

# 雨量レーダを用いた雨水排水対策システムと 局地的豪雨の予測技術

Rainwater Drainage System with Rainfall Radar and Local Torrential Downpour Prediction Technology

小林 義孝

和田 将一

■ KOBAYASHI Yoshitaka

■ WADA Masakazu

近年頻発している局地的豪雨、いわゆるゲリラ豪雨によって、下水道の雨水排水関連施設の運用が以前よりも困難になってきている。

東芝は、広範囲かつ詳細に雨量を観測できる雨量レーダを中心とした雨水排水対策システムによって、この問題に取り組んできた。当社の雨水排水対策システムを導入することで、ユーザーは雨量情報をより詳細に把握でき、適切なタイミングで施設の運用を行うための支援情報を得ることができる。更に当社は、フェーズドアレイレーダ雨量計の開発を進めている。高時間分解能で積乱雲を立体観察できるフェーズドアレイレーダ雨量計により、従来は困難であるとされたゲリラ豪雨の予測を可能にし、新たな雨水排水対策を提供することができる。

Proper operation of rainwater drainage facilities has become increasingly difficult due to local torrential downpours that have frequently occurred in recent years.

Toshiba has been focusing on the development of rainwater drainage systems based on rainfall radars that can precisely monitor rainfall over a wide range. This system offers users not only more detailed rainfall information but also supporting information to optimize the operation of drainage facilities. Furthermore, we are developing an innovative rainwater drainage system using phased-array radar, which makes it possible to predict local torrential downpours by analyzing cumulonimbus clouds in three dimensions with high time resolution.

## 1 まえがき

近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる突発的で局地的な豪雨による被害が各地で報告されている。ゲリラ豪雨により“突発的に”、“局地的に”降った雨水は、地面が舗装されている都市部においては大半が下水道に流出し、末端の雨水ポンプ場まで急激な速度で流下する。雨水ポンプ場では、雨水ポンプを運転することで雨水を河川や海に放流するが、急激な流入により適切なタイミングでの施設運用が以前に比べて困難になってきている(図1)。

東芝は、東京都下水道局に雨量レーダシステムを1988年に納入したのを皮切りに、雨量レーダを中心とした雨水排水対策システムの技術開発によりこの問題に対処している。ここでは、当社の雨水排水対策システム技術の概要とレーダ技術の最新トレンドを紹介するとともに、ゲリラ豪雨を予測するために開発中のフェーズドアレイレーダ雨量計について述べる。

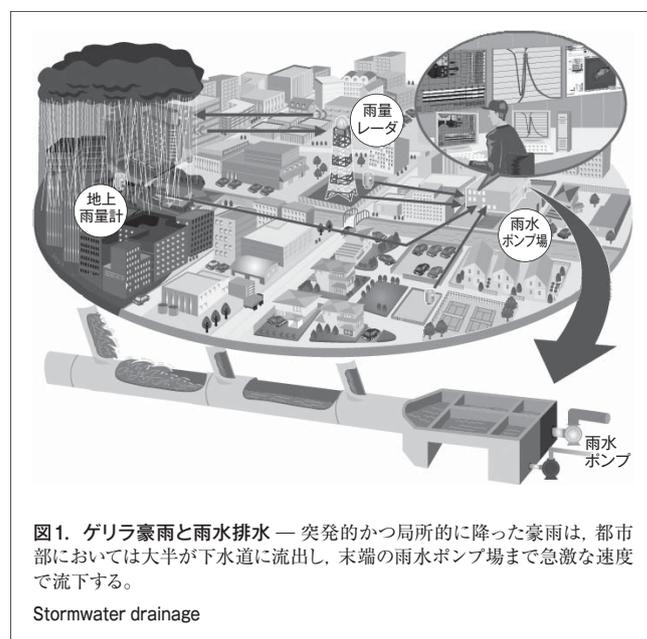


図1. ゲリラ豪雨と雨水排水 — 突発的かつ局所的に降った豪雨は、都市部においては大半が下水道に流出し、末端の雨水ポンプ場まで急激な速度で流下する。

Stormwater drainage

## 2 下水道での雨水排水の課題

降雨時の下水道の役割とは、雨水排水関連施設を適切に運用することによって都市を浸水から守ることである。地上に降った雨水は、下水道に流出するものと地面に浸透するものがあるが、地面が舗装されている都市部ではその大半が下水

道に流出する。下水道に流出した雨水は複雑な管網を経由して雨水ポンプ場に到達し、雨水ポンプにより河川や海に放流される。

この下水道における雨水排水には、次に述べるような課題がある。

## 2.1 雨量観測 (課題1)

下水道の場合、1か所の雨水ポンプ場が管轄する雨水排水区は数百ha程度の広さである。雨量情報は雨水ポンプ場の運転管理上の重要情報であるが、一般的には雨水ポンプ場内に設置された地上雨量計1台からの雨量情報だけを使用していることが多い。

近年、降雨が局所的で突発的になってきていることを考えると、降雨情報は空間・時間分解能ともに高いことが望ましく、地上雨量計だけで雨量を観測することは十分ではない。

## 2.2 浸水対策 (課題2)

豪雨が降った際に都市を浸水から守るため、雨水ポンプや関連する雨水排水施設を最大限に有効活用することが望ましいが、将来の降雨量や流入量が予測できないため最適な施設運用が行えない。

## 2.3 合流改善 (課題3)

雨水と汚水が同一管内を混在して流れる合流式下水道では、雨天時に管内の汚濁負荷が河川や海に放流される、いわゆる合流改善の問題がある。

わが国では、放流水の生物化学的酸素要求量 (BOD: Biochemical Oxygen Demand) を一定基準以下 (現在は70 mg/L、将来は40 mg/Lに変更される予定) に法規制により抑える必要があるが、雨水滞水池などの合流改善設備がない雨水ポンプ場では対策が進んでいないことが多い。

## 2.4 雨天時不明水 (課題4)

雨水管と污水管が完全に分離している分流式下水道では、雨天時に雨水は雨水管を流れるので污水管は水量が増えないはずである。しかし実際には、污水管に雨水が混入して水量が増える問題がある。混入の原因は誤接続や管の亀裂 (きれつ) など様々だが、混入箇所が特定できないために対策が難しい。

# 3 雨量レーダを用いたシステム技術

当社は、2章で述べた課題を解決する手段として、雨量レーダを中心とした雨水排水対策システムを提供している (図2)。このシステムは、雨量レーダで観測した雨量情報を中央処理装置から雨水ポンプ場の各端末に配信する構成を基本としており、必要に応じて各端末に流入量予測やポンプ運転支援などの支援情報を表示することができる。

この雨水排水対策システムでは、2章で述べた雨水排水の各課題に対処するため、以下に示す取組みを行っている。

### 3.1 雨量レーダによる詳細観測

下水道用途では、雨量レーダを用いることで課題1で述べた雨量観測の課題を解決できる。

下水道用途で一般的に用いられる当社のXバンド雨量レーダの場合、半径20 kmまでの範囲は250 mメッシュで雨量の

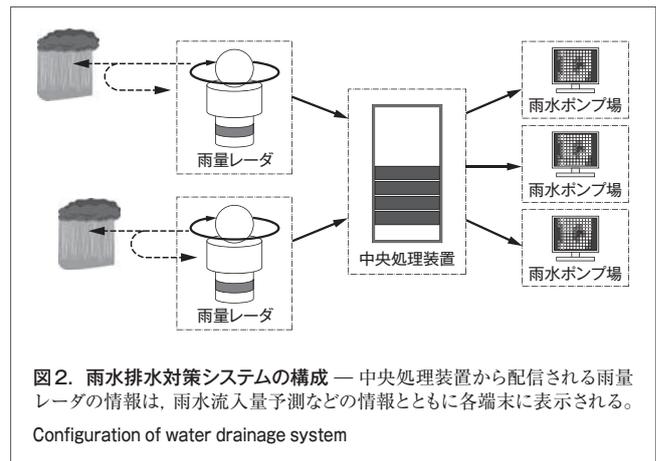


図2. 雨水排水対策システムの構成 — 中央処理装置から配信される雨量レーダの情報は、雨水流入量予測などの情報とともに各端末に表示される。  
Configuration of water drainage system

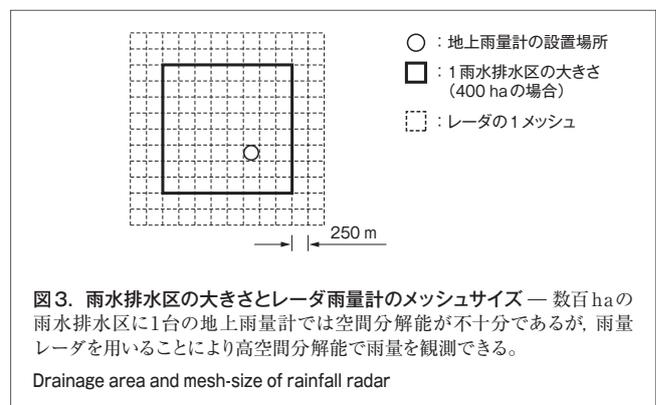


図3. 雨水排水区の大きさとレーダ雨量計のメッシュサイズ — 数百haの雨水排水区に1台の地上雨量計では空間分解能が不十分であるが、雨量レーダを用いることにより高空間分解能で雨量を観測できる。  
Drainage area and mesh-size of rainfall radar

観測が可能となる。1雨水排水区の大きさを2 km四方 (= 400 ha)、雨水排水区内の雨水ポンプ場に地上雨量計が1台設置されているケースと比較すると、64倍に相当する空間分解能で観測できる (図3)。

また、地上雨量計は、積算で0.5 mmの雨が降ったときに1パルスを発信する仕組みとなっているため、10 mm/hの雨では3 minに1度しか雨量パルスが発信されない。これに対し雨量レーダでは、1 minに1回雨量情報を更新することができ、時間分解能も向上する。

### 3.2 雨水流入量予測とポンプ運転支援

課題2の浸水対策と課題3の合流改善については、雨水流入量予測技術とポンプ運転支援技術が有効である。

雨水流入量予測技術とは、約10 min先の雨水流入量を予測する技術であり、雨水流入量の予測値と天候モードの判定などを組み合わせて雨水ポンプの運転方案を決定する仕組みである。この技術を浸水対策に適用することで、浸水のリスクを低減できる。また、合流改善用途に適用することで、小雨時に汚濁負荷の流出を大幅に抑制することが可能になる<sup>(1)</sup>。

ここで重要になるのは、雨水流入量予測の演算に必要な時間である。一般的な流出解析ソフトウェアの場合、雨水の流れを水理学的に計算するため膨大な計算量となり、計算に数

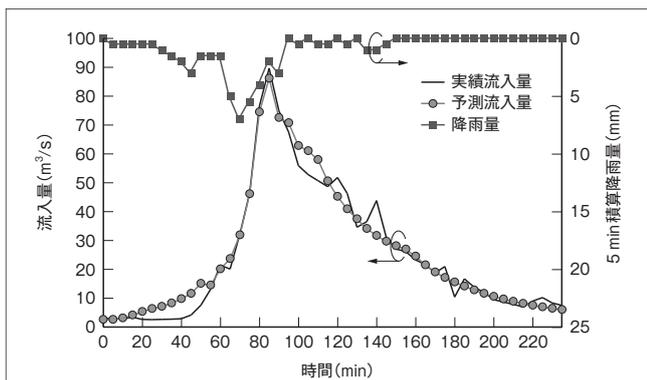


図4. システム同定法による雨水流入量予測 — システム同定法を用いて計算量を大幅に削減し、流出解析ソフトウェアと同等の精度でありながら、1 min 以内の演算速度を実現している。

Stormwater prediction using system identification approach

分かかるが、当社は過去の降雨量、流入量、ポンプ運転状況などのデータを用いてモデルを構築するシステム同定法を用いて計算量を大幅に削減し、流出解析ソフトウェアと同等の精度でありながら、リアルタイム用途に十分活用できる1 min 以内の演算速度を実現している(図4)<sup>(2), (3)</sup>。

### 3.3 雨量レーダのオフライン解析

課題4の雨天時不明水の解決にも雨量レーダの情報を役立てることができる。

雨天時不明水で一番の問題は不明水の混入箇所が特定できないことであるが、雨量レーダで観測した情報を数年分蓄積し、雨量情報と不明水量の相関をとることで不明水の混入箇所を絞り込むことが可能となる。

## 4 レーダ技術の最新トレンド

3章では主に、降雨が観測されて以降の当社の雨水排水対策システムに適用されている技術について述べたが、ここでは、雨量レーダに求められるレーダ技術の最新トレンドについて述べる。

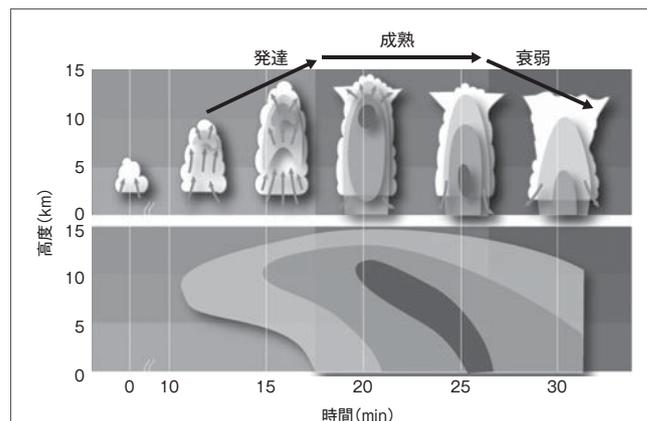
### 4.1 MPレーダ

雨量レーダの観測精度を向上する手法としてMP(マルチパラメータ)観測技術がある。

MP観測技術とは、ドップラー効果を応用した風観測や水平と垂直の二つの偏波を利用した二重偏波観測により、従来の電波強度に加えて位相、偏波、風などの情報を得ることで精度良く雨量観測を行う技術である<sup>(4)</sup>。

### 4.2 送信部の固体化

従来の雨量レーダはマグネトロン管やクライストロン管など電子管を用いていたが、これらの電子管は、寿命が短い、交換の際に熟練技術者が必要になる、などの問題があり維持管理コストが高価となっていた。



出典：大気電気学<sup>(5)</sup>

図5. 積乱雲のライフサイクル(上段)とレーダエコー(下段) — 積乱雲は約30～60 minのサイクルで発達、成熟、衰弱を繰り返す。ゲリラ豪雨は衰弱期に発生し、降水がすべて落下すると雲は消滅する。

Life-cycle of cumulonimbus cloud

これに対して、当社は半導体素子を用いたXバンド固体化雨量レーダを開発した。送信部を固体化したことで寿命が大幅に向上するとともに、故障の際の交換作業も容易になった<sup>(4)</sup>。

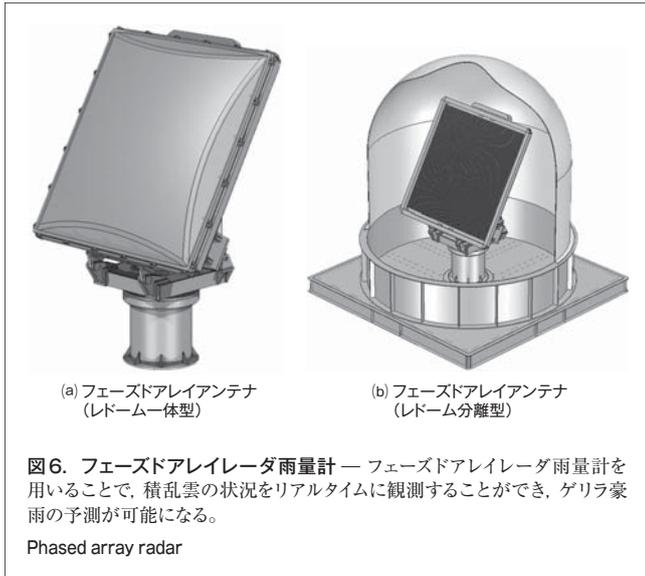
### 4.3 フェーズドアレイレーダ雨量計

一般に、ゲリラ豪雨は積乱雲と呼ばれる対流の激しい雲により引き起こされると言われている。積乱雲の高度は時には15 km 以上にも達することがあり、約30～60 minで成長し衰弱する。積乱雲の衰弱期には、積乱雲の核が下のほうに降りてくる現象が見られ、ゲリラ豪雨はこの衰弱期に発生することがわかっている。そのため、積乱雲の成長を時系列で追うことにより、ゲリラ豪雨の発生時期と場所を比較的精度良く予測することが可能になる(図5)<sup>(5)</sup>。

積乱雲を観測する方法の一つに、雨量レーダのCAPPI(Constant Altitude Plane Position Indication)観測がある。これは、雨量レーダの電波発射の仰角を徐々に上げていくことで立体的に積乱雲を観測する手法である。この手法は、従来の雨量レーダの運用方法を変えるだけで対応できるというメリットがあるが、一方で細密な立体観測をしようとするとスキャン周期が10 min 以上になってしまい、刻々と変化する積乱雲のライフサイクルに対して時間分解能が低いというデメリットがある。

当社は、このような問題を解決する製品として、フェーズドアレイレーダ雨量計を開発している(図6)。

従来の雨量レーダが一度に1本の電波しか受信できないのに対して、開発中のフェーズドアレイレーダ雨量計は、DBF(Digital Beam Forming)技術によって一度に数十本の電波を受信できることから、1 min 以内の周期で積乱雲の立体的な観測が可能になる<sup>(6)</sup>。1 min 以内に積乱雲の立体観測ができることは画期的であり、フェーズドアレイレーダ雨量計を用



いることで従来は困難であったゲリラ豪雨の予測が可能となり、被害軽減への寄与が期待される。

## 5 あとがき

ここでは、当社が開発した雨量レーダを中心とした下水道の雨水排水対策システムと雨量レーダの最新技術について述べた。

雨量レーダは、下水道向けに活用できるように高い空間・時間分解能を持つよう工夫された優れた製品であり、雨水排水施設の運転管理に有用な情報を提供できる。また、流入量予測技術とポンプ運転支援技術は、浸水対策や合流改善に対して有用な支援情報を提供可能で、浸水リスクの低減や小雨時の汚濁負荷の流出抑制に効果がある。また、開発中のフェーズドアレイレーダ雨量計は、従来は困難であったゲリラ豪雨の予測を可能にする画期的な製品であり、これにより雨水排水対策のあり方をも一変させる可能性がある。

これら当社の雨水排水対策システムの技術をわが国そして世界に広めることで、社会の安全・安心に貢献していく。

## 文献

- (1) 永森泰彦, ほか. 雨水対策を支援するシステム技術. 東芝レビュー. 61, 5, 2006, p.29-32.
- (2) 山中 理, ほか. システム同定技術の雨水対策システムへの適用. 東芝レビュー. 57, 12, 2002, p.72-73.
- (3) 山中 理, ほか. Hammerstein型非線形モデルを用いたシステム同定手法による下水道雨水流入量予測. 電気学会論文誌D. 120-D, 4, 2000, p.566-573.
- (4) 水谷文彦, ほか. 局地的豪雨や突風を監視する9GHz帯固体化MPレーダ. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.62-65.
- (5) 北川信一郎, ほか. 大気電気学. 東京, 東海大学出版会, 1996, 200p.
- (6) 吉田 孝. 改訂 レーダ技術. 東京, 電子情報通信学会, 1996, 320p.



小林 義孝 KOBAYASHI Yoshitaka

社会システム社 水・環境エンジニアリングセンター 水・環境システム技術部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。

Water & Environmental Engineering Center



和田 将一 WADA Masakazu, D.Eng.

社会システム社 電波システム事業部 電波システム技術部 参事, 工博。気象防災システムのエンジニアリング業務に従事。

Defense & Electronic Systems Div.