

令和6年度  
土砂災害に関する  
調査研究の成果

和歌山県県土整備部河川下水道局砂防課

和歌山県土砂災害啓発センター

# 目 次

## 1. 研究発表会における発表

1. 砂防学会研究発表会・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-1-1~1-1-4
2. 治山研究発表会・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-2-1
3. 近畿地方整備局研究発表会・・・・・・・・・・・・・・・・1-3-1~1-3-2
4. 土砂災害に関するシンポジウム・・・・・・・・・・・・1-4-1
5. 国土技術研究会・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-3-1

※ 1-3-1 が近畿地方整備局研究発表会で優秀賞となり、国土技術研究会での発表依頼により発表

## 2. 学会誌等への掲載論文

1. 地域安全学会・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-1-1

# 1. 研究発表会における発表

## 1-1 砂防学会研究発表会

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.5	プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践	国立和歌山工業高等専門学校 谷口晃祥 片嶋将人 辻原治 和歌山県土砂災害啓発センター ○岐山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋
2	2024.5	小学校理科と土砂災害を組み合わせた総合的な学習の実践	和歌山県土砂災害啓発センター ○岐山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋
3	2024.5	災害伝承碑紹介動画の制作とその活用について	和歌山県土砂災害啓発センター 有田貴洋・中村豊・稲田健二・筒井和男・岐山雄亮 那智勝浦町 佐藤純子
4	2024.5	土石流による地形変化の検証と侵食量に着目した土石流予測計算	和歌山県土砂災害啓発センター（現 防災科学研究所）筒井和男 京都大学防災研究所 齋藤隆志

## 1-2 治山研究発表会

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.9	ステレオカメラを活用した支障木調査の一考察	和歌山県土砂災害啓発センター ○中村豊・岐山雄亮・嶋田圭悟・稲田健二

## 1-3 近畿地方整備局研究発表会

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.9	和歌山工業高等専門学校と連携した土砂災害防災学習教材の開発	和歌山県土砂災害啓発センター 岐山 雄亮 和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課 有田 貴洋
2	2024.9	有田川水害における災害教訓伝承の取組みについて	和歌山県土砂災害啓発センター 中村 豊 和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課 有田 貴洋

## 1-4 土砂災害に関するシンポジウム

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.9	小学校の学習教科等に防災教育を取り入れた学習の実践	稲田 健二 岐山 雄亮 辻原 治 筒井 和男 有田 貴洋 坂口 隆紀

## 1-5 国土技術研究会

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.12	和歌山工業高等専門学校と連携した土砂災害防災学習教材の開発	和歌山県土砂災害啓発センター 岐山 雄亮・ 和歌山県東牟婁振興局農林水産振興部林務課 有田 貴洋

# プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践

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

## 1. はじめに

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

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

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

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

## 2. 教材の概要

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

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

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

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

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



図1 教材の概要

## 3. 実践授業

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

初めに、代表的な土砂災害及びその対策工について講義を行った。

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

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

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

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

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

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

#### 4. おわりに

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

そのため、今回は



写真1 授業の様子

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

という内容を授業やまとめに盛り込むことで、防災教育として成立させた。

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

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

# 小学校理科と土砂災害を組み合わせた総合的な学習の実践

和歌山県土砂災害啓発センター ○岐山雄亮 稲田健二 筒井和男 有田貴洋

## 1. はじめに

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

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

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

## 2. 学習実践に至る経緯

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

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

## 3. 学習内容

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

### 3.1 土砂災害一般

代表的な土砂災害3種類（土石流、がけ崩れ、

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

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

### 3.2 流れる水のはたらき（理科：小5）

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

### 3.3 大地のつくりと変化（理科：小6）

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

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

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

### 3.4 紀伊半島大水害

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

水となり甚大な被害をもたらした。

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

#### 4. 授業の構成

授業は2日に分けた2部構成で行った。

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

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

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



写真1 授業の様子

#### 5. 学習発表会

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

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

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



写真2 学習発表会で児童が発表

#### 6. おわりに

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

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

# 災害伝承碑紹介動画の制作とその活用について

和歌山県土砂災害啓発センター  
那智勝浦町

有田貴洋・中村豊・稲田健二・筒井和男・岐山雄亮  
佐藤純子

## 1. はじめに

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

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



写真-1 各地に残る災害伝承碑

## 2. 位置図の制作

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

## 3. 動画の制作

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

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

## 4. 制作した災害伝承碑位置図・動画

### 4.1 位置図

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

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



図-1 現地調査箇所と制作した位置

### 4.2 動画

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



写真-2 語り部の久保榮子さんと「きいちゃん」

## 5. 災害伝承碑を活用した防災教育・研修

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

表-1 事例一覧表

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

## 6. YouTube における広報活動

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



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

## 7. おわりに

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

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

### 参考文献

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

## 土石流による地形変化の検証と侵食量に着目した土石流予測計算

和歌山県 土砂災害啓発センター（現：防災科学技術研究所）

○筒井和男

京都大学防災研究所

齊藤隆志

## 1. はじめに

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

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

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

行った。

## 2. 土石流発生前後の地形変化

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

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

以上から、適切な侵食量の評価が土石流の流下

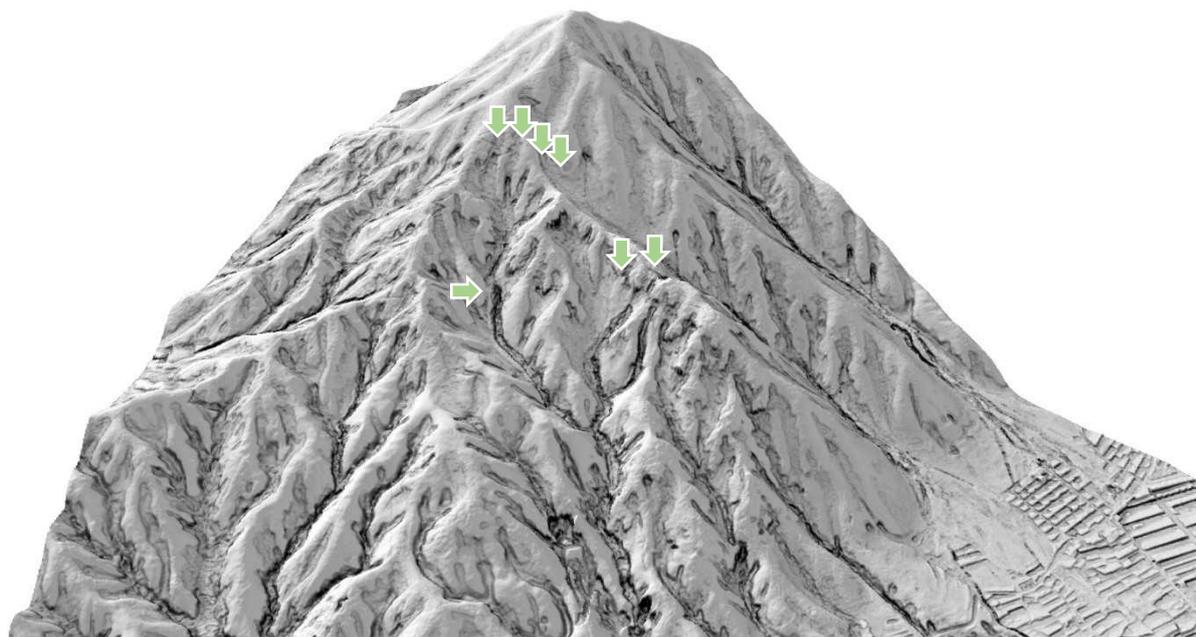


図-1 災害後の土砂災害予測基本図

予測において重要なことが示された。

### 3. 侵食量分布を変化させた土石流計算

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

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

### 4. 終わりに

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

謝辞

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

参考文献

1) Takebayashi, H. and Fujita, M.: Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model, Geosciences, Vol. 10, No. 2, pp. 45, 2020.

2) iRIC プロジェクト, <https://i-ric.org/ja/>, 2024年3月30日.

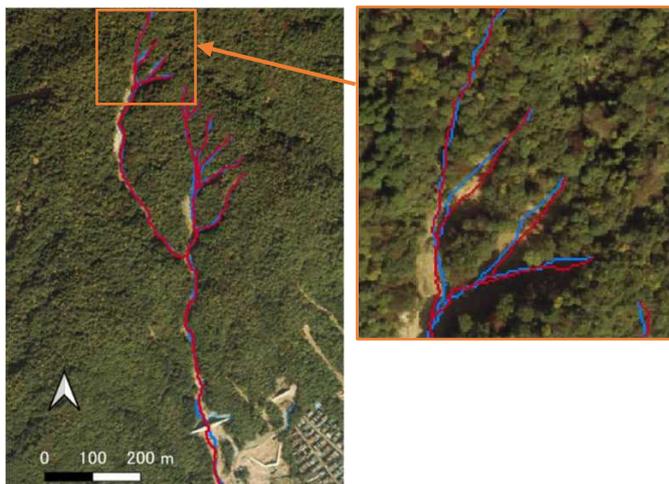


図-2 災害前後の落水線

青：災害前、赤：災害後

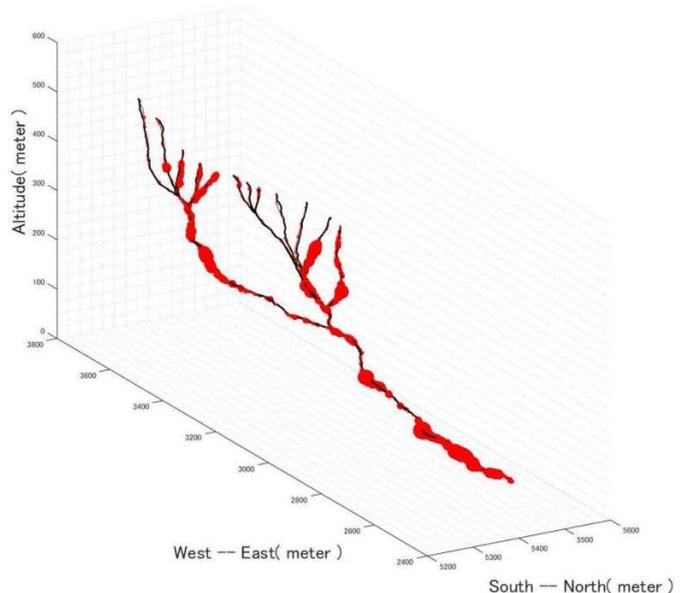


図-3 土石流発生後谷線での侵食量  
赤丸の大きさが侵食量を示す。

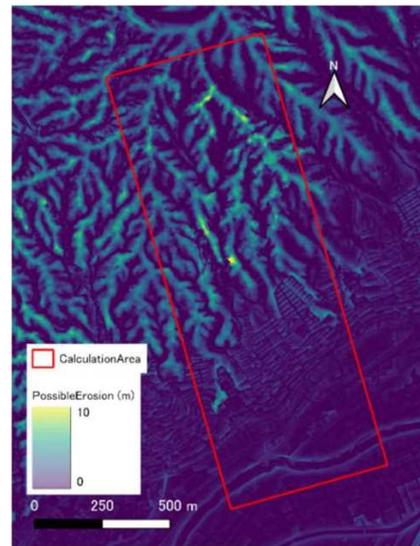


図-4 可能侵食量の空間分布  
赤枠は計算範囲を示す。

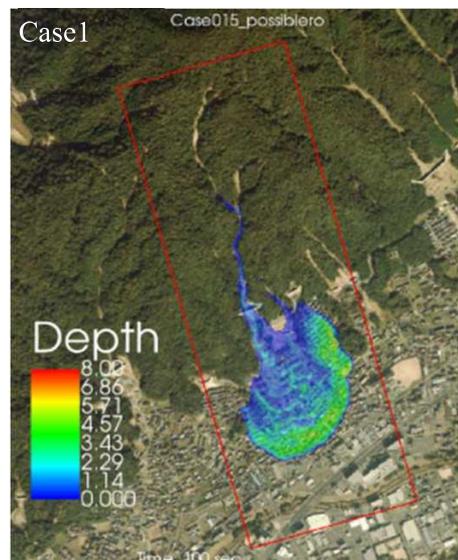


図-5 Case1 の流動深の空間分布（100秒後）

# ステレオカメラを活用した支障木調査の一考察

和歌山県土砂災害啓発センター

○中村豊・岐山雄亮・嶋田圭悟・稲田健二

## 1. はじめに

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

概算とはいえ、なるべく正確に把握した方が良く、効率的に行えるのが良い。

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

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

これにより、現場での作業が効率化される。

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

## 2. 検討内容

### 2-1 カメラで直径を測ることの検討

カメラは、3次元情報を2次元（フィルム等）へ投影したものである。

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

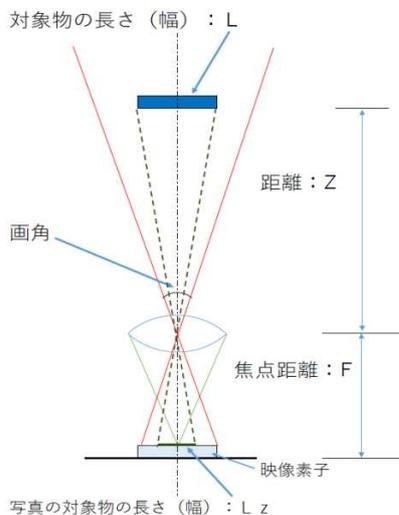


図-1：対象物の長さと写真データ

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

<使用カメラのデータについて>

まず始めに距離と対象物の長さを決めて写真を取り、推定に必要な条件を調べる。

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

焦点距離については、実際に対象物を撮影して次式により推定した。

$$F = Z * Lz / L$$

1回目：1033cm × 521ピクセル / 162cm = 3322

2回目：342cm × 1543ピクセル / 162cm = 3257

平均 F = 3289ピクセル (整数止め)

※ L : 30cm

Z : 1033cmと342cmの2回撮影

写真からLzを計測

<直径の推定について>

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

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

※ 次節のステレオカメラの条件から

$$\text{視差} D = F * B \div Z$$

### 2-2 簡易ステレオカメラの作成と検証

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

<ステレオカメラの条件式と実験結果>

ステレオカメラでは、次式が成立するので、視差により距離が分かる。

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

Z : カメラからの距離 B : カメラ間距離

F : 焦点距離 D : 視差

<簡易ステレオカメラの検証>

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

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

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

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

### 2-3 現地調査での活用実験

標準地は100 m<sup>2</sup>とし、円と四角で設定し実験した。

標準地の設定から現地調査に要した時間等を以下にまとめた。

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

### ※ 使用機材等

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

- ・樹木テープ、トラバーピン 10本

### 3. 検討・結果

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

#### 実験結果

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

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

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

### 4. 考察

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

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

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

# 和歌山工業高等専門学校と連携した 土砂災害防災学習教材の開発

嵯山 雄亮<sup>1</sup>・有田 貴洋<sup>2</sup>

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

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

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

キーワード 土砂災害，防災学習，すごろく，プログラミング，バーチャル現場

## 1. はじめに

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

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

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

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

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

## 2. 防災すごろく～土砂災害編～の開発

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

そのため、誰もが遊んだことのある「すごろく」の形式で土砂災害の知識を学べる教材として「防災すごろく～土砂災害編～（以下：防災すごろく）」を開発した。

### (1) 教材の概要

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

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

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

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

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

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

また、特定のアイテム（水や携帯電話など）を持っていない場合、避難所エリアにたどり着いた際にトラブル

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

図-1 防災すごろくの盤面

に見舞われ「6マス戻る」などの結果になる。アイテムの重要性を到着順位にも反映するための処置である。

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

## (2) ふれあい土木展における実践

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

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

遊んでいただいた後アンケートを実施し、15の回答を得た。いただいた回答の中で、「楽しかった」「避難中に起こりそうな場面が想定されていて良かった」「単純に進めるだけでなく、ゲットしたアイテムを失ったり特定のアイテムがないと戻されるという要素がいいと思った」など、おおむね好意的な感想をいただいた。一方、「持っていないでもゲームに影響のないアイテムが複数あったのが少し気になった」「クイズに正解/不正解したときの演出がわかりにくい」「もう少し長いバージョン

があってもよい」など改善点も書いていただいたので、それを反映し改良ができれば、当センターの展示や出前授業等に活用していこうと考えている。



写真-1 ふれあい土木展の様子

## 3. プログラミング学習を取り入れた土砂災害防災学習の実践

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

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

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

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

### (1) 教材の概要

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

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

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

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

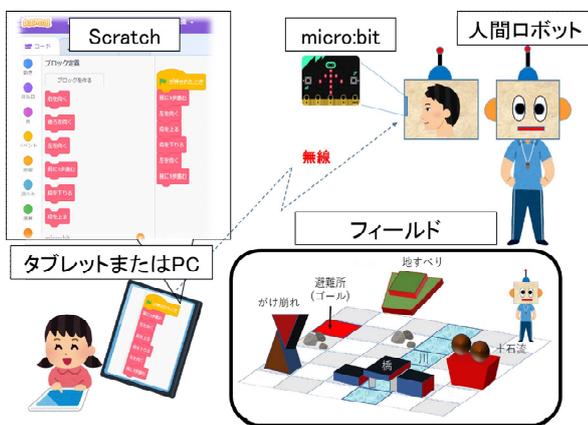


図-2 教材の概要

### (2) 小学校における実践授業

実践授業には、那智勝浦町立市野々小学校5、6年生にご協力いただいた。

最初に代表的な土砂災害及びその対策工について講義を行った。

次に、教材の説明や各個人でのプログラミング練習を行った。

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

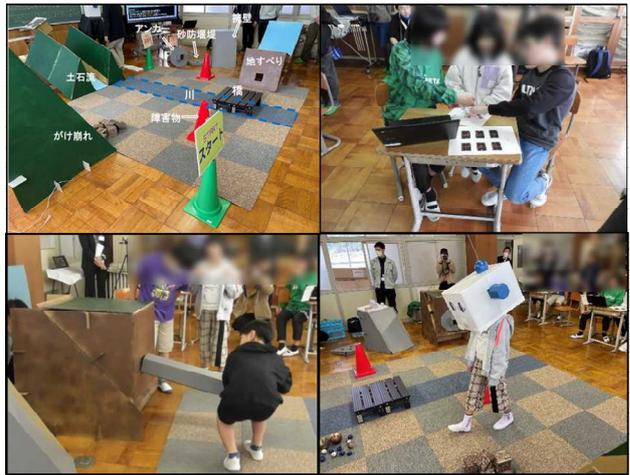


写真-2 授業の様子

特に授業で工夫した点は下記の通りである。

- ・班ごとに土砂災害の位置・対策工の有無を変更した。これに伴い避難ルートが変わり、フィールドのバリエーションをつくることができる。
- ・土砂災害に児童自らが対策工を実施することで、課題のとなるフィールドが完成するようにした。これにより土砂災害に対応する対策工が何だったか(最初の講義の内容)を復習する効果を狙った。
- ・災害時にパニックにならず行動するには、前もって、順序立てて考えておくことが大切であることを強調した。ゴールするためには20個程度のプログラミングブロックが必要となるが、これを順序立てて組み合わせるには時間がかかる。実際の避難行動はより複雑な選択肢から自分の行動を選ぶ必要があり、その分パニックを起こしやすい。そのため、事前に「どのような行動パターン(プログラミングブロック)があるか」、そして「どのような組み合わせ方(プログラミング方法)があるか」を考えておくことが大切になる。

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

- ①ハザードマップを見て自宅、避難所、ハザードの位置を確認する。また、対策工の有無を確認しておく。
- ②避難ルートを検討する。
- ③避難ルートの安全性を検証する。もし安全であればそ

のルートで避難する。安全でなければ再度ルート検討を行う。

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

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

#### 4. フリーウェアによる土砂災害応急対応バーチャル現場の作成

令和5年度には、防災学習教材開発以外でも共同で研究を実施した。

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

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

##### (1) 3次元バーチャル現場作成の流れ

3次元バーチャル現場作成の流れを下記①～④に示す。基本的な流れは土木研究所地すべりチーム作成の「地すべり災害対応のBIM/CIMモデルに関する技術資料」<sup>5)</sup>を参考にしている。

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

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

##### (2) 災害現場での実践

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



写真-3 災害現場

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

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

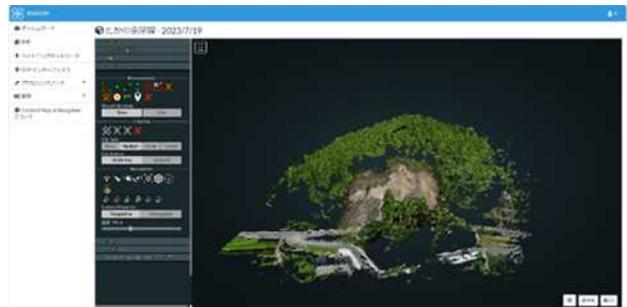


図-3 3次元バーチャル現場

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

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

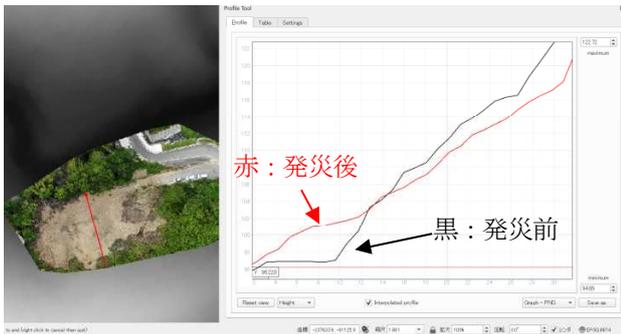


図-4 発災前後の断面比較

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



図-5 発災前後の標高差分(土砂の差分)

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

発災時には現場状況をいかに迅速に把握できるかが求められる。災害報告第一報として必要な情報（例えば、崩壊延長・高さ・面積・崩壊土砂量の概算）は、自らの手持ちの機材とこの程度の手順で得ることができると認

識できることが、自治体等の災害復旧活動の助けになると考えている。

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

## 5. おわりに

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

### 参考文献

- 1) 岸畑明宏, 坂口隆紀, 筒井和男, 宮崎徳生, 西萩一喜, 辻原治, 木下篤彦: 土砂災害ロールプレイングゲーム「土砂災害が発生したとき」の開発とゲームを用いた防災教育の検証, 第70回令和3年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 169~170, 2021.
- 2) 西萩一喜, 辻原治, 坂口隆紀, 岸畑明宏, 筒井和男, 宮崎徳生, 木下篤彦: 土砂災害啓発のためのRPGコンテンツの開発と評価, 砂防学会誌, Vo. 74, No. 4, pp. 48-53, 2021.
- 3) 辻原治, 田中勇摩, 山添成毅, 稲田健二, 筒井和男, 岸畑明宏, 有田貴洋: 学官連携によるAR砂場の構築と土砂災害啓発教育の取り組み, 土木学会第78回年次学術講演会公演概要集, pp. CS1-06\_1- CS1-06\_2, 2023.
- 4) 株式会社村田製作所: 体験型プログラミング教育「助け!!せんせいロボット」紹介映像, <https://video.urata.com/ja-jp/detail/video/6025379553001>, 2024. 7.9 閲覧.
- 5) 国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム: 地すべり災害対応の BIM/CIM モデルに関する技術資料 (土木研究所資料 第 4412 号), 2021.

# 有田川水害における災害教訓伝承の 取組みについて

中村 豊<sup>1</sup>・有田 貴洋<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

キーワード 災害伝承、有田川水害、YouTube

## 1. はじめに

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

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

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



図-1 有田川流域



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

## 2. 現地調査

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

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

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



写真-2 砂や雑草で隠れた災害伝承碑

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

表-1 有田川流域の市町の調査結果

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

表-2 文献に記載があるが発見できなかった伝承碑  
出典: 7.18 水害保田復興記念誌<sup>3)</sup>

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

## 3. 地元に伝承した事例

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

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

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

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



写真-3 防災研修の様子

## 4. 動画と位置図の公開

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

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

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



写真-4 公開した動画のYouTubeサムネイルと二次元コード(左:YouTube 右:国土地理院HP)

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



写真-5 制作した位置図と二次元コード

## 5. 伝承における課題と考察

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

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

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



写真-6 風化が進行した災害伝承碑

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

#### 参考文献

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

# 小学校の学習教科等に防災教育を 取り入れた学習の実践

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

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

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

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

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

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

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

\*現 国立研究開発法人防災科学技術研究所

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

### 1. はじめに

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

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

文部科学省の全国で防災教育を積極的に実践している学校を対象としたアンケート調査では防災教育の実施は、学校行事や学級活動が 8 割近くを占め、

教科における実施も 1 割程度見られるが、そのほとんどが総合的な学習の時間であり、防災教育に積極的な学校であっても、各教科の中ではほとんど実施されていない実情が示されている<sup>2)</sup>。また、新たに教科化された外国語が加わったことや学校教育に求められる課題は多岐に渡ることなどから、小学校では、学校行事や学級活動、総合的な学習の時間において、多くの時間を防災教育に割くことは難しいと考えられる。

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

このような現状を鑑み、学校の負担が増えないよう、また防災について必要な能力を育てるため、理科や国語など既存の教科等に溶け込ませて扱えるよ

うな防災学習や教材開発に取り組んだので、その事例を紹介する。

## 2. 和歌山県土砂災害啓発センターによる防災教育

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

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

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

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

表-1 防災学習の実施校数と学習回数

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

## 3. 取組事例① 小学校理科と土砂災害防災学習の組み合わせ

### (1) 取組のねらい

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

### (2) 授業内容

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

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

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



写真-1 流れる水の働きについての実験



写真-3 地層や地質の観察



写真-2 風化後の岩石の脆さを体感する実験

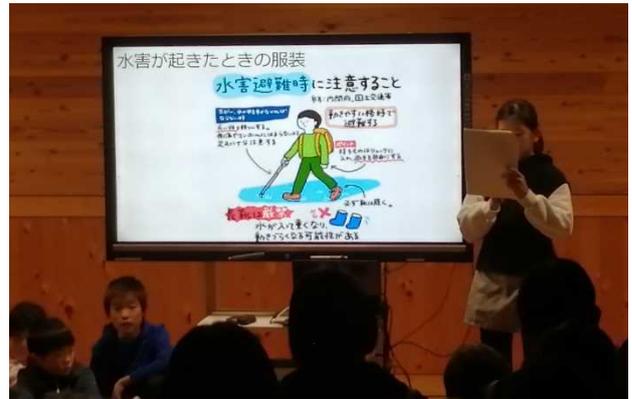


写真-4 学習発表会の様子

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

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

### (3) 学習の更なる展開

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

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

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

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

##### (1) 取組のねらい

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

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

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

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

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

##### (2) 教材の概要

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

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

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

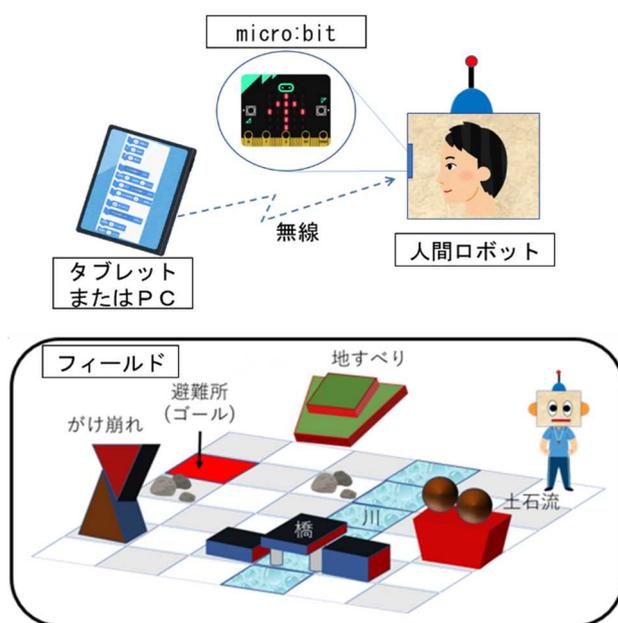


図-1 概要図

ズムの思考を意識させることに重点を置いた。

### (3) 授業の内容

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

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

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

(写真-6)させるようにした。最後に授業の振り返りを行った。



写真-5 プログラムを相談する児童



写真-6 ロボット役をつとめる児童

### (4) 効果の検証

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

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

## 5. 防災学習を溶け込ませて行うためには

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

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

## 6. おわりに

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

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

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

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

#### 参考文献

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

(2024. 5. 31 受付)

## 2. 学会誌等への掲載論文

## 2-1 地域安全学会

番号	年月	題名	著者・共著者
1	2024.11	中山間地域の小学校での土砂災害防災リテラシー向上のためのAR技術を活用した防災教育の取り組み	和歌山県土砂災害啓発センター 筒井 和男 有田 貴洋 岸畑 明宏 岐山 雄亮 稲田 健二 和歌山工業高等専門学校 辻原 治 田中 勇摩 山添 成毅

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

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

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

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

- <sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 国立研究開発法人防災科学技術研究所）  
Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government
- <sup>2</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科  
Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College
- <sup>3</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科（現在 紀の川市役所）  
Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College
- <sup>4</sup>和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科（現在 海南市役所）  
Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Wakayama College
- <sup>5</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 和歌山県東牟婁振興局）  
Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government
- <sup>6</sup>和歌山県土砂災害啓発センター（現在 和歌山県県土整備部）  
Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government
- <sup>7</sup>和歌山県土砂災害啓発センター  
Wakayama Sabo Research and Education Institute, Wakayama Prefectural Government

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

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

## 1. はじめに

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

ライン（案）<sup>2)</sup>」を作成している。

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

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

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

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

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

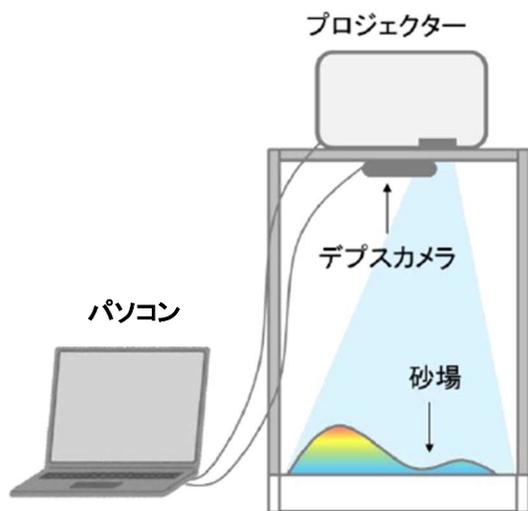


図1 防災学習砂場 (AR 砂場システム) 装置構成

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

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

①AR(拡張現実)技術を用いた防災学習砂場 (AR砂場システム)

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

## 2. 防災学習砂場 (AR砂場システム) の概要

### (1) 開発の経緯

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

### (2) 装置の構成

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

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

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

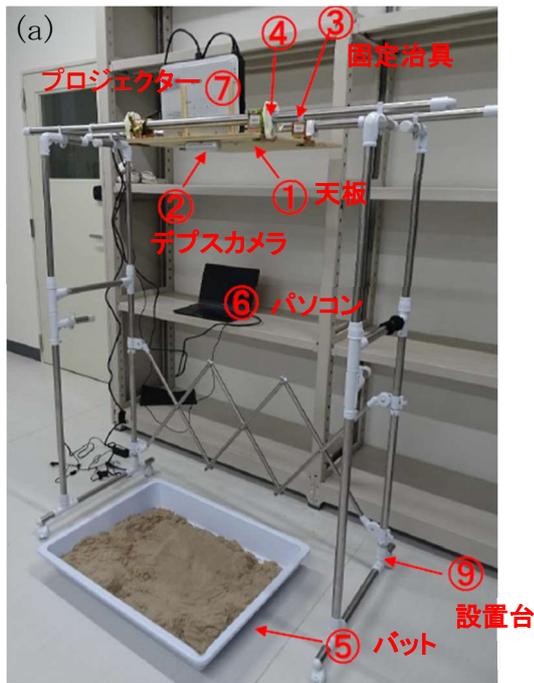


図2 防災学習砂場とデプスカメラの外観  
(a)防災学習砂場の外観  
(b)デプスカメラ

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

### (3) 装置の構成

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

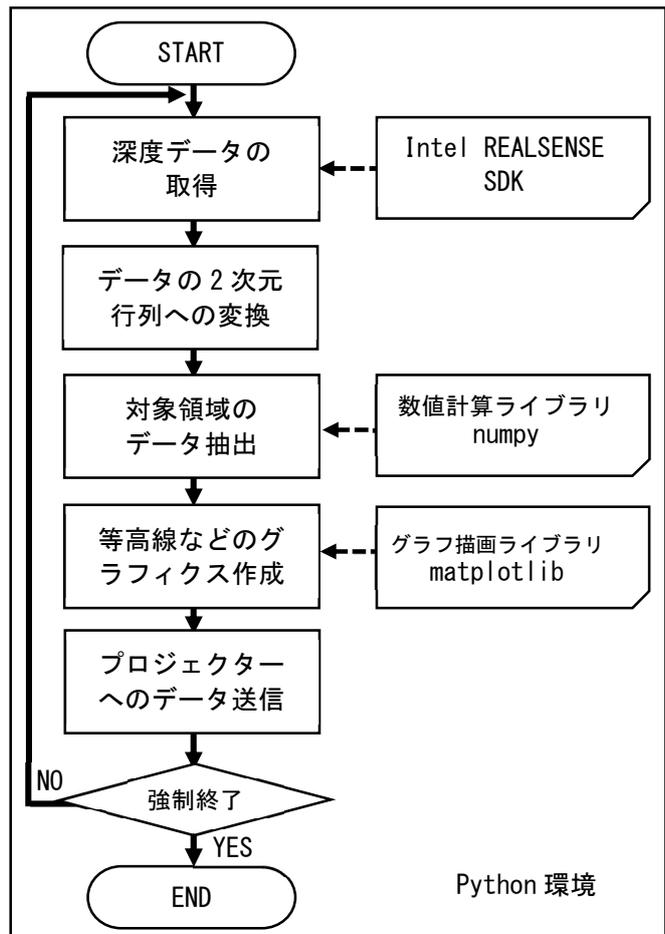


図3 プログラムのフローと利用したライブラリ等

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

### (4) 機能

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

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

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

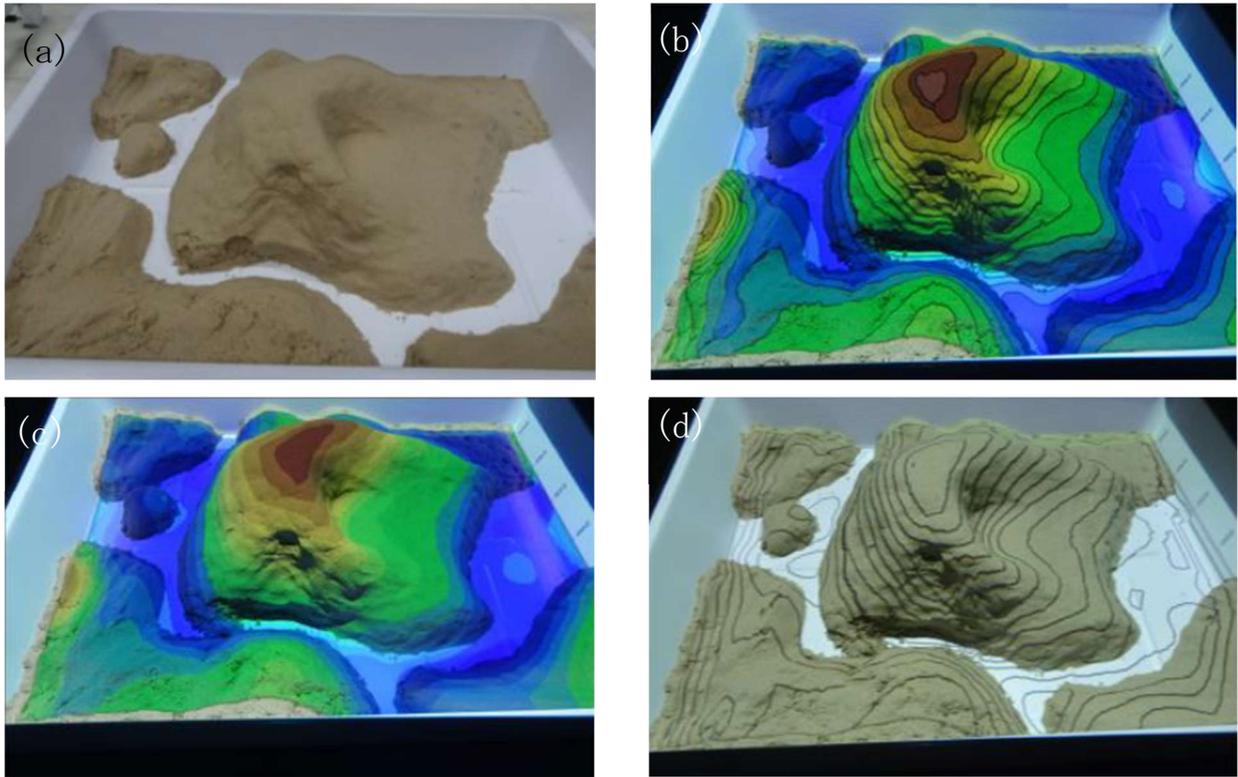


図4 防災学習砂場の等高線投影の様子  
 (a) 砂で作った地形 (b) 等高線とグラデーション (c) グラデーションのみ (d) 等高線のみ  
 なお、等高線は2秒間隔で更新され、深度測定精度から常に同じ等高線は得られない。

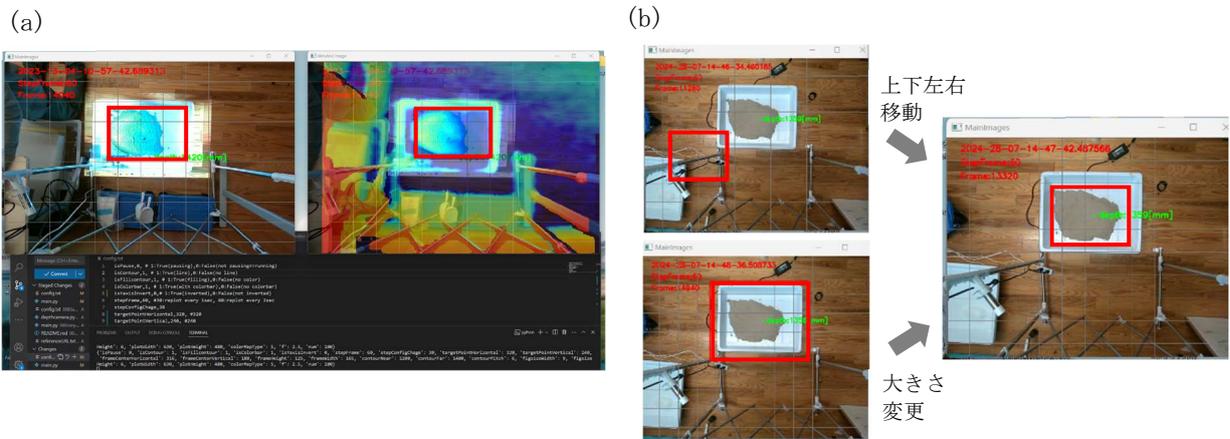


図5 防災学習砂場の操作画面  
 (a) 操作画面例 (b) 設定ファイルの操作による調整の様子  
 赤枠がグラフの描画範囲を表し、設定ファイルの更新で上下左右移動、大きさ変更ができ、砂場の位置に合わせることができる。

### 3. 地形模型プロジェクションマッピング教材の概要

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

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

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

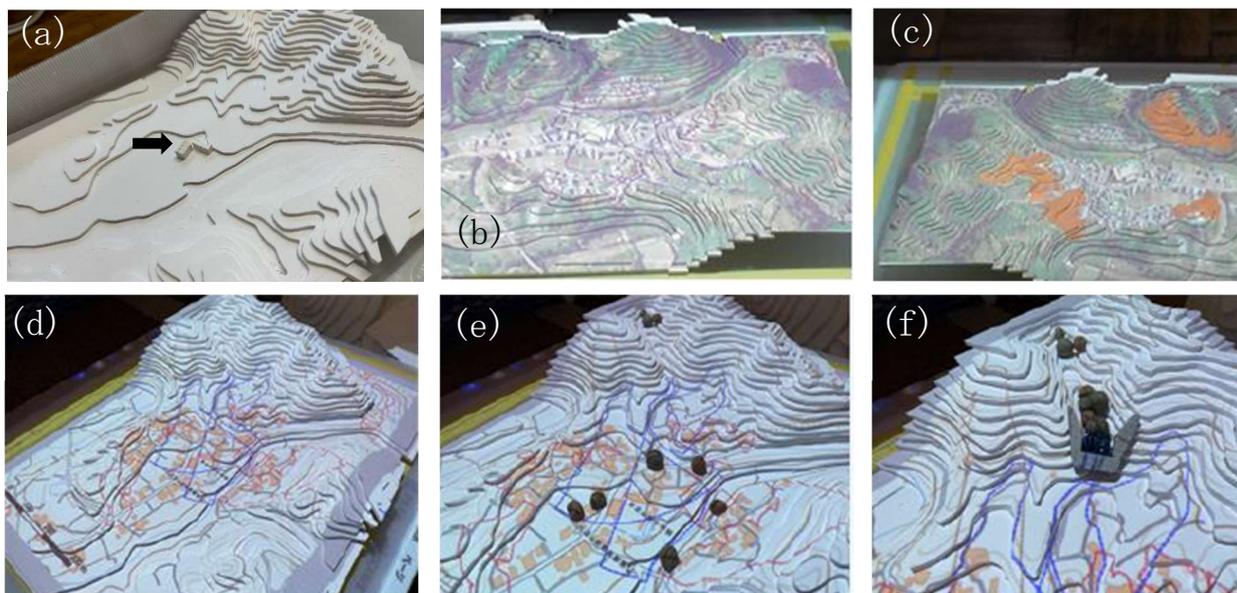


図6 立体地形模型へのプロジェクションマッピングの様子  
 (a) 山野小学校付近の立体地形模型（図中矢印はランドマークとしての小学校校舎）  
 (b) 衛星画像の投影 (c) 斜面利用状況（ミカン畑）の投影  
 (d) 土砂災害警戒区域の投影 (e) 土石流の簡易実験 (f) 砂防堰堤模型を用いた簡易実験

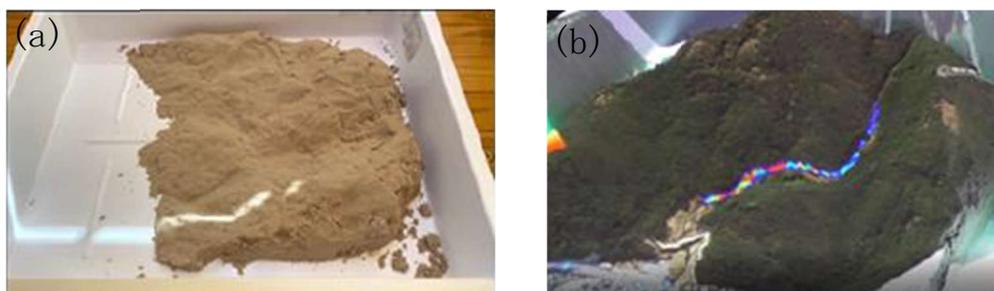


図7 砂で作った地形模型へのプロジェクションマッピングの様子  
 (a) 土砂災害啓発センター付近の土石流溪流の地形模型  
 (b) iRIC で計算した土石流流下動画と衛星画像の投影

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

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

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

#### 4. 学習の実践と効果

##### (1) 授業の構成と実施概要

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

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

授業の構成は、

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

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

山野小学校での授業の様子を図8に示す。授業では、

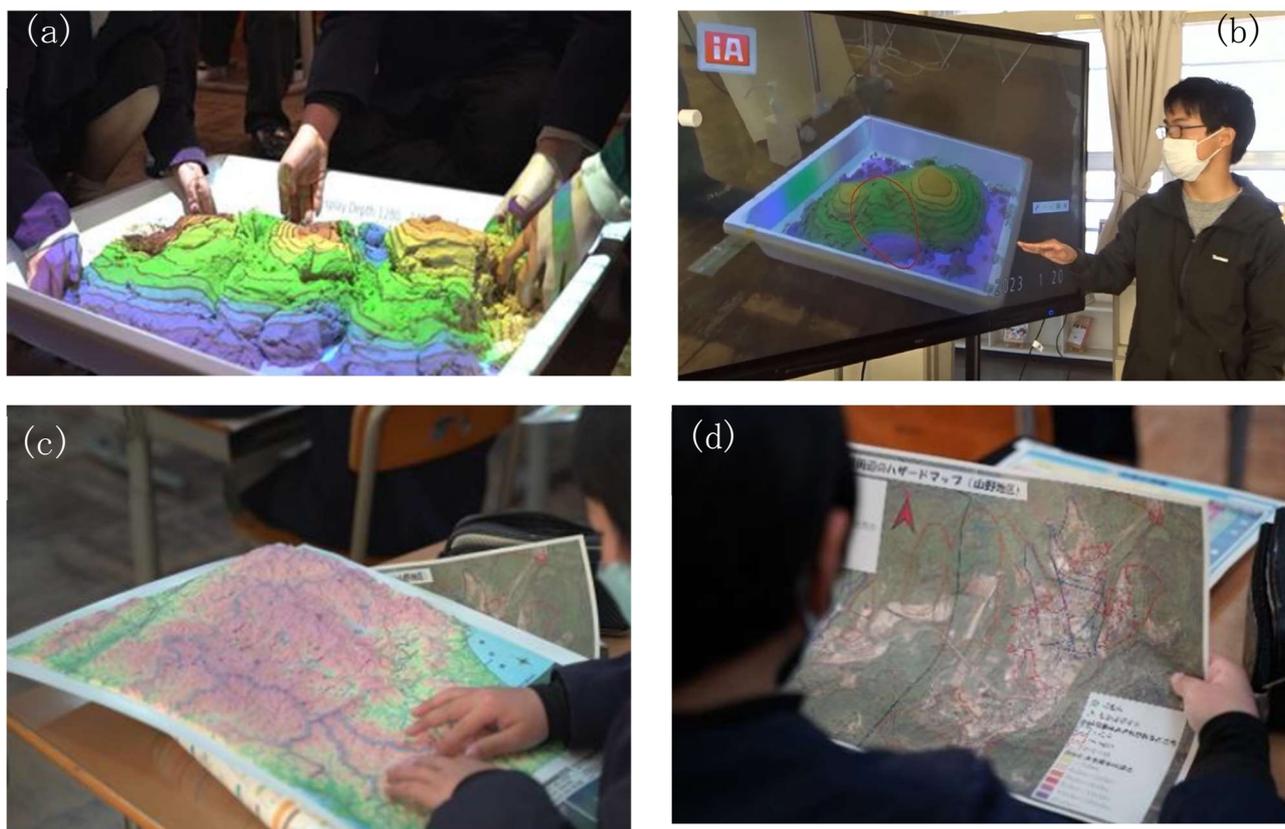


図8 日高川町立山野小学校での授業の様子  
 (a) 防災学習砂場を体験する児童 (b) 電子黒板を用いた説明 (c) 立体地図を観察する様子  
 (d) ハザードマップを観察する様子

表1 児童アンケート調査結果

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

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

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

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

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



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

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

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

## (2) アンケート調査結果と考察

児童・教員を対象に、学習終了後に効果評価のためアンケート調査を実施した。

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

ケート結果を表1に示す。

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

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

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

表2 教員アンケート調査の質問内容と回答

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

※重複する回答や表現を一部簡略化

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

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

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

## 5. まとめ

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

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

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

いきたい。

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

## 謝辞

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

## 参考文献

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

(原稿受付 2024.5.11)

(登載決定 2024.8.31)