

# 令和元年東日本台風による長野県滑津川 水害の外力の推定

都築航太<sup>1</sup>・中村駿太<sup>1</sup>・手計太一<sup>2</sup>・土屋十箇<sup>2</sup>

## Estimation of External Forces Causing Flood Damage to the Namezu River, Nagano Prefecture, Japan, Caused by 2019 Typhoon Hagibis

Kota TSUZUKI<sup>1</sup>, Shunta NAKAMURA<sup>1</sup>,  
Taichi TEBAKARI<sup>2</sup> and Mitsukuni TSUCHIYA<sup>2</sup>

### Abstract

Typhoon Hagibis in 2019 caused extensive damage throughout eastern Japan, especially the Chikuma River breaking its banks in Nagano Prefecture, which had a major socioeconomic impact. In addition, many small and medium-scale rivers were also inundated. However, hydrological data are scarce for many of these medium and small-scale rivers, making it difficult to accurately assess external forces.

The purpose of this study is to estimate the actual conditions of flood damage caused by 2019 Typhoon Hagibis in the Namezu River, a right tributary of the Chikuma River, for which hydrological data were extremely scarce. Using limited hydrological data, the spatiotemporal changes in flood damage by comparing the results of numerical simulations by the RRI model coupled with iRIC Nays2DFlood model and damage surveys was clarified. In particular, we estimated that the maximum flow rate of the Namezu River was 478 m<sup>3</sup>/s by reproducing the actual inundation results in 2019 flood event.

キーワード：令和元年東日本台風, RRI モデル, iRIC, 滑津川, 中小河川

Key words: Typhoon Hagibis in 2019, RRI model, iRIC, Namezu River Basin, Small Rivers

### 1. はじめに

令和元年東日本台風 (2019年台風19号) は日本を縦断し、日本全国で河川の大小を問わず様々な水害を引き起こした。例えば、千曲川では長野市

内で破堤し、北陸新幹線車両基地が浸水するなど甚大な被害をもたらした。さらに、その支川のいくつかでも大規模な浸水被害が多発した。加えて、県管理河川では志賀川、滑津川及び三念沢、麻績

<sup>1</sup> 中央大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

<sup>2</sup> 中央大学理工学部  
Faculty of Science and Engineering, Chuo University

川、皿川で堤防決壊が発生し、浸水被害をもたらした<sup>1)</sup>。

また、令和2年7月豪雨や平成27年9月関東・東北豪雨などにおいても全国各地の中小河川で水害が発生している。

しかしながら、これら中小河川や支川流域には水文データが限られており、正確な外力の評価が困難となっているのが実情である。正確な外力の推定ができなければ、その後の河川計画に大きな影響を与える。

昨今、全国の中小河川を対象とした流出解析モデルの適用研究<sup>例えは2,3)</sup>が行われているが、そのほとんどには下流域に水位観測所が存在している。したがって、限定的ではあるが観測データが存在するため、流域全体の流出解析の正解データとして扱うことができる。一方、令和元年東日本台風で水害被害を受けた千曲川支川の滑津川の観測水位・流量データは上流域に存在するダムの流入量のみであり、下流域には観測データがないため流域全体としての被災流量を推定することはより困難である。

そこで本研究の目的は、水文データの乏しい滑津川における令和元年東日本台風による水害の実態解明とともに、将来の河川計画に寄与できる精度の良い流量等の水文量を推定することである。流域治水が推進されている中で、水文データが乏しい中小河川流域における流量推定方法を提案することも極めて重要である。

## 2. 対象流域

本研究の対象流域である滑津川は千曲川の右支川であり、長野県佐久市を流れる長野県管理の一級河川である。流域面積は約106.5 km<sup>2</sup>、上流域には治水と利水の両方の目的を持つ農地防災専用ダムである香坂ダムが存在する。滑津川流域では、令和元年東日本台風に伴う大雨によって千曲川本川合流点付近の堤防が300 mに及び決壊し(写真1)、家屋や水田、下水処理場など約35 haが浸水被害を受け、避難中に1名の死者が発生した。田子川・常和地区では50戸の家屋が<sup>3)</sup>、吉沢川・清川地区では40戸の家屋が損壊、浸水被害を受けた<sup>4)</sup>。



写真1 堤防決壊箇所(矢印は流下方向) (2022年11月筆者ら撮影)

また、被害調査により佐久市下水道管理センター付近で家屋が約1.5 mの浸水被害を受け、さらに、千曲川本川御影橋(滑津川流入の500 m前)においては橋桁の痕跡より河床から約6 mの水深があったと推定される。

長野県から提供を受けた資料によると、災害後に長野県は降雨流出解析を行った。洪水到達時間108分、流出率0.7を用いて流域平均雨量を算定し、合理式による流出量の算定を行った。その結果、洪水到達時間中の最大流域平均雨量38.5 mm/hとなり、ピーク流量を798 m<sup>3</sup>/sと推定した。しかしながら、これらは概算推定であり、今後、この値をもって流域住民の理解を得ながら河川計画や流域マネジメントに活用することは難しいと考える。

## 3. 解析方法

本研究では、図1に示すフローで外力の推定を行った。流出解析に加えて二次元氾濫解析を行った既往研究<sup>5,6)</sup>を参考にしうえて、観測データが乏しいため、各解析の妥当性を確認した。まず、滑津川流域での降雨量の推定を行い、次に流出解析を行った。流出解析の解析結果を境界条件として二次元氾濫解析を行いその結果を被害調査<sup>4)</sup>と比較することで推定結果の妥当性を確認した。図2は対象流域の滑津川流域概要と氾濫計算領域である。

### 3.1 降雨量の推定

滑津川流域での降雨量を推定するため、地上雨量とレーダー雨量による流域平均雨量の時系列と

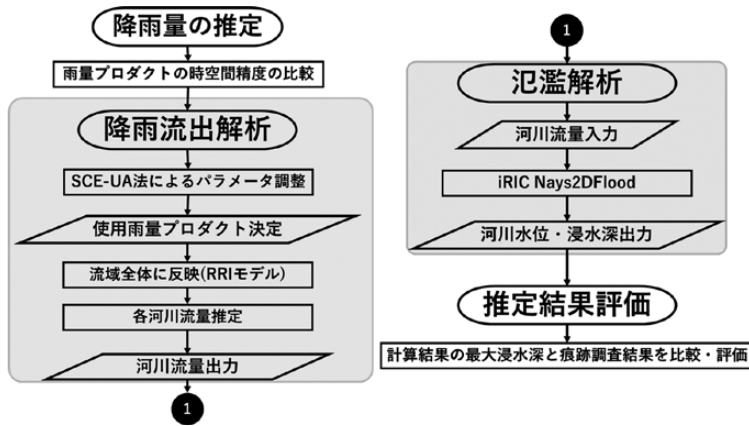


図1 本研究で提案する解析フロー



図2 滑津川流域概要と氾濫計算領域

空間分布の比較を行った。地上雨量データは、佐久観測所（気象庁）と長野県による地上雨量計6地点（流域内4地点，流域外2地点），合わせて7地点の地上雨量をティーセン分割したものを利用した。レーダー雨量は気象庁が配信する1 km メッシュ全国合成レーダーエコー強度GPVを使用した。

### 3.2 降雨流出解析

本研究で用いた降雨流出モデルは RRI モデル<sup>7)</sup>である。当モデルは、オープンソースソフトウェアであり、日本国内はもとより国外でも高い利用

表1 流出解析モデル構築条件

空間解像度	約100 m
メッシュ数	17,405
標高データ	基礎地図情報数値標高モデル 10 m メッシュ
土地利用データ	国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
河道	Regime 則による推定
計算時間ピッチ	斜面60秒，河川10秒

実績をもつ。さらに、滑津川流域と同規模の中小河川である花月川の降雨流出解析にも利用された実績がある<sup>2)</sup>。表1は流出解析モデルの構築条件

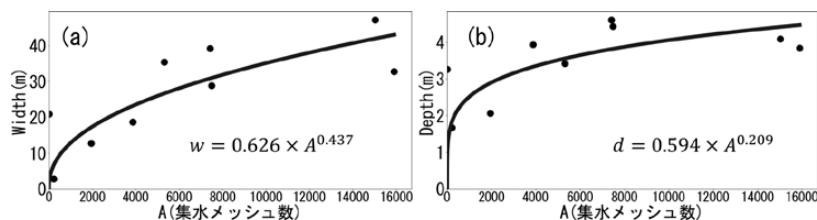


図3 河道幅・深さの推定結果：(a)河道幅，(b)河道深さ

である。地盤高は基盤地図情報数値標高モデル10 m メッシュ、土地利用は国土数値情報土地利用細分メッシュデータを用いた。また、河道幅・深さの測量データがないため、現地で9断面のRTK測量を行った。河道断面形状を矩形断面と仮定し、河道幅・深さを各メッシュの流域面積の関数として設定するRegime則に従い設定した<sup>8)</sup>。この測量データを基に河道形状パラメータを推定した。図3は河道幅・深さの推定結果である。

計算条件は、計算メッシュサイズは100 m、計算時間ピッチは斜面で60秒、河川で10秒に設定した。

先述した香坂ダムには流域内で唯一の流量データであるダム流入量のデータがあることから、この地点において、パラメータの調整をそれぞれの雨量プロダクトごとに実施した。流出解析では土地利用ごとにパラメータを設定している。香坂ダムの集水域は大部分が山地であるため、山地におけるパラメータを調整した。さらに、90%が山地である流域全体において、調整されたパラメータを用いて流出解析を行った。

### 3.3 氾濫解析

これまで日本各地で、本川と中小河川の合流部では背水による影響が確認されているため、その評価ができる平面二次元不定流計算による氾濫解析を実施した。氾濫解析においても、フリーウェアであるiRIC Nays2DFlood<sup>9)</sup>を利用した。

当モデルは、北海道において洪水予報河川または水位周知河川に指定されていない河川で氾濫シミュレーションに用いられた実績がある<sup>10)</sup>。また、河道データを必要としないため、河道データが未整備の河川においても氾濫解析が可能である。

表2は氾濫解析モデルの構築条件である。ここ

表2 氾濫解析モデル構築条件

使用ソルバー	Nays2DFlood
メッシュ数	93,093 (403×231)
メッシュサイズ	10m
計算時間ピッチ	0.05秒
標高データ	基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュ
粗度係数	0.03
下流端境界条件	自由流出
流入条件	滑津川：流出計算結果
	千曲川：不等流計算による推定流量

では、計算メッシュサイズを10 m、計算時間ピッチを0.05秒に設定した。地形データは、基盤地図情報数値標高モデル5 m メッシュを使用した。滑津川の流入境界条件は、RRIモデルによる計算結果を与えた。千曲川本川の境界条件は以下のように設定した。まず、滑津川流入前後の千曲川本川における水位・流量の観測は、滑津川流入直後の国土交通省による塩名田水位・流量観測所の観測と流入直前の長野県による白田橋水位観測所で行われている。しかし、塩名田水位・流量観測所ではピーク直前以降の観測データが欠測になっている。そこで、白田橋水位観測所は解析期間全体で水位を観測しているため、不等流計算を行い千曲川本川の流量を推定した。不等流計算の概要は以下の通りである。

まず、塩名田水位・流量観測所の過去の観測データから水位流量曲線を作成した。任意の時間において適当な本川流量を設定し、作成した水位流量曲線より塩名田地点における水位を推定する。推定した塩名田での水位を下流端の水位とし、白田橋地点まで上流に向かって水位を計算する。白田橋地点において計算された水位と観測値が一致するまで流量を変化させ繰り返し計算を行い、流

量を推定した。不等流計算を行った区間は、約 12 km であり、5 区間に区切って計算を行った。河道断面は、矩形断面を仮定し、基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュを基に設定した。図 4 は氾濫計算領域と不等流計算領域の概要である。

### 3.4 推定結果の評価方法

推定結果の評価は、土木学会調査団水害調査による被害痕跡の調査結果<sup>4)</sup>と計算結果の最大浸水深の比較をすることで行った。時間的な変化の記録がないため、本手法による推定結果と、被害痕跡から推定される最大浸水深及び長野県より提供を受けた氾濫面積を比較し、妥当性評価を行った。

## 4. 結果・考察

### 4.1 雨量プロダクトの比較結果

図 5 は地上雨量とレーダー雨量の流域平均雨量の時系列である。比較した結果、10月11日0時から13日12時までの60時間の累積雨量は、地上雨量で392.7 mm，レーダー雨量で319.7 mm であり，地上雨量の方が73 mm 多い。図 6 は地上雨量と



図 4 氾濫計算領域と不等流計算領域

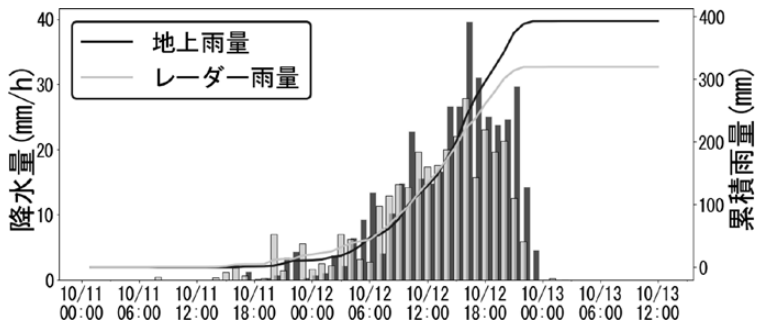


図 5 地上雨量とレーダー雨量の流域平均雨量の時系列

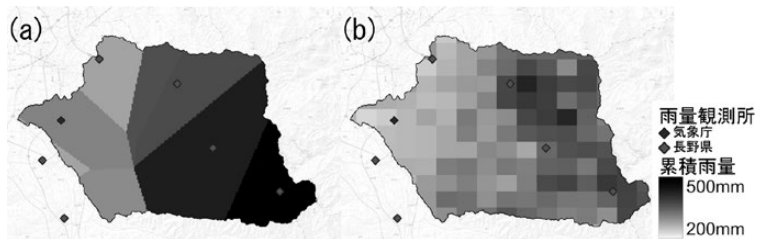


図 6 地上雨量とレーダー雨量の積算雨量の空間分布：(a)地上雨量，(b)レーダー雨量

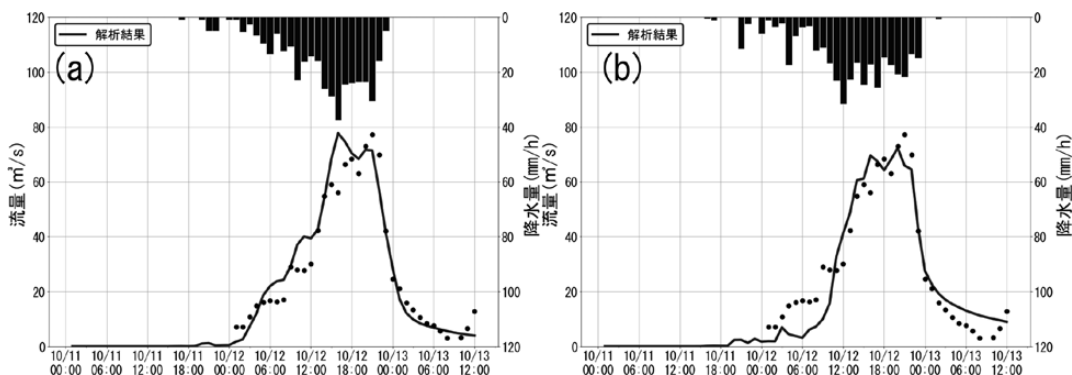


図7 香坂ダムにおける流入量と解析結果の時系列：(a)地上雨量を用いた解析結果，(b)レーダー雨量を用いた解析結果

レーダー雨量の積算雨量の空間分布である。この空間分布を見ると、どちらの雨量プロダクトも流域内東側の山間部での降雨量が多いことがわかり、降雨量の多い地点雨量計の支配面積が比較的に広いことが、地上雨量計による流域平均雨量が多い理由の一つであることが考えられる。

### 4.2 流出解析結果

まず、香坂ダム集水域を対象として、流出解析モデルのパラメータを調整した。図7は香坂ダムにおける流入量と解析結果の時系列である。長野県より10月12日から13日12時までの香坂ダム諸量データの提供を受けた。両雨量プロダクトともに香坂ダムの流入量を概ね再現することができた。

ハイドログラフの立ち上がりに注目すると、地上雨量による解析の方が観測値をより再現している。表3は香坂ダム流入量の再現計算の評価指標である。評価指標からも波形を評価する指標であるN-S係数は地上雨量の方が良いが、大規模な洪水においてより重視されるピーク流量の時刻の誤差は地上雨量の方が大きい。以降、今回のケースでより良くピーク生起時刻を再現できたレーダー雨量を雨量プロダクトとして使用した。

次に、調整したパラメータを用いて流域全体で流出解析を行った。図8は千曲川合流直前の滑津川の流量の時系列である。千曲川本川との合流部において、最大流量478 m³/sが得られた。これは、マンニング式と連続の式から概算されたピーク流量

表3 香坂ダム流入量の再現計算の評価指標

項目	ピーク流量誤差	ピーク生起時刻	N-S係数
地上雨量	0.54 m³/s	- 5時間	0.92
レーダー雨量	-4.84 m³/s	- 1時間	0.89

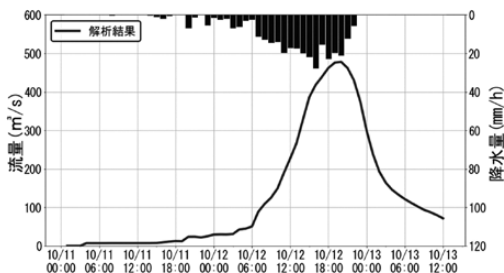


図8 千曲川合流直前の滑津川の流量の時系列

約450 m³/s<sup>4)</sup>と概ね一致するものであった。

また、流出解析の妥当性を確認するためRRIモデルによる氾濫計算結果と実績を比較した。図9はRRIモデルによる氾濫計算による浸水管所の空間分布図である。地上雨量による解析に比べて、レーダー雨量による解析がより浸水実績を再現していることがわかる。しかし、計算結果では所々浸水実績がない箇所でも氾濫が発生しているが、河道の1メッシュのみの氾濫であることから、計算の空間解像度の影響によるものと考えられる。

さらに、雨量プロダクト及びパラメータが解析結果へ与える影響を検証するために、表4に示す雨量プロダクトとパラメータの組み合わせパター

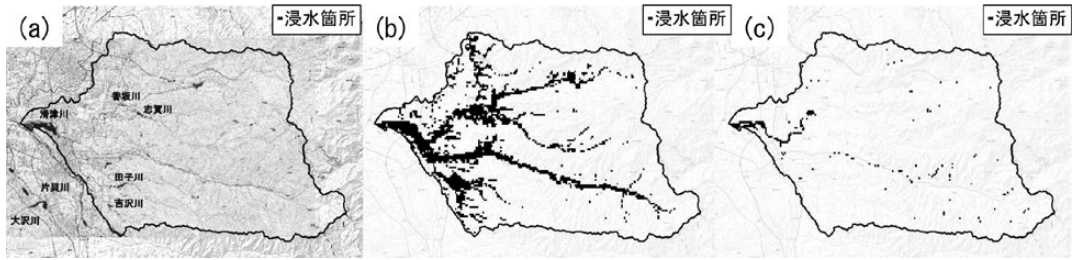


図9 氾濫計算による浸水箇所の空間分布図：(a)浸水実績（長野県提供資料），(b)地上雨量を用いた解析結果，(c)レーダー雨量を用いた解析結果

ンの氾濫解析結果を比較した。図10は各ケースの最大浸水深差分の空間分布である。(a)は雨量の違いによる，(b)はパラメータの違いによる最大浸水深の違いを示している。雨量プロダクトによる差は河川沿いと河口部付近の浸水深の差に影響し，パラメータによる差は流域全体の浸水深の差に影響があることがわかる。したがって図9の氾濫域の違いはパラメータの違いが上流域の流出に影響を与え，雨量データの違いが氾濫面積により強い影響を与えていることが推察できる。

表4 流出解析における雨量プロダクトとパラメータの組み合わせ

	雨量プロダクト	使用パラメータ (調整に用いた雨量プロダクト)
Case1	レーダー雨量	レーダー雨量
Case2	地上雨量	レーダー雨量
Case3	レーダー雨量	地上雨量

### 4.3 氾濫解析結果

まず，氾濫解析に用いる境界条件の一つである千曲川本川の流量を推定した。図11は千曲川本川水位・流量の観測値と推定値の時系列である。不

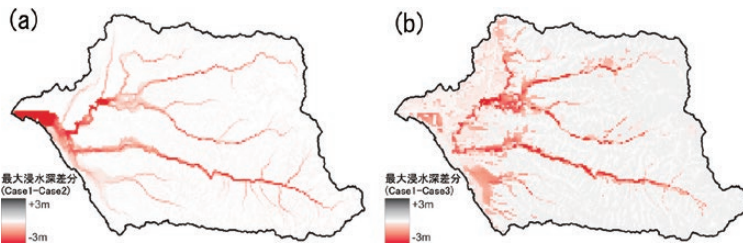


図10 各ケースの最大浸水深差分の空間分布：(a) Case1 と Case2 の差分 (b) Case1 と Case3 の差分

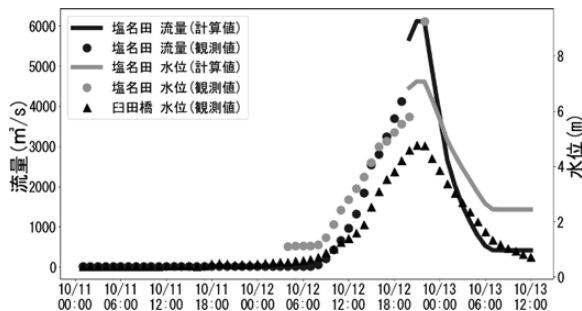


図11 千曲川本川水位・流量の観測値と推定値の時系列

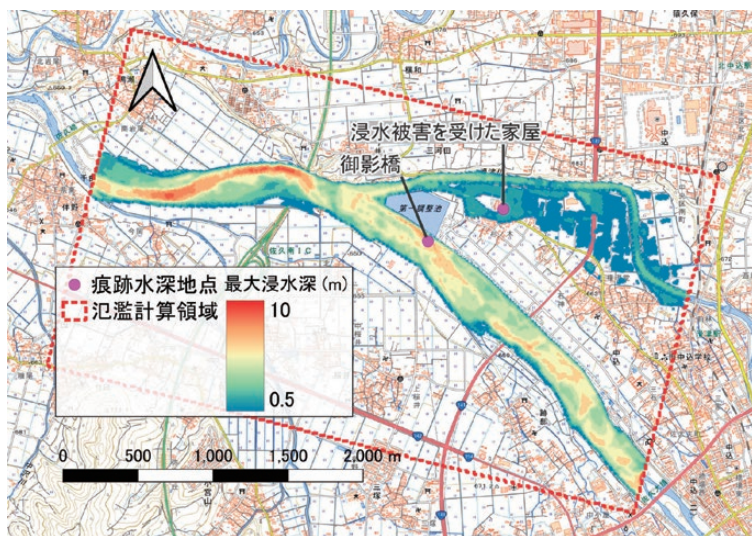


図12 氾濫解析による最大浸水深の空間分布 (図中丸印は痕跡水深がある地点)

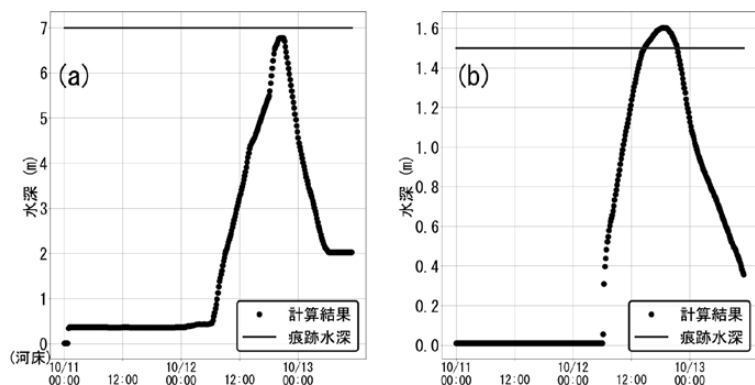


図13 被害調査が行われた地点での水深の時系列：(a)御影橋(千曲川本川)，  
(b)浸水被害を受けた住宅

等流計算による推定の結果，塩名田観測所でのピーク流量は $6113 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定した。

図12は氾濫解析による最大浸水深の空間分布である。図9(a)と比較すると，氾濫解析の結果は浸水実績を概ね再現していることが分かる。河道のデータは与えず，地形データのみで氾濫解析を行っており，河道断面の過小再現や微地形が計算に反映されていないことが原因となり，解析では滑津川右岸での浸水が発生していることが推察される。図13は被害調査が行われた地点での水深の

時系列である。両地点ともに痕跡水深を概ね再現することができた。

流出解析の解析結果を氾濫解析に用いた結果，氾濫域及び水深を概ね再現することができたため流出解析の結果の妥当性が確認できた。

## 5. まとめ

本研究は，令和元年東日本台風で甚大な被害を受けた流域の一つである滑津川を対象に，水文データが極めて乏しい中で被災流量を推定した。



限られた水文データを利用し、RRI モデルによる降雨流出解析と iRIC Nays2DFlood を用いた二次元氾濫解析を組み合わせた推定結果と被害調査結果を比較することで水害の時空間変化を明らかにできた。

まず、地上雨量計とレーダー雨量計による2つの雨量プロダクトを比較した結果、レーダー雨量を用いた解析の方がより良く氾濫域を再現でき、流域平均雨量は、ピーク雨量27.9 mm/h、降雨開始から終了までの60時間積算雨量319.7 mm と推定した。その原因は、地上雨量計の配置にあると考えられる。

次に、浸水実績を概ね再現することによって、滑津川の被災流量を478 m<sup>3</sup>/s と推定した。長野県による推定結果と比較すると大きな相違であるが、被災調査結果と比較すると本研究結果の方が妥当であると考えられる。

本研究では、水文データが極めて乏しい条件の中で、日本全国に適用可能なレーダー雨量や数値標高モデルを利用して再現計算を行った。さらに、計算結果と、限られた観測データの水位や痕跡水深、氾濫面積などを比較することでその解析の妥当性を評価した。その結果、被災流量を推定できたことに加えて、洪水の時空間変化を推定することができた。

最後に、流域治水が推進されている中、水文データが乏しい中小河川流域において、将来の河川計画に寄与できる流量を推定することは極めて重要である。また、どのような規模の流域に対しても適用できる推定方法を確立することも極めて重要であり、大きな課題である。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、長野県より資料の提供を受けた。本研究の一部は、日本自然災害学会令和4年度災害調査補助の助成を受けて実施した。ここに厚く感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 社会資本審議会河川分科会小委員会・気候変動を踏まえた水災害対策検討小委員会：令和元年台風第19号による被害等，2019，[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou\\_suigai/1/pdf/02\\_siryou6.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou_suigai/1/pdf/02_siryou6.pdf)，2023年4月4日。
- 2) 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），74巻4号，pp.1\_1177-1\_1182，2018。
- 3) 西川遼・石塚正秀：空間分解能の異なる標高データを用いた中小河川における流出シミュレーション，土木学会論文集B1（水工学），77巻2号，pp.1\_283-1\_288，2021。
- 4) 土屋十囿：第5章河川構造物等の損壊状況と河川管理，令和元年台風19号豪雨災害調査団報告書（中部・北陸地区）（土木学会水工学委員会），土木学会，pp.132-160，2020。
- 5) 大中臨・赤松良久・平田真二・佐山敬洋：令和元年台風第19号による那珂川流域の流出氾濫再現シミュレーション，土木学会論文集B1（水工学），76巻1号，pp.304-314，2020。
- 6) 山田真史・佐山敬洋・尾形勇紀・二瓶泰雄：分布型降雨流出氾濫モデル RRI と氾濫流解析ソルバ iRIC Nays2DFlood の連携について，2020年7月球磨川水害での例，iRIC Online Workshop，2020年9月28日，[https://uc.i-ric.org/uc\\_products/online\\_workshop/200928/02\\_yamada.pdf](https://uc.i-ric.org/uc_products/online_workshop/200928/02_yamada.pdf)，2020。
- 7) 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，Vol. 56，No. 6，pp.1-4，2014。
- 8) 山田真史・富樫冨佳・佐山敬洋：分布型降雨流出氾濫モデルに適用する中小河川の河道断面推定法，河川技術論文集，Vol. 26，pp.211-216，2020。
- 9) iRIC，<https://i-ric.org/>，2023年4月6日。
- 10) 国土交通省：中小河川の水害リスク評価に関する技術検討会，[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/tyusyokasen/pdf/2\\_haikei\\_kadai\\_ver3.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tyusyokasen/pdf/2_haikei_kadai_ver3.pdf)，2023年6月25日。

（投稿受理：2023年4月7日  
訂正稿受理：2023年6月30日）

## 要 旨

令和元年東日本台風は東日本全域に大きな被害を与え、特に長野県千曲川の破堤は社会経済に大きな影響を与えた。加えて、多数の中小河川でも大規模な浸水被害が多発した。しかし、これら中小河川の多くは水文データが乏しく、正確な外力の評価が困難となっているのが実情である。

本研究の目的は、水文データが極めて乏しい千曲川右支川の滑津川を対象に、令和元年東日本台風による水害の実態解明である。限られた水文データを利用し、RRI モデルによる降雨流出解析と iRIC Nays2DFlood を用いた二次元氾濫解析を組み合わせた推定結果と被害調査結果を比較することで水害の時空間変化を明らかにできた。特に、浸水実績を概ね再現することによって、滑津川の被災流量を $478 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定した。