

2023年度河川技術に関するシンポジウム

6月23日(金) 第1部 9:20-9:40

Room1 PS 流域治水(1)

# 豪雨時における人吉市内の内水氾濫機構の 分析と被害軽減に向けた検討

ANALYSIS OF URBAN FLOODING MECHANISMS IN HITOYOSHI CITY  
UNDER HEAVY RAINFALL AND STUDY FOR DAMAGE MITIGATION

# 1.研究背景・目的

・令和2年7月豪雨において、人吉市では、6時頃に球磨川とその背水の影響を受けた山田川、6時30分頃には万江川から外水が市街地に流れ込み、甚大な被害が生じたことが明らかにされている<sup>1)</sup>。

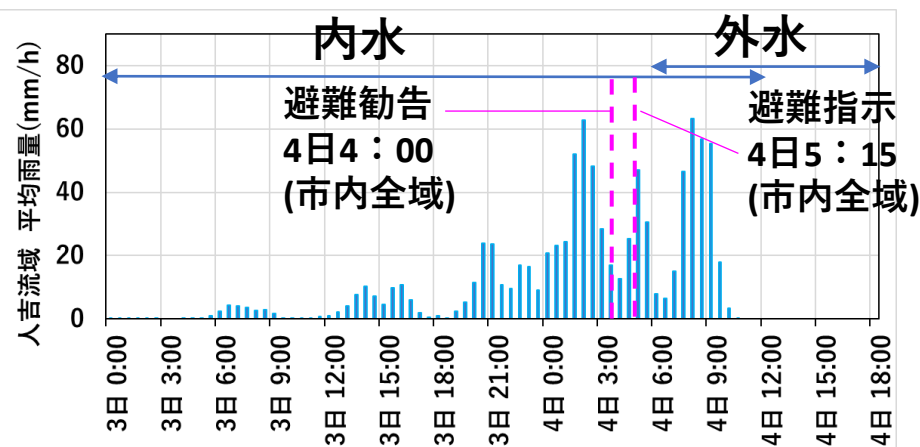
・一方で、外水氾濫前の避難時に内水氾濫が生じていたことが指摘されているが、**内水氾濫による浸水状況や発生機構等は明らかになっていない。**

本研究では、**地形や降雨情報を詳細に考慮した内水氾濫解析**を行い、

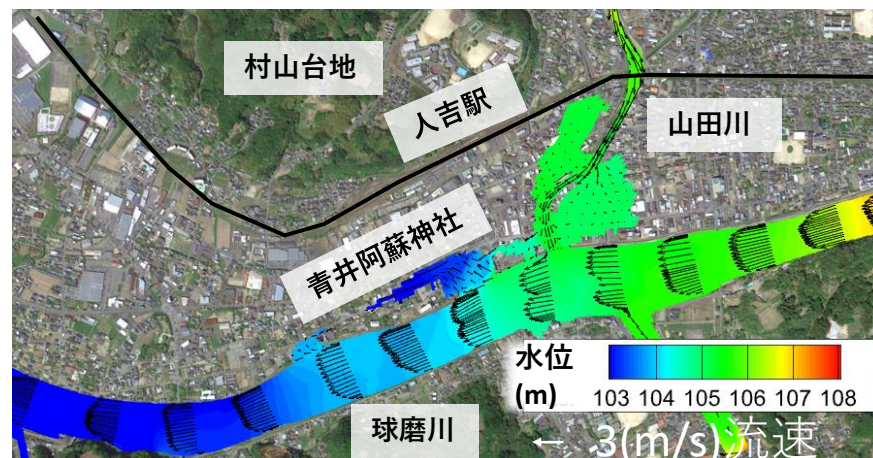
人吉市における内水氾濫機構の**実態を高精度に解明**すること、

**流域水収支分布の分析**から**被害軽減に向けた検討**を行うことで、

今後の水防災・減災まちづくりに資する情報を示すことを目的とする。



令和2年7月豪雨の人吉流域平均雨量



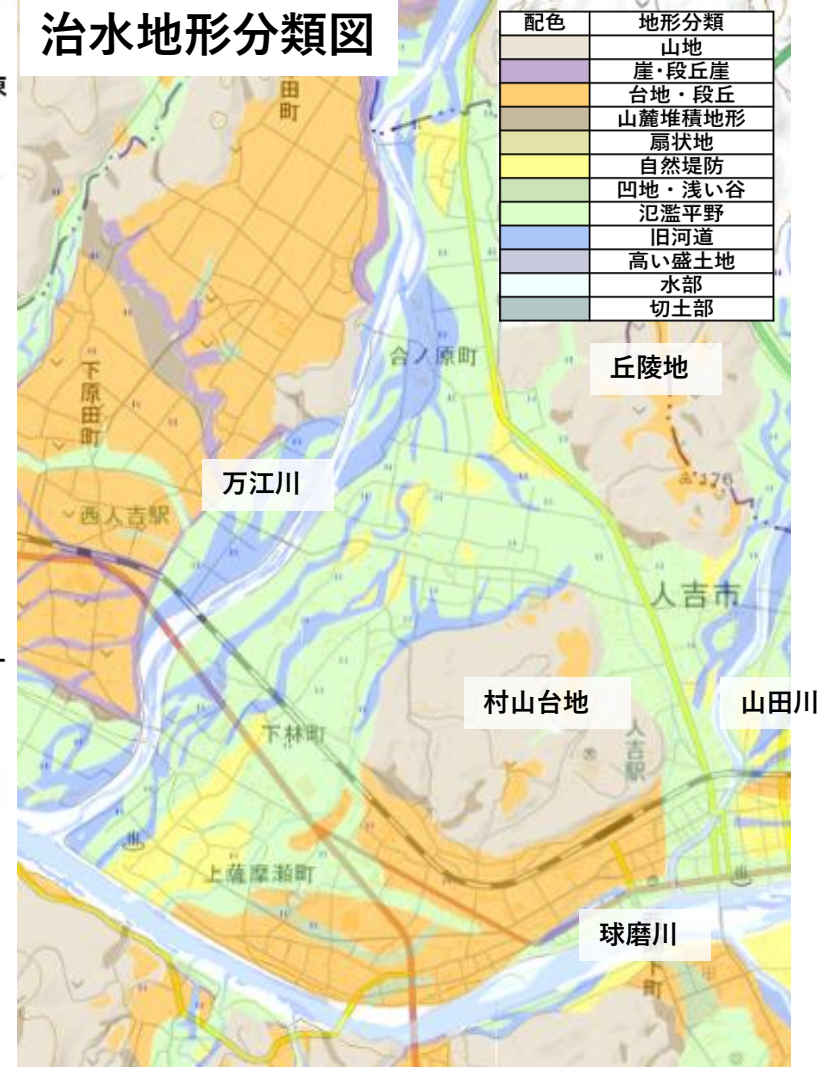
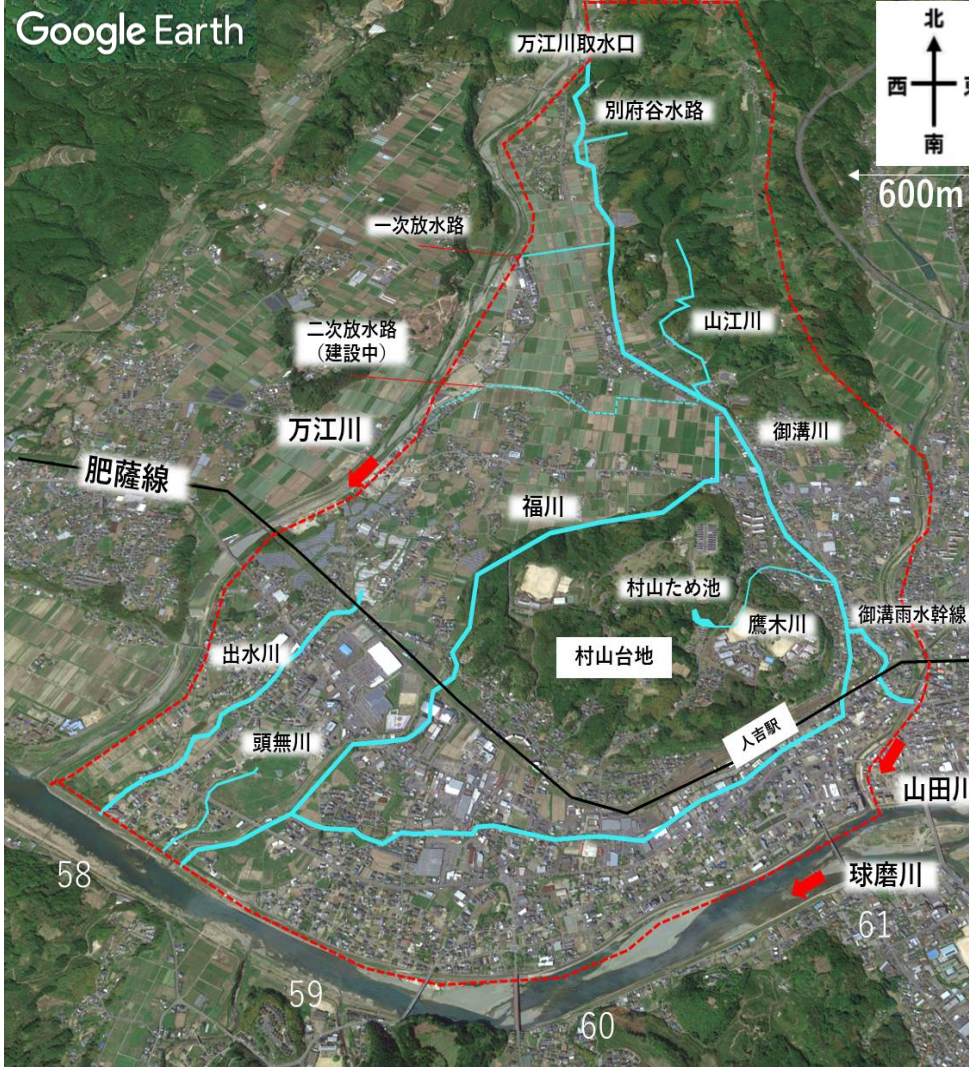
令和2年7月豪雨時の6時の外水流入の状況<sup>1)</sup>

1) 田端ら, 河川技術論文集, 第27巻, pp.597-602, 2021.6.「令和2年7月球磨川豪雨における洪水流と氾濫流の一体解析による人吉市街地と狭隘区間の集落の被害分析」

## 2. 人吉市街地流域の特徴

対象領域：約10km<sup>2</sup>

- ・標高の最も低い南西部に向かい雨水が集まりやすい。
- ・市内には水路網が張り巡らされており、農業水路等の既存施設を活用しながら、雨水を排水する。
- ・豪雨時には、水路網からの内水氾濫が高頻度で発生する。

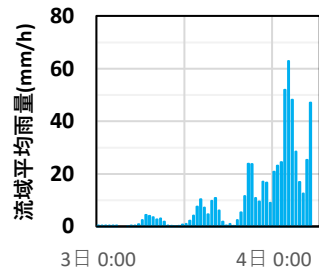


## 2.対象豪雨の時空間分布特性

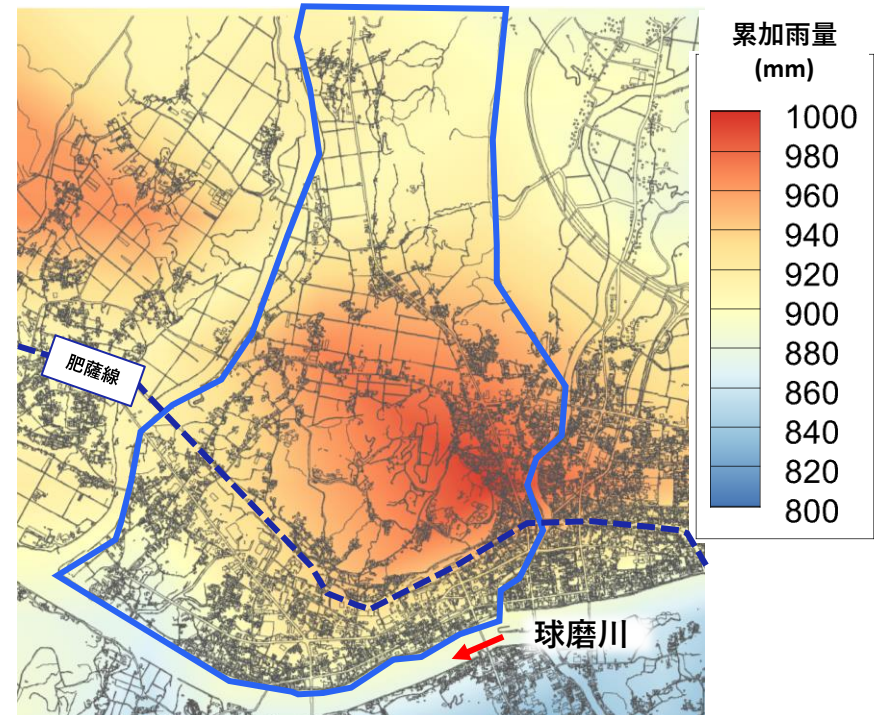
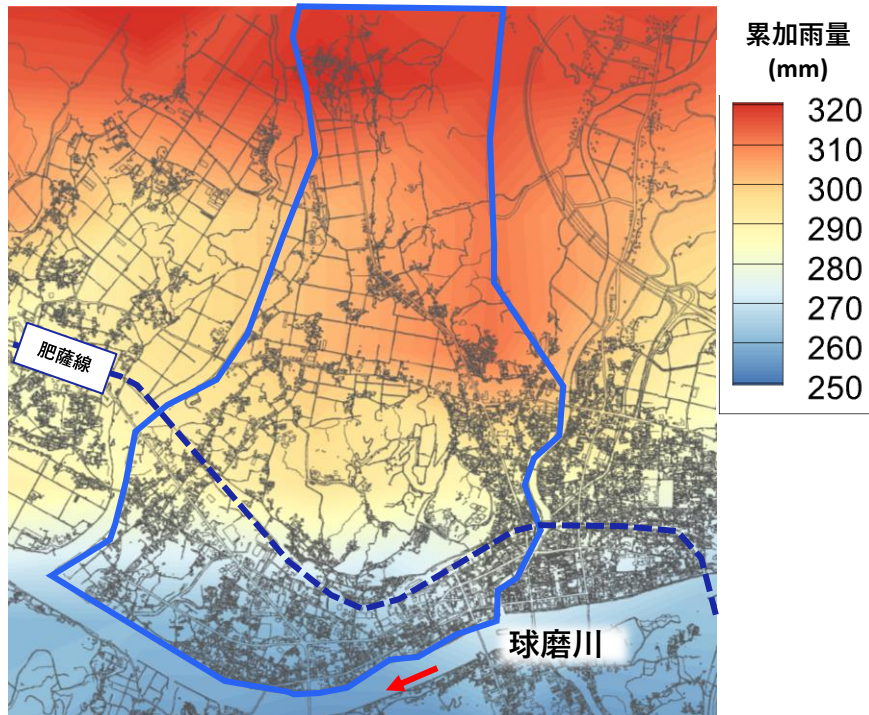
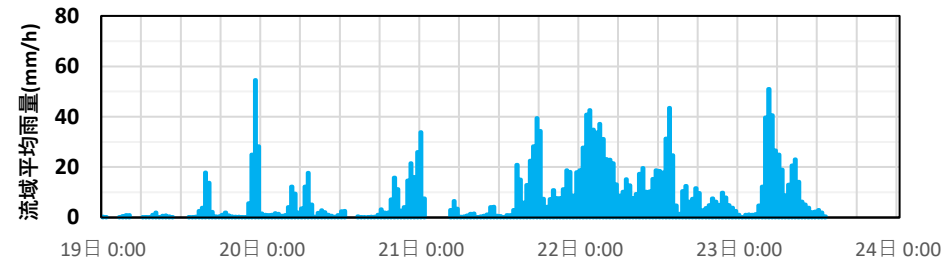
本研究では、令和2年7月豪雨と平成18年7月豪雨の2つの豪雨事例について検討する。

- ・令和2年7月豪雨では、**60～70(mm/h)の高強度降雨**が市内を襲い、肥薩線より北部で**南部市街地に比べて最大で70mm程多くの雨が集中**する。
- ・平成18年7月豪雨では、5日間に渡る豪雨となり、**累加雨量1000mm程**となっている。
- **10km<sup>2</sup>の小流域においても、降雨の空間分布を考慮することが重要である。**

・令和2年7月豪雨(外水氾濫発生前4日5時まで)



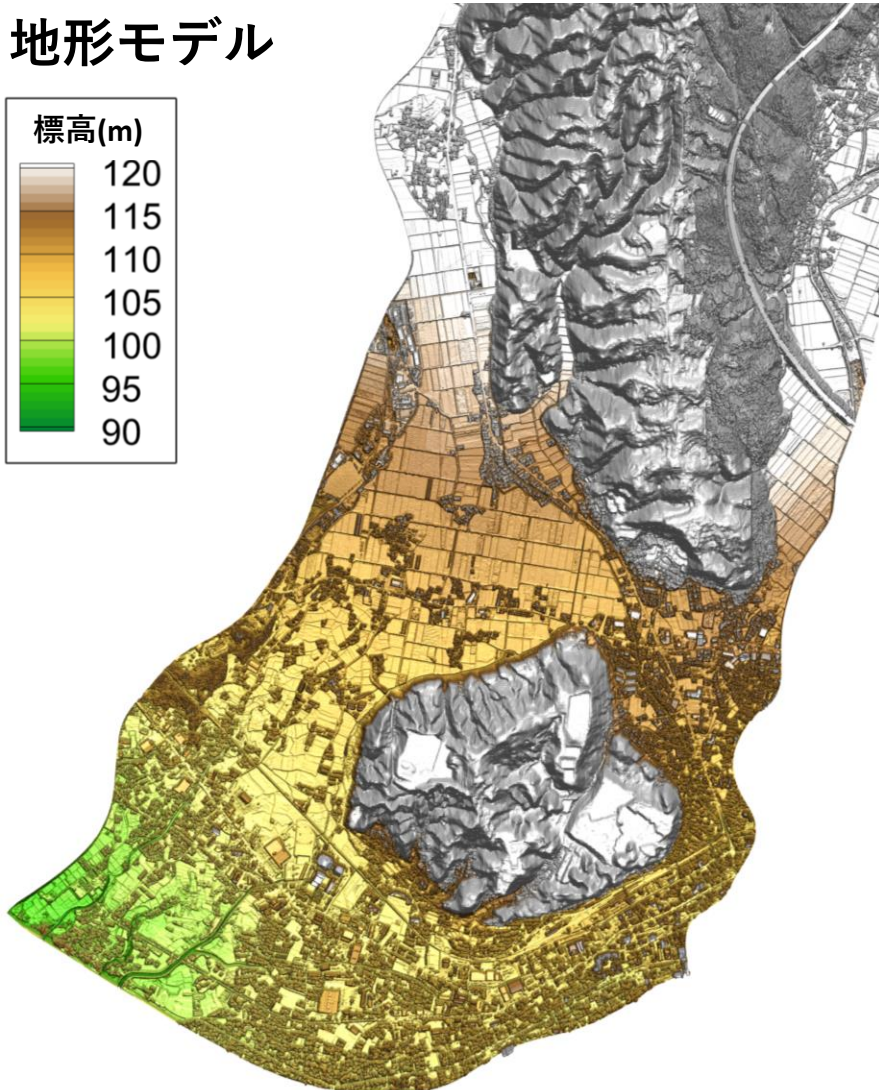
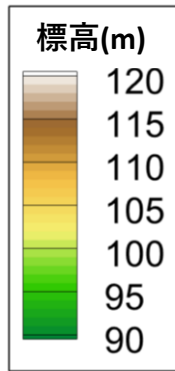
・平成18年7月豪雨



# 3.内水氾濫解析手法

本解析では、**台地や丘陵地の降雨流出**，**水路網の流れ**，**氾濫についてを平面二次元不定流解析法**を全流域に適用している。降雨は、**解析雨量を用いて流域25分割し**，**時空間分布を考慮した**。地形は、L.P.オリジナルデータ及び河道データ等を基に、**解像度2mのメッシュ**で水路網・住宅群・道路網を詳細に再現している。

## 地形モデル



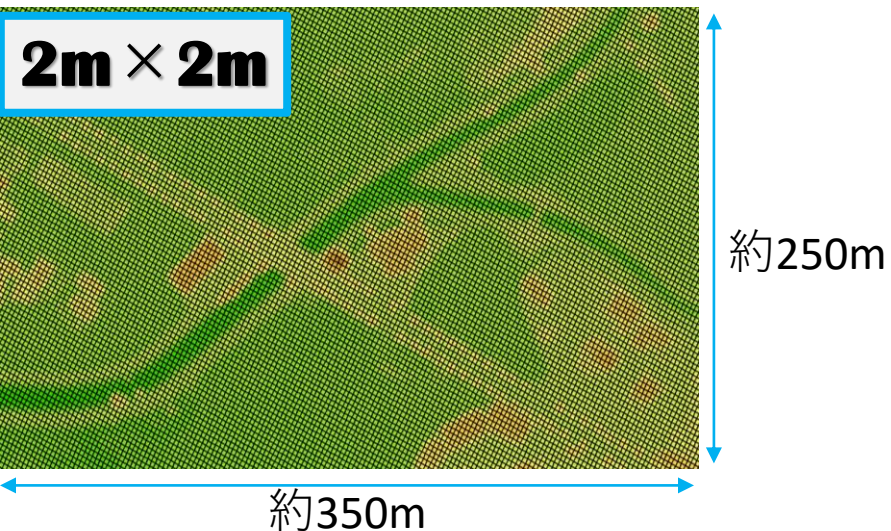
## 平面二次元不定流解析法(一般座標系)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U_j h}{\partial x_j} = r$$

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j} = -gh \frac{\partial z_s}{\partial x_i} - \frac{\tau_{bi}}{\rho}$$

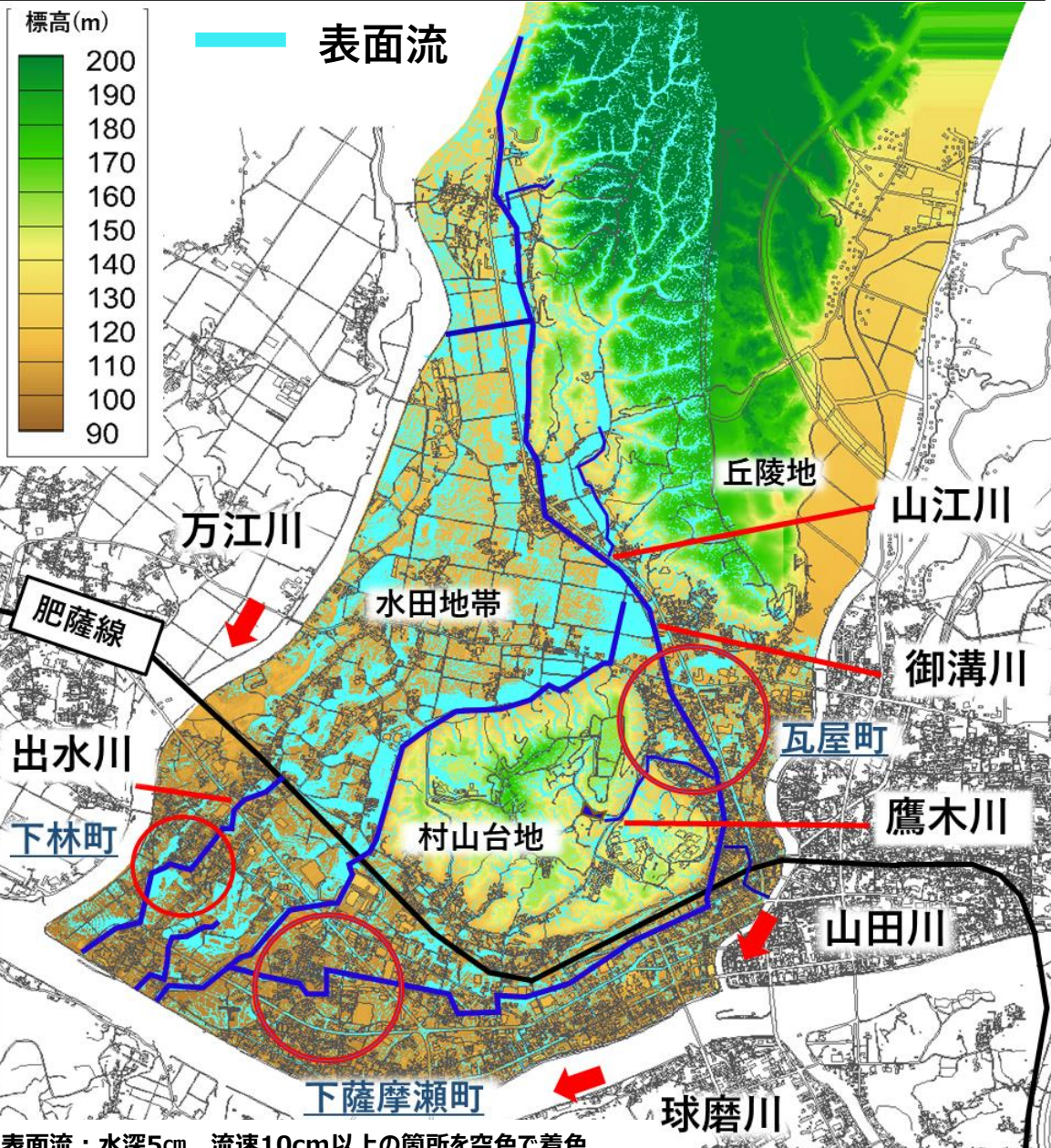
$i, j: 1, 2$ ,  $x_i: x, y$ ,  $h$ : 水深,  $t$ : 時間,  $U_i: x_i$ 方向の水深平均流速,  $r$ : 解析雨量,  $g$ : 重力加速度,  $z_s$ : 基準面からの水位,  $\tau_{bi}$ :  $x_i$ 軸方向の底面せん断力,  $\rho$ : 水の密度

## 格子サイズ



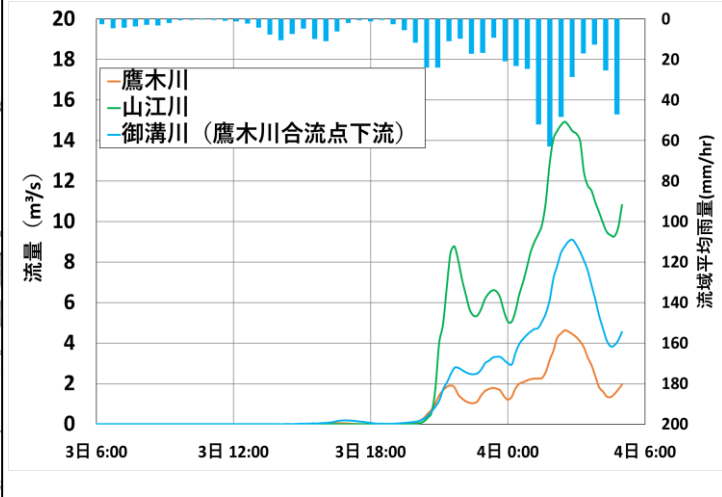
# 4.人吉市街地流域の降雨流出特性

令和2年7月豪雨時の人吉流域の雨水の流れ (4日3時解析結果)



表面流：水深5cm，流速10cm以上の箇所を空色で着色

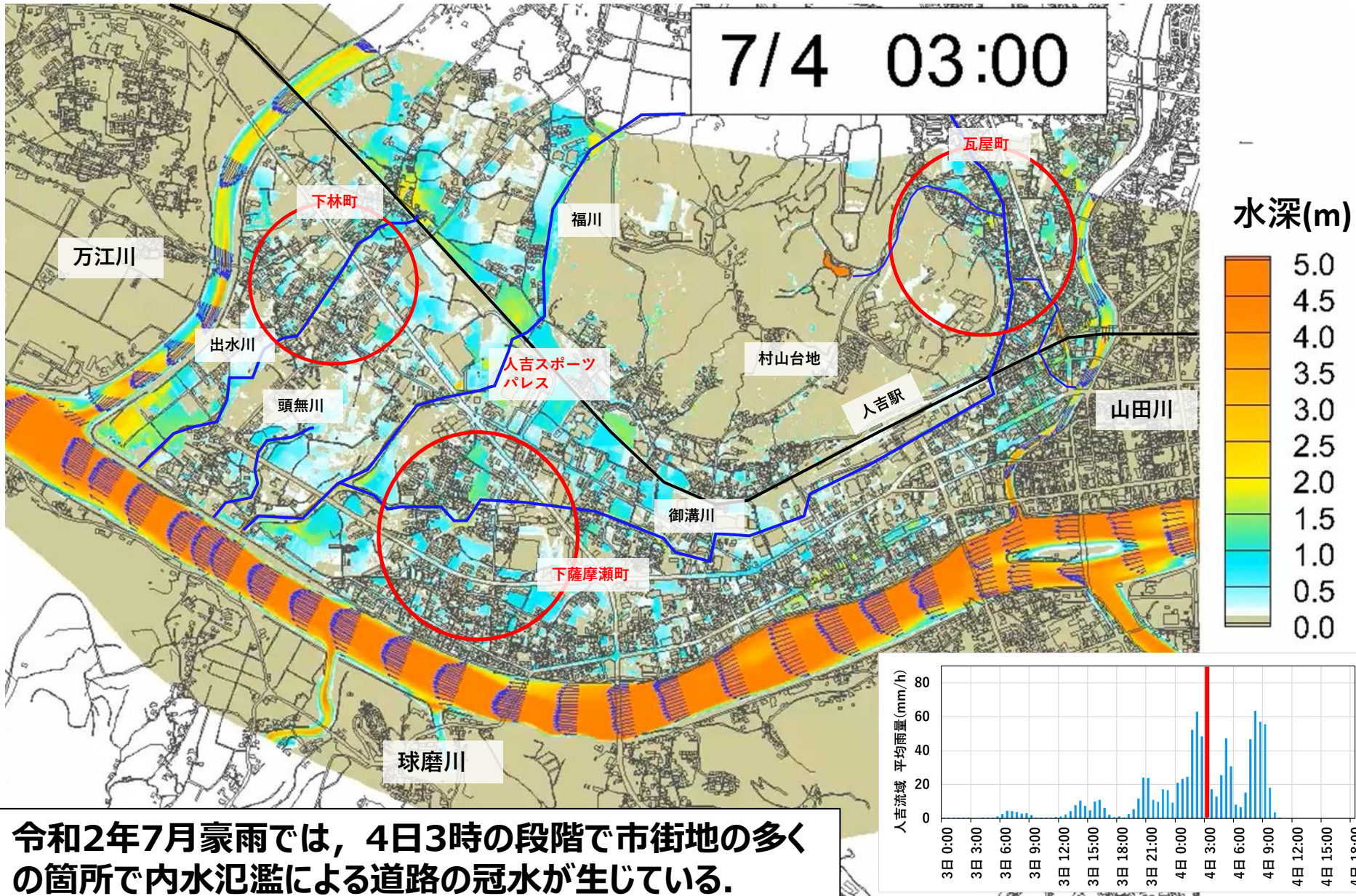
### 支流と市内を流れる御溝川の流量ハイドログラフ



「丁寧に地形を取り込むことで**雨水の集水過程**を見える化できる」

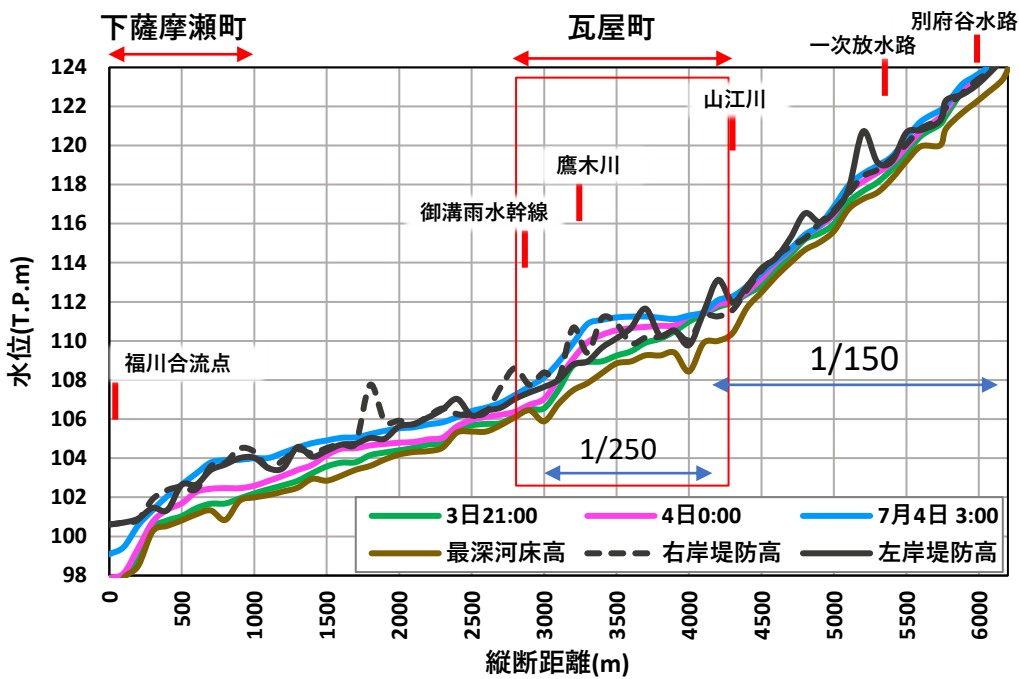
- ・令和2年7月豪雨では上流域での降雨の集中により、水田地帯や丘陵地から多くの雨水が下流の市街地へ流下する。
- ・市内を縦横に流れる御溝川では、台地や丘陵地から流れ出る鷹木川及び山江川との合流により、急激に流量が増大する。

# 4. 令和2年7月豪雨時の内水氾濫機構の分析（市街地全体）



令和2年7月豪雨では、4日3時の段階で市街地の多くの箇所で内水氾濫による道路の冠水が生じている。

# 4.令和2年7月豪雨時の内水氾濫機構の分析（瓦屋町）

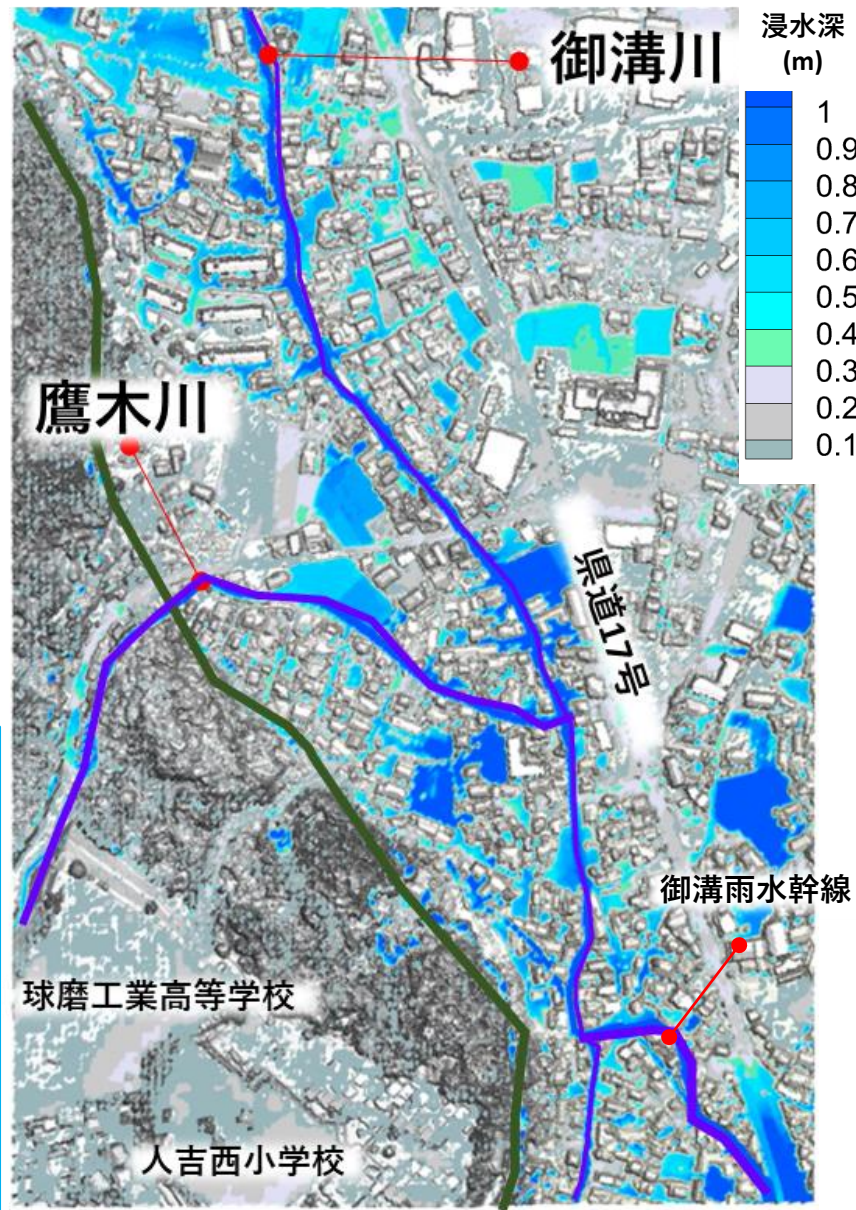


令和2年7月豪雨時の御溝川の水面形時系列変化

御溝川の瓦屋町区間では、村山台地から流れ出る鷹木川との直角合流によって水位が堰上がっている。

御溝川の鷹木川合流点より上流では水路高が高く、勾配も周囲に比べ緩やかであるため、合流に伴う背水の影響を強く受け、内水氾濫が激しく生じている。

➤その結果、右図で示すように4日3時には、御溝川の氾濫により宅地周辺の道路一体が浸水深70cm以上となっている。氾濫流速は最大で0.8~1m/sとなり歩行避難の困難な状況となった。

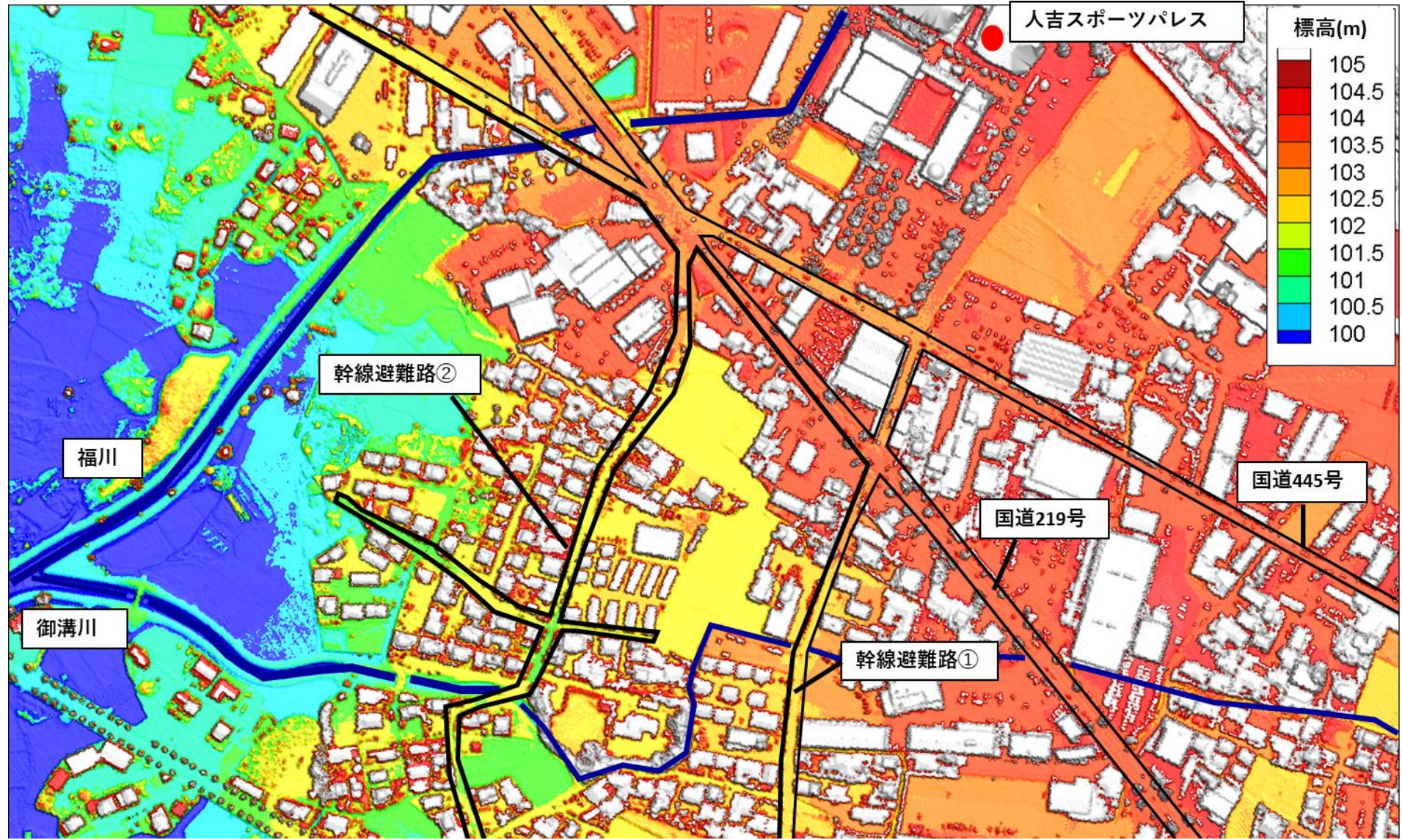


4日3時の浸水深コンター（解析結果）と三次元標高データ（平成18年L.P.オリジナルデータ）の重ね図



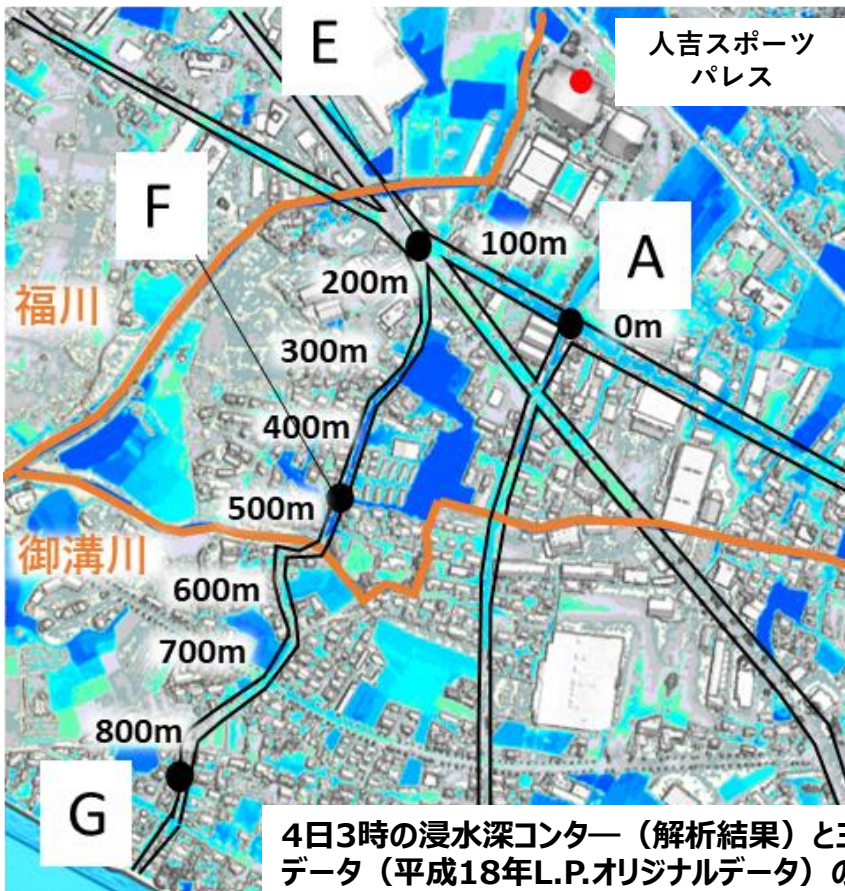
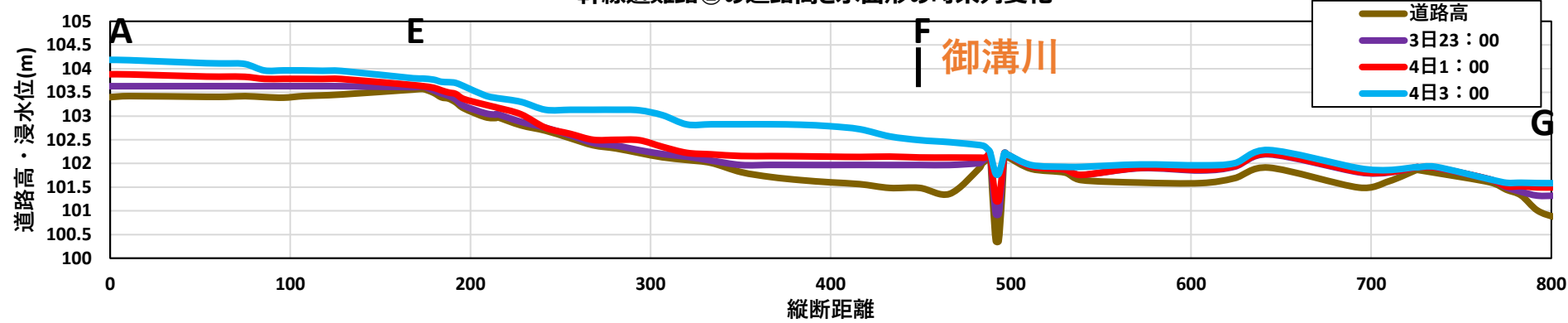
# 4.令和2年7月豪雨時の内水氾濫機構の分析（下薩摩瀬町）

下図は、人吉スポーツパレス(避難所) 周辺の標高コンター（平成18年L.P.オリジナルデータ）を示している。人吉スポーツパレスに向かうための避難路に着目すると、避難路の地盤高は周囲に比べて低く、小河川の氾濫流や雨水が集水されやすい地形特性となっている。



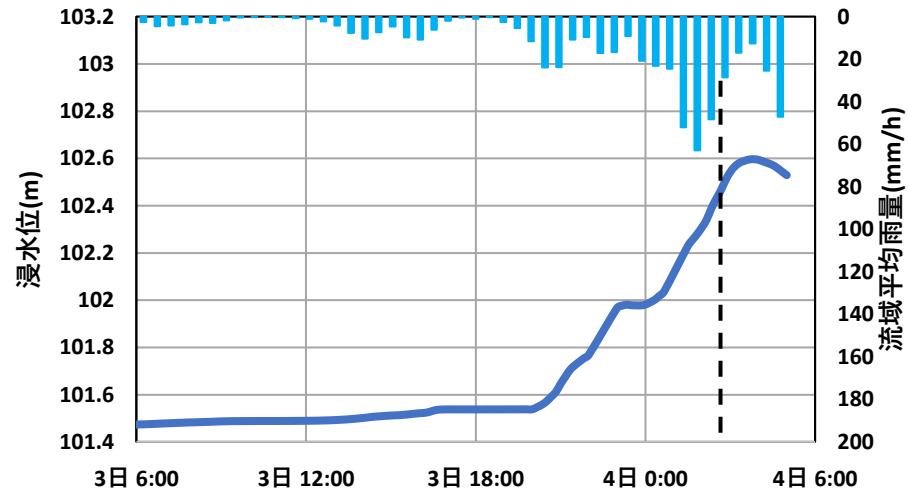
# 4. 令和2年7月豪雨時の内水氾濫機構の分析（下薩摩瀬町）

幹線避難路②の道路高と水面形の時系列変化



4日3時の浸水深コンター（解析結果）と三次元標高データ（平成18年L.P.オリジナルデータ）の重ね図

幹線避難路②の浸水位ハイドログラフ（F点）

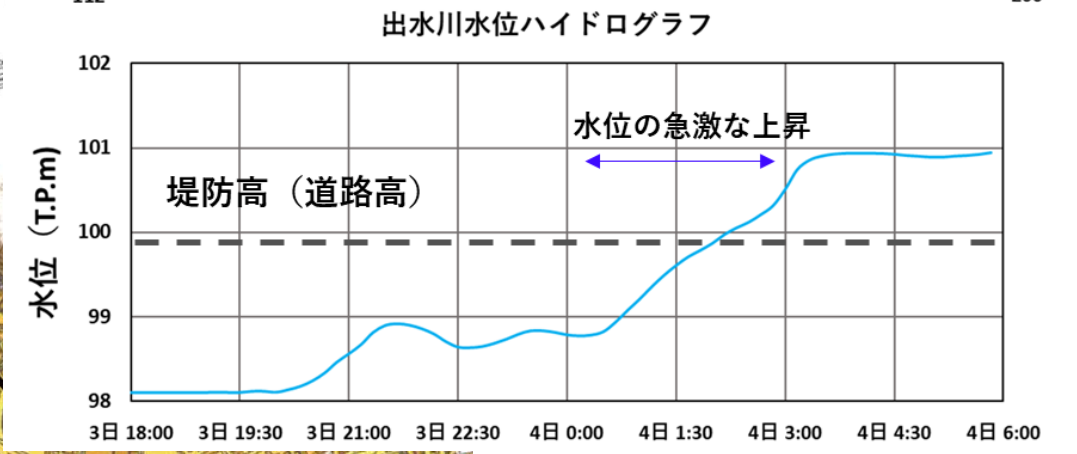
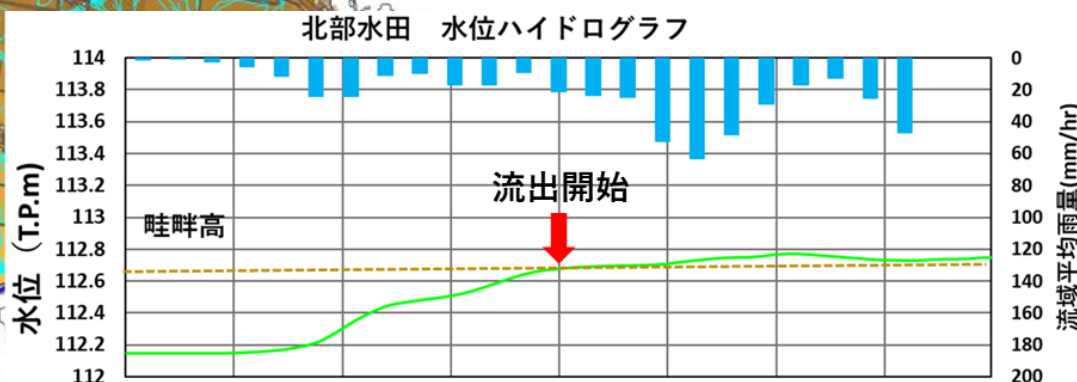
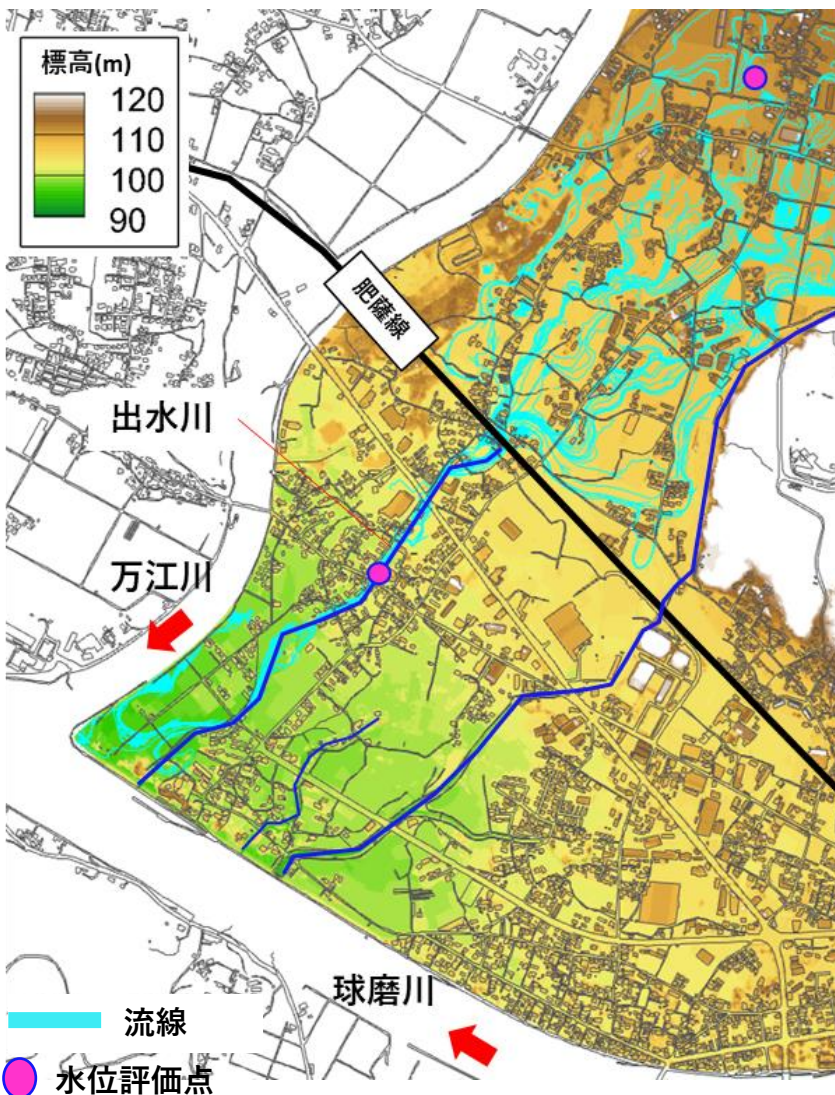


降雨が強まると、福川や御溝川からの氾濫流と雨水が避難路に集水され、浸水位が急激に上昇する。  
 幹線避難路②では、4日3時になると多くの区間で浸水深70cmを超え、歩行避難の難しい状況となっている。

# 4. 令和2年7月豪雨時の内水氾濫機構の分析（下林町）

北部に位置する水田水位と畦畔の高さ関係に着目すると4日0時には水田が満水状態になり、流出を開始する。そして、出水川では4日0時半頃から急激に水位が上昇し、3時には浸水深70cmを超え、歩行避難の難しい状況となった。

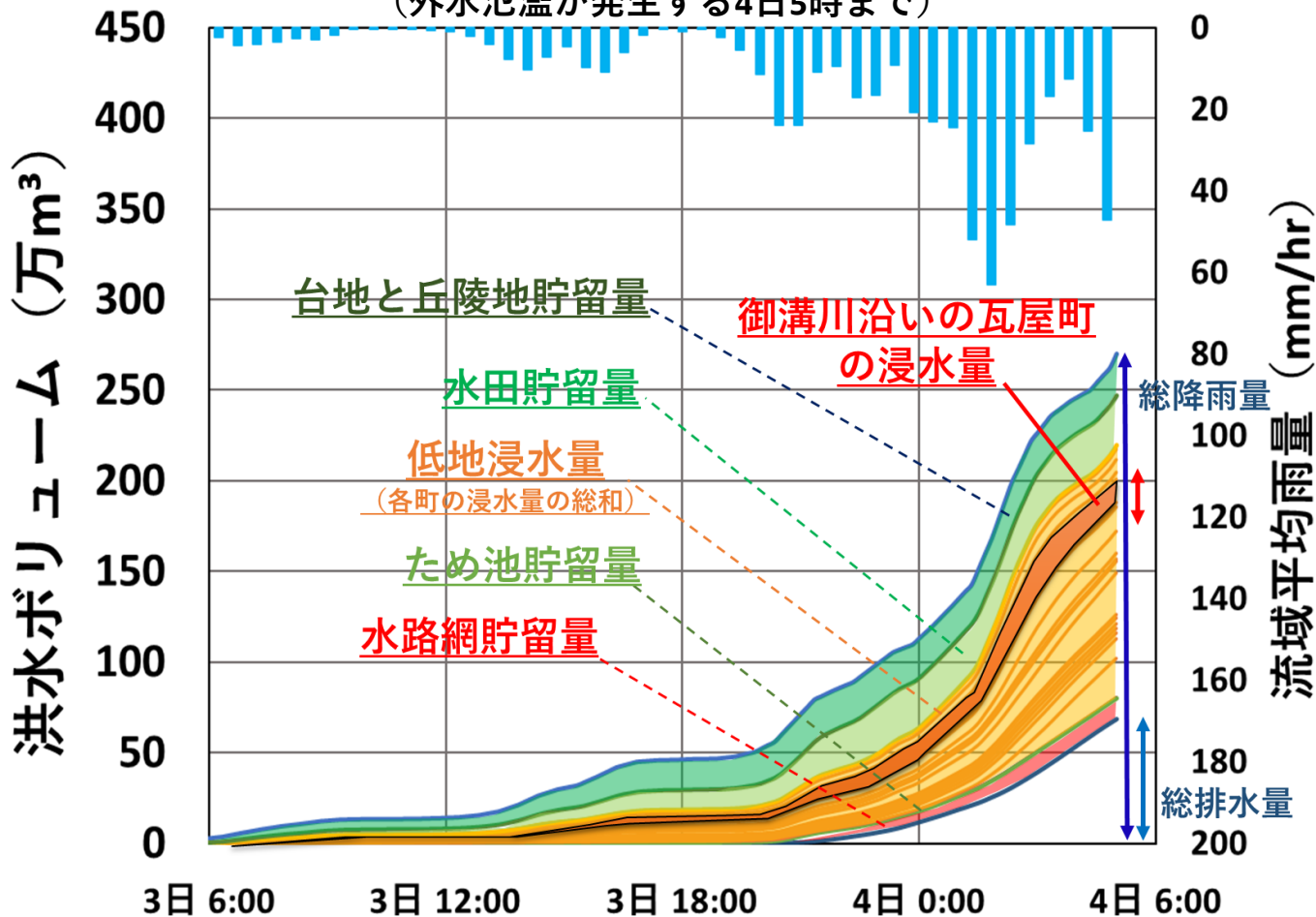
下林町における出水川の氾濫には**北部水田からの豪雨流出**が大きく影響していることが分かる。



令和2年7月豪雨時、人吉市では上流域に降雨が集中し、水田や台地等から多くの雨水が市街地を流れる水路へ流れ込むことで外水氾濫前の早い時間帯で内水氾濫が生じ、避難の難しい状況となった。

流域の豪雨分布と内水氾濫解析より得られた**流域水収支分布図**を示す。  
 緑・薄緑色で台地や丘陵地、水田の貯留量、黄色で低地の浸水量、黄緑色でため池の貯留量、赤で水路網の貯留量を表している。また、流域に含まれる19の町の**浸水量分布**を反映させることで、**流域内の高浸水リスク地や対策優先箇所の見える化**している。下図では、一例として瓦屋町の浸水量を茶の濃い色で強調している。  
 令和2年7月豪雨時には、**降雨強度の増大に伴い、低地の浸水量が急激に増加**している。低地の浸水量は139万 $m^3$ に達し、総降雨量の50%を占めている。

令和2年7月豪雨時の人吉流域の水収支分布図  
 (外水氾濫が発生する4日5時まで)

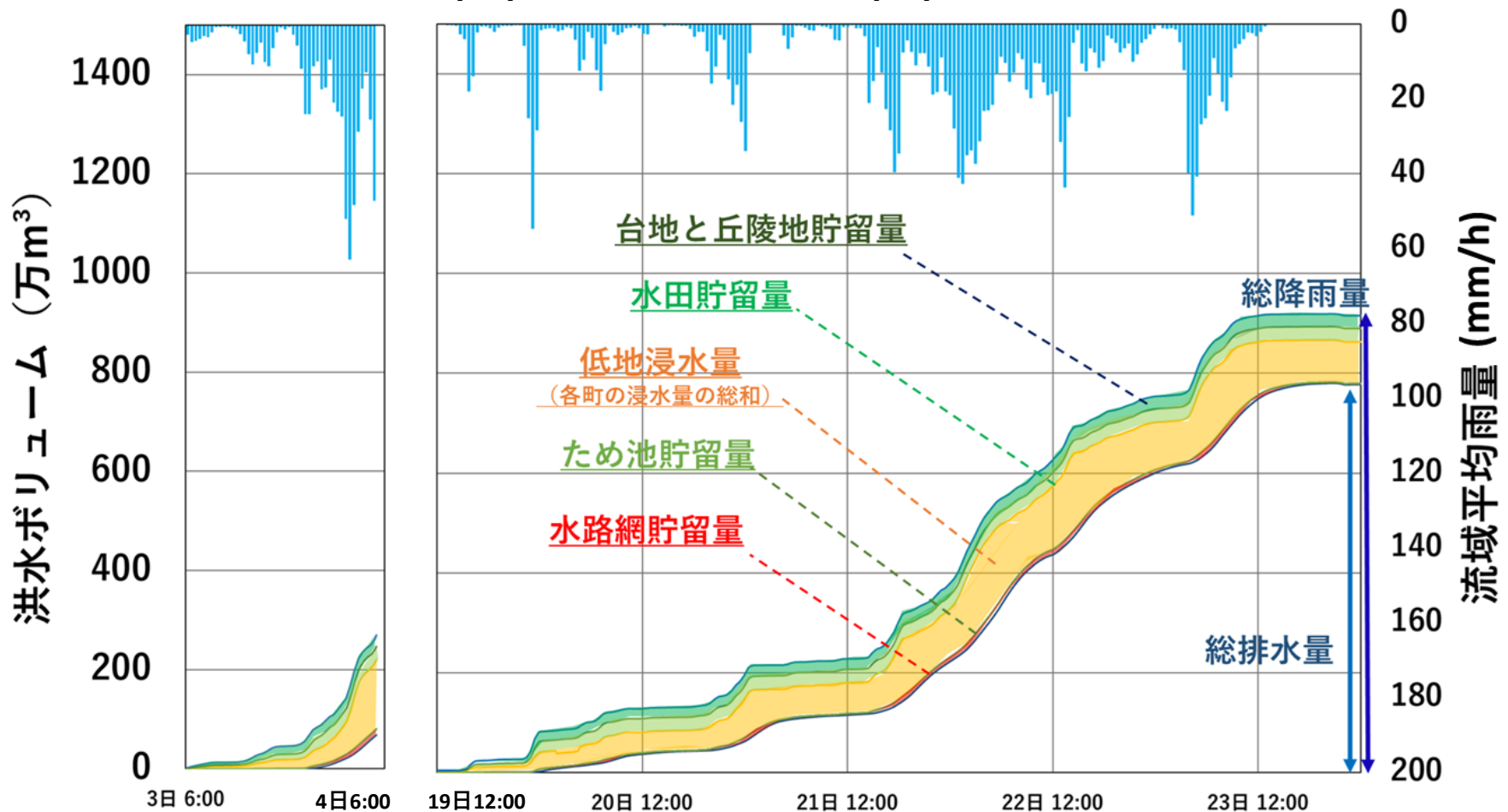


# 5.平成18年7月豪雨との比較

平成18年7月豪雨は、令和2年7月豪雨に比べて、総降雨量が3倍程であるが、降雨の時間分布の違いから総排水量が大きく、市街地の最大浸水量は1.1倍程度になっている。また、避難時に問題になるのは、市街地の浸水量の増加速度であり、平成18年7月豪雨は緩やかに増加している。

**令和2年7月豪雨のように流域内の浸水量が急激に増加した場合には、避難時間が短いために大きな問題が生じたものとする。このため、令和2年7月豪雨のように短時間で豪雨が集中する場合に、水路網への雨水の集中と浸水量の急激な増加を抑制することが第一に重要となる。**

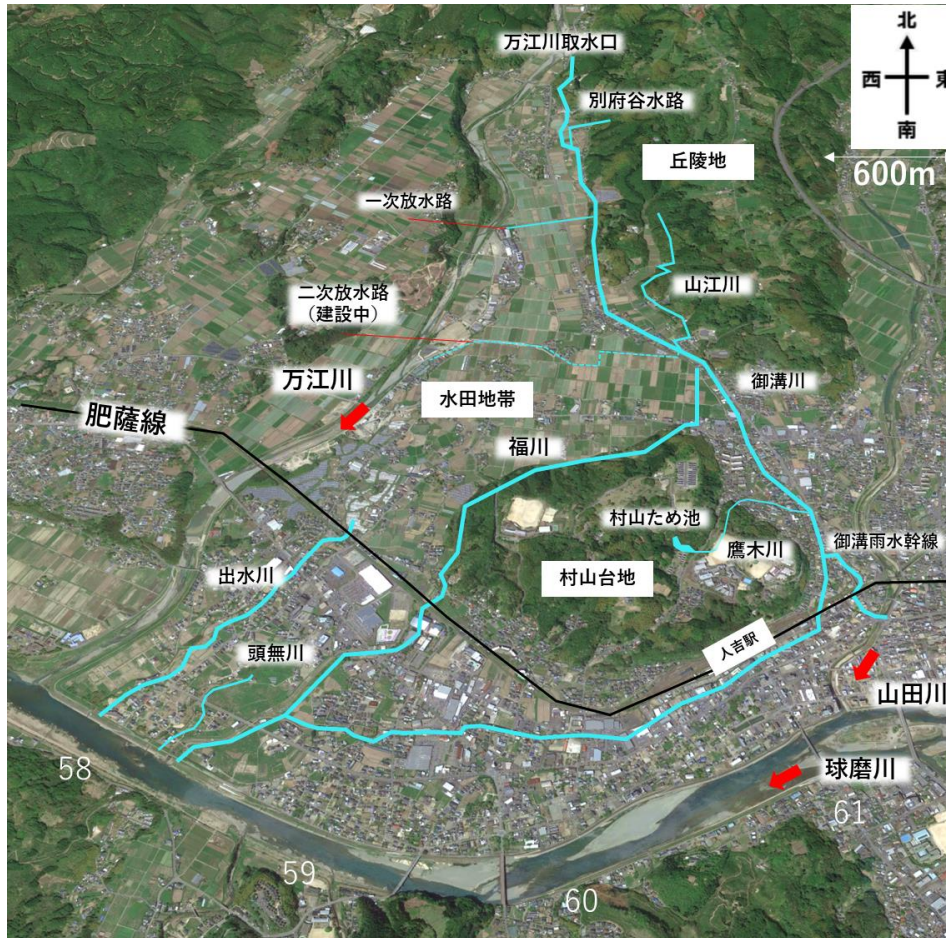
## 令和2年7月豪雨(左)と平成18年7月豪雨(右)の水収支分布の比較



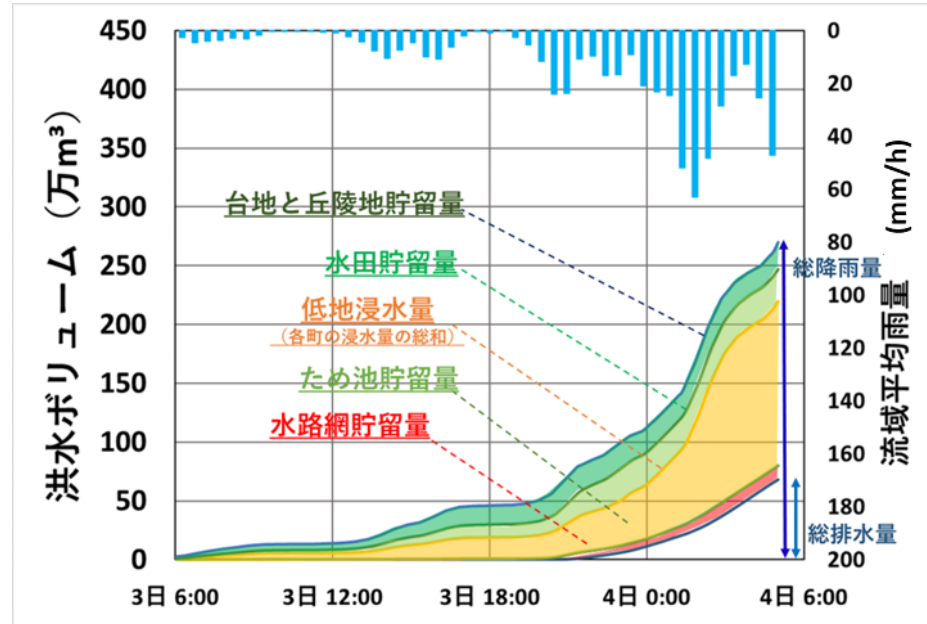
# 6.内水氾濫の被害軽減に向けた考察

人吉市の内水氾濫は、村山台地や丘陵地、北部水田地帯等の上流域からの豪雨流出の影響を大きく受けることが分かった。このため、内水問題解決のためには、**流域水収支分布図の緑や黄緑色、薄緑色で示す上流域の貯留量を増加**させることや**市街地の**上流区間での**分流**によって、**下流の低地に到達する洪水流量を低減**させることや**ピークの発生を遅らせる**ことが重要な対策として考えられる。

また、**球磨川水位の低下による総排水量を増加**させる等の**各主体の取組を一体的に検討**することが重要となる。



令和2年7月豪雨時の人吉流域の水収支分布図  
(外水氾濫が発生する4日5時まで)



流域水収支分布図を対策前後で比較し、減災対策の効果を地域の人々と議論することが水防災・減災まちづくりを進める上で重要となる。

## 結論

(1)令和2年7月豪雨時において、人吉市では上流域に降雨が集中し、大量の雨水が御溝川や出水川等へ流れ込むことで、**外水氾濫が発生する前に内水氾濫が生じ、避難の難しい**状況となった。

(2)令和2年7月豪雨のように**短時間に高強度降雨**が襲う場合には、市街地の浸水量が急激に上昇するため**避難時に問題が生じやすい**ことを明らかにした。

(3)流域水収支分布の分析から、人吉市の内水問題解決に向けては、**上流域での貯留対策等**を通じて**下流市街地に到達する洪水流量を低減することやピークを遅らせること**が有効であることを示した。

以上より、水防災・減災まちづくりに資する流域治水を進めるためには、豪雨時に市街地で生ずる内水氾濫の実態を解明し、各地域の治水的課題の解決に合わせた貯留対策を検討していくことが重要であると考える。

その上で、流域水収支分布図の作成と活用によって地域と協働で有効な貯留空間を見出すことが重要であると考える。

## 今後の課題

内水氾濫に続く外水氾濫が予想される場合には、内水氾濫の初期段階での避難が求められる。  
このため、令和2年7月豪雨の豪雨分布に対して、**本解析で得られた各地点の水理量を教師データ**として、十分なリードタイムを持った**避難に活用可能な内水氾濫予測モデルを構築**することが今後の課題である。