

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

CONSTRUCTION OF INUNDATION INFORMATION SYSTEM USING THE FAST CALCULATION MODEL

大沼克弘¹・伊藤弘之²・小林正和³・
堀江真⁴・五十嵐孝浩⁵・松原健二⁶・小林隆洋⁷・飯田進史⁵

¹正会員 工修 元国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室
(金沢大学大学院自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町))

²正会員 工修 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³非会員 工修 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

⁴正会員 農修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部 防災危機管理部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

⁵正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 国土保全事業本部 防災危機管理部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

⁶非会員 農修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 情報システム部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

⁷非会員 工修 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 情報システム部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

Since sudden localized torrential downpours have been increasing in recent years, it is required to establish disaster prevention / mitigation measures for more speedy and accurate flood control activities and evacuation guidance, etc. We developed an inundation forecast program for processing data on inland and river floods as a whole by integrating the models of river and sewerage hydraulic analysis and flood analysis covering the basins of Kanda River. Incorporating this program, we built a system having the functions to collect the real-time data, convert the data for input in the inundation forecast program, and convert computation results into the data format for distribution to distribute them on the web. This system is expected to support speedy and accurate disaster prevention / mitigation activities in urban areas.

Key Words : *information distribution system, real-time prediction, inundation analysis*

1. はじめに

近年, 集中豪雨や局所的な大雨 (いわゆるゲリラ豪雨) が増加傾向にあり, 水災害が頻発している. 都市域には経済的資産が集中し, 地下空間の高度利用も進んでいることから, ひとたび浸水が発生すると甚大な被害が生じる可能性が高い. とりわけ都市域では降雨から雨水流出・浸水発生までの時間が短いため, 河川や下水道整備などのハード対策に加え, リアルタイムデータを使った「浸水予測情報」の活用により, 浸水対策のためのリードタイム確保や, より迅速かつ的確な水防活動や避難誘導の実施といったソフト対策が重要かつ効果的とな

る.

降雨から雨水流出・浸水発生までの時間が極めて短時間である都市域を対象としたリアルタイムの浸水予測を行うにあたっては, 土嚢積み, 止水板の設置, 排水ポンプの稼動等の様々な防災・減災対策や早期避難等の実用に耐えうるような高い精度と高速性が求められる. この求められる両面性が, リアルタイム浸水予測の普及を難しくしている一因と考えられる.

都市部は雨水流出・浸水発生機構が複雑である. 浸水に及ぼす下水道の役割が極めて大きく, アンダーパス等人工的な窪地も存在し, さらには建造物の屋根からの流出等複雑な流出も影響することから, 下水道モデル, 地形, 流出過程等のモデルの細密化を行うことにより精度

の高い浸水予測を行っている事例が見られる。関根ら¹⁾は、街路ネットワーク浸水・氾濫解析手法を用いて、詳細な街路や下水道ネットワークを組み込んだ極めて精緻なモデルを構築している。川池ら²⁾は建造物の屋根からの雨水排水過程を考慮した内水氾濫モデルの開発を行っている。しかしながら、それらのモデルを使ったリアルタイム浸水予測の実現には至っていない。

佐貫ら³⁾は、水エネルギー収支分布型流出モデル、一次元河道モデル、下水道ネットワークモデル、地表面流出モデル、高潮予測モデルの5つのサブモデルが結合され、水位や流量のやりとりが行われるシームレスモデルを構築するとともに、リアルタイム予測へのモデル適用に向けた検討を行っている。木村ら⁴⁾は、都市部を対象としたリアルタイム予測を行う上で、浸水現象の精度確保に求められるモデル化の要件を検討し、都市内水氾濫の再現に際しては「下水道・地表面の解像度」と「入力雨量情報の空間、時間分解能」の影響が大きいことを示した。

本研究では、これら既存の知見も踏まえつつ、都市化が進展している東京都神田川流域を対象として、河川、下水道水理解析及び氾濫解析モデルを統合して内水・外水氾濫を一体的に扱うことができる浸水予測モデルを作成した。過去の降雨を使ったモデルの精度検証を行い、河川水位、氾濫域について、ある程度の精度の確認ができたことから、このモデルを組み込み、10分ごとにリアルタイムの雨量等観測データと雨量予測データを使って、1時間先までの河川水位や浸水予測計算結果をリアルタイムデータ受信後10分以内に配信できるシステムを、クラウド上に構築した。計算結果は、パソコン等によりグラフィックユーザーインターフェイス（以下「GUI」という）を通じて閲覧でき、既に試験配信が行われている。このシステムは、将来異なる流域・プログラム（言語・OS）・解像度の浸水予測モデルを同時に扱うことが出来る拡張性も有している。以上のように、高速性、精度、拡張性を兼ね備えたリアルタイム浸水予測情報配信システムが完成したことから、ここに報告する。

2. 浸水予測モデルの作成

(1) 対象流域の特徴

神田川は、東京都三鷹市の井の頭池を源とし、途中、中野区と杉並区の区界付近で支川の善福寺川を、新宿区内で妙正寺川を合流しながら東流し、千代田区の水道橋駅付近で日本橋川を分派したのち、台東区柳橋地先で隅田川に合流する延長24.6kmの河川である（図-1）。

神田川流域は、台地とそれを刻む開析谷をもち、浸水被害は河川沿いの谷底低地や台地上の窪地で起きている⁵⁾。流域の大半が都市的土地利用となっており、昭和時代に流域の都市化が大幅に進展した。河川改修の進展が

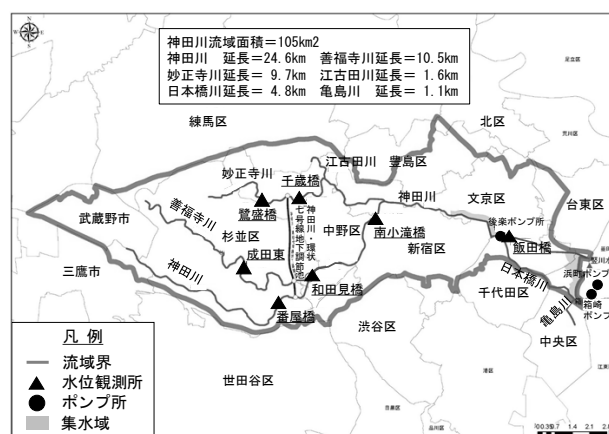


図-1 神田川流域図、水位観測所位置図

河川沿いの谷底平野の浸水害を減少させていること、下水道整備の進展が台地上の窪地の浸水害を減少させる効果があることが示されている⁶⁾。

(2) 神田川流域浸水予測モデルの構成

当モデルは、大きく分けて、流出モデル、下水道モデル、河川モデル、地表面氾濫モデルからなり、これらのモデルを統合することにより、内水・外水氾濫を一体的に扱うことができるものとなっている。リアルタイムの雨量・河川水位観測データ及び雨量予測データを活用した計算を目的としており、より観測間隔が長い河川水位が10分毎であること、高解像度降水ナウキャストが1時間先までを対象としていることから、1時間先の浸水予測計算時間の目標を9分以内とした。

流出モデルは、合成合理式により流出量を算出することとし、土地利用ごとに流出係数を設定し、下水道人孔ティーセンごとに土地利用別の排水面積を算定して、按分した流出係数を設定し、流出雨水は人孔に流入するものとした。雨水は、側溝を経て雨水枡に集められ、雨水枡の取り付け管を介して人孔に流入することが多いが、計算時間を勘案し、先述のような単純化を行った。側溝を流下してきた雨水流量に対する枡ふたを落下する流量の比率である落下率⁷⁾は、雨水枡上流部の側溝流量、雨水枡のふたの形状、道路の縦横断勾配、ゴミ等の影響を受ける。このモデルでは、人孔への流入量の先述のプロセスによって算出した流出量に対する割合を落下率とし、対象人孔があるメッシュに隣り合う4つの25mメッシュの地盤高から4方向の勾配を算出し、そのうち最も急な勾配をそのメッシュの地形勾配とし、勾配と落下率との関係式を用いて落下率を設定した。この関係式は、参考文献7)で示された実験結果のうち、枡ふたが鋼製格子のケースを参考にした。本来は枡ふたの種類別に設定すべきであるが、個々の枡ふたの種類に関するまとまったデータがないことから、実態として最も多い鋼製格子とした。

下水道モデルは、下水道管渠について一次元不定流に

より計算するが、自由水面をもつ開水路と圧力状態にある管渠を同時に計算するため、プライスマンスロットモデルを採用した。先述のように、当流域は下水道による浸水被害軽減効果が大きいことから、下水道モデルはできうる限り細かい管渠までモデル化することが望ましい。しかしながら、それによって計算時間が長くなり、目標とする計算時間の達成が困難となる。そこで、先述の流域の浸水特性を踏まえ、まず浸水実績がある箇所や窪地率（参考文献8）における「相対地盤高率」に相当の高い箇所（相対的に地盤高の低い箇所）と下水道管渠との関係を整理し、内径φ600mm以上（ただし円形管以外はφ600mmの円の面積以上、以下同じ）の管渠をモデル化し、それに接続する人孔により窪地の排水を概ねカバーできることが確認できたことから、対象管渠は内径φ600mm以上を基本とした。それでも浸水実績や窪地率の高い箇所で人孔がない箇所は、適宜、内径φ600mm未満の管渠を延伸してモデル化した。また、モデル化対象外の内径φ600mm未満の管渠が会合する下水道人孔については、面積をモデル化する人孔に統合した。和田弥生幹線等雨水貯留管は、下水管に越流堰を設け貯留管に越流する仕組みをモデル化した。ポンプ所（後楽、浜町、箱崎）については、ポンプ所に流入する流出雨水を操作規則に従って排水先に排水する仕組みをモデル化した。雨水調節池等の流出抑制施設は、貯留量が10,000m³以上のものをモデル化した。武蔵野市北町保育園貯留施設は貯留量が4,500m³であるが、竣工（2015年3月）以前は周辺の浸水発生頻度が高く、施設の被害軽減効果が大きいと考えられたことから、モデル化した。

河川モデルについては、一次元不定流計算により行い、粗度係数は東京都の計画値を用いた。神田川・環状七号線地下調節池等の調節池もモデル化している。流出雨水のうち単位汚水量の3倍までは水再生センターに流入し、晴天時、雨天時の放流量を水再生センターから河川に放流し、それを越えた分が雨水吐き室の越流堰を越流して河川に放流する。下水道に流入した雨水は、下水道雨水吐き室放流渠地点で河道水面追跡モデルに接続させている。

地表面氾濫モデルは、流域内を25mメッシュの正方形のメッシュに分割し、平面二次元解析により行った。さらにメッシュサイズを小さくすることにより精度向上が期待できるが、一般的に計算時間はメッシュスケールの縮小率の3乗に比例し、計算時間に与える影響が極めて大きい。後述するような25mメッシュでの計算時間から推察すると、さらに細かいメッシュにすると計算時間の目標達成が困難と推察されたことから、このメッシュサイズとした。河川から地表面への外水氾濫は隣接するメッシュに流入するとし、内水はメッシュに存在する下水道人孔を介して下水道モデルと接続し、人孔への流入・人孔からの溢水を表現した。下水道管渠の水位が地盤高を越えた時、人孔から越流氾濫するとした。河川か

ら地表面への氾濫及び人孔から地表面への氾濫量の算定にあたっては、本間の越流公式を用いた。

なお、新宿駅周辺については5mメッシュ、対象下水道管渠の内径φ250mm以上として詳細なモデル（以下、「新宿地区詳細モデル」という）を構築し、後述するシステムに組み込んだところ、目標とする計算時間は達成できなかった。

(3) 浸水予測モデルの精度検証

構築した浸水予測モデルの精度検証を行った。ここに示す対象降雨は、神田川流域で1983年以降最大規模の浸水があった①2005年9月4日降雨、直近で最大規模の浸水があった②2014年7月24日降雨、昨年の降雨として③2016年8月20日降雨である。検証計算にあたっては、地点雨量コンターから250mメッシュ雨量を作成して行った。河川水位の再現性の評価は、観測水位と再現水位の相関係数、近似直線の傾きおよびRMSEで行った。浸水域については、①は神田川流域全体、②は浸水被害が突出して大きかった武蔵野市（ただし町丁目別床上床下浸水件数）、③では浸水被害がなかったため武蔵野市の女子大通り幹線の水位を対象に検証を行った。

その結果を図-2に示す。上段で示している傾きとは、横軸を実測値、縦軸を予測値とした場合の直線近似式の傾きのことを指しており、1に近いほど精度が良く、大きいと予測が過大であり、小さいと予測が過小であることを示す。RMSEは2乗平均平方根誤差であり、予測誤差の大きさを示す指標である。値が小さく0に近いほど予測精度が高いことを示す。

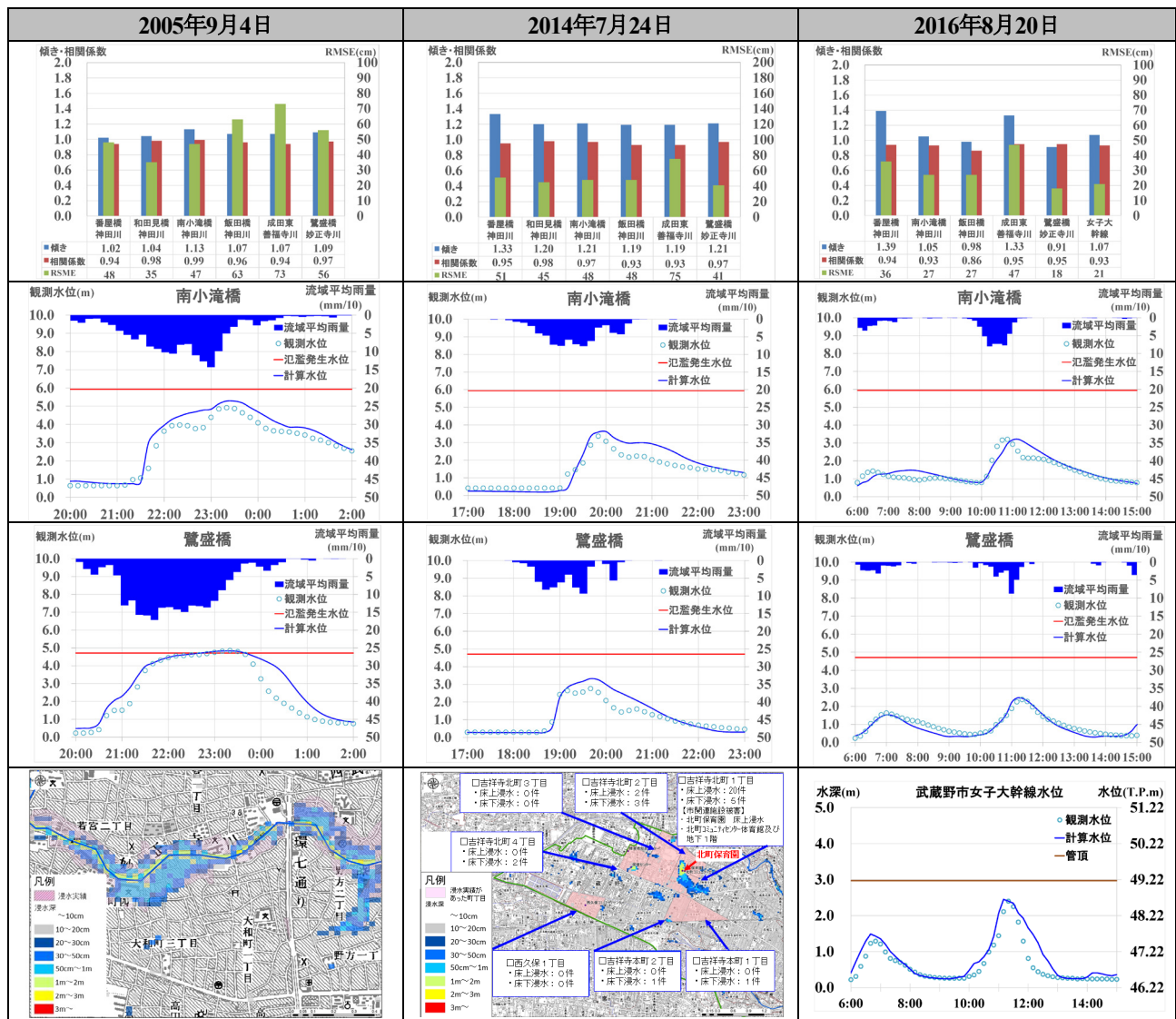
河川水位については、水位低減期を中心に全体的に実測より高い傾向が見られるが、比較的良く再現できていた。

浸水域では、①については河川沿いの溢水による浸水域や河川から離れた下水道からの溢水箇所など比較的良く再現できていた。武蔵野市を対象にした②については、全体的に計算結果のほうが範囲が広い傾向が見られた。これは、検証対象の武蔵野市が区部に比べて管径が小さい下水管渠が多いため、モデル化されている管渠の密度が小さいことが一因と考えられた。浸水深の実測記録はほとんどないが、北町保育園付近で1.5m程度浸水したことがわかっており、計算結果に近いものとなっている。③の武蔵野市女子大通り幹線の水位については、水位上昇からピーク水位まで精度よく再現できている。

3. 浸水予測情報配信システムの構築

(1) 概要

2. で作成した浸水予測モデルがリアルタイムに取得した雨量予測情報を用いて高速に浸水予測計算を行い、



結果を配信する浸水予測情報配信システム（以下、「本システム」という。）をクラウド上に構築した。本システムは、XRAIN（欠測メッシュはCバンドで補填）による雨量観測情報及びテレメータの河川水位情報、1時間先までの雨量予測情報（高解像度降水ナウキャスト）を10分毎に受信し、浸水予測モデルを使って60分先までの河川水位や浸水予測計算結果を10分以内に配信することができる。河川水位は平常水位、下水道水位は0から計算を実行し、計算水位と観測水位に解離が生じる場合、河川水位については基準観測所の観測粗度係数により逐次補正するフィードバック機能を実装した。下水道計算水位や浸水深については、観測水位（浸水深）をリアルタイムに取得出来る地点がないため、フィードバック機能を実装していない。

本システムから配信される計算結果は、WEBブラウザによりGUIを通じて閲覧できる他、河川水位や浸水深が閾値を超過すると携帯端末へ自動メールを配信することも可能である。

また、本システムには、常時リアルタイムに浸水予測を行う「リアルタイムモード」、過去の著名洪水や仮想降雨を10分毎に配信して模擬的にリアルタイム利用を行える「訓練モード」やプレゼンテーションや操作説明に使用するための「デモモード」を用意することで、これまで利用場面の限られていたリアルタイムシステムの活用可能性を広げた。

さらに、システムの拡張性を確保するため、解析モデルとシステムとのI/O等の定義や制御機能を具備し、異なる流域・プログラム・解像度（時刻、空間）の浸水予測モデルを同時に取り扱うことができるようにした。

(2) 浸水予測の特性を踏まえたシステム構成の検討

本システムのようにリアルタイムに浸水予測を行なうシステムは、豪雨発生時と無降雨時の計算にかかるリソースの差が大きく、豪雨発生時でシステムの負荷が最も高まった状態時に最も多く利用されるという特性がある。また、対象河川・流域やシステム利用者も社会実験

フェーズから社会実装フェーズで変化するとともに、システム運用主体や運用方法についても並行して検討していくべき課題である。このような特性を踏まえ、リソースの増減が容易なクラウド上にシステムを設置し、データの収集・管理およびシステム制御と、浸水予測計算、WEB配信をそれぞれ別サーバで行う負荷分散型のシステム構成とした。

構築したシステムは、負荷のかかった状態でも浸水予測結果が遅れることなく安定して配信されることが求められることから、神田川流域において想定最大規模の降雨による負荷テストを実施するとともに、演算サーバを10台（10河川）同時に接続した負荷テストを行った。さらに、出水期を含む連続12ヶ月間の運用テストを実施し、システムが停止することなく、1時間先の予測を10分毎に10分以内で安定して処理が完了することを確認した。

(3) 浸水予測プログラムとの接続のためのデータ連携

都市中小河川のように流域面積が小さい河川が数多くある場合、流域ごとにその特性に即した浸水予測モデルを作成したいが、その単位で情報配信システムを構築していくことは構築・維持管理コストの面から現実的ではない。また、ユーザーは流域界や行政界に関係なくシームレスに情報を活用したいため、河川管理者（流域界）や防災管理者（行政界）で区切られた情報提供では利便性に乏しいものとなるため、複数の流域の浸水予測情報が同一システムから配信されることが望ましい。

以上を踏まえ、本システムは都市中小河川の浸水予測情報の配信プラットフォームという役割を担うことを目指し、様々な都市中小河川の浸水予測プログラムを接続し、浸水予測結果を配信できる仕組みとした。具体的には、浸水予測計算を行う演算サーバとの間のデータ連携ルール（データ形式等）を標準化した。具体には、洪水ハザードマップの普及状況を鑑みて浸水深はメッシュとし、任意断面の河川水位を時系列に表示できるようにデータ形式を規定した。街路ネットワークモデルなど構造格子による計算を行っていない浸水予測プログラムの出力は浸水位（標高値）を基にメッシュデータに変換することになるが、立体交差点の評価などメッシュモデルでは表現できない結節点の浸水深については、ポイントデータで受け渡しできるように規定している。これにより、プログラム言語（Fortran, C#によらない）やOS（Windows, Linuxによらない）、モデル（構造格子モデルを基本とするがポイントデータも取得）、計算速度が異なる複数の浸水予測プログラムが接続可能となった。

標準化したデータ連携ルールに基づき、神田川流域（流域全体、新宿地区詳細モデル）、石神井川流域（神田川流域とは異なり、街路ネットワークモデル）の計3つの浸水予測プログラムとの接続テストを実施し、動作確認した。これにより、異なる種類のモデルの浸水予測プログラムを追加しても、追加に伴うパラメータの変更

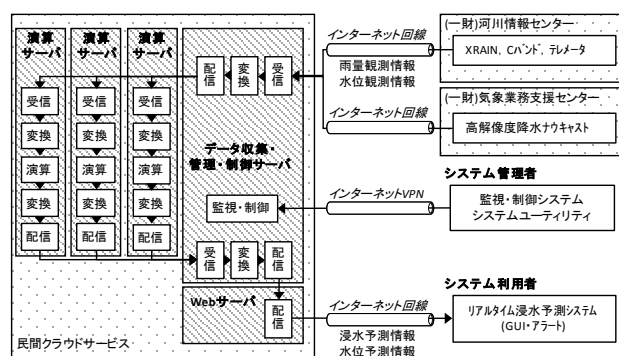


図-3 リアルタイム浸水予測情報配信システム全体構成

作業のみで、雨量や水位などリアルタイムデータの取得から浸水予測結果の配信までの一連の処理が安定して動作することを確認し、拡張性のあるシステムであることを示すことができた。

(4) 適切な情報を迅速に提供できるGUIの検討

都市中小河川においては浸水対策を行うためのリードタイムが非常に短くなる。そのため本システムのGUIは、目的の異なるユーザーごとに適切な情報を迅速に提供できることが必要である。これらの要件を踏まえ、浸水予測結果を表示する表示システムに以下の機能を搭載した。

- ①地図表示機能：地図を基盤とした情報表示。2画面に切り替えることで2時期（現在、1時間先など）を左右並べて容易に比較できる。
- ②概況図表示機能：河川の水位・越水状況や今後の危険性を俯瞰的に表示。任意区間選択し、水位断面表示。
- ③監視画面機能：ユーザーごとに登録した任意の地点の浸水状況を1画面で監視できる。
- ④アラート機能：基準観測所や監視地点に設定した基準水位や浸水深（閾値）を超過する予測が行われた場合、アラートメールをユーザーに送信。

4. システムの利活用可能性と課題

浸水予測情報配信システムの利活用可能性とシステムの改良の方向性を調査するため、流域内に位置する要配慮施設である老人ホームや小学校、公共交通機関、清掃事業者、公共イベントホール及び特別区の防災・水防担当者に対してヒアリングを実施した。訓練モードで2005年9月4日降雨等における降雨～河川水位～浸水状況とその時系列予測を用いて、個々の施設の浸水シナリオを用意し、システムを活用することをイメージしながら具体的な浸水対策や避難対応等を聞き取ることで活用可能性や社会実装に向けた課題を整理した。

雨量・水位が観測されてから、本システムで観測データを受信し、1時間先までの浸水予測結果を受信する時間までを合わせると15分程度要することから、今後想定

される自治体防災担当者や施設管理者等のシステム利用者にとって、浸水予測情報がない場合に比べると45分程度のリードタイムが確保でき、意思決定や情報伝達、水防や避難等の対応にあてることができる。

区の防災担当者からは、本システムを避難勧告等の発令に活用する場合、予測結果を踏まえた意思決定に時間を要するため、1時間先の予測により確保できるリードタイムでは足りないとの意見があった。一方、避難勧告は町丁目単位で発令するため、現在の25mメッシュでの予測で十分であるとの意見が多かった。一方、予測情報は空振りのリスクもあり、予測情報だけで避難勧告等を発令するのは難しいとの意見もあった。さらに、浸水予測の拠り所となっている、雨量予測の精度向上を求める声もあった。

公共交通機関の管理者からは、地下への浸水対策については、10cm、20cmといった浸水の精度が必要であり、現在の浸水予測精度の状況では、むしろ浸水位の実測の情報が欲しいとの意見があった。

特別養護老人ホームについては、日中は外部からデイサービスを受けに来る人もいるが、要配慮者1人を垂直避難させるのに3分程度かかるとしても、提示されたリードタイム内での垂直避難対応はできるとの意見があった。

小学校については、浸水予測の空振りについては許容できるが、職員の参集や児童の登下校の判断とその連絡までを考えるとリードタイムは1時間以上必要であり、現システムで確保できるリードタイムでは足りないとの意見があった。

イベントホール管理者については、高齢者等を考慮しても30分程度で垂直避難でき、本システムによるリードタイムの確保は役立つとの意見があった。ただし、イベントの中止を判断するのはイベント主催者側であるため、主催者にも迅速に情報提供する必要があるとの意見があった。

以上から、予測対象時間の延長と精度向上、浸水センサや監視カメラといった現地情報と予測とを組み合わせた情報提供等が課題として挙げられた。

5. おわりに

リアルタイム浸水予測情報配信システムは配信開始後安定的に稼動しており、対象流域内の一部区・市の防災担当者等にも試験的に配信し、安定的な稼動を確認した。今後は、先述のヒアリング等から浮き彫りになった諸課題に加え、今後実証実験等を通じて、システムから提供される情報の精度、GUI等情報提供内容等について課題の抽出を行い、これらの課題への対応について検討を行う予定である。

突発的な局地的豪雨に対するリアルタイム浸水予測を

より高精度に行うためには、浸水予測モデルの精度を高めるだけではなく、より高速で高精度の短時間降雨予測技術も必要である。本研究は、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」によって実施しており、今後マルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダを使った観測や降雨予測を行っている研究グループとの連携をさらに進めて、それらの成果を本システムに取り込めるよう改良を行うとともに、社会実装に向けてシステムの改良を行っていく予定である。

謝辞：東京都（建設局河川部、下水道局計画調整部）や武蔵野市下水道課からは、モデル化とその検証にあたり必要なデータや施設の操作規則等について提供いただいた。東京都都市整備局都市づくり政策部からは、土地利用現況等に関するデータを提供いただいた。加えて、流域内の一部特別区及び市の防災・水防担当部局や小学校、特別養護老人ホーム、公共イベントホール、公共交通機関等の施設管理者にヒアリングに協力いただいた。この場を借りてお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 関根正人，浅井晃一：神田川流域を対象とした豪雨による浸水・氾濫に関する数値予測，土木学会論文集B1（水工学）Vol.71，No.4，pp.1429-1434，2015.
- 2) 川池健司，中川 一，今井洋兵：都市域の雨水排水過程に着目した内水氾濫解析モデル，水工学論文集，第53巻，pp.817-822，2009.
- 3) 佐貫宏，渋尾欣弘，李星愛，吉村耕平，田島芳満，古米弘明，佐藤慎司：様々な氾濫因子を考慮した都市沿岸部の氾濫予測解析，土木学会論文集B2（海岸工学）Vol.72，No.2，pp.517-522，2016.
- 4) 木村誠，城戸由能，中北英一：都市内水域における局所集中豪雨に対応したリアルタイム浸水予測手法の簡素化，土木学会論文集B1（水工学）Vo. 168，No.4，pp.985-990，2012
- 5) 高橋裕，古木守靖，安藤義久，田辺敏夫，前川忠生：東京都の台地部中小河川の洪水特性に関する史的考察，日本土木史研究発表会論文集，Vol.1，pp.54-61，1981.
- 6) 高橋裕，安藤義久，前川忠生，志村知昭：東京都の台地部中小河川の洪水特性に関する史的考察（第2報），日本土木史研究発表会論文集，Vol.2，pp.165-170，1982.
- 7) 建設省土木研究所地震防災部動土質研究室：道路排水ますふたの雨水の落下効率に関する実験的検討報告書，土木研究所資料第3341号，1995.
- 8) 飯田進史，島田立季，渡辺毅，神岡誠司，谷岡康：降雨分布を用いた中小河川および内水危険箇所の即時評価手法の検討，河川技術論文集，第11巻，2005.

(2017. 4. 3受付)