

# 平成29年九州北部豪雨を外力とした 赤谷川流域の地表面流と洪水氾濫流 のダイナミック解析

九州工業大学大学院

九州工業大学

九州工業大学大学院 工学府 博士前期課程

元九州工業大学 工学部

九州工業大学大学院 工学府 博士前期課程

准教授

名誉教授

博士前期課程

博士前期課程

○ 重枝 未玲

秋山 壽一郎

王 少博

平井 大己

勝原 亮介

# 九州北部での豪雨災害

・気象庁が”九州北部豪雨”の名称をつけた豪雨

- ①平成21年7月中国・九州北部豪雨  
(7/19~26)
- ②平成24年7月九州北部豪雨  
(7/11~7/14)
- ③平成29年7月九州北部豪雨  
(7/5~6)

その他、九州北部で災害の起きた豪雨

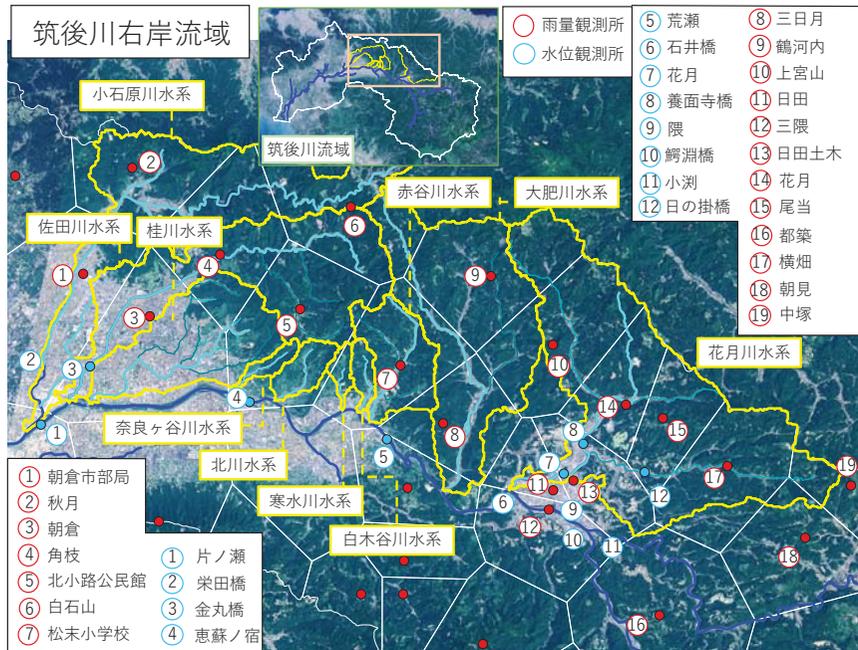
- ・平成15年7月豪雨(7/19-20)
- ・平成24年7月豪雨(7/3)

→ 九州北部では5年間隔程度で豪雨が発生



# 平成29年7月九州北部豪雨災害の概要

## 筑後川中流の右岸流域



地理院地図(国土地理院)を利用

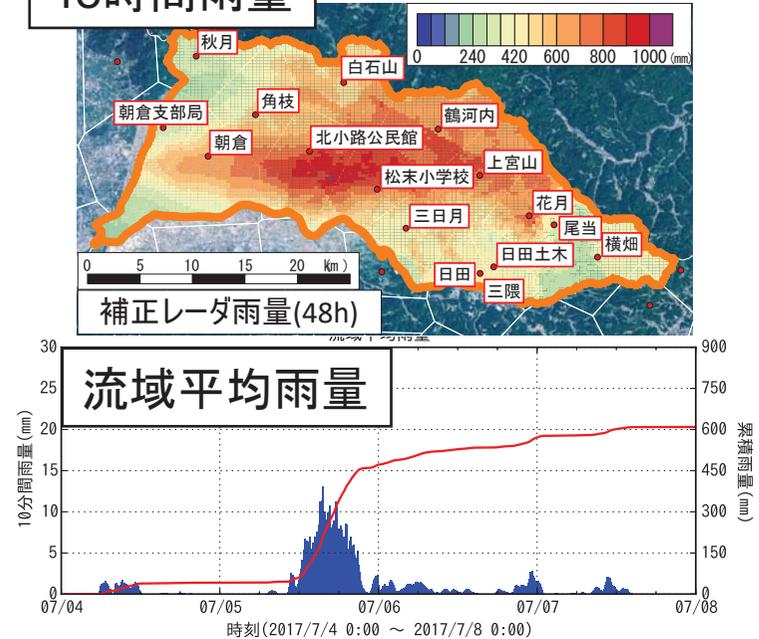
中山間地を貫流する中小河川流域で

水・土砂・流木

の複合災害が発生し、甚大な被害が生じた。

## 降雨の状況

48時間雨量 地理院地図(国土地理院)を利用



- 朝倉, 北小路, 松末, 鶴河内雨量観測所を中心とした豪雨
- 北小路, 松末雨量観測所間では, 3時間雨量で48時間雨量の半分程度の雨量

局地的な短時間豪雨

# 平成29年7月九州北部豪雨災害の被害の概要

地理院地図(国土地理院)を利用



(筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書, 2017)

## 各流域の被害形態

### ・被害形態①

流水による浸水被害

### ・被害形態②

大量の土砂や流木による河道埋塞に伴う流水被害

### ・被害形態③

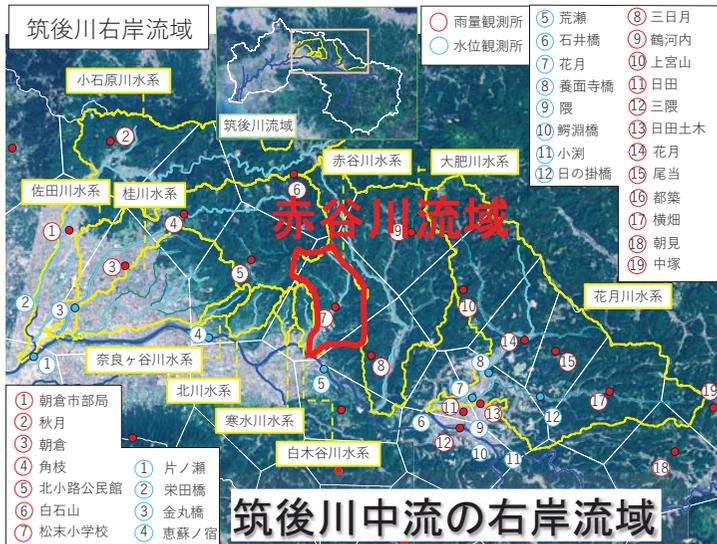
大量の流木が橋梁に集積し、浸水被害

福岡・大分両県で甚大な被害が発生

- ・死者・行方不明者41名
- ・浸水面積1,913ha

# 本研究の背景

## 赤谷川流域での被害状況



赤谷川流域での洪水・土砂・流木災害

国土交通省

平成29年7月九州北部豪雨に関する情報

[http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka\\_ooita-heavyrain.html](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html)



土砂の流出・河道の変動



側岸浸食による家屋の倒壊

中小河川では

- ・洪水到達時間が短く、
- ・河川水位、河川流量に関するデータが少ない場合が多い

降雨量から、斜面崩壊・土石流・洪水氾濫の現象を予め把握し、流域レベルでの複合災害リスクの評価・分析する危機管理対策が重要



## 本研究の内容

---

降雨外力から、水・土砂・流木の挙動を予測し、危機管理対策の策定に供する数値モデルの開発を最終的な目的とし、以下を実施した。

- ① 著者らが開発した降雨流出・洪水氾濫ダイナミック解析モデルに、雨水の**土壌への浸透**を新たに組み込んだ新たなモデルの構築
- ② **平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域**での土壌への浸透、土砂堆積が浸水域や浸水プロセスに及ぼす影響の検討



# 数値モデルの概要 ～土壌との雨水のやりとり～

## 土壌への単位面積当たりの浸透流量

$$f_i = \begin{cases} q_r(t) & \text{if } q_r(t) \leq f_p(t) \\ f_p(t) & \text{if } q_r(t) > f_p(t) \end{cases}$$

ここに、単位面積当たりの流入流量  $q_r = f \cdot R / 3.6 \times 10^{-6}$

$f$ : 流出係数,  $R$ : 降雨強度(mm/h),  $f_p$ : 浸透能(m/s)

## 浸透能の計算 : Green-Ampt式

$$f_p = \{F(t + \Delta t) - F(t)\} / \Delta t$$
$$F(t + \Delta t) - F(t) - \Psi_f \Delta \theta \ln \left( \frac{F(t + \Delta t) + \Psi_f \Delta \theta}{F(t) + \Psi_f \Delta \theta} \right) = K \Delta t$$

$F(t)$ : 時刻 $t$ での累加浸透量(m),  $K$ : 飽和透水係数(m/s)

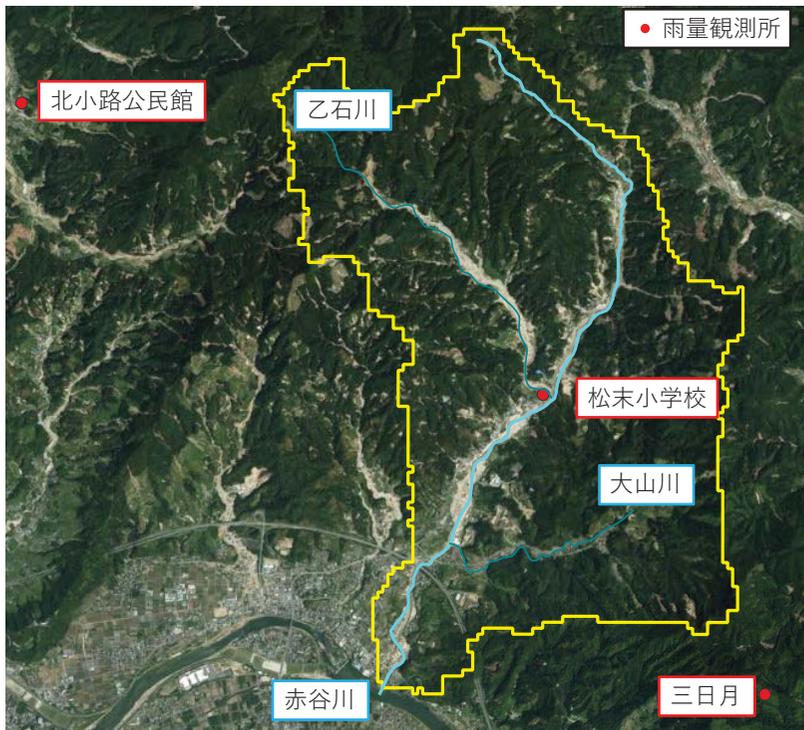
$\Psi_f$ : 濡れ前線付近での土壌吸引圧(m),  $\Delta \theta$ : 空隙率と初期体積含水率の差( $\phi - \theta_I$ )

$\phi$ : 土壌の空隙率,  $\theta_I$ : 初期の体積含水率

なお、土壌には見かけの土層厚 $H_g$ を設定し、累加浸透量 $F$ が土層厚 $H_g$ を超えた場合には  
 $f_p = 0$

# 赤谷川流域への適用 ~流域と豪雨災害の概要~

## 赤谷川流域の概要

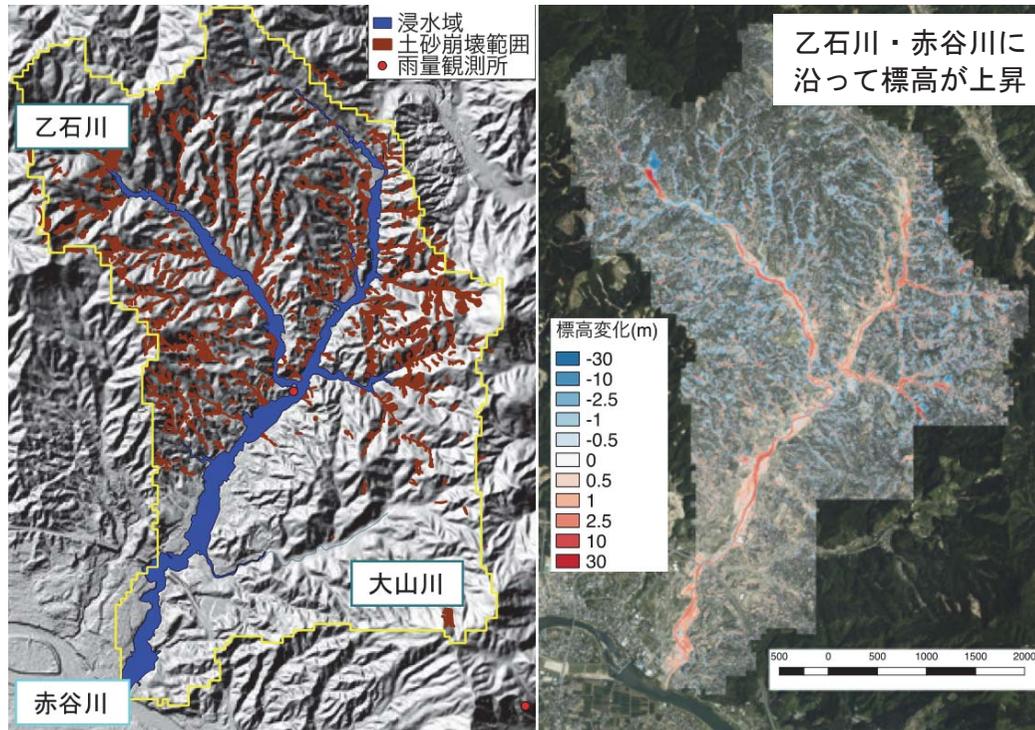


地理院地図(国土地理院)を利用

|      |                     |
|------|---------------------|
| 流域面積 | 20.1km <sup>2</sup> |
| 流路延長 | 15.5km              |

|             |                     |     |
|-------------|---------------------|-----|
| 山林          | 17.7km <sup>2</sup> | 88% |
| 畑・丘陵・放牧地・公園 | 1.4km <sup>2</sup>  | 7%  |
| 水田          | 0.8km <sup>2</sup>  | 4%  |
| 宅地          | 0.2km <sup>2</sup>  | 1%  |

## 赤谷川流域の被害の概要と標高の変化



国土地理院のデータを利用  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, 2017.

地理院地図(国土地理院)を利用

## 被害の概要

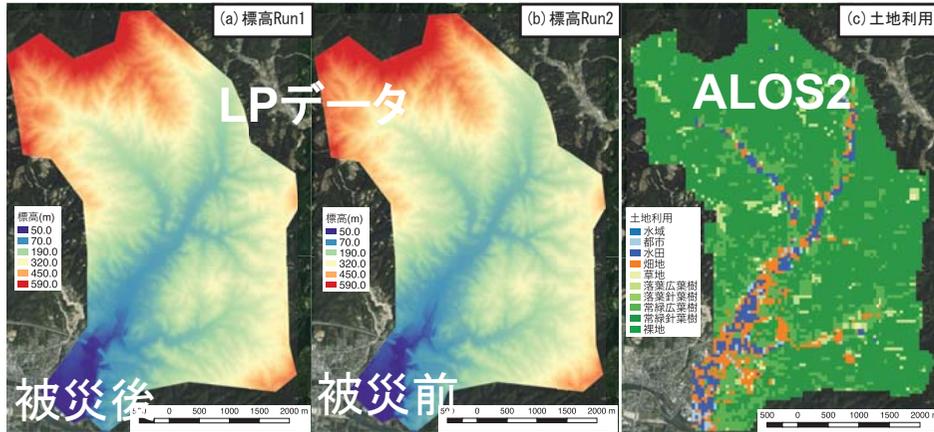
|        |    |                      |
|--------|----|----------------------|
| 浸水面積   |    | 106 ha               |
| 土砂崩壊面積 |    | 0.65 km <sup>2</sup> |
| 浸水家屋数  | 床上 | 26 戸                 |
|        | 床下 | 29 戸                 |
| 家屋損壊数  | 全壊 | 99 戸                 |
|        | 半壊 | 37 戸                 |

# 赤谷川流域への適用 ～解析条件の概要～

## 解析対象時刻

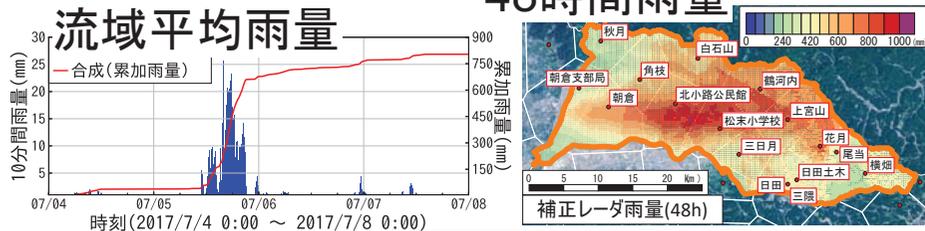
平成29年7月5日7時～6日6時

標高・土地利用データ 地理院地図(国土地理院)を利用



土砂による標高変化は、被災後の標高を用いることで考慮

## 降雨外力



## Green-Ampt式のパラメータ

|                                  |                      |
|----------------------------------|----------------------|
| 飽和透水係数 $K(m/s)$                  | $1.0 \times 10^{-6}$ |
| 濡れ前線付近での土壌吸引圧 $\Psi_f(m)$        | 0.4                  |
| 土壌の空げき率と初期体積含水率の差 $\Delta\theta$ | 0.4                  |
| みかけの土層厚 $H_g(m)$                 | 0.4                  |

## 解析ケース

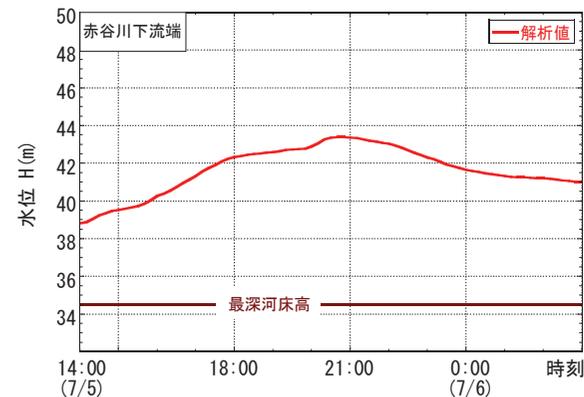
|         | 標高データ | 土壌への浸透     |
|---------|-------|------------|
| Run1-RC | 被災後   | 流出係数       |
| Run1-GA | 被災後   | Green-Ampt |
| Run2-GA | 被災前   | Green-Ampt |

## 粗度係数と流出係数

| 土地利用分類 | 粗度係数 $n$ | 流出係数 $f$ |
|--------|----------|----------|
| 水域     | 0.025    | 1        |
| 都市     | 0.04     | 0.9      |
| 水田     | 0.025    | 0.7      |
| 畑地     | 0.025    | 0.6      |
| 草地     | 0.03     | 0.6      |
| 落葉広葉樹  | 0.06     | 0.7      |
| 落葉針葉樹  | 0.06     | 0.7      |
| 常緑広葉樹  | 0.06     | 0.7      |
| 常緑針葉樹  | 0.06     | 0.7      |
| 裸地     | 0.03     | 0.7      |

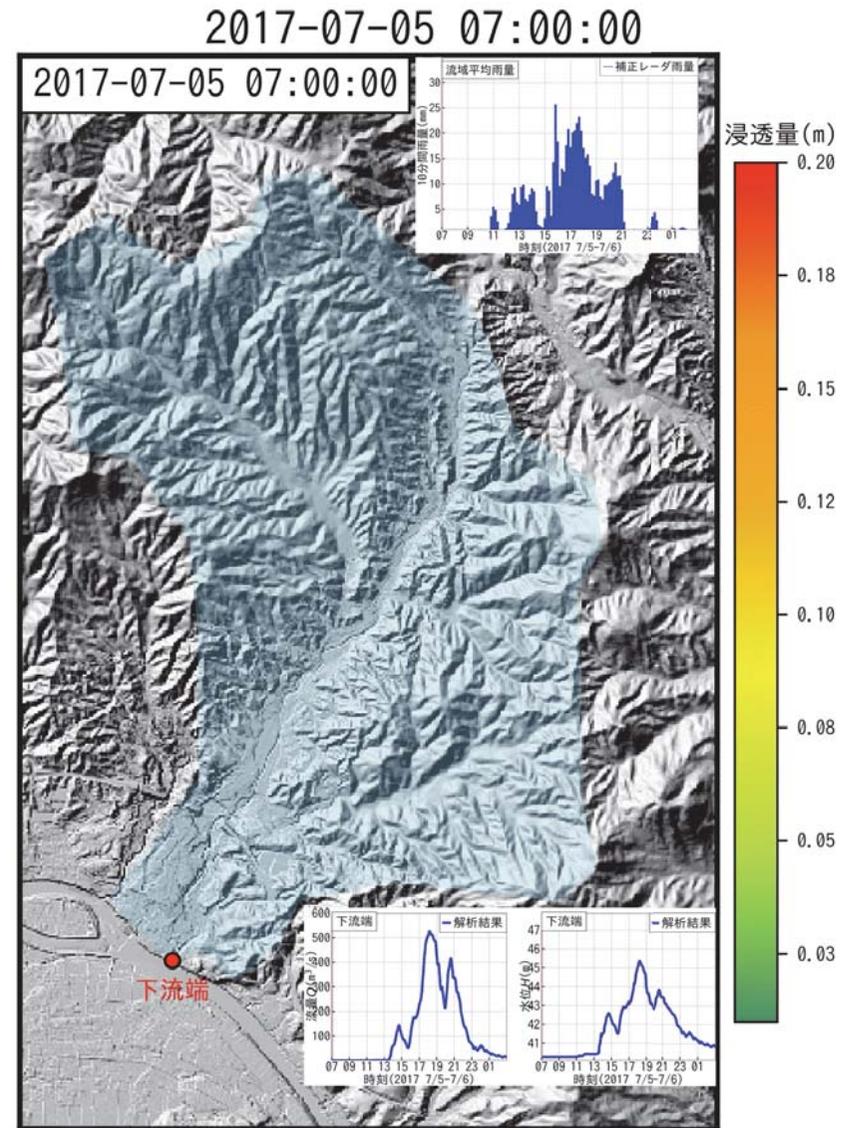
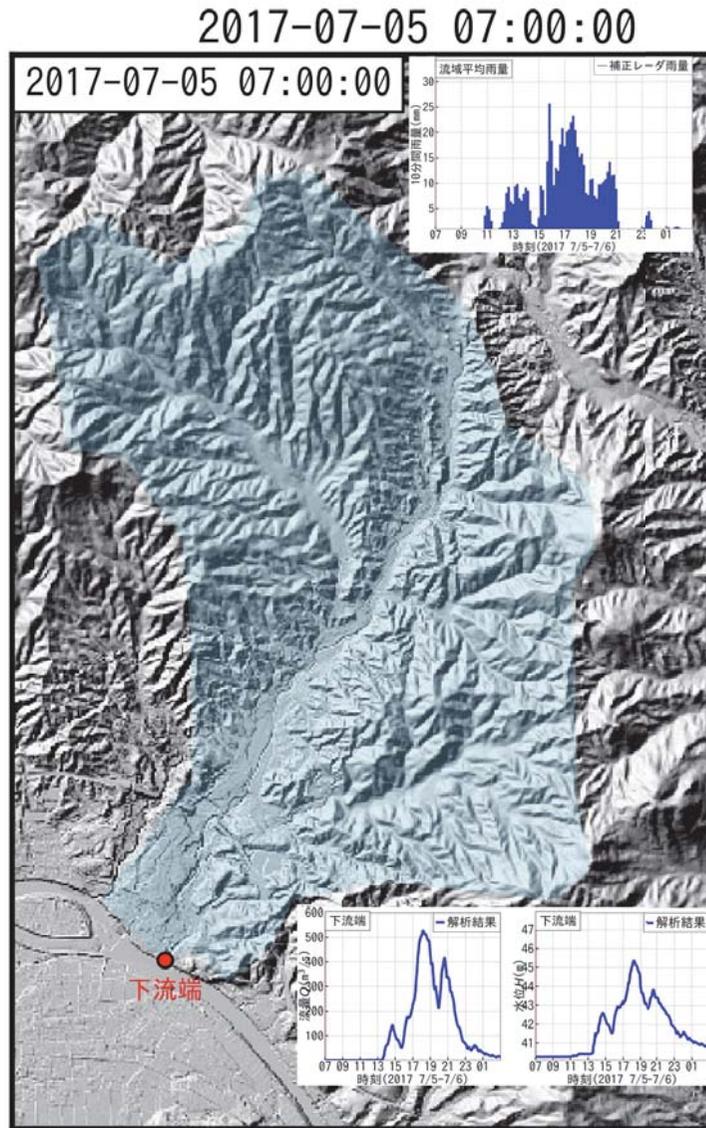
## 下流端水位

筑後川を対象とした1次元河道網  
洪水流解析から得られた水位



# 赤谷川流域への適用

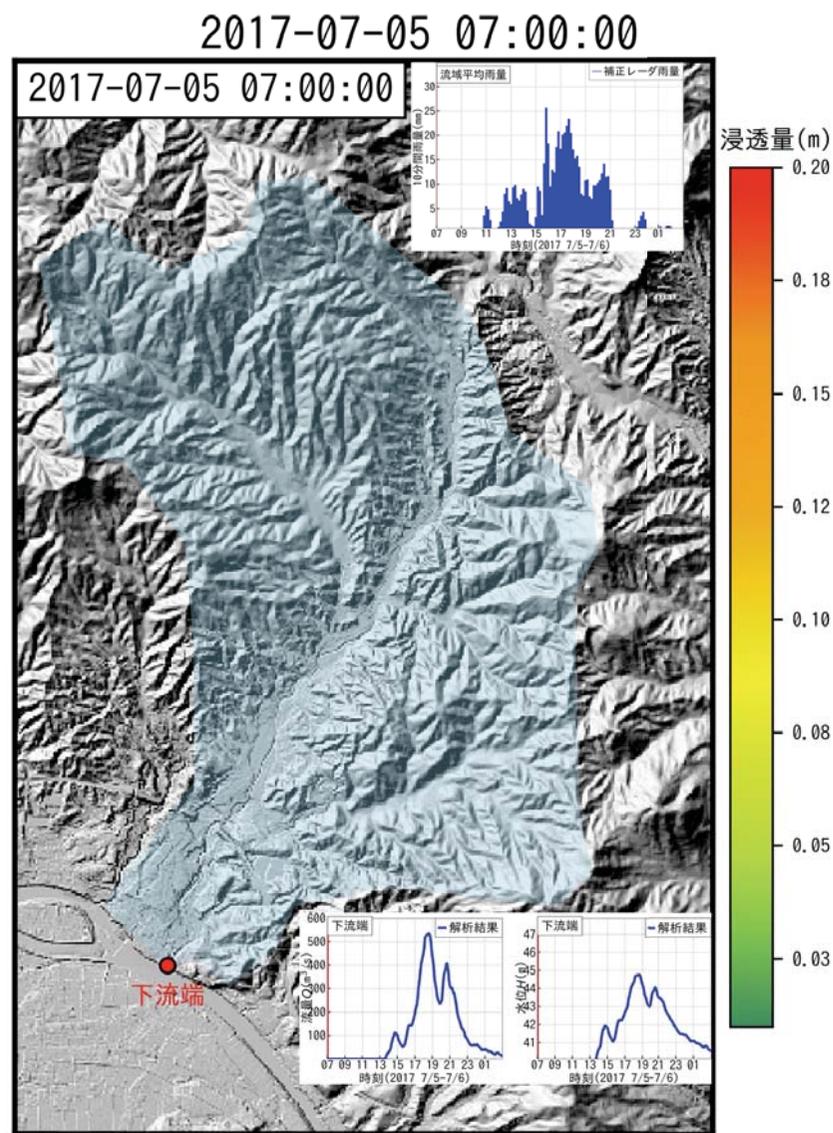
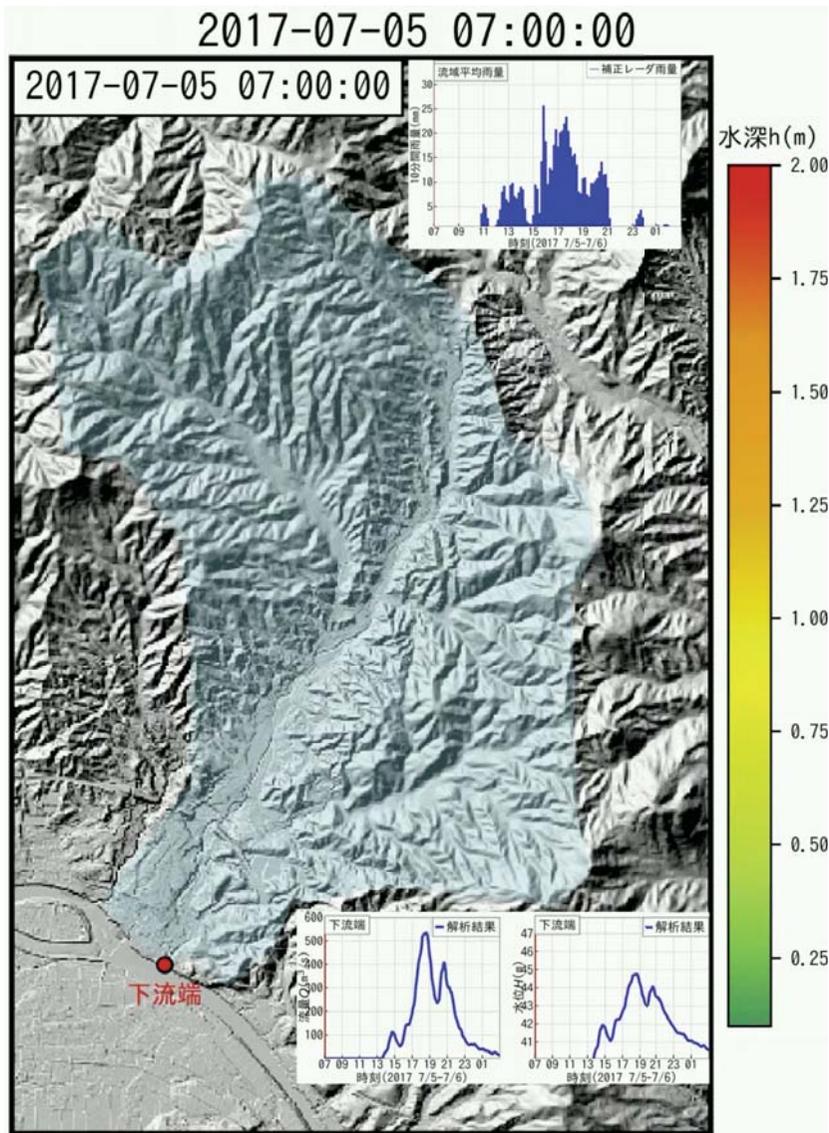
～結果と考察: Run1-GA(被災後の標高)のプロセス～



地理院地図(国土地理院)を利用

# 赤谷川流域への適用

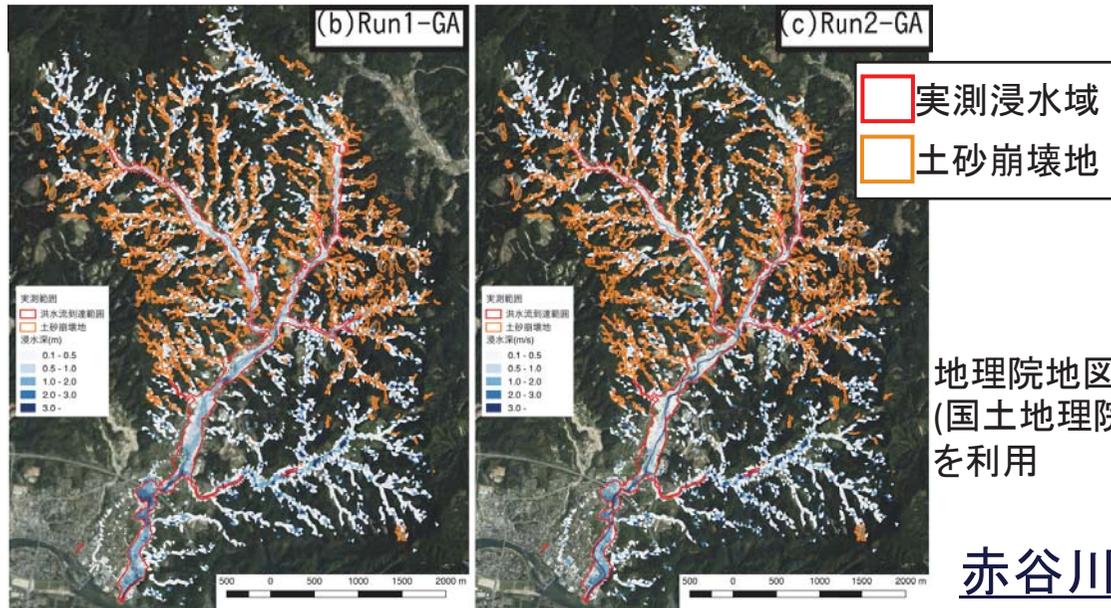
～結果と考察: Run2(被災前の標高)のプロセス～



# 赤谷川流域への適用

～結果と考察:モデルの再現性の確認～

## 最大浸水深と実測浸水域との比較

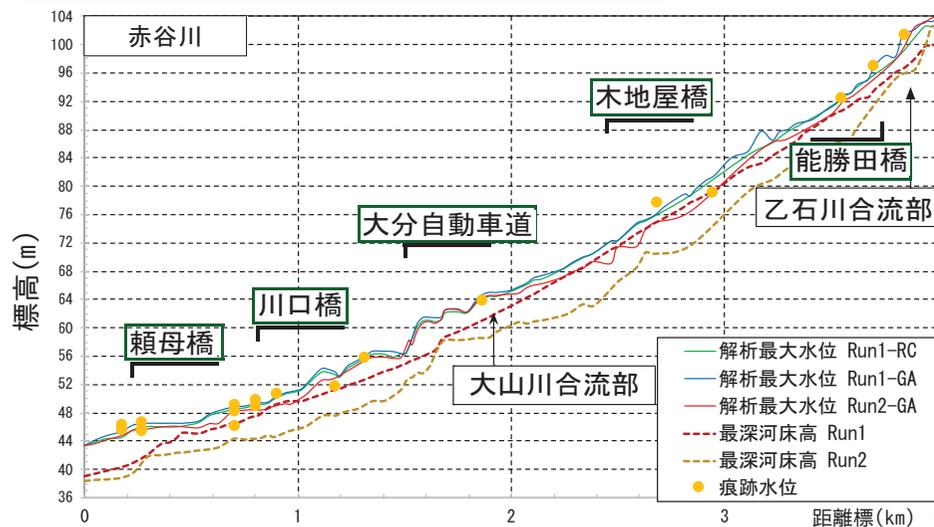


地理院地図  
(国土地理院)  
を利用

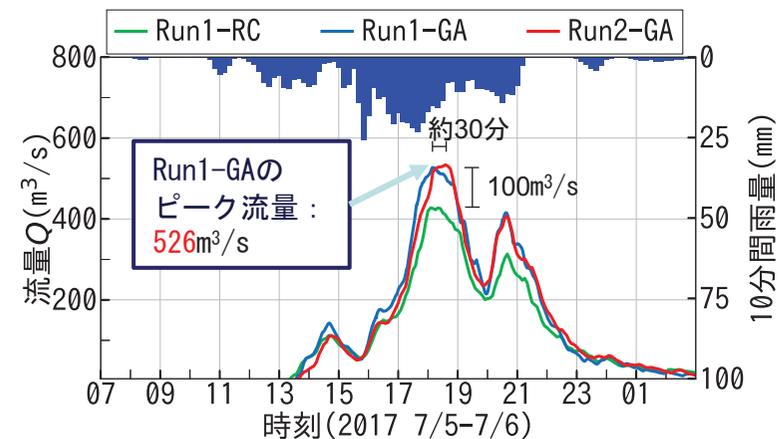
## 実測値と解析結果との比較

- Run1-GA(被災後の地形) は、浸水域、痕跡水位を再現
- Run2-GA(被災前の地形) は、浸水域を再現
- Run1, 2-GAの流量はいずれも、筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書と同程度の値

## 最大水位と痕跡水位との比較



## 赤谷川下流での流量



**ピーク流量 : 520m<sup>3</sup>/s**  
筑後川右岸流域 河川・砂防復旧技術検討委員会 報告書

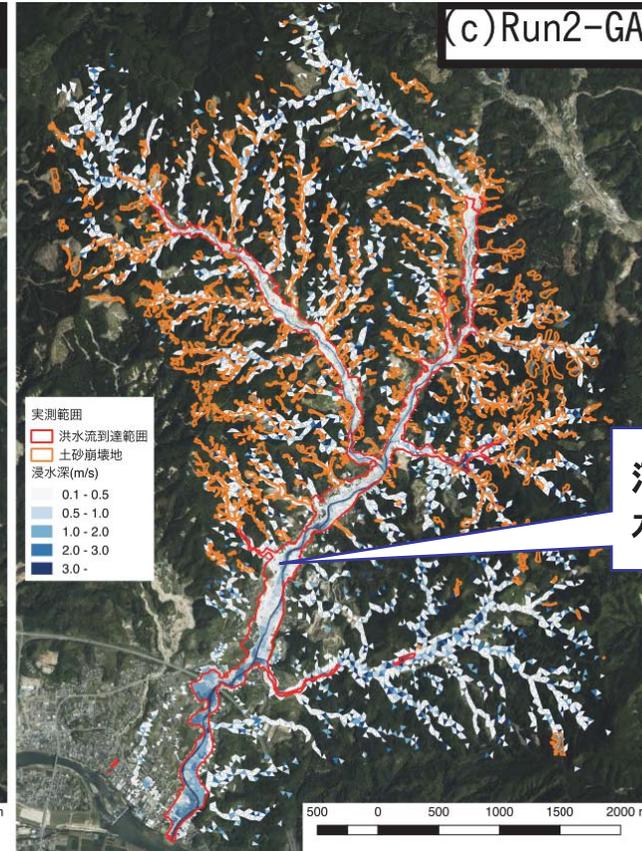
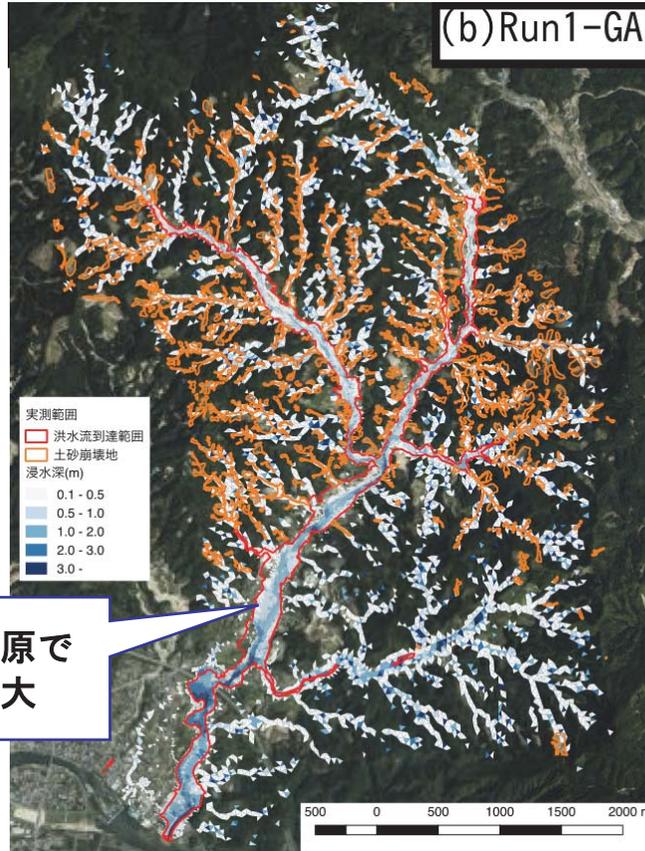
# 赤谷川流域への適用

～結果と考察:土砂堆積の影響(Run1と2-GAの比較)～

## 最大浸水深の比較

Run1-GA(被災後の地形)

Run2-GA(被災前の地形)



河道で水深大

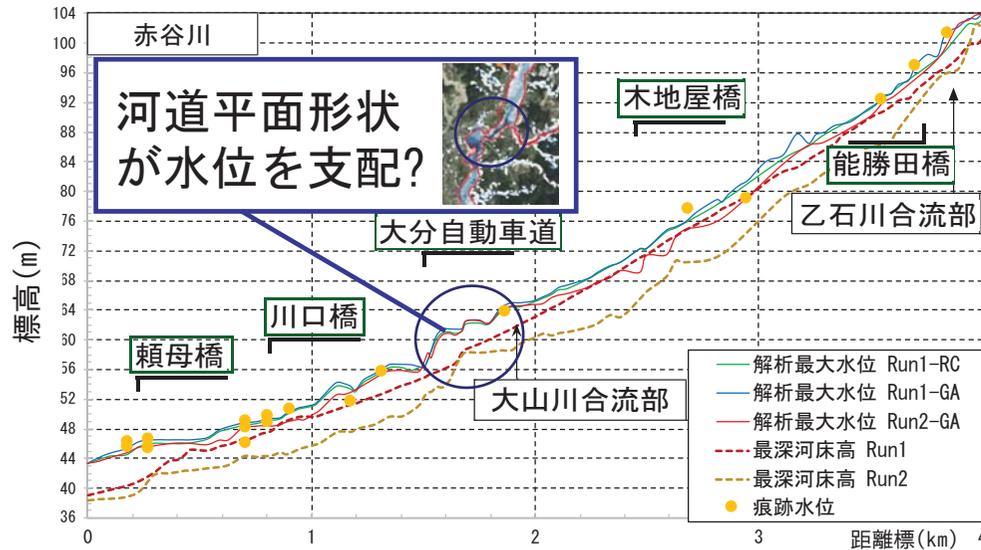
地理院地図  
(国土地理院)  
を利用

赤谷川流域は谷底平野で地形に沿って氾濫流が流れるため、一定以上の水位になると、被災前後の地形変化が最大浸水域に及ぼす影響は小さい。

# 赤谷川流域への適用

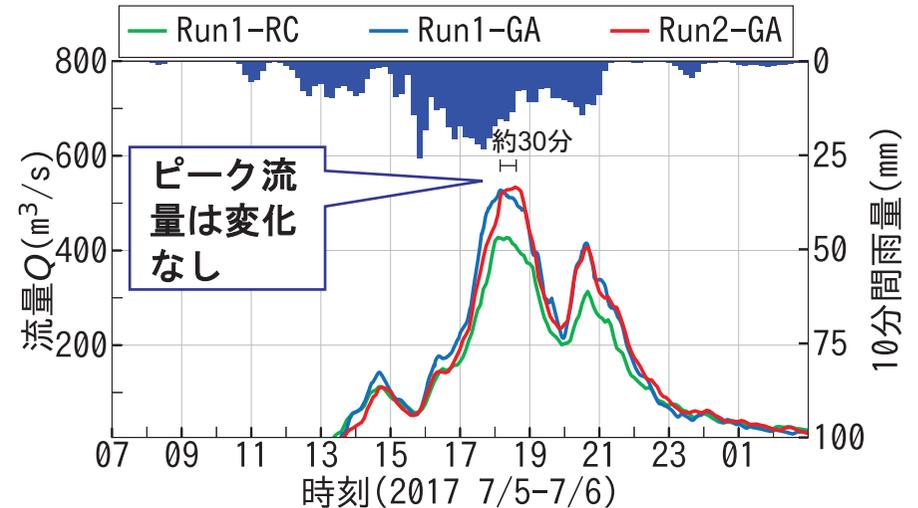
～結果と考察: 土砂堆積の影響(Run1と2-GAの比較)～

## 最大水位と痕跡水位との比較



- 土砂堆積による河床位上昇により、水位は全体的に上昇。
- Run1-GAは痕跡水位を再現
- ピーク水位時には、土砂は既に堆積?

## 流量の比較



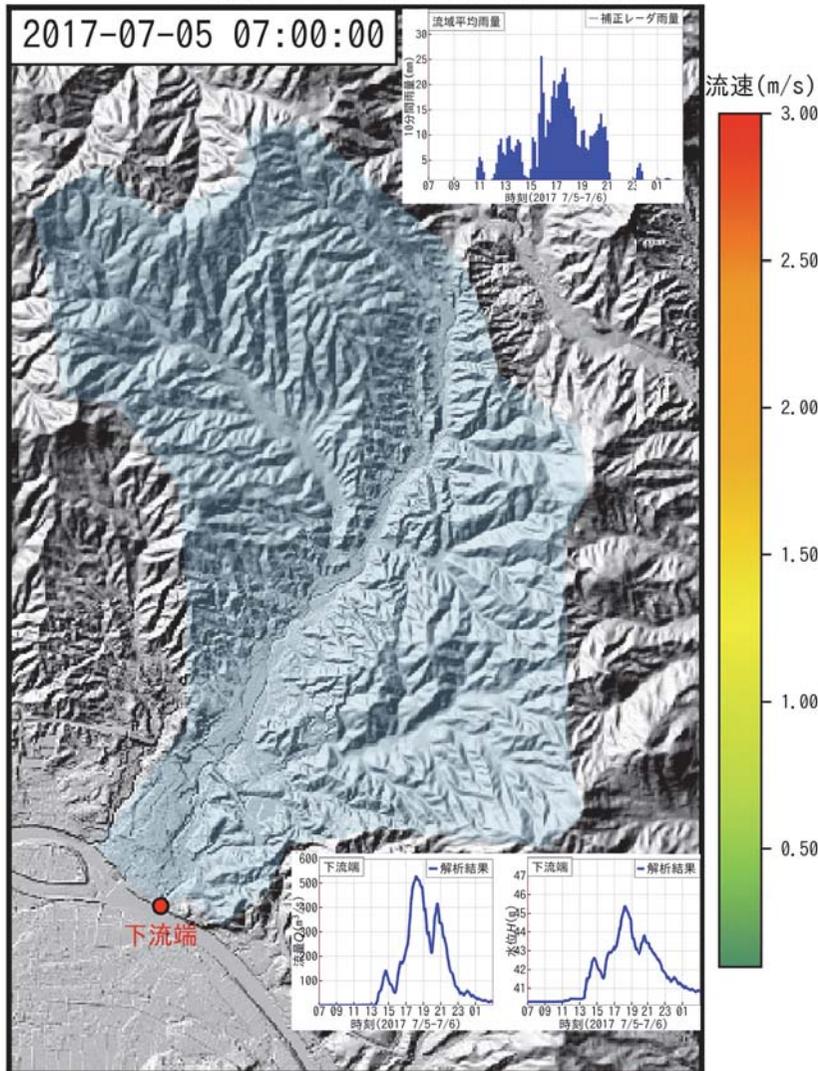
- ピーク流量の発生時刻  
Run1-GA < Run2-GA
- Run1と2-GAの差  
増水時: 大, 減水時: 小
- 増水時に、雨水・洪水が流れやすくなるよう河道が変動?

赤谷川流域での土砂の流出・堆積は、雨水・洪水の流下を速めるように、河道を変動させたと考えられる。

# 赤谷川流域への適用 ~結果と考察:流速の比較~

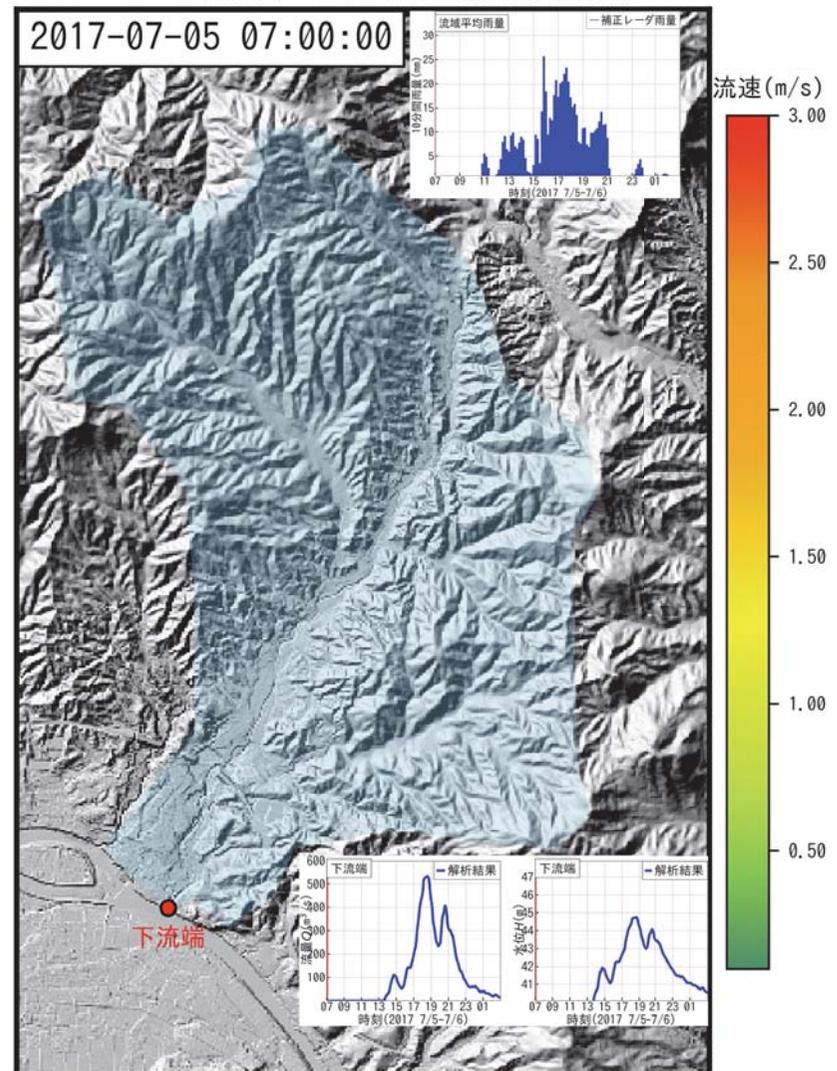
## Run1(被災後)の流速

2017-07-05 07:00:00



## Run2(被災前)の流速

2017-07-05 07:00:00

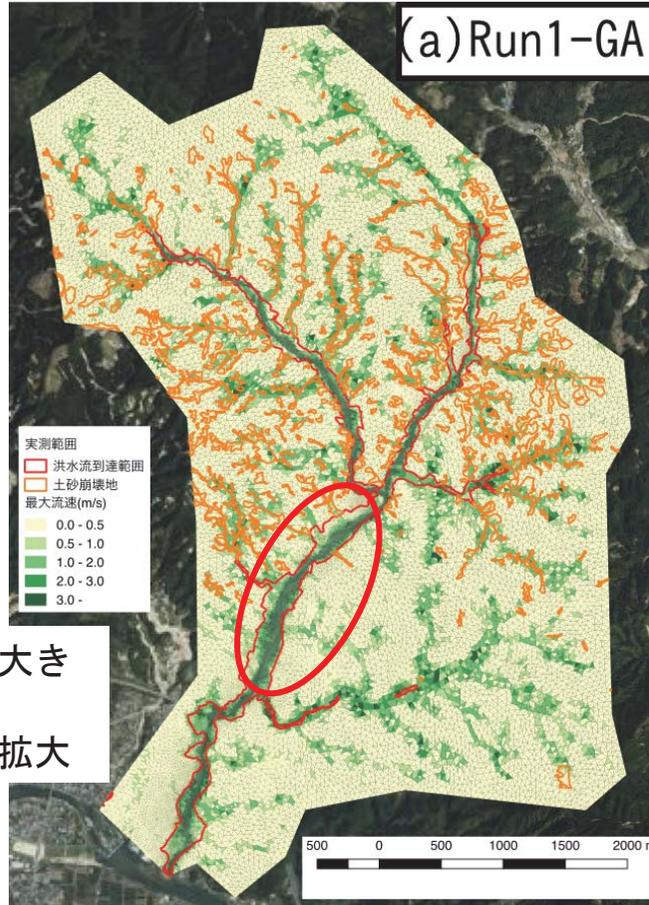


地理院地図(国土地理院)を利用

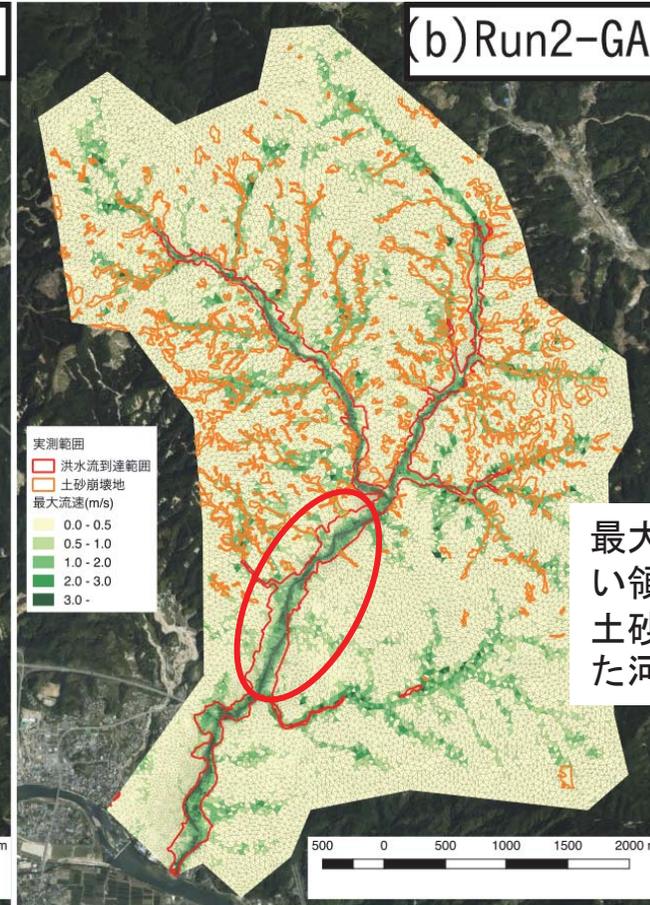
# 赤谷川流域への適用 ~結果と考察:最大流速の比較~

Run1(被災後)の流速の最大値

Run2(被災前)の流速の最大値



最大流速の大きい領域は、  
氾濫原まで拡大



最大流速の大きい領域は、  
土砂で埋塞された河道に集中

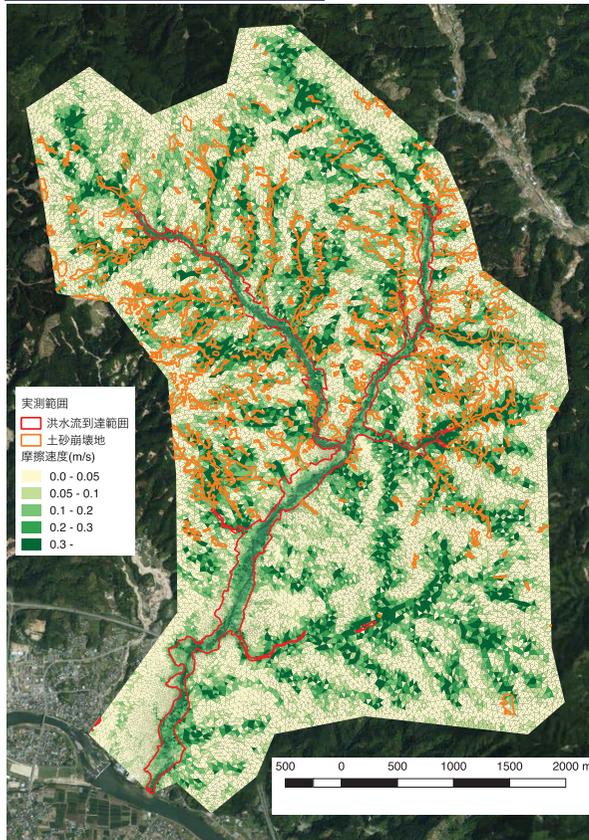
地理院地図(国土地理院)を利用

土砂が河道埋塞することで、流速の大きい範囲が氾濫原へ拡大することで、家屋被害を拡大させたと考えられる

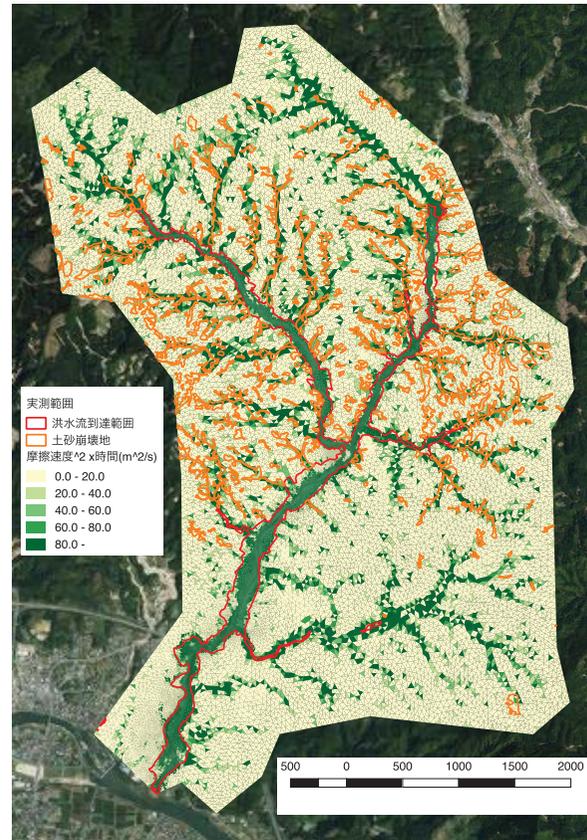
# 赤谷川流域への適用

～結果と考察：土砂崩落地と流れ・累加浸透量との関係(Run1(被災後))～

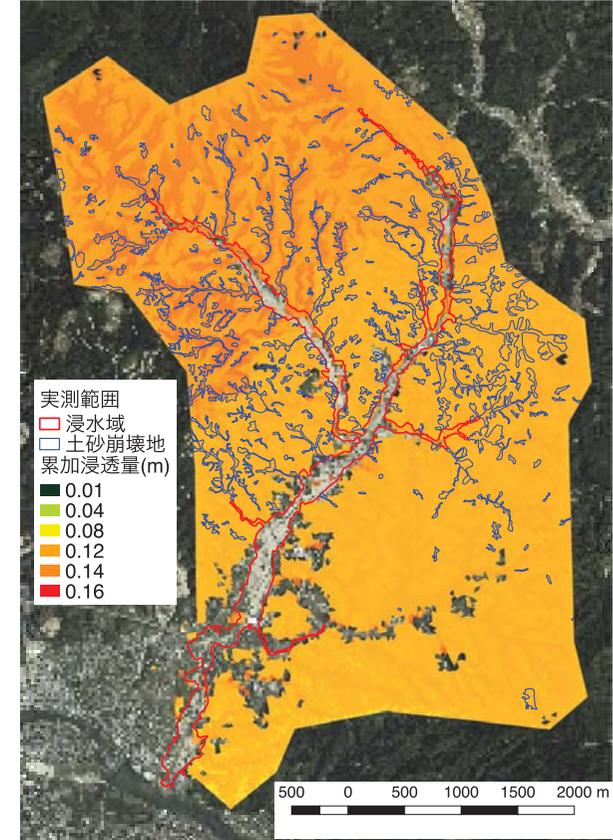
## 最大摩擦速度



## 最大摩擦速度の2乗の 時間積分値 (力積)



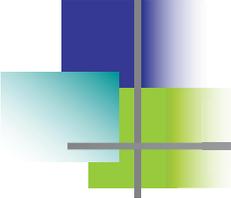
## 地理院地図(国土地理院)を利用 累加浸透量(7/5 23:00)



摩擦速度の2乗の時間積分値と累加浸透量は、土砂崩落地で大きくなる傾向  
→土砂崩落地では、①土壌には多くの水分が含まれる領域、②流れによる比較的大きなせん断力が長時間作用した領域が存在。

本解析法は、土壌水分の状況と土壌が受けるせん断力を適切に評価？

→この情報を用いることで、土砂崩落地の予測につながるか今後検討が必要



## おわりに

本研究では、雨水の土壌への浸透を考慮した降雨流出・洪水氾濫ダイナミック解析モデルを平成29年7月九州北部豪雨時の赤谷川流域を適用し、同モデルの再現性、土壌への浸透、土砂堆積が浸水域や浸水プロセスに及ぼす影響を検討した。その結果、以下が確認された。

1. 本降雨流出・洪水氾濫ダイナミック解析モデルは、降雨を外力として、流域レベルの雨水の挙動を解析でき、痕跡水位、浸水域を再現できる
2. 被災前後の標高を用いた解析の比較から、赤谷川流域での土砂の流出・堆積は、増水時に発生し、ピーク水位時には河道を埋塞させ、雨水・洪水の流下を速めるように、河道を変動させたと考えられる
3. 今後、土砂・洪水氾濫プロセスの把握には、土壌中の流れや土砂輸送を考慮する必要がある。モデルの構築には、時間が必要。それまでに、どのような対応をするかは、考えておくべき。流域レベルの雨水の挙動の把握は、有用な情報になるのでは？

謝辞：本研究を実施するに当たり、国土交通省九州地方整備局河川部、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を受けた。科学研究費特別研究促進費(課題番号：17K20140、研究代表者：秋山壽一郎)の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表します。