

マルチパラメーター・フェーズドアレイ気象レーダーの3次元観測データによる気象防災への取り組み

Approaches to Meteorological Disaster Mitigation Using 3D Observation Data of Multi-Parameter Phased Array Weather Radar

吉見 和紘 YOSHIMI Kazuhiro 水谷 文彦 MIZUTANI Fumihiko

近年、河川の増水や、都市域の浸水、土砂災害など、局地的大雨に起因する多種多様な災害の発生が増加している。しかし、局地的大雨の予兆を捉え、発生タイミングや発生位置を的確に予測することは難しく、現象の捕捉とその情報伝達スキームの確立が喫緊の課題となっている。

このような中で、東芝インフラシステムズ(株)は、高速かつ3次元で気象現象を観測できる、マルチパラメーター・フェーズドアレイ気象レーダー(MP-PAWR)の開発や、観測データを利用した局地的大雨予測などの研究開発を推進している。MP-PAWRを用いた水災害予測として、地上に降る前の豪雨の予兆を早期に検知・解析することによる都市河川の水位上昇の予測や、水災害を防ぐための豪雨検知システムによるアラーム配信などの実証実験を行った結果、MP-PAWRの観測データが水防活動の事前情報として有効であることを確認した。

Various types of natural disasters due to localized torrential downpours, such as overflowing of rivers, flooding in urban areas, landslides, and so on, have been increasingly occurring in recent years, causing serious damage to people's lives. However, it is difficult to accurately predict the time and location of a localized torrential downpour through the detection of predictive signs. The establishment of a system to capture and communicate information on such phenomena has therefore become an issue of vital importance.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed a multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR) that can carry out three-dimensional (3D) observations of weather phenomena at high speed, and has been engaged in research and development aimed at realizing meteorological disaster mitigation technologies using the 3D observation data obtained by this system. We have confirmed the effectiveness of MP-PAWR data through demonstration experiments on water disaster prediction using the MP-PAWR, including (1) river water level prediction in urban areas based on heavy-rain detection and analysis at an early stage before the onset of rain, and (2) the delivery of alarms from the heavy-rain detection system for water disaster prevention.

1. まえがき

近年、局地的大雨に起因する河川の増水や、都市域の浸水、土砂災害など、多種多様な災害が増加している。2008年に、兵庫県の都賀川と東京都の雑司が谷で局地的大雨による水難死亡事故が発生した。これを契機として、ゲリラ豪雨(局地的大雨)という言葉が世の中で認知され始めるとともに、それへの対策が進むことになった。

Xバンド(9 GHz帯)MPレーダーは、それまで主に運用されてきた気象レーダーよりも局地的大雨の観測に適している。そこで、国がXバンドMPレーダーの導入を推進し、都市域を中心にレーダーネットワークによる観測体制を整備した^(注1)。気象レーダーは、水平又は垂直どちらかの電波を発射及び受信していたため、動径方向に強い降水域があ

る場合、雨粒が電波を減衰・消散させ、観測精度が低下することが問題だった。このため、地上雨量計のデータなどで補正しながら降水量を求めていた。一方、XバンドMPレーダーは、水平・垂直の二つの偏波を発射及び受信し、偏波間の位相差などを用いることで、定量的な降水量推定が実現できるという利点を備えている。

XバンドMPレーダーの整備が進んだことで、局地的大雨に関する研究も推進され、積乱雲の盛衰過程の解明や、“ゲリラ豪雨のタマゴ”⁽¹⁾と呼ばれる生成初期の局地的大雨の検知について、多くの研究が行われている。

しかし、局地的大雨の予兆を捉え、その発生タイミングや発生位置を的確に予測することは依然として難しく、水難事故から人命を守るためには、1分1秒でも早い現象の捕捉技術と、その情報伝達スキームの確立が望まれる。

このような中、内閣府が主導するSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)における研究課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」の研究開発チームは、更に詳細な気象現

(注1) 現在は、“XRAIN”と呼ばれるレーダーデータ配信システムとして、パラボラ型のXバンドMPレーダーとCバンド(5 GHz帯)MPレーダーを合成処理したデータを配信。

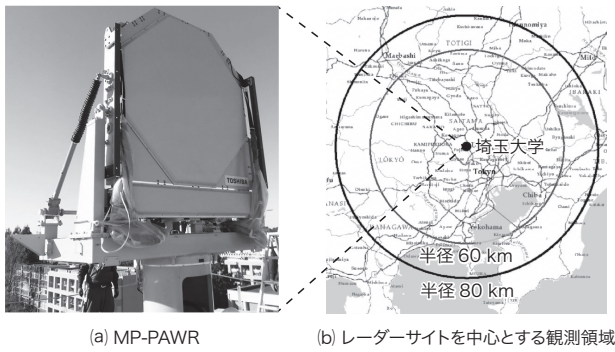


図1. MP-PAWRとその観測領域

埼玉大学に設置されたMP-PAWRで、詳細な気象現象を観測し、局地的大雨の予測などの研究開発を進めてきた。

MP-PAWR and its horizontal radar coverage area

象の観測とその応用研究を、2014年から5年計画で推進してきた。マルチパラメーター・フェーズドアレイ気象レーダー(MP-PAWR) (図1)の開発及び観測データを利用した局地的大雨などの予測を研究テーマの一つとしており、東芝インフラシステムズ(株)は、MP-PAWRの開発を担当し、国立大学法人 埼玉大学(以下、埼玉大学と略記)に設置した。また、独自に開発したMP-PAWRデータ配信システムを活用し、観測データの利活用検討のための実証実験を実施してきた。更に、レーダーで観測した降水量は、河川水位の予測に際しても重要な役割を担うことから、MP-PAWRの観測情報に基づく河川水位予測についても検証してきた。ここでは、MP-PAWRの特長と、河川水位予測の検証結果、豪雨アラーム配信に関する実証実験の成果について述べる。

2. MP-PAWRの特長

従来のレーダーは、仰角を少しずつ変えながら観測しており、3次元観測を実行するのに、5～10分程度を要していた。また、観測時間の制約から、仰角方向の観測は離散的で、空間的には観測できない領域も存在した。一方、MP-PAWRは、アンテナ回転方向のスキャンは従来レーダーと同様に機械駆動で行うのに対し、仰角方向は、電子走査により同時又は高速で観測するため、高度15 km程度までの3次元空間を隙間なく(高密度に)観測でき、その所要時間は約30秒から1分程度である(図2)。半径60 kmで上空15 kmまでを観測した際の3次元観測結果を図3に示す。MP-PAWRは、このような3次元降水分布を30秒から1分ごとに観測できる。

図4は、豪雨時に河川水位が急上昇するという事象を、“雨雲発生”、“雨雲急成長”、“降雨”、“水位上昇”の各ステージで概念的に表現し、MP-PAWRの特長がどのように

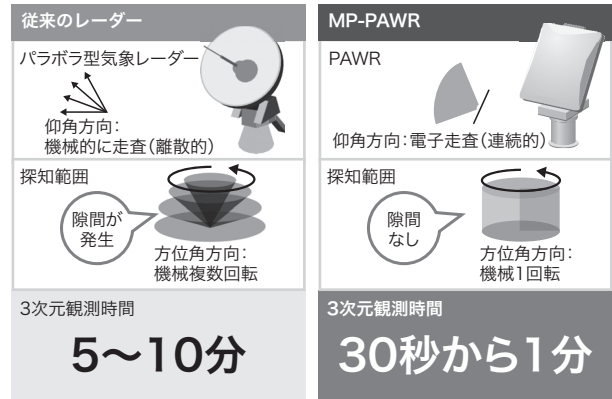


図2. 従来の気象レーダーとの比較

電子走査で垂直方向を観測できるMP-PAWRは、隙間のない3次元観測を高速で実現できる。

Comparison of conventional parabolic weather radar and MP-PAWR

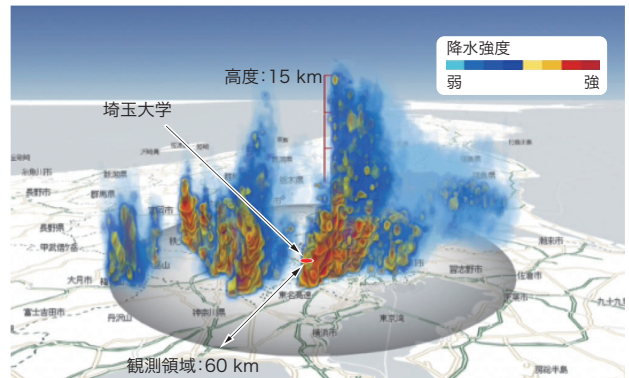


図3. MP-PAWRによる局地的大雨の3次元観測

観測領域で発生した局地的大雨の観測結果の例であり、このような3次元降水分布を30秒から1分ごとに観測できる。

Result of 3D observation of localized torrential downpour using MP-PAWR

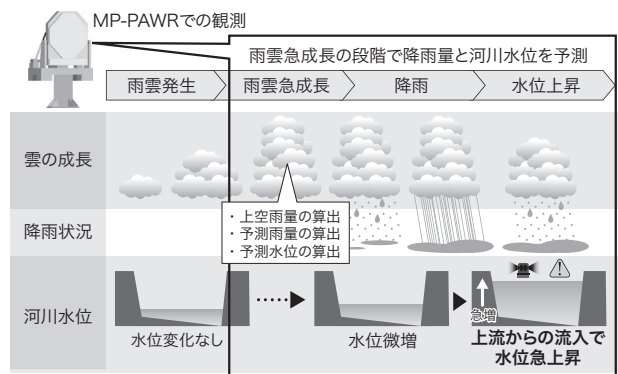


図4. MP-PAWR観測データからの降雨量・河川水位予測の概要

MP-PAWRは、雨雲急成長の段階で降雨量や河川水位の予測が可能である。

Outline of rainfall amount and river water level prediction using MP-PAWR data

活用できるかを示したものである。上空雨量を高速に観測できるMP-PAWRは、地上付近に降雨が到達する前、すなわち雨雲急成長ステージで、地上に到達する前の降雨を高密度に検知できる。このステージで検知したMP-PAWRの観測情報に基づいて、上空雨量を算出し、それを入力として予測雨量を求めて、更に予測水位を得ることで、原理的に従来よりも早期に豪雨情報を提供できる。これを、緊急地震速報と対比させて考える。緊急地震速報は、震源地で“既に発生した”地震を検知し、地震の揺れの到達が予測される地域に、揺れの数秒前に情報配信している。局地的大雨の場合も同様に、上空で“既に発生した”豪雨の予兆を検知することにより、地上に到達する10分から20分前に豪雨情報を伝えることが可能になる。

3. 豪雨発生時のMP-PAWRによる河川水位予測の検証

3.1 実施内容

都賀川や雑司が谷のような水難死亡事故が発生した都市域は、降った雨が河川や下水に流れ出るまでの時間が非常に短いため、可能な限り情報発信や避難誘導の時間を確保することが望ましい。MP-PAWRによる高速・高密度な降雨観測の特長を生かし、雨雲急成長ステージで河川水位を予測した場合の効果について検証した。

基本的な解析フローは、以下のとおりである。

- (1) MP-PAWRの観測データから鉛直積算雨量(VIL: Vertically Integrated Liquid Water Content)を算出
- (2) VILとMP-PAWRの観測雨量から地上の予測雨量を算出
- (3) 予測雨量から予測水位を算出

(2)では、“VILナウキャスト”と呼ばれるVILを用いた予測手法⁽²⁾を参考として予測雨量を算出した。また、(3)では、都市流域の流出現象を良好に再現できる合成合理式と呼ばれ

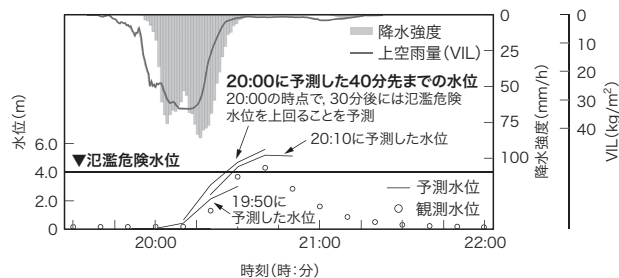


図5. 河川水位の予測結果例

観測水位が実際に氾濫危険水位を超える前に、予測水位が氾濫危険水位を超えることを予測できている。

Example of results of river water level prediction using MP-PAWR data

る手法⁽³⁾を用いた。

3.2 検証結果

検証は、東京都の渋谷川流域を対象として実施した。流域面積は約10 km²であり、流域内の市街化率は80%程度である。検証した事例の降雨と水位の時系列データを図5に示す。19:50時点では、地上付近での降雨が観測されていないが、同時刻の予測水位を見ると、10分後に水位が上昇し始めている。これは、雨が降り出す前に、その後の降雨を予測できていたことを示している。

また、20:00時点の予測水位は、約30分後に氾濫危険水位(4.0 m)を超えることを示しており、実際の最高水位4.3 mを記録した時刻よりも、30～40分程度前には、氾濫危険水位を超えることを予測できていたことが分かる。

4. MP-PAWRを用いた豪雨アラーム配信に関する実証実験

4.1 実施内容

この章では、SIPで実施したMP-PAWRを用いた実証実験について述べる。MP-PAWRの事前豪雨検知は、局地的大雨による被害が懸念される自治体や民間事業者で、そのデータを効果的に活用できる可能性がある。そこで、実証実験では、MP-PAWRの観測データから、水災害の発生が想定される豪雨を検知した後、その情報をアラームとしてエンドユーザーへ配信するシステム(図6)を構築し、エンドユーザーの水防業務に対する有効性を検証した。

エンドユーザーの候補は多岐にわたるが、今回の実証実験におけるアラーム配信の対象は、暴風雨などで運行に支

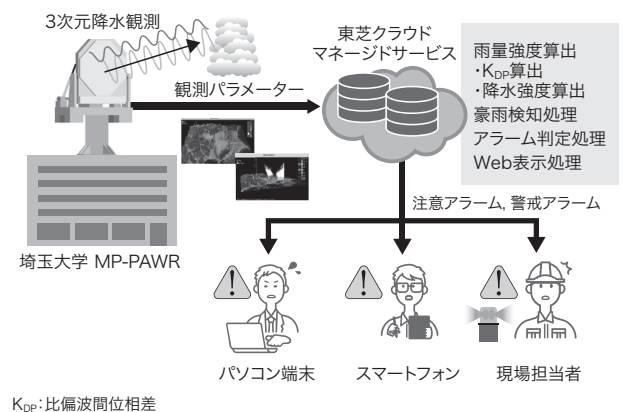


図6. クラウドサービスを活用した豪雨アラーム配信の実証実験

MP-PAWRの観測データに基づく注意アラームと激しい雨が降っていることを知らせる警戒アラームがあり、いずれもクラウドサービス上で判定処理される。

Overview of alarm delivery from heavy-rain detection system using cloud service

障が出る可能性があり、かつ路線網や地下施設などの大規模インフラ設備を持つ鉄道事業者とし、アラーム情報が水防活動に有効に機能するかどうかを検証した。

配信したアラームは、MP-PAWRで観測された偏波パラメーターなどの情報に基づく“注意アラーム”と、地上付近で激しい雨が降っていることを知らせる“警戒アラーム”に大別した。注意アラームは、図4で示した雨雲急成長ステージで発報され、警戒アラームは降雨ステージで危険な豪雨が観測された場合に発報されるイメージである。いずれのアラームも、しきい値判定処理をクラウドサービス上でを行い、設定しきい値を超過した場合に担当者へ配信した。

4.2 検証結果

結果を図7に示す。予測雨量は、地上雨量に対して15分程度先行して推移しており、MP-PAWRが地上雨量を先行して予測できていたと言える。

一方、鉄道事業者の水防活動時の動きに着目すると、鉄道事業者の水防業務は、基本的には、気象庁の大雨警報に基づいて、総合指令所から各施設に指令が出る仕組みである。今回の例の場合、大雨警報が発令されたのは16:09であるが、SNS(Social Networking Service)の情報によれば、15:20には対象の駅が冠水していたことが分かっている。したがって、従来の指令系統に則して体制を構築していた場合を想定すると、駅の浸水対策が間に合わない。

これに対し、MP-PAWRのシステムを活用する場合、予測雨量などがしきい値を越えたタイミングで注意アラームが発報されるため、14:32には豪雨情報を通知し、事前に対策できると考えられる。

このように、MP-PAWRの観測情報を活用したアラーム配信は、現場担当者や一般利用者に対し、ピンポイント情報

として配信することで、価値を拡大できる。

5. あとがき

MP-PAWRの観測データを用いて都市流域の水位予測を実施し、河川水位の上昇を予測できることを示した。また、SIPで開発した豪雨検知システムを用いて実証実験を行い、MP-PAWRで観測した上空雨量が水防活動の事前情報として有効であることを示した。

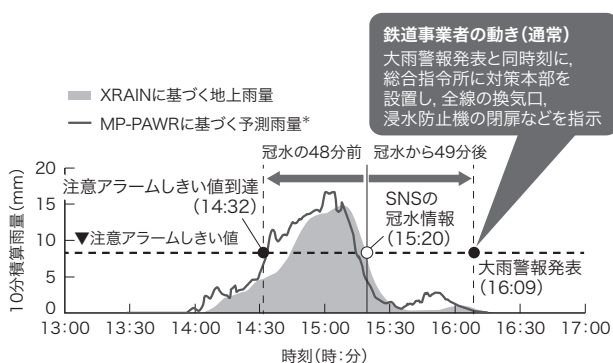
2章でも述べたとおり、MP-PAWRの上空雨量観測に基づく情報配信は、緊急地震速報と類似している。現在の緊急地震速報は、既に発生した地震波を検知することによる情報配信だけでなく、新幹線の自動減速やエレベーターの閉じ込め防止などの社会インフラ制御にも利用されている。局地的大雨に起因する人的被害やインフラ設備の被害が懸念される昨今、ここで示したクラウドサービスを活用した情報提供システムや、MP-PAWRの観測データに基づくソリューションなどを、今後もIoT(Internet of Things)化が想定される河川水門や下水ポンプなどをはじめとする、社会インフラ設備の制御の一助とし、被害軽減につなげていく。

謝辞

この研究の一部を遂行するにあたり、多大なご支援をいただいた、内閣府のSIP、及び学校法人中央大学理工学部都市環境学科の河川・水文研究室の関係各位に、深く感謝の意を表します。

文献

- (1) 中北英一, ほか. ゲリラ豪雨予測の高精度化に向けた積乱雲の鉛直渦管生成メカニズムに関する研究. 京都大学防災研究所年報. 2017, **60**, B, p.539-558.
- (2) Hirano, K.; Maki, M. Imminent Nowcasting for Severe Rainfall Using Vertically Integrated Liquid Water Content Derived from X-Band Polarimetric Radar. Journal of the Meteorological Society of Japan. Series II. 2018, **96A**, p.201-220.
- (3) 渡邊暁人, ほか. 合成合理式の理論的導出. 土木学会論文集B1(水工学). 2012, **68**, 4, p.I_499-I_504.



*予測雨量データを移動平均した時系列データ

図7. アラーム配信効果の例

従来の大雨警報に比べ、注意アラームは早期に配信できるため、事前に対策することが可能である。

Example of effective use of alarm delivery



吉見 和紘 YOSHIMI Kazuhiro, D.Eng.
東芝インフラシステムズ(株) 小向事業所 電波応用技術部
博士(工学)
日本気象学会・土木学会・水文・水資源学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



水谷 文彦 MIZUTANI Fumihiko
東芝インフラシステムズ(株)
小向事業所 電波応用技術部
気象予報士
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.