

浸水などのリスク低減に貢献する 雨水対策ソリューション

Stormwater Drainage Systems and Solutions Contributing to Reduction of Flood Risk

平岡 由紀夫 山中 理

■HIRAOKA Yukio ■YAMANAKA Osamu

降雨（降水）現象は、水循環における重要な自然現象であり、人々の生活に恩恵をもたらす。一方、近年の地球温暖化やヒートアイランド現象などの影響による局地的大雨は、日常生活に大きな被害をもたらす原因となっている。したがって、水防や都市排水システムは、「水循環基本法」にある“健全な水循環”を維持するために欠くことのできない役割を担っている。特に都市の雨水排水施設やその運用と制御は、浸水リスクを低減し、また浸水被害から人々の生活や財産を守るうえで、極めて重要である。

東芝は、浸水などのリスク低減に貢献するため、雨水対策ソリューションの開発及び製品化に取り組んでいる。

Precipitation including rainfall plays a key role in the Earth's water circulation system and is essential to human existence. On the other hand, localized torrential downpours due to global warming and heat island phenomena have been causing serious damage to people's daily lives in recent years. Flood control and urban drainage systems are therefore required to sustain a healthy water cycle, as defined by the Basic Act on the Water Cycle. In particular, urban drainage facilities and their proper operation and control are crucially important both to reduce flood risk and to protect people's lives and property from flood damage.

Against this background, Toshiba has been engaged in the development of a wide variety of water drainage systems and solutions contributing to the reduction of flood risk.

1 まえがき

降雨（降水）現象は、水循環の中の重要な自然現象の一つとして、人々の生活において身近な現象であり、多くの恩恵をもたらす。一方で、近年の地球温暖化やヒートアイランド現象などの影響による降雨（降水）現象は、局地的大雨や集中豪雨という形で浸水被害、更には財産や人命に関わるような被害などを発生させ、日常生活に大きな影響を与えるようになってきている。

2014年7月に施行された「水循環基本法」には“水循環”及び“健全な水循環”の定義についての記載がある⁽¹⁾。この健全な水循環を維持するために、水循環の経路の一端を担う水防や都市排水システムなどについては、①都市などに降った雨水を適切に河川などに排水し海域などへ至らせる、及び②前述のような被害の発生を低減して人々の生活に大きな影響を与えないようにする、という大きく二つの役割が求められるものと考えられ、その役割は極めて重要である。しかし、近年の浸水対策施設の整備基準を上回る降雨や地方公共団体における財政状況の悪化など様々な状況のなかで、いわゆるハード対策だけでこれら二つの役割を完全に果たすことが難しいのが実情である。2014年7月に、国土交通省 水管理・国土保全局及び公益社団法人 日本下水道協会が策定した「新下水道ビジョン」⁽²⁾では、「ハード、ソフト、自助を組み合わせた総合的

な浸水リスクマネジメント手法を活用し、浸水に対して安全・安心な社会を実現する」ことが「雨水管理のスマート化」の一つとして挙げられている。したがって、今後の雨水対策としては、都市の雨水排水施設などのハード、その運用や制御などを実現するソフト、及び一般市民などによる自助を適切に組み合わせ、浸水そのものが発生するリスクや、浸水による被害が発生するリスクなどを効率的に低減し、前述の①と②の二つの役割を適切なバランスをとりながら実現することが求められる。

東芝は、これまでに、雨水ポンプ場などへの流入量予測や、Xバンド（9 GHz帯）MP（マルチパラメータ）レーダ（以下、MPレーダと略記）技術などの雨水対策に関する様々な技術開発に取り組んできた。しかし、健全な水循環を実現するためには、現在の状況を踏まえつつ、浸水などのリスク低減に貢献する新たな雨水対策ソリューションを開発して製品化する必要があると考えている。ここでは、雨水対策ソリューションの開発及び製品化へ向けた当社の取組みについて述べる。

2 雨水対策ソリューションの取組み事例

当社は、これまでに、観測技術、解析・予測技術、及び制御・支援技術という様々な観点から雨水対策に関する技術及びソリューションの開発に取り組んできた（表1）。しかし、1章で述べた背景などを踏まえ、健全な水循環の維持に向けた

表1. 東芝が開発した雨水対策技術

Technologies for stormwater drainage systems developed by Toshiba

観測技術	解析・予測技術	制御・支援技術
<ul style="list-style-type: none"> ・管渠内水位計・流量計 ・XバンドMPレーダ ・フェーズドアレイ気象レーダ 	<ul style="list-style-type: none"> ・雨水流出解析技術 ・雨水流入量予測技術 ・河川水位予測技術 ・降雨予測技術 ・リアルタイム流出解析・浸水予測技術（開発中） 	<ul style="list-style-type: none"> ・雨水ポンプ自動制御システム（ファジィ制御適用、合流改善対応、及び雨水ポンプダイナミック制御） ・雨水ポンプ運転支援システム ・雨水貯留管運用支援システム ・人員配備支援システム

新たな雨水対策ソリューションを開発して製品化する取り組みが必要と考えている。その取り組みの方向性として、

- (1) 施設や機器のハード能力を最大限に発揮させる
- (2) 解析技術を活用した情報提供などを通じて下水道施設の運転の効率化や一般市民の自助を促す

といったソフト対策の観点から、浸水などのリスク低減に貢献していきたいと考えている。

ここでは、当社の近年の取り組み事例として、“雨水ポンプダイナミック制御”，“リアルタイム浸水予測”，及び“フェーズドアレイ気象レーダとその活用”について述べる。

2.1 雨水ポンプダイナミック制御

2.1.1 雨水ポンプ制御の役割と課題

雨水ポンプ場は、排水区に降った雨を管渠（かんきょ）を通じて集水し、速やかに河川などに排水する重要な施設である。雨水ポンプ場では、ポンプ井水位を見ながら、ポンプの号機ごとにあらかじめ定められた設定水位により起動や停止を行う水位レベル制御を行うことが多い。水位レベル制御では設定水位が固定されているため、局地的大雨や集中豪雨の際に雨水ポンプ場に流入する雨水に備えて、雨水ポンプ井水位を事前に下げておく

といった臨機応変な対応を自動で行うことが難しい。そのため、雨水ポンプ井水位が高い状態で施設の能力を超える雨水が流入した場合には、下水道施設の浸水リスクが高まることがある。簡易な対策として、起動水位をあらかじめ低く設定することが考えられるが、この場合、小雨時にはポンプが起動してもすぐに停止する可能性が高まる。そのため、ポンプ起動に時間が掛かる場合は、小雨から大雨に変化したときに再起動が遅れて結果的に浸水リスクが高まることが懸念される。

2.1.2 浸水リスクを低減する雨水ポンプダイナミック制御

このような問題に対応し、既存の雨水ポンプ施設の能力を最大限に活用する制御方式として、雨水ポンプダイナミック制御を開発した⁽³⁾。この制御は、幹線水位などの管渠内情報や雨量情報などの流域情報から雨水ポンプ場への流入量を把握し、流入量に応じて雨水ポンプの起動・停止水位を適切かつ動的（ダイナミック）に変化させる水位レベル制御である。その制御の概要を図1に、各機能を以下に示す。

- (1) 流域情報入力 MPレーダ雨量や、地上雨量、幹線流量・水位などの流域情報を入力する。
 - (2) 雨水流入量演算 入力された流域情報を基に、雨水ポンプ井に流入する雨水流入量を演算する。
 - (3) 起動・停止水位補正 演算された雨水流入量を基に、現在の雨水ポンプの運転状況や、雨水ポンプの起動時間、雨水ポンプ井の上限水位からの余裕などを考慮して、雨水ポンプの起動・停止水位を演算して補正する。
 - (4) 雨水ポンプ起動・停止制御 補正された雨水ポンプの起動・停止水位に基づいて、雨水ポンプの起動及び停止の制御を行う。
- (1)~(3)の機能が従来の水位レベル制御に付加された機能

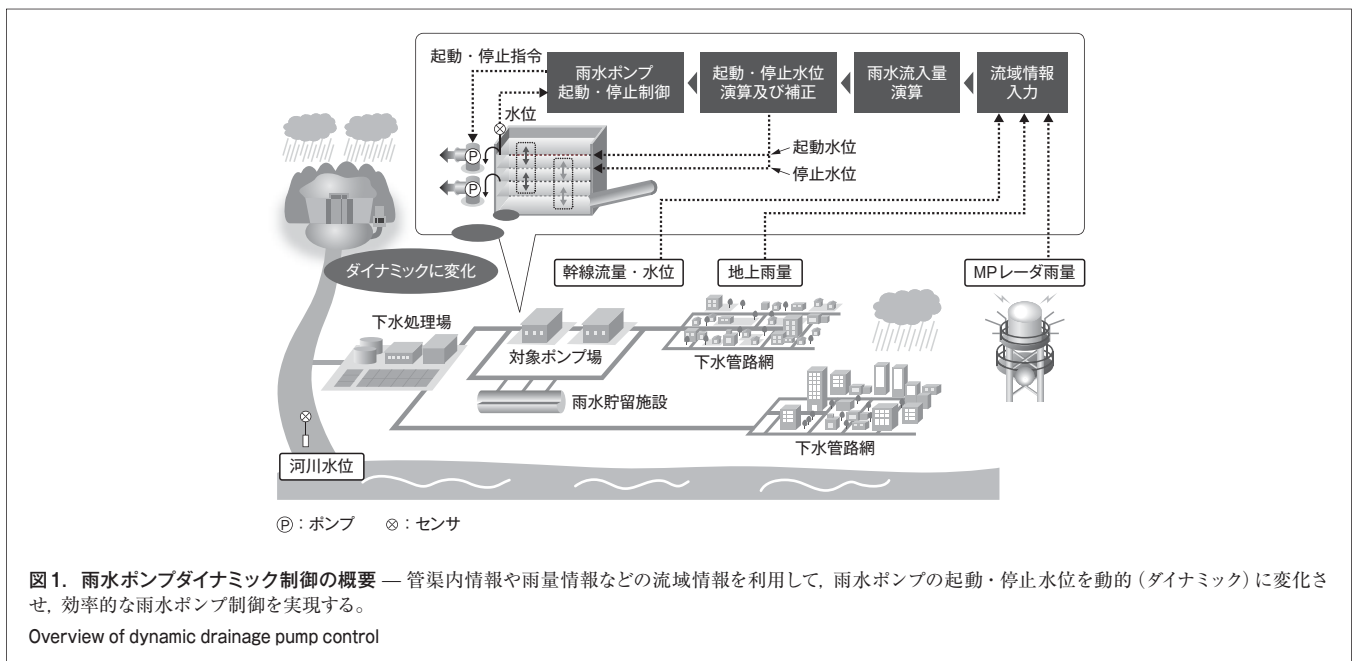


図1. 雨水ポンプダイナミック制御の概要 — 管渠内情報や雨量情報などの流域情報を利用して、雨水ポンプの起動・停止水位を動的（ダイナミック）に変化させ、効率的な雨水ポンプ制御を実現する。

Overview of dynamic drainage pump control

である。(1)の情報の入力機能と(3)の水量収支に基づいた起動・停止水位補正機能は不確実さを含まないため、(2)の雨水流入量演算をできる限り正確に行うことが、この制御の効果を最大限に発揮するポイントとなる。そのためには、雨水流入量と相関性の高い流域情報を用いて流入量演算を行うことが好ましく、降雨の分布状況を把握できるMPレーダ雨量や、雨水ポンプ場につながる主要な幹線の水位と流量を流域情報として用いることが有効であると期待される。

実際の大雨時のデータを用いたシミュレーションにより、開発した雨水ポンプダイナミック制御と従来の水位レベル制御の効果を比較評価した例を図2に示す。図2から、開発した制御では雨水ポンプ井水位の最高水位が低下し、浸水リスクを低減できていることがわかる。従来の水位レベル制御でも、起動・停止水位の設定値を試行錯誤で調整することにより、最高水位を低下させられる場合もあるが、この場合、雨水ポンプの起動・停止回数が増加する現象が認められた。

今回開発した制御の導入により、次のような効果が期待できる。

- (1) 急激な雨水流入時においても、オペレーターの判断によらずに、浸水リスクを軽減した雨水ポンプ制御を自動で行い、運転管理員の負担を軽減できる
- (2) 既存施設の改築や更新をすることなく適用できるため、ハード対策と比べて、財政的な負担を軽減できる

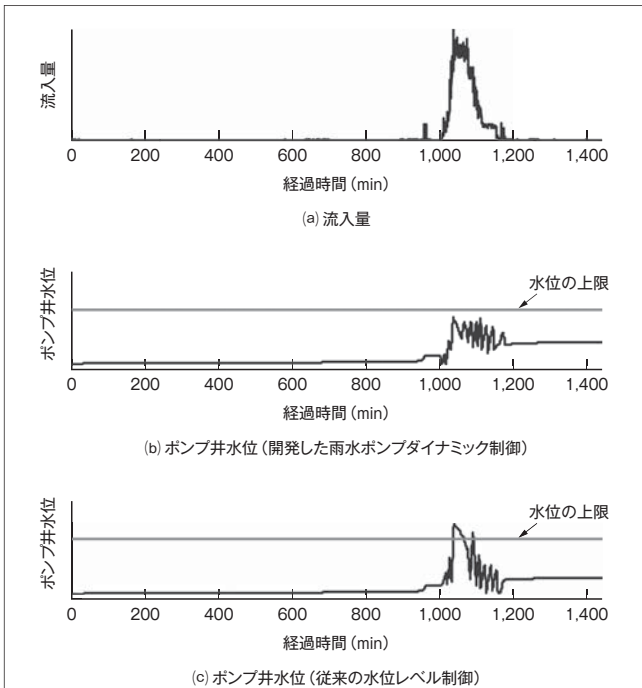


図2. シミュレーションによる浸水リスク比較評価の例 — 開発した雨水ポンプダイナミック制御では、従来の水位レベル制御と比べてポンプ井の最高水位が低く、浸水リスクを低減できる。

Comparison of changes in floodwater levels achieved by conventional and dynamic drainage pump control

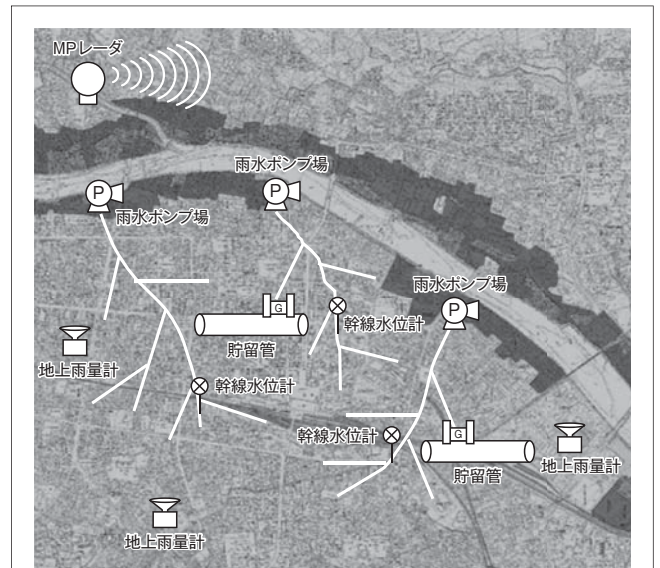
この制御の導入が、既存の雨水ポンプ施設の整備基準を超過した降雨に対して、必ずしも浸水を回避するものではないが、雨水ポンプ運転と流入する雨水量との連動性が向上することで、浸水リスクをいっそう低減できる。

2.2 リアルタイム浸水予測

2.2.1 リアルタイム浸水予測の役割 近年増加する局地的大雨に伴う都市型水害が頻発している。この被害を低減するためには、ピーク流出量を基準にした従来のハード対策に加えて、貯留や浸透を考慮した浸水対策や、浸水危険箇所の把握と情報提供などのソフト対策を併用することが重要になる。

MPレーダ情報に幹線水位などの他の流域情報を統合することで、浸水リスクの観点で情報の価値を向上させることが期待できる。また、MPレーダの降雨情報を単なる情報提供にとどめず、浸水リスクを低減する運用につなげることも重要になる。このような観点から、当社は、リアルタイム浸水予測の開発に着手した。

リアルタイム浸水予測は、MPレーダなどの降雨情報を入力して、リアルタイムで流出解析を行い、浸水域や、浸水量、浸水発生時刻などの浸水予測情報に変換するものである。この情報を直接配信することでリアルタイムハザードマップとして利用できるだけでなく、流域全体の浸水リスクを低減するように複数の雨水ポンプ場の雨水ポンプや貯留施設のゲートを適切に運用するための情報としての活用が期待できる(図3)。



*国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所 「多摩川水系浅川浸水想定区域図(八王子市)」⁽⁴⁾に基づいて作成

図3. リアルタイム浸水予測の活用イメージ — MPレーダ情報に幹線水位などの流域情報を加えてリアルタイム流出解析を行い、複数の雨水ポンプ場の雨水ポンプや貯留管のゲートを適切に運用して流域全体の浸水リスクの低減を図る。

Example of information and facilities for real-time rainfall runoff and flood analysis

2.2.2 リアルタイム浸水予測の考え方 開発中のリアルタイム浸水予測では、①下水道の計画や運用に関わる人々の共通理解の容易さ、②リアルタイム処理の実現、及び③雨量情報以外の流域情報（幹線水位など）の活用、を考慮している。まず、①の下水道関係者の共通理解を容易にするため、下水道計画で用いられる排水区画割平面図や流量計算表に基づいて浸水予測を行う方法を採用する。そして、②のリアルタイム処理を実現するため、排水区画割平面図の各区画（以下、小排水区と呼ぶ）を最小単位とする、通常の流出解析よりも粗い簡易的な流出解析モデルを構築する。具体的には、**図4**の小排水区を一つの点（節点）とみなし、その接続関係や

管渠情報などを流量計算表から読み取り、水量収支を表す連続の式やマンニング式などの基本的な水理学の式を組み合わせる。浸水予測を行う際は、MPレーダ雨量データを小排水区ごとの雨量データに変換して入力し（**図5**）、小排水区単位での流出予測を行った後、小排水区間を接続する管渠の満管率（貯留量÷管渠容量）として浸水リスクを評価する（**図4**）。この方法は、簡易モデルに基づいているため、リアルタイム処理は容易である。一方、解析精度の低下が懸念されるが、③の流域情報として、幹線水位などを計測し、流出解析モデルのパラメータをオンラインで調整することで、解析精度を改善する方法を検討している。

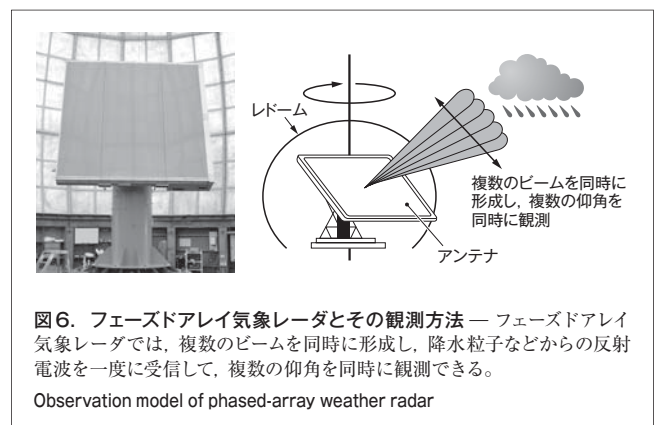
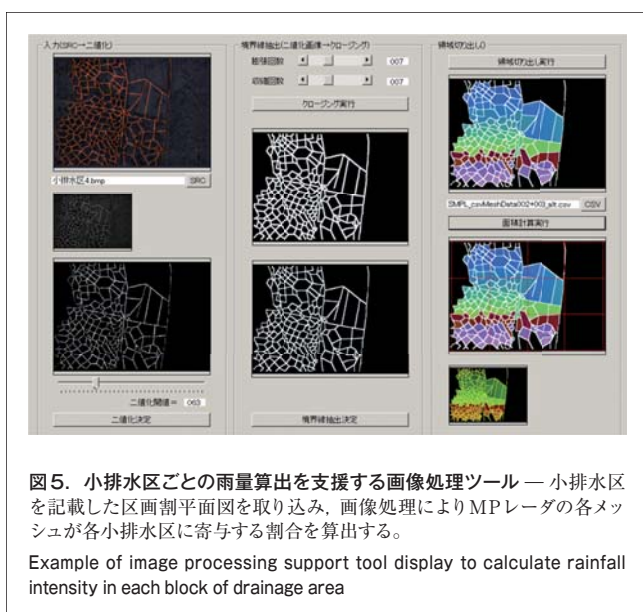
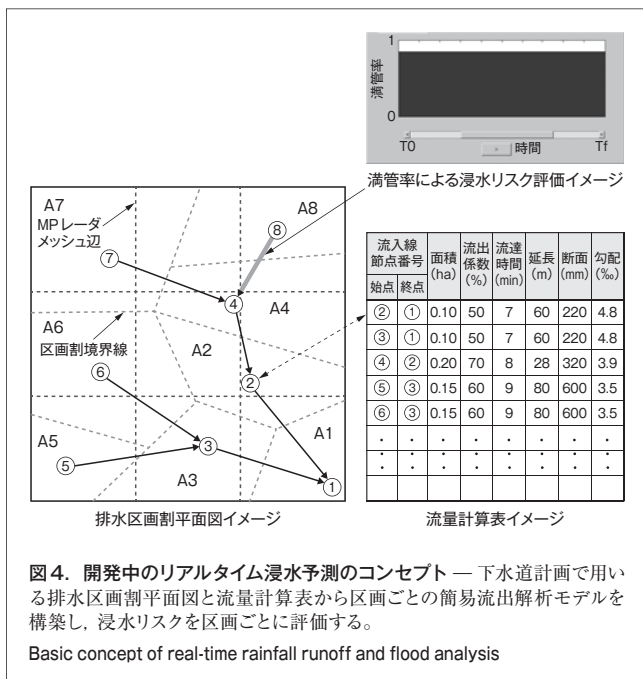
このようなリアルタイム浸水予測技術の開発により、MPレーダ情報を有効に活用したソフト対策として、リアルタイムハザードマップの提供や、雨水ポンプ制御や貯留管ゲート制御に活用していきたいと考えている。

2.3 フェーズドアレイ気象レーダとその活用

2.3.1 降雨状況の把握とフェーズドアレイ気象レーダ

雨水対策においては、どの地点にどのくらいの降雨量が発生しているのかという降雨状況を把握するための観測技術が重要である。特に近年の局地的大雨は、降雨の範囲が極めて狭く、また降雨期間も非常に短時間となるため、その状況を高速かつ精度良く観測することで、このような観測情報が浸水などのリスク低減につながることを期待される。

当社は、このような観測を実現するための技術として、フェーズドアレイ気象レーダを開発した^{(5), (6)}。このレーダでは、アンテナ面に配置する素子において、全方向を全て電子的に走査するのではなく、方位角方向を機械駆動で行い、仰角方向だけを電子走査で行う。また、この電子走査では、仰角ビーム幅の広いファンビームを送信し、デジタルビームフォーミング (DBF) 技術によって送信ファンビームが照射する仰角範囲に複数のビームを同時に形成し、降水粒子などからの反射電波を一度に受信することで複数仰角を同時に観測する。これにより、方位方向に1回転させることで、10～30秒で3次元 (3D) 空間全てを同時に観測することを可能にした (**図6**)。



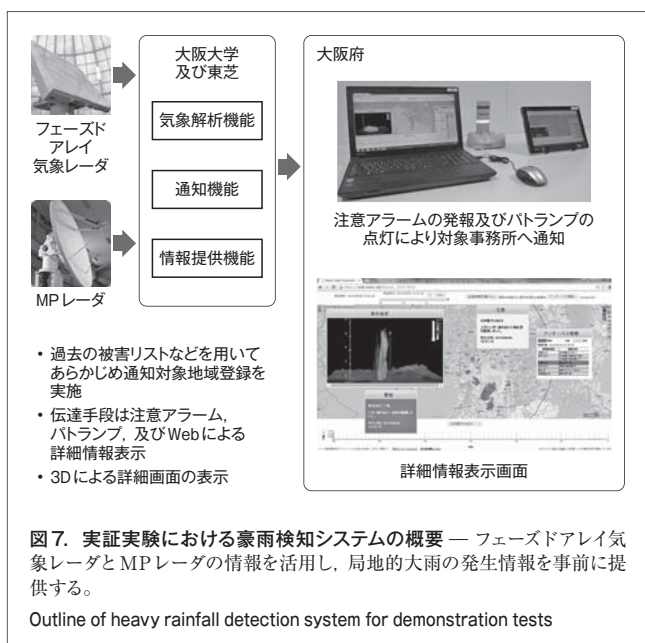
2.3.2 フェーズドアレイ気象レーダ情報の活用 当社

は、観測技術の開発だけでなく、レーダ情報の活用技術についても併せて開発を進めている。現在、内閣府「総合科学技術・イノベーション会議」が主導する「戦略的イノベーション創造プログラム」(SIP)の課題「レジリエントな防災・減災機能の強化」プロジェクトが進められている。この中の一つに、「豪雨・竜巻予測技術の研究開発」があり、国立大学法人大阪大学(以下、大阪大学と略記)、大阪府、及び当社の3者で、フェーズドアレイ気象レーダを活用し、局地的大雨や集中豪雨の発生の予兆を検知するシステムの実証実験を2015年7月より開始した^{(7),(8)}。

この実証実験で用いるシステムの概要を図7に示す。フェーズドアレイ気象レーダ及び国土交通省などで整備を進めているMPレーダのデータを併せて解析し、局地的大雨の発生情報を事前に提供する。この結果は、大阪府の水防本部や出先事務所などに設置されたシステムに注意アラームを発報するとともに、パトランプを点灯させて通知する。このシステムを大阪府内10か所で運用し、防災対策における有効性の検証を行うものである。

実証実験期間中の8月に発生した局地的大雨では、被害発生に対して、事前の適切な時間帯に注意アラームを発報できたなど、一定の成果が得られている。今後も様々な検討やシステムの機能改善を行いながら、実証実験を進めていく予定である。

このようなレーダを活用したシステムが実用化されれば、自治体などで局地的大雨に対し、下水処理場や雨水対策施設の運転、水防活動における事前防災などに役立つことをはじめとし、浸水などのリスク低減に広く貢献すると期待できる。



3 あとがき

健全な水循環を維持する、浸水などのリスク低減に貢献する雨水対策ソリューションの取組み事例について述べた。今後は、雨水対策の視点にとどまらず、「下水道技術ビジョン」⁽⁹⁾にある“流域圏管理”的な視点も考慮する必要があると考えている。引き続き、雨水対策に関わる様々な技術開発及びソリューションの提供を通じて、健全な水循環の実現に貢献していく。

文献

- (1) 国土交通省. “水循環基本法について”. 第12回水資源開発分科会. 2014-07. 国土交通省. 2014. 参考資料2. <<http://www.mlit.go.jp/common/001048585.pdf>>. (参照 2016-04-28).
- (2) 国土交通省. “下水道政策研究委員会【新下水道ビジョン】(平成26年7月策定)”. 国土交通省. <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000307.html>. (参照 2016-04-28).
- (3) 平岡由紀夫 他. “降雨レーダー情報を活用した雨水管理技術”. 平成27年電気学会産業応用部門大会講演論文集. 大分, 2015-09. 電気学会. 2015. p.V-123 - V-126.
- (4) 国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所. 多摩川水系浅川浸水想定区域図(八王子市). 京浜河川事務所, 1p. <http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000046996.pdf>. (参照 2016-04-28).
- (5) 水谷文彦 他. 豪雨など極端気象の兆候を捉えるフェーズドアレイ気象レーダ. 東芝レビュー. 69. 12. 2014. p.15 - 18.
- (6) 石井孝典 他. “局地的豪雨を予測するフェーズドアレイ気象レーダの実用化と下水施設運用への適用”. 第50回下水道研究発表会予稿集. 東京, 2013-07. 日本下水道協会. 2013. p.199 - 201.
- (7) 内閣府 政策統括官(科学技術・イノベーション担当). 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)レジリエントな防災・減災機能の強化(リアルタイムな災害情報の共有と利活用)研究開発計画. 内閣府, 2016-03, 25p. <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/8_bousai.pdf>. (参照 2016-05-10).
- (8) 大阪大学, 大阪府, 及び東芝. “ゲリラ豪雨発生の予兆を高速・高精度に検知 阪大の気象レーダを活用した豪雨検知システムの実証実験を開始”. 東芝プレスリリース. <http://www.toshiba.co.jp/about/press/2015_07/pr_j0602.htm>. (参照 2016-04-28).
- (9) 国土交通省 水管理・国土保全局下水道部; 国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部. 下水道技術ビジョン. 国土交通省, 2015-12, 98p. <http://www.nilim.go.jp/lab/eag/gijyutsuvisuion_honbun.pdf>. (参照 2016-04-28).



平岡 由紀夫 HIRAOKA Yukio

インフラシステムソリューション社 水・環境システム事業部 水・環境システム技術第一部主務。上下水道システムに関する開発に従事。計測自動制御学会, 電気学会会員。技術士(総合技術監理部門, 上下水道部門)。Water & Environmental Systems Div.



山中 理 YAMANAKA Osamu, D.Eng.

エネルギーシステムソリューション社 電力・社会システム技術開発センター プラントシステム・ソリューション開発部主査, 博士(工学)。上下水道制御システムの研究・開発に従事。計測自動制御学会, 電気学会, 環境システム計測制御学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center