

平成 30 年度重点研究課題（研究助成金）

中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明
と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究

報 告 書

平成 31 年 3 月

公益社団法人 土木学会
地盤工学委員会

はじめに

本報告書は（公社）土木学会平成 30 年度重点研究課題に採択された「中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究」の成果をとりまとめたものである。

本研究に取り組む背景として、2009 年中国・九州北部豪雨災害、2011 年の台風 12 号紀伊半島豪雨災害、2013 年の伊豆大島土砂災害、2014 年の広島土砂災害、2012 年・2017 年の九州北部豪雨災害、さらに本研究期間中に発生した 2018 年西日本豪雨災害等、毎年繰り返される集中豪雨とそれに起因する土砂災害の発生である。これらの災害の特徴として、被災地が中山間地域に集中していること、線状降水帯による局地的集中豪雨のほか 2018 年西日本豪雨のような広域的豪雨が発生していること、広域的かつ同時多発的に斜面崩壊が発生し中小河川に土砂、流木が流出していること、山麓の市街地に土砂、流木が流れ込み被害が拡大していること等が挙げられる。また、被害の多くが山麓地域に集中していることを踏まえ、地域住民の避難行動や地域防災計画のあり方にも着目した。

本研究では、中山間地域における降雨・地形・地質の特徴、広域的土砂災害の課題と対応策、土砂や流木の流出による洪水氾濫の特徴、地域住民の避難行動や地域防災力の状況について調査検討を行い、豪雨災害の実態を整理するとともに、今後の豪雨災害による被害を軽減していくために効果的な対応策は何か、山麓地域における防災計画で考慮すべきことは何かの視点に着目し、豪雨災害に対するハード対策とソフト対策のあり方について検討した。また、本研究は多分野横断的に研究を進める必要があることから、地盤工学、水工学、土木計画学のグループに分けて検討を行った。過去の広域的土砂災害の事例分析のほか、現地調査として 2017 年九州北部、2018 年西日本豪雨による被災エリアを中心に実施した。また、2019 年上半期に研究討論会を開催し、中山間地域における土砂災害の防災・減災と地域の防災力向上に資する実用的な方策を社会に提言する予定である。

とりまとめにあたり、調査研究を分担した地盤工学、水工学、土木計画学の各委員会委員、本研究課題提案時に有益な助言をいただいた地盤工学委員会・勝見武委員長、研究体制構築に協力いただいた水工学委員会・清水康行委員長、土木計画学委員会・屋井鉄雄委員長、各委員会幹事長各位に感謝申し上げます。

最後になりますが、災害で亡くなられた方々に深く哀悼の意を表するとともに、被災された方々にお見舞い申し上げ、一日も早い被災地の復興を切に望みます。

2019 年 3 月
（公社）土木学会 地盤工学委員会
斜面工学研究小委員会
委員長 鈴木 素之

(公社) 土木学会平成 30 年度重点研究課題
「中山間地域における広域的な豪雨による土砂災害メカニズムの究明と地域防災力の向上に向けた取り組みに関する研究報告書」

目 次

まえがき

1. 研究概要	
1.1 研究の目的	1
1.2 研究内容	2
2. 最近の広域的な豪雨に関する状況の抽出	
2.1 過去の豪雨の特徴	5
2.2 近年の豪雨のトレンド	8
2.3 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における降雨状況	10
2.4 近年の広域的な豪雨災害における降雨状況	18
2.5 まとめ	20
3. 広域的かつ同時多発的な土砂災害事例の選定と技術的検討	
3.1 広域的な土砂災害事例の収集整理	22
3.2 広域的な土砂災害に対する課題	41
4. 中山間地域で問題となる地形・地質の特徴	
4.1 中山間地域の地形と豪雨災害の関係	48
4.2 過去の災害における地形・地質の特徴	50
5. 中山間地域の土砂災害発生の傾向と対応策の検討	
5.1 土砂災害の傾向	85
5.2 中山間地域における土砂災害の対応策	126
5.3 豪雨災害を予測した住環境整備	144
6. 土砂や流木の河道への流入による洪水氾濫の発生の検討	
6.1 中小河川における洪水氾濫の特徴	152
6.2 土砂および流木の流出に起因した中小河川の洪水氾濫	162
7. 地域住民の避難行動の状況及び現状の地域防災力の状況	
7.1 既往の豪雨災害における避難状況	188
7.2 平成 30 年 7 月豪雨災害での避難状況	205
7.3 市民フォーラムによる意見	213
7.4 平成 30 年 7 月豪雨災害での避難行動状況	216
7.5 地域で自主避難できるまちづくり	224
7.6 まとめ	230
8. 総合検討	
8.1 研究成果のとりまとめ	233
8.2 今後の豪雨災害に対するハード・ソフト対策のあり方	242
あしがき	243

1. 研究概要

1.1 研究の目的

本研究の目的は、中山間地域の持続可能な社会の実現に資することを目標として具体的に次の2つを掲げる。

1. 中山間地域における広域的かつ同時多発的な土砂災害に対する対応策を具体的に提案
2. 地域住民の避難心理、避難行動等に着眼した地域防災力の向上に向けた技術的課題と方向性の提案

<研究の具体性・実用性>

近年、毎年繰り返される豪雨とそれに起因する土砂災害が頻発する状況の中で、特に2017年7月の九州北部豪雨土砂災害では、線状降水帯による豪雨の発生、広域的かつ同時多発的な斜面崩壊の発生、中小河川に多くの土石や流木が流れ込むことによる洪水氾濫の発生、人的および建物等被害の発生および小集落の一時孤立等、中山間地域における土砂災害に対する地域防災力の弱さが露呈された。日本は国土面積の約7割を中山間地域が占めていることから、このような豪雨に対する備えが急務である。本研究では、2017年九州北部豪雨の土砂災害事例をベースに、中山間地特有の土砂災害の発生メカニズムの究明および具体的な対応策の検討、さらには地域住民の避難行動に着目した地域防災力の向上に関する技術的課題と方向性も視野に入れて具体的な避難のあり方を検討する。その結果から中山間地域における土砂災害の防災・減災と地域の防災力向上に資する実用的な方策を社会に提言する。

<分野横断的な特徴>

本研究は、土木学会が掲げる理念「自然に対する畏敬の念を持ち、美しく豊かな国土と持続可能な社会づくりに貢献」に基づき、土砂災害の調査研究にとどまらず、地域住民の安心安全を導くための方策の提言を視野に入れている。本研究課題は多分野の研究者、技術者の横断的な参画が求められることから、地盤工学委員会・水工学委員会・土木計画学委員会による共同調査となっている。

1.2 研究内容

本研究は、研究作業をいくつかの専門分野に分けて次のとおり行う。研究成果のとりまとめにあたり、中山間地域における総合的な防災・減災に向けた方策が地域の防災計画等に反映できるよう土木工学の技術を活用する。

1. 最近の広域的な豪雨に関する状況の抽出
2. 広域的かつ同時多発的な土砂災害事例の選定と技術的検討
3. 中山間地域で問題となる地形・地質の特徴
4. 中山間地域の土砂災害発生の傾向と対応策の検討
5. 土砂や流木の河道への流入による洪水氾濫の発生の検討
6. 地域住民の避難行動の状況及び現状の地域防災力の状況
7. 今後の豪雨災害に対するハード・ソフト対策のあり方
8. 研究成果は報告書としてとりまとめる。研究討論会を企画し、研究成果を広く社会に還元する。

研究成果として、1945年以降の土砂災害のうち、近年の2018年西日本、2017年・2012年九州北部、2014年広島、2013年伊豆大島、2011年紀伊半島、2009年中国・九州北部の豪雨災害を取り上げ、中山間地域における降雨・地形・地質の特徴、広域的土砂災害の課題と対応策、土砂や流木の流出による洪水氾濫の特徴、地域住民の避難行動や地域防災力の状況について、多岐にわたる調査ならびに検討を実施し、広域的土砂災害による被害を軽減していくためのハード・ソフト対策のあり方をまとめた。

広域的土砂災害の特徴としては、近年の降雨は年降水量偏差より多雨期にあることや短時間雨量が年々増加する傾向にあること、中山間地の地形・地質は崩壊・土石流の繰り返しの発生で形成され、そこから読み取れる情報を活用することが重要であること等を整理した。

土砂災害に対する対応策としては、土石流被害の多い溪流出口の土地利用の改善や砂防施設あり方、適正な森林管理、高度測量技術による危険箇所の抽出のほか、河道閉塞による洪水氾濫に対しては特に河床変動特性の影響を受けやすい中小河川を優先的に整備する必要性を示した。

地域防災力の向上に関しては、住環境のあり方、災害情報の高度整備、住民への伝達方法、アウトリーチ活動の継続について具体的な方法を提案した。

研究体制は表 1.1 に示すように地盤工学委員会、水工学委員会、土木計画学委員会委員で構成した。

表 1.1 研究体制

	氏名	委員会	所属先
研究代表	鈴木 素之	地盤工学	山口大学大学院創成科学研究科
副代表	畑山 満則	土木計画学	京都大学防災研究所巨大災害研究センター
副代表	竹林 洋史	水工学	京都大学防災研究所流域災害研究センター
研究幹事	吉川 修一	地盤工学	八千代エンジニアリング (株)
分担研究	稲垣 秀輝	地盤工学	(株) 環境地質
同上	藤井 俊逸	地盤工学	(株) 藤井基礎設計事務所
同上	美馬 健二	地盤工学	(有) 太田ジオリサーチ

同 上	二瓶 泰雄	水工学	東京理科大学
同 上	神谷 大介	土木計画学	琉球大学
同 上	石田 幸二	地盤工学	和歌山航測 (株)
同 上	伊藤 和也	地盤工学	東京都市大学
同 上	今井 博	地盤工学	サンコーコンサルタント (株)
同 上	岩佐 直人	地盤工学	日鐵住金建材 (株)
同 上	上野 将司	地盤工学	応用地質 (株)
同 上	大野 博之	地盤工学	(株) 環境地質
同 上	片山 直樹	地盤工学	(株) 日本海技術コンサルタンツ
同 上	北爪 貴史	地盤工学	東電設計 (株)
同 上	後藤 聡	地盤工学	山梨大学
同 上	櫻井 正明	地盤工学	(株) 山地防災研究所
同 上	中野 裕司	地盤工学	エコサイクル総合研究所/中野緑化工技術研究所
同 上	野田 龍	地盤工学	秋田大学
同 上	橋口 昭彦	地盤工学	新和技術コンサルタント (株)
同 上	花本 孝一郎	地盤工学	(株) ワールド測量設計
同 上	原 重守	地盤工学	(株) 古川コンサルタント
同 上	樋口 佳意	地盤工学	埼玉県
同 上	平岡 伸隆	地盤工学	(独) 労働安全衛生総合研究所
同 上	茂木 俊	地盤工学	国土防災技術 (株)

研究討論会の開催にあたり、(公社)地盤工学会関東支部 自然災害に対する安全性指標(GNS)の開発とその利活用に関する研究委員会の協力を得る予定である。

本研究の執筆者を表 1.2 に示す。

表 1.2 執筆者等一覧 (○: 主査)

1 章	○ 鈴木 素之, 吉川 修一
2 章	○ 原 重守, 櫻井 正明, 樋口 佳意, 平岡 伸隆, 藤井 俊逸
3 章	○ 北爪 貴史, 上野 将司, 大野 博之, 岩佐 直人, 野田 龍
4 章	○ 片山 直樹, 櫻井 正明, 伊藤 和也, 茂木 俊, 橋口 昭彦
5 章	○ 美馬 健二, 石田 幸二, 中野 裕司, 岩佐 直人, 花本 孝一郎, 櫻井 正明, 後藤 聡
6 章	○ 竹林 洋史, 二瓶 泰雄
7 章	○ 稲垣 秀輝, 畑山 満則
8 章	○ 吉川 修一, 鈴木 素之, 今井 博
編集	宮本 さやか, 石丸 太一

2. 最近の広域的な豪雨に関する状況の抽出

国土交通省 水管理・国土保全局砂防部による¹⁾と、平成30年の土砂災害発生件数は3459件で、集計を開始した昭和57年以降最多件数を記録した（これまでは、平成16年の2537件が最多）。また、集計開始以降における平均発生件数（1015件）の3.4倍を記録している（図2-1）。

前述の土砂災害には地震災害によるものを含むものの、平成30年7月豪雨による広島県の土砂災害発生件数1,243件は、集計開始以降において、1つの都道府県が経験した最大値となるなど土砂災害が多発している。

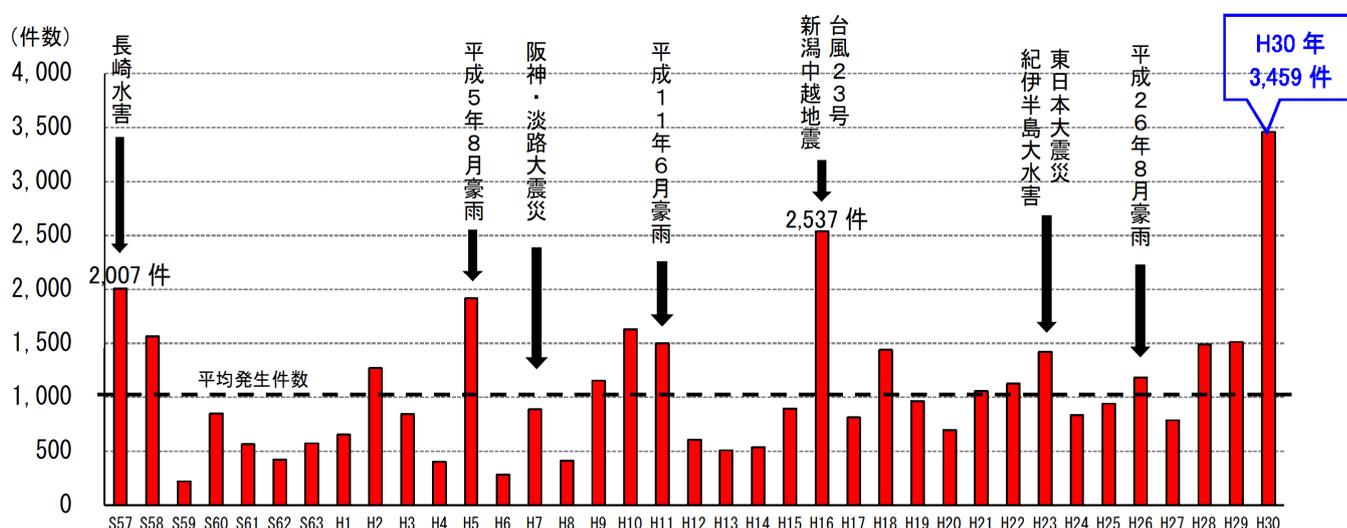


図2-1 土砂災害発生件数の推移（S57～H30）

以上のように、近年、台風に伴う豪雨や局地的な集中豪雨による「豪雨災害」が頻発しており、甚大な人的・物的被害が出ている。過去に例を見ないレベルの豪雨災害も起こっており、全国的に豪雨災害への対策を見直す必要性に迫られている。

ここでは、これら豪雨災害の引き金となる降水状況について、過去から現在までの観測データに基づき、その変動傾向についてまとめる。

2.1 過去の豪雨の特徴

気象庁は、明治8年（1875年）の発足以来、1世紀以上にわたって、自然を監視・予測し、国民の生命財産を災害から守るため、適切な情報提供に努めており、その観測結果についてのとりまとめや公開が行われている。

2.1.1 年降水量（1898～2018）

気象庁により、日本の年降水量偏差の経年変化²⁾（1898～2018年）は図2.1.1-1となる。年ごとの変動が大きいものの、過去には1920年代半ばまでと、1950年代に多雨期が認められ、近年では、2010年以降多雨が続いている。

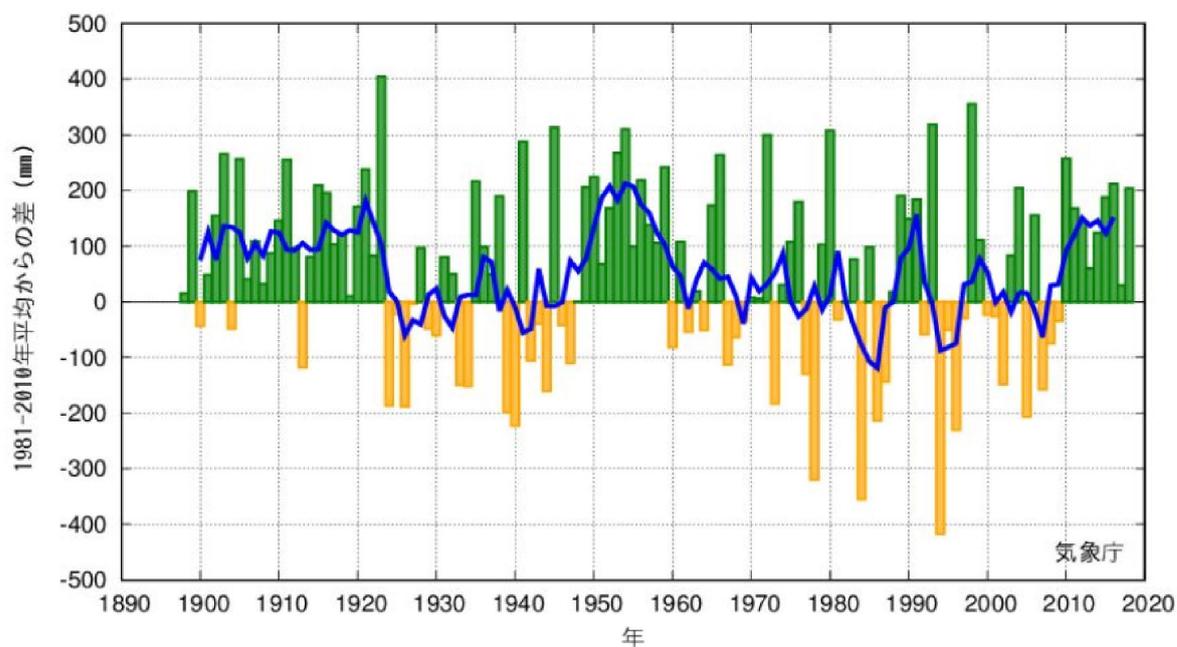


図 2.1.1-1 日本の年降水量偏差

棒グラフ : 各年の降水量の基準値（1981～2010年の30年平均値）からの偏差

太線（青） : 偏差の5年移動平均値

2.1.2 日降水量 100mm 以上の年間日数 (1901~2018)

1901 年以降における日降水量 100mm 以上の年間日数³⁾ は図 2.1.2-1 となる。100 年あたり 0.29 日の増加となる (信頼度水準 99% で統計的に有意*)。また、最近 30 年間 (1989~2018 年) の平均年間日数 (約 1.14 日) は、統計期間の最初の 30 年間 (1901~1930 年) の平均年間日数 (約 0.84 日) と比べて約 1.4 倍に増加している。

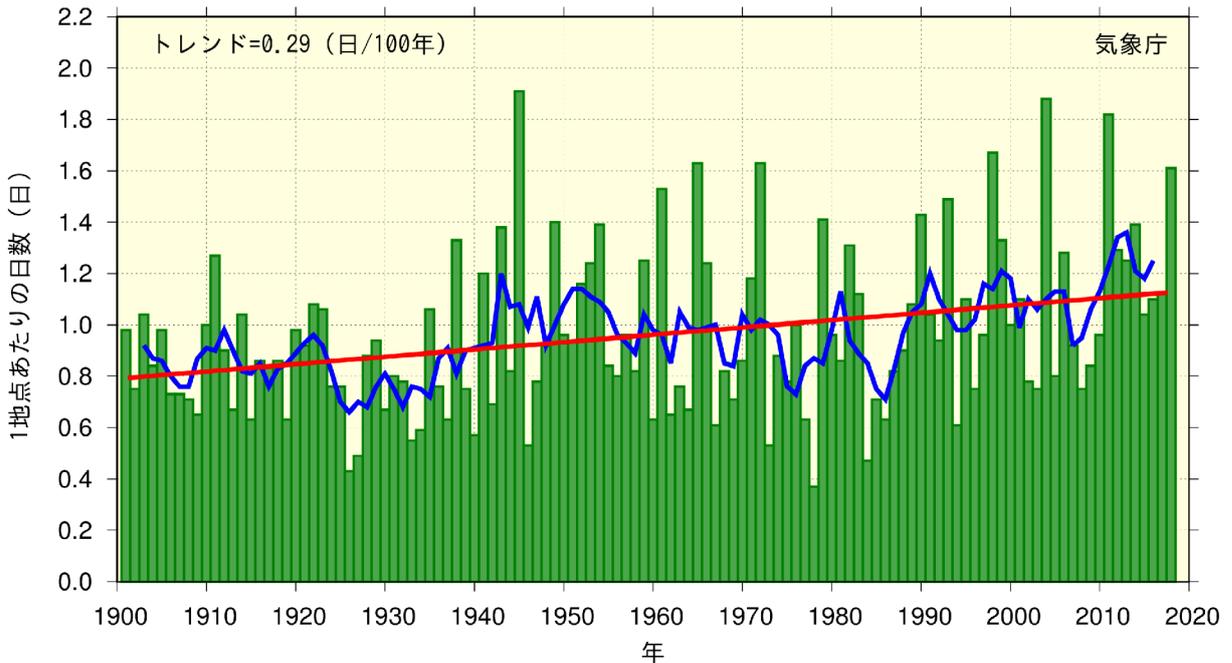


図 2.1.2-1 全国の日降水量 100mm 以上の年間日数の経年変化 (1901~2018 年)

棒グラフ (緑) : 各年の年間日数 (全国 51 地点における平均で 1 地点あたりの値)

太線 (青) : 5 年移動平均値

直線 (赤) : 長期変化傾向 (この期間の平均的な変化傾向)

※: この変化が統計的に意味のあるものかどうかの確認 (有意検定)。これは、自然変動により毎年バラバラな値となる観測値は、人為起源の気候変動などによる「現れやすい値の変化」がなかったとしても、たまたま大きい値や小さい値が続いたりすることで、「偶然」に長期変化傾向があるように見えることがあるため、その偶然性を評価する必要があるからです。気象庁ではこの偶然に現れる確率を計算し、これが 10% 以下 (信頼度水準が 90% 以上) の場合に統計的に意味のある変化として、上昇している・下降している等の表現を用いるとともに、経年変化を示したグラフに回帰直線を赤色で示している。

2.1.3 日降水量 200mm 以上の年間日数（1901～2018）

1901 年以降における日降水量 200mm 以上の年間日数³⁾ は図 2.1.3-1 となる。

100 年あたり 0.04 日の増加となる（信頼度水準 99% で統計的に有意）。また、最近 30 年間（1989～2018 年）の平均年間日数（約 0.11 日）は、統計期間の最初の 30 年間（1901～1930 年）の平均年間日数（0.07 日）と比べて約 1.6 倍に増加している。

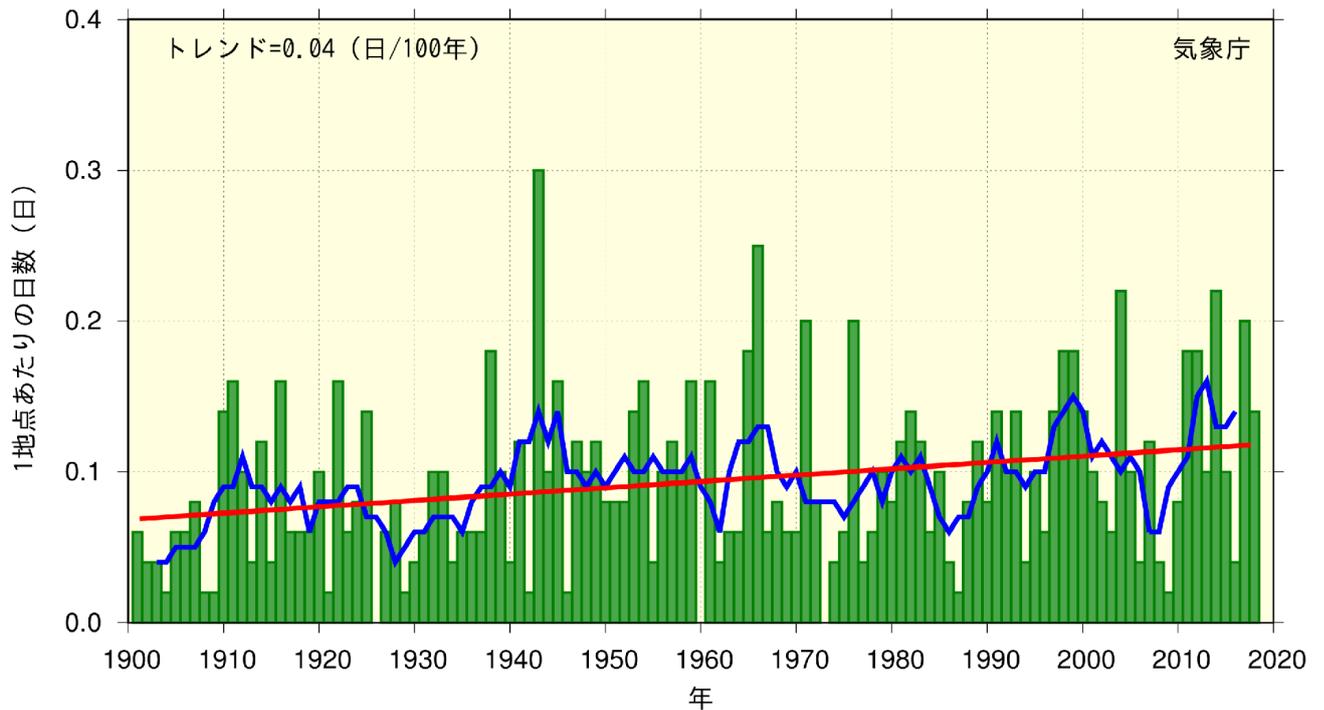


図 2.1.3-1 全国の日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化（1901～2018 年）

棒グラフ（緑）： 各年の年間日数

（全国のアメダスによる観測値を 1300 地点あたりに換算した値）

太線（青）： 5 年移動平均値

直線（赤）： 長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）

2.2 近年の豪雨のトレンド

前述の年、日降水量の変化とは別に、近年の豪雨（1時間雨量）のトレンドを以下にまとめます。

2.2.1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数（1976～2018）

1976 年以降における 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数³⁾ は図 2.2.1-1 となる。

全国の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数は増加している。統計期間 1976～2018 年で 10 年あたり 27.5 回の増加となる（信頼度水準 99% で統計的に有意）。また、最近 10 年間（2009～2018 年）の平均年間発生回数（約 311 回）は、統計期間の最初の 10 年間（1976～1985 年）の平均年間発生回数（約 226 回）と比べて約 1.4 倍に増加している。

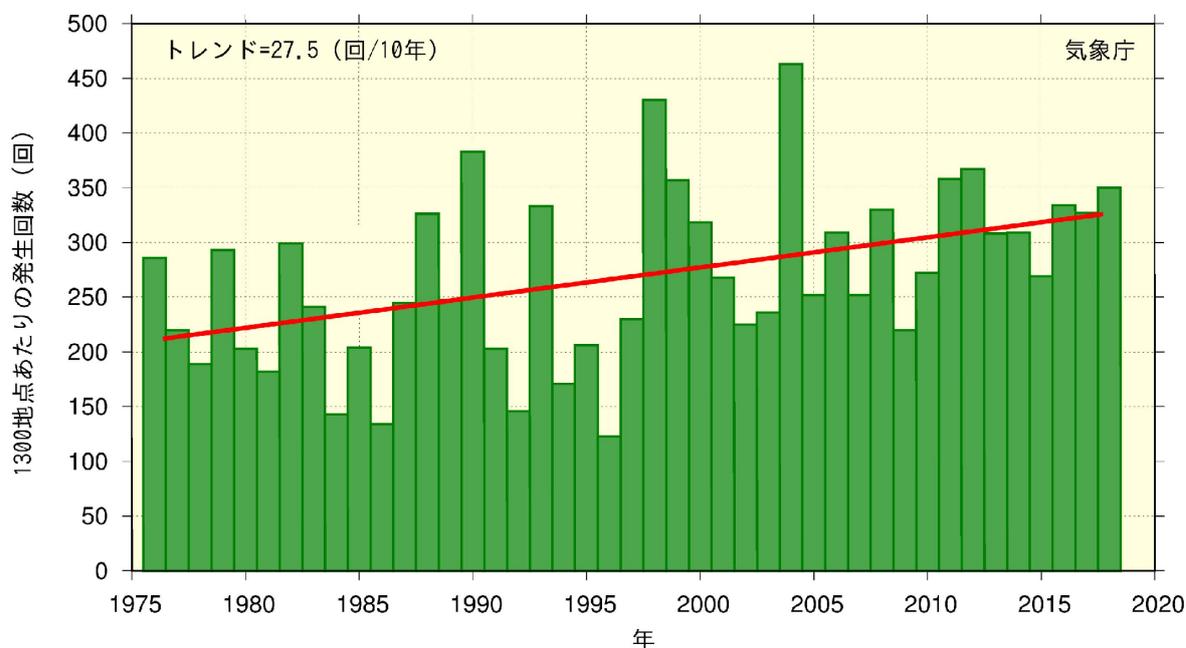


図 2.2.1-1 全国の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の経年変化（1976～2018 年）

- 棒グラフ（緑）： 各年の年間発生回数
（全国のアメダスによる観測値を 1300 地点あたりに換算した値）
- 直線（赤）： 長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）

2.2.2 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数（1976～2018）

1976 年以降における 1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数³⁾ は図 2.2.2-1 となる。

全国の 1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数は増加している。統計期間 1976～2018 年で 10 年あたり 2.6 回の増加となる（信頼度水準 99% で統計的に有意）。また、最近 10 年間（2009～2018 年）の平均年間発生回数（約 23 回）は、統計期間の最初の 10 年間（1976～1985 年）の平均年間発生回数（約 14 回）と比べて約 1.6 倍に増加している。

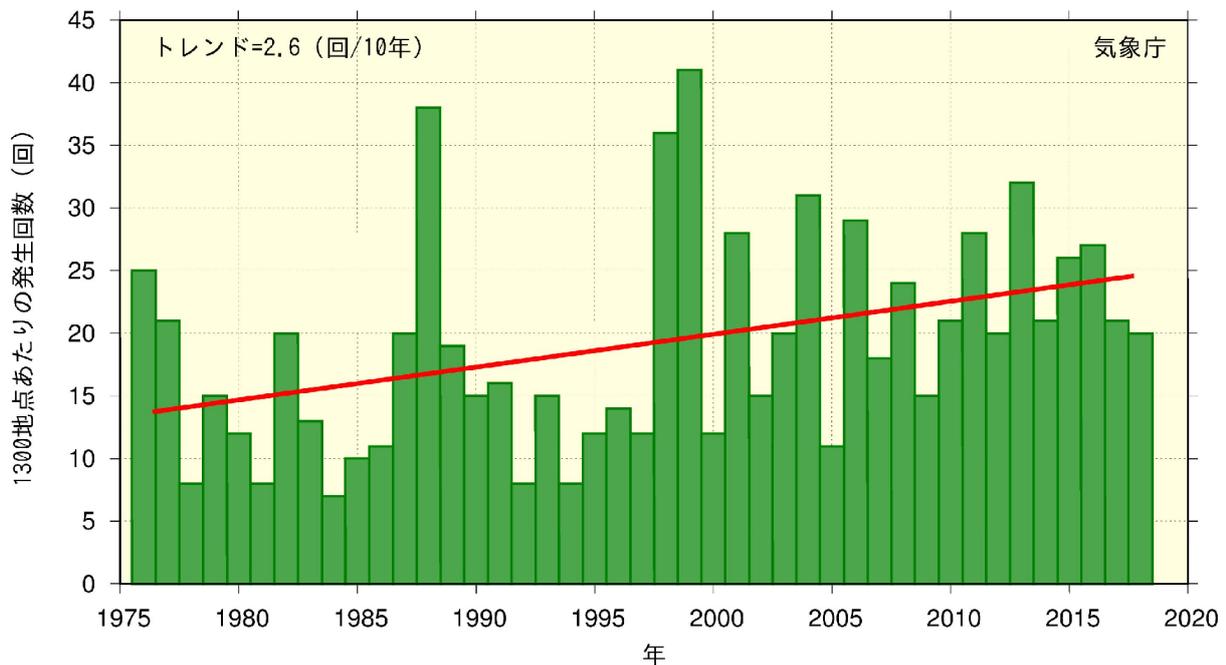


図 2.2.2-1 全国の 1 時間降水量 80mm 以上の年間発生回数の経年変化（1976～2018 年）

棒グラフ（緑）： 各年の年間発生回数

（全国のアメダスによる観測値を 1300 地点あたりに換算した値）

直線（赤）： 長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）

2.3 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」における降雨状況

気象庁により、過去に発生した主な気象災害事例の詳細⁴⁾がまとめられている。ここでは、平成 29 年 7 月に九州北部において発生した豪雨の状況⁵⁾について以下に抜粋する。

2.3.1 災害概要

梅雨前線や台風第 3 号（図 2.3.2-1）の影響により、西日本から東日本を中心に局地的に猛烈な雨が降り、大雨となった。特に、7 月 5 日から 6 日にかけては、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響で、西日本で記録的な大雨となった。

6 月 30 日から 7 月 10 日までに観測された総降水量は、福岡県朝倉市朝倉で 660.0 mm、長崎県壱岐市芦辺で 567.5 mm、大分県日田市日田で 500.0 mm など、7 月の月降水量の平年値を上回る大雨となった所があった（図 2.3.3-1～2、2.3.4-1～2）。特に、7 月 5 日から 6 日にかけて、島根県浜田市波佐、福岡県朝倉市朝倉、大分県日田市日田などで、最大 24 時間降水量が統計開始以来の 1 位の値を更新する記録的な大雨となった。この大雨について、島根県、福岡県、大分県に特別警報を発表し、最大限の警戒を呼びかけた。

2.3.2 台風経路

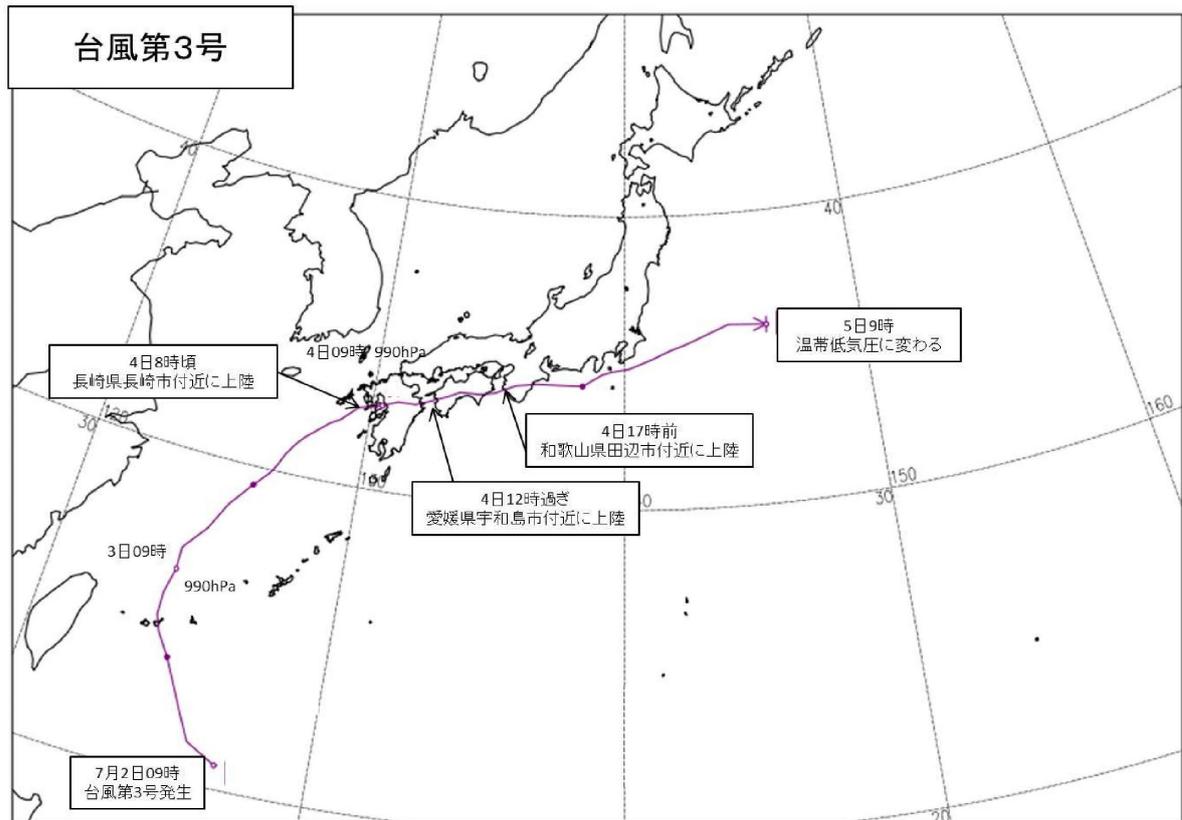


図 2.3.2-1 台風経路図

経路上の○印は傍に記した日の9時、●印は21時の位置を示す。

2.3.3 雨の状況

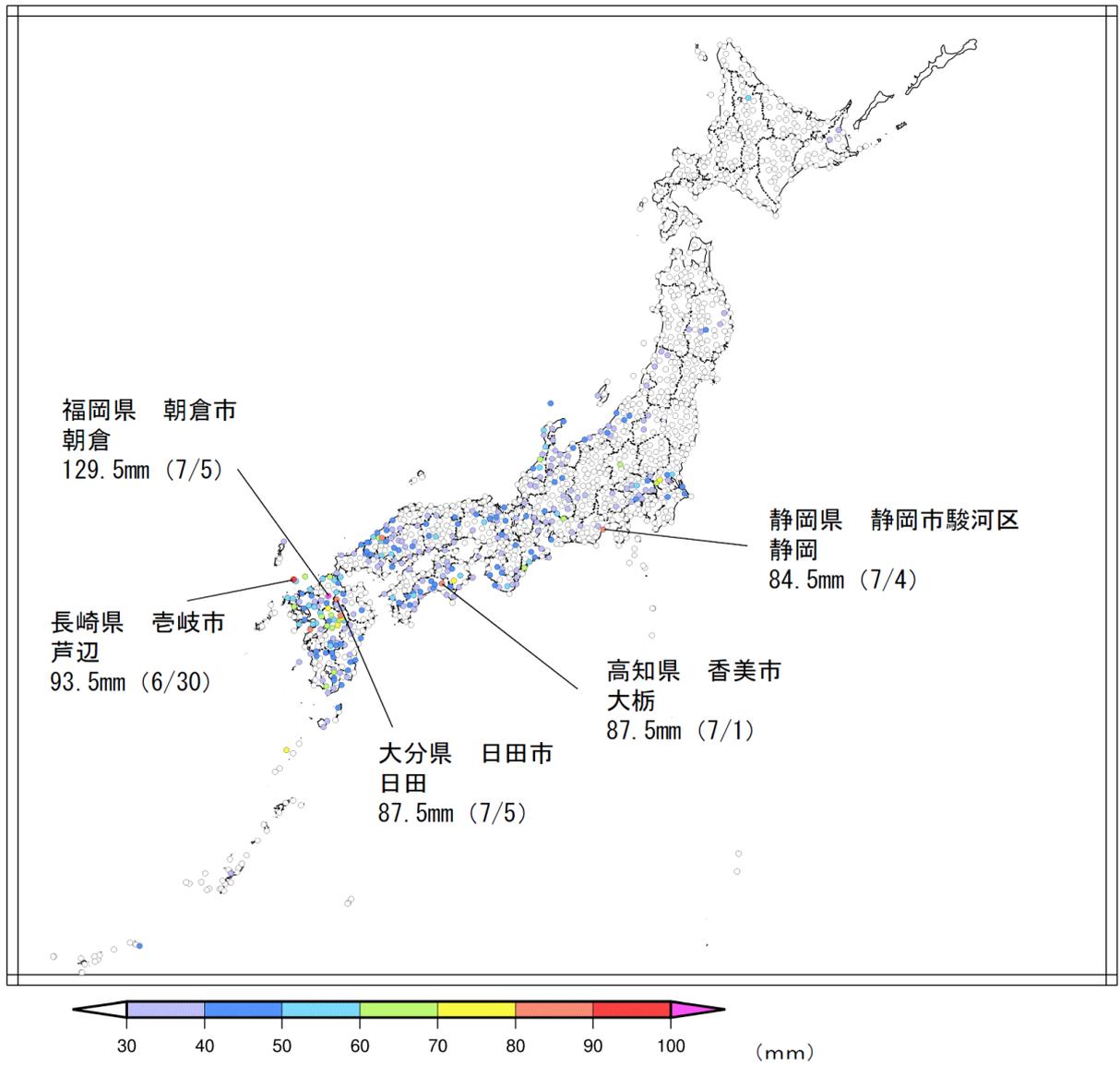


図 2.3.3-1 期間内の最大1時間降水量分布図(6月30日~7月10日)

※上位5地点については地点名・値を記載

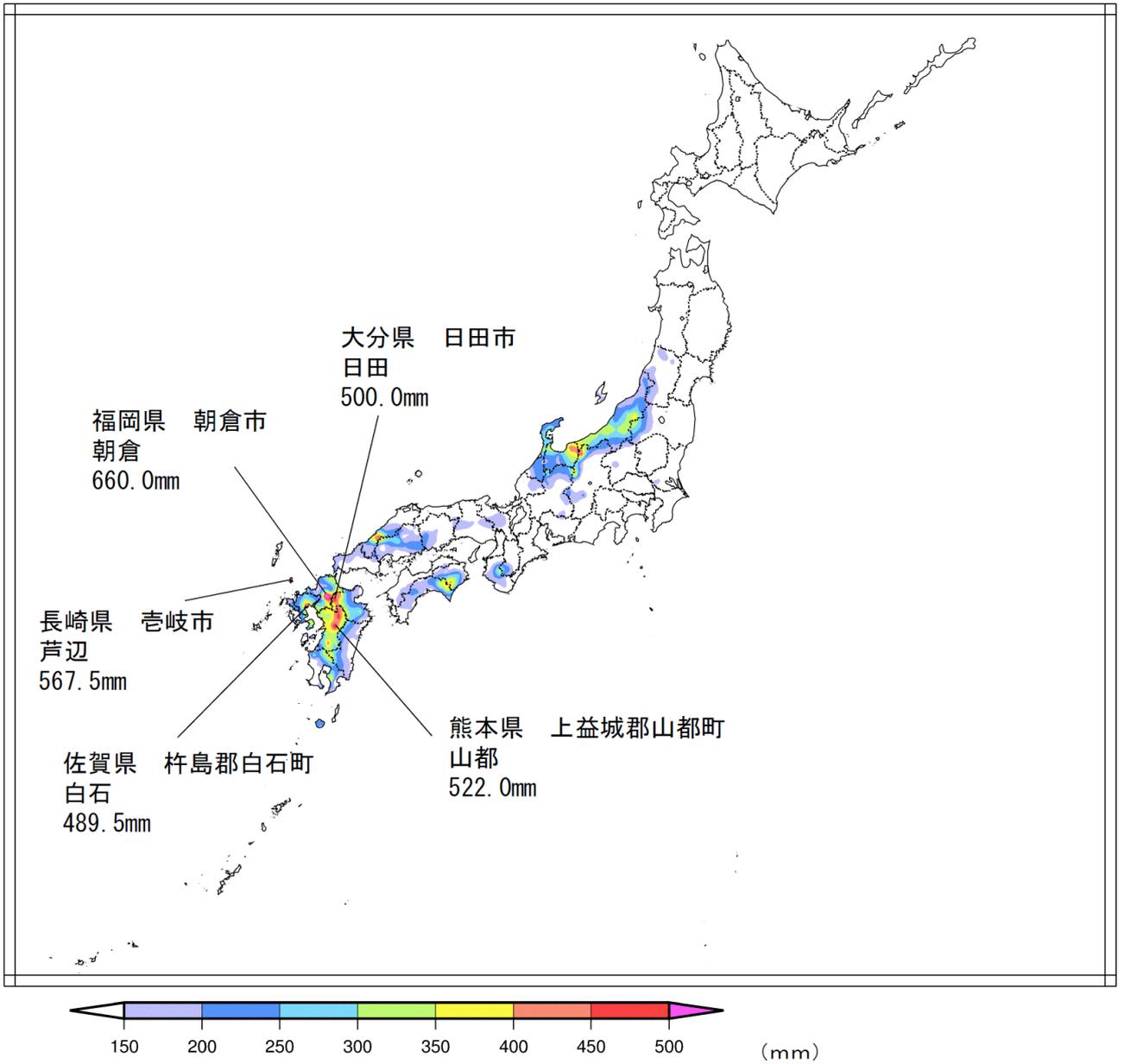


図 2.3.3-2 期間内の総降水量分布図 (6月30日~7月10日)

※上位5地点については地点名・値を記載

2.3.4 時系列降水量

期間：6月30日00時～7月10日24時

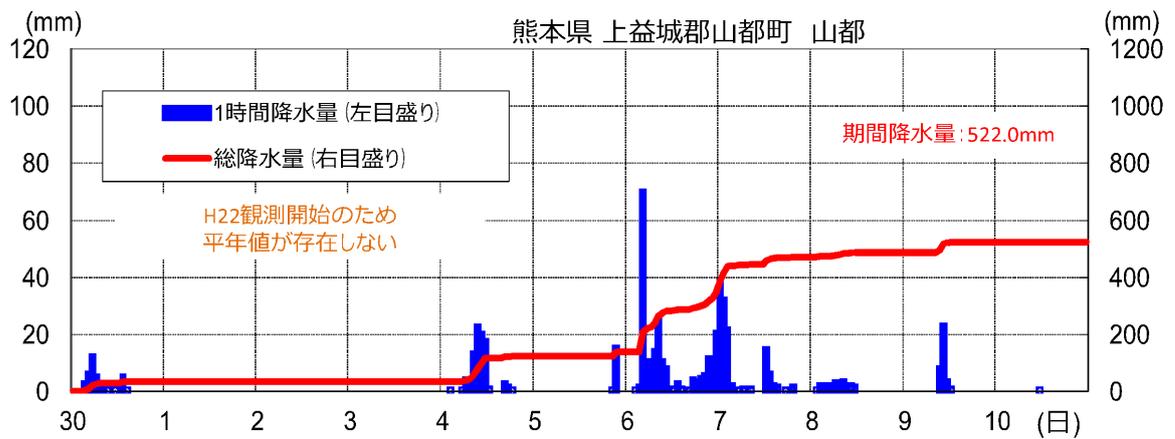
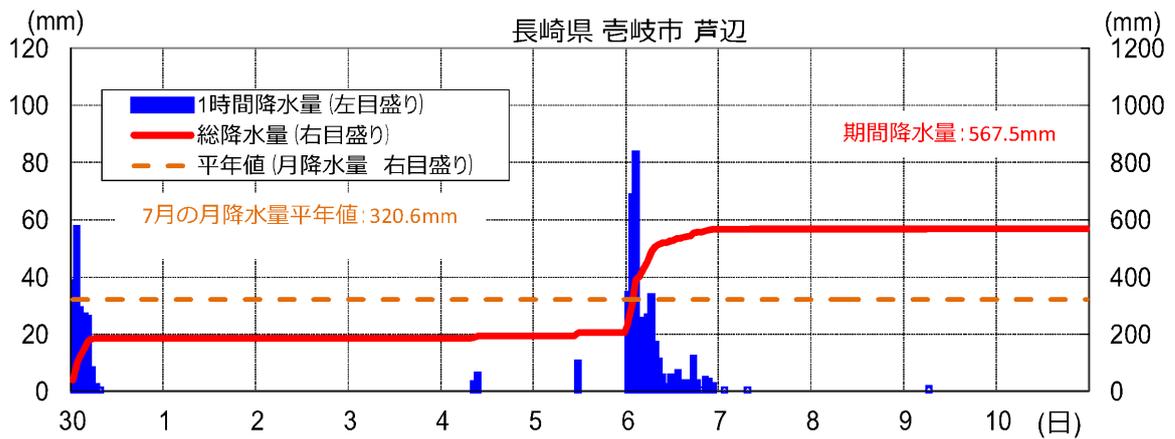
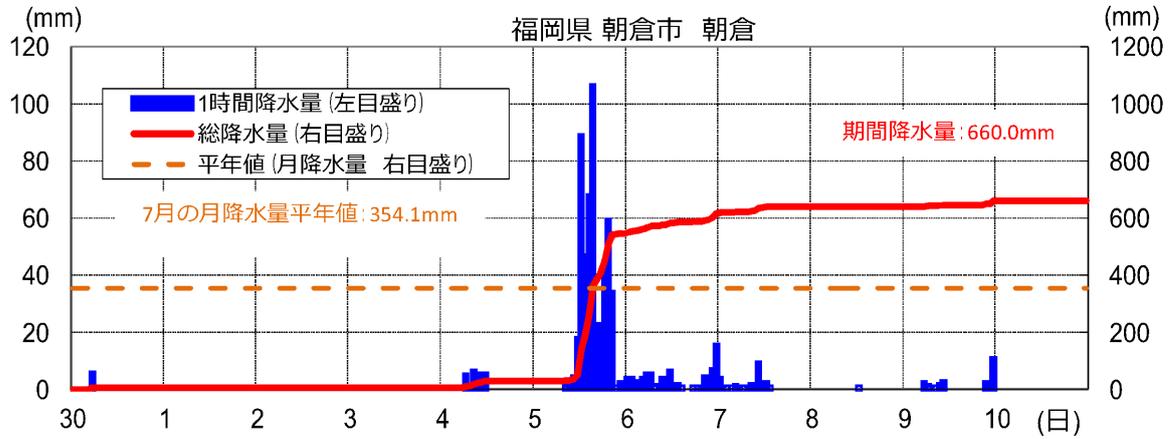


図 2.3.4-1 時系列降水量グラフ (朝倉, 芦辺, 山都)

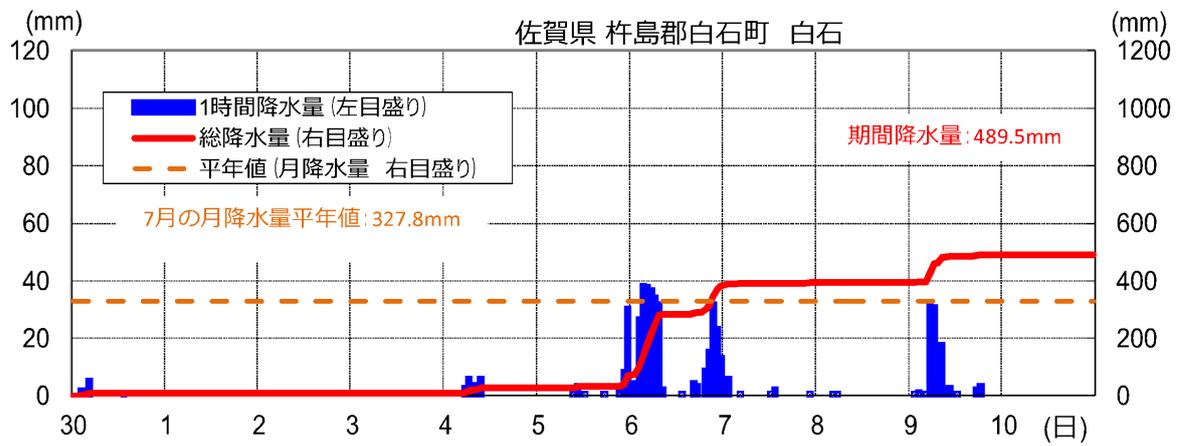
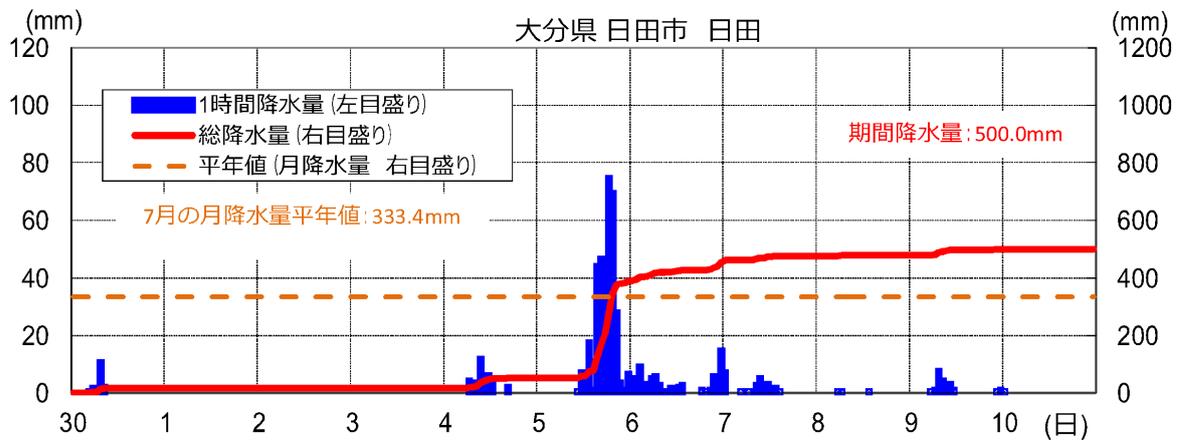


図 2.3.4-2 時系列降水量グラフ (日田, 白石)

2.3.5 確率降水量との比較

この豪雨における24時間降水量の上位20箇所は、中国地方～九州地方の広い範囲に分布する。この観測雨量について、確率降水量との比較を行った（確率降水量の設定がない箇所は省略）。各地点における確率降水量と「平成29年7月九州北部豪雨」の観測雨量を比較すると、福岡県朝倉市の雨量の乖離が300mm以上と突出して大きい（表2.3.5-1、図2.3.5-1）。

表 2.3.5-1 確率降水量・平成29年7月九州北部豪雨比較一覧表

都道府県	地点名	24時間降水量		データ期間(年)	平成29年7月九州北部豪雨
		30年確率降水量(mm)	50年確率降水量(mm)		
広島県	八幡	296	320	1978～2007	329.0
広島県	王泊	198	205	1978～2007	265.0
島根県	三隅	299	344	1976～2007	278.5
島根県	弥栄	326	366	1978～2007	351.0
島根県	波佐	312	344	1977～2007	369.5
福岡県	前原	296	334	1976～2007	247.5
福岡県	朝倉	218	226	1976～2007	545.5
福岡県	英彦山	388	422	1988～2007	288.0
福岡県	柳川	288	311	1976～2007	256.5
大分県	耶馬溪	291	314	1976～2007	292.5
大分県	日田	232	241	1976～2007	370.0
大分県	犬飼	340	370	1976～2007	268.0
長崎県	芦辺	341	371	1977～2007	432.5
佐賀県	白石	303	340	1976～2007	328.5
熊本県	南小国	369	398	1976～2007	272.5

赤字は確率降水量超過箇所

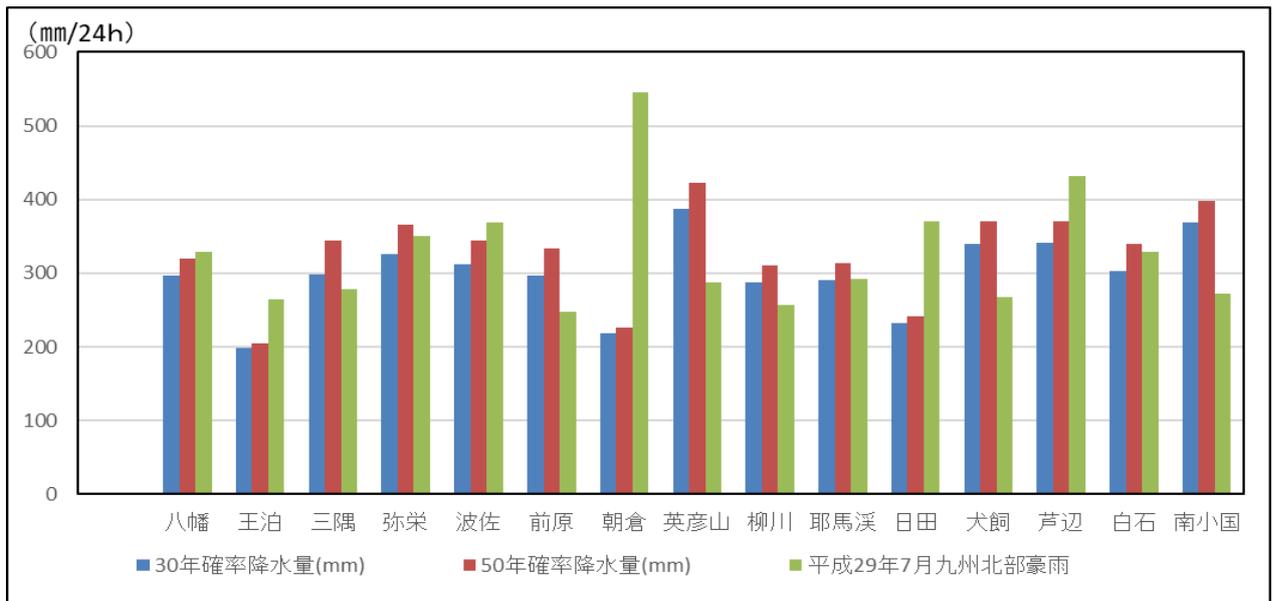


図 2.3.5-1 確率降水量・平成 29 年 7 月九州北部豪雨比較グラフ

2.4 近年の広域的な豪雨災害における降雨状況

近年の広域的な豪雨災害について下表のように抜粋し、その降雨状況について比較を行った（表 2.4-1）。なお、降雨状況の値は、期間最大雨量を記録した観測所のものとしている（平成 26 年 8 月豪雨については、人的被害の大きかった広島県広島市とした）。

表 2.4-1 近年の広域的な豪雨災害および降雨状況一覧表

豪雨災害	観測地点 (観測所名)	降雨状況 (最大)		
		24 時間 雨量	1 時間 雨量	10 分 雨量
平成 30 年 7 月豪雨	高知県安芸郡馬路村 (魚梁瀬)	691.5mm	97.0mm	19.5mm
平成 29 年 7 月 九州北部豪雨	福岡県朝倉市 (朝倉)	545.5mm	129.5mm	27.0mm
平成 27 年 関東・東北豪雨	栃木県日光市 (今市)	541.0mm	60.5mm	16.5mm
平成 26 年 8 月豪雨	広島県広島市安佐北区 (三入)	257.0mm	101.0mm	21.5mm
平成 25 年 台風 26 号 伊豆大島土砂災害	東京都大島町 (大島)	824.0mm	122.5mm	25.0mm
平成 24 年 7 月 九州北部豪雨	熊本県阿蘇市 (乙姫)	507.5mm	108.0mm	23.0mm
平成 23 年 台風 12 号による豪雨	奈良県吉野郡 (上北山村)	697.5mm	46.0mm	14.0mm
平成 11 年 中国・九州土砂災害	長崎県福江市 (福江)	231.5mm	71.0mm	23.0mm

※各災害の概要については 3 章参照

- ・災害時雨量の傾向としては、10 分雨量は 15mm、1 時間雨量は 100mm、24 時間雨量は 500mm を超えるものが多い。
- ・「平成 23 年台風 12 号による豪雨」については、10 分雨量、1 時間雨量共に比較表中最少となるが、台風のスピードが遅く、その継続時間が他と比較して長かったため、24 時間雨量は多い。

- ・「平成 26 年 8 月豪雨」については，24 時間雨量は少ないものの，10 分雨量は 20mm，1 時間雨量は 100mm を超えており，短時間の雨量であっても大きな災害が起こりうる事が分かる。
- ・「平成 29 年 7 月九州北部豪雨」については，10 分雨量，1 時間雨量共に，比較表中最大である。

2.5 まとめ

- ・1898年以降における年降水量は、過去には1920年代半ばまでと、1950年代に多雨期が認められ、近年では、2010年以降多雨が続いている。
- ・1901年以降における日降水量100mm以上および200mm以上の最近30年間（1989～2018年）の平均年間日数は、統計期間の最初の30年間（1901～1930年）の平均年間日数と比べて1.5倍前後に増加している。
- ・1976年以降における1時間降水量50mm以上および80mm以上の最近10年間（2009～2018年）の平均年間発生回数は、統計期間の最初の10年間（1976～1985年）の平均年間発生回数と比べて1.5倍前後に増加している。
- ・確率降水量と「平成29年7月九州北部豪雨」の観測雨量を比較すると、福岡県朝倉市の観測雨量は確率降水量より300mm以上多く、その乖離は他の観測所と比較すると突出して大きい。
- ・近年の広域的な災害における降雨状況を比較すると、その災害時雨量は、10分雨量で15mm、1時間雨量で100mm、24時間雨量で500mmを超えるものが多い。
- ・「平成29年7月九州北部豪雨」については、10分雨量、1時間雨量共に、近年の豪雨と比較して最大となる。

また、朝倉市が平成21年に作成している洪水ハザードマップ⁶⁾は「概ね150年に1回程度起こる大雨（想定雨量：48時間521mm）が降ったことにより、筑後川、佐田川、小石原川が氾濫した場合を想定」している。しかし、「平成29年7月九州北部豪雨」の雨量は、24時間雨量で545.5mmと、想定よりも短期間のうちに想定雨量を超えており、想定雨量の設定の難しさがうかがえる。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局砂防部 HP：平成 30 年の土砂災害発生件数.
<http://www.mlit.go.jp/common/001282246.pdf> (2019 年 4 月閲覧).
- 2) 気象庁 HP：日本の年降水量偏差の経年変化 (1898～2018 年).
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn_r.html (2019 年 4 月閲覧).
- 3) 気象庁 HP：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化.
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html (2019 年 4 月閲覧).
- 4) 気象庁 HP：災害をもたらした気象事例.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html> (2019 年 4 月閲覧).
- 5) 気象庁 HP：梅雨前線及び台風第 3 号による大雨と暴風.
www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2017/20170711/jyun_sokuji20170630-0710.pdf (2019 年 4 月閲覧).
- 6) 朝倉市 HP：洪水ハザードマップ.
<http://www.city.asakura.lg.jp/www/contents/1332392951874/index.html> (2019 年 4 月閲覧).

3. 広域的かつ同時多発的な土砂災害事例の選定と技術的検討

3.1 広域的な土砂災害事例の収集整理

急峻な地形，脆弱な地質，厳しい気象，活発な火山・地震活動，これらの素因と誘因により日本は必然的に土砂災害が生じやすい。有史以来，豪雨および火山・地震活動による斜面崩壊，土砂災害が多く記録されているが，本稿では豪雨による広域的かつ同時多発的な土砂災害を取り上げる。

3.1.1 1945年以降の豪雨による主な広域的土砂災害

1945年以降の主な広域的土砂災害38件を抽出し表3.1-1に示した。同表からは，1945年から2018年まで，およそ2年に一度は豪雨による広域的な土砂災害が生じていることが認められる。

1945年の第二次世界大戦（太平洋戦争）の終結から1950年代にかけて，戦後の荒廃した国土に來襲した枕崎台風，カスリーン台風および梅雨前線による豪雨がもたらした洪水災害や土砂災害は千人を超す犠牲者を出している。この時代，防災インフラの整備や気象に関する計測および予測は現在に比べて到底十分とはいえず，また，社会に提供される気象や被害に関する情報も乏しい状態であったことなどから，洪水災害や土砂災害は甚大かつ広範囲に及んだものと推察される。

1960年代以降は，産業・経済・社会の発展にともなって防災インフラ整備や気象情報などの公開・周知が進み，千人規模の犠牲者が生じるような災害はなくなった。一方，産業・経済・社会の発展は都市部の拡大を促すこととなった。低湿地帯，丘陵地・傾斜地あるいは山稜からの谷・沢の出口の沖積錐にまで宅地開発が進み，そのような状況が土砂災害の発生可能性を高める大きな要因になったと考えられる。この時代の土砂災害への対応は，急傾斜地崩壊対策事業や土石流対策砂防事業として全国的な取組に繋がった。特に，1982年の長崎大水害における犠牲者の大部分が土砂災害によるものであったことから，この災害が契機となって，防災インフラ整備によるハード対策と警戒避難体制の整備によるソフト対策の両者を総合的に進めて行く社会的な体制が始動することとなった。1968年の飛騨川バス転落事故も，異常気象時に道路の通行止めを実施し未然に災害を防止する方策を採らせる契機となった。

1980年代後半以降，地球温暖化や気候変動が社会や環境に影響を及ぼす可能性のあることが指摘されだし，2000年代にかけて徐々に世界的に認められようになってきた。1990年代から近年においては，気候変動が異常な降雨特性や極端化，台風の巨大化など

をもたらし、これらの現象が土砂災害の増加と関連付けられるとの言説もあり、頷ける一面もある。しかし、近年においても土砂災害による犠牲者が減少しない大きな原因としては、市街区域や宅地の丘陵地・傾斜地への進出が依然継続している状況にあることを忘れてはならない。さらに、2000年代以降は、居住地がハザードの警戒区域に指定されていることや避難勧告・指示等が発令されているのを認識していたにも係らず犠牲となる場合のあることが判明してきており、住民の各種ハザードに対するリスク認知に問題のあること、ヒトは災害時の意思決定に際して不合理な判断を行う可能性のあることなどが注目されている。

なお、近年発生した豪雨による広域的な土砂災害事例の概要については、3.1.2項で個別に示す。

表 3.1-1(1) 1945年以降の豪雨による主な広域的土砂災害の一覧

発生年月	災害名称(注1) (主な原因)	主な発生地域	災害概要 (注2)	死者・不明者 (注3)	特記事項
2018年 7月	平成30年西日本豪雨災害 (梅雨前線)	九州・中国・四国・ 近畿・岐阜	土砂災害、土石流多 発	245	
2017年 7月	平成29年九州北部豪雨 災害(梅雨前線)	福岡県、大分県	崩壊・土石流(流木) 多発	42	“線状降水帯”と いう用語が注目
2014年 8月	平成26年広島土砂災害 (梅雨前線)	広島市安佐南区、 安佐北区	土石流多発	76	土砂災害防止法の 改正の契機
2013年 10月	平成25年伊豆大島土砂 災害(台風26号)	伊豆大島	表層崩壊・土石流多 発	39	
2012年 7月	平成24年九州北部豪雨 災害(梅雨前線)	福岡県、熊本県、 大分県	土石流(流木)多発	30	
2011年 9月	台風12号豪雨災害	紀伊半島	深層崩壊・河道閉塞 多発	98	98名のうち土砂災 害により62名死亡
2010年 6~7月	平成22年梅雨前線豪雨 災害	南九州、広島県 (庄原)、岐阜県	土石流多発	22	
2009年 7月	平成21年中国・九州北部 豪雨(梅雨前線)	九州北部、山口 (防府)	土石流多発	21	防府特養7人死亡、 九州道2人死亡
2005年 9月	台風14号豪雨災害	九州、山口	土石流多発	22	山陽道岩国市で盛 土崩壊3人死亡
2004年 7~8月	四国地方豪雨災害 (台風10号)	徳島・香川・愛媛 県	土石流多発	61	
2004年 7月	新潟・福島・福井豪雨 (梅雨前線)	新潟県、福島県、 福井県	土砂災害多発	55	
2003年 7月	九州地方梅雨前線豪雨	福岡県、熊本県、 鹿児島県	崩壊・土石流多発	23	水俣市宝河内土石 流災害15人死亡
1999年 6~7月	平成11年広島土砂災害 (梅雨前線)	広島市佐伯区、安 佐南区、呉市	土石流多発	31	2000年制定の土砂 災害防止法の契機
1998年 8月	平成10年栃木・福島豪雨 (前線)	栃木県、福島県	土石流多発	24	救護施設「からま つ荘」で5人死亡
1993年 7~9月	鹿児島豪雨災害 (前線・台風4,5,6,13号)	鹿児島	崩壊・土石流多発	121	国道10号、日豊本 線被災
1990年 9月	台風19号豪雨災害 (台風、秋雨前線)	岡山県、香川県、 徳島県、高知県	崩壊・土石流多発	42	
1990年 7月	九州中北部豪雨災害 (梅雨前線)	熊本県、佐賀県	土石流多発	27	熊本県一の宮町で 顕著な流木被害

表 3.1-1(2) 1945 年以降の豪雨による主な広域的土砂災害の一覧

発生年月	災害名称(注1) (主な原因)	主な発生地域	災害概要 (注2)	死者・不明者 (注3)	特記事項
1988年 7月	昭和63年7月豪雨 (梅雨前線)	広島県北西部	土石流多発	14	
1983年 7月	島根県西部豪雨災害 (梅雨前線)	島根県西部	崩壊・土石流多発	107	
1982年 8月	台風10号災害	奈良県・三重県	土石流多発	24	
1982年 7月	長崎大水害 (梅雨前線)	長崎県	崩壊・土石流多発	299	
1976年 9月	台風17号災害	小豆島	土石流多発	119	兵庫県一宮町福知地すべり発生
1975年 8月	高知・徳島豪雨災害 (台風5号)	高知県, 徳島県	崩壊・土石流多発	77	
1975年 8月	岩木山集中豪雨 (前線)	岩木山	土石流多発	22	
1974年 7月	七夕豪雨災害 (台風8号, 梅雨前線)	小豆島, 静岡	土石流多発	111	
1972年 7月	昭和47年7月豪雨災害 (梅雨前線)	九州中南部～近畿	崩壊・土石流多発	442	高知県繁藤の崩壊で60人死亡
1968年 8月	台風7号・前線	飛騨川中流域	土石流多発	133	飛騨川バス転落事故で104人死亡
1967年 8月	羽越豪雨災害 (前線)	新潟県	土石流多発	134	
1967年 7月	昭和42年7月豪雨災害	六甲山系, 呉	崩壊・土石流多発	371	1969年制定の急傾斜地法の契機
1964年 7月	山陰北陸豪雨災害	島根県東部	崩壊・土石流多発	109	富山県胡桃地すべり発生
1961年 6月	昭和36年梅雨前線豪雨災害	伊那谷	土石流多発	357	大鹿村の大西山大崩壊
1958年 9月	狩野川台風災害	天城山周辺, 横浜, 川崎	崩壊・土石流多発	1269	
1957年 7月	諫早豪雨災害 (梅雨前線)	島原半島	土石流多発	922	
1953年 8月	南山城豪雨災害 (梅雨前線)	木津川流域	土石流多発	429	
1953年 7月	有田川豪雨災害 (梅雨前線)	有田川流域	崩壊多発	1066	旧花園村で大規模崩壊, 河道閉塞
1953年 6月	昭和28年梅雨前線豪雨災害	北九州市門司区	土石流多発	1013	
1947年 9月	カスリーン台風災害	群馬県赤城山周辺	土石流多発	1930	
1945年 9月	枕崎台風災害	広島県ほか	土石流多発	3756	

(注1) 災害名称については必ずしも正式なものではない。

(注2) 災害概要については主たる災害原因を示したもので厳密な災害形態区分ではない。

(注3) 死者・不明者数には土砂災害以外の原因を含む場合もある。

3.1.2 近年の豪雨による広域的土砂災害

豪雨による広域的土砂災害の直近 6 事例と、2000 年（平成 12 年）の土砂災害防止法制定の契機となった 1999 年の平成 11 年広島土砂災害、計 7 事例について以下に概要を示す。各災害の詳細については、章末の参考文献に挙げたそれぞれの調査報告書などを参照頂きたい。

(1) 平成 30 年西日本豪雨災害

1) 災害概要

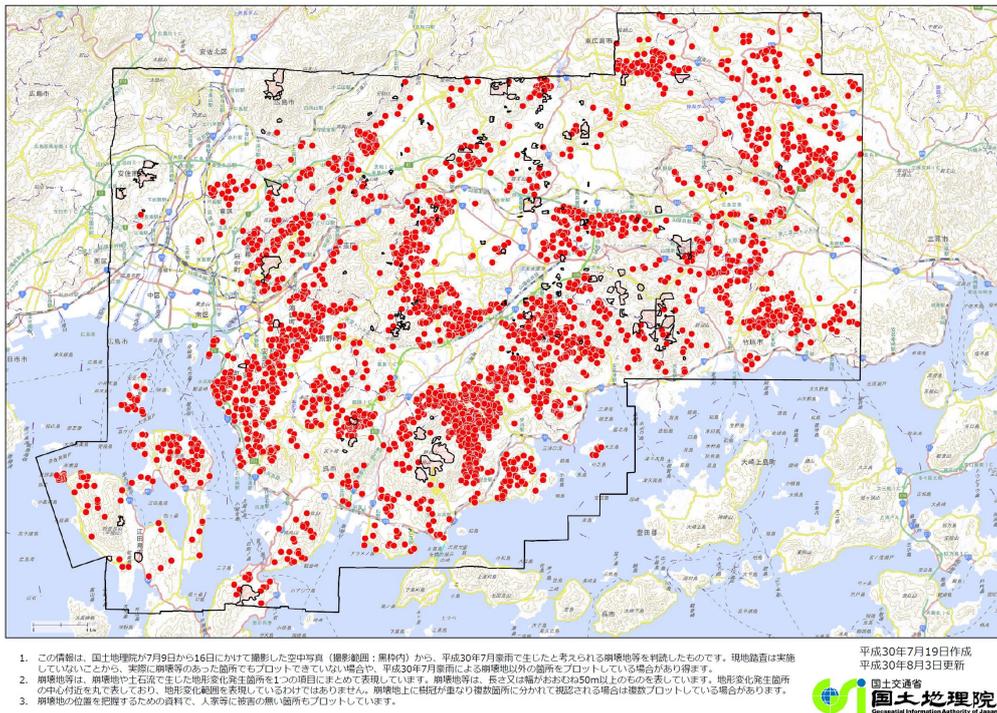
平成 30 年 7 月豪雨においては、広島県南東部の斜面崩壊や土石流被害が特筆され、それらを筆頭に、九州、中国、四国、近畿、岐阜の各地でも地盤災害が多発した。

内閣府¹⁾によると、平成 31 年 1 月 9 日 16 時の時点で、平成 30 年 7 月豪雨による人的・物的被害は、死者 237 人、行方不明者 8 人、住家全壊 6767 棟、住家半壊 11243 棟であった。また、土砂災害発生状況（国土交通省情報：平成 31 年 1 月 9 日 15 時の時点）は、2581 件（1 道 2 府 29 県）であり、その内訳は土石流等が 791 件、地すべりが 56 件、がけ崩れが 1734 件であった。被害の数、範囲の点から平成時代最悪レベルの土砂災害といえる。

図 3.1-1 に広島県における崩壊地等の分布²⁾を示す。この土砂災害の特徴としては、長時間継続した豪雨によって斜面崩壊および土石流が連鎖的に発生したため、極めて大量の土砂が発生したこと、また、その土砂は洪水流と一緒にになって氾濫し、流動性が高かったことから広範囲かつ遠方まで到達したことがあげられる（図 3.1-2、図 3.1-3）。

土石流の多くは、山頂や尾根付近に源頭部があり、急峻な溪流や谷筋を風化層や過去の土石流堆積物などを浸食しながら流下した。河床に設けた堰堤などにより、被害を拡大したかもしれない巨礫の流下や、土石流そのものの流下勾配を減少させる効果を発揮した防災インフラが存在した一方で、溪流・河川の屈曲部、狭隘部、暗渠部および橋梁下などでは流木や巨礫の流下が阻害され、土水の氾濫を招いた場合のあることも認められた。

平成30年7月豪雨に伴う崩壊地等分布図（広島）



1. この情報は、国土地理院が7月9日から16日にかけて撮影した空中写真（撮影範囲：黒枠内）から、平成30年7月豪雨で生じたと考えられる崩壊地等を判読したものです。現地調査は実施していません。実際に崩壊等のあった箇所でもプロットできていない場合や、平成30年7月豪雨による崩壊地以外の箇所をプロットしている場合があります。
2. 崩壊地等は、崩壊地や土石流で生じた地形変化発生箇所を1つの項目にまとめて表現しています。崩壊地等は、長さ又は幅がおおむね50m以上のものを表しています。地形変化発生箇所の中心位置を丸で表し、地形変化箇所を表しているわけではありません。崩壊地上に樹木が倒壊した箇所は確認できず、崩壊地以外の箇所は確認できていない場合があります。
3. 崩壊地の位置を把握するための資料で、人家等に被害の無い箇所もプロットしています。

図 3.1-1 平成 30 年 7 月豪雨に伴う崩壊地等分布図（広島）²⁾



図 3.1-2 安芸郡坂町小屋浦の被害状況

（左：被災前・Google ストリートビューより， 右：被災後）



図 3.1-3 呉市天応町（大屋大川下流）の被害状況，土砂の堆積厚さは1m 以上

（左：被災前・Google ストリートビューより， 右：被災後）

2) 被災地の地質と斜面崩壊箇所の関係

被災地全域の地質は花崗岩，流紋岩，変成岩，堆積岩など多様である（図 3.1-4）。崩壊箇所は各地質帯で起こっており，今回の豪雨による崩壊や土石流の発生に地質の違いによる差異はないようである^{3),4)}。今回の災害においては土石流中のコアストーンが被害を大きくしたことは特筆すべきことであるが，このことは過去の災害でも発生していた。

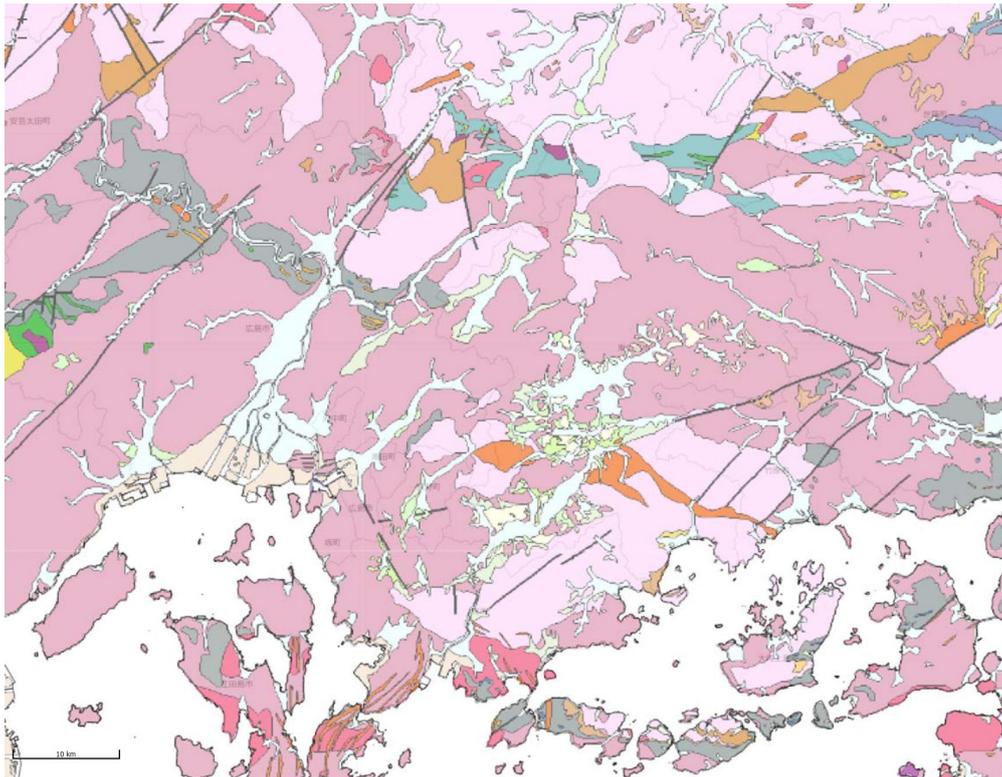


図 3.1-4 広島県南東部の地質分布（国土地理院地質図 Navi による）

(2) 平成 29 年九州北部豪雨災害

1) 災害概要

平成 29 年 7 月 5 日～6 日にかけて、停滞した梅雨前線の影響により、最大 1 時間雨量 140mm 以上、最大 24 時間雨量 820mm 以上を記録する地点が認められるなど、九州北部地方は猛烈な集中豪雨となった。福岡県朝倉市および東峰村、大分県日田市および中津市を中心に記録的豪雨となった地域では土砂災害が多発した（図 3.1-5）⁵⁾。その数は九州 6 県で 316 件に及んだ⁶⁾。

この豪雨では、中山間地における山腹斜面崩壊をはじめとした大量の土砂や流木の発生、中小河川の氾濫などが生じ被害を拡大させた。大分県日田市小野地区では崩壊土砂が河道閉塞を引き起こした。一方で、既存の砂防堰堤や流木捕捉工は、その多くの施設が下流への被害軽減に効果があったことも認められた。

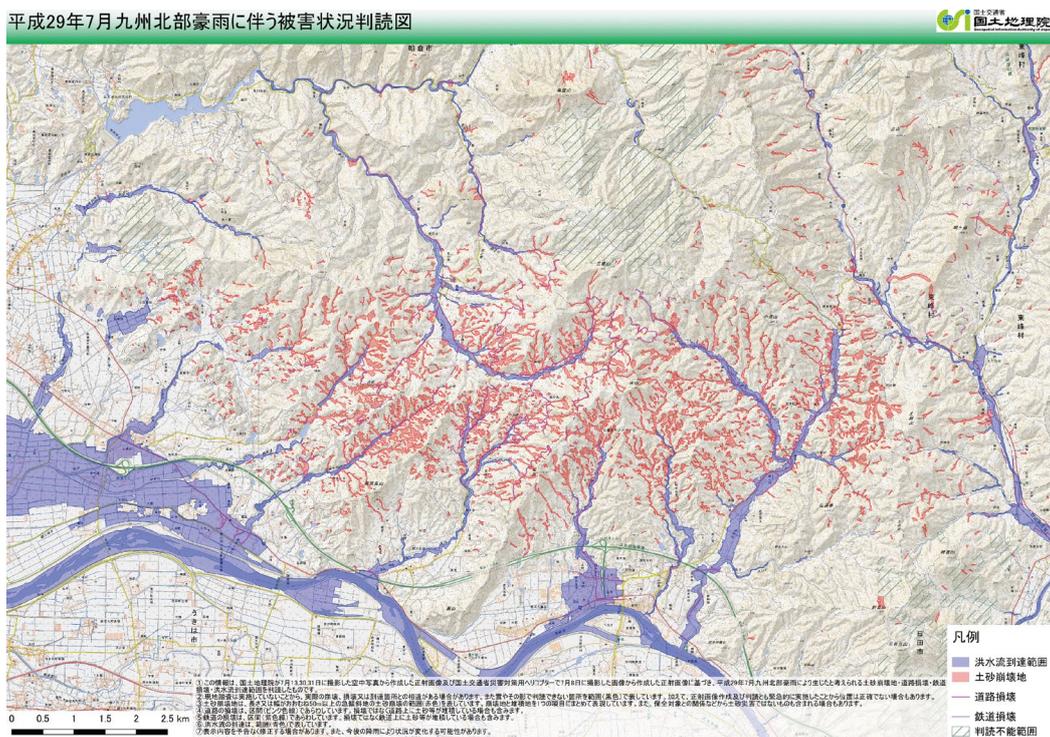


図 3.1-5 平成 29 年 7 月九州北部豪雨に伴う被害状況判読図（国土地理院）⁵⁾

2) 土砂災害の特徴

この豪雨災害における大きな特徴の 1 つとして膨大な量の流木流出が挙げられる (図 3.1-6)。一般的な土石流災害における発生流木量が単位面積あたりおよそ $1000\text{m}^3/\text{km}^2$ 以下



図 3.1-6 赤谷川, 小河内川, 乙石川合流点付近における流木被害 (福岡県朝倉市) ⁶⁾ であるのに対し, この災害では 288 溪流中 134 溪流で $1000\text{m}^3/\text{km}^2$ を越えて流木が発生し, 最も多い赤谷川の溪流ではその 20 倍近くに達するなど, 過去最大級の流木災害でもあったことが指摘されている (図 3.1-7) ⁷⁾。なお, この豪雨は非常に多くの山腹斜面崩壊を生じさせているが, 総雨量と地質別の崩壊発生箇所, 1 時間最大雨量と崩壊地面積の分析を行った結果からは, 両者に明瞭な関係は認められなかったとされており ⁸⁾, 地質を問わず広い範囲で斜面崩壊が生じている ⁹⁾。

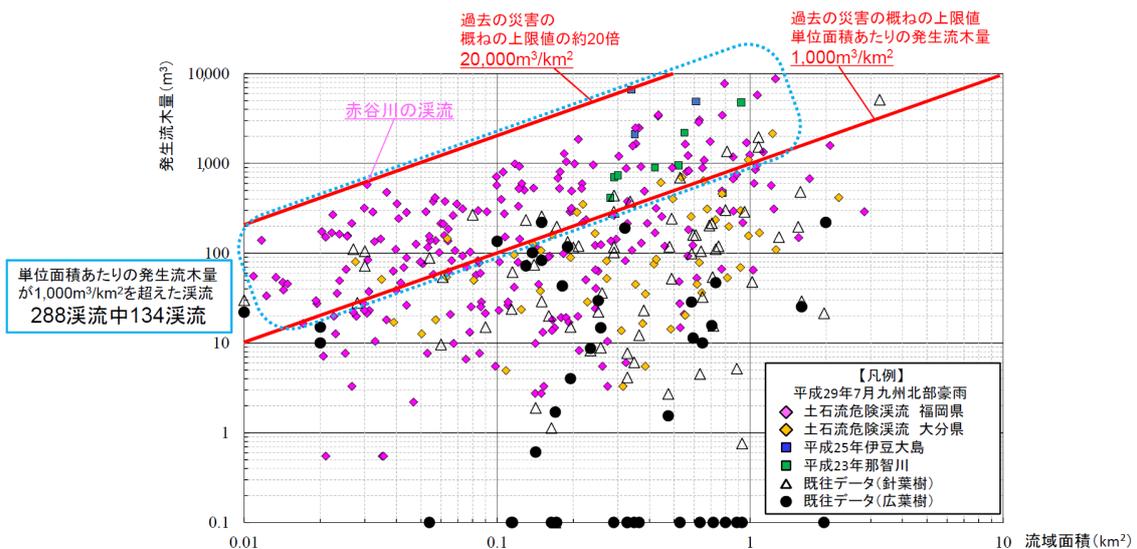


図 3.1-7 過去の災害と平成 29 年 7 月九州北部豪雨による発生流木量の比較 ⁷⁾

(3) 平成 26 年広島土砂災害

1) 災害概要

2014 年 8 月 20 日の深夜、複数の積乱雲が次々に発生するバックビルディング現象による線状降水帯がもたらした集中豪雨によって、広島市安佐北区と安佐南区で多くの斜面崩壊・土石流が発生し、74 人の犠牲者（災害関連死を含めると 76 人）を出すなどの甚大な災害となった。広島市を襲った集中豪雨は深夜 2～3 時の 1 時間に 87mm を記録し、避難勧告等も間に合わず、午前 3 時半前後に土石流が同時多発的に発生した。図 3.1-8 および図 3.1-9(左)に示すように、斜面崩壊・土石流は、北東から南西方向に長さ 12km 程度、幅 3km 程度の範囲に 160 箇所以上に及ぶ^{10),11)}。



図 3.1-8 平成 26 年 8 月豪雨による広島県の土砂災害発生状況¹⁰⁾

2) 被災地の地質と斜面崩壊箇所の関係

被災地周辺地域の先第四系は、花崗岩類とそれによる接触変成作用を受けた結晶片岩、混在岩とチャート岩体からなるメランジュ、単斜輝石岩、流紋岩火山岩および斑状流紋岩の岩脈からなる。第四系は、主に沢筋に認められる土石流堆積物とそれらが山麓の緩斜面で堆積した扇状地堆積物、太田川沿いの沖積低地堆積物からなる¹²⁾。

山稜から流下する沢の出口には傾斜 10~15° 程度の沖積錐が発達している。これらの山体に斜面崩壊・土石流が発生し、下方の沖積錐の上に構築された家屋が被災した¹³⁾。

被害の大きかった広島市安佐南区八木地区と安佐北区可部地区の地質は、広島花崗岩、高田流紋岩、玄武岩、接触変成を受けたジュラ紀付加体が入り組む複雑な構造となっている(図 3.1-9(右))¹⁴⁾。そのため、同じ八木三丁目で数百メートルしか離れていない県営緑丘住宅と阿武の里団地での土石流流下物は全く異なり、県営緑丘住宅では広島でよく見られる花崗岩が主体となっていたが、阿武の里団地やさらに隣接する八木四丁目八木ヶ丘団地では泥質や珪質の片岩などの変成岩が主体となっていた。阿武の里団地の源頭部は幅約 3.6~5.5m、崩壊深さ 1.0m 前後、斜面勾配約 40° で、八木ヶ丘団地の源頭部は幅約 4m、崩壊深さ 1.8m 前後、斜面勾配約 37° で、ともに基岩上にあった風化表層土が崩壊していた。また、これらの崩壊部の底面や側面には地下水が噴出したと思える孔がいくつか認められた¹⁵⁾。

なお、この災害におけるソフト面の課題を検討した結果は「土砂災害防止法」の改正に至った。

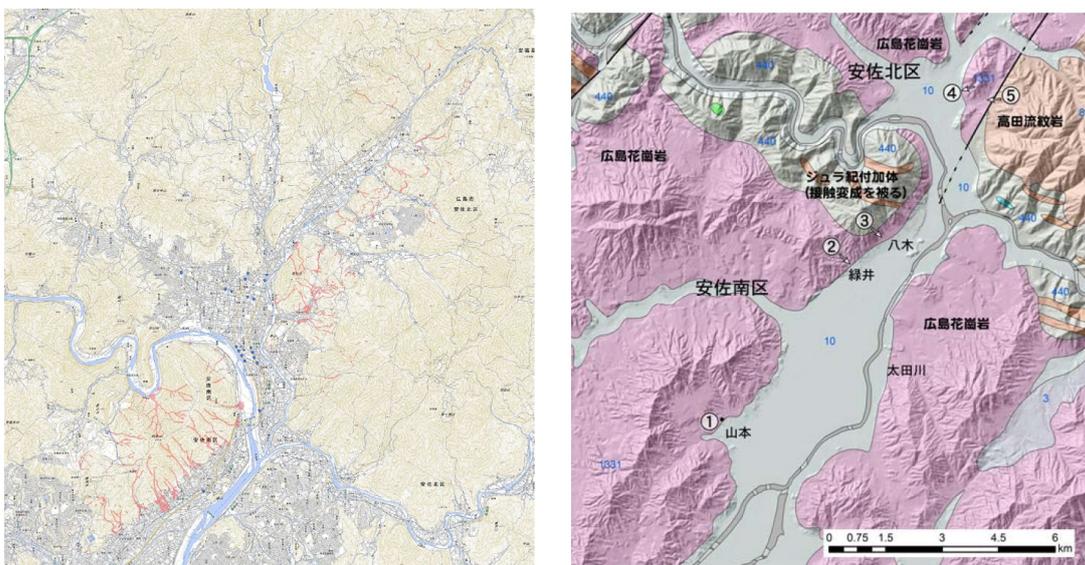


図 3.1-9 左：平成 26 年 8 月豪雨に伴う土石流出範囲(国土地理院による写真判読図)¹¹⁾

右：土石流および斜面崩壊の発生地の地質情報¹⁴⁾

(4) 平成 25 年台風 26 号伊豆大島土砂災害

1) 災害概要

2013 年 10 月 16 日未明、台風 26 号の集中豪雨によって伊豆大島三原山の外輪山北側と西側で表層崩壊が発生し、土石流化して下流域に被害を与えた。とくに西側の長沢、大金沢、八重沢等の下流域の被害は甚大で、死者 39 名、全壊家屋 71 戸などであった。アメダス大島観測所の記録は、最大時間雨量 118.5mm、連続雨量 824mm を記録し、ともに 1938 年観測開始以来の最高記録である。

15 日からの雨は深夜に激しくなり、0 時から 5 時までは時間雨量 50~100mm の強雨が続き、2 時~3 時に土石流被害が発生している¹⁶⁾。土石流の発生が深夜の強雨であったことから住民は避難勧告を受けても避難できなかったと思われる。

土石流の流下域は図 3.1-11 に示すとおりで、中央の広い面積の部分とその両側（南北）の筋状の部分である。広い面積の部分は大金沢流域で、大規模な崩壊が発生したような印象をうけるが、谷地形の未発達な斜面において多数の表層崩壊が並列で発生したために、



図 3.1-10 伊豆大島の水系図

(枠は図 3.1-11 の範囲)



図 3.1-11 土石流発生域¹⁷⁾

土砂流の流下域が合流して面的に広がったものである。筋状の被災箇所は長沢、八重沢、大宮沢などの流域で、土砂流が比較的深い谷沿いに流下したものである。土石流発生の原因になった崩壊位置は、明瞭な遷急線の直下の急斜面（傾斜 30~40°）にあたり、0 次谷や凹状の集水地形である。

2) 被災地の地形と地質

地質は透水性の良好な火山砂と難透水性を示すレス層が斜面上に互層となって分布する¹⁶⁾ため、表層に分布する層厚 1m 程度の火山砂が崩壊したもので個々の崩壊規模は、幅 10～50m、斜面長 20～50m、崩壊深度 1m 以下の表層崩壊であった。

土石流が深い溪流内を流れた部分では被害は軽微であったが、大金沢流域では溪流の発達が悪く土石流が面的に流れたために前述のような大きな被害を生じたため、火山山麓のような緩い傾斜で溪流の未発達な地域の対策がカバーされていない点についてハード対策の課題となった。

(5) 平成 24 年九州北部豪雨災害

1) 災害概要

平成 24(2012)年 7 月 3 日および 11 日から 14 日にかけて九州北部を襲った豪雨は、福岡県、佐賀県、大分県、熊本県を中心に甚大な被害をもたらした。この災害は「平成 24 年 7 月九州北部豪雨」と命名された。11 日から 14 日の豪雨は気象庁より国内で初めて「これまで経験したことのないような大雨」と表現され、甚大な土砂災害や河川災害を引き起こした。

なかでも、熊本県阿蘇市周辺の火山地域では多くの土石流が発生し、至る所で表層崩壊が発生した。気象庁の気象資料によると、阿蘇乙姫雨量観測所¹⁸⁾では 7 月 11 日 14 時に降り始めた雨が日付の変わるころから徐々に強まり、12 日 3 時には 106mm を記録した。その後も 6 時までの 4 時間にわたり時間雨量 100mm 近くを継続して記録し、9 時まで降り続いた。この間の累積降水量は 507.5mm に達し、わずか 20 時間ほどの間に 7 月の 20 年平均月間降水量に匹敵する雨が降った。その後も断続的に雨は降り続き、7 月 11 日 14 時から 14 日 17 時までの総降水量は 816.5mm に達した。ただし、当該豪雨が発生する前の 6 月 8 日から 7 月 10 日までの降水量が 1,099.5mm に達していたことも甚大な被害発生を引き金になったと考えられる (図 3.1-12)¹⁹⁾。

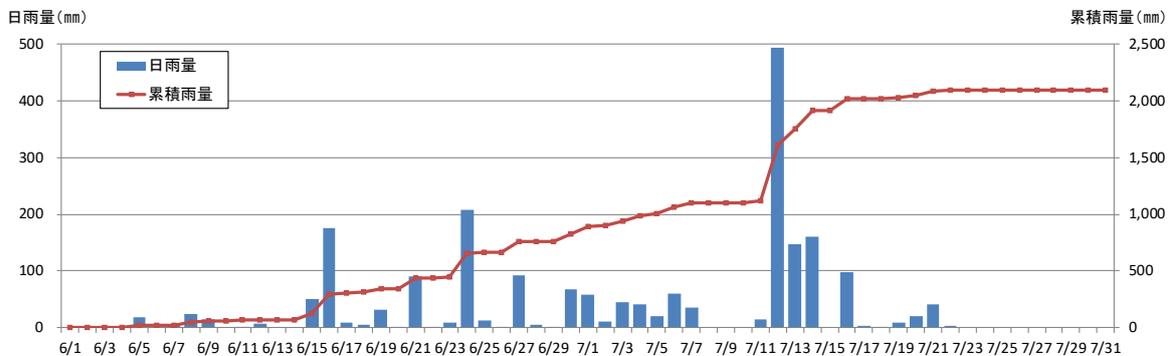


図 3.1-12 2012 年 6 から 7 月までの日雨量 (阿蘇乙姫)¹⁹⁾

2) 阿蘇地域の土砂災害について

阿蘇地域は黒色火山灰層が広く分布しており、以前より集中豪雨により表層の黒色火山灰層が崩壊し、土石流化する現象が発生している²⁰⁾。ここでは一例として、1990年7月にも集中豪雨により甚大な被害が発生した阿蘇市一の宮町坂梨地区を紹介する。坂梨地区は阿蘇カルデラの東縁付近に位置し、平成24年7月豪雨の際に崩壊土砂が土石流化し、下流域の集落を襲い、阿蘇地域で最大数の死者を出した地区である(図3.1-13)。当該地区付近のカルデラ壁は阿蘇火山噴出物の溶結凝灰岩や古い時代の溶岩等の硬質岩盤から形成されており、高さ約40mの切り立った急崖がみられ、直下に傾斜約35度の崖錐が発達している。急崖の上部斜面は短小な侵食谷が形成されており、今回の豪雨ではこの侵食谷に崩壊が発生した¹⁹⁾。崩壊土砂は急崖を流れ下り、斜面勾配16~4°の緩斜面を直線的に約650m流下して集落に達した(図3.1-14)。

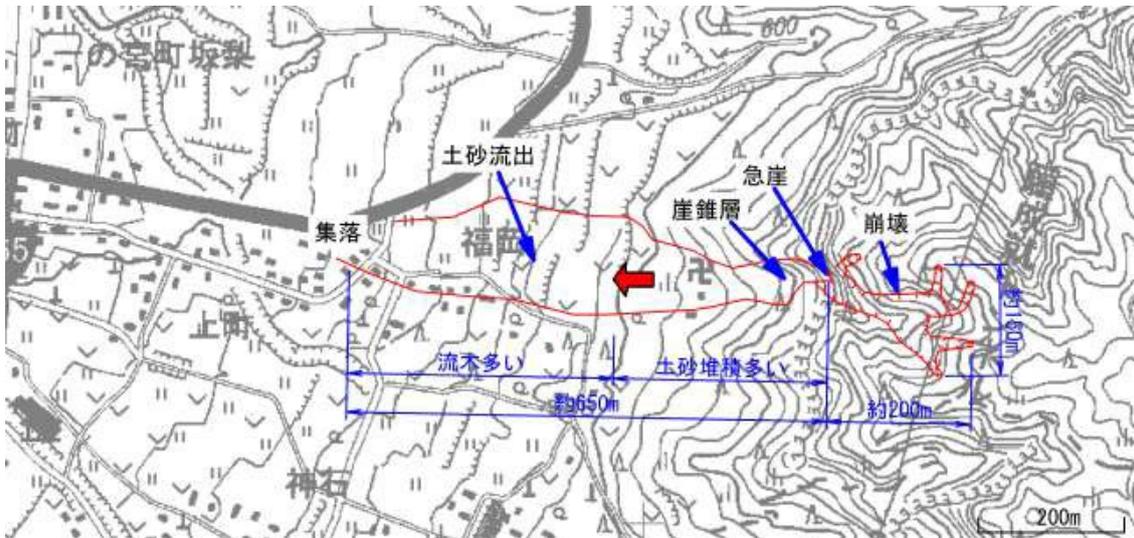


図-3.1-13 坂梨地区の地形図¹⁹⁾



図3.1-14 坂梨地区の被害状況(左:斜面上方, 右:斜面下方の緩斜面)

(6) 平成 23 年台風 12 号紀伊半島災害

2011 年 8 月末から 9 月初めにかけて四国南方から中四国地方を横断して日本海に抜けた台風 12 号は、西日本をはじめ広域に大きな被害を与えた。とくに紀伊半島では甚大な土砂・河川災害が発生し、和歌山・奈良両県では死者 71 名、行方不明 14 名の人的被害²¹⁾が発生した。

紀伊半島の山岳地帯を穿入蛇行する十津川は大局的には南流し、各支流は東西方向に近い流路をとり、北向き斜面が南向き斜面に比べて相対的に緩い傾斜を示す。これは大局的に東西に延びて北に傾斜する地質構造を反映したものである。

地質²²⁾は、四万十帯に属する砂岩、頁岩を主体として、チャートや凝灰岩を一部挟在する白亜紀から新第三紀の堆積物である。いわゆる付加体堆積物で、地層はたたみ込まれて断層や褶曲が発達し、頁岩部分は大半が著しく破碎されている。崩壊箇所を観察した地質は頁岩優勢で、層理面の走向は北東～北西を呈し、50 度前後で北に傾斜する。これに対して、傾斜 20 度程度の小断層の分布がいくつか認められ、斜面の安定に関しては急傾斜の層理面に加えて、この低角度の小断層も不連続面として注意すべき対象である。

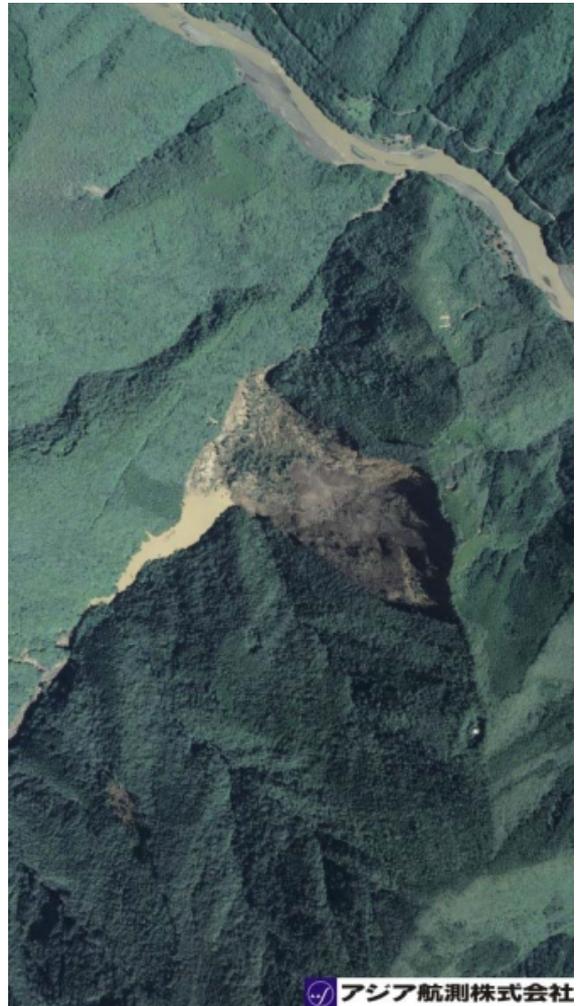


図 3.1-15 十津川支流長殿谷の崩壊²³⁾

崩壊は地形・地質条件を反映して主として北向き斜面で発生し、写真に示すように大規模な深層崩壊が多く河道を閉塞して土砂ダムを形成した。これらの大規模崩壊を調査した土木学会の調査報告書²²⁾では以下のようなまとめを行っている。

- ① 過去に崩壊があった場所やそれに近接する場所で再び崩壊を起こしていた。崩壊はいずれも大規模であったため、大量の土砂移動が生じ、その一部が河川に流入した結果、河川水位の急上昇と洪水によって沿線に大きな被害を与えた。
- ② 崩壊は頁岩もしくは砂岩優勢の混在岩（メランジ）層において発生していた。崩壊部は強風化した岩盤、非崩壊部は亀裂の少ない比較的新鮮な岩盤であった。

- ③ 崩壊面はおおむね北西傾斜の流れ盤の層理面であった。層理面の形状は一様な平面というよりも褶曲した曲面（くさび状，お椀状）になっていた。その部分は水を集めやすい構造であったと推定される。
- ④ いくつかの崩壊においては，崩壊斜面の末端が河川の水衝部に位置することから，その侵食が崩壊の誘因であった可能性が考えられる。

(7) 1999年（平成11年）中国・九州土砂災害

1) 災害概要

平成11年6月末に梅雨前線の活動によって、福岡市及び広島市において洪水や土砂災害が発生した。特に広島県では、県西部・呉市にかけての広範囲な地域で土砂災害が発生し、がけ崩れ箇所186箇所・土石流箇所139箇所におよび死者31名、行方不明者1名という大規模な災害²⁴⁾となった。

2) 降雨履歴

図3.1-16（上）は、広島県内の降雨分布変化を示している。午後2時～3時における1時間降雨量30mm以上の降雨領域は広島市西部の北東～南西に帯状に分布しているが、午後4時～5時における同領域は呉市を中心とした地域に移動している。

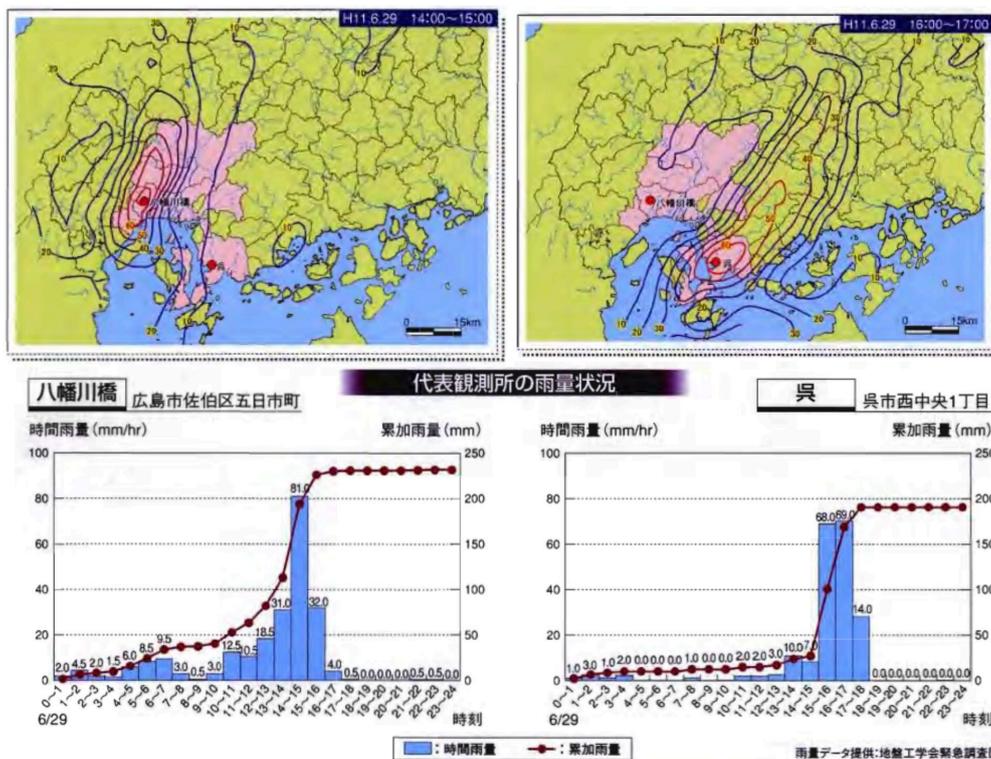


図3.1-16 （上）広島県内の降雨分布変化と（下）八幡川橋と呉市における降雨履歴²⁴⁾

図3.1-16（下）は、広島市西部の八幡川橋と呉市における降雨履歴を示している。広島市西部地区では6/19明け方頃より降雨があり7時～10時頃に一旦降雨が少なくなるものの、その後14時から15時に81mm/hrの降雨を観測し累計220mmもの降雨となった。一方呉市では、午前中はほとんど降雨がなかったものの、15時から降雨量が急激に増大して時間雨量69mm/hrに達し、累積降雨量190mmを観測している。

3) 地形・地質と災害の特徴

図 3.1-17 に広島県の地質を示すが、多くの災害が発生した広島市西部に北東～南西地域、呉市周辺地域は花崗岩類であるが、呉市北部には流紋岩および第三紀・第四紀層岩が分布しており、降雨によって崩壊しやすい地質構造であった。

1999 年広島災害の特徴を示す 3 箇所災害箇所を図 3.1-18 に示す。谷部出口に住宅が密集している地域では、降雨によって谷部で土石流が発生し、立木を巻き込みながら流下していき、出口部の住宅地域に大きな被害を与えた。特に流木によって被害が拡大している。呉市では、がけ地に住宅が密集しており、急傾斜地が多数崩壊した。その結果、がけ地下部の住宅地が崩壊し被害が発生した。

この 1999 年広島災害は、都市型土砂災害と位置付けられている。特に住宅地が都市郊外に新興住宅地として展開して、危険な谷出口やがけ下に住宅建設されていたことや、住んでいる箇所の土砂災害危険度を住民が十分に把握されていなかったことが、被害を拡大させた要因の一つとして整理されている。この教訓から「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（通称：土砂法）が制定され、2000 年（平成 12 年）に公布・翌年 2001 年（平成 13 年）に施行されている。

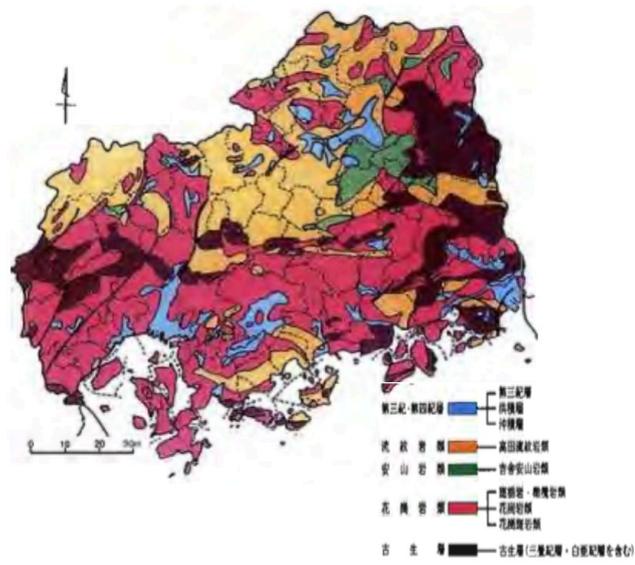


図 3.1-17 広島県の地質²⁴⁾



図 3.1-18 1999 年（平成 11 年）広島土砂災害事例²⁵⁾

（左：呉市警固屋 5 丁目，中：堂ヶ川支流，右：佐伯区五日市町屋代）

3.2 広域的な土砂災害に対する課題

前節の災害例によると災害形態としては、すべての事例で同時多発する土石流があげられており、その他にいくつかの事例で斜面崩壊や大規模崩壊（深層崩壊）がある。これらを対象に、ハード対策とソフト対策の側面から課題を抽出した。

3.2.1 ハード対策

ハード対策面の課題については、2011年紀伊半島豪雨災害で発生した大規模崩壊（深層崩壊）を対象にすることは困難であるので、土石流を対象に以下に示した。崩壊や大規模崩壊についてはソフト対策面からの課題として示した。

- ①災害事例のすべてに土石流があげられており、危険個所として溪流出口などの被災しやすい地形場を容易に抽出できるが、そのような場所が宅地化されている。
→溪流出口付近の公園化などへの土地利用の改善を図ることが望ましいが具体的な進展はほとんど見られない。
- ②砂防堰堤等の対策で抑止できない土砂量の発生による被災例があり、住民は砂防構造物の建設で安心するが安全ではない場合がある。
→発生土量に対して堰堤が満砂、あるいは小規模であることによる被災があり、除石対応の維持管理の必要性や、堰堤建設に際して発生土砂量の想定法や抑止土量の安全率の考え方について整理する必要がある。
→堰堤に加えて溪床スクリーンや高エネルギー柵を組み合わせるなど技術開発を含めて小溪流における待受け対策設計法の確立が望まれる。
→発生土砂量が多く想定される溪流では、谷頭部斜面の崩壊防止対策や、溪床不安定土砂の固定など、土石流の発生源対策について検討すべきである。
- ③溪流下流域の流路は河積断面の不足などの既存不適格の流路や横断構造物があり、流出土砂が溢れて災害を拡大する傾向がある。
→流出土砂を安全に流下させるために下流域の流路工や堆砂池の整備等が必要であるが、優先的に進めるべき住宅区域での整備が遅れている。

3.2.2 ソフト対策

ソフト対策に関する課題として、土砂災害警戒情報の精度向上や情報発信のあり方、防災教育も含めた住民の避難対策・避難方法のあり方、ハザードマップ整備のあり方など、いくつかの項目ごとに分類したが、これらは相互に関連しあうものと考えられる。また各課題に対していくつかの対応策を記したが、それらの記述の順番が優先順位を示すものではないことに注意されたい。

(1) 災害警戒情報に追加する危険度指標の必要性

従来の降雨量による危険度判定は、広域では比較的有効な指標であると考えられるが、避難行為につながる複数の指標があることが望ましい。地盤変状等の発生に関する危険度を示し、住民の避難行動を促す指標の追加が必要である。

- ・降雨による土壌雨量指数に加えて、住民や自治体の参考になる別指標として、代表的な表層斜面への水位計や変位計等を設置し、水位変化や地盤変動による監視の併用を進める。
- ・「降雨量」「土壌水分」「斜面変位」などを結びつけ、直接的な危険度を示す指標を追加することが必要である。
- ・上記のことと併せて、斜面変状箇所を専門家へ伝達するための予防システムの設置が図られることが望ましい。そのためには、基準・体制の確立も必要となろう。
- ・大規模な崩壊（深層崩壊）に対しては、降雨による土壌雨量指数では評価することが困難であるため、深層の水位観測・孔内傾斜変動・地表変動などの計測監視を要する。監視を要する危険な斜面は後述するように、航空レーザ測量地形図をもとに抽出すべきである。

(2) 避難行動につながる情報発信

避難勧告・指示等が発令された場合でも、発信された情報の種類や内容によって、また情報を受け取る側の状況や状態によって、いくつかの心理的バイアスが働きヒトは逃げない、あるいは逃げられないことが多々あることが明らかになってきている^{26),27)}。行政区域単位の広域を対象とした避難勧告・指示等の場合、自分のいる場所は被災しないだろうといった、心理的バイアスの弊害により避難しない住民が被災することがある。したがって、行政区域よりも地形特性に応じたきめ細かな発令の必要性がある。

- ・土砂災害警戒区域（イエローゾーン）や土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）とそれ以外の区域を分けた発令などを考えるべきである。

- ・希望者には直接個人や各家庭に危険度情報を発信するなど、現状から一步踏み込んだ情報発信を考えても良い時期にあると考えられる。

(3) ハザードマップのあり方と住民の理解促進

土砂災害警戒区域（イエローゾーン）と土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）は、全国的にほぼ制定されるようになってきたものの、その意味合いを含む理解度は浅いように思われる。また、危険度判定区域（急傾斜地崩壊危険区域、地すべり危険区域、土石流危険区域の3形態）との区別が一般の住民には理解しにくいように思われる。宅地の開発や取引に際して、危険箇所に関する認識・理解不足が見受けられるように思われる。

研究者や技術者においては、3形態の危険度判定区域とそれらの警戒区域（イエローゾーンとレッドゾーン）のあり方に関し、危険度が異なる（人的被害は土石流が圧倒的に大きい）にもかかわらず同じイエロー・レッド区分でよいのか、という疑問もある²⁸⁾。

平成26年広島土砂災害では、土砂災害に適さない避難場所に避難した居住者が被災する事案が認められた²⁹⁾。既存のハザードマップには、斜面崩壊・土石流等からの避難所が浸水危険区域にある場合や、その逆に、浸水からの避難所が土砂災害警戒区域にある場合が散見される。複数のハザードに対応した避難所位置の適正化（単一のハザード対応や既存建物利用の見直し）が図られる必要がある。また、津波・土石流・洪水を伝承する石碑等の存在は各地の住民に知られていない。

- ・避難所の位置が安全であるか再確認した上で災害伝承石碑等とともにハザードマップに取り込み、適切な避難所や過去の災害についての関心を持つ助けにすべきである。
- ・ハザードマップは作成した自治体の知らせる努力と住民側の知る努力が必要であり、双方が防災訓練等を通じて危険な地形や地質に関する知識の向上を図ることが望まれる。
- ・ハザードマップの理解を促すためには、住民に対する丁寧な説明が必要だが、都市部と地方では下記のような違いがあり、それぞれの特性を考慮した説明会の工夫が必要である。

都市部：近隣住民の協力度低い。若者が多い。住民の増加

地方：近隣住民の協力度高い。高齢者多い。住民の減少

(4) ハザードマップの精度向上

ハザードマップの策定においては、土砂発生量の想定が必要となる。昨今の豪雨による斜面崩壊・土石流による土砂発生量は、事前の基礎調査において想定した発生量に対し、

実際の発生量が上回る場合もあり、その中には実際の発生量が事前調査による想定量の数倍以上という場合もみられた^{30),31)}。また、発災が夜間である場合、避難路となるはずの道路に土砂が流出した場合や交通インフラが土砂災害で寸断された場合など、避難や救助ができずに被害が拡大した場合も認められる。このような事例を鑑みた場合、ハザードマップの精度向上に必要な事項としては、例えば次のようなことが考えられる。

- ・ 広域の調査対象の精度向上に対し、人力による調査に加え、ドローンや衛星等を用いた新たなセンシング技術の活用
- ・ 危険度が大きい0字谷や溪流の判別技術、氾濫開始箇所の予測技術、避難経路となる道路の危険度判定技術、などの向上
- ・ 基礎調査で抽出された危険溪流の浸食幅や浸食深さの設定方法に関する見直しや調査精度の向上
- ・ 流動性の高い土石流の発生や河道閉塞を考慮した警戒区域（イエローゾーン）と特別警戒区域（レッドゾーン）の設定
- ・ 降雨中の被災危険度を示すリアルタイム・ハザードマップ整備の推進

(5) 不安定な斜面の抽出

大規模な斜面崩壊（深層崩壊）は、河道閉塞や大規模土石流となって甚大な被害を与えることがある。その崩壊は突発的に発生するよう思われ、予防的な対策が困難と考えられていたが、崩壊の準備段階の兆候が微地形にあらわれることが詳細な航空レーザ測量地形図から指摘されるようになった。

- ・ 大規模な崩壊の対策として、精度の飛躍的に向上した最近の航空レーザ測量地形図の整備を急ぐべきである。これをベースにして調査の重点地域について、以降に作成したレーザ測量地形図との差分解析を行うことで不安定な斜面の抽出をすることができる。
- ・ このような危険斜面の抽出は、衛星による干渉 SAR 画像による方法も期待されるところで、今後の技術開発に積極的に取り組むべきである。

参考文献

- 1) 内閣府防災情報のページ：平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について
(http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf),
[2019](#).
- 2) 国土地理院ホームページ <http://www.gsi.go.jp/common/000203233.pdf>(2019 年 4 月閲覧).
- 3) 鈴木素之・荒木功平・石田幸二・岩佐直人・宇次原雅之・北爪貴史・後藤聡・橋口昭彦・
美馬健二・吉川修：西日本豪雨災害における斜面災害の特徴と過去の災害との相違点，
第 61 回地盤工学シンポジウム, 4-1, 2018.
- 4) 土木学会中国支部：2018 年 7 月西日本豪雨災害調査報告書
(http://committees.jsce.or.jp/chugoku/node/103/H30_disaster_report_12.5_0.pdf), 2018.
- 5) 国土地理院ホームページ <https://saigai.gsi.go.jp/3/20170726handokuzu/handokuzu.pdf>
(2019 年 4 月閲覧).
- 6) 国土交通省砂防部ホームページ
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29_kyushu_gou/gaiyou.pdf (2019 年 4 月閲覧).
- 7) 国土交通省砂防部：平成 29 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害の概要<速報版> Vol.6,
2017.
- 8) 西村智博・高見智之・松澤真：調査地域における地すべり・崩壊の発生状況，日本応用
地質学会 2017 年九州北部豪雨災害調査団報告書 一防災と環境を見据えた持続可能な
故郷再生に向けて一，III-1-1, pp.15-27, 2018.
- 9) 地盤工学会平成 29 年 7 月九州北部豪雨地盤災害調査団：平成 29 年 7 月九州北部豪雨に
よる地盤災害調査報告書, pp.23-24, 2018.
- 10) 国土交通省砂防部ホームページ
http://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h26dosha/150331_H26saigai.pdf (2019 年 4 月閱
覧).
- 11) 国土地理院ホームページ <http://www.gsi.go.jp/common/000095316.pdf>(2019 年 4 月閲覧).
- 12) 斎藤眞・川畑大作・佐藤大介・土志田正二・新井場公德：2014 年 8 月 20 日広島豪雨
による土石流発生地域の地質，地質学雑誌, 121(9), pp.339-346, 2015.
- 13) 日本応用地質学会広島大規模土砂災害調査団・中国四国支部・災害地質研究部会：平
成 26 年広島大規模土砂災害調査団報告書 一土地の成り立ちを知り土砂災害から身
を守る一，2015.
- 14) 産業技術総合研究所地質調査総合センターホームページ
<https://www.gsj.jp/hazards/landslide/20140820-hiroshima.html>, 2014. (2019 年 4 月閲覧).

- 15) 土木学会中国支部：2018年7月西日本豪雨災害調査報告書 ([http://committees.jsce.or.jp/chugoku/node/103/H30 disater report_12.5_0.pdf](http://committees.jsce.or.jp/chugoku/node/103/H30%20disater%20report_12.5_0.pdf)) , 2018.
- 16) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会・平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団：平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害調査報告書, 2014.
- 17) 国土地理院ホームページ <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h25-taihu26-index.html> (2019年4月閲覧).
- 18) 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html> : 気象統計情報 (2019年4月閲覧).
- 19) (公益社団法人)地盤工学会 平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, pp.437, 2013.
- 20) 公益社団法人 土木学会 地盤工学委員会：平成26年度重点研究課題(研究助成金)脆弱な火山国日本での土砂災害の発生メカニズムの究明と法制度も考慮した総合的防災・減災対策に関する研究報告書, pp.140, 2015.
- 21) 総務省消防庁ホームページ <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post671.pdf> (2019年4月閲覧).
- 22) 土木学会地盤工学委員会斜面工学小委員会現地調査団：平成23年台風12号土砂災害第2回調査報告書 (http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/h23taifoon12_2.pdf), 2012.
- 23) アジア航測株式会社：「平成23年台風12号 紀伊半島豪雨」災害状況 (2011年9月) https://www.ajiko.co.jp/news_detail/?id=12098 (2019年4月閲覧).
- 24) 平成11年豪雨災害6.29土砂災害復旧誌(ダイジェスト版), 広島県土木建築部河川砂防総室砂防室, 平成15年3月.
- 25) 6.29豪雨災害写真集, 広島県広島土木建築事務所, 平成12年10月.
- 26) Robert Meyer and Howard Kunreuther : The Ostrich Paradox – WHY WE UNDERPREPARE FOR DISASTERS -, Wharton Digital Press, 2017.
- 27) アマンダ・リプリー(著), 岡真智子(訳) : 生き残る判断 生き残れない行動—災害・テロ・事故、極限状況下で心と体に何が起こるのか—, ちくま文庫, 2019.
- 28) 日本応用地質学会広島大規模土砂災害調査団・中国四国支部・災害地質研究部会：平成26年広島大規模土砂災害調査団報告書 一土地の成り立ちを知り土砂災害から身を守る一, 2015.
- 29) 内閣府(防災担当) : 指定緊急避難場所の指定に関する手引き

(<http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/shiteitebiki.pdf>), 2017.

- 30) 土田孝・森脇武夫・熊本直樹・一井康二・加納誠二・中井真司：2014年広島豪雨災害において土石流が発生した溪流の状況と被害に関する調査，地盤工学ジャーナル，11(1), pp33-52, 2016.
- 31) 土木学会中国支部：2018年7月西日本豪雨災害調査報告書 ([http://committees.jsce.or.jp/chugoku/node/103/H30 disater report_12.5_0.pdf](http://committees.jsce.or.jp/chugoku/node/103/H30%20disater%20report_12.5_0.pdf)), 2018.

4. 中山間地域で問題となる地形・地質の特徴

4.1 中山間地域の地形と豪雨災害の関係

(1) 中山間地域の立地環境

日本の国土は、その外縁を海で隔てられ、国土の約7割を山地が占める。限られた土地を有効利用するため、山間地およびその周辺の地域、すなわち中山間地域の農地利用が行われ、農地に適さない急な斜面や谷間などでは林業が生業として受け継がれている。また、近年では人口増加と利便性追求のため、都市郊外では山間地が開発され、宅地が中山間地域に進出している地区も多く見られる。

一方、中山間地域は山裾から山腹、あるいは谷底低地を占めるため、斜面崩壊や地すべり、土石流などの斜面災害や、河川氾濫などの水害の被害に遭いやすい側面ももつ。これらの豪雨災害は、自然の営みとして過去から繰り返される自然現象であり、その結果としていまの地形が成り立っている。

したがって、いまの地形には今後起こり得る豪雨災害の痕跡が残されている。その痕跡を読み解くことで、今後発生する可能性のある豪雨災害を想定することができ、それを土地利用や避難活動に活かすことで減災につながると考える。

(2) 中山間地域の典型的な土地利用と地形成因

人が住み耕作地が広がる中山間地域の一例を示す(写真4.1-1)。山裾の狭隘な谷底に広がる低地には小河川が蛇行し、その河岸の1段高い平地には河川縦断勾配に合わせ段がつけられた耕作地(水田や畑)が広がっている。河川は緩やかに蛇行し、護岸工の無い箇所は規模の大きな出水の度に小崩壊を繰り返しているだろう。耕作地より山側には、さらに1段高い位置に道路が通り、宅地が点在する。地すべりによる緩斜面や、土石流によりもたらされた沖積錐には、耕作面積の狭い段々畑や棚田、果樹園などが山裾に広がる。



写真 4.1-1 中山間地域の土地利用の一例

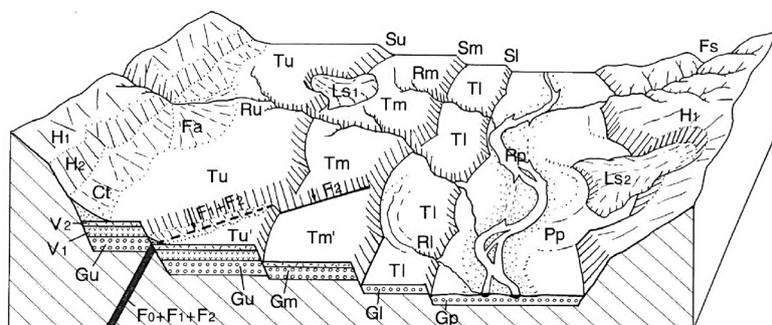
また、林業を主に営む地域においては、山裾から山腹にかけて人工の針葉樹からなる林地が広がる。このような風景が、日本の中山間地域の典型ではないだろうか。なお、海岸と山地に挟まれた狭隘地を利用する場合もあるが、地形と土地利用の特徴は類似する。

このような中山間地域を構成する主な地形種を図 4.1-1 に例示する。地形種とは、限りなく続く地表面の起伏（地形）のうち、特定の成因によって形成された特定の形態的特徴をもつ部分として地形学的に認定された地形をいう¹⁾。

図 4.1-1 は、丘陵（H1 および H2）を河川（Rp）が開析することによってつくられる代表的な地形種を示したものである。谷底を流れる河川（Rp）は蛇行し、氾濫原（Pp）をなし谷底低地を形成する。その河岸には、かつて河床の一部をなしていた低地が離水し形成された段丘面（Tu, Tm, Tl）が段をつくり、それを開析する支川（Ru, Rm, Rl）が流れる。また、河岸では河川侵食の影響により地すべりや斜面崩壊が発生し、緩斜面あるいは微高地が形成され、一方、山麓では出水や土石流に伴う堆積物が緩く堆積し扇状地や沖積錐を形づくる。

河川は、数十年から数百年に一回の頻度の大出水時には水嵩を大いに増し、氾濫原あるいは低位段丘面（Tl）程度までの範囲を流れ、地形は侵食されるとともに谷底には大量の石礫が堆積することとなる。これが繰り返されることで、谷底低地は拡大することとなり、宅地や耕作地として利用しやすい平地が形成される。したがって、幅広い谷底低地は大規模出水により形成されたものである場合が多く、将来的にも同規模の出水があり得ることを示している。段丘などの微高地は河川氾濫の被害を受け難く、宅地や避難場所として適するが、大出水時には浸水する可能性もある。扇状地や沖積錐、地すべり地形なども微高地であり、河川氾濫の被害を避けられるかもしれないが、その地形成因である土石流や地すべりなどの土砂災害に注意が必要である。

このように、地形の成り立ちと豪雨災害等の自然現象は密接に関わっており、そのことを考慮した土地利用や避難行動をすることが減災を考える上で極めて重要である。



【凡例】※小文字の u, m, l, p はそれぞれ上位, 中位, 下位, 現成の意
R: 河川, Pp: 氾濫原, G: 礫層, V: 火山灰層, T: 段丘面, Fa: 扇状地・沖積錐,
H: 丘陵斜面, Ct: 崖錐・崩積土, Ls: 地すべり・斜面崩壊, F: 断層, Fs: 断層鞍部

図 4.1-1 中山間地域を構成する地形種の例²⁾

4.2 過去の災害における地形・地質の特徴

4.2.1 平成 29 年九州北部豪雨災害

(1) 地形的特徴

平成 29 年 7 月の九州北部豪雨で被害が著しかった朝倉市南東部の山地と、代表的な河川流域について、地形的特徴を述べ、土砂災害あるいは水害と地形の関連性について示す。

1) 朝倉市南東部の山地地形

九州北部豪雨で被害が著しかった朝倉市南東部の山地地形を図 4.2.1-1 に示す。

朝倉市南東部の山地は、三郡山地の南東端に位置しており、標高 703m の^{ひろぞうやま}広蔵山を頂きとした山地が開析され複数の尾根に分かれた山容を呈す。この山地南方には、九州最長の大河川である筑後川が西流し、筑紫平野の北端をなす両筑平野を形成している。

山地の南方斜面を刻む、妙見川から東方の赤谷川に至るまでの主要河川の多くは、概ね北東-南西方向に伸びる直線的な谷地形を形成している。その両岸には、谷と並行に伸びる尾根地形が配列され、山腹には小規模な必従谷が刻まれている。山地全体として、谷密度は低～中程度であり、中起伏山地をなしていることから、透水性がやや高い軟岩により構成されているものと推察される。ただし、妙見川の右岸は急勾配で谷の侵食をあまり受けていないため、難透水性の中硬岩～軟岩が広く分布するものと思われる。

また、^{まだらやま}麻底良山 (294.8m) や堂所 (414.5m) などを頂きとした北東-南西方向に伸びる

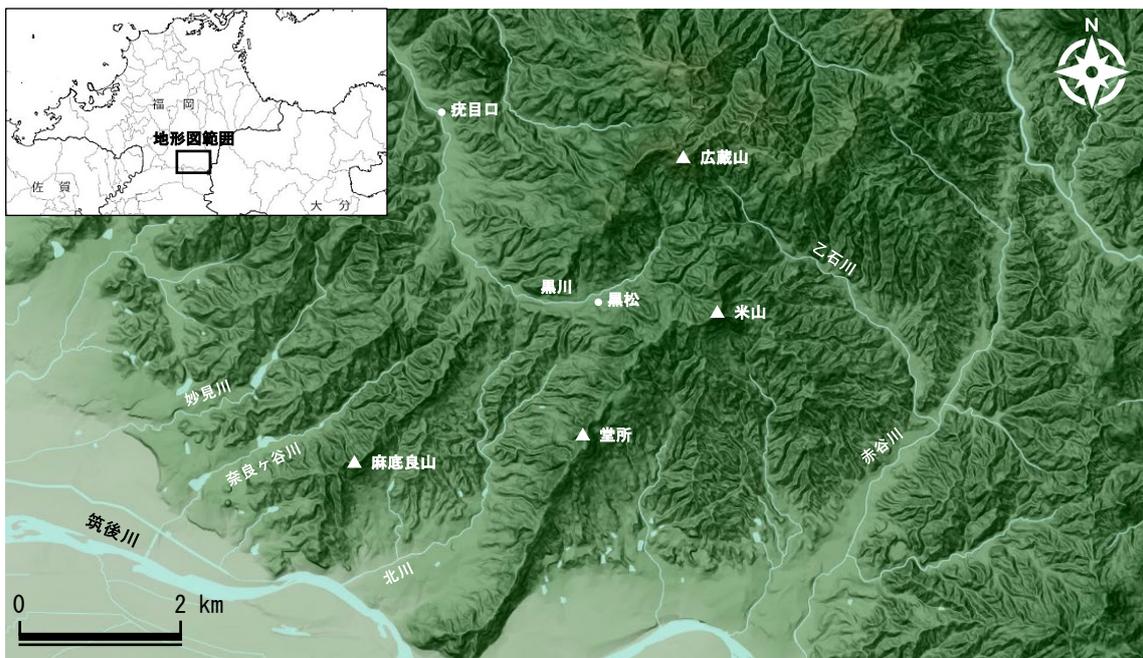


図 4.2.1-1 朝倉市南東部の地形(文献 3)に加筆)

尾根については、西向き斜面が緩く東向き斜面が急となるケスタ地形をなしており、地質構造の異方性を示しているものと考えられる。

これらの河川より北方には、広蔵山山頂より南方に開く馬蹄形凹地を源流とする黒川が南流するが、米山（590.9m）の北西麓に規制され、弧を描くように西向きから北向きに流向を転ずる。黒川は、黒松から疣目口に至る標高 200～300m の高地に、低地幅 100～200m 程度の幅広い谷底堆積低地を形成しており、集落や耕作地として利用されている。

また、広蔵山山頂より東方にも、過去の崩壊あるいは侵食に伴う開析により南東に開けてた凹地が存在し、乙石川の源流となる。乙石川は南東方向に直線的に山地を下刻し谷底低地を形成しながら赤谷川と合流し、その後南西に流れ筑後川に至る。

2) 妙見川および奈良ヶ谷川流域

妙見川および奈良ヶ谷川は、概ね北東－南西方向に山地を刻む開析谷であり、直線的な谷地形をなす。谷兩岸斜面は 30～40°程度と比較的急であり、谷底幅は、中流から上流域では 30m 程度と狭く V 字谷を形成している。このため、主な土地利用としては谷に沿う道路のほか、わずかな谷底低地に宅地と水田が点在する程度である。

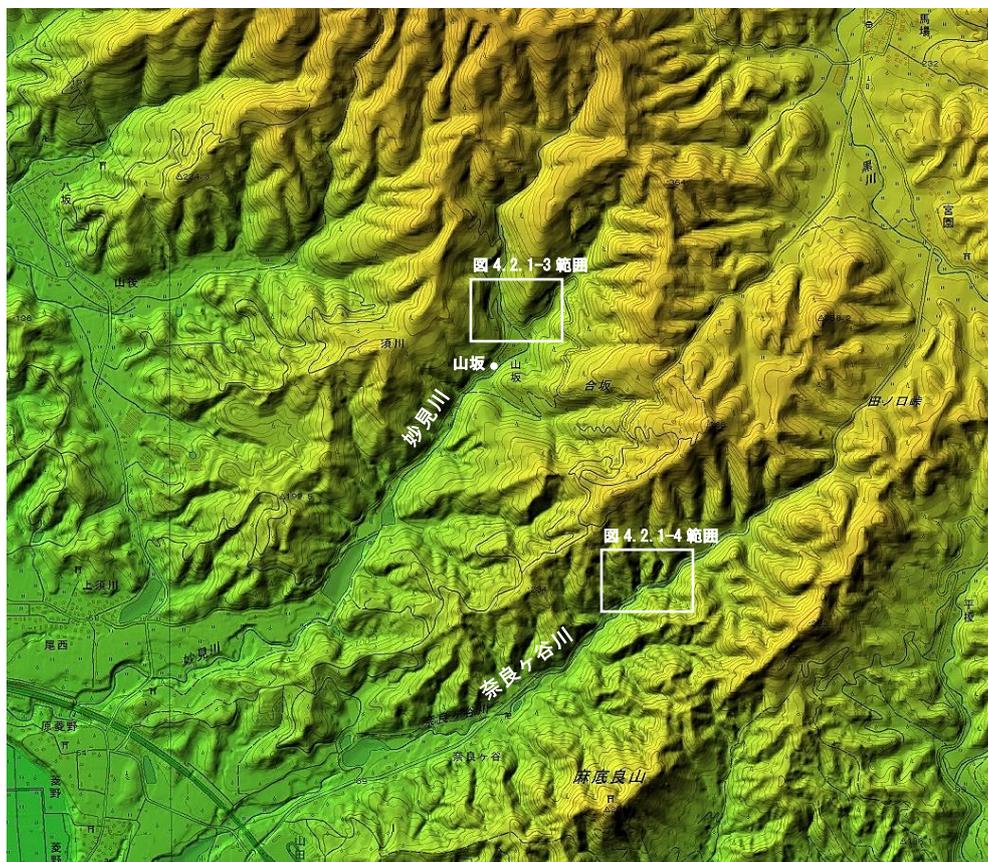


図 4.2.1-2 妙見川および奈良ヶ谷川流域の地形(文献 4)に加筆

いずれの流域も右岸斜面は全体的に急勾配である一方で、左岸斜面はやや緩勾配をなし、侵食を受け谷が深く樹枝状に分岐する。

このような地形的差異は地質に由来したものであろう。20万分の1日本シームレス地質図⁵⁾によると、当該流域には主に泥質片岩が分布し、妙見川の右岸斜面から河床部には一部で苦鉄質片岩が分布する。7万5千分の1地質図幅⁶⁾によると、泥質片岩は概ねNE-SW走向で20°程度の北西落ち傾斜であるため、左岸側は流れ盤構造となり、侵食や斜面崩壊が生じやすい素因を有しているといえる。このため、妙見川や奈良ヶ谷川の左右岸で地形的差異が生じたのであろう。

また、矢ヶ部ら⁷⁾によると、奈良ヶ谷川の泥質片岩風化帯は、細粒化した粘性土となり、1～3m程度の風化残積土として崩壊斜面に分布することが確認されている。したがって、当該流域上流からの供給土砂は細粒であるため下流まで流送されやすく、その結果として谷底平野が発達し難く、谷底幅の狭いV字谷となったものと推察される。

このような地形的特徴を有する妙見川および奈良ヶ谷川において、平成29年7月の豪雨により多数の斜面崩壊や地すべりによる土砂災害、ならびに河川氾濫による水害が発生した。国土地理院による正射画像判読図⁸⁾より、土砂災害は左岸斜面に多くみられる傾向にあり、異方性のある地質構造、すなわち流れ盤構造の影響を大きく受けた結果と考えられる。とくに斜面の被害が大きかった箇所は、妙見川では中流の山坂から上流へ向かい東に分岐する支川の左岸斜面であり、初生的な大規模岩盤地すべりの発生も認められた⁹⁾。奈良ヶ谷川においても、左岸側緩斜面に樹枝状に発達する支川沿いの斜面崩壊が卓越して認められた⁸⁾。

これらの崩壊土砂を伴う大量の水が本川に供給された結果、底幅の狭い谷は著しい土石の堆積により埋積し、大きな地形変化が生じた(図4.2.1-3, 図4.2.1-4)。妙見川や奈良ヶ谷川流域の谷の発達を見る限りでは、過去にも同様な規模の土砂災害や水害はあったものと考えられ、その度に本川谷底は土砂で埋積されたと思われるが、その後の侵食により谷底堆積低地は深く下刻され、谷底幅が狭くなっていったものと推察される。大規模な豪雨災害の発生から時間が経過するほど、その痕跡を残す地形は保存されず、新たな侵食あるいは堆積地形が形成されることとなる。このため、妙見川や奈良ヶ谷川のような流域では、地形から過去の災害を想像することは困難であったものとする。それゆえ、予め安全な場所に居を構えるなどの予防措置を取ることも極めて難しい。しかしながら、当該流域のような狭い谷底低地では、豪雨時に危険にさらされることは自明である。

中山間地域では、このような狭隘な谷底低地を利用した宅地や耕作地が多く存在するため、豪雨時の出水による被災を前提とした避難行動を取ることが重要である。



図 4. 2. 1-3 妙見川中流の被災前後の比較(文献 4)に加筆)

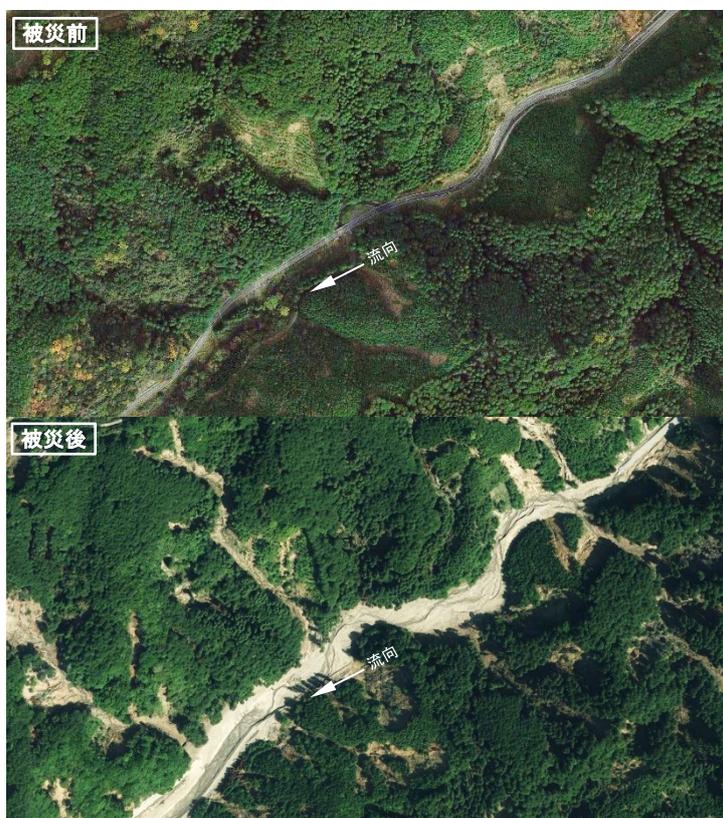


図 4. 2. 1-4 奈良ヶ谷川中流の被災前後の比較(文献 4)に加筆)

3) 北川および乙石川流域

北川および乙石川は、主に花崗閃緑岩分布域を開析する河谷である。マサ土に代表されるように、花崗岩類の風化土は侵食を受けやすい特性をもつ。このため、当該流域の斜面は侵食を強く受け起伏の小さな丘陵をなす。また、河川に供給される土砂量が多くなるため幅広い谷底低地を形成するなど、妙見川など泥質片岩分布域とは異なる地形的特徴がみられる。

北川は、麻底良山や堂所を頂きとした北東-南西方向に伸びる尾根に挟まれた幅広い流域をもつ。流域内の地形起伏量は全体的に小さく、梅ヶ谷付近の中流より下流では谷底低地幅が 50~100m 程度と広い特徴がみられる。

土地利用としては、梅ヶ谷より上流の山裾に広がる緩斜面は、主に宅地や果樹園に利用され、そこより 1 段下がる谷底低地には主に水田がつくられる。梅ヶ谷より下流では谷が

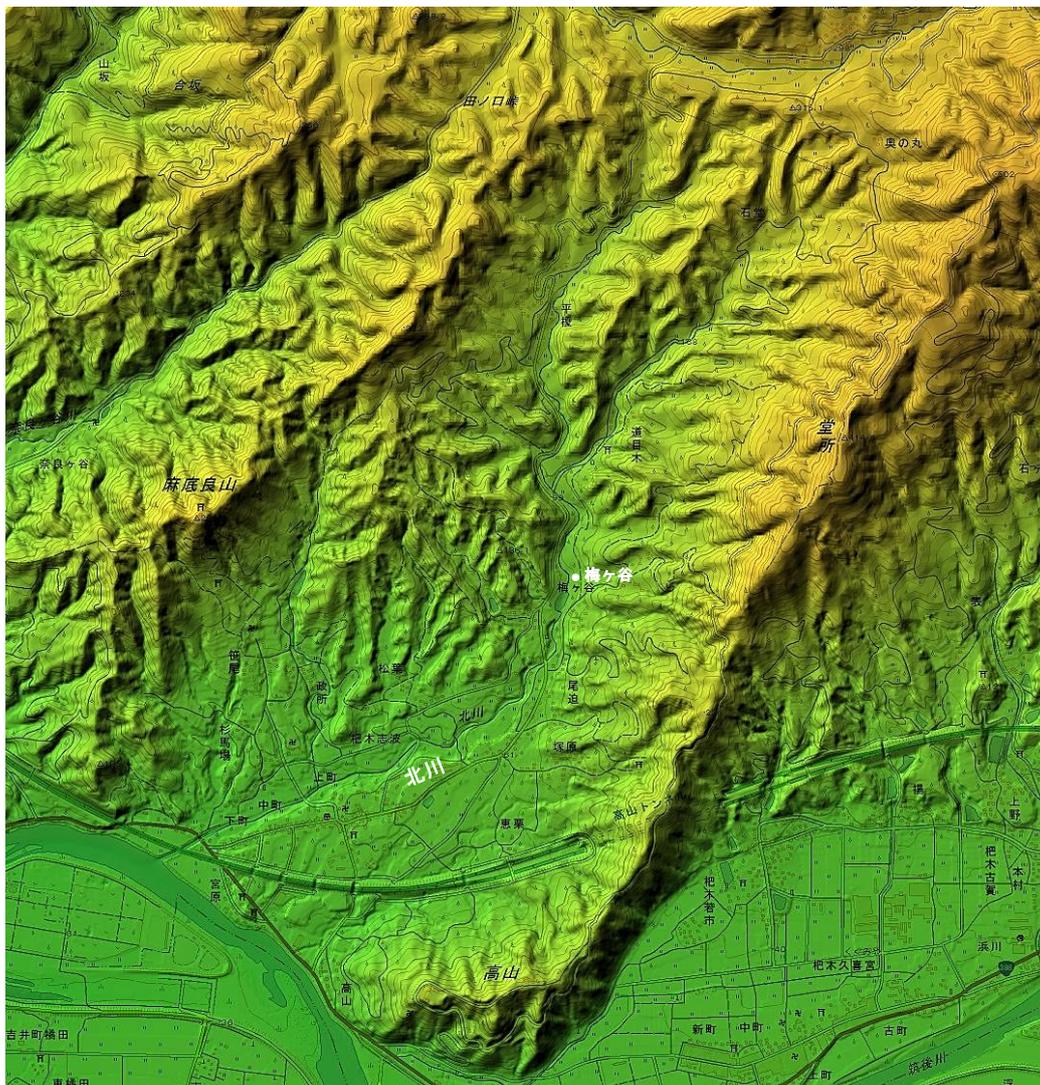


図 4. 2. 1-5 北川流域の地形(文献 4)に加筆

開け、河川両岸に堆積段丘が現れる。段丘上には宅地のほか、一般に水捌げが良いこともあり果樹園が多くみられる。一部、旧河道と思しき溝状低地には水田が広がる。

山裾に広がる緩斜面は、主に繰り返される斜面崩壊による崩積土の堆積か、あるいは土石流に伴う沖積錐により形成されたものであろう。その末端から河岸に至るまでの一部には、主に高水時の侵食あるいは堆積にともなう河成段丘が発達する。これらの地形の形成要因を考えると、緩斜面ではその背後斜面の崩壊リスクがあり、河成段丘付近では数十年から数百年に一回という頻度の大出水時に水害を受ける可能性があると考えられる。

また、梅ヶ谷より下流では河成堆積段丘が発達するため、段丘上は比較的安全と思われるが、部分的に旧河道もみられることから、やはり数十年から数百年に一回という頻度の大出水により段丘上も浸水する可能性があるため注意が必要である。とくに、北川下流は高山から伸びる尾根が西に張り出す影響により、南流する河道が南西方向に曲げられている。このため、大出水時には左岸の河成段丘上も浸水するなどの水害が及ぶ恐れがある。

平成 29 年 7 月の九州北部豪雨では、北川下流の段丘上は水害を免れたが(図 4.2.1-6)、恵栗の西方には過去の水害時の旧河道と思われる溝状の微低地が数本認められる。このため、恵栗西方の集落は豪雨時に早期避難が必要な地区であるといえよう。

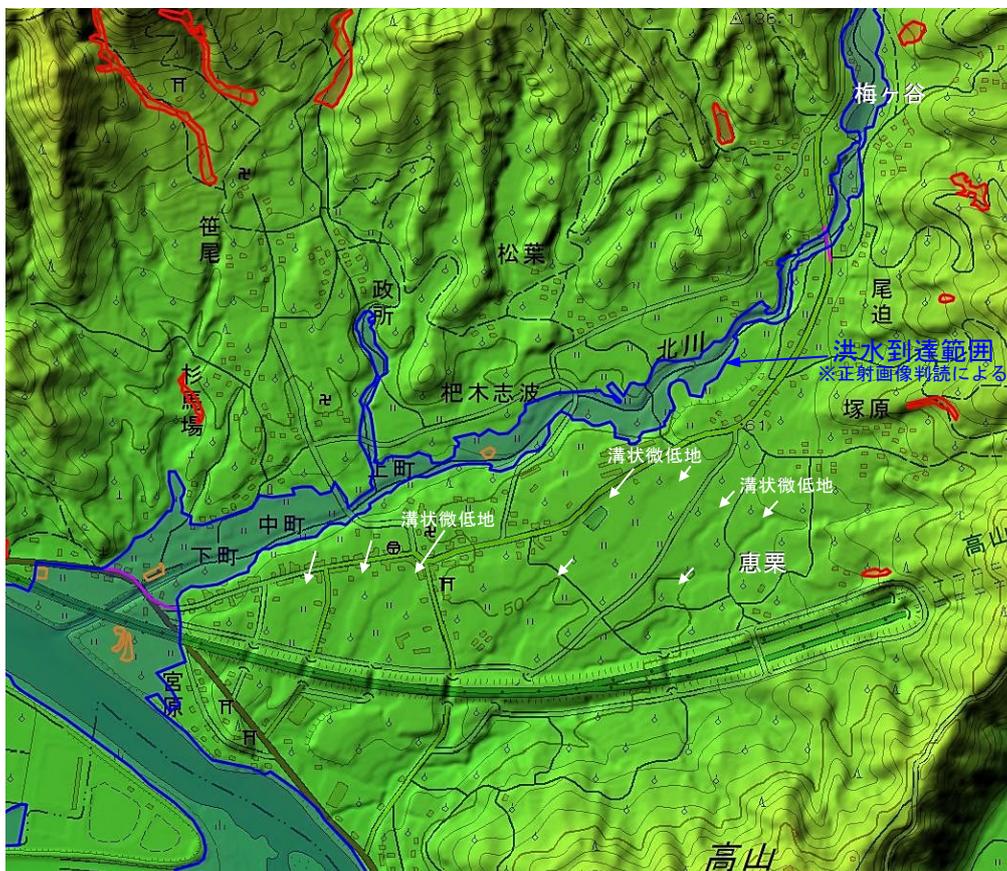


図 4.2.1-6 北川下流の地形と H29.7 豪雨時の洪水到達範囲(文献 4)に加筆)

乙石川も花崗閃緑岩分布域の開析谷であるため、谷底には幅広い堆積低地が形成される傾向にある。中流域の中村より下流では、谷底幅は広いところで 150m 程度である。このように宅地や耕作の立地に適した低地が河川に沿うため、河川沿いに集落や水田が比較的多くみられる。

流域をなす山地斜面は、左岸側と右岸側とでその特徴が異なる。左岸側には、小岳山 (496.4m) から北東に広がる南西向き斜面が面しているが、南北方向の侵食谷が卓越する。一方右岸側には、米山 (590.9m) を頂きとする山地の北東向き斜面が面し、こちらは侵食谷が東西方向に発達する傾向が認められる。これらの侵食谷は、斜面の落水線と斜交することから、地質の脆弱部に刻まれた谷である可能性が高い。おそらく、花崗閃緑岩に内在する節理や活構造に伴う規則的な亀裂系が、南北方向とそれに直交する東西方向に発達しており、それらに沿った風化が早かったためと思われる。

これらの支谷や斜面からは、主に風化花崗閃緑岩起源の土砂が多量に谷底に供給され、その結果、乙石川の中流から下流では幅広い谷底堆積低地がつけられ、山裾では沖積錐や崩積土による緩斜面が形成されることとなったのであろう。

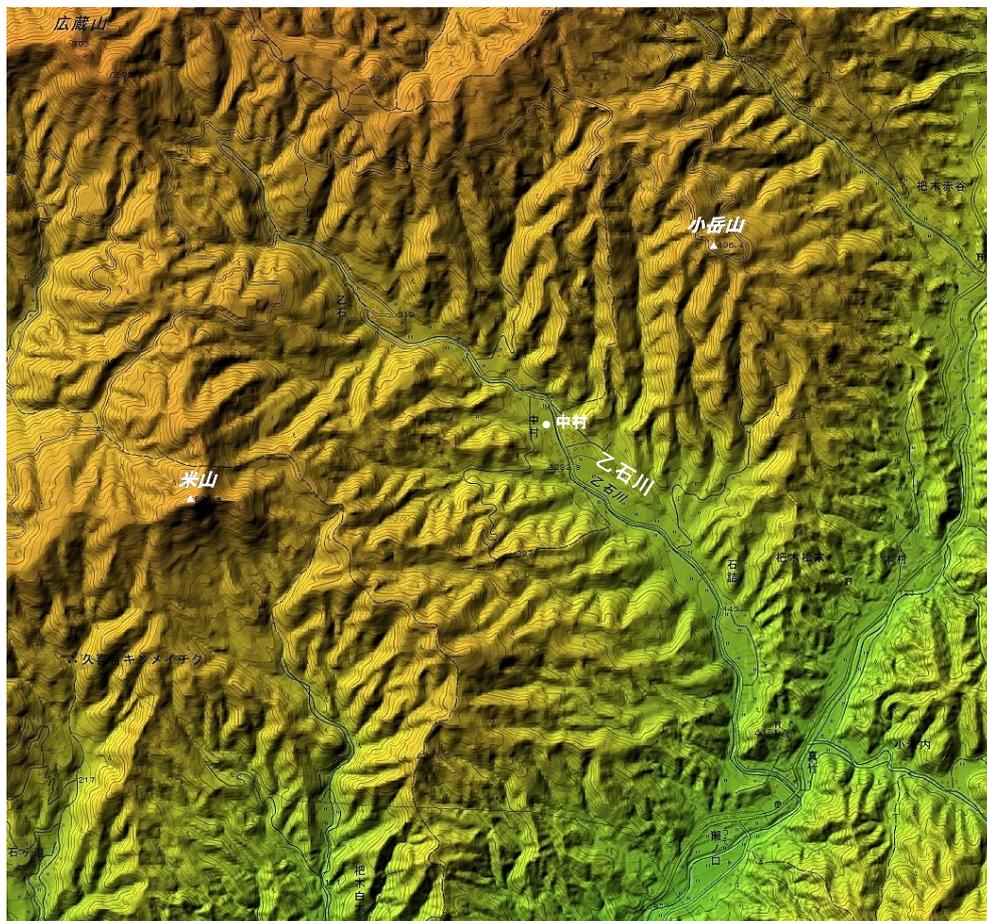


図 4. 2. 1-7 乙石川流域の地形(文献 4)に加筆)

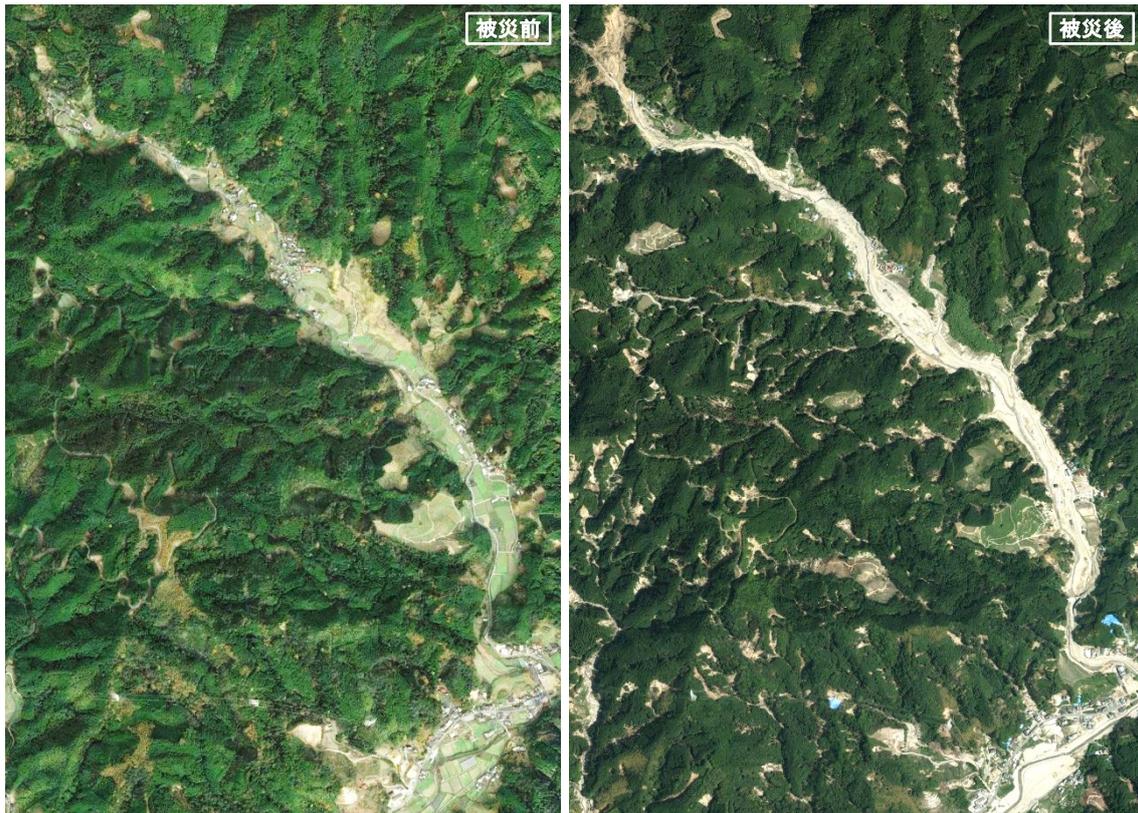


図 4.2.1-8 乙石川流域の被災前後の空中写真比較⁴⁾

乙石川中流から下流にかけての谷底低地幅の広さから、これまでも大出水が繰り返されてきたものと考えられる。矢野ら¹⁰⁾による乙石川流域での土石流堆積物調査では、過去少なくとも3回以上の土石流が発生していることを確認しており、地形的特徴を裏付ける。また、乙石川下流端にはボトルネック状の地形が認められることから、その上流で土砂が堆積しやすい環境にあったものと思われ、このことも乙石川の谷底低地幅を広げた要因と考えられる。

平成29年7月の九州北部豪雨による被災前後の空中写真を比較すると(図4.2.1-8)、山裾のわずかな微高地で被害を免れた住居がいくつか認められるが、谷底低地全体にわたり洪水が到達し、宅地や耕作地がかつて存在した場所には石礫が堆積し、被災前の面影が一切認められないほど甚大な被害を被ったことがわかる。

被災前における乙石川沿いの土地利用は、中山間地域の典型ともいえよう。中山間地域において利用しやすい地形は、大規模な豪雨災害が繰り返され、つくられたものである場合が多い。規模の大きな豪雨災害が発生する時間間隔は、数十年から数百年程度であろうと思われ、その間隔は決して短くはない。しかし、人生で被災する確率を考えた場合、それほど低い確率ではなく、また、災害発生時には人命が失われるなどの被害の大きさを考

えると、中山間地域で暮らす場合の豪雨災害に対するリスクは大きい。地形から得られる情報を活用して、中山間地域での土地利用や避難行動を考えることが極めて重要と考える。

(2) 地質的特徴

2017年7月5日に、福岡県朝倉地方から大分県日田地方にかけて梅雨前線が停滞したために集中豪雨が発生し、その結果土砂災害が多発した。図4.2.1-9に地質図に7月5日の降水量を重ねた図を示す。

図に示すように、西半分は福岡側と東半分は大分側に降水量700 mm以上のコンターが描かれているが、その範囲は、西側は泥質片岩、東側は火山岩類が占めている。しかし、図中の黄色で示す被害状況箇所は紫色で示す花崗閃緑岩分布地とその周辺に多く発生している。そこでこの節では福岡県側の花崗閃緑岩分布地とその周辺、その中でも朝倉市の乙石川における地盤の特徴を述べる。

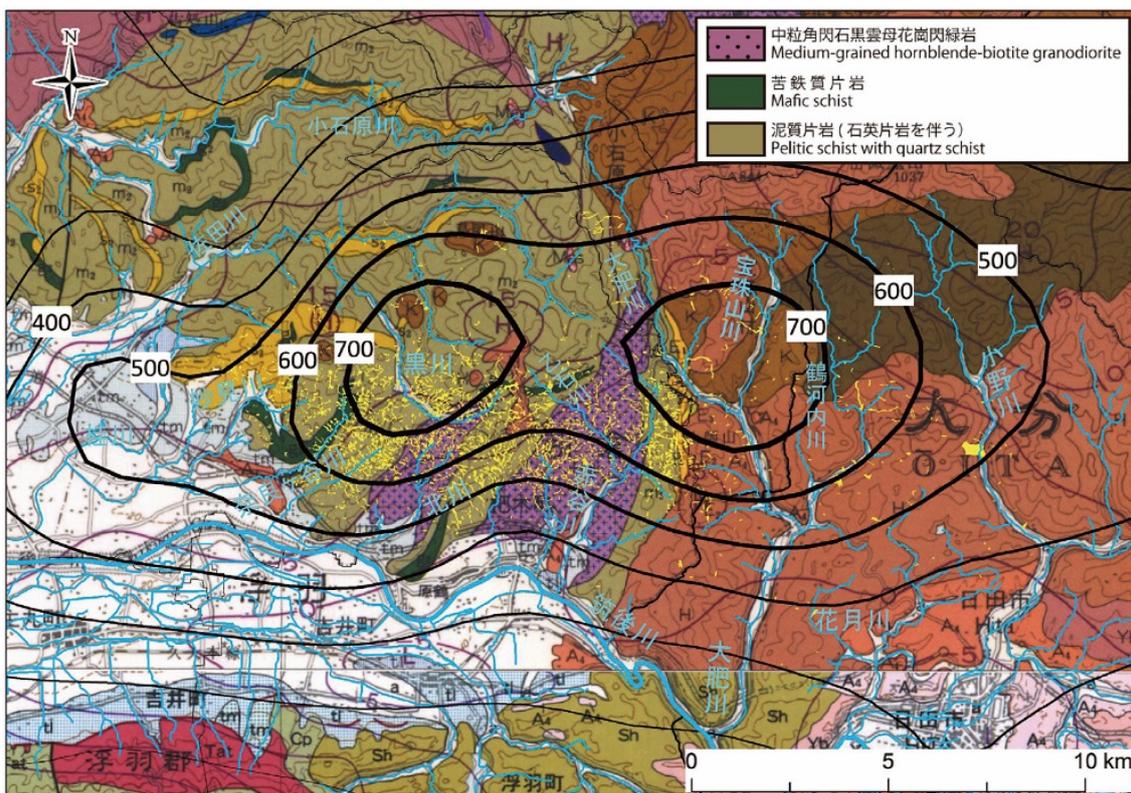


図 4.2.1-9 地質図と 2017 年 7 月 5 日の日降水量の重ね図¹¹⁾

1) 花崗閃緑岩の地質的特徴

北野ら¹²⁾によると福岡県朝倉地域の南東部には、中生代白亜紀の杷木花崗閃緑岩が中生代ジュラ紀の泥質片岩を主体とする周防変成岩類に貫入しており、その東側から隣県の大

分県には古第三紀の堆積岩類や新第三紀の火山岩類が広く分布する。

杷木花崗閃緑岩は新鮮な部分は**写真 4. 2. 1-1** に示すように、白色で割れ目が無く、シュミットロックハンマーの反発度（以後 R と略す）は最高で 70 以上の非常に硬い岩体である。



写真 4. 2. 1-1 乙石川右岸の花崗閃緑岩の新鮮部(赤石川合流点から 2.9km 地点)

岩石学的特徴は、その造岩鉱物で一つである斜長石の組成が、一般的な花崗岩に含まれる斜長石に対してカルシウム分をやや多く含んでいることである。また、斜長石は造岩鉱物の中で風化が非常に速いことも特徴的であり、風化すると細粒化（粘土化）する傾向にある。古川ら¹³⁾は朝倉で採取した土試料を用いて粒度試験を行っている。その中で花崗閃緑岩が分布する 2 箇所（白木谷川、北川）で採取した試料では約 50%以上の細粒分を含んでいるが、乙石川で採取した試料は細粒分を多く含んでいた（**図 4. 2. 1-10**）。

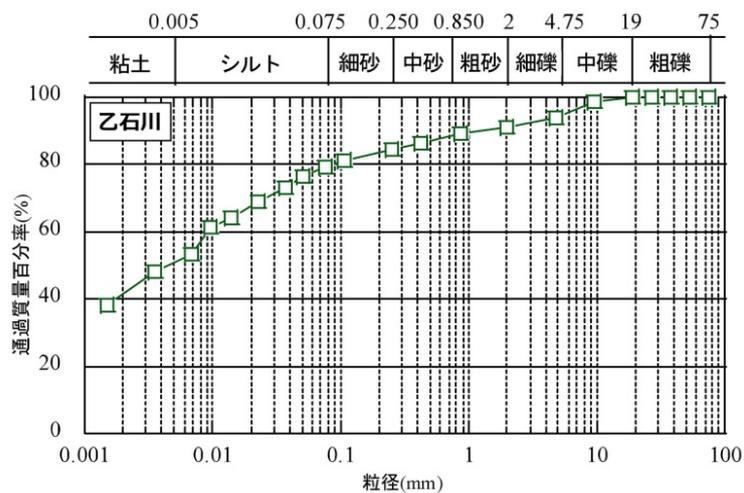


図 4. 2. 1-10 乙石川の粒径加積曲線¹³⁾

2) 風化の状況

花崗閃緑岩を含めた花崗岩類は、マグマからの冷却時にできた直方体の割れ目に沿って風化が始まり、鉱物の細粒化や鉱物間の分離が進行していわゆるマサ土化していく。図 4.2.1-11 に一般的な花崗岩の風化を示す。

乙石川沿いでも、このような典型的な直方体の割れ目が観察された（写真 4.2.1-2）。

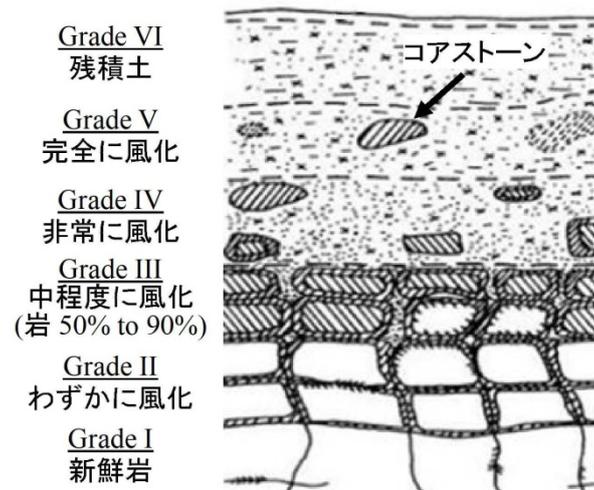


図 4.2.1-11 花崗岩の風化特性の分類¹⁴⁾



写真 4.2.1-2 花崗閃緑岩の直方体の割れ目状況(赤石川合流点から 3.0km 地点)
コアストーンの R=42~56

風化が進行したマサ土の崩壊状況は箇所異なる。写真 4.2.1-3 は赤石川合流点から上流 2.7km 地点の左岸崩壊面である。下部には $R=10\sim62$ の岩盤が観察されるが、上部に向かってマサ土化が進み、その途中にはコアストーンが観察される。崩壊深は $d=1\text{m}\sim2\text{m}$ 程度とみられ、表層が滑り落ちた外観を示す。



写真 4.2.1-3 斜面崩壊(赤石川合流点から 2.7km 地点)

一方、写真 4.2.1-4 は赤石川合流点から上流 0.7~0.9km 地点の右岸崩壊面である。河床沿い及び斜面沿いに幅広く崩壊面が連続する。崩壊深は最大でも $d=3\text{m}$ 程度である。

なお、小安ら¹⁵⁾は谷状地形での比較的深い崩壊 ($d=3\text{m}$ 以上?) が観察されたことを報告している。



写真 4.2.1-4 斜面崩壊(赤石川合流点から 0.7-0.9km 地点)

3) 断層

乙石川の花崗閃緑岩分布域では、直接影響を与えている断層露頭は観察されない。ところが赤石川合流点からやや西寄りの北西に約4km地点の黒川右岸の真竹地区において、花崗閃緑岩と周防変成岩類の泥質片岩が指交している境界付近で、断層を含む崩壊が確認された。写真4.2.1-5に示すように、断層（N10~20° E, 84E~90°）に向かって左側に花崗閃緑岩類、右側に泥質片岩が広く露頭し、断層右側の泥質片岩には花崗閃緑岩が貫入状に露頭する（写真4.2.1-6）。

崩壊面の規模は幅 W=20m、高さ H=25m 程度で、比較的浅い表層崩壊である。断層がどのような影響を与えたかは不明であるが、元の地形が谷状地形を示していたことから、表面水が集水しやすい条件であったと判断される。



写真 4. 2. 1-5 斜面崩壊 (赤石川合流点から 4km 北隣の黒川右岸)

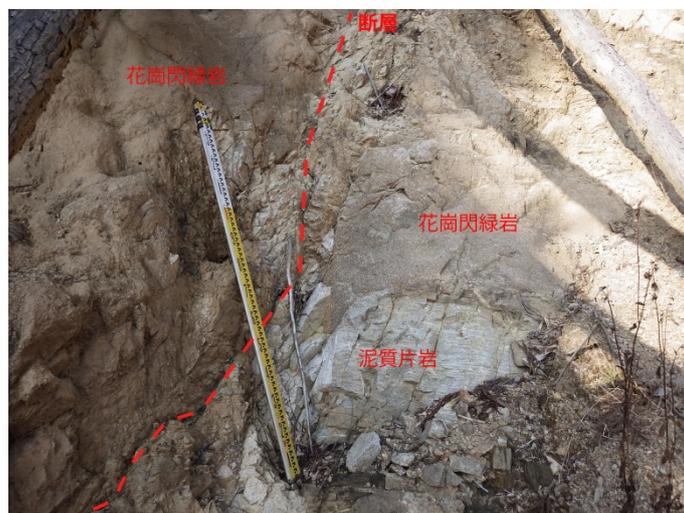


写真 4. 2. 1-6 断層箇所拡大

4) 割れ目

乙石川沿いの花崗閃緑岩には、風化で生じる割れ目以外のものも観察される。図 4. 2. 1-12 に示す赤石川合流点から 1.4km 地点の、出水で流向が変わった乙石川右岸で観察される割れ目は、低角の連続する割れ目とその周囲に割れ目が密集している（写真 4. 2. 1-7）。図で見ると右岸側の地形は河川に凸状に突き出した尾根斜面であり、斜面上位には谷地形がみられる。地すべり地形の岩盤地すべりの特徴に一致するという特徴がある。

矢ヶ部ら¹⁶⁾は乙石川で見られる低角の割れ目に対してはスラストの可能性を示唆している。



図 4. 2. 1-12 乙石川の右岸河床に見られる低角の割れ目の位置



写真 4. 2. 1-7 低角の連続する割れ目(赤石川合流点から 1.4km 右岸)

5) 土石流堆積物

斜面崩壊は中山間地域の宅地付近など山麓で起こり直接的な被害を与える災害だが、土石流は中山間地域外の山地で発生し、土石を伴った濁流が人家等を襲う災害である。

乙石川にも土石流の痕跡を示す堆積物がいくつか観察される。

写真 4. 2. 1-8 は、福岡県土整備部土木課が発表している土砂災害警戒区域等マップで発表している 3 つの溪流が合流する地点の堆積物である。最大でφ2m 程度を示す硬質な花崗閃緑岩の亜角礫を含み、その周りの基質はオニマサ状の粗い粗粒土を多く含む土砂である。この堆積物が 3 つのうちどのどの溪流の堆積物かは判断できない。

また、土石流が過去に何度も発生したことを示す露頭が、乙石川の多数の箇所観察される。写真 4. 2. 1-9 は赤石川合流点から 2.4km 地点の乙石川左岸河床の露頭である。大きな礫を含む土石流時の堆積物の層と、間土石流発生時の通常流下の礫の少ない層が互層になって観察される。



写真 4. 2. 1-8 土石流堆積物(赤石川合流点から 1.4km 地点左岸からの溪流合流地点)



写真 4. 2. 1-9 土石流堆積物(赤石川合流点から 2.4km 地点)

6) 宅地地盤

乙石川の谷底低地は宅地に利用されているが、岩盤を基礎としておらず、そのほとんどは前述した土石流堆積物を基礎としている。写真 4.2.1-10 は赤石川合流点から上流 2.3km 地点の宅地地盤被災箇所である。木造家屋の独立基礎を採用するには十分な地耐力を有するぐらい締まっていたと判断される。しかし、被災時には土石流に側方を浸食されたと判断される。撮影は 2019/3/3 であるが、1 年半以上、ほぼ被災時のまま残っているのは、マサ土が細粒土を多く含んでおり粘着力を有する（ただの礫層であれば、粘着力がないため急な斜面は崩壊する）ためと判断される。



写真 4.2.1-10 土石流堆積物(赤石川合流点から 2.3km 地点)

7) 花崗閃緑岩周辺部の大規模崩壊

乙石川最大の崩壊箇所は、既往の地質図（図 4.2.1-9）で示されている花崗閃緑岩周辺部の周防変成岩類との地質境界の変成岩類側で発生している（図 4.2.1-13, 写真 4.2.1-11）。

福岡県の土砂災害警戒区域等マップでは、1つの地すべり指定地の中に2つの地すべりを公示しているが、今回発生した地すべりは、その上流側のブロック範囲を広く超えている。矢ヶ部ら¹⁶⁾は、崩壊幅は最大110m、斜長で250m前後、崩壊深を10m以上と報告しており、その崩壊原因を断層の存在や繰返しの崩壊履歴を示唆している。また、千木良¹⁷⁾は、変成岩中に見られる断層ガウジの遮水効果を考慮しており、両者とも深層崩壊ということ述べている。

崩壊地の周辺はスギの植林が営まれており、崩壊は樹木根系の伸長の限界をはるかに超えた深い位置で発生している。また滑落崖の周囲の地形には、地表の変動の履歴を示す急崖や遷急線・遷緩線、および亀裂等が観察され、さらに崩壊地の左側側壁においては花崗閃緑岩の露頭（写真 4.2.1-12, 写真 4.2.1-13）が観察される。

以上のことより、実際の花崗閃緑岩と変成岩類の地質境界は、既往地質図よりも西側にずれていることから、今回の崩壊が単純な変成岩類分布地の崩壊ではないといえ、性質の異なった岩相が複雑な分布を示す境界部付近に断層の影響が加わった脆弱部が、今回の豪雨で大規模に崩壊したと判断する。

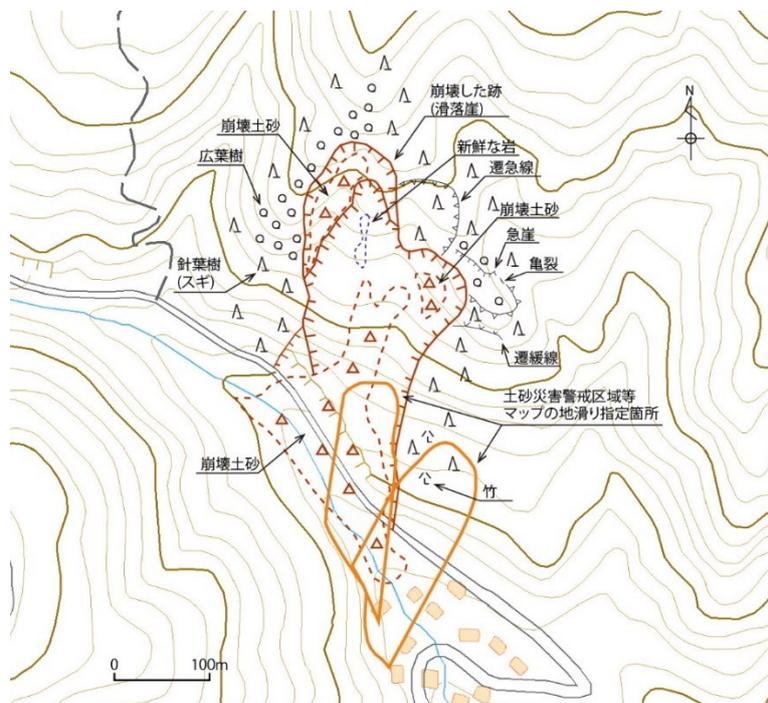


図 4.2.1-13 乙石川最大崩壊地 (赤石川合流点から 3.2km 地点左岸)



写真 4. 2. 1-11 乙石川最大崩壊地(赤石川合流点から 3. 2km 地点左岸)



写真 4. 2. 1-12
崩壊地左側壁に分布する花崗閃緑岩



写真 4. 2. 1-13
花崗閃緑岩近景

4.2.2 平成 25 年伊豆大島土砂災害

本項では、火山分布地にて発生した豪雨による土砂災害事例として、平成 25 年伊豆大島土砂災害を取り上げて、災害発生現場での地形及び地質・地盤の特徴について記載する。なお、当該災害については、土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会合同による平成 25 年台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団（以下、「伊豆大島豪雨災害調査団」という）が調査を行い、その結果を「平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害調査報告書」として纏めている¹⁸⁾。本項では、この報告書を参考にしつつ、概略について記載する。

(1) 地形的特徴

1) 伊豆大島全体の地形

伊豆大島は、長径約 15km、短径約 9km の火山島で、北北西－南南東方向に伸びた形をしている。伊豆大島の全体の赤色立体地図を図 4.2.2-1 に示す¹⁸⁾。大島の北部から東部にかけての相模トラフに面する方向には、高い海食崖が発達している。山頂部には径 4km ほどのカルデラがある。カルデラ崖は北側と西側および南東側は明瞭であるが、東側は溶岩や火山灰で埋められてははっきりしない。カルデラ内の中央やや南寄りには中央火口丘である三原山がある。山頂の火口径は約 800m（これを内輪山とよぶことがある）、さらにその中央には直径約 300m の竪坑状火口がある。なお、カルデラ崖の形状から、東西に二つのカルデラが並んでいると考えられるが、東側は不明瞭である。図 4.2.2-2 は伊豆大島の東西断面を示している¹⁸⁾。カルデラの外側、外輪山の傾斜をみると、西側が急であるのに対し、東側が緩いことがわかる。また、カルデラの内側はほとんど埋められていること、三原山の中央竪穴火口底の高度が著しく低いこともわかる。伊豆大島島内には多数の割れ目火口や側火山が知られている。いずれも北西-南東方向に伸びる傾向がある。この方向は、相模トラフの伸びの方向とほぼ並行であり、伊豆大島に加わっている近くの応力、すなわちフィリピン海プレートが押している方向を示していると言われている¹⁹⁾。1986 年噴火の際に生じた、B 火口列や C 火口列の方向も例外ではなく、北西－南東方向に伸びている。後述する Y5 火口の伸びも同様に北西－南東方向である。

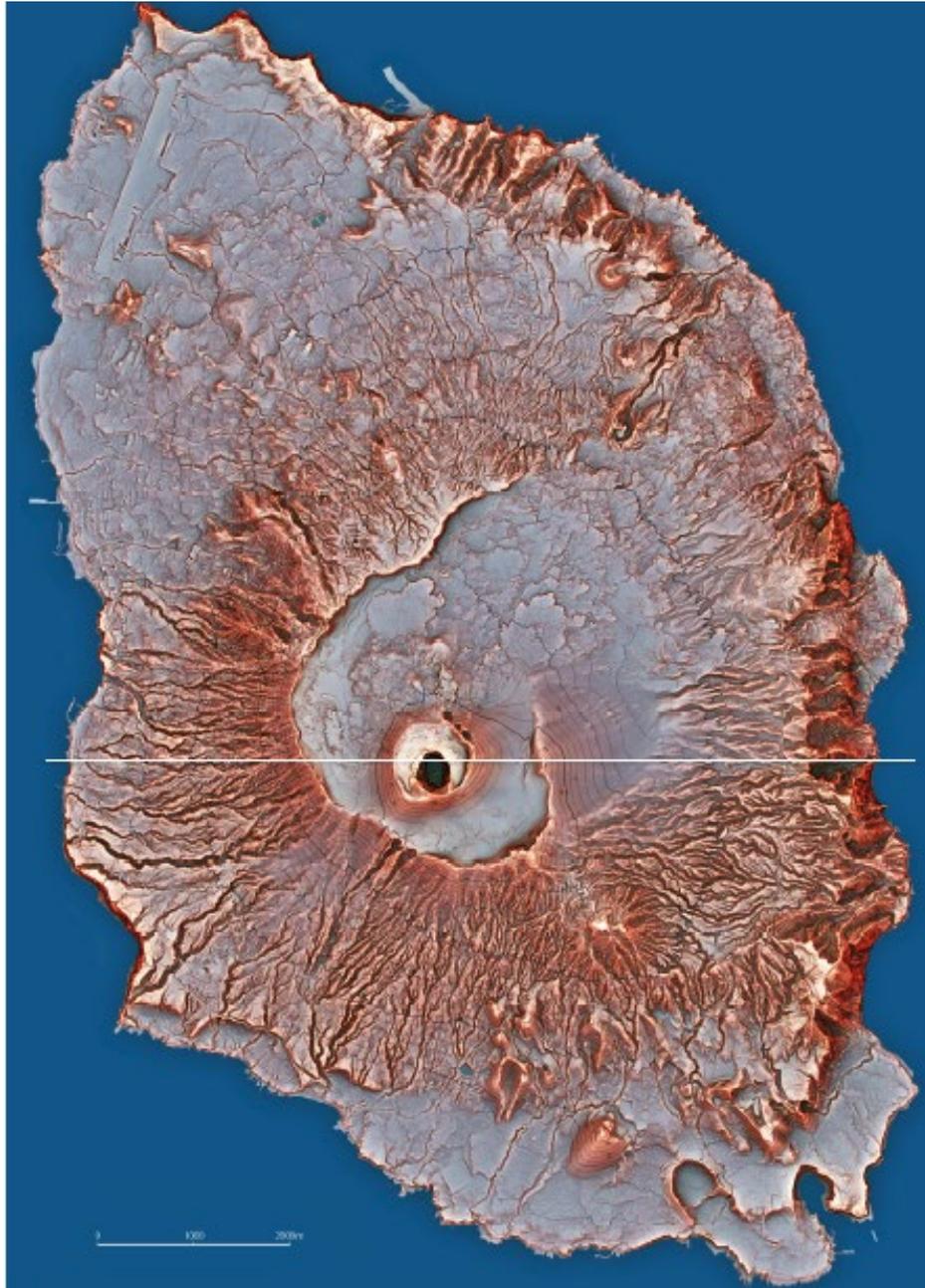


図4.2.2-1 伊豆大島全体赤色立体地図¹⁸⁾
 図4.2.2-2の東西断面の位置を白線で示す

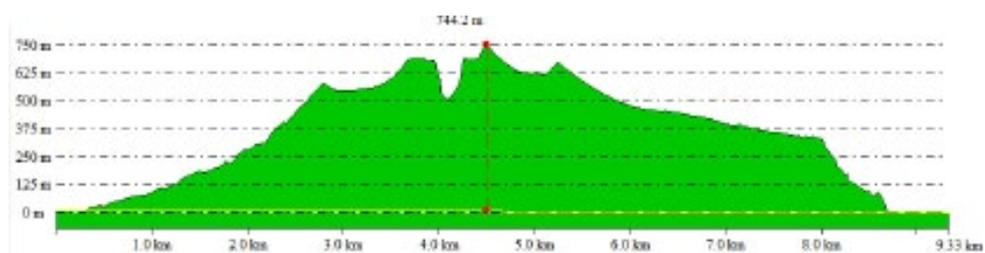


図4.2.2-2 伊豆大島東西断面図¹⁸⁾
 断面図上での最高点は、三原山剣が峰付近で標高約750mである

2) 元町周辺の地形と土砂移動範囲

H25 伊豆大島土砂災害は、元町の東側にある外輪山斜面で発生した。この付近には、14世紀の噴火による（Y5の時代）の火砕丘や割れ目火口が、北西方向に張り出すように伸びており、その西側斜面に表層崩壊が集中した。周辺の外輪山とは異なり、新しい噴出物で覆われているため、谷が浅い急斜面となっていた。図 4.2.2-3 に、元町付近の赤色立体地図鳥瞰図を示す。また、図 4.2.2-4 に、写真判読などによって作成された土砂移動分布図を示す。この図は、発生後の斜め写真とレーザ計測による 1mDEM の赤色立体地図および地形変化量図を総合的に判断して作成した平面図を、図 4.2.2-3 の鳥瞰図に重ねて表示したものである²⁰⁾。緑色の部分が、表層崩壊発生域および土砂移動域であり、必ずしも土砂の堆積域を示す物ではない。なお、赤紫色の部分は、流木が特に集積した部分で、砂防ダムと重なっているところが多い。この図から外輪山斜面で発生した崩壊土砂の、移動経路と地形の関係が把握できる。谷地形がよく発達している場合は、最上流部で表層崩壊が発生しているにもかかわらず、下流域で土砂氾濫がほとんど起きていないことがわかる。判読に使用された、斜め写真や赤色立体地図鳥瞰図、地形変化量鳥瞰図を図 4.2.2-5 に示す。

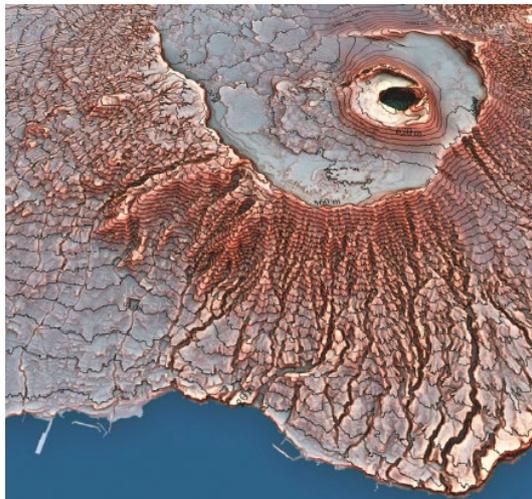


図 4.2.2-3 伊豆大島西部赤色立体鳥瞰

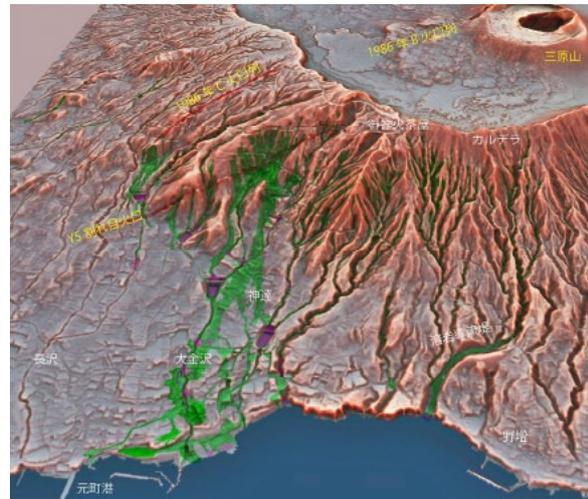
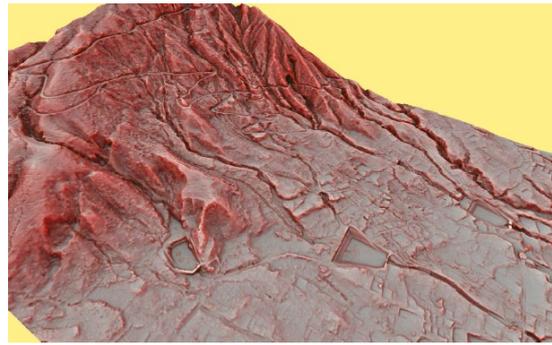


図 4.2.2-4 2013 伊豆大島災害判読図²⁰⁾

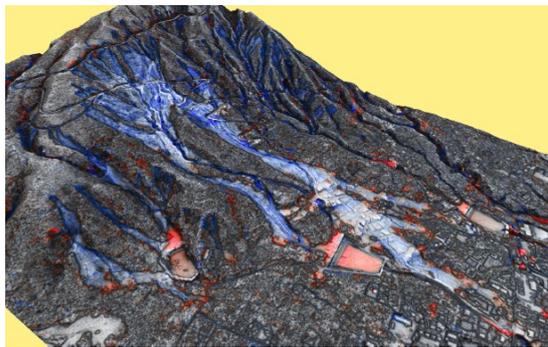
図



(1) 斜め写真 2013/10/17 アジア航測撮影



(2) 発生後のレーザ計測による DEM 赤色立体地図鳥瞰図 H25 東京都計測



(3) 発生後のレーザ計測による DSM 灰色立体地図に 1mDEM の差分値を重ねた鳥瞰図

図 4. 2. 2-5 図 4. 2. 2-4 の判読に使用された斜め写真および鳥瞰図

(2) 地質的特徴

1) 伊豆大島全体の地形

伊豆大島の地質図を図 4. 2. 2-6 に示す²¹⁾。島の北海岸から東海岸にかけて、岡田火山、行者窟火山、筆島火山が分布している。これらの火山の活動年代はわかっていないが、新第三紀鮮新世末から第四紀更新世と考えられている。伊豆大島火山はカルデラ形成前の先カルデラ火山と、カルデラ形成後の火山に区分できる。先カルデラ火山は約 3~4 万年に海底噴火活動で始まり、粗粒な火砕物を主とし、少量の玄武岩溶岩流、降下火砕物を伴う先カルデラ火山古期山体（泉津層群）が形成された。先カルデラ火山の新期山体（古期大島層群）の活動は約 2 万年前から始まる。主に降下スコリア堆積物、と黄褐色の風化火山灰の互層からなる。平均噴火間隔は 150 年ほどと考えられている。いくつかの部層には山頂での大規模な水蒸気爆発によると考えられる火山豆石、角礫を含むものがある。伊豆大島火山のカルデラ地形は複数のカルデラの重なりが認められる。最後のカルデラは約 1300-1500 年前に起こった山頂部での爆発的噴火で形成された。この噴火では島のほぼ全域に火

碎流を流下させている。

新期大島層群は、全体的に灰色ないしは黒色を呈する。降下火砕物と風化火山灰層（レス）の互層である。Nakamuraはこれらの地層について、火山噴火の周期性に着目してスコリアから始まるマグマ噴火と、火山砂堆積、風化火山灰の堆積を1ユニットとして命名した（図4.2.2-7）²²⁾。したがって、Y5というユニットには、最上部の黄土色のレスを含むことになる。小山・早川は、この地層命名基準は、国内外の他の火山の地層命名規準とは異なると指摘した²³⁾。その上で、地層ユニット名から、噴火休止期の堆積物を除外し、降下火砕物のみについてY5.0などの名称をあたえ。また、上位の降下火砕物との間の風化火山灰層は、層厚の変化傾向から、伊豆大島起源ではなく、遠方から飛来した「レス」であることを明らかにした。

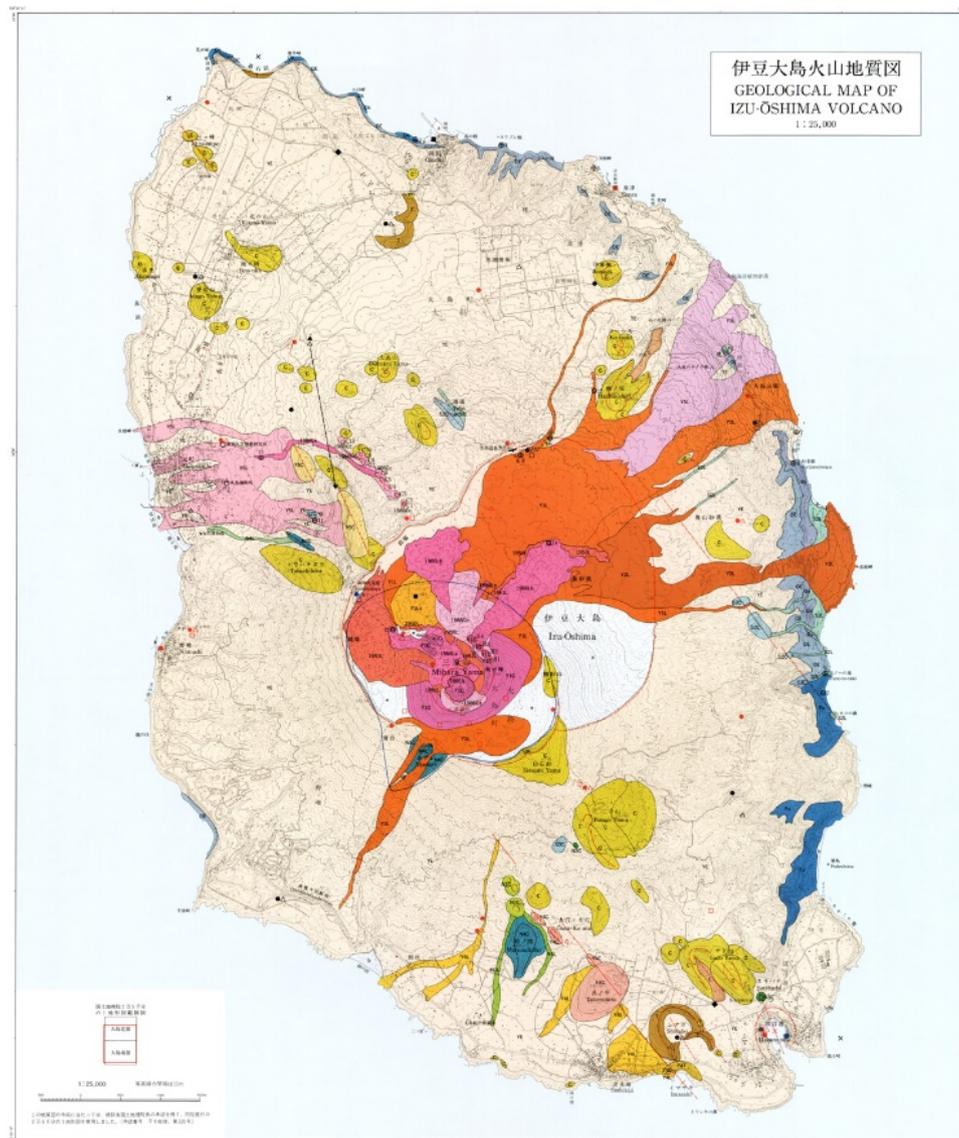


図 4.2.2-6 伊豆大島火山地質図²¹⁾

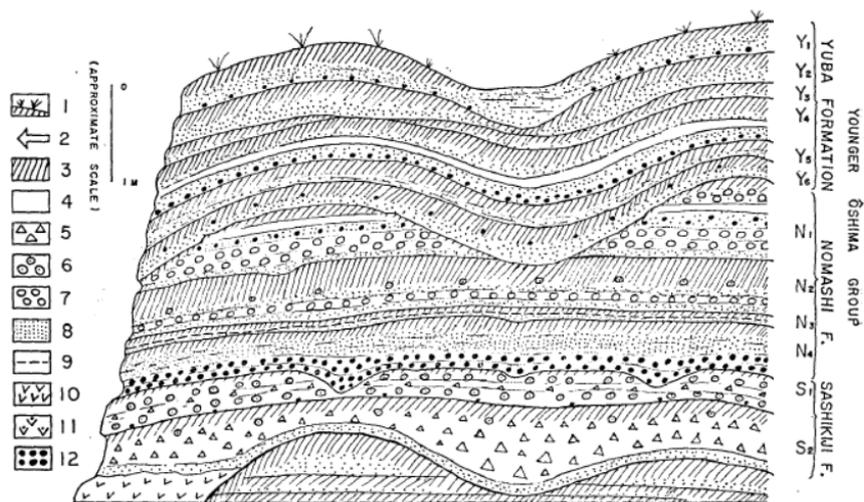


Fig. 6. An idealized sketch of an exposure on the mid-slope of the main cone (Nakamura, 1960).

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 1: present ground surface. | 2: horizon of pottery remains |
| 3: weathered ash or soil | 4: fine volcanic ash |
| 5: tuff breccia | 6: accretionary lapilli tuff |
| 7: rounded lithic lapilli | 8: coarse volcanic ash |
| 9: rhyolite ash | 10: lava-flow |
| 11: agglutinated driblet | 12: scoria-fall |

図4.2.2-7 新期大島層群 Nakamuraによる模式柱状図²²⁾

2) 元町周辺の地質

H25伊豆大島土砂災害は、元町の東側にある外輪山斜面で発生した。伊豆大島豪雨災害調査団は、災害発生後に発生域から堆積域にかけての現地調査を行った¹⁸⁾。その結果、災害発生域付近には、Y5.2の時期の割れ目火口と火砕丘、溶岩流（元町溶岩流）の分布が確認された。また、Y5の火口列としてレーザ計測により推定されていた位置において割れ目火口を示す露頭を確認している（写真4.2.2-1）。H25伊豆大島土砂災害で生じた道路の法面の崩壊地では、新期大島層群のY1とY4降下火山灰中にパイピングが認められた。このパイピングが崩壊発生の要因と考えられる（写真4.2.2-2）。また、土砂が氾濫堆積する過程で、各所でガリーが形成され、ガリーの崖には過去の土石流堆積物が表れていることも確認された（写真4.2.2-3）。



写真4. 2. 2-1 Y5の割れ目火口の露頭¹⁸⁾
山側に傾斜する火山弾集積層がみられる



写真4. 2. 2-2 崩壊と関連するパイピングの露頭¹⁸⁾



写真4. 2. 2-3 元町溶岩流を覆う新期大島層群の内部には、土石流堆積物がはさまれている¹⁸⁾

3) 表層崩壊の地質的背景

H25伊豆大島豪雨災害での表層崩壊の直接のきっかけは、透水性の高い火山砂層とその直下の透水性の低い黄土色のレスの組み合わせであった。この組み合わせは、崩壊発生地点で広く確認できた。図4. 2. 2-8に、層準を赤矢印で示した¹⁸⁾。表層崩壊を起こしやすいのは、2つの性質をもった地層の組み合わせであることが注目される。

H25伊豆大島豪雨災害で発生した表層崩壊は、何層もの火山碎屑物が薄く斜面に平行に堆積した場所で発生していた。これと類似する状況で発生した過去の土砂災害としては、九州熊本の阿蘇カルデラ内で発生した豪雨災害（1990年²⁵⁾、2012年²⁶⁾）やイタリアナポリ近郊のSamo山で1998年に発生した土砂災害²⁷⁾がある。このように地表付近に降下火山碎屑物が堆積している類似の地質状況の地域における表層崩壊・泥流の発生事例では、伊豆大島より少ない累積雨量でも発生が確認でき、地域ごとの地形や堆積物の物性に依存すると思われる。

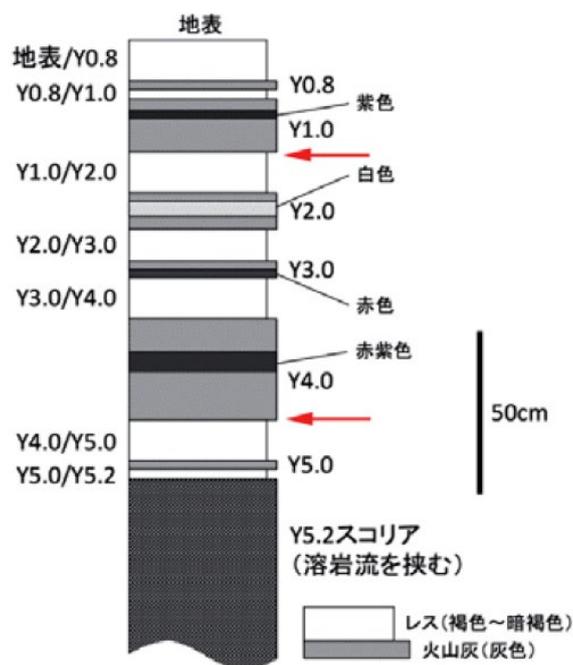


図 4. 2. 2-8 元町周辺の降下火山灰柱状図と表層崩壊層準

柱状図は小山・鈴木²⁴⁾による

赤矢印がパイピングおよび表層崩壊の多い層準¹⁸⁾

4. 2. 3 平成 23 年紀伊半島大水害

(1) 災害の概要

平成 23 年台風第 12 号は、平成 23 年（2011 年）8 月 25 日にマリアナ諸島西海上で発生し発達しながら北上して、8 月 30 日に小笠原諸島付近で「大型で強い台風」*となった。9 月 3 日には四国・中国地方に上陸して山陰沖に進み、9 月 5 日に日本海中部で温帯低気圧に変わった。台風は、大型で動きが遅かったために、長時間に渡って湿った空気が流れ込み紀伊半島を中心に大雨を降らせたことから、8 月 30 日 17 時から 9 月 5 日 24 時までの総降水量は広い範囲で 1000mm を超え、多いところでは年降水量平均値の 6 割に達した²⁸⁾。

*大型：風速 15m/s 以上の強風域の半径 500km 以上，800km 未満

強い：最大風速 33m/s 以上 44m/s 未満

主要な災害地である奈良県十津川村にある風屋アメダスの降雨の状況は、図 4. 2. 3-1 のとおりである。

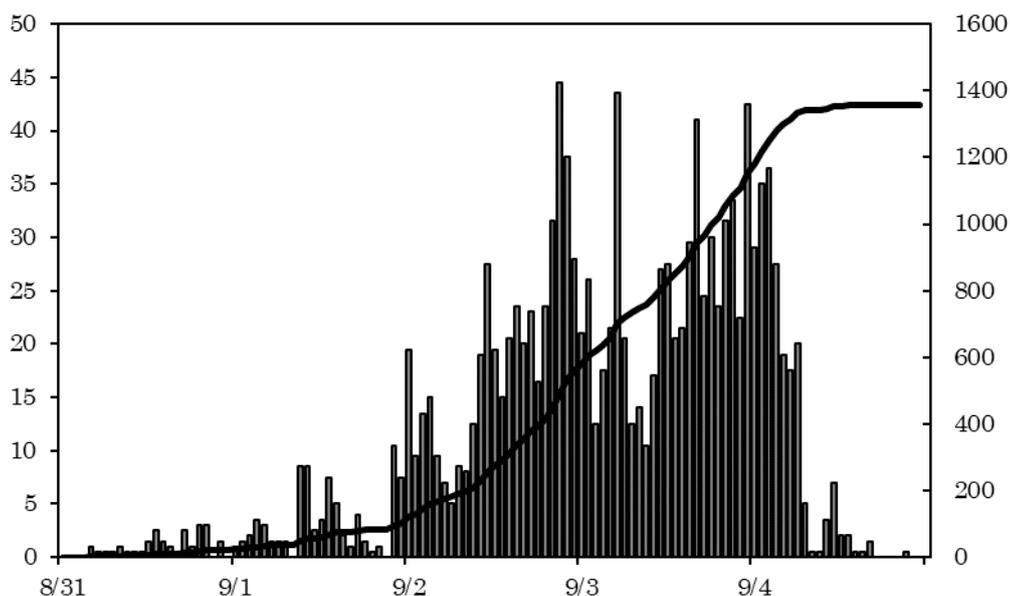


図 4.2.3-1 災害時の降雨の状況

(平成 23 年 8 月 31 日～9 月 4 日，奈良県十津川村風屋アメダス)
 棒グラフ/左横軸：時間雨量(mm) 折れ線グラフ/右横軸：累積雨量(mm)

この大雨により，紀伊半島の十津川村を中心とする山間部に，大規模な土砂災害が発生した。土砂災害による人的被害は，奈良県，和歌山県，三重県の 3 県で死者 43 名，行方不明者 13 名，全壊 98 戸，半壊 46 戸，一部破損 45 戸に達した²⁹⁾。

主な災害地である十津川村周辺は，起伏量の大きい紀伊山地に位置し付加体からなる堆積岩の分布地であり，長時間に渡る大雨により，急峻な山腹斜面に深層崩壊が多数発生し，河川に土砂が流出して，河川をせき止めて天然ダムを形成したところもみられた。また，一部で地すべり的な変状が生じた。十津川村周辺では，9 月 3 日 9 時 58 分に十津川村上湯川地区の土砂災害により 1 名が死亡したのをはじめとして，翌日の 9 月 4 日にかけて各所で災害が発生した。なお，十津川村周辺は，明治 22 年(1885 年)8 月にも，台風による大雨により深層崩壊が多数発生して死者 249 名を出しており，生活基盤を破壊された一部の住民は北海道に移住している³⁰⁾。

(2) 地形的特徴

1) 災害地の地形特性

災害地は、紀伊半島中央部を占める紀伊山地に位置するが、最高峰は標高 1915m の八経ヶ岳^{はつ}であり、主稜線の標高は 1000m を超える。地形は、谷の侵食が進んだ早壮年期の地形を呈しており、部分的に稜線部に緩斜面を残すが、急な谷壁を持つ V 字谷が大部分を占めている。

災害時に、急な谷壁を形成する斜面や小沢に深層崩壊が発生し、宅地・道路に被害を出した。稜線付近から崩落した深層崩壊は、崩壊土砂が土石流となって流下している場合が多い。また、溪岸付近に発生した深層崩壊は、蛇行している河川の攻撃斜面に発生していることが多く、溪岸侵食により不安定化していた可能性がある。



奈良県五条市大塔町宇井(10名)



奈良県十津川村野尻(8名)

写真 4.2.3-1 平成 23 年台風 12 号により発生した深層崩壊

* () 内：死者行方不明者数

2) 天然ダム形成

深層崩壊は、表層崩壊に比べて大規模であることから、図 4.2.3-2 のとおり崩壊面積、崩壊土砂量が多く³⁾、大量の崩壊土砂が流出しやすい。特に災害地は、深い V 字谷を持っていることから、大量の崩壊土砂が河川を堰き止めて天然ダムを形成して、湛水、決壊等により被害を拡大している。

宇井地区（奈良県五条市）では、熊野川の攻撃斜面に深層崩壊が発生し、崩壊土砂が対岸の集落を埋没し、崩壊土砂は一時熊野川をせき止めて上流を湛水させた。この崩壊により、死者・行方不明者 11 名を出した。

野尻地区（奈良県十津川村）では、熊野川左岸支流に深層崩壊が発生し、熊野川に押し出した崩壊土砂により、洪水流が対岸の住宅を襲い、死者・行方不明者 8 名の被害を出した。

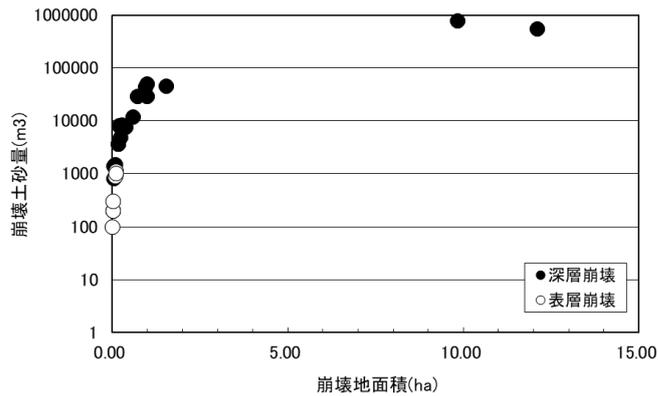


図 4.2.3-2 表層崩壊と深層崩壊の規模（2004 年，四国山地）³¹⁾

表層崩壊：森林の根系の深さより浅い崩壊
 深層崩壊：森林の根系の深さより深い崩壊

(3) 地質的特徴

1) 災害地の地質特性

主な災害地である奈良県十津川村周辺は、地質からみると中央構造線南側の西南日本外帯の四万十帯に属しており、中生代白亜紀から古第三紀にフィリピン海プレートの沈み込みにより形成された付加体である堆積岩の分布地である。

十津川村周辺では、災害時に深層崩壊が多数発生したが、砂岩頁岩互層からなるものが多く、地層の傾斜と斜面の傾斜が同一方向にある流れ盤斜面に深層崩壊が発生している傾向にある。十津川村周辺の地質構造は、局所的な褶曲を除いて、基本的に北東－南西方向の走向で北西に傾斜する地層を持つことから、深層崩壊の発生斜面は北西向き斜面に多い³²⁾。

また、崩壊地には、破碎された風化岩層や礫質の堆積層が見られるところが多く、斜面上の厚い風化物が、雨水が深部まで浸透して間隙水圧が発生して崩落したとみられる。



奈良県五条市大塔町赤谷

奈良県十津川村濁沢

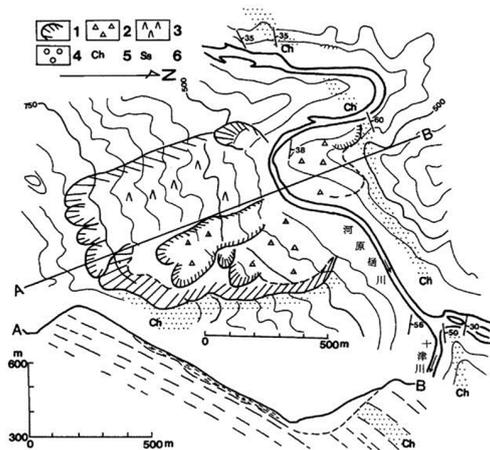
写真 4.2-1 平成 23 年台風 12 号により発生した深層崩壊

2) 明治 22 年災害の状況

災害地の十津川村周辺では、明治 22 年（1885 年）8 月 18 日～19 日に台風の影響による大雨により、深層崩壊 1147 箇所、崩壊土砂により河道を堰き止めた天然ダム（新湖）53 箇所が発生した³⁰⁾。

代表的な深層崩壊について、平野らが昭和 50 年代に行った現地調査によると、深層崩壊は、平成 23 年災害と同様に流れ盤斜面に発生しており、砂岩、チャート、緑色岩などの硬質な地層を下盤として比較的強度の小さい頁岩が崩落したとしている³³⁾。

また、図 4.2.3-3 のように明治 22 年（1885 年）に深層崩壊が発生した箇所とほぼ同じところが平成 23 年（2011 年）にも再崩落した箇所がみられる。深層崩壊は、崩壊地内に残っている崩壊土砂が再移動し滑落崖・側方崖が拡大崩壊することもあり、植生が回復しても再び崩壊する危険性あることに留意しておく必要がある。



明治 22 年発生 of 深層崩壊の状況³³⁾

平成 22 年に再崩落した深層崩壊地の状況

図 4.2.3-3 崩壊跡地の再崩落箇所（奈良県五条市大塔町清水）

3) 付加体に多い深層崩壊

付加体の岩質は一般に硬質であるが、その後の断層運動や岩盤のゆるみにより破碎され風化を受けることが多く、深層崩壊が発生しやすいと考えられる。近年の豪雨災害においても、平成16年台風10号の影響を受けた大雨による四国山地（徳島県）の災害、平成17年台風14号の大雨による宮崎県の災害において、付加体の分布地で深層崩壊が発生している。これらの災害の状況は次のとおりである。

① 平成16年台風第10号の影響を受けた大雨による災害

平成16年（2004年）7月、強い勢力を保ちながらゆっくり日本列島に近づいた台風第10号は、7月31日に高知県に上陸し、山口県に再上陸して日本海に抜けた。この台風の影響により7月30日から8月2日にかけて四国山地は大雨となった。特に徳島県那珂町では、海川（四国電力）において、国内で過去最高の日降水量1317mm（8月1日）を記録した。

このために、那珂町では深層崩壊、地すべり等が発生し、大用知地区では深層崩壊により死者2名の被害を出したほか、阿津江地区では地すべり活動が見られた。災害地の地質は、ジュラ紀に形成された玄武岩類、砂岩・泥岩互層からなる付加体（秩父帯）である³¹⁾。



写真 4. 2-2 四国山地坂州木頭川流域に発生した深層崩壊（徳島県那賀町大用知）

② 平成 17 年台風第 14 号による災害

平成 17 年（2005 年）9 月，台風第 14 号がゆっくりし北上して九州に接近したために，宮崎県の山間部では大雨となり，9 月 4 日～6 日の 3 日間の総雨量が 1000mm を超えたところがみられた。

宮崎県南部の鱈塚山周辺では，深層崩壊が多数発生し崩壊土砂は土石流となって谷を流下した。災害地の地質は，砂岩・頁岩の互層からなる付加体（四万十帯）であり，基岩はブロック状に割れおり亀裂の多い地下構造を持っていたとされる³⁴⁾。次の写真は，別府田野川の左岸に発生した深層崩壊であり，流下した崩壊土砂がキャンプ場などを埋没させた。この土砂移動による人的被害はなかったが，地元の話によると，埋没したキャンプ場は，8 月の夏休み期間中は多くの利用者があり，災害時期がずれていれば多くの人的被害を出した可能性がある。

また，同時期に九州山地の耳川沿い（宮崎県椎葉村・美郷村）では，約 5km の区間に深層崩壊がまとまって発生した。災害地は，砂岩・泥岩の互層からなる付加体（四万十帯）であり，断層運動による破碎帯が生じている³⁴⁾。



写真 4. 2-3 鱈塚山別府田野川流域に発生した深層崩壊（宮崎県宮崎市田野町）
写真提供：林野庁宮崎森林管理署

参考文献

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基本，古今書院，41p，2002.
- 2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基本，古今書院，140p，2002.
- 3) Ground Interface. : All Rivers, All Lakes & Topography 川だけ地形図，2015.
(<https://www.gridscapes.net/AllRiversAllLakesTopography/#14/33.3859/130.7921>)
- 4) 国土地理院：地理院地図，2019. (<http://maps.gsi.go.jp/>)
- 5) 産業技術総合研究所：20万分の1日本シームレス地質図，2019.
(<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)
- 6) 産業技術総合研究所：7万5千分の1地質図幅「豆田」，1933.
- 7) 矢ヶ部秀美・藤白隆司・村上哲・笠間清伸・北園芳人：各溪流における斜面崩壊の状況と特徴，平成29年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書，地盤工学会，pp.38-39，2018.
- 8) 国土地理院：平成29年7月九州北部豪雨に伴う被害状況判読図（国土地理院技術資料 D1-No.873），2017. (http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html)
- 9) 西山賢一・撰田克哉・井口隆：朝倉市妙見川流域で発生した地すべり・斜面崩壊の地形・地質的特徴，2017年九州北部豪雨災害調査団報告書，日本応用地質学会，pp.70-77，2018.
- 10) 矢野健二・矢田純・山本茂雄・小泉友美：乙石川で過去に繰返し発生した土石流の痕跡，2017年九州北部豪雨災害調査団報告書，日本応用地質学会，pp.95-103，2018.
- 11) 山本晴彦・山崎俊成・坂本京子・山下奈央：2017年7月5日に発生した九州北部における豪雨と災害の特徴，自然災害科学 123, 36(3), pp. 257-279, 2017.
- 12) 北野一平・池田剛：朝倉地域に産する周防変成岩類の接触変成作用の温度圧力条件—上昇過程の制約—，地質学雑誌，118(12)，pp.801-809，2012.
- 13) 古川全太郎・笠間清伸・八尋裕一・山本秀平・高橋亮丞・田中大貴：斜面災害地盤の土質特性，平成29年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書，地盤工学会，pp.193-213，2018.
- 14) 大津宏康・北岡貴文・野並賢：花崗岩の風化特性に着目した降雨に対する切土のり面の安定性に関する検討，地盤工学ジャーナル，11(1)，pp.103-114，2015.
- 15) 小安浩理・石丸聡・興水健一：平成29年7月九州北部豪雨により発生した斜面崩壊の現地調査報告，北海道地質研究所報告，90(1)，pp.57-64，2018.

- 16) 矢ヶ部秀美・藤白隆司・村上哲・笠間清伸・北園芳人：各溪流における斜面崩壊の状況と特徴，平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書，地盤工学会，pp.50-60，2018.
- 17) 千木良雅弘・松四雄騎・堤大三・王功輝・松浦純生・土井一生・橋本学・釜井俊孝：地表変動，2017 年九州北部豪雨災害調査報告書，京都大学防災研究所，pp.25-62，2018.
- 18) 土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会 平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団編：平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害調査報告書，90p，2014.
- 19) 中村一明：広域応力場を反映した火山体の構造―側火山の配列方向―. 火山，第 2 集，14，pp.8-20，1969.
- 20) 千葉達朗・織田和夫：斜め空中写真と赤色立体地図から読み取る災害状況，小特集「平成 25 年台風 26 号による伊豆大島の災害」，写真測量学会誌，53(1)，pp.4-20，2014.
- 21) 川辺禎久：伊豆大島火山地質図，地質調査所，1998.
- 22) NAKAMURA Kazuaki：36. Volcano-Stratigraphic Study of Oshima Volcano, Izu，東京大学地震研究所彙報 (Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo)，42(4)，pp.649-728，1960.
- 23) 小山真人・早川由紀夫：伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史，地学雑誌，105，pp.133-162，1996.
- 24) 小山真人・鈴木雄介：伊豆大島噴火史からみた 2013 年火山泥流災害，地理，59(5)，pp.34-41，2014.
- 25) 大八木規夫・佐藤照子・八木鶴平：1990（平成 2）年 7 月豪雨による九州地方の洪水・土砂災害調査報告，防災科学技術研究所主要災害調査 No.31，126p，1991.
- 26) 土木学会：平成 24 年 7 月九州北部豪雨災害土木学会調査団報告書，2013.
- 27) Andrea Arturi, Fabio Del Frate, Emanuele Lategano, Giovanni Schiavon and Salvatore Stramondo：THE 1998 SARNO(ITALY) LANDSLIDE FROM SAR INTERFEROMETRY, Proceedings of the FRINGE 2003 Workshop (ESA SP-550)，pp.1-5，2003.
- 28) 気象庁：平成 23 年台風第 12 号による 8 月 30 日から 9 月 5 日にかけての大雨と暴風，pp.1-4，2011.
- 29) 国土交通省国土技術政策総合研究所・土木研究所：平成 23 年(2011)紀伊半島台風 12 号土砂災害調査報告，2013.
- 30) 宇智吉野郡役所：明治二十二年吉野郡水災誌，1891.

- 31) 櫻井正明・前川峰志・内藤洋司・佐保昇児：2004年集中豪雨により四国山地に発生した報価値の特性，日本地すべり学会誌，42(6)，pp.19-30，2006.
- 32) 土木学会：平成23年台風12号土砂災害調査報告書，2011.
- 33) 平野昌繁・諏訪浩・石井孝行・藤田崇・後町幸雄：1889年豪雨による十津川災害の再検討－とくに大規模崩壊の地質構造規制について－，京大防災研究所年報27 B-1，pp.369-386，1984.
- 34) 清水収：大規模土砂災害の発生履歴と土砂移動規模の評価－宮崎県の多雨地域の事例－，砂防学会誌，61(6)，pp.36-42，2009.

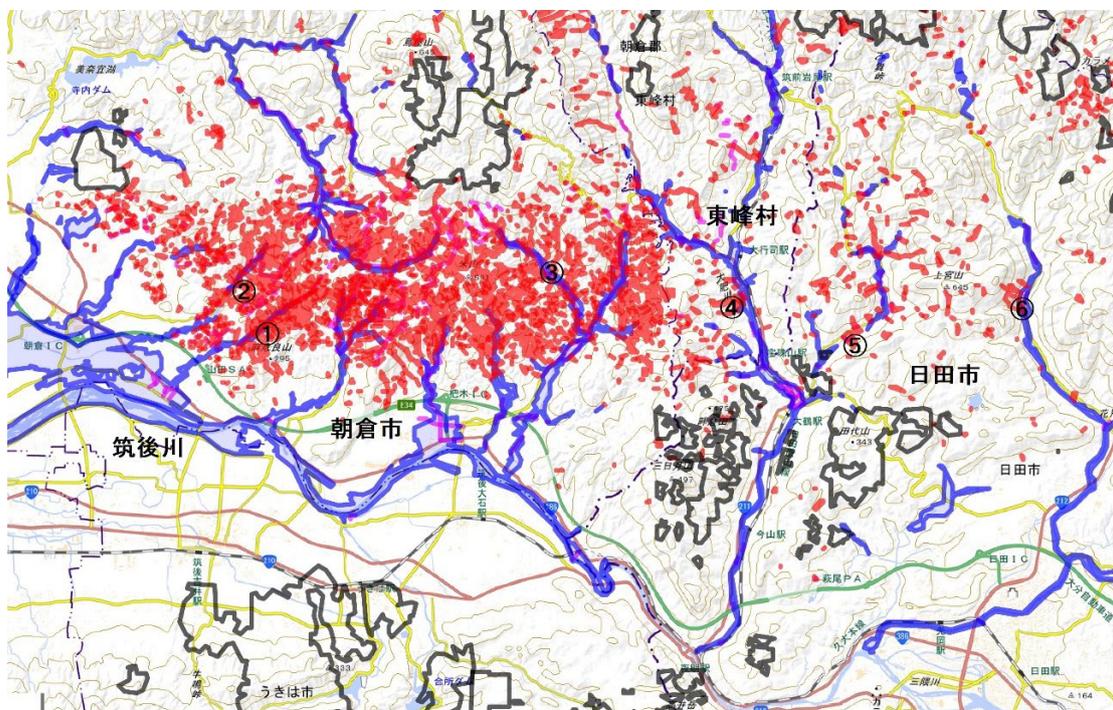
5. 中山間地域の土砂災害発生の傾向と対応策の検討

5.1 土砂災害の傾向

5.1.1 平成29年7月九州北部豪雨（福岡県・大分県）

(1) はじめに

平成29年(2017年)7月5日から6日にかけて九州北部で発生した集中豪雨により、福岡県朝倉市、東峰村、大分県日田市を中心とする筑後川右岸地域において、崩壊・土石流が発生するとともに中小河川が氾濫して、死者・行方不明者42名の被害を出した。主要な災害地は、筑後川の支流となる中小河川の流域で山間に集落が点在する地域である。ここでは、災害の概要とともに代表的な災害地の状況について報告する。



代表的な災害地

区分	市町村	地質
① 奈良ヶ谷地区	朝倉市	変成岩分布地
② 妙見川地区	朝倉市	変成岩分布地
③ 乙石川地区	朝倉市	花崗岩類・変成岩分布地
④ 下郷地区	東峰村	火山岩分布地
⑤ 大鶴地区	日田市	火山岩分布地
⑥ 小野地区	日田市	火山岩分布地

図 5.1.1-1 土砂災害の状況（平成29年7月九州北部豪雨）

地理院地図利用（国土地理院の判読結果を記載）

(2) 災害の概要

1) 被害の状況

平成 29 年 7 月九州北部豪雨による被害は、福岡県・大分県において、死者 40 名、行方不明者 2 名であり、死者・行方不明者を出した市町村は、福岡県朝倉市（死者 34 名、行方不明者 2 名）、東峰村（死者 3 名）、大分県日田市（死者 3 名）である¹⁾。また、死者 40 名のうち、60 歳以上の高齢者が 80 割を占めている。近年は、高齢者の人的被害が目立っており、防災施設の充実と早めの避難を行うことが重要である。なお、遺体の発見場所は、筑後川本流 4 名、有明海 5 名であり、洪水流により下流まで流されたことがわかる。

表 5.1.1-1 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による被害状況

区分	人的被害（人）			住宅被害（棟）		
	死者	行方不明者	負傷者	全壊	半壊	一部破損
福岡県	37	2	21	287	822	39
大分県	3	—	5	49	274	5
計	40	2	26	336	1096	44

データ：文献 1 による

表 5.1.1-2 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による死者の年齢構成

年齢	10 歳未満	10 歳代	20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代	70 歳代	80 歳代	90 歳代	計
人数	1	0	2	1	1	2	8	10	12	2	39

データ：文献 1 による（年齢不明：1 名）

2) 災害時の気象

平成 29 年 7 月 5-6 日に発生した福岡県・大分県での記録的な大雨は、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって大気下層に温かく湿った空気が流入するとともに上空に寒気が流入したために、大気が不安定な状態になり、九州北部にあった地表の温度傾度帯（冷たい空気と温かく湿った空気の境界）付近で積乱雲が次々と発生し、上空の寒気の影響で猛烈に発達して東へ移動することにより、線状降水帯が形成・維持され、同じ場所に強い雨を継続的に降らせた（次図参照）²⁾。九州北部地方では、7 月 5～6 日までの総降水量が福岡県朝倉市朝倉で 586.0 ミリ、大分県日田市日田で 402.5 ミリとなるなど、7 月の月降水量の平年値を超える大雨となり、朝倉では期間中の最大 1 時間水量が 129.5mm に達した³⁾。

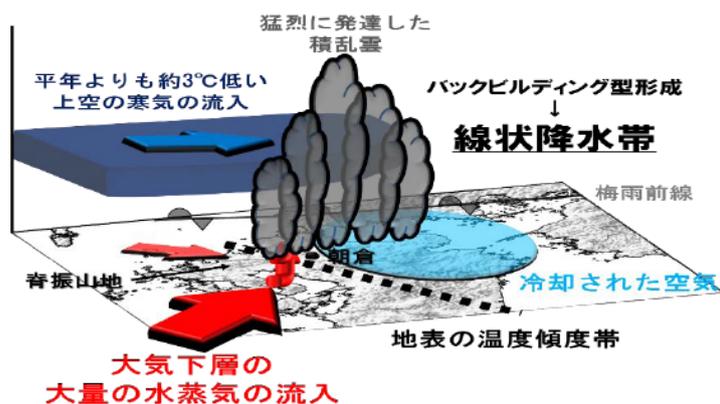


図 5. 1. 1-2 大雨の発生要因の概念図²⁾

梅雨前線の 100～200km 南側に線状降水帯が形成されて大雨が発生

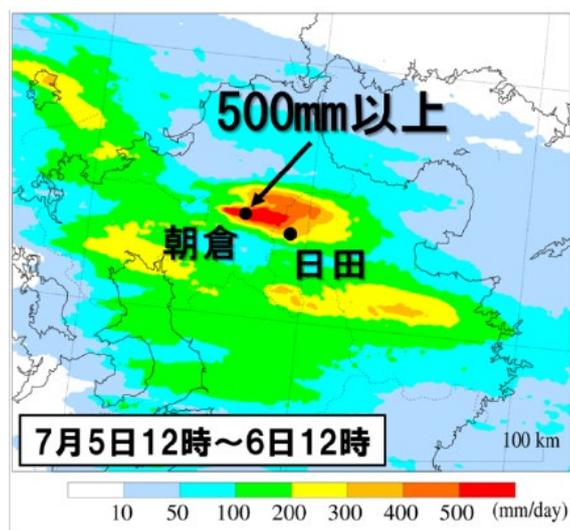


図 5. 1. 1-3 24 時間積算降水量分布（解析雨量, mm）³⁾

福岡県朝倉市・大分県日田市付近の狭い地域に降水が集中（24 時間で 500mm 以上）

朝倉における降雨の状況は、次図に示すとおりである。災害地では、7月5日の昼頃から降雨が始まり、夜まで降り続いた。朝倉では、7月5日夕方に、最大1時間降水量 129.5mm を記録しているが、これは 100 年確率の降水量を上回るものである。このために、5日夕方から、各所で、崩壊、土石流、中小河川の氾濫が相次いで発生した。

災害当時（7月5日）に、朝倉市の国道沿いで撮られた写真（写真 5. 1. 1-1）を見ると⁴⁾、17 時頃には傘をさせないほどの激しい雨が降っており道路に冠水が始まっている。また、18 時ごろには、道路上の水深は車体付近まで達しており車両の走行が危険なレベルにあった（この後、駐車場の車は流された）。これらの写真から、この場所では夕方には避難は難しい状態であったことがわかる。

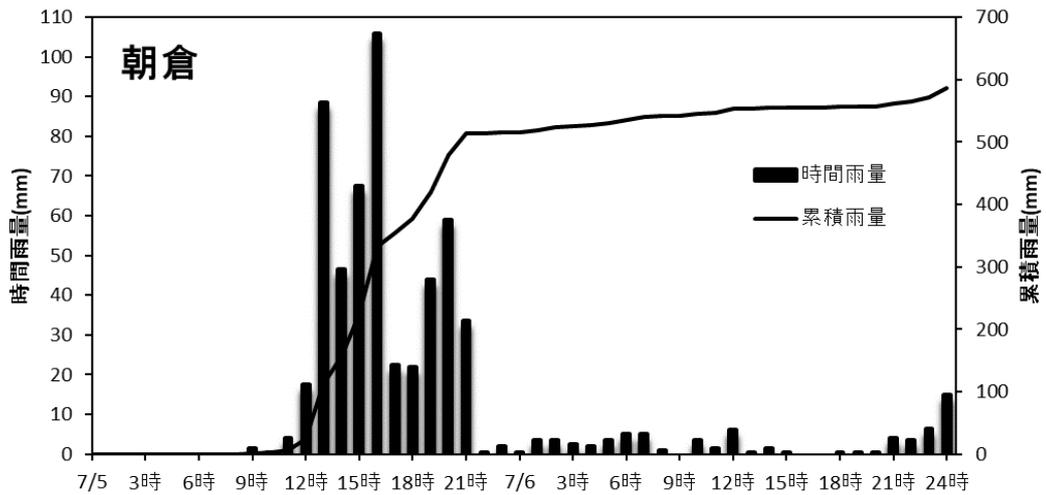


図 5.1.1-4 朝倉（アメダス）における降雨の状況

平成 29 年 7 月 5 日～6 日, 福岡県朝倉市

表 5.1.1-3 災害時の最大 1 時間降水量と確率 1 時間降水量

区分		朝倉	日田
1 時間降水量 (mm)	平成 29 年 7 月 5 日	129.5 (15:38)	87.5 (18:44)
	10 年確率	72	65
	50 年確率	94	84
	100 年確率	104	92

注) 確率 1 時間降水量は, ピアソンⅢ型分布をすると想定して算出した。



写真 5.1.1-1 国道 386 号線・山田交差点付近（朝倉市）の状況⁴⁾

平成 29 年 7 月 5 日夕方（左：17 時頃，右：18 時頃），提供：高浪賢一氏

3) 地形・地質

災害地は、筑後川右岸支流の山地流域であり、壮年期の地形を示している。中小河川は、浸食が平衡状態に達していて奥まで比較的緩い河床勾配を維持しているところが多いが、両側の谷壁斜面やそれを侵食する小溪流は急斜である。

災害地の地質は、変成岩、花崗岩類、火山岩が分布するが、おおむね次の2つ区域に大別される。

①朝倉市周辺（変成岩分布地＋花崗岩類分布地）

泥質片岩を主とする結晶片岩（変成岩）を主体として、中生代に貫入した花崗閃緑岩（花崗岩類）がみられる。

②東峰村・日田市周辺（火山岩分布地）

新第三紀の安山岩・凝灰角礫岩からなる火山岩を主体とする。なお、河川沿いの一部には、新第三系の堆積岩が分布しており、石炭層がみられる。東峰村では、過去に炭鉱が経営されていたようである。



写真 5.1.1-2 新第三系堆積岩にみられる石炭層（東峰村竹布）

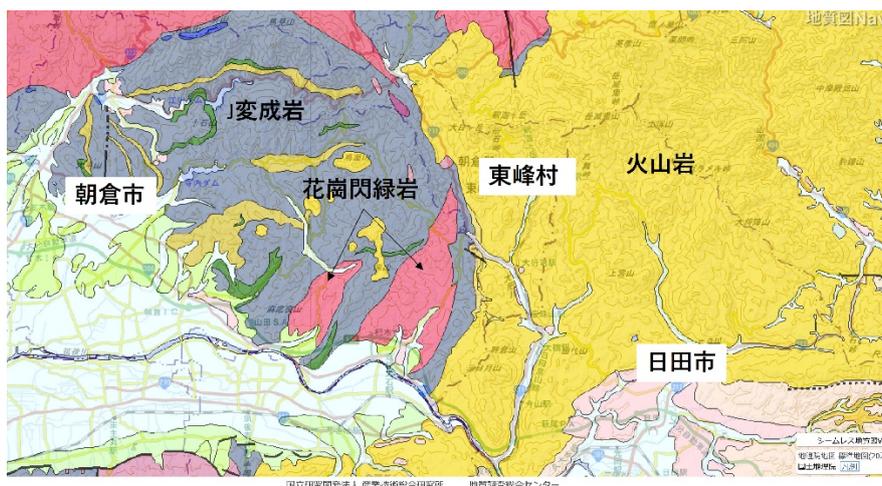


図 5.1.1-5 災害地周辺の地質

産業技術総合研究所（地質調査総合センター）の地質図 Navi 利用

4) 土砂生産・流出の状況

この豪雨による崩壊地は、降雨強度が高かったとみられる区域にまとまって発生しており、基岩の風化物や堆積物からなる表土層が、豪雨時の浸透水により不安定化して崩落したと考えられる。表土層が比較的厚い凹地では、崩壊深が2~4mに及ぶものもみられる⁴⁾。

崩壊土砂は、多くの水を含んでいたために、流動化して土石流となったものが多く、発生した土石流は、溪岸・溪床を侵食して、土砂を巻き込みながら流下している⁴⁾。

また、流出した大量の土砂は、人家等に直接的な被害を及ぼしたほか、中小河川では流路を埋没させて洪水流・土砂流の氾濫を助長している。なお、花崗岩類の分布地では、細粒土砂（マサ土）が広範囲に流出し、家屋等に流入して被害区域を拡大させている。

斜面崩壊は、多くが表層崩壊であるが、変成岩分布地には、大規模な斜面崩壊も見られる。これらの崩壊地には、厚い崩土が確認されていることから、古い崩壊地形が再崩壊した箇所も多いと考えられる。なお、火山岩分布地にある小野地区（日田市）では、翌日に大規模な地すべり性崩壊が発生している。



写真 5. 1. 1-3 豪雨により発生した表層崩壊地（日田市大鶴）



写真 5. 1. 1-4 流出した細粒土砂（マサ土）による埋没した家屋（朝倉市乙石川）



写真 5. 1. 1-5 変成岩分布地の再崩壊箇所（朝倉市奈良ヶ谷）

右：古い崩壊地形の溪岸と滑落崖が再崩落している。



写真 5. 1. 1-6 変成岩分布地の大規模な崩壊地

左：崩壊地末端の治山ダム（朝倉市妙見川） 右：深層崩壊地内（朝倉市乙石川）



写真 5. 1. 1-7 火山岩分布地の大規模崩壊（日田市小野地区）

左：斜め写真（提供：林野庁） 右：崩壊地頭部の状況

他の災害より遅れて発生しており、凝灰角礫岩上の安山岩岩塊を主体とする厚い崩土が移動したとみられる。

5) 流木の状況

崩壊斜面や土石流が侵食した溪流区間に存在した立木は、流木となって土砂とともに流出している。土石流により、土砂とともに河川まで運搬された流木の一部は、さらに土石流や洪水流により、浮遊して流下している⁴⁾。

流木は、直接的に人家等に被害を及ぼしているほか、橋梁や暗渠を閉塞させて洪水氾濫を助長している。また、災害地では、流出してきた多量の流木を廃棄物として処理する必要があり、地元自治体の大きな負担となっている⁵⁾。

災害地である朝倉市・東峰村・日田市は、有数の林業地帯であることから、森林に占める人工林の比率が高く（人工林率 76-87%）、尾根部や露岩地を除いてほとんどの斜面が人工林となっている。人工林は、戦後に植林されたものが多いことから、樹高の高いスギ・ヒノキの壮齢林となっている。このために、近年は長大な流木が発生しやすい傾向にあり、特に災害地では、多くの流木が生じやすい条件下にあったといえる。

そのために、斜面、溪流周辺からの大規模な流木の発生を抑止するとともに、発生した流木を捕捉する対策を進める必要がある。流木捕捉については、次表のとおり、溪流・河川勾配等により流木の流出形態が異なることから、それに合わせた対応をとることが重要である。

表 5.1.1-4 流木の流出形態⁵⁾

土石流混入型	洪水浮遊型
土石流により土砂に混入して移動するタイプ ・立木が崩壊・土石流の侵食により流出するもの ・溪流内に堆積していた倒流木が流出するもの	洪水流（一部土砂流）に浮遊して移動するタイプ ・崩壊・土石流により生産され溪流・河川内に堆積していた倒流木が流出するもの ・土石流混入型から洪水浮遊型に変化して流出するもの
大量の流木が、土石流の堆積域（溪床勾配 3～10度）まで、土砂とともに一度に運搬される。 下流に行くに従って、流木の流出率が低下し、流木の大きさが減少することが知られている。 一般的には、溪床勾配が 3 度までの溪流区間に卓越する。	流木が移動し始める水深が発生すれば運搬が始まるので、中小洪水によっても運搬される。 流木が途中で停止して溪流・河川内に貯留される場合がある。 一般的には、溪床勾配が 5 度以下の溪流・河川区間に卓越する。



写真 5.1.1-8 流木が堆積した災害地の状況（朝倉市杷木 IC 付近）



写真 5.1.1-9 流木の発生状況（東峰村竹布）

左：流下堆積した流木 右：流木の発生源である崩壊地（樹高 30m のスギ林が崩壊）

6) 防災施設の状況

災害地には、多くの砂防ダム、治山ダムが設置されており、流下した土砂や流木を捕捉して防災効果を発揮している。なお、一部には、土石流等により破壊されたダムも見られており、実態を解明して、今後の整備に生かすことが望ましい。



写真 5. 1. 1-10 流木を捕捉した砂防ダム（朝倉市妙見川）



写真 5. 1. 1-11 流木・土砂を捕捉した治山ダム（東峰村猿喰）

7) 住民の避難状況

平成 29 年 1 月の「避難勧告等に関するガイドライン」の改正（内閣府）等により、躊躇なく避難勧告等を発令するための体制づくりが進められていたこともあって、次表のとおり、比較的早い段階から、①避難準備・高齢者等避難開始、②避難勧告、③避難指示（緊急）が発令された（表 5.1.1-5）。朝倉アメダスでは、平成 29 年 7 月 5 日 12 時ごろから強い雨となり、15-16 時には 100mm/h を超える猛烈な雨が降っており、夕方から各所で災害が頻発しているが、朝倉市全域に避難勧告が発令されたのが 14 時半、東峰村では 15 時 15 分であった。

これに対して、住民の避難については、西日本新聞が平成 29 年 7 月 21～27 日に、朝倉市、東峰村、日田市の避難所等で 100 人の住民に対面調査を行っている。その結果によると（2017 年 8 月 5 日朝刊・社会面）、避難情報ではなく、本人を含む地域住民の判断で避難した人（41 名）が多かった（表 5.1.1-6）。また、当日に避難所に向かった 52 人が避難を始めた時刻の平均は、16 時 19 分であり、朝倉市全域、東峰村全域に避難勧告が出た時刻より、1～2 時間遅かった。

災害時には、住民が能動的に判断して動くことが重要であるが、気象情報や避難情報を活用して適切な避難が行われるように、事前の情報提供や防災教育の充実が必要である。

表 5.1.1-5 避難情報の発令の状況

区分	避難情報の発令の状況	備考
朝倉市	7/5 14:15 避難準備・高齢者等避難開始発令。14:26 市全域に避難勧告発令。15:30 から順次避難指示が発令され、19:10 市内全域に避難指示が発令された。	文献 6
東峰村	7/5 15:15 に村全域に避難勧告が発令された。	文献 7
日田市	7/5 15:15 から一部の地域に避難勧告が発令され、17:55 には市全域に避難準備・高齢者等避難開始が発令された。18:45 から避難指示が一部の地域に発令された。	文献 8

表 5.1.1-6 避難情報の発令の状況（西日本新聞の調査による）

避難したタイミング	人数
激しい雨が降り始めとき	26
住民から呼びかけられたとき	15
大雨洪水警報が出たとき	5
避難勧告がでたとき	3
避難しなかった，できなかった	27
その他	23
回答なし	1
計	100

注) 朝倉市 60 人，東峰村 20 人，日田市 20 人

(3) 奈良ヶ谷地区（朝倉市）

奈良ヶ谷地区は、奈良ヶ谷川（通堂川）の流域であり、変成岩（泥質片岩）が分布する。流域には、15か所の土砂災害警戒区域（土石流）があるが、いずれも支流であり、流域沿いの道路、人家が保全対象となっている。

流域全域には、崩壊・土石流が多発しており、支流から流出した土砂・流木が河道に厚く堆積している。本流沿いには、道路が設置されていたが、多くの区間が埋没している。

また、下流には2つのため池があったが、上流のため池（山の神ため池）は、越流により決壊しており、下流のため池（鎌塚ため池）は、決壊はしていないものの多量の土砂が流入しているほか、余水吐下流が侵食されている。ため池の下流域は、平底谷の左岸側に流路がよせられて谷底に耕地が広がっていたが、洪水流は、流路からあふれて谷底全体に流れ土砂・流木を堆積させている。

ため池の500m下流には、国道386号が横断しており、国道沿いには集落が発達しているが、氾濫した洪水流により、家屋にも被害が生じて3名の方が亡くなったほか、国道付近に流木等を堆積させた。

災害時に国道386号（山田交差点）付近の状況を地元の方が撮影した写真（写真5.1-15）によると、19時ごろには、氾濫した洪水流により流木等の浮遊物が流れて来て、上流の家屋の屋根が流失していることが確認できることから、流域の崩壊や土砂・流木の流出はそれ以前の時刻に発生していたと見られる。その後、浮遊してきた流木が次々に堆積して、翌日朝には多量の流木だまりが形成された⁵⁾。



写真 5.1.1-12 多発した崩壊の状況（朝倉市奈良ヶ谷） 地理院地図利用



写真 5.1.1-13 流出土砂により埋没した道路の状況（朝倉市奈良ヶ谷）



写真 5.1.1-14 決壊をまぬがれたため池付近の状況（朝倉市奈良ヶ谷）

左：ため池下流の状況（流路は埋設している） 右：土砂が流入したため池の状況



写真 5.1.1-15 国道 386 号線付近（山田交差点）の状況（朝倉市奈良ヶ谷）⁵⁾

7月5日夕方～6日朝，提供：高浪賢一氏

(4) 妙見川地区（朝倉市）

1) 土砂災害の状況

妙見川上流部では多数の斜面崩壊が発生した。崩壊は樹木根系伸張域より下部で発生しており，このため樹林を抱え込んだまま崩壊している。植生は人工林のスギであり，崩壊後流水により下流まで流されていたが，多くは砂防ダムと下流のため池で補足されていた。

河川勾配が緩いため土石流の粒径の粗いものは上流で堆積し，細粒分が樹木と共に流下したものと考えられる。

妙見川においては砂防ダム，ため池で流木が補足されたため，谷出口部の被害は他地域に比較するならば軽い状態であった。砂防ダムの堆砂量が少なかったこと，ため池が比較的大きかったことが幸いしたものと考えられる。

上流砂防ダムの堆砂量を減じておくならば，高い流木捕捉効果が期待できることが判明した。砂防ダム水通し部にスリットを設けるならば更に高い流木の捕捉が期待できる。また，流木が砂防ダムに捕捉された結果，フィルターとして機能し，土石流中の粒径の大きな成分は捕捉されたものと考えられる。



写真 5. 1. 1-16 ため池での流木捕捉の状況（朝倉市妙見川）

左：ため池の被災前（グーグルストリートビュー） 右：被災後



写真 5. 1. 1-17 砂防ダムでの流木捕捉の状況（朝倉市妙見川）
左：砂防ダムの被災前（グーグルストリートビュー） 右：被災後



写真 5. 1. 1-18 砂防ダム上流の河道での流木捕捉の状況（朝倉市妙見川）
左：河道の被災前（グーグルストリートビュー） 右：被災後



写真 5. 1. 1-19 崩壊地の状況（朝倉市妙見川）



写真 5. 1. 1-20 崩壊地の状況（朝倉市妙見川）

2) 土砂災害メカニズム

妙見川の地質は泥質片岩であり，豪雨による増水により山裾が侵食され崩壊に至ったものと考えられる。沢に流れ込んだ土砂は土石流と化した，勾配が緩かったため粗粒分は溪流内に堆積し，微粒分と流木が下流まで流下し，谷出口住居に被害を及ぼした。

妙見川の溪流中流域沿いには住居がなく土砂災害警戒区域等の指定箇所はない。上流部に土石流に対する土砂災害警戒区域が指定されている。土石流被災は求められるが，住居は認められず，現在では居住者がいない模様である。

妙見川周辺の植生状況はスギ人口林が主であり，一部アラカシ群集，ムク-エノキ群集が存在している。ため池部分にオギ群落，沢筋にヨシ，一部ハンノキ群落が存在している。スギ林の間伐は適正になされ林床に日があたり林床植生も存在しており，適正な森林管理がなされていたものと見なすことができる。豪雨による間隙水圧の上昇が大きく，樹木根系による土壌緊縛・保持力を越えた結果の崩壊と見なすことができる。



写真 5. 1. 1-21 道路の被災状況（朝倉市妙見川）

左：道路の被災前（グーグルストリートビュー） 右：被災後



写真 5. 1. 1-22 河床への土砂の堆積状況（朝倉市妙見川）



林地での土砂捕捉

間伐状況

写真 5. 1. 1-23 林地の状況（朝倉市妙見川）

(5) 乙石川地区（朝倉市）

1) 土砂災害の状況

乙石川両岸で多数の崩壊が発生している。河床勾配が緩いため上流に粗い土石流堆積物が多く、下流に随い細粒分の堆積物がましている。

豪雨によりマサ化した山裾が侵食され崩壊に至ったもので、樹木根系侵入域より下部に崩壊面があり、樹林を抱え込んだまま崩落している。これにより、流木を含んだ土石流となり流下し、溪流部および谷出口の住居に被害を与えた。



谷出口・合谷部



下流部の浸食状況



上流部の浸食状況

写真 5. 1. 1-24 河床の状況（朝倉市乙石川）



写真 5.1.1-25 崩壊地の状況（朝倉市乙石川）

2) 土砂災害メカニズム

上流部に火山岩、泥質片岩が分布し、中・下流部は花崗閃緑岩が出現しマサ化している。マサ部分が豪雨により飽和状態となり、増水した溪流により山裾が侵食された結果崩落し、土石流化した。

乙石川沿いの集落背後の斜面の多くは急傾斜の崩壊が予想され土砂災害特別区域に指定され、住居周辺は土砂災害警戒区域に指定されている。土石流に対しては、乙石川上流、乙石川の支流溪流が土砂災害特別警戒区域、乙石川に沿って発達した溪床部が土砂災害警戒区域に指定されていた。一部地すべりも土砂災害警戒区域に指定されている。

谷部溪床斜面に石積みをし、高台に住居、溪流沿いに畑を作ったものと思われるが、人口増加により溪床に近い部分まで住居が建てられていったものと考えられる。これにより、溪床に近い、低い箇所の住居が土石流により流出した。グーグルストリートビューによる被災前の画像と比較するならば、土石流による土砂の堆積は数 m、多い処では 10m 以上の高さに及んでいる。

左にグーグルストリートビューによる朝倉市杷木松末の被災前の画像、右に調査時の画像を掲載する。上流より、下流に向かって配置した。上流部は巨礫が認められ、下流部はマサとなっており、流下に従い分級されたことが分かる。

乙石川溪流沿いの住居の多くは災害警戒特別区域、災害警戒区域に入っており、豪雨により被災しやすい場所であり、今後、移住を含んだ対策を講じて行く必要がある。特に、谷出口の松木小学校が土石流の被災を受けた事は重大であり、避難場所ともなる公共施設の所在地の確認が重要である。

今後、このような被災を繰り返さないために、同様な地形箇所を拾い出し、避難、及び移住に関する対策を行うことが必要である。

乙石川周辺の植生はスギ人工林である。密な状態といえるが豪雨による間隙水圧の上昇

により樹木根系伸張域よりからの崩壊が発生している。

(6) 下郷地区（東峰村）

東峰村下郷地区および猿喰（さるばみ）地区は、大肥川右岸に位置している。地質は、下位が凝灰角礫岩、上位が安山岩からなる火山岩である。集落の背後斜面は、大半が土砂災害警戒区域（土石流，急傾斜地）となっている。

集落は、大肥川の河岸段丘上に発達しているが、豪雨により集落の背後斜面に崩壊地が多数発生した。崩壊地は、崩壊面に基岩の露出しているものが多く、その崩壊深は、表土層の厚さにより1～4mと幅がある。また、猿喰地区に流れ込む小谷では、谷源頭に崩壊地が発生し、崩壊土砂が土石流となって約500m流下したが、集落直上流にある治山ダムにより、流木とともに捕捉された。

地元への聞き取りによると、下郷地区では、7月5日17時40分ごろ背後斜面に崩壊地が発生した箇所では、崩落した流木が納屋に衝突したために、すぐに隣家の住人と一緒に、車で避難したとのことである。

また、猿喰地区では、7月5日20～21時ごろ、崩壊地が発生した箇所では、崩壊土砂が流出して道路が通れない状態になったので、隣家に避難したとのことである。猿喰地区では、多くの住民が斜面から離れた家に避難して朝まで過ごしたとのことであった。



写真 5.1.1-26 崩壊地の状況（東峰村下郷地区）



写真 5. 1. 1-27 崩壊・土石流の状況（東峰村猿喰地区）

左：土石流が流下した溪床（基岩まで侵食を受けており両岸には古い土石流堆積物が見られる）

右：土石流の発生源となった崩壊地

(7) 大鶴地区（日田市）

日田市大鶴地区は、大肥川支流鶴河内川沿いに位置し、地質は、凝灰角礫岩が主体の火山岩である。土砂災害警戒区域には指定されていない。

鶴河内川の両岸に、3つの崩壊地が発生し、崩壊土砂・流木が本流河道まで到達しており、洪水流により、さらに流木等が流下して橋梁、耕地に堆積している。これらの崩壊のために、鶴河内川両岸にあった上流集落へのアクセス道路は、崩土により埋設され遮断された。

崩壊地上端から崩壊土砂末端までの垂直距離を水平距離で除した等価摩擦係数は、0.24～0.33であり、崩壊土砂の流動性は高く崩壊土砂は川をこえて対岸にまで到達している⁵⁾。



写真 5. 1. 1-28 崩壊地の状況（日田市大鶴地区）



写真 5.1.1-29 本流まで到達した崩壊土砂・流木の状況（日田市大鶴地区）

(8) 上野地区（日田市）

1) 土砂災害の状況

小野川右岸に位置する斜面に地すべり性崩壊が発生し、小野川の河道を閉塞し小規模なせき止め湖を形成した。当地区の地質は2層よりなり下層は凝灰角礫岩であり、その上に安山岩質風化層、古い崩土が存在し、上部の風化層・崩土部分が崩壊している。崩壊規模は幅 250m、高さ 250m～300m、崩壊深さは 20m 程度であり、スギを抱え込んだまま崩壊している。

崩壊斜面上部に崩壊地形が存在することより、当地は繰り返し崩壊が発生していた場所と考えられる。崩壊地の上部に草本類が生育する崩壊地が存在し、また、作業道には草本類が生育する状態の亀裂が散見されることより、ごく最近も小崩壊が繰り返されていたものと考えられる。



全景



近景

写真 5.1.1-30 (1) 地すべり性崩壊地の状況（日田市小野地区）



崩壊上部に存在する崩壊跡



作業道の亀裂

写真 5. 1. 1-30(2) 地すべり性崩壊地の状況 (日田市小野地区)



スギの生育状況



スギの崩壊状況



林床の状況

写真 5. 1. 1-30 周辺林地の状況 (日田市小野地区)

2) 土砂災害メカニズム

当地の降水量は、日降水量 516mm、日最大 1 時間降水量は 129.5mm であり、いずれも過去最大の記録的降水量となっている。7 月 4 日午前 0 時から 7 月 7 日午前 0 時までの累積降水量は 600～800mm とされている。

崩壊斜面には赤褐色のすべり面が認められ、安山岩溶岩との接触により形成された粘土と考えられる。この粘土が遮水層となり、豪雨による含水により崩壊したものと考えられる。

当地の植生はスギ人工林であるが、間伐がなされ林床には日が射し、林床植生の生育が認められ適正な管理がなされていたが、樹木根系伸張域より下、深部から崩壊したものである。

当地は、土砂災害警戒区域（急傾斜地）であったが、平成 30 年に土砂災害警戒区域（地すべり）に指定された。



地すべり性崩壊地 頭部

崩壊面

写真 5.1.1-31 地すべり性崩壊地内の状況（日田市小野地区）

5.1.2 平成30年7月豪雨（広島）

(1) 災害の概要

1) はじめに

平成30年6月28日から7月8日にかけて西日本を中心に北海道や中部地方を含むきわめて広い範囲で記録された集中豪雨により各地で河川の氾濫や浸水被害、土砂災害など甚大な被害をもたらした。前年の同時期には九州北部豪雨災害が発生しており、このような広域的な豪雨による土砂災害は今後も発生する可能性が高く、土砂災害メカニズムの究明とその対策への取組みが急がれるところである。ここでは、特に土砂災害の集中した広島県の呉市と安芸郡の災害の概要とともに代表的な災害地の状況を報告する。

2) 被害の状況

土砂災害発生件数は2,581件（1道2府29県）である（国土交通省情報2019年1月9日15:00現在）。土砂災害による人的被害を以下に示す¹⁰⁾。

- ・土石流等 死者96人，行方不明 一，負傷者17人（791件）
- ・地すべり 死者 一，行方不明 一，負傷者 一 （56件）
- ・がけ崩れ 死者23人，行方不明 一，負傷者37人（1,734件）

合計 死者119人，行方不明 一，負傷者54人（2,581件）

このうち、広島県の土砂災害死者数は土石流等80人/609件、がけ崩れ7人/632件であり、全体の7割以上を占める。特に土石流による死者数が際立っている。土石流被害の多さは、扇頂部付近まで住宅地進出が多いことを意味しており、土地利用規制等による土石流被害を軽減可能であることを示唆している。

3) 災害時の気象

前線や台風7号の影響により日本付近に暖かく非常に湿った空気が供給され続き、西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となった。

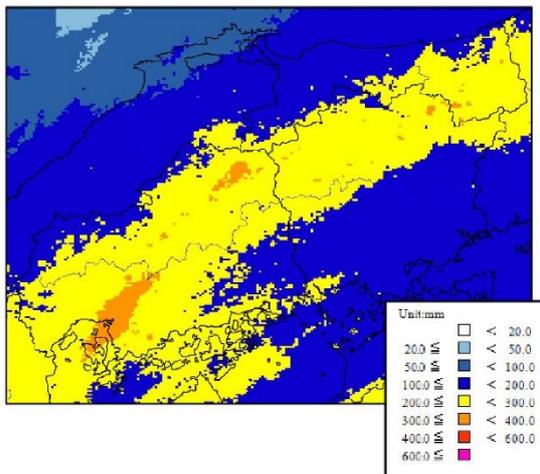
6月28日から7月8日までの総降水量が四国地方で1,800mmを超え、東海地方で1,200mmを超えるところがあるなど、7月の月降水量平年値の2~4倍の大雨となるところがあった。九州北部、四国、中国、近畿、東海、北海道地方の多くの観測地点で24, 48, 72時間降水量の値が観測史上1位になるなど、広い範囲における長時間の記録的な大雨となった¹¹⁾。

表 5.1.2-1 広島県呉市(地点：呉) のアメダス観測値

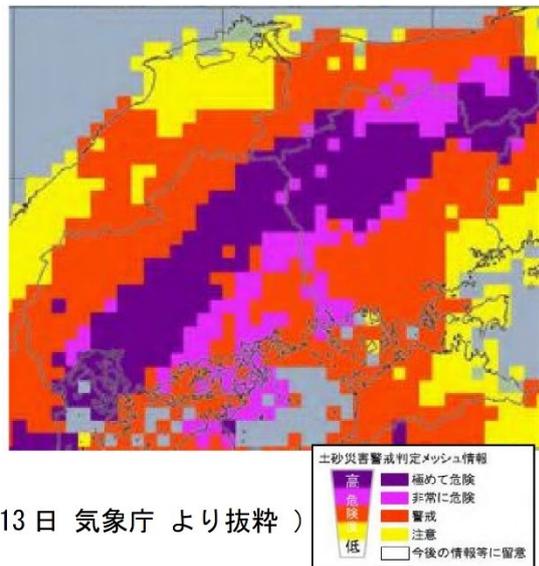
	平成30年6月28日0時～7月8日24時			これまでの観測史上1位		
	降水量(mm)	月日	時分	降水量(mm)	年月日	時分
24時間降水量	309.5	7月7日	6:10	224.0	1983/9/28	16:00
48時間降水量	402.0	7月7日	8:50	260.0	1993/7/28	23:00
72時間降水量	465.0	7月8日	8:50	281.0	1983/9/28	20:00

(「災害をもたらした気象事例」平成30年7月13日 気象庁 より編集)

48時間降水量(解析雨量)



土砂災害警戒判定メッシュ情報
(大雨警報(土砂災害)の危険度分布)



(「災害をもたらした気象事例」平成30年7月13日 気象庁 より抜粋)

図 5.1.2-1 大雨特別警報を公表したころの危険度分布 (7月6日20時 広島県, 岡山県, 鳥根県)

4) 地形・地質

広島県の地形的な特徴は、浸食平坦面といわれる河川浸食によって地表が川床近くまで削られてできた緩やかな起伏地形であり、山地は起伏が緩やかで、高原状であることから、山間部にも人々が多く居住している¹²⁾。呉市、安芸郡等は低位の浸食平坦面といえる。

地質的には、広島県呉市、安芸郡などにおける主な地質は、呉市に位置する野呂山が噴火、隆起した火山の岩石(デイサイト・流紋岩類)と花崗岩に大別される。

図 5.1.2-2 は地質図と平成30年7月豪雨の崩壊地等分布(●は長さ又は幅が概ね50m

以上のものを現し、地形変形箇所を中心付近を●で表し、地形変化範囲を現していない)を対比して示した。

平成 26 年広島豪雨土砂災害の速報における八木地区調査結果¹³⁾では花崗岩，真砂土を主体とし，粘板岩や火成岩が入り込んだ堆積岩などを含んだ地質構造であったと報告されている。本豪雨災害では，花崗岩・真砂土等に加え，デイサイト・流紋岩類を基盤岩とした地質，火砕流堆積土砂などによる被害が同様に生じている。

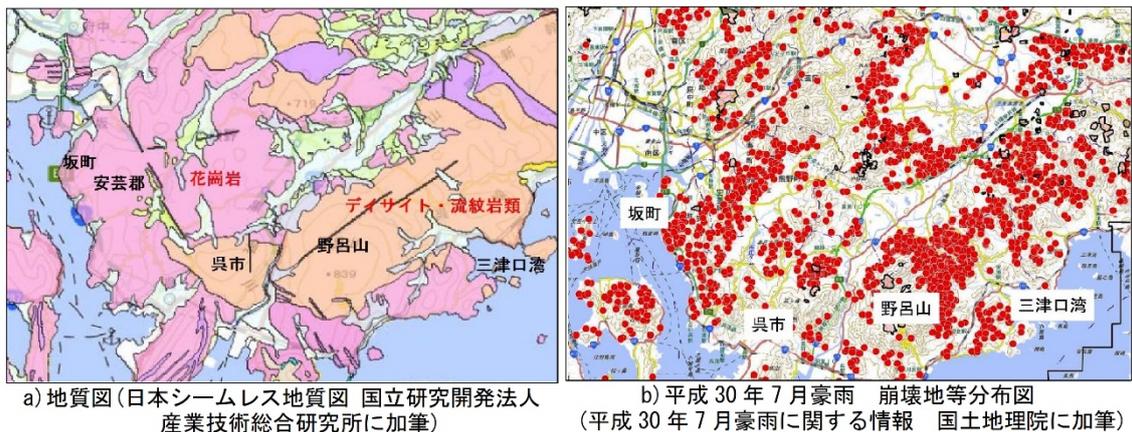


図 5. 1. 2-2 地質図と崩壊地等分布図

表 5. 1. 2-2 代表的な災害地

	市町村	地 質
①	安芸郡熊野町川角5丁目	花崗岩
②	呉市安浦町市原	流紋岩類
③	呉市吉浦新出町	花崗岩
④	呉市天応西条3丁目	花崗岩

(2) 安芸郡熊野町川角 5 丁目

1) はじめに

三石山の複数の溪流から土石流が発生，流下して 2 か所の扇頂部から氾濫，その下流に位置する熊野町川角 5 丁目住宅地の家屋を倒壊し，12 人が犠牲となった。本土石流災害で特徴的と考えられる現象は，流下過程において，土石流の持つ直進性から，2 方向に流下する土石流が隣接区域を乗り越え，それぞれ 2 か所の扇頂部から氾濫して被害を拡大させたことである。調査は，被災の約 3 か月後の 10 月 19 日に実施した。



a) 被災後の空中写真
(撮影日 2018/7/11 国土地理院)

b) 被災前の空中写真
(撮影日 2009/4/27 国土地理院)

写真 5. 1. 2-1 被災前後の熊野町川角付近

2) 被災状況

溪流①(図 5. 1. 2-3)の扇頂部からの土石流の氾濫によって、被災した家屋(写真 5. 1. 2-2)。半壊した家屋の左側の数軒は破壊され、取り壊されていた。土石流は半壊家屋の左側に逸れて流下し、街路を水路として下った。



a 半壊家屋の左側

c 半壊家屋

写真 5. 1. 2-2 被災家屋

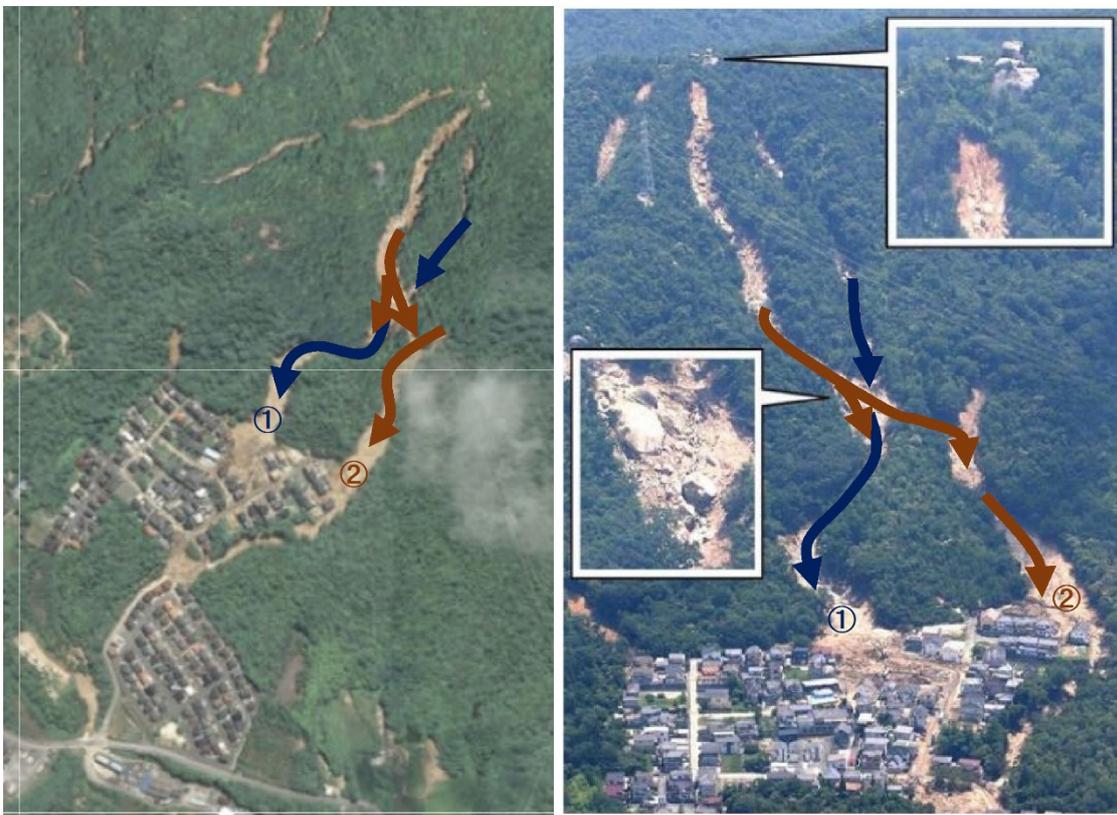
また、土石流が氾濫した扇頂部①は、砂防堰堤等の砂防施設はなく、現在は仮設的に土嚢積みと高エネルギー吸収柵が設置されている(写真 5. 1. 2-3)。

本土石流災害の流下ルートを図 5. 1. 2-3 に示す。流下ルート①は溪流沿いに下った。



a 土嚢済みとその背後には高エネルギー吸収柵 b 高エネルギー吸収柵と土石流が運んだ

写真 5. 1. 2-3 扇頂部①の状況



a) 被災後の空中写真
(撮影日 2018/7/11 国土地理院)

b) 被災後の三石山斜面正面写真
(産経新聞 本社へりから永田直也氏撮影 2018/7/14)

図 5. 1. 2-3 土石流の流下ルートと氾濫扇頂部

一方、流下ルート②は一部、溪流流域の尾根を越え、隣接溪流流域の土石流と合流して流下した。土石流ルート②では巨礫の散乱が確認(写真 5. 1. 2-4)され、巨礫・巨石は花崗岩と思われる。また、写真 b に示す矢印方向から土石流が合流して、下流に下った。写真 5. 1. 2-5 は土石流が尾根を超え、隣接溪流流域に流入した状況と 2 方向の土石流が交差した尾根部付近である。交差部では巨石が多く確認された。



写真 5. 1. 2-4 土石流ルート②



写真 5. 1. 2-5 土石流の交差尾根付近

3) 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係

図 5. 1. 2-4 に災害状況と土砂災害警戒区域(イエローゾーン)・特別警戒区域(レッドゾーン)の対比を示す。

渓流①でのレッドゾーンは扇頂部のわずかな範囲であり、本災害での被災家屋の範囲と大きく異なる。また、①の土砂災害警戒区域(区域番号: I-2-3-61-1)の告示された区域図では、レッドゾーンにおける想定される土石流の高さは 0.76m、最大力は 36.26kN/m² となっており、本土石流災害が如何に想定外のものであったかを示している。また、①の上に位置する土砂災害警戒区域における土石流危険溪流範囲(青線)は、本災害時の溪流崩壊範囲の空中写真と概ね合致している。一方、①及び②の土石流危険溪流の範囲は短く、想定外の溪流崩壊が発生、被害規模の拡大となったと思われる。

渓流②での土砂災害警戒区域(区域番号; I-2-3-61 隣)は指定前であるが、指定前の区域図によれば、レッドゾーンの想定される土石流高さは 0.48m、最大力は 24.32kN/m² であり、同様に本土石流災害の規模からは大きくかけ離れている。

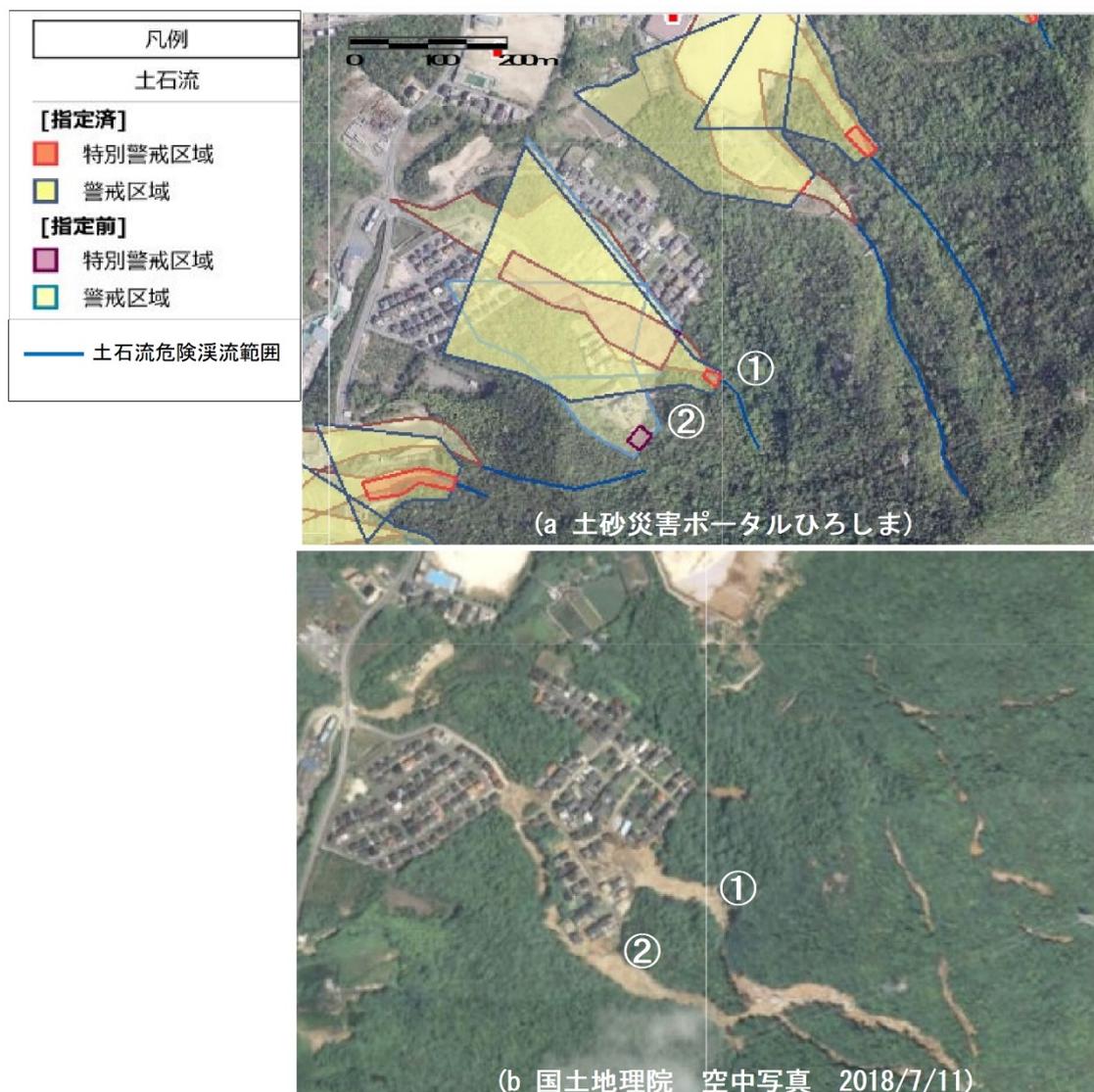


図 5.1.2-4 土砂災害警戒区域(土石流)と土石流災害状況との対比

以上の様に、本災害では、土砂災害警戒区域範囲は適切にその危険性は示しているが、レッドゾーンや規模、すなわち土石流流量の想定量を大きく超えた災害であった。

また、溪流①の上の土砂災害警戒区域の溪流には砂防ダムが3~4基、建設されており、本災害においては、保全対象である熊野町民体育館や熊野第四小学校などの公共施設に被害はなかった。それに対して溪流①、②には砂防施設はなく、被害は拡大した。

(3) 呉市安浦町市原

1) はじめに

広島市熊野町と三津口湾を結ぶ県道 34 号の安原町中畑から町道で南に約 1km 下った市原，標高 500m 前平山の南東側斜面で土石流災害が発生した。調査位置図と土石流災害イメージ図を図 5.1.2-5 に示す。土石流被害の原因の一つとして，砂防堰堤からの土砂氾濫が挙げられ，本土石流災害でも土石流は砂防堰堤の袖部を破壊，氾濫して，町道沿いの民家まで達し，民家が被災した。堰堤袖部のコンクリートの一部は町道付近まで運ばれ，土石流の勢いの凄まじさを示している。調査は，被災の約 3 か月後の 10 月 19 日に実施した。



図 5.1.2-5 位置図と土石流災害イメージ図

2) 被災状況

既設の砂防施設は，本堰堤，溪流保全工(水路工)，及び副堤から構成されていた。

写真 5.1.2-6,7 に堰堤の破損状況を示す。また，写真 5.1.2-8~10 では町道沿いの土石流による家屋等の被害状況である。

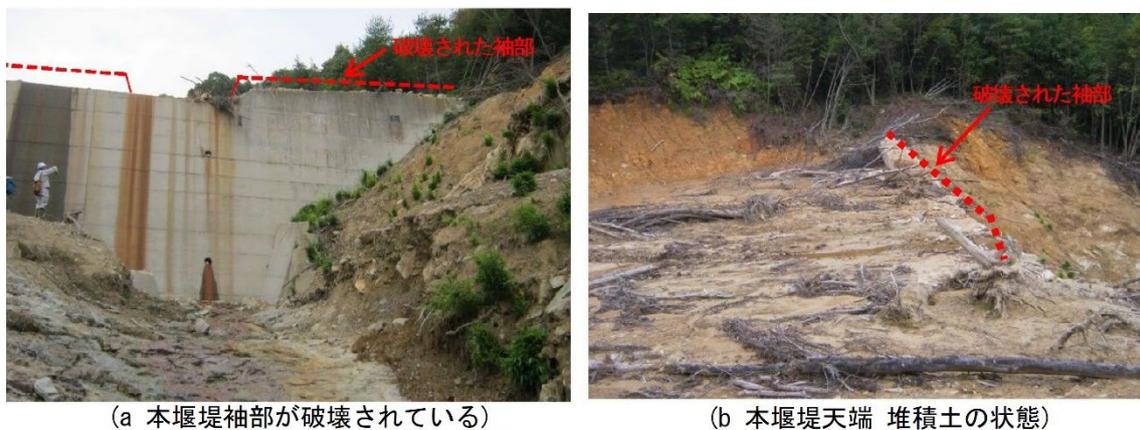


写真 5.1.2-6 砂防堰堤(本堤)の破損状況



(a 副堤の損傷状況、背後に本堤)



(b 町道まで流された本堤の袖部コンクリート)

写真 5. 1. 2-7 副堤の損傷と土石流に運搬された袖部コンクリート



(a 被災後)



(b 被災前 グーグルストリートビュー)

写真 5. 1. 2-8 町道を挟んだ被災状況



(a 被災後)



(b 被災前 グーグルストリートビュー)

写真 5. 1. 2-9 町道山側の家屋の損壊状況



(a 被災後)



(b 被災前 グーグルストリートビュー)

写真 5.1.2-10 町道谷側の家屋の損壊状況

当該地域の主な地質構成は、デイサイト・流紋岩類の火山岩を基岩盤とし、表層には火砕流堆積土砂等が覆っている。下流部の流出土砂には、細粒土と大きな角礫や礫が混じっていたが、巨礫や巨石は見られなかった。堰堤堆砂部には、巨礫と巨石がわずかに確認されたが、堰堤の背後には、水分を含んだ柔らかい細粒度が堆積していたことから、崩壊、流出した土石流は基岩上の火砕流堆積物などが主だったものと考えられる。



(a 堰堤背後の堆砂状況 巨礫などは僅か)



(b 溪流斜面表層が崩落、土石流として流下)

写真 5.1.2-11 堰堤から上流の溪流状況



(a 溪流の火砕流堆積土砂)



(b 溪流部の想定地山線)

写真 5.1.2-12 溪流上流部の地山

3) 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係

図 5.1.2-6 に土砂災害警戒区域を示す。土砂災害区域(イエローゾーン)の予想は本災害に適合したものとなっているが、当該溪流(区域番号Ⅱ-2-6-11a)の区域図に示されるレッドゾーンは現況副堤部範囲程度となっており、想定される土石流の高さは0.95m、最大力は47.84kN/m²と算出され、本災害での土石流氾濫規模と比較して極小さく設定されている。イエローゾーンは的確ではあるが、著しい危害のおそれのある区域(レッドゾーン)の設定手法の再検討が必要と思われる¹⁴⁾。

その一方、砂防堰堤の土石流を補足する機能については、地球温暖化の影響による近年の降雨量増大に伴う斜面表層崩壊の増加等から、計画以上に堆積土砂が増加しており、土石流に対する土砂補足性能が低下しているものと考えられる。

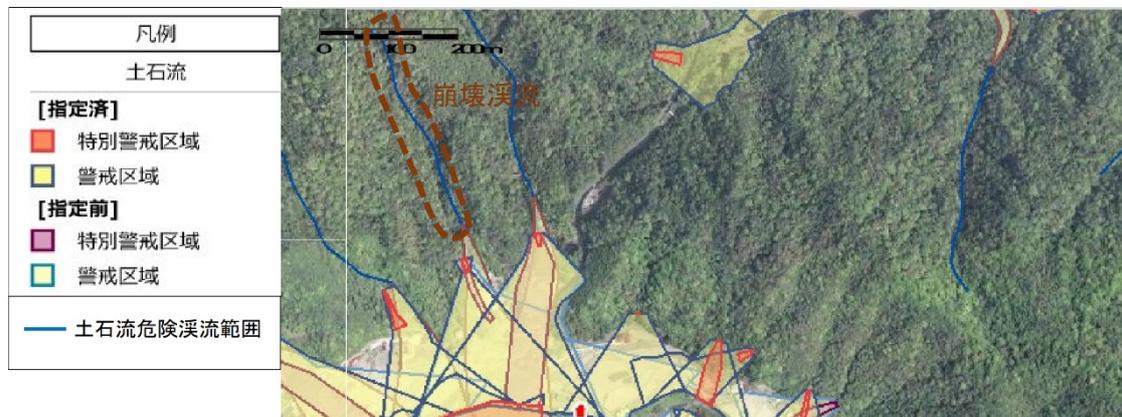


図 5.1.2-6 土砂災害警戒地域(土砂災害ポータルひろしまに加筆)

(4) 呉市吉浦新出町

1) はじめに

鉢巻山(最高峰標高約400m)の西部、標高230mの斜面で崩壊が発生し、土石流となって、標高50m付近の住宅地に土砂が流れ込んだ。土砂によって3名の方が犠牲となった。なお、現地調査は、被災から約3か月後の10月20日に実施した。

2) 地質

対象地は、地質図(図5.1.2-7)によると、後期白亜紀の呉花崗岩からなる。



図 5. 1. 2-7 呉市吉浦新出町周辺の地質図

※産業技術総合研究所地質調査総合センターの地質図 NAVI から引用

3) 被災状況

谷の出口に並んでいた家屋3軒が土石流によって、被害を受けた（図 5. 1. 2-8）。国土地理院による被災した数日後の空中写真によると、図 6. 1-2 に示す中央及び右の家屋は、完全に流出し無くなっていた。



図 5. 1. 2-8 谷の出口の家屋が土石流によって被災した状況

4) 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係

土石流流出範囲の空中写真と土砂災害警戒区域を重ねた図を図 5. 1. 2-9 に示す。図を見ると、流出した土砂は、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）内に収まっているが、土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）を大きく超えて、土砂が下流へ流出していることが読み取れる。土砂がレッドゾーンを超えた原因を調査する必要がある。

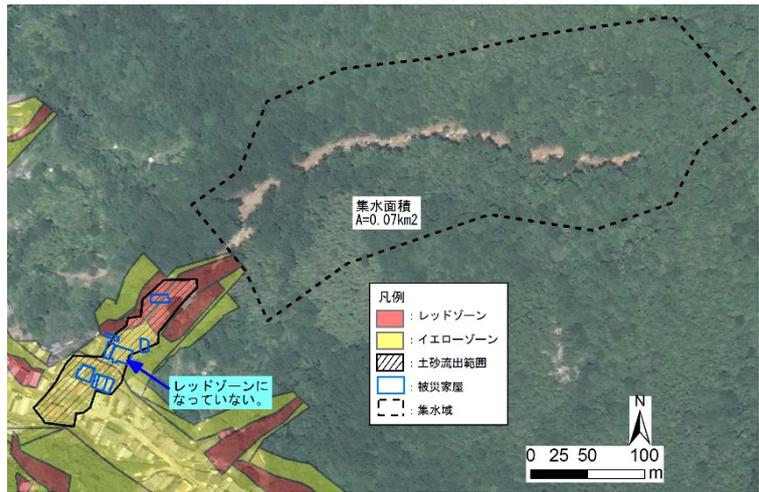


図 5.1.2-9 呉市吉浦新出町 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係※土砂災害警戒区域は広島県 HP の土砂災害ポータルひろしま，空中写真は地理院地図から引用

(5) 呉市天応西条 3 丁目

1) はじめに

大屋大川沿いは、多数の土石流が発生している（図 5.1.2-10）。呉市天応西条 3 丁目位置する大屋大川右支流沿いでは、集水面積 $A=0.02\text{km}^2$ からなる小溪流で土石流が発生し、家屋 4 軒が土砂に巻き込まれた。なお、現地調査は被災から約 3 か月後の 10 月 20 日に実施した。



図 5.1.2-10 呉市天応西条 3 丁目 土石流発生箇所（赤線）と調査対象地（水色丸印）位置図※地理院地図引用

2) 地質

対象地は、地質図（図 5.1.2-11）によると、後期白亜紀の花崗岩からなる。



図 5. 1. 2-11 呉市天応西条 3 丁目周辺の地質図

※産業技術総合研究所地質調査総合センターの地質図 NAVI から引用

3) 被災状況

谷の出口の家屋の被災状況を図 5. 1. 2-12 に示す。谷出口に並んでいた家屋 A, B, C の 3 軒は、土石流によって完全に流出した。家屋 D は、現地調査時点で解体されていた。



図 5. 1. 2-12 谷の出口の家屋が土石流によって被災した状況

土石流が発生した谷の頂部は、0 次谷の地形となり、幅約 13m、厚さ約 1.5m の表層崩壊を確認した（図 5. 1. 2-13）。この表層崩壊が土石流化したと見られる。滑落崖露頭の一部は、厚さ 50cm 程度の締まりの緩い砂からなる堆積物であった（図 5. 1. 2-14）。



図 5.1.2-13 土石流発生源の表層崩壊跡の状況



図 5.1.2-14 滑落崖の状況

4) 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係

土石流流出範囲の空中写真と土砂災害警戒区域を重ねた図を図 5.1.2-15 に示す。図を見ると、レッドゾーンは、扇頂部のわずかな範囲であり、流出した土砂は、レッドゾーンを大きく超えて、土砂が下流へ流出していることが読み取れる。土砂がレッドゾーンを超えた原因を調査する必要がある。

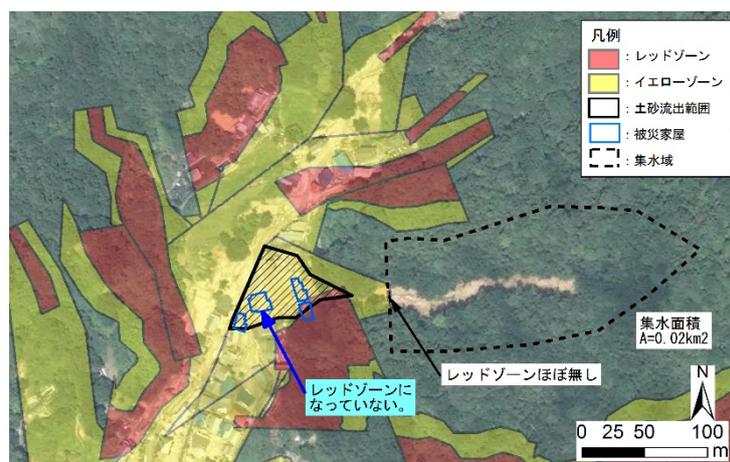


図 5.1.2-15 呉市天応西条 3 丁目 土石流流出範囲と土砂災害警戒区域の関係※土砂災害警戒区域は広島県 HP の土砂災害ポータルひろしま, 空中写真は地理院地図から引用

5.2 中山間地域における土砂災害の対応策

(1) 中山間地域の特徴

中山間地の定義は一義的に定まったものはないが、一般的に中山間地は、平野部外縁部から山間地にかけての地域を示し、日本国土の面積の約 70%を占めているとされている。また、農林水産省では「農業の生産条件が不利な地域」として、田圃や畑地の勾配とその割合や林野率などで定義されている(図 5.2-1 参照)。一方、「産業振興、就労機会の確保、保健・医療・福祉サービスの確保その他の社会生活における条件が不利で振興が必要な地域」といった概念的な定義もあり、過疎地域や特定農山村地域、辺地地域などが対象とされることもある。

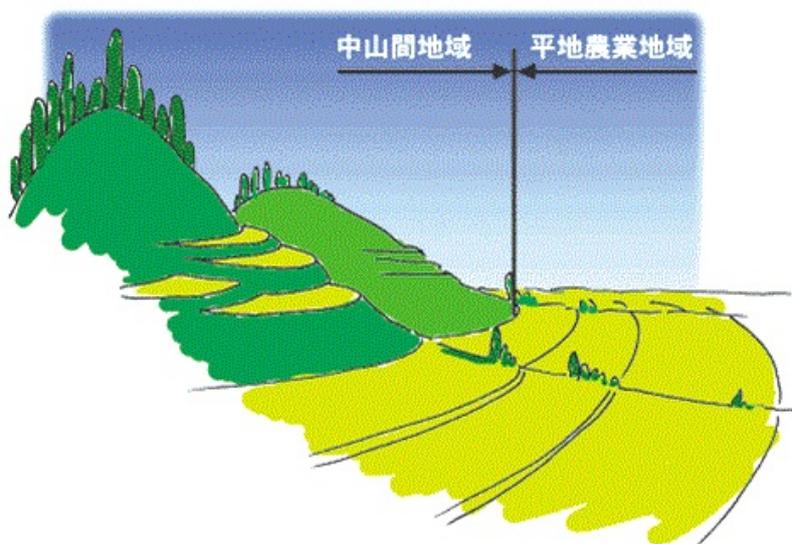


図 5.2-1 中山間地域（農林水産省）¹⁵⁾

実際このような地域は、山間地のやや開けた箇所には民家が存在しており、集落が形成されている。また、この集落から離れたところに単独または少数の民家が存在している。このような地域は、開けた土地を大きく確保できる場所ではないことから、農業（棚田等）、畜産業、林業を生業としているところが多く、高齢化・少子化・過疎化が進み、限界集落に至っているところが多い。特に集落規模が小さい（集落の人口規模が小さい）ほど高齢化率が高い、すなわち過疎化が進行しているほど高齢化率が高く、結果として限界集落化が加速する。

このような村落や民家は、谷（溪流）の出口、山裾、谷間に展開していることがほとんどであることから、土石流やがけ崩れの危険性が高い。しかし、これらの土砂災害の危険性が高い地域であるにもかかわらず、事業の採択条件等により対策が進まない地域も多い。

例えば、土石流対策においては、対象とする民家の戸数や保全対象の施設等により優先順位が決められ、事業化が決まるため、たとえレッドゾーンに民家があったとしても対策が進まない地区も多い。

ここで、少し古いデータではあるが、中山間地における荒廃耕地の土砂災害、水害の発生箇所数を、表 5.2-1 に示す。中山間地が国土の約 7 割を占めることもあるが、災害の発生割合も同様に全体の 7 割を占める。中山間地の大部分が未利用地域であることを考慮すると、中山間地での土砂災害、水害の発生割合が平地よりも非常に高く、かつ耕地の荒廃が原因となることが多いことがわかる。これは、高齢化、過疎化と密接に関連している。

表 5.2-1 過去 5 年間で耕地の荒廃が原因で被害が発生した旧市町村数

	土砂崩れ	水害
全国	143	120
平地農業地域	27	28
中山間地	106	75

資料：農林水産省「農業センサス（平成 7 年）」より抜粋

さらに、前述したように、中山間地では民家が散在していることから、災害発生時には集落が孤立し、救助や救援が困難となる可能性が高い。内閣府が平成 17 年第 1 回調査から平成 25 年第 2 回フォローアップ調査までに調査を実施した、中山間地域の集落のうち災害等の発生時に孤立する可能性のある集落は、表 5.2-1 孤立可能性のある集落数に示すように中山間地域の全集落の約 30%に上る。

表 5.2-1 孤立可能性のある集落数

	平成17年度調査		平成21年度調査		平成25年度調査	
	集落数	割合 (%)	集落数	割合 (%)	集落数	割合 (%)
孤立可能性有り	17,451	29.7	17,406	29.2	17,212	29.3
孤立可能性無し	41,348	70.3	42,141	70.8	41,522	70.7
計	58,799	—	59,547	—	58,734	—

※出典「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に

関する状況フォローアップ調査」,平成 26 年 10 月,内閣府)

また、これらの都道府県別の孤立可能性集落数を図 5.2-2 に示すが、都道府県別では、長野県が最も多く、広島県、高知県、大分県、次いで群馬県、新潟県、島根県、愛媛県が挙げられる。

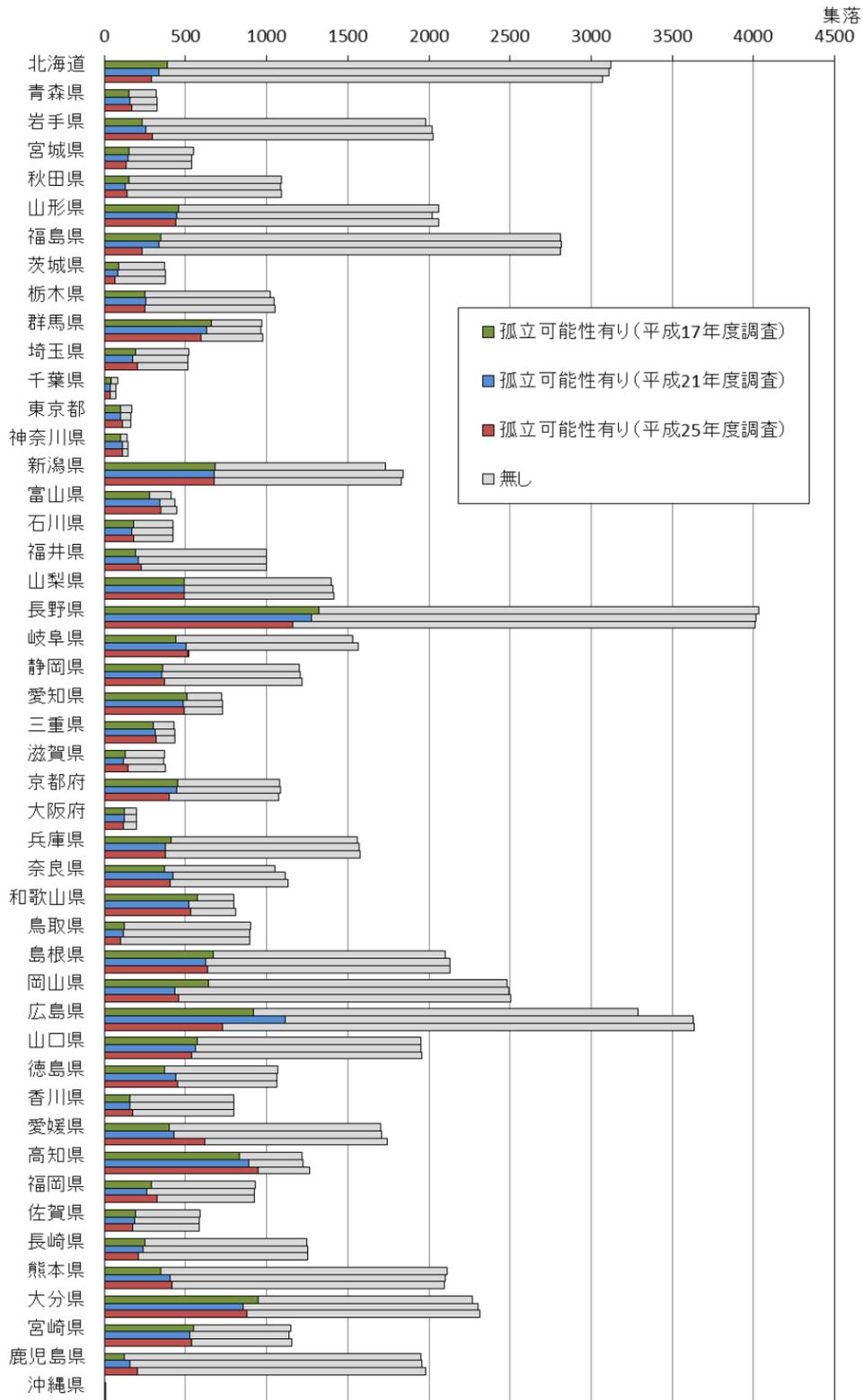


図 5.2-2 都道府県別の孤立可能性集落数

※出典「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査」, 平成 26 年 10 月, 内閣府)

(2) 中山間地域における土砂災害事例

1) 土砂災害事例の概要

中山間地域における土砂災害として代表的な事例として、「平成 29 年 8 月九州北部豪雨災害（朝倉地域およびその周辺部）」「平成 30 年 7 月西日本豪雨災害」があるが、その詳細は 5.1 を参考にされたい。この他「平成 26 年 8 月広島土砂災害」「平成 25 年伊豆大島土砂災害」「平成 24 年九州北部豪雨災害（阿蘇地域）」「平成 22 年広島県庄原豪雨災害」などがあげられるが、いずれも共通しているのは、長時間降雨または局所的な豪雨によって、山腹に浸透した雨水や表面水が谷部（渓流域）に集中して、発生源崩壊・山腹崩壊とともに、土石流・流木流出が発生し、谷出口や山裾に展開する村落を破壊し大規模な災害にいたったと考える。



図 5.2-3 平成 22 年庄原豪雨災害事例¹⁶⁾



図 5.2-4 平成 24 年九州北部豪雨災害事例
(阿蘇市中坂梨地区における斜面崩壊)

2) 土石流流出範囲とレッドゾーンの範囲が一致しない原因と対応策

土砂災害特別警戒区域（以下、レッドゾーン）は、土砂災害防止法によると、「警戒区域のうち、急傾斜地の崩壊等が発生した場合には建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体

に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域」と示されている。したがって、逆にとらえれば、レッドゾーンの区域外は、建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがないと読み変えることもでき、住民へ誤解を与えかねない。住民にとって、レッドゾーンの範囲は、非常に重要な意味を持つと考えられる。

平成 30 年 7 月豪雨で被災した広島県では、土石流の流出範囲とレッドゾーンの範囲が一致しない箇所が一部で認められる。その代表例として、下記 3 パターンを挙げ、それぞれ原因を解説する。

- ①土石流がレッドゾーンを超えて下流へ流出するパターン
- ②複数の沢で同時に土石流発生するパターン
- ③土石流が湾曲するパターン

①土石流がレッドゾーンを超えて下流へ流出するパターン

<原因>

図 5.2-5 に土砂流出範囲とレッドゾーンの範囲、被災家屋を示す。土砂は、指定していたレッドゾーンの区域を超え、下流の家屋を損壊させた。原因は、想定以上の土砂が流出したためであると考えられる。詳細を以下に述べる。

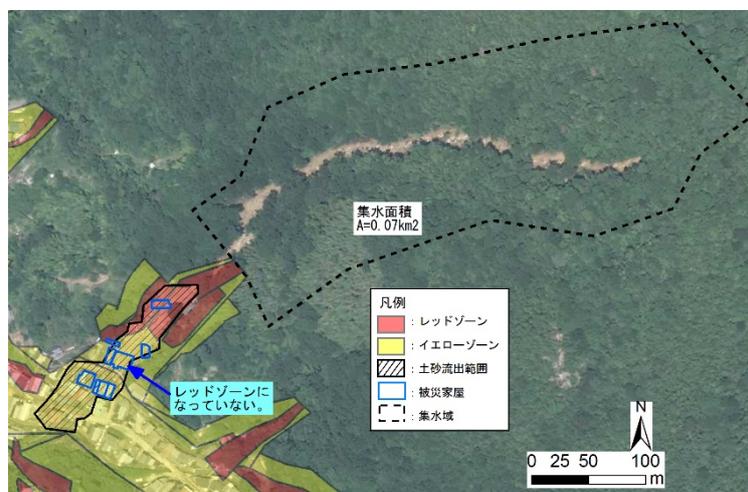


図 5.2-5 土石流がレッドゾーンを超えて下流へ流出するパターン（広島県呉市吉浦新出町） ※土砂災害警戒区域は広島県 HP の土砂災害ポータルひろしま，空中写真は地理院地図から引用

レッドゾーンとイエローゾーンの区分は、図 5.2-6 に示す所定の定数や計算式により求められる。

土石流の土砂災害警戒区域の計算に用いる定数

定数	定数の説明	数値	単位
ρd	土石流の密度	1.46	t/m ³
ϕ	土石流に含まれる土石の内部摩擦角	35	度
θ	土石流が流下する土地の勾配	7	度
ρ	土石流に含まれる水の密度	1.2	t/m ³
U	土石流の流速	2.73	m/s ²
n	粗度係数	0.1	
h	土石流の高さ	0.69	m
C	堆積土石等の容積濃度	0.6	
σ	土石流に含まれる礫の密度	2.6	t/m ³
V	土石流により流下する土石等の量	1700	m ³
B	土石流が流下する幅	30	m
Fd	土石流により建築物に作用すると想定される力	35.3	kN/m ²
P2	通常の建築物の耐力	10.42	kN/m ²
H3	土石流により力が建物に作用する場合の土石流の高さ	0.69	m

凡例

- : 一定の計算式でその都度自動的に求まる値
- : ほぼ固定値
- : 地形の計測値
- : 曖昧な値

$$Fd = \rho d \times U^2 = 10.88 \text{ kN/m}^2$$

Fd	P2	判定
10.9	> 10.4	レッドゾーン

$$\rho d = (\rho \tan \phi) / (\tan \phi - \tan \theta) = 1.46 \text{ t/m}^3$$

$$U = \{ (h^{2/3}) \times (\sin \theta)^{0.5} \} / n = 2.73 \text{ m/s}^2$$

$$h = \left[\frac{0.01 \times n \times C \times V \times (\sigma - \rho) \times (\tan \phi - \tan \theta)}{\rho \times B \times (\sin \theta)^{0.5} \times \tan \theta} \right]^{0.6} = 0.69 \text{ m}$$

$$P2 = 35.3 / \{ (H3 \times (5.6 - H3)) \} = 10.42 \text{ kN/m}^2$$

図 5.2-6 レッドゾーンとイエローゾーンを区分する計算式及び定数

最終的には、下記のように判定される。

$$Fd > P2 \dots \text{レッドゾーン}$$

$$Fd \leq P2 \dots \text{イエローゾーン}$$

ここで、Fd：土石流により建築物に作用すると想定される力，P2：通常の建築物の耐力である。

計算に用いられる定数の中で最も曖昧な値となっているのが、「V:土石流により流下する土石等の量」である。Vは、レッドゾーンとイエローゾーンの区分に大きく影響を与えるものであり、図 5.2-7 はその傾向を示したものである。Fd は土石等の量が増加するに従い大きくなるのに対し、P2 は土石等の量が増加するに従い小さくなる傾向となる。このため、土石等の量を誤れば、極端に異なる結果を導き、誤ったレッドゾーンの範囲を指定することとなる。

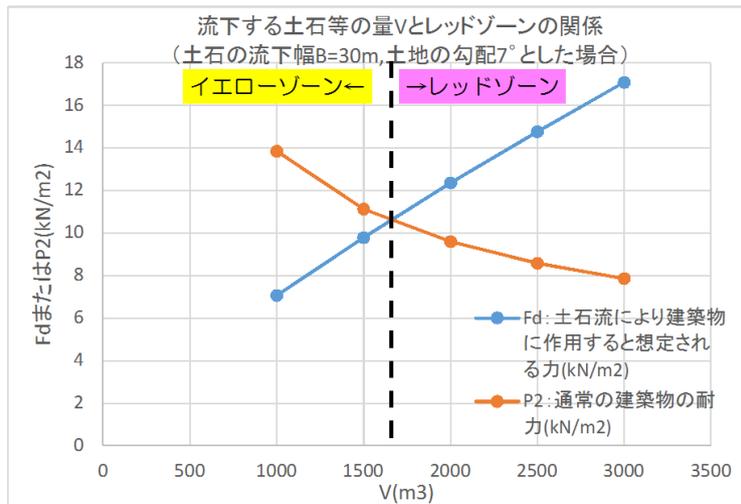


図 5.2-7 土石等の量とレッドゾーンの関係

Vは、渓床に堆積した不安定土砂量に相当する。この不安定土砂量は、断面積 (m²) × 溪流長 (m) により算出される。ここでいう断面積は、図 5.2-8 に示すような横断面図の地形から推定され、断面積に影響する堆積深は、目測で推定されている。このため、Vは必ずしも正確な値になっていないと考えられる。この目測で堆積深を推定している現況の方法では、レッドゾーンをすべて正確に的中させることは、無理であると考えられる。

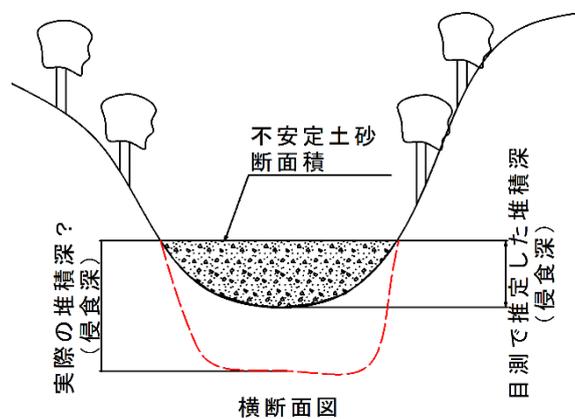


図 5.2-8 堆積深の推定方法

<対応策>

平均侵食深は、統計によると概ね0.5~3.0m程度の範囲内にある¹⁷⁾。このため、住民の立場から安全側を考慮し、侵食深はすべて3.0mとする方法もある。

②複数の沢で同時に土石流発生するパターン

<原因>

レッドゾーン範囲の計算に用いられる「 V :土石流により流下する土石等の量」は、本流に合流する支流が複数あっても、 V が最大となる沢1本で算出することとなっている。このため、複数の沢で同時に土石流が発生した場合、実際流出した土石等の量は、想定した V よりも大きくなる。図5.2-9は、その例であり、1つの集水域の中にある2つの沢で土石流が発生している。土砂は、指定していたレッドゾーンの区域を超え、下流の家屋を損壊させた。おそらくこの図に示すレッドゾーンは、いずれか1つの沢でしか V を見積もっていなかったと考えられる。土石流が沢1本でしか発生しない理由はないので、今後もこのような事例が出てくる可能性が高い。

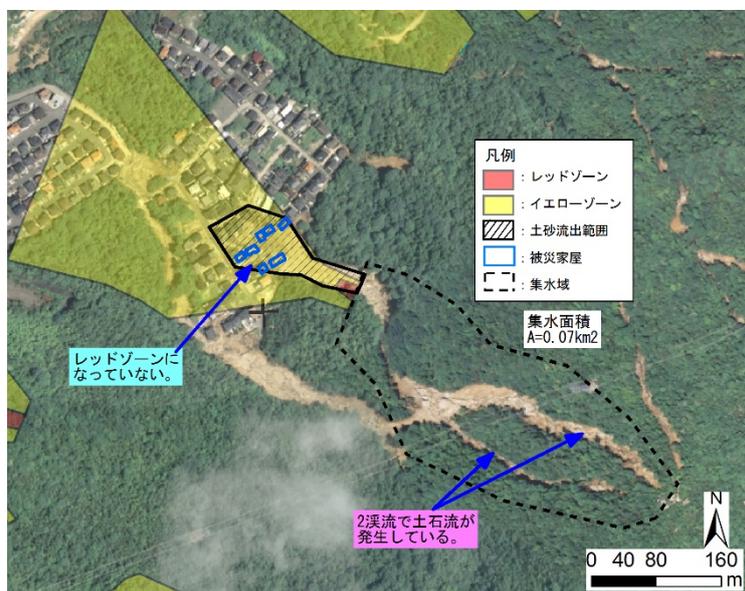


図5.2-9 2溪流同時に土石流が発生するパターン（広島県安芸郡熊野町川角1丁目）

※土砂災害警戒区域は広島県 HP の土砂災害ポータルひろしま、空中写真は地理院地図から引用)

<対応策>

土石流により流下する土石等の量 V は、沢1本の V を算出するのではなく、すべての沢の V を足し合わせる必要があると考えられる。

③土石流が湾曲するパターン

<原因>

図5.2-10は、土石流が湾曲し、土砂がレッドゾーンの外側へ流出した事例である。一般に、土石流の平面的な流下方向は、シミュレーション解析ではなく、直進性を考慮し人

為的に設定される。土石流の流下方向は、障害物の高さと土石流の流下速度によって変化するものであり、この事例は、どちらかを見積もっていなかった可能性がある。

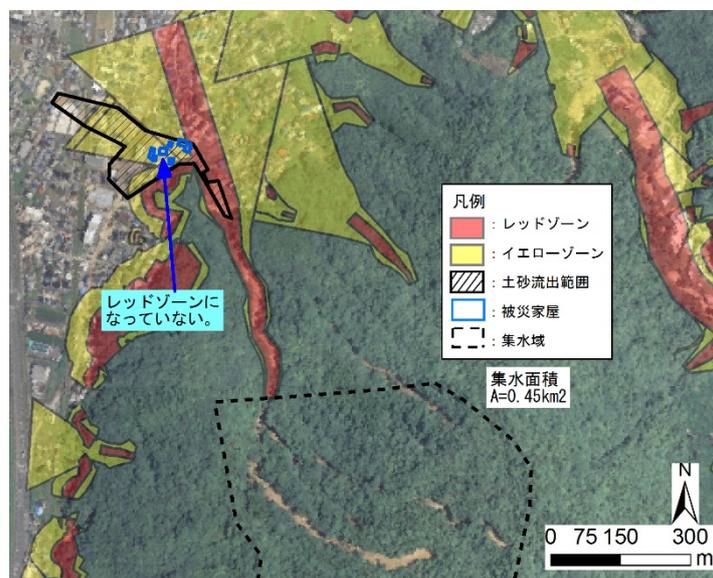


図 5. 2-10 土石流が湾曲するパターン（広島県広島市安佐北区口田南 3 丁目）

※土砂災害警戒区域は広島県 HP の土砂災害ポータルひろしま、空中写真は地理院地図から引用)

<対応策>

土石流の流下方向は、シミュレーション解析¹⁸⁾によって求めることができる。作業が大変そうに感じるかもしれないが、レーザープロファイラの 3 次元地形データがあることを前提に考えれば、市販のソフトでそれほど手間をかけなくても土石流の到達範囲をシミュレーション解析で求めることができる。

最後になるが、土石流のレッドゾーンは、どの程度の降雨を想定して設定しているのかが曖昧になっている。レッドゾーンの範囲と実際に発生した土石流範囲がたまたま一致したとしても、今後より強い降雨があれば、同じ溪流から複数回土石流が発生し、レッドゾーンの範囲を超えて、想定以上に下流へ土砂が流出する可能性がある。際限がないように思われるかもしれないが、現在のイエローゾーン（扇状地）は、過去の度重なる土石流堆積物が流出した分布であり、過去最大でイエローゾーンの末端まで土砂が到達するくらいの降雨が発生したことを意味している。したがって、極論かもしれないが、現在指定している土石流のイエローゾーンの範囲は、リスク管理を行う住民にとってはレッドゾーンに相当するとして考えるべきである。防災の専門家がハザードマップを用いて土石流の危険性を啓発する際は、イエローゾーンもレッドゾーンに匹敵する危険性が潜んでいることを解説に加える必要があると考えられる。

(3) 対応案

1) ハード対策

土砂災害に対する対策施設が施された箇所では、土砂災害はほとんど発生していない。しかし中山間地では、その地域特性を考慮すると、被災対象すべてに同様の対策施設を施す効果と費用がアンバランスになることから、重点的かつ戦略的な対策が必要である。

土砂災害対策は、重点的かつ戦略的な対策が必要であり、国土交通省では、

- ・施設整備の重点化
- ・警戒避難誘導體制の強化
- ・安全な土地利用への誘導

を挙げている。

ハード対策としては、「施設整備の重点化」に含まれるが、施設としては、例えば以下の施設整備がハード対策として挙げられる。

- ①土石流対策：砂防堰堤，山腹工，流路工（導流堤），遊砂池
- ②山地荒廃防止：治山堰堤，谷止工，法枠工
- ③地すべり：地下水排除工，グラウンドアンカー工，排土工，押え盛土工，抑止杭工
- ④がけ崩れ：法枠工，鉄筋挿入工，擁壁工，吹付工，地下水排除工
- ⑤落石：落石防護網，落石防護柵，原位置固定工（ネット，ロープ，岩接着等），
高エネルギー吸収防護網・防護柵

特に、近年の土砂災害による犠牲者の多くが高齢者等の災害時要援護者であることや、避難路・避難場所の被災が発生していることを踏まえ、中山間地等における避難が困難な集落の対策，防災拠点の保全，避難路・避難場所の防災等，高齢者等災害時要援護者の被害をできるかぎり減少させるため，中山間地の地域特性を踏まえたうえで施設整備の効果が高い地区，地域で重点的に施設整備を行う。

また、中山間地における土砂災害対策としては、ハード施設の整備のみでは限界があるため、ソフト対策と組み合わせた対策，すなわちハード対策とソフト対策のベストミックスを踏まえた対策が重要である。この際、土砂災害発生個所に対する発生源対策や、抑止対策だけでなく、避難経路等のハード整備も含めて広域的な対策を検討する必要がある。このようなハード対策とソフト対策のベストミックスについては、どこに比重を置くか、何が最も重要か、関係省庁の法整備や自治体の施策整備はどのような施策が必要か、といったソフト対策も含み、以下のような施策と課題が考えられる。

<中山間地域特性を考慮した対策>

特に、近年の土砂災害による犠牲者の多くが高齢者等の災害時要援護者であることや、避難路・避難場所の被災が発生していることを踏まえ、中山間地等における避難が困難な集落の対策、防災拠点の保全、避難路・避難場所の防災等、高齢者等災害時要援護者の被害をできるかぎり減少させるため、例えば下記のように中山間地の地域特性を踏まえたうえで、施設整備の効果が高い地区、地域で重点的に施設整備を行うことが必要である。

- ・分散している集落の集中化とその周辺部の土砂災害対策施設充実化
(例えば中越地震の復興事例)
- ・集落ネットワーク強化、安全性強化
(避難路となる集落間の道路・鉄道等インフラにおける安全性確保)
- ・山腹崩壊危険箇所への地域住民による簡易な対策施設が設置できる体制整備
(行政手続き簡略化、地元建設業との連携、浸透防止シート等活用した安全で簡易な対策施設の開発とその施設状態把握システムの開発)

<近年の土砂災害特性を考慮した対策>

5.1 で述べたように、近年中山間地域での土砂災害では、土石流・流木による被害が多いことから、渓流域及び周辺山腹に対する土砂災害対策を強化しなければならない。

- ・森林根系活用斜面对策技術検討強化
(森林の質的变化に伴う森林の斜面安定効果の評価を行うとともに、0字谷等発生源における対策技術検討)
- ・森林整備事業、治山事業統合化による効率的流木対策実施
(間伐等森林整備を行うとともに山腹崩壊防止・倒木防止等を実施し、自然斜面对策効率化検討)
- ・土砂・流木の捕捉技術の確立強化
(砂防・治山えん堤だけでは対応できない流出土砂や流木を捕捉する技術開発)
- ・既存土砂災害対策施設の限界状態の把握と見える化
(既設えん堤の土砂捕捉量と現在捕捉量の見える化、捕捉土砂撤去時期明確化)

<施設の維持管理、更新について>

近年、公共社会インフラ施設の老朽化・劣化などの維持管理の問題が叫ばれている中、中山間地での土砂災害対策においても、維持管理などの問題が生じる。例えば、グラウンドアンカー工は、永久アンカーが開発される前後までに施工されたものは、腐食などによ

り劣化が進行し、頭部や受圧板が落下したり、破断によりアンカーが抜けたりしているものもある。また、モルタル吹付などは顕著な例で、地山の風化や変位、モルタル劣化に伴い多数のクラックが入っている吹付面も少なくない。

また、耐震性能不足や基準変更に伴う性能不足など、現在の基準を満たさない施設も多い。例えば、砂防堰堤については基準改正により、それまで考慮する必要がなかった土石流流体力なども考慮して設計をしなければならない。

このような維持管理や性能低下、性能不足の生じた施設についても、中山間地では費用対効果が低く、整備が後回しになりがちである。特に、中山間地での市町村道などは、予算そのものにも限界があり、整備が進まないものも多い。各都道府県を中心に、斜面安定度調査や構造物点検などが進められ、斜面崩壊や落石、道路施設などの安全性は点検調査がなされてきているが、これをさらに市町村の施設まで拡大する必要がある。

また、「砂防関係施設点検要領(案)」が国土交通省から、「地すべり防止施設の機能保全の手引き(各工種編)」が農林水産省から出されているように、砂防・地すべり・急傾斜地等の対策施設(グラウンドアンカーや鉄筋挿入工、法枠工、集水井など)の点検も重要であるが、国、都道府県、市町村等を含めると膨大な箇所数となる。このため、施工年度、重要度(保全対象、規模など)、耐用年数などを踏まえて優先順位を付けたうえで点検を進め、必要に応じて補修、補強、改修・改良等をしていかなければならない。

2) ソフト対策

土砂災害などに備えたハード対策には予算的な限界もあり、全ての要対策箇所に100%の対策施設を設置することはほぼ不可能である。このため、ここ数年来言われているハード対策とソフト対策のベストミックスを考えた総合的な対応策を講じなければならない。すなわち、ハード対策としては、「選択と集中」により、人命最優先としつつリスク評価により優先度の高い施設から整備を進める。そして、ハード対策で対策しきれない部分、想定を超える部分、当面对策施設が整備されない箇所については、ソフト対策で補う必要がある。

例えば、「平成26年8月豪雨による広島市の土砂災害」の災害においては、梅林学区など被災した複数の自治会で自主防災組織が設置され、防災学習や街歩きによる危険個所や避難場所・経路などのフィールド調査、防災マップの作成がなされるなど、地域住民の防災意識が急速に醸成された。そこでは、地区内の鉄筋コンクリートのマンションを緊急避難施設とさせていただくなど、地域住民通しの共助の意識も醸成されている。

孤立可能性のある集落における、自主防災組織の設立も進み、主に中山間地の農業地域

においては、平成27年の調査で約75%に上る。

しかしながら、いわゆる過疎化の進んだ中山間地の集落では、自主防災組織の設置が進んでいないもの、多くの集落で災害時要援護者の人数の把握ができていない。

このように、ソフト対策としては、以下のような対応策が望まれる。

①防災教育、避難訓練

有事の自助、共助、公助のため、そして有事への備えのために、防災知識を身に付ける必要がある。このための防災教育を地域の中で行う必要がある。ここでは、ハザードマップをもとに街歩きをし、災害時の危険個所や避難経路、避難施設を把握しておく必要がある。

②予測

広域的な降水予測については、全球降水観測計画（GPM）主衛星の観測結果をもとに、数時間～24時間程度先の予測であれば、非常に精度が高くなってきている。また、集中豪雨の発生予測については、社会実装はされていないものの、スーパーコンピューターにより、半日以上前に発生地域を50%から70%の確率で予測する基礎技術が確立されている。しかしながら、降水予測の精度が向上したとしても、どの程度の降水であればどの地点でどの程度の災害が発生するかといった具体的な災害発生の予測技術はまだ確立されておらず、降水予測情報に基づいた土壌雨量指数による土砂災害発生予測がなされるにとどまっている。

今後は、これらの気象予測技術にだけでなく、地形・地質情報を加えた災害発生予測の精度向上が期待される。

③避難勧告・指示、警報

豪雨時には、避難経路や危険個所の判断も難しく、避難時に被災することも考えられる。このため、いわゆる「空振り」を恐れず、気象予測をもとにできるだけ早急に警報を発令し、避難を呼びかけるとともに、住民も助け合いながら迅速に避難する必要がある。

④自助

災害時には、まず自分の身を守ることを優先させる。自分自身を守れなければ、他人や地域を守ることはできない。このためには、防災知識を身に付けることも重要である。

⑤共助

自分の身を守る自助に加え、地域や学校、企業などで互いに助け合うとともに、災害時要援護者の情報を共有したうえでこれら要援護者の救助、救援を行うことである。自助では対処できないが、公助ではきめ細かな対応ができない部分について、公助にて補う必要がある。前述したように、災害要援護者の情報は地区の住民が最もよく知っている情報で

あり、この情報をもとにした自助、共助を含めた避難計画や避難訓練も必要である。

⑥公助

公的機関が、個人や地区自治会などで対応できない問題を解決することで、広範囲かつ困難な問題への対応、援助が主体となる。この場合の公的機関は、市町村（消防等）や県（警察等）、国（自衛隊など）が挙げられ、後者ほど大規模かつ困難な救援活動を行うこととなる。

⑦BCP

BCP（Business continuity planning：事業継続計画）は、災害等発生時において、企業が損害を最小限に抑え、事業の継続や復旧を図るための計画である。実際には、企業に限らず、公的機関もBCPを策定し、災害発生時にも自治体としての最低限の機能ならびに救援活動を行えるように取り組んでいる。

ここで、前述した内閣府による「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査（第2回）」結果から、「孤立可能性のある集落の避難施設、備蓄等の対策の有無（農業集落）」のとりまとめ結果について、**図**に示す。これを見ると、平成17年から平成25年の間に十分ではないが全体にはソフト対策が進んでいるものと、ほとんど進んでいないもの、または後退しているものがある。

対策が進んでいるものとして、「自主防止組織有り」が対象集落中73.8%と最も進んでいる。一方、避難訓練や情報伝達訓練の実施集落は40%以下であり、そもそも避難計画がある集落が約10%、受援計画のある組織に至っては1%に満たない。すなわち、自主防災組織の設置が増えているものの、具体的な活動実績は少なく、有事の避難が迅速に行えるか疑問である。これには集落の高齢化や専門知識を持つ住民が少ない、といった理由が考えられる。このような集落においては、行政が主導して避難計画や受援計画の策定、避難訓練や情報伝達訓練などの実施を進める必要がある。

最後に、「平成30年度防災白書」に示された「地域防災力」による防災・減災の事例を表5.2-3にまとめる。

表 5. 2-3 平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害時の地域の取り組み

市町村	公的取り組み	地域の取り組み	結果
福岡県朝倉市	市内全地区の「自主防災マップ」を作成・全戸配布	住民による地域の危険箇所等の確認や避難場所の周知がなされ、	地域住民による避難場所へ避難行動がとられた
福岡県東峰村	自治体からの避難行動要支援者名簿の情報提供	避難行動要支援者支援計画を作成 年 1 回の避難訓練実施	今回の災害の直前にこの避難訓練が実施されていたことも住民の円滑かつ迅速な避難につながった
大分県日田市	地域の防災力の強化	自主防災組織等の地域防災組織やリーダーの育成	組織やリーダーにより、行政からの情報を待たずに地域住民に避難を呼びかけ避難行動がとられた

自助・共助の取組に対しては、「自主防災組織の手引ーコミュニティと安心・安全なまちづくりー（消防庁）」、「地区防災計画ガイドライン（内閣府）」、「地区防災計画モデル事業報告ー平成 26～28 年度の成果と課題ー（内閣府）」（参照：<http://www.bousai.go.jp/kyoiku/chikubousai/index.html>）等を参考として、住民自ら防災知識の普及・啓発に努める必要がある。

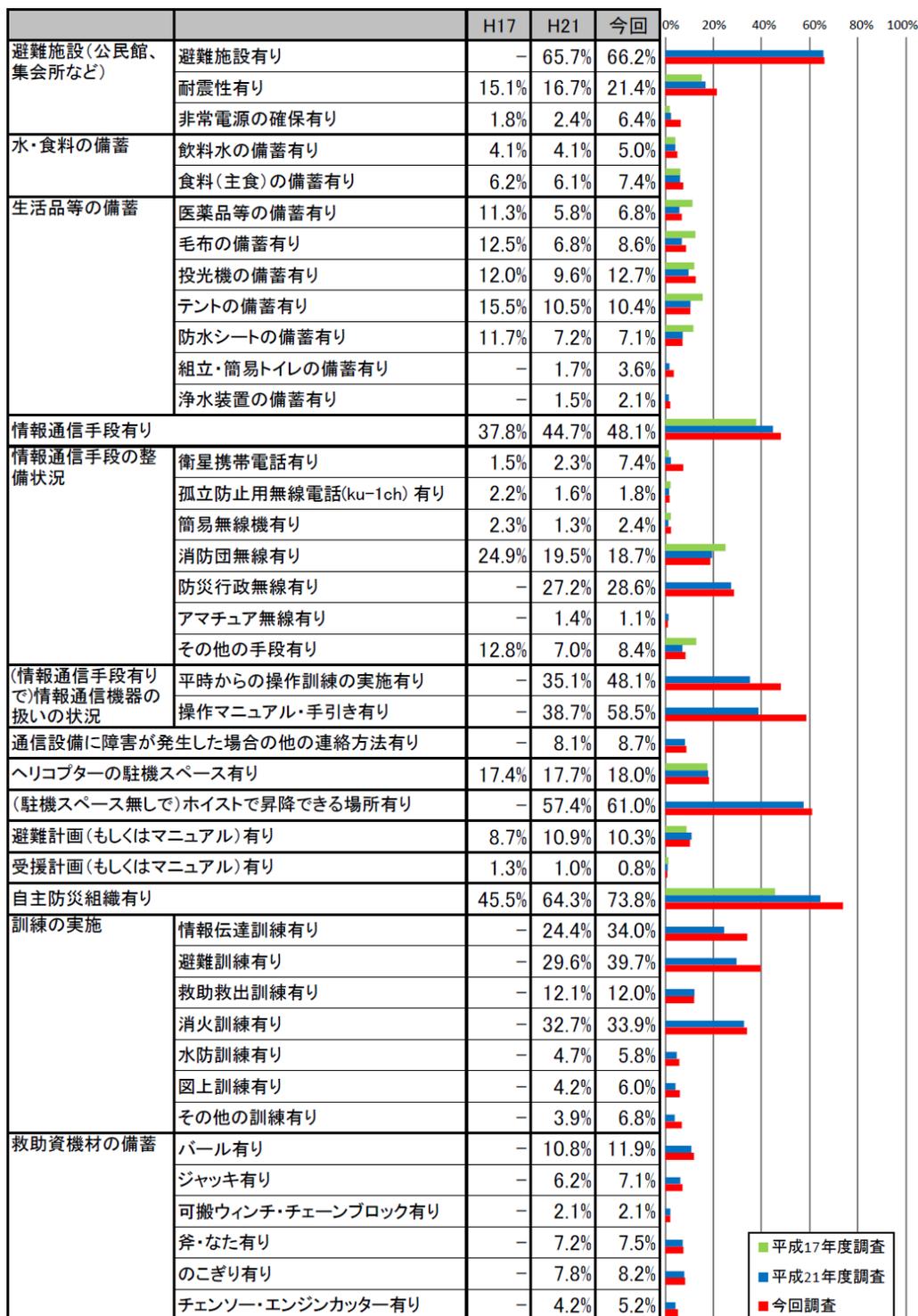


図 5.2-11 孤立可能性のある集落の避難施設、備蓄等の対策の有無（農業集落）

※出典「中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況フォローアップ調査」, 平成 26 年 10 月, 内閣府)

3) 土石流流路の確保

戦後はげ山化した山野に大規模な植林がなされた一方、昭和 30 年代には木材輸入の自由化による国内木材価格の低迷が進み、同時期に始まった原油の輸入自由化による燃料革命により薪炭林として需用が失われ、山野が放置されたことから森林は大型化し、溪畔・河畔の樹木も大型化した。

近年の土石流は、豪雨により山腹斜面の崩壊土砂、河床堆積物とともに大型化した山腹の林木、溪畔・河畔林も土石流と一緒に流木となり流下し、谷出口や山裾に展開する村落を破壊している。また、流木が橋脚・橋梁に引っかかり破壊したり、河道を閉塞し洪水を発生させている。

これらに対する対策として土石流の発生する恐れのある箇所が存在する溪畔・河畔林の伐採とともに谷出口に土石流導流工、導流堤として床固工、護岸工などを行い、速やかに土石流堆砂地に導くことが必要である。また、橋梁については無橋脚化を勧めることが望ましい。

土石流流路や谷出口に存在する住戸については移住を促進し、土石流による被災を未然に防ぐことが望ましい。

4) 土砂災害の予測

土砂災害を予測するためには、「いつ：時間」「どこで：場所」「どの程度：規模」を事前に知ることが必要とされている¹⁹⁾。このうち、土砂新法で制定されたイエローゾーンと実際の土砂災害発生箇所はほとんどが一致していることから、イエローゾーンは土砂災害が発生する可能性があるという「場所」を示す要素になる。

また「いつ：時間」は、連続雨量や降雨強度等による気象データ、地盤内土壌水分の状態目安となる土壌雨量指数等で、土砂災害が発生する危険度を示す土砂災害警戒情報を気象庁が発信していることから、100 点といえなくとも、おおよその時期を予測するところまでは達していると考えられる。一方「どの程度：規模」については「レッドゾーン」が目安のひとつと考えられるが、地盤条件・地質条件・流木等の要因等の影響による複合的な現象としての災害になっていることから、実際の土砂災害範囲で示されている領域と異なることが発生していると考えられる。

いずれにしても、「イエローゾーン」「レッドゾーン」「降雨データ」によって、おおよその土砂災害の予測はできるようになっていると考えられる。

この精度を高め、避難警戒行動につなげるためには、下記のことを行う必要がある。

- ・降雨データ精度の向上

- 局地的データモニタリング技術の導入と強化（例えば裏山雨量計プロジェクト²⁰⁾）
- 地域住民のコミュニケーション力の向上と強化
- 地域情報（住宅地降雨データの見える化，住居地の土砂災害リスク把握，避難路および避難箇所確認等）
- 地域レベルまでの避難先アクション共有化

5.3 豪雨災害を予測した住環境整備

(1) ハード・ソフト対策の限界

土砂災害の予防策として、ハード対策とソフト対策は順次進められているが、ハード対策とソフト対策にも限界があることを以下に述べる。

1) ハード対策の限界

土砂災害のハード対策は、自治体等によって順次進められている。しかし、図 5.3-1 に示すように、急傾斜地崩壊危険箇所数とその整備箇所数の推移を見ると、整備箇所数よりも急傾斜地崩壊危険箇所数の方が上回っている。整備を進めているが、進まない状態になっている。土地開発によって、住居が土砂災害危険箇所に建築されているのもひとつの原因と考えられる。財政難により、公共事業による防災施設を急激に増設することは困難であるため、ハード対策のみに頼ることは限界がある。

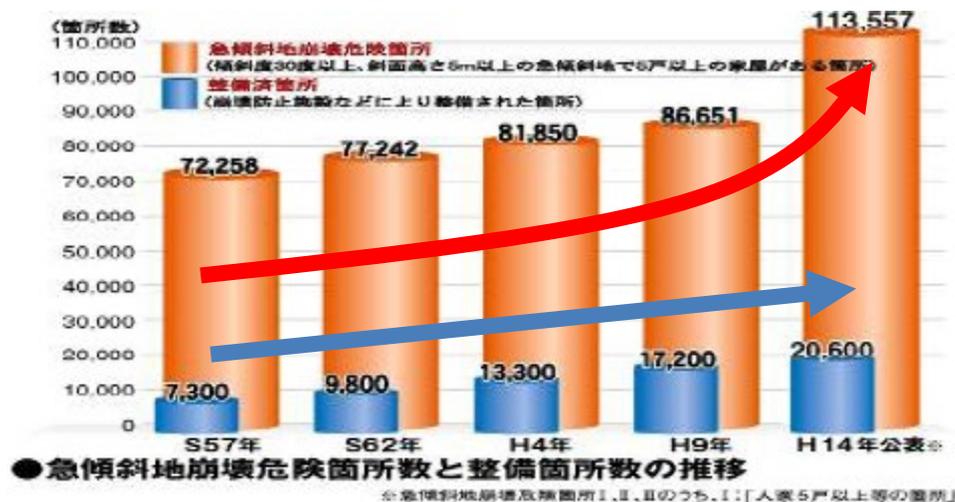


図 5.3-1 急傾斜地崩壊危険箇所数と整備箇所数の推移（国土交通省河川局砂防部：日本の土砂災害対策について、P16 に加筆）

2) ソフト対策の限界

1959 年伊勢湾台風を契機に、1961 年に災害対策基本法が制定された。ソフト対策として重要性が議論されている避難勧告・避難指示は、災害対策基本法 60 条に基づき、原則市町村長の判断で行われる。災害対策基本法が制定されてから 50 年以上経過するが、土砂災害が発生する前に避難指示が出せていないケースが発生している。例えば、2014 年長野県南木曾町梨子沢で発生した土石流災害、2014 年広島豪雨災害は、土石流発生後に避難勧告が発令されている。この先の数年で完璧に避難勧告が発令されるような劇的な改善は期待できない。さらに、2014 年広島豪雨災害においては、夜中の午前 1 時頃から強い雨が降り

始め、数時間経過した午後 3 時 30 分頃に土石流が発生しており、避難勧告が発令されていたとしても多くの住民が無事に避難できていなかったものと考えられる。ソフト対策だけで人命を完全に守ることは容易ではないと考えられる。

(2) 防災教育

避難勧告が発令されたからといって、そのまま住民の避難に繋がるとは限らない。また、完全に避難勧告・避難指示が行えていない状況があるのであれば、避難勧告・避難指示だけで防災を行うのには限界があることも受け入れなければならない。避難勧告・避難指示といった災害が押し迫った情報だけでなく、別の対策として住民に事前に防災知識を啓発することも検討する必要があると考えられる。

1) ハザードマップの課題

土砂災害の危険性を知るツールとして、ハザードマップがある。イエローゾーン、レッドゾーンはほぼ指定されており、自宅が土砂災害の危険性があるかどうかは確認することができる。しかし、一般住民がその意味合いを理解していなければ、ハザードマップが利用されることはない。

2) 情報収集の課題

避難勧告を待たなくても、住民から避難行動を取るため情報を得ることは可能である。例えば、雨量である。気象庁等の行政のホームページでは、リアルタイムで雨量を調べることができる。しかし、土砂災害の特性を知らない住民の場合、雨量の数値だけを見て避難行動を取れるとは思えない。そこで、気象庁がリアルタイムで発信している「土砂災害警戒判定メッシュ情報（図 5.3-2）」がある。この情報を得るだけで、現在の雨量が、避難指示に相当する程度なのか、また避難準備の段階に相当するのかわることができる。この「土砂災害警戒判定メッシュ情報」が利用されれば良いが、一般の住民にはほとんど認知されていないものと思われる。

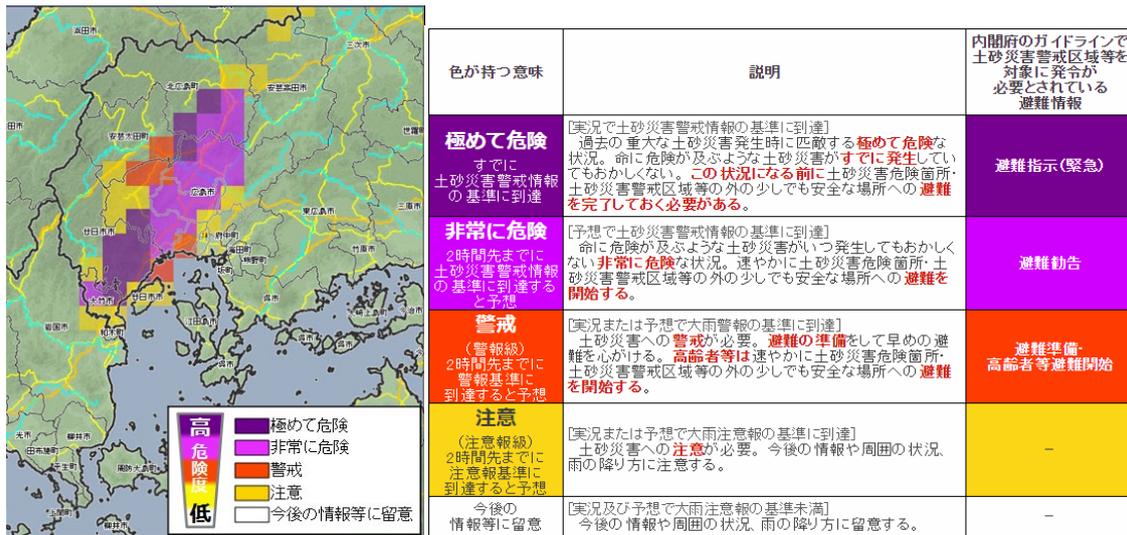


図 5.3-2 土砂災害警戒判定メッシュ情報（気象庁ホームページ <https://www.jma.go.jp/jp/doshamesh/> 引用）

3) 防災イベントでの活動

上記 1)2) のとおり、土砂災害に未然に防ぐ必要な情報は、ほぼ整っている。あとは、一般住民に活用していただくだけである。これには、土砂災害の存在、ハザードマップの存在、ハザードマップの読み方、情報や技術の信頼性等を適切に伝えなければならず、防災教育を取り入れることも試してみる必要があると考えられる。例えば、土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会は、定期的に防災イベントで活動しており、模型実験を活用した防災教育を行っている。老若男女と交流ができ、参加者のアンケート結果では土砂災害について理解いただいているようである。



図 5.3-3 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会による防災イベントで土砂災害を説明している状況

4) 子ども向けの防災教育書籍の出版

土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会は、分かりやすく土砂災害を伝えるべく、子ども向けの防災教育用に「実験で学ぶ土砂災害」という書籍を出版した（図 5.3-4）。実験模型やイラストを多数挿入し、文章は難しい専門用語や漢字を使用しない子供向けの表現としている。がけ崩れ、土石流、地すべり等のメカニズムを、イラストや模型を使って解説しており、ハード対策や避難の方法、土砂災害の前兆を示すチェックリストについても示している。防災イベントでチラシを配り続け、2015年出版後、既に販売部数は1700部を超えている。

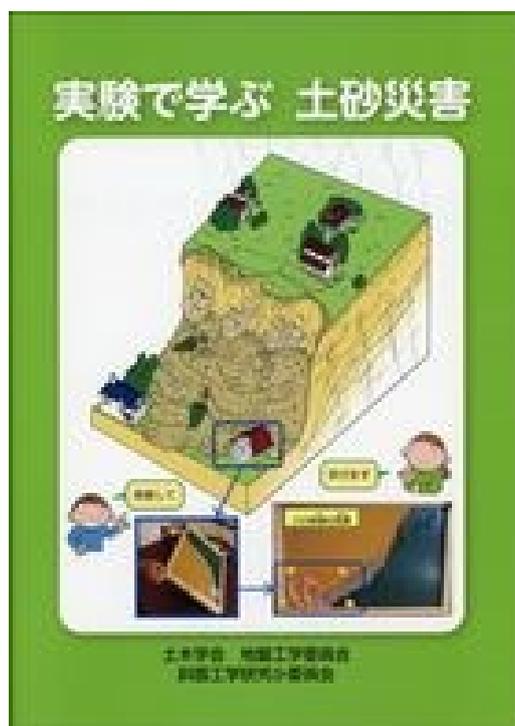


図 5.3-4 子ども向けの防災教育書籍「実験で学ぶ土砂災害」の表紙

(3) 豪雨災害を予測した住環境整備

1) 災害を予測した住環境

繰返しになるが、ソフト対策だけで人命を100%守ることは困難であると考えられる。また、仮に、防災教育によって避難でき、土砂災害から人命を守れたとしても、住居といった財産が土砂で押しつぶされては、被災者の今後の生活は非常に苦しい状態となり、人命を守ったところで経済的被害といった災害は残ってしまう。このため、長期的な観点で安全な場所へ移転を行っていく必要もあると考えられる。

土砂災害、洪水浸水、津波浸水、活断層、盛土などの災害危険箇所は、既に公表されて

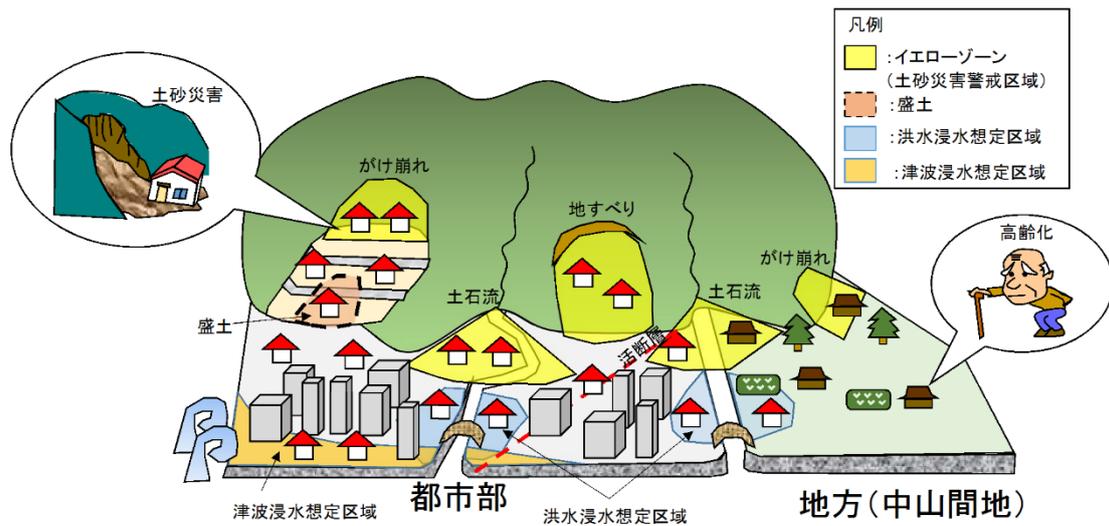
いるハザードマップによってほぼ抽出できている。したがって、ハザードマップを見て、災害危険箇所に住居が入っていれば、その区域から移転すれば良い。そうすれば、豪雨や地震で土砂が移動しようが災害に遭うことはない。簡単に解決できそうな対策である。

しかし、災害危険箇所から今すぐ移転できれば良いが、住居が持ち家の場合、移転には相当の財政的負担がかかり、簡単に移転ができなくなっているのが現状である（借家であれば、比較的移転は容易である）。

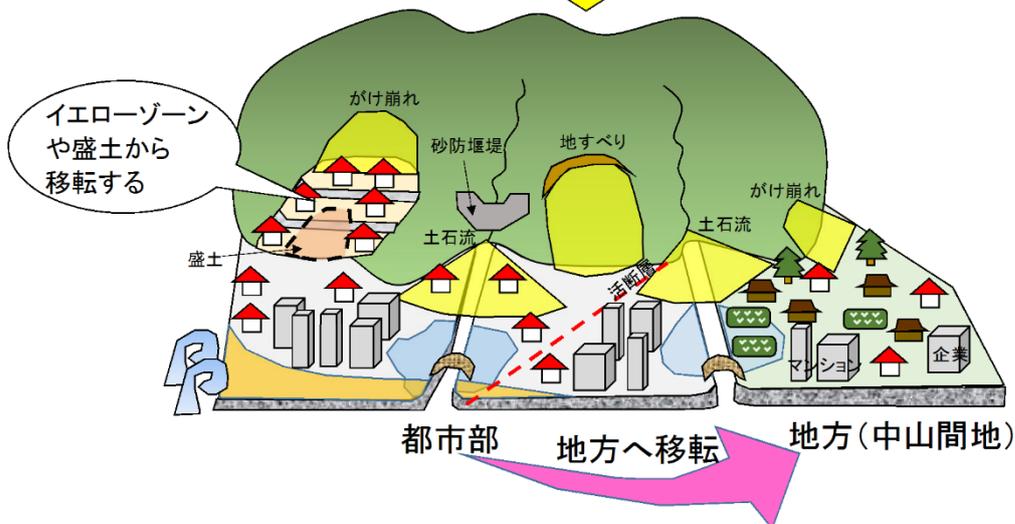
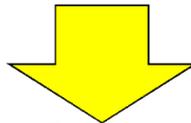
今後、災害危険箇所に移転することを食い止めなければ、災害が無くなることはない。せめて、次に住居を選ぶ方々が、災害危険箇所を住居に選択しないようにハザードマップの知識の普及や防災教育を行っていくことが必要であると考えられる。自然災害に遭わない理想的な住環境は図 5.3-5 である。都市部に人口が集まり過ぎて、災害危険箇所でも生活せざるを得ないような状況になっている都市もあるため、地方部の安全な土地へ移転できれば、自然災害は減少していくことが期待できる。

2) 谷出口の環境整備

狭小な谷出口に対しては床固め、護岸工などを行い、土石流の拡散を防ぎ速やかに土石流堆積地へと導くことが必要である。土石流堆積地はできるだけ大きく取り、コンクリートなどによる床固め、護岸を行うことをできる限り避け、芝生地など緑地としグリーンインフラ・Eco-DRR(生態系を活用した防災・減災)として整備し、平時は生態系サービスを受することのできる場とすることが望ましい。



＜現在＞土砂災害が発生しやすい状態



＜理想＞土砂災害にならない街づくり※

※2019年3月時点の案である。

図 5.3-5 自然災害に遭わない理想的な住環境

参考文献

- 1) 消防庁応急対策室：平成 29 年 6 月 30 日からの梅雨前線に伴う大雨及び台風第 3 号の被害状況及び消防機関等の対応状況について（第 77 報），2018.
- 2) 気象研究所：平成 29 年 7 月 5-6 日の福岡県・大分県での大雨の発生要因について，2017.
- 3) 気象庁：災害時気象報告 平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び 6 月 7 日から 7 月 27 日までの梅雨前線等による大雨等，2018.
- 4) 落合博貴・櫻井正明・檜垣大助・後藤聡・若井明彦・福岡浩・中村真也・木村匠：平成 29 年 7 月九州北部豪雨における斜面災害調査報告，日本地すべり学会誌，54-5，pp.29-32,2017.
- 5) 櫻井正明：「森林地帯における流木対策」報告，フォレストコンサル,153,2018.
- 6) 朝倉市災害警戒本部：平成 29 年 7 月 5 日からの大雨による災害対応・被害状況（2/13 9：00 現在），2018.
- 7) 東峰村：東峰村復興計画,2018.
- 8) 日田市災害情報収集室：平成 29 年 7 月九州北部豪雨による被害状況（平成 31 年 2 月 28 日現在），2019.
- 9) 京都大学防災研究所：2017 年九州北部豪雨災害調査報告書，2018.
- 10) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について，平成 31 年 1 月 9 日 17:00 現在.
- 11) 気象庁：災害をもたらした気象事例，平成 30 年 7 月 30 日.
- 12) 広島大学理学部附属宮島自然植物実験所・比婆科学教育振興会：広島県の地形・地質・気候，1997.
- 13) 広島県土木局建築局土砂法指定推進担当：広島県 基礎調査マニュアル（案）（土石流編・システム利用）初版 平成 27 年 5 月（暫定版） pp.（二）-4-132.
- 14) 平成 26 年土木学会・地盤工学会 広島豪雨災害合同緊急調査団：平成 26 年広島豪雨土砂災害の速報，2014.
- 15) 農林水産省：中山間地域とは，http://www.maff.go.jp/j/nousin/tyusan/siharai_seido/s_about/cyusan/.
- 16) 日本地すべり学会関西支部：現地討論会論文集「平成 22 年 7 月広島県庄原土砂災害と今後の防災上の課題」，2011.
- 17) 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防工法センター研究室：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，pp.33，2007.

- 18) 佐々恭二ほか：高速長距離土砂流動現象の発生メカニズムと地すべり発生運動統合シミュレーション（LS-RAPID）を用いた広島土砂災害の再現，国際フォーラム「都市化と土砂災害」（国際斜面災害研究機構出版），pp.85-112，2014.
- 19) 地盤工学会：豪雨時の斜面崩壊メカニズムおよび危険度予測に関する研究報告書，2003.
- 20) 堀松崇・福岡浩・須江敏・木村浩和・古川澄夫：裏山雨量計プロジェクトによる住民避難の自主判断補助と住民の防災意識の変化，日本地すべり学会誌，Vol155，6（246），pp.39-48，2018.

6. 土砂や流木の河道への流入による洪水氾濫の発生の検討

6.1 中小河川における洪水氾濫の特徴

6.1.1 はじめに

平成29年7月5日に福岡県朝倉市や大分県日田市を中心として短時間豪雨が頻発し、甚大な水害・土砂災害が発生した。この「平成29年7月九州北部豪雨」では、2014年広島土砂災害や2015年関東・東北豪雨と同じく、線状降水帯が形成・維持され、局所的な範囲で同じ場所に猛烈な雨が数時間継続した。多いところで日雨量が500mmを超え、7月の降水量の平年値を上回る地点もあった。この大雨により死者・行方不明者数が41名（平成29年8月21日現在）に達する甚大な被害となった。今次豪雨災害の大きな特徴の一つは、山腹崩壊の多数発生に伴う大量の流木が生じたことである。国交省の推計では、約21万m³（約17万ton）の流木が発生した。そのうち山林・溪畔林由来がそれぞれ63%、28%となり、過去最大級の流木災害であることが示された^{1), 2)}。

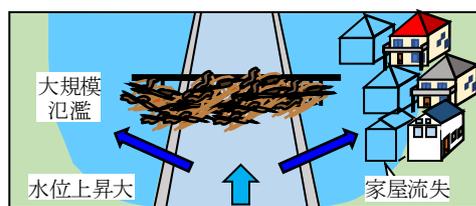
河川における流木災害は頻発している。河川の洪水氾濫に対する流木災害パターンを分類すると、図6.1-1に示すようになる。すなわち、橋梁での流木捕捉量が相対的に小さいと

橋梁関連の被害（落橋や橋台・橋脚の被災）が集中的に見られるが（パターン1）、流木捕捉量が大きいと土砂堆積と相俟って河道が完全に閉塞し、広範囲の氾濫や河道周囲の家屋流失・大規模損壊が生じる（パターン2）。また、家屋に衝突したり、そのまま突き刺さる流木もあり、家屋被災をより助長している（パターン3）。

本節では、パターン2（河道閉塞型）の流木災害が見られた福岡県朝倉市北川を対象として、流木が洪水氾濫・家屋被害状況に及ぼした影響を検討し、その結果を報告する。ここでは、発災1週間後の7月12日から計4度の現地調査を行うと共に、北川下流域を対象に橋梁部の流木捕捉状況を考慮した平面二次元計算を行



(a) パターン1（橋梁被害）



(b) パターン2（河道閉塞）



(c) パターン3（住宅被害）

図6.1-1 流木災害パターン

い、大量の流木堆積が洪水氾濫に与えた影響を検討した。

6.1.2 研究サイト及び今次災害の概況

(1) 研究サイトの概要

研究対象地域は、図6.1-2のように、大量の流木が発生した筑後川水系右支川の北川である。北川は福岡県朝倉市東部を北東から南西方向に流れ、流路長4.5km、流域面積6.6km²である。北川右岸側には麻底良山、左岸側には米山が位置し、山あいを流れる中小河川である。上流域の道目木地区には山の中を流れる沢が多く存在している。下流域の杷木志波地区には国道386号線が通り、下流の本陣橋、その上流約460m地点に神田橋が位置する。

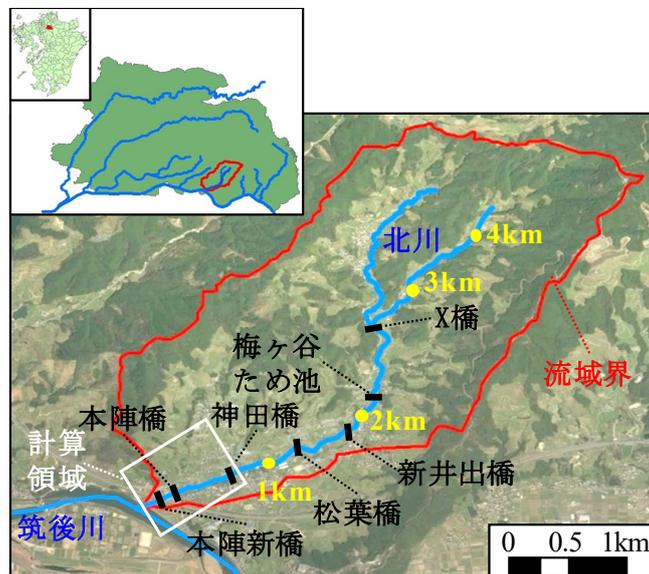


図 6.1-2 北川流域

(2) 気象状況

今次豪雨災害における降雨状況として、北川の流域平均雨量と累積雨量の時間変化を図6.1-3に示す。流域平均雨量の算定には、Cバンドレーダーや地上雨量を組み合わせ、1km四方の解像度で算出された解析雨量（気象庁）を用い、北川流域における雨量を抽出・平均したものである。累積雨量は2017年7月5日0時から求めたものである。これより、降雨は15時～21時に集中し、18時には120mm/hの非常に強い降雨を記録した。また、7月5日0時から7月6日0時までの累積雨量は606mmとなり、朝倉アメダス観測所が記録した516mmを上回る結果となった。

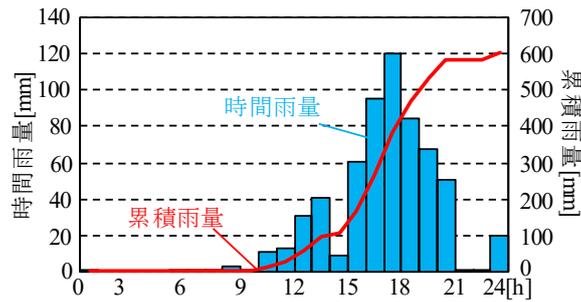


図 6.1-3 北川における流域平均の時間・累積雨量の時間変化
(2017年7月5日, 実績降雨から算定)

(3) 被害状況

今次豪雨災害により、北川流域では大量の流木が上流の山間部より流失した。北川流域での総流木発生量は27,616m³と推定され、朝倉市全体の発生量の13%であった⁵⁾。また、単位流域面積当たりの流木発生量は4061m³/km²で、寒水川、奈良ヶ谷川に次ぐ3番目の大きさとなった¹⁾。これに伴い、図6.1-4のように、北川下流域の杷木志波地区に大量の流木が流れ込み、下流域の本陣橋には大量の流木捕捉と河道閉塞、周囲の洪水氾濫が確認され、本陣橋直上流では大きな洪水被害が発生した。橋梁における流木捕捉は、赤谷川下流の鶴園橋・上川口橋等でも見られ、北川と同様に河道閉塞が生じていた。

今次豪雨災害の死者・行方不明者数は全体では41名である。このうち、朝倉市では34名であり、さらに北川流域では4名であった。この4名とも、北川上流域の道目木地区に集中していた。

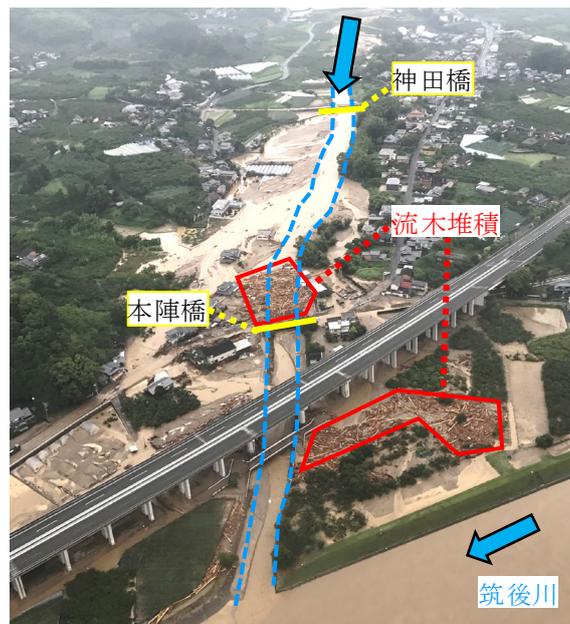


図 6.1-4 北川下流域の流木堆積 (2017年7月6日午後, 九大・矢野教授撮影)

6.1.3 現地調査に基づく流木被害状況の把握

(1) 現地調査の概要

今次災害の被害状況を把握するために、北川流域及び周辺河川での現地調査を発災1週間後の7月12日から始め、7/19-20, 8/1-2, 9/11-12の計4度にわたり実施した。現地調査では、河道及び氾濫域の洪水痕跡調査、家屋・橋梁被害調査、流木・土砂堆積状況調査等を行った。調査範囲は上流の道目木地区から筑後川との合流点までの約3.5kmである。洪水痕跡調査は計64点、家屋被害調査は計190棟（住家・非住家含む）、橋梁被害調査は計7つの橋梁にて行った。この際、洪水痕跡調査では測点の緯度・経度・標高をVRS方式RTK-GNSS (Trimble社R4, R6) により測定した。家屋調査では、北川沿いに位置する家屋の被害状況を一軒ずつ目視により判定した。判定の基準は、1) 流失（基礎部分の流失の有無も同時に判定）、2) 二階損壊、3) 一階損壊、4) 一階一部損壊、5) 浸水のみ、6) 被害無の6段階に設定した。また新井出橋から本陣橋の区間（約1.7km）では、レーザースキャナー（VUX-1, RIEGL製）を搭載したUAV（SPIDER-eX, ルーチェサーチ株式会社製）を用いた航空レーザー測量を行い、被災後の地盤高調査を行った。流木堆積状況については被災後の航空写真より本陣橋周辺を調べ、現地調査にて流木長や胸高直径を測定した。

(2) 現地調査結果

1) 流域全体の概況

北川全体における洪水状況を把握するために、現地調査によって得られた被災後の地盤高と痕跡浸水深の縦断変化を図6.1-5に示す。図中には、航空写真により判読された被災前後の川幅の縦断変化も表示している。なお、地盤高や痕跡浸水深の一部は河道内も含まれるが、大部分は氾濫域である。まず地盤高データより、下流域では概ね1/70の勾配となっているが、上流域（合流点から3km）では1/25となっており、上～下流で急激に変化している。川幅は、被災前は上流域では3-7mであり、下流域では15-20mであった。被災後における氾濫域を含む川幅は最大146mと被災前と比べて大きく広がると共に、山あいの低地部分全体が河川となった様相を呈している。痕跡浸水深は最大で上流域では2-5m、下流域では2m程度となり、痕跡浸水深も縦断方向に大きな差が生じている。

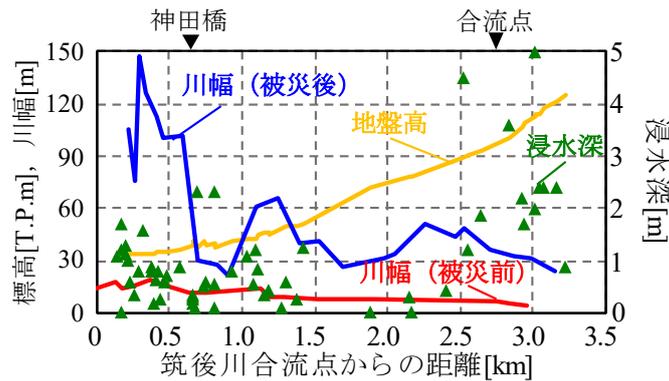


図 6.1-5 北川における川幅（被災前後）と被災後の地盤高・痕跡浸水深の縦断変化

表 6.1-1 北川の橋梁被害状況

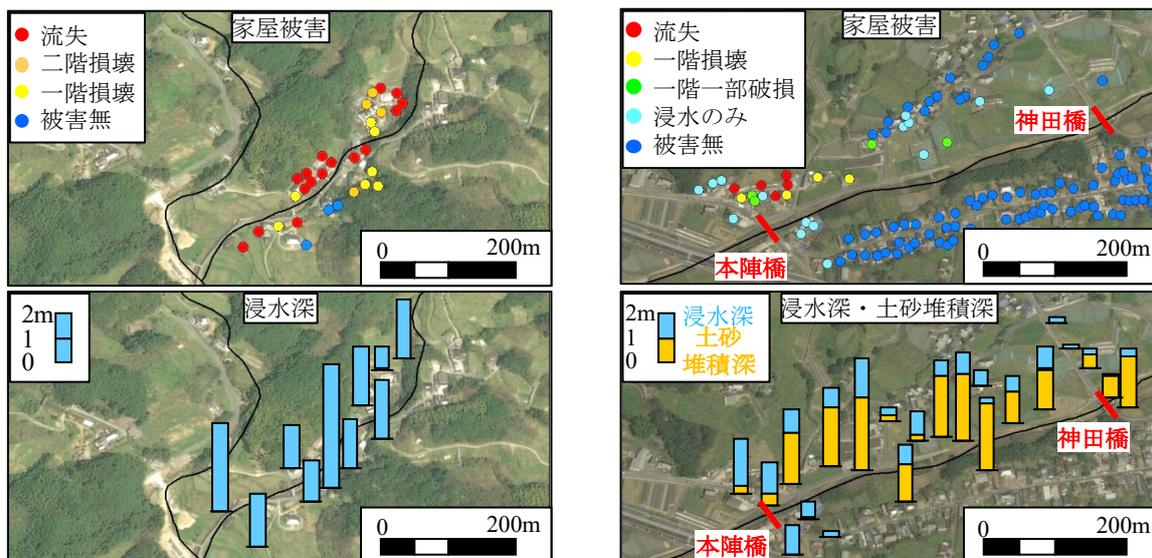
	流失	土砂堆積	側岸侵食	流木捕捉
X橋	有	有	有	無
梅ヶ谷ため池	無	有	無	無
新井出橋	有	有	有	無
松葉橋	無	有	無	無
神田橋	無	有	無	無
本陣橋	無	有	無	有
本陣新橋	無	有	無	無

北川に架かる橋梁の被害状況を表 6.1-1 に示す。ここでは、橋梁流失・土砂堆積・側岸侵食・流木捕捉の有無を表示しており、各橋の位置は図 6.1-2 に示すとおりである。これより、道目木地区の X 橋（名称不明）では、側岸侵食により橋梁や周辺道路が流失し、道目木地区を孤立させた。同様のことは新井出橋でも生じた。また、下流の神田橋と本陣橋、新本陣橋では大量の土砂が堆積しており、その多くは本陣橋上流側における流木捕捉・土砂堆積による河道閉塞の影響を受けているものと推察される。

2) 家屋被害・痕跡水深・土砂堆積状況

上流域（道目木地区）と下流域（神田橋から本陣橋）における家屋被害・洪水氾濫状況を詳細に把握するために、家屋被害及び浸水深・土砂堆積深の空間マップを図 6.1-6 に示す。この土砂堆積深は、現地調査で得られた被災後の地盤高（RTK-GNSS）と国土地理院・数値標高モデル（DEM，下流域 5m，上流域 10m メッシュ）の差で求めたが、上流域の解像度が粗すぎたため、ここでは流域のみ表示する。まず、上流域では、流失が 16 棟と突出しており、これは道目木地区の全家屋数のおよそ半分であり、甚大な家屋被害が発生した。浸

水深も概ね2mを越えており、5mの浸水深を記録した地点近くの家屋も流失した。一方、下流域では、家屋被害は左岸よりも右岸側に集中しており、これは右岸の方が相対的に低地が広がっていたためである。また、本陣橋に近い家屋ほど被害が大きく、流失は5棟、一階損壊は4棟もあった。浸水深と土砂堆積深としては、全体的には土砂堆積深が2m程度、浸水深が1m程度であり、土砂堆積が顕著である。また、本陣橋付近の右岸・左岸側共に、相対的に浸水深が大きい（最大1.7m）。これは、本陣橋付近では河道閉塞し新たな流路が形成され、流れが集中したためと考えられる。



(a)上流域（道目木地区）

(b)下流域（神田橋から本陣橋）

図 6.1-6 家屋被害（上）と浸水深・土砂堆積深（下）の空間分布

（上流域は土砂堆積深を除外）

UAVにより得られた詳細な土砂堆積深マップを図6.1-7に示す。ここでは、UAVにより計測された被災後の地盤高と被災前のDEMデータの差を表示している。これより、河道を中心として測定範囲内全体において、土砂堆積深は正に大きいことが分かる。これらより測定範囲において算出された正味の土砂堆積量は約22万 m^3 となった。北川流域での土砂発生量は66万 m^3 となっており⁵⁾、この北川下流域に発生量全体の1/3が堆積したことが分かる。

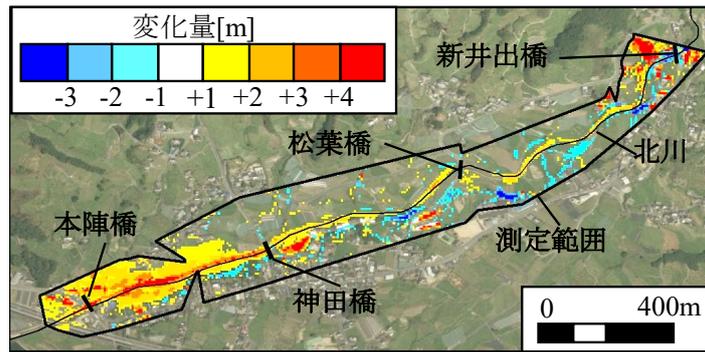


図 6.1-7 UAVによる土砂堆積深マップ

6.1.4 平面二次元氾濫解析による流木捕捉効果の検討

(1) 数値計算の概要

北川下流域での洪水氾濫状況や橋梁部の流木捕捉影響を調べるため、北川下流域における平面二次元場の洪水氾濫・河床変動解析と、その上流端流量算出のための降雨流出解析を行った。上流端流量算出には、降雨流出氾濫モデル（Rainfall-Runoff-Inundationモデル、以下RRIモデル）³⁾を用いた。このモデルは降雨の空間分布を計算領域に与え、降雨流出と氾濫解析を一体的に解析できる。RRIモデルにより得られる各メッシュの流量のうち、氾濫解析用計算領域の上流端のデータを抽出した。

平面二次元計算では、iRIC Nays2DH⁴⁾を用いて、流れと河床変動の解析を行う。計算対象範囲は、神田橋上流から筑後川との合流点までの流下方向に800m、横断方向に700mとした（図6.1-2中の白枠）。計算格子サイズは5mで、地形データとして国土地理院・DEM（5mメッシュ）を使用した。なお、北川のように、川幅が狭く堀込河道部分のDEMの精度は落ちる。被災前の写真データより河道深さが2～3mであったので、河道部分の標高を周囲より2～3m低くなるよう修正した。本計算での境界条件としては、上流端にはRRIモデルにより得られた流量の時系列変化与え（図6.1-8）、下流端は等流条件とする。計算期間は発災した2017/7/5 11:00～23:00とする。

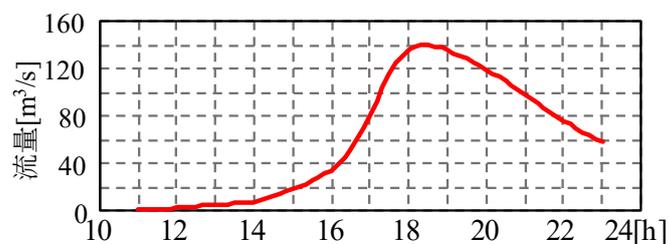
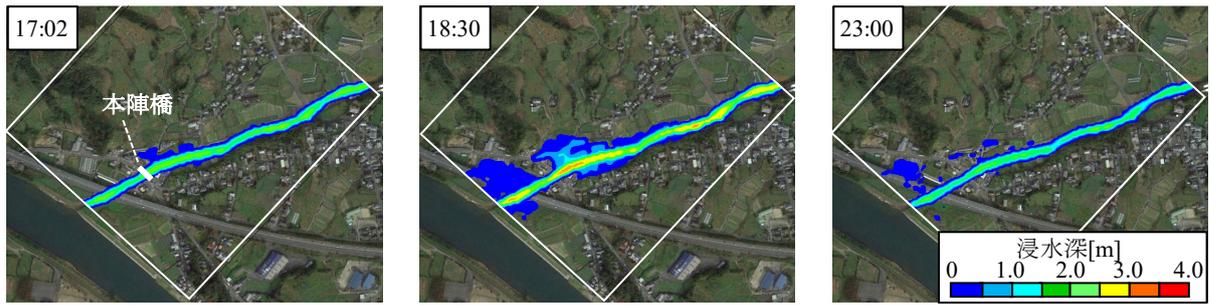


図 6.1-8 平面二次元解析における上流端境界条件

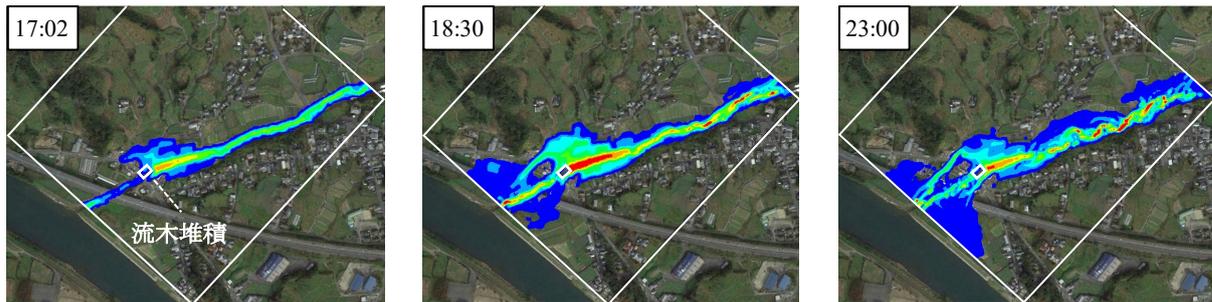
本陣橋の河道閉塞が流木と土砂で生じていたことに注目して、「土砂移動無・流木捕捉無」,「土砂移動有・流木捕捉無」,「土砂移動有・流木捕捉有」の計3ケースを設定する。土砂移動有では、掃流砂を考慮した河床変動解析を実施し、河床材料の粒径は0.2mmと設定した。また、この時の上流端の給砂条件は平衡流砂量の2倍を与えた。また、数値解析にて流木挙動を直接考慮することは困難であるため、流木捕捉状況を模した河道閉塞状況をある時刻に瞬間的に与える。すなわち、流木捕捉有のケースでは、**図6.1-4**を参考に実際に流木が捕捉された本陣橋上流の約750m²の範囲を完全に河道閉塞されるよう設定した。流木捕捉に関しては、住民の聞き取りより16~18時に発生したと考えられ、ここでは、17時に瞬時に捕捉されるとした。なお、流木捕捉を段階的に与える計算を予備的に実施したが、ピーク水位などは瞬時に与える場合と大差ないことが確認されている。

(2) 計算結果と考察

図6.1-9は「土砂移動無・流木捕捉無」と「土砂移動有・流木捕捉有」のケースにおける浸水深コンターの時間変化を示す。ここでは、流木捕捉直後の17:02、流入流量のピークとなる18:30、計算終了時間の23:00である。これより、17:00頃より右岸側の浸水が始まり、「土砂移動有・流木捕捉有」では17:02にて右岸側にて氾濫域が急激に拡大した。「土砂移動無・流木捕捉無」では、18:30に浸水深のピークを迎えるが、「土砂移動有・流木捕捉有」では、無と比べて、氾濫域は広く浸水深は大きい。また23:00では、「土砂移動無・流木捕捉無」では洪水氾濫がほぼ解消されたが、「土砂移動有・流木捕捉有」ではピーク時と変わらぬ浸水範囲を継続した。



(a) 土砂移動無・流木捕捉無



(b) 土砂移動有・流木捕捉有

図 6.1-9 浸水深コンターの時間変化

本計算の妥当性を確認するために、現地調査で得られた痕跡水位と3ケースの計算値のピーク水位の縦断分布を図6.1-10に示す。これより、「土砂移動有・流木捕捉有」のケースでは、本陣橋上流では計算値が観測値を下回っているものの、全体的には観測値と一致している。特に本陣橋周辺での計算誤差は0.6m程度であり、本計算の妥当性が確認された。一方、他の2ケースのピーク水位は、痕跡水位を大きく下回っており、本陣橋における流木捕捉がピーク水位を大きく2m押し上げたことが分かる。

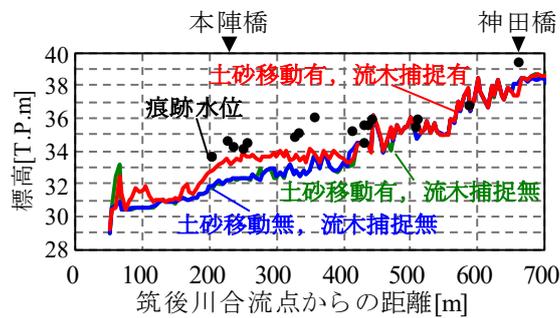


図 6.1-10 ピーク水位の縦断分布の観測値と計算値

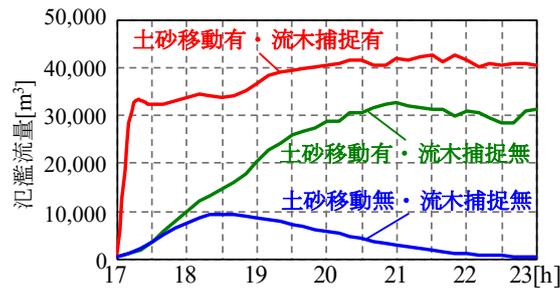


図 6.1-11 氾濫水量の時間変化

流木捕捉有無による影響をより定量的に評価するために、氾濫水量の時系列変化を図 6.1-11に示す。この氾濫水量は河道部分以外の水量の総和である。また、全3ケースの計算結果を図示する。これより、「土砂移動無・流木捕捉無」のケースでは18:30にピークを迎えた後、氾濫水量は徐々に減少した。一方、「土砂移動有・流木捕捉有」のケースでは、流木捕捉直後に氾濫流量は急増し、わずか15分程度で氾濫水量が3万m³を超えた。その後、氾濫水量は徐々に増加し、ピーク値は「土砂移動無・流木捕捉無」のケースの4.6倍も大きい。また、ピーク時間は上流端流量ピーク（18:30）よりも遅れて21-22時頃に現れ、23時でも氾濫水量はピーク値と変わらない。「土砂移動有・流木捕捉無」のケースでは、氾濫水量はゆっくりと増加し、21時台にピークを迎え、その後も氾濫水量が減少しない。以上より、流木捕捉により、氾濫水量の急激な増加と氾濫水量の増大、浸水時間の長期化が発生し、それに対して土砂移動よりも流木捕捉の方がより影響が大きいことが示された。

6.1.5 まとめ

本節で得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 洪水・家屋被害に関する現地調査により、北川上流の道目木地区と下流の本陣橋周辺に被害が集中し、上流部では斜面崩壊と洪水、下流部では土砂移動と橋梁部の流木捕捉が主な氾濫要因であった。
- (2) 流木捕捉有・無を考慮した氾濫解析の結果、流木捕捉有の氾濫水量は流木捕捉無の4.6倍も大きく、流木捕捉無では発災当日23時には氾濫水量がほぼ0であったが流木捕捉有ではそのピーク値を維持していた。これより、流木捕捉による河道閉塞が浸水時間長期化と氾濫水量増加に大きく寄与した。

6.2 土砂および流木の流出に起因した中小河川の洪水氾濫

6.2.1 概要

土砂および流木の流出が中小河川の洪水氾濫を助長させる減少は、規模の大小はあるが、毎年のように発生している。本研究では、土砂および流木の流出が中小河川の洪水氾濫を助長させた近年の国内の洪水氾濫を示しながら、それらの特徴について検討する。

6.2.2 2018年7月の豪雨時に広島市安芸区矢野東で発生した洪水氾濫

(1) 対象地域の概要

対象地域は、図 6.2-1 に示すように、広島市安芸区から広島県安芸郡熊野町を結ぶ山越え道路である県道 34 号線の山間地部に位置しており、県道の横には矢野川が東から西に

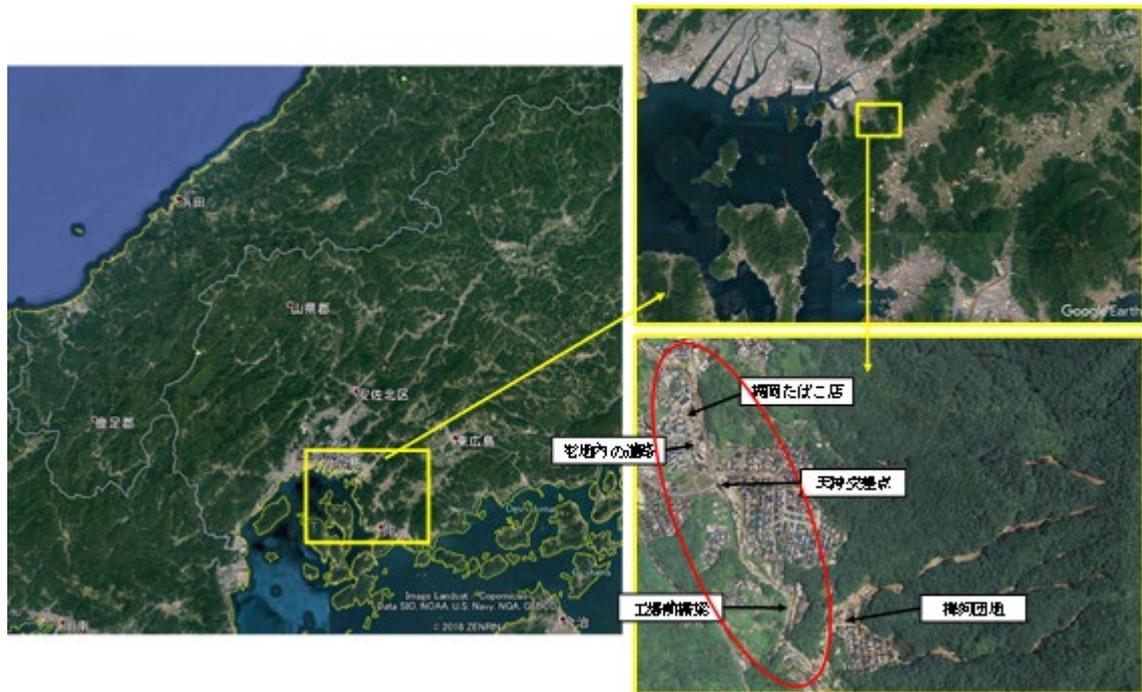


図 6.2-1 広島市安芸区矢野東の場所



図 6.2-2 氾濫域上流の河道閉塞



図 6.2-3 河道閉塞下流域の河道

流れている。道路・河川周辺の斜面では多くの斜面崩壊と土石流が発生し，道路および河川に水と土砂と流木が流れ混んだ。河川に流れ込んだ土砂と流木は河道を閉塞させ，道路および宅地に氾濫した。また，発災時には県道 34 号線に多くの自動車が存在していた。道路の勾配が 7 度前後と急勾配となっており，道路上の多くの自動車が氾濫流によって流された。



図 6.2-4 県道 34 号線上の被災した自動車



図 6.2-5 天神交差点まで流された自動車

(2) 現地調査

図 6.2-2 に氾濫域上流の河道閉塞の様子を示す。図 6.2-2 で示した地点の東部の梅河団地で大規模な土石流が複数回発生しており、梅河団地から多くの土砂と流木が河道内に急激に流れ込んだ。そのため、橋梁部において土砂と流木が堆積し、河道閉塞が発生した。図 6.2-3 に河道閉塞下流域の河道の様子を示す。図 6.2-3 は下流に向かって撮影された写真である。図より、すぐ下流の橋梁には全く土砂や流木が堆積していないことがわかる。また、河岸を見ると、河床から約 1.5m の場所に植生が無傷で存在していることがわかる。これは、直上流の橋梁部で河道が閉塞したため、上流からの水と土砂と流木の多くはすぐ



図 6.2-6 天神交差点对岸の河岸浸食



図 6.2-7 天神交差点直下流の橋梁

横に位置する県道 34 号線を流れ下り、河道内には洪水流があまり流れていなかったことを示している。

図 6.2-4 に河道閉塞が発生した橋梁から約 400m 下流の県道 34 号線上の被災した自動車の様子を示す。また、図 6.2-5 は河道閉塞が発生した橋梁から約 800m 下流の天神交差点まで流された自動車の様子を示す。被災当時、県道 34 号線は渋滞しており、道路上に自動車が並んでいた。そこに、水と土砂と流木の氾濫流が道路を流れることによって下流に流されたようである。



図 6.2-8 天神交差点下流域



図 6.2-9 梶岡たばこ店の防犯カメラによって撮影された自動車の流出の様子¹⁾

図 6.2-6 に天神交差点付近まで流れた道路上の氾濫流の一部は、天神交差点の約 50m 上流で矢野川に左岸側から戻っている。そのため、矢野川に戻ってきた流れが対岸である右岸に衝突し、右岸が大きく浸食されている。

図 6.2-7 に天神交差点直下流の橋梁の様子を示す。矢野川に戻ってきた氾濫流によって運ばれた土砂と流木が橋梁に引っかかり、橋梁断面の 2/3 を閉塞していることがわかる。そのため、矢野川に戻ってきた流れが橋梁を迂回して再度氾濫し、下流域の氾濫を助長したようである。

図 6.2-8 に天神交差点下流の様子を示す。矢野川に戻ってきた氾濫流によって運ばれた土砂と流木が橋梁に引っかかり、橋梁断面の 2/3 を閉塞していることがわかる。そのた

め、矢野川に戻ってきた流れが橋梁を迂回して再度氾濫し、下流域の氾濫を助長したようである。

図 6.2-9 に天神交差点から北に約 50m の地点で県道 34 号線から西に分岐している宅地内の道路に面している梶岡たばこ店の防犯カメラによって撮影された自動車の流出の様子である。また、図 6.2-8 にはその分岐点が示されており、写真の右側が県道 34 号線である。図に示すように、分岐点の県道 34 号線側には土砂や流木が堆積している。さらに、県道 34 号線と西に分岐している宅地内の道路との分岐点の道路の勾配は、宅地内の道路の方が県道 34 号線よりも急である。これらのことにより、県道 34 号線を南から流れて来た氾濫流や自動車は、宅地内の道路との分岐点で宅地内の道路に流れ込んだと考えられる。

(3) 氾濫流の数値シミュレーション

梅河団地西の工場前の橋梁で河道閉塞が発生したとし、橋梁左岸側の道路から氾濫した水が下流域に流れる様子を数値シミュレーションによって再現し、その流動特性を検討する。

1) 基礎方程式

流れの計算は、水深平均された平面二次元流れの支配方程式を用いる²⁾。水の質量保存則は以下のものである。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{hV}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 z は水位である。水深は h 、 U と V は ξ と η 方向における水の反変速度成分であり、以下のように定義される。

$$U = \frac{\partial \xi}{\partial x} u + \frac{\partial \xi}{\partial y} v \quad (2)$$

$$V = \frac{\partial \eta}{\partial x} u + \frac{\partial \eta}{\partial y} v \quad (3)$$

ここに、 u と v は x と y 方向における水の流速成分である。

表面流の運動量保存則は以下のものである。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{hU}{J} \right) \\
& - \frac{hu}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \right) \\
& - \frac{hv}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right) \\
& = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{b\xi}}{\rho J} \\
& + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{yx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{yx}) \\
& + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{yy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{yy})
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{hV}{J} \right) \\
& - \frac{hu}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \right) \\
& - \frac{hv}{J} \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} + U \right) \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + V \right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \right) \\
& = -gh \left(\frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{b\eta}}{\rho J} \\
& + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{yx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{yx}) \\
& + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{yy}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{yy})
\end{aligned} \tag{5}$$

ここに、 g は重力、 ρ は水の密度、 $\tau_{b\xi}$ と $\tau_{b\eta}$ は ξ と η 方向における表面流の反変掃流力成分であり、以下のように定義される。

$$\tau_{b\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \tau_{by} \tag{6}$$

$$\tau_{b\eta} = \frac{\partial \eta}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \tau_{by} \tag{7}$$

ここに、 τ_x と τ_y は x と y 方向における表面流の掃流力成分であり、以下のものである。

$$\tau_x = \tau_b \frac{u_b}{\sqrt{u_b^2 + v_b^2}} \quad (8)$$

$$\tau_y = \tau_b \frac{v_b}{\sqrt{u_b^2 + v_b^2}} \quad (9)$$

$$\frac{\tau_b}{\rho} = u_*^2 \quad (10)$$

$$u_*^2 = \frac{n_m^2 g}{R^{1/3}} (u^2 + v^2) \quad (11)$$

ここに、 u_* は摩擦速度、 n_m は Manning の粗度係数、 R は径深である。 u_b と v_b は x と y 方向の河床近傍流速である。河床近傍の流速は、水深平均流の流線の曲率より、以下のように求められる。

$$u_b = u_{bs} \cos \alpha_s - v_{bs} \sin \alpha_s \quad (12)$$

$$v_b = u_{bs} \sin \alpha_s + v_{bs} \cos \alpha_s \quad (13)$$

$$u_{bs} = 8.5u_* \quad (14)$$

$$v_{bs} = -N_* \frac{h}{r} u_{bs} \quad (15)$$

ここに、 $\alpha_s = \arctan(v/u)$ であり、 N_* は7.0である³⁾。 r は流線の曲率であり、以下の関係より求められる⁴⁾。

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{(u^2 + v^2)^{3/2}} \left\{ u \left(u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left(u \frac{\partial v}{\partial y} - v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \quad (16)$$

σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} , τ_{yx} 等は、乱流応力であり、以下の関係から求めている。

$$\sigma_{xx} = 2\nu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} k_t \quad (17)$$

$$\sigma_{yy} = 2\nu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} k_t \quad (18)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \nu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (19)$$

$$\nu = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad (20)$$

$$k_t = 2.07 u_*^2 \quad (21)$$

ここに、 ν は渦動粘性係数、 κ は Karman 常数、 k_t は水深平均された乱れエネルギーである⁵⁾。

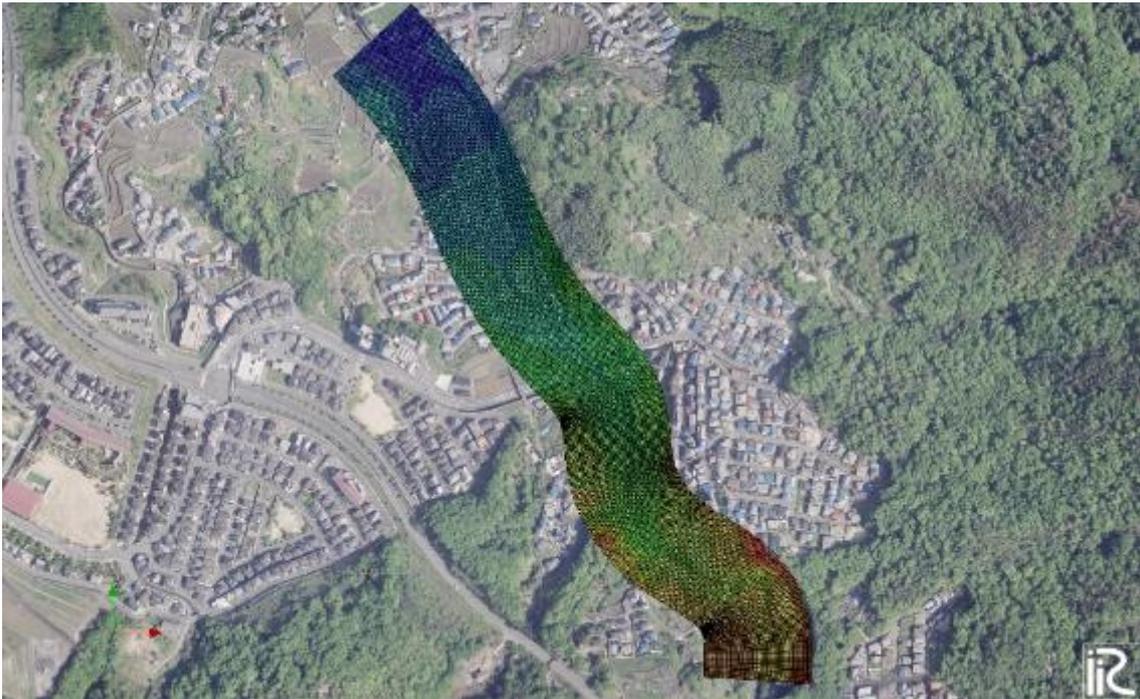


図 5.2-10 解析領域

1) 解析条件

図 6.2-10 に解析領域を示す。解析領域は、梅河団地西の工場前の橋梁から約 800m の区間であり、県道 34 号線から西の宅地に分岐する道路が県道 34 号線に再度合流する地点周辺が下流端である。解析格子の平均サイズは $2\text{m} \times 2\text{m}$ である。地盤データは国土地理院が HP で公開している 5m 解像度の DEM データを用いている。ただし、5m 解像度の DEM データでは道路の形状が適切に反映されないため、航空写真と現地調査結果を用いて、地盤データを補正した。また、図 6.2-4 に示すように、天神交差点よりも上流域は、道路と矢野川の間には高さ 20cm 程度の歩道がある。そのため、堤防の高さを道路よりも 20cm 高くした。家屋などの建物は、高さ 10m の不透過構造物として考慮している。上流からの給水は、梅河団地西の工場前の橋梁左岸側の道路とし、 $2\text{m}^3/\text{s}$ を定常的に与えた。

2) 解析結果

図 6.2-11 に水深の時空間的な変化を示す。給水開始から 100 秒後では道路上のみを流れており、すぐ横を流れる矢野川に水が流れ込んでいないことがわかる。これは、道路と矢野川の間にある 20cm の高さの歩道を考慮したためである。なお、歩道と矢野川にはフェンスも設置されており、フェンスにも多くの流木やゴミが引っかかっていた。これらによっても水が道路から矢野川に戻るのを抑制していたと考えられる。150 秒後では、道路

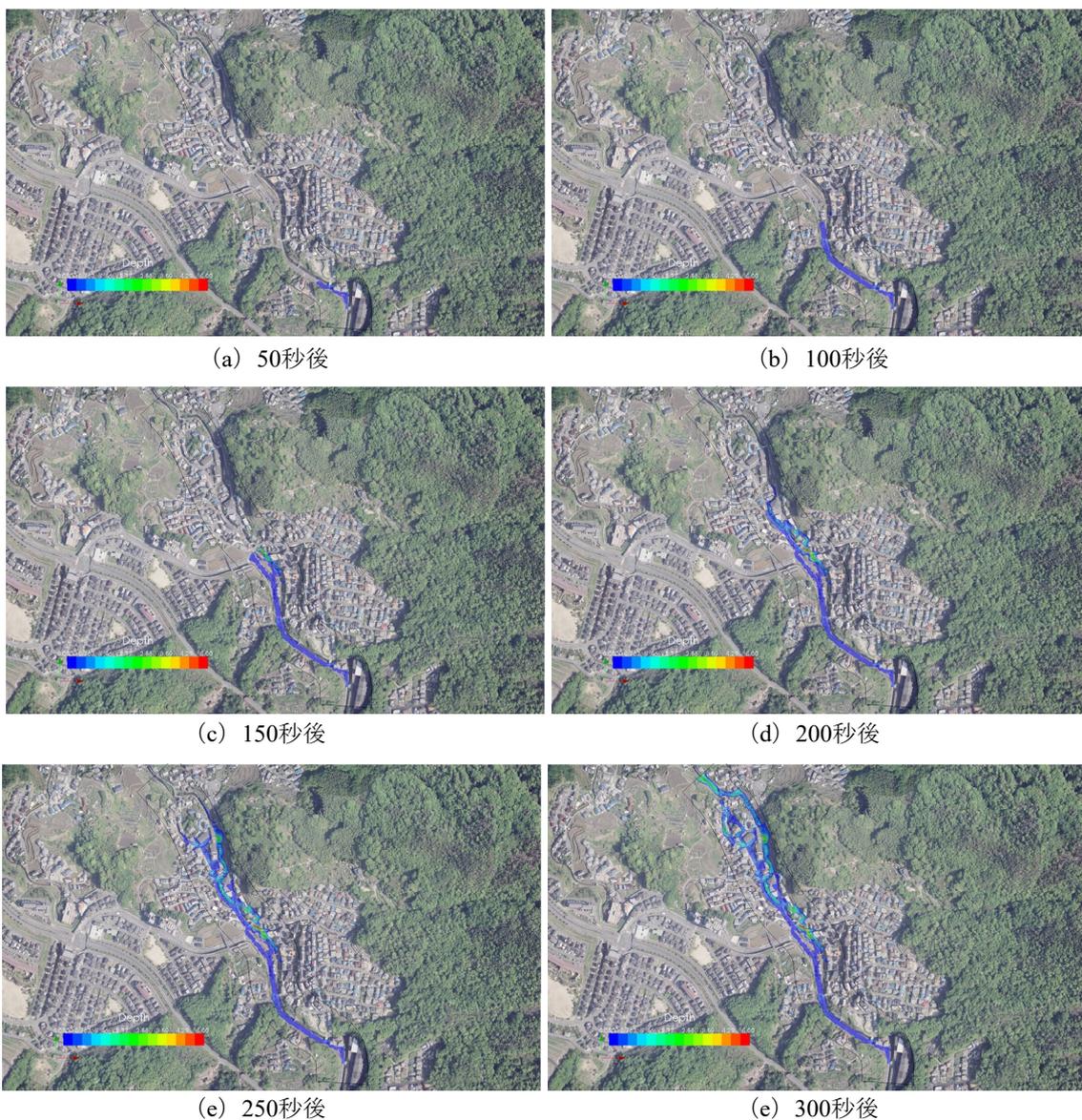


図 6.2-11 水深の時間変化

の流れの一部が天神交差点から約 50m 上流で矢野川に戻っており、現地調査の結果と一致していることがわかる。なお、本解析では、図 6.2-7 に示す天神交差点直下流の橋梁からの迂回流を再現するため、天神交差点直下流の橋梁は閉塞していると仮定している。200 秒後を見ると、天神交差点を通過した流れと橋梁から迂回して流れた水が合流した流れは、県道 34 号線と西の宅地に通じる道路の分岐点において県道にはほとんど流れず、西の宅地に通じる道路とその東の矢野川に流れていることがわかる。これは、前述の通り、県道 34 号線と西に分岐している宅地内の道路との分岐点の道路の勾配は、宅地内の道路の方が県道 34 号線よりも急であることが大きな原因である。

(4) まとめ

2018年7月の豪雨時に広島市安芸区矢野東で発生した洪水氾濫を対象に、現地調査を数値シミュレーションによって、土砂および流木の流出による橋梁断面での河道閉塞が中小河川の洪水氾濫に与える影響を検討した。得られた成果をまとめると以下のものである。

1. 梅河団地で大規模な土石流が複数回発生しており、梅河団地から多くの土砂と流木が河道内に急激に流れ込み、工場前の橋梁部において土砂と流木が堆積し、河道閉塞が発生した。その結果、県道34号線に水と土砂と流木が流れ込み、渋滞のため県道上に並んでいた多くの自動車を下流に流送した。
2. 県道34号線に氾濫した流れの一部は、天神交差点の約50m上流で矢野川に戻っているが、天神交差点直下流の橋梁に土砂と流木が堆積して河積が1/3まで減少し、迂回流として再度氾濫した。
3. 県道34号線と西の宅地に繋がる道路との交差点では、道路の勾配が西の宅地に繋がる道路の方が急であるため、氾濫流や自動車は宅地に繋がる道路に流れた。

6.2.3 2012年8月の宇治水害で発生した志津川地区の洪水氾濫

(1) 対象地域の概要

2012年8月13日から14日にかけて近畿中部で発生した豪雨は、河川の増水や住宅の浸水が発生し、大阪府で死者1名、京都府で死者・行方不明者2名となったほか、斜面崩壊による土砂流入により、京滋バイパスで通行止めとなる等、甚大な被害を発生させた。

主な調査地を図6.2-12に示す。調査地は、宇治市志津川であり、河道閉塞による水、土砂、流木の氾濫、河岸浸食などが発生していた。



図 6.2-12 対象地点

(2) 気象条件¹⁰⁾

図6.2-13に気象庁のHPで公開されている2012年8月13日00時～8月14日24時の近畿地方における解析雨量による期間降水量分布図を示す。13日から14日にかけて、朝鮮半島から

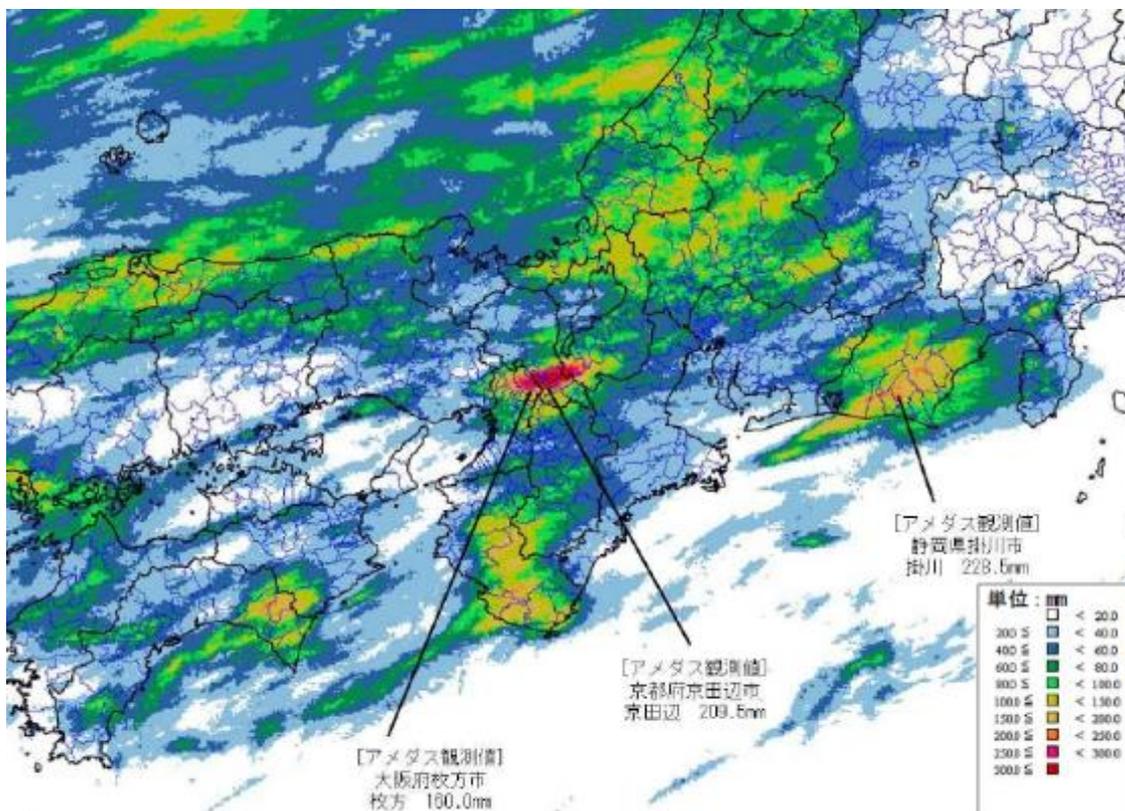


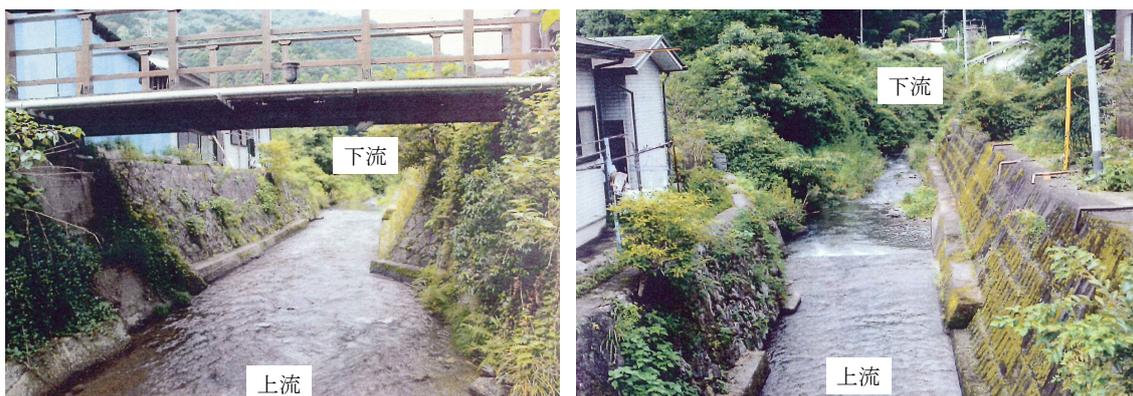
図 6.2-13 8月13日～8月14日の解析雨量による期間降水量分布図



図 6.2-14 志津川地区調査地点



図 6.2-15 前川橋周辺の被災状況



(a) 被災前の前川橋

(b) 被災前の前川橋下流の様子

図 6.2-16 被災前の前川橋及び前川橋下流（梅原孝氏より提供¹¹⁾）



図 6.2-17 2011 年 9 月に三重県五郷町で発生した迂回流

日本海中部へ伸びる前線がゆっくりと南下し、本州付近に達した。前線に向かって南から暖かく湿った空気が流れ込んだため、大気の状態が非常に不安定となり、近畿中部を中心に大雨となり、局地的に猛烈な雨が降った。

8月13日0時から14日24時までに観測された最大1時間降水量が、大阪府枚方市では91.0mm、京都府京田辺市では78.0mmとなり、それぞれ観測史上1位の値を更新した。また、気象レーダーとアメダス等の雨量計を組み合わせた解析雨量によると、大阪府高槻市で1時間に約110mmの猛烈な雨を解析し、京都府宇治市では3時間に約190mmの雨を解析した。

(3) 現地調査

図6.2-14に、宇治市志津川区の被災箇所の平面分布を示す。志津川地区北部の前川橋下流側では家屋の流失、その南約100mの左岸支川・池ノ尾川の宮ノ前橋では土石流による河道閉塞、池ノ尾川上流では河岸浸食と道路の破壊、下流の第三志津川橋周辺では洪水流の氾濫、蛍橋下流域では溪流からの土砂流出による農地への土砂の堆積、志津川区民運動場では斜面崩壊による土砂及び流木の堆積、志津川下流域の第二志津川橋では河岸浸食及び水、土砂及び流木の氾濫が発生していた。

1) 志津川地区北部の前川橋下流側での家屋の流失

図6.2-15に志津川地区北部の前川橋周辺の被災状況を示す。周辺の住民からの情報によると、14日の午前5時ごろ、前川橋左岸側の家屋が流失した。流失は数分以内の非常に短い時間で発生したとのことである。流失当時、屋内には住民2名が居たと思われ、8月16日時点で1名が遺体で発見され、もう一名は行方不明の状態である¹²⁾。図6.2-16に被災前の前川橋及び前川橋下流の様子を示す。前川橋は歩行者用の小規模な橋であり、欄干が設置されていたことが分かる。また、左岸側の家屋の地盤が右岸側の家屋の地盤よりも数10cm低いことが分かる。前川橋は、洪水時に流失したと思われ、調査時にその形状は確認できなかった。家屋流失地点の状況を見ると、橋脚直下流の左岸側の護岸が残存していること（図6.2-15 (e)）、右岸側の橋梁下流域の宅地内にも水が勢い良く流れた痕跡があること（図6.2-15 (c)、(d)）、非常に短い時間で家屋が流失したこと、前川橋に欄干があったことを考えると、家屋の流失は前川橋に流木等が引っかかり、橋梁断面の河道内の流下能力が低下し、橋梁を迂回する迂回流が発生し、家屋を一気に流失させたものと考えられる。また、橋脚から2軒程度下流の右岸側の家屋の小屋も倒壊している（図6.2-15 (c)）。これは、小屋が傾き出したのが家屋流失時刻よりも遅く、5時30分～6時の間に発生していること、すぐ下流域の湾曲外岸の植生が流失していないこと等から、家屋を流失させた左岸からの迂回流が対岸に衝突して河岸を破壊することによって発生したものと考えられる。迂回流は、右岸側よりも左岸側の方が強かったようである。これは、左岸側の家屋の地盤が右岸側の家屋の地盤よりも数10cm低いこと、前川橋直上流の河道の平面形状が湾曲しており、反時計回りの流れが形成され、前川橋付近では流れが左岸に寄っていたと想像されること等から予想される。このように、橋梁に流木等が引っかかることによる迂回流は、頻繁に日本各地で発生している。例えば、図6.2-17に示すように、2011年9月に発生した紀伊半島南部豪雨災害時においても三重県五郷町でも発生しており、特に、流木等による河道閉塞が発生しやすい小断面の河川の橋梁周辺では、注意が必要である。

2) 池ノ尾川の土石流による河道閉塞及び河岸浸食と道路の破壊

図6.2-18は、志津川と支川・池ノ尾川との合流点付近の池ノ尾川にかかる宮ノ前橋付近の写真である。池ノ尾川では土石流が発生したようであり、図6.2-18 (b)のように、宮ノ前橋を閉塞させ、宮ノ前橋上流域の河床を5m以上上昇させている。また、水及び土砂が宮ノ前橋の上や周辺に氾濫して志津川に流れ込んだため、志津川左岸が大きく浸食された。宮ノ前橋の下の川幅は1m～1.5m程度であり、流水断面が非常に小さいため、河道閉塞が発生したものと考えられる。なお、土砂の平均粒径は、図6.2-18 (c)に示すとおり数cm程度

であり、それほど大きくない。



図 6.2-18 志津川と池ノ尾川の合流点付近の被災状況



(a) 池ノ尾川で発生した湾曲外岸部の河岸浸食



(b) 喜撰山ダムへ通じる道路の破壊

図6.2-19 池ノ尾川上流の様子

図6.2-19に池ノ尾川上流の様子を示す。池ノ尾川は、山地域を蛇行しながら流下している河川であり、川沿いに喜撰山ダムへ通じる道路が設置されている。この道路では、湾曲外岸に道路が位置する地点において、河岸が崩落していた。また、合流点から約700m上流の地点において、大きく河岸及び道路4が浸食され、道路が寸断されていた。



図 6.2-20 第三志津川橋周辺の被災状況



図 6.2-21 第三志津川橋から上流（2012年8月14日6時19分に梅原健市氏撮影¹³⁾，洪水の様子が分かるように写真の明度を高くしている）

3) 第三志津川橋周辺における洪水流の氾濫

図6.2-20に第三志津川橋周辺の被災状況を示す。第三志津川橋周辺では、志津川本川による流れと池ノ尾川から左岸側に氾濫した流れ及び東部の溪流からの流れが道路を流下し

たことによって浸水した。図6. 2-21に2012年8月14日6時19分に第三志津川橋から上流を撮影した写真¹⁾を示す。オリジナルの写真はもう少し暗い画像であるが、洪水の様子が分かるように写真の明度を高くしている。最大流量は4時～6時の間に発生したようであり、6時19分の時点では、既に水位が最高水位よりも1m程度下がっている。写真右側の左岸側の家屋の痕跡水位を見る限り、志津川の流は家屋敷地内に流入したことが分かる。ただし、右岸側の家屋の敷地内の浸水水位は川沿いの家屋の痕跡水位よりもかなり低かったようである。これは、敷地が湾曲の内岸側に位置していることと、橋脚の直上流左岸側の護岸が敷地側に窪んで川幅が広がっているためと考えられる。また、橋脚上流側に設置されているパイプが曲がっていることを考えると、流木やゴミなどの様々な漂流物が流れてきたことが推察されるが、橋梁の直上流右岸側の窪みが、本橋梁において顕著な河道閉塞が発生させなかった要因かもしれない。なお、この宅地は志津川地区でも比較的古くから存在しており、大きな被災経験の無い地点のようである。

第三志津川橋上には多くの土砂が堆積していた。これらは、住民からの情報によると、池ノ尾川から左岸側に氾濫した流れ及び東部の溪流からの流れによって運ばれてきた土砂のようである。

右岸側の橋脚から二軒目の家屋では、敷地内の電柱が倒伏していた。これは、この家屋の塀が河川側のみに設置されており、上流側には設置されていなかったため、河岸から越流した水が河川上流側から敷地内に流れ込み、電柱周辺に流れが集中し、局所洗掘を発生させたためと考えられる。

4) 蜷川下流域被における被災状況

図6. 2-22に蜷橋下流域における被災状況を示す。蜷橋下流左岸側の水田には、多くの土砂が流れ込んでいた。また、水田への農業用水も土砂による閉塞によって止まっていた。これらの土砂は、蜷橋南側の溪流で発生した土砂が道路上を流下して、水田に流入したものである。なお、図6. 2-22 (f) で示された写真において、金属製の柵が土砂で押し潰されているが、この柵は落石防止用ではなく、鹿対策とのことである。

蜷橋下流の湾曲部では、図6. 2-22 (h) に示すように、外側で河岸浸食が発生していた。

志津川地区の盆地の最下流に位置する第二志津川橋周辺も土砂及び水の氾濫が発生したようである。また、図6. 2-22 (b) に示す浸食は、第二志津川橋右岸側の溪流からの水及び土砂の流出によるものである。このように、志津川本川からの流れと右岸溪流からの流れの両方によって第二志津川橋周辺は、被災したようである。なお、調査時は、流木や土砂の撤去が行われているところであった。ガードレールの損傷や汚れ方、第二志津川橋の



図 6.2-22 蛭橋下流域の被災状況

下の河積が小さいことから、第二志津川橋でも一時的に河道閉塞が発生したものと考えられる。

志津川区民運動場には、南東部の斜面で斜面崩壊が発生し、土砂及び流木が流れ込み、堆積していた。斜面崩壊した土砂は、榎島町へ通じる道路を横断して運動場に流れ込んでいたが、道路の損傷は少なく、調査時には既に利用可能であった。

(4) まとめ

2012年8月の宇治水害で発生した志津川地区の洪水氾濫を対象に、現地調査によって、土砂および流木の流出による橋梁断面での河道閉塞が中小河川の洪水氾濫に与える影響を検討した。得られた成果をまとめると以下のようである。

1. 前川橋では上流から流れてきた土砂や流木によって河道閉塞したと考えられ、迂回流によって左岸側の家屋が流失し、2名が亡くなった。右岸と左岸の堤防の高さを比較すると、家屋が流出した左岸側の方が河岸が低くなっており、左岸側の迂回流の方が流速・水深ともに大きくなっていたと考えられる。
2. 志津川に左岸から流れ込む池ノ尾川では土石流が発生し、志津川との合流点付近の

橋梁断面で土砂の流木による河道閉塞が発生し、周辺の氾濫を助長した。河道断面は非常に小さく、土石流などの発生による土砂の流入によって容易に閉塞する状態であった。

3. 第三志津川橋では、橋脚の直上流左岸側の護岸が敷地側に窪んで川幅が広がっている。橋脚上流側に設置されているパイプが曲がっていることを考えると、流木やゴミなどの様々な漂流物が流れてきていたことが推察されるが、橋梁の直上流右岸側の窪みが局所的に水位を低下させたことにより、本橋梁において顕著な河道閉塞が発生させなかった可能性が高い。なお、橋梁直上流の左岸側の家屋は志津川地区でも比較的古くから存在しており、大きな被災経験の無い地点のようである。

6.2.4 2014年8月の福知山水害で発生した洪水氾濫

(1) 対象地域の概要

京都府福知山市では、2014年8月15日夕方から雨が降り続き、24時間の降水量が300mmを超える豪雨となった。この豪雨により弘法川など福知山市内の河川が氾濫し、市の中心部で浸水及び土砂の氾濫による被害が発生した。

主な調査地を図6.2-23に示す。調査地は、氾濫が発生した弘法川と上流域で斜面崩壊が発生した室川（弘法川支川）である。

(2) 福知山市街地での弘法川の氾濫

1) JR高架下周辺

図6.2-24(a)に弘法川とJR高架との交差点直上流の様子を示す。図に示すように、弘法川に架かる橋桁の下面まで数10cmの高さまで土砂が堆積していることがわかる。周辺の住民によると、豪雨前に比べて河床の高さは少なくとも1.5mは高くなっているとのことであった。図6.2-24(b)に同じ場所を下流から上流を見た様子を示す。図に示すように、土砂が堆積した場所の直上流には堰があり、堰よりも上流にはほとんど土砂が堆積していないことがわかる。つまり、堰を境に河床勾配が大きく変化しており、堰よりも下流は上流よりも緩勾配となっているため、多くの土砂が堰下流に堆積して河道内を水が流れにくくなり、氾濫したものと考えられる。弘法川とJR高架との交差点周辺には、図6.2-24(c)に示すように土砂と流木が氾濫していることがわかる。また、河道内に堆積した土砂は数cm～数10cmの砂礫が主であったが、氾濫した土砂は1mm以下の粒径のものばかりである。

2) JR高架下下流

図6.2-24(d)に弘法川とJR高架との交差点から約400m下流の橋梁の様子を示す。図に示すように、多くの流木が橋梁に引っかかっていることがわかる。流木が引っかかると河積を減少させるため、洪水流が氾濫しやすい状況を作り出す。図6.2-24(e)に同じ橋を下流から見た様子を示す。非常に川幅が狭い河川に架かる桁橋であるにもかかわらず、



図6.2-23 主な調査地点 (Google Earth)

橋脚を有していることがわかる。そのため、流木が非常に引っかかりやすい状況にあったことがわかる。近年に建設された橋梁は、流木が引っかかりにくくなるように、橋脚の本数を少なくして橋脚間の距離を長くなるように設計される。しかし、古いタイプの橋梁には橋脚の本数が多く、流木が引っかかりやすい。そのため、洪水時の水、土砂、流木等を可能な限り速やかに下流に流すためには、橋脚の本数の少ない橋梁への改修を順次進めることにより、洪水氾濫の機会と氾濫流量を減らすことができると思われる。



図 6.2-24 福知山市街地での弘法川の氾濫

(3) 室川（弘法川支川）での土砂及び流木の流出

1) ため池上流

図6.2-25に示すように、室川上流域には3つの連なったため池が存在している。また、これらのため池の東側にため池と平行して室川本川が流れている。つまり、室川から分派させてため池に水を流入させており、順に下流のため池に水は流れ、最下流のため池から本川に水は戻る。これらのため池によって土砂の流出特性が大きく変化している。

図6.2-25 (a) にため池上流域で発生した斜面崩壊の様子を示す。ため池上流域では、多くの斜面崩壊が発生しており、土砂及び流木が山から生産された。生産された流木の多くは、図6.2-25 (b) に示すように、室川とため池の分派地点に集積していることがわかる。そのため、流木集積後の流木や土砂の多くは最上流のため池に流れ込んでいる。さらに、室川とため池の分派地点に流木が集積した後は、室川には流木や土砂が流れ込まず、水のみが流れ込んだため、図6.2-25 (c) に示すように多くの河岸浸食が発生していた。また、一部の斜面崩壊による流木は最下流のため池に直接流れ込んでおり、これらの流木は図

6. 2-25 (d) に示す越流堰から越流して下流に流出した。また、粒径の大きい土砂はため池に堆積する、粒径の細かい土砂は水と一緒に越流堰から流出する。つまり、市街地での氾濫流に多くの細粒土砂が含まれていたのは、ため池上流域で斜面崩壊が発生したためと考えられる。

一般に、ため池は利水目的で設置されるものである。しかし、室川で発生した現象からもわかるように、土砂生産域の近くに設置されているため池は、斜面崩壊や土石流などによって発生する土砂や流木を堆積させ、下流域の土砂災害を軽減する効果がある。一方、ため池の管理には十分な予算が無いという住民の声を良く聞くことを考え合わせると、ため池に土砂災害防止機能を付加して管理しやすい環境を整えることも有効と考えられる。



図 6.2-25 ため池上流域の様子

2) ため池下流

図6.2-26 (a) に、ため池下流域で発生した落差工周辺の河岸浸食の様子を示す。落差工を有する断面では河床が平坦であるとともに、下流域との河床位の差が大きくなるため、落差工を迂回して落差工下流の河道に水が流れる迂回流が発生する。迂回流が河道に戻る地点では水面勾配が急となるため、掃流力が大きくなり河岸が浸食される。

図 6.2-26 (b) に、河床低下の様子を示す。植生の繁茂状況から出水前の河床位よりも1m程度河床が浸食されていることがわかる。一方、護岸の様子を見ると、護岸建設当時の河床位は浸食後の河床位に近いことがわかる。周辺の住民によると、中小の出水時に土砂が流れてきて河道内に土砂が年々堆積していたとのことであった。つまり、中小の出水の時は、室川とため池の分派地点に流木が堆積することは無いため、多くの土砂が室川本川を流れてため池下流域に流れてきていたが、今回の出水では、大きい粒径の土砂がため池



(a) 落差工周辺の河岸浸食

(b) 河床の浸食

図 6.2-26 ため池下流の河岸・河床の浸食

に堆積し、ため池下流域への土砂供給量が少なかったため、河床が浸食されたと考えられる。つまり、福知山市街地の弘法川河道内に堆積していた多くの砂礫は、ため池下流域の河岸及び河床の浸食によって供給されたと考えられる。

(4) まとめ

2014年8月の福知山水害で発生した洪水氾濫を対象に、現地調査によって、土砂および流木の流出による橋梁断面での河道閉塞が中小河川の洪水氾濫に与える影響を検討した。得られた成果をまとめると以下のようなものである。

1. 弘法川と JR 高架との交差点では、弘法川に架かる橋桁の下面まで数 10cm の高さまで土砂が堆積していることがわかる。これは、堰よりも下流は上流よりも緩勾配となっているため、多くの土砂が堰下流に堆積して河道内を水が流れにくくなり、氾濫したものと考えられる。
2. 弘法川と JR 高架との交差点から約 400m 下流の橋梁には多くの流木が引っかかっていた。流木が引っかかると河積を減少させ、氾濫を助長していた。なお、非常に川幅が狭い河川に架かる桁橋であるにもかかわらず橋脚を有しており、流木が非常に引っかかりやすい状況にあったことがわかる。古いタイプの橋梁には橋脚の本数が多く、流木が引っかかりやすい。そのため、洪水時の水、土砂、流木等を可能な限り速やかに下流に流すためには、橋脚の本数の少ない橋梁への改修を順次進めることにより、洪水氾濫の機会と氾濫流量を減らすことができると思われる。
3. 一般に、ため池は利水目的で設置されるものである。しかし、土砂生産域の近くに設置されているため池は、斜面崩壊や土石流などによって発生する土砂や流木を堆積させ、下流域の土砂災害を軽減する効果がある。そのため、ため池に土砂災害防止機能を付加して管理しやすい環境を整えることも有効と考えられる。

4. 落差工を有する断面では河床が平坦であるとともに、下流域との河床位の差が大きくなるため、落差工を迂回して落差工下流の河道に水が流れる迂回流が発生する。迂回流が河道に戻る地点では水面勾配が急となるため、掃流力が大きくなり河岸が浸食される。

6.2.5 まとめ

表層崩壊や土石流などが発生すると多くの土砂と流木が河川に流れ込み、河積を減少させたり、橋梁断面などで河道閉塞を発生させて洪水氾濫を助長する。表層崩壊や土石流は、短時間であっても高強度の降雨によって発生することがある。高強度の降雨は、短時間であれば流域が広く河積が大きい大河川の水位はそれほど上昇させないが、山間地の中小河川では降雨が速やかに河川表面流として流出するため、急激な水位上昇を発生させる。そのため、河積の小さい中小河川では、降雨流出の速さに加えて土砂および流木の流出による河積減少の影響を強く受けるため、高強度の豪雨に対して洪水を発生させやすいことがわかる。

国土交通省が管理する一級河川では河床変動解析を実施し、河床変動特性を考慮した河川整備を実施している。一方、地方自治体が管理する河川では河床変動解析を実施している河川は非常に少なく、多くの河川で河床変動特性を無視した河川整備を実施している。しかし、地方自治体が管理している中小河川は一般に流域面積が小さく、山地域からの急激な土砂流入による河床変動の影響は、国土交通省が管理する一級河川に比べて非常に大きい。そのため、河床変動を考慮した河川整備は、地方自治体が国よりも先行して積極的に進める必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局・福岡県：筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会（第1回）～平成29年7月九州北部豪雨～、http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/17090703siryo2.pdf, 2017.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：平成29年7月九州北部豪雨による土砂災害の概要<速報版>Vol.6, http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29_kyushu_gouu/gaiyou.pdf, 2017.
- 3) 佐山敬洋, 岩見洋一：降雨流失氾濫（RRI）モデルの開発と応用, 土木技術資料, Vol.56, No6, pp.18-21, 2014.
- 4) iRIC Software Nays2DH Solver Manual : <http://i-ric.org/ja/download/get/yis28y> (閲覧日 :

平成 29 年 9 月 21 日).

- 5) 梶岡たばこ店撮影.
- 6) 竹林洋史：河川中・下流域の河道地形, *ながれ*, 第 24 卷, 第 1 号, pp. 27-36, 2005.
- 7) Engelund, F. Flow and bed topography in channel bends. *Jour. of Hy. Div. ASCE*, Vol. 100, No. HY11, 1974.
- 8) Shimizu, Y. and Itakura, T. Calculation of flow and bed deformation with a general non-orthogonal coordinate system, *Proc. of XXIV IAHR Congress, Madrid, Spain, C-2*, pp.41-48, 1991.
- 9) Nezu, I. and Nakagawa, H. *Turbulence in open channel flows*, IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 53-56, 1993.
- 10) 国土交通省気象庁：前線による大雨, 2012.
- 11) 梅原孝氏より提供.
- 12) 京都新聞 8 月 16 日.
- 13) 梅原健市氏より提供.

7. 地域住民の避難行動の状況及び現状の地域防災力の状況

7.1 既往の豪雨災害における避難状況

日本列島の地殻変動が活発化しており、地震や火山噴火の頻度と規模が大きくなって来ているようである。さらに、近年豪雨災害の頻度が増加し、その規模も大きくなっているように思う。これらの被害は特に、中山間地域で顕著となる。今回発生した西日本豪雨では、その広域的な被災状況が注目を浴びた。この機に、最近 20 年以降に発生した豪雨災害を概観し、減災に大きく影響する住民の避難行動やその対応の仕方について、現状の地域防災力の状況を勘案しながらまとめた。

稲垣^{1),2)}は 1998 年以降に発生した 22 の豪雨による災害の調査を実施した(表 7.1-1)。その際に現場の住民や被災者から聞き取り調査した内容といろいろな学会で実施した災害調査報告会や市民フォーラムの際の参加者へのアンケート調査内容を加えて、豪雨災害の減災・防災アウトリーチのあり方の提案と課題について報告する。なお、この報告は稲垣の論文^{1),2)}をベースとしてまとめたものである。

表 7.1-1 現地調査した豪雨災害¹⁾

種別	年代	災害名
豪雨	1998.8	平成10年北関東・南東北豪雨災害
	1998.9	平成10年台風7号岐阜県豪雨災害
	2003.7	平成15年水俣豪雨災害
	2009.7	平成21年中国・九州北部豪雨災害
	2009.8	平成21年台風9号佐用町豪雨災害
	2010.7	平成22年岐阜県豪雨災害
	2010.7	平成22年庄原豪雨災害
	2010.7	平成22年島根県西部豪雨災害
	2010.9	平成22年台風9号足柄・小山豪雨災害
	2011.7	平成23年新潟・福島豪雨災害
	2011.9	平成23年台風13号紀伊半島豪雨災害
	2012.7	平成24年九州北部豪雨災害
	2013.8	平成25年秋田・岩手豪雨災害
	2013.9	平成25年台風18号京都・滋賀・福井豪雨災害
	2013.10	平成25年伊豆大島豪雨災害
	2014.7	平成26年南木曾豪雨災害
	2014.8	平成26年広島豪雨災害
	2014.10	平成26年台風18号神奈川県豪雨災害
	2015.9	平成27年関東・東北豪雨災害
	2017.7	平成29年九州北部豪雨災害
	2018.4	平成30年耶馬溪土砂災害(豪雨なし)
	2018.7	平成30年西日本豪雨災害

(1) 1998年-2009年の豪雨土砂災害

1998年から2009年までの間に北関東・南東北豪雨災害，台風7号岐阜県豪雨災害，水俣豪雨災害，中国・九州北部豪雨災害，台風9号佐用町豪雨災害が発生した。これらについて以下にまとめる。

1) 1998年8月の北関東・南東北豪雨災害

1998年8月の北関東・南東北豪雨災害では，27日早朝に福島県の社会福祉施設太陽の国構内の救護施設「からまつ荘」において，裏山の表層崩壊で崩れた土砂が流動化して施設内に流れ込んだため，就寝中の5名が亡くなった。また，近くの住宅の裏山が崩れ（写真7.1-1），1階部で就寝していた住民2名が死亡した。災害弱者などの避難のあり方などについては2005年の「避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン」³⁾に災害弱者や垂直避難の考え方が明示されたようであるが，1998年当時では，災害弱者施設での豪雨災害に対する防災意識や建物内での垂直避難の重要性は一般化していないようである⁴⁾。



写真 7.1-1 当時多発した表層崩壊

2) 2003年7月水俣豪雨災害

2003年7月に発生した水俣豪雨災害では，時間雨量91mmの豪雨があり，24世帯85名が生活していた宝川内集地区上流でキャップロック型大規模崩壊が発生し，想定を越える土砂がこの集落を襲い15名の方が亡くなった（図7.1-1）⁵⁾。現地の方の情報ではこの時，冠水被害をこうむる可能性の高い川沿い低地の住民はいち早く避難し，死者はなかったが，通常では冠水や土砂被害がないと考えられる小高い台地上の扇状地に位置する住民が逃げ遅れて被災した（写真7.1-2）。通常発生する表層崩壊程度の崩壊規模をはるかに超える土砂移動を予想する難しさを示した事例と考えている。また，この大規模崩壊の発生時期が午前4時20分ごろであり，時刻的な避難の難しさも示した。

さらに、集地区からやや離れた深川新屋敷地区は、沖積錐の上に立地する集落で（写真 7.1-3）、上方の沢からの土石流によって4名の方が亡くなった。この現地調査の際には、住民から住んでいる土地（沖積錐の上）は、おじいさんの代から一度も土砂災害にあったことはなく、安全な土地だと聞いていたという証言を得た。しかし、そもそも沖積錐は完新世に発生した幾多の土石流が首を振って作った地形であり、危険な土地である。この時、口頭での災害伝承は3世代の約100年で途切れるのではないかという印象を持った。

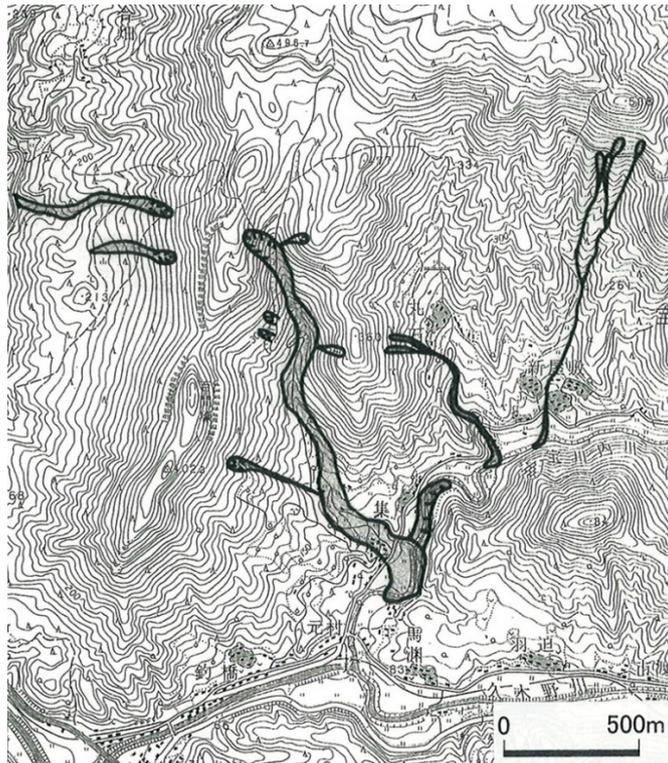


図 7.1-1 水俣豪雨 集地区土砂災害⁵⁾



左写真 7.1-2 宝川内集地区の被災地（煙の出ているあたりで最後の被災者が発見）

右写真 7.1-3 沖積錐上の立地で被災した民家

3) 2009年7月中国・九州北部豪雨

2009年7月中国・九州北部豪雨では、降水が時間雨量70.5mm、日雨量257mmに達し、多くの土砂災害が発生し、死者17名を記録した。この時、防府市真尾にある特別養護老人ホーム「ライフケア高砂」に背後の山で発生した土石流の大量の土砂が流入し（写真7.4-4）、1階食堂で食事中の45名の入所者中7名が土砂に巻き込まれ死亡した（写真7.4-5）。この特養ホーム施設がある地域は、土砂災害防止法（2001年4月施行）に基づき2008年3月、山口県によって「土砂災害警戒区域」に指定されていた。土砂災害防止法では、指定した警戒区域内に存在する災害弱者施設には市町村から災害関連情報が伝達されることになっているが、防府市はライフケア高砂にその情報を伝えていなかったようである。山口県等は当日早朝から数度にわたって「土砂災害警戒情報」を発していたが、防府市が真尾地区に避難勧告を出したのはライフケア高砂が土砂に襲われてから5時間後だった。

特に、被災時刻が、日中であることを考えると早期の避難や最悪建物内の垂直避難を行えなかったか悔やまれる。この災害を契機に災害弱者に対する避難を健常者より早めに行うことの機運がさらに高まった。



左写真 7.1-4 特別養護老人ホームを襲った土石流

右写真 7.1-5 特別養護老人ホーム（1階部分が土砂で埋まる）

4) 2009年8月台風9号佐用町豪雨

2009年8月台風9号の豪雨によって兵庫県佐用町で20名が亡くなった。その際、避難所に向かう5名の住民が増水した用水路に流され亡くなっている(写真7.1-6~9)。普段何気なく見ている小さな農業用水路が豪雨時大量の水を流すことを予見する人は少ないが、一度増水した水路に落ちると這い上がることはできないと記憶すべきであろう。

これを機に豪雨の最中には避難所だけにこだわらず、状況に即した判断を行い、命を守る行動が勧められるようになった⁶⁾。つまり、早めの避難ができなかった場合には自宅内(垂直避難など)や隣接する比較的安全な箇所での待機が再度強調されるようになった事例である。



左写真7.1-6 佐用町で避難中に5名が流された水路(水路は現在柵が設けられ、その脇に慰霊碑がある。水路の左後方には避難所の幕山小学校が見える。)

右写真7.1-7 水路はかなり小さい



写真7.1-8 避難所の幕山小学校



写真7.1-9 慰霊碑

(2) 2010年-2015年の豪雨土砂災害

2010年は多くの豪雨災害が発生し、7月に3地域の現地調査、8月に1地域の現地調査を行った。その結果を以下に示す。

1) 2010年7月1998年8月岐阜県中濃・東濃豪雨災害

2010年7月15日から16日にかけて、日本海に停滞した梅雨前線に南からの暖かく湿った空気が流れ込み西日本から中部地方にかけて大気の状態が非常に不安定となった。調査地の岐阜県中濃・東濃地方でも発達した雨雲が湿舌（線状降水帯を当時湿舌と呼んでいたと思う）の状態を作り出し、局地的な集中豪雨をもたらした。この豪雨を受けて岐阜県は、土砂災害警戒情報を八百津町に15日18:00に発表し、解除は16日1:40となっている。

この時土石流が発生した谷は、**図 7.1-2** のとおり長さ250m程度の小規模な谷で、土石流は、谷頭の表層崩壊を引き金にして発生している。また、えぐられた溪床脇には古い土石流堆積物が複数認められ、過去にも土石流が発生した沢であることを示している。

土石流の土砂は谷出口の新築民家1軒を直撃し、1階の台所・居間付近にいた3名の住民が被災した（**写真 7.1-10**）。現地の方の話では、被災時刻は雨の激しかった20:40~20:45頃ではないかということである。なお、被災した家屋は新築の2階屋であり、谷出口から少し離れた元々の旧家は軽微の損壊で無事であった。

防災・減災の考え方については、費用のかかるハード対策だけでなく、民家の新築立地場所や被災時間帯（夕飯時で1階の食堂にいたようである：遺体が冷蔵庫の近くにあった）での避難のあり方が課題である。

それに対して、この被災地から東に500m離れた民家でも、谷頭表層崩壊を引き金にした土石流で民家が全壊していた（**写真 7.1-11**）。ただし、現場での聞き込みによると、住民夫妻は、奥さんが18:30、旦那さんが19:00ごろ避難所に行き、難を逃れた。奥さんの話によると、先祖代々120年間何事もなく暮らしていた家であるが、当日は18時ごろから雨がひどくなり、上の小沢や斜面から土砂混じりの泥水が出るようになってきたので避難をした。そして、翌日朝家に着くと家は全壊しており、家の外に飛び出した時計が20:15で止まっていたという。斜面崩壊や土石流の予兆を的確に捉え、事前の避難を素早く行うことが重要である。

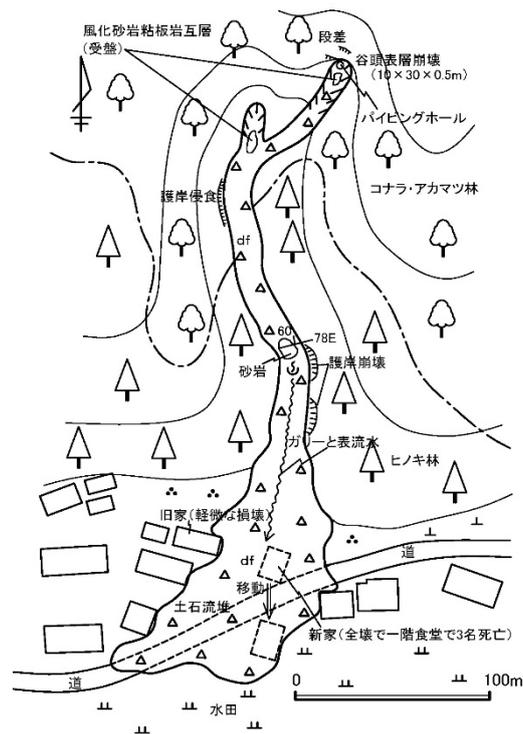


図 7.1-2 八百津町野上米山寺の土石流被災箇所の平面図¹⁾@



左写真 7.1-10 八百津町野上米山寺の土石流被災 (3名死亡)

右写真 7.1-11 土石流による被災民家 (住民は避難して無事)

2) 2011年9月紀伊半島豪雨災害

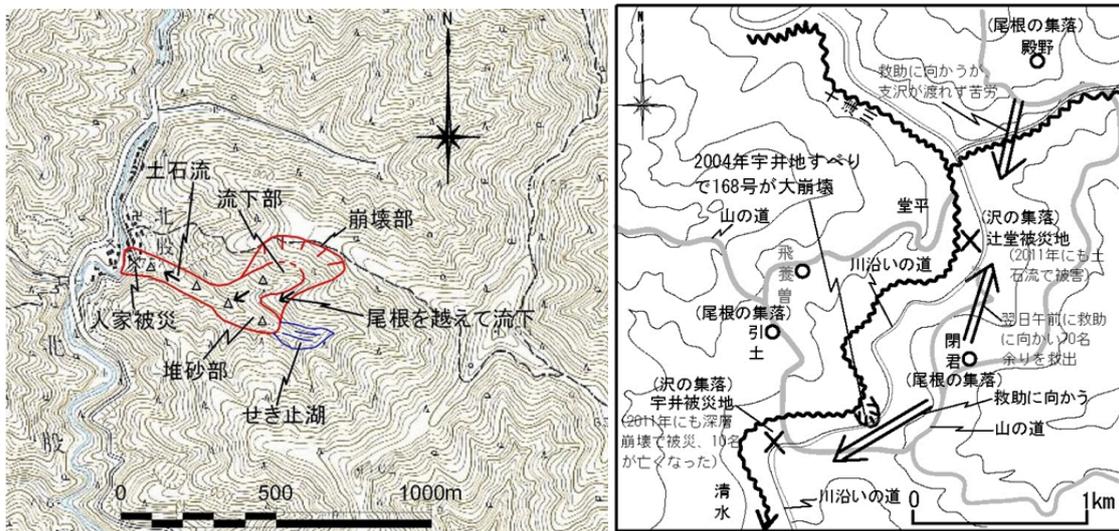
2011年9月紀伊半島豪雨災害では、奈良県上北山村で連続雨量1652mm、時間雨量100mmを超える雨が降った。この豪雨で深層崩壊が多発し、堰止湖の発生が住民避難を長期化させた。図7.1-3に示した北股地区の深層崩壊は、北股集落から500m離れた北股川左岸支沢の斜面で発生した。崩壊土砂は一部小尾根を乗り越え、土石流となって北股集落を襲っ

た（写真 7.1-12）。しかし大崩壊の音を聞いた住民は土砂が到達する前に安全な場所に避難し、人的被害はなかった。大規模崩壊は大きな音を出すこと、集落から 500m 離れていたこと、住民の素早い避難がよかったことになる。

また、深層崩壊や土石流が発生した辻堂周辺地区では住民は図 7.1-4 に示した侵食前線より下の急斜面を縫って走る川沿いの国道（川の道）が土砂災害で不通となり、侵食前線より上の土砂災害の少ない昔の山の尾根道（山の道）みちを使って避難した。図 7.1-4 には、この時の被災地と川の道と山の道を示した。近代に出来た川の道とそれに沿った集落は被災した（写真 7.1-13）。明治 22 年に起こった十津川災害でも多くの犠牲者がでたが、この時にも川の道は寸断し、利用可能な山の道を通して救助活動が行われた⁷⁾。

現在は、トンネルと橋梁を主体とする川の道と山の道の間を通過する国道の道路改良が進んでおり、現地調査の際に意見交換を行った十津川村長の話では、これらの新道の特にトンネル区間に一時期待避した人があったと聞いた。今後もこれらの新しい道は、豪雨時の一時待避場所として活用できるとも言われていたので、従来の川の道の国道より災害に強いものにしないといけないと感じた。

新潟県中越地震の直後に山古志村に入った際にも、新しい川の道は被災し利用できず、住民が避難に利用していた古くからの山の道に沿って調査が出来た経験がある。避難経路にもなる元々災害に強い山の道を残していくことも減災として重要である。



左図 7.1-3 北股地区の深層崩壊(避難して死者なし)¹⁾

右図 7.1-4 十津川豪雨災害での川の道と山の道⁷⁾



左写真 7.1-12 北股地区の被災建物（人災無）

右写真 7.1-13 辻堂で被災した川の道と集落（人災有）

3) 2013 年台風 18 号京都・滋賀・福井豪雨

2012 年以降に入っても豪雨災害は止まらず、2013 年台風 18 号京都・滋賀・福井豪雨では、9 月 16 日午前 5 時すぎ気象庁が新たに設けた大雨特別警報が初めて発表されたように、洪水を中心に多くの物的被害が出た（写真 7.1-14）。2014 年 9 月に避難勧告等に関するガイドラインが改定⁸⁾されたように、このころから豪雨に関する気象情報も住民を意識し減災を考慮したきめ細かい情報を目指すようになってきた。

できる限り早めの避難に役立てようとする試みであるが、住民サイドとしては深夜や早朝の豪雨ではなかなか早めの避難ができないことも感じる。



写真 7.1-14 福井市足羽川の破堤箇所は復旧済み

4) 2013 年 10 月伊豆大島豪雨災害

2013 年 10 月の伊豆大島豪雨災害では、連続雨量 824mm、時間雨量 122.5mm の降雨が深夜にあり、多くの気象情報が発信されていたが、深夜であることや暴風雨の中の避難は危険なこともあって避難勧告は出されなかった。40 名に達する死者・行方不明者がでたこと

は、深夜の想定を超える豪雨で火山灰斜面が広い範囲で崩壊し、尾根を超えるような土砂流出が影響したと考える(図 7.1-5) (写真 7.1-15~16)。2012年7月九州北部豪雨と同様に火山地域での豪雨による土砂災害の特異性を示した災害である。現地調査時に大島町長と情報交換するとともに、火山地域に住む住人に対して地元説明会を開催し(写真 7.1-17)、意見交換を行った。多くの住民には火山地域特有の地盤災害を理解していただき、継続して減災に向けて住民サイドと専門家の間での現地見学会の開催などを行った(写真 7.1-18)。これらのアウトリーチ活動は今後の減災に効果的である。

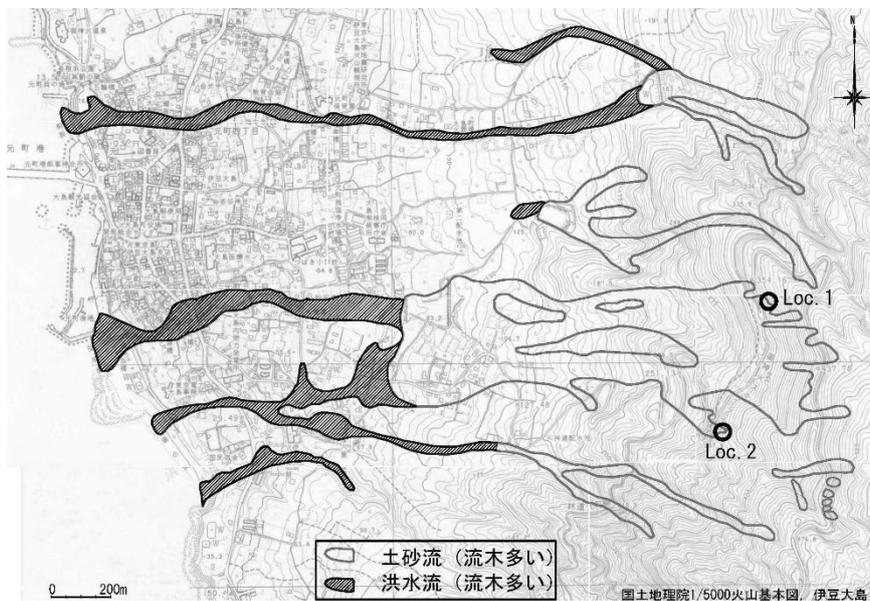


図 7.1-5 伊豆大島豪雨での土砂災害⁹⁾



左写真 7.1-15 大量の斜面崩壊土砂が人家に向かっている

右写真 7.1-16 流出土砂によって被災した人家



左写真 7.1-17 現地で行った災害調査報告会（住民で満席）

右写真 7.1-18 住民に対する現地見学会

5) 2014年7月南木曾豪雨災害

2014年7月の南木曾豪雨災害では、近くに過去の土石流が運んだ巨石に刻印された土石流災害の蛇抜け慰霊碑があった（写真 7.1-19）。しかし、7月に発生した土石流によって1名が亡くなった（写真 7.1-20）。お金をかけて作られたこうした石碑の有効利用の意義が問われる時期に来ているのかもしれない。

石碑に書かれている蛇抜けという言葉はなかなか住民にとって恐ろしげに言葉であり、正常性のバイアスを取り除くには緊急時よい言葉ではないかと感じている。我々技術者も住民へのアウトリーチの際、これらの地元の言葉を使うようにすれば、住民との距離を縮めるのに役立つように思う。



左写真 7.1-19 過去の土石流が運んだ巨石に刻印された土石流災害の蛇抜け慰霊碑

右写真 7.1-20 土石流によって1名が亡くなった人家跡地

6) 2014年8月広島豪雨災害

2014年8月広島豪雨災害では、多くの斜面崩壊と土石流が発生し、74名の方が亡くなった。図7.1-6には、阿武の里地区での土石流被災図を示した。

土石流堆②の末端で家屋が被災した住民の話では、早朝の当時、道路が流水であふれ逃げられず、2階に退避していたが、土石流が家屋に達したと同時に停止した(写真7.1-21)。それは幸運であったが、ちょうど2階にあった梯子を使って隣接する少し高台の家に避難できた。その後、③の土石流が発生して沢出口ではない住宅地を襲った(写真7.1-22)。

なお、沖積錐内でのc、dの侵食は大きく、ここでは、少なくとも2層の古期土石流堆積物が露出していた。これは、過去に多くの土石流が沖積錐で発生したことを示すとともに、沖積錐は土石流が首を振って作り出した危険な土地であることを示している。しかし、現地調査をしていてこのことを知る住民は少なかった。

また、同時期に斜面崩壊の発生した山本地区では、深夜1-3時にかけての豪雨で、崖が崩れて窓から土砂が入り、子供2名が死亡した(写真7.1-23)。夜半9時ごろまでの大雨で、2階の子供2名は雨音がうるさいので、1階の崖側の部屋に移動して寝ていたためと思われる。広島県の条例では、高さ5m以上、30度以上の崖下での宅地開発にあたっては、崖から離れて建物を建てるか崖に擁壁を建てるか、住宅の構造を堅固にすること等が書かれている。たまたまここだけ、崖の傾斜が30度以下であり、許可がおりて、崖に擁壁はなく、崖側にも開口部の窓がある住宅となった。しかし、隣接住宅の崖は高さ5m以上、30度以上あり、擁壁を作っていたため今回は被災しなかった。それでは、なぜ、この宅地だけが裏山崖の傾斜が30度以下であったかという、現地を見ると裏山が集水地形の崩壊跡で、一度崩壊したところであったためと考える(写真7.1-24)。崩壊は繰り返すという知識は一般の方にはないので、このような宅地開発が行われたように思う。改めて防災・減災に役立つ地盤の知識の重要性やアウトリーチの必要性を感じた。

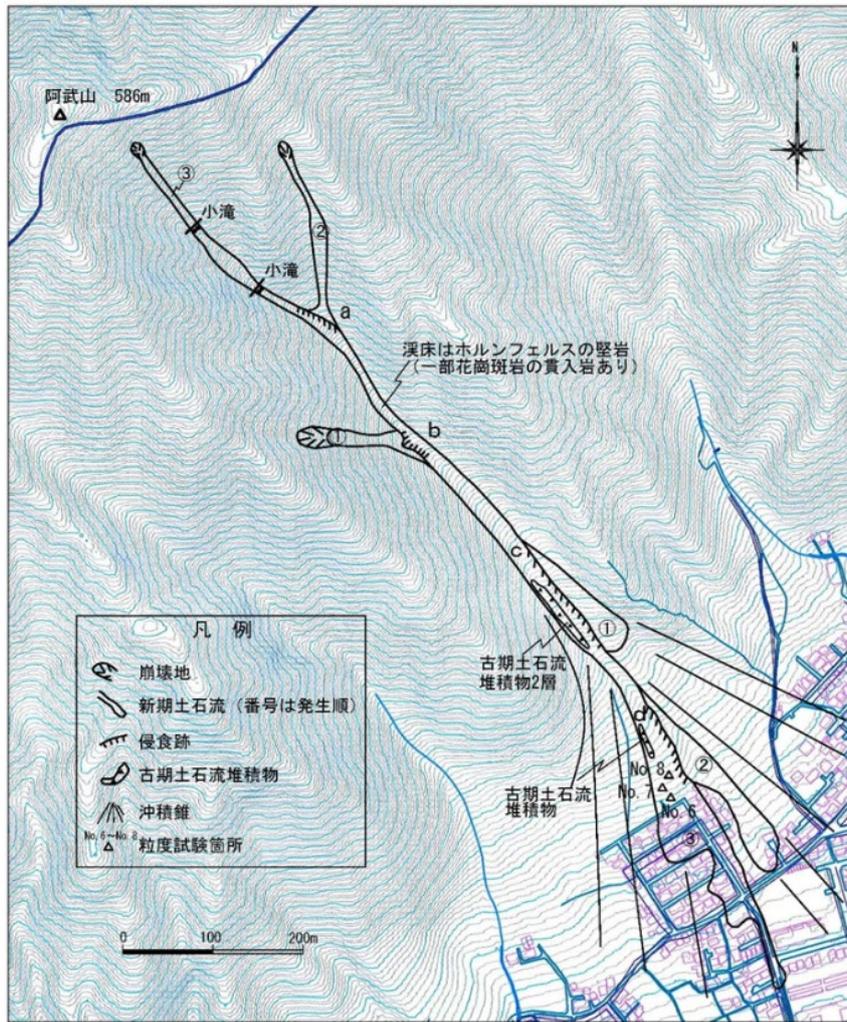


図 7.1-6 阿武の里地区での土石流流出状況図¹⁰⁾



左写真 7.1-21 土石流②の末端の被災家屋

右写真 7.1-22 土石流③は沖積錐内で首を振って沢出口では無い人家を襲った



左写真 7.1-23 斜面崩壊によって被災した人家

右写真 7.1-24 斜面崩壊は集水地形崩壊跡での表層崩壊であった

7) 2014年10月台風18号神奈川県豪雨

2014年10月台風18号による神奈川県豪雨でも、横浜市で多くの崖崩れが発生し、2名の死者が出た。その1名は崖下の1階崖側の寝室で被災した(写真7.1-25)。1階崖側の部屋が危ないことを再度確認できる。

横浜市はもともと崖地が多く、崖崩れの危険が高い地域である(写真7.1-26)。1961年の豪雨では、造成地の崖で多くの崖崩れが発生し、これを契機に1961年に宅地造成等規制法が制定された経緯がある。法令は、自然災害への予防の意味があり、裁判は災害事故の事後処理の意味合いがあるので、住民はこのことをよく考えていくべきであろう。



左写真 7.1-25 横浜市での崖崩れ現場

右写真 7.1-26 横浜市には崖が多く、崖崩れの危険が高い地域である

(3) 2016年-2018年の豪雨土砂災害

2016年-2018年の間にも多くの豪雨災害は発生している。特に、2017年7月の九州北部豪雨災害では、多くの犠牲者が出た。この災害を含めこの年は全国的に降水が多く、西日本豪雨災害と続いていくことになる。

1) 2017年7月九州北部豪雨災害

2017年7月には再び九州北部で豪雨災害が発生した。朝倉市黒川では7月5日の昼頃から夜にかけて、最大24時間降雨量829mmを記録し、大雨特別警報が出されたのが昼間にも係わらず41名が亡くなった。降水が局地的で線状降水帯が注目をあびた。

福岡県朝倉市杷木地区赤谷沿いでは多くの土砂災害が発生し、人家が被災した(図7.1-7, 写真7.1-27)。杷木地区の松末小学校(写真7.1-28)は、市の地域防災計画では災害時の避難所に指定されていたが、土砂災害のおそれがある時は使わないことになっていた。市が避難勧告を出した際には住民には別の避難所に避難するよう呼びかけたのであるが、当時、54名の住民が避難してきたため、避難所にせざるを得なかったようである。

松末小学校にも土砂が流入したが、丈夫な建物であったので倒壊はせず、避難した住民は無事で、翌日までに自衛隊のヘリコプターによって救出された。避難所を災害別に分ける必要があるが、住民にとってその仕訳は難しいのかも知れない。どのような自然災害にでも利用できる避難所の立地の選定や建物の構造をいかに採用するかが課題である。

東峰村でも大きな被害がでたが、その際の住民の避難状況を野々村・長谷川¹²⁾が報告しているので、その例を紹介する。岩屋・下鶴地区は宝珠山川沿いに位置する。これらの地域は、東峰村で最も被害が大きかった地域である。宝珠山川沿いの岩屋地区にも土石流が乗り上げ3名の方々が犠牲となった。比較的亡くなった方が少なかったのは図7.1-8に示したように豪雨が襲った当日が昼間であり避難の判断がしやすかったことが一つの要因としてあげられるが、地域での住民の連帯の強さなどがあったことも重要な要因である。

たとえば、高齢者が多かったが、現地住民の21名の方に対してヒアリング調査を実施している。豪雨の当日7月5日に避難した方は半数以上の57%(12名)である。避難のきっかけは、図7.1-9のとおり、「呼びかけや知人からの情報」という回答が5名、地区で話し合っただけで決めたが2名、どちらも共助による避難である。「被害を見て」という回答の中には、対岸の屋椎地区で土石流によって家屋が流失している現場を見たことから、自宅よりも高いところにある近所の方に避難したという方がいたとも報告している。

災害時には、地域の繋がりの深さが重要であること、昼間の災害では現場状況を見て避難が可能なことなどがあげられるが、豪雨の最中の避難には危険が伴うので、事前の避難が大切でもある。

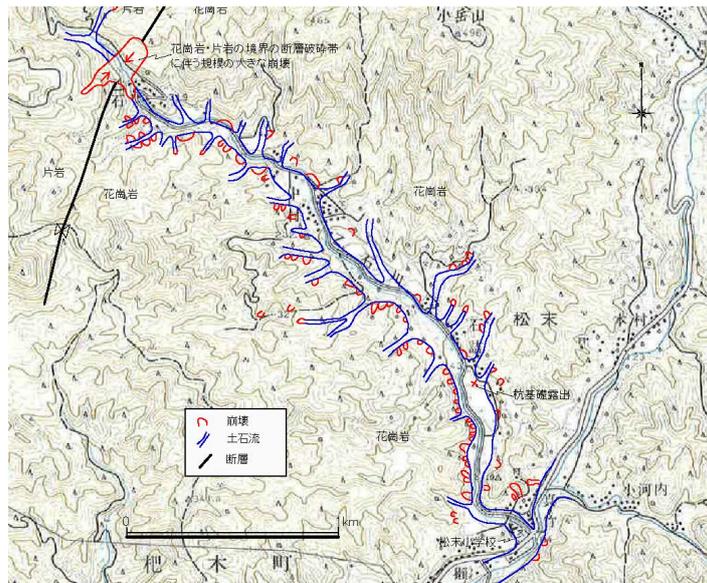
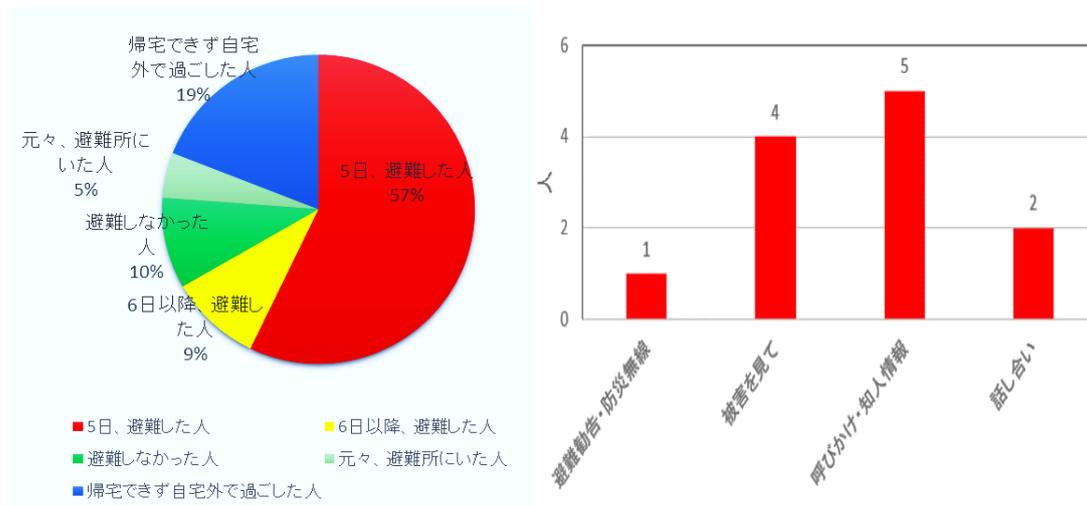


図 7.1-7 赤谷乙石川での土砂災害¹¹⁾



左写真 7.1-27 赤谷川沿いの民家の被災

右写真 7.1-28 避難所でもあった松末小学校も被災した



左図 7.1-8 ヒアリング対象者の避難行動 (N=21) ¹²⁾

右図 7.1-9 当日避難した人の避難のきっかけ ¹²⁾

2) 2018年4月耶馬溪土砂災害

2018年4月には、豪雨や地震を誘因としない土砂災害が、耶馬溪で11日午前3時48分に発生し、死者6名を出した(写真7.1-29)。その発生原因は調査中である。ただし、崩壊の予兆は1週間前頃から、小落石・異音・異臭あり、崩壊の直前に大きな水音があったと聞いている。崩壊後の現地調査では、降雨がないのに斜面中腹から湧水が続いていた。

事前の予兆があったことから、崖に異常(段差やクラック植生の乱れ)があった場合、地盤専門家に知らせて崖の点検をしてもらえば、減災になると思われるし、自助として退避できるので、深夜の崩壊でなければ、避難できたかもしれない。



写真 7.1-29 岩盤地すべりで、1軒の民家と墓が被災しなかった

7.2 平成 30 年 7 月豪雨災害での避難状況

(1) 概要

2018 年 7 月には、西日本豪雨災害が発生した。総降水量は各地で 500mm-1800mm に達し、九州から岐阜県にかけて広範囲の計 11 府県で大雨特別警報が発表されて死者 200 名を超える甚大な災害となった。以下の各地域での被災状況をまとめた。

1) 愛媛県宇和島市吉田町鳥首地区

宇和島市吉田町鳥首地区では、図 7.2-1 に示したように江戸時代に作られた鳥首池が決壊した。ため池直下流の宅地住民土山芳豊さんの避難行動時の写真を写真 7.2-1 に示した。7 月 7 日 4:30 から豪雨、6:00 車 4 台を高台に退避、6:51 ため池越水、7:07 ため池一部破堤、7:44 ため池破堤、7:45 頃支谷奥の高台の家に避難、8:00 頃支谷奥の家裏の崖で小崩壊、8:19 家に戻り頑丈な蔵の 2 階に避難したとのことであった（写真 7.2-2）。

それに対して、支谷奥の住民の避難行動は、8:00 頃支谷奥の家裏の崖で小崩壊 2 か所発生、豪雨と低地の洪水で動けず、家の 2 階に避難した。聞き取りでは、昭和 18 年豪雨時と今回平成 30 年の豪雨時の洪水位は同じくらいであった。翌日 8 日 9:00 水が引いて鳥首集会所（写真 7.2-3）に避難できたという。

なお、土山さん達の住宅のある支谷の沢筋には民家はなく小屋だけがあった。これは、地元で伝承されている谷渡しに家を建てるなという言い伝えに従ったもので、防災上土石流の直撃を避けるものである。

住民の避難所については、本学会では大きく取り扱ってこなかったが、その立地については、地形地質技術者の立場からの適正、不適正が判断できるので、その意見を述べていくべきであろう。たとえば、先に述べた鳥首地区では、避難所は洪水・崖くずれ、土石流に対して被災しなかった。しかし、対岸の集落からは低地の谷が冠水し降雨時には避難できない位置にあった。



図 7.2-1 愛媛県宇和島市吉田町鳥首地区での住民の避難行動（ため池決壊と崖崩）¹⁾



写真 7.2-1 ため池決壊による鳥首地区の被災状況（左写真），右写真には低地が冠水し対岸に避難者が集まる予定の鳥首集会所が見える（土山芳豊写真撮影提供）



左写真 7.2-2 住民が最終的に避難した頑丈な蔵の2階

右写真 7.2-3 避難者が集まった鳥首集会所

2) 愛媛県西予市明間地区

写真 7.2-4 に示した明間裏山での崩壊時の崖下住民の避難では、7月7日裏山から異常な出水を見て家族4名が6:30ごろ車で家を出るが道路が崩れていて徒歩に切り替えた。

写真 7.2-5 のように7:00頃に裏山を見ると家は土砂に埋まって全壊していたという（愛媛新聞（7月10日）による）。



左写真 7.2-4 明間地区での裏山崩壊

右写真 7.2-5 明間地区での裏山崩壊で全壊した家屋

3) 愛媛県西予市野村地区

四国の愛媛県西予市野村地区では、多くの人家が被災した（写真 7.2-6）。そして、避難所は土石流や崖崩れを免れたが、洪水で冠水していた（写真 7.2-7）。地盤災害にはいろいろな種類があり、避難所の立地選定に対して、地盤や地形・地質をよく知る技術者の関与が必要であろう。



左写真 7.2-6 野村地区の洪水で被災した人家

右写真 7.2-7 野村地区の洪水で被災した避難所

4) 広島県府中町

広島県府中町では、寺山橋で流木による堰き止めが発生し天井川が決壊し、集落の密集する低地が広範囲に水没した(図 7.2-2)。この寺山橋の下流 30m も離れていない多家神社には、過去の災害を記録した水害石碑が建っていた(図 7.2-2 右)。近くの住民に聞いたところ石碑の存在を知らない方が多かった。昔からの低地の人家は水没した(写真 7.2-8 左)。しかし、そのすぐ隣の天井川堤防と同じ高さまで嵩上げした盛土住宅には被害はなく(写真 7.2-8 右)、石碑の存在を知った方が、宅地高を調整し難を逃れた可能性がある。



図 7.2-2 広島県府中町での水害碑と土石流被害¹⁾



写真 7.2-8 天井川堤防と同じ高さに嵩上げ盛土した宅地(右)とその下隣の水没した古い家屋(左)

5) 広島県坂町小屋浦地区

広島県坂町小屋浦地区の現地調査の際にも土石流で被災した民家のすぐ近くに水害碑（1907年7月の大雨のため土石流が発生し、44名死亡、43家屋倒壊の水害碑）があるのを見つけた（図7.2-3、写真7.2-9）。そして、海岸近くのさらに下流域でも土砂に埋まった家屋が多かった（写真7.2-10）。石碑は100年で途切れると感じている口伝えによる伝承より、確実に長く伝わる方法であるので、その存在をうまく伝える必要性を感じる。

たとえば、集落で行われる祭りなどの年中行事を水害碑の周りで行い、この時なぜ水害碑があるのか、防災専門家や集落の古老がその説明をし、場合によっては避難訓練的な要素を行事の中に組み込めないかなど提案したい。

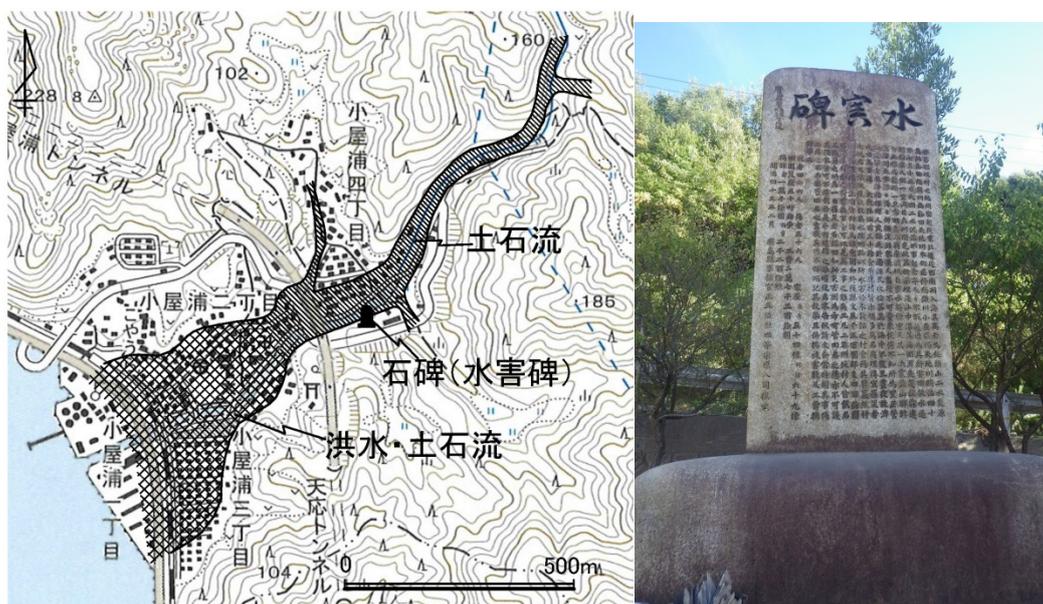


図 7.2-3 小屋浦地区水害碑と土石流被害¹⁾



左写真 7.2-9 小屋浦地区の水害碑とその直近くで被災した民家

右写真 7.2-10 小屋浦地区の海近くの土砂で埋没した民家

6) 愛媛県大洲地区

図 7.2-4 には、洪水被害を受けやすい大洲盆地での被災状況を示した。大洲地区では、昭和 18 年の豪雨で旧市街地のある自然堤防の微高地を除いて盆地の大半が水没した。その後平成 7 年、平成 16 年、17 年にも水害を受け、今回の豪雨は、ほぼ昭和 18 年と同様の規模の水没被害であった（写真 7.2-11）。低地は今回も水没したが、土地利用は水田が多い。

しかし背後にあるように工場や店舗がこの低地に進出してきており、被災した（写真 7.2-12）。ただし、古くからの防水対策や昭和 18 年の水害で減災対策をしたところでは、その効果を発揮し今回被災しなかったところもあった。

写真 7.2-13 は古くからある盛土による防水場で、現在お寺になっており、水没を免れた。最近では、写真 7.2-14 のように水没した低地であって、輪中のように高盛土をした用地上にある肱南浄化センターは、比較的最近整備させて建物で水没しなかった。災害時に重要な下水道施設を維持できたことは大きい。

写真 7.2-15 は、昭和 18 年水害後に高台に移転した集落であり、当然被災しなかった。写真 7.2-16 は、昭和 18 年に被災した低地であったが、被災者が高台に移転した後にその低地を嵩上げし新しい住民が家を建てたところであり、今回は被災しなかった。

また、盆地出口の河床岩盤露出箇所、河道を掘削して下げることによって、盆地からの排水能力を挙げた対策箇所である。参考になる河川改修工事例であるが、現在この河床はやや早瀬になっていて、河岸には露岩が多いことから難工事であった可能性がある。自然災害からの防災や減災においては、ハード対策とソフト対策の兼ね合いがいかに重要であるかが伺える。

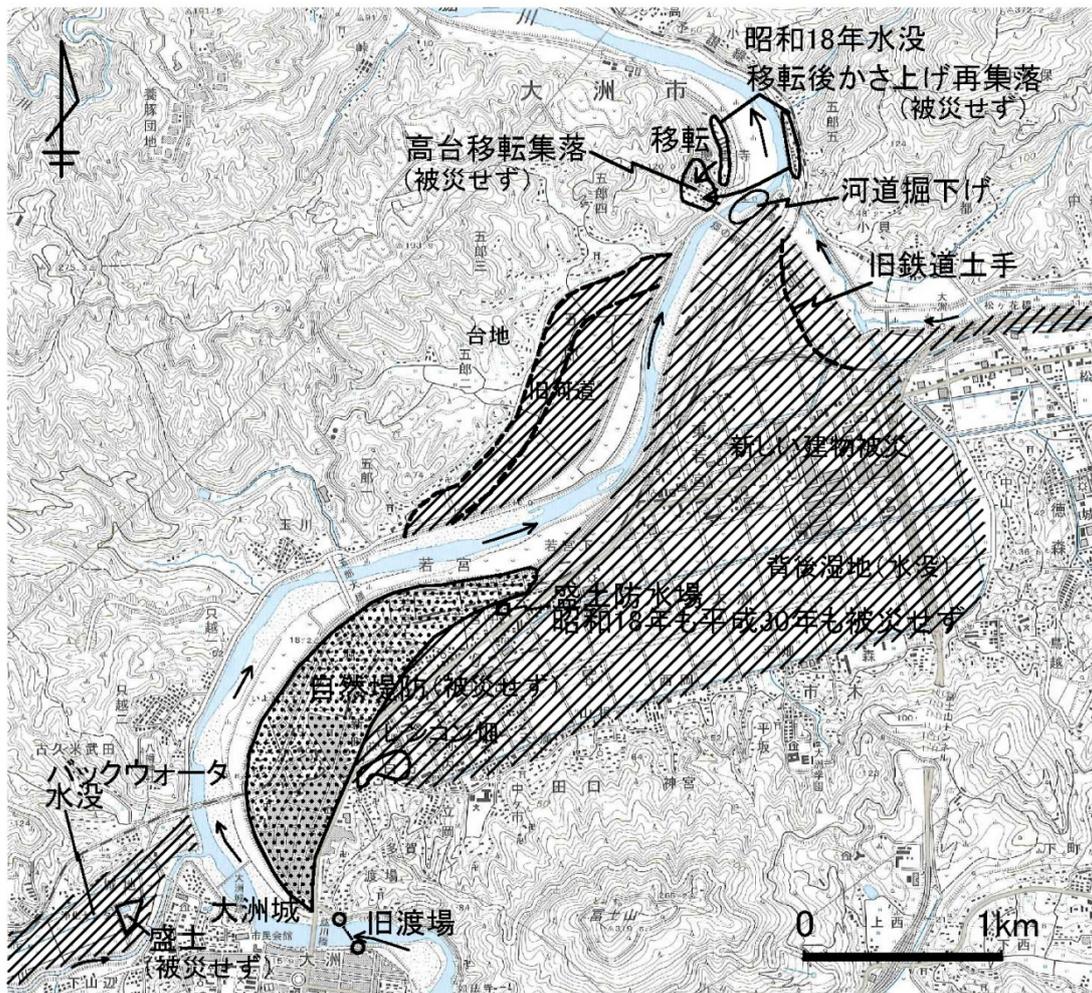


図 7.2-4 大洲地区の洪水被害と防災・減災対策の効果²⁾



左写真 7.2-11 大洲城からみた肱川と水没しなかった自然堤防上にある旧市街地

右写真 7.2-12 低地は今回も水没したが、土地利用は水田が多い。しかし背後にあるように工場や店舗が進出してきており、被災した。昔からの家は自然堤防や盆地周辺の高台に多い



左写真 7.2-13 盛土による防水場（現在お寺で被災せず）

右写真 7.2-14 水没しなかった低地内の最近つくられた高盛土施設（肱南浄化センター：図 7.2-4 の左下の低地内の盛土部分）



左写真 7.2-15 昭和 18 年水害後の高台移転先は被災せず

右写真 7.2-16 昭和 18 年に被災し水害後に低地から高台に移転した後この低地を嵩上げた用地は被災せず

7.3 市民フォーラムによる意見

(1) 概要

日本応用地質学会環境地質研究部会（当時の部会長：稲垣秀輝）では、2013年から毎年防災と地質のメリットについて市民フォーラムを行っていた（表 7.3-1、写真 7.3-1）。開催場所は、横浜、福岡、岡山、大阪、仙台、さいたまである。いずれの会場でも、地域で気をつけたい自然災害について話題提供して、その理解度や関心度についてアンケートを取ってきた。その時のアンケート内容から市民が関心にある自然災害についてまとめたので、以下にまとめる。

表 7.3-1 市民フォーラムの開催一覧¹³⁾

開催地	日時	参加数(内訳)	題目
第1回 横浜	H25.5.11	74名 (市民・その他 61名、関係者 13名)	暮らしと環境保全 —災害に学ぶ—
第2回 福岡	H26.5.17	80名 (市民 62名、関係者 18名)	災害に強い地域づくり —ふくおかの地形・地質 知って活かす—
第3回 岡山	H27.7.25	109名 (市民 25名、関係者 21名、その他 63名)	岡山の地質・地盤のメリットとデメリット —応用地質学から科学する—
第4回 大阪	H28.5.28	124名 (市民 47名、関係者・同業者含む 77名)	地下に隠れた災害リスクと防災 —知って活かそう関西の地盤—
第5回 仙台	H29.6.3	128名 (市民 47名、関係者・同業者含む 93名)	東日本大震災の教訓 —みちのくの地質と風土—
第6回 埼玉	H30.6.2	207名 (市民 39名、関係者・同業者含む 168名)	川の国埼玉 —治水と災害の歴史に学ぶ—



写真 7.3-1 市民フォーラムの状況（満席の第6回さいたま会場）

1) 関心のある自然災害の地域性

アンケートの結果、地震災害の他に第1回の崖地の多い横浜では崖崩れが多く、地すべりや土石流にも関心があった。しかし、平野の多い第4回大阪では、地震や液状化・地盤沈下災害の関心が多い結果となった。地域の地形や地質とその大地で起こりやすい災害に関心がある地域性を感じた（図 7.3-1）。つまり、その地域にあった防災・減災アウトリーチが必要といえる。

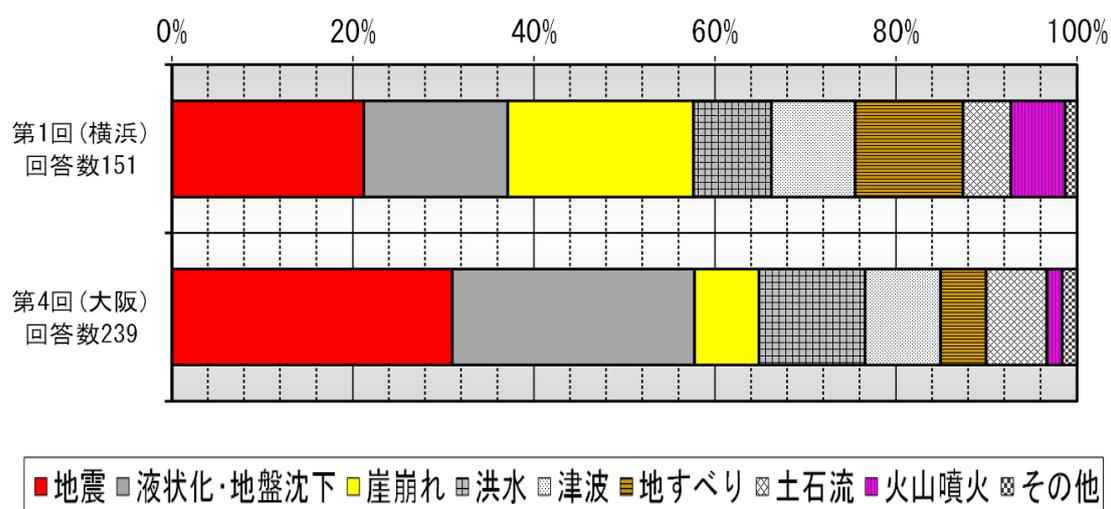
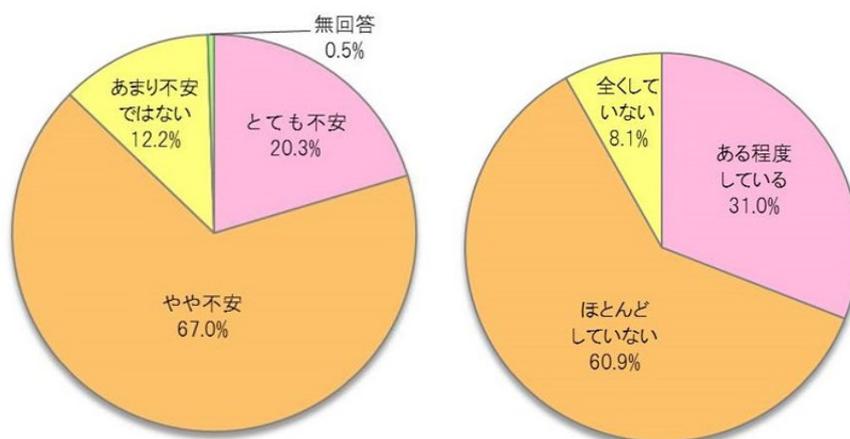


図 7.3-1 市民の関心のある自然災害¹³⁾

2) 自然災害に対する市民の不安

アンケートで自然災害に対する市民の不安についてきいたところ、とても不安とやや不安を合わせると 87.3%もあるのに対して（図 7.3-2）、災害に対して備えをしている市民の割合は、全くしていないとほとんどしていないを合わせると 69.0%であった（図 7.3-3）。かなり、矛盾した結果であるが、これが現状であろう。自然災害に関する専門技術者の今後の課題と言える。



左図 7.3-2 自然災害に対する市民の不安¹⁴⁾

右図 7.3-3 災害に対して備えをしている市民の割合¹⁴⁾

3) 市民への減災対策

先に述べたように、緊急時の備えをしていない市民の方々にどのようにすれば減災対策をしていただけるかという、根気よくいろいろな工夫をして市民に豪雨災害の危険性を説明していくしかないように思う。たとえば、豪雨災害時の減災の要となる避難行動や警報の伝達の仕方を工夫できないか。我々技術者が使っている用語は現象を正確に伝える専門用語になっている。線状降水帯は、昔、湿舌と呼んだと思っている。土石流は、山津波や蛇抜けなどと言っていた。斜面崩壊は、ビヤクやハケなどと呼ぶところがあった。いずれも住民にはわかりやすく、恐ろしげな言葉である。常時の平穏な生活では土石流や斜面崩壊と伝えてもよいが、豪雨時の非常の時には正常性バイアスを破るためにも、昔ながらの恐ろしげな言葉を使って避難を早めるのはどうだろうか。たとえば、「今夜は湿舌による激しい雨になる。蛇抜けが起こるので、大蛇に飲まれないように今すぐ避難しなさい」というのはどうだろうか。

4) 防災教育

市民への防災教育については、それらについて詳しい研究者と共同しながら、災害文化の育成や災害体験の教訓化、能動的な理解と行動に直結する興味をつなぐ防災教育のあり方が必要である。先に述べた地域の年中行事を水害碑の周りでやる案がこれに当たる。この防災教材の作成には気象や大地の成り立ち・地下水の行方などを学ぶ科学・防災リテラシーの向上が不可欠であろう。

7.4 平成30年7月豪雨災害での避難行動状況

7.4.1 はじめに

平成30年7月に発生した西日本を中心とする豪雨災害では、河川氾濫による洪水と、土石流を含む土砂災害が各地で発生し、2018年11月6日時点で、死者224名（うち岡山61名、広島109名、愛媛29名、土砂災害125名）、行方不明者8名（岡山3名、広島5名）の人的被害、全壊6,758棟、半壊10,873棟、一部破損3,829棟、床上浸水8,567棟、床下浸水21,872棟という建物被害をもたらした。避難勧告等対象者数は、最大で約860万人（7/7時点）に上り、避難所への避難者数は最大で約4.2万人（7/7時点）となった。本章では、これらの災害における避難者の行動について調査結果を示し、分析を行うものとする。調査は必ずしも土砂災害に特化したものではないが、豪雨災害での死因の6割程度が土砂災害に関連するものであることから、土砂災害での行動分析としても重要と考え示すものである。

7.4.2 京都府での予備調査

京都での予備調査は、2018年7月23日から8月末までに浄土真宗本願寺派京都教区並びに若藤会の各御寺院、ボーイスカウト京都連盟の関係者の協力のもと、京都市内を中心に質問紙を用いたアンケート調査として実施された。質問項目は避難の有無とそのきっかけに関する簡易なものである。回収された調査票は468枚であり、うち避難情報（避難指示（緊急）、避難勧告、避難準備・高齢者等避難開始）を受け取った人は315人（67%）であった。しかし、実際に避難した人は8名（7名は避難指示（緊急）、1名は避難勧告を受け取っている）、避難指示（緊急）を受け取ったにも関わらず避難しなかった人は156名（96%）となり、ほとんど避難していないという結果となった。その理由として、「避難する必要がなかった」（73%）、「家のほうが安全と思った」（50%）がほとんどであり、「時間が遅かった」ことを挙げた人（16%）は、前述の2つの理由との組み合わせとなっていた。このような結果となった原因は、避難情報の出し方と住民の避難行動の捉え方から説明できるのではないかと考えられる。京都市は元学区単位で情報を発令しているが、エリアが広く、災害リスクの高いところと低いところが両方含まれている。このため、危険度が高いところを対象にした避難指示（緊急）が、危険度がそれほど高くない場所に住民にも送られてしまうこととなる。もう少し小さな領域に絞り込み情報を出す試みは京都市も検討しているが、家ごとのレベルまで絞り込むことはできないため、受け取った住民の判断との組み合わせが必要であることがわかる。

7.4.3 調査票の設計と調査の実施

予備調査の結果や過去の災害での調査票¹⁶⁾などを参考にして、調査票の設計を行った。調査項目は、フェイス情報、当日の避難行動、居住地付近のハザード、防災意識など37項目とし、Web調査として実施することとした。調査エリアは、広島県、岡山県、鳥取県、島根県、山口県、愛媛県、高知県、福岡県、京都府、兵庫県、岐阜県より選定した107市町村とした。予備調査から、避難に関する情報を受けていなかった人の調査結果は分析対象としにくいことから、スクリーニング項目を設定し、避難した人、避難指示（緊急）、避難勧告を受け取ったか、居住地が何らかの被害を受けた地区に住んでいた人の回答を優先して調査に協力していただく工夫を行っている。調査は、2019年1月下旬に行われ3000サンプルを回収した。

7.4.4 調査結果と考察

(1) 単純集計

回収した3000サンプルに関する単純集計結果について示す。回答者は、男性53%、女性47%、年齢は、30歳未満10%、30-39歳19%、40-49歳28%、50-59歳22%、60-69歳15%、70歳以上6%であった。スクリーニングを実施したこともあり、グループ1（豪雨の影響があまりなかったグループ）39%、グループ2（避難した人のグループ）22%、グループ3（避難勧告以上の情報を受け取ったか、居住地に被害があった地区に住む人）39%であり、行動分析に重要なグループ2、3に属する人の回答も比較的多く回収できていることがわかる。

(2) クロス集計

1) 避難行動と避難情報の関係

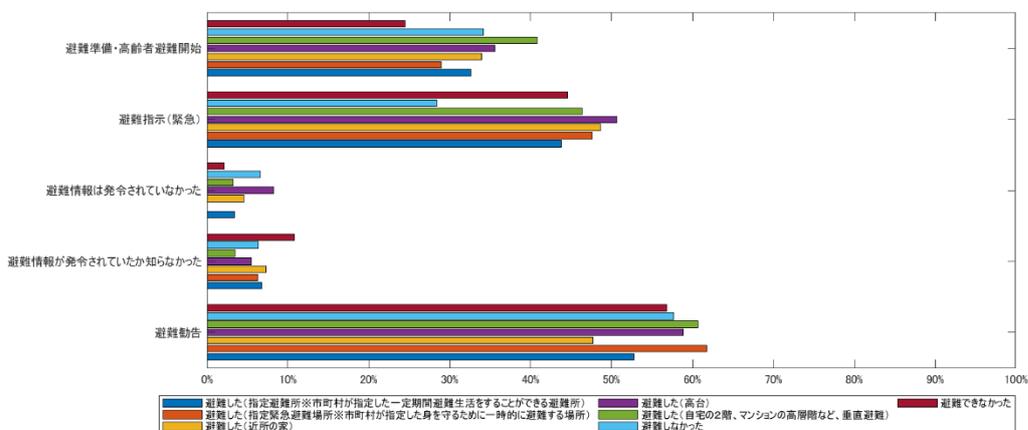


図 7.4.4-1 避難行動と避難情報の関係

避難行動と避難情報の関係を図 7. 4. 4-1 に示す。避難指示（緊急）を受けて、避難をしなかった人は他の情報が与えられた人よりも少ないが、30%程度は避難指示（緊急）でも避難していない。避難情報が発令されていたか知らなかった場合は避難できなかった人が多い。

2) 避難行動と情報源の関係

避難行動と情報源の関係を図 7. 4. 4-2 に示す。情報入手手段としては全体的にテレビが多いものの、避難しなかった人がこれを選ぶ比率も高い。避難している人もテレビが多いため、テレビは情報入手源として普及しているものの、その情報を得て避難するかどうかは人によると考えられる。避難した人は防災行政無線や市町村のホームページといったところからもからも情報を得た比率が高い。

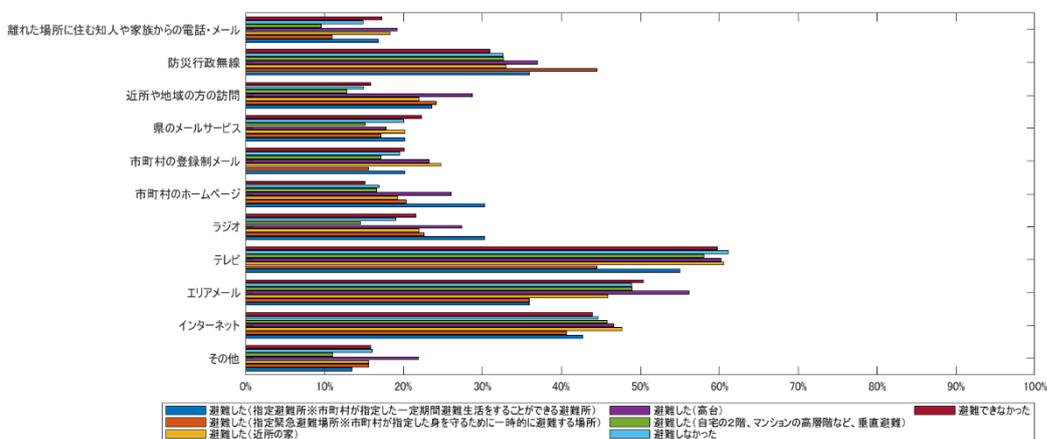


図 7. 4. 4-2 避難行動と情報源の関係

3) 平成 30 年 7 月豪雨とそれ以降の台風等での避難行動の関係

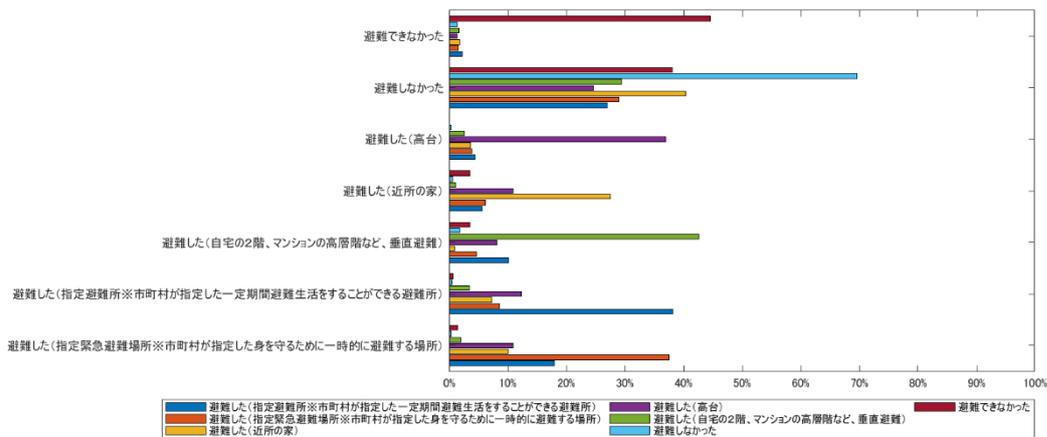


図 7. 4. 4-3 平成 30 年 7 月豪雨とそれ以降の台風等での避難行動の関係

平成 30 年 7 月豪雨とそれ以降の台風等での避難行動の関係を図 7. 4. 4-3 に示す。平成 30 年 7 月豪雨災害を経験しても、以降の台風等での行動はあまり変わらない。避難「しない」人が避難しないし、避難「できなかった」人も避難できない。災害時の避難行動は、ある程度、固定されていると考えられる。

4) 避難行動と居住地地形の関係

避難行動と居住地地形（自己申告）の関係を図 7. 4. 4-4 に示す。（河川の付近ではない）平野部に居住していると考えている人は、垂直避難、避難しないことを選択する比率が高い。河川の付近に居住していると思っている人は高台避難、近所の家に避難する比率が高い。傾斜地の中腹に居住していると思っている人は、避難できなかった比率が高く、避難経路に問題が潜んでいる可能性がある。

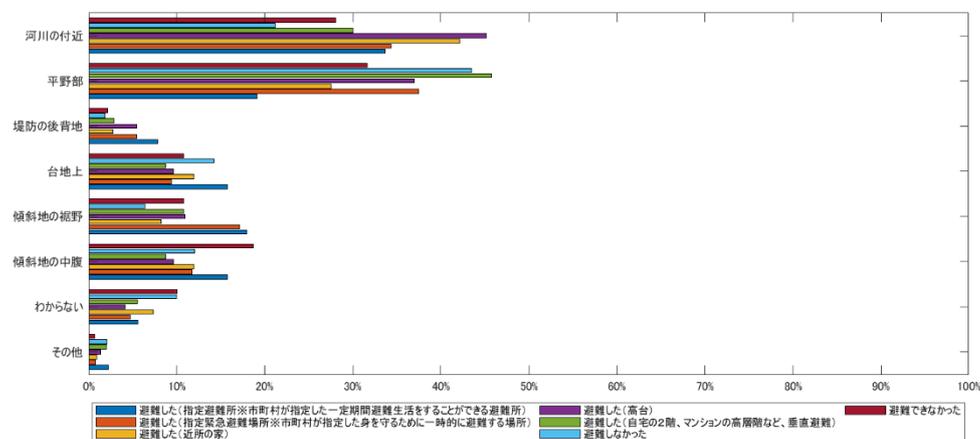


図 7. 4. 4-4 避難行動と居住地地形の関係

5) 平成 30 年 7 月豪雨災害以前の被災認識と避難行動との関係

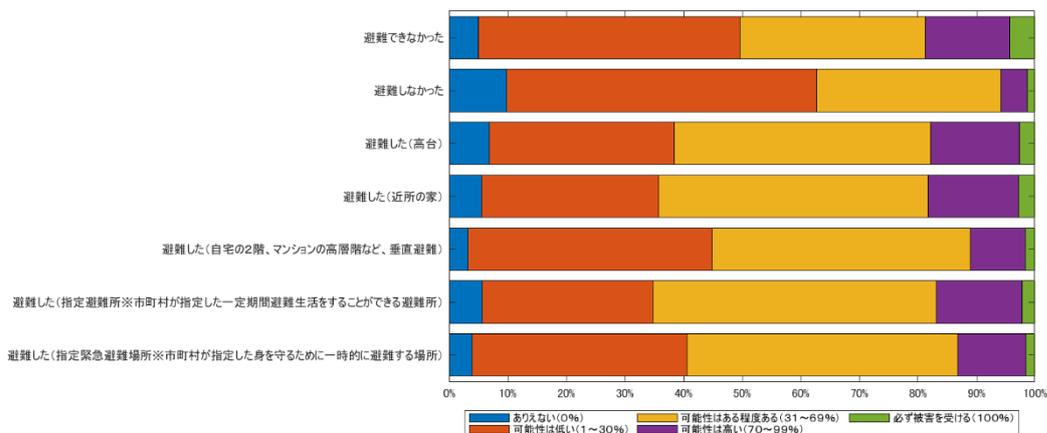


図 7. 4. 4-5 平成 30 年 7 月豪雨災害以前の被災認識と避難行動との関係

平成 30 年 7 月豪雨災害以前の被災認識と避難行動との関係を図 7. 4. 4-5 に示す。避難しなかった人は西日本豪雨以前に、被災の危険性を低いと考えていた比率が高い。

6) 避難行動と次の災害時の避難開始のタイミングの関係

避難行動と次の災害時の避難開始のタイミングの関係を図 7. 4. 4-6 に示す。今回、指定避難所に避難した人は避難勧告が出れば避難を開始すると回答し、高台避難、近所の家に避難した人は避難勧告で準備し、避難指示が出れば避難を開始すると回答する比率が高く、今回の避難に要した時間を考慮した行動計画となっている。避難しなかった人は「周りからの通知は関係なく、自信で危険と感じれば避難を開始する」と回答しており、指示待ち体質ではないことを示しているが、危険と感じる判断基準を自分もしくは世帯で持っているか否かにより是非は分かれる。避難できなかった人は「どのような状況になっても自宅外へ避難することはない」と回答する比率が高く、自宅外の避難がそもそも困難な条件を抱えていると思われる。

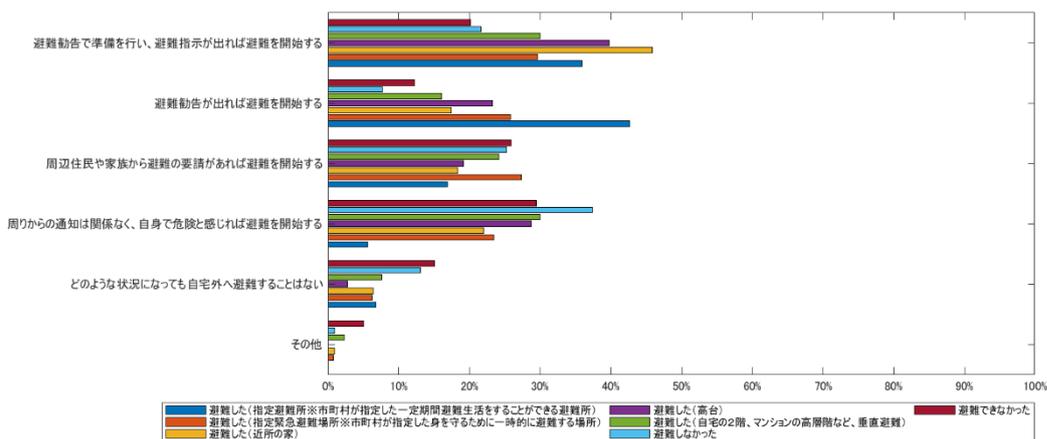


図 7. 4. 4-6 避難行動と次の災害時の避難開始のタイミングの関係

7) t 検定による避難・非避難の差分分析

避難した人、避難していない人がそれぞれどのような特性を持つのか整理するため、アンケート回答者を避難した人の群（以下、避難者という）と避難しなかった人、できなかった人の群（以下、非避難者）に分け、それぞれの設問の回答率を比較する。まず、避難情報に関する項目に着目する（表 7. 4. 4-1）。避難行動決定時の取得避難情報は、避難準備・高齢者避難開始、避難勧告が発令されていたと回答した比率に差はなかった。一方で、避難指示については 2 群に有意な差が確認できる。したがって、避難準備、避難勧告では避難する、しないの意思決定に与える影響は大きくないが、避難指示は避難行動の意思決定に大きく影響を与えることが示唆される。避難情報を取得した媒体は、テレビやエリアメ

ールは比率が大きいものの、避難者と非避難者の回答比率には優位な差がない。一方でインターネットはp値が0.02、ラジオ、防災行政無線が0.01未満となっており、これらの情報媒体を利用する避難者の比率が高い。また、「近所や地域の方の訪問」、「離れた場所に住む知人や家族からの電話・メール」など身近な人からの情報では避難する比率が高くなっている。

表 7.4.4-1 避難情報に関する回答比率

設問概要	選択肢	避難 (N=704)	非避難 (N=2517)	t値	p値
避難行動 決定時の 取得避難 情報	避難準備・高齢者避難開始	36%	34%	0.96	0.34
	避難勧告	57%	57%	-0.45	0.65
	避難指示（緊急）	45%	29%	8.32	<0.01
	避難情報は発令されていなかった	4%	6%	-2.86	<0.01
	避難情報が発令されていたが知らなかった	5%	7%	-1.29	0.20
避難情報の 取得媒体	ラジオ	10%	6%	3.69	<0.01
	テレビ	47%	48%	-0.51	0.61
	インターネット	36%	32%	2.27	0.02
	近所や地域の方の訪問	9%	2%	8.95	<0.01
	離れた場所に住む知人や家族からの電話・メール	4%	2%	2.88	<0.01
	市町村のホームページ	10%	4%	6.42	<0.01
	防災行政無線	26%	20%	3.94	<0.01
	エリアメール	36%	36%	0.19	0.85
	県のメールサービス	8%	7%	0.72	0.47
	市町村の登録制メール	9%	6%	2.48	0.01
その他	5%	3%	2.96	<0.01	

表 7.4.4-2 災害への備えに関する回答比率

設問概要	選択肢	避難 (N=704)	非避難 (N=2517)	t値	p値
災害への備 え状況	飲料水・食糧の備蓄	43%	34%	4.26	<0.01
	避難場所、経路の確認	34%	24%	5.47	<0.01
	近隣の指定避難所までの 避難経路の検討	16%	9%	6.06	<0.01
	市区町村の登録制メール の登録	18%	10%	6.23	<0.01
	家族との連絡方法の確認	24%	17%	4.76	<0.01
	非常用持出品の準備	24%	17%	4.26	<0.01
	地域の自主防災活動や消 防団への参加	6%	4%	2.97	<0.01
	その他	1%	1%	1.86	0.06
	特に何もしていなかった	30%	47%	-8.03	<0.01
	防災訓練や 防災講演会 への参加状 況	毎回参加していた	9%	5%	3.83
	時々参加していた	15%	12%	2.19	0.03
	1度参加したことがある	13%	11%	2.18	0.03
	参加したことはない	63%	73%	-5.06	<0.01

災害への備えについては「その他」の回答を除く全ての項目で避難者、非避難者の間で優位な差があった（表 7.4.4-2）。避難した人はそうでない人よりも、設定した災害への備えのいずれにおいても用意している比率が高い。一方で「特に何もしていなかった」と回答する非避難者の比率が高いことから、避難者と災害への備えには強い関係があることが確認できる。防災訓練や防災講演会への参加状況では、「毎回参加していた」の回答で避

難者が有意に高い比率となっており、「参加したことはない」の回答で非避難者が有意に高い比率となっている。したがって、防災訓練等への参加が避難の意思決定を促す可能性が示唆される。「時々参加していた」や「1度参加したことがある」もp値は0.03となっていることから、数回でも防災訓練等に参加することは、避難行動の選択に正の影響を与えると考えられる。

表 7.4.4-3 地域コミュニティに関する回答比率

設問概要	選択肢	避難 (N=704)	非避難 (N=2517)	t値	p値
災害前の 近所付き 合い状況	積極的に自治会活動に参加したり、親しく話したりしている	22%	13%	5.44	<0.01
	一斉清掃の参加や当番制の役割を行っている	34%	26%	4.37	<0.01
	高齢者・障害者や子育て支援に参加している	7%	4%	2.87	<0.01
	愚痴を言えるような友人が近所にいる	13%	9%	3.18	<0.01
	挨拶をする程度	32%	42%	-5.05	<0.01
	ほとんど付き合いがない	16%	21%	-3.11	<0.01
コミュニ ティ内の 防災活動 状況	自治会等の地域単位で防災に関する取り決めがある	45%	40%	2.22	0.03
	防災に関する取り決めのため、数回会合がある	20%	14%	3.79	<0.01
	地域で、高齢者・障害者などに関する取り決めがある	20%	21%	-0.59	0.56
	その他	23%	32%	-4.37	<0.01

表 7.4.4-4 避難時の世帯構成に関する回答比率

設問概要	選択肢	避難 (N=704)	非避難 (N=2517)	t値	p値
災害前の 同居家族	乳幼児	17%	11%	4.59	<0.01
	小学生	18%	12%	4.25	<0.01
	妊婦	2%	1%	0.97	0.33
	介護の必要な方	6%	6%	0.04	0.97
	ペット（犬、猫）	18%	18%	-0.45	0.65
	その他、病気や障害などで避難行動や避難生活が難しい方	3%	4%	-0.16	0.87
	上記にあてはまるものはない	51%	58%	-3.69	<0.01

災害前の近所づきあい状況に関する設問では、すべての項目で避難者と非避難者で優位な差があった（表 7.4.4-3）。非避難者は「挨拶をする程度」、「ほとんど付き合いがない」というコミュニティとのつながりが弱いことを示す回答の比率が高い。一方で避難者はコミュニティとのつながりが強いことを示す回答の比率が高い。したがって、コミュニティとのつながりは避難行動の選択に強く関係すると考えられる。コミュニティ内の防災活動状況に関する設問では、避難者が「自治会等の地域単位で防災に関する取り決めがある」、「防災に関する取り決めのため、数回会合がある」に回答した比率が高く、有意な差があ

る。したがって、地域のコミュニティで防災活動がされていることは避難を促す可能性が示唆される。その一方で「地域で高齢者・障害者などに関する取り決めがある」の回答比率は2群に優位な差はなかった。

避難時の世帯構成について訪ねた設問では避難者が乳幼児、小学生を有する世帯である比率が高く、有意な差が確認できる（表 7.4.4-4）。つまり、幼い子供をもつことと避難者には正の関係があることが考えられる。一方で妊婦、介護の必要な方、ペットなど避難の意思決定に負の影響を与えると考えたが、2群の間に有意な差は見られなかった。

7.4.5 まとめ

平成 30 年 7 月豪雨災害での被災者行動に関して、Web 調査を行い、今回の災害における住民の行動について分析を行った。避難した人の特徴として、以下の傾向が示唆された。

- 避難勧告までの情報より、避難指示（緊急）の発表により行動する
- 身近な人から寄せられた情報（地域の人からの訪問や遠くにいる家族や知り合いからのメールや電話）により行動する
- テレビや携帯からだけでなく、インターネット、ラジオ、防災行政無線からも情報を得ている
- 防災訓練や講演会等へ参加したり、災害への準備をしたりしている
- 家族に乳幼児、小学生がいる
- 平常時からコミュニティとのつながりが強い
- 自治会等の地域単位で防災に関する取り決めがあったり、防災に関する取り決めのため、数回会合があったりする地区に住んでいる

これらの分析から、避難指示（緊急）が最も切迫した避難情報であることは浸透していたが、それ以前の避難勧告、避難準備高齢者避難開始は避難行動に十分に結びついていないと考えられる。避難情報に関しては、さらに細分化をする動きもあるが、これにより最も切迫したレベルをより危険側に新しく作ることは慎重に行うべきであるといえよう。避難に連動する個人の防災意識については、多重な情報源を持つこと、平常時の防災活動への参加経験が関連している。これらは、地域ぐるみでの活動があれば、より積極的な避難につながることも示唆されており、地区防災計画の策定なども避難行動に効果をもたらすことを示しているといえよう。

7.5 地域で自主避難できるまちづくり

7.5.1 はじめに

土砂災害からの人的被害の軽減のためには、地域住民の早期避難が重要である。早期避難の中には、地域住民が主導となって地域独自の判断基準を設けて避難を行う自主避難を行っているケースが多い¹⁷⁾。つまり、早期避難を行うためには地域コミュニティに自主避難ができる体制を整えることが有効であると考えられる。そこで本稿は、自主避難のための IoT 用いた土砂災害に関連する情報計測と共有の取り組みについて報告する。

7.5.2 自主避難体制構築に向けた取り組みの提案

土砂災害発生には現在降っている雨量と対象斜面の土壌水分量が大きく関わっている。公的機関は時間雨量や累積雨量を観測しているものの、観測場所は限られており、必ずしも対象地域を指すものではない。そこで、地域内の土砂災害に関連する情報を平常時から地域コミュニティ内で計測し、共有することを試みることにした。土壌水分量は地域で導入運用できる程度のコストで土壌水分センサを有した IoT デバイスを開発し、土砂災害発生の恐れのある斜面に設置することで計測を行う。これにより、地域のリスクの増大を確認することが可能となる。さらに、将来的には蓄積されたデータを用いて土砂災害発生予測に繋がられる可能性がある。土壌水分量は土壌中の降雨の浸透挙動を把握するために、表層付近、中間地点および基盤上部の 3 深度で計測するものとした。雨量は地域住民が作成したペットボトル製の簡易雨量計を用いて計測をしてもらう。これにより、地域コミュニティに主体性を持たせると同時に、雨量に関して地域住民の感覚と実際の数値の差異を小さくすることを期待している。しかし、この雨量計では時間雨量を計測することが難しいため、安朱小学校に転倒マス式簡易雨量計（気象庁認可）を設置し、同時に計測することとした。これらの数値を地域コミュニティ内で共有し、自主避難のルールを形成していくことを試みた。

7.5.3 対象地域

本取り組みは、京都市山科区安朱学区を対象とし、山科区役所の防災担当者、自治連合会および地域唯一の小学校である安朱小学校と連携して実施している。対象地域は三方が山地に囲まれている地域である（図 7.5.3-1）。地域内には土砂災害警戒区域が 16 箇所、そのうち 12 箇所が土砂災害特別警戒区域に指定されており、近年大きな被害は出ていないものの、土砂災害のリスクが大きい。



図 7.5.3-1 対象地域のハザードマップと計測地点

7.5.4 提案システム

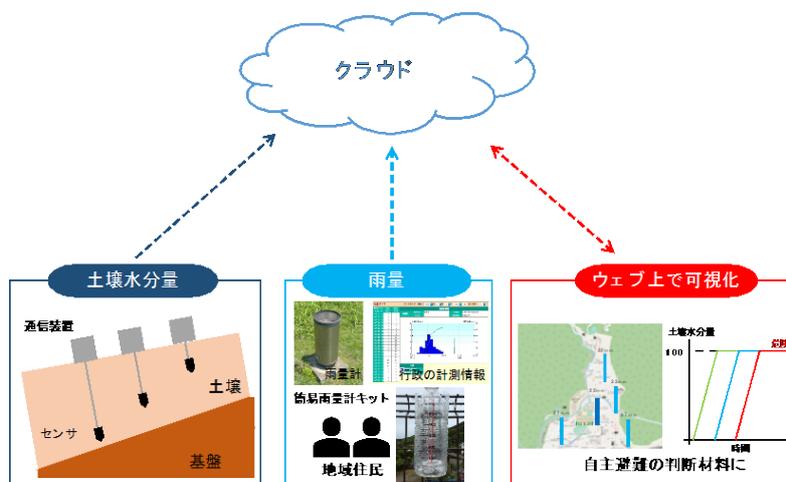


図 7.5.4-1 システムの概念図

システムの概念図を図 7.5.4-1 に示す。本システムは安価で地域コミュニティでも運用できる気象・環境データの観測システムを構築する。計測する気象・環境データは急傾斜地源頭部における土壌水分量ならびに対象地域の降雨量である。それら計測されたデータは通信装置等を通じてクラウドサービスに集約され、ウェブ上に GIS をベースに可視化される。そして、土壌水分量地域コミュニティで監視し、土壌水分量が事前に決められた数値以上になった場合に自主避難所の開設や個人の基準値以上または異常値が出たときは自

主避難を行う。そのような地域コミュニティにおける自主避難の体制づくりおよび地域住民に自主避難を促すものである。また、本システムでは発生頻度が高く地域住民にとって気掛かりになることが多い表層崩壊をターゲットとする。

(1) 急傾斜地源頭部における土壌水分量の計測

土壌水分量の観測はタンクモデルを用いて間接的に土壌水分量を求めるのではなく、土壌水分センサを用いて直接計測を行うことを試みる。土壌水分センサを用いて土壌水分量を計測する場合、土壌水分センサと水圧計と併用して設置し、飽和状態でも計測できるようにするのが一般的である。しかし、水圧計は非常に高価であるため、今回は土壌水分センサだけを用い、それを表層付近、中間地点および基盤上部の3点の深度で計測することで土壌全体がどのように浸透・飽和していくのかを観測する。想定される大雨時の飽和の過程として、降雨の影響が最も大きい地表面がまず初めに飽和する。土壌内を浸透していった雨水は、やがて基盤に到達する。基盤は水を通しにくいいため基盤上を流下していき、流下する雨水が多くなると水位が形成され、基盤上部が飽和する。そして、降雨による浸透もしくは水位の上昇により、最後に中間地点が飽和される。

無線通信装置と土壌水分センサを有するIoTデバイスを地域の土砂災害発生の恐れがある急傾斜地源頭部等に設置する。見晴らしが良くかつWi-Fi環境のある場所にゲートウェイを設置し、そこに土壌水分センサの計測データを集約およびクラウド空間上にアップロードする。

(2) 対象地域内の降雨量の計測

降雨量の計測は地域内の雨量計の新規設置、地域住民による簡易雨量計による方法で行う。地域内の雨量計の新規設置は、地域内で降雨量が計測されていないことが多い。そのため、地域内で実際に降っている降雨量と自治体が計測している降雨量との差異が生ずる可能性がある。そこで、地域内の降雨量を計測するために雨量計を設置する。なお、雨量計は最低でも時間雨量を計測できるものを用いる。

地域住民による簡易雨量計による降雨量の計測は、地域内でも降雨量のばらつきが存在すると考えられる。それを確認するために、地域住民と協力して地域内の降雨を面的に計測する。さらには、地域住民が実際に降雨量を計測することにより、防災に対する主体性の向上や、実際に降雨量の数値と地域住民らが持っている降雨量の感覚のギャップを確認および修正することが期待できる。簡易雨量計キットでは原則的に累計雨量を計測する。

(3) DB 管理・可視化機能

計測されたデータは自動的にクラウド空間上に集約・保管される。集約されたデータは

地域住民と共有するためにウェブサイト上に GIS ベースで地域観測情報の可視化を行う。

7.5.5 対象地域での取り組み

活動内容の時間経過を以下に示す。

2017年7月10日

第1回懇談会で本取り組みについて説明。

2018年4月21日

簡易雨量計作製ワークショップを開催し、約30人の住民が参加。GW明けから計測開始。結果はメールまたはチャットのグループで報告することとした。

2018年5月18日

安朱小学校に簡易雨量計（気象庁認可）を設置し、時間雨量の計測を開始。

2018年6月1日

IoT デバイスを地域の溪流源頭部に設置し（図 7.5.3-1）、土壌水分量の計測を開始した（なお、土壌水分量データは地域には公表していない）。

2018年7月5,6日

平成30年7月豪雨災害時、土壌水分量の飽和度80%以上となる（これまでの降雨では飽和度70%が最大、図 7.5.5-1）。チャットのグループで既往最大であることを伝えると自主避難を希望する地域住民が現れた。しかし、当時、避難所の鍵を持つ自治会防災担当者はグループに参加しておらず、避難所は開設されなかった。また、両者とも区役所に避難に関して問合せおり、行政依存意識があることが確認された。

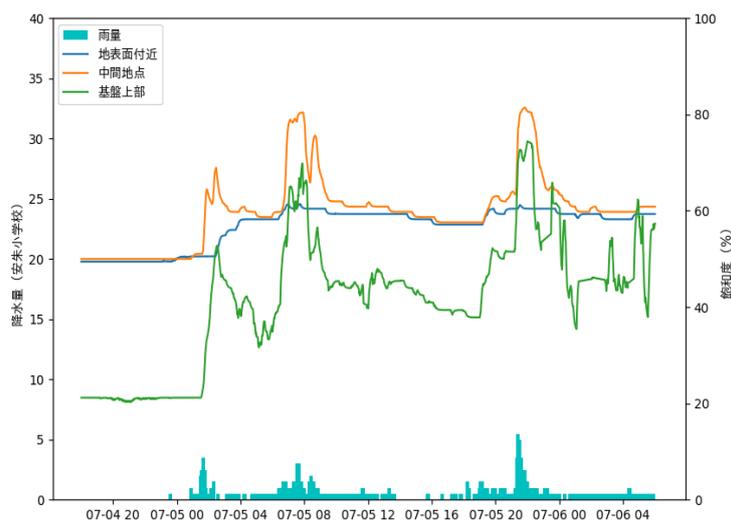


図 7.5.5-1 平成30年7月豪雨災害時のデータ推移

2018年7月15日

第2回懇談会では、これまでの計測雨量と土壌水分量について解説。体制づくりの必要性（自主的に避難所を開設する基準など）について議論がなされた。

2018年9月30日

台風24号では、台風21号が激しかったこともあり、防災担当者が主導となって避難所を自主的に開設。合計4人が避難。図7.5.5-2に避難所開設の情報を地域内の商店がFacebookページに流した時のイメージを示す。



図 7. 5. 5-2 避難所開設を伝える Facebook ページ

7. 5. 6 地域住民の所感

自治会の防災担当者にこれらの取り組みが経過した時点でインタビューを行い、以下の回答を得た。

- 自ら雨量を計測することで、雨の感覚と実際の数値が近づいた。これにより、気象予報から雨の激しさを理解できるようになった。

- 実際に自主避難所を開設してみて、体育館のような大規模なものではなく和室と小規模で済むため、意外にも気軽に開けるものだと分かった。居心地も十分よく、地域内にある避難所の悪いイメージを払拭することが今後の課題である。
- 自主避難者以外に、見学者が2名来られた。体の不自由な家族を持つ方が、災害時の時にどのような環境が用意されるのかを確認に来たそうで、車いすの避難者に対して、移動が容易な1階の部屋を準備できることがその場で確認できた。

さらに、平成30年7月豪雨災害時と通常の降雨時の土壌水分量のデータ推移を見せたところ「前者は後者よりも数値が明らかに大きいことが分かり、7月5日21時ごろの増大のときに自主避難の呼びかけをすれば良かったのではないか。」との回答を得た。

7.5.7 まとめ

本研究では、地域と連携して局所的な気象・観測データの計測システムを開発および土砂災害発生のおそれのある地域にて導入を行った。短期集中豪雨および長期豪雨の2種類の特徴的な豪雨にて土壌水分量と雨量を計測することができ、どちらの豪雨でも雨量の増加に合わせて、土壌水分量の増加を観察することに成功した。さらには、土壌水分データの異変を地域住民に対して提供することで、地域住民に自主避難を促すことができた。

今後は導入後に発生した問題を解消する必要がある。具体的には、豪雨による安朱小学校外部電源のダウンとセンサ計測値の揺らぎがある。センサ計測値の揺らぎについては、センサが故障している場合は新しいものに取り替えや、設置場所が木の根などのノイズが入りやすい箇所であればIoTデバイスの設置場所を変更する必要がある。それでも揺らぎが解消しない時は、別のセンサでの運用を検討する必要がある。

また、現時点では本システムは自主避難を促す兆候が得られただけである。今後は、定量的な地域住民の意識・行動変容が評価するために、地域住民に対してアンケート調査を行う必要がある。さらには、本システムで計測できたデータを用いて、今後の豪雨時にどのような基準で地域コミュニティが行動するのか、自主避難の体制を整える必要がある。

7.6 まとめ

7.1～7.3において、災害調査の際の住民避難の事例や市民へのアウトリーチ活動を通じて、豪雨時の住民の避難行動や事前の減災対応そして地域の防災力の現状などについてまとめた。自然災害には運不運があるので、難を逃れた例は聞き取り調査でわかるが、難を逃れなかった事例の詳細はなかなかわからない。今後の課題は、多く残っている。

中山間地を要する都市の市街地が、周辺の山地や崖に接近してきた近年、豪雨によって被災する宅地が増えてきている。たとえば、広島市では平地が少なく郊外の中山間地の谷出口の沖積錐が宅地化していった。これらの宅地が2014年や2018年の豪雨で被災した。元々沖積錐は土石流が谷出口で平面的に首を振りながら作り出した地形種であり、土石流の危険性が高いことはわかっている。つまり、防災・減災上の観点から、沖積錐のような土石流が直接流下する範囲に留意し、土地利用を考えることが必要となる。地形の成り立ちを知った地学防災教育の重要性を認識し、法的な危険個所の指定は有用であるが、指定箇所それだけを鵜呑みにしない見識も必要と考える。

被害を受けやすい土地・崖や避難のあり方そして避難所の位置など土木学会が貢献できる対象は多い。今後、これらのアウトリーチ活動を継続・蓄積・継承することが大事と考える¹⁵⁾。その際には、今回の報告書のように関連する分野の研究者や関係機関との相互協力が重要であろう。

7.4～7.5において、土砂災害に対するソフト対応である避難に着目し、研究を行った。7.4における平成30年7月豪雨時における行動調査では、避難意識の低さが指摘される一方で、「近隣からの声掛け」や「遠方の家族からの連絡」に加えて、「避難に関する取り決めのため数回会合がある」地域に住む人は避難行動に至っているという結果となった。これは、過去の土砂災害において、行政からの避難情報だけでなく、地域での取り決めに沿っての自主避難が行われることが、被害の軽減化につながった事例につながると考えられる。しかしながら、地域での自主避難の実現は、個人の避難とは別の困難さを有する課題である。7.5では、対象地域を絞ったうえで、自主避難を実施できる地域づくりの社会実装に取り組んだ。この際に、キーコンセプトとして地域の情報を地域で計測することによる「我がこと感」の醸成である。このため、簡易な雨量計による計測を地域住民に実施してもらふことし、情報共有と情報の読み取り方についての講義を複数回行うことで、自主的な避難所開設にこぎつけることができた。この手法は、中山間地域への応用も可能な手法であり、今後はより土砂災害リスクの高い他地域への適用も考えられる。

参考文献

- 1) 稲垣秀輝：豪雨災害調査事例と住民避難行動からみた市民への防災アウトリーチ活動,日本地すべり学会誌, (印刷中).
- 2) 稲垣秀輝：IV-5 応用地質学から見た豪雨災害減災の提案と課題, 平成 30 年 7 月豪雨災害調査団報告書 (西日本豪雨災害), 日本応用地質学会, (印刷中).
- 3) 集中豪雨時等における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討会:避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン, 2005,
http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/050301_guideline.pdf,(参照日 2019 年 2 月 4 日).
- 4) 稲垣秀輝：1998 年台風 4 号による福島県白河地方での表層崩壊の特徴, 応用地質, Vol.40, No.5, pp.306-315, 1999.
- 5) 稲垣秀輝：応用地形セミナー-空中写真判読演習-, 4.1 豪雨斜面災害を予測する, 日本応用地質学会応用地形学研究小委員会編古今書院, pp.128-134, 2006.
- 6) 大雨災害における避難のあり方等検討会：大雨災害における避難のあり方等検討会報告書～「いのちを守る」ための避難に向けて～, 2010,
<http://www.bousai.go.jp/oukyu/taisaku/hinannoarikata/pdf/houkokusho.pdf>, (参照日 2019 年 2 月 4 日).
- 7) 稲垣秀輝: 連載シリーズ ジオ・メリット(15), 道はどのような地形・地質に作られたか, 応用地質, Vol.56, No.3, pp.110-111, 2015.
- 8) 内閣府: 避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン, 2014,
http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/guideline/pdf/140922_honbun.pdf,(参照日 2019 年 2 月 4 日).
- 9) 稲垣秀輝：激甚化する気象現象に係わる火山地域での豪雨災害の特徴と課題, 応用地質, Vol.55, No.6, pp.280-289, 2015.
- 10) 稲垣秀輝：平成 26 年 8 月広島土砂災害の沖積錐の地形・地質学的特徴, 平成 26 年広島大規模土砂災害調査団報告書, pp.65-74, 2015.
- 11) 稲垣秀輝：III-3-1. 植生と土砂災害の関係, 日本応用地質学会 2017 年九州北部豪雨災害調査団報告書, pp.104-113, 2018.
- 12) 野々村敦子・長谷川修一：IV-2.東峰村における住民の避難行動分析, 日本応用地質学会 2017 年九州北部豪雨災害調査団報告書, pp.174-179, 2018.
- 13) 清崎淳子：防災教育とジオ・メリットの共生, 日本応用地質学会創立 60 周年記念シンポジウム講演要旨, pp.11-12, 2018.

- 14) 清崎淳子：防災教育とアウトリーチ，日本応用地質学会 2017 年九州北部豪雨災害調査団報告会発表要旨，pp.22-23, 2018.
- 15) 稲垣秀輝：暮らしとその安全のための応用地質,応用地質, Vol.42, No.5, pp.314-318, 2001.
- 16) 柿本 竜治, 山田 文彦：地域コミュニティと水害時の避難促進要因 平成 24 年 7 月九州北部豪雨時の熊本市龍田地区の避難行動実態調査に基づいて，都市計画論文集, 48(3), pp. 945-950, 2013.
- 17) 小野晃司・渡辺一徳：阿蘇カルデラ，月間地球，5(1)，73-83，1983.
- 18) NHK (2017) , 5 年前の豪雨経験もとに住民が無事避難 朝倉／福岡，
<http://www3.nhk.or.jp/news/html/20170711/k10011054291000.html>，(2018 年 11 月 7 日取得).

8. 総合検討

8.1 研究成果のとりまとめ

本研究では、中山間地域における降雨・地形地質の特徴、広域的土砂災害の課題と対応策、土砂や流木の流出による洪水氾濫の特徴、地域住民の避難行動や地域防災力の状況について調査検討を行い、豪雨災害の実態を整理した。各成果の概要を以下に整理する。

○ 2章 最近の広域的な豪雨に関する状況

- ・ 気象庁の日本の年降水量偏差の経年変化（1898～2018年）によると、年変動が大きいものの、1900～1920年、1950～1960年、2010～2018年に多雨期が認められる。近年は多雨期にある。
- ・ 1地点あたりの日降水量100mm以上、200mm以上の年間日数は、近年においてそれぞれ約1.1日、約0.1日であり、年々増加する傾向にある。
- ・ 1300地点あたりの時間降水量50mm以上、80mm以上の年間発生回数は、近年においてそれぞれ約330回、25回であり、年々増加する傾向にある。
- ・ 2017年7月の九州北部豪雨における中国・九州地方の24時間降水量は、30年～50年確率降水量に相当し、特に福岡県朝倉、大分県日田、長崎県芦辺は50年確率降水量を大きく超過した。
- ・ 近年の豪雨災害の降水量は、10分雨量で15mm、1時間雨量で100mm、24時間雨量で500mmを超えるものが多い。

これより、10年単位で多雨期が繰り返し生じていること、短時間降水量が年々増加する傾向にあること、30年～50年確率降水量を超過する降水があったときに土砂災害が発生していることが認められる。

○ 3章 広域のかつ同時多発的な土砂災害事例の選定と技術的検討

- ・ 1945年以降の主な広域的土砂災害38件を見ると、およそ2年に一度は豪雨による広域的な土砂災害が生じている。
- ・ 近年においても土砂災害による犠牲者が減少しない大きな原因としては、市街区域や宅地の丘陵地・傾斜地へ進出した状態が継続していることが挙げられる。
- ・ 2000年代以降になると、居住地が土砂災害警戒区域等に指定されていることや避難勧告・避難指示が発令されていることを認識していても、犠牲者が発生するケースがあ

- る。住民のハザードに対する認知，すなわち安全に対する慣習的誤解・過信に一因があるといえる。
- 近年の災害形態は，すべての事例で土石流が発生しており，溪流出口で被災しているケースが多い。
 - 土石流に対するハード対策の課題と対応策
 - ①溪流出口での宅地化が進行
 - 溪流出口付近を公園化する等，土地利用の改善を図ることが必要。
 - ②砂防堰堤等の対策で抑止できない土砂量が発生
 - 住民が砂防施設等に対して過信しているとみられるケースがある。
 - 砂防堰堤の除石等の機能回復や砂防施設の抑止土量の安全率の導入が必要。
 - 堰堤＋高エネルギー柵を組み合わせる等の待ち受け対策の設計法が必要。
 - 発生土砂量が多い溪流では，土石流の発生源対策も必要。
 - ③砂防施設下流の河積断面の不足
 - 流出土砂を安全に流下させるために下流域の流路工や堆砂池の整備等が必要。
 - 崩壊，土石流等に対するソフト対策の課題と対応策
 - ①土砂災害警戒情報に危険度指標の追加
 - 住民の避難行動を促す指標の追加が必要。
 - 土壌雨量指数のほか，水位変化や地盤変動の監視が必要。
 - 地盤の専門家に情報を伝達するシステムが必要。
 - ②避難行動につながる情報発信
 - 行政区画よりも地形特性に応じたきめ細かな区分に対して発令が必要。
 - 土砂災害警戒区域（イエローゾーン），土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）とそれ以外の区域を分けた発令が必要。
 - 希望者には直接個人や各家庭に危険度情報を発信する。
 - ③ハザードマップのあり方と住民の理解促進
 - 住民のハザードマップの理解度が低い場合がある。
 - 避難場所が被災した事例がある。複数ハザードに対応した避難場所の選定が必要。
 - 災害伝承，石碑，過去の被災箇所・範囲等をハザードマップに反映する。
 - ④ハザードマップの精度向上
 - 人力による調査に加え，ドローンや人工衛星等を用いた新たなセンシング技術の活用。
 - 0字谷や溪流の判別技術，氾濫開始箇所の予測技術などの向上。

→基礎調査における浸食幅や浸食深さの調査精度の向上。

→リアルタイム・ハザードマップ整備の推進。

⑤不安定な斜面の抽出

→航空レーザ測量地形図の整備と差分解析による不安定な斜面の抽出。

○ 4章 中山間地域で問題となる地形・地質の特徴

①地形的特徴（2017年九州北部豪雨）

- ・ 地形や地盤には崩壊や土石流の痕跡が残されている。その痕跡を読み解くことで、将来発生する可能性のある豪雨災害を想定することができる。それを土地利用や避難活動に活かすことで減災につながる。
- ・ 中山間地域では、狭隘な谷底低地を利用した宅地や耕作地が多く存在するため、被災を前提とした避難行動をとることが重要である。
- ・ 緩斜面では、その背後斜面の崩壊リスクがあり、例えば河成段丘付近では数十年から数百年に一回という頻度の大出水時に水害を受ける可能性がある。
- ・ 中山間地域で利用しやすい地形は、大規模な豪雨災害が繰り返されて形成された場合が多い。その大規模豪雨災害の発生間隔は数十年から数百年程度と思われるが、人の一生で被災する確率を考えると低い確率ではない。中山間地域で暮らす場合の豪雨災害に対するリスクは大きいと考えるべきである。

②地質的特徴（2017年九州北部豪雨）

- ・ 斜長石は造岩鉱物の中で風化が非常に速いことも特徴的であり、風化すると細粒化（粘土化）する傾向にある。
- ・ 花崗岩類はマグマからの冷却時にできた直方体の割れ目に沿って風化が始まり、鉱物の細粒化や鉱物間の分離が進行して、いわゆるマサ土化していく。このような典型的な直方体の割れ目が観察された。
- ・ 土石流が過去に発生したことを示す土石流堆積物の露頭が多数観察された。また、宅地の基礎に土石流堆積物がみられるケースが見られた。

③地形的特徴（2013年伊豆大島豪雨）

- ・ 谷地形がよく発達している箇所では、最上流部で表層崩壊が発生しているにもかかわらず、下流域で土砂氾濫がほとんど起きていなかった。

④地質的特徴（2013年伊豆大島豪雨）

- ・ 表層崩壊のきっかけは、透水性の高い火山砂層とその直下の透水性の低い黄土色のレスの組み合わせであった。

- ・ 表層崩壊は何層もの火山砕屑物が薄く斜面に平行に堆積した場所で発生していた。

⑤地形的特徴（2011年紀伊半島豪雨）

- ・ 溪岸付近に発生した深層崩壊は、蛇行している河川の攻撃斜面に発生していることが多く、溪岸侵食により不安定化していた可能性がある。
- ・ 大量の崩壊土砂が河川を堰き止めて天然ダムを形成し、湛水、決壊等により被害を拡大させた。
- ・ 1889年（明治22年）の十津川村周辺の深層崩壊は、2011年にもほぼ同じところで再崩落した。深層崩壊した箇所は、崩壊地内に残っている崩壊土砂が再移動し、滑落崖・側方崖が拡大して崩壊することもあり、植生が回復しても再び崩壊する危険性がある。

⑥地質的特徴（2011年紀伊半島豪雨）

- ・ 流れ盤斜面に深層崩壊が発生していた。
- ・ 崩壊地に破碎された風化岩層や礫質の堆積層が見られた。斜面上の厚い風化物に雨水が深部まで浸透し、斜面内の間隙水圧が高まって崩落したとみられる。
- ・ 付加体の岩質は一般に硬質であるが、その後の断層運動や岩盤のゆるみにより破碎され風化を受けることが多く、深層崩壊が発生しやすい。

〇5章 中山間地域の土砂災害発生の傾向と対応策

- ・ 土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）、土砂災害警戒区域（イエローゾーン）にかかわらず、崖付近や谷の出口などでは土砂災害に警戒すべきである。
- ・ 平均侵食深は、統計によると、概ね0.5～3.0m程度の範囲内にあるが、より安全性を考慮した侵食深を検討する必要がある。
- ・ 土石流により流下する土石等の量は、一つの沢のものだけではなく、すべての沢のものを足し合わせた方がよい場合もある。
- ・ 土石流の流下方向や到達範囲をシミュレーション解析で求める方法もある。
- ・ 中山間地域における土砂災害対策として、ハード施設の整備のみでは限界があることや、夜間に避難勧告を発令しても無事に避難できるとは限らないことから、ソフト対策のみでも限界がある。ハード対策とソフト対策のベストミックスが重要である。
- ・ 発生源対策や抑止対策だけでなく、避難経路等のハード整備も含めて広域的な対策が必要である。
- ・ 犠牲者の多くが高齢者等の災害時要援護者であること、避難路・避難場所も被災していることを考慮する必要がある。
- ・ ハード対策の課題と対応策。

- 分散している集落の集中化とその周辺部の土砂災害対策施設の充実化。
- 避難路となる集落間の交通インフラの安全性確保。
- 住民でできる簡易対策施設の体制整備。
- 森林の斜面安定効果の評価と0字谷等発生源対策。
- 間伐等の森林整備，山腹崩壊防止・倒木防止等の自然斜面の対策効率化。
- 砂防・治山えん堤だけでは対応できない流出土砂や流木を捕捉する技術開発。
- 既設えん堤の土砂捕捉量と現在捕捉量の見える化，捕捉土砂撤去時期の明確化。
- 斜面对策施設の老朽化・劣化（グラウンドアンカー工の腐食，モルタル吹付のクラック等）に対する維持管理・更新。
- 耐震性能不足や基準変更に伴う性能不足等，現在の基準を満足していない施設に対して優先順位を付けて点検，必要に応じて補修，補強，改修・改良を行う。

・ソフト対策の課題と対応策

- 防災知識を身に付けるための防災教育。
- 気象予測技術だけでなく，地形・地質情報を加えた災害発生予測の精度向上。
- いわゆる「空振り」を恐れず，気象予測をもとにできるだけ早急に警報を発令し，避難を呼びかける。
- 災害時における自助，共助，公助の意識の醸成。
- 行政が主導して避難計画や受援計画の策定，避難訓練や情報伝達訓練等の実施。
- 気象庁がリアルタイムで発信している「土砂災害警戒判定メッシュ情報」の活用。避難指示，避難準備等の判断が可能。
- 定期的な防災イベントの活動，模型実験を活用した防災教育。
- 一般向けに土砂災害についてわかりやすく伝える防災教育の図書出版。
- 長期的に安全な土地への移転の促進。

・土石流流路の確保

- 土石流の発生する恐れのある箇所が存在する溪畔・河畔林の伐採。
- 土石流導流工，導流堤により土石流を速やかに堆砂地に導く。
- 橋梁の無橋脚化。
- 土石流流路や谷出口にある住戸の移住促進。
- 狭小な谷出口で床固め，護岸工等により土石流の拡散を防ぎ，速やかに土石流堆積地へと導く。土石流堆積地はできるだけ大きく取り，コンクリートの床固め，護岸ではなく芝生地等の緑地とし，グリーンインフラ・Eco-DRR（生態系を活用

した防災・減災)を整備することで、平時は自然からの恩恵を享受できるようにする。

○6章 土砂や流木の河道への流入による洪水氾濫の発生の検討

- ・ 2017年九州北部豪雨における洪水氾濫の特徴
 - 北川の洪水氾濫の原因は橋梁部の流木捕捉である。流木捕捉の有無を考慮した氾濫解析では、流木捕捉有の氾濫水量は流木捕捉無の4.6倍で、流木捕捉による河道閉塞が浸水時間の長期化と氾濫水量増加に繋がった。
- ・ 2018年7月西日本豪雨における洪水氾濫の特徴
 - 梅河団地で大規模な土石流が複数回発生しており、多くの土砂と流木が河道内に急激に流れ込み、工場前の橋梁部において土砂と流木が堆積し、河道閉塞が発生した。その結果、県道34号線に水と土砂と流木が流れ込み、渋滞のため県道上に並んでいた多くの自動車を下流に流送した。
 - 県道34号線に氾濫した流れの一部は、天神交差点の約50m上流で矢野川に戻っているが、天神交差点直下流の橋梁に土砂と流木が堆積して河積が1/3まで減少し、迂回流として再度氾濫した。
 - 県道34号線と西の宅地に繋がる道路との交差点では、道路の勾配が西の宅地に繋がる道路の方が急であるため、氾濫流や自動車は宅地に繋がる道路に流れた。

○7章 地域住民の避難行動の状況及び現状の地域防災力の状況

①1998年以降の豪雨災害の避難状況及び市民フォーラムでのアンケート結果

- ・ 1998年以降に発生した22件の豪雨による災害の調査、現場の住民や被災者から聴き取り調査、様々な学会で実施した災害調査報告会や市民フォーラムの際のアンケート調査を踏まえ、豪雨災害に対する減災・防災アウトリーチのあり方を検討。
- ・ 市民フォーラムの意見として、市民の関心事は、崖地の多い横浜では崖崩れ、地すべり、土石流であった。平野の多い大阪では、地震や液状化・地盤沈下災害の関心が高い。その地域にあった防災・減災アウトリーチが必要。
- ・ 市民の不安について聞いたところ、「とても不安」「やや不安」を合わせると87.3%もあるのに対して、災害の備えについて聞いたところ、「全くしていない」「ほとんどしていない」を合わせると69.0%であった。矛盾した結果であるが、これが現実である。
- ・ 緊急時の備えをしていない市民にどのようにすれば減災対策をしてもらえるかは、根気よく色々な工夫をして豪雨災害の危険性を説明していくしかない。

- ・ 詳しい研究者と共同しながら、災害文化の育成や災害体験の教訓化、能動的な理解と行動に直結する興味をつなぐ防災教育のあり方が必要。
- ・ 防災教材の作成には気象や大地の成り立ち・地下水の行方などを学ぶ科学・防災リテラシーの向上が不可欠。
- ・ 沖積錐は土石流が谷出口で平面的に首を振りながら作り出した扇状の地形であり、土石流の危険性が高いことはわかっている。防災・減災上の観点から、沖積錐のような土石流が直接流下する範囲に留意し、土地利用を考えることが必要。
- ・ 地形の成り立ちを知った地学防災教育の重要性を認識し、法的な危険個所の指定は有用であるが、指定箇所それだけを鵜呑みにしない見識も必要。
- ・ 被害を受けやすい土地・崖や避難のあり方、そして避難所の位置など土木学会が貢献できる対象は多い。今後、これらのアウトリーチ活動を蓄積・継続することが大事である。

②平成30年7月豪雨災害の避難行動状況に関するアンケート結果

- ・ 平成30年7月豪雨災害での被災者行動に関して、Web調査を行い、今回の災害における住民の行動について分析した。避難した人の特徴として以下の傾向がある。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 避難勧告までの情報より、避難指示（緊急）の発表により行動する。 ・ 身近な人から寄せられた情報（地域の人の訪問や遠くにいる家族や知り合いからのメールや電話）により行動する。 ・ テレビや携帯からだけでなく、インターネット、ラジオ、防災行政無線からも情報を得ている。 ・ 防災訓練や講演会等へ参加したり、災害への準備をしたりしている。 ・ 家族に乳幼児、小学生がいる。 ・ 平常時からコミュニティとのつながりが強い。 ・ 自治会等の地域単位で防災に関する取り決めがあったり、防災に関する取り決めのため、数回会合があったりする地区に住んでいる。 |
|--|

- ・ 避難指示（緊急）が最も切迫した避難情報であることは浸透していた。しかし、それ以前の避難勧告、避難準備高齢者避難開始は避難行動に十分に結びついていない。
- ・ 避難情報に関しては、さらに細分化をする動きもあるが、最も切迫したレベルをより危険側に新しく作ることは慎重に行うべきである。
- ・ 避難に連動する個人の防災意識については、多重な情報源を持つこと、平常時の防災活動への参加経験が関連している。

- ・ 地域ぐるみでの活動があれば、より積極的な避難につながることも示唆されており、地区防災計画の策定なども避難行動に効果をもたらすことを示している。
- ・ 土砂災害から人的被害を軽減するためには、地域住民の早期避難が重要である。早期避難の中には、地域住民が主導となって地域独自の判断基準を設けて避難を行う自主避難を行っているケースが多い。つまり、早期避難を行うためには地域コミュニティに自主避難ができる体制を整えることが有効である。
- ・ IoT を用いた自主避難の取り組みとして、土壌水分量、降雨量の計測データをクラウドサービスに集約し、地域コミュニティで監視を行い、自主避難の判断材料にする取り組みを実施した。自治会の防災担当者のこの取り組みに対するインタビュー結果は以下のとおりである。

- ・ 自ら雨量を計測することで、雨の感覚と実際の数値が近づいた。これにより、気象予報から雨の激しさを理解できるようになった。
- ・ 実際に自主避難所を開設してみて、体育館のような大規模なものではなく和室と小規模で済むため、意外にも気軽に開けるものだと分かった。居心地も十分よく、地域内にある避難所の悪いイメージを払拭することが今後の課題である。
- ・ 自主避難者以外に、見学者が2名来られた。体の不自由な家族を持つ方が、災害時の時にどのような環境が用意されるのかを確認に来たそうで、車いすの避難者に対して、移動が容易な1階の部屋を準備できることがその場で確認できた。

- ・ 本システムで計測できたデータを用いて、今後の豪雨時にどのような基準で地域コミュニティが行動するのか、自主避難の体制を整える必要がある

表 8.1-1 に本研究で抽出したハード対策とソフト対策を挙げている。これらの対策は中山間地域の特性に応じて適用性が異なるため、地域ごとに使い分けることが必要であると考える。そのため、どの対策がベストであるかというよりは、研究者の多くの経験、実績から得られた知恵と知識を提示し、各々の中山間地域における土砂災害の防災・減災と地域の防災力向上に資する実用的な情報として活用していくことを考えている。

表 8.1-1 本研究で抽出したハード対策とソフト対策

ハード対策	ソフト対策
<ul style="list-style-type: none"> ・ 溪流出口の土地利用の改善 ・ 土石流の発生源対策 ・ 堰堤＋高エネルギー柵を組み合せ ・ 砂防施設下流の流路工や堆砂池の整備 ・ 分散している集落の集中化とその周辺部の土砂災害対策施設の充実化 ・ 避難路となる集落間の交通インフラの安全性確保 ・ 住民でできる簡易対策施設の体制整備 ・ 森林の斜面安定効果の評価 ・ 0字谷等の発生源対策 ・ 間伐等の森林整備 ・ 山腹崩壊防止・倒木防止 ・ 土石流の発生する恐れのある箇所が存在する溪畔・河畔林の伐採 ・ 流出土砂や流木を捕捉する技術開発 ・ 土砂捕捉量と現在捕捉量の見える化 ・ 捕捉土砂撤去時期の明確化 ・ 橋梁の無橋脚化 ・ 土石流堆積地のグリーンインフラ・Eco-DRRの整備 ・ 斜面对策施設の老朽化・劣化に対する維持管理・更新 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 住民の砂防施設の効果に関する防災教育 ・ 住民の避難行動を促す危険度指標の追加 ・ 土壌雨量指数、水位、地盤変動の監視 ・ 地盤専門家に情報を伝達するシステム ・ 行政区域よりも地形特性に応じたきめ細かな発令 ・ 希望者には直接個人や各家庭に危険度情報を発信 ・ 住民のハザードマップの理解度の向上 ・ 複数ハザードに対応した避難場所、避難ルートを選定 ・ ドローンや衛星等を用いた新たなセンシング技術の活用 ・ 0字谷や溪流の判別技術の向上 ・ 氾濫開始箇所の予測技術の向上 ・ 浸食幅や浸食深さの調査精度の向上 ・ 土石流の河道閉塞を考慮したイエロー、レッドゾーンの設定 ・ 航空レーザ測量地形図による不安定斜面の抽出 ・ 地形から豪雨災害箇所を読み解く ・ イエローゾーンは、レッドゾーンに相当すると考えるべき ・ 侵食深はすべて 3.0m とする方法 ・ 土石等の量 V は、一つの沢の V ではなく、すべての沢の V を足し合わせた方がよい ・ 土石流の流下方向や到達範囲をシミュレーション解析で求める ・ 地形・地質情報を加えた災害発生予測の精度向上 ・ 「空振り」を恐れない警報の発令 ・ 災害時における自助、共助、公助の意識の醸成 ・ 気象庁がリアルタイムで発信している「土砂災害警戒判定メッシュ情報」の活用 ・ 定期的な防災イベントの活動、模型実験を活用した防災教育 ・ 一般向けに土砂災害についてわかりやすく伝える防災教育の図書出版 ・ 長期的に安全な土地への移転の促進 ・ 地域にあった防災・減災アウトリーチ ・ 住民に根気よく色々な工夫をして豪雨災害の危険性を説明 ・ 災害文化の育成や災害体験の教訓化 ・ 能動的な理解と行動に直結する興味をつなぐ防災教育 ・ 気象や大地の成り立ち・地下水の行方などを学ぶ科学・防災リテラシーの向上 ・ 法的な危険箇所の指定は有用であるが、指定箇所だけを鵜呑みにしない ・ アウトリーチ活動を継続・蓄積・継承 ・ 地域の情報を地域で計測することによる「我がこと感」の醸成 ・ 自主避難のための IoT 用いた土砂災害情報の計測と共有

8.2 今後の豪雨災害に対するハード・ソフト対策のあり方

本研究による近年の豪雨災害の状況から、短時間降水量が増加傾向にあること、全ての豪雨災害で土石流が発生し、溪流出口や土石流の流路にある市街地、家屋が集中的に被災していることが明らかとなった。他方、土砂災害対策として、ハード施設の整備のみでは限界があることや、夜間に避難勧告を発令しても無事に避難できるとは限らないことからソフト対策のみでも限界がある。このことから、基本的にはハード対策とソフト対策の組み合わせが重要と考えられる。

図 8.2-1 は中山間地域における街づくりのイメージを示したものである。今後、災害の危険性のある箇所からの移転を進めれば、災害が減っていくと考えられる。また、住居を選ぶ際に、災害危険箇所を選択しないようにハザードマップの見方や防災知識の理解が必要である。これらに資する活動を行っていくとともに、少子高齢化が進行するなか、自然災害に遭わない理想的な住環境をふまえた街づくりを検討する必要がある。

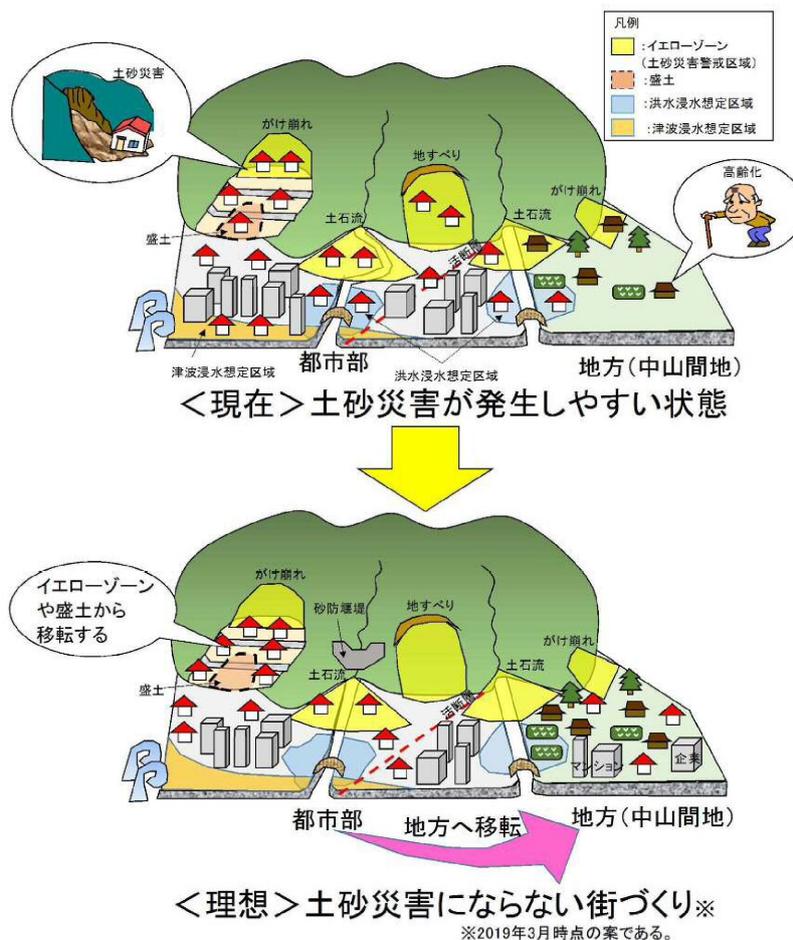


図 8.2-1 中山間地域における街づくりのイメージ図

あとがき

わが国では毎年のように繰り返し集中豪雨が頻発し、各地で土砂災害が発生している。2017年は7月に九州北部の朝倉市周辺で甚大な土石流災害が発生し、41名が亡くなった。また、研究期間中の2018年7月には西日本の各地において甚大な土石流災害が発生し、死者・行方不明者129名という近年にない多数の犠牲者を生じた。そのため、当初の研究計画では、2017年の九州北部豪雨を対象としていたが、2018年の西日本豪雨の被害が余りにも甚大であったことから、西日本豪雨も研究対象に含めて議論することとなった。

本研究の成果は、土砂災害による被害を軽減するための社会実装をするまでの提言には至っていないが、今後の中山間地域における対応策の方向性までは示すことができたと考える。今後もこのような研究開発を積み重ね、中山間地域における土砂災害に対する安全かつ安心な社会が実現するよう活動していく所存である。

2019年3月

研究代表 鈴木 素之