による災害調査手法を検討した事例（小杉ら, 2021）や、UAVを用いた計測に関する検討では、UAV-SfM (Structure from Motion)による写真測量を用いた3次元モデル作成を行い、CIMによる地すべり対策工検討の基礎資料とした事例（和田ら, 2021）などがあります。UAVの利用により迅速かつ視覚的にもわかりやすい調査成果を得ることができ、調査の安全性や効率の向上が期待されることから、UAVによる災害調査技術の開発や実験、操縦者の人材育成に取り組んでいます。

4. おわりに

本稿で紹介した紀伊半島大水害の概要は土砂災害とその対応に関することでしたが、河川下流域においても河川洪水、浸水害が発生しており、紀伊半島全域において、多くの尊い人命が失われる災害となりました。しかしながら、各関係機関が連携して一丸となって災害対応を実施してきたことや数多くの調査研究がなされて重要な知見が得られたことは紀伊半島大水害の復旧・復興のみならず、その後の災害予測、災害対応、災害機構の理解、新たな技術開発につながっています。本稿では詳細を述べることはできませんでしたが、地盤災害や復旧復興の観点からも多数の検討がなされています（たとえば、深川・東原, 2016 ; 木村・大友, 2013）。深層崩壊という現象は発生頻度の低い土砂災害ですが、ひとたび発生すると流域に与える影響は非常に大きく、災害から 12 年経過した今でも、残存する崩壊地から土砂が流域に流出し続けており、道路が不通のままの箇所も多く残っています。紀伊半島大水害を契機に住んでいた地域から移住された方も多くいらっしゃいます。再びこのような災害がないことが良いのはもちろんですが、将来の大規模土砂災害に備えて、これまで培った技術と知見を次の世代へと引き継いでいくことは必要です。本稿を執筆する上で、紀伊半島大水害に多くの方が関わり、数多くの技術と知見が得られたことを振り返る良い機会となりました。

引用文献

- Arai, N., Chigira, M. (2018) : Rain-induced deep-seated catastrophic rockslides controlled by a thrust fault and river incision in an accretionary complex in the Shimanto Belt, Japan., *Island Arc*, Vol.27, Issue3, e12245
- Chigira, M., Tsuo, Ching-Ying, Matsushi, Y., Hiraishi, N., Matsuza, M. (2013) : Topographic precursors and geological structures of deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas, *Geomorphology*, Vol.201, p.479-493
- Chigira, M. (2009) : September 2005 rain-induced catastrophic rockslides on slopes affected by deep-seated gravitational deformations, Kyushu, southern Japan, *Engineering Geology*, Vol.108, p.1-15
- 深川良一・東原純 (2016) : 平成 23 年度紀伊半島大水害の実態と教訓 : 「想定外」豪雨による地盤災害の軽減に向けた提言(7)「想定外」豪雨による地盤災害への対応と教訓, *地盤工学会誌*, Vol.64, No.9, p.40-45
- 古江智博・江口健治 (2022) : 災害現場における国内初の砂防堰堤自動化施工ー赤谷 3 号砂防堰堤工ー, No.2, p.88-91
- 八反地剛 (2003) : 降雨を起因とする深層崩壊の特徴, *砂防学会誌*, Vol.55, No.6, p.74-77
- 平石成美・千木良雅弘 (2011) : 紀伊山地中央部における谷中谷の形成と山体重力変形の発生, *地形*, Vol.32, No.4, p.309-409
- 平野昌繁・諏訪浩・石井孝行・藤田崇・後町幸雄 (1984) : 1889 年 8 月豪雨による十津川災害の再検討ーとくに大規模崩壊の地質構造規制についてー, *京都大学防災研究所年報*, Vol.27B-1, p.369-386
- 地頭菌隆・下川悦郎 (1998) : 1997 年鹿児島県出水市針原川流域で発生した深層崩壊の水文地形学的検討, *砂防学会誌*, Vol.51, No.4, p.21-26

- 川上浩 (2007) : 断層によるせき止め地下水を原因とする地すべり 2 例, 日本地すべり学会誌, Vol.44, No.4, p.237-240
- 紀伊山系砂防事務所 (2017) : 紀伊山地における大規模河道閉塞 (天然ダム) 対策の考え方 (案), 149pp.
- 木村玲欧・大友章司 (2013) : 中山間地の洪水災害における被災者の生活再建過程, 地域安全学会論文集, Vol.21, p.137-147
- 木下篤彦・柴田俊・山越隆雄・中谷洋明・加藤智久・河戸克志・奥村稔・三田村宗樹・松井保 (2021a) : 2011 年に深層崩壊が発生した奈良県十津川村栗平地区における比抵抗探査を用いた断層沿いの地下水流入過程の検討, Vol.58, No.1, p.40-47
- 木下篤彦・山越隆雄・中谷洋明・鈴木大和 (2021b) : 紀伊山系における深層崩壊メカニズムとリスク評価手法の提案, 土木技術資料, Vol.63, No.8, p.16-19
- 国土技術政策総合研究所・土木研究所 (2015) : 平成 23 年 (2011 年) 紀伊半島台風 12 号土砂災害調査報告, 国総研資料第 728 号・土木資料第 4260
- 国土交通省近畿地方整備局 (2014) : 2011 年紀伊半島大水害－災害対応の記録－, p.28, <https://www.kkr.mlit.go.jp/bousai/qgl8vl0000008ajd-att/kiihantou-kirokushi.pdf>, 参照 2022-02-15
- 国土交通省近畿地方整備局, (2021) : 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, p.4-7
- 国土交通省 TEC-FORCE, <https://www.mlit.go.jp/river/bousai/pch-tec/index.html>, 参照 2022-02-15
- 小杉恵・北本楽・柴田俊 (2021) : UAV の自律飛行による河道閉塞や砂防施設の調査・点検, 土木技術資料, Vol.63, No.8, p.36-41
- 増山孝行 (2009) : 実効雨量に基づいた地すべり内の地下水位解析－富山県長坂地区の事例から－, 日本地すべり学会誌, Vol.45, No.5, p.383-391
- 松村和樹・藤田正治・山田孝・権田豊・沼本晋也・堤大三・中谷加奈・今泉文寿・島田徹・海堀正博・鈴木浩二・徳永博・柏原佳明・長野英次・横山修・鈴木拓郎・武澤永純・大野亮一・長山孝彦・池島剛・土屋智 (2012) : 2011 年 9 月台風 12 号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, p.43-53
- 茂木俊・古谷尊彦・河戸貴善・田村宏一・工藤信仁・平塚賢二郎 (2018) : 物理探査を併用した地質構造と地下水流動システムの推定－秋田県荒瀬川地すべりの事例－, 日本地すべり学会誌, Vol.55, No.3, p.105-118
- 小川内良人・横山修・木下篤彦・山田拓・柴田俊・田中健貴・山越隆雄・西山賢一 (2021) : 放射性炭素年代から推定される紀伊山地の深層崩壊発生頻度, 砂防学会誌, Vol.74, No.1, p.3-14
- 桜井亘 (2015) : 大規模河道閉塞における対策工の計画に関する研究, 京都大学学位論文, 213pp.
- 清水収・畑中健志 (2010) : 深層崩壊発生危険地におけるテフクロロジーによる斜面変動履歴の解明－宮崎県鰐塚山の 2005 年崩壊地周辺－, 砂防学会誌, Vol.63, No.2, p.12-19
- 清水武志・内田太郎・山越隆雄・石塚忠範 (2012) : 天然ダムによる土石流想定範囲計算システム (QUAD-L) の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用, 土木技術資料, Vol.54, No.10, p.14-17

消防庁応急対策室, 平成 23 年台風第 12 号による被害状況及び消防機関の活動状況等について

(最終報) <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post671.pdf> 参照 2023-02-15

田中健貴・木下篤彦・吉村元吾・菅原明・小川内良人・横山修 (2019) : 重力変形斜面の岩盤に発達する亀裂が溶出特性に与える影響, 日本地すべり学会誌, Vol.56, No.1, p.1-7

田中健貴・吉村元吾・今森直紀・木下篤彦・森加代子・林幸一郎・小川内良人・横山修・河戸克志 (2017) : 空中電磁探査による比抵抗の分布に着目した深層崩壊危険斜面の抽出技術の開発, 河川技術論文集, Vol.23, p.435-440

寺戸恒夫 (1977) : 大規模崩壊による山地地形の変化, 地理科学, Vol.28, p.17-27

内田太郎・桜井亘・鈴木清敬・萬徳昌明 (2017) : 深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定手法, 国総研資料第 983 号

上野将司・田村浩行 (1992) : 地すべりの形状、規模および分布に関する検討, 応用地質年報, No.114, p.1-13

海野寿康・中里裕臣・井上敬資・高木圭介 (2008) : 破碎帯地すべり地区における地下水位計測と実効雨量に基づく地下水位の降雨応答特性, 砂防学会誌, Vol.45, No.3, p.219-226

和田佳記・竹下航・杉本宏之 (2021) : 地すべり災害の初動時における CIM モデルの活用, 日本地すべり学会誌, Vol.58, No.2, p.79-85

和歌山県那智勝浦町 (2013) : 紀伊半島大水害ー平成 23 年 9 月町を襲った台風 12 号の記録ー, p.21

山崎孝成・山田春男・大石武彦・金沢雄一 (2003) : 大規模地すべりの水文地質構造を考慮した立体排水工, 日本地すべり学会誌, Vol.40, No.3, p.203 – 210

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ1

土砂災害防災ロールプレイングゲームを用いた教育機関・行政機関との連携

和歌山県土砂災害啓発センター

○稲田健二・筒井和男・宮崎徳生・岸畑明宏

和歌山県道路局道路建設課

坂口隆紀

和歌山県東牟婁振興局新宮建設部管理保全課

西萩一喜

和歌山工業高等専門学校環境都市工学科

辻原治

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

木下篤彦

1. はじめに

小学校では、学習指導要領の改訂に伴い、土砂災害や洪水災害等の自然災害に関する内容が充実され、今後、今まで以上に防災教育の取り組みが進められる。

和歌山県土砂災害啓発センター(以下、「センター」という.)では、防災教育について、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、センターの活動の柱の一つとして取り組んでおり、年々、学校数・学習回数も増加している(表-1)。

しかしながら、防災教育を実施している教職員にその教育の継続性や、周囲の教職員・学校への広がりについてヒアリングをしたところ、「防災教育に熱心な教職員がいなくなると防災教育の取り組みができない。」、「教職員に防災や災害に対して専門的な知識がなく、自信をもって指導することができない。」などの意見があり、学校の防災教育の取り組みが、各教職員の取り組みに大きく依存しており、防災教育を主導する教職員の異動により、学校に期待される継続的な取り組みが途絶える懸念が新聞等でも指摘されている。

そのため、市町村の教育委員会が、各学校の取り組みを把握し、市町村・近隣の大学・研究機関等と連携・支援し、継続的な学習体制を構築することは重要である(図-1)。

今回、和歌山工業高等専門学校が開発した土砂災害防災ロールプレイングゲームを用いて、日高川町教員教育委員会・日高川町・センターが連携して、町内全域の小・中学校における防災教育実施を目的とした体制を構築した事例を紹介する。

2. センターが実施している小中学校の防災教育

センターでは防災教育の実施段階について3段階(図-2)を想定している。現在は、当面の目標である「行政機関が教職員と協働し、県下全小中学校において防災教育を実施すること」により、児童とともに教職員にも土砂災害学習について理解を促し、防災教育のキーパーソンとなる教職員数を多くするよう取り組んでいる。また、例として、防災教育に早くから取り組んでいる那智勝浦町の市野々小学校では校長・教頭先生がリーダーシップを発揮し、「総合的な学習の時間」に防災教育を柱の一つとして位置づけ、これをセンターが支援することで教職員が主体的・継続的に防災教育を実施する体制となっている。

3. 日高川町での防災教育の実施状況

日高川町は和歌山県の紀中地域に位置し(図-3)、総面積の約90%が森林で、昭和28年の紀州大水害、平成23年の紀伊半島大水害で大きな被害を受け、土砂災害警戒区域数は1032箇所と、県内において多い地域となっている。そのため、学校個別の取り組みで、令和2年度に1小学校、4中学校(修学旅行)、令和3年度に5小学校に、土砂災害に関する防災教育をセンターと共同で実施していた。また、日高川町教育委員会は、「町内全体に防災教育を進めたいが、学校や地域にあわせた教材が無いこと、教員が多忙で教材を作成するにも余裕がないこと」を課題と考えていた。

4. 土砂災害防災ロールプレイングゲーム

和歌山工業高等専門学校の学生が令和2年度に土砂災害学習の動機付けを目的としたロールプレイングゲーム(RPG)を第一作目として開発し、ゲームを用いた学習をセンターと共同で実施している。その時の子どものアンケート結果として、「自分の住んでいるところで、避難することになったとき、自分でちゃんと避難できると思いますか。」の肯定回答率が45%と特に低いことを課題と考え、第二作目となる「命を守るハザードマップ」では、地域特定

表-1 防災教育の実施状況

	小学校	中学校	計		うち日高川町	
			学校数	内学習回数	小学校	中学校
令和元年度	5	3	8	10	0	0
令和2年度	17	11	28	58	1	4
令和3年度	30	10	40	67	5	0

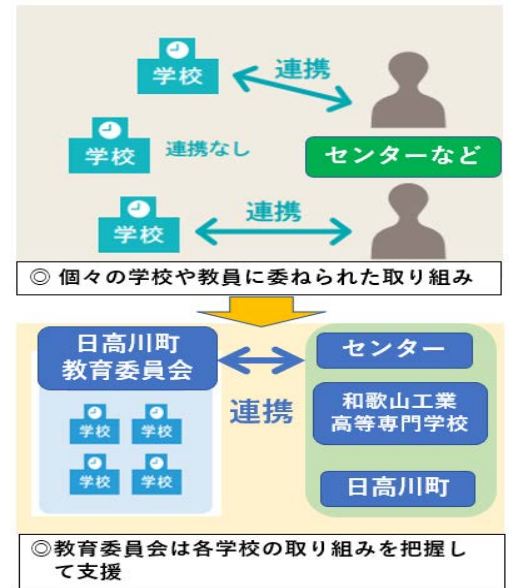


図-1 今までの取り組みと今回の取り組み

当面の目標

・行政機関が、教職員と協働し、県下全小中学校において防災教育を実施すること。

中長期目標

・行政機関の支援のもと、教職員が主体的に防災教育を実施すること。

理想

・学校教育の一環として、防災教育を教職員のみで実施されること。

図-2 防災教育のあり方



図-3 日高川町位置図

のハザードを題材とし、プレイヤーがRPGの主人公として、地域における土砂災害のハザードやハザードマップの大切さを学習できる内容とした。

ゲームの制作にあたり、他の地域においてもゲームが使用可能であることに注意した。具体的には、ゲーム内において周辺のドローン空撮映像を流したり、小学校から砂防堰堤までプレイヤーが実際に歩いているように、写真がパラパラ漫画のように出てくる構成とし、その写真や一部の文言を適宜差し替えることで、他の学校の教材として制作できる内容とした(図-4)。

このように、ゲームを対象とする地域や学校の特定のハザードを含めた一方で、多数の学校にこのゲームを展開することの妨げにならないよう、一手間をかけることで、他の学校においてもその地域特定のハザードを表示し、プレイヤーが「災害を自分ごととして捉える」ことが可能となることを目的とした内容とした。

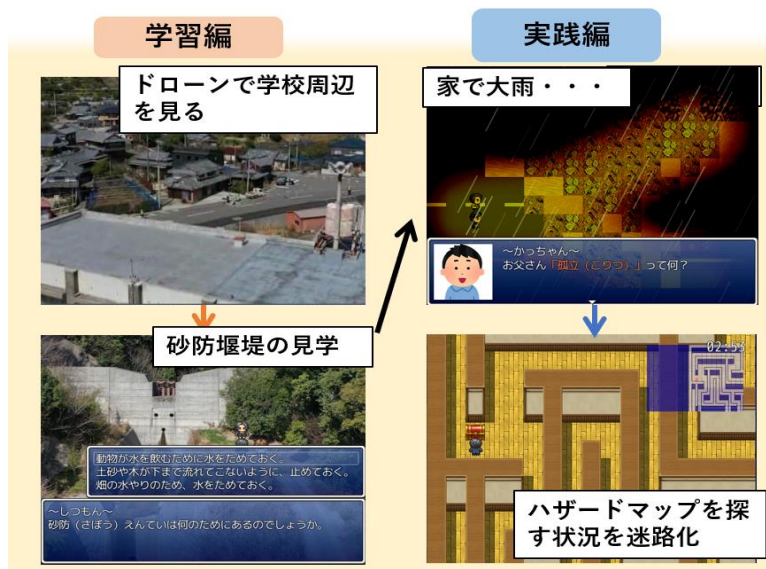


図-4 土砂災害防災ロールプレイングゲーム

5. 防災教育を目的とした連携

(1) 町内全域の小中学校教職員に向けた研究授業を開催

日高川町教育委員会は、町内全域の小中学校に防災教育の大切さや内容を理解させることを目的として、実践校以外の関係教諭がリモートで授業の様子を閲覧するように対応した。これにより町内の全小・中学校が防災教育の様子などを視聴した(図-5)。

(2) 町内各学校へのRPG教材等のデジタルコンテンツ教材の作成

今回開発されたRPG教材はその写真や一部の文言を適宜差し替えることで、他の学校の教材として制作できる。そのため、和歌山工業高等専門学校はRPGの修正・開発を担当し、センターは各学校のシナリオなどの検討、日高川町はドローン映像の撮影・過去の災害写真の提供を行うなど、各機関が得意とする内容を分担することで、円滑に町内9小学校・5中学校のRPG教材の作成をすることができた。

また、今回作成したデジタルコンテンツが継続的な防災教育につながるよう、①「土砂災害学習の動機付けを目的としたセンターが写真を差し替え、各学校用に修正したRPG第一作目「土砂災害が発生したとき」、して追加」、②ハザードマップ画像に避難経路や撮影した写真の貼り付けができるアプリケーション「マイハザードマップ」、③避難における事前準備が大切なことを学習可能なRPG教材「台風こそなえて、じゅんぴをしよう!」、④日高川町が撮影した各学校周辺のドローン空撮映像を組み入れ、土砂災害学習への動機付けから、具体的な避難行動までをテーマとした一連のデジタルコンテンツ教材を学校毎に作成した(図-6)。

(3) 学校の教育計画への防災教育の組み入れ

教育委員会が課題と考えていた各地域の教材ができたことから、令和4年度からデジタルコンテンツ教材を用いた防災教育を教育計画に組み入れ、学習を進めることとなった。このことにより、各教職員の取り組みだけに委ねることのない体制で防災教育を進めることが可能となった。

6. おわりに

防災教育の取り組みについて、自治体・教育委員会と連携したネットワークを構築することができた。各校での実践を通じて、開発した教材・連携の効果について今後さらに検討したい。

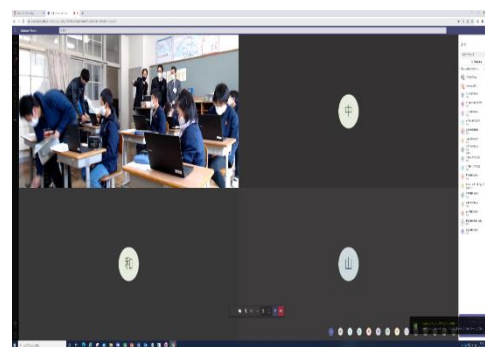


図-5 教職員の研修授業を開催



図-6 学校毎のデジタルコンテンツ教材

参考文献

- 1) 西萩ら：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，Vol74，No.4，p.48-58,2021

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ2

大規模斜面崩壊時の地盤振動特性に関する数値実験及び室内実験による比較と検討

和歌山県土砂災害啓発センター

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

株式会社エイト日本技術開発

国土交通省国土技術政策総合研究所（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

○筒井和男

北本築

海原荘一・高田隆行・谷田佑太

木下篤彦

金澤瑛・中谷洋明

1. はじめに

防災科研の Hi-net、F-net や国土交通省の高感度の地震計による観測網を用いた大規模土砂移動の発生検知は、新しい災害監視手法として重要なものである。大規模土砂移動現象が発生する振動特性については、既往研究より知見が蓄積されつつ¹⁾あるが、発生頻度が稀であることから、十分な観測が行われているとは言えない。そこで筆者らは、大規模土砂移動の再現を目指して、室内振動実験を実施している²⁾。しかし、地盤振動を対象とした相似則は確立されておらず、定性的な議論にとどまっている。海外でも地盤振動を用いた斜面移動現象の検知に関する研究³⁾は近年盛んに行われているが理論的考察や数値実験を用いた事例は少ない。そこで、本稿では斜面崩壊とそれに伴う地盤振動の発生、さらに広域的な地盤振動の伝播を再現する数値実験を試みたので報告する。

モデルの検証のため室内実験で得られた振動特性の再現性を検討し、その後、2011年の奈良県赤谷地区での深層崩壊を対象として広帯域地震観測網 F-net 野上観測局での観測記録との比較を行った。

2. 数値モデルの概要

①土砂移動②地盤振動の生成（赤谷地区崩壊モデル）③地盤振動の伝播（広域伝播モデル）の3つに大別した数値計算モデルを構築した。

①は、個別要素法による粒状体挙動解析コード（米国 ITASCA 社製 PFC）の3次元コードを用いた。基本要素としての粒子を使って、運動方程式と力の変位の関係式とを交互に陽的に解くことで、土砂移動の計算を行った。②と③は、連続体のラグランジアン解析プログラム（米国 ITASCA 社製 FLAC3D）を用いた。地盤を4面体の組み合わせで表現し、時間方向に差分法、空間方向に有限体積法を用いて離散化したものである。これらのモデルを合わせて、PFCにより斜面の土粒子の流れを計算し、個々の粒子の速度、変位を求め、接触点での力と変位の関係式から FLAC3D モデルの境界条件として入力を与えて、地盤振動の生成とその電波を計算した。一方で、FLAC3D モデルとの接触点での力を粒子に適用し、これにより粒子の速度を変位を求めた。これらの計算を時間ステップごとに行うことで、モデルのカップリングを行った。

①と②の初期の粒子配置とメッシュ分割図を図-1に示す。PFC 粒子の配置は深層崩壊発生前後の LP データより地形を反映して実施した。東西 1.7km、南北 1.9km である。③広域伝播モデルのメッシュ分割図を図-2に示す。基盤の速度構造は、J-SHIS の深部モデル V3.2 を参照した。東西 50km、南北 30km、深さは TP-10km である。

3. 結果と考察

3.1 室内実験の再現結果

数値計算の妥当性を検証するため、室内水路実験の再現計算を実施した（モデル概要図は略）。PFC で礫を流下させ、FLAC3D で水路をモデル化した。流下状況の比較を図-3に示す。地盤振動の波形スペクトルを比較したところ、概ね数値実験により再現できることが分かった。

3.2 土砂移動現象の再現結果

赤谷地区の深層崩壊の土砂移動プロセスは明確には分かっていない。しかし、地盤振動観測データは2つのピークを示していることから連続して2回に別れて崩壊が発生した可能性があり、本研究でも上下の2つのブロックに

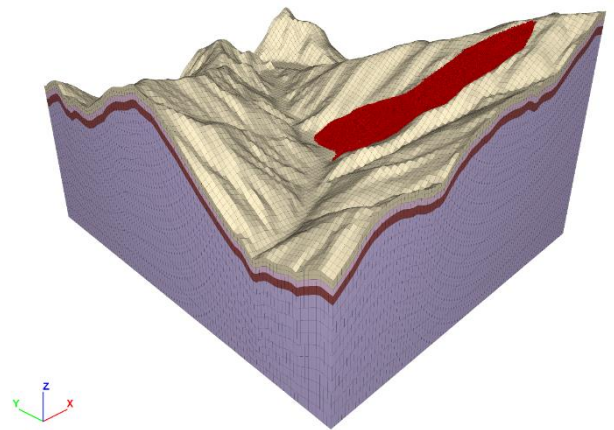


図-1 赤谷地区崩壊モデルのメッシュ分割図。
斜面の赤い粒子は PFC 粒子を表す

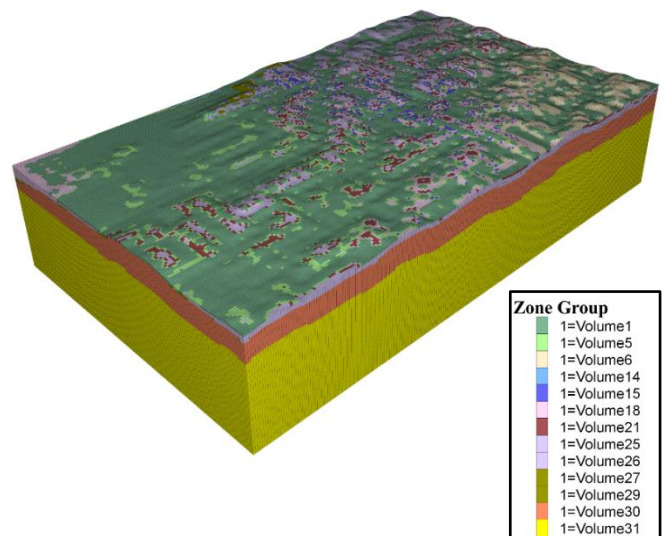


図-2 広域伝播モデルのメッシュ分割図

分かれて崩壊させる計算を行った。

下方の土塊が先行して崩壊した計算結果と崩壊前後の実測（LP）データとの比較を図-4 に示す。対岸への土砂の乗揚げが再現できていないものの、概ね崩壊後の地形を再現することができた。

3.3 地盤振動の再現結果

F-net 野上の位置に最も近い地表ノードの1つ下の加速度波形を求めた。100Hz でサンプリングし、このデータから速度、変位等を求めた。低周波フィルター（0.01~0.1Hz）を通した後に波形とパーティクルモーションの計算値と実測値を比較すると、上下成分と南北成分で良好な再現結果が得られた（図-5, 6）。高周波（1Hz 程度以上）の速度波形に関しては振幅で計算値が実測に比してかなり大きいものであった。スペクトルも高周波成分が大きくなった（図-7）。高周波成分は土砂移動モデルの不連続性のためインパルス的な入力による影響の可能性もあるが、本モデルでの再現は困難であった。しかし、既往研究において、低周波波形によるインバージョンにより土砂の重心移動が求められるとされているが、それと整合性のある結果を得られた。

4. おわりに

実現象の観測が困難な大規模土砂移動現象の数値実験による再現を試みた。個別要素法と有限体積法モデルと組み合わせ、広域での地盤振動の伝播の再現が可能か検証した。個別要素法による土砂移動の再現計算は実測データを概ね再現できた。地盤振動の広域伝播も低周波側での波形を概ね再現することができた。今後も検知技術の向上に向けて検討を深めていきたい。

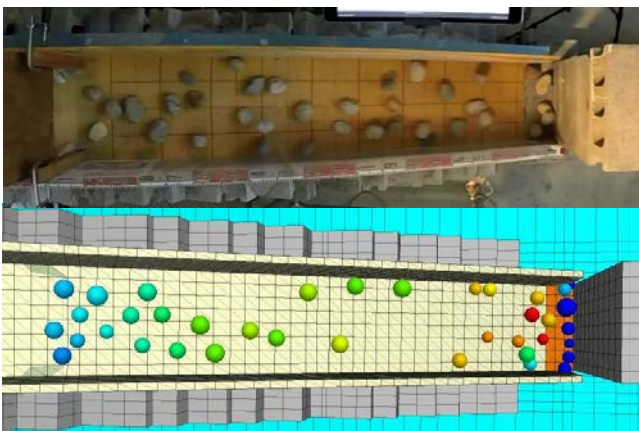


図-3 室内実験と再現モデルの比較。流下開始 1.5 秒後

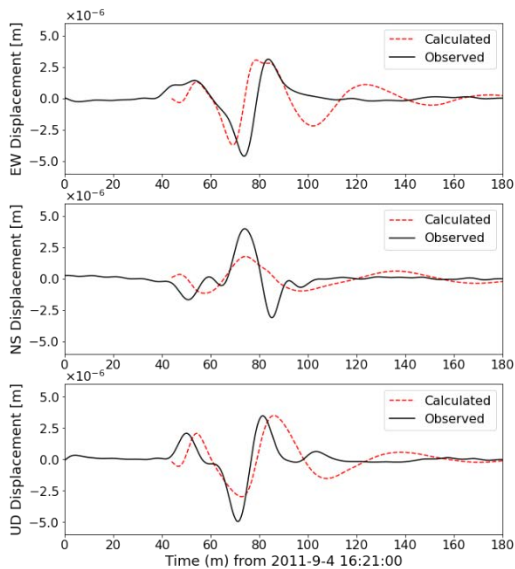


図-5 Fnet 野上での低周波変位の実測波形と計算波形。
上：東西成分、中：南北成分、下：上下成分

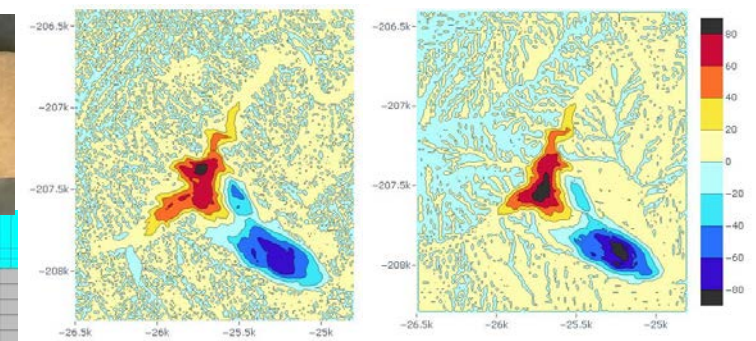


図-4 赤谷地区の地形変化。左：実測、右：計算結果

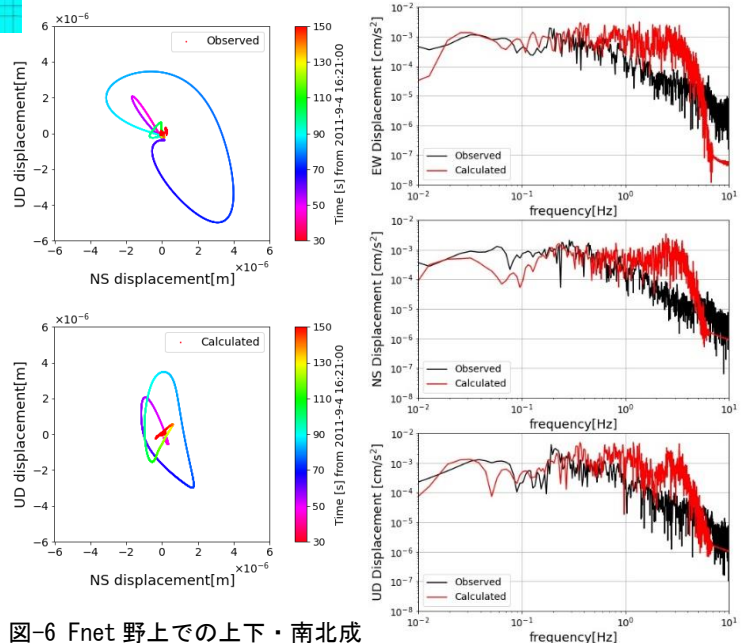


図-6 Fnet 野上での上下・南北成分のパーティクルモーション。
上：実測、下：計算結果

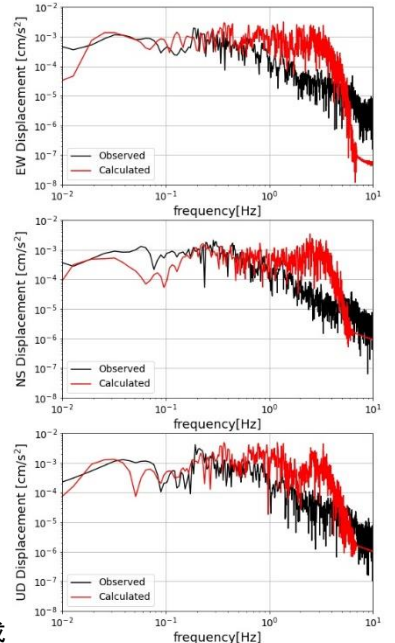


図-7 速度スペクトルの比較。
上：東西成分、中：南北成分、下：上下成分

参考文献

- 1)海原ほか：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，2021
- 2)筒井ほか：土砂移動時の地盤振動の再現－模型実験からの考察－，砂防学会誌，2021
- 3)Burtin et al.: Seismic monitoring of torrential and fluvial processes, Earth Surface Dynamics, 2016

和歌山県土砂災害啓発センターにおける土砂災害オンライン学習の取り組み

和歌山県土砂災害啓発センター 宮崎徳生・有田貴洋・筒井和男・岸畑明宏・坂口隆紀・稲田健二
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 木下篤彦

1. はじめに

和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「センター」という）とは、2011年に発生した紀伊半島大水害を契機として、土砂災害の発生メカニズムに関する調査研究と過去の災害の記録や教訓を風化させず後世に継承し、土砂災害の被害を軽減するための啓発活動の拠点とするため、甚大な被害が発生した那智勝浦町に設置された施設である。

センターでは、2016年度～2018年度に大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習からノウハウを取得し、地域の小学校と連携・協働して子どもたちが「自分ごととして考え・行動できる」ことを学習目標に、防災学習に取り組んでいる。防災学習については、将来の防災の担い手となる子どもが知識を身に付けるだけでなく、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、センターでの啓発活動の柱の一つと位置づけ積極的に実施している。

しかし、新型コロナウイルス感染症が拡大する状況下では、学校・教育現場への感染予防対策として外部講師を受け入れた対面形式での授業が制限され、学校に出向いて行う出前授業については、延期や中止を余儀なくされる場合がある。

本稿では、コロナ禍が長期化している中、令和2年度に新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、感染防止対策を徹底しても対面授業が困難な時期があり、Web会議システムを利用したライブ配信による土砂災害に関するオンライン学習を実践したので報告する。

2. オンライン学習の方法

Web会議システムを利用したオンライン学習では、対面授業に近づけるように、センター職員と児童・教員が意思疎通しながら授業が進められるように、学校側にある大型ディスプレイを2台使用し、一方はスライドによる説明画面に用い、もう一方はセンター職員と児童・教員の双方が表情や様子を把握し意見交換できる大型画面（写真-1）として用いた。また、センターと学校を接続するWeb会議システムについては、Microsoft Teams と Zoom Meetings の2種類を使用し、マイク付きWebカメラで映像及び音声を配信した。

防災学習の教材は、土砂災害の基礎知識が学べるスライド学習及び、2021年から避難に備えた行動が学習できる教材として活用しているマイ・タイムライン（台風が近づいている場合）の作成並びに土砂災害をイメージできる実験を行った。

3. オンライン学習の実施

2021年9月に那智勝浦町内の小学校（3～6年生）2校で計3回のオンライン学習を行った。

3.1. 那智勝浦町立市野々小学校でのオンライン学習

2021年9月2日に那智勝浦町立市野々小学校の5・6年生にオンライン学習を実施した。授業時間は95分で、避難行動の学習スライド及びマイ・タイムラインを作成する手順を説明し、次に児童がマイ・タイムラインの作成に取り掛かった。

なお、マイ・タイムラインの作成にあたり、使用する「行動」シールについては、教員自ら準備し、児童全員に配布するとともに、教員がセンター側で説明した作成手順を実演しながら補足説明を行うなどセンター側と協働し授業を行った。

また、学習後にはオンライン学習の効果を評価し改善点を得るために児童及び教員にアンケート調査を実施した。



写真-1 2つの大型画面を使用したオンライン学習の状況
(那智勝浦町立市野々小学校)

表-1 オンライン学習の実施状況

実施日	学校名	学年	学習内容	問題点
2021年9月2日	市野々小学校	5・6年生 合同	マイ・タイムライン学習	一部で音声が聞き取りづらいう部分があった。
2021年9月17日	勝浦小学校	4年生	スライド学習 実験	映像・音声の途切れ。
2021年9月22日	勝浦小学校	3年生	スライド学習 実験	映像・音声の途切れ。 通信の遮断。

3.2. 那智勝浦町立勝浦小学校でのオンライン学習

2021年9月17日に那智勝浦町立勝浦小学校の3・4年生にオンライン形式の防災学習を実施した。授業時間は、3年生が55分、4年生は45分で、土砂災害の基礎知識の学習スライドを説明するとともにスライド学習の途中には土砂災害をイメージできる実験を組み込んだオンライン学習を行った。

4. オンライン学習の実施した結果

小学校2校で実施したオンライン学習の結果を表-1に示す。

市野々小学校で行ったオンライン学習では、一部、音声聞き取りにくいこともあったが、通信環境の乱れはなく児童・教員と意思疎通しながらスムーズにオンライン学習を行うことができた。

勝浦小学校4年生で行ったオンライン学習では、学習途中に映像と音声の途切れが発生したが、通信の遮断までは至らず、児童・教員と意思疎通を図りオンライン学習を最後まで実施することができた。

しかし、3年生でのオンライン学習では、映像と音声の途切れや通信自体の遮断が頻繁に発生したため、オンライン学習の続行が困難となり、当日、学校側で機器の接続作業などを行っていたセンター職員が講師となり防災学習を実施した。

市野々小学校で行ったオンライン学習のアンケート調査については、5年生7名、6年生5名の児童と教員3名にアンケート調査を実施し、全員から回答を得た。

児童用アンケートでは、①2台の大型ディスプレイを使用したオンライン学習の所見と②学習内容を覚えているかの知識を問うもので以下のような回答を得た。

- ・大型ディスプレイを使用したオンライン学習は分かりやすかった、だいたい分かった。いつもと違っておもしろかった。避難のタイミングなど詳しく聞いた。
 - ・カメラが近づいてくれたことで図が見やすかった。
 - ・手を挙げてもセンター側に分かってもらえずセンター側の声が聞きとれないことがあった。カメラが近づかないとセンター側に声が届かない。声は対面授業の方が聞きやすい。
 - ・センター側で小学校からの声が聞きとりにくい様子の時があった。
 - ・光の反射でセンター側の様子が見えにくい時があった。
- なお、知識を問う質問に対しては正答率の高い結果が得られた。

教員用アンケートでは、①オンライン学習での進行方法や学習内容の共有と事前調整の方法、②2台の大型ディスプレイを使用したオンライン学習の所見、③オンライン学習での児童の様子、④自由意見の4つを問うもので以下のような回答を得た。

- ・スライドデータを児童の実態に合わせて修正することができ、何を児童に伝えるかセンター職員と共有することでよりよい学びが提供できた。授業内容の事前共有や調整がなくてはオンライン学習が成り立たない。
- ・2画面を使用する方法は臨場感もあり良かった。ただ、

児童が2台の画面を見るときに視線がいたりきたりするので少し慌ただしくなることが気になった。また、通信障害などのトラブルが発生したときの対応も検討した方がよいのではないかと。

- ・児童が発表した音声伝わりにくいところがあったが、集音マイクを用意すれば改善され、また、カメラのケーブルを長くすることで後ろの席まで映像を撮影することが出来ると思う。
- ・オンライン学習ができれば遠方の児童も防災学習を受けることができ、可能性が広がったのではないかと。授業の提案をしていただけるのでとても助かっている。

5. まとめ

新型コロナウイルス感染症の対応については、長期的な対応が必要であり、感染拡大防止のために対面授業からオンライン学習への切り替えなど柔軟な対応が必要とされる。

本稿では、コロナ禍が長期化する中、オンライン学習でも対面授業に近い間隔で、センター職員と児童・教員の双方が意思疎通しながら授業を進めることを目的としたオンライン学習を実施した。本稿で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- 1) スライドによる説明画面とセンター側と学校側の様子を移す画面の2つを使用したことにより、双方向でコミュニケーションを取るとともに児童の理解度を感じながら防災学習を進めることができた。
- 2) センター側からの説明を教員が補足することで児童により分かりやすく伝えることができた。学校側の教員と協働し授業を進めることが大切である。また、教員と協働し授業を進めるためには、学習内容や進め方などの事前調整を教員と入念に行っておくことが重要である。
- 4) 児童の知識を問うアンケート調査では、正答率が高くオンライン学習の内容を理解していると判断できる。
- 5) センターでは、児童の関心や興味を引くため土砂災害を分かりやすくイメージできる各種実験を組み入れた学習を積極的に取り入れている。今回のオンライン学習で行った雨を降らして砂山が崩れる・土砂が流れる実験では、雨の降っている様子や砂山が崩れる・土砂が流れる瞬間、様子を上手く伝えられなかったことが児童の表情及び様子から判断できる。
- 6) ライブ配信でオンライン学習を行う場合にスムーズにオンライン学習が進められるかは双方の通信環境に左右される部分もある。通信障害等のトラブルが発生した場合の対応も検討しておく必要がある。
- 7) マイク付Webカメラを使用する場合は、児童に近づけるよう教室の規模及び配席に応じたケーブル延長とし、全員の声をしっかり集音できる集音機の設置も検討する必要がある。

参考文献

- 1) 坂口ほか：和歌山県土砂災害啓発センターでの防災学習の取り組み，土木技術資料，2021

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ4

土砂災害防災教育の実践とこれに対する防災教育受講者の認識に関する分析

和歌山県土砂災害啓発センター
那智勝浦町

○岸畑明宏・森要・坂口隆紀・筒井和男・宮崎徳生
佐藤純子

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)

木下篤彦

1. はじめに

最新の学習指導要領では、小学校教育で「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ている。また、近年の気象災害の増加により、小学校に限らず各種学校において、自然災害に関する防災教育の必要性が高まっている。

和歌山県土砂災害啓発センター（以下、啓発センター）では、各種学校や団体を対象として、土砂災害に関する防災教育や研修を実施しており、防災教育を受講した学校から頂いた感想文を分析することで、防災教育の効果の確認を行っている。

本研究では、2021年度に啓発センターの防災教育を受講し、感想文を頂いた各種学校のうち、9校を対象として、感想文のテキスト分析を行い、防災教育の効果の確認を行った。

2. 防災教育感想文のテキスト分析

防災教育感想文のテキスト分析をするにあたり、学校・学年毎に感想文のテキスト化を行った。また、作成したテキストデータは、テキスト分析ソフトのKH-Coder¹⁾を用いて、文中の語句の出現に関する共起ネットワーク分析²⁾（以下、分析）を行った。分析は、各学校を小学校3・4年生（計101名）、小学校5・6年生（計99名）、中学生（計22名）、高校生以上（計48名）の4つに区分し、語句の集計単位を1文とした。なお、分析結果として出力される図（以下、分析図）は、ネットワークの要素として抽出された語句が多くなると複雑化し、分析図が視認しづらくなるため、全ての文において5%を超えて出現する語句を対象とした。

3. 分析結果

小学校3・4年生を対象とした分析図（図-1）を示す。ここで凡例のSubgraphは抽出された関係が密接なグループを示し、Frequencyは各語句を中心とした円であり、その大きさが語句の出現度数の大きさを示す。Subgraphとして、「砂防」「堰堤」「透過」、「雨」「石」が抽出されており、防災教育において、「砂防堰堤の種類と機能に関する実験」（写真-1）が児童の印象に残ったものと想定された。

小学校5・6年生では（図-2）、Subgraphとして、「家」「自分」「ハザード」「マップ」、「がけ崩れ」「地すべり」「土石流」が抽出され、防災教育での「自宅周辺のハザードマップを見る」ことが児童の印象に残ったものとして想定された。

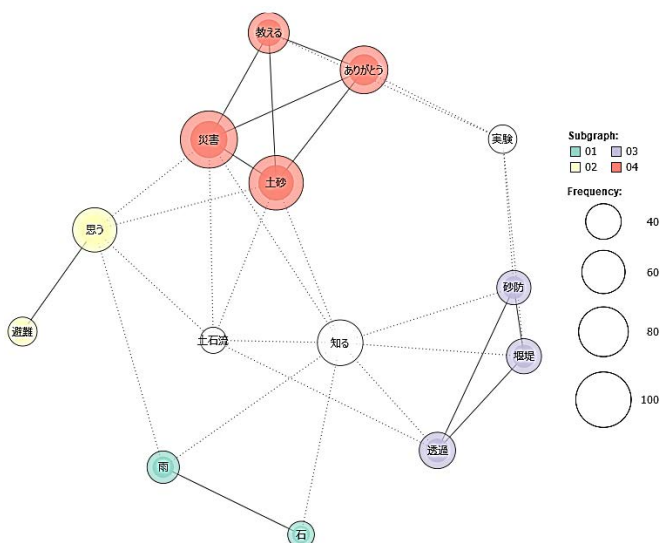


図-1 分析図（小学校3・4年生）



写真-1 砂防堰堤の種類と機能に関する実験（オンライン配信）の様子

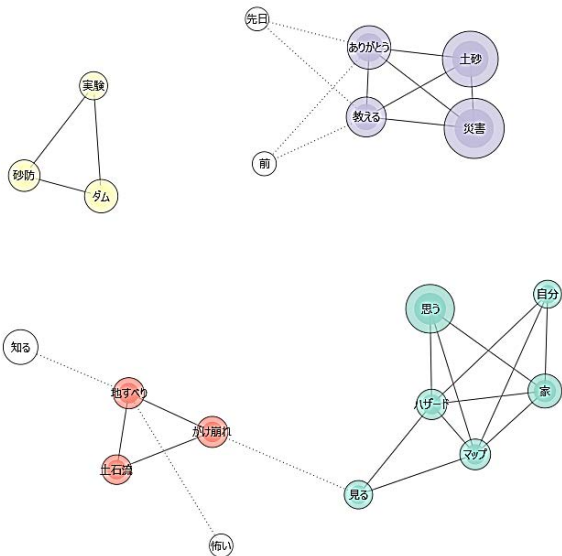


図-2 分析図（小学校5・6年生）

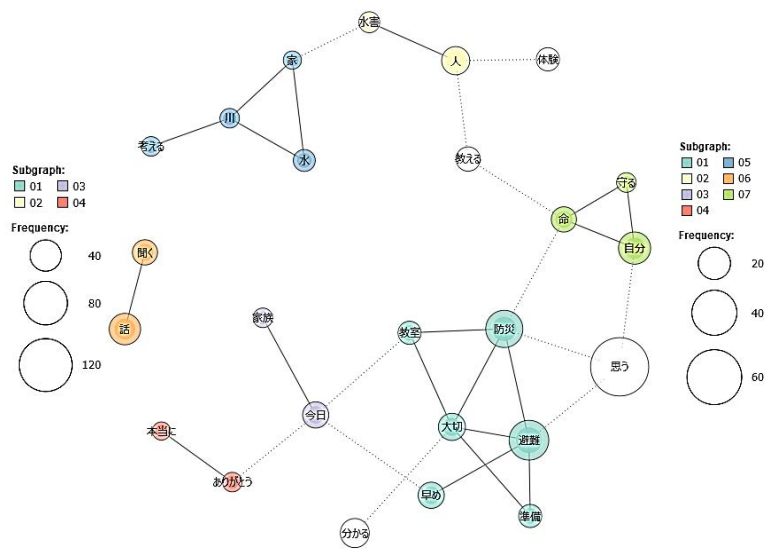


図-3 分析図（中学生）

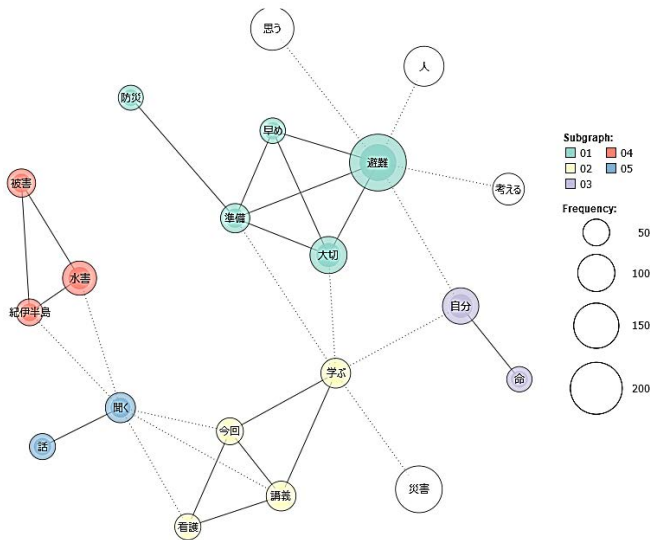


図-4 分析図（高校生以上）



写真-2 語り部久保榮子氏による紙芝居講演の例

中学生では（図-3）、Subgraphとして、「防災」「避難」「大切」「早め」「準備」、「自分」「命」「守る」、「今日」「家族」等が抽出され、防災教育における「語り部による紀伊半島大水害体験紙芝居」（写真-2）が強く、早期避難と事前準備の必要性を生徒に伝え、加えてその学習内容を家族と共有したいという意識に繋がったことが想定された。

同じく高校生以上においても（図-4）、Subgraphとして、「避難」「大切」「早め」「準備」、「自分」「命」等が抽出され、「語り部による紀伊半島大水害体験紙芝居」が防災意識の構築に大きく影響したことが想定された。

4. おわりに

本研究では児童・生徒による感想文の分析を行い、抽出されたネットワークとこれに影響した学習内容の関連について考察した。結果として、「砂防堰堤の種類と機能に関する実験」「自宅周辺のハザードマップを見る」「語り部による紀伊半島大水害体験紙芝居」といった、実験や体験・紙芝居講演の聴講などの、視覚・聴覚・触覚に関わる体験型の内容が児童・生徒の意識に強く残り、防災意識の向上に非常に効果的であることが確認できた。

今後は、更なる分析を行い、防災教育手法に還元することで、より効果的な防災教育が可能となるように継続的に取り組んで参りたい。

参考文献

- 1) 末吉美喜: テキストマイニング入門 ExcelとKH Coderで分かるデータ分析, 株式会社オーム社, 2019.
- 2) 樋口耕一: 社会調査のための計量テキスト分析 ー内容分析の継承と発展を目指してー, ナカニシヤ出版, 2020.

マイ・タイムライン防災学習の実施と その後の学校での取り組み

稲田 健二¹・坂口 隆紀²

¹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）

²和歌山県県土整備部道路建設課（〒640-8585 和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地）

「マイ・タイムライン」とはいざというときにあわてることがないように、避難に備えた行動を一人ひとりがあらかじめ決めておくものであり、全国各地でマイ・タイムライン作成の普及・啓発を図るための取り組みが推進されている。

今回、土砂災害等の学習を継続的に実施している那智勝浦町立市野々小学校でマイ・タイムライン作成のための防災学習（以下、マイ・タイムライン防災学習）を実施した。

また、マイ・タイムライン防災学習による学習効果を確認するため、学習後に各児童が作成した洪水・土砂災害から身を守るための提案をテキストマイニング手法で分析するとともに、その後の学校内や地域への波及効果となる取り組みや、あわせて学校が毎年のように防災学習に積極的に取り組んでいることから継続性や周囲の教職員・学校への広がりについてヒアリングを実施したので紹介する。

キーワード マイ・タイムライン、防災学習、那智勝浦町立市野々小学校、学習発表

1. はじめに

国土交通省水管理・国土保全局砂防部は、以前より土砂災害に係る防災学習の必要性を十分認識¹し取り組んでいる。また、2011年の東日本大震災では、継続的な防災学習や防災訓練を実施してきた地域で、命が守られた事例が多数報告されている。そのようなことから2017年度には小学校の学習指導要領が改訂され、水害や土砂災害等の自然災害に関する内容が充実²し、今後、今まで以上に、防災学習の取り組みが進められることが考えられる。

和歌山県土砂災害啓発センター(以下、「センター」という)では、2016年度～2018年度に大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習から防災学習のノウハウを取得し、地元の小学校と連携・協働して児童たち

が「自分ごととして考え・行動できる」ことを目標に、防災学習に取り組んでいる。

防災学習については、将来の防災の担い手となる児童が知識を身に付けるだけではなく、児童から家庭へ、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、センターにおける活動の柱の一つとして積極的に取り組んでおり、令和2年度からは出張授業、学年別の学習などを積極に取り入れた結果、実施校数は、2020年度28校・学習回数58回、2021年度40校・学習回数67回となっており、2021年度は、特に県内の修学旅行での活用が増加し、2022年度には県外からの修学旅行での申し込みがある状況である(表-1)。

今回、土砂災害等の防災学習を継続的に実施している那智勝浦町立市野々小学校で効果的な学習方法を検討するため、マイ・タイムライン防災学習(図-2)を実施するとともに、毎年防災学習に積極的に取り組んでいる状況について、防災学習の継続や周囲の教職員・学校への広がりについてヒアリングを実施した。

表-1 防災学習の実施状況

	小学校	中学校	計		試行学習	備考
			学校数	内学習回数		
平成29年度	6	2	8	8	有	
平成30年度	3	2	5	5	有	
令和元年度	5	3	8	10	無	
令和2年度	17	11	28	58	無	出前学習の本格実施 発達段階に応じた丁寧な学習の実施
令和3年度	30	10	40	67	無	

2. 那智勝浦町立市野々小学校

那智勝浦町立市野々小学校は、紀伊半島大水害の土砂災害で大きな被害を受けた学校であり、当時は避難場所となっていたが、一階部分には那智川からの洪水氾濫に



写真-1 那智勝浦町における紀伊半島大水害の発生状況
(平成 23 年 紀伊半島大水害記録 和歌山県より)

4年生の時

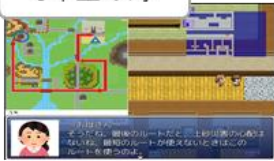


雨で山はくずれる実験



砂防工事現場の見学
(協力：紀伊山系砂防事務所)

5年生の時



ハザードマップの確認



語り部による紙芝居学習

6年生の時



RPG学習

図-1 学年を超えた継続的な学習

よる大きな巨石や流木が襲った。また、この小学校には土石流により犠牲になった児童がいた (写真-1)。

そのようなことから学校では、防災学習の重要性を認識し、校長・教頭先生がリーダーシップを発揮し、「総合的な学習の時間」において防災学習を柱の一つとして位置付け、これをセンターが支援することで、各学年を通して防災学習の実施に取り組む状況が出来ており、教職員が主体的・継続的に防災学習に取り組んでいる (図-1)。

3. マイ・タイムライン防災学習

(1) マイ・タイムライン

マイ・タイムラインとは住民一人ひとりのタイムライン (防災行動計画) であり、台風等の接近に伴う大雨等によって土砂災害などの危険性が増し、自分自身がとる標準的な防災行動を時系列的に整理し、自ら考え、命を

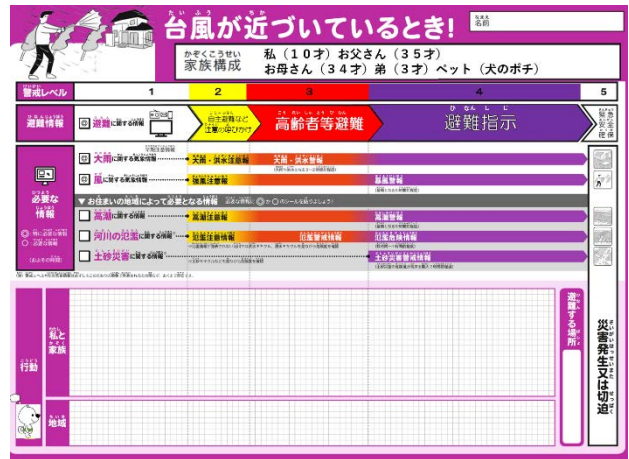


図-2 マイ・タイムラインシート

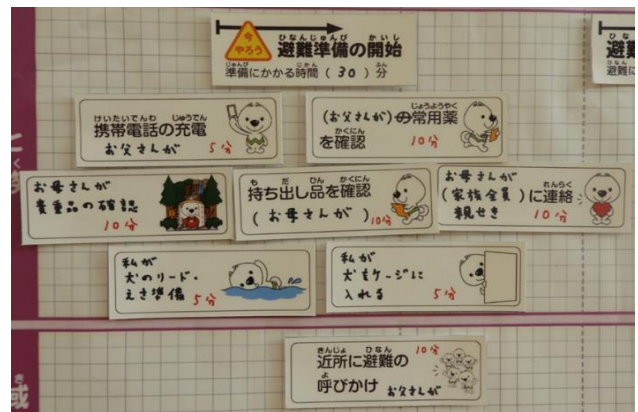


図-3 マイ・タイムライン作成状況

表-2 市野々小学校での防災学習の実施状況

令和元年度	教員研修(8/28)、3・4年生(10/7)、5・6年生(10/24)
令和2年度	1年生(8/28)、3・4年生(10/8・10/13・1/14)、5・6年生(1/13)
令和3年度	5・6年生(4/20・7/13・9/2・10/12・10/28・3/15)

※学習内容・回数・時間などその都度打ち合わせで検討。
令和元年度は教職員研修の依頼

守る避難行動のための一助とするものである。

その検討過程では、市区町村が作成・公表した土砂・洪水災害ハザードマップを用いて、自らの様々な自然災害のリスクを知り、どの様な避難行動が必要か、また、どういうタイミングで避難することが良いのかを自ら考え、さらには、家族と一緒に日常的に考えるものである (図-2, 3)。

市野々小学校では、那智川流域の概要や気象・防災に関する基礎知識の学習の他、地域が過去にどんな災害を経験したか、大雨が降った時に身を守るためにどうしたら良いか、について学習を行った。5・6年生は学年を超えて継続的に学習している (表-2) ことから、教職員には、



図-4 分散(ばらばら)避難

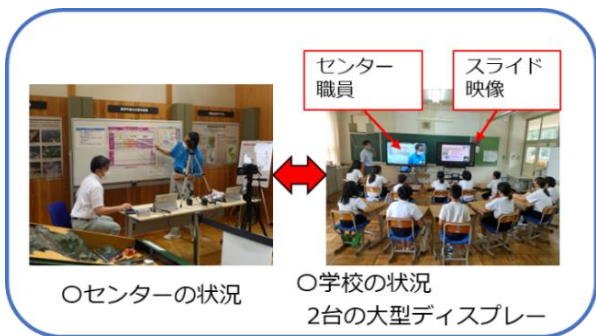


図-5 オンライン学習での工夫

さらに児童が大雨時に効果的な避難の実践に繋げる学習を行えることを目標として、防災学習の内容をセンターから提案し実施することとなった。また、学校内では児童が学習したことを、上の学年が下の学年に教えたり、地域や家族へ発表することを考えており、学習後の周囲への波及効果が考えられることから、マイ・タイムライン防災学習を実施することとなった。

(2) 学習内容(オンライン学習)

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、対面授業が困難な時期となったため、オンライン学習を2021年9月2日に5・6年生(12名)を対象に実施した。授業時間は95分で、前半はハザードマップ・気象情報・避難情報等を【知る】学習、後半は、マイ・タイムラインにより事前の備えが重要なことを【気づく・考える】学習として実施した。

(3) 教材

教材については、前半の【知る】学習では近畿地方整備局豊岡河川国道事務所作成の小中学校用防災教材、後半の【気づく・考える】学習はマイ・タイムラインや各種防災教材などの既存の教材に、学校や那智勝浦町の地域情報を入れて実施した。

特に豊岡河川国道事務所の防災教材には「分散避難」を小学生にわかりやすいように「ばらばら避難」という言葉とすることや、発達段階に応じた教材、フリーに活用できる教材となっている。そのため、センターでは今回の防災学習以外でも参考にしている。(図-4)

東京マイ・タイムラインはYouTubeでマイ・タイム



図-6 自宅のリスクを知る①



図-7 自宅のリスクを知る②

ラインの作成方法を分かりやすく説明しており、今後教職員が独自に学習することも可能と考えて活用した。

(4) 学習方法における工夫

・オンライン学習

オンライン学習でも、対面授業に近づけるように、センター職員と児童・教職員が意思疎通しながら授業が進められるよう、学校側にある大型ディスプレイを2台使用し、一方はスライドによる説明画面に用い、もう一方はセンター職員と児童・教職員の双方が表情や様子を把握し、意見交換できる大型画面として用いた(図-5)。

・自宅周辺の災害リスク

自宅周辺の災害リスクを知ることが特に重要であるため、自宅が分かるセンター手作りの土砂・洪水ハザードマップを用意し、児童同士で災害のリスクや避難場所を確認する時間を設け、児童と教職員で確認した(図-6)。

・教職員との工夫

マイ・タイムラインの作成では概要を説明後、講師役が作成する手順を画面で説明した。なお、説明時の事例として、自宅位置をセンターとし、状況として台風が近づいている状態とした。また、家族構成は、私(10歳)、お父さん(35歳)、お母さん(34歳)、弟(3歳)、ペット(犬)とし、自宅が土砂災害・洪水災害のおそれのあるところにある場合とした。この後、児童は自宅のマイ・タイムラインの作成に取り掛かった。また、教職員は、センター側で説明した作成手順を黒板で実演しながら補足説明を行うなど、センター側と協働作業となるように授業を行った(図-7)。

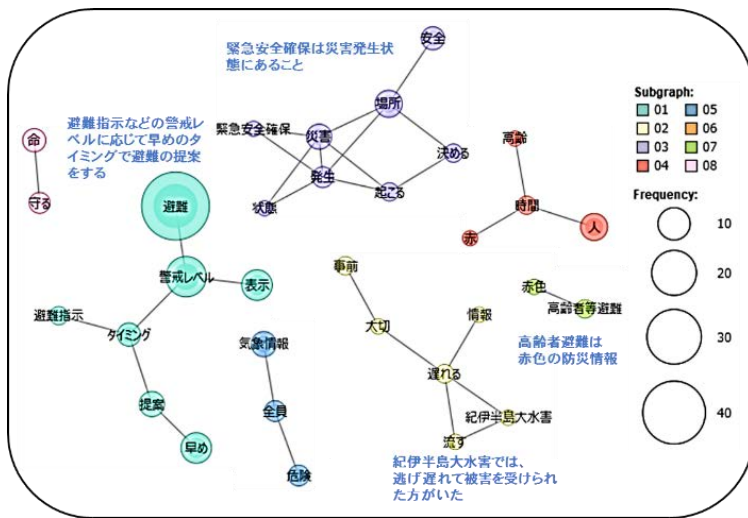


図-8 分析図(共起ネットワーク)



図-9 上の学年から下の学年への発表

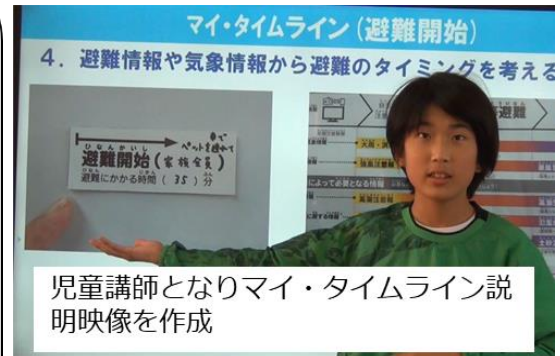


図-10 説明動画



図-11 マイ・タイムライン作成状況

4. 防災学習の効果

(1) 児童への効果

今回、学習後に6年生(5名)が「早めの避難についての提案」として発表しており、児童への学習効果を見るため、この内容をテキスト化し、テキスト分析を行った。また、分析はテキスト分析ソフトのKH-Coder⁹を用いて、文中の語句の出現に関する共起ネットワーク分析(以下、分析)を行った。ここで、凡例のSubgraphは抽出された関係が密接なグループを示し、Frequencyは各語句を中心とした円であり、その大きさが語句の出現度数の大きさを示す。Subgraphとして「避難」「警戒レベル」「タイミング」や「緊急安全確保」「高齢者等避難」「紀伊半島大水害」が抽出されており、避難には警戒レベルやタイミングがあること、緊急安全確保は災害が発生していること、高齢者避難等が赤色の防災情報として示されること等、避難情報等の具体的な言葉を理解していることが想定される(図-8)。

また、複式学級における児童の学年間のつながりにより、上の学年の児童が下の学年の児童を教えること(図-9)で、児童がその年齢に応じた役割⁶⁾を担い、加えて、理解した内容を下の学年へ波及させることが可能である。

(2) 地域・家族への効果

市野々小学校の教職員は、過去にあった大きな被害を契機に「市小(いちしょう)防災の日」を定め、毎年、地域住民や家族と一緒に防災学習に取り組んでいる。2021年は、マイ・タイムラインの分かりやすい作成方法の説明動画を学校で作成し(図-10)、当日は、児童が自身の家族のファシリテーター役となって、マイ・タイムラインを作るワークショップを実施した(図-11)。

ワークショップにおいて各児童は、家族の防災における主体としての役割を担い、これによって家族が自分ごととして防災を考える仕掛けが構成されている。また、家族からは、「なかなか家族全員で避難するのは難しい。でもマイ・タイムラインを見て早めに準備をしておけば、いざという時の役にたつと思う。家でも話し合いたい。」との意見等があった。

(3) 市野々小学校へのヒアリング

マイ・タイムライン防災学習後に、今回の学習内容のヒアリングと合わせて、学校が毎年防災学習に積極的に取り組んでおり、防災学習の今後の継続や、防災学習を担当する教職員から周囲の教職員、更には他の学校への広がりについてヒアリングを実施した。

① 今回のマイ・タイムライン防災学習は、教職員が何を児童に伝えるかを、センター職員と共有

防災学習の目標

当面の目標

・行政機関が、教職員と協働し、県下全小中学校において防災教育を実施すること。

中長期目標

・行政機関の支援のもと、教職員が主体的に防災教育を実施すること。

理想

・学校教育の一環として、防災教育を教職員のみで実施されること。

図-12 防災学習の目標

することでよりよい学びができた。

- ② マイ・タイムラインの避難シールなどの準備が大変であった。ギガ・スクール構想に伴い、児童が個別にタブレットを持っており、タブレットの活用ができれば、よりスムーズに対応できる。
- ③ 土砂災害学習が積極的になった契機は、2011年紀伊半島大水害で学校が大きな被害を受けたことである。
- ④ 国の試行学習や今までの防災学習の中で、教職員も土砂災害等の知識が得られている。
- ⑤ 児童が高学年になると、教職員に防災用語等を教えてくれるようになっていく。
- ⑥ 学年間での発表等は、特別なものではなく今までの市野々小学校では大切にしていることであり、教職員も理解している。
- ⑦ 教職員には、まだ、防災や災害に対して専門的な知識がない場合もある。そのため、自信をもって指導することができないと考えているものもいる。
- ⑧ 教職員の異動により、防災学習が途絶するという心配もある。
- ⑨ 専門的な知識を持ったセンターの職員が講師役だけでなく、コーディネーターとして児童の発達段階を意識し、学年に応じた学習内容の提案や相談ができる今の状況は教職員も安心して継続して取り組める理由の一つである。

その他、特にセンターと教職員との信頼関係を持ちながら防災学習に取り組んでいきたい等の意見があった。

5. まとめ

(1) マイ・タイムライン

・分析では避難情報等の具体的な言葉が出現した。また、学習後に市野々地区に警戒レベル4「避難指示」が発令されたことに対し、児童は逃げられなかったことを

○これまでの活動により得られたこと

1.各校の実情に応じた学習内容

学校近くの降雨状況・危ない場所・地域の災害等、学校の実情に応じた内容が望まれている。

2.児童の発達段階に応じた学習内容

低学年での学習教材であれば「さいがい」・「ひがい」などの言葉の意味から理解する必要がある。

3.実験や現場体験を用いた学習内容

児童は土砂災害に関する経験や知識がほとんどなく、土砂災害を知る・理解することから始めることが必要であり、実験(簡単で良い)や現場体験は効果的である。

4.教員との事前打ち合わせと相談相手として対応

事前打ち合わせした教材を作成することにより、教員も安心して防災学習を考えられる。また、日頃から防災学習全般の相談相手となるなど、信頼関係を構築することが重要である。

図-13 これまでの活動により得られたこと

課題と考えるようになり、2022年の市小防災の日の宿題として考えるなど、理解が深まっている。

- ・マイ・タイムラインは、防災学習で家族を巻き込んだ取り組みができる教材として活用可能であり、災害の基礎知識などを理解していれば、十分に活用することが可能である。

(2)防災学習の継続性など

- ・教職員には、防災や災害に対して専門的な知識がない場合もある。そのため、自信をもって指導することができないと考えている場合がある。また、防災学習の主体となる教職員の異動により、防災学習が途絶する心配など、教職員個人に防災学習の実施が委ねられている状況が多い。以上から、専門的な知識を持った職員が講師役だけでなく、教職員のコーディネーター役となつて、各学校と学年に合致した学習内容に基づく防災学習の提案や、教職員がコーディネーターに気軽に相談できる体制の構築が重要である。

6. 今後の課題

センターが実施する防災学習において、初めて取り組んだという学校がほとんどであり、市野々小学校のように継続的な学習に取り組んでいるところは少ないものの、防災学習に取り組む学校は増加している。また、防災学習の内容には多くの段階があり、これまでのセンターにおける活動から防災学習の目標(図-12)を設定し、今後の防災学習に取り組むこととしている。また、学習内容の提案にあたっては、その学校の教職員の意見を聞き進めることに加えて、今までの実績から分かったこと(図-13)を基本に防災学習を実施することとしている。

また、市野々小学校は、防災学習を継続的かつ積極的に行っているが、防災学習には決められた教科書はなく、取り組み自体が各校の運営方針、さらには各教職員の防災への理解に影響される。そのため、これからは教職員自身が防災を理解しながら防災学習を進められるよう、

低学年⁷⁾・中学年・高学年のそれぞれを対象とした防災教材の学校での活用について、本年度から取り組む予定である。

謝辞：那智勝浦町立市野々小学校の皆様には、貴重なご意見を頂きました、今後も教職員との信頼関係を持ちながら土砂災害等の防災学習に取り組んで参ります。この場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：土砂災害防止教育支援ガイドライン(案)
- 2) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年度告示），2009.
- 3) 濱田将琴，村田浩之：地域と連携したカリキュラム型防災教育について，令和2年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会，一般部門（安全・安心）II：No.19，2020.
- 4) 東京都防災ホームページ
<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/mytimeline/1012169.htm>
- 5) 末吉美喜：テキストマイニング入門 ExcelとKH Coderで分かるデータ分析，株式会社オーム社，2019
- 6) 内閣府防災情報のページ 防災・減災，国土強靱化新時代の実現のための提言(令和3年5月25日) 防災教育・周知啓発ワーキンググループ 防災教育チーム 提言,P13
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/teigen/index.html>
- 7) 坂口隆紀，宮崎徳生：1・2年生や園児への土砂災害学習の取り組み，令和3年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会，一般部門（安全・安心）II：No.17，2021.

土砂災害啓発RPG 「命を守るハザードマップ」の開発

西萩 一喜¹・稲田 健二²

¹和歌山県東牟婁振興局新宮建設部管理保全課（〒647-8551 和歌山県新宮市緑ヶ丘2-4-8）

²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）

本研究では、RPG土砂災害啓発コンテンツの第2弾として、「命を守るハザードマップ」と題し、和歌山県内でも土砂災害の危険性が高い和歌山県日高川町の小学校を対象として、その地域のハザードを題材として、ハザードマップや避難行動の大切さを学習できる教材を開発し、その評価や効果について考察した。

キーワード 防災教育, 教材, 避難行動, ロールプレイング, 実践

1. はじめに

小学校では、学習指導要領の改訂¹⁾により、「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求められ、2020年度から全面実施されることになっている。しかし、防災教育の教材の作成など、必ずしも土砂災害についての専門知識があるわけではない教員に多大な労力が必要とされる状況となっており、防災教育に効果的な教材の開発が求められている。

デジタルコンテンツを利用した教材の開発も行われている。一般的なデジタルコンテンツ教材は家庭用のコンピュータの普及に伴って関心が高まり、国内外で種々開発されてきた。特に欧米を中心に、ゲームの学習への導入に関して数多くの研究がなされてきた。辻原ら²⁾は、高専の5年生を対象として、防災教育コンテンツとしてRPG（ロールプレイングゲーム）を作成し、それを用いたゲーム学習のグループとテキスト学習のグループに分け、学習直後と1カ月後にそれぞれのグループに対して学習内容を問う同じテストを行って正答率を比較した。その結果、正答率はともに、ゲーム学習をしたグループが上回り、理解度や定着度の観点から、ゲーム学習を用いた防災教育の効果について言及している。

小学校の防災教育において、導入としては動機付けが重要である。西萩ら³⁾は、土砂災害啓発を目的としたRPG形式の教材の第一弾として「土砂災害が発生したとき」を開発し、いくつかの小中学校での実践をとおし、その効果を明らかにした。しかし、その時に実施したアンケートにおいて、「自分が住んでいるところで避

難できるかどうか不安」と回答した児童が半数以上いることがわかった。これは、土砂災害の知識を得たこととゲームの中で避難を疑似体験したことで、自分の住む地域で土砂災害が起こることを想像し、自分の知識の乏しさを自覚したことに起因して、不安感が増大したためと考えられる。

そこで、本研究では、地域のハザードを取り込んだ新たなゲームコンテンツ「命を守るハザードマップ」を開発することを目的とした。

防災教育の最も大きな課題の一つは、いかにして「自分事」として捉えてもらうかである。本研究で開発する学習教材は、ここに重点を置き、特定の地域のハザードを題材とし、利用者がRPGの主人公になってゲームを行い、地域における土砂災害のハザードやハザードマップの大切さを学習するものである。

小学生に対する防災教育は、家庭への波及効果も付随すると考えられる。つまり、学校などで習ったことを家に帰って家族に伝えることが期待でき、それによって家族間で防災に対する意識や知識の共有につながる。

2. 教育の目標と学習内容

(1) 土砂災害啓発教育の目標

土砂災害啓発の目標として、国土交通省は以下のよう⁴⁾に示している。

- 土砂災害の現象・種類やメカニズム、対策等を知り理解すること。
- 自発的・能動的に情報を収集し危険を察知するなど、

自ら考え、主体的に行動することができる。

- c) 自分の身は自分で守ろうとする態度や、地域の一人として協力しようとする態度等を身につけ、主体的な行動に結び付けること。

上記のa)は知識と理解である。b)とc)は知識に基づく思考と判断および行動・協力であり、自助や共助に相当する。ゲーム学習による没入感と臨場感を表現することで、災害を疑似体験できる。とくに、b)とc)についての学習の効果が期待できる。

(2) 学習内容

上記の学習内容を踏まえ、ゲームにおいては以下を主な学習の内容とした。

- ・地域のハザード
- ・ハザードマップの重要性
- ・土砂災害対策施設の役割
- ・早めの避難と声掛けの重要性
- ・避難行動と避難準備

3. ゲームの学習のねらいと特徴

(1) 学習のねらい

ゲームによる学習のねらいについて表-1に示す。

ゲームをするのは、まずは楽しいからであり、そこには内的なモチベーションが必要となる。内的モチベーションとは、なぜゲームをしたいのかに相当する部分であり、自分でできる、好奇心が刺激される、高得点を得たいといった目的意識などである。さらに、ゲームに没入することで、疑似体験を可能とする。このようなねらいを踏まえてゲームを設計することで、効果的な教材となり得る。

(2) ゲームの特徴

本研究で対象とする和歌山県日高川町山野地区は、周りが山に囲まれており、土砂災害の危険性が高い地域の一つである。この地区には、小規模ながら小学校があり、土砂災害に対する啓発や避難行動に関する学習が必要不可欠である。

以下に本ゲームコンテンツの特徴を示す。

- a) ゲームの中で複数のクイズが用意されており、正答率が点数化される。
- b) 対象とする小学校から土砂災害の現場までの映像をドローンで撮影し、ゲーム内に挿入することで臨場感を与える。
- c) 土石流の実験映像を挿入することで、土砂災害を疑似体験することが出来る。
- d) ハザードマップを探る場面を迷路化し、ゲーム性

表-1 ゲームによる学習のねらい

(A)	ゲームの楽しさに付随した教育効果
(B)	内的モチベーションの促進
(B-1)	自立性：能動的に学ぶ
(B-2)	動機づけ：向上心、知的好奇心の刺激
(B-3)	目的意識：高得点を得たい
(C)	疑似体験の感覚：ゲームへの没入感
(D)	ハザードマップの重要性

を持たせ、利用者に目的意識を持たせる。

- e) 対象の市町村で過去に発生した土石流やがけ崩れの画像を用いる。このことで、土砂災害は他人事ではなく、自分の住んでいる身の回りでも発生するということを強く認識させ、自分事として捉えさせる。

4. ゲームコンテンツについて

小学校5・6年生の学習内容を考慮し、シナリオを作成した。シナリオの概要を以下に示す。

防災学習の授業で自分の住んでいる地域や身の回りにある土砂災害対策施設（砂防堰堤等）を見学する。帰宅後、大雨で停電が発生し、がけ崩れで自分の家が孤立してしまう。自分でハザードマップを見つけ出す中で、ハザードマップの重要性を再認識するという「学習編」と「実践編」の2つから構成している。

前半の「学習編」と後半の「実践編」で、合計8つの場面で構成されている。内容については表-2に示す。

図-1は場面3で、対象の市町村において過去に発生した土石流の様子で、図-2は場面5におけるがけ崩れの様子である。また、図-3は場面6における迷路ミニゲームのシーンである。コンテンツの制作には、「RPG ツクール VX Ace」⁹⁾を用いた。

ゲームにかかる時間は15分程度である。ゲームの実施にあたっては、制作したゲームの実行ファイルをWindows PCにインストールすることが必要となる。ゲームの動作環境を表-3に示す¹⁰⁾。

5. ゲームを利用した防災授業

令和4年1月14日に和歌山県日高川町立山野小学校において、本コンテンツを利用した授業を行った。小学校での防災授業の様子を図-4に示す。対象は5年生と6年生で合計8名の児童である。実践にあたっては、児童一人に対して、PC一台とした。当日は、日高川町教育委員会の計らいで、町内全域の小中学校に向けた研究授業と

して開催されることとなった。新型コロナ感染対策の関

係で、実践校以外の関係教諭については、Microsoft Teams⁹⁾を利用し、リモートで授業の様子を観覧する形式

表-2 ゲームの場面

場面	内容
学 習 編	1 休憩時間中に主人公は、遊び半分で防災に関するクイズを出し合っている。
	2 防災の授業が始まり、学校付近にある砂防堰堤までをドローン映像で示される。
	3 クラスで現地の見学に行くことになり、小学校から砂防堰堤まで、プレイヤーが実際に歩いているように示される。急な斜面ではみかんも育つなどポジティブな部分も表示される。 砂防堰堤に到着した後に、その施設に対する説明や実験映像が表示される。また、対象の市町村で過去に発生した土石流やがけ崩れの画像も表示される。
	4 放課後、主人公の二人が教室で談笑していると、学校の放送で一人が呼ばれる。待っているうちに、残った一人は眠気に襲われ、教室で居眠りをする。
実 践 編	5 自宅にいる主人公は、母親から大雨になりそうだから先に風呂に入るように促される。入浴中に停電が発生する。居間で、スマートフォンが圏外になっていることを確認していると、父親が帰宅する。明日食べる物を買いに、父親と車で出かけるが、がけ崩れのため道路が不通になっていた。
	6 買い物ができずに帰宅した主人公は、母親に状況を説明する。近所の人が主人公宅を訪問し、早く逃げるように進言する。家族会議を開き、避難所の場所を確認するため、主人公は2階にハザードマップを探しに行く。 ここで、ミニゲームがスタートし、3分以内にハザードマップが入っている宝箱を探す迷路ゲームが始まる。途中、宝箱を開けると、「はずれ」の場合、避難行動や避難準備に関する情報が表示される。
	7 2階でハザードマップを発見した主人公は、両親に伝え避難所に逃げようとするが、時すでに遅く、自宅の裏山でがけ崩れが発生し、巻き込まれてしまう。その時に、主人公は夢から目が覚める。すなわち、がけ崩れに巻き込まれるというのは、すべて教室で居眠りしたときの夢の中の出来事であったが、ハザードマップの重要性に気づく。
	8 最後に、避難行動や避難準備に関するクイズを出題する。まとめとして、「家族と一緒に、災害時の行動や備えを話し合う」といった内容を取り上げて確認し、ゲームのスコアが表示されエンディングとなる。



図-1 土石流の実際の様子



図-2 がけ崩れの様子



図-3 迷路ミニゲーム

表-3 ゲームの動作環境

OS	Microsoft Windows XP/Vista/7/8/8.1/10 日本語版 (32bit/64bit 版 OS 両対応)
CPU	Intel® Pentium®4 2.0GHz 相当以上
メモリー	512MB 以上
ディスプレイ	解像度 1024×768 以上



図-4 Microsoft Teams の会議画面に映し出された山野小学校における授業の様子

となった。なお、小中学校の教諭以外にも、日高川町教育長や日高川町総務課長、和歌山県砂防課の職員も授業の様子を見学した。

6. アンケート調査と評価

(1) アンケート調査について

授業終了後に、ゲームによる学習の効果を評価し、改善のヒントを得るために、アンケート調査を実施した。

a) 児童用

学年を問う設問を除き、21の設問を設けた。内容は、表-1に示すゲーム学習のねらいが達成できたかどうか問うものと、ゲームの中で得られる知識を覚えているかどうかを問うものに分かれる。

b) 先生用

児童用とは別に先生用のアンケートを作成した。内容は、わかりやすい教材になっているか、授業で使えるか、学習の動機づけができていないか、利用した児童・生徒の様子はどうか、具体的な要望の5つの設問を設け、記述式で回答を得た。

(2) アンケート結果と考察

学習のねらいに関連する各設問を表-1の各項目に紐づけて、表-4のように整理した。同表において、例えば「動画（ドローンなどの映像）はわかりやすかったですか。」といった設問については、回答の選択肢として「1.よくわかった」「2.わかりやすかったです」「3.わかりにくかった」「4.わからなかった」のように用意した。このような、理解度や程度を問う設問については、原則4つの選択肢を用意し、2つは肯定的で2つは否定的な回答としている。一方、「家に帰ったら、ハザードマップを見て確認しておこう、と思いますか」のように、「はい」または「いいえ」で回答を求める設問については、

表-4 アンケート調査による表1に示すゲーム学習のねらいの達成度

学習のねらい	設問	5・6年生[%]	
		肯定的回答	平均
(A)	動画（ドローンなどの映像）はわかりやすかったですか。	100	100
	砂防堰堤の役割が理解できましたか。	100	
	土砂災害が起こりそうな場所には、砂防堰堤のような、対策が取られていることを理解できましたか。	100	
	山野地区は土砂災害の危険があることを理解できましたか。	100	
(B-1)	自分の家が土砂災害警戒区域の中にあるかどうか知っていますか。	100	100
	集中できましたか。	100	
(B-2)	ゲームをもう一度、自分でしてみたいですか。	100	100
	動画（ドローンなどの映像）はわかりやすかったですか。	100	
	ハザードマップを日ごろから見ておくことが大切だと思いましたか。	100	
	家に帰ったら、ハザードマップを見て確認しておこう、と思いますか。	100	
	自分の家が土砂災害警戒区域の中にあるかどうか知っていますか。	100	
	今日ゲームをしたことや、知ったことを、家に帰って話そうと思いますか。	100	
(B-3)	もう一度このゲームをしたら、もっとよい点がとれると思いますか。	100	100
	ゲームをもう一度、自分でしてみたいですか。	100	
(C)	もう一度このゲームをしたら、もっとよい点がとれると思いますか。	100	84
	ハザードマップを日ごろから見ておくことが大切だと思いましたか。	100	
	家に帰ったら、ハザードマップを見て確認しておこう、と思いますか。	100	
	自分の命は、自分で守らなければならないと思いましたか。	75	
(D)	自分が住んでいるところで、避難することになったとき、自分でちゃんと避難できると思えますか。	88	100
	避難するときは、近所の人に声かけ（「いっしょに逃げよ」など）しようと思いますか。	100	
	今日ゲームをしたことや、知ったことを、家に帰って話そうと思いますか。	100	
(D)	家のどこかにハザードマップを貼っていますか。 ※	25	100
	上記の設問で「貼っていない」と答えた人にききます。どこに保管しているかわかりますか。 ※	57	
	家でハザードマップを見たことがありますか。 ※	50	
	上記の設問で「見たことがある」と答えた人にききます。ハザードマップを家族と一緒に見たことはありますか。 ※	0	
	ハザードマップを日ごろから見ておくことが大切だと思いましたか。	100	
	家に帰ったら、ハザードマップを見て確認しておこう、と思いますか。	100	

ただし、(D)の「平均」欄については、※の設問に対する回答を除いた数値が示されている。

回答の選択肢は2つとした。なお、同じ設問が複数個所に配置されているものもあるが、これは、学習のねらいに対して設問がそれぞれに当てはまるためである。今回のアンケートは、授業に出席した児童の全員を対象とした。

表-4に、ゲームを用いた学習に対して肯定的な回答をした児童の割合を示す。ゲーム学習のねらいとした表-1に示す項目(A), (B), (C)について、平均値で84~100%の肯定的な回答が得られている。ほとんど100%あるいはそれに近い数値であるが、(C)に分類した「自分が住んでいるところで、避難することになったとき、自分でちゃんと避難できると思いますか。」の設問に対して、肯定的な回答は75%と比較的低い値となっている。先に述べたRPGの第一弾「土砂災害が発生したとき」では、地域を限定しない設定であったため、同様の設問に対して、肯定的な回答が45%しかなかった⁴⁾ことを考慮すると、今回75%の児童から肯定的な回答が得られたことで、地域特化型のゲームにしたことによる効果が現れたと評価できる。

ハザードマップに関する(D)の設問について、家でハザードマップを見たことがある児童は50%で、小学生にしては多い方ではあるとも考えられるが十分とは言えない。しかし、授業が終わった後は、全員がハザードマップの大切さとこれを確認しておくことが必要であることを認識したことがわかり、学習の柱と位置づけ、また本ゲームのタイトルとした「命を守るハザードマップ」が児童に伝わったように考えられる。

また、「今日ゲームをしたことや、知ったことを、家に帰って話そうと思いますか」という問いに対して、肯定的な回答が100%となった。この結果から、小学生を対象とすることの付随的な効果として期待した家族での情報共有についても検証できたと考えられる。

ゲームの中で得られる知識を覚えているかどうかを問う設問については、迷路のミニゲームの途中で避難や避難行動などに関して必要となる情報を表示したが、制限時間内で迷路を脱出することに気が取られ、提供された情報を覚えておくような余裕がなかったようで、これに関する質問の正答率は低かった。しかし、迷路のミニゲーム以外のところで定時された知識を問う質問の正解率は概ね良好であった。

一方、先生用のアンケートの回答として、

- 災害や避難についての学習でこのゲームを教材として用いる場合、児童の好奇心ややる気の向上にも役立つと思う。
- 児童から「またゲームをさせてください」という声が挙がった。
- 学級活動の時間や避難訓練の際に振り返りたい。
- 子供たちは家に帰ってハザードマップを確認し、目につくところに掲示している。

といった肯定的な意見がほとんどであり、ゲーム学習のねらいに対して、教員の立場からも良い評価がなされた。

7. まとめ

本研究では、土砂災害を題材として、災害についての正しい理解と、避難やハザードマップの大切さ、また避難行動の在り方を学習するための防災教育教材の開発を目的とした。以下、主な成果について述べる。

- 1) 地域のハザードを取り上げたRPGコンテンツを作成した。
- 2) 山間部の小学校で実践し、研究授業として、リモートで町内の小中学校の教諭が参加した。
- 3) 実践校におけるアンケート調査から、教材としてのねらいがほぼ達成できていることが分かった。
- 4) 教員や学校に委ねた取り組みでなく、日高川町教育委員会・自治体・センター・和高専との連携関係により継続的に学習する体制ができた。

8. 展開

冒頭でも述べたように、このようなゲームコンテンツの制作においては、特定の地域を対象とすることを避ける。地域を限定して制作してしまうと、他の地域で使いにくくなるためである。

本コンテンツは、ゲーム内においてドローン映像や小学校から砂防堰堤まで、プレイヤーが実際に歩いているように写真がパラパラ漫画のように出てくるような構成になっており、その写真や一部の文言を適宜差し替えることで、他の学校の教材として制作できる。

このように、対象とする地域や学校ごとにゲームを一部編集することは、多数の学校にこのゲームを展開することの妨げになるかもしれないが、一手間をかけることで、「災害を自分事として捉える」という防災教育の大きな課題に対して一助になると考えられる。

本研究を契機として、防災教育は具体的な内容が多く熱意のある教職員に大きな負担が生じたり、教職員の異動で学校の取り組みが途絶えたりする懸念に対して、和歌山県土砂災害啓発センターが中心となって、和歌山高専環境都市工学科辻原研究室、日高川町教育委員会および日高川町の連携関係を構築し、本ゲームコンテンツをアレンジして日高川町内の小中学校の教材として全面的に展開することとなった。また、他の開発したデジタルコンテンツ教材も組み入れ、日高川町教育委員会を通じて町内各小中学校にオンラインで説明会を実施し、今後はこの教材等を用いた防災教育を年間計画に取り入れ、防災教育を進めることとなった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、和歌山県土砂災害啓発センターの岸畑明宏氏、筒井和男氏、宮崎徳生氏には資料の提供や助言を頂きました。

和歌山県日高川町立山野小学校では、新型コロナウイルス感染拡大が懸念される中で、十分な対策を講じてゲームを実践させて頂きました。日高川町教育委員長の和佐公生氏には有益な助言を頂き、また山野小学校での授業を町内のを研究授業と位置付け、関係の小中学校教諭が参観できるように特別な配慮をして頂きました。

防災科学技術研究所の宮島亜希子氏ならびに松川杏寧氏にはゲームの作成過程において助言や励ましの言葉を頂きました。

和歌山高専環境都市工学科の辻原治教授には研究全般についてご指導を頂き、また終始暖かく励まして頂きました。

ここに記して謝意を表します。

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) 辻原治，植前成美：防災教育教材としてのRPGソフトウェアと学習効果，土木学会論文集F3，Vol.74，No.2，pp.I_20-I_28，2018.
- 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，p.48-53，2021.
- 4) 西萩一喜，辻原治：土砂災害啓発を目的としたRPG防災教育教材の開発，令和3年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会，アカウントビリティ・行政サービス部門，No.14，2021.
- 5) 国土交通省砂防部：土砂災害防止教育支援ガイドライン（案），<http://www.sabopc.or.jp/images/library/images/guidebook.pdf>，2009，(2022.2.1閲覧).
- 6) RPG ツクール VX Ace：初心者向け講座，<https://tkool.jp/products/tpgvxace/lecture/index/index.html>，(2022.2.1 閲覧)。
- 7) KADOKAWA GAMES：RPG ツクール VX Ace 初心者向け講座，<https://tkool.jp/products/tpgvxace/index/>，(2022.2.1 閲覧)。
- 8) KADOKAWA GAMES：ツクール web サポート，<https://tkool.jp/support/os.html>，(2022.2.1 閲覧)。
- 9) Microsoft：Teams，<https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-teams/group-chat-software> (2022.2.1 閲覧)。

お手軽オリジナルハザードマップ 作製アプリの開発

露峰 周¹・筒井 和男²

¹豊橋技術科学大学 建築・都市システム学課程社会基盤コース

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

²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)

小学校では、学習指導要領が改訂され、「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求められ、2020年度から全面実施されることになっている。

小学生に対する防災教育は、まず動機づけが重要であるが、次に地域のハザードを自ら認識し、避難行動に結びつけていく教育が必要となる。

本研究では、小学校の高学年の児童を主たる対象とし、写真やコメントも挿入可能で、児童が簡単に扱えるオリジナルハザードマップ作製アプリの開発した。

キーワード 土砂災害、防災教育、教材、避難行動

1. はじめに

(1) 背景

2011年の紀伊半島大水害を契機に、防災教育の重要性がより強く認識され、災害に関する正しい知識と理解や災害時の対応に関する教育が始まっている。

小学校では、新学習指導要領¹⁾に、防災教育における「生きる力」が提唱され、児童が自ら主体的に学べる教育の完全実施が指示されていることから、防災教育等の必要性が示唆されている。

しかし、実際の教育現場において、小学校の教員が自然災害や地元のことに詳しいとは限らず、専門家による児童への直接指導も、日程調整や事前の打ち合わせ等による負担が大きい。これらの理由から、児童がわかりやすく、教員も教えやすい教材の開発が必要不可欠である。そのためには、地域のハザードを知る必要があり、ハザードマップが重要な役割を担う。

(2) 既往の研究

種々のハザードに対して、ハザードマップが作成されており、これに避難経路、避難経路沿いのリスク、また逆に役に立つ情報などを書き込んで、オリジナルハザードマップを作成する取り組みはなされている。Web上でも、ハザードマップが利用可能なサイトはあり^{2,3)}、また、これに必要な情報を書き込めるようしているものもある⁴⁾。これらは一般に、多機能でレイヤの重ね合わせができたり、別に用意されているファイルから避難所等のデータを読み込んで表示できるなど、ユーザーの種々

の要望が満たされる。しかし、多機能であるがゆえに、使いこなすのが容易ではなく、小学生を対象とした場合、機能を絞り、扱いやすいコンテンツが適切と考えられる。

(3) 目的

地域のハザードを知るためには、ハザードマップを見るだけでなく、現地を実際に見ることも大切である。また、避難経路などに潜むリスクについても、目的をもって見て回ることによって種々の気づきが生まれる。

一方、文部科学省のGIGAスクール構想により、小学校にはPCやタブレットが配置され、インターネット環境が整備されている。タブレットの場合は、外に持ち出し、写真を撮ることも可能である。

本研究では、小学校の高学年の児童を主たる対象とし、写真やコメントも挿入可能で、簡単に扱えるオリジナルハザードマップ作製アプリの開発を目的とする。

2. 教育の目標と学習内容

(1) 教育の目標

小学校の防災教育においては、学習の動機づけが重要となる。西萩ら⁵⁾は、小学校高学年の児童を主たる対象として土砂災害啓発のためのRPGを作用し、いくつかの学校で実践した。動機づけについては一定の成果は得られたが、生徒が住む地域での災害発生時の避難については不安の思う児童が多かったとしている。

災害時の避難の学習については、ハザードを正しく理

解するところから始まる。ハザードマップの見方の学習のみならず、これを利用し、自宅のリスクや避難場所の位置および自宅からの経路などについて、ハザードマップを活用することで、地域のことを知り、正しい避難行動を理解してもらうことが重要ある。

(2) 学習内容

上記の教育目標を踏まえ、本アプリケーションにおいては以下を主な学習内容とした。

- 1) ハザードマップの見方・使い方
- 2) 避難場所と避難ルート
- 3) 土砂災害の種類
- 4) 災害が発生する危険性のある場所
- 5) 避難ルート沿い・自宅・学校に潜むリスク

3. アプリケーションについて

(1) 開発環境

Visual Studio Code⁶⁾ を用いて作成した。Visual Studio Code とは、Microsoft が開発したソースコードエディタである。アプリケーションのプレイフォーマットはPCとし、表-1に問題なく動作したPCの動作環境を示す。

表-1 アプリケーションの動作環境

OS	Microsoft Windows7/8/8.1/10 日本語版(32/64bit 版 OS 両対応)
CPU	Intel(R)Core(TM)i5-9500 CPU @3.00GHz 3.00GHz
メモリー	550MB 以上
ディスプレイ	解像度 800×600 以上
バージョン	1.57.1

(2) 使用言語

今回のアプリケーションを使用するにあたり、HTML、CSS、JS を言語として用いた。

a) HTML

HTML (エイチティーエムエル, HyperText Markup Language) とは、ウェブページを作成するために開発された言語である。現在、インターネット上で公開されているウェブページのほとんどは、HTML で作成されている。

b) CSS

CSS (カスケーディング・スタイル・シート, Cascading Style Sheets) とは、ウェブページのスタイルを指定するための言語である。ワープロソフトなどで作成される文書も含めて、文書のスタイルを指定する技術全般をスタイルシートと言う。HTML で作成されるウェブページにスタイルを適用する場合に

は、スタイルシート言語の 1 つである CSS が一般的に利用されている。

CSS は、HTML と組み合わせて使用する言語である。HTML がウェブページ内の各要素の意味や情報構造を定義するのに対して、CSS ではそれらをどのように装飾するかを指定する。

c) JS

JS (ジャバスクリプト, JavaScript) とは、動的な Web ページを作成する事のできるプログラミング言語である。通常はブラウザ上で実行される。JS を使うと、ユーザーのアクションに応じたコンテンツの表示の他、ブラウザ上で表示される地図やグラフィックアニメーションなども表示する事ができる。JS は、HTML や CSS が翻訳された後で実行される。

4. アプリケーションの使用法

アプリケーションの初期画面を図-1 に、ハザードマップの完成例を図-2 に示す。

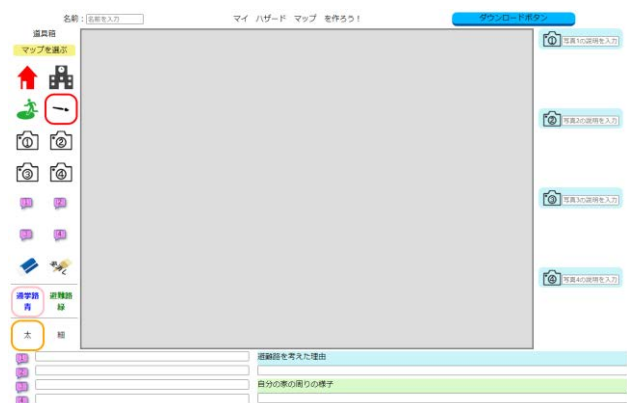


図-1 アプリの初期画面

アプリケーションの使用法を下記に示す。

a) ハザードマップの読み込み

「マップを選ぶ」をクリックし、ハザードマップを画面上に開く。

b) 自宅やカメラ位置などのアイコンの貼り付け

「自宅」「学校」「避難所」「吹き出し」「カメラ」のアイコンをクリックし、ハザードマップ上でもう一度クリックするとアイコンを貼り付けることができる。

c) 通学路と避難路の書き込み

「ペン」のアイコンをクリックする。「通学路 青」または「避難路 緑」をクリックし、ハザードマップ上でドラッグすると、線を描くことができる。太さのアイコンを選択すると、線の太さを変更することができる。

d) アイコン・線の消去方法

- ・一部を消したい場合

「消しゴム」アイコンをクリックし、消したいところをドラッグすると、アイコン・線を消すことができる。

- ・すべて消したい場合

「全消し」アイコンをクリックする。「本当にすべて消しますか」と表示され、「OK」をクリックすると、アイコン・線をすべて消すことができる。

e) 吹き出しのコメントの書き込みとカメラ位置の写真の貼り付け

画面左下の吹き出しアイコンの右側のスペースに、吹き出しアイコンに対応するコメントを書くことができる。

また、カメラアイコンをクリックすると、写真を貼り付けることができる。

f) その他コメント

「避難路を考えた理由」, 「自分の家の周りの様子」を書くことができる。

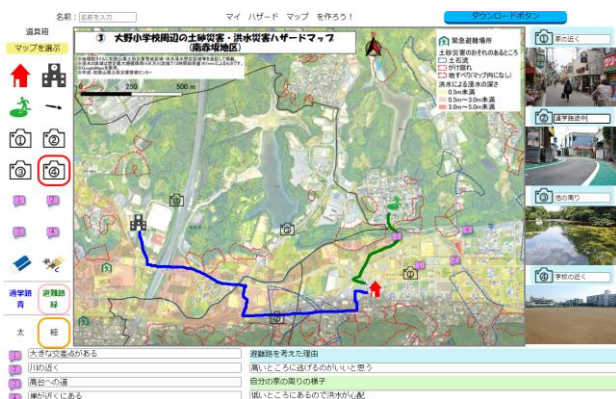


図-2 マイハザードマップの完成例

5. ゲームコンテンツを用いた教育実践の方法

各学校での実践にあたっては、校区内を歩き、施設や安全な場所、危険な場所を撮影し、マップにしていって流れる。流れのイメージを図-3に示す。

授業においては、予め用意した対象とする小学校周辺のハザードマップの画像ファイル読み込み、学校、自宅や避難所等のアイコンをハザードマップ上場に配置し、通学路や避難路を描画してもらう。つぎに、校外に出て、周辺のまち歩きをして、危険箇所などを持ち出したタブレットやカメラで撮影する。教室に戻って、ハザードマップ上に、吹き出しアイコンやカメラアイコンを配置し、コメントや画像の挿入を行う。そのようにして完成したオリジナルハザードマップを印刷し、自宅に持ち帰る。そして帰宅後、家族でそのハザードマップを見ながら情報を共有する。



タブレットにハザードマップを読み込む

街歩きをする

危険箇所などを撮影する



画像の貼込やコメントの書込をする

画像作成したハザードマップを印刷する

家に持ち帰り家族で共有する

図-3 授業のイメージ

6. アンケート調査及び評価

アプリ利用後に、アプリによる学習の効果を評価し、改善のヒントを得るために、アンケート調査を実施することとした。

(1) アンケート調査の内容

児童用・教職員用にアンケートを作成した。小学生には多肢選択式として23の設問を用意した。

主な内容を以下に示す。

- ・ 自宅でハザードマップを見たことがありますか。
- ・ 家族と避難場所や避難ルートについて話し合ったことがありますか。
- ・ 自宅が、土砂災害の危険があるかどうかわかりましたか。
- ・ 避難ルートの近くに危険なところがありましたか。
- ・ 地すべり・がけ崩れ・土石流の発生する場所を、ハザードマップ上で区別できますか。
- ・ 土砂災害やその他の災害についてもっと詳しく勉強したいと思いましたか。
- ・ ハザードマップを日ごろから見ておくことが大切だと感じましたか。
- ・ 防災について興味がわきましたか。
- ・ 完成したハザードマップは見やすいですか。
- ・ 家族に、ここで作ったハザードマップを見せたいですか。

教職員用のアンケートは、教材としての使いやすさ、何年生のどの科目や単元で使えるか、学習意欲の向上につながるか、使っている児童の様子、改善の要望を記述してもらう内容である。

(2) 小学校教職員等による事前評価

新型コロナウイルス感染拡大の影響で、実際に生徒に使用してもらうことはかなわなかったため、いくつかの小学校や教育委員会の方々から事前評価を得た。肯定的

評価が得られた一方、改善点も明らかになった。

以下にそれらについて示す。

◇肯定的評価

- ・ 操作が簡単で、小学生にも使える。
- ・ 習得に時間がかからなそう。
- ・ 街歩き of 授業・地域を調べる授業で活用したい。
- ・ 小学生の方がすぐに自分で使い始めるだろう。

◇改善点

- ・ ピンチにより画面を拡大できる機能があれば、地図を詳細に見れる。
- ・ クラウド上で利用する場合、セキュリティの問題からアクセスできない（学校によっては、予め指定されたサイトの URL しかアクセスできないような設定になっている）。
- ・ 授業計画上、入れ込むのが難しい。
- ・ 子供たちは谷や尾根の地形が分かるか不安なので、地形が分かるアプリがあればいい。
- ・ 写真やコメントをもっと増やしたい。
- ・ 小学生はコメントを簡潔にまとめることが難しいので、文字数が多くなるといい。
- ・ 書きかけのデータを再度読み込んで再編集する機能が欲しい。

肯定的評価については、簡単に使えるという回答が多くあり、ねらい通りの評価が得られた。

一方、改善点について、セキュリティの問題は、タブレット等に直接アプリをインストールすることで対応可能である。それ以外については、アプリケーションの設計にかかわるものが多く、写真やコメントの数の設定や、編集状態を保存できるなど、柔軟に対応できるような機能が望まれていることが分かった。

7. まとめ

教育現場において、防災教育について新たな取り組みが求められており、効果的な教材の開発が必要とされている。

本研究では、災害を自分事として捉えるというところに着目し、ハザードマップを見ながら避難経路を作成し、他者と共有することができるアプリケーションの開発を目的とした。

本研究で得られた成果をまとめると以下ようになる。

- 1) 小学校高学年を対象としたハザードマップアプリを開発した。
- 2) 新型コロナウイルス感染予防のため、計画してい

た小学校での実践がキャンセルとなり、小学生からのアンケートを通じた評価はできなかった。しかし、事前に利用した小学校教員からの評価が得られ、授業での利用について肯定的な回答が得られた。一方、いくつかの改善点に対するヒントも得られた。

- 3) 防災教育の難しさは、実際に体験していない事柄に対して、正しく恐れ、自分自身や他者の命を守る行動がとれるような教育をすることにある。このアプリにより、実際に現場へ赴き状況等を学習することで、利用者の知的好奇心を刺激し、自然災害に対するリスクと災害発生時の対応を主体的に学びきっかけとなることが期待される。

謝辞: 本研究を進めていくにあたり、和歌山県土砂災害啓発センターの所長である坂口隆紀氏をはじめ、岸畑明宏氏、宮崎徳生氏には資料の提供や助言をいただきました。

那智勝浦町教育委員会、那智勝浦町立市野々小学校、日高川町教育委員会、日高川町立笠松小学校・川原河小学校、由良町立白崎小学校、田辺市立中山路小学校の関係者には教材の事前評価をしていただきました。

和歌山高専環境都市工学科の辻原治教授には研究全般についてご指導いただき、また終始暖かく励ましていただきました。

ここに記して謝意を表します。

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) 国土交通省:重ねるハザードマップ<操作方法>，<https://disaportal.gsi.go.jp/hazardmap/pamphlet/pamphlet.html>, 2022-01-14 閲覧.
- 3) 国土交通省:わがまちハザードマップ<操作方法>，<https://disaportal.gsi.go.jp/hazardmap/pamphlet/pamphlet.html>, 2022-01-14 閲覧.
- 4) 江種伸之，吉野孝：デジタル防災マップ作成支援システム“あがらマップ”の利活用—システム改良—,和歌山大学災害科学・レジリエンス共創センター年報, Vol.1, pp.52-55, 2021.
- 5) 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, p.48-53, 2021.
- 6) Microsoft：Visual Studio Code, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/visual-studio-code/>, 2022-01-14 閲覧.

防災RPG「台風にそなえて、 じゅんびをしよう！」の開発

鈴木 義幸¹・筒井 和男²

¹神戸大学理学部惑星学科（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

²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）

小学校の防災教育において、導入としては動機付けが重要であるが、これを避難行動の学習につなげていく必要がある。本研究では、土砂災害時の避難行動を題材として、事前準備の重要性と早期避難の必要性について、主として小学校高学年に啓発するRPGコンテンツを開発した。

本コンテンツは、利用するPC等に直接インストールして利用できるほか、オンラインでの利用も可能である。

キーワード 土砂災害, 防災教育, 教材, 事前準備, 避難行動

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始まっている。

小学校では、学習指導要領の改訂¹⁾により、「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求められ、2020年度から全面实施されることになっている。

和歌山県では、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及び啓発の拠点となる施設として和歌山県土砂災害啓発センターが設置され、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、効果的な教材の開発を継続している。

小学校の防災教育において、導入としては動機付けが重要である。西萩ら²⁾は、土砂災害啓発を目的としたロールプレイングゲーム（RPG）形式の教材を開発し、いくつかの小中学校での実践をとおして、その効果を明らかにした。次のステップとして、これを避難行動の学習につなげていく必要がある。避難については、どのタイミングでどこへ避難すればよいか、また、どのような事前準備が必要かなど、学習の項目は少なくない。

和歌山県は津波避難を対象としたボードゲーム³⁾を開発している。これは、事前にゲームキットを用意し、複数人でプレイする形式である。

本研究では、和歌山県の津波避難学習のボードゲーム³⁾を参考に、土砂災害啓発教育の一つである事前準備の

重要性と早期避難の必要性について、主として小学校高学年に啓発するRPGコンテンツの開発を目的とする。

2. 教育の目標と学習内容

(1) 教育の目標

土砂災害教育の目標として、国土交通省は以下のように示している⁴⁾。

- 土砂災害の現象・種類やメカニズム、対策等を知り理解すること。
- 自発的・能動的に情報を収集し危険を察知するなど自ら考え、主体的に判断することができるようになること。
- 自分の身は自分で守ろうとする態度や、地域の一員として協力しようとする態度等を身につけ、具体的な行動に結びつけること。

上記のa)は知識と理解である。本研究では土砂災害の避難準備や避難行動に重点を置いた。b)とc)は知識に基づく思考と判断および行動・協力であり、自助や共助に相当する。ゲーム学習による没入感と臨場感を表現することで、災害を疑似体験できる。とくに、b)とc)についての学習の効果が期待できる。

(2) 学習内容

上記の教育目標を踏まえ、ゲームにおいて以下を主な学習内容とした。

事前準備（避難バック、避難カード、避難訓練など）

- ・ハザードマップ
- ・避難するタイミング

- ・災害時に発生するであろうトラブルへの対処
- ・避難シミュレーション
- ・土砂災害と前兆現象

3. ゲーム学習のねらいと特徴

(1) ゲーム学習の狙い

ゲームによる学習のねらいについて以下に示す。

- ・ゲームの楽しさに付随した教育効果
- ・内的モチベーションの促進
- ・擬似体験の感覚

ゲームは楽しいからプレイするものであり、そこには内的モチベーションが必要となる。内的モチベーションとは、なぜゲームをしたいのかに相当する部分であり、自分でできる、好奇心が刺激される、高得点を得たいといった目的意識である。また、ゲームに没入することで避難の擬似体験、つまり避難シミュレーションが可能となる。

このようなねらいを踏まえてゲームを設計することで、効果的な教材となる。

(2) ゲームの特徴

このゲームの特徴を以下に示す。

- ・主人公のキャラクターにプレイヤーが名前をつけることができる。
- ・キャラクターをプレイヤーが動かすことができる。
- ・「博士」のキャラクターが学習内容について適宜解説する。（図-1を参照）
- ・ゲームの中で複数のクイズが用意されており、正答率が点数化される。
- ・イベントにランダム性を持たせることで、何度も繰り返しプレイしてもらい記憶への定着を高める。
- ・土砂災害の解説には、「土石流」と「がけ崩れ」の実際の動画を用いる。
- ・7種類の事前準備から、3つを選んで避難を開始する。事前準備の内容を表-1に示す。

4. ゲームコンテンツ

小学校5年生の学習内容を考慮し、シナリオおよび絵コンテを作成した。コンテンツは、RPGの制作用ソフト「RPGツクールMZ」⁹⁾を用いて制作した。

(1) ゲームの動作環境

RPGツクールMZでは、Windows版、Mac版、ウェブブラウザ版に対応したバージョンでゲームを出力するこ



図-1 博士のキャラクター説明

表-1 事前準備カードの説明

カード名	カードの説明
靴を準備	いつでも安全に避難できるように、ベットの近くに靴を置いておく。強風で窓ガラスが割れるイベントを回避するために必要である。
ハザードマップ	正しい避難場所に安全な道を通っていけるように、事前に避難経路を確認する。
避難カード	災害時にどこへ避難するかを家族で話し合い、避難カードを作っておく。祖母がどこに避難したかを心配せずに行動できる。
避難バック	すぐに避難できるように、事前に非常持ち出し品をバックに入れて準備しておく。懐中電灯が必要になるイベントで必要となる。
マイ・タイムライン	避難するタイミングを家族と話し合い、事前に考えておく。
車いすの避難方法	避難に支援が必要な人が1人で避難することがないように、事前に避難方法と支援方法を一緒に考えておく。ゲーム内でも車いすの利用者が避難に困るイベントが発生する。
避難訓練	平時から避難訓練をしておくことで、スムーズに逃げるができるようになる。

とが可能である。

以下では、小学校での利用を考慮し、各バージョンについて検討した。

a) Windows, Mac版

Windows版・Mac版では、推奨スペック（表-2を参照）以上のPCで正常にプレイが可能であった。

b) ブラウザ版

ブラウザ版としては以下の環境での動作が考えられる。

- ① ゲームアツマールや、Plicyなどのwebサービスに公開し、限定公開することで関係者がプレイできる。しかし、webサービス上には一般の広告が表示されるため、教育上好ましくない内容が目につける可能

表-2 ゲームの動作環境

OS	Windows 8.1/10 (64bit) または macOS 10.13 以降
CPU	Intel Core i3-4340 相当以上(2013年第四世代)
メモリー	8GB 以上
HDD	空き容量 8GB 以上
グラフィックカード	OpenGLに対応したもののVRAM 1GB 以上
ディスプレイ	解像度 1280×768 以上

性がある。

- ② サーバ上でデータ一式を公開し、「index.html」を実行してもらうことでプレイできる。しかし、サーバが必要である。

教育現場での利用を考えた場合、ブラウザでの実施については、サーバが必要となるが、②の環境が適切である。

(2) ゲームのシナリオ

a) 学校のホームルーム

3日後に大型の台風が来るという情報を担任の先生から聞く。主人公は事前準備をしておこうと考えて帰宅する。

b) 自宅での事前準備

学校から帰ってきた後、母親と話し合いながら事前準備を行う。7つの事前準備があり、その中から3つを選択する(図-2を参照)。

c) 自宅からの脱出

3日後、台風が近づき夜間に大雨になってきた。主人公は2階の自室で目を覚ます。すると、激しい雨風によって部屋のガラスが割れる。

母親がいる1階に降りる。そこで、すぐに避難するかどうかの選択を迫られる。

避難所に行くことを決め、玄関に向かう途中で、ブレーカーを落としに戻るかどうかの選択を迫られる。

次に、玄関を出る前に鍵を閉めて出るかどうかの選択がある(図-3を参照)。これらはクイズ形式になっており、答えると、博士からの解説がある。

d) 避難所までの避難路

避難の途中、まず土石流の危険がある場所を通りかかる(図-4を参照)。主人公は、そこで土石流が起こる前兆を発見する。そのとき、回り道するかどうかの選択を迫られる。

次にかげ崩れの危険がある場所を通りかかる。主人公は、そこでもかげ崩れが起こる前兆を発見し、回り道をするかどうかの選択を迫られる。

先を進むと、2つの分かれ道があり、どちらか一方を選んで進む。ここで、4つのイベントの中からランダム



図-2 事前準備カードの選択



図-3 自宅から脱出時のイベント



図-4 土石流の危険がある場所

に2つのイベントが発生する。このイベントの内容を表-3に示す。

分かれ道が合流した先では、洪水で道路が冠水している。そのまま進むかどうかの選択を迫られる。

表-3 イベントとその説明

イベント名	イベントの説明
家族の避難	近所に住んでいる祖母のことが心配で、様子を見に行くかどうかを選択する。ここで、事前準備「避難カード」を選んでしていると回避できる。
避難行動要支援者	車いすの人が避難に困っている。助けるかどうかを選択する。ここで、事前準備「車いすの避難方法」を選んでしていると回避できる。
夜道	夜になり、暗くて道が見えづらくなる。ここで、事前準備「避難バック」を選んでしていると、懐中電灯を使って回避できる。
道に迷う	避難時の焦りと緊張によって、道に迷ってしまう。近くの人に道を尋ねるかそのまま進むかの選択となる。事前準備「避難訓練」を選んでしていると回避できる。

その先にあるゴールの手前でも3つの道に分かれる。避難場所である「公民館」に無事に辿り着くことが出来ればゲームクリアとなる。最後に「バラバラ避難（分散避難）」について博士からの説明がある。

e) エンディング

エンディングでは、このゲームで学んで欲しい内容である「備えることの大切さ」について解説がある。また、ゲームの中で出題されたクイズの正答率に応じた得点が表示される。

5. アンケート調査及び評価

ゲーム終了後に、ゲームによる学習の効果を評価し、改善のヒントを得るために、アンケート調査を実施する。

(1) アンケート調査の内容

a) 児童用

児童用のアンケートの設問として22問用意した。内容は、ゲーム学習のねらいが達成できたかどうかを問うものと、ゲームの中で得られる情報を覚えているかどうかを問うものに分かれる。具体的な設問をいくつか取り上げて説明する（表-4を参照）。

設問3, 7, 10, 11は学習内容をしっかりと覚えているかどうかを確認するために用意した。すべての設問の中で最も重要と考えているのが設問6である。このゲームは、イベントにランダム性を持たせたり、7種類の事前準備を用意したりと、一度プレイしただけでは全ての内容を網羅できない仕組みになっている。これには、何度

表-4 アンケート設問（抜粋）

設問番号	内容
3	クイズ（質問）のところはよく覚えていますか。
6	ゲームをもう一度自分でしてみたいですか。
7	事前カードは次のうち、どれを選びましたか。 (1. ベットの横に靴を準備 2. ハザードマップ 3. 避難カード 4. 避難バック 5. マイタイムライン 6. 車いすの人の避難方法 7. 避難訓練)
9	もう一度ゲームをするなら、事前準備のカードはどれを選びますか。 (1. ベットの横に靴を準備 2. ハザードマップ 3. 避難カード 4. 避難バック 5. マイタイムライン 6. 車いすの人の避難方法 7. 避難訓練)
10	山と山に挟まれた川などで起こりやすいのは、土石流、がけくずれ、地すべりのどれですか。
11	山の急斜面にひびが入っていたり、水が出ていたりしているところが起こりやすいのは、土石流、がけくずれ、地すべりのどれですか。
15	災害に備えて前もって準備しておくことが大切だと思いませんか。
17	防災について興味がわきましたか。
18	土砂災害やその他の災害についてもっと詳しく勉強したいと思いませんか。
19	家に帰って、家族にこのゲームをしたことについて話したいと思いませんか。
20	家に帰って、家族と事前準備をしたいと思いませんか。

もプレイさせるといふねらいがある。繰り返すことで、記憶への定着がより高まることが期待される。また、設問9により、「どうすれば点数が上がるのだろう」と自分なりに考え、事前準備に深く向き合う時間を作ることができると考えられる。

設問15では、このゲーム学習の目的である「事前準備の必要性」が伝わっているかどうかを確認することができる。設問18では、ゲーム学習による効果として考えられる「内的モチベーションの促進」が達成できたかどうかを評価することができる。

最後に設問19と20では、土砂災害について児童から家族に情報の伝達が行われる可能性を評価できる。

これらの設問に対する回答によって、ゲームとしての完成度、つまり面白さと学びの評価ができる。

b) 先生用

児童用とは別に先生用のアンケートを作成した。内容は、教職員や児童にとって、わかりやすい内容となっているか、児童の好奇心や、やる気の向上に役立つか、

利用した児童の様子はどうか、具体的な要望、などの5つの設問を設け、すべて記述式とした。

(2) 教材の事前評価

小学校での実践の前段階として、いくつかの機関で教材に関する意見や感想を求めた。以下、主なものを述べる。

a) 和歌山県県土整備部河川・下水道局砂防課

- ・チュートリアル（操作方法等）をメニューに入れたら分かりやすい。
- ・7枚のカードを一覧表示した方が、選択しやすい。
- ・7枚のカードから3つ選ぶとき、どういった観点で選べばよいかの補足説明があってもよい。また、選ぶカードによって点数が違うような工夫があってもよい。
- ・今回のテーマである「事前準備」を掘り下げる意味では、それぞれのカードの説明がもう少しあってもよい。
- ・大雨警報発令→避難となっているが、なぜ避難が必要かももう少し説明をするか、避難指示などが出た場面があってもよい。
- ・土砂災害と同様に、増水で水浸しになっている画像があってもよい。
- ・ゲームは短時間で終わるので、スライドを用いた学習などと併せて防災教育を行う必要があると考える。
- ・自分事としてゲームで取り扱った内容を振り返ることができる内容かどうか。

b) 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

- ・経路を少し難しくしてもおもしろいかもしれない。
- ・土砂災害避難の知識も使うような内容があるとよい。

c) 那智勝浦町立市野々小学校

- ・児童がゲームをプレイする際に、ビデオなどでゲーム制作者から、児童にメッセージを伝えてほしい。（ゲームを制作した目的など）児童には、それを聞いた上でプレイしてほしい。
- ・ゲームをした後で、児童自身が選んだカードや、避難中に遭遇したイベントについて発表して、「もっとこうの方がよかった」など意見を述べ合うようにするのはどうか。

d) 奈良県 県土マネジメント部 砂防・災害対策課

- ・どの事前準備を選ぶかによって点数が変わるところが楽しいゲーム要素であり、また事前準備の大切さがより学べると感じた。
- ・途中で土石流や崖崩れの様子の動画をみることで、よりリアリティを感じることができ、土砂災害の危険さが伝わると感じた。
- ・「防災RPG」と言われてもなかなかイメージできなかったが、プレイしてみて、これなら子供たちにもわかりやすいのではないかと感じた。最後に点数が出るが、可能点数の根拠を示すと、子供たちへのフィードバックとなり、学びがより深くなるのではないかと感

じた。

- ・7枚のカードを選ぶときに、1枚1枚選択していると手戻りが多いと感じた。1枚ずつ見せるのではなく、7枚を一気に提示して選ぶほうが、プレイヤーもより円滑にプレイできると思う。

6. ゲームコンテンツを用いた教育実践

和歌山県土砂災害啓発センターの防災教育の一環として、和歌山県内の小学校において本教材を用いた教育実践が計画されていたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で中止となった。

しかし、試行として、2022年2月に和歌山県下の学童保育に通う小学4年生2名にコンテンツを実践してもらい、またアンケートに回答してもらった。被験者が少数であり、また4年生のみであることから、アンケート調査結果について意味のある分析はできないが、本コンテンツの主題の一つである「事前準備の大切さ」（設問15）、学習の動機づけ（設問17, 18）については、2人とも肯定的な回答であった。

7. まとめ

和歌山県では、2011年の紀伊半島大水害を契機に、土砂災害に対する防災教育の必要性が強く認識され、小学校においても、防災教育についての効果的な教材の開発が必要とされている。

本研究では、防災学習の中で、土砂災害時に対する避難行動を題材として、避難についての正しい理解と、事前準備の必要性を学習するための避難シミュレーション教材の開発を目的とした。本研究をまとめると以下のようになる。

- (1) 小学校高学年の児童を対象として、避難の準備や避難行動の大切さなどをテーマとしたロールプレイング形式のゲームを開発した。
- (2) 小学校の教諭およびいくつかの防災関係機関の職員等に事前評価と本教材を用いた授業の展開方法の提案をいただいた。
- (3) コロナ禍で小学生での実践ができなかったが、小学生4年生に試行的に利用してもらったところ、本コンテンツが学習の動機づけとなり、また避難における事前準備の大切さを伝えることができる教材として期待できることが分かった。

謝辞：本研究を進めるにあたり，和歌山県土砂災害啓発センターの所長である坂口隆紀氏をはじめ，筒井和男氏，宮崎徳生氏には資料の提供や助言をいただきました。

和歌山県県土整備部河川・下水道局砂防課，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，那智勝浦町立市野々小学校，奈良県県土マネジメント部砂防・災害対策課の関係者には本教材を利用し評価をしていただきました。

和歌山高専環境都市工学科の辻原治教授には研究全般についてご指導いただき，また終始暖かく励ましていただきました。

ここに記して謝意を表します。

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) 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) 西萩一喜，辻原治：土災害啓発を目的とした RPG 防災教育教材の開発，令和 3 年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会，アカウントビリティ・行政サービス部門，No.14，pp.1-5，2021.
- 4) 和歌山県:きいちゃんの災害避難ゲーム，和歌山県防災企画課，<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/011400/kiichangame.html>，参照 2021-12-10.
- 5) 国土交通省砂防部：土砂災害防止支援ガイドライン（案），<http://www.sabopc.or.jp/images/library/images/guidebook.pdf>，参照 2020-10-5，2009.
- 6) YOJI OJIMA：RPG ツクール MZ，Gocha Gocha Games Inc.，<https://tkool.jp/mz/>，参照 2022-2-20.

和歌山県日高川町におけるデジタルコンテンツ を用いた土砂災害防災教育の取り組み

AN ATTEMPT OF THE SEDIMENT DISASTER PREVENTION EDUCATION BY
DIGITAL CONTENTS AT HIDAKAGAWA TOWN, WAKAYAMA PRIFECTURE

岸畑 明宏¹・辻原 治²・西萩 一喜³・鈴木 義幸⁴・露峰 周⁵・稲田 健二¹・
筒井 和男¹・有田 貴洋¹

Akihiro KISHIHATA, Osamu TSUJIHARA, Kazuki NISHIHAGI, Yoshiyuki SUZUKI,
Shu TSUYUMINE, Kenji INADA, Kazuo TSUTSUI, Takahiro ARITA

¹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

²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）

³和歌山県東牟婁振興局新宮建設部管理保全課（〒647-8551 新宮市緑ヶ丘2-4-8）

⁴神戸大学理学部惑星学科（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

⁵豊橋技術科学大学建築・都市システム学課程社会基盤コース（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1）

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

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始まっている。小学校では、学習指導要領が改訂され、「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、加えて近年の自然災害の増加傾向によって、各種学校における防災教育の必要性が高まっている。その一方で、広く問題となっている教職員の長時間労働の状況があり、通常の授業に加えて防災教育の教材研究を行うことができる教職員は少なく、自然災害に関する防災教育のための教材開発が求められている。

このことについて、和歌山県では、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、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、効果的な教材の開発を継続している。

柴田ら²⁾は全国の小中高等学校545校を対象として、防災教育に関するアンケート調査を行い、防災教育の現状と課題を抽出した。その中で、防災教育が難しいと感じている学校は小中高等学校で80～90%に上り、その理由の多くとして「(防災への)実感の持たせ方がわからない」というものがあった。また、使用されている防災教育の教材の多くは、「写真教材」「映像教材」「テキスト」「副読本」などの講義形式で使用する教材であり、児童・生徒が主体となる「ゲーム」「クイズ」「実験教材」等のアクティブラーニングに活用可能な教材が少ないという指摘があった。このことに対して、近年ではゲーム等のデジタルコンテンツを利用した教材の開発およびこれに関する研究が広く行われている。辻原ら³⁾は、土砂災害啓発のためのRPGコンテンツの開発を行い、これを用いた防災教育を実施した小学校3年生

～6年生、中学生を対象に、授業の直後にアンケート調査を実施し、RPGコンテンツには「ゲームの楽しさに付随した教育効果」、「内的モチベーションの促進」、「疑似体験の感覚」といった効果があることを確認した。

本研究では、児童・生徒が土砂災害を自分ごととして学習可能なRPG教材の開発および、この内容を補足する各種デジタルコンテンツの作成と、これを用いた和歌山県日高川町における防災教育の枠組み構築事例について報告する。

2. デジタルコンテンツの選択

土砂災害防災教育の目標に合致するデジタルコンテンツの種別の選定を行った。

(1) 土砂災害防災教育の目標

土砂災害防災教育の目標として、国土交通省は以下のように示している⁴⁾。

- ①土砂災害の現象・種類やメカニズム、対策等を知り理解すること。
- ②自発的・能動的に情報を収集し危険を察知するなど、自ら考え、主体的に判断することができるようになること。
- ③自分の身は自分で守ろうとする態度や、地域の一員として協力しようとする態度等を身につけ、具体的な行動に結びつけること。

上記の①は知識と理解である。②と③は知識に基づく思考と判断および行動・協力であり、自助や共助に相当する。デジタルコンテンツを用いた学習によって、没入感や臨場感の下に土砂災害を自分ごととして理解できることを期待する。また、RPGでは特に、②と③についての学習の効果が期待できる。

(2) デジタルコンテンツの種別

土砂災害の性質、土砂災害による危険がある箇所の特徴、早期避難の必要性、避難に際しての事前準備の必要性などの土砂災害から身を守るために必要な広範な知識については、児童・生徒が楽しく自発的に学習が可能なRPGとしての開発を考えた。

上記の学習内容のうち、土砂災害の性質、早期避難の必要性、事前準備の必要性は学校区に寄らず、ある程度共通の内容を教えるものである。

一方、土砂災害による危険がある箇所については、各学校によって箇所が異なるため、学校毎に異なるシナリオによるRPGの開発が必要である。

また、具体的な避難行動に必要な知識である、学

校区内の土砂災害警戒区域や浸水想定区域などのハザードを児童・生徒に教えるため、ハザードマップや映像コンテンツが必要である。

3. デジタルコンテンツの内容

(1) RPGについて

ゲームによる学習のねらいについて表-1に示す。ゲームをするのは、まずは楽しいからであり、そこには内的なモチベーションが必要となる。内的モチベーションとは、なぜゲームをしたいのかに相当する部分であり、自分でできる、好奇心が刺激される、高得点を得たいといった目的意識などである。さらに、ゲームに没入することで、疑似体験を可能とする。このようなねらいを踏まえてゲームを設計することで、効果的な教材となり得る。

(2) ハザードマップについて

学校や自宅周辺のハザードを示し、加えて、避難所などを提示することでハザードから身を守る行動につなげるものとして、市町村作成のハザードマップがある。ハザードマップの形態としては、従来から行われている地区ごとの紙媒体での配布(図-1)に加えて、近年では一部の市町村がWebGISを用いたホームページを作成している(図-2)。今回は、作成にかかるコストが少ない紙媒体でのハザードマップ作成を考えた。

表-1 ゲームによる学習のねらい

A	ゲームの楽しさに付随した教育効果
B	内的モチベーションの促進 自立性：能動的に学ぶ 動機付け：向上心、知的好奇心の刺激 目的意識：高得点を得たい
C	疑似体験の感覚、ゲームへの没入感

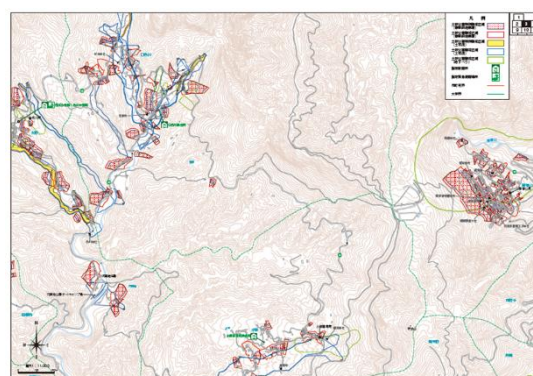


図-1 紙媒体のハザードマップの例(那智勝浦町)

また、市町村作成のハザードマップは、市町村内全域の居住地周辺を対象としており、地区ごとに分割されたハザードマップであっても、地区全体を表示するために、児童・生徒が自宅位置を視認するのが困難な小さい縮尺となっていることが多い。

そのため、学校や自宅の位置が視認可能である1/4,000前後の縮尺となるように、各学校区を分割した上でのハザードマップ作成が必要である。

ハザードマップは、児童・生徒自身が確認し、自宅位置を書き込み、大雨時の避難所等までのルートを考えるためにも用いられる。また、考えた避難経路を記載したハザードマップは、学校内に成果物として掲示される等、自宅に持ち帰られることで、他の学年や家庭内にその知識が共有される。そのため、児童・生徒の学習成果として、ハザードマップをベースとした成果物の作成を重要なものと考え、この過程を容易にするアプリケーションの開発が必要と考えた。

(3) ドローン映像について

ハザードマップでは自宅や学校周辺のハザードの立地を正確に確認することができるが、児童・生徒が地図の見方に慣れていない場合は、ハザードマップの理解が十分に行われないう可能性がある。また、土砂災害のハザード（土砂災害警戒区域）は地形と密接に関連しており、地形の理解がハザードの立地に対する認識を高めるものと考えられる。一方で、ハザードマップは平面の地図であり、児童・生徒が地形を理解するには等高線などの地図情報を正しく読み解く必要があり、容易ではない。このことに対して、映像コンテンツでは視聴することで地形を容易に認識することが可能である。以上から、ドローンで学校周辺の地形を撮影する等により、地形の理解を補助することが必要である。

4. デジタルコンテンツの開発

(1) RPG について

RPGの開発は和歌山工業高等専門学校環境都市工学科、同校専攻科エコシステム工学専攻に開発当時在籍の鈴木・西萩が行った。また、開発にあたり、シナリオの検討や資料の提供等の支援をセンターが行った。開発にあたり使用したソフトは、RPG制作ソフトのRPGツクールVX Ace⁵⁾、RPGツクールMZ⁶⁾を用いた。

第1作目の防災RPG「土砂災害が発生したとき」(図-3)は、シナリオは「主人公が楽しみにしてい

た遠足当日が大雨となり、遠足は中止となり、防災情報が発表され、ハザードマップを確認して避難する。」という内容で、ゲームのプレイヤーである児童・生徒が、土砂災害の危険性や防災情報、避難の必要性、ハザードマップの確認について、自身の分身であるキャラクターを通して体験学習できる内容とした。

また、第2作目の防災RPG「命を守るハザードマップ」(図-4)は、「主人公が土砂災害についての防



図-2 WebGISの例(新宮市ハザードマップ)



図-3 防災RPG「土砂災害が発生したとき」



図-4 防災RPG「命を守るハザードマップ」

災教育を学校で受け、その中で学校周辺の土砂災害の恐れがある箇所、過去に発生した災害について学習する。また、これを踏まえて、避難情報が発令された状況で、家族での避難体験をする。」というシナリオとした。第1作目は地域によらない共通の内容としていたが、その地域固有の土砂災害に対する危険性や過去に発生した災害などを学習可能な内容とした。なお、シナリオは学校毎に変更することとした。

第3作目の防災シミュレーションRPG「台風にならなくて、じゅんぴをしよう」(図-5)は「3日後に台風が迫る中、家族で事前準備を行い、安全に避難所へ避難する。」というシナリオで、複数提示される事前準備の内容から児童・生徒が大切だと考えた項目を選択して事前準備の方針を決定し、これを用いて安全に避難所へ向かうという内容とした。

(2) ハザードマップについて

学校区内の地図および航空写真に、土砂災害警戒区域と浸水想定区域、避難所、避難場所、学校を掲載したハザードマップ(図-6)をセンター職員が作成した。作成にあたり、ソフトはQGISを用い、背景地図として国土地理院の標準地図タイル、Google Mapsの航空写真を使用した。また、土砂災害警戒区域と浸水想定区域のGISデータは和歌山県から取得した。

加えて、これらハザードマップの画像データに避難経路や自宅位置、写真やコメントを追加し、児童・生徒が各自で考えてハザードマップを作成・出力が可能なアプリケーション「マイ・ハザードマップアプリ」を、センターと和歌山工業高等専門学校環境都市工学科に当時在籍の露峰が協力してJavaScriptを用いて開発した(図-7)。



図-5 防災シミュレーションRPG「台風にならなくて、じゅんぴをしよう！」

(3) ドローン等空撮映像について

日高川町職員が町所有のドローンを用いて、学校区周辺で土砂災害の恐れがある箇所のドローン空撮を行った(図-8)。また、一部の撮影が難しい学校に

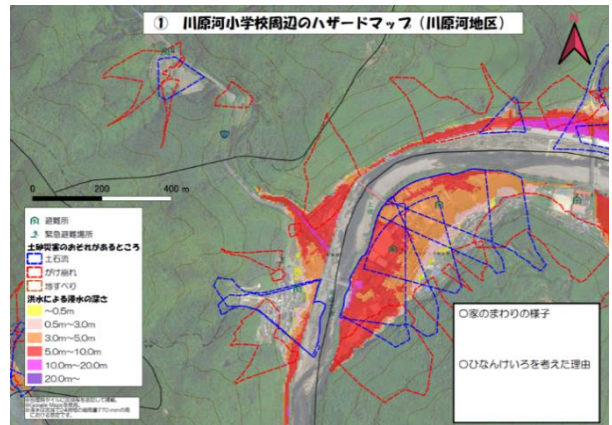


図-6 学校区周辺のハザードマップの例

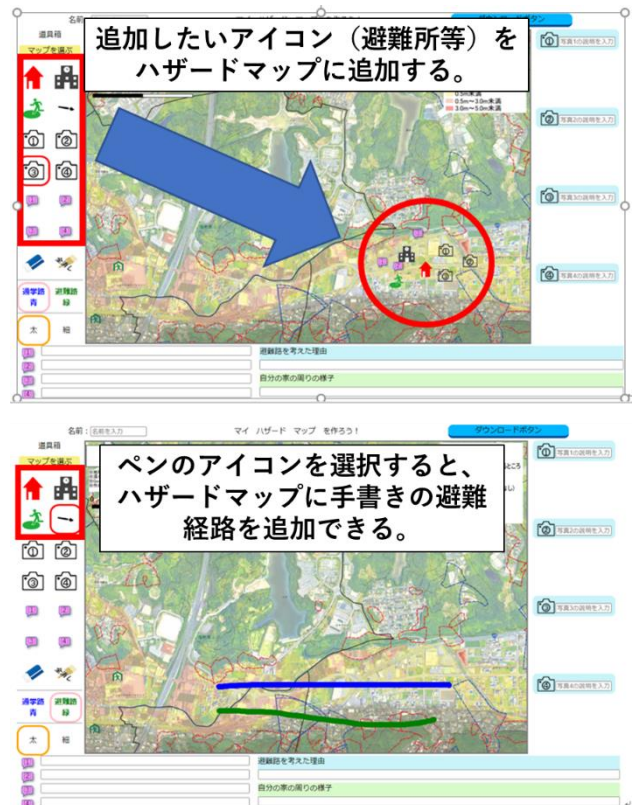


図-7 マイ・ハザードマップアプリの機能例



図-8 ドローン空撮映像

については、Google Earth Studio を用いて、土砂災害の恐れがある箇所の空撮映像を作成した。

(4) 日高川町土砂災害防災デジタルコンテンツ集

RPG 計 3 作品、マイ・ハザードマップ、学校周辺のハザードマップ一式、ドローン等空撮映像の計 6 コンテンツを 1 枚のディスクに「日高川町土砂災害防災デジタルコンテンツ集（以下、デジタルコンテンツ集）」として保存した（図-9）。また、併せて各コンテンツの操作方法等を記載した操作説明書を作成した。

5. デジタルコンテンツ集を用いた防災教育の枠組み構築

(1) デジタルコンテンツ集を用いた防災教育の枠組み

2022 年 3 月 28 日にデジタルコンテンツ集の説明会を日高川町防災センターで行った。なお、同内容は Web ミーティングソフトにより、日高川町内の全小中学校にオンライン配信された。また、説明会後に完成したデジタルコンテンツ集を、和歌山工業高等専門学校から日高川町教育委員会に贈呈する式典（写真-1）を行った。これと併せて、日高川町教育委員会では 2022 年度より、町内の全小中学校でデジタルコンテンツ集を用いた防災教育を実施する方針を定めた（図-10）。

(2) デジタルコンテンツ集を用いた防災教育の推進

2022 年 4～5 月にセンターは、日高川町内の全小中学校を訪問し、デジタルコンテンツ集に収録された各コンテンツの操作方法についての説明会を実施した。

説明会では、教職員の前でセンター職員が各コンテンツの実演を行い、教職員との質疑応答を行った。教職員からの意見としては、今後、デジタルコンテンツ集等を用いた防災教育を行う場合に、センター職員による防災教育の実施やその補助が必要というものが多かった。なお、説明会と操作説明書のみでは、教職員自身によって各コンテンツの操作が難しい場合があることをセンターにおいても認識しており、その際に各学校からセンターに各種問い合わせや、防災教育の実施依頼を行うことで、センターがデジタルコンテンツ集の操作方法の説明や、デジタルコンテンツ集を用いた防災教育を実施可能な関係を構築している。

6. 最後に

日高川町の小中学校を対象としたデジタルコンテンツ集を用いた土砂災害防災教育は、現在始まったところであり、今後防災教育を行っていく中で、児童・生徒の学習効果を検証し、それをフィードバックすることで、より良い教材となるように更新して参りたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、デジタルコンテンツ集の開発を共同で行いました日高川町、日高川町教育委員会にこの場を借りて感謝の意を表します。また、日高川町内の学校におかれましては、センターの防災教育に日々温かいご協力をいただき、深く感謝をいたします。



図-9 デジタルコンテンツ集を収録したディスク

R4.3.28 デジタルコンテンツ贈呈式



写真-1 デジタルコンテンツ集の贈呈式の様子

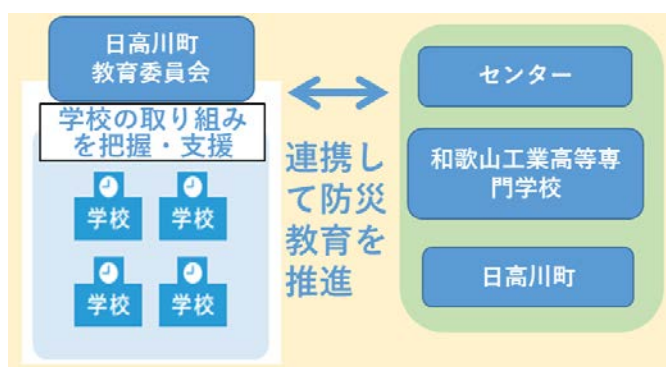


図-10 デジタルコンテンツを活用した防災教育の推進

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) 柴田真裕・田中綾子・船木伸江・前林清和:わが国の学校における防災教育の現状と課題—全国規模アンケート調査の結果をもとに, 防災教育学研究 1-(1), p. 19-30, 2020.
- 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) 国土交通省砂防部:土砂災害防止教育支援ガイドライン(案), <http://www.sabopc.or.jp/images/library/images/guidebook.pdf>, 参照 2022-05-27, 2009
- 5) KADOKAWA GAMES:RPG ツクール VX Ace 初心者向け講座, <https://tkool.jp/products/rpgvxace/index/>, 参照 2022-5-27
- 6) KADOKAWA GAMES:RPG ツクール MZ 初心者向け講座, <https://rpgmakerofficial.com/product/mz/guide/>, 参照 2022-5-27

(2022. 5. 30 受付)

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ10

和歌山県公式キャラクターを用いた災害伝承碑紹介動画の作成について

和歌山県土砂災害啓発センター
那智勝浦町

○有田貴洋・岸畑明宏・筒井和男・稲田健二・森要
佐藤純子

1. はじめに

和歌山県では、平成23年の紀伊半島大水害を契機として和歌山県土砂災害啓発センター（以下、「センター」）を設置し、土砂災害に関する調査研究及び紀伊半島大水害をはじめとする災害記録や教訓を後世に継承するため、土砂災害に関する啓発活動に取り組んでいる。

和歌山県では過去に明治22年・昭和33年・平成23年で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。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、防災教育をはじめとする地域の防災力を高めることが重要である。

しかし、全国的に広い範囲で発生した平成30年7月豪雨で多くの犠牲者を出した地区では、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、災害伝承碑等を十分に活かされていないのが現状である。¹⁾

そこで、本報告では和歌山県西牟婁地域の市町村（図-1）における災害伝承碑等に関する調査結果²⁾³⁾をもとに、和歌山県のPRキャラクターである「きいちゃん」（写真-1）を用いた災害伝承碑等を紹介する動画を作成し、過去の災害を知る動機付けとすることで、防災教育をはじめとする地域の防災力を高める方法について検討したので報告する。



図-1 西牟婁郡調査箇所位置図。



写真-1 和歌山県PRキャラクターきいちゃん。

2. 撮影機材及び編集ソフト等

使用したカメラはSONYのミラーレス一眼α7 III, 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11.3, また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。表-1に動画作成に使用した機材等の詳細を記載する。

表-1 動画作成に使用した機材等。

	会社名	製品名
カメラ	ソニー株式会社	α7 III
レンズ	株式会社タムロン	28-75mm F/2.8 Di III RXD
三脚	ハクバ写真産業株式会社	HK-836B HAKUBA
編集PC	株式会社サードウェーブ	GALLERIA GCL1650TGF
動画編集ソフト	Wondershare	Filmoraバージョン11.3
音声読み上げソフト	PIXIV FANBOX	VOICEVOX

3. シナリオ

教室で防災教育を受けるきいちゃんが、土砂災害の危険性はわかるが、どこか自分には無関係であると感じている。微睡むきいちゃんのもとにご先祖様が現れ、過去の災害について石碑等を作って後世に伝える努力をしてきたが、現代を生きるきいちゃんにきちんと伝わっていないことを嘆く。それを受け、きいちゃんは過去の災害や災害伝承碑等に興味を持ち、西牟婁地域を調べ、災害伝承碑等を巡りながら過去の災害について学んでいくといったシナリオになっている。（写真-2）



写真-2 災害伝承碑を紹介するきいちゃん。

4-1 災害伝承碑等の紹介だけではなく、当時の被災写真から読み取れる山の形状から、どこが崩壊したかきいちゃんに問う内容を入れることで、過去の災害をより身近に感じられるものにした。(写真-3)

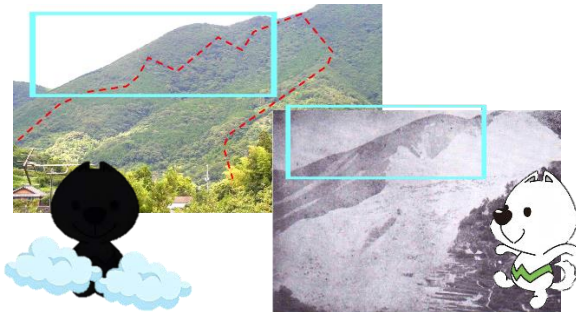


写真-3 崩壊箇所を山の形状から判読。

4-2 各市町村の災害伝承碑の位置図を作成することで、地元住民が自ら興味を持ち訪れることが出来るものにした。(写真-4)

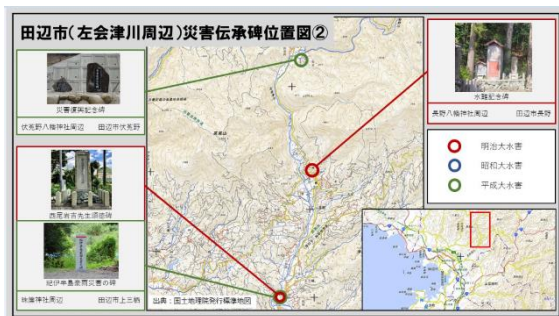


写真-4 田辺市内の災害伝承碑位置図。

5. 災害伝承碑を活用した小中学校における防災学習

防災学習は、将来の防災の担い手となる子供が防災の知識を身につけるだけでなく、子供から家庭へ、さらには地域への防災意識の広がりが期待できるため、センターの啓発活動の一つの柱と位置づけ積極的に取り組んでいる。

防災学習では山地災害等から身を守るため、自分ごととして考え行動できることを学習目標に、過去の災害記録や学校が所在する地域の情報を取り入れた教材となるよう工夫している。

今回作成した災害伝承碑紹介動画は身近な場所で過去に災害があったことを親しみのある和歌山県PRキャラクターを用いて紹介しているため、過去の災害を知る動機付けとなり、過去の災害から学び防災の知識を身につけ災害から

身を守ることに繋がると考える。今後、防災学習を実施する際に活用する予定である。

6. おわりに

今後は他の地域の過去の災害や災害伝承碑等の調査及び映像制作を行い、地域の情報を取り入れた教材作りに取り組む予定である。

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.htm> 1，参照 2022-7-11
- 2) 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.
- 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大規模土砂災害，
<https://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/center/img/saigaishi.pdf>，参照 2022-7-11

教職員や自治体職員を対象とした防災教育セミナーの開催

和歌山県土砂災害啓発センター

1. はじめに

和歌山県土砂災害啓発センターでは、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ことから、防災教育を活動の柱の一つとして取り組んでいます。防災教育を継続的かつ計画的に進めるため、日高川町の教育委員会や日高川町と連携し、今年度から日高川町内の小・中学校において、防災教育を教育計画に位置付けて頂き、すでに一部の学校で防災学習を開始したところです。

この取組を含む土砂災害啓発センター設立以降の防災教育に関する内容を取りまとめ、今後、県内への防災教育の一層の普及・展開を図ることを目的として、防災教育セミナーを開催しました。セミナーの対象者は、学校の教育関係者や県内自治体の防災、教育部署の担当で、Web 参加を含め 62 名が参加しました。

2. セミナーについて

①次第

開催日時／令和4年8月23日 13:00～15:20

会 場／日高川町防災センター

次 第／挨拶

基調講演

- ・「地域と共に創りあげる土砂災害防災教育～「終わらない学び」展開し続ける共同体を目指して～」 井良沢道也（岩手大学名誉教授）

事例紹介

- ・「市野々小学校における防災教育の取組について」 中西健（那智勝浦町立市野々小学校校長）
- ・「防災教育の事例紹介」（土砂災害啓発センター）

②基調講演

開会にあたり、土砂災害啓発センター所長の主催者挨拶の後、来賓の日高川町教育委員会の和佐公生教育長並びに富安民浩県議会議員から、それぞれご挨拶を頂きました。その後、土砂災害に関する防災教育に詳しい岩手大学の井良沢道也名誉教授に、児童が防災教育を実践することで地域に住む大人にも関心が広がり、防災活動に励むきっかけになるなど、地域の防災活動を持続させるためにも防災教育の必要性が高まっていることや、教育現場では防災教育のための十分な時間確保が困難であるなど課題が多くあることについて話して頂きました。

③事例紹介

次に、那智勝浦町立市野々小学校の中西健校長に、同校における防災教育の取組についてご紹介を

して頂きました。なお、オンラインでご出演頂く予定でしたが、都合により予め録画した映像にてご出演頂きました。紀伊半島大水害で被災した同校では、災害時に取るべき行動について予め定めておくマイ・タイムラインについて学んでいることや、段ボールなどを使って避難所を設営する訓練をしていることなどが紹介されました。中西校長は、児童が学んだことを保護者や地域の住民の前で学習発表していることにふれ、地域とのつながりや地域のよさを知ることが防災教育を進めていく上で大切だと話されました。

最後に、土砂災害啓発センターからは、スライド学習や模型実験、現地見学などに加え、ロールプレイングゲームなどのデジタルコンテンツを使った防災教育の事例などについて紹介しました。

3. おわりに

井良沢名誉教授からご講演頂いたように、防災教育の実施については、多忙な教職員個人に委ねられているという状況が全国的な課題になっています。防災教育を継続的・計画的に進めるためには、個々の学校や教職員の取組に委ねるのではなく、自治体の教育委員会や防災部局との連携による学習体制の構築が必要不可欠です。具体的には、日高川町のように各学校における教育計画の総合的な学習に防災学習を位置づけ、授業時間を確保して頂くことが重要と考えます。土砂災害啓発センターでは、防災学習の教育計画への位置付けについて、教育委員会や防災部局への働きかけを継続するとともに、教育関係者の防災教育への理解が進むよう、教職員を対象とした研修にも引き続き取り組んで参ります。最後に、ご参加頂きました皆様、また、本セミナー開催にあたり、準備・運営等にご協力頂きました関係者の皆様にこの場をお借りして御礼申し上げます。

Case Study of Interpolation Method of Missing River Stage of Mountainous Flash Floods Based on Microseismical Monitoring Network

Kazuo Tsutsui¹, Yuta Tanida², Akito Nakata³, Gaku Kitamoto⁴, Osamu Tsujihara³,
Soichi Kaihara², Atsuhiko Kinoshita⁴, Hiroaki Nakaya⁵

¹Wakayama Prefecture Sabo Research and Education Institute, Nachikatsuura, 649-5302, Japan

²Eight-Japan Engineering Consultants Inc., Okayama, 700-8617, Japan

³National Institute of Technology, Gobo, 644-0023, Japan

⁴Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Region Bureau, MLIT, Nachikatsuura, 649-5302, Japan

⁵National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Tsukuba, 305-0804, Japan

Correspondence to: Kazuo Tsutsui (tsutsui_k0002@pref.wakayama.lg.jp)

Abstract. Mountainous river floods cause destruction. Monitoring instruments are commonly set inside channels. They are often lost because of the flow. Hi-net system built in Japan can sense the ground vibrations generated by floods. They overcome the ambient noise. Our aim is to develop a method to interpolate the missing peak river stages using the ground vibrations. It will contribute to the early warning and mitigation of damage. We investigate two events (Kuma and Kumano river) which missing of water level observation occurred and one event (Chikugo river) which missing didn't occur. Using statistical features, we estimated the peak water level and compared them with records by crisis management gauge or traces. The best fit estimated water level was 8.04 m and trace level was 7.27m at Kuma River event. The 1-2 Hz band pass filter showed the best correlation. But Hi-net station nearby the seacoast showed worse correlation at Kumano River event. To validate the accuracy of this method, we applied it to Chikugo River event and NSE was 0.80. It shows this method represents well the water level. The interpolation method using the ground vibrations has a limit for application but has a potential to estimate the missing water river level for flash floods, especially of mountain areas.

1 Introduction

In mountainous areas, as flash floods from tributaries joining mountainous river floods cause destruction in the case they overflow channel banks with bed load transportation and flow path fluctuation in Japan. Though the flow velocity is high and the duration is short, the peak discharge is outstanding. Some types of instruments are

used to measure the water level. They are commonly installed inside the channel. But due to its location, it is not rare that data of water level are not available because of the destruction of instruments by the flow of channel.

The high-sensitivity seismograph network (Hi-net) is built in Japan. It is used not only for the observation of earthquakes, but also for the monitoring of geomorphic

processes such as landslides (Takezawa et al.,2013). In general, data of Hi-net have ambient noise. But it is shown that they can be used for the interpolation of missing measurement during flood (Tsutsui et al., 2020). Because the ground vibrations which may be caused by flood overcome the ambient noise. P.C. and Sawazaki (2021) shows discharge data simulated by hydrological model and Hi-net seismic noise data exhibits the same trend at three Mogami River Basin events.

10 In this paper, we introduce an attempt for an interpolation method of missing peak river stage of mountainous flash floods based on microseismical monitoring network. Our aim is to develop a method to interpolate the missing peak river stage of mountainous flash floods. It is based on the 15 ground vibrations caused by floods. If this method can estimate the water level, it is useful for providing information to make decision of flood damage mitigation activities and for proper residents warning.

2 Methods

20 We investigated three flood events in three basins (Figure 1). First, 3-19 July 2020 in Kuma River Basin. Second, 30 August – 6 September 2011 in Kumano River Basin. Third, 5-17 July 2020 in Chikugo River Basin. Figure 2-4 and 5-7 show the topographic maps and the observed water level and rainfall data of each event, respectively. The time on this paper refers to local time. At Kuma River Basin and Kumano River Basin event, when the water level was estimated to reach the peak, the data of water level was missed.

30 We collected ground vibration data of Hi-net near the

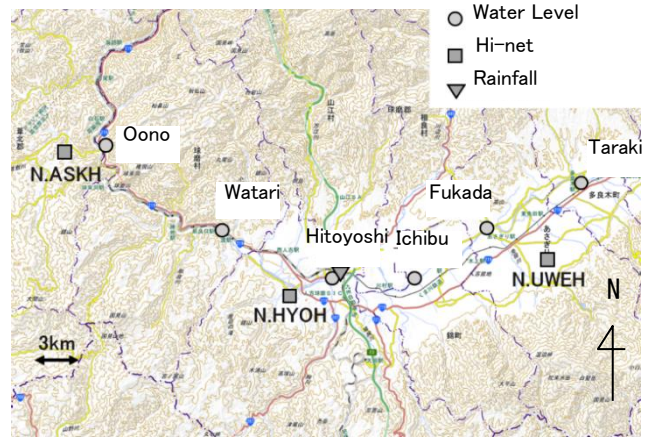
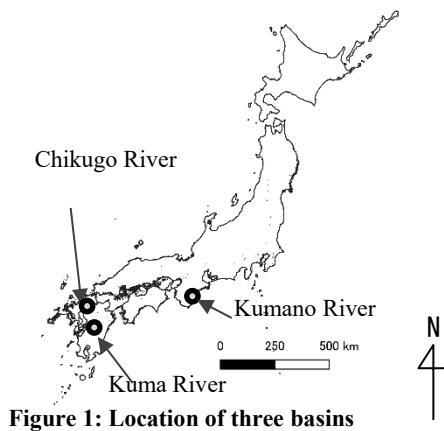


Figure 2: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Kuma River Basin



Figure 3: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Kumano River Basin

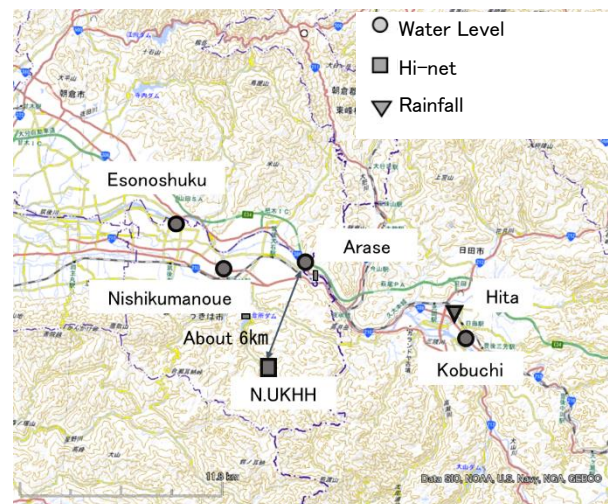


Figure 4: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Chikugo River Basin

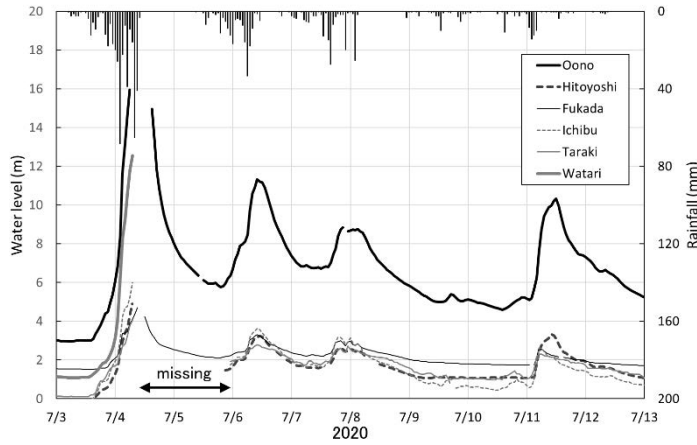


Figure 5: Time-series profile of water level and rain fall at Kuma River Basin. Discontinuity of the line of water level shows the missing of the data.

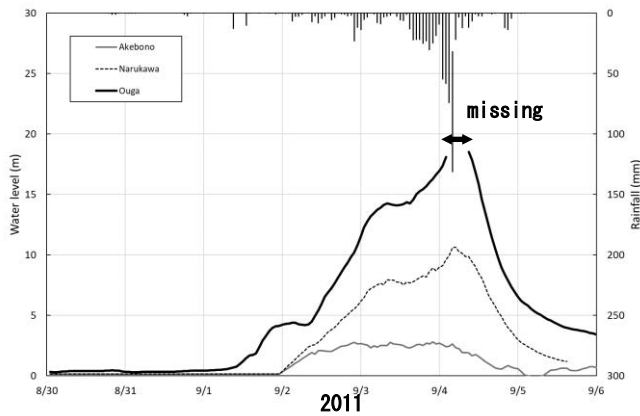


Figure 6: Time-series profile of water level and rain fall at Kumano River Basin. Discontinuity of the line of water level shows the missing of the data.

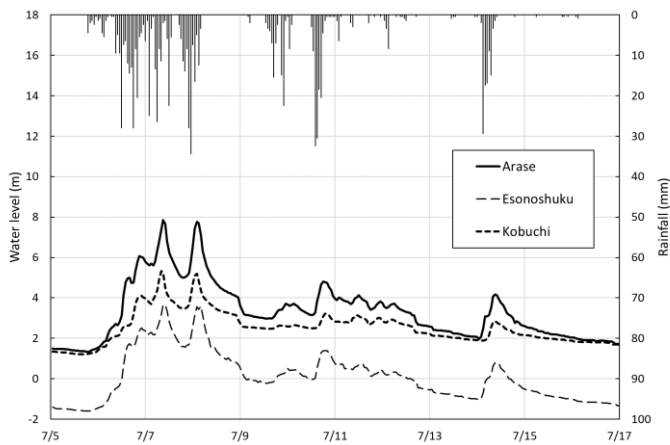


Figure 7: Time-series profile of water level and rain fall at Chikugo River Basin.

0 river in these basins. From the data, one minute RMS (Root Mean Square) values were calculated with the equation below.

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

Here, y and N are velocity value of j -th at i minute and the number of samples in one minute. Then we calculated one hour average statistical features of ground vibrations to cope with the recorded water level which were measured each hour. It was adapted because Hi-net data could be affected by check signals and earthquakes. We calculated one-hour average values using these processed ground vibration data. And then we tried various band pass filters to examine which of them would show good correlation.

Then we compared the one-hour average statistical features and observed water level data and obtained linear regression equations to estimate the missed water level. The regression equation is expressed as follows.

$$WL(t) = a \times RMS(t) + b \quad (2)$$

Here, WL is one-hour water level and a, b are control parameters.

30 3 Results and Discussion

We obtained the relationships with six water level stations (Oono, Hitoyoshi, Ichibu, Watari, Fukada, Taraki) and three Hi-net stations (N.ASKH, N.HYOH, N.UWEH) at the event of Kuma River Basin, with three water level stations (Akebono, Narukawa, Ouga) and one Hi-net station (N.KHOH) at the event of Kumano River Basin, and with three water level stations (Arase, Esonoshuku, Kobuchi) and one Hi-net station (N.UKHH) at the event of Chikugo River Basin. The control parameters we obtained are shown in Table 1.

3.1 Kuma River Basin event

Figure 8 shows the spectrogram of ground vibration on 4 July 2020. Amplitude spectrum became bigger midmorning when the water level increased. The result of calculation of correlation between water level and RMS

Table 1: Best fit a and b values for each event and water level station

Event	Water level station	Control parameter	
		a	b
5 Kuma river	Oono	1.52×10^8	-1.03
	Hitoyoshi	5.03×10^7	-1.12
	Fukada	4.93×10^7	6.28
	Ichibu	6.12×10^7	-1.43
	Taraki	8.44×10^7	-1.40
	Watari	1.13×10^8	-2.14
10 Kumano river	Akebono	2.93×10^7	-0.67
	Narukawa	5.60×10^7	-1.09
	Ouga	9.27×10^7	-1.17
Chikugo river	Arase	1.92×10^8	1.45
	Esonoshuku	1.65×10^8	-1.51
	Kobuchi	1.72×10^8	1.44

15

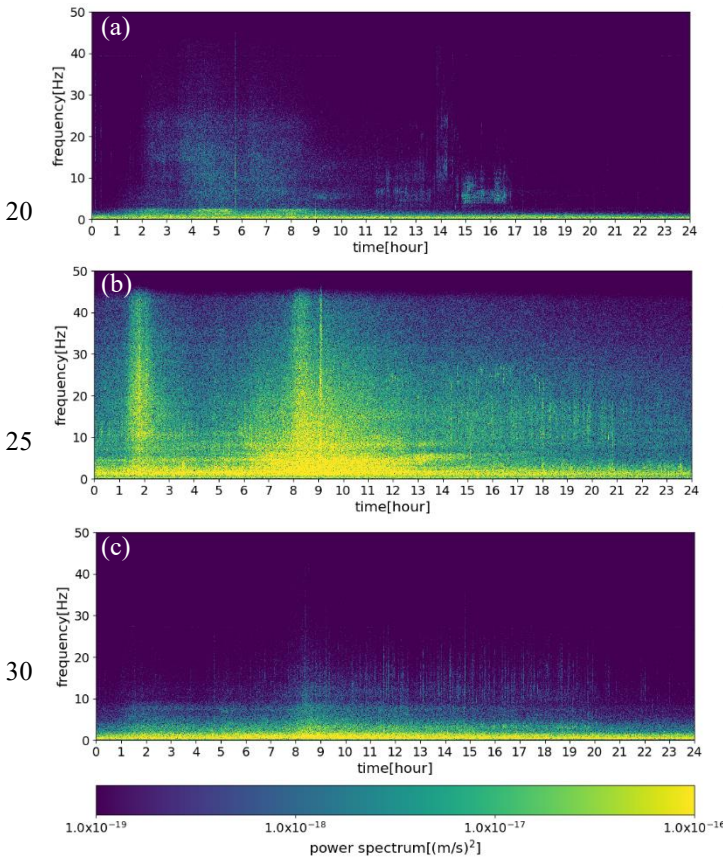


Figure 8: Spectrograms of the seismic noise on 4 July 2020 at Kuma River Basin. (a) N.ASKH (b) N.HYOH (c) N.UWEH

values indicated that 1-2Hz band pass filter were the best correlation in almost cases. The correlation coefficients were more than 0.9 except for Oono station. Figure 9

Table 2: NSE coefficients

Event	Water level station	NSE
Chikugo river	Arase	0.80
	Esonoshuku	0.80
	Kobuchi	0.48

45

dipicts the observed and estimated water level with the method we proposed. The estimated water level of Hitoyoshi water level station was 8.04 m and that of estimated with flood trace was 7.27 m. The difference was about 0.77 m.

3.2 Kumano River Basin event

The correlation coefficients were in the range from 0.40 to 0.70 and showed worse correlation than the event at Kuma River Basin. The reason could be the Hi-net station used for Kumano River event was close to the seacoast. It is well known that sea waves raise ambient noise near the seacoast (Nakata et al.2019). When a typhoon comes near a Hi-net station, the ambient noise caused by sea waves may increase. There are some other sources of noise such as human activity in city areas. These noise sources could attribute to the low correlation at Kumano River Basin event.

The estimated water level of Akebono station by our method was 2.96 m and the recorded level was 2.79 m (Figure 10). The difference was about 0.2 m but there was about one day time lag between the peaks of estimated and recorded levels. We could not demonstrate well correlation with other stations at Kumano River Basin.

3.3 Chikugo River Basin event

At Chikugo River Basin event, data of water level was not missed. We applied our method to this event to validate the method. Some water level peaks can be recognized in Figure 7. The spectrogram of N.UKHH (Hi-net Ukiha

75

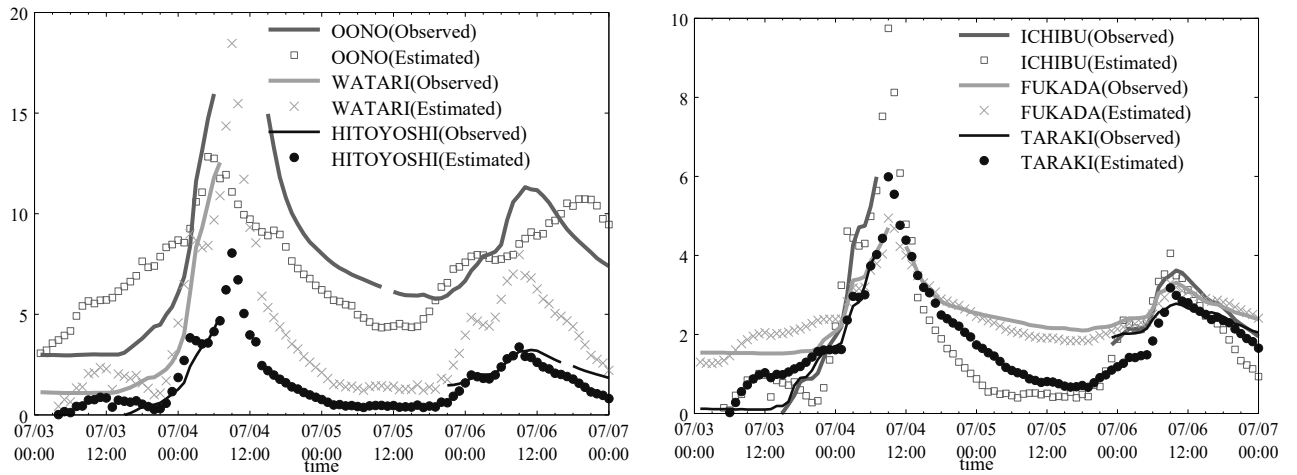


Figure 9: Time-series profile of observed and estimated water level at Kuma River Basin

(a) Oono, Watari, Hitoyoshi (b) Ichibu, Fukada, Taraki

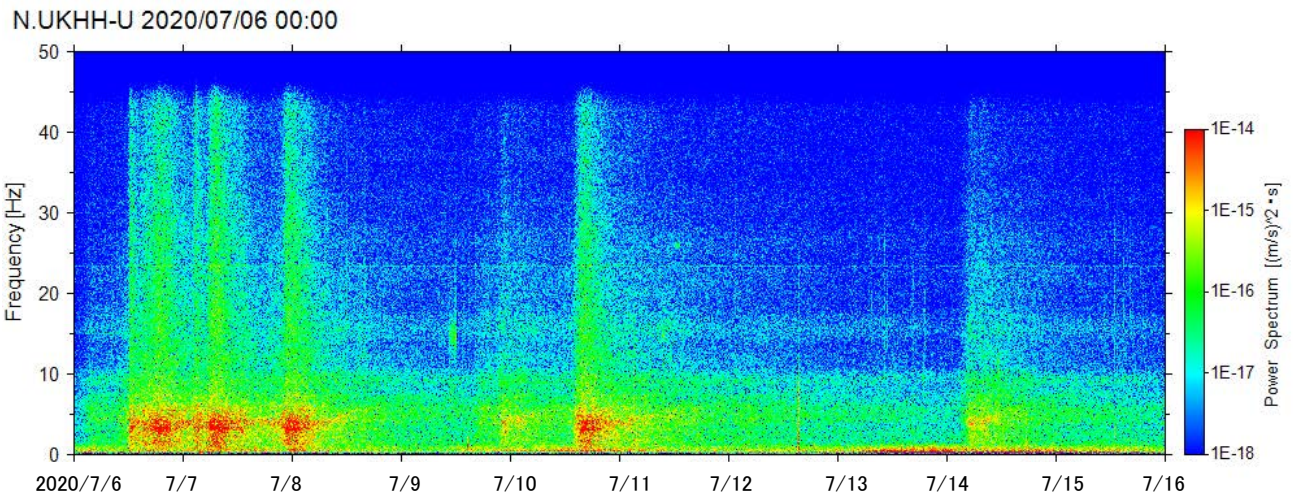


Figure 11: Spectrograms of the seismic noise of N.UKHH 6-15 July 2020 at Chikugo River Basin

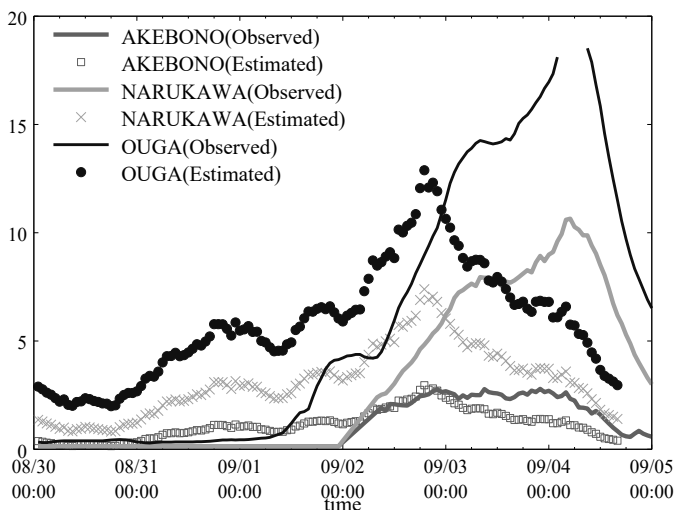


Figure 10: Time-series profile of observed and estimated water level at Kumano River Basin

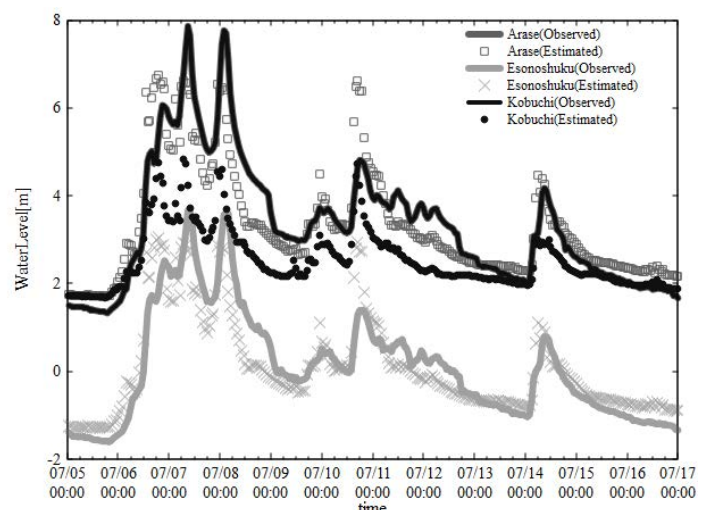


Figure 12: Time-series profile of observed and estimated water level at Chikugo River Basin

station) shows increase of amplitude spectrum in 1-5 Hz according to the peak of the water level(Figure 11). The correlation coefficient between Arase station with N.UKHH was 0.90 at 6-7 Hz. Though the estimated water level at Arase station expressed the observed one (Figure 12). We calculated NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) coefficient. The NSE is given as

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i [h_{est}^i - h_{obs}^i]^2}{\sum_i [h_{obs}^i - h_{ave}]^2} \quad (2)$$

where h_{est}^i , h_{obs}^i , and h_{ave} are the estimated water level at time i , observed water level at time i , and average of the observed water level over time, respectively. If NSE is greater than 0.7, it is said that the model can estimate well. The obtained NSEs are shown in Table.2. At Arase and Esonoshuku stations NSEs were greater than 0.7, and it indicates the equations at these stations might estimate water level from ground vibration data.

There was still about 3 hours' time lag of peaks. To investigate this difference, we conducted multiple regression analysis about water level of main river and tributary and rainfall. With this regression analysis we obtained the coefficients with main river, tributary and rainfall were 0.08, 0.85 and 0.1, respectively. The coefficient related to water level of tributary (Nishikumanoue station) was the highest, 0.85. This result shows that the possibility of the main cause of ground vibration is from the flow of the tributary.

4 Conclusions

We showed the examples of interpolation method using the ground vibration, especially low frequency band.

We investigate two events (Kuma and Kumano river) which missing of water level observation occurred and one event (Chikugo river) which missing didn't occur. Using statistical features, we estimated the peak water level and compared them with records by crisis management gauge or traces. The best fit estimated water level was 8.04 m and trace level was 7.27m at Kuma River event. The 1-2

Hz band pass filter showed the best correlation. But Hi-net station nearby the seacoast showed worse correlation at Kumano River event. To validate the accuracy of this method, we applied it to Chikugo River event and NSE coefficient was 0.80. This shows the method we proposed here represents well the water level.

This method has a limit to adapt the observatories near the seacoast because of the noise from waves. But this method has a potential to estimate the missing water river level in mountainous areas during flash flood. We are going to develop better features attempting other flood cases and analyse from other perspectives such as natural frequency of the ground, characteristics of seismic waves and feasible observatories.

References

- Nagazumi Takezawa, Takao Yamakoshi, Tadanori Ishizuka, and Hiroaki Nakaya: Study on characteristics of ground vibration during times of flooding in mountainous rivers, *Civil engineering journal*, 7, 55, 10–15, 2013.
- Kazuo Tsutsui, Takaki Sakaguchi, Suguru Shibata, Soichi Kaihara, Yuta Tanida, Hiroshi Asahara, Atsuhiko Kinoshita and Hiroaki Nakaya: Estimation of missing river water level value during flood based on the analysis of ambient seismic data, *Advances in river engineering*, 27, 13–18, 2021.
- Shakti P.C. and Kaoru Sawazaki: River discharge prediction for ungauged mountainous river basins during heavy rain events based on seismic noise data, *Progress in Earth and Planetary Science*, 8:58, <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00448-1>, 2021
- Nori Nakata, Lucia Galtieri and Andreas Fichtner: *Seismic Ambient Noise*, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781108264808>, 2019.

Case Study of Interpolation Method of Missing River Stage of Mountainous Flash Floods Based on Microseismical Monitoring Network

Kazuo Tsutsui¹, Yuta Tanida², Akito Nakata³, Gaku Kitamoto⁴, Osamu Tsujihara³,
Soichi Kaihara², Atsuhiko Kinoshita⁴, Hiroaki Nakaya⁵

¹Wakayama Prefecture Sabo Research and Education Institute, Nachikatsuura, 649-5302, Japan

²Eight-Japan Engineering Consultants Inc., Okayama, 700-8617, Japan

³National Institute of Technology, Gobo, 644-0023, Japan

⁴Sediment Disaster Prevention Technology Center, Kinki Region Bureau, MLIT, Nachikatsuura, 649-5302, Japan

⁵National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Tsukuba, 305-0804, Japan

Introduction

In mountainous areas, as flash floods cause destruction in the case they overflow channel banks. Some types of instruments are used to measure the water level. But they are installed inside the channel. They are sometimes destroyed. We tried to develop a method to interpolate missing peak river stage by using the data of high sensitivity seismograph network(Hi-net) built in Japan.

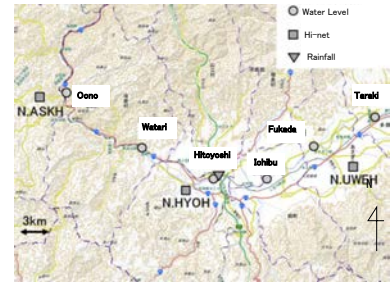
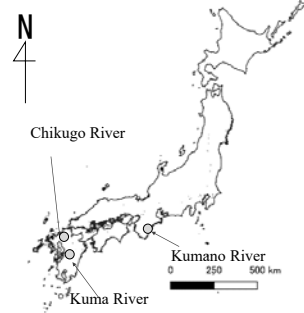
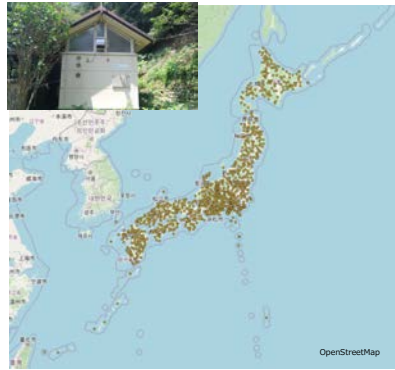


Figure 1: Location of three basins

Figure 4: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Kuma River Basin



Figure 5: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Kumano River Basin



Figure 6: Map of water level, Hi-net, rainfall stations at Chikugo River Basin

Figure 2: Example picture of water level station (Nachi river in Wakayama Prefecture)

Figure 3: Location map of Hi-net

Methods

Investigated three flood events

- Kuma River Basin : 3–19 July 2020
- Kumano River Basin : 30 August – 6 September 2011
- Chikugo River Basin : 5–17 July 2020

Regression equation

$$WL(i) = a \times RMS(t) + b$$

WL : one-hour water level
 a, b : control parameters

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

y : velocity value of j -th at i minute (several band-pass filter attempted)
 N : number of samples in one minute

Table 1: Best fit a and b values for each event and water level station

Event	Water level station	Control parameter	
		a	b
Kuma river	Oono	1.52×10^8	-1.03
	Hitoyoshi	5.03×10^7	-1.12
	Fukada	4.93×10^7	6.28
	Ichibu	6.12×10^7	-1.43
	Taraki	8.44×10^7	-1.40
Kumano river	Watari	1.13×10^8	-2.14
	Akebono	2.93×10^7	-0.67
	Narukawa	5.60×10^7	-1.09
Chikugo river	Ouga	9.27×10^7	-1.17
	Arase	1.92×10^8	1.45
	Esonoshuku	1.65×10^8	-1.51
	Kobuchi	1.72×10^8	1.44

Results and Discussion

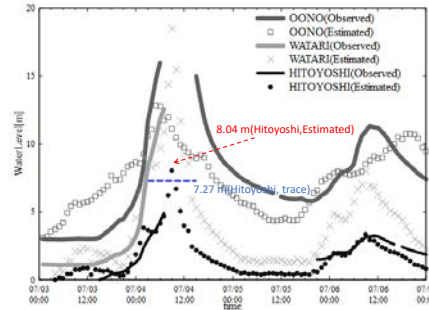


Figure 7: Time-series profile of observed and estimated water level at Kuma River Basin (a) Oono, Watari, Hitoyoshi (b) Ichibu, Fukada, Taraki

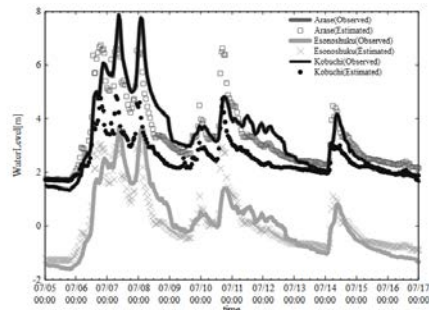
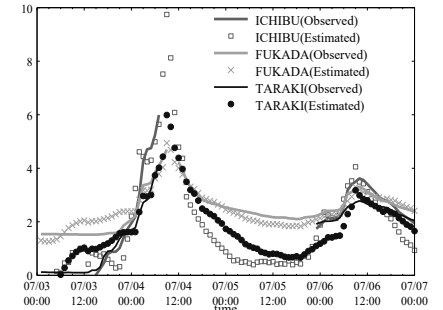


Figure 8: Time-series profile of observed and estimated water level at Chikugo River Basin

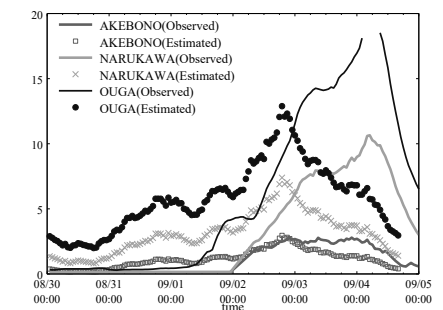


Figure 9: Time-series profile of observed and estimated water level at Kumano River Basin

Table 2: NSE coefficients

Event	Water level station	NSE
Chikugo river	Arase	0.80
	Esonoshuku	0.80
	Kobuchi	0.48

Conclusions

- The best fit estimated water level was 8.04 m and trace level was 7.27 m at Kuma River event.
- 1–2 Hz band-pass filter showed the best correlation.
- Hi-net station nearby the seacoast showed worse correlation at Kumano River event.
- At Chikugo River event, NSE coefficient was 0.80.

References

- Takezawa et al. : Study on characteristics of ground vibration during times of flooding in mountainous rivers, 2013
Tsutsui et al. : Estimation of missing river water level value during flood based on the analysis of ambient seismic data, 2021
Shakti P.C. and Kaoru Sawazaki: River discharge prediction for ungauged mountainous river basins during heavy rain events based on seismic noise data

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ13

和歌山県における土砂災害に関する防災教育

和歌山県土砂災害啓発センター

1. はじめに

近年の気候変動に伴い、全国的に土砂災害を始めとする自然災害が増加傾向にある中、砂防施設整備等のハード対策に加えて、土砂災害の警戒避難体制整備を目的とした各種ソフト対策が国土交通省により主導されている。しかし、一方で、居住している地域に対する住民自身の土砂災害への関心の低さや、過去に近隣で発生した土砂災害の教訓等が地域で継承されにくくなっていることにより、結果として、土砂災害によって毎年のように人命が失われている。このことについて、若い世代のうちに防災意識を育む「防災教育」が極めて重要であると、多方面から指摘されており、行政や砂防ボランティア等が様々な防災教育を実施している。国土交通省水管理・国土保全局砂防部においても、以前より土砂災害に係る防災教育の必要性を十分認識¹⁾し取り組んでおり。また、2011年の東日本大震災では、継続的な防災教育や防災訓練を実施してきた地域で、命が守られた事例が多数報告されている。そのため、2017年度には小学校の学習指導要領が改訂され、水害や土砂災害等の自然災害に関する内容が充実²⁾され、今後、今まで以上に、防災教育の取り組みが進められることが考えられる。

和歌山県は、県内の4分の3を森林面積が占め、多数の市町村が山間部に位置しており、2022年9月現在での土砂災害警戒区域指定数は21,880箇所と、近畿圏で最多となっている。小・中・高等学校についても、山間部に位置する学校が多数存在し、学校敷地内に土砂災害警戒区域や砂防施設が位置しているところも多数存在する。

和歌山県では、和歌山県土砂災害啓発センターを設置し、2016年度～2018年度に大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習から防災教育のノウハウを取得し、地元の小学校と連携・協働して児童たちが「自分ごととして考え・行動できる」ことを目標に、防災教育に取り組んでおり、その取り組みについて紹介する。

2. 和歌山県土砂災害啓発センターによる防災教育

2-1 和歌山県土砂災害啓発センターとは

2011年9月の台風12号に伴う記録的豪雨により、和歌山県では紀南地方を中心に洪水・土砂災害が発生し、56人の尊い命が失われるとともに、道路の寸断による集落の孤立や世界遺産の被災など、1953年7月17日～18日の梅雨前線豪雨（紀州大水害）以来の大災害である紀伊半島大水害³⁾（図-1）が発生した。この災害を受け、県では被害を繰り返さないために、土砂災害の記憶や教訓を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する調査研究の拠点となる施設である「和歌山県土砂災害啓発センター」（以下、本センター）を、土石流の多発により甚大な被害が発生した那智勝浦町に設置（写真-1）し、土砂災害の発生メカニズムに関する調査研究を行うとともに、展示パネルや映像をとおして、「紀伊半島大水害」をはじめとする過去の災害の教訓を風化させずに後世に継承し、土砂災害から身を守るための研修・啓発活動を行っている。



図-1 紀伊半島大水害の概要



写真-1 和歌山県土砂災害啓発センター外観

2-2 本センターによる防災教育

和歌山県における防災教育は本センターが主体となって実施しており、設立直後は、防災教育に携わった県職員は皆無に近い状況で始まった。このため、大規模土砂災害対策技術センターが行った試行学習に参加することで、防災教育に関するノウハウを学び、各実施校の教職員と一緒にその課題等について考えながら防災教育を実施してきた。また、現在では、本センター自身が行ってきた防災教育成果から、効果的な防災教育手法を採用している。

防災教育については、将来の防災の担い手となる児童が知識を身に付けるだけでなく、児童から家庭へ、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、本センターにおける活動の柱の一つとして積極的に取り組んでおり、令和2年度からは出張授業、学年別の学習などを積極的に取り入れた結果、実施校数は、2020年度に28校・学習回数58回、2021年度には40校・学習回数67回となっており、2021年度は、特に県内の修学旅行での活用が増加し、2022年度にも県外からの修学旅行での研修申し込みがあった(表-1)。

表-1 本センターでの防災教育実施状況

	小学校	中学校	計		試行学習
			学校数	内学習回数	
平成29年度	6	2	8	8	有
平成30年度	3	2	5	5	有
令和元年度	5	3	8	10	無
令和2年度	17	11	28	58	無
令和3年度	30	10	40	67	無

本センターでは、防災教育の県内各学校への展開を、次の3段階に分けて考えている。

○防災教育の在り方

第一段階：当面の目標

行政機関が教諭と協働し、県下全小中学校において防災教育を実施すること

第二段階：中長期的目標

行政機関の支援の下、教諭が主体的に防災教育を実施すること

第三段階：最終目標

学校教育の一環として、防災教育を教諭のみで実施すること

現在、当面の目標である第一段階の活動が小中学校で実施されるよう、関係機関との協議等を行っており、日高川町では、町内の全小中学校において、各学校の年間の教育計画に位置づけ、防災教育が開始されている(写真-2)。また、那智勝浦町立市野々小学校では、本センターの支援の下、教職員が防災教育を主導する第二段階が始まっている(写真-3)。



写真-2 日高川町立寒川小学校での防災教育



写真-3 那智勝浦町立市野々小学校での防災教育

本センターでは、教職員や教育委員会との連携・協働をとおして、子供たちが「自分事として考え・行動できる」を学習目標に設定し、出張授業、学校に合わせた教材作成、様々な実験、授業内容・時間の柔軟性等の特徴を持った活動を教職員の意見を聴きながら実施している。

本センターが、授業を行うにあたって、工夫している点を以下に示す。

- ①学習内容をイメージすることができるように、扇状地ができる過程の実験観察(写真-4)等の体験実験を実施
- ②「流れる水のはたらき」や「大地のなりたち」の学習内容が土砂災害と関係することを、模型実験(写真-5)や現地観察等をとおして補足

- ③土石流模型装置実験（写真-6）により砂防堰堤の機能を学習するとともに、実際の構造物を見学
- ④知識偏重とならないように、各学校のハザードマップを使用し現地点検（写真-7）を行うことで、避難について自分自身で考えることやグループワークをとおした意見交換を行うなど、実践的な学習を実施
- ⑤低学年から中学生までの発達段階に応じた系統的な学習計画に基づく防災教育の継続

また、防災教育の実施に際しては、教職員のイメージに沿った教材となるように、事前に十分な打合せを行うとともに、将来教職員が主体的に教えることができるよう教職員にも理解してもらうように工夫している。



写真-4 土石流と扇状地の形成に関する実験



写真-5 流れる水の働きに関する実験



写真-6 土石流模型装置実験



写真-7 土砂災害の恐れがある箇所の見学

3. 防災教育の取り組み内容

現在、本センターで実施している主な防災教育内容について紹介する。

3-1 スライドでの防災教育

防災教育を実施する上で、土砂災害の性質等、児童・生徒が自身の命を守るために必要な知識を伝えることを目的として、スライドを用いた防災教育を実施している。主なスライドの内容を以下に示す。

- ・土砂災害の概要及び予兆について
- ・紀伊半島大水害について
- ・深層崩壊について
- ・土砂災害警戒区域について
- ・早期避難について
- ・災害後の取り組み

スライド作成にあたっては、事前に学習内容の打ち合わせを学校と行い、学校周辺の現地調査等を行うことで、児童・生徒が自分ごととして土砂災害に対する興味とイメージを持ちやすくなることを目指している。また、自然と興味を持つことができるように映像教材を積極的に用いている。

3-2 実験・見学

スライドによる防災教育に加えて、児童が土砂災害をイメージしやすい各種実験を行っている。土砂災害に関連する地質については、那智勝浦町周辺に分布する風化前後の花崗岩を児童自身が金槌で叩き、風化後の花崗岩の「もろさ」を感じる実験（写真-8）を行っている。また、土砂災害発生の要因となる降水については、土を固めて作った「山」に噴霧器による「降雨」を継続的に当てることで「山が崩れる」様子を体験する実験（写真-9）を行い、土砂災害発生後の地形変化については、山と谷を模した模型の上部に配置した土で「斜面崩壊後の堆積土砂」を示し、噴霧器による「降雨」を継続的に当てることによって

土石流が発生し、谷の出口で土石流が堆積して扇状地ができる様子を体験する実験（写真-4）を行っている。

以上に加えて、小学校5年生の理科で学習する「流れる水の働き」に関連した内容として、堆積した砂が、水流により浸食され、河川が形成され、河川が自然と蛇行し、加えて、地下水位の上昇により斜面崩壊が発生する様子を再現する実験（写真-5）を行っている。



写真-8 風化した花崗岩を叩く実験



写真-9 山を崩す実験

3-3 紀伊半島大水害の被災体験の研修プログラム

紀伊半島大水害の被災者のご遺族の中では、久保榮子氏が「自らが体験した悲しみを後世の人に経験させたくない」と考え、悲しみを抱えながら使命感を抱き、悲惨な被災体験を後世に伝承しようと体験紙芝居等を作成し懸命に活動をされており（図-2）、共同して各種学校を対象とした啓発研修と体験紙芝居を合わせた研修プログラムを行っている。紀伊半島大水害体験紙芝居では、久保氏による、降りしきる大雨の時に避難勧告が発令されても避難しなかった事に対する後悔の念の描写と、「どうして早めの避難をしなかったのか。早めの避難行動をすれば全ての命は助かっていた」という訴えから、受講者が土砂災害に対して実際に避難する行動力の重要性について学習することを意図している。

また、研修プログラム全体として、受講者が土砂災害の性質と危険性を考える力を養うことに加えて、災害に際して受講者自身が判断して避難を決断できる行動する力を養うことが可能な研修内容を意図している。

なお、本プログラムに要する時間は、土砂災害の基礎に関する研修として約 30 分間の土砂災害啓発研修を行い、その後約 60 分間の紀伊半島大水害体験紙芝居とそれに続く〇×クイズの計 90 分間を基本としている。



※夫婦と娘の3人家族が洪水に見舞われ、最初は3人で樋に捕まって耐えていたが耐えきれず、隣の建物に移ろうと濁流に飛び込み流された。母親はフェンスに捕まり、娘は屋根に登って九死に一生を得たが、夫は遺体で発見された。

図-2 紀伊半島大水害紙芝居のシナリオ

3-4 日高川町における防災教育の取り組み

防災教育が難しいと感じている学校は小中高等学校で80~90%に上り、その理由の多くとして「(防災への) 実感の持たせ方がわからない」というものがあった。また、防災教育の教材の多くは、児童が受け身となる教材であり、教職員が積極的に用いたいアクティブラーニングの教材が少ないという指摘があった⁴⁾。本センターでは、防災教育の実施に際して、様々な学習コンテンツの作成と活用を行っており、日高川町内の小中学校を対象として作成したデジタルコンテンツ集について紹介する。

土砂災害の性質、土砂災害による危険がある箇所の特徴、早期避難の必要性、避難に際しての事前準備の必要性などの土砂災害から身を守るために必要な広範な知識については、児童・生徒が楽しく自発的に学習が可能なロールプレイングゲーム(RPG)として開発した。

このゲームは、プレイヤー(児童)が土砂災害から身を守るため自宅から避難場所まで避難を行う設定となっており、避難の途中で土砂災害に関する様々なクイズが出題され、プレイヤーが回答する内容となっている。クイズの間では映像等により土砂災害に関する解説が組み込まれており、土砂災害に関する知識を学ぶことができる。RPGは、プレイヤーが自分でゲームをすることで土砂災害に関する知識を学ぶということが特筆すべき点であると考えている。

ゲームの制作にあたり、本センターがシナリオを作成し、独立行政法人和歌山工業高等専門学校(以下、和歌山高専)の学生がプログラミングを行うことで誕生した。このゲーム制作を契機として、本センターと和歌山高専はゲームのソフトウェアの開発から防災教育の実践、学習効果の検証とゲームの改良までを研究範囲とする共同研究を行っている。ゲームはRPGツールを用いて学生が制作し、現在では3種類の防災RPGが作成されており(図-3)、本センターでもゲームの写真等の差し替えが可能であることから、日高川町における防災教育では、町が撮影した学校毎の映像にカスタマイズされたRPGを使用することにより、生徒が身近な体験をできる防災教育を行っている。

また、学校や自宅周辺のハザードを示し、加えて、避難所などを提示することでハザードから身を守る行動につなげるものとして、市町村作成のハザードマップがある。しかし、市町村作成のハザードマップは、市町村内全域の居住地周辺を対象としており、地区ごとに分割されたハザードマップであっても、地区全体を表示するために、児童・生徒が自宅位置を視認するのが困難な小さい縮尺となっていることが多い。

そのため、学校や自宅の位置が視認可能である1/4,000前後の縮尺となるように、各学校区を分割した上でのハザードマップ作成を行った(図-4)。

以上のRPG・ハザードマップを含む、計6つのデジタルコンテンツを、本センター・和歌山高専、日高川町、日高川町教育委員会が共同で制作し、2022年度よりこれを用いた防災教育を日高川町内の小中学校で実施している。



図-3 3種類のRPG

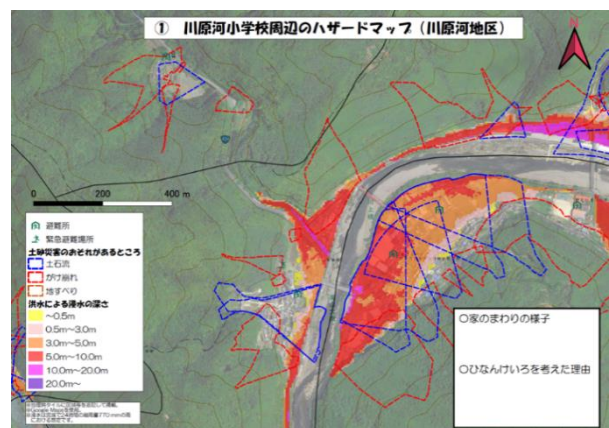


図-4 学校区周辺のハザードマップ

3-5 市野々小学校における防災教育

那智勝浦町立市野々小学校は、2011年台風第12号による土石流で児童が犠牲となるなど、大きな被害を受けた小学校である。

この小学校では、この災害を契機として、防災教育の重要性を認識し、年間教育計画の一つである「総合的な学習の時間」に防災教育とふるさと教育を柱の一つと位置付け、学年毎に学習内容をカリキュラム化し、教職員が主体的・継続的に防災教育を行っている。

小学校では、マイ・タイムラインを作成するステージまで防災教育を進めており、以下の役割分担により、本センターと教職員が協働してタイムラインに関する授業を行った。

○マイ・タイムライン作成のための役割分担

本センター：児童の自宅周辺の土砂・洪水ハザードマップを用意し、作成手順を説明

教職員：児童と災害のリスクや避難場所を確認するとともに、タイムライン作成資料の説明

さらに、市野々小学校では、教職員が紀伊半島大水害を契機として、防災の日（「市小防災の日」という）を設定し、毎年、地域住民と家族と一緒に防災に関する学習に取り組んでおり、そこでは、小学生がファシリテータなどの重要な役割を担うなど（写真-10）、防災教育が地域の防災力向上に大きく貢献している。また、教職員と本センターは、この活動をとおして防災教育の成果を確認するとともに、文部科学省が進めるギガ・スクール構想で全生徒に配布のタブレット端末を使った学習に発展させるなど、新たな防災教育手法の開発に取り組んでいる。

県では、この活動のような取り組みが県内に展開され、防災教育が定着することを期待している。



写真-10 市野々小学校でのワークショップ

3-6 防災教育セミナー

本センター設立以降の防災教育に関する活動を取りまとめ、今後、県内への防災教育の一層の普及・展開を図るため、教職員、市町村教育委員会および防災部局を対象とした防災教育セミナーを、2022年8月23日に日高川町で開催した。セミナーでは、土砂災害に関する防災教育に詳しい岩手大学の井良沢名誉教授から、「防災教育の注目度は高まっているものの、教育現場では防災教育のための十分な時間確保が困難である」等、課題が多くあることについて講演がなされた。また、県内の防災教育先進校である市野々小学校の中西校長より、現在の取組事例が紹介された。本センターからは、防災教育に関するこれまでの活動事例と様々な学習コンテンツの紹介を行った。セミナーの様子を写真-11に示す。

このセミナーを契機として、防災教育に携わる教職員の研修会が開催されるなど、防災教育に関する様々な活動が始まっており、県は防災教育の展開の準備は整ったと考えている。



写真-11 防災教育セミナーの様子

4. 今後の防災教育の展開に向けて

県では、今後の防災教育の展開には、関係機関との「協働」と実施体制の「持続性」がキーワードになると考えている。「協働」と「持続性」について、今後の活動を以下に示す。

①組織的な実施体制の構築

防災教育は多忙な教員個人に委ねられているという状況が全国的な課題となっている。また、現状では教員に防災教育が定着しているとは言えない。このような状況では、防災教育の持続的な実施は不可能であり、教育委員会等の関係機関による組織的な実施体制の構築が不可欠である。このため、県では、本センターが主導して、関係機関とともに防災教育を実施するとともに、実施体制構築の必要性を主張している。今後も、関係機関に対し、防災教育の実施体制構築に関する働きかけを継続するとともに、防災教育に関する活動の情報発信を行う。

②学校における年間教育計画への防災教育の位置付け

本センターでは、市野々小学校等へのヒアリングをとおして、教育計画の総合的な学習に防災教育を位置付けることの重要性を認識した。そこで、教育計画に位置付けられれば授業時間が確保されることから、本センターは、第一段階の防災教育として、教育委員会や市町村防災部局に対して年間教育計画への位置付けを働きかけるとともに、出前授業等の機会をとらえて学校にも要請している。日高川町における防災教育は、教育委員会が各学校に対して年間教育計画に防災教育を位置付けるように指導した事例である。今後も、教育委員会への働きかけを継続するとともに、教育関係者の防災教育への理解が進むように、教員を対象とした研究会等を開催する。

③地域住民の防災教育に関する認知度向上

市野々小学校で行われている「防災の日」の取り組みは、小学校、教育委員会、そして本センターが協働して継続的に実践してきた防災教育が、地域住民の参加により地域防災力の向上に寄与している事例である。本センターは他地域へのこの取り組みの展開を図るため、この取り組みに関する手法を確立するとともに、防災部局と連携して情報発信を行う。

④防災教育に関する教育関係者との相談体制の構築

防災教育については、地域学校ごとに状況が異なることから、防災教育に関する手法の標準化やマニュアルを作成することは、あまり意味がないと考える。但し、防災教育の実施のための準備等の過程、例えば、防災教育の対象、内容、教え方等に関することについては、これまでに実施してきた防災教育の実績を整理・組み合わせることで、より円滑な防災教育実施が可能となる地域毎のパッケージ化を図る必要がある。本センターでは、このパッケージの作成が、将来の防災教育の普及・展開を左右すると考えている。また、このパッケージとともに、土砂災害に関する専門的な知識を有する職員が講師役だけでなく、コーディネータとして、教職員に対し学習内容の提案や相談ができる体制も必要である。

⑤学習効果の判定方法

学習効果を判定することは、防災教育の手法や学習コンテンツの品質の向上に直接つながることから、学習効果の評価は必ず実施されなければならない。本センターでは、データマイニング手法による効果判定を試行した実績（図-5）があるが、手法自体の開発も含めて関係者と協議を行いながら、学習効果の判定を行ってゆく。

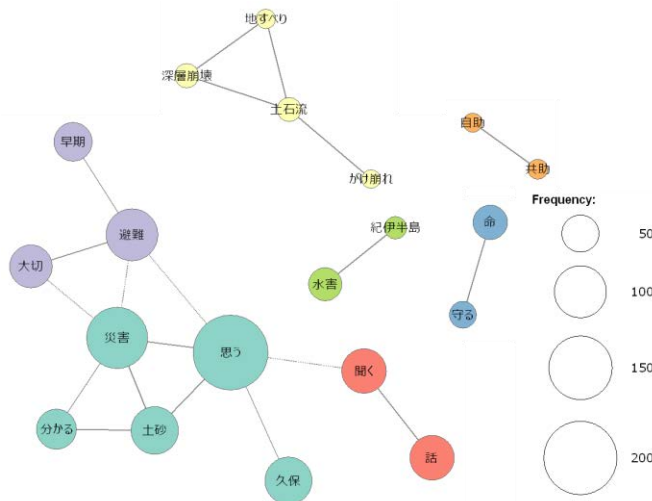


図-5 共起ネットワークを用いた学習効果の検証例

5. おわりに

2016年の本センター設立後からの防災教育に関する活動を取りまとめた。県では、防災教育は生徒が防災について学ぶだけのものではなく、生徒が学んだことを家庭で話すことにより、地域の防災力を向上させるものであるとの認識の下、3つの段階を設定し計画的に防災教育を進めるよう関係機関とともに取り組んでいる。

県は、防災教育の定着は時間がかかる取り組みであることを認識しており、職員が講師役だけでなくコーディネータとして学習内容の提案や相談ができる体制の構築に取り組むとともに、県下の全小中学校において第一段階の防災教育が実施されるまでには長い年月が必要であることも想定している。

このため、今後も関係機関との協働による防災教育の実施体制を構築し、持続的に防災教育を展開するとともに、その活動をHPや学会発表をとおして、より積極的に情報発信を行う。

謝辞

本センターの設立と県の防災教育の活動に対して支援および協力いただいた関係機関の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部：土砂災害防止教育支援ガイドライン，2009
- 2) 文部科学省：小学校学習指導要領（平成29年度告示），2009
- 3) 和歌山県：紀伊半島大水害記録誌，2013
- 4) 柴田真裕・田中綾子・船木伸江・前林清和：わが国の学校における防災教育の現状と課題—全国規模アンケート調査の結果をもとに—，防災教育学研究 1-(1)，p.19-30，2020.

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ14

和歌山県土砂災害啓発センター

—あの被害を繰り返さないために—

和歌山県土砂災害啓発センター

所長 稲田 健二

1. はじめに

和歌山県では平成 23 年台風 12 号紀伊半島大水害の豪雨により広範囲にわたって災害が多発し、死者・行方不明者 61 名、8,465 棟もの建物被害など、甚大な被害に見舞われました。県ではこの甚大な被害を繰り返さないため、土砂災害の記憶を後世に伝えるとともに、土砂災害に関する研究の拠点として、和歌山県土砂災害啓発センターを平成 28 年 4 月に開館しました（図 1）。

2. 和歌山県土砂災害啓発センターについて

啓発センターの建物は紀伊半島大水害で土石流により甚大な被害が発生した那智勝浦町的那智川流域にあります。施設は紀州材（111m³ 使用）を使用した木造 2 階建て、延べ床面積 492m²（1 階 297m² 2 階 195m²）の建物で、1 階には土砂災害の記録パネルや映像などの展示スペースや団体への研修を行う研修室からなります。2 階には紀伊半島大水害を契機として、平成 26 年 4 月より那智勝浦町を活動拠点とし、大規模土砂災害の研究等をおこなっている「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」が入所、さらに、平成 27 年 3 月に「大規模土砂災害研究機構」（図 2）が設立され、国・県・町・研究機関が一体となった研究・啓発活動に率先して取り組んでおります。



図 1 和歌山県土砂災害啓発センター外観

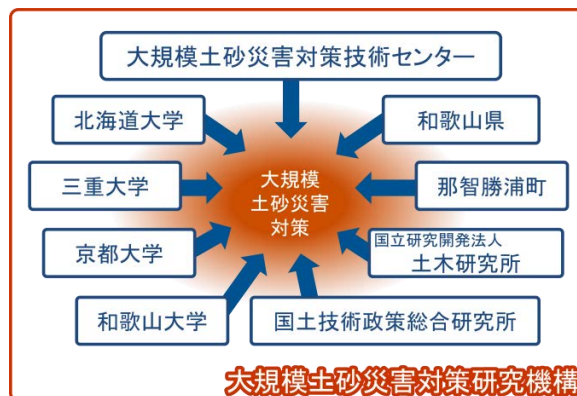


図 2 大規模土砂災害研究機構構成メンバー

3. 館内展示物

館内展示物は、展示スペースに「和歌山県のすがた」「紀伊半島大水害の記録」「土砂災害の種類」「土砂災害を防ぐために」「土砂災害から身を守るために」のパネルを常設し、タッチパネルやモニターを設置し、土砂災害に関する啓発を行っています（図 3）。また、研修室では映像を使った研修活動を実施しています（図 4）。



図3 土砂災害の記録パネル



図4 研修室

○土石流模型装置

国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所から貸与されている「土石流模型装置」を活用した土石流の発生の様子や砂防堰堤の施設効果に加え、透過型堰堤と不透過型堰堤の機能の違いについても説明できるよう職員の手で模型を作成し研修・学習を行っています（図5）。

○360° 動画

土砂災害のおそれのある箇所への認知度向上のため、視線を360°回転して土砂災害警戒区域等を確認できる動画の展示を行っています（図6）。



図5 模型装置を用いた防災学習



図6 360°動画の展示

○模型を使った石積み体験

紀伊半島大水害時で被害のあった那智川で実施されている直轄工事では、景観に配慮して砂防堰堤や護岸に現地の石を張り付ける石積み工事が行われています。砂防事業を身近に感じてもらうために模型を使った石積み工事を体験できます（図7）。

○地元語り部（久保榮子さん）の被災体験紙芝居の上映

紀伊半島大水害の被災者の久保榮子さんが紙芝居を用いて自身の体験を語る動画を上映しています（図8）。実体験に基づいて久保さん本人が作成された紙芝居であり、迫力と臨場感のある内容となっています。



図7 模型を使った石積み体験

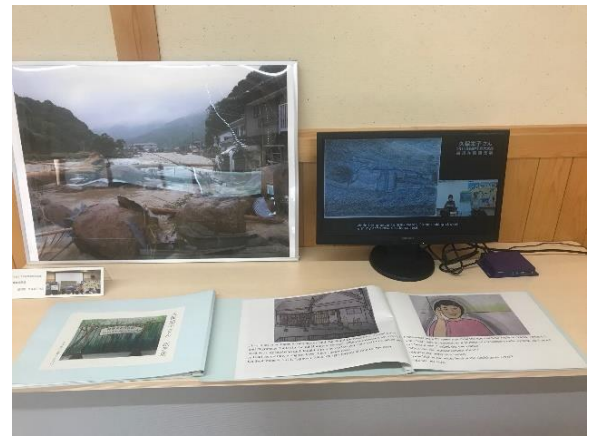


図8 被災体験紙芝居に関する展示

4. 啓発活動

1) 一般研修および小・中学校の防災学習

啓発センターでは、自治会や自主防災組織、行政等の団体研修のほか、和歌山県内の小・中学校への出張講座、修学旅行の受け入れ等の防災学習にも積極的に取り組んでいます。防災学習は、将来の防災の担い手となる子どもに必要な知識を身に付けてもらうだけでなく、子どもから家庭へ、さらに地域へと防災意識が普及する効果も期待できるため、本センターの活動の柱と考えています。一般研修、防災学習共に共通する部分があるため、主に防災学習の中身について説明します。

まず、本センターでの特徴として、対象者が自分ごととして土砂災害に関する知識を身につけてもらう狙いから、対象者の地域の地形、地質、災害履歴の情報を盛り込んでいます。特に防災学習では、学校近くの降雨状況、危ない場所、地域の災害写真を活用し、学校の実情に合わせた内容を担当教員と相談しながらコンテンツの充実に努めています。効果的な防災学習の実現のために、それぞれの学校に合わせた教材を考えたり、実験や現地調査を組み入れて児童が興味をもつような学習内容を心がけています。

その際、児童・生徒の発達段階に応じた学習内容に配慮しています。具体的には「災害」「避難」という言葉自体が低学年での学習においては理解できない場合もあります。そのため、言葉の意味を理解できるようイラストなどを用いて表現の工夫をおこなっています。

次に、実験や現場体験を通じた学習にも取り組んでいます。児童・生徒は土砂災害に関する事前知識はほとんどないため、土砂災害について知ることから始まります。この際、実験や現場を見学することがとても効果的です。例えば、小さな砂山に噴霧器で雨を降らせ、それが崩れる様子を観察して土砂災害のイメージを持ってもらったり（図9）、先ほど紹介した土石流模型実験装置を使って土石流の怖さと砂防堰堤の効果の説明を行ったり、転倒ます型雨量計を用いた降雨観測実験等を行うなど、児童・生徒が関心や興味を持つようにしています。また、啓発センターに近接して砂防堰堤が設置されていることから、砂防堰堤の近くまで移動し、堰堤の実際の大きさを体感してもらったりしています（図10）。



図9 雨が降ると山が崩れる実験



図10 砂防堰堤の見学

2) デジタルコンテンツの活用

文部科学省の GIGA スクール構想や新型コロナウイルス感染症対策を踏まえ、デジタルコンテンツの活用も積極的に行っています。

防災学習において、和歌山工業高等専門学校の辻原研究室と共同で防災 RPG（ロールプレイゲーム）の開発を行い（図 11）、現在まで 3 作品が完成しています。地元的那智勝浦町立市野々小学校をはじめ、多くの小中学校の防災学習に活用され好評を得ています（図 12）。

防災学習による地域への波及効果を期待して、子どもたちによる手作りのハザードマップ作りも手掛けています。GIS ソフトを用いて作製した学校周辺の土砂災害警戒区域等のハザード情報を重ねた地図を用い、避難経路を記入し、自分だけのハザードマップを作ります（図 13）。これを家庭に持ち帰ることで、より広がりのある学習効果を狙っています。

その他、WEB ミーティングソフトを使った土石流模型実験のライブ配信等にも取り組んでいます。これにより、和歌山県外の学校や自治体等への啓発研修を行うことが可能になりました。



図11 防災 RPG の画面



図12 防災 RPG を用いた防災学習



図13 手作りハザードマップを用いた防災学習

5. おわりに

啓発センターでは、開設以来、土砂災害に関する啓発活動に積極的に取り組んできました。今後も土砂災害による被害をなくすため、継続的に活動を続けていきたいと思えます。

また、世界遺産である那智大社や熊野古道（大門坂）に近いという立地条件を活かし、日本や世界各地から来る観光客の方々にも土砂災害の怖さや土砂災害から身を守るための日頃の心構えについて学んでもらえるよう取り組んでいきたいと考えております。皆様方の和歌山県へのお越しをお待ちしております。

地表面変位速度を用いた深層崩壊危険斜面の推定

○北海道大学院農学院 原悠人
北海道大学大学院農学研究院 笠井美青

1. はじめに

深層崩壊は重力変形が進んだ斜面にて発生することから、崩壊の危険が高い斜面を抽出するにあたっては、変形に伴い出現する斜面頭部の緩斜面や線状凹地、脚部の崩壊地などの「前兆地形」の判読や計測がこれまで進められてきた。しかし深層崩壊の多発地域にはこのような前兆地形が至るところに広く存在することから、判読や計測からは、現在崩壊が切迫している斜面を特定するには至っていない。一方近年では、同地域で他時期に渡り航空レーザー測量（LP 測量）が実施される例も増え、Kasai¹⁾は2時期の LP 測量データの解析から、深層崩壊発生直前には顕著な地表面の変位が見られたことを示した。そこで本研究では、崩壊の発生が切迫している斜面ほど地表の変位速度も大きくなると考え、深層崩壊が多発する奈良県十津川流域内における重力変形の進行程度が異なる4斜面を対象に、2時期の LP 測量データを用いて PIV 解析を実施した。そして得られた斜面各箇所の地表面変位速度から、崩壊の切迫さを示す指標を提案した。

2. 解析対象斜面

解析対象斜面は、2011年豪雨による深層崩壊跡（赤谷東）（面積 31.7 ha, 比高 500 m）、前兆地形が見られる2斜面 A（面積 6.1 ha, 比高 280 m）及び B（面積 6.9 ha, 比高 370 m）、2011年の深層崩壊発生直前の斜面（長殿）（面積 10 ha, 比高 450 m）である（図1）。2020年に実施された空中電磁探査からは、赤谷東及び斜面 A において、ゆるみ域の存在は確認されていない²⁾。一方で斜面 B ではゆるみ域の存在が明瞭に示され、ボーリング調査においても破碎層が認められている³⁾。

3. 研究方法

PIV 解析には、Thielicke⁴⁾による地形の分布パターンの類似性の認識に基づくプログラムを用いた。ここで地形については、赤谷東と斜面 A 及び斜面 B においては2013年及び2017年、長殿斜面は2006年及び2010年に取得された LP 計測データを用いて、微地形の分布を強調した各年のラプラシアン図を作成した。なお、2006年の LP 計測データでは長殿斜面の一部が欠損している。プログラムから得られた斜面内の各箇所の地表面変位量は、LP 計測間の期間（4年）で除することにより年変位速度を求めた。そして各斜面を対象に、変位 0.01 m/year ごとに累積相対度数曲線を描いた。この曲線下の面積を崩壊の切迫さを示す指標として提案する。

4. 結果と考察

図1に4斜面での地表面変位を表すベクトル図を示す。地表面変位速度の高い箇所は、赤谷東斜面では局所的に散在し、斜面 A では斜面下部の滑落崖付近や広い尾根付近で見られた。一方斜面 B では、A よりも地表面変位速度が速い箇所が広がり、重力変形の進行を示唆する。しかし深層崩壊発生直前の長殿斜面では、斜面 B よりもかなり高い速度で地表が変位していたことが分かる。2011年豪雨時に斜面 A 及び B が崩壊に至らなかった理由は、崩壊に至るまでの状態に重力変形が進行していなかったことに帰するとも考えられる。また図2では、斜面の重力変形に伴い曲線が右に移動し、曲線下の面積はそれぞれ、長殿斜面が0.32、斜面 B は0.15、斜面 A は0.07、赤谷東は0.04であった。これらの値より、豪雨時に深層崩壊が発生する面積の閾値は、0.15から0.32の間に位置すると考えられた。ただし今回の解析においては、長殿では崩壊した全域が対象になっておらず、また解析に使用した LP 測量に関するエラーも考慮されていない。PIV 解析においても、地表が地形の分布パターンを保持できないほど大きく変動した際には、ベクトルを求めることができない。従って上述の面積の値は現時点では目安として示すことになる。豪雨の際に崩壊が発生する可能性が極めて高いことを示唆する面積の閾値を特定するためには、深層崩壊が多発する各地における LP 計測データを収集し、同様の解析を現地観測とともに続けていく必

要がある。また崩壊の切迫さを推定するにあたっては、図 2 において時間スケールを加えることが望ましいので、今後は崩壊履歴に関するデータの収集も進めていく予定である。

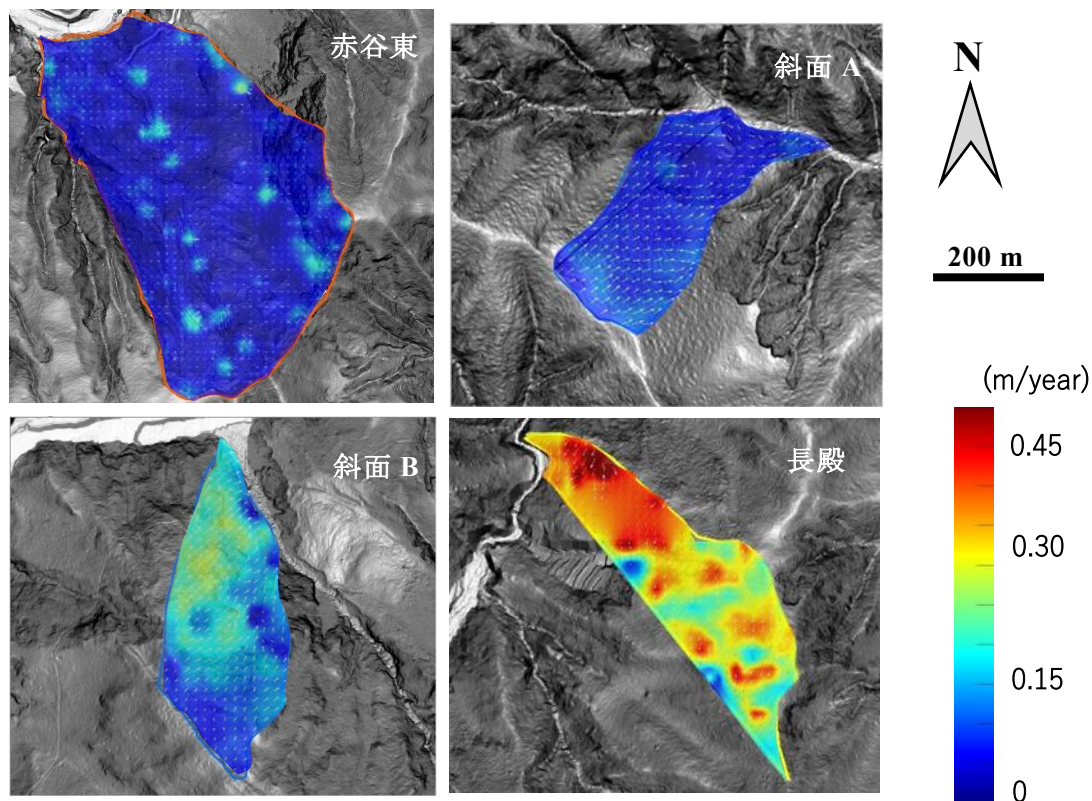


図 1 ベクトル図

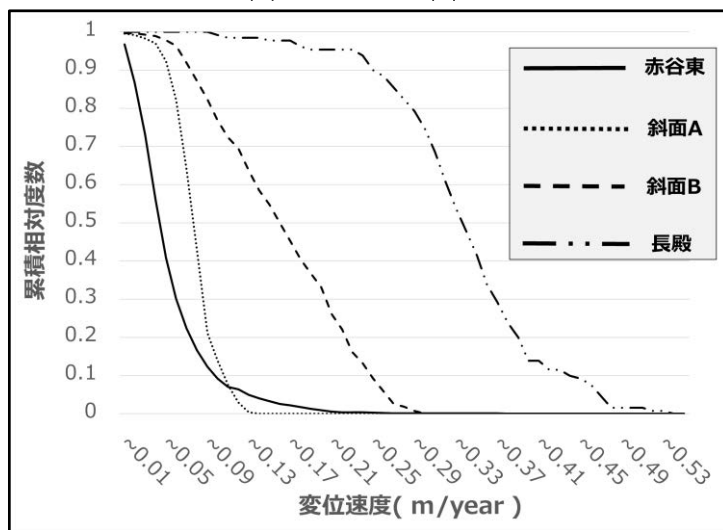


図 2 地表面変位速度の累積相対度数曲線

謝辞 本研究で使用した LP 計測データ及び空中電磁探査データは近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センターにご提供頂いた。感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) Kasai M. (2021): Can Repeat LiDAR Surveys Locate Future Massive Landslides?. In: Guzzetti F. et al, (eds) Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局(2020): 深層崩壊ならびに重力変形斜面における空中電磁探査解析業務報告書
- 3) 田中ら(2017): 空中電磁探査による比抵抗の分布に着目した深層崩壊危険斜面の抽出技術の開発. 河川技術論文集 23, 335-440.
- 4) Thielicke (2021) : <https://jp.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27659-pivlab-particle-image-velocimetry-piv-tool-with-gui?tab=discussions>

2.2 相互連携に基づく研究 テーマ1

崩壊性地すべりを引き起こす降雨の特徴について

京都大学大学院農学研究科

○小杉賢一朗・福田 幹

土木研究所土砂管理研究グループ

神山嬢子

1. はじめに

勾配が 30° 未満と比較的緩い斜面において、豪雨時に急速かつ多量の土砂移動が見られる場合があり、このような土砂移動は「崩壊性地すべり」と呼ばれることがある。気候変動に伴う降雨波形の変化が、崩壊性地すべりを増加させる可能性も考えられる。近年筆者らは、土砂災害発生危険度を評価するための新たな指標である未経験降雨指数を提案した(小杉, 2022)。未経験降雨指数 T_P は「現在時刻の雨は、時刻 T_P より後の期間における最大規模になっている」ことを示しており、気候変動下における雨の降り方の変化を考慮して土砂移動現象を解析するのに適した指標だと考えられる。そこで本研究では、過去の事例を対象として、崩壊性地すべりが発生した際の未経験降雨指数を算定し、その結果に基づいて崩壊性地すべりを引き起こす降雨の特徴について検討を加えた。

2. 方法

群馬県富岡市内匠地区では、2019年の台風19号に伴う豪雨(以下、2019年豪雨)によって10月12日16:30頃に斜面崩壊が発生し、死者3名、負傷者3名の人的被害を引き起こした。崩壊を起こした斜面の勾配は $15 \sim 25^\circ$ と緩く、国土交通省(2020)では崩壊性地すべりと呼ばれていることから、本研究ではこの災害を対象とした。未経験降雨指数の算定には、水文水質データベース(<http://www1.river.go.jp/>)小幡観測所における時間雨量データを用い、欠測期間については最寄りの観測所のデータを使用した。未経験降雨指数の算定には、各種雨量指標のペアを用いた多数のスネーク曲線図が用いられる(小杉, 2022)。本研究では実効雨量を採用し、半減期 M_1, M_2 (ただし $M_1 \geq M_2$) を $0.1 \sim 3000$ h の範囲で、その対数値の変化量が一定になるようにして計51通りに設定した上で、考えられる全ての M_1, M_2 の組合せから成る計1326種類のスネーク曲線図を使用した。

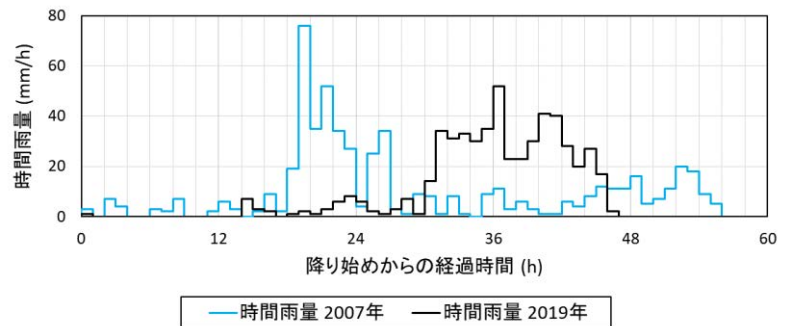


図-1 2007年豪雨と2019年豪雨の時間雨量

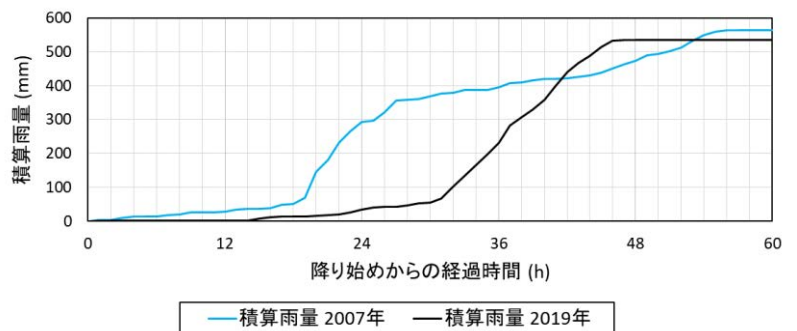


図-2 2007年豪雨と2019年豪雨の積算雨量

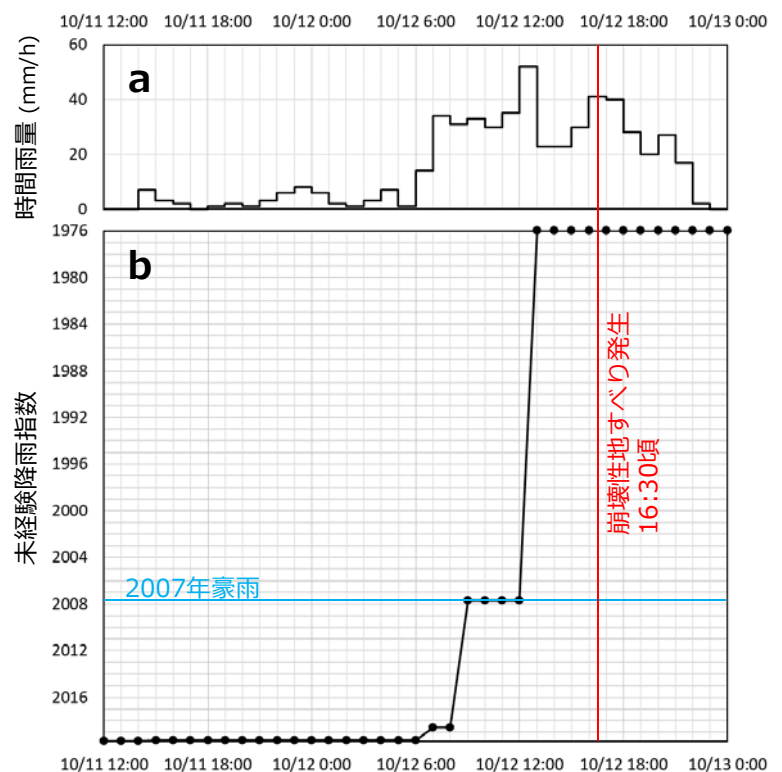


図-3 2019年豪雨の(a)時間雨量と(b)未経験降雨指数

3. 結果

図-1, 2 に, 2019 年豪雨の時間雨量と積算雨量を示す。図中には, 2007 年の台風 9 号に伴う豪雨 (以下, 2007 年豪雨) のデータも併せて示している。2007 年豪雨では, 富岡市において当時過去に例がないほどの大規模な避難勧告が発令され, 複数の地点で土砂災害が発生した (岩井, 2008)。図より 2019 年豪雨では, 2007 年豪雨に比べ, 最大時間雨量や積算雨量が小さいものの, 20~50 mm/h 程度の時間雨量がより長期間継続していたことがわかる。

2019 年豪雨について算定された未経験降雨指数を図-3b に示す。未経験降雨指数は時間の経過とともに過去に遡り, 10/12 9:00~12:00 には 2007 年豪雨時まで遡った。すなわちこの時間帯には, 2007 年豪雨よりも後の期間で初めて経験する規模の雨になっていたことになる。10/12 13:00 になると未経験降雨指数は降雨データ開始時まで遡り, 以降はその状況が継続した。よって, 崩壊性地すべりが発生した 10/12 16:30 頃においては, 過去の記録において経験したことの無い未曾有の豪雨 (既往最大値超過の状況) になっていたと考えられる。

図-4 には, 全 1326 種類のスネーク曲線図のうち既往最大値超過が発生したものを, 横軸半減期 M_1 と縦軸半減期 M_2 の組合せにより示している。崩壊性地すべりが発生した前後の 10/12 16:00~17:00 には, 横軸半減期 3.33~3000 h, 縦軸半減期 0.100~32.2 h の組合せを持つスネーク曲線図の多くにおいて, 既往最大値超過が発生していたことがわかる。一方, 半減期 0.100~2.71 h の組合せでは既往最大値超過が発生しておらず, 降雨強度を表す短期的な雨量指標のみでは未曾有の豪雨にはなっていなかったと考えられる。また, 半減期 39.5~3000 h の組合せでも既往最大値超過が発生しておらず, 累積雨量を表す長期的な雨量指標のみでも未曾有の豪雨にはなっていなかったと考えられる。

図-5 には, 既往最大値超過を示したものの一例として, 横軸半減期 111 h, 縦軸半減期 1.79 h のスネーク曲線図を示した。2019 年豪雨のスネーク曲線は, 2007 年豪雨と比べて縦軸の最大値は小さいものの, 横軸方向には大きく, 崩壊性地すべりが発生した前後の時間帯において 2007 年豪雨を上回っていたことがわかる。

以上, 未経験降雨指数を用いた解析により富岡市の 2019 年豪雨の特徴を明らかにした。学会当日の発表では, 他事例についても報告し, 崩壊性地すべりを引き起こした降雨の特徴について一般化を試みる予定である。

本研究の一部は国土交通省河川砂防技術研究開発公募制度ならびに文部科学省科学研究費 (課題番号: 20H00434) の補助を受け実施した。本稿は, 令和 5 年度砂防学会研究発表会概要集 (JSECE Publication No.90, ISSN 2433-0477) に掲載された内容 (小杉賢一朗・福田幹・神山嬢子, R4-12, pp. 189-190) を再録したものである。

引用文献

岩井賢太郎, 砂防と治水, 186, 28-30, 2008

国土交通省, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo/200108/04shiryoy3.pdf, 2020, 2023 年 4 月 7 日閲覧
小杉賢一朗, 土砂災害に対する警戒・避難のための未経験降雨指数の提案, 砂防学会誌, 75(1), 3-14, 2022

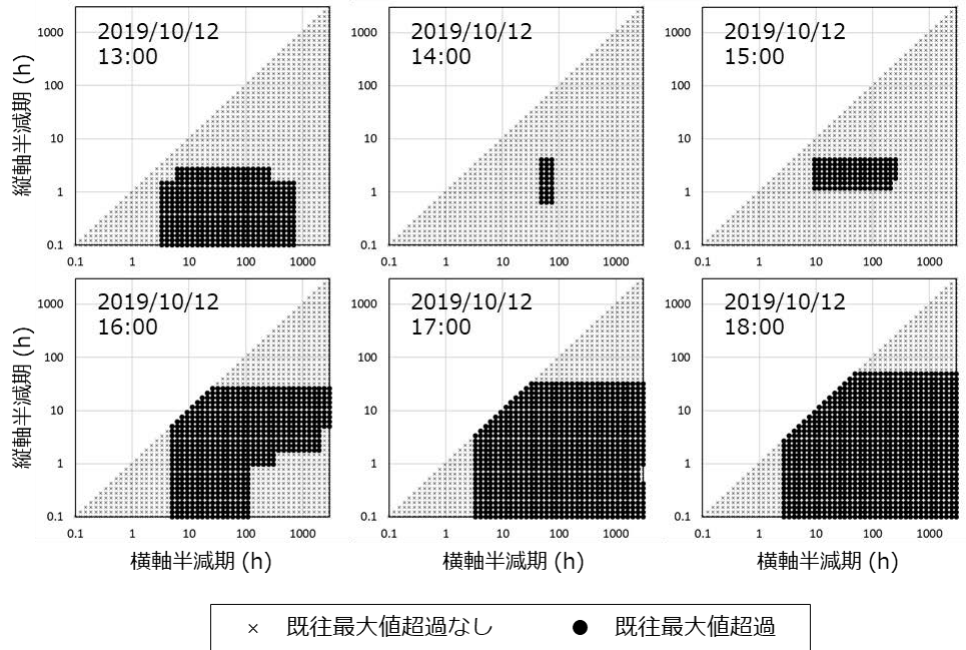


図-4 2019 年豪雨において既往最大値超過が発生した半減期の組合せ

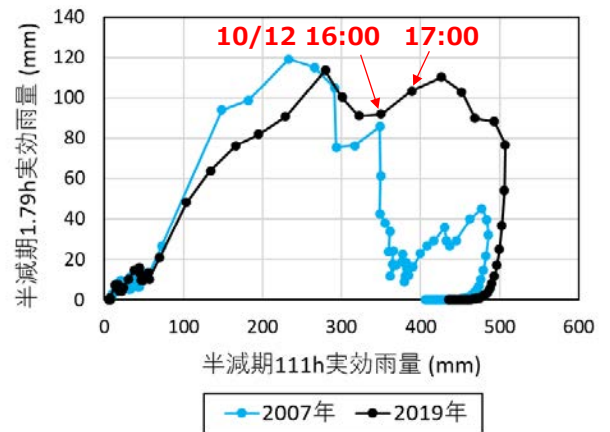


図-5 スネーク曲線図

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
物理探査技術を活用した深層崩壊リスク評価手法の試行事例と今後の課題	木下篤彦、北本楽、山越隆雄、中谷洋明	土木技術資料	Vol.64 No.11	情報誌	2022.1
教職員や自治体職員を対象とした防災教育セミナーの開催	和歌山県土砂災害啓発センター	砂防と治水	Vol.55 No.5	論文	2022.1
土砂移動に伴う輝度変化を活用した画像検知手法の取組み	木下 篤彦, 北本 楽, 中谷 洋明, 金澤 瑛	土木技術資料	Vol.64 No.8	情報誌	2022.8
流砂量観測装置を用いたアラートシステム構築への取組み	北本 楽, 小杉 恵, 木下 篤彦	土木技術資料	Vol.64 No.8	情報誌	2022.8
土砂移動に伴う輝度変化を活用した画像検知手法の取組み	木下 篤彦, 北本 楽, 中谷 洋明, 金澤 瑛	土木技術資料	Vol.64 No.8	情報誌	2022.8
流砂量観測装置を用いたアラートシステム構築への取組み	北本 楽, 小杉 恵, 木下 篤彦	土木技術資料	Vol.64 No.8	情報誌	2022.8
和歌山県土砂災害啓発センター—あの被害を繰り返さないために—	稲田健二	消防防災の科学	No.151	論文	2023.2
和歌山県における土砂災害に関する防災教育	岸畑明宏	第63回砂防および地すべり防止講義集		論文	2023.2

タイトル	執筆者（連名含む）	雑誌名	巻号	論文種別	発行年月
2011年紀伊半島大水害に学ぶ	北本 楽, 小杉 恵, 上田 成人	砂防学会誌	Vol.75 No.6	論文	2023.3

3.2 学会発表

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
1	木津川水系におけるUAV及び関連する最新技術を活用した砂防施設点検に関する取り組み	伊藤巧, 山本悟司, 小杉恵, 木下篤彦, 北本楽, 家田泰弘, 笹山隆, 片嶋啓介, 戸舘光, 中西宏彰, 河野元	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
2	高感度地震観測網による地盤振動と河川の水量の関係	海原荘一, 谷田佑太, 筒井和男, 中谷洋明, 木下篤彦, 北本楽, 小杉恵, 山本悟司	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
3	2011年紀伊山地で発生した深層崩壊8地区における発生機構の類似点・相違点について	小川内良人, 横山修, 北本楽, 木下篤彦, 小杉恵, 山本悟司	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
4	熊野酸性岩の岩石学的特性とコラストーンの形成に関する考察	船山淳, 山本悟司, 小杉恵, 木下篤彦, 北本楽, 江川千洋, 伊藤達哉, 菊池美帆	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
5	熊野酸性岩におけるコラストーン形成場とH23水害時の崩壊特性	江川千洋, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽, 木下篤彦, 船山淳, 伊藤達哉, 菊池美帆	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
6	大規模斜面崩壊時の地盤振動特性に関する数値実験及び室内実験による比較と検討	筒井和男, 北本楽, 高田隆行, 谷田佑太, 海原荘一, 木下篤彦, 金澤瑛, 中谷洋明	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
7	土砂災害防災教育の実践とこれに対する防災教育受講者の認識に課する分析	岸畑明宏, 森要, 佐藤純子, 坂口隆紀, 筒井和男, 宮崎徳生, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
8	土砂災害防災ロールプレイングゲームを用いた教育機関・行政機関との連携	稲田健二, 筒井和男, 宮崎徳生, 岸畑明宏, 坂口隆紀, 西萩一喜, 辻原治, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
9	和歌山県土砂災害啓発センターにおける土砂災害オンライン学習の取り組み	宮崎徳生, 筒井和男, 岸畑明宏, 坂口隆紀, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
10	輝度に着目した、カメラ画像を用いた土砂移動検知システムの検討	木下篤彦, 海原荘一, 井深真治, 北本楽, 中谷洋明, 金澤瑛, 山越隆雄	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
11	宮井地区地すべりを対象とした時系列干渉SAR解析による変動検出	松本史子, 橋本裕紀, 平田育士, 柴山卓史, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
12	熊野酸性岩類(花崗斑岩)からなる山腹斜面内の地下水挙動に関する考察	鬼頭伸治, 小杉恵, 北本楽, 山本悟司, 木下篤彦, 鬼頭伸治, 豊福恒平, 巽隆有, 田村友紀夫, 梅田侑子	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
13	那智川流域におけるドローンの全自動飛行による施設点検	舟津智司, 荒木義則, 河井恵美, 久家政治, 能島佑佳, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
14	UAV（レベル3飛行）による河道閉塞の継続監視調査における3D地形モデルの精度向上検討	能島佑佳, 荒木義則, 河井恵美, 久家政治, 舟津智司, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽, 木下篤彦	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
15	深層崩壊発生地域での発生限界雨量基準と確率評価	竹本大昭, 川原健士朗, 海原荘一, 中谷洋明, 木下篤彦, 小杉恵, 北本楽, 山本悟司	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
16	強震データに基づく大地震発生前後の地盤剛性の変化について	福島康宏, 後根裕樹, 海原荘一, 中谷洋明, 木下篤彦, 北本楽, 小杉恵, 山本悟司	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
17	奈良県天川村栃尾地区における複合物理探査による重力変形斜面の内部構造	河戸克志, 山本悟司, 小杉恵, 北本楽, 木下篤彦, 三田村宗樹, 松澤真, 馬場敬之, 奥村稔, 金山健太郎, 城森明	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
18	山地河川の合流点における流況に関する定量的考察	岡野和行, 北村一貴, 水野裕斗, 木下篤彦, 里深好文	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
19	紀伊山系における大規模土砂生産後の河床変動と土砂動態の変遷	井之本信, 山本悟司, 小杉恵, 木下篤彦, 北本楽, 岡野和行, 井之本信, 滝澤雅之, 金子剛史, 北村恭兵, 滝川正則	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
20	地表面変位速度を用いた深層崩壊危険斜面の推定	原悠人, 笠井美青	2022年度砂防学会研究発表会概要集	2022.5
21	崩壊性土すべりを引き起こす降雨の特徴について	小杉賢一郎, 福田幹, 神山嬢子	2023年度砂防学会研究発表会概要集	2023.5
22	マイ・タイムライン防災学習の実施とその後の学校での取り組み	稲田健二, 坂口隆紀	2022年度近畿地方整備局研究発表会	2022.6
23	土砂災害啓発RPG「命を守るハザードマップ」の開発	西萩一喜, 稲田健二	2022年度近畿地方整備局研究発表会	2022.6
24	お手軽オリジナルハザードマップ作製アプリの開発	露峰周, 筒井和男	2022年度近畿地方整備局研究発表会	2022.6

	発表題目	発表者等	発表会名	発表年月
25	防災RPG「台風にそなえて、じゅんぴをしよう!」の開発	鈴木義幸, 筒井和男	2022年度近畿地方整備局研究発表会	2022.6
26	2011年紀伊半島大水害で発生した長殿地区と栗平地区の2つの天然ダムの水文特性の違いと越流しやすさの関係	只熊 典子, 海原 莊一, 木下 篤彦, 古江 智博, 北本 楽, 小杉 恵, 山越 隆雄	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
27	地震後の降雨による土砂災害発生への影響因子とその相対的な寄与度についてー2016年熊本地震後の阿蘇外輪地域における分析事例ー	後根 裕樹, 海原 莊一, 中谷 洋明, 坂井 祐介, 瀧口 茂隆, 木下 篤彦, 北本 楽, 小杉 恵, 山本 悟司	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
28	熊野川・日置川流域における流砂水文観測データを用いた土砂移動検知手法の検討	北本 楽, 小杉 恵, 木下 篤彦, 岡野 和行, 井元 成治, 吉安 征香, 井之本 信, 滝澤 雅之, 武石 久佳, 鈴木 心	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
29	室内人工降雨実験によるカメラ画像から雨量強度を推定する手法の検討	木下 篤彦, 海原 莊一, 井深 真治, 北本 楽, 中谷 洋明, 金澤 瑛	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
30	地層境界が存在する那智川支川流域における渓流水の水質形成機構と表層崩壊発生検知への応用に向けた予察	竹下 航, 巽 隆有, 豊福 恒平, 松澤 真, 北本 楽, 木下 篤彦	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
31	和歌山県日高川町におけるデジタルコンテンツを用いた土砂災害防災教育の取り組み	岸畑明宏, 辻原治, 西萩一喜, 鈴木義幸, 霧峰周, 稲田健二, 筒井和男, 有田貴洋	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
32	深層崩壊を対象とした降雨の超過確率年による発生限界雨量基準	竹本 大昭, 北本 楽, 小杉 恵, 海原 莊一, 木下 篤彦, 中谷 洋明	第11回 土砂災害に関するシンポジウム論文集	2022.8
33	2011年に深層崩壊が発生した和歌山県田辺市熊野地区における比抵抗探査を用いた水理地質構造の検討	竹下 航, 中野 英樹, 藤原 康正, 木下 篤彦	2022年度日本地すべり学会研究発表会	2022.9
34	和歌山県公式キャラクターを用いた災害伝承碑紹介動画の作成について	有田貴洋, 岸畑明宏, 筒井和男, 稲田健二, 森要, 佐藤 隆	2022年度治山研究発表会	2022.9
35	Case Study of Interpolation Method of Missing River Stage of	Kazuo Tsutsui, Yuta Tanida, Akito Nakata, Gaku Kitamoto, Osamu Tsujihara,	The 9th International Conference on Flood Management (ICFM9)	2023.2

(1) 砂防学会研究発表会

現地開催とオンラインのハイブリッドで開催された【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4年5月10日（火）～13日（金）

(2) 令和4年度 第40回土砂災害防止「全国の集い」

現地開催とオンラインのハイブリッドで開催された【第40回土砂災害防止「全国の集い」】に参加した。

期 間：令和4年6月1日（水）

(3) 第4回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」

オンラインで開催された【第4回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」】に参加した。

期 間：令和4年7月11日（月）

(4) 第11回土砂災害に関するシンポジウム

オンラインで開催された【第11回土砂災害に関するシンポジウム】に参加した。

期 間：令和4年8月30日（火）～8月31日（水）

4. 広報・啓発活動

講演

●大規模土砂災害対策技術センターシンポジウム

【紀伊半島大水害から10年～紀伊半島から新たな砂防技術を全国へ～】と題し、紀伊半島大水害や最近の土砂災害をきっかけに進められている大規模土砂災害に対する調査研究・技術開発について紹介し、土砂災害による被害の軽減・防止や安全・安心な社会の実現について考える機会として、現地開催とオンラインのハイブリッドでシンポジウムを開催した。

開催日：令和4年9月10日（土）

会場：那智勝浦町体育文化会館

主催：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）、和歌山県（土砂災害啓発センター）、那智勝浦町

5. 研修活動

（1）環境保全・生産性向上に配慮した斜面对策工法講習会

地山補強ネット工法研究会が主催するコンサルタント会社、施工会社の技術職員を対象とした研修会において、大規模土砂災害対策に関する大規模土砂災害体躯技術センターの研究成果について対面で説明した。

開催日：2022年10月13日（木）

会場：対面

参加者：60名

（2）田辺市立大坊小学校（和歌山県）との土砂災害に関するオンライン学習

大坊小学校が取り組む防災学習に際し、和歌山県土砂災害啓発センターと連携し、土砂災害の種類、対策工事について国土技術政策研究所からオンラインで説明し、土石流模型装置による実験のライブ配信により、土石流や砂防堰堤の効果を実演した。

開催日：2022年10月21日（金）

会場：対面、オンライン

参加者：20名

令和 4 年度 大規模土砂災害対策研究機構年報

発 行	令和 5 年 1 1 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 H P	http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisanchi/kikou/