

氾濫解析モデルを用いた地区レベルの洪水脆弱性把握手法の提案 Proposal of a method for evaluating community-level flood vulnerability using an inundation analysis model

○栗林大輔¹, 大原美保¹, 佐山敬洋², 近者敦彦³, 澤野久弥¹
Daisuke KURIBAYASHI¹, Miho OHARA¹, Takahiro SAYAMA²,
Atsuhiko KONJA³, and Hisaya SAWANO¹

¹ 国立研究開発法人 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター

International Centre for Water Hazard and Risk Management, Public Works Research Institute

² 京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

³ 三井共同建設コンサルタント株式会社

Mitsui Consultants Co., LTD.

This paper proposes a method for evaluating flood risk at each community in a municipality to assist its disaster management personnel. The method is particularly for municipalities in a mountainous area where insufficient information is available for practical disaster management. In this method, we conducted inundation analysis for multiple patterns of rainfall and discharge using a rainfall-runoff-inundation model, and estimated the maximum inundation depth and the inundation duration, etc. Based on the estimation, we developed a “flood chart” to evaluate community flood risk, additionally considering other indicators. Moreover, we located areas requiring extra precautions due to high community flood risk as flood hot spots.

Key Words : RRI model, Aganogawa River, Aga town, Community-level flood vulnerability, Flood chart, Flood hot spot

1. はじめに

近年激甚化・多様化する水災害の防止・軽減のためには、堤防やダムなどの構造物対策の整備だけではなく、発災の事前および直前に防災・災害情報を有効かつ効果的に活用することで、住民の適切な減災行動につなげる必要がある。特に、地形が急峻で、かつ構造物対策に多額の予算をかけられない中山間地の市町村においては、情報の有効活用が求められているが、次のような問題を抱えていることが多い。

- 国土交通省による洪水予報などが行われていない区間が多く、防災のための情報が限定されている。
- 平地に比べて降雨から災害発生に至る時間が短く、入手した情報を分析・発信する時間的余裕がない。
- 市町村防災担当部局には、防災対応の経験が豊富で防災の詳しい知識を持つ防災担当者が少ない。
- 平成大合併で市域が拡大した地域の場合は、現地の状況把握により時間がかかるため、対応策の決定（優先順位付け）に資する情報が速やかに入手できない。
- 住民が高齢化し、避難のための時間がより多く必要である。
- 非常時には住民からの問い合わせも相次ぐため、災害対応への余裕がない。

本研究においては、国土交通省による洪水予測等が行われていないなど、防災に関する情報が乏しい中山間地の自治体の防災担当者に対して、事前の効果的な洪水対策立案に資するべく、自治体内の「各地区の洪水に対する脆弱性に起因する危険度」（以降、「地区危険度」と表記）を評価する手法を提案する。具体的には、近年大きな洪水災害を経験した新潟県東蒲原郡阿賀町（阿賀野川流域）を対象地域として、複数の降雨・流量パターンに対して降雨流出氾濫モデル（RRI モデル）による氾濫

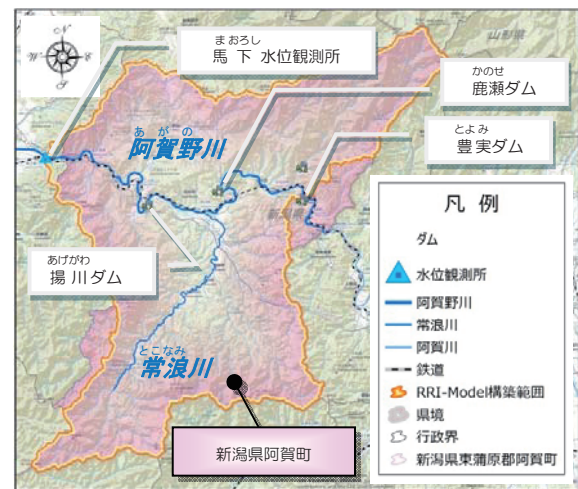


図-1 モデル構築範囲（新潟県阿賀町）

解析を実施して、地区ごとの最大浸水深や浸水継続時間を算出し、さらに高齢化率などの指標を考慮しながら地区危険度を評価するための「洪水カルテ」作成手法を開発する。さらにその結果をもとに、地区危険度が特に高く、注意を要する地区を「洪水ホットスポット」として特定し抽出する手法を提案する。

2. 対象地域の概要

新潟県東蒲原郡阿賀町は、町の中央を阿賀野川とその支流の常浪川が流れ、その沿岸の段丘を中心に開けた山間地域である（図-1）。中心部は比較的平坦であるが、周辺は急峻な山岳地帯に囲まれている。面積は952.88km²（新潟県3位¹⁾）、人口は11,964人（平成28年3月末現在）、高齢化率は45.6%（新潟県1位（新潟

県平均 30.0%)²⁾) である。

阿賀町付近の阿賀野川は、新潟県管理区間であり、国の直轄河川で行っているような洪水予測などは行われていない。

さらに、阿賀野川の年間流出量は日本で 2 番目(馬下地点で年間 129 億 m³(平成 5 年～平成 14 年平均))³⁾ であって、上流の只見川から阿賀町までは、東北電力が管理する発電ダムが多く設置されており、阿賀町にも豊実ダム・鹿瀬ダム・揚川ダムの 3 つのダムがある。

このように阿賀町は、現在および今後の我が国の中山間地が抱える洪水対策の多くの課題を有している。

3. 降雨流出氾濫モデルによる氾濫計算

洪水氾濫解析には、佐山ら⁴⁾によって開発された、分布型流出モデルと洪水氾濫モデルを一体化した、降雨流出氾濫モデル(RRI モデル)を用いる。RRI モデルの対象地域範囲は、図-1 のピンク色部分の、上流端を豊実ダム、下流端を馬下水位観測所とする、阿賀町全域を含む範囲(約 950km²)である。モデルのキャリブレーションには、近年で最大の被害を引き起こした平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨による洪水(以下 H23 洪水と表記)を用い、国土交通省水文学データベース、国土交通省河川事務所、新潟県および東北電力から降雨や水位、流量データを入手した。また、国土交通省や新潟県から阿賀野川と常浪川の河道断面データを入手した。

構築した RRI モデル(メッシュサイズ: 250m)による河川流量と氾濫域の再現の結果、最上流の豊実ダム地点で流量境界条件を入力した場合に最下流の馬下地点の水位や流量を妥当に再現できることを確認した。また揚川ダムより下流部分では深い浸水深が再現できており、被害が大きかった地域と合致していた⁵⁾。以降本研究においては、このモデルを用いて各種検討を行う。

4. 各地区の洪水脆弱性(洪水に対する地区危険度)の評価手法

(1) 評価手法の検討フロー

図-2に、本研究で提案する地区危険度評価手法の検討フロー図を示す。

RRIモデルでは、入力降雨・流量に対して対象範囲の任意メッシュにおける浸水深や浸水期間を算出できる。本研究においては、このRRIモデルで算出される各種数値を用いてどのように洪水に対する地区危険度を評価するか検討する。まずステップ1として、ある降雨・流量パターンに対して、後述の5つの評価軸による各地区の危険度評価手法を整理し提案する。ステップ2として、提案した評価手法を阿賀町に適用し、複数の降雨・流量パターンに対する地区危険度評価を試行して、結果を阿賀町防災担当者と共有し適用性について議論する。本研究では、降雨・流量パターンとして、H23洪水時の降雨や流量パターンを含め、後述の5パターンを設定する。

本研究で提案するこの地区危険度評価手法では、その地区がどのような種類の洪水に対して脆弱かを明らかにすることが出来るため、洪水危険度診断の意味を込めて「洪水カルテ」という名称を用いている。さらに全地区

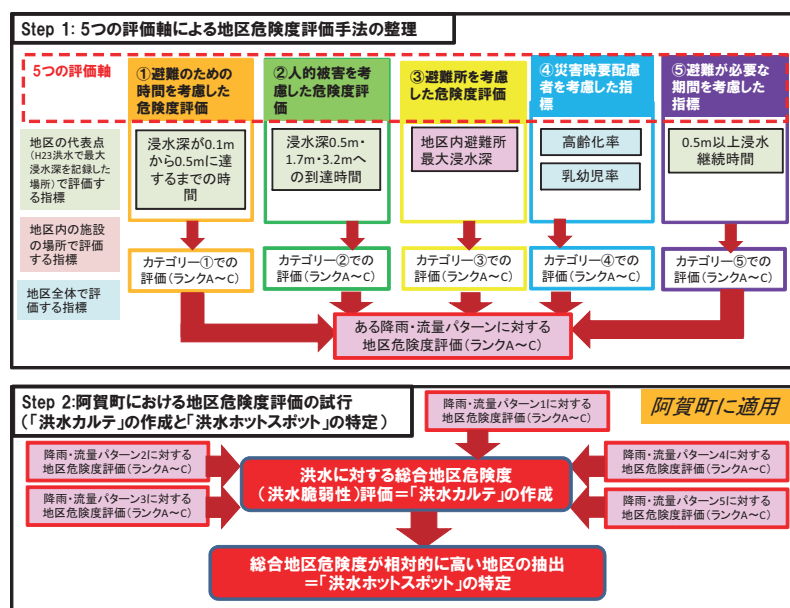


図-2 洪水に対する地区危険度の評価手法検討フロー図

の総合危険度を比較し、相対的に危険度が高い地区を「洪水ホットスポット」として特定する。すなわち、「洪水カルテ」によってさまざまな種類の洪水に対する各地区の特性を明らかにし、「洪水ホットスポット」によって、自治体内における洪水脆弱地区を特定するという二段構えで洪水脆弱性を評価することとする。

(2) 降雨・流量パターンの設定

地区危険度を検討するための、降雨と豊実ダムにおける放流量の組み合わせパターンとして、降雨は阿賀町において近年最大の洪水被害を生じさせた「H23 洪水時の実績降雨」と「想定最大外力相当降雨」、豊実ダム放流量は「H23 洪水時の実績放流量」と H23 洪水時の実績放流量の「河川整備基本方針規模引伸ばし放流量」の 2×2 の 4 パターン、さらにゲリラ豪雨 1 パターンを加えた合計 5 パターンを設定した。

「想定最大外力相当降雨」については、国土交通省マニュアル⁶⁾を参考に、北陸地方における過去の最大降雨量を考慮し、H23 洪水の 2.5 倍の降雨を設定した。ゲリラ豪雨については、同じマニュアルを参考に、3 時間集中波形(48.6mm/h、74.7mm/h、36.4mm/h)の降雨を対象域全域に与えた。

また、豊実ダムにおける「河川整備基本方針規模引伸ばし放流量」としては、H23 年洪水時の馬下観測所での実績最大流量(9,948m³/s)と、阿賀野川の河川整備基本方針⁷⁾に定められている馬下観測所での流量(13,000m³/s)との比率で、豊実ダムの H23 洪水時の実績放流量(最大 7,470m³/s)を引伸ばした。この結果、最大 9,762m³/s を引伸ばし放流量とした。なお、ゲリラ豪雨時の豊実ダム放流量は、馬下水位観測所における平成 25 年の平水流量(358.6m³/s)を与えた。

(3) 対象となる地区の抽出と代表点の選定

H23 洪水による浸水実績図⁸⁾を参考に、阿賀町の地形図⁹⁾より、浸水が起りやすいと考えられる平野部を評価対象地域とした結果、評価の単位として下記の 19 地区を選出した。

岡沢、角島、岩谷、吉津、あが野南、あが野北、鹿瀬、向鹿瀬、京ノ瀬、五十島、黒岩、小花地、西、赤岩、川口、大牧、谷沢、津川、白崎

また、地区内の代表点については、地区の中で H23 洪

水による浸水深が最も大きいメッシュを代表点とした。なお、以下の章においては、これらの地区を順不同に地区 A～S と表記することとする。

(4) 地区危険度評価における5つの評価軸

(3)で抽出した各地区に対し、表-1 が示す 5 つの評価軸と指標で評価を行う。指標にはそれぞれ閾値が設定され、ランク AA～D で評価される。いずれの指標でもランク AA になるほど危険と評価される。

以下それぞれの評価軸について説明する。

① 避難のための時間を考慮した危険度評価

…避難の切迫度から見た評価軸で、指標としては RRI モデルによる「地区内代表点の浸水深が 0.1m から 0.5m に達するまでの時間」を採用する。浸水深の閾値は、国土交通省マニュアル¹⁰⁾において、水深が 0.5m を超えると徒歩による移動が困難になったり、床上浸水が発生するとされていることから、0.5m を設定する。なお、0.1m からとするのは、RRI モデルでは降雨から氾濫を一体的に解析しており、降雨の瞬間から一定の浸水が生じるとみなすためである。また時間の閾値は、平成 27 年 8 月に阿賀町防災担当者に対して行ったヒアリングの結果、「3 時間あれば現地での対応は可能」との回答から、3 時間とその倍の 6 時間を設定する。

② 人的被害を考慮した危険度評価

…屋内滞在の危険度から見た評価軸で、指標としては RRI モデルによる「地区内代表点の最大浸水深」を採用する。閾値としては、国土交通省マニュアル¹⁰⁾において、1 階の床高を 0.5m、2 階の床高を 2.7m と設定し、さらに床面からの浸水深が 1.2m までを死亡率が低い「安全水位帯」としているため、閾値としては、0.5m、1 階での安全水位帯となる 1.7m(=0.5+1.2)、および 1 階部分が水没する 3.2m(=0.5+2.7)の 3 つを設定する。なお、①と同じ理由で浸水深が 0.1m 未満は浸水とみなさないこととする。

③ 避難所を考慮した危険度評価

…避難所の利用可能性から見た評価軸で、指標としては RRI モデルによる「地区内の避難所における最大浸水深」を採用する。閾値としては、1 階が浸水すると避難所としては機能が著しく低下することが想定されるため、国土交通省マニュアル¹⁰⁾から、1 階の床高として設定されている 0.5m を設定する。なお、①と同じ理由で浸水深が 0.1m 未満は浸水とみなさないこととする。

④ 災害時要配慮者を考慮した危険度評価

…要配慮者にかかる負担から見た評価軸である。要配慮者としては、乳幼児や高齢者を想定した（障がい者は対象とせず）。阿賀町における平均高齢化率は 44%であることや、乳幼児率は地区により 1%～8%であることなどを考慮し、高齢者率の閾値は 40%と 50%、乳幼児率の閾値を 3%と 6%とし、それぞれをクロス評価する。

⑤ 避難が必要な期間を考慮した危険度評価

…国土交通省マニュアル¹⁰⁾では、徒歩での避難が困難となる浸水深として 0.5m が設定され、さらに 3 日以上孤立すると飲料水や食料等が不足し健康障害の発生や最悪の場合は生命の危険が生ずる恐れがあるとされる。この観点からは、「3 日」を閾値として設定することも考えられるが、RRI モデルでの各地区・各パターンでの氾濫解析の結果、0.5m 以上の浸水が 3 日以上継続するケースは

表-1 地区危険度評価における 5 つの評価軸

評価軸	指標	評価(ランク)	閾値	根拠		
①避難のための時間を考慮した危険度評価	地区内代表点の浸水深が0.1mから0.5mに達するまでの時間	D	(0.5mに達しない場合)	阿賀町防災担当者ヒアリング		
		C	6時間以上			
		B	3時間以上6時間未満			
		A	3時間未満			
②人的被害を考慮した危険度評価	地区内代表点の最大浸水深	D	0.1m未満	国土交通省マニュアル		
		C	0.1m以上0.5m未満			
		B	0.5m以上1.7m未満			
		A	1.7m以上3.2m未満			
		AA	3.2m以上			
③避難所を考慮した危険度評価	地区内の避難所の最大浸水深	C	0.1m未満	国土交通省マニュアル		
		B	0.1以上0.5m未満			
		A	0.5m以上			
④災害時要配慮者を考慮した危険度評価	地区内の乳幼児率と高齢化率(クロス評価)	高齢化率			地区の実数値を参考に、地区間相対比較が可能なように設定	
		乳幼児率				
		～40%	40%～50%	50%～		
		～3%	D	C		B
		3%～6%	C	B		A
		6%～	B	A		AA
⑤避難が必要な期間を考慮した危険度評価	地区内代表点の0.5m以上浸水継続時間	C	0.25日未満	RRIモデルでの計算値を参考に、地区間相対比較が可能のように設定		
		B	0.25～0.5日			
		A	0.5日以上			

見られなかったため（最大 2.5 日、平均 0.5 日）、閾値としては 0.25 日と 0.5 日とする。

(5) 「洪水カルテ」による地区危険度評価とそれを用いた危険軽減策の検討

各地区の各降雨・流量パターンにおける各評価軸に対して、それぞれランク AA～D で評価し、それらをパターンごとに統合して、各降雨・流出パターンにおける各地区危険度をランク A,B,C で評価する。ここでは、各評価軸での評価結果について、AA 評価を 4 点、A 評価を 3 点、B 評価を 2 点、C 評価を 1 点、D 評価を 0 点として合計し、その値をさらにランク（10 点以上を A 評価、7～9 点を B 評価、6 点以下を C 評価）で評価する。合計点が高いと、より洪水に対して危険（脆弱）であることを意味する。

この「洪水カルテ」によって、各降雨・流量パターンに対する地区ごとの危険性が診断できるとともに、危険を軽減するための対策を以下のように検討することもできる。例えば評価軸①の評価が低い地区は、地区の地形特性として浸水上昇速度が速いため、迅速な避難が求められると考えられる。また、評価軸②の評価が低い地区は、地形特性として浸水深が深くなる傾向であるため、垂直避難では危険となる可能性が考えられ、早急に安全な高所などへの水平避難または屋外避難が必要と考えられる。評価軸③の評価が低い地区は、避難所が利用不可となる可能性が高いため、避難所の変更が必要となる可能性もある。評価軸④の評価が低い地区は、要配慮者の支援計画を綿密に立てておく必要がある。そして、評価軸⑤の評価が低い地区は避難期間が長くなる可能性が高いため、食糧や生活物資の備蓄が必要となると考えられる。このように、「洪水カルテ」の作成によって、各地区でどのような洪水被害軽減策を採るべきか方向性を明確にすることができる利点がある。

(6) 自治体における「洪水ホットスポット」の特定

(5)で算出した 5 つの降雨・流出パターンごとの総合評価をさらに統合し、最終的な地区危険度の評価を行う。ここでは、(5)で算出したパターンごとの合計値をさらに全パターンで合計し、合計値が 40 点以上の地区を A 評価、30 点以上 39 点以下の地区を B 評価、29 点以下の地区を C 評価とした。本研究では、A 評価の地区を、洪水に対する危険度が高い「洪水ホットスポット」として定義する。

5. 阿賀町における地区危険度評価結果

(1) 「洪水カルテ」の作成結果

前章の手法を用いて阿賀町の 19 地区を対象に、地区危険度を評価した。例として、表-2 に地区 P に対する評価結果を示す。

地区 P においては降雨・流量パターン 1 ではランク C、降雨・流量パターン 4 ではランク A と評価されており、例えば以下のような評価（診断）を行うことが可能である。

『H23 実績洪水（降雨・流量パターン 1）での浸水はなかったが、降雨・流量パターン 4 のように、より大規模な降雨が発生した際、顕著に浸水深が大きくなる。このパターンでは、リードタイムが短くなることから避難時間の危険度が高くなり、浸水する建築物が多くなることから避難空間の危険度も高くなる。浸水状況は、河川の水位状況に追従しており、阿賀野川の外水氾濫の影響が大きいと予想される。それに対して、ゲリラ豪雨（降雨・流量パターン 5）での影響は比較的小さいと考えられる。』

すなわち、このような地区においては、浸水実績はなくとも洪水危険度が潜在しており、また、内水氾濫よりも外水氾濫への対策を充実させることが重要である。このように洪水カルテの作成により、事前の効果的な洪水対策を行うことが可能となる。

(2)「洪水ホットスポット」の特定結果

表-3 は、全 19 地区の危険度評価結果をさらに統合した評価結果一覧表である。ここでは、ランク A を赤色、ランク B を黄色、ランク C を緑で表している。この結果、A 評価の地区は 7 地区、B 評価の地区は 3 地区、C 評価の地区は 9 地区と分類できる。この結果、阿賀町においては A、D、F、H、Q、R、S の 7 地区を「洪水ホットスポット」として特定することができた。

ただし、A、B、C ランクの得点の閾値は客観的なものではなく、例えば 45 点以上を A 評価とすれば 4 地区に減少する。この表の結果で重要なのは、地区間の洪水脆弱性の数値比較が可能であるため、洪水減災対策の実施に際して地区ごとの優先順位がつけられる点であると考ええる。

6. 結論と今後の課題

本研究においては、防災・減災に関する情報が乏しい中山間地の自治体の防災担当者に対して、事前の効果的な洪水減災対策立案に資するべく、RRI モデルによって計算された各地区の最大浸水深や浸水継続時間などの指標によって、降雨・流量パターン別に地区ごとの洪水脆弱性を評価できる「洪水カルテ」の作成や、自治体内における洪水減災対策の優先付けを可能とする「洪水ホットスポット」を特定する手法を提案した。

本研究においては、5 つの危険度評価軸を設定し、各評価軸における評価結果を積み重ねることで、「洪水カルテ」や「洪水ホットスポット」の作成を行った。しかしながら、この評価軸や指標そのものは確定されたものではない。特に、阿賀町担当者からは、各福祉施設における避難訓練の実施状況や防災教育など、各地区における「洪水対応力」を評価する必要があるのではとの示唆を頂いた。今後は、阿賀町の防災担当者の方や現地住民の皆さんとともに、現地ワークショップなどを開催しながら、本手法の改善を図る予定である。

謝辞

本研究の遂行に当たり、国土交通省北陸地方整備局阿賀野川河川事務所、新潟県土木部河川管理課および新潟県新潟地域振興局津川地区振興事務所には、河川の測量

表-2 地区 P に対する「洪水カルテ」

降雨・流量パターン	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
	流域平均降雨	H23実績降雨	想定最大外力相当降雨	H23実績降雨	想定最大外力相当降雨
	豊実ダム放流量	H23実績放流量	H23実績放流量	基本計画引伸ばし放流量	基本計画引伸ばし放流量
危険度評価軸					
①避難のための時間を考慮した危険度評価	D	D	A	A	D
②人的被害を考慮した危険度評価	C	C	B	A	C
③避難所を考慮した危険度評価	C	C	C	B	C
④災害時要配慮者を考慮した危険度評価	C	C	C	C	C
⑤避難に必要な期間を考慮した危険度評価	C	C	B	A	C
パターンごとの総合評価(AA…4点、A…3点、B…2点、C…1点、D…0点で合計)	C	C	B	A	C
	4	4	9	12	4

表-3 洪水ホットスポット特定結果

降雨・流量パターン	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5	総合評価
流域平均降雨	H23実績降雨	想定最大外力相当降雨	H23実績降雨	想定最大外力相当降雨	ゲリラ豪雨	(A:40点以上、B:30点以上、C:29点以下)
豊実ダム放流量	H23実績降雨実績放流量	H23実績降雨実績放流量	基本計画引伸ばし放流量	基本計画引伸ばし放流量	平常時流量	
地区A	9	10	9	10	11	49
地区B	5	5	5	5	5	25
地区C	6	6	5	6	6	29
地区D	10	11	12	10	5	48
地区E	4	4	4	4	4	20
地区F	4	12	12	12	4	44
地区G	4	4	4	4	4	20
地区H	7	10	7	10	9	43
地区I	5	7	5	7	9	33
地区J	4	4	4	4	4	20
地区K	4	7	4	7	4	26
地区L	5	5	5	10	5	30
地区M	4	4	4	4	4	20
地区N	4	5	5	6	4	24
地区O	5	5	5	5	5	25
地区P	4	4	9	12	4	33
地区Q	11	11	11	12	5	50
地区R	9	10	11	9	4	43
地区S	5	12	14	13	5	49

データおよび流量データ、東北電力会津ダム管理センターにはダム放流量データをご提供を頂きました。また、阿賀町総務課および建設課の皆様には、阿賀町が本研究の対象地域となることを了解いただき、洪水ホットスポット特定手法とその結果に関して有用なアドバイスを頂きました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 阿賀町ホームページ「阿賀町の概要」
- 2) 新潟県福祉保健部福祉保健課：高齢者の現況、平成 27 年 10 月 1 日現在
- 3) 国土交通省阿賀野川河川事務所：事業紹介パンフレット
- 4) 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡 奨、牛山朋来、萬矢敦啓、田中茂信：2011 年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測、土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 1, 14-29, 2013.
- 5) 栗林大輔、佐山敬洋、近者敦彦、中村要介、澤野久弥：阿賀野川における降雨流出氾濫モデルの適用と浸水開始時刻の再現性検証について、土木学会第 71 回年次学術講演会（投稿中）
- 6) 国土交通省 水管理・国土保全局：浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定外力の設定手法、平成 27 年 7 月
- 7) 国土交通省 水管理・国土保全局：阿賀野川水系河川整備方針（平成 19 年 11 月 22 日策定）
- 8) 新潟県土木部河川管理課：阿賀野川浸水実績図その 1、その 2
- 9) 国土交通省 国土地理院：基盤地図情報（数値標高モデル）
- 10) 国土交通省 水管理・国土保全局：水害の被害指標分析の手引（H25 試行版）、平成 25 年 7 月