

SIP防災

豪雨竜巻の予測技術の研究開発

高橋 暢宏(情報通信研究機構、名古屋大学
宇宙地球環境研究所)

岩波 越(防災科学技術研究所)

板垣 修(国土技術政策総合研究所)

1

本日の内容

- SIP豪雨竜巻概要
- MP-PAWR開発
- 実証実験事例紹介
- SIP豪雨竜巻で開発したシステムと実証実験
(資料のみ)



MP-PAWR (Multi-Parameter Phased Array Weather Radar: マルチパラメータ フェーズドアレイ気象レーダ)

フェーズドアレイ技術と二重偏波化により、XRAINと同等の降水推定精度を保ちつつ、30秒ごとに雨雲の立体観測が可能。2017年12月に埼玉大学に設置。

2

SIP豪雨竜巻概要

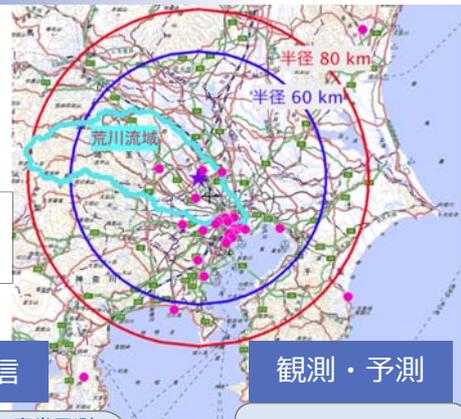
MP-PAWRの荒川下流タイムライン自治体への活用例

■ 技術開発の背景・目的

MP-PAWRの活用、府省連携、産・学・官連携により
ゲリラ豪雨や竜巻危険度予測の劇的改善を目指す



荒川下流タイムライン自治体へ（東京13区、埼玉3市）
開発した予測情報を総合的に展開を可能にする



大規模イベント・水防
活動から日常での活用

	市民 日常の豪雨を避ける行動 災害時の迅速な避難行動
	自治体 下水：ポンプの早期稼働 公園：来園者の早期避難 河川：早期の避難勧告 土砂：早期の防災体制構築
	事業者 建設：高所作業実施判断 地下街：止水板の設置 鉄道：運転規制/旅客避難誘導
	オリ・バラ 競技実施判断 来場者の避難誘導 観光客の豪雨を避ける行動

予測情報発信

観測・予測

 ゲリラ豪雨予測	 強風・竜巻予測 竜巻
 浸水予測	 鉄道減災システム
 土砂災害予測	 河川氾濫予測
 大雨災害	

 MP-PAWR
 数値予測モデル
 水蒸気・雲降水観測網

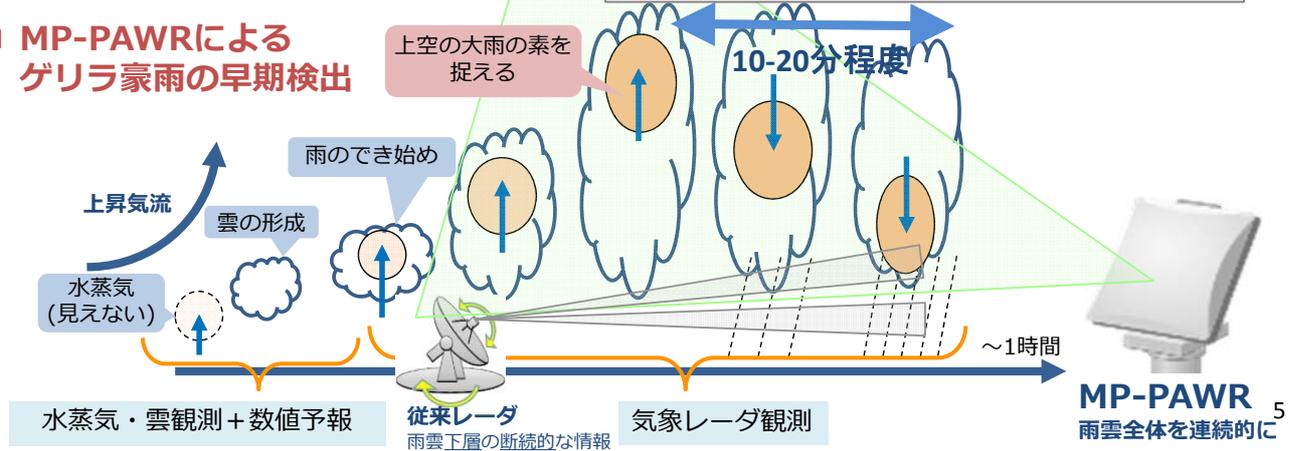
MP-PAWRの荒川下流タイムライン自治体への活用案

■ 研究開発された技術の先進性

- 従来レーダの5分ごとの下層に重心を置いた観測を30秒ごとの立体観測にし、ゲリラ豪雨の早期検出に結びつける。
- 実証実験を通じて課題の解決 ⇒ 各自治体のニーズに合わせた水防情報の提供

課 題	開 発 内 容
<ul style="list-style-type: none"> ■ 既存の観測網では、豪雨や竜巻をもたらす積乱雲を的確に捉えることが困難 観測間隔5分、雨雲下層の観測に重心 竜巻注意情報の粗い地域区分（一次細分区域） ■ ユーザのニーズが反映されないデータ提供（網羅性の問題、技術志向プロダクト） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ MP-PAWRの開発 <ul style="list-style-type: none"> ● 連続的（30秒ごと）な雲の立体構造からゲリラ豪雨の早期検出方法を開発 ● 将来の実用化をにらんだレーダ開発 ■ 府省連携により、ユーザ（自治体）のニーズに応える情報の提供システムの構築

■ MP-PAWRによるゲリラ豪雨の早期検出



SIP豪雨竜巻における予測プロダクト

■ 研究開発された技術の社会実装の状況：

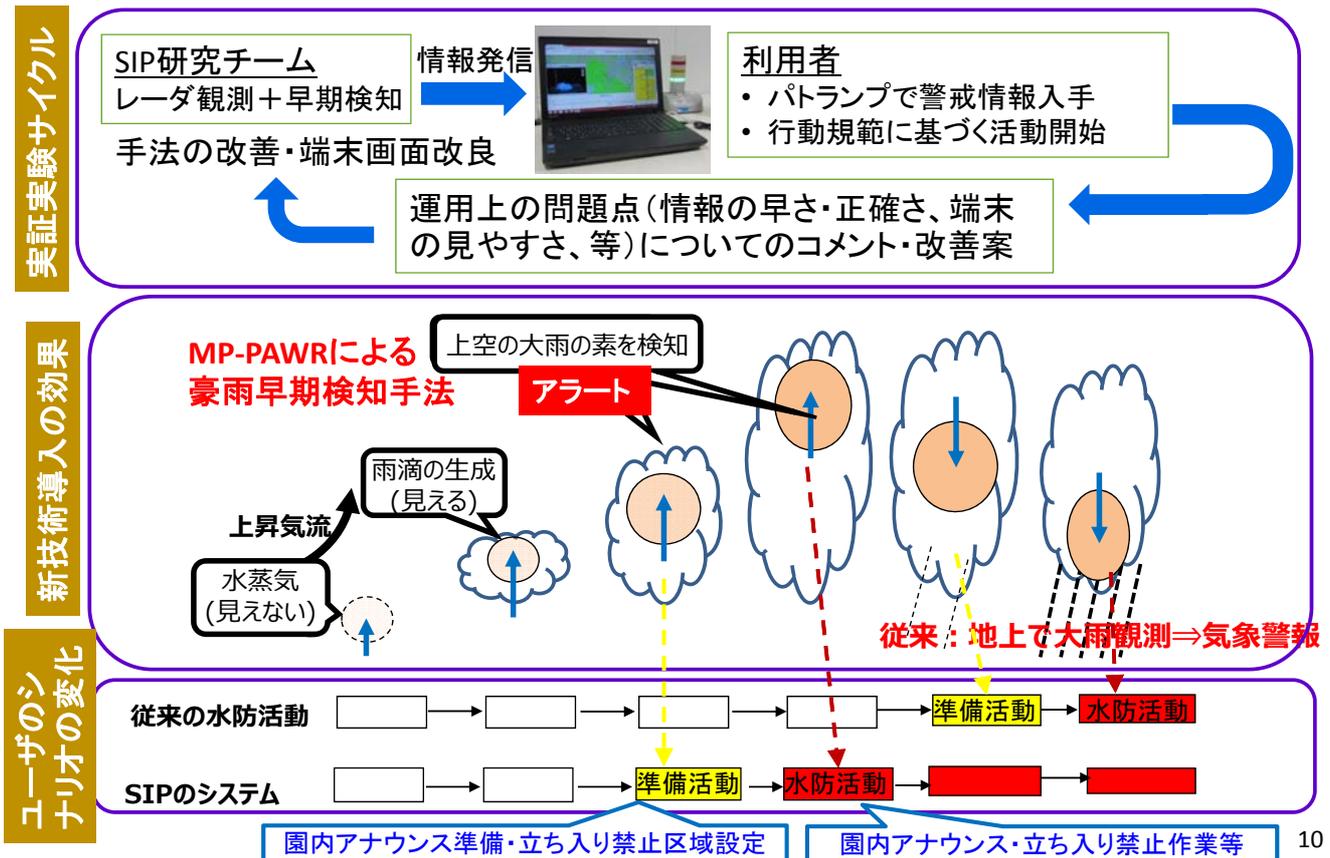
それぞれの水災害に係わる予測システムのプロトタイプをパイロット自治体等と連携して実証実験を実施し、ユーザの意見を取り入れたシステムを構築
 ⇒ 成果：ユーザのニーズに合った、リードタイム・時空間分解能・精度での提供



項目	20分先の大雨情報	強風 ナウキャスト	浸水予測
実施時期	6月から9月(仮)	6月から9月(仮)	6月から10月
頻度	プッシュ情報	プッシュ情報	プッシュ情報
情報項目	・アラートメール ・スマホで雨域情報	・アラートメール ・Webで詳細情報	・アラートメール ・Webで詳細情報
システム 要件	スマートフォン、 インターネット環境	スマートフォン、 インターネット環境	スマートフォン、 インターネット環境
実施機関	防災科研 気象協会	防災科研 気象協会	国総研

実証実験のイメージ

(大阪府公園管理者との実証実験に基づく例)



MP-PAWR開発

MP-PAWRと従来型レーダ観測の比較(1)



従来型レーダ

- ・ペンシルビーム
- 方位角および仰角方向に機械走査

- ・ 5分で雨雲の立体情報の一部を取得

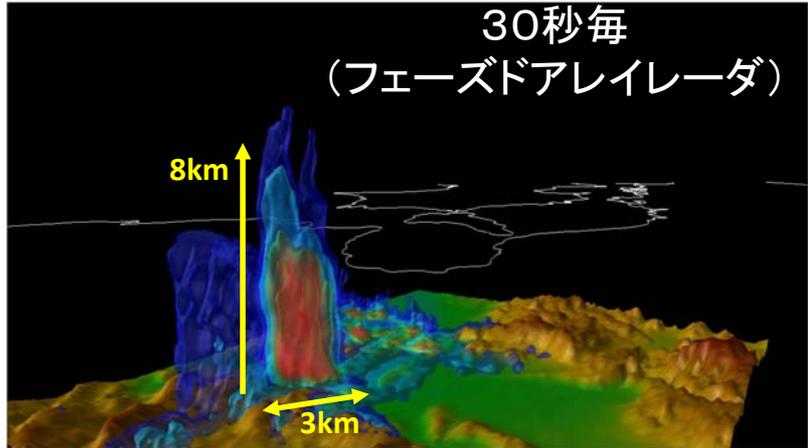
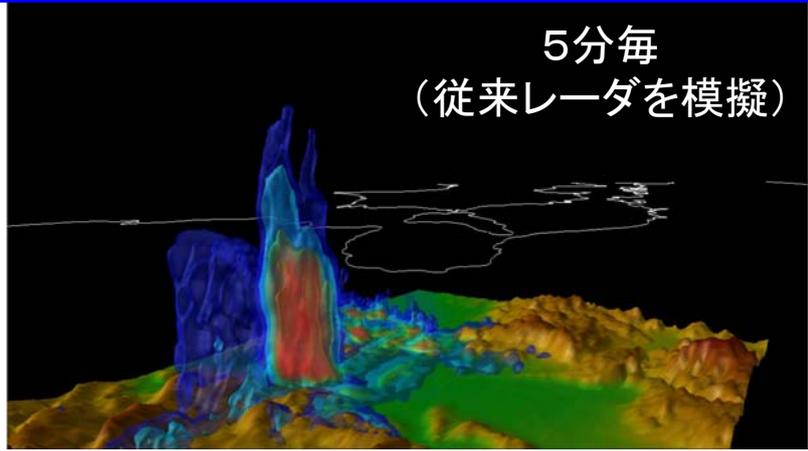


フェーズドアレイ気象レーダ

- ・ファンビーム
- 仰角方向には電子走査

- ・ 30秒で雨雲の立体情報を取得

- 右の事例はフェーズドアレイ気象レーダと従来レーダ観測を模擬したものの比較である。
- 高速3次元観測により、上空で強い降水(赤色部)が形成され、下降する様子を捉えられた。



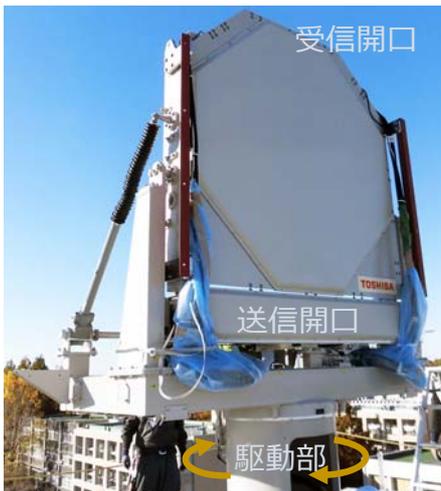
事例:平成24年07月26日
17:20:16~18:10:46
場所:けいはんな(精華町)付近
説明:北東方向から眺めた降雨の3次元構造(格子間隔 100m)
カラー:雨の強さを表し、赤い色の部分で強い雨が降っている。

(情報通信研究機構提供)

MP-PAWRの特徴

- 高さ(仰角)方向に電子走査
 - ほぼ瞬時にレーダの指向方向の高さ分布を取得
- 水平(方位角)方向は機械駆動
 - 30秒で1回転
- マルチパラメータ化(二重偏波化)による精度のよい降水推定

30秒で雨雲の
立体構造を取得

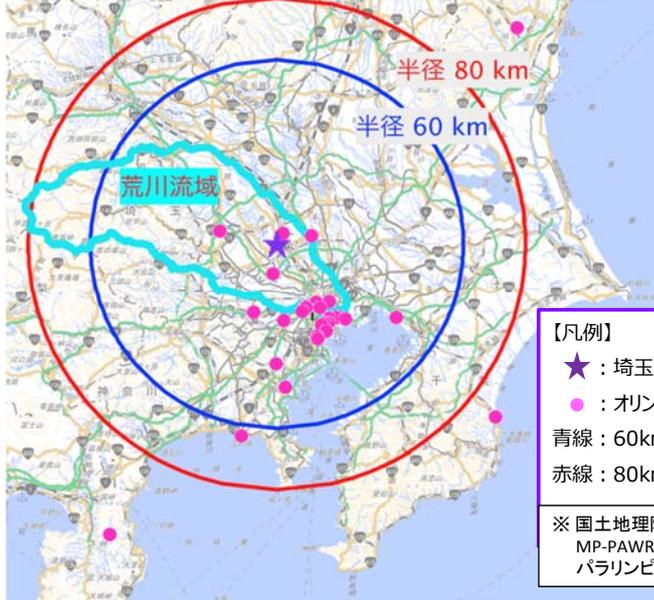


30秒ごとにこんな絵が描ける



2017年7月の九州北部豪雨のレーダによる立体構造
(データ提供:国土交通省、作図:防災科学技術研究所)

MP-PAWR観測範囲(埼玉大学に設置)

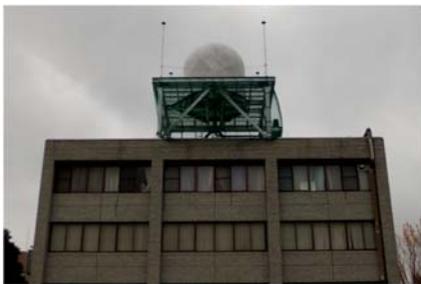
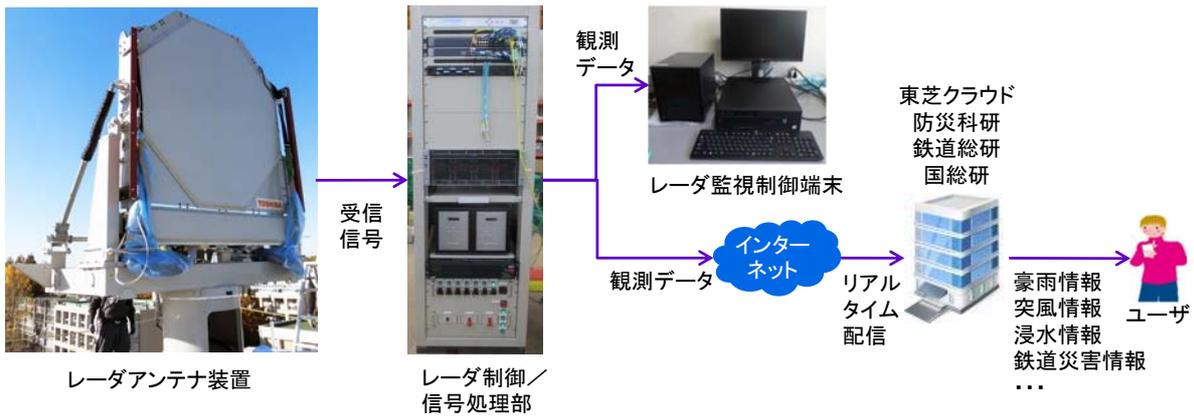


【凡例】

- ★：埼玉大学 (MP-PAWR設置場所)
- ：オリンピック・パラリンピック会場
- 青線：60km (高層観測モード覆域)
- 赤線：80km (低層観測モード覆域)

※ 国土地理院の地理院タイル(淡色地図)にMP-PAWRの位置と観測範囲、オリンピック・パラリンピック会場の位置を重ねて作成

MP-PAWR主要構成／システム系統



建設工学3号館屋上に設置したMP-PAWRレドーム



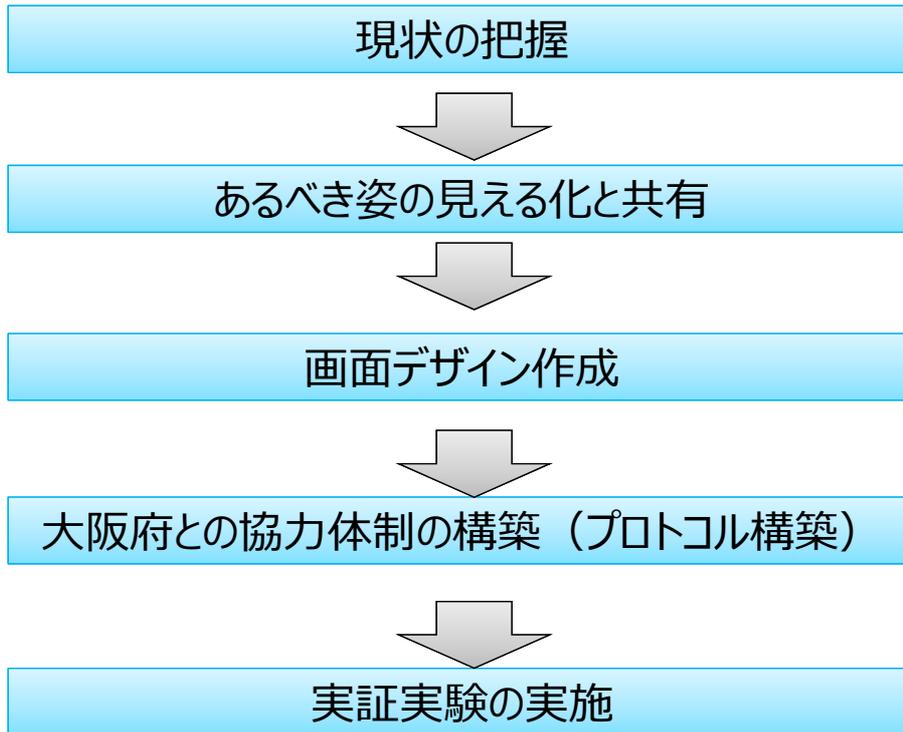
レドーム拡大

実証実験事例紹介

- 大阪府との実証実験
- 「10～20分先の大雨情報」社会実験・
強風ナウキャスト社会実験
- 浸水予測システム

関西実証実験における 大阪府との取組

関西実証実験：ユーザとの取り組みの流れ

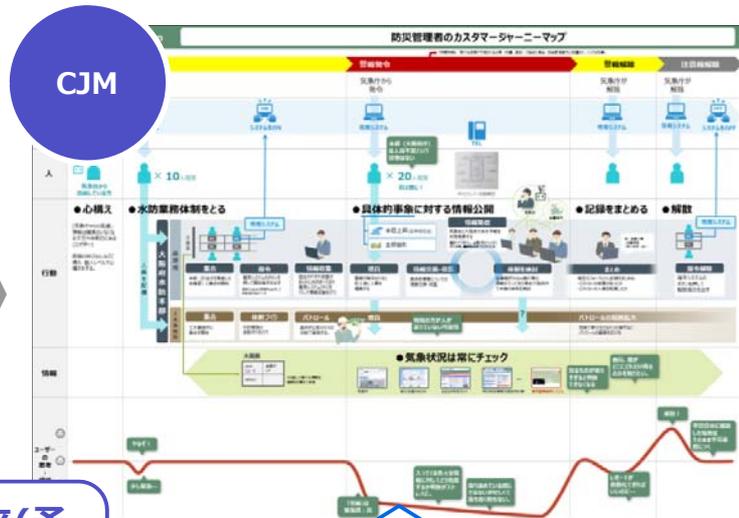


現状の把握（ユーザインタビュー）

防災活動の実態を知り、運用のニーズをつかむため、ユーザである大阪府庁にてインタビューを実施し、カスタマージャーニーマップ(CJM:業務フロー)を作成した。



大阪府
水防本部
にて



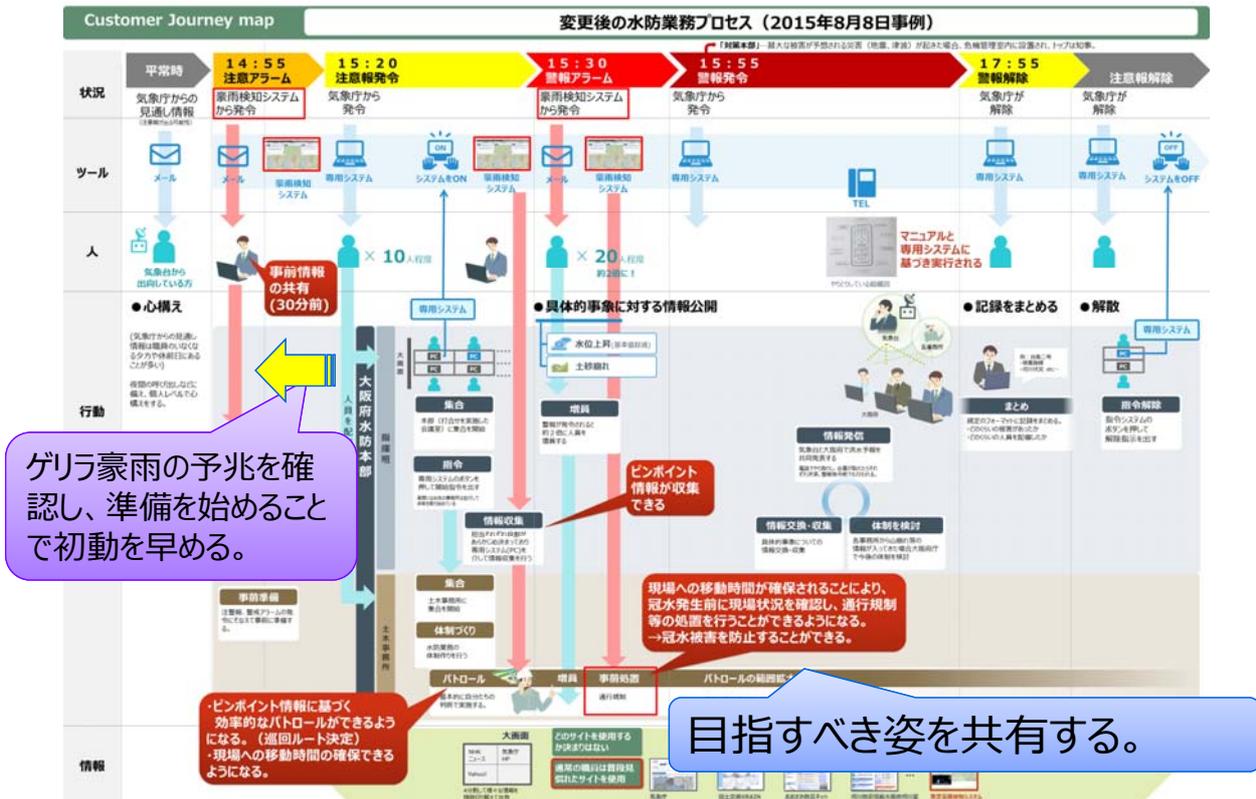
CJM

結局、雨が「いっ
どれだけ降るか」
が知りたい

現在と未来(予
測)を比較して
監視したい

運用に関する理解できて
いなかった部分が見える化

実証実験システム導入後のフロー



画面デザイン作成

ユーザニーズの分析から出てきた気づき、ユーザの希望を加味したデザイン案を作成

大阪府 (案)



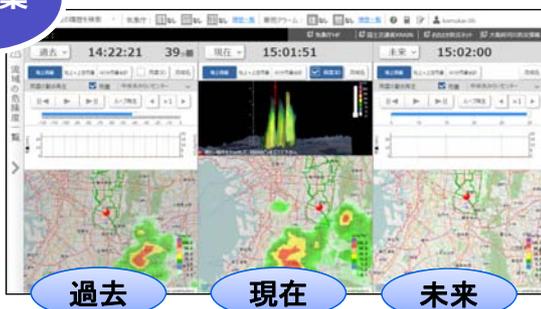
気づき

情報ソースが増えすぎると判断できなくなる

結局雨はどのくらい降るかが知りたい

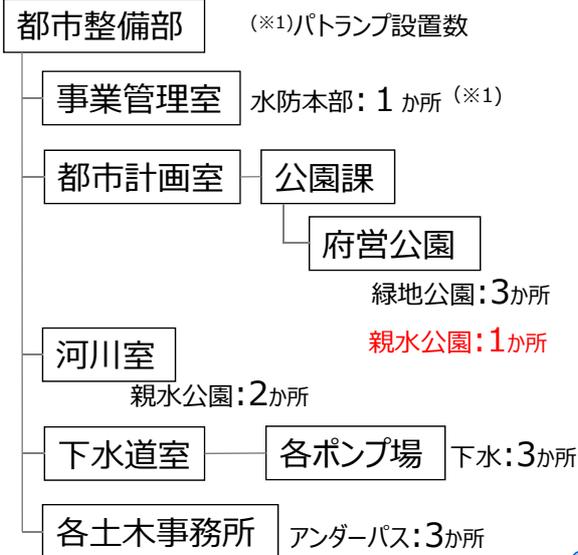
過去、現在、未来を比較したい

画面案



過去、現在、未来の雨の情報を表、グラフ、地図上で見える化し、自在に比較、予測できる

● 体制



● プロトコル (取り決め)

フェーズドアレイ気象レーダにて観測した「上空の豪雨」情報を担当者に通知し、担当者による防災活動を実施

プロトコル (例) 緑地公園

アラーム発報時の行動を記載

2.5.6. アラーム発生時の行動

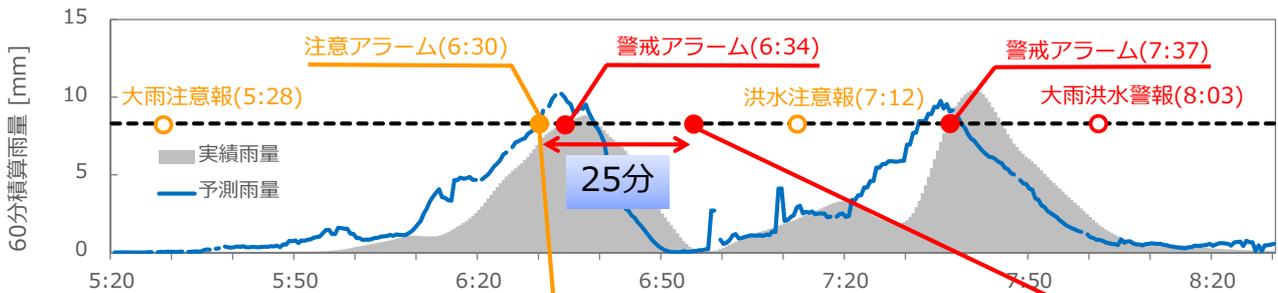
アラーム発生時の行動を表 2-24 に示す。
また、緑地公園のアラーム発生時の確認項目を記載する記録様式を表 2-25 に示す。

表 2-24 緑地公園 アラーム発生時の行動

公園	ステータス	行動
公園全域	正常	特になし
	注意	緑地公園内の利用者に対して、緑地公園内でしきい値を超える積乱雲の発達を観測されたことを伝え、屋根のある施設への移動を促す放送を実施する。 また、雷の状況を確認し、雷が接近している場合は、屋根のある施設への移動等正しい避難行動を促す放送を実施する。
	警戒(予測)	警戒アラームの情報を注視する。 また、雷の状況を確認し、雷が接近している場合は、屋根のある施設への移動等正しい避難行動を促す放送を実施する。
	警戒	なし

合意したプロトコルをマニュアルに明記し、実証実験参加者と共有

【実証実験の狙い】将来的に、各種システムとの連動、自動化による迅速かつ的確な運用を目指し、住民（利用者）の安全・安心の確保につなげていくために事前に取り決めたプロトコルによる活動が有効となるかを検証する。



普段の様子

6:30 注意アラーム発報

6:55 河川水位が急上昇



穂谷川

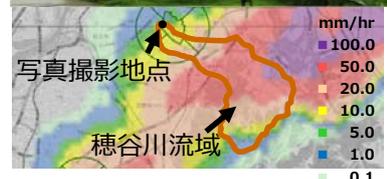


まだ水位は低い (河床が見える)



河川水位が急激に上昇

25分後



写真撮影地点

穂谷川流域

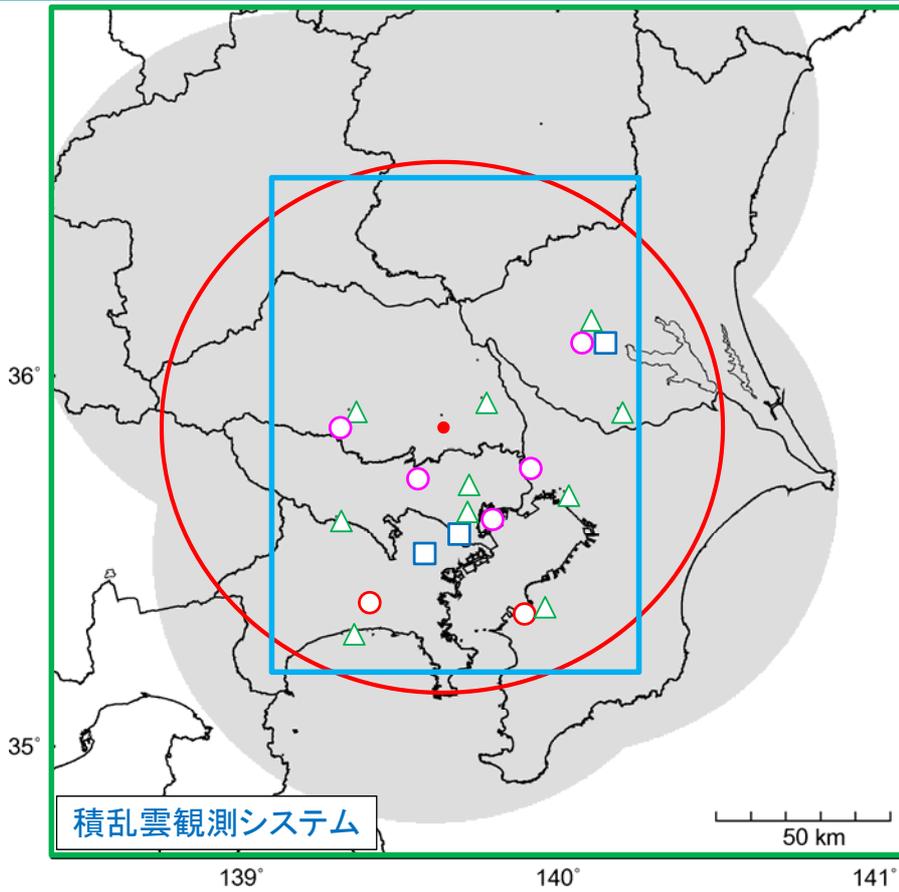


写真撮影地点

穂谷川流域

通常手順より安全性を高めることが期待できることがわかった。
事後検証の結果、見逃し事例が発生したため、パラメータ調整を実施中。

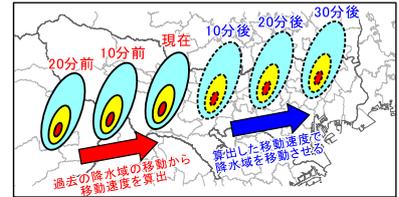
観測網と数値予測領域



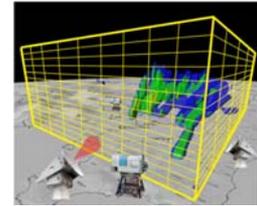
- : 国土交通省XRAIN
- : XバンドMPLレーダ(2)
- : 雲レーダ(5)
- : ドップラーライダー(3)
- △: マイクロ波放射計(10)
- : MP-PAWR

データ

強雨と強風のナウキャスト



数値予測(データ同化)



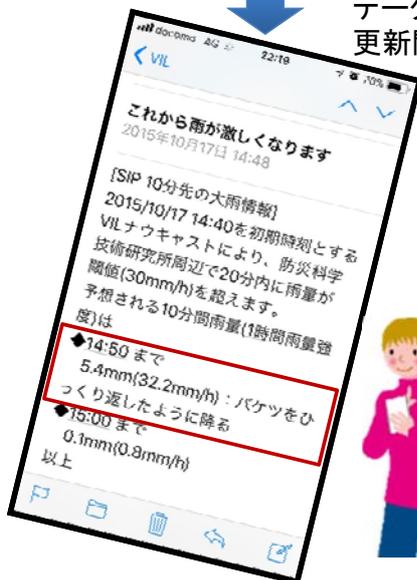
27

「10～20分先の大雨情報」社会実験(H27年;市民対象)

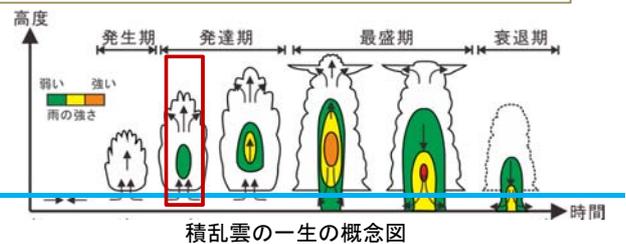
- VIL (Vertically Integrated Liquid water content: 鉛直積算雨量) = 未来に落ちてくる上空の雨を用いた**確度の高い大雨の直前予測(VILナウキャスト)**

登録地点で、20分先までに強雨(≥30mm/h)を予測

データ: 国土交通省XRAIN
更新間隔5分、500m格子



モニターは一般2,000人×2地点
(4,000点に45,400件のEメール配信)



積乱雲の一生の概念図

「防災」と「日常生活」の両面で有効

- ・ 降雨の激しい時間帯がはっきりして、行動するか待つかの判断に非常に有効。

【防災】

- ・ 家や身の周りの注意に利用。
- ・ 小雨のうちに、よく浸水する車を移動することができた。

【日常生活】

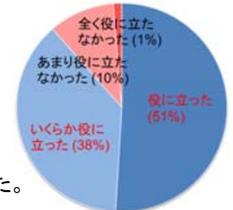
- ・ 自転車通勤に大変役立った(通勤・通学)。
- ・ 毎日の洗濯物干し、外出、特に地域の屋外イベントの実施可否判断に大いに役立った。

【屋外作業】

- ・ 外仕事の時に、精密機械はシートで被う、車内に退避させるなど確実な対策が一歩先にできて助かった。

【その他アンケート結果】

- ・ 目的別では下水道工事で高評価。
- ・ 職業別では幼稚園・保育園の先生、大工から高評価。

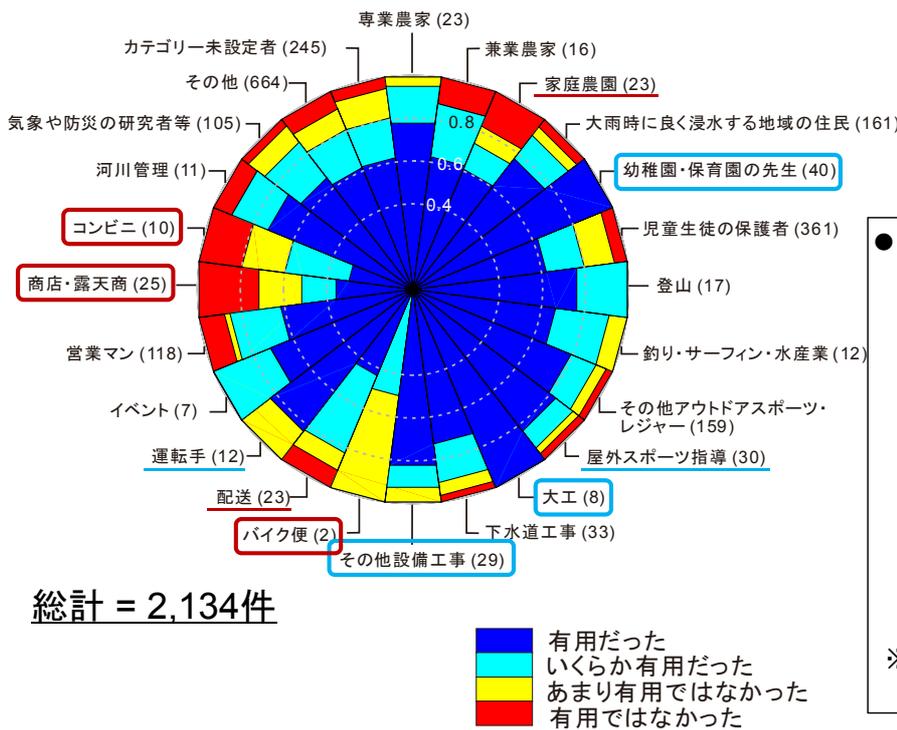


【H30年】MP-PAWRで高精度、高頻度化の実現
→天気の「急変」にすばやく対応



28

「10～20分先の大雨情報」社会実験 職業等分類別の予測情報の有用性 (H27年実験中アンケート)



● 職業等分類による評価の差異

高評価

- 「幼稚園・保育園の先生」と「大工」
- 「その他設備工事」
- 「屋外スポーツ指導」
- 「運転手」
-
- 「配送」と「家庭農園」
- 「商店・露天商」と「コンビニ」
- 「バイク便」

低評価

※ 実験中の個別のEメールに対する回答(複数回答可)をまとめたもの

精度指標の算出方法

精度の情報をユーザにわかりやすく提供することが重要！

		観測	
		雨 \geq R	雨 $<$ R
予測	雨 \geq R	適中(A)	空振り(C)
	雨 $<$ R	見逃し(B)	—

$$\text{スレツスコア} = A / (A + B + C) : \text{CSI}$$

$$\text{一致率} = A / (A + C) : \text{POD (雨} \geq R \text{予測の適中率)}$$

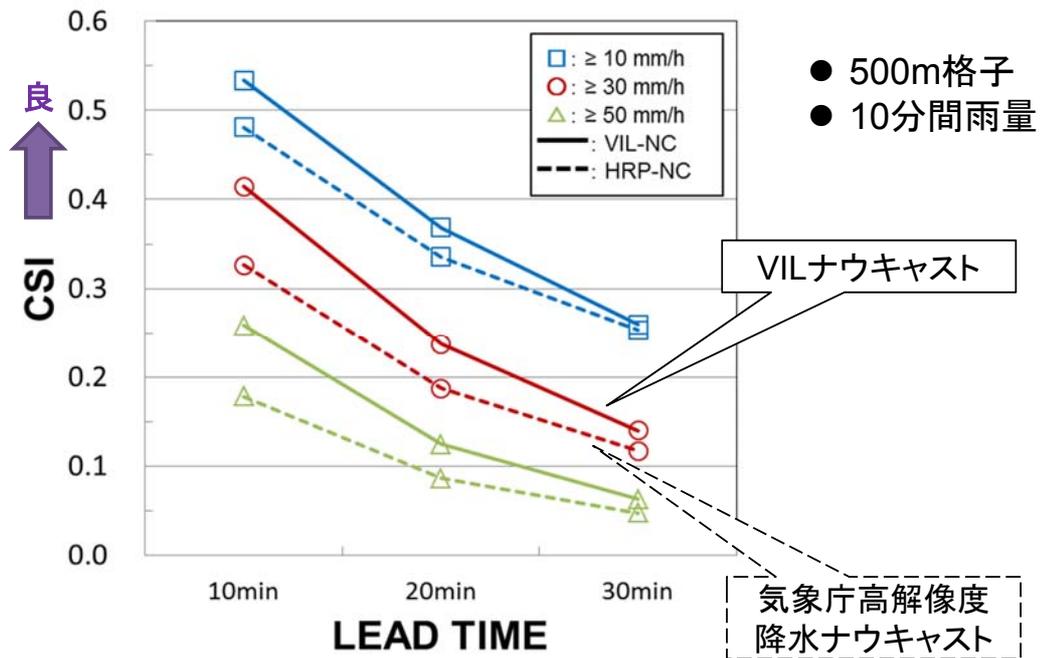
$$\text{捕捉率} = A / (A + B) = 1 - \text{見逃し率}$$

$$\text{空振り率} = C / (A + C) : \text{FAR}$$

$$\text{見逃し率} = B / (A + B) : \text{MIS}$$

精度検証(CSI:スレットスコア)

XRAINによる雨量分布を真値として、格子毎に検証。

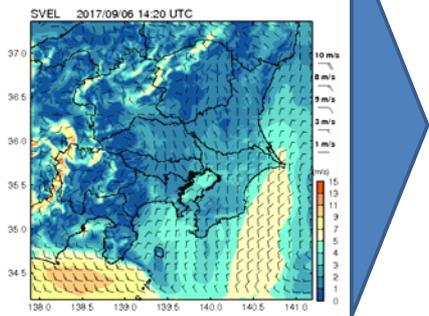


10分先、20分先の予測精度は、どの強度でも既存手法より高い。

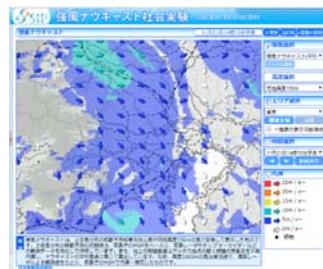
31

「強風ナウキャスト情報」社会実験(H28年～;主に事業者対象)

データ同化による
風の客観解析(高度1,000m)



強風ナウキャスト
(強風域の予測)



【H30年度】
市町村単位の
竜巻危険度の重ね合わせ



【H30年】MP-PAWR活用

社会実験

【H28年】8月5日～12月27日

【H29年】9月7日～12月末

- ・モニターはニーズを持った事業者、自治体や気象予報士
- ・更新間隔10分で30(60)分先までの強風(500m格子)を予測
- ・強風(例:10分間平均風速の予測値 > 10 m/s:傘がさせないほどの風)が予測された場合に、Eメール通知:“これから「傘がさせない」ほどの風が吹きます。”
- ・強風予測マップをウェブとスマホに表示

H28⇒H29年:

ユーザのニーズに応じた改良の例

【予報士】日常生活への利用も

⇒ 風速閾値を任意設定可能に

【建設】高所作業への利用 ⇒ 地上以外の複数高度を予測

【建設・鉄道】瞬間風速も

⇒ 平均風速だけでなく瞬間風速を予測

【建設】5分以内の情報更新を

⇒ 1,000m実況値をアラート対象に

【新たな利用分野】建材会社(シャッター)、農業(ハウス)

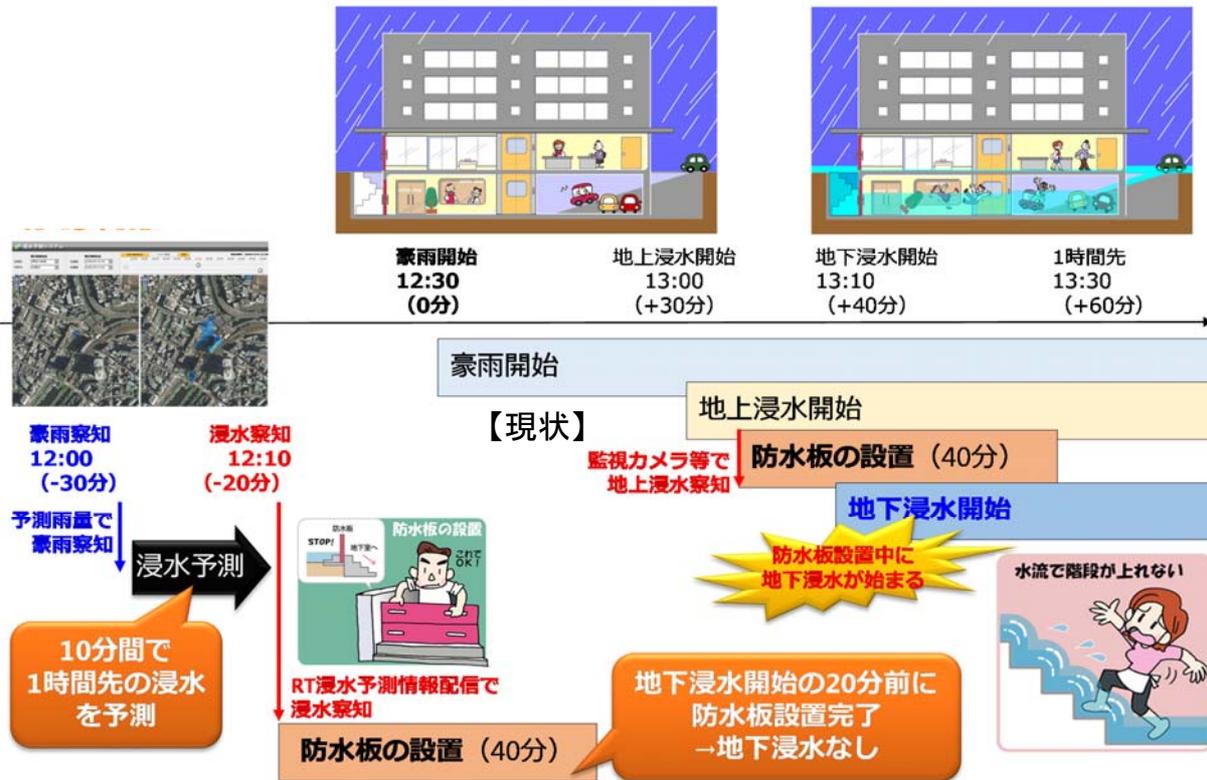


32

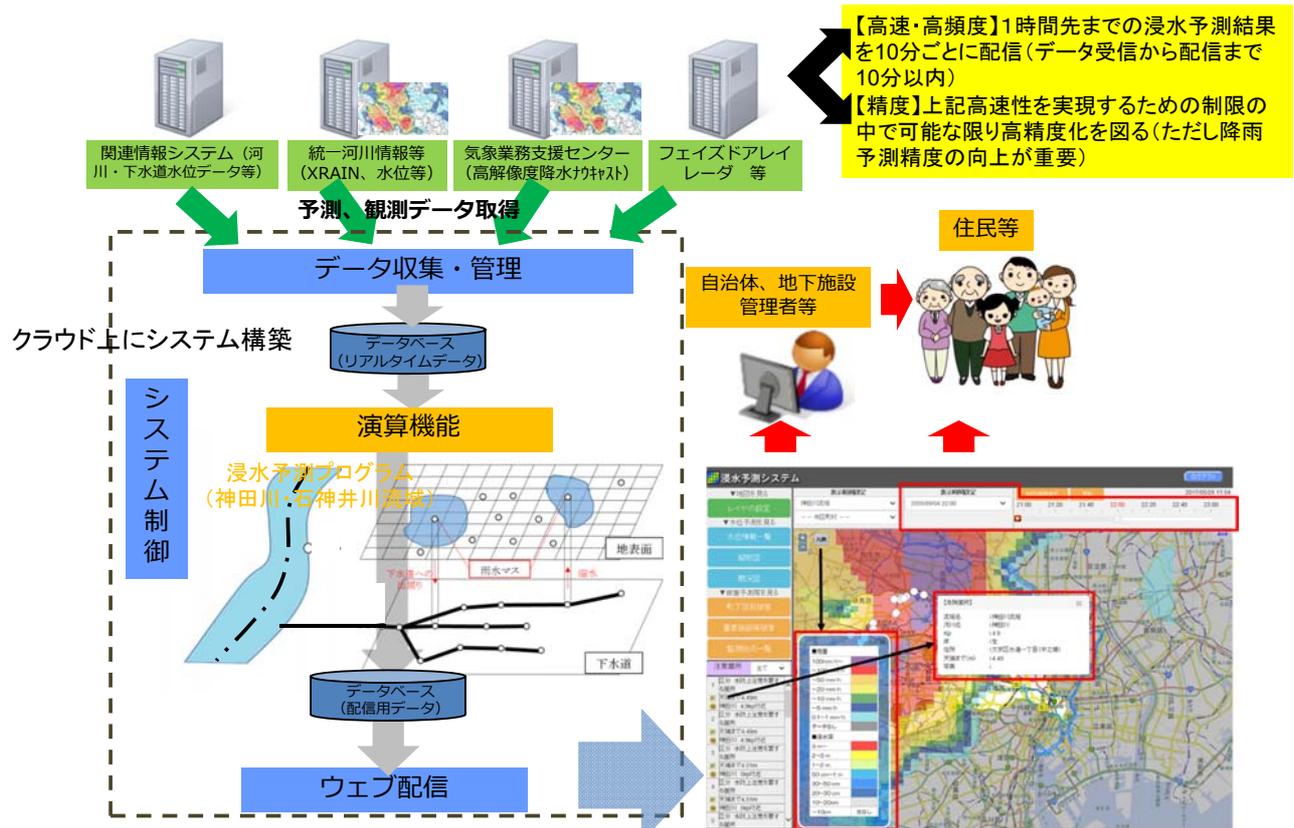
浸水予測システムの概要

■ 浸水予測システム活用イメージ

(例 地階を有する中高層建物の地下室・駐車場浸水被害対策)



浸水予測システムの概要



・実際に発生した浸水を事前に予測→
社会実験参加者にアラートメールを配信



図1 アラートメール受信画面

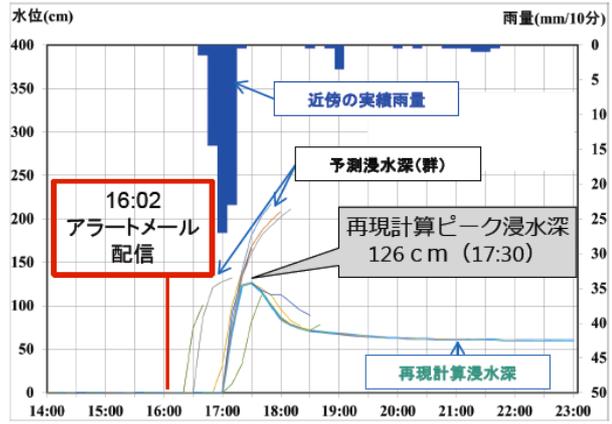


図2 実績雨量・予測浸水深と再現計算浸水深

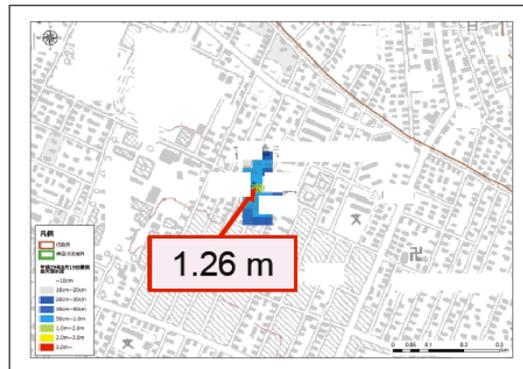


図3 再現計算浸水深分布



SIP豪雨竜巻で開発したシステムと実証実験

ゲリラ豪雨予測情報 ⇨ 防災担当者

- MP-PAWRの高速3次元観測により、ゲリラ豪雨を発生のおよそ20分前に検知できるようになった。
- これにより、豪雨発生前の水防活動の初動が可能に。

■ サービス内容

- ゲリラ豪雨早期検知アラート
 - ・ リードタイム約20分、数百mの位置精度
 - ・ 危険度をメール・パトランプ・Web画面表示で表示
 - ・ 雨の2D、3D、流域の危険度、雲の分布を表示。

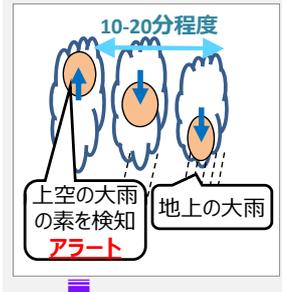
■ 実証実験とシステム改良

- 大阪府との実証実験 (H28~H30年度)
下水道管理・緑地公園・親水公園・アンダーパス
 - ・ 情報の種類・タイミングを事前に調整
 - ・ 大阪府はプロトコルを定めて対応
- 実証実験から、適用可能な項目を抽出
- ユーザコメントを基に予測精度改善およびWeb画面等の改良

■ 実装時の運用

- 気象予報会社がシステム運用
(国の機関のMP-PAWR運用を想定)

MP-PAWR観測



各事業場



37

20分先の大雨情報 ⇨ 市民・防災担当者

- MP-PAWRの高速3次元観測により、ゲリラ豪雨発生のおよそ20分前に予測できるようになった。
- これにより、豪雨発生前の水防活動の準備が可能に。

■ サービス内容

- レーダを用いて、ユーザの登録地点における豪雨予測情報を携帯電話にプッシュ送信
 - ・ 「これから激しい雨が降ります」
 - ・ 予測目標：豪雨発生のおよそ20分前・更新間隔：1分

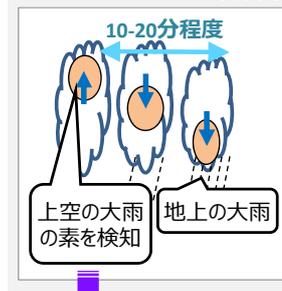
■ 実証実験とシステム改良

- 10~20分先の大雨情報社会実験 (H27, H30年度)
日常生活、水防活動
 - ・ 市民、自治体関係者等2,000名が参加
 - ・ 参加登録者にアンケートを実施 (H27年度)
 - ・ 通勤通学、洗濯物取り込み、幼稚園の送り迎えといった日常利用のニーズもある
- システム改良
 - ・ MP-PAWRを用いた実験をH30年度に実施し、精度の向上等を確認する。

■ 実装時の運用

- 気象会社がシステム運用
(国の機関のMP-PAWR運用を想定)

MP-PAWR観測



メール

ユーザ



38

強風ナウキャスト・竜巻危険度情報 ⇨ 事業者・防災担当者

- MP-PAWR等レーダの風観測と数値モデル解析から、1時間先までの強風域（風向風速分布）を予測。
- これにより、高所作業管理や事前注意喚起が可能に。

■ サービス内容

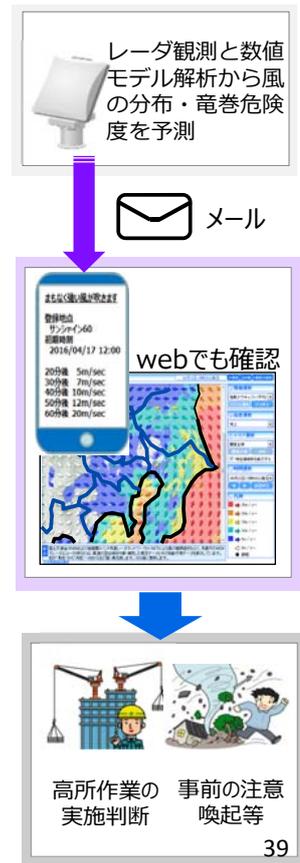
- ユーザの登録地点の強風アラート：Eメール送信
 - ・ ユーザが風速値、対象高度等を設定
- ナウキャストマップをウェブ表示
- 市区町村単位の竜巻危険度情報も重ねて表示予定

■ 実証実験とシステム改良

- 強風ナウキャスト社会実験（H28～H30年度）
建設会社（高所作業）・自治体（事前の注意喚起、消防活動）、交通機関（事前の対応）
 - ・ H28年度：情報の種類、予測時間、Web等に関する意見聴取
 - ◆ 対象高度や提供タイミング、アラート風速値、精度
 - ◆ H29年度の実証実験で改良
- 竜巻危険度情報をシステムに組み込み実証実験を行う（H30）

■ 実装時の運用

- 気象会社がレーダ情報（MP-PAWR, XRAIN）等をもとにシステムを運用



浸水予測情報 ⇨ 自治体等

- 予測雨量を用いた浸水モデルを開発し、1時間先の浸水予測が可能となった。
- これにより、浸水被害への早期対応が可能
 - ・ 要配慮者施設利用者、住民等の安全な避難

■ サービス内容

- 浸水予測情報を登録者（自治体関係者）へアラートメール

■ 実証実験とシステム改良

- H29年度に神田川流域での社会実験
自治体防災担当者、要配慮者施設管理者、地域防災会等
 - ・ メールで浸水情報を提供
- 実際に浸水が発生したケースでは、予測情報のアラートメールを配信

■ 実装時の運用

- 対象地域の自治体等がシステム運用

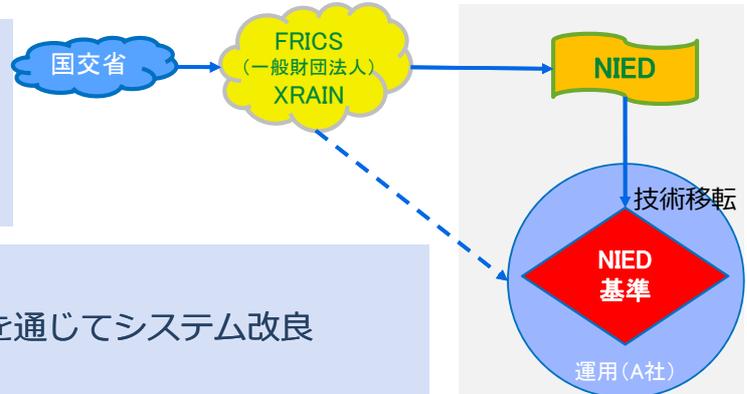


浸水・豪雨警戒情報 ⇨ 自治体・建設事業者

- 豪雨警戒情報のソースを雨量計（点）からXRAIN（面）データに切替えて、利便性・把握性能が向上した。
- 第一報を通報とSNS等に頼っていた浸水情報を、センサーとシミュレーションの併用により的確に把握できるようになった。
- これらにより、迅速な初動体制の確立や安全管理、工程管理が可能となる。

■ サービス内容

- 浸水・豪雨警戒情報をメール、多目的警報装置、スマホアプリを通じて自治体等へ通知



■ 実証実験とシステム改良

- 自治体・建設会社との実証実験を通じてシステム改良
 - ・ 人口過密域：自治体
 - ・ 都市域の建設現場：建設会社
 - ・ 中山間地：自治体（運用基準の検討）
- 民間企業に技術移転し、自治体等の予算化により実装可能な段階となった。

■ 実装時の運用

- 自治体等が、技術獲得した企業に委託してシステム運用



41

土砂災害発生予測 ⇨ 防災担当者

- 6時間以上先の土砂災害に係る集中豪雨ポテンシャルマップと高確度化した土砂災害発生予測。
- これにより、土砂災害に対して早期の防災体制構築、自治体における適切な避難勧告・指示の発令を支援。

■ サービス内容

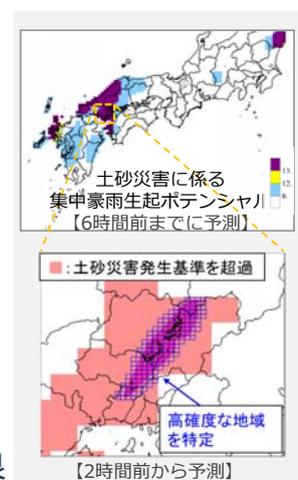
- 土砂災害警戒情報の補足情報
 - ・ 6時間以上先の集中豪雨ポテンシャルマップ
 - ・ 高確度化した土砂災害発生予測

■ 実証実験とシステム改良

- 予測精度の検証や地方整備局等と連携したシステムの評価
- 段階的な危険度をわかりやすく可視化するためのシステム改良

■ 実装時の運用

- 国・都道府県の砂防担当部局がシステムを運用



42

河川水位予測 ⇨ 河川管理者

- 6時間以上先までの河川水位の変化予測精度が大きく向上。
- これにより、河川の氾濫に対してより早い対応判断を支援。

■ サービス内容

- 河川水位予測情報
- 洪水危険度予測

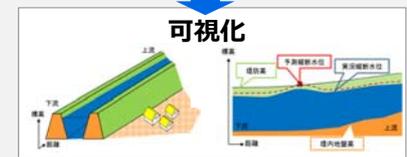
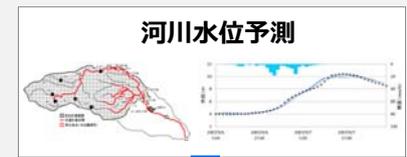
■ 実証実験とシステム改良

- 荒川を対象とした河川水位予測システムの連続稼働実験を実施
- 氾濫の切迫度が伝わりやすい、リアリティある表現方法を検討

■ 実装時の運用

- 河川管理者がシステムを運用

河川水位や雨量観測情報（MP-PAWRやXRAIN等）、予測雨量から河川水位を予測・可視化



43

鉄道災害予測情報 ⇨ 鉄道事業者

- 1時間先の雨量予測が入手できることで、ゲリラ豪雨による鉄道の浸水や土砂災害の予測手法の開発が可能になった。
- 運行中の列車のより適切な停止位置や異常時における旅客のより安全な避難に結びつく。
- ゲリラ豪雨後のより早い運転再開が可能となる。

■ サービス内容

- 降雨の1時間先予測から鉄道の浸水・土砂災害予測を行い、事業場でのパソコン等に表示
- 災害発生予測箇所を想定した列車の運行・旅客の避難経路表示

■ 実証実験とシステム改良

- H29年度に首都圏民鉄の協力のもと実証実験を進め、実装にむけた意見を聴取し、システムの改良を図った。
- 将来の実装に向けて、監督官庁等との議論を継続している。

■ 実装時の運用

- 事業者がシステムを運用する（1時間先の降雨予測情報を取得する必要あり）

MP-PAWR等と
数値モデルによる
1時間先の雨量予測

鉄道の洪水・氾濫予
測計算土砂災害予測

列車停止位置・旅客
避難経路計算



復旧活動の補助（保線部署）
列車の危険回避（運行部署）

44