

自然災害研究協議会
中国地区部会

研究論文集

第12号

2026年2月

自然災害研究協議会
中国地区部会

共催：山口大学地域レジリエンス研究センター

自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集 第12号

目次

将来気候における樫野川流域の氾濫リスク評価……………	1
松澤匠記・大中臨・福丸大智・赤松良久	
2025年8月豪雨により熊本県で発生した浸水被害の特徴	
第1報 熊本市の井芹川流域を事例として……………	5
山本晴彦	
2025年8月豪雨により熊本県で発生した浸水被害の特徴	
第2報 上天草市・天草市を事例として……………	9
山本晴彦	
d4PDFを用いた九州地方における将来の豪雨気象場の分類予測……………	13
弘中勇駿・朝位孝二・西山浩司	
地球温暖化に伴う総観スケール力学場の変化と停滞前線豪雨に及ぼす影響に関する数値解析……………	17
富田勇斗・田中健路	
気象衛星ひまわりデータを用いた可降水量推定に関する研究……………	21
奥村竣・白水元・武田嵩生・朝位孝二	
ラマンライダー観測データを用いた機械学習による降水量予測モデルの開発……………	25
武田嵩生・白水元・奥村竣・朝位孝二	
CNN・RNN 統合モデル 衛星・地上ライダーデータ融合による流域平均雨量階級予測モデルの検討……………	29
原田朋弥・白水元	
湾曲水路における外側破堤と内側破堤の流出角度に関する実験的研究……………	33
大浦郁月・木原凜・朝位孝二	
東広島市西条町の地質特性と土石流堆積物の年代……………	37
松木宏彰・鈴木素之・軸屋雄太・小林姫奈	
崩壊地における土壌と堆積物の年代比較ー岩国市における事例ー……………	41
宮本新平・太田岳洋・辻智大・竹田拓己・黒木貴一・森川寛之	

高解像度地形データを用いた土石流シミュレーションの高度化と可視化に関する研究……………	45
田原菜月・大中臨・赤松良久	
直接打設型地下水流向流速計を用いた地盤内における管路損傷発見手法に関する研究……………	49
河野篤樹・山本浩一	
地震による水インフラ被害に起因する道路閉塞リスクに基づく避難経路探索アプリ……………	53
山本浩一・山本裕子・楳原京子・森啓年・吉本憲正・鈴木素之	
真締川河口部の陸閘の利用状況と統廃合に関するアンケート調査……………	57
内布圭人・朝位孝二・上原高寛・吉永祐二	
在宅難病患者の災害への備えと災害共助公助ネットワーク参加の現状……………	61
三宅野々香・牛尾裕子・永濱裕菜・藤原未歩・松本夢朋・本田由起恵・野村洋子・柳井千代	
教科単元「防災とまちづくり」の受講者にみる文系・理系の学生間の「防災対応」のとらえ方の 差異 2……………	65
目山直樹・井上浩	
使用済み核燃料中間貯蔵の災害リスクを考えるー山口県上関町の計画案についてー……………	69
村上ひとみ	

Chugoku Regional Division Research of Natural Disaster Research Council

No. 12 Contents

Assessment of Inundation Risk in the Fushino River Basin under Future Climate Scenarios	1
<i>Shoki MATSUZAWA, Nozomu ONAKA, Daichi FUKUMARU, Yoshihisa AKAMATSU</i>	
Characteristics of Flood Damage Caused by Heavy Rainfall in Kumamoto Prefecture in August 2025	
1. Case Study of the Iseri River Basin in Kumamoto City	5
<i>Haruhiko YAMAMOTO</i>	
Characteristics of Flood Damage Caused by Heavy Rainfall in Kumamoto Prefecture in August 2025	
2. Case Studies of Kamiamakusa City and Amakusa City	9
<i>Haruhiko YAMAMOTO</i>	
Classification Prediction of Future Heavy Rainfall Meteorological Fields in the Kyushu Region Using d4PDF	13
<i>Yuma HIRONAKA, Koji ASAI, Koji NISHIYAMA</i>	
Numerical Analysis of the Impact of Synoptic-Scale Dynamical Changes Associated with Global Warming on Heavy Rainfall along Stationary Fronts	17
<i>Hayato TOMITA, Kenji TANAKA</i>	
Study on Precipitable Water Estimation using Himawari Satellite Data	21
<i>Shun OKUMURA, Hajime SHIROZU, Shuma TAKEDA, Koji ASAI</i>	
Development of a Machine Learning-Based Precipitation Prediction Model Using Raman Lidar Observation Data	25
<i>Shuma TAKEDA, Hajime SIROZU, Shun OKUMURA, Koji ASAI</i>	
Assessment of a CNN-RNN Hybrid Model for Basin-Averaged Rainfall Classification Using Integrated Satellite and Lidar Observations	29
<i>Tomoya HARADA, Hajime SHIROZU</i>	
Experimental Study on Lateral Outflow Angles of Outer Side and Inner Side Breaches in Curved Channels ...	33
<i>Itsuki OURA, Rin KIHARA, Koji ASAI</i>	
Geological Characteristics and Age of Debris Flow Deposits in Saijo-cho, Higashihiroshima City	37
<i>Hiroaki MATSUGI, Motoyuki SUZUKI, Yuta JIKUYA, Hina KOBAYASHI</i>	

Comparison of Soil and Sediment Ages in Landslide Areas: A Case Study in Iwakuni City.....	41
<i>Shimpei MIYAMOTO, Takehiro OHTA, Tomohiro TSUJI, Takumi TAKETA, Takahito KUROKI, Hiroyuki MORIKAWA</i>	
Advanced Debris Flow Simulation and Visualization Using High-Resolution Topographic Data	45
<i>Natsuki TAHARA, Nozomu ONAKA, Yoshihisa AKAMATSU</i>	
Detection Method for Underground Pipeline Damage Utilizing a Direct-Installation Groundwater Current Meter	49
<i>Atsuki KONO, Koichi YAMAMOTO</i>	
Evacuation Route Search Application Based on the Risk of Road Obstructions Caused by Earthquake-Induced Water Infrastructure Damage.....	53
<i>Koichi YAMAMOTO, Yuko YAMAMOTO, Kyoko KAGOHARA, Hirotoshi MORI, Norimasa YOSHIMOTO, Motoyuki SUZUKI</i>	
Questionnaire Survey on the Usage and Reorganization of Land Flood Gate in the Estuary Area of Majime River.....	57
<i>Keito UCHINUNO, Koji ASAI, Takahiro UEHARA, Yuuji YOSHINAGA</i>	
Disaster Preparedness and Participation in Disaster Mutual Aid and Public Assistance Networks for Homebound Patients with Intractable Diseases	61
<i>Nonoka MIYAKE, Yuko USHIO, Hirona NAGAHAMA, Miho FUJIHARA, Yumeho MATSUMOTO, Yukie HONDA, Yoko NOMURA, Chiyo YANAI</i>	
Differences in the Perception of "Disaster Prevention Response" between Liberal Arts and Science Students, as Seen by Students Taking the Subject Unit Disaster Prevention and Urban Development	65
<i>Naoki MEYAMA, Hiroshi INOUE</i>	
Considering the Disaster Risks of Interim Storage of Spent Nuclear Fuel - Regarding the Plan of Kaminoseki Town, Yamaguchi Prefecture -	69
<i>Hitomi MURAKAMI</i>	

将来気候における榎野川流域の 氾濫リスク評価

松澤 匠記¹⁾・大中 臨²⁾・福丸 大智²⁾・赤松 良久²⁾

¹⁾山口大学工学部, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

近年, 平成 30 年 7 月豪雨, 令和 2 年 7 月豪雨などの気候変動に起因した豪雨災害が発生し全国各地で甚大な被害をもたらしている. 激甚化する災害に対し, 国土交通省は流域全体の持続可能な治水対策「流域治水」の転換を進めている. また, 一級水系だけでなく, 二級水系を対象とした流域治水計画も拡大しており, 本研究の対象河川である榎野川においても, 榎野川流域治水プロジェクトが計画されている. しかし, 二級水系の流域全体を対象として気候変動下の氾濫リスクを評価した事例は少なく, 都市域を流れる中小河川においても氾濫による被害の増大が見込まれるため, 将来気候を用いた氾濫シミュレーションに基づく氾濫リスク評価は重要である.

本研究では, 山口市の市街地を流れる山口県二級水系榎野川を対象に降雨流出氾濫(RRI)モデルに地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF:database for Policy Decision making for Future climate change)の 2°C, 4°C気温上昇将来気候シナリオ下(以下, d4PDF と称す)における雨量データを用いて, 気候変動下における榎野川流域の氾濫リスクを評価した.

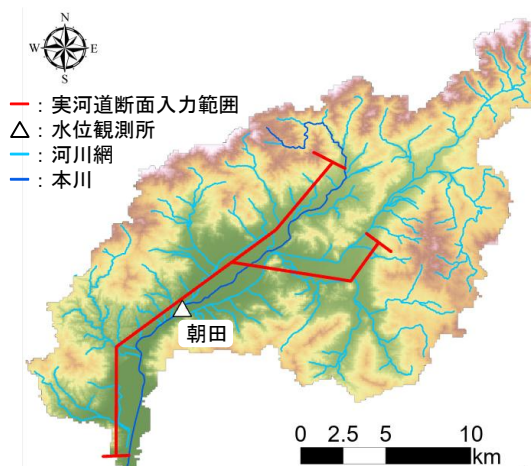


図 1 榎野川の流域図と水位観測所

2. 方法

2.1 モデルの精度評価

対象河川は, 山口県二級河川の榎野川流域とした(図 1). 榎野川はその源を山口市龍門岳(標高 688.4m) にとし, 仁保川や一の坂川等の支川を合わせた後, 瀬戸内海に注ぐ, 流域面積 322.4 km², 幹川流路延長 30.3 km の二級河川である. 氾濫解析には, 降雨流出現象から氾濫に至るまでを流域一体的に解析可能な RRI モデルを用いた.

本研究では, 平成 30 年 7 月豪雨の期間(2018 年 6 月 28 日 1:00 から 7 月 9 日 0:00)における河川流量・水位の再現計算を実施した. モデルへの入力降雨は, 気象庁の解析雨量(解像度: 1 km)とした. 地形データ(標高, 流向, 流量流積データ)には山崎ら¹⁾の日本表面流向マップから取得可能な 30 m 解像度のデータを取得し, 50 m 解像度にアップスケーリングしたものを基に作成した. 河道断面は令和 5 年 11 月に山口県が実施した航空レーザー測深結果を用いて, 図 1 に示す範囲においては実河道断面を作成して入力した. レーザー測深結果が存在しない本川上流や支川については山田ら²⁾によって提

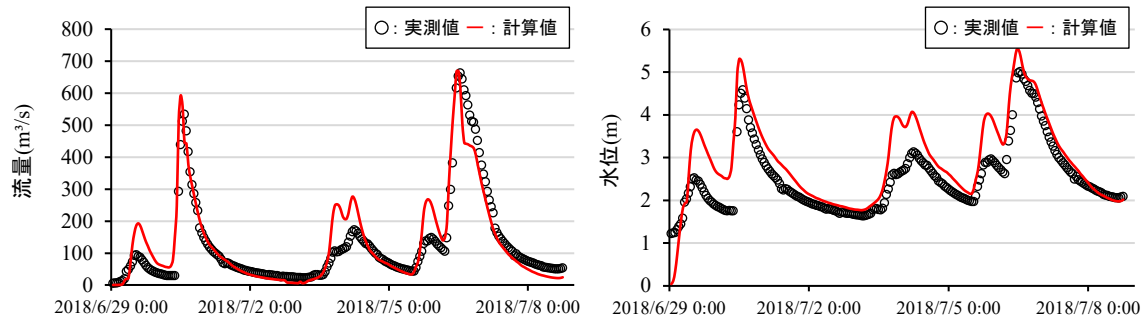


図2 平成30年7月豪雨における朝田水位観測所の流量、水位の比較

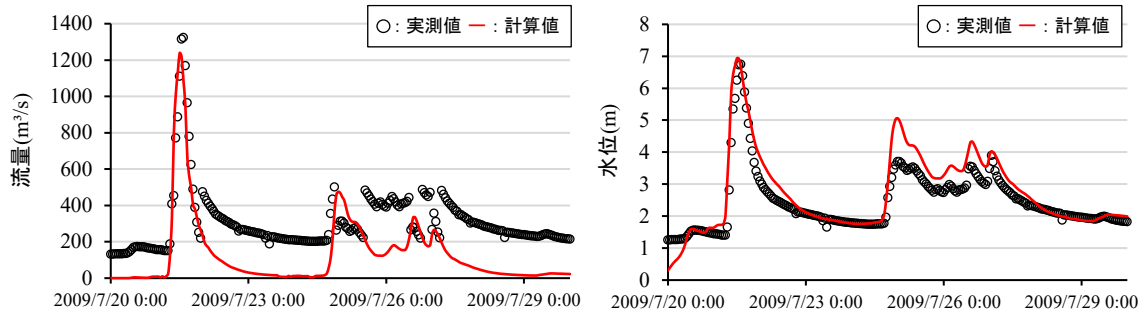


図3 平成21年7月豪雨における朝田水位観測所の流量、水位の比較

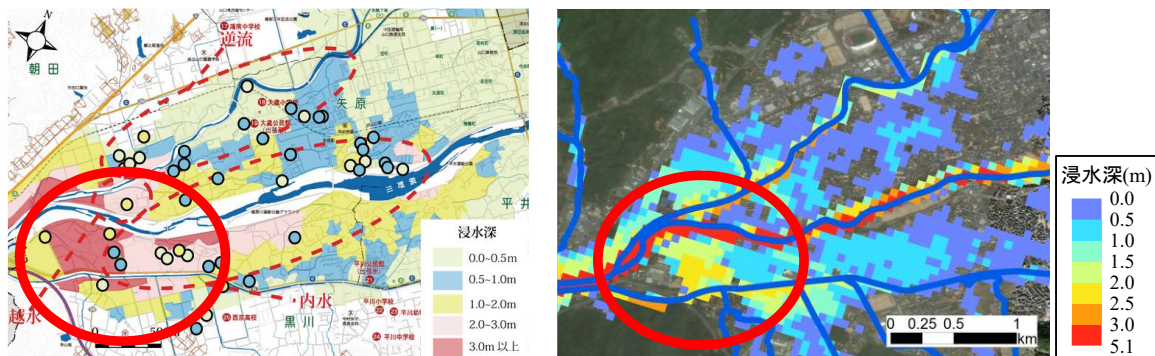


図4 平成21年7月豪雨の氾濫実績とRRIモデルにて算出した浸水深コンター

(左) 氾濫実績⁵⁾ (右) RRIモデルにて算出した浸水深コンター

案された手法を用いて矩形近似した断面形を入力した。各土地利用パラメータは青柳ら³⁾がキャリブレーションを実施した値を用いた。また、別の降雨イベントでの精度検証のため、対象域にて氾濫が実績のある平成21年7月豪雨の期間(2019年7月18日1:00から7月29日24:00)の解析雨量(解像度:1km)を入力することで、河川流量・水位の予測精度を検証した。

2.2 将来気候下における氾濫リスク評価

前節でキャリブレーションを実施したRRIモデルに、現況の降雨に対してd4PDFにより得られる2℃上昇、4℃上昇実験の将来雨量を入力することで、疑似温暖化実験を行った。疑似温暖化実験とは既存の豪雨イベントにおいて、地球温暖化が進行した仮定した場合に被害がどのように変化するのを見積もるものである。ここで、現況期間は平成21年7月豪雨の期間(2019年7月18日1:00から7月29日24:00)とした。この期間に対応する将来雨量を以下の手順で作成した。まず、榎野川周辺の5つの観測所における平成21年7月豪雨期間中の過去実験雨量と将来実験雨量(2℃上昇、4℃上昇実験)に対し、Watanabe *et al.*(2020)が開発したバイアス補正手法のDual-Window法⁴⁾を適用するとともに、各時刻の将来変化率を地点別に計算した。次に、各観測地点を母点としたティーセン分割を行い、各テ

イーセン領域内における将来変化倍率を求めた。最後に、上記の将来変化倍率を現況期間の解析降雨に掛け合わせることで、 2°C 、 4°C 上昇実験の雨量分布を作成した。将来実験は異なる6つの海表面水温(SST)パターン(CC, GF, HA, MI, MP, MR)のうち、既往研究⁵⁾を参考に最も雨量の増加量が多くなると考えられるGFパターンを採用した。

3. 結果と考察

3.1 モデルの再現性

図2に平成30年7月豪雨朝田観測所の流量・水位の実測値との比較を示す。ピーク流量に着目すると実測値の差は $-6.1\text{ m}^3/\text{s}$ (0.9%)、ピーク水位は -0.5 m (10.3%)であった。また、図3に平成21年7月豪雨でのピーク流量の実測値との差は $86.3\text{ m}^3/\text{s}$ (6.5%)、ピーク水位は 0.18 m (2.7%)であった。平成30年7月豪雨ではピーク流量を良好に予測しているが、雨量が多くなる平成21年7月豪雨では過小評価していた。平成21年7月豪雨時の氾濫実績⁶⁾と比較すると、流量の過小評価に伴い浸水深を過小評価したものの、浸水深が大きくなる領域を概ね良好に捉える結果となった(図4)。

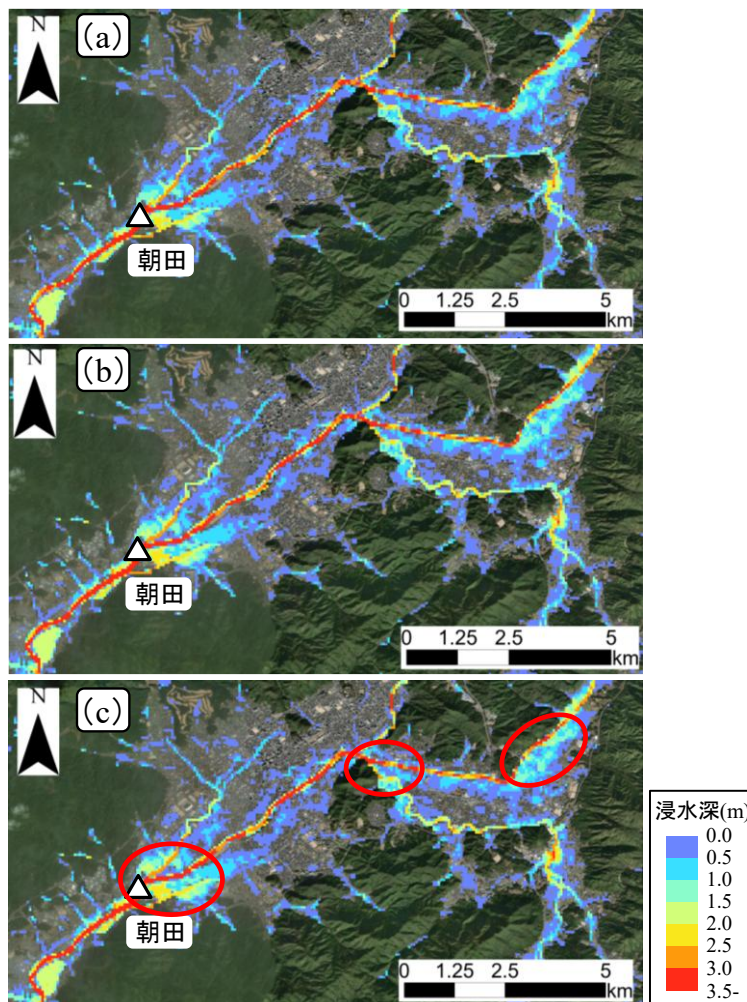


図5 各シナリオにおける浸水深コンター

(a) 現況降雨 (b) 2°C 上昇実験 (c) 4°C 上昇実験

3.2 将来気候下での解析結果

各シナリオにおける氾濫域と

浸水深コンターを図5に示す。現況降雨の結果を図5(a)、 2°C 上昇実験の結果を図5(b)、 4°C 上昇実験の結果を図5(c)に示している。現況降雨では、朝田水位観測所でのピーク時の流量が $1238\text{ m}^3/\text{s}$ 、最大水位が 6.9 m 、浸水面積は 27.1 km^2 であった。一方で、 4°C 上昇実験では、朝田水位観測所でのピーク流量 $1308\text{ m}^3/\text{s}$ 、最大水位 7.1 m 、浸水面積は 29.2 km^2 であった。 4°C 上昇実験では、現況降雨と比較してピーク流量が過去実験値から 5.6% ($70\text{ m}^3/\text{s}$)増加、最大水位が 2.2% (15 cm)増加し、浸水面積は 7.8% (2.1 km^2)増加した。特に、朝田観測所周辺、本川と仁保川の合流部、仁保川左岸側の盆地にて氾濫域が増大した。

4. おわりに

本研究では、山口市内の都市域を流れる山口県二級水系榎野川を対象にRRIモデルとd4PDFを用いて気候変動下における氾濫リスク評価を行った。実河道断面を入力したRRIモデルは規模の大きい

出水に対し、ピーク流量を過小評価する課題があるものの、氾濫域を良好に予測した。将来気候を用いた解析では、 2°C 、 4°C 上昇実験では、過去実験と比較して、ピーク流量、最大水位が増加することで、流域全体での氾濫域が7.8%増大しており、将来気候において本川と仁保川の合流部等で氾濫リスクが高くなることが示唆された。本研究では、将来気候を用いた解析ケースが限られているため、今後、解析ケースを増加させることで将来気候下において氾濫リスクが高くなる箇所をより精度よく特定することができると考えられる。また、流域スケールに加えてリーチスケール等のより詳細な検討を行い、氾濫リスクを評価することは、榎野川における流域治水を効果的に推進する上で重要である。

参考文献

- 1) 山崎大, 富樫冨佳, 竹島滉, 佐山敬洋: 日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp. I_163-I_168, 2018.
- 2) 山田真央, 富樫冨佳, 佐山敬洋: 分布型降雨流出氾濫モデルに適用する中小河川の河道断面推定法, 河川技術論文集, Vol26, pp.211-216, 2020.
- 3) 青柳拓篤, 大中臨, 福丸大智, 渡部哲史, 赤松良久: d4PDF を用いた将来降雨に基づく榎野川流域の氾濫予測, 自然災害協議会 中国地区部会, 研究論文集, 第 11 号 40-42, 2024.
- 4) Satoshi Watanabe, Masafumi Yamada, Shiori Abe, Misako Hatono; Bias correction of d4PDF using a moving window method and their uncertainty analysis in estimation and projection of design rainfall depth, Hydrological Research Letters, Vol.14, No.3, pp.117-122, 2020.
- 5) 新井峻太, 渡部哲史, 魏忠旺, 池内幸司: d4PDF 流出量に基づく日本域将来洪水リスク評価とその課題, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol75, No.2, I_1069-I_1074, 2019.
- 6) 平野洪賓, 三隅良平, 加藤敦, 若月強, 川田真也: 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨における山口市大蔵地区浸水災害の特徴, 防災科学技術研究所主要災害調査 第 44 号 2010 年 9 月

2025 年 8 月豪雨により熊本県で発生した 浸水被害の特徴

第 1 報 熊本市の井芹川流域を事例として

山本 晴彦

山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

2025 年 8 月 10 日の夜遅くから翌 11 日の午前中にかけて、前線が九州北部を南下し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、九州地方は大気の状態が非常に不安定となった。このため、熊本県の鹿北菊池地方から宇城八代・天草地方にかけて線状降水帯により非常に激しい雨や猛烈な雨が降り、2 日間の積算雨量は、八代市の宮原で 573mm、竜北で 506mm、美里町砥用で 541mm、上天草市の県松島で 505mm と、500mm を超える雨量を観測するなど記録的な大雨となった。ここでは、豪雨により甚大な浸水被害が発生した熊本市を流れる二級河川の坪井川水系の井芹川を対象に、豪雨の空間的・時間的特徴、過去の降水量との比較、降水・水位データや過去の地形的特徴などから見た浸水リスクの評価、現地での浸水痕跡の調査などに基づく被害状況などについて報告する。

2. 積算雨量の分布

熊本県内における雨量（降水量）の観測は、気象庁（熊本地方気象台）のアメダスが 26 地点（降水量のみが 8 地点）、熊本県の統合型防災情報システム（国土交通省を含む）が雨量 218 局、水位 125 局、潮位 21 局となっている。図 1 には両方で観測された 8 月 10 日～11 日の積算雨量を示しており、鹿北菊池地方の長洲町・玉名市、熊本市、宇城八代地方の美里町・氷川町・八代市、天草地方の上天草市・天草市などで、豪雨に見舞われていることがわかる。

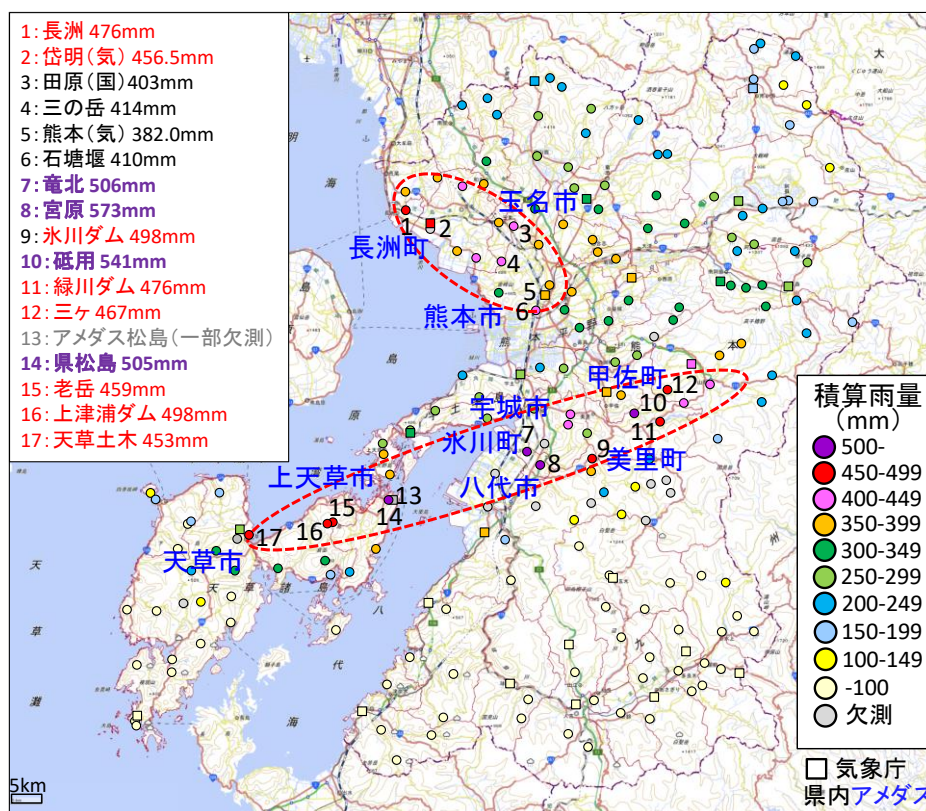


図 1 2025 年 8 月 10 日～11 日（2 日間）の積算雨量（mm）の分布図

図 1 2025 年 8 月 10 日～11 日（2 日間）の積算雨量（mm）の分布図

3. 降水量・水位・潮位の推移

熊本アメダスは熊本城北側の段丘上に立地（井芹川から東に約 1km）している。10 分間降水量の推移を示した図はここでは省略するが、10 日 22 時に 4.5mm を観測した後、10 分には 25.0mm の最大 10 分間降水量を観測しており、最大 1 時間降水量も 22 時 57 分に 97.0mm（1890 年の観測開始から第 2 位）を記録している。その後は徐々に雨量強度が弱まり、翌日 11 日の昼過ぎには終息している。なお、最大 3 時間（223.0mm）・6 時間（295.5mm）・12 時間（365.5mm）降水量は、いずれもアメダス観測開始（1976 年）からの記録を更新している。

10 日 22 時からの集中豪雨により、井芹川に架かる鶴野橋の水位は急上昇し、23 時過ぎには氾濫危険水位の 3.13m を超え、翌日の 1 時には最高値の 4.16m に達している。井芹川は下流で本流の坪井川に合流して有明海に注いでいる。有明海は干満差が大きく、熊本港では 22 時過ぎに満潮を観測した後、潮位が急激に低下している。しかし、河口から 5m 上流の天満橋の水位は干潮時にも関わらず、上流で降った雨水により水位が急上昇し、11 日 3 時には 4.55m を観測している（図 2）。このように、満潮から干潮へと潮位が低下しているにも関わらず、井芹川流域の豪雨により水位が上昇し、外水・内水氾濫が生じ甚大な浸水被害が発生したと推察される。

4. 地形的特徴と土地利用の変遷

1901 年の旧版地図（図は省略）では井芹川が蛇行し、流域には水田が広がっている。図 3 には標高図と治水地形分類図を示したが、現地でのヒアリング調査では、昔は標高の高い段丘面に農家が立地し、低平地の氾濫平野の湿地で稲作やレンコン栽培が行われていたと住民は述べている。昭和初期の改修により河道が直線化され、高度経済成長期に水田などを転用して宅地開発が進められた。

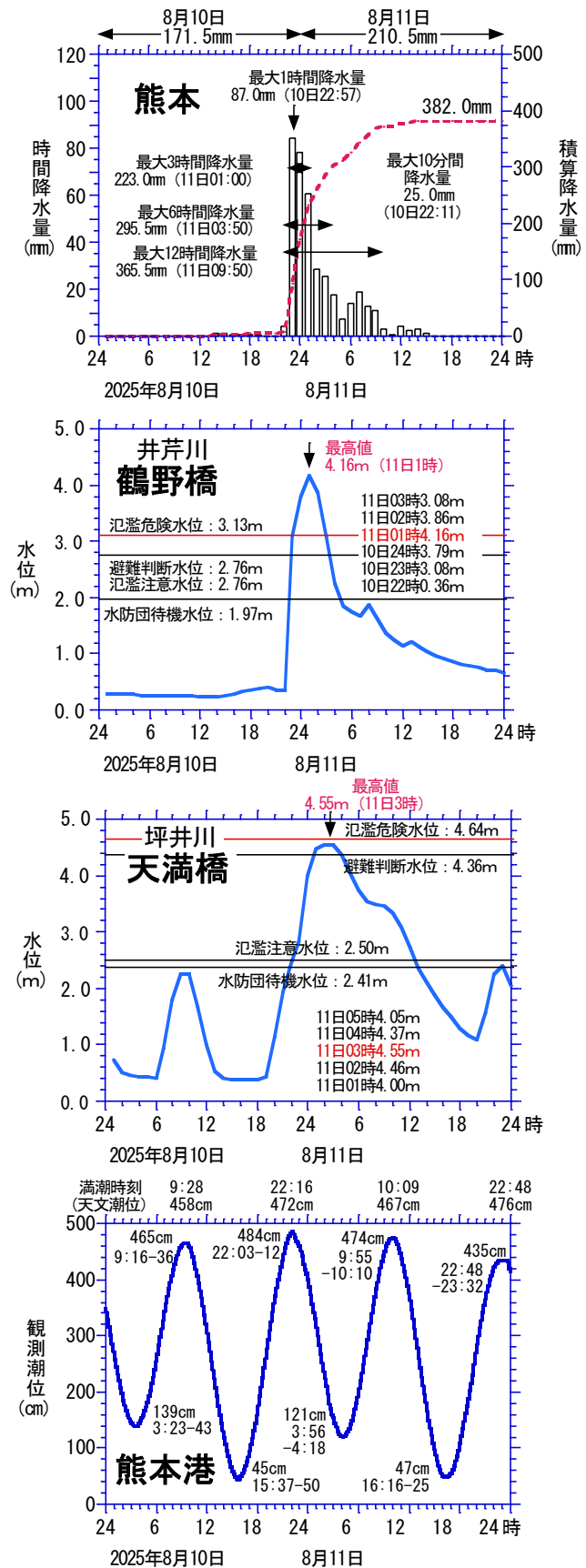


図 2 2025 年 8 月 10 日～11 日（2 日間）の熊本（アメダス）の降水量、鶴野橋（井芹川）・天満橋（坪井川）の水位、熊本港の潮位の推移

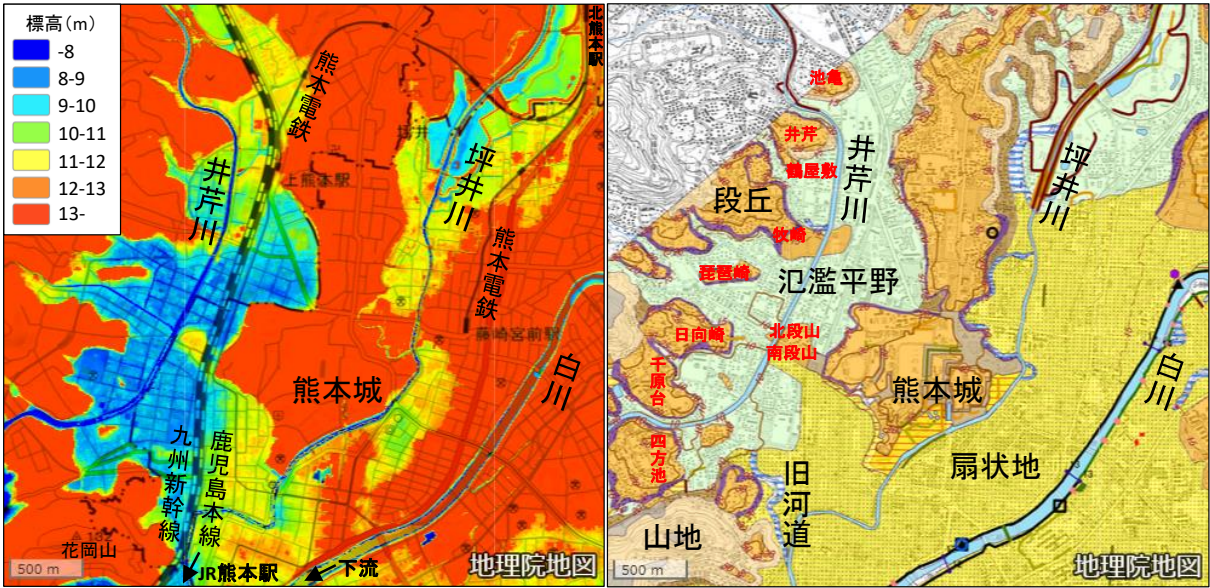


図3 井芹川・坪井川流域の標高図(左)と治水地形分類図(右)(地理院地図より作図)

5. 熊本県における被害の概要

8月10日～11日の豪雨により県内各地で浸水被害が発生した。住家被害は熊本市で2,200棟弱、八代市では3,400棟弱で、宇城市、玉名市、氷川町、上天草市、天草市などでも大きな被害に見舞われており、県全体で9千棟弱の住家被害となっている(表1)。

6. 浸水被害の実態

図4は熊本市が作成した浸水実績図(2006～2023年)と内水浸水想定区域図に筆者が現地にて測定した浸水深(浸水痕跡高:●で表示)で、今回の豪雨により浸水したエリアとほぼ一致している。ただし、段山橋付近から下流の西岸では溢水が発生したため、内水浸水想定区域図には示されていない箇所でも浸水被害が生じており、図5の洪水ハザードマップ(計画規模、国土交通省の「重ねるハザードマップ」より転載・加筆)で示されたエリアとほぼ一致している。写真1.1は浸水がやや収まった際に撮影された写真である。写真1.2は井芹川東岸の集合住宅で、1階を駐車場にして居住部分の浸水を回避している。その一方で、近隣の新築住宅(写真1.3)では宅地を嵩上げせずに建てられており、写真1.4でも約1.5mの浸水被害に見舞われている。

表1 8月豪雨による被害状況(令和7年10月9日10時現在)

都道府県	人的被害(人)				住家被害(棟)						合計
	死者	行方不明	重傷	軽傷	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水		
熊本市	1	1		7		758	1,410				2,168
宇土市						7	86				93
宇城市					3	138	221				362
美里町			1	1	11	33	60				104
甲佐町	2		1		3	64	105				172
玉名市					1	179	295	1			476
玉東町						34	43				77
八代市	1			14	2	803	2,562	3			3,370
氷川町			1			79	263				342
上天草市					6	448	330				784
天草市					1	130	380				511
その他			1	7	1	16	75	10	65		167
合計	4	1	4	29	28	2,689	5,830	14	65		8,626

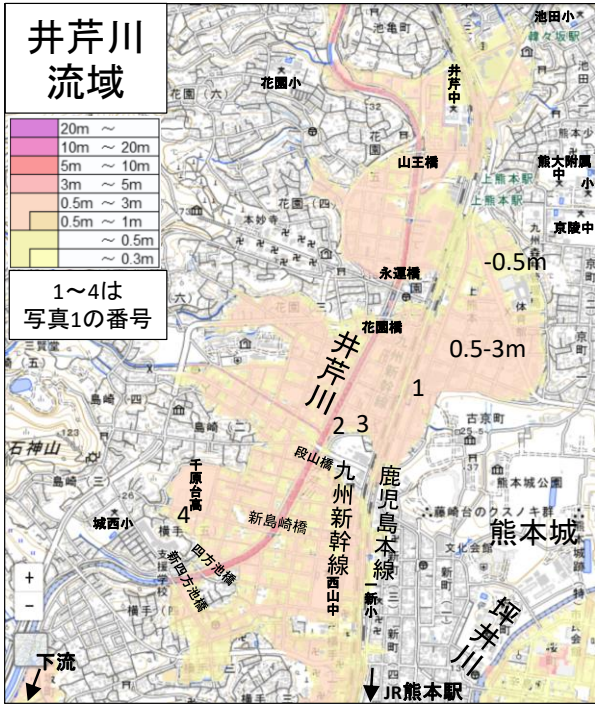


図5 洪水ハザードマップ(計画規模)

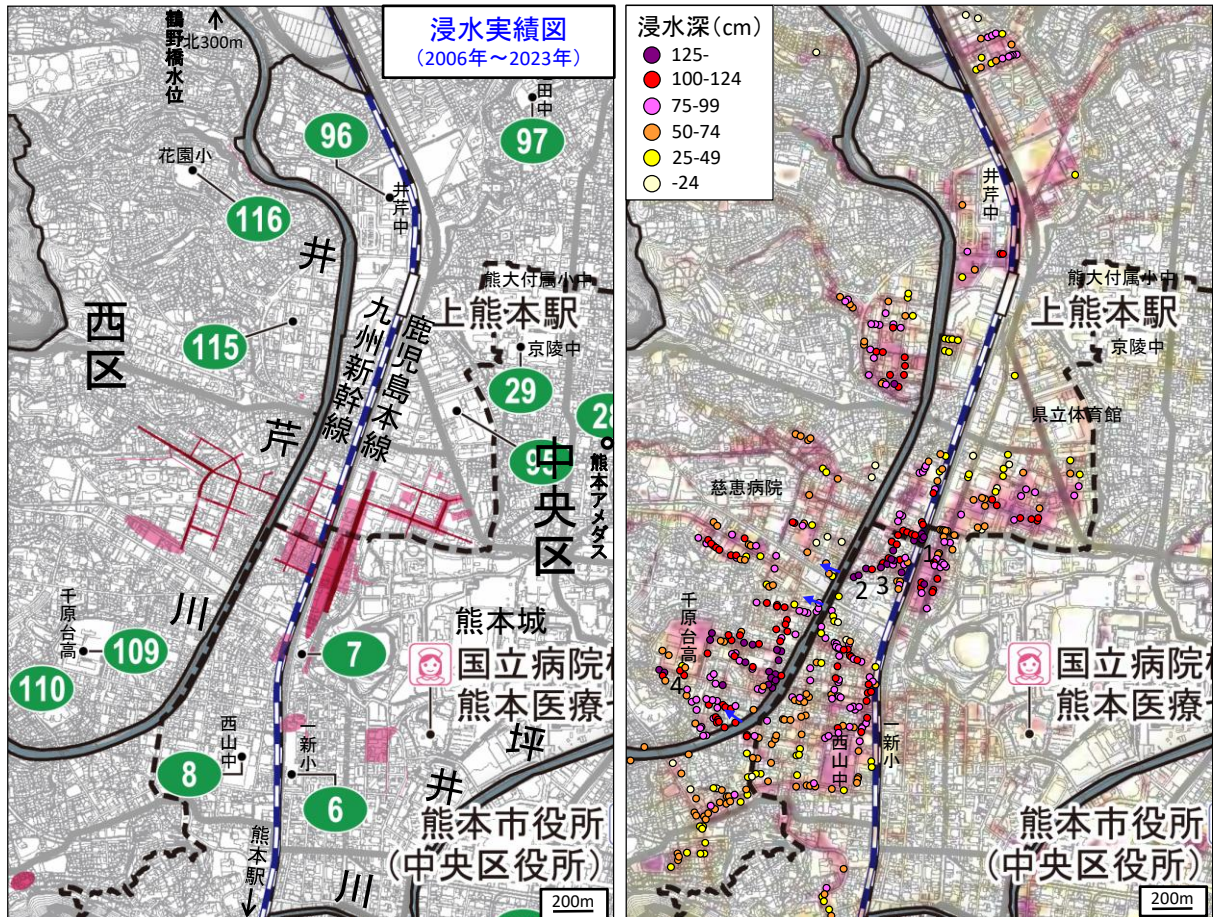


図 4 熊本市が作成した浸水実績図（2006～2023 年、左）と内水浸水想定区域図に筆者が現地で測定した浸水深（浸水痕跡高：●で表示、建物に面した道路から浸水痕跡までの高さ（cm））を重ね合わせた図（左）（右図の数字写真 1～4 の箇所、矢印は西岸堤防からの越水箇所）



写真 1 井芹川流域における浸水被害（1 は熊本日日新聞社提供）

2025 年 8 月豪雨により熊本県で発生した 浸水被害の特徴

第 2 報 上天草市・天草市を事例として

山本 晴彦

山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

2025 年 8 月 10 日の夜遅くから翌 11 日の午前中にかけて、前線が九州北部を南下し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、熊本県の鹿北菊池地方から宇城八代・天草地方にかけて線状降水帯が発生して非常に激しい雨や猛烈な雨が降り、2 日間の積算雨量は八代市の宮原で 573mm、竜北で 506mm、美里町の砥用で 541mm、上天草市の県松島で 505mm と、500mm を超える雨量を観測するなど、記録的な大雨となった。ここでは、豪雨により甚大な浸水被害が発生した上天草市と天草市を対象に、豪雨の時間的特徴、過去の災害との比較、降水・水位・潮位データや地形的特徴などから見た浸水リスクの評価、現地での浸水痕跡（浸水深）の調査などに基づく被害状況などについて、概要を報告する。

2. 上天草市・天草市（天草地方）の概要

ここでは、天草諸島で浸水被害が甚大であった上天草市松島町の合津・今泉地区、天草市の本渡地区を対象としている（図 1）。これらの地区は干満差が大きい八代海（不知火海）や島原湾に面しているため、沿岸部では高潮による被害（1999 年台風 18 号 他）が幾度となく発生している。

また、1972（昭和 47）年 7 月の天草豪雨では、上天草市上島の旧姫戸町・龍ヶ岳町、天草市の旧倉岳町で土砂災害により死亡 112 名に上っている。ただし、天草水害は上述した上島南側の旧 4 町に被害が集中していたため、上島北側では水害の経験を有していない。



図 1 上天草市（松島・今泉地区）・天草市（本渡地区）の位置

3. 豪雨の特徴

第1報には8月10日～11日の積算降水量の分布を示しており、長洲市－玉名市－熊本市北西部、天草市－上天草市－八代市・氷川町－甲佐町・美里町の2つの強雨域が認められる。県内では、ほぼ10日22時頃から翌11日10時頃までの12時間の短時間豪雨が観測されている。本渡・八代では熊本とは異なり最大6時間降水量では11日9～10時頃に認められている(図2)。

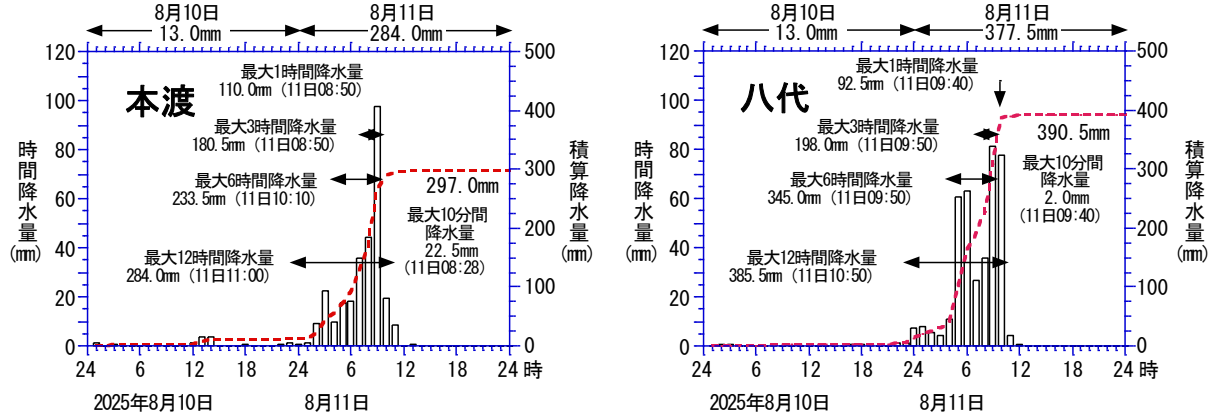


図2 2025年8月10日～11日の熊本・本渡・八代のアメダスにおける時間降水量の推移

4. 上天草市における被害の特徴

旧松島町阿村の阿村小学校のグラウンド脇に松島アメダス(降水量のみ)が開設されているが、今回の豪雨では雨量計の転倒ですが浸水し、11日8時10分以降は欠測となっている。アメダスから西南西に約680m離れた場所に熊本県が設置した県松島の雨量計では、積算降水量が505mm、最大1時間降水量も123mmを観測している。旧松島町中心部の合津地区を流れる合津川の水位計は欠測しており、南側の流域の今泉川の水位は雨量のピークから約2時間半遅れて氾濫危険水位を大きく超える3.73mを観測し、三角港の満潮とほぼ一致している。

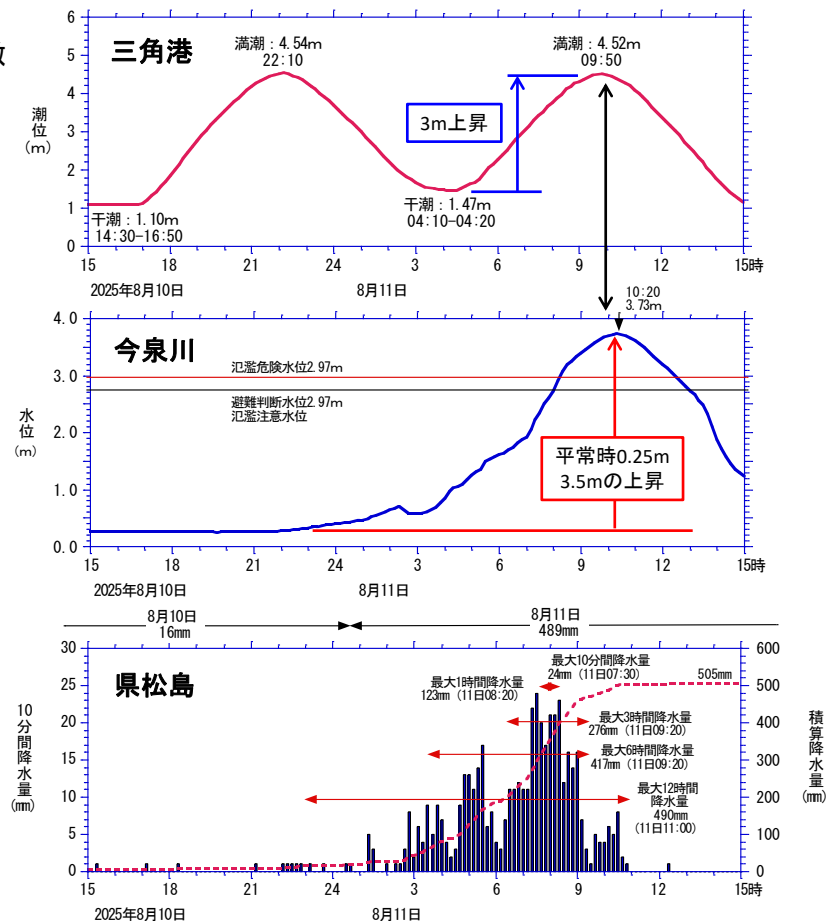


図3 県松島雨量、今泉川水位(三石橋)、三角港の潮位の推移

八代海（三角港）が干潮から満潮へ上げ潮の時間帯に豪雨が重なり、今泉川の水位（三石橋）が10時20分に3.73mを観測する高水位となり、松島町内の合津川や今泉川の流域で外水氾濫が発生した（図3）。

合津地区には市役所松島庁舎（旧松島町役場）をはじめ、体育館、文化ホール、野球場、陸上競技場が整備された松島総合センター「アロマ」、図書館が立地しているが、標高が低い内陸の総合センターや図書館が浸水する被害（写真1）に見舞われており、現在も復旧の目途は立っていない。

洪水ハザードマップ（想定最大規模）に筆者が測定した実績浸水深を重ねた図4では、国道324号や旧国道沿いの建物で最高2m強の浸水深となっている（写真2）。

図5の今泉川の洪水ハザードマップ（想定最大規模）では、下流域で3～5mの浸水深が想定されている。今回の水害では2mを超える浸水深に見舞われており、農家の倉庫では農機具や低温貯蔵庫などの浸水により、被害が大きく拡大している。



写真1 合津地区の松島総合センター「アロマ」と中央図書館における浸水被害（上天草市提供）



写真2 合津地区における建物の浸水被害

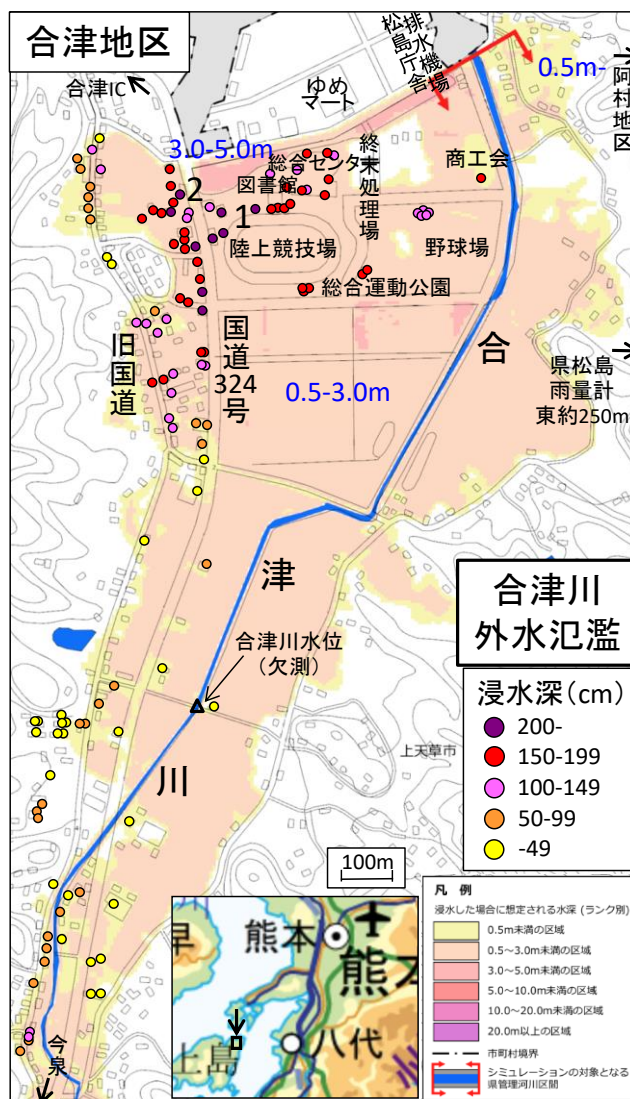


図4 上天草市（合津地区）における洪水ハザードマップ（想定最大規模）と実績浸水深（cm）

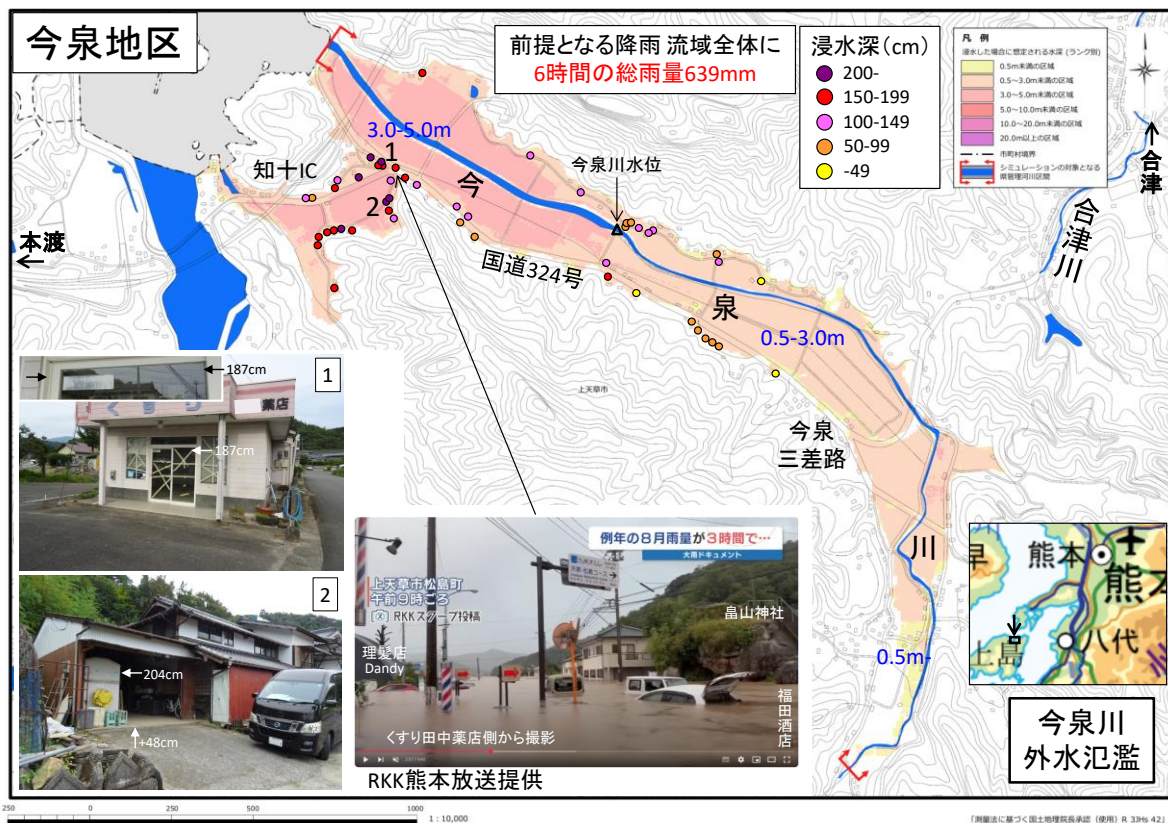


図5 上天草市（今泉地区）における洪水ハザードマップ（想定最大規模）・実績浸水深（cm）と浸水被害の状況

5. 天草市における浸水被害の特徴

天草市の市街地の本渡地区では、天草市が平成 23（2011）年に作成した内水・浸水ハザードマップ（図 6）に示したように、町山口川に架かる祇園橋（国指定重要文化財）付近からの越水により、特に中央銀天街を含む右岸で浸水被害が生じており、内水氾濫も発生して最高 1m の浸水高となっている。また、本渡運動公園西側の埋立地一帯でも内水氾濫（最高約 70cm）による浸水被害が生じている。



図6 天草市内水・洪水ハザードマップ（本渡地区）・実績浸水深（cm）と浸水被害

d4PDF を用いた九州地方における将来の豪雨気象場の分類予測

弘中 勇駿¹⁾・朝位 孝二¹⁾・西山 浩司³⁾

¹⁾山口大学大学院創成科学研究科, ²⁾九州大学大学院工学研究院環境社会部門

1. はじめに

近年では、線状降水帯に関連した豪雨災害が多く報告されている。九州地方は、線状降水帯の発生が全国的に見ても顕著に多い地域の一つである¹⁾。特に、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込む暖候期にその発生件数が多い²⁾。最近の事例として、2020年7月の球磨川豪雨では線状降水帯を伴う豪雨が発生し、球磨川流域の広い範囲で深刻な被害が生じた。以上から、九州地方における線状降水帯の発生特性を把握することは防災上重要であると考えられる。加えて、将来の気候温暖化による豪雨の頻発化・激甚化が指摘されている。日本の年平均気温は長期的に上昇しており、過去100年で約1.4°Cの上昇傾向が認められる。さらに、IPCC第5次評価報告書では、2100年までに地球平均気温が最大で4.8°C上昇することを示唆している。また、過去数十年間の地球温暖化の進行に伴い、極端降水が増加していることは明らかである。特に、現在気候下においても、豪雨災害が頻発する九州地方では、将来気候下での気象場の変化を明らかにすることは防災上極めて重要である。

著者ら³⁾は過去の研究で、解析雨量から線状降水帯を抽出し、SOMによる気象場分類に結び付け、線状降水帯が発生しやすい気象場を明らかにした。本研究では、d4PDFから気象場を抽出し、上述の現在気候下における気象場を学習したSOMを用いて分類を行い、現在気候(JRA-55)、2°C昇温実験(d4PDF)、4°C昇温実験(d4PDF)間での各気象場パターンの発生頻度の比較分析を実施する。これにより、地球温暖化に伴う昇温条件下で、線状降水帯の発生に寄与する気象場パターンの頻度がどのように変化するかを明らかにする。

2. SOMによる線状降水帯リスクが高い気象場の特定

JRA55から、積乱雲の発生に関わりが深いとされる850hPaにおける東西方向の風速、南北方向の風速および可降水量の3要素からなる気象場を抽出し、SOMを用いて学習を行う。対象領域は図-1中の赤丸で示す126.25~133.75°E, 28.75~36.25°Nに設定する。対象期間については、2006~2023年の18年間で6月~9月とした。また、図-1中の青線で示す九州地方を囲む128.0~132.2°E, 30.5~34.0°Nの領域の解析雨量から線状降水帯を抽出し、その積算結果をSOMの各ユニットに結合し、豪雨リスクの指標とした。SOM構築の手順および線状降水帯の抽出の詳細については紙面の都合上、著者ら³⁾の過去研究を参照されたい。本研究で作成したSOMを図-2に示す。図-2は線状降水帯の事例数を積算した結果をユニットに結合したSOMである。図中の小さな□がユニットであり、黒い太線で囲まれている領域がグループである。また隣接するユニットは似た性質

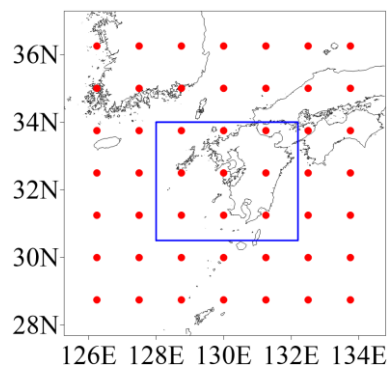
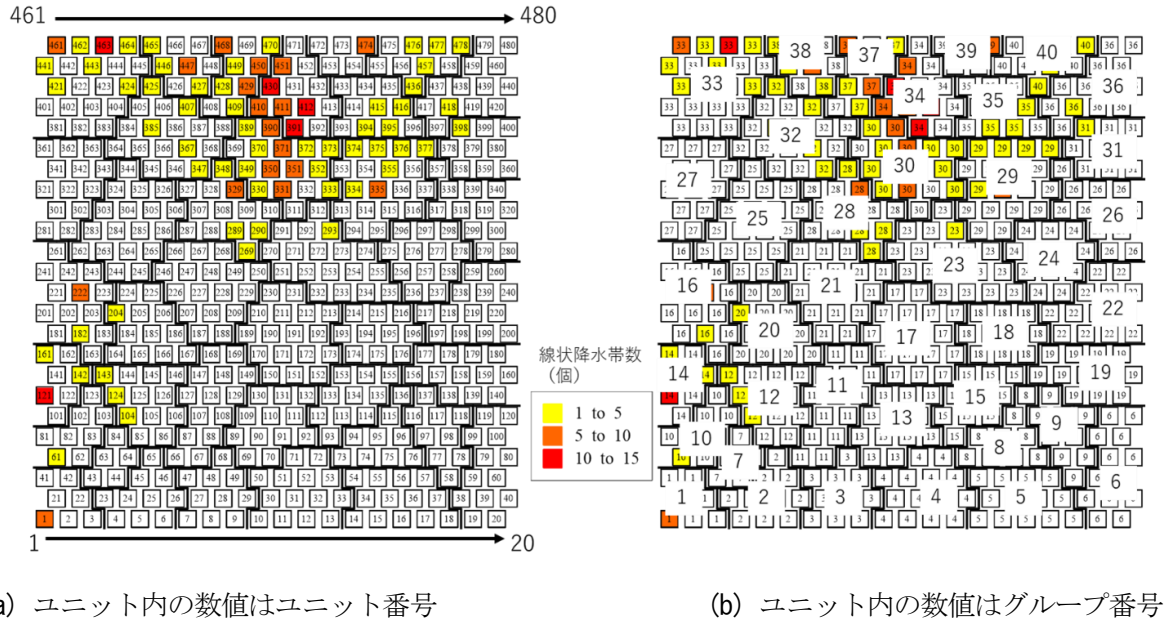
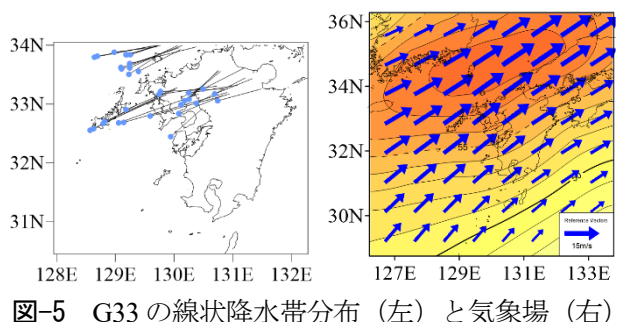
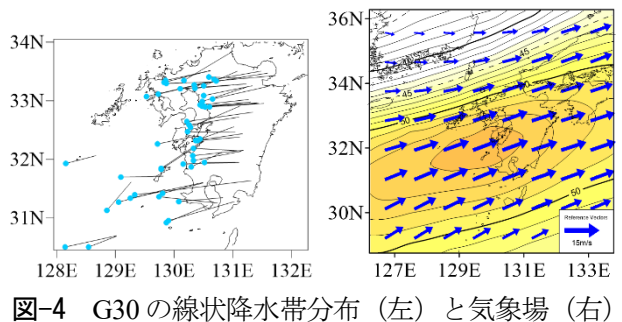
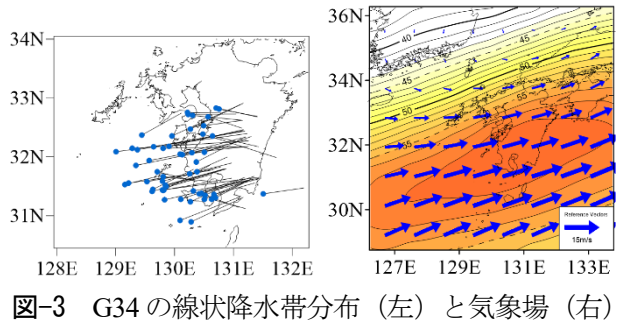


図-1 気象場(赤丸)と解析雨量(青線)の対象領域



を持った気象場であり、さらにユニット同士でグループを形成する。左図のユニット内の数字はユニット番号、右図のユニット内の数値はグループ番号を表している。代表的な線状降水帯発生日時の SOM 分類結果として、令和 2 年 7 月 球磨川豪雨 (G34, U411) や西日本豪雨 (G37, U468) などの多くの豪雨事例が SOM の上方の中央部分のユニットに分類される。令和元年 8 月 豪雨 (G33, U443) や 2022 年 7 月 19 日に福岡県や大分県で線状降水帯が発生した事例 (G33, U463) では SOM の上方の左側部分に分類される。令和 4 年台風第 14 号 (G1, U1) は左下方に分類される (G はグループ番号, U はユニット番号を意味する)。SOM の上方の中央部分の気象場が前線系豪雨の気象パターンであり、下方部分の気象場が台風系豪雨の気象パターンであることが分かる。

九州地方において線状降水帯発生数が多い上位 3 グループ (G34, G30, G33) について、グループ毎に線状降水帯の発生状況とその気象場パターンについて考察を行う。図-3～図-5 に線状降水帯分布図 (左) と気象場パターン (右) を示す。G34 では線状降水帯が九州南部に集中していることが分かる。気象場は九州南部で可降



水量と風速が大きく、九州南部に大量の水蒸気が流れ込むパターンであると考えられる。G30では九州地方の広い範囲に線状降水帯が分布している。気象場を見ると、九州全域で風速が速い南西風であり、可降水量が大きい領域が九州全域に広がっており、九州地方の広い範囲で線状降水帯が発生しやすい気象場パターンであると考えられる。G33では線状降水帯が九州北部に集中しており、九州北部から対馬海峡に渡って可降水量が大きい領域が広がる。また九州北部で速い風速場が見られる。九州北部に大量の水蒸気が流れ込むパターンと考えられる。

3. SOM による d4PDF の将来気象場の分析

本研究では、d4PDF から SOM 学習に用いた条件と同様の気象要素を抽出し、気象場を表現する。抽出した気象場を本研究で作成した SOM (図-2 参照) を用いてパターン分類し、現在気候 (JRA-55)、2°C 昇温実験 (d4PDF)、4°C 昇温実験 (d4PDF) 間での各気象場パターンの発生頻度の比較分析を行った。表-1 に各データの分類対象期間を示す。d4PDF では温暖化による海面水温 (SST) の上昇の不確実性を考慮するために、複数の全球気候モデル (GCM) が存在し、各 GCM が複数のメンバを有する。本研究では、海面水温 (SST) の不確実性を網羅的に評価するため表-2 に示す 6GCM×1 メンバで検討を行った。

図-6 に現在気候、2°C 昇温実験、4°C 昇温実験で SOM 分類頻度の比較を示す。ここで、2°C 昇温実験、4°C 昇温実験については、6 つの GCM の分類結果を合計したものを示している。

線状降水帯事例が多い G34、G30、G33 に着目する。九州南部で線状降水帯が多い G34 では、気温上昇により、分類頻度が高まることが見受けられる。2°C 昇温実験では現在気候の 1.19 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 1.64 倍の分類頻度である。この結果は、気温上昇によって九州南部で線状降水帯が発生しやすい気象条件となる頻度が上昇することを示唆する。九州全域で線状降水帯事例が散見される G30 では、気温上昇により、分類頻度が低下することが見受けられる。2°C 昇温実験では現在気候の 0.36 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 0.13 倍の分類頻度である。現状で線状降水帯の発生要因となる気象場パターンの中には、気候温暖化によって頻度が減少する気象場パターンも存在することが分かる。九州北部で線状降水帯が多い G33 では、2°C 昇温実験では現在気候と分類頻度に有意な差はなく、4°C 昇温実験では 1.20 倍の分類頻度である。この結果から、大幅に気温上昇した場合、九州北部で線状降水帯実績が多い気象場の発生頻度が高まることが窺える。

続いて、気温上昇により分類頻度が顕著に高まる G20、G32、G38 の気象場を図-7 に示す。G20 における 2°C 昇温実験では、現在気候の 2.79 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 3.82 倍の分類頻度である。G20 の気象場は太平洋高気圧が張り出す典型的な夏の気象状態である。線状降水帯の事例は少ないが、局地的豪雨を引き起こす可能性があり、そのため分類頻度が高まる結果には注意を払う必要がある。G32 における 2°C 昇温実験では、現在気候の 1.63 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 2.47 倍の分類頻度である。G32 は九州北部付近で可降水量が高く、南西風の気象場である。G33 と似た気象

表-1 各データの分類対象期間

データ名	分類対象期間
JRA-55 現在気候	2006～2023年 (18年間)、6～9月、JST3、9、15、21時
d4PDF 2°C 昇温実験	2031～2091年 (61年間)、6～9月、JST3、9、15、21時
d4PDF 4°C 昇温実験	2051～2111年 (61年間)、6～9月、JST3、9、15、21時

表-2 本研究で扱った d4PDF の GCM

GCM	GCM開発機関	特徴
MIROC5	JAMSTEC・東大・NIES (日本)	d4PDFのベースGCMと同じであり、日本域における気候応答の解釈において広く用いられる。
MRI-CGCM3	気象研 (日本)	西太平洋の昇温分布が他モデルと異なる。
CCSM4	NCAR (米国)	北太平洋及びインド洋の海面水温応答に特徴がある。
GFDL-CM3	NOAA/GFDL (米国)	ENSOに対する応答が比較的強い。
HadGEM2-AO	UK Met Office (英国)	アジアモンスーン強化が顕著。
MPI-ESM-MR	MPI-M (独)	大西洋における昇温が相対的に強い。

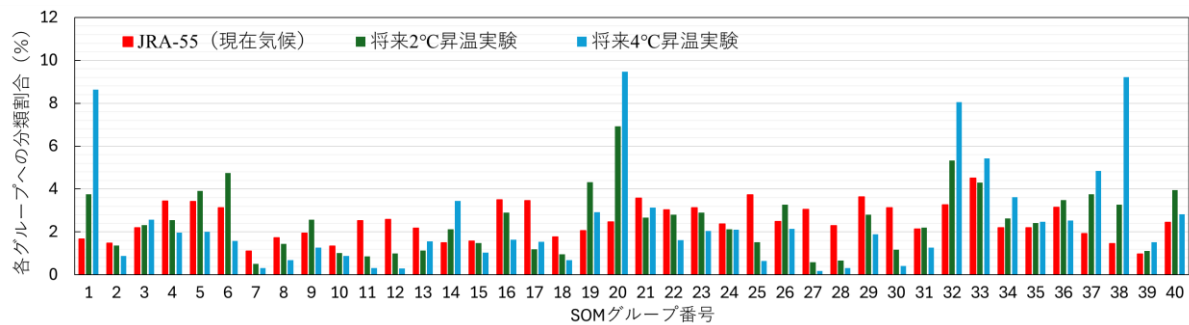


図-6 各データの SOM グループへの分類割合の比較

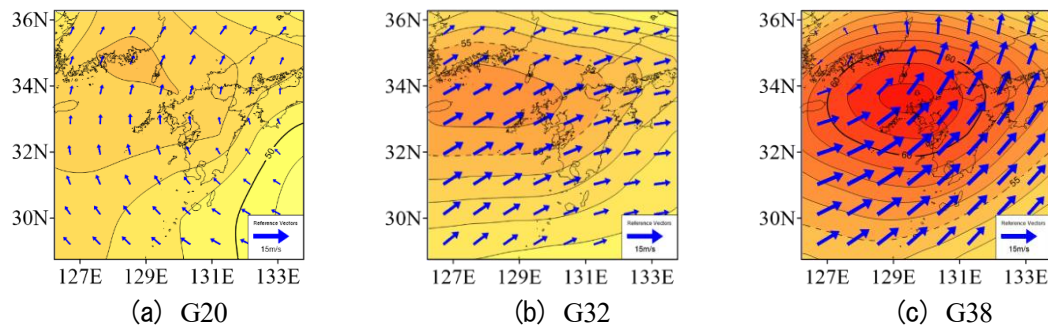


図-7 気温上昇により分類頻度が高まるグループの気象場

場であるため、分類頻度が高まることで、九州北部における豪雨リスクが高まることが考えられる。G38 における 2°C 昇温実験では、現在気候の 2.22 倍の分類頻度であり、4°C 昇温実験では 6.28 倍の分類頻度である。G38 は九州北部で降水量が高く、強い南西風の気象場である。JRA-55 や現在気候の分類頻度は低い、複数の線状降水帯実績があるため、分類頻度の上昇はリスクが高い挙動である。

4. おわりに

本研究では、d4PDF と SOM を用いた地球温暖化に伴う気象場の発生頻度の変化の分析を行った。九州南部で線状降水帯実績が多い G34 や九州北部で線状降水帯実績が多い G33 では昇温により気象場の頻度が高まる傾向を示した。一方で、九州の広い範囲で線状降水帯実績がある G30 の頻度は減少傾向であった。また、G20, G32, G38 の気象場では昇温による著しい頻度の上昇が見られた。この 3 グループは九州北部で多湿である共通点を持つ。気温上昇により線状降水帯のリスクが高い気象場や将来的に豪雨リスクが見込まれる気象場の増加傾向が見受けられるため、将来に向けた防災・減災対策の強化が求められる。

参考文献

- 1) Hirokawa, Y., Kato, T., Tsuguti, H., and Seino, N.: Identification and Classification of Heavy Rainfall Areas and their Characteristic Features in Japan, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 98, No.4, pp. 835–857, 2020.
- 2) 津口裕茂, 加藤輝之: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析, 天気, 61 巻, 6 号, pp. 455–469, 2014.
- 3) 弘中勇駿, 朝位孝二, 西山浩司, 森健太: 自己組織化マップを用いた九州地方の線状降水帯の分析と診断モデル, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 82 巻, 第 16 号, 2026, 印刷中

地球温暖化に伴う総観スケール力学場の変化と 停滞前線豪雨に及ぼす影響に関する数値解析

富田 勇斗¹⁾・田中 健路²⁾

¹⁾ 広島工業大学大学院工学系研究科・²⁾ 広島工業大学環境学部地球環境学科

1. はじめに

昭和47年7月豪雨や平成30年7月豪雨は、梅雨前線が数日間にわたり日本付近に停滞した結果、西日本を中心として観測史上最大規模の大雨が発生した事例である。このような豪雨災害は近年においても発生し続けていることから、梅雨前線が停滞するメカニズムを明確にし、将来気候における豪雨災害のリスクを適切に評価にすることは、防災上極めて重要な課題である。

数値実験を用いた将来気候の豪雨リスクを推定する手法の1つには、気温や海面水温などの気象要素を水平一様に与える擬似温暖化実験が広く用いられている。しかし、これまでの既往研究の多くはメソ β スケール以下の現象に着目しており、地球温暖化による総観規模からメソ α スケールの気象場へ影響が、停滞前線に及ぼす影響については十分に明らかにされていない。また、擬似温暖化実験において差分として与える温暖化要因についても、気温や海面水温以外の気象要素が、梅雨前線の停滞や気象場に及ぼす影響について、解析された研究はあまりない。

そこで本研究では、既往研究で指摘されてきた梅雨前線の停滞要因を整理・再検討し、総観規模からメソ α スケールの気象場に着眼して、梅雨前線およびその周辺の気象場の特徴を解析した。あわせて、1970年代から2020年代にかけて進行した地球温暖化が総観スケールの気象場に及ぼす影響を明らかにし、擬似温暖化実験において差分として与える温暖化要因が梅雨前線の停滞過程に及ぼす影響を解析した。なお、対象事例として昭和47年7月豪雨や平成30年7月豪雨を取り上げて行った。

2. 解析方法

2.1 計算条件・使用データ

本研究では米国大気研究センター(NCAR)と米国海洋大気庁予測センター(NCEP)等により共同開発されたWRF(Weather Research and Forecasting Model) Ver. 4.4¹⁾を用いて解析を行った。WRFで使用する初期条件(初期値)には、気象庁長期再解析データ(JRA-55)を用いた。雲・降水過程の計算に関しては、微物理過程としてWSM6²⁾を使用し、大気境界層については、韓国延世大学の研究グループが開発した計算手法(Yonsei University Scheme)(Hong et al, 2008)³⁾を使用した。

2.2 温暖化トレンドの算出方法

本研究では、各格子点および各気象要素について1970年代と2010年代の夏季平均値の差を算出し、その差に、想定する気候場の年数を乗じた値を温暖化トレンドとして加算・減算することで、過去および未来に相当する気候場を作成し、これらの気候場と当時の気候場で計算した結果を比較・解析することにより、1970年代から2020年代にかけて進行した地球温暖化が総観スケールの気象場に及ぼす影響を解析した。

3. 解析結果

3. 1 地球温暖化が停滞前線周辺の気象場に与える影響

50年間の温暖化が降水ピーク時に与える影響を把握するため、再現計算において3時間積算雨量が最大となる時刻を基準として、昭和47年7月豪雨および平成30年7月豪雨について、それぞれ2時刻を選定し解析した。

(1) 昭和47年7月豪雨

図2, 3は、再現計算およびトレンド計算（2022年相当）における、1972年7月11日15時から12日15時（JST）、ならびに12日6時から13日6時（JST）の24時間積算雨量（100mm以上）の分布を示したものである。再現計算と比較して、トレンド計算では、11日15時から12日15時（JST）の期間において降雨域が朝鮮半島寄りへ北上する傾向が認められた一方、12日6時から13日6時（JST）の期間では、降雨域が九州西側に集中する分布が解析された。また、水蒸気フラックス及び層厚差の解析結果から、トレンド計算では再現計算に比べて太平洋高気圧の西への張り出しが強化されており、それに伴って、下層の水蒸気フラックス量も変化し、降水域の変化や発達に寄与したことが示唆された。

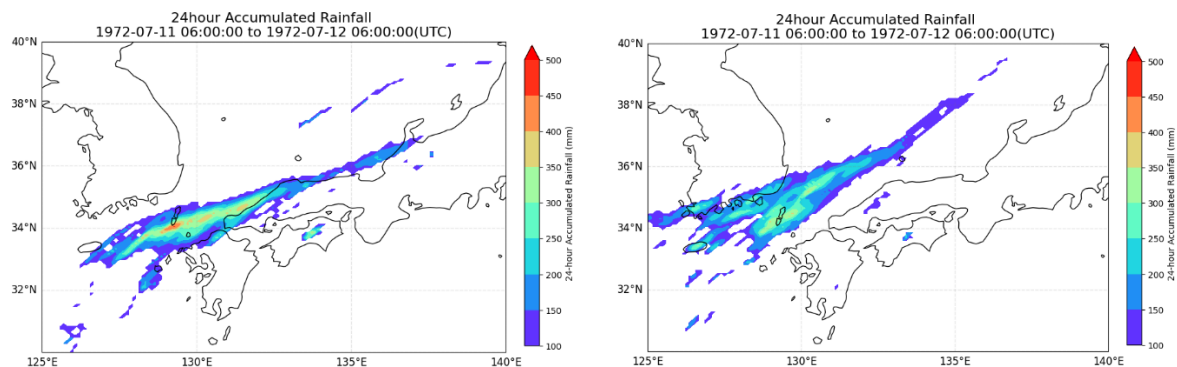


図2 再現計算およびトレンド計算（2020年相当）における24時間積算雨量100mm以上の分布図
再現計算（左）およびトレンド計算（右）

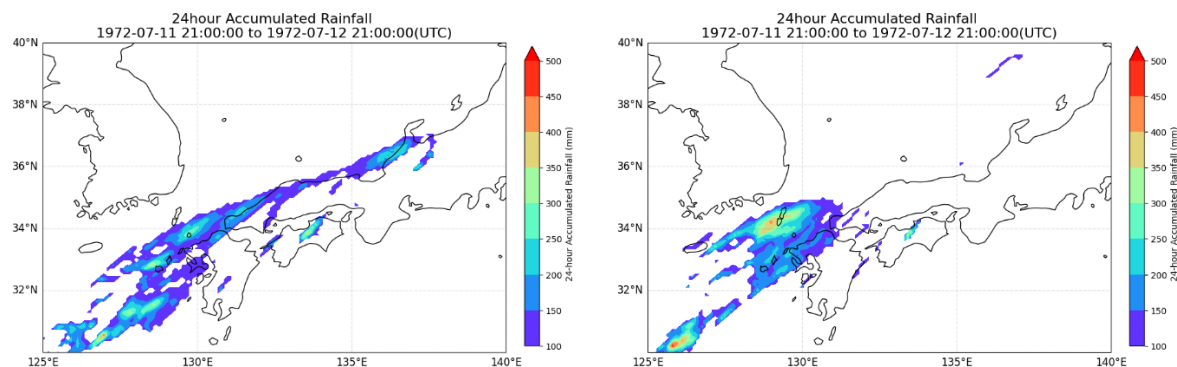


図3 再現計算およびトレンド計算（2020年相当）における24時間積算雨量100mm以上の分布図
再現計算（左）およびトレンド計算（右）

(2) 平成30年7月豪雨

図4は、再現計算およびトレンド計算（1968年相当）における、2018年7月6日3時から7日3時（JST）の24時間積算雨量（100mm以上）の分布を示したものである。再現計算と比較して、トレンド計算では、再現計算で解析された450mm以上の強い降雨域が解析されない結果となった。また、これは、2018年7月6日6時から7日6時（JST）においても、同様の結果が解析された。

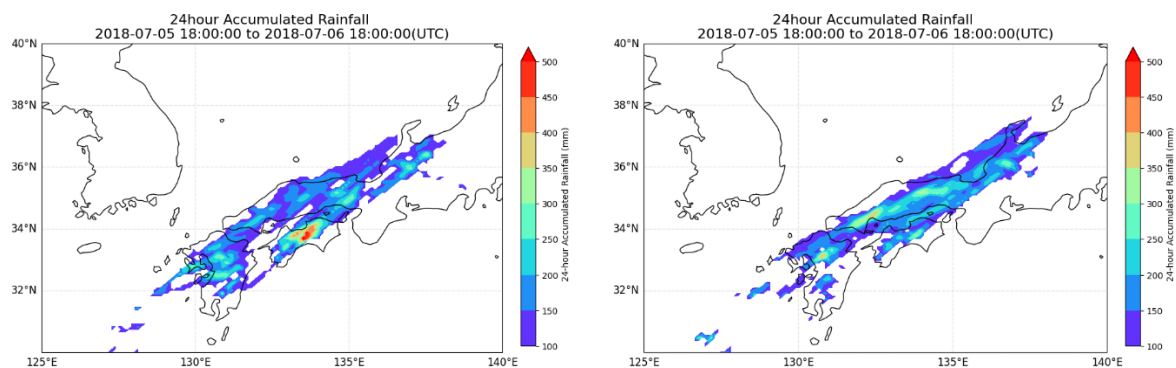


図4 再現計算およびトレンド計算 (1968 年相当) における 24 時間積算雨量 100 mm以上の分布図
再現計算 (左) およびトレンド計算 (右)

3. 2 水蒸気密度の変化が停滞前線周辺の気象場に与える影響

昭和 47 年 7 月豪雨および平成 30 年 7 月豪雨を対象に、当時の気象場に対して温暖化トレンド係数の組み合わせを変えた数値実験を行い、前節 3.1 同様に、降雨ピーク時における前 24 時間積算雨量 100mm 以上の分布を解析した。図 5～8 にその解析結果を示す。

昭和 47 年 7 月豪雨では、気温のみをトレンドとして与えた場合に降水域が細長く、ピーク降水強度は大きく解析された。また、等圧面高度や水蒸気トレンドを加えると、太平洋高気圧の強化に伴い降水域が北西側へ偏る傾向が解析された他、九州北部に団塊状の降雨域が出現することも解析された。

平成 30 年 7 月豪雨では、気温のみのトレンドを与えた場合には、降雨分布に大きな差は見られなかったが、水蒸気を含む 4 要素すべてのトレンドを考慮すると、降雨域が南下し、瀬戸内海沿岸の山陽地方、特に広島湾周辺で水蒸気収束が強化され、局地的に降水量が増大した他、九州北部における降雨は相対的に弱まる傾向が解析された。

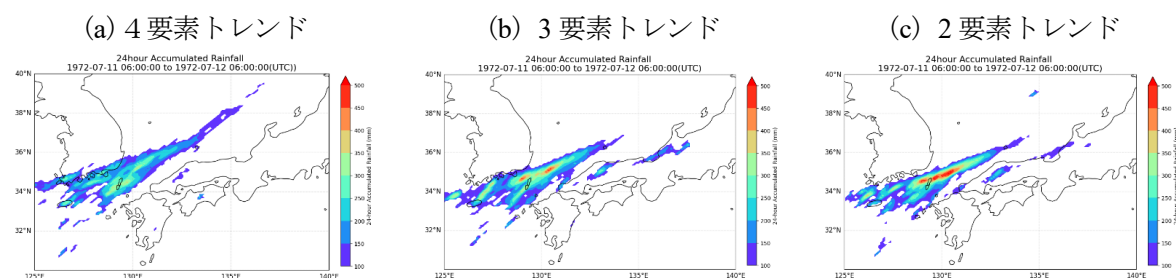


図 5: 1972 年 7 月 12 日 15 時における前 24 時間積算雨量分布 (2022 年度時点の環境場を想定)

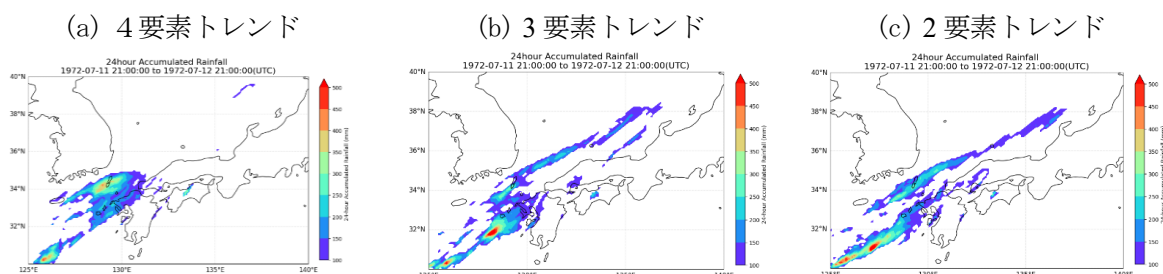


図 6: 1972 年 7 月 13 日 6 時における前 24 時間積算雨量分布 (2022 年度時点の環境場を想定)

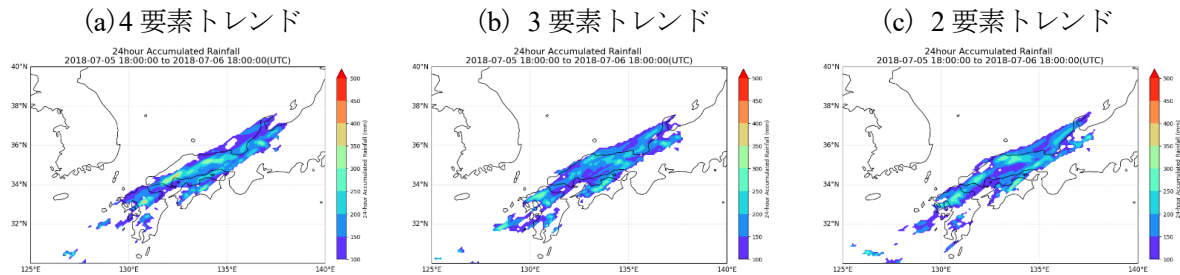


図 7: 2018 年 7 月 7 日 3 時における前 24 時間降水量分布 (1968 年時点の環境場を想定)

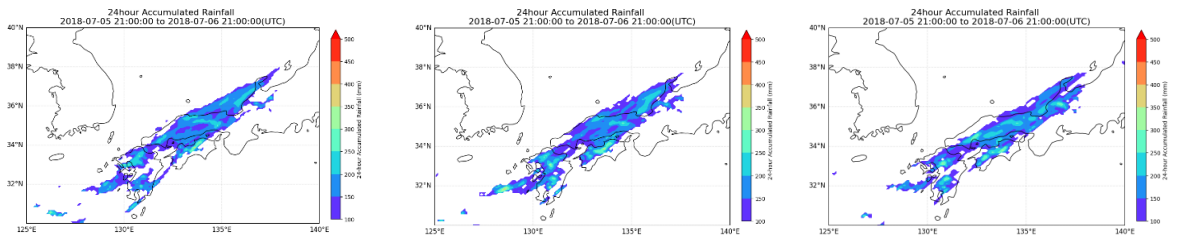


図 8: 2018 年 7 月 7 日 6 時における前 24 時間降水量分布 (1968 年時点の環境場を想定)

4. おわりに

本研究では、数値予報モデルを用い、総観スケールからメソ α スケールの気象場に注目して、梅雨前線の停滞過程及びその周辺における降雨特性、さらに温暖化要因が梅雨前線の停滞過程に及ぼす影響について解析を行った。その結果、温暖化の影響による降水量の増減は、地点や時間帯によって異なるものの、チベット高気圧や太平洋高気圧の発達・衰退に伴い、300hPa 面におけるトラフの北偏または南偏することが、トレンド計算の解析結果から明らかとなった。また併せて、水蒸気フラックスの解析結果からも、チベット高気圧や太平洋高気圧の発達・衰退に伴って、日本付近に流入する太平洋高気圧の縁辺流による水蒸気供給量の強弱も変化していた。これらの要因が梅雨前線に沿った降雨分布と密接に関連していることが示された。さらに、水蒸気密度のトレンドを考慮した解析では、熱帯域からの水蒸気供給の強化と、太平洋高気圧の縁辺流の北偏が生じることで、梅雨前線周辺における降雨域の分布や降雨強度に影響を及ぼす可能性が示唆された。このことから、梅雨前線の停滞過程および降雨特性を理解・評価する上では、温暖化によって変化する長期的な温度要因だけでなく、水蒸気密度のトレンドも考慮して計算をすることが必要であることが示唆された。

参考文献

- [1] Wei Wang. et al: User' s Guide describes the Advanced Research WRF (ARW) Version 4.4 modeling system, https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v4/v4.4 (2025. 2. 10)
- [2] Hong, S. Y, Jade Lim, J. O. : The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics Scheme (WSM6), JOURNAL OF THE KOREAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 42, 2, 2006, p129-151
- [3] Hong, S-Y., Noh, Y., and Dudhia, J (2008) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes, Monthly Weather Review, vol. 134, pp. 2318-2341
- [4] 小坂田ゆかり, 中北英一: 複数温暖化シナリオに基づく線状対流系の疑似温暖化実験と影響メカニズムに関する解析, 京都大学防災研究所年報, 第 64 号 B, 327-334 (2021)
- [5] 小坂田ゆかり, 中北英一: 線状対流系の疑似温暖化実験における解像度依存と将来変化のマルチスケール解析, 土木学会論文集 B1(水工学), vo76, No2, I_1-I_6, (2020)

気象衛星ひまわりデータを用いた 可降水量推定に関する研究

奥村 竣¹⁾・白水 元²⁾・武田 嵩生³⁾・朝位 孝二⁴⁾

^{1),3)}山口大学工学部社会建設工学科, ²⁾東海大学建築都市学部

⁴⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. 本研究の背景と目的

近年, 集中豪雨や台風によって, 計画規模を超える洪水が頻発し, 全国各地で氾濫による被害を受けている. 特に, 強い雨や長時間にわたる雨をもたらす局地的集中豪雨や線状降水帯が発生した場合, 河川や排水路の急激な水位の上昇により河川の氾濫や排水機能の停止, 水の逆流などの人命の安全を脅かす水害に発展する. そのため, 強い雨や長時間にわたる雨の発生を高い精度で予測することは, 水害から人命を守る上で重要である. 特に水蒸気は豪雨と密接な関係があり, 水蒸気の挙動を把握することは重要である. 神田ら¹⁾は局地的集中豪雨が発生する2~3時間前に可降水量が急増することを指摘した. 可降水量の観測にはラジオゾンデやGNSSなどがある. ラジオゾンデ観測は精度が高いものの, 1日2回(JST09時・21時)と回数が限られ, また観測場所も限定されている. GNSSは全国1,300地点に及んでいるが観測は陸域のみに限定される. これらのことから既存の可降水量の観測および推定手法では, 広域・高頻度・高分解能の3点を満たす水蒸気観測及び推定手段は確立されていない. そこで, 本研究では, 広大な観測域と高頻度の観測回数を有する気象衛星ひまわり8号及び9号の観測した放射輝度を変換した輝度温度を用いて可降水量を推定することを目的とする.

2. 本研究の手法

2.1 本研究の手順

本研究の手順を図1に示す. 大きく分けた場合, ①検証条件の作成, ②検証モデルの構築, ③評価の3つの手順となる. ①検証条件の作成では, DIAS, 国土地理院, 気象庁から使用するデータを取得し, 輝度温度とGNSS可降水量のデータセットを作成した. これらの取得したデータの期間は2018~2024年, 6月1日~9月30日であり, 使用時刻は, JST(日本標準時)で0900~1700時の1時間ごととした. 取得したデータの詳細は図1に, 電子基準点の位置は, 図2に赤丸で示す. ②検証モデルの構築ではMATLSB内に実装されているニューラルネットワークパターン認証アプリの内, ニューラルネットワークフィッティングを用いた.

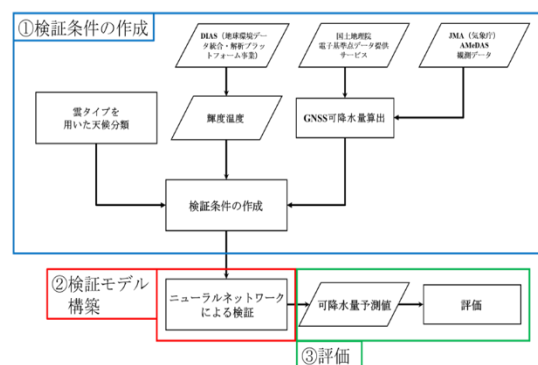


図1 本研究の手順

表1 使用データの仕様

電子基準点	FUKUOKA, KAGOSHIMA1A, KAGOSHIMA3, KUMAMOTO		
使用データ提供先	気象庁	国土地理院	DIAS
データ期間	2018~2024年, 6月1日~9月30日		
使用時刻	0900~1700(JST), 1時間ごと		
使用要素	現地気圧(hPa) 気温(℃)	天頂遅延量 推定値(m)	輝度温度(K) band04~16

2.2 気象衛星ひまわりの輝度温度取得位置

本研究では、DIAS から取得した気象衛星ひまわりの輝度温度データは、0.02 度間隔の格子点ごとに NetCDF ファイルへ格納されており、表 2 に示すように電子基準点と格子点の緯度経度を決め、格子点の緯度経度位置の輝度温度データを使用した。

表 2 輝度温度の取得位置と電子基準点位置

電子基準点名	電子基準点位置	格子点位置	電子基準点位置	格子点位置
	緯度	緯度	経度	経度
FUKUOKA	33.68	33.58	130.3	130.4
KAGOSHIMA1A	31.52	31.52	130.64	130.52
KAGOSHIMA3	31.51	31.52	130.51	130.52
KUMAMOTO	32.84	32.82	130.77	130.7

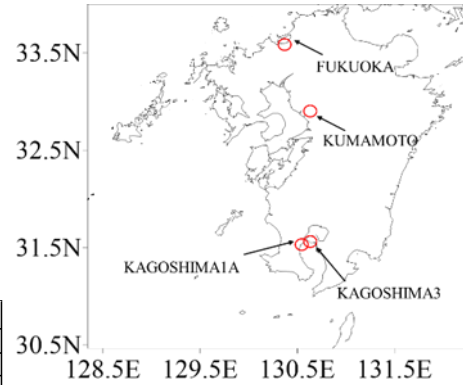


図 2 電子基準点の位置

2.3 天候の分類

本研究では、すべての天候において可降水量を推定するためにデータ期間の内、晴天時と晴天時以外の天候を分類し、それぞれの天候において可降水量の推定を行う。上層雲があると、雲頂高度が高く、輝度温度が低く観測され、また、雲が薄い場合、雲頂高度が高いが、雲が薄く、電磁波が雲を透過し、輝度温度が高く観測される。このことから、図 3 に示すような ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) に基づいた雲のタイプ分類を用いて、晴天時と晴天時以外の天候を分類した。これにより、本研究で使用する各地点のデータの総数が表 3 のようになった。

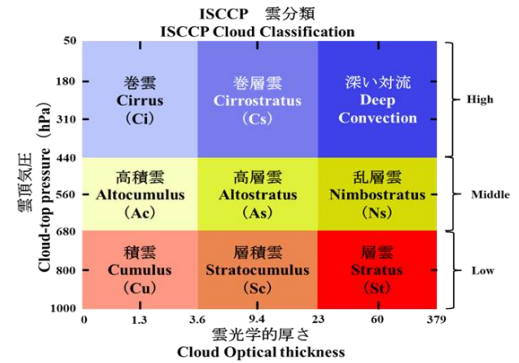


図 3 雲光学的厚さと雲タイプ²⁾

表 3 晴天時と晴天時以外のデータ数

電子基準点名	JST0900, 1700			JST0900~1700		
	晴天	晴天以外	全天候	晴天	晴天以外	全天候
FUKUOKA	319	1368	1687	1560	6126	7686
KAGOSHIMA1A	477	1216	1693	2014	5682	7686
KAGOSHIMA3	477	1216	1693	2014	5682	7686
KUMAMOTO	393	1295	1688	1769	5918	7687

2.4 検証条件

次に、検証を行う条件を決める。本研究では、説明変数を輝度温度、目的変数を可降水量とし、各バンドの想定される用途例など、種々の検討の結果、Case1~18 の合計 18 個の Case 別に検証を行った。また、この Case は、JST0900, 1700 の 2 つの時刻の検証条件とし、JST0900~1700 の全時刻では、赤枠で囲った Case4 と Case18 を検証条件とした。この検証条件を一覧としたものを表 4 に示す。

表 4 検証条件一覧

Case番号	検証条件
Case1	band08
Case2	band09
Case3	band10
Case4	band08~10, 計3バンド
Case5	band13
Case6	band16
Case7	band08~10, band16, 計4バンド
Case8	band08~10, band13, band16, 計5バンド
Case9	band14
Case10	band15
Case11	band08~10, band13とband15の温度差, 計4バンド
Case12	band08~10, band14とband15の温度差, 計4バンド
Case13	band08~10, band13, band15, 計5バンド
Case14	band07~10, band13とband15の温度差, 計5バンド
Case15	band07~10, band13とband14の温度差, 計5バンド
Case16	band08~10, band13~16, 計7バンド
Case17	band07~16, 計10バンド
Case18	band04~16, 計13バンド

3. 検証結果

表 4 で示した検証条件の Case ごとに本研究では、MATLAB でニューラルネットワークを実行し、検証結果を得た。抜粋して、Case4 と Case18 の予測した地点の内、最も精度が高く予測できた学習、全天候、晴天、晴天以外の 4 つの散布図にまとめ、図 4～図 7 に示した。横軸を可降水量予測値、縦軸は GNSS 可降水量の計算値とした。加えて、RMSE、決定係数、相関係数の 3 つの誤差指標を表 6～表 9 に示した。本検証では、学習モデルの学習データの期間は 2018 年～2023 年、6 月 1 日～9 月 30 日、JST0900、1700 及び 2018 年～2023 年、6 月 1 日～9 月 30 日、JST0900～1700 とした。これには、電子基準点 FUKUOKA、KUMAMOTO、KAGOSHIMA1A、KAGOSHIMA3 における晴天時、曇天・降雨時のすべての天候のデータを用いた。検証データの期間は、2024 年 6 月 1 日～9 月 30 日、JST0900、1700 及び 2024 年 6 月 1 日～9 月 30 日、JST0900～1700 とした。地点別の検証データ数を表 5 に示す。

表 8 より、RMSE は、全天候で 10.9 (mm)、晴天時で 7.39 (mm)、晴天時以外で 11.9 (mm) となった。決定係数は、全天候で 0.348、晴天時で 0.611、晴天時以外で、0.243 となった。相関係数は、全天候で 0.619、晴天時で 0.797、晴天時以外で 0.537 となった。RMSE、決定係数の値からモデルの予測精度に関して一定の精度があるとわかった。また、相関係数の値も全天候、晴天時、晴天時以外のいずれの天候においても 0.5 以上であり、実測値の変動傾向を一定程度予測することができた。

表 5 地点別の検証データ

電子基準点名	JST0900, 1700			JST0900～1700		
	晴天	晴天以外	全天候	晴天	晴天以外	全天候
FUKUOKA	65	179	244	301	797	1098
KAGOSHIMA1A	88	156	244	398	700	1098
KAGOSHIMA3	88	156	244	398	700	1098
KUMAMOTO	85	159	244	414	684	1098

表 6 Case4 (JST0900, 1700) の検証結果 (FUKUOKA)

Case4 FUKUOKA	学習	全天候	晴天	晴天以外
RMSE	10.8	12.0	9.76	12.8
決定係数	0.233	0.205	0.320	0.133
相関係数	0.483	0.462	0.584	0.376

表 7 Case4 (JST0900～1700) の検証結果 (FUKUOKA)

Case4 FUKUOKA	学習	全天候	晴天	晴天以外
RMSE	10.8	12.2	10.0	12.9
決定係数	0.215	0.209	0.325	0.118
相関係数	0.464	0.461	0.581	0.348

表 8 Case18 (JST0900, 1700) の検証結果 (FUKUOKA)

Case18 FUKUOKA	学習	全天候	晴天	晴天以外
RMSE	8.95	10.9	7.39	11.9
決定係数	0.472	0.348	0.611	0.243
相関係数	0.687	0.619	0.797	0.537

表 9 Case18 (JST0900～1700) の検証結果 (FUKUOKA)

Case18 FUKUOKA	学習	全天候	晴天	晴天以外
RMSE	9.02	10.8	9.24	11.4
決定係数	0.454	0.373	0.425	0.313
相関係数	0.674	0.625	0.660	0.598

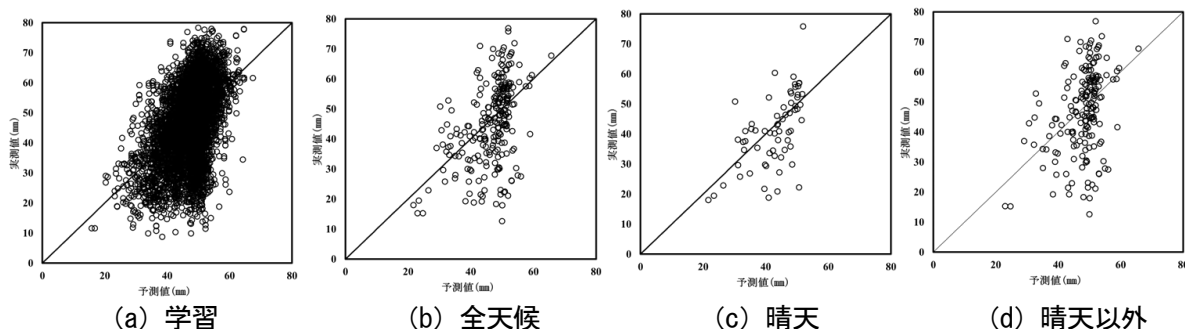


図 4 Case4 (JST0900, 1700) の検証結果 (FUKUOKA)

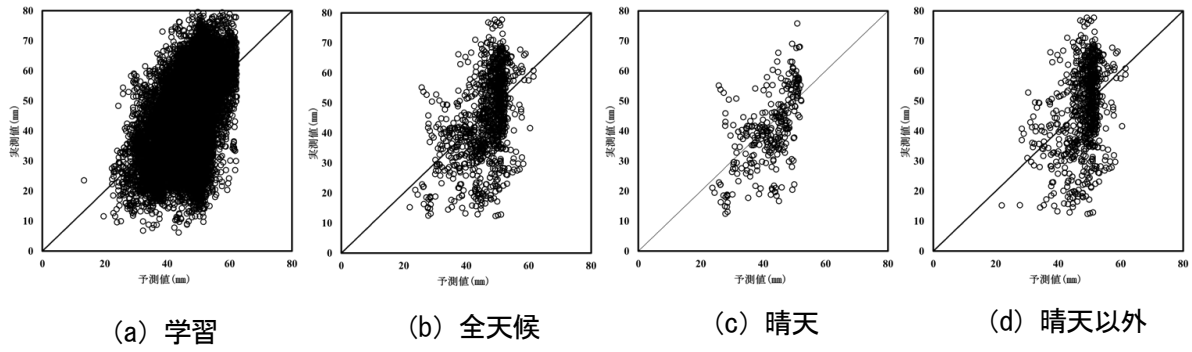


図5 Case4 (JST0900~1700) の検証結果 (FUKUOKA)

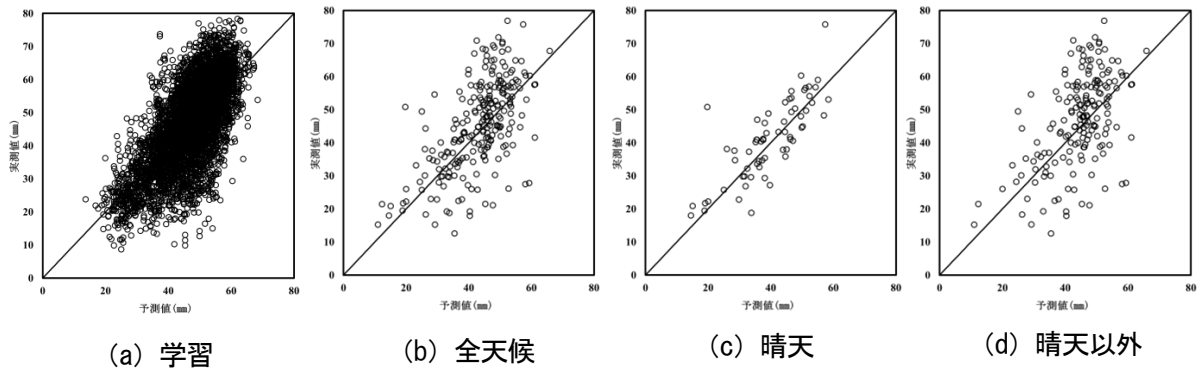


図6 Case16 (JST0900, 1700) の検証結果 (FUKUOKA)

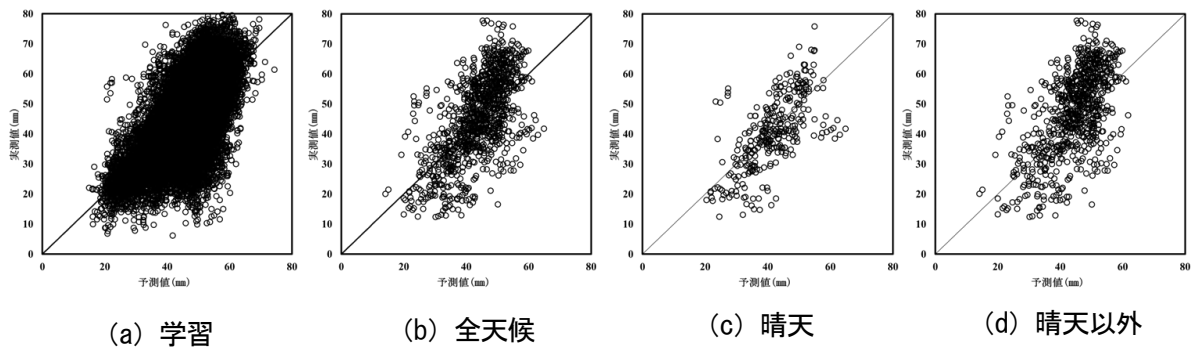


図7 Case16 (JST0900~1700) の検証結果 (FUKUOKA)

4. 結論

本研究では、気象衛星ひまわりの赤外バンドの輝度温度から可降水量を推定させるニューラルネットワークの構築を試みた。その結果、赤外バンドを用いることで可降水量の推定の可能性を示すことができた。しかし、本研究の目的であった広域、高頻度、高分解能を有した可降水量の推定の実現には至らなかった。RMSE の値は、10 (mm) 程度であり、改善の余地があることから、今後はランダムフォレストなどの他の回帰モデルも使用し、推定モデルの改善を行う必要がある。

参考文献

- 1) 神田学, 石田知礼, 鹿島正彦, 大石哲: 首都圏における局地的対流性豪雨と GPS 可降水量の時空間変動—1997 年 8 月 23 日の集中豪雨の事例解析—, 日本気象学会論文集, 第 47 号, pp.7-15, 2000.
- 2) 「JAXA ひまわりモニタ」(宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター)

https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html

ラマンライダー観測データを用いた機械学習 による降水量予測モデルの開発

武田嵩生¹⁾・白水元²⁾・奥村竣¹⁾・朝位孝二³⁾

¹⁾ 山口大学工学部社会建設工学科, ²⁾ 東海大学建築都市学部,

³⁾ 山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

豪雨災害の被害を軽減するためには革新的な豪雨発生予測モデルの構築が必要である。特に九州西部は東シナ海から供給される水蒸気によって豪雨が頻発する。現在福江島と甌島に水蒸気と気温の鉛直分布を計測するラマンライダーとウィンドプロファイラが試験的に設置されている。これは筑後川流域、嘉瀬川流域、六角川流域、球磨川流域、川内川流域に豪雨をもたらす水蒸気が福江や甌島周辺を通過することが多いため、その水蒸気を観測し豪雨予測に資するものである。

松坂¹⁾は甌島の水蒸気フラックスを説明変数として球磨川流域、川内川流域の流域平均時間雨量を目的変数としてNARX (Nonlinear Auto-Regressive with eXogenous) を用いた豪雨予測を検討した。本研究では福江島の水蒸気フラックスを説明変数として筑後川流域、嘉瀬川流域、六角川流域の流域平均時間雨量を目的変数としたAI予測モデルの検討を行う。

2. 研究手法

本研究では松坂と同様、AIの一種であるNARX (Nonlinear Auto-Regressive with eXogenous) を用いた6時間後の降雨予測モデルの開発を行った。また比較対象として時系列予測モデルでは一般的なLSTMとの比較を行った。

本研究では、豪雨の発生と関係が深いとされる950hPa (約600m付近) 面における福江島上空でのERA5による気象データを用い、流域平均時間雨量のデータに関しては気象庁の過去データを用いた。気象庁から取得した各観測所の降水量と各観測所の割合の積を足したものを流域平均雨量とした。表1に本研究で用いたモデルの学習期間、検証期間、テスト期間を示す。図1に水蒸気フラックスを算定した際に使用した各流域の方向角を示す。以下に水蒸気フラックスの算

表1 各データ期間

目的変数 (流域平均時間雨量)			
	学習	検証	テスト
種類	気象庁過去データ		
期間	2006年~2021年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	2022年~2023年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	福江島 2025年(8月1日0時~ 8月31日23時)
説明変数 (流域平均時間雨量, 水蒸気フラックス)			
	学習	検証	テスト
種類	ERA5		
期間	2006年~2021年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	2022年~2023年 (6月1日0時~ 9月30日23時)	ライダー実測値 福江島 2025年(7月1日0時~ 7月31日23時)

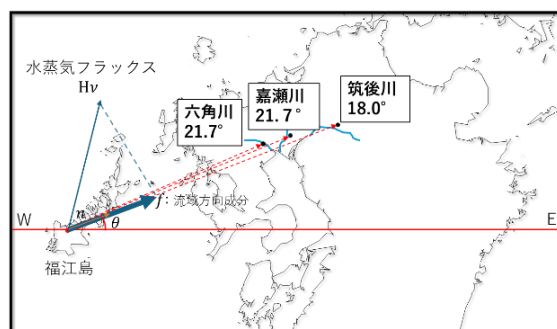


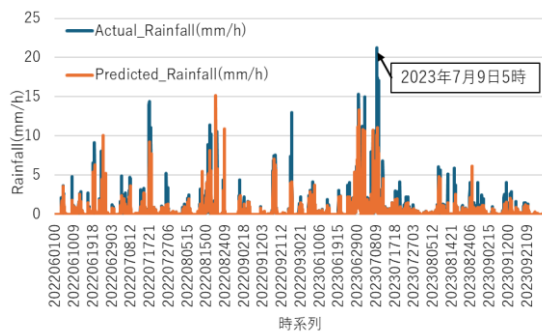
図1 福江島からの方向角

定式を示す。

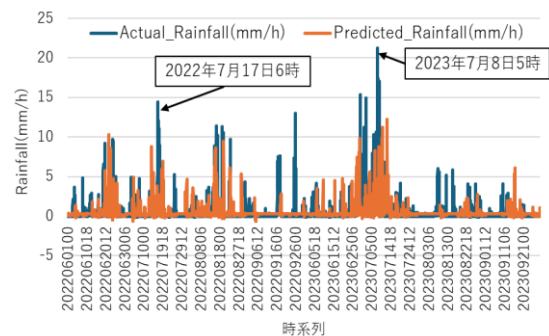
$$f = Hv \times n$$

Hv は水蒸気フラックスを表し、 H は混合比、 v は風速ベクトル(v, u)で $v(m/s)$ ：南北方向風速、 $u(m/s)$ ：東西方向風速の成分を持つ。 f は水蒸気フラックスの流域代表方向成分を表し、 n は福江島からの代表方向単位ベクトルを表す。本研究で用いた水蒸気フラックスは各流域の代表点方向の単位ベクトルと水蒸気フラックスの内積を取ることで水蒸気フラックスの各流域の代表方向成分を取り出し、それを水蒸気フラックスとしている。

方向角は福江島から各流域の任意の地点までの東を0度、北向きを90度としたときの角度である。観測所ラマンライダーによる観測は甌島では2024年1月から、福江島では2025年3月から観測が始まっており、学習用のデータが不足しているため再解析値であるERA5(ECMWF Reanalysis v5)を学習データおよび検証データに用い、テストに実測値を用いた。NARXとLSTMでは学習回数であるepochsは200で学習を行い、それぞれで検証、テストを行って得た結果を平均二乗誤差と相関係数から精度を評価する。本研究では雨だけを説明変数とした場合をモデル1、水蒸気フラックスだけを説明変数とした場合をモデル2、雨と水蒸気フラックスを説明変数とした場合をモデル3として検討を行ったが、ここでは紙面の都合上モデル2についてのみ示す。

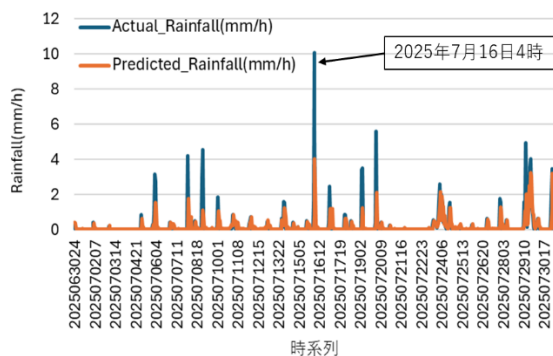


NARX

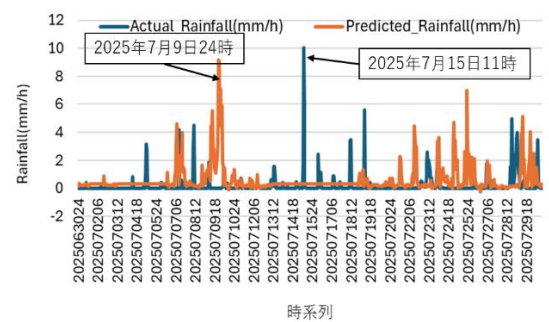


LSTM

図2 筑後川流域検証



NARX



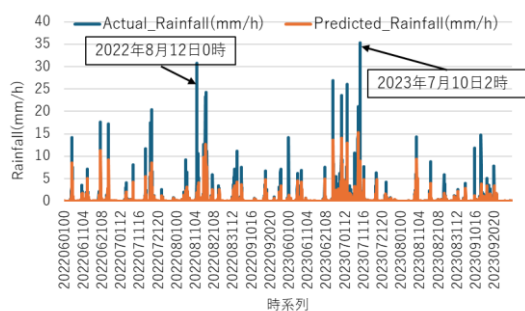
LSTM

3. 予測結果

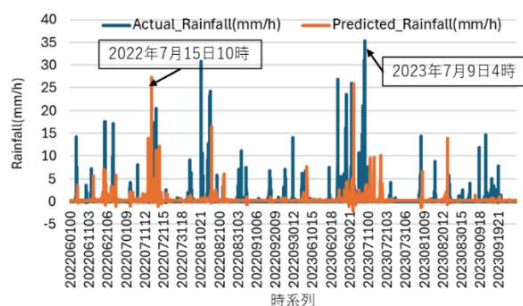
図2にNARXおよびLSTMのモデル2における筑後川流域の検証結果を示す。表2に筑後川流域の精度評価指標を示す。誤差指標としてMSEと決定係数 R^2 を用いた。MSEではNARXは0.941でLSTMは2.36であった。 R^2 では0.518でLSTMは0.0316であった。この結果により検証についてはNARXの精度の方が良いことが分かる。図3にテストの結果を示している。実際の観測値は欠測が多かったため、欠測値は前後の値で線形補間を行っている。検証とは異なり、テスト期間は一か月程度である。テスト結果ではMSEではNARXは0.0468でLSTMは0.2129であった。 R^2 ではNARXは0.288でLSTMは0.00247であった。この結果によりテストでもNARXの方が精度が良いということがわかる。LSTMでは雨の降っていない日時での過剰評価が激しく、逆に雨の降っている日時での過小評価が目立つことが分かる。また、テスト結果ではNARXとLSTMの両方とも定量的にはピーク時の降水量は予測できていないものの、NARXの方がLSTMよりも時刻のずれが小さいことが分かる。

表2 筑後川流域の精度評価指標

検証	NARX	LSTM
MSE	0.941	2.36
R^2	0.518	0.0316
テスト	NARX	LSTM
MSE	0.0468	0.2129
R^2	0.288	0.00247

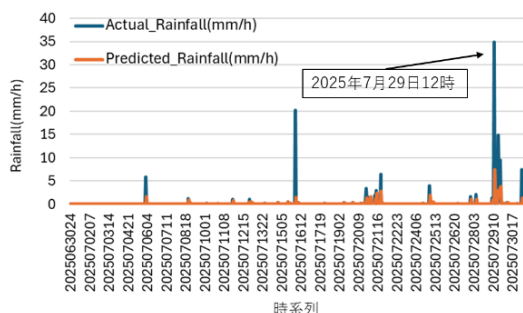


NARX

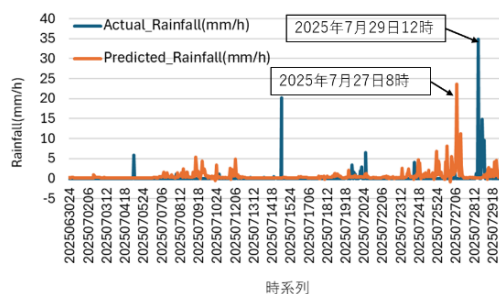


LSTM

図5 六角川流域検証



NARX



LSTM

図6 六角川流域テスト

図 5 に NARX および LSTM のモデル 2 における六角川流域の検証結果を示す。また、表 4 に六角川流域の精度評価指標を示す。MSE では NARX は 2.29 で LSTM では 3.83 であり、 R^2 では NARX は 0.269 で LSTM は 0.0074 であった。この結果により検証については筑後川流域と同様に NARX の方が精度が良いことが分かる。ただし、六角川流域の検証結果は筑後川流域より精度が悪いことが伺える。

表 4 六角川流域の精度評価指標

検証	NARX	LSTM
MSE	2.29	3.83
R^2	0.269	0.0074
テスト	NARX	LSTM
MSE	0.353	0.638
R^2	0.0730	0.000573

図 6 にテスト結果を示す。MSE では NARX は 0.353 で LSTM では 0.638 であり、 R^2 では NARX は 0.0730 で LSTM は 0.000573 であった。この結果によりテストでも筑後川と同様に NARX の方が精度が良いことが分かる。六角川流域でも筑後川流域と同様にテスト結果では LSTM では雨の降っていない日時での過剰評価が激しく、逆に雨の降っている日時での過小評価が目立つことが分かり、NARX と LSTM の両方とも定量的にはピーク時の降水量は予測できていないものの、NARX の方が LSTM よりも時刻のずれが小さいことが分かる。しかしながら、どちらの流域においても NARX ではピーク時の降水量が予測できておらず過小評価が目立つ結果となっている。これらの結果は、学習に再解析データである ERA5 を用い、テストにライダーの実測値を用いたことによるデータ特性の違いや、学習データ量の不足が影響している可能性が考えられる。

4. 結論

本研究では、福江島ラマンライダーによって観測された水蒸気フラックスを用い、NARX および LSTM の機械学習モデルにより 6 時間先の流域平均雨量予測を試みた。その結果、検証では NARX モデルは LSTM モデルと比較して精度の良い予測性能を示し、特に降水ピークの発生時刻をとらえる点で有効であることが分かった。また、テスト結果でも NARX モデルは LSTM モデルと比較して精度の良い予測性能を示した。テスト結果において LSTM では強雨時のピークを十分に再現できていない場合や逆に雨があまり降っていない日時に過剰に予測している場合が多く、NARX では日時のずれは小さいものの、強雨時のピークを十分に再現できていないなどの問題の改善が必要であるため課題としたい。

参考文献

- 1) 松坂琉生, 朝位孝二, 白水元, 西山浩司, 弘中勇駿: 東シナ海からの水蒸気フラックスを考慮した球磨川・川内川流域の NARX による豪雨発生予測モデルの開発, 自然災害協議会中部地区部研究論文集

CNN・RNN 統合モデル 衛星・地上ライダーデータ 融合による流域平均雨量階級予測モデルの検討

原田 朋弥¹⁾・白水 元²⁾

¹⁾東海大学大学院工学研究科, ²⁾東海大学建築都市学部

1. はじめに

近年, 集中豪雨や線状降水帯が各地で発生し, 洪水や土砂災害などの深刻な被害が報告されている。これらの現象は温暖化の進行とともに頻度・強度を増しており, 今後さらなる被害の拡大が懸念されている。特に九州地方は地理的, 地形的条件から豪雨災害のリスクが高く, 実際に令和2年7月には, 九州中南部を流れる一級河川球磨川において, 時間雨量 30 mm 以上の降水が 8 時間以上継続し¹⁾, 大規模な氾濫被害が発生した。球磨川は河道勾配が大きく流速が速い日本三大急流の一つであり, 降雨時に水位が急上昇しやすいことから, 水害リスクが高い。このため, 球磨川流域における降水の発生や強度を即時に把握することは, 防災, 減災の観点から極めて重要である。そのような中で, 静止気象衛星「ひまわり 8 号・9 号」は, 可視から赤外に至る 16 波長帯の観測 (表 1) を, 2.5 分間隔で行うことが可能であり²⁾, 急激な気象変化を捉える有力な観測手段として活用が模索され, 観測データに深層学習を適用し, 降水推定を行う研究が進められている。藤本・手計 (2024)³⁾ はバンド 7-16 に加え地形データを用いた深層学習によりピーク時間前後の 1 時間積算降水量を推定し, Hirose ら (2019)⁴⁾ は 7-16 バンドの赤外データを用いて 1 時間積算降水量の推定を行っている。

しかし既存研究では, 流域平均雨量予測において, どのひまわりバンドが有効であるかについて, 定量的な比較に基づく検討は十分に行われていない。さらに衛星の水平分布情報に加えて, ラマンライダーのような鉛直方向の大気情報を統合した深層学習モデルの検討も行われていない。

そこで本研究では, 球磨川流域を対象として, 畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた流域平均雨量の予測を行い, 分類性能 (Accuracy, Precision, Recall, F1-Score) による評価を実施した。また, L1 正則化を適用し, 予測・分類に寄与するデータの検討を行った。さらに, ひまわりデータに CNN, ライダーデータに RNN を適用した統合モデル (CNN+RNN) を構築し, 衛星データのみを用いたモデルとの比較し, データ統合の有効性について検討した。

表 1 ひまわり 8 号・9 号ピーク観測高度⁵⁾

バンド	7	8	9	10	11
波長(μm)	3.83	6.24	6.94	7.35	8.59
観測対象(雲あり)	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度
観測対象(雲なし)	地表面温度 (純粋な赤外温度)	300-400hPa 水蒸気	400-500hPa 水蒸気	500-600hPa 水蒸気	地表面温度 (水蒸気影響)

バンド	12	13	14	15	16
波長(μm)	9.64	10.4	11.2	12.4	13.3
観測対象(雲あり)	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度	雲頂温度
観測対象(雲なし)	対流圏下層温度 成層圏オゾン	地表面温度	地表面温度 (氷晶雲影響)	地表面温度 (水蒸気影響)	地表面温度 (CO ₂ 影響)

2. 研究方法

入力データには、気象衛星ひまわり 8・9 号の観測データと、下甕島に設置され下層の水蒸気観測に優れたラマンライダーの水蒸気混合比の観測データを用いた。ひまわりデータは赤外バンド（バンド 7-16）10 バンドを使用し、北緯 29-36 度・東経 126-133 度の範囲(図-1)に切り出し使用した。データの NaN は 0.0 に置換し、各ファイル内の値を最大値で除することで 0-1 の範囲に正規化した。データセットは、全データを学習データとテストデータが 4:1 となるようにランダムに分割した。本研究における降水量のクラス分けは、気象庁アメダス観測所の雨量計データに基づいて行った。対象地域は球磨川水系流域内に位置する 14 地点のアメダス観測所(図-2)であり、ティーセン分割により流域平均降水量を算出した。流域平均降水量に基づき、0 mm/h をクラス 1、0 mm/h 以上 10 mm/h 未満をクラス 2、10 mm/h 以上をクラス 3 として 3 階級に分類した。深層学習モデルの概要を図 2 に示す。ひまわりデータはバンド 7-16 をまとめて CNN に入力し(図-3 の①) ライダーデータは 1 時間平均の水蒸気混合比の鉛直構造を 24 時間分の時系列として RNN に入力した(図-3 の②)。CNN+RNN モデルでは、これら 2 種類の特徴量を統合して 3 階級分類を行い、1, 3, 6, 9, 12 時間前のデータを用いた流域平均雨量階級の予測を行った。また、L1 正則化を導入し、分類に寄与するバンドについても検討を行った。

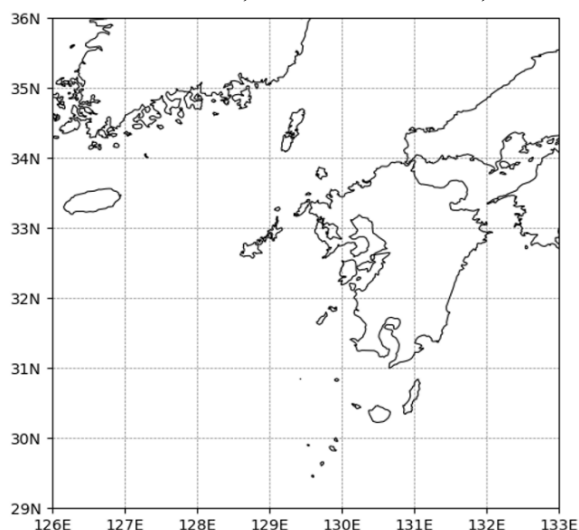


図 1 データ範囲

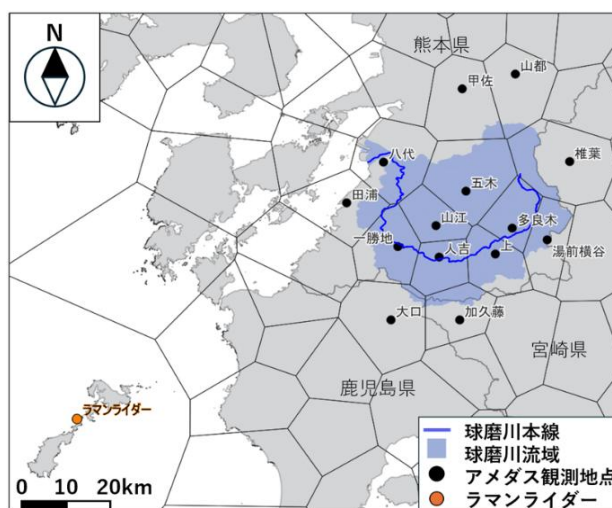


図 2 アメダスとラマンライダーの位置

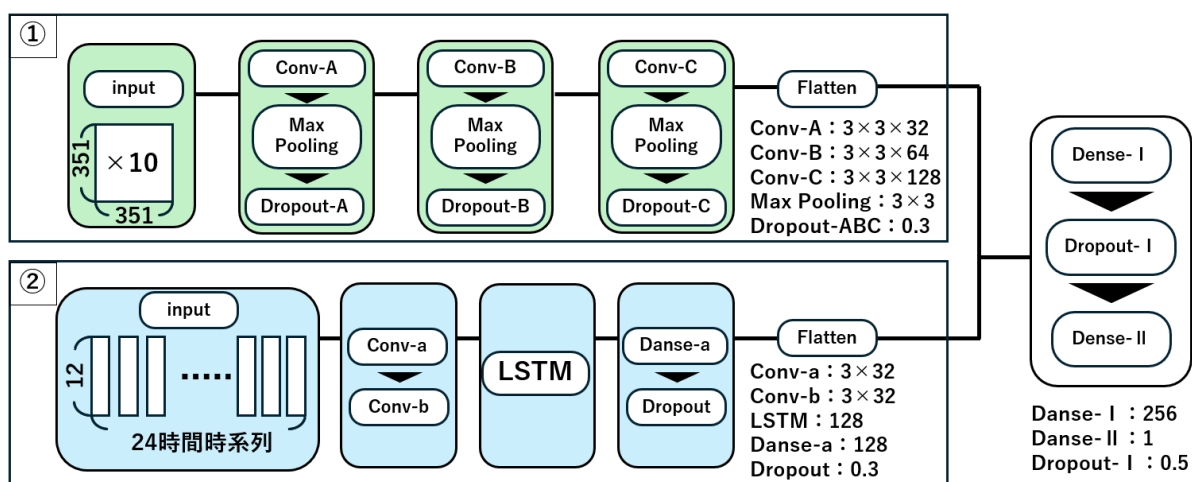


図 3 モデル構成図

3. 結果と考察

3.1 衛星バンド寄与率

ひまわり衛星の赤外バンドのみを入力とした CNN モデル (図 3 ①) を用い、予測時間ごとの流域平均雨量階級予測における各バンドの寄与率を検討した。データ期間は 2018-2024 年の 5 月-10 月に観測されたデータを使用した。学習データとテストデータは各クラスの件数が 1 対 1 対 1 となるようにランダムに抽出した。階級は、流域平均雨量が $R=0 \text{ mm/h}$ をクラス 1, $0\text{mm/h}<R<10\text{mm/h}$ をクラス 2, $R\geq 10\text{mm/h}$ をクラス 3 とした。学習データおよびテストデータの作成にあたっては、各クラスのデータ件数が同数となるように抽出し、学習データは各クラス 1,225 件ずつ、テストデータは各クラス 306 件ずつを使用した。これにより、学習・評価の双方においてクラス不均衡の影響を排除し、モデルが流域平均雨量階級を同程度に識別できる条件を整えた。

結果として予測ごとの Accuracy は、1 時間前 50.71%, 3 時間前 50.11%, 6 時間前 54.19%, 9 時間前 55.87%, 12 時間前 53.80% と大きな差は見られなかった。

しかしバンド 7 ($3.8\mu\text{m}$) の寄与率に注目してみると、1 時間前 4.79%, 3 時間前 7.00%, 6 時間前 20.21%, 9 時間前 12.57%, 12 時間前 11.82% となり、6 時間前に 20.21% と高い寄与率を示した (表 2)。バンド 7 は水蒸気や火山灰などといったエアロゾルに影響を受けにくい波長帯であり、純粋な輝度温度が観測されるとされている (表 1) ⁵⁾。そのため 6 時間前に観測される輝度温度の変化が流域平均雨量の階級を決定づける重要な手がかりとなっていると推測する。また、3 時間前、1 時間前では降水を発生させる雲がすでに形成されており、雲頂温度を観測するとされる (表 1) ⁵⁾ ため、他のバンドで保管されるため、バンド 7 の寄与率が低下したと考えられる。

さらに、水蒸気にピーク感度を有するバンド 8-10 (表 1) ⁵⁾ に着目すると、寄与の中心となる高度帯が時間とともに移動していることが示された (表 2)。1 時間前では、バンド 8 ($6.2\mu\text{m}$ 300-400hPa 水蒸気) の寄与が最も大きく、上層での湿潤化が降水直前の重要な指標となった。3 時間前では、バンド 9 ($6.9\mu\text{m}$ 400-500hPa 水蒸気) およびバンド 10 ($7.3\mu\text{m}$ 500-600hPa 水蒸気) が高い寄与を示し、下層から中層にかけての水蒸気輸送に注目している。6 時間前では、バンド 9 の寄与が最大となり、中層での水蒸気の集積が降水発生に向けた重要な要素となっていた。9 時間前になると、バンド 10 の寄与率が高くなり、下層での湿潤空気の供給に着目している。これらの時間ごとの水蒸気バンドの寄与の変化は、その物理的背景が未解明な部分が多い線状降水帯などの豪雨発生メカニズムの一つである「下層から上層へ向かう水蒸気移送」と一致しており、機械学習モデルが大気鉛直的な水蒸気分布の変化に着目して学習していることを示唆している。一方で 12 時間前という早い段階では、まだ雲の発達が顕著でなく、水蒸気鉛直分布に大きな偏りが形成されていないため、バンド 8-10 がほぼフラットな寄与を示したと考えられる。

表 2 バンド寄与率 (%)

バンド	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 時間	4.79	15.17	9.47	10.11	11.17	11.68	13.53	12.62	6.50	4.94
3 時間	7.00	14.46	15.98	0.00	12.86	7.71	11.40	13.62	11.38	5.58
6 時間	20.21	8.37	15.80	7.65	14.57	6.73	0.00	11.90	8.98	5.78
9 時間	12.57	7.92	11.04	14.89	11.97	6.13	13.34	9.74	8.76	3.65
12 時間	11.82	12.00	12.79	13.22	11.65	5.24	13.13	11.50	0.00	8.64

3.2 CNN+RNN

ひまわりデータとラマンライダーの観測データを統合した CNN+RNN モデル（図 3①②）を用いて、予測時間ごとの流域平均雨量階級予測における分類性能を検討した。対象期間は、ラマンライダーの観測が行われている 2024 年 5 月-10 月とし、学習データとテストデータは総サンプル数が限られているためランダムに 4 対 1 で選定した。階級は前節と同じに設定し、学習データはクラス 1 が 169 件、クラス 2 が 491 件、クラス 3 が 155 件とした。テストデータは同様にクラス 1 が 43 件、クラス 2 が 120 件、クラス 3 が 40 件とした。

結果として流域平均雨量 10 mm/h 以上階級の Accuracy が 3 時間前予測以外で向上した（表 3）。これより、ラマンライダーの高度方向の水蒸気情報を併用することで、特に流域平均雨量 10 mm/h 以上の高雨量階級において分類精度が向上し、降水の発生・発達に重要となる鉛直水蒸気構造が有効に寄与している可能性が示された。

表 3 域平均雨量 10mm/h 以上階級の Accuracy (%)

	1 時間前	3 時間前	6 時間前	9 時間前	12 時間前
CNN	42.50	42.50	47.50	45.00	40.00
CNN+RNN	50.00	42.50	50.00	52.50	47.50

4. まとめ

本研究では、ひまわり赤外バンドを用いた CNN モデルにより、6 時間前の輝度温度変化が流域平均雨量の判別に重要であること、また水蒸気バンド 8-10 の寄与が時間とともに上層から下層へ移動し、機械学習モデルが流域平均雨量予測に水蒸気移送を捉えていることが示された。さらに、衛星データにラマンライダーの鉛直水蒸気情報を統合することで高雨量階級の予測精度が向上し、その有効性を示した。

謝辞

本論文の研究は、国立研究開発法人海洋研究開発機構が運営する、データ統合・解析システムから取得したひまわりデータを用いた。また、降水量データについては、気象庁が提供するアメダスの観測データを用いた。さらに、本研究の遂行にあたり、東海大学のゴ・カキさん、宇井啓人さん、直木和弘さん、そして中島孝教授から多くの有益な助言と支援を受けた。ここに敬意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：令和 2 年 7 月豪雨による被害状況等について（第 9 報），2020.
<https://www.mlit.go.jp/common/001354304.pdf>（2025/5/9 閲覧）
- 2) 気象庁：ひまわり衛星バンドの波長について，
https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/himawari89/himawari8_band.html（2025/5/9 閲覧）
- 3) 藤本寛生，手計太一：静止気象衛星ひまわりを用いた深層学習による新たな衛星雨量 HiDREDv2 の提案，土木学会論文集，80 巻，16 号，2024.
- 4) Hirose H., Shige S., Yamamoto M.K., Higuchi A. : High Temporal Rainfall Estimations from Himawari-8 Multiband Observations Using the Random-Forest Machine-Learning Method , Journal of the Meteorological Society of Japan, 97(3), 689–710, 2019.
- 5) 気象庁気象衛星センター：気象衛星センター技術報告 特別号（2022 年 3 月），Meteorological Satellite Center Technical Note Special Issue (March 2022), 気象衛星センター，2022.
https://www.data.jma.go.jp/mscweb/technotes/msctechrep-sp_202203.pdf（2026/1/23 閲覧）

湾曲水路における外側破堤と内側破堤の 流出角度に関する実験的研究

大浦 郁月¹⁾・木原 凜²⁾・朝位 孝二²⁾

¹⁾山口大学工学部, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

近年の台風や集中豪雨等の自然災害による河川堤防の破堤に伴って生じる洪水災害への対策が課題となっている。河川堤防が破堤する際に氾濫流が慣性力の働きによって水路横断方向に対して角度をもって流れ出ることから、氾濫流の流出角度は洪水被害を予測するための重要な要素である。

三戸ら¹⁾は、水衝部となる可能性が高い湾曲部外側に横越流堰位置を設置し、直線水路と湾曲水路における横越流の流出角度について実験的に研究を行った。湾曲水路での流出角度は、フルード数の増減が流出角度に与える影響は堰上流端よりも堰下流端で大きいことや堰上流端の流出角度は曲率半径による遠心力の影響を強く受けており、曲率半径が大きくなるほど角度が小さくなることを示した。三戸ら¹⁾による研究では、堰位置 $\phi=90^\circ$ の湾曲部外側が破堤した場合のみ流出角度について検証しているが、実際の河川において内側が水衝部となる可能性がある。

以上により、本研究は三戸ら¹⁾による研究の延長として内側破堤と外側破堤の流出角度の関係について明らかにすることを目的とし、堰位置 $\phi=90^\circ$ の内側破堤での流出角度について実験的に研究を行う。

2. 実験装置と実験条件

実験は図1に示す湾曲水路で行った。水路は貯水槽・水路部で構成される湾曲水路で行い、湾曲水路の水路部は1.0mの直線部と湾曲部で構成されるアクリル製の開水路で水路末端に堰を設けている。この堰により水深を変化させることによりフルード数を調整した。水路幅 $B=0.20\text{m}$ 、横越流堰幅 $L=0.20\text{m}$ 、堰位置 $\phi=90^\circ$ は固定とする。実験条件を表1に示す。湾曲部の曲率半径は $R=0.50\text{m}$ 、 0.70m 、 0.90m の3種類とし、フルード数を6種類、流入流量を6種類設定した。フルード数 Max は水路末端の堰高さを0にした場合で、その実験条件において設定することができる最大のフルード数である。図中の赤点は計測点であり、水深と流速を計測する。

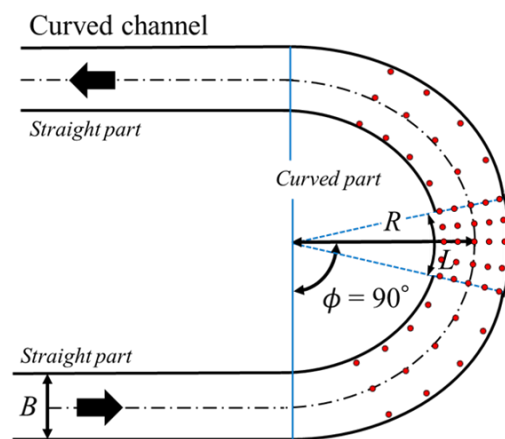


図1 水路概略図

図2に横越流堰の形状を示す。流入流量を Q_{IN} 、流出流量を Q_{OUT} 、横越流流量を Q_L 、横越流堰幅を L とする。水路中央水深のうち、越流堰中央部、上流端、下流端の水深をそれぞれ h 、 h_1 、 h_2 とし、越流部上流側の流出角度を θ_1 、越流部下流側の流出角度を θ_2 とする。流出角度は反時計回りを正として計測するものとする。

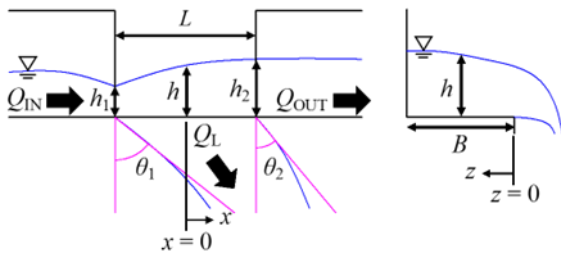


図2 横越流堰形状

曲率半径 $R(\text{m})$	流入流量 $Q_{\text{IN}} \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$	フルード数 $Fr_1 = \frac{Q_{\text{IN}}/(Bh_1)}{\sqrt{gh_1}}$
	1.5	0.65
	1.9	0.70
0.50	2.2	0.80
0.70	2.7	0.90
0.90	3.0	0.95
	3.4	Max(0.96~1.08)

表1 実験条件

3. 実験結果

(1) フルード数と流出角度の関係

図3は、フルード数と流出角度の関係について内側破堤と外側破堤を比較したものである。横軸にフルード数 Fr_1 、縦軸に流出角度を示している。その一例として $R=0.70\text{m}$ の $Q_{\text{IN}}=3.4 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$ の結果を示す。内側破堤のグラフでは標準誤差をエラーバーとして表示している。

図3(a)は、横越流堰上流側の流出角度 θ_1 の計測結果である。フルード数の増加に伴って流出角度 θ_1 が大きくなる傾向がみられる。また、すべてのフルード数において内側破堤での流出角度が大きく、その差は $2.4^\circ \sim 3.1^\circ$ とフルード数による変化はわずかである。

図3(b)は、横越流堰下流側の流出角度 θ_2 の計測結果である。流出角度 θ_2 でもフルード数の増加に伴って流出角度 θ_2 が大きくなる傾向がみられる。内側破堤の流出角度より外側破堤が大きい傾向にあるが、内側破堤の $Fr_1=\text{Max}$ おいて約 50° の増加がみられ大小関係が逆転した。

図4は、フルード数と流出角度の関係について曲率半径 R をパラメータとして示したものである。一例として流入流量 $Q_{\text{IN}}=3.0 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$ の結果を示す。

図4(a)は、横越流堰上流側の流出角度 θ_1 の計測結果である。 $R=0.70\text{m}$ での流出角度が大きい傾向があり、流入流量が大きくなると顕著にみられた。 $R=0.50\text{m}$ と $R=0.90\text{m}$ においては大小関係に一貫性はみられなかった。

図4(b)は、横越流堰下流側の流出角度 θ_2 の計測結果である。 $R=0.50\text{m}$ での流出角度が小さい傾向にあり、 $Fr_1=0.65, 0.70$ で負の角度がみられた。 $R=0.70\text{m}$ と $R=0.90\text{m}$ においては、大小関係に一貫性はみられないが、 $Fr_1=0.95$ や 0.96 といった射流に近い条件では $R=0.70\text{m}$ の流出角度が突出して大きくなった。 $R=0.50\text{m}$ においては実験装置の都合上、一定以上流出角度が大きくなると計測することができなかった。

(2) 相対水深と流出角度の関係

図5に相対水深と流出角度の関係の一例として $R=0.90\text{m}$ の結果を示す。横軸に相対水深 h_1/L 、縦軸に流出角度を示している。図5(a)は、横越流堰上流側の結果である。各フルード数に着目すると、相対水深の大きさと流出角度 θ_1 の大きさにはバラつきがあり、一貫性はみられなかった。

図5(b)は、横越流堰下流側の結果である。すべてのフルード数で相対水深が大きくなると流出角度も大きくなる傾向がみられた。

(3) 水深分布と流速ベクトル

図6は、水深分布と流速ベクトルの一例として $R=0.70\text{m}$ の $Q_{\text{IN}}=3.4 \times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{s})$ の結果を示す。これらは、図3(b)に示すグラフにおける内側破堤の $Fr_1=0.95, \text{Max}(=0.98)$ の結果で急激な増加が起こる前後

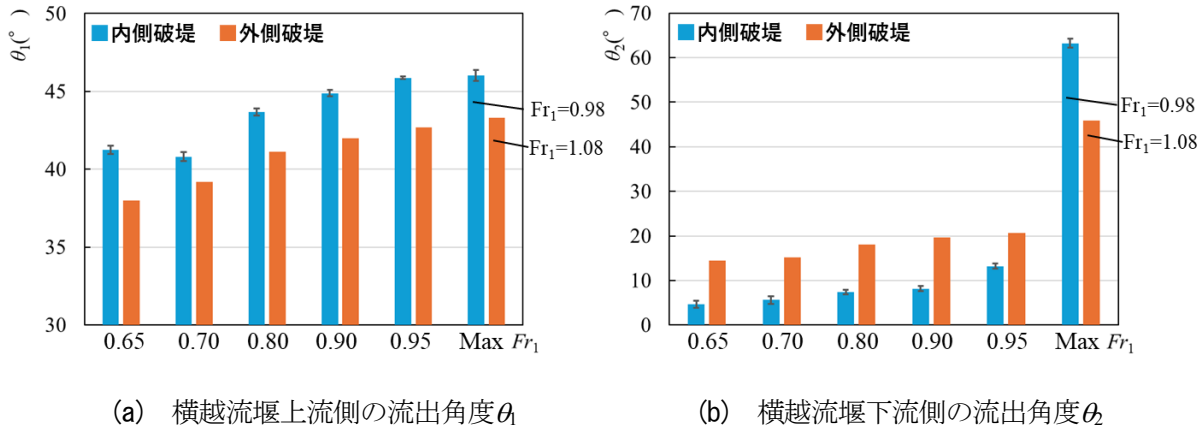


図3 フルード数と流出角度の関係

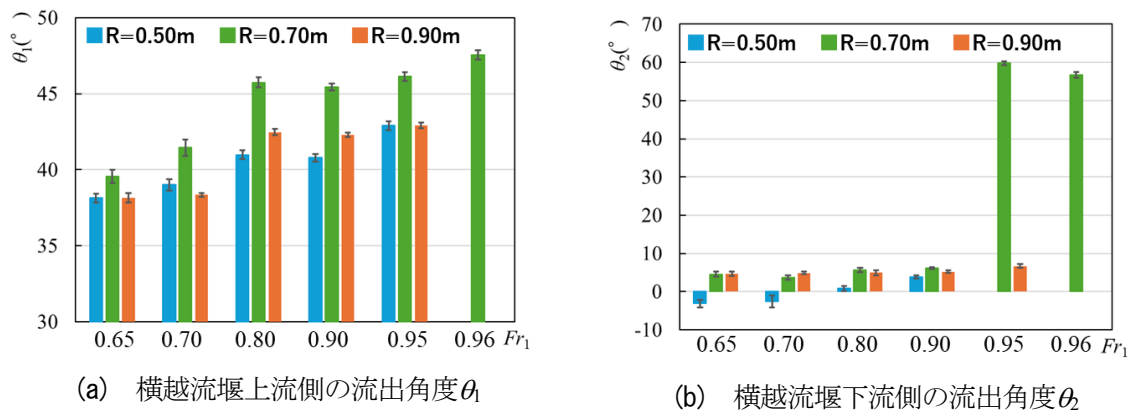


図4 曲率半径と流出角度の関係

である．上部が $Fr_1=0.95$ ，下部が $Fr_1=0.98$ である．これらを比較すると，横越流堰よりも下流側の水深で大きな違いがみられた．流出角度 θ_2 の急激な増加がみられなかったすべての条件では， $Fr_1=0.95$ のように上流側より下流側で水深が大きく，横越流堰付近で最も小さいという結果となった．一方で， $Fr_1=0.98$ のように流出角度 θ_2 の急激な増加がみられたすべての条件では，上流側の水深に違いはみられないものの下流側で水深が著しく低下し，上流側よりも水深が小さくなった．

(4)横越流流量の実測値と計算値の比較

図7に横越流流量の実測値と計算値の比較の一例として $R=0.70\text{m}$ の結果を示す．横軸に横越流流量の計算値 Q_{Lcal} ，縦軸に横越流流量の実測値 Q_{Lexp} を示している．横越流流量の計算値の算定のため朝位ら²⁾の流量算定式のモデル係数を用い，結果の比較を行う．朝位ら²⁾の式を以下に示す．

$$Q_{Lcal} = C_a \cdot 0.35 \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot h_1^{3/2} \quad (1)$$

C_a は補正係数で以下のように与えられる．

$$C_a = 1.670 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^0 \cdot \left(1 - \frac{W}{L}\right)^{0.444} \cdot Fr_1^{0.113} \cdot \left(1 - \frac{B}{R}\right)^{1.308}$$

ここで， h は横越流堰上流端の水路中央水深， g は重力加速度， L は横越流堰幅， B は水路幅， W は横越流堰高， Fr_1 は横越流堰上流端断面のフルード数， R は曲率半径である．本研究では，横越流堰幅と水路幅を1条件で固定としているためこのパラメータの依存性は考慮できないための L/B のべき乗数

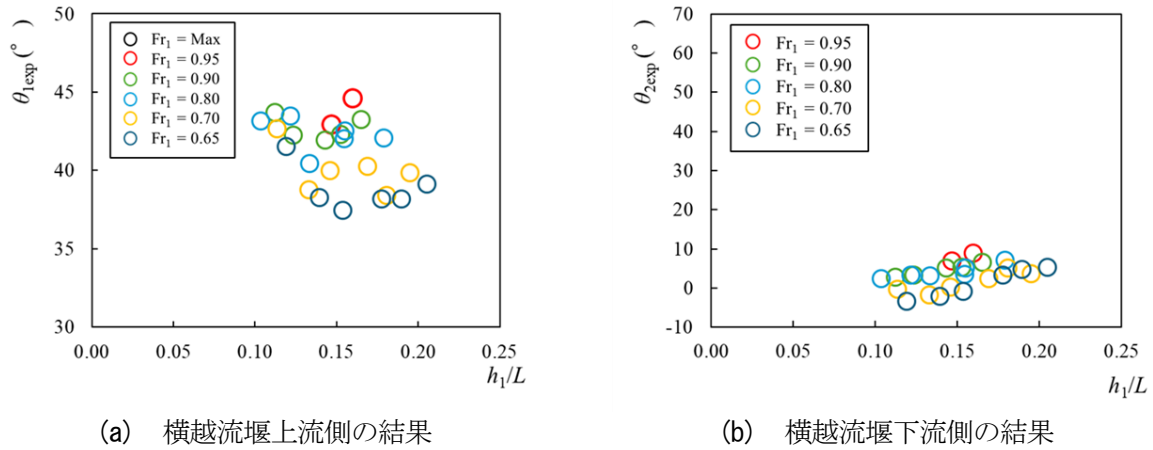


図5 相対水深と流出角度の関係

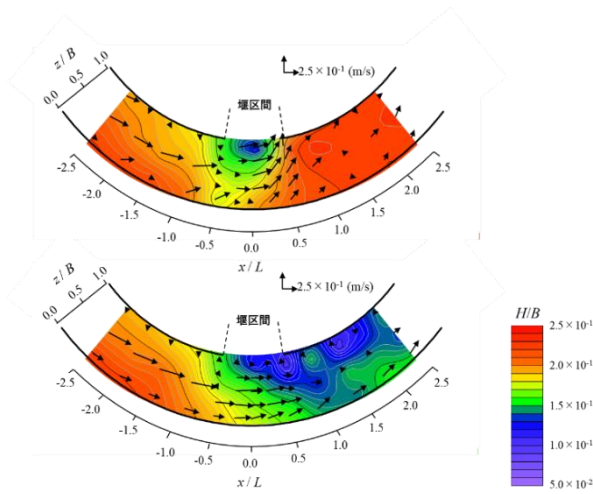


図6 水深分布と流速ベクトル

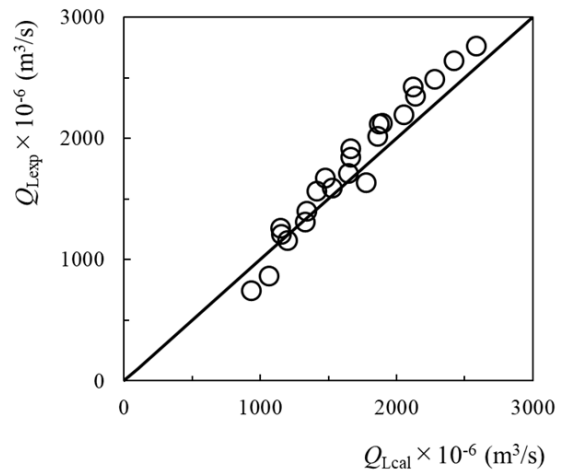


図7 横越流流量の実測値と計算値の比較

は0となっている。 $R=0.70\text{m}$ では直線的に分布しているが、全体的に実測値が計算値よりも大きく、実測値に対して計算値が過小評価の傾向にある。特に横越流流量が大きくなるとその傾向が強くなった。相対誤差は、9.06%だった。

4. おわりに

本研究では湾曲水路の横越流における内側破堤の流出角度に関する実験的研究を行った。 θ_1 においては流出角度について明確な傾向がみられ、フルード数の増加に伴って流出角度も増加することや、内側破堤の流出角度が外側破堤の流出角度より大きいことがわかった。 θ_2 においては全体的に傾向に一貫性がみられなかったが、 $R=0.70$ において射流に近い条件で流出角度が急激に増加するという現象がみられた。 今後は、より多くのフルード数や曲率半径について実験を行い、この現象が起こりうる条件を明らかにする必要があると考える。

参考文献

- 1) 三戸裕矢, 朝位孝二, 渡辺勝利: 直線水路と湾曲水路の横越流における流出角度に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1(水工学), 2025
- 2) 朝位孝二, 河元信幸, 白水達也, 白水元: 湾曲水路の内側破堤と外側破堤の流出特性に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I_637-I_642, 2018.

東広島市西条町の地質特性と土石流堆積物の年代

松木 宏彰¹⁾・鈴木 素之²⁾・軸屋 雄太²⁾・小林 姫奈³⁾

¹⁾復建調査設計(株), ²⁾山口大学大学院創成科学研究科, ³⁾山口大学工学部

1. はじめに

広島県南部には、中生代白亜紀後期の花崗岩類が広く分布し、風化した花崗岩類は、豪雨等で崩壊しやすく、過去にも多くの土砂災害が発生し、人的被害を生じてきた。2018年7月に発生した西日本豪雨災害では、東広島市や呉市の中生代白亜紀後期の流紋岩類地帯でも、多くの土砂災害による被害が生じた。これまで、2018年7月に土石流災害の多発した広島県坂町や東広島市周辺について、土石流の発生履歴の調査を行ってきた^{1), 2)}。このうち、流紋岩が分布する東広島市黒瀬町広島国際大学南方斜面と、その西側の地区を調査対象とした調査では、土石流の発生間隔は90~216年前と推測されている²⁾。今回は、東広島市西条町千足池南部の溪流で調査を行った結果をもとに、分布する土石流堆積物の土質特性および土石流堆積物の年代と土石流発生間隔について述べる。なお、本稿は既発表³⁾に追加調査結果を加え再検討を加えたものである。

2. 調査と地形地質状況

2.1 調査方法

図-1 に調査地区の位置図と空中写真を示す。現地調査は、土石流発生溪流および周辺部の地形地質と、土石流堆積物の状況を観察し、堆積物の分布状況の記載と炭化物試料のサンプリングを行った。さらに土石流堆積物の特性を明らかにするため採取した試料の室内土質試験を行った。調査箇所は、2018年7月に土石流が発生した溪流で、細粒な堆積物が卓越する箇所を重点的に観察し、炭化物試料の放射性炭素(¹⁴C)年代を測定することで土石流堆積物の年代を推定した。

2.2 調査地の地形地質と土石流の状況

調査地域は、基盤岩として中生代の花崗岩および流紋岩類の分布する地区で、尾根から上流側の区域は流紋岩が分布し、下流部に花崗岩が分布する。

調査箇所は、南南西から北北東にのびる丘陵の東向き斜面で、尾根付近の標高は350 mで県道付近の標高は約250 mである。空中写真判読結果によれば、周辺の複数の溪流で土石流の発生箇所が確認され、斜面上方の傾斜が20°~30°



図-1 東広島市西条町の調査地区と空中写真
(基図：国土地理院 GIS マップ)

の付近に 3 箇所の源頭部が存在し、中腹部から下流部では傾斜が $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ となり、土砂の一部は県道付近に流下した。写真判読と現地調査によれば、溪流出口の県道脇には簡易な土留柵があるが、流路工や砂防施設は設置されていないことから、土石流の本体は斜面下方の途中で停止し、道路等への大きな被害はなかったと推定される。

2.3 地層の特徴

図-2 に調査地点の溪流左岸側の崖の写真を示し、地層の状況を述べる。この溪流は、長さ約 400 m の溪流で、二次浸食により形成された深さ 2.5 m、幅 3~4 m の崖において、過去の堆積物の状況を観察した。地層は下位より、As 層（灰褐色の砂質土層）、Ag1 層（灰褐色の礫混じり砂層）、Ag2 層（灰褐色の砂礫層）、新期土石流堆積物（2018 年の堆積物で地表に分布）に区分される。Ag1 層は、マトリックスサポートの特徴を示し、直径約 0.2~0.4 m の流紋岩の転石主体で、一部に花崗岩の礫を含む土石流性の堆積物である。Ag2 層もマトリックスサポートの特徴を示し、直径約 0.2~0.8 m の流紋岩の転石を含み、Ag1 層の側部を覆って分布する土石流性の堆積物である。

3. 年代測定結果

地層の堆積年代を知るために、炭化物の ^{14}C 年代を測定した。採取した試料は洗浄調整後、加速度質量分析計（コンパクト AMS、NEC 製、1.5SDH）を用いて試料の ^{14}C 濃度を測定した。得られた ^{14}C 濃度に対して同位体分別効果の補正（炭素同位体比 ^{13}C ）を行った後、 ^{14}C 年代および暦年代を算出した。

試料年代については、SN01 は、流紋岩の垂角礫を含む砂質土をマトリックスとする土石流堆積物中の炭化物試料で、その年代値は 1732-1805 cal. AD である。SN02 は、流紋岩の垂角礫を含む砂質土をマトリックスとする土石流堆積物中の炭化物試料で、その年代は 2497-2400 cal. BC であり、再堆積の可能性が高い。SN04 と SN05 は、流紋岩の垂角礫を含む砂質土をマトリックスとする、土石流堆積物中の同じ深度に分布する炭化物試料で、年代値はそれぞれ 1338-1395 cal. AD と 1321-1358 cal. AD である。As 層の堆積物では、SN08 が 1214-12019 cal. AD、SN09 と SN10 でいずれも紀元前 19000 年代の試料を得た。両者は同程度の深度であるが、その年代差の原因は不明である。また、As 層と Ag1 層の間には、約 20000 年の時代差があることが判明した。

4. 堆積土砂の土質特性

調査地域における土石流の特性を把握するため、現地で採取した堆積物の試料の土質試験を実施した。試料は図-2 に示す溪崖部の細粒分を主体とする部分から採取した。既往調査²⁾を含む土質試

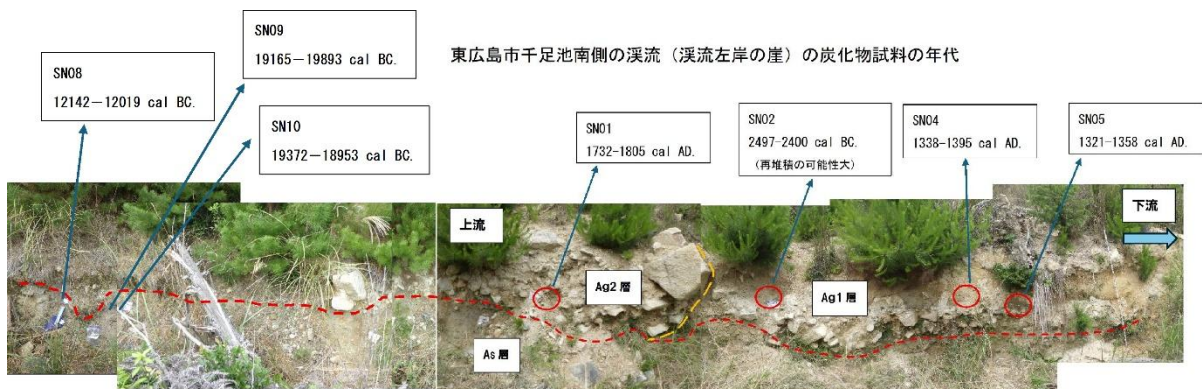


図-2 溪流の地層状況と炭化物試料の年代値

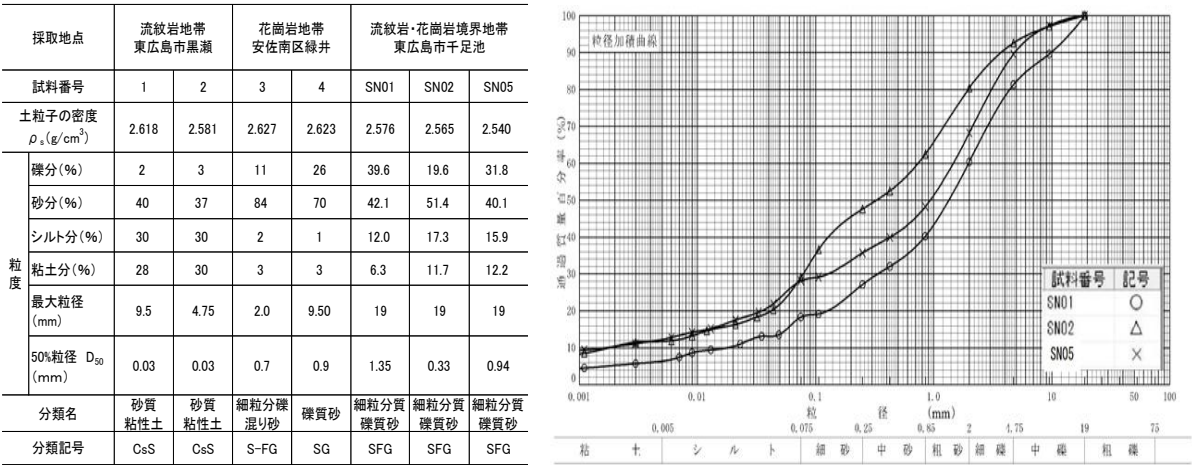


図-3 土質試験結果と粒径加積曲線

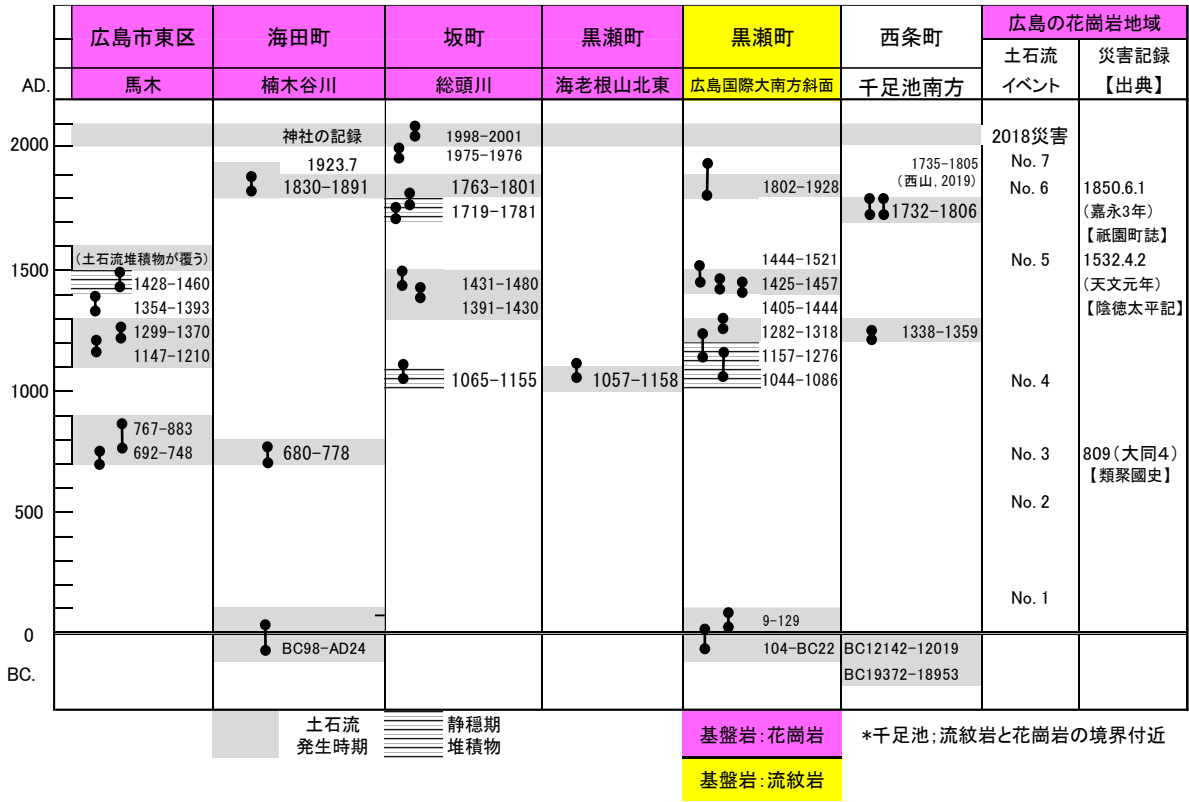


図-4 広島市南部から東広島市周辺の土石流の履歴（黒瀬町のデータは代表的な値をプロット）

験の結果と粒度分析による粒径加積曲線を図-3 に示す。

採取した試料は、風化流紋岩を起源とする土石流堆積物の細粒部で、花崗岩起源のマサ土を一部含む。粒度特性は、粘土・シルト分（細粒分）が18～29%、砂分が40～51%、礫分が20～40%であり、砂分がおよそ半分程度を占める。このうちSN01の試料は、SN02とSN05に比べ礫分が40%とやや多いことが特徴で、露頭観察で礫と転石が多い地層であることと整合する。

加藤ら⁴⁾は、広島の土石流災害の調査を行い、土砂災害の発生やその被災形態には花崗岩と流紋岩で地質特性の違いが影響すると報告している。一般に、流紋岩は斑状組織の発達した岩石で、石基が細く、風化すると粘土分を帯びやすいが、一方の花崗岩は等粒状組織で、風化すると砂質土になりや

すい。このため、流紋岩と花崗岩の分布域における堆積物の粒度構成に明瞭な違いが認められる。

既往調査²⁾では、広島市の花崗岩地帯の土石流堆積物の細粒分含有率は4~5%で、東広島市の流紋岩地帯の土石流堆積物の細粒分含有率は58~60%であった。今回の調査地点の試料は、細粒分含有率が18~29%で、花崗岩地帯と流紋岩地帯の堆積物の中間的な粒度組成である。これは、調査箇所が花崗岩と流紋岩の境界付近であり、両者が混在していることが要因と考えられる。

5. 広島市と東広島市周辺の土石流発生履歴の比較

図-4 に広島市東区および広島市南東部に位置する海田町と坂町の土石流の履歴調査^{1),2)}と今回の結果によって判明した土石流の履歴結果を示す。

西山⁵⁾は、東広島市周辺の流紋岩地域の複数の地点の堆積物の¹⁴C年代分析を行い、東広島市千足池地区では215-145 cal yr BPの年代を報告している。yr BPの年代表示は1950年が基準で、これを西暦年代で表示すると、1735-1805年で、今回採取したSN01の年代値(1732-1806年)とほとんど同じ年代であり、同一溪流の地層から採取した試料であると推察される。

2018年以前の土石流発生時期は、海田町で95年前、坂町で217~255年前であり、黒瀬町では年代の誤差が大きく90~216年前と推測される。また、広島市安佐北区と安佐南区の花崗岩地帯の土石流発生間隔は150~400年である²⁾。黒瀬町の流紋岩地帯での土石流発生頻度はデータが限られ、年代誤差があるものの、およそ90~480年であり、広島周辺の花崗岩地帯と流紋岩地帯では発生間隔に大きな差は認められない。この理由として、調査地の地質は、花崗岩も流紋岩も同種の珪長質の火成岩類であり、土石流の発生条件に関しては、大きな違いがなかったためと考えられる。

6. まとめ

西条町の千足池の過去のデータは限られているものの、紀元前1.9万年頃、1800年頃および1340年頃の3回の履歴が識別され、2018年の前のイベントは、海田町・坂町・黒瀬町のデータを考慮すると1800年頃と想定される。今後のさらなるデータの収集が必要であるが、広島市東部から東広島市周辺地区における土石流の発生間隔は、おおむね90~480年と推測される。

謝辞：本研究は、日本国土開発未来研究財団学術研究助成事業ならびに令和7年度山口大学科研 Up-Grade (チャレンジ) プロジェクトの支援を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 松木宏彰, 楮原京子, 川島尚宗, 鈴木素之: 2018年西日本豪雨における広島県坂町総頭川周辺での土石流発生状況と堆積物特性, 地盤と建設, Vol.38, No.1, pp.105-113, 2020.
- 2) 松木宏彰, 鈴木素之, 楮原京子, 川島尚宗, 片岡知, 小笠原洋: 広島市および東広島市周辺地域の地質特性と土石流発生履歴, 第63回地盤工学シンポジウム論文集, Vol.13, No.4, pp.403-421, 2022.
- 3) 松木宏彰, 鈴木素之, 軸屋雄太, 小林姫奈: 東広島市西条町周辺の土石流発生履歴と地質特性, 第3回応用斜面工学シンポジウム論文集, 応用斜面工学研究会, pp.21-24, 2025.
- 4) 加藤弘徳, 曾我部淳, 小笠原洋, 宮本新平, 岸本剛: 地形・地質の違いから見た土石流の個性と被災状況, 平成30年7月豪雨災害調査団報告書, 日本応用地質学会, pp.47-62, 2019.
- 5) 西山賢一: 広島県東広島市・呉市に分布する崩壊堆積物の¹⁴C年代, 日本応用地質学会中国四国支部研究発表会発表論文集, pp.37-42, 2019.

崩壊地における土壌と堆積物の年代比較 —岩国市における事例—

宮本 新平¹⁾³⁾・太田 岳洋¹⁾・辻 智大¹⁾・竹田 拓己¹⁾・黒木 貴一²⁾・森川 寛之³⁾

¹⁾山口大学大学院創成科学研究科, ²⁾関西大学文学部, ³⁾中電技術コンサルタント株式会社

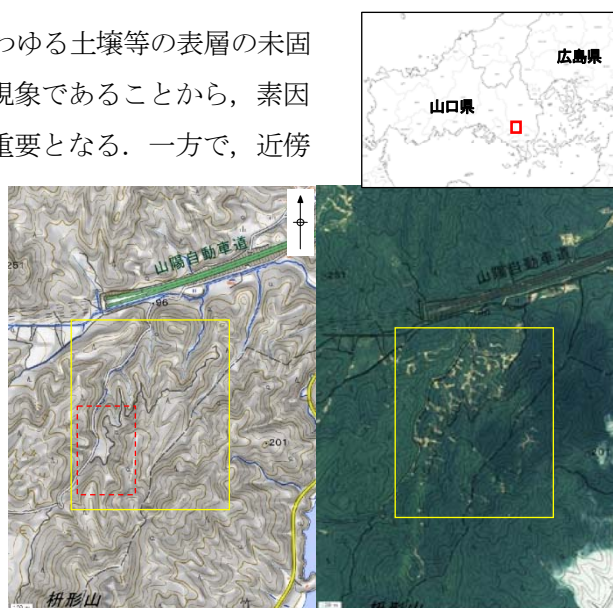
1. はじめに

土石流の起点となる表層崩壊は、表層土層、いわゆる土壌等の表層の未固結層が、大雨等の誘因により斜面下方へ移動する現象であることから、素因である土壌の形成過程は、表層崩壊を考える上で重要となる。一方で、近傍に火山が位置せず、火山灰等の堆積が少ない非火山性地域の土壌の形成過程に関する既往研究は、土壌の Cs-137 測定による検討例¹⁾や、崩壊後経過年数と土層深による検討例²⁾、シミュレーションによる検討例³⁾があるものの、斜面の土壌断面に直接年代値を与えて検討した事例は少ない。

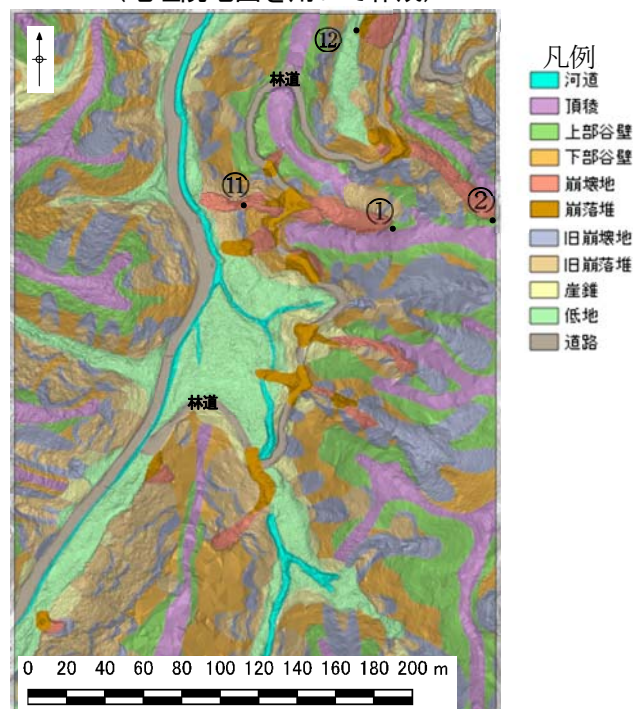
平成 30 年 7 月豪雨において岩国地域で多数発生した表層崩壊の一部の崩壊地では、既往研究⁴⁾によって土壌層中に旧表土を示唆する有機質土壌や不整合面が複数確認されており、これらが、土壌の形成・成長の過程を示す痕跡になると考えられた。そこで、本発表では、岩国地域の溪流において、土壌の形成イベントとそれに対応する堆積物の年代について、小流域単位で比較し、土壌の形成過程を検討した結果について報告する。

2. 調査地域および手法

検討対象地域は、山口県岩国市周東町の中山川ダム北西部を対象とした（図－1）。本研究では、崩壊地の源頭部とその下流の堆積物を中心に地表地質踏査を実施した。土壌の層位区分は、堀⁵⁾に従い区分したが、土壌化の影響をほとんど受けていないと思われる比較的新しい堆積物（土石流堆積物等）は別区分とした。土壌の観察結果を参考に放射性炭素年代測定対象を



図－1 調査地域の地形および空中写真
(地理院地図を用いて作成)



図－2 地形判読結果⁴⁾および調査位置
(判読範囲は図－1の赤破線)

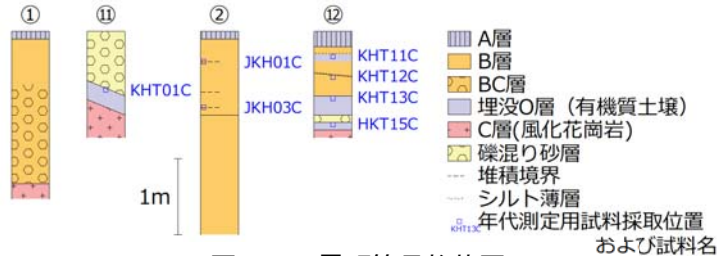
検討し、測定に供した。測定は、(株)加速器分析研究所に依頼した。年代値の検討には IntCal20 および OxCal v4.4 を用いて暦年校正された年代値 (calBP) を用いた。

3. 地表地質踏査結果

地表地質踏査は、上部谷壁に位置する崩壊地である地点①および地点②と、それらの下流に位置する谷底の地点⑪および地点⑫を中心に実施した (図－2)。各溪流の微地形と土壌および堆積物に関する調査結果は以下の通りである。各地点の露頭簡易柱状図を図－3に図示した。

地点①は西向き斜面の崩壊地で、その下流に地点⑪が位置する。地点⑪付近も含め林道から下流側は幅 10m 程度の範囲で植生が失われており、その中心付近に深さ 1m 程度のガリーが発達する。地点①はその溪流の源頭部で、上位から A 層、B 層、C 層が分布し、B 層が厚い (約 1.9m)。また、B 層下部には角礫を多く含む BC 層が分布する。地点⑪はガリーにより露出した露頭で、上位から礫混り砂層、埋没 O 層、C 層が分布する。

地点②は北西向き斜面の崩壊地で、その下流の南北方向の低地に地点⑫が位置する。林道から下流側には薄い土砂の堆積が確認されるものの、植生は繁茂しており、地点⑫付近に若干のガリーが発達する。地点②はその源頭部で、上位から A 層、B 層、C 層が分布し、B 層が厚い (約 2.6m)。また、B 層中には水平方向の連続性が悪い有機質土壌の薄層が 3 深度で確認された。この薄層は一部で粒径の変化が認められたことから堆積境界と考えた。地点⑫は南北方向に連続する低地の末端付近に位置し、上位から A 層、B 層、埋没 O 層が分布する。B 層は複数のシルトの薄層を挟むほか、埋没 O 層を挟在する。



図－3 露頭簡易柱状図

4. 放射性炭素年代測定結果

放射性炭素年代測定結果を表－1に示す。以降の議論には、2σ 暦年代のうち確率の高い暦年代を採用した (表－1 太字)。地点②の土壌中に認められた堆積境界は、JKH01C および JKH03C の結果から 913-774 calBP、675-644 calBP およびそれらの間で形成され、少なくとも 3 回土壌の埋没が起こっている。地点②下流の低地に位置する地点⑫に分布する埋没 O 層は、上位の 3 試料 (KHT11C, KHT12C, KHT13C) において類似した年代値 (525-437 calBP) を示したことからこれらの層は比較的短期間のうちに埋没したものと考えられ

表－1 放射性炭素年代測定結果一覧

試料名	試料形態	処理方法	δ 13C補正あり		校正条件	暦年校正	
			Libby Age (yrBP)	pMC (%)		1σ 暦年代範囲 (calBP)	2σ 暦年代範囲 (calBP)
JKH01C	土壌	HCl	690 ± 20	91.75 ± 0.26	OxCal v4.4 IntCal20	671-651 (68.3%)	675-644 (73.2%) 587-566 (22.2%)
JKH03C	土壌	HCl	920 ± 20	89.14 ± 0.26	OxCal v4.4 IntCal20	904-866 (35.0%) 856-848 (5.1%) 827-787 (28.1%)	913-774 (94.3%) 756-751 (1.2%)
KHT11C	土壌	HCl	450 ± 20	94.58 ± 0.25	OxCal v4.4 IntCal20	515-496 (68.3%)	525-486 (95.4%)
KHT12C	土壌	HCl	400 ± 20	95.19 ± 0.25	OxCal v4.4 IntCal20	499-460 (68.3%)	506-437 (79.9%) 360-330 (15.5%)
KHT13C	土壌	HCl	440 ± 20	94.67 ± 0.25	OxCal v4.4 IntCal20	511-495 (68.3%)	521-478 (95.4%)
HKT15C	炭化木片	AAA	620 ± 20	92.53 ± 0.25	OxCal v4.4 IntCal20	647-627 (31.7%) 596-583 (18.8%) 570-558 (17.7%)	652-621 (38.5%) 615-554 (57.0%)
KHT01C	土壌	HCl	530 ± 20	93.66 ± 0.26	OxCal v4.4 IntCal20	545-524 (68.3%)	622-614 (1.8%) 555-511 (93.7%)
KHT02C	木片	AAA	640 ± 20	92.30 ± 0.26	OxCal v4.4 IntCal20	651-634(25.9%) 590-563(42.4%)	665-623 (41.7%) 600-556 (53.7%)

※ KHT02C は KHT01C と同一層準から採取した木片試料

る。また、これらの埋没 O 層のさらに下位で確認された埋没 O 層の試料 (HKT15C) からは、さらに 100 年程度古い年代値が得られた。一方、地点⑪の埋没 O 層は、KHT01C と KHT02C の結果から 600-511 calBP に上位の礫混り砂層によって埋没している。

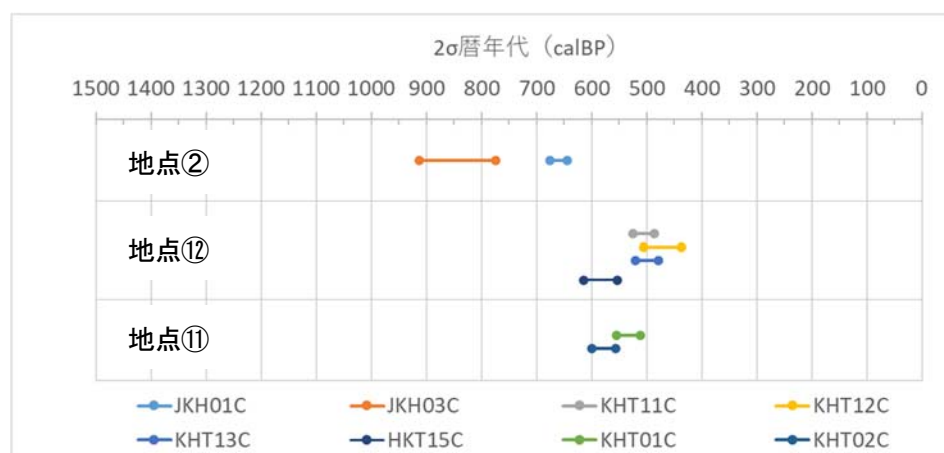


図-3 放射性炭素年代測定結果一覧

5. 考察

5.1 土壌層の発達速度について

地点②の B 層中に認められた堆積境界が旧表土を示し、その上位の土壌が斜面上方からの小規模な土砂移動により発達（旧表土が埋没）したと考えると、この土壌の 3 深度の堆積境界から、発達～埋没のサイクルを 2 サイクル見出すことができる。これらの境界で有意に差のある年代値が得られたことから、地点②では、913-644calBP の期間に土壌の埋没が起こる程度の土砂移動が、斜面において少なくとも 3 回起こったと考えられる。また、2 サイクルの発達に最小 99 年、最大 269 年かかる計算となる。2 サイクル分の土壌の層厚（60cm）から、この期間の土壌の発達速度は 0.22～0.61cm/year となる。この値は、花崗岩地域における崩壊後経過年数と表層土厚の関係から算出された寺本ほか²⁾の値（0.25cm/year）と大きく矛盾しないが、地点②の土壌とは発達過程が異なるため、今後詳細な検討が必要となる。

5.2 他地域の既往研究との比較

地点⑪および地点⑫の埋没 O 層の年代値は、2 溪流とも約 600-500 calBP の範囲に集中した。また、地点⑫では、同様な年代を示す複数の埋没 O 層が見いだされている。このことは、この時期本調査地域周辺において、複数の溪流で複数回の土石流が発生するイベントが起きていたことになる。

鈴木ほか⁶⁾は山口県防府市の 4 地区において土石流堆積物の調査および年代測定を実施し、土石流①～⑧までの 8 回の土石流発生を特定し、このうち土石流②～⑤は複数個所で発生したとしている。さらに 1300 年代を示す測定結果が、4 地区すべてにおいて確認され、全体の 1/3 以上確認されたことから、この時期に各地区にまたがる規模が大きな土石流災害が発生したとしている。また、土石流の粒径の変化や、歴史記録との比較から、1361 年に起きた南海地震由来の大規模な地震が風化岩を崩落させ、その後の豪雨によって崩落物が土石流として流下した可能性を示唆している。

今回の調査で得られた 600-500 calBP は、西暦で 1350～1450 年に相当し、上記の防府市で広域に発生したとされる 1300 年代の土石流と年代が重なることから、この時期に防府市だけでなく山口県東

部においても土石流が多発していた可能性が考えられる。なお、松木ほか⁷⁾による広島市周辺地域の土石流発生履歴によると、広島市周辺地域においても、1300年代後半から1500年代前半に複数溪流で発生した土石流堆積物が確認されており、この年代に土石流が多発していた地域はより広域である可能性が考えられる。

5.3 地点②と地点⑫で得られた年代値について

頂陵に近い上部谷壁斜面に位置する崩壊地源頭部（地点②）では、913-644 calBPの間に小規模な土砂の移動が起こり、その下流に位置する低地の堆積物（地点⑫）からは、その直後（615-554 calBP）や、100～200年程度新しい時期（525-437 calBP）の年代値が得られている。このことから、本溪流では、崩壊が発生する以前にその上流の谷壁斜面において、小規模な土砂の移動による土層の発達が起こっていたこととなる。また、地点②で認められた堆積境界の連続性が悪いことも考慮すると、土層の発達に関わる小規模な土砂の移動は、斜面に一樣に起こるのではなく、不均質に起こりながら土層を発達させ、崩壊しやすい（可能な）厚さまで成長すると考えられる。

6. まとめ

本調査の結果を以下の通りまとめる。

- ①地点②の崩壊地の土壌断面に見られた堆積境界の年代から、この期間の土壌の発達速度を検討した結果、発達速度は0.22～0.61cm/yearであった。
- ②地点⑪および地点⑫で認められた埋没O層の年代は、近隣地域の既往研究^{6),7)}で広範囲にわたる土石流災害の発生が指摘されている時期と重なる。
- ③地点②では崩壊が発生する以前に上流の谷壁斜面において小規模な土砂の移動による土層の発達が起こっていたと考えられる。

参考文献

- 1) 市川岳志・松倉公憲（2001）：弱固結砂岩からなる斜面における土層構造と表層崩壊，応用地質，Vol. 42, No.1, 30-37.
- 2) 寺本行芳・下川悦郎・江崎次夫・河野修一・土居幹治・松本淳一（2021）：花崗岩急斜面の表層崩壊跡地における植生遷移と表層崩壊の発生周期，Journal of Rainwater Catchment Systems, Vol.27, No.1, 17-22.
- 3) 松四雄騎・外山真・松崎浩之・千木良雅弘（2016）：土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊の発生場および崩土量の予測，地形，Vol.37, No.4, 427-453.
- 4) 宮本新平・太田岳洋・辻智大・竹田拓己・黒木貴一・森川寛之（2024）：山口県岩国市における斜面崩壊と土壌の形成に関する検討，令和6年度 日本応用地質学会研究発表会 講演論文集.
- 5) 堀大才（2021）：樹木土壌学の基礎知識，講談社，169p.
- 6) 鈴木素之・阪口和之・楮原京子（2015）：山口県防府市における土石流の特徴と土砂災害発生年表，地盤と建設，Vol.33, No.1, pp.105-113.
- 7) 松木宏彰・鈴木素之・楮原京子・阪口和之・小笠原洋・片岡知（2018）：広島市安佐南区と安佐北区周辺地域の土石流堆積物の状況と土石流の発生頻度，地盤工学ジャーナル，Vol.13, No.4, pp.403-421.

高解像度地形データを用いた 土石流シミュレーションの高度化と 可視化に関する研究

田原 菜月¹⁾・大中 臨²⁾・赤松 良久²⁾

¹⁾山口大学工学部社会建設工学科, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

近年, 気候変動に伴う豪雨災害の増加により, 土石流災害の発生リスクが高まっている. 避難判断や防災対策を適切に行うためには, 事前に土石流の挙動や到達範囲を把握する必要がある. しかし, 平面で示された既往のハザードマップでは土石流の流動過程を直感的に理解することが難しい. 一方, 近年は, リモセンを活用した測量の発展が目覚ましく, 従来よりも簡易的に高解像度地形データや 3 次元の点群データが得られる. 当該データを用いることで土石流シミュレーションの高精度化や可視化の高度化が期待できる.

本研究では, 高解像度地形データを用いた土石流シミュレーションと当該結果を用いた三次元的な可視化を実施し, 土石流の流動範囲や到達可能性を分かりやすく示す手法について検討することを目的とした.

2. 現地調査

2.1 現地調査方法

山口県美祢市に位置する厚狭川水系古屋北川を対象として, 3 基の砂防堰堤および下流側の於福小学校周辺を含む区域で現地調査を実施した (図-1). 対象域において, Matrice300 RTK によるレーザー測量と, Mavic3 Enterprise による写真測量を実施した. これにより, 対象域の標高・オルソ画像および三次元モデルを入手した. レーザー測量で得られた点群データは DJI terra(DJI)を用

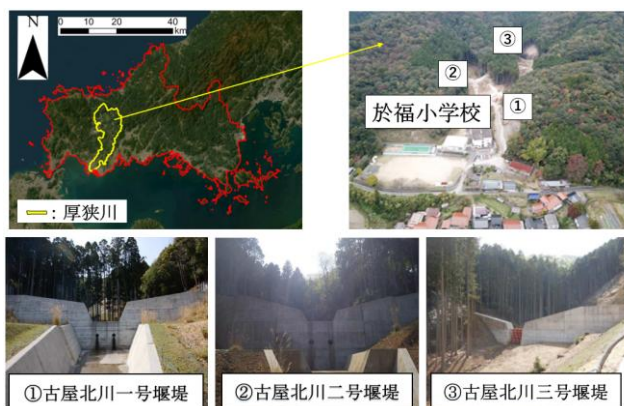


図-1 調査対象域

いて解析し, 写真測量では UAV によって撮影された静止画から Metashape(Agisoft)を用いて SfM-MVS (GCP : GNSS 測量より得られた対空標識の座標) 解析を実施した.

2.2 調査結果

対象区域の高解像度三次元地形データを取得することができ, それらを図-2 に示す. UAV 写真測量では 3cm/pix, レーザー測量では 50cm/pix の解像度で対象域の標高データおよびオルソ画像が得られた. また, UAV 写真測量では, 建物や校庭を含む現実的な景観を三次元空間で高解像度に再現可能であった. 一方で, 植生や構造物が存在する箇所では, であった. 一方で, 植生や構造物が存在する

箇所では、それらを含めた表層形状として表現されるため、地表面形状の把握が困難であった。レーザー測量では、点群分類により地表面と判定されたグラウンドポイントを抽出することで、植生の影響を低減した DEM を作成することができた。しかし、樹林が密な斜面や水面下ではグラウンドポイントが十分に取得されない箇所があり、これらの領域では地表面の標高データに欠損が生じることが確認された。精度については、UAV 写真測量の成果は国土地理院が示す地図情報レベル 250 の基準を満たしていることが確認された。一方、UAV レーザー測量については一律の許容誤差は定められていないものの、本調査では IMU トラジェクトリ誤差が数 cm 程度と小さく、総合的に土石流解析に用いる地形データとして十分な精度を有すると判断した。

以上より、両手法はそれぞれ異なる特性を有しており、目的に応じて補完的に利用可能であることが確認された。

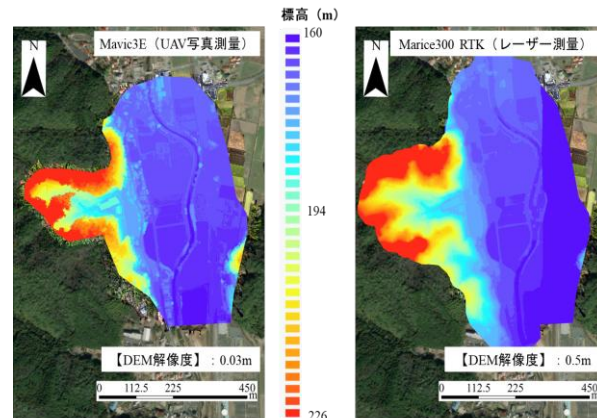


図-2 両手法で得られた地形データ

3. 土石流シミュレーション

3.1 解析方法

本研究では、iRIC の Morpho2DH を用いて土石流シミュレーションを実施した。現地調査によって得られた地形データを初期条件として、砂防堰堤の有無と地形データを変更した 6 ケースで解析を実施した

(表-1)．解析に用いた地形データは、5mDEM, レーザー測量, UAV 写真測量であり、レーザー測量および UAV 写真測量データについては、樹木等の影響を除去した地形データを作成し、5mDEM と統合した DEM を用いた。図-3 に、解析対象範囲および源頭部の設定位置を示す。土石流の発生源となる源頭部は、江口 2 による土石流被災

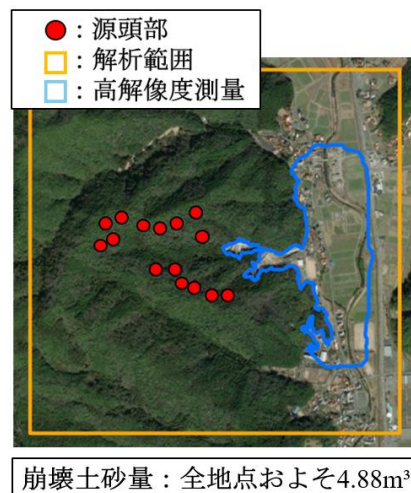


図-3 計解析対象範囲および源頭部

表-1 解析ケース

解析ケース	地形データ (DEM解像度)	砂防堰堤
Case1	国土地理院5mDEM (5.0m)	あり
Case2		なし
Case3	レーザー測量 (0.5m)	あり
Case4		なし
Case5	UAV写真測量 (0.03m)	あり
Case6		なし

表-2 計算パラメータ

地形データの間の隔 (m)	1×,5×
土砂濃度	変化
静止堆積濃度	0.6
液体として振舞う土砂の割合	0.2
最小流動深 (m)	0.01
内部摩擦角 (deg)	34
掃流層の厚さ (m)	0.4 or 変化
抵抗係数	72
粗度係数	0.03
斜面崩壊の深さ (m)	0.3
計算間隔 (s)	0.001
計算格子	2m×2m
最大浸食深さ (m)	0.61, 0.01
一様粒径の大きさ (m)	0.01

リスク評価結果を参考に設定した。また、解析に用いた主な計算パラメータを表-2 に示す。地形格子間隔、土砂密度、内部摩擦角、掃流層厚さなどの各種パラメータは、既往研究²⁾および現地条件を参考に設定した。これらの条件の下で、各ケースについて土石流の流動・堆積過程を計算した。

3.2 解析結果と考察

図-3 に、各解析ケースにおける最終河床変動量コンターを示す。砂防堰堤を考慮しないケース (Case1, Case3, Case5) では、地形データの種類にかかわらず、土石流が源頭部から下流方向へ連続的に流下し、谷地形に沿って広範囲に河床変動が生じる結果となった。一方、砂防堰堤を考慮したケース (Case2, Case4, Case6) では、上流域における河床変動が顕著であるのに対し、下流域の変動は大きく抑制された。これは、

砂防堰堤により土砂が上流側で捕捉されたためと考えられる。また、同じ砂防堰堤条件下で地形データを比較すると、解像度の高い地形データを用いた Case3~Case6 では、Case1-2 と比較して砂防堰堤周辺の河床変動や、砂防堰堤前水路の土砂の挙動、建物周辺の堆積が明瞭に表現された。

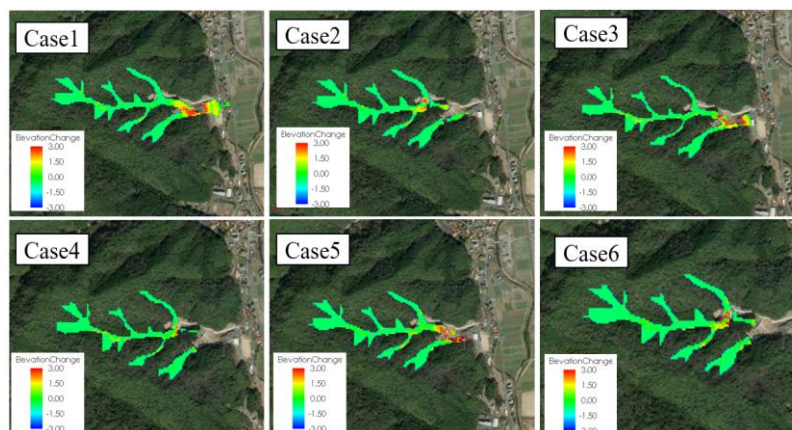


図-3 各解析ケースにおける最終河床変動量 (m)

さらに、本研究では、高解像度 DEM を用いた条件下で砂防堰堤の有無による影響を明確に比較するため、Case5 および Case6 に着目して結果を整理した。図-4 に、Mavic3E により取得した高解像度地形データを用いた Case5 (砂防堰堤なし) および Case6 (砂防堰堤あり) における、源頭部崩壊から 10 秒後、30 秒後、90 秒後の流動深分布を示す。Case5 では、10 秒後の時点で源頭部周辺に流動が確認さ

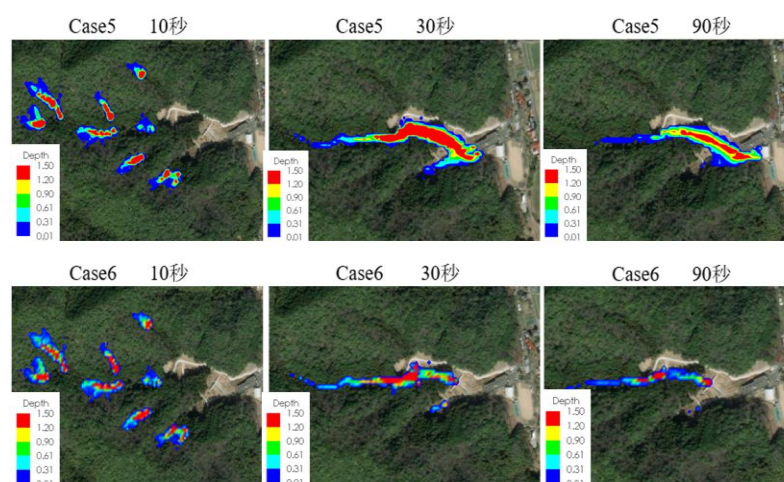


図-4 Case5, Case6 における土石流流動深 (m)

れ、30 秒後には土石流が溪流に沿って下流方向へ発達している。90 秒後には流動域がさらに拡大し、土石流が於福小学校周辺まで到達していることが確認された。このことから、砂防堰堤を考慮しない場合には、土石流が時間の経過とともに発達し、下流域の学校施設に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。一方、Case6 では、10 秒後および 30 秒後においては Case5 と同様に源頭部付近で流動が確認されるものの、90 秒後には流動が砂防堰堤付近で減衰し、於福小学校まで到達しない結果となった。特に、堰堤直上流部において流動深が低下しており、土砂が堰堤によって捕捉されている様子が確認できる。

以上より、地形データの解像度の違いが、土石流シミュレーションにおける解析結果に影響を与えることが確認された。また、同一の地形条件下においても、砂防堰堤の有無が土石流の到達範囲および堆積範囲に大きく影響することが明らかとなった。

4. 土石流シミュレーションの可視化

4.1 可視化方法

前章の土石流シミュレーションの結果について、Google Earth (Google LLC) および Twinmotion (Epic Games) を用いて三次元空間での可視化を行った。Google Earth ではシミュレーション結果として得られたコンター図を Google Earth 上の 3D 地形に重ねており、Twinmotion では同結果をテクスチャ化し、三次元空間上で表現の上、各要素を着色して可視化している。

本研究では、建物や道路などの構造物を含む三次元地形モデル上での可視化効果を確認しやすいこと、また土石流が下流域まで到達する条件の方が可視化の比較が明確になることから、Case5 (砂防堰堤なし) を主対象として可視化を行った。

4.2 可視化結果

図-5 に、土石流が校庭まで到達した Case5 における、Google Earth および Twinmotion を用いた可視化結果を示す。Google Earth による可視化では、流域全体における土石流の流動方向や広がり方を俯瞰的に把握することが確認できた。一方で、堆積土砂と建物や地面、人との空間的な位置関係を直感的に理解することは難しい。これに対し、Twinmotion を用いた可視化では、解析結果が高解像度三次元地形モデル上に再現されることで、土石流が校舎周辺に堆積している状況を実空間に近い感覚で把握することが可能である。

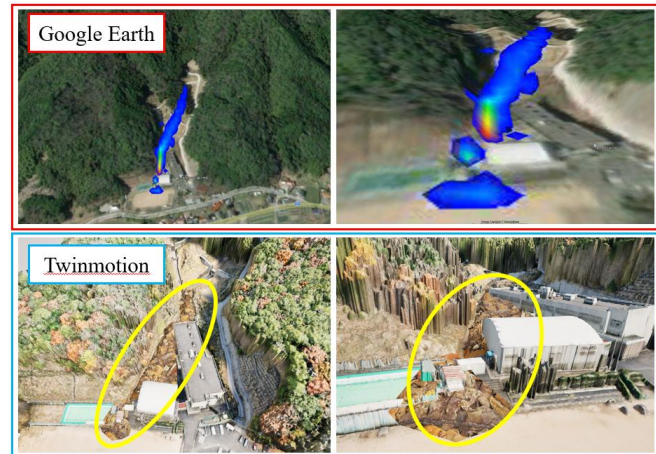


図-5 Google Earth および Twinmotion を用いた土石流挙動の可視化結果 (Case5)

以上より、Google Earth は流域全体の流動状況を把握するのに有効であり、高解像度三次元地形データを用いた Twinmotion による三次元空間上での可視化は、土石流が生活空間に及ぼす影響をリアルに理解する上で有効な手法であることが示された。

5. まとめ

本研究では、高解像度地形データを用いた土石流シミュレーションおよび三次元可視化を実施した。その結果、高精度地形データを用いることで、土石流シミュレーションの再現性が向上し、溪流の微地形や谷の屈曲構造、建物と地形の位置関係を反映した解析が可能となった。また、Google Earth および Twinmotion を用いた可視化により、数値解析結果を三次元的に整理し、地形や構造物との関係を視覚的に確認できることを示した。

以上より、高解像度地形データと三次元可視化を組み合わせることで、土石流の流動過程や到達範囲をリアルに理解することが可能となった。

参考文献

- 1) 江口翔紀：機械学習を用いた土石流被災リスク評価手法の開発，山口大学大学院創成科学研究科修士論文，2024
- 2) 大中臨，赤松良久，河野誉仁，山口皓平：平成 30 年 7 月豪雨における島田川水系東川の土石流・河川氾濫の複合災害の実態解明，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.75，No.1，

直接打設型地下水流向流速計を用いた地盤内における管路損傷発見手法に関する研究

河野 篤樹¹⁾・山本 浩一²⁾

¹⁾山口大学工学部, ²⁾山口大学大学院創成科学研究科

1.研究背景・目的

近年、我が国では管路の老朽化が進行しており、管路損傷に起因する事故が各地で報告されている。管路損傷は、周辺インフラへの影響を引き起こす可能性があり、社会的課題となっている。下水管の場合、管路の破損部分に向かって地下水が流動することになる。これは、管の内外で水圧に差が生じるため、水圧の高い地盤側から水圧の低い管内へと地下水が移動するため発生する。このような地下水の管路内流入に伴い、周辺地盤内の地下水流動は局所的に乱されると考えられる。したがって、地下水流向流速測定により管路損傷を検知することができる可能性がある。しかし、既存の地下水流向流速計は観測井の設置が必要で現場への適用に制約が多い。そこで、本研究では、現地計測が可能な直接打設型地下水流向流速計を開発し、地下水流計測により管路損傷を発見する手法を確立することを目的とした。

2.方法

2.1 鉛直2次元マイクロPDV

地盤内における鉛直断面における流向・流速を測定するため、鉛直2次元マイクロPDV(マイクロPDV)を開発した。マイクロPDVの実画像を図1に示す。マイクロPDVは、半径15mm、長さ1mのアルミ製丸棒から構成され、底面から5cmの位置に測定孔を設けた。孔内部にスポンジおよび染料インクで2mmの円(ドット)を印刷したペーパーディスク(12mm×29mm)を設置した。地下水流が存在する場合、ドットからインクが溶出し、流下方向にインクが滲んだ軌跡(テーリング)が発生する。

2.2 画像解析方法

測定して得られたペーパーディスクをフラットベツトスキャナでペーパーディスクをスキャンし、電子化した。画像をRGB分解したのち、Blueの輝度を用いて、ドット・テーリングを抽出した。ドット抽出のための閾値は105、テーリング抽出のための閾値は195とした。画像データの解析例を図2に示す。

2.3 室内実験

2.3.1 流速評価実験

本実験では、インクを用いた地下水流動測定を行ったが、インクと地下水の密度差より、地下水流動とは独立した鉛直方向の移動が生じる可能性がある。そこで、本研究では鉛直流成分の影響を評価し、補正を行った。さらに、水平方向のテーリング長を指標として地下水流速の検定を行い、テーリング長と流速の関係につ



図1 マイクロPDV



図2 解析例

いて検討を行った．本実験における地下水流動のイメージ図を図 3 に示す．実験砂槽（幅 120 cm×奥行き 51 cm×高さ 50 cm）には地盤材料として珪砂 5 号（透水係数 $k=7.8 \text{ cm/min}$ ）を充填した．水流の制御にはポンプを用い，砂槽の上流側から下流側へ向けて定常的な流れを発生させた．測定位置は地表面から深度 30 cm とし，流速条件は 0.1, 0.08, 0.06, 0.04, 0.02, 0 cm/min の計 6 段階に設定した．

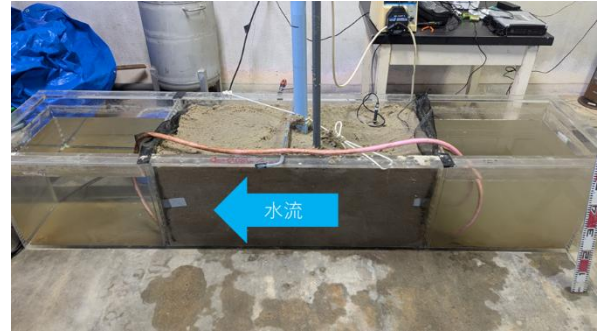


図 3 地下水流動のイメージ図

2.3.2 管路損傷を模擬した地下水流向流速実験

本実験では，管路損傷時における地下水挙動を再現し，マイクロ PDV を用いて流向・流速分布を測定した．実験の概略図を図 4 に示す．砂槽両端に設置した水槽をホースで水理的に連結し，サイフォンの原理を用いて水位を等しく保つことで，砂槽全体に水位勾配が生じない境界条件を設定した．これに，管路模型内部の地下水をポンプにより排水することで，破損箇所に向かって地下水が流動する条件を再現した．管路模型の設置深度は 30 cm，ポンプ流量は $215 \text{ cm}^3/\text{min}$ ，計測時間は 5 分間とした．計測は深度 10, 20, 30 cm の 3 断面において行い，計 27 地点で流向・流速データを取得した．地盤材料には珪砂 5 号を用いた．

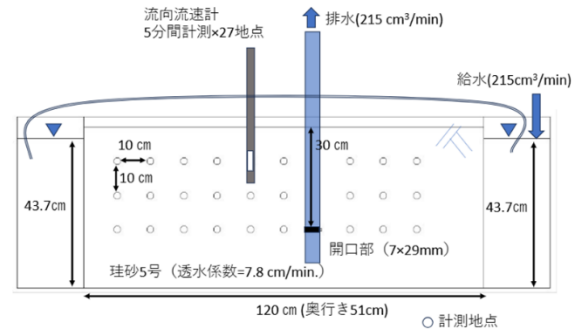


図 4 実験概略図

より排水することで，破損箇所に向かって地下水が流動する条件を再現した．管路模型の設置深度は 30 cm，ポンプ流量は $215 \text{ cm}^3/\text{min}$ ，計測時間は 5 分間とした．計測は深度 10, 20, 30 cm の 3 断面において行い，計 27 地点で流向・流速データを取得した．地盤材料には珪砂 5 号を用いた．

2.4 テーリング長計算方法

実験の結果は以下の方法でテーリング長を算出した．

$$dx = x_t - x_d \quad (1)$$

$$dz = z_t - z_d \quad (2)$$

ここで，テーリングの重心座標を (x_t, z_t) とし，ドットの重心座標を (x_d, z_d) ，テーリング長の重心変位 $dx \cdot dz$ をテーリング長の重心変位 (cm) とし，これを実験時の流速（ダルシー流速）と比較した．

3. 結果および考察

3.1 流速評価実験

水平変位 dx と鉛直変位 dz の関係を図 5 に示す．図 5 から，両者に明確な相関関係は見られず，鉛直変位は水平流に付随した成分でないことが示され，鉛直変位には地下水流動に起因しない成分が含まれている可能性がある．そこで本研究では，鉛直変位 dz に含まれる鉛直成分を流速条件に依存しない系統的な成分として扱い，定数項として平均値による補正を行った．具体的には，各実験条件における dz の平均値を算出し，これを実測データから差し引くことで，鉛直方向の定常成分を除去した．

また，水平変位 dx と地下水流速の関係を図 6 に示す．図 6 から，テーリング長と流速の間に正の相関が確認された．よって，回帰式よりテーリング長から流速を算出可能であると考えられる．

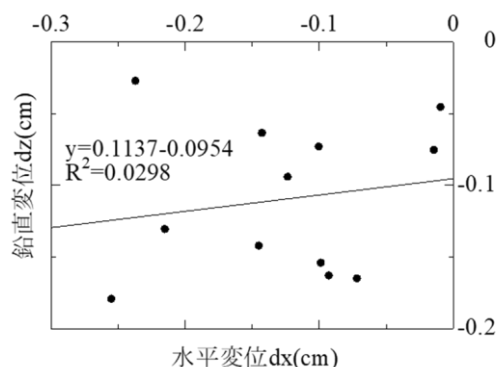


図 5 水平変位 dx と鉛直変位 dz の関係

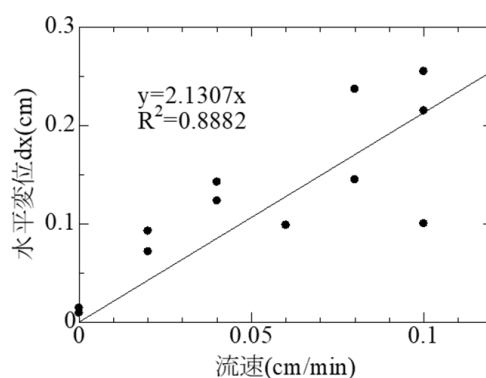


図 6 流速と水平変位 dx の関係

3.2 管路損傷を模擬した地下水流向流速実験

実験で得られた流向・流速分布を図 7 に、地下水流動計算ソフト(HYDRUS3D)による流向流速の数値計算結果を図 8 に示す．両図を比較すると、破損箇所付近での流向の急変や大まかな収束傾向はおおよそ一致していることが確認された．

次に、実測値と数値計算結果を評価するため、実測値とモデル値の水平流速における相関係数のコンター図を図 9 に示す．図 9 から、 $x=70\text{ cm}$ 付近において相関係数が相対的に高い値を示していることが確認できる．この結果は、当該領域において実測値とモデル値の水平流速分布が類似した傾向を示していることを意味している．また、流向の一致度を評価するために、 $\cos\theta$ の鉛直断面内分布図を用いた検討を行った．数値モデルの流速ベクトル \vec{a} と実測流速ベクトル \vec{b} のなす角を θ としたときの $\cos\theta$ の鉛直断面におけるコンター図を図 10 に示す．ベクトルの向きが一致しているほど $\cos\theta$ は 1 に近い値をとる．図 10 より、 $x=70\text{ cm}$ 付近において $\cos\theta$ の値が高い領域が確認され、この領域では実測値とモデル値の流速ベクトルの向きが良好に一致していることが示唆される．

相関係数と $\cos\theta$ のコンター図の双方が、 $x=70\text{ cm}$ 付近でピークを示したことは、当該位置において流速・流向ともに実測と解析が整合していることを裏付けている．この一致は、管路損傷による地下水流動の特徴を捉えていることを示唆しており、管路破損箇所の位置推定に有効な情報を与える可能性がある．

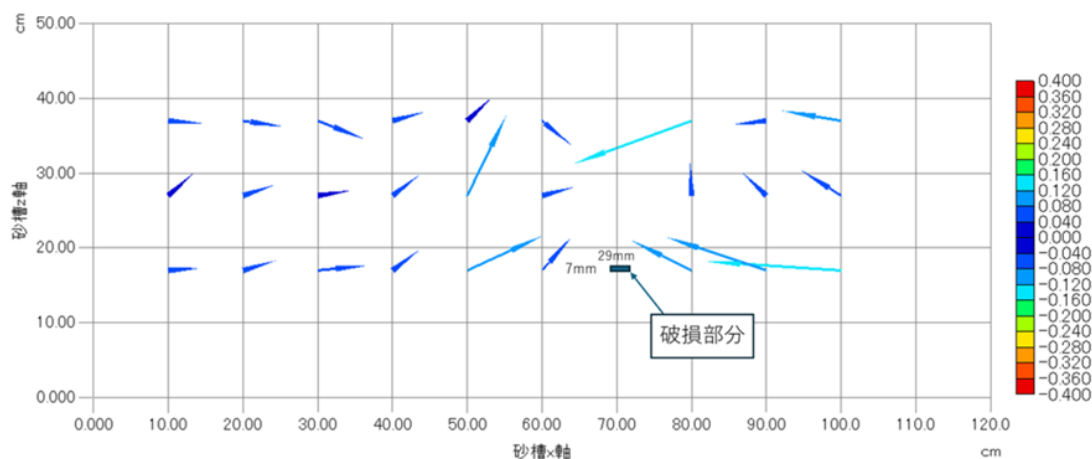


図 7 実験で得られた流向・流速分布図

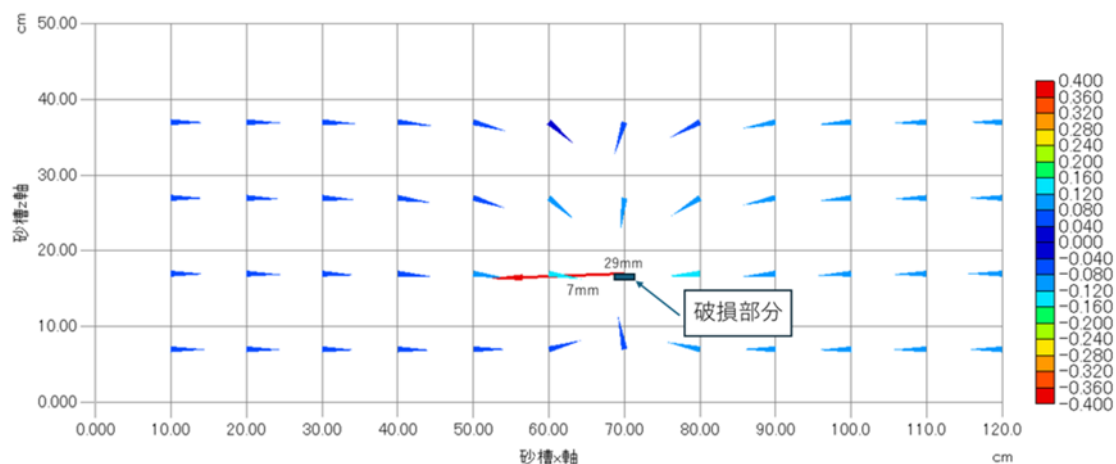


図 8 地下水流動計算ソフト(HYDRUS3D)による流向流速の数値計算結果

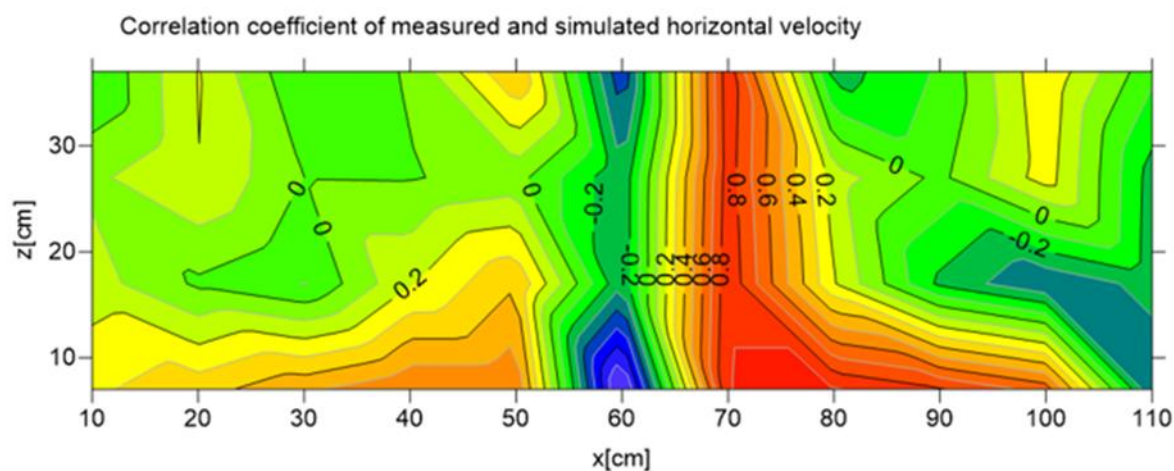


図 9 水平流速の相関係数のコンター図

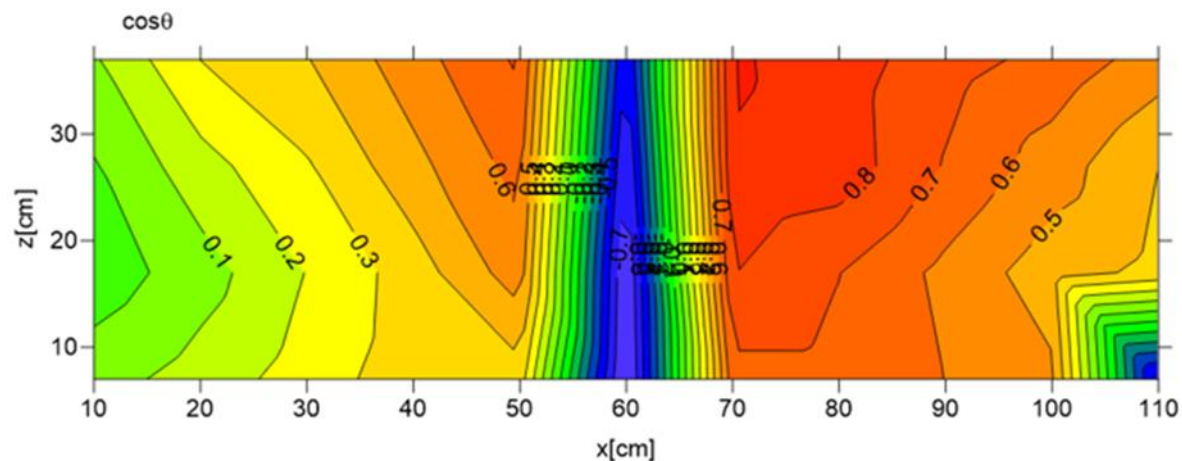


図 10 $\cos \theta$ の鉛直断面におけるコンター図

4. 結論

本研究では、マイクロ PDV を用いて地盤内の地下水流動を測定し、管路損傷に起因する地下水挙動の把握を試みた。鉛直二次元断面内における複数地点での流向・流速計測の結果、破損箇所近傍において流向の変化および流れの収束が確認され、管路破損箇所を特定できる可能性が示唆された。

地震による水インフラ被害に起因する 道路閉塞リスクに基づく避難経路探索アプリ

山本浩一¹⁾・山本裕子¹⁾・楮原京子²⁾・森啓年¹⁾・吉本憲正¹⁾・鈴木素之¹⁾

¹⁾山口大学大学院創成科学研究科, ²⁾山口大学教育学部

1. はじめに

大規模地震の発生時、人々の関心は建物の倒壊や火災、津波に向けられることが多い。しかし、都市の生命線である水道管や下水道管といった「水インフラ」の被災が避難行動に深刻な影響を与えることは見落とされがちである。過去の地震（2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震、2018年大阪府北部地震など）では、地中の水道管破損による道路陥没や浸水、液状化に伴う下水マンホールの浮き上がりが多発し、道路網の寸断を引き起こした。災害時の避難は徒歩が原則とされるが、高齢者、障がい者、乳幼児といった避難行動要支援者にとっては車による避難が不可欠となる。しかし、地中にある水インフラの被害は外観から予測することが難しく、避難者が通常選択する「最短ルート」が実は通行不能であったり著しい速度低下を招いたりする危険がある。本研究は、中都市であるA市の一部を対象として、計測震度6の地震発生直後の津波避難を想定し、水インフラ被災リスクを車両の「通行可能最高速度」として可視化することで、安全かつ迅速な避難を支援するシステムの開発を目的としている。

2. 研究方法

2.1 水道管破損による道路通行阻害リスクの推定

人口約15万人のA市で津波浸水被害が想定される区域を含む約4.5km²を対象地区とした。地震の規模は計測震度6を想定し、(1)式に示す液状化の情報を有していない場合の地震による管路の被害予測式¹⁾を用いて管路の推定被害率(1kmあたりの被害件数)を求めた。対象地区の配水管、送水管、導水管の始点・終点の座標、管種、継手の種類、口径はA市水道局から情報提供を受けた。

$$R_m = C_p C_d C_g R(v) \quad (1)$$

$$R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14} \quad (2)$$

ここで R_m : 推定被害率 [件/km], C_p : 管種・継手補正係数, C_d : 口径補正係数, C_g : 微地形補正係数, $R(v)$: 標準被害率 [件/km], v : 地震動の地表面最大速度 [cm/sec]である。今回 C_p は管種・継手により文献値¹⁾の0~2.5とし、文献にない管種・継手の C_p は類似のものの値を使用した。耐震管・継手の C_p は0となる。 C_d は口径により文献値¹⁾の0.1~2.0とした。 C_d は口径が大きいほど値は小さく、口径が小さいほど値が大きくなる。 C_g は文献¹⁾の標準微地形区分の値1.0とした。 v は地震の規模を計測震度6と仮定し文献2を参考に85 cm/secとし、 $R(v)$ を求めた。

2.2 流出流量と通行阻害の定量的評価

水道管への被害が発生した際、継手の抜けや管の破断箇所から噴き出す最大流量 Q (m³/sec)を、トリチェリの定理を用いて算出した。地震による管の被害1か所から流出する水の最大流量を(3)式で推定する。

$$Q = A\sqrt{2gh} \quad (3)$$

ここで A : 管の断面積 [m^2], g : 重力加速度 $9.8 [\text{m/s}^2]$, h : 水頭 [m]である. 水頭 h は安全側の評価として, 使用量が少なく動水圧が高くなる深夜・早朝時を想定し, 60 m (約 0.6 MPa) と仮定した. 管路 $l \text{ km}$ あたりで流出する予測流量は(4)式で表される.

$$R_m Q l \text{ } [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4)$$

ここで流出した水が道路を陥没させるリスクについては以下の仮定に基づき重みづけを行った. 水道管埋設深さ $1.2 \text{ m} \times$ 平均普通車長 $4.7 \text{ m} \times$ 道路幅 $W [\text{m}]$ の土砂が流出した際に完全な通行不可となると定義した. すなわち

$$V=5.64 W \quad (5)$$

として陥没体積を $V [\text{m}^3]$ とした. 理想的な避難開始時間とされる 5 分間 (300 秒) で上記体積 $V [\text{m}^3]$ に達する流量 $0.0188 W [\text{m}^3/\text{s}]$ を閾値とした. 予測流量が 0 の時の車両の通行可能最高速度を $40 [\text{km/h}]$, 閾値以上の時を $0 [\text{km/h}]$ とし, その間は流量増加に伴い速度が線形に減少すると仮定すると, 通行可能最高速度 $S [\text{km/h}]$ は(6), (7) 式で表せる.

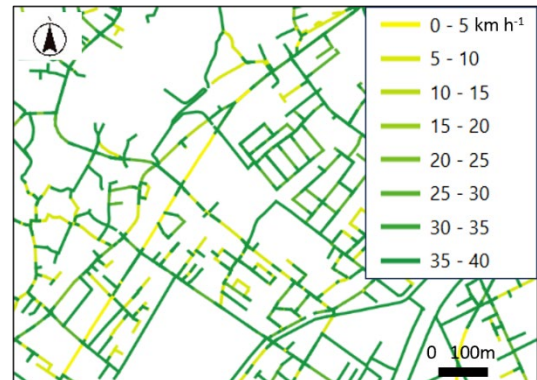
$$S = 40 - (40/0.0188W) R_m Q l \quad (0 \leq Q \leq 0.0188W) \quad (6)$$

$$S = 0 \quad (Q > 0.0188W) \quad (7)$$

求めた S を GIS (地理情報システム) 上で水道管のラインデータに付与し, さらに道路のラインデータと統合し, 任意の 2 地点間の経路検索を可能にした. また, 道路幅に応じた車両の通行可能最高速度を表一のように決め, 水道管の被害から求めた通行可能最高速度 S と比較して, 速度が小さい方をその区間の値として採用した. 水道管被害による道路通行阻害リスクを車両の通行可能最高速度 $[\text{km/h}]$ で地図上に表したものを図一に示す. 値が大きいほど通行阻害リスクが低いことを表している.

表一 道路幅による通行可能最高速度

道路幅	通行可能最高速度
3 m 未満	10 km/h
3 m 以上 5.5 m 未満	30 km/h
5.5 m 以上	40 km/h



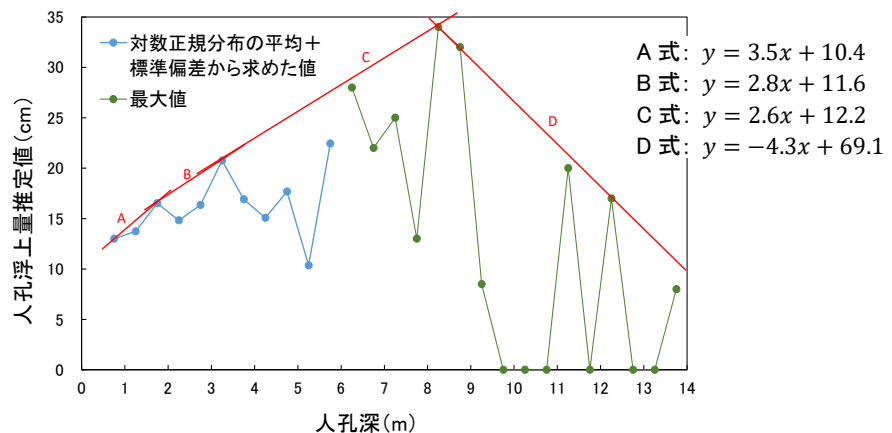
図一 水道管被害による道路通行阻害リスクを考慮した通行可能最高速度

3. 下水マンホール（人孔）浮上による道路通行阻害リスクの推定

3.1 過去の地震データに基づく浮上量推定

液状化による下水人孔の浮上量は, 過去の大地震 (2007 年能登半島地震,

2007 年新潟県中越沖地震, 2011 年東北地方太平洋沖震災, 2016 年熊本地震, 2018 年北海道胆振東部地震) のデータ 1,580 件²⁾ を用いて推定した. 人孔深 (x) と人孔浮上量 (y) の関係について深さ 50cm 区分毎の度数分布を調べたところ, デー



図二 対数正規分布の平均+標準偏差から求めた人孔浮上量推定値 (cm)

タ数が多い区分では人孔浮上量が対数正規分布に近い分布となった．そのため人孔深浮上量の推定値は対数正規分布を用いて算出した．データ数が少ない深さ 6.5m 以上については最大値を採用し，これらを包絡する 4 つの直線式（A～D 式）を導出した（図-2）．これにより，地盤データが不十分な地域でも，マンホール深さから浮上量を推計することが可能となった．

3.2 車両の最低地上高を考慮したリスク評価

推定された浮上量に基づき，表-2 に示すように車両の通行可能最高速度を割り当てた．走行可能性については一般的な普通車の最低地上高（0.1m～0.2m 台）および平均車幅（1.7 m）を基準としている．なお経路検索を可能にするため，便宜上，通行不可の場合も極低速（3km/h）を割り当てている．適用例を図-3 に示す．図-1 の水道管被害による道路通行阻害リスクと比較して，下水人孔浮上によるリスクが高い箇所が多いことがわかった．

表-2 人孔浮上量と通行可能最高速度

人孔浮上量	道路幅の制限	通行可能最高速度
0.1m 未満	—	表-1 の最高速度
0.1m 以上～0.2m 未満	—	表-1 の半分の速度
0.2m 以上	3m 未満	3 km/h（車両通行不可であるが極低速割り当て）
	3m～5.5m 未満	5 km/h（車幅ギリギリを低速走行）
	5.5m 以上	10 km/h

4. リスク統合と避難経路検索アプリの実装

4.1 道路ネットワークへのリスク統合

道路幅も考慮して得られた水道管破損リスクと下水人孔浮上リスクによる車両の通行可能最大速度のうち，値が小さい方（よりリスクが高い方）をその道路区間のリスク値として採用し，これを GIS 上で道路ネットワークデータと統合した．



図-3 下水人孔浮上による道路通行阻害リスクを考慮した通行可能最高速度

4.2 アプリの主な機能

アプリは Esri 社の ArcGIS Server (Version 11.4) を用いて実装し，パソコン，スマートフォンからアクセスして経路検索可能とした．本アプリには以下の機能が搭載されている．

- 1) 動的な経路検索：距離のみを考慮した「最短ルート」と，インフラ被災リスク（速度低下）を考慮した「最速（低リスク）ルート」を検索・提示し，所要時間を比較する機能（図-4）．
- 2) 水道管破損リスク単体，下水人孔浮上リスク単体，または統合リスクを地図上に色分け表

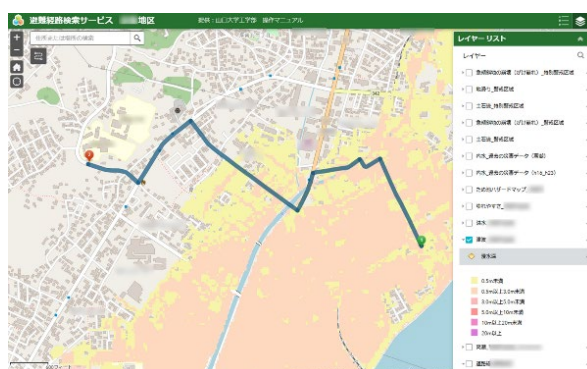


図-4 本アプリによる低リスクのルート検索状況色はハザードマップのデータ(津波浸水深)

示する機能（ただし非公開）。

- 3) 津波浸水想定区域，土砂災害警戒区域，避難所位置などを重ねて表示できる機能（図-4）。これにより「浸水域を避けつつ，かつ通行阻害リスクの低い道」を事前に選定できる。

5. 考察

対象地区での解析において，水道管の破損よりも下水人孔浮上による通行阻害リスクの方が大きい箇所が多いことが明らかになった。これは，液状化の影響が広範囲に及び，人孔浮上量（20 cm 以上など）が車両の走行に致命的な影響を与えるためである。さらに道路幅が狭い場所ほど，わずかなインフラ被災であっても車両の回避余地がなくなるため，通行阻害リスクが劇的に高まる傾向が確認された。

6. 今後の展望と社会的活用

本研究では，地震時の水インフラ被災という予測困難なリスクを「通行可能最高速度」という具体的な指標で可視化し，それを住民が利用可能な避難支援システムへと応用した。水道管や下水道の諸情報が整備されれば日本中の他地区への横展開も容易であり，次のような活用が想定される。

- 自治会や小学校の避難訓練において本アプリを使用し，通学路や避難路に潜む「見えないリスク」を住民が自ら発見し，議論する手助けとする。
- 高齢者施設や障がい者施設において，車移動を前提とした具体的な避難ルートを事前に策定する際の根拠資料として活用する。
- 警察，消防，救急，バス・タクシー会社，および自治体の道路・下水道・水道各部署とリスク情報をあらかじめ共有し，発災直後の緊急出動や避難誘導の効率化を図る。
- 通行阻害リスクが高いと判定された区間の水道管を優先的に耐震化するなど，限られた予算の中での効率的な水インフラの維持管理・更新計画の策定に役立てる。

謝辞：本研究は公益財団法人鹿島学術振興財団特定テーマ研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 公益財団法人水道技術研究センター，平成 28 年度．平成 28 年熊本地震を踏まえた「地震による管路被害予測式」の見直しに関する検討報告書。
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所上下水道研究部下水道研究室，2025.下水道管路地震被害データベース．URL. https://www.nilim.go.jp/lab/ebg/zishin_db.html（2025 年 1 月時点）。

真締川河口部の陸閘の利用状況と統廃合に関するアンケート調査

内布 圭人¹⁾・朝位 孝二²⁾・上原高寛³⁾・吉永 祐二³⁾

¹⁾山口大学工学部社会建設工学科, ²⁾ 山口大学大学院創成科学研究科, ³⁾ 山口県土木建築部港湾課

1. はじめに

河川や海岸の堤防には平時は人や車が通過できる開口部があり、高潮発生が危惧されるときはそれを閉じるための門扉が設置されており陸閘と呼ばれる。陸閘の閉鎖は多くは手作業で行われているが、少子高齢化が進む社会で将来的な閉鎖作業員の不足が懸念されている上、陸閘の老朽化が進んでおり、膨大な個数の陸閘をすべて更新することは財政的に困難である。そのため陸閘の統廃合が全国的に検討されている。山口県も陸閘の統廃合について準備が進められている。統廃合には廃止する陸閘や残すべき陸閘について住民の合意が必要である。そのためにはどのように住民説明を進めていくのかかが鍵となる。

糸川¹⁾は丸尾漁港周辺にある4カ所の陸閘の統廃合についてアンケート調査を実施した。その結果、陸閘閉鎖業者は統廃合については住民意見を聞かないとわからないとの回答であった。また地域住民は閉鎖してもよい陸閘があることを示した。一方で真締川の下流部沿いの陸閘について閉鎖業者は閉鎖しても良いとの回答であった。そこで本研究では真締川沿い陸閘を対象として周辺住民による陸閘の開閉操作の実態、および通行頻度を検証するため現地調査を実施した。また、周辺住民に対し、設置個所の利用状況や、陸閘の常時・完全閉鎖に対する可能性を探るためアンケート調査を実施した。

2. 陸閘とは

陸閘とは、河川や海岸において、港湾・漁港の利用や海浜へのアクセス等、人および車両の往来を確保するために設けられた開口部を閉鎖するための可動式門扉である(図1)。平時は通行路として併用されるが、洪水、津波または高潮の襲来時には閉鎖されることで堤防の一部として、背後地への浸水を阻止する機能を有する。



(a) 人の通行のために設置された陸閘



(b) 道路を横断して設置された陸閘

図1 陸閘の例

3. 真締川陸間を対象とした現地調査

図2に宇部市を流れる真締川の下流部に存在する9つの陸間の位置を示す。調査方法としては、宇部港湾管理事務所を通して9つの陸間を無施錠で閉鎖し、周辺住民が自由に開閉・通行できる運用とした。その際に各陸間に検知用のテープを貼付し、断裂・剥離の有無で利用箇所を特定するというものである。確認後はテープを貼り直し、継続的に利用頻度を把握する。調査開始日は令和7年9月8日で、これまでに令和7年9月29日、11月6日、12月18日、令和8年1月28日に調査を実施した。

令和7年9月29日は、9つ全ての陸間でテープの断裂・剥離は見られず、周辺住民による開閉操作はなかった。令和7年11月6日に調査した際は、図2の地点④に位置する陸間が完全に開放され、テープが断裂していた。このことから周辺住民が実際に開閉操作を行ったことが分かる。その他にも、図2の地点⑤に位置する陸間でも同様に完全に開放され、テープが断裂していた。この2つの陸間についてはその日にテープの張替えを行っている。令和7年12月18日に調査した際には、図2の地点②、④、⑤、⑧に位置する陸間でテープの断裂・剥離が見られ、陸間の開閉操作があったことが分かった。



図2 真締川下流側の9つの陸間位置

4. 真締川陸間周辺住民を対象としたアンケート

真締川周辺住民に陸間利用状況や閉鎖の可否についてアンケート調査を実施した。図3にアンケート調査を行った対象地域の自治会区割を示す。12区ある自治会にはそれぞれ①～⑫までの番号を振り分け、1つの区につき30部ずつ用意した。このアンケート調査は令和7年11月18日に実施し、アンケート冊子合計310部を直接投函する形で配布を行った。令和7年12月12日までに返送していただくよう依頼し、最終的に78部の回答を得た。また、アンケートの質問項目は以下のような内容となっている。

- ①属性 ②真締川から住まいまでの距離
- ③陸間に対する認知 ④これまでの利用状況 ⑤陸間常時・完全閉鎖の可否

紙面の都合上すべての結果を示すことはできないため、一部を示す。

図4からは、陸間を「知っている」と回答した人が35名と最も多くなっているものの、「なんとなく知っている」と回答した23名と「知らない」と回答した19名を合わせると計42名にのぼり、全回答者の過半数が陸間の存在や役割について明確な認識を持っていないという実態が読み取れる。



図3 対象地域の自治会区割

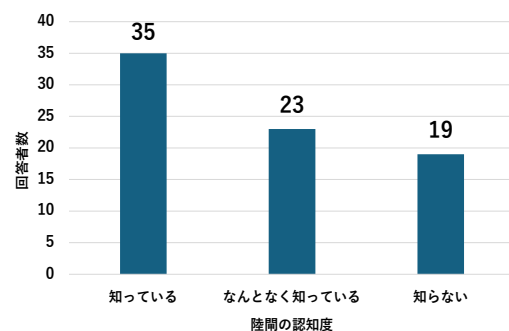


図4 陸間に対する認知度

このように住民の間で認知度に大きな差がある状況は、陸間そのものへの関心の低さや防災上の役

割に対する理解不足を招くだけでなく、適切な開閉ルールや「原則閉鎖」という管理方針への意識が希薄化する要因となっている。

図5からは、陸開の利用頻度について、横軸に回答者数、縦軸に利用頻度の度合いをとったグラフであるが、「まったくない」と回答した人が40名と突出して多く、次いで「通ったことはあるが、回数が少ない」が14名、「たまにある」が13名、「ほとんどない」が10名となっており、「頻繁にある」という回答が0名であることから、全体として住民の利用頻度は極めて低い状況にあることが読み取れる。数値を詳しく見ると、「まったくない」という回答が、何らかの利用経験がある層の合計(37名)を上回っており、陸開を全く利用しない住民が過半数を占めていることが分かる。また、利用経験がある層の中でも「頻繁にある」という回答はゼロであり、大半の住民にとって陸開の利用は限定的、あるいは非日常的なものに留まっている。このように、日常生活で陸開を必要とする人が極めて少ないという実態が、住民の認知度不足や関心の低さを生む直接的な原因になっていると考えられる。

図6は陸開の利用経験のある方が、どの位置の陸開を利用したのかを示している。現地調査では②、④、⑤、⑧番の利用が確認されたが、アンケート調査では、それらの陸開の利用頻度は少なく、最も多く利用されていたのは③番の陸開であることが分かり、両者の結果に相違があった。具体的には、アンケートでは真綿川左岸側に位置する陸開、特に③番に利用が集中しているという回答が得られたが、実際のテープ断裂箇所はその周辺(②番)や対岸(④・⑤番)など広範囲に分散していた。

このことから、住民が「主要な出入り口」と認識している場所と、季節や目的等に応じて「実際に手が触れられている場所」にはズレが生じていることが伺える。

図7は常時閉鎖をして良いと思う陸開の回答結果である。ここで常時閉鎖とは鍵を掛けずに門扉を閉じた状態にしておくことである。陸開を自分で開けて利用することが可能である。陸開の常時閉鎖に関しては「わからない」との回答が約52%(40名)にのぼり、住民の認知度不足が顕著となった。一方で、「開放する陸開なし」との回答は約41.5%(32名)を占め、「あけておくべき(6.5%)」を大きく上回っている。グラフを詳細に見ると、特定の陸開を指定して開放を望む回答は極めて少数であり、①番と②番が各4名、③番・⑤番・⑧番・⑨番が各3名など全地点に渡って回答が数名程度に分散していることが分かる。この結果は、地域全体で特定の場所を常に開けておくべきという強い共通認識

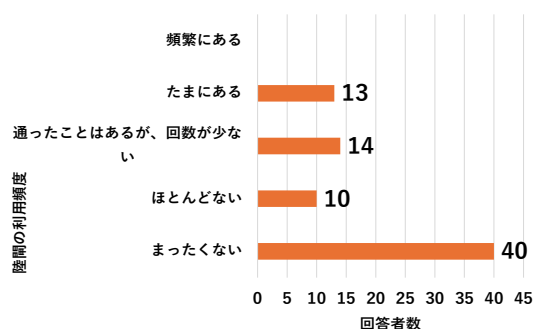


図5 陸開に対する利用頻度

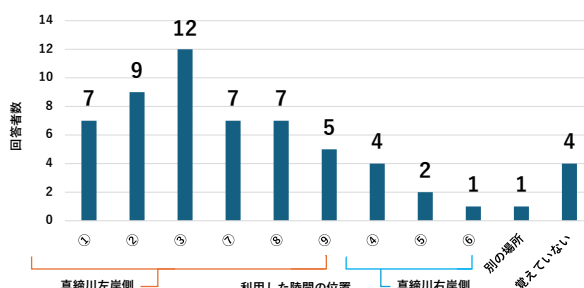


図6 陸開を利用した位置

があるわけではなく、個々の利用者が自身の利便性に基づいて、それぞれの地点に対してわずかながらに開放を期待している実態を示唆している。総じて閉鎖への理解は進んでいると言えるが、一部には開放を望む声も根強く残っていた。

図 8 は完全閉鎖をして良いと思う陸間の回答結果である。ここで完全閉鎖とは鍵を掛けて門扉の開閉が恒久的にできない状態のことである。図 5 に示したように、各項目（①～⑨）に 20 名以上の回答が分散して得られた。最多の「わからない」という回答を除けば、住民の一定数は陸間の閉鎖を肯定的に捉えていることが読み取れる。具体的には、①番から⑨番までの全ての陸間において、閉鎖を肯定する回答がそれぞれ 21 名から 24 名の範囲で均等に分布しており、特定の地点に限らず全域において一定の閉鎖容認層が存在していることが示されている。これは、常時閉鎖に対する「開放する陸間なし」という回答が 32 名であったことと比較すると、物理的に開閉を不可能にする「完全閉鎖」に対しては、心理的な抵抗感や利便性の喪失を懸念してか、肯定的な回答数がやや減少する傾向にあることも見て取れる。また、常時閉鎖の設問時と同様に「わからない」という回答が 40 名と依然として最多を維持している事実は、完全閉鎖がもたらす生活への具体的な影響や防災上の是非を判断しかねている住民が、依然として全体の半数近くを占めている実態を浮き彫りにしている。

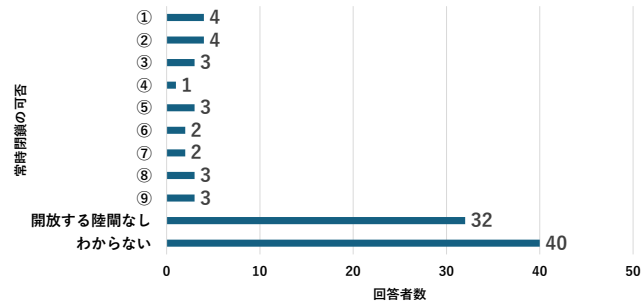


図 7 陸間常時閉鎖の可否

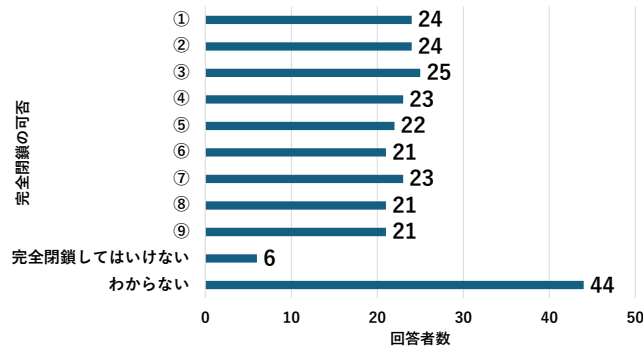


図 8 陸間完全閉鎖の可否

5. おわりに

本調査により、住民は基本的に常時閉鎖または完全閉鎖を容認する傾向にあることが判明した。一方で、現地調査からは一部の陸間が現在も利用されている状況が客観的に把握されている。これらの陸間を実際に利用している者が本アンケートの回答者に含まれているかは不明であるが、実態を無視した施策とならないよう、行政としては丁寧な住民説明を重ねることが不可欠と思われる。今後は、特定の時期や場所に絞った限定的な閉鎖の実施や、利便性を損なわないための代替施設の提示を丁寧に行うべきである。こうしたプロセスを通じて住民の理解を段階的に深めることで、陸間閉鎖に向けた合意形成の可能性をより着実に広げていく必要がある。

参考文献

1) 糸川茉友子, 朝位孝二, 上原高寛, 吉永祐二: 海岸保全施設の陸間統廃合に関するアンケート調査, 自然災害協議会研究論文集, Vol.11, pp.71-74, 2024.

在宅難病患者の災害への備えと災害共助公助 ネットワーク参加の現状

永濱 裕菜¹⁾・藤原 未歩¹⁾・松本 夢朋¹⁾・三宅 野々香¹⁾

本田 由起恵²⁾・野村 洋子²⁾・柳井 千代²⁾・牛尾 裕子³⁾

¹⁾山口大学医学部保健学科看護学専攻 ²⁾山口県宇部健康福祉センター

³⁾山口大学大学院医学系研究科保健学専攻

1. はじめに

我が国では気象災害による被害が毎年のように発生しており、南海トラフ地震等の大規模地震のリスクも高まっている。難病患者等の避難に支援が必要な対象については、「個別避難計画」の作成が市町村に努力義務化される¹⁾等政策の整備が進んでいるが、先行研究²⁾³⁾では難病患者特有の課題が報告されている。保健所は、難病法に基づき指定難病患者の医療費助成受給者証の新規申請・更新手続きの窓口となっている。A県B保健所では、2024年度に、難病患者の災害への備えを促進するため、備えに必要な事項を点検できる災害準備チェックシートを作成し、受給者証の新規申請・更新手続き時に配布した。本研究の目的は、B保健所管内の指定難病患者の災害への備えの実態と共助・公助のネットワークへの参加状況の関連を探索することである。これにより、在宅難病患者の災害への備えに対する支援のあり方を検討する。

2. 方法

2.1 研究デザイン：横断調査による量的記述研究デザイン

2.2 調査対象：A県B保健所の管轄区域内に住民票があり、2025年7月1日～9月30日にB特定医療費(指定難病)受給者証の新規申請または更新・変更等手続きのために、保健所に来所した在宅療養中の指定難病患者本人またはその家族と、家庭訪問時に更新等手続きを行った患者本人またはその家族とした。

2.3 調査期間：2025年7月1日～9月30日

2.4 調査方法：無記名質問紙を対面で手渡し、回収した。

2.5 調査項目：難病患者の災害への備えの状況（①避難場所②避難方法・経路③災害発生時の連絡先④災害発生時の連絡方法⑤ベッド周囲の家具の固定の確認状況、避難に必要な物品の準備状況等）、個人属性（基本属性、移動時のサポートの必要性、医療機器使用の有無、被災経験の有無等）、災害共助公助ネットワーク参加状況（地域とのつながりの状況、行政・専門職・地域住民からの災害対策に関するはたらきかけの有無等）である。

2.6 分析方法：基本属性、災害への備えの状況、地域とのつながりや周囲からの災害対策への働きかけ等を記述統計量として算出した。災害共助公助ネットワーク参加状況を独立変数、対象者の災害への備えの状況を従属変数として関連を分析するため、 χ^2 検定またはFisherの正確確率検定を用いて検定を行った。分析には、統計ソフトJMP Student Edition 18を使用し、有意水準は5%とした。

2.7 倫理的配慮：所属大学の生命科学・医学系研究倫理審査委員会で承認を得た(管理番号838)。

3. 結果

566 部配布し、回収数は 532 部(回収率 94.0%)であった。そのうち、研究協力に同意のない者等を除く、515 人を分析対象とした。

3.1 回答者の基本属性

性別は女性が 260 人(51.0%)、男性が 250 人(49.0%)であった。年齢は 20 歳代 7 人(1.3%)、30 歳代 15 人(2.9%)、40 歳代 50 人(9.7%)、50 歳代 80 人(15.5%)、60 歳代 90 人(17.5%)、70 歳代 174 人(33.8%)、80 歳代以上 99 人(19.2%)で、70 歳代以上の者が 50%を超えていた。疾患分類は、神経筋疾患 128 人(25.1%)、免疫系疾患 103 人(20.2%)の順に多かった(図 1)。移動の際のサポートの必要度は 自立 367 人

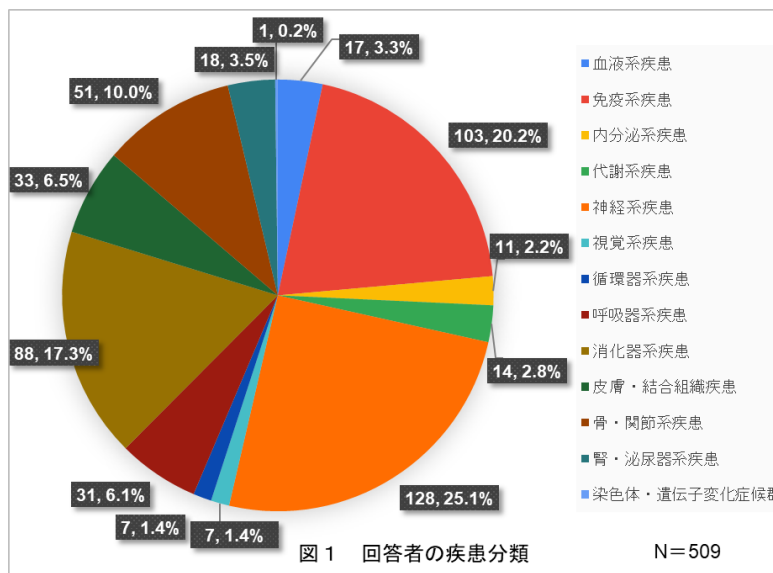


図 1 回答者の疾患分類

N=509

(71.7%)、一部介助 111 人(21.7%)、全介助 34 人(6.6%)であり、移動時に自立している者が約 7 割を占めていた。医療機器の使用状況では使用者 31 人(6.0%)であった。同居者がいる人は 439 人(85.0%)、内訳(複数回答)は「配偶者」と同居している人が 338 人(65.6%)と最も多く、次いで「子」148 人(28.7%)、「親」59 人(11.5%)、「兄弟・姉妹」23 人(4.5%)であった。被災経験がある人は 76 人(14.8%)、自宅が高波、浸水区域、土砂災害警戒区域に該当している人は 92 人(17.9%)であった。

3.2 災害への備えの状況

災害への備えに関して確認している事項(複数回答)は、①避難場所 381 人(74.0%)、次いで③災害発生時の連絡先 219 人(42.5%)、②避難方法・経路 204 人(39.6%)、④災害発生時の連絡方法 163 人(31.7%)、⑤ベッド周辺の家具の固定 77 人(15.0%)であった。保険証などをすぐに持ち出せるようにしている人は 437 人(84.9%)、療養の継続に必要な物品をすぐに持ち出せるよう準備している人は 266 人(51.7%)であった。災害持ち出し袋を作っている人は 116 人(22.5%)、年 1 回点検している人は 69 人で、作っている人の約 6 割であった。

3.3 災害共助公助ネットワーク参加状況

住んでいる地域での避難訓練への参加経験有りが 60 人(11.7%)、災害時避難に協力してくれる身近な地域住民がいる人は 227 人(44.1%)であった。災害対策に関する外部からの働きかけ(複数回答)については、「特になし」と回答した人が 246 人(47.8%)と最も多く、次いで「地域住民から」110 人(21.4%)、「行政」76 人(14.8%)、「専門職」21 人(4.1%)であった。地域とのつながりの状況については、「挨拶程度」が 155 人(30.1%)と最も多く、次いで「地域行事に参加」137 人(26.6%)、「疾患のことを伝えている」114 人(22.1%)、「連絡先を交換」72 人(14.0%)、「交流なし」33 人(6.4%)であった。

3.4 災害への備えと災害共助公助ネットワーク参加状況

災害への備えの確認事項の回答から、5 項目すべてに有とした者を「すべて確認している」、2～4 項目に有と回答した者を「だいたい確認している」、1 項目のみに有とした者を「あまり確認していない」、いずれも無とした者を「何も確認していない」と群分けをして、避難時に協力してくれる地域

住民の有無、外部からの災害対策についての働きかけ、地域とのつながりの状況との関連を分析した。

避難時に協力してくれる地域住民がいるかどうかと災害への備えの関連では、「全て確認している」「だいたい確認している」人の割合は、避難協力者「あり」と回答した人では148人(65.2%)、「なし/分からない」と回答した人では60人(47.2%)であり、「あり」と回答した人の方が備えの確認を行っている割合が有意に高かった($p=0.0004$)。外部からの災害対策の働きかけは組み合わせにより群分けし、災害への備えとの関連をみた(表1)。災害への備えとして「全て確認している」「だいたい確認している」人の割合が「行政と専門職及び地域住民から働きかけあり」37人(92.5%)、「地域住民から働きかけあり」46人(64.8%)、「行政と専門職から働きかけ有」26人(49.0%)、「なし」180人(52.0%)で、有意差が確認された($p<0.0001$)。地域とのつながりの程度と災害への備えの関連は表2のとおりであった。

表1 外部からのはたらきかけと災害への備えの状況

	N	外部からのはたらきかけ 人数(%)				p 値
		行政・専門職	行政・専門職・地域住民	地域住民	なし	
災害への備え	510					
全て確認している	28	4(7.5)	11(27.5)	3(4.2)	10(2.9)	<.0001***1)
だいたい確認している	261	22(41.5)	26(65.0)	43(60.6)	170(49.1)	
あまり確認していない	155	21(39.6)	2(5.0)	22(31.0)	110(31.8)	
何も確認していない	66	6(11.3)	1(2.5)	3(4.2)	56(16.2)	
必要書類の準備	510					
あり	432	46(86.8)	38(95.0)	68(95.8)	280(80.9)	0.0029**1)
なし	78	7(13.2)	2(5.0)	3(4.2)	66(19.1)	
療養継続に必要な物品準備	506					
あり	262	25(49.0)	27(69.2)	38(54.3)	172(49.7)	0.1282 ¹⁾
なし	244	26(51.0)	12(30.8)	32(45.7)	174(50.3)	

1) χ^2 検定 ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

表2 地域とのつながりの程度と災害への備えの状況

	N	地域とのつながり 人数(%)					p 値
		交流なし	挨拶程度	行事参加	連絡先交換	疾患を伝えている	
災害への備え	511						
全て確認している	28	2(6.0)	8(5.1)	2(1.5)	4(5.6)	12(10.5)	<0.001***1)
だいたい確認している	262	12(36.4)	62(40)	68(49.5)	47(65.3)	73(64.0)	
あまり確認していない	155	14(42.4)	57(36.8)	47(34.3)	18(25.0)	19(15.7)	
何も確認していない	66	5(15.2)	28(18.1)	20(14.8)	3(4.2)	10(8.8)	
必要書類の準備	511						
あり	433	24(72.7)	129(83.2)	108(78.8)	63(87.5)	109(95.6)	0.001**1)
なし	78	9(27.3)	26(16.8)	29(21.2)	9(12.5)	5(4.4)	
療養継続に必要な物品準備	506						
あり	264	14(42.4)	71(45.8)	60(44.4)	47(65.3)	72(64.9)	0.0007***1)
なし	242	19(57.6)	84(54.2)	75(55.6)	25(34.7)	39(35.1)	

1) χ^2 検定 ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

4. 考察

災害への備えについて、在宅筋ジストロフィー患者を対象とした先行研究³⁾では、必要書類 50.8%、療養継続に必要な物品 38.9%、在宅パーキンソン病患者を対象とした先行研究²⁾では、連絡方法の確認 13.0%であった。本研究では、先行研究と比べ避難場所・災害時の連絡先の確認、必要書類の準備、療養継続に必要な物品の準備の割合が高く、B 保健所管内の難病患者の災害への備えは進んでいる傾

向にあると考えられた。災害対策について行政・専門職・地域住民それぞれから何らかの働きかけを受けている人は、災害に備えた確認が進んでいる傾向がみられた。また、近隣者に連絡先や疾患を伝えるほどの付き合いをしている人は、同じく災害への備えが進んでいる傾向がみられた。このことから近隣者とのつながりを深めることが災害への備えの促進につながる可能性が示唆された。一方で避難訓練への参加経験があると回答した人は 11.7%、避難時に協力してくれる地域住民がいると回答した人は 44.1%で、近隣とつながりを深めながら災害の備えをすすめている難病患者は一定の割合に限られていると考えられる。その背景には、症状の進行による移動の障害や医療機器使用等により、地域で実施される避難訓練への参加が難しい状況があることが考えられる。また疾患を知られることへの抵抗を感じている可能性もある⁴⁾。一方で、免疫系疾患や内部障害では、移動には問題ないが、避難生活において服薬管理その他の療養生活に配慮が必要となる場合もあり、疾患特有の個別性を踏まえた備えが必要となる。以上から、難病患者が日常から自然な形で、個々の疾患特性や背景状況に適合する形で、近隣住民等と交流を維持することが、地域防災活動や見守り支援の地域ネットワークへの参加につながり、災害への備えを促進すると考えられた。

5. 結論

難病患者の災害への備えは、近隣住民に疾患のことを伝える、連絡先を交換する、近隣住民から災害対策の働きかけがあるなどにより対策が進む傾向にある一方で、地域での避難訓練への参加は一部に限られていた。難病患者が日常から自然な形で近隣住民等との交流を維持することが、災害への備えにもつながると考えられる。

本研究は、一般財団法人日本国土開発未来研究財団 2025 年度研究助成を受けた。本研究に関して開示すべき COI はない。

引用文献

- 1) 内閣府（防災担当）：避難行動要支援者の避難行動支援に関する取組指針 2013 年 8 月(2021 年改訂). <<https://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/youengosya/r3/pdf/shishin0304.pdf>> (アクセス：2025 年 2 月 3 日)
- 2) 岩佐由美, 白石柳子, 他：質問紙調査で見た兵庫県内在宅パーキンソン病患者の災害に対する備えの現状分析－防災対策の標準化に向けた課題と対策の検討－, 日本難病看護学会誌, 24(2), 177-188, 2019.
- 3) 加藤沙耶香, 服部文子, 他：筋ジストロフィー患者自身による災害対策の現状(第二報), 脳と発達, 52(5), 306-310, 2020.
- 4) 三輪眞知子, 今福恵子, 尾島俊之他：難病患者の災害準備に関する実態, 日本公衆衛生学会総会抄録集(1347-8060)67 回, p317, 2008.

教科単元「防災とまちづくり」の受講者にみる 文系・理系の学生間の「防災対応」のとらえ方の差異 2

目山直樹*・井上浩**

*徳山工業高等専門学校・**周南公立大学

1. はじめに

本稿は、2023年度自然災害研究協議会中国支部部会で報告した「教科単元「防災とまちづくり」の受講者にみる文系・理系の学生間の「防災対応」のとらえ方の差異」に引き続き、2025年度に実施した内容に基づく「続報」である。

1.1 周南公立大学「持続可能な社会とダイバーシティ」の単元「防災とまちづくり」

周南公立大学（以下、周南公立大）の共通科目として「持続可能な社会とダイバーシティ」という科目（担当の一人が共著者の呉賛女史である。共著者の井上氏がひきついでいる）があり、15週の授業のうち9講を「防災とまちづくり」の単元に位置づけ、目山が担当することになった。

2025年度には、周南公立大側の受講者と人数（109人⇒194人）と所属学部（2学部から再編後3学部）が増加している。結果として、周南公立大側に理系学部の情報科学部と看護学科が加わったため、周南公立大は文系、徳山高専は理系という単純な比較はできなくなっている。

なお、オムニバス形式の授業で、目山に与えられた配点は7点であった。7点満点のレポートを受講者に課し、採点し評価した。また、formsにより受講者アンケートを行い、「防災」に対する認識を確認するとともに、災害時の対応についてたずねている。

1.2 徳山高専「都市計画」の1単元「都市と防災」

徳山工業高等専門学校土木建築工学科（以下、徳山高専）の4年生（大学1年生に相当）の教科に「都市計画」（通年、2単位）があり、2014年度以来、目山が担当している。30週の単元うちのひとつに「都市と防災」がある。この単元はすでに一定のカタチで進めてきているが、2023年度から周南公立大学の授業「防災とまちづくり」との共通性を持たせ、同一の課題とformsアンケートを課すことで、周南公立大学の学生と徳山高専の学生を対象に、「防災対応」のとらえ方の差異を把握することとした。

2. 講義内容とレポート課題（2023年度～2025年度で共通）

2.1 講義内容の概要

講義内容は、2023年度から2025年度までの3年間共通の項目設定と内容によるものとした。授業進行と同時に、レポートへの書き込みを促し、授業後ただちにレポートを回収した。その後、formsによるアンケートを実施し、受講者の意識変化を把握することとした。

講義内容とレポートは、周南公立大、徳山高専ともに共通のものとした。

講義内容は、1 現状把握として、現状把握について3点、書き込んでいただいた。すなわち、「防災」とSDG`sの関係性を問うもの（1点）、「まちづくり」とSDG`sの関係性を問うもの（1点）、「防災」×「まちづくり」とSDG`sの関係性を問うもの（1点）を授業進行とともに書き込みの時間を設けた。

共通の認識を築いた段階で、その次の講義を進め、最後にレポートへの回答時間をとった。すなわち、現在

の「防災×まちづくり」に対する認識を問うもの（周南公立大生は周陽地区を対象に、高専生は徳山高専周辺を対象と限定した．さらに自宅周辺について前述の理解を確認した）（1点），つづいて，「防災まちづくり」のための現状からの改善の視点（あなたのアイディア）を問うた（1点）．最後に，防災まちづくりを具体化するための工夫や仕組みについての提案を問うた（2点）．

2.2 レポート課題の設定と評価指標

レポート課題は，2023年度と2025年度とで同様の項目を設定し，A4版用紙1枚におさめられている．授業では，授業時間内に記入し，授業後，直ちに回収することとした．評価指標は，現状認識で4点，改善点で1点，工夫や仕組みの提案で2点の配点とした．

3. 受講者別のレポートの評価

3.1 周南公立大学の受講者

2023年度の周南公立大生（以下，大学生）の受講者は109名で，レポートの得点の平均は5.1点であった．徳山高専生（以下，高専生）の得点に比べ1点ほど低い水準にあるが，これは，3点から7点の範囲に得点がばらついていることや，0点などの評価があることが影響している．レポート評価7点のもののうち，目山が最高評価をつけたものは4年生の学生であった．

2025年度は，受講者が194名で，得点の平均点は6.2点であった．（表-1）

3.2 徳山高専の受講者

2023年度の高専生のレポート評価点の平均は6.1点と高かった．これは8割方の受講者が7点ないし，6点に集中していること，得点の低いものがわずかであったことが要因といえる．高専生の場合，目山の授業を受講するのが4年目であり，慣れていることもプラスに働いているといえる．（表-1）

2025年度は，平均点6.4であった．

表-1 レポートの評価（2023年と2025年）

	周南公立大学		徳山高専	
実施日時	2023年6月13日	2025年6月10日	2023年6月23日	2025年6月3日
受講者※	109	194	41	42
レポートの得点 （平均点）	5.1	6.2	6.1	6.4
7点	22	92	16	24
6点	24	63	16	11
5点	22	23	7	6
4点	29	11	1	1
3点	10	4	1	0
2点	1	1	0	0
1点	0	0	0	0
0点	1	0	0	0

※レポート提出者

4. 受講者別の forms アンケートの評価

Formsアンケートでは7問を設定した。最初の2問はハザードマップで、次の3問は、居住地区での危険性認識が、防災、防犯、交通安全の面から強くなったかをたずねている。最後の2問は避難場所に関するもので、とくに7問目は、受講後、避難場所を決めたかを問うている。

2023年度と2025年度の2回の受講生のアンケート結果を以下に整理する。(表-2)

4.1 周南公立大学の受講者

大学生は、2023年度の結果では、危険認識について、防災、防犯、交通安全のいずれも「強くなった」と認識を変化させている一方で、あらかじめ避難場所を決めているものは2割程度で、受講後、決めたものも2割程度と少なかった。

2025年度は、交通安全以外の項目で意識が向上している。受講後、避難場所を決めたものは2割から4割に向上している。

4.2 徳山高専の受講者

高専生は、2023年と2025年ともに、ハザードマップを知っているものはほぼ全員で、みたことのあるものも90%を超えており、高水準にある。徳山高専の周辺に住んでいるものが少ないこともあり、危険性の認識はいずれも高くない。一方、避難場所を決める意識は、2023年の6割に対して2025年は4割と低下した。ただし、すでに決めているものが6割いるので、講義の中で、改めて決めることを推奨するようにしたい。

表-2 formsアンケートの結果 (2023年と2025年)

実施日時	設問	周南公立大学		徳山高専	
		2023年6月13日	2025年6月10日	2023年6月23日	2025年6月3日
回答者※		98	194	30	42
アンケート の回答	ハザードマップを知っていたか	92.9%	99.0%	100.0%	97.6%
	ハザードマップをみたことがあるか	69.4%	89.1%	93.3%	92.9%
	居住地区の防災上の危険性の認識	87.8%	90.2%	56.7%	85.7%
	居住地区の防犯上の危険性の認識	79.6%	83.3%	46.7%	59.5%
	居住地区の交通安全の危険性の認識	88.8%	83.0%	60.0%	78.6%
	避難場所を決めている	21.4%	37.6%	76.7%	59.5%
	受講後避難場所を決めた。	23.5%	43.5%	66.7%	43.9%
※アンケート回答者					

5. 周南公立大・徳山高専の受講者による得点等の差異

5.1 レポートの得点にみる差異

2023年のレポートの得点の差は、文系・理系の差異というより、講師の授業に対する受講の慣れの差と結論付けた。2025年では、その差はほとんどなくなったため、講師の授業の進め方に均一性が出たと考えている。

2025年の大学生の得点からは、看護学科1年生で6.50、スポーツ健康科学科1年生で6.37と高得点を示している。これらは、学科の特性かもしれない。看護教育では、正しく伝えることが重要であるし、スポーツ指導ではルールを守ることが最低の条件となる(表-3)。2025年の高専生の得点は6.44とこれもまた高得点であった。

表-3 学部・学年別の得点状況（2025年、2023年）

2025年					2023年			
周南公立大学	6.16				周南公立大学	5.10		
学部・学科	1年生	2年生	3年生	4年生	学部・学科	1年生	2年生	3年生
情報科学部	5.80				経済学部	4.74	5.30	4.36
人間健康科学部					福祉情報学部	5.36	4.75	
看護学科	6.50							
福祉学科	6.20	5.88			徳山高専	4年生		
スポーツ健康科学科	6.37				土木建築工学科	6.10		
経済経営学部	6.16	6.31						
人間コミュニケーション学科			6.33					
現代経済学科			6.00	6.00				
ビジネス戦略学科			5.92	4.62				
徳山高専	4年生							
土木建築工学科	6.44							

5.2 formsアンケートにみる差異

Formsアンケートでは、周南公立大生と徳山高専生で回答に際立った差異がみられた。ハザードマップをみることがない周南公立大生が3割から1割いることを考えると、大学構内に「ハザードマップ」を掲示したり、学生たちに危険を意識させ、対応について考えていただくことが必要と考える。

一方、居住地区（高専生は徳山高専周辺が対象）における危険性の認識は、大学生で顕著に強まっており、今回の授業が影響していると考えている。高専生は、周南市外からの通学者が6割程度あることから、危険性の認識はさほど強くなっていない。この辺りの対応は、教材や対象地区の設定を再検討すべきかもしれない。

避難場所に対する認識は、県外からの学生が多い周南公立大生では認識が低いと見え、避難場所を決める行動に結びついていなかったが、2025年には改善されてきている。

6. まとめ

6.1 考察

得点だけに着目すると、周南公立大学と徳山高専の学生の歴然とした差はなくなってきたようである。大学生の出身地は8割が県外ということを考慮すると、周南公立大生は山口県や周南市、周南地域の「防災」「防災情報」になれていないとみたほうがよい。

「防災」について直接的に学ぶ高専生に対して、一部の学科のみ、防災を意識する局面を迎える大学生と考えれば、この共通科目の中で、防災意識を育てることは重要と考えている。

6.2 令和8年度に向けた対応

令和8年度は、この共通の単元を著者が担当する最終年度となるため、4年間の総括を試みるとともに、周南公立大の学部間での比較も進めていきたいと考えている。

謝辞：今回、周南公立大学と徳山高専で、あらたな教育連携に取り組む機会を得た。ここに至るまで、ご尽力いただいた関係各位に感謝したい。授業の中で、事前説明しているが、レポートとformsアンケートに応じていただいた両校の学生諸君に、深甚なる謝意を表す次第である。

参考文献：目山直樹ほか（2024）、「教科単元「防災とまちづくり」の受講者にみる文系・理系の学生間の「防災対応」のとりえ方の差異」、自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集第10号，57p-60p，2024年2月

使用済み核燃料中間貯蔵の災害リスクを考える

—山口県上関町の計画案について—

村上ひとみ

山口大学大学院創成科学研究科

1. はじめに

山口県上関町の長島田ノ浦には中国電力による原子力発電所の建設計画が 1982 年から持ち込まれ、離島の祝島島民が漁業権保証を受けず、反対抵抗する中、建設準備が進められてきた。2011 年東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所(東京電力)の過酷事故を受け、上関の原発建設は工事が止められる一方、政府・経済産業省は新規の原発建設を止めておらず、中国電力(株)は継続して、上関原発建設の意向を表明している。

2023 年 8 月、中国電力が上関町原発予定地に使用済み核燃料の中間貯蔵施設を関西電力と共同で建設する提案を発表し、祝島島民や周辺自治体の住民による抗議行動の中、上関町長が調査を受け入れる事態となった。

使用済み核燃料の乾式貯蔵に関して既往研究として、小出¹⁾、増山^{2), 3)}などの報告がある。上関町の地理条件と上関大橋事故の影響について、村上ほか⁴⁾が報告している。2024 年能登半島地震の被害について、北野⁵⁾が参考になる。能登半島北部には 1990 年代に北陸電力・関西電力・中部電力による珠洲原発建設の計画があり、住民の根強い反対運動により中止となったが、もしここに原発ができていたら海岸が 2m 近く隆起する地殻変動と地震被害により、原発の過酷事故に至った恐れが高い。

表－1 上関原発建設計画と使用済み核燃料中間貯蔵施設に関する年表

年	事 項
1982	中国電力による上関原発計画浮上
1986	チェルノブイリ原発事故
1999	環境影響評価調査書
1999	市民団体「長島の自然を守る会（現・上関の自然を守る会）」結成
2000	漁業補償契約（周辺 7 漁協が祝島漁協の反対を無視して中国電力と交渉、125億 5 千万円の補償金受け取り、原発建設同意（祝島漁協は補償金受け取らず）
2001	経済産業省、電源開発基本計画に上関を重要電源開発立地点指定
2001	二井関成山口県知事、上関原発計画に同意
2003	田ノ浦の原発用地に隣接して「人々のつどいの家」ログハウス建設
2004	原発用地の 20%（地元の四代八幡宮神社用地）未買収、宮司が解任され神社地を中国電力に売却（解任違法の訴訟）
2006	中国電力、田ノ浦で工事、祝島島民抗議活動
2008	原発予定地の埋め立て開始、平生町田名ふ頭と田ノ浦で島民・住民と工事側攻防
2009	中電敷地埋め立て工事着手、工事側と島民・市民の反対
2011	3月 東北地方太平洋沖地震、福島第一原発の事故、上関の工事止まる
2016	山口県知事、中国電力に公用水面埋め立て免許の延長認める（2019年、2022年にも再延長）
2022	岸田政権「GX実現に向けた基本方針」脱炭素を原発推進政策につなげる
2023	2月、上関町長、経産省や中国電力に原発事業推進・財政支援・地域振興策を要望
2023	8月、中国電力：原発使用済み核燃料の中間貯蔵施設を関西電力と共同で建てる計画発表
2023	上関町、調査開始に伴う交付金を国に申請
2024	4月～11月 中国電力、ポーリング調査
2025	8月 中国電力、上関町に中間貯蔵施設立地可能と伝達、調査結果概要をHP発表

本稿では、使用済み核燃料の中間貯蔵施設に収める核燃料の放射能漏出や事故のリスクを文献からまとめる一方、上関周辺の活断層や地震・津波等のハザードと災害時の避難等の問題、近隣市町の住民アンケート結果について考察することを目的とする。

2. 上関原発計画と使用済み核燃料施設の経緯

上関町における原発建設への動きと反対運動、使用済み核燃料貯蔵計画の経緯について文献⁶⁾を参考に表一に示す。中間貯蔵施設は中国電力(株)と関西電力(株)が共同で建設の方針と報道されたが、その詳細は公表されていない。上関原発予定地と中間貯蔵施設周辺の地形図を図一に示す。



図一 上関町長島の田ノ浦・原発予定地と中間貯蔵予定地でのボーリング調査地点・地震観測実施地点、電子国土地図に加筆(中国電力(株)適地調査報告概要⁷⁾より)

3. 使用済み核燃料乾式貯蔵の概要

増山^{2),3)}の解説を参考に使用済み核燃料について以下に要約する。「天然ウランには核分裂しやすいウラン235(U-235)が0.7%しか含まれないので、これを4%程度まで濃縮(残りの96%は核分裂しにくいU-238)させて焼結し、直径1cm、長さ4mの金属の被覆管に装填したものが燃料棒。数十本の燃料棒を束ねた燃料集合体が一定の配置で原子炉に装填される。中性子一個を捕獲したU-235は2〜3個の中性子を放出して核分裂生成物(死の灰)ができる。核分裂は連鎖的に反応が起き、U-235が減ると同時に、U-238の一部はプルトニウムに転換される。原子炉で使われた燃料棒は、数年後にはU-238が94%、U-235が1%、プルトニウム1%、核分裂生成物(死の灰)4%の構成比となる。」

核分裂生成物は放射線を出しながら崩壊熱を出し続けるので、原発から取り出した核燃料は使用済み燃料プールで冷却水を循環させて、15〜20年保管する。使用済み核燃料の運搬・保管にはキャスクとよばれる専用の金属容器が使われる。キャスクのサイズは直径約2.4〜2.6m、高さ5.2〜5.5mの円筒形、燃料集合体約70本を収納して約120トンの重量となる。金属キャスクの機能として求められるのは①徐熱、②遮蔽、③閉じ込め、④臨界防止である。乾式キャスク貯蔵とは、使用済み核燃料を、不活性ガスであるヘリウムガスととも

に頑丈な金属製の乾式キャスクに閉じ込め、貯蔵する方式。ふたは一次蓋と二次蓋の二重構造になっており、二重蓋間をヘリウムガスで加圧し、圧力を常時監視する構造となっている。

使用済み核燃料からプルトニウムを取り出して原発の燃料にするという核燃料再処理工場は、青森県六ヶ所村に1997年竣工予定として、1993年に着工したが、2025年現在(32年経過)、稼働していない。非常に危険な工程でアクティブ試験により放射能汚染された装置の耐震補強や維持保全も困難と批判されている。核燃料再処理の危険性について小出・他⁸⁾が詳しい。

金属キャスクに収めて、50年にわたり空冷で冷却、保存する想定で、その後は核燃料再処理施設に運び出す予定とされる。中間貯蔵が50年を超えて、半永久貯蔵になる恐れがあり、キャスクの密閉性が劣化し、臨界防止のホウ素を含むバスケットが劣化する状況で、強い地震動や土砂災害、山林火災などに対して放射能漏れなど異常事態が発生したときに、近くに原発の使用済み燃料プールがなければ、核燃料をプールに戻すこともできないと思われる。

4. 想定南海トラフ巨大地震と伊予灘海底活断層

(1) 南海トラフ巨大地震と山口県の被害想定

南海トラフ巨大地震は政府の地震調査委員会により今後30年以内の発生確率が60%~90%以上と発表されている。地震の規模はMw=9.0、断層範囲が東南海・南海・日向灘に及び、長さ700kmに達する。山口県地震被害想定⁹⁾によれば、南海トラフ巨大地震による最大震度が柳井市で6強、上関町・田布施町・平生町・周防大島町などで6弱、津波高さは柳井港、平生港、光漁港、上関町室津港などで、最高津波水位として、T.P. 3.5m~4m程度の想定である。

また、周防灘断層群主部は山口県防府市の南方沖から大分県の国東半島に至る断層帯で、長さ約44km、津波断層モデルとして、Mw=7.2を想定し、上関町など県東部で最高津波水位はT.P. 3~3.5mと推定されている。山口県被害想定⁹⁾による南海トラフ巨大地震と周防灘断層群主部の地震による最高津波水位の最大値分布では、漁港など集落の立地する低地で最高津波水位がT.P. 3.5 - 4mに達し、家屋や船舶の流失、避難遅れの恐れがある。

(2) 大分県国東半島沖から山口県周防大島の海底活断層

周防灘から伊予灘の海底活断層について、産業技術研究所が2024年に実施した調査で、大分県国東半島沖合から山口県周防大島町付近の海底に、長さ70km余りにわたり、複数の活断層からなる断層帯があることが発表され(NHKニュース、2025.6.10)、活断層調査について、報告が大分県HPに公開されている¹⁰⁾。

大上¹⁰⁾によれば、「伊予灘には内閣府地震調査本部の長期評価の対象となっていない海底活断層の存在が示されており(中国電力資料(原子力発電安全保安課、2010))、海底活断層による地震災害リスクを正確に把握するための調査が必要」であり、「2024年度には海底活断層の詳細な位置・形状を把握するとともに、掘削調査に向けたサイトサーベイのための高分解能音波探査を実施した」とのことである。「予察的な地質構造図を作成。国東半島沖から周防大島にかけて連続的に延びる海底活断層(少なくとも60km程度)が分布。その延長部にも活構造が認められる。」とのことである。延長部まで含めると断層長さは70~75kmに及び、起こしうる地震の規模はM7.5~7.8程度と推定される。海底活断層は上関原発と使用済み核燃料中間貯蔵施設の予定地からおおよそ20kmの至近距離にあり、地震がおこれば地殻変動や強い地震動による土砂災害、建物、道路など構造物の被害が懸念される。

5. まとめ

上関原発予定地から半径30kmのUPZには上関町のほか、平生町、田布施町、柳井市、周防大島町、光

市などが含まれる。柳井市、平生町などで住民アンケートが実施され、下記のとおり過半数が使用済み核燃料施設の建設に反対となっている¹¹⁾。柳井市平郡島の2つの自治会が、2024年春以降、本土側の柳井市の自治会を通して上関町の間蔵施設計画の賛否を問うアンケート実施。柳井市内の全308自治会のうち、161の自治会から3991件の回答があり、72%が計画に反対、4%が計画に賛成、24%がよくわからない、という結果が得られた。平生町では、町内148の自治会のうち、109の自治会で2025年5月～6月に実施された住民アンケートの結果、計画への反対が75%を占めた。

田布施町議会議員選挙(2025年2月)や柳井市議会議員選挙(2025年12月)では中間貯蔵施設が争点となり、施設に反対の候補が半数を超えて当選した。使用済み核燃料中間貯蔵について、原発のようなPAZ(5km圏、事故発生後に即時避難)やUPZ(30km圏、状況に応じ屋内退避や一時移転エリア)は義務付けられていない。しかし長期に亘れば地震・津波や台風、豪雨土砂災害、森林火災など複合災害時において事故のリスクはあり、住民が将来の放射能汚染や被ばく、環境被害を心配するのは当然の権利といえる。原発関連危険施設の立地を国のエネルギー政策と無条件に受け入れて、事後に災害対策や避難対策を議論するのではなく、事前に立地がもたらす地域と住民へのリスクを検討し、住民主体で地域の未来を考えたい。

謝辞： 上関町の原発・使用済み核燃料の中間貯蔵問題については、住民団体等から情報提供を受け、市民団体、いのち・未来うべほかの情報共有・学習会により考察を深めてきた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小出裕章：「使用済み核燃料中間貯蔵施設」とは？於：宮崎県内連続講演会、2004年6月21日～23日、12pp, <https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/kouen/myzk0405.pdf> (閲覧日：2026.01.30)
- 2) 増山博行：核燃料中間貯蔵施設とはいかなるものか、山口大学教職員組合退職者の会『会報』第165号 2025年7月23日
- 3) 増山博行：核燃料中間貯蔵施設とはいかなるものか(続)、山口大学教職員組合退職者の会『会報』2026年1月号
- 4) 村上ひとみ・村上寛史：上関大橋と大島大橋の事故から考えるー上関原発計画と災害時避難の課題ー、自然災害研究協議会 中国地区部会 研究論文集 第7号(2021)
- 5) 北野進：珠洲原発建設阻止の歴史、そして志賀原発訴訟の現在、日本の科学者、Vol.60、pp.4-10、2025.
- 6) 三浦翠：上関原発計画の43年間ー地域社会の分断とネットワークー、やまぐちから考える世界史歩いて、見て、感じる歴史、えにし書房、pp.220-227、2025.
- 7) 中国電力：中国電力：『上関地点における使用済み燃料中間貯蔵施設』立地可能性調査報告書の概要(詳細版) https://www.energia.co.jp/atom_info/assets/press/2025/p20250829-1b.pdf (閲覧日：2026.1.30)
- 8) 小出裕章・渡辺満久・明石昇二郎：「最悪」の核施設 六ヶ所再処理工場、集英社新書、2012.
- 9) 山口県地震・津波被害想定調査報告書、平成26年3月、山口県、74pp、2014. <https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/6/12599.html> (閲覧日：2026.1.30)
- 10) 大上隆史：伊予灘北部海域に分布する海底活断層の調査ー2024年度に実施した高分解能反射法音波探査の結果概要ー、PPT資料、61pp., <https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2248840.pdf> (閲覧日：2025.10.1)
- 11) 長周新聞：山口県は核ごみ廃棄場ではない 周辺市町で反対世論が噴出 住民アンケートで75%反対 上関町への中間貯蔵施設建設計画、2025年9月2日 <https://www.chosyu-journal.jp/yamaguchi/35735> (閲覧日：2026.1.30)