

# 降雨を外力とした流域流出・氾濫解析に基づく 中小河川の浸水リスクの把握 ～平成 29 年 7 月 九州北部豪雨桂川流域を対象にして～

重枝 未玲<sup>1</sup>・秋山 壽一郎<sup>2</sup>・勝原 亮介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系  
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

E-mail:mirei@civil.kyutech.ac.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 九州工業大学名誉教授 (同上)

E-mail:akiyama@civil.kyutech.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻博士前期課程 (同上)

E-mail: o105020r@mail.kyutech.jp

本研究は、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の桂川流域を対象に、降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施し、河川水位および氾濫状況を把握するとともに、同解析と仮想降雨を与えた解析に基づき、降雨量と洪水・氾濫状況との関係を把握し、同河川での浸水リスクの把握を行ったものである。本研究から、(1)桂川流域での洪水氾濫プロセスを明らかにするとともに、(2)朝倉、角枝、北小路公民館の雨量観測所の雨量と浸水リスクとの関係、(3)桂川と荷原川の合流部の水位が 16m を超えると氾濫が生じる危険性が高くなることなど、危機管理対策を講じる上で重要な情報を示した。

**Key Words:** *Kyushu-hokubu heavy rain in 2017, rainfall-runoff, flood flow, inundation flow, numerical simulation, flood risk, the Katsura river*

## 1. はじめに

近年、想定を超えた豪雨による水害が頻発している。平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、筑後川中流の右岸流域(以下、筑後川右岸流域)で斜面崩壊、土石流・流木の発生、中小河川の氾濫、ため池の決壊等により甚大な被害が生じた<sup>1)</sup>。同流域では、平成 24 年 7 月にも豪雨による被害を受けており、数年に 1 回の間隔で被害が生じている<sup>2)</sup>。

同流域の河川は、中山間地を貫流する中小河川であり、一般に、このような河川では洪水到達時間が短く、また水位観測も限られており、降雨量が浸水リスクを判断する情報となる。このようなリスクを把握するためには、降雨外力から洪水・氾濫の挙動をあらかじめ把握する必要がある。そのためには、流域規模を対象に、降雨として流域からの流出、河道の洪水流、氾濫原での氾濫流の挙動を解析可能な数値モデルが不可欠である。このような解析が可能な数値モデルの代表的なものには、降雨流出氾濫(RRI)モデル<sup>3)</sup>や流域流出・洪水氾濫解析モデル<sup>4)</sup>がある。降雨流出氾濫モデルは、流出解析モデルをベースに開発されており、diffusion wave 法に基づく分布型モ

デルである。同モデルは、花月川の水位予測<sup>5)</sup>、北川<sup>6)</sup>、寒水川<sup>7)</sup>流域の流量予測に用いられるだけでなく、兵庫県千種川流域<sup>8)</sup>や今次豪雨の筑後川右岸流域<sup>9)</sup>の朝倉市周辺へ適用され、流域全体での流出と洪水氾濫プロセスの予測に用いられている。流域流出・洪水氾濫解析モデル<sup>4)</sup>は、洪水氾濫解析モデルをベースに著者らが開発しており、kinematic wave 法に基づく分布型流出解析モデルと dynamic wave 法に基づく平面 2 次元自由表面流モデルを用いて、流域からの河道・氾濫原への流出、洪水氾濫流の挙動を解析するモデルである。同モデルは、遠賀川流域<sup>3)</sup>、山国川流域<sup>9)</sup>、花月川流域<sup>10)</sup>の流域流出・洪水氾濫プロセスを再現している。このようなモデルを用い、降雨量と洪水・氾濫状況との関係を把握することができれば、降雨量に基づき中小河川の浸水リスクを把握することが可能になると考えられる。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の桂川流域を対象に、降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施し、河川水位および氾濫状況を把握するとともに、同解析と仮想降雨を与えた解析に基づき、降雨量と洪水・氾濫状況との関係を把握し、同河川での浸水リスクの把握を行ったものである。

## 2. 桂川流域の概要と被害の概要

### (1) 桂川流域の概要

図-1 に、桂川流域の概要を示す。桂川流域は、約60%が平地部で、水田地帯が広がっている。流域中央部の国道386号周辺は住宅地となっている。図-2に同流域の標高、土地利用とその割合を示す。なお、標高データには数値標高モデル(10mメッシュ)<sup>1)</sup>を、土地利用にはALOS2の高解像度土地利用土地被覆図<sup>2)</sup>を用いた。

桂川は、筑後川右岸流域に位置する支川であり、福岡県朝倉市荒田を源とする流路延長30.1km、指定区間流路延長12.8km、流域面積45.4km<sup>2</sup>の福岡県が管理する一級河川である。同流域では、平成24年7月九州北部豪雨でも浸水被害が発生し、筑後川と桂川の合流点に位置する桂川水門を基準地点として整備目標流量を290m<sup>3</sup>/sとして、桂川の河川改修が行なわれている。

### (2) 平成29年7月九州北部豪雨時の桂川流域の被害概要

平成29年7月九州北部豪雨では、桂川流域付近の朝倉雨量観測所で1時間雨量106mm、24時間雨量540.5mmと既往最大を更新した。桂川では、7月5日13時14分に福岡県内に大雨洪水警報が発表された後、14時ごろに桂川の約2km地点で流域雨量指数が50年に1度の規模の基準を超え、19時ごろにピークを迎えた。この豪雨により、桂川流域では堤防決壊が比良松中学校付近などの6箇所が発生し、浸水面積1,106ha、床上浸水401戸、床下浸水420戸の甚大な被害が生じた<sup>1)</sup>。桂川流域での被害の概要を図-3に示す。

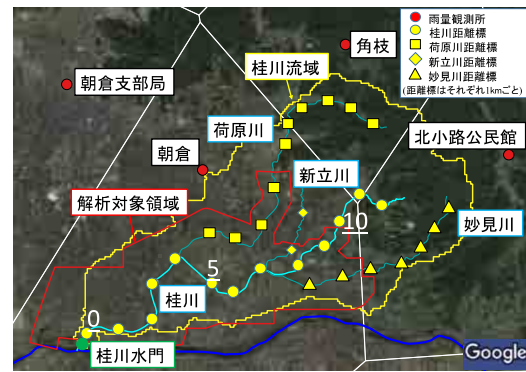


図-1 桂川流域の概要

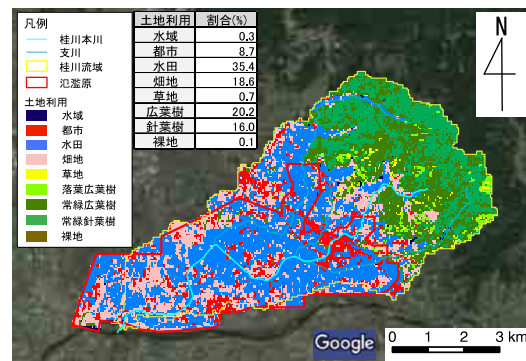
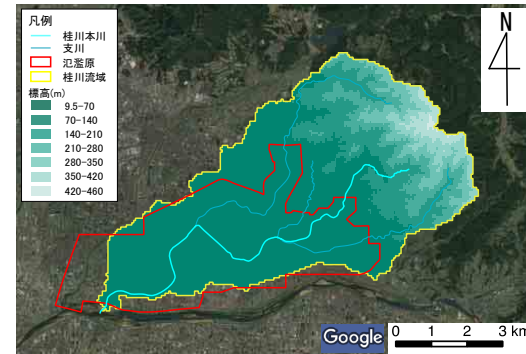


図-2 桂川流域の標高・土地利用

## 3. 流域流出・洪水氾濫解析の概要

### (1) 解析の概要

桂川流域の洪水氾濫プロセスの把握と仮想豪雨による浸水リスクの把握を目的に、流域流出・洪水氾濫解析を行った。同解析では、流域規模を対象に、任意の降雨外力と下流端水位を与え、流域からの流出、河道の洪水流と氾濫原の氾濫流の挙動を解析する。同解析には「流域流出・氾濫解析モデル」<sup>3)</sup>を用いた。モデルの詳細については、参考文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

### (2) 解析データの概要

本豪雨災害は、局地的な短時間の集中豪雨が要因である。そのため、降雨外力には、雨量観測所の雨量ではなく、空間解像度の高い国土交通省が運用・管理するXRAIN<sup>1)</sup>を、流域内の雨量観測所の実績降雨に基づき、ダイナミックウィンドウ法<sup>4)</sup>と雨量限界値<sup>5)</sup>で補正したレーダ雨量を用いた。

本豪雨災害の特徴として、洪水到達時間の短い中山間

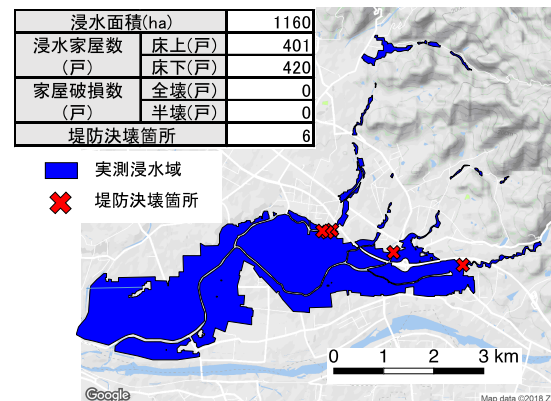


図-3 桂川流域での被害概要

地の中小河川で被害が甚大であった点が挙げられる。一般に中小河川では解析に必要な横断面データや水位データが存在しない場合が多い。本研究で対象とする桂川では河道の横断面測量データ、平面座標、境界条件となる下流端水位の観測値が存在しなかった。そのため、以下のように解析に必要なデータを作成した。

河道線形については、航空写真(Google Satellite)から、

河川変曲部での低水路と高水敷位置の左右岸座標を取得し、高水敷位置の左右岸座標の中点を繋ぐことにより河道線形を作成した。さらに、河道線形の法線方向に河道横断面のポイント群を作成し、航空レーザー測量によって得られる標高（LP データ）からポイント群に標高を付与し、河道横断面を作成した。また、LP データでは水面が存在する場所の標高を高く評価してしまう傾向があるので、最深河床のデータを用いて、河道横断面データを補正した。最後に変曲点の座標のみを残し、河道横断面の簡略化を行った。図-4 に作成した河道線形と横断面の一例を示す。

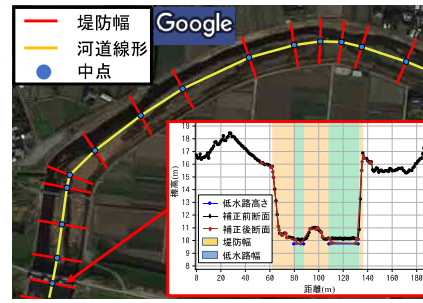


図-4 河道線形と横断面の一例

下流端境界条件として与える水位ハイドログラフについては、筑後川右岸流域の支川群の氾濫は筑後川本川の水位に及ぼす影響は小さいと考え、筑後川右岸流域を対象に実施した分布型流出・1 次元河道網洪水解析<sup>10)</sup>の解析結果を、桂川下流端での水位ハイドログラフとして用いた。図-5 に、桂川の下流端水位ハイドログラフの解析結果を示す。

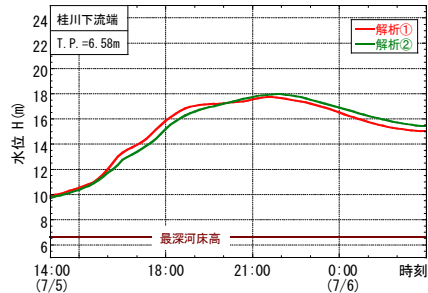


図-5 桂川の下流端水位ハイドログラフ

表-1 解析に用いた粗度係数

	粗度係数 $N(m^{-1/3} \cdot s)$	流出係数 $f$
水域	0.025	1.000
都市	0.040	0.900
水田	0.025	0.800
畑地	0.025	0.600
草地	0.030	0.800
落葉広葉樹	0.060	0.750
常緑広葉樹	0.060	0.750
常緑針葉樹	0.060	0.750
裸地	0.030	1.000

### (3) 解析条件

同豪雨時の氾濫状況の再現を目的とした解析①、降雨量のピークを解析①とは変化させた仮想豪雨を与え、降雨と氾濫状況との関係の把握を目的とした解析②の二つの解析を実施した。なお、下流端水位ハイドログラフについては、筑後川右岸流域の支川群からの流入流量を 0 とした解析も実施したが、桂川流域の洪水氾濫プロセスには大きな差異は生じなかった。

分布型流出解析の対象領域は、図-1 の黄枠の領域、洪水氾濫解析の対象領域は、図-1 の赤枠で示した桂川流域の平野部とし、解析対象河川を桂川とその支川である荷原川、新立川、妙見川とした。また、解析時刻は、福岡県に大雨洪水警報が発表される 1 時間程度前の平成 29 年 7 月 5 日 12 時から 6 日 2 時までとした。

分布型流出解析には、標高データとして数値標高モデル  $10m^{11)}$  を  $100m$  メッシュに補間したものを、土地利用データとして ALOS2<sup>12)</sup> を用いた。洪水氾濫解析には、先述のように作成した河道線形と河道横断面データを、粗度係数  $n$  には土地利用に応じて表-1 の値を、氾濫原の標高データとして航空レーザー測量  $1m$  メッシュ DEM データを計算格子で平均化したものを用いた。

解析①では、先述の XRAIN<sup>13)</sup> のレーダ雨量を補正した 10 分間雨量を、解析②では解析①の強雨域を北小路公民館雨量観測所と朝倉雨量観測所間の距離分西側に移動した仮想豪雨を用いた。なお、同仮想豪雨は、桂川流域内の中流部を代表する朝倉雨量観測所に雨量のピークが生じるように想定した豪雨であり、その経時変化は実績降雨に基づいている。図-6 に解析①と解析②の 48 時間雨量と流域平均ハイドログラフを示す。今次豪雨は桂

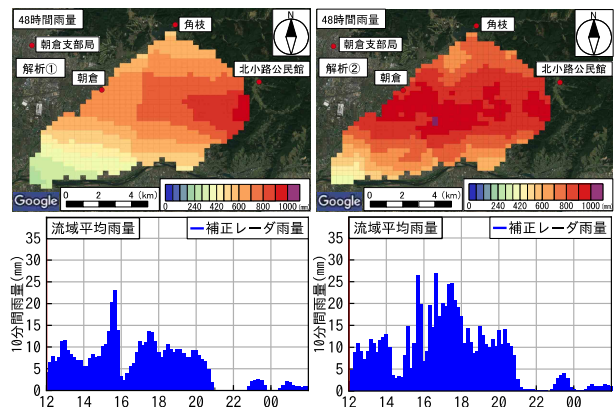


図-6 解析①と②の 48 時間雨量と流域平均ハイドログラフ

川・妙見川上流を中心としており、仮想豪雨では桂川流域の中流を中心としている。下流端境界には、図-5 の水位ハイドログラフを与えた。なお、桂川下流の水門は本川の水位が桂川の水位を上回ると同時に閉じることで取り扱った。また、情報が不十分だったため、破堤は取り扱っていない。

## 4. 桂川流域での洪水氾濫状況と浸水リスクの把握

### (1) 再現性の検証と洪水氾濫状況の把握

本豪雨災害の特徴として、観測データの少ない中小河川が被災した点にある。本研究の解析対象である桂川でも水位観測は実施されていない。本来であれば、痕跡水

位、実測水位ハイドログラフ及び浸水域に基づき、本解析の妥当性を検証すべきであるが、ここでは唯一入手できた実測浸水域に基づき本解析の再現精度を検証した。

図-7 に、本解析より得られた最大浸水深と実測浸水域の比較を示す。これより、本解析結果は、浸水域を十分な精度で再現していることが確認できる。また、図中には越水区間を示している。図-8 に、九州北部豪雨時の同流域での浸水プロセスを示す。なお、図中には分布型流出解析より得られた水深についてもあわせて示している。これより、桂川流域の洪水氾濫プロセスは次の通りであったと考えられる。(1)12 時ごろ雨量が増え始め、朝倉雨量観測所の 10 分間雨量が 24mm を、流域平均 10 分間雨量が 10mm を超える 12 時 40 分頃には桂川中流部や荷原川の河川沿いで内水氾濫が生じる。(2)北小路公民館雨量観測所の 10 分間雨量が 20mm 程度となる 13 時頃には桂川の 9.6km、荷原川の 1.6km 付近で越水が生じ、(3)角枝と北小路公民館雨量観測所の 10 分間雨量が 30mm 程度となる 14 時 30 分頃には、荷原川上流、桂川と荷原川の合流部、桂川上流、妙見川周辺の浸水域が広がり始める。(4)流域平均 10 分間雨量が 20mm を超える 15 時 30 分ごろには、妙見川、荷原川、新立川周辺、桂川流域中心部の浸水域が急激に広がり、(5)18 時ごろになると、本川水位が桂川の水位を上回り水門が閉じられるため、桂川下流側に浸水域が広がり始める。(6)18 時 30 分ごろになると、桂川流域中上流部の水は排水され始めるが、その水は下流に向かうため下流部での浸水域が広がる。

このように、桂川流域では、(1)朝倉観測所で豪雨となると、桂川と荷原川の合流部の桂川中流部、荷原川沿いから内水氾濫が始まり、(2)北小路公民館、角枝雨量観測所が豪雨となると、桂川の中流部、桂川、妙見川、荷原川の上流部で氾濫が広がり、(3)その後、桂川下流部の浸水が始まり、時間の経過とともに上中流の氾濫水は排水されるものの、その水が桂川下流の浸水を拡大させることがわかった。

## (2) 仮想豪雨を与えた解析に基づく雨の降り方と浸水リスクとの関係の把握

図-9 に、仮想豪雨を与えた最大浸水深の解析結果と越水区間を示す。仮想豪雨の浸水プロセスは、解析①より降雨量が多いため、浸水域の拡がりは、今次豪雨よりも早くなるが、(1)桂川中流の桂川と荷原川の合流部、荷原川沿いから内水氾濫が始まり、その後(2)桂川中流部、(3)桂川下流部へと浸水が拡大するプロセス自体には大きな変化が見られなかった。

以上を踏まえると、桂川流域では、朝倉雨量観測所で 10 分間雨量 20mm を超えるあるいは流域平均 10 分間雨量が 10mm を超えると、桂川中流部で浸水リスクが高く

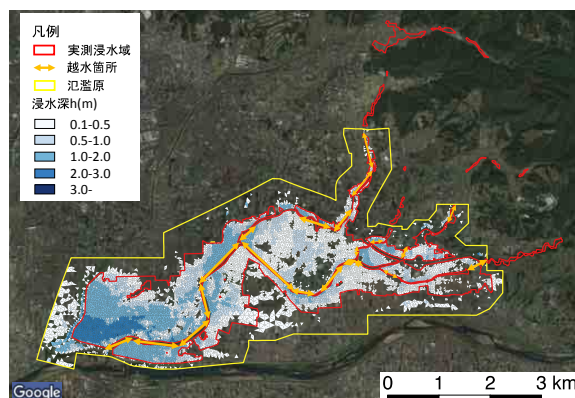


図-7 最大浸水深と実測浸水域の比較(解析①)

なる。角枝、北小路公民館の雨量観測所で、10 分間雨量 20mm を超えると、桂川上流、荷原川、新立川、妙見川で浸水リスクが高くなる。流域平均 10 分間雨量が 20mm を超えると桂川流域全体で浸水リスクが高くなる。以上から、上記の観測所および流域平均降雨量は、桂川流域での氾濫危険を評価する一つの指標になると考えられる。

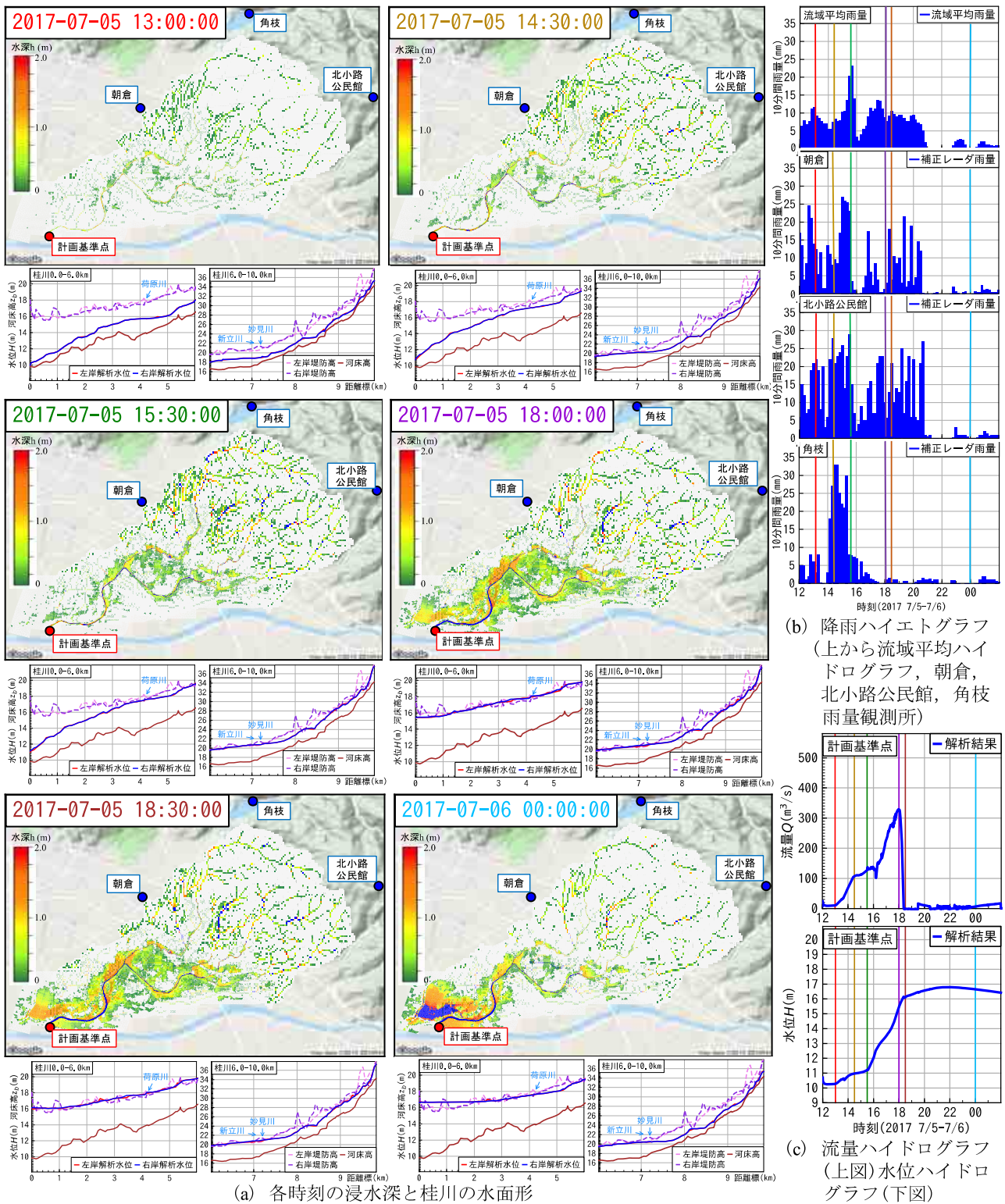
基準点の水位ハイドログラフと浸水プロセスを比較すると、中上流で浸水域が広がる 13 時~15 時 30 分、下流で浸水が広がる 18 時以降で、水位上昇速度(水位ハイドログラフの傾き)に変化が生じる。本モデルの予測精度の検証が必要ではあるが、基準点の水位観測を行い水位上昇速度の変化を把握することで、同流域で生じる氾濫現象をある程度把握できるのではないかと考えられる。また、桂川と荷原川の合流部で水位が 16m を超えると、合流部周辺や荷原川沿いで氾濫被害が大きくなることから、この地点での水位計を設置することで、危機管理対策を講じる上で重要な情報が得られると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨時の桂川流域を対象に、降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施し、同流域の洪水氾濫プロセス把握、降雨量と洪水氾濫との関係を把握し、同河川での浸水リスクの把握を行った。

その結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 桂川流域での洪水氾濫プロセスは、図-8 のようであったと考えられる。
- (2) 桂川流域では、朝倉、角枝、北小路公民館の雨量観測所のいずれかで 10 分間雨量 20mm 以上の豪雨が、流域平均 10 分間雨量 10mm 以上の豪雨が継続すると浸水リスクが高くなる。
- (3) 計画基準点の水位ハイドログラフは、桂川流域での洪水氾濫プロセスが変化する時刻で変化が生じることから、桂川流域で生じた洪水氾濫現象を把握する上で有用な情報になると考えられる。



(a) 各時刻の浸水深と桂川の水水面

図-8 桂川流域での浸水プロセス

(4) 桂川と荷原川の合流部は、その水位が 16m を超えると氾濫が生じる危険性が高くなることから、この地点での水位計を設置することで、危機管理対策を講じる上で重要な情報になると考えられる。

今後は、破堤を考慮し、数値解析精度を向上させる必要がある。また、同モデルを検証するためには、観測データが不可欠である。複数箇所に水位計を設置しデータの蓄積が不可欠である。

謝辞： 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。本学大学院生中島晴紀君、学部生川上航平君、当時、本学学生の大久保剛貴君(現国土交通省)、中木翔也君(現建設技術研究所)、西山晋平君(現北九州市)、小正実奈さん

(現東京建設コンサルタント)には、現地調査、解析の実行、データ整理等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会：筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書，[http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/file/bousai\\_joho/tecforce/H29hokubugouu\\_data/171122houkokusyoy1.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/H29hokubugouu_data/171122houkokusyoy1.pdf), 2017.
- 2) 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，平成26年6月号，pp.18-21，2014.
- 3) 重枝未玲：降雨を外力とした流域流出・洪水氾濫解析，ながれ，第37巻，No.1，pp.33-40，2018.
- 4) 中村要介，池内幸司，阿部紫織，小池俊雄，江頭進治：中山間地河川における洪水予測と予測水位誤差-平成29年7月九州北部豪雨を例として-，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74，No.4，pp.I\_1177-I\_1182，2018.
- 5) 守屋博貴，二瓶泰雄，長谷部由莉，峯浩二，鮎本健治，矢野真一郎，渡辺豊，福田信行：平成29年九州北部豪雨による福岡県北川の流木災害の検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74.No.4，I\_1195-I\_1200，2018.
- 6) 小室隆，赤松良久，山口皓平，渡辺豊，守屋博貴，二瓶康雄：平成29年九州北部豪雨における筑後川水系寒水川の土砂氾濫の実態解明，土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74，No.4，I\_1189-I\_1194，2018.
- 7) 山本浩大，佐山敬洋，近者敦彦，中村要介，三宅慎太郎，寶馨：千種川流域を対象にした RRI モデルによる降雨流出・洪水氾濫統合型解析，自然災害科学，Vol.36 特別号，pp.139-151，2017.
- 8) 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，平成29年7月九州北部豪雨災害に関する総合的研究報告書，pp.59-pp.67，2018.
- 9) 重枝未玲，秋山壽一郎，大久保剛貴，中木翔也：橋梁を簡

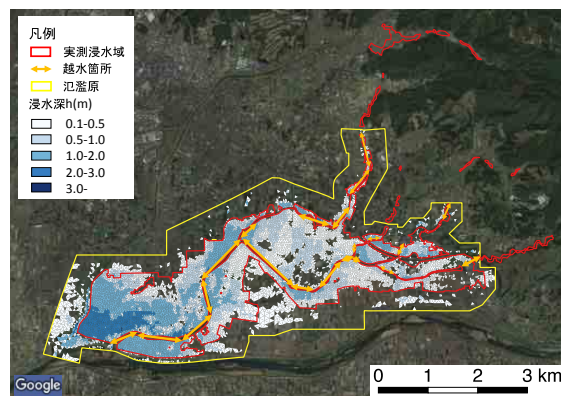


図-9 最大浸水深と実測浸水域の比較(解析②)

- 易的に考慮した山国川流域の洪水氾濫解析，河川技術論文集，第23巻，pp.13-18，2017.
- 10) 重枝未玲，秋山壽一郎，大久保剛貴，中島晴紀：平成29年7月九州北部豪雨時の花月川流域の流域流出・洪水氾濫解析，河川技術論文集，第24巻，pp.451-456，2018.
  - 11) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/>，2018.
  - 12) JAXA：高解像度土地利用土地被覆図ホームページ，[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jluc\\_jpn.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jluc_jpn.htm)，1997.
  - 13) DIAS：<http://www.diasjp.net/service/xrain/>，2017.
  - 14) 山口高志，北川明，小野寺直，高水克哉，幸弘美：レーダ雨量計の精度向上について，河川情報研究，No.1，pp.91-104，1993.
  - 15) 山田隆徳，宮武真一，小池仁治，安部俊司，小淵孝志，今村英智，柴卓：部外雨量データの収集と利用について-他機関観測データ収集・高度利用装置の概要-，測候時報，第78巻，pp.141-161，2011.
  - 16) 重枝未玲，秋山壽一郎，中木翔也，勝原亮介，大久保剛貴：平成29年7月九州北部豪雨時の筑後川右岸流域を対象にした分布型流出・1次元河道網洪水流解析，河川技術論文集，第24巻，pp.445-450，2018.

(2018 5. 31 受付)

## GRASP OF FLOOD RISK OF MEDIUM AND SMALL SIZE RIVERS BY RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD-INUNDATION ANALYSIS ~THE CASE OF THE KATURA RIVER IN KYUSHU-HOKUBU HEAVY RAIN ON JULY 2017~

Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA and Ryosuke KATSUHARA

Flood risk of the Katura river basin, which was one of medium and small size rivers in the Tikugo river basin, on Kyushu-hokubu heavy rain in 2017 was examined by a numerical simulation for rainfall-runoff in watershed and flood inundation flows. The rain-fall runoff was simulated by a distributed hydrological model using radar rainfall. The flood flow in rivers and inundation flows on the ground were simulated simultaneously by the 2D flow model. The simulated results compared with the observed maximum inundation area. An inundation process and the relationship between amount of rainfall and flooding were also examined based on the numerical results.