

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

NUMERICAL SIMULATIONS OF RAINFALL-RUNOFF AND FLOOD
INUNDATION FLOWS BASED ON RADAR RAINFALL IN THE KAGETSU
RIVER BASIN ON KYUSHU-HOKUBU HEAVY RAIN IN 2017

重枝未玲¹・秋山壽一郎²・大久保剛貴³・中島晴紀⁴

Mirei SHIGE-EDA, Juichiro AKIYAMA, Kouta OKUBO and Haruki NAKASHIMA

¹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)

²フェロー会員 九州工業大学名誉教授 (同上)

³正会員 国土交通省中国地方整備局松江国道事務所 (〒690-0017 島根県松江市西津田2丁目6-28)

⁴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
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

Numerical simulations of flooding event in the Kagetsu river basin on Kyushu-hokubu heavy rain in 2017 was performed by a numerical model 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 water level, flood marker and maximum inundation area. It shows that the model has ability to reproduce runoff, flooding and inundation process with reasonable accuracy. A inundation process was also examined through numerical result and filed survey.

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

1. はじめに

近年, 記録的な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)で土砂・流木・流水による複合災害により, 甚大な被害が生じた¹⁾.

本研究で対象とする花月川流域は, 筑後川右岸流域の上流側に位置している. 今次豪雨災害では, 花月観測所で既往最高水位を更新し, 内外水による家屋浸水被害が発生した²⁾. また, 平成24年7月には2度の大きな出水を受けており³⁾, 数年に1回の間隔で被害が生じている.

同河川は中山間地を貫流する河川であり, 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いるため, 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目的で, 流域レベルを対象に, 降雨を外力として降雨流出から洪水氾濫を解析可能な数値モデルの開発がなされている^{4),5),6)}. 降雨流出氾濫(RRI)モデル⁴⁾は, diffusion wave法に基づく分布

型モデルであり, 流出解析モデルをベースに開発されているモデルである. 同モデルは, 今次豪雨の花月川流域へ適用され, 花月川の花月水位観測所の水位ハイドログラフを十分な精度で再現できることを示している⁵⁾. 流域流出・洪水氾濫解析モデル⁶⁾は, kinematic wave法に基づく分布型流出解析モデルで流域から河道・氾濫原への流出を, dynamic wave法に基づく平面2次元自由表面流解析モデルで洪水氾濫流の挙動を解析するモデルであり, 洪水氾濫解析モデルをベースに, 著者らが開発しているモデルである. また, 花月川では橋梁や堰などの複数の河川構造物が設置されており, これらを適正に評価することが, 洪水時の河道内水位や氾濫を高精度に予測するためには不可欠である.

本研究は, 以上のような背景を踏まえ, 著者らが開発した橋梁・堰の簡易的な取り扱いを組み込んだ流域流出・洪水氾濫解析モデル^{6),7),8)}を, 平成29年7月九州北部豪雨時の花月川流域へ適用し, 内・外水氾濫の区別も含め, その洪水・氾濫プロセスを検討したものである. なお, 今次豪雨では筑後川右岸流域の支川の多くは水位観

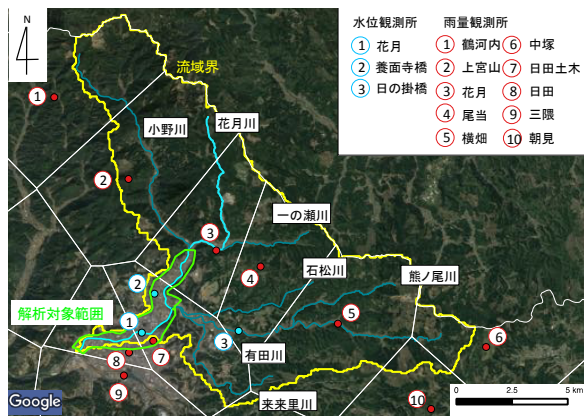


図-1 花月川流域の概要

測が実施されていないことを踏まえ、参考文献⁹⁾で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の解析結果の一部を用いた。同文献の目的は被災プロセス等を検討する上で必要な筑後川本川の水位や流量等の情報取得であり、花月川流域の洪水・氾濫プロセスの検討を目的とした本論文とは目的が異なる。

2. 花月川流域と平成24年・平成29年7月九州北部豪雨災害の概要

(1) 花月川流域の概要

花月川は大分県日田市を貫流する流域面積 130.2km²、流路延長59.6kmの筑後川支流である²⁾。本川との合流点から8.7kmまでが大臣管理区間、その上流が大分県管理区間である。直轄区間には、5つの堰と18つの橋が存在し、5.2km地点で有田川と、8.8km 地点で小野川と合流している。3.38km左岸に花月水位観測所が設置されている。図-1に、花月川流域の概要および観測所位置を示す。

(2) 平成24年7月九州北部豪雨による災害の概要

花月川流域では、平成24年7月3日と14日に2度の大きな出水が生じた。平成24年7月3日9:30 に花月水位観測所で既往最大水位 4.16m を記録し、その後、水位が低下したものの再度上昇し、7月14日7:30 に 4.37mを記録した³⁾。図-2に、7月3日の破堤2カ所、7月3日、14日の越水13カ所、浸水域を示す。浸水域は、距離標0~1km、距離標1~7km、距離標7km~の3つに分けられ、その要因は、大流量が流れたことに加え、距離標0~1km、距離標7km~では河道の流下断面の不足、距離標1~7kmでは破堤および夕田橋(距離標4.73km)での流木トラップによる河道の流下能力の低下であった。なお、平成29年7月九州北部豪雨時には、夕田橋は、後述の激甚災害対策特別緊急事業により架替られている。

(3) 花月川激甚災害対策特別緊急事業の概要

平成24年7月の豪雨災害を受け、花月川・有田川は平成24年11月に激甚災害対策特別緊急事業(以下、激特事業)の指定を受けた¹⁰⁾。図-2に激特事業の概要を示す。友

田地区(0-1.7km)で掘削築堤護岸工事、玉川・丸の内地区(1.8-3.3km)で掘削護岸工事、光岡頭首工(1.8km)の撤去、2.8km右岸で樋管設置、城内頭首工(4.3km)の改築、夕田橋(4.73km)の架替、有田地区(4.3-4.73km)で掘削護岸工事、三和地区(5.5-7.3km)で掘削護岸工事、花月地区(7.5-8.7km)で掘削築堤護岸工事がなされ、平成28年度末までに概ね完了していた。なお、河道掘削は高水敷の約2m切り下げを基本とし、夕田橋は旧橋の約30m下流に設置されて橋脚が3基から1基となり、桁下が約1m上昇した。

(4) 平成29年7月九州北部豪雨による災害の概要と激甚災害対策特別緊急事業の効果

平成29年7月豪雨では、7月5日19:50に花月水位観測所(3.38km)において、既往最大水位4.53mを記録した²⁾。図-2に平成29年7月九州北部豪雨時の浸水域を示す。

平成24年、平成29年九州北部豪雨の浸水状況を比較すると、浸水面積はそれぞれ12.1ha、8.56haであり、約3割減少した。さらに、距離標4kmより、上流側では激特事業の効果により、浸水域が大きく減少している。一方で、距離標3km~4kmの左岸側では平成29年九州北部豪雨時の浸水域が大きくなった。この要因については、「4. 結果と考察」で検討する。

3. レーダ雨量を外力とした流域流出・洪水氾濫解析の概要

花月川流域を対象に、レーダ雨量を外力とした流域流出・洪水氾濫解析を実施した。図-1の解析対象範囲と花月川の大分県管理区間を、洪水氾濫解析の対象とした。

(1) 流域流出・洪水氾濫解析の概要

流域流出・洪水氾濫解析には、「流域流出・洪水氾濫解析モデル」⁶⁾を用いた。同モデルは、①セル分布型流出解析モデル、②洪水追跡モデル、③氾濫解析モデルの3つのモデルで構成され、それぞれの結果を境界条件あるいは内部境界条件で接続することで、降雨を外力として河川や氾濫原への流出流量を算定し、下流端境界条件として水位ハイドログラフを与えることで、精度の高い本川の洪水追跡、氾濫原での詳細な浸水プロセスの予測を行うモデルである。モデル①にはkinematic waveモデル⁶⁾が、モデル②と③には非構造格子、有限体積法、流束差分法に基づく、橋梁⁷⁾や堰⁸⁾の河川構造物の簡易的な取り扱いを組み込んだ平面2次元自由表面流モデル^{7,8)}が用いられている。なお、河川構造物については計算セル境界線に水位と投影面積の関係を与え、エネルギー損失で取り扱う方法で取り扱った^{7,8)}。セル分布型流出解析モデルの詳細は参考文献⁶⁾を、河川構造物の簡易的な取り扱いを組み込んだ平面2次元自由表面流モデルの詳細については参考文献^{7,8)}を参照されたい。

同解析の解析手順は次の通りである。

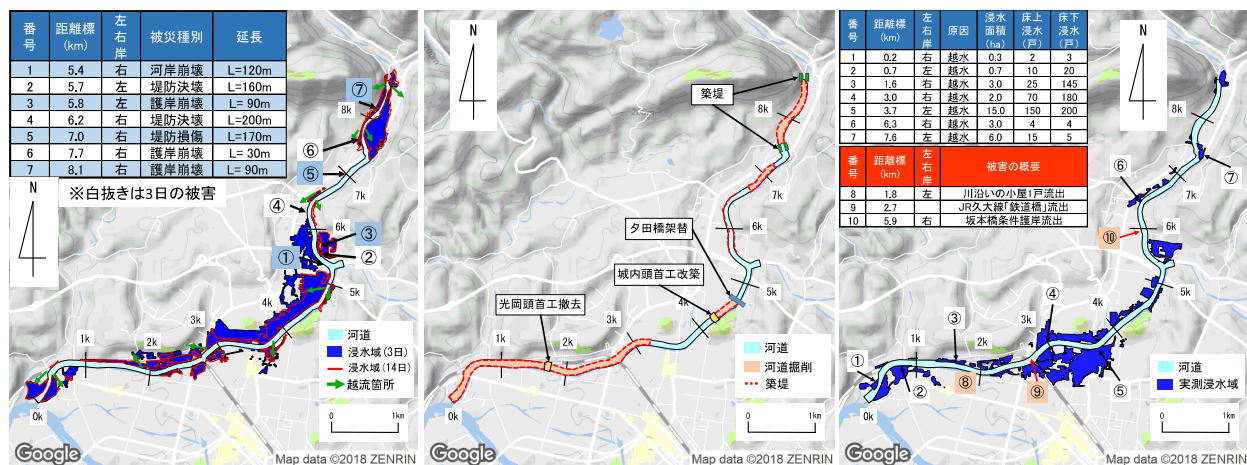


図-2 平成24年7月豪雨による被害(左)、激特事業(中)、平成29年7月豪雨による被害(右)の概要

- (1) 流域を小流域、河道、氾濫域に分割する。また、氾濫域は斜面部と氾濫原とに分割する。
- (2) 小流域と氾濫域に含まれる斜面部の雨水の挙動解析と河川への流出計算を行う。
- (3) 河川への流出、斜面部からの氾濫原への雨水の流出を考慮して本川下流端の水位を境界条件として、本川の洪水追跡、支川の洪水流、氾濫原の氾濫流を一体的に解析する。本川の越水が生じた場合、流域に位置する複数の地域で内水氾濫が発生した場合は、これを考慮する。

(2) 解析条件と下流端境界条件の推定

平成29年7月九州北部豪雨を対象に解析を実施した。

- (1)現象の再現を目的として、分布型流出解析の流量を河道・氾濫原の境界に与え、氾濫原に降雨を与えた解析Run1、(2)内水あるいは外水氾濫の区別を目的として、分布型流出解析の流量を花月川へ全て流入させた解析Run2、(3)橋梁の堰上げ効果を調べる目的で、堰のみを考慮した解析Run3を実施した。

解析対象時刻は、平成29年7月5日14時から6日3時とした。降雨外力には、国土交通省が運用・管理するXRAIN¹¹⁾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¹²⁾で補正したレーダ雨量を用いた。補正したレーダ雨量には降水減衰による異常値が認められたため、レーダ雨量の各セルに対して、最も隣接しているアメダス雨量観測所の月別歴代1位の10分間雨量に+5mmしたものを雨量限界値とし、補正値がこの雨量限界値を超えた場合、雨量限界値に置き換える処理を行なった¹³⁾。図-3に花月川流域の流域平均雨量と48時間雨量の空間分布を示す。これより、本豪雨では花月川流域北西に豪雨域があったことが確認できる。

分布型流出解析には、標高データとして数値標高モデル10m¹⁴⁾を100mメッシュに補間したものを、土地利用データとしてALOS2¹⁵⁾を用いた。洪水氾濫解析には、河道横断面データとして平成29年の測量結果を、粗度係数として推定粗度係数と逆算粗度係数を、氾濫原の標高データとして航空レーザ測量1mメッシュDEMデータ

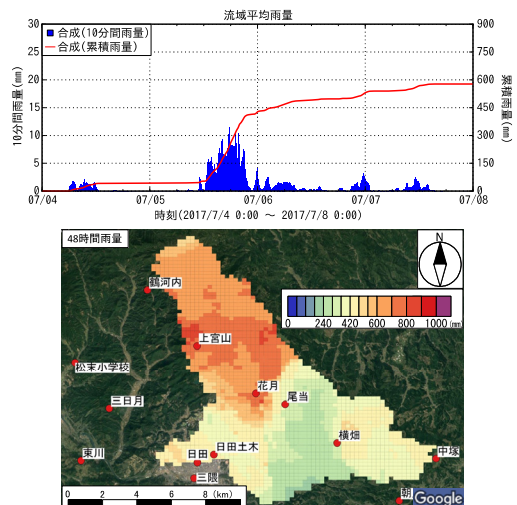


図-3 花月川の流域平均雨量(上)と48時間雨量の空間分布(下)

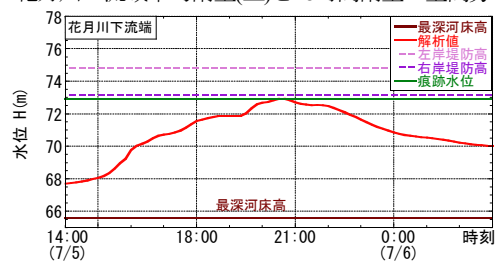


図-4 花月川の下流端水位

を計算格子で平均化したものを用いた。

本解析では、下流端境界条件として水位ハイドログラフが必要となる。花月川の大分管理区間では、花月観測所で水位観測がなされているが、流域流出・氾濫解析の境界条件となる花月川と筑後川の合流部で水位観測はなされていない。そこで、花月川で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次元河道網洪水流解析⁹⁾の解析結果を、花月川下流端での水位ハイドログラフとして用いた。図-4に、花月川の下流端水位の解析結果を示す。これより、花月川の下流端水位は、7月5日の20時頃にピークを迎え、痕跡水位と概ね一致する72.92mとなり、堤防高付近まで上昇したことが確認できる。なお、花月川の花月水位観測所のピーク水位は19時50分頃に発生したことから、本結果は概ね妥当な結果と考えられる。

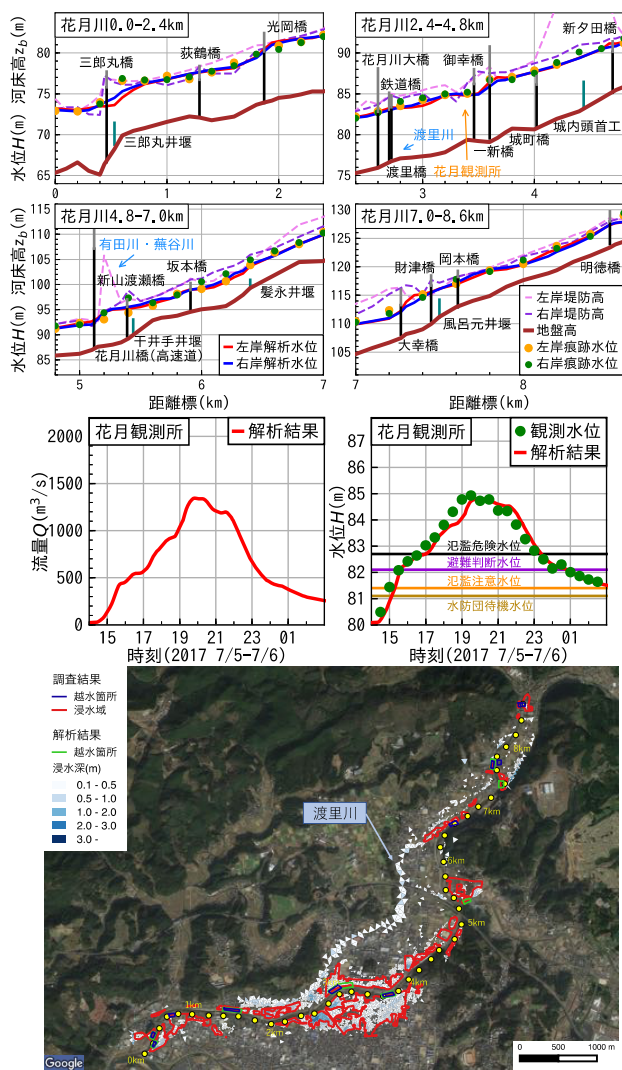


図-5 平成29年7月豪雨の痕跡水位(上), 花月観測所の実測水位(中), 浸水域(下)とRun1の比較

4. 結果と考察

(1) 再現性の検証

図-5に、平成29年7月豪雨時の痕跡水位、花月観測所の実測水位、浸水域とRun1の解析結果との比較を示す。浸水域には、調査結果¹⁰および解析結果より得られた越水箇所も合わせて示している。これより、本解析結果は、花月観測所の実測水位、痕跡水位、浸水域、越水箇所を十分な精度で再現できることが確認できる。なお、渡里川については、氾濫原として取り扱っているため、浸水域の図のように、河道に沿って浸水深が大きくなる。また、花月観測所でのピーク流量は1,340m³/s程度であった。

(2) 平成29年7月豪雨時の浸水プロセスの検討

図-6にRun1の浸水深の経時変化を、図-7に花月観測所のピーク水位が生じる時刻付近のRun2の浸水深の経時変化を示す。図中には、流域平均降雨ハイトグラフ、花月観測所の水位・流量の解析結果、流出解析より得られた河道上流端の流量ハイドログラフも示している。な

お、同図中の縦線の色は浸水プロセスの時刻と対応している。図-7より、外水のみを考慮したRun2では、(1)花月観測所の水位がピークを迎える19:20頃から、図中の矢印の位置で浸水が開始し、(2)時間の経過とともに浸水域が拡大する様子が確認できる。このように、図中の矢印の位置で外水氾濫が発生していることが確認できる。

この結果と図-6より、今次豪雨時の浸水プロセスは次のようであったと考えられる。(1)7月5日の16:00頃には、流域平均10分間雨量が10mmを超える降雨があり、標高の低い箇所に降雨が集まり内水氾濫が生じる。(2)17:30頃には、再度、流域平均10分間雨量が10mmを超える豪雨があり、JR久大線鉄道橋付近の左岸を中心に、内水氾濫が拡大する。(3)花月川観測所の水位がピーク近くとなる19:20頃には、距離標0.2km付近の両岸、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生する。(4)その後、時間の経過とともに、氾濫水が河道へ排水され浸水域が減少する。

距離標0.8km付近においては、現地調査で右岸および左岸の堤防上および堤防付近の堤内地に細砂の散乱が確認され、右岸堤防上に流木の漂着が確認されたことから、下流域において外水氾濫が発生したと考えられる。一方で、解析ではそのような越水は確認されなかった。これは、この区間での河道横断面が短区間で変化しており、本解析ではそれを捉えることができず、同区間での水位を過小に評価したためと考えられる。

距離標5.2km付近では、図-2に示すように、花月川と有田川の合流点付近において、花月川の左岸側に浸水域が確認される。この領域は花月川左岸堤防と県道676号線および背後の山地に囲まれており、蕪谷川が流れている。平成29年7月18日において、堤防上に細砂は確認されなかった。また、本解析でも花月川本川から、同領域への越水は認められなかった。このことから、本領域における氾濫は内水氾濫と推定される。ただし、本解析では蕪谷川を考慮していないことから、この内水氾濫を再現できていない。

また、再現解析Run1と堰のみを考慮した解析Run3の河道内水位、浸水プロセスには顕著な違いは認められなかった。Run1の再現性が高く、今次豪雨での同流域の流木発生量が少なかったことを踏まえると、橋梁自体や流木補足による堰上げ効果は小さかったと推察される。

(3) 距離標3km～4kmの左岸側での浸水

先述のように、距離標3km～4kmの左岸側では、平成24年九州北部豪雨時に比べ、平成29年九州北部豪雨時の浸水域が大きくなった。本解析から、中流域の1.0～4.0km区間では、内水氾濫が生じ浸水深が大きくなった後、花月観測所の水位がピークとなる19:45頃に、距離標1.5km、距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km左岸付近で越水が発生し浸水域が広がったことが確認でき、同区間では最初に内水氾濫が生じ、その後、外水氾濫が生じたと考え

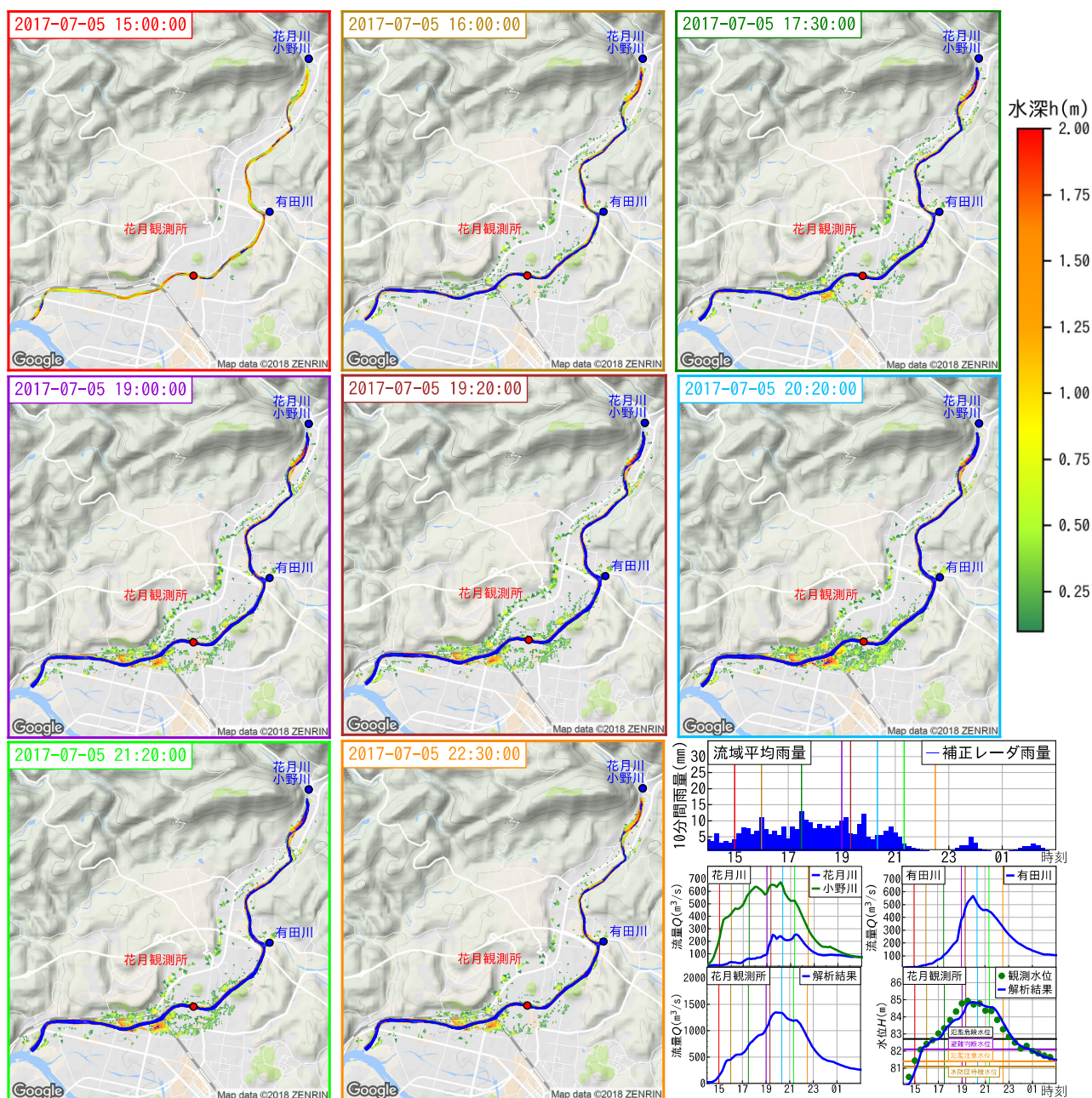


図-6 Run1の浸水深の経時変化

られる。また、同区間周辺での距離標3.0km付近の右岸、距離標3.8km付近の左岸のいずれも河道線形により水衝部となっている。そのため、同区間よりも上流側が改修され、流量の低減がなく、流れの慣性力が大きな状態で流れが水衝部に衝突し水位が上昇したため、越水が生じたと考えられる。このように、同区間左岸側の浸水域の増加は、内水氾濫に加え、大流量の流下と同区間の河道線形が要因であったと考えられる。そのため、同区間の改修にあたっては、流下能力のみならず、河道の平面形状等の河道特性を考慮した改修が必要と考えられる。

5. おわりに

本研究から、(1)本モデルが、平成29年7月九州北部豪

雨時の花月川流域での痕跡水位、水位ハイドログラフの実測値や浸水域などを十分な精度で再現できること、(2)橋梁の有無による水位の顕著な変化はなく、本出水では橋梁による堰上げの影響は小さかったこと、(3)今次豪雨時の浸水プロセスは、まず、豪雨による内水が発生し、ピーク水位が生じる時刻近傍で越水氾濫が生じた後、時間の経過とともに氾濫水が排水されたこと、などが確認された。

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)、基盤研究(C)(課題番号：16K06515、研究代表者：重枝未玲)の助

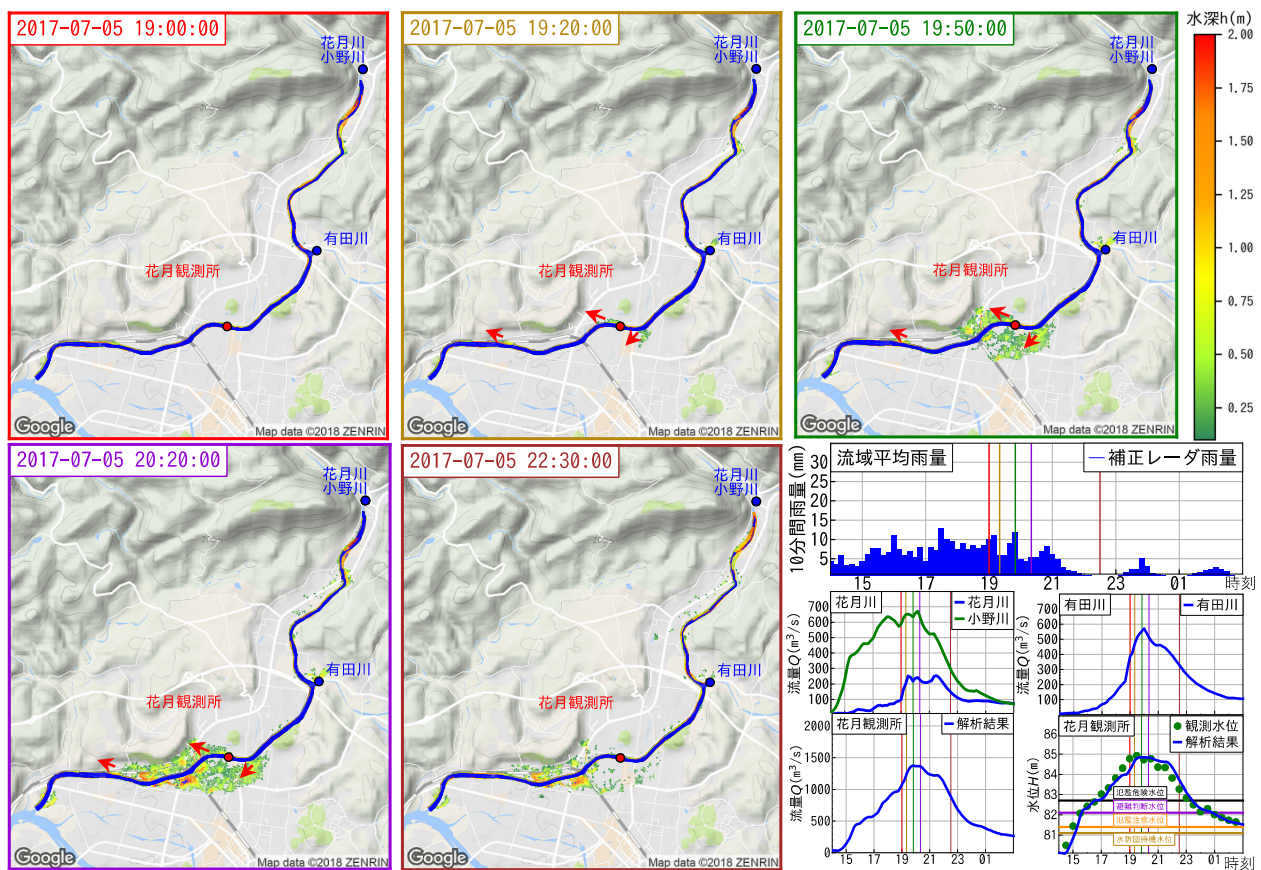


図-7 Run2の浸水深の経時変化

成を受けた。本学の鬼束幸樹教授，学生の泉考佑君，窄友哉君，西山晋平君には現地調査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/171122houkokusyo11.pdf, 2017.
- 2) 国土交通省：梅雨前線に伴う平成29年7月5日出水について(第3報), http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_kasen03.pdf, 2017.
- 3) 土木学会九州北部豪雨災害調査団：平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書, pp.46-52, 2013.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 秋山壽一郎，重枝末玲，小園裕司：流域特性を考慮した都市域氾濫解析モデルと都市域での浸水プロセスの予知，水工学論文集，第54巻，pp.919-924, 2010.
- 7) 重枝末玲，秋山壽一郎，大久保剛貴，中木翔也：橋梁を簡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.
- 8) 重枝末玲，秋山壽一郎，大久保剛貴，中木翔也：河川横断構造物の簡易的な取り扱いを組み込んだ平面2次元洪水流モデルの構築，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.73, No.4, pp.I_1423-I_1428, 2017.
- 9) 重枝末玲，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，2018(投稿中).
- 10) 工藤勝次，永野貴也，松本秀一：花月川激特事業での河川整備について，http://www.qsr.mlit.go.jp/n-shiryo/kenkyu/program/03/03_03.pdf, 2015.
- 11) DIAS：<http://www.diasjp.net/service/xrain/>, 2017.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 国土地理院：基盤地図情報，<https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem>, 2018.
- 15) 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/jlulc_jpn.htm, 1997.
- 16) 国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所：平成29年7月九州北部豪雨の概要速報版，2017.

(2018.4.3受付)