

リアルタイム浸水予測システムの 管理と運用

え び ね ゆ う き こ ば や し た か ひ ろ い と う た か し い い だ し ん じ さ か も と ま さ し
海老根裕希¹・小林隆洋¹・伊藤孝司¹・飯田進史¹・坂本 壮¹

¹パシフィックコンサルタンツ(株) (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

近年、集中豪雨や局所的な大雨が増加傾向にあり、都市部を中心に浸水被害が頻発している。これら被害から人命・財産を守るためには、避難や浸水対策を行う時間（リードタイム）を確保することが重要である。そこで、リアルタイムに浸水予測計算を行い、任意の地点における浸水予測情報を表示・アラート配信するシステムの構築を行い、社会実験を実施してきた。

社会実験を踏まえ、機能追加やシステム対象地域の拡大を図ったことでシステム規模が大きくなったが、クラウド利用やシステム構成・処理の見直し、高速化、稼働監視等の対応を実施することで、安定稼働及びリアルタイム性を確保したシステムの運用・管理を実現した。

Key Words : リアルタイム, 浸水予測, リードタイム, システム運用・管理, クラウド, 稼働監視, 安定稼働

1. はじめに

近年、集中豪雨や局所的な大雨が増加傾向にあり、都市部を中心に浸水被害が頻発している。これら被害から人命・財産を守るためには、河川・下水道などの施設整備を進めるとともに、避難や対策を行う時間（リードタイム）を確保することが重要である。しかし、それら対応を支援する浸水に関する予測情報は十分に提供されていない。

そこで大沼ら¹⁾は、リアルタイムに浸水予測計算を行い、任意の地点における浸水予測情報を表示・アラート配信する「リアルタイム浸水予測システム（図-1）」の構築を行い、社会実験を実施してきた。

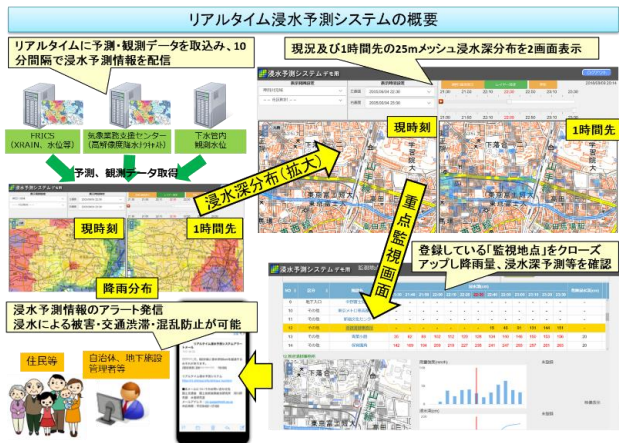


図-1 リアルタイム浸水予測システムの概要²⁾。

2. リアルタイム浸水予測システム開発の経緯 とシステムの概要

(1) リアルタイム浸水予測システム開発の経緯

平成26年度に東京都の神田川流域、石神井川流域でリアルタイム浸水予測モデルの作成を行い、平成27年度にはリアルタイム浸水計算の制御と結果表示を行うリアルタイム浸水予測システムの構築及び浸水予測モデルとの接続を行った。平成28年度からは対象流域の行政関係者を対象として社会実験を開始し、社会実験から得られた意見・要望をもとに機能追加を実施してきた。

対象地域については、平成30年度に東京都内東部地域、令和元年度はさらに対象地域の拡大を行い、この拡大に伴いシステム構成や処理について適宜見直しを図ってきた。

(2) システムの概要

本システムは、リアルタイムに取得する降雨データ（現況・予測）、河川水位データ、下水管内観測水位を入力データとし、10分毎に1時間先までの浸水予測計算を8分以内に実施する。

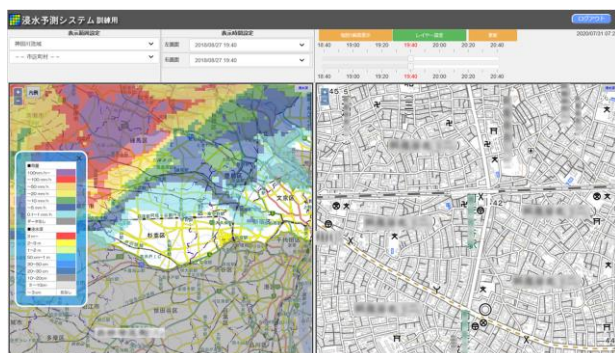
入力データのうち降雨データ（現況）と河川水位データは、一般財団法人河川情報センターの「水防災オープンデータ提供サービス³⁾」からXrainとテレメータ水位計のデータ、降雨データ（予測）は気象

業務支援センターの「オンライン気象情報⁴⁾」から高解像度降水ナウキャストを取得する。下水管内観測水位は、対象流域内のマンホール（2箇所）に設置した水位計のデータを取得する。

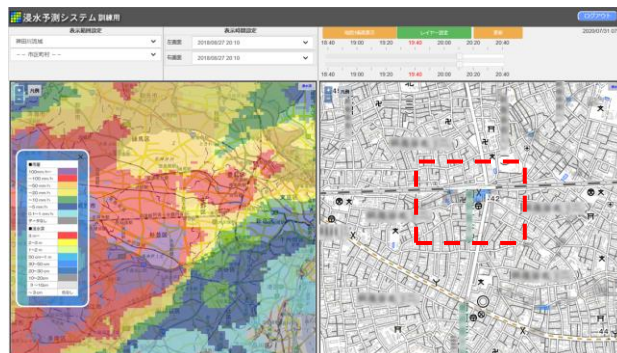
浸水予測計算は25mメッシュ単位で算出され、一般的なWebブラウザ上で地理院地図上にレーダ雨量と重ね合わせて表示することができる。システム利用者は最新の計算処理時間から前後1時間の降雨及び浸水状況を任意に変更して閲覧することができ、それら予測情報を確認して浸水対策を実施することが可能である。

が可能である。

図-2に2018年8月27日に発生した集中豪雨における本システムの表示画面を示す。雨域が北西から南東に向かって移動するのに伴い、浸水範囲が拡大していく状況を表している。特に図-2の点線枠内のエリアでは19時40分時点での浸水予測結果において、30分後の20時10分に浸水発生が予測された。同地点では浸水状況の写真がSNS上に投稿されていることを確認した（投稿時間20時17分）。



2018年8月27日19時40分時点



2018年8月27日19時40分時点の30分後予測

図-2 リアルタイム浸水予測システムの表示画面
(2018年8月27日19時40分時点における浸水予測)。

(3) システム構成と機能

本システムは、大きく分けて制御系サーバと演算サーバに分けられ、クラウド環境上に構築されている。制御系サーバにはリアルタイムデータを取得する①収集サーバ、収集したデータを変換して演算サーバと計算データの送受信をする②管理・制御サーバ、計算結果を画面表示するためにタイル化処理を行う③タイルサーバ、画面表示・アラート配信を行う④Webサーバ、計算データを蓄積する⑤アーカイブサーバの5台で構成される。

一方、演算サーバは、対象流域の浸水予測モデルごとに1台が割り当てられ、現在十数台の演算サーバが同時並行で処理を行っている。

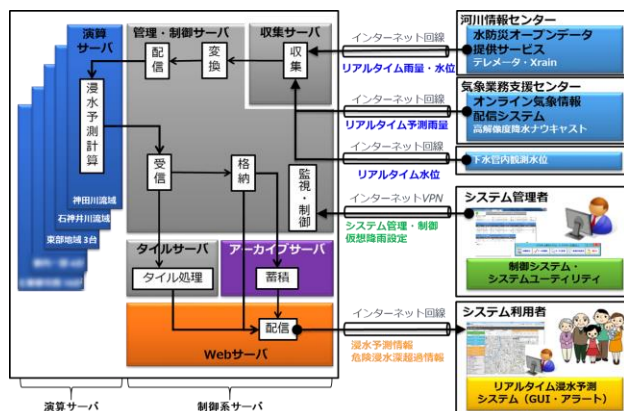


図-3 リアルタイム浸水予測システムの構成。

また、本システムにおける主要な機能を以下のa)～d)に示す。

a) 監視箇所の登録機能

浸水予測結果はユーザの居住地や勤務地、その立場などによって確認したい箇所がそれぞれ異なる。それら多様なユーザニーズに応えるため、各ユーザが自分だけの監視箇所を容易に設定し、活用できる監視箇所登録機能を構築した。監視する箇所はユーザが任意の箇所（地点・エリア・行政界）を登録でき、登録した箇所をクロズアップして降雨状況や浸水状況などを一覧やグラフ、地図上で確認することができる。監視画面を図-4に示す。



図-4 監視箇所一覧画面。

b) アラート通知機能

アラート通知機能は、ユーザが登録した監視箇所において、事前に設定した通知条件（閾値や時間帯）をもとにPUSH型の通知を行う。通知方法は当初メールによる通知だけであったが、社会実験結果を

踏まえ、日頃から慣れ親しんだツールからの通知方法としてLINEによるアラート通知ができるよう改良を行った。また、図-5に示すようにアラートの切迫度が伝わるように、30分以内の予測情報には【緊急】を表示するとともに、ユーザが監視箇所登録時に設定した対応行動を通知し浸水対策としての適切な行動を迅速に支援できるよう工夫した。



図-5 アラート通知（左：メール，右：LINE）。

c) アーカイブ機能

アーカイブ機能は、リアルタイムに計算された結果を蓄積し、過去の日付・時刻を指定して浸水予測結果を閲覧することができる。特に休日・夜間に激しい降雨が発生した際や浸水発生の記事があった際に、後から当時の降雨状況や浸水予測結果を確認するのに有効である。

d) 多言語化対応

東京五輪の外国人来場者や旅行者に対して広く浸水に係る通知を行うために、外国人にも理解し易いアラートの通知文を検討し、11ヶ国語（英語、仏語、中国語、韓国語、ベトナム語、フィリピン語、ポルトガル語、ネパール語、スペイン語、インドネシア語、タイ語）に対応したアラートメールが送信できる機能に改良を行った。また、直感的な状況把握ができるよう、ピクトグラムをアラートメールとともに送信する仕組みとした（図-6）。

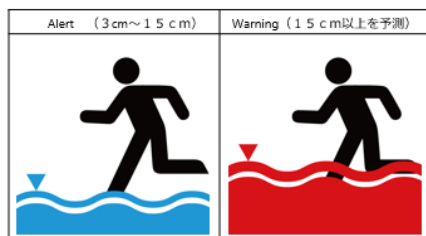


図-6 直感的なピクトグラム。

3. システムの安定稼働・リアルタイム性を確保するための検討

社会実験の中で、実験参加者からの意見や要望に

対して前述したような機能の追加及び、システム対象地域の拡大を図ってきたことで、構築当初と比べてシステム規模が大きくなり、システムの安定稼働・リアルタイム性を確保するための新たな検討・対策が必要となった。これに対して、実施した対策をいかに述べる。

(1) クラウド環境の利用

システム構築当初からシステム対象地域が拡大することが想定されたが、オンプレミス環境でシステムを構築すると対象地域の拡大に柔軟・迅速に対応できない。また、対象地域の拡大を想定したスペックのサーバ環境を用意することも可能であるが、導入コストが増加してしまう。

以上から、システム検討段階からクラウド環境の利用を選定し、システム処理負荷に見合った最適なスペックで稼働し続けることを可能とした。また、社会実験中の機能追加や出水期・非出水期に伴うスペック変更、対象地域の拡大に合わせたサーバ環境の追加についても、クラウド環境を利用していたため迅速に対応することができた。

(2) システム構成・処理の見直し

システムの運用当初は数台構成であったクラウド環境について、対象地域の拡大に伴い演算サーバが増加し、制御系・演算サーバ合わせて約20台となった。対象地域の拡大はデータ量の増加に加え処理負荷も増大するため、システムの安定稼働・リアルタイム性の確保に影響を及ぼす可能性があった。

そこでシステム構成の再検討を実施し、特に制御系サーバで影響が大きい収集・管理・制御サーバの機能について、1台構成から図-7に示す3台のサーバに分散する構成とし処理の安定化を図った。

また、複数の処理が同時に行われるため、データ伝送時のエラーやデットロック、タイムアウトエラーなどが発生する可能性が増大したため、処理プロセスを見直し、フェールセーフ対策を実装し処理の安定化を実現した。

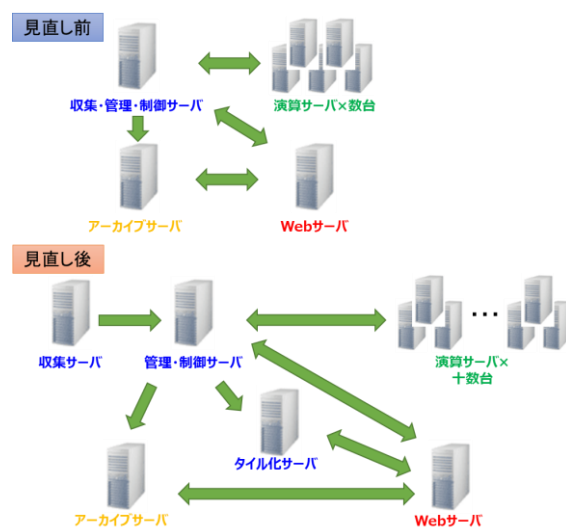


図-7 システム構成の見直し。

(3) システムの高速化

地図画面上の降雨強度及び浸水深は、表示速度の向上を目的に、数値データからタイル画像を作成し地図画面上に表示している。このタイル画像を高解像度（ズームレベル18、1:2500相当）まで作成すると作成終了までに多大な処理時間が必要になることから、タイル画像の解像度を落としても識別でき、作成時間も短縮できる最適な解像度を検討し、それらをタイル化処理に反映することで、高速かつ利用しやすい地図表示機能を実現した。

また、対象地域毎に演算時間が異なるため、浸水予測計算が終了した地域からアラート通知の判定や送信処理、タイル化処理等を行い、ユーザに対して迅速に情報提供を行う。同じタイミングで複数地域の浸水予測計算が終了した場合も、処理が並列化され同時に実行する仕組みとすることでシステムの高速化を実現した。

(4) クラウド及びシステムの稼働監視

クラウド稼働監視では、クラウド事業者から提供される監視ツールを利用して、クラウドの死活監視・リソース監視を実施している。予め設定した閾値を上回る稼働が確認された場合に管理者にメール通知が来る仕組みであり、それら通知を受け取り迅速な対応ができるよう、システム保守対応に関するドキュメントも併せて整備を行っている。

また、システムの稼働監視では、図-8に示す各処理の状況を一元的に管理する画面を用意した。これは各処理の開始・終了のタイミングでログファイルを出力する仕組みとしているため、この管理画面でログファイルに記録された時間をもとに、各処理が現在どのような状況にあるか、遅れているのか、エラーが発生しているのか、一目で確認することができる。さらに、エラーが発生した際に、そのエラー情報もマスタとして予め登録してあるため、システム管理者が行う障害調査や復旧対応を効率的に行うことを可能とする。



図-8 システムの稼働監視画面。

管理画面の一覧表には、各基準時刻における全体の処理時間が表示され、リアルタイムデータを受信してから計算結果を画面に表示するまでを、遅延なく完了できているかを一元的に確認することができる。

4. まとめ

システム規模が大きくなっても、クラウドの利用やシステム構成・処理の見直し、システムの高速化、稼働監視等について検討を行い、適切に対応を実施することで、長期間の運用において社会実験に影響を与えるようなシステムの異常停止が発生することなく、システム機能の充実と安定稼働及びリアルタイム性を確保したシステム運用・管理を実現することができた。

なお、本論文は総合科学技術・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」に関するもので、都市域の集中豪雨等を対象に「浸水予測情報」を自治体防災担当者や要配慮者施設管理者等に配信するリアルタイム浸水予測システムを管理・運用し、システムの安定稼働やリアルタイム性を確保するために検討・対応した内容について報告するものであり、国土交通省国土技術政策総合研究所の成果の一部である。

謝辞：本論文は、国土交通省国土技術政策総合研究所より受託した業務の成果の一部を活用したものであり、関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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，2017。
- 2) リアルタイム浸水予測システムの概要（一部修正），<http://www.nilim.go.jp/lab/rcg/newhp/seika.files/shinsuiyosoku/pdf/gaiyou.pdf>，（参照2020-07-30）
- 3) 一般財団法人河川情報センター，水防災オープンデータ提供サービス，<http://www.river.or.jp/koeki/opendata/index.html>，（参照2020-07-30）。
- 4) 気象業務支援センター，オンライン気象情報，<http://www.jmbc.or.jp/jp/online/online.html>，（参照2020-07-30）。