

河川砂防技術研究開発

【成果概要】

①研究代表者		氏名 (ふりがな)	所属		役職
		藤原 直樹	株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部		部長
②研究テーマ	名称	都市域浸水予測・避難支援統合パッケージシステムの実用化に関する研究			
	政策領域	[分野] 水防災技術分野 [公募課題] 都市等地域の浸水状況の予測等に関する技術研究開発	融合技術		
③研究経費 (単位: 万円)		平成24年度	平成25年度	平成 年度	総合計
	※端数切り捨て。	2,380万円	2,380万円		4,760万円
④研究者氏名					
氏名		所属・役職 (※平成26年3月31日現在)			
荒木 千博		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部 次長			
川池 健司		京都大学 防災研究所 准教授			
森山 智		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部 グループリーダー			
加藤 千恵		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部 グループリーダー			
金山 拓広		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部			
久保 雄生		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部			
矢神 卓也		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部 グループリーダー			
根本 徹		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部			
安藤 達也		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部			
此島 健男子		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部			
藤塚 慎太郎		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部			
岩見 収二		株式会社 建設技術研究所 中部支社 河川部 次長			
細井 寛昭		株式会社 建設技術研究所 中部支社 河川部			
中村 謙一		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部 次長			
田端 幸輔		株式会社 建設技術研究所 東京本社 河川部			
米勢 嘉智		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部 グループリーダー			
岡峰 奈津美		株式会社 建設技術研究所 東京本社 水システム部			
伊東 明彦		宇宙技術開発 株式会社 宇宙システム技術部			
⑤研究の目的・目標					
本研究は、XバンドMPレーダ等を活用し、都市氾濫を高精度にリアルタイムで予測できるモデルを構築するとともに、水防活動や避難行動に必要な情報を効果的に伝達するパッケージシステムの構築、実用化を目的とする。					
本研究の主なアウトプット（目標）は以下の4点となる。					
<ul style="list-style-type: none">避難行動に要する時間、精度を確保したリアルタイム浸水予測モデルの構築水防活動、避難行動に必要な情報の効果的な伝達システムの開発構築モデル及びシステムの実エリアでの適用性検証浸水予測情報等の迅速な提供に関する提案					

⑥研究成果

1. 研究の背景・目的

近年の気候変動や局所豪雨等により、予測困難な都市氾濫が急増している。これらの氾濫は短時間で生じるため、水防活動のための情報提供、住民への災害予報の周知やその後の避難行動を困難にしている。

浸水予測計算及び情報伝達システムには、以下に示す課題がある。(浸水予測計算における課題)

- ・ 河川水位予測、大規模洪水氾濫予測などは、大河川を中心に実施されているが、中小河川や内水域などでは、まだ十分実施されていない
- ・ 下水道水位、内水氾濫挙動予測の実務は海外のモデルが多く用いられており、国内の研究成果等が十分に活用されていない
- ・ 都市域では、流域・河川・下水道・排水路・氾濫域・地下施設等が複雑に絡み合っており、都市域の浸水状況把握のためには、これらの一体解析が不可欠である
- ・ 国内で開発された氾濫解析プログラムの演算速度は、リアルタイム浸水予測や情報提供をスムーズに行うための十分な速さを有していない

(危険情報伝達システムにおける課題)

- ・ 浸水被害の最小化のためには、浸水状況をいち早く予測し避難等に役立てる必要があるが、都市域の複雑な流出・氾濫現象を一体的に解析し浸水予測を行っている実用システムは現在のところない
- ・ これらのシステムは、防災担当や住民等の要求を踏まえ、浸水等の危険情報を監視・予測し、迅速に正確な情報を提供できる必要がある

本研究では X バンド MP レーダ等を活用し、都市氾濫を高精度にかつリアルタイムに短時間で予測できるモデルの構築及び精度確認を行うとともに、水防活動や避難行動に必要な情報を効果的に伝達統合するパッケージシステムを構築して、実用化に向けて実証実験によりシステムの適用性を確認した。

2. 2カ年の研究内容

24年度、25年度の2カ年の研究実施内容は以下のとおりである。

(1) 内外水複合氾濫高速予測モデルの開発

	物理モデル法の高速化及び精度向上	瞬時予測法の開発及び妥当性確認
24年度	<ul style="list-style-type: none"> ・ Mouse や Infoworks 等の既存ソフトと同等の計算速度を目指しモデル改良を行い、それらと同等レベルの高速化を実現した ・ 破堤・越水による外水氾濫も考慮できるようなモデル改良を実施した ・ 模型実験結果との比較により、構築モデルの妥当性を確認した 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 瞬時予測法の計算アルゴリズムを検討し、妥当性を確認した ・ モデル作成の簡略化(最適化)のため、「類似浸水傾向のあるメッシュをグルーピング」と「重相関による入力データ絞り込み」の検討を実施
25年度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 更なる高速化検討を実施し、特性の異なる地域や広域での計算速度確認を実施 ・ 外水氾濫モデルの妥当性確認、模型実験との比較による精度向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 瞬時予測法の精度向上と他地域での適用性確認を実施

(2) 水防活動・避難支援統合システムの開発

	危険情報の収集・予測・配信パッケージシステムの開発	衛星データ等を活用した大規模氾濫エリアのリアルタイム把握方法の検討
24年度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 氾濫解析モデルを組み込んだパッケージシステムの基本設計を実施した(物理モデル法と瞬時予測法の使い分け) ・ X バンド携帯アラート配信システムを活用したプロトタイプモデルを構築した 	<ul style="list-style-type: none"> ・ SAR データ(COSMO-Skymed,RADARSAT-2,ALOS/PALSAR)を用いた浸水域抽出を実施し、センサ間の比較などを行った
25年度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証実験と連動し、改良システムの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・ SAR衛星画像、気象衛星画像を用いた浸水域抽出手法の改良を実施 ・ 衛星データ活用に向けた適用性の評価

(3) 現地での実証実験

	24年度	25年度
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証実験対象流域を「神田川流域」「鶴見川流域」「庄内川支川 地藏川流域」の3流域とし、モデル構築及び関係自治体へのヒアリング調査を行った 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 3地域を対象とし、予測エンジン・システムを用いたアラート配信パッケージシステムの構築と運用 ・ 出水時運用に対するヒアリングを踏まえたシステム改良 ・ 浸水予測情報等の迅速な提供に関する提案のとりまとめ

3. 内外水複合氾濫高速予測モデルの開発

以下に示す 2 種の氾濫予測モデル開発を行い、実流域におけるモデル構築を行った。また、既往出水や模型実験結果等との比較による妥当性検証、演算速度の実用性確認を実施した。

- ・ 海外ソフトと同等レベルの演算速度と精度が得られる高速氾濫モデル(物理モデル法)
- ・ ニューラルネットワークによる事前計算氾濫モデル(瞬時予測法) (本概要版では詳細を割愛)

(1) 高速物理モデル法の開発

内外水複合氾濫を効率的にかつ高速に解析するために、水理解析モデルを開発した。物理モデルの概要を図-1 に、開発上の工夫を以下に示す。

リンクとノードから構成される一次元不定流ネットワークモデルによって表現(下水道リンク：管路、下水道ノード：マンホール、道路リンク：道路、道路ノード：交差点)

管路は見かけ上の開水路流れとして扱うため河川、地表面氾濫と同じ基礎方程式で計算可能

また、高速化のために以下及び表-1に示すモデル化及びプログラミングの工夫を実施し、MOUSE, InfoWorks 等の海外市販ソフトウェアと同等レベルの演算速度を確保した。

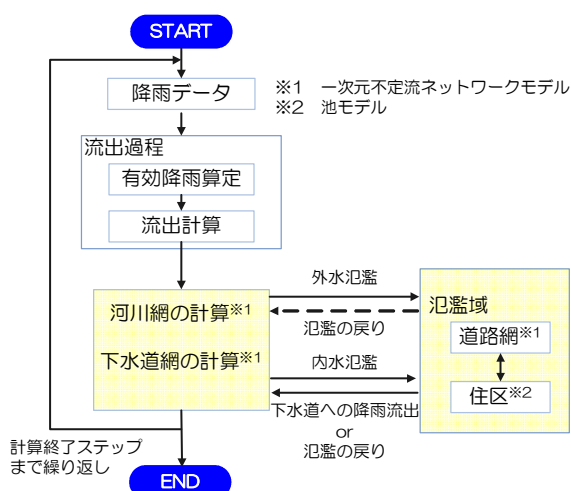


図-1 高速物理モデルの概要

表-1 モデル化及びプログラミングによる高速化の工夫

高速化検討手法	内容	計算速度の向上率
① ソースコード修正	・リンクとノード間の流量制御ルーチンを追加 ・収束計算を行わずに断面特性テーブルから円管の断面特性を算出	3.5倍
② 下水道・道路リンクのモデル化の工夫	・計算の安定性及び氾濫解析精度に悪影響を及ぼさない範囲で、下水道及び道路リンク分割数を減らす(=メッシュ長を長く)	1.4倍
③ 並列化処理	・OpenMPの導入により、複数CPUを使用した並列化処理ができるように改良	1.8倍 (4CPU使用時)

4. 都市域浸水予測・避難判断支援統合パッケージシステムの開発

3.で検討した氾濫予測モデルを搭載し、危険情報の収集・予測・配信パッケージシステムを開発した。また、衛星データを活用した浸水情報、水災害情報の面的把握方法についても検討した。

以下に、開発パッケージシステムの概要をまとめる。

(1) システム設計

次の事項を目標とし、浸水予測・避難判断支援システムの基本設計を行った。

- ・ 浸水深や到達時間等の各種危険情報はわかりやすい面的な情報で表示するとともに、地点情報や数値情報、判断に資する周辺情報も合わせて提供し、普段から使ってもらえるシステムを目指す
- ・ 浸水情報を速やかに把握するためのスピードを重視した「緊急浸水予測情報」と、多少タイムラグがあるがより精度を確保した「詳細浸水予測情報」を活用
- ・ 予測情報は、5分毎に最新情報を更新し、60分先までの情報を提供(100km²程度の流域を想定)

本システムの特徴は、プッシュ型情報として浸水予測情報を携帯電話に配信し、プル型情報として、スマートフォン、PC上で詳細予測情報ならびに関連情報ならびに関連情報を提供する点である。パッケージシステムのイメージ図を図-2に示す。

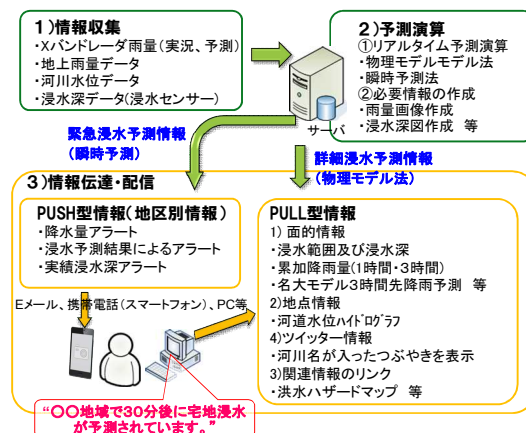


図-2 パッケージシステムのイメージ図

(2) システム開発

スマートフォン、PC用の表示システムは、予測浸水情報やXバンドMPレーダと降水ナウキャストの雨量情報に加え、河川水位情報やTwitterからの情報について容易にアクセスできるシステムを構築した。図-3にシステムのメイン画面を示す。

(3) 演算速度の確認

5.で記述する実証実験エリアでシステム構築を行い、目標としていた5分間に1回の予測計算が可能であることを確認した(図-4)。

尚、浸水予測の必要演算時間は、下水・街路ネットワークのリンク数に左右され、リンク数は下水道ネットワークのモデル化最小管径が支配的となる。従って、本システムを100km²を超えるような大流域に適用する際にはモデル化・下水道管渠のランピング等の処理が必要となる。

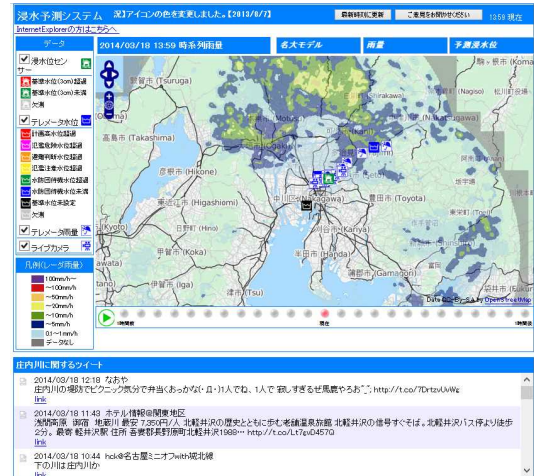


図-3 システムメイン画面(地蔵川流域)

使用ハードウェア：国土交通省の各河川事務所に導入されている洪水予測システム用サーバ程度のコンピュータ
 対象エリア：100km²程度の流域
 予測時間及び予測ピッチ：1時間先まで5分ピッチで予測し、アラート配信
 (データ受信及び出カアラート配信のために必要時間：約1分
 演算に必要な時間(φ800mm程度以上の下水道管渠をモデル化)：4分以内)

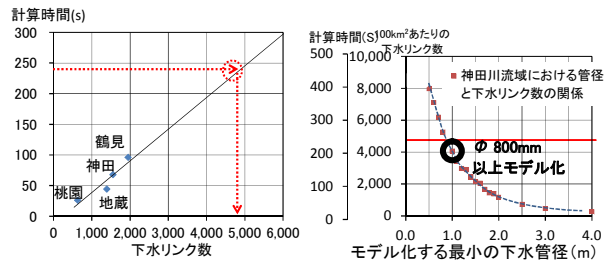


図-4 計算機スペックおよび下水リンク数と計算時間の関係

5. 現地実証実験

4.で構築した危険情報の収集・予測・配信パッケージシステムを、鶴見川流域、庄内川支川地蔵川流域に試験導入し、防災担当者、河川管理者、下水道管理者等の特定モニターを対象とした情報提供の実証実験を行い、これを踏まえたシステム改良を実施した。

(1) 地蔵川 H25.9.4 出水でのアラート配信

実証実験を実施した3河川のうち、地蔵川においてH25.9.4に流域内の雨量観測所で時間雨量84mm、総雨量106mmの局所集中型の豪雨が発生し、家屋の浸水、道路冠水がもたらされた。物理モデル法による浸水予測モデルでも同降雨による浸水を予測しており、図-5に示すとおり、本研究で設置した浸水センサの観測水位が上昇すると同時にアラート配信が行われた。図-6がアラート配信時の浸水予測結果であり、浸水箇所及び浸水している時間帯も精度良く再現されている。これより、リアルタイムでの浸水予測モデル及びアラートシステムの適用性を確認した。

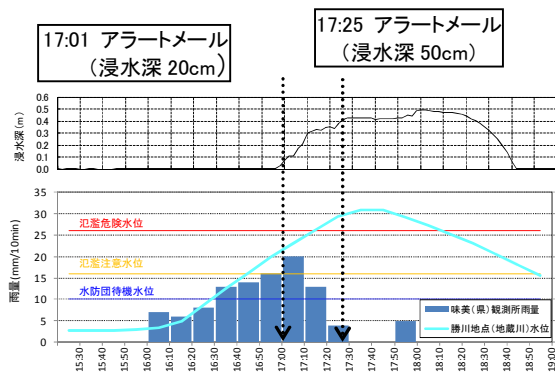


図-5 地蔵川における H25.9.4 降雨の浸水アラート

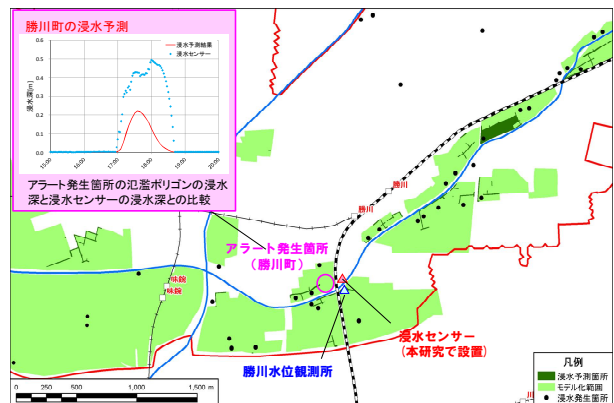


図-6 物理モデル法による H25.9.4 降雨の浸水予測結果

(2) 実証実験のヒアリング結果

対象モニターに対して、実証実験のヒアリングを行い、構築したシステムに対して表-2に示す意見が得られた、リアルタイムの浸水予測システムという先駆的なシステムを防災担当者に初めて触れて頂くことで、河川管理者・防災担当者が必要と考えるパッケージシステムのあり方も明らかになった。

その中でも、特に多くの防災担当者が必要と考える情報として、「市域全体といった広範囲の浸水予測」、「高精度な降雨予測」、「精度の高い河川水位予測」が求められていることが明らかとなった。

表-2 実証実験ヒアリングの主な意見

モニター	主な意見
河川管理者 (国)	・内水氾濫がわかると樋門操作や水防活動を実施する職員に伝えられる
河川管理者 (県)	・縦断的な河川水位の予測がほしい ・アラート配信は浸水が始まる前にほしい
防災担当者 (政令市)	・市全体の浸水予測がわかるとよい ・降雨分布と河川水位を画面上重ねてほしい
防災担当者 (市)	・浸水対策の応援派遣に浸水予測が役立つ ・ツイッターはテキストだけでも初動に使える

6. 今後の展望

今後もニーズを満たすための浸水予測避難支援統合パッケージシステムの早期実用化・発展が望まれるが、その方向性について以下に整理する。

(1) 高速広域浸水予測システム

本研究では、物理モデル法による詳細予測システムを100km²程度の流域に適用できることがわかったが、これでは、広域の防災担当者が必要とする情報の一部しか得ることができない場合があることが明らかとなった。そのため今後は、表-3のように広域で内水はん濫を高精度に表現できるモデルの研究開発を進めて行くことが重要であるが、広域モデルの開発においては、モデル構築そのものが容易にできることも重要な要素となる。

表-3 対象流域の大きさと必要情報の関係

	100km ² 程度 → 500km ² 程度 →		
	狭域		広域
	防災担当者向け (市町村)	河川管理者向け (国交省河川事務所、 都道府県・政令市出先機関)	河川管理者・防災担当者向け (都道府県・政令市本庁): 広域管理
豪雨時 対応	水防活動・避難勧告	河川水位把握・関係自治体へ情報提供(洪水予報・水位周知)	河川水位把握・関係自治体へ情報提供(洪水予報・水位周知)
必要となる 情報	狭域の浸水予測・河川水位 ↓ 物理モデル法による高精度予測	管轄流域内の浸水予測・河川水位 ↓ 物理モデル法による高精度予測、瞬時予測法による補完的な予測	管内全域浸水予測・河川水位 ↓ 瞬時予測法による広域予測、広域簡易予測法による広域予測

(2) 高精度降雨予測

降雨予測の精度は近年向上してきているものの、高精度化が必要で、そのニーズは高い。XバンドMPレーダの三次元情報を活用した新たな予測手法等が近年開発されており²⁾、それらを現場に積極的に適用していくことも重要である。

(3) 河川水位予測高度化

河川水位予測の精度向上を前提として、管理者の防災体制に資するように、縦断的に河川水位を予測し危険箇所が即時把握できるようにするなどのシステム改良も有効であると考えられる。

参考文献

- 1) "水災害の監視・予測の高度化に関する研究" 平成23年度国土交通省国土技術研究会
- 2) 坪木和久: "XバンドMPレーダと雲解像モデルによる短時間・極短時間量的降水予測法の開発 報告書 H24.3" 河川砂防技術研究開発公募

⑦研究成果の発表状況

○論文発表

藤原直樹, 荒木千博, 森山智, 矢神卓也, 川池健司, 伊東明彦, 中村謙一, 田端幸輔, 米勢嘉智, 岡峰奈津美:”都市域浸水予測・避難支援統合パッケージシステムの実用化に関する研究”河川技術論文集,第20巻,2014年6月

伊東明彦, 米勢嘉智, 藤原直樹, 荒木千博, 矢神卓也:”衛星データを利用した大規模氾濫地域の抽出”日本リモートセンシング学会第57回学術講演会論文集,2014年11月

N.Fujiwara, K.Araki, S.Moriyama, T.yagami,G.Ozawa, K.Nakamura, K.Tabata, Y.Yonese, N.Okamine:”PRACTICAL APPLICATION OF URBAN INUNDATION PREDICTION AND EVACUATION SUPPORT PACKAGE SYSTEM” 2014 AWRA Annual Water Resources Conference,2014.11

○研究開発成果としての事業化、製品化等の普及状況

現在も、鶴見川、地蔵川流域において、リアルタイム浸水予測・アラート配信システムの実況実験を継続中である。

今後、本研究の成果及び実時間降雨予測技術を組み合わせ、都市域浸水予測・避難支援統合パッケージシステムの実用化に関する研究・製品化を図っていく予定である。

○企業とのタイアップ状況

共同研究者である京都大学、宇宙技術開発(株)の他、Xバンドレーダ情報を同化した雲解析モデルX-CReSSを有する名古屋大学坪木和久教授等と、今後も連携を密にして研究を進めていく。

⑧研究成果の社会への情報発信

○公開イベント

- ・ 2014年度河川技術に関するシンポジウム オーガナイズドセッション「～降雨・洪水予測技術の現状・展望と防災対策への応用～」, 2014年8月6日
- ・ 九州建設技術フォーラム2014, 2014年10月22日～23日
- ・ 建設技術フェア2014—中部, 2014年10月29日～30日
- ・ (一社)建設コンサルタンツ協会 インフラストラクチャー研究 話題提供「豪雨・浸水等の危険情報のリアルタイム予測・提供」2014年11月12日

⑨表彰、受領歴

なし

⑩研究の今後の課題・展望等

引き続き、ニーズを満たすための浸水予測避難支援統合パッケージシステムの早期実用化・発展が望まれるが、その方向性について以下に整理する。

(1) 高速広域浸水予測システム

本研究では、物理モデル法による詳細予測システムを100km²程度の流域に適用できることがわかったが、これでは、広域の防災担当者が必要とする情報の一部しか得ることができない場合があることが明らかとなった。そのため今後は、広域で内水はん濫を高精度に表現できるモデルの研究開発を進めて行くことが重要であるが、広域モデルの開発においては、モデル構築そのものが容易にできることも重要な要素となる。

(2) 高精度降雨予測

降雨予測の精度は近年向上してきているものの、高精度化が必要で、そのニーズは高い。XバンドMPレーダの三次元情報を活用した新たな予測手法等が近年開発されており²⁾、それらを現場に積極的に適用していくことも重要である。

(3) 河川水位予測高度化

河川水位予測の精度向上を前提として、管理者の防災体制に資するように、縦断的に河川水位を予測し危険箇所が即時把握できるようにするなどのシステム改良も有効であると考えられる。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

本研究においては、都市浸水対策の質の向上に寄与する以下の事項を明らかにした。

- 避難行動に要する時間、精度を確保したリアルタイム浸水予測モデルを構築することができた。
- 構築モデルを組み込んだ、水防活動、避難行動に必要な情報を効果的に伝達するパッケージシステムを開発することができた。
- 構築モデル及びシステムの実エリアでの適用性検証により、ユーザの潜在的なニーズを把握することができ、今後の研究の方向性を示すことができた。