

# 2018年7月西日本豪雨災害調査団 (中国地区) 報告書

2019年3月

公益社団法人 土木学会水工学委員会水害対策小委員会

(公益社団法人) 土木学会水工学委員会水害対策小委員会  
2018年7月西日本豪雨災害調査団(中国地区) 報告書

目次

|  |    |
|--|----|
| 1. 災害の概要                               | 1  |
| 1. 1 西日本豪雨災害の被害概況                      | 1  |
| 1. 2 過去の災害実績からみた今回の災害の特徴               | 2  |
| 1. 2. 1 岡山県                            | 2  |
| 1. 2. 2 広島県                            | 4  |
| 1. 2. 3 山口県                            | 6  |
| 1. 3 本調査団の構成員                          | 8  |
| 2. 平成30年7月西日本豪雨の気象・水文学的特徴              | 11 |
| 2. 1 気象状況                              | 11 |
| 2. 1. 1 概況                             | 11 |
| 2. 1. 2 中国地方の降雨の特徴                     | 15 |
| 2. 1. 3 降水システムの発達過程:レーダー観測とWRFを用いた解析   | 20 |
| 2. 1. 4 気象状況に関するまとめ                    | 25 |
| 2. 2 西日本全体を対象にした降雨流出特性の解析              | 27 |
| 2. 2. 1 はじめに                           | 27 |
| 2. 2. 2 解析条件                           | 27 |
| 2. 2. 3 解析結果                           | 29 |
| 2. 2. 4 おわりに                           | 38 |
| 3. 岡山県の河川災害                            | 41 |
| 3. 1 降水量の統計的評価                         | 41 |
| 3. 1. 1 解析資料の収集・整理                     | 41 |
| 3. 1. 2 評価手順                           | 41 |
| 3. 1. 3 評価結果                           | 44 |
| 3. 1. 4 確率評価のまとめ                       | 51 |
| 3. 2 河川災害の概要                           | 52 |
| 3. 2. 1 河川災害の概要                        | 52 |
| 3. 3 吉井川水系                             | 55 |
| 3. 3. 1 ダム操作と国直轄区間における河川被害概要           | 55 |
| 3. 4 旭川水系                              | 57 |
| 3. 4. 1 ダム操作と国直轄区間における河川被害概要           | 57 |
| 3. 4. 2 国ヶ原地区(旭川, 県管理区間, 図3.2.4参照)での被害 | 59 |
| 3. 4. 3 平島地区(旭川, 県管理区間, 図3.2.4参照)での被害  | 60 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3. 5    | 高梁川水系  | 60  |
| 3. 5. 1 | ダム操作と国直轄区間における河川被害概要                                 | 60  |
| 3. 5. 2 | 真備地区（小田川，国直轄区間）での被害                                  | 63  |
| 3. 5. 3 | 矢掛地区（小田川，県管理区間，図 3. 2. 4 参照）での被害                     | 73  |
| 3. 5. 4 | 甲弩（こうの）地区（小田川，県管理区間，図 3. 2. 4 参照）での被害                | 74  |
| 3. 5. 5 | 日羽，美袋（みなぎ），広瀬，落合阿部の地区<br>（高梁川，県管理区間，図 3. 2. 4 参照）の被害 | 74  |
| 3. 6    | 真備町での気象警報と避難の状況                                      | 77  |
| 3. 7    | 小田川における洪水氾濫  | 79  |
| 3. 7. 1 | はじめに   | 79  |
| 3. 7. 2 | 研究対象サイト  | 80  |
| 3. 7. 3 | 気象・河川水位状況  | 81  |
| 3. 7. 4 | 現地調査概要   | 83  |
| 3. 7. 5 | 現地調査結果   | 83  |
| 3. 7. 6 | 洪水氾濫シミュレーション   | 87  |
| 3. 7. 7 | 人的被害と洪水氾濫の関係   | 90  |
| 3. 8    | 小田川洪水：洪水流・氾濫解析                                       | 92  |
| 3. 8. 1 | 計算モデル  | 92  |
| 3. 8. 2 | 計算条件   | 92  |
| 3. 8. 3 | 計算結果   | 95  |
| 3. 9    | 旭川洪水：洪水流解析   | 99  |
| 4.      | 広島県の河川災害   | 105 |
| 4. 1    | 河川災害の概要  | 105 |
| 4. 2    | 太田川水系  | 108 |
| 4. 2. 1 | 三篠川  | 108 |
| 4. 2. 2 | 根谷川  | 117 |
| 4. 2. 3 | 榎川   | 119 |
| 4. 3    | 瀬野川水系  | 121 |
| 4. 3. 1 | 瀬野川上流域   | 121 |
| 4. 3. 2 | 瀬野川・榎ノ山川（瀬野駅周辺）                                      | 123 |
| 4. 3. 3 | 瀬野川中下流部（広島市安芸区中野～瀬野川河口）                              | 124 |
| 4. 3. 4 | 畑賀川  | 126 |
| 4. 4    | 野呂川水系  | 128 |
| 4. 4. 1 | 中畑川中流部   | 128 |
| 4. 4. 2 | 中畑川下流部   | 133 |
| 4. 4. 3 | 野呂川と中畑川の合流地点付近                                       | 138 |
| 4. 5    | 黒瀬川水系  | 140 |
| 4. 5. 1 | 黒瀬川中流部   | 140 |

|          |                                  |     |
|----------|----------------------------------|-----|
| 4. 5. 2  | 黒瀬川下流部                           | 145 |
| 4. 5. 3  | 笹野川                              | 148 |
| 4. 6     | 沼田川水系                            | 153 |
| 4. 6. 1  | 沼田川                              | 153 |
| 4. 6. 2  | 天井川                              | 175 |
| 4. 6. 3  | 沼田川水系仏通寺川                        | 177 |
| 4. 6. 4  | 菅川                               | 179 |
| 4. 6. 5  | 梨和川, 三次川                         | 182 |
| 4. 7     | 本郷川水系本郷川                         | 186 |
| 4. 8     | 芦田川水系                            | 189 |
| 4. 8. 1  | 福川                               | 189 |
| 4. 8. 2  | 吉野川                              | 192 |
| 4. 9     | 河川災害の特徴                          | 196 |
| 4. 10    | ダム操作の課題                          | 200 |
| 4. 11    | 三篠川の橋梁被害                         | 203 |
| 4. 11. 1 | はじめに                             | 203 |
| 4. 11. 2 | 研究対象サイトと今次水害の気象・河川水位状況           | 203 |
| 4. 11. 3 | 現地調査・データ整理方法の概要                  | 205 |
| 4. 11. 4 | 橋梁被害状況に関する調査結果                   | 206 |
| 4. 11. 5 | まとめ                              | 214 |
| 4. 12    | 被害軽減に向けた今後の課題                    | 214 |
| 5.       | 山口県および島根県の河川災害                   | 219 |
| 5. 1     | 島根県における河川災害                      | 219 |
| 5. 1. 1  | 災害の概要                            | 219 |
| 5. 1. 2  | 被災堤防の構造                          | 221 |
| 5. 1. 3  | 堤防の被災状況                          | 221 |
| 5. 2     | 山口県における河川災害                      | 224 |
| 5. 2. 1  | 調査地および水害の概要                      | 224 |
| 5. 2. 2  | 現地調査内容                           | 225 |
| 5. 2. 3  | 現地調査結果                           | 226 |
| 5. 2. 4  | 瀬越地区の土石流解析                       | 228 |
| 5. 2. 5  | 東川の流出解析                          | 230 |
| 5. 2. 6  | 瀬越地区の氾濫流の再現計算                    | 231 |
| 5. 2. 7  | まとめ                              | 233 |
| 6.       | 土砂・ため池災害                         | 235 |
| 6. 1     | 2018年7月に広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流の流動特性 | 235 |
| 6. 1. 1  | はじめに                             | 235 |
| 6. 1. 2  | 広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流              | 235 |

|         |                  |     |
|---------|------------------|-----|
| 6. 1. 3 | 数値シミュレーションの概要    | 239 |
| 6. 1. 4 | 結果と考察            | 241 |
| 6. 1. 5 | 結論               | 244 |
| 6. 2    | ため池の被災状況調査       | 244 |
| 6. 2. 1 | ため池における近年の災害について | 244 |
| 6. 2. 2 | 今次水害におけるため池災害の状況 | 246 |
| 6. 2. 3 | 今後のため池防災について     | 249 |
| 6. 3    | 榎川の災害            | 250 |
| 6. 3. 1 | 背景               | 250 |
| 6. 3. 2 | 調査方法             | 252 |
| 6. 3. 3 | 調査結果             | 253 |
| 6. 3. 4 | 考察               | 256 |
| 6. 3. 5 | 結論               | 258 |
| 6. 3. 6 | 謝辞               | 258 |
| 7.      | 避難情報と要配慮者避難      | 261 |
| 7. 1    | はじめに             | 261 |
| 7. 2    | 防災気象情報と避難情報の関連分析 | 263 |
| 7. 2. 1 | 防災気象情報の発表状況      | 263 |
| 7. 2. 2 | 避難情報の発表状況        | 265 |
| 7. 2. 3 | 防災気象情報と避難情報の関係   | 267 |
| 7. 3    | 要配慮者利用施設の被災と避難状況 | 268 |
| 7. 4    | おわりに             | 270 |
| 8.      | 調査から得られた課題と提言    | 273 |

# 第1章 災害の概要

## 1.1 西日本豪雨災害の被害概況

平成30年6月28日から7月8日の期間にかけて、台風第7号と梅雨前線により、日本の広範囲で記録的な大雨が発生した。この大雨により、日本全国で死者237名、全壊家屋6,767棟という甚大な被害をもたらした<sup>1)</sup>。表1.1.1に中国地方における人的被害、建物被害の詳細を示す。人的被害は高梁川水系をはじめとして氾濫が多発した岡山県、河川氾濫や土砂災害が各地で発生した広島県に集中している。また、山口県でも3名の死者が出ている。住宅被害に着目すると、岡山県での全壊被害が広島県と比べても圧倒的に多い。これは、大規模に浸水した倉敷市真備町地区の住宅約2100棟について、倉敷市が一括して「全壊」と判定したことも影響している。表1.1.2にこの三県の市町村別の死者の状況を示す。岡山県では小田川の氾濫した真備町に死者が集中しているのに対して、広島県では広島市、呉市をはじめとして、県内の各地で死者がでている。山口県では岩国市や周南市といった県東部で死者がでている。

表 1.1.1 西日本豪雨災害における中国地方の人的被害・建物被害<sup>1)</sup>

| 県名  | 人的被害 |       |     |     |      | 住家被害 |      |      |      |      | 非住家被害 |     |
|-----|------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
|     | 死者   | 行方不明者 | 負傷者 |     |      | 全壊   | 半壊   | 一部破損 | 床上浸水 | 床下浸水 | 公共建物  | その他 |
|     |      |       | 重傷  | 軽傷  | 程度不明 |      |      |      |      |      |       |     |
| 人   | 人    | 人     | 人   | 人   | 棟    | 棟    | 棟    | 棟    | 棟    | 棟    | 棟     |     |
| 鳥取県 |      |       |     |     |      |      |      | 3    | 12   | 54   |       |     |
| 島根県 |      |       |     |     |      | 55   | 127  | 3    |      | 60   |       | 61  |
| 岡山県 | 66   | 3     | 9   | 152 | 4828 | 3302 | 1131 | 1666 | 5446 |      | 2     | 50  |
| 広島県 | 115  | 5     | 61  | 85  | 1150 | 3602 | 2119 | 3158 | 5799 |      |       |     |
| 山口県 | 3    |       | 3   | 10  | 23   | 522  | 106  | 143  | 723  |      |       |     |

表 1.1.2 岡山県、広島県、山口県における死者の状況<sup>1)</sup>

|     |      |       |     |     |     |       |     |
|-----|------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|
| 岡山県 | 倉敷市  | 笠岡市   | 井原市 | 総社市 | 高梁市 |       |     |
| (人) | 55   | 3     | 2   | 5   | 1   |       |     |
| 広島県 | 広島市  | 呉市    | 竹原市 | 三原市 | 尾道市 | 福山市   | 府中市 |
| (人) | 23   | 25    | 4   | 8   | 2   | 3     | 2   |
|     | 東広島市 | 安芸高田市 | 海田町 | 熊野町 | 坂町  | 神石高原町 |     |
| (人) | 15   | 2     | 1   | 12  | 17  | 1     |     |
| 山口県 | 岩国市  | 周南市   |     |     |     |       |     |
| (人) | 2    | 1     |     |     |     |       |     |

(赤松良久)

## 1.2 過去の災害実績からみた今回の災害の特徴

### 1.2.1 岡山県

**表 1.2.1** に岡山県における過去の主な豪雨災害を示す<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>。昭和 47 年には梅雨前線が中国地方に停滞した影響で、県北部を中心に非常に強い降雨が広がり、11 日 9 時から 12 日 9 時までの 24 時間雨量は、下砦部で 239 mm、津山で 178 mm を記録した<sup>4)</sup>。また、7 月 9 日から 13 日までの総雨量は、下砦部、矢神で約 450mm、久世、津山で約 400mm に達する記録的な大雨であった<sup>4)</sup>。この災害で岡山県内では死者 15 名の人的被害が発生した。また、平成 10 年には台風第 10 号が岡山県玉野市付近に上陸した影響で、2 日間雨量で 180mm を記録した。この時、岡山市内（京橋地区、海吉地区）、美作町および倉敷市真備町において洪水氾濫・浸水が発生した。

今次豪雨では小田川での大規模な浸水被害により、過去の水害に比べて、死者や家屋全壊が著しく大きい（**表 1.1.1**）。また、外水氾濫以外にも内水氾濫が多数生じ、浸水被害が拡大した。

表 1.2.1 岡山県における過去の主な豪雨災害 2), 3)

| 年     | 災害名                  | 主な被災地              | 被害概要   | 被害額 (千円)   |
|-------|----------------------|--------------------|--|------------|
| 1972年 | 昭和47年6月低気圧の大雨        | 県内全域、特に中部、南部       | 人的被害：死者1名、行方不明4名、負傷者1名<br>住家被害：全壊8棟、半壊12棟、床上浸水78棟、床下浸水1,755棟、一部損壊17棟<br>その他：非住家被害17棟、水田冠水1,196件、道路損壊130ヶ所、橋梁流出40ヶ所、堤防決壊2ヶ所、山(崖)崩れ249ヶ所、鉄軌道被害3ヶ所  | 不明         |
| 1972年 | 昭和47年梅雨前線による大雨       | 県内全域、中部、北部、西部、特に西部 | 人的被害：死者15名、負傷者18名<br>住家被害：流失24棟、全壊102棟、半壊214棟、床上浸水3,206棟、床下浸水13,365棟、一部損壊112棟<br>その他：非住家被害103棟、水田流失埋没324ヶ所、水田冠水6,384ヶ所、道路損壊896ヶ所、橋梁流失157ヶ所、堤防決壊139ヶ所、山(がけ)崩れ494ヶ所、鉄軌道被害9ヶ所   | 不明         |
| 1976年 | 昭和51年台風7617号と前線による大雨 | 県内全域、特に南東部および南西部   | 人的被害：死者18名、負傷者93名<br>住家被害：流失14棟、全壊138棟、半壊234棟、一部損壊918棟、床上浸水6,321棟、床下浸水26,725棟<br>その他：非住家被害169棟、水田流失埋没241ヶ所、水田冠水9,200ヶ所、畑流失埋没211ヶ所、畑冠水732ヶ所、道路損壊1,553ヶ所、橋梁流失65ヶ所、堤防決壊292ヶ所、山がけ崩れ1,145ヶ所、鉄軌道被害7ヶ所、通信施設被害4,389ヶ所、船舶沈没流失8隻 | 不明         |
| 1990年 | 平成2年台風9019号          | 県内全域、南東部           | 人的被害：死者10名、負傷者10名、<br>住家被害：全壊10棟、半壊36棟、床上浸水1,615棟、床下浸水6,352棟、一部損壊67棟<br>その他：非住家被害3棟、水田・畑冠水8,271ヶ所、道路損壊33ヶ所、橋梁流失12ヶ所、堤防決壊5ヶ所、山・がけ崩れ72ヶ所   | 不明         |
| 1998年 | 平成10年台風9810号         | 県全域、中部             | 人的被害：死者5名、行方不明者1名、負傷者27名<br>住家被害：全壊19棟、半壊17棟、一部損壊180棟、床上浸水2,668棟、床下浸水4,692棟<br>その他：非住家94棟、学校27ヶ所、道路1,848ヶ所、橋梁21ヶ所、河川2,349ヶ所、港湾9ヶ所、砂防329ヶ所、清掃施設1ヶ所、がけ崩れ265ヶ所、鉄道不通49ヶ所、水道6,670戸、電話2,201回線、電気11,736戸、ブロック塀33ヶ所            | 不明         |
| 1999年 | 平成11年大雨              | 記載無し               | 人的被害：死者1名<br>住家被害：住家全壊1棟、一部破損6棟、床下浸水31棟<br>その他：学校1ヶ所、道路229ヶ所、河川188ヶ所、港1ヶ所、砂防16ヶ所、清掃施設4ヶ所、がけ崩れ13ヶ所、水道170ヶ所  | 3,458,550  |
| 1999年 | 平成11年大雨              | 記載無し               | 人的被害：死者1名<br>住家被害：床上浸水1棟、床下浸水104棟<br>その他：学校6ヶ所、道路59ヶ所、河川46ヶ所   | 359,654    |
| 2003年 | 平成15年台風10号           | 記載無し               | 人的被害：死者1名、軽傷者3名<br>住家被害：全壊1棟、一部損壊11棟、床上浸水130棟、床下浸水572棟<br>その他：田流出埋没0.9ha、田冠水17.9ha、畑流出埋没0.1ha、畑冠水0.7ha、学校4ヶ所、道路110ヶ所、河川1212ヶ所、砂防19ヶ所、がけ崩れ1ヶ所   | 2,229,991  |
| 2004年 | 平成16年台風16号           | 記載無し               | 人的被害：死者1名、重傷者3名、軽傷者13名<br>住家被害：全壊15棟、半壊48棟、一部破損608棟、床上浸水5,729棟、床下浸水5,153棟<br>その他：公共建物8棟、学校38ヶ所、道路71ヶ所、河川37ヶ所、港湾24ヶ所、鉄道不通1ヶ所  | 13,405,305 |
| 2004年 | 平成16年台風23号           | 記載無し               | 人的被害：死者7名、重傷者7名、軽傷者27名<br>住家被害：全壊13棟、半壊54棟、一部破損5,193棟、床上浸水352棟、床下浸水1,465棟<br>その他：公共建物117棟、学校64ヶ所、道路381ヶ所、橋梁6ヶ所、河川199ヶ所、砂防18ヶ所  | 13,318,665 |
| 2005年 | 平成17年台風14号           | 記載無し               | 人的被害：死者1名、負傷者2名、軽傷者13名<br>住家被害：一部破損173棟、床上浸水4棟、床下浸水210棟<br>その他：公共建物4棟、道路25ヶ所、河川15ヶ所、港湾1ヶ所  | 1,175,679  |
| 2006年 | 平成18年梅雨前線            | 記載無し               | 人的被害：死者1名<br>住家被害：全壊5棟、半壊2棟、一部破損12棟、床上浸水13棟、床下浸水72棟<br>その他：公共建物1棟、学校1ヶ所、道路120ヶ所、河川263ヶ所、砂防4ヶ所、がけ崩れ5ヶ所、鉄道不通2ヶ所、水道6戸   | 3,219,809  |
| 2009年 | 平成21年台風9号            | 記載無し               | 人的被害：死者1名、重症2名、軽症2名<br>住家被害：全壊14棟、半壊114棟、一部損壊1棟、床上浸水204棟、床下浸水311棟<br>その他：学校1ヶ所、病院2ヶ所、道路221ヶ所、河川321ヶ所、砂防49ヶ所、がけ崩れ9ヶ所、鉄道不通2ヶ所、水道1599戸  | 9,761,215  |



## 1.2.2 広島県

**表 1.2.2** に広島県における過去の主な豪雨災害を示す。近年においても広島県では、度々豪雨が発生するたびに甚大な土砂災害の被害を受けていることが分かる。昭和 20 年 9 月の枕崎台風は九州，中国地方に大きな降水量をもたらした，広島県では斜面崩壊と土石流が多発し，全国の死者行方不明者のおよそ 2/3 の 2,000 名を超える犠牲者となった。終戦直後で，気象情報も少なく，防災体制が十分でなかったことが被害を甚大化させた原因とされている<sup>6)</sup>。次いで大きな被害を受けたのは昭和 47 年 7 月豪雨である。この豪雨により，江の川の三川合流部付近の氾濫被害のほか，太田川水系三篠川や沼田川においても記録的な洪水となった。昭和 63 年 7 月には，広島県北西部において，内黒山 (276mm/d)，加計町 (270mm/d) などの豪雨が発生し，土石流災害を主とする災害を受けた。多くの溪流から太田川上流部に土砂が流入し，洗掘，浸食，氾濫などの被害が多発した。平成 11 年 6 月 29 日には，中国地方に停滞した梅雨前線により，広島市南西部や呉市を中心として，広島市安佐南区 (147mm/3h)，呉市 (156mm/3h) といった記録的な短時間雨量が発生した。本災害は昭和 63 年 7 月を上回る大規模なものとなり，都市型土砂災害と位置付けられた。そして，平成 26 年 8 月豪雨では，広島市安佐北区・安佐南区を中心に土石流が同時多発的に発生し，死者 74 名にも及ぶ大きな被害を受けた<sup>5)</sup>。これらの土砂災害と同時に，河川においても多量の土砂が流入し，上流部河川で浸食等の被害が発生した<sup>6)</sup>。平成 11 年 6 月 29 日の豪雨は，太田川，八幡川他，今回大きな浸水被害を受けた沼田川において，床上・床下浸水が計 289 戸と大きな水害を生じさせている<sup>7)</sup>。また，平成 26 年 8 月には根谷川において河川整備計画流量を大きく上回る  $610\text{m}^3/\text{s}$  の洪水が発生し，流域に甚大な被害を生じさせ，整備計画の目標変更を伴う大幅な河川改修が実施された<sup>8)</sup>。また，平成 28 年 6 月には梅雨前線による豪雨により，芦田川支川猪之子川の堤防決壊と内水氾濫により，福山市では 1,100 戸以上の浸水被害を受けている。このように，局所的に見れば，広島県において豪雨による被害は頻発している。特に，豪雨による土砂災害は頻発しており，河川上流部において多量の土砂が供給されることによる氾濫，浸食，それによる道路陥没被害は珍しくない。実際，短時間雨量は過去の豪雨災害時のものと比べてもそれほど顕著ではない。しかし，今次豪雨は，第 4 章に示すように，記録的な 24 時間，48 時間雨量が，太田川東支川の根谷川流域，三篠川流域から芦田川流域にかけて広い範囲で生じたことによって，県内全域で同時多発的に，土砂災害，洪水災害が生じ，多くの河川に被害をもたらしたことが大きな特徴である。

表 1.2.2 広島県における過去の主な豪雨災害<sup>5),6)</sup>

| 発生年月                   | 主な被災地                | 被害概要  |
|------------------------|----------------------|---|
| 大正 15 年 9 月豪雨          | 広島市                  | 山本川(祇園町死者 24 名), 温品川(温品町, 死者 4 名), 畑賀川(瀬野川町, 死者 69 名) 他 |
| 昭和 20 年 9 月<br>枕崎台風    | 呉市, 大野町              | 死者行方不明者 2,012 名   |
| 昭和 26 年 10 月<br>ルース台風  | 大竹市, 佐伯郡             | 死者行方不明者 166 名   |
| 昭和 42 年 7 月豪雨          | 呉市                   | 死者行方不明者 159 名   |
| 昭和 47 年 7 月豪雨          | 三次市                  | 死者行方不明者 39 名  |
| 昭和 63 年 6 月豪雨          | 加計町                  | 死者行方不明者 15 名  |
| 平成 5 年 7 月<br>台風 5 号   | 戸河内町, 筒賀村            | 家屋全壊 1 戸他   |
| 平成 11 年 6 月豪雨          | 広島市, 呉市              | 死者行方不明者 32 名  |
| 平成 17 年 9 月<br>台風 14 号 | 廿日市市                 | 家屋全壊 4 戸, 一部損壊 44 戸他                                    |
| 平成 18 年 9 月<br>台風 13 号 | 広島市, 北広島町,<br>安芸高田市他 | 死者 1 名, 行方不明者 1 名, 家屋全壊 4 戸, 半壊 6 戸他                    |
| 平成 22 年 7 月豪雨          | 庄原市, 東広島市,<br>世羅町    | 死者 4 名, 負傷者 5 名, 損壊家屋 91 戸                              |
| 平成 26 年 8 月豪雨          | 広島市安佐北区・<br>安佐南区     | 死者 74 名, 家屋全壊 133 戸, 半壊 122 戸他                          |

### 1.2.3 山口県

山口県は地形的に風化しやすく浸食に弱い花崗岩地帯が広く分布しており、急傾斜地が多いことから、梅雨前線や台風による大雨で、洪水や土砂崩れ・土石流が数多く発生している。また、周防灘沿岸は台風の接近に伴う高潮による災害も発生している。

**表 1.2.3** に山口県における過去の主な豪雨災害を示す<sup>9)</sup>。昭和 17 年 8 月周防灘台風では死者 708 名、行方不明者 86 名、負傷者 599 名という甚大な人的被害がでた。この周防灘台風では太平洋戦争で気象情報の報道が制限されていたことから、多くの住民が十分な準備ができず、被害が拡大した。昭和 20 年枕崎台風および昭和 26 年 10 月ルース台風でも、それぞれ死者 427 名、281 名という人的被害がでた。昭和 26 年 7 月豪雨では山口県内の一級河川・佐波川で戦後最大の洪水となり、17 カ所で堤防が決壊し、防府市街地を除くほとんどの低地が浸水した。その後、人的被害は激減しているものの、平成 21 年 7 月 21 日豪雨では死者 22 名という人的被害がでた。この災害では、梅雨前線の活動が活発になり、山口県では美祢市桜山で日最大 1 時間降雨量 90.5mm、防府、山口で日降水量がそれぞれ 275 mm、277 mm を観測し、県内各地で記録的な大雨となった。この災害では土石流が多数発生し、土砂災害により 14 名が死亡した。平成 25 年 7 月 28 日大雨では山口県と島根県の県境に発生した線状降水帯により、山口市では 28 日 8 時 13 分に 143 mm、萩市須佐では 28 日 12 時 4 分に 138.5 mm とそれぞれ観測史上 1 位となる 1 時間降水量を観測した。この災害では、阿武川、田万川、須佐川が氾濫し、多くの家屋が浸水したことに加えて、JR 山口線の橋梁流失による交通網の寸断が発生した。また、この災害発生時は特別警報の運用開始前であったが、気象庁は特別警報に相当する「これまでに経験したことのないような大雨であり、ただちに命を守る行動をとってください」という最大級の警戒を呼び掛けた。

今次豪雨では周南市では 6 月 28 日から 7 月 8 日にかけての総雨量が 700mm を超え、総雨量としては広島県や岡山県より多い結果となった。また、岩国市では 7 月 7 日 2:30 までの 1 時間に 87mm の猛烈な雨を観測した。この豪雨によって、周南、岩国市の計 3 名が土砂災害の犠牲となり、島田川流域では氾濫や堤防の決壊が発生した。

表 1.2.3 山口県における過去の主な豪雨災害<sup>9)</sup>

| 年     | 災害名           | 主な被災地             | 被害概要   | 被害総額      |
|-------|---------------|-------------------|--|-----------|
| 1918年 | 大正7年7月台風      | 県中部, 東部           | 人的被害: 6名(佐波郡),<br>住家被害: 浸水家屋3,451棟, 流失家屋49棟, 倒壊家屋42棟<br>その他: 橋梁落下・流失40ヶ所   | 不明        |
| 1942年 | 昭和17年8月周防灘台風  | 県内全域,<br>特に周防灘沿岸部 | 人的被害: 死者708名, 行方不明者86名, 負傷者559名<br>住家被害: 流失1,996棟, 全壊2,990棟, 半壊9,060棟,<br>浸水42,165棟<br>その他: 道路損壊67ヶ所, 橋梁流失5ヶ所,<br>船舶流失・沈没2,257隻, 鉄道(山陽線)10日間不通                                 | 不明        |
| 1945年 | 昭和20年枕崎台風     | 県東部, 大津郡          | 人的被害: 死者427名, 行方不明者274名, 負傷者283名<br>住家被害: 流失501棟, 全壊1,330棟, 半壊2,760棟,<br>床上浸水12,679棟, 床下浸水18,442棟<br>その他: 道路損壊1,108ヶ所, 橋梁流失337ヶ所,<br>船舶の流失・沈没745隻                              | 約2億7700万円 |
| 1951年 | 昭和26年7月豪雨     | 県中部, 西部           | 人的被害: 死者28名, 行方不明者1名, 重傷者33名,<br>軽傷者395名<br>住家被害: 全壊362棟, 半壊1,058棟, 流失173棟, 床上浸水4,467<br>棟, 床下浸水18,188棟<br>その他: 道路破損614ヶ所, 橋梁流失219ヶ所, 堤防決壊420ヶ<br>所, 田畑流失埋没1,969町, 田畑冠水13,301町 | 約128億円    |
| 1951年 | 昭和26年10月ルース台風 | 県全域,<br>特に錦川流域    | 人的被害: 死者281名, 行方不明者124名, 負傷者269名, 軽傷者<br>1,600名<br>住家被害: 流失465棟, 全壊1,646棟, 半壊5,427棟, 床上浸水<br>7,827棟, 床下浸水28,163棟<br>その他: 道路3,267ヶ所, 河川2,305ヶ所, 橋梁955ヶ所                         | 約327億円    |
| 1962年 | 昭和38年1月豪雪     | 内陸部,<br>特に阿武郡     | 人的被害: 死者10名, 負傷者11名<br>住家被害: 住家全壊66棟, 半壊938棟, 非住家全壊372棟, 非住<br>家半壊768棟<br>その他: 河川道路破損348ヶ所, 鉄軌道1,206ヶ所   | 約42億円     |
| 1972年 | 昭和47年7月豪雨     | 県内全域              | 人的被害: 死者17名, 重症者21名, 負傷者21名, 軽傷者31名<br>住家被害: 全壊84棟, 半壊141棟, 一部損壊9,144棟, 床上浸水<br>3,098棟, 床下浸水22,104棟<br>その他: 道路3,267ヶ所, 河川2,305ヶ所, 橋梁955ヶ所                                      | 約300億円    |
| 1983年 | 昭和58年7月豪雨     | 県北部               | 人的被害: 死者5名, 重傷者1名, 軽傷者5名<br>住家被害: 全壊24棟, 半壊12棟, 一部損壊32棟, 床上浸水282<br>棟, 床下浸水783棟<br>その他: 道路422ヶ所, 河川553箇所, 山地崩壊212ヶ所  | 約81億円     |
| 1991年 | 平成3年台風第19号    | 県内全域              | 人的被害: 死者6名, 重傷者30名, 軽傷者209名<br>住家被害: 全壊35棟, 半壊650棟, 一部破損36,018棟, 床下浸水<br>2,835棟<br>その他: 道路227ヶ所, 漁港165ヶ所, 農作物被害21,100ha, 森<br>林被害308,862ha                                     | 約516億円    |
| 1999年 | 平成11年台風18号    | 県内全域              | 人的被害: 死者3名, 重症者25名, 軽傷者154名<br>住家被害: 全壊80棟, 半壊1,284棟, 一部破損10,741棟, 床上浸<br>水2,468棟, 床下浸水7,372棟<br>その他: 道路401ヶ所, 河川394ヶ所, 被害船舶527隻   | 約415億円    |
| 2005年 | 平成17年台風第14号   | 県内全域              | 人的被害: 死者3名, 負傷者3名, 軽傷者8名<br>住家被害: 全壊6棟, 半壊332棟, 一部破損64棟, 床上浸水745<br>棟, 床下浸水847棟<br>その他: 道路233ヶ所, 河川491ヶ所, がけ崩れ241ヶ所  | 約126億円    |
| 2009年 | 平成21年7月21日豪雨  | 県内全域,<br>特に防府市    | 人的被害: 死者22名, 重傷者12名, 軽傷者23名<br>住家被害: 全壊33棟, 半壊77棟, 一部破損51棟, 床上浸水696<br>棟, 床下浸水3,864棟<br>その他: 道路397ヶ所, 河川893ヶ所, がけ崩れ95ヶ所  | 約181億円    |
| 2010年 | 平成22年7月15日大雨  | 県西部, 中部           | 人的被害: なし<br>住家被害: 全壊3棟, 半壊35棟, 一部破損23棟, 床上浸水608棟,<br>床下浸水974棟<br>その他: 道路329ヶ所, 河川372ヶ所, がけ崩れ67ヶ所   | 約118億円    |
| 2013年 | 平成25年7月28日大雨  | 県北部, 中部           | 人的被害: 死者2名, 行方不明者1名, 重傷者4名, 軽傷者7名<br>住家被害: 全壊32棟, 半壊508棟, 床上浸水153棟, 床下浸水<br>1,050棟<br>その他: 道路327ヶ所, 河川360ヶ所  | 約190億円    |
| 2014年 | 平成26年8月6日大雨   | 県東部               | 人的被害: 死者2名, 重傷者3名, 軽傷者1名<br>住家被害: 全壊10棟, 半壊190棟, 一部破損1棟, 床上浸水11棟,<br>床下浸水265棟<br>その他: 道路41ヶ所, 河川75ヶ所   | 約19億円     |

(前野詩朗, 赤松良久, 内田龍彦)

### 1.3 本調査団の構成員

本調査団の構成員と執筆担当を表 1.3.1 に示す。

表 1.3.1 調査団の構成員と執筆担当

|        | 氏名     | 所属            | 執筆担当：                         |
|--------|--------|---------------|-------------------------------|
| 団長     | 前野 詩朗  | 岡山大学大学院 教授    | 1. 2, 3. 2～3. 6, 3. 8～3. 9, 8 |
| アドバイザー | 小松 利光  | 九州大学 名誉教授     |                               |
| 幹事     | 赤松 良久  | 山口大学大学院 准教授   | 1. 1, 1. 2, 1. 3, 5. 2        |
| 団員     | 近森 秀高  | 岡山大学大学院 教授    | 3. 1                          |
| 団員     | 吉田 圭介  | 岡山大学大学院 准教授   | 3. 2～3. 6, 3. 8～3. 9          |
| 団員     | 赤穂 良輔  | 岡山大学大学院 准教授   | 3. 2～3. 6, 3. 8～3. 9          |
| 団員     | 工藤 亮治  | 岡山大学大学院 准教授   | 3. 1                          |
| 団員     | 河原 能久  | 広島大学大学院 教授    | 4. 1, 4. 10, 4. 12            |
| 団員     | 内田 龍彦  | 広島大学大学院 准教授   | 1. 2, 4. 6, 4. 9              |
| 団員     | 北 真人   | 広島大学大学院 特任助教  | 4. 7, 4. 8                    |
| 団員     | 田中 健路  | 広島工業大学 准教授    | 2. 1, 4. 2, 4. 3              |
| 団員     | 黒川 岳司  | 呉工業高等専門学校 准教授 | 4. 4, 4. 5                    |
| 団員     | 二瓶 泰雄  | 東京理科大学 教授     | 3. 5, 3. 7, 4. 11             |
| 団員     | 片岡 智哉  | 東京理科大学 助教     | 3. 7                          |
| 団員     | 小野村 史穂 | 東京理科大学 助教     | 3. 7                          |
| 団員     | 竹林 洋史  | 京都大学防災研究所 准教授 | 6. 1                          |
| 団員     | 佐山 敬洋  | 京都大学防災研究所 准教授 | 2. 2                          |
| 団員     | 矢野 真一郎 | 九州大学大学院 教授    | 6. 2                          |
| 団員     | 田井 明   | 九州大学大学院 准教授   | 6. 3                          |
| 団員     | 林 博徳   | 九州大学大学院 助教    | 6. 3                          |
| 団員     | 森 啓年   | 山口大学大学院 准教授   | 5. 1                          |
| 団員     | 小室 隆   | 山口大学大学院 特命助教  | 5. 2                          |
| 団員     | 神谷 大介  | 琉球大学 准教授      | 7                             |
| 団員     | 栗山 卓也  | 日本工営株式会社      |                               |
| 団員     | 清水 隆博  | 日本工営株式会社      |                               |
| 団員     | 鈴木 一輝  | 鹿島建設株式会社      |                               |
| 団員     | 岩前 伸幸  | 鹿島建設株式会社      |                               |
| 団員     | 森 義将   | 日本ミクニヤ株式会社    |                               |

(赤松良久)

参考文献：

- 1) 内閣府, 「平成 30 年 7 月豪雨による被害状況について」平成 31 年 1 月 9 日 17 時 00 分現在
- 2) 岡山県総務部危機管理課おかやま防災ナビ  
<http://kikikanri.pref.okayama.jp/gcon/bo33gnsaigai.html>
- 3) 岡山県災害年報  
<http://www.pref.okayama.jp/page/detail-20210.html>
- 4) 岡山県土木部防災砂防課, 砂防資料室  
<http://www.d-keikai.bousai.pref.okayama.jp/pc/kanren/kako.html>
- 5) 平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団 調査報告書, 土木学会・土木学会中国支部, 地盤工学会, 2014
- 6) 広島県砂防課, 土砂災害ポータルひろしま, 過去の主な土砂災害  
<http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/sonota/saigai/002dosya.htm>
- 7) 広島県河川課, 二級河川沼田川水系河川整備計画  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1172467031777.html>
- 8) 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所, 第 10 回太田川河川整備懇談会, 資料 4  
<http://www.cgr.mlit.go.jp/oitagawa/plan2/index01.htm>
- 9) 山口県防災危機管理課, 災害教訓事例集 ～過去の災害を語り継ぐ～  
<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a10900/bousai/201603310001.html>

## 第2章 平成30年7月西日本豪雨の気象・水文学的特徴

### 2.1 気象状況

平成30年6月28日から7月8日の期間にかけて、台風第7号と梅雨前線により、日本の広範囲で記録的な大雨が発生した。本節では、今回の豪雨の全体像とその要因について概論し、地上雨量観測やレーダー観測に基づく降水系の特徴について述べる。また、気象モデルWRFを用いて降水系の再現計算を試みた、その初期成果についても述べる。

#### 2.1.1 概況

豪雨期間中の気象庁地上天気図<sup>1)</sup>を一部抜粋したものを図2.1.1に示す。期間初期の6月28日から7月1日までは、本州の北側の日本海に停滞していた梅雨前線が台風第7号の発達と共に、太平洋高気圧が西進しながら発達し、梅雨前線が北海道上空まで北に押し上げられた。その後、台風第7号が7月2日から3日にかけて東シナ海を北進、対馬海峡を経て日本海を北東進した後、北海道上空で温帯低気圧化し、7月5日21時に消滅したと見られる。台風の通過に伴い、台風の北側サハリン上空に位置する高気圧により、梅雨前線が南下し、本州上空に7月8日までほとんど停滞した。停滞した期間の中においても、太平洋高気圧の縁辺流や対流圏上層の大陸側の気圧の谷の発達により、前線が南北にゆらぎ、

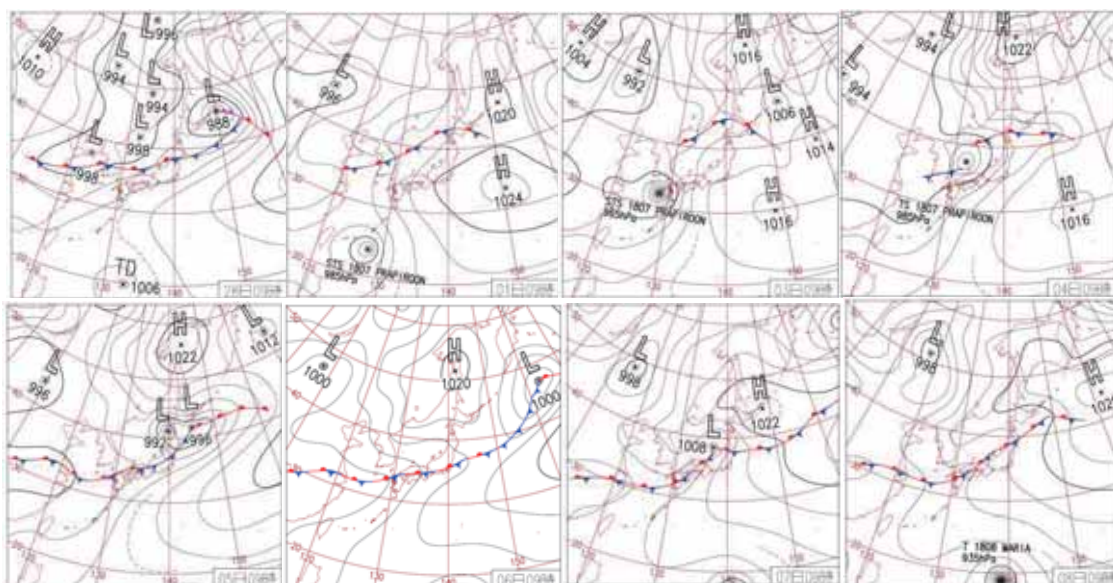


図 2.1.1 平成30年7月豪雨期間の地上天気図（抜粋）（気象庁）<sup>1)</sup>

前線の南側の湿潤空気側と北側の乾燥空気側を往復することで、複数回の非常に激しい雨が発生、広範囲での記録的大雨をもたらされた。

豪雨発生期間の日本周辺の総観場について、気象庁数値予報GPV全球モデルの初期値による上空300hPa面、500hPa面の風と湿潤空気・乾燥空気の分布を図2.1.2に示す。7月3日9時(日本時間)の時点では、台風の南東側からの湿潤空気の北上が顕著であり、その北東側に位置する太平洋高気圧の北縁に沿って、北海道上空に上空の湿った空気が流れ込んでいた。対流圏上層の300hPa面においては、チベット高気圧の北縁の強風軸に沿って、大陸側からの乾燥空気が東に移動しており、朝鮮半島上空に形成された気圧の谷に沿って南下したとされる。台風通過後も太平洋高気圧の縁に沿った湿った空気の流れと共に、中国内陸および南岸からの上層の湿った空気が、太平洋高気圧側の乾燥空気と朝鮮半島上空の気圧の谷の乾燥空気の間挟まれる形で日本列島上空に流れ込む形となった。

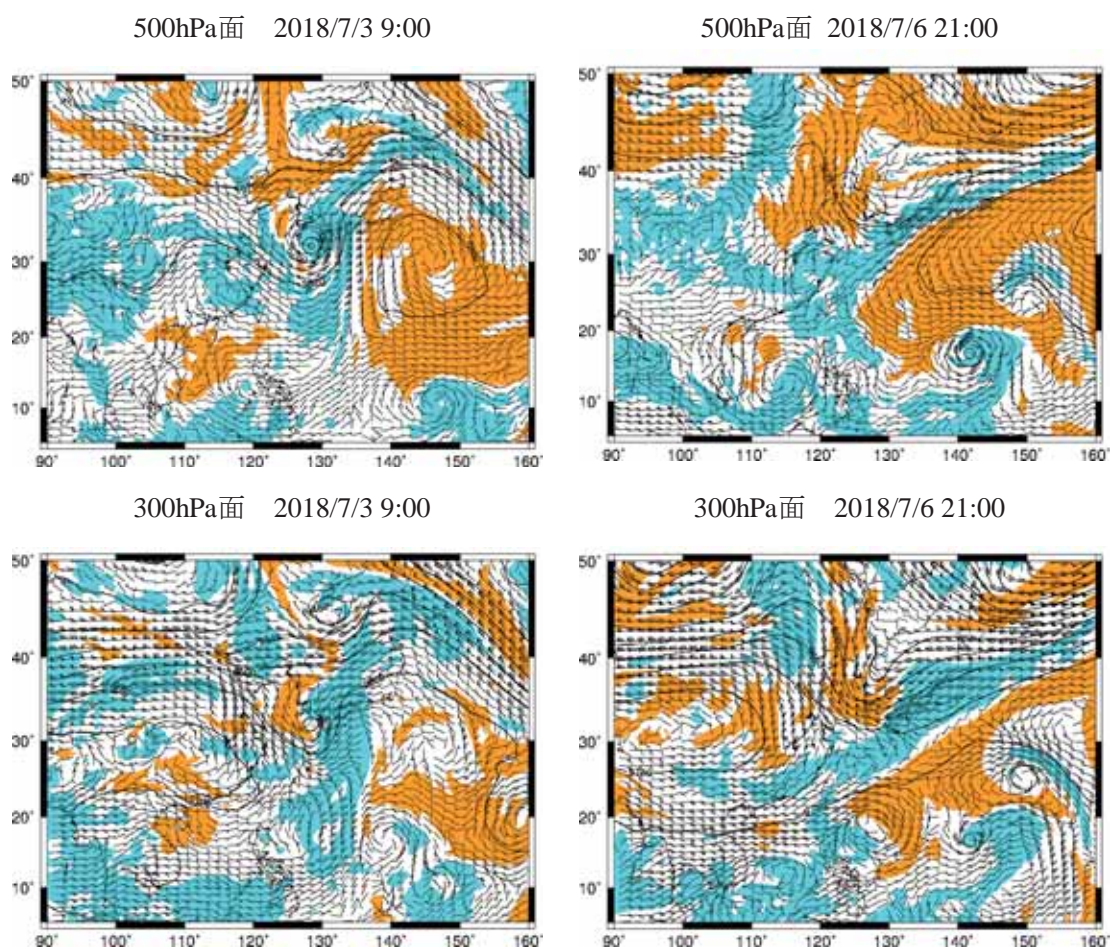


図 2.1.2 上空の気象場. 等値線は等圧面高度(60m間隔), 矢羽は風向風速(長矢羽:5m/s, 旗矢羽:25m/s)を表し, 水色の領域は相対湿度80%以上の湿った空気, 橙色の領域は相対湿度20%以下の乾燥空気を表す.



気象庁長期再解析(JRA-55)による日本周辺の極東アジア域の可降水量の分布(図 2.1.3)によれば、本州上空で梅雨前線が停滞した7月6日の時点で、可降水量 60mm を超える領域が、東シナ海および華中平原の広範囲に見られ、東側では九州上空および中四国地方西部まで広がっていた。近年の豪雨の例の比較として、2014年8月の広島豪雨土砂災害、および、2017年7月の九州北部豪雨災害の降雨ピーク時の可降水量分布を同図に示しているが、いずれの事例においても、湿潤空気の上流側に位置する東シナ海上では、60mm を超える可降水量は解析されなかった。したがって、近年の事例と比べて、今回の事例は、西日本の広範囲にわたり降雨の素となる大量の水蒸気が流入する背景が特に顕著であったと考えられる。5月末から9月上旬までの期間(DOY151-250)100日間の可降水量をそれぞれの領域で平均し、JRA-55で収録されている1958年以降の約60年間の長期変化傾向をプロットした結果を図2.1.4に示す。西日本上空では約0.115mm/年の割合で可降水量が増大している。

増加し続ける水蒸気のうち、地表面(あるいは海面)から850hPa等圧面までの下層の水蒸気の流動に着目する。台風から変わった温帯低気圧が北海道の東側に移動した後、梅雨前線の南下に伴い、本州上空に下層水蒸気の収束域が停滞し、降雨域は概ねこの収束域を中心とした範囲で観測された。東経130度~135度、北緯32度~36度の西日本上空の水蒸気フラックスの発散の5日間平均値は-45 kg/s/m/degであり、同一領域において、1958年以降2番目に持続的に強い収束域であった(1位は1976年9月6日~11日)。比較のために、過去の顕著事例を図2.1.6にまとめて示す。前線上に直径300km以上の低気圧が出現すると、低気圧の南東側を中心に水蒸気フラックス発散が-100kg/s/m/degよりも強い下層

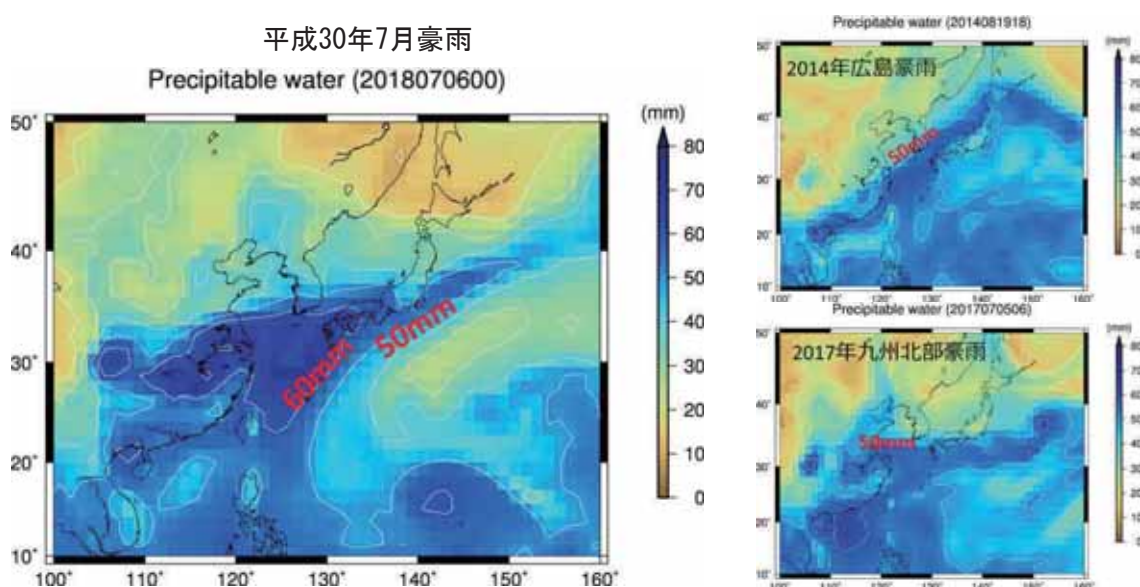


図 2.1.3 日本周辺の極東アジア域における可降水量の分布。等値線間隔は10mm。気象庁長期再解析(JRA-55) 毎6時間鉛直積分解析値を使用。

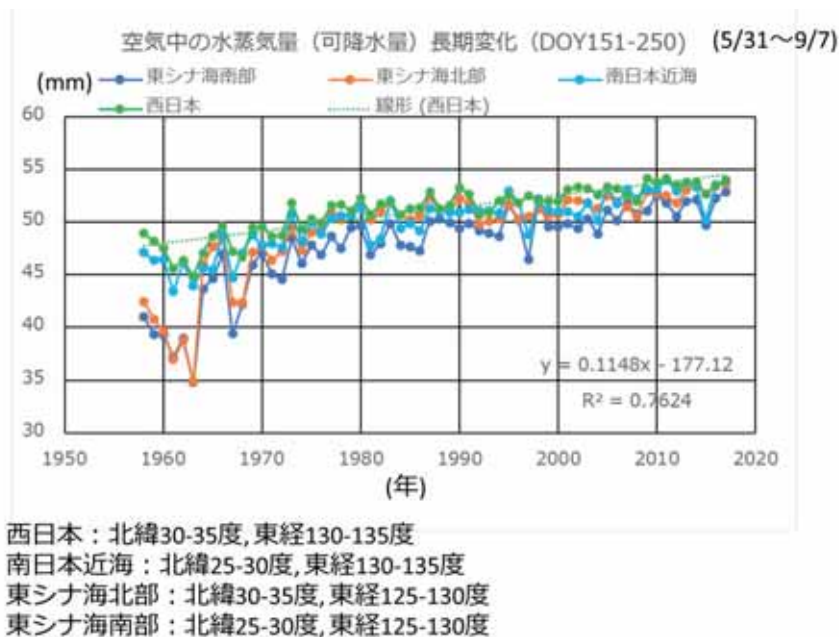


図 2. 1. 4 西南日本及び東シナ海上の夏季(DOY151-250)の可降水量の経年変化傾向。近似直線は西日本域の可降水量の経年変化に対して算出した結果を掲載。

水蒸気収束が発生する、収束域が移動し、持続性に乏しい。その代表的な事例として、1999年6月29日の広島豪雨が挙げられるが、低気圧の通過の際に広島・呉地方が前線の南側の湿潤域に2～3時間程度位置している間に線状降水帯による局地的大雨が発生した。今回の事例のように、前線の南側の広範囲で収束域が停滞する形態は、前線の北側の日本海上空で下層の高気圧循環場が発達している条件のときに生じやすい。図 2. 1. 6 に掲げた事例の中では、1972年7月豪雨に三次盆地で大規模な氾濫被害が発生した例が該当する。広島市

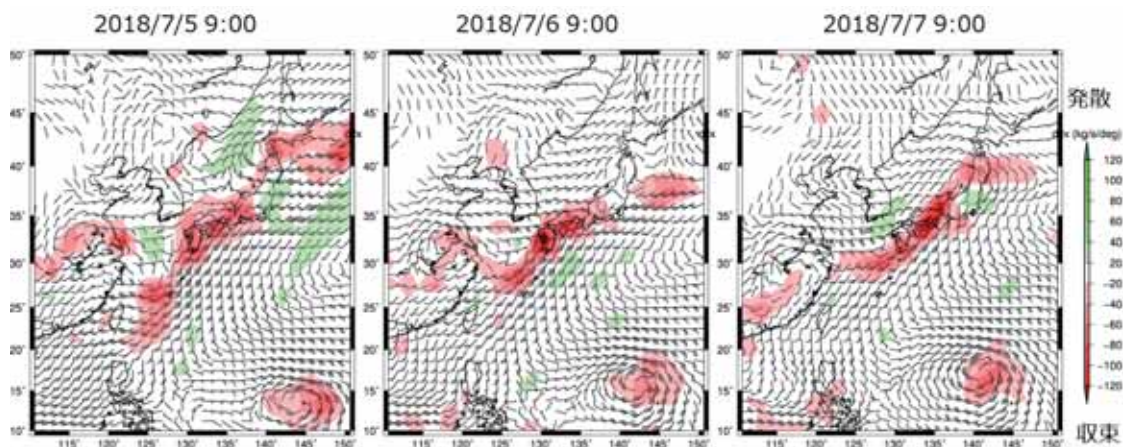


図 2. 1. 5 地表面から 850hPa 等圧面までの下層大気の水蒸気フラックスの分布と水蒸気フラックスの水平発散(単位:  $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{deg}^{-1}$ )。

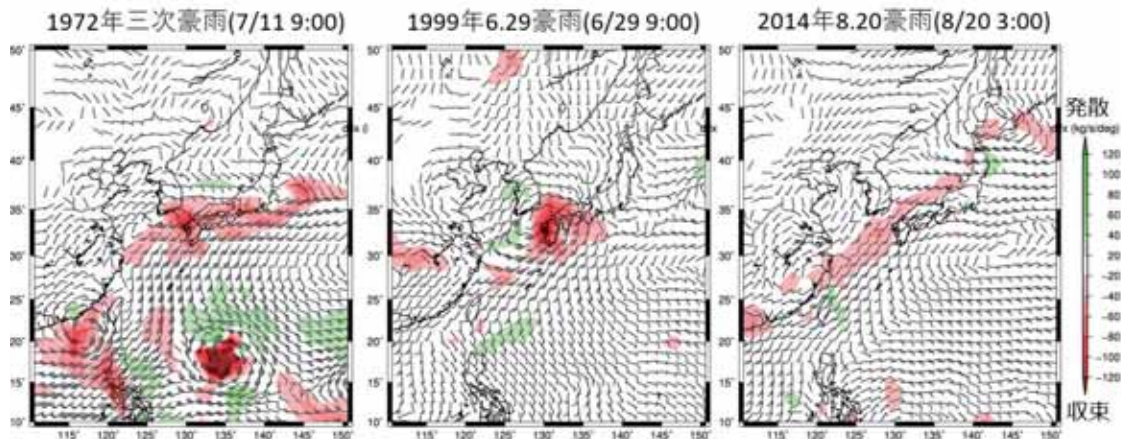


図 2.1.6 下層大気の水蒸気フラックス分布および水蒸気フラックス分布水平発散，過去の豪雨の顕著事例.

安佐北区，安佐南区で 100mm/時以上の猛烈な雨を観測した 2014 年 8 月豪雨の事例<sup>3)</sup>では，前線の南側の日本海上空から東シナ海にかけて帯状の収束域が見られるが，他の事例と比べて収束強度が小さい．これは当時の短時間強雨の気象場が広域的な水蒸気収束に加えて，豊後水道<sup>4)</sup>や山陽地方の地形性効果<sup>5)</sup>も重要であったことを示唆する．

### 2.1.2 中国地方の降雨の特徴

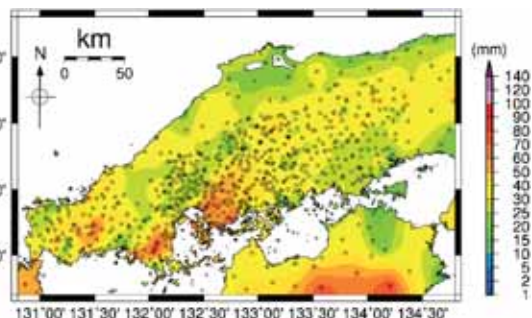
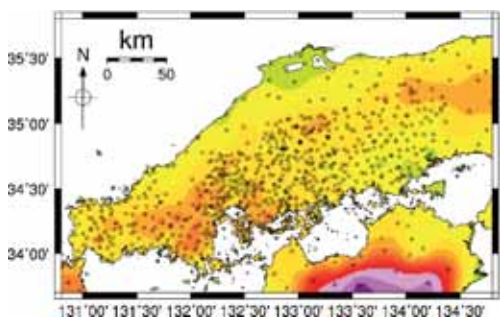
今回の豪雨で，中国地方の被害が特に甚大であった広島，岡山，山口の3県について，気象庁，国土交通省，県の設置している雨量観測網を基に期間総降水量，および，1時間，24時間，72時間の各継続時間における最大降水量の分布をまとめたものを図2.1.7に示す．期間降水量が700mmを超えたのは，713mmを観測した野呂川ダム(広島県呉市)と721mmを観測した長野山(山口県周南市)の2地点で，600mm以上の総降水量は，山口県岩国・周南地方，広島県廿日市市・佐伯区の間部と呉市，岡山県津山市でそれぞれ観測された．

降水継続時間の長さに関わらず，中国地方では，山口県周南地方から広島湾を跨いで広島市東部や呉地域に降水量最大となる領域が分布し，その領域から北東方向の広島県北東部や岡山県北部に向かって延びる傾向にある．最大1時間降水量80mm以上を観測したのは，田尻，中山川ダム（いずれも山口県岩国市），下松（山口県下松市），荒谷ダム（山口県山口市），警固屋（広島県呉市）の5ヶ所であった．その一方で，最大1時間降水量が30mm未満の地域が岡山県南部や広島県北西部などに分布しており，大規模な浸水被害が発生した高梁川水系小田川流域はその一部である．台風第7号から変わった温帯低気圧が衰退した7月5日21:00(日本時間)を期間前半と後半に分けると，期間後半の雨量と期間全体の総雨量に対する割合の分布は図2.1.8に示す通りとなった．山口県南東部の玖珂周辺，および，広島県呉市，広島湾東部沿岸域を中心に期間後半の雨量400mmを上回った．後半の雨量が前半

の雨量を上回った領域(等値線50%以上の領域)は、山口県周南市以東の山陽側に集中した。広島県三篠川流域、瀬野川流域、および、呉市、東広島市を含む範囲では、後半の降雨が期間全体の70%を超え、期間後半の前線の停滞による大雨の影響を非常に強く受けたものと見られる。

期間総降水量(6/28-7/8)

最大1時間降水量



最大3時間降水量

最大72時間降水量

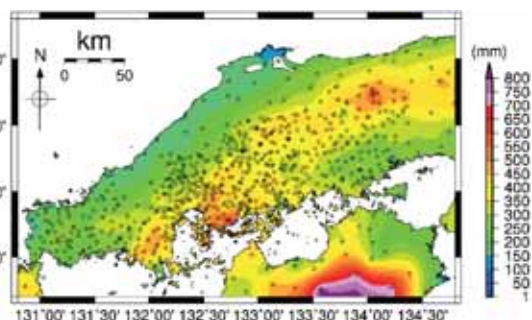
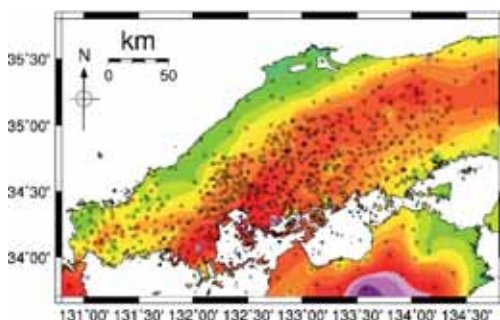


図 2.1.7 中国地方における地上雨量観測に基づく総降水量と各継続時間最大降水量

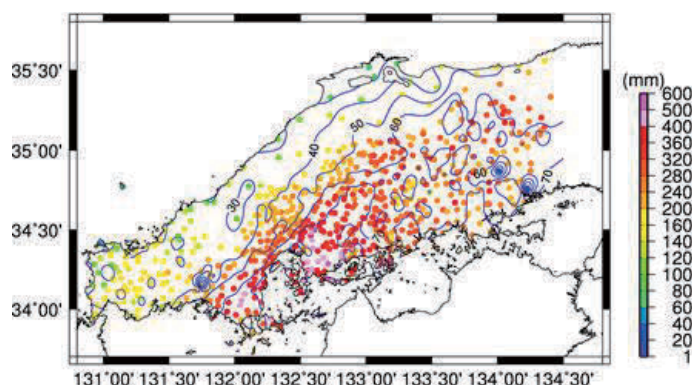


図 2.1.8 中国地方の各雨量観測局における7月5日21:00から7月8日24:00までの総雨量(凡例)と6月28日以降の期間総雨量に対する割合(等値線, 単位:%)

山口県周南，岩国地区の観測局の降雨観測例を図2.1.9に示す．積算雨量は6月28日0:00からの積算値を表す．前1時間雨量は10分観測値から算出したものとして示している．6月28日～7月8日の期間の総雨量が700mmを超えた長野山（周南市）では，期間前半から1時間数mm～30mm程度の降雨が断続的に降り続き，7月5日0:00時点で降り始めからの総雨量が360mmに達した．降雨のピークは7月6日14:00頃で前1時間雨量36mmを観測した．長野山か

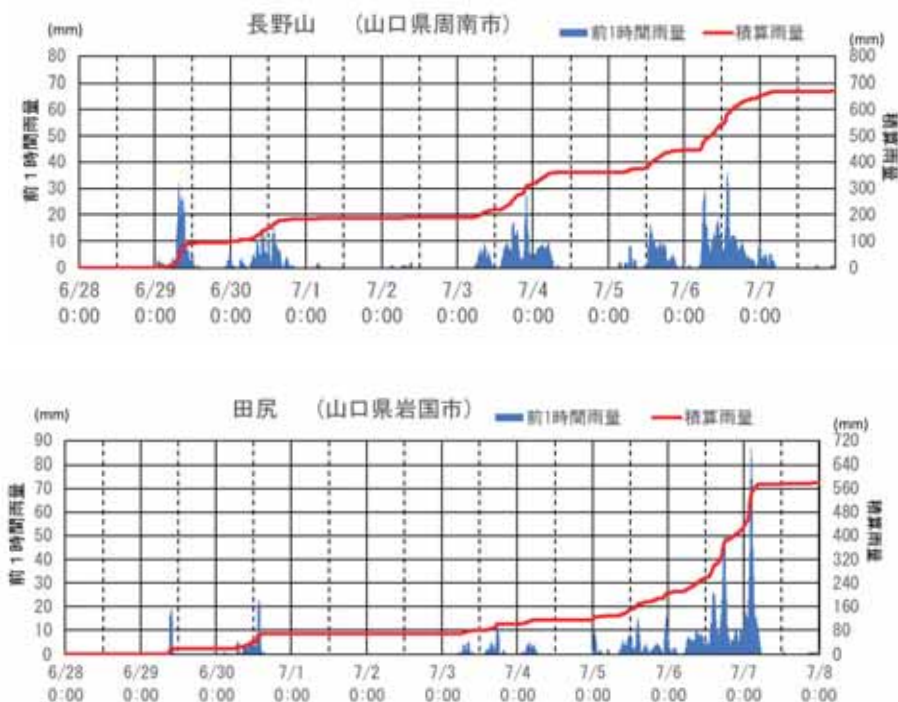


図 2.1.9 山口県長野山（周南市）と田尻（岩国市）の降雨時系列.

ら約30km南南東に位置する岩国市田尻では，7月4日まで長野山の降雨とほぼ同時間帯に降雨が観測されたが，7月5日0:00までの積算雨量は117mmで長野山の約3分の1程度の雨量であった．両者の観測点での大きな違いは，7月7日未明の降雨である．南側の田尻では，7月7日2:30までの1時間に87mmの猛烈な雨を観測したが，長野山では1時間5mm程度の降雨にとどまった．山口県内では，前線の停滞や台風接近時の局地規模の降水系の位置関係によっても，期間前半と後半の降雨量の差が大きく表れている．下松，玖珂，岩国にかけての地区は，図 2.1.9の田尻観測局と同様の傾向が見られる．

広島県内の降雨観測局のうち，瀬野川（広島市安芸区），警固屋（呉市），野呂川ダム（呉市）および，下三永（東広島市）の降雨時系列を図2.1.10に示す．広島市東部，安芸郡，呉，東広島市を含む地域では，7月6日18:00～21:00の時間帯と，7月7日4:00～6:00の時間帯に2度降雨のピークが観測された．前半においては，広島市安芸区瀬野川，呉市警固屋，野呂川ダムで1時間60mm以上の非常に激しい降雨を観測し，後半においては，東広島市下

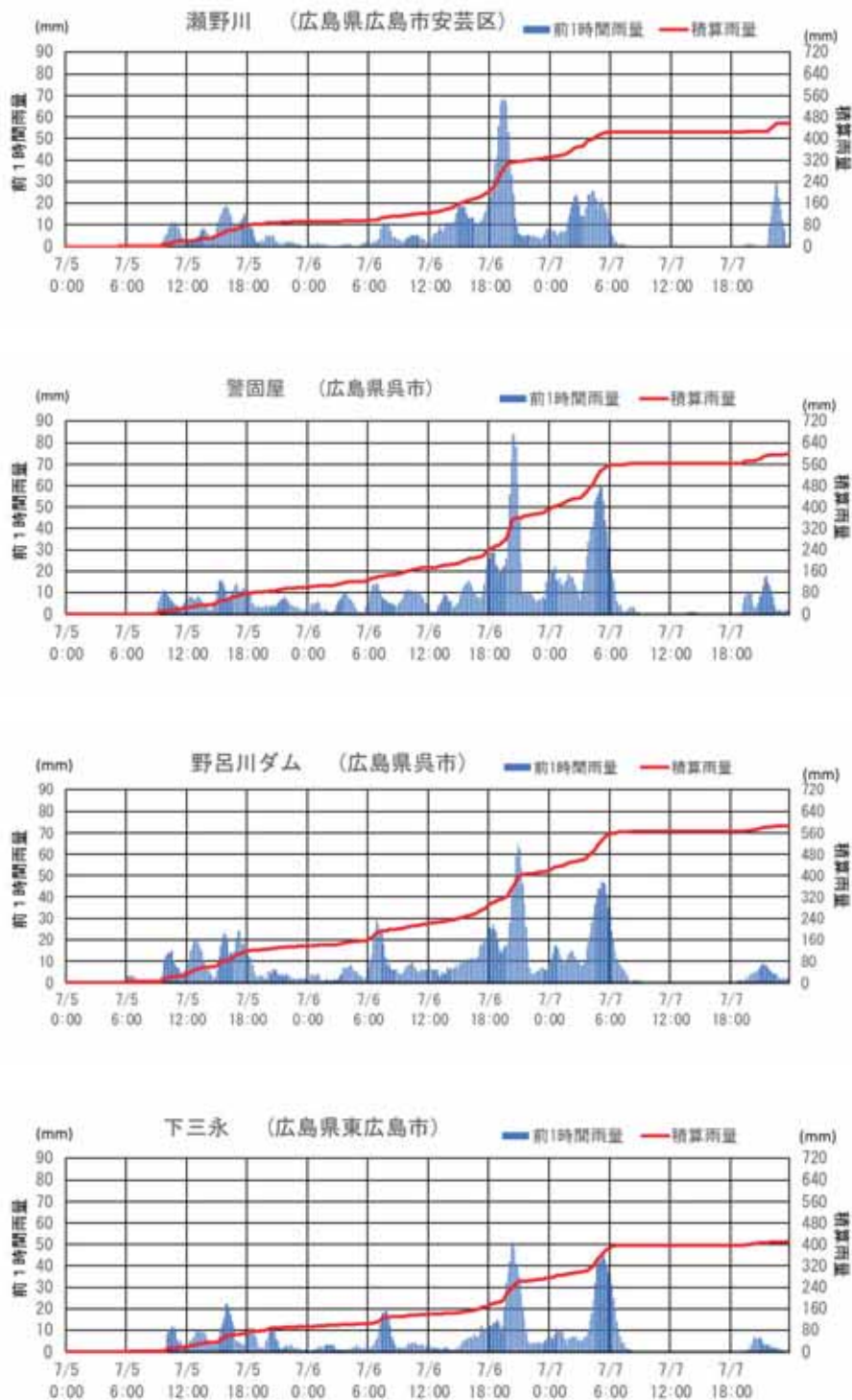


図 2.1.10 広島県の雨量観測の例. 上から瀬野川 (広島市安芸区), 警固屋 (呉市), 野呂川ダム (呉市), 下三永 (東広島市) の順.

三永や呉市で1時間40～60mmの降雨を観測した。それぞれの観測所において、7月5日午前から1時間数mm～20mm程度の降雨が断続的に発生し、7月6日夕方のピーク前には、7月5日の降り始めからの積算雨量が200mmを超え、表層土壤に大量の水分が浸透したと考えられる。東広島市下三永のように、前半と後半の降雨のピークが1時間40mm～50mm程度の降雨の場合、前半と後半の降雨どちらが最終的な土砂災害の引き金となったか、判別が困難なように思われる。

岡山県における降雨観測のうち、北部の坂根（西粟倉村）と南部の真備（倉敷市）の例を図2.1.11に示す。広島湾や安芸灘から流入した降水系が北東～東北東に進み、岡山県側では北部で1時間30mm～50mmの激しい雨を観測した。坂根観測所では、7月5日午前から夕方にかけて降雨が続き、同日18:00頃に1時間40mmの降雨を観測した。7月5日の深夜から6日の明け方にかけて一旦降雨が止んだが、7月6日の午前中から再び降雨が始まり、広島県内で観測されたのと同様に7月6日夕方から深夜にかけて2度のピークが観測された。その結果、7月5日～7日の積算雨量が500mmを超える大雨となった。一方、南部の真備観測所では、期間全体を通じて1時間30mmを超える激しい降雨は観測されず、1時間数mm～20mm程度の降雨が続き、7月5日0:00からの積算雨量300mmを超える大雨となった。

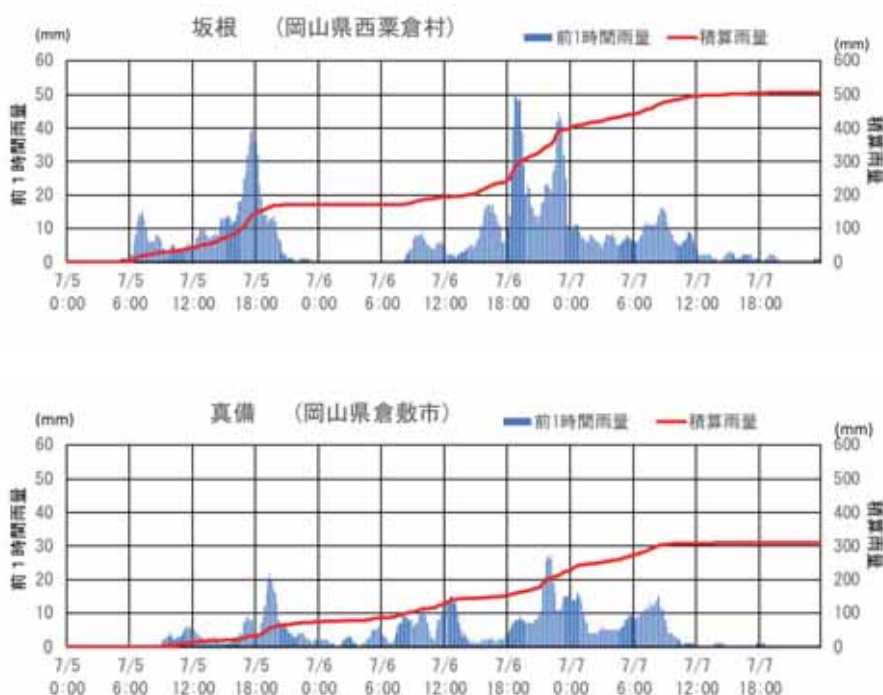


図 2.1.11 岡山県の雨量観測の例。上から坂根（西粟倉村），真備（倉敷市）。

### 2.1.3 降水システムの発達過程: レーダー観測と WRF を用いた解析

本州上空に梅雨前線が停滞した2018年7月5日～7日の期間内での、中国地方上空における降水系の発達と移動について、**図2.1.12**に基づいて述べる。7月5日3:00頃に豊後水道側から山口県周南市、下松市付近に流れ込み降水セルが発達(**図2.1.12(a)**)、その後、前線に向かう大量の暖湿気の流入と共に、梅雨前線の南側、南北幅100～150kmを持つ雨域が発達。雨域の軸となる1時間雨量30mm以上の線状の雨域が中国山地付近の上空に発達していった(**図2.1.12(b)**)。発達した雨域は7月5日17:00を過ぎて瀬戸内海上空に向けて徐々に南下した(**図2.1.12(c)**)。7月5日21:00～7月6日4:00過ぎまでの間は降雨が治まったが、九州北部上空で積乱雲の活動が活発化しはじめ、徐々に雨雲が下流側の中国地方へ移動していった(**図2.1.12(d)**)。7月6日15:00頃には、前線全体の雲域の中で広島県北部の内陸部を中心に80mm/時を超える強さを持つ積乱雲群が線状に発達しながら東進していった(**図2.1.12(e)**)。同日18:00頃にはその風上側の広島湾から広島市東部を中心とした領域で積乱雲群が発達し、北東方向に降水帯が線状に伸びながら徐々に東へ移動していった(**図2.1.12(f)**)。この降水帯の風上側にあたる山陽地方の瀬戸内海沿岸を通過する際に、局地的に降雨強度が80mm/時を超え、沿岸の山地形に沿った強制上昇により、降水が強まったと見られる。前半の降水帯が過ぎ去った後に、山口県周南市を中心とする上空に80mm/時を超える雨雲が団塊状に発生し、強雨域が徐々に東進していった。呉市付近の上空に到達すると、瀬戸内海を挟んで愛媛県の上空から南北に延びる降水帯として発達していった。

**図2.1.12**に示した中国地方上空の降雨域は、地上の梅雨前線に近接した位置で発生し、北西側の上空からの乾燥空気の沈降と東シナ海側から流れ込んできた下層の暖湿流の微細な勢力差により、東進しながらの一時的な南下、北上を繰り返していた。**図2.1.13**は気象庁レーダーの降雨強度分布に数値予報GPVメソスケールモデルの初期値の風の場合を合成したものである。7月6日18:00、7月7日6:00の2つの時刻の状況について示しているが、いずれも、上空の前線の南側近傍で50mm/時を超える雨域が見られる。7月6日の前半の場合と比べて、7月7日の後半の場合の方が、降雨域の南北方向に延びる形状となっている。また、上空850hPa面風の場合では、広島上空に低気圧性の渦が解析されており、渦の南西側象限では、上空からの乾燥寒気の沈降と東シナ海や太平洋側からの暖湿気の流入と上昇により、広島・愛媛県上空で南北に延びる降水帯の発達に寄与していたものと考えられる。

上述の2度のピーク降雨発生に関わる降水系について、国土交通省X-BANDレーダー、C-BANDレーダー合成雨量データを用いてその挙動の詳細を調べた。**図2.1.14**は7月6日17:30～18:30頃の広島湾上空の降水セルの発達状況を、山口県周南から岩国にかけて谷地形を通過したセルの進行方向右側あるいは、前方側に新たな降水セルが発生し、広島湾上空で新たに発生したセルが発達しながら北東進する様子が捉えられた。日が変わり7月7日も谷地形に沿った降水セルの発達が観測されている。**図2.1.15**のように上陸した2列のセルが風下側に向かいながら収束し、バック形成を伴いながら降水系全体が停滞したことで、山口県周南・岩国地方は7日未明に1時間70～80mmの大雨を観測したものと推察される。



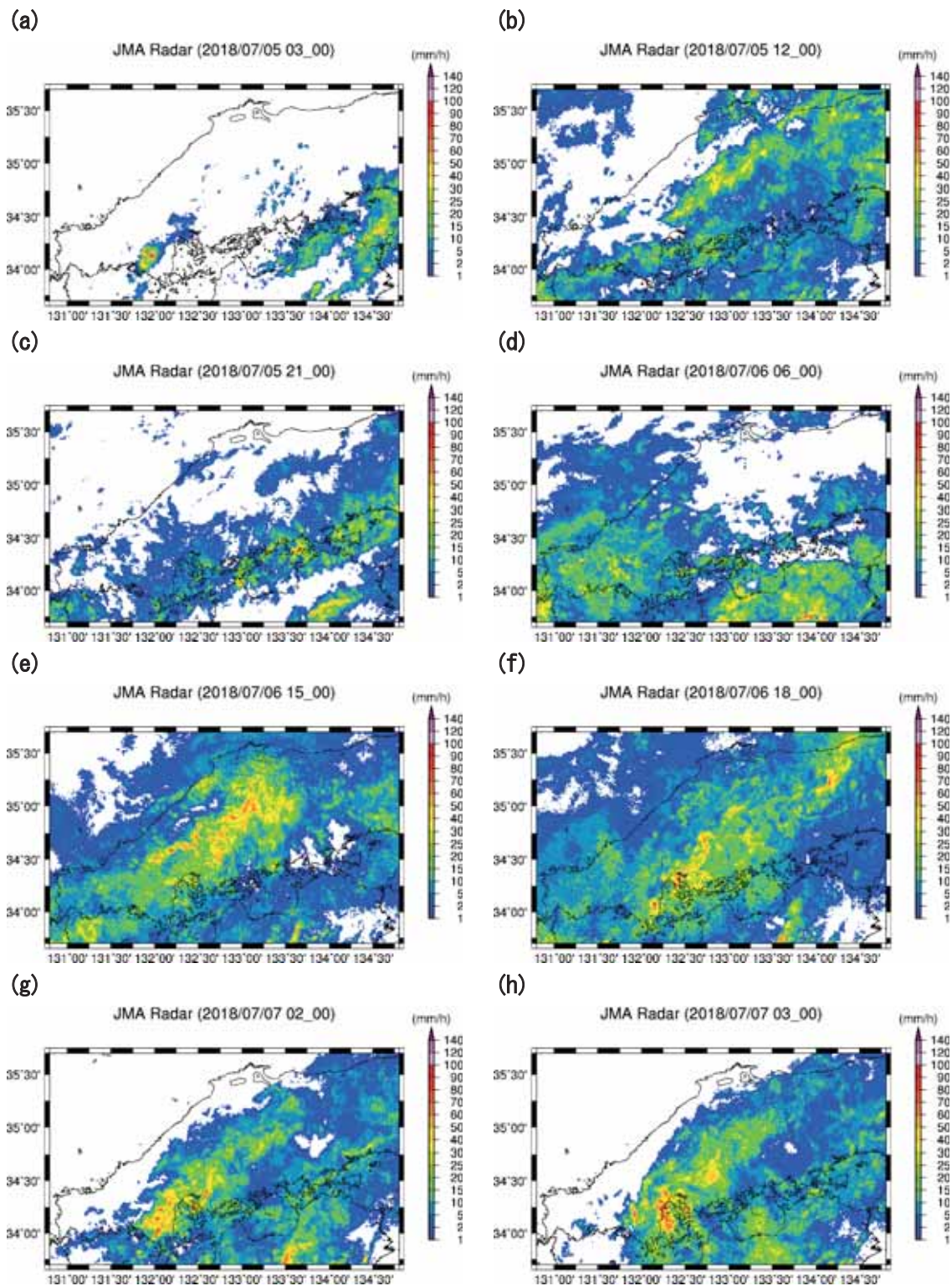


図 2.1.12 気象庁レーダー観測による中国地方の降雨状況

2018/7/6 18:00 JST

2018/7/7 3:00 JST

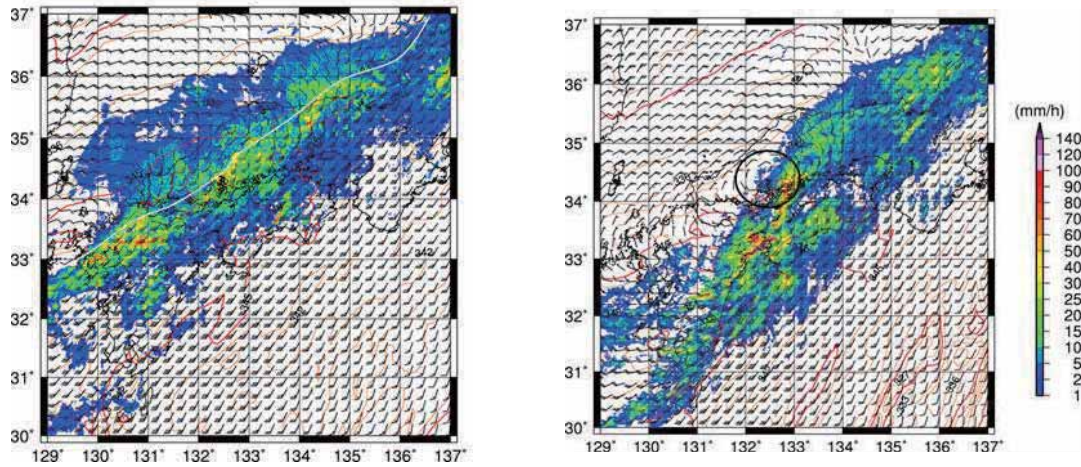


図 2. 1. 13 850hPa 水平風(長矢羽 5m/s, 旗矢羽 25m/s), 850hPa 面相当温位, 気象庁レーダ一降雨強度分布. 水平風は気象庁数値予報 GPV 初期値, 相当温位は初期値の物理量から算出.

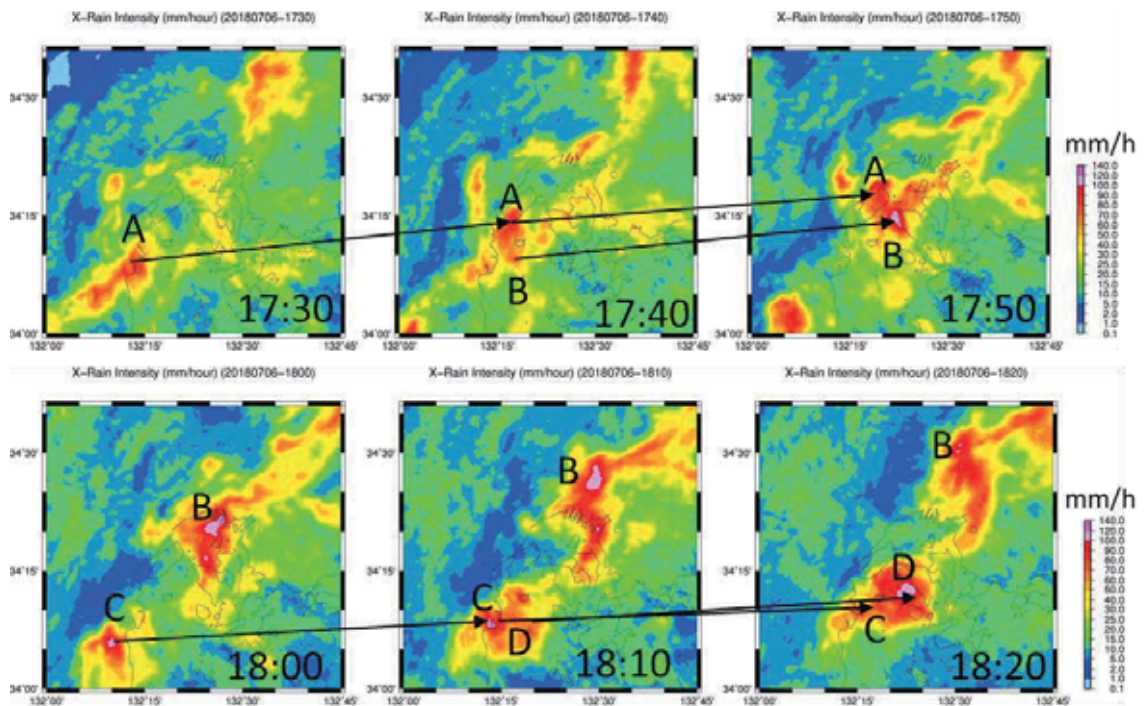


図 2. 1. 14 広島湾上空での降水セルの自己交替(国土交通省 X-BAND, C-BAND レーダ一合成雨量分布)

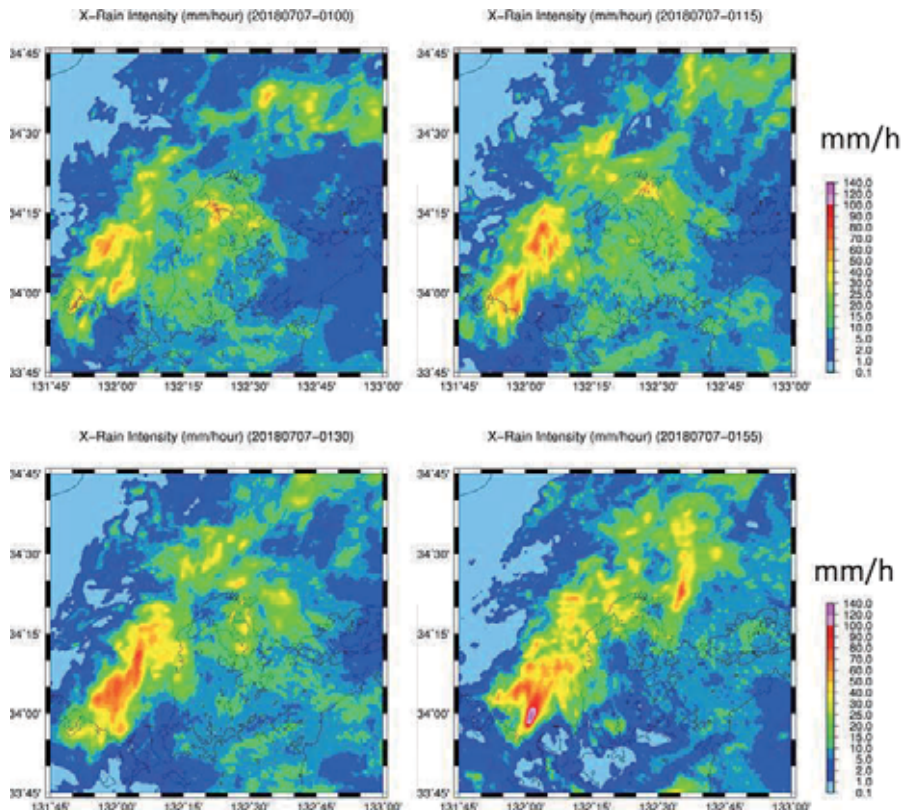


図 2.1.15 山口県南東部の谷地形に沿った降水系の発達  
(国土交通省 X-BAND, C-BAND レーダー合成雨量分布)

X-BAND レーダーサイトの一つである廿日市市野貝原で観測されたドップラー速度分布を図 2.1.16 に示す。7 月 6 日 18:00 過ぎのドップラー風速の分布をみると、レーダーサイト(図中×印)南東側の領域に降水セルの進行方向に沿う風の収束線に対応するパターン(図中破線部)が見られた。7 月 7 日午前 4 時過ぎには、MSM で解析された低気圧性の渦と同様の速度分布がレーダーサイトの南東側の広島湾上に出現している(図中○印)。

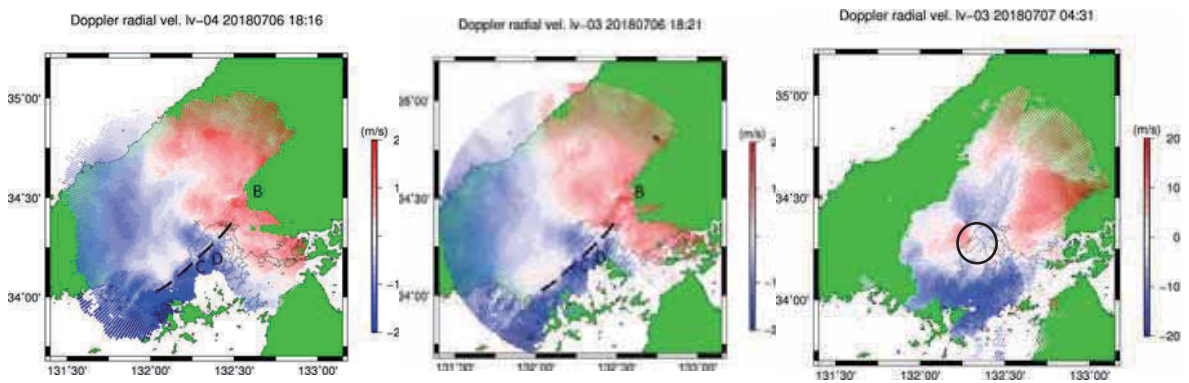
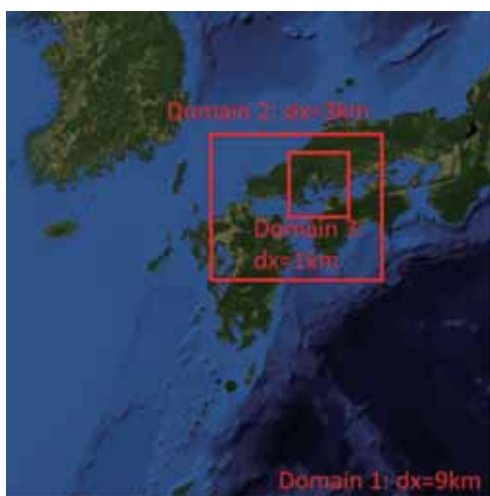


図 2.1.16 国土交通省野貝原 X-BAND レーダー観測局におけるドップラー速度分布

上述の降水システムの特徴を踏まえて、領域気象モデル WRF を用いて、広島湾上空の降水システムの発達過程の数値解析を行った。計算領域は、**図 2.1.17** の北緯 33 度東経 131 度を中心とした西日本を中心とする領域で、第領域までのネスティング計算を行った。水平解像度は、第 1 領域から順に、9km, 3km, 1km とした。初期値および第 1 領域の水平境界条件は気象庁数値予報 GPV MSM を使用した。雲物理過程を WSM-6class<sup>6)</sup>、Milbrandt and Yau<sup>7)</sup>、Thompson<sup>8)</sup> の 3 種類のスキームでそれぞれ計算した。積雲対流パラメタリゼーションは、第 1 領域のみ Kain and Fritsch スキーム<sup>9)</sup>を採用した。



**図 2.1.17 計算領域**

初期時刻を 2018/7/5 21:00, 7/6 3:00, 9:00, 15:00 と与え、7/6 18:00 前後の降水セルの挙動について計算を試みた。全般的な傾向として、解析時間が延びると全体的に降水現象の進行が早まる傾向が見られた。**図 2.1.18** は、広島県瀬野川観測局（広島市安芸区）を比較参照点として、7/6 9:00(JST)を初期時刻として計算を行ったときの降雨量の時系列の比較である。最終的な総雨量は 30mm 程度の差であったものの、大雨の進行が全体的に 3 時間程度早く進行し、一通り降雨が終息した後は殆ど降水が発生しない結果となった。



**図 2.1.18 降雨時系列の比較. 雲物理過程 WSM 6class と実測雨量との積算雨量による比較.**

そこで、7/6 15:00 を初期時刻として3時間後の7/6 18:00頃の降水システムに解析対象を絞った計算を行った。降水セルの進行方向前面で新たなセルが発達する過程が WSM 6-class のケースで出現した (図 2.1.19)。降水系周囲の環境場の対流有効位置エネルギー(CAPE)は、200J/kg 前後である。広島湾上で発達する下層風の収束線および降水系の位置については、計算時に使用する雲物理過程によっても多少の差異が見られた。WSM 6-class は北側からの乾燥冷気の流入が他のスキームよりも強く、Thompson や Milrandt and Yau スキームでは、レーダー動径風分布に見られるように南西に延びる収束線の判別は困難である。

今後、水平分解能の高精細化やレーダー動径風を用い各種同化处理等を施したり、地形に関する感度解析を実施したりなど、様々な条件下での解析を進める必要がある。

#### 2.1.4 気象状況に関するまとめ

平成 30 年 7 月豪雨において、土石流や洪水被害が多発した山口県東部から岡山県にかけての山陽地方側の降雨は、台風第 7 号が通過した後の本州上空での梅雨前線の停滞によるものである。台風通過後の前線北側の下層の高気圧性循環と南側の太平洋高気圧の縁辺流等の循環に挟まれた領域内で、水蒸気収束域が停滞し続け、広範囲にわたり長時間に及ぶ降水が発生した。また、7 月 6 日から 7 日にかけて大陸側からの上層の気圧の谷の接近に伴

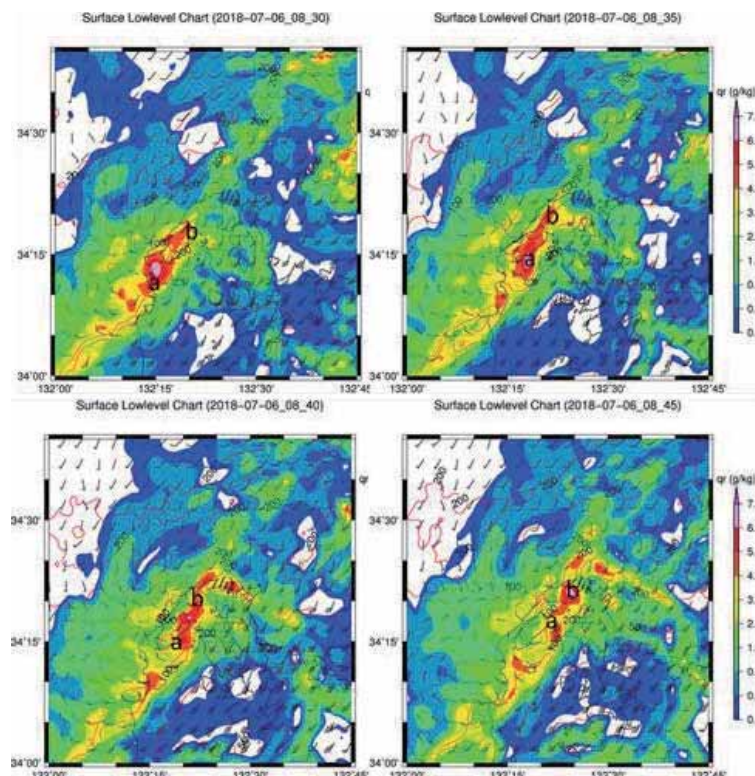


図 2.1.19 高度 1000m 風, 雨水混合比 (g/kg), CAPE (赤等値線) の分布. (雲物理:WSM-6class を使用)

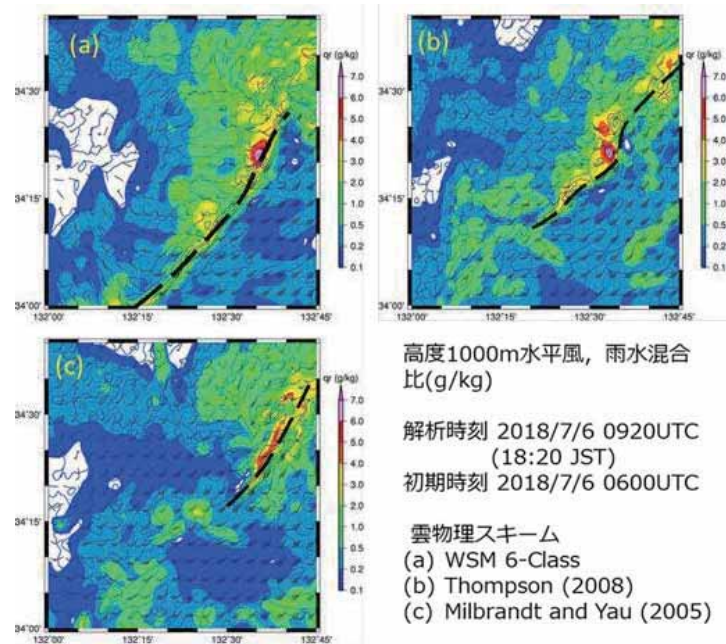


図 2.1.20 高度 1000m 風, 雨水混合比 (g/kg), CAPE (赤等値線) の分布. (雲物理:WSM-6class を使用)

い, 前線の西側から南北に徐々に傾くようになり, 湿潤空気側から乾燥空気側へと遷移する際に, 山口県東部から広島県西部にかけて南~南西の風が流れ込み, 北東方向に走る谷地形に沿って緩やかに上昇しやすい条件が整った. 山口県周南市の谷地形で発達しながら進んだ積乱雲が広島湾に達した際に, 広島湾の南側からの湿潤空気と合流し, 自己交替をしながら発達する様子がレーダー観測から見られた. 広島湾上空で新たに発達した雨雲が三篠川や瀬野川流域などに進入し, 土砂災害や浸水害に大きく関与したとされる.

気象モデル WRF を用いた降水系の詳細解析を試みたが, 全般的に降雨の進行が早まる傾向にあるが, 短時間の解析の中で広島湾上で既存の降水セルの風下側で新たな降水セルが発達する結果が得られた. 雲物理過程や地形条件などの感度解析を重ねるなど, 更なる解析が必要である.

(田中健路)

## 2.2 西日本全体を対象にした降雨流出特性の解析

### 2.2.1 はじめに

平成30年7月豪雨（西日本豪雨）は、西日本各地で堤防決壊や越水をもたらし、多くの場所で浸水被害が発生した。高梁川水系小田川や肱川水系肱川を含む計10箇所の国管理河川のほか、府県管理河川でも、岐阜県、京都府、岡山県、広島県、山口県、愛媛県、高知県、福岡県において計23箇所で浸水被害が発生した<sup>10)</sup>。今回の豪雨は、7月4日から8日にかけて停滞した梅雨前線の影響で、暖かく湿った空気が西日本に供給され続けたことに起因する。長時間の降水量が多いことが特徴であり、アメダス観測所など123地点において、72時間降水量が観測史上1位を記録した。

本節は、今次の豪雨災害について、中小河川を含めた降雨流出の特性を西日本全体で議論することを目的とする。従来の洪水流出解析は、流域単位で議論することが一般的であった。一方、今回の災害のように広域で長時間にわたって豪雨が降り続いた場合には、複数の流域を俯瞰的に捉えて分析する必要がある。観測史上最大クラスの広域、長時間にわたる豪雨に対して、どのような規模や特徴を有する河川流域において、河川災害が発生する傾向にあるかを、流域水文学の観点から明らかにしておくことが、災害事象の理解と今後の洪水対策を検討するうえで重要と考える。

このような背景のもと、本節では、西日本全体に適用した分布型流出モデルにレーダによる推定降雨分布を入力して、中小河川を含めた全ての河川で洪水流出量を推定する。また府県別に流域スケールと比流量の関係を分析し、今回の洪水流出の特性を分析する。

### 2.2.2 解析条件

近畿、中国、四国、九州地方を含む西日本全体を対象に、日本域表面流向マップ<sup>11)</sup>を活用してRRIモデル<sup>12)</sup>を適用する。同マップデータは国土地理院の数値標高情報をもとに河道や水域の位置情報を反映して日本全体で表面流向を定めたデータである。空間解像度1secでデータは整備されているが、本解析では5秒(約128m×154m)に低解像度化したうえでRRIモデルを適用した。

モデルに入力する降雨情報は、CバンドレーダとXバンドレーダを合成したCX合成雨量(以下、XRAIN)と、レーダ雨量と地上雨量を合成した気象庁の解析雨量の二種類とする。解析計算期間は2018年7月5日0時から7月9日0時までとする。RRIモデルは、パラメータの設定により鉛直浸透流や地下水流など様々な水文過程を表現できる。ただし、現状では、日本全国を対象としたモデルのパラメータ同定法が明らかでないため、本研究ではパラメータのチューニングは行わず、対象領域内で一様を仮定して設定した。パラメータは、計算流量を過小評価しないように留意して、土層厚を1mに設定し、土層中の飽和側方流と地表面流が主な流出起源となるように設定した。また河道断面は矩形を仮定して集水面積の関数で設定する方法を採用した。モデルパラメータと河道の幅・深さに関するパラメータ

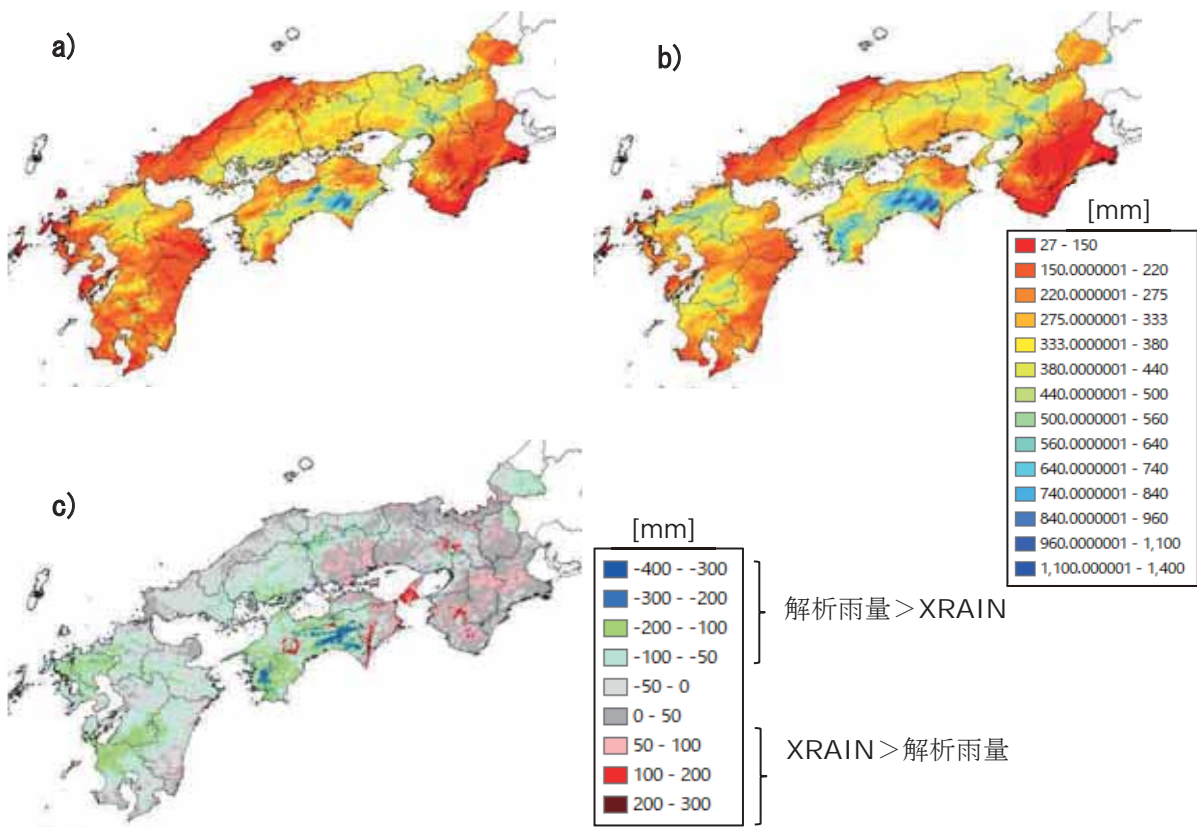


図 2.2.1 2018 年 7 月 5 日 0 時から 7 月 9 日 0 時までの積算雨量分布:  
 a) XRAIN (CX 合成)、b) 解析雨量、c) 両者の差分 (XRAIN - 解析雨量)

は、九州北部豪雨を解析した例と概ね同じ値を用いた(表 2.2.1)<sup>13)</sup>。

表 2.2.1 寺内ダムの観測流入量を対象に同定した RRI モデルのパラメータ

| モデルパラメータ        | 表記         | 単位                          | 西日本豪雨<br>(本解析) | 2017 九州北部<br>(参考) | 2015 鬼怒川<br>(参考)     |
|-----------------|------------|-----------------------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 河道粗度係数          | $n_r$      | $[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ | 0.03           | 0.03              | 0.03                 |
| 斜面粗度係数          | $n_s$      | $[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ | 0.3            | 0.1               | 0.6                  |
| 土層厚             | $D$        | $[\text{m}]$                | 1.0            | 0.6               | 1.0                  |
| 有効空隙率           | $\gamma_a$ | $[-]$                       | 0.4            | 0.4               | 0.4                  |
| 側方飽和透水係数        | $k_a$      | $[\text{m}/\text{s}]$       | 0.075          | 0.075             | 0.1                  |
| マトリクス部空隙率       | $\gamma_m$ | $[-]$                       | 0.0            | 0.2               | 0.0                  |
| マトリクス部透水係<br>数比 | $\beta$    | $[-]$                       | -              | 4.0               | -                    |
| 山体地下水透水係数       | $k_{gv}$   | $[\text{m}/\text{s}]$       | 山体地下水なし        | 山体地下水なし           | $2.0 \times 10^{-6}$ |



RRI モデルは任意の断面形状を反映することもできるが、ここでは簡易的に矩形断面を仮定し、その幅と深さをそれぞれ  $W = C_w A^{S_w}$ ,  $D = C_d A^{S_d}$  という経験式で推定した。  $A$  は各地点の集水面積 [km<sup>2</sup>] であり、  $C_w$ ,  $S_w$ ,  $C_d$ ,  $S_d$  のパラメータは、それぞれ 4.73, 0.4, 1.57, 0.3 と設定した。

### 2.2.3 解析結果

#### a) 降水量分布について

本解析で入力した降雨 (XRAIN と解析雨量) の積算降水量を **図 2.2.1** に示す。両者の分布から、特に高知県などで降水量が多くなっていることが分かる。**図 2.2.1c)** は両者の差分 (XRAIN-解析雨量) の空間分布を示しており、特に四国や九州など一部の領域で XRAIN が解析雨量に比べて過小評価傾向となっている。

**図 2.2.2** に岡山県内のダム上流域における平均雨量の推定結果を示す。図中の青点は地上雨量をもとに県が推定した結果を、赤線は XRAIN, 緑線は解析雨量による推定結果を示す。岡山県では県北西部で XRAIN が過小評価傾向を示し、それ以外の多くの領域では XRAIN が解析雨量と比較して推定された平均雨量が大きい。湯原ダム, 高瀬ダムを除けば、概ね両方で大きい方の推定結果が地上雨量による推定結果と対応している。また岡山県ダム流域のピーク時の平均雨量は概ね 25~30 mm/h 程度であることが分かる。

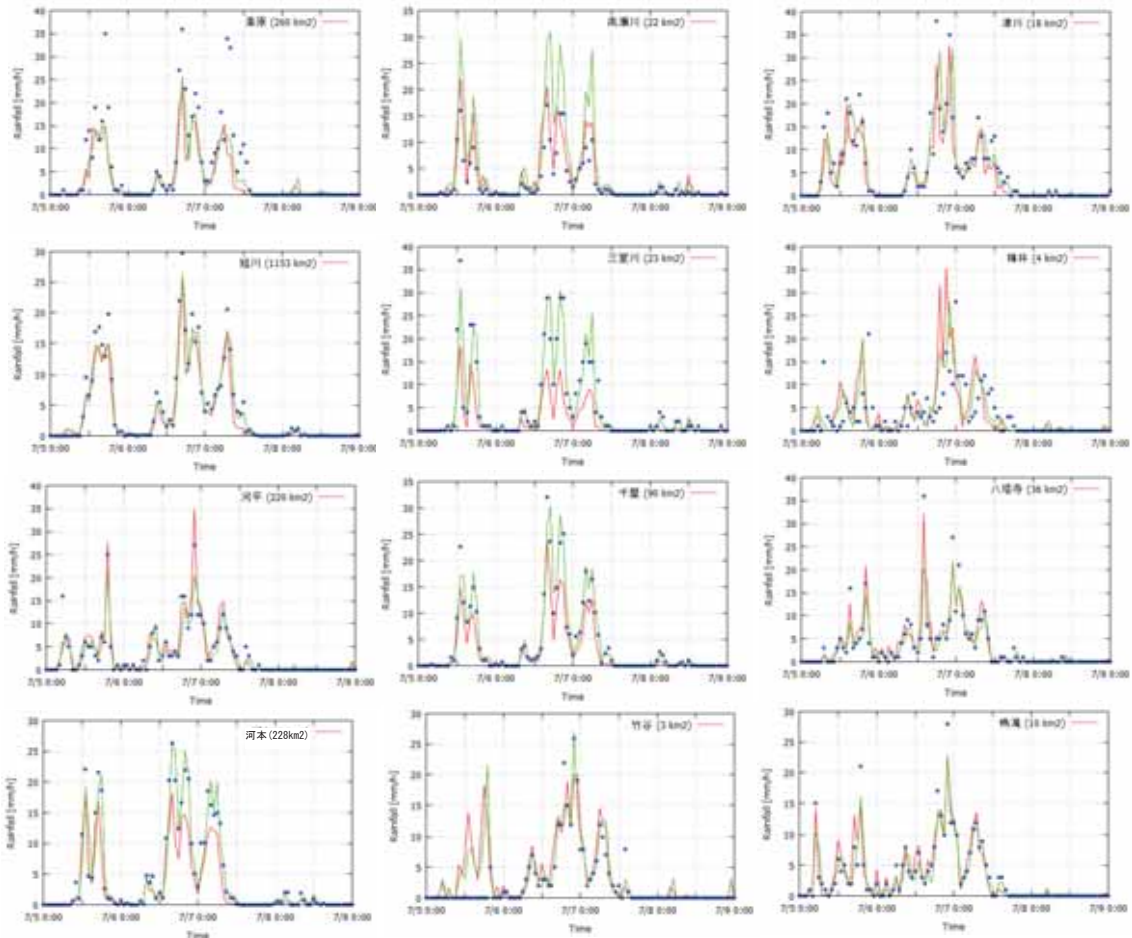


図 2.2.2 岡山県の各ダムにおける流域平均雨量の推定結果：  
 青：地上雨量（岡山県による推定），赤：XRAIN、緑：解析雨量

### b) 流出解析結果

両者の時空間分布を RRI モデルに入力し、中小河川を含めた西日本全体の河川流量を推定した。図 2.2.3 に岡山県内のダム流域を対象にした流出解析の結果を示す。ハイドログラフの赤線は図 2.2.2 と同様 XRAIN を入力した場合、緑線は解析雨量を入力した場合の流出計算結果である。同色で示した図中の数字はハイドログラフの再現性を表す Nash 指標を示す。

岡山県北西部に位置するダム流域（河本ダム、三室川ダム、千屋ダム、高瀬川ダム）では、XRAIN による推定流出量が解析雨量による推定流出量を下回り、観測流量は後者の推定結果に近くなる。それ以外のダム流域では、両者の推定結果が概ね類似している。流域面積の小さい竹谷ダム(3 km<sup>2</sup>)から最大の旭川ダム(1,153 km<sup>2</sup>)まで、流域面積による計算精度の顕著

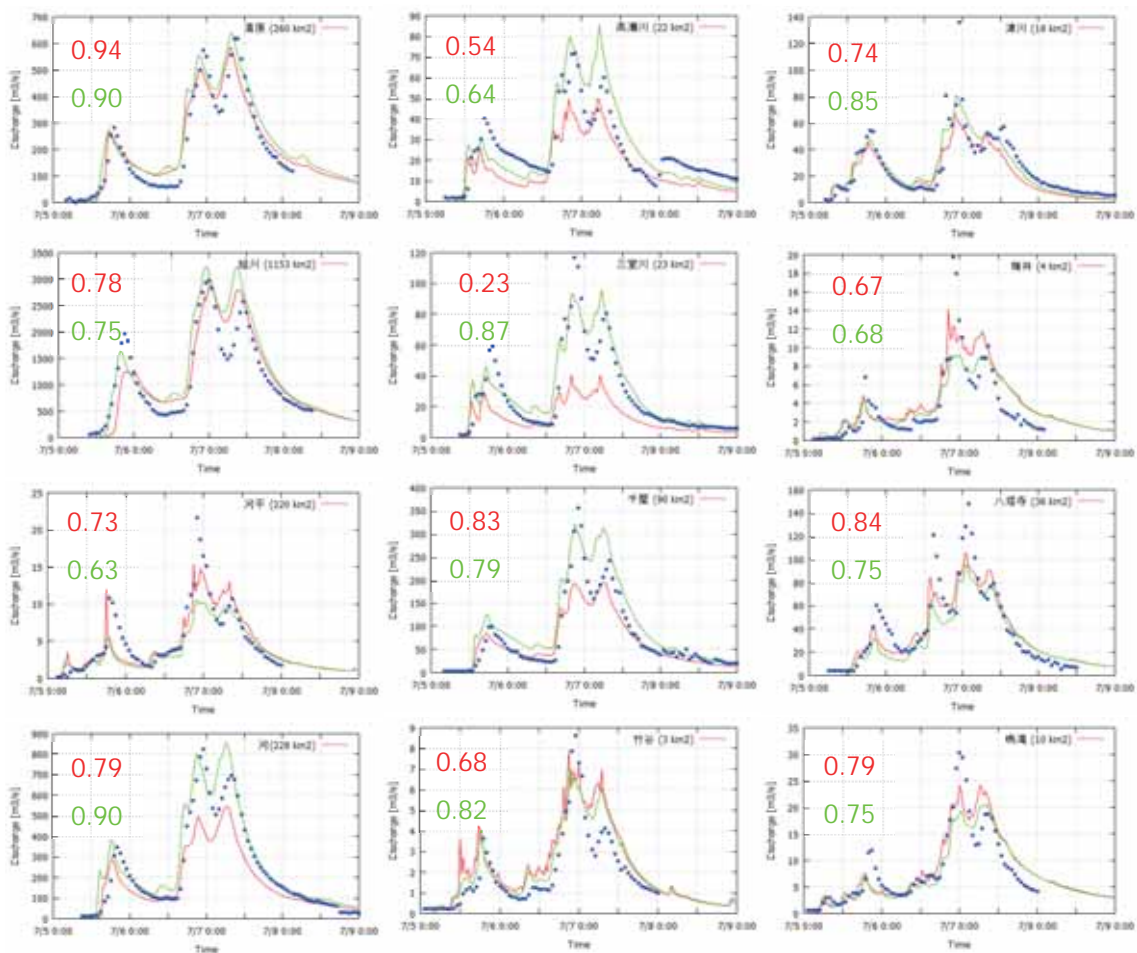


図 2.2.3 岡山県の各ダムにおける流入量：青：観測流量，赤：XRAIN を入力，  
 緑：解析雨量を入力した RRI モデルによる推定流量

な違いは無いことが分かる。また全体的なハイドログラフの傾向から、岡山県のダム流域における流入量は、7月5日の午後から夜にかけて一つ目のピークがあり、7月6日の未明から7日の午前中にかけて二つ目のピークがあることが分かる。上述の通り、土層での貯留や基岩への浸透といった流域内の貯留効果を反映しないパラメータセットで概ね良好な流出再現結果を得ることから、今回の洪水による岡山県内の流出特性は、降雨に対して比較的早く応答し、降雨量の多くが流出する状況を示唆している。ちなみに、平成27年9月の関東東北豪雨による鬼怒川上流域を対象にした RRI モデルの流出解析では、山体への地下浸透を反映することが流出量の再現に不可欠であることが分かっている<sup>14)</sup>。

図 2.2.4、図 2.2.5 は、水文水質データベースに登録されている国土交通省もしくは水資源機構が管理するダム流入量と当該地点の計算流量を比較した結果を示している。ここでは中国、四国地方の結果を示す。背景地図はピーク比流量（ピーク流量を当該集水面で除して基準化した流量）を示している（色の凡例は図 2.2.6 を参照のこと）。この結果から、中国地方内で相対的にピーク比流量の小さい島根県や鳥取県西部（志津見ダム、尾原ダム、菅沢ダム）においてモデルが過大評価傾向を示していることが分かる。上述のように、ピーク

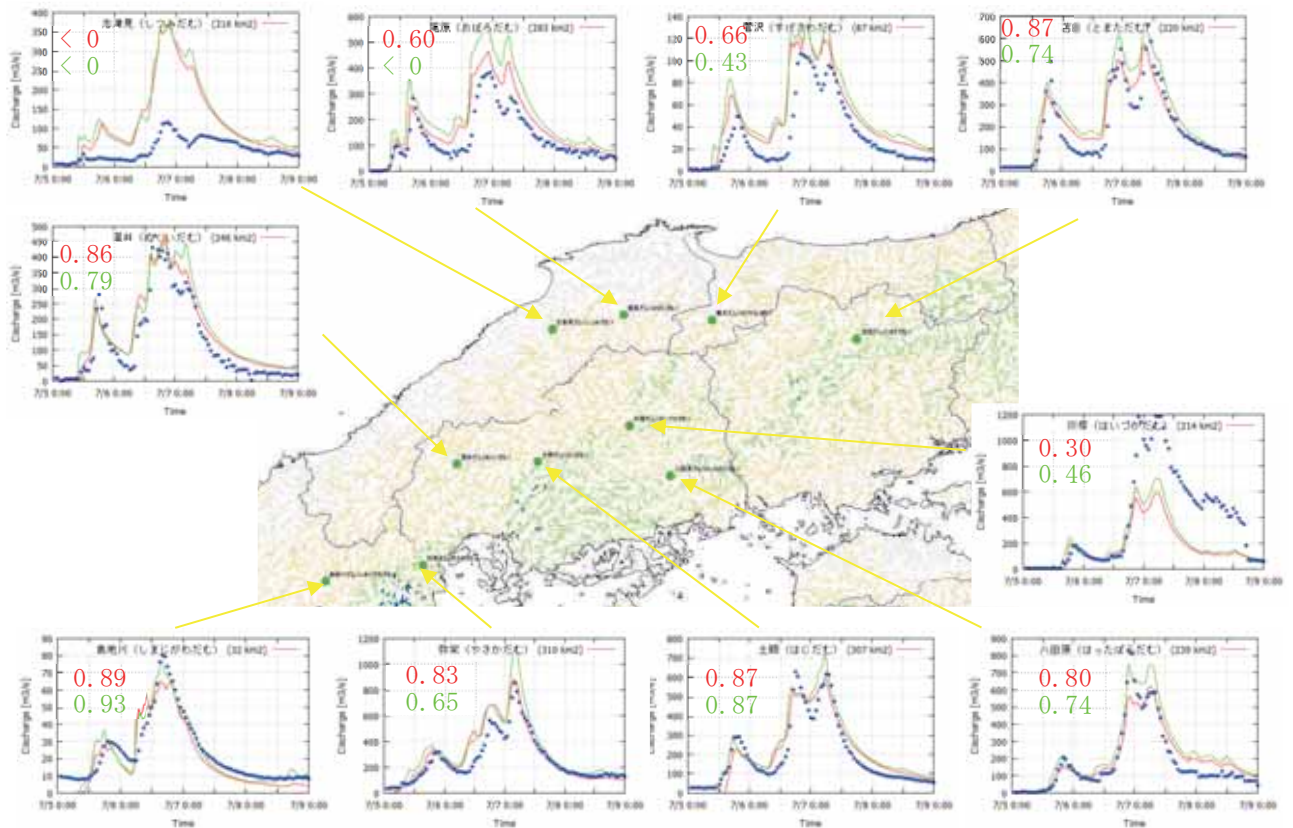


図 2.2.4 XRAIN (赤), 解析雨量(緑)を入力した場合の計算ダム流入量と観測量の比較, 背景は中国地方の推定比流量 (XRAIN を入力した場合)

流量を過小評価しないようなパラメータ設定にしているため, 特に流量の小さい領域でモデルが過大評価となる. 今回の解析では, このほか近畿地方南部でも同様の傾向が見られた. なお, 上記の解析ではダムによる流水制御の影響を反映していない. 志津見ダムの過大評価は, その上流に位置する来島ダムの洪水調節操作が影響しているものと考えられる. それ以外の場所では概ね Nash 指標が 0.8 程度と良好な再現性を得た.

本モデルを用いて計算した西日本全体のピーク比流量分布を図 2.2.7 に示す. この推定結果によれば, 今回の災害で被害の大きかった岡山県や愛媛県では必ずしも比流量が顕著に大きいことはなく, 高知県や福岡県などでその値が大きくなっている. すなわち, 西日本全体を俯瞰してみた際には, ピーク比流量の大きさと河川災害の発生傾向とは直接関係しておらず, 河川の流下能力の違いや整備水準等に強く影響される事が改めて示唆された.

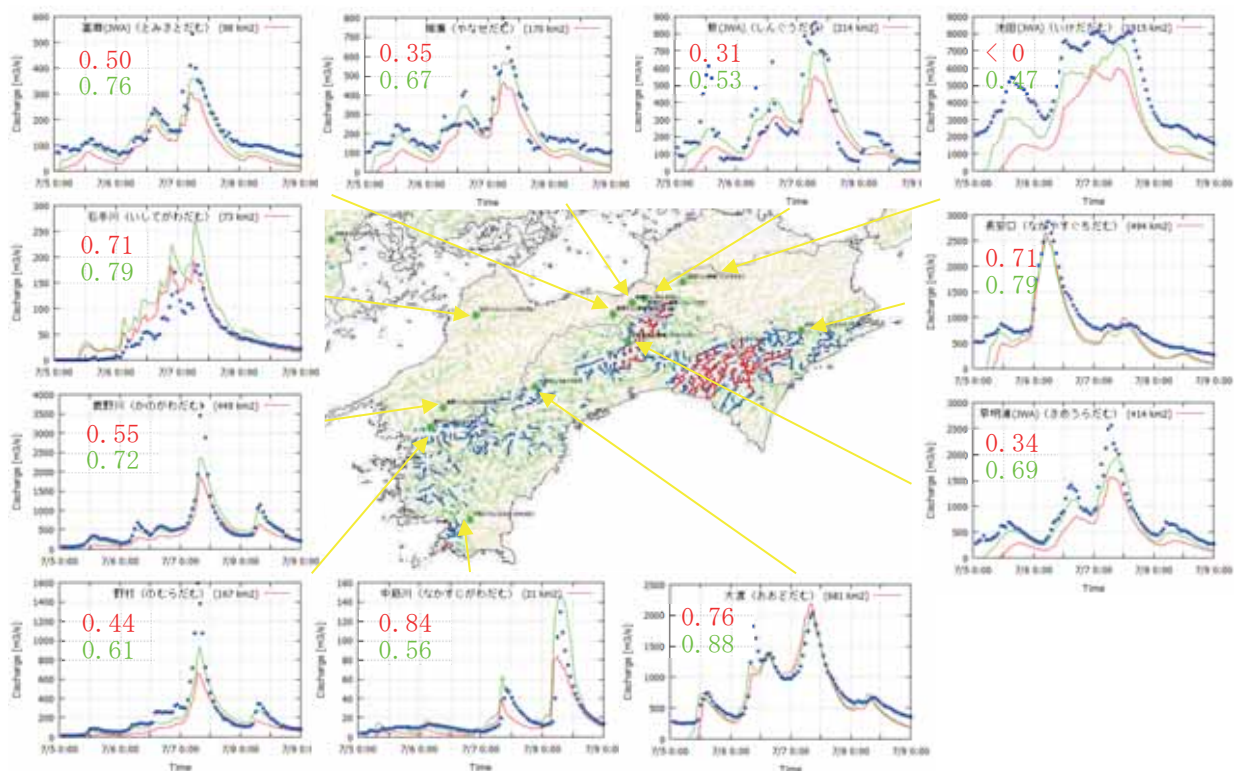


図 2.2.5 XRAIN (赤) , 解析雨量(緑)を入力した場合の計算ダム流入量と観測量の比較、背景は四国地方の推定比流量 (XRAIN を入力した場合)

c) 府県別・流域面積別の平均比流量時系列

雨の降り方と河川流量の変化を俯瞰的に把握するために、以下では集水面積に応じて小・中・大河川に河道区分を分類したうえで、府県毎に平均比流量を計算した。本研究では便宜上、小河川の流域面積を 10~100 km<sup>2</sup>、中河川を 100~500 km<sup>2</sup>、大河川を 500~1,000km<sup>2</sup> と定めた。

図 2.2.7 の結果は以下のようにまとめられる。

- 1) 近畿地方の大阪，奈良，和歌山は 7 月 6 日に比流量が最大に達するのに対し，西日本の多くの府県では 7 月 7 日の午前中にピーク比流量が集中する。
- 2) 京都は 7 月 6 日から 7 日にかけて特に小・中河川でピーク比流量が約 5 mm/h を超えるような状態が継続しており，大河川も比流量の高い状態が約二日間継続する。
- 3) 今回甚大な被害が発生した岡山，広島，愛媛は小・中・大河川ともに概ね同じようなタイミングでピーク比流量が増加しており，8~10 mm/h に達している。
- 4) 推定ピーク比流量が最も大きかったのは，福岡と高知の中河川であり，約 13 mm/h に達している。

図 2.2.8a) は倉敷市真備町に洪水被害をもたらした小田川の比流量であり，小田川(東三成地点)で約 10 mm/h, 小田川の支川である末政川で約 8mm/h となっている。この比流量は，

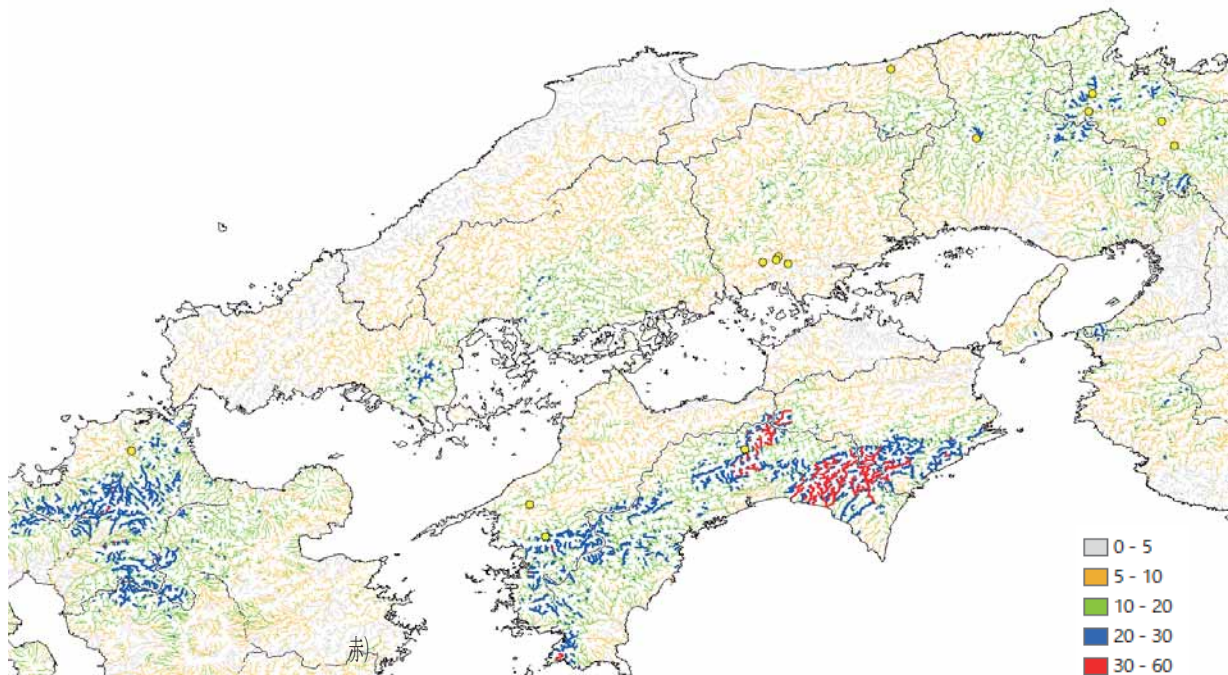


図 2.2.6 推定ピーク比流量の空間分布 (XRAIN を入力した場合)

今回の岡山県における小・中河川の比流量に比べて極端に大きな値ではなく、同県の平均に近い値といえる。7月7日午前の時点では小田川が流入する高梁川下流部でも比流量が約 10 mm/h 程度まで上昇しており、下流本川の水位が上昇して流入を抑制していたという報告などと整合的である。

図 2.2.8b) は京都府の由良川とその支川である蓼原川との比流量を示す。今回の水害では由良川本川は大規模な氾濫被害にならなかったものの、蓼原川など由良川支川からの流出で本川沿いの集落が浸水被害を受けている。蓼原川の推定比流量は、7月7日0時頃にピークを迎え、最大比流量は約 18 mm/h と推定される。図 2.2.8b) の結果は、日吉ダムにおいても比流量が約 18 mm/h 程度まで上昇し、7月5日のうちにピークに達しており、7月7日には流出の増大は見られない。

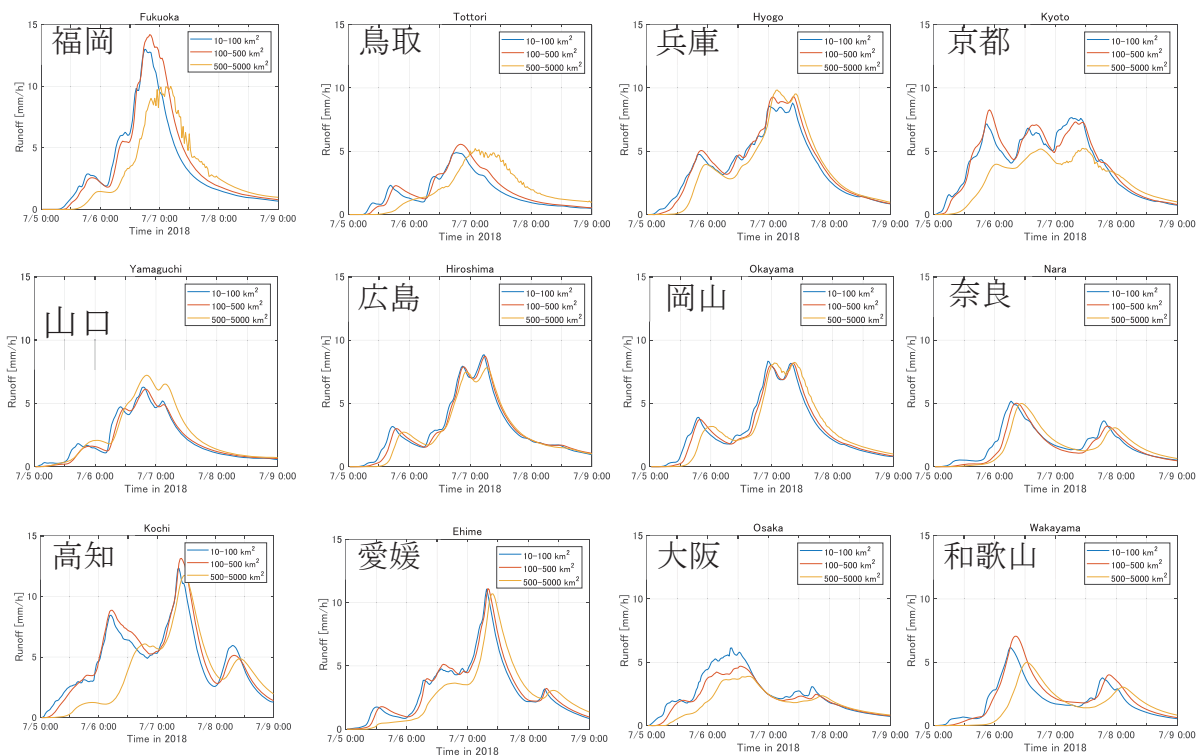


図 2.2.7 府県別・集水面積別の平均比流量時系列

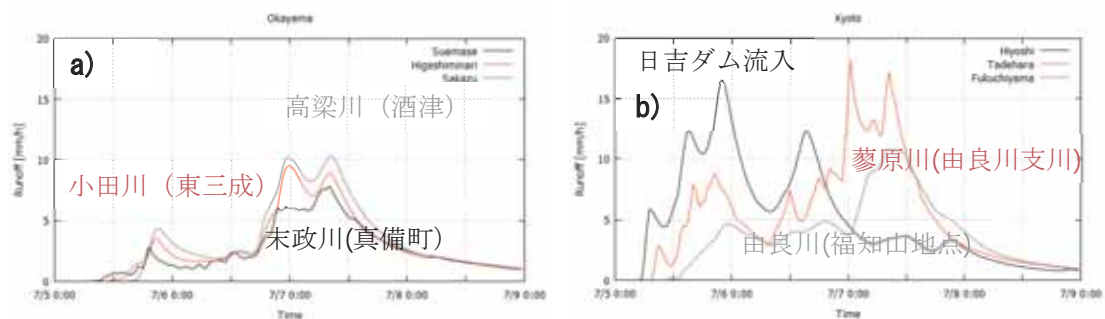


図 2.2.8 a) 高梁川・小田川の各地点における推定比流量,  
b) 桂川・由良川の各地点における推定比流量

d) クリーガ係数を用いた比流量の比較

比流量は流域面積が大きくなると相対的に小さくなる傾向がある。その影響を可能な限り排除して流域間や上下流間の流量を比較するため、クリーガ曲線 (式(1)) 15)を参考に、各河道断面の推定ピーク比流量  $q(\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2)$ とその集水面積  $A(\text{km}^2)$ から、地域係数  $C$ を逆算した。

$$q = CA^{(A^{-0.05}-1)} \quad (1)$$

図 2.2.9 に  $C$  の空間分布を示す。クリーガ曲線は、本来地域毎に  $C$  の値を定めて最大比

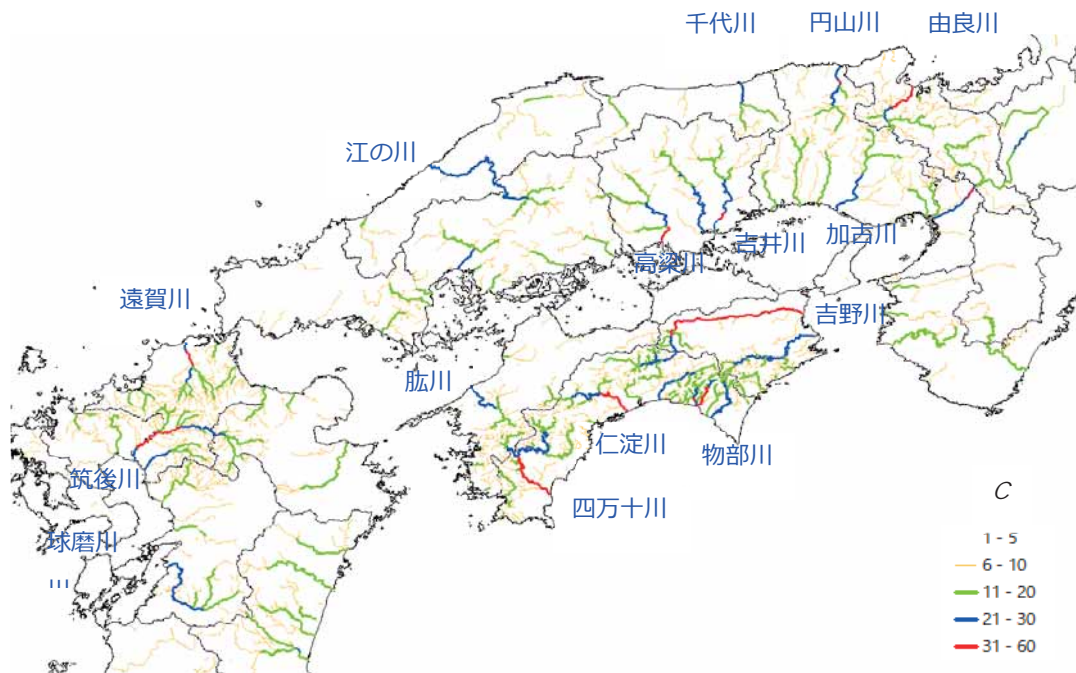


図 2.2.9 推定ピーク比流量から逆算した地域係数  $C$

流量を(1)式で推定する。一方、本解析では、最大比流量と流域面積の関係を同式から参照することとし、 $C$ の空間分布を可視化した。図中には $C$ の値が21を超えるような流域で河川名を示している。ピーク比流量を直接示した図 2.2.6 に比べると、今回の洪水で河川災害が発生した箇所により近くはなっているものの、 $C$ の値と災害の発生場所とは完全に対応していない。降雨情報から災害が発生し得る河川を推定するという当初の目標を達成するためには、河道流下能力や水文特性の地域性を的確に反映する必要がある。



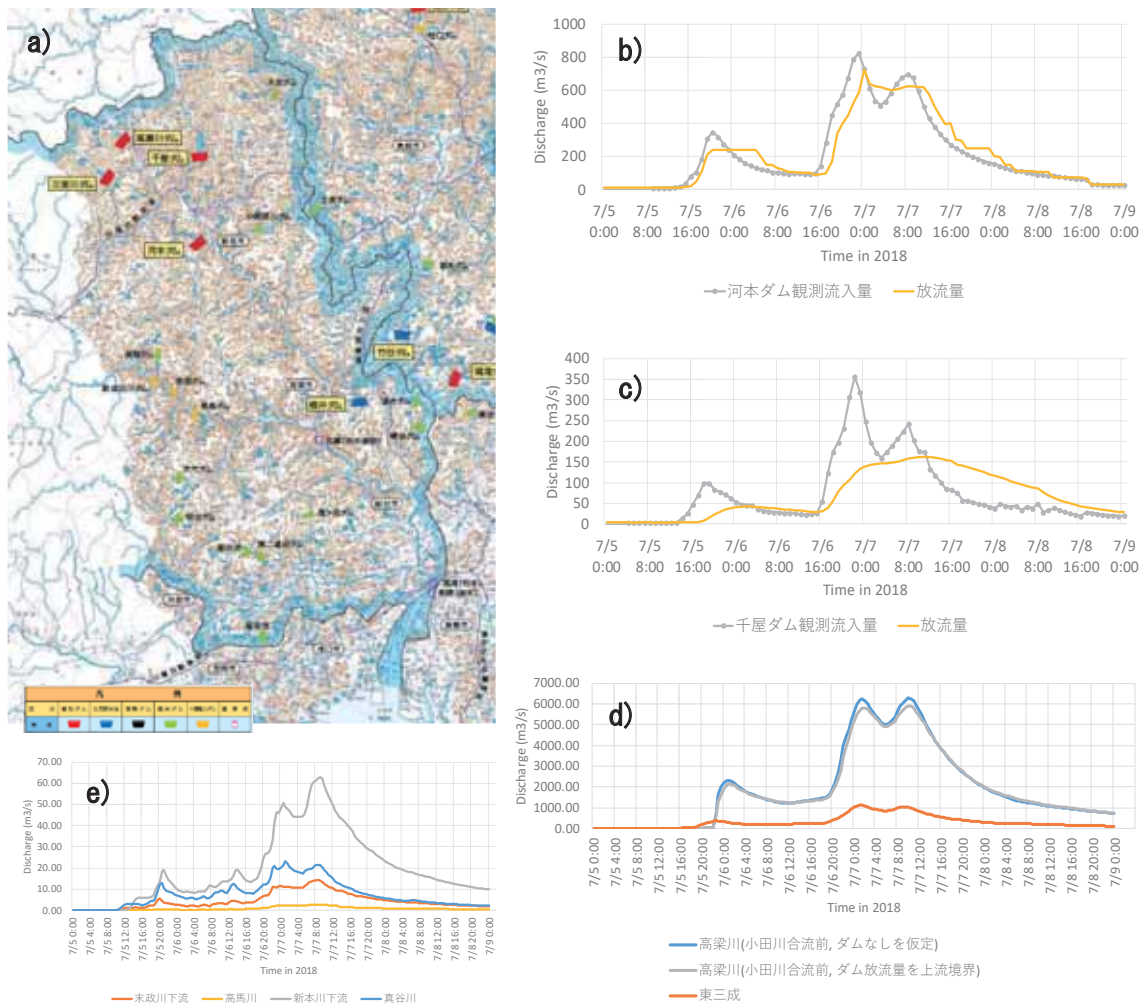


図 2.2.10 a) 高梁川水系におけるダム の位置 (岡山県土木部河川課「岡山県のダム」資料<sup>16)</sup>より抜粋), b) 河本ダム, c) 千屋ダムにおける観測流入量と放流量, d) 高梁川下流部の推定流量 (ダムありと無しのケースの比較), e) 小田川支川の各推定流量

#### e) 高梁川水系におけるダムの効果について

高梁川水系を対象に、ダムによる流水制御の影響を分析する。図 2.2.10a) は高梁川水系の上流部に位置するダムの位置を表しており、流域北西部に洪水調節機能を有する 4 基の補助ダムがある。そのうち河本ダムは他の三基のダム(千屋ダム、高瀬川ダム、三室ダム)の下流に位置している。図 2.2.10b), c) に河本ダムと千屋ダムの観測流入量と放流量の時系列を示す。上流に位置する千屋ダムは洪水の貯留効果が明確であり、下流に位置する河本ダムはピークを遅らせるような効果を発揮していることが分かる。図 2.2.10d) は、高梁川本川下流部 (小田川合流前の区間) における流量の推定結果を示している。ダムが無いことを想定した流出計算結果をダム無し、河本ダムの放流量を境界条件に置き換えて推定した流

出計算結果をダムありとして表示している。両者のピーク流量の差は約 400 m<sup>3</sup>/s であり、岡山県土木部が推定した結果<sup>17)</sup>（高梁川日羽地点における上流 4 ダムの流量低減量：525 m<sup>3</sup>/s）よりやや過小評価となっている。ただし、岡山県によって報告されている日羽地点のピーク流量は 6,888 m<sup>3</sup>/s であり、RRI モデル+解析雨量によるピーク流量の推定結果がもとも過小評価の可能性もある。これは図 2.2.2 に示したとおり、同県北部の推定降雨量が実績（地上雨量に基づいて推定した結果）に比べて小さいことにも起因している可能性があり、より厳密な分析をするためには、個別の流域を対象にしたパラメータの同定や、入力する降雨情報の精査が必要である。図 2.2.10e) は、真備町の浸水被害に関係する小田川支川の推定流量を示す。支川の流量は小田川本川の流量に比べて相対的に小さい。ただし、支川の水位の上昇が氾濫にも影響を及ぼすため、流出量や水位の時間変化は氾濫解析にとって重要な情報となる。

#### 2.2.4 おわりに

本節は西日本全体を対象にして平成 30 年 7 月豪雨の降雨流出特性を分析した。得られた結果は以下のようにまとめられる。

1) 2018 年 7 月 5 日 0 時から 9 日 0 時までの積算雨量について XRAIN と解析雨量を比較した。両者の差分には空間的なパターンがみられ、四国西部、九州の一部では解析雨量が XRAIN に比べて過大評価を示した。一方、近畿地方や岡山県南部では多くの場所で総雨量の差異が 50 mm 以内で、やや XRAIN が解析雨量に比べて過大評価傾向を示した。両降雨プロダクトの精度は X バンドレーダ導入や C バンドレーダマルチパラメータ化に伴って向上しており、中小河川の流出解析にも有効である。豪雨時の精度については、検証事例が限られるので、継続的にこうした比較や検証が必要である。

2) 近畿、中国、四国、九州地方を含む西日本全体を対象に、空間解像度 5 秒（約 150 m）分解能で RRI モデルを適用した。従来の流域単位の適用のように詳細なモデルパラメータのチューニングが出来ないため、ここでは空間一様のパラメータを設定した。降雨に対して早く応答するパラメータを設定することで、例えば岡山県のダム流域で Nash 指標が 0.7~0.9 程度の良好な再現性を得た。今回検証の対象にしたダムの中には流域面積 3 km<sup>2</sup> 程度の小さいダムから 1,100 km<sup>2</sup> を超えるダムまで含んでおり、流域面積の違いによる再現性の違いは見られなかった。ただし、XRAIN と解析雨量で再現精度が異なる流域もあり、全体的な傾向としては、二つを比較して大きめに推定している結果の方が、観測流量に近い傾向が見られた。また比流量の小さい領域では、上記のパラメータ設定の影響もあり、モデルは観測に比べて過大評価となった。

3) ピーク比流量の空間分布を可視化して、今回の河川災害の発生場所との対応を調べた。比流量は高知県東部や福岡県で相対的に高く、今回寄り深刻な洪水被害を受けた岡山県南部、広島県南部、愛媛県西部では西日本全体を俯瞰的に見た場合、必ずしもピーク比流量が大きいとは言えないことが分かった。ただし、京都府由良川支川のように、その周辺と比べ

ると相対的に比流量が大きくなる場所で災害が発生している傾向もみられた。

4) 集水面積に応じて河道区分を小・中・大河川に別けて、府県毎に比流量の時間変化を分析した。その結果、例えば京都府では、7月5日午後から7日午前にかけて流量の高い状態が続いていた。一方、岡山県や広島県では、7月7日未明から午前中にかけて流量が急増していた。同地域では小、中、大河川が概ね同じタイミングで増加しており、その平均比流量は約8 mm/hに達した。長時間にわたって広域で降り続く降雨では、大河川の水位が高くなっている状態が継続し、追加的な豪雨によって支流が増水した際に、支川の洪水氾濫の危険性が高まる。

5) 小田川(東三成地点)の推定ピーク比流量は10 mm/h程度であり、岡山県の平均と比べて、あるいは西日本全体でみて、極端に大きな値とはいえない。例えば、今回、異常洪水時防災操作をした桂川の日吉ダムではピーク時の比流量(ダム流入量)は17 mm/h程度に達していた。また参考までに平成29年7月九州北部豪雨時の比流量を推定した結果、当時被害が発生した中小河川の比流量は90 mm/hを超えている場所もあった<sup>13)</sup>。

以上、本解析は、西日本豪雨を対象に、降雨の分布情報から西日本全体を俯瞰して河川災害の発生し得る河川を特定し得るか、という視点から取り組んだ。今回、はじめて中小河川を含めた広域かつ詳細なモデリングが実現したものの、河道流下能力や水文特性の地域特性を的確に把握して、モデルに反映することが、上記目標を達成するうえで重要であることが分かった。

(佐山敬洋)

参考文献：

1) 気象庁：日々の天気図(2018年6月,7月)

<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>. (2018年10月15日確認)

2) 藤原 健蔵, 天満 富雄: 水害時の流域住民の行動 : 昭和47年7月豪雨災害, 三次盆地の例, 地理科学, vol. 35, pp.1-12, 1981.

3) 田中健路: 平成26年8月広島豪雨土砂災害をもたらした大雨の発生条件について, 消防科学と情報, vol.120, 44-49, 2015.

4) 栗原佳代子, 金森恒雄, 瀬古弘: 2003年7月18日に広島県で発生した線状降水帯 一気象庁非静力学モデルで解析した 気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果一, 天気, 第56巻, pp. 613-626, 2009

5) 田中健路, 松田直樹: 広島県西部で発達する線状降水系の地形依存性, 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, vol. 3, pp. 37-40, 2017.

6) Hong S.Y. and Lin, J-O, J.: The WRF 6-moment class, microphysics scheme (WMS6), Journal of the Korean Meteorological Society, vol. 42, No. 2, pp. 129-151., 2006.

7) Thompson, G., Field, P.R., Rasmussen, R.M., and Hall, W.D.: Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part II: implementation of a new snow

- parameterization, *Monthly Weather Review*, vol. 136, pp. 5095-5115, 2008.
- 8) Milbrandt, J.A. and Yau, M.K.: A multimoment bulk microphysics parameterization, Part I: analysis and the role of the spectral shape parameter, *Journal of Atmospheric Science*, vol. 62, pp. 3051-3064, 2005.
  - 9) Kain, J.S: The Kain–Fritsch Convective Parameterization: An Update, *J. Applied Meteorology*, vol. 43, pp. 170-181, 2004.
  - 10) 国交省：平成 30 年 7 月豪雨における被害等の概要,  
[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunka-kai/shouuinkai/daikibokouikigouu/1/pdf/daikibokouikigouu\\_01\\_s2.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunka-kai/shouuinkai/daikibokouikigouu/1/pdf/daikibokouikigouu_01_s2.pdf) (Accessed: Feb. 2018), 2018.
  - 11) 山崎 大, 富樫 冨佳, 竹島 滉, 佐山 敬洋：日本全域高解像度の表面流向データ整備, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol. 75, No. 4, I\_163-I\_168, 2018.
  - 12) Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka, Kazuhiko Fukami, Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), pp. 298-312, 2012.
  - 13) 佐山敬洋：九州北部豪雨被災域の降雨流出特性と観測情報のない中小河川流域における洪水予測の課題, 「平成 29 年 7 月九州北部豪雨災害に関する総合的研究（代表：秋山壽一郎）」報告書, 2018.
  - 14) 佐山敬洋, 田中茂信, 寶 馨：分布型流出モデルと時空間起源追跡法による鬼怒川洪水の流出解析, *水文水資源学会誌*, 第 30 卷, 第 3 号, pp. 161-172, 2017.
  - 15) 角屋 睦, 永井明博：洪水比流量曲線へのアプローチ, *京都大学防災研究所年報*, 22, B-2, pp. 195-208, 1979.
  - 16) 岡山県土木部河川課：岡山県のダム, <http://www.pref.okayama.jp/page/detail-3663.html>, (Accessed: Dec. 2018)
  - 17) 岡山県土木部：平成 30 年 7 月豪雨における土木部が管理するダムの洪水調節効果, 中国電力が管理するダムの状況, <http://www.pref.okayama.jp/page/593367.html>.

## 第3章 岡山県の河川災害

### 3.1 降水量の統計的評価<sup>1)~5)</sup>

#### 3.1.1 解析資料の収集・整理

岡山県内を対象に平成30年7月豪雨の雨量の規模を統計解析によって評価する。解析には、岡山県内の気象官署、アメダス（**図3.1.1**）で観測された30年間（1988～2017）の時間雨量および今回の豪雨資料として2018年7月3日～8日までの時間雨量を用いた。



図3.1.1 解析対象地点

#### 3.1.2 評価手順

平成30年7月豪雨の確率評価手順を**図3.1.2**に示す。確率評価では過去30年の時間雨量データから降雨強度（Intensity）—降雨継続時間（Duration）—発生頻度（Frequency）の関係を表すIDF曲線を作成し、同図に今回の豪雨から抽出した降雨強度—降雨継続時間の関係（以下、降雨強度曲線）をプロットすることで、降雨継続時間ごとに豪雨規模の確率評価を行う。IDF曲線はある確率年に従って発生する降雨強度と降雨継続時間の関係を意味し、各確率年のIDF曲線と平成30年7月豪雨の降雨強度曲線を比較することで、複数の降雨継続時間に対応する確率規模が容易に評価できる。以下、具体的な手順について説明する。

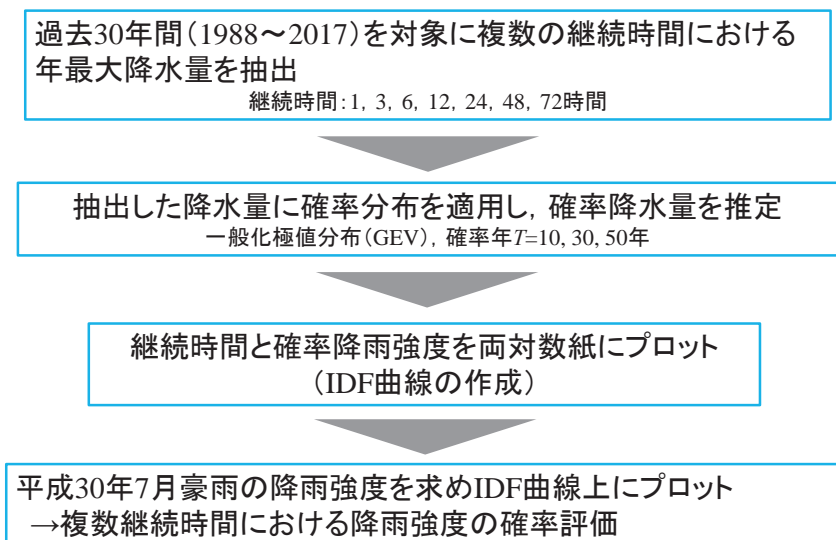
##### a) 継続時間別年最大雨量の抽出

まず、収集した過去30年間の時間雨量から複数の継続時間の雨量を求め、その年最大値

を抽出する。平成30年7月豪雨はおよそ3日程度（7月5日～7日）に集中していることから、降雨継続時間を1, 3, 6, 12, 24, 48, 72時間と設定した。

#### b) 確率分布の適用

手順 a) で抽出した各継続時間の年最大雨量に極値分布の一種である一般化極値分布を当てはめ、確率雨量を推定する。



※IDF曲線: Intensity-Duration-Frequency曲線の略で、同発生頻度の降雨強度を連ねた曲線

### 図 3.1.2 評価手順の概要

#### <一般化極値分布の概要>

一般化極値分布は、グンベル分布、フレシェ分布、ワイブル分布を包含する確率分布であり、分布関数は以下のようなになる。

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-c)}{a}\right]^{1/k}\right\} & (k \neq 0) \\ \exp\left\{-\exp\left(-\frac{x-c}{a}\right)\right\} & (k = 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 $a, c, k$ : パラメータであり、 $k = 0$ のときグンベル分布となる。確率密度関数は以下のようなになる。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{a} \left\{1 - \frac{k(x-c)}{a}\right\}^{\frac{1-k}{k}} \exp\left\{-\left[1 - \frac{k(x-c)}{a}\right]^{1/k}\right\} & (k \neq 0) \\ \frac{1}{a} \exp\left\{-\frac{x-c}{a} - \exp\left[-\frac{x-c}{a}\right]\right\} & (k = 0) \end{cases} \quad (2)$$

一般化極値分布の平均  $\mu$  および分散  $\sigma_x^2$  以下のように表される。

$$\mu = c + \frac{a}{k} \{1 - \Gamma(1+k)\} \quad (3)$$

$$\sigma_x^2 = \left(\frac{a}{k}\right)^2 \{\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)\} \quad (4)$$

ここで、 $\Gamma$  はガンマ関数であり、以下のように定義される。

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (5)$$

<一般化極値分布のパラメータ推定>

一般化極値分布のパラメータは、確率分布関数 $F(x)$ の累乗で加重して求めた確率重み付き積率 (probability weighted moment, PMW) を用いる L 積率法を用いて推定するのが一般的である (Hosking, 1990)。

まず、確率分布関数に対する PWM は次式で表される。

$$\beta_\gamma = E\{X[F(X)]^\gamma\} = \int_0^1 [xF(x)]^\gamma dF \quad (6)$$

ここに、 $\beta_\gamma$  は $\gamma$  次の PWM であり、 $F(x)$ は $x$  の非超過確率を示す。 $N$ 個の標本 $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, N$ ;  $j$ は小さい方から数えた番号) の $\gamma$ 次の PWM  $\beta_\gamma$ は以下のようなになる。

$$\hat{\beta}_\gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_j \{F(x)\}^\gamma \quad (7)$$

$x_j$ の非超過確率を示す $F(x)$ は、 $j$ と標本の大きさ $N$ とを用いてプロットイング・ポジション公式により表すことができる。一般化極値分布のパラメータ推定では以下に示す APL 式が用いられる。

$$F(x) = \frac{j-0.35}{N} \quad (8)$$

$\gamma$  次の L 積率 $\lambda_\gamma$ は、PWM を用いて以下のように表される。

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (9)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (10)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (11)$$

一般化極値分布の場合、 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ とパラメータの関係は次のようになる ( $k \neq 0$ のとき)。

$$\lambda_1 = c + \frac{a}{k} \{1 - \Gamma(1+k)\} \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{a}{k} (1 - 2^{-k}) \Gamma(1+k) \quad (13)$$

$$\frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} = \frac{1-2^{-k}}{1-3^{-k}} \quad (14)$$

これらの式から一般化極値分布のパラメータ $a, c, k$ を求めることができる。式(14)からは $k$ を陽的に表すことができないが、 $k$ については以下のような近似式が知られている。

$$k \approx 7.8590d + 2.9554d^2 \quad (15)$$

ここで、 $d$ は以下である。

$$d = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3} = \frac{2\beta_1 - \beta_0}{\beta_2 - \beta_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (16)$$

<適合度の評価>

一般化極値分布の適合度は、プロットイング・ポジション公式を用いた確率紙による方法と標準最小二乗規準 (SLSC) を用いる方法との2通りの方法で評価した。

確率紙による方法による確率分布の適合度は、当てはめた確率分布関数とプロットイン

グ・ポジション公式を用いて計算したそれぞれの非超過確率を比較することにより視覚的に評価する。プロットング・ポジション公式は、対象とした標本の大きさと標本値の大きさの順にならべて得られる順位から非超過確率を計算するものである。本報告ではプロットング・ポジション公式として次式のワイブルプロットを用いた。

$$P_j = \frac{j}{N+1} \quad (17)$$

ここに、 $j$  は昇順につけられた番号であり、 $P_j$ : $j$  番目の観測値の非超過確率、 $N$  は標本サイズである。

一方、標準最小二乗規準 (SLSC) (高棹他 1986) により適合度を定量的に評価する。SLSC は次式で表される。

$$SLSC = \frac{\sqrt{\varepsilon_{min}^2}}{|s_{1-p} - s_p|} \quad (18)$$

ここに、 $s_{1-p}$ 、 $s_p$  は非超過確率  $p$ 、 $1-p$  に対応する標準変数である。通常は  $p=0.01$  が用いられる。 $\varepsilon^2$  は、 $i$  番目の順序統計量  $x_i$  に対する標準変数  $s_i$  と、適当に定められる確率  $p_i$  に対応する標準変数  $s_i^*$  の差の二乗平均で、以下のように表される。

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (s_i - s_i^*)^2 \quad (19)$$

SLSC の値が 0 に近いほどその分布の適合度はよく、一般に 0.04 以下で、適合度がよいとされる。

#### < $T$ 年確率雨量の推定 >

当てはめた一般化極値分布から  $T$  年確率雨量を算出する。確率年  $T$  は 10, 30, 50 年とした。一般化極値分布において、ある確率年  $T$  に従う確率雨量  $x_T$  は以下の式により求めることができる。

$$\begin{aligned} x_T &= c + \frac{a}{k} \{1 - [-\ln F(x)]^k\} = c + \frac{a}{k} \left\{1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^k\right\} \quad (k \neq 0) \\ x_T &= c + a \cdot \ln\{-\ln F(x)\}^k = c - a \cdot \ln \left\{-\ln \left(1 - \frac{1}{T}\right)\right\} \quad (k = 0) \end{aligned} \quad (20)$$

#### c) 降雨継続時間—降雨強度の関係の整理

手順 b) により算出した確率雨量を降雨継続時間で除すことで降雨強度 (mm/h) に換算した後、確率年毎に継続時間と降雨強度の関係を両対数紙にプロットして IDF 曲線を作成する。また、平成 30 年 7 月豪雨から各継続時間の降雨強度の最大値を抽出し、抽出した降雨強度から作成した降雨強度曲線を、IDF 曲線と同図にプロットすることで継続時間ごとに降雨強度の確率評価を行う。

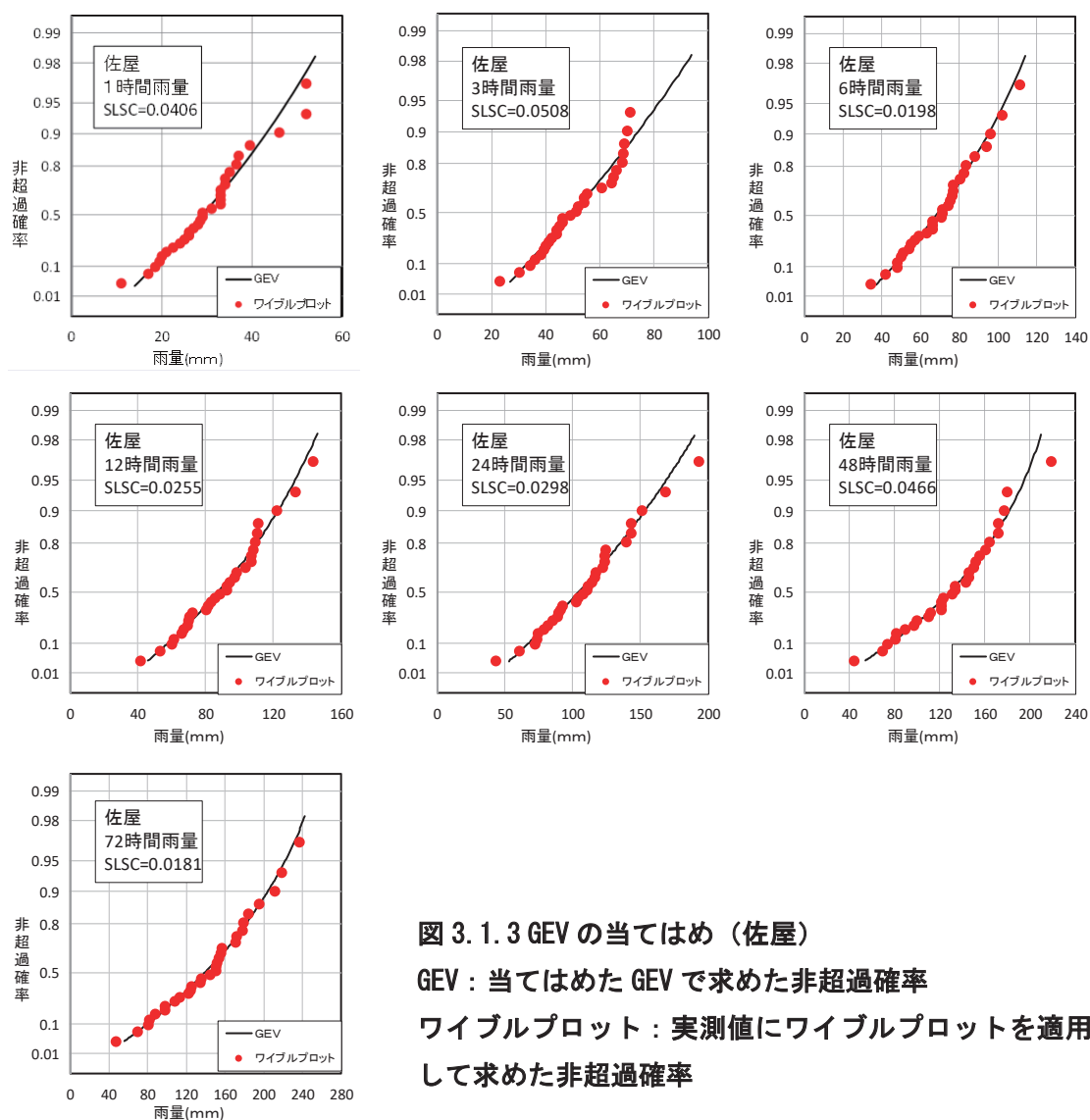
### 3.1.3 評価結果

#### a) 一般化極値分布の適合結果

各継続時間雨量の年最大値に一般化極値分布を当てはめた例として佐屋と岡山の結果を



示す（図 3.1.3, 図 3.1.4）. まず佐屋（図 3.1.3）では、継続時間 1 時間, 3 時間, 48 時間で SLSC が 0.04 を上回っている. これは、上位 1~2 位の雨量のワイブルプロットが一般化極値分布を示す曲線と乖離しているためと考えられる. その他の継続時間では、グラフ上でも両者はよく適合しており、SLSC も 0.04 以下となっている. 一方、岡山（図 3.1.4）では継続時間が 24 時間以上になると上位の降雨で一般化極値分布とワイブルプロットが乖離しているものの、全ての継続時間で SLSC が 0.04 を下回っている. それぞれの地点で各継続時間の SLSC を平均すると佐屋、岡山ともに 0.033 となった. その他の地点を含めると各継続時間の SLSC の平均は 21 地点中 17 地点で 0.04 以下となった. より適合度を重視する場合には、複数の確率分布から SLSC が最小となる確率分布を採用することも考えられるが、本報告では一般化極値分布のみでも全体として良好な適合度が得られていると判断した.



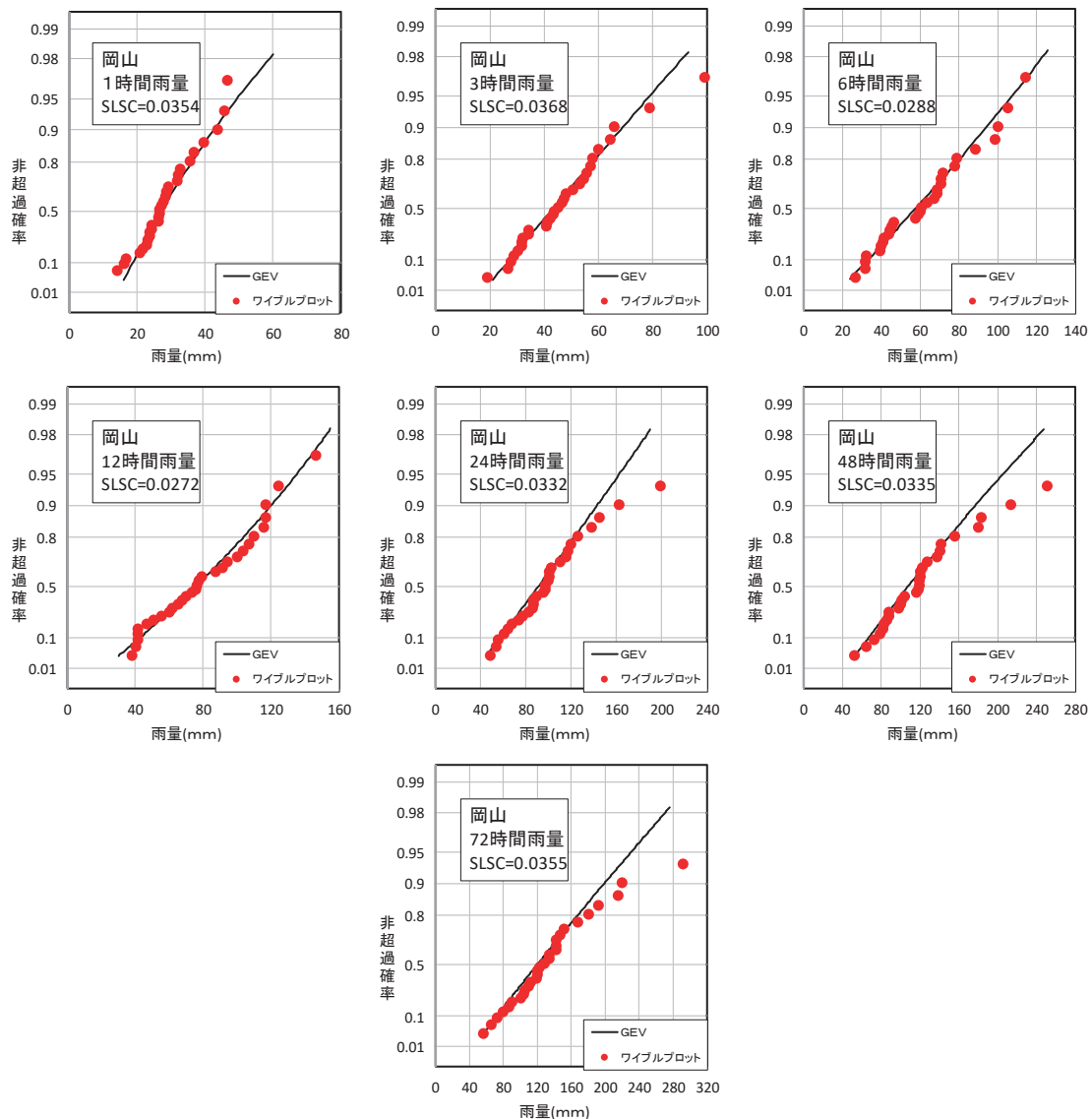


図 3.1.4 GEV の当てはめ (岡山)

GEV : 当てはめた GEV で求めた非超過確率

ワイブルプロット : 実測値にワイブルプロットを適用して求めた非超過確率

b) 平成 30 年 7 月 豪雨の確率評価結果

図 3.1.5～図 3.1.7 に IDF 曲線および今回の豪雨における降雨強度曲線を両対数紙にプロットした結果を示す。図 3.1.1 に示すように、被害の状況を鑑み岡山県を西部，北部，中南東部の 3 地域に分けて確率評価を概観した。

< 岡山県西部 (図 3.1.5) >

まず、継続時間 1 時間を見ると、今回の豪雨の降雨強度は全地点で 10 年確率の IDF 曲線を下回っている。図示していないが、今回の豪雨における 1 時間の降雨強度はおよそ 2 年

確率（平年値）の降雨強度と同程度であった。一方で、継続時間が長くなるほど今回の豪雨の降雨強度曲線が確率年の大きな IDF 曲線の降雨強度を上回っていることがわかる。たとえば今回大きな被害を受けた小田川流域の上流部に当たる佐屋や高梁川流域である高梁、千屋、新見、下砦部では、6 時間以上の継続時間では 50 年確率の IDF 曲線を大きく上回る降雨強度を示している。その他、笠岡、矢掛など県西南部でも継続時間が概ね 12 時間を超えると確率年が 50 年を超える傾向がみられる。

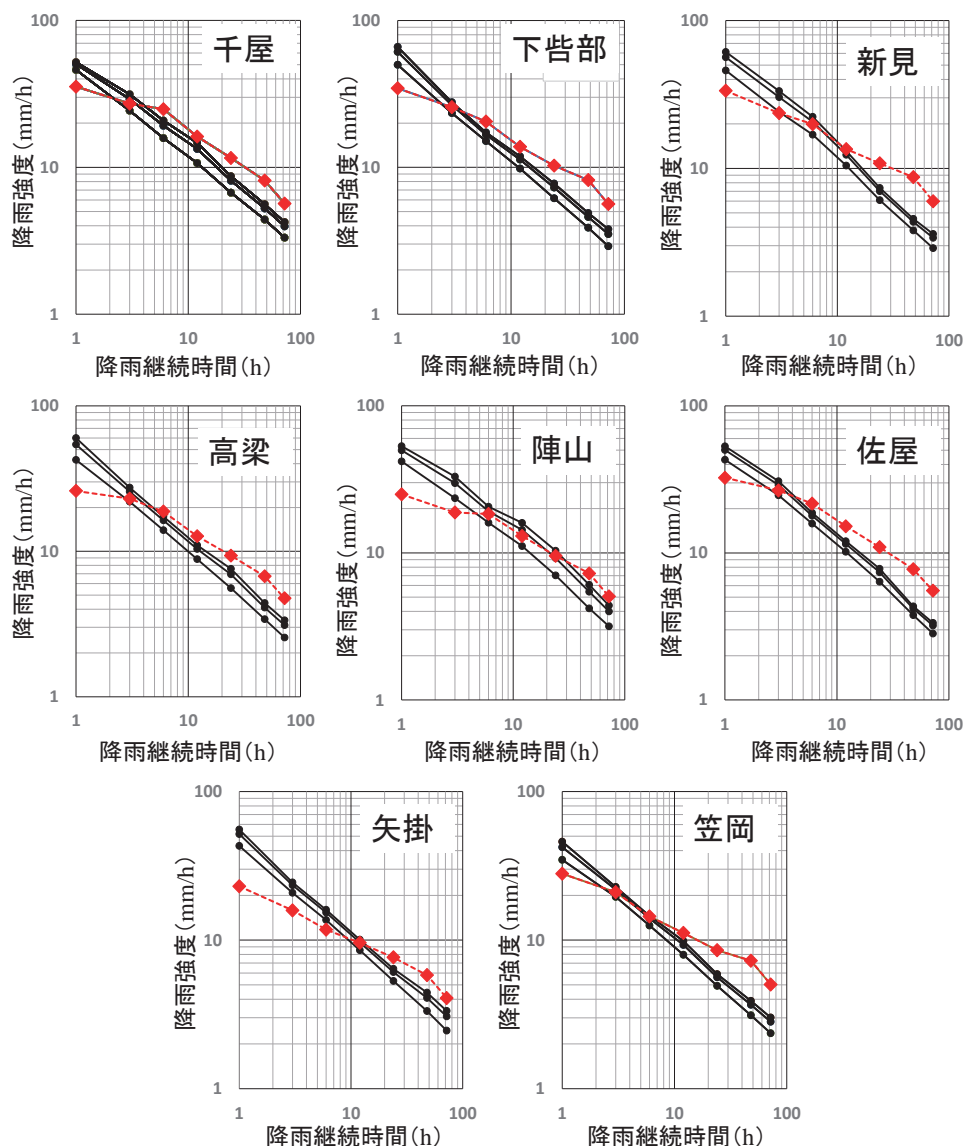


図 3.1.5 平成 30 年 7 月豪雨の雨量の確率評価（県西部）

※黒線は過去 30 年（1988～2017 年）の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に 50 年確率、30 年確率、10 年確率の降雨継続時間－降雨強度の関係を表している。

※赤線は平成 30 年 7 月豪雨のうち 7 月 5 日～8 日の 4 日間の時間雨量から抽出した降雨強度である。

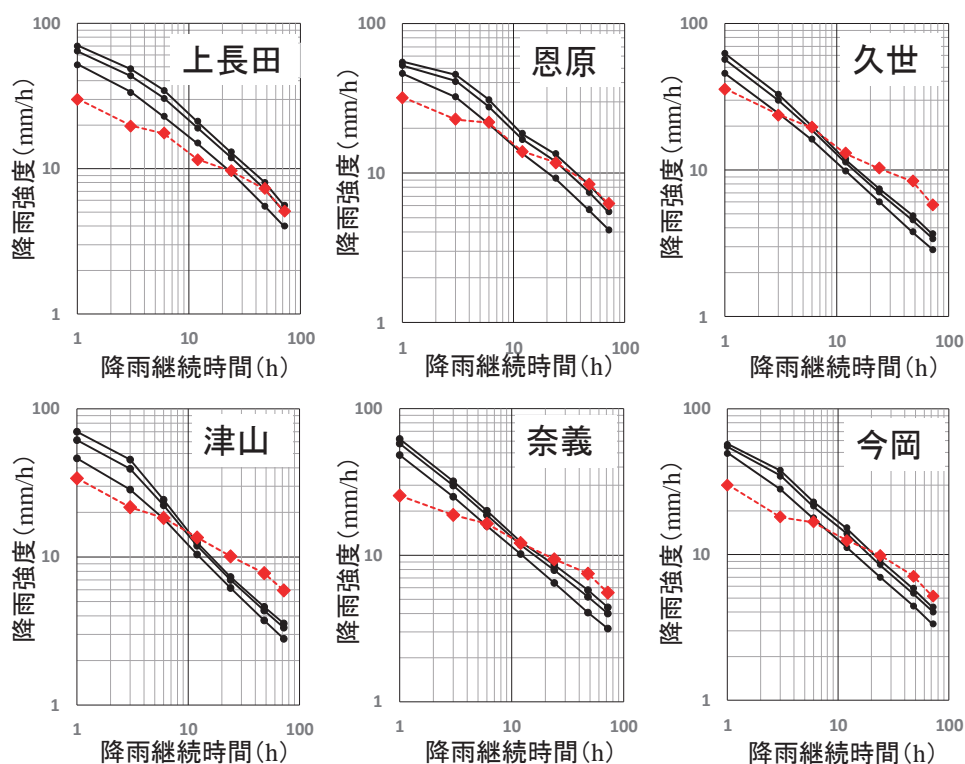


図 3.1.6 平成 30 年 7 月豪雨の雨量の確率評価（北部）

※黒線は過去 30 年（1988～2017 年）の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に 50 年確率、30 年確率、10 年確率の降雨継続時間－降雨強度の関係を表している。  
 ※赤線は平成 30 年 7 月豪雨のうち 7 月 5 日～8 日の 4 日間の時間雨量から抽出した降雨強度である。

<岡山県北部（図 3.1.6）>

西部と同様にどの地点でも継続時間が長くなるほど、確率年が大きくなる傾向にある。特に久世や津山、奈義などで 12 時間を超えると 50 年確率を大きく上回っている。またその他の地点も 24 時間を超えると概ね 50 年確率と一致、もしくは若干ではあるが上回る傾向がみられる。

<岡山県中南東部（図 3.1.7）>

岡山県南部でも西部や北部と同様に継続時間 1 時間の降雨強度は 10 年確率を大きく下回るのに対し、継続時間が長くなるほど確率年が大きくなる傾向を示している。ただし、同地域の中でも確率年の大きい岡山や倉敷、福渡などでもほぼ 50 年確率と一致しており、50 年確率を大きく上回っている西部や北部などと比較すると、あくまで他地域と比較してではあるが、中南東部の確率年は比較的小さいといえる。

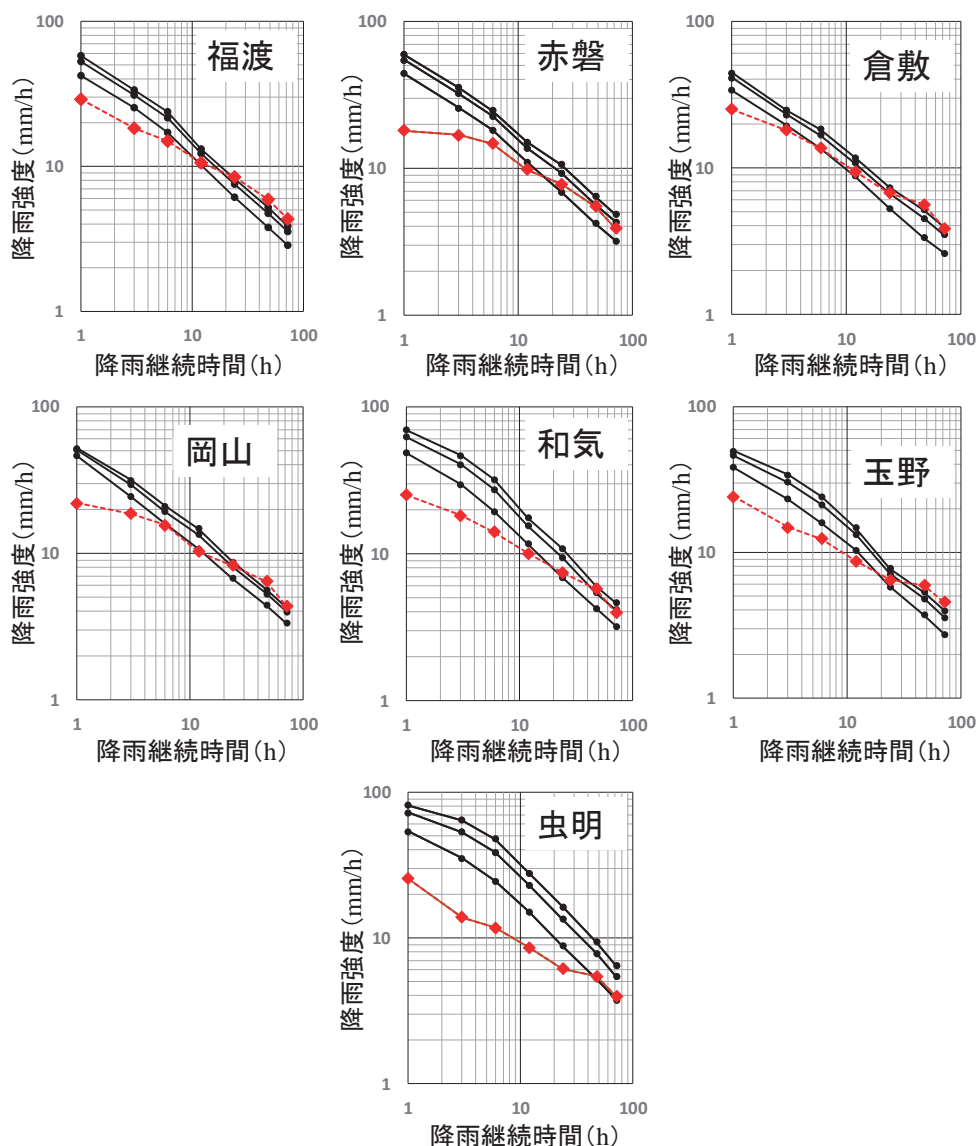


図 3.1.7 平成 30 年 7 月豪雨の雨量の確率評価（中南東部）

※黒線は過去 30 年（1988～2017 年）の資料から推定した継続時間別の確率降雨強度で、上から順に 50 年確率，30 年確率，10 年確率の降雨継続時間－降雨強度の関係を表している。  
 ※赤線は平成 30 年 7 月豪雨のうち 7 月 5 日～8 日の 4 日間の時間雨量から抽出した降雨強度である。

以上より，今回の豪雨では継続時間が 1 時間や 3 時間などの短時間の雨量は概ね平年並みであったものの，12～24 時間を超える継続時間の雨量は，少なくとも近年では発生していない規模であったと評価できる。

最後に，今回の豪雨の確率年の空間分布を吟味した（図 3.1.8）．同図には参考のために流域界を示している．まず，IDF 曲線による評価でも示したように降雨継続時間が 1 時間，3 時間の雨量では 10 年以下の確率年を示す地点が多い．ただし，西部では 3 時間降雨強度

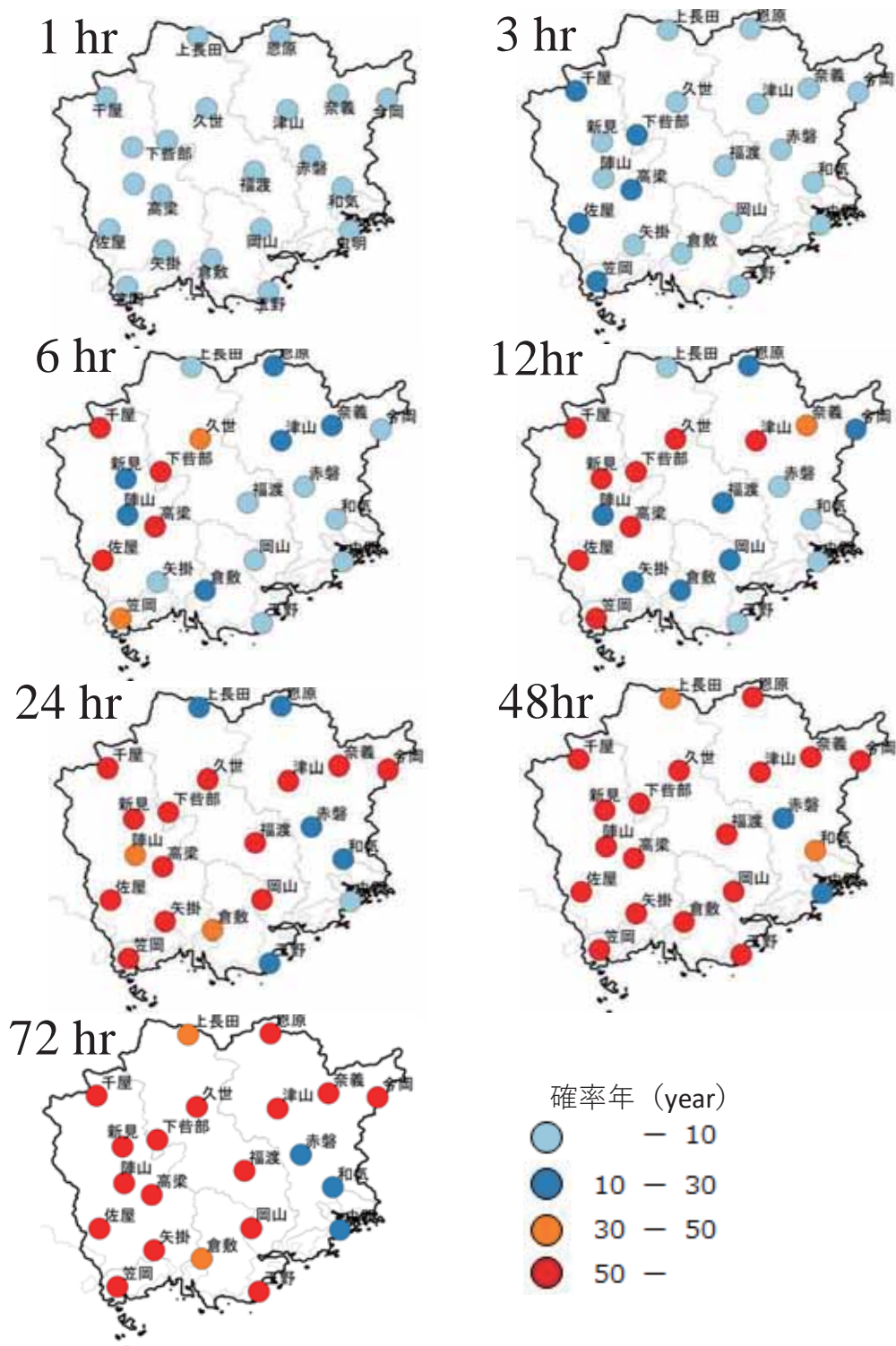


図 3.1.8 岡山県における観測雨量の確率年（平成 30 年 7 月豪雨時）  
 図中の太線は県界，細い点線は流域界で左から高梁川，旭川，吉井川を  
 表しており，南部の流域が笹ヶ瀬川を表している。

で 10 年確率を上回る地点もある。6 時間、12 時間になると西部の多くの地点で 50 年確率を超える降雨強度となり、24 時間を超えると西部以外の北部、中南東部でも確率年 50 年を上回る地点が多くなる。72 時間になると大部分の地点で 50 年確率を超えている。

流域別に見ると、高梁川流域では上流から下流にかけて、概ね 12 時間以上の継続時間の雨量は、確率年が 50 年を超えている。同様に旭川流域もほぼ全地点で 50 年確率を上回っており、被害の大きかった 2 流域では流域全体で長時間雨量の規模が大きかったと考えられる。また、岡山や倉敷など岡山南部の一部でも 24 時間以上の雨量の確率年が 50 年を超えており、このことが笹ヶ瀬川や砂川など南部の比較的流域面積の小さい河川で内水氾濫や外水氾濫による被害が生じた要因と考えられる。一方、吉井川流域では上流に比べ、下流では確率年が相対的に小さい。吉井川流域でも被害はあったと考えられるが、降雨分布としては他 2 つの一級河川と異なっている。

#### 3.1.4 確率評価のまとめ

確率評価で得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- 1) 今回の豪雨において、1 時間降雨強度の確率年は 10 年を下回っており、概ね平年並である 2 年確率程度であった。
- 2) 降雨継続時間が長くなると、今回の豪雨の降雨強度は確率年の大きい IDF 曲線を上回るようになり、継続時間が長いほど確率年が大きくなる傾向がみられた。
- 3) 確率年の空間分布を吟味すると、県西部では 6～12 時間の平均降雨強度の確率年が 50 年を超える地点が多くなる。一方、継続時間 24 時間以上の平均降雨強度の確率年は、県内の広い範囲で 50 年以上を示すようになる。
- 4) 被害の大きかった高梁川や旭川では上流域から下流域にかけて 50 年確率を超える規模の降雨が発生しており、規模の大きい降雨が流域全体で発生していたと考えられる。一方、吉井川流域では上流域に比べ下流域で確率年が相対的に小さい傾向が認められ、降雨分布は他の一級河川とは異なっていた。
- 5) 岡山や倉敷など岡山南部の一部でも 24 時間以上の雨量の平均降雨強度の確率年が大きくなっており、このことが笹ヶ瀬川や砂川など南部の比較的流域面積の小さい河川で内水氾濫や外水氾濫による被害が発生した要因になったと考えられる。

本報告では、気象庁の観測値を元に解析を行った。2 級河川である笹ヶ瀬川や砂川などについては十分な観測資料を入手しておらず、流域内の降雨分布について詳細な解析はできていない。今後、県、市町村などで長期間観測している雨量データが入手できれば、笹ヶ瀬川や砂川でも流域内の雨量分布について詳細な吟味が可能となる。

(近森秀高, 工藤亮治)

### 3.2 河川災害の概要

#### 3.2.1 河川災害の概要

岡山県の主要水系は高梁川水系、旭川水系および吉井川水系である（図3.2.1）。本豪雨での各河川（国交省管轄区間）の主要地点における雨量と水位の時間変化を図3.2.2<sup>6)</sup>に示す。図において、日羽と酒津は高梁川、矢掛は小田川、下牧は旭川、原尾島は百間川、津瀬は吉井川、尺所は金剛川における河川の水位観測所を示し、水位の単位はT.P. mである。



図 3.2.1 岡山県の3水系における水位観測所とダムの配置

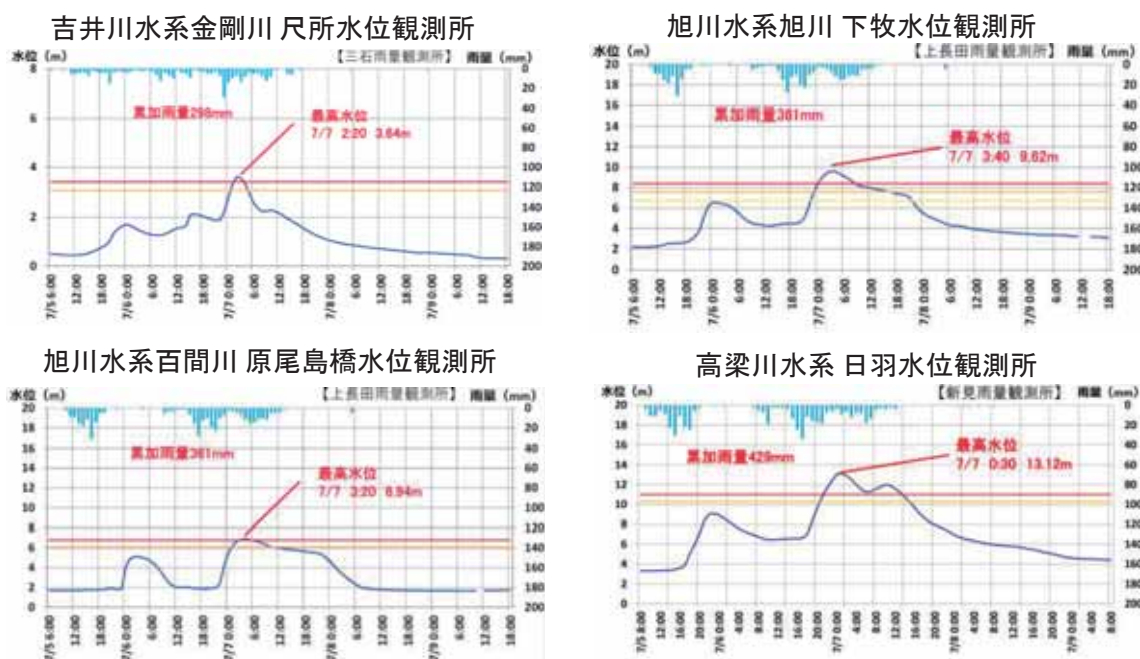


図 3.2.2 岡山県3水系における主要地点での雨量・水位の時系列変化<sup>6)</sup>



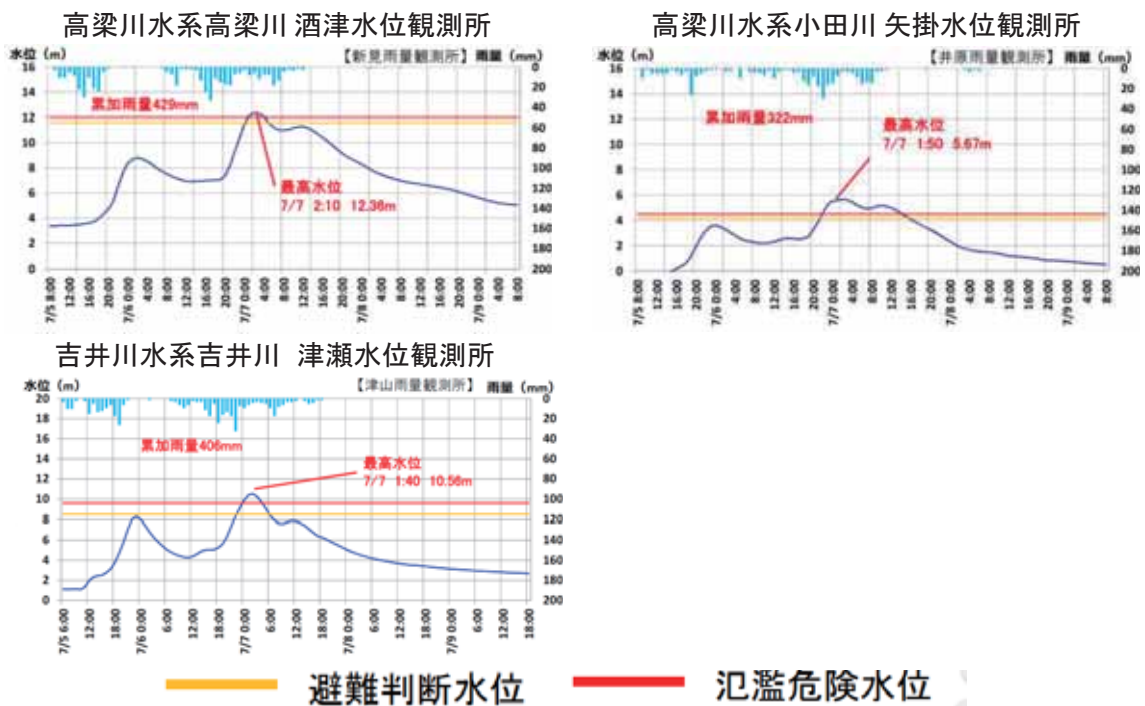


図 3.2.2 岡山県 3 水系における主要地点での雨量・水位の時系列変化 (続き)

各地点では雨量と水位には概ね相関があり、県北を流域にもたない尺所（金剛川）を除き、明瞭な水位のピークが 2 回見られる。また、金剛川では雨量と水位の上昇に時間差はあまりないが、他の箇所では水位上昇は降雨の 6 時間程度後に見られる。このことは尺所を除く地点では上流域での豪雨が洪水として流下し、水位上昇をもたらした可能性が大きいと考えられる。また、本豪雨では降雨継続時間が長かったため、どの地点においても 7 月 6 日の午後から深夜にかけての降雨によって氾濫危険水位を超える洪水が発生している。

図 3.2.3<sup>6)</sup>には各観測所における年間最高水位の経年変化を示す。金剛川を除いて、本豪雨では各観測所で既往最大の水位を記録したことが分かる。なお、吉井川、旭川、百間川では平成 10 年の洪水が、高梁川では平成 23 年の洪水が、また小田川では昭和 47 年と 51 年の洪水が、今次豪雨による洪水に次ぐ高水位として記録されている。

本豪雨では高梁川水系において、特に大きな河川被害および浸水被害が生じた。国直轄の主要河川の被害状況を整理すると下記の通りである (図 3.2.4)。

- ・ 吉井川水系吉井川：堤防からの漏水が発生した。
- ・ 高梁川水系高梁川：低水路護岸の損壊と漏水が発生した。
- ・ 高梁川水系小田川：堤防が決壊し、倉敷市真備町で大規模な浸水被害が発生した。
- ・ 旭川水系旭川：低水路護岸が損壊した。

同様に、県管理区間の河川の被害状況を整理すると下記の通りである (図 3.2.4)。

- ・ 高梁川水系高梁川：越水が発生した (日羽, 美袋, 備中広瀬地区)。
- ・ 高梁川水系成羽川：越水が発生した (落合阿部地区)。

- ・高梁川水系小田川：堤防が決壊し，浸水被害が発生した（矢掛地区）．
- ・高梁川水系真谷川：堤防が決壊し，浸水被害が発生した（真備地区）．
- ・高梁川水系高馬川：堤防が決壊し，浸水が発生した（真備地区）．
- ・高梁川水系末政川：堤防が決壊し，浸水が発生した（真備地区）．
- ・高梁川水系尾坂川：堤防が決壊し，浸水被害が発生した（甲弩地区）．
- ・旭川水系旭川：堤防が決壊し，浸水が発生した（国ヶ原地区）．
- ・旭川水系砂川：堤防が決壊し，浸水が発生した（平島地区）．

以下，**3.3**～**3.5**では主要水系毎に具体的な被害状況を記す．

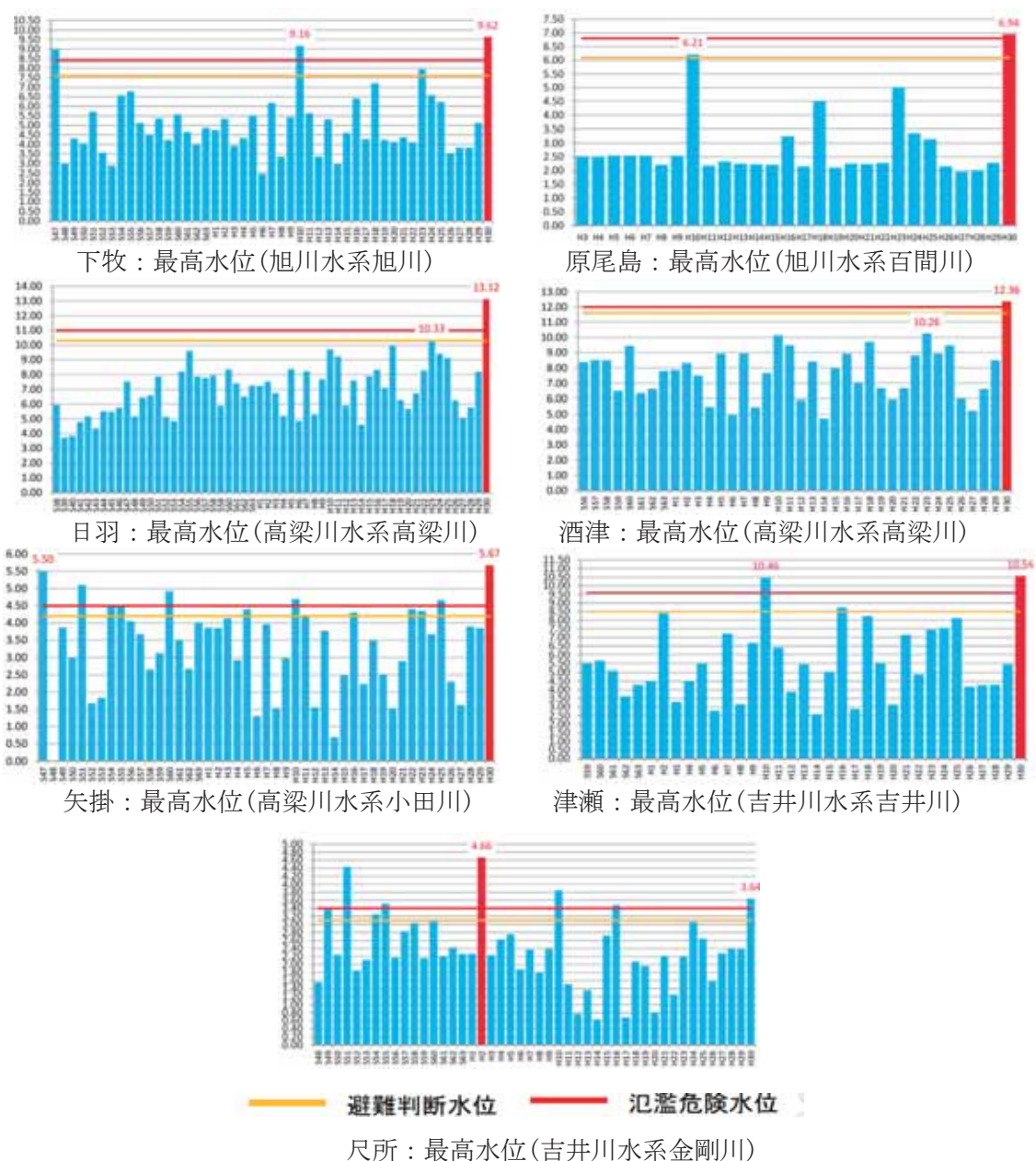


図 3.2.3 各観測所における年間最高水位の経年変化<sup>6)</sup>

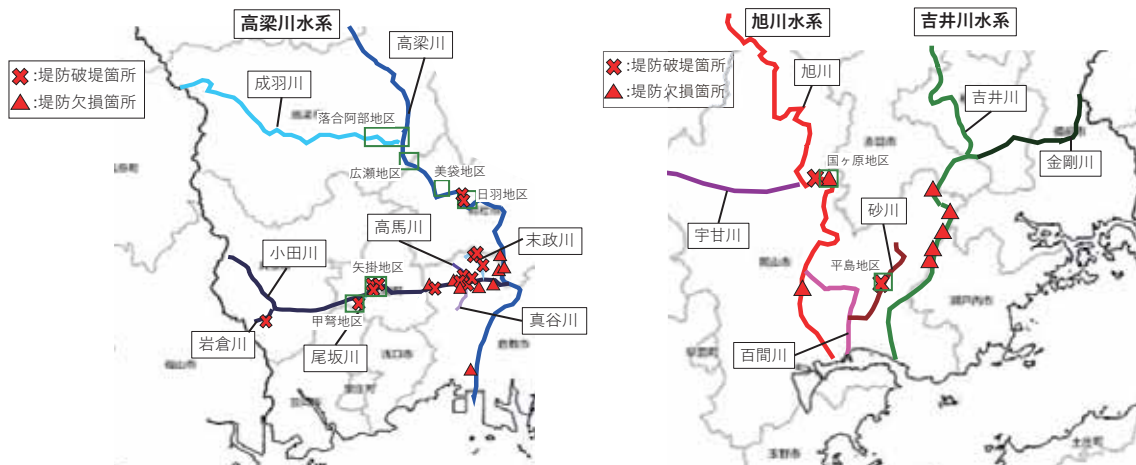


図 3.2.4 岡山県内の河川被害の概要（県管理河川の欠損箇所を除く.）

（前野詩朗，吉田圭介，赤穂良輔）

### 3.3 吉井川水系

#### 3.3.1 ダム操作と国直轄区間における河川被害概要

図 3.3.1<sup>7)</sup>と図 3.3.2<sup>7)</sup>には今次豪雨における津川ダム（下津川）と八塔寺川ダム（八塔寺川）での流域雨量，貯水位，ダムへの流入量，ダムからの全放流量の時間変化を示す。津川ダムでは7月5日の午後と，6日の午後から深夜にかけての降雨-流量に対して，また，県南の八塔寺川ダムでは6日の午後と深夜において適切にピークカットが行われた。さらに，図 3.3.3<sup>6)</sup>には国管理の苦田ダムでの同様の図を示す。苦田ダムでは7日の正午前頃に最大 500m<sup>3</sup>/s 程度，ピークカットが行われた。図 3.3.4<sup>6)</sup>には吉井川（国直轄区間）における河川の被害状況を示す。直轄区間では河川堤防の基盤漏水や法崩れが発生した。

（前野詩朗，吉田圭介，赤穂良輔）

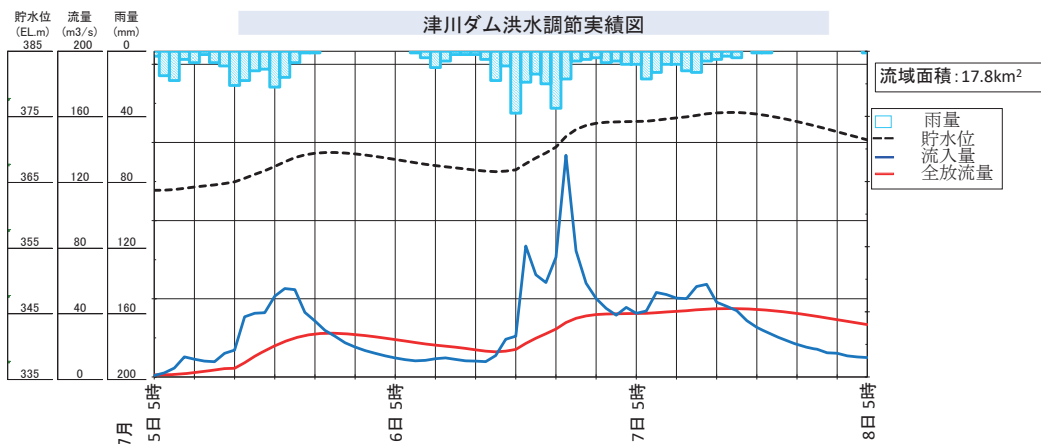


図 3.3.1 吉井川水系津川ダムの洪水調節実績図

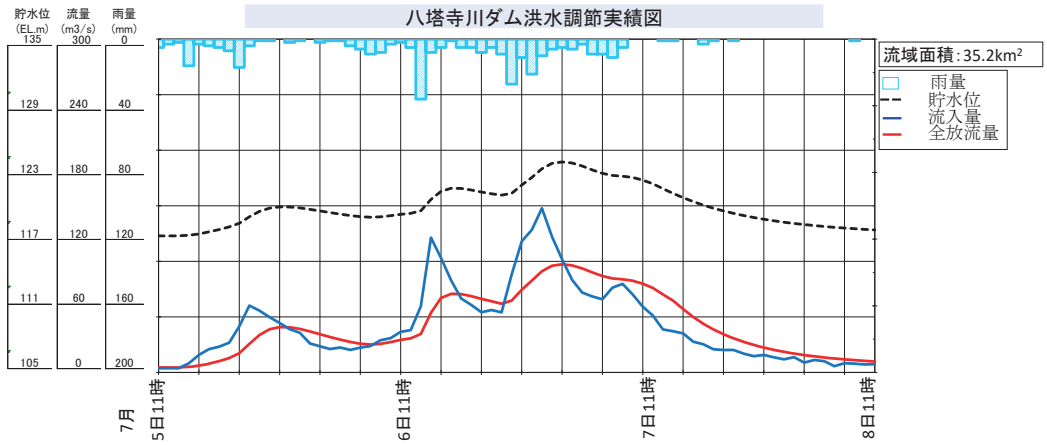


図 3.3.2 吉井川水系八塔寺川ダムの洪水調節実績図

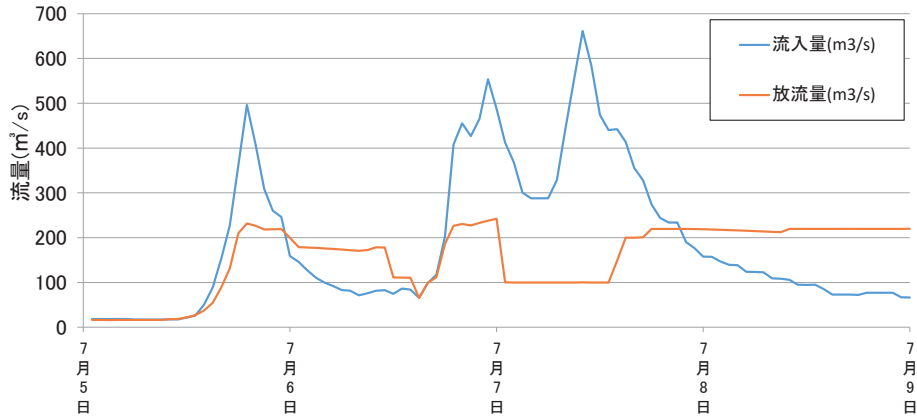


図 3.3.3 吉井川水系苦田ダムの洪水調節実績図 (国土交通省提供)



図 3.3.4 吉井川 (国直轄区間) における河川の被害状況

### 3.4 旭川水系

#### 3.4.1 ダム操作と国直轄区間における河川被害概要

図 3.4.1～図 3.4.5 には今次豪雨における湯原ダム（旭川），旭川ダム（旭川），河平ダム（日山谷川），鳴滝ダム（加茂川）および竹谷ダム（竹谷川）での流域雨量，貯水位，ダムへの流入量，ダムからの全放流量の時間変化を示す。湯原ダムと旭川ダムでは 7 月 5 日の午後と，6 日の午後および深夜にかけての 3 つの降雨帯に対してピークカットが行われており，湯原ダムでは最大  $500\text{m}^3/\text{s}$  程度，旭川ダムでは最大  $700\text{m}^3/\text{s}$  程度，下流河道への負担を軽減した。また，県南の河平ダムでは 5 日の午後と 6 日の深夜の降雨に対して適切にピークカットが行われた。図 3.4.6 には旭川（国直轄区間）における河川の被害状況を示す。直轄区間では河川堤防の護岸損壊や法崩れが発生した。以下では旭川水系の県管理区間で浸水被害があった 2 箇所について記す。

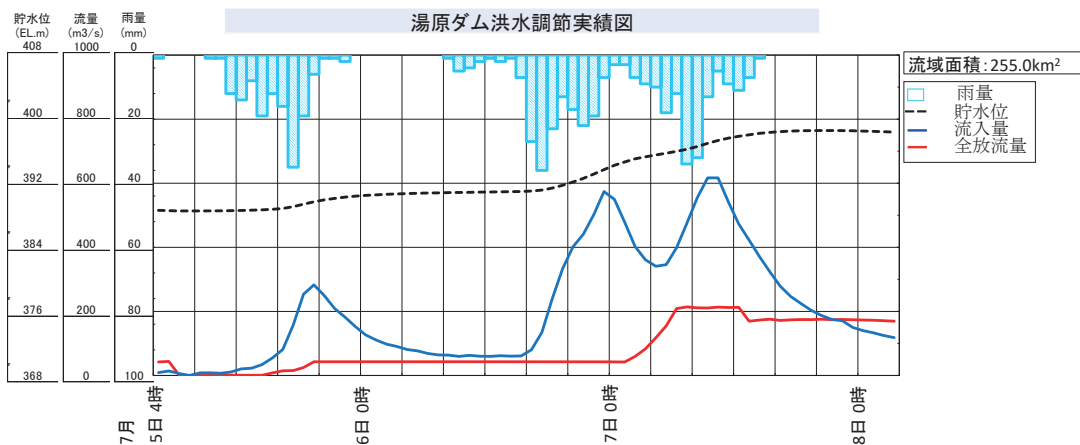


図 3.4.1 旭川水系湯原ダムの洪水調節実績図

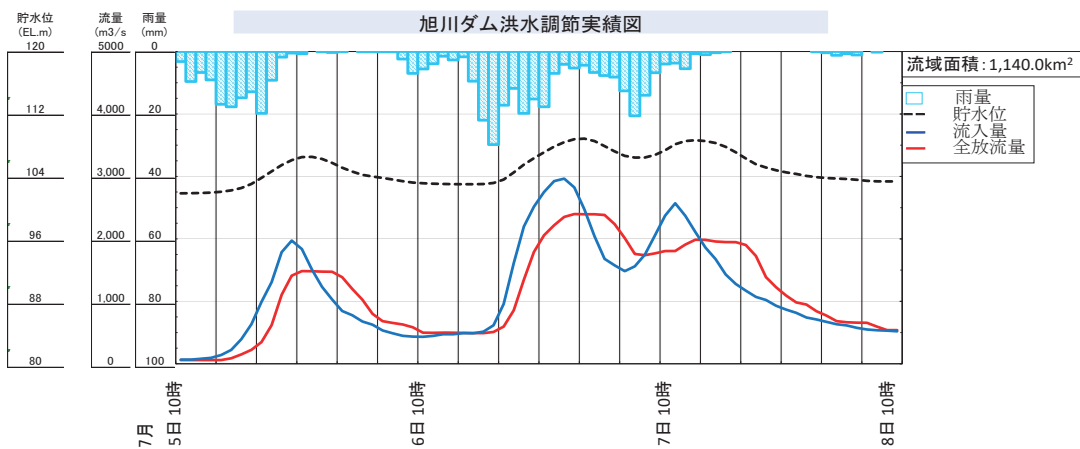


図 3.4.2 旭川水系旭川ダムの洪水調節実績図

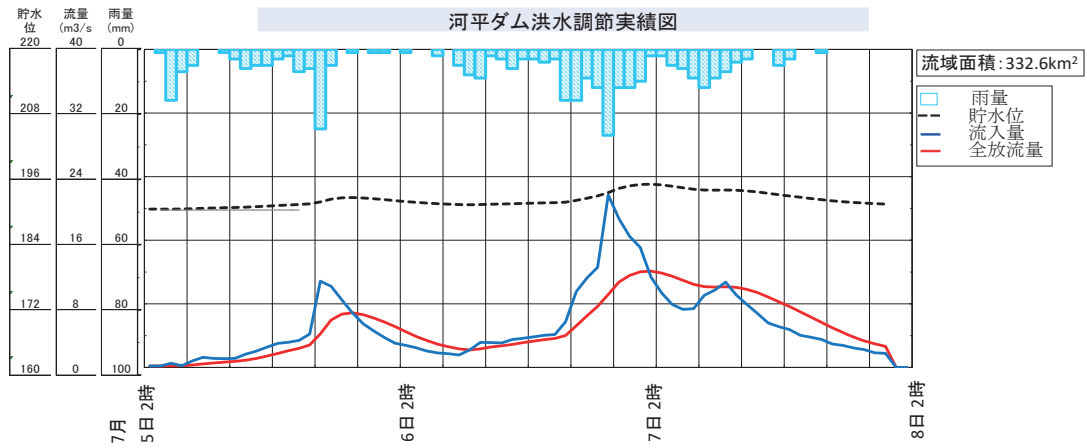


図 3.4.3 旭川水系河平ダムの洪水調節実績図

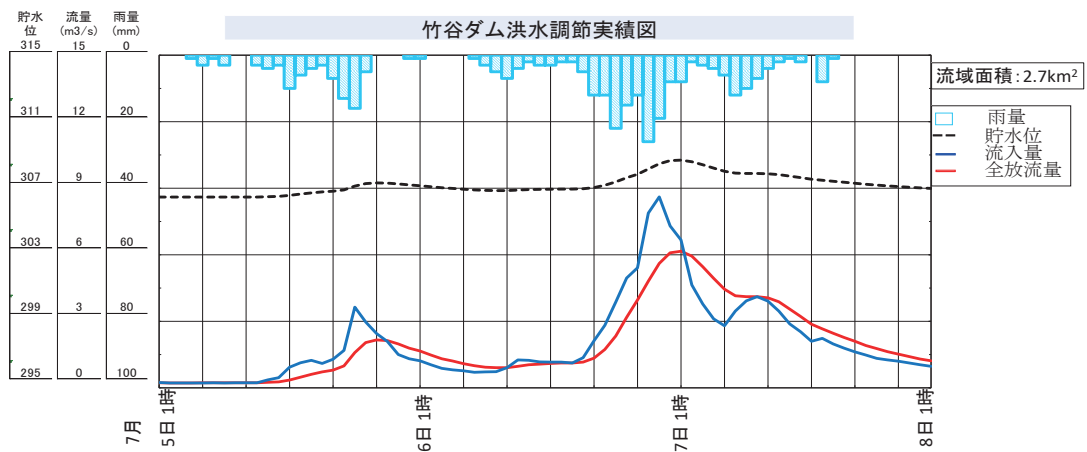


図 3.4.4 旭川水系竹谷ダムの洪水調節実績図

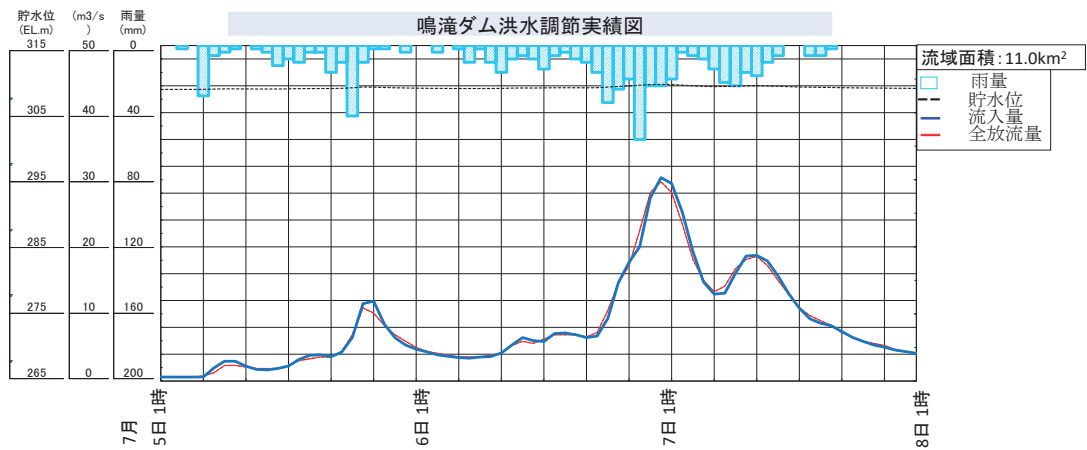


図 3.4.5 旭川水系鳴滝ダムの洪水調節実績図



図 3.4.6 旭川（国直轄区間）における河川の被害状況

### 3.4.2 国ヶ原地区（旭川，県管理区間，図 3.2.4 参照）での被害

国ヶ原地区は岡山市北区御津に位置する。国ヶ原地区では旭川 27km 左岸で越水により約 50m 程度堤防が決壊し、浸水被害が生じた。図 3.4.7 には国ヶ原地区における河川被害の状況を示す。



図 3.4.7 国ヶ原地区における河川被害状況

### 3.4.3 平島地区（旭川，県管理区間，**図 3.2.4** 参照）での被害

平島地区は岡山市東区沼に位置する。平島地区では百間川の支川である砂川の約 11km 左岸で越水や浸透により約 120m 程度，堤防が決壊した。その結果，浸水は南北に約 6km，東西に約 3km に渡って広がり，住宅約 2230 棟が浸水した。この棟数は岡山市の浸水被害の約 3 割を占める。

**図 3.4.8** は平島地区における河川被害と浸水分布の概要を示す。写真①は堤内地から堤防決壊箇所を示す。写真②は堤防決壊箇所の越水状況を示す。岡山市の調査では堤防決壊は 7 月 7 日の午前 1 時頃に堤防は決壊したものと推察されている。写真③は氾濫の痕跡を示す。岡山市の報告では浸水面積は約 750ha（右岸側 150ha，左岸側 600ha）であり，左岸側は堤防決壊のため，浸水範囲は広域となった。浸水深は地盤高に依存し，大きい箇所では 2～3m，小さい箇所では 0～1m であった。

（前野詩朗，吉田圭介，赤穂良輔）



**図 3.4.8** 平島地区における河川被害と浸水分布（岡山県 写真提供）

## 3.5 高梁川水系

### 3.5.1 ダム操作と国直轄区間における河川被害概要

**図 3.5.1**～**図 3.5.6**には今次豪雨における河本ダム（高梁川水系西川），高瀬川ダム（高梁川水系高瀬川），三室川ダム（高梁川水系三室川），千屋ダム（高梁川水系高梁川），檜井ダム（高梁川水系谷川），新成羽川ダム（高梁川水系成羽川）での流域雨量，貯水位，ダムへの流入量，ダムからの全放流量の時間変化を示す。これら県北部のダムにおいては 7 月 5 日の午後と，6 日の午後および深夜にかけて 3 つの降雨帯があり，鳴滝ダムを除いてそれら



に対してピークカットが行われている。河本ダムでは最大  $200\text{m}^3/\text{s}$  程度、高瀬川ダムでは最大  $30\text{m}^3/\text{s}$  程度、三室川ダムでは最大  $80\text{m}^3/\text{s}$  程度、千屋ダムでは最大  $180\text{m}^3/\text{s}$  程度、檜井ダムでは最大  $10\text{m}^3/\text{s}$  程度、新成羽川ダムでは最大  $600\text{m}^3/\text{s}$  程度、下流河道への負担を軽減した。

図 3.5.7<sup>6)</sup>には高梁川（国直轄区間）における河川の被害状況を示す。直轄区間では河川堤防の護岸損壊や漏水が数カ所で発生した。

小田川（国直轄区間，真備地区）での河川の被害状況は下記 3.5.2 に示す。また，小田川（県管理区間，矢掛地区）とその支川の尾坂川（県管理区間，甲弩地区）での河川の被害状況は下記 3.5.3, 3.5.4 に，高梁川（県管理区間）とその支川の成羽川（県管理区間）での河川の被害状況は下記 3.5.5 に示す。

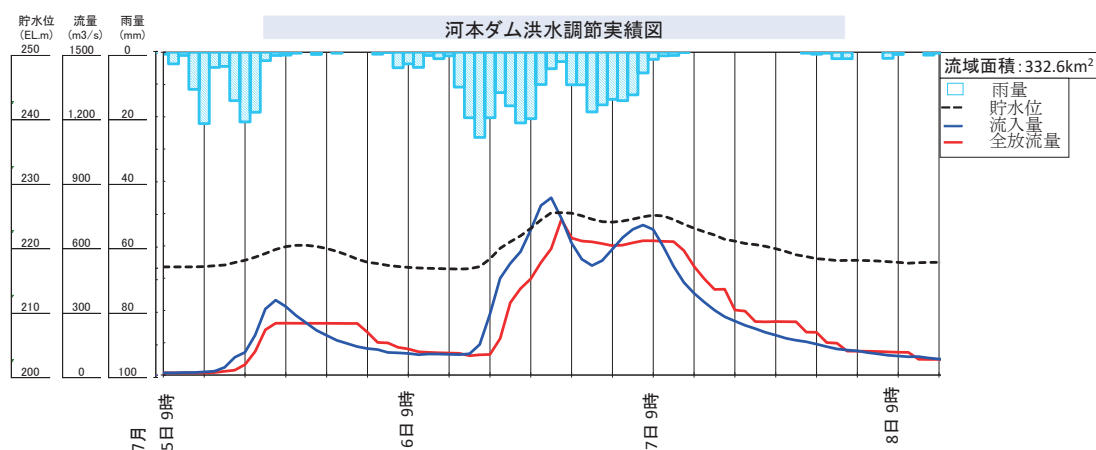


図 3.5.1 高梁川水系河本ダムの洪水調節実績図

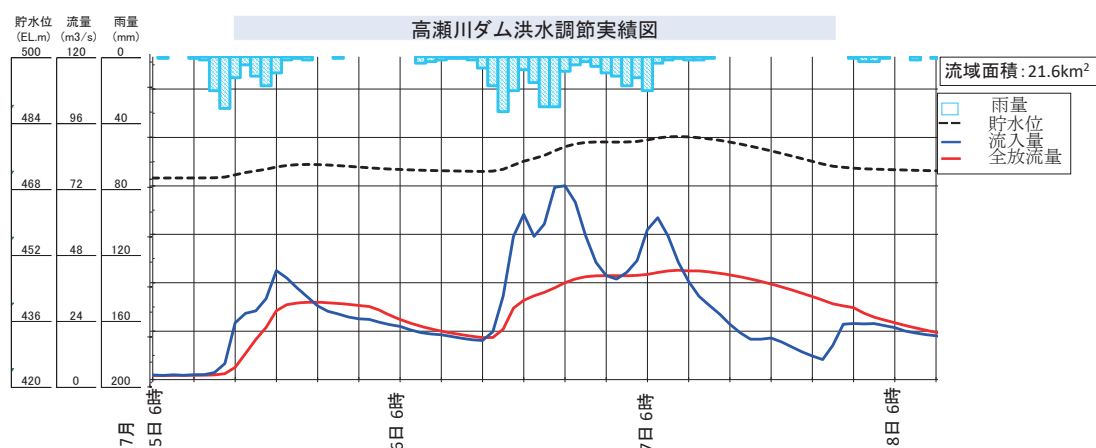


図 3.5.2 高梁川水系高瀬川ダムの洪水調節実績図

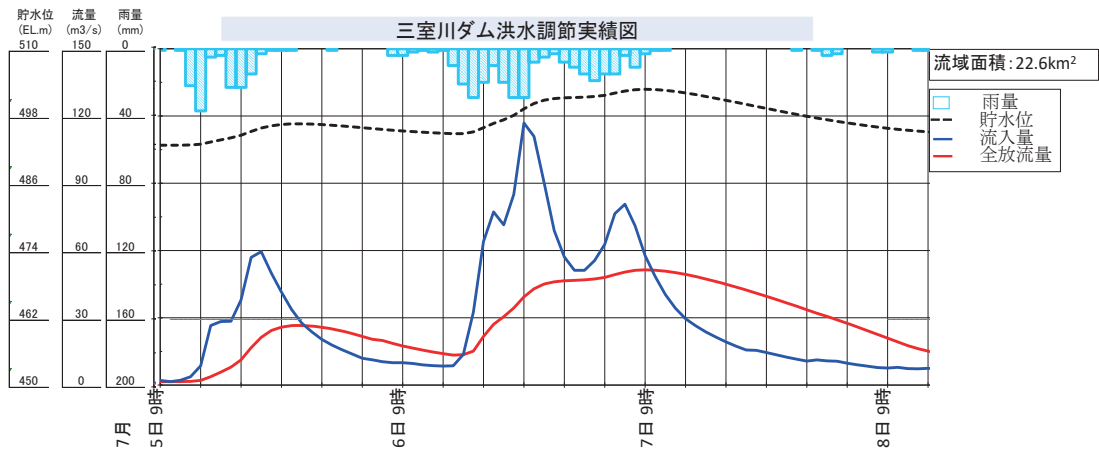


図 3.5.3 高梁川水系三室川ダムの洪水調節実績図

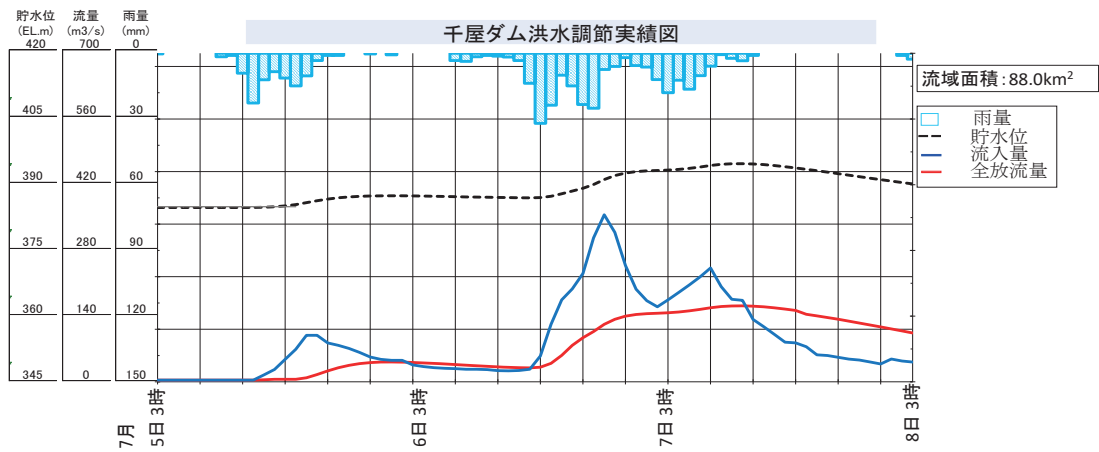


図 3.5.4 高梁川水系千屋ダムの洪水調節実績図

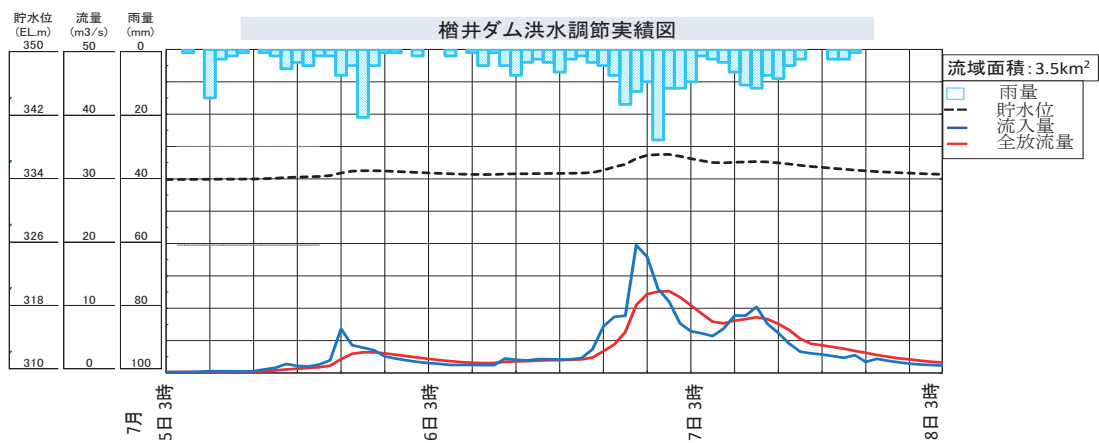


図 3.5.5 高梁川水系樽井ダムの洪水調節実績図

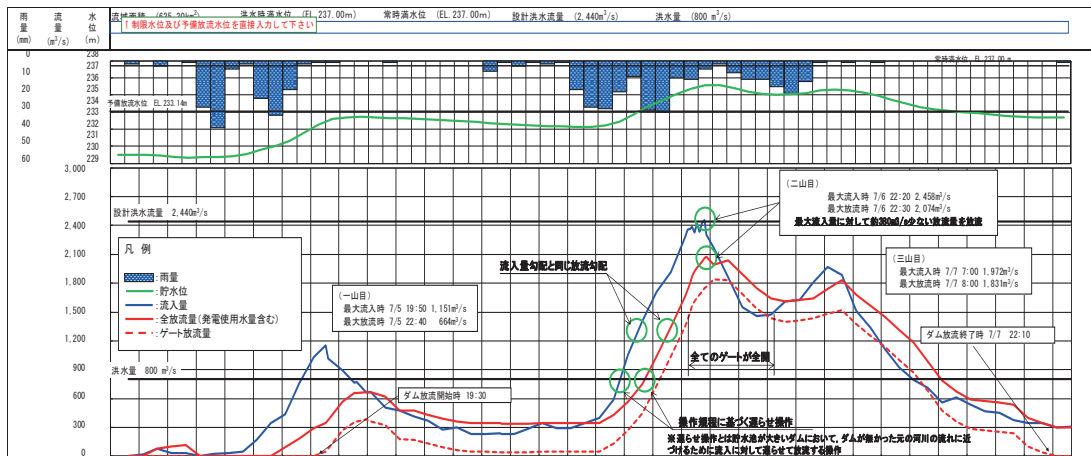


図 3.5.6 新成羽川ダムの洪水調節実績図



図 3.5.7 高梁川（国直轄区間）における河川の被害状況

### 3.5.2 真備地区（小田川，国直轄区間）での被害

真備地区は岡山県倉敷市に位置する。真備地区は東を高梁川，南を小田川に囲まれた，面積が約 4400ha の地区である。真備地区では小田川の 3.4km 左岸と 6.4km 左岸が洪水流の越水により堤防が決壊した。また，小田川の支川である末政川 0.4km 左岸と 0.7km 左右岸，

同支川の高馬川 0km の左右岸，および同支川の真谷川 0.5km の左岸が溢水や越水により堤防が決壊した（図 3.5.8，表 3.5.1）．その結果，真備地区では地区全体の約 27%の範囲で大規模な浸水が生じた．また，小田川右岸の堤内地でも越水により浸水が生じている．なお，いずれの河川においても記録的な豪雨により各河川の水位は計画高水位を長時間超過した．また，各河川ともに自己流ではなく，本川（小田川では高梁川，末政川・高馬川・真谷川では小田川）の背水の影響で水位が上昇し，越水が生じたものと推察されている．



図 3.5.8 真備地区周辺の河川における堤防決壊状況

表 3.5.1 真備地区で大規模な浸水をもたらした河川の堤防被害

| 被災河川の地点      | 被災した堤防の縦断距離 | 被災の主要因 | 被災の推定日時          |
|--------------|-------------|--------|------------------|
| 小田川 3.4km 左岸 | 約 100m      | 越水     | 7/7(土), 2~3 時頃   |
| 小田川 6.4km 左岸 | 約 50m       | 越水     | 7/7(土), 0 時頃     |
| 末政川 0.4km 左岸 | 約 40m       | 溢水     | 不明               |
| 末政川 0.7km 左岸 | 約 110m      | 越水     | 7/7(土), 6~7 時頃   |
| 末政川 0.7km 右岸 | 約 150m      | 越水     | 7/7(土), 0 時頃     |
| 高馬川 0km 右岸   | 約 55m       | 越水     | 7/6(金), 23~24 時頃 |
| 高馬川 0km 左岸   | 約 20m       | 越水     | 不明               |
| 真谷川 0.5km 左岸 | 約 75m       | 越水     | 不明               |

注 1) 被災距離と主要因は，国土交通省小田川堤防調査委員会の判断による．

注 2) 被災の推定日時は住民への聞き込み調査や，民放テレビ局の取材映像に基づく．

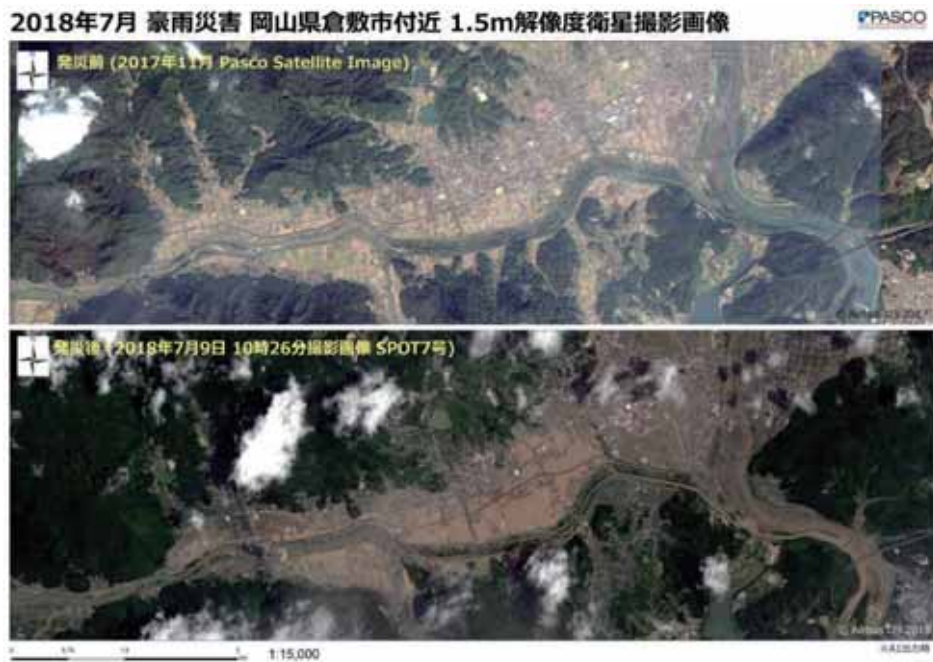


図 3.5.9 真備地区周辺の被災前後の衛星写真画像

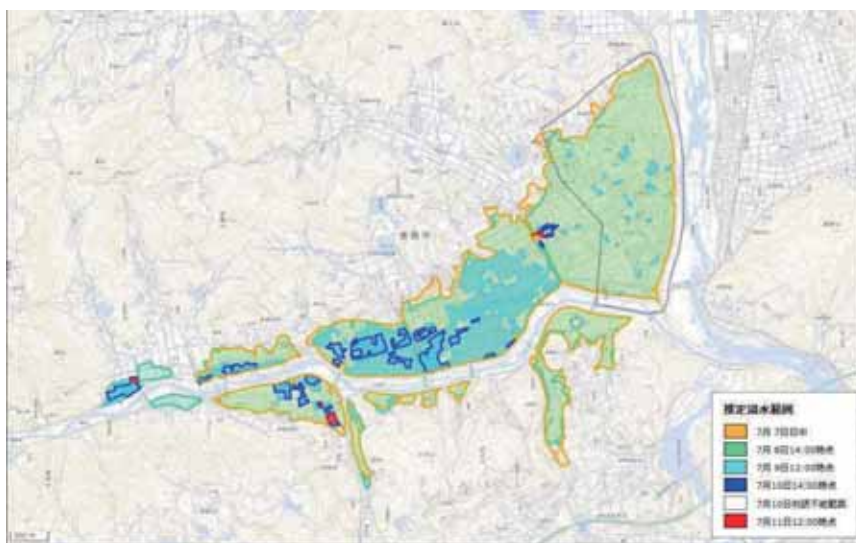


図 3.5.10 真備地区における浸水範囲 (国土地理院作成)

図 3.5.9<sup>8)</sup>には真備地区周辺の被災前後の衛星写真 (株式会社パスコ提供), 図 3.5.10<sup>9)</sup>には国土地理院が公表した推定浸水範囲を示す. 参考のため, 図 3.5.11<sup>10)</sup>には真備地区における既往 (昭和 47 年, 昭和 51 年) の浸水被害状況 (岡山河川事務所作成, 高梁川河川整備計画) を示す. 今次被災は既往被害を超える規模であったものがある. なお, 今次災害での浸水範囲は倉敷市が作成する洪水ハザードマップと概ね一致していた. 大規模な浸水の結果, 真備地区では 51 名の方が亡くなり, また, 地区の半数である 4000 棟以上の家屋が浸水被害を受けた.



図 3.5.11 真備地区における既往の浸水被害状況（昭和 47 年，昭和 51 年）  
（岡山河川事務所作成，高梁川河川整備計画より抜粋）



図 3.5.12 真備地区における浸水被害状況（今次豪雨，国土交通省中国地方整備局提供）

図 3.5.12<sup>11)</sup>には今次豪雨における小田川周辺のドローン画像などによる家屋の浸水状況を示す。家屋は概ね 2 階以上まで浸水しており，浸水被害の大きさが理解できる。図 3.5.13 には現地調査より得られた，真備地区における浸水深分布を示す。最大浸水深は約 5.38m であり，5m 以上の箇所が 5 地点あった。また，小田川周辺では 4m 以上の箇所が多く，小田川の右岸側でも 4m 以上の箇所があった。

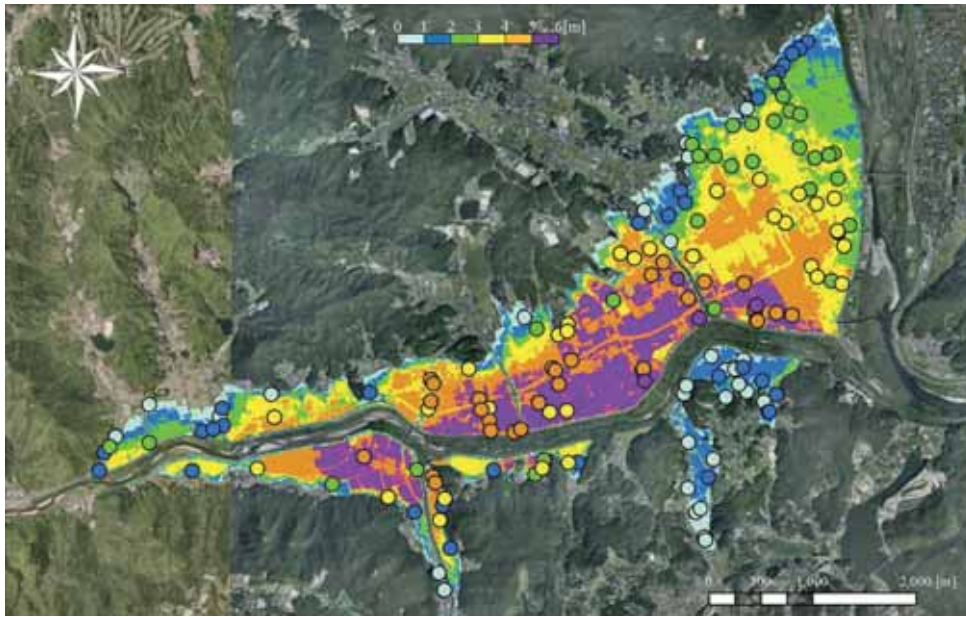


図 3.5.13 真備地区における浸水深分布 (7/17, 7/18 合同調査結果, 二瓶教授とりまとめ)



図 3.5.14 真備地区での浸水痕跡 (浸水深 5m の民家, 7/17, 7/18 合同調査結果)

図 3.5.14 には浸水深が約 5m であった民家における現地調査の様子を示す。この家屋では 2 階において、人間の背丈以上の浸水があったことがわかる。図 3.5.15 には真備地区における家屋被害の調査結果を示す。浸水深の調査結果と比較すると、堤防決壊箇所の近くでは家屋は 2 階以上で損壊または流出しており、これらは氾濫流の流体力や地盤洗掘による影響とみられる。



図 3.5.15 真備地区における家屋被害調査結果  
(7/17, 7/18 合同調査結果, 二瓶教授とりまとめ)

図 3.5.16 には小田川 3.4km 左岸の堤防決壊状況を示す。この箇所は小田川と高馬川が合流する地点付近で、小田川の水位上昇により 7/7 の深夜 2～3 時頃には越水が生じたと考えられている (表 3.5.1)。現地での落堀箇所との位置関係から、越水により小田川左岸堤防が約 100m に渡って決壊し、堤防護岸が飛散すると共に、真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる。また、図 3.5.17 には小田川 6.4km 左岸の堤防決壊状況を示す。この箇所は小田川と内山谷川が合流する付近で、小田川の水位上昇により 7/7 の深夜 0 時頃に越水が生じたと考えられている (表 3.5.1)。その結果、小田川左岸堤防が約 50m に渡って決壊し、真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる。



図 3.5.16 小田川 3.4km 左岸地点の堤防決壊状況  
(左：決壊箇所の下流側, 右：決壊箇所の上流側)





図 3.5.17 小田川 6.4km 左岸地点の堤防決壊状況（左：決壊箇所の下流側（小田川の左岸堤防），右：決壊箇所の上流側（内山谷川の左岸堤防））



図 3.5.18 高馬川の堤防決壊・損壊状況

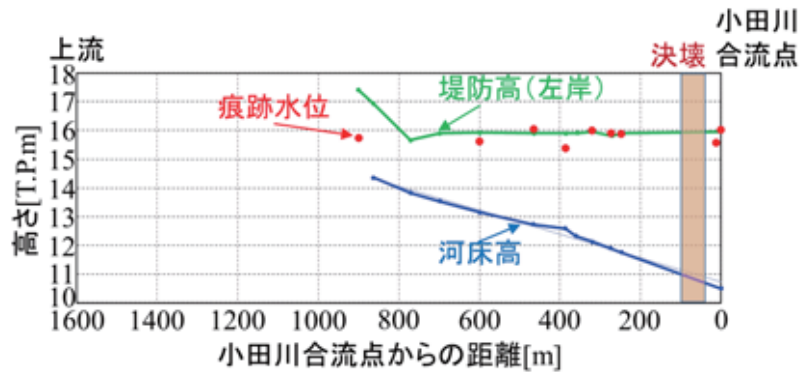


図 3.5.19 高馬川の痕跡水位の縦断分布（7/17, 7/18 合同調査結果, 二瓶教授とりまとめ）

図 3.5.18 には高馬川 0km 右岸の堤防決壊と，左岸の損壊状況を示す。また，図 3.5.19 には高馬川下流の痕跡水位と河床高，堤防高の縦断分布を示す。この箇所では，小田川の水位上昇に伴う背水により 7/6 の深夜 23～24 時頃に小田川よりも時間的に前に，両岸で越水が生じたと考えられている（表 3.5.1）。現地での落堀箇所との対応関係から，越水により高馬川右岸堤防が約 55m に渡って決壊し，堤防護岸が飛散すると共に，真備地区へ大量の氾濫水が流入したものと考えられる。



図 3.5.20 末政川 0.4km 左岸の堤防決壊・損壊状況（左上：橋より下流を撮影，右上：下流右岸より上流を撮影，下：橋の右岸側より堤防裏法崩れの様子を撮影）



図 3.5.21 末政川 0.6km の堤防損壊状況

図 3.5.20 には末政川 0.4km 左岸の堤防決壊・損壊状況，図 3.5.21 には末政川 0.6km の堤防損壊状況，図 3.5.22 には末政川 0.7km の堤防決壊状況をそれぞれ示す。また，図 3.5.23 には末政川下流の痕跡水位と河床高，堤防高の縦断分布を示す。末政川 0.4km の箇所には道路橋があり，小田川の背水の影響で水位が上昇し，この橋梁部から洪水流が溢水した。その結果，末政川 0.4km の箇所では溢水した氾濫水が周辺堤防の裏法面を洗掘し，左岸側の堤防決壊に至ったと考えられる。決壊した箇所の縦断距離は約 40m である。また，末政川 0.4km 右岸側では堤内側・堤外側ともに法崩れが生じた。



図 3.5.22 末政川 0.7km の堤防決壊状況

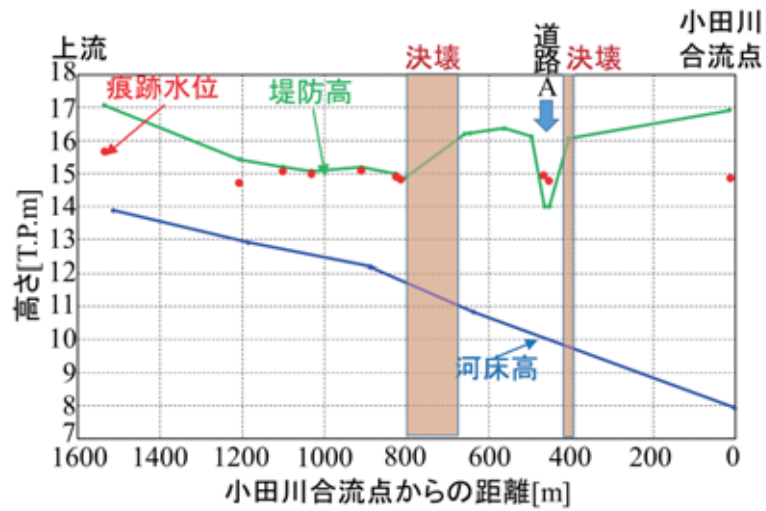


図 3.5.23 末政川の痕跡水位の縦断分布 (7/17, 7/18 合同調査結果, 二瓶教授とりまとめ)



図 3.5.24 真谷川 0.5km 左岸の堤防損壊状況 (左: 左岸堤内地より左岸決壊箇所を撮影, 右: 右岸堤防より左岸決壊箇所を撮影)



図 3.5.25 真谷川 0.5km 右岸側での越流痕跡状況



図 3.5.26 真谷川 0km 右岸の堤防損壊状況

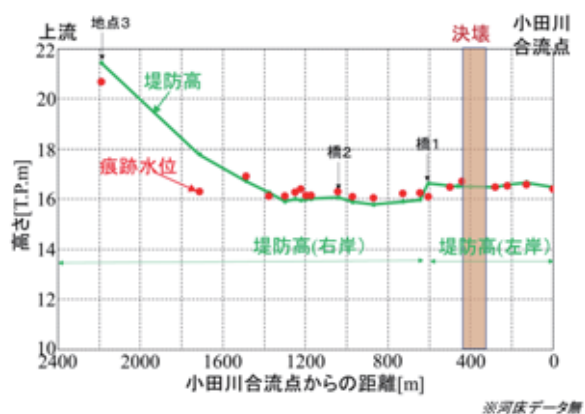


図 3.5.27 真谷川の痕跡水位の縦断分布

(7/17, 7/18 合同調査結果, 二瓶教授とりまとめ)

一方、末政川 0.6km の箇所では同様の影響で水位が上昇し、左右岸の堤外側で法崩れが生じた。さらに、末政川 0.7km の箇所では同様の影響で水位が上昇し、左右岸で越水が生じたものと考えられる。ただし、右岸側の堤防高が少し低いために、7/7 の 0 時頃に先ず右岸堤防が決壊し、その後、小田川 3.4km の決壊によって（真備地区の）氾濫水で堤内水位が上昇し、7/7 の午前 6～7 時頃に左岸堤防が決壊したものと考えられる。なお、末政川 0.7km で決壊した箇所の縦断距離は左岸で約 110m、右岸で約 150m である。

図 3.5.24 には真谷川 0.5km 左岸の堤防決壊状況を、図 3.5.25 には真谷川 0.5km 右岸側での越流痕跡箇所を、図 3.5.26 には真谷川 0km 右岸（小田川との合流部）の堤防損壊状況を示す。また、図 3.5.27 には真谷川下流の痕跡水位と河床高、堤防高の縦断分布を示す。

この箇所では小田川の背水の影響で真谷川の水位が上昇した。また、同時に、0km 右岸側では堤防が損壊したため、小田川の河川水が真谷川の右岸側堤内地へ大量に流入し、堤内側の水位が上昇していったものと考えられる。その結果、真谷川右岸では0.5km（左岸側の堤防決壊箇所）より上流部では堤外側から堤内側へ越流が生じ、逆に、下流部では堤内側から堤外側へ越流が生じたものと考えられる。よって、堤防が相対的に低い右岸側では堤内地が氾濫水で満たされたために堤防決壊は生じず、一方で堤防が高い左岸側でもその後、越水が生じて、堤防決壊が生じたものと考えられる。

### 3.5.3 矢掛地区（小田川，県管理区間，**図 3.2.4** 参照）での被害

矢掛地区は岡山県小田郡に位置する。矢掛地区では小田川の約14km 左岸（東川面），約15.7km 右岸（江良）および約16km 左岸（本堀）の3箇所ですべて越水により、各々、約40m，約30m および約40m 堤防が決壊した。その結果、住宅約123棟が浸水するなど被害が発生した<sup>12)</sup>。**図 3.5.28** は矢掛地区における河川被害と浸水分布の概要を示す。3箇所ですべて堤防決壊が生じたため、浸水は広範囲に広がっており、浸水深は決壊箇所付近で最大3m 近くにまで達した。また、決壊箇所近くでは人が通行できる簡易な作りの橋の橋桁が流出していた。想定される浸水面積は約350haであった。



**図 3.5.28** 矢掛地区における河川被害・浸水状況（上）と浸水時の様子（下）（岡山県提供）

### 3.5.4 甲弩地区（小田川，県管理区間，**図 3.2.4** 参照）での被害

甲弩地区は岡山県笠岡市に位置する。甲弩地区では小田川の支川である尾坂川の約 0.8km 左岸で法面浸食により，約 80m 堤防が決壊した。**図 3.5.29** は甲弩地区における河川被害と浸水分布の概要を示す。堤防が決壊した甲弩地区周辺は田畑が多く，想定される浸水面積は約 100ha であった。



**図 3.5.29 甲弩地区における河川被害と浸水状況**

### 3.5.5 日羽，美袋，広瀬，落合阿部の地区（高梁川，県管理区間，**図 3.2.4** 参照）の被害

日羽・美袋地区は岡山県総社市に位置する。日羽地区では高梁川の約 26~27km 左岸で河川水位の上昇により，越流が生じて外水氾濫が生じた。**図 3.5.30** には日羽地区における浸水状況を示す。越流が生じた箇所と想定される地点を图中に矢印で示す。浸水深は 1~2m 程度で，深い箇所では 3m 近くまで及んでいる。一方，高梁川の約 30km 左岸に位置する美袋地区では内水氾濫により，最大 2m 程度の浸水被害が生じた。**図 3.5.31** には美袋地区における浸水状況を示す。

広瀬地区は岡山県高梁市の備中広瀬駅周辺を指す。広瀬地区では高梁川の約 38km 左岸で

河川水位の上昇により越流が生じて外水氾濫が生じた。図 3.5.32 には広瀬地区における浸水状況を示す。広瀬地区では浸水により、電柱などが破損した。越流が生じた箇所と想定される地点を図中に矢印で示す。浸水深は 4~5m 程度にも達していた。広瀬地区では大型車が JR 伯備線の線路を塞ぐ被害が生じた。



図 3.5.30 日羽地区における浸水状況



図 3.5.31 美袋地区における浸水状況 (内水氾濫)

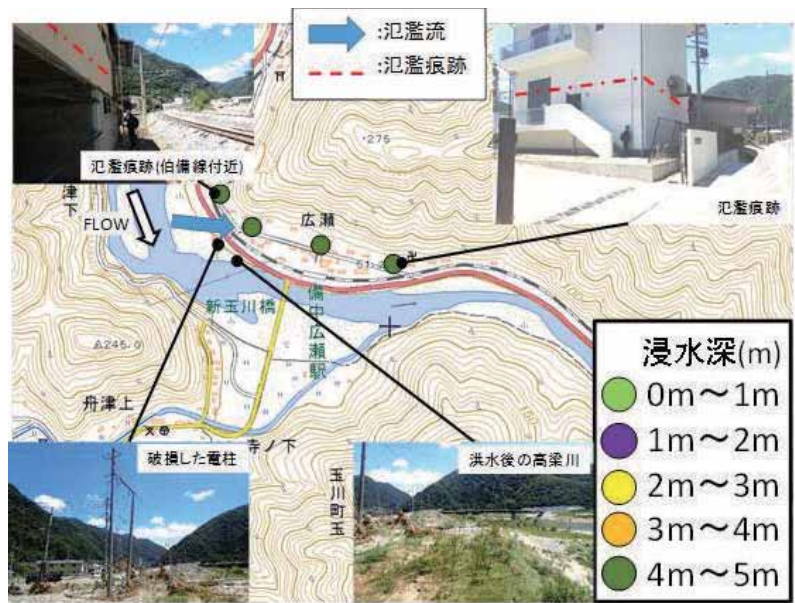


図 3. 5. 32 広瀬地区における浸水状況と線路内に残された大型タンクローリー車

落合阿部地区は岡山県高梁市に位置する。落合阿部地区は高梁川と成羽川に挟まれた箇所である。図 3. 5. 33 には落合阿部地区における浸水状況を示す。この地区では豪雨により、高梁川と成羽川の合流部箇所、および成羽川 3.5 km 左岸と 5.5km 左岸から越水が生じ、広範囲に外水氾濫が起こった。浸水深は 1~2m 程度で、合流箇所では 3m 近くまで及んでいる。また、成羽川では堤防上の道路などが被災した。

(前野詩朗, 吉田圭介, 赤穂良輔, 二瓶泰雄)





図 3.5.33 落合阿部地区における浸水状況

### 3.6 真備町での気象警報と避難の状況

今次豪雨において岡山県では甚大な人的・物的被害を受けた。県内では、特に小田川と高梁川に挟まれた倉敷市真備地区での浸水被害は際だった。表 3.6.1<sup>13), 14)</sup>には真備地区において発令された気象警報と避難に関する情報の履歴、および小田川やその支川での堤防決壊の推定時刻をまとめた。時刻情報は原則、住民からの聞き取りにより得た。また、図 3.6.1<sup>15)</sup>には真備地区に浸水被害をもたらした直接的な要因であると推察される、小田川の河川水位（小田川 13km 地点の矢掛観測所）の時間変化を示す。

岡山県の倉敷市内では 7 月 5 日の 18 時半頃から「大雨警報」が発表され、その後の降雨により「洪水警報」も発表された。翌 7 月 6 日の 20 時には高梁川では「氾濫警戒情報」が発表され、同日 21 時 45 分には「氾濫危険情報」も発表された。また、同日 19 時半には倉敷市では山沿いに「避難勧告」が発表されたが、これは土砂災害を警戒したものと理解される。その後、7 月 6 日の 21 時 50 分と 22 時 20 分には小田川においても「氾濫警戒情報」や「氾濫危険情報」が発表された。それと同時に、22 時には真備地区全域において「避難勧告」が発表された。このとき、矢掛観測所での水位データをみると、19 時頃以降から急激な水位上昇が見られるが、避難判断水位 (19.16 m, T.P) やはん濫危険水位 (19.46 m, T.P) に対して「氾濫警戒情報」や、「氾濫危険情報」が発表されていることがわかる。

一方、その後、22 時 40 分には倉敷市で「大雨特別警報」が発表された。そして、23 時を過ぎる頃には小田川の支川の高馬川 0km 右岸や末政川 0.4km 左岸では小田川の著しい水位上昇とその背水のために、堤防が決壊したものと推察される。

表 3.6.1 真備地区において発令された気象と避難に関する情報の履歴

| 発表時刻   | 気象庁・国土交通省の情報（倉敷市関連） | 倉敷市の情報  |                        |
|--------|---------------------|---|------------------------|
| 7月5日   | 18時30分              | 大雨警報（土砂災害）発表  |                        |
|        | 19時40分              | 大雨警報（土砂災害・浸水）発表   |                        |
|        | 21時25分              | 土砂災害警戒情報発表  |                        |
|        | 23時08分              | 洪水警報発表  |                        |
| 7月6日   | 19時30分              |   | 倉敷市内山沿いに避難勧告           |
|        | 20時00分              | 高梁川氾濫警戒情報発表   |                        |
|        | 21時45分              | 高梁川氾濫危険情報発表   |                        |
|        | 21時50分              | 小田川氾濫警戒情報発表   |                        |
|        | 22時00分              |   | 真備地区全域に避難勧告            |
|        | 22時20分              | 小田川氾濫危険情報発表   |                        |
|        | 22時40分              | 大雨特別警報発表(倉敷市)   |                        |
|        | 23～24時頃             | 高馬川 0km 右岸 堤防決壊 (越水)  |                        |
| 23時45分 |                     | 小田川の南側に避難指示（緊急）   |                        |
| 7月7日   | 0時頃                 | 小田川 6.4km 左岸 堤防決壊 (越水)  | 末政川 0.7km 右岸 堤防決壊 (越水) |
|        | 0時30分               | 小田川氾濫発生情報発表   |                        |
|        | 1時30分               |   | 小田川の北側に避難指示（緊急）        |
|        | 2～3時頃               | 小田川 3.4km 左岸 堤防決壊 (越水)<br>小田川 4km 右岸付近, 小田川 7km 右岸付近 堤防の越水を確認 |                        |
|        | 6～7時頃               | 末政川 0.7km 左岸 堤防決壊 (越水)  |                        |
|        | 15時10分              | 大雨特別警報解除  |                        |
| 7月8日   | 13時50分              | 土砂災害警戒情報解除  |                        |
|        | 22時40分              | 大雨警報解除  |                        |
| 7月12日  | 午後                  |   | 服部地区に避難指示（誤情報）         |
| 7月13日  | 19時35分              | 洪水警報解除  |                        |

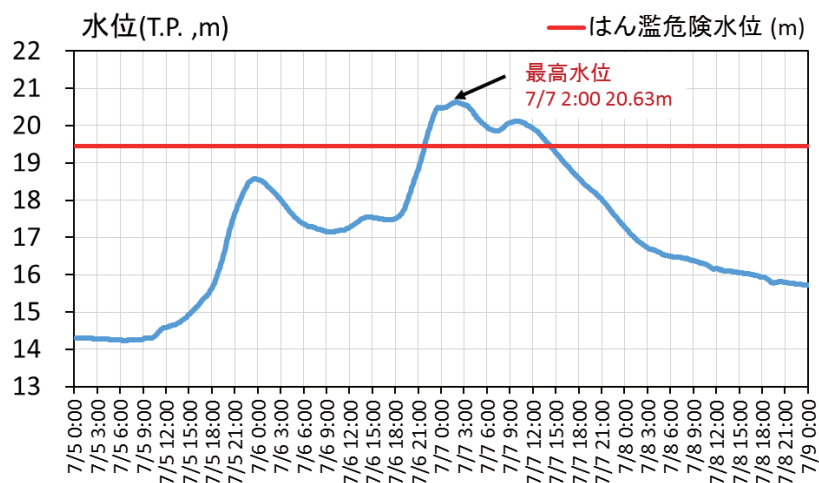


図 3.6.1 矢掛観測所の水位データ

また、23時45分には小田川の南側で「避難指示（緊急）」が発表されているが、これは内水氾濫と小田川の右岸側堤防で越水による外水氾濫が進行していたものと考えられる。さらに、7日深夜0時には小田川6.4km左岸や末政川0.7km右岸、2時には小田川3.4km左岸で次々に堤防が決壊したものと考えられている。深夜0時半には小田川で「氾濫発生情報」、1時半には小田川の北側で「避難指示（緊急）」が発表されているが、これは小田川やその支川での複数箇所での堤防決壊により大規模な洪水氾濫が生じて、真備地区の住民に大きな危険が差し迫った状況であったと推察される。その後、7日の朝6時頃には末政川0.7km左岸で堤防が決壊し、真備町は地区全体で深刻な浸水被害を受けることとなった。

（前野詩朗，吉田圭介，赤穂良輔）

### 3.7 小田川における洪水氾濫

#### 3.7.1 はじめに

平成30年6月28日から7月8日において梅雨前線や台風7号の影響により、西日本を中心に広い範囲で記録的豪雨が発生した。この豪雨により、広島県・岡山県・愛媛県を中心に、死者・行方不明者数が230名を超える平成最悪の豪雨災害が発生した。特に高梁川水系小田川とその支川では、堤防が9か所も決壊し、それに伴い岡山県倉敷市真備町の約3割が浸水し、死者は51名に達した。今次水害では、洪水氾濫は7月6日23時台に始まったが、当該地区の避難勧告は同日22時、大雨特別警報は同日22時40分にそれぞれ出され、気象警報・避難情報は氾濫発生前に出されていた。それにも関わらず、これだけの人的被害が発生した要因を調べることは、極めて重要である。本節では、小田川における洪水氾濫状況の実態を明らかにするとともに、真備町における51名の人的被害の特徴や洪水氾濫過程との関連性を明らかにすることを目的とする。そのため、ここでは現地観測と氾濫シミュレーションを実施した。



図 3.7.1 高梁川・小田川流域及び水位・雨量観測所の位置

### 3.7.2 研究対象サイト

研究対象サイトである小田川と、その小田川が流れ込む高梁川の流域界を図3.7.1に示す。高梁川は、岡山県と鳥取県の境にある花見山（標高1188m）を源流とし、途中、熊谷川、西川、小阪部川、成羽川等が合流して南下し、小田川を集めて瀬戸内海に流入する。流路延長は111km、流域面積は2670km<sup>2</sup>の一級河川である、高梁川の支川の一つである小田川は、広島県神石高原町を発し、途中岡山県井原市、倉敷市等を東流し、高梁川の13km地点に合流している。流路延長は33km、流域面積は491km<sup>2</sup>であり、国管理区間は高梁川合流点から7.9kmである。本州の多くの一級河川は、高梁川のように南北に流れるケースが多いが、小田川は東方向に流れるため、河床勾配が相対的に緩やかである。

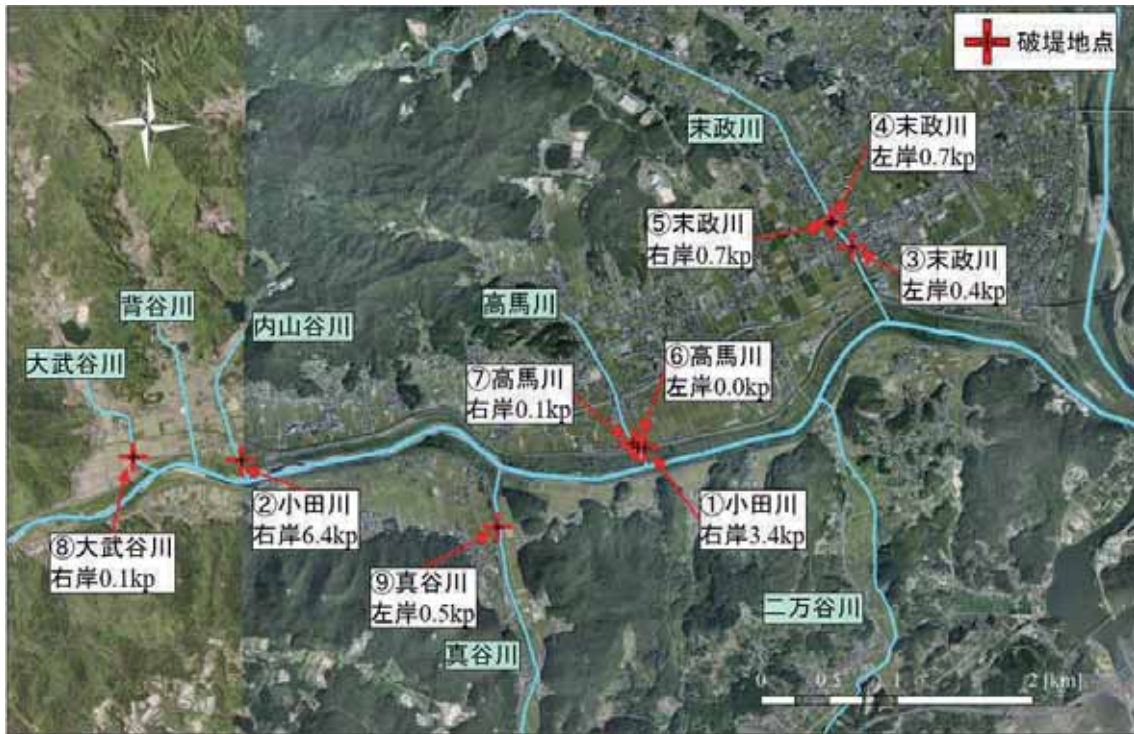


図 3.7.2 小田川下流部と堤防決壊箇所

洪水氾濫が発生した小田川下流域の概要を図 3.7.2 に示す。小田川の支川としては、左岸側（北側）では末政川，高馬川，内山谷川，背谷川，大武谷川，右岸側（南側）では二万谷川，真谷川が存在している。

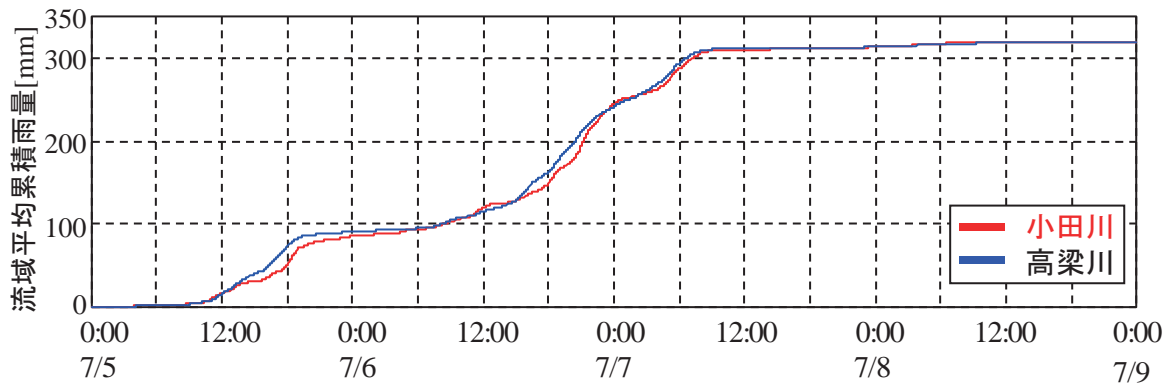


図 3.7.3 流域平均雨量の累積値の時間変化

### 3.7.3 気象・河川水位状況

今次水害における高梁川・小田川流域の気象状況を把握するために、C-X レーダーにより観測された流域平均雨量の累積値の時間変化を図 3.7.3 に示す。これより、両流域共に、7/5 昼頃より雨が降り始め、同日夕方には一度小康状態となるが、その後、7/6 昼頃から再び降りだし、7/7 朝までに集中的に降り、最終的に総雨量が 300mm を越えた。両流域間には降雨量の大きな差は無かった。

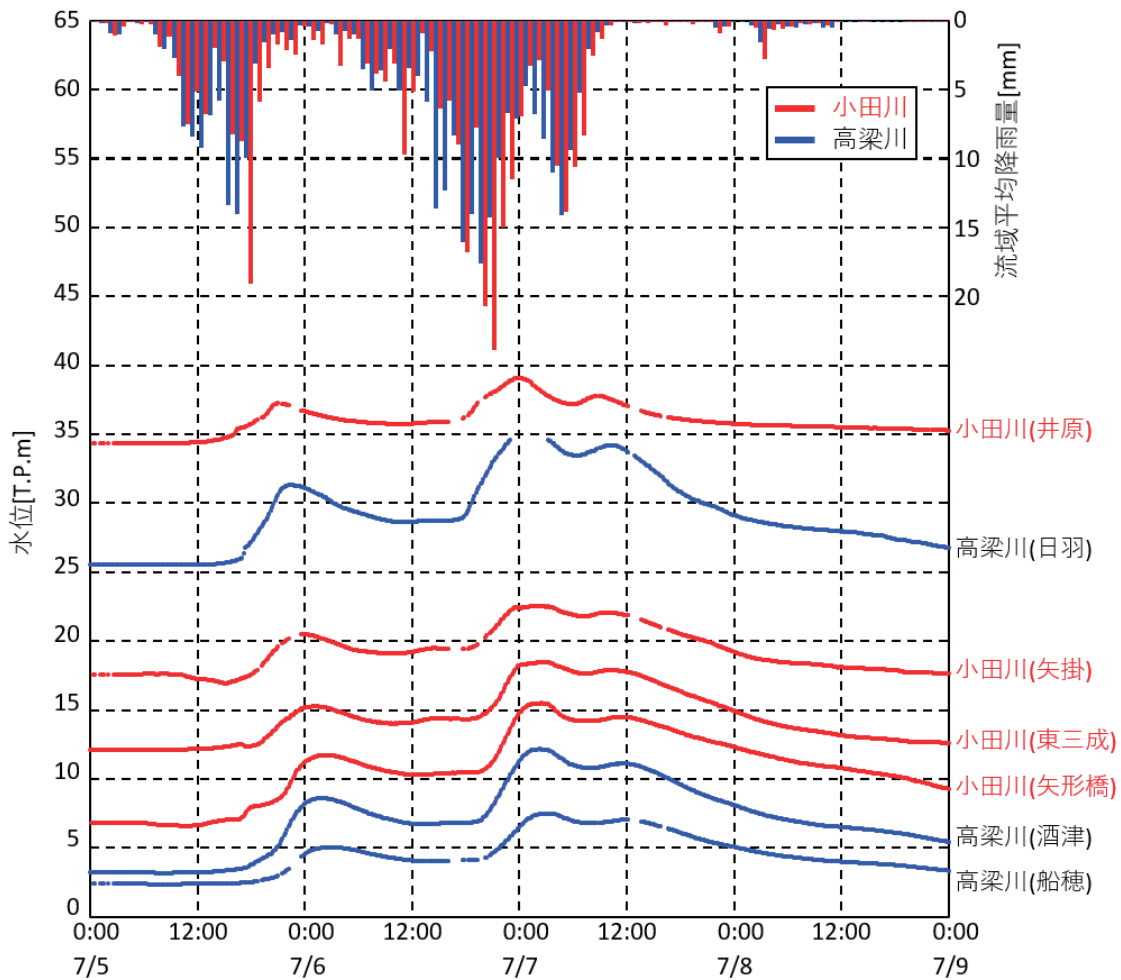


図 3.7.4 高梁川・小田川における水位の時系列変化

次に、高梁川と小田川の水位の時間変化を図 3.7.4 に示す。ここでは、2018/7/5 0:00 から 7/9 0:00 までを対象とし、両河川の流域平均時間雨量の経時変化も示す。図中では、小田川の井原（高梁川合流点より 25.6kp）、矢掛（同 13kp）、東三成（同 9.6kp）、矢形橋（同 0.8kp）、高梁川の日羽（河口から 27.6kp）、酒津（同 10.2kp）、船穂（同 6.4kp）の計 7 地点の水位データが記載されている。時間雨量では、大きな二山のピークが 7/6 夜と 7/7 朝に見られ、ピーク間を比べると 7/6 夜の方が大きい。これに対応して、上流域の小田川・井原及び高梁川・日羽観測所では、明確な二山の水位ピークが見られ、その最大値は一山目に現れている。一方、その他の観測地点では、一山目の水位ピークは明確であるものの、二山目は不明瞭である。その様子は、小田川合流点付近の小田川・矢形橋や高梁川・酒津地点で顕著であり、7/7 2 時の水位ピーク後に、水位が急減している様子が分かる（酒津では 2 時から 5 時の 3 時間で 77cm の水位低下を記録）。また、小田川・矢形橋における水位の時系列変化は、高梁川・酒津地点と類似した変化パターンとなっている様子が伺える。

### 3.7.4 現地調査概要

本節では、小田川の洪水氾濫状況と人的被害状況を把握するために、①氾濫域の洪水痕跡調査と、②小田川とその支川における河道内の洪水痕跡調査、③家屋被害調査、④人的被害調査を行った。調査日は2018/7/11-12, 7/18-19, 8/1, 12/11の計7日間である。①の調査では、小田川周辺の氾濫域における家屋などに付着した痕跡（泥の跡や植生等）から、痕跡水位及び浸水深を計測した（**図3.7.5(a)**）。その際には、RTK-GNSS（R6・R10, Trimble社製）により痕跡を見つけた場所の地盤高や、痕跡が低い場所では直接、痕跡水位を計測した。また、スタッフを用いて地面から痕跡までの高さ（浸水深）を測り、浸水深と地盤高の和を痕跡水位（浸水位）とした。対象範囲は、小田川左岸・右岸の氾濫域全体であり、調査地点数は計170である。②の調査では、**図3.7.5(b)**に示すように、河道内における洪水痕跡と河床高、堤防天端高をRTK-GNSSとスタッフで計測した。対象河川は小田川と支川（末政川, 高馬川, 真谷川, 内山谷川）とした。この①と②の調査は、東京理科大学（二瓶, 片岡, 小野村）、岡山大学（前野, 赤穂）、山口大学（赤松, 森, 小室）、鹿島建設㈱（岩前, 鈴木）、日本工営㈱（栗山, 清水）、日本ミクニヤ（森）とその関係者により実施された。③の家屋被害調査では、小田川支川の末政川と高馬川の決壊地点周辺を調査範囲とした。家屋被害状況を流失、二階損壊、一階損壊、一部損壊、浸水のみ、被害無の6段階で評価した。④の人的被害調査では、真備町における死者の情報（年齢や住所、被災状況等）については新聞記事や住民聞き取りを中心に収集した。また岡山県「平成30年7月豪雨」災害検証委員会<sup>16)</sup>の資料も用いた。



図 3.7.5 洪水痕跡調査の状況（氾濫域(a)と河道内(b)）

### 3.7.5 現地調査結果

#### a) 堤防決壊状況

洪水氾濫状況を示す前に、小田川と支川の堤防決壊マップと詳細情報を**図3.7.2**と**表3.7.1**にそれぞれ表示する。表中における堤防高と破堤幅、破堤高さ（=堤防高－敷高）について、高梁川水系小田川堤防調査委員会<sup>17)</sup>をベースと表示している。また、推定破堤時刻は、住民証言やマスコミによる映像データに基づいて取りまとめたものである。なお、

大武谷川は、高梁川水系小田川堤防調査委員会<sup>17)</sup>では決壊として扱われていないが、現地の堤防の侵食状況からここでは堤防決壊箇所に追加している。これより、小田川の堤防決壊は2箇所(3.4kpと6.4kp)であり、いずれも左岸であること、さらに支川の合流点下流側であることが分かる(3.4kpは高馬川, 6.4kpは内山谷川)。また、決壊幅は3.4kpでは92m, 6.4kpでは54mとなっていた。一方、支川に関しては、末政川3か所(0.4kp左岸, 0.7kp左岸・右岸), 高馬川2か所(0.0kp左岸, 0.1kp右岸), 真谷川1か所(0.5kp左岸), 大武谷川1か所(0.1kp右岸)であり、合計すると本川2か所, 支川7カ所であった。破堤幅は概ね50m前後であるが、末政川0.7kpでは左岸で110m, 右岸で150mと突出している。

堤防決壊時刻の推定値より、まず、最初に高馬川0.1kp右岸と末政川0.7kp右岸が7/7 0時頃に決壊した。その後、7/7 3時過ぎに小田川3.4kp左岸で決壊した。さらに、夜が明けた同日7時前後に末政川左岸側0.4kp, 0.7kpが決壊した。なお、推定破堤時刻が書かれていない箇所のうち、大武谷川以外については、住民証言や周囲の浸水状況から7/7未明に決壊したものと推測される。このように、最初の堤防決壊から時間をかけて次々と堤防決壊しているが、全ての堤防決壊が夜間に発生したわけではなく、朝方に発生していることは重要な事項である。

堤防決壊要因としては、主に越水であることが指摘されている<sup>17)</sup>。図3.7.6は、高馬川0.1kp右岸付近に見られた堤防天端上の痕跡である。このように越流水深は10cmであったが、越水の痕跡は確認された。

表 3.7.1 決壊箇所の詳細データ (ハイフンは未計測か未定の項目である)

| 河川名  | 破堤地点  | 左右岸 | 堤防高<br>[T.P.m] | 破堤幅<br>[m] | 破堤高さ<br>[m] | 推定破堤時刻          |
|------|-------|-----|----------------|------------|-------------|-----------------|
| 小田川  | 3.4kp | 左岸  | 16.0           | 92         | 7.5         | 7/7 3:00~3:30   |
|      | 6.4kp | 左岸  | 17.2           | 54         | 6.3         | -               |
| 末政川  | 0.4kp | 左岸  | 15.5           | 40         | 7.0         | 7/7 7時頃         |
|      | 0.7kp | 左岸  | 15.4           | 110        | 3.4         | 7/7 7時頃         |
|      | 0.7kp | 右岸  | 15.2           | 150        | 6.1         | 7/7 0時頃         |
| 高馬川  | 0.0kp | 左岸  | 15.8           | 20         | 6.8         | -               |
|      | 0.1kp | 右岸  | 15.8           | 55         | 6.1         | 7/6 23:30~24:00 |
| 大武谷川 | 0.1kp | 右岸  | -              | 57         | -           | -               |
| 真谷川  | 0.5kp | 左岸  | 16.5           | 75         | 6.2         | -               |





図 3.7.6 高馬川 0.1kp 左岸付近の越水状況

#### b) 洪水氾濫状況

洪水氾濫状況を把握するために、痕跡調査により得られた浸水深と痕跡水位（浸水位）の実測値を図 3.7.7(a), (b) に示す。まず浸水深に着目すると、小田川北側（左岸側）では、広範囲に浸水しており、5m を越える地点が散見される。一方、小田川南側では、北側よりも範囲は狭いものの、主に支川周辺に浸水が発生しており、真谷川沿いでは 4m を越える浸水深が記録されている。今回の浸水深調査では、最大値は 5.38m を小田川北側で記録した。同様に、浸水位について見ると、小田川北側では、西側が高く、東側ほど低くなっており、河床高と同様に上流 > 下流という大小関係となっている。これより、大局的には、氾濫流は西から東方向へ流れたことが伺える。一方、小田川南側では、真谷川周辺など局所的に水位が高くなっており、河川上・下流方向の明確な傾向はない。これは、小田川南側における洪水氾濫が支川（真谷川・二万谷川）周辺や小田川右岸の堤防の低いところの越水により局所的に発生しており、地形的な要因により右岸全体として氾濫流が繋がっていないことが示唆された。

多数の浸水深の点データから、面的な浸水深マップを算出する。そのために、佐山・寶<sup>18)</sup>と同様に、まず、浸水位の点データを内挿して浸水位コンターを作成する(図 3.7.7(c))。この内挿には、ArcGIS 10.3 の Natural Neighbor 内挿法を用いた。この得られた浸水位から DEM による標高データを差し引き、浸水深コンターを求めた結果を図 3.7.7(d) に図示する。この図より、小田川北側では 5m を越える浸水深が南北 1km、東西 3.5 km という広大な範囲に発生したことが分かる。また、北側の浸水域の大部分が浸水深 3m 以上となっている。一方、小田川の南側でも真谷川周辺で浸水深 5m を越える状況となっていることが伺える。なお、浸水深の実測値は道路上を地盤高とした計測が多数であるが、実際は道路面よりも低い水田が広がっているため、浸水深コンターではより広範囲に浸水深 5m のエリアが生じたものと考えられる。

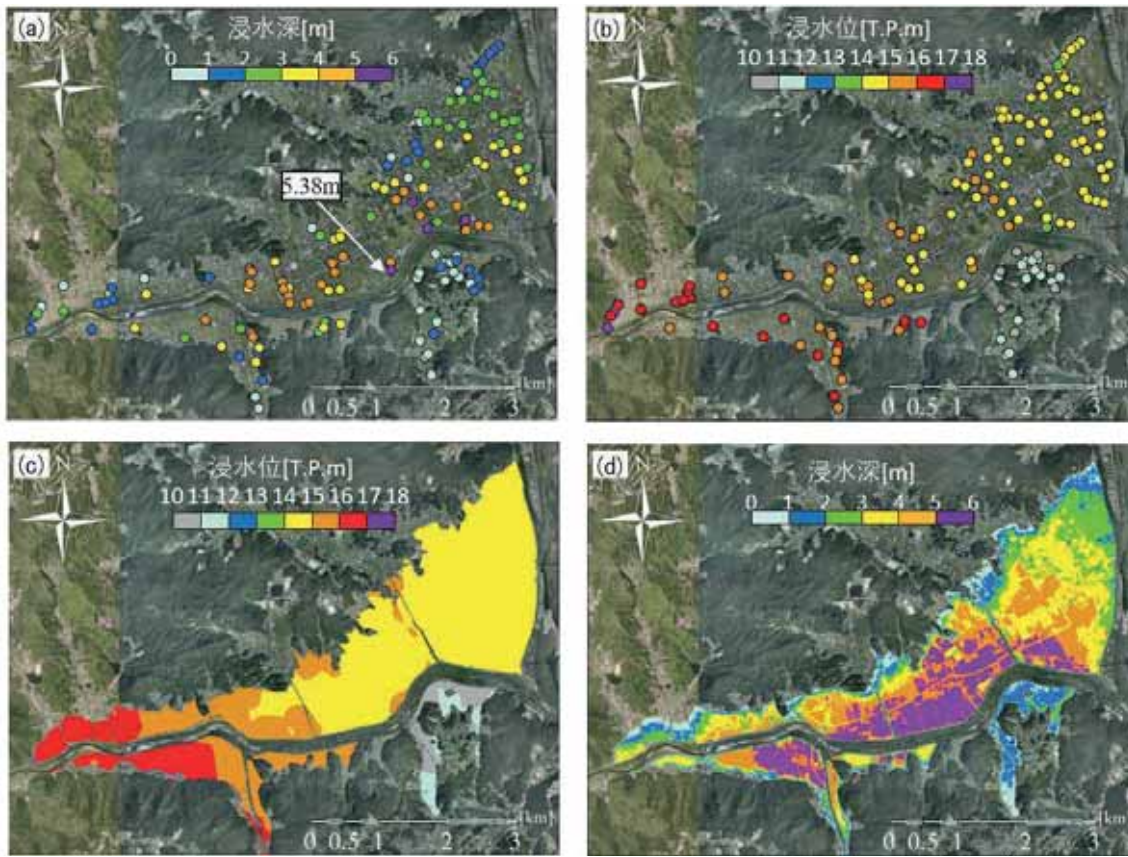


図 3.7.7 小田川における洪水氾濫状況（浸水深の実測値(a)，浸水位の実測値(b)，浸水位コンター(c)，浸水深コンター(d)）

表 3.7.2 今次水害の小田川と H27 年鬼怒川の洪水氾濫状況の比較

| 豪雨名        | 平成30年7月豪雨<br>(西日本豪雨)                               | 平成27年関東・東北<br>豪雨    |
|------------|--|---------------------|
| 場所         | 岡山県倉敷市真備町  | 茨城県常総市              |
| 浸水範囲       | 全体:10.3km <sup>2</sup><br>(左岸:8.5km <sup>2</sup> ) | 40km <sup>2</sup>   |
| 氾濫水量       | 3531万m <sup>3</sup>                                | 3400万m <sup>3</sup> |
| 最大浸水深(実測値) | 5.38m  | 3.01m               |
| 決壊時間       | 夜間   | 昼間                  |

表 3.7.2 は今次水害における小田川と H27 年の関東・東北豪雨による鬼怒川の洪水氾濫状況を比較した結果を示す。これより、浸水範囲は小田川では 10.3km<sup>2</sup> であり、これは鬼怒川の場合 (40 km<sup>2</sup>) の約 1/4 に相当する。それに対して、氾濫水量は両洪水共に同程度である (鬼怒川 : 3400 万 m<sup>3</sup>, 小田川 : 3531 万 m<sup>3</sup>)。これより、小田川のケースの方が、相対的に狭い範囲に大量の氾濫水量が発生したため、より大きな浸水深が記録されたものと考えられる。

c) 河道における痕跡水位縦断分布

上記のような洪水氾濫をもたらした河道の流況を把握するために、支川における河道内の痕跡水位の縦断分布を図 3.7.8 に示す。ここでは、支川として、末政川と高馬川、内山谷川、真谷川の 4 河川の結果が図示されている。また、堤防天端高や河床高の縦断分布も表示している。これより、まず、末政川の結果に着目すると、痕跡水位は小田川合流点から約 1100m の区間においてほぼ水平となっており、小田川からのバックウォーターの影響を広範に受けていることが分かる。同様の傾向は他の 3 河川でも見られる。このような痕跡水位がほぼ水平な区間は、高馬川では 600~800m、内山谷川では約 400m、真谷川では約 1400m となっている。このような痕跡水位は、一部で堤防高を上回っており、越水が発生していたことが分かる。例えば、末政川では、堤防高が下がる合流点から 0.8km 付近にて越水が発生していた。また、0.4km 付近では道路と交差するため、堤防高が低くなり、この地点でも越水が発生し、結果として堤防決壊につながったものと推定される。

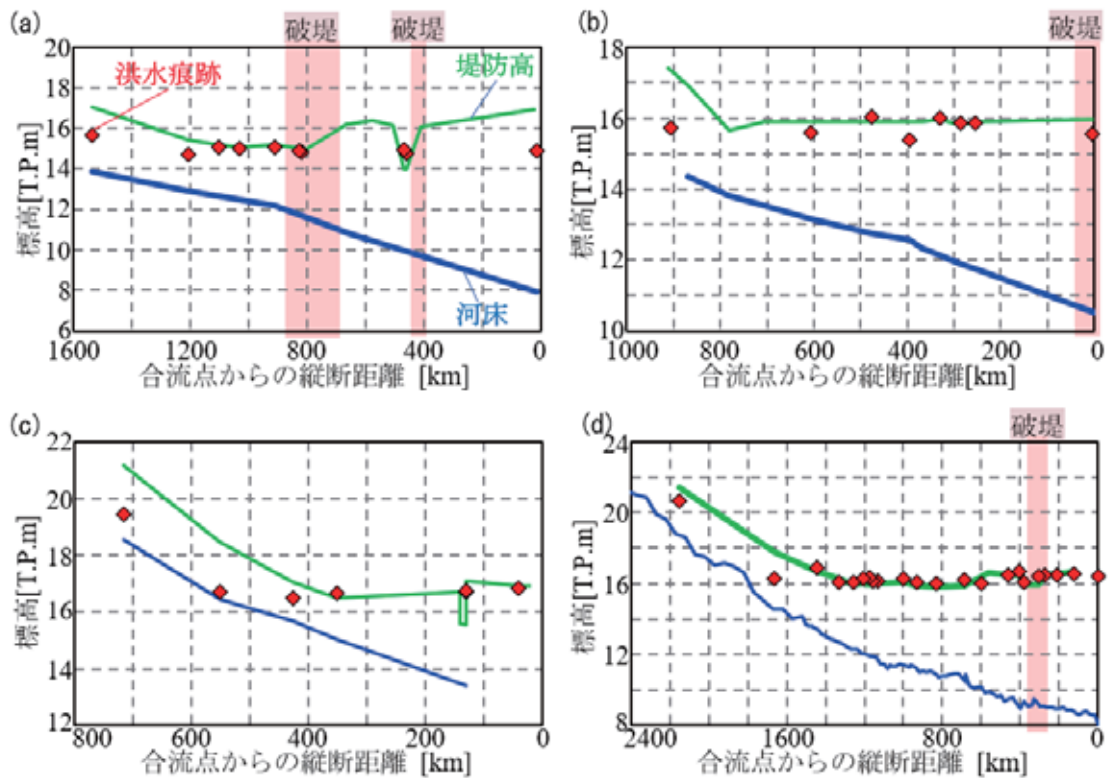


図 3.7.8 支川における痕跡水位と堤防天端高の縦断分布（末政川(a)，高馬川(b)，内山谷川(c)，真谷川(d)）

3.7.6 洪水氾濫シミュレーション

a) 計算概要

上述した観測結果では最大の浸水深状況は把握できるが、浸水プロセスの時間的な推移は不明である。そこで洪水被害が顕著であった小田川左岸側における氾濫挙動を明らかに

するために、氾濫シミュレーションを行った。ここでは、小田川とその支川における氾濫状況を適切に考慮するために、小田川・支川の河道部を対象とする一次元計算と氾濫域の平面二次元計算をカップリングした計算を行った。計算対象期間は、2018/7/6 18:00 ~ 7/7 24:00 である。本シミュレーションでは、汎用水理モデル MIKE by DHI に含まれる、一次元計算の MIKE11 と二次元計算の MIKE 21 および結合モジュール MIKE FLOOD を用いた。

計算対象範囲は小田川左岸側の洪水氾濫範囲を含む東西 9100m、南北 6125m であり、平面二次元計算の格子間隔は南北・東西方向共に 25m とした。また、一次元計算の対象領域は、小田川では高梁川合流点から 0.8kp~9.6kp、支川として末政川（小田川合流点から 0~3.3kp）、高馬川（同 0~1.2k）、内山谷川（同 0~1.0k）、背谷川である。一次元計算の境界条件としては、各河川の上流端では RRI モデル<sup>19)</sup> による解析流量を与え、小田川の下流端では水位の実測値（矢形橋観測所）を適用した。また、各河川の堤防決壊条件は、表 3.7.1 を参考として、小田川 2 か所、末政川 3 か所、高馬川 2 か所にて与えた。氾濫域の地盤高と小田川断面データに関しては国土地理院の 5mDEM を元に与えた。また、支川の断面データに関しては実測値を基に作成した。

#### b) 計算結果

シミュレーション結果に基づく浸水深分布の時間変化を図 3.7.9 に示す。まず、7/7 1 時では、末政川や高馬川の周囲で浸水が始まるが、それらの浸水範囲はまだ決壊地点の周囲に限られ、浸水深も 1m 程度である。また、小田川 6.4k 地点の決壊に伴い、対象範囲の西側で浸水が発生し、氾濫水は決壊地点から東側に進んでおり、一部で 2m を超える浸水深となっている。7/7 4 時では高馬川西側で浸水深が 5m を超えている。これは、小田川 6.4kp からの氾濫水と高馬川 0.1kp 右岸からの氾濫水が合わさり、これらの氾濫水が高馬川堤防でブロックされ、高馬川西側で大きな浸水深となったものと考えられる。また、高馬川と末政川に挟まれた範囲が全域で浸水し、浸水深が 2m を越えている。これは、小田川 3.4kp の決壊により浸水が始まった結果である。この時点では、末政川東側の浸水範囲は限定的である。次に、7/7 7 時では、高馬川と末政川に挟まれたエリアの浸水深が 5m を越えており、短時間で水位が上昇したことが分かる。これは、小田川 3.4kp からの氾濫水が両支川の堤防でブロックされて貯まった結果である。このように高馬川や末政川のような天井川からの氾濫では浸水深が大きくなるだけでなく、浸水深の上昇速度も非常に大きいことが伺える。また、この時刻では、末政川左岸 2 か所の堤防決壊の影響を受けて末政川東側にも氾濫水が広がっている。その後の 10 時と 13 時では、高馬川西側や高馬川と末政川の間エリアでは浸水深が徐々に大きくなると共に、末政川東側では浸水範囲の広がりとともに、浸水深が大きくなっている。また、13 時では、末政川東側における最終的な浸水範囲が概ね水没しており、最初の浸水（7/6 23 時台）から約半日かけて全範囲が浸水したことになる。最後に、7/7 18 時では、末政川東側では浸水深が増加し、末政川沿いでは 5m を超えるエリアが見られる。また、末政川西側のエリアでは、全体に浸水深は減少し始めている。このように氾濫域の水位ピークは 7/7 の午後（13-18 時）に現れた。なお、本計算における精

度検証は、実測値との比較により確認されている（図省略）。

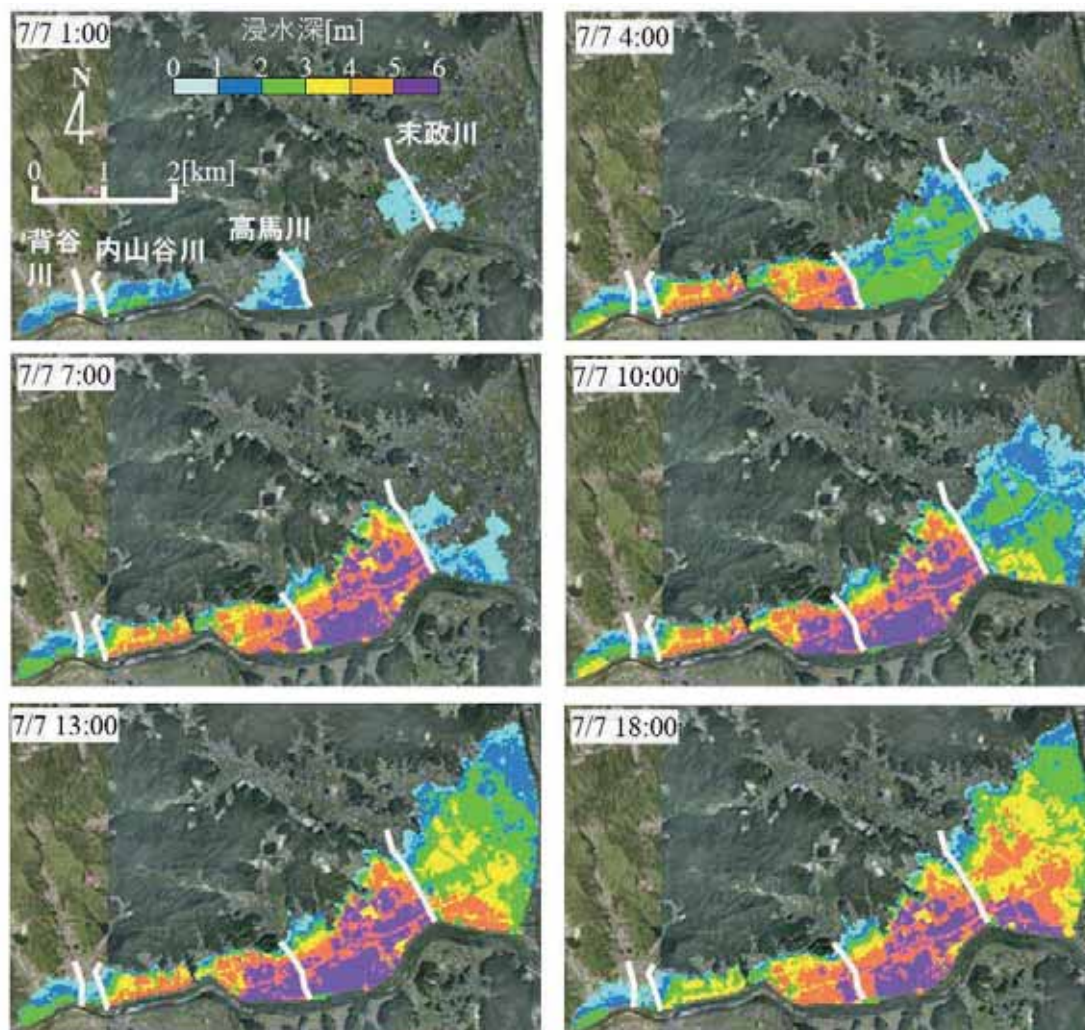


図 3.7.9 浸水深分布のシミュレーション結果

上述した浸水深（もしくは水位）上昇速度を本シミュレーション結果より求めた。その結果、多くの地点において 1m/hour を越え、最大で 2~2.5m/hour を記録した（図省略）。2015 年関東・東北豪雨による鬼怒川洪水氾濫では、水位上昇速度の最大値は 0.5m/hour であった。そのため、今次水害による小田川洪水氾濫の水位上昇速度は、鬼怒川のケースよりも 4 倍以上と大きいことが分かる。これは、浸水エリアが、大きな河川（高梁川と小田川）の堤防では挟まれている低地であることに加えて、そのエリアが支川（高馬川、末政川）の堤防で区切られているため、氾濫水が支川の堤防でブロックされ大きな水位上昇速度が発生したものと考えられる。

### 3.7.7 人的被害と洪水氾濫の関係

#### a) 全体像

真備町における亡くなった方の 51 名の自宅（合計 41 棟）位置と浸水深コンターを重ねた結果を図 3.7.10 に示す。なお、家屋被害としては、図 3.7.11 より、決壊地点近傍では「流失」や「一・二階損壊」が生じたが、大部分は「浸水のみ」であった。

被災場所別の家屋数（死者数）は小田川左岸（北側）に 38 棟（47 名）、右岸（南側）に 3 棟（4 名）であり、左岸側に集中した。また、左岸側の家屋数を詳細に見ると、高馬川西側に 7 棟、高馬川と末政川の間には 19 棟、末政川東側に 12 棟であり、東西に広い範囲に分布するが、真備町箭田・有井地区がある高馬川と末政川の間が顕著となっていることが分かる。また、小田川左岸側では、小田川の近傍ではなく、避難所に近い北側に人的被害が集中していた。

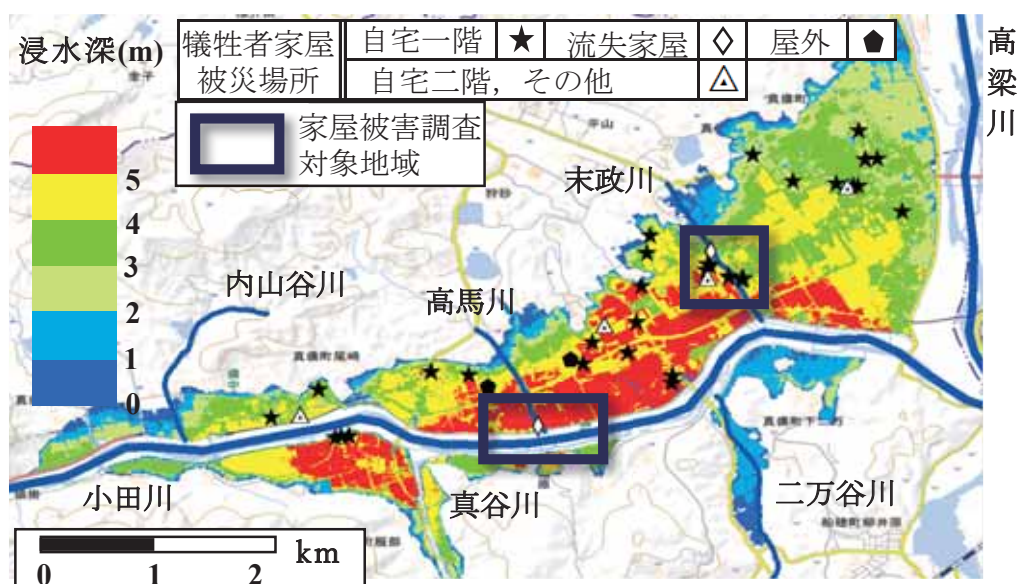


図 3.7.10 真備町における浸水深コンターと死者の自宅位置（被災状況別に表示）

#### b) 人的被害の特徴

人的被害の特徴を得るために、死者の発見場所、自宅の浸水状況（浸水深、浸水開始時刻、水位上昇速度）を、家屋数として整理した結果を図 3.7.12 に示す。なお、浸水深は観測結果、浸水開始時間や水位上昇速度はシミュレーション結果より算出した。これより、発見場所としては、自宅が 33 棟あり、そのうち 32 棟（97%）が自宅一階で見つかった。また、自宅が流失したのは 3 棟（全体の 7%）であり、これらは末政川右岸側と高馬川左岸側の決壊地点近傍に限られる。このように家屋流失よりも浸水そのものが人的被害に大きな影響を与えた。

次に浸水深としては、一階が水没する 3m 以上が 30 棟（73%）と多く、そのうち 20 棟（67%）

が 4m 以上であり垂直避難が困難であった状況が伺える。また、残りの 11 棟 (27%) も 2 ~3m の浸水深であり、一階の大部分が没する水深であった。浸水開始時刻は小田川の決壊が起こった夜間が 23 棟 (56%) であるが、日中も 14 棟 (34%) である。これより、人的被害は夜間と日中共に発生しており、浸水開始時刻に関わらず人的被害が生じたことが分かる。さらに、水位上昇速度としては 28 棟が 1m/hour 以上となった。2015 年の鬼怒川大洪水では氾濫域の水位上昇速度が最大で 0.5m/h であり、上記の 1m/h は非常に大きな水位上昇速度である。

以上より、死者の約 8 割は自宅一階で見つかり、1 階建てと 2 階建ての人数は半々であったことから垂直避難すら困難な状況であったと言える。これは、65 歳以上の高齢者が 45 名と大半であることに加えて、大きな浸水深と水位上昇速度が関係していると考えられる。

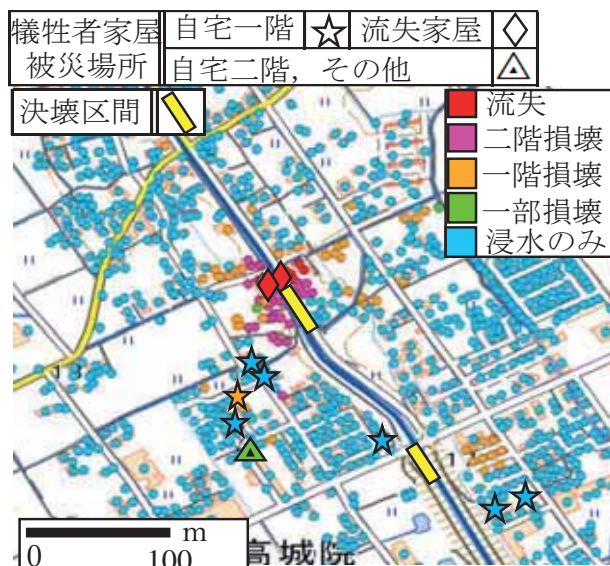


図 3.7.11 末政川近傍の家屋被害状況と人的被害

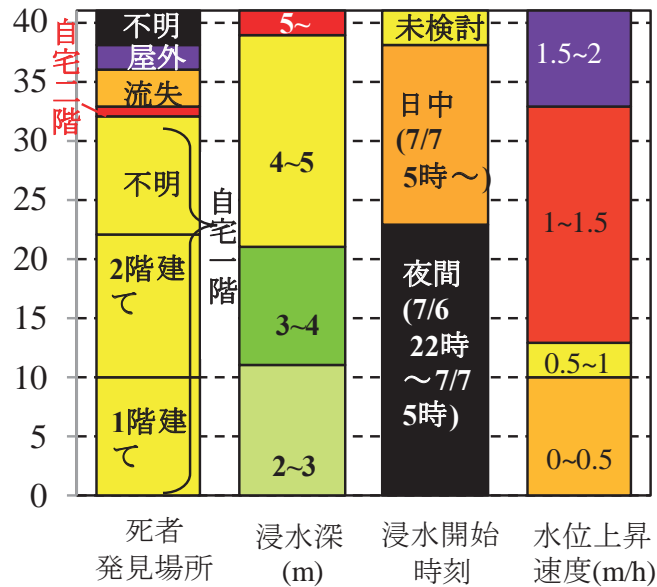


図 3.7.12 人的被害の特徴のまとめ

(二瓶泰雄・片岡智哉・小野村史穂)

### 3.8 小田川洪水：洪水流・氾濫解析

#### 3.8.1 計算モデル

高梁川及び小田川の改修前の現況河道と改修後の計画河道を対象とした，今次洪水の再現計算を実施した．洪水流解析モデルには，平面二次元モデルを用いた．離散化手法には，三角形非構造格子における有限体積法を用い，数値流束は Roe の近似 Riemann 解法より算出した．本モデルは，河川合流部などの複雑な形状の領域における洪水流に対し柔軟に適用可能である．

#### 3.8.2 計算条件

##### a) 対象区間

解析対象区間は，高梁川は河口から 6.40km の船穂観測所から 27.60km の日羽観測所まで，小田川は現況の合流点(0km)から矢掛観測所 (13.00km) までとした．また，改修後は小田川の付け替え河道-3.50km を下流側区間とした．計算格子のサイズは全域で約 25m とし，計算格子数は，現況と付替え後でそれぞれ 43680 個，45588 個である．

##### b) 河床高

図 3.8.1，図 3.8.2 に改修前後の河床高分布を示す．河床高は平成 23 年の 200m 定期横断測量データと平成 25 年の国土地理院の 5m メッシュ標高データを用い，改修後の小田川の付け替え河道については，計画断面を与えた．



c) 粗度係数

図 3.8.3, 図 3.8.4 に改修前後の粗度係数を示す。粗度係数は、国土交通省が計画洪水の準二次元不等流れ計算に用いた値を参考にし、更に出水前の航空写真を参照して、河道内に繁茂する樹林帯の分布を再現できるように調整した。

d) 境界条件

平成 30 年 7 月 5 日 8 時から 7 月 8 日 2 時までの 66 時間を対象として解析を行った。図 3.8.5, 図 3.8.6, 図 3.8.7 に上流端境界および下流端境界に与えた流量と水位を示す。



図 3.8.1 改修前の河床高分布



図 3.8.2 改修後の河床高分布

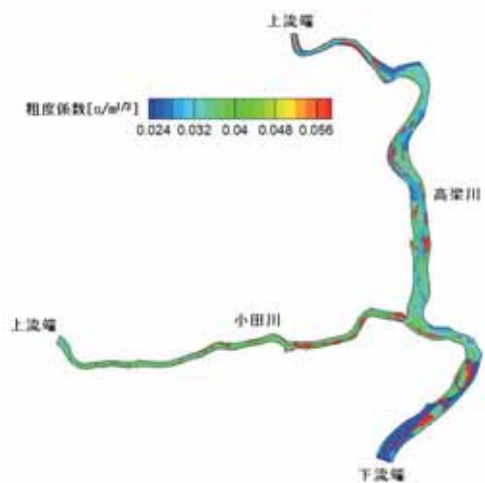


図 3.8.3 改修前の粗度係数分布

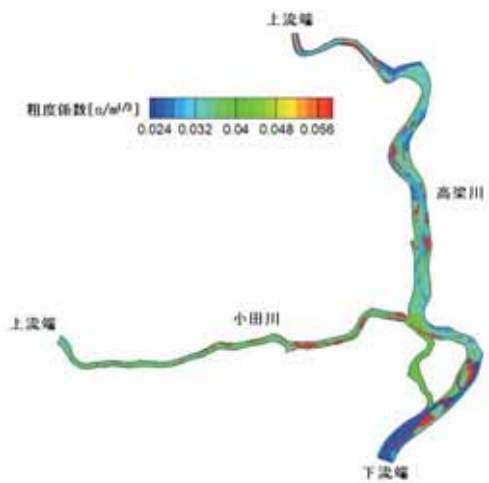


図 3.8.4 改修後の粗度係数分布

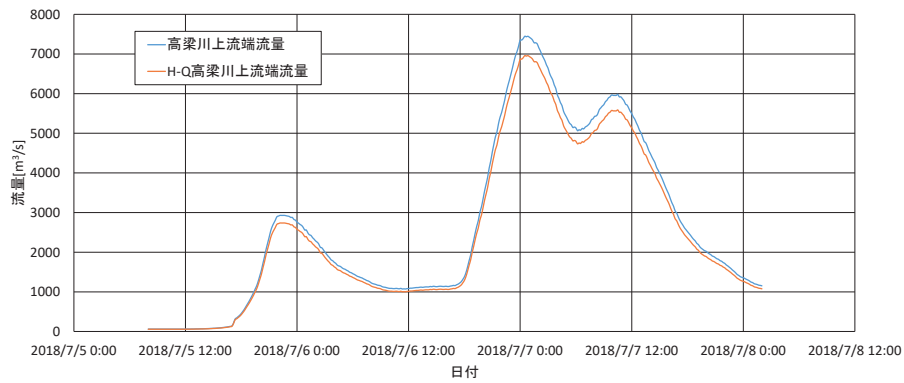


図 3.8.5 高梁川上流端における境界条件

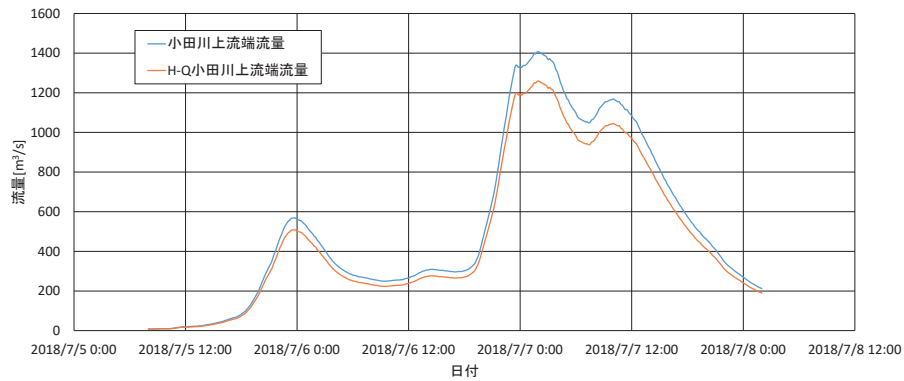


図 3.8.6 小田川上流端における境界条件

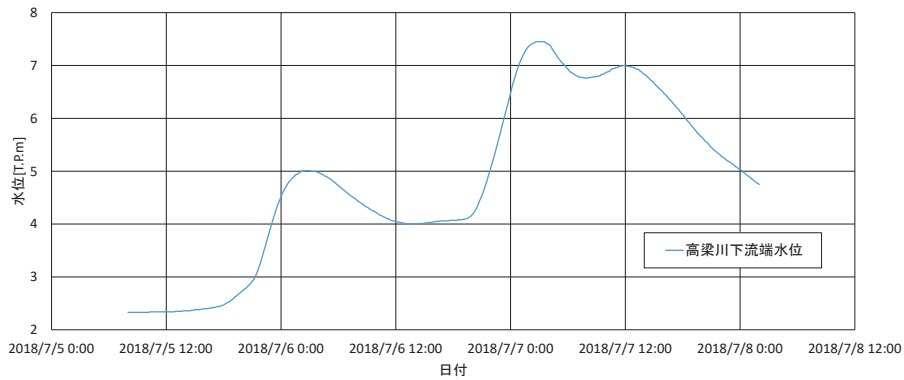


図 3.8.7 高梁川下流端における境界条件

上流端流量は、各観測所で得られた 10 分間隔の水位データを H29 年度 H-Q 式を用いて流量換算し、さらに解析区間内に流入する支川の流量を考慮するため、ピーク流量が各支川の計画流量の総和の 50%を加算された値になり、かつ波形が維持できるよう全体を線形的に調整した。また、下流端水位は、船穂観測所で得られた 10 分間隔の水位データより与えた。なお、上流端に与えた流量については、暫定的な値を用いており、今後さらなる検討

が必要である。

### 3.8.3 計算結果

#### a) 縦断痕跡水位との比較

図 3.8.8, 図 3.8.9 に高梁川および小田川の解析最大水位と痕跡水位の比較を示す。高梁川については、縦断的に概ね良好に一致している一方、小田川はやや再現性が低いことが確認できる。これは、高梁川における最大水位については、氾濫による影響が比較的小さいことが示唆されている。また、小田川については、破堤した 3.4KP より上流側では全体的に解析値が過大となっている一方で、3.4-6.4KP 区間では、解析値が過小となっていることが分かる。これらの結果については、上流側は氾濫による影響、下流側は、支川流入による影響の可能性があり、今後さらなる検討を行う予定である。

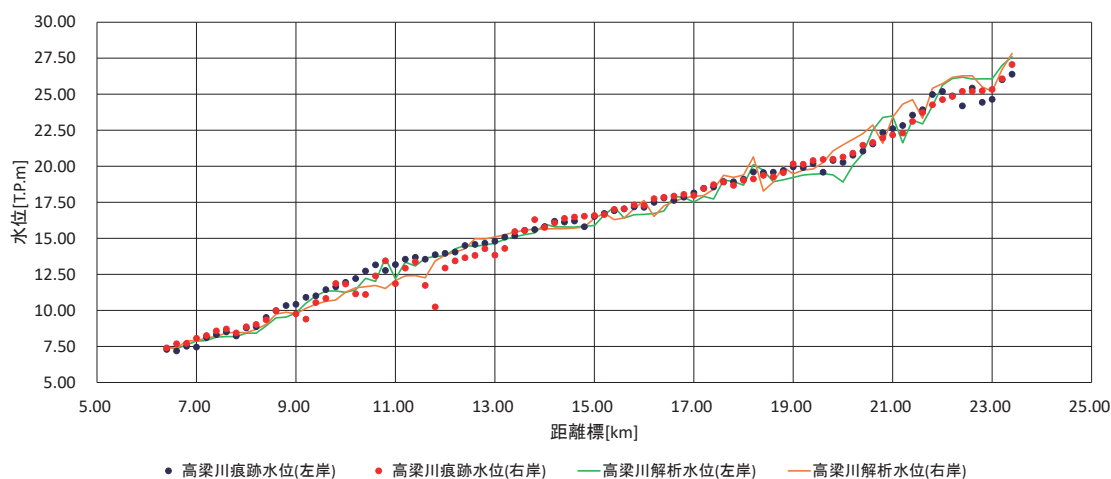


図 3.8.8 高梁川の解析最大水位と痕跡水位の比較

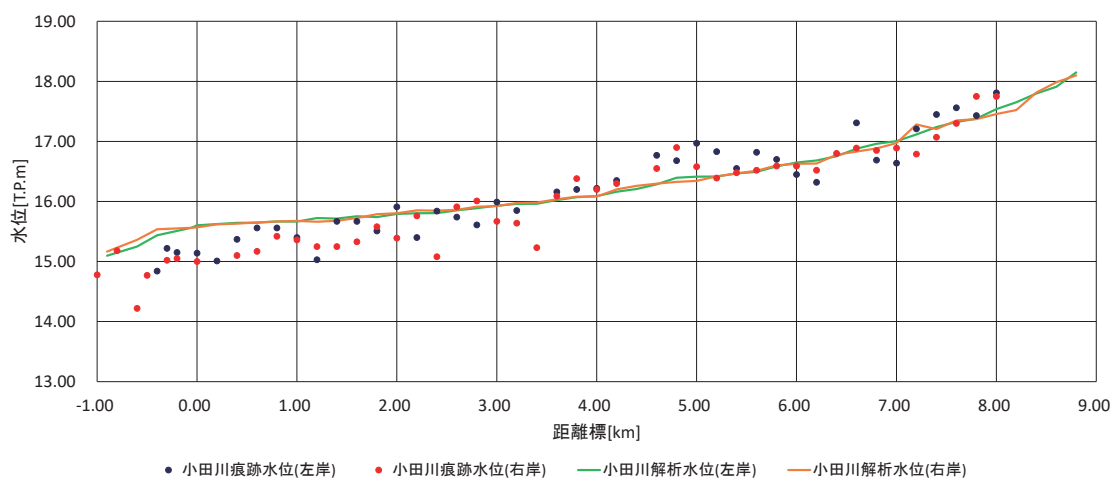


図 3.8.9 小田川の解析最大水位と痕跡水位の比較

b) 付け替え効果についての検討

図 3.8.10 に付け替え前後の合流部周辺における流速コンター、図 3.8.11 に合流部の水位コンター及び流速ベクトルを示す。改修前は、7/6 22:00 ごろから高梁川と小田川の合流部付近で水面勾配が小さくなり、流速が非常に小さくなっていることが分かる。この背水現象は、23 時頃に最も大きくなり、その後、徐々に順流に戻っている。合流部付け替えにより、背水が発生せず、小田川の水位低下に大きな効果があることが示唆されている。今後、解析に用いる流量設定および粗度係数の調整を行い、より再現性の高い解析から付け替え効果についてより詳細な検討を行う予定である。

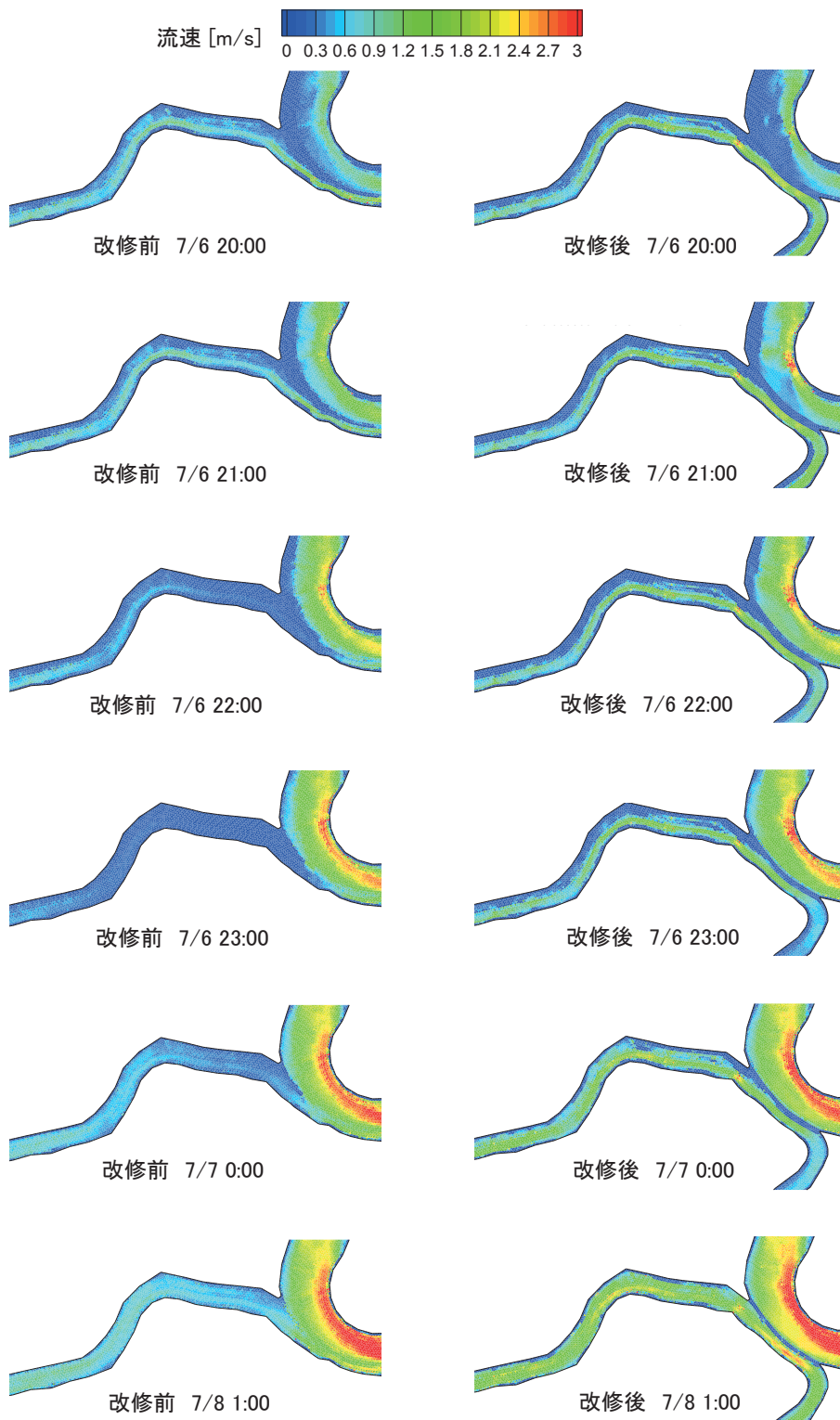


図 3. 8. 10 合流部周辺における流速コンターの時間変化

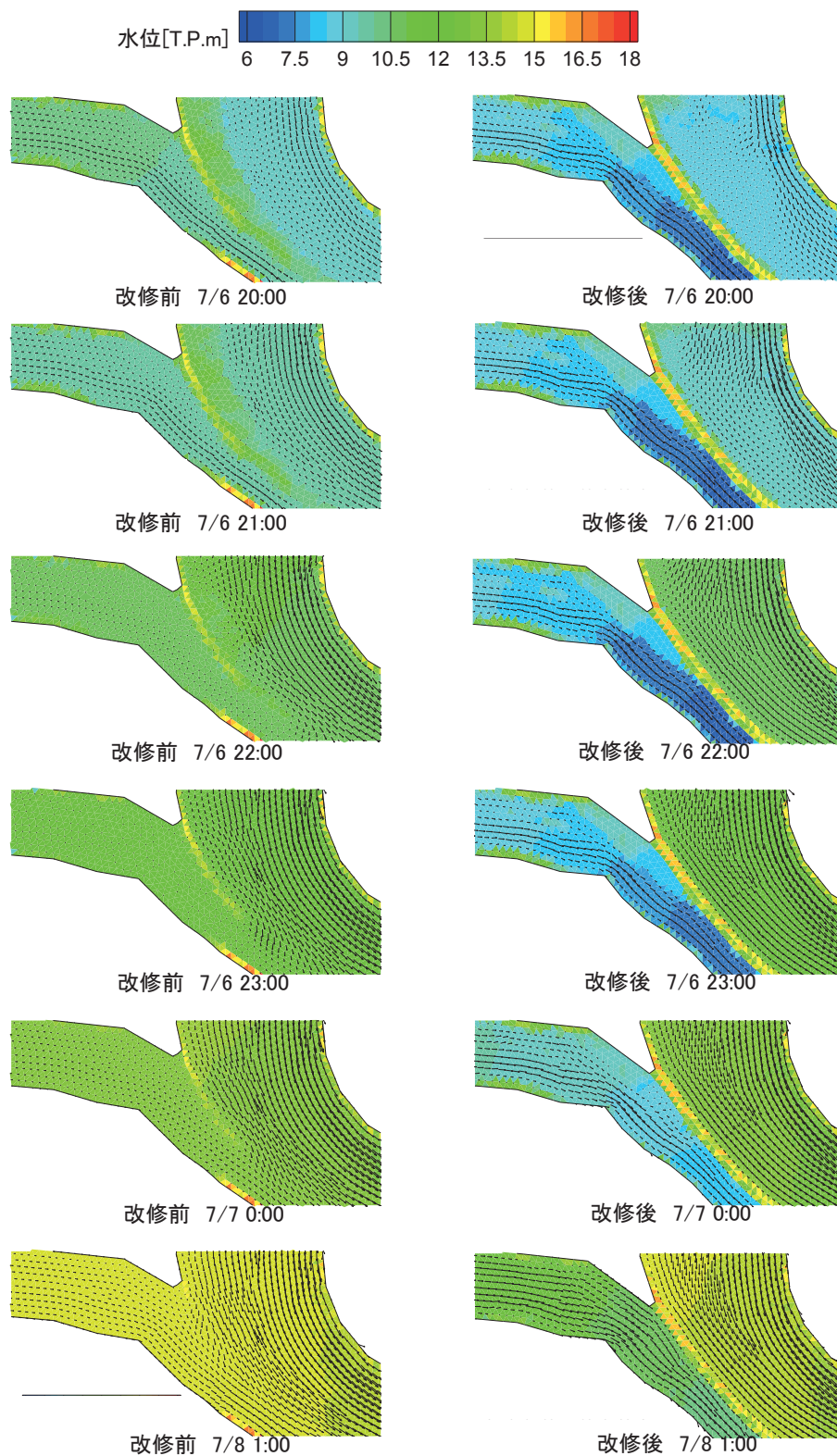


図 3.8.11 合流部の水位コンター及び流速ベクトルの時間変化

(前野詩朗, 吉田圭介, 赤穂良輔)

### 3.9 旭川洪水：洪水流解析

本豪雨においては旭川下流河道（国直轄区間）では洪水が発生し，3.2.1 で示した通り，基準点の下牧(19.0KP)においては7月7日(土)の午前3時20分に6.94(T.P. m)の最高水位を記録した．先に示した通り，本洪水は昭和47年以降，既往最大の洪水であり，旭川では本洪水に次ぐ大きな洪水には平成10年洪水が挙げられる．本節では旭川の10.7KPから17.5KP及び百間川11.4KPから分流堰までの範囲を対象に行った洪水流解析の結果を示す．ここで，KPは河口からの距離(km)である．また，旭川・百間川では河道整備基本方針や河道整備計画に則って，下牧(19.0KP)での計画高水流量6000m<sup>3</sup>/sに対して，百間川に2000m<sup>3</sup>/sが分流するように，これまで分流部改築や百間川河口水門を含めた河道整備事業が行われてきたが，ここでは本洪水における分流部改修事業の効果について簡単に触れる．

図3.9.1には解析対象範囲を灰色枠で示す．旭川12KPの分流部周辺には，土木学会認定の選奨土木遺産である「一の荒手（図中，分流堰）」や「二の荒手」などの治水施設群があるが，これらの改修工事は平成26年から平成30年まで実施されてきた．完成後の分流部のイメージパースを図3.9.2に示す．

図3.9.3～図3.9.5には解析対象範囲の河床高，植生種および分布を示す．これらのデータは2017年11月に計測されたALBデータを利用した．旭川下流部は近年，樹林化が進行しており，ヤナギなどの樹木や竹林が洪水時に水位上昇を引き起こすため，懸念されている．図3.9.6には解析の境界条件を示す．上流端（17.5KP）では下牧観測所の水位データからH-Q式(H29年度)により流量を与え，下流端(旭川10.7KP・北方観測所，百間川11.4KP・原尾島観測所)では水位を与えた．両データはいずれも速報値である．解析モデルやALBデータの処理に関しては既往研究を参照されたい<sup>20)</sup>．



図 3.9.1 旭川下流河道の解析対象範囲  
(旭川：10.7KPから17.5KP，百間川：11.4KPから分流堰まで)



図 3.9.2 旭川分流部周辺の改修後の完成予想図（岡山河川事務所 提供）

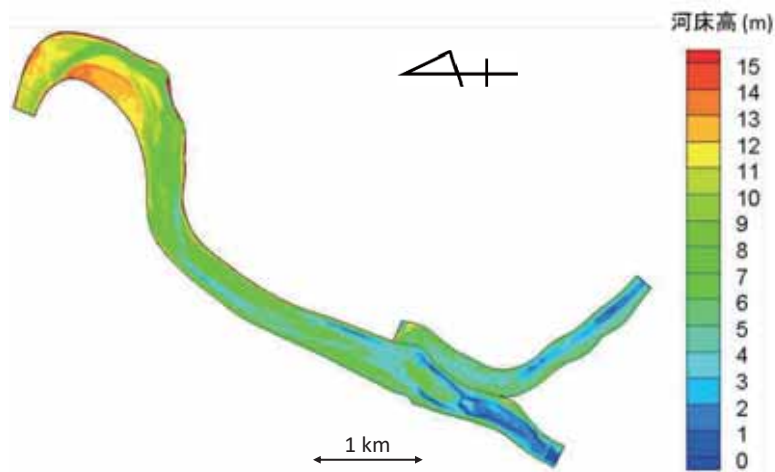


図 3.9.3 解析対象範囲の河床高の分布

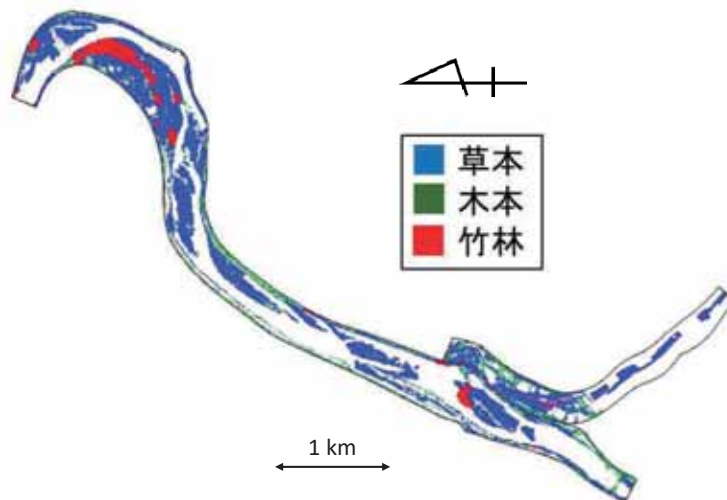


図 3.9.4 解析対象範囲の植生種の分布



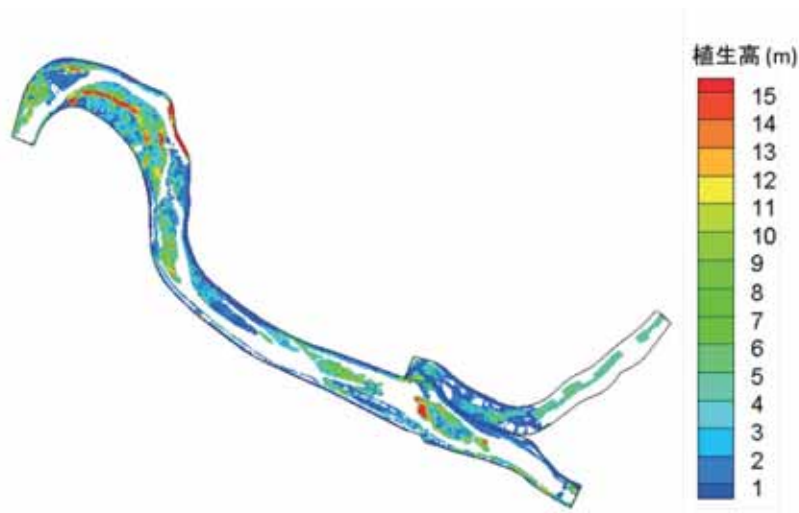


図 3.9.5 解析対象範囲の植生高の分布

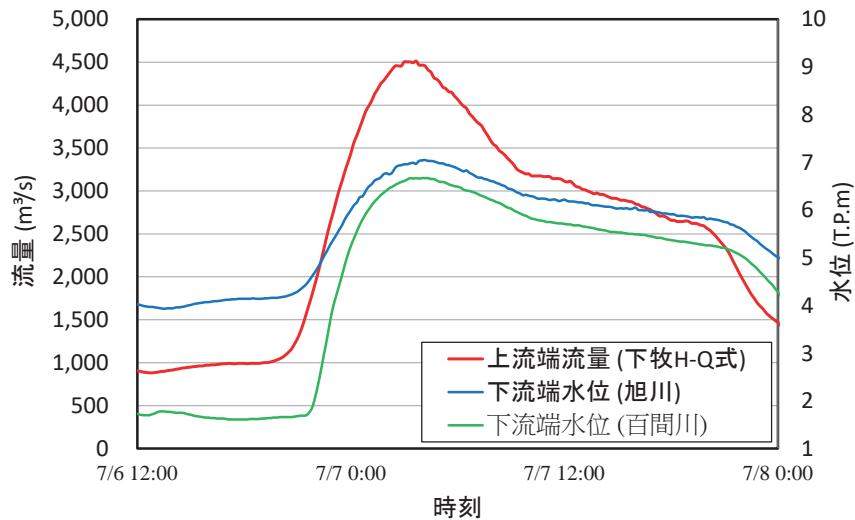


図 3.9.6 解析の境界条件 (岡山河川事務所 提供, 速報値)

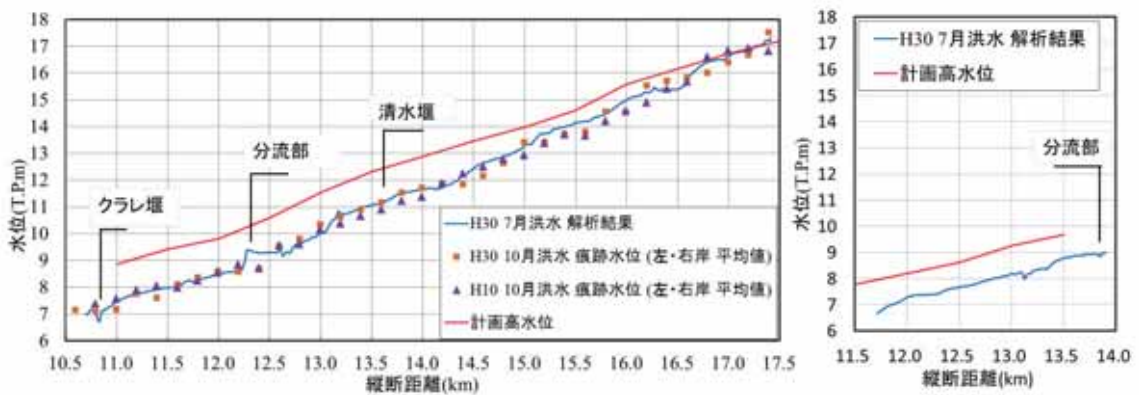


図 3.9.7 流量ピーク時の水位縦断分布 (7月7日3時20分, 左:旭川, 右:百間川)<sup>21)</sup>  
(痕跡水位, 計画高水位:岡山河川事務所より提供, 痕跡水位は速報値)

図 3.9.7 には流量ピーク時の水位縦断分布（7月7日3時20分，河道中央，左：旭川，右：百間川）を示す。図中には痕跡水位データ（左右岸の平均値）および，参考のため，平成10年の痕跡水位データ（左右岸の平均値）<sup>21)</sup> と計画高水位を併せて示した。上流側（17.0KP 周辺）の水位は計画高水位に近いが，これはこの周辺には竹林が密生しているためである。なお，河川堤防の天端高は計画高水位に対して数 m 高いため，旭川の本洪水では越流はしていない。図 3.9.8 には流量ピーク時の分流部周辺の水深平均流速の平面分布（7月7日午前3時20分）を示した。図中，白点線は分流堰の位置を示す。本解析で用いた河床高データは2017年11月のALBデータであり，また，用いた計算格子の大きさは10m程度はある。そのため，分流堰の形状が適切に洪水解析に反映されているとは言えないが，分流堰上では5m/s程度の高流速が観察される。図 3.9.9<sup>22)</sup> の右図に示す通り，H10年の旭川洪水では分流堰周辺では構造物の破壊や中原地区で23戸が浸水するなど被害がでているが，本洪水では分流堰は改築効果により，破壊を免れた。一方，本洪水では分流堰前面の明星堰の一部が洪水流により破損した。

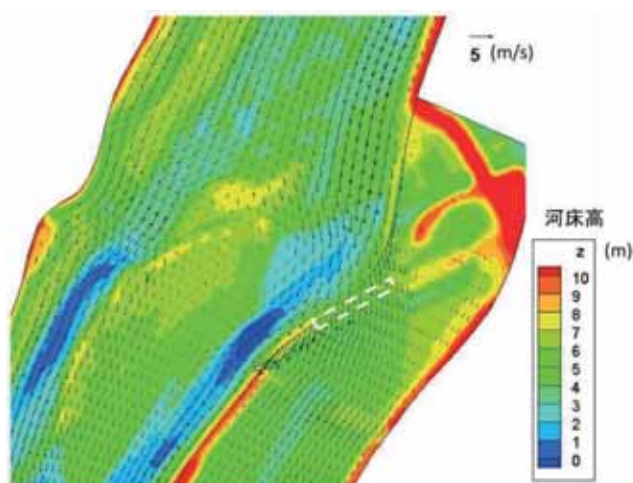


図 3.9.8 流量ピーク時の分流部周辺の水深平均流速の平面分布（7月7日3時20分）



図 3.9.9 平成10年旭川洪水時の流況<sup>22)</sup>（左：東西中島地区，右：分流地点）

**表 3.9.1** には旭川洪水の分流量（流量ピーク時）に関して、今次洪水に対する本解析値と平成 10 年洪水の観測値<sup>21)</sup>を比較して示した。表中、今次洪水のピーク流量は速報値である。解析結果に基づくと、今次洪水ではほぼ改修後の計画値通りに分流がなされた。また、表より、分流前の下牧観測所(19.0KP)での流量を比べると今次洪水は平成 10 年洪水に対して 100m<sup>3</sup>/s 程度多いが、分流後の旭川本川では流量が 300m<sup>3</sup>/s 程度減少し、その分が百間川へ分流したことがわかる。旭川 7.5KP の東西中島地区が浸水した H10 年洪水（**図 3.9.9** の左図）と比較すると、今次洪水では分流部改築の効果により、旭川本川の負担が軽減されたことがわかる。なお、今次洪水の流量値は速報値であり、今後の検討により修正される可能性がある。

**表 3.9.1 旭川洪水の分流量（今次洪水と平成 10 年洪水の比較，流量ピーク時）**

|                                 | 平成 10 年洪水 <sup>17)</sup> | 平成 30 年洪水  |
|---------------------------------|--------------------------|------------|
| 旭川流量（分流前）(m <sup>3</sup> /s)，下牧 | 4405                     | 4512 (速報値) |
| 旭川流量（分流後）(m <sup>3</sup> /s)，北方 | 3531                     | 3201       |
| 百間川分流量 (m <sup>3</sup> /s)，原尾島  | 874                      | 1311       |

（前野詩朗，吉田圭介，赤穂良輔）

参考文献：

- 1) 平成30年7月3日から8日にかけての台風第7号と梅雨前線による大雨について：岡山地方気象台  
<https://www.jma-net.go.jp/okayama/>
- 2) 日本気象協会(tenki.jp)HP  
<https://tenki.jp/radar/7/36/>
- 3) 田中丸治哉他（2016）：地域環境水文学，朝倉書店，144-166.
- 4) 高棹琢馬他（1986）：琵琶湖流域水文データの基礎的分析，京都大学防災研究所年報，27B-2，157-171.
- 5) Hosking, J.R.M. (1990): L-Moments; analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics, Journal of Royal Statistics Society, B, 52,2,105-124.
- 6) 平成 30 年 7 月豪雨関連情報，中国地方整備局管内の出水概況：国土交通省公式 HP  
<http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/syussui.htm>
- 7) 洪水調節報告書：岡山県公式 HP  
<http://www.pref.okayama.jp/page/536800.html>
- 8) 2018年7月 豪雨災害：株式会社PASCO提供  
[https://www.pasco.co.jp/disaster\\_info/20180709/](https://www.pasco.co.jp/disaster_info/20180709/)
- 9) 真備地区における浸水範囲：国土地理院作成

- 10) 高梁川河川整備計画より抜粋：岡山河川事務所作成
- 11) 真備地区における浸水被害状況：国土交通省中国地方整備局提供
- 12) 岡山県矢掛町：公式 HP  
<http://www.town.yakage.okayama.jp/files/20180713saigaikensu.pdf>
- 13) 総務局 防災対策本部発表：倉敷公式 HP  
<http://www.city.kurashiki.okayama.jp/32987.htm>
- 14) 防災情報：国土交通省 中国地方整備局（本情報を一部、含む。）  
<https://www.cgr.mlit.go.jp/saigai/saigai/main.htm>
- 15) 矢掛水位情報：国土交通省 水文水質データベース  
<http://www1.river.go.jp/cgi-bin/SiteInfoDetail.exe?ID=307111287708150>
- 16) 岡山県「平成 30 年 7 月豪雨」災害検証委員会,  
<http://www.pref.okayama.jp/page/574750.html>.
- 17) 国土交通省・高梁川水系小田川堤防調査委員会：  
<http://www.cgr.mlit.go.jp/emergency/odagawateibochosa.htm>.
- 18) 佐山敬洋，寶馨：平成 27 年 9 月関東・東北豪雨に伴う鬼怒川氾濫の浸水深分布推定，  
土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72，No.4，pp.I\_1171-I\_1176，2016.
- 19) 佐山敬洋，岩見洋一：降雨流出氾濫（RRI）モデルの開発と応用，土木技術資料，Vol56，  
No6，pp.18-21，2014.
- 20) 吉田圭介，前野詩朗，間野耕司，岩城智大，小川修平，赤穂良輔：航空レーザ測深を用  
いた河道の植生種分布の判定手法の検討，土木学会論文集 A2（応用力学），Vol. 73, No. 2  
（応用力学論文集 Vol. 20），I\_607-I\_618，2017.
- 21) 前野詩朗，宮内洋介，森卓也：植生が旭川の洪水流に及ぼす影響の検討，水工学論文集，  
第 48 巻，pp.757-762，2004.
- 22) 旭川水系河川整備計画【国管理区間】平成 25 年 3 月発表：国土交通省中国地方整備局.

## 第4章 広島県の河川災害

### 4.1 河川災害の概要

広島県の南部から東部にかけての広範囲において、2018年7月5日から7日にかけて、記録的な豪雨に見舞われた。そのため、広島県内の多くの河川、とりわけ中小河川において、多くの災害が発生した。図4.1.1は、広島県管理河川で破堤や越流・溢水の発生した箇所と浸水の状況を示している<sup>1)</sup>。また、広島県に依れば、広島県・市町管理の公共土木施設のうち、河川の被災箇所数は3,284箇所、被害額は約570億円と査定されている<sup>2)</sup>。



図4.1.1 広島県管理河川の被災状況<sup>1)</sup> (一部改変)

個別の河川の被災状況を後述するが、まず、今回の河川災害を浸水被害の原因別に整理する。

#### 【浸水氾濫の原因】

- 1) 洪水流下能力を上回る洪水流量による越流や破堤による外水氾濫 (例：沼田川)
- 2) 本川への排水不良による支川での氾濫 (例：菅川)
- 3) 河道に供給された多量の土砂や流木の影響による外水氾濫 (例：中畑川)
- 4) 排水機場のポンプの能力不足や運転停止による内水氾濫 (例：福川)
- 5) 異常洪水時防災操作時の放流による外水氾濫 (例：野呂川)

図 4.1.1 に示すように、多くの河川で計画規模かそれを超える降雨によって大規模な洪水が発生した。1) は洪水流量に対して河川の流下能力が不足していたため越水したものである。その中には、川幅が狭い場合や堤防高が低い場合だけでなく、土砂の堆積や樹木・植生の繁茂が進行していたために有効な河積を確保できていなかった場合を含んでいる。一方、2) は、長い時間にわたって本川の水位が高い状況が継続し、それが支川の水位を上昇させ、越水、あるいは破堤により氾濫を発生させたケースである。さらに、今次豪雨では、多くの箇所でも土石流が発生し、河川に多量の土砂と流木を流入させた。多量の土砂は分級され、粒径の小さい土砂は下流に輸送され、河床高を上昇させたり、河床形状を変化させたりし、越流の発生や護岸の破壊に大きな影響を与えた。その現象に対して「土砂洪水流」という呼び方が用いられている。また、流木などの流下物が橋脚部に集積し越流を引き起こした事例も多発した。このようなケースが 3) である。4) は本川から支川への洪水の逆流を防ぐために樋門・水門を閉め、ポンプ排水で対応しようとしたが、ポンプの排水能力が低く、内水氾濫の拡大を防ぐことができなかったケースである。土石流や浸水によって排水ポンプが運転不能になったケースや、ポンプの燃料不足や整備不十分のために排水が不十分となり、浸水域を拡大させることになった事例も発生した。5) は今次豪雨で発生したものであり、ダムで異常洪水時防災操作で規定された流量よりも大きな流量を放流したために下流地区において越流による浸水域を拡大させたケースである。

また、河川構造物の被害として以下のような事象が挙げられる。

#### 【河川構造物の被害】

- 1) 堤防の破壊・欠損（例：菅川）
- 2) 護岸の破壊・損傷（例：瀬野川）
- 3) 橋脚や橋梁の被災（例：三篠川）
- 4) 高水敷の侵食（例：瀬野川）

1) の堤防の破壊・欠損は、越水によるものが多いと推測されているが、沼田川水系天井川のように堤防の盤ぶくれ、陥没が確認された事例も確認されている。また、河川によっては長時間にわたって水位が高い状況が継続したため、堤防の強度が低下した箇所もあると推測される。一方、2) は、河道の湾曲部の外岸側や水衝部、取水堰下流において、護岸の破壊や側岸侵食が発生したものを示す。越流時に外岸側の天端に沿って高速流が流れ、天端から侵食が進み、護岸の背面の土砂が流出したものや、護岸の根固め付近で局所洗掘が発生し、根固めが沈下・流失し、護岸が不安定化したものである。また、土石流や河岸崩落などに伴って多量の土砂が河道に供給され、それが河床形状を変化させ、直線的な河道において側岸侵食が発生させた可能性がある。3) は、橋脚周辺の局所洗掘に伴って橋脚が沈下・傾斜し、橋梁が破損したもの、あるいは流木や植生などが橋脚や橋桁に引っかかり、大きな流体力を受けて変形したり落橋したりしたものである。4) は高水敷上を流速の大きな流れが通過することによって侵食が発生したものである。それぞれの具体的な事例は後述の調査結果で説明される。

今回の河川災害では、今後も懸念される、記録的な豪雨に対する中小河川の脆弱性とその地点が明示された。また、今回の洪水氾濫に関して着目すべき点は、従来の洪水と比較して、多面的な災害を引き起こしたことである。氾濫が、重要な道路の不通、停電の発生、水道施設の破損による上水道の停止、光ケーブルの破損等、生活基盤に大きな損傷を与え、被災地の住民に深刻な影響を長期間にわたって与えた。今後の防災減災に資するために、河川災害を正確に記録すること、その災害の発生原因を分析・特定し、今後の有効な対策の検討に活用することが求められている。

**表 4.1.1 水工学委員会西日本豪雨災害調査団（広島河川グループ）のメンバー**

| 役割    | 名前   | 所属（調査当時）              | 本報告書の執筆箇所       |
|-------|------|-----------------------|-----------------|
| グループ長 | 河原能久 | 広島大学大学院工学研究科・教授       | 4.1, 4.10, 4.12 |
| メンバー  | 内田龍彦 | 広島大学大学院工学研究科・准教授      | 4.6, 4.9        |
| メンバー  | 李 漢洙 | 広島大学大学院国際協力研究科・准教授    | —               |
| メンバー  | 北 真人 | 広島大学大学院工学研究科・特任助教     | 4.7, 4.8        |
| メンバー  | 田中健路 | 広島工業大学環境学部地球環境学科・准教授  | 4.2, 4.3        |
| メンバー  | 黒川岳司 | 呉工業高等専門学校環境都市工学科・准教授  | 4.4, 4.5        |
| メンバー  | 二瓶泰雄 | 東京理科大学理工学部・教授（水工学委員会） | 4.11            |
| メンバー  | 竹林洋史 | 京都大学防災研究所・准教授（水工学委員会） | —               |

今回の豪雨災害発災直後に、土木学会中国支部と連携して、地元の研究者を中心とした災害調査団を結成し、調査を開始した。その後、水工学委員会から連絡をいただき、調査団メンバーを拡充し、**表 4.1.1** に示すメンバーで活動を行った。なお、国土交通省中国地方整備局や広島県土木建築局河川課からは適宜、災害情報の提供をいただいた。

これまで水工学委員会災害調査団の活動として、適宜調査内容を支部の HP で報告するとともに、8月4日に土木学会会長特別調査団に同行するとともに、広島 YMCA にて記者会見を行った。また、北海道大学で開催された平成 30 年度全国大会において 8 月 31 日に行われた、2018 年 7 月西日本豪雨災害調査団報告会、土木学会・地盤工学会共催で広島国際会議場において 12 月 10 日に行われた 2018 年 7 月西日本豪雨災害合同調査報告会について水工学委員会の調査報告の中で広島県における河川災害の概要などを報告した。

(河原能久)

## 4.2 太田川水系

### 4.2.1 三篠川

三篠川は太田川流域のうち下流東部に位置し、広島市安佐北区、東区、安芸太田市、東広島市に跨る幹線流路延長 42.4 km、流域面積 274.2 km<sup>2</sup> の河川である。流域の全体図を図 4.2.1 に示す。三篠川に流れ込む主な支川として、安佐北区志和口を合流点とし、東広島市志和を上流部に抱える関川（延長 13.7 km、流域面積 69.5 km<sup>2</sup>）や安佐北区白木地区を流域として抱える英堂川（延長 8.9 km、流域面積 24.5 km<sup>2</sup>）などを有する。三篠川本川は、太田川の合流点から 9.45 km（安佐北区狩留家）までの区間が国土交通省の直轄区間、それよりも上流側は広島県の管理区間に分かれている。



図 4.2.1 三篠川の流域の概要<sup>3)</sup>

三篠川の河床勾配は、合流点から 10～25 km の区間で約 1/200、30 km 付近で約 1/150 程度であり、中流域の大半は北東－南西方向に走る V 字谷に沿って流下している。中流域の区間には河床や河岸に岩盤の一部が露出している箇所が見られ、その一部は出水時における局所的な渦の形成や水位上昇に影響を与えたものと考えられる。三篠川の支川の一つである関川は、三篠川合流点から 6～11 km の東広島市志和の区間は河床勾配約 1/200 と緩やかであるが、合流点から 5.4～1.5 km の区間が鎌倉山と安駄山との間の谷間を流れる狭窄部となっており、合流点から 1.5 km 付近で、流下方向から北向きから西向きへと大きく湾曲する箇所がある。関川の上流部では、山陽自動車が跨いでおり、志和トンネルへの土砂流入が発生



した。

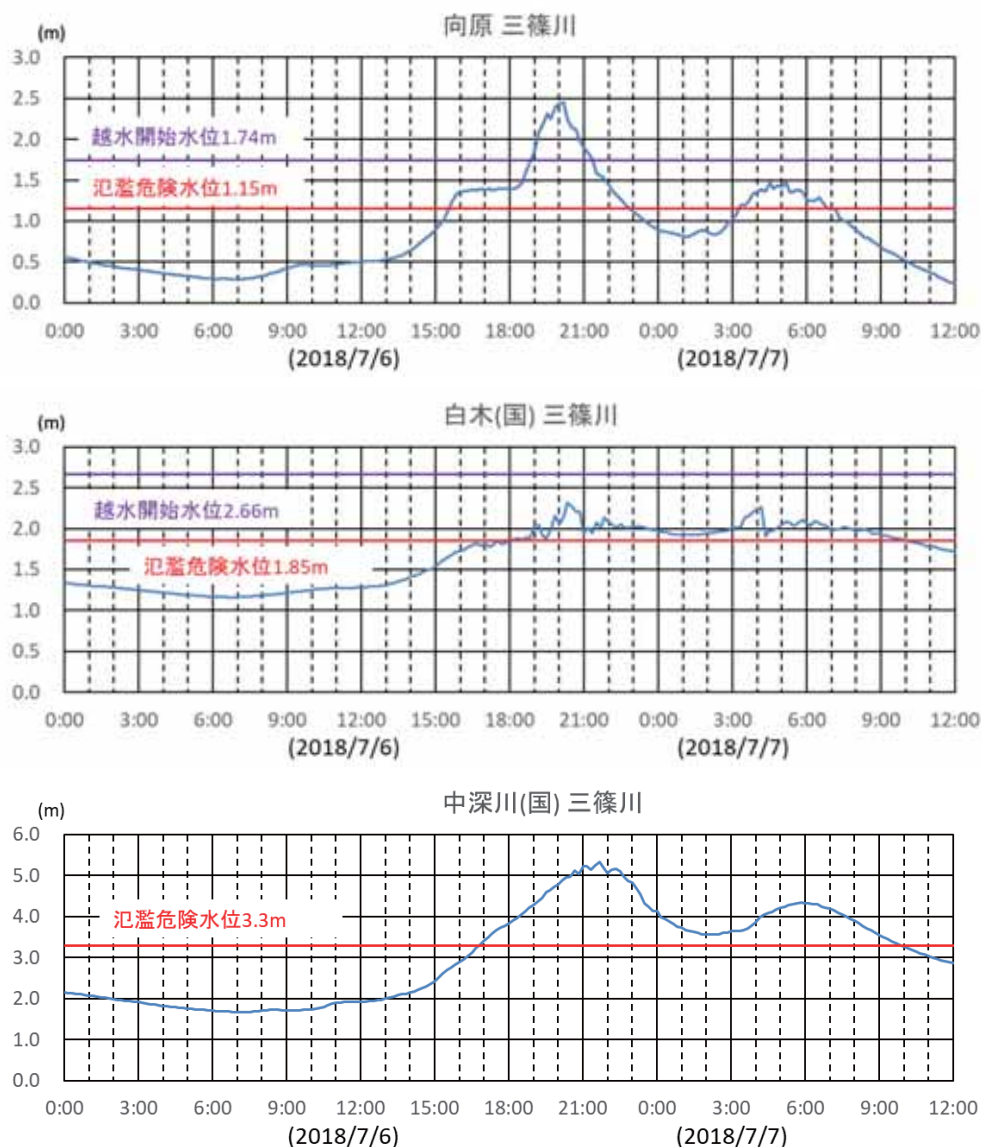


図 4. 2. 2 三篠川の水位観測局のハイドログラフ. 上から順に向原, 白木, 中深川.

三篠川の水位観測局のうち、向原、白木、中深川の三地点におけるハイドログラフを図 4. 2. 2 に示す。向原と白木の観測局のハイドログラフに記載している越水開始水位は、各水位観測所の受け持ち区間の中で越水が開始する水位を示している。向原観測所の受け持ち区間は榮堂川合流点（太田川合流点から 25.4 km）から出口橋（同 37.5 km）までの間、白木観測所の受け持ち区間は、国直轄区間上流端から榮堂川合流点までの区間である。上流の向原では、7 月 6 日 15:30 に氾濫危険水位 1.15m を超過した。その後、同日 15:50～18:30 までの間水位が 1.4m と高い値で一定となった後に、18:30～20:00 にかけて水位が更に上昇し、18:50 に越水開始水位を超過、20:10 に最高水位 2.5m を記録した。最高水位に到達後 7 月 7 日 0:00

頃まで水位が低下し、2:30～5:00にかけて水位が再上昇、3:10に再び氾濫危険水位に到達した。白木観測局では、7月6日16:20頃には氾濫危険水位付近まで水位が上昇し、18:00に氾濫危険水位を超過した。7月6日20:20と7月7日4:10に最高水位2.3mを観測したが、越水開始水位2.66mには到達しなかった。中深川では、7月6日17:40に氾濫危険水位に達し、その後21:00過ぎまで上昇、21:30に最高水位5.3mを観測した。その後、7月7日2:00過ぎまで水位が低下するが氾濫危険水位を超過した状態が続いたまま、3:00～6:00の時間帯で4.2mまで水位が上昇した。

三篠川の本川での浸水は大小合わせて少なくとも62ヶ所、家屋への浸水被害は29ヶ所発生した(図4.2.3)。JR芸備線第一三篠川橋梁の落橋をはじめ、6橋の落橋被害が発生していた。三篠川からの溢水または越水によるものが大半であったが、支川からの越水によるものが3か所、内水氾濫が5ヶ所、越水と内水氾濫の双方による浸水被害も1ヶ所見られた。以下、代表的な被災箇所について述べる。

#### a) 安芸高田市向原～出口橋

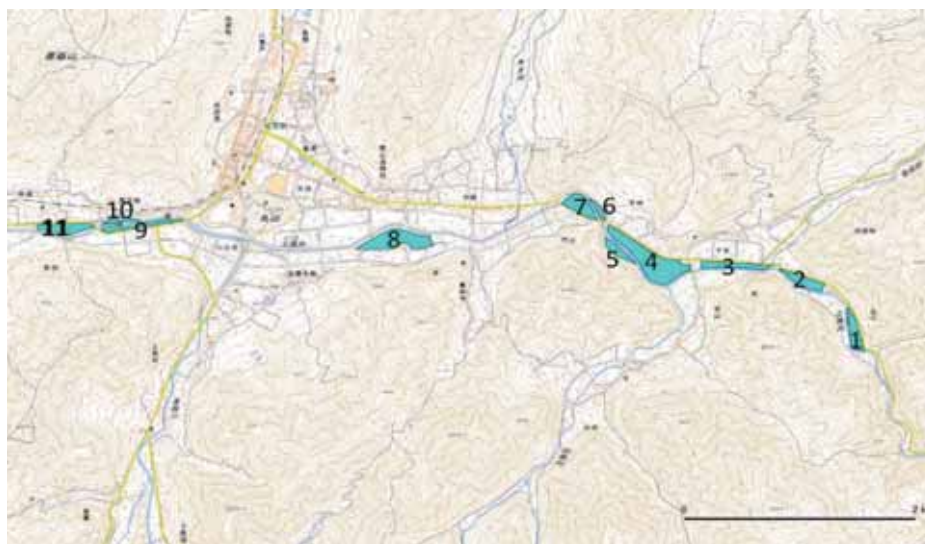


図 4. 2. 3 三篠川浸水被害範囲 (安芸高田市向原～出口橋)

この区間では、三篠川からの越水による田畑への浸水被害が中心であった。出口橋より上流側からの急流が河道上に沿って湾曲できずに河岸を超えて越水した痕跡(図4.2.4(a))が見られた。フェンスに付着した塵芥の痕跡を測定したところ、地盤高+1.3mであった。ブロック1～7は水田や田畑への越水による浸水が主であるが、ブロック3,4では河床侵食による護岸損壊(図4.2.4(b))や橋脚の洗堀による沈下が見られた。ブロック8は橋の左岸上流側からの越流による護岸損壊(図4.2.4(c))により、住宅の床下浸水被害が発生した。土堀の痕跡高を測定すると地盤高+75cmであった(図4.2.4(d))。ブロック9,10,11では越流による堤内地の侵食が発生していた。小丸子橋左岸上流側のブロック9では、河岸に設置され

ているフェンスが上流側では堤内地側に，下流側では堤外地側に向かって時計回りに捻じれながら倒伏していた（**図 4.2.4(e)**）. 小丸子橋右岸下流側のブロック 11 では，越水に伴う表土の侵食により，河岸に設置されていた太陽光発電システムの土台が一部崩壊し，ソーラーパネルが破損する被害が見られた.



(a) 右岸側への越水痕跡（安芸高田市出口，図 4.2.3 ブロック 1）



(b) 右岸の越水による侵食と橋脚の沈下（安芸高田市向原坂，図 4.2.3 ブロック 3）



(c) 実重橋（安芸高田市向原隠地）左岸側の堤防損壊に伴う応急対策工の様子（ブロック 8）



(d) 家屋の塀に付着した浸水痕跡（ブロック 8）



(e) 越水と排水に伴うフェンスの倒壊。安芸高田市向原中組（ブロック 9）



(f) 護岸損壊による右岸の侵食。太陽光発電システムの被害（○枠内）安芸高田市向原中組（ブロック 11）

図 4.2.4 安芸高田市出口橋～向原間の主な被害状況の写真

(2018年9月14日)

b) 広島市安佐北区志和口～安芸高田市向原

図 4.2.5 に広島市安佐北区志和口から安芸高田市向原の区間の浸水状況の分布図を示す。図に示すブロック 12～31 の概要について述べる。

ブロック 15, 16, 17 は堤外地からの越流や溢水が確認されず、内水氾濫の可能性が高いと考えられる。ブロック 28 は関川が三篠川に合流する直前の湾曲部で外岸側に越水した。それ以外は連続する蛇行区間において、外岸側の水位が上昇し、堤内地側に越水する痕跡が見られた。図 4.2.6 に被害例の写真を示す。安芸高田市向原下長坂では、支川との合流点を上流端として越水し、路面地盤高+50cm の浸水痕跡が残っていた (図 4.2.6(a))。県道 34 号線新大見橋下流側のブロック 21, 22 では、越流による護岸の侵食が発生 (図 4.2.6(b)) し、左岸側の住宅では、地盤高+90cm~120cm の浸水痕跡が確認された。JR 芸備線志和口駅周辺のブロック 26 では、駅西口に接続する県道 46 号線柏木橋の左岸上流側で越流による護岸損壊が発生した (図 4.2.6(c))。流木などの付着痕跡の高さは、柏木橋の橋脚上端までに留まっており、このブロックの上流側からの越水が、JR 志和口駅の構内に広島駅方面に向かうように流れ込み、構内のフェンスは構外 (堤外地側) に向かって倒伏していた (図 4.2.6(d))。

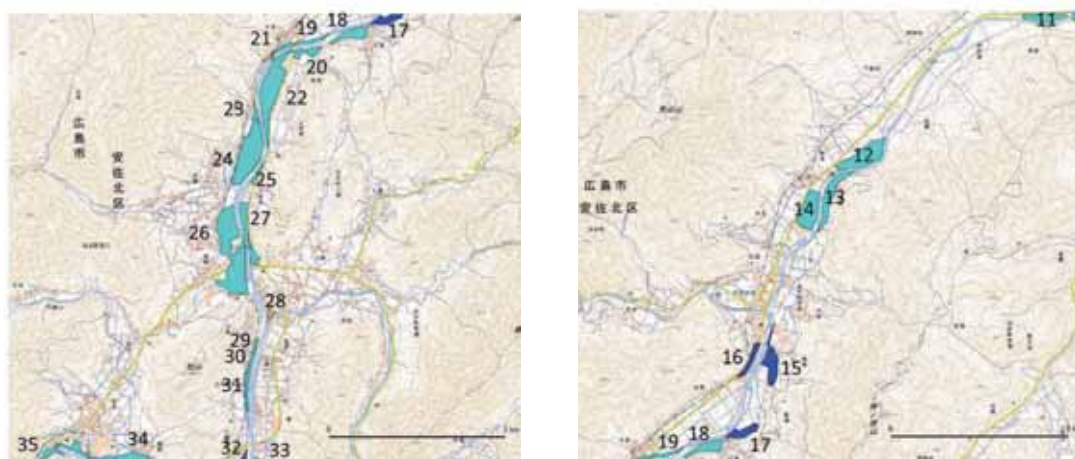


図 4.2.5 三篠川浸水被害範囲 (広島市安佐北区志和口～安芸高田市向原)



(a) 浸水痕跡（安芸高田市向原下長坂，図 4.2.5 ブロック 12）



(b) 越流による護岸侵食状況（広島市安佐北区見張）（図 4.2.5 ブロック 22 内）



(c) 県道 46 線柏木橋に付着した流木と右岸の侵食（図 4.2.5 ブロック 26）



(d) 志和口駅構内のフェンスの倒伏（図 4.2.5 ブロック 26）

図 4.2.6 三篠川向原～志和口間の被害状況の写真（2018 年 9 月 14 日撮影）

#### c) 中流域

図 4.2.7 に三篠川中流域区間の被害範囲の分布を示す。三篠川中流域は、内水によるものと思われる浸水箇所 1 箇所と支川からの出水と見られる 1 箇所を除き、越水による浸水が主なものであった。この区間の特徴として、河床が局所的に硬い岩が露出しており、出水時になると、水面形の凹凸が激しくなり、露岩している区間の周辺での堤防損壊や浸水などが起こる危険性が高いことにある。そのうちの 하나가ブロック 39, 40 の区間である。

地域住民に対してインタビューを実施したところ、上流側のブロック 38 に架かっていた轟橋が 7 月 6 日 20 時 30 分頃に落橋し、梁が流されてブロック 39, 40 の区間の護岸に衝突し、急激な水位上昇を伴った。橋梁上での痕跡として、橋上の水銀灯に路面高+2.6m の高さで痕跡が付着しており、図 4.2.8(a) の写真の左側の家屋の 1 階の外壁が剥離している。下流側の図 4.2.8(b) では、水位上昇による左右両岸での侵食が見られる。橋の下流側左岸寄りに、滑（なめら）石と呼ばれる岩床があり、これによって下流側への流れが遅くなり、出水時に局所的な水位上昇が生じると考えられる。広島市安佐北区三田小学校周辺も同様に、右岸側に凹凸の大きな岩床があり、流れのはやい左岸側で浸水被害が発生した。図 4.2.8(c) に小学校のグラウンドの被害状況を示す。痕跡高は河岸側の並木に付着した塵芥では、地盤高+1.3~1.5m 程度であるのに対し、下流側のフェンスには地盤高+4.0m の高さで痕跡が付着している。周囲の状況と比べて極端に高い痕跡を示している理由やメカニズムについては、今後の課題である。

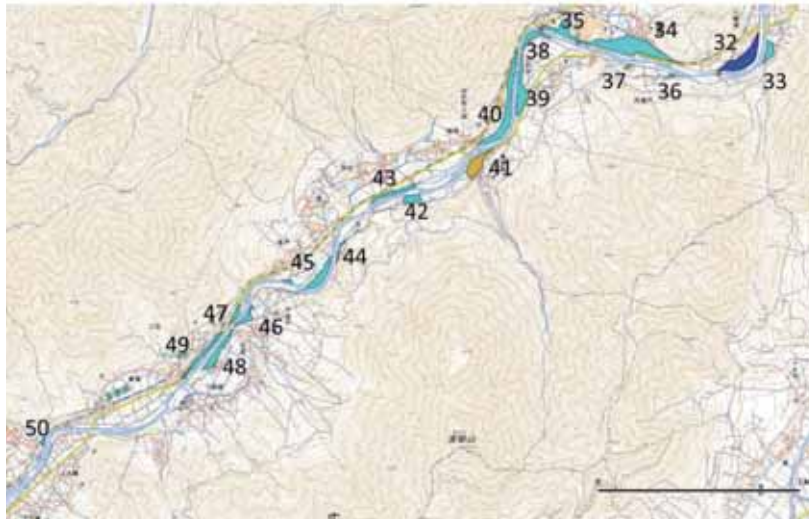


図 4.2.7 三篠川中流域の浸水被害分布



(a) 広島市安佐北区白木町上三田地区、右岸側の越流痕跡、写真左端の家屋の外壁損壊（図 4.2.7 ブロック 40）



(b) (a) の橋梁下流側の越流による侵食状況（図 4.2.7 ブロック 40）



(c) 三田小学校グラウンドの浸水痕跡（図 4.2.7 ブロック 48）

図 4.2.8 三篠川中流域の被害状況の写真（2018年9月14日撮影）

d) 下流域（第一三篠橋鉄橋～太田川合流点）

第一三篠橋から太田川合流点までの下流域での浸水被害状況をまとめたものを図 4.2.9 に示す。ブロック 53, 54 は第一三篠橋鉄橋周囲の浸水域である。ブロック 55, 56 の浸水は

湯坂川の氾濫によるものである。ブロック 57 の浸水は斜面側からの内水、中深川駅を中心とするブロック 62 の浸水は斜面から流れ込んだ内水によると推測される。

図 4.2.10 は、高陽自動車学校傍の道路橋の落橋の様子を示したものである。図 4.2.10 左側には、右岸側の越水痕跡の状況を示している。法面に打ち込まれている計画高水位 4.70m を大幅に上回る水位に達したことを道路上の痕跡が示している。道路橋は流れが特に速い中央部で梁の流失が見られた。

図 4.2.11 は中深川地区（ブロック 62）の浸水痕跡等を示している。上流側の深川 7 丁目では、溪流からの大量の礫交じりの土石流によって、低地部を走る水路が閉塞し、周囲の住宅や田畑に浸水が広がったものと見られる（図 4.2.11）。



図 4.2.9 三篠川下流域における浸水範囲



(a) 右岸の越水痕跡

(b) 崩落した道路橋

(c) 左岸のアパートの被害状況

図 4.2.10 三篠川 5.8k 橋梁崩落地点の状況。(2018 年 7 月 10 日撮影)





(a) 中深川駅付近の浸水痕跡



(b) 深川7丁目の水路の埋塞状況

図 4.2.11 中深川における氾濫の痕跡 (図 4.2.9 ブロック 62)

#### 4.2.2 根谷川

太田川水系根谷川は流路延長約 18.7km、流域面積約 87km<sup>2</sup> (支流域も含む) を有する太田川流域の北東部を流れる河川であり、根谷川流域の南東側は三篠川流域と接している。図 4.2.12 に根谷川の上原橋、新川橋のハイドログラフを示す。根谷川の水位観測局は他にも三入観測局が設置されているが、7月6日19時20分以降欠測となったため割愛している。7月6日18時から19時の時間帯と、7月7日4時から5時の時間帯に水位のピークが2回観測されており、このうち、7月6日のピーク水位の方が高かった。下流側の新川橋観測局では、7月6日17時50分～20時30分頃の時間帯に氾濫危険水位を超過し、7月7日4時40分頃にも10分程度の短時間ではあるが、氾濫危険水位を超過した。

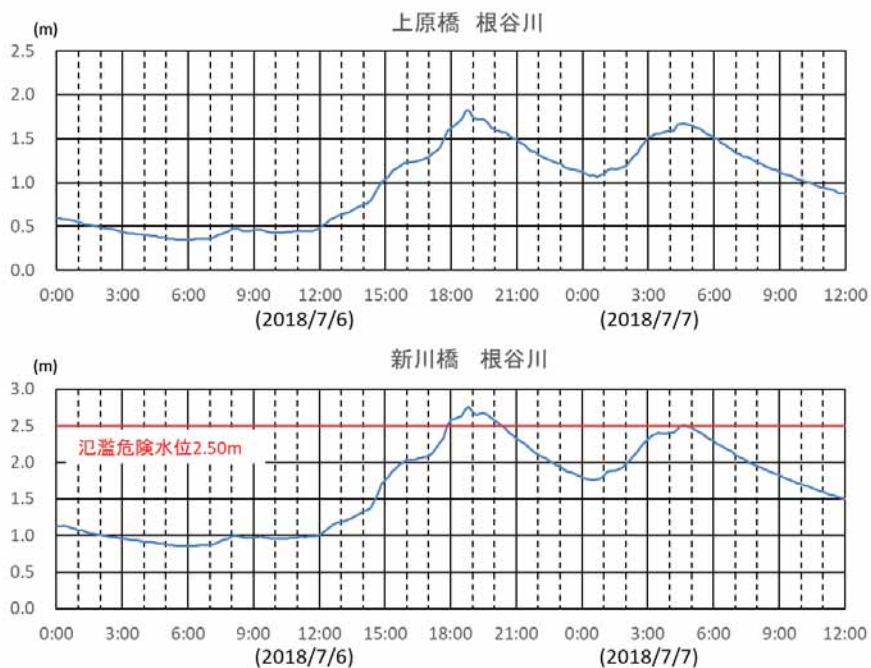


図 4.2.12 根谷川上原橋、新川橋地点でのハイドログラフ

今回の大雨では、合流点から 4.2km 付近の可部三丁目の右岸での堤防の欠損、および、合流点から 4.8km 付近の法面侵食および土嚢からの漏水が発生した。右岸の護岸の欠損箇所の直ぐ上流には緩斜落差工が設置されており、左岸側へ給水する 2 本の用水路の取水口がある。国土交通省撮影の写真（**図 4.2.14(a)**）によると、濁流が右岸近傍で激しく飛沫をあげながら流下しており、天端付近から欠損している様子が見られる。河床洗堀よりも乱れの強い流れの衝突、衝撃による損壊の可能性が高いと考えられる。

合流点から 4.8km 付近では、地域住民へのヒアリングによれば、7 月 6 日 19 時ごろに土嚢の上から 2 番目の高さまで浸水している様子を目撃している。**図 4.2.15** のように法面保護の藁材が剥離した痕跡が示すように、一番上の土嚢の下から約 30cm 程度の高さまで水位が上昇したと推察される。土嚢からの漏水は、拡幅区間に設けられている窪みに溜まり、窪みから水が溢れたとされる。これに伴う浸水範囲は根谷川左岸側で実施中の河川改修<sup>4)</sup>の区域内にほぼ収まり、住宅地への浸水被害には至らなかった。



**図 4.2.13 根谷川の被害発生箇所**



(a) 当時の状況 (2018 年 7 月 6 日、国土交通省中国地方整備局撮影)      (b) 緊急工事の状況 (2018 年 7 月 11 日)

**図 4.2.14 根谷川右岸 (合流点から 4.2k) における堤防の欠損**



(a) 法面の侵食状況  
(2018年7月11日)



(b) 土嚢下流側の窪みと溢水痕跡（赤丸の範囲内）(2018年7月11日)

図 4.2.15 左岸 4.8km 付近の土嚢の隙間からの漏水の痕跡

#### 4.2.3 榎川

榎川は広島県安芸郡府中町を流れる流域面積約 7.0 km<sup>2</sup>、延長約 4.2 km の河川である。下流端は太田川水系府中大川と合流する。合流点から 1.2km 付近までは標高 10m 以下、河床勾配 1/100 以下の低平地区間であり、合流点から 1.2km～2.3km（府中みくまり病院）の区間は、平均勾配 4/100 前後の扇状地上を流れている。合流点から 2.5km より上流側はみくまり森林公園の敷地内であり、散策用の遊歩道やキャンプ場などが溪流沿いに設けられている。

府中町安全安心室<sup>5)</sup>によれば、7月6日14時50分に府中大川での避難判断水位超過が確認され、同日18時20分に氾濫危険水位を超過（19時20分以降欠測）し、18時48分に府中町全域に土砂災害に対する避難勧告、18時54分に府中大川周辺地区に浸水害に対する避難勧告が発令された。その後、大雨特別警報の発表を受けて全域に避難指示（緊急）が発令された。この時間帯の大雨による越流や溢水による住宅への大規模な氾濫被害は生じず、7月9日9時30分に避難指示を解除したが、榎川の合流点より1.2km付近より上流側の地区では避難勧告を継続していた。7月10日11時頃に榎川の氾濫の発生を確認し、11時25分に府中、府中北小学校区、および、府中東小学校区の一部に避難指示が発令された。洪水に対する避難勧告は7月13日20時54分に解除され、土砂災害に対する避難勧告は8月2日16時25分に解除となった。

7月10日の氾濫の原因として、7月6日から7日の降雨に伴う土石流が溪流途中の緩斜面で一時的に堆積し河道を閉塞し、上流からの浸透流出した水が溜まって決壊し、段波が発生したと予想されたが、砂防学会による緊急調査<sup>5)</sup>によれば、溪流を横過する林道の盛土崩壊が原因となっている可能性が高いと指摘されている。

図 4.2.16 は国土地理院航空写真と現地調査（2018年7月10日、11日）に基づく、合流点から 2.3km までの中下流域の榎川流域での被害発生箇所をまとめたものである。図 4.2.17 に榎川の被害の様子を示す。



図 4.2.16 榎川流域における被害箇所



(a) 流木の堆積と周囲の土砂流の浸水  
(2010年7月10日)



(b) 流木の堆積と周囲の土砂流の浸水  
(2018年7月10日)



(c) 府中みくまり病院側の侵食状況  
(2018年7月11日)



(d) みくまり森林公園キャンプ場付近  
の土砂堆積状況 (2018年7月11日)

図 4.2.17 榎川の被害状況

合流点から 0.9km~1.1km の区間を中心に両岸側に越水し、護岸の損傷が少なくとも 9ヶ所確認され、右岸側では府中小学校付近の本町二丁目、三丁目を中心に浸水範囲が広がった。

また、合流点から 1.1km 付近には支川の山田川の合流点があり、山田川の上流に向かって背水による浸水痕跡が見られた。氾濫域の上流端は合流点から 1.2km の左岸側であり、低平地区間の入り口に対応する。低平地の浸水区域以外では、合流点から 1.7km（府中北小学校）付近での路上の越水が発生したとみられるが、低平地のように住宅地への広がりは見られず、この区間での越水量は少なかったと思われる。

合流点 1.2 km までの中流域の区間までは、氾濫流は大きな減速がなく流れていったが、下流側の低平地区間に入った途端、先端を流れる流木が向きを変えながら急減速し、橋に引っかかり、後続流が堰き止められるとともに、土砂が河道を埋め尽くすように堆積し、浸水が発生したものと考えられる。

（田中健路）

### 4.3 瀬野川水系

瀬野川は広島市安芸区、東広島市、安芸郡熊野町、海田町を跨り、流域面積 122 km<sup>2</sup>、幹線延長 22.5 km を有する。主な支川として熊野川、畑賀川が挙げられ、それぞれの支川の流域でも土石流やがけ崩れなどの被害が多数発生した。瀬野観測所では氾濫危険水位 (2.00m) に留まらず計画高水位を超過する 2.92m の最高水位を 7 月 6 日 20 時 00 分に観測した<sup>7)</sup>。下流側の石原観測所では 7 月 6 日 18 時過ぎに 2.96m を観測して以降欠測となった。

#### 4.3.1 瀬野川上流域



図 4.3.1 瀬野川上流域の被害発生箇所



(a) 東広島市八本松での越流による侵食  
(ブロック 3) (2018 年 9 月 18 日)



(b) 広島市安芸区上瀬野大元谷川の河  
道埋塞 (2018 年 9 月 18 日)



(c) 護岸損傷と橋梁流失 (広島市安芸  
区上瀬野町) (図 4.3.1 のブロック  
11, 12) (2018 年 9 月 18 日)



(d) 左右両岸の損傷と礫の堆積状況  
(広島市安芸区上瀬野町) (図 4.3.1 の  
ブロック 18, 19) (2018 年 9 月 18 日)



(e) 上瀬野南 2 丁目の左岸の侵食  
(2018 年 7 月 14 日) (2018 年 9 月 18 日)

#### 図 4.3.2 瀬野川上流域の被害状況

瀬野川上流域 (東広島市八本松～広島市安芸区上瀬野) の被害発生箇所の分布を図 4.3.1 に示す。東広島市内の上流域では、支川の合流点や湾曲部の外岸側において、越水による堤内地の侵食 (図 4.3.2(a)) や、橋脚陥没などの被害が発生している。ブロック 5 において

は、右岸側の斜面崩壊によって生産された土砂が瀬野川本川に流れ込み、その際に護岸が損傷したものと推察される。上瀬野町大元谷川との合流点から熊野川との合流点の間において護岸損傷や越流による浸水が集中している。支川の大元谷川において発生した土石流（**図 4.3.2(b)**）により、大量の土砂や流木を伴う出水が加わったことが要因の一つとして考えられる。この区間を流下していく際に、護岸の損傷により、堤防の内部に埋設されている礫が掻き出され、上流側の土石流による礫と混じって流下するようになる。

#### 4.3.2 瀬野川・榎ノ山川（瀬野駅周辺）

熊野川合流部から JR 山陽線瀬野駅を中心とする区間における被害状況の分布を**図 4.3.3**に示す。熊野川合流部（ブロック 26）下流側に架かる橋梁のうち、下流側の右岸側が落橋していたが上流側は大きな損傷はなかった。橋の上流側に越流痕跡がわずかに見られる程度であった。安芸区上瀬野南一丁目（ブロック 27）の左岸では、瀬野バイパスの上流側にある橋梁流出地点（**図 4.3.4(a)**）より約 300m 下流側の連絡橋までの区間で越水痕跡が見られ、その連絡橋の下流側約 150m の区間で左岸の護岸損壊が発生していた。護岸損壊箇所周辺では、右湾曲から左湾曲に転向しており、下流側に向かって川幅が狭くなっている。右湾曲の終端部で左岸側に強い流れが偏ったのと共に河床が大きく侵食され、護岸の崩壊に至ったものと考えられる。中野 7 丁目の護岸損壊（ブロック 29, 30）も湾曲部の外岸の侵食によるものと考えられる。



**図 4.3.3 瀬野駅周辺の被害状況の分布**

JR 瀬野駅周辺では、榎ノ山川の河道が瀬野川合流点から 300m 付近の瀬野 5 丁目住宅地から JR 山陽線までの区間で土砂や礫によって埋塞（**図 4.3.4(b), (c)**）し、地盤高+1.0～

1.3mの浸水が発生した。地域住民に対するヒアリングによれば、瀬野5丁目での榎ノ山川の氾濫は7月6日21時過ぎ頃から始まり、7月7日の早朝5時過ぎに**図4.3.4(d)**のように越水して1階床上まで浸水した。同地点の浸水高を測定すると、河床からの最大水位が3.0mまで上昇した。上流からの土石流は、瀬野駅構内を中心にJR線路上に広く堆積し、国道2号を超えて瀬野川本川までの瀬野1丁目に浸水が拡大した。瀬野5丁目より上流の榎ノ山川沿いにおいては、局所的な侵食による護岸の損傷被害が点在しているものの、住家への浸水被害は確認できなかった。



(a) 上瀬野南での橋梁流失  
(2014年7月14日)



(b) JR山陽線瀬野駅上り側の状況  
(2014年7月14日)



(c) 土砂によって河道が塞がった様子  
(広島市安芸区瀬野2丁目)  
(2018年7月14日)



(d) 榎ノ山川の豪雨当時の水位（地域住民提供）  
(2018年7月7日)

**図4.3.4 瀬野駅周辺の被害状況**

#### 4.3.3 瀬野川中下流部（広島市安芸区中野～瀬野川河口）

**図4.3.5**に安芸区中野～畑賀川合流部までの被害状況、**図4.3.6**に海田町内の被害状況をそれぞれ示す。安芸区中野東6丁目の平原橋の湾曲部（ブロック30, 31）において、外岸側左岸の侵食による護岸損壊が発生した（**図4.3.7**）。湾曲部の左岸側で速い流れに伴う河床侵食が生じ、護岸のブロックが根元から沈下、倒壊し、国道2号線が陥没した。中野4丁目より下流側の区間では、越水、逆流に伴う浸水被害は右岸側に集中して発生してい



る。その理由の一つとして、国道2号線が走っている左岸側の天端高は、右岸側と比べて数10cm高いことが挙げられる。右岸側の海田町畝地区の越水による浸水区間では、**図4.3.8**の越水痕跡が見られ、付着物の高さから浸水高は地盤高+30cm程度と推定される。国土地理院の5m DEMによれば、右岸側の地盤高6.7m、対岸の左岸の国道2号線上の地盤高は7.5m前後である。また、JR山陽本線の下を潜り高水敷の遊歩道と繋がっている人道ボックスカルバートや水路を通じて、堤内地側への浸水の危険も高い。

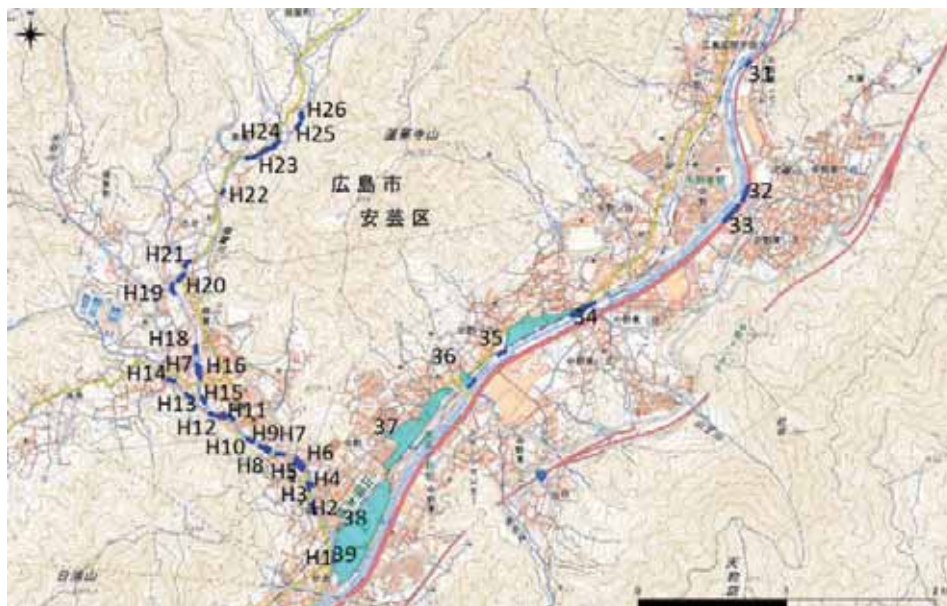


図 4.3.5 瀬野川中野地区および畑賀川の被害箇所の分布

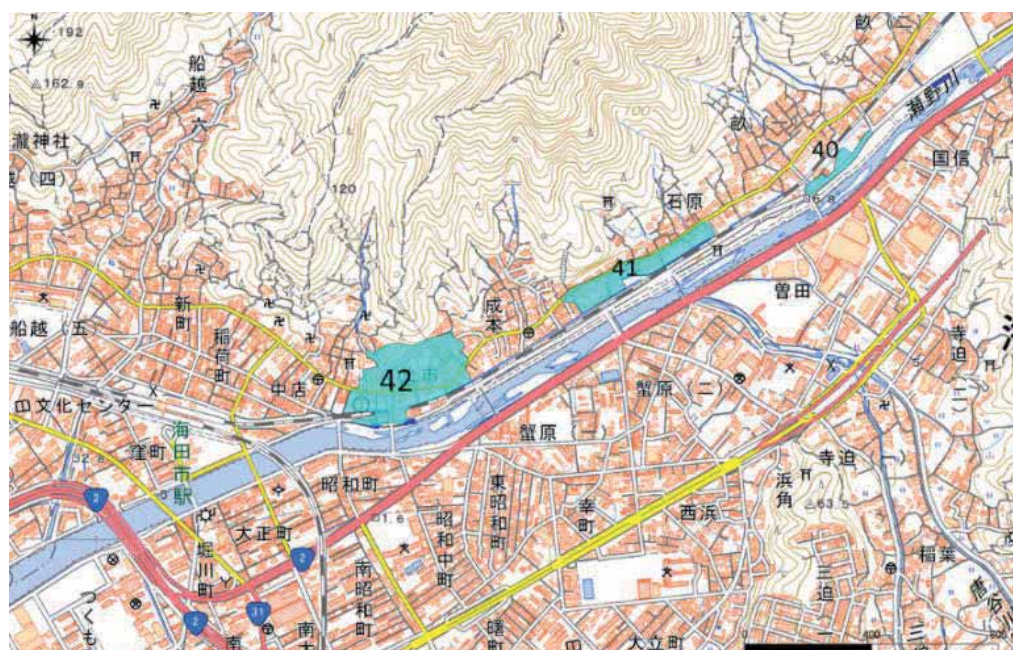


図 4.3.6 安芸郡海田町の被害箇所の分布



図 4.3.7 中野東の国道 2 号線の堤防損  
壊 (2018 年 7 月 14 日)



図 4.3.8 海田町畝地区の越水痕跡 (図  
4.3.6 のブロック 40) (2018 年 7 月 17 日)

#### 4.3.4 畑賀川

本調査で得られた畑賀川の被災状況を図 4.3.9 に示す。被害箇所は図 4.3.5 に示している。砂防堰堤より下流側の 26 ヶ所をプロットしている。主に河床侵食に伴う、護岸根元からの洗堀による被害が中心であった (図 4.3.9(a), (b) など)。石積みブロック全体が崩壊し、家屋や建造物真下の地盤を侵食する被害が見られる。家屋地盤への侵食が確認されたのは、図 4.3.5 の H6 (左岸側), H12 (右岸側), H13 (右岸側), H15 (左岸側), H19 (左岸側), H20 (右岸側) の 6 箇所であった (図 4.3.9(c), (d), (e))。その他では、河床の侵食により、石積みブロックの根元から崩壊し、盛土が奥行深く崩壊する形での被害が随所に現れている。H12 ブロックの支流合流部では、右岸側の地盤の侵食により、家屋 2 棟倒壊する被害が発生した。護岸崩壊により流出した中には、大きさ 1m に及ぶ礫やブロックなども混ざって流下していた。合流部に堆積した土砂 (図 4.3.9(f)) のうち、そのすべてが上流側の土石流危険溪流で生産されたものとは限らず、過去の土砂災害で中流部に一時的に堆積した巨礫混じりの土砂が、河床や護岸の侵食によって再度河道内に流出、堆積したものも混じっているように思われる。



(a) 砂防堰堤直下の越流による被害 (H26) (2018年8月29日)



(b) 左岸側の護岸の損壊状況 (ブロック H25) (2018年8月29日)



(c) 地盤の侵食による消防団出張所の被害 (H20) (2018年8月29日)



(d) 合流点付近の右岸側の河床侵食と堤外地側に転倒した家屋 (H12) (2018年8月29日)



(e) 左岸の侵食 (H6) (2018年7月17日)



(f) 瀬野川合流点 (2018年7月17日)

図 4.3.9 畑賀川での被害状況

(田中健路)

## 4.4 野呂川水系

中畑川（**図 4.4.1**）は二級河川の野呂川水系に属し、前平山（標高 500.9m）と虚空蔵山（標高 431.2m）の間の谷地にあたる呉市安浦町大字中畑から南東方向に流れ、安浦町内海北 4 丁目で虚空蔵山の東側を流れる二次支川の赤向坂川が合流し、そのまま南東方向に流下し内海南 1 丁目で本川の野呂川と合流する。なお、この合流地点は河口から約 1.3km にあり、そのすぐ下流で中切川も注いでおり、この周辺は標高が 3m に満たない低地となっている。宅地や商業地は、この低地周辺から山の裾野にかけて広がっている。河床勾配は赤向坂川の合流点（内海北 4 丁目）辺りまでが 1/25 程度、内海北 1 丁目辺りまでが 1/100 程度、野呂川との合流点（内海南 1 丁目）までが 1/500 程度となっており、流路延長 6km 程度の間で急激に河床勾配が変化している。



**図 4.4.1 野呂川水系中畑川**

### 4.4.1 中畑川中流部

**図 4.4.2** に中畑川中流部での調査地点を示す。

**図 4.4.3** に地点①および②での被災状況を示す。地点①は赤向坂川との合流地点から数百 m 下流に位置する湾曲部となっており、橋梁（頓原橋）もあることから橋梁の上流側で水位が上昇し、湾曲部外岸で水衝部となっている右岸側が激しく侵食され、護岸が破壊され破堤に至っている（**図 4.4.3(a)**）。そして、**図 4.4.3(b)** に示すように、主にこの地点から越水し田畑に土砂流出が生じている。また、橋梁（頓原橋）の床版上にも流木が捕捉されていることから、水位は路面以上に達し、内岸側にあたる左岸でも越水したと推測される。そのため橋梁のすぐ下流の左岸側の護岸も、上部から裏込めへの浸水により崩落する形で破壊

が生じている (図 4.4.3(c)). 地点①からさらに数百 m 下流に位置する地点②の橋梁 (北川橋) は完全に破壊され, 橋桁, 橋脚とも流失した (図 4.4.3(d)). 残存した右岸側の柵部分に流木の捕捉や, 橋梁の上流側の左岸のやや低くなっている部分に土砂の堆積が確認できる. ただし, 右岸側の道路にさほど多くの流出土砂は見られない. また, 橋梁の中央部分に一本あった橋脚の跡には河床洗堀は見られなかった. これらのことから, 地点②前後, つまり地点①下流側から地点③付近までのほぼ直線の部分では, 両岸への越水は少なく流れが河道に集中し, 桁や橋脚に流木等が引っ掛かった状態で流体力が作用し押し流される形で橋が流失したものと推測される.



図 4.4.2 中畑川中流部 (県道 34 号線以北) の調査地点 (地点①~⑥)



(a) 地点①右岸側（外岸側）越水管所



(b) 地点①右岸側での土砂流出の状況



(c) 地点①左岸側での護岸の破壊



(d) 地点②：橋梁（北川橋）の破壊・流失

図 4.4.3 中畑川中流部（地点①，②）の被災状況（7月20日撮影）

図 4.4.4 に地点③，④，図 4.4.5 に地点⑤，⑥の被災状況を示す。図 4.4.4(a) に示す地点③は、地点①下流側から続く直線部分が左岸側に湾曲し始める水衝部にあたり、地点③より下流の右岸側は山の裾野につながる左岸側より地盤が低くなっている影響もあり、右岸側堤内地（安浦町内海北2丁目）に越水・土砂流出が生じた（図 4.4.4(b)）。この右岸からの越水は、図 4.4.4(c) に示す地点④の状況のように、比較的地盤が高い県道 34 号線御幸橋（地点⑤付近；内海北2丁目1番）辺りまで続き、内海北2丁目1番～9番の堤内地一帯は浸水と大量の土砂流入が見られた。これに対して左岸側の住民の方に伺ったところ、左岸側（内海北3丁目，中央北2丁目）は越水・浸水被害はあまりなかったとのことであった。これは、図 4.4.5(a) から分かるように、右岸側堤内地が左岸側より地盤が低く、地点③より下流の右岸から越水したためと考えられる。その結果、地点⑥周辺の右岸側堤内地では、70cm 程度冠水し、流入した流木や押し流された石塊などによる家屋の損壊も生じた（図 4.4.5(c), (d)）。



(a) 地点③；湾曲部（水衝部）



(b) 地点③右岸側の道路（土砂等流出）



(c) 地点④右岸側での越水，土砂・流木流出の状況



(d) 橋梁高欄の破損・流失



(e) 地点④右岸側での破堤の状況（7月20日撮影（(e)は15日撮影））

図 4.4.4 中畑川中流部（地点③，④）の被災状況



(a) 地点⑤右岸での土砂痕跡（奥：御幸橋）



(b) 地点⑤での橋梁高欄の破損



(c) 地点⑥での痕跡水位（70cm）



(d) 地点⑥での流木等によるフェンス破損

図 4.4.5 中畑川中流部（地点⑤, ⑥）の被災状況（7月20日撮影）

図 4.4.6 に堤内地（安浦町内海北 2 丁目 1 番～9 番）への越水および土砂・流木等の流出の概要を示す。地点③上流側の直線部分から勾配が緩くなるとともに湾曲し水衝部となっている地点③から、左岸に比べて地盤が低くなっている地点④, ⑤にかけての右岸側から越水が生じた。これには、地点③から⑤にかけての 3 本の橋梁がいずれも破損または流失が起きていることから、3 本の橋梁の存在が越水を助長したと考えられる。特に、地点④の橋梁は流失を免れたことで隣接していた倉庫（この倉庫は倒壊）と一体となって大量の流木を捕捉し、河道での流下を阻害することで堰上げが生じ、すぐ上流側右岸の破堤につながったと推測される。この結果、破堤箇所を中心に堤内地への浸水・土砂流入が生じたと考えられる。



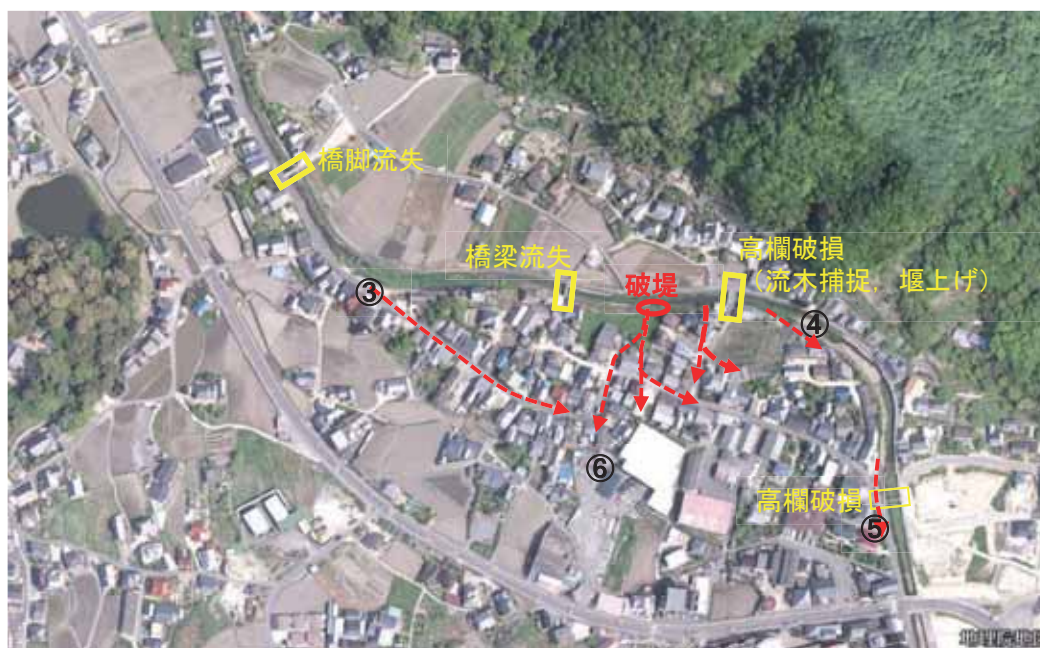


図 4.4.6 堤内地（内海北 2 丁目）への越水・土砂流出の概要  
 (写真:2009 年撮影)

#### 4.4.2 中畑川下流部

図 4.4.7 に中畑川下流部での調査地点を示す。図 4.4.8 は地点①の状況である。図 4.4.8(a) は地点①から上流側，図 4.4.8(c) は下流側をそれぞれ撮影したものある。図 4.4.8(a) から分かるように県道 34 号線御幸橋辺りから河口までほぼ直線河道となっている。御幸橋以北では左岸側への越水は多くなかったが、御幸橋以南では左岸側へも越水・土砂流出が見られる。これは、この周辺の左岸側の地盤が低いことと、図 4.4.8(d) に示すような橋梁で捕捉された流木等による流水障害に伴う堰上げが生じていたと推測される。また、図 4.4.8(a) に示す右岸側に安浦小学校があり、小学校校門での痕跡水位は約 70cm であった(図 4.4.8(b))。図 4.4.9 は鉄道橋より下流側の地点②(右岸)の様子である。痕跡水位はコンクリート堤より数十 cm 高く(図 4.4.9(a))、堤防を越水し、土砂の堆積を生じさせた(図 4.4.9(b))。また、地点②のすぐ上流にあった橋梁(人道橋)は破壊され流失しており、洪水流の流体力の大きさを物語っている。右岸側への越水により、内海南 1 丁目 3 番の周辺(横町商店街と呼ばれている地区の周辺一帯)では、図 4.4.10 の痕跡水位が示すように、最大で約 200cm の浸水が生じた。図 4.4.11 に示すように、地点②の左岸側(安浦町中央 2 丁目 6 番)で長さ約 30m にわたる破堤が生じた。これは、100m ほど下流にある橋梁(道路橋と人道橋)での流木等による流水障害の影響もあり、水位が堤防天端を越えていた時間が長かったことに伴う越水による破堤である。図 4.4.12 に破堤箇所周辺の標高を示す。図 4.4.13 はより広域の標高図を示している。破堤箇所付近の左岸側堤内地は、右岸側堤内地よりも 1~2m 地盤が低い後背湿地で水田となっている。また、堤防付近に石垣等がかさ

上げられて堤体と一体となる形でほぼ天端の高さに家屋が立ち並んでいるが、2軒分または3軒分家屋が建っていない区間が2つあり、さらにその家屋がない部分の裏のり尻、つまり農地の堤防側の隅に倉庫などが建っていた。そのため、越水時に右岸側よりも左岸側の方で、左岸側のうちではこの家屋がない二つの区間でより越水流の流速が上がりやすい条件となっており、裏のり尻の洗堀が集中的に進行し、この場所で破堤したものと推定される。この破堤により、安浦町中央1丁目～6丁目および中央北1丁目、2丁目の広範囲に濁水が浸水した。図4.4.14に示す7月10日での航空写真（株式会社パスコ撮影）と、図4.4.13の標高図と照らし合わせると、浸水および土砂が堆積した範囲は標高2m以下の地域（図4.4.12または図4.4.13の白および赤茶色の部分）とほぼ一致する。なお、この冠水した濁水は、降雨が収まっても数日は水が引かなかった。

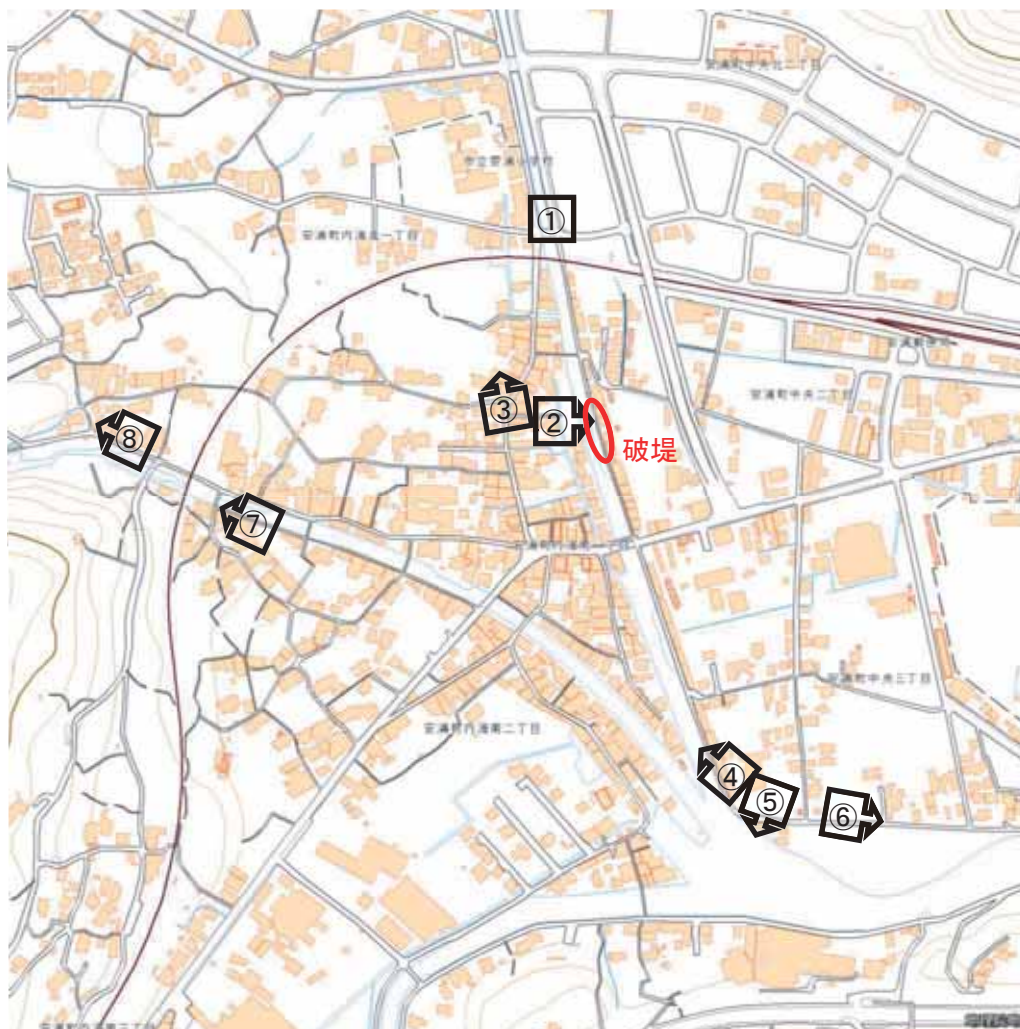


図4.4.7 中畑川下流部（県道34号線以南）の調査地点（地点①～⑩）



(a) 地点①上流側（右岸側は安浦小学校）



(b) 安浦小学校校門での痕跡水位 (70cm)



(c) 地点①下流側（正面：JR 呉線鉄道橋）



(d) 鉄道橋の流木撤去前の状況

図 4.4.8 中畑川下流部（地点①）の被災状況（7月20日撮影（(d)は15日撮影））



(a) 地点②右岸側の痕跡水位等



(b) 土砂堆積（右岸）と、橋梁の流失

図 4.4.9 中畑川下流部（地点②）の被災状況（7月20日撮影）



図 4. 4. 10 中畑川下流部（地点③）の被災状況（7月20日撮影）



(a) 破堤箇所（上流側）



(b) 破堤箇所（下流側）

図 4. 4. 11 中畑川下流部（地点②）の被災状況;左岸側破堤（7月20日撮影）

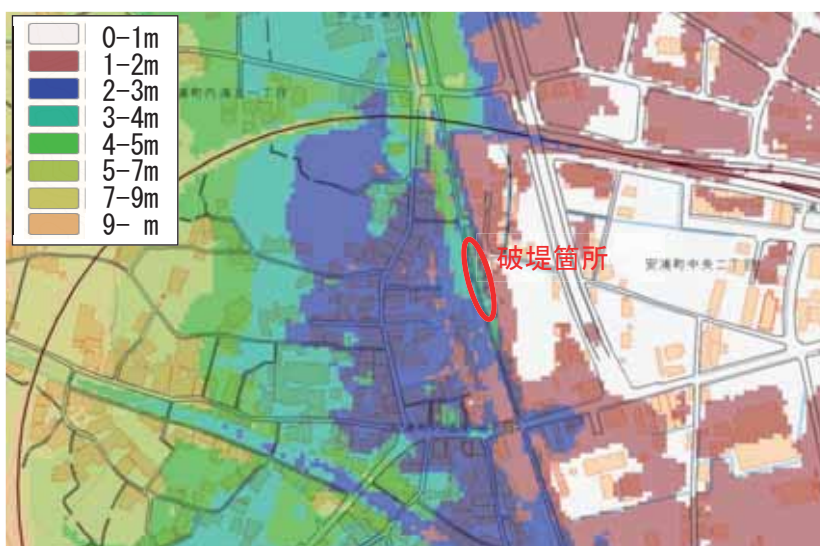


図 4. 4. 12 破堤箇所周辺の標高（国土地理院地図より作成）

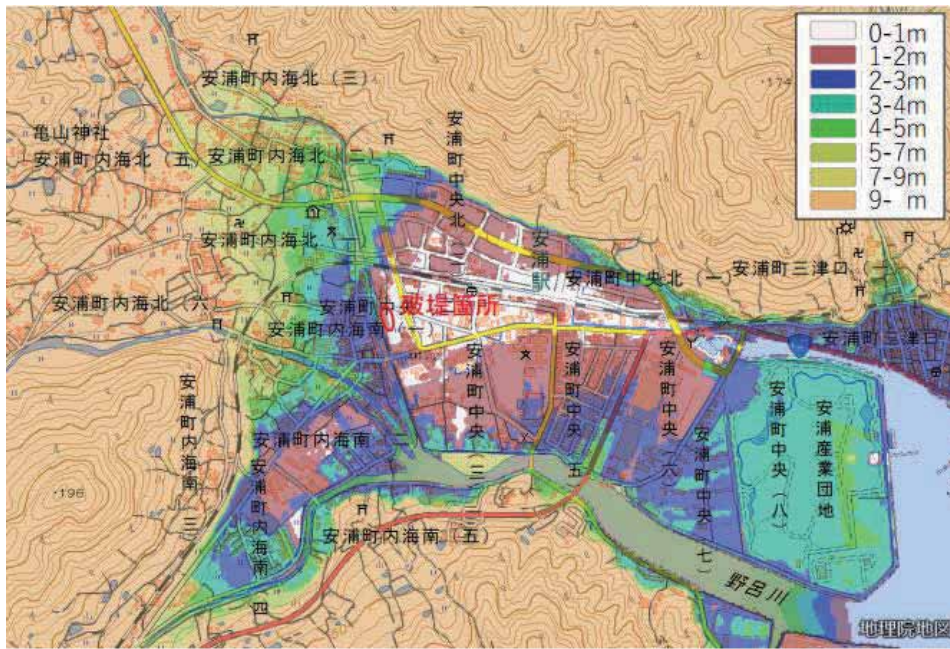


図 4. 4. 13 対象地域の標高（国土地理院地図より作成）



図 4. 4. 14 航空写真（株式会社パスコ，7月10日撮影）

#### 4.4.3 野呂川と中畑川の合流地点付近

中畑川の野呂川，中切川との合流地点付近や，この付近の野呂川，中切川の調査地点は，**図 4.4.7** に示した通りである。**図 4.4.15** に野呂川との合流地点（地点④），中切川との合流地点（地点⑤），三川合流後の河口付近（地点⑥）の土砂堆積の様子を示す。**図 4.4.15(a)** に示すように，中畑川と野呂川の様子が大きく異なる。写真は豪雨災害から2週間後（7月20日撮影）のものであるが，中畑川の水は濁ったままである。流送土砂の粒径は野呂川の方はかなり大きく石，礫も流送されているのに対し，中畑川ではかなり粒径が細かくシルト分も多く含まれている様であった。これは，野呂川の上流には野呂川ダムがあるのに対し，中畑川にはダムはなく，中畑川上流域で多発した土石流による粒径の小さい真砂土の河川への流入の影響が大きいと考えられる。また，撮影日はまだ堤内地への浸水により市街地に被覆された泥の撤去作業，清掃作業が行われている段階であったことの影響も考えられる。いずれにしても今回の豪雨による中畑川上流域での流出土砂量の多さを示す現象と言える。中切川の合流の様子は野呂川と似ており，比較的粒径の大きい砂礫分が多く見られた（**図 4.4.15(b)**）。三川が合流後は，河幅が広がり，河床勾配も小さくなることから，特に滞留しやすい左岸側に多量の土砂の堆積が見られた（**図 4.4.15(c)**）。



(a) 野呂川との合流地点（地点④）の様子



(b) 中切川との合流地点（地点⑤）の様子 (c) 河口付近の土砂堆積の様子

図 4.4.15 野呂川・中切川との合流地点付近（地点④～⑥）の被災状況（7月20日撮影）



(a) 野呂川（地点⑦）での橋梁の損壊



(b) 野呂川（地点⑧）での河岸侵食

図 4. 4. 16 野呂川（地点⑦, ⑧）の被災状況（7月20日撮影）

なお、野呂川との合流地点付近の中畑川の被災状況は、左岸側堤防付近に関しては合流地点に近づくほどいくらか越水した痕跡が見られる程度で大きな被害はなかったようである。これは、数百 m 上流で生じた破堤によるもので、左岸側堤内地の被害の度合いは地盤高による浸水深に依存している。むしろ、合流地点付近では右岸側堤内地の方が浸水等の被害が大きかった。これは、この地区が野呂川の左岸側堤内地にも当たるためである。また、中畑川の破堤により安浦町中央に冠水した水が引くまでに時間を要したことは本川である野呂川の影響も考えられることから野呂川の状況も簡単に記しておく。

図 4. 4. 16 に野呂川での被災例を示す。図 4. 4. 16(a) は野呂川（地点⑦）での橋梁の損壊状況である。野呂川にはこの橋梁より下流側に 3 本の人道橋が掛かっていたが、いずれも損壊・流失している。崩落した橋桁には木の枝などの漂流物が引っ掛かっており、また下流側での痕跡水位を見ると越水した様子が伺え、河道も直線的であることから相当な流速と流量で流下していたと考えられる。図 4. 4. 16(b) は地点⑧での河岸の侵食の状況である。この地点は湾曲部の外岸側にあたり、水衝に伴う側方侵食が生じた。中畑川での洪水と比較すると、大きな流木は流れていないこと、下流域に関わらず粒径が大きいことなどが挙げられる。これは、上流には野呂川ダムの存在によって下流の河道を流下する流出土砂が少なかったと推測される。例えば、地点⑧では水衝部で越水した様子もあったが、越水によって道路上に流れ出た土砂を見ると、一般的な河川の洪水時に見られるような砂質の土砂で、粒径の小さい中畑川でのシルト質の堆積物とは大きく異なる。つまり、中畑川が今回の豪雨災害の特徴でもある多発した土石流等の土砂災害に伴う大量の河道への土砂流入が特徴的であるが、野呂川がダムの存在により下流域では大量の土砂流入を伴わない洪水であったと言える。ただし、洪水流量としては想定を遥かに上回るものであったと言える。そして、この想定を超える流量・水位の維持が中畑川河口部（野呂川への合流部）の水位も維持させ、安浦町中央の冠水の長期化に影響した可能性がある。ただし、安浦町中央の排水は中央 6 丁目の排水機場の稼働状況との兼ね合いもあるため、冠水が長期化した原因については今後の検討が待たれる。

（黒川岳司）

## 4.5 黒瀬川水系

黒瀬川は、流域面積 238.8km<sup>2</sup>、流路延長 50.6km の二級河川であり、流域北端の標高 666m 虚空蔵山に始まり、吾妻子の滝を挟んで西条盆地、黒瀬盆地を南流し、二級峽を経て、広沖積平野から瀬戸内海に注ぐ（図 4.5.1）。西条盆地内を湾曲しながら流れる上流部は概ね河床勾配 1/300～1/800、川幅 10～50m で、黒瀬盆地内で蛇行を繰り返す中流部は概ね河床勾配 1/700～1/800、川幅 50～70m であるが、下流部二級峽で約 1/70 の急勾配となった後、河口部では勾配 1/1,000～1/1,500、川幅 100～150m のゆったりとした流れに戻り海に至る。



図 4.5.1 黒瀬川水系黒瀬川

### 4.5.1 黒瀬川中流部

図 4.5.2 に黒瀬川中流部での調査地点を示す。図 4.5.3 は地点①の被災状況である。中流部（黒瀬町南方）で湾曲部外岸側にあたる左岸堤防の表のりに幅約 3m に渡る崩落が発生した（図 4.5.3(a)）。奥行きは天端（幅約 3m）の 3 分の 1 程度までに達していた。崩落箇所約 50m 上流左岸側が支川の竹保川の合流地点となっているが、砂州の形状から、合流による剥離流発生などの影響は小さく崩落箇所辺りが黒瀬川本川での洪水流の水衝部とな



っていたと考えられる (図 4.5.3(b)). また, 対岸での植生の倒れ等の痕跡から, ピーク時には天端まで 1~2m まで水位が迫ったと推測されるが, 越水はしていない (図 4.5.3(c)). これは, この地点①から最も近い上流に約 4.5km の樋ノ詰および下流に約 4.2km の松ヶ瀬の両水位観測所とも一時はん濫危険水位を超えた (樋ノ詰:はん濫危険水位 3.00m に対し最高水位 3.93m, 松ヶ瀬:2.65m に対し 4.47m) ものの, 殆ど越水はしていないことから妥当である. したがって, この地点①での表のりの崩落は, 湾曲部の外岸側で高速流域となり, 高い掃流力でのり先またはのり面中央あたりを直接侵食することで, 天端部分から崩落したものと推定される. なお, 図 4.5.3(d) に示すように, 崩落箇所の上流側, 下流側ともコンクリートブロック護岸などがあるものの, この崩落箇所を含む約 30m にはコンクリート製の護岸は施されていないことも, この地点でのり面の崩落が生じた要因と考えられる. なお, 同様な増水による護岸の崩壊は, 黒瀬川の上流域・中流域において, 西条町寺家や西条町田口など数地点で発生している.

図 4.5.4 は, 地点①より 300m ほど上流に設置されていた床固め工 (帯工) の被災状況である. 床固め工の構成要素であるコンクリートブロックが剥がれるような形で外れて, 少し下流側に押し流されて散乱している. 河道の中央ほど外れているように見える. この度の豪雨災害は被災の範囲がとてつもなく広く甚大であるため, このような見落とされそうな比較的軽微な被害も相当数発生していると考えられる.



図 4.5.2 黒瀬川中流部の調査地点 (地点①~③)



(a) 地点①での表のり面の崩落



(b) 上流側の様子



(c) 痕跡水位（対岸）



(d) 護岸工の状況（Google マップ）

図 4.5.3 黒瀬川中流部（地点①）での表のり面の崩落（(d)を除き7月20日撮影）



図 4.5.4 黒瀬川中流部（地点①付近）での床固め工の破損状況（7月20日撮影）



図 4.5.5 地点②および③の撮影位置 (A~J)



(a) A : (左岸側から) 床固め, 図書館



(b) B : (右岸側から) 松ヶ瀬水位観測所



(c) C : 図書館入口付近の土砂の堆積



(d) D : 右岸側の黒瀬中央橋付近

図 4.5.6 地点②の様子 (写真A~D ; 7月20日撮影)

図 4.5.5 に地点②の撮影場所 A~D の位置を示す。図 4.5.6(a) は右岸側から床固め工や左岸側を撮影したものである。床固め工など河川構造物の損壊等は見られなかった。図 4.5.6(b) は左岸側から松ヶ瀬橋のすぐ下流右岸側に設置されている松ヶ瀬水位観測所を撮



図 4.5.7 黒瀬中央橋の上流左岸側（地点 A 辺り）から下流側を撮影



(a) E : 右岸側表のりの様子



(b) F : 右岸側堤内地の土砂堆積



(c) G : 砂州・流路と護岸崩落地点



(d) H : 笹野川合流点での護岸の崩落



(e) I : 左岸側の洪水痕跡



(f) J : 左岸側（裏のり面）の洪水痕跡

図 4.5.8 地点③の様子（写真 E~J : 7 月 20 日撮影）

影したものである。7月6日に記録された最高水位4.47mの位置は堤防天端に近く、痕跡からも完全に越水した様子はないものの、構造物による堰上げなどにより一部で水が天端に達したと推察される。図4.5.6(c)は右岸側の図書館入口付近の土砂の堆積の様子を示すが、右岸側ではこの周辺を中心に洪水流が天端に達した痕跡が見られた。これは、図書館入口付近の表のり面に親水施設としてスロープなどがあるため、洪水流が昇りやすくなっていたと推測される。ただし、図書館入口付近の土砂も50mほど奥の駐車場には堆積は無く、越水は最高水位に達した時刻前後の比較的短時間であったと考えられる。この右岸側のわずかな越水は、図4.5.6(d)に示すようにやや地盤高がある黒瀬中央橋付近で治まっている。これは、最高水位でも黒瀬中央橋の上部工までは達せず橋梁による堰上げがあまり生じなかったことが一因と推察される。

図4.5.7に黒瀬中央橋より上流側左岸（地点A辺り）から下流方向を撮影したものを示す。図4.5.8に地点③（黒瀬中央橋より下流側）の被災の状況を示す。なお、撮影場所は図4.5.5に示している。図4.5.7より、黒瀬中央橋の上部工の下から、黒瀬中央橋より下流側の左岸天端が見える。つまり、黒瀬中央橋より下流側の左岸は最高水位より低くなっており、越水が生じやすくなっていたと考えられる。図4.5.8(a)に示すように、右岸側は黒瀬中央橋西詰めの路面から徐々に1m以上下っており、痕跡が示す通り越水が生じた。図4.5.8(b)は黒瀬橋西詰め近くの右岸側堤内地の土砂堆積の様子である。この周辺はショッピングセンターの駐車場となっており天端に比べて地盤が低く、洪水流が流入しやすい状況であったと推測される。図4.5.8(c)は砂州の形成と流路の様子を示すが、ちょうど直線的に流下した洪水流が水衝する場所が支川の笹野川との合流部となっており、図4.5.8(d)に示すように護岸の侵食・崩落が生じた。ここでのコンクリート護岸の上端は堤防天端から1~1.5m下に位置しており、洪水時には護岸工の上端より水位が上昇したことから、裏込めへの浸透が生じて護岸がずれ落ちたものと推察される。図4.5.8(e), (f)に示すように左岸側でも越水が生じた。

#### 4.5.2 黒瀬川下流部

図4.5.9に黒瀬川下流部での調査地点を示す。図4.5.10は町田水位観測所付近での7月7日10時頃の黒瀬川の様子である。町田観測所でははん濫危険水位は3.45mで、最高水位は4.43mを記録している。7日10時頃は、ピークは過ぎていたものの依然としてはん濫危険水位程度の状態であった。図4.5.10(a), (b), (c)からいつ氾濫してもおかしくない危険な状況であったことが分かる。また、図4.5.10(d)から分かるように、さらに上流側での土石流発生に伴う土砂の流入により、多量の土石が堆積した。

図4.5.11に、流失した真光寺橋（地点⑤）の様子を示す。真光寺橋は歩行者専用の木造の橋梁である。ただし、橋脚はコンクリート製である。これが、右岸側の2つの橋脚と左岸側の2つの橋脚とそこまでの桁を残して、大部分が倒壊・流失した。洪水痕跡では、2m以上あるものの橋桁部分には達していないことから、橋脚に多量の流木等が捕捉され流体力



図 4.5.9 黒瀬川下流部の調査地点（地点④～⑥）



(a) 町田観測所付近下流側（7日10時）



(b) 町田観測所付近上流側（7日10時）



(c) 左岸側での侵食（7日11時頃）



(d) 土石の堆積状況（7月15日）

図 4.5.10 町田観測所付近での状況（広町徳丸地区自治会長山口氏提供）



(a) 真光寺橋左岸側



(b) 真光寺橋全景（左岸から撮影）



(c) 痕跡水位



(d) 橋脚の流木等の捕捉



(e) 捕捉された倒壊した真光寺橋 1



(f) 捕捉された倒壊した真光寺橋 2

図 4.5.11 倒壊・流失した真光寺橋の様子（7月9日撮影）

の増大により倒壊したものと推測される。倒壊した真光寺橋の大部分は、すぐ下流の橋梁に引っ掛かった状態となっていた（図 4.5.11 (e), (f)）。

図 4.5.12 に、黒瀬川河口から約 1.6km にある日の出橋の床版下部に放置されていたペットボトルを示す。これは 7 月 9 日に撮影したもので、ペットボトルのラベルの退色具合から、7 月 6 日の洪水発生以前に置かれたものと考えられ、洪水時にはこの位置まで水位が達

していなかったことを示している。つまり、直近の町田観測所で計測された水位では、はん濫危険水位を1m近く上回っていたものの、黒瀬川の下流部では海への排水能力に優れ、越水や破堤等の大きな被害に至らなかったと言える。ただし、周辺の一部地区では本川の黒瀬川の水位が高く維持されたため、内水氾濫が生じたとの報告がある。



図 4.5.12 日の出橋の床版下部に放置されていたペットボトル（7月9日撮影）

#### 4.5.3 笹野川

笹野川（図 4.5.13）は二級河川の黒瀬川水系に属し、主に東広島市黒瀬町兼広と黒瀬町檜原を流れる、流路延長が2km程度の小河川である。



図 4.5.13 黒瀬川水系笹野川

#### a) 笹野川での被災箇所の様子

笹野川での被災は2箇所の堤防の崩壊である。いずれも本川の黒瀬川との合流部の近く、



一つは図 4.5.14 中の地点①で、合流点から 90m ほどの右岸側の裏のり部（堤内地側）で、河道としては湾曲部の内岸側にあたる。もう一つは図 4.5.14 中の地点②で、こちらは合流点からわずか 20m ほどの右岸側の裏のり部（堤内地側）で、河道としては地点①の湾曲部を過ぎて合流点直前の直線部分にあたる。

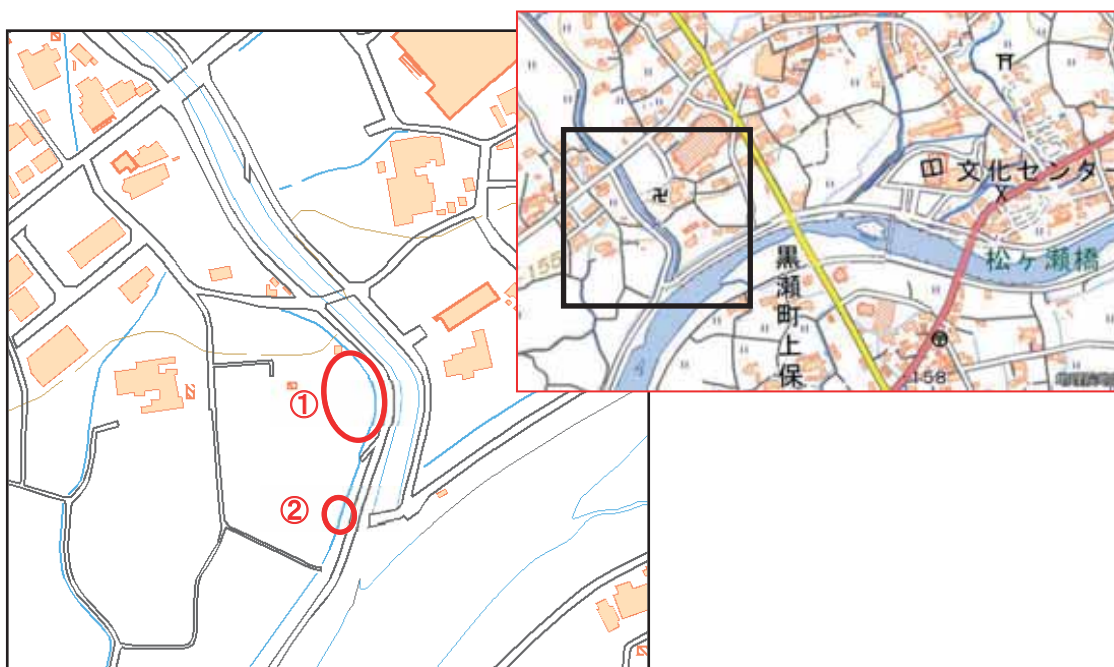


図 4.5.14 笹野川での被災箇所（地点①，②）の位置

地点①の被災状況を図 4.5.15 に示す。崩壊部分の上流側の端（図 4.5.15(a)）から下流側の端（図 4.5.15(b)）までは約 30m に及んでいた。河道にはコンクリート護岸が施されているが、この護岸の損傷は見られず、図 4.5.15(c) に示すように表のりの護岸工上端の土の部分からアスファルト舗装された天端も含めて裏のりにかけての裏込め土砂が、護岸工の裏部分まで掘り起こされるような形で、堤内地に向けて河道湾曲のほぼ法線方向に直線的に流出している（図 4.5.15(d)）。流出した土砂の幅は 20～10m ほどあり、その長さは 100m 近くまで達しているように見受けられた（図 4.5.15(e), (f)）。

地点②の被災状況を図 4.5.16 に示す。裏のり部（堤内地側）で、天端で道路として使用するためにアスファルト舗装された部分と、裏のり面への続く天端の隅の部分のアスファルト舗装されていない部分の境目から裏のり部分がずれ落ちる形で崩壊している。崩壊した部分の大きさは幅が約 3～4m、長さは約 5m である。



(a) 崩壊部分の上流側



(b) 崩壊部分の下流側



(c) 崩壊部分の裏込め



(d) 正面中央からの様子



(e) 裏込め土砂の流出（堤防付近）



(f) 裏込め土砂の流出（中間）

図 4.5.15 堤防の崩壊箇所：地点①の様子（7月20日撮影）



図 4.5.16 堤防の崩壊箇所：地点②の様子（7月20日撮影）

#### b) 笹野川での被災（堤防の崩壊）のメカニズム

笹野川の黒瀬川との合流点近くの2箇所で発生した堤防崩壊のメカニズムを、図 4.5.17 に示すような周囲の洪水痕跡から検討した。図 4.5.17(a), (b) より、痕跡水位が1m以上と高く、しかも土砂流出の方向や痕跡から推察される流向は笹野川河道から見たらほぼ直角方向であり、笹野川の流量の増大による越水で地点①の崩壊が起きたとは、笹野川の河川規模からすると考えにくい。しかも、地点②の堤防崩壊は、橋梁による堰上げによるものとする発生位置が不自然であるし、地点①での崩壊が生じている時点で地点②での崩壊は起こり得ないと考えられる。また、図 4.5.17(c) で示した痕跡も笹野川の流向とは異なり笹野川の河道を横断する方向となっている。図 4.5.17(e) に示すように、黒瀬川との合流地点より少し上流側の痕跡を見てみると、越水の痕跡が見られ、越水後に笹野川を横断するような流向の跡が見られる。また、黒瀬川では黒瀬中央橋の下流右岸で越水が生じて、右岸側の店舗駐車場に濁水が入流したことが明らかになっていることから、その濁水が笹野川の河道に対して直角方向に流れ込んだと推定すると、地点①での崩壊と土砂流出の方向はうまく説明がつく。さらに、図 4.5.17(d) のように、この黒瀬川堤防を越水した水が橋梁（笹野橋）の上を流れて地点②（笹野川の右岸堤防の裏のり）に達したとすると、地点②での裏のりの崩落もつじつまが合い、地点①での崩壊と同時に起こったとしても矛盾は生じない。

以上のことをまとめると、笹野川の合流点近くで発生した2箇所の堤防崩壊は、黒瀬中央橋下流側から笹野川との合流点までの右岸を越水した洪水流が笹野川の左岸側から横断方向に流入・流過することで、笹野川の右岸側が弱くなり、流れが集中しやすい地点①や②で崩壊が生じたと推察される。このメカニズムの端的に捕らえた航空写真を図 4.5.18 に示す。この写真は、近くの黒瀬町上保田で発生した土石流を捉えたものであるが、写真の下部に今回の笹野川での2箇所の堤防崩壊が捕らえられている。特に、地点①の土砂の流出や、黒瀬

中央橋下流側からの越水による濁水の拡がりは分かりやすい。



(a) 堤防近くの痕跡水位 1.7m (奥に流出土砂)



(b) 痕跡水位 1.4m (奥に流出土砂の中間)



(c) 地点①から約 50m 上流側の痕跡



(d) 合流点の橋梁上に土砂 (奥に地点②)



(e) 黒瀬川 (合流点上流側) からの越水の痕跡

図 4.5.17 黒瀬川からの越水よび笹野川横断の痕跡 (7月20日撮影)



図 4.5.18 航空写真（株式会社パスコ，7月10日撮影）

（黒川岳司）

## 4.6 沼田川水系

### 4.6.1 沼田川

#### a) 流域特性

沼田川は、その源を鷹ノ巣山（標高 922m）に発し、途中、支川である入野川、棕梨川、菅川、梨和川、仏通寺川、天井川を合わせながら南東方向に流れ、瀬戸内海へ注ぐ流域面積 540.0 km<sup>2</sup>、流路延長 47.8 km の二級河川である（図 4.6.1、表 4.6.1）<sup>7),8)</sup>。流域は、大きく上流の東広島市、下流の三原市に分かれ、一部竹原市を含む。東広島市に沼田川本川の福富ダム、棕梨川に棕梨ダムを有する。図 4.6.2 は沼田川下流域の河川縦断図である。下流から 12km までの平均勾配はおよそ 1/1400 である。表 4.6.2 に本川、支川の水位観測点の標高と集水面積を示す。

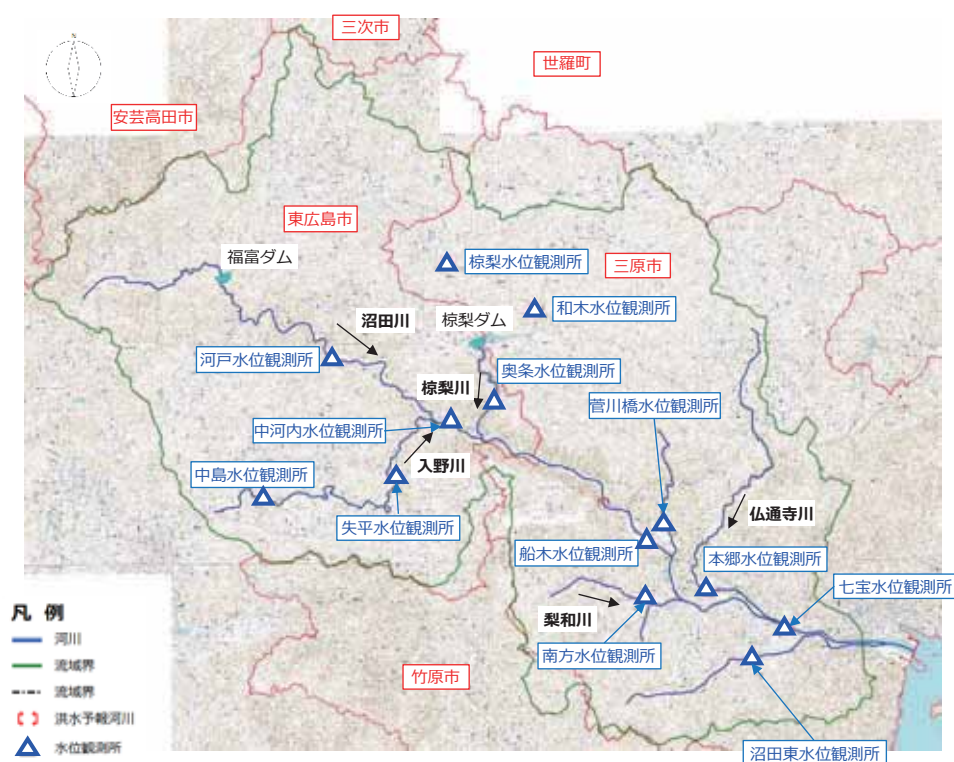


図 4.6.1 沼田川流域<sup>8)</sup>

表 4.6.1 沼田川水系の主な支川と流域面積

| 河川名  | 河川延長<br>(km) | 流域面積<br>(km <sup>2</sup> ) |
|------|--------------|----------------------------|
| 沼田川  | 47.8         | 540.0                      |
| 入野川  | 16.8         | 74.3                       |
| 棕梨川  | 31.5         | 168.9                      |
| 菅川   | 3.7          | 19.2                       |
| 梨和川  | 4.8          | 43.1                       |
| 仏通寺川 | 17.1         | 33.0                       |
| 天井川  | 9.7          | 38.9                       |

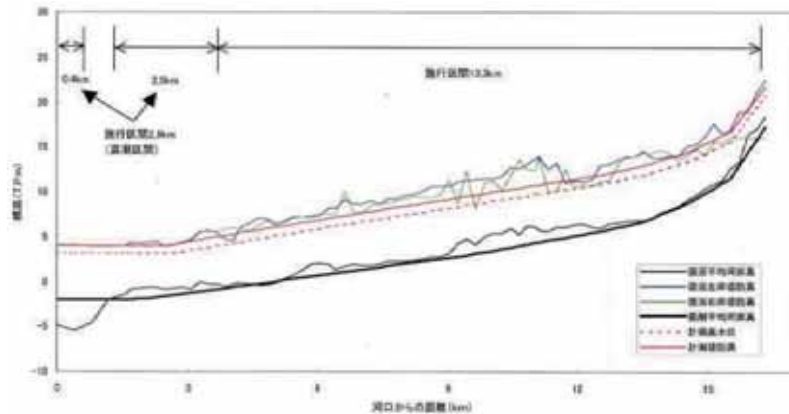


図 4.6.2 沼田川下流の河川縦断図<sup>7)</sup>

表 4.6.2 水位観測点の標高と集水面積

| 本川の<br>観測地点 | ゼロ点高<br>(T.P.m) | 集水面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 観測地点<br>(支川名) | ゼロ点高<br>(T.P.m) | 集水面積<br>(km <sup>2</sup> ) |
|-------------|-----------------|----------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| 河戸          | 174.9           | 103.44                     |               |                 |                            |
|             |                 |                            | 中島(入野川)       | 203.5           | -                          |
|             |                 |                            | 失平(入野川)       | 139.9           | 38.39                      |
| 中河内         | 101.2           | 171.40                     |               |                 |                            |
|             |                 |                            | 椋梨(椋梨川)       | 292.5           | 56.42                      |
|             |                 |                            | 和木(椋梨川)       | 265.2           | 104.28                     |
|             |                 |                            | 奥条(椋梨川)       | 139.2           | 165.27                     |
| 船木          | 7               | 367.45                     |               |                 |                            |
|             |                 |                            | 菅川橋(菅川)       | 10.3            | 20.66                      |
|             |                 |                            | 南方(梨和川)       | 8.1             | 31.46                      |
|             |                 |                            | 本郷(仏通寺川)      | 5.2             | 24.08                      |
| 七宝          | 1.4             | 479.64                     |               |                 |                            |
|             |                 |                            | 沼田東(天井川)      | 3.7             | 18.01                      |

b) 水位観測データの基づく洪水流特性の検討

図4.6.3に本豪雨による沼田川本川の水位計で計測された水位変動量のハイドログラフを示す。沼田川上流部に位置する中河内では7月6日夜に第1ピーク，7月7日朝に第2ピークをもつが，下流部の船木，七宝では，これらのピークはほとんど目立たなくなっている。これは，後述するように，大きな流域面積を持つ椋梨川からの流入量が椋梨ダムによって第1ピークと第2ピークがカットされ，全体的に1つのハイドログラフとして流出したためである。このため降雨から自然流出する洪水ハイドログラフは二山であったが，福富ダム，椋梨ダムの効果によって，第1ピーク，第2ピークが低減され，一つの緩やかな波形の洪水ハイドログラフ

ラフが下流域に流下した。本川の水位ピーク発生時間を表4.6.3に示す。支川ハイドログラフの影響はあるものの、水位が上昇すると洪水到達時間が早くなっていることが確認できる。第1ピークは下流でつぶれていて判断できないが、第2ピークから、中河内～船木間の洪水水位ピーク通過時間はいずれも1.17時間であった。

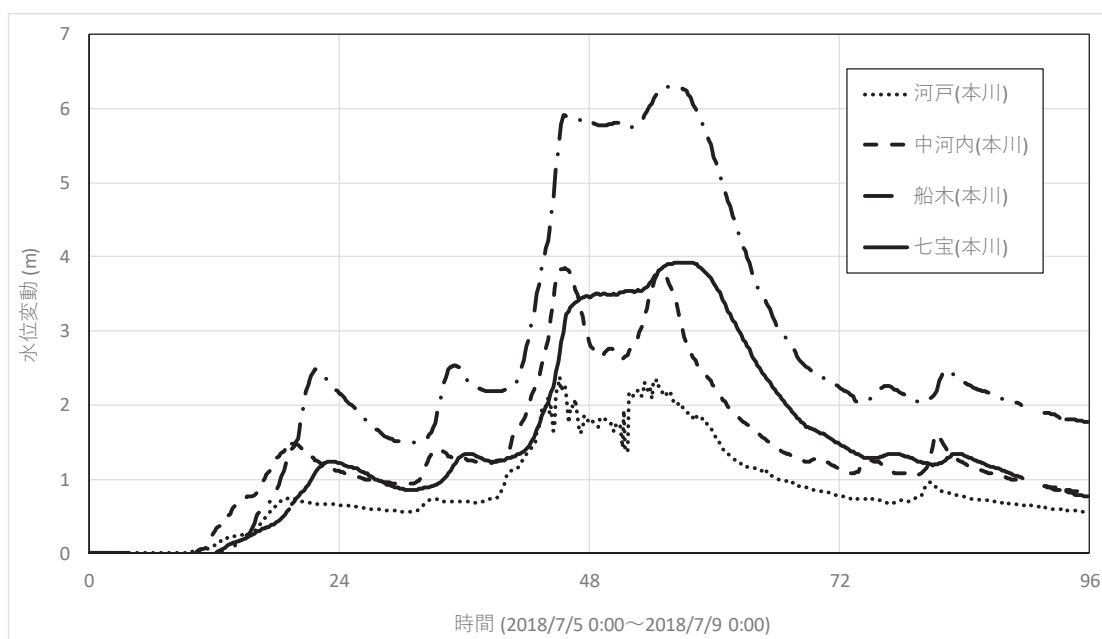


図 4.6.3 沼田川本川の水位変動量

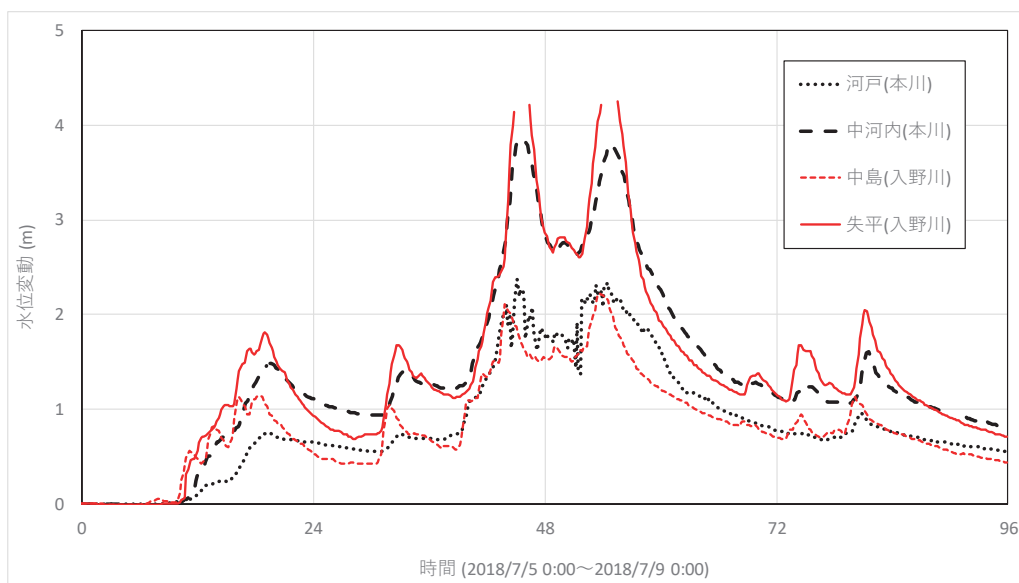
表 4.6.3 沼田川の本川の水位ピーク時間

| 水位ピーク時刻 (中河内)    | 水位ピーク時間 2018/7/05 0:00 をゼロ |       |       |       |
|------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
|                  | 河戸                         | 中河内   | 船木    | 七宝    |
| 2018/07/05 19:30 | 19.33                      | 19.50 | 21.83 | 23.17 |
| (計測点間時間)         |                            | 0.17  | 2.33  | 1.33  |
| 2018/07/06 9:30  | 33.17                      | 33.50 | 35.00 | 36.33 |
| (計測点間時間)         |                            | 0.33  | 1.50  | 1.33  |
| 2018/07/06 21:40 | 45.17                      | 45.67 | 45.67 | -     |
| (計測点間時間)         |                            | 0.50  | 0.00  |       |
| 2018/07/07 6:40  | 54.50                      | 54.67 | 55.83 | 57.00 |
| (計測点間時間)         |                            | 0.17  | 1.17  | 1.17  |

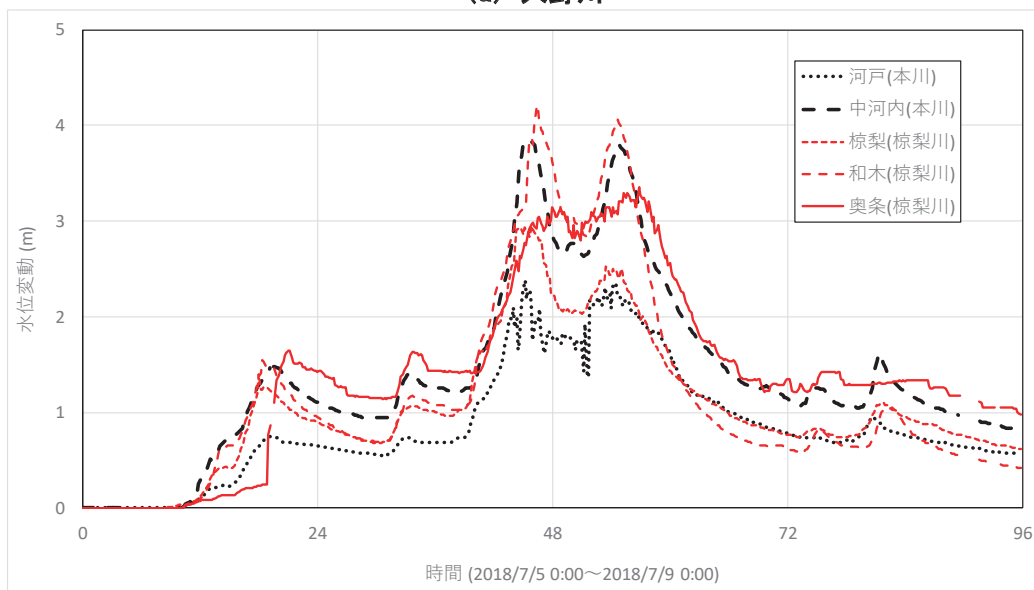
図4.6.4に沼田川上流部の本川水位ハイドログラフと入野川、棕梨川の水位ハイドログラフの比較を示す。入野川合流直後の水位ハイドログラフ(中河内)の波形は本川上流に位置する河戸の水位ハイドログラフよりむしろ入野川の合流前の水位ハイドログラフ(矢平)の



波形と似ており、中河内の洪水ハイドログラフは本川よりむしろ入野川合流によって形づけられている。これは、本川の洪水ハイドログラフは福富ダムによってピーク波形などがカットされているためと考えられる。椋梨川では、椋梨ダム上流の水位観測点、椋梨、和木では、入野川と同様に明瞭な2つのピーク波形が認められるが、ダム下流の奥条では、ダムの流量調整によりピーク流量が低減され、水位波形が全体的に遅れていることが分かる。表 4.6.1より、入野川の3倍強の流域面積をもつ椋梨川で2つのピーク波形をカットして、緩やかな1つのハイドログラフが流下したことが、長い時間水位が一定の船木の水位ハイドログラフが形成された一つの要因である。



(a) 入野川



(b) 椋梨川

図 4.6.4 沼田川上流部の本川と流入支川の水位変動量

図4.6.5に沼田川下流部の本川水位ハイドログラフと下流支川の菅川、梨和川、仏通寺川、天井川の水位観測点の水位ハイドログラフを示す。本川下流の七室においても、下流潮位の影響は受けていないことが分かる。また、本川下流の水位ハイドログラフで見られない2つの水位ピークが、いずれの支川の水位ハイドログラフでも明瞭に確認でき、少なくとも観測点においては、本川の背水の影響よりも、流域降雨の流出の影響の方が支配的である。菅川の第1ピークの立ち上がり水位が船木水位とほぼ一致しているのは、なお、菅川の流出波形と沼田川の水位波形が2つの水位観測点の水が一致するように偶々重なったものと考えられる。

図4.6.6は本川、支川の水位変動波形を比較したものである。ダムの影響を受けている河戸（福富ダム下流）、奥条（棕梨ダム下流）以外の水位波形はよく似ており、沼田川流域全体に一樣に降雨が発生したことが分かる。

ダムを集水域に含まない観測点の平均水位変動と各観測点の水位変動の比較を図4.6.7に示す。鋭いピーク波形をもつ入野川以外は、およそ平均水位波形の $\pm 0.5\text{m}$ 以内に収まっている。図4.6.8に、福富ダム、棕梨ダム下流の水位変動とダムの無い場合の平均水位波形の比較である。ダムの機能から自明なように、水位上昇期に流量を低減させるために、図4.6.8は $H$ - $Q$ ループのように反時計回りのループを描く（ $Q$ が $x$ 軸、 $H$ が $y$ 軸に対応）。即ち、水位下降期の水位上昇は小さくなく、ダムがない場合と比べて、河道の水位上昇がかなりの程度抑えられている。特に、福富ダム下流の水位は、ダムの無い場合の水面変動が $1.5\text{m}$ 以下で、平均値と比較してほぼ $-0.5\text{m}$ 以下の変動量である。棕梨ダム下流においても、ダムの無い場合の水面変動が $3\text{m}$ 以下でやや平均値よりも大きい、図4.6.7の他の点と比較して、小さくなく、ダムの無い場合の水面変動が $3\text{m}$ 以上では水位変動量が平均より明らかに小さい。また、水位上昇から下降にかけて、グラフの形が右下がりになることなく、概ね平坦に維持されていることは、ダム放流によって水位を上昇させていないことを意味する。以上のことから、2つのダムの効果の定量評価は流出解析と洪水解析等によって詳細に検討する必要があるが、全体的に見て、ダムの洪水調節機能が認められる結果となった。

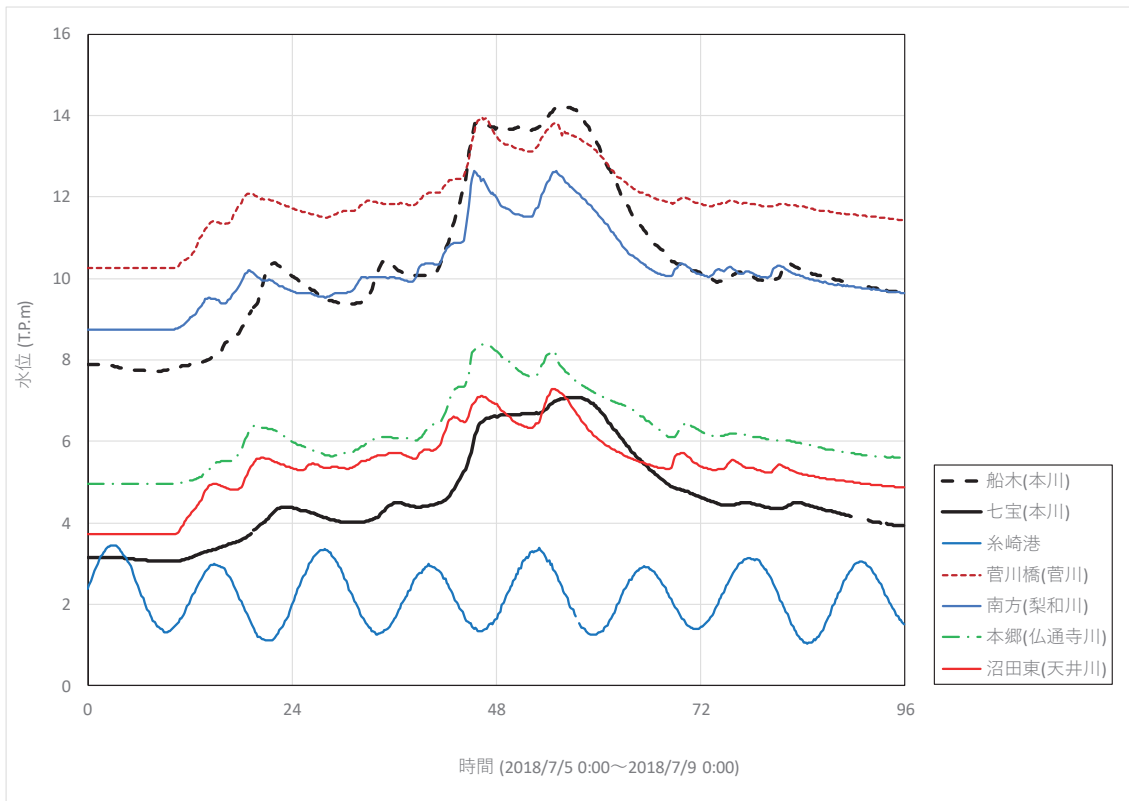


図 4.6.5 沼田川下流部の本川と流入支川の水位ハイドログラフ

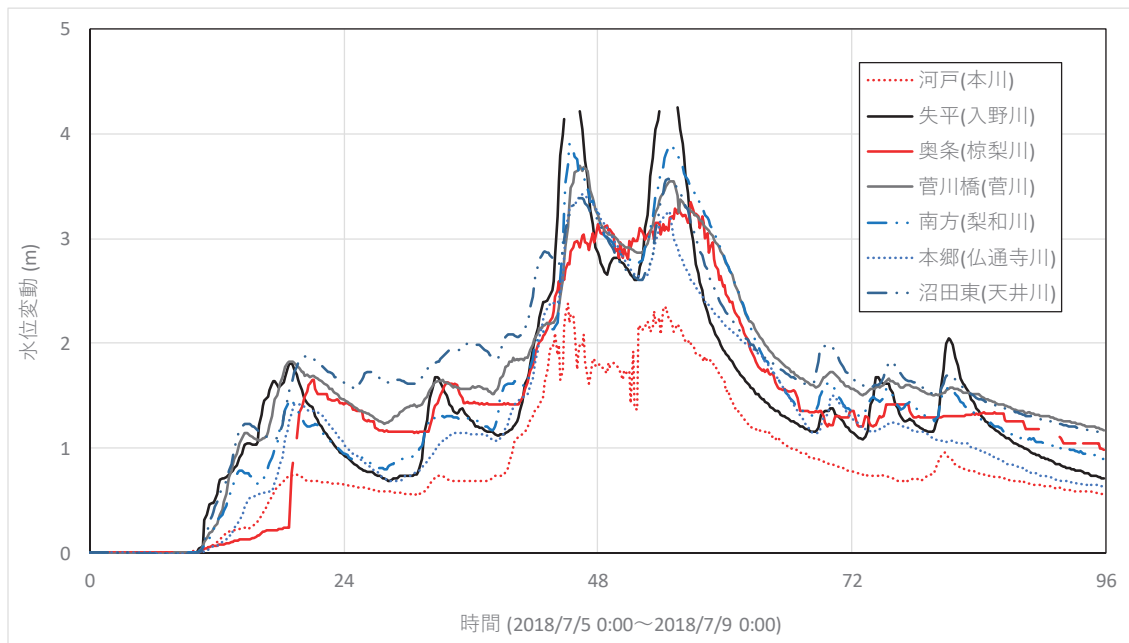


図 4.6.6 本川，支川の水位波形の比較

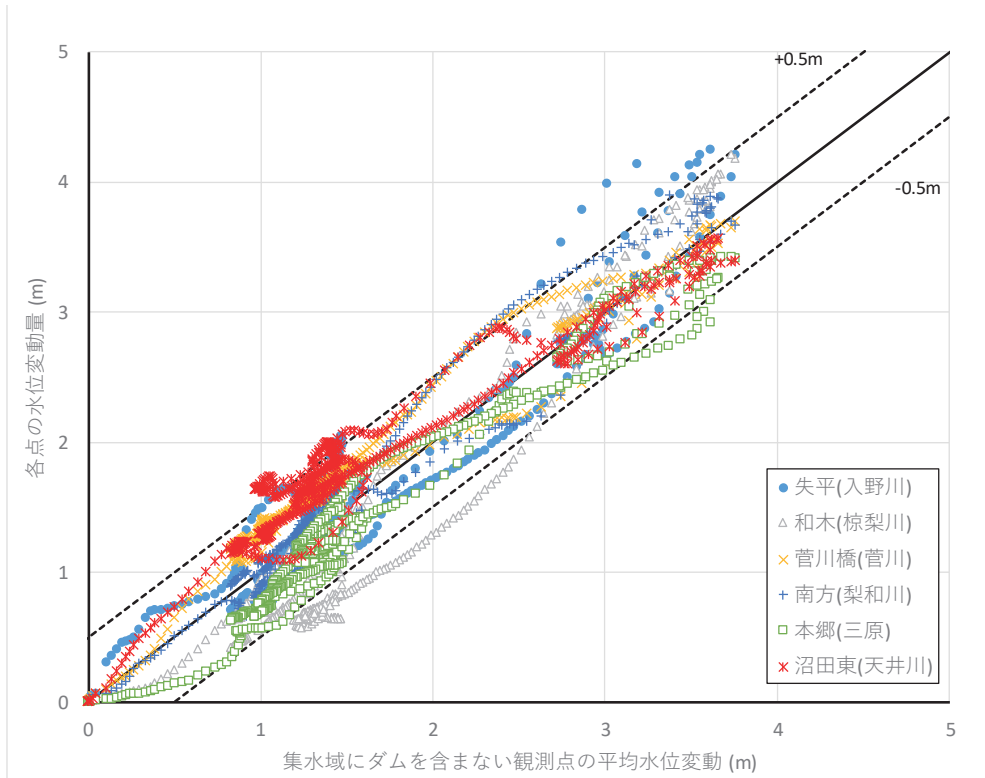


図 4.6.7 集水域にダムを含まない観測点における水位変動

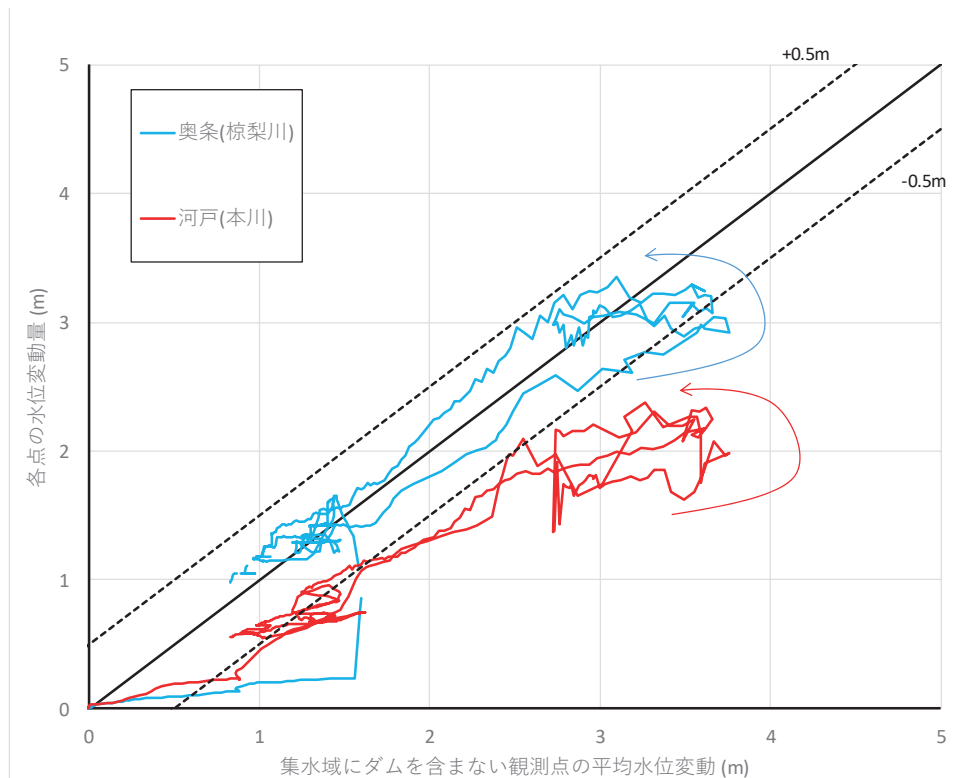


図 4.6.8 ダムの存在が水位変動に与える影響

### c) 流出解析モデルの基づく洪水流特性の検討

流出解析モデルには、水文、河川データの少ない河川にも適用しやすいRRI (Rainfall Runoff Inundation)モデル<sup>9)</sup>を用いた。RRIモデルは流域全体をグリッドセルに分割し、連続式により各点の水量の時間変化を計算する分布型モデルである。RRIモデルでは、地表面流は拡散波近似を仮定して、水面勾配からマニング公式により単位幅流量を求める。ただし、河道は一次元の拡散波として、氾濫域との水の収支を考慮して解く。地中の浸透流は流域斜面を山地部と平野部に分けて、山地部では側方浸透流をダルシー則、平野部では鉛直浸透流をGreen-Amptの浸透能式を用いて計算する。詳細は、Sayama et al. (2012) の文献<sup>9)</sup>を参照されたい。

地盤データには、国土地理院が公開している50mメッシュの標高データ<sup>10)</sup>から標高、流向、累積流量の3つを設定した。そして、沼田川流域の最下流点を指定することで、その点の集水域をモデルの解析範囲とした。各グリッドセルは150mの格子間隔とした。土地被覆は、JAXAの高解像度土地被覆図<sup>11)</sup>を用いた。流域を山地部と平地部の2種類に分けて、計算した。被害の概要を図4.6.9に計算した沼田川流域を示す。雨量データには、XRAIN\_GISの時間雨量を用いた。



図 4.6.9 沼田川流域の計算範囲 (150m メッシュ)

河道断面は、矩形断面で与えられる。河道形状についてのパラメータは、河川整備計画の河川横断面図と比較し、河道幅が等しくなるように決定した。しかし、河道断面の詳細は不明であり、河道からの溢水量を適切に解析することや破堤氾濫流量を評価することが困難であったことから、外水氾濫は考慮せず、河道を全体的に10m深く掘り下げ、氾濫しない条件で計算した。したがって、本報告書における流量は実際に河道を通過する洪水流量より大きめに見積もられている。

下流端の境界条件は、沼田川の下流部に位置する七宝の水位計で観測された水位データとした。また、上流部の福富ダムと棕梨ダムの地点で、観測された放流量を河川に供給する境界条件を設定した。

沼田川洪水流再現解析に先立ち、上流部に位置する福富ダムと棕梨ダムへの流入量データを用いて、斜面流パラメータを調整した。図 4.6.10 にダム流入流量ハイドログラフ、図 4.6.11 に累積流入量の比較を示す。福富ダムのピーク流入量は少なくなっているが、福富ダム及び棕梨ダムでのハイドログラフの波形を概ね一致し、累積流量に関しては、福富ダム、棕梨ダムともに、計算値が実績値を少し上回る箇所があったものの、累積値が上昇する過程を概ね追うことができていると言える。

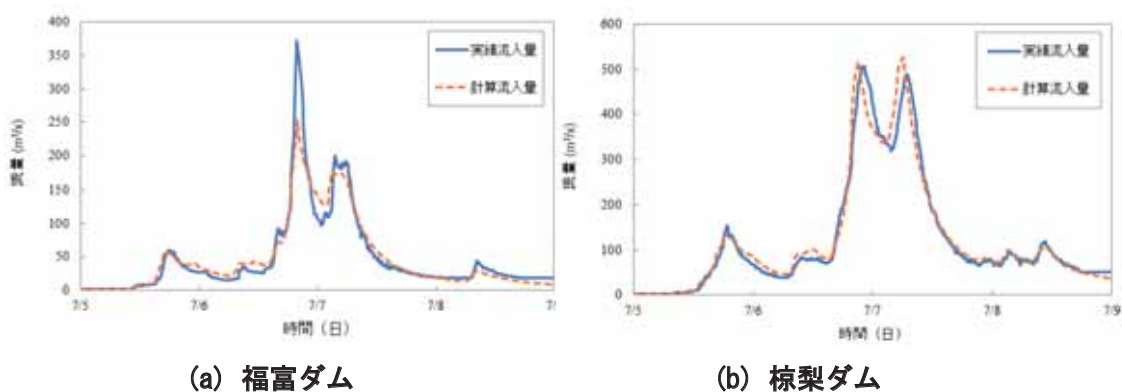


図 4.6.10 ダム流入流量ハイドログラフの比較

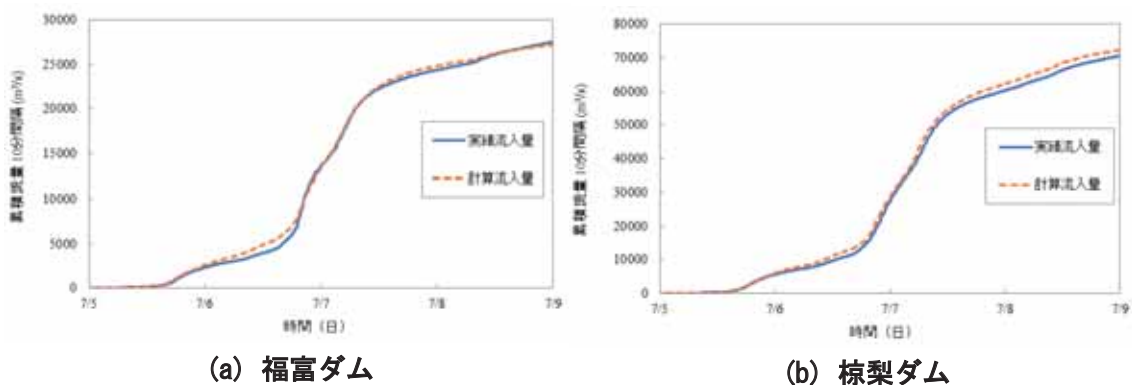


図 4.6.11 ダム累積流入流量の比較

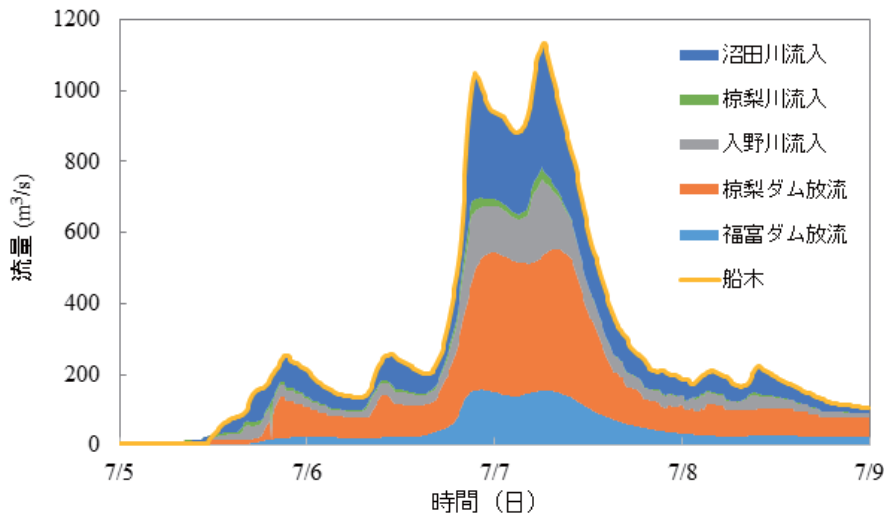


図 4. 6. 12 船木地点の流量ハイドログラフと流量構成

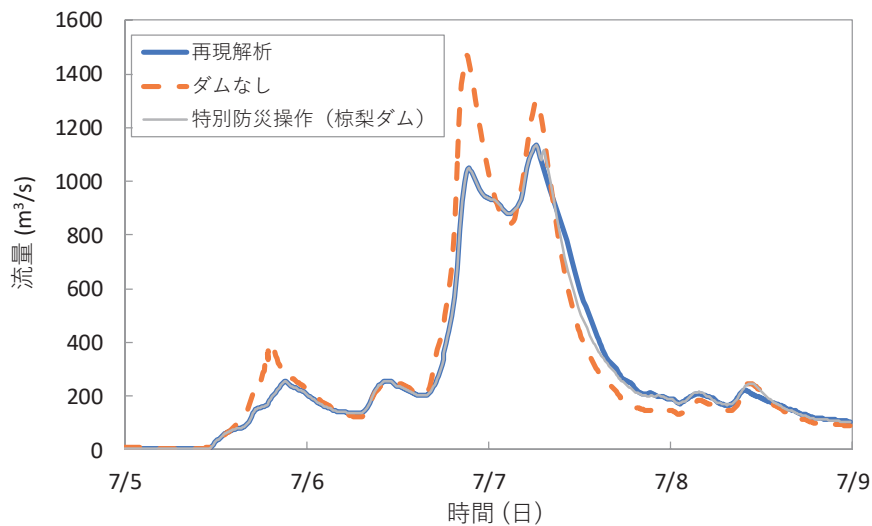


図 4. 6. 13 船木地点の流量ハイドログラフに対するダムの影響

船木地点における解析流量と流量構成比を図4.6.12に示す。沼田川と椋梨川の流量は、それぞれダム下流での流入量を表している。この内、福富ダムと椋梨ダムの放流量は実績値を与えている。本解析では、一番目のピーク流量は $1,048 \text{ m}^3/\text{s}$ 、二番目のピーク流量は $1,134 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。このうち、ダム放流量は船木地点の流量の54.8%である。船木地点の河川整備計画流量は $1,140 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、広島県の検討会では船木地点のピーク流量は $1,100 \sim 1,107 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定されている<sup>12)</sup>。このことから、本出水では整備計画流量規模の流量であったと言える。図4.6.13は、船木地点におけるダムの影響を検討したものである。本再現解析に比べ、ダムがなかった場合、船木地点の流量は、第一ピークは $1,471 \text{ m}^3/\text{s}$ 、第二ピークが $1,301 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定され、整備計画流量を大幅に上回ったと考えられ、両ダムによって、流量をかなりの程度

低減したことが分かる。4.10で後述するように、本出水では異常洪水時防災操作には至らず、防災操作規則に沿って放流が行われた。現操作ルールでは不可能であるが、下流の被災状況を勘案したダム貯水容量を有効活用する特別防災操作も考えられる<sup>8)</sup>。今回の出水では、第二ピークでほぼサーチャージ水位に達したため、ダム貯水位を下げず、流入量と放流量を等しくする一定に保つ場合の結果を図4.6.13に示している。第二ピーク後に流量は低下するもののその量はわずかである。第二ピーク付近は大雨特別警報が発令中であり、満水に保つ危険性の割に、その効果はかなり限定的であったと考えられる。このことから、以下の沼田川洪水の被災の主な原因は、4.1で述べたように現状の治水施設と河道の流下能力を超過する洪水流量となったことと言える。このような洪水外力に対して、今後被害をどのように軽減するかはさらに検討する必要がある。

#### d) 沼田川の被災状況

沼田川下流部の被害の概要を図4.6.14に示す。本川沿いの右岸、左岸が広域で越水による氾濫被害が生じているが、本川堤防は、後述するように、船木地区で越流侵食被害を受けている箇所はあるものの、破堤は免れている。しかし、沼田川下流域に流入する支川については、右岸側の菅川が4箇所、仏通川が1箇所、左岸側の梨和川が2箇所（三次川含む）、天井川が1箇所と、いずれの支川も破堤し、氾濫被害を生じさせている。このように、沼田川下流部で浸水被害を大きくした要因の一つは、このように支川からの越水あるいは破堤氾濫による。特に、菅川では沼田川側と反対側の堤防が決壊し、ハザードマップに示されていない箇所に浸水被害が広がった（図4.6.15）。



図 4.6.14 沼田川下流域の被災状況<sup>8)</sup>



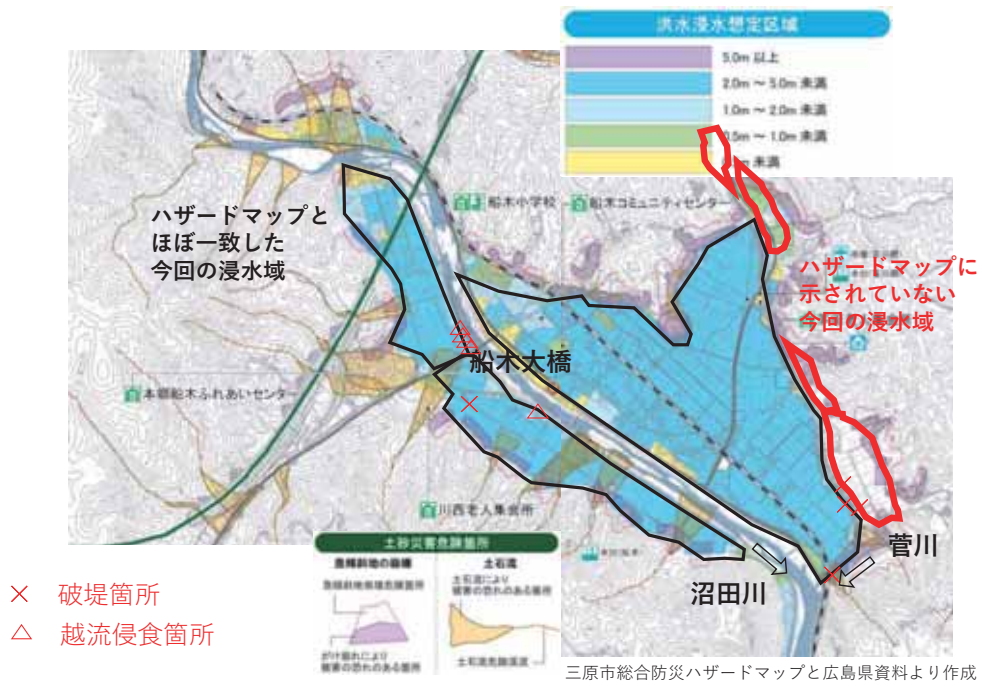


図 4.6.15 船木地区のハザードマップ（三原市資料<sup>13)</sup>より作成）と西日本豪雨による浸水域（広島県資料<sup>8)</sup>より作成）の比較



図 4.6.16 船木大橋上下流における沼田川の洪水後の状況と氾濫の概要

・沼田川本川船木地区

図4.6.15に示すように、船木大橋付近の堤内地では大きな浸水被害を受けた。図4.6.16は船木地点の被害のまとめと現地観測から考えられた氾濫水の挙動である。船木大橋付近の痕跡水位を図4.6.17に示す。船木大橋付近では、河道湾曲の影響により、外岸となる右岸側の水位は左岸水位よりも1 m程度高くなり、洪水流は右岸堤防を越流した。

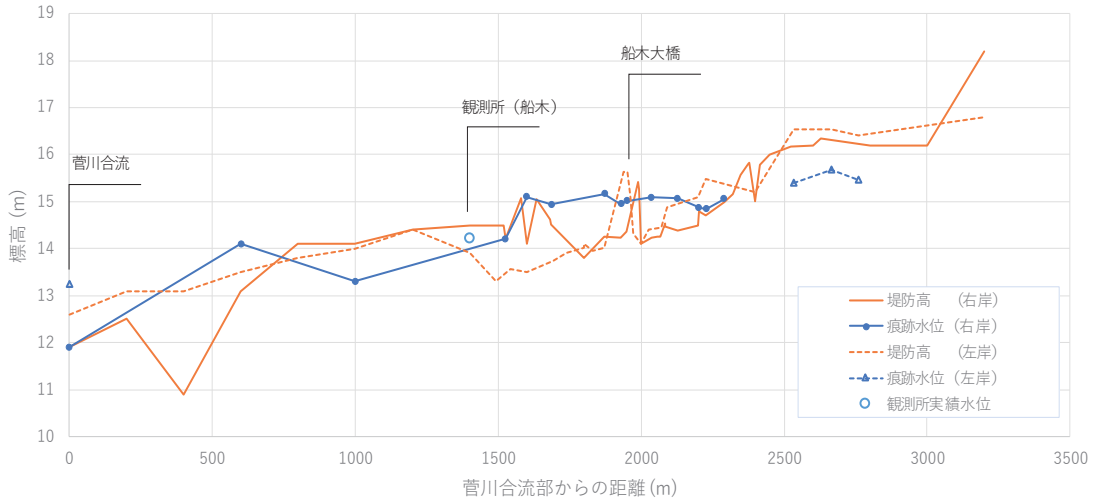


図 4.6.17 船木大橋上下流の沼田川の痕跡水位

図 4.6.16 に示す①船木大橋の上流右岸では、図 4.6.18 に示すように、堤防を越流する流れにより、広範囲の堤防の侵食被害と堤内地の浸水、土砂被害を生じさせた。4つの連続した侵食箇所が見られた。下流から2番目の侵食形状は円弧上になっており、越流侵食は越流する流れを集中化させることによって三次元的に進むことが考えられる。堤体は主として砂で構成されており、堤内地の宅地用の盛土と併せて侵食し、堤内地に堆積した。図 4.6.19 は船木大橋上流の右岸越流侵食箇所の堤防の被災状況である。非越流侵食は免れたものの、堤防の河川側の堤防天端付近において、縦断的に広範囲に亘って侵食被害を受けている。



図 4.6.18 船木大橋上流右岸の侵食被害の様子。越流侵食箇所は4か所で下流から順に番号を付けている。



図 4.6.19 船木大橋上流右岸の非越流箇所の侵食被害の様子



図 4.6.20 船木大橋上流右岸の堤内地の浸水被害の様子（図4.6.16⑦）

図4.6.20は船木大橋下流の右岸越流侵食箇所への堤防の被災状況である。民家のある地盤高が高い箇所でも150cm以上、低いところは200cm以上の浸水深であった。

船木大橋下流においても図4.6.21に示すように大規模な円形の越流侵食被害が見られた。船木大橋下流右岸の浸水、侵食被害は堤防を越流した洪水流だけでなく、図4.6.22に示すよう小河川を遡上、氾濫したことも大きく影響した。小河川沿いのパラペットを超え、河川沿いの工場のフェンスに多量の草本が引っかかって水流の作用により変形している。この工場の敷地内にためられた洪水は、図4.6.23に示すように道路盛土の大規模侵食破壊を引き起こし、氾濫被害を拡大させたと考えられる。船木地区の右岸氾濫域は、図4.6.24に示す土砂堆積の様子から、船木大橋下流の氾濫水が土砂とともに船木大橋上流右岸の氾濫域に流れることによって広がったことが推察される。



図 4.6.21 船木大橋下流右岸の侵食箇所（図4.6.16②）



図 4. 6. 22 船木大橋下流右岸小河川からの氾濫被害 (図 4. 6. 16②)



図 4. 6. 23 船木大橋下流右岸工場沿いの道路盛土の崩壊 (図4. 6. 16⑤)



図 4. 6. 24 船木大橋下流右岸氾濫水の上流氾濫域への拡大 (図4. 6. 17⑥)



図 4.6.25 船木大橋下流左岸氾濫域の様子 (図4.6.16⑧)

図 4.6.25 は船木大橋下流左岸の浸水侵食被害の様子である。左岸堤防高は県道 33 号線となっており、侵食被害はあまり見られなかったものの、今回のピーク水位に比べてかなり低く、多量の洪水流が越流して、左岸の浸水域を拡大させた。

・ 沼田川本川本郷地区

図 4.6.26 に茶山涯頭首工上流湾曲部をドローンにより撮影したものである。本出水により内岸の砂州形状が大きく変化している。右岸湾曲部外岸には図 4.6.27 左に示すようにパラペット堤が設置されているが、越流し、堤内地は浸水被害を受けた。右岸外岸部に氾濫した洪水流は上流部の道路盛土を越流し、図 4.6.27 右に示すように侵食を引き起こした。この道路盛土の先には地盤高の低い堤内地が広がっており、仮に決壊すると、相当の氾濫被害が生じたと考えられる。



図 4.6.26 茶山涯頭首工上流湾曲部の洪水前（上2018.3撮影），洪水後（下2018.7撮影）の様子



図 4.6.27 茶山涯頭首工上流湾曲部右岸の氾濫被害の様子

沼田川沿いの本郷地区には、広島県の本郷取水場（図 4.6.14）と三原市の4取水施設があったが、浸水被害を受け、給水再開に長期間を要した。本郷取水場は高さ2mの堤防で囲まれていたが、越流によって浸水した。断水は復旧活動や病院の入院患者のケアなどに甚大な影響を与えた。

- ・ 沼田川本川上流部

図 4.6.28 に船木地点上流の湾曲部の橋梁被災箇所を示す。橋梁は外岸部が流出している。残された橋梁にも流下物が捕捉されていることから、外岸に流下物が集中し、流体力が増幅されたことが考えられる。橋梁上流部の護岸は崩落していることが分かる。その直下の JR 線は斜面崩壊によって崩落したが、河岸には侵食や洗掘被害は見られなかった。その下流の③湾曲部外岸では河岸侵食により土砂が抜け、道路が陥没した。



図 4.6.28 船木地点上流湾曲部右岸（瀑雪の滝付近）の被災位置



図 4.6.29 橋梁被害の様子(図 4.6.28①)



図 4.6.30 斜面崩落による被害(左, 図 4.6.28②)と  
湾曲部外岸の道路陥没(右, 図 4.6.28③)



図 4.6.31 沼田川上流部入野川・棕梨川合流部付近の被災位置



**図4.6.31**に沼田川上流部の入野川や棕梨川との合流部付近の侵食被害箇所，**図4.6.32**に被災状況を示す。棕梨川合流後，沼田川は蛇行しながら流下しているが，**図4.6.31**の範囲では蛇行4波長含まれ，左岸道路沿いの外岸部はいずれも被災している。特に，棕梨川合流部近くの④③の湾曲部では，それぞれ100m，200mとかなりの長い縦断距離にわたって護岸が崩落している。また，①の下流の右岸側外岸部が**図4.6.32**の①の橋梁崩落箇所であり，棕梨川合流部下流の蛇行部の外岸6箇所が連続して崩落したことになる。**図4.6.32**の⑤は入野川合流部であり，左岸側には東広島市立河内中学校があるが，合流部直下の水位が上昇し，左岸天端高よりも60~80cm高い痕跡水位となっていた。

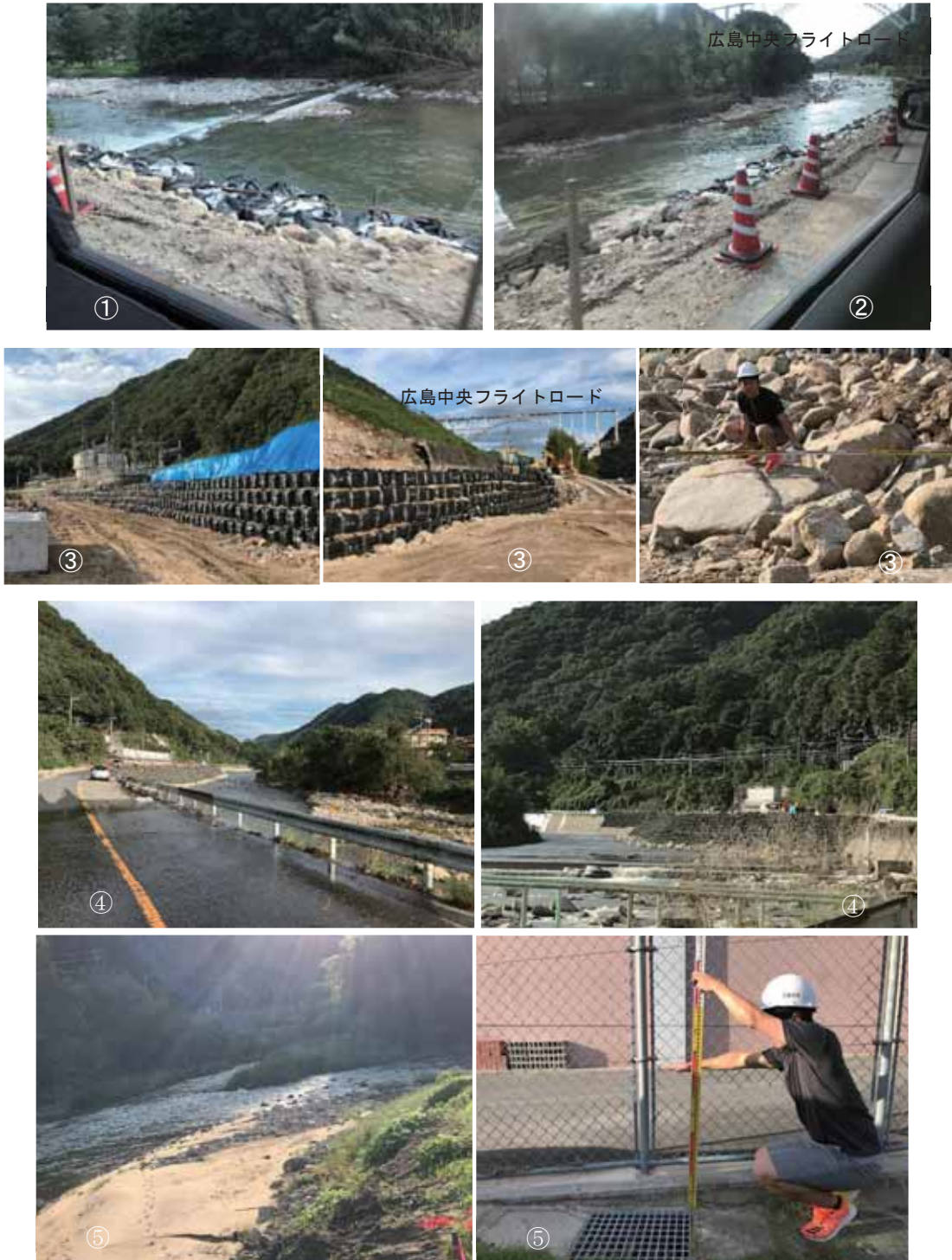


図 4. 6. 32 沼田川上流部入野川・棕梨川合流部付近の被災状況

#### 4.6.2 天井川

図4.6.33に沼田川下流4河川の水位変動の比較を示す。全体的に水位波形はどの河川も同様であることが分かる。これはそれぞれの支川にダムはなく、流域面積に大きな差はなく、雨が広い範囲で一様に降ったためと考えられる。

天井川の破堤は、図4.6.14、図4.6.34に示すように直線部の左岸側で生じた。破堤部の様子を図4.6.35に示す。調査時（7月12日）には破堤部の復旧中であったが、堤内地には堤防を構成していたと思われる土砂が堆積していた。

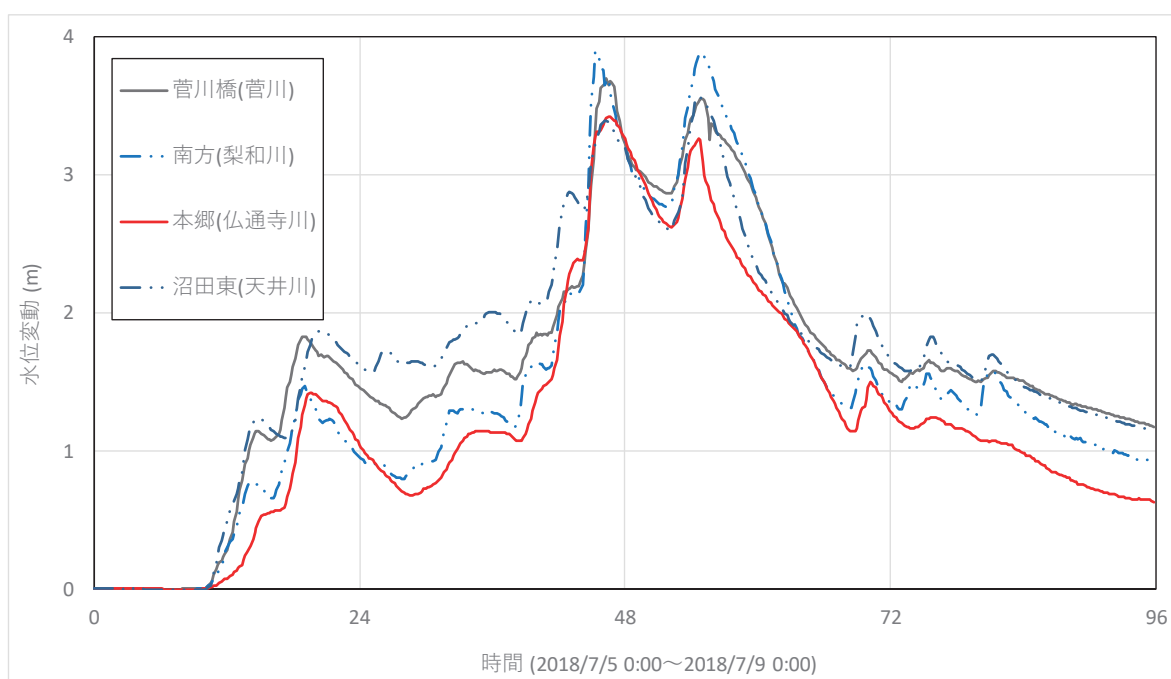


図 4.6.33 沼田川下流4河川の水位変動の比較



図 4.6.34 天井川の破堤箇所



図 4.6.35 天井川破堤箇所の被災後の様子（7月12日撮影）

図4.6.36に破堤部上下流の痕跡水位を示す。痕跡水位は、堤防天端高よりも30~40cm低かった。図4.6.37は破堤部直下流の様子である。堤防のり面の植生が堤内地側に倒れている。アスファルトの下が大きく侵食され、空洞が形成されている。また、堤防裏法面が膨らんでいた。破堤部から下流100mでは堤防断面が大きくなっており、痩せた堤防の範囲で図4.6.38のようにひび割れや天端陥没などの被害が多く見られた。図4.6.39に破堤部の堤防断面を示す。破堤部以外でも、浸透と見られる天端のひび割れ、天端の陥没、裏法の盤ぶくれなどが確認され、天端を越水した痕跡が見られず、河道内の痕跡は天端よりも明らかに低かったことから、天井川の破堤は浸透によるものと考えられる。



図 4.6.36 天井川の痕跡水位



図 4.6.37 破堤部直下流の様子



図 4.6.38 破堤部下流の堤防断面変化部

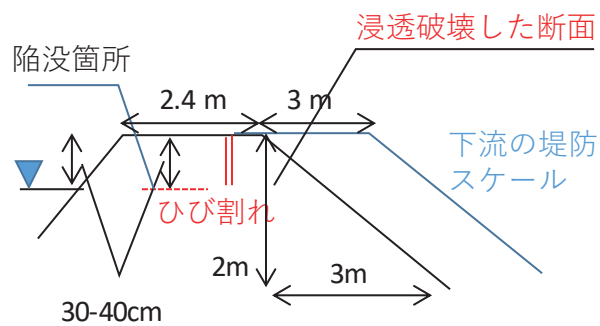


図 4.6.39 破堤部の堤防断面

#### 4.6.3 沼田川水系仏通寺川

図4.6.40に仏通寺川破堤部をドローン撮影した様子を示す。破堤部から多量の土砂が堤内地に流出し、堆積している様子が分かる(図4.6.41)。図4.6.42に破堤部上下流の被害の様子を示す。破堤部上流では、住宅街に向かう道沿いに堤防を越流した水が流れ、その流れ

によって段落ち流れが生じ、侵食被害が生じている。破堤部下流では、土砂が堤防を乗り越え、裏法側に多量の土砂が堆積している。破堤前にかんがりの水量が越流していたと考えられ、越流侵食が主な破堤要因と考えられる。



図 4.6.40 仏通寺川破堤付近の被害全景



図 4.6.41 仏通寺川破堤部の様子 (図 4.6.40①)



図 4.6.42 仏通寺川破堤部の上下流の様子 (図 4.6.40 左②, 右③)

#### 4.6.4 菅川

図4.6.14, 図4.6.15に示したように, 菅川では右岸2箇所, 左岸2箇所破堤した(図4.6.43)。その菅川の痕跡水位縦断図を図4.6.44に示す。また, 図4.6.45に合流部付近の破堤の様子を示す。沼田川合流部付近では菅川堤防はかなり低く, 沼田川本川との合流点付近の高い水位の影響を受け, 多量の氾濫水が菅川から右岸に流れたと考えられる。ヒアリング調査によると, まず沼田川合流部付近の①が破堤し(図4.6.46), 菅川右岸氾濫域が浸水した。その後, 7日夜が明けてから左岸側が破堤したとのことである。このとき, 河道水位の低下に伴って, 菅川右岸の氾濫域の氾濫水が河道に戻り, その時の流れによって民家の塀やパラペット, 堤防が河道方向の流れによって破壊した。破堤した堤防の堤内地側の樹木付近は越流した割には侵食や土砂堆積はほとんど見られず, 河道への戻り流れにより破堤が生じたと考えられる。図4.6.47は菅川左岸破堤箇所③の様子である。左岸破堤箇所③の下流側堤防は橋梁の堰上げもあり, 住宅地を流れて段落ち部を破壊している。縦断水面形から, 破堤部の越流水深は高くないが, 破堤の下流で越流した流れが侵食し, ③の破堤につながったものと考えられる。なお, 図より, 菅川の河床は密生した植生で覆われていた。図4.6.48は菅川左岸破堤箇所④の様子である。破堤部④では痕跡水位と堤防高はほぼ一致し, 大きな越流水深の痕跡が見られなかったため, 破堤のきっかけが越流であったのかどうかは不明である。堤防が損傷した後は, 越流する流れが生じて, 落堀と多量の土砂堆積が生じている。



図 4.6.43 菅川合流部付近の被災状況の全景

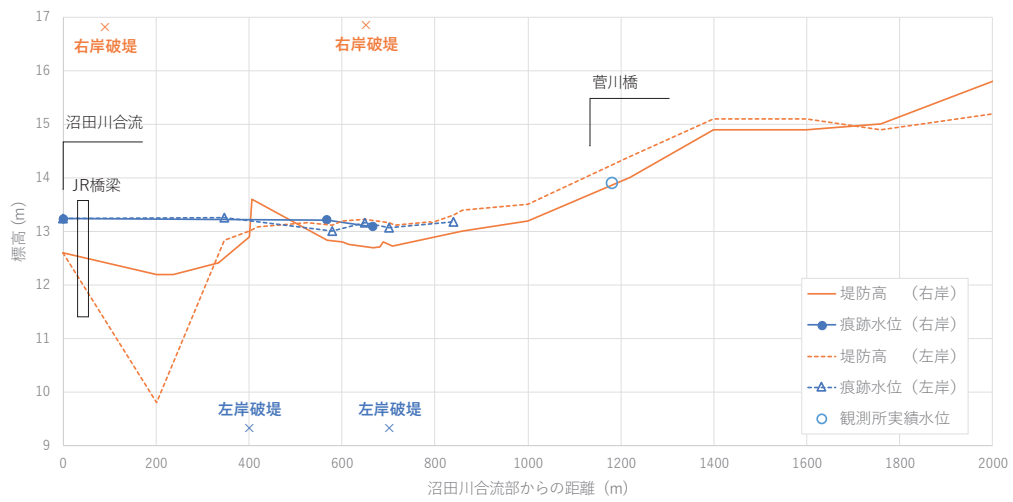


図 4.6.44 菅川下流部の痕跡水位



図 4.6.45 菅川の破堤部①





図 4.6.46 菅川の破堤部②



図 4.6.47 菅川左岸の破堤部③



図 4. 6. 48 菅川左岸の破堤部④

#### 4. 6. 5 梨和川，三次川

##### a) 梨和川

図4. 6. 49は，梨和川とその支川である三次川の破堤箇所とその周辺箇所の航空写真である。また，図4. 6. 50は梨和川の氾濫状況を示しているが，広範囲にわたり，かなりの浸水深を記録している。また，河川沿いのフェンスには氾濫水で運ばれた草が引っかかっている。

図4. 6. 51は，破堤箇所の河川の状況を示している。河川には植生が繁茂しており，左岸側の樹木に多くの流下物が引っかかり，これによって堤防付近の水位の局所的な上昇と偏流を発生させたものと考えられる。また，図4. 6. 52は，梨和川右岸の堤内地の様子である。図4. 6. 49においても地表面が薄茶色で覆われていることから確認できるが，細粒の土砂が広範囲に広がった。災害後は，気温が例年より3～5℃高い日が続くなど連日の猛暑によって，細粒土砂は粉塵として舞い上がり，復旧活動の障害となった。



図 4.6.49 梨和川・三次川左岸破堤部の航空写真  
 (国土地理院の航空写真<sup>9)</sup>を一部加工)



広島県提供データより



図 4.6.50 梨和川左岸の破堤位置と浸水状況



図 4.6.51 梨和川左岸の破堤位置



図 4.6.52 梨和川右岸堤内地の浸水痕跡

b) 三次川

梨和川の支川である三次川は、植生が繁茂していた河川である。三次川は、**図4.6.53**に示す、梨和川との合流点付近の左岸で越流・破堤し、広範囲にわたって浸水域を発生させた。また、**図4.6.54**に示すように、流出した細粒土砂が三次川と国道2号線の間で堆積した。



広島県提供データより

**図 4.6.53 三次川左岸の破堤位置と浸水状況**



**図 4.6.54 三次川左岸の破堤状況**

(内田龍彦)

## 4.7 本郷川水系本郷川

本郷川は、広島県東部の福山市、尾道市の境界に位置している（図 4.7.1）。その源を尾道市原田町に位置する摩訶衍山（標高 382.8 m）北部の山麓に発し、その南東から東方向に流下しながら支川最大河川となる小原川に合流し、その後南に方向を変えながら大谷川などの支川に合流する。そして、福山市今津町市街地の中央を流れて松永湾に注ぐ。表 4.7.1 に本郷川の流域面積、河川延長、河床勾配を示す<sup>15)</sup>。表 4.7.1 に示すように、上流・中流部では急勾配となっており、下流部で勾配が緩やかになっている。

図 4.7.2 に豪雨発生時における 10 分間雨量のハイトグラフを示す。なお、観測所は図 4.7.1 に示す気象庁福山雨量計の地点に位置する。本郷川流域では 7 月 5 日の朝から 7 月 7 日の朝にかけて継続的に降雨が見られる。また、その累積は 3 日間で 350 mm を超える。図 4.7.3 に同期間における今津水位観測地点における水位ハイドログラフを示す。図より、6 日 18 時には氾濫注意水位を超え、その約 1 時間後に氾濫危険水位を超えている。また、ピークは 7 日 0 時と 7 日 9 時の 2 回となっており、両者で約 1.5m を記録している。そして、水位ハイドログラフの 2 回のピークは降雨のピークとも対応している。5 日からの継続した降雨で河川が増水したことに加えて、6 日夜から 7 日朝方の強い降雨が発生したことで氾濫危険水位にまで水位が上昇した。



図 4.7.1 本郷川の流域

表 4.7.1 本郷川の諸元<sup>15)</sup>

|                        |      |              |
|------------------------|------|--------------|
| 流域面積(km <sup>2</sup> ) | 30.4 |              |
| 河川延長(km)               | 13.0 |              |
| 河床勾配                   | 上流   | 1/20~1/70    |
|                        | 中流   | 1/70~1/140   |
|                        | 下流   | 1/140~1/1000 |
| 川幅(m)                  | 上流   | 5~10         |
|                        | 中流   | 10~40        |
|                        | 下流   | 40~60        |

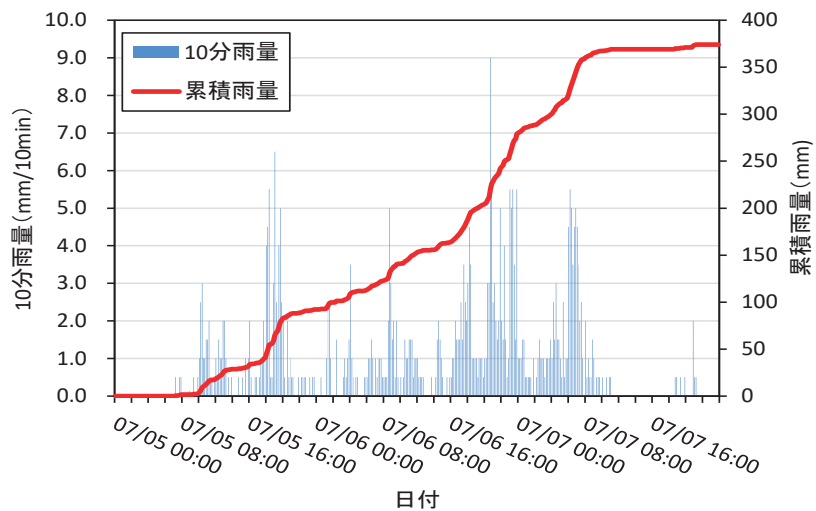


図 4.7.2 福山雨量観測所（気象庁）におけるハイエトグラフ  
(2018年7月5日0時~2018年7月8日0時)

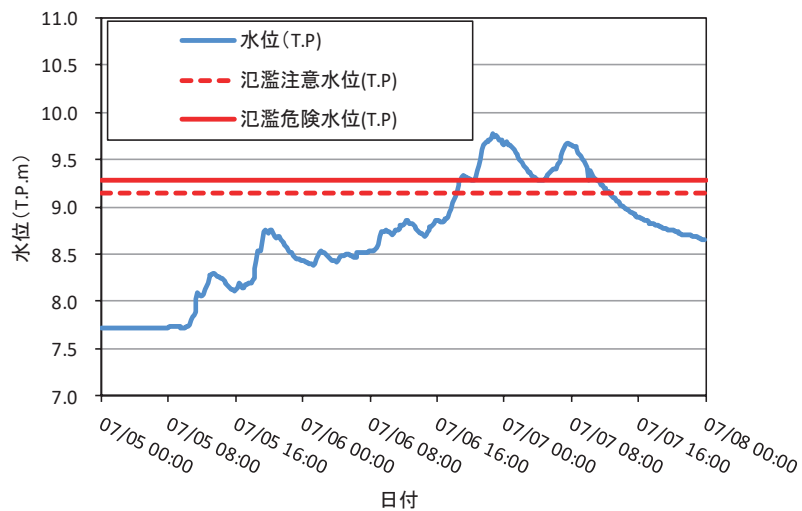


図 4.7.3 今津水位観測所（広島県）における水位ハイドログラフ  
(2018年7月5日0時~2018年7月8日0時)

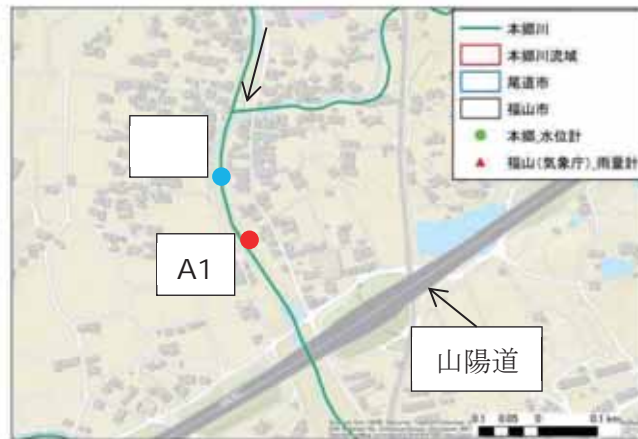


図 4.7.4 被災調査地点の位置



図 4.7.5 A1 地点（橋脚の沈下）  
（撮影：2018年7月16日）



図 4.7.6 A2 地点（護岸の崩壊）  
（撮影：2018年7月16日）

図 4.7.4 に調査地点を示す。図中の A1 地点における被災状況を図 4.7.5 に示す。A1 地点では、左岸側の橋脚と比べて橋脚頂部の位置が低下していることが分かる。橋脚の下流では土砂の堆積が確認された。このことから、橋脚周辺で局所洗掘が進行により、橋脚の支持力が低下し、沈下することによって床版が傾いたと推測できる。

図 4.7.6 は A1 地点から上流 50m 付近の A2 地点における被災後の復旧状況を示している。調査地点は湾曲部の内岸側に位置している。一般に、内岸側の流速は小さくなり、侵食が起こりにくいことが考えられる。したがって、侵食が発生した理由として、図 4.7.5 から知られるように、右岸側の堤防にはコンクリートによる護岸工が施されているのに対し、左岸側の堤防では整備されていないため、洪水流によって左岸側で侵食が発生したものと考えられる。

(北真人)



## 4.8 芦田川水系

### 4.8.1 福川

福川は、一級河川芦田川水系瀬戸川支流の一つである。石槌山（標高：275 m）を源流として東向きに流下し、市街地へ到達した後に南向きへと流向が変化し、瀬戸川へと合流する。流域面積は7.9 km<sup>2</sup>、河川延長は4.5 kmである（図4.8.1）<sup>16)</sup>。福川の堤内地盤高は低く、平成28年6月23日にも内水氾濫による浸水被害が発生しており（図4.8.2）、浸水対策として瀬戸川へのポンプ排水能力の増強等を検討している河川でもある。

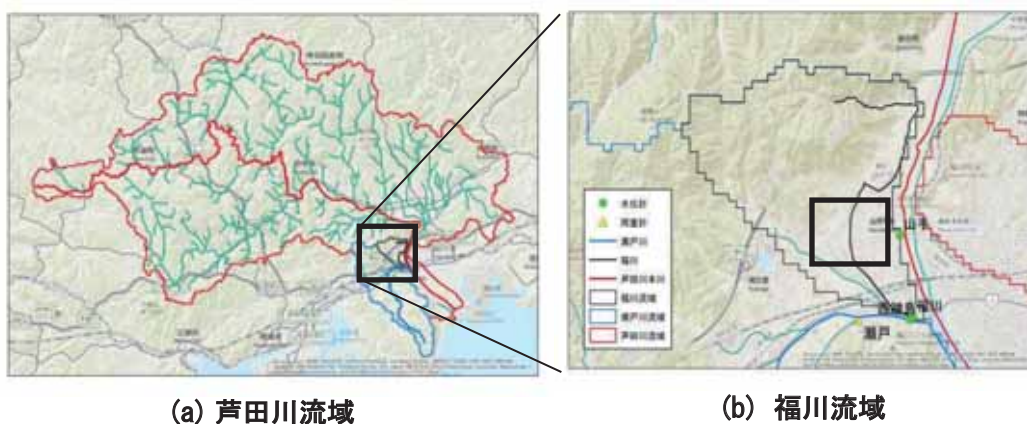


図 4.8.1 芦田川流域および福川流域

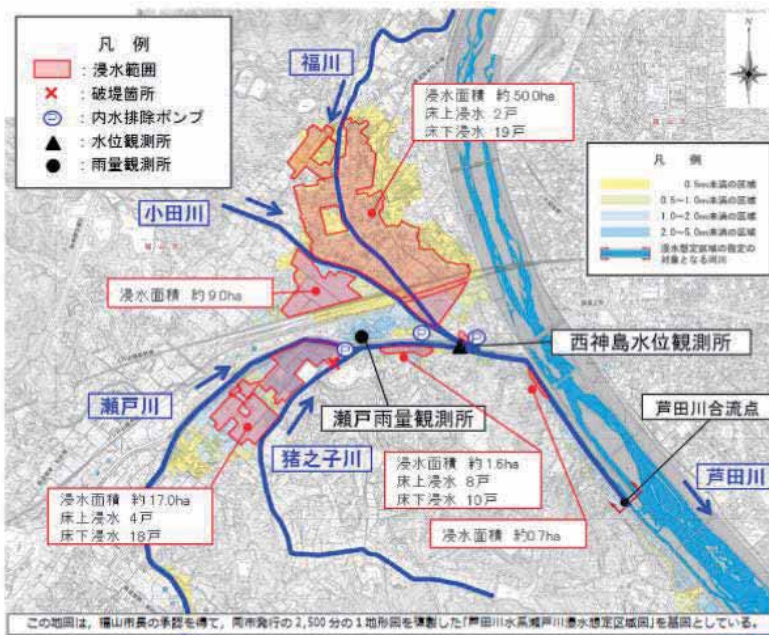


図 4.8.2 平成28年6月23日の内水氾濫による被害状況<sup>17)</sup>

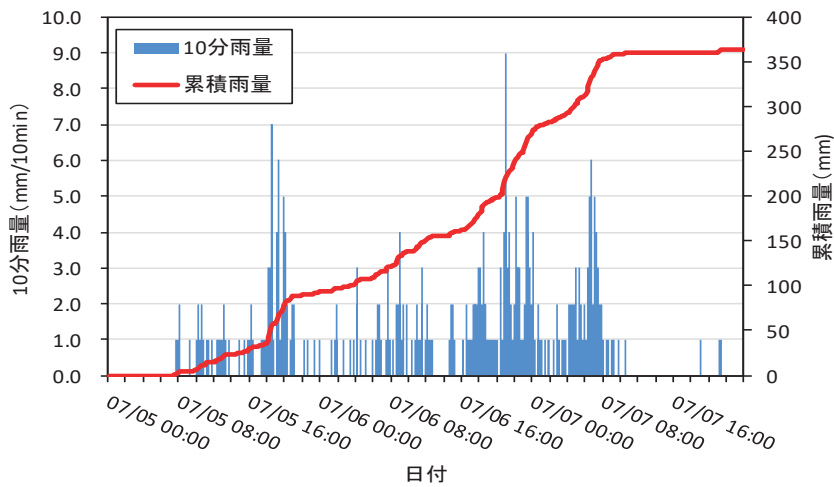


図 4.8.3 瀬戸雨量観測所（広島県）におけるハイエトグラフ  
（2018年7月5日0時～2018年7月8日0時）

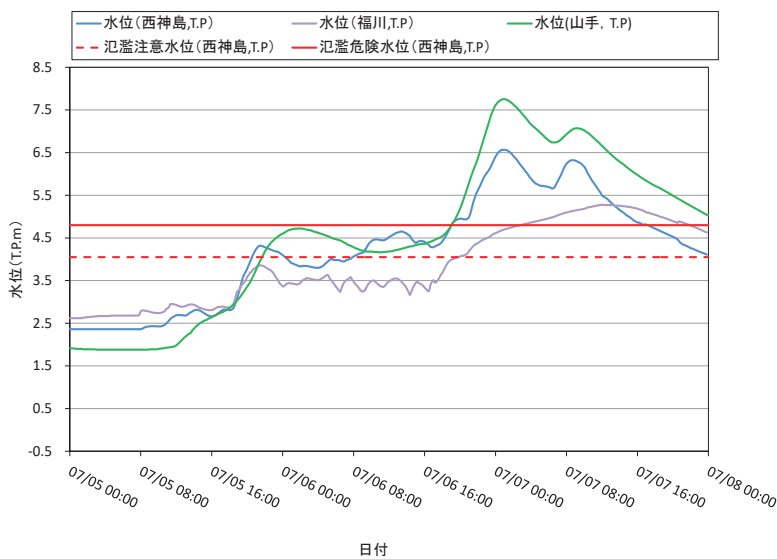


図 4.8.4 福川（広島県），西神島（国），山手（国）水位観測所におけるハイドロ  
グラフ（2018年7月5日0時～2018年7月8日0時）

瀬戸川と福川との合流点に位置する瀬戸雨量観測地点における 10 分間雨量のハイエトグラフを図 4.8.3 示す。7 月 5 日の朝から 7 月 7 日の朝にかけて継続的に降雨が見られる。図 4.8.4 に同期間における水位ハイドログラフを示す。図中の福川観測所は福川の水位（内水位）を、西神島観測所は瀬戸川の水位（外水位）を、山手観測所は芦田川本川の水位を観測している。7 月 5 日 18 時ごろ福川の水位を瀬戸川の水位が上回るようになり、福川の樋門が閉められた。その後、福川の水位は上昇するが、瀬戸川の水位より低くなっている。7 月 6 日 19:00 頃、瀬戸川の水位は氾濫危険水位に達し、その後 1 日弱にわたって氾濫危険水



図 4.8.5 福川周辺での浸水状況

位を超えた。図 4.8.2 に示すように、瀬戸川の下流端の水位は山手観測所の水位よりある程度低いと推測されるが、両地点のハイドログラフの変化が 7 月 7 日には同様になっており、瀬戸川の水位が芦田川の水位の影響を受けているかどうかについては検討が必要である。福川の水位は、7 月 6 日 18:00 頃から増加を続け、7 日 13:00 頃にピークの水位 5.28m を記録している。福川最下流の堤防高が 5.42m であり、福川での流速は殆どないため氾濫域では水平に湛水したと推測される。平成 28 年 6 月 23 日の内水氾濫時には下流端での水位が 4.57m<sup>12)</sup>であり、今回の福川の下流端の水位はそれより 70cm 程度も高い。このため、図 4.8.5 に示すように、福川周辺では広範囲にわたり浸水した。図 4.8.2 と比較すると、今回の浸水規模の大きさが確認できる。なお、福川の下流端にある佐波排水機場の運転記録を入手していないため、そのポンプの稼働状況は不明であるが、瀬戸川で高水位の状態が継続されたことから、ポンプ排水が十分に行われなかった可能性が考えられる。

図 4.8.6 (図 4.8.1 右の四角枠に対応) に示すように、A1-2 地点 (アパート) での痕跡浸水深は 70cm であった。住民にヒアリングしたところ、6 日午後 11 時には氾濫直前の状態であり、7 日午前にはさらに水位が上昇し氾濫に至ったとのこと。また、平成 28 年 6 月にも浸水深は 50cm 以下であったが、今回の豪雨では浸水深が増したとのことであった。

図 4.8.7 は福山市中心地域での浸水域の発生状況<sup>18)</sup>と洪水ハザードマップ<sup>14)</sup>に記載されている浸水域を示している。福山駅周辺とそれより南部を除く広範囲で、福川流域を含めて、両者の間に良い対応が認められる。すなわち、洪水ハザードマップと今回の豪雨・避難

情報をうまく活用すれば被害を軽減することができることを示している。あるいは、抜本的なハード対策を実施しない限り、洪水ハザードマップの浸水区域では豪雨の度ごとに浸水被害を心配しなくてはならないとも言うことができる。



A1-2 地点での浸水痕跡

図 4.8.6 福川の痕跡調査 (2018年7月16日) 図 4.7.1 本郷川流域図



(b) 今回の浸水地区<sup>18)</sup>



(a) 洪水ハザードマップ<sup>19)</sup>

図 4.8.7 福山市の浸水被害と洪水ハザードマップ

#### 4.8.2 吉野川

吉野川は一級河川芦田川水系高屋川支流の一つである。図 4.8.8 に示すように、福山北部に位置する福山北部流通工業団地付近を源流としている。支川の西川と合流しながら福山市駅家町中心部を南下した後、東向きに流れが変化し高屋川と合流する。流域面積は 5.6km<sup>2</sup>、河川延長は 10.2km である<sup>16)</sup>。

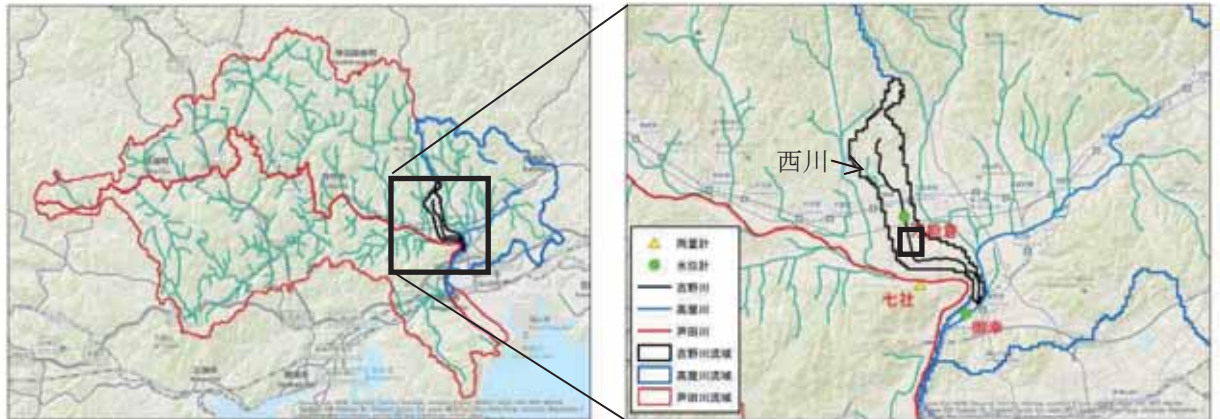


図 4.8.8 芦田川流域および吉野川流域

図 4.8.9 に豪雨発生時における 10 分間雨量のハイトグラフを示す。なお、観測は図 4.8.8 に示す、芦田川沿いに位置する七社雨量観測所（広島県）におけるものである。7 月 5 日から 7 日まで豪雨が 3 波のピークを伴って発生した。図 4.8.10 に同期間におけるハイドログラフを示す。図より、第 1 波の豪雨を受けて吉野川の水位は 5 日夜に氾濫危険水位を超えた。そして、6 日 18 時頃から一日弱の期間にわたり、氾濫危険水位を超える高水位が継続した。また、ピーク水位は 2.0m を記録し、氾濫危険水位を約 1m 超過した。

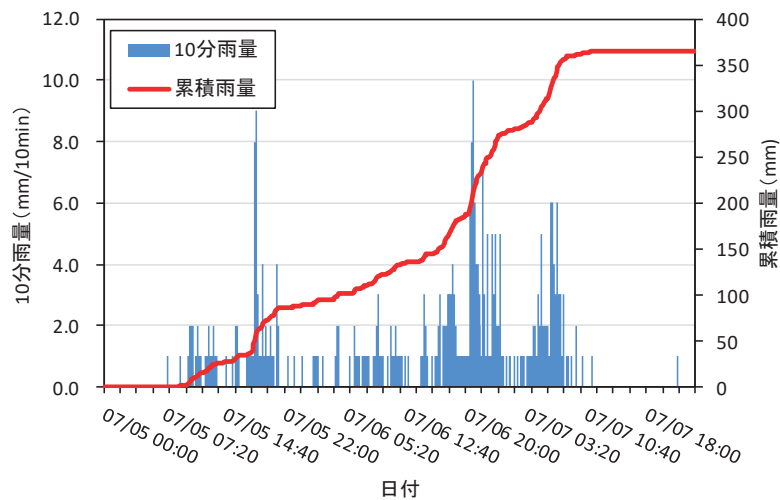


図 4.8.9 七社雨量観測所（広島県）におけるハイトグラフ  
(2018 年 7 月 5 日 0 時～2018 年 7 月 8 日 0 時)

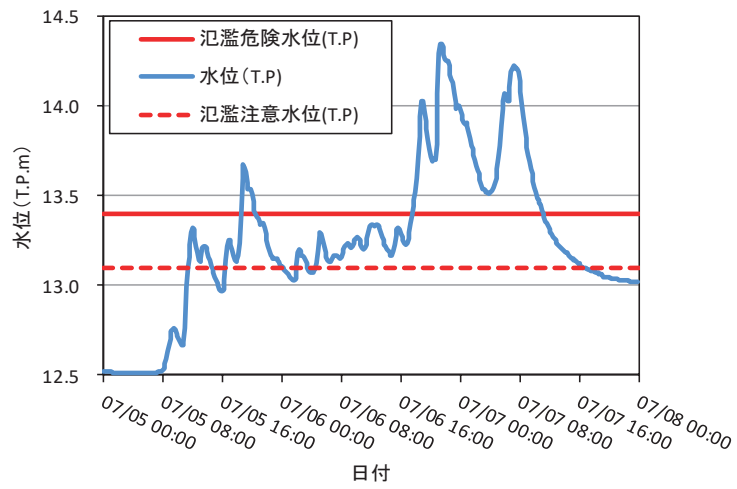


図 4.8.10 万能倉水位観測所（広島県）における水位ハイドログラフ  
(2018年7月5日0時～2018年7月8日0時)

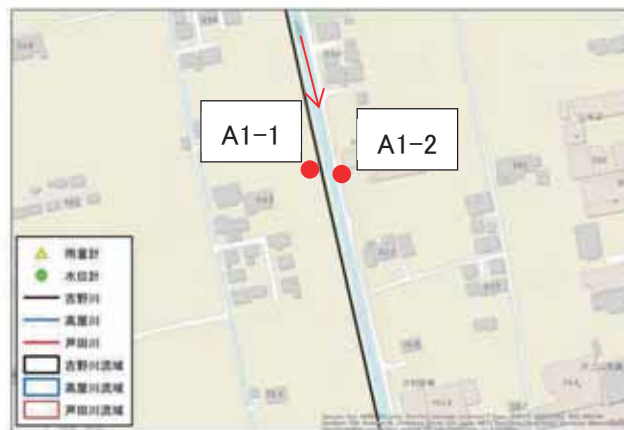


図 4.8.11 調査地点



図 4.8.12 A1-1 地点での被害状況（左：破堤，右：氾濫後の土砂堆積）  
（撮影：2018年7月16日）



図 4.8.13 A1-2 地点での越流による堤内地の路肩の侵食  
（撮影：2018年7月16日）

図 4.8.8 右に示した黒枠の拡大図を図 4.8.11 に示す。この調査地点では、破堤と侵食が確認された。図 4.8.12 左に示すように、調査地点の左岸部では堤防の破堤が発生しており、土嚢による応急処置が施されている。そして、図 4.8.12 右に示すように堤内地にある田んぼへと大量の土砂が流れ込んだ跡が見られる。一方で、右岸側の堤内地では図 4.8.13 に示すような越流による侵食が見られた。上述のように右岸側では越流であるのに対し、左岸側では破堤が発生している。その理由としては右岸側では道路舗装があるのに対し、左岸側では護岸はあるものの堤防頂部に舗装がなされていない状態であった。このことから、左岸側では越流時に堤内地側から崩れやすい構造になっていることが考えられる。それに加えて、図 4.8.12 に示すように河道が狭いことから流下能力が低く、図 4.8.12 に示すように高水位の状態が長く続いたことも一因として挙げられる。

（北真人）

## 4.9 河川災害の特徴

今回の豪雨では、24時間雨量は広島県全域において記録的降雨量となり、県内全域の河川が被害を受けた。広島県の調査によると、**図4.9.1**に示すように、広島県の基準水位設定の61河川のうち、氾濫危険水位を超過した河川は46河川、避難判断水位を超過した河川が6河川に上り、避難判断水位以下の河川はわずか9河川のみであった。また、県の管理する499河川のうち、破堤した河川が12河川、越水・溢水した河川が82河川であった。

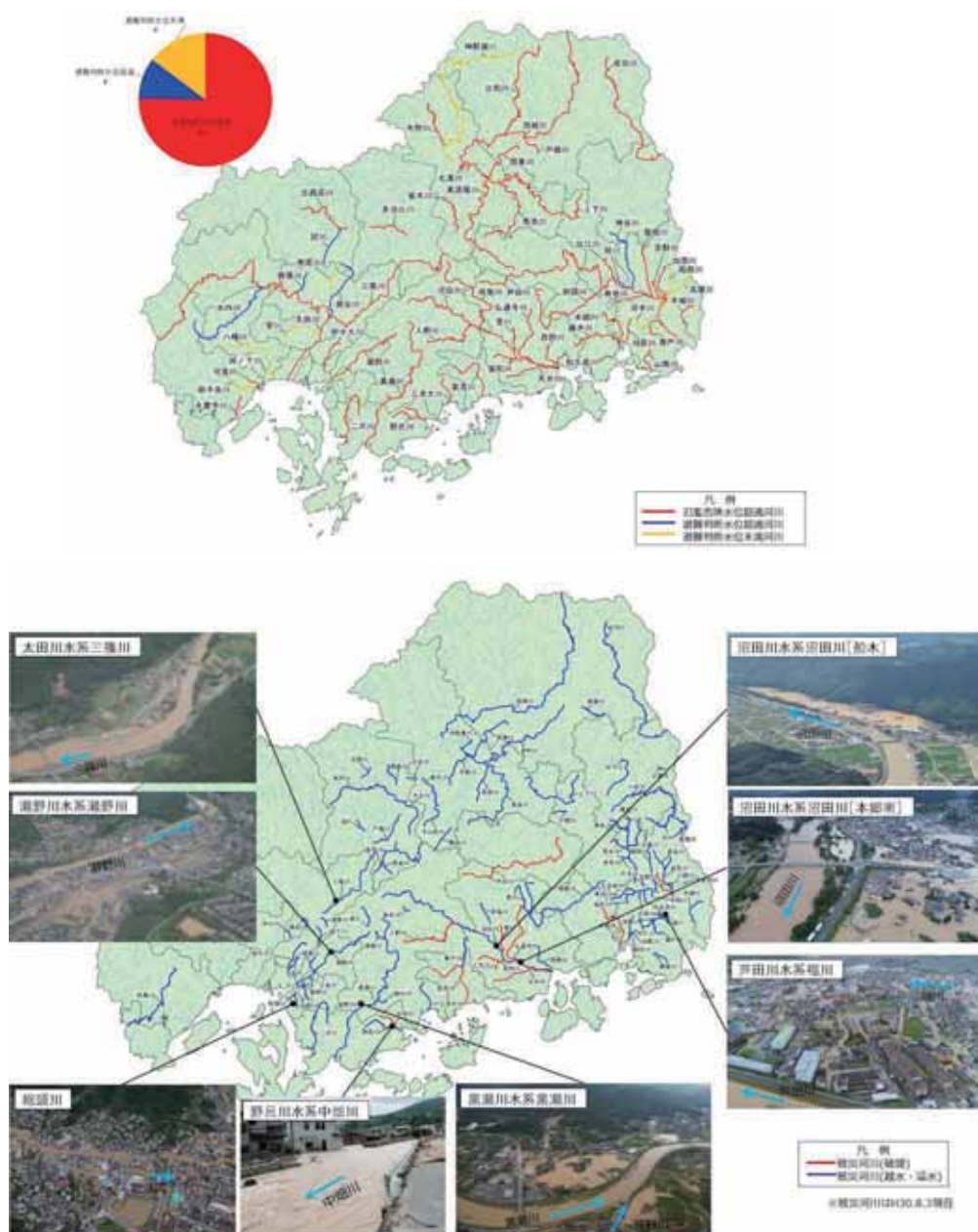


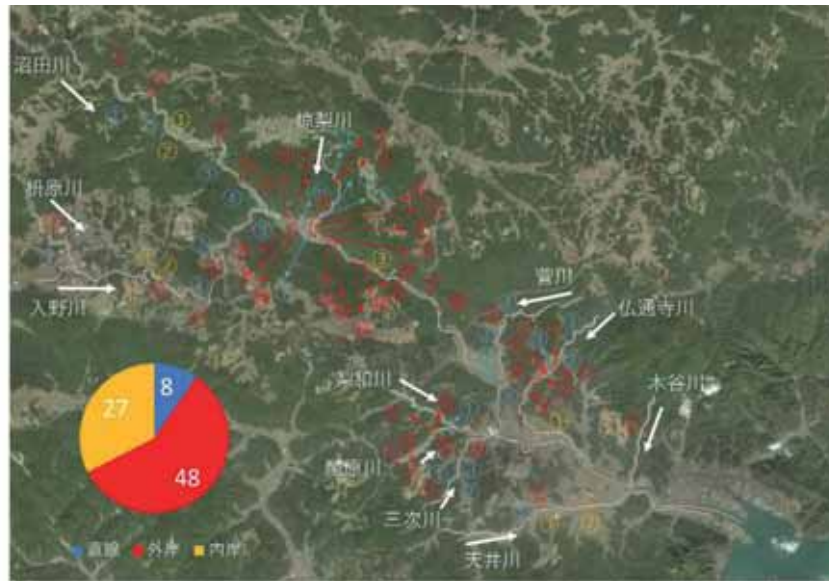
図 4.9.1 西日本豪雨時の広島県の河川水位と被災状況<sup>1)</sup>



これらの河川被害の特徴のひとつは支川からの氾濫被害が多く発生したことである。その要因として3点を指摘できる。1点目は、支川の破堤であり、特に、沼田川下流部の主な支川すべてが決壊した（菅川4箇所、梨和川・三次川4箇所、仏通寺川1箇所、天井川1箇所）。このうち、仏通寺川、天井川の破堤箇所以外は、合流点の直上流であり、越流破堤と言えない箇所が含まれるものの、本川水位あるいは合流点での水位の上昇が破堤の危険性を増大させたと考えられる。また、菅川で見られたように、支川が破堤することによって、ハザードマップに示されていない氾濫域が生じた。2点目は、本川が水位上昇したことによる排水不良による内水氾濫であり、太田川流域、芦田川流域を含め、各地で見られた。特に、福川のように外水位の方が高くなり、排水ポンプに頼らざるを得ない低平地においてはポンプ整備だけでなく、運転方針、維持管理において検討すべき課題が多い。3点目は、土石流の流入による支川での土砂堆積である。土石流は、道路あるいは河川に沿って流れるために、このような被害は県内全域で発生し、土砂洪水氾濫と呼ばれた。その中には、瀬野川の右岸支川である榎ノ山川、畑賀川、野呂川の左岸支川である中畑川が含まれる。土砂堆積による氾濫の例として、7月10日に発生した、みくまり峡からの土石流を受けた榎川や甚大な土砂災害を受けた坂町の総頭川等が挙げられる。土砂災害の多い広島県においては過去の災害においても同様の事例が見られる。計画規模の強い豪雨時には、河道に土砂や流木が多く流れ、洪水流を阻害し、河道の通水能を著しく低下させるなど、洪水流の挙動を大きく変えるため、これらを河道設計に対してどう位置づけるのかが重要になる。

洪水では多くの道路橋、鉄道橋が流木や流下草本類を集積し、水位を堰上げる問題も生じた。さらにその結果、橋梁被害も多く見られた。洗掘による橋梁被害もあったが、多くの被害は橋桁まで水位が堰上がることによる流体力の増加が原因と考えられた。河川管理施設等構造令第60条では、橋梁は計画高水位以下の水位に対して安全かつ、橋脚・橋台は流水の妨げにならないこととある。このことは、計画高水位を基準にして設計される上述の堤防についても同様であり、超過外力、即ち計画水位を超えた場合についても検討し、何が起こるのかを想定することが重要と考えられる。

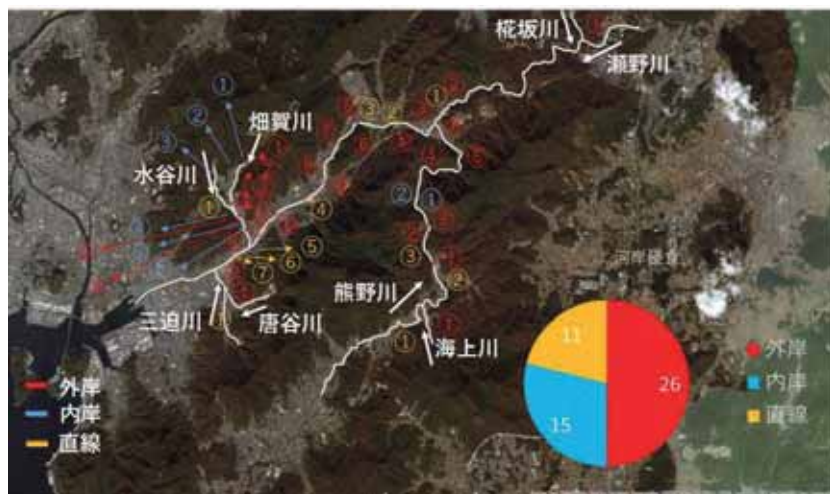
本洪水によって県内全域の多くの護岸で被害を受け、隣接する主要道路、鉄道が寸断された。図4.9.2は、今回の出水で被害を受けた広島県内の河川の主な護岸被災箇所の分布である。いずれの河川においても河川上流部の山地部においてかなりの箇所で河岸侵食被害が生じていることが分かる。河岸侵食の多くは湾曲部外岸で生じており、上流の蛇行部では外岸部が連続して被害を受けている。なお、湾曲部内岸は、蛇行入口の流速が大きくなる箇所に多く、また直線部の一部は上流の湾曲部外岸の下流部となる箇所が含まれている。例えば沼田水系椋梨川のダム下流では、ダム操作規則に基づく放流量に対して、多くの箇所が被災を受けている。この護岸被害が示すことは、流下能力を考える際に断面の大きさだけでなく河川の強度も必要であることである。4.11に示す橋梁被害や土石流被害と併せて、避難路や復旧のための交通ネットワークがいたるところで遮断し、被害を時空間的に拡大させる相乗型豪雨災害を引き起こした。



(a) 沼田川



(b) 加茂川



(c) 瀬野川

図 4.9.2 広島県における主な護岸被害箇所分布(1)



(d) 太田川水系三篠川



(e) 太田川水系根谷川

図 4.9.2 広島県における主な護岸被害箇所の分布 (2)

(内田龍彦)

#### 4.10 ダム操作の課題

今次の豪雨や土石流の多発を受けて、ダムの効果が明らかになるとともに、ゲート操作に関わる課題も浮かび上がった。ここでは野呂川ダムで行われたダム操作を例に挙げ、課題を整理する。

野呂川ダムは二級河川野呂川水系野呂川の本川に位置する広島県管理のダムである。その位置は図4.10.1に示されている。野呂川水系の流域面積が43.2km<sup>2</sup>であることに対して、ダムの集水面積は13.0km<sup>2</sup>である。野呂川ダムは1967年7月の集中豪雨(昭和42年7月豪雨)を契機に計画され、洪水調節(1/50確率)と下流に広がる農地に供給する不特定灌漑用水の確保を目的として建設され、1976年4月から運用が開始されている<sup>15)</sup>。

図4.10.1右に示すように、洪水調節は水位を洪水時満水位134.40mと常時満水位124.40mの間に保つように行われ、その洪水調節容量は105万m<sup>3</sup>である。また、放流設備として幅10mの洪水吐ゲート(ローラーゲート)1門と低水放流用のホロージェットバルブ1門を有している。

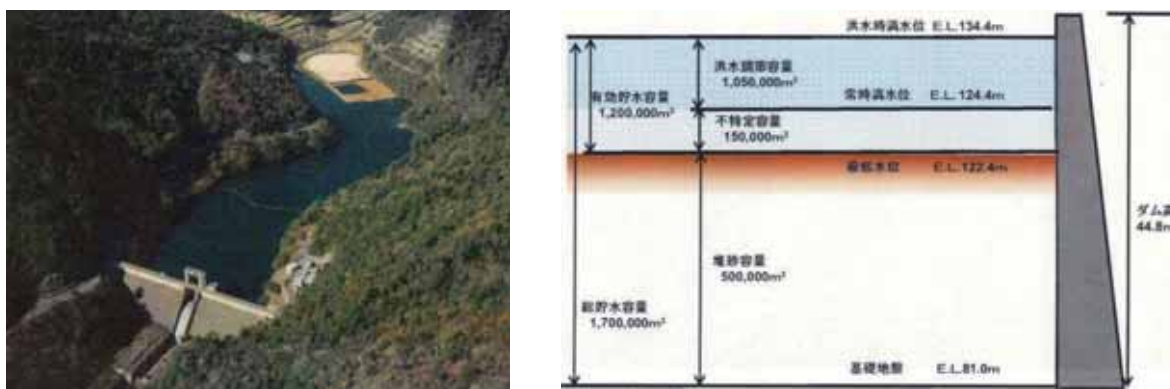


図4.10.1 野呂川ダムの外観と容量配分図<sup>20)</sup>

野呂川ダムの操作は、ダム下流の河道整備の進捗状況に合わせるように、当初の操作規則が変更され、現在の操作規則となっている。洪水調節は、水位が常時満水位を超える場合にはゲートを0.42mの一定開度に保って放流させること、また、水位が洪水時満水位を超える場合には流入量に相当する量を放流すること、と定められている<sup>21)</sup>。

2018年7月6日～7日にかけて野呂川ダムの水位が洪水時満水位を超えることが予想され、異常洪水時防災操作が行われた。図4.10.2は、実際のダム操作状況を雨量、警報の発令、関係機関へのダム操作の通知等とともに時系列的に示したものである<sup>22)</sup>。黒線が貯水池への流入量、赤線が放流量、青線が貯水池内の水位を示す。7月6日夜と7月7日の早朝にまとまった降雨があり、貯水池の流入量もそれらに対応して2つのピークを示している。

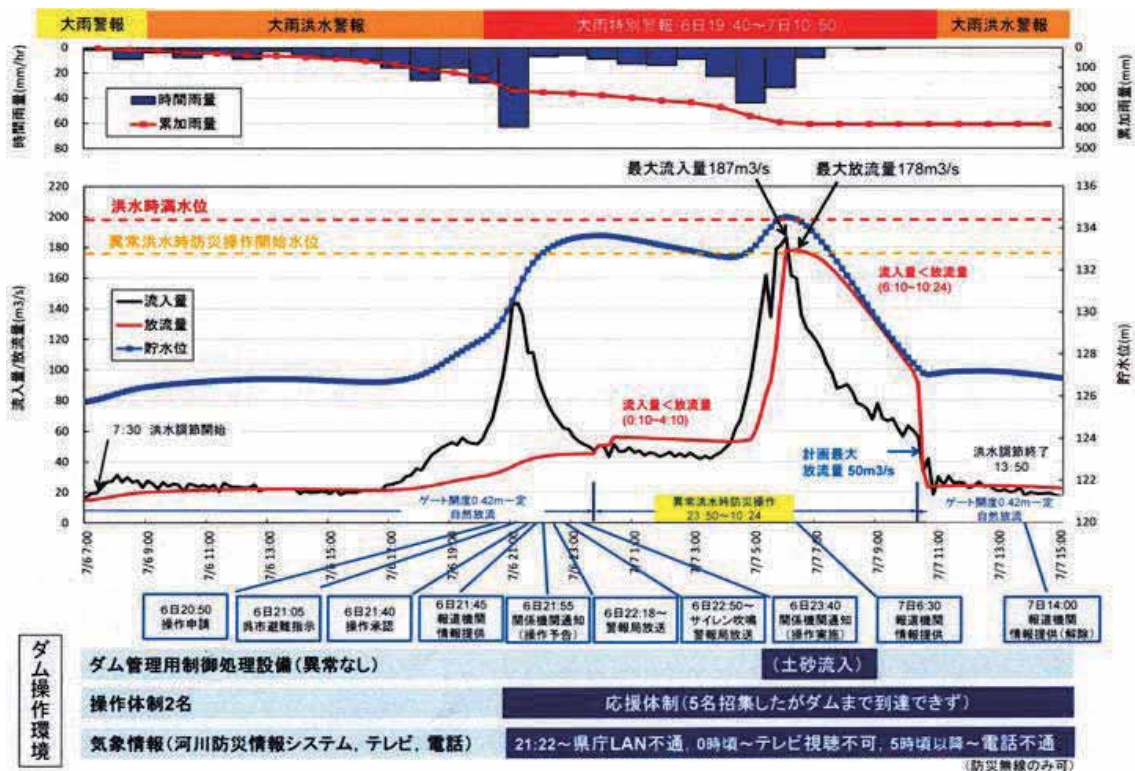


図 4.10.2 2018 年 7 月豪雨時の野呂川ダムの操作状況<sup>22)</sup>

そして、7 月 6 日 23:50～7 月 7 日 10:24 にかけて異常洪水時防災操作（ただし書き操作）を実施している。その期間中、7 月 7 日 0:10～4:10 と 6:10～10:24 の 2 回にわたって、放流量が流入量を超える操作、ダムの操作規則に反する操作が行われた。特に、6:10～10:24 にかけての放流は、野呂川の水位が高く危険な状況下で大きな流量を流したものであり、重大な問題となった。想定されなかった状況が発生したのも事実である。土石流が多発して補助員がダム管理事務所に到着できず異常洪水時防災操作を補助できなかった。また、行政 LAN が不通となり災害・気象情報を入手できず、防災無線で情報収集を行うこととなった。そのような状況下で、ダム操作の当事者が今後の予想される降雨によって水位が上昇することを懸念して、ゲートの開度を小さくしなかったという事態が発生した。

そのダム操作によって下流の浸水被害は拡大したが、幸いにも、その拡大の程度は限定的なものに留まったと推測される。野呂川ダムの主な目的は洪水調節であり、下流の被害を減ずることである。ダムの操作規則によれば、洪水調節時には貯水池や貯水池の上下流の被害の状況並びに河床変動の状況を記録しておかなければならないとされている<sup>21)</sup>。夜間での緊迫した状況においてダム操作を実施することの困難さは想像できるが、ダム操作をどのように県庁に報告していたのか、また、県庁からダム管理事務所に、下流の被害の発生状況や放流量が規則を逸脱していることを連絡し、早期にダム操作を規則通りに修正させることができなかったのか、明らかにすることが必要である。今後、同様の事態の再発を防止するために確実な監視体制の整備が必要である。

ダムの操作規則に反して行われた異常洪水時防災操作が下流の氾濫に及ぼした影響については、広島県の検討会において数値解析を用いて検討中である。今後、事前放流の有効性や下流での氾濫の拡大を防ぐためにダムからの放流を抑制すること（特別防災操作）の可能性等、ダムのより効果的な運用方法あるいは放流量を増加させるための放流施設の改築や下流河道の流下能力の増大などについても検討することが必要である。

なお、住民がダムの有効性や異常洪水時防災操作の重大性をどの程度理解していたのかについても問題があったように判断される。普段から行政と住民の間でリスクコミュニケーションを図ることが求められている。

一方、野呂川ダムが下流に及ぼした望ましい影響について指摘しておくことが必要である。野呂川水系の野呂川と中畑川の周辺では土石流が多発し、多量の土砂や流木が河川に流入した。野呂川の場合にはダムによって流木や巨礫などが捕捉され、細粒土砂のみがダム下流に流された。ダムの下流では野呂川に土石流が直接的に流入し、多量の土砂が供給された。そのため、野呂川では顕著な河床上昇が発生し、越流による氾濫が拡大した。しかし、流木による河道閉塞は発生しなかった。上流にダムのない中畑川での甚大な越流氾濫と比較すると、野呂川からの越流氾濫は小規模なものに留まった。野呂川ダムによって下流の被害の軽減が行われたことは理解されるべきである。異常洪水時防災操作を規則通りに行うことによって被害軽減をさらに進めることができたと考えられる。

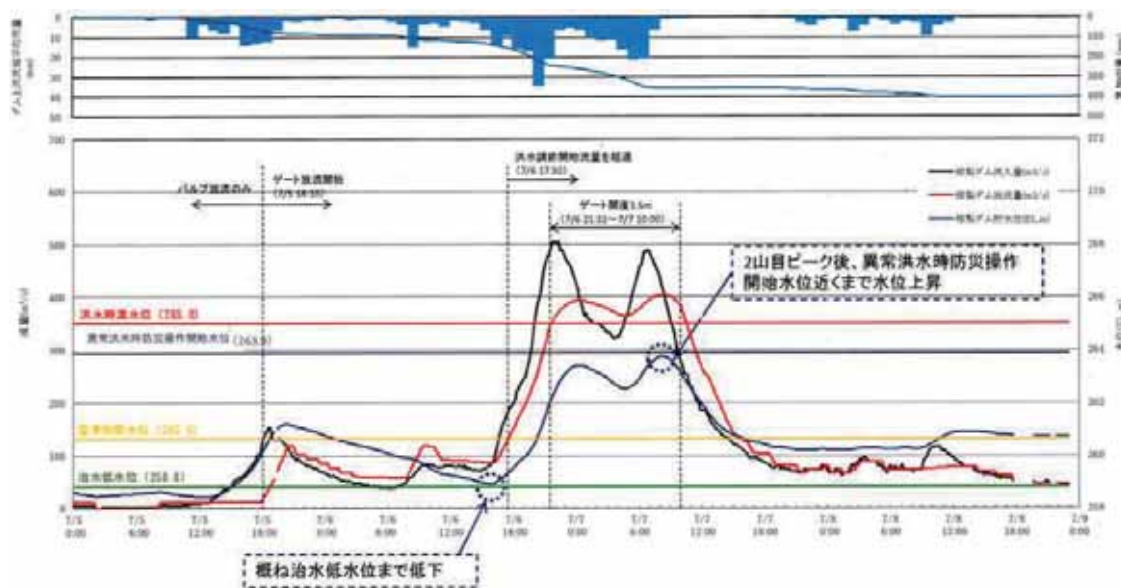


図 4.10.3 2018 年 7 月豪雨時の椋梨ダムの操作状況<sup>22)</sup>

なお、沼田川水系椋梨川に位置する椋梨ダム（図 4.6.1）においては、異常洪水時防災操作には至らなかったものの、下流の沼田川本川や支川で越流・氾濫が発生している状況下で、まとまった流量を放流した。その状況を図 4.10.3 に示す。防災操作規則に沿って放流が行われたが、下流の氾濫被害を軽減するために放流量を抑制すること（特別洪水操作）の可能

性や有効性について、検討することが必要である。さらに、普段から下流の住民にダム洪水調節効果を分かりやすく説明する努力も求められる。

(河原能久)

## 4.11 三篠川の橋梁被害

### 4.11.1 はじめに

平成30年7月5日～7日に停滞した梅雨前線により、西日本を中心に広い範囲で記録的長雨が観測された。このため各地で河川氾濫や土砂災害等が発生し、死者は237名、行方不明者は8名に上った(2019年1月9日時点)。広島県では12河川で破堤、82河川で越水が発生した。このうち太田川支川三篠川では、多くの地点で越水や溢水の被害を受け、JR芸備線の第1三篠川橋梁が流失するなど数多くの橋梁被害が発生した。洪水時の橋梁被害の既往研究としては、橋梁毎の被害状況を個別に検討する事例は多く、流域全体を俯瞰的に検討した事例は矢野ら<sup>1)</sup>を除いて皆無である。また、矢野ら<sup>23)</sup>は流木に着目した災害リスクを評価しているが、実際の橋梁被害は流木影響だけではなく、断面積等の水理学的要因や橋脚間の幅や橋桁高さなど構造的要因が挙げられると考えられる。

本節では、総合的に橋梁被害を検討するために、三篠川に架かる全94の橋梁の被害状況調査を行った。その結果に基づいて橋梁被害の縦断分布特性を把握すると共に、橋梁被害状況に対する水理学的・構造的要因の影響について幅広く調べた。これらの結果に基づいて、橋梁弱点箇所を抽出するための評価指標について検討した。

### 4.11.2 研究対象サイトと今次水害の気象・河川水位状況

研究対象サイトである三篠川は、**図4.11.1**に示すように、東広島市や安芸高田市、広島市を流れ、一級水系太田川に合流する。三篠川の流路延長は42km、流域面積は274km<sup>2</sup>(太田川の16%)である。支川には、栄堂川や関川、小河原川等がある。過去の洪水履歴としては、S40年6月洪水(24時間流域平均雨量265mm)やS47年7月洪水(24時間流域平均雨量199mm)において、大規模な洪水被害が発生した<sup>24)</sup>。その後の継続的な河川改修により治水安全度は向上し、今次水害まで大きな被害は出ていなかった。

今次水害における三篠川流域の気象・洪水状況を把握するために、降雨量(時間雨量と累積雨量)と河川水位の時間変化を**図4.11.2**に示す。ここでは、雨量データは志和アメダス、水位は中深川(太田川合流点から2.6km)、白木(同22km)の水位観測所データである。これより、降雨量は7/6午後より強くなり、同日19時と翌7日3時の二山のピークが現れた。雨量最大値としては、時間雨量は55mm(7/6 19時)、日雨量は244mm(7/6)であり、7/4～8の総雨量は474mmとなった。志和アメダス観測所の7月平年値が264mmであるため、今次水害では平年値の一か月分がおよそ一日で降り、総雨量では平年値の1.8か月分に相当する大雨となった。一方、河川水位に関しても、時間雨量と同様に、2地点ともに2山のピ

一ヶが 7/6 夜と 7/7 午前に現れた（白木：7/7 4 時，117.74[T.P.m]；中深川：7/6 22 時，22.99[T.P.m]）。両地点ともに氾濫危険水位を上回っており，白木観測所では 7/6 18 時から 7/7 10 時までの 17 時間，中深川観測所では 7/6 17 時から 7/7 10 時までの 18 時間，と長時間にわたり氾濫危険水位を超える水位が継続した。また，中深川の水位は計画高水位（=23.24[T.P.m]）を越えていない。



図 4.11.1 三篠川流域の概要と調査対象の橋梁位置

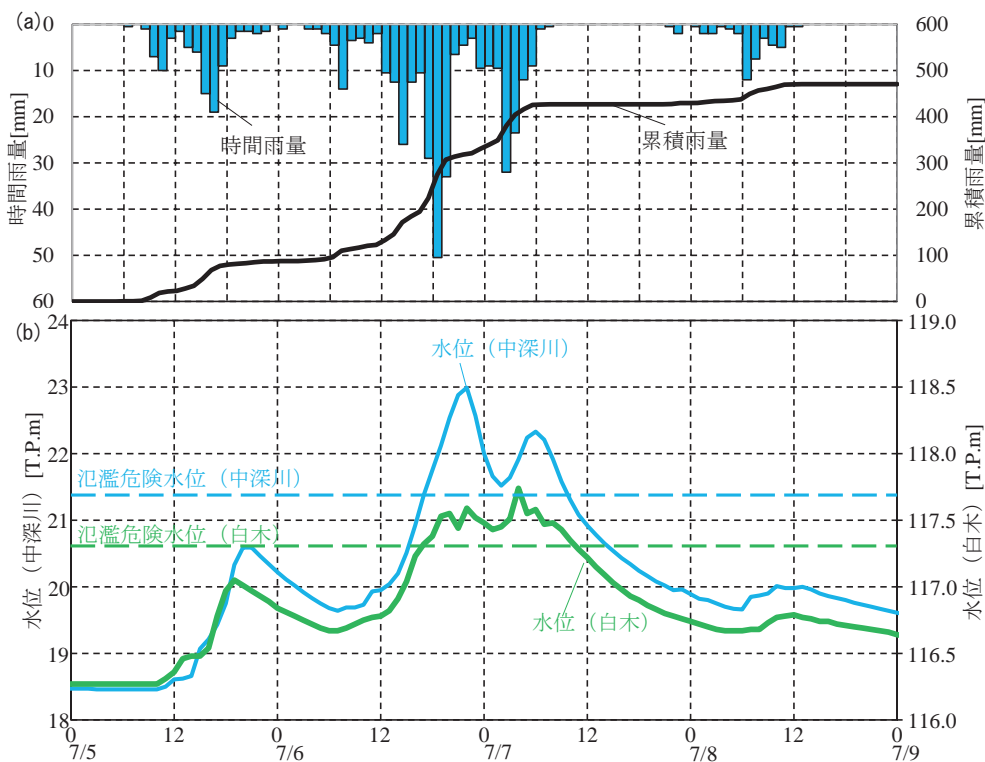


図 4.11.2 今次水害における三篠川の時間・累積雨量(a)と河川水位(b)の時間変化





図 4.11.3 流速捕捉状況（捕捉大(a)，中(b)，小(c)，極小(d)）

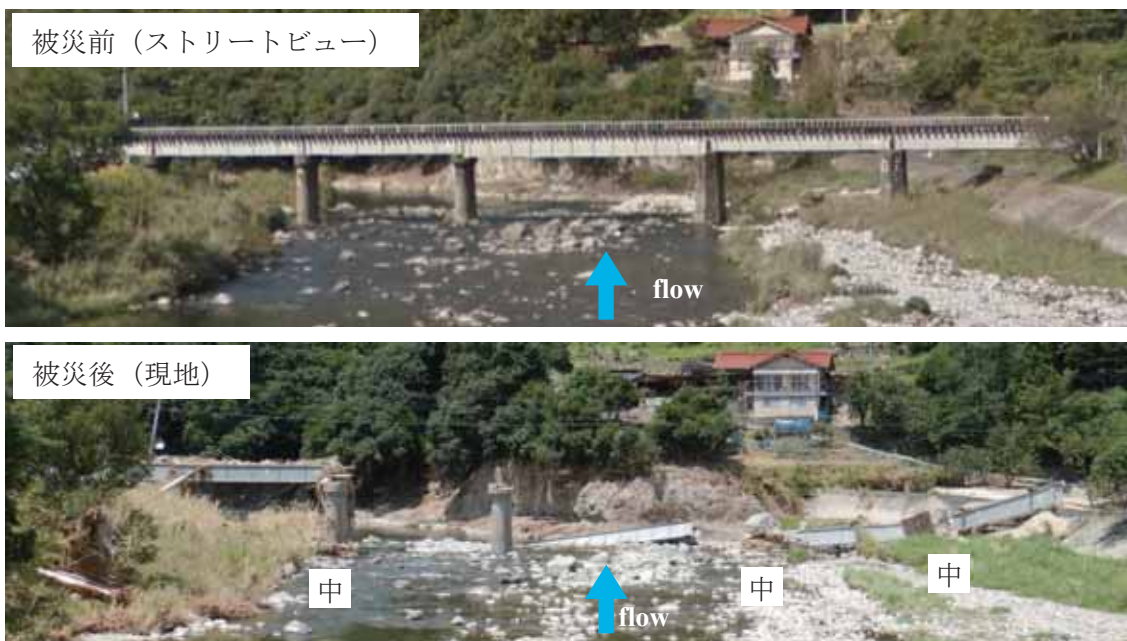
#### 4.11.3 現地調査・データ整理方法の概要

本節では、三篠川本川に架かる 94 の橋を対象に、①橋梁被害・構造調査と、②洪水流況調査を行った。調査日は 2018/8/2, 9/12-13, 10/9-11, 12/12 の計 4 回である。

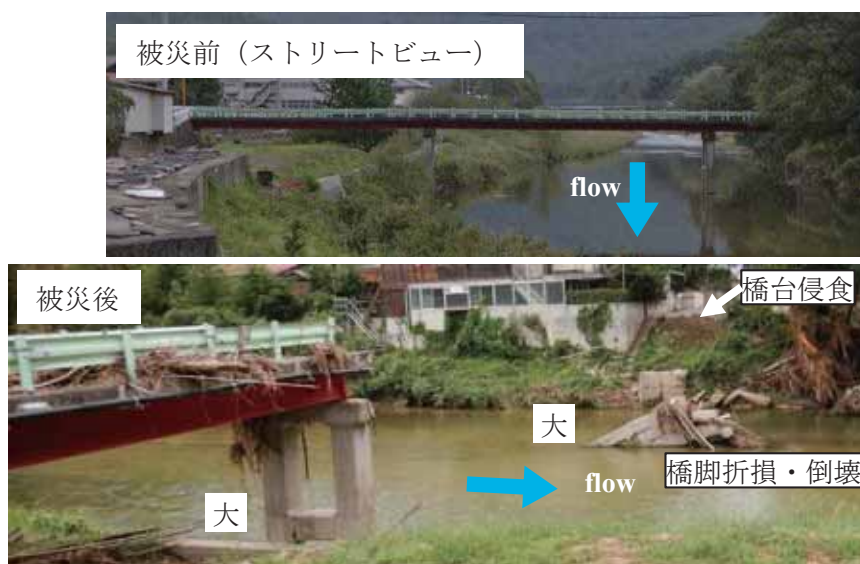
①の橋梁被害調査では、まず被害状況を落橋と一部損壊、被害無の 3 つに分類した。ここで、落橋とは橋桁が落ちた状態であり、一部損壊とは橋梁の一部が変形などの被害を受けた状態である。落橋と一部損壊はいずれも調査時点では通行止めとなっていた。また、橋梁の構造調査としては、RTK-GNSS (R6・R10, Trimble 社製) やスタッフを用いて、橋梁構造 (桁上・下の標高、橋脚の数と寸法 (高さ・幅) など) について測量した。

②の洪水流況調査としては、痕跡水位を RTK-GNSS とスタッフで計測した。痕跡としては、橋梁上流側 (橋梁から約 100m の区間内) における堤防の表のり面もしくは天端上に残された草を主な対象とし、合わせて堤防天端高も計測した。また、橋梁における流木の捕捉状況を把握するために、まず、全橋梁における流木捕捉量を目視で大、中、小、極小、無と 5 つに分類した (図 4.11.3)。また、5 つの橋のみを対象として、捕捉された流木の投影面積を定量的に計測し、橋脚における流木捕捉大・中・小・極小に対する流木阻害面積を求めた (n=8)。その結果、捕捉大、中、小、極小でそれぞれ、8.0, 2.4, 1.3, 0.16[m<sup>2</sup>]となった。

これら実測値と、ArcGISにより得られた河川勾配や流域面積、曲率等を比較した。また、RRIモデル<sup>25)</sup>より算出された流量データ（京大・佐山先生提供）と縦横断測量データ（国交省中国地整及び広島県提供）を用いて、各橋の断面積と最大流速を算出した。



(a) No. 19 (第1三篠川橋梁)



(b) No. 33 (轟橋)

図 4.11.4 落橋の事例

#### 4.11.4 橋梁被害状況に関する調査結果

##### a) 橋梁被災事例

全 94 の橋梁の被害調査の結果、橋桁が落ちた「落橋」や橋梁の一部が変形した「一部損壊」だけでなく、橋梁被害は無いものの橋梁の上・下流側の堤防表のり面が侵食を受けた状況である「被害無（侵食有）」が生じていることが分かった。橋梁被害事例として、落橋が発生した No.19（第 1 三篠川橋梁）と No.33（轟橋）の被災前後の写真を図 4.11.4 に示す。ここでは、橋脚における流木捕捉状況も明記している。被災前の状況は Google ストリートビューの写真である。これより、JR 芸備線の橋梁である No.19（第 1 三篠川橋梁）では、橋脚全 5 本のうち、外岸側に当たる右岸側の 2 本が折損・倒壊し、流失した。また、痕跡は桁上端を越えており、橋桁にも流木や植生が引っかかっていた。橋脚の流木捕捉状況は「中」が多く見られた。次に、No.33（轟橋）では、2 本ある橋脚のうち、内岸側に当たる左岸側の橋脚 1 本が折損・倒壊した。また、左岸側の橋台周囲も侵食されていた。痕跡は桁上端を上回り、ガードレールに多数の植生が捕捉されていた。



(a) No. 47（高瀬橋）



(b) No. 66（実重橋）

図 4.11.5 一部損壊の事例

次に、図 4.11.5 は、一部損壊の事例として、No.47（高瀬橋）と No.66（実重橋）における被害状況を示す。No.47（高瀬橋）では、右岸側から 2 本目の橋脚が沈下し橋桁も沈んでいる様子が見える。痕跡は橋桁下端より低く、流木捕捉状況は橋脚 3 本が「小」、3 本が「中」であった。No.66（実重橋）では、橋脚の変形は起きていないが、左岸側（外岸側）の橋台周辺が侵食されていた。橋の上下流における堤防のり面が広範囲に侵食・決壊しており、橋

台周囲の侵食も堤防侵食と連動して発生したものと推測される。



(a) No. 40 (柏木橋, 侵食有)



(b) No. 7 (第3三篠川橋梁, 侵食無)

図 4.11.6 被害無の事例

被害無の事例として、堤防の侵食有 (No.40, 柏木橋) と侵食無 (No.7, 第3三篠川橋梁) における被災後の写真を図 4.11.6 に示す。これより、No.40 (柏木橋) では、橋梁の変形は認められなかったが、橋上流右岸側における堤防表のり面が大きく侵食されていることが分かる。痕跡水位は橋桁下端より高く、洪水流により侵食されたものと考えられる。JR 芸備線の No.7 (第3三篠川橋梁) においても橋梁の変形は見られていないが、流木捕捉中の橋脚が2本も見られた。この橋梁における橋脚数は6、平均支間長は13mであり、これらは落橋した No.19 の第1三篠川橋梁とほぼ同程度である (橋脚数5、平均支間長13m)。No.7 (第3三篠川橋梁) の痕跡水位は橋桁下端と概ね一致しており、橋梁被害に対して橋梁構造だけではなく、河道の流下能力等の水理学的要因も大きな影響を与えている。

#### b) 橋梁被害の全体像

全94の橋梁全体の被害状況をまとめた結果を図 4.11.7 に示す。ここでは、被害状況を落橋・一部損壊・被害無 (侵食有)、被害無 (侵食無) の4つに分け、橋梁全体 (n=94) のみならず、橋脚有 (n=72)・無 (n=22) 別にも表示している。これより、全体としては、落

橋は11（全体の11.7%）、一部損壊は11（同11.7%）となっており、全橋梁のおよそ1/4が何らかの被害を受けて通行止めとなる甚大な橋梁被害が発生した。また、被害無（侵食有）は23もあり、落橋・一部損壊を合わせて半分以上の橋梁において直接的被害もしくは周囲の堤防侵食被害を受けていた。一方、橋梁における橋脚の有無で見ると、落橋した11の橋のうち10は橋脚有で生じていた。また、一部損壊も11の橋のうち9は橋脚有であった。このように、橋梁被害に対して、橋脚の存在が一定の影響を与えていることが明らかとなった。

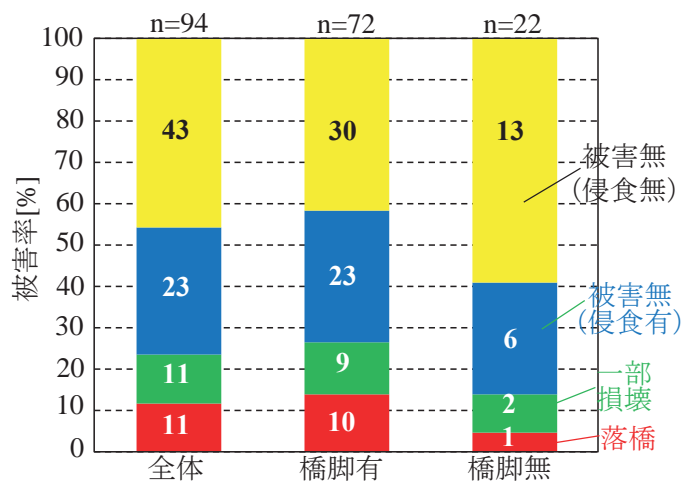


図 4.11.7 橋梁被害状況の全体像（棒グラフ上の数値は橋梁数を表示）

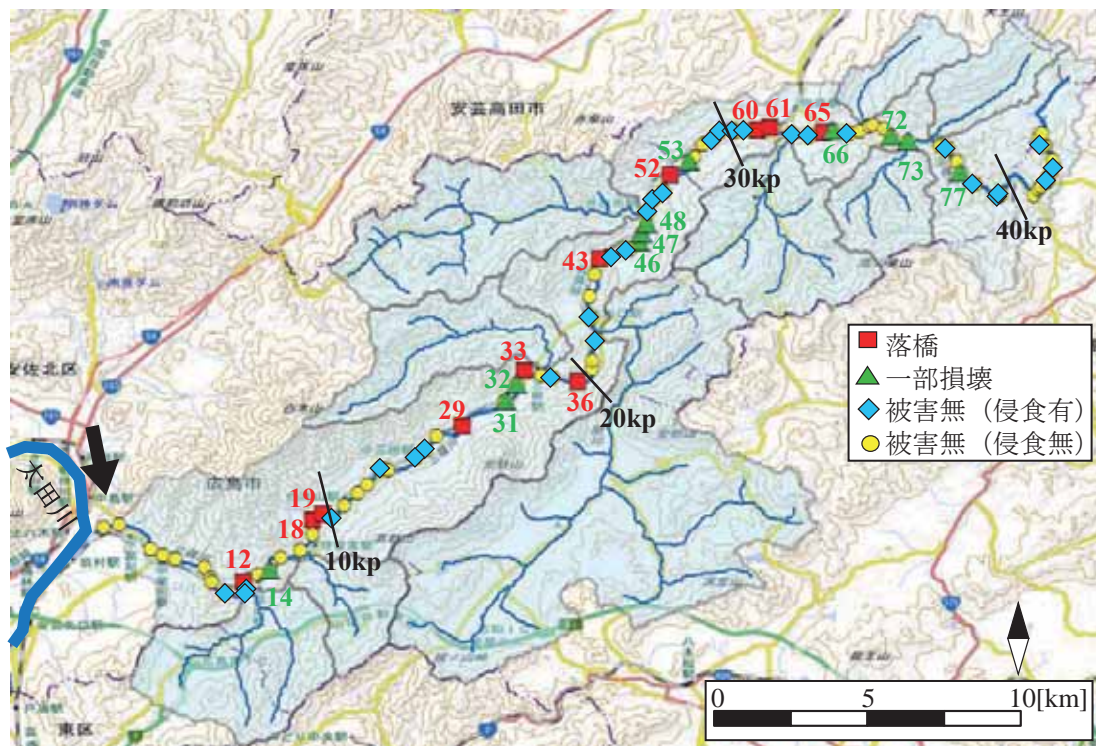


図 4.11.8 三篠川本川における橋梁被害マップ

次に、三篠川本川における橋梁被害マップを図 4.11.8 に示す。ここでも、被害状況を落

橋・一部損壊・被害無（侵食有）、被害無（侵食無）の4つに分けて図示している。これより、国交省管理区間（合流点から9.45km、橋梁No.1～17）では被害は少なく、落橋1、一部損壊1である。その上流の広島県管理区間では、被害数は増えており、特に、中流部（太田川合流点から15～33.5km、橋梁No.29～67）において相対的に多く、同区間の38の橋梁のうち、落橋8、一部損壊7、被害無（侵食有）15と被害が顕著になっている。また、その上流区間（33.5km～、橋梁No.68～94）では被害が相対的に少なく、落橋は発生していない。中流域のように橋梁被害の集中エリアでは、被害無（侵食有）も顕著となり、橋梁設置状況という局所的要因だけではなく、河道全体の流下能力が大きく影響している。

### c) 橋梁被害と水理学・橋梁構造的要素の縦断分布

橋梁被害を上流から下流にわたり俯瞰的に見るために、橋梁被害状況及び水理学的・橋梁構造的要素の縦断分布を図4.11.9(a)～(h)に示す。ここでは、集水面積とピーク流量（同図(a)）、橋桁下端からの痕跡水位高さ（同図(b)）、桁高（橋桁上端から下端までの高さ、同図(c)）、橋脚本数（同図(d)）、川幅（堤間幅）と平均支間長（同図(e)）、流木阻害面積（同図(f)）、断面平均流速（同図(g)）、断面積（同図(h)）である。また、被害状況として、落橋（図中赤四角）と一部損壊（図中緑四角）を各図に示す（同図(a)以外）。なお、川幅と平均支間長は橋脚がない場合には一致している。流木阻害面積は、各橋において目視で得られた流木捕捉状況と5つの橋のみ定量計測された結果を合わせて評価している。断面平均流速はピーク流量を用いて算出され、断面積は橋下端より下の横断面積とする。

これより、痕跡水位（同図(b)）が橋桁下端を上回ったのは全94橋中48橋であり、約半分の橋で水位が大きく上昇し、洪水流が橋桁の影響を受けたことが分かる。また、11の落橋のうち7橋は痕跡水位が桁下端を超え、そのうち5橋は桁上端も超えた。桁高（同図(c)）は0.5m～2.5mと幅広く分布し、下流側の方が大きい。落橋した橋の桁高は概ね1m以下であり、極小値となっている地点が多い。橋脚本数（同図(d)）は最大6本であり、橋脚本数の多い橋に被災している。一方、橋脚6本でも被災していない橋もあることは注目に値する（No.7、第3三篠川橋梁）。川幅と平均支間長に関しては（同図(e)）、それらの両方もしくは片方の極小値付近で落橋や一部損壊が発生している。ただし、川幅や支間長は下流に向けて増加しており、橋梁被害発生の見出せない橋脚・流木阻害面積（同図(f)）に関しても、極大値付近で橋梁被害が見られ、橋脚や流木捕捉による河積の減少が流速や痕跡水位を上昇させる直接的な要因となった可能性が高い。一方で、中流域では橋脚・流木阻害面積が小さな値でも橋梁被害は発生した。断面平均流速（同図(g)）についても極大値に橋梁被害が見られ、橋梁被害は流速3m/s以上に集中している。各地点の断面積（同図(h)）も極小値で橋梁被害が集中しているが、川幅等と同様に下流方向に大きくなるため、橋梁被害発生の見出せない。

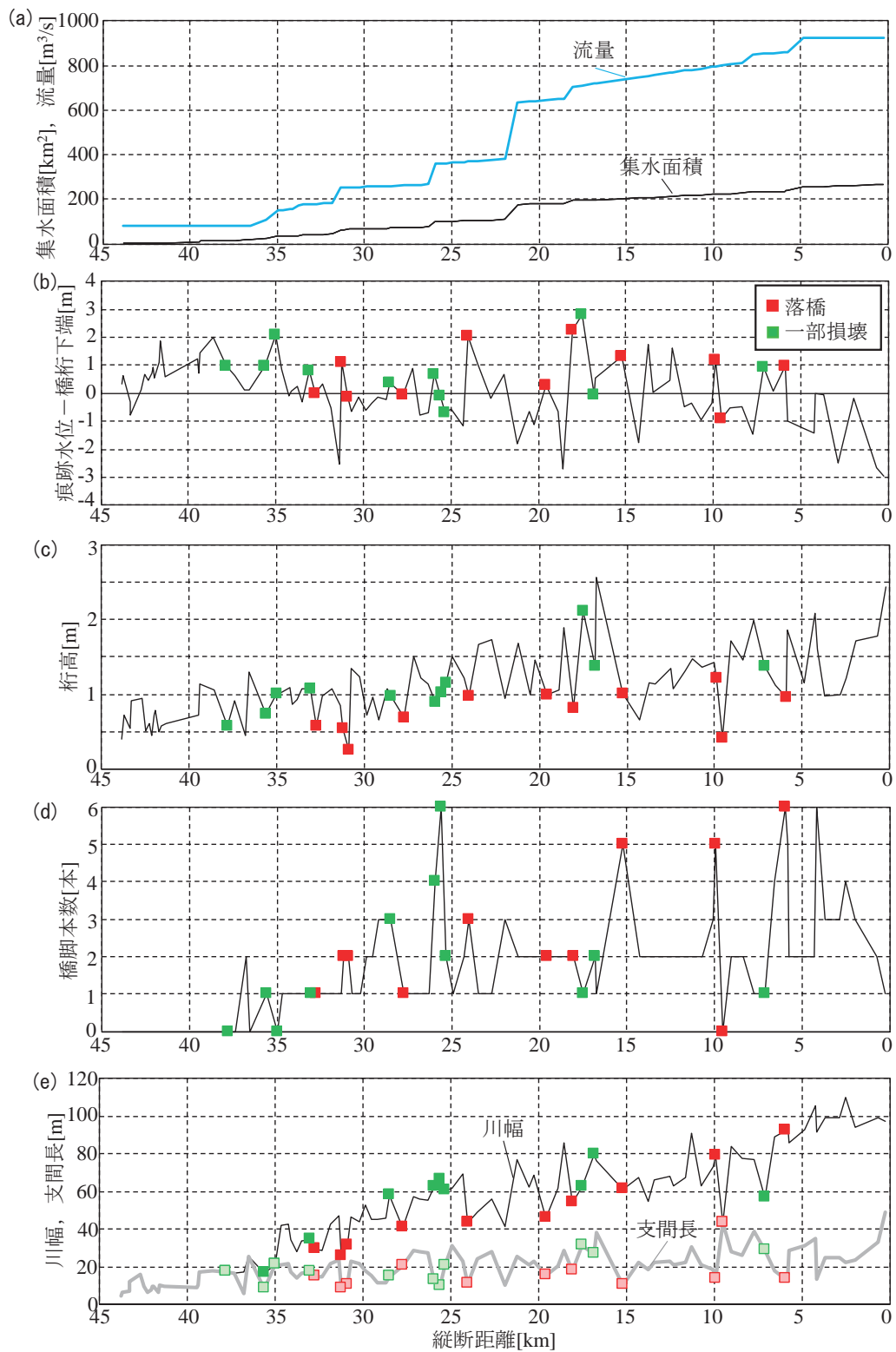


図 4.11.9 橋梁被害と構造的・水理的要因の縦断分布 (流域面積・ピーク流量 (a), 痕跡水位-桁下端 (b), 桁高 (c), 橋脚本数 (d), 川幅・平均支間長 (e))

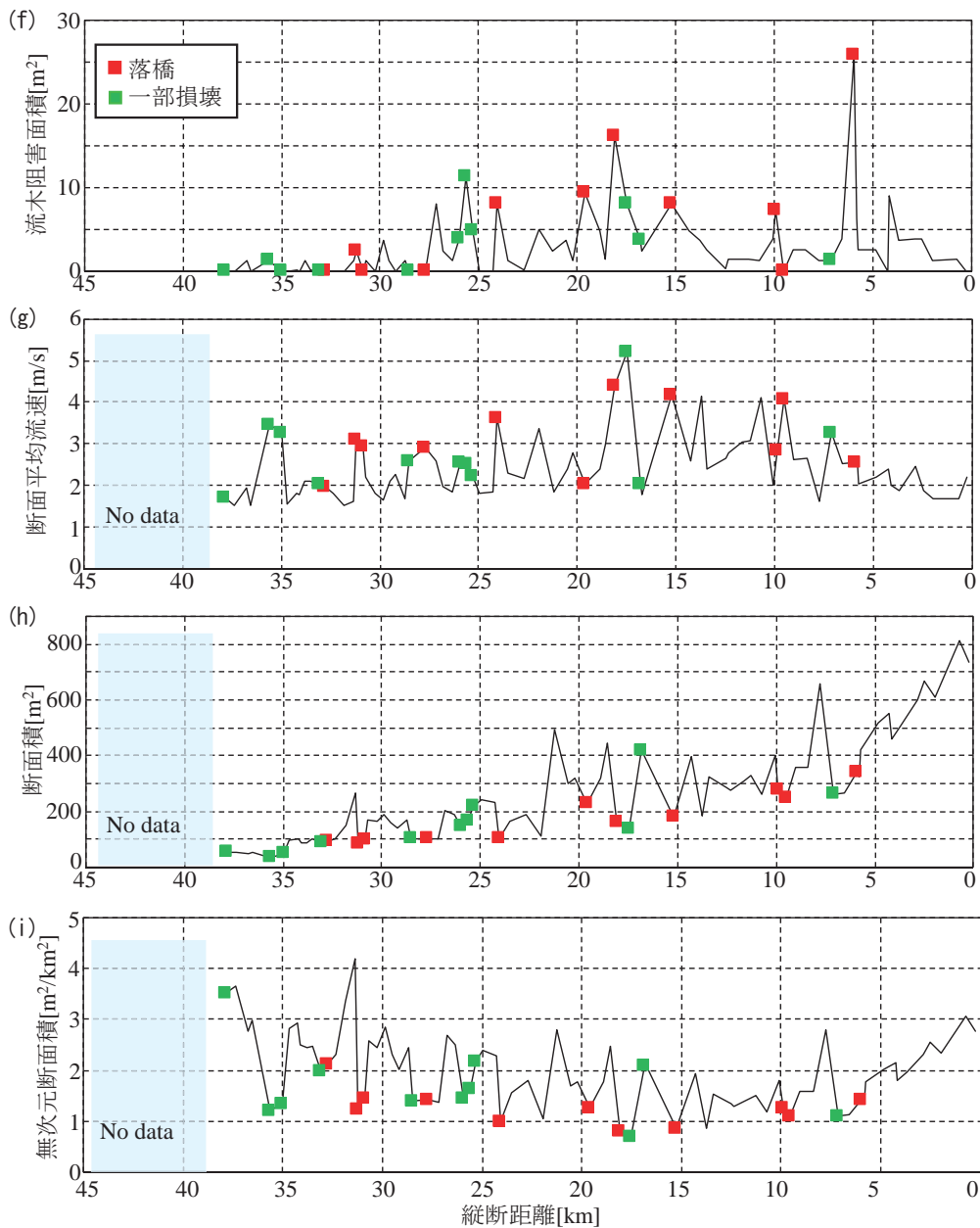


図 4.11.9 橋梁被害と構造的・水理的要因の縦断分布（続き，流木阻害面積(f)，断面平均流速(g)，横断面積(h)）

上述したように，川幅や断面積のように上流から下流にかけて変化する量では，橋梁被害と一括して比較することは難しいため，何らかの無次元指標と橋梁被害を比較するべきである．そこで，無次元指標の一つとして，各地点の断面積とそこでの集水面積の比である無次元断面積（=断面積／集水面積）の縦断変化を図 4.11.9(i)に示す．集水面積は流量に合わせて概ね増減するため，無次元断面積は一種の流下能力を表している．これより，落橋は無次元断面積の極小値となる地点やその近傍において生じていることが分かる．一部損壊



も、一部の点を除いて、極小値付近において発生している。このように、無次元断面積が小さい地点において橋梁被害が集中的に発生していることが分かる。

#### d) 橋梁被害箇所に関する評価指標の選定

以上の結果に基づいて、橋梁被害が発生する弱点箇所を抽出可能な評価指標について検討する。そこで、3段階の橋梁被害と断面積及び無次元断面積の相関図を図4.11.10に示す。ここでは、箱ひげ図の形で表示している。これより、断面積に関しては、落橋と一部損壊で概ね重なっており、中央値で見ると落橋>一部損壊、という大小関係となっている。また、一部損壊と被害無は相対的に重なる部分は少なく差は大きい。それに対して、無次元断面積では被害毎に差が見られ、中央値の大小関係も落橋<一部損壊<被害無となった。

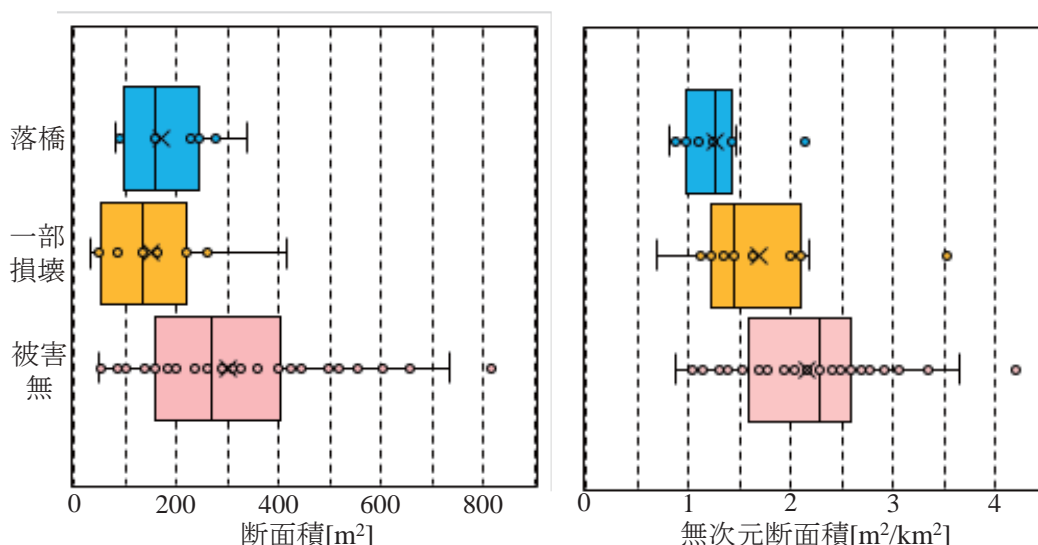


図 4.11.10 橋梁被害状況と断面積（左）、無次元断面積（右）の相関図（箱ひげ図で表示）

橋梁被害状況に対する様々な指標の有意差があるかを統計的に検討するために、t検定を行った。ここでは、帰無仮説として「2つの橋梁被害状況（落橋 vs.一部損壊、一部損壊 vs.被害無、落橋 vs.被害無）に対する対象指標（後述）の有意差がない」、対立仮説として「2つの橋梁被害状況に対する対象指標の有意差がある」という二つの仮説を立て、P値を求める。その検定結果を表4.11.1に示す。ここでの対象指標は、図4.11.9で記載された痕跡水位一橋桁下端、桁高、橋脚数、川幅、平均支間長、流木障害面積、断面平均流速、断面積、無次元断面積の9種類を選定している。また、表中の黄色は5%有意水準 ( $P < 0.05$ )、緑色は10%有意水準 ( $P < 0.10$ )をそれぞれ示す。これより、落橋 vs.一部損壊に関しては、桁高が5%有意水準、流木障害面積と無次元断面積が10%有意水準を満たした。一部損壊 vs.被害無については痕跡水位と川幅、断面平均流速、断面積、無次元断面積という水理学的指標と、橋脚数や平均支間長という構造的指標が5%有意水準となった。また、落橋 vs.被害無

は、全指標が5%有意水準を満足した。このように、橋梁被害としての落橋と一部損壊の差は構造的要因である桁高が有意に影響を与える指標であり、一部損壊と被害無の違いは川幅や断面積などの水理学的要因の影響が大きい。さらに、無次元断面積や流木阻害面積は、3つの被害状況の差を説明する有意な指標である。流木阻害面積は洪水発生後に得られたデータであることを考慮すると、事前入手でき、スケールが異なる河川流域に適用できる無次元断面積が、橋梁被害弱点箇所の評価指標として適していることが示された。なお、今回のデータ解析では、無次元量として無次元断面積のみを提示したが、他にも有用な無次元量が存在する可能性が高く、今後の検討課題とする。

**表 4.11.1 t 検定結果（橋梁被害状況に対する各指標の影響評価，黄色：5%有意水準，緑色：10%有意水準）**

|  | 落橋vs<br>一部損壊 | 一部損壊vs.<br>被害無 | 落橋vs.<br>被害無 |
|--|--------------|----------------|--------------|
| 痕跡水位（基準面：桁下端）[m]                         | 0.43997      | 0.00017        | 0.00031      |
| 桁高[m]                                    | 0.01574      | 0.09166        | 0.00009      |
| 橋脚数[本]                                   | 0.18548      | 0.50000        | 0.04378      |
| 川幅[m]                                    | 0.45829      | 0.02503        | 0.03184      |
| 平均支間長[m]                                 | 0.24251      | 0.04826        | 0.00568      |
| 流木阻害面積[m <sup>2</sup> ]                  | 0.08337      | 0.08919        | 0.00008      |
| 断面平均流速[m/s]                              | 0.19645      | 0.00431        | 0.00002      |
| 断面積[m <sup>2</sup> ]                     | 0.31071      | 0.00714        | 0.01654      |
| 無次元断面積[m <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> ] | 0.05327      | 0.02125        | 0.00003      |

#### 4.11.5 まとめ

本節では、三篠川における橋梁被害を俯瞰的・総合的に検討するために、全94の橋梁における被害状況を把握すると共に、様々な水理学的要因・構造的要因を調べ、それらが橋梁被害に及ぼす影響を検討した。それより、各地点の横断面積を集水面積で除した無次元断面積が橋梁弱点箇所の評価指標の一つとして有用であることが示唆された。

（二瓶泰雄）

## 4.12 被害軽減に向けた今後の課題

広島県では記録的な豪雨を受けて中小河川を中心に河川災害も多発した。本章では各河川での被害調査の結果とダム操作の課題をとりまとめてきた。本章を締めるに当たり、今後の

検討課題をとりまとめたい。

**2.1 の河川災害の概要**で述べたように、調査結果に基づいて浸水氾濫の原因や河川構造物の被害を分類することはできる。しかし、個別の河川の特定の箇所における有効な対策を立てるためには、真っ先に、2つのことを進める必要がある。一つ目は、被害を招いた現象を発生させた主たる原因を特定することである。そのために、二級河川に関する基礎データを収集し、降雨・流出・洪水・氾濫解析（洪水流は1次元解析）を通して、妥当な洪水流量の推定を行うことが必要である。それによって河川の洪水流下能力不足による越水氾濫の解析の多くを検討することが可能となる。一方、河道内の堆積土砂や樹木群の繁茂が洪水流下能力に与える影響の評価や河川構造物の被害のメカニズムを明らかにするためには、平面2次元洪水流解析が必要である。もう一つは、被災データのデータベース化を進めることである。本章で取り上げた河川は、その被害が大きかったものに限っており、広島県管理の河川の被害を網羅したものではない。今後、被災した二級河川の中には、財政的な制約等から復旧・復興に長期間を要するもの、したがって近い将来に再度災害を被る可能性が高いものが多いと懸念される。そのことを考えると、今回の被災箇所や被災の状況をGIS上でデータベース化し、どこにどのような弱点が存在しているかを整理しておくことも重要な対策である。

今後、数値解析を活用することによって、短期的対策（5年間程度で完成）と中期的対策を検討していくことになるが、それらに関連する課題を列記すると以下のように考えられる。

#### 【短期的な課題】

- 1) 被災状況のデータベース化
  - ・堤防、護岸、橋梁、堰などの河川工作物の被災箇所、被災状況のデータベース化
  - ・越水・溢水箇所のデータベース化
- 2) 被災地域における早期の河道整備メニューの作成
  - ・堤防の整備（嵩上げ、決壊を遅らせる工夫）・点検
  - ・河道掘削
  - ・堤防護岸の整備
  - ・樹木群の伐採・管理（環境に配慮して）
- 3) ダムの操作方法の検討
  - ・洪水期における利水容量の有効活用（気象予報の活用した事前放流）
  - ・下流域の氾濫を抑制するためのダム操作の変更
- 4) 排水ポンプ、水門・樋門の点検
- 5) ICTの活用による河川管理手法の検討（国交省 i-River 2.0 に対応）
  - ・水位・流量観測の無人化
  - ・UAVによる堤防・樹木・土砂堆積の点検の高度化と高効率化
- 6) 土砂洪水流の解析手法の開発

- 7) 豪雨災害に関する行政，住民，マスコミのリスクコミュニケーションの促進
- 8) SNS の災害情報の収集や避難活動への活用

#### 【中期的な対策】

- 1) 河道の整備や河川構造物の改築
  - ・河道の法線形の検討
  - ・ダム放流量の増加に対して障害となっている区間の河川改修
  - ・堰の撤去・集約化，可動化
  - ・橋桁の嵩上げ，流木の集積しにくい橋脚の構造
- 2) 河道内に流入する土砂・流木への対策
  - ・溪流の出口付近での遊砂地の設置
- 3) 流域の保水機能の向上による内水対策
  - ・土地利用規制
  - ・小規模な雨水貯留・浸透施設の設置
- 4) 排水機場のポンプの強化
- 5) 既設ダムの再生

なお，長期的な河川災害対策は，今後の人口・経済・社会の動向を十分に考慮してまちづくりと一体となって進められるべきものであるが，不確実なことが多いため，その方向性を示すことに留まるものと考えられる．気候変動が進行し計画を超過する規模の洪水が発生しうること，地域の衰退が進む中で治水事業の進展には大きな制約があること，その一方で，災害予測技術や情報伝達技術の進歩の成果を避難・水防活動に活用することが有効となることが想定される．大規模な被害の発生を念頭に置いて，地域全体の防災力・減災力を強化させる具体策について議論を深め，それを着実に実施していくことが求められている．

(河原能久)

#### 参考文献：

- 1) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会，第 1 回検討会（平成 30 年 8 月 9 日），配布資料，2018.  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/arikatamoto.html>（2019 年 2 月 28 日確認）
- 2) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害からの復旧・復興プラン～創造的復興による新たな広島県づくり ～，2018.
- 3) 広島県河川課：一級河川太田川三篠川ブロック整備計画，2003 年.
- 4) 広島市都市整備局：平成 26 年 8 月 20 日豪雨災害 復興まちづくりビジョン，地区別の方向性（3）安佐北区可部東地区，  
<http://www.city.hiroshima.lg.jp/www/contents/1431480142799/index.html>（2018 年 9 月 29 日

- 確認).
- 5) 府中町安全安心室：平成 30 年 7 月豪雨による被災状況など,  
<https://www.town.fuchu.hiroshima.jp/soshiki/17/13011.html> (2018 年 10 月 16 日確認).
  - 6) 砂防学会：平成 30 年 7 月豪雨による西日本土砂災害に対する豪雨第一次調査報告会資料, 第 1 班の調査概要, [https://jsece.or.jp/wp-content/uploads/2018/08/houkoku\\_No1.pdf](https://jsece.or.jp/wp-content/uploads/2018/08/houkoku_No1.pdf)(2018 年 10 月 10 日確認).
  - 7) 広島県：二級河川沼田川水系河川整備計画, 2007.
  - 8) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会, 第 3 回河川・ダム部会 (平成 30 年 12 月 19 日), 資料 5, 2018.  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/arikatakento.html> (2019 年 2 月 28 日確認)
  - 9) Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., Fukami, K.: Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), pp.298~312,2012.
  - 10) 国土交通省国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス,  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/>
  - 11) 地球観測研究センター：高解像度土地利用土地被覆図ホームページ,  
[https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc\\_jindex.htm](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/lulc_jindex.htm)
  - 12) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会, 第 2 回河川・ダム部会 (平成 30 年 10 月 24 日), 資料 6, 2018.  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/arikatakento.html> (2019 年 2 月 28 日確認)
  - 13) 三原市：三原市総合防災ハザードマップ (平成 22 年 3 月発行),  
<http://www.city.mihara.hiroshima.jp/soshiki/19/sougouhazad.html>.
  - 14) 国土交通省国土地理院：平成 30 年 7 月豪雨に関する情報, 空中写真 (垂直写真・正射画像)  
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html>.
  - 15) 広島県：二級河川本郷川水系河川整備基本方針, 2018.
  - 16) 広島県：一級河川芦田川水系芦田川下流ブロック河川整備計画, 2011.
  - 17) 広島県：瀬戸川流域における治水対策について, ~報告書~, 2016.  
[https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/life/522592\\_1561183\\_misc.pdf](https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/life/522592_1561183_misc.pdf).
  - 18) 朝日新聞 DIGITAL：広島) 排水ポンプ能力不足・福山の浸水・改善策検討,  
<https://www.asahi.com/articles/photo/AS20180904003353.html>.
  - 19) 福山市：洪水ハザードマップ,  
<http://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/soshiki/kikikanri/43650.html>.
  - 20) 広島県：野呂川ダム, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1171427432284.html>.
  - 21) 広島県：野呂川ダム操作規則, [http://www3.e-reikinet.jp/hiroshima-ken/d1w\\_reiki/351902200009000000MH/351902200009000000MH/351902200009000000MH\\_j.html](http://www3.e-reikinet.jp/hiroshima-ken/d1w_reiki/351902200009000000MH/351902200009000000MH/351902200009000000MH_j.html).

- 22) 広島県：平成 30 年 7 月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会，第 2 回検討会資料，  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/325922.pdf>.
- 23) 矢野真一郎，土橋将太，堂菌俊多，笠間清伸，北隆範：流木発生ポテンシャルの概念に基づく花月川の橋梁における流木災害リスク評価，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.72，No.4，pp.I\_289-I\_294，2016.
- 24) 広島県：一級河川小太田川水系三篠川ブロック河川整備計画，<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1172187180071.html>（閲覧日：H31 年 3 月 6 日）
- 25) 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，Vol156，No6，pp.18-21，2014.

## 第5章 山口県および島根県の河川災害

### 5.1 島根県における河川災害

#### 5.1.1 災害の概要

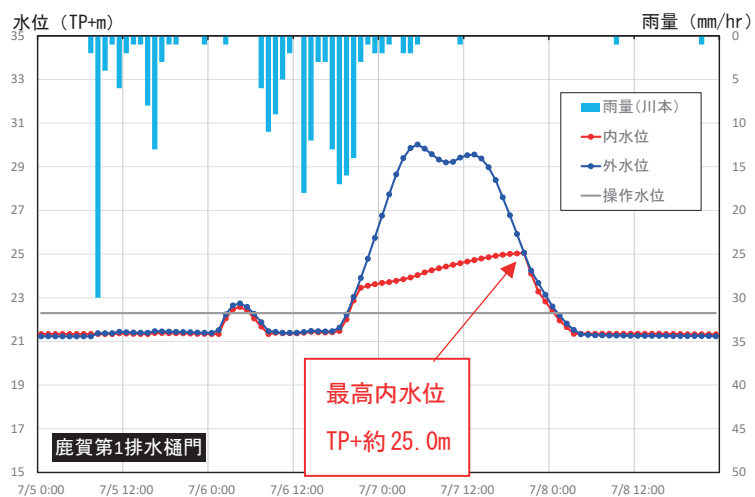
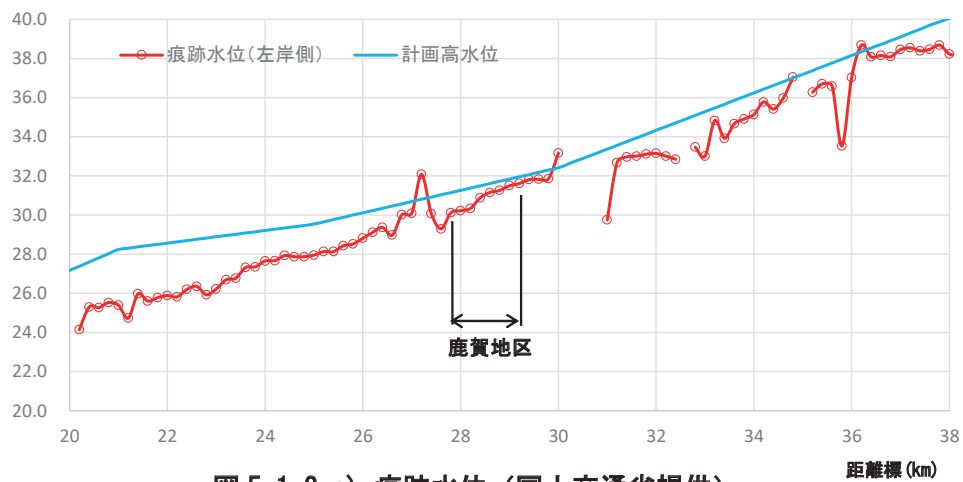
平成30年7月豪雨において、江の川水系江の川左岸27.8kp～29.2kpの鹿賀地区(図5.1.1)において、広い範囲にわたり噴砂と堤体の沈下がみられた。



図 5.1.1 被災位置 (国土交通省提供)

当時の水位は痕跡水位調査結果から、計画高水位から約0.4～1.0m下がりの位置まで上昇した(図5.1.2 a)。また、出水時は内水氾濫も発生していた(図5.1.2 b)。

水位 (TP+.m)





### 5.1.2 被災堤防の構造

以下に被災した箇所での堤防の構造をまとめる（図 5.1.3）。

鹿賀地区の堤防は昭和 61 年から平成 7 年にかけて築堤されており、昭和 61 年から昭和 63 年にかけて、小段部付近まで砂・粘土で築堤（Bsc1）した後、平成 2 年から平成 3 年にかけて、小段付近から HWL まで玉石混じり砂礫で築堤（Bg）し、これが現在の堤防の主な構造をなしている。また、昭和 61 年の最初の築堤時に裏のり尻部基礎地盤に砕石を敷設した置換工が施工されている。また、平成 28 年に危機管理型ハード対策として川裏のり尻ブロックと天端舗装が施工されている。

基礎地盤は、砂礫～礫混じりの砂層（Ums）の下に砂礫土～玉石混じり砂礫層（Us-g）が分布している。

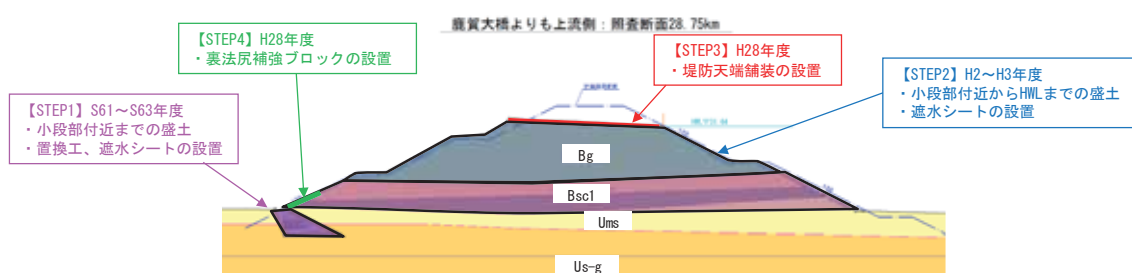


図 5.1.3 鹿賀地区の堤防構造（左岸 28.75k, 国土交通省提供）

### 5.1.3 堤防の被災状況

以下に現地でもみられた堤防の被災状況をまとめる。

川裏法尻付近に大規模な噴砂が複数みられた（図 5.1.4）。また、危機管理型ハード対策の川裏法尻ブロック上部からの噴砂も発生（図 5.1.5）した。



図 5.1.4 大規模な噴砂



図 5.1.5 ブロック上部からの噴砂

また、基礎地盤の間隙水圧の上昇による支持力の低下や噴砂の発生により空洞化が原因と考えられる法すべり（図 5.1.6）や陥没（図 5.1.7）がみられた。なお、それらの発生位置は、噴砂の発生位置とよく対応していた。



図 5.1.6 堤体の法すべり



図 5.1.7 堤体の陥没

噴出した砂は細砂～中砂程度（図 5.1.8）であり，治水地形分類図（微高地（自然堤防），図 5.1.9）から基礎地盤に存在する自然堤防を構成する層の可能性がある．さらに，川裏法尻部の置き換え工の砕石の噴出（図 5.1.10）もみられた．出水により基礎地盤の間隙水圧が大きく上昇していたことが伺える．



図 5.1.8 噴出した砂

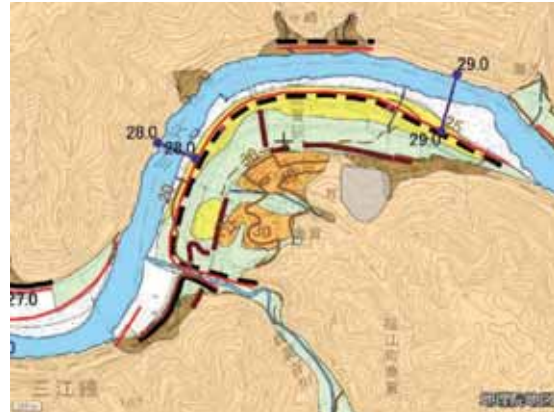


図 5.1.9 治水地形分類図（黄：自然堤防）



図 5.1.10 置き換え工の砕石の噴出

復旧工事の際にあわせて現地で開削調査（平成31年1月）が行われた。その結果の概要を以下にまとめる。

堤体下部のシルト質細砂層、シルト層といった難透水層は川裏法尻部には存在しない（**図 5.1.11～12**）ことが確認された。

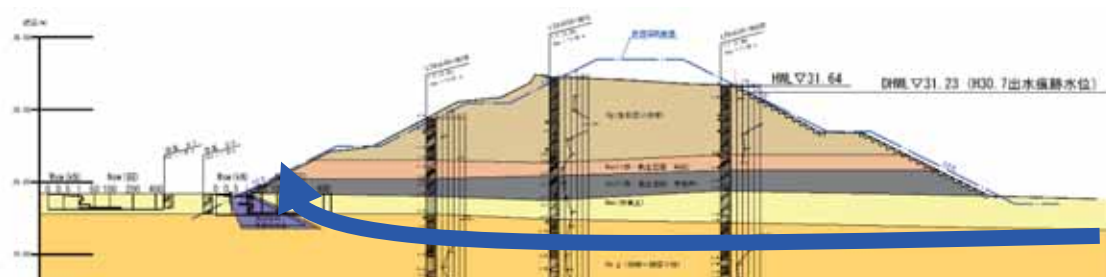


**図 5.1.11 シルト質細砂層，シルト層の端部**



**図 5.1.12 開削調査全景**

そのため、川表には遮水シートが存在していることを考えると、水位の上昇とともに基礎地盤の間隙水圧が上昇し、裏法尻部に噴砂となって発生した（**図 5.1.13**）可能性が高いことが伺える。



**図 5.1.13 想定被災メカニズム（国土交通省提供に加筆）**

また、危機管理型ハード対策では、ブロック裏面の砕石とシートの上に噴砂が侵入していた（**図 5.1.14**）。上部ほど侵入した噴砂は細かい粒径が卓越（**図 5.1.15**）しており、間隙水圧の上昇とともに基礎地盤から侵入したと推察される。



**図 5.1.14 噴砂の侵入状況**



**図 5.1.15 侵入した噴砂**

本報告を作成するにあたり，国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所に資料提供や現地調査でお世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。

(森啓年，倉田大輔，佐古俊介)

## 5. 2 山口県における河川災害

### 5. 2. 1 調査地および水害の概要

山口県岩国市周東町瀬越地区では土石流と河川氾濫による複合災害が発生した。図 5. 2. 1 に示すように被災地区は島田川の支流の東川の上流に位置している。島田川は山口県東部を流れる流域面積 269.5km<sup>2</sup>，延長 34.5km の二級河川である。島田川の支流の東川については図 5. 2. 2 に示すように浸水想定区域図（100 年に 1 回程度起こる大雨が降ったことにより東川がはん濫した場合に想定される浸水の状況を，シミュレーションにより求めたもの）が山口県によって作成・公開されている<sup>1)</sup>。今回被災した瀬越地区はこの想定区域外に位置している。



図 5. 2. 1 島田川流域と東川流域



図 5.2.2 東川の浸水想定区域図<sup>1)</sup>

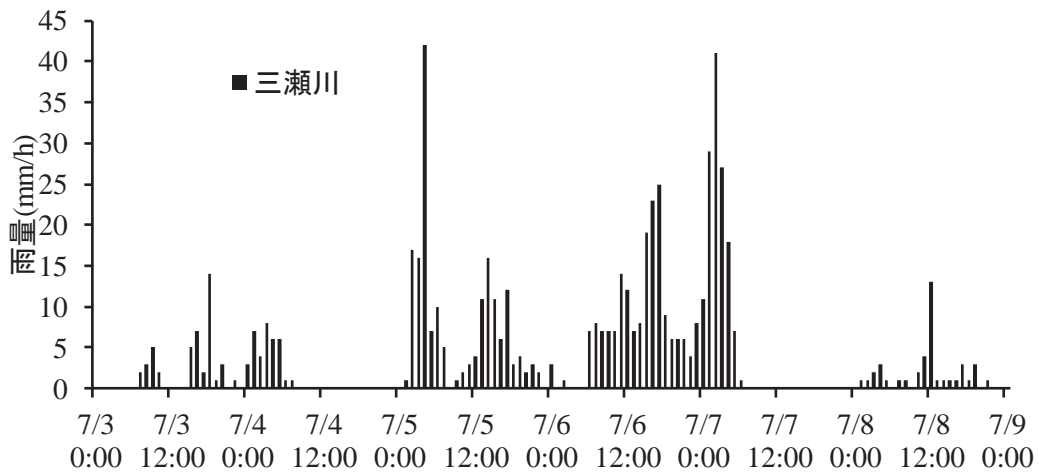


図 5.2.3 三瀬川雨量観測所における雨量時系列変化

図 5.2.3 に瀬越地区に最も近い三瀬川の雨量観測所の 2018 年 7 月 3 日～9 日にかけての雨量の時系列変化を示す。7 月 5 日 4 時および 7 月 7 日に時間雨量 4mm を超える雨が降っていることがわかる。土石流や河川氾濫は 7 月 6 日～7 日のまとまった降雨によって、7 月 7 日の午前中に発生したと考えられる。

### 5.2.2 現地調査内容

現地調査は災害発生直後の 7 月 9 日および 7 月 11 日に図 5.2.4 に示す調査範囲で実施した。調査では踏査による被災状況の記録を行うとともに、UAV を用いて対象域の撮影を実施した。UAV は DJI 社製 Phantom 4 Pro および Mavic Pro を使用した。また、GNSS (Global

Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム) を用いて、不動点 (大きな岩や、陸上の構造物、道路上の白線など) において測量を行った。測量結果は UAV により撮影された静止画を使用して SfM-MVS にて DSM (Digital Surface Model) とオルソ画像を作成する時に GCP (Ground Control Point) として反映させた。

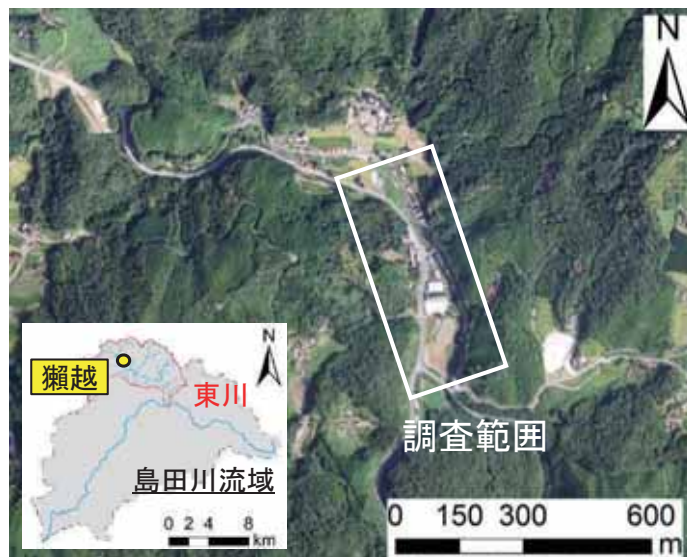


図 5.2.4 調査対象域

### 5.2.3 現地調査結果

図 5.2.5 に瀬越地区で発生した土石流の UAV 空撮画像を示す。また、図 5.2.6 に土石流と河川の合流部の UAV 空撮画像から作成したオルソ画像を示す。土石流は標高 505m の源頭部から約 950m という長い距離を流れ下り、東川に流入している。また、図 5.2.6 からわかるようにこの土石流の流入によって河道内が土砂に覆われ、土砂と流木は対岸まで達している。



図 5.2.5 土石流の UAV 空撮画像



図 5.2.6 土石流と河川の合流部のオルソ画像

また、大量の流木が河道内に供給され、これらの流木は下流の橋脚に挟まり（図 5.2.7）、流木がダムとなり道路部に迂回流が発生した。なお、この橋脚には上流部の崩壊した橋梁の橋桁も挟まることにより（図 5.2.7）、さらに流水が阻害されたと考えられる。この流れは、周北小学校の校庭を削り（図 5.2.7）、その下流で再び河川に流入した。このことから、瀬越地区では土石流によって運ばれた土砂・流木が河川に流入したことによって、河川の氾濫が発生したと考えられる。



図 5.2.7 瀬越地区の調査対象域のオルソ画像および被災状況

#### 5.2.4 瀬越地区の土石流解析

瀬越地区の土石流解析には、iRIC<sup>2)</sup>の Morpho2DH ソルバーを用い、地形データには、国土地理院の数値標高モデルの 10m メッシュデータを用いた。図 5.2.8 に計算対象領域と崩壊場所を示す。赤枠で囲った解析対象範囲において、5m×5m の計算格子を生成した。河床材料は 1cm の一様粒径とした。崩壊の源頭部は、被災状況調査でおこなった UAV による空撮画像を参考に決定した。

図 5.2.9 に土石流が発生してから 10 秒後、50 秒後、100 秒後、150 秒後の流速分布を示す。また、図 5.2.10 に土石流の静止直後の地盤の変動量を示す。再現計算の結果、土石流が崩壊箇所から谷に沿って規模を拡大しながら流下し、東川に流れ込んでいることが分かる。土石流の流下距離はおよそ 950m であり、崩壊開始から 140 秒後に瀬越地区の集落に到達し、145 秒後に東川に土砂が流入し始めた。土石流は東川に到達するまでの平均で 6.55m/s の速度で流下しており、山地の木々を巻き込みながら一気に河川に流入したと考えられる。



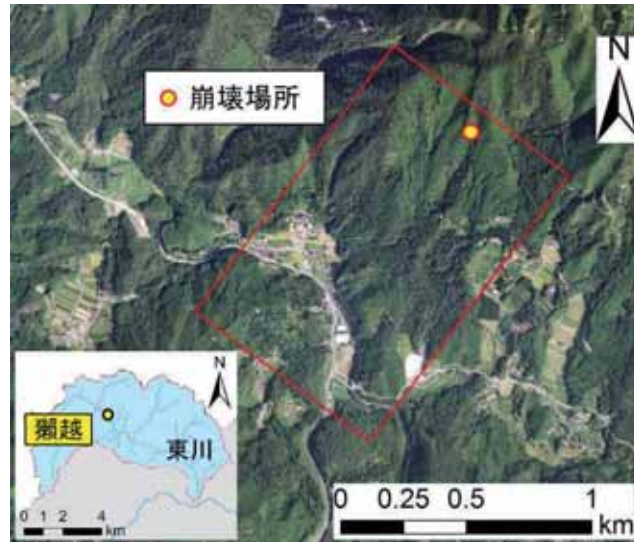


図 5.2.8 計算対象領域と崩壊箇所

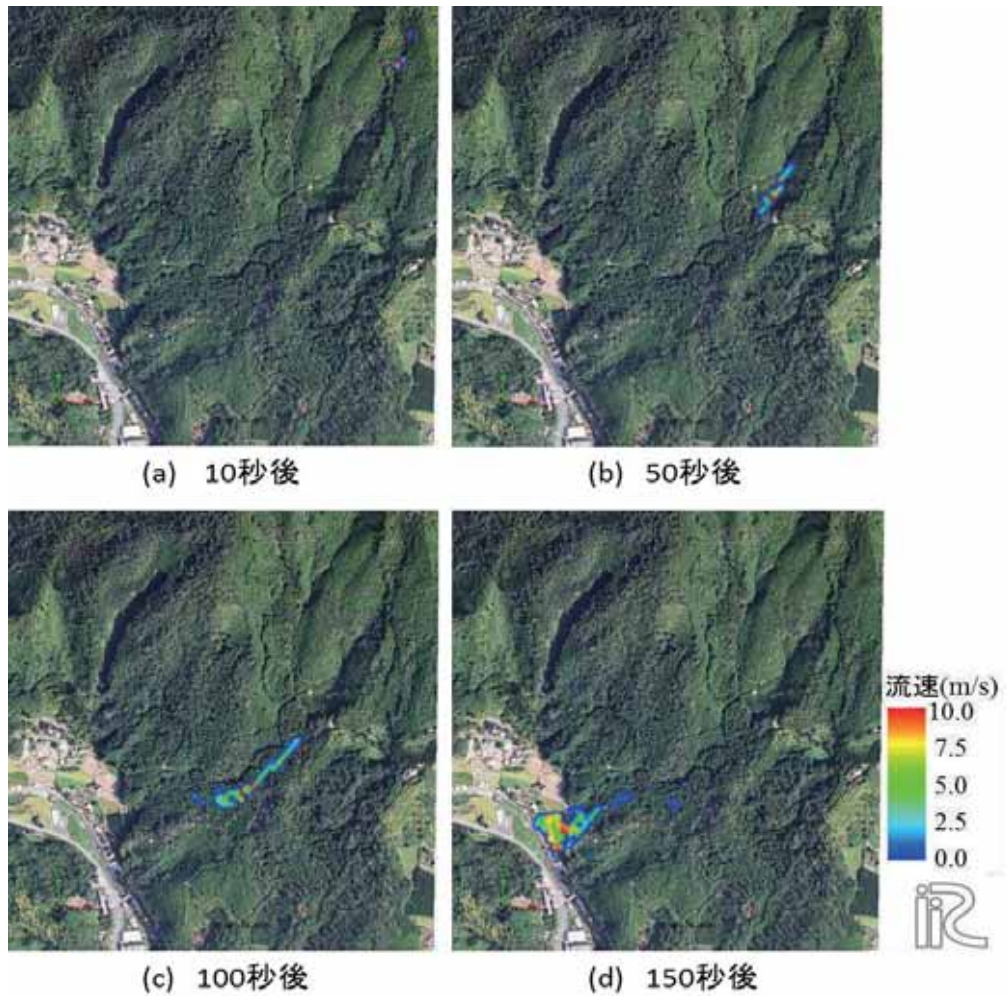


図 5.2.9 土石流が発生してから (a) 10 秒後, (b) 50 秒後, (c) 100 秒後, (d) 150 秒後の流速分布

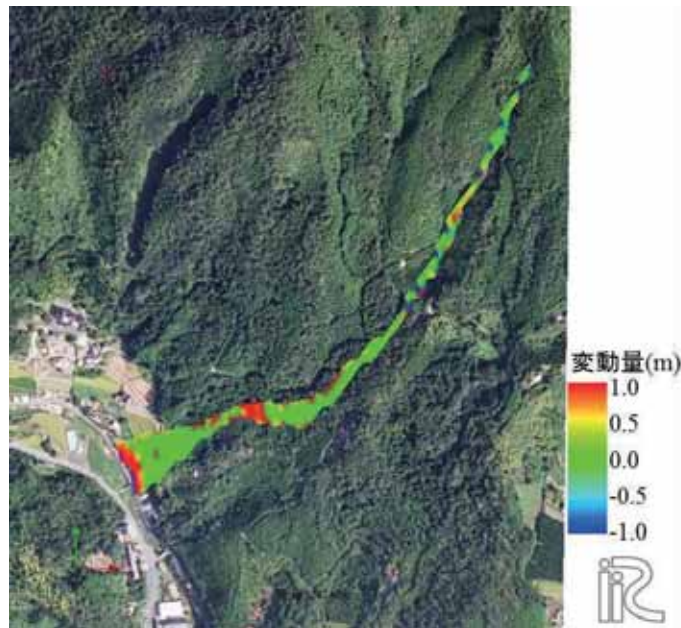


図 5.2.10 土石流の静止直後の地盤の変動量

#### 5.2.5 東川の流出解析

瀬越地区の氾濫計算に必要となる瀬越地区に流入した流量を推定するために、東川の流出解析を実施した。本解析には、降雨流出氾濫解析モデルである RRI(Rainfall-Runoff-Inundation)モデル<sup>3)</sup>を用いた。解析対象は東川流域(図 5.2.1)であり、雨量は 5 ヶ所(玖珂, 玖珂土木, 寺山, 三瀬川および菅野ダム)の雨量観測所のデータを用いた。計算対象期間は 2018/6/28 0:00~2018/7/9 0:00 である。地形データは国土地理院の数値標高モデルの 5m メッシュデータ, 5m メッシュデータがない部分については, 10m メッシュデータを用いて作成した。計算格子は 30m×30m とし, マニングの粗度係数は 0.035 とした。

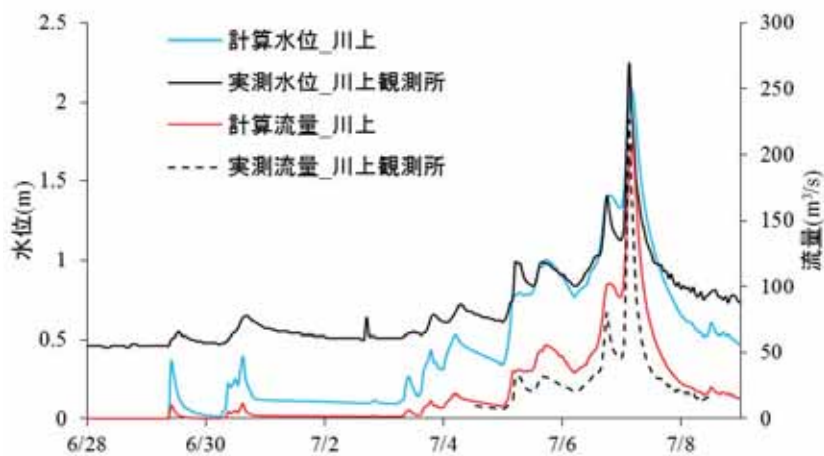


図 5.2.11 川上観測所の水位と流量の時系列

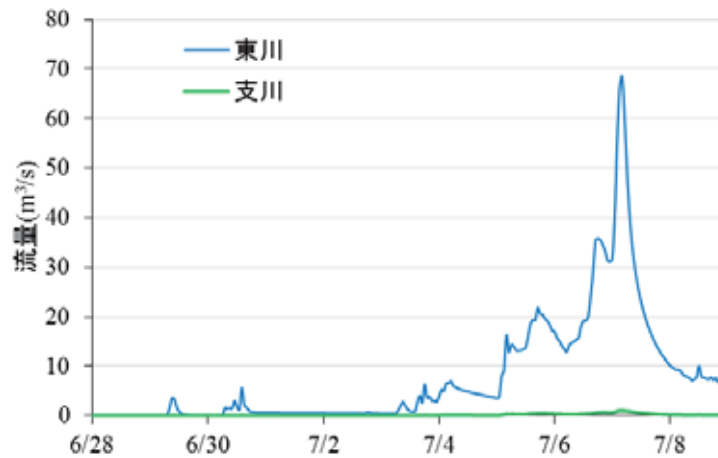


図 5.2.12 瀬越地区に流入した流量の時系列

図 5.2.11 に川上観測所の水位と流量の時系列を示す。RRI モデルは平水時を対象としていないため平水時や雨量の少ない時間については過小評価であるが、対象の降雨に対する水位、流量の変動は実測と概ね一致していることが分かる。ピーク時に着目すると、実測値のピークは 7 月 7 日 3 時で水位は 2.240m、流量は 225.68m<sup>3</sup>/s であるのに対して、計算値のピークは 7 月 7 日 4 時で水位は 2.077m、流量は 208.61m<sup>3</sup>/s であり、十分な精度であることがわかる。この結果より得られた瀬越地区に流入した流量を図 5.2.12 に示す。なお、瀬越地区には東川本川と土石流が発生した谷の 2 ヶ所からの流入があり、それぞれの流量を推定している。

#### 5.2.6 瀬越地区の氾濫流の再現計算

瀬越地区の氾濫解析には、iRIC<sup>2)</sup>の Nays2DH\_Flood ソルバーを用いた。図 5.2.13 に瀬越地区のオルソ画像と解析対象範囲、東川と支流の流入位置を示す。地形データは調査対象域の DMS から標高値を抽出して作成した。上流端流量および横流入量には、東川の流出解析により算出した、瀬越地区に流入した流量の時系列を用いた(図 5.2.12)。解析対象範囲において 1m×1m の計算格子を生成し、粗度係数は道路が 0.01、それ以外を 0.03 とした。橋脚に集積した流木を考慮するために、橋脚の部分に水を通さない障害物を設定した。



図 5.2.13 瀬越地区のオルソ画像と解析対象範囲

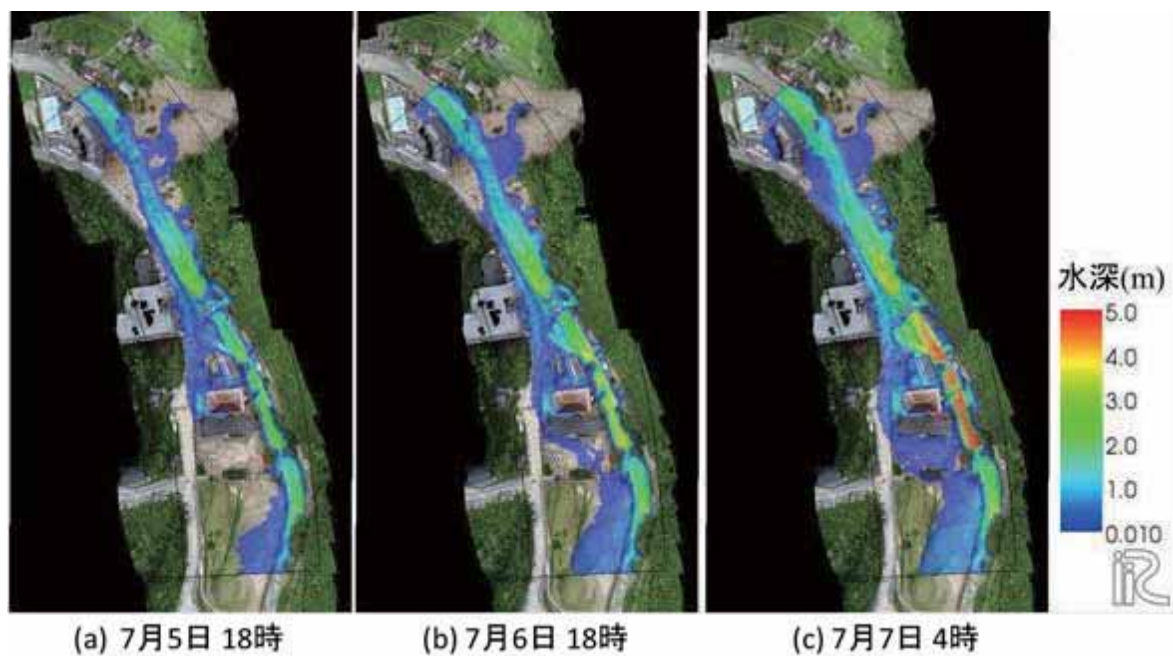


図 5.2.14 (a)7月5日18時, (b)7月6日18時および(c)ピーク時7月7日4時の水深分布

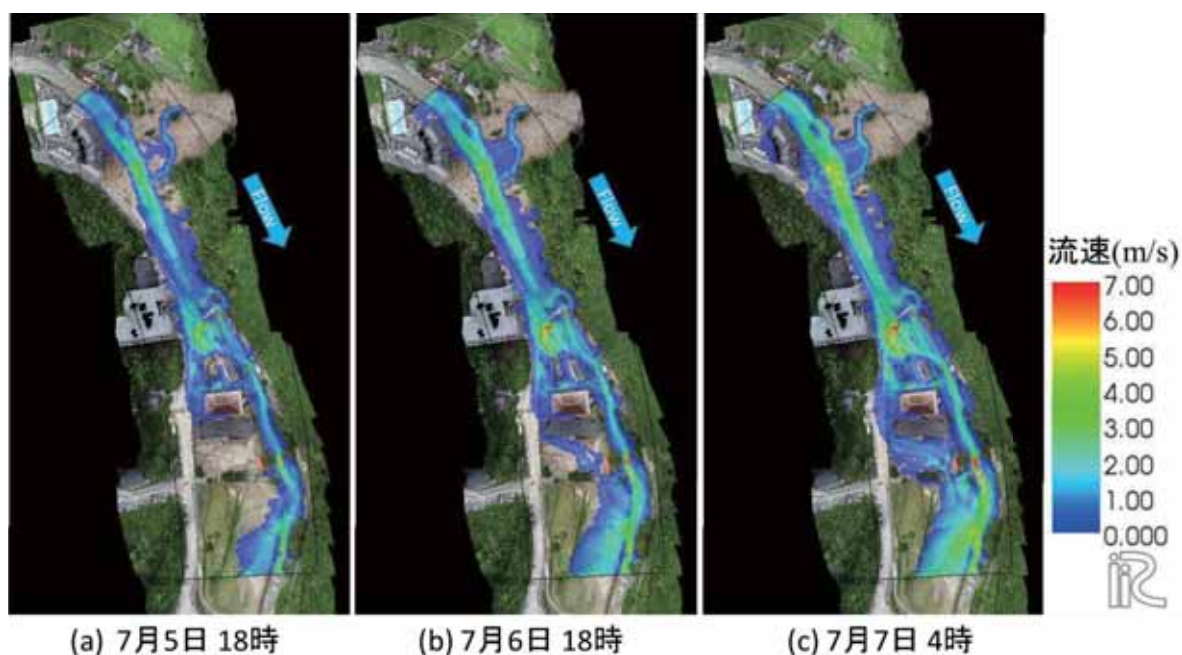


図 5.2.15 (a)7月5日 18時, (b)7月6日 18時および(c)ピーク時7月7日4時の流速分布

図 5.2.14 と図 5.2.15 に7月5日 18時, 7月6日 18時およびピーク時の7月7日4時の水深と流速の分布を示す。7月5日 18時の時点で既に流木の影響で道路部に迂回流が発生し周北小学校まで浸水しており, 流木が集積している橋のすぐ横で流速が速くなっていることがわかる。7月6日 18時の時点で周北小学校の校庭に水が流れはじめている。ピーク時の7月7日4時の時点で大きく流路幅が広がっており, オルソ画像の水が流れた痕跡に概ね一致している。流速については流木が集積している橋の右岸側が特に速くなっており, 大規模な浸食が発生した場所と一致している。

#### 5.2.7 まとめ

瀬越地区では土石流によって運ばれた土砂・流木が河川に流入し, 橋脚に流木等が挟まり流水を阻害することによって, 河川の氾濫が発生したと考えられる。土石流の発生箇所は土石流特別警戒区域に位置しており, 今回のように土石流が直接河川に流入することが想定される河川区間では大量の土砂・流木が流入することを想定した河川管理が必要であることが示唆された。

(赤松良久, 小室隆)

参考文献:

- 1) [http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18600/bousai/soutei\\_higashi.html](http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18600/bousai/soutei_higashi.html)
- 2) 河川シミュレーションソフト iRIC, <http://i-ric.org/ja/>.
- 3) 佐山敬洋, 岩見洋一:降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用, 土木技術資料 56-6, pp1-4, 2014.

## 第6章 土砂・ため池災害

### 6.1 2018年7月に広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流の流動特性

#### 6.1.1 はじめに

2018（平成30）年7月6日と7日に中国・四国地方を中心として、九州北部から中部地方の広い範囲で多くの雨が降った。広島県においても広島市や呉市など県南部を中心に長時間雨が降り続けるとともに、南西から北東方向に線状降水帯が形成され、降雨強度の強い雨が観測された。その結果、非常に多くの斜面崩壊および土石流が発生し、甚大な被害が発生した。広島市では、わずか4年前の2014年8月にも多くの斜面崩壊および土石流による土砂災害が発生している。そのため広島では、土砂災害警戒区域の指定が2014年以降に急速に進むとともに、土石流による流出土砂量の推定方法が変更されるなど、様々な対策が進められているところであった。

本報告では、広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流について実施した現地調査の結果を報告するとともに、土石流の数値シミュレーションを実施し、宅地における土石流の氾濫特性と土砂災害警戒区域との関係を検討した結果を報告する。

#### 6.1.2 広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流

##### a) 対象地域の概要

広島県安芸郡熊野町川角地区は、**図6.1.1**のように、広島市と呉市の境界付近の海から8kmほどの内陸に位置している三石山（みついわやま）の北西斜面の下に広がる宅地である。「三石山」と呼ばれているように、山頂付近や斜面には、球状風化した直径数mの巨礫が点在している。山頂から宅地までの斜面は25°程度の急斜面であるが、宅地内は5°程度と斜面部よりも緩やかとなっている。

##### b) 現地調査

**図6.1.2 (a)** に被災後の斜面の様子を示す（**図6.1.2 (b)** は数値シミュレーションによって得られた最大流動深の分布であり、後述する）。図より、山頂付近の二カ所と中腹付近の一カ所から土石流が発生していることがわかる。山頂付近の二カ所から発生した土石流が流れた溪流は、中腹付近で合流するとともに分派し、二つの溪流に分かれてから宅地に流れ込んでいる。二つの分派している溪流の内、南側（写真では右側）の溪流では前述の中腹付近で発生した土石流も流れ込んでいる。

**図6.1.3**と**図6.1.4**に、現地調査時の様子を示す。**図6.1.3 (d)** と **(e)** から山頂付近の二カ所から発生した土石流が流れた溪流が中腹付近で合流・分派していることがわかる。また、二つの溪流の合流点付近には直径数mの粒径の大きい岩が存在することもわかる。**図6.1.3 (c)** に示すように、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流は、宅地に流入し始め

た地点では既に堆積傾向となっている。直径数mの粒径の大きい岩とともに、粒径の小さい真砂土が多く堆積しており、粒度が広いことがわかる。図6.1.3 (a) と (b) は南側の溪流の様子である。図6.1.3 (a) に示すように、南側の溪流を流下した土石流は、宅地の南側を流下している。宅地の南端から土砂が宅地に流入しているが、その量は比較的少なく、家屋の破壊などは見られない。また、溪流内に堆積している土砂は非常に細かく、真砂土で構成されている。

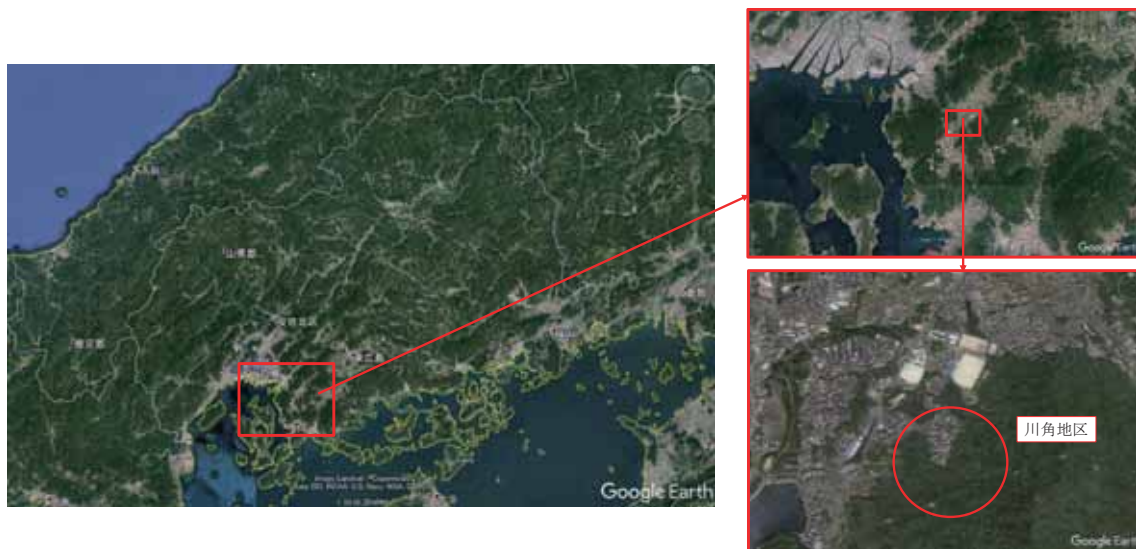
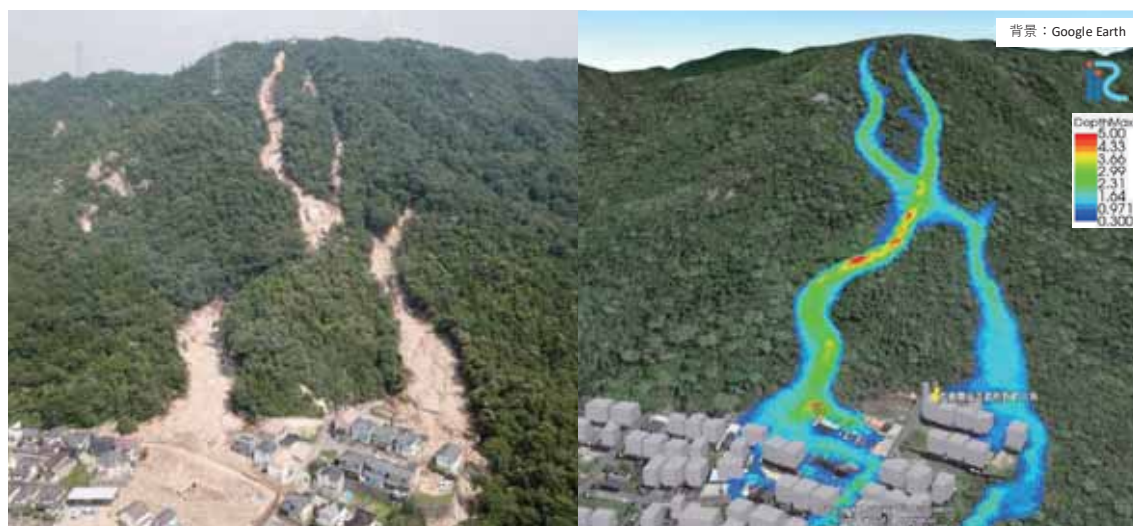


図 6.1.1 広島県安芸郡熊野町川角の場所



(a) 斜面上の土石流の流下経路 (b) 数値シミュレーションによる土石流の最大流動深

図 6.1.2 斜面上の土石流の流下経路と数値シミュレーションによる土石流の最大流動深の比較 (単位: m)



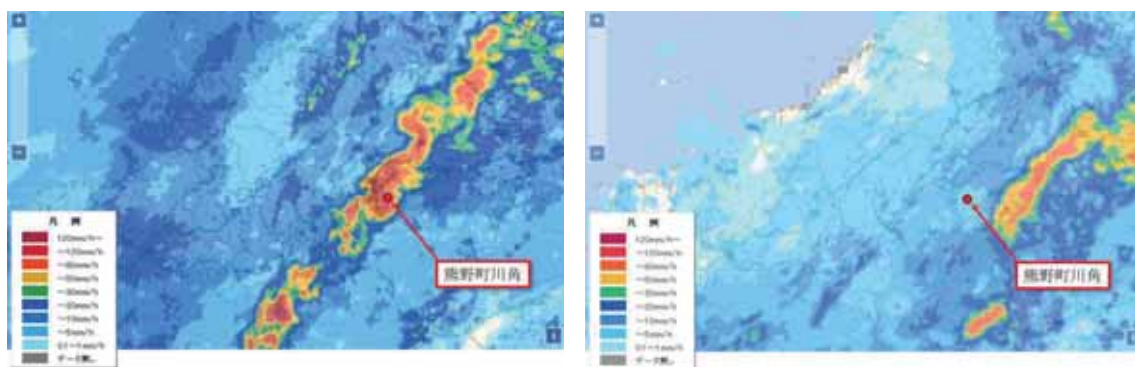
図 6.1.3 土石流による浸食・堆積の様子



図 6.1.4 土石流による浸食・堆積の様子

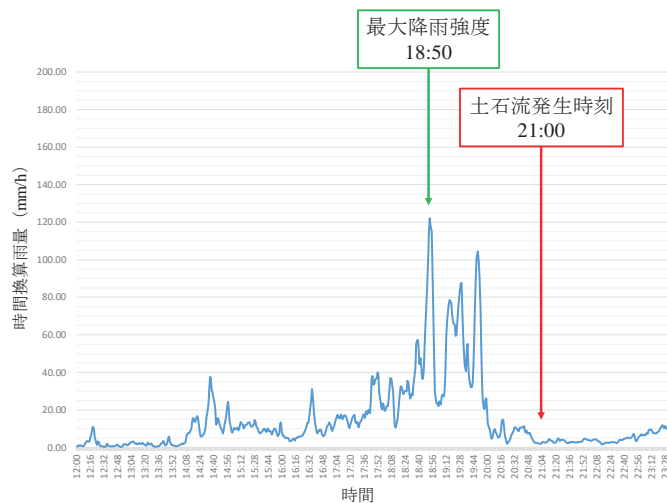


図6.1.4 (a) は、宅地内の地盤勾配方向に沿って建設された北西方向に伸びる道路の下端から道路の様子を撮影したものである。北側の溪流から宅地に流入した土石流の主流は、この道路を流下している。図6.1.4 (d) は、図6.1.4 (a) で示した道路から流れてきた土石流の堆積物である。直径数mの粒径の大きい岩とともに、粒径の小さい真砂土も多く堆積していることがわかる。さらに、流木も含まれている。図6.1.4 (f) は、南側の溪流の下流端付近の様子であり、図6.1.3 (a) で説明したように、溪流内に堆積している土砂は非常に細かく、真砂土で構成されている。図6.1.4 (b) は、図6.1.4 (a) で示した道路の途中の様子であり、道路沿いの家屋の一階の一部が被災していることがわかる。図6.1.4 (c) に示すように、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流は、溪流出口から北西に広がる家屋を破壊するとともに、その主流は、図6.1.4 (e) で示す南東方向に伸びる道路に沿って流れている。図6.1.4 (a) で示した道路と図6.1.4 (e) で示した道路が交わる場所の様子を示したものが図6.1.4 (g) である。図6.1.4 (g) に示されている家屋は、一階は形状が全くわからないほど破壊されている。しかし、二階は転倒しているものの、それほど大きな損傷を受けていないように見える。図6.1.4 (b) も同様に、一階は損傷しているが、二階



(a) 2018年7月6日18:50の降雨強度

(b) 2018年7月6日21:00の降雨強度



(c) 降雨強度の時間変化

図6.1.5 CXレーダーによる降雨強度の時空間変化

の損傷は比較的軽度であることがわかる。これは、土石流の流動深が二階を直撃するほどの深さでは無いことを示すものである。

図6.1.4 (h) は、南北の二つの溪流に挟まれた領域であるが、図6.1.4 (e) で示す南東方向に伸びる道路よりも地盤が高い位置にある。その結果、敷地内に土石流は流れ込んで樹木は倒れているが、家屋を全壊するほどの勢いでは土石流が流れていないことがわかる。

#### c) 降雨条件

図6.1.5 (a) は、CXバンドレーダーによって得られた熊野町川角における2018年7月6日の降雨強度の時間変化である。降雨強度は14時ごろから強くなり、18時50分に最大降雨強度となっており、120mm/hを超えている。一方、宅地に流れ込んだ土石流が発生したのは約2時間後の21時である。21時の時点では、降雨強度は5mm/h未満となっており、雨はかなり弱まっていたことがわかる。図6.1.5 (b) に最大降雨強度が観測された18時50分におけるCXバンドレーダーによって得られた熊野町川角周辺の降雨強度の分布を示す。また、図6.1.5 (c) に土石流が発生した21時におけるCXバンドレーダーによって得られた熊野町川角周辺の降雨強度の分布を示す。図6.1.5 (b) に示すように、最大降雨強度が観測された時間帯は南西から北東方向に伸びる線状降水帯が形成されていることがわかる。最大降雨強度観測後も線状降水帯によって約1時間程度強い雨が断続的に降っていることがわかる。また、土石流が発生した21時の時点における総降水量は160mmである。このように、雨が弱まって1時間程度してから斜面崩壊・土石流が発生しており、住民としては、斜面崩壊・土石流の危険が過ぎ去ったと感じていた時間帯となっていた可能性が考えられる。

### 6.1.3 数値シミュレーションの概要

#### a) モデルの概要

本解析では、粗粒土砂の構成則に江頭らのモデル [江頭・伊藤(2004)] を用い、細粒土砂が水と混合することにより水と土砂の混合物として液相のように振る舞う相変化と層流域上に乱流域を考慮した平面二次元土石流モデルを用いる [竹林(2016), 江頭ら(1994), 竹林ら(2014)]。従来の土石流の数値シミュレーションは、上流域は一次元モデルを用い、下流の土石流堆積域に平面二次元モデルを適用することが多い [和田ら(2008)]。しかし、このようなモデルでは支川からの土石流の扱いが別途必要となる。また、熊野町川角の中腹部で見られるような土石流の分派現象を取り扱うのが非常に困難である。さらに、土石流の流動幅の時間的な変化の評価が困難となる。そこで、本解析では全解析区間に平面二次元土石流モデルを適用した。

水及び土砂の混合物の質量保存則は以下のものである [江頭・伊藤(2004)]。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*} \quad (1)$$

ここに、 $t$  は時間、 $h$  は泥流の流動深である。 $u$  と  $v$  は  $x$  と  $y$  方向における速度成分、 $c_*$  は静止堆積層の砂礫の堆積濃度、 $E$  は河床の浸食速度であり、以下の江頭らの式 [江頭・伊藤(2004)]

を用いる.

$$\frac{E}{\sqrt{u^2+v^2}} = c_s \tan(\theta - \theta_e) \quad (2)$$

ここに,  $\theta$ は流動方向の河床勾配であり, 以下の関係がある.

$$\sin \theta = \frac{u \sin \theta_x + v \sin \theta_y}{\sqrt{u^2+v^2}} \quad (3)$$

ここに,  $\theta_x$ は  $x$  方向の河床勾配,  $\theta_y$ は  $y$  方向の河床勾配である.  $\theta_e$ は水及び土砂の混合物中の鉛直平均土砂濃度  $\bar{c}$ に関する流動方向の平衡河床勾配であり, 水と土砂の混合物に対して河床近傍に層流域, その上に乱流域を有する二層流を考えると, 以下の関係が得られる.

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho-1)\bar{c}}{(\sigma/\rho-1)\bar{c}+1} \frac{h_s}{h} \tan \phi_s \quad (4)$$

ここに,  $\phi_s$ は土砂の内部摩擦角である. 流体中の土砂の質量保存則は以下のものである [江頭ら(1994)].

$$\frac{\partial \bar{c}h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c}hU}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c}hV}{\partial y} = E \quad (5)$$

運動量保存則は以下のものである [江頭・伊藤(2004)].

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (6)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hvv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (7)$$

ここに,  $g$ は重力,  $z_b$ は河床位である.  $P$ は圧力であり, 静水圧近似を用いる.  $\rho_m$ は以下の関係がある.

$$\rho_m = (\sigma - \rho)\bar{c} + \rho \quad (8)$$

ここに,  $\rho$ は水の密度,  $\sigma$ は土砂の密度である.  $\tau_{bx}$ と $\tau_{by}$ は  $x$ と $y$ 方向における掃流力成分であり, 以下のものである.

$$\tau_{bx} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

$$\tau_{by} = \left\{ \tau_y + \rho f_b (u^2 + v^2) \right\} \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (10)$$

$\tau_y$ は降伏応力であり, 本解析では以下の関係を用いる [江頭・伊藤(2004)].

$$\tau_y = \left( \frac{\bar{c}}{c_*} \right)^{\frac{1}{n}} (\sigma - \rho) \bar{c} g h_s \cos \theta \tan \phi_s \quad (11)$$

$f_b$ は抵抗係数であり, 本解析では以下の関係を用いる.

$$f_b = \frac{4}{25} \left\{ k_f \frac{(1-\bar{c})^{\frac{3}{2}}}{\bar{c}^{\frac{2}{3}}} + k_d \frac{\sigma}{\rho} (1-e^2) \bar{c}^{-\frac{1}{3}} \right\} \left( \frac{h_s}{d} \right)^{-2} + 9\alpha^2 \left( 1 - \frac{h_s}{h} \right) \quad \alpha = 0.37 \quad (12)$$

ここに、 $k_f=0.16$ ,  $k_d=0.0828$ ,  $e$  は粒子の反発係数,  $d$  は土砂の平均粒径である. 河床位方程式は以下のものである [江頭・伊藤(2004)].

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*} \quad (13)$$

#### b) 解析条件

地形データは国土地理院により被災前に測定されたものであり, 平面的に 5m の解像度の DEM データである. 解析格子は, 道路上を流れる土石流を表現するとともに家屋の形状を表現するため, 2m×2m の比較的細かい正方形格子を用いる. 土石流は実現象に即して斜面崩壊を発端として発生するものとした. そのため, 本解析の境界条件は流体化した水と土砂の混合物が初期に斜面に存在するというものであり, 土石流の流量などを上流から与えていない. 表層崩壊は, 山頂付近に二カ所, 中腹付近に一カ所の合計三カ所を考慮する. 表層崩壊の場所は, 被災後の調査によって判断された崩壊地とした. これら三カ所の斜面崩壊の発生時刻の関係は不明であるため, 本解析ではこれら三カ所の斜面崩壊が同時に発生したと仮定している. なお, 下流域での土石流の規模は土石流の流動過程で溪床や河岸などを浸食して取り込んだ土砂と水の量で決定されるため, 本土石流のように土石流の流動距離が長い場合は斜面崩壊の大きさは土石流の規模に影響を与えない [江頭ら(2016)]. 宅地の中の家屋は, 高さ 8m の非浸食域とした. 現地調査により, 宅地内の道路のアスファルトが大きく浸食・流出した場所は見られなかったことと, 宅地内の地盤勾配が緩やかで堆積が卓越することから, 宅地内の地盤は非浸食とした.

#### 6.1.4 結果と考察

図 6.1.2 (b) に数値シミュレーションによって得られた最大流動深の空間的な分布を Google Earth に出力し, 鳥瞰図として表示したものを示す. 現地調査によって得られた被災

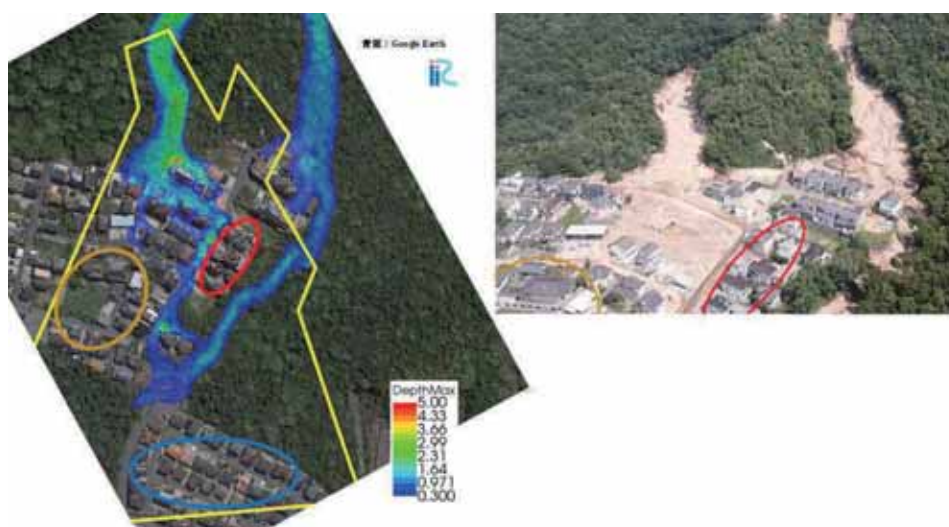


図 6.1.6 数値シミュレーションによって得られた宅地の最大流動深の空間的な分布と宅地の土砂の氾濫の様子 (単位: m)

後の斜面の様子を示す図 6.1.2 (a) と比較すると、土石流による斜面の浸食域と数値シミュレーションによる土石流の流動域が良く一致していることがわかる。図 6.1.6 に数値シミュレーションによって得られた宅地における最大流動深の空間的な分布と現地調査によって得られた被災後の宅地の土砂の氾濫の様子を比較したものを示す。北側の溪流が宅地に流れ込んだ地点の下流の宅地は、数値シミュレーションでも流動深が深くなっていることがわかる。また、現地で土砂が氾濫している範囲は、数値シミュレーションで土石流が流動した範囲とよく一致していることがわかる。さらに、図 6.1.3 (b) と (g) に示す家屋の一階が被災した領域の土石流の深さは最大で 2.00m , 2.56m とそれぞれなっており、一階のみが大きく被災していることと一致している。これらの結果より、本数値シミュレーションによる土石流の流動・氾濫特性は、現地の土石流の流動・氾濫特性をかなり良く表現できていると考えられる。

図 6.1.7 に土石流の深さの時空間的な変化を示す。山頂付近から発生した二つの土石流は、別々の溪流を流下し、斜面中腹付近で合流するとともに、南と北の二つの溪流に分派して流れている。南側の溪流は、もう一つの中腹付近で発生した斜面崩壊による土石流が流下した溪流と同一である。一方、数値シミュレーションにおいても、多くの家屋を破壊した土石流は北側の溪流からの土石流であることがわかる。図 6.1.7 に示す土石流警戒区域も北側の溪流からの土石流を想定したものが主となっている。数値シミュレーションによると、山頂付近の崩壊発生から北側の溪流の出口付近の家屋に土石流が到達するまでわずか 50 秒程度となっており、斜面における土石流の平均的な速度は、約 9m/s(時速約 32km) である。山頂付近の崩壊による土石流が宅地に到達した時点の土石流の深さは約 2m で、宅

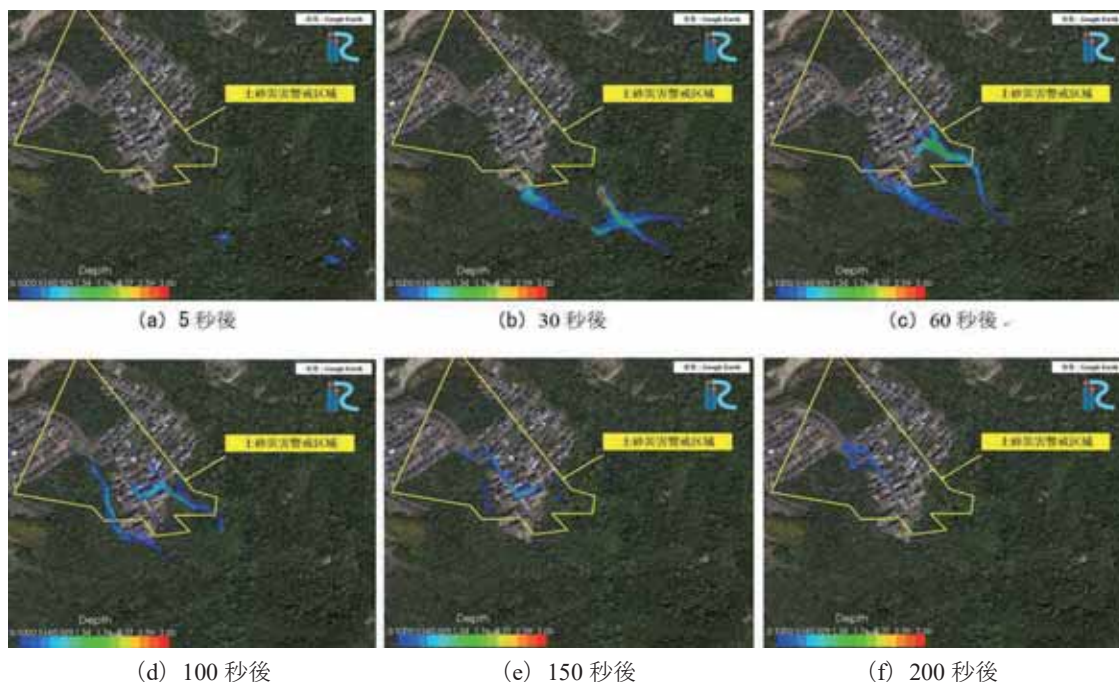


図 6.1.7 広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流数値シミュレーションによる土石流の流動深 (単位 : m)

地に衝突した時に 3m 以上となっている。

宅地内には建設中の家屋も存在し、**図6.1.3**に示すように、新しい家屋も多く見られ、比較的新しい宅地であることがわかる。土砂災害警戒区域内の住民によると、住民の多くは自身の住居が土砂災害警戒区域内に存在することは把握されていたであろうとのことであり、土砂災害の危険性が高いことは住民にある程度認識されていたと考えられる。土砂災害警戒区域は、土石流などのような危険な状態で土砂が流出・氾濫する急傾斜地において、人家などの守るべき対象がある場所に対して設定されるものであり、土石流が氾濫を開始する点を起点として扇形の氾濫域を想定し、地盤の勾配が $2^\circ$ よりも急な領域に対して設定される。このような設定方法は、地形の情報が主となって設定できるため、比較的短時間で警戒区域を設定することが可能である。そのため、土砂災害の危険性が高い地域が全国に非常に多いことを考えると、このような土砂災害警戒区域の設定方法は有効な方法と考えられる。しかし、**図6.1.6**に示すように、実際の土石流は土石流氾濫開始地点を起点にして扇形に氾濫するのではなく、地表に建設されている家屋や道路などの構造物の影響を受けて氾濫・堆積する。そのため、土砂災害警戒区域内にも土石流が危険な状態で流れてこない領域が多く存在する。**図6.1.6**に赤色・茶色・青色の楕円で囲まれた領域のように、熊野町川角においても、土石流がほとんど流れていない領域が存在する。一方、土石流が流出する溪流が隣接していることは非常に多く、2014年8月に大規模な土石流が複数発生した広島市安佐南区八木・緑井地区の土砂災害警戒区域などは、土砂災害警戒区域が二重・三重に重なっている。このような状態となると、土砂災害警戒区域外への避難は移動距離が長くなり、豪雨中に避難をすることは困難となる。そのため、豪雨中の土砂災害からの避難や土石流発生後の避難を考えると、土砂災害警戒区域内の土石流が流れてこない領域への避難が有効となる。本数値シミュレーションによって土石流が流れてこない領域が、対象の宅地においてどのような規模の土石流が発生しても土砂が流れてこないわけではないが、セカンドチョイスの一次避難場所として非常に有効と考えることができる。また、**図6.1.3**に示したように、一階が被災していても二階に大きな損傷を受けていない家屋が多く見られる。熊野町川角と同じ2018年7月6日に被災した広島市安佐北区口田南三丁目の家屋では、一階に居た方が亡くなっているが、同じ家で二階に居た方は助かっている。このようなことを考えると、豪雨中に遠方まで避難することが困難な場合、二階に避難することにより、生存確率が大きく上昇することが期待される。

前述の通り、対象地域の土砂災害警戒区域の設定に南側の溪流からの土石流は対象となっていない。南側の溪流からの土石流も宅地に流れ込んでいるが、ちょうど、まだ家屋が建設されていない領域であったことと宅地の南側を流れる溪流の本川が、**図6.1.3 (b)**に示すように、宅地よりも数メートル低い場所を流れており、土砂の多くが宅地を逸れて流下した。さらに、**図6.1.4 (f)**に示す溪流の出口付近は、勾配が非常に緩やかであり、土石流として流れてきた土砂が急速に堆積し、下流の地区で広く氾濫しなかつたため、被害はそれほど大きなものとならなかった。通常の土砂災害警戒区域の設定ではこのような土石

流の分派現象は考慮されていないが、数値シミュレーションを実施することにより、分派現象による土石流危険箇所の抽出が可能であることがわかる。さらに、北側の溪流からの土砂の流出量については、分派によって小さくなっていると考えられる。そのため、土砂災害対策を考える上で重要な数値となる土石流の氾濫範囲、流出土砂量などの推定においても数値シミュレーションによる評価が非常に有効であることがわかる。

#### 6.1.5 結論

広島県安芸郡熊野町川角で発生した土石流について、現地調査と数値シミュレーションを実施し、宅地における土石流の氾濫特性と土砂災害警戒区域との関係を検討した。現地調査により、斜面の三カ所から土石流が発生し、合流・分派した溪流を土石流が流下し、北側の溪流から宅地に流れ込んだ土石流によって多くの被害が発生したことが明らかとなった。流出した土砂は、粒径の細かい真砂土から直径数mの花崗岩も含まれ、粒度が非常に広いことが明らかとなった。数値シミュレーションにより、山頂付近の崩壊発生から北側の溪流の出口付近の家屋に土石流が到達するまでわずか50秒程度となっており、斜面における土石流の平均的な速度は約9m/sであり、宅地内を数10cm～3m程度の深さで流下・氾濫し、多くの家屋が全壊・半壊した。土砂災害警戒区域内には土砂が流れてこない領域も多いことと豪雨中に避難のために長い距離の移動が困難であることを考えると、土石流が流れてこない領域への避難は、生存確率を大きく上昇させることが期待されることが示された。

(竹林洋史)

## 6.2 ため池の被災状況調査

### 6.2.1 ため池における近年の災害について

全国にため池は約20万箇所存在している。そのうち都道府県が管理して国が集約する「ため池データベース」に登録されているものが約半分の約96,000箇所あり、そのうちで所有者が不明なものが約3割の28,700箇所あるという〔農林水産省農村振興局整備部, 2018〕。

2011年の東日本大震災では、地震動により藤沼ダム（福島県須賀川市）の堤防が決壊した。それにより発生した氾濫により、8名が下流域で犠牲となっている。当該地震による須賀川市の全死者数が11名であったことより、この決壊がもたらした人的被害の衝撃の大きさが分かる。2017年7月の九州北部豪雨では、山の神ため池（福岡県朝倉市）が決壊し下流の集落で3名が犠牲となった。この他にも、毎年、ため池の決壊が発生しており、2008年～2017年の10年間で324件ののぼり、うち大雨に起因するもの318件、地震に起因するのが6件である〔農林水産省, 2018〕。これらの被災を受けて、ため池決壊がもたらす危険性は認識されており、国も2015年に防災重点ため池の指定を始め、ため池ハザードマップの公開などを行っている。2017年3月までに11,362箇所のため池を指定している〔農林水産省農村振興局整備部, 2018〕。

表 6.2.1 今次水害におけるため池決壊について(2018年8月31日時点)

[農林水産省 <http://www.maff.go.jp/j/saigai/ooame/20180628.html>]

| 地域       | 決壊したため池  | 備考                          |
|----------|--|-----------------------------|
| 京都府福知山市  | 塩津古(しおつふる)池<br>樋の口東(ひのくちひがし)池                              |                             |
| 大阪府八尾市   | 下蓮(しもはす)池  |                             |
| 岡山県倉敷市   | 鷲峰山(じぶうさん)池  |                             |
| 岡山県総社市   | 南谷(みなみだに)池   |                             |
| 岡山県浅口市   | 大田池  | 堀・泉(2018)                   |
| 岡山県美咲町   | 山田池  |                             |
| 広島県福山市   | 勝負迫上(しょうぶごこかみ)池<br>勝負迫下(しょうぶさこしも)池<br>山田上池<br>山田古池<br>堂ノ奥池 | 吉迫・正田(2018)<br>人的被害あり(死者1名) |
| 広島県竹原市   | 沖登祖(おきのぼそ)池  | 吉迫・正田(2018)                 |
| 広島県三原市   | 上り沢田(のぼりさわだ)池<br>正清下(まさきよした)池                              |                             |
| 広島県尾道市   | 大豆(だいず)池<br>松尾池  |                             |
| 広島県北広島町  | 向迫田(むこうさこだ)ため池   |                             |
| 広島県府中市   | 竹田池  |                             |
| 広島県三次市   | 二ツ池下(ふたつつけしも)池   |                             |
| 広島県東広島市  | 上池<br>大池<br>横池<br>寺田池                                      |                             |
| 広島県安芸高田市 | 半三(はんぞう)ため池  | 吉迫・正田(2018)                 |
| 広島県熊野町   | 友数西(ともかずにし)池   |                             |
| 広島県坂町    | 大城(おおしろ)池  |                             |
| 広島県呉市    | 新池<br>山下1号池<br>桐山(きりやま)池1号                                 |                             |
| 愛媛県今治市   | 塔の外(とうのそと)池  |                             |
| 福岡県筑前町   | 中島(なかしま)ため池  |                             |



## 6.2.2 今次水害におけるため池災害の状況

今次水害におけるため池における決壊は全国で32箇所へのぼった。表6.2.1に決壊したため池の一覧を示す。このうち、1件で人的被害が、3件で家屋浸水などの物的被害が発生した。また、農林水産省による防災重点ため池に指定されていたのは3箇所、被害の出た4箇所のうちでは1箇所のみしかなかった〔農林水産省農村振興局整備部, 2018〕。

ここでは、著者が実際に現地で被災状況を調査した決壊したため池のうち、人的被害が発生した勝負迫上池、勝負迫下池、ならびに中国地方ではないが福岡県で決壊が発生した中島池の事例を紹介する。

### a) 勝負迫上池・下池の決壊

広島県福山市にある勝負迫上池（しょうぶさこかみいけ）・勝負迫下池（しもいけ）〔以下、上池、下池とする〕では、今次水害により決壊が生じ、下流の集落に氾濫流が到達し、3才の女兒が亡くなるという痛ましい災害が発生した。同ため池の災害状況について現地調査を実施したので、ここではその結果を報告する。

上池・下池は上下二連の重ね池（親子池）形式のため池であり、河川とは接続されていない。上池の貯水容量は800m<sup>3</sup>、である〔王・末峯(2018)〕。下池の主要な諸元は、貯水容量：3,000m<sup>3</sup>、堤高：5.0m、堤長：31.0m、流域面積：0.03km<sup>2</sup>である。下池にはコンクリート製の水路式洪水吐きがあり、流下能力は0.208m<sup>3</sup>/sであった。なお、このため池は防災重点ため池の指定がされていなかった〔吉迫・正田, 2018〕。

2018年8月4～5日に現地調査を行った。主な調査内容は、状況確認のための踏査、簡易的な測量、ドローンによる上空からの撮影などである。図6.2.1に被災地をドローン撮影した写真と、地上で撮影した写真を示す。なお、ドローンはため池から被災エリアに向かって送電線があった関係で、被災エリアへ飛ぶことができなかつたためオルソ画像になっていない。下池の下流では堤防の材料であった1辺1m程度の立方体状のコンクリートブロックが散乱していたことから、下池の堤防が決壊して、大規模な段波が発生したことが推察される。また、下池の残った堤防に越流した痕跡があることから、越流に起因して決壊に至ったものと推測される。上池の堤防はほとんど残っておらず、また、その上流にあった造成されたグラウンドの斜面が大きく崩壊していた。

以上の状況を鑑みると、今次水害では、次の様な現象が起こったものと推測される。まず、上池の上流にあった造成グラウンドの斜面が豪雨により崩壊し、この斜面の土砂が上池に流入した。その際、グラウンドの下には駐車場として利用されていた段があったようであるが、そこも一連として崩壊したようである。その結果、段波が生じ、上池の堤体を越流して決壊させ、土砂と満水に近い状態であったと推測される上池の水が一体となって下池の堤体に流下した。そして、下池の堤体を越流して決壊を発生させ、下池に貯留してあった満水に近い状態の水が一挙に流下し、土石流となって下流の集落を襲った。（図6.2.2）

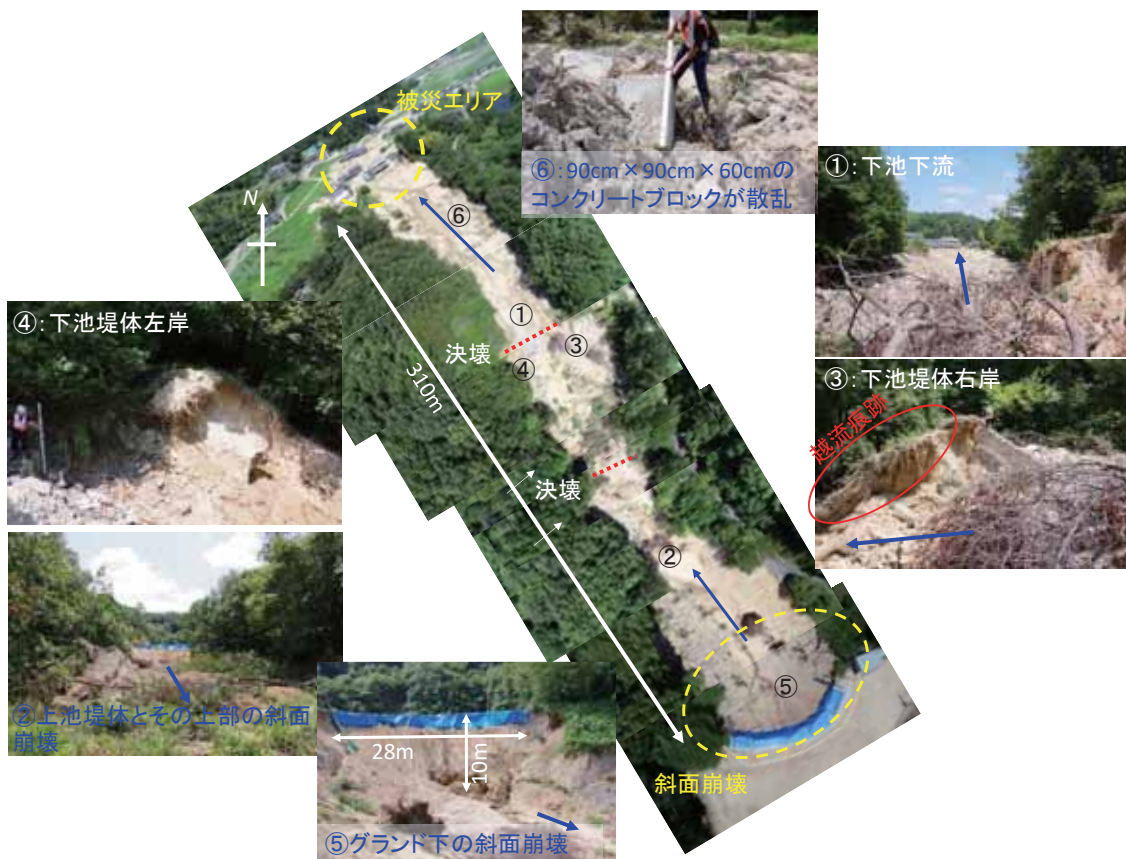


図 6.2.1 ドローンより上空から撮影した勝負迫上池・下池の決壊状況

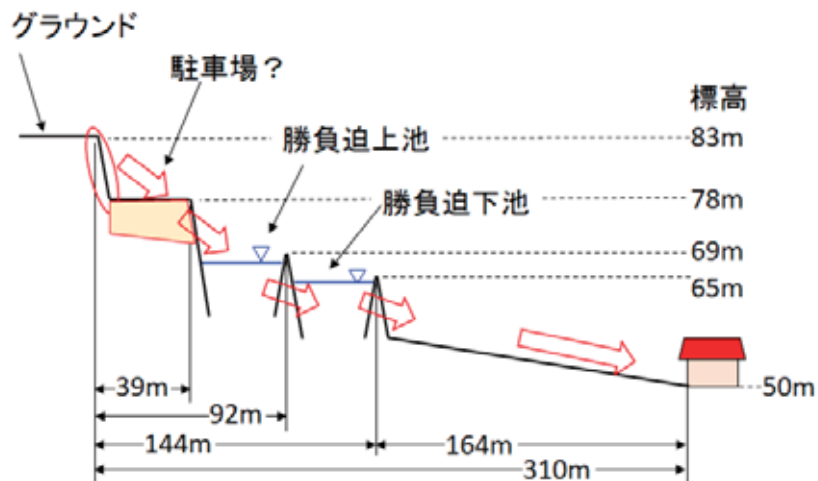


図 6.2.2 推測された勝負迫上池・下池の決壊状況

b) 中島池の決壊

今次豪雨では、中国四国地方以外にも大雨が発生しており、表 6.2.1 にも示した通り、ため池の決壊も起きている。その中で福岡県筑前町にある農業用ため池である中島池につ

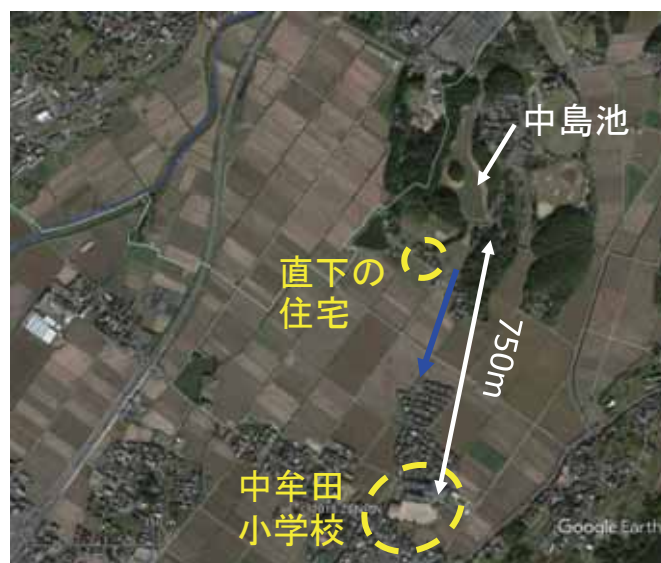


図 6. 2. 3 中島池の被災状況 (Google Earth 画像を改変)



図 6. 2. 4 (a) 堤体の破壊状況



図 6. 2. 4 (b) 堤体右岸側の破壊状況



図 6. 2. 4 (c) ため池下流の氾濫状況



図 6. 2. 4 (d) 下流直近の家屋周辺の状況

いて7月13日に現地調査したので、その概要を報告する。

中島池(図6.2.3)は貯水容量:30,000m<sup>3</sup>,堤高:約7.0m,堤長:約80mである。7月6日午後3時すぎに30mにわたって決壊し、堤体から約750m下流側にある中牟田小学校が浸水し児童100名あまりが一時的に校舎に取り残された。また、床上浸水1戸,床下浸水

30 戸の被害が出ている [西日本新聞, 2018]. 本ため池は皿池の形式であり, 河川からの直接流入はない.

決壊に至ったメカニズムについては, 豪雨により満水に近い状態が続き, 堤体内へ水が浸透した結果, 円弧すべりが発生したと推測されている. 堤体内には鋼土が設置されていなかったようであり, 今回の豪雨では耐えきれなかった.

現地調査時に撮影した堤体の状況を **図 6.2.4(a), (b)** に, 堤体より下流における氾濫流が流下した箇所を **(c)** に, ならびに堤体から 200m 程度下流に建つ家屋の周辺の状況を **(d)** に示す. 幅 18m 程度, 高さ 5m 程度で決壊が発生し, おそらく満水状態であった貯留水が一挙に段波として流下したと推測される. その際に, 堤体の表を覆っていたコンクリートブロック [**(c)** 中の黄色円] が, 氾濫水が通過したあとに散乱していた. 下流直下の住宅 [**(d)** 中] では, 運良く氾濫水が分離して流れて建屋には被害がなかった.

### 6.2.3 今後のため池防災について

農林水産省では, 今次水害におけるため池被害を受けて, 「防災重点ため池」の選定基準を見直し, 新たな基準を適用する方針を示している.

2015 年 9 月に国が示した従来の防災重点ため池の選定基準は,

- ①下流に住宅や公共施設等が存在し, 施設が決壊した場合に影響を与えるおそれがあること.
- ②堤高 10m 以上であること.
- ③貯水量 10 万トン以上であること.

のいずれかに該当することであった. 今次水害で決壊し, 被害を出した勝負迫下池や中島池は①に該当しているが, 防災重点ため池には指定されていなかった. これは, 各都道府県で選定基準の運用が統一されていなかったためである. ちなみに, 2017 年 3 月時点での全国の指定数は 11,362 箇所であった.

2018 年 11 月に国が出した新たな「防災重点ため池」は, 「決壊した場合の浸水区域に家屋や公共施設等が存在し, 人的被害を与えるおそれのあるもの」と定義された. その選定基準は,

- ①ため池から 100m 未満の浸水区域内に家屋, 公共施設等があるもの.
- ②ため池から 100m 以上 500m 未満の浸水区域内に家屋, 公共施設等があり, かつ貯水量 1,000m<sup>3</sup> 以上のもの.
- ③ため池から 500m 以上の浸水区域内に家屋, 公共施設等があり, かつ貯水量 5,000m<sup>3</sup> 以上のもの.

のいずれかに該当するもの. 加えて,

- ④上記以外で, ため池の規模, 構造, 地形条件, 家屋, 公共施設等の位置関係, 維持管理の状況, 上流域の地域指定の状況, 崩壊地の土質及び地形等から, 都道府県又は市町村が特に必要と認めるもの.

により、都道府県や市町村が必要と認める場合も指定できることになった。なお、重ね池については、合計貯水量で判断される。

これらの新しい基準の運用により、ため池の安全度が上がることが期待される。しかし、前年の九州北部豪雨で大きな被害を出した山の神ため池のような河川に直接設置された形式（谷池と呼ばれる）では、近年の温暖化に伴う豪雨規模の増大に対応できるような検討が必要である。また、今次水害で人的被害の出た勝負迫上・下池のような重ね池の形式については、上位のため池の上流に崩壊する可能性のある斜面の有無の確認や、被害発生の生命線となる最下位のため池における堤防の強化などの対策が必要である。ため池の集水域、ため池、ならびに決壊した場合の浸水域を一貫した水害リスクの研究の促進も必要であろう。

（矢野真一郎）

## 6.3 榎川の災害

### 6.3.1 背景

#### a) 調査研究目的

近年、異常気象による降雨量の増大が顕著化している。気象庁では、1時間降水量 50mm 以上の年間発生数は 1975～2015 年間で、1.4 倍に増加したと報告している。このような降雨量の増加は豪雨災害だけでなく、土砂災害の頻発化にも大きく影響している。平成 30 年 7 月豪雨でも、大規模な土砂災害が広島県を中心に頻発した。特に山間地の斜面崩壊による土砂が山地溪流のみならず、下流扇状地の住宅地まで到達するような泥流・土石流については、市民生活に大きな被害を及ぼす場合が多く、その調査研究および対策が急務である。本調査では、平成 30 年 7 月豪雨によって広島県榎川で発生した降雨終了後の土石流を対象に、動画解析やヒアリングを行い、土石流の流下過程や流下物について記録し、詳細な特徴を明らかにすることを目的としている。

#### b) 榎川の概要

今回の研究対象地である榎川は広島市東部に位置する安芸郡府中町を流れる河川である（**図 6.3.1**）。また、府中町北東部に源流を有する太田川水系に属する川であり、下流端は太田川水系府中大川と合流する。合流点から 1.2km 付近までは標高 10m 以下、河床勾配 1/100 以下の低平地区間であり、合流点から 1.2km～2.3km（府中みくまり病院）の区間は、平均勾配 1/100～1/20 程度の扇状地上を流れている。合流点から 2.5km より上流側は山地溪流の様相を呈し、みくまり森林公園の敷地内であり、散策用の遊歩道やキャンプ場などが溪流沿いに設けられている。流域面積は約 7.0km<sup>2</sup> で、流路延長は約 4.2km、流域の標高は 2.5m～590m である。流域の地質は花崗岩であり、植生はアカマツを主とした混合林である。また、榎川は県指定の砂防河川であるため、上流部（御衣尾川）には砂防堰堤が 10 基、治山堰堤が 29 基存在する。榎川の上流部には支川の草摺川と観音川があり、今回、土石流が

発生した溪流は草摺川である。また、住宅地を流れる榎川下流については、コンクリート三面張りの河道となっている。榎川では、降雨終了後（豪雨発生 4 日後の晴天時）に突発的に土石流が発生し、扇状地の住宅街まで土石流が流下し氾濫する現象が発生した。また氾濫箇所から 1.3km 上流の防犯カメラ（府中みくまり病院）によって、土石流開始から終了までの貴重な映像が記録されている（図 6.3.2）。

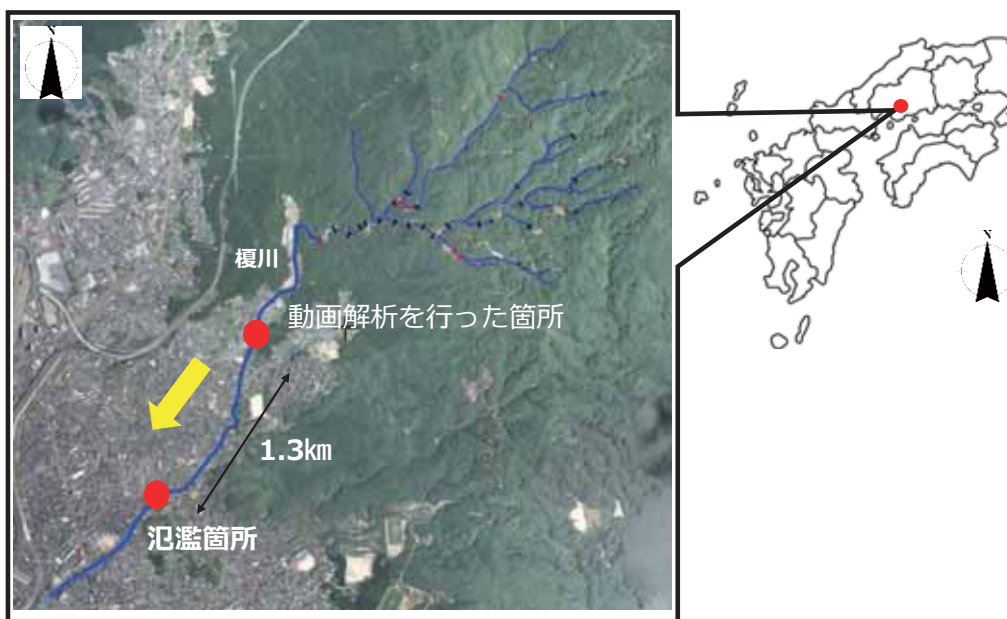


図 6.3.1 研究対象地



図 6.3.2 防犯カメラで記録されたみくまり病院前の氾濫の様子（みくまり病院提供）

### 6.3.2 調査方法

今回の災害の特徴を整理、把握するために、現地調査（災害直後の被災状況踏査、ヒアリング調査、現地測量）を行った。これら現地調査をもとに、災害時の土石流の流量や、災害前後の土砂の堆積・侵食状況を解析した。また、下流まで流下した土砂の堆積縦断面や粒径などについても調査を行った。最終的に、調査、解析から得たデータをもとに今回の土石流災害時に起こった現象の解明を試みた。具体的な調査方法については下記に示す。

#### a) 現地踏査及びヒアリング

土石流の流下過程や流下物の状況および痕跡を把握するため、氾濫箇所から土石流開始地点まで踏査を行うとともに、榎川河川に住む地域住民計 33 名に対してヒアリング調査を行った。あわせてヒアリング回答者から提供された災害当時の動画や写真を使って、土石流流下当時の現象の特徴を調べた。

榎川上流の土砂の堆積、侵食といった面的な地形情報を取得するため、UAV による測量を行った。調査日は H30.7.12-13, 8.2-3, 10.3-4, H31.1.16-17 である。土砂災害の発生後の 2018/10/3 から 10/4 にかけて、対象河川において UAV を用いた空中写真測量を実施した。UAV (DJI 社製, Phantom 4 pro) による空中写真撮影と合わせて、各河川約 10~15 点の GCP (Ground Control Point, 基準点) を設け、RTK-GPS により位置座標を取得した。座標値を入力データとし、解析ソフトウェア Metashape professional (Agisoft 社製) を用いて SfM (Structure from Motion) 解析を行い、地表面標高 DSM (Digital Surface Model) とオルソ画像を得た。得られた DSM の河道部分のみを切り出し、地理院地図 (2015 年) の出水前の 5 m メッシュの DEM データ (Digital Elevation Model) との差分をとり、ラスタデータとして整備した。ラスタデータとして整備したデータを用いて、ArcGIS により、出水前後の川幅の測量、土砂の堆積量、侵食量といった諸情報を取得した。



図 6.3.3 府中みくまり病院と現地の河道 (google map より)

#### b) 動画解析による流量の推定

下流へ流下した土石流の流量を把握するため、府中みくまり病院で撮影された動画を用

いて解析を行った。動画から 2 秒ごとの水位を読み取り、土石流開始前から終了後までの約 10 分間を記録した。微小時間ごとに記録した水位からマンニングの式を用いて流速、流量を算出し、10 分間に流下した土石流の総流量を求めた。また、対象区間はコンクリート 3 面張の流路工であることから、「河川砂防技術基準（案）調査編」に従い、粗度係数を 0.02 と設定した。図 6.3.3 に動画撮影場所の位置及び河道の様子を示す。

#### c) 数値解析

本研究では、各調査から得られた結果（地形データ、斜面崩壊規模、流量等）を用いて、IRIC の Morpho2DH ソルバおよび Nays2DH ソルバによる解析を行った。

### 6.3.3 調査結果

#### a) 現地踏査及びヒアリング

得られた調査結果を下記に示す。土石流の開始地点される氾濫箇所から約 3.5km 上流の斜面崩壊箇所について、崩壊箇所の崩壊長は 80m で、崩壊深さは最大で約 12m であった。また河道形状調査より、斜面崩壊によって約 15,000m<sup>3</sup> の土砂が流出したことが分かった（図 6.3.4）。続いて流下過程についての結果を示す（図 6.3.5）。土石流の流下区間には砂防堰堤 4 基。治山堰堤 8 基が設置されていた。土石流開始地点～1km 下流までは河岸・河床の侵食がみられ、岩盤や樹木根が露出していた。また、上流部には道路横過によって暗渠になっている箇所が 2 か所あったが、どちらも巨石、流木によって閉塞し、越水して道路上にも土石流が流下していた。道路部には 1.5m の巨礫の堆積も確認できた。また土石の流下によって、練石積砂防堰堤の一つが破堤し、直上部に 2m 以上の侵食がみられた。現地踏査から他の土石流の流入箇所はなく、単一の斜面崩壊による土石流であったことが分かった。上流区間での流出土砂の総量は河道形状調査より、約 15,800m<sup>3</sup> と算出された。住宅地の広がる下流区間では、図 6.3.5 に示す通り 3 か所に氾濫があった。上流の 2 か所については氾濫の規模は小規模なものであった。中間の氾濫箇所においては約 1.7m の巨礫が橋梁に詰まり氾濫した。河道内には粒径の小さい土砂以外にも 0.3～0.4m の巨礫の堆積があった。特に湾曲部においては、0.4～0.6m の巨礫が約 40 個堆積し、護床板とみられる 2m 大のコンクリート片も確認された。また、土砂に比べ流木が非常に少なく、現地調査よりおおよそ 300m<sup>3</sup> 流出したと推測され、流木の最大長は 5m 程度であった。最下流の氾濫箇所では、流木が橋梁部に詰まる河道閉塞が氾濫原因で、住宅地約 12,000 m<sup>3</sup> に及ぶ大規模なものであった。河道は現地状況から氾濫箇所の橋梁から 270m 先まで土砂によって河道が埋まっており、住宅地に流出した土砂は最深で 0.7m 堆積した箇所もあった。現地調査とヒアリングから河道内、住宅地に堆積した土砂量を概算したところ、おおよそ 8,300 m<sup>3</sup> であった。また、現地工事作業員のヒアリングより、河道内の堆積に 1m 大の巨礫が多数堆積していたこと、堆積分布状況に逆級化層理がみられたことが明らかになった（図 6.3.6）。

#### b) 動画解析による流量の推定

結果を図 6.3.7 に示す。土石流は段波状を呈して急激に流量を増大し、約 20 秒でピークに達した。発生から 1 分後に徐々に流量が減少し、約 8 分でほぼ元の流量に落ち着いたことが分かる。解析から 10 分間で約 25,000 m<sup>3</sup> の土石流が流下したことが分かった。また動画からは、流木の流下状況も把握でき、土石流発生後から約 6 秒間で下流へ流下した大部



分の流木が流下していたことが分かった。

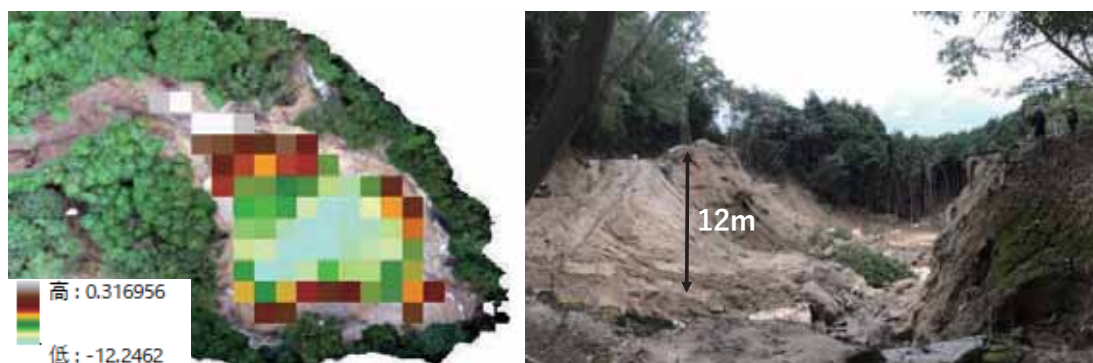


図 6.3.4 崩壊箇所の堆積侵食コンターおよび現地写真



図 6.3.5 洪水・土石流の痕跡状況

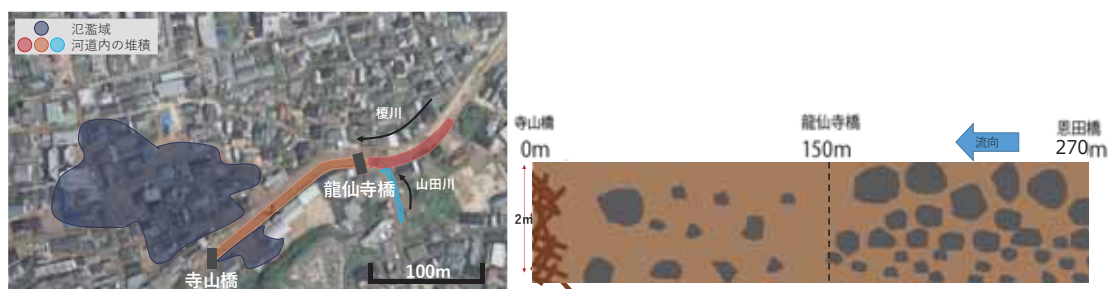


図 6.3.6 ヒアリング結果に基づく、推定される土砂堆積状況

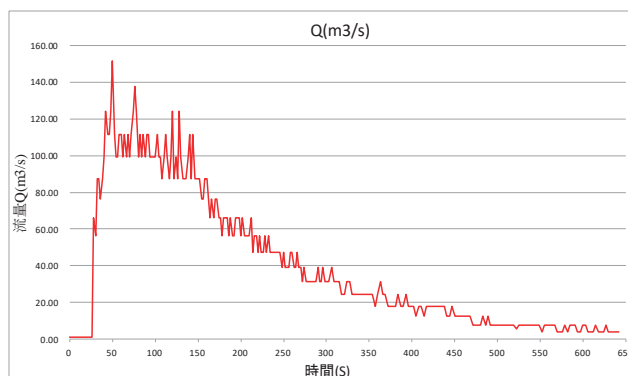


図 6.3.7 動画から読み取った土石流流下中の流量の変化

c) 数値解析

数値解析ソフト iRIC Morpho2DH による解析結果を図 6.3.8 に示す。時間経過ごとに崩壊箇所で発生した土石流が谷を流下する様子を再現できたが、土石流は河床勾配が 8 度程度の地点で停止し、下流扇状地まで土石流が流下する様子は再現できなかった。一方、iRIC Nays2DH による解析結果を図 6.3.9 に示す。Morpho2DH による解析結果とは対照的に、下流までの流下や氾濫の様子を比較的、実災害に近い形で再現できているようにおもわれる。このことから、今回発生した榎川における土石流は、土砂濃度が比較的低い、土砂流や掃流砂に近い特性を有していたことがうかがえる。

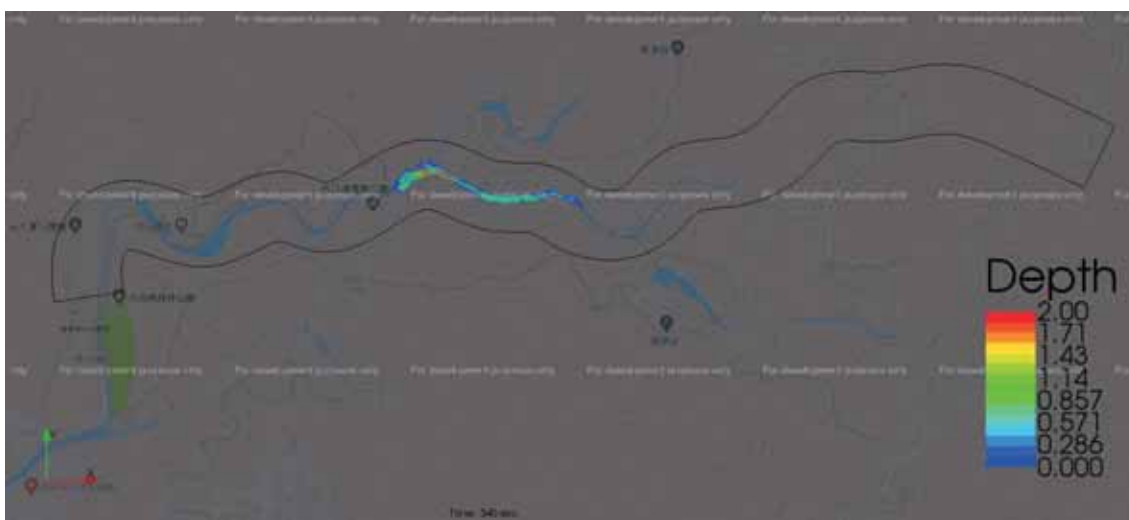


図 6.3.8 Morpho2DH を用いた土石流解析結果（計算開始 540 秒後）



図 6.3.9 Nays2DH を用いた氾濫流解析結果（計算開始から 1010 秒後）

### 6.3.4 考察

#### a) 下流氾濫箇所（寺山橋近傍）で起こった現象についての考察

最下流の砂防ダムから氾濫箇所の寺山橋付近までの約2 km区間での考察を示す。下流の寺山橋地点での氾濫箇所は、橋梁に捕捉された流木により河道閉塞を生じ、大規模な氾濫があった。氾濫箇所近傍は勾配の変化点であり、急激に緩やかになったため、土砂の堆積や流木の補足が顕著におこったものと考えられる。続いて住宅地まで氾濫した土砂について考察を行う。現地調査から下流（扇状地部）への総堆積土砂は約8,330m<sup>3</sup>と推測された（**図 6.3.10, 表 6.3.1**）。したがって、上流での総流出土砂量約15,800m<sup>3</sup>のうち、およそ半分の土砂（8,330m<sup>3</sup>）が寺山橋近傍に堆積したと思われる。



**図 6.3.10** 榎川下流の住宅地の堆積（右図地域住民より提供）

**表 6.3.1** 下流への推定堆積土砂量

| 場所         | 距離, 面積                | 体積                   |
|------------|-----------------------|----------------------|
| 榎川の河道の堆積土砂 | 150m                  | 4,750 m <sup>3</sup> |
| 山田川河道の堆積土砂 | 50m                   | 880 m <sup>3</sup>   |
| 住宅地への堆積土砂  | 10,000 m <sup>2</sup> | 2,700 m <sup>3</sup> |
| 計          |                       | 8,330 m <sup>3</sup> |

#### b) 扇状地への巨礫の流下について

みくまり病院での動画や、みくまり病院の上流部に住む方から提供された動画から巨礫が表面に浮いて流れている様子が確認できた（**図 6.3.11**）。動画から流下速度を推定すると、この巨礫は流木と同じ速度（6~7m/s）で流下していた。例えば、この巨礫が1m<sup>3</sup>の大きさだと仮定すると質量は約2,600kgとなり、その巨礫を容易に流すエネルギーを土石流が保持していたことになる。なおヒアリングによるとピーク時ではこの倍程度の流速で1.7m

の巨礫が流下している様子が住民によって確認されていた（この巨石は下流の橋梁に捕捉されているのを現地調査でも確認）。これらの巨石の破壊力は非常に大きいため、被害を拡大する要因となる可能性が高い。上流の砂防堰堤などで巨礫の捕捉ができなかった場合、容易に下流まで流下することができ、速い速度で住宅地に流出する恐れがあることが今回の災害で判明した。



図 6.3.11 流木と絡まりながら同じ速度で流下する巨礫群（住民提供）

#### c) 全体の土石流の収支に関する考察

崩壊箇所から氾濫箇所までの土石流の収支について考察する。これまでの調査結果及び考察から得られた各箇所での土砂量・流量について図 6.3.12 に整理した。斜面崩壊によって発生した約 15,000m<sup>3</sup> 土石流は河岸侵食や砂防堰堤を破堤させるなどして流量を大きくし、総流出土砂量約 15,800m<sup>3</sup>（+水 9,000m<sup>3</sup>+ $\alpha$  ?）となって、土砂と水との交換を繰り返しながら下流へ流下した。動画観測地点では約 24,800m<sup>3</sup> の土石流（水+土砂）が流れているのが確認できており、下流氾濫箇所（寺山橋近傍）の堆積土砂量はおおむね 8,300m<sup>3</sup>であった。動画撮影地点を通過したすべての土砂が、寺山橋近傍に堆積したと仮定すると、通過した土石流の土砂濃度は約 33.5%（8,300/24,800×100=33.5%）となる。また、上流については 15,800m<sup>3</sup>のうち 8,300m<sup>3</sup>が砂防堰堤より下流に流下したとすれば、残りの約 7,500 m<sup>3</sup>は砂防堰堤で捕捉されたことになる。さらに、動画撮影地点を流下した流量 24,800m<sup>3</sup>のうち 8300m<sup>3</sup>が土砂とすれば、少なくともものこり 16500m<sup>3</sup>以上の水が上流区間（最上流の崩壊部近傍～砂防堰堤まで）に存在していなければならない。しかしながら、現地踏査では明瞭かつ大規模な天然ダムが形成されていた痕跡が確認できなかったことから、斜面崩壊箇所近傍に崩壊前から湛水があったこと、堰堤や道路横過部などに一定量の湛水があったこと、小規模な天然ダム等が複数存在していた可能性が高いとおもわれる。最上流部の土砂崩壊によって発生した土石流は、途中で存在した湛水域や崩壊土砂中に含まれていた水分を取り込みながら流動化し、土砂と水の交換を行いながら、最終的には土砂濃度 30%程度の土砂流となり下流の扇状地まで流下したものである。

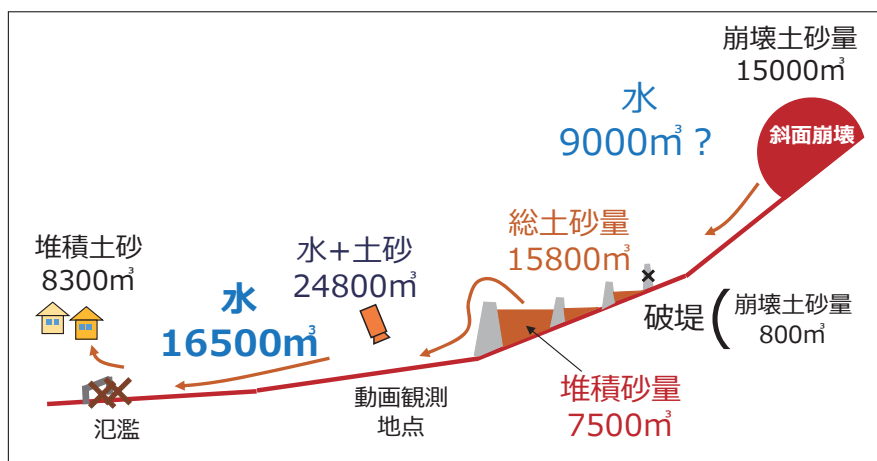


図 6.3.12 上流箇所から下流までの土石流の収支

### 6.3.5 結論

今回、平成 30 年 7 月豪雨の降雨終了後に発生した緩勾配まで流下した土石流について、土石流開始から終了まで記録している動画をもとに、河道形状調査、ヒアリング調査、土石流痕跡調査、IRIC 解析を行い、その特徴を詳しく明らかにした。

今回の土石流は単一の斜面崩壊から発生した土石流であった。斜面崩壊箇所の流出土砂は約 15,000m<sup>3</sup>、総流出土砂は約 15,800m<sup>3</sup>と見積もられた。動画解析から、下流へ流下した土石流は 8 分程度で終了するような土石流であり、総流量は約 24,800 m<sup>3</sup>であったことがわかった。流下物は粒径の小さい土砂がほとんどであったが、中には 0.3~1.7m の巨礫の堆積もみられた。土砂に比べ、流木が非常に少なかった。今回の土石流は流下した勾配や堆積状況から土砂流と位置付けることができ、土砂濃度は 30%程度になることが推測された。氾濫箇所は勾配の変化点であり、急激に緩やかになったことで流木に橋梁が閉塞し、氾濫したと示唆された。動画からは巨礫が速い速度ではねながら流下する様子も確認でき、改めて下流へ流下する巨礫の危険性が示された。本研究から、勾配の変化点での橋梁等の横断構造物設置については流木や土石流の影響を考慮する必要があること、砂防領域（治山堰堤・砂防堰堤）で捕捉しきれない巨礫や土砂に関して、河川分野で捕捉できる対策を行う必要があるということが今後の重要課題であることが示された。

### 6.3.6 謝辞

災害時の動画を提供して下さった社会福祉法人広島厚生事業協会府中みくまり病院様には厚く御礼申し上げます。ご提供いただいた動画が、土石流の特徴を詳しく把握するうえで大変大きな手がかかりとなりました。また、災害直後で大変な中、現地の災害情報を詳しく教えて下さった府中町役場の方々、工事作業員の方々、榎川流域に在住の皆様にご心より感謝申し上げます。ヒアリングに快くご協力いただいたばかりでなく、写真や動画を提供して下さり、本当にありがとうございました。

(林博徳, 大野琢摩, 田井明)

参考文献：

- 1) 江頭進治, 伊藤隆郭: 土石流の数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 33-43, 2004.
- 2) 江頭進治, 佐藤隆宏, 千代敬三: 砂粒子を高濃度に含む流れに及ぼす粒子径の影響, 京都大学防災研究所年報, No.37, B-2, pp.359-30, 1994.
- 3) 江頭進治, 宮本邦明, 竹林洋史: 崩壊に伴う土石流・泥流の形成と規模の決定機構, 砂防学会誌, 第 68 巻, 第 5 号(通巻 322 号), pp.38-42, 2016.
- 4) 王功輝, 末峯章: 福山市のため池の決壊について (速報), 2018.
- 5) 竹林洋史: 広島市で発生した土石流の数値シミュレーションの事例と対策, 地盤工学会誌, Vol.64, No.4, pp.12-15, 2016.
- 6) 竹林洋史, 江頭進治, 藤田正治: 2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析, 河川技術論文集, Vol.20, pp.391-396, 2014.
- 7) 農林水産省: ため池の被災状況, 2018.
- 8) 農林水産省農村振興局整備部: 平成 30 年 7 月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方, 2018.
- 9) 堀俊和, 泉明良: 平成 30 年 7 月豪雨災害ため池被災調査報告書 (速報) (岡山県太田池, 二子池, 山地下池), 2018.
- 10) 堀俊和, 泉明良: 平成 30 年 7 月豪雨災害ため池被災調査報告書 (速報) (岡山県冠光寺池, 江田池), 2018.
- 11) 吉迫宏, 正田大輔: 平成 30 年 7 月豪雨災害ため池被災調査報告書 (速報) (広島県小池, 勝負迫下池, 半三池, 奥登祖池, 沖登祖池), 2018.
- 12) 和田孝志, 里深好文, 水山高久: 土石流計算における 1 次元・2 次元シミュレーションモデルの結合, 砂防学会誌, Vol. 61, No. 2, pp.36-40, 2008.

## 第7章 避難情報と要配慮者避難

### 7.1 はじめに

平成30年7月豪雨では、1府10県に特別警報が発表され、1府13県で200名以上の死者・行方不明者が発生した。内閣府（2018a）によると、家屋被害は、全壊6,758棟、床上浸水8,567棟、避難所最大避難人数約4.2万人（2018年7月7日）、約8万戸で停電等、甚大な被害が発生した。近年の豪雨災害においてしばしば指摘される事項として、高齢者等の避難行動要支援者の被災がある。この水害においても、**図7.1.1**に示すように、特に70代・80代の死者が多く、倉敷市真備町では一戸建て住宅1階部において高齢者の死者が多くみられたとの報道もあった。

豪雨災害時の情報は、気象庁および地方気象台から防災気象情報、河川管理者からの水位情報等を基礎自治体が判断し、避難情報（「避難準備・高齢者等避難開始」、「避難勧告」、「避難指示（緊急）」）を発表する。これらの情報を住民等が受けることにより、避難など自らの命を守る行動を選択すると考えられる。内閣府（2018a）が広島・岡山・愛媛県の67市町村を対象に実施した調査では、避難勧告等の発令に際し参考にした情報について、多い順に土砂災害警戒情報（99%）、気象注意報・警報（96%）、土砂災害警戒判定メッシュ情報（94%）、降水短時間予報（90%）となっており、テレメータ雨量（54%）、流域平均雨量（24%）、テレメータ水位（57%）など、雨量や水位の情報よりも防災気象情報を基に判断がなされていた（**図7.1.2**）。

以上より、本章では**7.2**において、防災気象情報発表と3つの避難情報発令との関係について分析する。対象地域は、特別警報が発表された都道府県および隣接県を含めた17府県（岐阜県、兵庫県、京都府、中国地方全5県、四国全4県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、大分県）である。これらの府県に発表された、大雨（注意報・警報・特別警報）、洪水（注意報・警報）、土砂災害警戒情報、の時空間分布、各市区町村から発令された避難情報3区分の時空間分布を整理・考察する。次に、高齢者等要配慮者が避難するタイミングである「避難準備・高齢者等避難開始」情報の発令に着目し、発令の有無および避難勧告までの時間について分析を行う。

**7.3**では、「避難準備・高齢者等避難開始」情報は、健常者よりも長く避難時間を要する人のための情報であるとともに、要配慮者利用施設においても利用される情報であること、過去の水害では要配慮者利用施設の被災が数多くあったことより、この災害での被災状況を整理する。その上で、被災施設へのヒアリングおよび山口県内の施設における当時の対応状況に関するアンケート調査結果について報告する。

なお、気象庁では一連の大雨の期間を6月28日から7月8日までとしているが、ここで

は特に被害が集中した7月5日から8日を対象として分析を行うこととする。

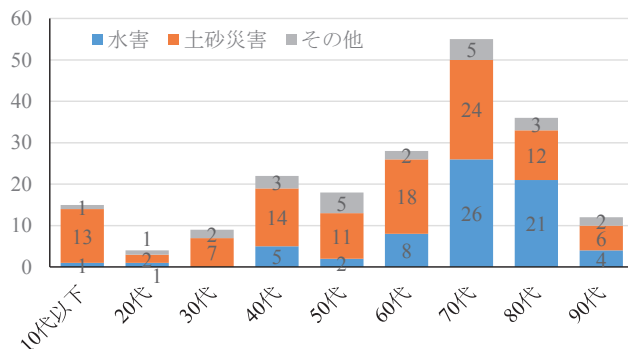


図 7.1.1 広島・岡山・愛媛県における年代別死者数（内閣府 2018b）

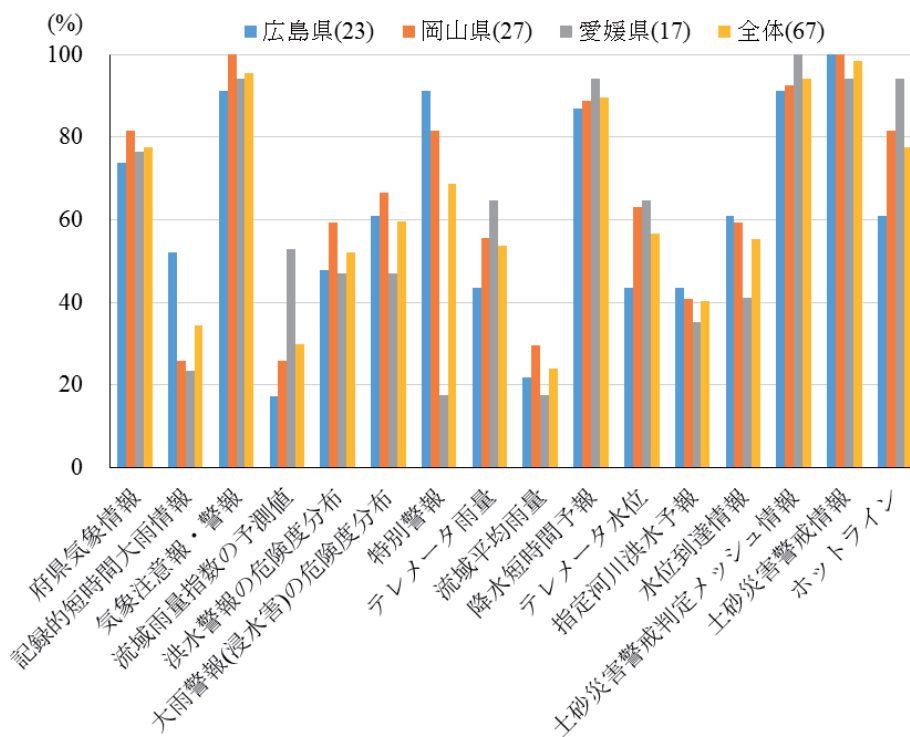


図 7.1.2 避難勧告等の発令に際し参考にした情報（内閣府 2018a）



## 7.2 防災気象情報と避難情報の関連分析

### 7.2.1 防災気象情報の発表状況

対象期間中に発表された気象注意報・警報等を時系列で整理し、GIS データベースを作成した。多くの被害が発生したと考えられる7日8時の時点での気象情報発表状況を**図 7.2.1**～**図 7.2.3**に示す。同様の図を5日0時～8日23時の期間、計96枚作成した。対象期間中の防災気象情報別発表市区町村数を**表 7.2.1**に示す。全519の内、503市区町村で警報以上の気象情報が発表されていた。日時別の発表状況を**図 7.2.4**に示す。これより、6日夕方から深夜にかけて大雨警報が大雨特別警報に切り替えられ、7日の朝に大雨特別警報および土砂災害警戒情報の発表がピークを迎えている。

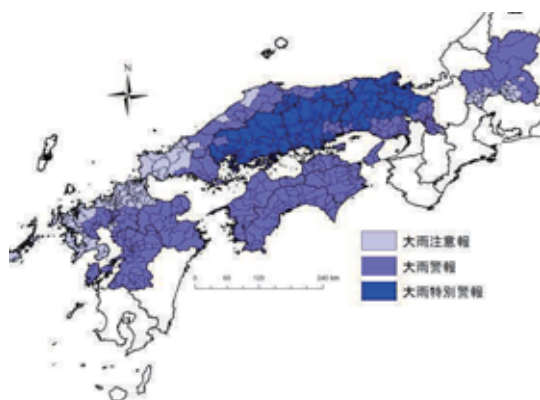


図 7.2.1 大雨に関する気象情報

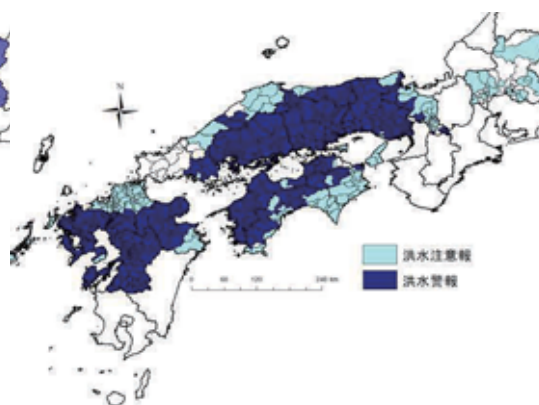


図 7.2.2 洪水に関する気象情報



図 7.2.3 土砂災害警戒情報

表 7.2.1 防災気象情報発表市区町村数

| 防災気象情報               | 市区町村数 |
|----------------------|-------|
| なし                   | 16    |
| 大雨警報                 | 35    |
| 洪水警報                 | 3     |
| 大雨警報・洪水警報            | 62    |
| 大雨特別警報・洪水警報          | 3     |
| 大雨警報・土砂災害警戒情報        | 17    |
| 洪水警報・土砂災害警戒情報        | 7     |
| 大雨警報・洪水警報・土砂災害警戒情報   | 178   |
| 大雨特別警報・土砂災害警戒情報      | 1     |
| 大雨特別警報・洪水警報・土砂災害警戒情報 | 197   |

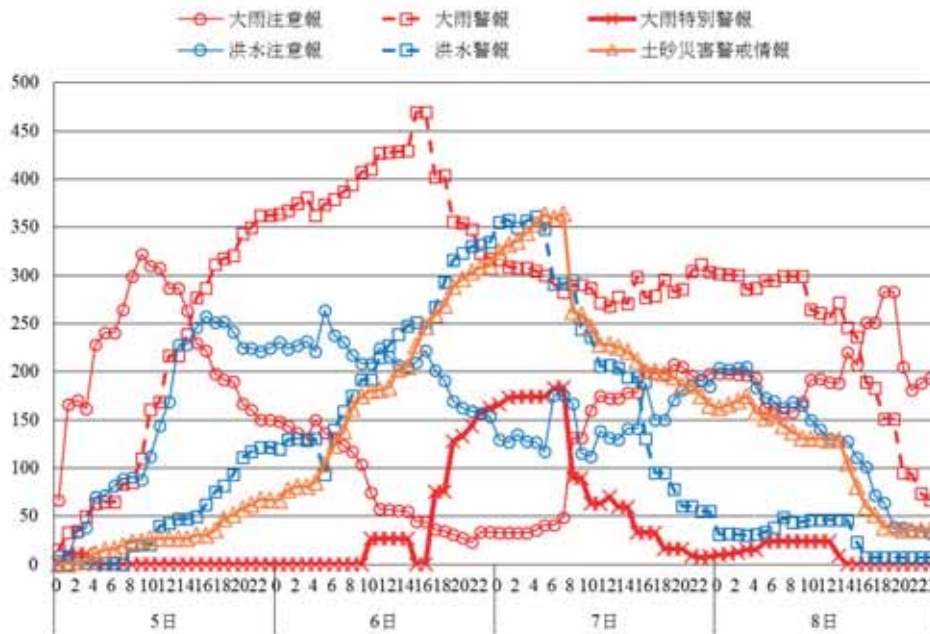


図 7.2.4 防災気象情報の発表状況

### 7.2.2 避難情報の発表状況

ここではまず、各市町村が発令した避難情報についてまとめる。Lアラートが導入されている自治体においてはこの情報を用いて整理し、導入されていない福岡県においては、同県発表資料（福岡県，2018）を用いて整理することとした。図 7.2.1 と同時刻における避難情報の発令状況を図 7.2.5 に示すとともに、発令の時系列を図 7.2.6 に示す。三橋ら(2018)は、行政の避難情報に対する空間信頼性が住民の避難行動に与える影響を指摘していることを考慮し、ここでは自治体全域と一部区域とに分けて整理を行った。図 7.2.5 より、広島県および福岡県において自治体全域を対象とした避難情報の発令が多いことが分かる。図 7.2.6 より 6 日夕刻より避難指示が増加し、7 日の朝にピークを迎えていることが分かる。

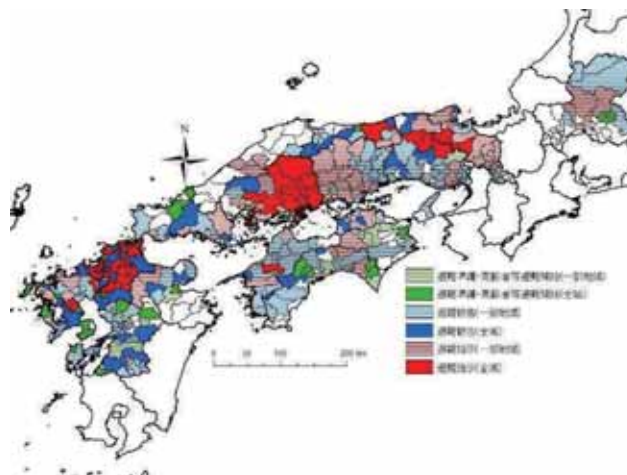


図 7.2.5 避難情報の発令状況（7 日 8 時）

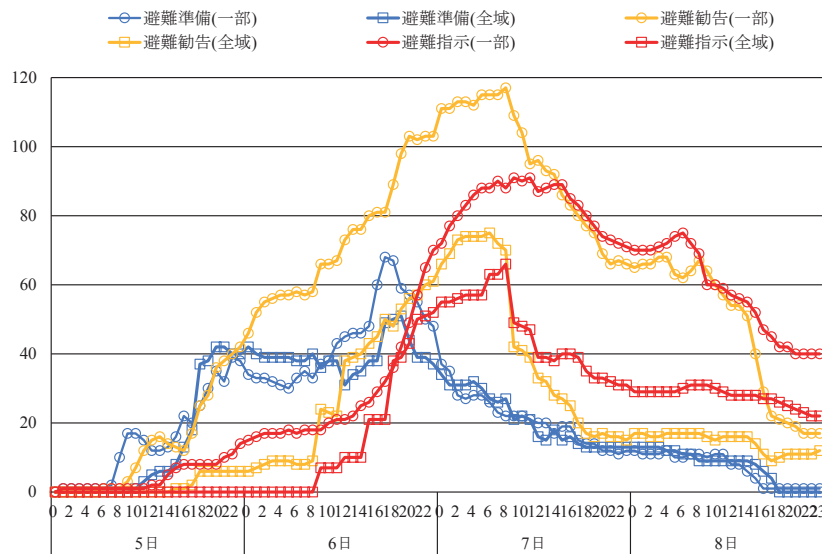


図 7.2.6 避難情報発令の推移

次に、初めに発令された避難情報を図 7.2.7、最高レベルの避難情報を図 7.2.8、各避難情報の発令順を図 7.2.9 に示す。雨の降り方等にも依るが、多くの市区町村で最初から避難指示等最高レベルの避難情報が発令されていることが分かる。

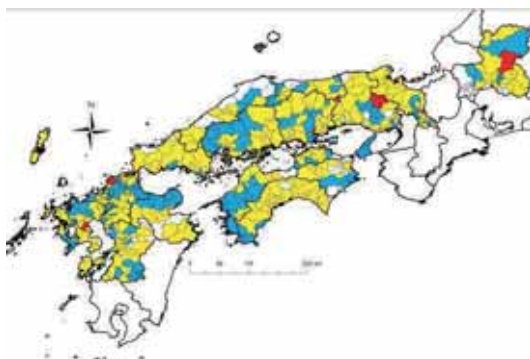


図 7.2.7 初めに発された避難情報

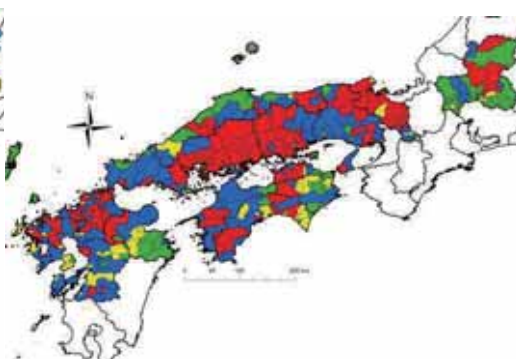


図 7.2.8 最高レベルの避難情報



図 7.2.9 避難情報の発令順

### 7.2.3 防災気象情報と避難情報の関係

ここでは市区町村ごとの大雨警報，洪水警報，土砂災害警戒情報発表を基準として，避難準備・高齢者等避難開始，避難勧告，避難指示の情報がいつ発表されたかを示す。上述したように，ほとんどの市区町村では防災気象情報を活用して避難情報を発表しており，その活用状況を時間軸で整理するものである。横軸の値は各防災気象情報が発表された前後何時間で避難情報が発表されたかを意味している。これらより，大雨警報では殆ど対応されず，洪水警報発表後に避難準備・高齢者等避難開始，もしくは避難勧告が発令されていることが分かる。また，土砂災害警戒情報が発表されると2時間以内に約50%の基礎自治体で何らかの避難情報を出している。

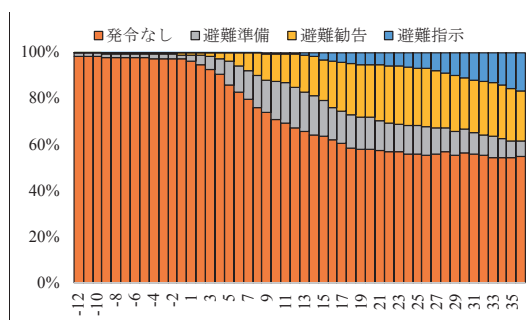


図 7.2.10 大雨警報発表と避難情報

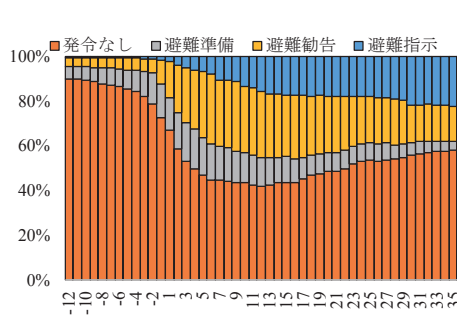


図 7.2.11 洪水警報発表と避難情報

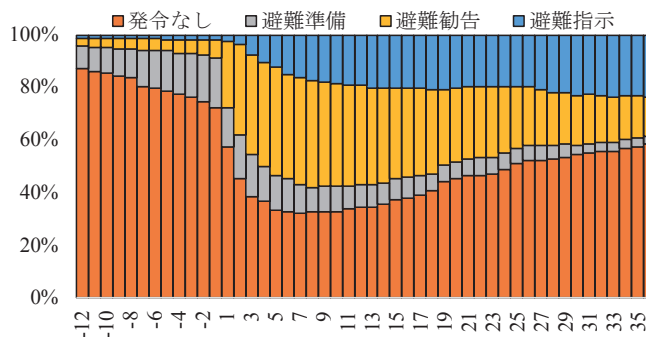


図 7.2.12 土砂災害警戒情報と避難情報

表 7.2.2 防災気象情報と避難情報の関係

| 防災気象情報               | なし | 準備 | 準備・勧告 | 準備・指示 | 準備・勧告・指示 | 勧告 | 勧告・指示 | 指示 |
|----------------------|----|----|-------|-------|----------|----|-------|----|
| なし                   | 15 | 0  | 1     | 0     | 0        | 0  | 0     | 0  |
| 大雨警報                 | 27 | 6  | 0     | 0     | 0        | 2  | 0     | 0  |
| 洪水警報                 | 2  | 1  | 0     | 0     | 0        | 0  | 0     | 0  |
| 大雨警報・洪水警報            | 27 | 15 | 6     | 0     | 2        | 6  | 2     | 0  |
| 大雨特別警報・洪水警報          | 0  | 0  | 0     | 0     | 1        | 0  | 1     | 0  |
| 大雨警報・土砂災害警戒情報        | 6  | 1  | 5     | 0     | 0        | 3  | 2     | 0  |
| 洪水警報・土砂災害警戒情報        | 0  | 0  | 1     | 1     | 1        | 3  | 0     | 1  |
| 大雨警報・洪水警報・土砂災害警戒情報   | 16 | 17 | 52    | 2     | 32       | 38 | 13    | 3  |
| 大雨特別警報・土砂災害警戒情報      | 0  | 0  | 1     | 0     | 0        | 0  | 0     | 0  |
| 大雨特別警報・洪水警報・土砂災害警戒情報 | 3  | 4  | 25    | 7     | 45       | 22 | 24    | 5  |

防災気象情報の発表レベルと避難情報の発令レベルの関係を表 7.2.2 に示す。これより、大雨特別警報が発表されても避難に関する情報を一切出していない市区町村もあることが分かる。また、大雨と洪水警報の両方が出された時に避難準備・高齢者等避難開始、これらに土砂災害警戒情報や特別警報が加わった時に避難勧告が発表されていると見ることが出来る。また、避難行動要支援者が避難を開始するタイミングとされる避難準備・高齢者等避難開始については、警報以上が発表された 503 市区町村の 28%しか活用されていなかった。図 7.2.13 に示すように、この情報を発令した市区町村でも、勧告発令との時間差が 1 時間未満は 17 市区町村であり、1/3 が 3 時間未満となっている。

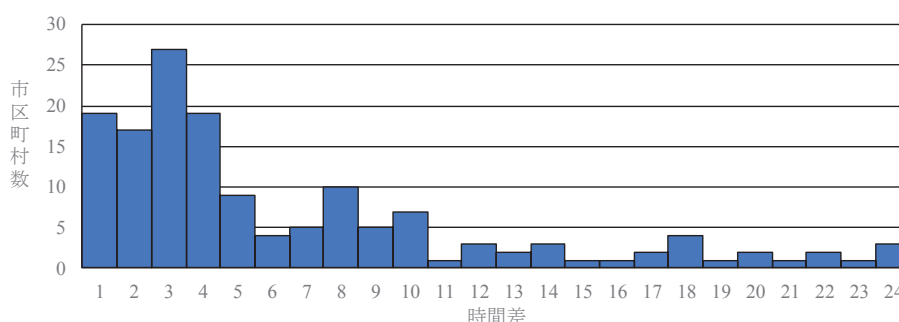


図 7.2.13 避難準備・高齢者等避難開始と避難勧告の時間差

### 7.3 要配慮者利用施設の被災と避難状況

ここでは避難行動要支援者の内、要配慮者利用施設に着目して被害状況および課題等について示す。内閣府（2019）によると、全国で 276 の高齢者関係施設で床上浸水などの被害が発生しており、本稿の対象府県だけでも 258 施設が被害を受けている。

山口県内の浸水想定区域に存在する高齢者福祉 150 施設に対し、この災害時の対応に関するアンケート調査を実施した。回収数は 76 であり、回収率は 50.7%である。まず、今回の災害において水平避難（施設外避難）をしたのは 4 施設、垂直避難が 7 施設であり、63 施設が避難していなかった。避難した理由およびしなかった理由を図 7.3.1 および図 7.3.2 に示す。避難準備・高齢者等避難開始が発令されたのみで避難をした施設は 3 施設、避難

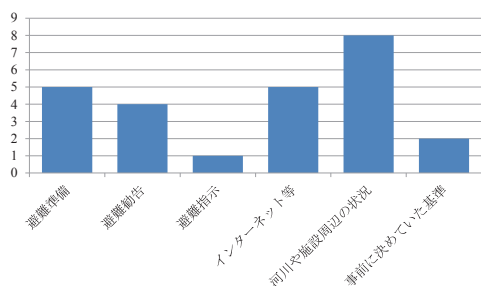


図 7.3.1 避難した理由

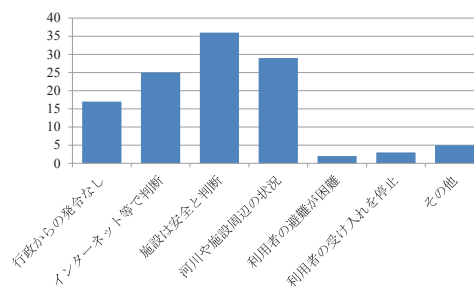


図 7.3.2 避難しなかった理由

準備・高齢者等避難開始が発令を選択した残りの 2 施設は、報道やインターネットを通じて危険と判断した、または河川や施設周辺の状況を実際に確認して危険と判断を選択していた。

避難しなかった理由で最も多いものは、施設がある場所は安全と判断したからであった。次いで、河川や施設周辺の状況を実際に確認して危険性は少ないと判断していた。いずれも行政情報ではなく、自らの危険性がないと判断していた。このアンケート調査は浸水想定区域内の施設のみに配布しており、危険性が伝わっていないということである。

避難した施設に対し、避難に要した時間の回答結果を表 7.3.1 に示す。

**表 7.3.1 高齢者福祉施設避難時間と避難方法**

| No. | 避難時間      | 避難方法       | 施設利用者数 |
|-----|-----------|------------|--------|
| 1   | 15 分      | 垂直避難       | 29 名   |
| 2   | 40 分      | 垂直避難・施設外避難 | 9 名    |
| 3   | 29 分      | 垂直避難       | 18 名   |
| 4   | 5 分       | 垂直避難       | 50 名   |
| 5   | 1 時間      | 垂直避難       | 18 名   |
| 6   | 40 分      | 垂直避難       | 92 名   |
| 7   | 20 分      | 施設外避難      | 18 名   |
| 8   | 2 時間 30 分 | 施設外避難      | 145 名  |
| 9   | 1 時間      | 施設外避難      | 9 名    |
| 10  | 30 分      | 施設外避難      | 9 名    |
| 11  | 20 分      | 垂直避難       | 18 名   |
| 12  | 15 分      | 垂直避難       | 125 名  |

大規模な施設においては 2 時間以上を要しており、このことは避難準備・高齢者等避難開始の発令において考慮すべき時間だと考えられる。また、避難を実施した全ての施設が水害避難計画を策定しており、11 施設が避難訓練を実施していた。施設外避難の方が車に利用者を乗せたり、避難所までの移動で垂直避難よりも時間が掛かったりすることが考えられる。No.3 と No.7 の利用者数は同じであり、前者は垂直避難、後者は施設外へ避難している。しかし、No.7 の方が避難時間は短くなっている。この施設の自由記述欄には訓練の成果が出たと記されていた。また、No.5 では垂直避難に 1 時間を要している。他の施設および広島県内施設でのヒアリング調査結果より、夜中は施設の職員数が少なく対応が困難であったこと、職員の参集が難しかったことなどが指摘されていた。

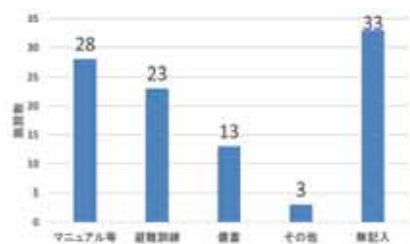


図 7.3.3 役立った取り組み

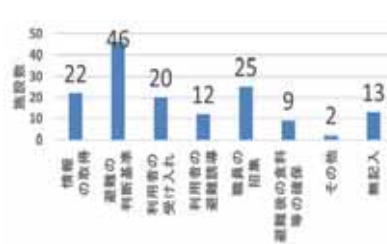


図 7.3.4 困難を感じたこと

災害を経験して、これまでの取り組みで役立ったことを図 7.3.3、困難を感じたことを図 7.3.4 に示す。これらより、マニュアルや訓練の実施が役立ったと回答しており、要配慮者利用施設避難確保計画の策定が必要だといえる。一方で避難の判断基準の設定に多くの施設で困っているということが分かる。前節で示したように、避難準備・高齢者等避難開始情報が十分に活用されていないことが、要配慮者利用施設の避難にも影響していることが考えられる。兵庫県の施設へのヒアリングでは、大雨が予想される時点で情報収集を開始し、避難準備・高齢者等避難開始の情報が発令された時点ですぐに地域の避難所への避難を開始していた。さらに、通常食が食べられない高齢者が多いことより、同じタイミングで調理も開始していた。このことは事前からマニュアルで示されていることであり、この情報が発令されることを施設が認識し、かつ自治体が適切に運用できれば、非常に有益な情報である。

山口県内で実際に避難をした施設では、11 施設が施設職員の招集、8 施設が災害に関する情報の取得・避難の判断基準、5 施設が避難後の食料や飲料の確保、4 施設が利用者の避難誘導、3 施設が利用者の受け入れを停止すべきかの判断が難しいと回答していた。山口県では、早朝に水害が発生した為、職員の招集が困難だったと考えられる。

## 7.4 おわりに

本章では防災気象情報の発表と避難情報の発令の関係を分析するとともに、要配慮者利用施設における避難の実態と課題について述べた。これらより、多くの基礎自治体において土砂災害警戒情報が重要な役割を果たしていることが分かった。一方で、避難準備・高齢者等避難開始情報が活用されていないことも示された。このことが要配慮者利用施設における避難判断の困難さを生み出す一因ともなっていると考えられる。

なお、本章での分析では土壌雨量指数や河川水位等の情報は考慮できていないこと、市町村の地域防災計画やマニュアル記載事項を考慮できておらず、これらは今後の課題とする。

(神谷大介・榊原弘之・吉田護)



参考文献：

- 1) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について（報告），2018a.
- 2) 内閣府 平成 30 年 7 月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関するワーキンググループ：平成 30 年 7 月豪雨の概要，第 1 回ワーキング資料，2018b.
- 3) 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），2019.
- 4) 福岡県：7 月 5 日の大雨に関する情報，2018.
- 5) 三橋洸道，神谷大介，吉田護，峰翔太，柿本竜治，赤松良久，二瓶泰雄：複数情報源に着目した避難意図醸成のための要因分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.74，No.4，pp.275-286，2018.

## 第8章 調査から得られた課題と提言

2018年7月5日から8日にかけて西日本に梅雨前線が停滞し、西日本各地に大雨をもたらした。全国の約1300箇所のアメダス観測所のうち、24時間降水量は77地点、48時間降水量は125地点、72時間降水量は123地点で観測史上第1位となった。この未曾有の豪雨により、岡山県、広島県、愛媛県を始め西日本の1府10県で特別警報が発令された。河川の氾濫、土石流等が西日本の広域にわたって多発し、死者224名、行方不明者8名、住家の全半壊等21,460棟、住家浸水30,439棟の極めて甚大な被害となった。土木学会の水工学委員会では、発災後直ちに2018年7月西日本豪雨災害調査団（中国地区）を結成し、災害の要因の解明や今後の防災・減災に資するための調査を実施した。調査により得られた数々の知見・教訓を元に、今次水害の課題を整理し、今後の防災・減災・免災に向けての提言として以下に提示する。今後、地球温暖化の影響により短周期で繰り返されることが予測される大規模水害に備えるための一助となることを期待する。

### 1. 事前に被害の予測ができるか。

- ・岡山県の管理河川では今次洪水で堤防が決壊した16箇所の内、重要水防箇所に指定されていたのはわずか3箇所であった。5mを超える浸水が生じ、多数の尊い人命が失われた真備地区の小田川の3支川は何れも重要水防箇所に指定されていなかった。事前に危険箇所を抽出できるしくみを早急に構築する必要がある。そのために、従来の200m間隔の縦横断データでは十分ではないため、LP、ALB、UAVを用いて、大河川のみならず被災ポテンシャルの高い中小河川の河道の土砂堆積状況や樹木の繁茂状況を面的に捉えてデータベースとして整備するとともに、堤防天端をベクトルデータベースとして整備して公開する必要がある。これらのデータを各機関が共有し、洪水解析を行うことで河川の弱点を見出し、事前の堤防強化、土地規制、早めの避難などに役立てる必要がある。
- ・流域内規模の降雨の偏在性を考慮に入れた細密な時空間分解能の降雨予測を行う上で、衛星観測やMPレーダ観測などのデータを活用しながら雲や降雨に関する種々の物理過程を見直すことが望まれる。（今後導入されるメソスケールアンサンブル予報プロダクトの活用も一つの手法として採用が望まれる）
- ・レーダ雨量の精度向上、全国水文地形データの整備に伴い、今後、観測情報の限られた中小河川でも河川流量をリアルタイムで推定できるようになる。河川流量から氾濫危険度の情報に変換するうえで、各河川管理事務所や都道府県が所持する河道の流下能力情報を全国一元的に整備しておくことが望まれる。
- ・長い予測リードタイムを有するアンサンブル気象・洪水予測は、従来の短時間・決定論的な洪水予測とは異なる質の情報を提供し得る。梅雨前線が長時間滞在し続ける、超大型台風が襲来するなど、最悪シナリオの想定も含めてアンサンブル気象予測情報の防災活用について検討を開始すべきである。

## 2. 水害外力の増大にどのように対応するか。

- ・近年地球温暖化の影響と考えられる豪雨災害が全国各地で頻発しており、現況河道について、量的・質的に流下能力を評価し、流下能力を超える洪水外力に対して今後の外力の増大に対応出来る方策を構築する必要がある。
- ・水害外力の増大に伴う河川堤防の決壊に対処するために、延長の長い河川堤防を全てにわたり堤防強化を行うことは容易ではない。そのため、堤防の弱点箇所を抽出し、優先的に強化すべき箇所の選定を行う必要がある。
- ・近年の河川工事では、霞堤や遊水地などの取り入れ口を塞いで、堤防を連続させることが一般的であるが、地球温暖化に伴う極端気象を考えると、洪水流を河道に閉じ込めるのではなく、霞堤や遊水地などの施設を積極的に活用した治水対策が望まれる。
- ・河道の過度な土砂堆積や樹林を適切に管理して、洪水時の水位を下げる必要がある。
- ・治水ダムだけでなく灌漑用ダムや発電専用ダムについても、事前放流など運用の見直しや再開発を行い、水系全体の洪水調節容量を増やすことや、複数のダムの連携により治水効果を高める方策を検討する必要がある。

## 3. 様々な被災形態にどう対応するか。

- ・本川と支川の合流点におけるバックウオーター現象による水位上昇が複数の河川で発生し、多数箇所では堤防が決壊した。本川と支川の合流部ではバックウオーターの影響が及ぶ範囲の堤防を強化する必要がある。
- ・越水が主要因となった決壊が多かったが、一部の決壊箇所では浸透による影響も否定できない箇所もあったため、決壊機構の更なる解明が望まれる。また、対岸が決壊して安心した住民が、住民側の堤防がその後決壊して犠牲になった場合もあったため、両岸が決壊する可能性を否定できないことを認識する必要がある。
- ・上流部からの大量の土砂供給により、河道が埋没するなどして氾濫が発生する土砂・洪水氾濫や、流木が橋脚などに集積することにより氾濫する流木・洪水氾濫など、地球温暖化による外力の増加に対して土砂・流木対策は不可欠である。これらの被害が想定される河川については、通常の河道整備に加えて、砂防施設や河道内で流木や土砂を捕捉・貯留できる「貯木池」「遊砂池」などの複合的な治水施設により防御する必要がある。
- ・洪水に伴って、土砂、流木が生産されるが、砂防施設では捕捉しきれずに河道に流入する土砂量や流木量を精度良く評価し、現況河道の通砂能力や流木の通過能力について検討できる技術を確立する必要がある。

## 4. 被害状況をいかに把握するか。避難情報をいかに的確に出せるか。いかに避難に結びつけるか。

- ・今次洪水では、国管理の小田川の2カ所の決壊に加えて、広島県、岡山県管理の河川堤防が多数箇所では決壊した。堤防が決壊したという情報を速やかに行政が把握できずに避難指示が決壊後に発令されるなどの的確な避難情報を出せない場合もあったため、リアルタイムで浸水の状況を把握できる技術開発が望まれる。特に、堤防決壊に伴う大規模な浸水に対しては、河川水位のモニタリングに加えて、通報やカメラ情報なども含めて氾濫域の浸水に関連する情報を効率的に活用してリアルタイムで被災状況を把握する技術開発が必要である。

- ・外水氾濫だけでなく内水氾濫に対応した避難情報を的確に出すための技術を確立する必要がある。また、避難勧告や避難指示が出されていても避難しなかった方が多数いたため、単に避難勧告や避難指示という言葉だけでなく、具体的にどのような危険が迫っているのか、どの程度の被害が予測されているのかなどきめ細かい情報を提供することで住民の避難に繋げる必要がある。
- ・豪雨発生時に備えて、事前にダムなどの重要治水施設の管理体制と情報ネットワークの強靱化について確認しておく必要がある。
- ・早期避難を住民自ら自発的に出来るように小中学校における防災教育を充実させ地域の防災意識の向上を図るとともに、自主防災組織を中心として要支援者を含めた避難訓練を関係機関が連携して行うことが重要である。
- ・ハザードマップの想定と同様の浸水や土砂災害が生じたにも拘わらず多数の犠牲者が出たため、ハザードマップを開示するだけでなく、単に静的な情報だけでなく、動的な分かり易い手法を取り入れるなど周知・活用するための方策を講じる必要がある。また、ハザードは各地区、個人で異なるので、マイハザードマップ、マイタイムライン、避難カードなどの活用を促進して免災へ繋げる必要がある。

## 5. 連携が取れているか.

- ・河川は上流から下流へと連続しているにも拘わらず国管理と県管理区間があるなど管理が異なっており、連携が十分とれていなかった場合も見られた。管理区間を越えて一元的に河川を俯瞰し、被害を予測できる仕組みを構築する必要がある。
- ・今次洪水では、高梁川と小田川の合流点で多数箇所が決壊して甚大な浸水被害が発生した。合流点から上流の水位観測所では毎時 1.5m 程度の激しい勢いで氾濫危険水位を超える状況が発生していた。その他の多くの堤防決壊箇所においても同様な水位上昇が見られた。鬼怒川水害の際の水海道水位観測所の水位も同様な勢いで氾濫危険水位を超えていた。避難情報の発令においては、当該市町村の水位や被災状況等だけでなく、隣接および上流市町村の情報を収集して、氾濫危険水位をどのような勢いで超えるのか等を総合的に勘案して早めに判断すべきである。
- ・消防の破堤の情報が危機管理の部署に伝わらなかったなど、部署間の連携を密にするとともに、危機管理の部署に状況を適切に判断出来る人材を配置し、的確な避難情報が出せるような体制を構築する必要がある。
- ・要配慮者利用施設の避難および在宅要配慮者の避難誘導においては、日常的な防災と福祉部局の連携が必要である。

(前野詩朗)