

浸水予測システムによる都市浸水時の被害・混乱防止対策

板垣 修・瀬能真一

1. はじめに

これまでに経験したことのないような豪雨が全国で頻発している。一方、都市への人口・資産の集中、地下の高度利用などは都市浸水発生時の被害を甚大化させている（写真・1）。このような背景の中、国総研では内閣府SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）（第1期 2014～2018年度）により、1時間先までの降雨予測情報に基づく浸水予測システム（以下「本システム」という。）を開発し2016年度以来都内神田川流域等で試験運用・社会実験を行ってきた。

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会（以下「東京2020大会」という。）は都内で局地的大雨が発生する可能性が高い7～9月に開催が予定されていることから、海外からを含む選手・観客が大勢集まる中で、豪雨発生時の直接的な浸水被害の防止のみならず、浸水発生時の混乱の防止が重要な課題の1つと考えられる。このため、国総研では本システムの都内対象区域の拡大、浸水予測情報の多言語での提供に必要なシステムの機能拡充等を進めてきている。本報文では、上述の取組み及び2019年の社会実験（速報）について紹介する。

2. 本システムの概要

2.1 開発の背景

豪雨時の水害を防止するため下水道や河川施設の整備が進められているところであるが、同施設の設計規模を超える規模の豪雨が発生した場合には洪水氾濫・浸水が発生しうる。全ての規模の豪雨時の氾濫発生を防ぎうる下水道・河川施設を整備することは費用的にも技術的にも非現実的であることから、下水道・河川施設の設計規模を超える規模の豪雨発生時の被害防止対策が合わせて必要とされる。なお、下水道・河川施設の整備が進捗することは、浸水発生の可能性がより小さくな



写真・1 地下街へ流入する氾濫水（1999年6月福岡市）
※写真：九州地方整備局提供

ることを意味するものであり、浸水が全く発生しなくなることを意味するものではないことを正しく認識することが重要である。

このような中で、局所的豪雨による都市水害が頻発している現状を踏まえ、SIP（2014～2018年度）のテーマの1つである「レジリエントな防災・減災機能の強化」のうちの「豪雨・竜巻予測技術の研究開発」の1つとして本システムの開発・社会実験が行われてきた。

2.2 システムの構成

本システムは商用クラウド上で運用されており（2019年10月現在。以下同様）、仮想サーバとして「データ収集・管理」「演算」「表示・データ配信」「アーカイブ」の4つを設けている。現在試験運用中である本システムの利用にはID、パスワードが必要であり、2019年10月30日現在で約50のIDが社会実験参加者として登録されている。

本システムでは1時間先までの予測降雨強度データ（高解像度降水ナウキャスト¹⁾など）並びに実測レーダ雨量（X-rain²⁾）・河川水位データ等を日本気象協会・河川情報センターから受信するなどし、河川・下水道・地表面の水の動きを相互に関連付けて浸水予測計算を行い、1時間先までの地表面25mメッシュの浸水予測計算及び予測結果の配信を予測降雨強度データ等の受信から10分以内に行うようにしている。なお、過去の

降雨・浸水事象（2005年9月、2014年7月、2016年8月など）の再現計算結果に基づき計算モデルのパラメタの調整を行うとともに、「10分以内」を実現するため、再現計算における感度分析結果を踏まえ浸水計算の精度上問題ないと判断した内径600mm未満の下水道管などのモデル化を省略している。浸水予測計算の実施間隔は10分である。

このようにして作成された本システムの浸水予測計算モデルは、上述の再現計算結果に基づき、浸水範囲・深さの再現計算精度を一定程度確保していると考えられる。本予測計算モデルの再現計算精度等の詳細は既発表論文・報文^{3),4)}を参照されたい。

演算サーバ（複数）には流域・地域ごとの浸水予測計算モデルが組み込まれており、現在、神田川流域、石神井川流域、東京東部地域（足立区、葛飾区、墨田区、江東区、江戸川区の5区）の3つのモデルが実装されている（図-1）。

本システムにはアラートメール配信機能が実装されており、事前に登録された地点（25mメッシュ単位（単独又は複数格子）又は計算モデル上の人孔（マンホール））について、選択された地表浸水深（例 浸水深20cm）又は人孔内水位（例 地表面まで2m）（以下「事前設定値」という。）を超える浸水又は人孔内水位が予測された場合にスマートフォン等へアラートメールが送られる。

また、本システムはLINE（LINE株式会社が提供するSNS）上で利用可能となっており、さらに、スマートフォンの現在位置表示機能を活用することにより、外出先でも現在地周辺の浸水・予測情報を確認することができる。

2.3 試験運用・社会実験の概要

本システムの使いやすさ、浸水予測情報の精度について確認するとともに、浸水予測情報を活用した浸水被害防止手法について具体的に研究するため、本システムの試験運用・社会実験を2016年度から実施（神田川流域は2016年度、石神井川流域は2018年度、東京東部地域は2019年度に試験運用を開始）している。

本システムの浸水予測精度を確認するには実際に発生した浸水範囲・深さを調査することが重要である。しかし、局所的な豪雨による浸水は短時間で発生・解消することが多く、茨城県つくば市にある国総研から浸水予測時に都内の現場へ駆けつけたのでは浸水発生状況を直接確認することが難しい。このため、神田川流域内の下水道管内2箇所に圧力式水位計を設置するとともに、浸水発生に関する報道・ツイッター情報の収集、自治体からの聞き取り等により浸水範囲・深さを概略把握し、浸水予測精度の確認を行っている。

2017年度にアラートメールの試験配信を開始してから、実際に社会実験参加者にアラートメールを配信した日数は、2017年度は11日、2018年度は10日であった（いずれも7月から10月までの

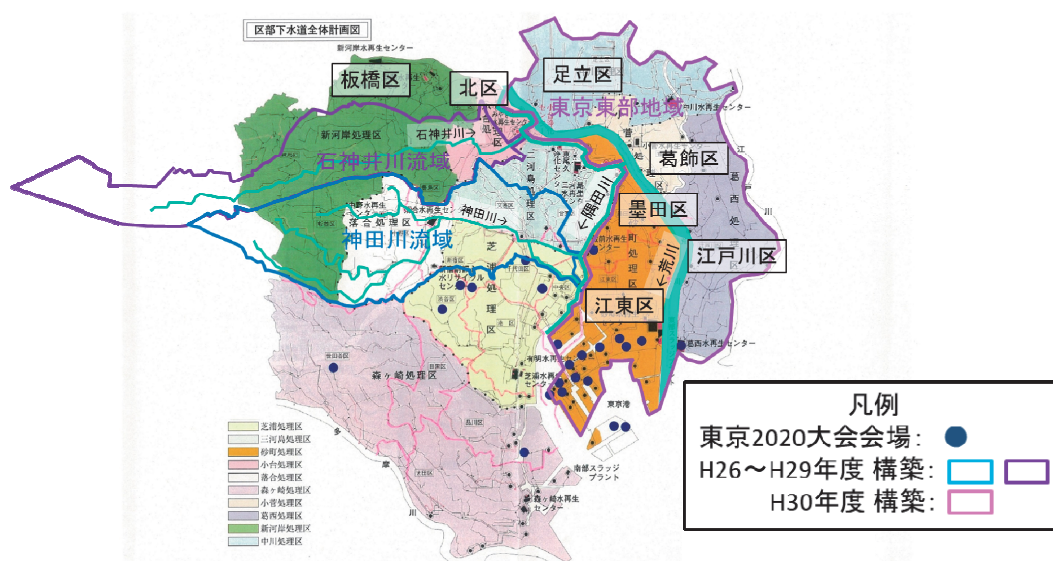


図-1 本システム対象地域（2019年10月現在）
※背景図として東京都下水道局資料⁵⁾を使用

期間について)。これらのうち、実際に浸水又はマンホールからの空気の噴出（下水道管内水位が上昇し地表面の浸水が切迫していると考えられる状況）がweb上の情報・自治体等からの聞き取りにより確認されたのは各年度2日であり、残りの日については空振り（浸水発生を予測したものの実際には浸水が発生しなかったもの）と考えられる。なお、見逃し（浸水発生を予測しなかったにもかかわらず実際には浸水が発生したもの）の有無を限られた情報に基づき確認することは難しいが、これまでのところ、計算上浸水しないとされた箇所での浸水発生事例は見つかっていない。

今後、関東地方整備局等により試験運用が行われている浸水センサー等との連携を進めてまいりたい。

3. 本システム対象地域の拡大

3.1 これまでの対象地域拡大経緯

2014年度の研究着手当時、国総研河川研究部で実施してきた研究実績を踏まえ神田川流域を本システムの対象地域として選定した。その後東京都による環状7号線地下広域調節池により神田川とつながる石神井川についても一体としてモデル化することとし、さらに、内閣府が2018年2月23日に東京都内で開催した科学技術・イノベーションカンファレンスのポスターセッションにおける意見交換及び東京2020大会の予定競技場位置等を踏まえ、2018年度に対象地域を東京東部地域（既出5区）に拡大した。

3.2 本年度の対象地域拡大予定

東京2020大会予定会場及び交通結節点（主要駅）の位置を踏まえ、図-1の中抜け区域を解消すべく必要な浸水予測計算モデル・システムの拡充を本年度中に行う予定である。

4. 2019年度の社会実験の概要

4.1 アラートメール配信実験の概要

2019年6月28日に本年度の社会実験開始を参加者にメールにて通知した。10月末時点の社会実験参加者のアラートメール用メールアドレスの登録数は約80（1つのIDで複数のメールアドレスを登録している場合があるためID数と一致しない）、社会実験参加機関数（上記メールアドレスを登録していない機関を除く）は約20である。

10月末（本稿執筆時点）までに社会実験参加者へアラートメールを配信した日数は次の9日である（速報値）。

8月：22日*、26日*

9月：3日、9日（8日深夜に9日0時過ぎの下水道管内水位が事前設定値を超えることを予測したものを含む）

10月：4日、12日、19日*、22日*、25日

これらのうち*印を付した4日は、下水道管内水位が事前設定値（例 地表下2m）を上回ることが予測されたためにアラートメールが配信されたもので、地上の浸水発生予測に基づき配信されたものではない。

地上の浸水発生を予測した結果に基づくアラートメールが配信された日のうち、9月3日、9日及び10月4日は事前設定値が地表浸水深3cmであり、10月12日、25日は同20cmであった。以下、アラートメール配信事例についての分析結果（速報）を示す。



図-2 2019年10月12日の基準時刻14時10分における15時10分時点の浸水予測結果（善福寺川松見橋付近）

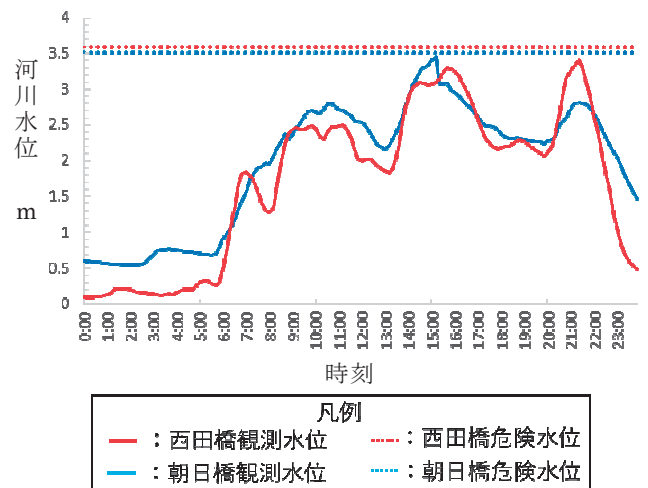


図-3 2019年10月12日の善福寺川の水位の時間変化（東京都データより作成）

4.2 10月12日の事例

台風19号が接近する中、本システム対象地域で強い雨が予測され、アラートメールが社会実験参加者に配信された。神田川流域の善福寺川の松見橋付近で下水道マンホールからの逆流により道路冠水が発生した（浸水被害はなし）との情報をこれまでのところ得ている。当該地点付近については基準時刻（予測降雨強度データにおける現在時刻のこと。例えば10時から11時までの1時間予測の場合10時が基準時刻）14時10分の降雨強度予測データによる浸水予測結果（図-2）に基づき14時23分にアラートメールが配信された。実際の冠水位置及び発生時刻についての情報はこれまでのところ得られていないが、松見橋付近には善福寺川への排水口が複数認められることから、河川水位が特に高まっている間に下水道マンホールからの逆流が生じたと推定される。善福寺川の水位の時間変化（図-3 ※松見橋は西田橋より上流に、朝日橋は西田橋より下流に位置）より、下水道マンホールからの逆流が生じたと推定される時

間帯（15時前後）以前にアラートメールが配信されたものと考えられる。

4.3 10月25日の事例

台風20号から変わった低気圧及び台風21号が南海上を進む中で強い雨が予測され、武蔵野市吉祥寺北町の「保育園角」地点について、「30分後に浸水深20cmを超過するおそれ」とのアラートメールが社会実験参加者に10時59分に配信された。同地点周辺の実況解析値・予測降雨強度を10分ごとに時系列で比較したものを図-4に示す。図中赤丸で示すのが当該アラートメール登録地点付近である。横軸が10分ごとの基準時刻であり、基準時刻が10分進むごとに1つ下の段の実況解析値・予測降雨強度に進む。

同図より、基準時刻10時50分（10時59分のアラートメール配信に用いられた雨量強度等データの基準時刻）の降雨強度予測では赤丸地点周辺で11時00分から11時30分までの間20～100mm/時の降雨強度となっているが、実況解析値は1～20mm/時に過ぎなかったことが読み取れる。

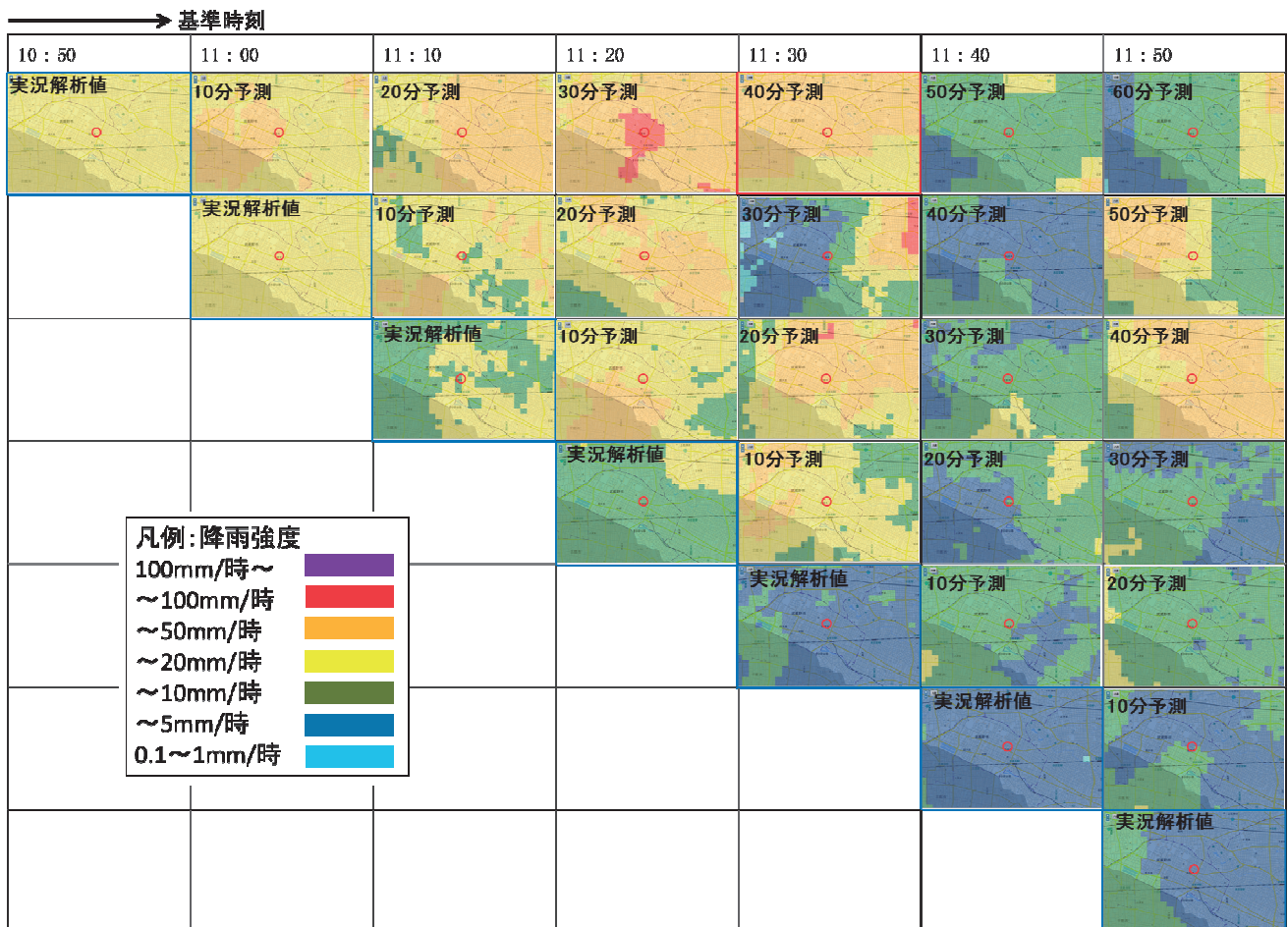


図-4 実況解析値と予測降雨強度との比較（2019年10月25日 武蔵野市吉祥寺北町付近）

この結果、基準時刻10時50分における予測降雨強度に基づく浸水予測結果は図-5に示すように浸水深20cmを超えるものであったが、基準時刻11時30分の実況解析値に基づく浸水深計算結果は図-6のように浸水が発生しないものとなり、実際には浸水が発生しなかったこと（現時点までに得られた情報による）と一致する。

5. 自治体防災担当者との意見交換

浸水予測情報を活用した都市水害対策について自治体の防災担当者と意見交換を行ってきた。2019年度は本稿執筆時点（10月末）までに都内では東京都下水道局及び建設局河川部、板橋区、北区、荒川区、台東区、足立区、文京区、江東区、江戸川区、葛飾区、墨田区、中央区、千代田区、港区、大田区、武蔵野市を訪問し意見交換を行った。

自治体の防災担当者からは「浸水予測の空振りは許容できるが見逃しは許容できない」との意見が多数寄せられ、降雨予測精度の限界等を踏まえた浸水予測情報の提供・活用が重要であることが再確認された。

6. 東京2020大会会期中の浸水予測情報の活用

東京2020大会等の大イベントの開催期間中には、地域の浸水特性に詳しくない、海外からを含む多くの観客等が集まると考えられる。

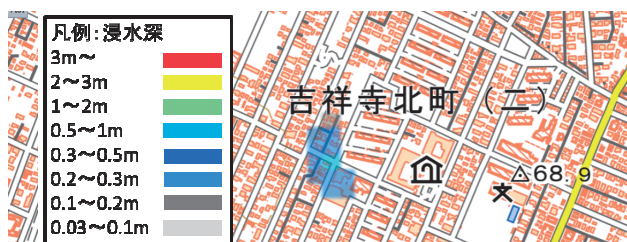


図-5 2019年10月25日の基準時刻10時50分における11時30分時点の浸水予測結果（武蔵野市吉祥寺北町）

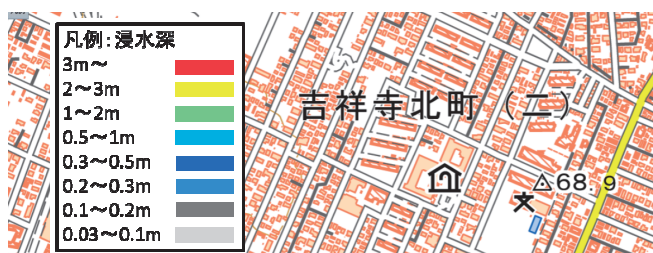


図-6 2019年10月25日の基準時刻11時30分における実況解析値に基づく浸水深計算結果（武蔵野市吉祥寺北町）

図-7は東京2020大会の競技等が終わった後に観客等が競技会場から交通結節点（駅）へバス等で移動する時に浸水予測情報を受信した場合、浸水が予測された地区を避けるルートを選択するなどして混乱を防止・軽減する概念図である。図-8は浸水予測情報の様々な立場の人による活用方法例である。

なお、日本語以外を母国語とする人々も浸水予測情報を活用できるように、アラートメールの外国語表示（英語以外を含む）について本年度中に機能を拡充する予定である。

7. まとめ

2016年度から試験運用を実施してきた本システムは、東京2020大会に向けて段階的に対象地域の拡大と機能拡充を進めてきた。

本システムの試験運用を継続する中で、本システムのようなリアルタイム予測システムは、過去の洪水事象の再現計算等を目的とする通常の氾濫シミュレーションとは異なることを改めて実感することが多い。本システムの試験運用は、システムの信頼性を高めるために必須のものであり、試験運用期間が伸びるにつれ、システムの安定性が高まるものと考えられる。

一方、計算モデル構築時点から年数が経過すれば、その後の下水道管の増設等に対応して予測計算モデルを更新する必要があると考えられ、どの程度の施設増設等があった場合に計算モデルを更新すべきかなど引き続き研究が必要と考えられる。

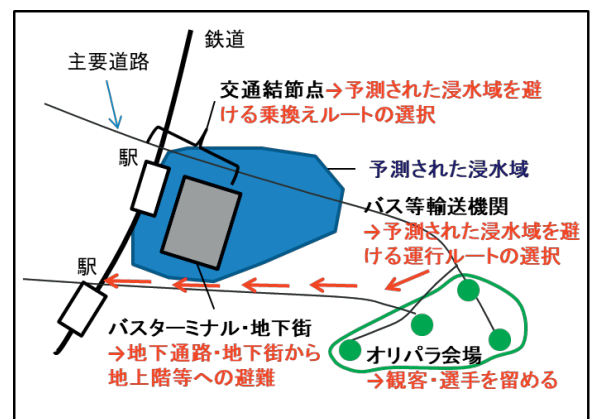


図-7 浸水予測情報を活用した浸水時の混乱防止対策

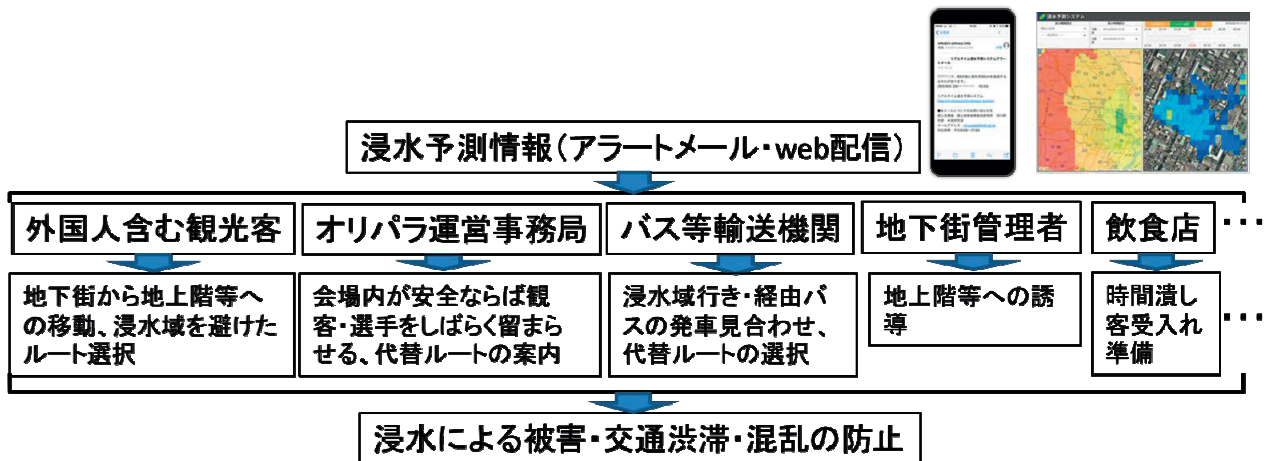


図-8 様々な主体による浸水予測情報の活用方法

本システムで提供する浸水予測情報は、精緻に浸水深を予測するというよりは、浸水発生時の現場対応の実態を踏まえ、現在の科学技術における降雨予測精度の限界等を前提条件として、現状で出来るだけの浸水予測情報を提供しようとするものである。現場の防災担当者との意見交換結果を踏まえ、本システムでは一定の空振りを覚悟のうえで、見逃しを極力避けることを重視する予測情報提供システムを志向している。引き続き、防災現場の実態を踏まえ本システムの改良を図ってまいりたい。

東京2020大会に向け、本システムの利便性・安定性の向上に努め、会期中の豪雨・浸水発生に備えるための情報提供を行ってまいりたい。

謝 辞

浸水予測計算モデルの開発に当たり、下水道・河川・都市に関するデータを貸与いただいた東京都下水道局、建設局河川部、都市整備局都市づくり政策部都市計画課、武蔵野市下水道課、浸水予測情報の活用について意見交換させていただいた5.記載の各機関及び中野区、杉並区、新宿区、世田谷区並びに東京消防庁、都庁オリンピック・パラリンピック準備局、内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション）付、社会実験参加者、学識者、気象庁、国土交通省水管理・国土保全局、土木研究所ICHARMの各位にこの場を借りて心から御礼申し上げる。なお、本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな

防災・減災機能の強化」(2014～2018年度)によって実施された。

参考文献

- 1) 日本気象協会：高解像度降水ナウキャスト
- 2) 国土交通省：X-rain
- 3) 大沼克弘、伊藤弘之、小林正和、堀江真、五十嵐孝浩、松原健二、小林隆洋、飯田進史：高速演算モデルを使った浸水予測情報配信システムの構築、河川技術論文集、第23巻、pp.103～108、2017
- 4) 三好朋宏、小林正和、板垣修：都市の浸水被害軽減に向けた浸水予測システムの開発と社会実験、土木技術資料、第59巻、第12号、pp.26～29、2017
- 5) 東京都下水道局：区部下水道全体計画図、http://www.gesui.metro.tokyo.jp/about/pdf/jg29_kubumap.pdf、2017
- 6) 東京都建設局河川部：水防災総合情報システム、<http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/tsim0101g.html>、2019

板垣 修



国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部水害研究室 長
ITAGAKI Osamu

瀬能真一



国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部水害研究室 研究官
SENOU Shin-ichi