

第2章 技術の概要

第1節 本技術の目的と概要

§5 本技術の目的

本技術は、主として局所的集中豪雨における降雨や下水管路内水位、内水による浸水予測等の情報をリアルタイムに提供し、既存の浸水対策施設を最大限活用するための運転を支援することで、内水による浸水被害の軽減を実現させ、また、住民の自助・共助を促進することを目的とする。

【解説】

近年、頻発する下水道施設の整備水準を超える局所的集中豪雨時における内水による浸水被害が顕在化している。一方、自治体の財源が厳しい状況においては、新たなハード施設への投資は困難であり、早急に対応することが難しい。このため、下水道の計画降雨に対応したハード整備を進めつつ、現状の整備水準を上回る降雨に対しては、既存の浸水対策施設を最大限活用するための運転制御や住民の自助・共助等に有用な情報を提供することで内水による浸水被害を軽減することが求められている。

なお、自助・共助は表 2-1 に示すように、災害時だけではなく平常時や災害後の復旧時における活動も含まれる。したがって、災害の発生を事前に予測し、それに関する情報を適切に提供できれば、図 2-1 に示すような災害発生前や直後における早期の情報伝達および事前行動によっても被害の軽減が期待できる。また、下水道事業が対象とする内水による浸水は、一般的に外水氾濫時と比べて発生頻度は大きいものの、浸水深等の被害規模は小さいため、止水板の設置や土のう積み等による自宅の浸水防止、2階への家財の移動や浸水地区からの車両の移動など資産への直接的な被害を抑えるための行動による効果が期待しやすい。内水による浸水に対する自助・共助の主なメニューを表 2-2 に示す。

一方、図 2-2 に示すとおり、これまでは、既存の浸水対策施設を効果的に運転するために必要な下水道排水区単位での雨量や下水管路内水位の予測情報を得ること、自助・共助活動に必要な時間の確保等が難しい状況にあった。

そこで、本技術は、レーダ雨量計によりきめ細かな降雨量を把握し、これに基づき降雨予測を行い、さらに流出解析を短時間で実施する。これにより、下水管路内水位、内水による浸水の予測情報をリアルタイムに提供することが可能となり、この情報をもとに既存の浸水対策施設を効果的に運転支援することや、住民への情報配信を行うことで、内水による浸水被害の軽減や自助・共助活動の促進を実現させるものである。

表 2-1 防災活動の例

①平常時	②発災直前	③災害時	④復旧・復興期
<ul style="list-style-type: none"> ・防災訓練，避難訓練（情報収集・共有・伝達訓練を含む） ・活動体制の整備 ・連絡体制の整備 ・防災マップ作成 ・避難路の確認 ・指定緊急避難所，指定避難所等の確認 ・要配慮者の保護地域で大切なことの整理 ・食料等の備蓄 ・救援技術の取得 防災教育等の普及啓発活動 	<ul style="list-style-type: none"> ・情報収集・共有・伝達 ・連絡体制の整備 ・状況把握（見回り・住民の所在確認等） ・防災気象情報の確認 ・避難判断，避難行動等 	<ul style="list-style-type: none"> ・身の安全の確保 ・出火防止，初期消火 ・住民間の助け合い ・救出及び救助 ・率先避難，避難誘導，避難の支援 ・情報収集・共有・伝達 ・物資の仕分け・炊き出し ・避難所運営，在宅避難者への支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・被災者に対する地域コミュニティ全体での支援 ・行政関係者，学識経験者等が連携し，地域の理解を得て速やかな復旧・復興活動を促進
・消防団，各種地域団体，ボランティア等との連携			

※地区防災計画ガイドライン（平成26年3月，内閣府）から抜粋

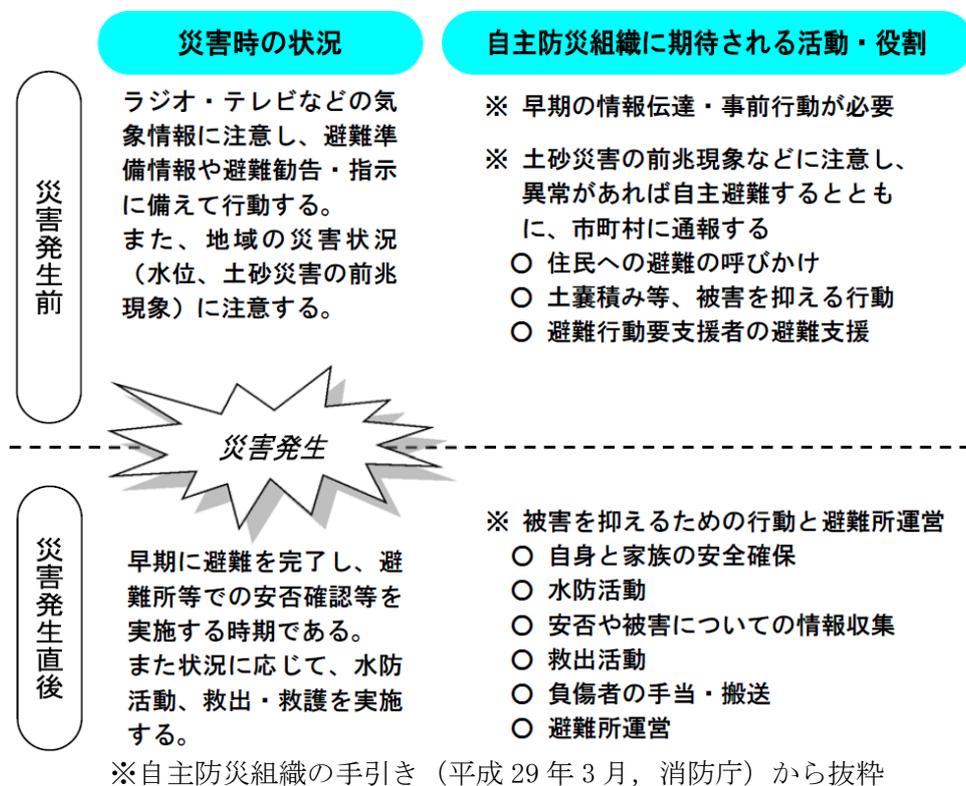


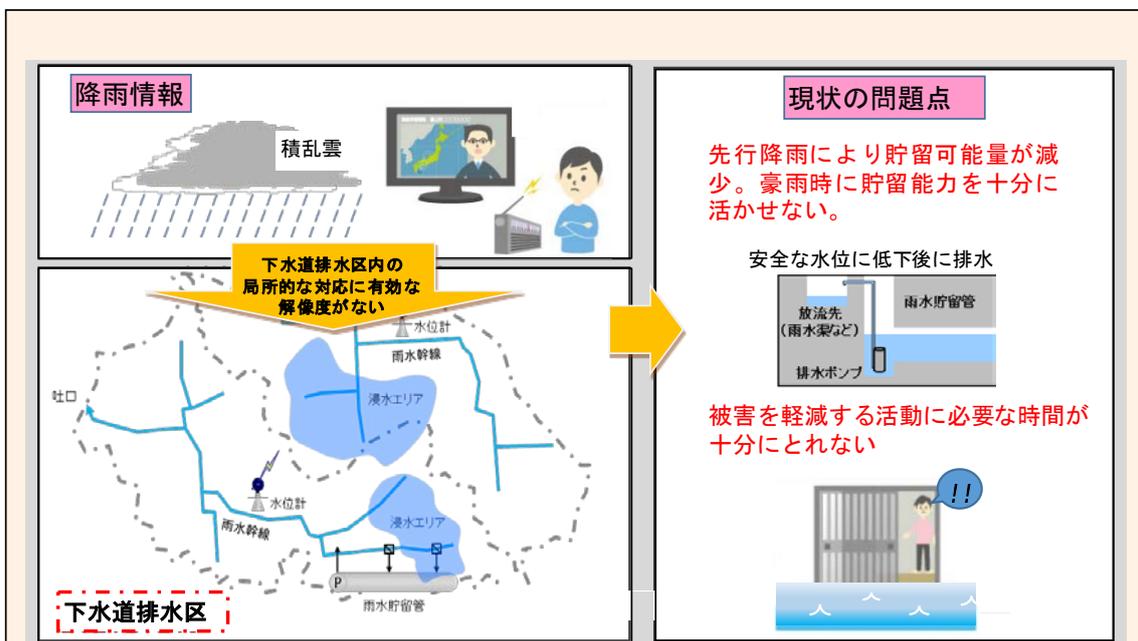
図 2-1 風水害時の主な活動

表 2-2 内水による浸水に対する自助・共助の主なメニュー^{6) , 7)}

区分		対策手法・対策例
自助 ・ 共助	ハード対策	・地下施設等の止水板の設置・耐水化, 浸水時の土のう設置
		・地下(半地下)式駐車場の対応策
		・各戸の貯留・浸水施設の設置
		・建物の耐水化
		・地下室等の建築時の配慮
	ソフト対策	・道路雨水ますの清掃
		・土のう積み・体験訓練
		・避難所, 避難経路等の確認, 自主避難訓練
		・高齢者等被害時要救護者の支援
		・非常時持ち出し品の確保
		・災害ボランティアとの連携
		・2階等への家財の移動
		・地下車庫や浸水が予想される地区からの車両の移動
		・自宅にとどまることが困難な場合における避難所等への避難
・安全確保できる場所への移動(浸水しない場所・自宅の上階等)		
・住民間の声掛け・情報共有		

※下水道浸水被害軽減総合計画策定マニュアル(案)平成28年4月より自助・共助部分を抜粋し一部加筆

<本技術導入前>



<本技術導入後>

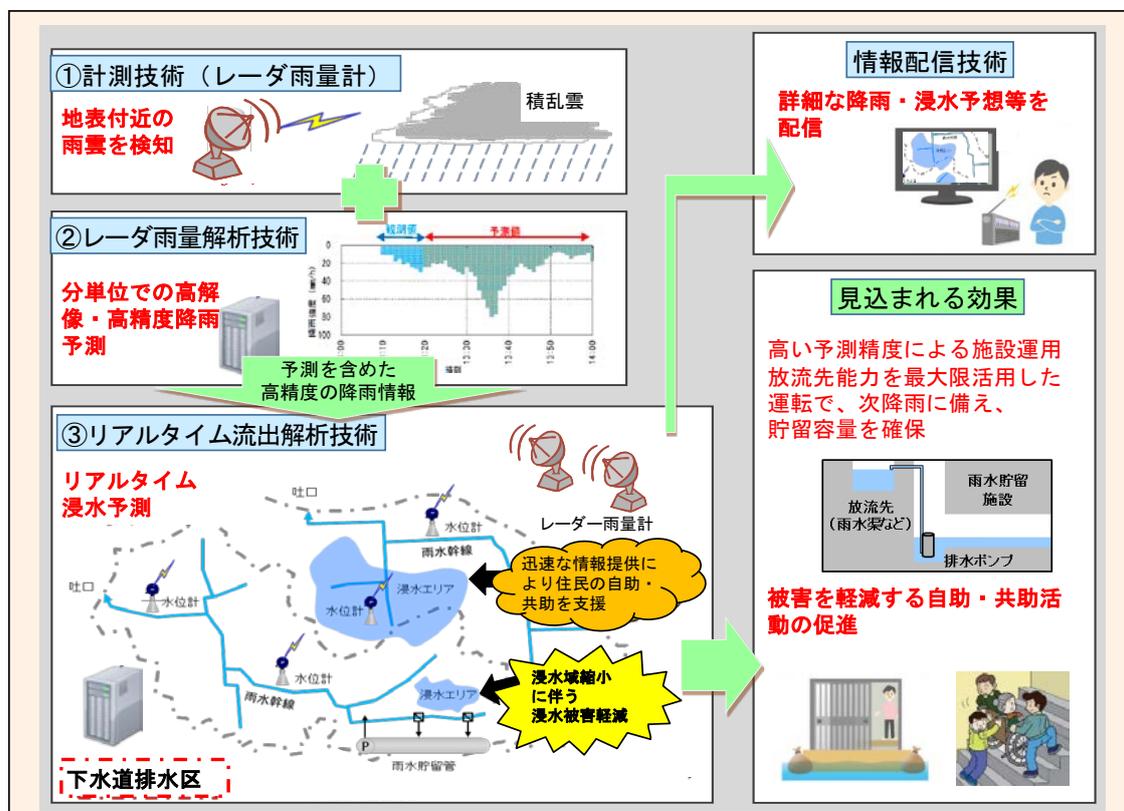


図 2-2 本技術導入後に見込まれる効果

§6 本技術の概要

本技術は、既存もしくは新たな要素技術の組合せにより、既存の浸水対策施設をより効果的に運転するために必要な支援情報や、自助・共助の促進に向けた支援情報を提供することで、内水による浸水被害の軽減を目指すものである。

【解 説】

本技術は、図2-3に示すとおり、レーダ雨量計、地上雨量計、水位計等の「計測技術」、「レーダ雨量解析技術」、「リアルタイム流出解析技術」、「データ収集技術」、「情報配信技術」および「情報通信技術」の要素技術を組合せた技術である。

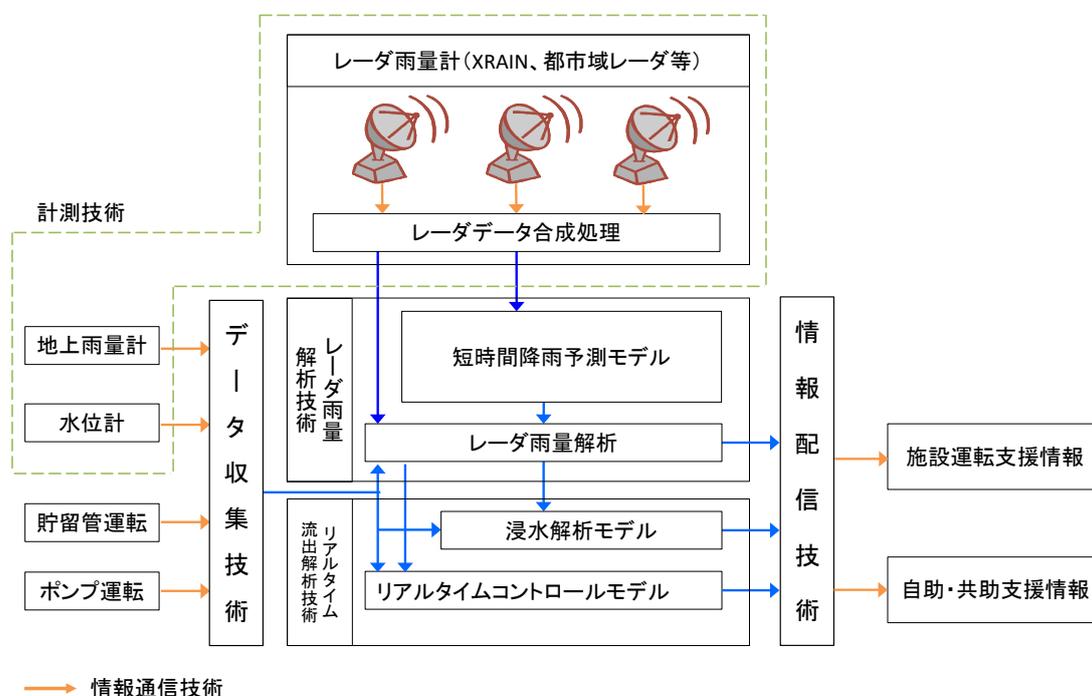


図2-3 本技術の要素技術構成

なお、実証研究においては、既存 XMP の定量観測範囲 (※) 外や、電波消散等により欠測が発生しやすい定量観測範囲周辺部において、既存 XMP と同程度の精度で降雨観測を行うこと等を目的に、「計測技術」におけるレーダ雨量計として都市域レーダを用いた。XMP と都市域レーダとの違いや都市域レーダの有効性については、§9 を、実証研究で用いた技術の詳細については資料編 1.1 をそれぞれ参照のこと。

※ 定量観測範囲とは、出水期において、上空から落下する氷の粒が融けて雨の粒に変わる高さ (融解層) よりも低い高度の雨量を観測できる範囲である。

(出典：国土交通省川の防災情報ホームページ <http://www.river.go.jp/x/notes3.html>)

§7 本技術の特徴

本技術は、レーダ雨量計により観測された降雨データに基づき短時間降雨予測を行い、合わせて流出解析を短時間で実施することで、下水管路内水位や内水による浸水等の予測情報をリアルタイムに提供することが可能である。技術の特徴は以下のとおりである。

- (1) 既存の浸水対策施設の運転支援による浸水被害軽減の実現
- (2) 情報配信による自助・共助支援の促進

【解説】

本技術は、レーダ雨量計により観測された降雨データに基づき短時間降雨予測を行うとともに、流出解析を短時間で実施し、下水管路内水位や内水による浸水等の予測情報をリアルタイムに提供することで、既存の浸水対策施設の運転支援による浸水被害軽減や、情報配信による自助・共助支援の促進を実現する技術である。

(1) 既存の浸水対策施設の運転支援による浸水被害軽減の実現

雨水貯留管、雨水ポンプ場等の浸水対策施設においては、通常、事前に設定された操作規則等に基づき運用されている。しかし、降雨の状況によって設計能力を十分発揮できない場合がある。例えば、雨水貯留管においては、図2-4に示すとおり、降雨が連続するような場合において、先行降雨による貯留により、規模の大きい次降雨に対する貯留可能量が減少することがある。

本技術は、このような場合において放流先の水位を予測し、放流先能力の範囲において排水ポンプを連続稼働し、次降雨に対する貯留可能量を最大限確保することで浸水被害軽減を実現するものである。

具体的には、ポンプの運転員等に対して貯留管内水位データやポンプ稼働状況、ポンプ運転判断情報等の支援情報を事前に配信し、施設運転支援を行うことによって浸水被害軽減を実現する。

(図 2-5)

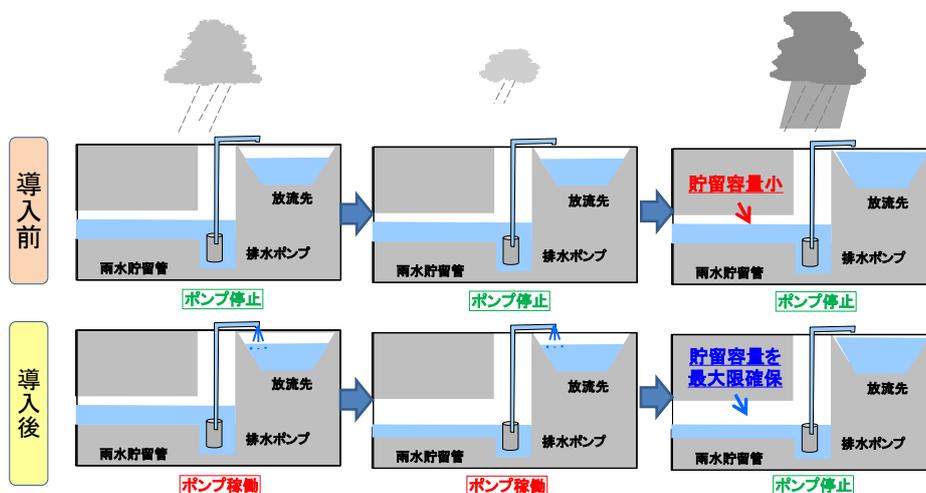
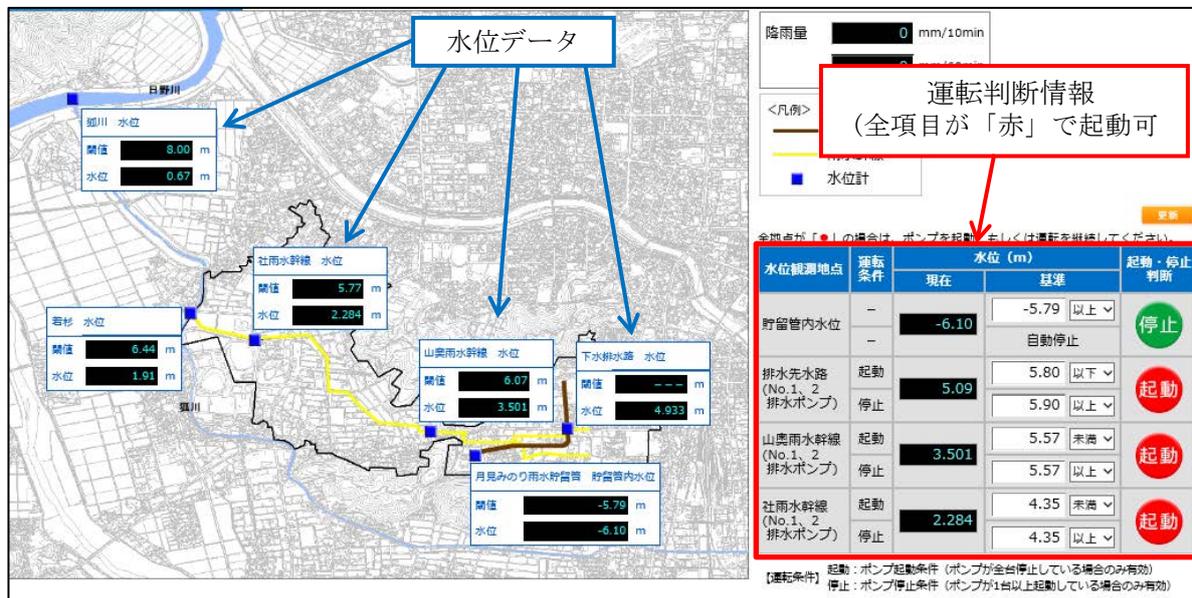


図 2-4 雨水貯留管における本技術の導入前後の運用例

<施設運転支援画面（平面図）>



<施設運転支援画面（貯留管断面図）>

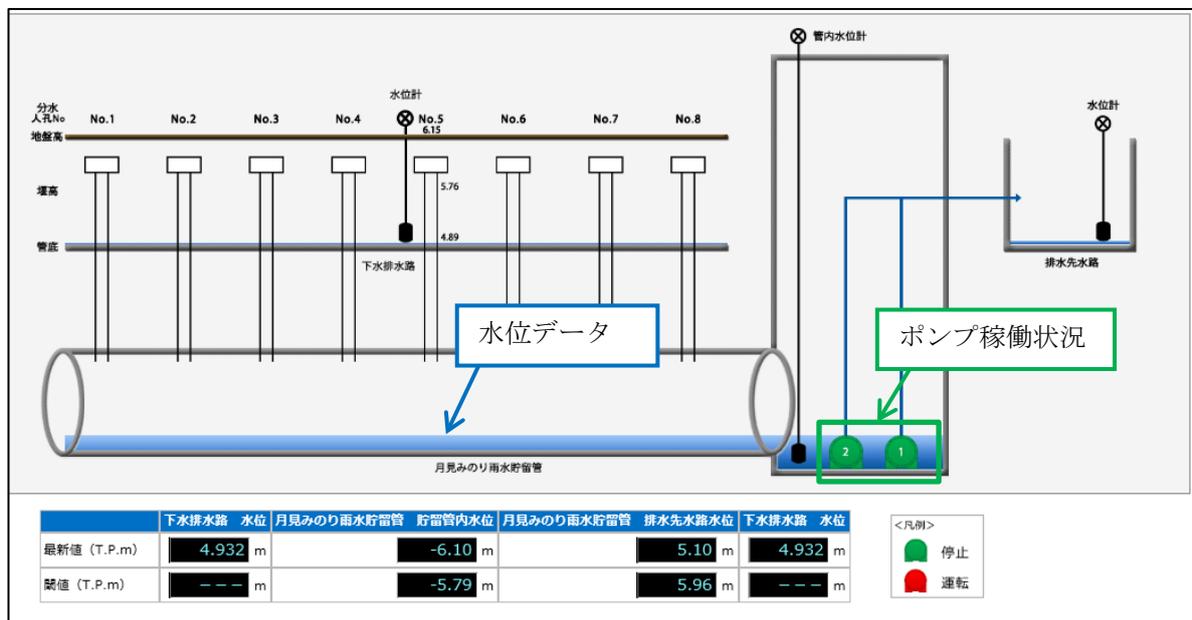


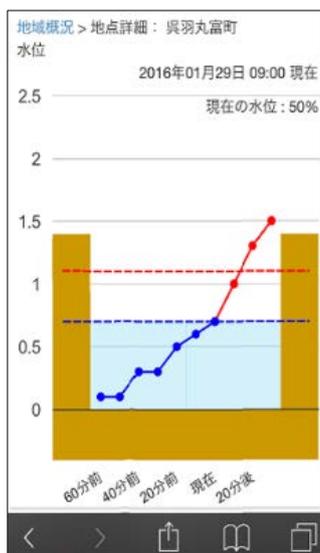
図 2-5 情報配信画面の例

(2) 情報配信による自助・共助の促進

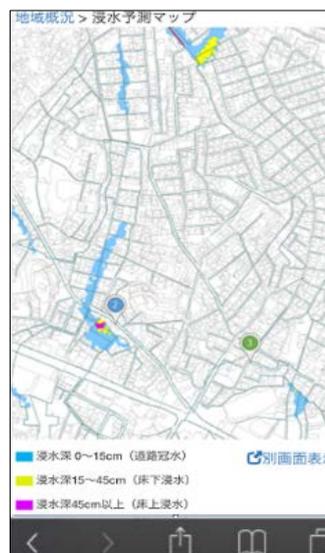
§5に示したように内水による浸水に対しては、災害発生直前および直後において、避難や高齢者等被害時要救護者の支援等の避難行動、土のう・止水板の設置による床下浸水の防止や家財・車の移動等の被害を軽減する活動、さらに住民同士の呼びかけ等の自助・共助活動を行うことで被害の軽減が期待できる。

これらの活動を促進するためには、下水管路内水位や内水による浸水の範囲や規模等といった浸水発生や、避難の必要性の有無に関する情報を、浸水被害軽減活動に必要なリードタイムを確保できるよう事前に配信する必要がある。

本技術は、住民に対して下水管路内水位や内水による浸水等の予測情報(図2-6)を事前に配信し、上述したような住民の自助・共助の促進を実現するものである。



下水道管路内水位画面 (例)



内水による浸水予想図画面 (例)

図 2-6 情報配信画面の例

第2節 本技術を構成する要素技術の概要

§ 8 技術を構成する要素技術の概要

本技術は、以下の要素技術から構成される。

- (1) 計測技術
- (2) データ収集技術
- (3) レーダ雨量解析技術
- (4) リアルタイム流出解析技術
- (5) 情報配信技術
- (6) 情報通信技術

【解 説】

(1) 計測技術

計測技術は、既存施設および対象区域における状況を把握するためのものであり、レーダ雨量計、地上雨量計および水位計で構成される。

1) レーダ雨量計

レーダ雨量計は、対象区域内の面的な降雨分布を把握するため必要である。既存のレーダ雨量計には、図 2-7 に示す国土交通省が設置している XRAIN の他、地方公共団体や研究機関が設置しているものがある。本実証研究において評価した都市域レーダについては、下水道による浸水対策の特性を踏まえ、XRAIN を始めとした既存レーダを補完するものである。

各レーダ雨量計では、配信方法やデータフォーマットが異なるため、利用にあたっては各機関に確認を行い、リアルタイム流出解析技術のソフトウェア等への読み込みの可否やデータ変換の必要性等について検討を行うことが必要である。なお、これらレーダ雨量計の特徴は、§ 9 を参照のこと。

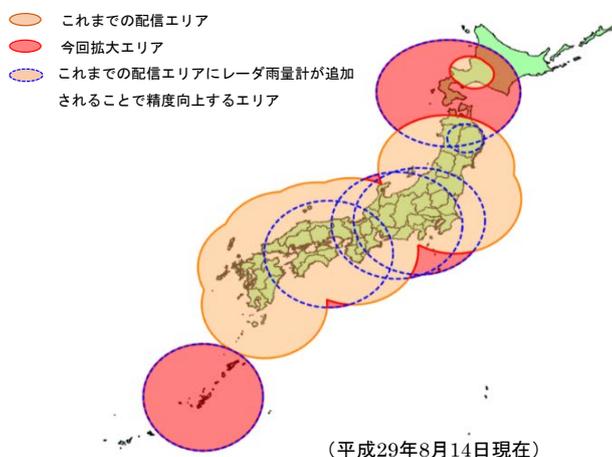


図 2-7 XRAIN 配信エリア (平成 29 年 8 月現在)

2) 地上雨量計

レーダ雨量計は電波により上空にある雨雲中の雨粒を観測することで雨量を計測する要素技術であり、風の影響等により地上での雨量と一致しない場合がある。このため地上雨量計は、対象区域内におけるレーダ雨量情報の精度を確認する目的で設置する。ただし、対象区域内に既存の地上雨量計がある場合は、それを活用する。なお、地上雨量計の特徴は、§9を参照のこと。

3) 水位計

水位計は、下水管路における水位変化を観測することを目的として設置する。観測した水位は、データ収集技術で収集し、下水管路内等の水位をリアルタイムで監視するとともに、リアルタイム流出解析技術で活用する。なお、水位計の特徴は§9を参照のこと。

(2) データ収集技術

データ収集技術は、降雨量、下水管路内水位、既存監視設備から浸水対策施設の運転状況等に関する情報を定周期で収集し、データベースへの保存、保存データの取り出しを行う。また、本技術はリアルタイムで情報提供し、施設の運転に活用することから、データ欠損、サーバ異常等により信頼性の低い情報を提供することになる場合は、それらの情報を合わせて提供する。なお、データ収集技術の特徴は§10を参照のこと。

(3) レーダ雨量解析技術

レーダ雨量解析技術は、レーダ雨量計で観測したデータに基づく短時間降雨予測を行うこと、また、観測降雨と予測降雨の雨量分布図等の配信に必要な情報に加工するための雨量データ処理を行う。なお、レーダ雨量解析技術の特徴は§11を参照のこと。

(4) リアルタイム流出解析技術

リアルタイム流出解析技術は、浸水対策施設の効果的な運用のための支援情報や、住民への自助・共助支援情報を提供するため、観測・収集した雨量や水位の計測値を入力し、リアルタイムで流出解析・浸水予測が可能なソフトウェアを用いて、下水管路内の水位や浸水状況を予測するものである。なお、リアルタイム流出解析技術の特徴は§12を参照のこと。

(5) 情報配信技術

情報配信技術は、レーダ雨量、下水管路内水位、リアルタイム流出解析技術における解析結果等を必要な情報に加工し配信する。なお、情報配信技術の特徴は§13を参照のこと。

(6) 情報通信技術

情報通信技術は、通信事業者が提供する専用線や一般回線、モバイル等の通信サービス等を用

いて、観測データや、本技術で作成、解析した施設運転支援や自助・共助支援に関する情報を利用者に伝達する。なお、情報通信技術の特徴は § 14 を参照のこと。

§9 計測技術の特徴

本技術で用いる計測技術は、以下の計測機器から構成される。

- (1) レーダ雨量計
- (2) 地上雨量計
- (3) 水位計

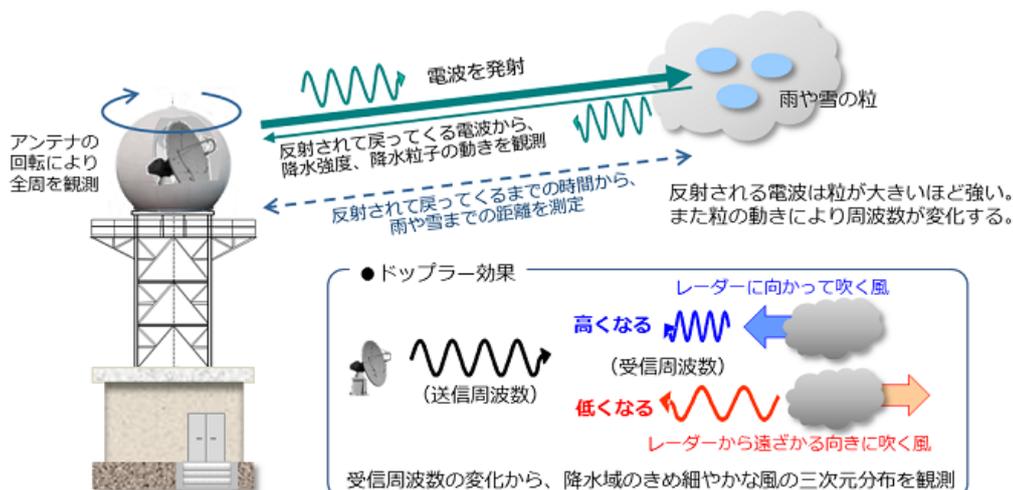
【解説】**(1) レーダ雨量計**

流達時間が1時間程度の下水道排水区域において、リードタイムを確保した上で情報提供を行うために必要なレーダ雨量計の性能は、1分間隔で下水道排水区域上空の降雨量を数十から数百メートル程度のメッシュサイズできめ細かく把握でき、下水道の水位予測に必要な数十分先までの予測を行うため、半径数十キロ程度の観測範囲を有する必要がある。これらの性能を満たす代表的なレーダ雨量計として、国土交通省が、豪雨監視体制の強化を目的に整備しているXMPおよびCMPを用いた「XRAIN (エックスレイン: eXtended RAdar Information Network (高性能レーダ雨量計ネットワーク) の略)」と呼ばれる観測ネットワーク、実証研究で使用した都市域レーダおよび地方公共団体が設置しているレーダ雨量計等がある。ここでは主なレーダ雨量計として、XRAINおよび都市域レーダについて説明する。

レーダ雨量計の観測原理を図2-8に、MPレーダの観測原理を図2-9に示す。雨量は、降雨により反射された電波の反射強度および偏平の度合いを表す偏波間位相差から算出される。なおXRAINにおいては図2-10に示すように、出水期において上空から落下する氷の粒が融けて雨の粒に変わる高さ(融解層)よりも低い高度の雨量を観測できる範囲を定量観測範囲として定めている。

主なレーダ雨量計の仕様を表2-3に示す。表2-3に示すこれらレーダ雨量計については、対象とする地域の状況に応じて適切なものを選定する必要がある。レーダ雨量計の選定については§20に示す。

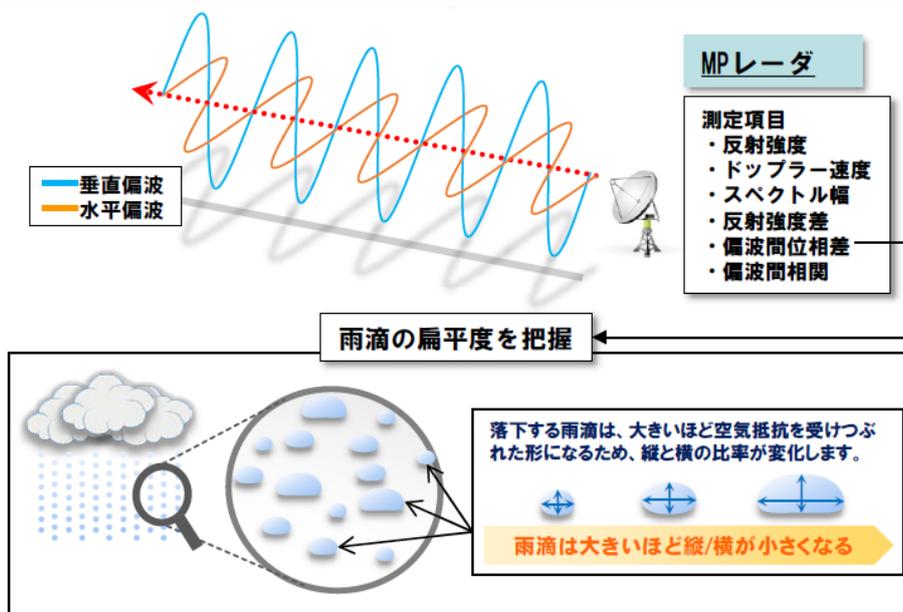
気象レーダーは、アンテナを回転させながら電波(マイクロ波)を発射し、雨を観測する。発射した電波が戻ってくるまでの時間から雨までの距離を測り、戻ってきた電波(レーダーエコー)の強さから雨の強さを観測する。また、戻ってきた電波の周波数のずれ(ドップラー効果)を利用して、雨の動きすなわち降水域の風を観測することができる。



出典: 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/radar/kaisetsu.html>)

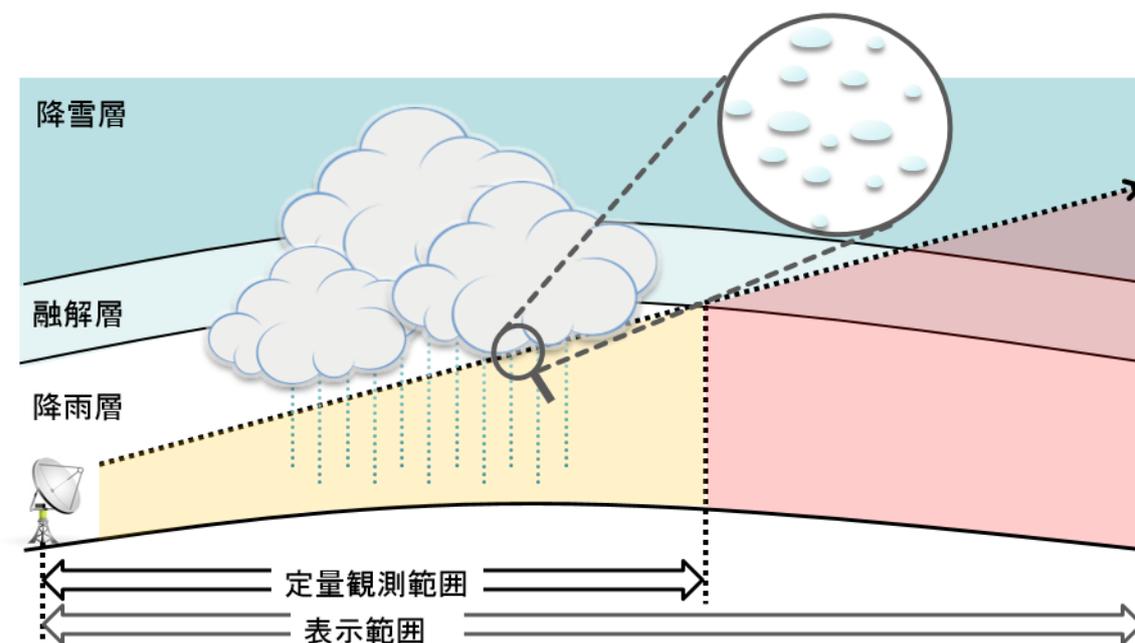
図 2-8 レーダ雨量計の観測原理

- ・MPレーダでは、2種類の電波(水平・垂直偏波)を送受信
- ・従来のレーダより多くの項目を測定することで、雨滴の形状等を把握
- ・雨滴の扁平度等から雨量を推定することで、高精度な観測が実現



出典: 国土技術政策総合研究所ホームページ (<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20160629.pdf>)

図 2-9 MP レーダの観測原理



出典：国土交通省川の防災情報ホームページ (<http://www.river.go.jp/x/notes3.html>)

図 2-10 XRAIN の観測範囲

表 2-3 主なレーダ雨量計の仕様

項目	都市域レーダ	XRAIN	
		XバンドMPレーダ (XMP)	CバンドMPレーダ (CMP)
観測範囲	半径 30km	半径 60km 程度 ※1	半径 120km 程度 ※1
降雨強度分解能	0.1mm/h	0.1mm/h ⁸⁾	降雨強度範囲により変化 ⁸⁾ 0.1 mm/h (0~ 2mm/h) 0.25 mm/h (2~ 5mm/h) 0.5 mm/h (5~ 10mm/h) 1.0 mm/h (10~180mm/h) 2.0 mm/h (180mm/h 以上)
配信周期 (※3)	1分	1分 ⁹⁾	1分 ⁹⁾
距離分解能	75m (※2)	150m 以下 ⁹⁾	250m ⁹⁾
ビーム幅	2.7°	1.2° 以下 ⁹⁾	0.7° 以下 ⁹⁾
観測網	福井市 (3基) 富山市 (3基)	観測網に入らない 地域がある 39基レーダ設置済 (H29年8月時点)	全国をカバー 14基のCMPが稼働 (H29年8月時点)

※1 出水期における定量観測範囲の目安であり、設置場所や季節で異なる。

※2 実証研究開始時は、距離分解能 50m でレーダ観測し、精度検証を実施したが、今後予定されている電波法関係法令改正の内容に従い、実証研究期間中に距離分解能を 75m に変更し、観測精度検証を実施した。結果、距離分解能 50m と 75m の観測精度は同程度であったことを確認した。なお、詳細については資料編 3.3.6 を参照のこと。

※3 雨量データが実際にユーザーへ配信される周期。

1) XRAIN

①XMP

XRAIN に用いられている X バンド MP レーダのことで、主に平野部に配置しており、39 箇所（平成 29 年 8 月時点）で主に都市部をカバーしている。後述の CMP と組み合わせることで、XRAIN の配信エリアが大幅に拡大した。

②CMP

XRAIN に用いられている C バンド MP レーダのことで、既存の C バンドレーダを MP 化（マルチパラメーター化）して、高精度・高分解能・高頻度に改良したレーダ雨量計である。CMP は平成 29 年 8 月時点で 14 基が稼働している。

2) 都市域レーダ

① 都市域レーダの概要

都市域レーダは小型 X バンド MP レーダであり、XMP と比較すると観測範囲は半径 30km と狭いものの、小型・軽量かつ下水道排水区域をカバーする 10km 程度の範囲において、XMP と同程度の降雨観測精度を有している。

一般的にレーダ雨量計は遠方になるほど観測精度が低下する傾向がある。このため図 2-11 に示すとおり、都市域レーダは、XMP の定量観測範囲外や XMP の定量観測範囲周辺部に位置する都市での活用を想定している。また、下水道での浸水対策において XRAIN が提供している情報よりも、より詳細な情報が必要となる都市においても同様に活用を想定している。以下に、都市域レーダの特徴を示す。

- ・小型軽量（アンテナ径 0.75m，レドーム径約 1m，重量約 68kg であり設置性に優れる）
- ・観測範囲（半径 30km を観測することで、最大 30 分前から雨雲を捉えることが可能）
- ・雨量データメッシュサイズ（75m×75m と細かく，細密な下水道管網に対応可能）
- ・配信周期（時々刻々と変化する局所的集中豪雨等の降雨量を 1 分周期で配信可能）

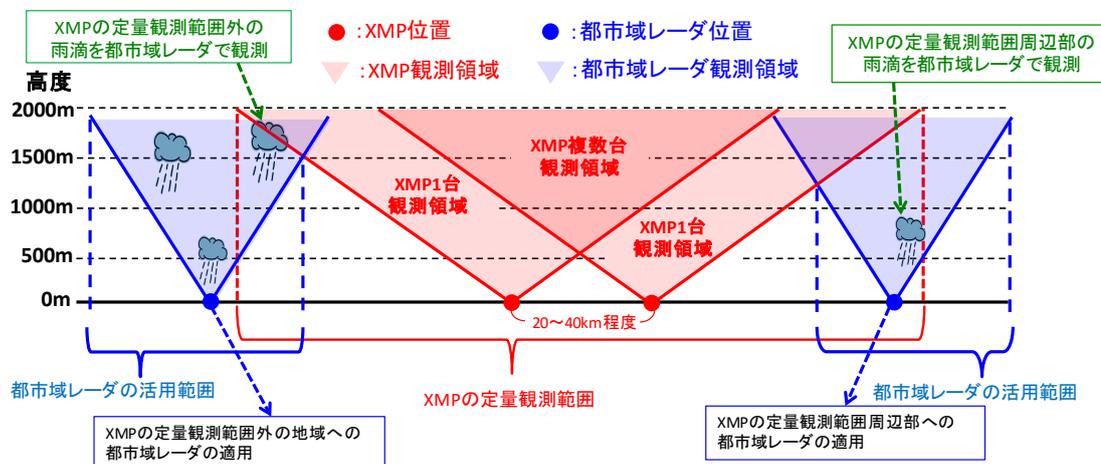


図 2-11 都市域レーダの活用範囲イメージ

② 都市域レーダの特徴

都市域レーダは XMP と比較すると、機器単体では、観測範囲は半径 30km と狭いが、小型・軽量、安価、距離分解能が高いという特徴がある。また、都市域レーダは、都市型浸水等の監視に使用できるほか、XMP の定量観測範囲外や定量観測範囲外周部において、XMP による観測を補完することが可能である。また、下水道は都市内河川に比べて排除能力が小さく、街区形状に合わせて面的に多数整備されているため、都市部の局所的集中豪雨等に対応するためには、より詳細なデータを用いて浸水シミュレーションを行う必要がある。都市域レーダの導入自治体においては、下水道排水区などの重点観測地域に応じた適切な降雨観測を行うことができ、浸水被害軽減のための効果的・効率的な浸水対策を行うことができる。

(ア) 小型・軽量

都市域レーダの空中線装置は、アンテナ径 0.75m、レドーム径約 1m、重量約 68kg と XMP と比較して小型・軽量なため、設置場所の制限が少なく、運搬・作業等も容易である。そのため、図 2-12 に示すとおり、スペースの限られた既存建物屋上に設置可能になるなど設置性が高くなっている。また設置場所の制限も少ないため、XMP と比較すると一般家屋等の比較的高さが低い建物への設置が可能である。

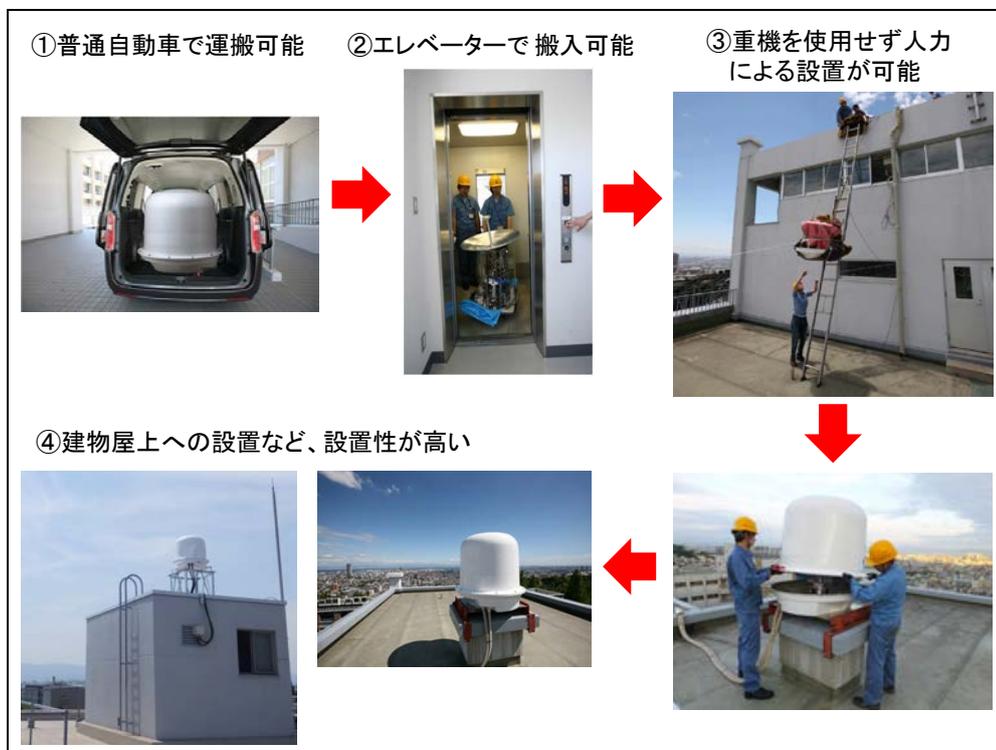
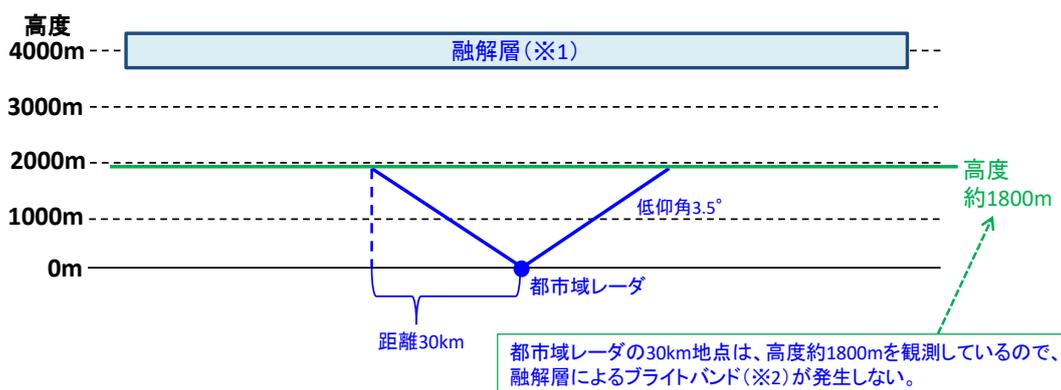


図 2-12 スペースの限られた既存建物屋上への設置例

(イ) 観測範囲

都市域レーダの観測範囲は、アンテナ径 0.75m, 送信出力 100W のため、氷の粒が融けて雨の粒に変わる高さ（融解層）よりも低い高度において、1mm/h の降雨強度を観測できる範囲は 30km である（図 2-13）。また近年、移動速度 60km/h 以上の豪雨も観測されている¹⁰⁾。雨雲の移動速度を 60km/h と想定した場合、都市域レーダでは、図 2-14 に示すとおり最大 30 分前から移動してくる雨雲を捉える事が可能である。なお、実証研究における観測範囲の確認については資料編 1.2.2 を参照のこと。



- ※1 雨雲の中で気温が0°Cに近く、氷の粒が融け始める層のこと。
融解が始まり、表面が水の膜で覆われた氷の粒には電波を強く反射する性質があるため、強いエコーが発生する。
- ※2 レーダ雨量計から発射された電波が雨雲の融解層によって反射され、実際よりも強いエコーが観測される現象。

図 2-13 都市域レーダの観測範囲と観測高度の関係

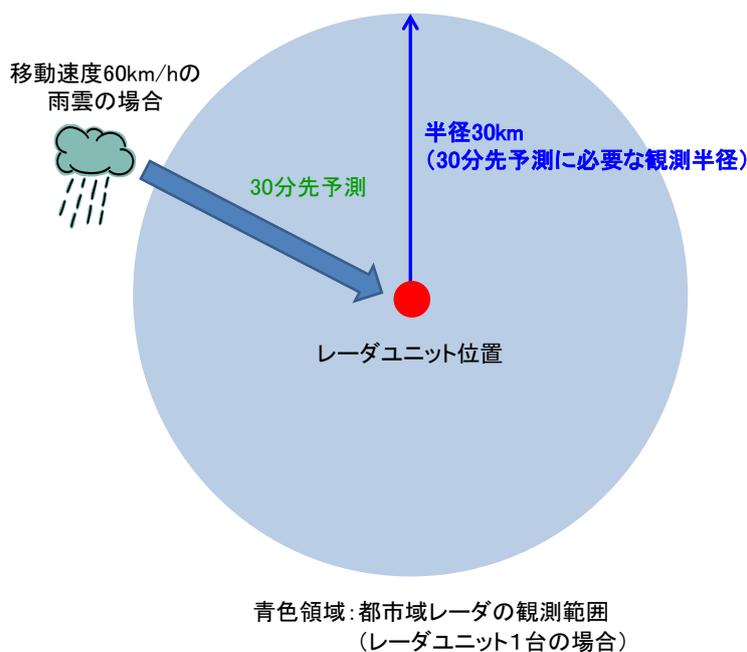


図 2-14 都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）

(ウ)雨量データメッシュサイズ

下水道管は街区に合わせ密に整備されており、枝線に対してピンポイントで浸水箇所を判定し情報提供を行う必要があるため、きめ細かいメッシュサイズの雨量データを出力する。

(エ)配信周期

下水道排水区域において時々刻々と変化する局所的集中豪雨等の降雨量を短い間隔で配信することを目的として、1分以内の周期で雨量データを配信する。

③ 都市域レーダの機器構成

(a) レーダユニット1台の場合

レーダユニット1台の場合は、図 2-15 に示すとおり、現地に設置する空中線装置（アンテナおよびレドーム）および信号処理装置（信号処理機器、通信機器等）各1台からなるレーダユニットと、レーダ雨量収集サーバおよびレーダ雨量合成サーバから構成される。レーダ雨量収集サーバおよびレーダ雨量合成サーバは、レーダユニットの観測データ（仰角ごとに観測したデータ）を収集する機能および障害監視を行う機能を有する。レーダ雨量合成サーバは、レーダ雨量収集サーバで収集した観測データを合成処理し、雨量データに変換する。

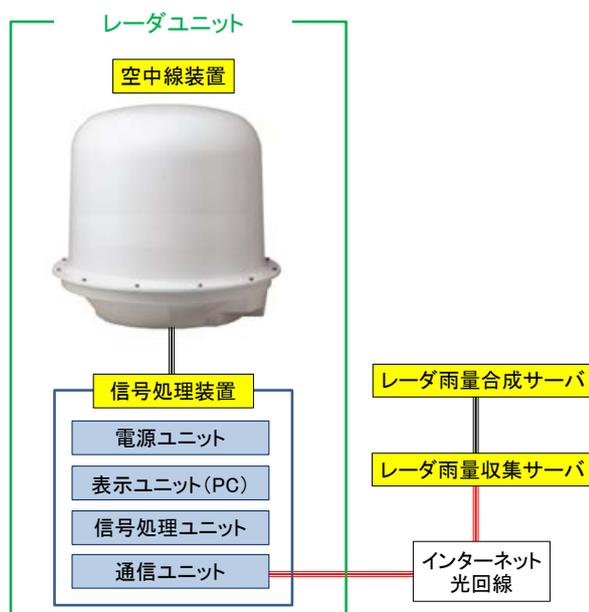


図 2-15 都市域レーダの機器構成（レーダユニット1台の場合）

(b) レーダユニット複数台の場合

レーダユニット複数台の場合は、図 2-16 に示すとおり、複数のレーダユニットとレーダ雨量収集サーバおよびレーダ雨量合成サーバで構成される。

レーダ雨量収集サーバは、観測データ（仰角ごとに観測したデータ）を収集する機能を有する。

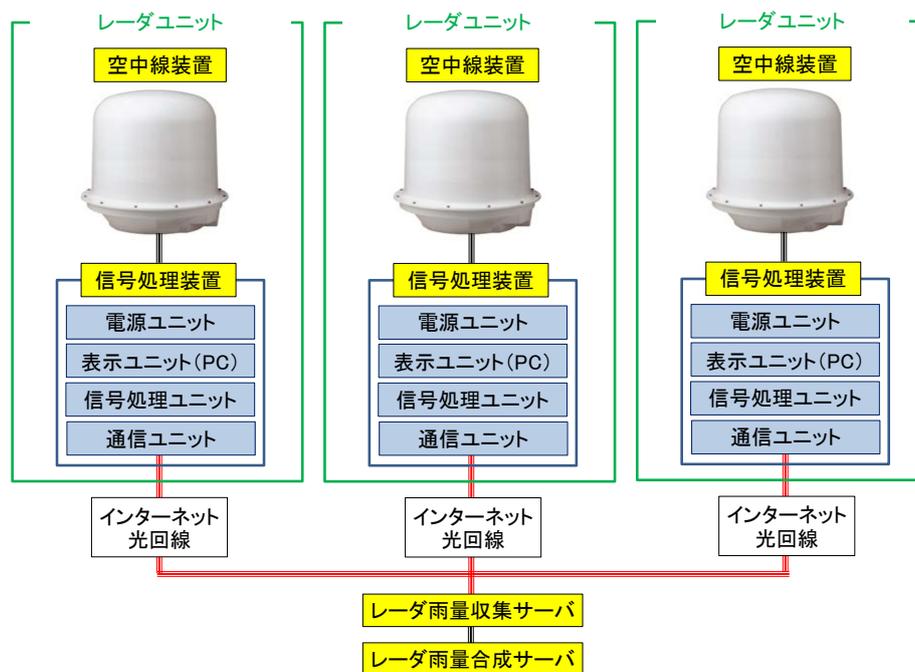


図 2-16 都市域レーダの機器構成（レーダユニット 3 台の場合）

④ レーダユニット複数台の場合における都市域レーダの特徴

(ア) XMP と同程度の降雨観測精度

都市域レーダの降雨観測精度は、下水道排水区域をカバーする 10km 程度の範囲において、XMP と同程度である。なお、実証研究における降雨観測精度については資料編 3.2 を参照のこと。

(イ) 電波消散による欠測域の軽減

都市域レーダは、従来の気象レーダより小型・軽量のため運搬・搬入が容易でクレーン等の重機を使用せず人力による設置も可能である。そのため、スペースの限られた既存建物屋上に設置可能になるなど設置性が高く、狭い範囲において、レーダユニットを複数台配置することが容易である。また、都市域レーダのように X バンドを用いた降雨レーダは、周波数が高いため高分解能である一方、降雨による減衰も大きいため、非常に強い雨の場合、電波が消散しやすくなり、レーダユニットが 1 台だとその非常に強い雨の後方にある降雨を観測できず、欠測域が発生することがある。そこで、図 2-17 で示すようにレーダユニットを複数台配置した都市域レーダを構築することで、非常に強

い雨の後ろに控えている雨を別のレーダユニットで観測することが可能となり、下水道排水区域内において、下水道計画降雨に相当する降雨強度の降雨またはそれ以上の想定降雨が発生しても、レーダユニット間の補完により電波消散による欠測域を軽減することができる。なお、実証研究における欠測域の評価結果については資料編 3.3.4 を参照のこと。

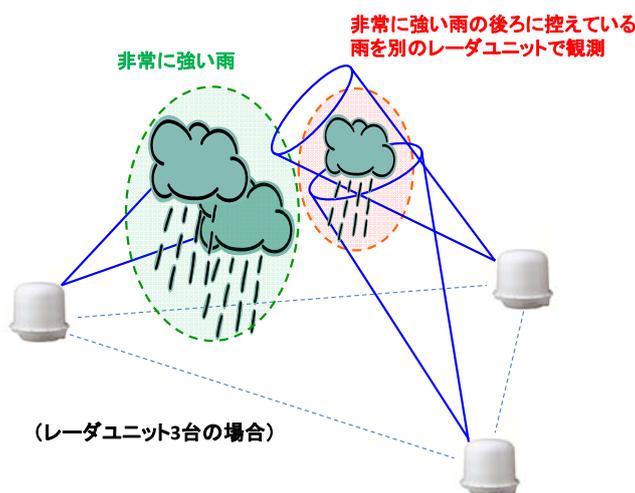


図 2-17 電波消散への対応

⑤ 都市域レーダの降雨強度算出式

都市域レーダの降雨強度算出式を図 2-18 に示す。レーダ反射強度および比偏波間位相差によって、図 2-18 の式 1 または式 2 の算出式を使用して、降雨強度を算出する

また、システム導入時における式 1 の α (算出係数) の初期値については、1.2 を標準とする。

< 降雨強度算出式 >

- レーダ反射強度が30dBZ以上かつ比偏波間位相差が0.3deg/km以上の場合

(式1) $R = \alpha \times a_1 \times Kdp^{0.815}$

$$a_1 = 19.6 + 2.71 \times 10^{-2} \times el + 1.68 \times 10^{-3} \times el^2 + 1.11 \times 10^{-4} \times el^3$$

R : 降雨強度 (mm/h) Kdp : 比偏波間位相差 (deg/km)
 α : 算出係数 a_1 : 仰角による補正係数
 el : 仰角 (範囲 0~90 deg)

- 上記以外

(式2) $Zh = BR^\beta$

Zh : レーダ反射強度 (dBZ)
 $B = 200, \beta = 1.6$: 雨滴係数

出典: 「気象と大気のリモートセンシング」 深尾 昌一郎、浜津 享助
 (京都大学学術出版会, 2005)

図 2-18 降雨強度算出式

(2) 地上雨量計

地上雨量計については、レーダ雨量計の降雨観測精度の確認を目的として設置する。参考として表 2-4 に一般的な地上雨量計における計測精度を示す。なお、本技術において必要となる地上雨量計の仕様については、§ 24 を参照のこと。

表 2-4 代表的な地上雨量計の一般的な仕様⁸⁾

項目	転倒ます雨量計		貯水型雨量計
		光雨量計	
計測精度	<ul style="list-style-type: none"> ■ 転倒雨量 0.5mm の場合 雨量 20mm 以下で 0.5mm, 雨量 20mm 超で雨量の 3% ■ 転倒雨量 1mm の場合 雨量 40mm 以下で 1mm, 雨量 40mm 超で雨量の 3% 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 転倒雨量 0.5mm の場合 雨量 20mm 以下で 0.5mm, 雨量 20mm 超で雨量の 3% ■ 転倒雨量 1mm の場合 雨量 40mm 以下で 1mm, 雨量 40mm 超で雨量の 3% 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 貯水型自記雨量計 雨量 20mm 以下で 0.5mm 雨量 20mm 超で雨量の 3%
分解能 : 雨量	0.1mm, 0.5mm, 1.0mm	0.5mm, 1.0mm	0.1mm
データ転送	データ転送設備を別途設けることで可能	光ファイバーを通じて可能	データ転送設備を別途設けることで可能

(3) 水位計

水位計については、管路内水位、浸水状況の把握・配信、リアルタイム流出解析における境界水位、水位補正等を目的として設置する。具体的な水位計種別、測定原理、特徴等については、「下水道施設設計指針と解説」¹⁾、「下水道管きょ等における水位等観測を推進するための手引き（案）」¹¹⁾を参考とされたい。参考として表 2-5 に一般的な水位計の仕様を示す。なお、本技術において必要となる水位計の仕様については、§24 を参照のこと。

表 2-5 一般的^{※1}な水位計の仕様例¹¹⁾

項目	圧力式水位計		超音波式水位計 ^{※2}
		小型光水位計	
満管以上の計測可否 浸水発生時の計測可否	可能	可能	不可能
計測精度	±0.1%FS 一般に流通する製品の中 の最高精度	±2.5%FS	±0.25%FS 一般に流通する製品の中 の最高精度
計測範囲	0.0m~50.0m 一般に流通する製品の 最小と最大	0.0m~10.0m	0.3m~19.5m (測定器から水面まで) 一般に流通する製品の 最小と最大
分解能	水位	0.1cm	0.1cm
	最小計測 時間間隔	1秒	1秒
データ転送	データ転送設備を別途設 けることで可能	光ファイバーを通じて可能	データ転送設備を別途設 けることで可能

※1 上表は、下水道での使用実績をふまえた一般的な水位計の例を示すものであり、仕様内容はメーカーヒアリング等の結果に基づき作成されている。なお、その他の水位計においても設置環境により、選定することもできる。

※2 超音波式水位計による暗渠での満管以上の計測は計測設備の水没により不可能だが、開水路では安定して計測することができる。

§ 10 データ収集技術の特徴

データ収集技術は、降雨量、下水管路内水位、既存監視設備からポンプの起動・停止・故障、ゲートの開度・故障等のデータを収集し、レーダ雨量解析技術、リアルタイム流出解析技術、情報配信技術にデータを転送することができる。

【解説】

データ収集技術は、降雨量、下水管路内水位、既存監視設備からポンプの起動・停止・故障、ゲートの開度・故障等のデータを情報配信の時間や解析精度の確保に必要な時間内に定周期で収集し、後段のレーダ雨量解析技術、リアルタイム流出解析技術、情報配信技術にデータを直接または必要に応じて変換し転送する機能を有している。また、観測精度評価、ならびに降雨予測モデルおよび流出解析技術のキャリブレーションにおいてデータを活用するため、必要に応じてデータベースへの保存、保存データの取り出しの機能を有している。

さらに、本技術はリアルタイム情報を扱うこと、情報提供、施設の運転に活用されることから、データ欠損、サーバ異常等により信頼性の低い情報を提供することになる場合は、データ欠損、サーバ異常等が発生している情報を合わせて提供することが必要であるため、データ収集、各サーバにおけるプロセスの進行状況等をモニタリングし、異常がある場合には利用者に通知する機能を有している。

§ 11 レーダ雨量解析技術の特徴

レーダ雨量解析技術は、レーダ雨量計の観測データに基づく短時間降雨予測と、観測データを配信に必要な情報に加工することができる。

【解説】

レーダ雨量解析技術は、レーダ雨量計で観測したデータに基づく短時間降雨予測解析と、観測降雨と予測降雨の雨量分布図等の配信に必要な情報に加工するためのレーダ雨量データの処理機能を有している。

(1) 短時間降雨予測解析

短時間降雨予測解析は、降雨観測メッシュごとの降雨強度の予測値をモデルにより算出する。その短時間予測解析に適した予測モデルとして、運動学的モデルを基本とした移流モデルが一般的に広く活用されている。移流モデルでは、下水道施設の整備水準を超えるような局所的集中豪雨に対しても降雨予測値として平均的な値を示すため、自助・共助支援情報を提供するにあたり必要なリードタイムの確保が困難となる課題があった。

これに対して、移流モデルの他に複数シナリオの予測が可能な特異移流モデルを採用することで、目的に応じたモデルの使い分けが可能となる。移流モデルと特異移流モデルの降雨予測モデルの特徴を以下に示す。なお、予測パターンの概要および特性の詳細については資料編 3.4、参考文献「超局地・超高時間分解能レーダと移流モデルを用いた短時間降雨予測手法に関する研究」⁵⁾を参照のこと。

①移流モデル

移流モデルは、レーダ雨量データから求めた降水の強さの分布および降水域の発達や衰弱の傾向、降水域の移動を利用し、1 パターンのみの降雨観測メッシュ毎の降雨強度の予測値を算出するモデルである。

②特異移流モデル

特異移流モデルは、短時間降雨予測に適した移流モデルの基礎式を用いて、初期値に複数の観測誤差を与えることにより、複数パターンの降雨観測メッシュ毎の降雨強度の予測値を算出するモデルである。確率論的考え方に基づいた5メンバーの予測結果から、移流モデルによる予測値と特異移流モデルによる特異最大、特異平均、特異中央の計4パターンの複数シナリオの予測が可能であることから、正確性が要求される場合は実測に近い値を示す移流モデルを、見逃しのない予測が要求される場合は安全側の予測値を示す特異最大を採用するなど、要求性能に応じた使い分けが可能である。

(2) レーダ雨量データの処理

レーダ雨量データの処理では、排水区別に単位時間雨量の算出、レーダ雨量分布図、浸水危険度画像の作成を行うことができる。

§ 12 リアルタイム流出解析技術の特徴

リアルタイム流出解析技術は、汎用の分布型流出解析モデルを活用した技術であり、高速での解析処理が可能で、統合化されたプラットフォームでオフラインおよびリアルタイム流出解析が可能である。

【解 説】

リアルタイム流出解析技術は、日本下水道新技術機構が発刊する「流出解析モデル利活用マニュアル」⁴⁾にて推奨されている汎用の分布型流出解析モデルを解析エンジンとして活用した技術である。分布型流出解析モデルにレーダ雨量計や各種計測データを直接与え、24時間365日自動でシミュレーションを行うものである。従来のリアルタイム流出解析モデルと比較し、より高速での解析処理が可能で、統合化されたプラットフォームでオフラインおよびリアルタイム流出解析が可能である。

§ 13 情報配信技術の特徴

本技術の要素技術として用いる情報配信技術は、レーダ雨量、下水管路内水位、リアルタイム流出解析技術における解析結果等を必要な画像に加工し配信することができる。

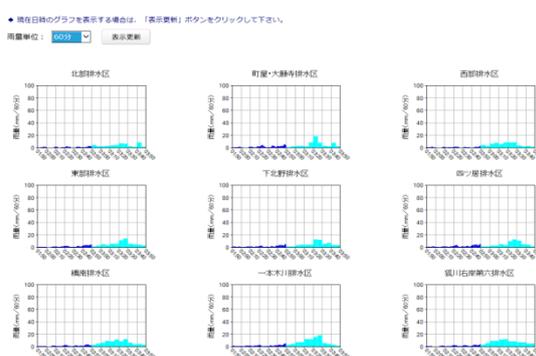
【解説】

情報配信技術では、レーダ雨量計の観測データに基づきレーダ雨量強度のメッシュ表示、水位計による下水管路内水位、リアルタイム流出解析技術における予測水位、内水による浸水予想図、施設運転支援、自助・共助支援等に必要な画像に加工し配信することができる。

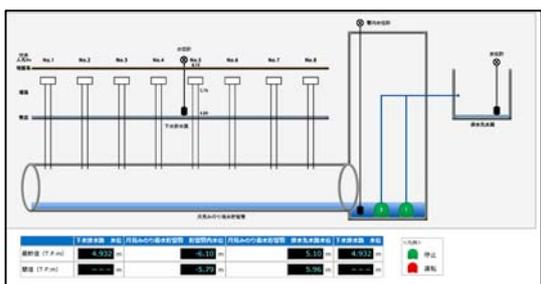
代表的な配信画面として、レーダ雨量計で観測した降雨強度をメッシュ毎に色分け表示したレーダ雨量メッシュ画面、排水区別平均雨量画面、雨水貯留管における排水ポンプの起動・停止のガイダンス情報を表示した施設運転支援画面、水位計測値、予測値を示した自助・共助支援画面を図2-19に示す。なお、配信画面の詳細については、§ 28を参照のこと。



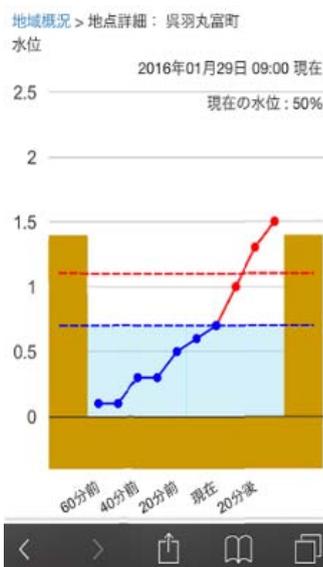
レーダ雨量メッシュ画面



排水区別平均雨量画面



施設運転支援画面



自助・共助支援画面

図 2-19 配信画面例

§ 14 情報通信技術の特徴

情報通信技術は、現地に設置された計測技術における計測データの伝送、情報配信技術から配信される、施設運転支援や自助・共助支援に関する情報を、下水道施設管理者、住民等に伝送する際に用いられる。

【解説】

情報通信技術は、現地に設置されたレーダ雨量計，地上雨量計，水位計における計測データをリアルタイムに迅速・確実に伝送するとともに，計測データ，レーダ雨量解析技術および流出解析技術による解析データに基づき加工した施設運転支援や自助・共助支援に関する情報を，リアルタイムに下水道施設管理者，住民に伝送する際に用いられる。

一般的な情報通信サービス等の仕様を比較したものを表 2-6に示す。なお，参考値ではあるが，本実証で用いた通信速度は100Mbpsである。

表 2-6 各情報伝達技術の仕様¹⁾

項目	諸元						
通信事業者との契約	不要(※1)	必要 (NTT など)					
通信手段	有線				無線		
	下水道光ファイバー	専用線		一般回線		モバイル	
	光	アナログ	光	ADSL	光	携帯(例)	PHS(例)
通信速度 (bps) (※2)	～60G	2400～9600	0.5M～10G	8M～50M	100M	受信：～7.2M 送信：～1.8M	受信：～7.2M 送信：～384K
安定性 (※3)	安定	安定	安定	ベストエフォート型	ベストエフォート型	ベストエフォート型	ベストエフォート型
確実性 (※4)	確実	確実	確実	不確実	不確実	不確実	不確実
通信の遅滞	遅滞なし	遅滞する	遅滞なし	遅滞する可能性あり	遅滞する可能性あり	遅滞する可能性あり	遅滞する可能性あり

※1：下水道光ファイバーが敷設されていない場合は，新規に敷設工事が必要となるため注意が必要。

※2：速度：通信手段ごとのデータ通信速度

※3：安定性：通信網の通信帯域を確保し，通信速度が利用者に対して保障されるか否かを示すための項目

ベストエフォート型では，通信帯域の共用により，混雑時等に実効通信速度が低下する等，通信状態が不安定となる可能性がある。

※4：確実性：災害時等の通信が輻輳すると考えられる状況において，通信の制約（通信の遮断）を受けるかを示すための項目
下水道光ファイバー

下水道光ファイバーは，架空線に比べ，下水管路内に敷設するため，地震・台風・竜巻・火事など災害時の被災率が少ない。

専用線（アナログ，光）

専用線は，一般回線と同様に局舎間以外は架空線となるため，地震・台風・竜巻・火事など災害時には断線の恐れがある。