

数値シミュレーションに基づく 短時間豪雨に対する遠賀川流域の洪水と 飯塚市街地の浸水特性の検討

NUMERICAL INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF
FLOOD FLOW IN THE ONGA RIVER BASIN AND INUNDATION FLOW IN
IIZUKA CITY DUE TO TORRENTIAL RAIN

秋山壽一郎¹・重枝未玲²・野村心平³

Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA and Shinpei NOMURA

¹フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学大学院教授 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正会員 博士(工) 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 (同上)

³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)

Numerical simulations of flood flow in the Onga river basin and inundation flow in the Iizuka-city area due to torrential rain were performed by a numerical model for rainfall-runoff in watershed and flood inundation process in urban area with flood disaster-reduction system such as sewer network and drainage pump station. The rain-fall runoff, flood flow in rivers and inundation flows on the ground and free-surface-pressurized flow in the sewer network were simulated by a distributed hydrological model, the 2D free-surface flow model and dynamic network model for free-surface-pressurized flow combined with the Preissmann slot respectively. The characteristics of flood flow and inundation flow in Iizuka-city in the Onga river basin due to several torrential rain were examined based on the numerical results.

Key Words : *torrential rain, rainfall-runoff, flood flow, inundation flow, numerical simulation, Onga river basin, Iizuka city*

1. はじめに

近年、想定を超えた豪雨により、甚大な被害が生じている。近年の水害は、短時間の局地的な大雨によって引き起こされることが特徴であり、2012年7月の九州北部豪雨災害では、熊本県阿蘇市の阿蘇乙姫において、観測史上最大の3時間雨量288.5mmを記録している。

このような短時間豪雨の雨量は、河川計画における降雨継続時間内の降雨量としては少なく、その年超過確率も小さい。従って、河川計画を検討する際の降雨として選定される可能性は小さい。しかし、現実に被害が生じており、このような豪雨に対する備えは必要である。そのためには、短時間豪雨に対する流域、河道、氾濫原での雨水のレスポンスを知ることが不可欠である。今後、年最大日雨量が増大することが予測¹⁾²⁾されていることから、その重要性はますます高くなると考えられる。

短時間豪雨に対する流域、河道、氾濫原での雨水のレ

スポンスを検討するためには、降雨外力からの流出、洪水、氾濫の一連のプロセスを予測し、その結果に基づき被害評価を行うことが必要となる。「統合型降雨流出・洪水氾濫モデル」³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾はそのためのツールの一つであり、同モデルを用いた浸水予測に基づき、経済被害評価を行えるようになってきている⁶⁾⁷⁾。著者らも、降雨外力から流出、洪水、氾濫の一連のプロセスを予測できる「流域流出・都市域氾濫解析モデル」⁸⁾に経済被害評価を組み込むことで、「都市域浸水・減災対策検討シミュレータ」⁹⁾を開発し、同モデルが流域の雨水の挙動、河道での洪水流の挙動、都市域での詳細な氾濫流の挙動だけでなく、経済被害も予測可能である⁹⁾ことを示した。このようなモデルを用いて、短時間豪雨に対する流域、河道、氾濫原での雨水のレスポンスを検討し、どのような雨に対して、どの河道区間や氾濫原で危険な状況になるのか、被害状況はどの程度になるかを把握することは、危機管理対策を講じる上で有用であると考えられる。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、遠賀川流域と

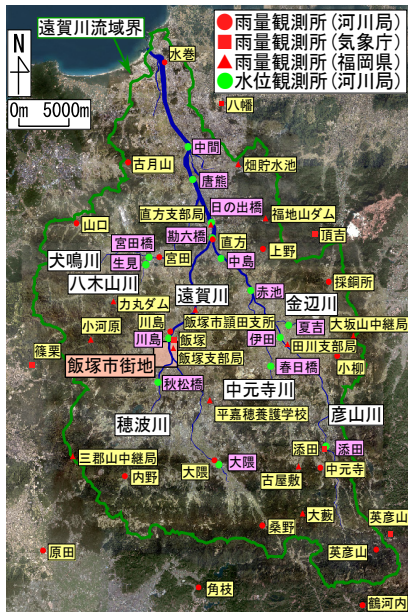


図-1 遠賀川流域の概要

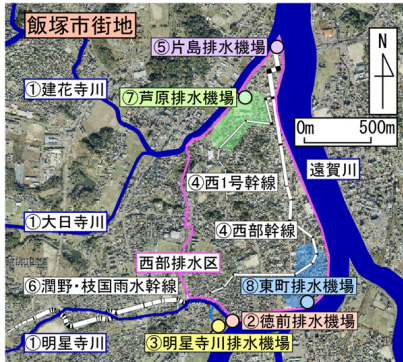


図-2 飯塚市街地の西部排水区の治水システム

飯塚市街地を対象に、複数の降雨波形および空間分布の短時間豪雨に対して、「都市域浸水・減災対策検討シミュレータ」による遠賀川流域の洪水、氾濫状況、被害状況の予測を行い、その結果に基づき、短時間豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性および飯塚市街地での浸水特性について検討したものである。

2. 遠賀川流域と飯塚市街地の概要

(1) 遠賀川と流域の概要

遠賀川流域は、流域内の人口密度が 650 人/ km^2 と比較的高く、三方を福智山地、英彦山地、三郡山地といった山々に囲まれている。流域面積は $1,026$ km^2 であり、土地利用は、森林が約 52% 、水田や果樹園等の農地が約 19% 、宅地等市街地が約 18% 、荒地が約 6% を占めている。

遠賀川は、幹川流路延長 61 km の一級河川であり、その支川には穂波川・中元寺川・彦山川・金辺川・八木山川・犬鳴川・笹尾川・黒川・西川などがある。遠賀川の計画基準点は日の出橋であり、そこでの計画高水位はT.P. 10.46m 、計画高水流量は $4,800$ m^3/s 、整備計画目標流量は $3,800$ m^3/s である。図-1に遠賀川流域の航空写真と雨量・水位観測所を示す。

遠賀川では度々洪水が発生し、特に明治 22 年 7 月、明治 38 年 7 月、昭和 10 年 6 月、昭和 16 年 6 月、昭和 26 年 6 月に大洪水が発生している。最近では平成 15 年 7 月に、集中豪雨による内水氾濫が生じ甚大な被害が生じている。特に、遠賀川の中下流域では低地部に住宅地が発達しており、頻繁に内水氾濫が生じている。

(2) 飯塚市街地の概要

飯塚市街地は中下流域に位置しており、支川の氾濫による内水氾濫被害が度々生じている。平成 15 年の九州豪雨災害時には飯塚市の旧飯塚地区では最大で約 1.5m の浸水深となり、歴史ある劇場や中心商店街、文化施設をはじめとして周辺一体が大きな被害を受け、床上浸水 $1,569$ 棟、床下浸水 724 棟をはじめ電気・水道・ガスなどのライフラインにも大きな被害が生じている。図-2は、飯塚市街地西部排水区の治水システムを示したものである。現在、西部排水区の治水システムは、(1) 明星寺川、建花寺川、大日寺川の中小河川(図-2中の①)、(2) 明星寺川下流の徳前排水機場(排水能力 $16.0\text{m}^3/\text{s}$)(図中の②)、(3) 明星寺川の分流河川下流の明星寺川排水機場(排水能力 $26.0\text{m}^3/\text{s}$)(図中の③)、(4) 西部幹線(幅 $1400\sim 3600\text{mm}$ ×高さ $1120\sim 2160\text{mm}$ ×長さ 2633m)、西1号幹線(直径 $250\sim 1650\text{mm}$ ×長さ 1494m)の二つの幹線を有する下水道網(図中の④)、(5) 西部幹線末端の片島排水機場(排水能力 $12.66\text{m}^3/\text{s}$)(図中の⑤)、(6) 潤野・枝国雨水幹線(幅 1200mm ×高さ $1200\sim 4500\text{mm}$ ×長さ 2460m)(図中の⑥)、(7) 芦原排水機場(排水能力 $3.0\text{m}^3/\text{s}$)と東町排水機場(排水能力 $2.2\text{m}^3/\text{s}$)(図中の⑦、⑧)(ハッチの地域の雨水排水を担当)で構成されている。

3. 都市域浸水・減災対策検討シミュレータの概要

「都市域浸水・減災対策検討シミュレータ」⁹⁾は、①任意の降雨外力から、流域での雨水の挙動を把握した上で、精度の高い本川の洪水追跡を介して、都市域での詳細な浸水プロセスの予測を行う「流域流出・都市域氾濫解析モデル」と②浸水による被害額を評価する「経済被害評価モデル」とで構成される。以下にその概要を示す。モデルの詳細は参考文献を参照されたい⁹⁾。

(1) 流域流出・都市域氾濫解析モデルの概要

流域流出・都市域氾濫解析モデル⁹⁾は、①セル分布型流出解析モデル¹⁰⁾、②平面2次元洪水追跡モデル¹⁰⁾、③都市域氾濫解析モデル⁹⁾の3つのモデルで構成される。モデル①で小流域と都市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。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、モデル②と③で本川の洪水追跡、支川の洪水流、氾濫原の氾濫流および下水道流を一体的に

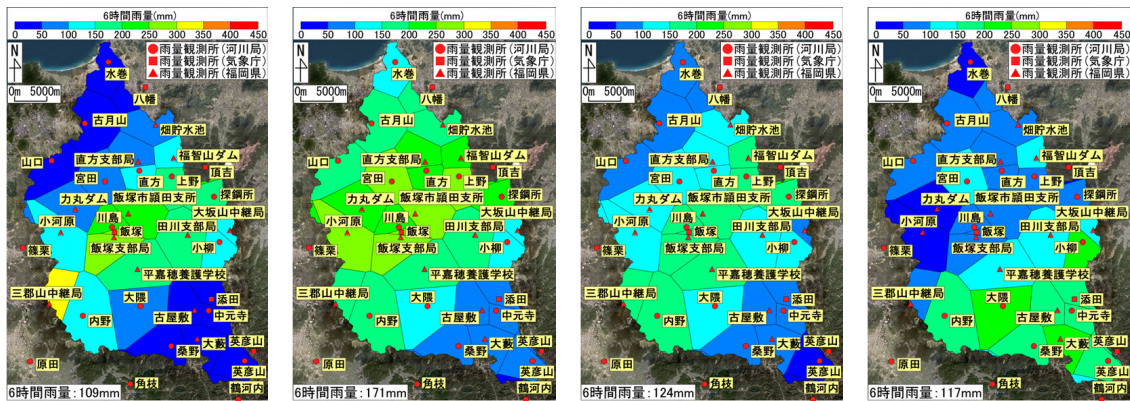


図-3 代表的な出水の6時間雨量の分布図 (左から, 2003年, 2009年, 2010年, 2012年)

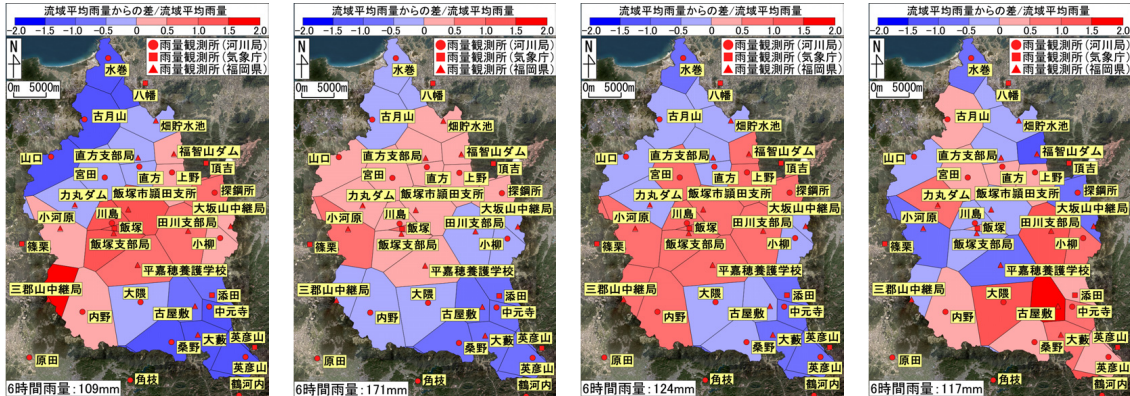


図-4 各観測所の6時間雨量と流域平均雨量との差の分布図 (左から, 2003年, 2009年, 2010年, 2012年)

解析する。モデル①~③の詳細については参考文献¹¹⁾に示す通りである。

(2) 経済被害評価モデル

経済被害評価モデルでは直接被害のみを評価するモデルである。①街区中の家屋のポリゴンデータ, ②田畑のポリゴンデータ, ③産業分類別従業者数, ④住宅の建て方別世帯数, 世帯の経済構成別一般世帯数, ⑤世帯の家族類別一般世帯数のデータから (1) 一般資産被害, (2) 農産物被害, (3) 公共土木施設等被害を推定するモデルである。その評価方法は, 家屋位置での浸水深の評価方法⁹⁾を除いては, 治水経済調査マニュアル¹²⁾と同様である。なお, 本研究では, 解析結果から得られる最大浸水深に基づき, 浸水深が0.01mより大きく, 0.45mより小さい場合を床下浸水として被害額を算定した。

4. 解析条件の概要

(1) 降雨外力の設定

2012年7月の九州北部豪雨災害では, 先述した熊本県阿蘇市の阿蘇乙姫をはじめ, 多くの雨量観測所で, 観測史上最大を記録している。遠賀川流域に隣接する山国川流域では, 9箇所の観測所で3時間雨量の観測史上最大を更新しており, 流域平均の3時間雨量で147mm, 6時間雨量で194mmを記録している。遠賀川流域でも, 雨域が少しでもずれていれば, 同様な雨が観測された可能性があ

る。従って, ここでは, 降雨継続時間を6時間とし, 山国川の6時間流域平均雨量194mmを基準として降雨外力を設定した。図-3に, 降雨外力の検討に用いた代表的な出水である2003年, 2009年, 2010年, 2012年の7月の実績降雨に基づく6時間雨量の分布図を示す。図中には各降雨の流域平均6時間雨量も併せて示している。

図-4は, 図-3の6時間雨量と流域平均雨量との差を分布図にしたものである。コンターの赤色は流域平均よりも降雨量が大きな観測所, 青色は小さな観測所を表している。これより, (1) 2003年, 2009年, 2010年は中流域に集中した降雨であること, 2003年と2009年では2003年の方が上流域まで降雨が集中していること, また, 2003年と2010年の分布が似ていること, (2) 一方, 2012年は他の降雨とは異なり, 上流域に集中した降雨であること, などがわかる。これらを踏まえ, ここでは2003年, 2009年, 2012年の実績降雨に基づき, 6時間雨量が194mmとなるように各観測所の降雨ハイトグラフを作成し, 降雨外力とした。作成したハイトグラフは, 流域平均降雨ハイトグラフと各観測所の降雨ハイトグラフである。その作成方法は次の通りである。まず, ①図-5に示す流域平均の降雨ハイトグラフを作成する。次に, ②各観測所と時間に対して, 図-4のような時間雨量と流域平均雨量との差の分布図を作成する。③ ①の流域平均降雨ハイトグラフの6時間雨量が194mmとなるように, 降雨倍率方式で一律に引き伸ばすことで, 図-5に示す流域平均降雨ハイトグラフを作成する。④ ③で作成した流域平均降雨ハイトグラフに, ②で作成した差分を

表-1 解析条件

Run No.	降雨波形	降雨の空間分布
Run1	2003年7月	流域一様分布
	a	実績に基づく分布
	b	流域一様分布
Run2	2009年7月	流域一様分布
	a	実績に基づく分布
	b	流域一様分布
Run3	2012年7月	流域一様分布
	a	実績に基づく分布
	b	流域一様分布

表-2 流出解析のパラメータ値

	$N(m^3/s)$	$d_1(m)$	$d_2(m)$	$k_a(m/s)$	β
森林	0.63	0.133	0.127	0.0152	5.09
荒地	0.30				
田	2.53				
農地	0.29				
都市	0.055				
水域	0.035				

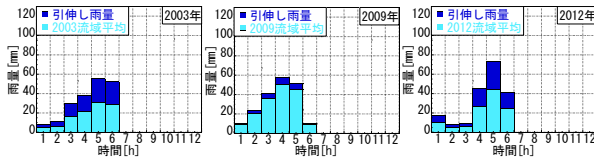


図-5 引き伸ばした流域平均降雨ハイトグラフ

加えることで、各観測所の降雨ハイトグラフを作成する。各観測所で④の方法を採用したのは、降雨倍率方式による非現実的な降雨量を避けることができ、降雨制限方式に比べより空間分布の違いが明確になると考えたためである。なお、全ての降雨に対して時間降雨量の最大値は125mmであった。図-5に、引き伸ばした流域降雨ハイトグラフを示す。なお、降雨量194mmを遠賀川の降雨継続時間である48時間の雨量とすると、確率規模は1/3程度になる。

(3) 解析条件

解析は、2003年7月の実績降雨に基づくRun1、2009年7月の実績降雨に基づくRun2、2012年7月の実績降雨に基づくRun3を行い、それぞれのRunで流域平均降雨ハイトグラフを流域一様に与えたRun1-a、Run2-a、Run3-a、各観測所の実績降雨に基づき空間分布を与えたRun1-b、Run2-b、Run3-bを行った。表-1に解析の条件を示す。

解析対象領域は、飯塚市街地と遠賀川本川とその支川の穂波川、彦山川、金辺川、中元寺川、犬鳴川、八木山川の計7つの河川である。いずれのRunについても初期条件には、流域平均時間雨量5mmを定常的に与えた解析結果を与えた。

分布型流出解析ではモデルパラメータとして、参考文献の方法¹³⁾で求めた表-2に示す値を用いた。ここに、 N =等価粗度係数、 k_a =重力水が卓越するA層内の透水係数、 d_1 =マトリックス部の最大保水量を水深で表した値、 d_2 =重力水を含めて表層土中に保水しうる最大水深、 β =重力水部と不飽和水部との飽和透水係数の比である。

洪水追跡では、河道横断面に2009年の断面を、粗度係数には河道計画で用いられた平均値0.035を与えた。なお、越水が生じた場合には、限界水深を境界条件として与え、完全越流状態で河道から流出すると仮定した。また、水位が計画高水位を超えた場合でも破堤は考慮していない。

都市域氾濫解析では、明星寺川下流端の徳前排水機場・明星寺川排水機場については操作ルールに従い、芦原排水機場と東町排水機場については排水を担当する地域の単位面積当り排水能力に基づき排水させた。また、西部排水区の雨水下水道網下流端の片島排水機場については、下水道網末端に排水流量を与えた。

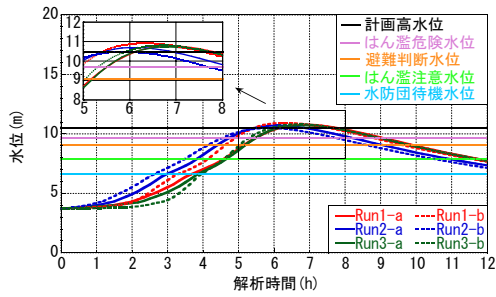
計算格子には三角形非構造格子を用い、計算領域内の河川や街路などの線形に対して分割数を設定した後、メッシュジェネレータを用いて解析対象領域を三角形の計算メッシュに分割した。総メッシュ数は37,440個であった。

5. 結果と考察

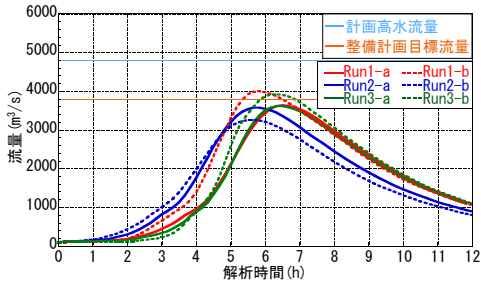
(1) 計画基準点の日の出橋での洪水特性

図-6は、遠賀川の計画基準点である日の出橋の水位・流量ハイドログラフと水位と流量との関係について解析結果を示したものである。なお、図中には計画高水位、計画高水流量、整備計画目標流量、解析結果より作成した水位流量曲線も併せて示している。水位ハイドログラフから、(1) いずれのRunにおいても計画高水位まで水位が上昇すること、(2) Run1-a、Run2-a、Run3-aでは時間のずれはあるものの、ピーク値、水位上昇速度のいずれも同程度であること、(3) Run1-b、Run2-b、Run3-bでは、ピーク水位がRun1-b、Run3-b、Run2-bの順で大きいこと、(4) 雨量が流域で一様なRun1-a~3-aと空間分布を持つRun1-b~3-bを比較すると、Run1と3では空間分布があるRun1-bと3-bの方が、増水時の水位上昇速度が速くなること、Run2ではあまり変化しないこと、などがわかる。流量ハイドログラフから、(1) ピーク流量はRun1-b、Run3-bで整備計画目標流量の3,800m³/sを超えること、その他のケースは小さいこと、(2) Run1-a、Run2-a、Run3-aでは、水位ハイドログラフと同様、時間のずれはあるものの、ピーク値、水位上昇速度ともに同程度であること、(3) Run1-b、Run2-b、Run3-bではピーク流量は、水位と同様にRun1-b、Run3-b、Run2-bの順で大きいこと、また、Run1-b、Run3-bは同程度であるが、Run2-bは小さくなること、(4) 雨量が流域で一様なRun1-a~3-aと空間分布を持つRun1-b~3-bを比較すると、空間分布があるRun1-bとRun3-bでは増水時の流量の増加率は大きく、Run2-bでは小さくなること、などがわかる。水位と流量との関係から、(1) Run1-a、Run2-a、Run3-aでは、水位と流量との関係に大きな変化はなく、同じ形でループを描くこと、(2) Run1-b、Run2-b、Run3-bでは、いずれもループを描くが、Run1-b、Run3-bとRun2-bではその形は異なること、(3) 減水時のループは、いずれもRunについても同様な形になること、(4) 水位流量曲線から整備計画目標流量3,800(m³/s)から求まる水位は10.72mであり、計画高水位程度となること、などがわかる。

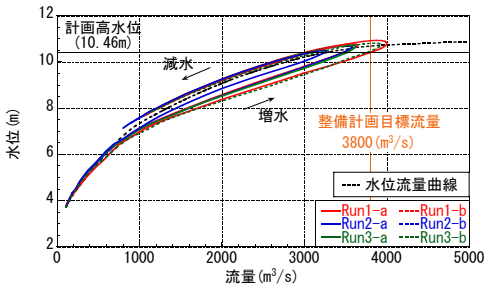
以上をまとめると、遠賀川の計画基準点である日の出橋水位観測所での短時間豪雨に対するレスポンスは次の通りである。①水位は、降雨波形・空間分布に関係なく計画高水位を超える。②一方、流量は、空間分布によっては整備計画目標流量を超える。③水位・流量のいずれもRun1-bのようにRun2-bの中流域よりも上流側に集中す



(a) 水位ハイドログラフ



(b) 流量ハイドログラフ



(c) 水位と流量との関係

図6 計画基準点の日の出橋での水位・流量ハイドログラフと水位と流量との関係

る空間分布や、Run3-bのように上流域に降雨が集中する空間分布の場合に大きくなる傾向にある。

2012年7月の九州北部豪雨災害では48時間降雨量が250mm、6時間雨量が117mm、3時間雨量96mmであったが、日の出橋では既往最大水位10.17mを記録していることを踏まえると、上記の検討結果は妥当であると考えられる。以上のことは、短時間豪雨に対する遠賀川の危機管理対策の必要性を示唆している。

(2) 各河川の最大水位と越水状況

図-7は、遠賀川とその支川の穂波川、彦山川のピーク水位の縦断変化を示したものである。これらより、(1) Run1~3-aの比較から降雨波形による違いはないこと、(2) Run1~3-bの比較から、空間分布による違いは、遠賀川の上~中流と彦山川の全区間で生じること、(3) Run3-bのような空間分布の場合、彦山川および遠賀川上流で水位が上昇し危険な状況になること、(4) Run1-bのような降雨の場合、遠賀川中流で水位が上昇し危険な状況になること、などがわかる。図-8は、水位が堤防を越える区間をまとめたものである。これらの区間では、当然のことながら、外水氾濫に対する備えが必要になる。なお、日の出橋より下流では越水は生じなかった。

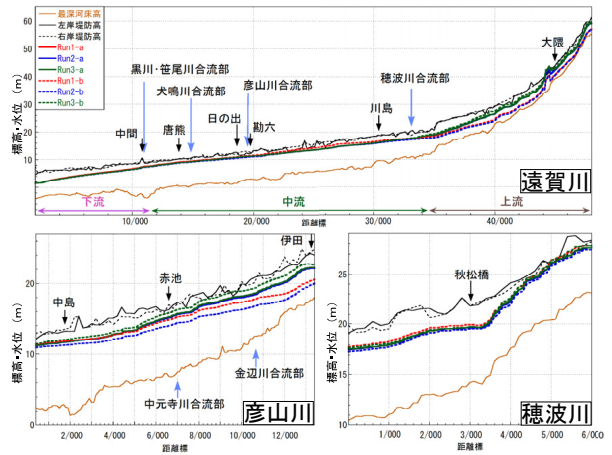


図-7 ピーク水位の縦断変化



図-8 各河川の越水発生区間

(3) 飯塚市街地の浸水被害

図-9は、飯塚市街地の西部排水区について、最大浸水深を示したものである。これらより、(1) Run1-a~Run3-aでは、最大時間雨量73mmとなるRun3-aで最大浸水深が高くなること、(2) Run1-b~Run3-bでは、飯塚支部局雨量観測所で比較的強い雨が降るRun1-b(図-4)で明星寺川周辺の浸水深が、小河原、力丸ダム雨量観測所で比較的強い雨が降るRun2-b(図-4)で建花寺川周辺の浸水深が高くなること、Run3-bが最も浸水深が小さくなること、(3) Run1~3-aとRun1~3-bを比較すると、降雨が中流域に集中するRun1-bとRun2-bで浸水深が大きくなるが、上流域に集中するRun3-bが最も小さくなること、などがわかる。表-3に各Runの一般資産被害額を示す。当然のことながら浸水深が大きくなるRun2-bで被害額は最も大きく、72億円程度の被害が予想される。

以上をまとめると、飯塚市街地での短時間豪雨に対するレスポンスは次の通りである。①降雨波形・空間分布によって浸水状況は大きく影響を受ける。②降雨が空間で一様な場合、時間降雨量の大きな場合に浸水深は最大となる。③降雨に空間分布がある場合には、降雨が中流

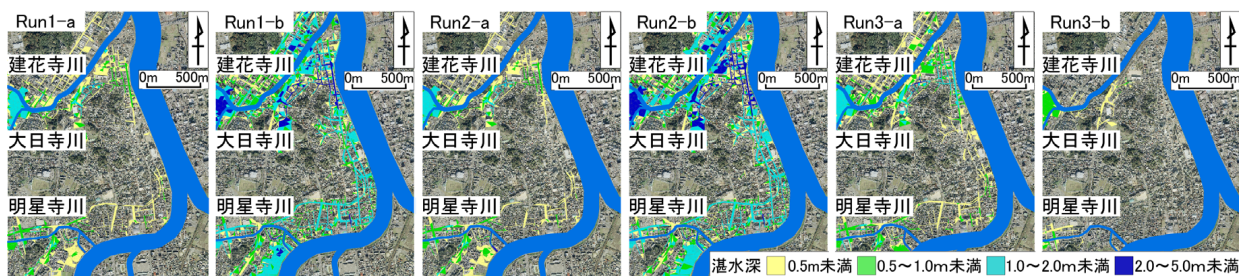


表-3 一般資産被害額

図-9 各Runの最大浸水深

Run No.	1-a	1-b	2-a	2-b	3-a	3-b
一般資産被害額(億円)	9.6	67.3	8.7	72	17.3	0.4

域に集中した場合に、浸水する可能性が高くなる。飯塚市街地の周辺の雨量観測所で、④明星寺川の流域の約8割が含まれる飯塚支部局雨量観測所に降雨が集中する場合には、明星寺川からの氾濫と下水道の排水不良のための浸水により明星寺川周辺の浸水深が最大に、⑤小河原、力丸ダム雨量観測所に降雨が集中する場合には、建花寺川からの氾濫と下水道排水不良により建花寺川周辺の浸水深が最大となる。

以上から、飯塚市街地は中流域に降雨が集中した際に水害が生じる可能性が高く、特に、飯塚支部局、小河原、力丸ダム雨量観測所の雨量は、飯塚市街地の浸水状況に大きな影響を及ぼすため、同雨量観測所は、避難指示等を判断する上での一つの指標になると考えられる。

6. おわりに

本研究は、遠賀川流域と飯塚市街地を対象に、複数の降雨波形および空間分布の集中豪雨に対して、「都市域浸水・減災対策検討シミュレータ」による遠賀川流域の洪水・氾濫状況・被害状況の予測を行い、その結果に基づき、豪雨に対する遠賀川流域の洪水特性および飯塚市街地での浸水特性について検討した。その結果、(1) 遠賀川流域に短時間豪雨が降った場合には、計画基準点の日の出橋で計画高水位以上になる可能性が高く、被害を軽減するための備えが必要であること、(2) 各河川で越水が発生する可能性の高い区間は図-8であること、(3) 飯塚市街地は中流域に豪雨が集中した場合に浸水被害が大きくなる傾向にあり、飯塚支部局、小河原、力丸ダム雨量観測所の雨量は、飯塚市街地の浸水の判断基準になること、などの危機管理上有用な知見を得ることができた。

謝辞：本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係各位にはデータの提供など多大な協力を得た。また、本研究を遂行するに当たり、本学学部4年生の丹生捺貴さん、石川知弘君、鷹尾忍君にはデータ整理等で協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1) 国土交通省：地球温暖化に伴う気候変動について、大規模

水害対策に関する専門調査会，2007。

- 2) 小林健一郎，寶 馨，中北英一：全球気候モデル出力を用いた日本域の100年確率日降水量の将来予測，水工学論文集，第54巻，pp.223-228，2010。
- 3) 辻本哲郎，本守真人，安部友則，山田哲夫：氾濫シミュレーション手法の開発と東海豪雨災害の再現，河川技術論文集，第8巻，pp.121-126，2002。
- 4) 戸田圭一，井上和也，村瀬賢，市川 温，横尾英男：豪雨による都市域の洪水氾濫解析，土木学会論文集，No. 633/II-53，pp.1-10，2000。
- 5) 川池健司，井上和也，戸田圭一，野口正人：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析，土木学会論文集，No. 761/II-67，pp.57-68，2004。
- 6) 小林健一郎，寶 馨，奥勇一郎：統合型降雨流出・洪水氾濫モデルによる佐用町洪水災害分析と経済被害推定，水工学論文集，第55巻，p.S_949-S_954，2011。
- 7) 小林健一郎，寶 馨，佐野 肇，津守博通，関井勝善：損害保険に応用可能な国土基盤情報準拠型の分布型降雨流出・洪水氾濫モデルの開発，土木学会論文集BI(水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1069-I_1074，2012。
- 8) 秋山壽一郎，重枝未玲，小園裕司，草野浩之：治水システムを考慮した飯塚市街地の都市域氾濫解析と被害軽減効果の検討，水工学論文集，第55巻，pp.S_943-S_948，2011。
- 9) 秋山壽一郎，重枝未玲，草野浩之：都市域浸水・減災対策検討シミュレータによる飯塚市街地の浸水被害評価，土木学会論文集BI(水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1063-I_1068，2012。
- 10) 重枝未玲，秋山壽一郎，草野浩之，野村心平：高解像度風上解法を用いた遠賀川流域の分布型流出・平面2次元洪水追跡と改修効果の評価，土木学会論文集BI(水工学)，Vol.68，No.4，pp.I_1429-I_1434，2012。
- 11) 秋山壽一郎，重枝未玲，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。
- 12) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（平成17年度版）
- 13) 重枝未玲，秋山壽一郎，野村心平：実測水位に基づく分布型流出・平面2次元洪水追跡モデルのパラメータ最適化法，河川技術論文集，第18巻，pp.459-464，2012。

(2012. 9. 30受付)