

令和 6 年能登半島地震・豪雨災害調査報告書



輪島市 塚田川の様子（9月24日撮影）

令和 7 年 5 月

土木学会水工学委員会

令和 6 年能登半島地震・豪雨災害 河川・流域調査団

目次

はじめに	1
第1章 輪島市で発生した土砂災害	5
1.1 研究対象地区	5
1.2 天然ダム	6
1.3 土砂災害警戒区域	8
1.4 崩土が泥流化した要因	8
1.5 泥流の数値シミュレーション	10
1.6 結論	10
第2章 令和6年能登半島地震の河川構造物への影響	12
2.1 はじめに	12
2.2 調査方法	12
2.2.1 合成開口レーダ（SAR）による観測データを用いた地表面変位の推定	12
2.2.2 河川構造物等の被害に関する現地調査データ	16
2.3 衛星観測より推定した変位と被害箇所の比較	17
2.3.1 若山川周辺における結果	18
2.3.2 ハケ川周辺における結果	20
2.3.3 仁岸川周辺における結果	22
2.3.4 河原田川及び塚田川周辺における結果	23
2.4 地震被災箇所への豪雨に伴う出水の影響	30
2.5 まとめ	34
第3章 地震に伴う富山県内の河川被害状況および流木が河川災害に及ぼす影響に関する 検討	36
3.1 地震における富山県の河川被害状況	36
3.1.1 富山県内の河川の被害状況の概要	36
3.1.2 異なる地震外力による護岸被災状況の相違について	37
3.1.3 呉東地区の被災地の特徴	38
3.2 流木が関わる事例について	39
3.2.1 地震後の豪雨による流木を含む土石流の事例	39
3.2.2 天然ダムにおける流木の影響の検討	42
3.3 本章のまとめ	46
第4章 富山県沿岸域の避難状況について	48
4.1 はじめに	48
4.2 対象地域緒言	50
4.3 地形的特徴	51

4.3.1 地形高	51
4.3.2 射水市沿岸域の津波ハザードマップ	52
4.3.3 液状化の発生状況	53
5.3.4 富山湾水位の季節変化	53
4.4 地震発生後の水位変化	54
4.4.1 一級河川と二級河川の水位変化	54
4.4.2 内川	56
4.4.3 富岩運河	56
4.5 人流データによる道路状況の把握	57
4.5.1 KDDI Location Analyzer (KLA)	57
4.5.2 人流データの取得	57
4.5.3 人流データの整理方法	58
4.5.4 徒歩避難者についての整理と考察	58
4.5.5 自動車避難者についての整理と考察	61
4.6 新湊・放生津地区における人口動態把握と地震直後の行動	64
4.6.1 新湊・放生津地区における人口動態	64
4.6.2 既往報告（アンケート結果）の整理	65
4.6.3 新湊・放生津地区における本調査でのアンケート調査	65
4.7 結論	71
第5章 水質データに基づく能登半島地震および能登半島豪雨による七尾湾カキ養殖環境への影響	74
5.1 調査の背景と目的	74
5.2 七尾西湾と熊木川流域の概要	75
5.3 能登半島地震前後の七尾西湾（長浦）の水質比較	77
5.3.1 海水温の鉛直分布	77
5.3.2 溶存酸素の鉛直分布	77
5.3.3 クロロフィル a の鉛直分布	77
第6章 能登半島地震における七尾市の水道復旧過程の規定要因	85
6.1 はじめに	85
6.2 研究方法	86
6.2.1 対象地域の概要	86
6.2.2 対象データ	88
6.2.3 分析方法	88
6.3 水源別復旧速度・復旧過程	89
6.3.1 水源別の復旧速度	89
6.3.2 県水・自己水の分布と復旧過程	89

6.4 考察.....	92
6.4.1 復旧時間について.....	92
6.4.2 復旧の空間分布について.....	92
6.5 結論.....	92
第7章 ライフラインの途絶と復旧.....	94
7.1 はじめに	94
7.2 水供給システムの復旧過程：二度にわたる長期間断水の実態.....	95
7.3 電力供給システムの復旧過程：地震と豪雨.....	97
7.4 おわりに	100
第8章 令和6年9月20日から22日の降雨状況の分析.....	105
8.1 はじめに	105
8.2 能登半島の降雨データ	106
8.3 検討の対象とした流域の概要	107
8.4 降雨特性の比較分析	108
8.5 統計的評価と IDF 曲線による確率解析.....	110
8.6 まとめ.....	112
第9章 令和6年能登半島豪雨における海面水温の影響.....	114
9.1 はじめに	114
9.2 方法.....	114
9.2.1 データ	114
9.2.2 数値気象モデル	115
9.3 海面水温の特徴	117
9.4 数値気象シミュレーションの結果	119
9.4.1 再現シミュレーション結果	119
9.4.2 数値気象シミュレーションにおける海面水温の影響.....	120
9.5 まとめ.....	123
第10章 若山川、折戸川、竹中川の現地調査報告.....	125
10.1 はじめに.....	125
10.2 対象河川.....	125
10.3 調査方法.....	126
10.4 若山川での調査結果	126
10.5 竹中川での調査結果	136
10.6 折戸川での調査結果	140
10.7 広域での降雨流出解析と洪水氾濫解析	145
10.8 奥能登豪雨から学ぶべき教訓.....	146
第11章 町野川流域を対象とした地震崩壊土砂の輸送を考慮した土砂流出シミュレーショ	

ン	148
11.1 はじめに	148
11.2 対象流域の概要	148
11.3 モデル・計算手法	149
11.4 入力データ	150
11.4.1 標高および土地利用	150
11.4.2 地震による崩壊土砂	150
11.5 計算結果	153
11.6 結論	156
第12章 町野川下流左岸の浸水・排水過程	157
12.1 はじめに	157
12.2 町野川下流左岸の浸水過程	158
12.2.1 川西川	158
12.2.2 矢代川	159
12.2.3 馬場川	161
12.3 町野川下流左岸氾濫水の排水過程	162
12.4 逆破堤による氾濫水の河道還元効果	164
12.5 おわりに	165
第13章 塚田川の氾濫・建物被災調査	167
13.1 奥能登豪雨の全体像	167
13.2 塚田川の被害	169
13.2.1 塚田川及び洪水氾濫被害の概要	169
13.2.2 調査方法	169
13.2.3 調査結果	171
第14章 洪水キキクルを用いた災害情報の整理と浸水評価	175
14.1 はじめに	175
14.2 気象警報および洪水キキクルを用いた災害情報の整理	176
14.2.1 研究方法	176
14.2.2 キキクルの様子	178
14.2.3 気象警報および洪水キキクルの推移	181
14.2.4 令和元年台風第19号による千曲川破堤災害との比較	182
14.2.5 今後の治水対策の課題	184
14.3 流出・浸水解析による浸水状況の評価	185
14.3.1 はじめに	185
14.3.2 計算領域および計算条件	185
14.3.3 計算結果および考察	187

14.4 得られた成果と今後の課題	189
おわりに	192
付 録 令和6年能登半島地震・豪雨災害調査報告会	197

はじめに

令和6年1月1日16時10分、石川県能登地方を震源とするM7.6の地震が発生した。この地震により、輪島市及び志賀町で震度7、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町では震度6強を記録されたほか、日本海沿岸の広範囲で津波が観測され、土砂災害、液状化現象等も各地で発生した。また、上水道や電力、ガスといったライフライン、道路や鉄道などの交通網にも大きな被害が生じた。河川においては、国管理河川の4水系4河川16箇所では堤防沈下、天端クラック等、県管理河川では66水系113河川で護岸損傷、天端クラック等が確認された¹⁾。また、石川県管理の河原田川、山田川をはじめとする6河川（14箇所）で河道閉塞による土砂ダムの形成が確認された²⁾。

この地震による河川構造物の被害や、山腹崩壊に伴う河道閉塞の発生等により、大雨に伴う洪水発生時の防災機能の低下等が懸念されることから、土木学会水工学委員会では、計7名の団員からなる災害調査団を結成し、調査・研究活動を実施することとした。調査団においては、地震に伴う河川構造物の被災状況、山腹崩壊や土砂流出のメカニズム及び河川への影響、インフラ・ライフライン等の被害、地震に伴う河川津波発生時の避難に関する調査・検討等に取り組むこととした。

そうしたなか、地震発生から9か月あまりが過ぎた令和6年9月21日、石川県において線状降水帯が発生した。この線状降水帯により、能登地方では猛烈な雨が降り、輪島・珠洲では降り始めからの雨量がそれぞれ498mm、395mmを記録するなど、各地で統計開始以来最大規模の降雨が観測された。この大雨に伴い、28河川で氾濫が生じたとされており、国土交通省では、地震に伴う斜面崩落による土砂、樹木が被害を増大させたと思われるとしている³⁾。この豪雨災害を受け、上記調査団では団員を14名まで拡大し、災害をもたらした降雨の特徴、地震時に発生した土砂による洪水氾濫への影響、氾濫に伴う被害についての調査・研究を進めることとした。

本報告書は、令和6年1月1日に発生した地震による河川及び流域への影響と、9月に発生した豪雨災害に関して、多様な調査・研究活動を実施した成果を2部構成でまとめたものである。能登半島は海に囲まれた山がちな地形であり、令和6年の災害では、地震と豪雨により多くの土砂災害が発生した。豪雨に伴う洪水においては、流木の多さも特徴の一つであった。また、地理的特徴

から中小河川が多く、短時間で洪水が発生し、広範囲で氾濫が発生したことも特徴である。地震と豪雨が連続して発生し、複合災害の様相を呈したことや、中小河川での災害という特徴は、社会的に注目されただけでなく、今後の我が国での災害対策を進めるうえでも重要な視点であるといえる。今次災害では能登半島の広範囲にわたって災害が発生し、調査すべき対象も極めて多い状態であったが、令和6年元日の地震に伴い道路は甚大な被害を受け、網羅的な調査活動は困難であった。被害規模に比べて限定的な調査活動ではあるが、被害の一端を明らかにせんとする活動の記録としてここに上梓するものである。

最後に、本災害調査活動を行うにあたり迅速な研究助成の支援をいただいた公益財団法人河川財団に対して心より感謝申し上げます。また、本調査団の調査活動に際し、多くの貴重な資料やデータの提供、調査の便宜を図っていただいた個人や国土交通省、石川県および各関係機関に感謝の意を表します。

令和6年能登半島地震災害および令和6年能登半島豪雨災害で亡くなられた方々のご冥福をお祈り申し上げるとともに、被災された地域の一日も早い復興を心より願っております。

本報告書が、今後の防災・減災への取り組みに生かされれば幸いです。

土木学会水工学委員会
令和6年能登半島地震・豪雨災害 河川・流域調査団団長
谷口 健司

- 1) 内閣府非常災害対策本部：令和6年能登半島地震に係る被害状況等について（令和7年3月11日13時00分現在）、2025。
- 2) 国土交通省：令和6年能登半島地震に伴う河道閉塞（土砂ダム）の発生と対策状況について、2024年1月23日（https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000161.html 2025年4月18日閲覧）。
- 3) 国土交通省：能登半島地震・豪雨災害の被害概要及び検討課題（第5回 災害に強い首都「東京」の形成に向けた連絡会議 配布資料）、2024年3月27日（https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/renrakukaigi/dai05kai/ 2025年4月18日閲覧）。

令和6年能登半島地震・豪雨災害 河川・流域調査団

	氏名	所属
団長	谷口 健司	金沢大学
幹事	坂本 貴啓	金沢大学
団員	大橋 慶介	石川高等専門学校
	柏田 仁	東京理科大学
	木村 一郎	富山大学
	久加 朋子	富山県立大学
	呉 修一	富山県立大学
	佐藤 裕和	島根大学
	武田 誠	中部大学
	竹林 洋史	京都大学防災研究所
	田代 喬	名古屋大学
	二瓶 泰雄	東京理科大学
	山野井 一輝	京都大学防災研究所
	吉見 和紘	富山県立大学

※五十音順

第 1 部

能登半島地震による河川・流域への影響

第 1 章 輪島市で発生した土砂災害

京都大学 竹林 洋史

1.1 研究対象地区

図 1-1 に研究対象とした輪島市市ノ瀬地区の場所を示す．対象地区は輪島市の市街地から約 5km 南に位置している．対象地区は河原田川の右岸側に位置しており，河原田川の支川の紅葉川との合流点の南である．対象地区は，2024 年 1 月 1 日の地震により，大規模な斜面崩壊が発生し，崩土の一部が紅葉川に流れ込み，天然ダムを形成した．また，紅葉川に流れ込んだ土砂の一部は泥流化し，北へ流れて多くの家屋を破壊するとともに，人命も失われた．

図 1-2 は，大規模崩壊が発生した斜面と泥流が流下した領域の被災後の様子を示す．崩土は斜面の途中で北と東の二方向に分派して流れた．北に流れた土砂は分派後にすぐに停止した．一方，東に流れた崩土は紅葉川に流入し，河道内に土砂を堆積させるとともに，一部は泥流化して紅葉川を流下した．斜面崩壊は，上部の 1/3 と下部の 2/3 で別々に崩壊が発生している．また，上流の崩壊は，図に示した矢印の方向に流れた部分

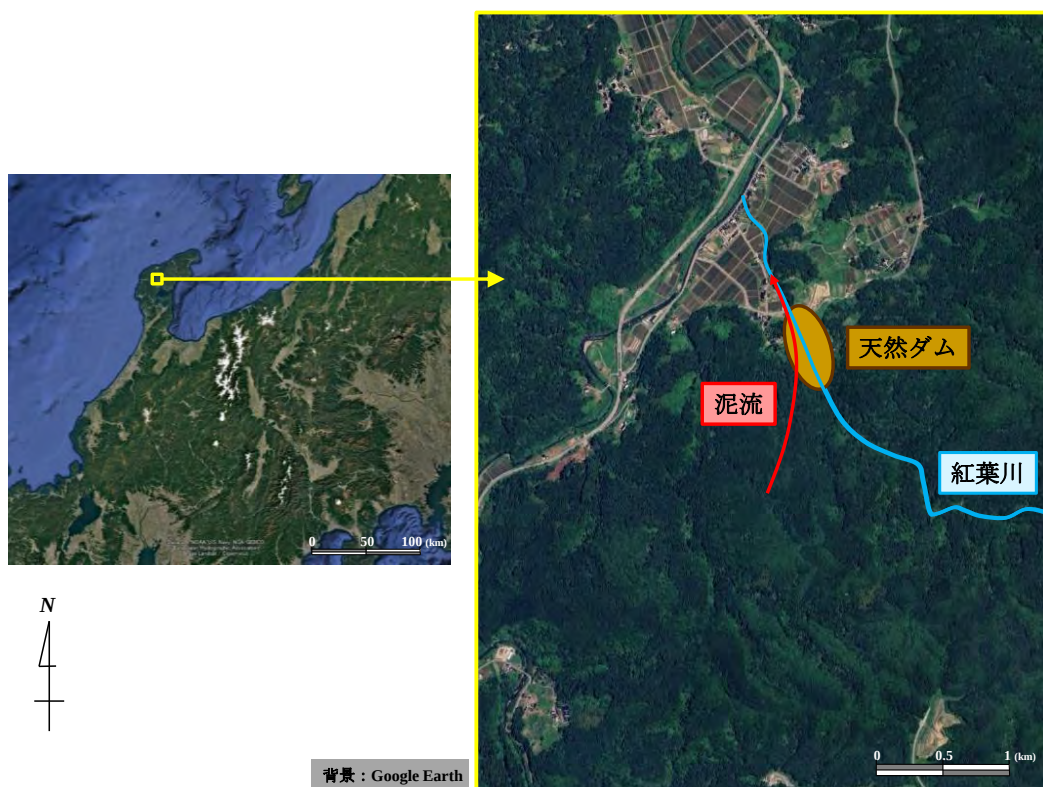


図 1-1 研究対象地区（輪島市市ノ瀬）



図 1-2 崩壊が発生した斜面と泥流が流下した領域



図 1-3 天然ダム天端付近の様子

とは別に、北の溪流にも一部の土砂が流れた。

1.2 天然ダム

図 1-3 に天然ダム天端付近の様子を示す。後述の数値シミュレーションの結果でも説明しているように、紅葉川に流れ込んだ土砂は、紅葉川の下流方向だけでなく、上流方

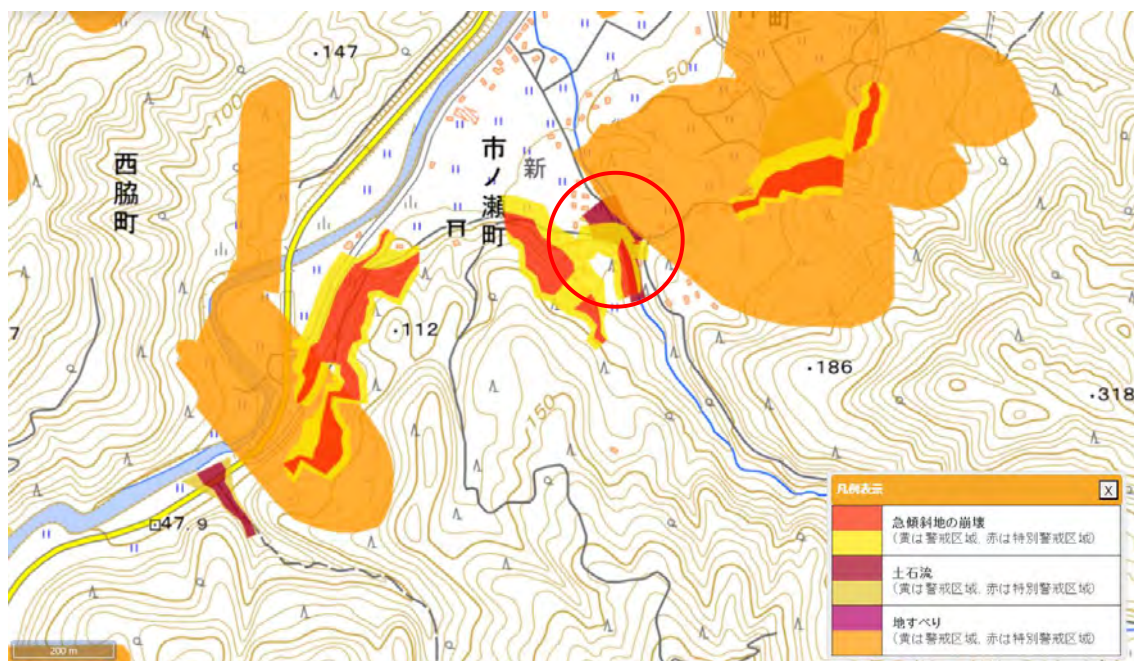
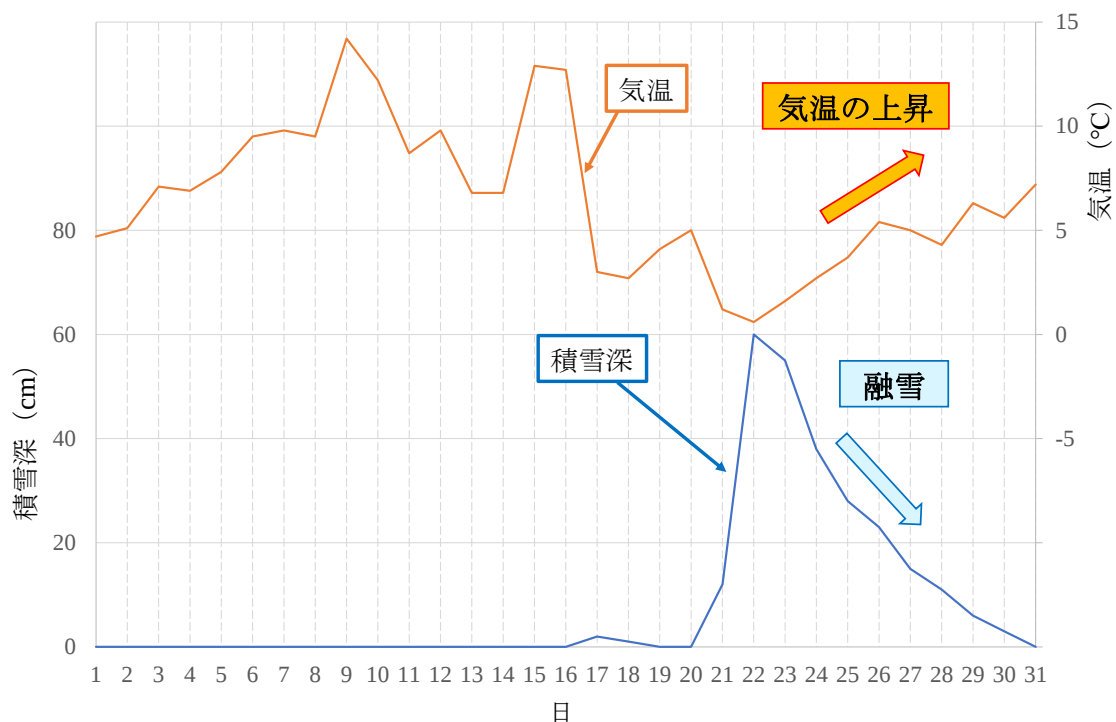


図 1-4 対象地域の土砂災害警戒区域・土砂災害特別警戒区域



2023年12月の積雪深と気温の変化

図 1-5 地震発生直前（2023 年 12 月）の輪島市の積雪深と気温の時間変化

向にも遡上し、河道内に堆積した。そのため、天然ダムの流下方向の長さは約 200m と非常に長くなっている。つまり、非常に堤体の厚い天然ダムとなっている。

図 1-3 に示すように、天然ダム形成後、すぐに堤体を越流する流れが形成された。一般に、天然ダムが形成されると、天然ダムを越流する流れによって天然ダムが急速に浸



図 1-6 家屋等が被災した地点の地面の様子

食され、いわゆるダンプレイクが発生し、急激な水と土砂の流下が発生することが懸念される。しかし、天然ダムよりも上流の紅葉川は流域が小さいため、豪雨時であっても越流流量はあまり多くならない。以上より、堤体が非常に厚いことと越流流量が大きくなりえないことから、本天然ダムについては、越水による急激な浸食によって急激に水と土砂が下流に流れる危険性は非常に低いと思われる。

なお、対策がある程度進んでいた影響もあるが、2024 年 9 月 21 日に対象地点で時間雨量 100mm 以上の雨が降ったが、対象地点の天然ダムは決壊しなかった。

1.3 土砂災害警戒区域

図 1-4 に対象地区の土砂災害警戒区域を示す。対象地区には土石流とがけ崩れの土砂災害警戒区域が設定されていた。しかし、発生した泥流は、設定されていた土石流による土砂災害警戒区域を大きく超え、北の広い範囲に氾濫した。これは、崩壊した土砂が泥流化したことと、崩壊の規模が想定していた規模よりもかなり大きかったことが原因と考えられる。

1.4 崩土が泥流化した要因

図 1-5 に地震発生直前の 2023 年 12 月の輪島市の積雪深と気温の時間変化を示す。輪島市では、12 月 20 日から 21 日にかけて多くの積雪があり、12 月 21 日の積雪深は 60cm となっている。一方、12 月 21 日以降、輪島市の平均気温は徐々に上昇し、12 月 31 日には積雪深がゼロとなっている。積雪の空隙率は雪質によって大きく変化し、対象地点の空隙率の値は不明であるが、温度が比較的高かったことを考えると、空隙率が 50%程度あった可能性もあり、300mm の降水と同程度の水が供給されたと考えられる。

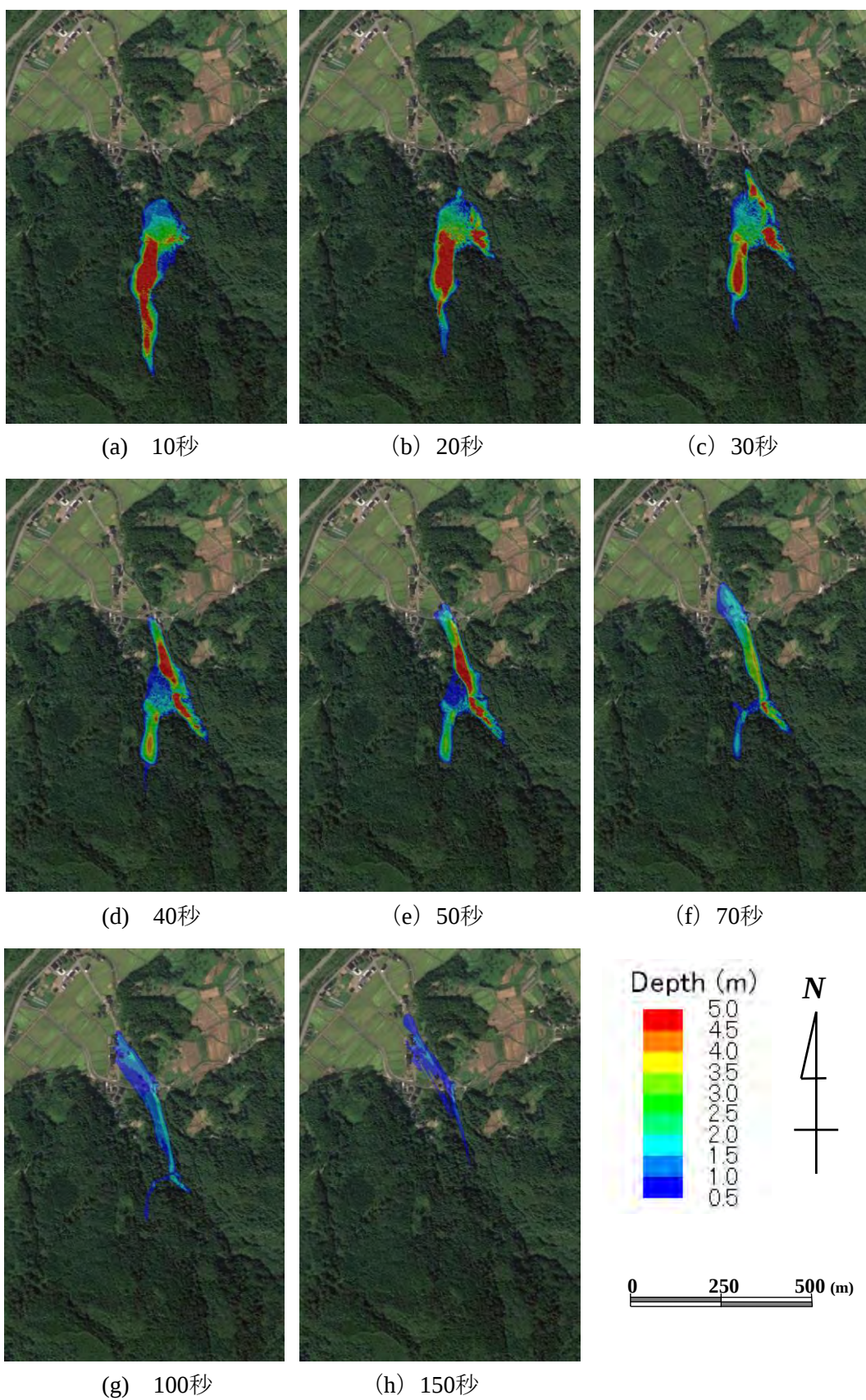


図 1-7 泥流の深さの時空間的な変化

図 1-6 に家屋等が被災した地点の地面の様子を示す。氾濫した土砂の粒径が非常に細かいことがわかる。2016 年の熊本地震や 2018 年の胆振東部地震でも泥流が発生しているが、これらの地区の泥流が発生した溪流は土砂の粒径が非常に細かくなっており、土砂の粒径が細かいことが崩土の泥流化に寄与したと考えられる。

1.5 泥流の数値シミュレーション

輪島市市ノ瀬で発生した泥流の数値シミュレーションを実施した。解析に用いた数値シミュレーションモデルは、Takebayashi et al.¹⁾によって開発された iRIC-Morpho2DH²⁾である。iRIC-Morpho2DH は、平面二次元の土石流・泥流の数値シミュレーションモデルである。土石流と泥流の両方の解析が可能のように、泥流時に形成される二層流（下層に層流，上層に乱流）の取扱が可能基礎方程式となっている。また，細粒土砂が水と混合することによる相変化（液化）を考慮している。なお，解析では，第一波と考えられる下部の 2/3 の斜面崩壊を対象とする。

図 1-7 に泥流の深さの時空間的な変化を示す。図 1-7 (a) ～ (e) を見ると，斜面崩壊発生後の 10 秒～50 秒の間，泥流は紅葉川を流下するとともに，一部の泥流は紅葉川を遡上し，河道内で泥流が停止し，流下方向の長い区間に土砂が堆積したことがわかる。斜面崩壊発生から 50 秒後には泥流は宅地に到達している。家屋を押し流した泥流は北進して土砂災害警戒区域を越え，河原田川の手前 200m まで流下したことがわかる。

1.6 結論

輪島市市ノ瀬で発生した土砂災害を対象に，現地調査及び数値シミュレーションを実施した。本研究で得られた成果は以下のようである。

1. 紅葉川に天然ダムが形成された。しかし，堤体が流下方向に非常に長いことと，天然ダムよりも上流の紅葉川は流域が小さいため，豪雨時であっても越流流量はあまり大きくならないことによって，形成された天然ダムは，越水による急激な浸食によって急激に水と土砂が下流に流れる危険性は非常に低いと思われる。
2. 地震発生直前の 10 日間で 60cm の積雪が融解したことと，土砂の粒径が細かいことが崩土の泥流化に寄与したと考えられる。
3. 泥流の数値シミュレーションにより，天然ダムが流下方向に長い区間に土砂が堆積した過程が確認された。また，泥流が土砂災害警戒区域を越えて北に広く氾濫した過程が示された。

謝辞

輪島市の住民の皆様から発災時の多くの情報をご提供頂いた。また、国土交通省、石川県、パシフィックコンサルタンツ、中日本航空、国際航業、朝日新聞、読売新聞、NHK など多くの皆様から、各種データ・被災の状況など、詳しい情報をご提供頂いた。

ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) Hiroshi Takebayashi, Masaharu Fujita, Koichiro Ohgushi: Numerical modeling of debris flows using basic equations in generalized curvilinear coordinate system and its application to debris flows in Kinryu River Basin in Saga City, Japan, Journal of Hydrology, 615, Part A, 128636, 2022.
- 2) Jonathan M. Nelson, Yasuyuki Shimizu, Takaaki Abe, Kazutake Asahi, Mineyuki Gamou, Takuya Inoue, Toshiki Iwasaki, Takaharu Kakinuma, Satomi Kawamura, Ichiro Kimura, Tomoko Kyuka, Richard R. McDonald, Mohamed Nabi, Makoto Nakatsugawa, Francisco R. Simoes, Hiroshi Takebayashi, Yasunori Watanabe: The international river interface cooperative: Public domain flow and morphodynamics software for education and applications, Advances in Water Resources, 93, 62-74, 2016.

第2章 令和6年能登半島地震の河川構造物への影響

金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 谷口 健司

2.1 はじめに

令和6年1月1日に能登地方を震源とするM7.6の地震が発生し、輪島市及び志賀町では震度7を記録した。本地震により家屋の倒壊や道路の損壊など甚大な被害が生じたが、堤防や護岸といった河川構造物においても損傷や崩壊といった被害が数多く発生した。河川構造物の損傷は、地震発生直後には我々の生活に大きな影響を及ぼすことは少ないと考えられるが、地震後に出水期を迎えた際に堤防や護岸が十分な機能を果たせない場合、堤防沈下部からの越流や弱体化した堤防の破堤の伴う氾濫発生、弱体化した護岸の浸食に伴う道路や建築物の損壊等、甚大な被害をもたらす可能性がある。本章では、衛星搭載合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）による観測データを用いて推定した地表面変位と、現地調査による河川構造物等の被害状況を比較し、衛星観測による大規模地震発生直後の河川構造物の被災や周辺の土砂災害等の迅速な特定及び抽出可能性についての検討結果を示す。

また、令和6年9月21日には、日本海の低気圧や前線に向かって南から暖かく湿った空気が流れ込んだことで大気の状態が非常に不安定となり、線状降水帯が発生するなど猛烈な雨が降り続き、能登半島北部を中心に記録的な大雨となった¹⁾。これに伴い、能登半島に広範囲で河川の氾濫や土砂災害等の甚大な被害が生じた。本章では令和6年1月1日に発生した地震で被災した河川構造物が、その後発生した洪水によって受けた影響についても検討する。

2.2 調査方法

2.2.1 合成開口レーダ（SAR）による観測データを用いた地表面変位の推定

本調査では、宇宙研究開発機構により開発された地球観測衛星だいち2号（ALOS-2）に搭載された合成開口レーダ（SAR）による観測データを用いて、令和6年1月1日に発生した地震による地表面変位を推定する。

SARでは、アンテナから電波を発射し、観測する対象物に当たって反射された電波を観測する。ここから、アンテナから対象物までの距離を推定することが可能となる。さらに、アンテナと地表の間の距離を電波の波長で割ることで位相が求まる。こ

の位相を利用して画像を得る技術を干渉 SAR と呼び、得られた画像を SAR 干渉画像と呼ぶ。異なるふたつの時期に、同じ位置から電波を発信する観測が実施され、その期間に地表に変位が生じていた場合、2 回の観測における電波の衛星搭載 SAR による観測において電波の位相差が生じる（図 2-1）。2 回の観測における電波の位相差を読み取ることで地表の変位を算定することが干渉 SAR の原理である。

衛星 SAR は一度に広範囲の観測が可能であり、地上に観測機器が不要であることから、険しい地形など人が立ち入ることができない場所でも地表の変位を捉えることが可能である。また、衛星から発射した電波の反射波を観測するため太陽の反射光を必要とせず、昼夜関係なく観測が可能である。これらのことから、大規模地震等の発生に伴う被災状況の迅速な把握が期待される。

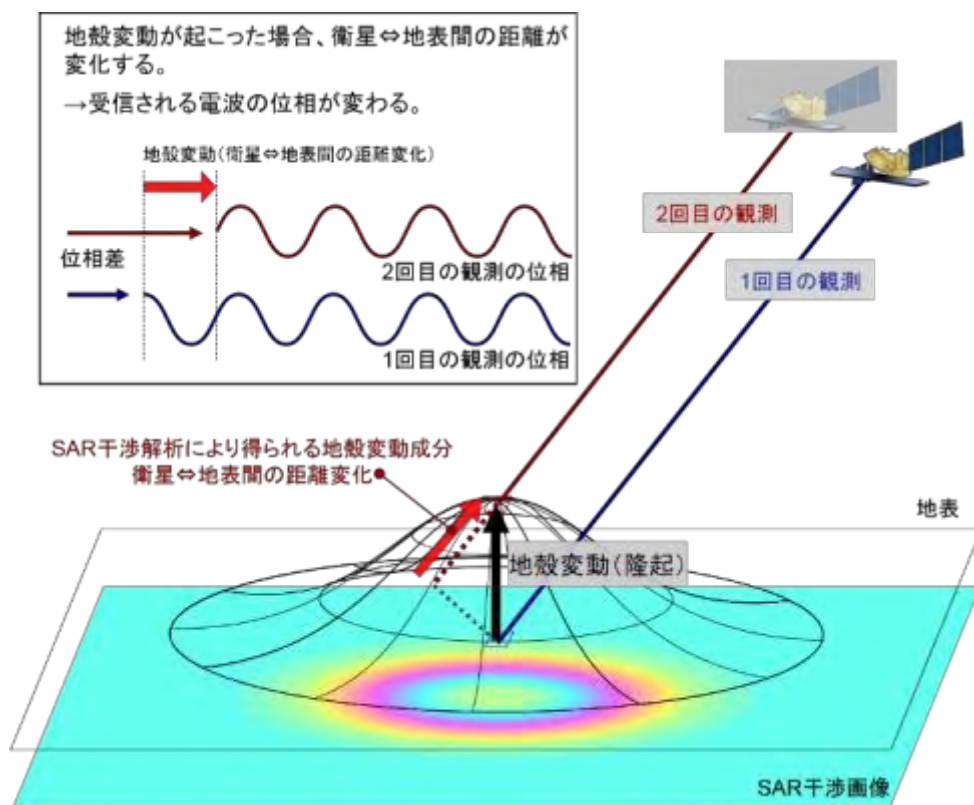


図 2-1 衛星搭載 SAR による干渉 SAR の原理

（出典：国土地理院，https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html²⁾）

干渉 SAR は地表の変動を捉えるに有効な技術であるが、狭い領域内でメートルオーダーの変動を伴うような地震等について干渉性が劣化し、計測が不可能となる場合がある（ALOS の場合、変位勾配が約 2cm/m が限界とされている）。このように局所的な第変位を抽出するためのデータ解析技術としてピクセルオフセット法がある³⁾。以下に干渉 SAR とピクセルオフセット法の概要を述べる。

(a) 干渉 SAR 解析⁴⁾

干渉 SAR では、地表の同一の場所に対して得られた 2 回の観測による位相画像を干渉させて差を取ることで（干渉解析）によって、わずかな距離差の情報を得ることで、地表の変動を捉える。干渉 SAR では数 cm レベルでの変位の測定が可能である。

衛星 SAR では、対象物までの距離の違いで対象を見分けるため、斜め下に向けて電波を発射し、観測を行っている。衛星が北に移動しながら右側を観測する、または南に移動しながら左側を観測する場合には、対象が西側から観測される。また、衛星が北に移動しながら左側を観測する、または南に移動しながら右側を観測する場合には、対象が東から観測される。このように、干渉 SAR が観測しているのは衛星－視線方向の一次元に過ぎないため、地表がどちらの方向に動いたかを単純に判別することはできない。衛星に近づく変動が見られた場合には、衛星と地表の距離が縮まったことを示すが、地表が動いた方向が上向きなのか、衛星と対象の延長線の方なのか、あるいは両方であるのかは区別できない。また、南北方向に動いたかどうかも判別することはできない。

干渉 SAR による結果は 0 度から 360 度までの位相で表現され、そのままでは変動の絶対値を得ることができない。0 度から 360 度までの範囲に折りたたまれていた位相情報を、解いて元に戻すことで変動量の絶対値を推定する。これをアンラッピングと呼ぶ。ALOS-2 の SAR の波長は約 24cm であり、360 度の位相差は約 12cm の変動を表す。図 2-2 にだいち 2 号を例とした位相と変動量の模式図を示す。アンラッピングでは変位量が正しく算出されない可能性や、局所的な変動を見落とす可能性もあり、正確な変位の推定は困難であるが、予備的な解析において変位のシグナルを得られる可能性がみられた。干渉解析は比較的解像度の高い情報が得られることも加味し、ここでは変位の有無のみに着目して実際の被害状況のとの比較することとし、アンラッピング画像を示すこととした。

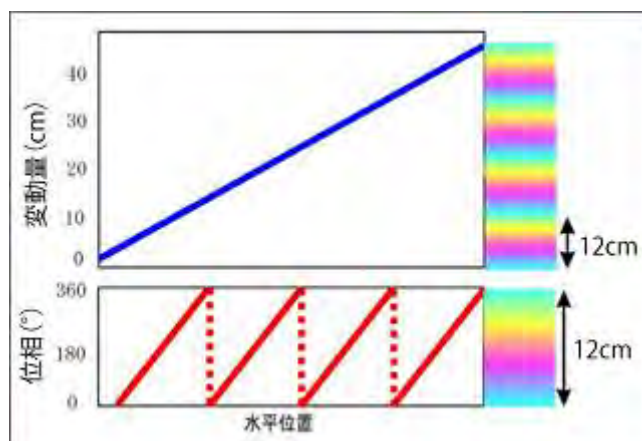


図 2-2 位相と変動量の関係

(出典：国土地理院，https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_procedure.html⁴⁾)

(b) ピクセルオフセット法^{3), 5)}

干渉 SAR では、観測された電波の位相差情報を利用し、cm オーダーの地表変位の推定を行うが、ピクセルオフセット法では振幅情報を利用することでメートルオーダーの推定を可能とする。

異なる二つの時期に得られた SAR による観測画像は、1) データ取得時のセンサの位置や姿勢の違い、2) 地物の位置の変化によって差異が生じる。干渉解析では、ふたつの画像間での平行移動成分・回転成分・倍率補正することにより位置合わせで上記 1) の際は除去される。ピクセルオフセット法は、画像全体の位置合わせ後も残る 2) の量を、実際の地表変位量として計測する。

図 2-3 はピクセルオフセット法の原理を示した模式図である。上は変位の前後に対応する 1 回目と 2 回目の観測である。これらの位置合わせを行ったのちにも、「K」にみられるずれがあった場合、この位置ずれを実際の地表変位として計測する。1 ピクセル以下の分解能で位置合わせを行うことで、約 10 数 cm～数十 cm の精度で計測が可能となる。

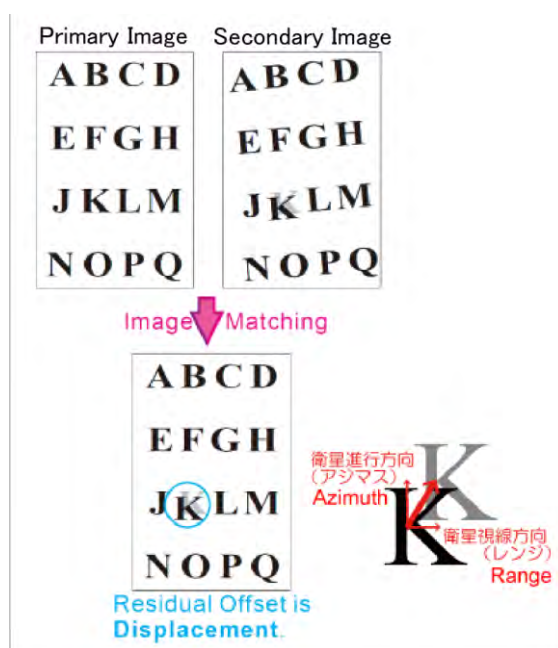


図 2-3 ピクセルオフセット法の原理

(出典：国土地理院, https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/pixel_offset.html⁵⁾)

図 2-3 に示す通り、ピクセルオフセット法では衛星の進行方向（アジマス）と、衛星から対象を観測する方向（レンジ）の 2 成分の変位の計測が可能である。また、干渉解析に比べて大規模（メートル規模）の変位の計測が可能という長所がある。一方、計測精度については干渉解析が数 cm であるのに対して 10 数 cm から数十 cm 程

度，空間分解能は干渉解析が数十 m であるのに対して数百 m から 1km といった短所を有している。

なお，本調査ではカリフォルニア大学サンディエゴ校にて開発・公開されている SAR 解析パッケージである GMTSAR⁶⁾を使用した解析を行う。

(c) 使用する観測データ

本調査では，宇宙航空研究開発機構より無償公開されている ALOS-2 の災害関連データ⁷⁾のうち，表 2-1 に示すデータを用いて解析を行った。

表 2-1 解析に用いた SAR データ

1 回目観測日	2 回目観測日	観測パス	観測フレーム	衛星進行方向	電波照射方向
2022 年 9 月 26 日	2024 年 1 月 1 日	121	0770	北	左
2023 年 6 月 6 日	2024 年 1 月 2 日	26	2830	南	左
2023 年 12 月 6 日	2024 年 1 月 3 日	127	0730	北	右
2021 年 10 月 19 日	2024 年 1 月 9 日	19	2870	南	左
2023 年 11 月 3 日	2024 年 1 月 12 日	126	0740	北	右

2.2.2 河川構造物等の被害に関する現地調査データ

ALOS-2 による観測データから推定した地表変位と，河川構造物等の被害調査結果とを比較することで，衛星による大規模地震発生時の被害抽出の可能性について検討を行う。ここでは，石川県土木部河川課により提供された令和 6 年能登半島地震に伴う河川構造物及び河川周辺域の被害調査情報を用いた。調査情報は奥能登地域及び中能登地域を合わせて 300 件以上あり，それらを効率的に取り扱うために Google Earth Pro 上で確認できるようにデータ整理を行った（図 2-4）。

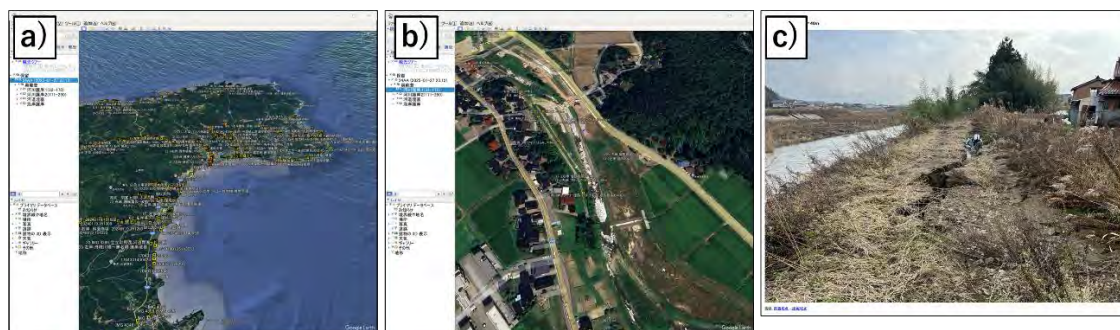


図 2-4 Google Earth Pro 上に表示した被害調査情報。a) 能登半島北部の調査地点，b) 若山川下流部における調査地点，c) 個別の調査地点をクリックした際に表示される被害状況に関する写真（石川県土木部河川課提供）。

2.3 衛星観測より推定した変位と被害箇所と比較

図 2-5 は 2024 年 1 月 1 日の観測データによる干渉画像とアンラッピング画像である。能登半島北側では明確な干渉が見られない（図 2-5a）。能登半島の北側ではメートル規模の変動や隆起が発生したことが指摘されており⁸⁾，こうした領域は非干渉域となり，干渉解析では変動を読み取ることができない。図 2-5b は同日の観測データのアンラッピング画像である。図 2-5a においてピクセル色がランダムに変化している領域では，上述のように大きな変動のために変動が推定できていない。一方，能登半島南側では東向き，または隆起する変位がみられる。

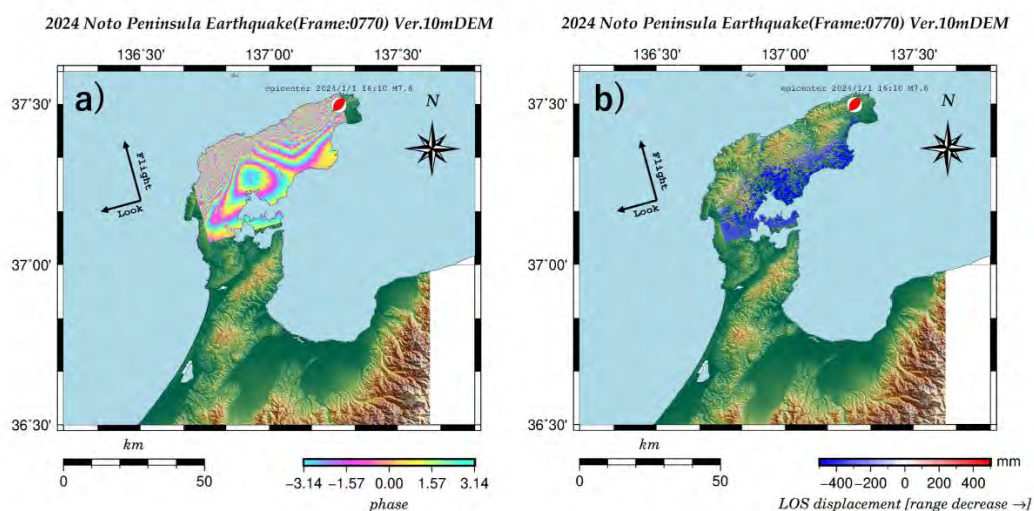


図 2-5 2024 年 1 月 1 日及び 2022 年 9 月 26 日の ALOS-2 による観測データから作成した干渉解析の結果. a) 干渉画像，b) アンラッピング画像.

以下では，図 2-6 に示す河川に関するアンラッピング画像と現地調査結果とを比較し，衛星搭載 SAR による被害箇所の抽出可能性について検討する。

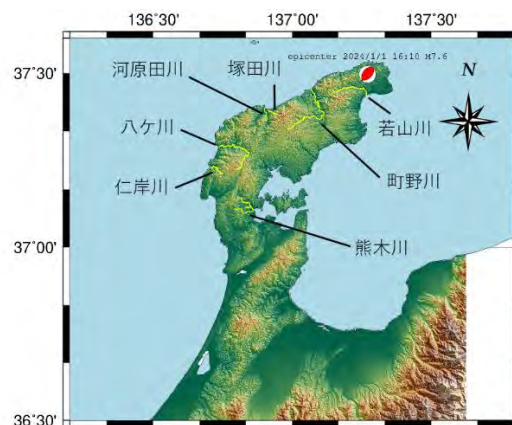


図 2-6 解析対象河川

2.3.1 若山川周辺における結果

図 2-7 は若山川周辺に関するアンラッピング画像である。図 2-5 にみられるように、若山川周辺も大きな地表の変化が生じているとみられ、干渉解析では変位の推定が困難であるため、図中の変位量はあくまで参考値である。図 2-7 のうち、比較的変位のシグナルが明確にみられる 1 月 12 日の解析画像と被災状況調査の比較を行った。

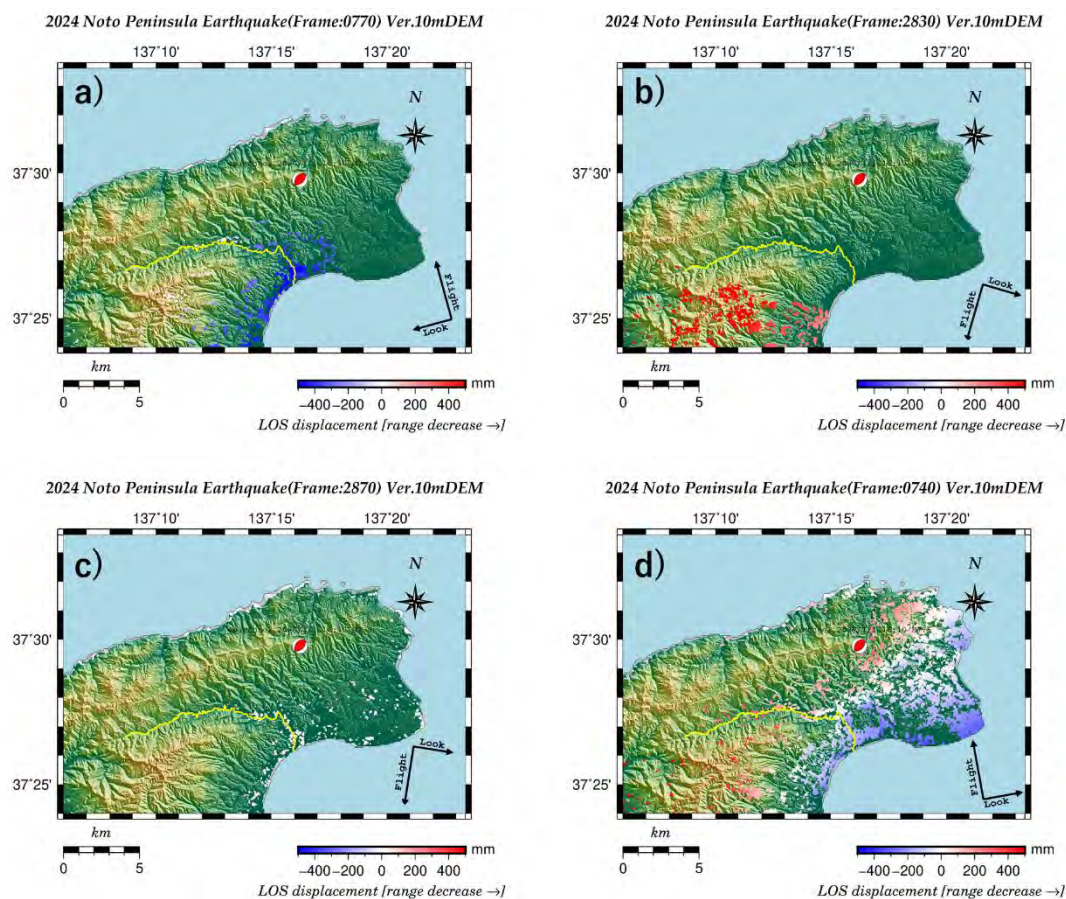


図 2-7 若山川周辺における ALOS-2 観測によるアンラッピング画像。a) 1 月 1 日の観測結果，b) 1 月 2 日の観測結果，c) 1 月 9 日の観測結果，d) 1 月 12 日の観測結果。黄線が若山川を示す。

図 2-8 は若山川周辺に関する 2024 年 1 月 12 日の ALOS-2 観測によるアンラッピング画像と、石川県による被災状況調査結果である。各番号の写真が撮影された位置を、地図中の丸印と対応する番号で示してある。

写真 1 では地震により護岸の崩れが発生している。一方、変位の推定結果においては、当該箇所（図中の黒丸印）で変位が検出されていない。写真 2，3，4 では堤防に顕著な亀裂が発生している。また、写真 5 では護岸の崩れがみられる。写真 2～5 が撮影された箇所（図中の赤丸印）では変位が検出されている。

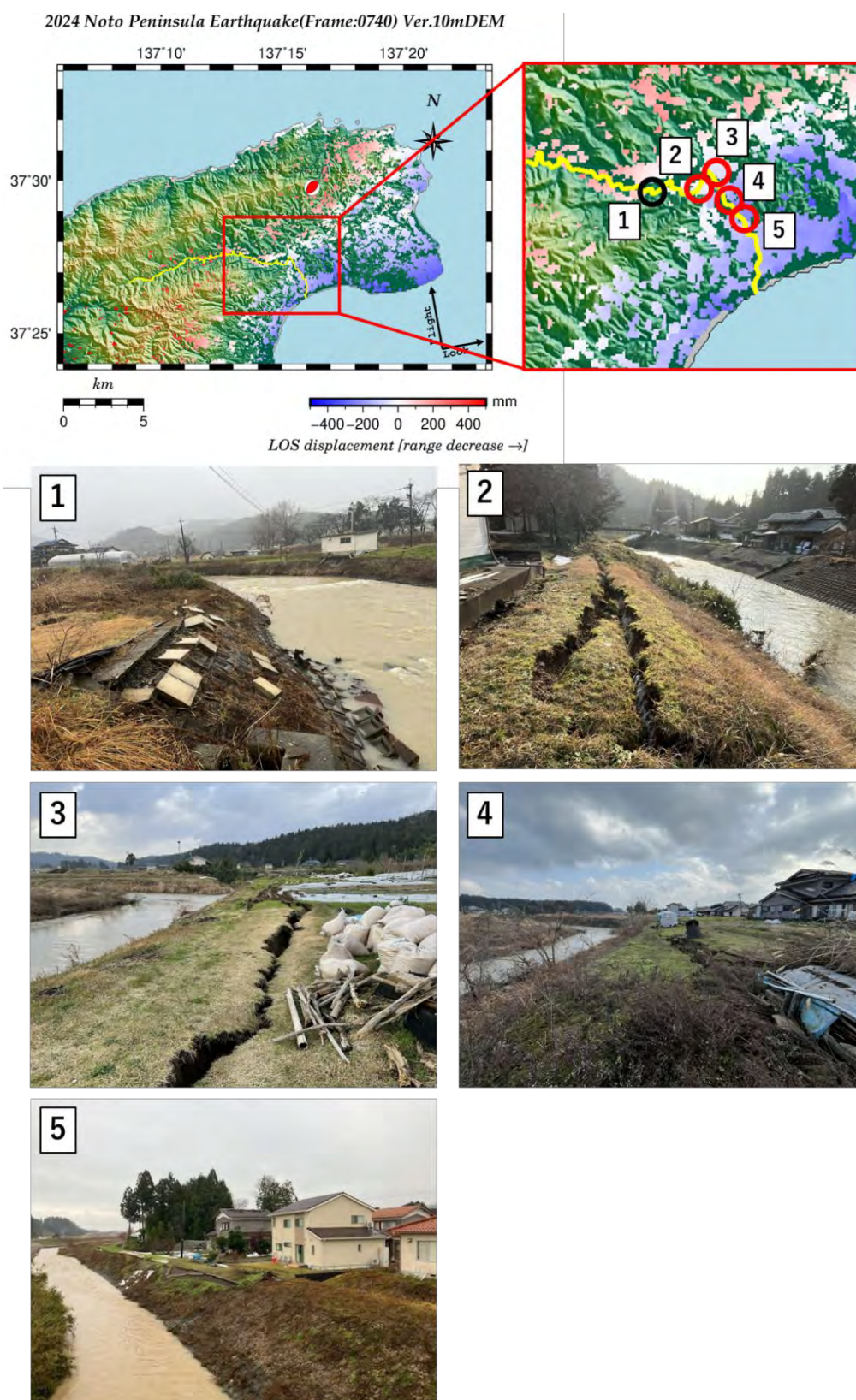


図 2-8 ALOS-2 による干渉解析（アンラッピング画像）と被災状況の比較（若山川）．写真はいずれも石川県土木部河川課より提供されたもの．

2.3.2 ハケ川周辺における結果

図 2-9 は河原田川及び塚田川周辺に関するアンラッピング画像である。1 月 2 日の干渉解析（図は略）では、ハケ川には明確な干渉がみられず定量的な変位の推定が困難と考えられるため、図中の変位量はあくまで参考値である。比較的変位のシグナルが明確にみられる 1 月 2 日の解析画像と被災状況調査の比較を行った。

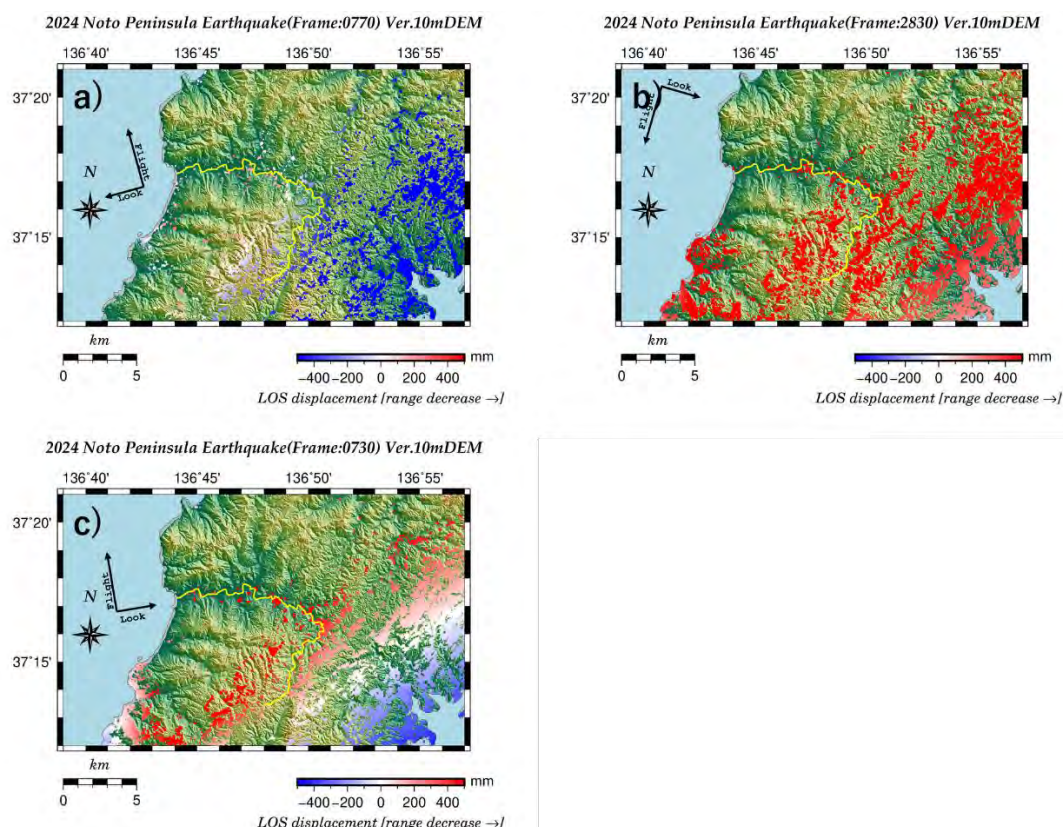


図 2-9 ハケ川周辺における ALOS-2 観測によるアンラッピング画像。a) 1 月 1 日の観測結果，b) 1 月 2 日の観測結果，c) 1 月 3 日の観測結果。黄線がハケ川。

図 2-10 はハケ川周辺に関する 2024 年 1 月 2 日の ALOS-2 観測によるアンラッピング画像と、石川県による被災状況調査結果である。各番号の写真が撮影された位置を、地図中の丸印と対応する番号で示してある。

写真 1 の箇所では地震により写真中の右側（当該箇所の左岸）で護岸のふくらみが見られ、堤防上の道路との間に大きな空隙が発生していることがわかる。変位の推定結果においては、当該箇所（図中の白丸印）で変位が検出されている。写真 2 では写真中の左側（当該箇所での左岸）で構造物の傾きが見られる。また、写真 3 では左側で護岸の滑りが生じている。これらは図中黒丸印で示した領域で発生した被災であるが、ALOS-2 の解析結果では変位が抽出されていない。写真 4 では護岸背後の地盤の沈

下のためか構造物と地盤の間に空隙が生じている。この被災箇所では変位が抽出されている（図中の白丸印）。一方、図中の青丸印では変位が抽出されているが、現地調査の結果では被災は確認されていない。

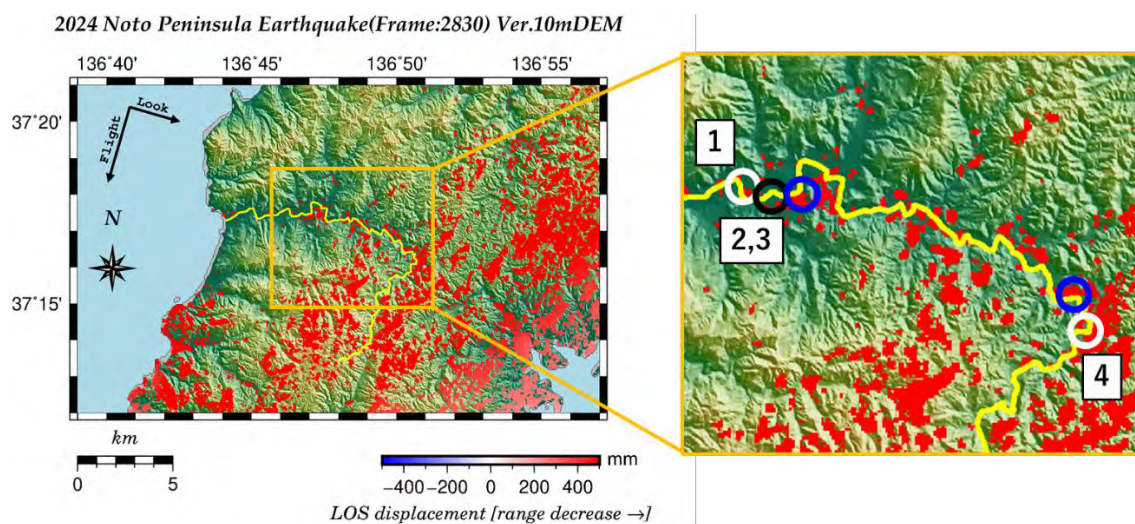


図 2-10 ALOS-2 による干渉解析（アンラッピング画像）と被災状況の比較（八ヶ川）。写真はいずれも石川県土木部河川課より提供されたもの。

2.3.3 仁岸川周辺における結果

図 2-11 は仁岸川周辺に関するアンラッピング画像である。1 月 2 日の干渉解析（図は略）では、仁岸川周辺は干渉域と非干渉域の境界とみられた定量的な変位の推定は困難な可能性がある。ここでは比較的変位のシグナルが明確にみられる 1 月 2 日の解析画像と被災状況調査の比較を行った。

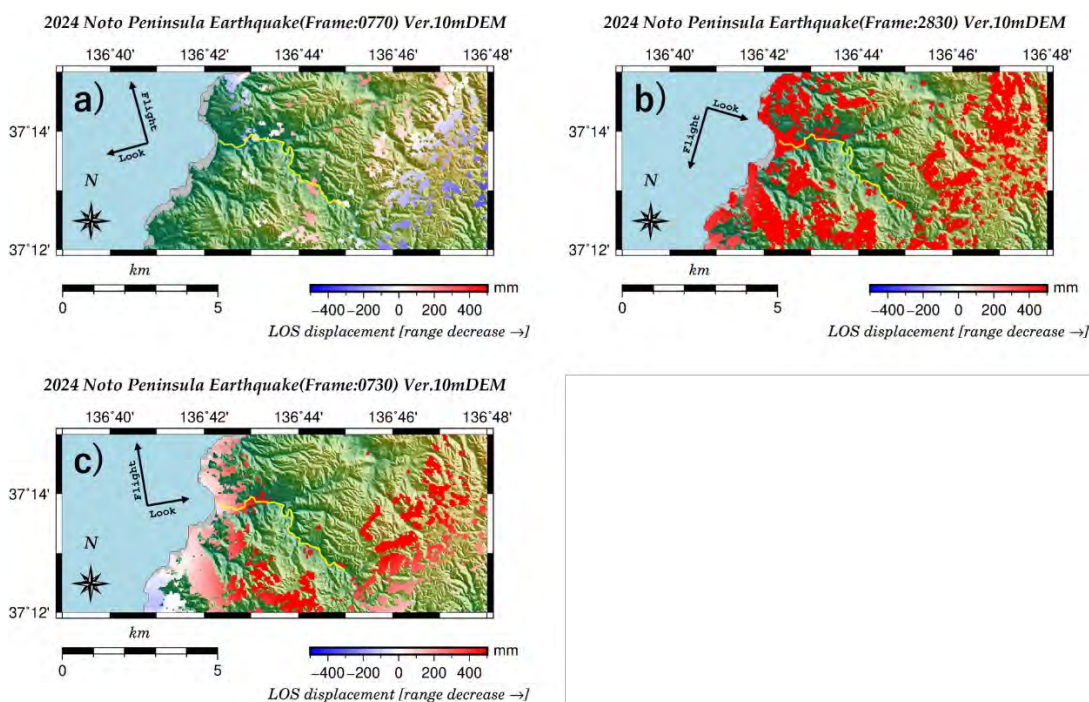


図 2-11 仁岸川周辺における ALOS-2 観測によるアンラッピング画像。a) 1 月 1 日の観測結果，b) 1 月 2 日の観測結果，c) 1 月 3 日の観測結果。黄線が仁岸川。

図 2-12 は仁岸川周辺に関する 2024 年 1 月 2 日の ALOS-2 観測によるアンラッピング画像と、石川県による被災状況調査結果である。各番号の写真が撮影された位置を、地図中の丸印と対応する番号で示してある。

写真 1 の箇所では護岸の崩れが見られている。写真 2, 3 では護岸ブロックの亀裂が生じている。写真 4 では大きく護岸が崩れ、堤防上から河道へとつながっていたとみられる階段の破損が生じている。これらの箇所については、ALOS-2 の解析結果でも変位が抽出されている（図中の白丸印）。写真 5 では大きな護岸の崩壊がみられる。写真 6 では堤防が倒壊し、背後の農地とみられる箇所から河道に向かう水の流れが確認できる。写真 7 では河道沿いの土砂崩れによる河道閉塞が生じている。これらは、図中の黒丸印で示した箇所で生じた被害であるが、いずれも ALOS-2 観測を用いた解析結果では変位が抽出されなかった

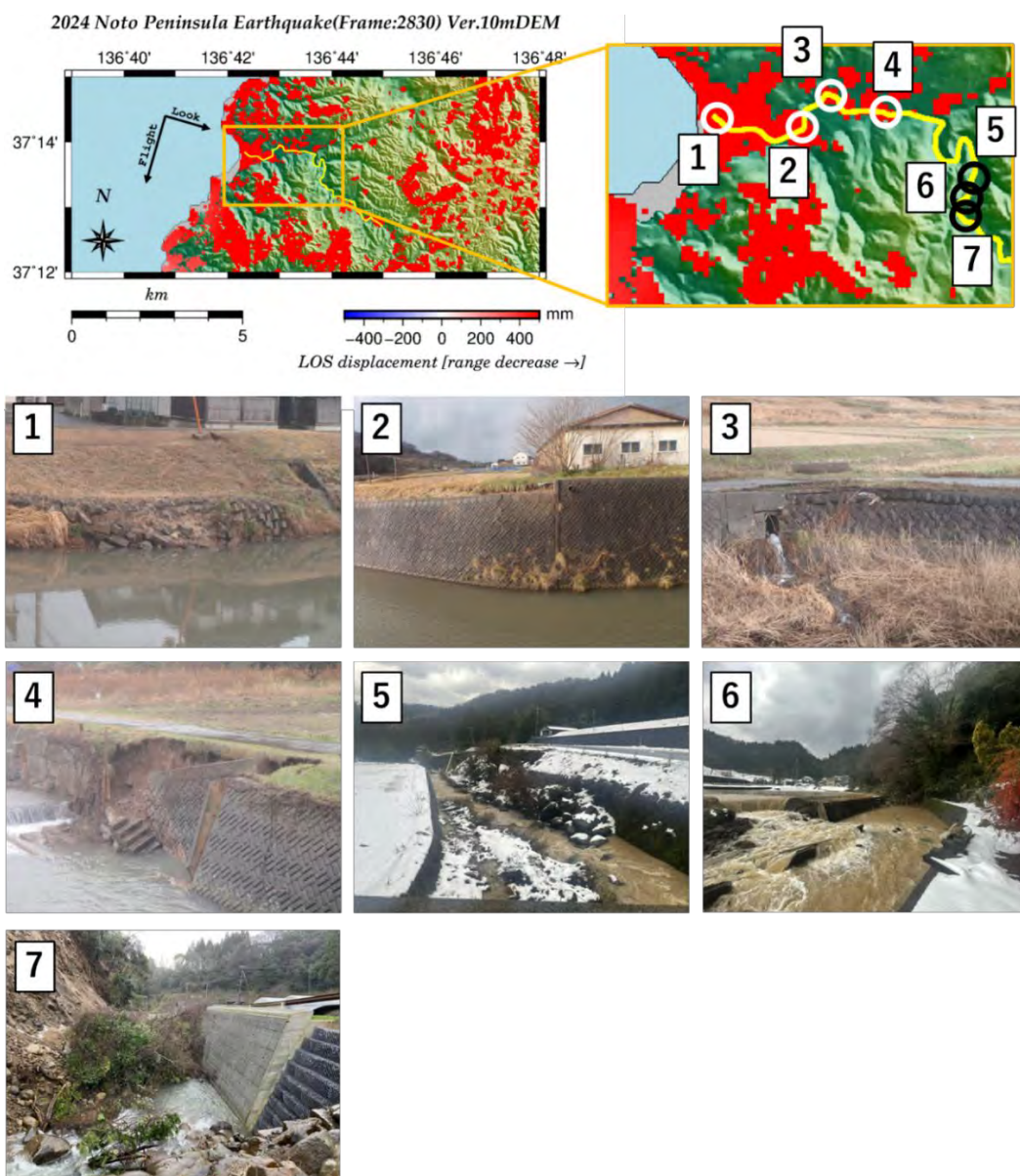


図 2-12 ALOS-2 による干渉解析（アンラッピング画像）と被災状況の比較（仁岸川）．写真はいずれも石川県土木部河川課より提供されたもの．

2.3.4 河原田川及び塚田川周辺における結果

図 2-13 は河原田川及び塚田川周辺に関するアンラッピング画像である．図 3-5 で見たように，河原田川及び塚田川が位置する能登半島北部では大きな変位により干渉がみられず，変位の定量的な推定は困難と考えられる．一方，図 2-13 では共通した地域で変位があることも示されていることから，得られた変位のシグナルと現地調査を比較し，利用可能性を検討する．ここでは比較的変位のシグナルが明確にみられる 1 月 2 日の解析画像と被災状況調査の比較を行った．

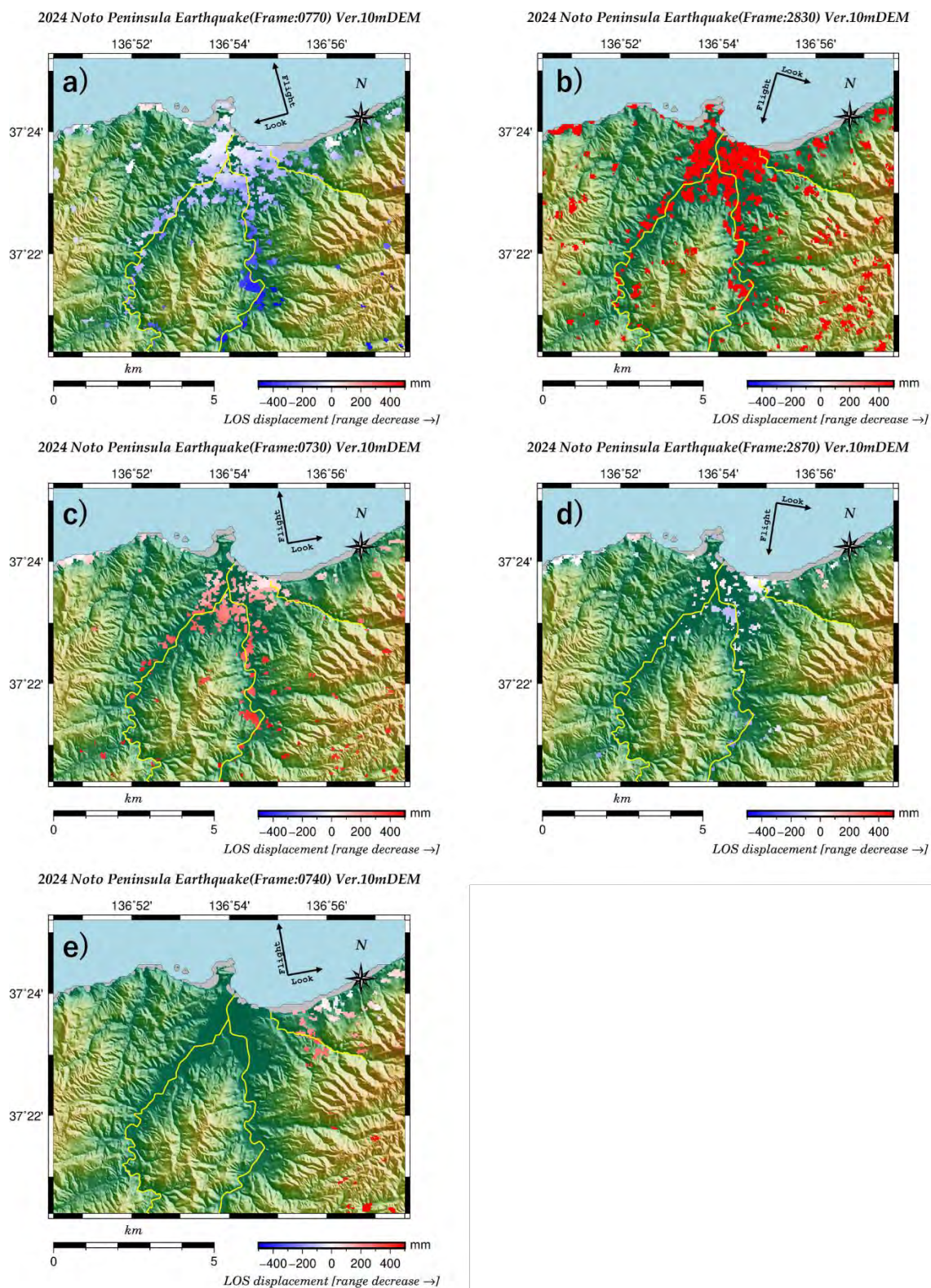


図 2-13 河原田川及び塚田周辺における ALOS-2 観測によるアンラッピング画像. a) 1 月 1 日, b) 1 月 2 日, c) 1 月 3 日, d) 1 月 9 日, e) 1 月 12 日の結果. 黄線が河原田川及び塚田川を示す.

図 2-14 は河原田川及び塚田川周辺に関する 2024 年 1 月 2 日の ALOS-2 観測によるアンラッピング画像と、石川県による被災状況調査結果である。各番号の写真が撮影された位置を、地図中の丸印と対応する番号で示してある。

写真 1 は河原田川と鳳至川の合流付近の護岸の様子である。ブロック積の護岸に横に伸びるひびが見られる。写真 2, 3 は河道沿いの土砂崩れである。写真 3 の撮影地点では ALOS-2 観測により変位が検出されているが、写真 2 の地点では変異が検出されなかった。写真 4 は塚田川沿いでの土砂崩れである。この発生地点では、ALOS-2 による変位検出が見られる。

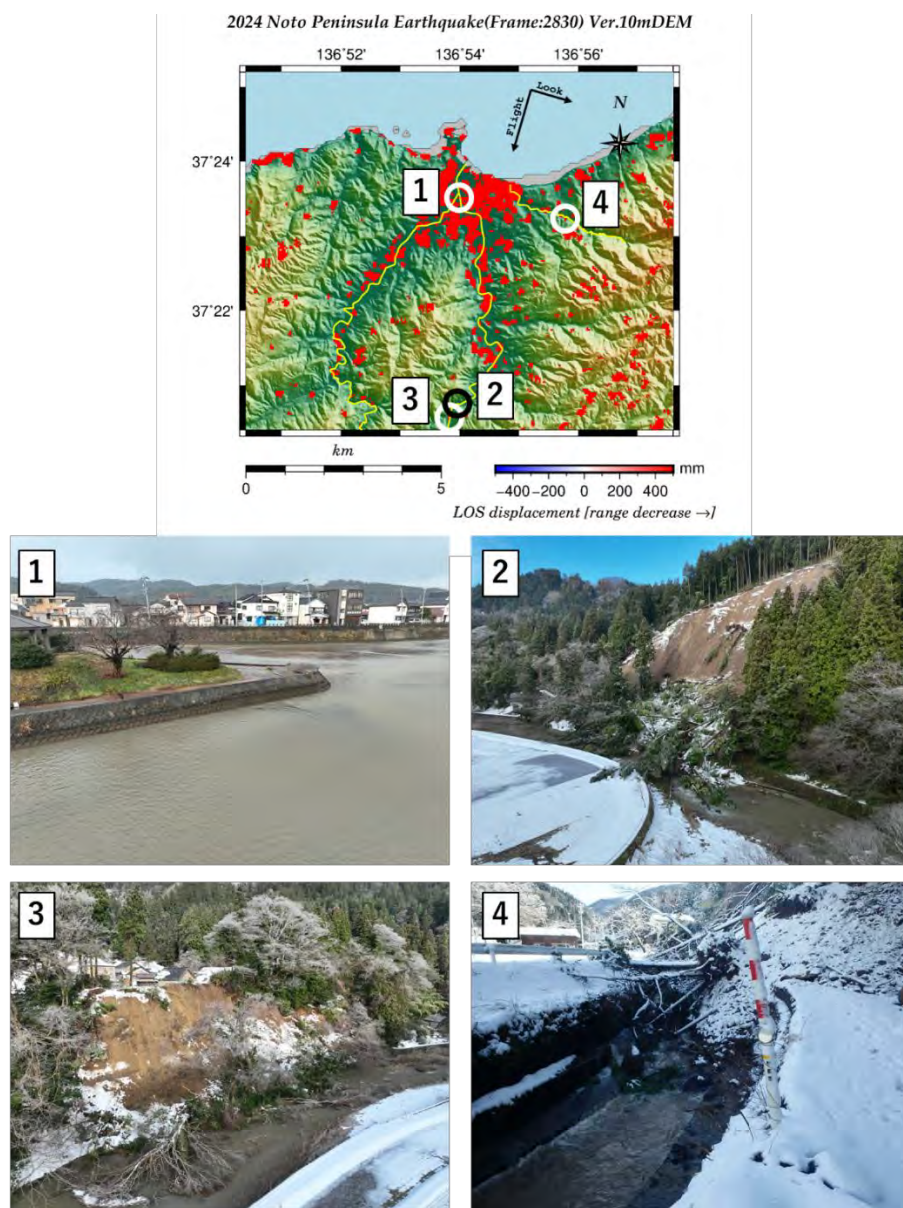


図 2-14 ALOS-2 による干渉解析（アンラッピング画像）と被災状況の比較（河原田川及び塚田川）。写真はいずれも石川県土木部河川課より提供されたもの。

2.3.5 町野周辺における結果

図 2-15 は町野川周辺に関するアンラッピング画像である。町野川も、河原田川及び塚田川と同様能登半島北部に位置し、大きな変位が生じたとされており、図 2-5 に示したように干渉がみられず、変位の定量的な推定は困難と考えられる。一方で、図 2-15b や図 2-15d で見られるように複数の結果において共通した地域で変位が推定されていることから、得られた変位のシグナルと現地調査を比較し、利用可能性を検討する。ここでは比較的変位のシグナルが明確にみられる 1 月 12 日の解析画像と被災状況調査の比較を行った。

図 2-16 は町野川周辺に関する 2024 年 1 月 12 日の ALOS-2 観測によるアンラッピング画像と、石川県による被災状況調査結果である。各番号の写真が撮影された位置を、地図中の丸印と対応する番号で示してある。

写真 1 では町野川河口付近の護岸ブロックが崩れている様子が見られる。写真 2 では広い範囲で護岸が破断しており、地震により大きな被害を受けていることがわかる。これらの被害が確認された地点（図中黒丸印）では ALOS-2 による変位は検出されていない。写真 3 においても広く護岸が崩れている様子が見られているが、この地点では ALOS-2 によって変位が検出されている（図中白丸印）。写真 4 では堤防天端に大きなひび割れが伸びており、この地点でも ALOS-2 による変位検出がなされている（図中白丸印）。写真 5, 6 は町野川沿いの土砂崩れである。これらの地点では ALOS-2 観測により変位が検出されているが、写真 2 の地点では変異が検出されなかった。写真 4 は塚田川沿いでの土砂崩れである。この発生地点では、ALOS-2 による変位検出が見られる（図中白丸印）。

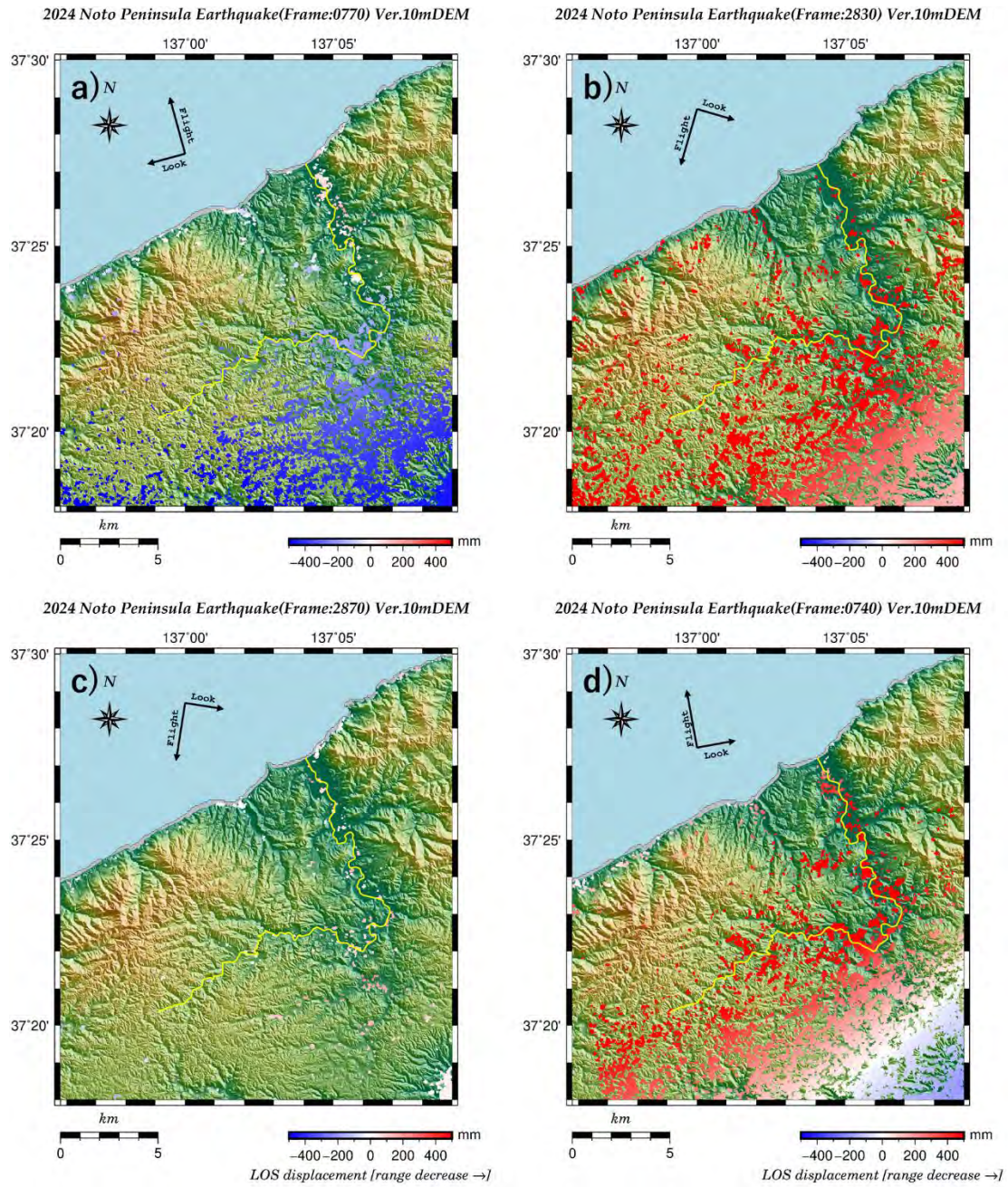


図 2-15 町野川周辺における ALOS-2 観測によるアンラッピング画像. a) 1 月 1 日, b) 1 月 2 日, c) 1 月 9 日, d) 1 月 12 日の結果. 黄線が町野川を示す.

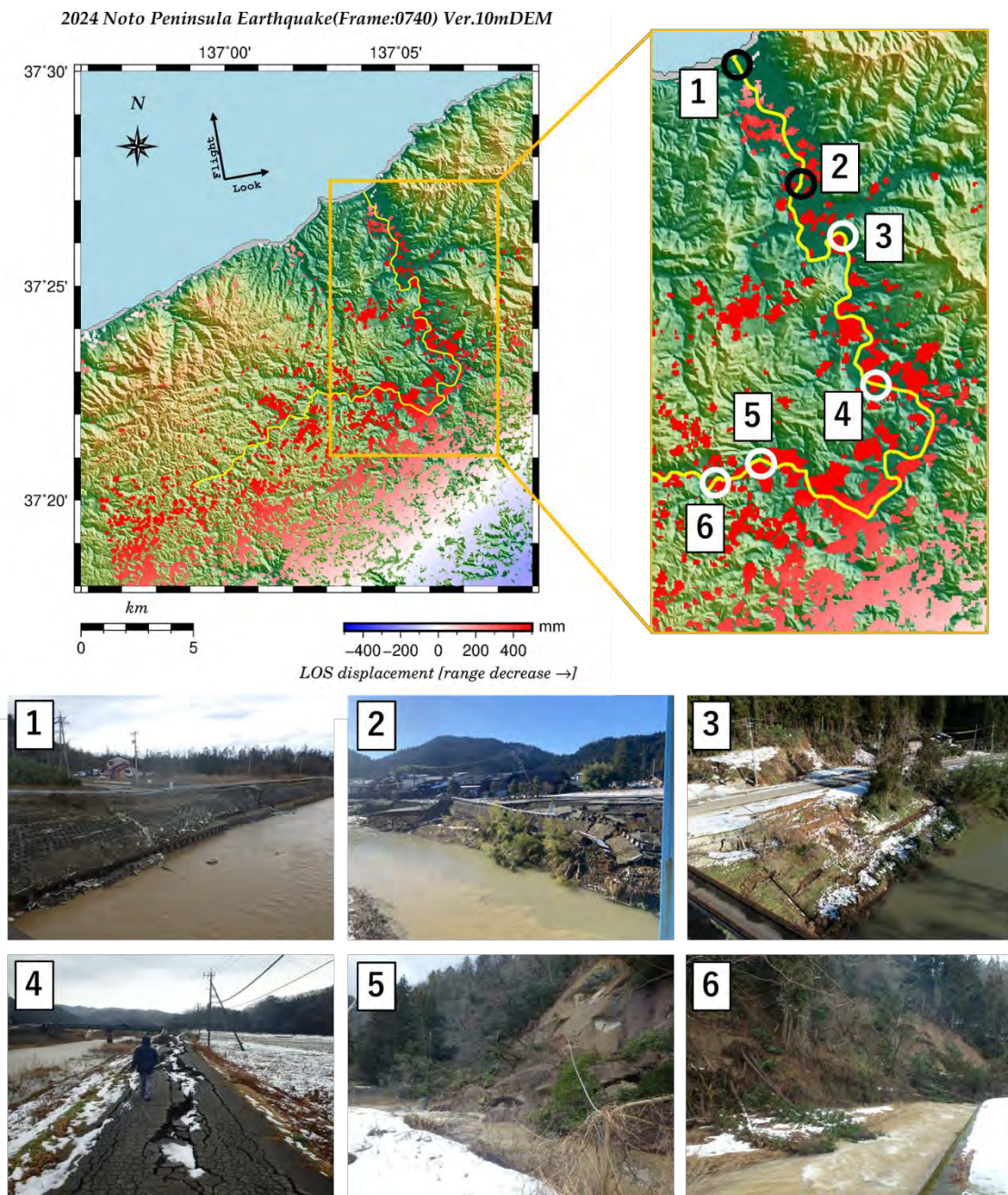


図 2-16 ALOS-2 による干渉解析（アンラッピング画像）と被災状況の比較（町野川）．写真はいずれも石川県土木部河川課より提供されたもの．

2.3.6 ピクセルオフセット法による変位推定

図 2-17 は ALOS-2 による観測データを用いたピクセルオフセット法による解析結果である．ピクセルオフセット法は干渉性に影響されないことから，上述のように大きな変位が生じた領域の解析も可能であるため，欠損のない推定がなされている．衛星の進行方向や観測方向ごとに変位量の正負などに違いがあるが，顕著な変位が生じて

いる地域には共通点などが見られる．一方，図 2-17 で示した解析では，ピクセルオフセット法を適用する際の相関窓（位置ずれを検出するための領域）を大きめに設定してある．今後，相関窓の設定を変更した解析結果と現地調査結果の比較を行い，河川構造物等の被災状況の抽出可能性について検討を進める．

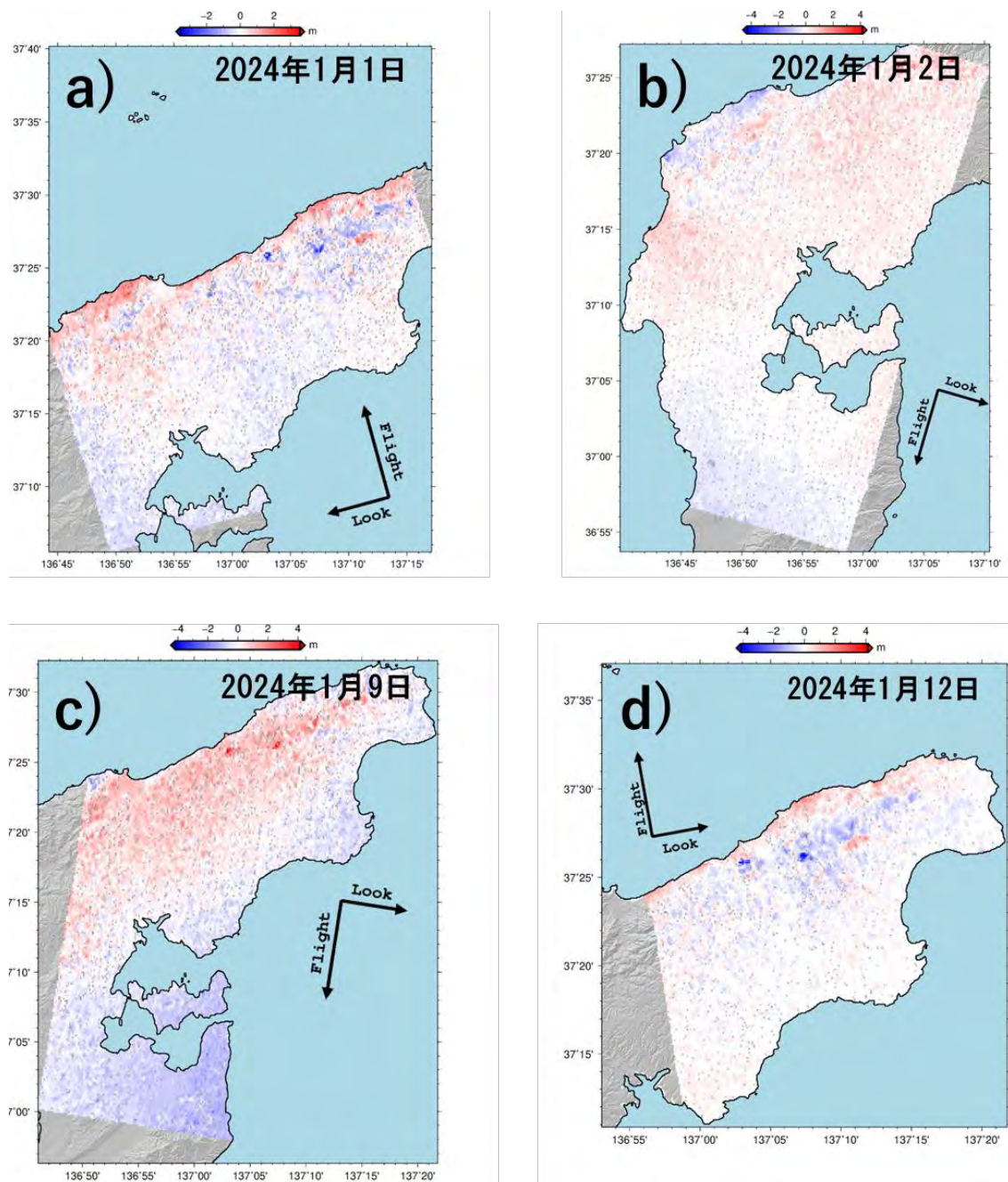


図 2-17 ALOS-2 観測データを用いたピクセルオフセット法による変位の推定結果（衛星の進行方向に関する変位）． a) 1 月 1 日， b) 1 月 2 日， c) 1 月 9 日， d) 1 月 12 日の結果．

2.4 地震被災箇所への豪雨に伴う出水の影響

能登半島地震の発生から9か月後、令和6年9月21日に線状降水帯の発達による豪雨災害が能登半島を襲った。本節では、令和6年6月6日に行った現地視察結果と、豪雨発生後に実施した現地視察結果とを比較し、地震による被災箇所が豪雨に伴う出水によってどのような影響を受けたかを検討する。

図2-18は地震発生前後における若山川の様子である。図2-18aは神主橋付近の護岸の被災状況（6月6日撮影）である。また、図2-18bは11月8日に同地点を別方向より撮影したものである。地震発生後、被災した護岸に対して応急対策として大型土嚢の設置がなされている。周辺の農地などには9月21日の出水に伴う浸水によると思われる痕跡が見られ、大型土嚢についても多少の崩れが生じているが、大きな被害には至っていない。図2-18cは大瀬戸橋の被災状況（6月6日撮影）である。ここでも被災した護岸に対して大型土嚢による応急復旧対策がなされている。豪雨発生後の11月8日に撮影した写真（図2-18d）では、大型土嚢が一部変形しているようにみえるが、大きな損壊などは見られない。



図2-18 令和6年9月21日に発生した能登半島豪雨前後における若山川の河川構造物の比較。a), c) 6月6日の調査結果, b), d) 11月8日の調査結果（写真はいずれも谷口撮影）。

図 2-19 は図 2-18c, d に示した若山川の大瀬戸橋の対岸の様子である。6 月 6 日の調査結果では、護岸が河道側へ傾いている様子が見られるが、構造物に目立った損傷はなく、大型土嚢等の応急対策はなされていない。豪雨発生後の 11 月 8 日には、6 月 6 日に比べて変形しているようにみえるが、護岸の崩壊や流出には至っていない。

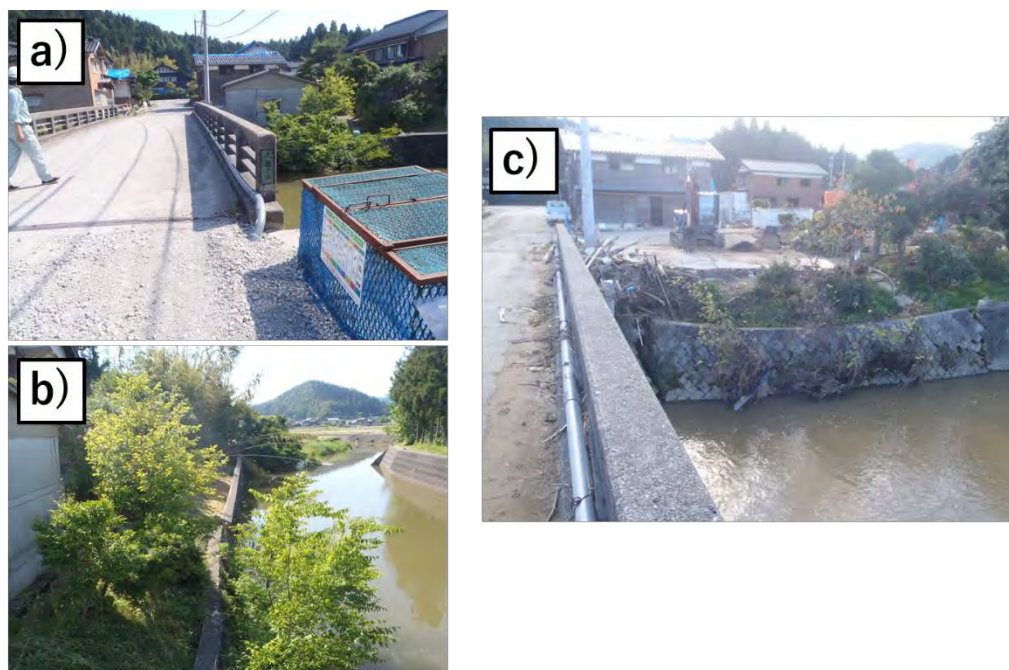


図 2-19 令和 6 年 9 月 21 日に発生した能登半島豪雨前後における若山川の河川構造物の比較。a), b) 6 月 6 日の調査結果, c) 11 月 8 日の調査結果（写真はいずれも谷口撮影）。

図 2-20 は若山川に架かる若山橋付近の被災した護岸の様子である。6 月 6 日の調査時点で、護岸の一部がすべて大型土嚢のようによって応急対策が施されている。豪雨後の 11 月 8 日の調査では、大型土嚢の一部が流出しており、護岸背部の土砂流出が生じているが、大規模な被害には至っていない。また、応急対策箇所の上流側、下流側の護岸とも、豪雨前の状況と比較して新たな破損が生じているといった様子はみられない。

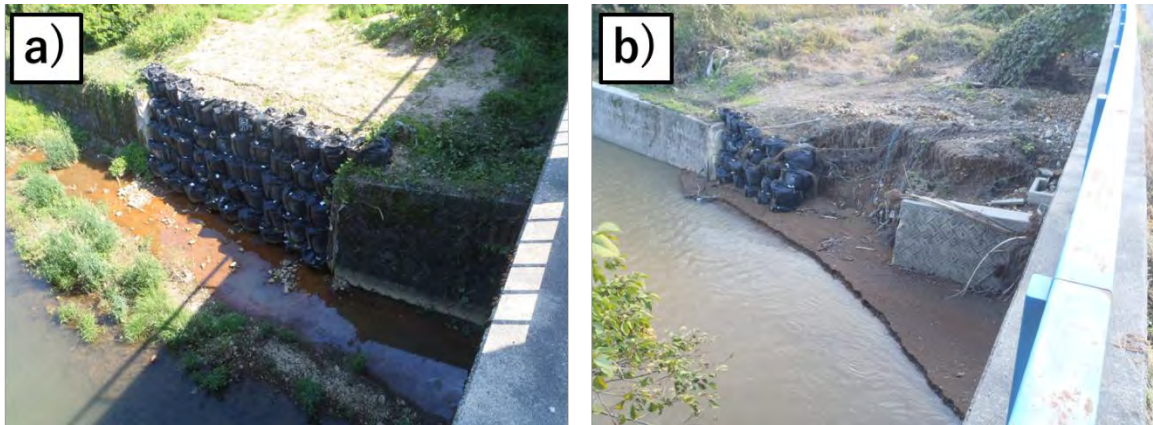


図 2-20 令和 6 年 9 月 21 日に発生した能登半島豪雨前後における若山川の河川構造物の比較. a) 6 月 6 日の調査結果, b) 11 月 8 日の調査結果 (写真はいずれも谷口撮影).

図 2-20 は若山川に架かる若山橋付近の被災した護岸の様子である. 6 月 6 日の調査時点で, 護岸の一部がすべて大型土嚢のようにによって応急対策が施されている. 豪雨後の 11 月 8 日の調査では, 大型土嚢の一部が流出しており, 護岸背部の土砂流出が生じているが, 大規模な被害には至っていない. また, 応急対策箇所の上流側, 下流側の護岸とも, 豪雨前の状況と比較して新たな破損が生じているといった様子はみられない.

図 2-21 は 11 月 8 日に実施した若山川の現地調査の際に撮影した写真である. これらの箇所では大型土嚢による護岸の応急復旧がなされているが, 令和 6 年能登半島地震後に実施された石川県の調査では, 地震による被災は報告されていない. また, Google ストリートビューを活用した 2024 年 7 月のそれぞれの箇所の状況確認においても護岸損壊等は認められなかった. これらの箇所では, 1 月 1 日の地震では河川構造物に目立った影響は生じなかったものの, 9 月 21 日の豪雨災害によって被害が発生したものと考えられる.



図 2-21 令和 6 年 9 月 21 日に発生した能登半島豪雨後の若山川の様子（令和 6 年 11 月 8 日撮影．写真はいずれも谷口によるもの）．

今次災害に関する現地調査においては、複数個所の地震に伴う河川構造物の変位に共通する特徴がみられた．図 2-22 は 6 月 6 日の崎山川の様子である．これらはいずれも蛇行部における護岸の被災状況であるが、いずれも蛇行部の内岸側で倒壊するなど護岸が損傷を受けている．一方で、外岸側には目立った損傷は生じていない．地震によって、護岸倒壊が生じるような側方への揺れが生じた場合、外岸側では蛇行の凸部への変位に対しては護岸背部の地盤が支えとなり、凹部への変位の際にはアーチ構造が耐力を発揮するのに対して、内岸側では凹部への変位には地盤とアーチ構造が支えとなるが、凸部への変位に対しては支えがなく、倒壊しやすいといった可能性が考えられる．

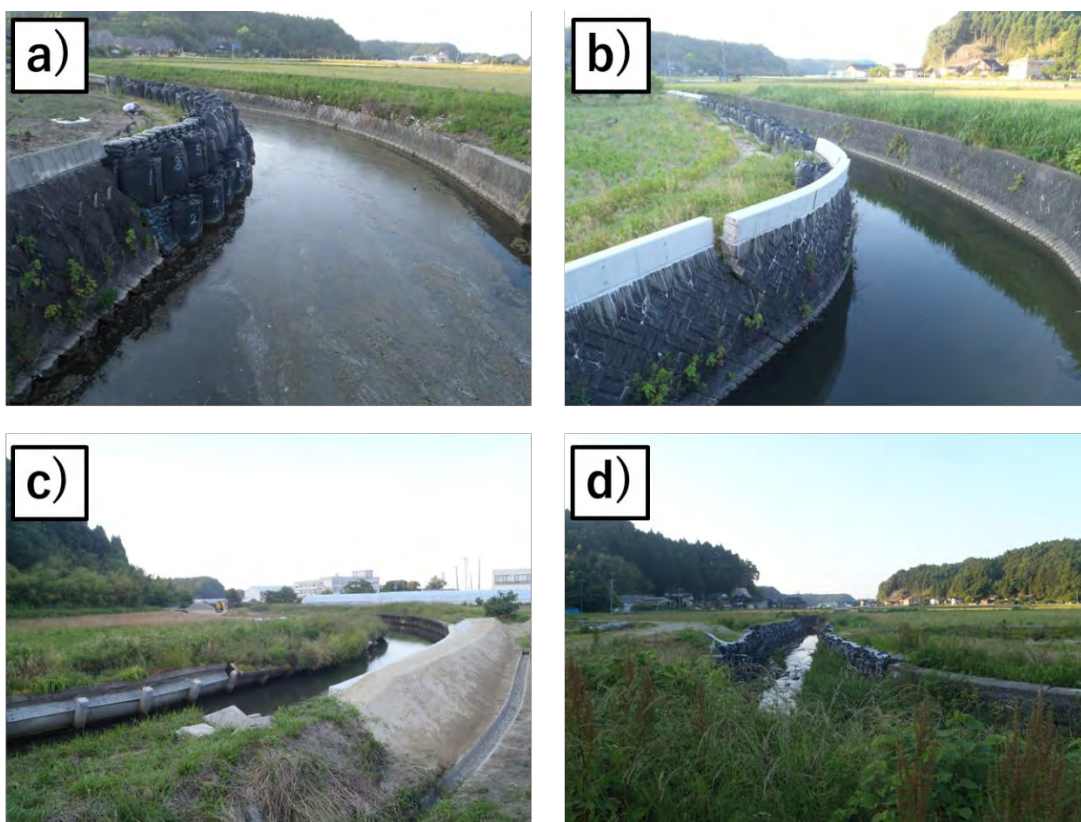


図 2-22 地震後の崎山川の護岸の様子（令和 6 年 6 月 6 日撮影．写真はいずれも谷口によるもの）．

2.5 まとめ

本章では、衛星搭載合成開口レーダ（SAR）による観測データと令和 6 年能登半島地震発生後の河川構造物の被災状況調査等の比較により、大規模地震発生時の SAR による被災箇所抽出可能性について検討を行った．河川構造物に大きな被害を与えるような大規模地震においては、大きな地表変位が生じる場合もあり、そのような領域は SAR においては非干渉域となってしまうため干渉解析による定量的な変位の検出は困難である．定性的に変位の有無を読み取り、現地調査結果と比較したところ、被災箇所で変位が検出される場合もあったが、実際には護岸崩壊や土砂崩れなどが発生していても、SAR による解析では変位が検出されない箇所もあった．また、SAR からは変位の可能性が示された箇所でも被害が生じていない場合もあった．ピクセルオフセット法による解析結果については、変位の概要を把握できる可能性は示されたが、局所的な変位のシグナルを得るには、相関窓の検討などが不可欠である．今次災害においては、300 件を超える被災調査情報が提供されており、解析手法の高度化に加えて、これらの調査情報を生かした検討を引き続き実施したい．

また、地震により被害が生じた河川構造物に対する、令和6年9月21日に発生した豪雨災害の影響の検討を行った。大型土嚢による応急復旧対策がなされた箇所では、洪水により土嚢の流出が見られた箇所もあったが、必ずしも大きな被害が生じるとは限らないことが分かった。一方、能登半島では堀込構造の河川が多く、大型土嚢の背後には地盤が控えているため、大きな被害に至らなかった可能性もある。築堤構造の堤防については、大規模地震時の被害状況や応急復旧対策も異なると考えられ、地震による機能低下時に洪水発生した際の対災害性については、別途検討の必要があると考えられる。また、令和6年9月の能登半島豪雨では、令和6年1月の地震では被害が認められなかった箇所でも護岸損壊等が生じていた。大規模地震時に被害が生じなかった場合でも、後発災害（洪水）による被害が生じ得ることも注意が必要である。

また、今回の調査において蛇行部の内岸側と外岸側で、地震時の被災状況に違いがあり得ることが示唆された。この点についても、引き続き調査・研究を行い、今後の河川整備へ生かすことが重要と考えられる。

謝辞

本調査では、宇宙航空研究開発機構により無償公開されている ALOS-2 観測データを使用させていただきました。また、令和6年能登半島地震による河川災害調査情報については石川県土木部河川課よりご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 金沢地方気象台：令和6年9月21日から23日の大雨に関する石川県気象速報，2024。
- 2) 国土地理院：干渉SARの基本，https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html，2025年4月9日閲覧。
- 3) 小林知勝，飛田幹男，村上 亮：局所第変位を伴う地殻変動計測のためのピクセルオフセット解析，測地学会誌，第57巻，第2号，pp.71-81，2011。
- 4) 国土地理院：SAR干渉画像の作成手順と見方，https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_procedure.html，2025年4月9日閲覧。
- 5) 国土地理院：SAR画像を用いたピクセルオフセット法，https://www.gsi.go.jp/cais/pixel_offset.html，2025年4月9日閲覧。
- 6) University of California San Diego: GMTSAR, <https://topex.ucsd.edu/gmtsar/>, 2025年4月9日閲覧。
- 7) 宇宙航空研究開発機構：ALOS-2/PALSAR-2 観測プロダクト，https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/open_and_free/palsar2_l11_l22_j.htm，2025年4月9日閲覧。
- 8) 国土地理院：「だいち2号」観測データの解析による令和6年能登半島地震に伴う地殻変動（2024年1月19日更新），https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html，2025年4月10日閲覧。

第3章 地震に伴う富山県内の河川被害状況および 流木が河川災害に及ぼす影響に関する検討

富山大学 木村一郎

3.1 地震における富山県の河川被害状況

3.1.1 富山県内の河川の被害状況の概要

富山県の一級河川および二級河川の被害箇所は、富山県の調査結果によると数百箇所に上る¹⁾。そのうち特に被害が大きかったもの12河川の32箇所について、その位置を示したものが図3-1である。この資料は富山県提供の「能登半島地震に関する公共土木施設被災の状況」より河川情報のみを抜粋して作成したものである。この図から、地震による被害の有った河川は主に呉西地区（富山市より西側）に集中していることがわかる。

一方、地震による河川の被害の原因は、①地震動によるもの、②液状化によるもの、③津波遡上によるものの3つに分類できる。これについても図3-1に図示した。このことから、富山県内の河川の被害は地震動によるものがほとんどで、液状化によるものは32箇所中3箇所と少なく、津波遡上による被害箇所はこの資料の範囲では見当たらない。



図3-1 能登地震による富山県内の河川の被災状況

(●地震動による被災，●液状化による被災，富山市以東を呉東地区とした)

3.1.2 異なる地震外力による護岸被災状況の相違について

次に、地震外力の相違（地震動、液状化、津波遡上など）による堤防の被害特性の相違について検討する。図 3-2 は、地震動による被災状況の事例である。いずれも急な護岸部分の崩落が生じている。一方、図 3-3 は、液状化の被災事例である。液状化の事例が少ないため、普遍性には疑問が残るものの、いずれも天端などの平坦あるいは緩やかな傾斜地部分にクラックが発生していることがわかる。これらの事例から、同じ堤防部の被災でも、地震動による場合と液状化による場合とでは、被災箇所の斜面勾配が異なるという特徴が示された。



図 3-2 地震動による被災の事例（左：小矢部川水系五郎丸川，右：下条川，写真提供：いずれも富山県）



図 3-3 液状化による河川被災の事例（左：上庄川大野外，右：上庄川七部一外，写真提供：いずれも富山県）

前述のように、富山県内での河川では津波遡上による護岸被災については、筆者の調べた範囲では認められなかった。しかし、新潟県上越市では、関川を津波が遡上し、一部で氾濫が生じた。また、津波遡上により護岸に置かれた大型のコンクリートブロックが移動したという報告もある²⁾。一般に、津波遡上による洪水は、豪雨による洪水に比べて時間的変化が急であることや、比重の大きい海水が遡上することか

ら、一般の洪水とは異なる堤防被害が生じる可能性があり、この点についてはさらに今後の検討が必要といえる。

3.1.3 呉東地区の被災地の特徴

富山県の河川被災地が震源により近い呉西地区に集中していることは当然といえよう。一方、呉東地区の河川被害箇所は、図 3-1 の河川 4（富山市内神通川水系松川）と、もう一か所、滑川市を流れる普通河川有金川の護岸被害の二か所のみとなっている。



図 3-4 松川沿いの被災箇所を旧神通川や旧富山城堀の位置と重ねたもの（富山市立郷土博物館の図と富山県庁提供の資料を基に作成）

図 3-4 は、松川の被災箇所（赤線の箇所）を旧神通川や富山城の堀の位置を示した図と重ねて示したものである。松川沿いの被災箇所は、旧河道や旧富山城堀の位置と、もともと地盤であった箇所の境界付近に位置していることがわかる。一方の有金川についても、被災箇所が旧上市側の蛇行箇所を直線的に改修した箇所の近傍で生じている。これらのことから、呉東地区の被災地は改修前の旧河道に隣接した場所で生じていると考えられる。

ところで、河川以外の箇所を含めると呉東地区でもっとも地盤の被害が大きかったのは、富山市の東蓮町地区の液状化による被害である³⁾。この箇所は住友運河とよばれる運河のすぐ北側に位置する住宅地で、図 3-5 の左の図に示すように、神通川の旧河道が大きく蛇行した箇所に位置する。このことから、呉東地区の被災地が旧河道や旧堀などの近郷で共通して生じたと考えられる。一方、図 3-5 の右は、液状化しやすさマップ⁴⁾との関係を示したものである。このマップによると旧河道箇所は液状化の危険度が周辺地域よりも低くなっている。この理由は不明であり、液状化しやすさマップの根拠などもふまえてさらに検討が必要といえる。

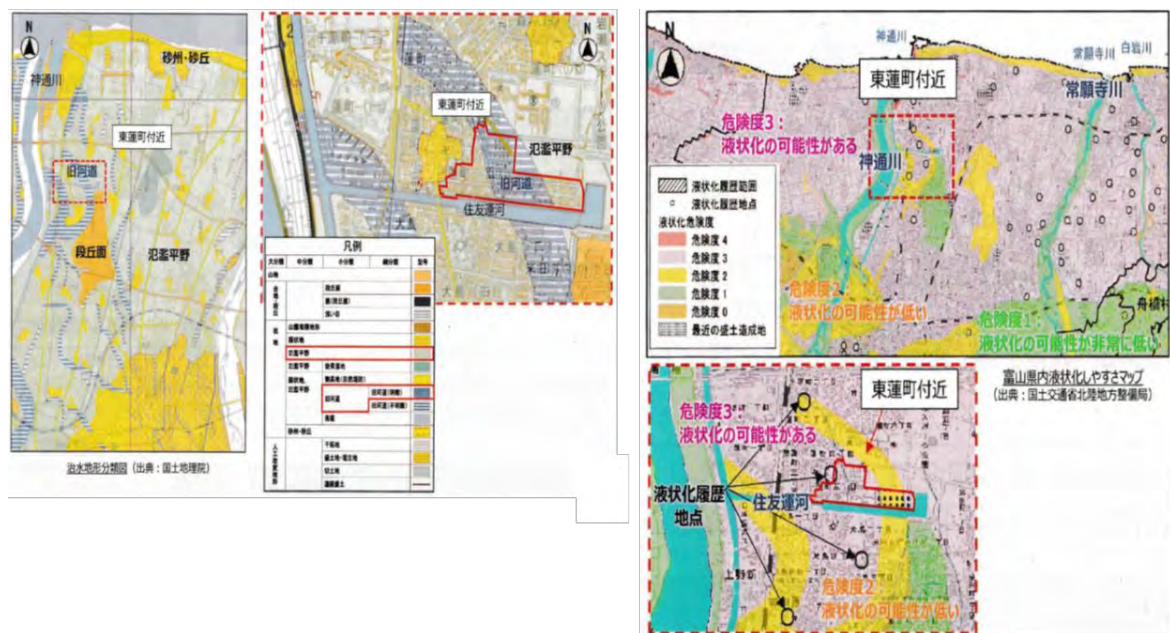


図 3-5 富山市東蓮町地区の液状化被害箇所と旧神通川河道の関係（左）および液状化しやすさマップにおける位置関係（右）（富山市資料より³⁾）

3.2 流木が関わる事例について

3.2.1 地震後の豪雨による流木を含む土石流の事例

今回の能登災害の特徴は、大地震の9か月後に、ほぼ同じ地域に豪雨が襲ったことにある。このため、地震が豪雨による被害にどのような影響を及ぼしたかという点は、今回の調査で非常に重要な視点といえる。特に、地震により地盤が緩んだ状態で豪雨災害が発生した場合は、土砂や流木などの流出が地震の影響が無い場合に比べて増大することが予想される。現に、9月の豪雨時においては、多くの河川において土砂や流木による甚大な被害が生じた。

このように、地震によって緩んだ地盤を襲った豪雨により、大量の土砂と流木が土石流となって流出して下流の集落に甚大な被害を引き起こした事例の一つとして、尊利地川の災害が挙げられる。尊利地川は能登半島北部の北向きに流れる小河川の一つで、その位置を図 3-6 に示す。

図 3-7 は、被災直後の流木撤去前の尊利地川下流部の様子であり、大量の流木と土砂が土石流となって集落を襲い、多くの家屋を破壊した様子がわかる。一方、家屋によってせき止められた流木と土砂が土砂ダム状に堆積した結果、その下流側の家屋の被害は小さいことも見て取れる。



図 3-6 尊利地川の位置



図 3-7 尊利地川における土砂と流木による家屋の被害 (2024 年 9 月, 流木撤去前)



図 3-8 尊利地川における計算領域と計算格子

尊利地川の被災シナリオを検証するため、数値シミュレーションを実施した。このシミュレーションでは、水流を平面二次元モデルでとく、流木挙動は三次元モデルで再現する。また、掃流砂と河床変動を計算する。数値解析モデルとしては、iRIC ソフトウェア^{5,6)}の平面二次元ソルバーである Nays2DH をベースに、流木一本一本を球体要素の結合でモデル化する NaysCUBE の三次元流木モデルを組み込んだモデルを新たに構築して本計算に用いた。

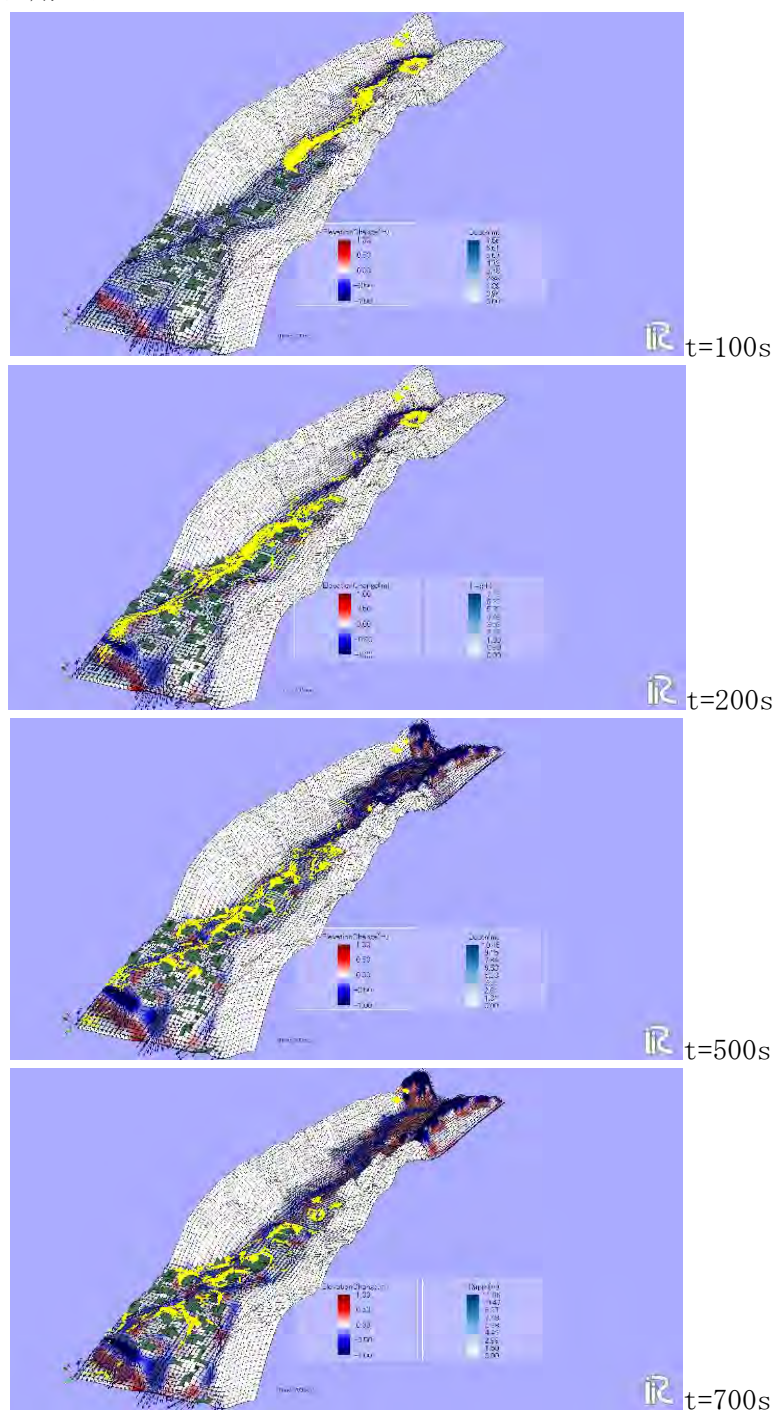


図 3-9 数値解析結果（流速ベクトル，河床変動，流木の可視化）

図 3-8 に計算領域と計算格子を現地の航空写真に重ねて示す．計算格子セル数は 170×40 とし，計算スキームは CIP 法とし，掃流砂のモデルには芦田・道上式を用いた．また，流木のスペックについては，現地調査の結果をもとに，長さ 10m，直径 0.2m，密度 900kg/m^3 で一様に与えた．

計算結果では，流れとともに流木が短時間に流出し，集落に到達する様子が再現された．また，集落に到達した流木家屋の前縁で補足され，その箇所で土砂が堆積する様子や，流木が補足された家屋の下流側では流木や土砂の影響が小さいとなどが示された．これらのシミュレーション結果は，少なくとも定性的には現地での被害の状況を再現できていると考えられる．しかし，定量的な外力評価や流木が土砂移動に及ぼす影響などについての検討には，さらに詳細な現地の情報を反映させたシミュレーションが必要となり，これは今度の課題である．

3.2.2 天然ダムにおける流木の影響の検討

今回の能登半島地震では土砂崩れによって，14ヶ所で河道閉塞（天然ダム）⁷⁾ が形成された．特に，輪島市市ノ瀬の天然ダムでは，湛水域に多くの流木が存在することが確認された．天然ダムとは，大雨や地震，火山噴火などの自然現象のために，崩壊した土砂などが河川の水を堰き止める現象のことである．天然ダムが決壊すると，下流側に土石流が流れ込み，家屋などの建築物を飲み込み，甚大な被害が生じる．この際，天然ダムの決壊要因のほとんどが越流による決壊とされる．天然ダムの決壊のメカニズムは，川の流れが土砂で堰き止められ，上流側に水が溜まり，水位が上昇すると越水が最初は河道閉塞箇所の上を細い水路となって水があふれ始め，次第に水路が広がり，さらに土砂ダムが塊になって崩れ，崩れた土砂が水と混ざって大きな土石流となり下流に流れていく⁸⁾．



図 3-10 輪島市市ノ瀬地区の天然ダムの様子（湛水域内に流木の存在）

方，輪島市市ノ瀬地区のような天然ダムの上流側の湛水域に多くの流木が存在する場合の影響については，未解明な点が多い．既往研究⁹⁾によると，流木量が多い場合で流木塊が集積・停止する場合は，天然ダム決壊中の越流流量が小さくなることが報告されている．また，既往の遊砂地に関する実験的研究においても，流木が存在する

ことで、土砂のピーク流量が低減することが示されている¹⁰⁾。これらのことは、条件によっては流木の存在が減災効果を発揮する可能性があることを示唆するものといえる。しかしながら、流木量が少ない場合には、土砂とともに流木が流出することで、特にピーク時の流量や土砂流出量に流木が影響を与え、被害を拡大する可能性もあると考えられる。

このように天然ダムの淡水域中の流木が減災側の効果をもたらすか、災害を拡大することにつながるのかはほとんど研究が進んでおらず、不明な点が多い。そこで、本研究では湛水域の流木量を変化させた場合の天然ダム崩壊の実験を実施し、この点の検討を行うこととした。実験では、水路に天然ダムの模型を設置し、流木をその上に配置して一定流量で通水することで実施する。湛水域に存在する流木本数を変化させた場合について実験を行い、越流流量、流砂量、土砂濃度の3点の時間的変化、流出した流木本数をカウントする。

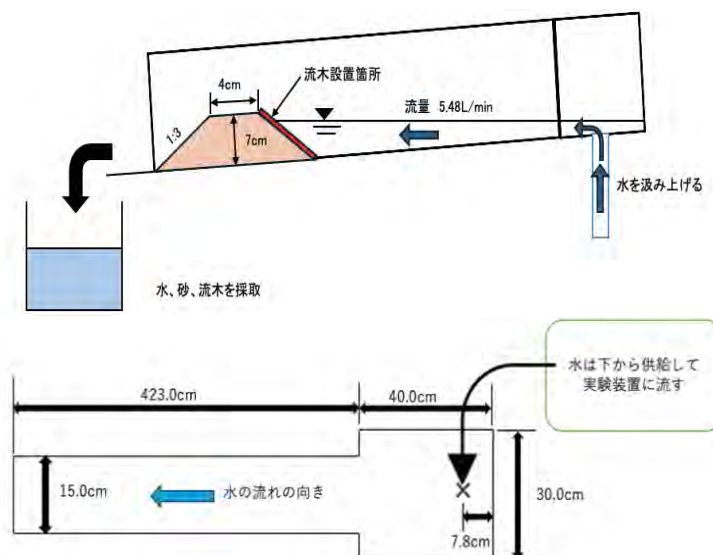


図 3-11 実験装置の模式図（上：立面図，下：平面図）



図 3-12 左：流木模型，右：置き土上の流木の設置の様子

この実験には、図 3-11 示すような富山大学都市デザイン学部実験実習棟水理実験室に設置された、長さ 4.23m、幅 15cm、高さ 15cm の長方形断面アクリル製可変傾斜開水路実験装置を用いて実施した。水路勾配については既往研究⁹⁾と同一の 1/30 とした。天然ダムを形成する土砂には、東北珪砂 4 号（平均粒径 0.75mm、比重 2.61）を用い、あらかじめ含水比を 20%に調整した。この砂を、あらかじめ実験装置下流端に台形形状に置き土し、これを天然ダムのモデルとした。置き土の形状は図 3-11 の上の立面図に示した通りである。

流木のモデルとしては、長さ 5cm、直径 0.3cm、比重 0.99 の円柱形状の木材を用いた。湿潤状態を均一化するため、これを実験の前に一晩、水中に湿潤させた状態で用いた。流木は、通水前に置き土の上流側背面に均一になるように設置した。図 3-12 の左には流木模型様子を、右には実験の初期条件として置き土上に設置された流木モデルの様子を示す。流木本数については 0 本、100 本、300 本の 3 通りとした。通水流量は、全条件で $Q=5.48\text{L/min}$ の一定値とした。全通水時間は 370s とする。なお、実験の再現性のばらつきを考慮して、各ケースとも同一条件で 5 回の実験を実施し、平均値を求めた。

なお、この実験条件は、現地の相似性等を考慮したものとはなっておらず、今回の検討は実験室スケールでの現象の検討にとどまることに留意されたい。現地スケールを考慮した実験の実施は今後の課題である。

実験手順は以下の通りである。

- ① 実験装置に型枠を用いて天然ダム模型を作成し、天然ダム背面に流木モデルを設置する。
- ② 通水を開始する。
- ③ 通水改組 180 秒後から 10 秒サイクルで、水、砂、流木をバケツで採取（5 秒間採取、5 秒間休みの繰り返し）する。この作業を 380 秒まで 20 回繰り返す。
- ④ 各時間に採取された試料について、流木、砂、水を分離する。
- ⑤ 20 回の計測について、それぞれの時刻での採取した水の量、電気炉で乾燥させた砂の体積、流木本数を計測する。
- ⑥ 同一条件で 5 回の実験を行い、各時間ごとの流出した水の体積、砂の体積、流木本数の平均値を求める。
- ⑦ 最終的に水路上に残った土砂と流木を採取し計測する。
- ⑧ 上の⑤で求めた 5 回の試行の各時間との平均値を求め、その時系列データをグラフに表す。

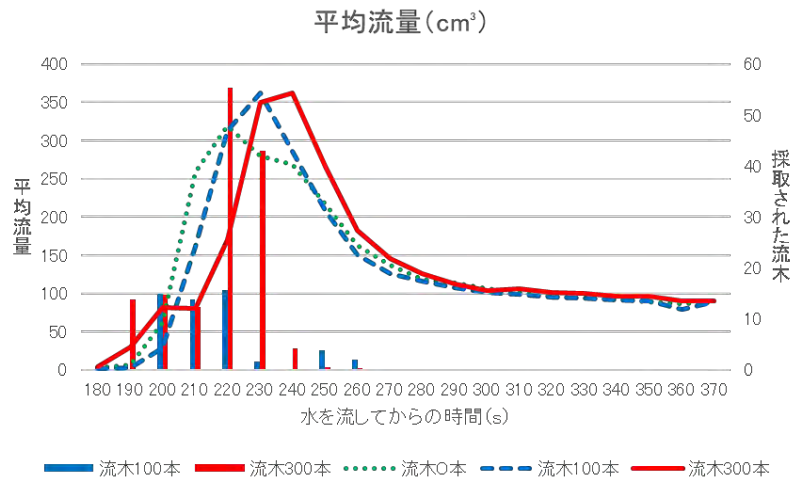


図 3-13 平均流量，流木量の時系列の比較

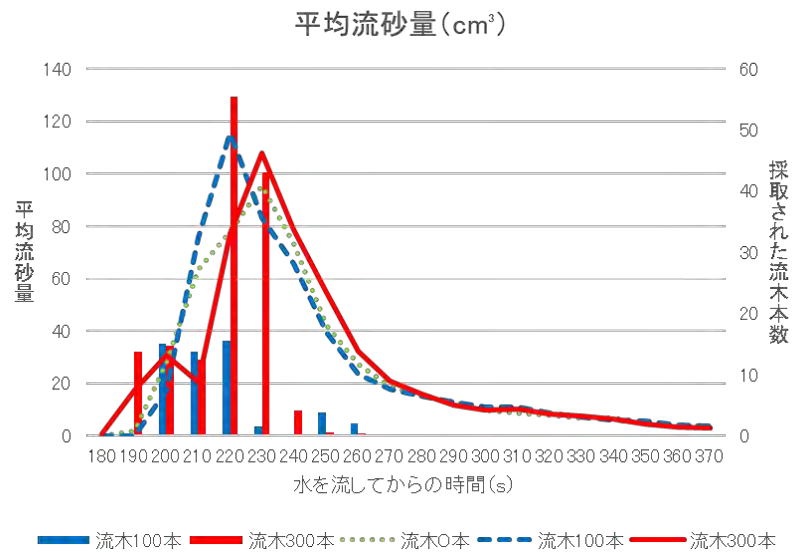


図 3-14 流砂量，流木量の時系列の比較

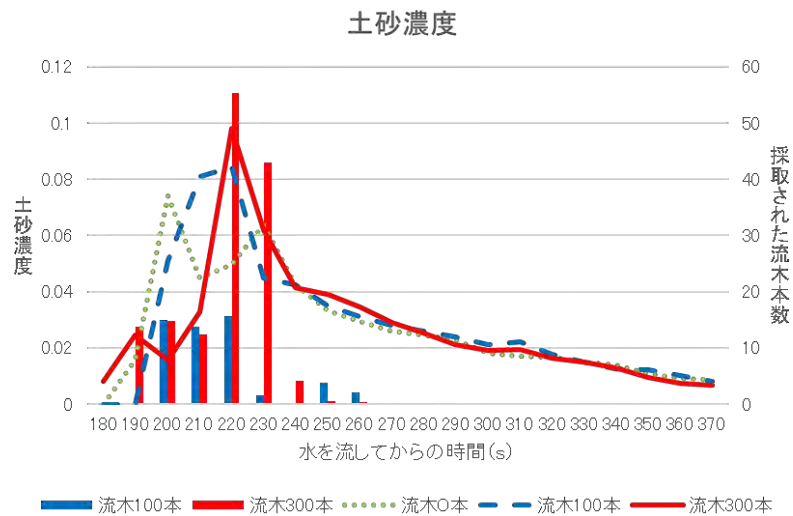


図 3-15 土砂濃度，流木量の時系列の比較

図 3-13, 14, 15 は、それぞれ、流量、流砂量、土砂濃度（体積濃度）の時間的変化を表したもので、流木流出量については 3 つのグラフに共通に示している。流量については、流木が存在することでピーク位置が遅くなるとともに、ピーク流量が増大している。これは、流木ある程度天然ダムの決壊を遅らせた後、一気に決壊したことを意味する。一方、流砂量については、やはり流木が存在する方がピークの値が大きくなっている。しかし、ピーク位置にはばらつきがあり、若干前倒しになっている傾向がみられる。これは、流木の間をすりぬける流れが流木の無い場合よりも加速し、掃流力が大きくなったことが関係していると考えられる。土砂濃度についても流木が存在する方が大きいという結果となった。

以上の結果から、流木量が比較的少ない場合には、初期段階である程度ダム崩壊を遅らせるものの、その後は一気に崩壊するため、ピーク時の流量や土砂量が増大し、被害を拡大する可能性が示唆された。

3.3 本章のまとめ

本章では、富山県内の河川の被害状況と、流木のかかわる被災状況について、資料、現地調査、数値シミュレーション、模型実験等を用いて検討を実施したものである。主な成果は次の通りある。

1. 富山県内の地震時の河川被害は震源に近い呉西地区に集中して発生し、その原因は地震動によるものがほとんどで、液状化による被害箇所数は比較的小さく、津波遡上による被害はみられなかった。
2. 呉東地区の被災箇所は旧河川や旧城堀などを改修した箇所、あるいはそれに隣接する箇所で生じた。
3. 流木を含む土石流が発生した河川では、流木が家屋の前縁で大量に堆積して家屋を破壊する一方、堆積箇所より下流の構造物に対する被害は小さかった。このような現象は流れ、土砂、流木を同時に解析する数値シミュレーションによってもある程度再現された。
4. 天然ダムの湛水域では大量の流木の存在が確認された。流木は、天然ダム決壊時にピーク流量やピーク流砂量を下げるなどの減災効果を発揮する場合と、逆にピーク流量やピーク流砂量、土砂濃度などを引き上げて被害を拡大する場合の両方のシナリオが存在することが模型実験により示された。

謝辞

本研究の遂行にあたり、富山県庁土木部道路課の山中久生様、富山県河川課の皆様、石川県奥能登土木総合事務所陰地章仁様の各位には、貴重なデータをご提供いた

だくとともに、多くのご助言をいただきました。また、土砂ダムの模型実験の実施には、元富山大学学生寺脇歩君（現富山市役所）および富山大学都市デザイン学部水理デザイン研究室の学生諸君に多大なご協力をいただきました。まここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 富山県土木部：能登半島地震に関する公共土木施設被災の状況，2024.
- 2) 早稲田大学柴山・三上研究室資料：「令和6年能登半島地震に伴う津波被害の現地調査報告」
https://shibayama.waseda.jp/disaster/document/2024Noto/Waseda_Noto_FieldSurvey.pdf, 2024.
- 3) 富山市建設部建設政策課：東蓮町地区の液状化防止対策の調査結果等について（住民に対する説明会の資料），2024.12.14.
- 4) 国土交通省北陸地方整備局：富山県内の液状化しやすさマップ，富山・高岡地域版，
<https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/toyama/toyama.html>, 2025.1.10閲覧.
- 5) iRIC web-site: i-ric.org/jp, 2025.1.10閲覧.
- 6) 木村一郎：iRICによる河川シミュレーション，森北出版，2021.
- 7) 国土交通省：令和6年能登半島地震に伴う河道閉塞（土砂ダム）の発生と対策状況について
https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000161.htm, 2024年5月閲覧.
- 8) 土砂災害防止広報センター：https://www.sabopc.or.jp/library/river_blockage/，：2024年10月閲覧.
- 9) 小田晃・中村倫明・鷺見浩一・武村武・落合実：流木を伴う天然ダムの越流決壊特性に関する実験的研究 https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsceijhe/77/2/77_I_661/_pdf/-char/ja, 土木学会論文集, 2021 年 77 巻 2 号 p. I_661-I_666, 2021.
- 10) 石倉 美佳子・木村 一郎・原田 紹臣：遊砂地による土砂・洪水氾濫対策と流木の影響に関する実験的研究，河川技術論文集,第30巻, pp.329-334, 2024年6月

第4章 富山県沿岸域の避難状況について

富山県立大学大学院工学研究科 久加 朋子
富山県立大学工学部 環境社会基盤工学科 田代陸人

4.1 はじめに

2024年1月1日16時10分ごろ、石川県能登地方でマグニチュード7.6の地震が発生した。主な被災地域は能登地方であったが、富山県でも沿岸域を中心に津波警報が発令され、各地で道路液状化現象（図4-1）も発生するなか迅速な避難が求められる状況となった。この中で、一部地域では車の渋滞が発生し、避難の障壁となる状況が確認された。

過去の津波避難に対する既往事例の一つには、東日本大震災が挙げられる。この地震では、令和6年能登半島地震と比較して津波到達までの時刻が20分～30分程度と長かったものの、大野ら¹⁾によると課題の一つに自動車による避難者の渋滞問題が顕著であったと指摘されている。また、震災時の避難方法は徒歩が原則とされているが、東日本大震災では車の避難割合が51.2%（国土交通省の避難実態調査²⁾）であり、半数以上を占めたことが確認されている。この車による渋滞に着目した調査報告として、柳原ら³⁾は土木学会の東日本大震災津波調査団が実施した石巻市の仮設住宅で実施したヒアリング調査及び仮設住宅へのポスティングアンケート調査（3,300戸配布、回収率24%）から各避難者の避難手段と津波が到達するまでの移動距離を抽出した。その結果、自動車を用いて避難した人の40%は移動距離が1.0km以下であった。これは、徒歩でも移動可能な短距離であったことを意味し、自動車による避難が必ずしも必要ではない場面も多く存在すると考察されている。さらに、東日本大震災では被害規模を拡大させた他の要因として、沿岸域の津波に加えて、河川を遡上する津波の存在が指摘されている（田中ら⁴⁾）。

一方、今回の令和6年能登半島地震では、太平洋側にて津波が発生した東日本大震災とは異なる状況が確認されている。最も大きな違いは、太平洋側に比べて日本海側で発生する津波は高さが低い反面、その到達時間が早いことである⁵⁾⁶⁾。実際、1月1日の地震発生当日、気象庁の報道発表資料によると第一波が約3分で到着し、20分後には最大波が観測された。富山湾へと到達した津波の高さは、地震発生直後は富山沿岸にて想定3mと報道されていたが、最終的な津波高さは0.8m（気象庁より）であった。さらに、富山県の場合、地形的な特徴として県東部ほど海岸から陸域にかけて急に勾配変化する反面、県西部では内陸部まで低平地が続く場所もあり、地域ごとに求められる（あ

るいは適切な) 避難行動が大きく異なっていた可能性が推察される。したがって、富山県においても、沿岸域の津波防災を考えるには、地域の特徴を把握したうえで、あらかじめ避難方法や経路を考察することが重要であると考えられる。

そこで、本研究では富山県の中でも特に低標高地が広がり、かつ人口密度の高い射水市沿岸域である庄川河口右岸側に位置する新湊・放生津地区を対象とし、今後のための基礎的資料の収集を目的とし、地形的特徴および住民の避難行動の把握を行うことを目的とした。ならびに、新湊・放生津地区との比較として神通川河口右岸側に位置する岩瀬地区についても整理を行った。なお、富山県⁷⁾による複数シナリオでの最高津波水位は射水市沿岸域にて1.9～6.0mと推定されている。

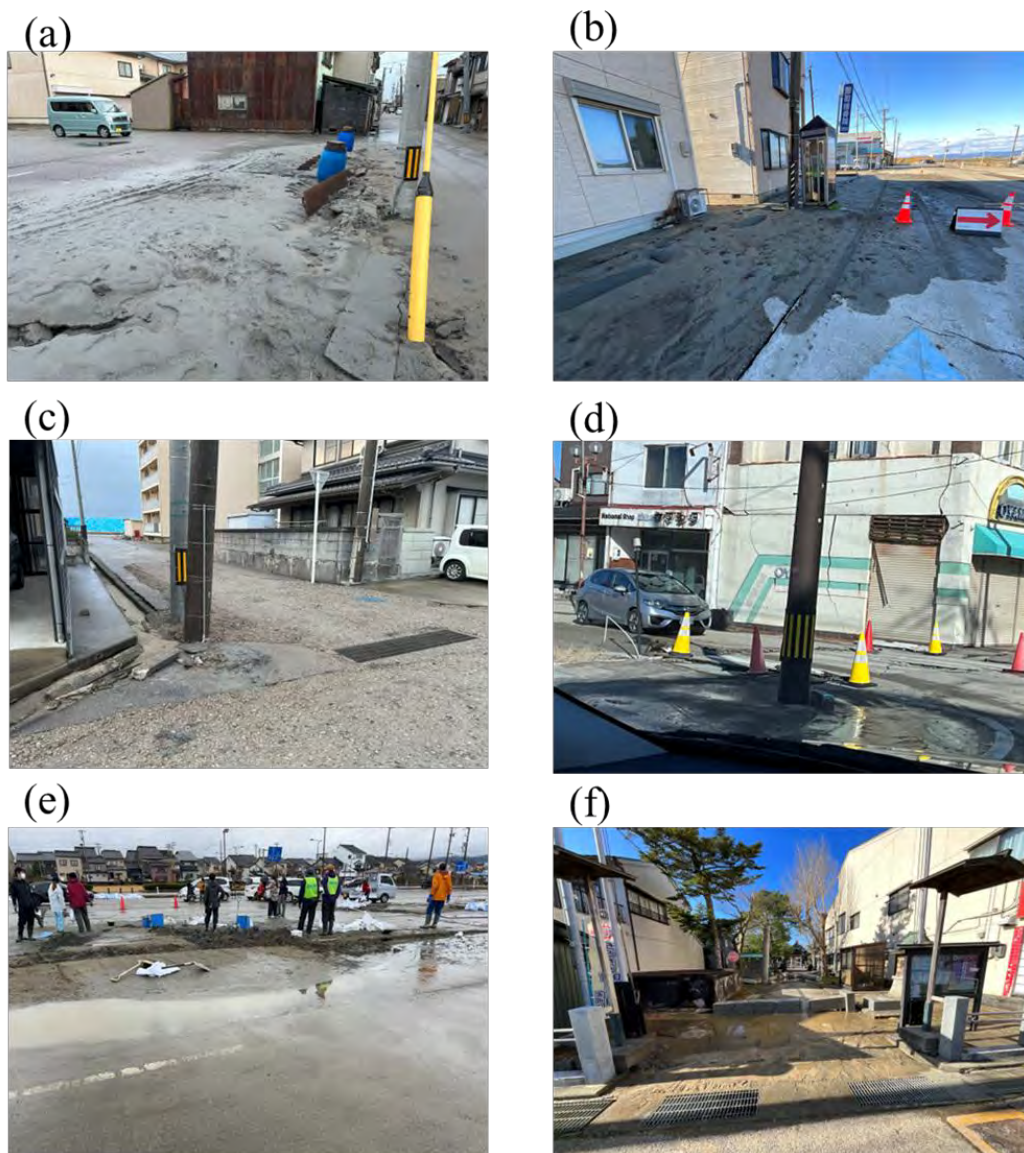


図 4-1 被害の様子 a)～c) 射水市古新町（新湊地区），d) 高岡伏木，e) f) 氷見市

4.2 対象地域緒言

図 4-2 に新湊・放生津地区の位置を示す。当地区は富山県射水市沿岸部に位置し、庄川河口右岸側に広がる。町の中央には内川（図 4-3）が流れ、東西に分かれて整備されている。西内川は河岸が高く川幅が狭い一方、東内川は河岸が低く川幅が広い。内川は西漁港および富山新港と接続しており、周辺には暗渠化された小河川も多く存在する。一方、図 4-4 に示す岩瀬地区は富山市北部に位置し、神通川および富岩運河に隣接する港湾地区である。両地区は沿岸低地でありながら、県内において水系や地形の特性に差異がある。



図 4-2 新湊・放生津地区の概要図



図 4-3 内川. 左) 西内川（東側から西側を望む）、右) 東内川（西側から東側を望む）

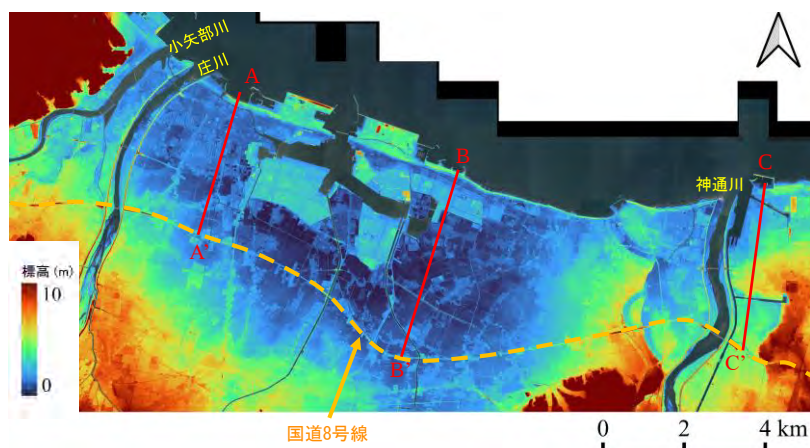


図 4-4 岩瀬地区の位置図

4.3 地形的特徴

4.3.1 地形高

図 4-5 に、富山沿岸域の標高コンター図および地形高の南北方向への変化を示す（地図はすべて QGIS ver.3.22.4 にて作成）．図より，新湊・放生津地区（ライン A-A'）や海老江地区（ライン B-B'）では，海岸付近は標高約 3～4m の高さを有するが，そこから短い距離で内陸（南側）方向へと標高が下がる地形的特性を有することが分かる．標高が再び海岸線と同程度の約 3m まで下がる地点は，沿岸部から国道 8 号線を超えたあたりとなる．一方，岩瀬地区のライン C-C'では，海岸周辺の標高が最も低く，そこから南方向へ向かって徐々に標高が上昇する傾向が見られる．



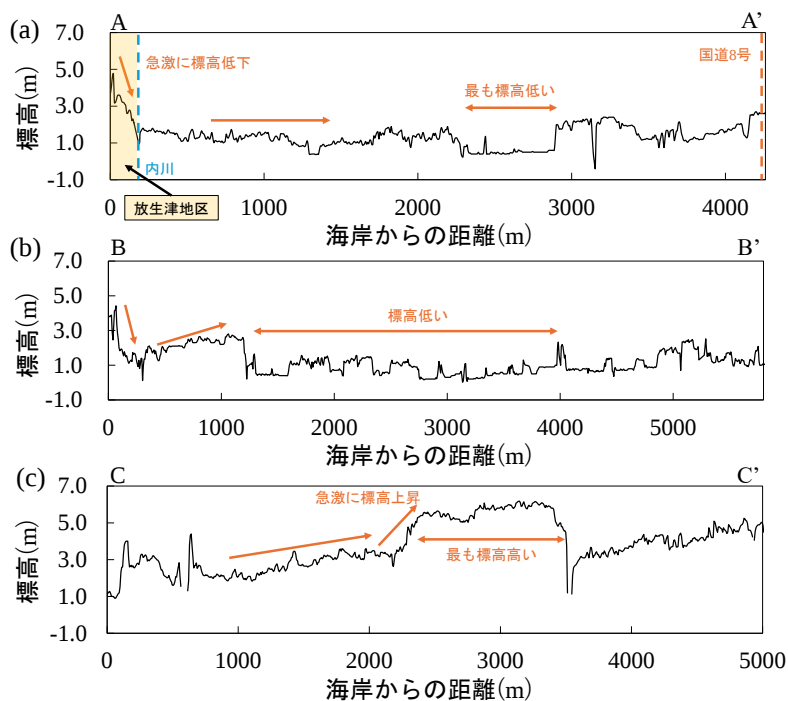


図 4-5 富山沿岸域（新湊～岩瀬地区）から国道 8 号線のための標高図，
a) ライン A-A'，b) ライン B-B'，c) ライン C-C'

4.3.2 射水市沿岸域の津波ハザードマップ

図 4-6 に、新湊・放生津地域周辺の津波ハザードマップ（国土交通）の津波による想定浸水深を示す。図より、氾濫想定域は限られた範囲との想定であり、主に内川周辺や漁港周辺、富山新港付近であると分かる。これは、前述のとおり新湊・放生津地区の沿岸域は標高 3.0～4.0m と比較的周辺よりも地盤が高く（図 4-5）、津波による氾濫は漁港部からの越流や内川に侵入してくる津波に由来するためと考えられる。



図 4-6 新湊・放生津地域周辺の津波ハザードマップ

4.3.3 液状化の発生状況

図4-7に、新湊・放生津地域周辺における令和6年能登半島地震直後の液状化発生位置と、液状化ハザードマップ（北陸地方整備局）を重ねた図を示す。液状化位置は、報告者らによる現地調査と射水市ホームページ⁸⁾に公開された情報をもとに整理したものである。図より、液状化被害は港町（黒杵）を中心とした沿岸部で多く確認された。一方、ハザードマップ上ではリスクが比較的低いとされていた内陸部においても、実際に被害が発生していたことが分かる。

図4-8には、液状化発生地点と地形区分を重ねた図を示す。液状化が確認された主な地形は、盛土・埋立地、氾濫平野、後背湿地に分類される領域であった。これに対し、沿岸部の危険度1（黄色）地域では液状化の発生はほとんど見られなかった。この地域は砂州・砂丘に相当し、古くから港町として利用されてきた歴史を有する。以上より、新湊・放生津地域においては、標高だけでなく液状化ハザードマップ上の危険度情報においても、単に内陸側へ避難・移動することでリスクが低減するとは限らないことが明らかとなった。

5.3.4 富山湾水位の季節変化

図4-9に富山湾の2023年における潮位変化の季節変動を示す。図より、富山湾では日ごとの潮汐差は比較的小さい一方で、年間を通じた季節的な水位変化が見られる。具体的には、冬季の平均水位が 20.3 ± 11.5 cmであるのに対し、夏季は 49.1 ± 9.8 cmと、およそ30 cm程度水位が高くなる傾向が確認された。このことから、仮に津波が夏季に発生していた場合、冬季に比べて内川へと侵入する津波の高さが約30 cm程度大きくなっていた可能性がある」と推察される。

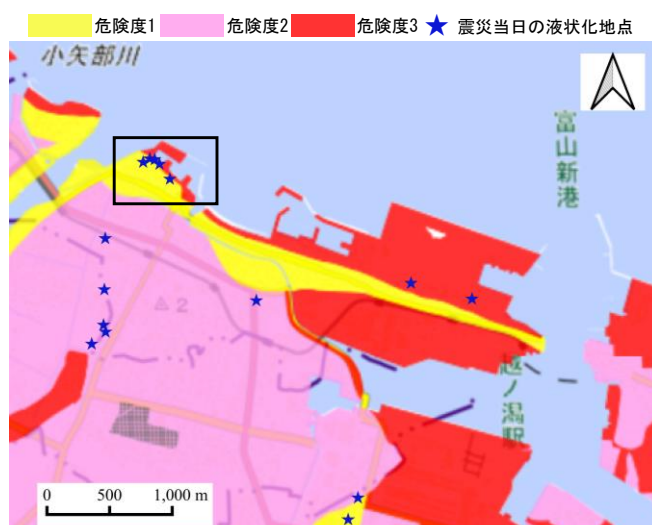


図4-7 新湊・放生津地区の液状化発生地点とハザードマップの重ね合わせ図，危険度1～3は順に「液状化の可能性が低い・普通・高い」ことを示している



図 4-8 新湊・放生津地区の液状化発生地点と地形区分の重ね合わせ図

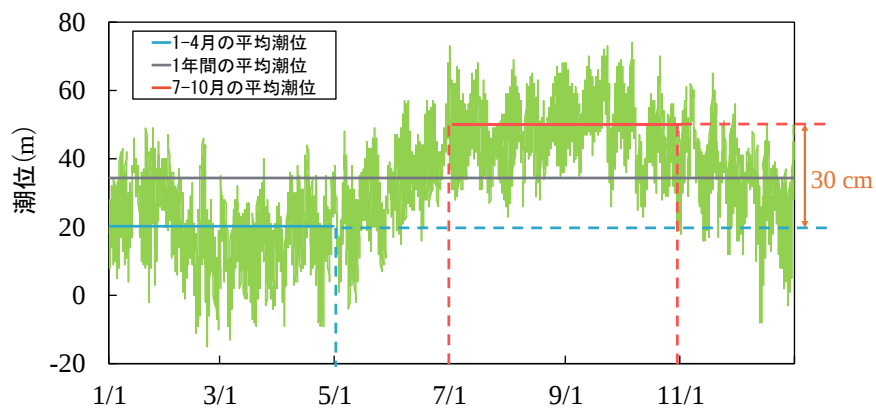


図 4-9 2023 年の潮位変化

4. 4 地震発生後の水位変化

4. 4. 1 一級河川と二級河川の水位変化

ここでは、一級河川である小矢部川・庄川・神通川、および二級河川である下条川・黒瀬川について、地震発生直後の水位変化を比較する。図 4-10 に、各河川の河口域の形状と水位観測所の位置を示す。観測データが得られた地点は、小矢部川（城光寺橋）、庄川（新庄川橋）、神通川（河口）、下条川（駅南大橋）、黒瀬川（新田橋）である。

図 4-11 に、地震発生当日（1 月 1 日）の 16 時以降の水位変化を示す。まず一級河川に着目すると、いずれの河川においても津波の遡上が確認されたことが分かる。その到

達時刻には河川ごとに差異があり，庄川および小矢部川では第一波が地震発生後約 10 分，第二波が約 30 分後に到達しており，比較的早い段階で水位変動が生じていたことが分かる．水位の変化量については，小矢部川および庄川で 0.6 m 程度，神通川で 0.4 m 程度であった．

津波波高や遡上開始時刻の違いは，各河川の流量や河口地形の差異に起因すると考えられる．田中ら⁹⁾によれば，導流堤が設置されているような，河口砂州が未発達な河川では津波の遡上が顕著である一方，砂州が発達し河口が半閉塞状態となっている場合には，遡上は抑制されるとされている．図 4-10 の比較より，小矢部川河口には伏木港が位置し，河口砂州の発達は見られない．庄川には小規模な河口砂州があるが，それは河口より上流側に位置しており，遡上を妨げる効果は限定的と考えられる（図 4-10b，赤枠）．これに対し，神通川の河口部には明瞭な砂州が形成されており（図 4-10c，赤枠），この地形が津波の遡上を抑制した可能性がある．また，3 河川の流量規模を比較すると神通川が最も大きく，この影響もあると考えられる．なお，神通川に隣接する富山湾では，港としても運用されているため，河口砂州が認められないが，津波の遡上は明瞭に観測された（動画による確認）．

次に二級河川について見ると，図 4-11 より，下条川では地震発生約 1 時間後，黒瀬川では約 50 分後に津波の遡上が確認された．最大水位変化は両河川ともに約 0.4～0.5 m であり，一級河川と同程度の変動が観測された．特に，下条川の駅南大橋は河口から約 5.6 km も離れているにもかかわらず，遡上の影響が確認された．津波がどの地点まで遡上したかを示す直接的なデータはないが，勾配変化点まで到達したものと推察される．



図 4-10 一級河川の河口域の形状と各河川の水位観測所の位置

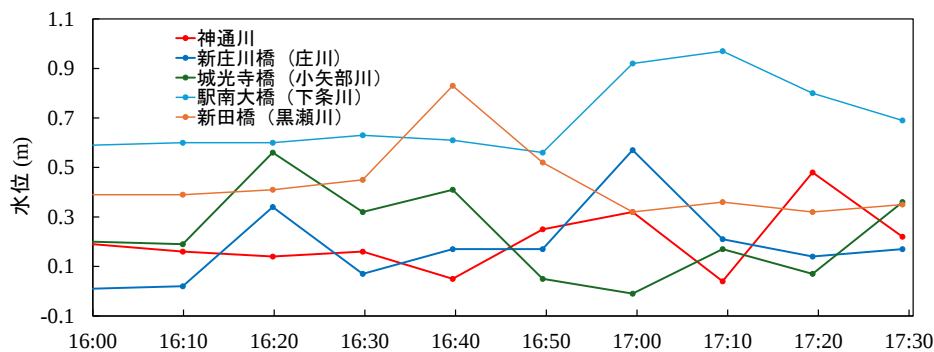


図 4-11 各河川の地震発生時 (1/1 16:10 ごろ) からの河口水位の変化

4.4.2 内川

新湊・放生津地区を流れる内川については、地震発生日における水位データはない。しかし、画像データや目視によって津波の遡上が確認されている。その様子を図 4-12 に示す。溢水が確認されたのは東内川であり、津波の侵入は富山新港側からであった。内川へと侵入する津波は数波あったようであり、第一波 (図 4-12a) では溢水せず、第二波 (図 4-12b) で溢水が確認されている。

4.4.3 富岩運河

地震発生日における水位データはない (所在を確認できていない)。ただし、画像データや目視によって富岩運河での津波の遡上が確認されている。その様子を図 4-13 に示す。溢水等は確認されていない。神通川では津波の遡上は殆ど見られなかったが、富岩運河では港として利用されていることから河口が閉塞しておらず、津波高さが高くなったと考えられる。

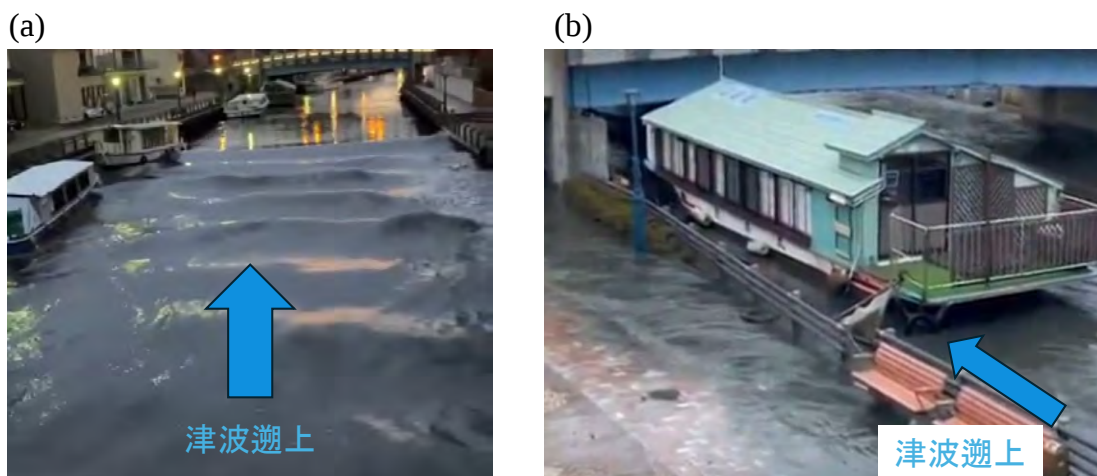


図 4-12 東内川における津波遡上の様子, (a) 東から西を望む (提供動画より),
(b) 東から西を望む (KNB NEWS より引用)



図 4-13 富岩運河の津波遡上の様子（南から北を望む，MBS NEWS より引用）

4.5 人流データによる道路状況の把握

4.5.1 KDDI Location Analyzer (KLA)

人流データの取得には，KDDI Location Analyzer（以下，KLA）を用いた．KLA では，任意に設定した半径 1 km 圏内において，主要動線分析により選択された道路上の通行人数を可視化することができる．また，KLA のシステムでは，可視化した範囲における各道路番号（ノード間）について，通行人口を年代別に集計したデータをダウンロードすることが可能である．ここでいう道路番号とは，格子点（ノード）に挟まれた道路ごとに割り当てられた固有の識別番号を指す．

本システムでは，一度にダウンロードできる道路データが 2 本までという制約がある．このため，本研究では富山県全域の人流データの取得は困難であり，対象地域を射水市内の新湊・伏木地区および富山市内の岩瀬地区に限定し，これらの地域内に存在するすべての道路を対象に以下に述べるデータの取得を行った．なお，KLA で取得される人口データは，au ユーザーの携帯電話の位置情報を基に，公的統計を参照して拡大推計されたものであることに留意する必要がある．また，プライバシー保護の観点から，20 歳未満の人口データは除外されており，さらに通行人数が 10 人未満の道路については，データとして出力されない点にも注意が必要である．

4.5.2 人流データの取得

人流データは，地震直後の 1 時間として 2024 年 1 月 1 日の 16:00～17:00，比較用の 1 時間として 2023 年 1 月 1 日の 16:00～17:00 を対象とした．KLA の主要導線分析より取得対象としたデータは，新湊・伏木地区と岩瀬地区における徒歩と自動車で移動した人数である．図 4-14 に調査範囲を示す．データの取得範囲は，図 4-14 に赤線で示す全ての道路とした．新湊・伏木地区および岩瀬地区が主な範囲であるが，これに加えて射



図 4-14 道路データ取得範囲

水市海老江地区や四方地区付近の沿岸部から内陸方向へ向かう主要道路（自動車のみ）についても調査した。

4.5.3 人流データの整理方法

KLA より取得できる人流データは、道路固有番号と徒歩移動人数、あるいは道路固有番号と自動車移動人数の組み合わせで構成されている。取得したデータの可視化には QGIS を用い、道路番号ごとに対応する値をポリゴンデータに格納した。なお、道路のポリゴンデータ（shp ファイル）は一般財団法人日本デジタル地図協会より購入したベクトルデータを使用した。徒歩移動者については、取得された人数をそのまま各道路ポリゴンに与えたが、自動車移動データについては、実際の通行台数に換算する必要がある。自動車の乗車人数に関する妥当な換算基準は存在しないが、本研究では 1 台の車両に 3 人が同乗していると仮定し、移動人数から通行台数を推定した。

4.5.4 徒歩避難者についての整理と考察

図 4-15 および図 4-16 に、2023 年および 2024 年における新湊・放生津地区～国道 8 号線間および岩瀬地区～国道 8 号線間の徒歩移動者数の人流データを示す。両図より、いずれの地区においても 2024 年の地震発生後の方が、2023 年に比べて徒歩移動者数が明らかに多いことが分かる。この結果は、令和 6 年能登半島地震発生時に、実際に徒歩による避難行動が活発に行われていたことを示唆するものであり、地域住民の避難行動において、徒歩避難が一定の役割を果たしていた可能性がある。そこで、徒歩移動者数の空間的分布の特徴を把握するため、次節では地区を絞った状況把握を行う。

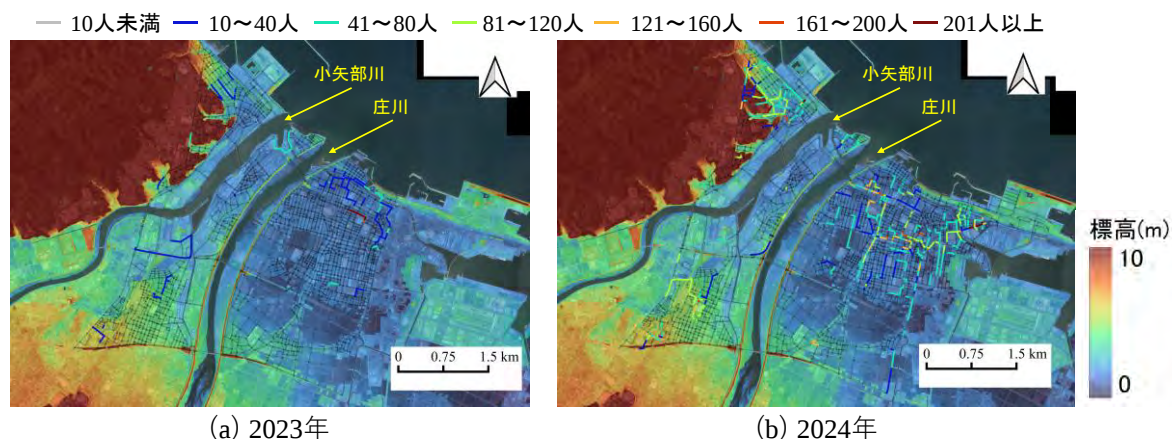


図 4-15 新湊地区～国道 8 号線の徒歩の人流データ

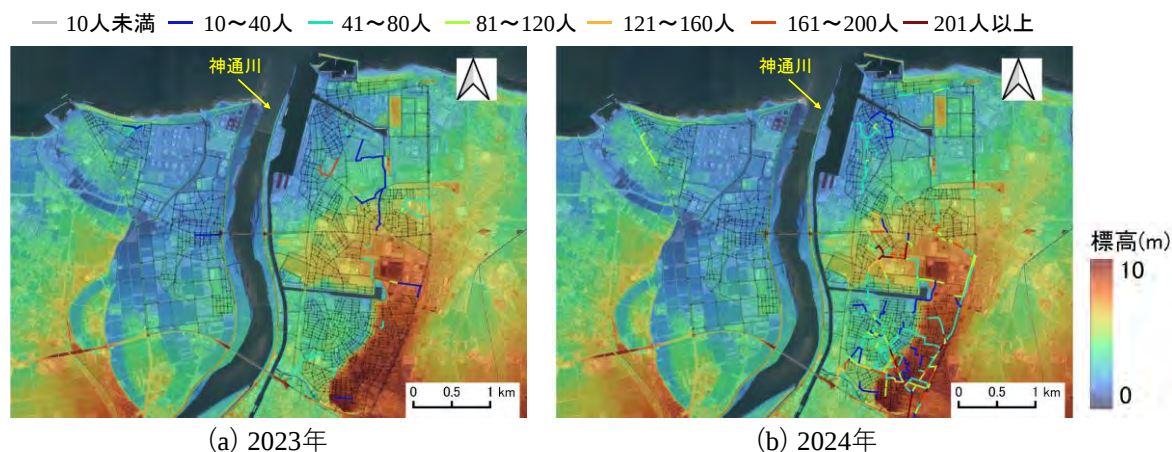


図 4-16 岩瀬地区～国道 8 号線の徒歩の人流データ

[新湊・放生津地区の徒歩避難者]

図 4-17 に 2024 年地震後の徒歩移動者について、新湊・放生津地区の範囲を拡大したものを示す。図より、本地区では一次避難所（図の赤丸）に向かって徒歩移動者が活発に動いていることが分かる。色のついていない道路も多数あるが、これは一時間での移動者が 10 人未満の道路を示している。また、徒歩移動者の数を確認すると多い場所では 200 人近くの移動者が見られる。色のついている道路の距離は比較的短く、これらの人々は短時間で避難が完了したのではないかと推察される。特に徒歩の人流が活発な場所に着目すると、放生津八幡宮から新湊中学校周辺が挙げられる。これは、今回の地震が正月に発生したため初詣の人々も含まれていたためであると考えられる。つまり、地元住民以外の土地勘のない人々も多かったと推察される。この他、避難場所として使われた新湊中学校は近くに内川が流れており、津波高さによっては迅速な徒歩避難が求められた可能性もある。



図 4-17 新湊・放生津地区の徒歩データの拡大図

[岩瀬地区の徒歩避難者]

図 4-18 に岩瀬地区の範囲を拡大したものを示す。図より、新湊・放生津地区よりも徒歩避難者の人数が少ないことが分かる。また、指定避難所（赤丸）の近辺も人流が活発でないことから、徒歩で岩瀬地区の避難所に移動した人は少ないと考えられる。これは、人口の違いによるものであると考えられるが、自動車での避難を選択した人が多かった可能性も推察される。

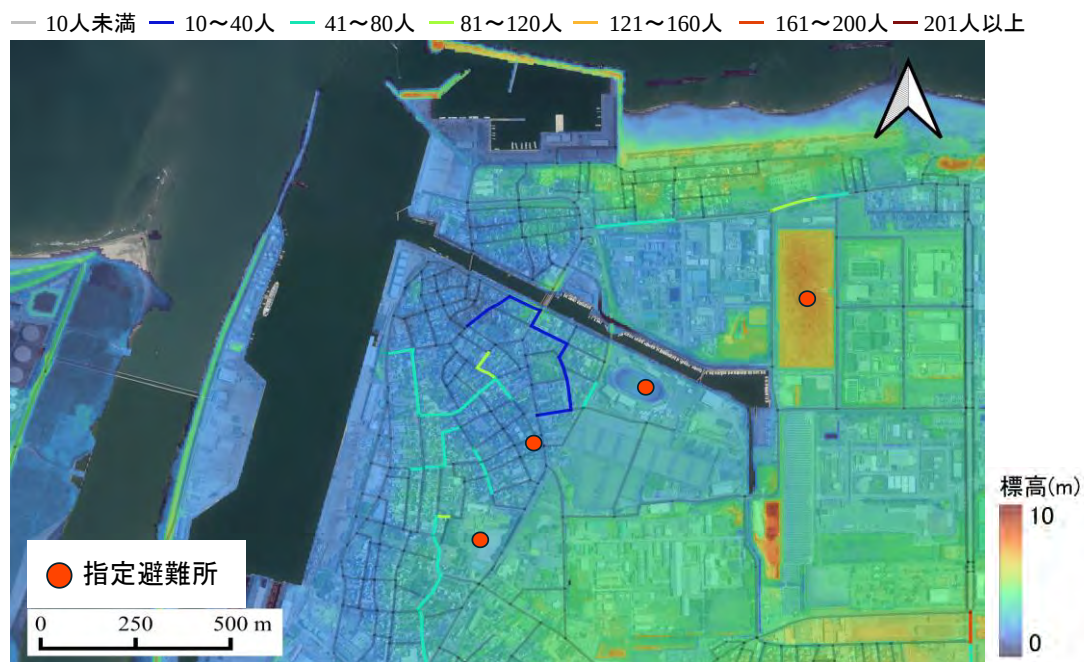


図 4-18 岩瀬地区の徒歩データの拡大図

4.5.5 自動車避難者についての整理と考察

図 4-19 と図 4-20 に，調査範囲全体における 2023 年および 2024 年 1 月 1 日の 16～17 時の自動車の人流データを示す．図より，2024 年は 2023 年に比べて自動車の人流が活発であることが分かる．地震直後の自動車移動数に着目すると，南北貫通道路での渋滞が顕著であり，低標高地域に向かって移動する車が多いことが分かる．

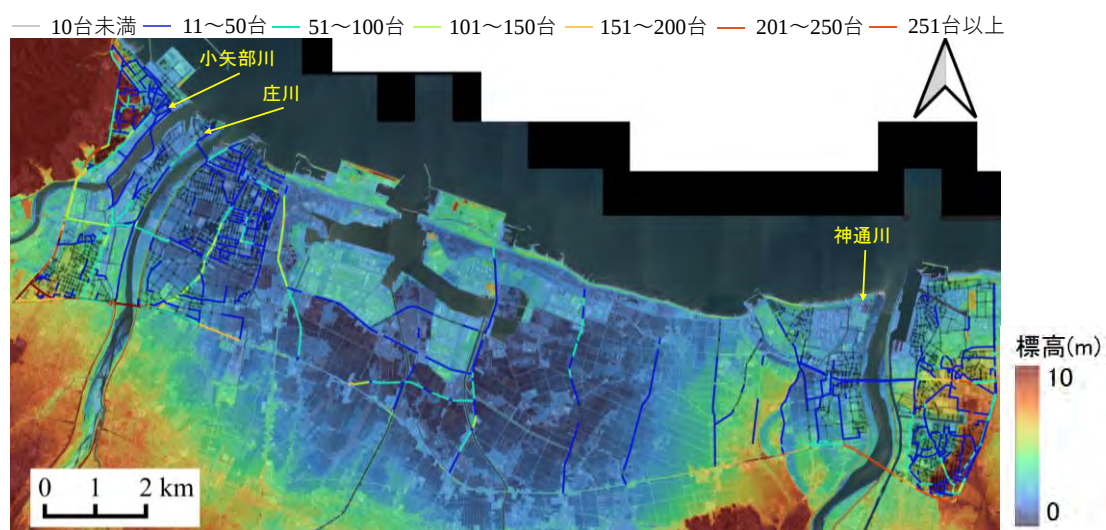


図 4-19 自動車移動の人流データ（2023 年 1 月 1 日 16 時～17 時）

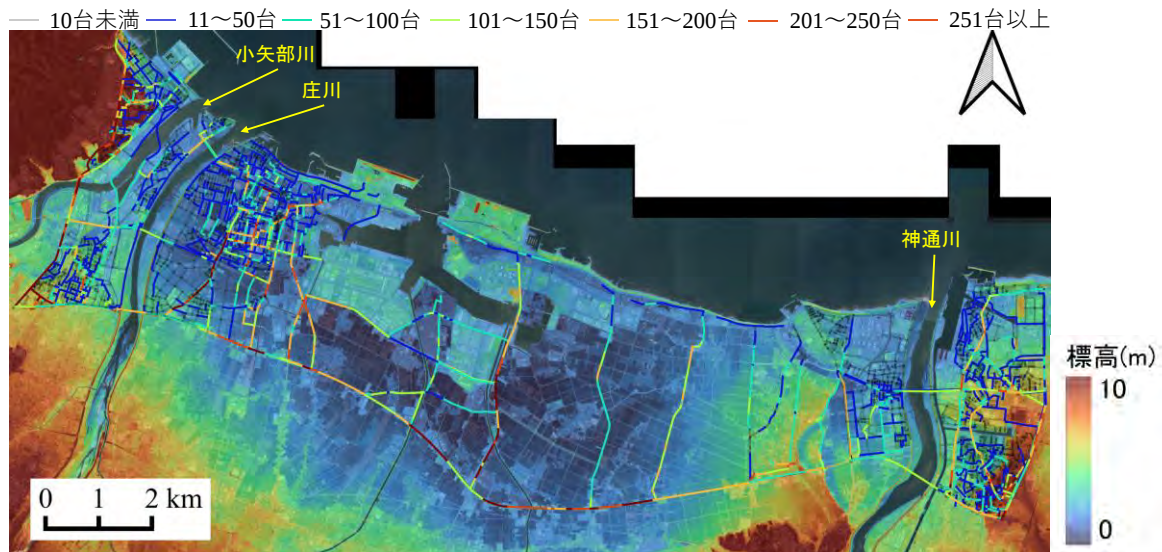


図 5-20 自動車移動の人流データ（2024 年 1 月 1 日 16 時～17 時）

〔新湊・放生津地区の自動車避難者〕

図 4-21 に 2024 年の新湊・放生津地区～国道 8 号線の自動車データの拡大図を示す。図より、1 時間あたりの自動車通過台数が 200 台を超える道路が複数確認され、これはヒアリング調査においても渋滞が発生していたと報告された道路と一致する。渋滞していた道路の大半は南北方向の幹線道路であり、これに対して東西方向の道路では渋滞がほとんど認められなかった。このことから、自動車避難者の大半が標高の低くなる南方向へ移動していたことが推察され、その結果、渋滞によって移動が妨げられ、津波到達までの 10～20 分間で避難完了できなかった可能性が高いと考えられる。

また、放生津八幡宮付近の状況を確認すると、富山新港と内川の接続部近くに位置する二の丸橋において、自動車の集中による顕著な渋滞が発生していたことが分かる。これは、同地域において徒歩避難だけでなく、自動車での避難を選択した人が相当数存在していたことを示している。なお、二の丸橋における渋滞の継続時間は明らかでないが、仮に当日よりも大きい河川津波（富山県における想定最大規模など）が発生した場合には、溢水に巻き込まれた危険性が懸念される。以上の点から、射水市沿岸域における避難戦略としては、沿岸域の標高の高い地点を活かした垂直避難が第一の選択肢になると考えられる。ただし、本地域は高齢者の多い地域であり（後述）、車での移動が必要な場合も想定される。そのため、頑丈でかつ容易にアクセス可能な建築物等を事前に選定し、そこまでのルートにおける渋滞発生をいかに回避するかについて、地域住民同士の情報共有に加えて、観光客など地域外の人々に対しても視認性の高い方法による避難情報の広報が求められる。

[岩瀬地区の自動車避難者]

図 4-22 に岩瀬地区の範囲を拡大したものを示す。図より、岩瀬地区の新湊・放生津地区と同様に南北方向に一時間通過自動車数が増加する傾向が見られるが、200 台以上通過するような道路は一本の道路に集中していることが分かる。このことから、近場に標高が高い場所があるので、徒歩避難の有効性、あるいは車でも事前にルートを設定して渋滞を回避することが可能ではないかと考えられる。

— 10台未満 — 11～50台 — 51～100台 — 101～150台 — 151～200台 — 201～250台 — 251台以上

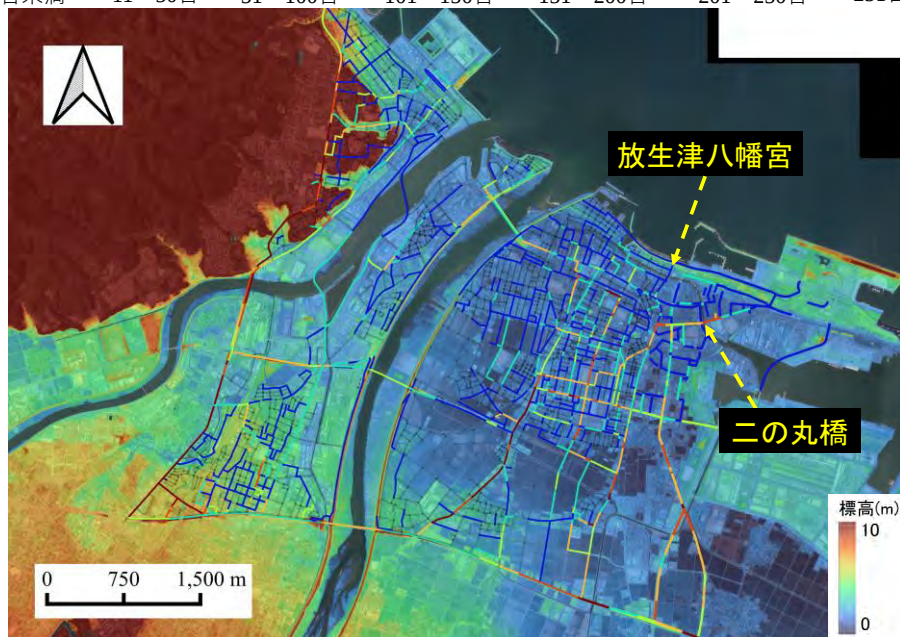


図 4-21 2024 年の新湊・放生津地区～国道 8 号線の自動車の人流データ



図 4-22 岩瀬地区の自動車データの拡大図

4.6 新湊・放生津地区における人口動態把握と地震直後の行動

上述の現地データの整理では、当日の渋滞状況が分かった反面、細かな住民避難行動の特性を把握が難しいなどの課題があった。そこで、ここでは避難行動特性の把握を目的とし、新湊・放生津地区での住民年齢構成の整理とアンケート調査を実施した。アンケートは、図 4-23 に示す A, B, C の範囲別に整理した。A は沿岸部と面している地域、B は A 地区よりも直近で内陸側に位置している地域、C は B 地区よりも直近で内陸側に位置している地域である。

4.6.1 新湊・放生津地区における人口動態

新湊・放生津地区の人口動態の把握を目的に、年代別人口を射水市オープンデータから取得した。図 4-24 に A, B, C 別の年代別人口を示す。図より、A～C で傾向の差はほぼなく、70 代の人数が最も多く、次いで、60 代、80 代と高齢者が多くを占めることが分かる。一方で、10 代から 30 代の若年層が高齢者と比較して少ないと分かる。



図 4-23 アンケートの実施範囲

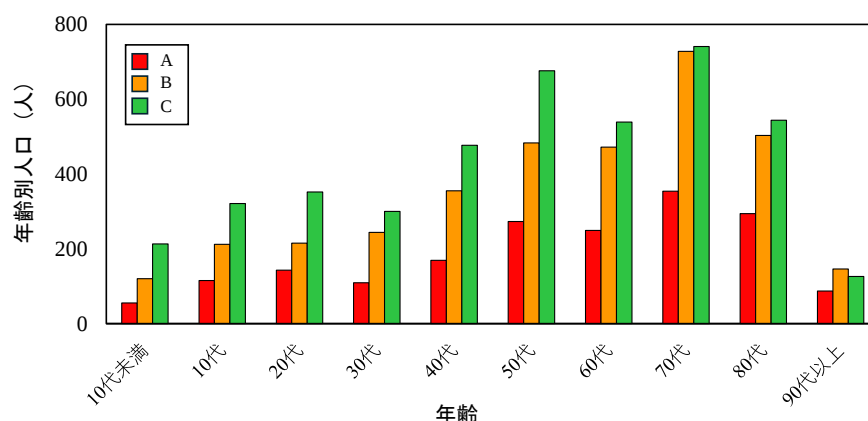


図 4-24 A, B, C 地域の年代別人口

4.6.2 既往報告（アンケート結果）の整理

令和6年能登半島地震のアンケート調査は、WEBから富山県全域¹¹⁾、射水市¹²⁾、氷見市を確認することができた。富山県全域を対象に実施した令和6年能登半島地震に係る県民アンケート調査報告書の避難時の移動手段の結果を図4-25に示す。図より自動車避難の人が77.9%で最も多く、徒歩で避難した人は19.7%となり、全体の約2割弱に留まった。一方で、射水市が市内全世帯を対象とした市民緊急アンケート（回答率13.7%）から、沿岸部西側（放生津・新湊・庄西）では自動車避難が36%、徒歩避難が62%であり富山県全域の避難手段割合と比較しても大きな違いが見られた。氷見市が市内の全世帯を対象に実施したアンケートでは、全体の75%が自動車避難、その一方で、徒歩は23%であった。氷見市は富山県全域と比較するとほぼ同じであることが分かる。

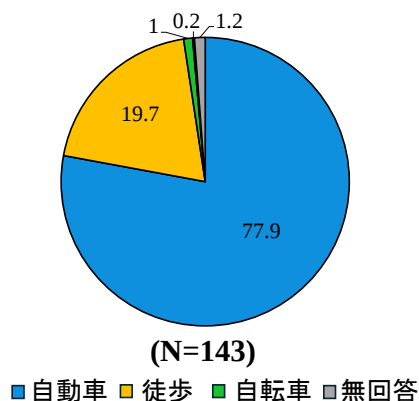


図4-25 富山県全域を対象に実施したアンケートの結果から作成
(避難時の移動手段について)

4.6.3 新湊・放生津地区における本調査でのアンケート調査

本検討においても、新湊・放生津地区に絞った住民の避難行動の把握を目的とし、上記の既往報告を参考としたアンケートを実施した。図4-26に実際に配布したアンケートを示す。アンケートは地区内の自治会へと依頼し、町内会ごとに配布いただくと共に、回収をいただいた。配布日は2024年9月10日、回収日は2024年9月26日である。新湊地区の町内会は15箇所、放生津地区の町内会は21箇所であり、配布数は各々2303世帯分、放生津地区では1339世帯分である。

アンケート調査の結果の回収率を表4-1および表4-2に示す。灰色で示した町内は、回収率が25%以下と低かった地域であり、この後の集計から除外した。各地区の平均集計率は、新湊地区で39.4%、放生津地区で30.9%であった。回収率は配布数に比例して低下すると想定されたが、実際はそのような傾向はなく、町内ごとのばらつきが大きい結果であった。図4-27に、アンケート回答者の世帯数の割合をA,B,C範囲ごとに示す。

能登半島地震時の避難に関するアンケートのお願い：富山県立大学工学部環境・社会基盤工学科において能登半島地震の際の避難ルートを検討と将来的な避難場所の検討のためのデータ収集を行っています。このデータは、今後の沿岸域における防災計画や避難場所の改善への研究に用いる予定です。お手数ですが、以下のアンケートにご協力をお願いします。

1. あなたの世帯数を教えてください。

☐1 世帯独身 ☐1 世帯夫婦 ☐1 世帯夫婦と子供 ☐2 世帯 ☐3 世帯

2. 家族それぞれの年齢を教えてください(複数回答可)。

☐小学生以下 ☐中・高生 ☐18-29 歳 ☐30-39 歳 ☐40-49 歳 ☐50-59 歳 ☐60-69 歳 ☐70-79 歳 ☐80 歳以上

3. 地震発生時はどこにいましたか。自宅以外の方は以下の欄に場所をお願いします。

☐自宅 ☐自宅以外(場所: _____)

4. 地震発生時の避難場所を教えてください。自宅以外の方は以下の欄に場所をお願いします。

☐自宅(2 階) ☐自宅以外(場所: _____)

5. 避難所までのおおよその距離を教えてください。

☐0m(自宅) ☐500m 未満 ☐500m~1km 以内 ☐1~2km ☐2km 以上

6. 津波到達予報時刻(午後 4 時 20 分ごろ)までに避難完了しましたか。

☐はい ☐いいえ

7. 避難所までの移動手段を教えてください。

☐自動車(乗車人数: _____ 名) ☐自転車 ☐徒歩 ☐その他(_____)

8. 避難場所を地震前から知っていましたか。

☐はい ☐いいえ

自動車で避難された方のみ

9. 自動車で避難された理由は何ですか?

☐幼児が一緒のため ☐高齢者が一緒のため ☐自動車以外考えられない ☐その他(_____)

10. 車での避難の際、渋滞に巻き込まれましたか。

☐はい ☐いいえ

11. 10 で「はい」と回答された方は渋滞の回避のために道路選択などされましたか?()内に方法を教えてください。

☐いいえ、回避不可のため渋滞道路を走行した ☐はい(具体的に: _____)

12. 避難の際に、庄川の堤防道路(空いていた)を避難経路にしようと思う考えはありましたか。理由をお願いします。

☐はい ☐いいえ

理由:

13. 10 で「はい」と回答された方は具体的にどの道路で渋滞が発生していましたか? **裏面の地図から渋滞が発生していた道路を記入してください。**もしくは、以下の欄に道路名を記入してください。(例: 国道○号など)

14. 今後、地震などの災害が発生したとき、避難場所やルートへの要望はありますか。

15. その他、避難や今後のことなどで気づいたことがあれば教えてください。

図 4-26 実際に配布したアンケート

表 4-1 新湊地区の町内ごとの配布数と回収率

新湊地区								
A			B			C		
町内	配布数	回収率	町内	配布数	回収率	町内	配布数	回収率
古新町東部	52	50	新富町	212	61	三日曾根	175	43
古新町西部	88	31	西新町	62	61	善光寺	575	36
庄東区	169	71	東新町	64	73	桜町	97	61
奈呉町	75	23	四日曾根	115	26	緑町	130	75
古新町中部	76	13	南長徳寺	300	0			
北長徳寺	113	25						

：回収率25 %以下（除外）

表 4-2 放生津地区の回収率

放生津地区								
A			B			C		
町内	配布数	回収率	町内	配布数	回収率	町内	配布数	回収率
天神町	16	50	越の湯町	47	38	神保寺	102	41
東町西部	30	60	獅子絵田	87	44	荒屋東部	80	68
倉屋敷長	20	45	菊屋町	10	60	荒屋本町	75	27
四十物町	33	52	立町	55	5.5	二の丸町	166	27
山王町	33	67	西立町	27	0	二の丸本町	50	76
放生津中町	65	39	南立町	52	25	江柱町自治会	193	6.7
紺屋町	20	45	法土寺町	38	24			
東町東部	140	0						

：回収率25 %以下（除外）

図より世帯割合を比較すると、いずれの範囲も2世帯以上は少ない結果であった。また、1世帯独身と1世帯夫婦の割合が非常に高く、A範囲では56.2%、B範囲では51.8%、C範囲では50.1%といずれも50%を超える結果であった。とくに、1世帯独身についてはA範囲で約3割と高く、海岸から離れるにつれ2割程度まで低下している。図4-28に図4-27の1世帯独身・1世帯夫婦における年代別割合を示す。図より、A～Cのどの地区も5～6割が70代以上であり、高齢者のみで居住している場合が多いことが分かる。

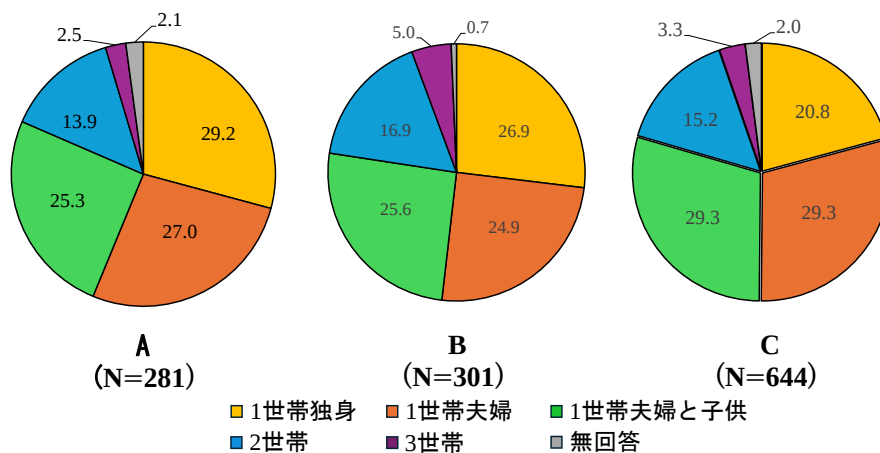


図 4-27 アンケート回答者の世帯の特徴(%)

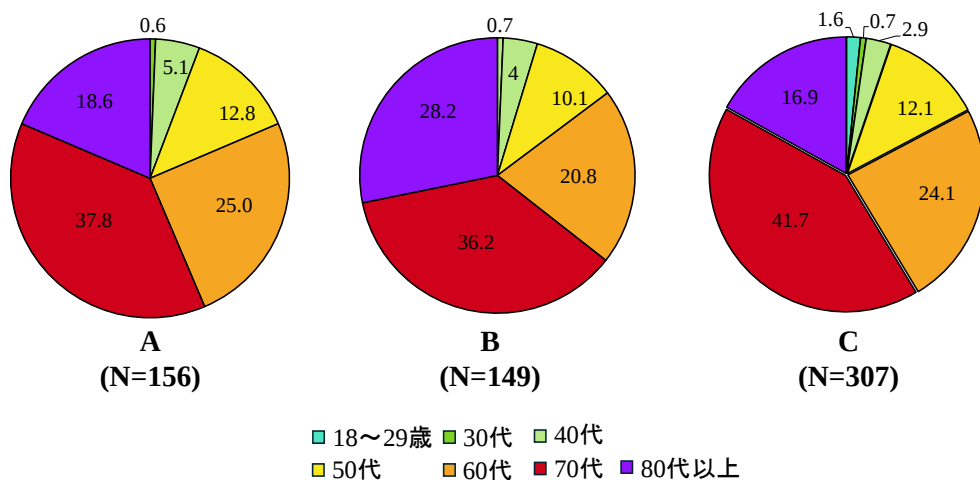


図 4-28 1 世帯独身・夫婦の年代別割合

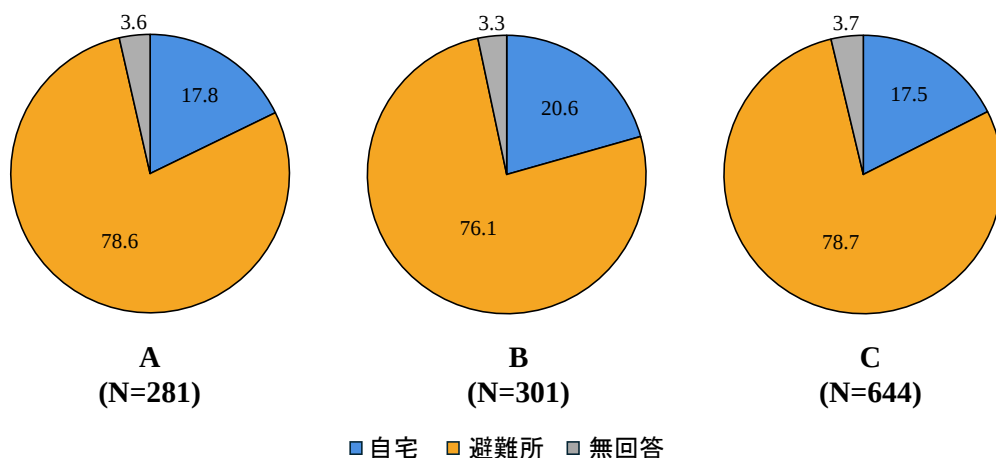


図 4-29 アンケート回答者の避難場所

次に、図 4-29 にアンケート回答者の避難場所を示す。図より、避難場所は A,B,C のどの地区でも 8 割弱ほどが自宅以外の避難所に避難しており調査範囲ごとに違いは見られなかった。図 4-30 に自宅で避難したと回答した人の世帯構成を示す。図より、図 4-27 の全体割合に比べて増加しているのは 1 世帯独身と分かる。また、1 世帯夫婦と子供の世帯は沿岸部側の A, B 地区ほど自宅外に避難する傾向があることが分かる。

次いで、図 4-31 に避難時の移動手段の割合について示す。図より、A,B,C 範囲で避難方法の違いが認められる。A 範囲と B 範囲では自動車を移動手段として選択した回答者が約 60 %を占めたが、C 範囲では 30 %程度にとどまっていた。C 地区では徒歩が約 60 %と最も高い割合を占めた。沿岸域も含め、車での避難行動が 6 割程度以下であることは、富山県や氷見市全域よりも低い値であり、この地域の自宅以外の避難行動をとった人々が比較的徒歩移動したことを示すものである。

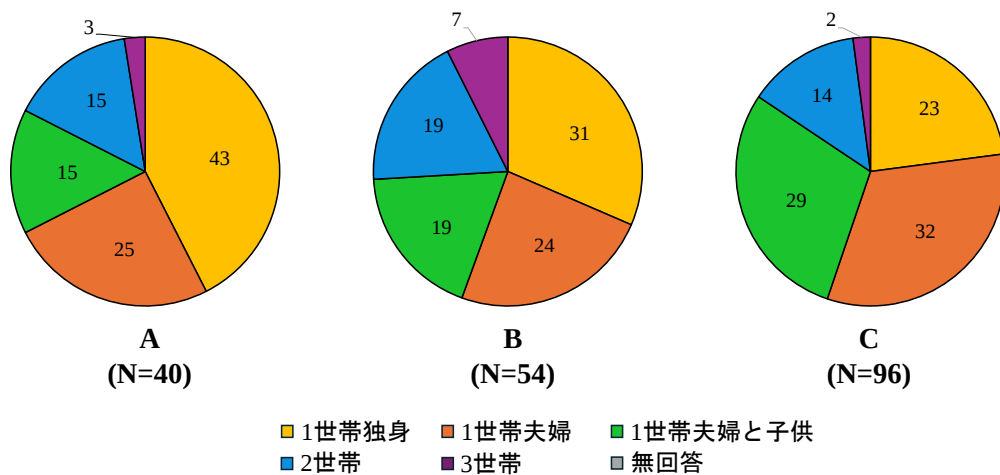


図 4-30 自宅を避難としたと回答した人の世帯構成

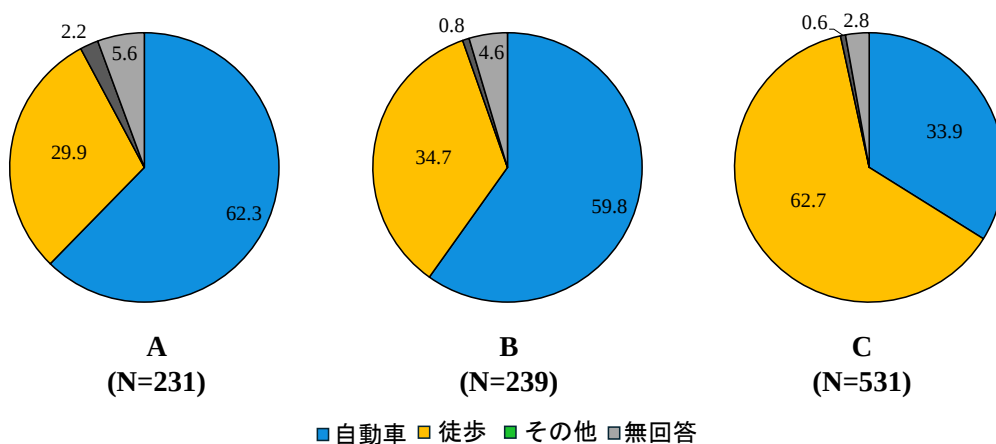


図 4-31 避難時の移動手段 (%)

図 4-32 に自動車避難の理由を示す。図より、A、C 範囲では、「自動車以外考えられない」、B 範囲では「高齢者が一緒だったため」と回答された割合が最も高かった。このことから、適切な避難方法を考える上で、高齢者をどのように迅速で適切な避難をするかを考慮する必要があることが分かる。また、自動車避難を選択した人が、実際に車を使用すべき距離であったのかを検討する必要があると考えられる。

そこで、図 4-33 より、自動車以外考えられないと回答した人々の避難所への移動距離別割合を示す。図より、どの地区でも 2 km 以上が半分程度の割合を占めた、一方で、走行距離が 1 km 以下の比較的短距離でも自動車を使用した人が沿岸域 A は 23 %, B, C 地区はそれぞれ 31 %, 36 %で、内陸部に向かうにつれて短距離を走行した割合が高いことが分かる。内陸部 (B, C) の住人で、かつ短距離で避難所に行くことが可能である地域は渋滞を発生させないためにも、高齢者や幼児などの理由がない限り徒歩を第一の避難手段とする方が、短時間での避難完了につながるものと考えられる。

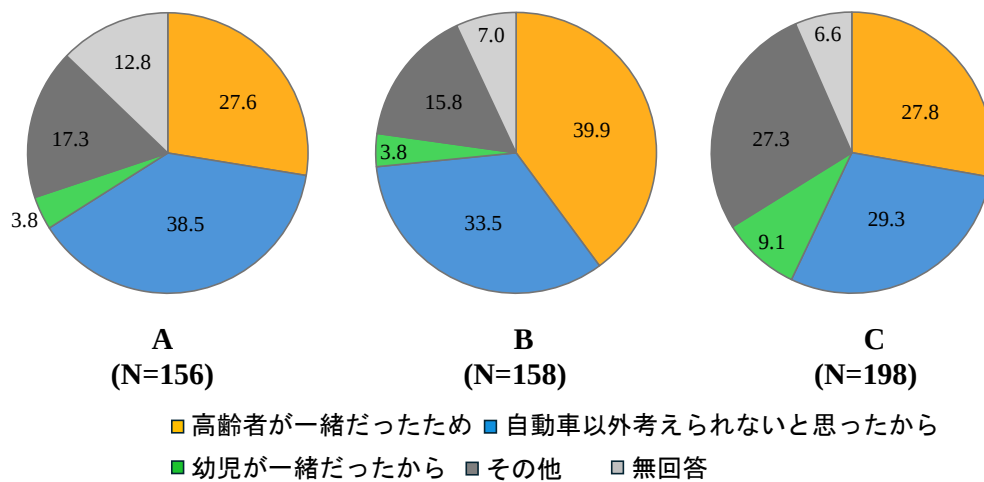


図 4-32 自動車で避難した理由 (%)

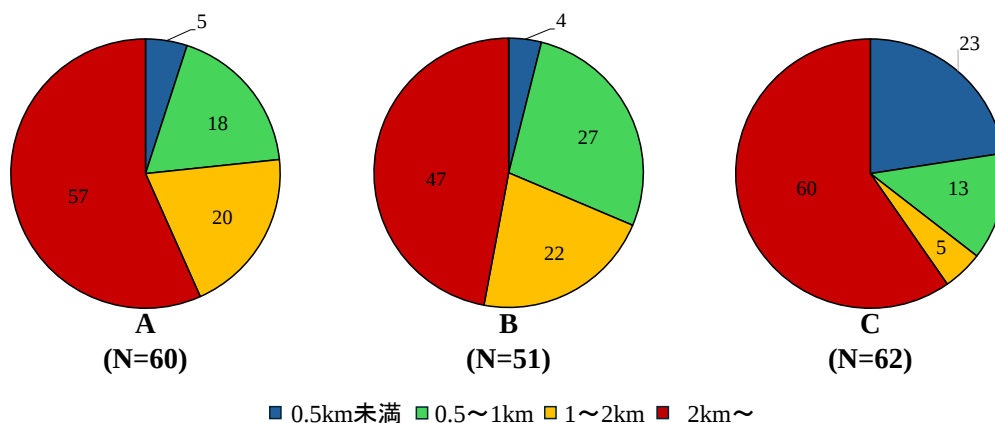


図 4-33 自動車以外考えられないと回答した人々の避難所への移動距離別割合 (%)

図 4-34 に、自動車避難の回答者のうち、避難時に渋滞に巻き込まれた割合を示す。どの地区でも 40 %以上が渋滞に巻き込まれている。特に、C 地区では 50 %以上で他の地区と比較してもやや高い割合である。これは、住宅が密集しており人口が多いことや、A、B 地区から自動車で避難した人が南下してきたことが原因であると考えられる。

図 4-35 に、渋滞確認後、回避行動を行い成功した回答者の割合を示す。図より、約 60～70 %の回答者が渋滞を回避できず、そのまま渋滞道路を走行するしかなかったことが分かる。一方で、沿岸域（A 範囲）の回答者は、渋滞回避行動の成功率が比較的高い。これは、沿岸部では内陸部よりも自動車による人流が活発でない（図 4-21 参照）ことから、海側に近い住民ほど道路を選択するという回避行動をとれた可能性が考えられる。

図 4-36 に、渋滞回避の選択肢として、庄川の河川堤防を利用した回答者の割合を示す。図より、どの地区でも堤防を避難経路として使用した人は 5 %程度と非常に少ないことが分かる。これより、大多数の自動車避難者は水辺である庄川側（直近の標高が高い場所の一つ

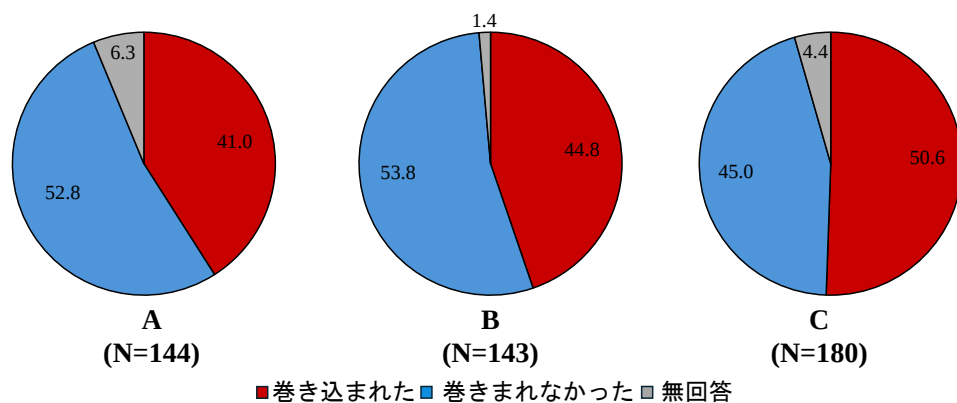


図 4-34 自動車避難の回答者のうち、避難時に渋滞に巻き込まれた割合 (%)

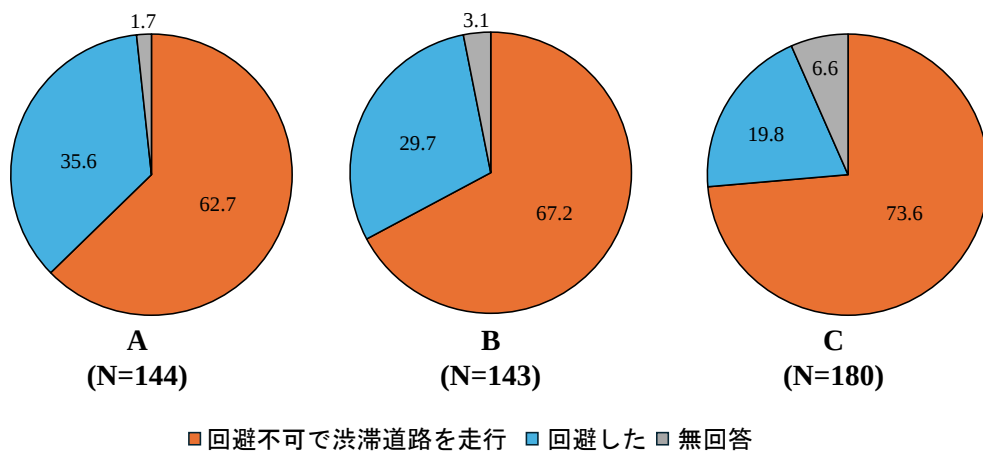


図 4-35 渋滞確認後、回避行動を行い成功した回答者の割合 (%)

である) は利用せず、南北幹線道路を利用して近くの避難場所へ移動、あるいは自動車移動の 4 割程度 (図 4-33 で 2km 以上移動と回答) は更なる内陸方向に向かって渋滞の中を進んだものと推察される。

4.7 結論

本研究では、令和 6 年能登半島地震における富山県沿岸域での避難状況の把握を目的とし、地形的特徴、河川水位、当日の人流データを整理すると共に、新湊・放生津地区を対象としたアンケート調査から地域住民の行動の特徴を把握した。結果を以下に示す。

- (1) 新湊・放生津地区は、標高 1~2 m の低平地が海岸から約 4 km 内陸まで連続する特異な地形であり、海岸沿いは標高 3~4 m と相対的に高いものの、200 m ほど内陸に入ると急激に標高が低下する。このような地形では、地震発生から 10 分程度で第一波が到達

する津波に対し、水平避難では避難完了が困難となる可能性があり、垂直避難あるいは近隣の堅牢な構造物への迅速な徒歩避難が重要となると考えられる。

- (2) 津波の河川遡上により、新湊・放生津地区を流れる東内川では第二波による溢水が発生した。この他、富岩運河や下条川でも溢水しないものの津波遡上が確認された。特に内川のような港湾・運河と接続する小規模水域では、海岸よりも内陸側で被害が顕在化する可能性があるため、沿岸部のみに注目した避難戦略では不十分な可能性がある。
- (3) 人流データからは、内川にかかる二の丸橋などの橋梁部で自動車の集中と顕著な渋滞が確認された。これらの渋滞は、避難経路の偏在や橋のボトルネック構造に起因する可能性があり、車両避難における経路選定や分散誘導の必要性が示唆される。
- (4) 本地域は高齢者人口の割合が高く、自力避難が困難な世帯も多く、自宅での垂直避難世帯の割合も高かった。その一方で、徒歩避難や子供世帯等と一緒に自動車避難を実施した住民も一定数存在した。また、避難者には地元住民に加え、正月の参拝者など土地勘のない人々も含まれていたことから、避難誘導の困難さが推察される。一方で、人流データより、徒歩避難者は比較的短距離で一次避難所へ移動できた状況も確認されており、渋滞を伴わない円滑な避難が可能であったケースも存在する。
- (5) 地震直後は、南北方向の幹線道路に自動車が集中し、特に標高の低い地域での渋滞が顕著であった。このような地域特性をふまえ、新湊・放生津のような低平地が広がる地区では、地域内に堅牢かつアクセス性の高い避難先を事前に確保し、徒歩避難を基本とした体制の整備が必要ではないかと考えられる。加えて、地域住民間の情報共有のみならず、観光客など地域外の避難者にも分かりやすい誘導表示や案内の整備が必要と考えられる。
- (6) 津波高に応じた内川での氾濫状況の変化については、現在、数値計算を用いた検討を実施中である。

謝辞

本研究にあたり、公益財団法人河川財団ならびに一般社団法人北陸地域づくり協会より助成を受けた。また、国土交通省 富山河川国道事務所および富山県には、データの提供をはじめとする多大なるご協力を頂いた。さらに、新湊・放生津地区の住民の皆様にはアンケート調査へのご協力を賜った。ここに記して、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 大野沙知子・高木朗義：新聞記事を用いた東日本大震災における津波避難行動に関する考察，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.69，No.5（土木計画学研究・論文集第30巻），pp.I_75-I_79，2013。
- 2) 国土交通省都市局街路交通施設課・都市計画課：東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果（速報）～，2011.11.26，<https://www.mlit.go.jp/common/000186474.pdf>（2024.11.13閲覧）。

- 3) 柳原純夫・村上ひとみ：東日本大震災における石巻市内での避難行動－移動距離からの分析－，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.69，No.4，pp.I_1193-I_1202，2013.
- 4) Tanaka, H., Tinh, N.X., Hiep, N.T., Kayane, K., Roh, M., Umeda, M., Kawagoe, S. and Tsuchiya, M.: Intrusion distance and flow discharge in rivers during the 2011 Tohoku Tsunami, Journal of Marine Science and Engineering, Vol.8, Issue 11, 882, 2020.
- 5) 石橋淳一・牧瀬達夫・西條実加・阿部雄太・齊藤隆信：令和6年能登半島地震における津波避難の実態－住民調査による検討－，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.80，No.2，pp.689-694，2024.
- 6) Heidarzadeh, M. and Ishibe, T.: Field survey of tsunami runup and damage following the January 2024 Mw 7.5 Noto tsunamigenic earthquake, Marine Geology, Vol.464, 107310, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2024.107310>
- 7) 富山県：津波シミュレーション調査の結果の概要，2022.
<https://www.pref.toyama.jp/documents/22179/22179.pdf>（2025.3.31閲覧）.
- 8) 射水市：令和6年能登半島地震の被害箇所マップ，<https://www.city.imizu.toyama.jp/event-topics/svTopiDtl.aspx?servno=27842>（2024.1.20閲覧）.
- 9) 田中仁・Nguyen Xuan Tinh・盧敏・Nguyen Xuan Dao：2010年チリ地震津波の東北地方河川への遡上－河口地形と遡上特性の関連－，土木学会論文集B1（水工学），Vol.67，No.4，pp.I_1632-I_1637，2011.
- 10) 富山県：令和6年能登半島地震に係る県民アンケート調査報告書，
<https://www.pref.toyama.jp/1900/bousaianzen/bousai/20240902ankehoukoku.html>（2024.1.28閲覧）.
- 11) 射水市：射水市令和6年能登半島地震対応検証委員会，
<https://www.city.imizu.toyama.jp/appupload/EDIT/129/129337.pdf>（2024.1.28閲覧）.

第5章 水質データに基づく能登半島地震および能登半島豪雨による七尾湾カキ養殖環境への影響

石川工業高等専門学校 環境都市工学科 大橋 慶介

5.1 調査の背景と目的

漁業は奥能登地方における主要産業である。能登半島を取り巻く海岸および海底地形はそれぞれ特徴が異なり、その地域ごとに漁法が異なっている。砂泥が広がる加賀海域では、ズワイガニやアマエビ、カレイ類を対象とする底引き網漁業が盛んであり、能登半島西部～北部の能登外浦海域では、岩礁や離島が存在する複雑な海底地形であることから、底引き網漁業、刺網漁業、釣り漁業、定置網漁業、まき網漁業、海女漁など漁法も多様性に富んだものとなっている。また、能登半島東部から富山湾にかけての能登内浦海域では、ブリなどの回遊魚を対象とする定置網漁業や沖合イカ釣り漁業が盛んである。それに対して、図 5-1 に示すように七尾湾は能登半島と能登島に囲まれた波が穏やかな海域であり、能登半島の小河川からの豊富な栄養塩流入という地形的特徴を背景に日本海側最大の養殖カキ（マガキ）の産地になっている¹⁾。養殖カキは2～3年の収穫が一般的であるが、地域ブランド「能登かき」は、七尾湾の豊富なプランクトンを餌として1年から出荷が可能とされている²⁾。しかし、気候変動による海水温上昇、或いは、貧酸素による斃死等³⁾、カキ養殖は環境要因の影響を強く受けるため、平成10年に4000

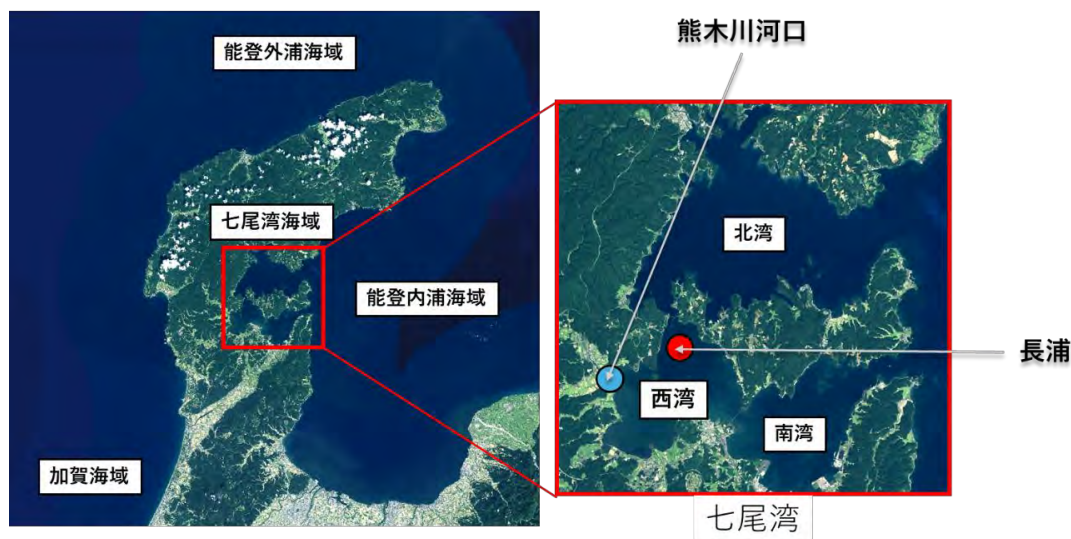


図 5-1 能登半島および七尾西湾（長浦）の位置

t 弱あった生産量が近年では、1000 t 前後に落ち込んでいる⁴⁾。

養殖は、延縄（はえなわ）や筏からロープを垂下し、そのロープに種ガキを付着させたホタテガイの貝殻を吊り下げする方法が用いられる。そのため、海域が静穏であることが良い漁場の条件となるが、令和 6 年能登半島地震での津波によって、カキ棚の破損、或いは流出の被害が発生している⁵⁾。津波被害の最も大きかった珠洲市では、その痕跡から約 4 m の浸水深が見積もられている。七尾湾においても、比較的小規模であるものの、1 月 1 日 16 時 37 分に第一波の+10 cm、同日 18 時 59 分に最大高さの波として+54 cm の津波が観測されている⁶⁾。第一波から 12 時間以上継続した潮位変動により筏やカキ棚が大きく押し流されたと考えられる。

このように、津波によって七尾湾のカキ養殖は直接的な被害を受ける一方、カキの生育は平年より良好だったとの報告もある⁷⁾。カキの生育は複雑な環境要因の影響が大きく、一概に評価することは難しいが、大規模地震と豪雨災害という発生頻度の低い事象が 2 つ重なった希な事例として、本調査では七尾湾のカキの養殖環境に与えた影響を知るために七尾西湾の水質を統計的に整理する。

5.2 七尾西湾と熊木川流域の概要

七尾西湾は、能登内浦海域に接続する七尾湾のうち最も奥の湾であり、七尾湾の流入河川のうち最も大きな熊木川の河口を有する。その概要を図 6-2 に示す。熊木川は、幹川延長 14.8 km、流域面積 68.5km² の二級河川で、河口部で最大支川である日用川と合

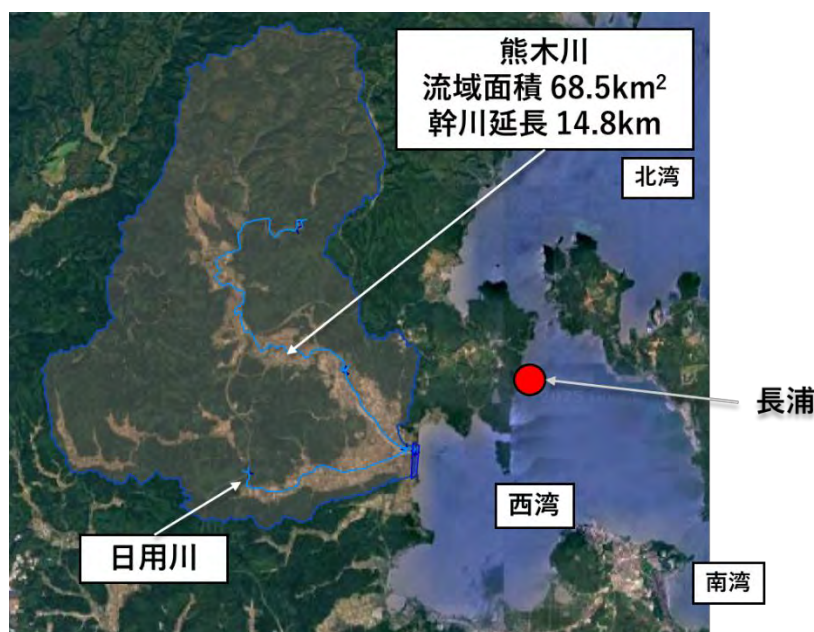


図 5-2 七尾西湾と熊木川流域の概要

流する。国土地理院の斜面崩壊・堆積分布図⁸⁾によると、熊木川上流部や、その支川の河内川で小規模な崩壊複数見られる。図 5-3 に示すように、2025 年 10 月 10 日の現地調査時点でも、熊木川右岸に小規模な斜面崩壊に伴う溪岸堆積物が確認され、上流の崩壊斜面起源と考えられる濁水流出も確認された。

2024 年の七尾観測所におけるアメダス時間降水量を図 5-4 に示す。降雨イベントとしての最大のものは、令和 6 年能登半島豪雨の 9 月 21 日から 22 日にかけてのものであるが、時間降雨の最大値としては 8 月 25 日に 46.5 mm/h が記録されている。能登半島



図 5-3 熊木川の溪岸堆積（2025 年 10 月 10 日撮影）

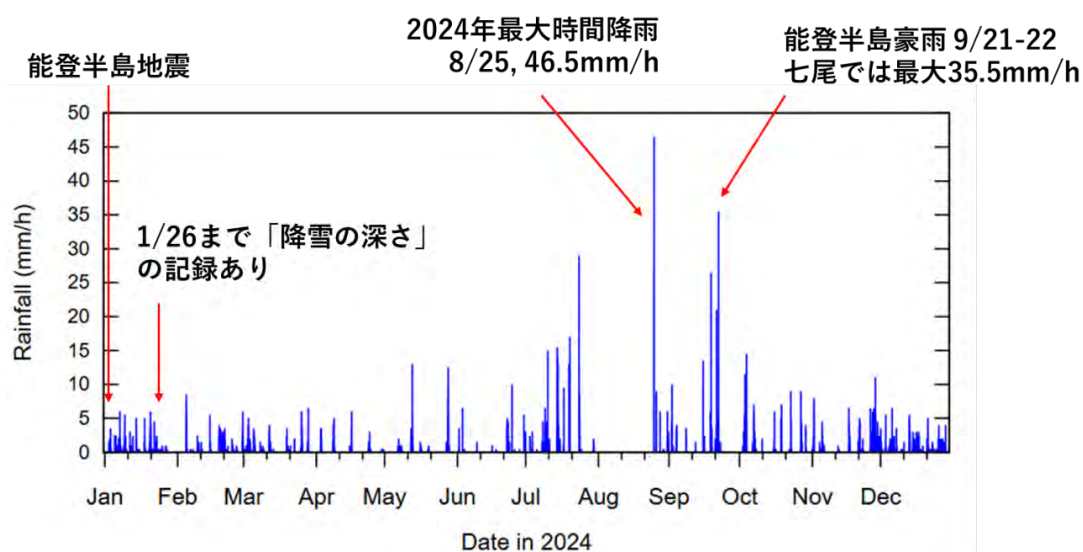


図 5-4 2024 年の七尾観測所におけるアメダス時間降水量

では、冬期に積雪があるため、正確な流出量を知ることは難しい。アメダスによると、1月26日まで積雪の深さが記録されているため、この前後で融雪による出水が生じていることが予想される。

5.3 能登半島地震前後の七尾西湾（長浦）の水質比較

七尾湾の水質データとして、石川県水産総合センター七尾湾水質観測情報を用いる。水質項目は温度、溶存酸素濃度、クロロフィルa濃度であり、観測地点は熊木川河口に近い長浦地点としている。2024年データの比較対象として、2019年から2023年の地震発生以前の5年間のデータを箱ひげ図で表している。箱ひげ図は、最大値、最小値、中央値、第一四分位、第三四分位、および、外れ値を示している。外れ値は第一および第三四分位を基準に四分位範囲の1.5倍を超える値としている。

5.3.1 海水温の鉛直分布

図5-5 (a), (b) に海水温の鉛直分布の比較（1月～12月）を示す。2024年4月の表層温度は平年値に対して約5℃高くなっている。これは、七尾観測所での平年4月の日最高気温が19.7℃に対して、2024年は28.2℃と極めて高温であり、この影響が表れているものと考えられる。10月の水深8～12mにおいて2～3℃高い値を示しているほかは、ほぼ平年付近の値に収まっている。

5.3.2 溶存酸素の鉛直分布

図5-6 (a), (b) に溶存酸素濃度の鉛直分布の比較（1月～12月）を示す。温度と比較すると溶存酸素濃度は、5年間の統計値のばらつきも大きく、外れ値の多さも目立つ。それを考慮に入れてデータ全体を見渡すと、10月の底層において平年6.0 mg/L前後を示すところ、2024年は3.0 mg/L前後とかなり小さい値を示しており、前月に発生した豪雨による影響が考えられる。このことを裏付けるには更なる検証が必要であるが、ひとつの解釈としては、豪雨により密度の小さい淡水が大量に流入することで密度躍層が形成され、海水の鉛直混合が弱まるなかで底層の有機物分解が進んだ結果、底層の酸素が大量に消費されて、いわゆる、貧酸素水塊が形成されたと考えられる。

5.3.3 クロロフィルaの鉛直分布

図5-7 (a), (b) にクロロフィルa濃度の鉛直分布の比較（1月～12月）を示す。豪雨後10月の表層において平年と比較して濃度上昇が見られる。これは河川流域から栄養塩が大量に供給され、太陽光が到達する表層において植物プランクトンの生育を促し

た可能性が考えられる。同様に表層での濃度上昇が見られる2月は、流域貯留されていた積雪が融雪で流出したものと考えられる。このことは、アメダスでの積雪記録が無くなった1月26日のタイミングとよく一致している。一方、底層で平年値との乖離が見られるのは1月～3月で、4月には平年値に収まっている。能登半島地震での津波の影響は七尾湾にも及んでおり、津波では表層と同程度の水の流れが底層でも発生するため、通常の波浪とは異なり海底にまでその影響が及ぶことから、この3カ月間の底層の濃度上昇は、津波による底質巻き上げの影響である可能性が考えられる。

謝辞：七尾湾水質観測情報は石川県総合水産センターの提供によるものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 石川県：いしかわの水産業振興ビジョン平成29年度（2017）～平成38年度（2026），
https://www.pref.ishikawa.lg.jp/suisanka/2017suisan_vision/documents/visionhonpentotal.pdf, p.2, 2017.
- 2) 石川県漁業協同組合 七尾西湾出張所：七尾西湾能登かき，http://www.ikgyoren.jf-net.ne.jp/seiwan_html/seiwan/index.html，（2025年3月31日閲覧）。
- 3) 松見正孝，吉田俊憲，吉田敏泰：七尾西湾養殖カキ大量へい死実態調査，昭和60年度石川県増殖試験場事業報告書，1987.
- 4) 石川県：いしかわの水産業振興ビジョン平成29年度（2017）～平成38年度（2026），
https://www.pref.ishikawa.lg.jp/suisanka/2017suisan_vision/documents/visionhonpentotal.pdf, p.4, 2017.
- 5) NHK：石川 七尾湾特産「能登かき」養殖業 2億円被害 廃業する業者も，
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240402/k10014410201000.html>，2024年4月2日配信（2025年3月31日閲覧）。
- 6) 気象庁，災害時地震・津波報告 令和6年能登半島地震，https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_2024/saigaiji_202403.pdf, p.8, 2024（2025年3月31日閲覧）。
- 7) FNNプライムオンライン（石川テレビ）：能登半島地震の影響でカキが成長?!濃厚なのに食べやすい“能登かき”生産者は「能登に足を運んでくださるネタに」，<https://www.fnn.jp/articles/itc/828514>，2025年2月14日配信（2025年3月31日閲覧）。
- 8) 国土地理院，令和6年(2024年)能登半島地震に関する情報 斜面崩壊・堆積分布データ及び斜面崩壊・堆積分布図，https://www1.gsi.go.jp/geowww/saigai/20240102noto/earthquake/hokai-zentaizu-0122_3-3_A0-40000.pdf（2025年3月31日閲覧）。

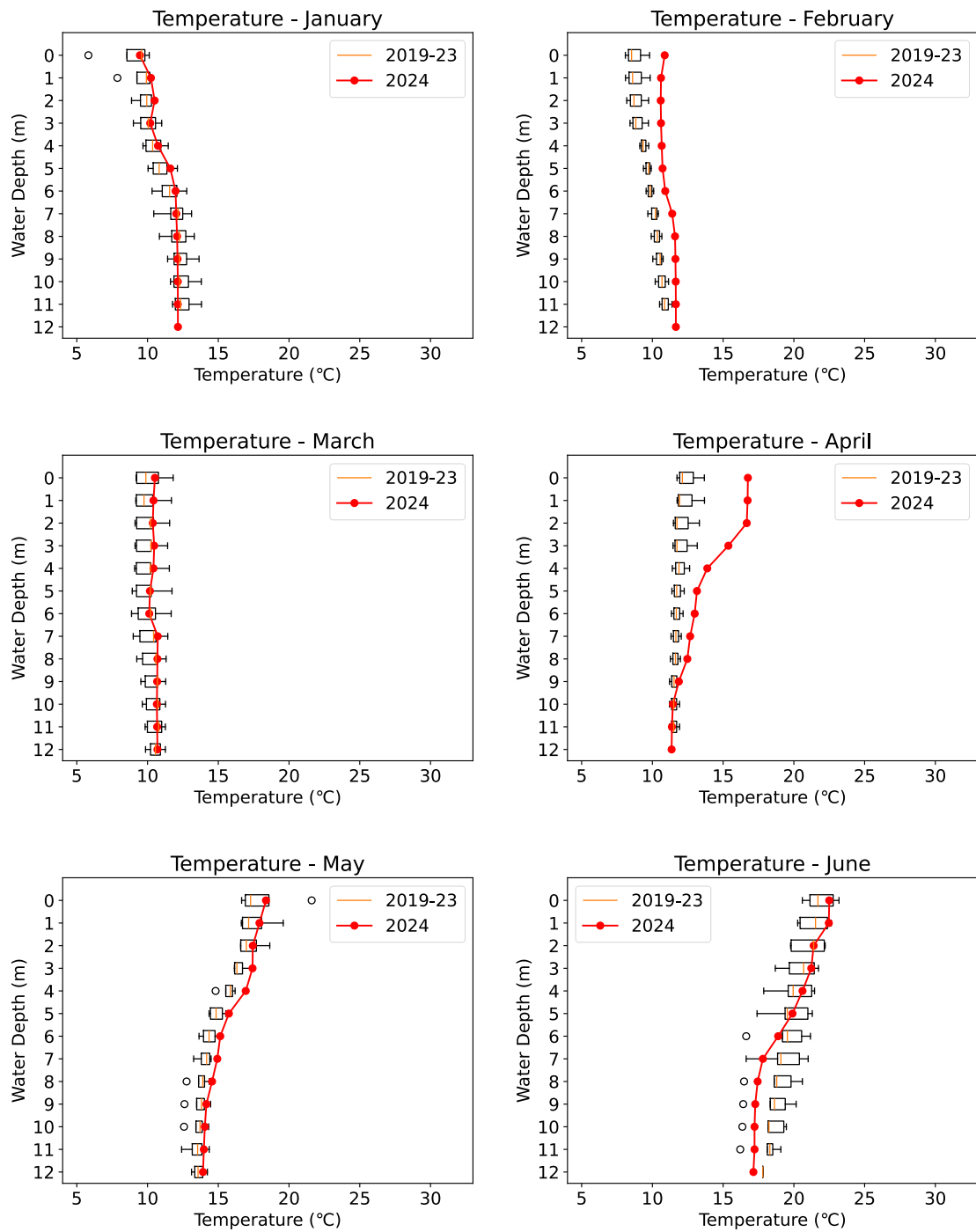


図 5-5 (a) 海水温の鉛直分布の比較 (1 月～6 月)

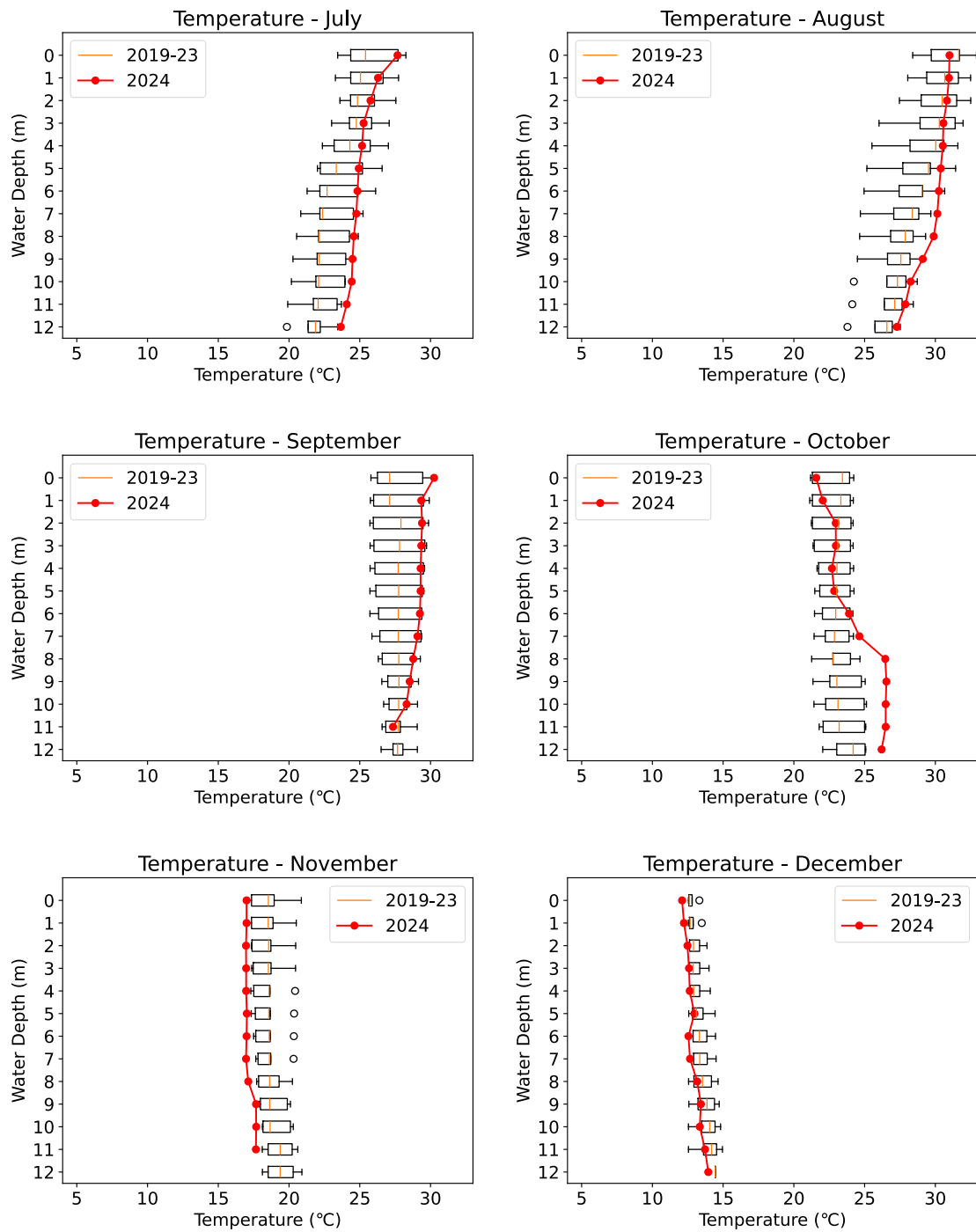


図 5-5 (b) 海水温の鉛直分布の比較 (7 月～12 月)

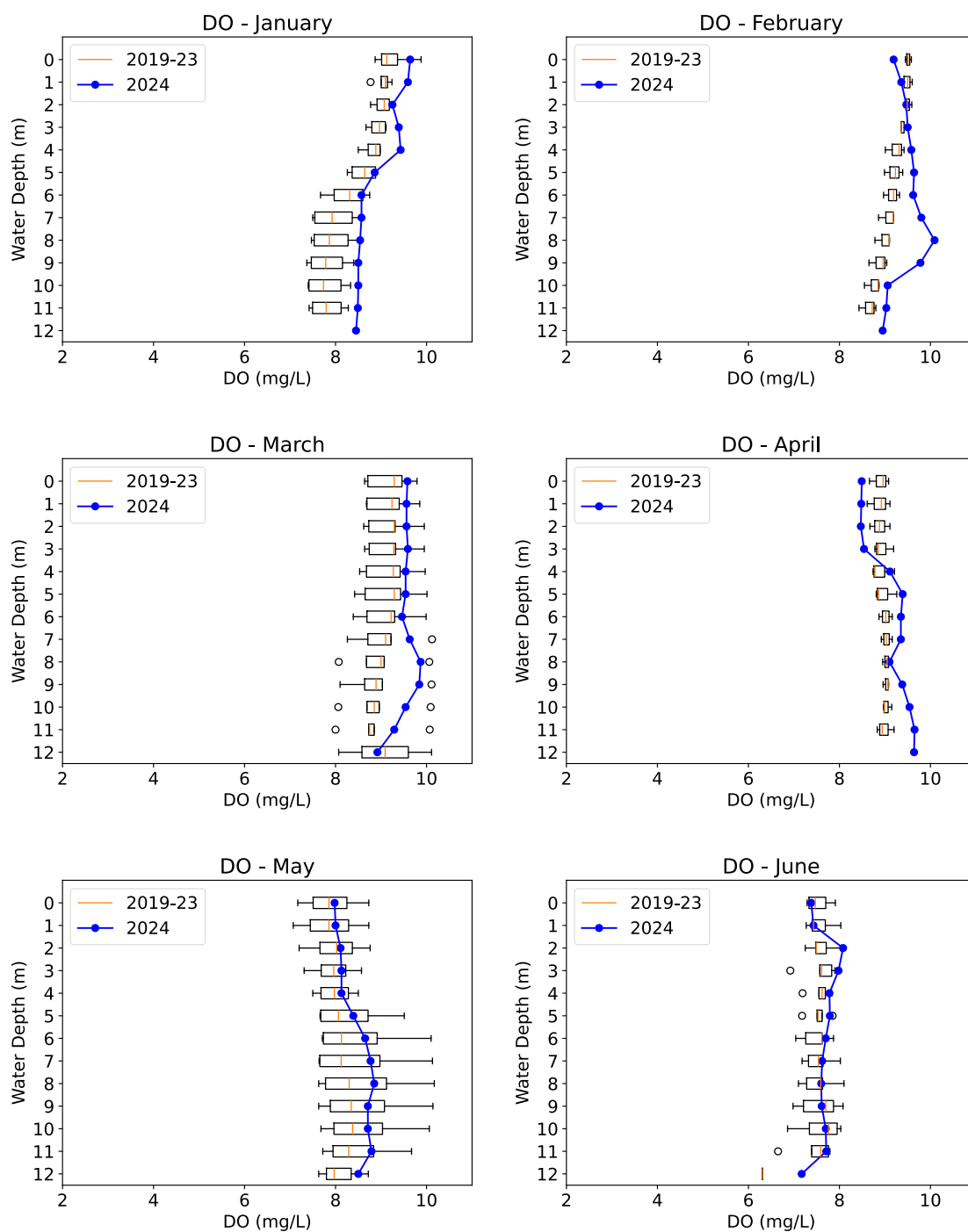


図 5-6 (a) 溶存酸素の鉛直分布の比較 (1 月～6 月)

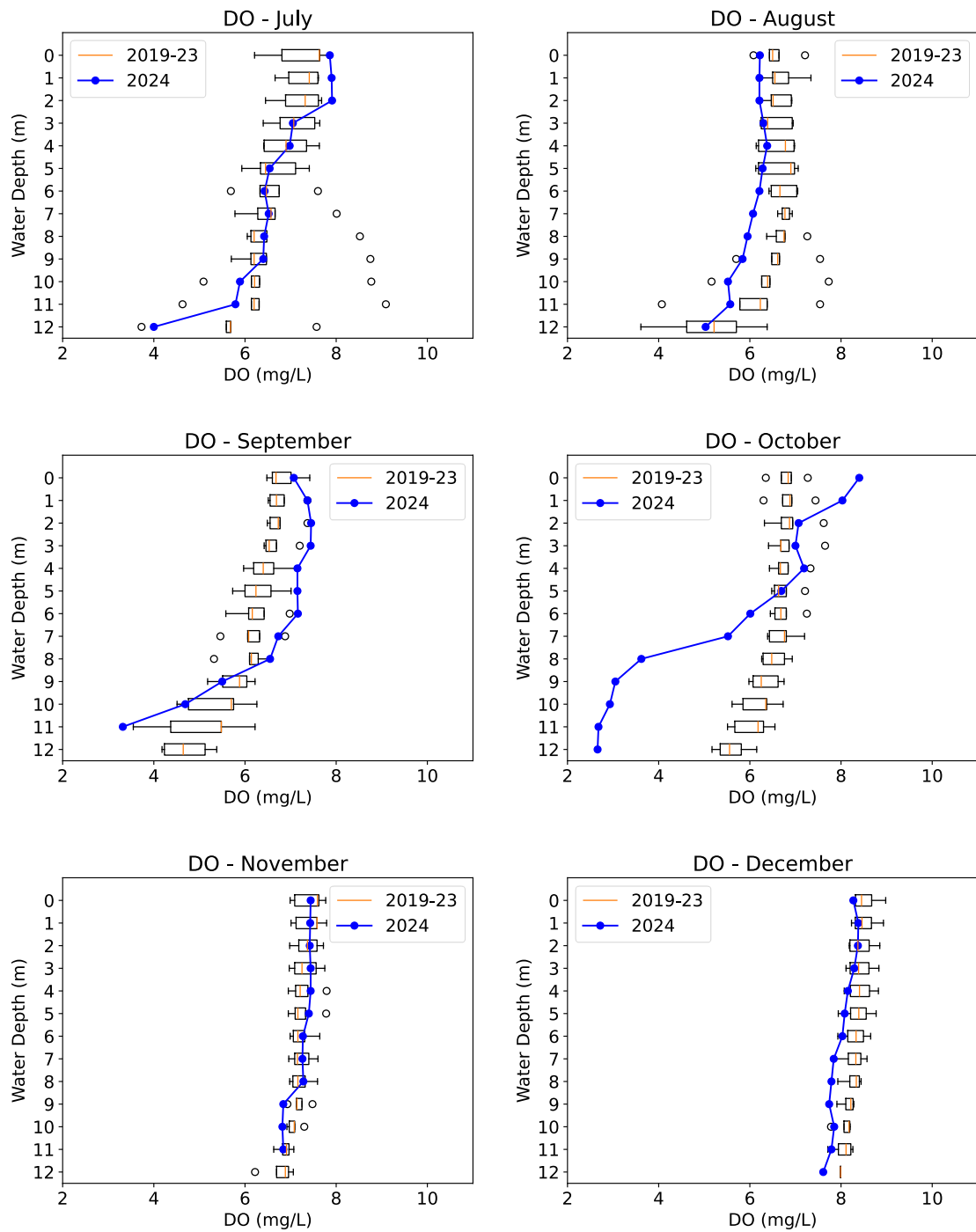


図 5-6 (b) 溶存酸素の鉛直分布の比較 (7 月～12 月)

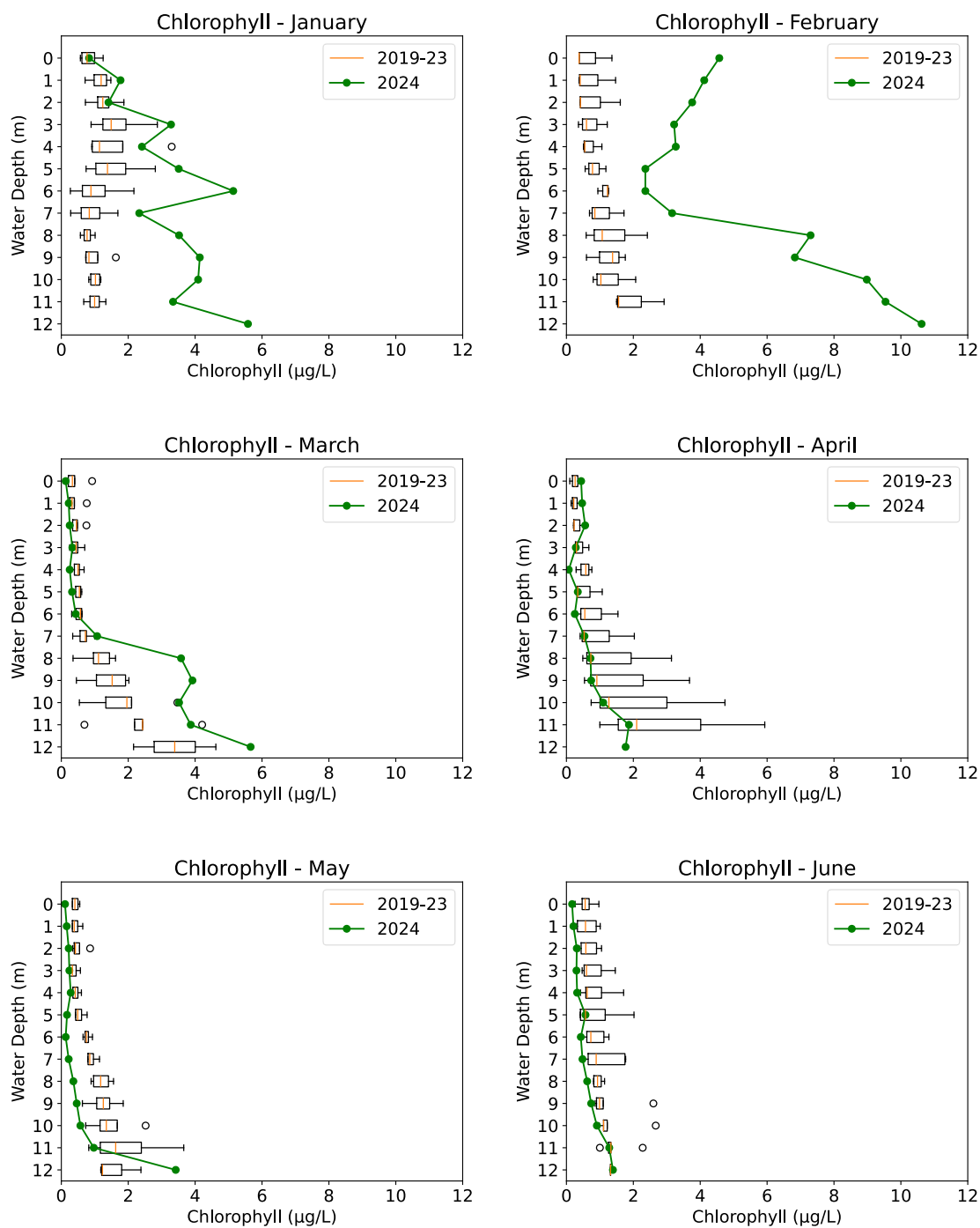


図 5-7 (a) クロロフィル a の鉛直分布の比較 (1 月～6 月)

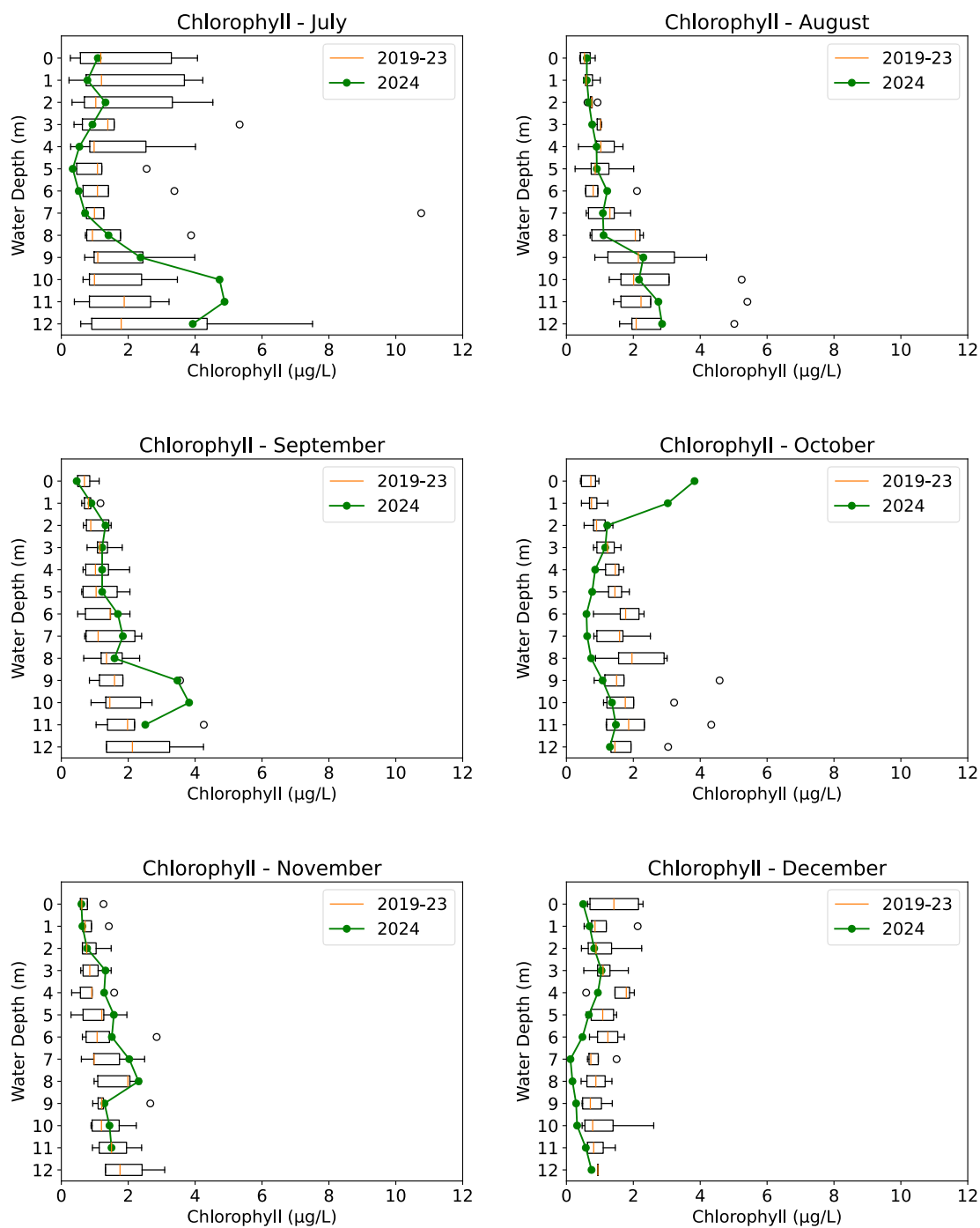


図 5-7 (b) クロロフィル a の鉛直分布の比較 (7 月～12 月)

第6章 能登半島地震における七尾市の水道復旧過程の規定要因

金沢大学 人間社会研究域 地域創造学系 坂本 貴啓
島根大学 学術研究院 環境システム科学系 佐藤 裕和

6.1 はじめに

2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震は能登地方を震源とし、マグニチュード7.6、最大震度7を観測した。これにより、人的被害（死者・行方不明者・負傷者）1,740名、住家被害（全半壊を含む）103,768棟¹⁾のほか、ライフラインとなる各種のインフラも被害を受けている。特に上水道に関するインフラは広範囲で被災し、その断水戸数は新潟・富山・石川・福井・長野・岐阜県において約136,440戸と報告されている¹⁾。

このうち、能登半島地域（石川県内）の断水は111,200戸で、断水戸数全体の約8割を占めている。被災自治体の中で最も断水戸数が多いのは七尾市の21,200戸で、ほぼ全ての施設が断水した¹⁾。七尾市内の上水道事業は手取川水系からの流域外導水（以下、県水）と七尾市内独自の水源（以下、自己水）に大別される。県水と自己水の混在が復旧時間の差につながったと考えられるが、その要因は明らかになっていない。

上水道の被害とその要因分析については、管体被害（管の破裂、折損、継手の抜け）と震度、地盤種別、地形、土の種類、水道管の布設延長等の関係性についての考察²⁾、東北地方太平洋沖地震の際の上水道管路被害データを用いた地震動強さと管路被害率の関係性の評価³⁾などの先行研究事例があるが、水源の違いによる要因の考察はなされてこなかった。

近年、水道事業は人口減少等に伴う水道需要の減少に伴い、自治体の水道事業経営の悪化しており、事業統合を図られてきた。水道広域化が推進され市町村内の身近な水道水源から、用水供給事業によるダム等に依存した水源へと比重が高まりつつある⁴⁾。しかし、地域内の水源の放棄・縮小を起こしている事例もあり、渇水時のリスクを指摘している。今回の地震災害の事例に照らしても、水源の違いによるリスクの差異を明らかにしておくことは防災機能の強化としても重要といえる。

そこで本研究では、発災後の七尾市全地区における水源別の被災過程を把握し、その後の復旧速度の差異を中心に分析するとともに、この規定要因について考察した。

6.2 研究方法

6.2.1 対象地域の概要

a) 上水道事業の概要

七尾市は給水区域内人口 50,613 人，給水件数 23,916 件で，七尾地区，田鶴浜地区，中島地区，能登島地区において上水道事業を行っている⁵⁾．全 246 区の行政区のうち県水が 102 区，自己水が 127 区，県水と自己水どちらも利用している行政区が 17 区と市内で水源が大きく異なることが特徴である．

七尾市の上水道事業の施設（浄水場）の一覧を図 6-1 に示した．七尾市には七尾地区 4 施設，田鶴浜地区 1 施設，中島地区 2 施設，能登島地区 4 地区と 11 施設の浄水場を有し，各水源から配水がなされている．大半の施設は自己水（地下水）であるが，河内浄水場は自己水（河川水），岩屋浄水場，須曽浄水場においては流域外から県水を受水している．自己水は全体の配水量からするとわずか 1%に満たない．

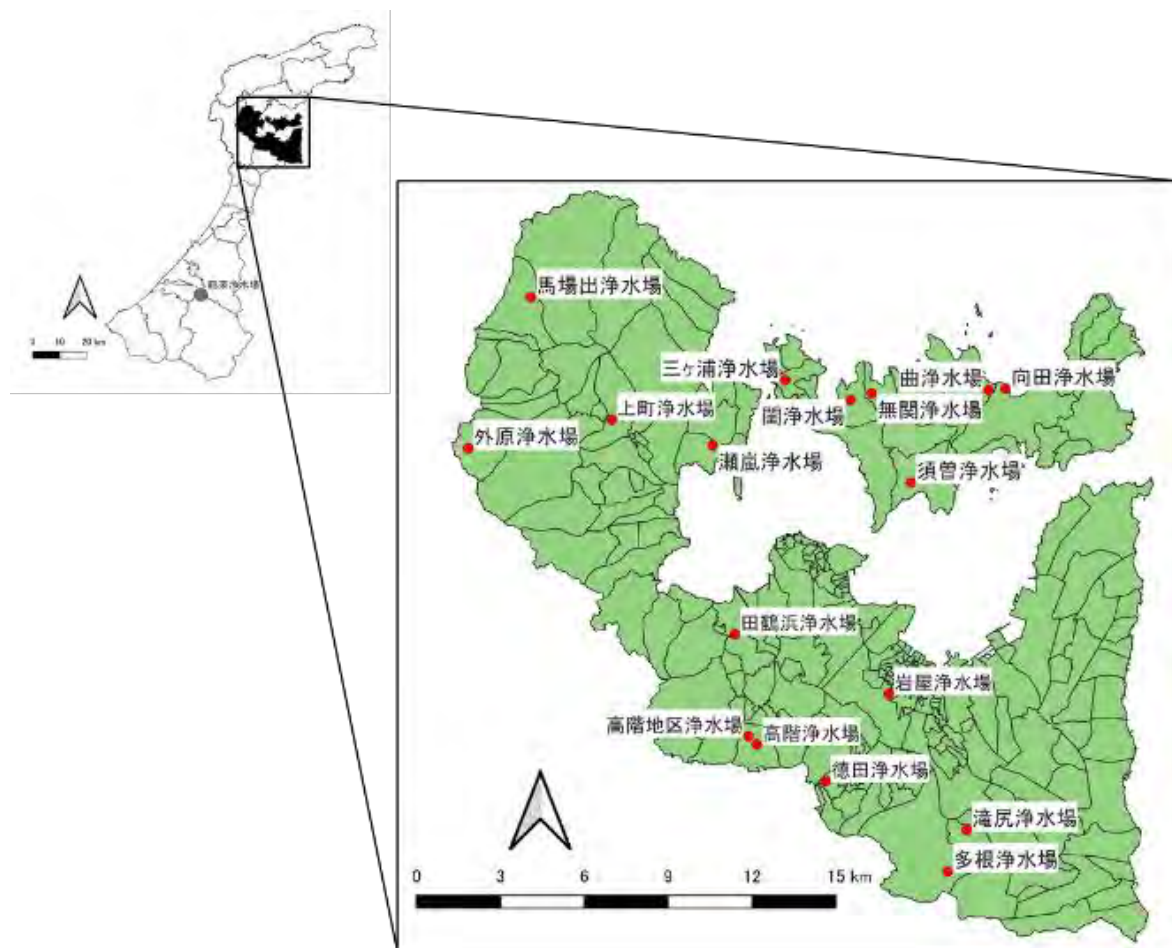


図 6-1 対象地域の概要

表 6-1 七尾市の水源一覧（七尾市水質検査計画より作成⁵⁾）

地区	浄水場	水源	浄水場配水量 (m ³ /日)	県水受水量 (m ³ /日)
七尾地区	岩屋浄水場	自己水(地下水) 県水受水	16,214	4,336,200
	高階浄水場	自己水(地下水)	6,998	0
	徳田浄水場	自己水(地下水)	430	0
	高階地区浄水場	自己水(地下水)	255	0
田鶴浜地区	田鶴浜浄水場	自己水(地下水)	2,218	0
中島地区	河内浄水場	自己水(河川水)	2,243	0
	外原浄水場	自己水(地下水)	137	0
能登島地区	須曾浄水場	自己水(地下水) 県水受水	1,224	153,300
	向田浄水場	自己水(地下水)	256	0
	無関浄水場	自己水(地下水)	29	0
	閼浄水場	自己水(地下水)	41	0

b) 手取川水系からの流域外導水の概要

石川県内では、手取川の水を広域に配分する「石川県水道用水供給事業」が行われている。手取川ダムにおいて最大 440,000m³/日の水道用水を確保し、最大 244,000m³/s の給水能力を有する。白山市に位置する鶴来浄水場より分派し、金沢市、七尾市、小松市、加賀市、羽咋市、かほく市、白山市、能美市、野々市市、津幡町、内灘町、宝達志水町、中能登町の 9 市 4 町に供給され、末端は七尾市能登島地区に至る。送水施設の構造として、総延長 192 km、調整池 3 池、水管橋 38 橋、ポンプ場 1 ヶ所と広域かつ大規模な水道事業である。



図 6-2 七尾市内の水道管の被災状況
(七尾市 HP⁶⁾ より引用)

c) 水道の被災状況

七尾市は本地震で震度 6 強を観測し、ほぼ全域にわたり断水が発生した。地中の配水管、浄水場施設などが被災し、断水が発生した (図 6-2)。断水は 2024 年 1 月 1 日の発災から 3 ヶ月にわたって続き、4 月 4 日に全地域における通水が可能となった。

6.2.2 対象データ

水道の通水状況の経過を明らかにするため、「エリア別一覧および復旧状況確認表」⁶⁾ を用いた。確認表は 1 月 24 日～4 月 4 日の期間中に 68 日分あり、これを用いて、通水状況について把握した。確認表には、行政区、水源エリア、世帯数、通水の有無、復旧見込、備考が記録されている。また行政区 124 地区通水状況をサンプルデータとして用いた。

6.2.3 分析方法

a) 地域別復旧速度、水源の分析

七尾市の「上水道・下水道、水道の断水および復旧の状況」を参照し、地区別に復旧した日時と、県水、自己水等の水源を調べた。また水源別に通水率 (復旧世帯数/全世帯数) を計算し、グラフに表して水源ごとの通水率の変化の違いについて分析した。

b) 地域別水源の変化の分析

県水から自己水など、水源の切り替わりが起こった地域を明らかにするために、市内 246 の地区を県水、自己水、県水と自己水の混合の 3 種類に分け、色分けして地図に表した。また、水源の種類と復旧速度の関連を明らかにするために、水源別に色分けした地図に、復旧状況を 0%、1~49%、50~99%、100% の 4 段階で表した。

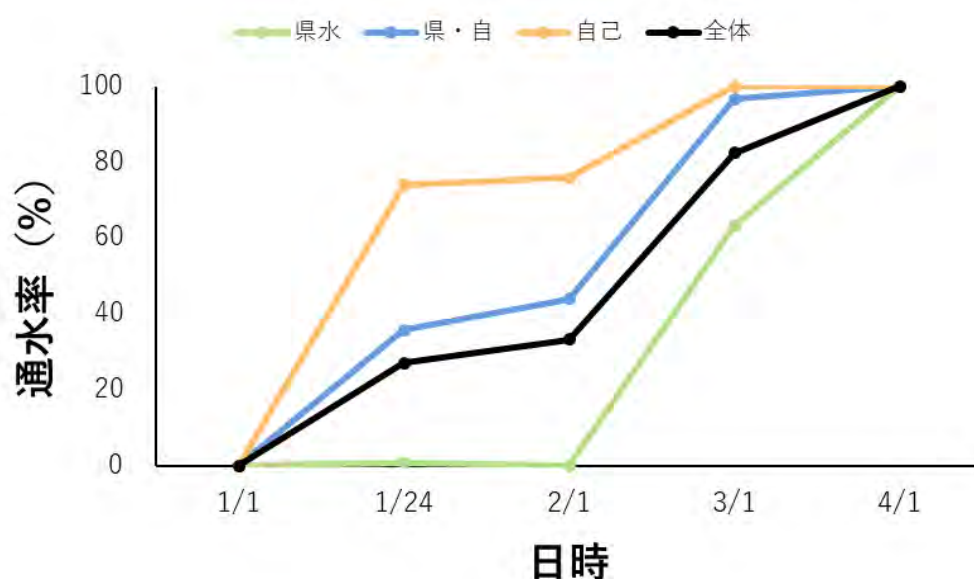


図 6-3 水源別の復旧速度

(七尾市水道 県・自エリア一覧及び復旧状況確認表より作成⁶⁾)

6.3 水源別復旧速度・復旧過程

6.3.1 水源別の復旧速度

図 6-3 に七尾市内の県水、自己水、県水・自己水混合のそれぞれの通水率の推移を示した。発災後、正式なデータが発表された 1 月 24 日時点では自己水の通水率は 74% であった。それに対して県水の通水率は 0.8% であった。また、自己水は 3 月 1 日に通水率 99% を達成したのに対し、県水は 2 月 1 日から復旧が進み 3 月 1 日時点で 63%、4 月 1 日で 100% を達成した。自己水・県水混合に関しては、1 月時点で復旧が始まり、3 月 1 日に 97% を達成した。自己水の供給世帯は発災 60 日程度で通水率 100% に達するのに対し、県水は 100% 復旧まで 90 日程度要し、1 ヶ月程度遅いことが明らかになった。また、発災後、県水供給世帯の割合が 7% 減少し、自己水の割合が増加した。

6.3.2 県水・自己水の分布と復旧過程

次に図 6-4 から図 6-6 に災害後の地区別の県水・自己水の分布とそれぞれの復旧状況を示した。県水と自己水の分布については、図 6-4 の 2024 年 1 月 24 日時点で 246

地区のうち 52%が県水，35%が自己水，13%が県水と自己水の混合地域であった。続いて，図 6-5 の 2 月 1 日時点では外原浄水場付近の中島町をはじめとする地域で県水から自己水の変化がみられた。一方，能登島向田町でこの期間に自己水から自己水・県水の混合への変化があった。図 6-6 の 3 月 1 日時点では庵町など市内東部の，自己水と県水が混合していた地域の大部分が自己水に変化した。図 6-7 の 4 月 4 日時点では最終的に県水が 41%，自己水が 52%，自己水と県水の混合が 7%という結果となった。

次に地域別の復旧状況をみると，図 6-4 の 1 月 24 日時点では，馬場出浄水場付近の自己水エリアで 13 地域が全世帯で通水，田鶴浜浄水場，高階浄水所，高階地区浄水場，徳田浄水場付近の自己水エリアでも 50～100%の通水が多くみられた。続いて図 6-5 の 2 月 1 日時点の自己水エリアでは，中島町東部などで依然として復旧が進んでいないものの，曲浄水場付近で新たな完全復旧がみられた。自己水エリア全体を見ると浄水場がある付近で完全復旧が多く，浄水場から離れた地域は復旧が進んでいない傾向がみられた。

混合地域においても庵町などの東側の地域の一部で完全復旧がみられた。図 6-6 の 3 月 1 日では，2 月時点で復旧率 0%の地域が多かった中島町で完全復旧がみられた。また岩屋浄水場付近の市内中心部など県水エリアでも完全復旧がみられた。県水・自己水混合エリアに関しては大田町や大泊町をはじめとして能登島以外の地域の多くで完全復旧，能登島でも 50%以上の復旧地域が確認された。最後に図 6-7 の 4 月 1 日では能登島を中心に全ての自己水エリア，混合エリアは完全復旧した。しかし，後畠町と南ヶ丘町の 2 か所が自己水エリアであるにもかかわらず完全復旧には至っていなかった。

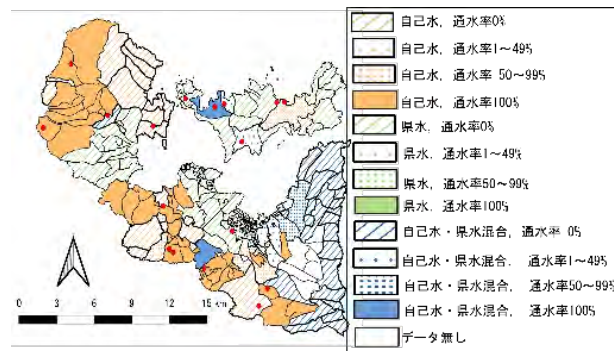


図 6-4 1 月 24 日時点の県水・自己水の地域

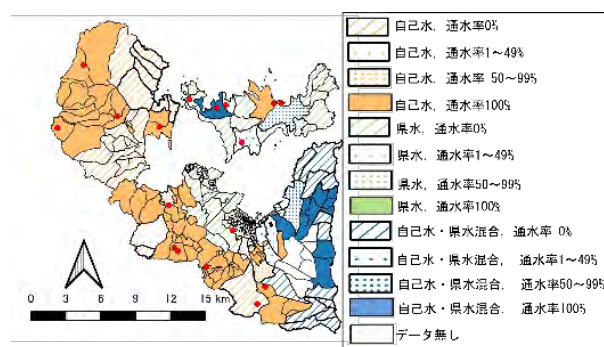


図 6-5 2 月 1 日時点の県水・自己水の地域

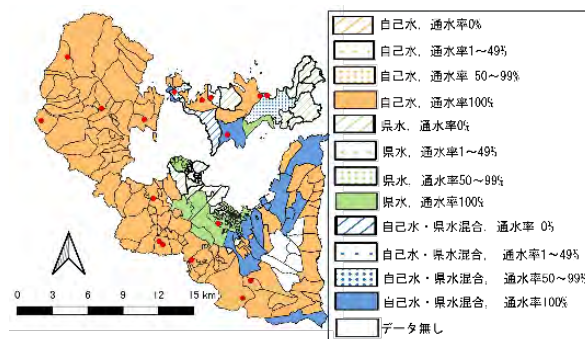


図 6-6 3 月 1 日時点の県水・自己水の地域

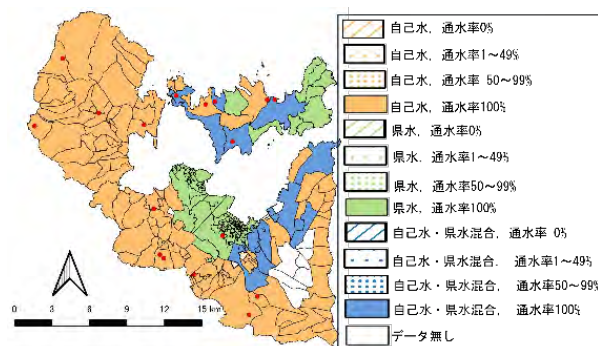


図 6-7 4 月 1 日時点の県水・自己水の地域

6.4 考察

6.4.1 復旧時間について

図 6-3 より 1 月 24 日時点では自己水と県水の通水率に 70%以上の差があり，特に発災後一か月以内に復旧状況の違いが明らかになった．また，全体の通水率の推移を見ると発災後 3 か月に至るまで順調に復旧が進んでいるが，水源別に見ると推移の仕方に大きな違いが見られた．今後，さらに浄水場ごとなどに分けてより詳しく分析していきたい．

6.4.2 復旧の空間分布について

図 6-4～図 6-7 より，県水から自己水への移行が各所で見られ，切り替えた地域は他の地域に比べて復旧が早い傾向があった．このことからより復旧が早い自己水に移行することで早期復旧を実現したと考えられる．また，自己水においては浄水場を表す点の付近から徐々に復旧が進むという傾向が見られた．このことより，浄水場からの距離が近い程復旧までの時間が短いと考えられる．

今後明らかにしたい点が 2 つある．1 つ目は，4 月 1 日まで完全復旧に至らなかった自己水エリアの 2 地区について，復旧が難航した原因について，今後具体的に調査を行いたい．2 つ目は能登島向田町の自己水から，自己水・県水の混合への変化についてである．今回の分析により，自己水源を利用したほうがより早く完全復旧が実現することが分かった．したがってこの変化の背景について今後調査を行いたい．

6.5 結論

本研究では，発災後の七尾市全地区における水源別の復旧速度の差異を中心に分析し，この規定要因について考察した．水道の通水率（通水世帯/全被災世帯数）をみると，自己水の供給世帯は発災 60 日程度で通水率 100%に達するのに対し，県水は 100%復旧まで 90 日程度要し，1 ヶ月程度遅いことが明らかになった．また，発災後，県水供給世帯の割合が 11%減少し，自己水の割合が増加したことで，復旧が加速した可能性が示唆された．

謝辞

本章の調査・検討を進めるにあたり，公益財団法人 河川財団より河川基金（2024-5112-001），独立行政法人 日本学術振興会より科学研究費（20K20032）の支援を受けました．また，本調査をまとめるにあたり，金沢大学人間社会研究学域地域創造学類

4 年の平塚しな乃氏の受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内閣府:防災情報のページ, 令和 6 年能登半島地震に係る被害状況等について
https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_51.pdf (2024.8.18 閲覧).
- 2) 市原松平, 山田公夫: 地震時における名古屋市の水道管の相対的危険度, 土木学会論文報告集, 1981 巻 316 号, pp. 51-63, 1981.
- 3) 丸山喜久, 永田茂, 若松加寿江: 東北地方太平洋沖地震における上水道管路被害分析に基づく広域被害予測に関する検討, 日本地震工学会論文集, 15 巻 7 号, pp. 7_416-7_427, 2015.
- 4) 河村光: 1995 年から現在における水道用水の水源別構成とその変化, pp.56-57, 人文地理学会, 2022.
- 5) 七尾市, 建設部上下水道課:令和 5 年度七尾市水質検査計画,
<https://www.city.nanao.lg.jp/jougesuidou/kurashi/sumai/suido/kekaku/suishitsukensa/documents/r5nanaoshisuishitsukennsakeikaku.pdf> (2024.10.3 閲覧) .
- 6) 七尾市: 上水道・下水道, 水道の断水および復旧の状況, 七尾市水道 県・自エリア一覧及び復旧状況確認表 <https://www.city.nanao.lg.jp/jougesuidou/kurashi/sumai/suido/ryokin/dansui.html> (2024.8.18 閲覧).
- 7) e-Stat データダウンロード,
<https://www.e-stat.go.jp/gis> (2024.9.30 閲覧).
- 8) 国土数値情報ダウンロードサイト, <https://nlftp.mlit.go.jp/> (2024.9.30 閲覧).
- 9) 石川県: 鶴来浄水場と送水施設, <https://www.pref.ishikawa.lg.jp/tedori/sousuisisetu.html> (2024.9.29 閲覧).
- 10) 石川県: 送水管路図, <https://www.pref.ishikawa.lg.jp/tedori/documents/sousuikanrozu.pdf> (2024.9.29 閲覧) .

第7章 ライフラインの途絶と復旧

名古屋大学減災連携研究センター 田代 喬

7.1 はじめに

2024年1月1日16時10分頃に発生した令和6年能登半島地震は、約13.7万戸の断水被害¹⁾、約4.0万戸の停電被害²⁾などライフラインを途絶させた³⁾。その後、電力は約30日、上水道は約150日を要し、一部地域を除いて供給が再開された^{4,5)}。しかし、それ以上の作業が捗らない中、同年9月20日深夜からの大雨（奥能登豪雨）は再び被災地域を襲い、新たに約5,200戸の断水、約6,900戸の停電などの被害をもたらした⁶⁾。停電は9月25日に概ね復旧したが⁷⁾、早期復旧が困難な地域では、11月1日時点で停電約310戸、12月24日時点で断水132戸など、その影響は長期化することとなった⁶⁾。これらの被害は、能登地区の七尾市、輪島市、珠洲市、志賀町、中能登町、穴水町、能登町の3市4町に集中している（表7-1には、当該地域の人口と世帯数を示す）。

本稿では、地震・豪雨により大きな被害を受けたライフラインに着目し、主として水道と電気に関する途絶とその復旧過程を対象として、行政機関、ライフライン事業者のプレスリリースや先行研究のレビューによって得られた成果を報告する。

表7-1 石川県、および、主な被災市町の人口・世帯数（2023年12月現在）⁸⁾

市町	人 口			世帯数
	総 数	男	女	
	人	人	人	世帯
石川県全域	1,108,792	538,547	570,245	475,402
加 賀 計	942,535	459,282	483,253	405,597
能 登 計	166,257	79,265	86,992	69,805
七尾市	47,291	22,641	24,650	20,085
輪島市	21,980	10,436	11,544	9,283
珠洲市	11,759	5,441	6,318	5,297
羽咋市	19,277	9,141	10,136	8,004
志賀町	17,245	8,286	8,959	7,292
中能登町	15,726	7,645	8,081	6,056
穴水町	7,326	3,523	3,803	3,203
能登町	14,318	6,766	7,552	6,230

(注) 1 かほく市及び河北郡以南の市郡を加賀計、羽咋郡以北を能登計とした。
2 令和2年国勢調査確報値に基づく推計である。

7.2 水供給システムの復旧過程：二度にわたる長期間断水の実態

上水道の応急復旧は、地震に伴う被災に対してはその151日後の5月31日、土砂崩れや建物倒壊などによる早期復旧困難地域（珠洲市742戸、輪島市312戸）を除いて完了した⁹⁾。また、9月21日の豪雨に伴う被災に対しては、その94日後の12月24日、浄水場や水道管などの水道施設が被災した地域（珠洲市127戸、輪島市5戸）を除いて完了した⁹⁾。図7-1、図7-2には、それぞれ、地震、大雨の発生後3ヶ月間の主な市町村における断水戸数の変化を示す。なお、前者は石川県⁹⁾の災害対策本部員会議の資料から平井¹⁰⁾が作成したもので、後者は内閣府¹¹⁾を参照して著者が作成したものである。

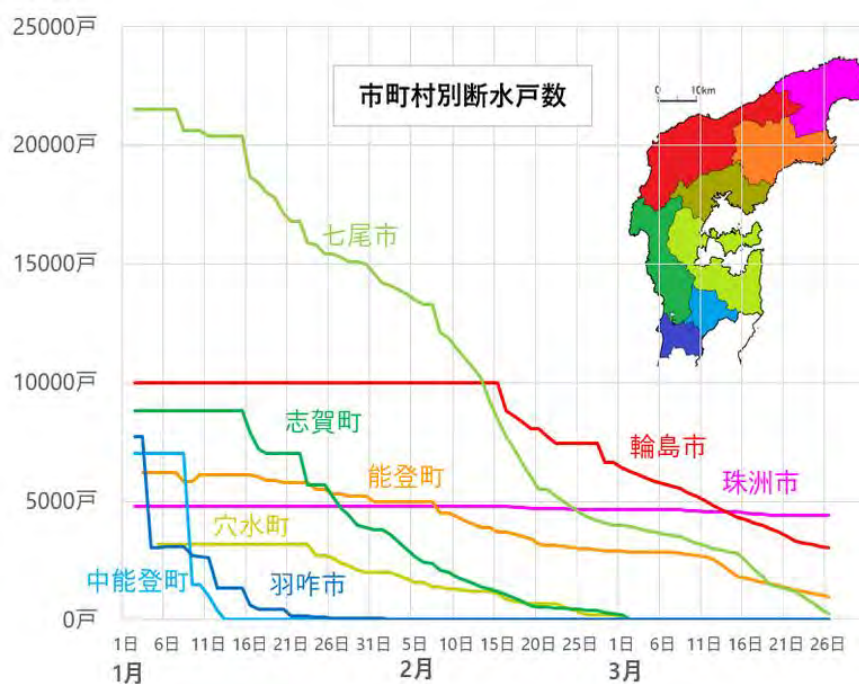


図 7-1 地震発生後3ヶ月間の市町村別断水戸数の変化¹⁰⁾

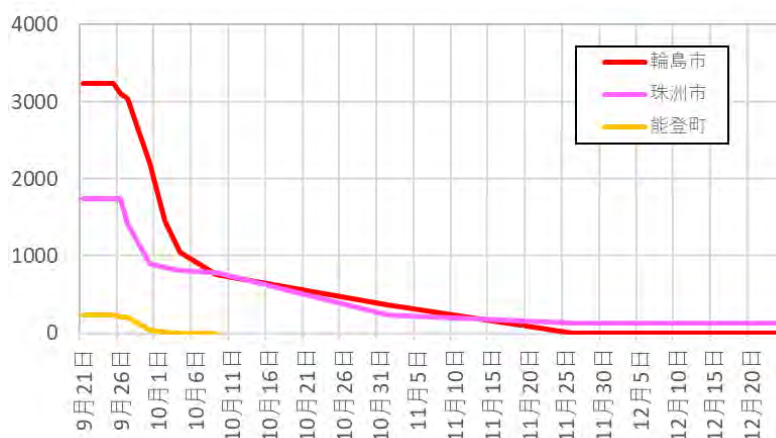


図 7-2 大雨襲来後3ヶ月間の市町村別断水戸数の変化

地震による断水率（断水戸数／全戸数）を対比するため、各市町村の全戸数（2023年12月現在、表7-1）を参照すると、発災時の断水戸数順に、七尾市（20,085戸）、輪島市（9,283戸）、志賀町（7,292戸）、羽咋市（8,004戸）、中能登町（6,056戸）、能登町（6,230戸）、珠洲市（5,297戸）、穴水町（3,203戸）であることから、発災直後には、ほぼ全世帯が断水していたものと推察される（図7-1）。能島・加藤¹²⁾はこの断水の主要因に関し、七尾市、中能登町、羽咋市については水源である石川県水道用水供給事業¹³⁾からの送水停止によるもので、長期断水が続いた他の市町と状況が異なったことを指摘しているが、これらの地域では比較的早く復旧が進んだ（図7-1）。

国土交通省上下水道地震対策検討委員会¹⁴⁾は、長期断水に陥った要因として、水道施設の損傷が多発したことを挙げている。例えば、本地震による水道管路の被害率（箇所/km）は、珠洲市（震度6強）で1.54、輪島市（震度7）で1.60であり、能登町（震度6強）の0.51、穴水町（震度6強）の0.54、および、石川県用水供給事業の0.08を大きく上回って（8月16日集計時点）、1995年兵庫県南部地震の際の芦屋市（1.96）に次ぐ過去最大級となった¹⁴⁾。これらの地域における水道管路の耐震管率（基幹管路、2022年度時点）は、珠洲市36.2%、輪島市52.6%、能登町37.7%、穴水町31.7%であった^{1,15,16)}。全国の水道事業体における耐震管率が28.2%であることから^{1,15,16)}、他地域に後れを取っていたわけでないものの、水道管路の耐震化は全国的に喫緊の課題と言えよう。なお、水道供給のためには、より上流側の浄水施設、配水池といった基幹施設も機能しなくてはならないが、それぞれ43.4%、63.5%の耐震化に留まっていることにも注意が必要である^{15,16)}。以上を踏まえると、震源に近い地域で作用した強震動による多くの施設損傷が断水を引き起こし、さらに、早期の機能復旧が困難になったことにより、長期断水に陥ったものと推察された。全国的に各種施設の耐震化が進んでいない現状では、強い外力が作用すると同じような大規模断水を受ける可能性が高いことが窺えた。実際、最大断水戸数は、東北地方太平洋沖地震では約221万戸、兵庫県南部地震では約126万戸、熊本地震では約44万戸と遥かに多かったが¹²⁾、（復旧困難地域が多かった東北地方太平洋沖地震を除くと）1995年兵庫県南部地震では発災後60日、2016年熊本地震では同15日までにはほぼ復旧していた^{1,12)}。

復旧までに約150日を要した能登半島地震による長期断水が際立つが、平山¹⁾は次のように総括している。すなわち、損傷個所が多かったため、（復旧作業に先立って行う）被害箇所の特定が困難であり作業開始までに時間を要したことに加え、他地域からの災害対応リソースの投入が（道路被害等により）進まなかったことが相俟って復旧作業が滞ったとの見立てである¹⁾。そのうえで、施設の耐震化には莫大な費用を要することを見据え、システムとして被害を減らす戦略の必要性を訴えている¹⁾。これらの指摘は十分支持できるが、他地域からの災害対応リソースで賄われる応急的な給水や復旧体制については、過去の大規模地震災害でも効果を発揮してきているだけに、暫定的には被害を受けることを受忍しつつ、被災時に部分的にでも機能する交通インフラを確保する重

要性が示唆されたと言えよう。なお、地震に伴って生じた道路被害は、大規模盛土崩壊による影響が指摘されており¹⁷⁾、地形特性との関係から被災要因を詳細に分析されている¹⁸⁾。

一方、奥能登豪雨による断水は、9月21日に顕著な大雨に関する気象情報（9時7分に能登）、記録的短時間大雨情報（9時9分、17分、28分、36分に輪島市中部付近、10時8分に能登町北部付近）、そして、10時50分には大雨特別警報（浸水害・石川県（輪島市、珠洲市、能登町））の発表に対応するように¹⁹⁾、輪島市（3,236／9,283戸）、珠洲市（1,750／5,297戸）、能登町（230／6,230戸）に限られた（最大断水戸数／全世帯数）。9月20～22日の降水量は、輪島市輪島で501.0mm、珠洲市珠洲で394.0mmに達し、全観測データを通じた上位2地点となったほか、両地点では1時間降水量等が観測史上1位を記録した¹⁹⁾。ただし、豪雨による断水期間（95日間）は地震によるそれ（151日間）には及ばず、早期復旧が困難な地域を除き、比較的迅速な復旧が行われた（図7-2）。この要因は、地震により被災を受けて、復旧対応した経験が活かされたり、脆弱な施設が復旧過程で一部更新されたりした効果によるものと考えられる。地震、豪雨と重疊的にハザードが作用した不運は疑いようがないが、豪雨による被災だけを取り上げた場合には、地震を経験したことが被害を部分的に軽減した面があるかも知れない。ただし、豪雨災害としてみた場合には、2018年7月豪雨（西日本豪雨、約26万戸）の約4週間²⁰⁾、2019年房総半島台風（約14万戸）の約2週間の復旧日数に比べ²¹⁾、前例がないほどに長期化していたことが確認された（カッコ内は最大断水戸数）。能登地方においては依然、水供給システムとともに交通インフラの強靱化が喫緊の課題である。

7.3 電力供給システムの復旧過程：地震と豪雨

停電復旧は、地震に伴う被災に対してはその30日後の1月31日、土砂崩れやがれきの発生などによる進入困難な場所（約2,500戸）を除いて完了した^{4,22)}。また、9月21日の豪雨に伴う被災に対しては、その5日後の9月25日に概ね復旧し⁷⁾、30日後の10月21日、土砂崩れなどにより立ち入りが困難な地域や水道施設が被災した地域（輪島市約300戸、珠洲市約70戸、能登町10戸未満）を除いて完了した²³⁾。図7-3には、経済産業省産業保安・安全グループ電力安全課²²⁾による地震に伴って生じた停電からの復旧の推移、図7-4には、北陸電力送配電⁷⁾による豪雨に伴って生じた停電からの復旧の推移を、図7-5には、北陸電力送配電のプレスリリース²³⁻²⁵⁾から作成した豪雨に伴って生じた停電戸数の変化を示す。なお、前者は石川県⁹⁾の災害対策本部員会議の資料から平井¹⁰⁾が作成したもので、後者は内閣府¹¹⁾を参照して著者が作成したものである。

地震による停電について、過去の地震と対比すると、東北地方太平洋沖地震では東北電力管内で約486万戸、東京電力管内で約405万戸、兵庫県南部地震では約260万戸、

熊本地震では約 48 万戸と遥かに多かった^{12, 22)}。図 7-3 で赤く塗られた、輪島市、能登町、珠洲市、穴水町については、表 7-1 に示した世帯数を勘案すると、発災直後、ほぼ全世帯が停電していたものと推察される。その後の復旧においては、(復旧困難地域が多かった東北地方太平洋沖地震を除くと) 1995 年兵庫県南部地震では発災後約 5 日、2016 年熊本地震でも同 5 日後までにはほぼ復旧していたことから^{12, 22)}、水道ほどではないが長期停電に陥っていたと言えよう。特に、能登町と穴水町で約 2 週間、輪島市と珠洲市で約 1 ヶ月の復旧期間を要した¹²⁾ (図 7-3)。水道の復旧と同様、半島特有の限られたアクセスを担っていた道路が甚大な被害を被ったことにより^{17, 18)}、災害対応リソースが十分に投入できなかった状況が見て取れる。

経済産業省産業保安・安全グループ電力安全課²²⁾によると、能登半島地震による送配電設備(送電・変電・配電設備)の被害としては、送電施設への影響は些少であったものの、配電設備被害は 3,100 本で熊本地震のそれ(約 3,200 本)と同程度に及んだ。発電所に関しては、複数の火力発電所において設備被害が生じ、稼働中であった発電機器を停止させる事態になったが、主要な工作物の重大な損壊は避けられており²²⁾、供給力への影響は無く需給ひっ迫は生じなかった^{12, 22, 27)}。ただし、配電柱当りの停電戸数(約 13 戸)が熊本地震のそれ(約 150 戸)に対し極端に少なくなったことに関し²²⁾、能島・加藤¹²⁾は 1 戸当たりの停電解消に要する復旧作業量が非常に大きくなったことを指摘したうえで、長期停電の主たる要因の一つであると指摘している。また、奥村ら²⁷⁾は、電力系統図を参照し、送配電設備の被害から停電事象を分析するとともに、停電の長期化が災害関連死や企業生産活動に与えた影響について考察している。

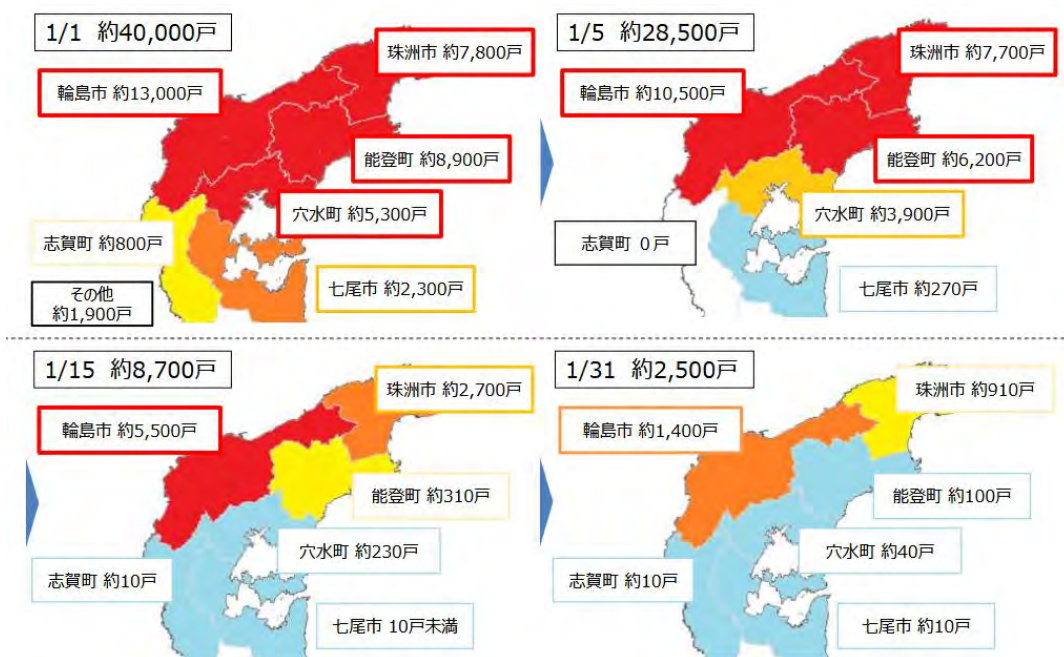


図 7-3 地震に伴って生じた停電からの復旧²²⁾

(赤：5,000 戸以上，橙：1,000-5,000 戸，黄：300-1,000 戸，青：300 戸未満)

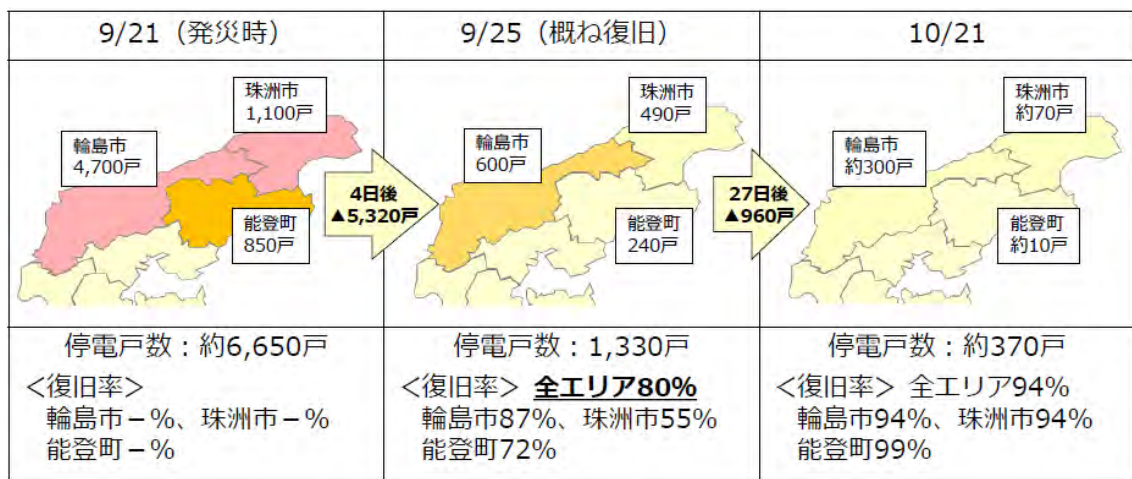


図 7-4 豪雨に伴って生じた停電からの復旧⁷⁾

(赤：1,000 戸以上，橙：500-1,000 戸，黄：500 戸未満)

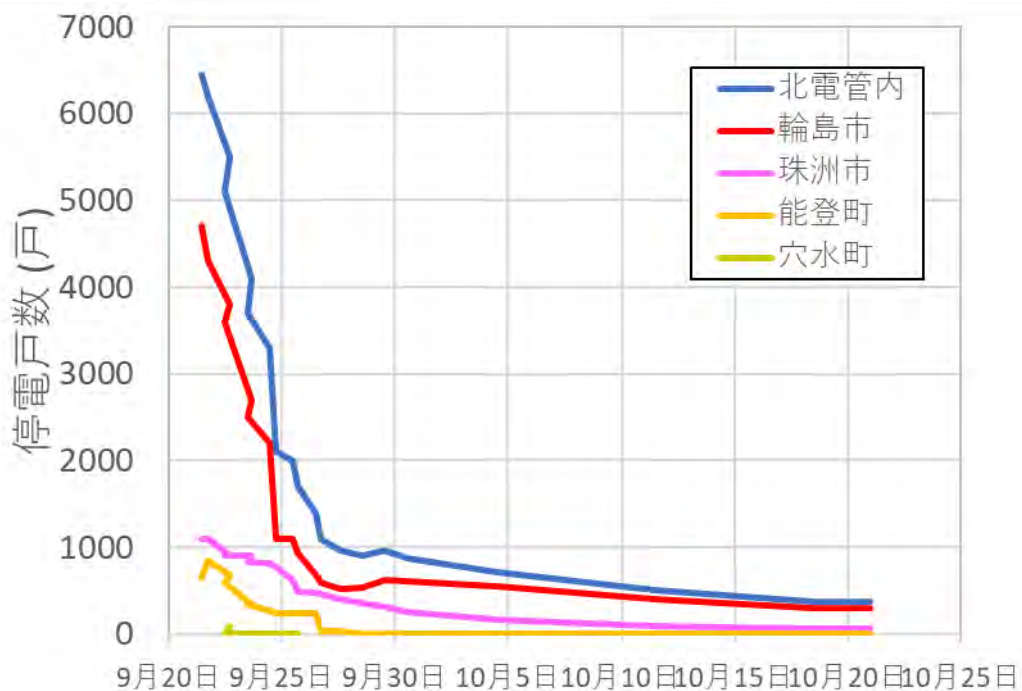


図 7-5 大雨襲来後の市町村別停電戸数の変化

一方、奥能登豪雨による停電は、前記した各種の防災気象情報の発表に対応したが¹⁹⁾、断水範囲よりもやや広く、輪島市（4,700／9,283 戸）、珠洲市（1,100／5,297 戸）、能登町（840／6,230 戸）、穴水町（90／3,203 戸）、七尾市（10／20,085 戸）に及んだ（最大停電戸数／全世帯数）。（能登半島地震では断水被害が多かったが、）過去の災害と同様に、奥能登豪雨では断水より停電の被害が大きくなった¹²⁾。復旧までの所要日数は、停電 1,330 戸を残し 80 %復旧した 9 月 25 日までが 5 日間であり⁷⁾、2019 年東日本台風の際の長野県内における停電（約 6.4 万戸）が概ね復旧するまでに要した約 5.5 日間²⁷⁾と

同等であったが、残り約 370 戸まで漕ぎ付けた 10 月 21 日までの約 1 ヶ月間となると⁷⁾、房総半島台風（約 93 万戸）の約 2 週間²¹⁾を上回り、2018 年 7 月豪雨（西日本豪雨、約 6.3 万戸）の約 4 週間²⁰⁾と同等であった（カッコ内は最大停電戸数）。約 2 カ月以上の復旧期間を要した 2018 年台風 21 号による停電（約 288 万戸）²⁸⁾には及ばなかったものの、紛れもなく長期停電であったと言えよう。なお、地震による被災対応で得た経験を活かし迅速な復旧を実施したとされるが²⁹⁾、復旧までの所要日数は変わらなかった。

電力供給システムは、発電所から送配電設備（送電・変電・配電設備）を通じて需要家に電気を届ける機能を果たしている³⁰⁾。過去の大規模停電時には、送電設備である鉄塔の倒壊²¹⁾や変電所の浸水^{20, 27)}などにより、被災地域が広域化し停電戸数が多くなりがちであったが、奥能登豪雨では震災の影響が残る中、河川氾濫、土石流や土砂崩れが生じたものの、配電設備に被害が集中したことは不幸中の幸いであった⁷⁾。ただし、海津³¹⁾が指摘するように、地震によって緩んだ地盤では、斜面では豪雨が土砂災害を誘発したほか、弱体化した堤防と流出した土砂・流木の集積は、洪水氾濫を助長して、被害が拡大した。地震の後の豪雨による重畳的な被害は重視すべきであるが、その端緒とすべきハザードの実態分析は別項に譲りたい。

7.4 おわりに

本項では、供給系ライフラインのうち、水道と電気に着目して、令和 6 年 1 月能登半島地震と同年 9 月の豪雨災害による途絶と復旧過程をまとめた。能登半島地震では、ガス供給システム³²⁾、通信・放送インフラ³³⁾の被害も少数ながら顕在化した。被害の拡大・長期化に関しては水道、電気と共通する要因が多かった。特に、発災時の途絶に関しては施設の脆弱性に依拠したが、その被害の長期化には、半島特有の限られたアクセスを担っていた道路が甚大な被害を被ったことが大きく影響した。ライフライン・システムとともに、交通インフラの強靱化の重要性が浮き彫りになったと思われる。既に国土交通省北陸地方整備局道路部は、広域道路ネットワークの検討を開始し、2025 年 3 月には基本方針が定められた³⁴⁾。ただし、施設の更新には莫大な費用が掛かることを踏まえると、暫定的には被害を受けることを受忍しながら、被災時にあっても部分的な機能を確保する方策も検討に値するかも知れない。今後、迫りくる激甚災害に対して、本項が少しでも示唆を与えるきっかけになれば、望外の喜びである。

参考文献

- 1) 平山修久：ライフラインの復旧と課題，日本地震工学会誌，No.53，pp.27-30，2024.
- 2) 平山修久，都築充雄，幸山寛和，小沢裕治，羽田野拓己，飛田潤，富田孝史，木作尚子，福和伸夫，千葉啓広，山崎暢，野村一保，石原宏，護雅史，野田利弘：発災時の企業の事業活動停止を防ぐ，防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト令和5年度成果報告書（文部科学省研究開発局，国立研究開発法人海洋研究開発機構），pp.138-245，2024.
- 3) 能島暢呂：ライフライン復旧概況，https://www1.gifu-u.ac.jp/~nojima/take_out_LLEQreport.htm.
- 4) 北陸電力，北陸電力送配電：【停電・第39報】停電状況および電力設備の被害状況（2024年2月1日12時00分現在），https://www.rikuden.co.jp/nw_press/attach/24020181.pdf.
- 5) 石川県：災害対策本部員会議第54回（8月21日），目的別・令和6年（2024年）能登半島地震に関する情報（復旧・復興本部、災害対策本部），<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/documents/0821siryou2.pdf>.
- 6) 内閣府：令和6年9月20日からの大雨による被害状況等について（2024年12月24日），https://www.bousai.go.jp/updates/r6typhoon9/pdf/r6typhoon9_14.pdf.
- 7) 北陸電力送配電：令和6年奥能登豪雨への対応について，第22回産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会電気設備自然災害対策ワーキンググループ（2024年12月19日），https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/denki_setsubi/022.html.
- 8) 石川県総務部デジタル推進監室県庁デジタル推進課統計情報室：石川県の人口と世帯（令和5年12月1日現在），いしかわ統計指標ランド，https://toukei.pref.ishikawa.lg.jp/search/detail.asp?d_id=4825.
- 9) 石川県：災害対策本部員会議第1～54回（2024年1月1日～8月21日），目的別・令和6年（2024年）能登半島地震に関する情報（復旧・復興本部、災害対策本部），<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/202401jishin-taisakuhonbu.html>.
- 10) 平井史生：令和6年能登半島地震（2024年1月1日16時10分発生），<https://www.komazawa-u.ac.jp/~fumio/disaster/2024jan-eq-noto/eq-noto-2024.html>.
- 11) 内閣府：令和6年9月20日からの大雨による被害状況等について（2024年9月21日から12月24日），<https://www.bousai.go.jp/updates/r6typhoon9/index.html>.
- 12) 能島暢呂，加藤宏紀：2024年能登半島地震における石川県内の供給系ライフラインの被害・復旧と災害管比較，自然災害科学，Vol.43，No.3，pp.519-536，2024.
- 13) 石川県：水道用水供給事業の概要，https://www.pref.ishikawa.lg.jp/suido/gaiyou_w.html.

- 14) 国土交通省：上下水移動施設の被災概要と復旧状況，上下水道地震対策検討委員会，https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000874.html.
- 15) 日本水道協会：水道統計の経年分析(令和4年度)，水道協会雑誌，Vol.93，No.8，pp.54-97，2024.
- 16) 国土交通省：水道施設の耐震化の現状（令和5年度末現在），水道施設の耐震化の推進，https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/watersupply/stf_seisakunitsuite_bunya_topics_bukyoku_kenkou_suido_taishin_index.html.
- 17) 塚田幸広：2024年能登半島地震における石川県内の供給系ライフラインの被害・復旧と災害管比較，自然災害科学，Vol.43，No.3，pp.171-174，2024.
- 18) 千葉啓広：2024年能登半島地震における石川県内の供給系ライフラインの被害・復旧と災害管比較，自然災害科学，Vol.43，No.3，pp.437-448，2024.
- 19) 気象庁：低気圧と前線による大雨令和6年（2024年）9月20日～9月22日，災害をもたらしした気象事例，https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/jyun_sokuji20240920-0922.pdf.
- 20) 能島暢呂：平成30年7月豪雨災害におけるライフライン復旧概況（時系列編），<http://www1.gifu-u.ac.jp/%7Enojima/LLEQreport/180700-JulyHeavyRainFall-LL-GUNN-ver.3.pdf>.
- 21) 能島暢呂：令和元年（2019年）台風15号におけるライフライン復旧概況（時系列編），<http://www1.gifu-u.ac.jp/%7Enojima/LLEQreport/190909-Typhoon15-LL-GUNN-ver.1.pdf>.
- 22) 経済産業省大臣官房産業保安・安全グループ電力安全課：令和6年能登半島地震の対応について，第29回産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会（2024年3月28日），https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/029_01_00.pdf，2024.
- 23) 北陸電力送配電：【最終報】大雨による停電の発生状況について（2024年10月21日），プレスリリース2024年，https://www.rikuden.co.jp/nw_press/attach/24102111.pdf.
- 24) 北陸電力送配電：「警戒体制総本部」等の設置および停電の発生状況について（2024年9月21日），プレスリリース2024年，https://www.rikuden.co.jp/nw_press/attach/24092101.pdf.
- 25) 北陸電力送配電：大雨による停電の発生状況（第2～19報），プレスリリース2024年，https://www.rikuden.co.jp/nw_press/2024.html.
- 26) 奥村与志弘，橋富彰吾，寅屋敷哲也，中林啓修，河田恵昭：令和6年（2024年）能登半島地震による停電と災害関連死および企業生産活動への影響，自然災害科学，

Vol.43, No.3, pp.449-458, 2024.

- 27) 田代 喬：令和元年東日本台風に伴う洪水氾濫による供給系ライフラインの途絶被害に関する分析：電気・ガス事業の発災・復旧過程の考察から，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76, No.1, pp.360-369, 2020.
- 28) 能島暢呂：2018 年台風 21 号におけるライフライン復旧概況（時系列編），
<http://www1.gifu-u.ac.jp/%7Enojima/LLEQreport/180904-Typhoon21-LL-GUNN-ver.1.pdf>.
- 29) 経済産業省大臣官房産業保安・安全グループ電力安全課：令和 6 年台風第 10 号及び奥能登豪雨の振り返り，第 22 回産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会電気設備自然災害対策ワーキンググループ（2024 年 12 月 19 日），
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/denki_setsubi/022.html.
- 30) 一般社団法人送配電網協議会：一般送配電事業者における自然災害への対応について（2024 年 10 月 2 日），<https://www.tdgc.jp/information/>.
- 31) 海津正倫：緊急空中写真にもとづく能登半島豪雨災害による地形変化，2025 年日本地理学会春季学術大会，
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajg/2025s/0/2025s_36/_article/-char/ja/.
- 32) 経済産業省大臣官房産業保安・安全グループガス安全室：令和6年能登半島地震の対応状況等について，第30回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会ガス安全小委員会（2024 年 3 月 11 日），
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/gas_anzen/030.html.
- 33) 総務省：令和 6 年能登半島地震を踏まえた通信・放送分野の大規模災害対策について，令和 6 年能登半島地震を踏まえた災害対応検討ワーキンググループ（第 2 回 2024 年 7 月 31 日），https://www.bousai.go.jp/jishin/ното/taisaku_wg_02/index.html.
- 34) 国土交通省北陸地被法整備局道路部：能登半島における広域道路ネットワーク検討会，
<https://www.hrr.mlit.go.jp/road/notonetwork/index.html>.

第 2 部

能登半島豪雨の特徴と被害

第8章 令和6年9月20日から22日の降雨状況の分析

富山県立大学 吉見 和紘

8.1 はじめに

令和6年9月20日から22日にかけて、石川県能登地方を中心とした地域において、記録的な豪雨が発生した。本豪雨は、線状降水帯による猛烈な雨が降り、広域かつ長時間にわたって多量の降水をもたらしたものである¹⁾。特に能登半島北部では、複数の地点において72時間雨量が400mmを超えた地点があり、流域規模の降雨災害を引き起こす要因となった。

気象庁のAMeDAS輪島地点における年降水量および日最大降水量の長期的な記録を図8-1、図8-2に示す。1930年から2024年の95年間の年平均降水量はおよそ約2,250mmであるのに対し、2024年の年間降水量は約3,023mmと、平均を大きく上回る値を記録している。また、図8-2からわかるように、同年の日最大降水量は361mmに達しており、2024年の総降水量の1/10強の降水量が1日で記録されていることがわかる。

本検討では、この極端な降雨事例に対する理解を深めるため、能登半島における複数の降雨データ（地上雨量、XRAIN、解析雨量）を用いて、降水量データの特性分析および統計解析を実施した結果をとりまとめる。特に、4つの河川流域（河原田川、塚田川、南志見川、町野川）に着目し、それぞれの流域における降雨特性とその統計的な位置づけを明らかにすることを目的とする。

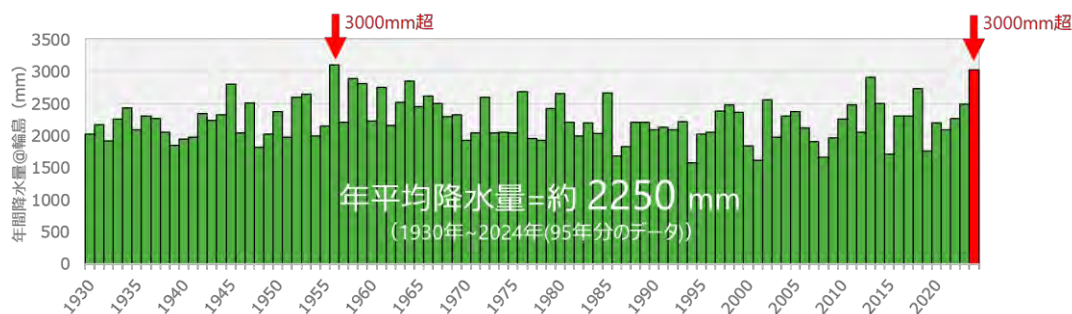


図8-1 AMeDAS 輪島地点の年平均降水量の推移（1930年～2024年）

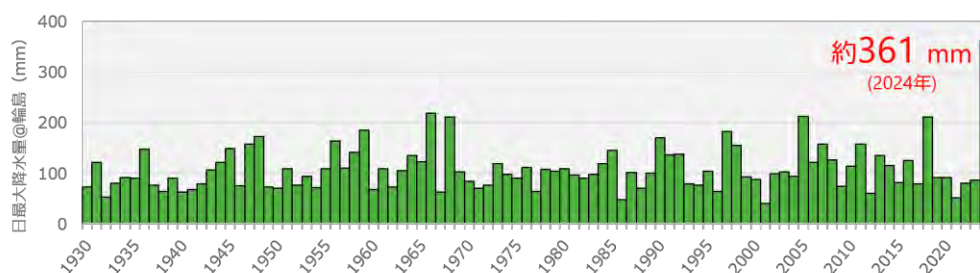


図 8-2 AMeDAS 輪島地点の日最大降水量の推移（1930 年～2024 年）

8.2 能登半島の降雨データ

本検討では、以下の三種類の降雨データを使用した。

- ① 地上雨量（石川県提供の雨量計データと石川県内の気象庁 AMeDAS）
- ② XRAIN（国土交通省提供のレーダ雨量データ，1 分更新）
- ③ 解析雨量（気象庁・国交省共同の補正雨量データ，30 分更新）

地上雨量計およびレーダ観測地点の配置図（図 8-3）からは、能登地域は宝達山の C バンドレーダが定量観測域にある一方で、X 帯の能美および水橋のレーダは定性観測域とされるレーダサイトから 60km 以遠となっている。

また、図 8-4 に示すように、2024 年 9 月 20 日からの 72 時間積算雨量を比較した結果、地上雨量、XRAIN、解析雨量のいずれのデータにおいても能登半島の日本海側沿岸域で 300～400mm を超える降雨が広域的に確認された。

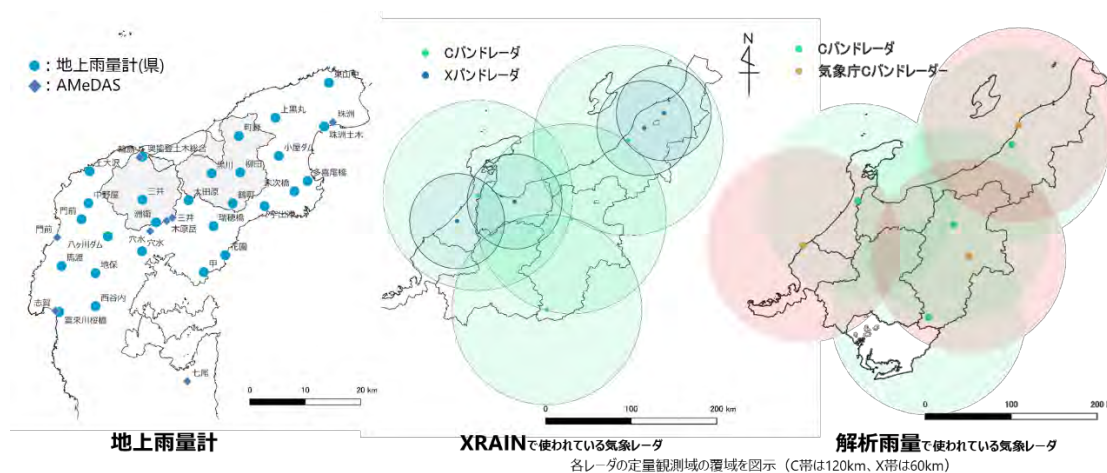


図 8-3 能登半島の降水量データの観測体制（左図：地上雨量，中図：XRAIN，右図：解析雨量に使われているレーダサイト）

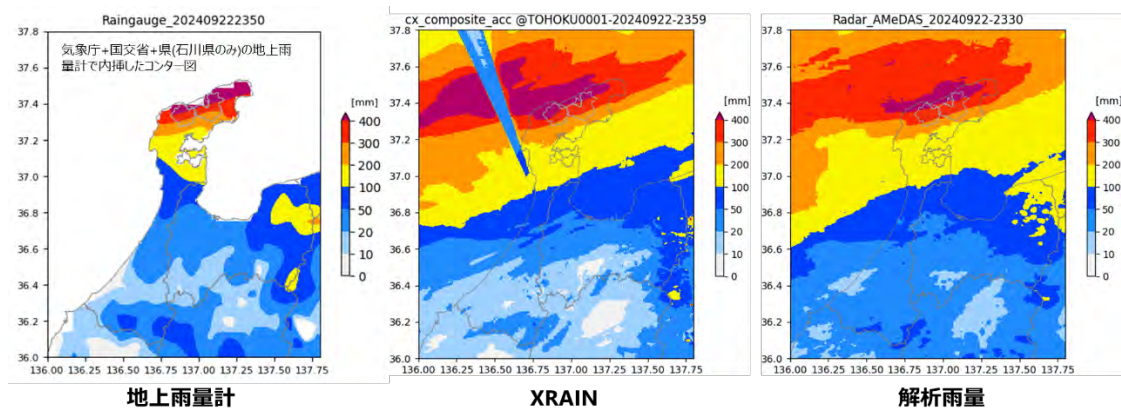


図 8-4 能登半島の降水量データの観測体制（左図：地上雨量，中図：XRAIN，右図：解析雨量に使われているレーダサイト）

8.3 検討の対象とした流域の概要

本報告書で降雨状況の統計解析の検討対象とした流域は，石川県能登半島北部に位置する以下の 4 河川である（図 8-5）。

＜河原田川流域（流域面積：約 129km²）＞

能登町内を流下する中小河川。中流～下流域にかけては市街地となっている。

＜塚田川流域（流域面積：約 168km²）＞

珠洲市南部を流れる流域。広範な農地と住宅地を抱えている地域である。

＜南志見川流域（流域面積：約 16km²）＞

規模は小さいが，上流に急峻な地形が集中している。

＜町野川流域（流域面積：約 7km²）＞

流域面積が最も小さいが，今回の豪雨において地上雨量計による観測値が最大を示した流域である。

これらの流域は，72 時間降雨量で 400mm を超えた領域を含んでいる流域で土砂災害も顕著であった流域である。

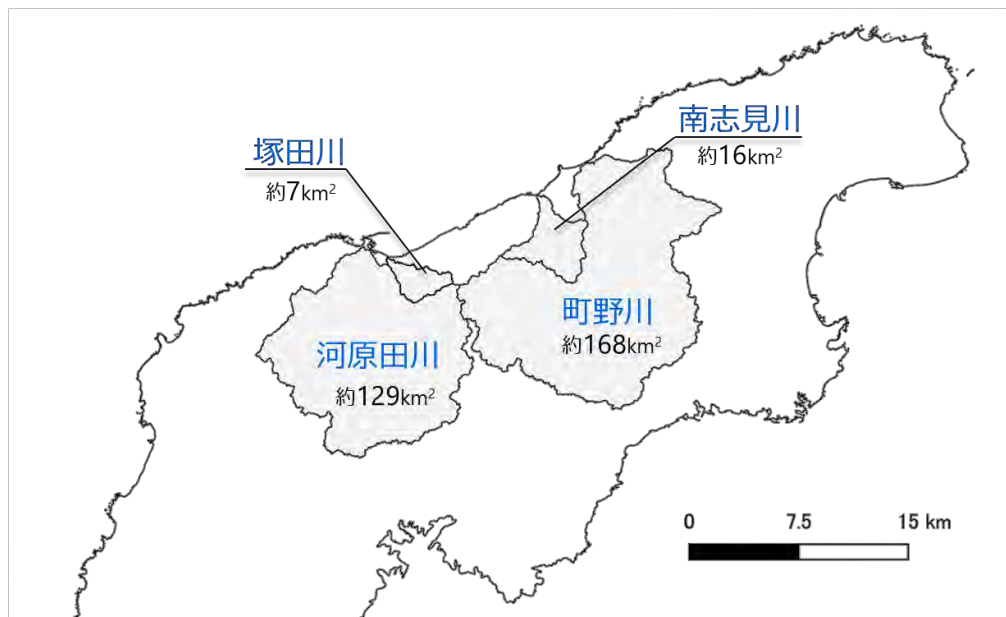


図 8-5 検討の対象とした流域の位置図

8.4 降雨特性の比較分析

本章では，能登半島豪雨において得られた各種降雨データ（地上雨量計，XRAIN，解析雨量）の空間的・時間的な分布特性について，対象4流域における比較分析を行う．

これにより，豪雨の実態と降雨データごとの特徴・限界を明らかにする．

まず，地上雨量・XRAIN・解析雨量それぞれのデータに基づく降雨分布図（72時間積算雨量）を比較した結果(図 8-4)，能登半島北部の沿岸部，特に珠洲市や能登町周辺で顕著な降水が確認された．72時間積算雨量においては，複数地点で 400mm を超える極端な値が記録されており，これは中小規模流域における洪水発生の重大な要因であったと考えられる．解析雨量や XRAIN では，地形的な遮蔽やレーダ観測距離の影響から，局所的なピークを過小評価する傾向も見受けられたが，全体的な空間分布は一致していることが確認された．

次に，図 8-に示すとおり，時間雨量に着目した散布図の分析から，地上雨量計と XRAIN との間には比較的高い相関が認められた．一方で，地上雨量計と解析雨量の間では，相対的にばらつきが目立ち，特に能登半島のように地上観測点が限られる地域では補正精度が十分ではない可能性が示唆された．能登半島内では，国土交通省の雨量計が設置されておらず，県提供の地上データが補正に使われていないため※，解析雨量の補正において気象庁 AMeDAS データ（図 8-3 左図参照）のみが用いられていることが，この差異の一因と考えられる．（※解析雨量の地上雨量計による補正有無のフラグ情報で石川県の地上雨量計は未使用のステータス）

また、図 8-に示すように流域平均降雨強度および積算雨量の時系列を比較したところ、全体として地上雨量計と XRAIN のピークが一致しているケースが多く、特に河原田川・塚田川・南志見川の 3 流域では XRAIN が最も高い降雨強度を示していた。一方、町野川流域では地上雨量計が最も高い値を示しており、局所的な雨域の中心がレーダ定量観測域外であった可能性や一部の地上雨量計が高く、流域平均雨量に影響を及ぼしている可能性が示唆される。いずれにしても、観測手法による空間解像度や補正条件の違いが、降雨量評価に少なからず影響を与える点に留意が必要である。

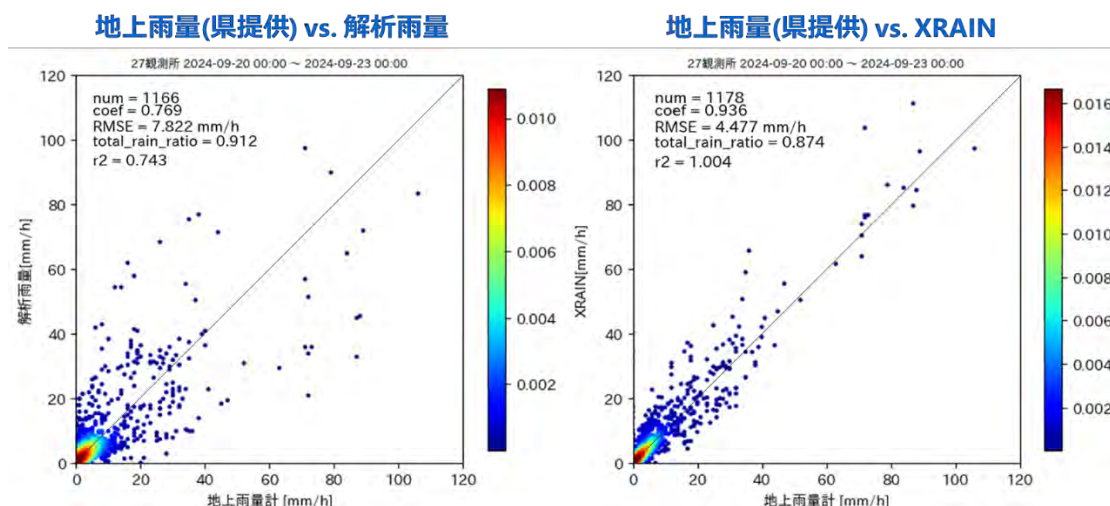


図 8-6 地上雨量に対する解析雨量及び XRAIN の時間雨量の比較

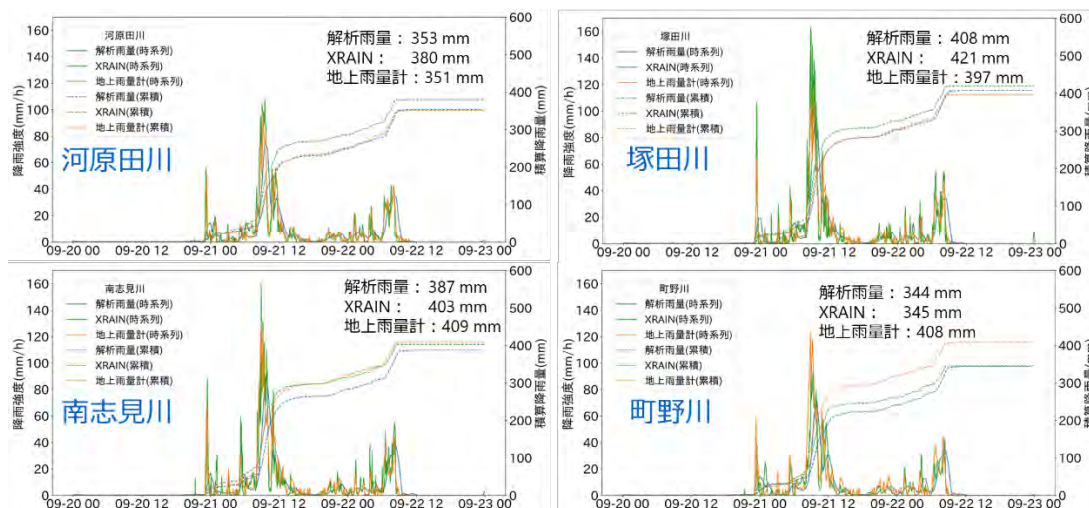


図 8-7 流域ごとの流域平均降雨強度・積算雨量時系列

8.5 統計的評価と IDF 曲線による確率解析

降雨事象の規模などを評価するうえで、統計的手法による解析は不可欠であると考え
る。本章では、過去 35 年間（1988 年～2023 年）の解析雨量データを基に、各流域の降雨
強度・継続時間・発生頻度の関係を表す IDF（Intensity-Duration-Frequency）曲線を作成
し、今回の豪雨が統計的にどの程度の頻度で生じうる事象であったかを評価する。図 8-8
には、その解析手順の概要を示す。

解析の第一段階として、各流域における年最大降水量（各継続時間 $T=1, 3, 6, 12, 24, 48, 72$ 時間）を抽出し、それぞれの継続時間における時系列データから確率分布関数を求め
た。具体的には、一般化極値分布（GEV）、Gumbel 分布、対数正規分布、平方根指数型最
大値分布を候補とし、AIC（赤池情報量基準）と SLSC による適合度評価を行った（図
8-）。その結果、全ての流域において Gumbel 分布が最も適合性が高いと判断された。

次に、確率分布に基づき、各確率年（再現期間：2 年，5 年，10 年，20 年，50 年，100
年）に対応する降雨強度を推定し、両対数グラフにプロットして IDF 曲線を作成した（図
8-）。この曲線上に、令和 6 年豪雨の降雨データ（各継続時間ごとの平均降雨強度）を重
畳させることで、今回の豪雨が持つ確率的な位置づけを評価した。

その結果、対象とした 4 流域すべてにおいて、全ての継続時間で推定値が 100 年確率降
雨強度（ $RP=100$ 年）と同等またはそれ以上であったことが明らかとなった。これは、今
回の能登半島豪雨が短時間に集中した豪雨としても、また長時間にわたる広域豪雨として
も、少なくとも近年には発生していない規模の降雨であったことがわかる。

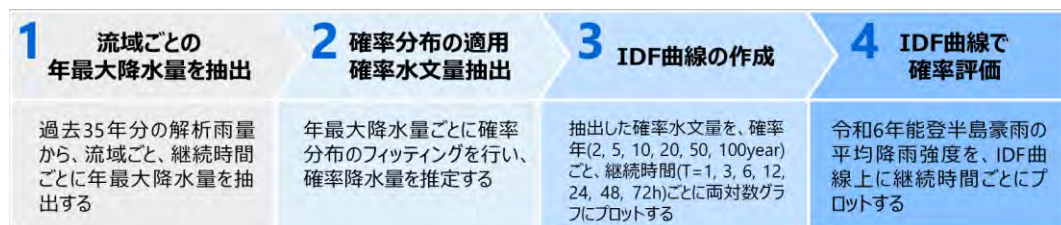


図 8-8 本検討で実施した統計解析の手順

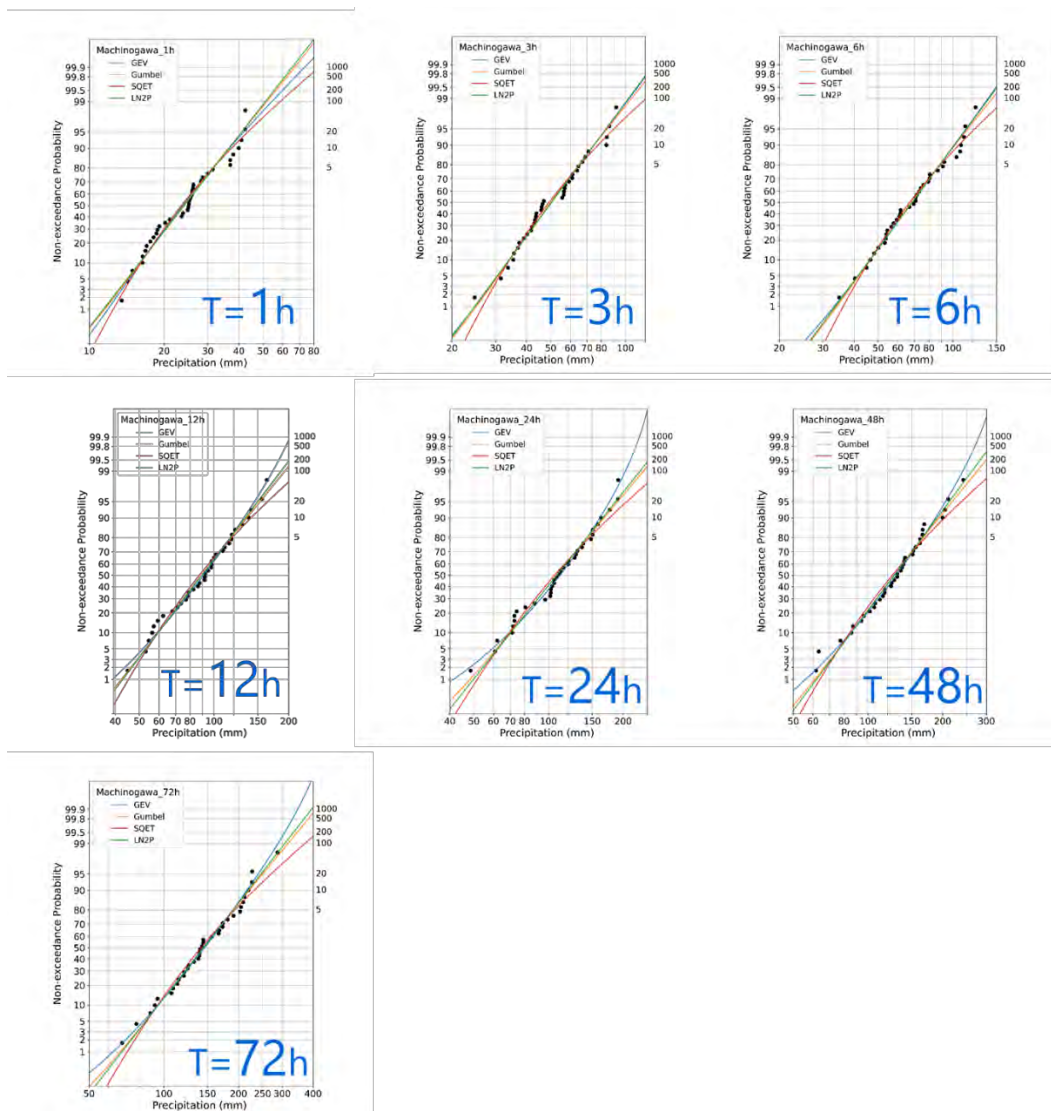


図 8-9 降雨継続時間ごとの確率紙 (町野川流域)

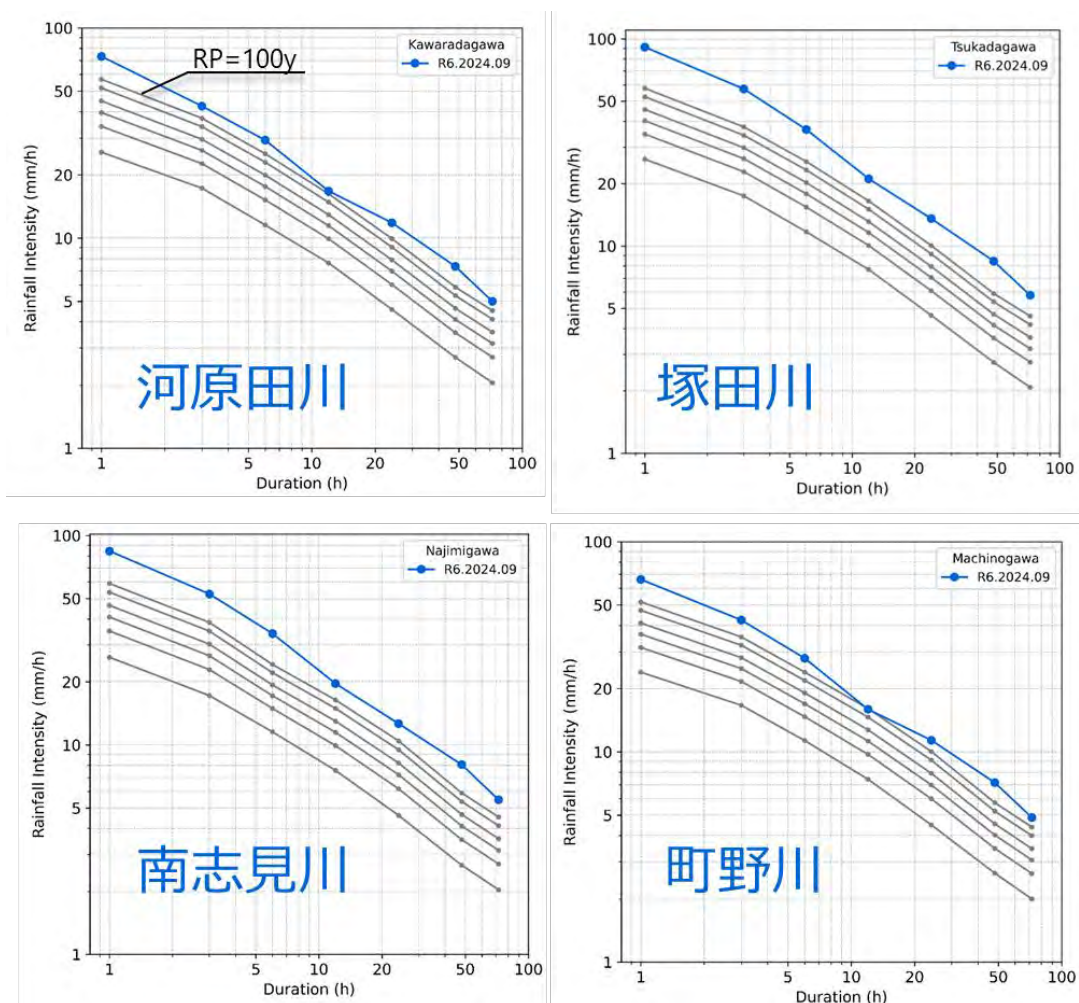


図 8-10 流域ごとの IDF 曲線

8.6 まとめ

本検討では、令和 6 年 9 月に能登半島で発生した記録的豪雨について、降雨データの比較分析および統計的解析を通じて、その特性を明らかにした。得られた主な知見を以下にまとめる。

- ・能登半島の日本海側沿岸域の 72h 積算雨量が特に大きな値を示している。一部の地域では 400mm を上回る降水量を観測していた。検討対象とした 4 流域では、流域内の大部分で 72h 積算雨量が 300mm を超えていた。
- ・令和 6 年 9 月 20 日から 22 日の地上雨量計と XRAIN、地上雨量計と解析雨量の 1 時間雨量値の比較から、相対的に XRAIN と地上雨量計データの相関が高いことがわかった。解析雨量のバラつきが相対的に大きかったのは、能登半島の領域で県提供の雨量データを使った補正が行われていない点が理由として考えられる。
- ・IDF 曲線による統計的評価により、本豪雨がすべての対象流域・継続時間において

100 年確率と同等かそれを超える規模の降雨であったことがわかった。

謝辞

石川県土木部河川課より当該事例における県管理地上雨量データを提供いただきました。本研究では、国土交通省が提供する XRAIN 原データを利用しました。このデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム (DIAS) の下で、収集・提供されました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁，災害をもたらした気象事例：低気圧と前線による大雨，令和 6 年 10 月 29 日

第9章 令和6年能登半島豪雨における海面水温の影響

金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 谷口 健司

9.1 はじめに

令和6年9月20日頃から日本海から本州付近に前線が停滞，21日には低気圧が日本海から三陸沖へ進み，前線が南下した．この低気圧や前線に暖かく湿った空気が流れ込んだことにより大気の状態が非常に不安定となり，東北地方から西日本にかけての広い範囲で大雨となった¹⁾．石川県能登地方では，線状降水帯が発生し，9月21日9時7分には顕著な大雨に関する気象情報が発表された．その後，1時間に100mm以上の猛烈な雨が降り続き，記録的短時間大雨情報が5回発表される状況となった．輪島及び珠洲では，1時間降水量，3時間降水量などが観測史上1位の値を記録した¹⁾．また，輪島では最大24時間降水量が412mm，月降水量は739.5mmと，いずれも統計開始以来1位の値を記録した．珠洲においても日降水量272mm，日最大1時間降水量84.5mmを記録し，アメダスにおける1位が更新された²⁾．

こうした大雨が発生した原因のひとつとして，輪島市の沖合の高い海面水温が指摘されている．大雨が発生した当時の海面水温は28度以上あり，平年比より4度高く，このために輪島での降雨量は9月の平年雨量の約2倍に達したとされている³⁾．

Kawano and Kawamura (2025) は，海面水温に1991年から2020年の平均値を与えた数値シミュレーションを行い，48時間降雨量の最大値は約28%，領域平均値について約14%減少することを示し，海面水温の影響を定量的に示した⁴⁾．

本章では，令和6年能登半島豪雨における海面水温の影響を検討するため，海面水温の状況に関する解析を行うとともに，海面水温を変化させた数値気象シミュレーションを行う．

9.2 方法

9.2.1 データ

本調査では，能登半島周辺域における海面水温の解析対象，及び数値気象シミュレーションの初期値・境界条件として，ヨーロッパ中期予報センター（European Centre for Medium-Range Weather Forecast: ECMWF）による大気再解析データであるECMWF Reanalysis v5 (ERA5)⁵⁾を用いることとした．また，数値気象シミュレーションの検

証には XRAIN 合成雨量⁶⁾を用いた。

9.2.2 数値気象モデル

本章では，米国大気研究所等により開発されている非静力領域気象モデル Weather Research and Forecasting (WRF)⁷⁾を用いた数値気象シミュレーションを行う．初期値・境界条件には先述の ERA5 を与える．シミュレーションは3段階ネスティングを適用して行うこととし，親領域を概ね日本全域を含む領域，中間領域を東北地方から中国・四国地方を含む領域，子領域を石川県を含む領域とした．なお，各領域の空間解像度はそれぞれ 30km, 10km, 2km とした (図 9-1)．また，WRF における各種設定を表 9-1 に示す．

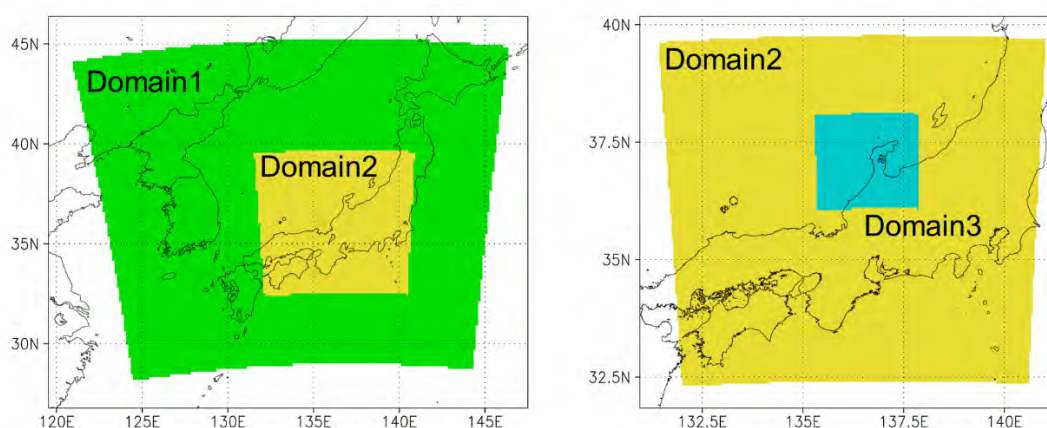


図 9-1 WRF の対象領域．Domain1 が親領域，Domain2 が中間領域，Domain3 が子領域を表す．

表 9-1 WRF における各種設定

モデルバージョン	4.4.2
空間解像度	30km, 10km, 2km
積分間隔	120 秒, 40 秒, 8 秒
雲微物理スキーム	Thompson et al. scheme
積雲対流スキーム	Grell-Freitas scheme
放射スキーム	RRTM scheme
地表面スキーム	Revised MM5 surface layer scheme
陸面モデル	Noah land surface model
境界層	Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 3 scheme
データ同化	スペクトルナッジング (親領域のみ)

海面水温については、再現実験（以下 CTL）に加えて 3 つの異なるパターンを与えることとする．ひとつめは 2005 年から 2024 年の 20 年間の平均海面水温を与えるパターン（以下、SST-M），次に 2005 年から 2024 年の平均海面水温に、シミュレーション対象期間の各日の海面水温から 2024 年の 9 月平均を差し引いた摂動分を加えたもの（以下 SST-CB），最後に各日の海面水温から 2005 年から 2024 年の 20 年間の平均海面水温と 1941 年から 1960 年の平均海面水温の差を引いたもの（以下 SST-PB）とした．SST-M は平年並みの海面水温であった場合の降雨量，SST-CB は平年並みの背景場を有した状態でイベント時の摂動が生じた場合の降雨量，SST-PB は 1941 年から 1960 年の期間に 2024 年 9 月に生じた程度の平年場からの偏差や日々の摂動が生じた場合の降雨量への影響を検討する．図 9-2 に、それぞれのケースで初期値とした海面水温と CTL との差を示す．

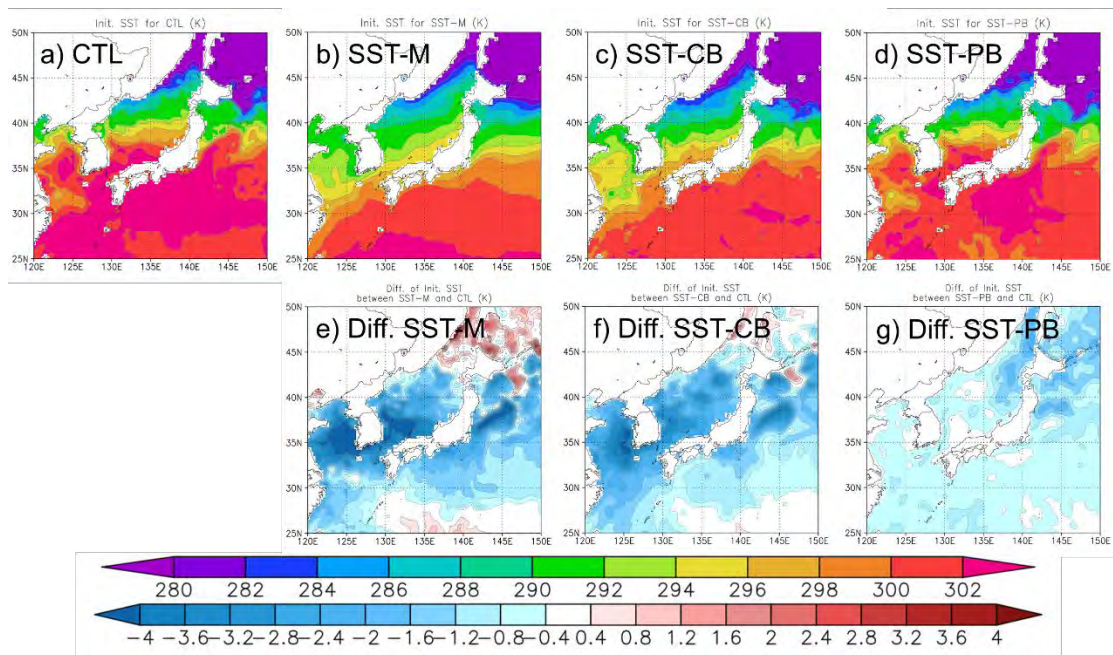


図 9-2 数値気象シミュレーションの初期値とした海面水温分布と CTL との差．

a)～d)はそれぞれ CTL，SST-M，SST-CB，SST-PB で初期値とした海面水温分布．e)～g)はそれぞれ SST-M，SST-CB，SST-PB の初期値とした海面水温と CTL との差．上段のカラーバーが海面水温，下段は海面水温の差．単位はいずれも K．

上記のように境界条件である海面水温に差異を与えたシミュレーションを実施した場合、各ケースについて単一のシミュレーションを実施しただけでは、シミュレーション間の差が海面水温の違いによるものなのか、カオス的な挙動によるものであるか

の評価が困難である．ここでは、各ケースの出力サンプル数を増やすため、Taniguchi (2018) ⁸⁾によるアンサンブルシミュレーションを実施する．まず、Lagged Average Forecasting (LAF) 法 ⁹⁾により 3 つの異なる時刻から WRF によるシミュレーションを開始し、ある時刻で中断し、3 つの状態ベクトル X_1 、 X_2 、 X_3 を得る．次に、 X_2 と X_1 の差による摂動ベクトル ΔX_2 、 X_3 と X_1 の差による摂動ベクトル ΔX_3 を作成する．これらから、人の状態ベクトル X_n を以下のように作成する．

$$X_n = X_1 + \alpha \Delta X_2 + \beta \Delta X_3$$

ここで、 α および β は ΔX_2 と ΔX_3 のスケールファクターとする． α および β を変化させることで X_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 から様々な状態 X_n が作成できる．ここでは、表 9-2 に示した摂動作成時刻において新たに 16 個のアンサンブルメンバーを作壊死し、計 19 個のアンサンブルシミュレーションを実施する．

表 9-2 摂動作成のための LAF 法を用いたシミュレーションの概要

作成する状態	開始時刻	摂動作成時刻	終了時刻
X_1	2024 年 9 月 20 日 00UTC	2024 年 9 月 20 日 12UTC	2024 年 9 月 22 日 00UTC
X_2	2024 年 9 月 19 日 18UTC		
X_3	2024 年 9 月 19 日 12UTC		

9.3 海面水温の特徴

図 9-3 に 1941 年から 1960 年までの 9 月の平均海面水温、2005 年から 2024 年までの 9 月の平均海面水温を示す．いずれも ERA5 によるものである．九州や本州の南の太平洋上に着目すると、2005 年から 2024 年の平均場において 301K 以上の範囲が沿岸に近づいてきている様子がわかる．一方、日本海側では明瞭な変化は見取れない．図 9-3c は二つの期間の差である．東北以北の海洋上では 1.0K 以上の海面水温の上昇が見られるが、能登半島周辺では 0.2～0.4K 程度の上昇にとどまっている．

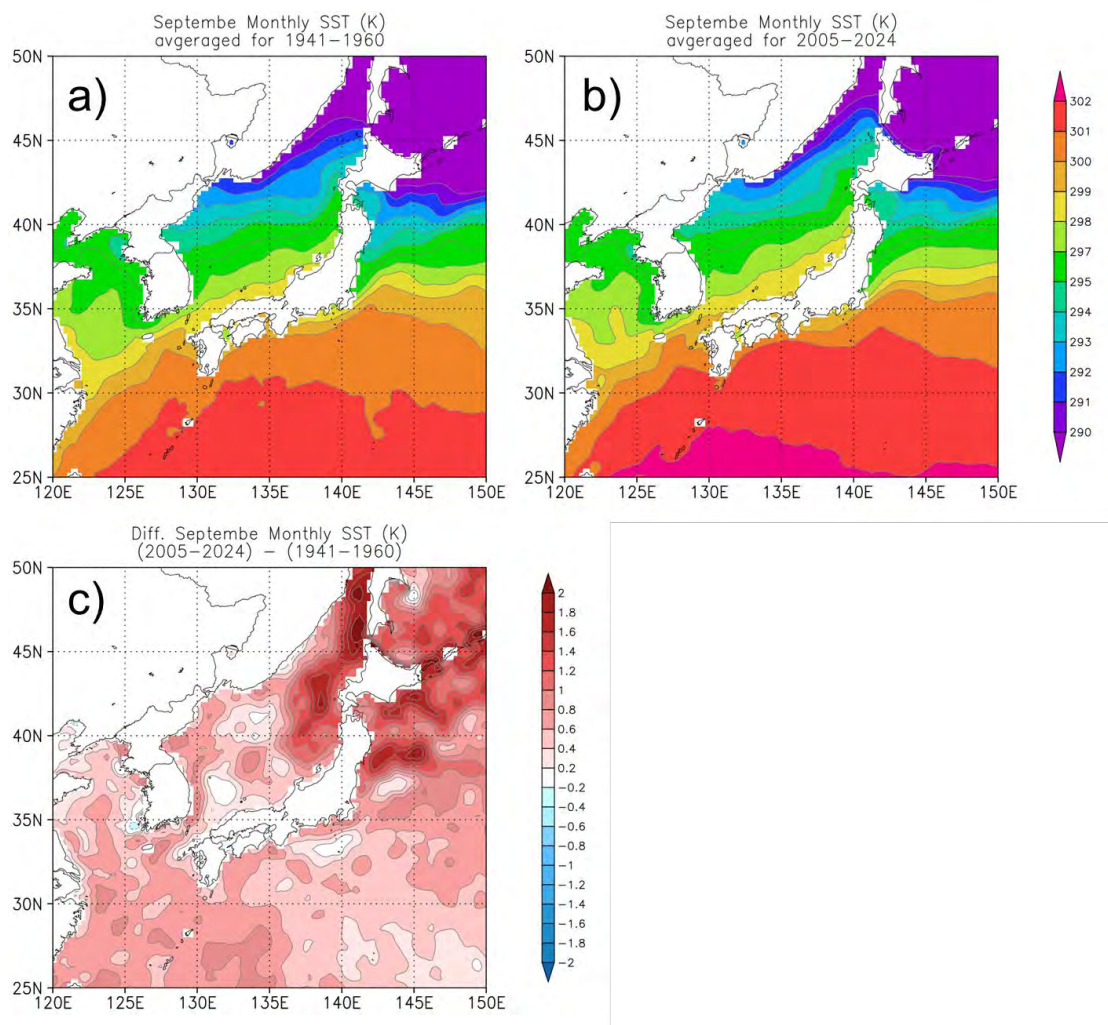


図 9-3 a) 1941 年から 1960 年における 9 月の海面水温の平均値, b) 2005 年から 2024 年における 9 月の海面水温の平均値, c) 2005 年～2024 年の 9 月の平均海面水温から 1941 年～1960 年の 9 月の平均海面水温を引いたもの。カラーバーの単位は K. 結果はいずれも ERA5 によるもの。

図 9-4 は能登半島西側 (135.5E-137.0E, 37.0N-38.0N) における 9 月の領域平均海面水温の時系列変化である。この長期変化傾向に関して Mann-Kendall 検定による評価を行ったところ、95%有意水準で有意な変化傾向は認められなかった。また、1941 年から 1960 年の 9 月の平均海面水温は約 297.8K、標準偏差は 0.68、2005 年から 2024 年の平均海面水温は 298.3K、標準偏差は 1.13 であった。これらふたつの期間の平均海面水温の差は 0.5K 程度と図 9-3 でも見たように顕著なものではなかったが、標準偏差には差が見られる。図 9-4 に示した 9 月の海面水温においては 2023 年、2024 年のみ 300K を超えており、年々変動の幅が大きくなっていることや、それに伴った海面水温の高い状態が生じやすくなっている可能性が示唆される。

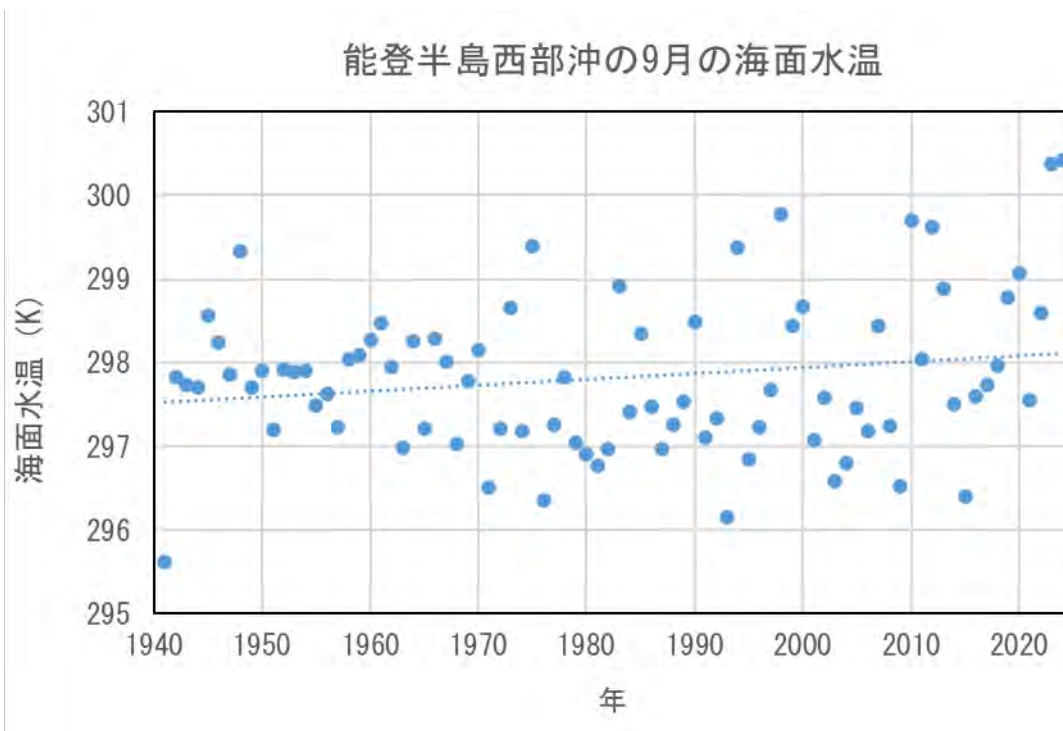


図 9-4 能登半島西側 (135. 5E-137. 0E, 37. 0N-38. 0N) における 9 月の領域平均海面水温の時系列変化

9.4 数値気象シミュレーションの結果

9.4.1 再現シミュレーション結果

図 9-5 は令和 6 年 9 月 20 日 0 時から令和 6 年 9 月 22 日 0 時（時刻は世界時刻）までの XRAIN 合成雨量及び WRF のシミュレーションによる総降雨量分布である．なお，WRF の結果は CTL において初期時刻を令和 6 年 9 月 20 日 0 時としたケースのものである．XRAIN 合成雨量では能登半島北部から海洋上に総降雨量 300mm 以上の領域が広がっている．輪島付近では 500mm 以上の非常に強い降雨域がみられる．WRF によるシミュレーションにおいても能登島を含む中能登あたりから北に総降雨量 300mm 以上の範囲が広がっている．また，能登半島西部に総降雨量 500mm 以上の領域がみられる．XRAIN 合成雨量に比べて 500mm 以上の範囲が大きくなっているが，降雨域，降雨量とも概ね実況に近い結果が得られている．

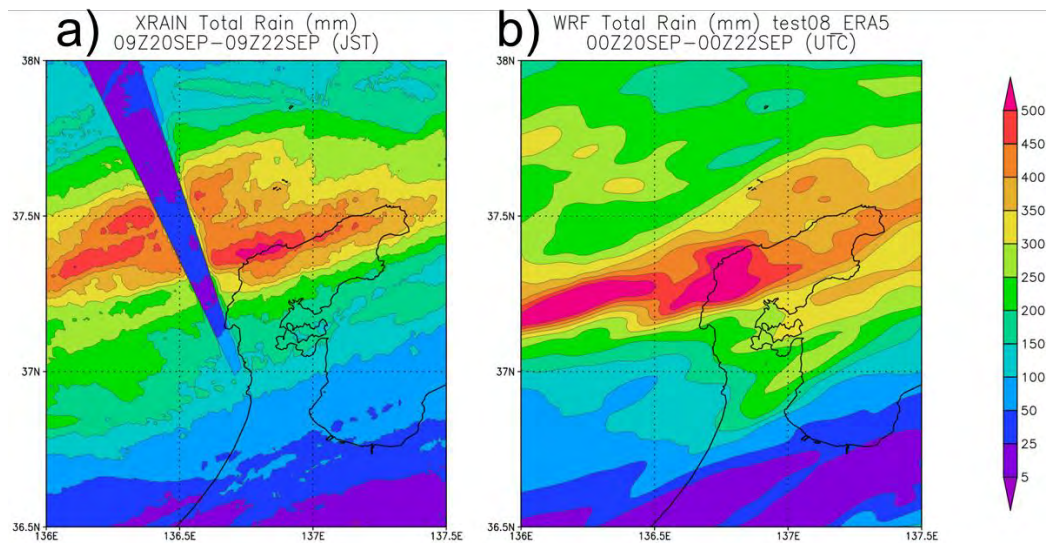


図 9-5 2024 年 9 月 20 日 00UTC から 2024 年 9 月 22 日 00UTC までの総降雨量分布. a) XRAIN 合成雨量, b) CTL におけるシミュレーション結果 (2024 年 9 月 20 日 00UTC を初期値としたケース). カラー場の単位は mm.

9.4.2 数値気象シミュレーションにおける海面水温の影響

図 9-6 は CTL, SST-M, SST-CB, SST-PB の総降雨量のアンサンブル平均を示す. CTL においては, 中能登以北において 350 mm を超える降雨が生じており, 能登半島の北部沿岸では総降雨量が 500 mm を超える領域も認められる. SST-M では総降雨量が 350 mm を超える範囲は限定的である. また, SST-CB においても能登半島では総降雨量が 200 mm 以上を超える程度であり, 陸域では 350 mm を超える範囲も東岸の限られた地域のみである. 海面水温が平均的な分布 (SST-M) であれば令和 6 年能登半島豪雨ほどの降雨には達することはない, 平年場に 2024 年 9 月 20 日から 9 月 22 日と同様の摂動が生じた場合 (SST-CB) であっても SST-M と同程度の降雨であったとみられる. 一方, SST-PB では CTL と降雨域に違いはあるが, 総降雨量が 350 mm を超える範囲が広く能登半島を覆っており, 450 mm 以上を超える範囲も確認される.

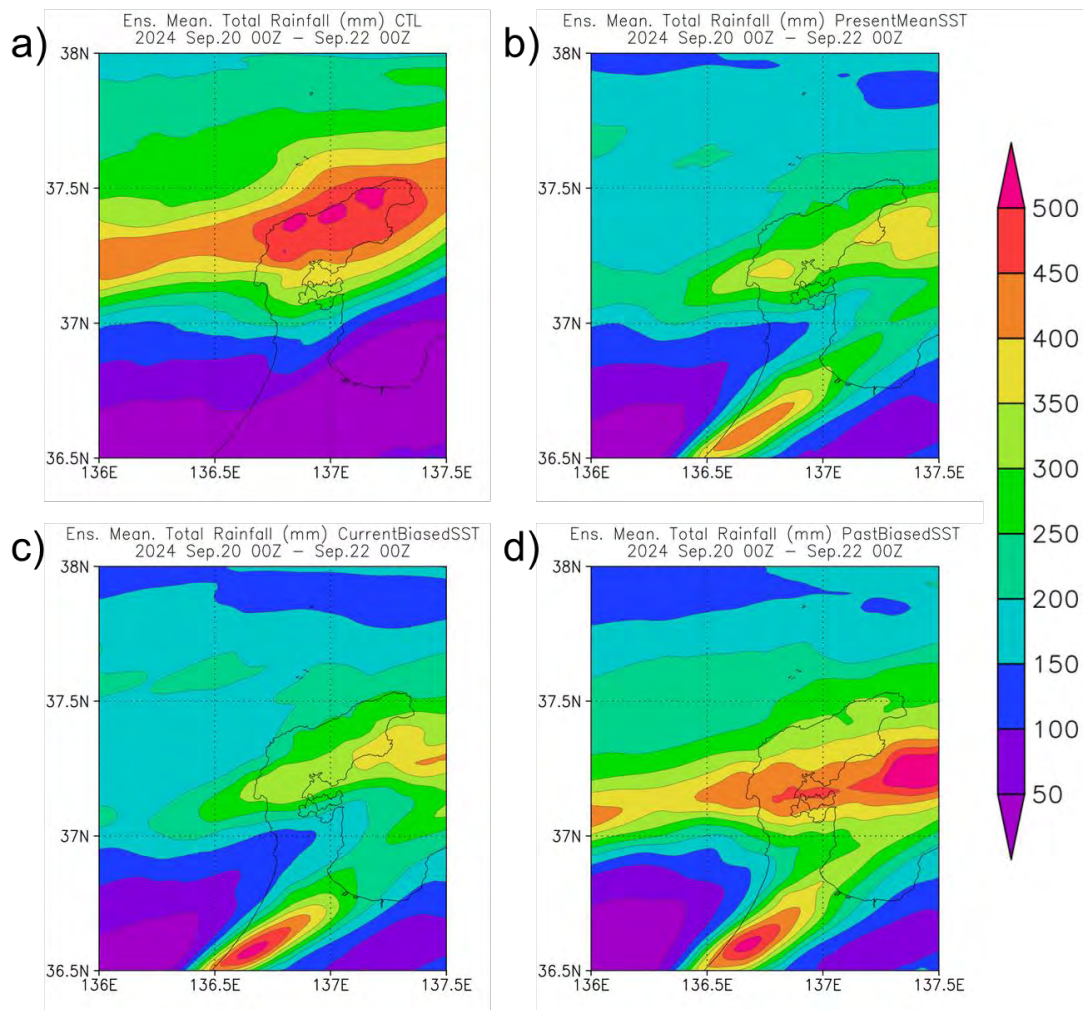


図 9-6 WRF による数値気象シミュレーションにおける 2024 年 9 月 20 日 00UTC から 2024 年 9 月 22 日 00UTC までの総降雨量分布. a)CTL, b) SST-M, c) SST-CB, d) SST-PB. いずれも 19 メンバーのアンサンブル平均. また, カラー場の単位は mm.

図 9-7a は各ケースの 19 のアンサンブルメンバーから作成した能登半島における領域平均総降雨量の箱ひげ図である. 領域平均値は 136.7E-137.75E, 37.2N-37.5N の範囲で算定した. また, アンサンブル平均とメンバー間の標準偏差を表-10.3 に示す. アンサンブル平均 (平均値) は CTL で 453.3mm であり, 他のケースより約 100 mm 以上の差がみられる. 図 9-7a をみると, SST-M と SST-CB の最大値よりも CTL の最小値が大きく, 平年並みの海面水温であった場合, 令和 6 年能登半島豪雨のような大雨が発生する可能性は低かったものと考えられる. 図 9-6 において能登半島で大雨が見られた SST-PB では, 上述のように平均値は CTL と 100mm 程度の差が生じているが, 最大値については CTL のメンバーの中にも同程度のものもある.

図 9-7b は能登半島における最大総降雨量の箱ひげ図である。最大値の探索範囲は領域平均値を求めたと同じく 136.7E-137.75E, 37.2N-37.5N である。アンサンブル平均と標準偏差は表 9-3 に示す。領域平均値と同じく、SST-M と SST-CB は CTL に比べてアンサンブル平均が小さく 190mm もの差がある。一方、SST-PB では CTL と同程度のアンサンブル平均となっている。

図 9-2 に示したように、SST-M 及び SST-CB では境界条件とした海面水温が大きく低下しており、そのことが総降雨量の顕著な現象をもたらしていると考えられる。一方、SST-PB では 1941-1960 年から 2005-2024 年の変動分を引いたのみであり、2024 年がもつ平年値（2005-2024 年の平均値）からの変動は含んでいる。図 9-4 で示したように、能登半島周辺の海面水温は 1941 年から 2024 年の期間で統計的に有意な変化傾向はなく、2024 年と同程度の変動が過去に生じたとすると、大雨が生じた可能性がある。ただし、上述のように 1941-1960 年の 9 月の海面水温の標準偏差は 2005-2024 年に比べて小さく、年々変動の大きさが温暖化に伴う気候変化の影響であるとすれば、令和 6 年能登半島豪雨は、現在の気候条件がもたらしたものとも考えられる。

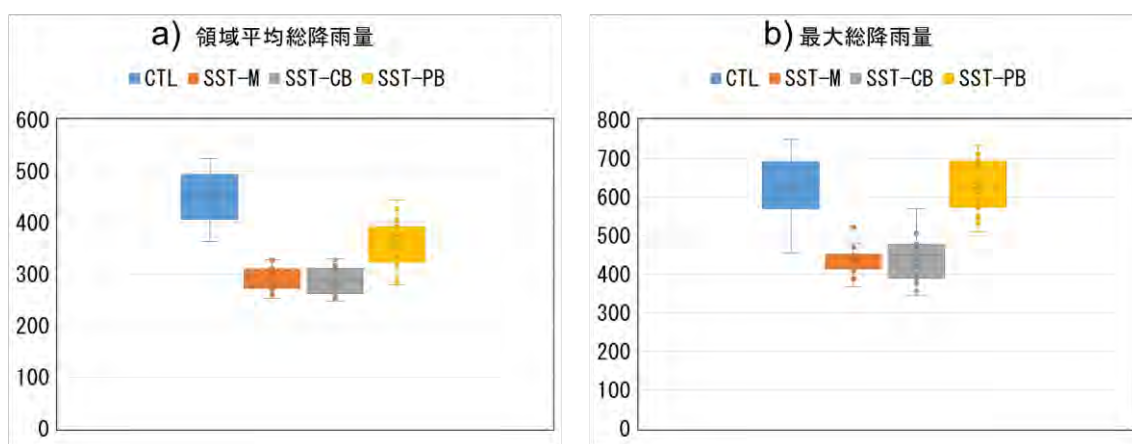


図 9-7 a) 能登半島における領域平均総降雨量の箱ひげ図，b) 能登半島における最大総降雨量の箱ひげ図。縦軸の単位は mm。

表 9-3 能登半島における領域平均総降雨量及び最大総降雨量のアンサンブル平均と標準偏差。単位は mm。

		CTL	SST-M	SST-CB	SST-PB
領域平均 総降雨量	アンサンブル平均	453.3	287.5	287.9	355.9
	標準偏差	47.8	22.2	25.7	46.3
最大 総降雨量	アンサンブル平均	626.9	436.7	441.9	626.3
	標準偏差	83.1	36.0	55.5	46.3

9.5 まとめ

令和6年能登半島豪雨発生時の能登半島周辺域の海面水温の状況の解析と、その降雨量への影響に関する数値気象シミュレーションを実施した。能登半島西部の海面水温については、長期的な変化に関する統計的に有意なトレンドは認められなかったが、2024年は対象期間において最も海面水温が高い年であり、2005年～2024年の平均値からは2K程度高い状態であった。このような海面水温が降雨量に与えた影響について、初期値・境界条件となる海面水温を変化させたシミュレーションを実施したところ、海面水温を2005年～2024年の平均値としたケース（SST-M）と、2005年～2024年の平年値に日周変化レベルの摂動を与えたケース（SST-CB）では、総降雨量の顕著な減少が見られた。一方、1941年から1960年の平均値に、2005年～2024年の9月の平均値からの2024年9月の偏差を与えたケース（SST-PB）では、SST-M、SST-CBより総降雨量が大きいとの結果を得た。特に、能登半島における総降雨量の最大値については再現シミュレーションと同程度の値となった。これらの結果は、令和6年能登半島豪雨における大雨は、近年の平均値に比べて非常に高温であった海面水温が影響を与えていること、過去（1941年～1960年）においても同程度の偏差が生じた場合には大雨が発生する可能性があったことを示唆している。ただし、海面水温の年々変動については過去に比べて近年の方が大きく、平年値より大きな海面水温の偏差を有する状態が生じやすくなっている可能性は否めない。地球温暖化に伴った気候変化に伴い、年々変動の幅が大きくなった場合、今次災害のような大雨が発生し得る可能性があるといえる。

本章での数値気象シミュレーションでは、海面水温のみを変化させた。今後、地球温暖化に伴う気温上昇により飽和水蒸気圧の増加に伴う大気中の可降水量の増加の影響なども想定したシミュレーションにより、気候変化の影響評価を精査する必要がある。また、海面水温の解析については再解析データを活用したが、より精度の高い衛星観測プロダクトなどを用いた解析も必要と考えられる。

今後も令和6年能登半島豪雨に匹敵する規模の大雨が発生するか否かについては、地球環境に関する不断のモニタリングと、それに基づくトレンドや年々変動の変化を把握しながら、様々な気象現象への影響の有無を評価し、適切な防災対策に生かしていくことが不可欠と考えられる。

謝辞

本調査では、ECMWFより公開されている長期再解析データであるERA5を使用しました。また、XRAIN合成雨量データについてはデータ統合・解析システム（DIAS）を通じて国土交通省より提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：低気圧と前線による大雨 令和6年（2024年）9月20日～9月22日，2024.
- 2) 金沢地方気象台：令和6年9月21日から23日の大雨に関する石川県気象速報，2024.
- 3) 内城喜貴：大地震後の能登地方を襲った記録的な豪雨，高い海面水温が要因に，National Geographic, <https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/24/101100550/>, 2025年1月15日閲覧.
- 4) Kawano, T. and Kawamura, R.: Impact of unusually high SSTs in the southern part of the Sea of Japan on heavy rainfall that occurred in Noto, Japan, on 21 September 2024, *SOLA*, doi:10.2151/aola.2025-021, 2025.
- 5) ECMWF : ERA5 : data documentation , <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5%3A+data+documentation>, 2025年4月10日閲覧.
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室：国土交通省 XRAIN XMP 合成雨量データ，https://metadata.diasjp.net/dmm/doc/MLIT_XRAIN_composite-DIAS-ja.html, 2025年4月10日閲覧.
- 7) Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR, 2008.
- 8) Taniguchi, K.: A simple ensemble simulation technique-for assessment of future variation in specific high-impact weather events, *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 123, pp.3443-3461, 2018.
- 9) Hoffman, R. N. and Kalnay, E.: Lagged average forecasting, a alternative to Monte Carlo forecasting, *Tellus Series A*, 35A(2), pp.100-118, 1983.

第 10 章 若山川，折戸川，竹中川の現地調査報告

富山県立大学 呉修一

富山県立大学大学院 中尾朔也，沼澤蓮音

10.1 はじめに

2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震では，石川県奥能登を中心に土砂災害，家屋倒壊などの地震被害が生じ，津波も広範囲で生じている¹⁾．復興もままならないまま，同年 9 月 21 日に発生した奥能登豪雨により複数河川で洪水氾濫が生じた．本豪雨災害は，地震と豪雨が相次いで発生したことにより大量の土砂・植生の流出，地盤変状による洪水氾濫被害の拡大が生じたものと考えられている．気候変動による大雨の頻度増加と，南海トラフなどの大地震への懸念が生じる中，このような複合災害，特に中小河川での影響を明らかにすることは，今後の中小河川での浸水リスクの評価や防災減災に向けた取り組みにおいて，極めて重要な課題である．特に中小河川はデータが不十分な河川が多く，そこでいかに洪水氾濫状況を定量的に評価するかは河川技術の観点から重要である．

筆者らは現地調査を通じて，各河川の浸水状況を主に調査した．これにより，浸水被害状況などを整理するとともに，同時に実施されている数値計算結果の妥当性を検証することに資するデータを提供する．更に，今次豪雨災害から学ぶべき教訓を整理し，今後の豪雨・洪水災害を減災するために必要な準備や対策を提案する事を，本報告の目的とする．なお本報告書は執筆者らの速報²⁾を再度整理し，加筆修正したものである．また，その後の筆者らの数値計算結果などは他の文献³⁾照されたい．

なお，本調査より得られた浸水深の数値データなどが必要な場合は，全く遠慮なく執筆者らにコンタクトして頂きたい．

10.2 対象河川

筆者らは珠洲市の若山川，折戸川，竹中川を対象に調査を実施した．これは本出水が広域での複数河川で被害が生じており，水害調査団での分担し，調査が多くなされていない河川を対象とするためである．また，若山川は県管理の中小河川ではあるが，浸水想定区域やハザードマップも整備されており，被害状況との定量的な比較が可能であると考え対象とした．更に河道内での侵食被害も報告されており，筆者らが従来から取り組んでいる⁴⁾急流河川での侵食予測での検討が可能と考えた．若山川は

輪島市と珠洲市の境の標高約 470 m～310 m 程度の山地に発し日本海にそそぐ，流域面積 52 km² の二級河川である．折戸川，竹中川の流域面積は，筆者らが ArcGIS より算定した結果，折戸川 10.2 km²，竹中川 11.9 km² であった．

10.3 調査方法

豪雨災害の発災を受け，筆者らは土木学会水工学委員会の調査団として，2024 年 10 月 9 日，29 日，30 日およびその後数回にわたり珠洲市，輪島市で調査を行っている．主たる調査内容は浸水深・位の測定，河岸侵食状況の調査がメインである．浸水深・位の測定は 10 月 9 日に RTK (Trimble GNSS 受信機 R10) と標尺を用い，浸水痕跡より測定している．浸水深に加えて地盤高さも計測することで，浸水位として計測している．これにより，計測位置の家屋土台や道路標高などの微地形が浸水深に与える影響を除去することが可能となる．発災後，2 週間程度が経過していたが痕跡は比較的明瞭に残っており，高い精度を有するものと考えており，本調査での測定結果は津波痕跡調査⁵⁾における精度 A に該当する．

10.4 若山川での調査結果

若山川では，今次豪雨により広い範囲での浸水被害が生じ，橋梁の崩壊や護岸侵食などの被害が多く確認されている．若山川の位置を図 10-1 に示す．若山川では図 10-2 に示すよう，広範囲で洪水氾濫による浸水が生じており，これらの浸水深・位を現地で計測した．

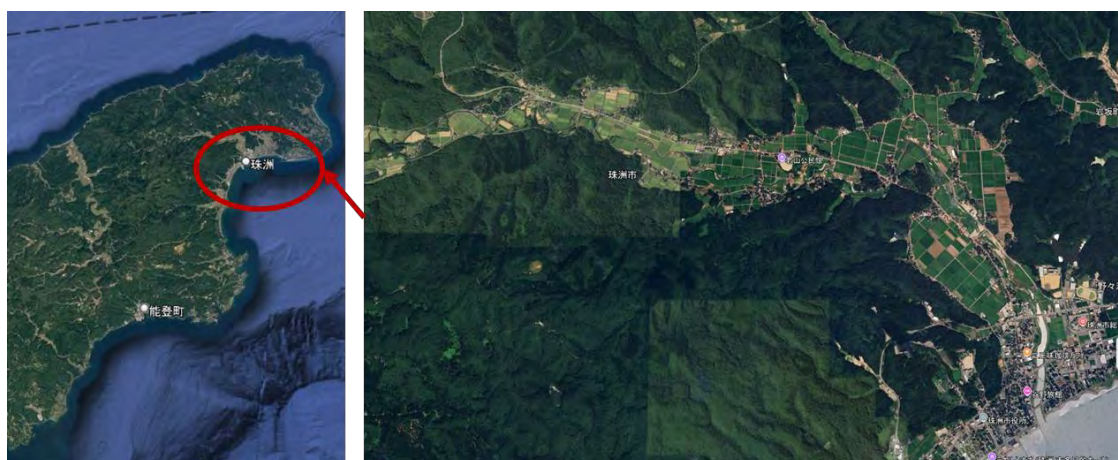


図 10-1 若山川の位置 (Google Earth 画像に加筆)



図 10-2 若山川での調査地点 (Google Earth 画像に加筆)

まず，測定地点 1～13 の地点での調査の様子を図 10-3 に，調査結果を図 10-4 に示す．高いところで浸水深 160 cm 程度を記録していることがわかる．また測定地点 1 の近傍では，図 10-5 に示すよう河岸侵食に伴い家屋の崩落被害が生じているなど，洪水流による顕著な侵食被害が生じていた．なお，公開されている洪水ハザードマップでは本地点は，家屋倒壊等氾濫想定区域（河岸侵食）に指定されている地点であり，侵食リスクが高いものとして事前に周知されていた．また，全体的な浸水箇所も洪水ハザードマップ上で浸水範囲として周知されているものである．詳細な比較や洪水氾濫解析結果との比較は筆者らの他の文献³⁾を参考されたい．



測定地点①



測定地点②



測定地点④



測定地点⑥



測定地点③



測定地点⑤



測定地点 1～6

測定地点⑦



測定地点⑧



測定地点 7, 8



測定地点⑩



測定地点⑨

測定地点⑪



測定地点 9～11

測定地点⑫



測定地点⑬



測定地点 12, 13



図 10-3 若山川における調査の様子（測定地点 1～13）



図 10-4 若山川における調査地点と浸水深の分布（測定地点 1～13）



図 10-5 測定地点 1 の近傍での河岸侵食による家屋の崩落状況
(2024 年 10 月 9 日筆者らが撮影)

次に，測定地点 14～20 の状況を図 10-6 に，調査結果を図 10-7 に示す．こちらは上流側であるが，高いところで浸水深 160 cm 程度を記録していることがわかる．浸水地点

近傍には図 10-8 に示すよう橋脚があり、橋脚への流木の堆積などが洪水流に影響した可能性があるため、今後はこれらの影響も精査する必要がある。



図 10-6 若山川における調査の様子（測定点 14~20）



図 10-7 若山川における調査地点と浸水深の分布（測定地点 14～20）



図 10-8 測定地点近傍の橋脚に残る痕跡（左岸側より撮影）

次に，測定地点 21～22 の調査状況と調査結果を図 10-9 に示す．こちらは更に上流側であるが，高いところで浸水深 45 cm 程度を記録していることがわかる．浸水地点近傍には図 10-10 に示すよう橋脚があり，橋脚を越流するような洪水ではなかったことが痕跡水位より明らかとなった．また橋脚下流側での侵食の状況を図 10-11 に示す．



図 10-9 若山川における調査地点の様子と浸水深の分布（測定地点 21～22）



図 10-10 測定地点近傍の橋脚に残る痕跡（左岸側より撮影）



図 10-11 橋脚下流での侵食の状況

次に，測定地点 23～24 の調査状況・結果を図 10-12 に示す．こちらは中流であるが，高いところで浸水深 110 cm 程度を記録していることがわかる．浸水地点近傍には図 10-13 に示すよう橋脚があり，橋脚を越流する洪水が生じていたことがわかる．



図 10-12 若山川における調査地点の様子と浸水深の分布（測定地点 21～22）



図 10-13 測定地点近傍の橋脚に残る痕跡（左岸側より撮影）

以上，若山川では広範囲での浸水状況が確認された．浸水深は大きいところで 160 cm 程度が測定されるなど，顕著な浸水被害が生じていたことわかる．また，橋脚への堆積流木の洪水氾濫への影響や護岸侵食の状況などは，今後精査される必要がある．特筆すべき点としては，調査結果より得られた浸水範囲は公表されていたハザードマップの浸水範囲と整合しており，河岸侵食による家の崩落も事前に高リスクと周知されていた箇所が生じたと考えられる．

10.5 竹中川での調査結果

竹中川は珠洲市に位置する小河川であり，上流山地が近く現地調査では多くの流木が見受けられた．流木に加えて多くの護岸侵食や河川近傍で浸水痕跡も確認されている．竹中川の位置を図 10-14 に示す．竹中川では図 10-15 に示すよう，河道近傍で最大 65 cm 程度の浸水深を計測している．

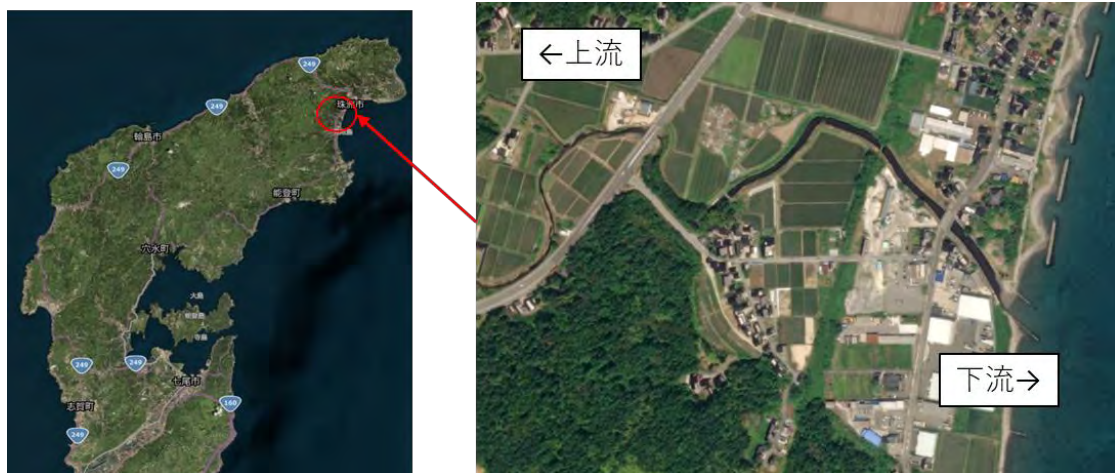


図 10-14 竹中川の位置 (Google Earth 画像に加筆)



図 10-15 竹中川での調査結果 (Google Earth 画像に加筆)

次に、竹中川河道内の被災状況を報告する。図 10-16, 17 に、調査範囲および被災箇所を示す。調査範囲内で 5 カ所の護岸被災が確認された。図 10-16 に示されるよう、調査地点 1, 2 での被害が大きく、調査地点 2, 3, 5 では土嚢が既に設置されていた。

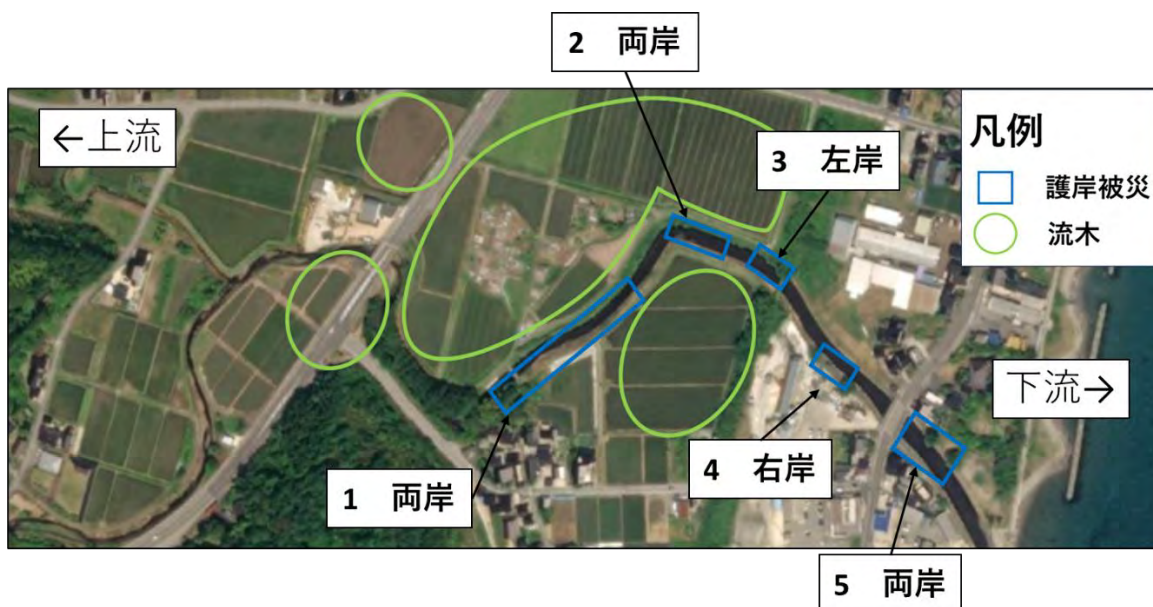
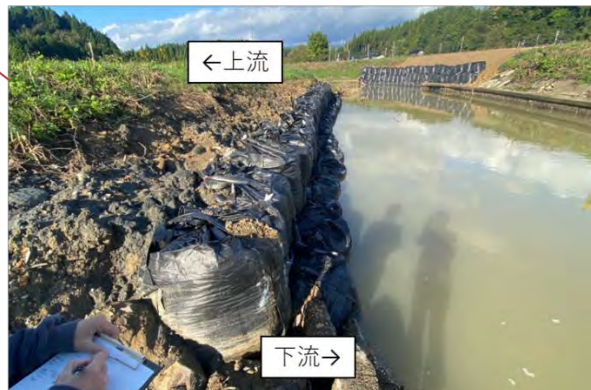
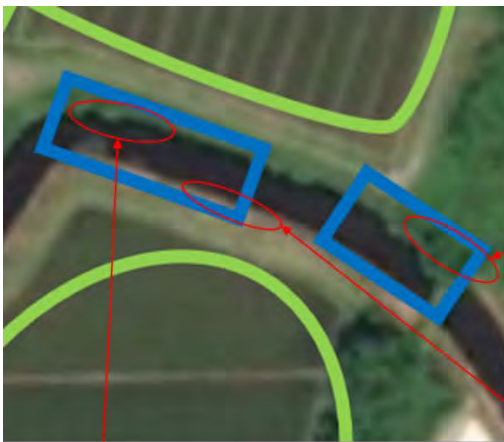


図 10-16 竹中川における護岸被災状況の調査地点・範囲 (緑○の中に流木が堆積しており、青□の箇所で護岸の被災が見られた)



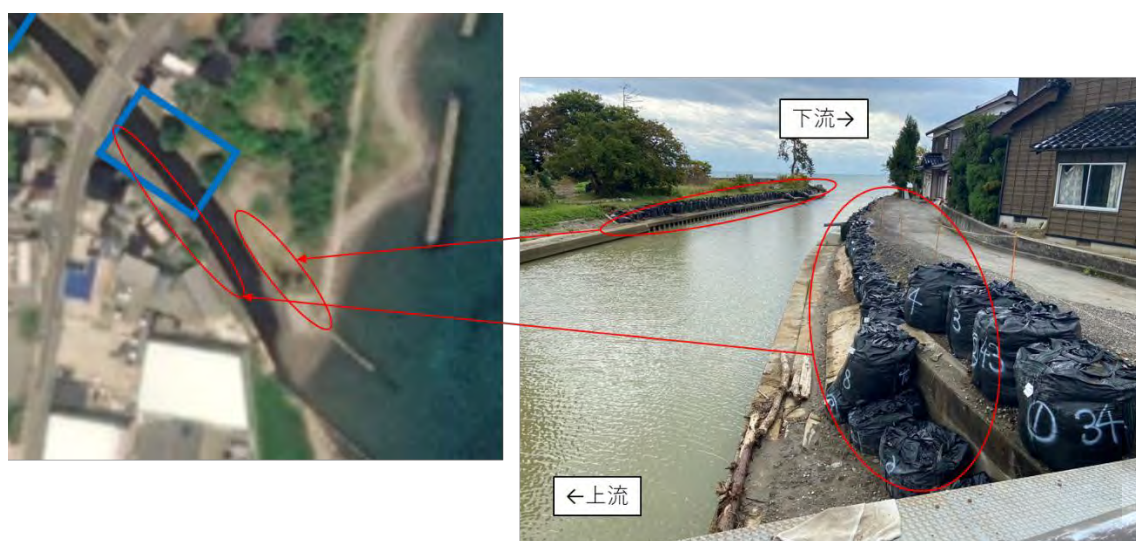
被災箇所 1



被災箇所 2, 3



被災箇所 4



被災箇所 5

図 10-17 竹中川における護岸の被災状況 (1～5)

このように、竹中川では河道近傍での浸水状況が確認され、浸水深は大きいところで 65 cm 程度が測定された。また、多くの地点で護岸が侵食されているとともに、図 10-18 に示すよう多くの流木の流出が確認されている（10 月 29 日撮影なので、流木の撤去作業が始まっている点は注意されたい）。竹中川での流木流出の多さの理由や上流

山地の土壌・植生状況，能登半島地震との関係などは今後精査される必要がある．



図 10-18 竹中川で見られた流木の堆積状況(10 月 29 日撮影)

10.6 折戸川での調査結果

折戸川は珠洲市北部に位置する小河川であり，上流山地が竹中川と同様に近いが，流木の流出は竹中川ほど多くは見られなかった．この点が竹中川との大きな違いであり，その理由を今後明らかにしたいと考えている．折戸川の位置を図 10-19 に示す．折戸川では図 10-20 に示すよう，河道近傍の低い箇所で，最大 30 cm 程度の浸水深を 2 カ所で計測している．



図 10-19 折戸川の位置 (Google Earth 画像に加筆)



図 10-20 折戸川の浸水調査結果 (Google Earth 画像に加筆)

次に、折戸川河道内の被災状況を報告する。図 10-21, 22 に、調査範囲および被災箇所を示す。調査範囲内で 5 カ所の被災が確認された。図 10-21 に示されるよう、3 地点での護岸被災 6 確認し被災地点 4 では橋の上でのゴミや流木の堆積が確認された。一

部構造物の崩落が確認されたが、これは地震の影響である可能性が高いと考える。被災地点 4 の下流側には支川の合流部が存在しており堤防が低くなっていた。また、被災地点 3 は支川部分の侵食被害である。



図 10-21 折戸川における河道内被災状況の調査地点・範囲（緑○の範囲に流木が堆積しており、青□の箇所で護岸被災、オレンジ□の箇所で河道内構造物破損が見られた）



被災箇所 1



被災箇所 2



被災箇所 3



被災箇所 4



被災箇所 5

図 10-22 折戸川における河道内被災状況（被災箇所 1～5）

このように折戸川では，河道近傍の低い箇所で浸水が確認され，浸水深は大きいところで 30 cm 程度であった．また，複数地点で護岸の侵食が確認されるとともに，図 10-22 の被災箇所 4 に示すよう，一部で流木の堆積が確認される．しかしながら，前述の竹中川と比較すると流木流出量が極めて少なく感じられ，この原因が降雨の時空間分布にあるのか，地形地質植生特性にあるのかなど，今後考察を深め明らかにしていきたい．更に，地震による護岸や河道内構造物の被災が確認されたが，これらが洪水流によりどの程度被害拡大の影響があったかなど，これらも今後精査する必要がある．

10.7 広域での降雨流出解析と洪水氾濫解析

執筆者らは，奥能登の複数河川を対象に降雨流出・洪水氾濫解析を行っている．各サブ流域のピーク流出高の分布などを把握するとともに，若山川，竹中川，折戸川で洪水氾濫解析を行い，本調査報告で報告した浸水深と比較することが出来た．若山川では護岸の侵食が洪水氾濫の拡大に影響した可能性があることを示すことが出来た．また，調査は実施していないが，町野川では下流河道部の地盤の隆起よりは，支川の鈴屋川での土砂の流入の影響のほうが大きいことなどを示している．詳細に関しては筆者らの文献⁴⁾を参照されたい．

10.8 奥能登豪雨から学ぶべき教訓

奥能登豪雨から学ぶべき教訓を考え、教訓より得られた対応を地域・地区防災に実装していくことが重要となる。まずは、今次の奥能登豪雨災害は、能登半島地震との複合災害である点が特筆に値する。地震後の復旧段階で豪雨が生じると被害が甚大となる点を念頭に置いた、対策や応急復旧を考える必要がある。応急復旧の段階で全てに対応することは非現実的であるが、まずは人命を守るために地震後はどのようなリスクがどの地区に生じ、どのような事前避難が必要になるかなどを考え周知する必要がある。

次に、中小河川における浸水想定やハザードマップの作成についての難しさである。従来から中小河川での想定最大規模の浸水想定は指摘されてきた。これは従来の流出解析・洪水氾濫解析には土砂や流木の流出や河道内や橋脚への堆積の影響は含まれておらず、想定最大規模の降雨が生じた場合は、これらの影響が大きく生じる可能性があるためである。今次災害における塚田川の事例は、まさにこの懸念をまざまざと見せつけられた。この点に関しては浸水想定区域・ハザードマップの限界を知り、少しでもリスクがあれば事前の避難を検討するなど、「最悪の状況」を想定した、安全側の備えが必要となってくる。全地区が身構えるのではなく、リスクの高いレッドゾーンを明瞭にし、それらの地区で重点的に備えれば必ず対処可能であると筆者は確信している。

また、降雨予測の難しさについても言及せざるを得ない。前線に空気が流れ込む形での線状降水帯の発生は、極めて事前予測が難しく、発生した場合には一気に降雨量が増加し中小河川で急激に水位が上昇する。よって、線状降水帯の事前予測は難しいものとして、30分で状況が切迫に変わった場合にどう避難行動するか？垂直避難でも水平避難でも、判断から行動へのスピードをあげるための事前訓練が必要となる。このような緊急時のタイムラインまでも想定した地区防災が必要な場所（レッドゾーン）では考えていく必要がある。これらの地区防災を考えることは負担ではなく、町内会などを介して楽しめる状況、人々との交流の一環として変えていく必要がある。気候変動、人口減少が進む現状をふまえ、今後ますますリスクの高い地域（レッドゾーン）の抽出、その地域を対象とした防災準備・訓練を進める必要がある。

謝辞

令和6年奥能登豪雨により亡くなられた方々に謹んでお悔み申し上げますとともに、被災された皆さまに心よりお見舞い申し上げます。早期の復旧、復興をお祈り申し上げます。本研究の遂行に向けて、土木学会水工学委員会水害調査団からは調査へのサポートや情報提供など、多くのご支援を頂きました。また、国土交通省北陸地方整備局および石川県土木部河川課には貴重なデータをご提供頂きました。本研究は、JSPS 科研費 JP24K01135, R6 年度河川砂防技術研究開発公募「急流河川に適した流域治水オプションと水害リスク情報の開発」、R6 年度河川基金助成事業「侵食破堤の数時間前予測に向けたアンサンブル洪水・侵食予測手法の開発」の助成を受け実施したものです。末尾ですが、ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Numazawa, H., Kure, S., Nakao, S., Suppasri, A., Sugawara D., Seto, S. and Shigihara, Y.: Tsunami behavior and Evacuation in the Coastal Region of Toyama Prefecture, Japan based on Post-event Survey of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami, *Coastal Engineering Journal*, Under Review, 2025.
- 2) 沼澤蓮音, 中尾朔也, 藤下龍澄, 宮田英寿, 呉修一: 令和6年奥能登豪雨による洪水被害現地調査報告, 富山県立大学紀要, Vol.35, pp.53-62, 2025.
- 3) 中尾朔也, 沼澤蓮音, 呉修一: 2024年9月奥能登豪雨を対象とした広域における降雨流出・洪水氾濫解析, 土木学会河川技術論文集, Vol.31, 投稿中, 2025.
- 4) 沼澤蓮音, 呉修一: データの不足した中小河川での洪水氾濫解析に向けたLPデータの検証, 土木学会論文集, Vol.80, No.27, 24-27029, 2024.
- 5) Yuhi, M., Umeda, S., Arita, M., Ninomiya, J., Gokon, H., Arikawa, T., Imamura, F., Kawai, A., Kumagai, K., Kure, S., Miyashita, T., Suppasri, A., Nobuoka, H., Shibayama, T., Koshimura, S., and Mori, N.: Post-event survey of the 2024 Noto Peninsula earthquake tsunami in Japan. *Coastal Engineering Journal*, 66(3), 405–418, 2024. <https://doi.org/10.1080/21664250.2024.2368955>

第 11 章 町野川流域を対象とした地震崩壊土砂の輸送を考慮した土砂流出シミュレーション

京都大学 防災研究所 山野井一輝
富山県立大学 久加朋子

11.1 はじめに

土砂が洪水時に流下し、河床上昇を生じると、河道の断面積が減少することで、溢水・越水が生じやすくなる。このような事象は、国土交通省は土砂・洪水氾濫と呼び、“豪雨により上流域から流出した多量の土砂が谷出口より下流の河道で堆積することにより、河床上昇・河道埋塞が引き起こされ、土砂と泥水の氾濫が発生する現象”と定義されている。

2024 年 9 月 21 日～23 日に生じた令和 6 年 9 月能登半島豪雨では、先行して発生した地震起因の斜面崩壊残土が多量に存在している中で生じた。豪雨時に新たな斜面崩壊を伴いながら、降雨が流出する中で、土砂が下流に運搬され、上記のような河床変動を伴う洪水氾濫が下流部で生じたと考えられる。複数の災害事象が連続的に生起することは、一般的にマルチハザードと呼ばれるが、今回の洪水氾濫が、どの程度地震の影響を受けて生じたのかを明らかにすることは、今後の対策の上で非常に重要と考えられる。

上記の背景から本研究では、降雨流出と土砂輸送をカップリングしたシミュレーションに、地震性の崩土を初期条件として入力する数値シミュレーションを実施することで、今回の災害での土砂を伴う洪水氾濫のプロセスと、地震による崩土の影響を評価することを目的とした。

11.2 対象流域の概要

本研究では、石川県輪島市町野川流域（流域面積約 168.9km²）を対象とした。当流域の右岸支川の鈴屋川、牛尾川（鈴屋川支川）、寺地川流域では、地震時に上流の山地域にて、多数の斜面崩壊が発生しており、一部は天然ダムとなり堆積していたことが報告されている¹⁾。図 11-1 に、着目領域の位置図と、地震時の土砂移動痕跡および豪雨時の土砂移動痕跡を重ねた図を示す。豪雨時の堆積範囲は谷出口周辺に集中しており、地震による生産土砂が降雨中に流下したことがこの図からも示唆される。

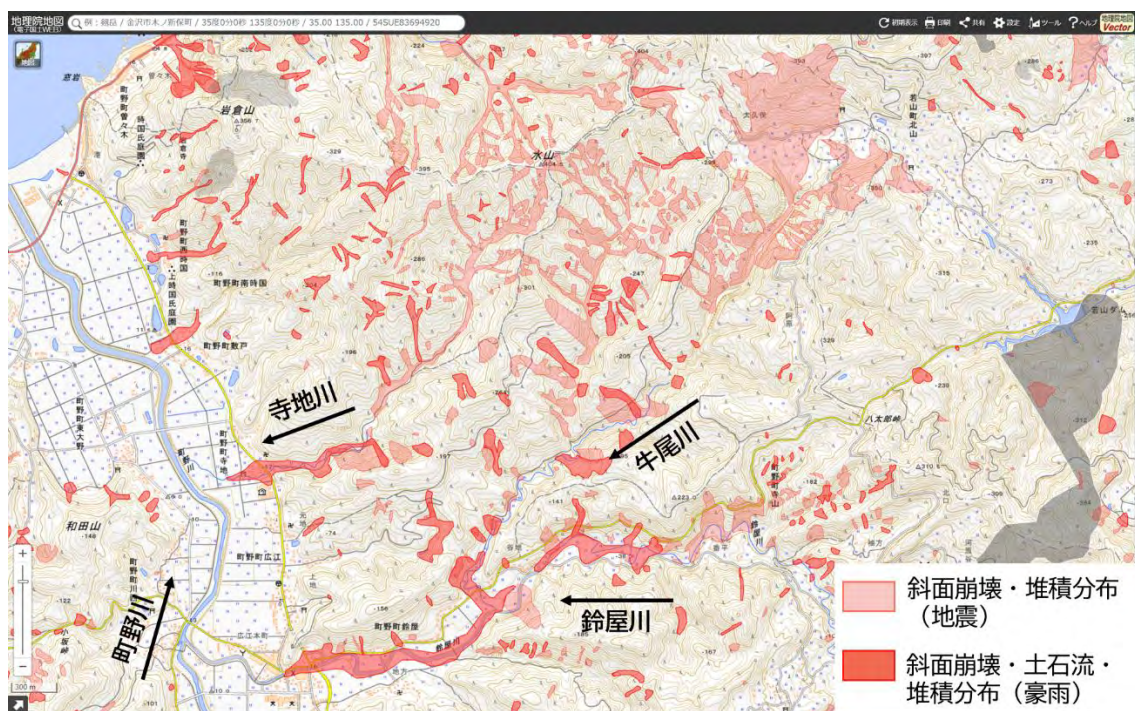


図 11-1 町野川右岸支川の位置図。地震時の斜面崩壊・堆積の痕跡と、豪雨時の斜面崩壊・土石流・堆積の痕跡を重ねて表示（国土地理院地理院地図を加工して作成）

11.3 モデル・計算手法

本研究では、山野井ら²⁾の二次元浅水流方程式に基づく表面流解析と、飽和側方浸透流解析、および土砂輸送解析を統合したシミュレーションモデル DRSRIS を用いる。土砂輸送については混合粒径で扱い、掃流砂は勾配効果を追加した芦田・道上式を、浮遊砂は岸・板倉式を用いる。土地利用については、森林・河道・都市の3種類に分割して扱い、急勾配な森林部では表面流と飽和浸透流双方を考慮するが、計算安定化のため diffusive wave 近似を行う。河道・都市域では表面流のみを考慮し、河道と都市域では異なる表面の粗度を与える。都市域は固定床（初期侵食可能深さ 0）として扱い、河道部では侵食可能深さを任意に与えることができるが、本研究ではまず地震による生産土砂のみを考慮した計算を実行したため、河道部の侵食可能深さも 0 とした。数値実装方法に関しては、二次元デカルト座標で有限体積法を用いている。また、OpenMP-MPI ハイブリッドでの並列化を施しており、並列計算機での実行も可能である。本研究では、理化学研究所のスーパーコンピュータ富岳を用いて計算を実行した。

11.4 入力データ

11.4.1 標高および土地利用

図 11-2 にシミュレーションに入力した標高データを，図 11-3 に土地利用区分データを示す．標高データには，写真測量ベースで作成されている国土基盤地図情報 DEM5C を無補正で用いた．また，土地利用は JAXA の衛星観測に基づく表面被覆区分データにより森林部と非森林部を区分し，非森林部の中から河道域は DEM から推定する手法³⁾を用いた．

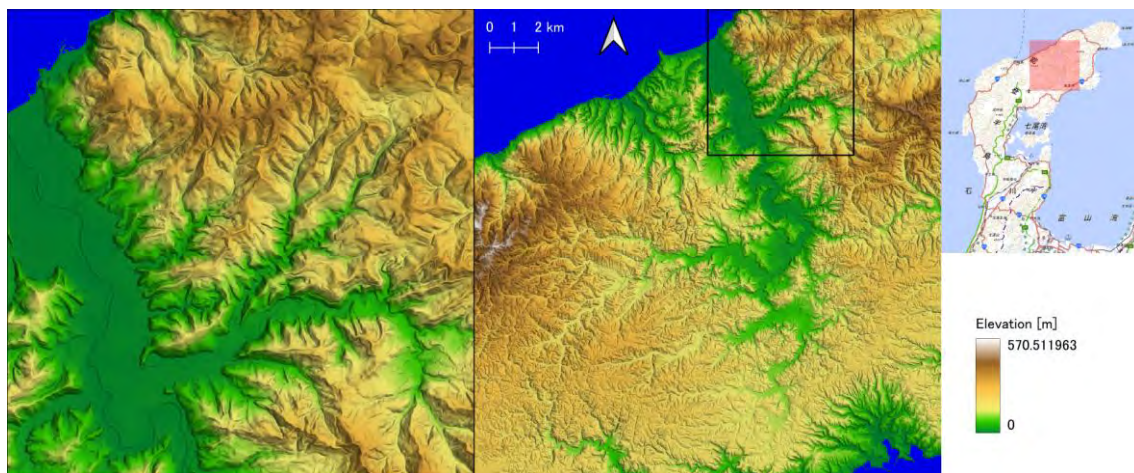


図 11-2 入力に用いた標高データ．国土地理院国土基盤地図情報 DEM 5C を使用．

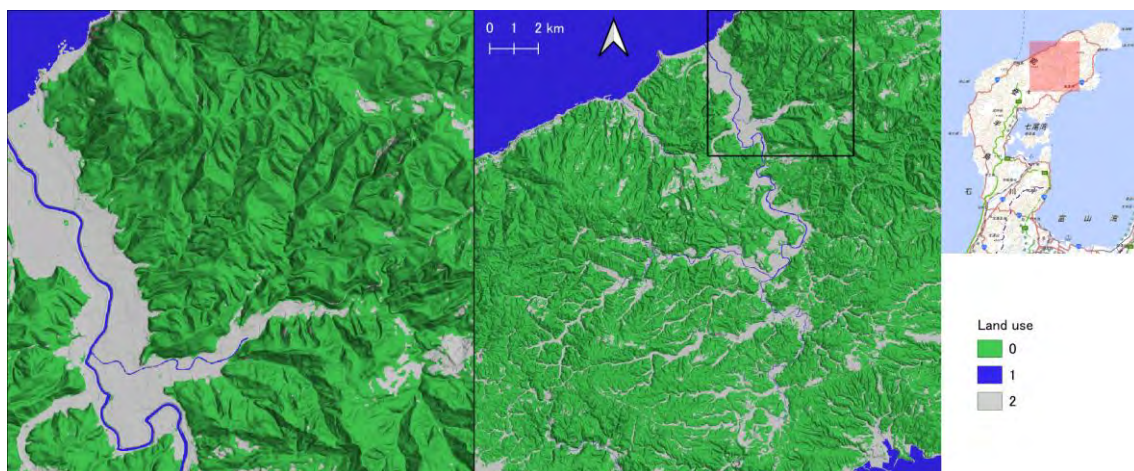


図 11-3 入力に用いた土地利用区分データ．JAXA 表面被覆図および DEM データから推定して作成．

11.4.2 地震による崩壊土砂

地震による崩壊土砂は，地震前後の標高差分データを元に与えた．本研究では，地震前の標高データには，G 空間情報提供センターが公開している令和 6 年令和 6 年能

能登半島地震 能登西部グラウンドデータ（発災前）⁴⁾を、地震後のデータには石川県提供の LP データを用いた。ただし、これらのデータが無補正で DEM 化して差分を取った場合、図 11-4 のように、領域全体で正の値が算定される。これは、地震によって能登半島全域が隆起しているからである。この影響を除外するため、本研究では Fukushima et al.⁵⁾が inSAR と現地調査に基づく方法で推定した 3 方向の変位データを用いて、地震後の点群データを地震前の位置に補正した。具体的には、各測点の空間座標 (x, y, z) に対し、ラスター形式で公開されている該当位置 (x, y) をもとに判定)の変位 (X, Y, Z) を用いて、元の測点の空間座標を $(x-X, y-Y, z-Z)$ とする形で、測点を移動させた。移動した点群をもとに再度 DEM を作成し、差分を取ったものを図 11-5 に示す。土砂移動域以外の変位が完全に 0 にはなっていないものの、概ね大規模な地盤変動の影響は除外できたものとみることができる。本研究では、図 11-4 に示す標高差分データを地震による初期侵食・堆積深さとみなし、この値が負の領域には初期侵食深として与え、正の領域には初期土層厚さとして与えた。すなわち、標高 z_b の最小値 z_{bmin} は、 $z_{bmin} = \min(z_b, z_b + \Delta z_b)$ 、計算初期の標高 z_{b0} は $z_{b0} = \max(z_b, z_b + \Delta z_b)$ とし、侵食可能深さを、 $z_{b0} - z_{bmin}$ とした。すなわち、地震前の流域内の土砂は移動しないものとして、言わば固定床のように扱った。これは、全域で土砂移動を許した場合、意図しない斜面部での侵食が多数生じるためである。より定量的な検討にはこの問題の解決が必要であるが、これは今後の課題とする。

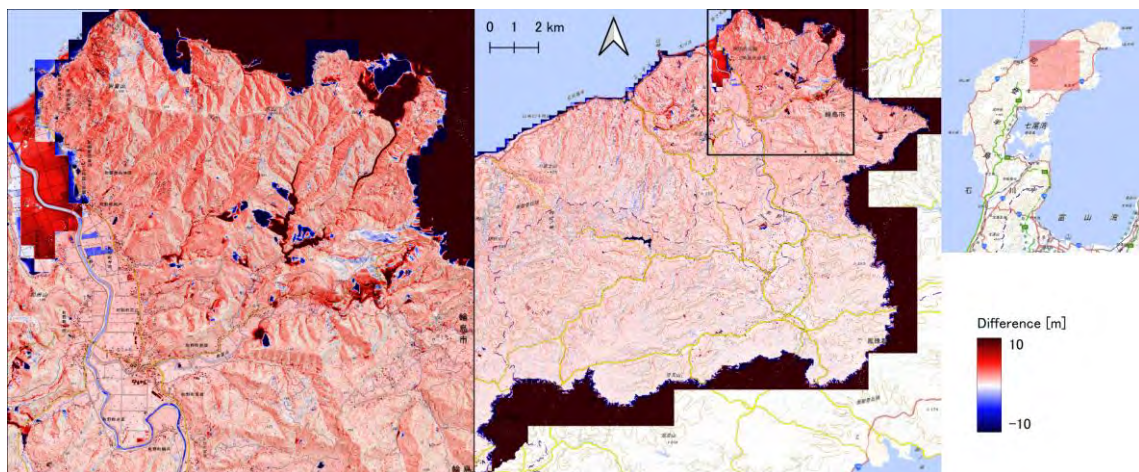


図 11-4 地震前後の LP データから作成した DEM の標高差分。5m 解像度に変換して表示。

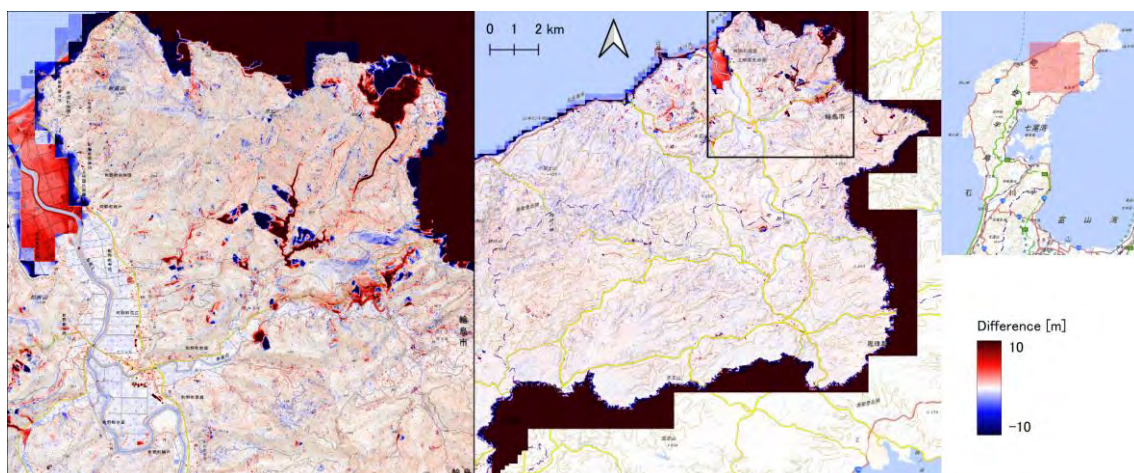


図 11-5 地震後 LP による点群を，地震時の 3 方向の変位情報⁵⁾で補正した上で作成した標高差分． 5m 解像度に変換して表示．

また，移動可能土砂の粒径分布には，図 11-6 に示す牛尾川末端部で土砂を採取し，篩分け試験によって得た図 11-7 の赤線のデータを全域で与えた．実際には場所によって異なる粒径分布を有することが想定されるが，現状ではデータの不足により推定困難なため，このような扱いとした．



図 11-6 牛尾川と鈴屋川合流点（図左側が牛尾川）での，河床材料の採取位置． 2024 年 11 月 13 日撮影．

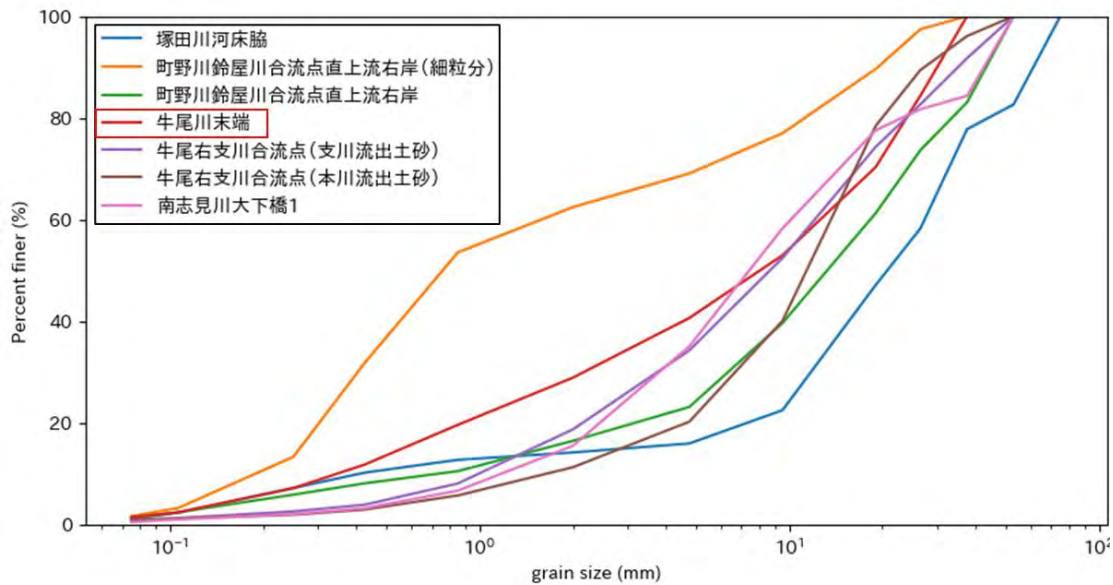


図 11-7 町野川流域で実施した河床材料粒径分布調査の結果。本研究では赤枠で示した赤線のデータを計算に用いた。

計算対象期間は、2024 年 9 月 19 日 00:00 から 9 月 24 日 00:00 までの 5 日間とした。

図 11-8 に対象期間におけるアメダス輪島の降雨量の時間変化を示す。なお、計算では、空間分布を考慮するため、XRAIN によるレーダー観測雨量を与えた。

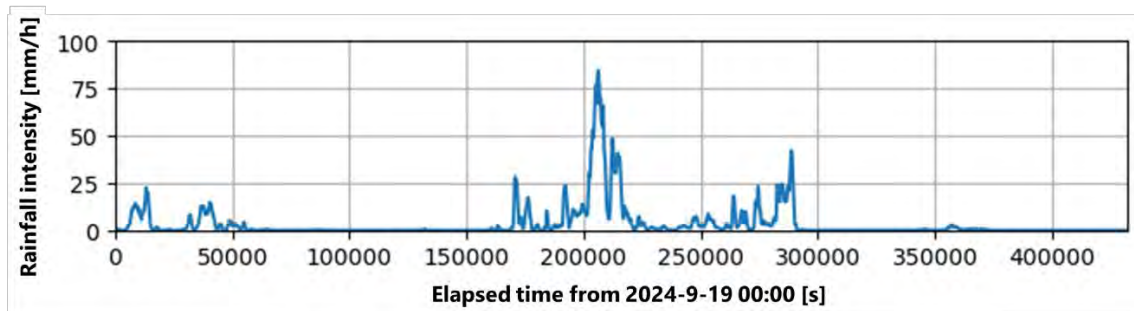


図 11-8 計算対象期間における、アメダス輪島の観測雨量。

11.5 計算結果

得られた計算結果を本節に示す。図 11-9 には、牛尾川谷出口および鈴屋川周辺における、水深と地形変化の時間変化を示す。水深については、降雨が最も強くなった $T=2088[s]$ のタイミングで領域全体の水深がピークを迎えていることが分かる。また、土砂移動については、 $T=19,200$ の時点で、ある程度牛尾川谷出口に土砂が流出してい

るが、その後のピークを経て谷出口の堆積量が増加していることが分かる。また、土砂移動を考慮しないケースの結果を併記したが、本計算では、顕著な水深や氾濫域の変化は確認できなかった。

同様の結果を、谷地川周辺で可視化したものを図 11-10 に示す。当流域でも、降雨のピーク周辺で谷出口の堆積量が増加していること、土砂の考慮の有無で水深および浸水範囲に大きな差が生じていないことが確認できる。

図 11-11 には、計算終了時点における地形変化の計算結果と、豪雨後の航空写真、および地形変化の LP 差分による観測値を示す。航空写真と比較した場合、土砂の堆積範囲は矛盾なく再現されているが、堆積深や堆積範囲については、十分再現されていない箇所がある。特に、鈴屋川の河道内の堆積量は過少に評価されており、洪水氾濫に与えた影響も過少に評価されている可能性がある。

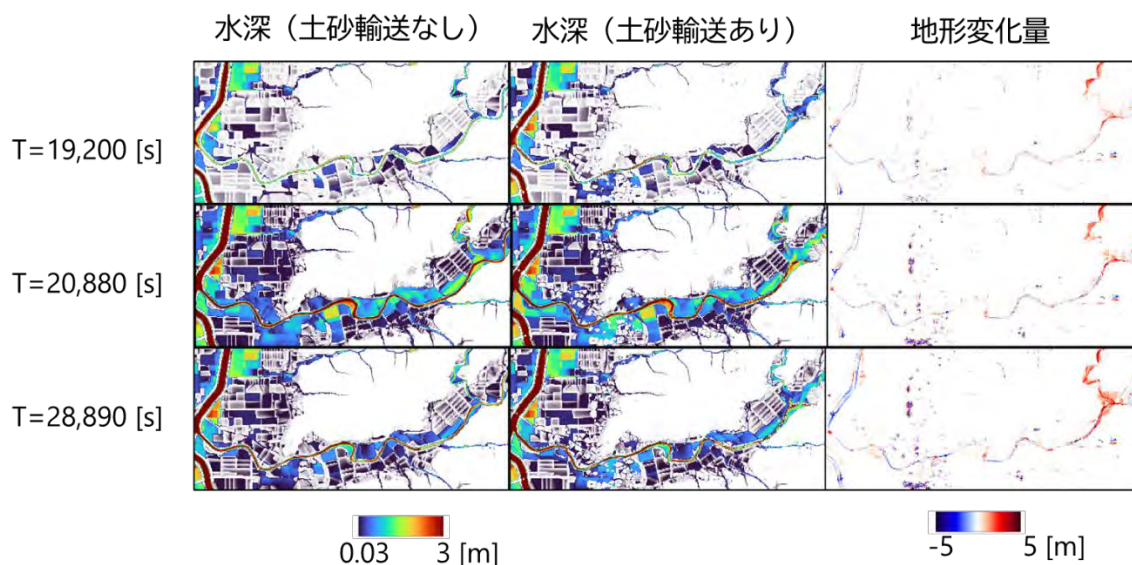


図 11-9 牛尾川谷出口および鈴屋川における水深と地形変化量の時間変化。図の右上部が牛尾川の谷出口，中央から下方を東西に流れているのが鈴屋川である。比較のため，土砂輸送を考慮しないケースを併記。

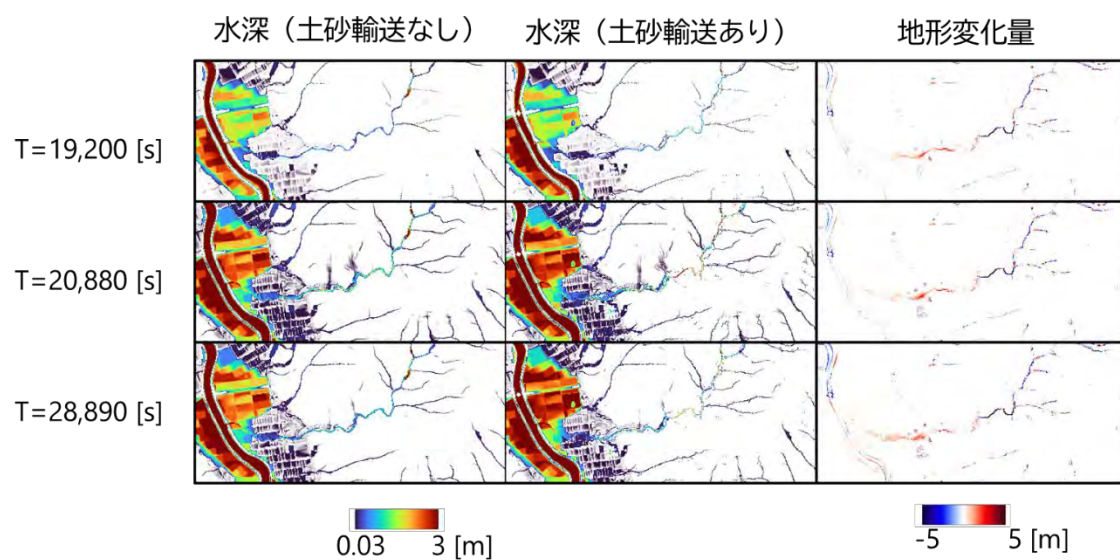


図 11-10 谷地川谷出口周辺における水深と地形変化量の時間変化。比較のため，土砂輸送を考慮しないケースを併記。

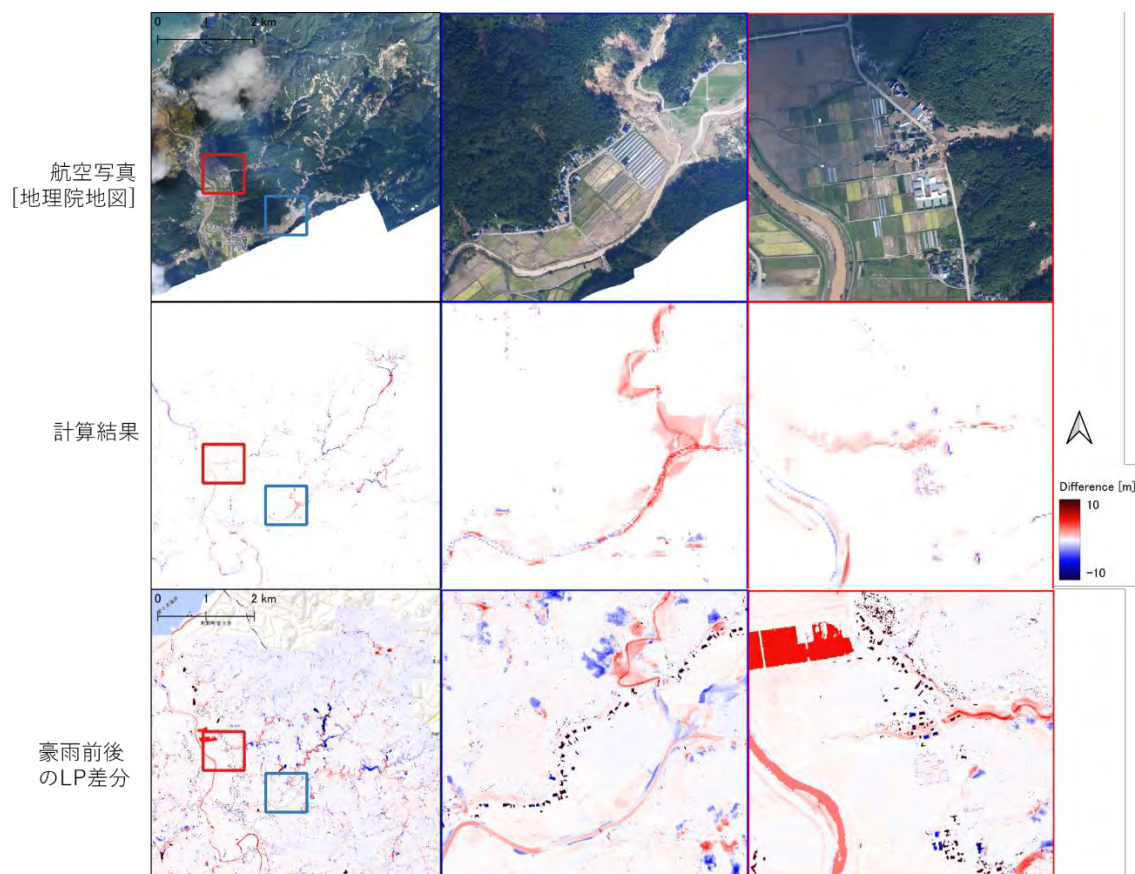


図 11-11 計算終了時点の地形変化の計算結果と，豪雨後航空写真，豪雨前後の LP 差分図の比較。

11.6 結論

本研究では、土砂の輸送を考慮した降雨流出・氾濫シミュレーションに地震による生産土砂を与えた計算を実施することで、豪雨時の土砂輸送込みでの洪水氾濫プロセスの再現を試みた。これにより、町野川流域全域での土砂輸送過程と、洪水氾濫過程を網羅的に計算することができた。一方で再現性については、谷出口の堆積領域等は再現されたものの、堆積深さの空間分布の再現性は限定的であった。今後、今回の計算で考慮できていない豪雨時の新規崩壊や、もともと河床に存在している土砂の輸送を考慮することで、計算結果の再現性を高めることが課題である。また、今回の計算では、降雨流出に関するパラメータのキャリブレーションは行っていない。今後、災害中に撮影された動画等から推定可能な水位の時系列データ等から、流出パラメータを正確に決定できれば、土砂の輸送タイミング等もより正確に予測できる可能性がある。上記を改善することで、今回の災害における地震起因の土砂生産の寄与度を精緻に推定することが、今後の課題である。

謝辞

当研究の実施に当たり、石川県からLPデータの提供を受けました。また、計算には、DIASで提供されているXRAINデータを使用しました。また、当研究の計算には、「富岳」を中核とする計算科学研究教育拠点(COE)の形成に向けた研究助成のもと提供を受けた計算資源を使用しました。以上をお示しし、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省: 令和6年能登半島地震に伴う河道閉塞(土砂ダム)の発生と対策状況について, 令和6年1月23日, https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000161.html
- 2) 山野井 一輝, 大谷 英之, 陳 健, 大石 哲, 堀 宗朗, 水-土砂の流出氾濫統合モデルの構築とHPCによる朝倉市杷木地区への適用, 土木学会論文集B1(水工学), 2018, 74 巻, 5 号, p. I_889-I_894, https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.5_I_889.
- 3) Jordan T. Gilbert, William W. Macfarlane, Joseph M. Wheaton: The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET): A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks, Computers & Geosciences, Volume 97, 2016, Pages 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.07.014>.
- 4) G空間情報センター: 令和6年能登半島地震 能登西部グラウンドデータ(発災前), <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2024-notowest-ground>
- 5) Yo Fukushima et al.: Landscape changes caused by the 2024 Noto Peninsula earthquake in Japan. Sci. Adv.10, eadp9193, 2024, DOI:10.1126/sciadv.adp9193.

第 12 章 町野川下流左岸の浸水・排水過程

島根大学 学術研究院環境システム科学系 佐藤 裕和
金沢大学 人間社会研究域地域創造学系 坂本 貴啓

12.1 はじめに

町野川は石川県が管理する二級水系の本川で、主流路延長 21.48 km、流域面積 168.9 km²を擁し、年降水量は 2,300 mm 程度で、計画規模 1/50 の 24 時間雨量 176 mm に対する天神橋治水基準地点の基本・計画高水流量はそれぞれ 1,060 m³/s、1,000 m³/s となっている¹⁻²⁾。流域は奥能登地域に位置し、能登町と輪島市を内包している（図 12-1）。

2024 年 9 月の豪雨は 21 日前後が最も激しく、例えば輪島市では降り始めからのアメダス雨量 498 mm を記録し、統計開始以来の最大値を記録している³⁾。この豪雨時には能登半島内の多くの河川で既往最高水位を記録しており⁴⁾、町野川河口から約 3.8 km に位置する明治橋では、9 月 21 日 13:50 にピーク水位 T.P.+7.76 m を記録した。

このような気象・洪水外力により、町野川本川において左右岸での破堤、床上浸水 22 棟、床下浸水 32 棟が発生した他、右支川の鈴屋川で全・半壊 9 棟、床上浸水 119 棟、床下浸水 37 棟、同じく右支川の寺地川では死者 2 名が確認されている⁴⁾。被害が広範・激甚化した要因として、同年 1 月 1 日に発生した能登半島地震により、山腹斜面からの土砂や流木が流出しやすくなっていたことも大きい。本章では町野川流域で生じた水害の内、町野川本川最下流部左岸での氾濫・浸水およびその排水過程について地域住民へヒアリングを行い、また提供を受けた画像・映像や現地測量から得られた氾濫痕跡水位などを整理・分析した結果について報告する。

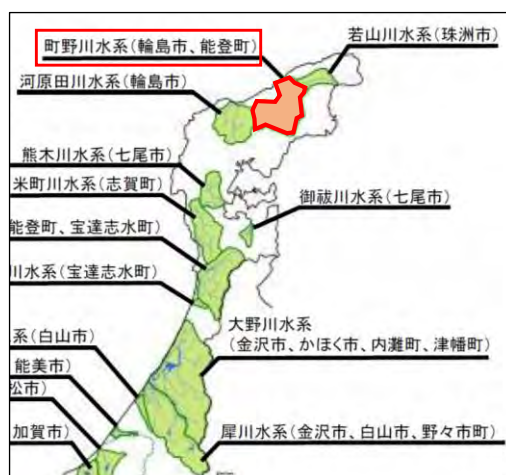


図 12-1 町野川位置（参考文献⁴⁾に佐藤加筆）

12.2 町野川下流左岸の浸水過程

図 12-2 に町野川下流域の地理・地形を示す。治水基準地点の天神橋は国道 249 号線を兼ねており、その直上流の兩岸 1 箇所ずつに破堤が生じている（図 12-2 の×印）。右岸での破堤は詳細できないが、左岸での破堤の要因を後述するため、ここでは左岸域での浸水過程について概観しておく。左岸域での浸水は町野川本川からではなく、支川として町野川に合流する 3 つの普通河川由来であることが現地調査から把握できた。明治橋は天神橋基準地点の上流約 3.1 km に位置し、先述したように水位観測が行なわれている。3 つの普通河川は明治橋の下流に位置しており、以下、上流側からその氾濫過程を述べる。



図 12-2 町野川下流域図（地理院地図に佐藤加筆）

12.2.1 川西川

川西川は明治橋の直下流左岸に位置し、カルバートで町野川左岸堤防をくぐって町野川に合流する小河川である（図 12-3、図 12-4）。今次洪水時には町野川本川の水位が高く、川西川の洪水がこのカルバートから吐けず内側氾濫が生じた。この氾濫水は地形に沿って下流域に流れたものの、能登地震時の仮設住宅付近の標高が相対的に高く、それよりも下流には進行しなかったものと考えられる。氾濫水は町野川の水位低下とともに農業用排水路などを通じて町野川に排水されたものと思われる。

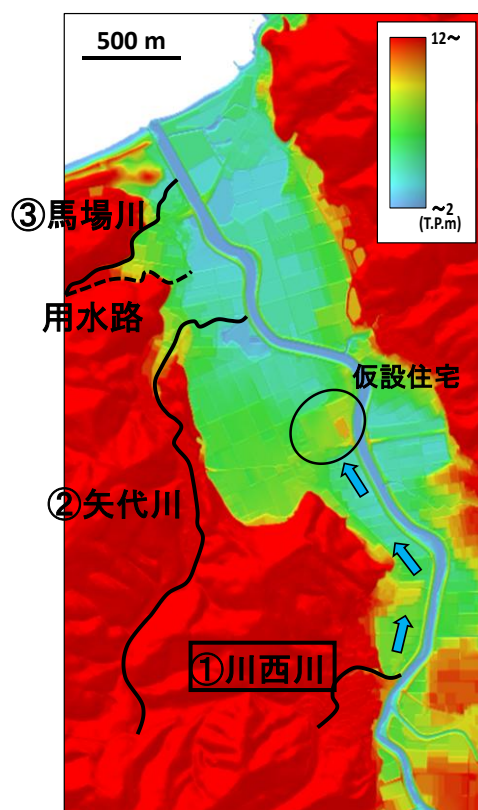


図 12-3 川西川の位置および氾濫・浸水過程



図 12-4 川西川 (2025 年 2 月 16 日佐藤撮影)

12. 2. 2 矢代川

矢代川は、町野川西側の山間部を流れて、通称「ロッケン淵」と呼ばれる旧河道部に残る低湿地帯付近で町野川に合流する小川である（図 12-5，図 12-6）。矢代川はこの山間部においていくつか河道閉塞が見られ、今次洪水時にこの閉塞箇所では流下が妨げられた洪水が氾濫している。河道閉塞は先行する能登地震時に全てが生じたかどうかは確定できなかったが、今次豪雨と連動して規模が大きくなったものと考えられ

る．この区間から平野部へ通じる道路が崩落しており，矢代川からの氾濫流がこの道路を水みちとして平野部を浸水させている．つまり，この平野部からすると通常の矢代川の洪水氾濫であれば生じない経路で浸水させられたことになる．ただし，矢代川洪水の全てがこの経路で氾濫したわけではなく，閉塞箇所を抜けた洪水も矢代川下流部で越流氾濫している．「ロッケン淵」にはこれら氾濫水に対する多少の遊水効果があったと思われるが，氾濫流はこれを超えてさらに下流へ進行し，後述する馬場川からの氾濫水と合流する．

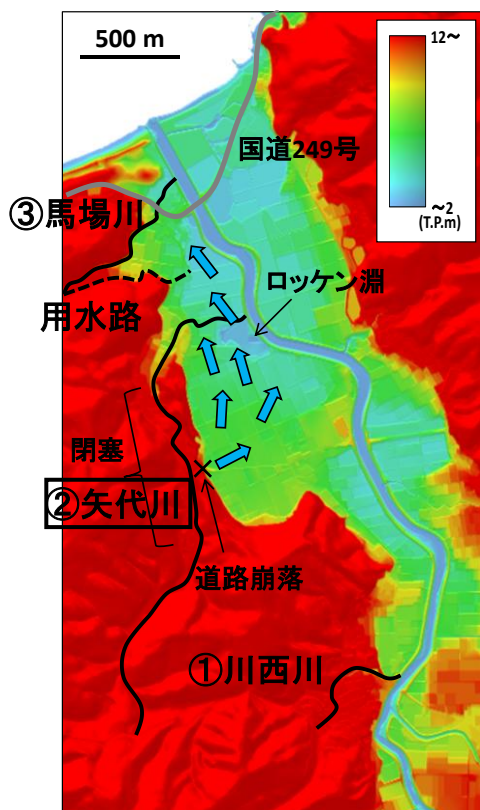


図 12-5 矢代川の位置および氾濫・浸水過程



図 12-6 矢代川（2025 年 2 月 16 日佐藤撮影）

12.2.3 馬場川

馬場川は天神橋西側の山間部を流れ、平野部で国道 249 号線をくぐった後天神橋下流で樋門を通じて町野川左岸に合流する小河川である（図 12-7、図 12-8）。能登地震による河道閉塞が残っている箇所もあり、今次豪雨時には閉塞箇所から吐き切れなかった洪水が迂回流となり馬場右岸側の谷の田面や谷を挟んだ南側の用水路に流れ込み、平野部に氾濫した。これも矢代川と同様に河道閉塞と迂回流を伴い、町野川左岸の平野部から見ると、氾濫の初期段階から平野の上流側で浸水を受けたことになる。なお、この迂回流は 2025 年 2 月時点で解消されておらず、平常時でも確認された。

氾濫流は国道 249 号線の盛土と町野川左岸堤防に阻まれ、矢代川筋からの氾濫水とともに上流側にも浸水して氾濫域がさらに広域化した。なお、馬場川の洪水の一部は国道 249 号線を超えたが、その下流で大きな浸水被害を生じさせる規模ではなかった。

現地測量を行った 2025 年 3 月 18 日時点では氾濫水位の痕跡は少なかったが、確認できた数点を RTK-GPS 測器で実測したところ、馬場川の右岸側の谷の出口付近で T.P.+5.3 m 程度、天神橋付近で T.P.+5.0 m 程度であった。これは今次水害時の氾濫ピーク水位を示しているものと考えられるが、この差が生じた理由は氾濫水が左岸の平野部で完全に静止した瞬間がなく、基本的には常に氾濫水が流動していたことに起因しているものと思われる。

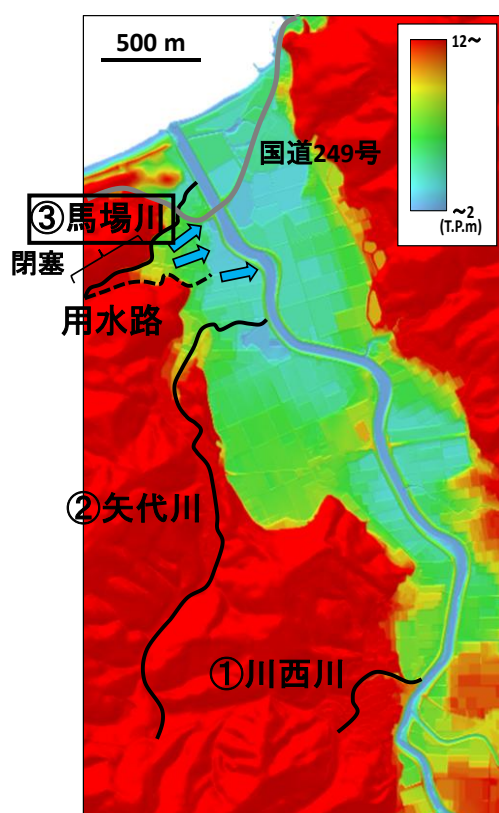


図 12-7 馬場川の位置および氾濫・浸水過程



図 12-8 馬場川（2025 年 2 月 15 日佐藤撮影）

12.3 町野川下流左岸氾濫水の排水過程

先述のように、今次水害の町野川下流左岸の浸水の原因は町野川本川由来ではなく、川西川、矢代川、馬場川といった小規模の普通河川群が主因であることが分かった。川西川を除く 2 河川由来の氾濫水は、天神橋直上流の破堤箇所（図 12-2 参照）から町野川に排水されたものと考えられる。複数の近隣住民がこの破堤の瞬間を目撃しており、そのプロセスは堤内地側から河道側に堤防が切れたとのことであった。つまり、いわゆる逆破堤であったことが確認されている。目視による状況をまとめると、町野川洪水による堤防の側方浸食が起こっているところに、河道より水位の高かった堤内地側の氾濫水位との水位差（水圧差）により一瞬にして破堤に至ったとのことである。破堤前に天端の低いところから少量の越流（逆越流）も確認されているが、これが築堤段階から低かったのか、洪水時の堤体下部の洗掘などによる天端の低下なのかは現時点では未確認である。

この時の逆破堤箇所付近の氾濫ピーク水位は上述のように T.P.+5.0 m 程度であったと考えられる。他方、この付近の河道水位は観測されていないため、天神橋より約 3.1 km 上流にある明治橋（図 12-2 参照）での観測水位（図 12-9、石川県提供）を用い、

標準断面や計画勾配などから 1 次元の kinematic wave model により水位の時間変化を推定した。また、逆破堤直後から現場を撮影した付近の方からの提供データ（画像、映像）とタイムスタンプを解析したところ、逆破堤発生時刻は 9 月 21 日 15:10 ごろと推定された（図 12-10）。kinematic wave model による解析から、明治橋から天神橋までは 10-20 分程度で洪水が伝播してくるものと概算され、洪水波の減水を見無視すると逆破堤地点付近の 15:10 の河道水位は T.P.+4.5-4.6 m 程度であったものと推定される。したがって、この時の内外水位差は 0.4-0.5 m 程度あったものと考えられる。なお、15:10 時点では 1 時間程度ピーク水位を過ぎているが、ピーク水位と大差ないものである。

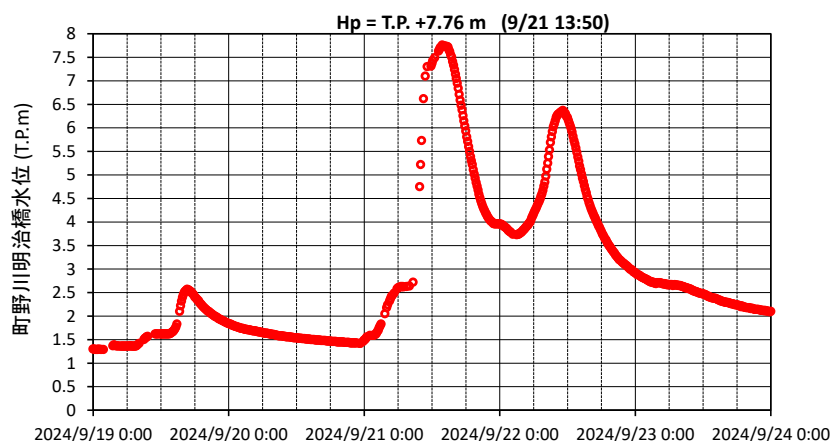


図 12-9 明治橋の水位ハイドログラフ（石川県提供データより作成）



図 12-10 逆破堤直後の町野川と左岸堤内地（付近住民からの提供画像に佐藤加筆）

この逆破堤により左岸の湛水が速やかに町野川に排水されていったとのことであり，上述と同様に付近の方からの提供画像とタイムスタンプを照合したところ，同日の 16:20 より前には大部分の排水が完了していたことが確認された（図 12-11）。



図 12-11 逆破堤から約 1 時間後の左岸堤内地（付近住民からの提供画像に佐藤加筆）

12.4 逆破堤による氾濫水の河道還元効果

前節で逆破堤によって町野川下流左岸の湛水期間が短縮された可能性を示したが，この効果がどの程度であったのか，逆破堤の発生の有無による違いを概算することを試みる．当該氾濫域には農業用のための用水ポンプ施設があり，その水源とするための溜池に付設された排水用のカルバートが国道 249 号線をくぐって天神橋下流で樋門を介して町野川左岸に接続している．このカルバートは洪水氾濫水の排水用ではないが，今次水害時の湛水を排水している．ここではこのカルバートからの排水を潜り・中間・自由流出を考慮して推定した．なお，水害当時カルバートは土砂や流木で半分以上はふさがっていたとのことであり，断面通過率を 50%とした．また，逆破堤口からの氾濫水の河道還元流量は本間の越流公式を用いて求めた．

使用する水位は，河道では前節の kinematic wave model での 15:10 以降の解析値，堤内地では氾濫ピーク水位の実測値 T.P.+5.0 m を初期水位として与えた．町野川の洪水流量はカルバートおよび逆破堤からの排水・還元流量より十分大きいものと仮定し，河道の水位ハイドログラフは堤内地からの影響を受けないものとした．初期氾濫総流量は，T.P.+5.0 m 以下の低地に湛水したものとして 250,000 m³を与え，これがカルバー

トと逆破堤から排水されるのに応じて水位変化するものとした。逆破堤の時間進行は正確には推定できなかったが、付近の方からの提供画像・映像をもとに、最終破堤幅約 50 m に達するのに合計 10 分費やしたとし、最初の 1 分でその半分の 25 m（線形）、その後の 9 分で 50 m（線形）に達したと仮定した。破堤高は破堤開始から全高に及んだものとした。

図 12-12 に解析結果を示す。これを見ると、最終的に排水されるのに要する時間は逆破堤の有無で 4.5 倍程度異なることが示唆された。ここでは概算のため、図に示された排水時間や平均排水流量の具体的な値自体が大きな意味を持つわけではないが、先述したように実際には数時間で多くの湛水が消失していたことと比較的整合的であり、逆破堤による氾濫水の河道還元効果の定性的な性質，すなわち氾濫水の速やかな排水による湛水期間の大幅な短縮効果が提示されたと考える。

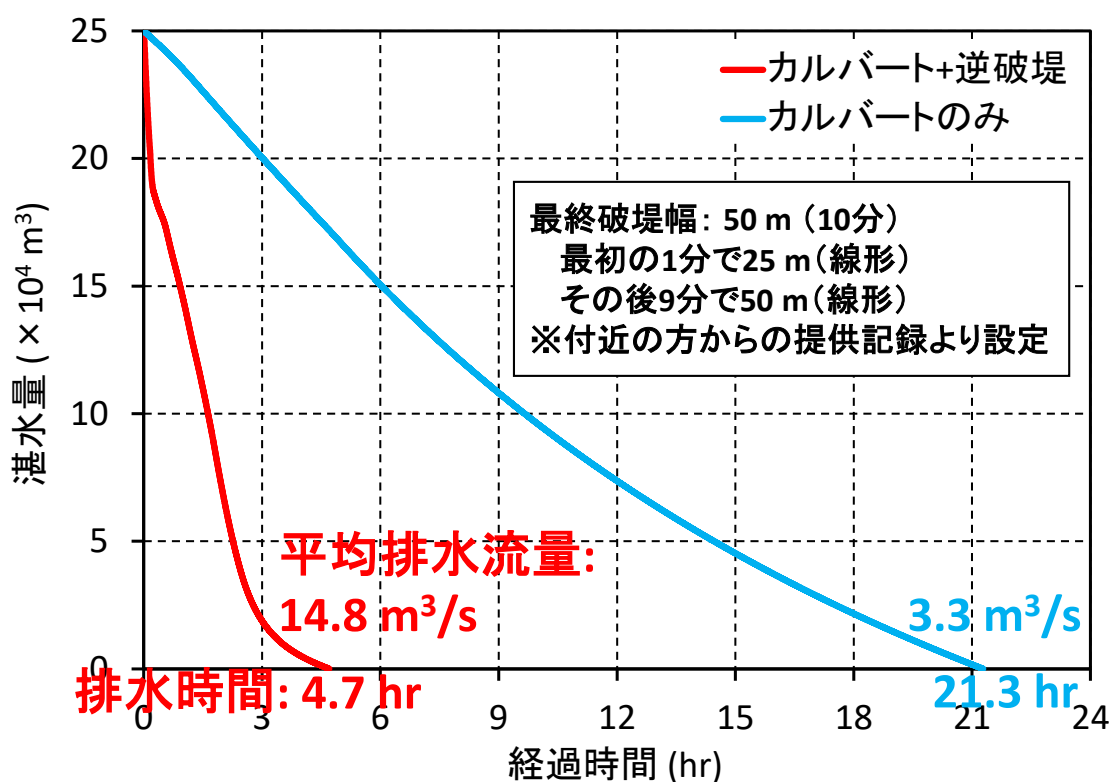


図 12-12 逆破堤の有無による排水時間の差異

12.5 おわりに

本章では住民の方へのヒアリング，様々な情報・データ提供，現地測量などにより，町野川下流左岸の浸水が町野川本川からの洪水氾濫ではなく，支川として合流してくる 3 つの小規模な普通河川由来の内水氾濫的なものであったことを確認した。特に，矢代川と馬場川では先の能登地震の影響も相まった河道閉塞による迂回流が発生

して氾濫したことにより，平野部の浸水域の拡大を早めた．また，天神橋直上流の破堤が逆破堤であったことの根拠を，目撃証言や提供画像・映像，氾濫痕跡水位，河道水位の状況の解析から強固にした．この逆破堤による氾濫水の河道還元効果についても概算し，逆破堤が既設のカルバートのみからの排水時間を大幅に短縮させた可能性を示唆した．

しかしながら，現時点では洪水流の解析が 1 次元の **kinematic wave model** にとどまっていること，氾濫水の排水・還元過程を単純化して推定していることなど，諸々の水理解析に不足点が残されているため，洪水流については少なくとも 1 次元の **dynamic wave model** への拡張，可能な限り 2 次元の解析に耐えられるよう，より充実した河道データの集積に努め，また堤内地については平面 2 次元の氾濫解析を行いながら，河道との相互的な水位への影響を考慮できるように改善していく必要がある．また，右岸側の破堤要因，昭和 30 年代の洪水氾濫時にも同じ左岸側で逆破堤が生じていたとされることの真偽などについても検証を行う．

なお，本章に示した数値は，今後のより詳細な調査・検討や測地成果 2024 の導入により変わりえることを申し添える．

謝辞

本章の調査・検討を進めるにあたり，公益財団法人 河川財団より河川基金（2024-5112-001），独立行政法人 日本学術振興会より科学研究費（23K26353, 20K20032）の支援を受けました．また，石川県土木部河川課からは貴重なデータ提供を受けました．被災地では復興半ばにも関わらず，多くの地域住民の皆様から様々なご協力と貴重な情報提供を賜りました．

これらの機関と住民の皆様に，記して心より感謝申し上げます．

参考文献

- 1) 石川県：町野川水系 河川整備基本方針，9 pp., 2002.
- 2) 石川県：町野川水系 河川整備計画，14 pp., 2004.
- 3) 奥能登地区流域治水協議会：令和6年奥能登豪雨災害を踏まえた奥能登地区流域治水対策検討部会（第1回）資料，83 pp., 2024.
- 4) 国土交通省：資料 能登半島での地震・大雨による被害とこれまでの対応，102 pp., 2025.

第 13 章 塚田川の氾濫・建物被災調査

東京理科大学 柏田仁・二瓶泰雄

13.1 奥能登豪雨の全体像

令和 6 年 9 月 21 日朝から石川県で線状降水帯が発生するなど、奥能登地方で大雨を記録した。日本海側で発生した線状降水帯が南下したことにより、図 13-6 に示すように累積雨量（解析雨量を降り始めから積算）は日本海沿岸部で特に顕著であり、同図中の赤丸で示す輪島アメダスでは、累加雨量 498.5[mm]を記録した（図 13-7）。豪雨の規模を評価するために、輪島・珠洲アメダスで観測された種々の累積最大雨量と再現期間は表 13-1 のとおりであり、いずれの累積期間であっても概ね百～数百年に一度程度の顕著な降雨であった。この結果として、能登半島の 21 水系・28 河川で氾濫したことが公表されている。能登半島を流れる河川は、半島の地理的特性から流域面積が小さく、流路延長も短い傾向にあり、急峻な山地から急勾配で海に注ぐ河川が多くを占める（図 13-8）¹⁾。本章で調査対象とする塚田川は特に顕著な勾配を有し、全川で 1/60 を超えることを特徴とする。

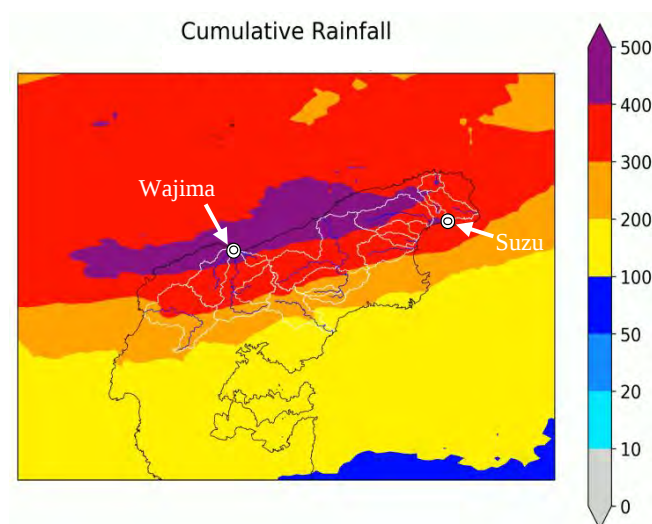


図 13-6 累積雨量コンター図（解析雨量，2024/9/20 12:00 から 48 時間）

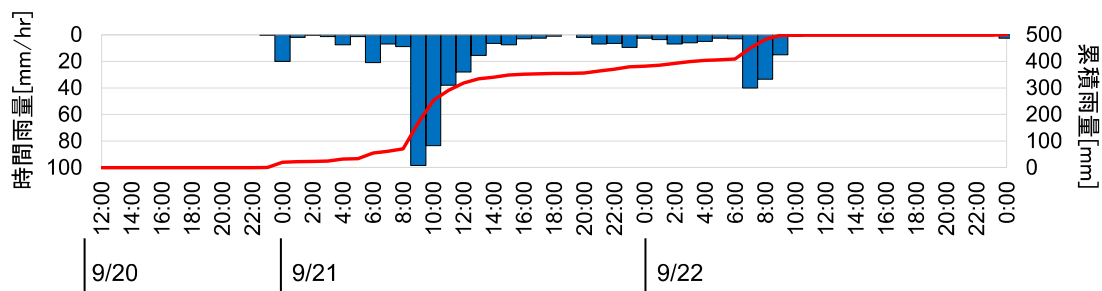


図 13-7 輪島アメダスにおける時間雨量および累加雨量の時間変化

表 13-1 輪島・珠洲アメダスにおける種々の累積最大雨量と再現期間

Unit: mm			Unit: year		
累積期間	輪島	珠洲	累積期間	輪島	珠洲
1hr	98.5	79.5	1hr	150	89
3hr	220.0	147.5	3hr	88	79
6hr	272.5	188.5	6hr	145	114
12hr	323.5	228.5	12hr	336	353
24hr	412.0	311.5	24hr	372	389
48hr	498.5	394.0	48hr	124	188

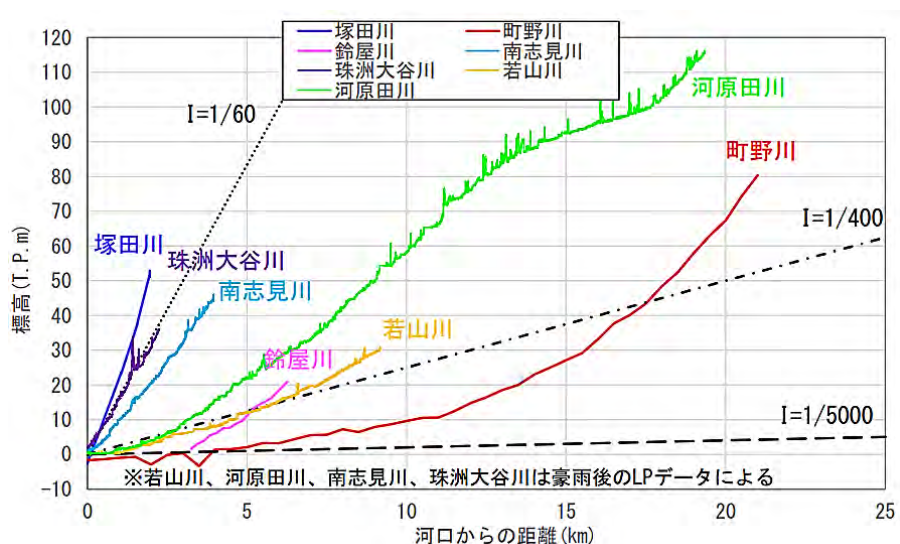


図 13-8 能登半島の流域特性（河川勾配）¹⁾

13.2 塚田川の被害

13.2.1 塚田川及び洪水氾濫被害の概要

塚田川は石川県輪島市を流れる流域面積 7.0km²、流路延長 2.0km の二級河川である（図 13-9）。標高 550m の高州山を源頭部とする塚田川は大部分が高州山地であり、下流部でわずかな台地、三角州を流下する。このため、河川勾配は全川で 1/60 以上と急勾配である。国土交通省の発表¹⁾では、建物被害として流失家屋 4 棟、床上浸水 32 棟、床下浸水 7 棟、人的被害としては死者 4 名が報告されている。死者 4 名のうち 2 名は建物流失によるものである。建物流失の発生要因として、左右岸の溪流の斜面崩壊に伴う大量の土砂と流木の流下と、河道埋塞を経て氾濫流が人家周辺を流れる形で流路が形成されたことを指摘している。

13.2.2 調査方法

(1) 痕跡水位観測

氾濫、浸水状況を把握するために、痕跡水位観測を実施した。氾濫域内の洪水痕跡を探索し浸水深を計測するとともに、地盤高を RTK-GNSS 測量することで、浸水位を観測した。浸水位を空間的に内挿して浸水位コンターを作成し、LP データとの差分を求めすることで浸水深コンターを得た。

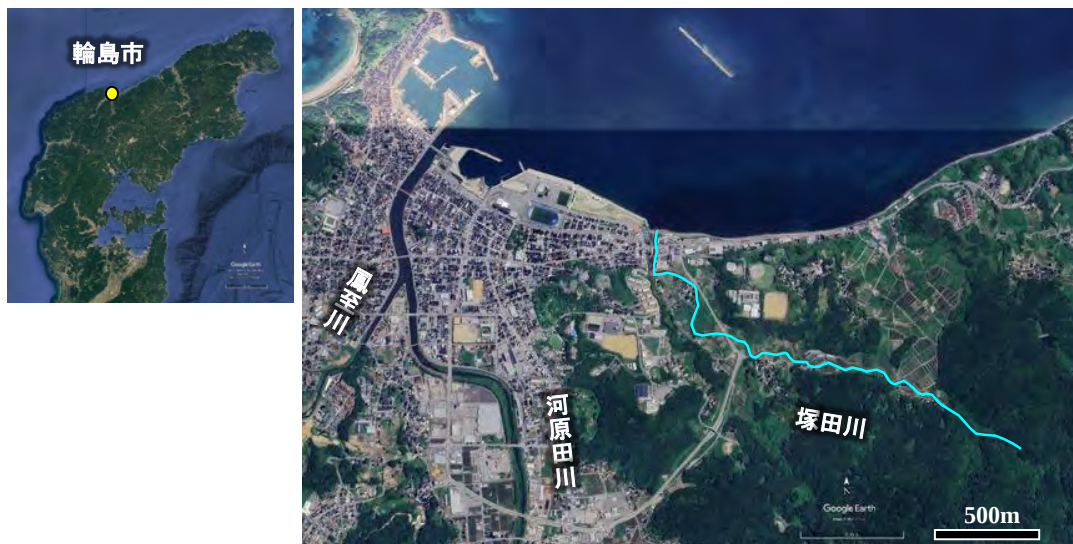


図 13-9 塚田川の位置

(2) 建物・橋梁被害調査

氾濫域内外の建物被害調査を実施した ($n=222$)。調査日は、2024 年 10 月 8 日と 22 日である。塚田川が流れる輪島市では令和 6 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震において震度 7 (輪島市門前町走出) を記録¹し、地震の影響が考えられることため氾濫域外も含めた調査とした。建物被害の分類は目視判断によって行っており、定量的な計測等に基づくものではない。被害分類は表 13-2 に示すとおりである。

また、橋梁被害は、被災状況を踏まえて、無被害、土砂・流木による閉塞、流失の 3 つに分類した。

表 13-2 建物被害分類

大分類	小分類	説明
地震	E1	地震による倒壊
	E2	地震による中程度損壊、構造の傾斜
	E3	地震による軽度損壊、壁面クラックや窓ガラスの損壊など
洪水	F1	流失・倒壊
	F2	大規模損壊、外壁に穴が空く程度
	F3	小規模損壊、外壁に凹みが生じる程度
無被害		

(3) 静止画・動画収集および GCP 測量、画像解析

顕著な建物流失被害が確認された石堂橋周辺を対象に、現地における聞き取り調査に加え、SNS を用いて塚田川と氾濫域を撮影した静止画・動画を収集し、被写体とファイル情報からそれぞれ撮影位置と時刻を特定した。静止画・動画から水位や流速データを得るために、画角内に存在する固定点 (GCP, Ground Control Point) として建物や橋梁、電柱、ガードレールの特徴的な点の実座標を現地で RTK-GNSS を用いて測量した。

冠水した構造物等の水際線高さを読み取ることで、様々な撮影位置における時々刻々の水位を推算した。また、視点が大きく動きブレの大きい動画に対し、特徴点マッチングに基づく視点固定化処理を施した上で、Optical flow による水表面流速分布推定を行った。

13.2.3 調査結果

(1) 浸水状況と建物・橋梁被害の空間分布

まず、図 13-10 に塚田川における浸水深コンターと建物被害分類分布を示す。調査範囲内においては、塚田川沿川のほぼ全ての範囲で氾濫が生じており、洪水流と氾濫流が一体となって流下したと推察される。建物の被災分類分布に着目すると、洪水に起因する青系のプロットは塚田川近傍・氾濫域内に限定され、地震に起因する赤系のプロットは調査範囲内に広く点在している。ここで、特に甚大な洪水被害である「流失」に着目すると、図中の黒破線で囲まれる 3 つのエリアに集中している。建物被害としては、全調査件数 222 棟のうち、洪水流による流失は 26 棟、損壊大は 10 棟、損壊小は 9 棟であった。次に、橋梁被害分類と流路変化を加えた図を図 13-11 に示す。図中の橋梁は、無被害（黒）、河道閉塞（青）、流失（赤）に分類されている。また、流路は青線から赤線に遷移しており、河道閉塞部を避ける形で新たな流路が形成されている箇所や蛇行流路をショートカットする形の流路が形成されていることが分かる。このような河道閉塞と流路変化の発生箇所と建物流失箇所は一致しており、標高の低い橋に大量の流木と土砂が捕捉されて河道閉塞の発生がトリガーとなり、建物流失被害が発生したことが示唆された。

(2) 住民撮影映像の解析結果

石堂橋周辺における時々刻々の動画から読み取った水位縦断分布の時間変化を図 13-12 に示す。9:24 時点では床下浸水程度であったが、図中青字で示す標高の低い人道橋（名称不明）が流木により閉塞したことで、急激な水位上昇が始まるとともに河道閉塞橋梁を迂回し建物群に流れが向かい始めた。9:29 には避難不可能な水深に達し、9:34 に最初の建物流失が発生した。流木捕捉後の水位上昇速度は 1m/5 分を上回っており、状態の悪化を認知してからの避難行動は困難であったことが推察される。さらに、流速画像解析結果（図 13-13）によれば、建物流失直前（9:33）における河道閉塞橋梁を迂回する洪水流の流速が 2m/s 程度であった。さらに、詳細時刻不明・収集動画のうちピークとみられる SNS 動画時においては、5m/s 程度の建物接近流速が確認されており、その後の流失を引き起こしたと推察される。

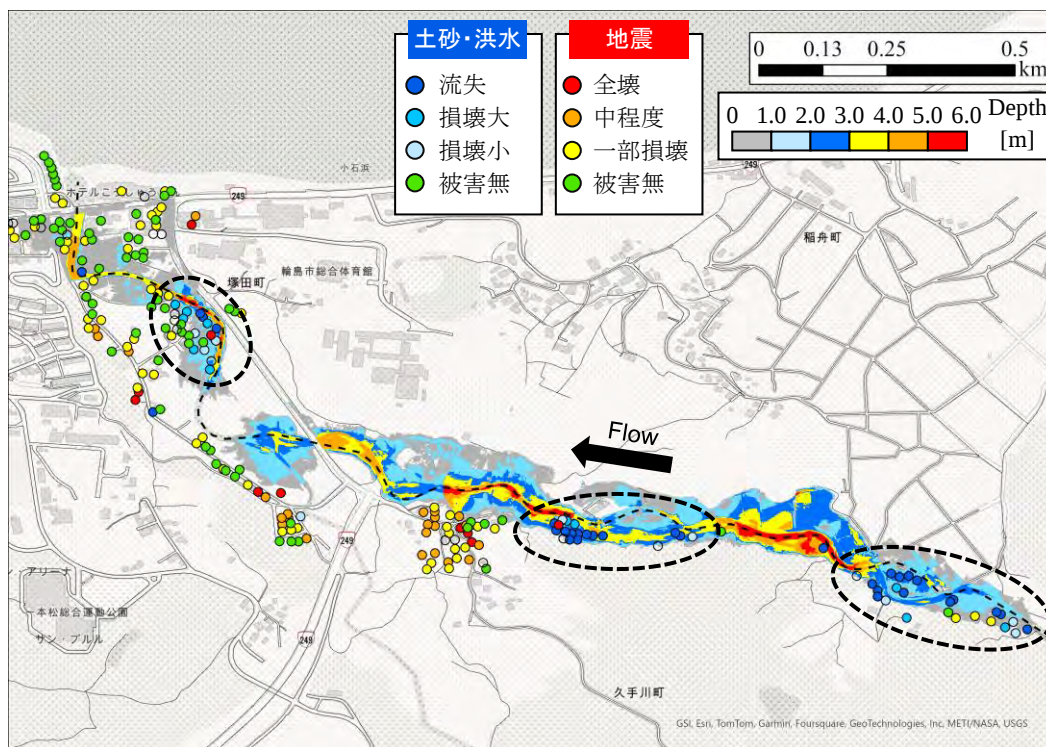


図 13-10 塚田川における浸水深コンターと建物被害分類分布

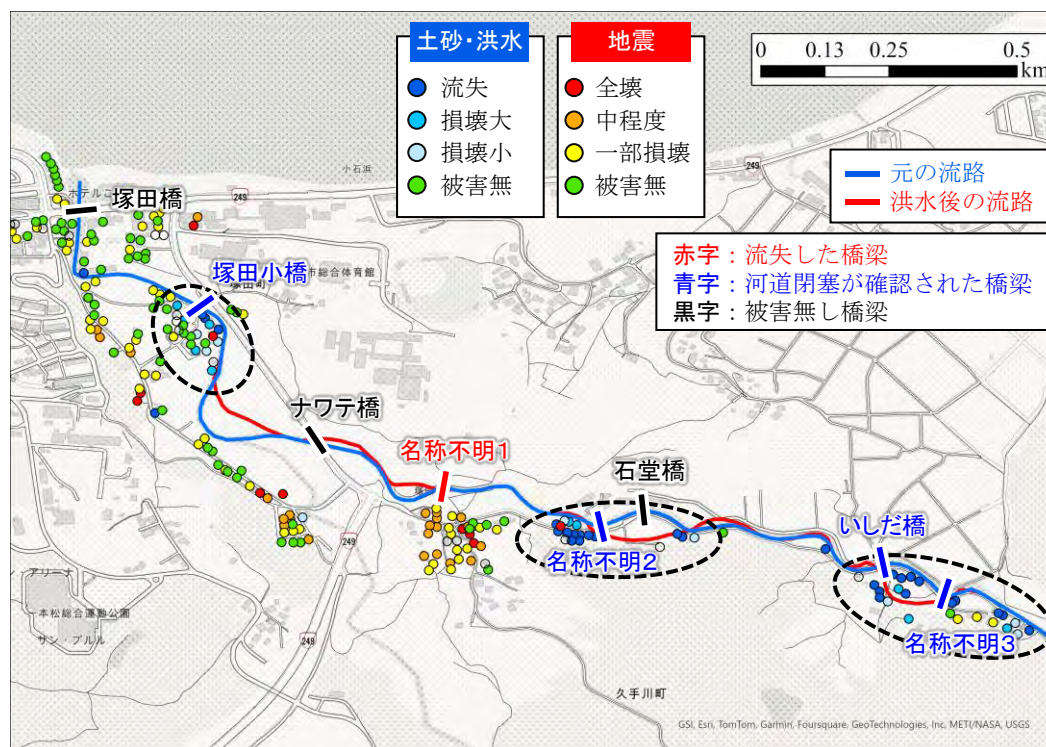


図 13-11 塚田川における橋梁・建物被害分類分布と流路変化

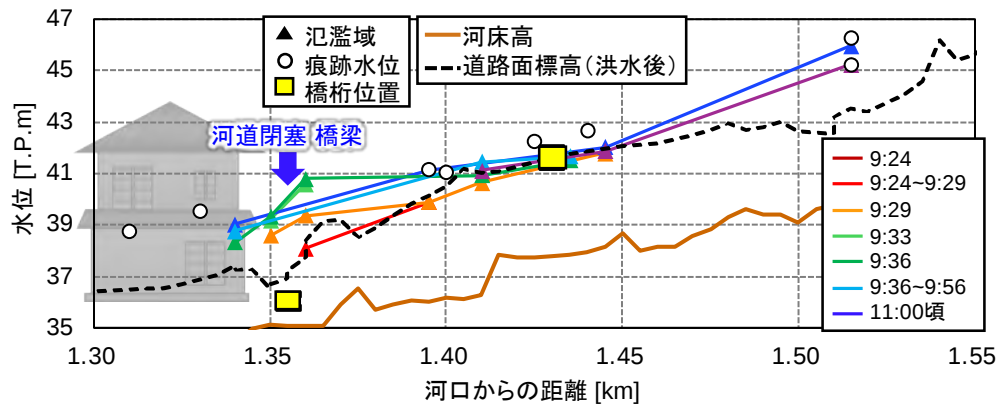


図 13-12 石堂橋周辺の水位縦断分布の時間変化

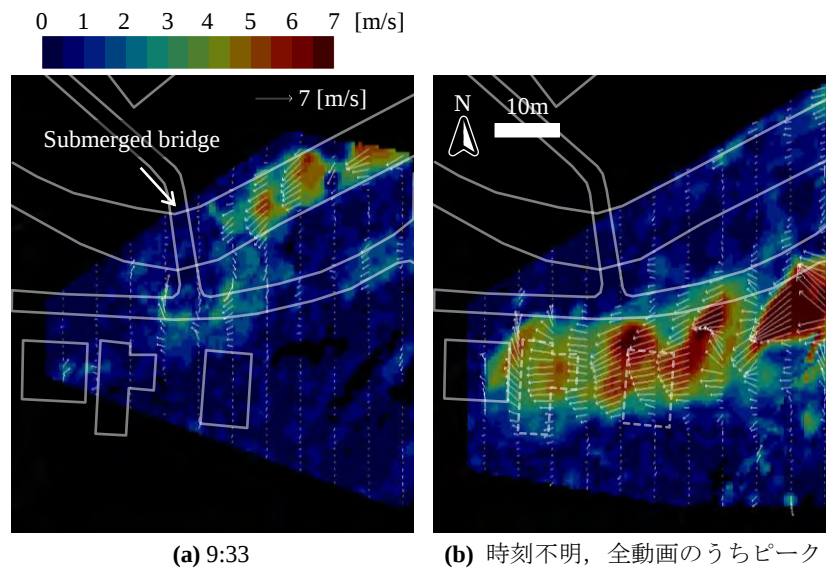


図 13-13 石堂橋周辺の建物流失箇所における流速画像解析結果

謝辞

本研究を遂行するにあたり，国土交通省北陸地方整備局にはデータ提供等で多大な協力を得た。また，現地観測とデータ整理・分析の多くは東京理科大学水理研究室の学生諸氏，特に窪田氏，釜坂氏に多大な貢献を頂いた。水位・流速の画像解析に用いた静止画・動画は近隣住民の皆様から提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策検討会（第1回）

【【資料2-2】 能登半島での地震・大雨による被害とこれまでの対応】

[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kentoukai/ noto_kentoukai/dai01kai/pdf/04_shiryo0](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/kentoukai/ното_kentoukai/dai01kai/pdf/04_shiryo0)

4.pdf

- 2) 内閣府 非常災害対策本部：令和 6 年能登半島地震に係わる被害状況等について，
[https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_56.p](https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_56.pdf)
df (令和 7 年 4 月 30 日閲覧)

第 14 章 洪水キキクルを用いた災害情報の整理と浸水評価

中部大学 武田 誠

14.1 はじめに

2024 年 9 月 20 日頃から秋雨前線が日本海から東北地方付近に停滞し、9 月 21 日は前線上の低気圧が日本海を東に進んだ。また、9 月 22 日には台風第 14 号から変わった低気圧が日本海から三陸沖へ進んだ。低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で大気の状態が非常に不安定となり、東北地方から西日本にかけての広い範囲で雷を伴った大雨となった。特に、石川県では 21 日午前中に線状降水帯が発生した¹⁾。石川県能登半島では、線状降水帯により大雨被害の危険度が急激に高まったことから、9 月 21 日に輪島市、珠洲市および能登町に大雨特別警報が発表された。記録的な大雨により、石川県では県管理の 19 水系 26 河川において氾濫が発生した²⁾。

災害時には、気象警報や降雨情報などが各種メディアにより報道され、市民に災害対応への注意喚起が行われる。危険が迫った場合には避難指示が出され、住民の災害対応が実施される。その情報の一つに気象庁が発表しているキキクルがある。

本研究では、気象庁のキキクルに着目し、災害情報（ここでは避難につながる情報とする）の推移を振り返ることで、住民の避難や災害対応の観点から当時の状況を整理する。また、令和元年台風第 19 号による千曲川破堤災害との比較を行い、今回の災害情報の推移を考察する。さらに、対象流域に対する流出・氾濫解析を行い、当時の浸水の様子を考察する。



写真 14-1 河川が氾濫した輪島市内の様子³⁾

14.2 気象警報および洪水キキクルを用いた災害情報の整理

ここでは避難に関わる気象警報および洪水キキクルの情報を災害情報と定義し、それらを整理することで、豪雨時の情報発令の様子を考察する。なお、気象庁が示しているキキクルには、土砂キキクル、洪水キキクル、浸水キキクルがある。ここでは、それらを示し概観するが、詳細な考察には洪水キキクルのみを対象とした。

14.2.1 研究方法

1) 気象警報について

本研究では、気象庁から出された降雨に関する警報（気象警報）⁴⁾を整理した。

2) 災害情報洪水キキクルについて

本研究では、災害情報として、洪水キキクルに着目して検討した。洪水キキクルに関する詳細は、気象庁のHP⁵⁾に記されている。ここでは概要について示す。

図 14-1 に示す洪水キキクルは、大雨による中小河川(水位周知河川及びその他河川)の洪水災害発生の危険度の高まりを 5 段階に色分けして地図上に示したものである。危険度の判定には 3 時間先までの流域雨量指数を用いている。

気象庁は、河川の上流域に降った雨により、どれだけ下流の対象地点の洪水災害リスクが高まるかを把握するための指標として「流域雨量指数」を用いている。過去の洪水災害発生時の流域雨量指数の値をもとに基準を設定し、この基準と予測される流域雨量指数を比較して、災害リスクを評価している。洪水キキクルでは、得られた災害リスクを色分けして地図上に示している。

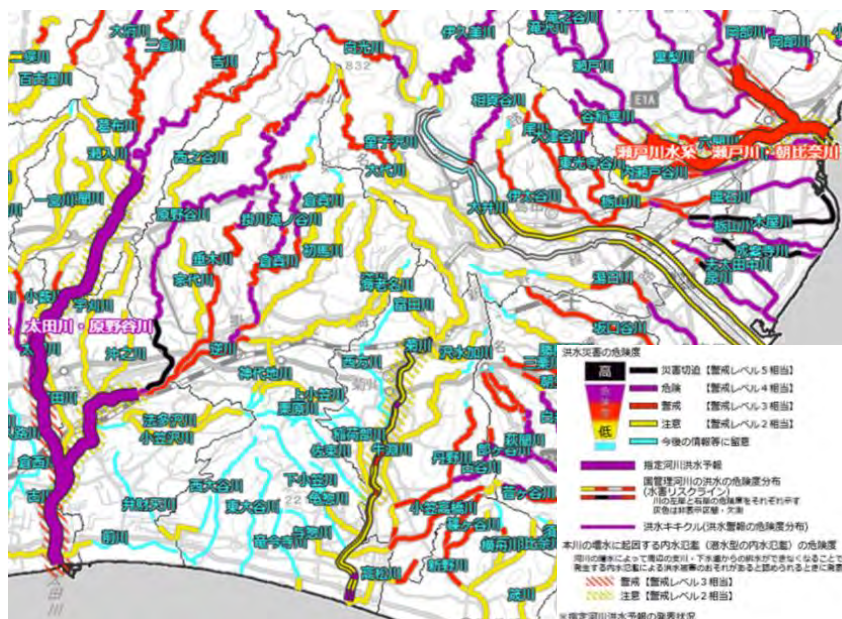


図 14-1 洪水キキクルの例⁵⁾

気象庁では、地表面を1km四方に分けて、各河川の上流における降雨が河川に流出する量をタンクモデルを用いて計算し、河川に流出した雨水が河川を流下する量を運動方程式（マンニングの平均流速公式）と連続式を用いて計算している。計算される流下量の平方根をとった値を流域雨量指数と定義している。

また、過去約30年間の洪水災害発生時の流域雨量指数の値を調査し、「流域雨量指数がこの数値を超えると重大な洪水災害がいつ発生してもおかしくない」という値を洪水警報の基準として設定している。「洪水警報の基準を大きく超過した基準」について、50年に一度超えるかどうかという値（50年確率値）を設定することを基本としている。

さらに、「湛水型の内水氾濫」に対しても、当該河川の増水の状況を示す流域雨量指数に加えて、周辺の地表面を流れる雨水の状況を示す表面雨量指数も用いて基準（複合基準）を設定しており、洪水キキクルで考慮されている。

警戒レベルと気象警報およびキキクルの情報を図14-2に示す。住民の行動として、警戒レベル3、警戒レベル4中に避難すること（避難完了）が求められており、警戒レベル5では安全確保が求められている。

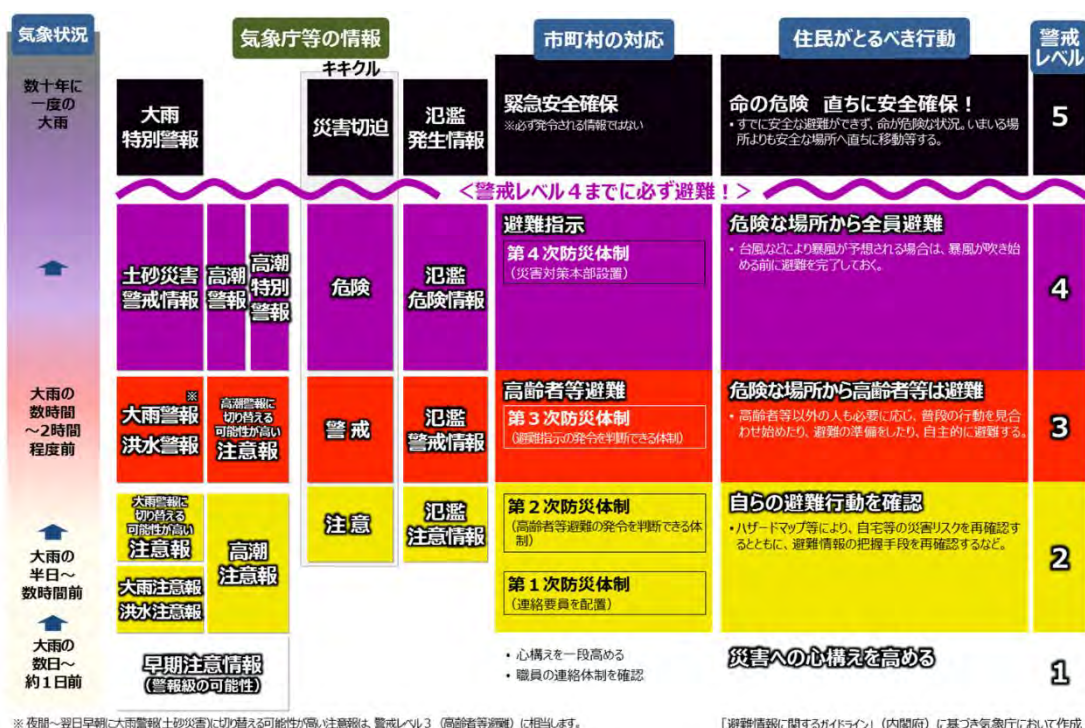


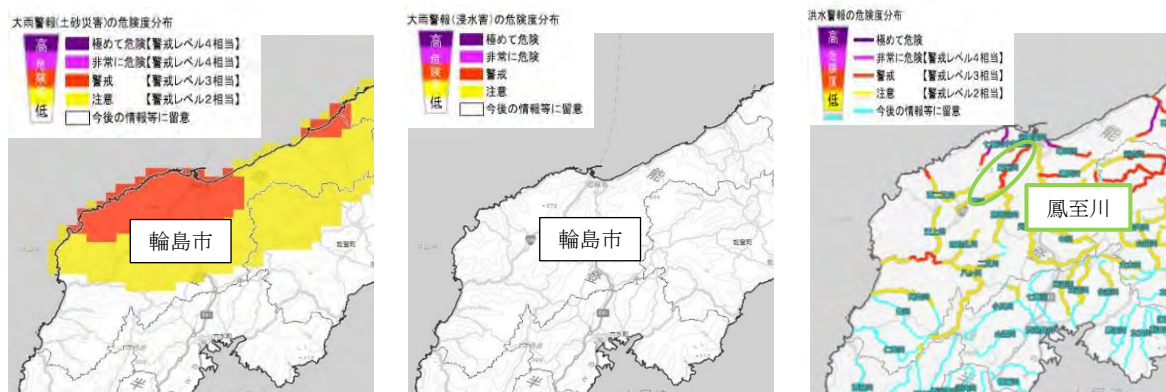
図14-2 警戒レベルの判断基準と気象警報等の関係⁵⁾

3) 研究方法

特別警報・警報・注意報データベース⁴⁾より、防災気象情報を入手し、時間変化を整理した。また、洪水キキクルの10分ごとのデータ⁵⁾をJPGファイルで入手した。これらを活用して動画化を行うと共に、時間変化の情報を整理した。

14.2.2 キキクルの様子

以下に、当日の様子を示す。



2024年9月21日4時00分



2024年9月21日5時00分



2024年9月21日6時00分

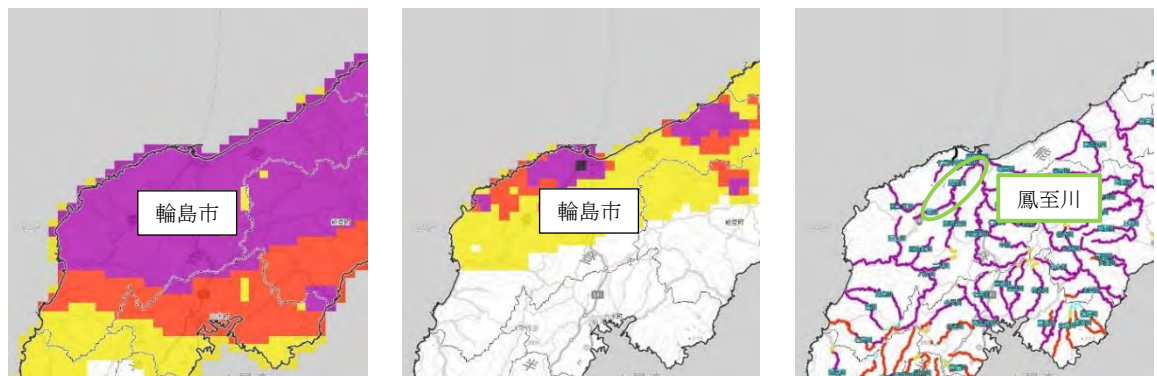
図 14-3 左から土砂キキクル、浸水キキクル、洪水キキクルの様子（その1）



2024年9月21日7時00分



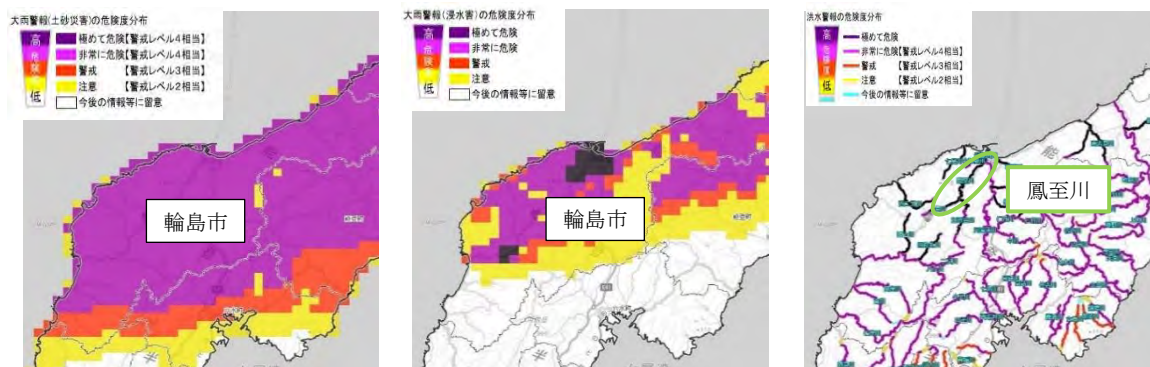
2024年9月21日8時00分



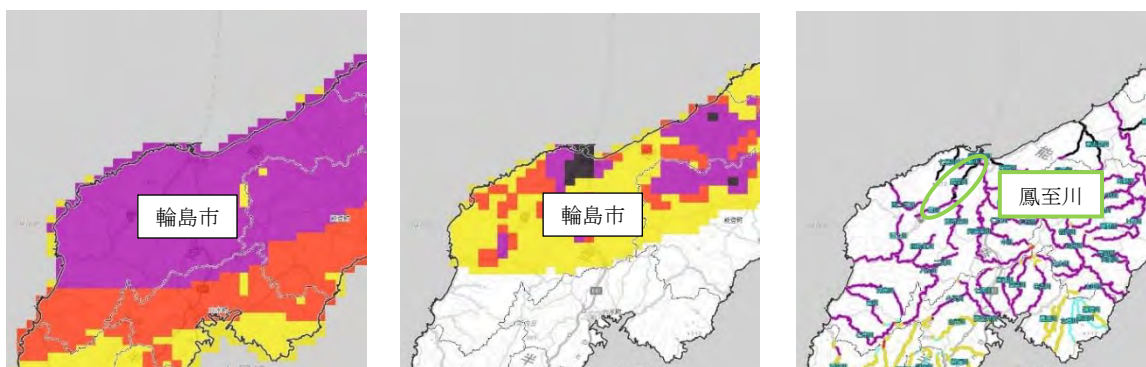
2024年9月21日9時00分

図 14-4 左から土砂キキクル、浸水キキクル、洪水キキクルの様子（その2）

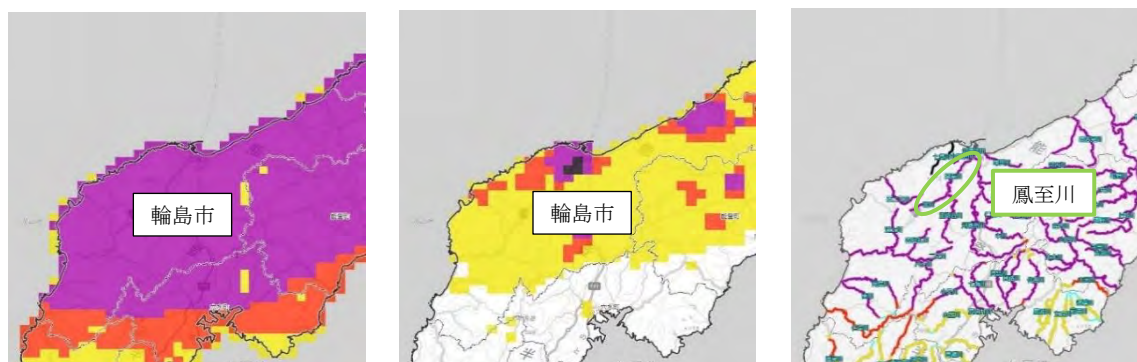
図 14-3～図 14-5 は 2024 年 9 月 21 日 4 時～12 時における土砂キキクル、浸水キキクル、洪水キキクルの様子である。土砂キキクルは早い時間から災害の危険性を表していることがわかる。また、9 時から浸水キキクルにおいて紫色が示されており、危険が予報されていることもわかる。



2024 年 9 月 21 日 10 時 00 分



2024 年 9 月 21 日 11 時 00 分



2024 年 9 月 21 日 12 時 00 分

図 14-5 左から土砂キキクル，浸水キキクル，洪水キキクルの様子（その 3）

洪水キキクルでは，石川県輪島市を流れる鳳至川（ふげしがわ）に着目する．洪水キキクルによると，9 月 21 日 10 時には警戒レベル 5 に達している河川が多くあり，洪水災害のリスクも高まっている．なお，警戒レベル 4 までには，必ず避難を完了しなければならないとされている．

14.2.3 気象警報および洪水キキクルの推移

ここでは、輪島市を対象とする。図 14-6 に輪島市の降雨の様子⁶⁾を、図 14-7 に気象警報と洪水キキクル（輪島市を流れる鳳至川から読み取った情報）の関係を示す。氾濫が生じる前の気象警報と洪水キキクルの様子を考察する。図 14-6 から、9 月 21 日は 9 時から急激な降雨の増加があり、その後降雨量は低下したが 9 月 22 日にも強い雨がみられる。また、図 14-7 をみれば、気象警報の様子から大雨注意報が前日の 9 月 20 日 16 時 18 分に発令され、大雨警報が 9 月 21 日 6 時 26 分に発令され、大雨特別警報が 10 時 50 分に発令されている。洪水キキクルでは、警戒レベル 4 が 9 月 21 日 4 時 40 分に示されており、警戒レベル 5 が 9 時 30 分に示されている。河川管理者から氾濫（逸水、越水）の情報が出された場合に、該当する河川管理区間は警戒レベル 5 に表示される。11 時頃には輪島市においても氾濫が確認されている⁷⁾。

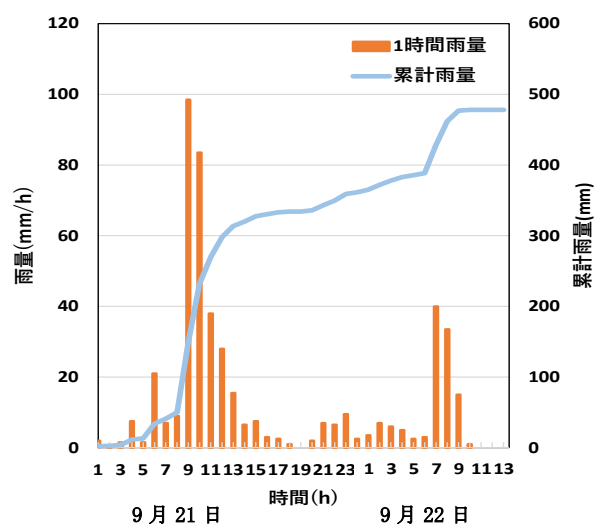


図 14-6 輪島市の降雨の様子⁶⁾

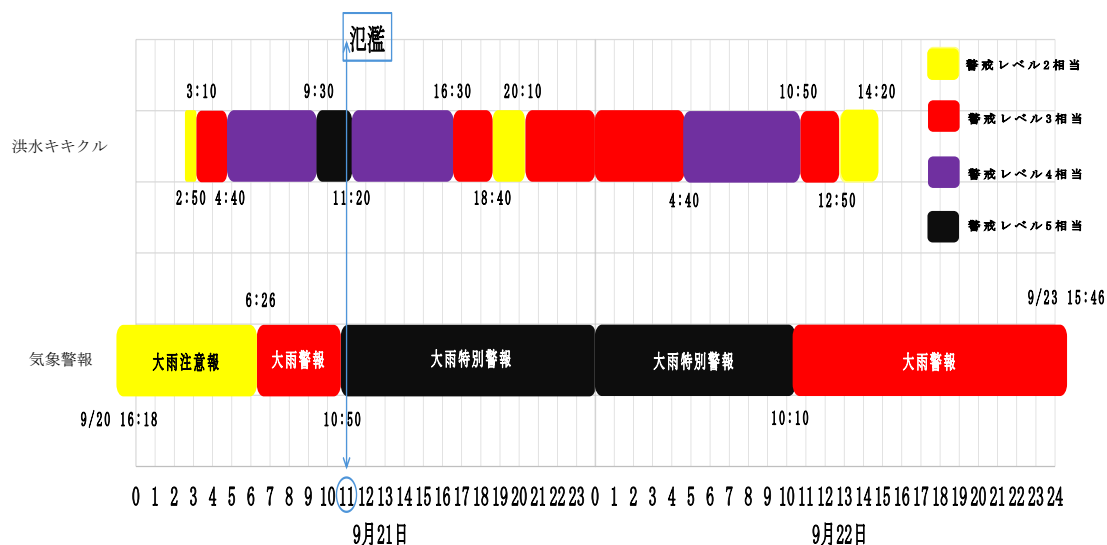


図 14-7 輪島市の時系列図(2024 年 9 月 21 日～22 日)

図 14-7 から、洪水キキクルによる警戒レベル 4 は 4 時 40 分に示されており、警戒レベル 4 の時間間隔（警戒レベル 4 から警戒レベル 5 への移り変わりの時間）は 4 時間 50 分であった。警戒レベル 4 中に避難を完了する時間があったとも考えられるが、警戒レベル 4 の表示が早朝であったことから、適切に危険性が住民に届く状況であったかの評価は課題として残る。警戒レベル 4 が示され、情報が伝達され、住民が受け取って避難するまでの時間を短くする、適切な“住民の避難体制”の整備は重要なテーマといえる。輪島市における時間雨量は、9 月 21 日の午前 9 時に増加しており、大雨特別警報が同日の午前 10 時 50 分に発令された。さらに、鳳至川の氾濫は同日の午前 11 時頃に確認されている。このことから、洪水キキクルおよび大雨警報による警戒レベル 4 のアラートは適切であったと判断できる。なお、ある程度の幅を持つ情報ではあるが、警戒レベル 5 の表示から氾濫が発生するまでの時間はおよそ 1 時間 30 分であった。

14.2.4 令和元年台風第 19 号による千曲川破堤災害との比較

輪島市の検討では、県管理の 2 級河川（鳳至川等）を対象にした。今回の災害は、流域面積が比較的小さく、勾配が急な 2 級河川における災害であったことも特徴のひとつと考えられる。そこで、破堤災害が生じた令和元年台風第 19 号の千曲川の浸水状況を対象に同様の災害情報の整理を行った。洪水キキクルと気象警報を整理したものを図 14-8 に、洪水キキクルの一例を図 14-9 に示す。図 14-9 に示すように、10 月 12 日 21 時の氾濫が生じた場合の示された河川区間は長く、20 時 30 分に上流域で氾濫が生じたことにより警戒レベル 5 となっている。千曲川破堤箇所を含む河川区間では警戒レベル 4 が 10 月 12 日 18 時に示されていることから、警戒レベル 4 の時間間隔は 2 時間 30 分であった。千曲川では長野市穂保付近で破堤が生じている。この破堤は 10 月 13 日午前 4 時頃に破堤が生じていることから、警戒レベル 5 の表示から破堤までの時間は 7 時間 30 分である。さらに、気象警報をみれば、上流の上田市では長野市よりも先に大雨警報が出されている。このことから、上流側の降雨・洪水の状況を判断して、下流側の対策

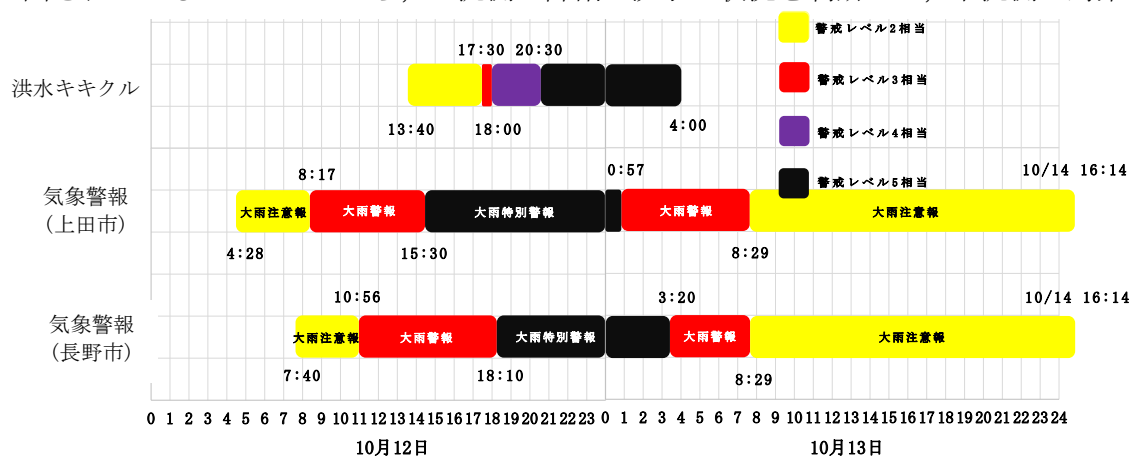
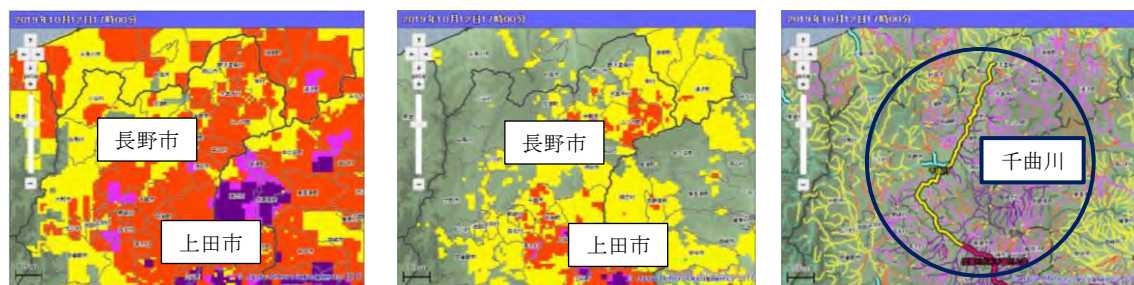
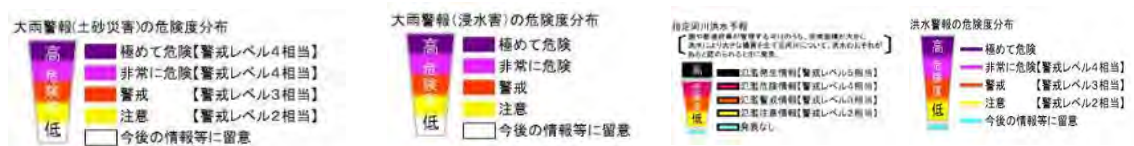


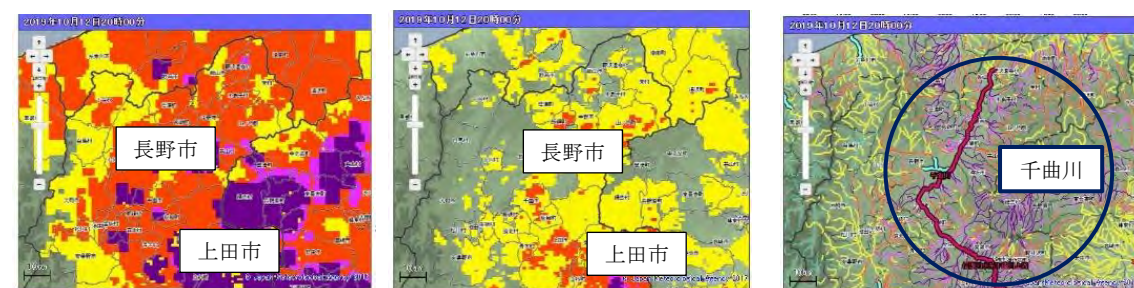
図 14-8 上田市と長野市の時系列図(2019 年 10 月 12 日～13 日)



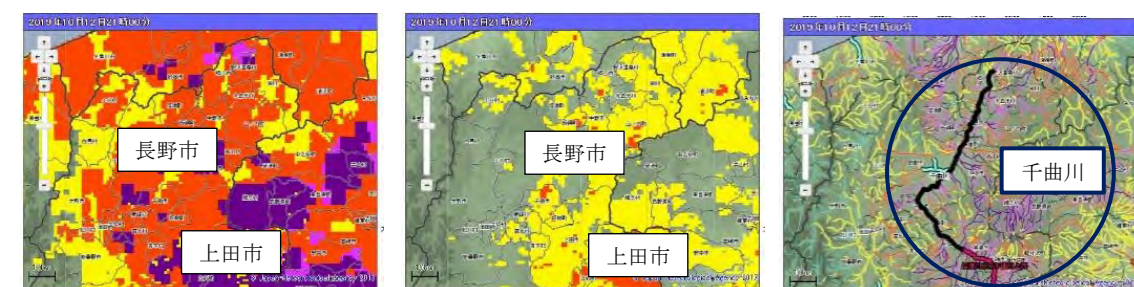
2019年10月12日17時00分



2019年10月12日17時30分



2019年10月12日20時00分



2019年10月12日21時00分

図 14-9 左から土砂キキクル, 浸水キキクル, 洪水キキクルの様子

を検討することが可能である。したがって、千曲川のような大規模な河川では上流側の様子を考慮することで、避難対策に関する猶予時間を得ることができる。また、大きな河川断面および幅の広い堤防の状況を考えれば、一級河川では高水位から破堤（大規模浸水）までの時間も急ではないと推察され、避難対策の猶予時間を確保できる。県管理の二級河川は、河川長が短いため洪水流下時間が短く、河川水位の急な上昇が生じ、さらに河川堤防の粘り強さも乏しいと考えられることから、河川の観測情報を基にした避難対策に関する猶予時間は一級河川と比べて相対的に短いといえる。

14.2.5 今後の治水対策の課題

本研究では、災害時の予測情報の観点から、能登半島豪雨時における洪水キキクルおよび気象警報について当時の様子を整理した。洪水キキクルは3時間先を予測していることから、今回の能登半島の豪雨災害を適切に予測していることが示されている。ただし、避難を完了させるべき警戒レベル4の表示が午前4時40分であった。本研究では十分に実施できていないが、住民への情報の伝達手段と住民の速やかな避難行動の実施については、今後丁寧に調査・検討する必要がある。

また、千曲川破堤時の災害情報（気象警報や洪水キキクル）の様子から、千曲川のような一級河川では、一般に河川長が長いことから、上流側の状況を考慮して下流の洪水対策を準備・実施することができる。河川断面が大きいことから水位上昇も急では無く、堤防幅も大きいことから、大規模な氾濫を生じさせる破堤までの時間が長くなることが考えられる。これらの状況は、浸水時の避難対策の実施に関する猶予時間の確保につながる。一方、県管理の河川は、一般に河川長は短く、水位上昇も急であり、一級河川に比べて堤防も弱い状況であるので、避難に関わる猶予時間が短いものと考えられる。これらのことから、洪水キキクルのような予測情報は非常に重要であり、それらを活用して、災害情報を住民に届け、住民が避難行動を実施する仕組みの構築が非常に重要となる。

14.3 流出・浸水解析による浸水状況の評価

14.3.1 はじめに

2024 年 9 月 21 日から 9 月 23 日にかけて石川県能登半島で発生した集中豪雨では河川氾濫および土砂災害が多発し、甚大な被害が生じた。このような大規模な氾濫災害に備えるためにも、災害時に何が生じたのかを考察することは大事である。本研究では、RRI モデル⁸⁾を活用して、流域の洪水流出と浸水の検討を行う。

14.3.2 計算領域および計算条件

ここでは降雨流出氾濫を表現する RRI モデル(Rainfall Runoff Inundation Model)⁸⁾を用いる。地形データは日本域表面流向マップ⁹⁾の 30m メッシュのデータを使用し、標高データ、8つの流下方向を示す表面流向データ、流れ込むセルの数を記載する累積流量データを整備した。対象領域は図 14-10 に示す能登半島のエリアとした。RRI モデルでは次式で川幅と地面から川底の深さを表現している。

$$B = C_w A^{S_w} \quad D = C_d A^{S_d} \quad (1)$$

ここに、 B ：川幅(m)， D ：地面から川底の深さ(m)， A ：河川格子上流の流域面積(km²)である。本研究の C_w ， S_w ， C_d ， S_d は、川原田川の断面情報を参考に、それぞれ 4.0, 0.6, 0.9, 0.3 とした。また、降雨データは 26 の雨量観測所のデータを用い、図 14-11 に示すように計算格子に最も近い降雨情報を使用した。

RRI モデルには、図 14-12 に示すように、パラメータの設定により、A) 地表面流出のみを考慮したモデル、B) 地表面流出と地下浸透を考慮したモデル、C) 地表面流出と地下浸透および地表面への流出を考慮したモデルを扱うことができる。ここではモデル C を用いた。

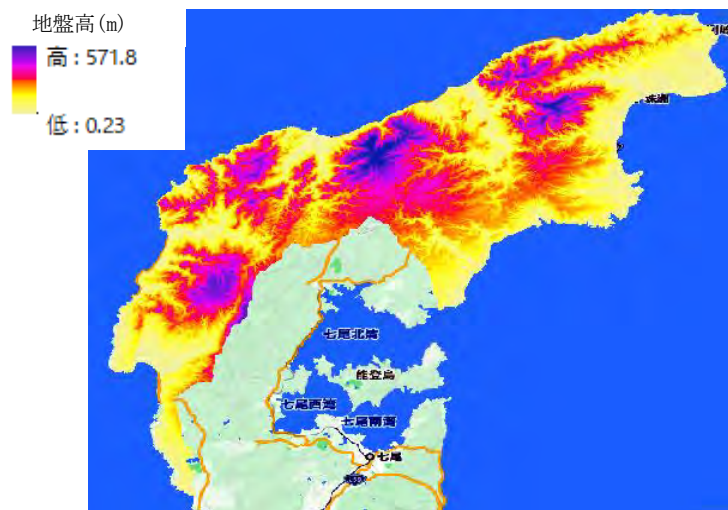


図 14-10 計算領域と地盤高

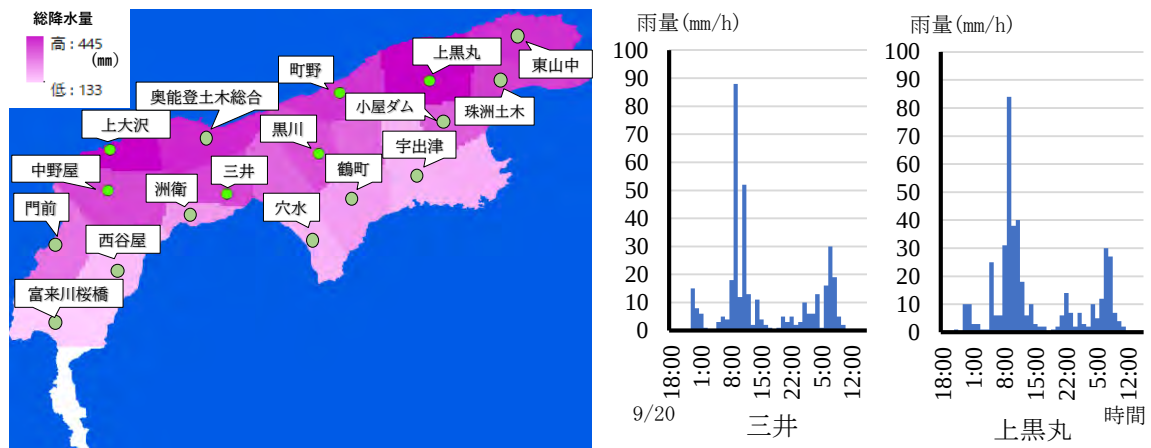


図 14-11 降雨の設定（左：降雨設定領域と総降水量、右：使用した降雨情報の例）

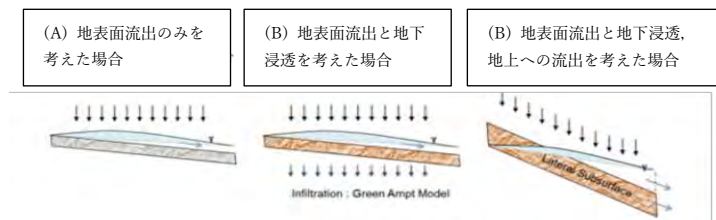


図 14-12 モデルの概要⁸⁾

ただし、モデルパラメータの設定には、能登豪雨に関する十分な観測データを用いた検討ができなかったため、RRI モデルによる庄内川流域の流出・氾濫解析の検討¹⁰⁾から、計算結果と観測結果の比較から適切と判断したパラメータ（透水係数 $K_a=0.08$ ）を用いた。なお、パラメータの同定には十分な検討ができておらず、河川水位や流量との比較など再現計算に関わる十分な考察ができていない。これらに関しては、今後の課題として位置付けている。

図 14-13 は庄内川流域を対象とした平成 23 年 9 月 19 日～21 日の洪水の再現計算結果であり、能登半島の計算と同様に 30m メッシュを用い、計算格子に最も近い降雨情報を活用した。また、庄内川の河川断面情報から矩形断面の河川幅および河川水深を設定している。

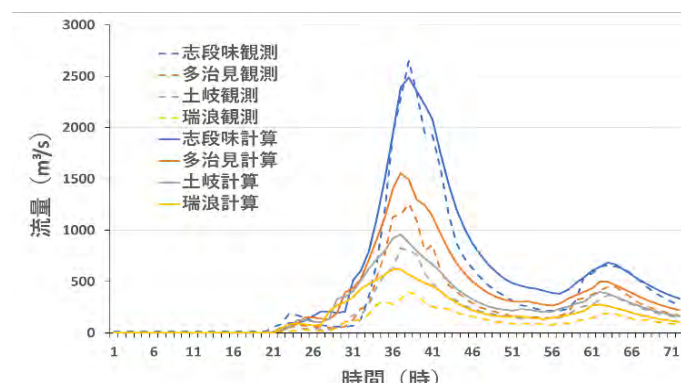


図 14-13 庄内川の流出計算による流量と観測された流量の比

14.3.3 計算結果および考察

まず，パラメータの特性を確認するために，透水係数 $K_a=0.01, 0.06, 0.08, 0.3$ による流出氾濫解析を行った．最大浸水深の分布を図 14-14 に示す．本図から，透水係数が小さい場合は上流域に浸水が生じるが，透水係数が大きくなれば下流側へ流下することで上流側の浸水が無くなり，下流側に浸水が集まっている様子が示され，川沿いに大きな浸水域がみられる．

本研究では，前述したように，パラメータの同定が十分にできていない．ここでは， $K_a=0.08$ の結果を用いて考察を行う．図 14-15 に図 14-14 の赤枠で示された箇所の最大浸水深と国土地理院から得た GIS 情報（建物ポリゴン）を示す．

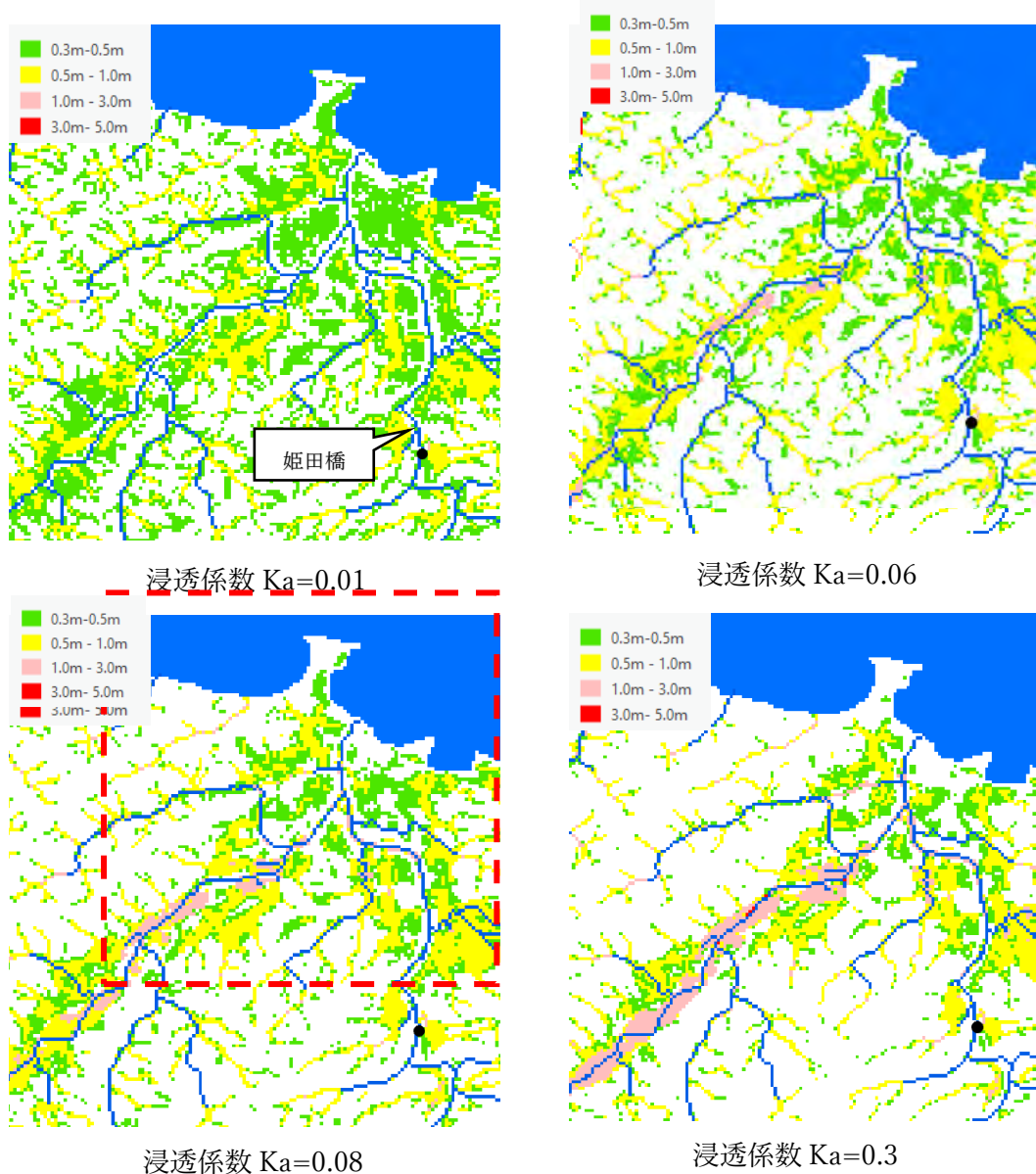


図 14-14 透水係数の違いによる最大浸水深の違い

図 14-15 の赤い丸で囲った輪島市の朝市通りについて、解析結果では 0.5m～1.0m の最大浸水深が示されている。実際の状況でも床上浸水が発生しており、解析結果が実際の浸水の様子を示していると考えられる。つぎに、図 14-15 の青い丸で囲った輪島市役所について、解析結果では 0.5m～1.0m の浸水がみられる。この地域は、実際の状況でも床上浸水が発生していることから、実際との一致が示されている。最後に、図 14-15 の紫色の丸で囲った輪島市宅田町の仮設住宅では、0.5m～1.0m の、場所によっては 1.0m～3.0m の浸水深がみられる。ここも実際にも床上浸水となった地域である。これらの結果から、解析結果のある程度の妥当性が示されたといえる。

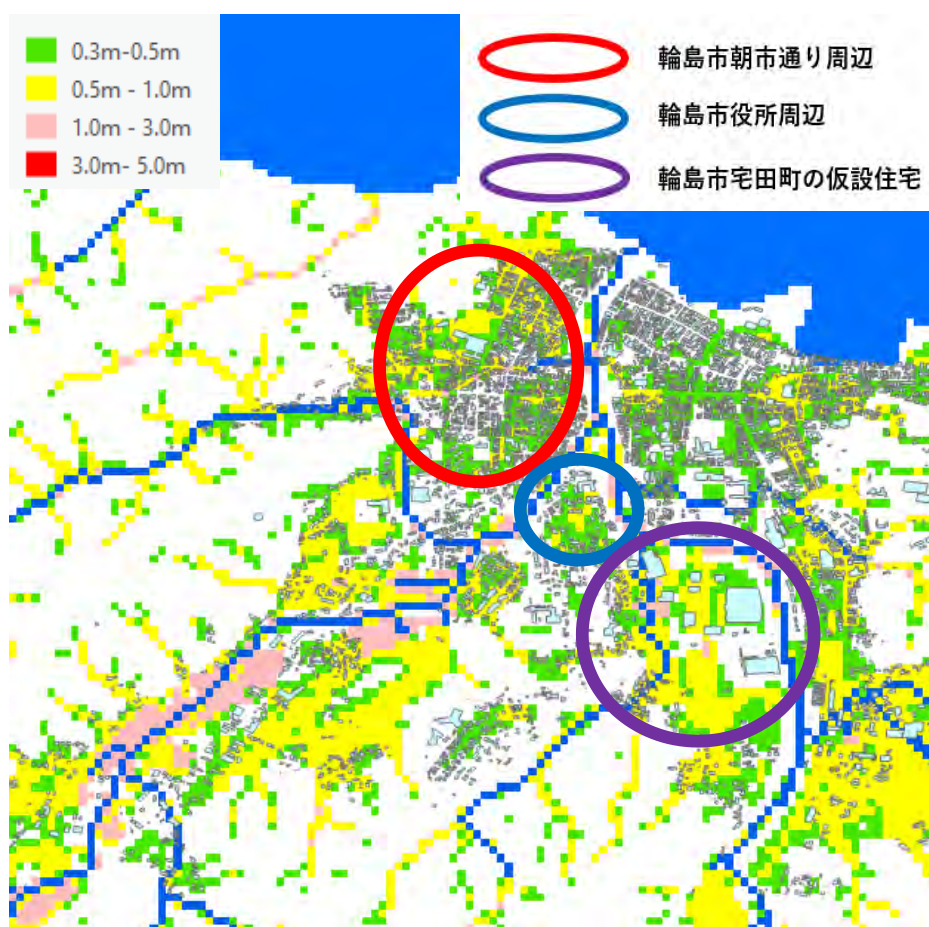


図 14-15 最大浸水深の分布（透水係数 $Ka=0.08$ ）

14.4 得られた成果と今後の課題

本研究では二つの視点から検討を進めた。一つは豪雨時の災害情報がどのような時間的流れで示されたかを把握し、洪水キキクルを用いた警戒レベルの様子を考察した。特に、警戒レベル4までに避難を完了させる必要があることから、警戒レベル4の時間間隔を把握することを主目的として、気象警報および洪水キキクルを用いて検討を進めた。今回の検討から、激しい豪雨による浸水の前に、適切に警戒レベルによる危険度を示しており、洪水キキクルの運用は減災の観点から効果的であることが改めて示された。しかし、洪水キキクルの警戒レベル4の災害情報を住民に伝達し、住民が速やかに避難行動を起こす仕組みを作ることも重要であるといえる。さらに、千曲川破堤災害の情報との比較から、一級河川と比べて河川長が短く、河川水位の上昇も急で、河川堤防の粘り強さも十分に期待できない二級河川において、避難行動の猶予時間を得るためにも、降

雨予測から得られる洪水キキクルの情報は非常に重要であることが改めて示された。

もう一つの本研究のテーマは、RRI モデルを用いた流出・氾濫解析を行い、浸水の状況を考察することである。計算された浸水の様子と実際の被害状況を比べて妥当性評価を行ったが、河川水位（河川流量）との比較が十分にできず、課題が残った。観測された河川水位を得たが、今回の観測された水位が河川流量換算式の適用限界を超えていることから、十分な流量による比較ができなかった。また、数か所の河川断面の情報から断面特性を設定したが、この点も不十分であったと判断する。これらは本研究の課題であるが、水位・流量などの観測値が乏しい河川の課題ともいえる。今後、気候変動に伴う豪雨が増加する場合、県管理の二級河川が被害を受ける頻度が高まると考えられる。これらの対策を十分に検討するためにも、観測体制の整備は喫緊の課題であるといえ、二級河川における観測網の整備は全国的な課題と推察されることから、国が主導して検討・整備すべきと考える。

また、2025 年 3 月に現地を視察する機会を得たが、沿岸域には地震により被災した建物が残っていると共に、豪雨災害の爪痕を目の当たりにした。復旧に向けた工事が進められている箇所もあったが、被災を受けた多くの家屋が手付かずの印象を受けた。能登半島の地震災害・豪雨災害に対しては、多くの方が関心を示し、継続して費用を投じて、早い復興を行うよう、社会的気運を高めることが重要と考える。

謝辞

本研究は、中部大学大学院工学研究科博士前期課程の 1 年生岡修平君と 2 年生荒川隼輝君の助力を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：低気圧と前線による大雨 令和 6 年（2024 年）9 月 20 日～9 月 22 日（速報），国土交通省，
<https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/20241029.html>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)
- 2) 水管理・国土保全局, 9 月 20 日からの大雨に伴う河川・ダムへの対応状況，国土交通省，
<https://www.mlit.go.jp/common/001764441.pdf>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)
- 3) 石川県：令和 6 年（2024 年）奥能登豪雨による能登半島被害状況，
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/saigai/202409ooame-higai.html>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)
- 4) 気象庁：特別警報・警報・注意報データベース，国土交通省，
<https://agora.ex.nii.ac.jp/cps/weather/warning/>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)
- 5) 気象庁：キキクル(警報の危険度分布)，国土交通省，
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/riskmap.html>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)
- 6) 気象庁：過去の気象データ検索，国土交通省，

<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)

- 7) NHK : 石川 輪島市の八ヶ川と鳳至川で氾濫

<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240921/k10014588181000.html>, (令和 7 年 5 月 6 日確認)

- 8) 水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) : 降雨流出氾濫モデル (RRI モデル)

https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html (令和 7 年 5 月 6 日確認)

- 9) 日本域表面流向マップ / Japan Flow Direction Map (J-FlwDir)

<http://hydro.iis.utokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/index.html> (令和 7 年 5 月 6 日確認)

- 10) 松井千紘, 荒川隼輝, 武田 誠, 尾花まき子 : RRI モデルを用いた庄内川流域の流出・浸水解析, 令和 6 年度土木学会中部支部研究発表会, II-43, 2025.

- 11) 荒川隼輝, 松井千紘, 武田 誠, 尾花まき子 : RRI モデルを用いた能登半島における流出・浸水解析, 令和 6 年度土木学会中部支部研究発表会, II-34, 2025.

おわりに

令和 6 年元日に発生した能登半島地震，及びその 9 か月後に能登半島を襲った豪雨は，いずれも甚大な被害をもたらした．震度 7 を記録するほどの大規模地震は，河川で堤防や護岸等の損傷が発生したほか，広範囲で土砂崩れが発生し，河道閉塞による土砂ダムが形成されるなど，河川や流域への影響も少なからず発生した．複数の地点で観測史上最大を記録した降雨は多くの地域で土砂災害をもたらした，中小河川からの氾濫によって家屋や農地，道路が土砂や流木にまみれることとなった．

本調査報告書では，第 1 部として令和 6 年元日に発生した令和 6 年能登半島地震の河川及び流域への影響に関する調査結果をまとめ，第 2 部として令和 6 年 9 月に発生した能登半島豪雨の特徴やそれに伴う土砂災害及び氾濫被害の調査結果をまとめた．今回の能登半島地震・豪雨災害に関する調査を通じてわかったことと，それらに基づく提言を以下に提示する．

まず，能登半島地震に関する調査（第 1 部）から以下のような結果が得られた．

- 輪島市市ノ瀬発生した土砂災害に関する現地調査及び数値シミュレーションから，積雪の融解や細かな土砂粒径が崩土の泥流化に寄与した可能性と，泥流が土砂災害警戒区域を越えて広がる過程が示された．
- 合成開口レーダを用いた河川構造物の被害箇所の抽出については，ばらつきがある結果となった．
- 地震による護岸被害等に対する大型土嚢による応急対策は，その後の出水時にも一定程度の機能を果たした可能性が認められた．
- 富山県呉東地区における地震による河川被害調査では，旧河川や旧城堀を改修した箇所が生じていた．
- 尊利地川における調査では，災害時に発生した流木は，家屋等を破壊する一方，堆積箇所より下流での被害を小さくする傾向が見られた．
- 地震発生当日の富山県沿岸域での避難状況の調査の結果，地震による津波の遡上状況や避難時の渋滞状況などは地域ごとに異なる特徴がみられることが明らかとなった．
- 七尾湾における水質観測データの整理より地震発生後の 1 月から 3 月にかけてクロロフィル a 濃度が平年値からの乖離が見られた．また，9 月に発生した豪雨後にもクロロフィル a 濃度の上昇がみられた．
- 七尾市を対象とした地震発生後の水道施設の復旧過程について，流域外導水（県水）と市内独自の水源（自己水）の復旧速度を比較した結果，県水は 90 日程度，

自己水については 60 日程度で 100%の通水が達成された。また、県水から自己水への移行が復旧を速めた可能性が示唆された。

- 能登半島地震及び豪雨によるライフライン（水道、電気）の復旧について、能登半島特有の限られたアクセスと、地震によって道路が甚大な被害を被ったことが被害の長期化に大きく影響したことが示された。

以上を踏まえ、今後発生が懸念される大規模地震発生時における河川および流域管理のための提言を以下に提示する。

提言（１）降雪地帯においては、地震発生前に積雪融解が生じた場合、土壌に対して多くの水が供給され、地震時に崩土が泥流化し、土砂の氾濫範囲が広がる可能性も踏まえた被害想定のあるあり方について検討を進めることが望ましい。

提言（２）地震により地盤が緩んだ状態で豪雨が発生した場合、土砂や流木などの流出が地震の影響のない場合に比べて増大することが予想され、地震後に大雨が発生した際の定量的な外力評価や土砂移動の検討には、地形や地質についての詳細な現地の情報を反映させた数値シミュレーションが有効である。

提言（３）大規模地震発生時には、河川構造物についても広範囲で被害が発生すると想定される。今後、人口減少に伴って技術者が減少した際にも、迅速な被害把握に資する衛星観測の活用等の技術開発を行い、早急な復旧につなげることが重要である。

提言（４）地震により損壊した護岸等における大型土嚢の設置などの応急対策は、その後の出水においても一定程度の機能を果たすことが期待される。大規模地震発生後、出水期までに時間的猶予が少ない場合は積極的な応急対策の実施が有用と考えられ、そのための体制整備等も重要である。

提言（５）地震時の河道の被害箇所については、震源からの距離だけでなく過去の河川改修における旧河道の位置についても留意する必要がある。震災後の豪雨時における流木は、家屋被害を拡大させる一方、堆積箇所より下流の被害を縮小させる可能性があり、この点についてはさらなる研究が必要である。

提言（６）地震時には河川を遡上する津波が発生することがある。沿岸域においては、地域の特性を把握したうえで、河川を遡上する津波を想定した避難方法や避難経路を検討することが重要である。

提言（７）地震に伴う斜面崩壊等で発生した土砂は、その後の降雨や出水により河道を通じて流出していく。土砂崩れや斜面崩壊を伴う大規模地震後には、発生した土砂が流域や下流に位置する湾に与える影響について検討することも必要である。

提言（８）流域外導水に水源を頼っている地域においては、独自の水源を有する地域に比べて、地震によって上水道に関するインフラが被災した場合には、復旧に時間を要する場合がある。水道施設の被災が想定される地域においては、冗長性のあるインフラ整備の在り方について検討すべきである。

提言（９）施設・設備の強靱性や供給ネットワークの冗長性不足、また被災後に他地域から投入されるべき復旧リソースを届けるための交通インフラの被害が、ライフライン被害の長期化の原因となり得る。半島のような地域においては、アクセシビリティの確保と合わせたライフライン・システムの強靱化が重要である。

次に、能登半島豪雨災害に関する調査（第２部）から以下のような結果が得られた。

- 令和６年９月に能登半島で発生した豪雨は、複数の流域において１００年確率降雨強度と同等かそれ以上であった。また、令和６年９月の能登半島周辺における海面水温の偏差がその一因であり、近年の年々変動の大きさが影響している可能性が示された。
- 能登半島豪雨では中小河川の被害が多く発生した。若山川で発生した家屋倒壊や浸水は、ハザードマップにおいて家屋倒壊氾濫想定区域や浸水範囲とされている地域内で発生した。竹中川では多くの流木や護岸浸食、河川近傍での浸水が確認された。折戸川では河川近傍で浸水が確認されたが、流木の堆積は少なかった。
- 町野川流域を対象とした土砂流出シミュレーションにおいて、生産土砂を与えることで流域全体の土砂輸送過程と洪水氾濫過程を網羅的に計算できた。一方で、土砂堆積の深さの再現性は限定的であった。
- 町野川下流左岸では、支川として合流する小規模な普通河川群の河道閉塞による迂回流などにより水害が生じ、逆破堤による氾濫水の河道還元効果が発揮されていたことを明らかにした。
- 塚田川流域における現地観測・解析結果から、標高の低い橋梁部での流木・土砂捕捉による河道閉塞がトリガーとなり、急激な水位上昇と氾濫の拡大、新たな流路が形成され、建物流失等の甚大な被害を拡大させたことが明らかとなった。
- 能登半島豪雨時の輪島市における洪水キキクルでは、概ね適切に危険性が予想されていた。一方、危険な場所からの全員避難に向けた避難指示発令のタイミング

となる警戒レベル４の発表が早朝であり、住民への情報伝達と避難行動の適切性については調査・検討が必要である。

これらの成果を踏まえての提言を以下に提示する。

提言（１０）１００年確率降雨の発生や、大雨の発生に大きな海面水温の偏差が影響している可能性があり、今後も地球環境のモニタリングを継続し、その気象現象等への影響評価と、それに基づく流域管理が不可欠である。

提言（１１）大規模地震後の復旧段階での豪雨の発生による被害の拡大を念頭に置いた対策や応急復旧を更に慎重に考える必要がある。また、人命を守るために、地震後のリスクがどの地区に生じ、どのような事前避難が必要になるか等を考え、多くの住民にわかりやすく周知する必要がある。

提言（１２）中小河川では想定最大規模の降雨が生じた場合、土砂や流木の流出や河道内や橋脚への堆積が影響する可能性があるが、浸水想定やハザードマップの作成には考慮されていない。浸水想定やハザードマップの限界を理解すること、リスクの高い地域を明確化すること、少しのリスクでも避難を検討することなどが重要である。

提言（１３）能登半島豪雨では先発の大規模地震に起因する斜面崩壊残土の運搬により河床変動や河道埋塞が発生し、洪水氾濫にも影響が生じたと考えられる。能登半島地震・豪雨のような複合災害における地震の影響を明らかにするためにも、土砂輸送過程と洪水氾濫過程を網羅的に計算可能なモデルの精緻化の取り組みが重要である。

提言（１４）中小河川は大規模地震発生時に河道閉塞が生じやすく、洪水時の迂回流が浸水範囲の広域化を助長することがある。地震発生後の河道状況、流下能力、水害リスクの変化について考慮すべきである。また、逆破堤は湛水期間を縮めるが、このような偶発的な現象に依拠することのない洪水氾濫水の排水対策についても検討すべきである。

提言（１５）標高の低い橋梁部では流木・土砂捕捉による河道閉塞がトリガーとなり、急激な水位上昇と氾濫の拡大、新たな流路が形成され、建物流失等の甚大な被害を拡大させる可能性がある。流域からの土砂・流木供給や河川・氾濫域における輸送・捕捉過程の解析・評価技術の開発が急務である。

提言（１６）中小河川においては河川長が短く水位上昇が急であったり、一級河川に

比べて堤防の規模も小さいことから、避難のための猶予時間が短い。これらのことから、二級河川等の中小河川では洪水キキクルなど予測降雨を用いた危険度評価は非常に重要であり、その精度向上が望まれると共に、状況に応じた情報伝達やそれに基づく避難実施のための仕組みづくりが求められる。

提言（１７）今後、地球温暖化の影響とみられる豪雨が増加する場合、二級河川等の中小河川の被災頻度が高まると想定される。それらへの対策を十分に検討するためにも、水位や流量等の河川観測体制の一層の整備についての検討と実施が求められる。

令和６年能登半島地震については、その後に発生した令和６年能登半島豪雨において甚大な被害が生じたことから、複合災害として社会的関心の高い災害となった。我が国においては、南海トラフ地震や首都直下地震など、今後発生が懸念されているが、それ以外にも多くの活断層を有している地域がある。また、台風や梅雨の影響を受けやすい地域にあることに加え、地球温暖化の影響とみられる降雨の激甚化が懸念されており、今後も複合災害が発生する可能性は少なからずあるものと考えられる。能登半島での災害について、先発の事象と後発の事象との関連を明確にすることは、現時点では困難と言わざるを得ないが、本調査において得られた結果から複合的な要因の可能性を議論することは可能でないかと考えられる。本報告書が、大規模地震発生後の河川及び流域管理と、その後発生し得る豪雨への備えを検討するうえでの一助になれば幸いである。

付 録 令和 6 年能登半島地震・豪雨災害調査報告会

令和 6 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震から約 1 年 3 か月、能登半島豪雨から約半年が経過したのを機に本調査団の調査結果を公開する機会として、「令和 6 年能登半島地震・豪雨災害調査報告会」を開催した。報告会では、大規模地震発生時の河川や流域への影響や、地震に伴う土砂災害後に発生した豪雨による洪水災害の様子およびその発生メカニズムについて報告および総合討議を行った。

【報告会概要】

1. 主催等

主催：公益社団法人 土木学会（担当：水工学委員会）共催：金沢大学

2. 日時

2025 年 3 月 26 日（水）13 時～16 時 30 分

3. 会場

金沢商工会議所（石川県金沢市尾山町 9-13）及びオンライン

4. プログラム

◆能登半島地震による河川・流域への影響

- ①輪島市で発生した土砂災害（京都大学防災研究所准教授 竹林洋史）
- ②能登半島地震による河川構造物の被災（金沢大学教授 谷口健司）
- ③富山沿岸域の避難状況の把握（富山県立大学准教授 久加朋子）
- ④七尾西湾に流入する能登半島地震由来の微細土砂の定性的評価
(石川工業高等専門学校教授 大橋慶介)
- ⑤能登半島地震における七尾市の水道復旧過程の規定要因
(金沢大学講師 坂本貴啓)

◆能登半島豪雨による災害

- ⑥令和 6 年 9 月 21 日から 23 日の降雨状況の分析（富山県立大学講師 吉見和紘）
- ⑦奥能登河川の全体の出水状況及び若山川の氾濫状況について
(富山県立大学教授 呉修一)
- ⑧町野川下流左岸の浸水・排水過程（島根大学准教授 佐藤裕和）
- ⑨数値シミュレーションに基づく地震起因の生産土砂が洪水氾濫に及ぼした影響の分析
(京都大学防災研究所准教授 山野井一輝)

⑩塚田川氾濫時撮影動画の流速画像解析 （東京理科大学助教 柏田仁）

◆総合討議

5. 参加者 対面 30 名 オンライン 500 名

令和6年能登半島地震・豪雨災害調査報告会

日時 2025年3月26日（水）13時～16時30分（開場12:30）

会場 金沢商工会議所（石川県金沢市尾山町9-13）
及び オンライン（Zoomウェビナー）

定員 対面: 80名 オンライン: 500名

主催 土木学会水工学委員会 **共催** 金沢大学



金沢大学
KANAZAWA



土木学会認定
CPD3.0単位

【プログラム】

13:00 開会

13:05 能登半島地震による河川・流域への影響

- ー輪島市で発生した土砂災害（京都大学防災研究所准教授 竹林洋史）
- ー能登半島地震による河川構造物の被災（金沢大学教授 谷口健司）
- ー富山沿岸域の避難状況の把握（富山県立大学准教授 久加朋子）
- ー七尾西湾に流入する能登半島地震由来の微細土砂の定性的評価（石川工業高等専門学校教授 大橋慶介）
- ー能登半島地震における七尾市の水道復旧過程の規定要因（金沢大学講師 坂本貴啓）

14:15～14:25 休憩

14:25 能登半島豪雨による災害

- ー令和6年9月21日から23日の降雨状況の分析（富山県立大学講師 吉見和雄）
- ー奥能登河川の全体の出水状況および若山川の氾濫状況について（富山県立大学教授 呉修一）
- ー町野川下流左岸の浸水・排水過程（島根大学准教授 佐藤裕和）
- ー数値シミュレーションに基づく地震起因の生産土砂が洪水氾濫に及ぼした影響の分析（京都大学防災研究所准教授 山野井一輝）
- ー塚田川氾濫時撮影動画の流速画像解析（東京理科大学助教 柏田仁）

15:35～15:45 休憩

15:45 総合討議

パネリスト: 二瓶泰雄(東京理科大学教授) 竹林洋史(京都大学防災研究所准教授)
呉 修一(富山県立大学教授) 久加朋子(富山県立大学准教授)
寺田勝一(金沢河川国道事務所副所長) 荒川裕亮(のと海洋ふれあいセンター)

コーディネーター 谷口健司(金沢大学教授)

16:25 閉会

【参加申し込み】

参加は無料です。参加をご希望の方は土木学会ホームページより3月24日（月）までにお申し込み下さい（対面とZoomで申し込みフォームが異なります）。

対面参加: <https://www.jsce.or.jp/events/form/2324031>

オンライン参加: <https://www.jsce.or.jp/events/form/2324032>

【お問い合わせ】 金沢大学人間社会学域 地域創造学類 坂本貴啓
t-sakamoto@staff.kanazawa-u.ac.jp



河川基金

公益財団法人河川財団による
河川基金の助成を受けています。

開催案内チラシ



調査報告の様子



総合討議の様子

メディア掲載

NHK (2025 年 3 月 28 日)



令和 6 年能登半島地震・豪雨災害調査報告書

2025 年 5 月 30 日刊行

土木学会水工学委員会

令和 6 年能登半島地震・豪雨災害 河川・流域調査団

著者

谷口 健司（金沢大学）・・・・・・はじめに，第 2 章，第 9 章

竹林 洋史（京都大学防災研究所）・・・・・・第 1 章

木村 一郎（富山大学）・・・・・・第 3 章

久加 朋子（富山県立大学）・・・・・・第 4 章，第 11 章

大橋 慶介（石川高等専門学校）・・・・・・第 5 章

佐藤 裕和（島根大学）・・・・・・第 6 章，第 12 章

坂本 貴啓（金沢大学）・・・・・・第 6 章，第 12 章，付録

田代 喬（名古屋大学）・・・・・・第 7 章

吉見 和紘（富山県立大学）・・・・・・第 8 章

呉 修一（富山県立大学）・・・・・・第 10 章

柏田 仁（東京理科大学）・・・・・・第 13 章

二瓶 泰雄（東京理科大学）・・・・・・第 13 章

山野井 一輝（京都大学）・・・・・・第 11 章

武田 誠（中部大学）・・・・・・第 14 章

※「おわりに」は全体提言



本調査は河川基金の助成を受けて行われました