

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.998

March 2018

B-DASH プロジェクト No.17

都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術導入ガイドライン（案）

下水道研究部下水道研究室

B-DASH Project No.17

Guideline of introducing stormwater management technology for localized torrential rain in urban areas

Wastewater System Division

Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

B-DASHプロジェクト No.17

都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術導入ガイドライン(案)

下水道研究部 下水道研究室

B-DASH Project No.17

Guideline of introducing stormwater management technology for localized torrential rain in urban areas

Wastewater System Division

Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業において既存の浸水対策施設の効果的運用や住民の自助・共助の促進による浸水被害の軽減に向け、下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)で採択された都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術について、実証研究の成果を踏まえて、技術の性能等を明示し、技術の普及展開を図るために策定したものである。

キーワード : B-DASH プロジェクト、浸水対策、都市域レーダ、特異移流モデル、自助・共助支援、施設運
転支援

Synopsis

This guideline introduces the water management technology, an innovative sewerage process to reduce the city inundation damages caused by localized torrential rain in urban area.

This document is designed as a reference for the sewerage system providers in order to study an installation of this technology.

This Guideline is based on the results of NILIM contract research [Demonstration of operation support system of inundation measure facilities utilizing ICT] in 2015-2016.

Key Words : B-DASH, Flood damage mitigation, Urban area radar, Singular advection model, Self-help and mutual assistance, Operation assistance

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

電話 : 029-864-3343 Fax : 029-864-2817 E-mail : nil-gesuidou@mlit.go.jp

執筆者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 室長 岩崎 宏和

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 室長 横田 敏宏
(国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道機能復旧研究官)

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室 主任研究官 松浦 達郎

※研究当時の所属 (括弧書きは現所属)

はじめに

近年、日本各地においていわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる、短時間に集中する豪雨の発生が頻発している。また都市化の進行により都市部に人口・資産等が集中した結果、都市部での内水氾濫による浸水被害リスクが増大している。各都市においては様々な浸水対策が進められているが、未だ整備途上であり、多額の費用と時間が必要なハード整備による対策だけでは、早急な対応が困難な状況である。このような背景の元、平成 26 年 7 月にとりまとめられた「新下水道ビジョン」の中では、浸水対策について「ハード・ソフト・自助の組み合わせで被害を最小化」、「施設情報と観測情報等を起点とした既存ストックの評価・活用」という目標が打ち出された。国土交通省では、これらの実現のため平成 27 年 5 月に水防法や下水道法を改正するとともに、平成 28 年 7 月には関連する 7 種類のガイドライン類を「浸水対策の七つ星」として発出している。

一方、既存ストックの活用や自助・共助の促進によって内水氾濫による浸水被害軽減を実現するためには、下水管内水位や排水区内の降雨状況等の観測情報、内水氾濫予測情報等を、各活動に必要なリードタイムを確保しつつリアルタイムで提供することが重要となるが、実際に行われている事例は少なく、優れた新技術が開発されても、実績が少ないこと等を理由に導入に慎重な場合が多い状況である。

このため、国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業における浸水被害の軽減等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)」を平成 23 年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。

本ガイドライン「都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術導入ガイドライン(案)」で示す技術は、下水管路内水位や雨量、内水氾濫予測等の情報をリアルタイムに提供することにより、既存の浸水対策施設を最大限活用するための支援や、住民の自助・共助活動を促進することで浸水被害の軽減が可能となる革新的な技術である。実証研究により、本技術の導入による浸水被害軽減に対する一定の効果が確認されている。本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術実証研究 受託者：メタウォーター・新日本コンサルタント・古野電気・江守商事(現江守情報)・日水コン・神戸大学・福井市・富山市 共同研究体 実施期間：平成 27～28 年度）において実施した研究の成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際の参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

最後に技術選定から実証研究施設の設置、実運用による実証を踏まえたガイドラインまでの策定を 2 年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、およびガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の方々をはじめ、フィールド提供等ご協力いただいた地方公共団体各位および研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 井上 茂治

目 次

第1章 総 則	1
第1節 目 的	1
§1 目的	1
第2節 適用範囲	3
§2 適用範囲	3
第3節 ガイドラインの構成	4
§3 ガイドラインの構成	4
第4節 用語の定義	7
§4 用語の定義	7
第2章 技術の概要	10
第1節 本技術の目的と概要	10
§5 本技術の目的	10
§6 本技術の概要	14
§7 本技術の特徴	15
第2節 本技術を構成する要素技術の概要	18
§8 技術を構成する要素技術の概要	18
§9 計測技術の特徴	21
§10 データ収集技術の特徴	32
§11 レーダ雨量解析技術の特徴	33
§12 リアルタイム流出解析技術の特徴	35
§13 情報配信技術の特徴	36
§14 情報通信技術の特徴	37
第3章 導入効果	38
第1節 実証研究に基づく導入効果	38
§15 評価項目	38
第2節 本技術の段階的導入と活用方法	46
§16 要素技術の段階的導入における導入効果	46
§17 本技術の活用方法	48
第4章 導入検討	54

第1節 導入検討手順	54
§ 18 導入検討手順	54
第2節 導入検討	55
§ 19 基礎調査	55
§ 20 導入効果検討	60
§ 21 導入判断	73
第5章 設計	74
第1節 設計	74
§ 22 本技術の設計	74
§ 23 本技術の基本性能	75
§ 24 計測技術	76
§ 25 データ収集技術	80
§ 26 レーダ雨量解析技術	82
§ 27 リアルタイム流出解析技術	84
§ 28 情報配信技術	87
§ 29 情報通信技術	92
第6章 運用・維持管理	93
第1節 本技術の運用・維持管理	93
§ 30 本技術の運用	93
§ 31 本技術の維持管理	95
資料編	104

第1章 総 則

第1節 目 的

§1 目的

本ガイドラインは、下水道施設の整備水準を超えるような局所的集中豪雨時における都市域での内水による浸水被害の軽減を目指し、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された「都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術（実証研究期間 平成27年7月～平成29年3月）」（以下、「本技術」とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の性能等を明示し、技術の普及展開を図るために策定したものである。

【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業における資源回収、大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

平成23年度は、[1] 水処理における固液分離技術（高度処理を除く）、[2] バイオガス回収技術、[3] バイオガス精製技術、[4] バイオガス発電技術に係る革新的技術を含むシステムについて公募を行い、2件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成24年度は、[5] 下水汚泥固形燃料化技術、[6] 下水熱利用技術（未処理下水の熱利用に限る）、[7] 栄養塩（窒素）除去技術（水処理に係る技術は除く）、[8] 栄養塩（りん）除去技術（水処理に係る技術は除く。回収技術を含むことは可）に係る革新的技術について公募を行い、5件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成25年度は、[9] 下水汚泥バイオマス発電システム技術（低含水率化技術、エネルギー回収技術、エネルギー変換技術を組み合わせたシステム技術）、[10] 管きょマネジメント技術に係る革新的技術について公募を行い、5件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成26年度は、[11] 下水汚泥から水素を創出する創エネ技術、[12] 既存施設を活用した省エネ型水処理技術（標準活性汚泥法代替技術・高度処理代替技術）、[13] ICTによる既存施設を活用した戦略的水処理管理技術及び既存施設を活用したICTによる都市浸水対策機能向上技術に係る革新的技術について公募を行い、6件の実証研究を採択・実施し、ガイドライン案を策定している。

平成27年度は、[14] 複数の下水処理場からバイオガスを効率的に集約・活用する技術、[15] バイオガスからCO₂を分離・回収・活用する技術、[16] 設備劣化診断技術、[17] 都市域における局

所的集中豪雨に対する降雨及び浸水予測技術，[18] 下水管路に起因する道路陥没の兆候を検知可能な技術，[19] 下水処理水の再生利用技術に係る革新的技術について公募を行い，9 件の実証研究を採択・実施している。

平成 28 年度は，[20] 中小規模処理場を対象とした下水汚泥の有効利用技術，[21] ダウンサイジング可能な水処理技術に係る革新的技術について公募を行い，4 件の実証研究を採択・実施している。

本技術は，[17] に係る革新的技術であり，実証研究のとりまとめにあたっては，専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで，学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下，「評価委員会」とする（<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>））の評価を受け，十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは，下水道事業において局的集中豪雨における雨量や下水道管路内水位，内水による浸水予測等の情報を施設管理者や住民へ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による浸水被害の軽減，また，自助・共助の促進を実現するため，評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ，本技術の導入の促進に資することを目的として，国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため，本ガイドラインでは，地方公共団体などの下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように，技術の機能等を明示し，技術の普及展開を図るための事項について取りまとめている。

なお，本ガイドラインについても，実証研究の成果と同様に，専門的知識を有する有識者及び実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ，評価委員会の評価を受け，了承されたものである。

下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト*)の実証テーマ

*Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

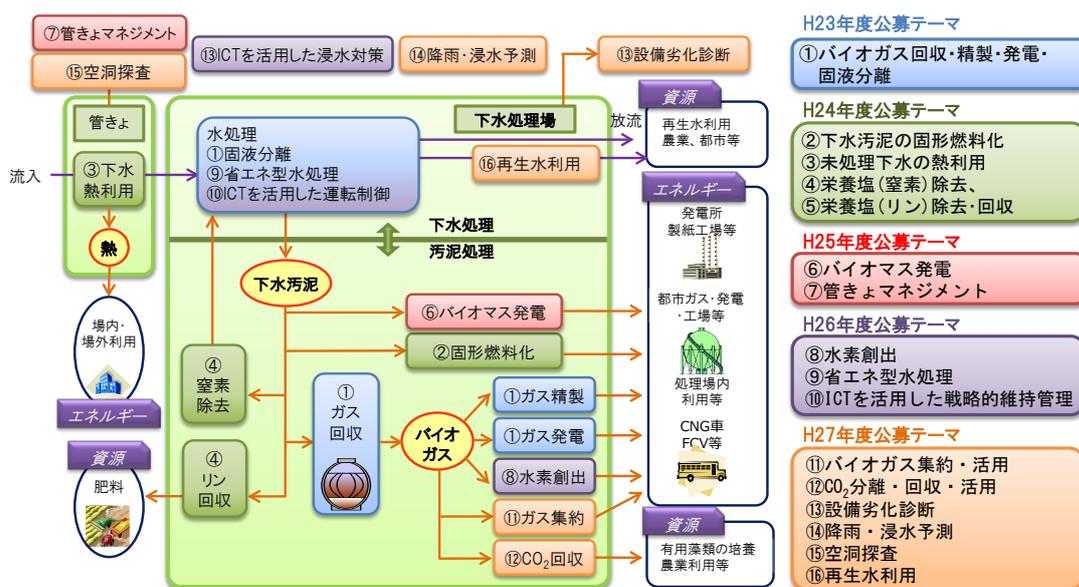


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

第2節 適用範囲

§2 適用範囲

本ガイドラインは、内水による浸水を対象に、本技術の全体または一部について、下水道事業における効果の算定や導入検討、設計、運用・維持管理に適用する。

【解説】

本ガイドラインは、内水による浸水を対象に、本技術の全体または一部について、下水道事業での導入を促進する事を目的として、導入効果の算定や導入検討、設計、運用・維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術の要素技術を同時または段階的に導入する場合、もしくは、一部の要素技術のみを導入する場合のどちらにも本ガイドラインは適用される。

また、本ガイドラインは地方公共団体などの下水道事業者および関連する民間企業などに利用されることを想定して策定している。

第3節 ガイドラインの構成

§3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、技術の概要、導入効果、導入検討、設計および運用・維持管理から構成される。

【解説】

本ガイドラインの各章の構成を以下に示す。

(1) 第1章 総則

目的、適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について示す。

(2) 第2章 技術の概要

技術の目的と概要、本技術を構成する要素技術の概要、機能、本技術で提供する情報を示す。

(3) 第3章 導入効果

実証研究成果に基づいて、本技術の導入効果を示すとともに、実証研究と異なる条件で適用した場合に期待される効果を示す。

(4) 第4章 導入検討

本技術の導入を検討するための手順、および具体的な検討内容・方法等を示す。

(5) 第5章 設計

導入検討の結果、本技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に設計を進めるための方法について示す。

(6) 第6章 運用・維持管理

導入した場合における運用方法や実施すべき維持管理の内容等について示す。

その他、資料編は、実証技術の概要と要素技術の設置状況、実証技術の性能検証、浸水被害軽減効果の検証、運用・維持管理、問い合わせ先などを示す。また、ガイドライン構成を図 1-2 に、本編と資料編の関係を図 1-3 に示す。

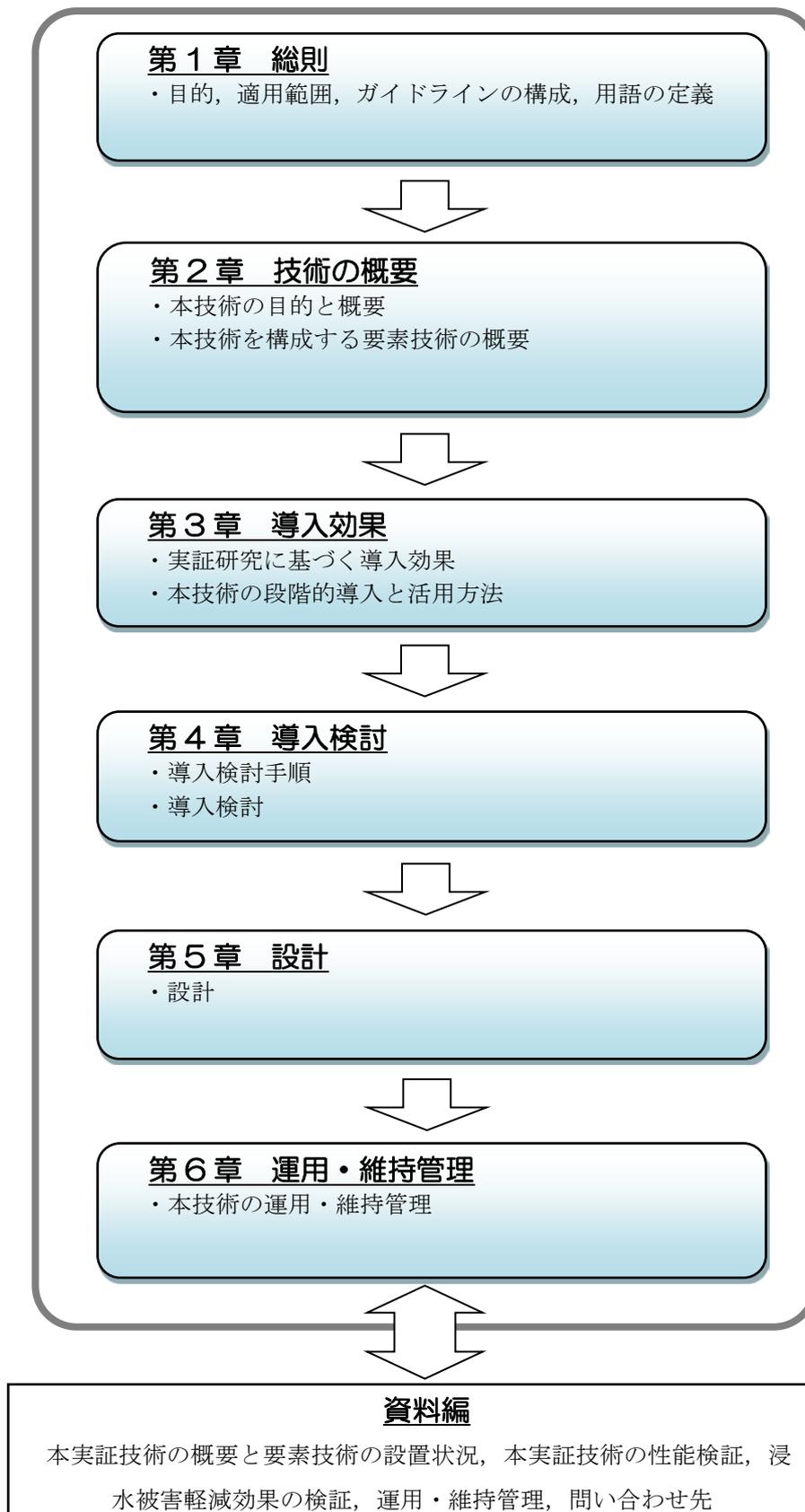


図 1-2 本ガイドラインの構成

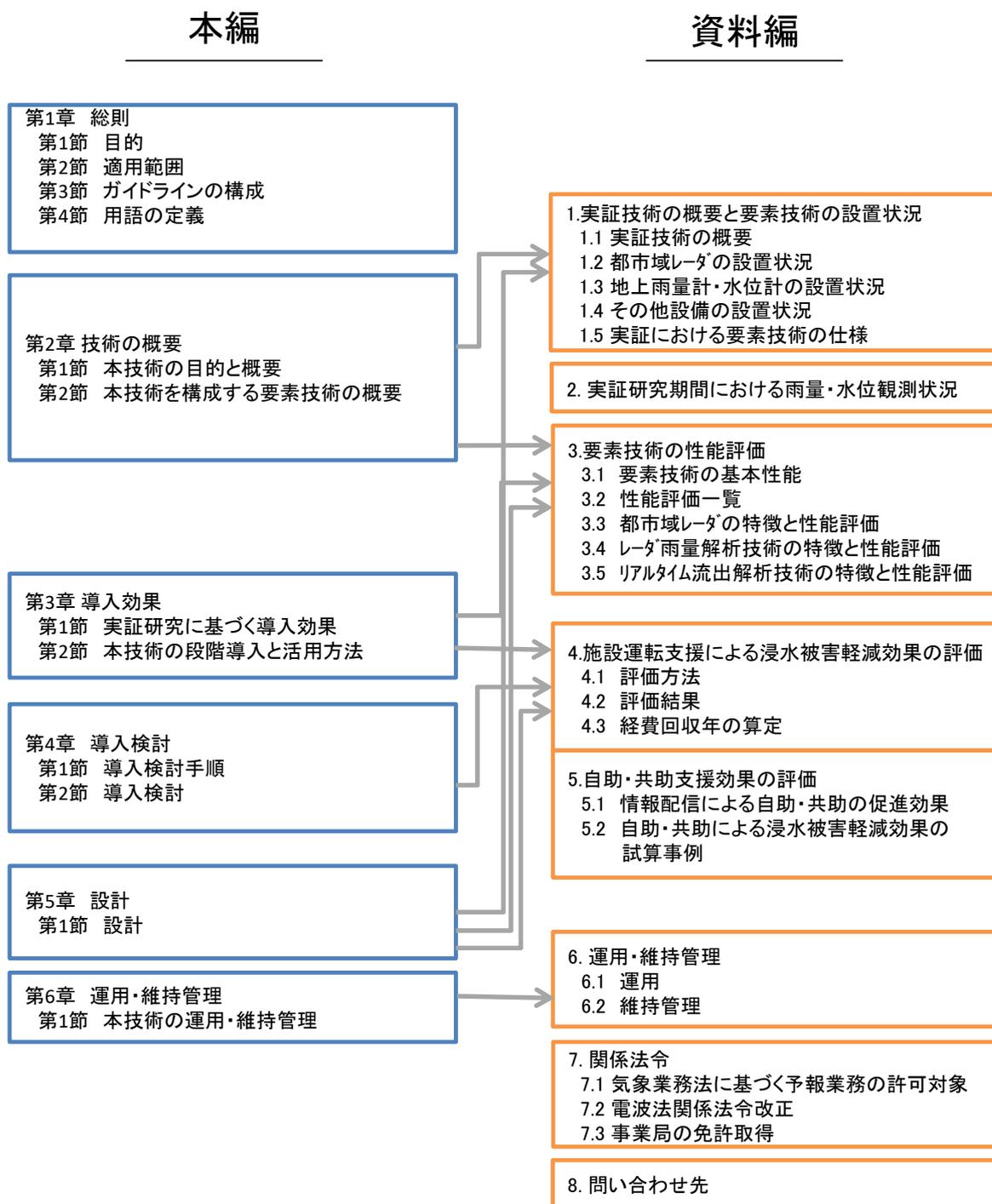


図 1-3 本ガイドラインの本編と資料編の関係

第4節 用語の定義

§4 用語の定義

本ガイドラインで扱う用語は、以下に示す通り定義する。なお、下水道施設の基本的な用語については、「下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版¹⁾」,「下水道維持管理指針 2014年版²⁾」,「下水道用語集 2000年版³⁾」,「流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き)-2017年3月⁴⁾」に準拠する。

(1) 局所的集中豪雨

急に強く降り、数十分の短時間に狭い範囲に時間雨量数十 mm 程度の雨量をもたらす雨(局地的大雨)のうち、対象とする下水道排水区において、現在の整備状況で浸水被害を発生させる規模の降雨を指す。

(2) 内水

水防法第2条第1項に規定される雨水出水を指し、一時的に大量の降雨が生じた場合において下水道その他の排水施設に当該雨水を排除できないこと又は下水道その他の排水施設から河川その他の公共の水域若しくは海域に当該雨水を排除できないことによる出水。

(3) 自助

住民もしくは施設管理者等が自身の責任において浸水被害を軽減するために行う活動で、止水板や土のうの設置、避難活動等をいう。

(4) 共助

地域内の住民や施設管理者が協力し合うことによって浸水被害の軽減を図る活動で、避難時の近所への呼びかけ、集団での避難活動のほか、平常時からの情報伝達訓練、側溝等の清掃活動等をいう。

(5) 本技術

計測技術, データ収集技術, レーダ雨量解析技術, リアルタイム流出解析技術等の要素技術を組合せ, 雨量, 下水管路内水位, 内水による浸水等の予測情報を施設管理者や住民等へ提供ができ, 内水による浸水被害の軽減等を実現する「都市域における局所的集中豪雨に対する雨水管理技術」の全体を指す。

(6) 要素技術

本技術を構成する計測技術, データ収集技術, レーダ雨量解析技術(短時間降雨予測モデルを含む), リアルタイム流出解析技術, 情報配信技術および情報通信技術のそれぞれを指す。

(7) 計測技術

雨量情報、水位情報等を計測するための、レーダ雨量計、地上雨量計、水位計を指す。

(8) レーダ雨量計

レーダは、障害物に当たると反射する電波の性質を利用して、物体の位置や性質を識別する装置である。レーダ雨量計とは、電波が雨滴に当たって戻ってくるまでの時間と、その反射波の強さによって、降雨の位置（雨滴の分布）と降雨強度を観測する装置を指す。

(9) 都市域レーダ

実証研究で用いた観測範囲半径 30km、距離分解能 75m、ビーム幅 2.7° の性能を持つ X バンド MP（マルチパラメータ）レーダのこと。本技術では、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（信号処理機器や通信機器等）からなるレーダユニットと、レーダ雨量収集サーバ（レーダ雨量計観測データの収集機能を持つ）およびレーダ雨量合成サーバ（レーダ雨量計観測データの合成処理機能を持つ）を組合せレーダ雨量計として用いる。

(10) XRAIN

eXtended RAdar Information Network（高性能レーダ雨量計ネットワーク）の略で、国土交通省が管理する C バンド MP レーダ（以下、CMP とする。）および X バンド MP レーダ（以下、XMP とする。）の複合ネットワークを指す。

(11) レーダ雨量解析技術

レーダ雨量解析技術は、レーダ雨量計の計測データに基づく短時間降雨予測解析機能と、配信に必要な情報に加工するための雨量データ処理機能を有する機器を指す。

(12) 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 パターンのみの予測値を算出するモデルを指す⁵⁾。

(13) 特異移流モデル

特異移流モデルは、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、複数パターンの予測値を算出するモデルを指す⁵⁾。

(14) 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、レーダ観測雨量および予測雨量、下水管路内水位、施設運転データ等のリアルタイム情報を用いて流出解析を行い、下水管路内水位、内水による浸水等の予測値を算出する機能を有する機器を指す。

(15) オフラインモデル

オフラインモデルは、リアルタイム流出解析において使用されるオンラインモデルが、リアルタイム情報を用いて流出解析を行うシミュレーションモデルを指すことに対して、過去のレーダ観測雨量および予測雨量、下水管路内水位、施設運転データ等を用いて、流出解析を行うシミュレーションモデルを指す。

(16) データ収集技術

計測技術や既存監視設備等から定周期でデータを収集し、保存する機能を有する機器を指す。

(17) 情報配信技術

収集データやリアルタイム流出解析技術での解析結果などを利用者に判りやすく加工したグラフや、基準となる雨量、水位が超えた際にメール等を表示端末（タブレット、スマートフォン等）に配信する機能を有する機器を指す。

(18) 情報通信技術

計測技術とデータ収集技術、情報配信技術と表示端末（タブレット、スマートフォン等）を繋ぐ機能を有する機器を指す。

(19) リードタイム

浸水予測情報を配信した時間から浸水が発生した時間までの期間を指す。

(20) 情報活用率

自助・共助支援情報の配信対象住民に対する、内水による浸水時においてその情報を活用する住民の割合を指す。

(21) 自助・共助対応率

自助・共助支援情報を活用した住民に対する、土のう・止水板の設置、車の移動等の自助共助対応を行なった住民の割合を指す。

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。

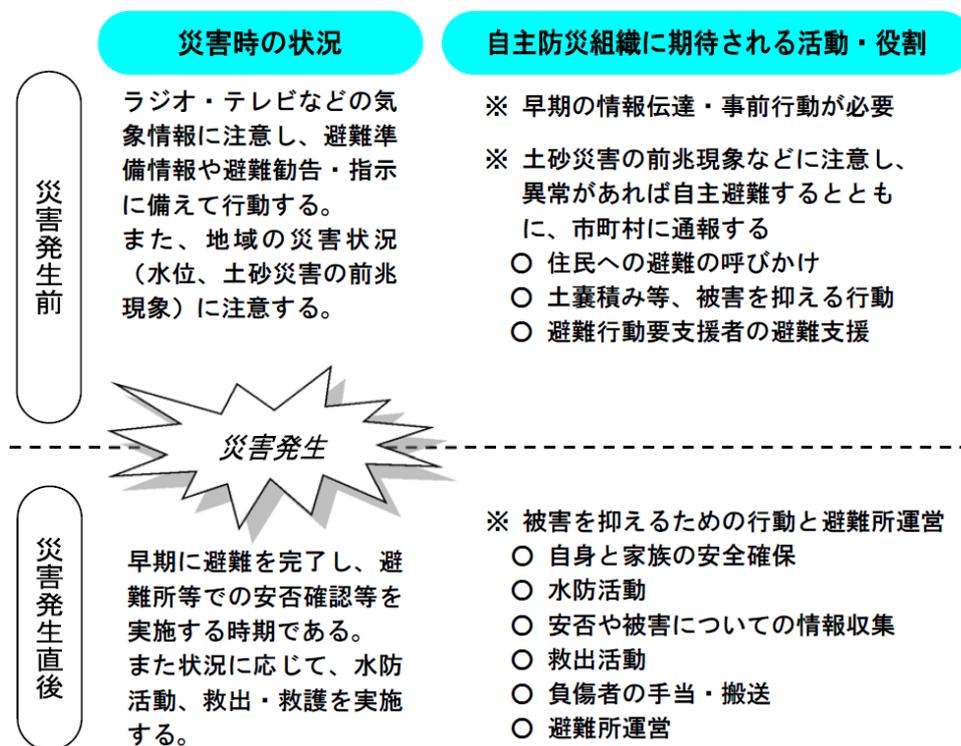
一方、図 2-2 に示すとおり、これまでは、既存の浸水対策施設を効果的に運転するために必要な下水道排水区単位での雨量や下水管路内水位の予測情報を得ること、自助・共助活動に必要な時間の確保等が難しい状況にあった。

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



※自主防災組織の手引き（平成29年3月，消防庁）から抜粋

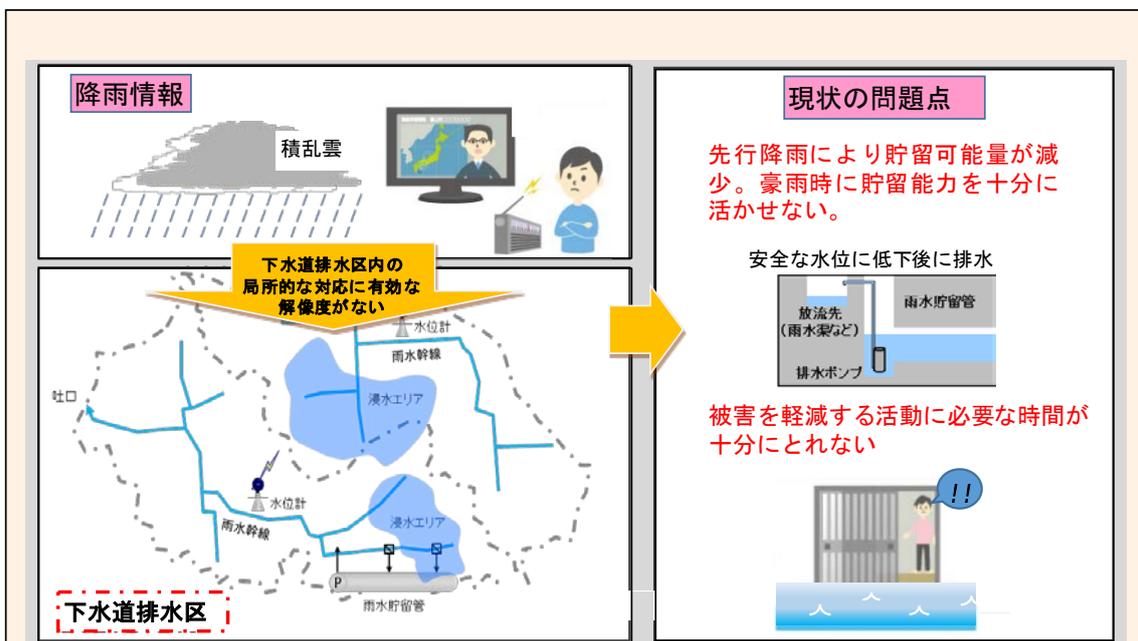
図 2-1 風水害時の主な活動

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>

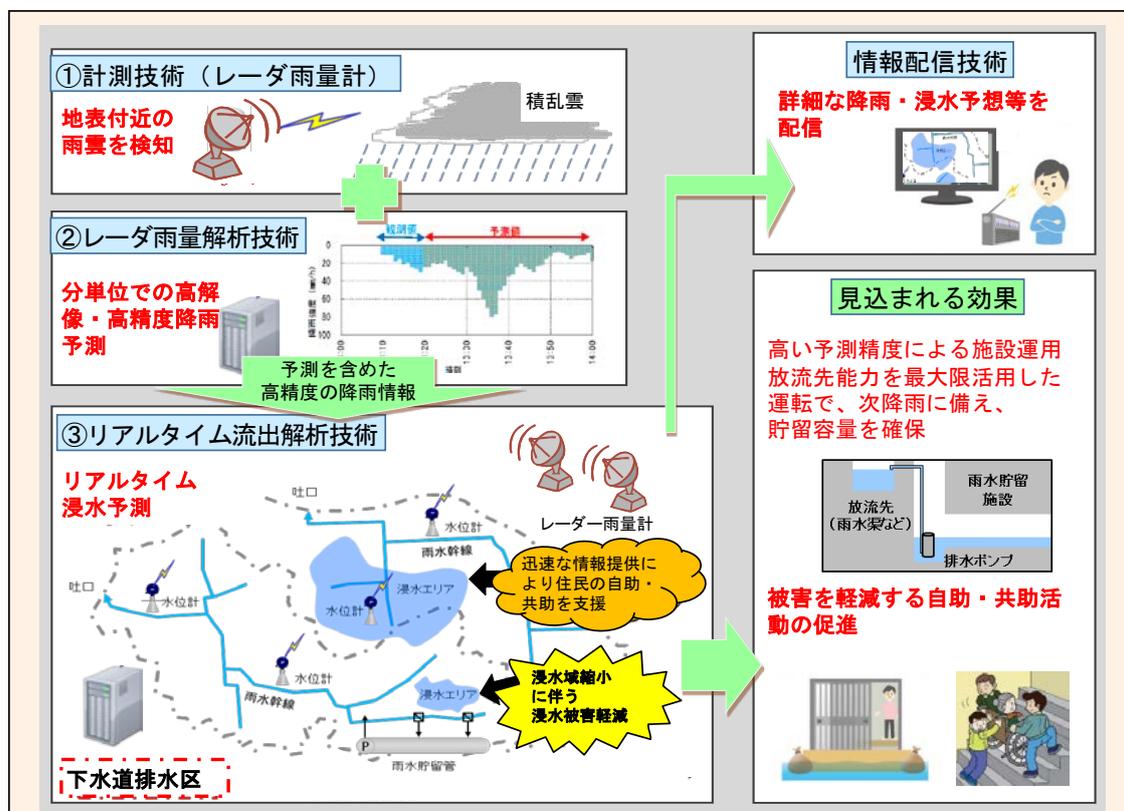


図 2-2 本技術導入後に見込まれる効果

§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。

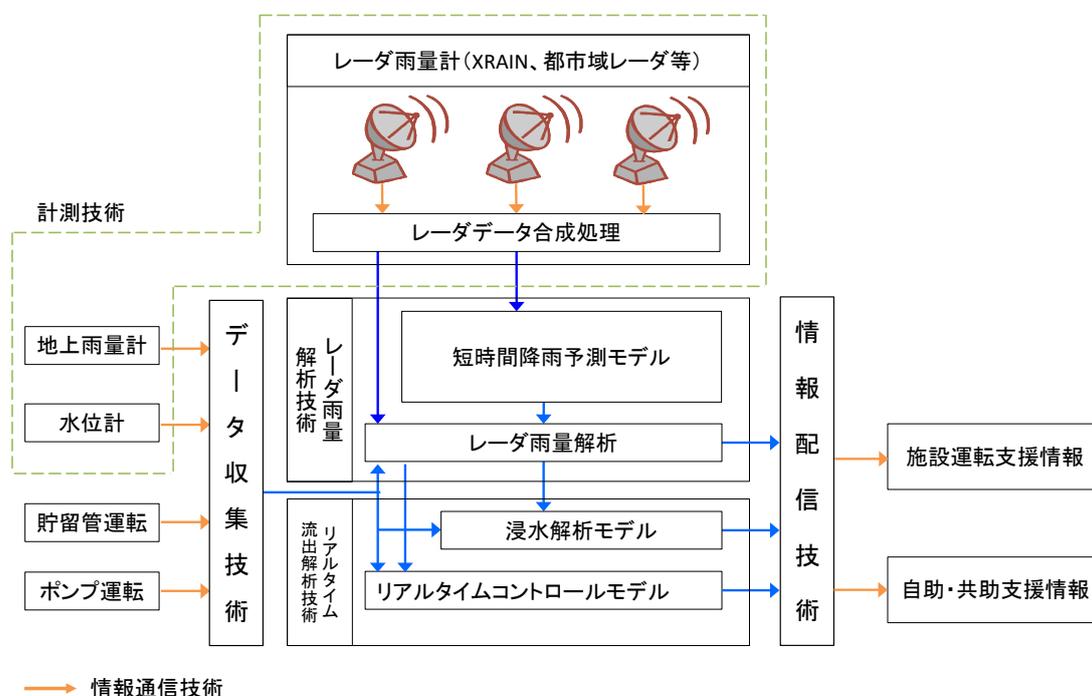


図2-3 本技術の要素技術構成

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)

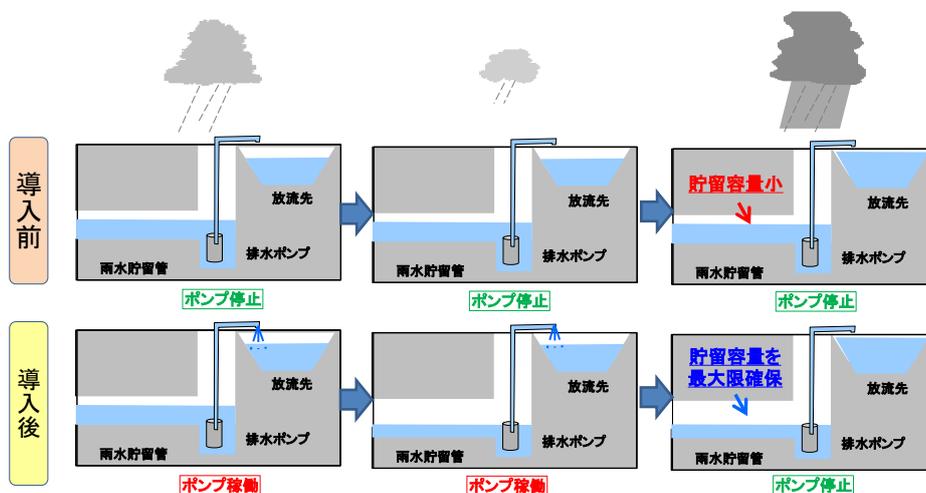
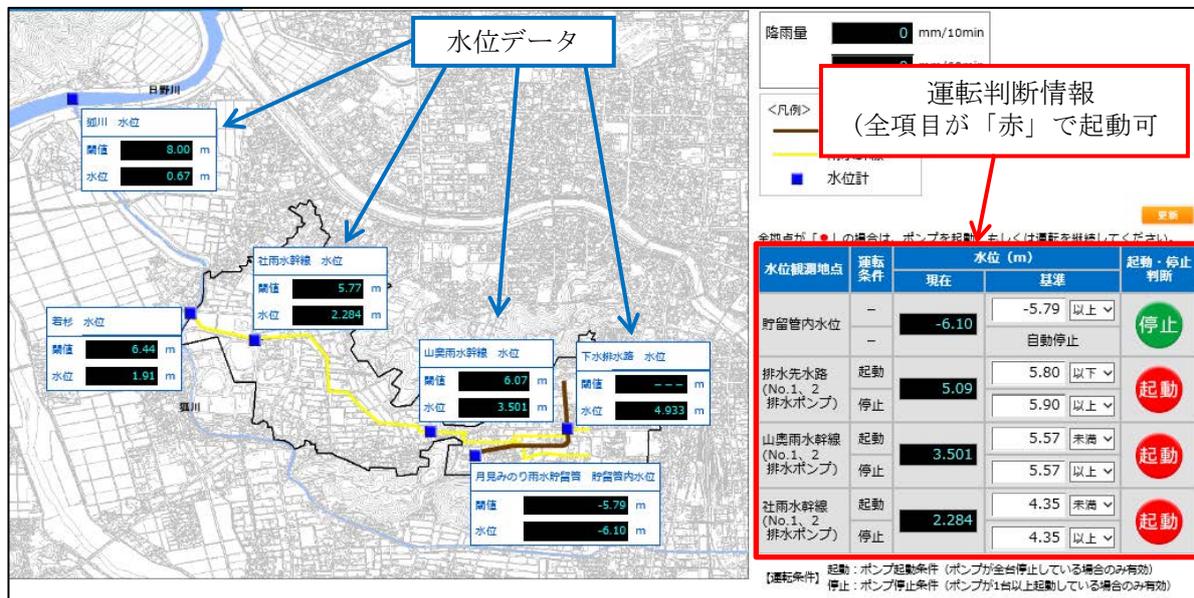


図 2-4 雨水貯留管における本技術の導入前後の運用例

< 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） >

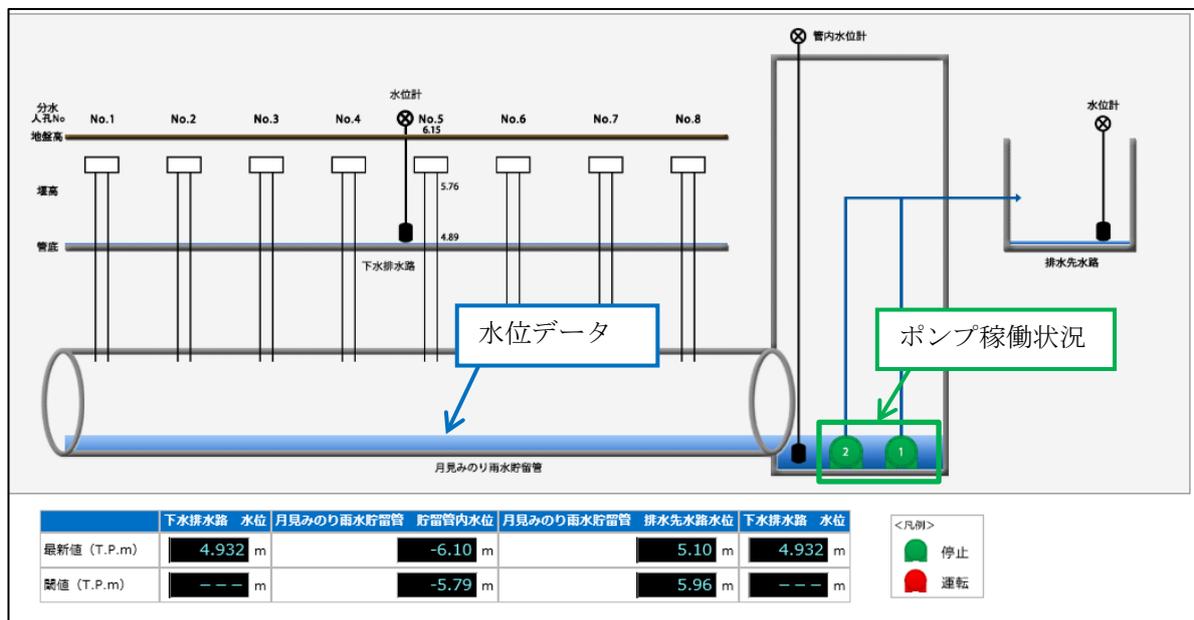


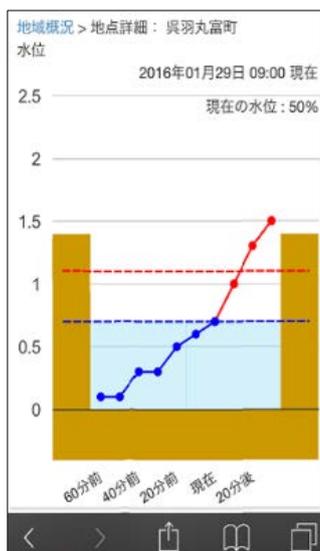
図 2-5 情報配信画面の例

(2) 情報配信による自助・共助の促進

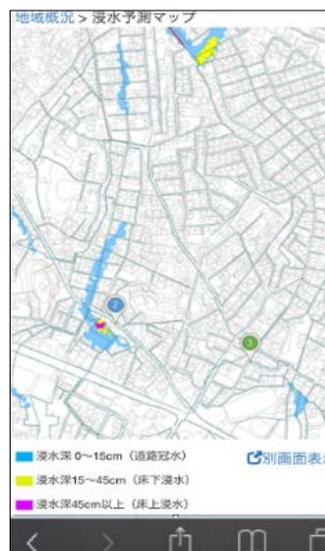
§5に示したように内水による浸水に対しては、災害発生直前および直後において、避難や高齢者等被害時要救護者の支援等の避難行動、土のう・止水板の設置による床下浸水の防止や家財・車の移動等の被害を軽減する活動、さらに住民同士の呼びかけ等の自助・共助活動を行うことで被害の軽減が期待できる。

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、XARIN 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。

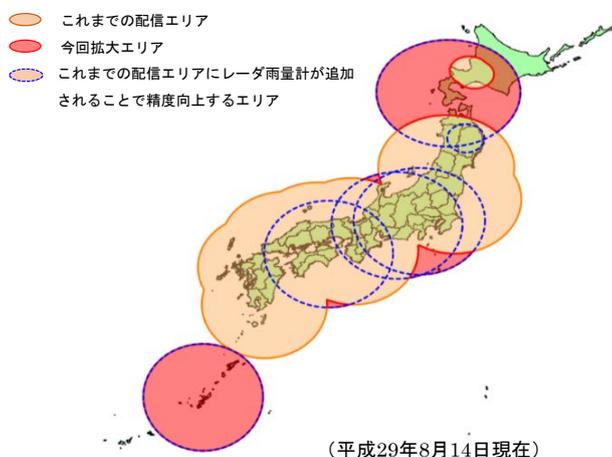


図 2-7 XRAIN 配信エリア (平成 29 年 8 月現在)

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

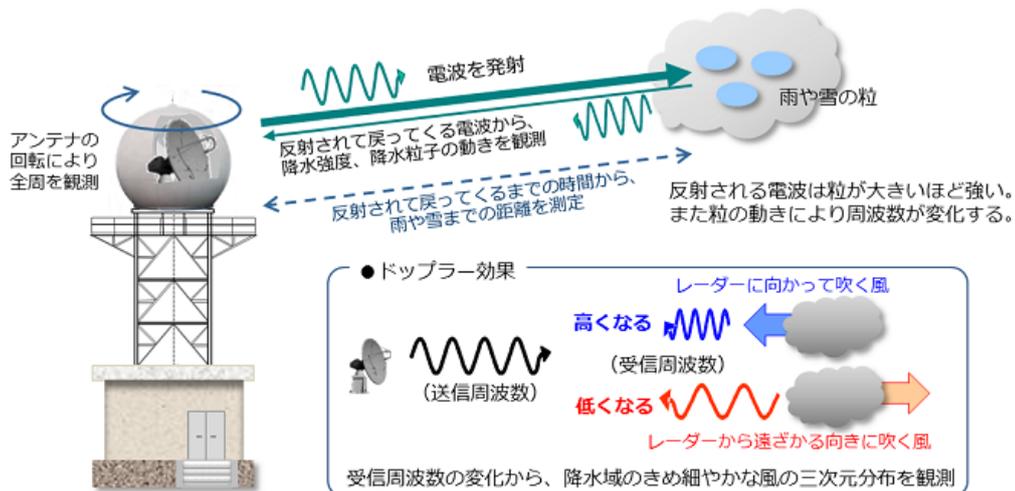
【解説】**(1) レーダ雨量計**

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。

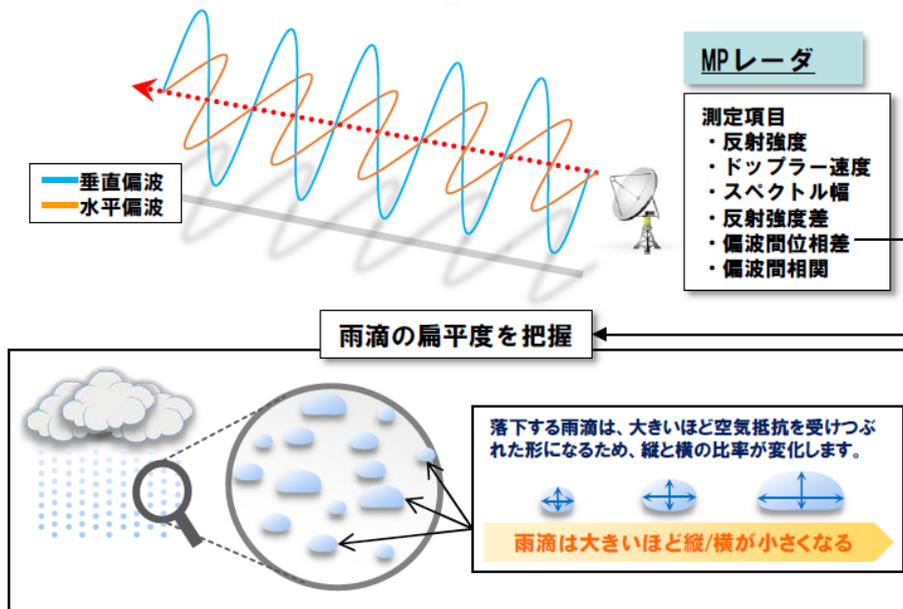
気象レーダーは、アンテナを回転させながら電波(マイクロ波)を発射し、雨を観測する。発射した電波が戻ってくるまでの時間から雨までの距離を測り、戻ってきた電波(レーダーエコー)の強さから雨の強さを観測する。また、戻ってきた電波の周波数のずれ(ドップラー効果)を利用して、雨の動きすなわち降水域の風を観測することができる。



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

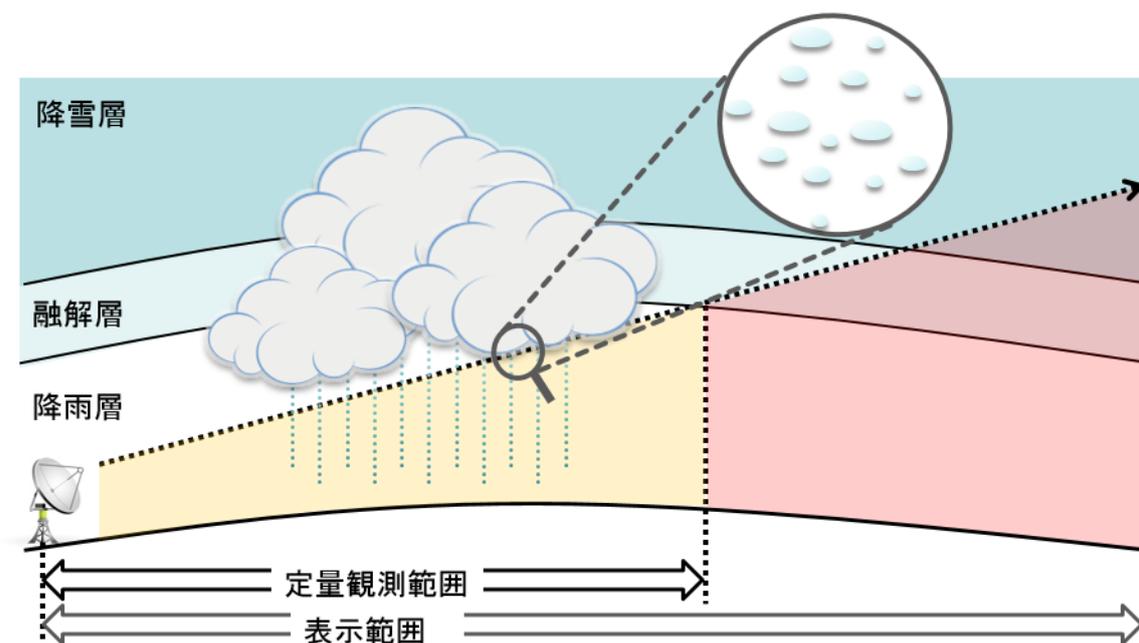
図 2-8 レーダ雨量計の観測原理

- ・MPレーダーでは、2種類の電波(水平・垂直偏波)を送受信
- ・従来のレーダー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 レーダーの観測原理



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）

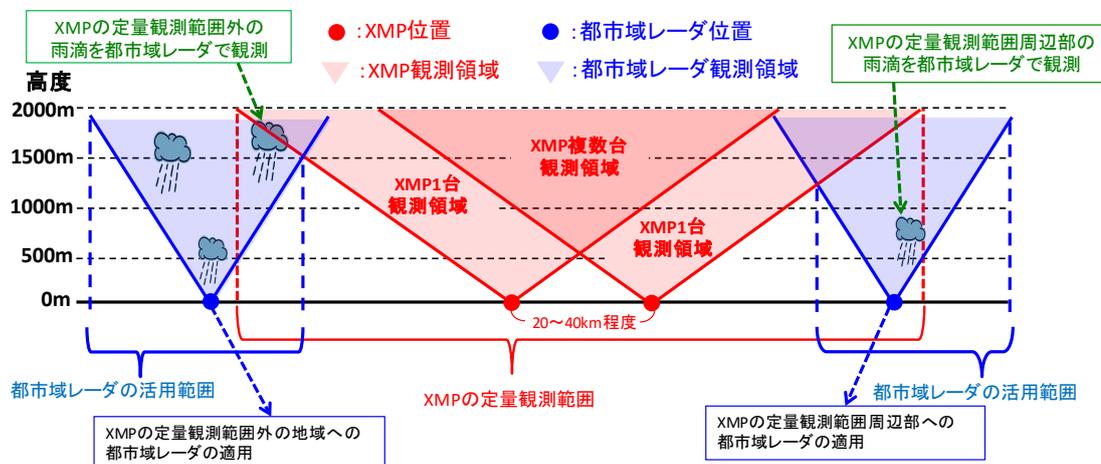


図 2-11 都市域レーダの活用範囲イメージ

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。

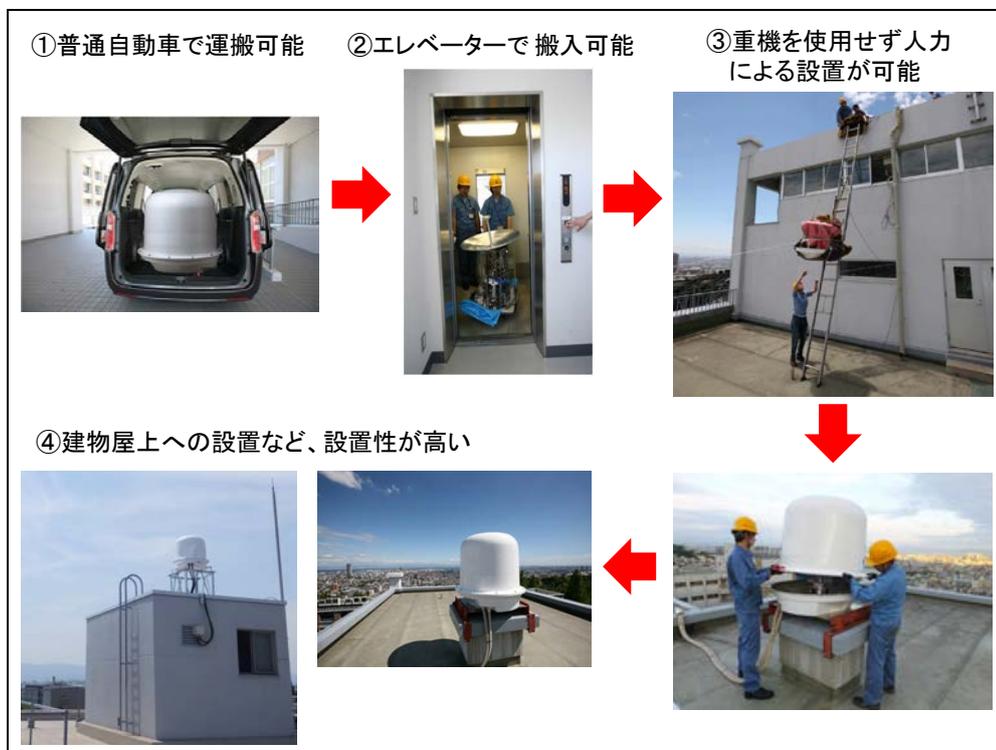
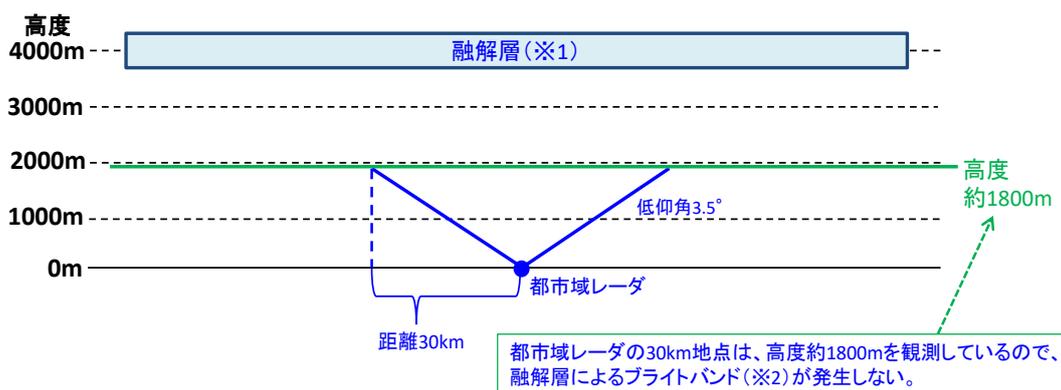


図 2-12 スペースの限られた既存建物屋上への設置例

(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

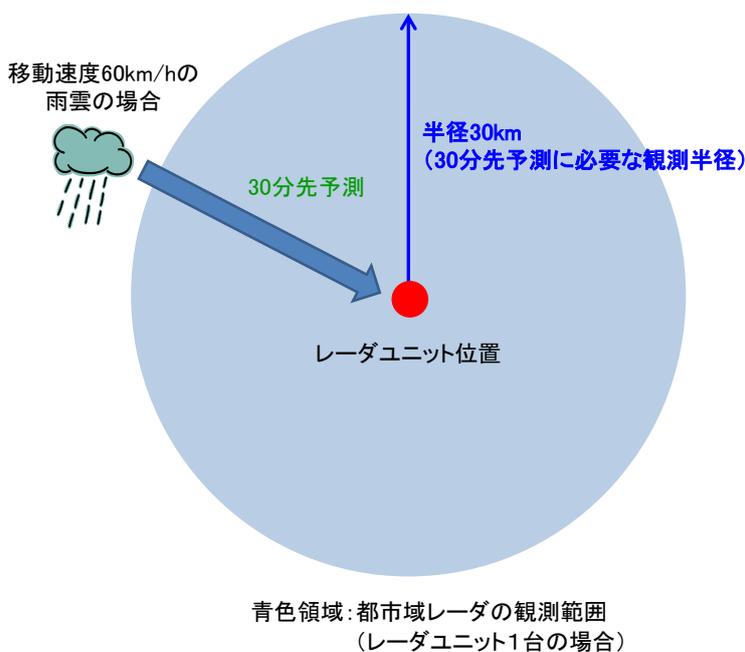


図 2-14 都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）

(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。

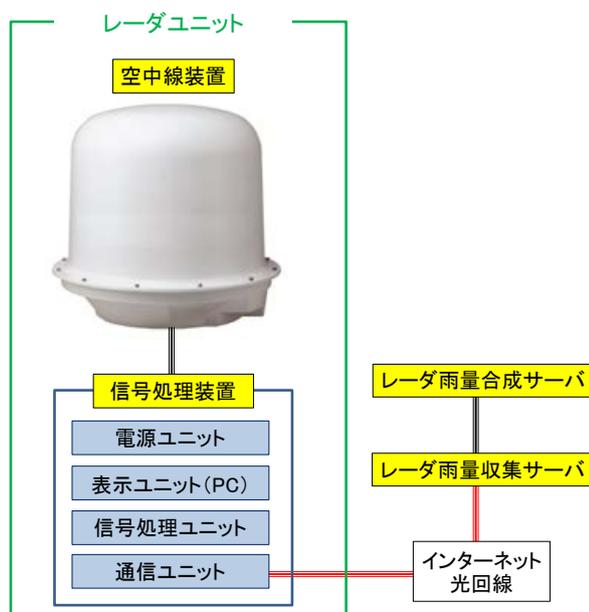


図 2-15 都市域レーダの機器構成（レーダユニット1台の場合）

(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。

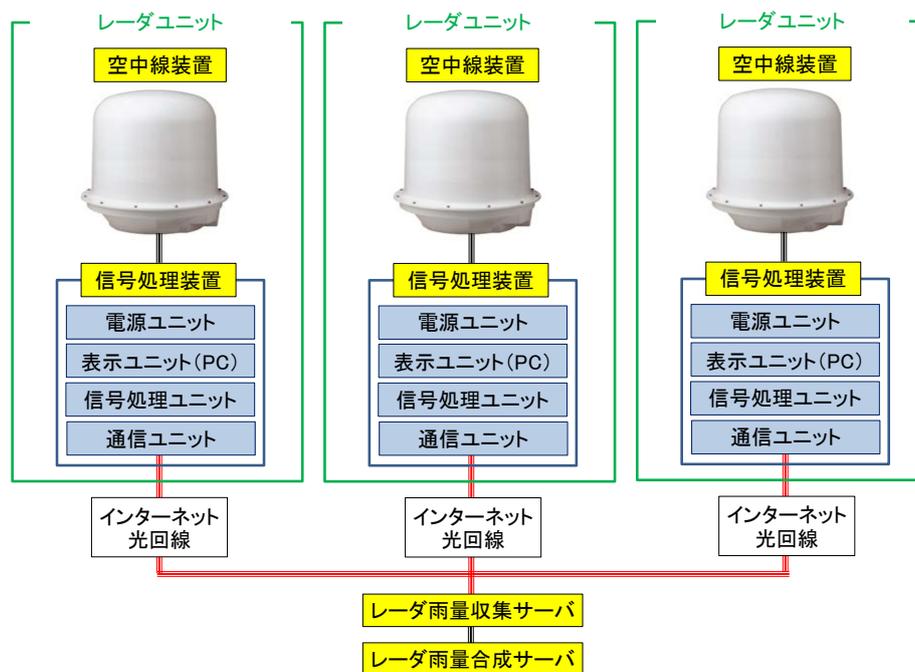


図 2-16 都市域レーダの機器構成（レーダユニット 3 台の場合）

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。

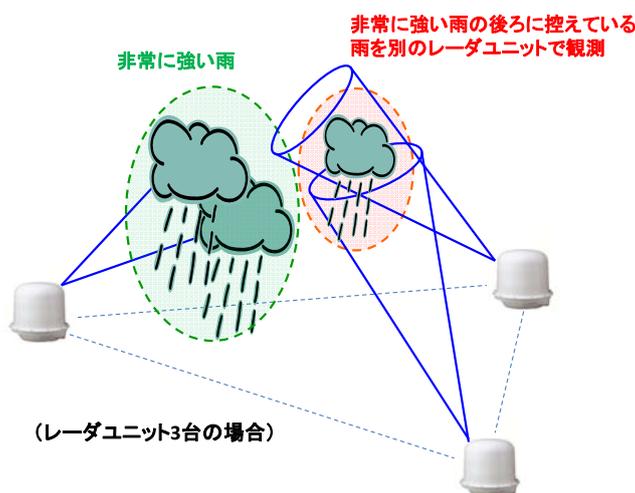


図 2-17 電波消散への対応

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。

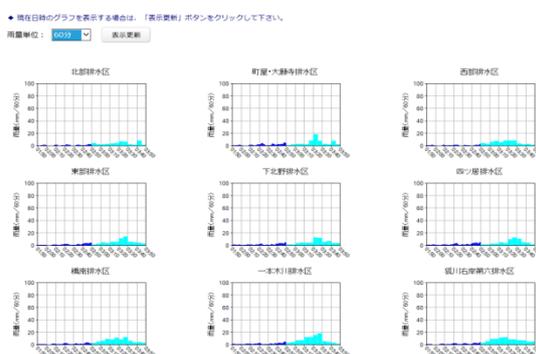
【解説】

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。

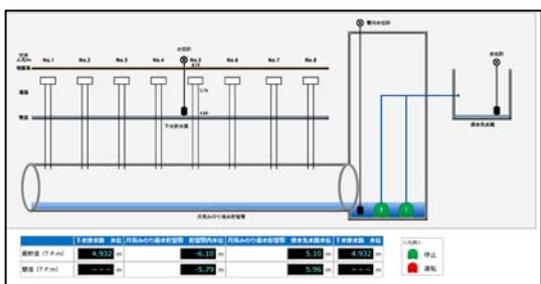
代表的な配信画面として、レーダ雨量計で観測した降雨強度をメッシュ毎に色分け表示したレーダ雨量メッシュ画面、排水区別平均雨量画面、雨水貯留管における排水ポンプの起動・停止のガイダンス情報を表示した施設運転支援画面、水位計測値、予測値を示した自助・共助支援画面を図2-19に示す。なお、配信画面の詳細については、§ 28を参照のこと。



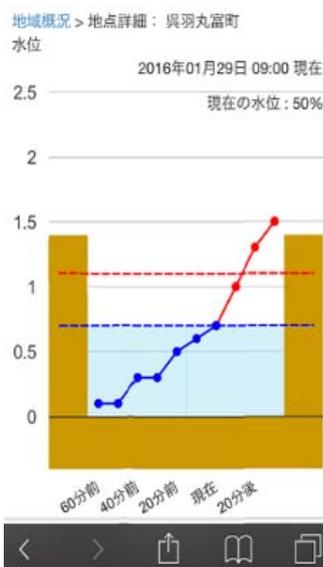
レーダ雨量メッシュ画面



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						
	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。

第3章 導入効果

第1節 実証研究に基づく導入効果

§ 15 評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果
- (2) 情報配信による自助・共助の促進効果

【解説】

本技術の導入検討を進めるにあたり、導入効果を定量的に把握できるように、評価項目および評価結果を提示する。本技術は、施設運転支援と自助・共助促進の両方に活用できることから、支援の対象および期待する効果を予め明確にしておく必要がある。さらに、効果に対する評価については、施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果、および情報配信による自助・共助の促進効果に対して別々に行う必要がある。

(1) 施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果

本技術導入による浸水被害軽減効果は、支援対象とする施設について、現状運転時と施設運転支援情報に基づく運転（以下、対策運転とする）に対する浸水被害の変化に基づいて評価する。なお評価にあたっては、浸水被害に関連する被害額や浸水面積、浸水深、浸水継続時間等の指標の中から、必要に応じて選定し、期待する効果が得られるかどうか評価を行うものとする。

さらに、本技術導入による浸水面積の軽減効果および浸水被害軽減効果により導入費用をどのくらいの期間で回収出来るかを示す指標として、経費回収年を算定する。

(2) 情報配信による自助・共助の促進効果

本技術による自助・共助の促進効果は、対象とする活動に関する技術導入前後における行動の変化等に基づいて評価する。評価にあたっては、表 2-2 等を参考に対象とする自助・共助活動を選定し、期待する効果が得られるかどうか評価を行う。

なお、自助・共助活動による効果の算定方法は、現状ではまだ確立されていない。その点をふまえて、本実証研究における評価は、あくまでも一事例であることに留意し、導入する現場や評価対象に応じて適切に算定できるよう工夫することが望ましい。

(評価事例：実証研究での評価結果)

§ 15 に示した評価項目の評価指標および目標値は、導入する現場や対象とする降雨等により異なる。そのため本ガイドラインでは、評価の一事例として実証研究で実施した評価結果を示す。

実証研究は、実証フィールドとして福井市および富山市を対象に実施し、福井市では施設運転支援および情報配信による自助・共助の促進について、富山市では情報配信による自助・共助支援の促進効果について評価を行った。

実証研究における降雨観測体制を図 3-1 に示す。福井市および富山市を観測対象とする各レーダ雨量計の観測範囲を円で示しており、福井市の実証フィールドは、XMP 能美局から 50km~60km の距離に、富山市の実証フィールドは、XMP 水橋局から 10km 程度にそれぞれ位置している。

なお実証フィールドにおいては、平成 16 年に発生した浸水被害以降、浸水被害軽減に向けた取り組みを強化し、浸水ハザードマップや水防活動マニュアルの整備、土のうの配布・備蓄、止水板の導入、車の移動、定期的な防災・避難訓練等が実施されてきた。

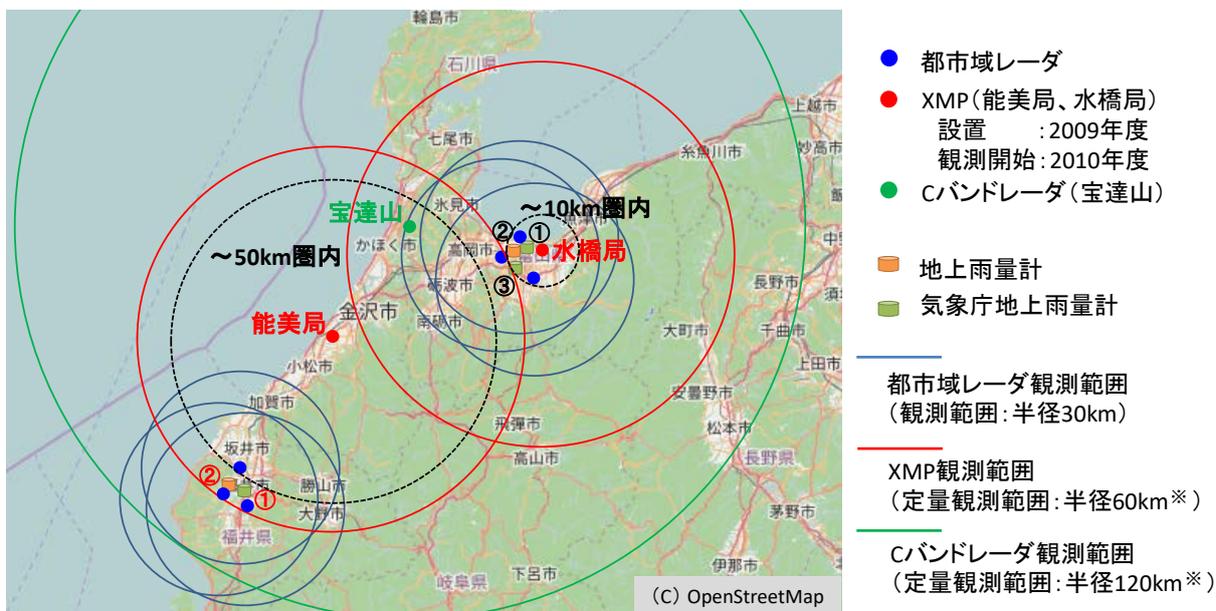


図 3-1 降雨観測体制

(1) 福井市における評価事例（施設運転支援および情報配信による自助・共助促進）

1) 実証フィールドの概要

福井市における下水道全体区域（雨水）は、1,821ha、12排水区から構成されており、雨水対策施設として排水区内に 11 の雨水貯留管が整備されている。このうち、施設運転支援における実証研究は、貯留管規模および排水先能力を考慮し、月見・みのり雨水貯留管が整備されている狐川右岸第六排水区および下北野雨水貯留管が整備されている下北野排水区の 2 排水区を対象に実施した。さらに、自助・共助支援における実証対象は、近年最も浸水被害が頻発している加茂河原・小山谷排水区および橋南排水区を対象に実施した（図 3-2 参照）。

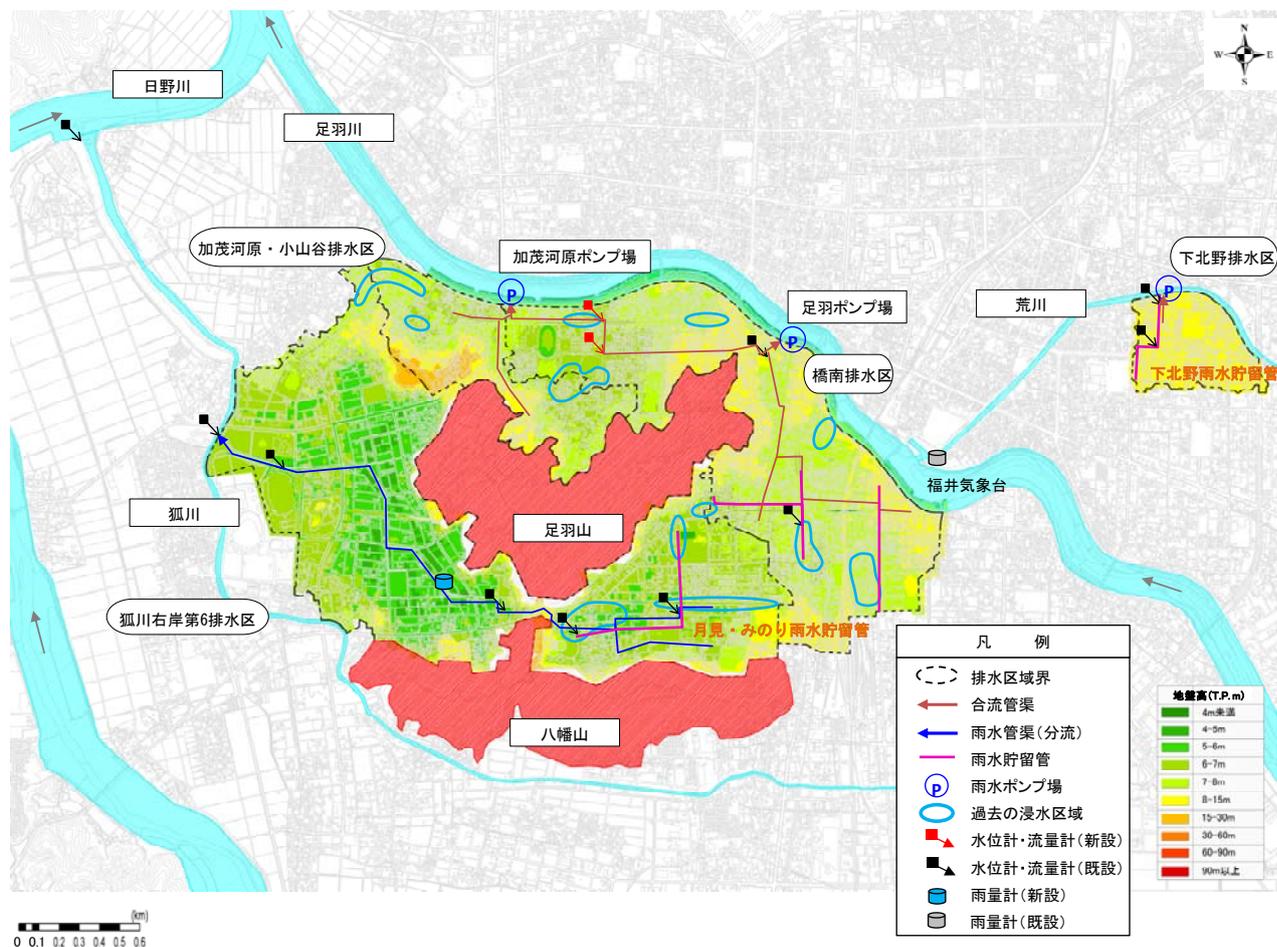


図 3-2 実証フィールドと施設配置図

2) 施設運転支援による浸水被害軽減効果の評価事例

① 実証研究における評価方法

施設運転支援による浸水被害軽減効果は、まず実証対象とした雨水貯留管（実証 2 貯留管）に対して対策運転のシナリオを設定し実運転を通して評価を行い、さらにその他 9 貯留管においても実証対象と同様の運転シナリオを設定した上で全体の効果を試算した。評価の指標は、本技術の導入前後における浸水面積削減量および年平均被害軽減期待額とした。なお、実証期間中に浸水を伴う降雨が発生しなかったため、実証期間中に観測された降雨波形（前方集中，中央集中，後方集中型）ごとに 60 分最大降雨量の上位 2 降雨を選定し、計画降雨規模まで引き伸ばした降雨を用いて評価を行った。

② 実証研究における施設運転支援

福井市における施設運転支援情報の提供は、§ 13 に示す情報配信技術により作成した実測・予測水位，排水ポンプ起動・停止の基準値，および判断結果等の情報を施設操作画面へ表示することにより行った（図 3-3）。情報提供の詳細については、資料編 6.1 に示す。

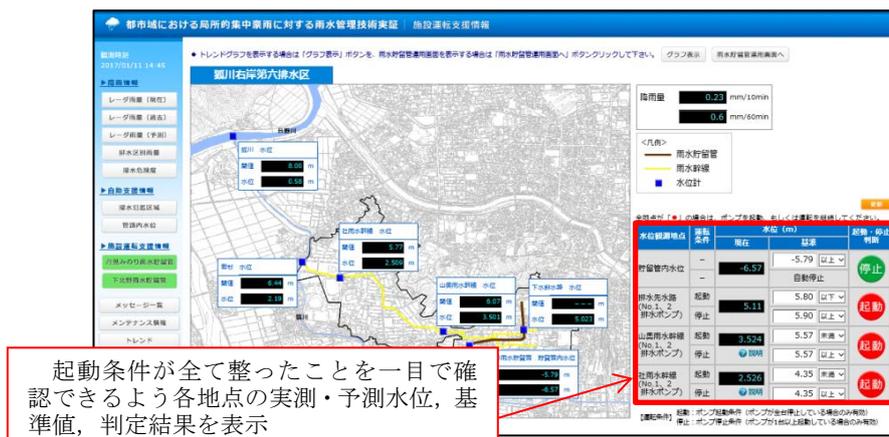


図 3-3 施設運転支援情報例（福井市）

③ 施設運転シナリオの設定

実証対象とした雨水貯留管の現状運転では、降雨が終了し放流先水位が低下したことを確認後、貯留管内の雨水の排水を行っている。一方、本技術導入後は、降雨期間中における放流先水位の予測が可能であるため、放流先において規定水位以下であると予測される期間においては降雨中でも排水ポンプを連続稼働することで、次降雨に備え可能な限り貯留量を確保する運転シナリオを設定した。

導入後の運転シナリオおよび実運転に基づく導入後運転の実現性、浸水被害軽減効果については、資料編 4.1 および 4.2 を参照のこと。

④ 浸水被害軽減効果の試算

(a) 浸水面積削減効果

①で示した対象降雨について、運転支援情報に基づく対策運転を実施した場合、浸水面積は現状運転時よりも 12.5%~47.8%の削減率（(1-対策運転による浸水面積/現状運転による浸水面積)×100）となり、一定の被害軽減効果を期待できる結果となった。

(b) 浸水被害軽減額

浸水被害額に対する効果として、年平均浸水被害軽減期待額で評価を行った。

評価は、実証 2 貯留管およびその他 9 貯留管両方で、浸水面積の削減効果が中間的な効果を示した降雨（平成 28 年 9 月 17 日降雨）を対象に、5 年・10 年・30 年・50 年確率雨量に引き伸ばし、「下水道事業における費用対効果分析マニュアル 平成 28 年 12 月」¹²⁾ に準じて、年平均浸水被害軽減期待額を算出することで実施した。

その結果、福井市全域に本技術を導入した場合における年平均浸水被害軽減期待額は、109.8 百万円/年と試算された。

(c) 経費回収年

施設運転支援および自助・共助支援における浸水被害軽減効果の合計および技術導入に必要な費用（導入費）および維持管理費を算定し、経費回収年を試算した。

$$\text{経費回収年} = \frac{\text{導入費（実証区域＋実証区域外※）}}{\text{年平均浸水被害軽減期待額－維持管理費（実証区域＋実証区域外※）}} \dots\dots\text{①式}$$

※下水道排水区域全体のうち、実証フィールドを除いた区域。

福井市の経費回収年算定結果を表 3-1 に示す。導入費が 616 百万円、維持管理費が 17.2 百万円/年、年平均浸水被害軽減期待額は 109.8 百万円と算定しており、①式から試算すると、経費回収年は 6.7 年となった。詳細については資料編 4.3 を参照のこと。

表 3-1 福井市における経費回収年

項目		金額
導入費	百万円	616
維持管理費	百万円/年	17.2
年平均浸水被害軽減期待額	百万円/年	109.8
経費回収年	年	6.7

3) 情報配信による自助・共助促進の評価事例

① 実証研究における評価方法

実証研究では、技術の導入前後における自助・共助活動実施率の差（自助・共助対応向上率）を促進効果として評価することとした。ただし、実証期間中は浸水を伴う降雨は発生しなかったため、ここで示す自助・共助活動実施率とは、実際の行動の結果ではないことに留意されたい。また、あわせてリードタイムの確認も行った。

② 実証研究における自助・共助支援

自助・共助支援情報の提供は、対象者に向けた情報確認を促すメールの配信と、実証にあたりあらかじめ配布したタブレット保有者に向け、情報配信技術により作成した降雨、管路内水位、浸水氾濫区域に関する現状および予測情報画面を表示することにより行った（図 3-4）。情報提供の詳細については、資料編 6.1 に示す。

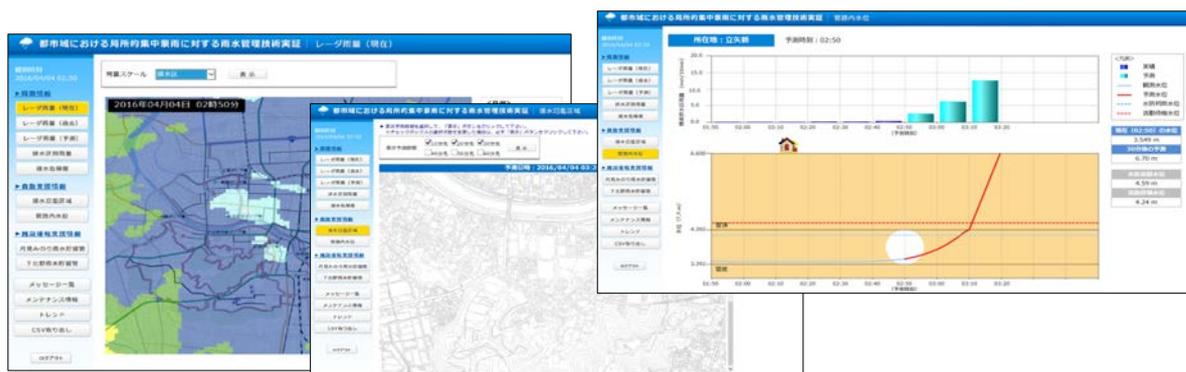


図 3-4 自助・共助支援情報例（福井市，左から降雨・浸水氾濫区域・管路内水位情報）

③ 自助・共助対応向上率の確認

自助・共助対応向上率は、本実証研究前後で行ったアンケート結果より設定した。

本実証研究では、福井市での取り組みの状況を考慮した上で、自助・共助活動の促進効果を示す指標として土のう・止水板の設置，自動車の移動を対象とした。浸水被害経験のある世帯の中で浸水発生時における対応の有無を聞き，行動意思のある世帯数の率を算出した。次に，実証前後の対応率の差分を対応向上率とした。

自助・共助対応向上率については，本来本技術導入前後の対応行動実施割合の変化で評価すべきであるが，研究期間中に浸水が生じるような降雨が発生しなかったため，技術導入後の実施割合を計測することができなかった。このため，行動意思のある世帯の行動実施率が100%と仮定して対応向上率を推定した。

その結果，土のう・止水板設置の対応向上率は53%，自動車移動の対応向上率は40%となり，本技術の導入により自助・共助活動が促進されることが確認された。自助・共助対応向上率の詳細については，資料編 5.1 に示す。

④ リードタイムの確認

本実証研究では，住民に対するアンケート調査やヒアリング等から目標値として自助・共助活動に必要なリードタイムを設定し，それに対して実証研究中の情報配信に要した時間を比較することで評価を実施した。

本実証研究での必要なリードタイムは，自助・共助活動のうち，土のう（止水板）の設置や家財（自動車）の移動に要する時間とし，住民へのヒアリングより，20分として設定した。

確認の結果，一部の対象降雨においてリードタイム 20分以上を確保できない状況が確認されたが，実証研究で用いた特異移流モデルで計算される複数の予測結果の中で，特異最大がリードタイムを確保できるケースが多く，自助・共助支援においては，安全側を予測する特異最大を導入することで，住民が必要とするリードタイムを確保しやすくなることが確認できた。なお，安全側を予測すると，リードタイムは確保しやすくなるが，一方で予測情報の空振りが増えやすくなる点に注意が必要である。

リードタイム確認方法および結果の詳細については，資料編 3.5 に示す。

(2) 富山市における評価事例（情報配信による自助・共助の促進）

1) 実証フィールドの概要

富山市においては実証フィールドである分流式下水道で整備された呉羽排水区（排水区面積 200ha）を対象として、情報配信による自助・共助の促進効果について評価を行った。

実証研究では都市域レーダおよび水位計で実証フィールド内の雨量および下水管路（分流式雨水）内水位を計測し、これら情報を用いたリアルタイム降雨予測・リアルタイム流出解析による浸水予測情報を実証研究区域における特定の住民に配信した。

実証フィールドにおける施設配置を図 3-5 に示す。

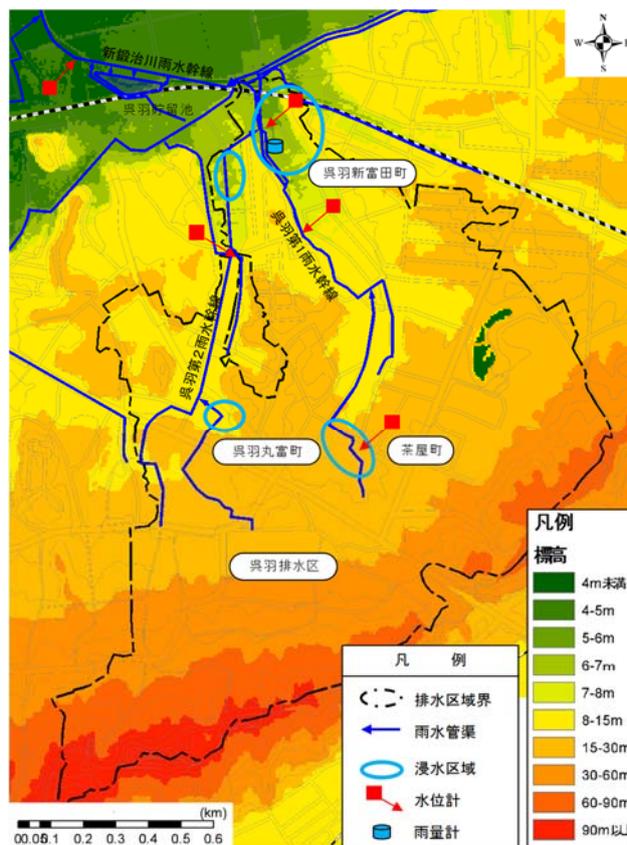


図 3-5 実証フィールドと施設配置図

2) 情報配信による自助・共助促進の評価事例

① 実証研究における評価方法

富山市においても福井市と同様に、技術の導入前後における自助・共助活動実施率の差（自助・共助対応向上率）を促進効果として評価することとした。なお、同様に実証期間中は浸水を伴う降雨は発生しなかったため、ここで言う自助・共助活動実施率とは、実際の行動の結果ではないことに留意されたい。また、あわせてリードタイムの確認も行った。

② 実証研究における自助・共助支援

自助・共助支援対象地区 84 世帯中、浸水常襲地点である低地の 46 世帯を対象として選定した。このうち、町内の自主防災組織、過去の浸水で被害を受けた地域住民にタブレットを配布し、局地的な豪雨の発生時や基準水位に達した場合のアラート情報や、§ 13 に示す情報配信技術により作成した降雨、管路内水位、浸水氾濫区域に関する現状と予測情報の配信（図 3-6）を行うことで、防災隊長や自主防災組織が早期に自助・共助活動に取り組めるよう自主防災組織と地域住民の自助・共助活動を支援することとした。情報提供の詳細については、資料編 6.1 に示す。

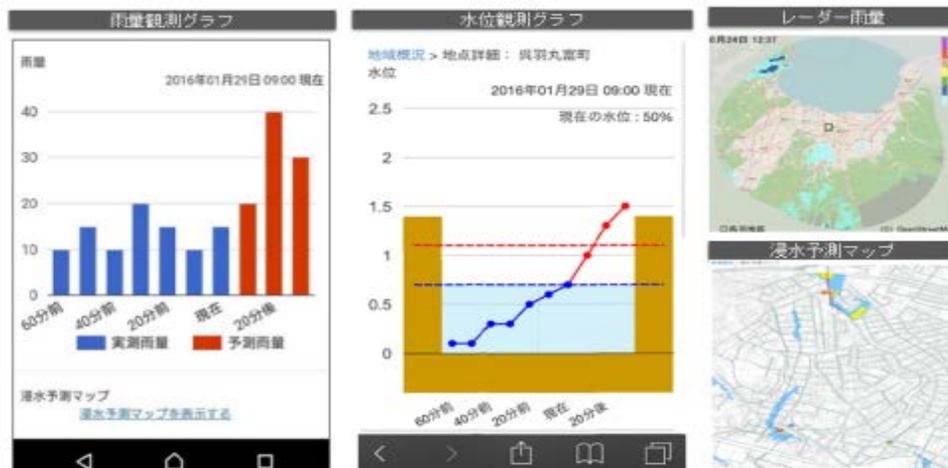


図 3-6 自助・共助支援情報例（富山市）

③ 自助・共助対応向上率の確認

富山市における自助・共助対応向上率は、富山市での取り組みの状況を考慮した上で指標として土のう・止水板の設置、自動車の移動を対象とし、福井市同様に本実証研究前後で行ったアンケート結果より設定した。自助・共助対応向上率は、本実証地域における本技術導入前後のアンケート調査より、土のう・止水板の設置については45%、自動車の移動については47%となった。なお、実証研究中に浸水が発生する降雨が無かったため、導入後の対応率は、今後の被害軽減活動への対応意向にて設定した。

自助・共助対応向上率の詳細については、資料編 5.1 に示す。

④ リードタイムの確認

本実証研究での富山市におけるリードタイムの確認は、福井市同様に住民に対するアンケート調査やヒアリング等から目標値として自助・共助活動に必要なリードタイムを設定し、それに対して実証研究中の情報配信に要した時間を比較することで評価を実施した。

必要なリードタイムは、自助・共助活動のうち、土のう（止水板）の設置や家財（自動車）の移動に要する時間とし、住民へのヒアリングより、20分として設定した。

確認の結果、一部の対象降雨においてリードタイム20分以上を確保できない状況が確認されたが、実証研究で用いた特異移流モデルで計算される複数の予測結果の中で、特異最大がリードタイムを確保できるケースが多く、自助・共助支援においては、安全側を予測する特異最大を導入することで、住民が必要とするリードタイムを確保しやすくなることが確認できた。リードタイムの確認方法および結果の詳細については、資料編 3.5 に示す。

第2節 本技術の段階的導入と活用方法

§ 16 要素技術の段階的導入における導入効果

本技術では、§6に示した構成が基本となるが、以下に示す要素技術の段階的導入においても導入効果を発揮することができる。

- (1) レーダ雨量情報の活用
- (2) 雨量・水位・施設運転情報の活用

【解説】

(1) レーダ雨量情報の活用

段階的導入としてレーダ雨量計（都市域レーダもしくはXRAIN）、雨量解析技術および情報配信技術の組合せによる構成例を図3-7に示す。

本構成では、過去から現時点までのレーダ雨量強度のメッシュ表示画像およびメッシュごとの値、レーダ雨量に基づく排水区別雨量等の閲覧が可能となる。これによって、施設運転支援においては、操作人員が豪雨の接近や雨量の変化に応じた水量の増減をある程度推測することで、雨水ポンプ（手動）の起動遅れの防止、豪雨時の雨水ポンプ流入ゲートの確実な運用等の運転操作が可能となる。さらに、自助・共助支援では局地的な豪雨の発生、基準雨量に達した場合のアラート情報の提供に基づく浸水被害軽減活動の促進による浸水被害軽減が期待される。

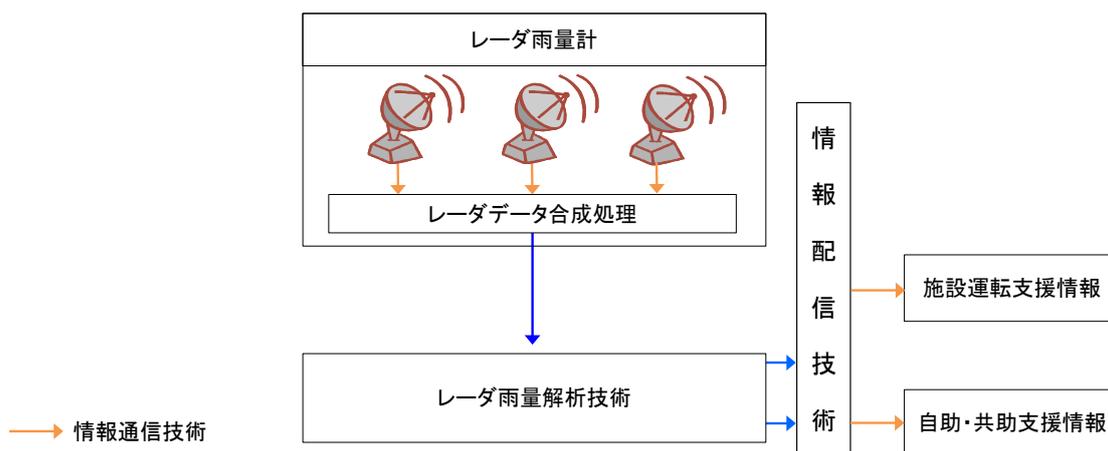


図 3-7 レーダ雨量情報の活用事例

(2) 雨量・水位・施設運転情報の活用

上記の要素技術に加え、データ収集管理技術、水位観測情報の組合せによる構成例を図 3-8 に示す。

本構成では、(1)に加え、過去から現在までの下水管路内水位の時系列情報の閲覧が可能となる。これによって、下水道施設の運転支援においては、操作人員が下水道管路内の水位変動を確認しながら運転操作を行うことで、(1)よりさらに確実に雨水ポンプの起動遅れの防止や、豪雨時の雨水ポンプ流入ゲートの適切なタイミングでの操作が可能となる。また、自助・共助支援においては、下水管路内水位に基づいたより確実なタイミングでの自助・共助のための情報配信を行うことが可能となり、さらなる浸水被害軽減が期待される。

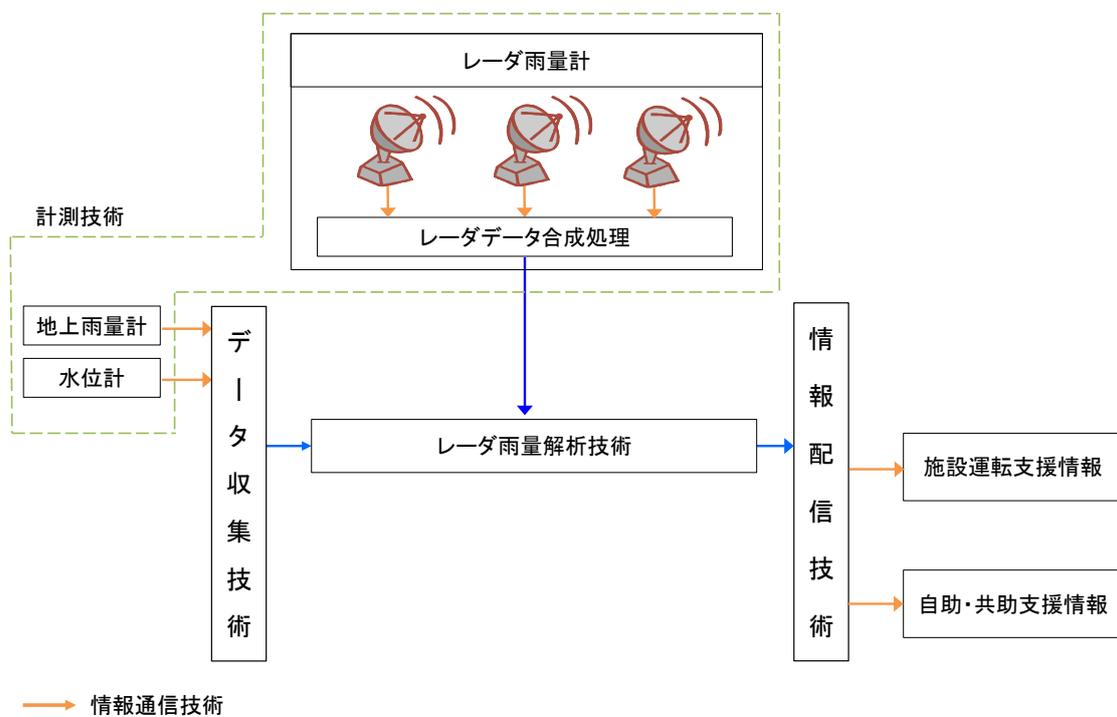


図 3-8 雨量・水位・施設運転情報の活用

§ 17 本技術の活用方法

本技術は、実証研究で実施したような雨水貯留管による浸水対策の他に、以下のような都市域における雨水管理についても、活用が可能である。

- (1) 早期の雨水ポンプ排水
- (2) 放流先水位の低下を予想した排水ポンプ運転
- (3) 雨水滞水池における合流改善，浸水対策の併用利用
- (4) 浸水対策施設間のネットワーク化による効果的運用
- (5) 浸水対策施設の合流改善利用
- (6) 遮集ポンプ高水位運転による省エネルギー化
- (7) 各種維持管理作業の管理

【解 説】

本技術を活用した場合の都市域における雨水管理について、実証研究で確認した効果以外に浸水被害軽減効果等の発現が可能となるケースを以下に示す。

(1) 早期の雨水ポンプ排水

雨水ポンプ場において局地的豪雨により流入量が急激に増加する場合には、本技術による予測水位に基づきポンプ起動水位を変更し、早期にポンプを稼働することによる浸水被害軽減が可能となる(図 3-9 参照)。

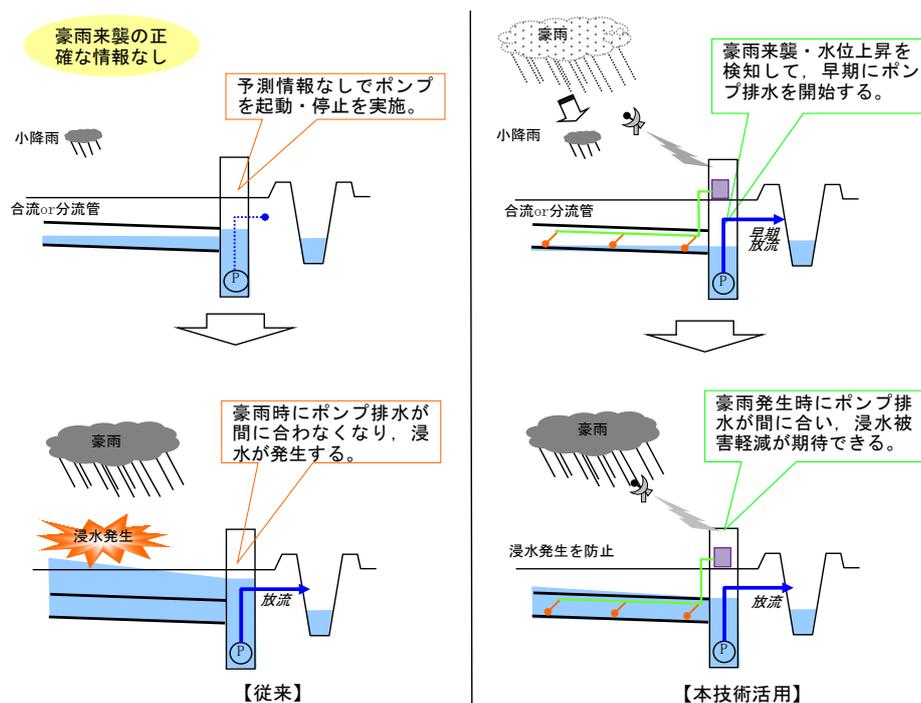


図 3-9 豪雨来襲を予測した早期の排水ポンプ運転

(2) 放流先水位の低下を予想した排水ポンプ運転

下水道の放流先河川の能力が不足する流域では放流制限を受けることがあり、内水を十分に排除できずに浸水が発生することが予想される。

本技術を放流先河川も含めた水位計測および浸水予測を行うことにより、放流先河川の水位が下がることを予測して、早期に内水を排除して浸水時間の短縮を図ることが可能となる(図 3-10 参照)。

なお、放流先河川の管理者が異なる場合は、事前に管理者との調整が必要となる。

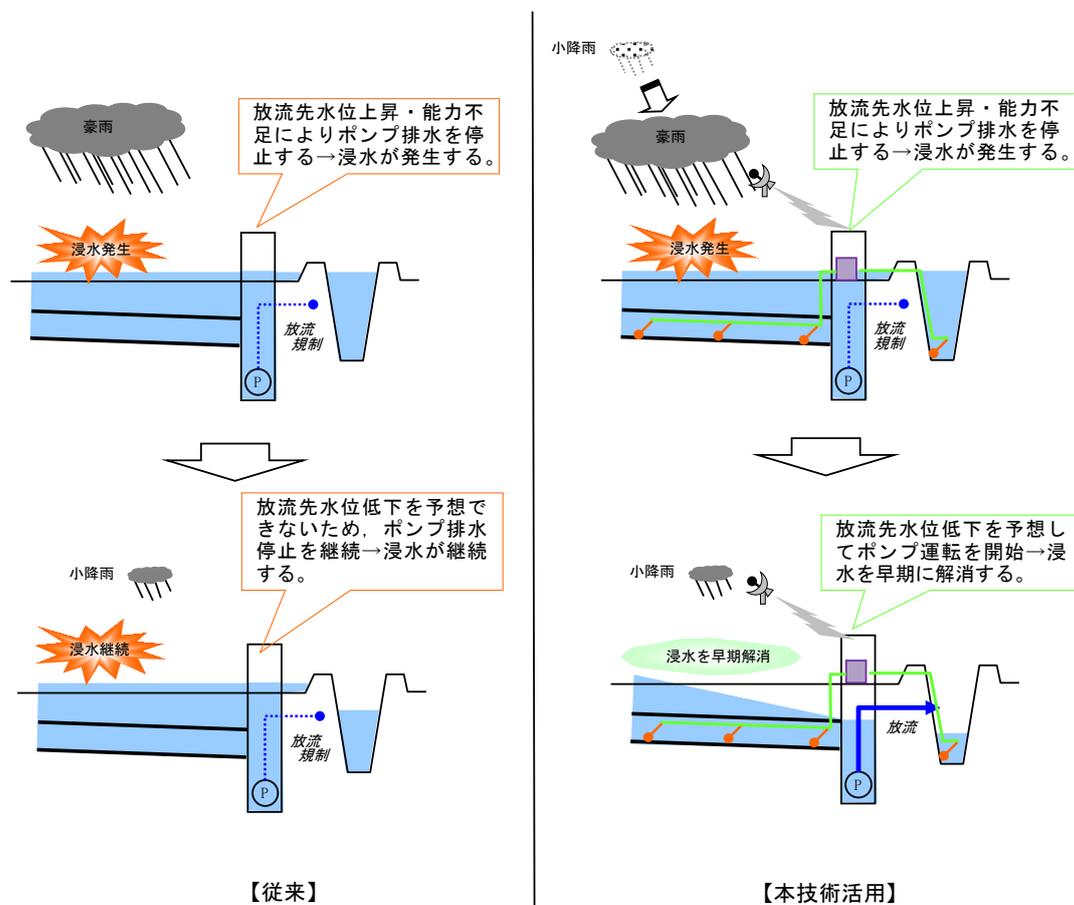


図 3-10 放流先水位の低下を予想した排水ポンプ運転

(3) 雨水滞水池における合流改善, 浸水対策の併用利用

合流式下水道においては, 未処理放流における汚濁負荷量の削減を目的として雨水滞水池を設置することがある。雨水滞水池は, 初期雨水を貯留するものであるが, 本技術を適用することで, 浸水が発生するような大規模な降雨が予測された場合には, 初期降雨の貯留の中止, または貯留した初期降雨の先行排水を実施し, 浸水対策のための貯留容量を確保することが可能となる。これによって, 浸水の危険がある段階において, 雨水滞水池に雨水の貯留を行うことで浸水被害軽減が期待される (図 3-11 参照)。

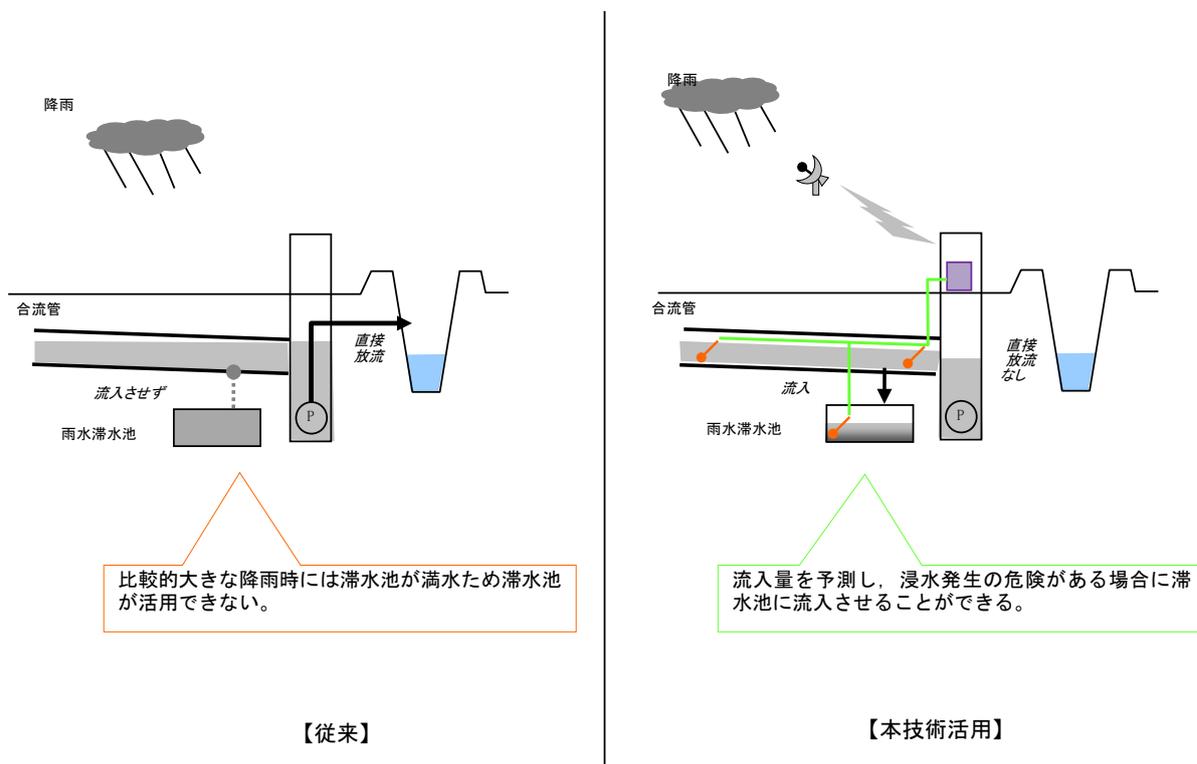


図 3-11 雨水滞水池における合流改善, 浸水対策の併用利用

(4) 浸水対策施設間のネットワーク化による効果的運用

雨水ポンプ場、雨水貯留管等の浸水対策施設間をネットワーク化により接続する場合において、本技術を導入することで、各施設の排水区における施設への流入量の予測が可能となる。これによって、流入量の多い排水区から流入量の少ない排水区へ、安全性を確保しつつ積極的に雨水を流入させること可能となり、流入量の少ない排水区の施設を最大限活用した浸水被害軽減が期待できる。(図 3-12 参照)。

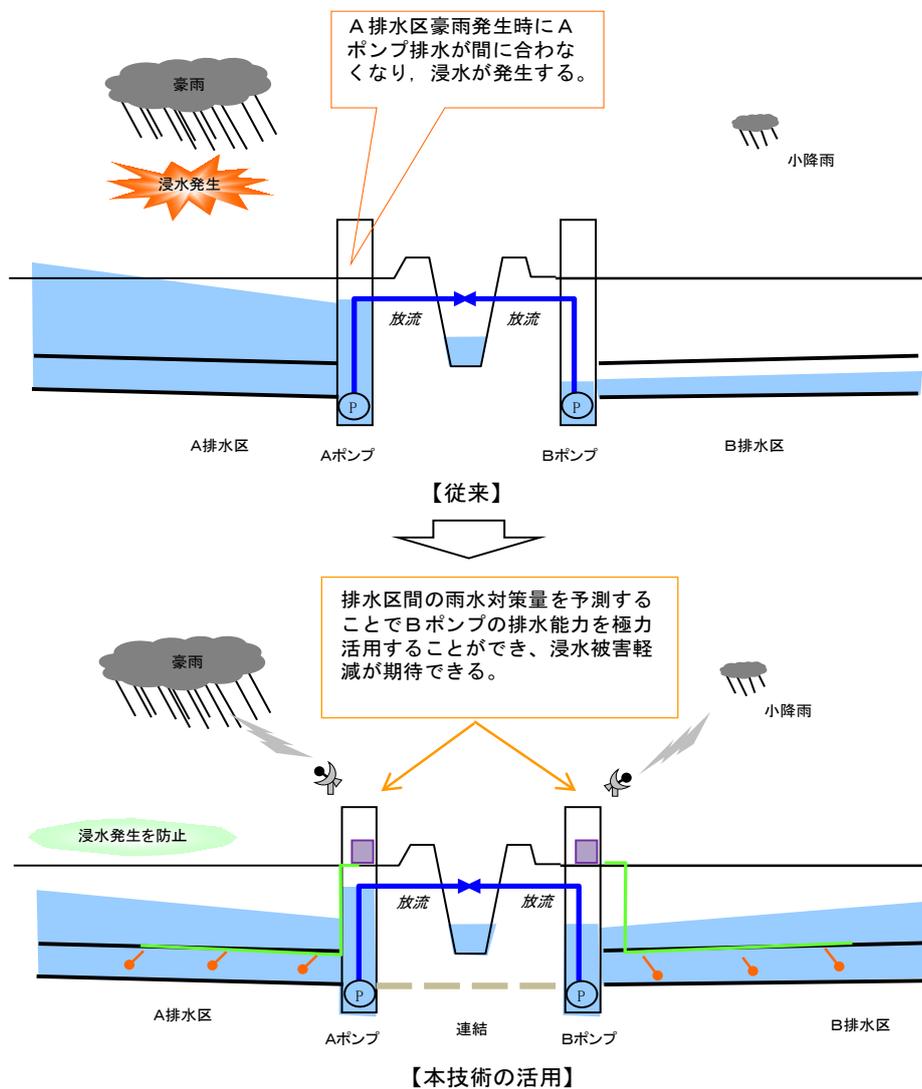


図 3-12 浸水対策施設間のネットワーク化による排水ポンプの運用

(5) 浸水対策施設の合流改善利用

浸水対策を目的とした雨水貯留管は、一定規模を上回る降雨規模においてのみ活用されるため、一般的に活用頻度は低い。このため施設の有効活用として、合流式下水道区域における浸水対策目的の雨水貯留管を、合流改善施設として活用することが考えられるが、合流改善と浸水対策の運用の切り替えが困難であるという課題がある。

本技術による降雨や水位の予測情報を用いることで、小降雨時には流入ゲートを低くし一定規模の初期雨水を貯留する合流改善目的の運用を行い、浸水対策としての運用が必要と判断される場合においては、流入ゲートを浸水対策レベルに切り替え、合わせて初期雨水を先行排水することで、豪雨時の流入に備えた雨水貯留管としての運用を行う。これにより当初の浸水対策能力を確保しつつ既存施設を併用利用した効率的な合流改善対策が期待される（図 3-13 参照）。

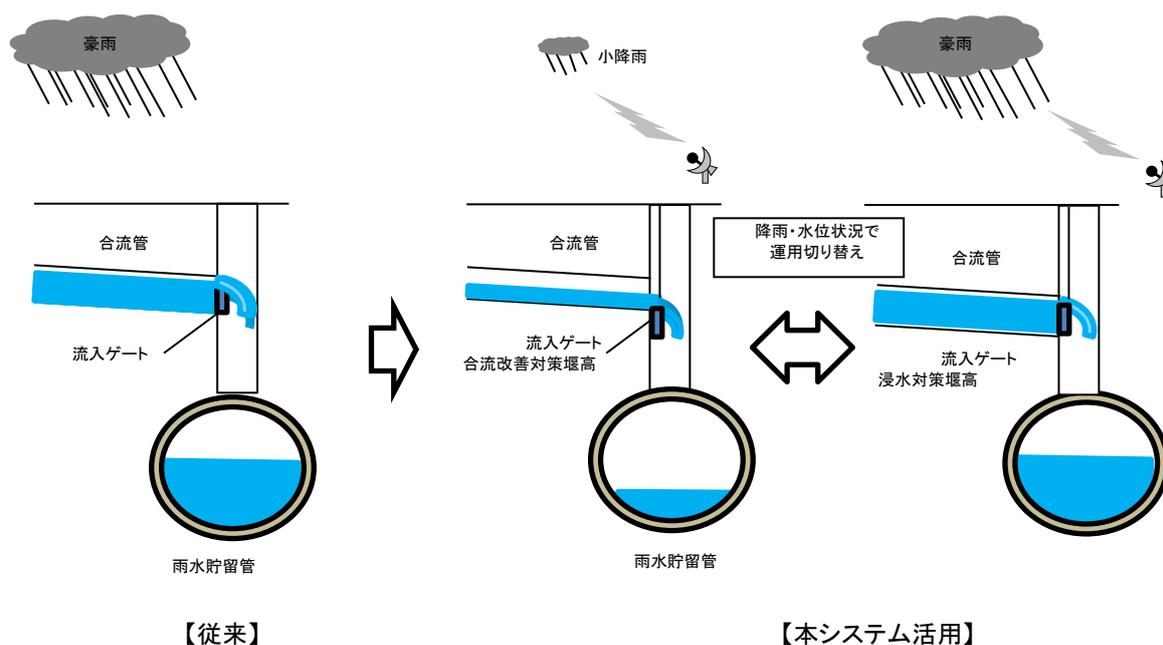


図 3-13 雨水貯留施設の併用利用のイメージ図

(6) 遮集ポンプ高水位運転による省エネルギー化

合流式下水道における遮集ポンプの起動水位を晴天時において高水位とすることで、ポンプの実揚程を小さくし、ポンプ運転における電力量を削減することができる。しかしながら、高水位運転時において豪雨が発生した場合において浸水を助長する恐れがある。このため、本技術の予測情報に基づき、豪雨の発生により管内の水位上昇が見込まれる場合には、あらかじめ低水位運転に切り替えて水位を低下させておくことにより、浸水リスクを高めることなく、高水位運転による省エネルギー化が可能となる（図 3-14 参照）。

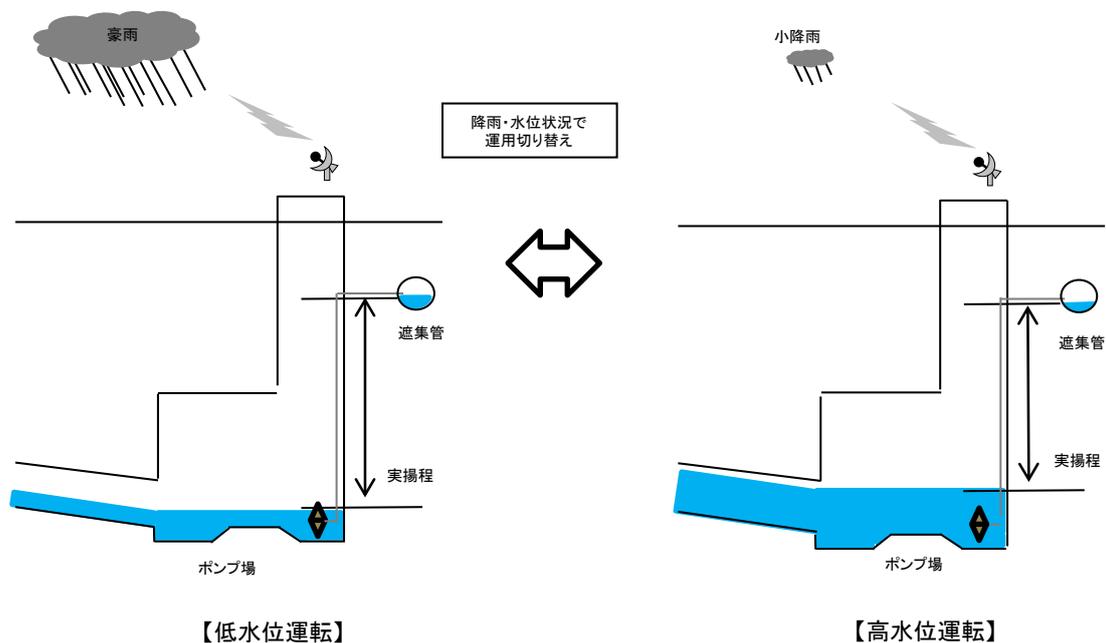


図 3-14 遮集ポンプの高水位運転のイメージ図

(7) 合流管路内の維持管理作業の管理

本技術を導入している排水区において、合流管内における工事や維持管理（清掃・点検）が実施される際には、本技術の利用により降雨や管内の水位などの予測情報を活用し、工事や維持管理作業の実施、中止に関する早期判断を行うことで作業の安全性を確保することが可能となる。

第4章 導入検討

第1節 導入検討手順

§ 18 導入検討手順

本技術の導入検討においては、基礎調査、導入効果検討、導入判断の手順で実施する。

【解説】

本技術の導入検討は、事業化に向けた設計に先立ち本技術の定量的な導入効果を明らかにし、導入判断することを目的とする。なお、導入検討手順については、図 4-1 に示すとおりである。なお、導入効果の算定事例は、第3章を参考とする。



図 4-1 導入検討手順

第2節 導入検討

§ 19 基礎調査

本技術の導入においては、以下に示す内容を把握する。

- (1) 地域特性
- (2) 浸水被害状況
- (3) 雨水対策施設整備状況および雨水管理に関する計画
- (4) 自助・共助の対応状況
- (5) 既存の計測機器の設置状況
- (6) 関連計画
- (7) 関連法令

【解説】

基礎調査は、本技術の導入に先立ち、地域特性、浸水被害状況、雨水対策施設整備状況および雨水管理に関する計画、自助・共助の対応状況、既存の計測機器の設置状況、関連計画、関連法令について把握する。また、収集した基礎情報を基に、課題を明確にし、導入検討に必要なとなる基礎情報を整理する。

(1) 地域特性

地形や地勢、雨水排水施設の整備状況、人口、資産の分布状況、地下空間の利用状況、過去の浸水状況、防災体制等を把握する。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-1 に示す。

表 4-1 地域特性として必要な情報と収集すべき内容

調査内容	収集資料例
①地形・地勢の把握 ・対象区域の全体的な地形の状況 ・局所的な凹地の有無 ・隣接自治体との高さ関係 ・浸水域を分断する盛土構造等の有無	都市計画図（1/2,500等） 国土基本図（国土地理院） 道路台帳 数値地図（メッシュ標高、統計）
②土地利用状況の把握 ・浸透域の割合，建物の占用率等	下水道マンホール部の地盤高 住宅地図，用途地域図，衛星画像等
③人口，資産の分布状況の把握 ・区域別の人口，資産	住民基本台帳
④地下空間等利用状況の把握 ・地下街に関する情報（位置，規模，流入口，出入り口等の構造，地下空間施設管理者，情報伝達体制等） ・避難時危険箇所（アンダーパス，土砂災害危険区域等）	国土数値情報

（2）浸水被害状況

浸水被害の発生状況およびその原因について把握する。洪水・内水ハザードマップ等により浸水想定区域を把握することも有効であるため，積極的に活用を図る。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-2 に示す。

表 4-2 浸水被害状況として必要な情報と収集すべき内容

調査内容	収集資料例
①浸水実績の把握 ・浸水時の諸条件（ポンプ施設等の操作実績，放流先水位の状況等） ・浸水の原因（外水，内水，他自治体からの浸水移動等） ・浸水被害の状況（浸水区域，浸水深，床上・床下戸数，要避難人口，被害額，浸水頻度，その他）	浸水区域・浸水深等の記録 既往の災害記録 被災時の下水道施設整備状況 家屋の構造（半地下等）
②浸水想定区域の把握	洪水・内水ハザードマップ
③浸水実績を有する降雨実態の把握 ・時間的・空間的分布状況	XRAIN 雨量情報，近隣の地上雨量計情報，解析雨量（気象庁）

(3) 雨水対策施設整備状況および雨水管理計画

下水道管路台帳，下水道施設台帳に基づき現況施設の排水系統，施設能力を整理する。また，下水管きよ，雨水ポンプ場，雨水貯留施設に関する監視設備の内容，段階的な整備計画，合流改善対策計画について把握する。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-3 に示す。

表 4-3 雨水対策施設整備状況および下水道雨水計画として必要な情報と収集すべき内容

調査内容	収集資料例
①下水管きよ，雨水貯留施設の把握 ・管路施設整備状況（管径，管底高，延長，勾配，マンホール位置等） ・貯留・浸透施設整備状況（貯留・浸透能力，施設諸元等）	下水道管路台帳，下水道施設台帳，ポンプ施設・ゲート等の管理台帳，操作規則
②分水堰，ゲート，ポンプ施設の把握 ・分水堰，ゲートの整備状況（位置，形式，運転ルール等） ・ポンプ施設等設備状況（排水能力，施設諸元，運転ルール等） ・監視設備（監視項目，データ伝送ルート・伝送方法等）	全体計画，事業認可申請書，浸水対策計画，合流改善対策計画，その他浸水対策に関わる計画
③雨水管理に関する計画 ・主要な施設の段階的な整備計画，ソフト対策の内容	

(4) 自助・共助の対応状況

自助・共助に関する対応状況について把握する。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-4 に示す。

表 4-4 自助・共助に関する対応状況および資産保有状況

調査内容	収集資料例
① 浸水常襲区域における自主防災体制	実施マニュアル
② 防災情報に関する活用状況の把握	ヒアリングやアンケート等による情報収集
③ 浸水予測情報のニーズ	
④ 自助・共助活動実施状況 ・自助・共助活動実施状況 ・自助・共助活動における課題	
⑤ 自助・共助活動に用いる資材（土のう等）の保有状況 ・土のう数，種別 ・止水板数，種別 ・自治体での準備状況（備蓄状況，配布数等）	
⑥ 自動車保有状況	

(5) 既存の計測機器の設置状況

対象区域における水位情報・雨量情報等について、既存の計測機器やサービスを利用して入手できる情報を把握する。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-5 に示す。

表 4-5 既存の計測機器の設置状況として必要な情報と収集すべき内容

調査内容	収集資料例
①地上雨量計の設置状況 ・下水道部局，防災部局，消防部局等による市内の設置状況 ・都道府県，国土交通省，気象庁等の設置状況 ②レーダ雨量計の設置状況 ・XRAIN（国土交通省）の観測範囲 ・その他のXバンドMPレーダ（自治体等）の設置状況と観測範囲 ③水位・流量計の設置状況 ・下水道施設への水位計，流量計の設置状況 ・放流先河川または海域における水位計の設置状況 ④浸水状況監視カメラの設置状況	水文観測所台帳等

(6) 関連計画

関連計画としては、雨水の放流先となる河川の放流制限，水防災計画・体制等について把握する。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-6 に示す。

表 4-6 河川計画，水防災計画・体制等の把握に必要な情報と主な収集資料

調査内容	収集資料例
①放流先に関する内容 ・放流制限 ②警戒態勢（体制）に関する内容 ・配備体制，参集，配備，解散等の基準，配備時期 ・連絡体制，系統 ・作業内容 ③他部局との連携に関する内容 ・連絡手段，役割分担，作業内容，必要とする情報 ④住民，自治会との連携に関する内容 ・連絡手段，連絡項目，必要とする情報 ⑤国，県との連携に関する内容 ・連絡手段，連絡項目，指令内容 ⑥防災機関が発表する情報 ・避難勧告等の避難情報，大雨警報（浸水害），大雨注意報，大雨警報（浸水害）の危険度分布等の防災気象情報，水位情報等	河川整備計画等放流先の整備計画・放流規制等に関する資料 浸水に関わる防災計画全般 必要に応じて関係部署にヒアリングを行う ・下水道管理者 ・河川管理者 ・道路管理者 ・防災部局等

(7) 関係法令

関係法令としては、下水道法ならびに各種の政令、省令および条例等に定める法令上の規制の他、レーダ雨量計を導入する場合には、レーダ架台等設置に関連して建築基準法を、降雨観測用の電波を出すことに関して電波法を把握する。また、自助・共助支援を目的に本技術から雨量予測を一般公開する場合においては、気象業務法の規定に留意する必要がある。具体的に必要な情報と収集すべき内容を表 4-7 に示す。

なお、気象業務法の規定については、資料編 7.1 を参照のこと。

表 4-7 関係法令に関する主な収集資料

調査内容	収集資料例
①下水道法 ・構造基準 ②建築基準法 ・レーダ雨量計架台の構造規定 ③電波法 ・免許，資格の取得，更新，規制 ④気象業務法 ・予報業務許可基準，地上雨量計の検定	・法令集他

§ 20 導入効果検討

導入効果検討では、§ 19 基礎調査の内容を踏まえて、§ 15 で設定した評価項目について試算する。

- (1) 検討対象施設および区域の選定
- (2) 流出解析モデル（オフラインモデル）の構築
- (3) 導入設備の概略検討
- (4) 導入に係わる費用の算出
- (5) 維持管理に係わる費用の算出
- (6) 施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果の試算
- (7) 情報配信による自助・共助の促進効果の確認

【解説】

導入効果検討では、実証研究での検討例を参考に、§ 19 基礎調査の内容を踏まえて、施設運転支援、および自助・共助支援の対象とする施設・区域を設定し、§ 15 で設定した評価項目について確認を行う。

(1) 検討対象施設および区域の選定

過去の浸水実績，施設規模，放流先能力，雨水管理計画等を踏まえ，運転支援対象施設や自助・共助支援区域を選定する。

(2) 流出解析モデル（オフラインモデル）の構築

検討対象とする施設および区域が含まれる下水道排水区域において流出解析モデル（オフラインモデル）を構築する。モデル化する対象は，対象とする区域の面積や下水道施設の整備状況，オンラインで提供する予定の支援情報の内容等を踏まえて適切に設定する。

(3) 導入設備の概略検討

導入する設備の概略検討では，導入効果検討の内容を踏まえて，計測技術の配置，計測技術，データ収集技術，レーダ雨量解析技術，リアルタイム流出解析技術，情報配信技術等の要素技術の構成について検討する。

1) 計測技術

①レーダ雨量計の選定

国土交通省では，近年，増加する集中豪雨や局所的な大雨による水害や土砂災害等に対して，施設管理や防災活動等に役立てるために，従来のCバンドレーダ雨量計を高性能化（CMP）し，XバンドMPレーダ雨量計（XMP）と組合せたXRAINの情報を図4-2に示すとおり全国を対象に配信している。また，表4-8に示すとおり，一般財団法人河川情報センターにおいては，レーダ雨

量計の観測データを，一般財団法人気象業務支援センターにおいては，レーダ雨量計の観測データおよび観測データに基づく気象庁の実況および予測データ（高解像度降水ノウキャスト）をそれぞれリアルタイム配信している。

本実証研究において評価した都市域レーダについては，下水道における施設運転支援および自助・共助支援において求められる観測の特性を踏まえ，XARINを始めとした既存レーダを補完するものである。

このため，レーダ雨量計の選定においては，XRAINの観測状況を踏まえ，必要に応じて都市域レーダの導入を検討する。

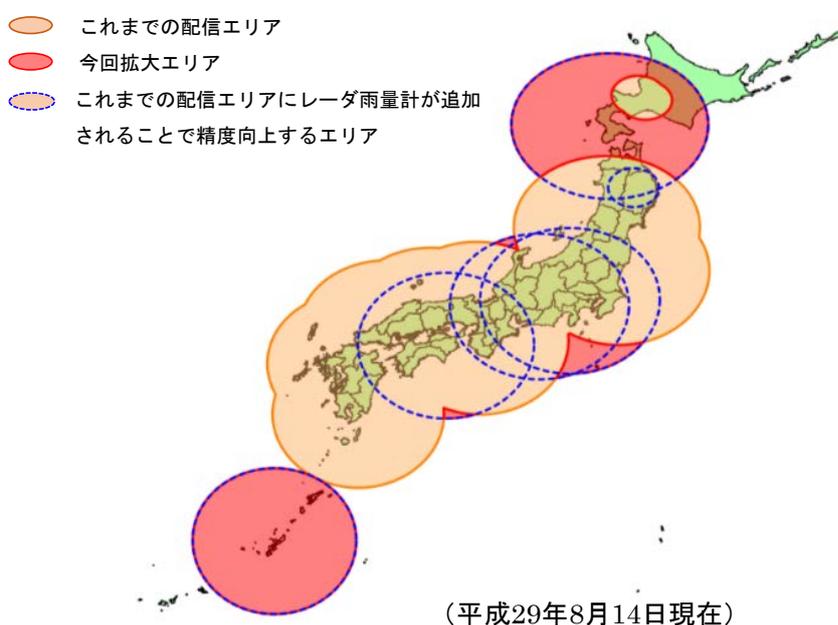


図 4-2 XRAIN 配信エリア

表 4-8 レーダ雨量計のリアルタイム観測・予測データの入手先

配信事業者	データ区分		配信周期	備考
一般財団法人 河川情報 センター	Cバンド レーダ	実況	5分	
	XMPレーダ	実況	1分	
一般財団法人 気象業務支援 センター	XRAIN・気象庁 Cバンドレーダ 合成データ	実況 予測	5分	0～30分先(250mメッシュ) 35～60分先予測(1kmメッシュ)

下水道における施設運転支援および自助・共助支援においては、より高い精度と高い分解能で雨量を観測できることが重要である。

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ため、図 2-11 に示したように、XMP の定量観測範囲外だけではなく定量観測範囲周辺部においても、都市域レーダ等を用いた観測が有効と考えられる。

また、下水道管路は街区に合わせ密に整備されていることから、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場合は、分解能が高い雨量を用いた解析が必要となる。このような場合においても、都市域レーダの導入が有効と考えられる。

なお、レーダ雨量計については組合せて使用することが可能である。都市域レーダと XRAIN を組合せた場合の構成例を図 4-3 に、XRAIN 情報のみを活用した構成例を図 4-4 に、XRAIN の活用に加え、気象会社がサービス提供している短時間降雨予測情報を活用した構成例を図 4-5 に示す。

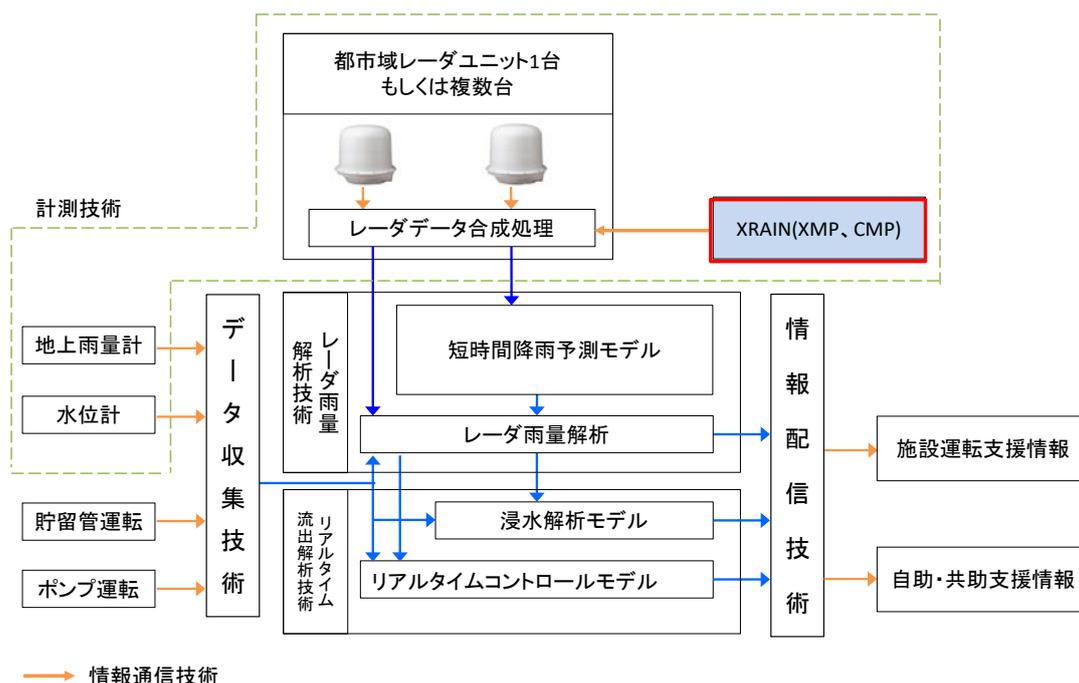


図 4-3 都市域レーダと XRAIN を組合せた構成例

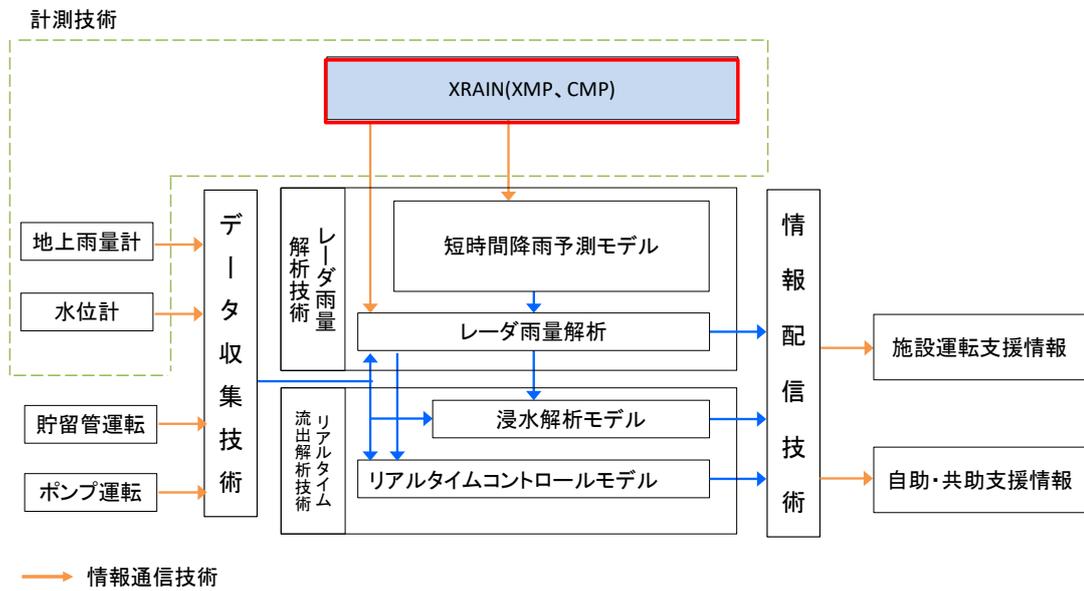


図 4-4 XRAIN を活用した構成

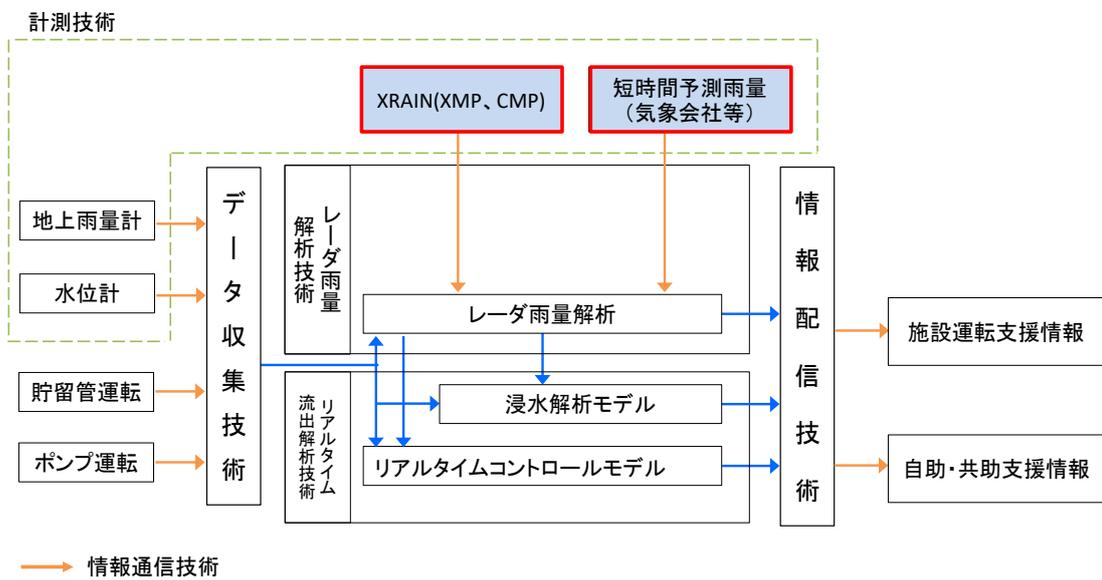


図 4-5 XRAIN および市販の短時間予測雨量を活用した構成例

②都市域レーダの配置

XMP, CMP は既存レーダを活用することを基本とするため、本ガイドラインにおいては、都市域レーダの配置検討について示す。

都市域レーダは、下水道排水区域に対して、目標とする降雨強度以下において欠測域がゼロとなるよう地形や建物の影響を考慮し、レーダユニットの適切な配置を計画する。

レーダユニットの配置予定場所については、半径 30km の観測域の確保を目的に、標高地形図を使った観測域をシミュレーション等で確認し選定する。その後、現地調査を実施し、表 4-11 に示す設置基準を満足する建物等を選定する。設置検討フローを図 4-6 に、フローに示した検討の内容をそれ以降に示す。

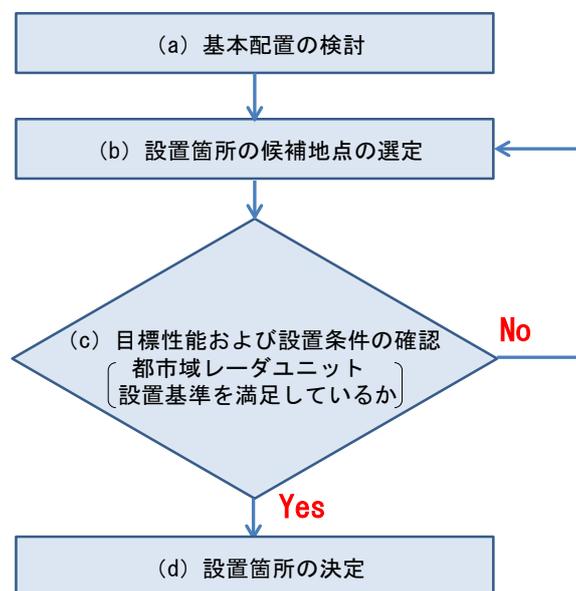


図 4-6 設置検討フロー

(a) 基本配置の検討

(ア) 目標性能の設定

目標とする観測性能は、対象とする排水区域と降雨強度に対して欠測域が生じないこととする。

(イ) 基本配置の検討

基本配置の検討においては、目標性能に基づき、地形や建物による影響を考慮し、表 4-9 に示すとおり排水区全域に一樣な降雨に対して電波消散に耐えうる最大距離以内に各レーダユニットを配置する。また、電波消散に耐えうる配置例 (50mm/h の場合) を図 4-7 に示す。実証研究においては、目標性能として降雨強度 50mm/h の降雨に対して電波消散に耐えうる最大距離 15.3km 以内に各レーダユニットを配置したが、降雨強度 50mm/h 以上の降雨に対しては、実証範囲外であるため、現地において十分な確認・検討を行うなど留意して配置する必要がある。

表 4-9 レーダユニット1台で降雨による電波消散に耐えうる最大距離

下水道排水区全域の降雨強度							
30 mm/h	40 mm/h	50 mm/h	60 mm/h	70 mm/h	80 mm/h	90 mm/h	100 mm/h
23.8 km	18.6 km	15.3 km	13.0 km	11.3 km	10.0 km	8.9 km	8.1 km

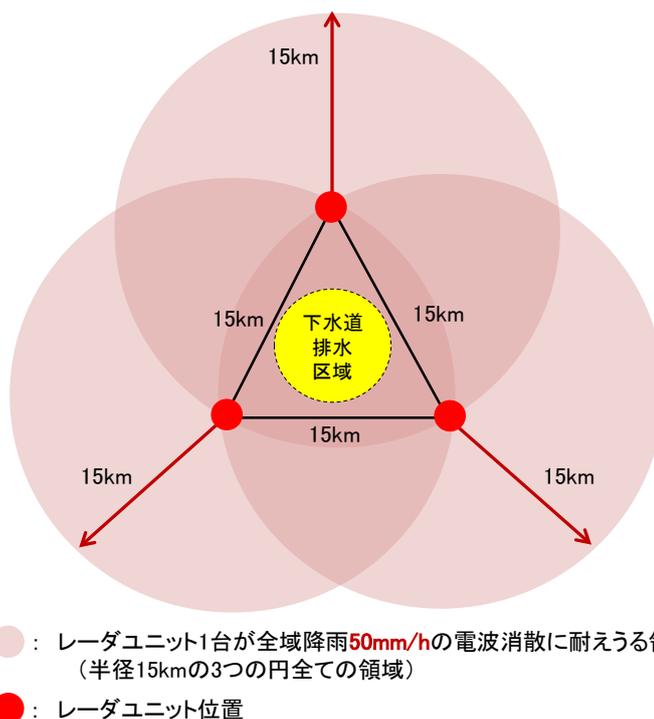


図 4-7 電波消散に耐えうる配置例 (50mm/h の場合)

また、設置するレーダユニットの台数により電波消散が発生するような豪雨時の観測性能に違いが生じる。参考に図 4-7 におけるレーダ間の距離が 15km の配置例において、黄色の円で示す下水道排水区域に対するレーダユニットの設置台数ごとの観測性能の違いを表 4-10 に示す。更に、レーダユニットを複数設置することで、空中線装置直上の観測が可能となる。

表 4-10 レーダユニットの設置台数による観測性能の違い

レーダユニット 設置台数	降雨強度 I (単位:mm/h)における観測性能(電波消散による欠測発生の有無)				
	$I \leq 60$	$60 < I \leq 70$	$70 < I \leq 90$	$90 < I \leq 100$	$100 < I$
1台	○	△	×	×	×
2台	○	△	×	×	×
3台	○	○	○	△	×

○ : 欠測無 △ : 欠測の可能性有 × : 欠測が発生

(b) 設置箇所の候補地点の選定

基本配置において検討した地点の付近に位置する公共施設等の設置可能候補地点を選定する。

(c) 目標性能および設置条件の確認

選定された設置場所における設置可否の判断に必要なレーダユニットの設置基準を表4-11に示す。設置基準を満足しない場合は設置場所の再選定を行う。

表4-11 レーダユニットの設置基準

項目	要件	概要
地形に対する観測域の確認	下水道排水区域上空の観測域と半径 30km 範囲の降雨予測のための観測域を確保する。	標高地形図を使ったシミュレーション等で確認する。
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	電波を送信する空中線装置に対して、観測域側の遮蔽がないよう架台の高さを確保する。	建物の屋上に設置する場合は、遮蔽物（給水塔など高さのある構造物）を避ける。
避雷針の考慮	建築基準法施行令に基づき、高さ 20メートルを超える建築物に設置された避雷針に対して、空中線装置は、安全範囲内に設置する。安全範囲外になる場合は、空中線装置に対して、新規に設置する。	JIS A 4201:2003 を確認する。
放送受信アンテナの考慮	BS/CS 受信アンテナや地デジ放送受信アンテナへ影響がないこと。	送信電波が被らないように、アンテナを移動またはアンテナを避ける。
電源の確保	AC100V 単相, 50/60 Hz アース付, 10A 以上の 1 本を使用する。	商用電源を使う。
通信回線の配線経路の確保	通信業者の回線を 1 回線敷設するため、配線経路の確保が必要。	観測データの転送およびリモート操作するための通信回線である。

地形に対する観測域の確認方法を図 4-8 に示す。なお、実証研究における、地形に対する観測域の確認のシミュレーション結果については資料編 1.2.1 を参照のこと。

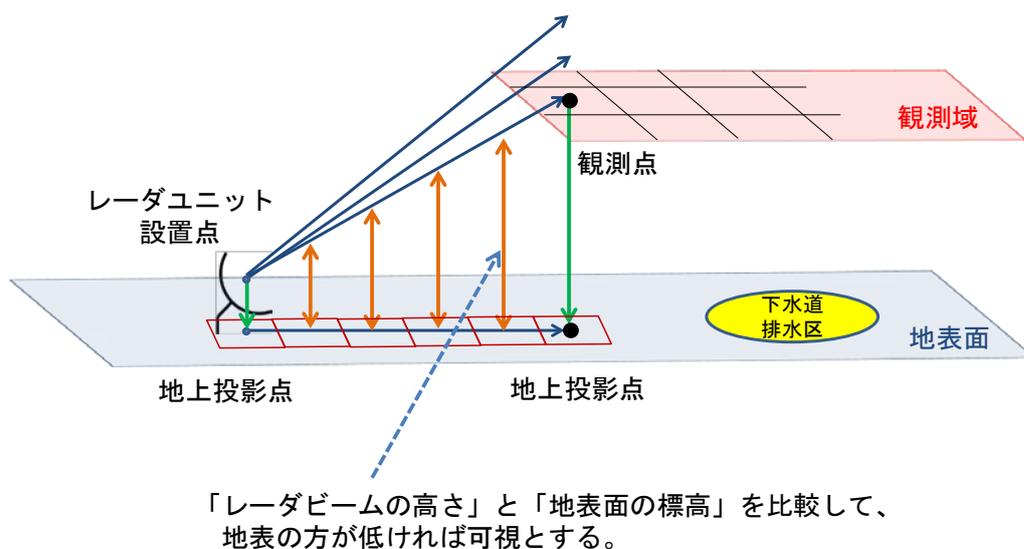


図 4-8 地形に対する観測域の確認方法

(d) 設置場所の決定

設置場所については、設置条件が満たす場所が複数ある場合は、設置コスト、維持管理性等を考慮し決定する。

③地上雨量計

§ 24 に記載の地上雨量計の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、レーダ観測雨量の精度検証に使用することを考慮するとともに、下水道排水区域内および半径 30km 内に地上雨量計の配置を確認したうえで、必要に応じて地上雨量計を配置する。

また、地上雨量計を設置する場合、次の点に配慮して配置する。

- ・ 対象区域内の降雨分布を出来るだけ正確に把握できるように、対象区域の広さを踏まえ、複数台設置することが望ましい。
- ・ 雨量計は、できるだけ周囲が開放され、かつ局所的な風の変化を受けない場所に設置することが重要である。また、建物の屋上への設置はできるだけ避け、やむをえず屋上に設置する場合は、なるべく屋上の中心部近くへ設置すること¹⁴⁾。
- ・ 対象区域内に既設の地上雨量計が存在する場合は、その精度を確認した上で本技術での活用も検討する事が望ましい。

なお、実証研究における雨量計の設置状況については資料編 1.3 を参照のこと。

④水位計

§ 24 に記載の水位計の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、「下水道管きよ等における水位等観測を推進するための手引き(案)」¹¹⁾を参考に適切に配置を検討する。なお、実証研究における水位計の設置状況については資料編 1.3 を参照のこと。

2) データ収集技術

§ 25 に記載のデータ収集技術の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、対象とする導入設備、下水道施設からのデータ収集方法を検討する。

3) レーダ雨量解析技術

§ 26 に記載のレーダ雨量解析技術の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、予測手法、予測範囲、予測時間、予測周期等を検討する。

4) リアルタイム流出解析技術

§ 27 に記載のリアルタイム流出解析技術の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、使用する解析手法や対象とする解析範囲、解析時間、予測時間、モデル化する範囲等を検討する。

5) 情報配信技術

§ 28 に記載の情報配信技術の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、提供する支援情報の内容・種別、配信方法、配信間隔、利用者数等を検討する。

6) 情報通信技術

§ 29 に記載の情報通信技術の基本性能および機能を満たすものを使用することとし、構成される拠点数、拠点間データ量、データ形式、通信速度、安定性、確実性等を踏まえ通信手段を検討する。

なお、実証研究における2)～6)の設置状況については資料編1.4を参照のこと。

(4) 導入に係わる費用

本技術の導入に係わる費用として、導入費を算定する。導入費は、導入設備の概略検討結果に基づき、導入する要素技術を対象として、実施設計、機器、エンジニアリング、建設別に以下の項目について算定する。なお、算定については対象とする排水区の状況や導入の目的に応じて検討内容や導入するシステムが異なることから、基本的に見積もりによることとするが、他の類似事例等がある場合は参考とすることが望ましい。実証研究において実際に導入に要した費用については、資料編 4.3.1 を参照のこと。

1) 実施設計費

導入設備の実実施設計費用については以下の項目について算定する。

- ① 資料収集※¹
- ② 現地調査※¹
- ③ 基礎調査※¹
- ④ 浸水シミュレーションモデルの作成（オンラインモデル）※²
- ⑤ 要素技術の機能に関する検討
- ⑥ 導入技術の実実施設計
 - ・基本仕様
 - ・情報通信技術設計
 - ・施工方法検討
 - ・維持管理方法検討
 - ・費用算定
- ⑦ 事業計画作成
- ⑧ 設計図書作成
- ⑨ 設計協議

※¹ 資料収集、現地調査、基礎調査については、§ 19 基礎調査および § 20 導入効果検討における実施項目とは別に、設備機器の導入に必要な調査を主とする。

※² オンラインモデルの作成にあたっては、§ 20 導入効果検討において作成したオフラインモデルをベースに、オンラインに必要な信号項目の選定や、ポンプの運転状態やゲートの開閉などの信号項目とモデルとの関連に関する設定を実施する。

2) 機器費

導入設備の概略検討結果に基づき、システムの構築に必要な機器および資機材の調達価格を算定する。

- 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

3) エンジニアリング費

導入設備の概略検討結果に基づき、導入するシステムを現場に沿った仕様とするための図面・仕様書の作成、および現場での調整費用として、以下の項目について算定する。

- ① システム詳細設計、およびシステム試験
- ② オンラインモデル設定

4) 工事費

導入設備の概略検討結果に基づき、各要素技術の設置工事および既存設備の改造費用について算定する。

- ① 各種要素技術の設置
- ② 既存監視設備改造費

(参考) 導入検討費

§ 19 基礎調査および § 20 導入効果検討を実施するために必要な導入検討費は、以下の項目から構成される。

- ① 基礎調査 (§ 19 基礎調査に関連する作業項目)
 - ・ 資料収集
 - ・ 現地調査
- ② 浸水被害軽減効果検討
 - ・ 浸水シミュレーションモデルの作成 (オフラインモデル)
 - ・ 浸水被害軽減額の算定
- ③ 導入設備の概略検討
- ④ 導入費の算定
- ⑤ 維持管理に係る費用の算定
- ⑥ 導入判断
- ⑦ 報告書作成
- ⑧ 協議

(5) 維持管理に係わる費用

導入設備の概略検討の検討結果に基づき、維持管理に係わる費用として以下の項目について算定する。算定については、導入するシステムに応じて算定方法や規模が異なることから、基本的に見積もりによることとするが、過去に同種の検討事例等の類似情報がある場合は参考とすることが望ましい。なお、実証研究において実際に維持管理費に要した費用については、資料編 4.3.2 を参照のこと。

1) 電気代

要素技術を対象に算定する。

2) 通信費

新たに導入する情報通信技術を対象に算定する。

3) 利用料

レーダ雨量データ利用料を対象に算定する。(既設の XRAIN のデータを利用する場合)

4) 保守費

保守費用については導入する要素技術を対象として以下の項目について算定する。

(a) 計測技術

(b) データ収集技術

(c) レーダ雨量解析技術

(d) リアルタイム流出解析技術

(e) 情報配信技術

5) 委託料

予報の提供にあたり業者への委託料を算定する。なお、短時間降雨予測モデルに基づく降雨予測および降雨予測に基づく水位、浸水予測を住民等の不特定多数に配信する場合の管理・保守方針については § 31 を参照のこと。

(6) 施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果の試算

本技術導入による浸水被害軽減効果は、支援対象とする施設について現状運転時と対策運転時の浸水被害の差により評価する。対策運転については、§15の評価事例や資料編4.1を参考に、本技術導入後の施設運転シナリオを設定し、次に(2)で設定したオフラインモデルを用いた流出解析等により、本技術導入前後の浸水被害の算定を行う。

さらに、本技術導入による浸水被害軽減効果により導入費用をどのくらいの期間で回収出来るかを示す指標として、経費回収年を算定する。

なお、ここでは予測が外れた場合に発生する被害について考慮していないことに注意が必要である。支援対象とする施設や支援内容によって、予測が外れた場合に被害が発生する恐れがある場合は、それを含めた効果について別途検討することが望ましい。

(7) 情報配信による自助・共助の促進効果の確認

本技術の導入によって、自助・共助の促進効果が見込まれるかどうかを確認する。確認に当たっては、導入対象地域の状況等をふまえて適切に推定する。またあわせて、対象とする自助・共助活動に必要なリードタイムや本技術によるリードタイムの確保状況についても確認する。

なお、自助・共助活動による効果の算定方法は、現状ではまだ確立されていない。その点をふまえて、本実証研究における評価は、あくまでも一事例であることに留意し、導入する現場や評価対象に応じて適切に算定できるよう工夫することが望ましい。

実証研究における自助・共助促進効果の確認結果を資料編5.1に、リードタイムの確認結果を資料編3.5.4に示す。

§ 21 導入判断

本技術の導入判断は，導入効果の検討結果を勘案し，総合的に判断する。

【解 説】

本技術の導入判断は，「§ 20 導入効果検討」の結果を踏まえて総合的に判断する。この際，導入効果が見込まれる場合には，本技術の導入を決定し，必要に応じて事業認可変更を経て，実施設計，建設工事を進めるものとする。

なお，導入効果が小さい場合には，その原因を分析し，対象エリア，対象施設および対象施設の運転シナリオを見直すことで，再検討を行うことが望ましい。また，導入費用が問題となる場合は，段階的な導入検討や他の施設運転への適用も含めて再度検討することが望ましい。

第5章 設計

第1節 設計

§ 22 本技術の設計

本技術は、新たに導入する要素技術と既存設備との相互関係を勘案し、技術全体として有効に機能するよう設計を行う。

- (1) 基本事項の検討
- (2) 要素技術の構成検討

【解 説】

(1) 基本事項の検討

基本事項の検討においては、導入検討の結果を踏まえ、施設運転支援の対象施設の確認、自助・共助支援の範囲、段階的導入についての確認を行うとともに必要に応じて見直しを行う。

(2) 要素技術の構成検討

要素技術の構成においては、基本事項の検討を踏まえ、要素技術の組合せ、既存の計測技術や監視設備におけるデータ活用について検討する。

§ 23 本技術の基本性能

本技術では、以下に示す基本性能を定めて、それを満たすように設計する。

- (1) 予測時間
- (2) 予測情報配信までの時間
- (3) 予測精度

【解 説】

本技術は、レーダ雨量計により観測された降雨量に基づき短時間降雨予測を行い、さらに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となる。このため、本技術の基本性能では、このリアルタイム情報に基づき、既存の浸水対策施設の運転支援、住民への自助・共助支援に必要な予測時間および予測情報配信までの時間を定めるものとする。

(1) 予測時間

予測時間は、施設運転支援における予測情報の活用期間、自助・共助支援におけるリードタイムに必要な時間を考慮し設定するものとする。

(2) 予測情報配信までの時間

施設運転支援、自助・共助支援におけるリードタイムの確保に必要な期間を確保できるよう、観測から予測情報配信までの時間を決定する。なお、実証研究における観測から予測情報配信までの時間については資料編 3.1 を参照のこと。

(3) 予測精度

本技術における予測精度については、降雨観測精度、降雨予測精度、流出解析モデルの解析精度の複数要素により決まるが、最終的には水位による精度を確保するものとする。水位による精度については、予測時間における精度の違いを考慮し、§ 27 の表 5-1 に示す精度を確保するものとする。

§ 24 計測技術

計測技術は、計測に必要な性能が発揮できるよう適切に設計を行う。

- (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**

レーダ雨量計については、国土交通省において XMP, CMP が整備されている。また、実証研究では、都市域レーダを設置し評価を行った。なお、本ガイドラインにおいては、実証研究で用いた都市域レーダの性能、機能、配置計画、架台の設置について示すものとする。

1) 都市域レーダ**①設備性能および機能****(a)観測範囲**

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、30 分先予測を行うために必要な観測範囲は半径 30km である。都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）は図 5-1 に示すとおり、観測半径 30km であり、このような場合でも対応が可能である。

また、複数のレーダユニットを設置する場合には、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が生じないよう各レーダユニットを表 4-9 の最大距離以内に配置する。

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。

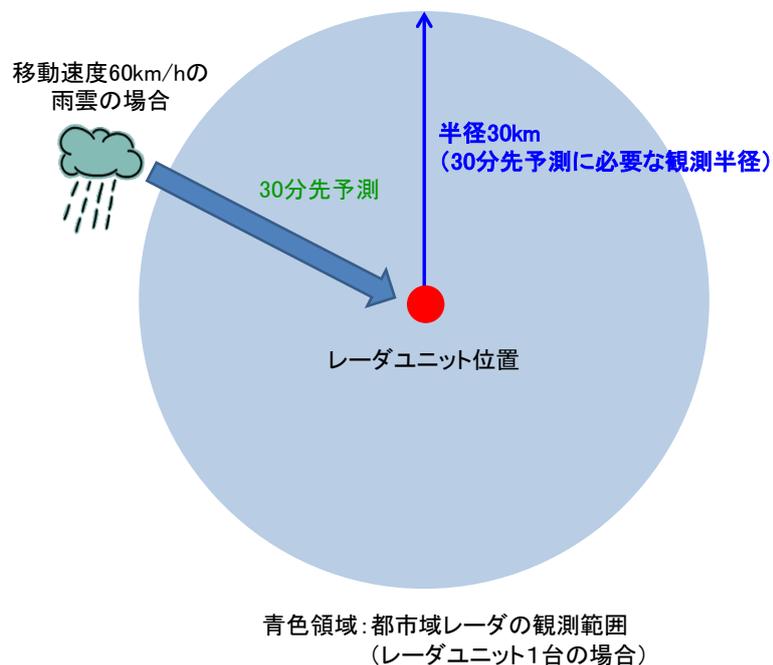


図 5-1 都市域レーダの観測範囲（レーダユニット 1 台の場合）

(b) 観測高度

下水道排水区域外から移流する降雨に基づき 30 分先の予測を行うため、観測半径 30km 圏を観測可能な高度にて降雨観測する。

(c) 分解能

都市域レーダの分解能は、パルス幅 $0.5 \mu\text{s}$ により距離方向 75m、アンテナ径 0.75m により方位方向 2.7° である。

(d) 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、既存の浸水対策施設の効果的な運転や自助・共助におけるリードタイムを確保するために 1 分以内の周期で雨量データを配信する。

(e) データ収集サーバおよびデータ合成サーバ

データ収集サーバは、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。

データ合成サーバは、データ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機能を有する。

②配置計画

配置については、§20の概略検討における配置計画を確認し、設計段階において現地の状況等を確認した結果、設置が不可能等の場合においては見直しを行うものとする。

③架台設計

架台設計においては、建築基準法施行令に従って、都市域レーダの架台に求められる設計基準の要件を検討し、各設置箇所に対応する構造計算を行う。次に、架台設計基準を満足しているか確認する。都市域レーダの架台検討フローを図5-2に示す。

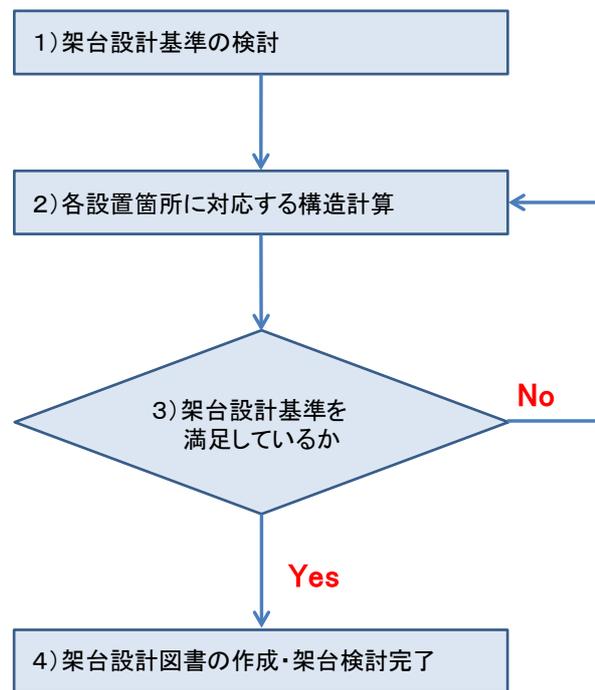


図 5-2 架台検討フロー

(2) 地上雨量計

本技術で用いる地上雨量計に必要となる仕様は以下の1)～3)に示すとおりである。

1) 計測精度

計測精度は、気象業務法に基づくものとする。§9の表 2-4に一般的な地上雨量計における計測精度を参考とする。いずれの地上雨量計も気象観測用として求められる精度を有している。

2) 分解能

レーダ雨量計測値の妥当性の確認にあたっては、独自に設置した地上雨量計以外に、地域気象観測システム（アメダス）等を活用する場合もある。したがって、地上雨量計の分解能は、地域気象観測システム（アメダス）の雨量データの最小表示単位である0.5mmを標準とする。

3) データ転送

本技術において地上雨量計測値とレーダ量計測値とをリアルタイムで確認する場合は、データ転送機能が必要である。

(3) 水位計

本技術で用いる水位計に必要となる仕様は以下の1)～4)に示すとおりである。

また、具体的な水位計の選定や設置・維持管理手順等については「下水道管きよ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。

1) 満管以上の計測可否

浸水被害が発生する際には、下水管路が満管以上となっている場合が多いと考えられることから、満管以上でも水位を計測できることが必要である。

2) 計測精度

水位計の計測精度は、測定原理等により異なる。なお、一般的な水位計の計測精度は表 2-5に示すとおりである。

3) 計測範囲

本技術で用いる水位計は、小降雨時から豪雨時、更に浸水発生時に至るまでの下水管路内の水位変動を計測できることが求められる。また、水位計により計測範囲に上限があるため、対象となる管路の状況を踏まえて、適切な計測範囲を有する水位計を選定しなければならない。

4) データ転送

本技術においては水位情報をリアルタイムで確認するため、データ転送機能が必要である。

§ 25 データ収集技術

データ収集技術は、雨量、水位等のデータをリアルタイムで収集するために必要な機能を発揮できるよう適切に設計を行う。

【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・故障等の対象施設の全データを定周期で収集し、データベースへの保存、保存データの取り出しに関する検討を行う。

(1) 収集信号の整理

情報配信に必要な信号、リアルタイム流出解析技術に必要な信号を整理する。整理した信号は、既存設備と連携する必要があるため固有番号を採番して管理するようにする。

また、単位についても注意する必要がある。情報配信に使用する単位と、リアルタイム流出解析技術で使用する単位とが違う場合は、変換処理等について考慮する必要がある。

(2) 連携仕様の設計

連携仕様は、情報配信技術やリアルタイム流出解析技術、既存設備との連携するための通信方式、処理周期、異常処理方式等を決定する。

(3) データベース設計

精度検証、評価に用いるデータについては、データベース化が望ましい。データベースの設計においては、HDD容量を考慮して、データベース構造、保存期間等の仕様を決定する。なお、データベースソフトウェアには市販の製品があるので活用するとよい。

(4) プロセス管理

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、すべての施設のデータ収集に関する欠損状況、遅延状況、各サーバにおけるデータ処理プロセスの進行状況等すべての情報をモニタリングし、異常がある場合には情報配信技術を介して利用者に通知する機能を有するものとする。

(5) 定周期データ収集

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・故障等のデータを各計測設備から定周期で収集する機能を有するものとする。なお、収集周期は、リアルタイム性を勘案し、基本性能（情報配信の時間と精度や解析）を満足する時間とする。

(6) データ保存および取出し

収集した降雨量，下水管路内水位等の観測データ，ポンプの起動・停止・故障，ゲートの開度・故障等の施設運転データは，降雨イベント後の浸水解析による浸水原因の分析，流出解析モデルの精度向上，施設運転の見直し等の検討に活用するため，データベースに保存するとともに，保存データを情報配信技術等から任意期間，場所別に取り出しが行える機能を有するものとする。保存データはリアルタイム流出解析技術，情報配信技術と連携するため，データ参照できる形式とする。

§ 26 レーダ雨量解析技術

レーダ雨量解析技術では、降雨予測、レーダ雨量処理に必要な性能を発揮できるよう適切に設計を行う。

【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雨量データ処理機能について検討を行う。

(1) 短時間降雨予測解析

短時間降雨解析は、解析モデルに入力する雨量データのメッシュごとの降雨強度の予測値を算出するものとする。実測値と予測値の降雨強度を累積雨量換算し、実測雨量に近い予測値を示す短時間降雨解析パラメータを選定する。

1) レーダ雨量データの取得

短時間降雨予測に必要となるレーダ雨量データを定周期で取得する機能を有するものとする。

2) 予測精度

降雨予測精度については、実績データと比較して確認すること。なお、実証研究における検証結果については資料編 3.4 を参照のこと。

3) 予測処理

定周期で予測処理を繰り返し実行可能とする機能を有するものとする。

4) 予測結果の出力

予測結果はリアルタイム流出解析技術へ連携することを目的に、所定のファイル形式で出力する機能を有するものとする。

5) 動作環境

短時間降雨予測モデルをリアルタイムで実行するためには、高速計算処理に適した装置上で実行する必要がある。短時間降雨予測モデルを安定して実行するために必要な装置スペックを検討する。また、装置スペックを検討する際は、短時間降雨予測モデルが対象とするメッシュ数により処理時間が左右されるため、予測条件を整理した上で要求性能を満たすスペックを特定する必要がある。

(2) レーダ雨量データの処理

1) 観測データの取込

レーダ雨量計で観測された観測雨量を取込む機能を有するものとする。

2) 単位時間雨量の算出

観測雨量，予測雨量に対して時間単位の雨量を算出する機能を有するものとする。時間単位については，変更可能とすることが望ましい。

3) レーダ雨量分布図作成

レーダ観測雨量，予測雨量を対象区域の地図画像と重ね合わせ雨量分布図を作成する機能を有するものとする。対象区域の地図画像については，下水道排水区域界，雨水ポンプ場等のランドマークなど必要に応じて記載するとともに，拡大，縮小機能を有することが望ましい。

4) 排水区平均雨量算出

施設運転支援の対象施設や自助・共助支援の対象区域における雨量情報を提供するため，レーダ観測雨量，予測雨量から排水区別に平均雨量を算出する機能を有するものとする。

5) 浸水危険度画像作成

本画像は，レーダ雨量データの排水区毎の平均雨量と基準雨量（過去の浸水実績と単位時間雨量等から設定した浸水危険度を判別するための設定雨量）から浸水の危険等がある排水区を検出する機能であることから，レーダ雨量計のみを先行して導入するケースやリアルタイム流出解析技術を導入していない排水区において有用な情報となる。

基準雨量については，排水区別の浸水実績と単位時間雨量との関係もしくは浸水シミュレーションにより設定する手法があり，内水浸水想定区域図作成マニュアル（案）における浸水シミュレーションによる内水浸水想定や浸水実績を活用した内水浸水想定を参考にするとよい。

§ 27 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、下水管内水位、内水による浸水等の予測に必要な性能を発揮できるように適切に設計を行う。

【解説】

リアルタイム流出解析技術の設計においては、「§ 20 導入効果検討」で構築したオフライン流出解析モデルを活用したリアルタイム流出解析モデルの構築およびサーバ等の仕様を検討する。

(1) オフライン流出解析モデル

1) 基本機能

オフライン流出解析モデルの構築については、リアルタイム流出解析技術に搭載できるように、以下の性能を確認する。

- ・リアルタイム流出解析に使用するレーダ雨量計や水位計等のデータを用いてキャリブレーション可能であり、精度の確認ができること。
- ・リアルタイム流出解析の結果を再現可能であり、モデルや解析の検証ができること。
- ・オフライン解析における浸水被害の再現、精度向上、ポンプ運用変更による効果の検証等に用いたパラメータ値やRTC※（リアルタイムコントロール）設定値（ポンプ起動・停止水位等施設運転ルール）をリアルタイム解析に直接反映できること。
- ・リアルタイム流出解析に使用する管網モデルのメンテナンス（更新等）が可能であり、更新の度に高額な費用が発生しないものであること。

※ポンプ、ゲート等の運転方案をモデル化したもの

2) 解析手法

下水管路内の一次元不定流解析、地表面における二次元不定流解析、ポンプやゲート等各種施設の制御条件となる水位設定が単一プラットフォーム上で再現できる機能を有するものとする。

下水管の吐き口が河川にあり、かつ河川水位以下である場合など、河川水位が下水管路のリアルタイム流出解析に影響を及ぼす場合は、影響を及ぼす範囲までを適切に取り入れた解析を行うものとする。

3) 解析時間

既存の浸水対策施設の効果的運転や、自助・共助に必要な時間を確保するために必要な予測時間を確保できるよう、流出解析に要する時間を決定する。なお、実証研究における解析時間の考え方については資料編 3.1 を参照のこと。

4) 解析精度

流出解析モデルが確保すべき解析精度を表 5-1 に示す。

表 5-1 流出解析モデルが確保すべき解析精度

評価項目	確保すべき解析精度等
管路内水位	下水管路内における水位やピーク時間・水位の解析結果が、実績と概ね一致すること。 評価の目安として以下のような例が挙げられる。 ・水位波形の NS* が 0.7 以上であること ・複数の雨水ポンプの先行運転を行う場合は、誤差が各ポンプの起動水位差以下であること
浸水発生位置、範囲、浸水深、浸水発生時間	解析による浸水発生状況が、浸水実績と概ね一致すること。 評価の目安として以下のような例が挙げられる。 ・浸水深さが実績の床上浸水/床下浸水と一致すること

※NS(Nash-Sutcliffe 係数)

Nash-Sutcliffe 係数は、1970 年に (Nash and Sutcliffe, 1970) により提唱された指標であり値が 1 に近いほどモデルの精度はよいとされ、指標値 0 より小さい場合、ほぼ予測の効果がないとみなすことができる。一般的に 0.7 を超えると有効な精度であるとされている。

■Nash-Sutcliffe 係数

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^N \{q_o(i) - q_{av}\}^2}$$

$$q_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_o(i)$$

N : 計算時間数

$q_o(i)$: i 時の実測流量

$q_c(i)$: i 時の計算流量

q_{av} : 実測流量の平均値

5) 水位補正

リアルタイム解析の計算過程では、雨量データ精度、地表面流出率の変化等に起因し、図 5-3 に示すように実測水位と解析水位に誤差が生じる可能性がある。このため、例えば計測水位と解析水位をリアルタイムで比較・補正する方法等の適用を検討することが望ましい。

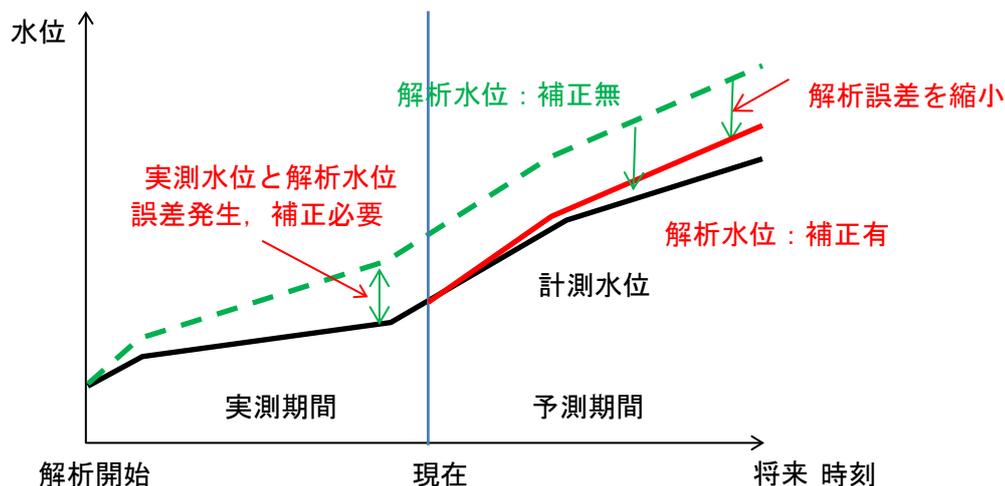


図 5-3 リアルタイム解析における水位補正イメージ

(2) リアルタイム解析技術

1) データ送受信

解析モデルにリアルタイムで取り込む信号，および情報配信する解析結果データを整理する。データ数が多いと結果の出力処理に時間を要し，データベースに保存する容量が増加するため，不要なデータ出力は行わないようにする。

また，データ収集技術との連携方法について適切な方法で設計する。連携方法には，データベースと API を使って直接データを読み込んだり書き込みする方法，FTP 通信等によるデータファイルを送受信する方法などがある。

2) リアルタイム解析環境

リアルタイム解析は定周期で安定して実行する必要があるため，要求性能を満足する機器構成，通信環境等を検討する。

採用する機器に求められる性能は，解析モデルにおける水理構造物のコントロール，解析対象面積，降雨条件，予測期間等によって異なるため，必要な性能を実現可能な機器構成・通信環境を設計する必要がある。

3) HDD 等記憶媒体の容量確保

リアルタイム解析では解析結果データやログファイル等の様々なデータが解析処理毎に出力される。HDD 等の容量を確保して安定稼働を実現するためには，これらのデータを必要に応じて削除，もしくは外部の記憶媒体へ保存できるようにする必要がある。

§ 28 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画像等に加工し配信できるよう適切に設計を行う。

【解 説】

情報配信技術では利用者が情報を閲覧するための Web サーバとして必要な仕様を検討する。

(1) 配信画面設計

§ 19 基礎調査等で得られた利用者が閲覧したい情報を整理し、その情報をどのような画面として配信するかを設計する。

雨量情報であれば、雨量分布図、ハイトグラフ、数値情報等になる。水位情報と雨量情報をまとめて表示する等検討する。

1) レーダ雨量配信画面

レーダ雨量の画面表示機能は、降雨の範囲、強さ、移動状況を捉えることを目的に、次の内容を基本とする。

①レーダ雨量の降雨強度

レーダ雨量の降雨強度は、広域、行政区域、排水区等、必要に応じて表示スケール（図 5-4 参照）を変えてメッシュにて表示する機能を有するものであることが望ましい。



図 5-4 レーダ雨量強度のメッシュ表示例（左：広域，中：行政区域，右：排水区域）

②時系列での表示

過去（任意時間）から予測時間の雨量強度を時系列に連続して表示（図 5-5 参照）する機能を有するものとする。



図 5-5 レーダ雨量強度のメッシュ表示例（左：30 分前，中：現在，右：30 分後）

③排水区雨量

対象排水区における過去から現在の観測雨量および将来の予測雨量をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。画面表示例を図 5-6 に示す。

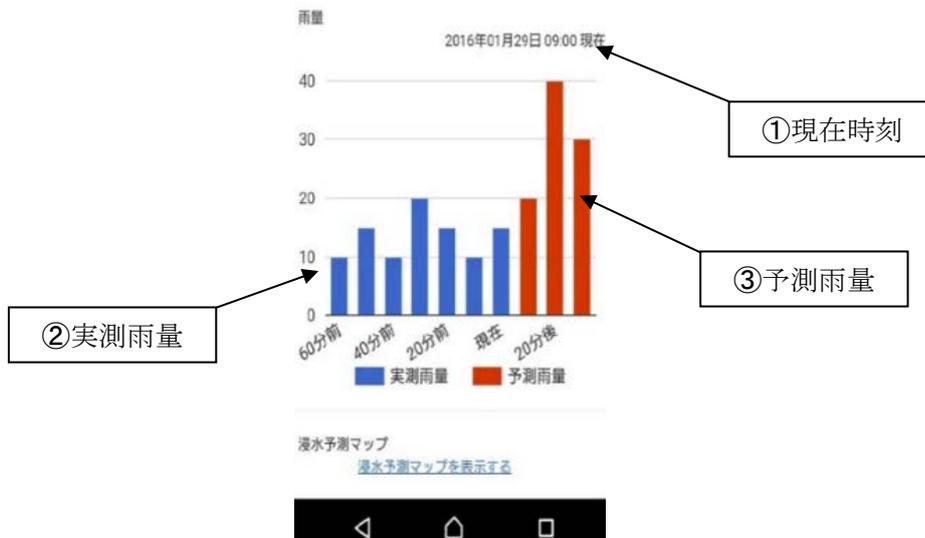


図 5-6 排水区雨量画面（例）

④データの更新周期

データの更新周期については、観測値は計測技術の観測間隔、予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

2) 施設運転支援画面

施設運転支援の画面表示機能は、ポンプ等の運転を最適に支援することを目的に、次の内容（図 5-7，図 5-8 参照）を基本とする。

①水位データの表示

施設運転に必要な下水道管路内，ポンプ井，放流先の観測水位等を数値やグラフ等で表示する機能を有するものとする。なお，施設運転の判断基準（閾値）を設定する場合は閾値を合わせて表示する。

②施設稼働状況の表示

ポンプ等の稼働状況を表示する機能を有するものとする。なお，既存設備において確認が可能な場合は不要とする。

③運転判断情報の表示

ポンプ等の起動・停止を一目で判断できる情報を表示する。

④データ更新周期

データの更新周期については，観測値は計測技術の観測間隔，予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

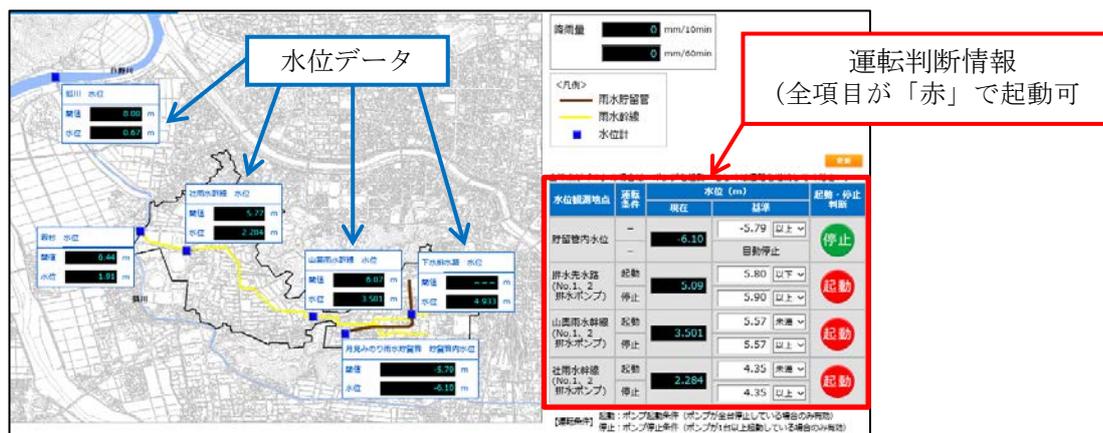


図 5-7 施設運転支援画面（平面図）

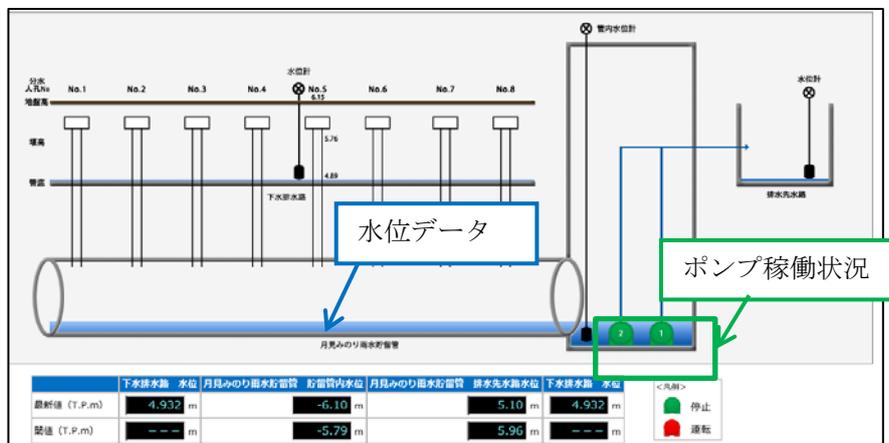


図 5-8 施設運転支援画面（貯留管断面図）

3) 自助・共助支援画面

自助・共助支援画面は、一般住民が利用するため、レーダ雨量、排水区雨量、下水管路内水位、内水浸水想定区域等の自助・共助支援に必要な情報を視覚的に理解しやすい情報に加工し、リアルタイムに情報を提供できる機能を有するものとする。

なお、雨量の予報を行う場合には、気象業務法にもとづく予報業務許可が必要となるため留意が必要である。詳細については、§31を参照のこと。

①排水区雨量

対象排水区における過去から現在の観測雨量および将来の予測雨量をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。

②下水管路内水位

水位計設置箇所（浸水常襲地区）における過去から現在の観測水位および将来の予測水位をグラフ化等の時系列データにて表示する機能を有するものとする。画面表示例を図5-9に示す。

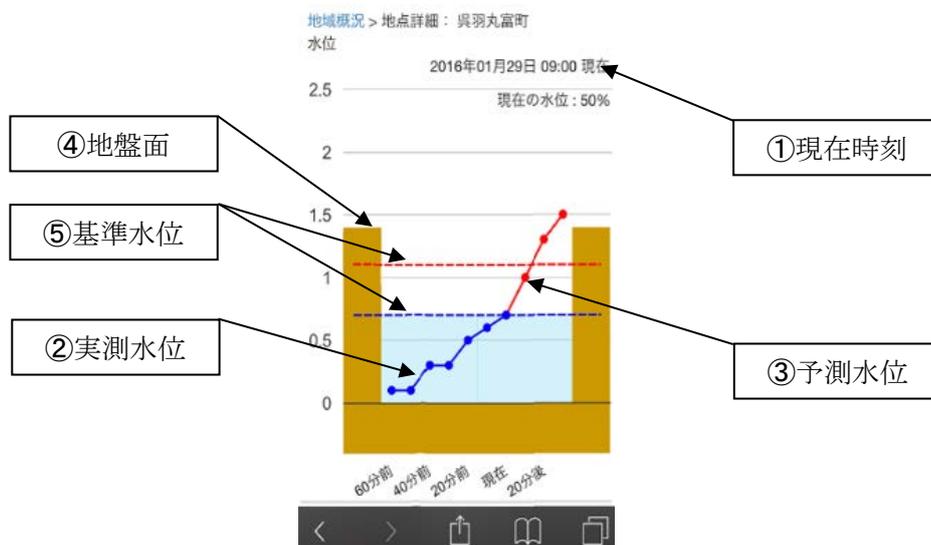


図 5-9 下水道管路内水位画面（例）

③内水による浸水予想図

対象排水区における内水による浸水予想図を浸水深毎に色分けしマップとして表示する機能を有するものとする。画面表示例を図 5-10 に示す。なお、住民等へ配信する際には、気象庁が大雨による浸水害のおそれがある場合に発表する「大雨警報（浸水害）」、「大雨注意報」および「大雨警報（浸水害）の危険度分布」と、区別可能な名称・表示となるよう留意する。

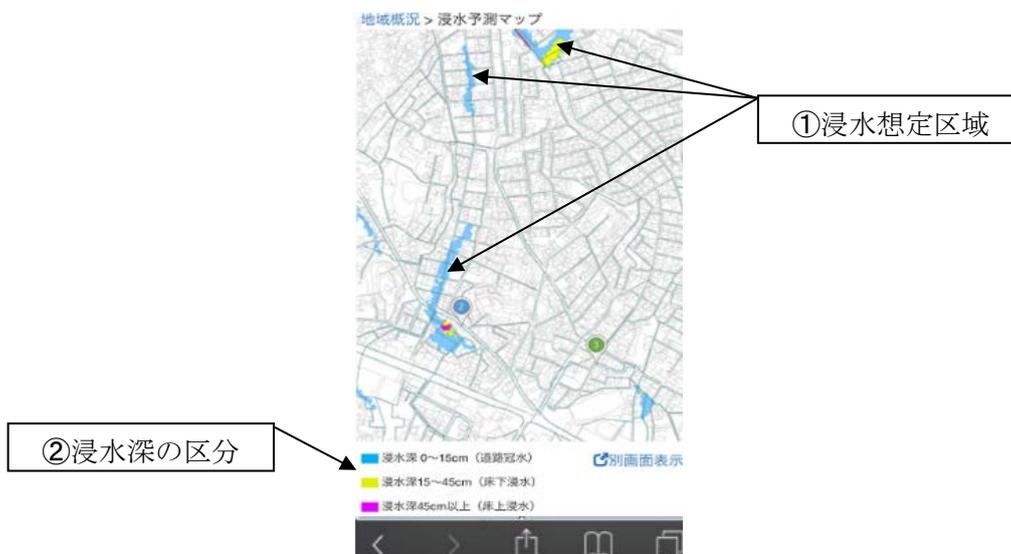


図 5-10 内水による浸水予想図画面（例）

④データ更新周期

データの更新周期については、観測値は計測技術の観測間隔、予測値は短時間降雨予測の間隔によるものとする。

(2) 情報配信環境設計

情報配信環境は、利用者がどのような方法でアクセスしてくるかを把握し、環境を設計する必要がある。Web ブラウザなど推奨環境を決定する。

考慮点は、サーバ負荷状況、通信回線検討のために利用者がどのような環境からアクセスするか、同時アクセス数、アクセス頻度等である。

通信環境は応答性への影響が大きいため、十分検討すること。

(3) その他

本要素技術の可用性、セキュリティ対策、応答性能、運用保守性など実運用していくうえで必要な要件を整理しておくことが望ましい。特にインターネットで情報公開を行う場合は、利用者だけでなく悪意を持った攻撃の対象にもなることから、セキュリティ対策は十分に検討する必要がある。

§ 29 情報通信技術

情報通信技術は、リアルタイムでの情報収集、配信ができるよう適切に設計を行う。

【解 説】

情報通信技術の設計においては、要求性能を発揮できるよう通信回線、機器等の選定、仕様を検討する。

(1) 要件整理

要素技術間の通信方法、情報配信技術への利用者のアクセス方法、データ収集方法や通信環境等を確認し、合わせてセキュリティ方針についても確認して要件を整理する。

(2) 通信環境設計

要件を満足できる通信サービス、アクセス回線、通信機器を選定し、設計を行う。

回線および通信サービスは、表 5-2 に示すとおり、通信速度、安定性、確実性を考慮し選定する。

通信機器は機能やスループットだけではなく、通信制御機能やセキュリティ機能による処理遅延等を考慮し、要求を満たす機器を選定する。また、下水処理場など特殊な設置環境である場合は、その環境に耐えうる機器を選定することも考慮する。

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 5-2 情報通信技術の仕様に関する確認項目

分類	項目	確認内容
情報伝達技術として確認すべき項目	通信速度	本技術で取り扱う情報量に対応した速度が確保できるか。本技術で扱う情報量に比べて、通信速度が不足した場合、情報の遅滞が発生する可能性があるため、大量の情報を取り扱う場合は特に注意が必要。
	安定性	本技術で必要な通信速度を常時確保できるか。
	確実性	災害時においても、できるだけ通信の制約(通信の遮断等)を受けず、通信を確保できるか。

第6章 運用・維持管理

第1節 本技術の運用・維持管理

§ 30 本技術の運用

本技術の運用にあたっては、本技術が提供する情報を適切に活用して、浸水対策施設の運転支援、住民への自助・共助支援を実施することが重要である。

- (1) 施設運転支援情報の活用
- (2) 自助・共助支援情報の活用

【解説】

本技術の運用にあたっては、本技術から提供される雨量、水位の計測値および予測値、施設運転支援情報、自助・共助支援情報を導入目的に応じて適切に活用することが重要である。

施設運転支援、自助・共助支援別に運用例を示す。なお、実証研究における運用の詳細については資料編 6.1 および 6.2 を参照のこと。

(1) 施設運転支援情報の活用

以下に福井市における雨水貯留管の施設運転支援事例を示す。また施設運転支援について図 6-1 に示す。

<雨水貯留管の施設運転支援（福井市の事例）>

- ①大雨注意報の発表を受け参集した雨水貯留管の排水ポンプ運転員が、レーダ雨量および対象区域の降雨量、雨水貯留管への雨水流入開始を確認。
- ②排水ポンプ運転の起動・停止の判断基準となる放流先水位を監視。
- ③基準水位以下を確認し、排水ポンプを起動。
- ④30分後に基準水位が超過する場合は排水ポンプを停止、基準以下では運転を継続。
- ⑤雨水貯留管内の貯留水の排水が完了により施設運転支援は終了。

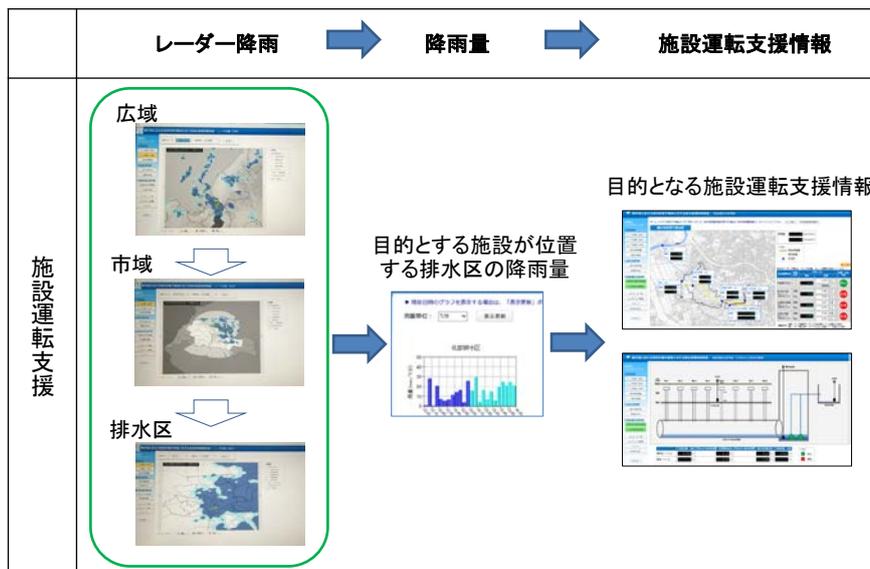


図 6-1 情報活用フローイメージ

(2) 自助・共助支援情報の活用

自助・共助支援情報を住民へ提供する場合、高齢者等においては情報媒体を十分に活用出来ないことが想定されるため、単に情報媒体の検討だけではなく地域防災組織との連携を含めた情報配信を検討することが望ましい。

富山市では、本技術で観測・予測される降雨や水位をリアルタイムで表示監視するとともに、基準値を超える降雨や水位が観測、予測されたタイミングで浸水常襲地域の自主防災組織へメール配信を行い、自助・共助活動の早期開始を目的とした情報配信技術を構築した。参考として実証研究時のメール配信基準を図 6-2 に示す。



図 6-2 メール配信基準

§ 31 本技術の維持管理

本技術の維持管理にあたっては、管理者を設置するとともに、本技術を構成する装置・機器や取り扱うデータについて、適切な保守を行うことが重要である。

- (1) 管理
- (2) 保守

【解説】

本技術の維持管理においては、管理者が維持管理方針を策定し、各種マニュアルの作成、管理・保守体制の構築、管理・保守作業の管理・監督、構成の管理を行う。

また、本技術の保守においては、都市域レーダ等の計測機器、通信機器、サーバ、ソフトウェアの保守作業の他、都市域レーダの観測、短時間降雨予測モデルの予測およびリアルタイム流出解析技術の解析精度の向上を実施する。

(1) 管理

1) 管理・保守方針の策定

管理者は、計測機器等の保守作業、本技術の安定稼動のための保守作業、施設の運転や運用ノウハウの蓄積、維持管理作業を計画し、管理・保守方針の策定をする。

なお、本技術による予測情報（雨量予測、下水管路内水位予測、浸水予測）を一般住民へ配信する場合には、以下の点について留意する必要がある。詳細については、資料編 7.1 を参照のこと。

<雨量予測、下水管路内水位予測、内水による浸水区域予測を住民等に配信する場合の留意点>

1. 雨量予測

気象業務法による予報業務の許可対象となる。また、降雨予測サーバを24時間監視・保守できる体制とし、気象事業者等が降雨情報を常に確認できるようにする必要がある。

2. 下水管路内水位予測および内水による浸水区域予測

雨量予測同様、予測サーバを24時間監視・保守できる体制を構築することが望ましい。なお、本技術における下水管路内水位予測および内水による浸水区域予測については、気象業務法による予報業務の許可対象には該当しない。

住民に雨量等の予測情報を配信する場合には、障害発生時や誤った情報を配信してしまった場合に多数の問い合わせや不要な避難行動を引き起こす可能性が高いなど、その社会的影響が大きいことが予想される。またそればかりか、その後の予測情報の信頼性に疑問を持たれることで、対策効果を損なう恐れもある。したがって、障害発生時や誤情報配信後の対応方法について、事前に検討

しておくことが望ましい。また、問題が発生した場合については、原因分析、その結果得られた教訓等を情報共有により関係者に徹底するなど、所要の改善措置を講ずるものとする。

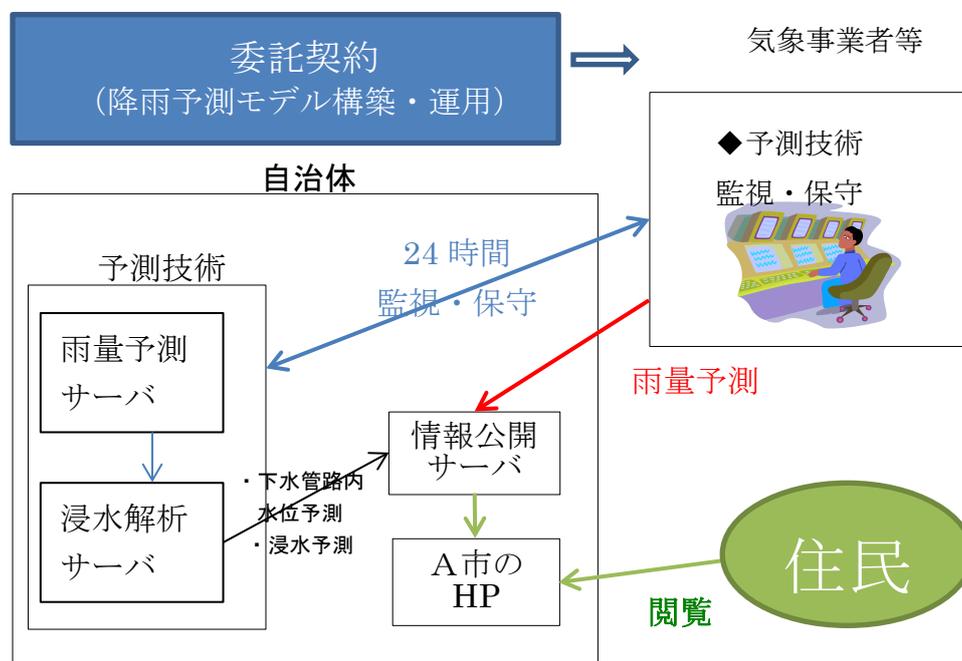


図 6-3 本技術における雨量等予測情報の配信体制例

2) 運用時の管理

本技術の運用時においては、システムが停止した場合、各種データ連携が停止した場合、利用者が異常等を発見した場合にはあらかじめ策定した管理計画（連絡体制、画面表示等）に基づき対応を図るものとする。

また、住民に雨量等の予測情報を配信する場合には、障害発生時や誤った情報を配信してしまった場合の対応について、あらかじめ策定した方針に基づき対応を図ることが望ましい。

(2) 保守

1) 計測技術、情報通信技術の保守作業

計測技術、情報通信技術の保守作業では、要素技術の安定稼動が維持できるように、定期的な保守作業がある。

なお、計測技術のうち都市域レーダの保守内容については、以下のとおりであり、レーダ事業局免許の更新にも留意する必要がある。

(a) レーダ雨量計の保守

本ガイドラインにおいては、実証研究で用いた都市域レーダの保守に関して以下に記載する。都市域レーダの性能維持のため、表 6-1 に示すとおり年次点検を実施する。なお、実証研究

における年次点検結果については資料編 6.2 を参照のこと。

表 6-1 都市域レーダの保守項目

点検項目		検査基準
空中線装置	1. 外観	目視により、レドーム、固定材、保護管に、破損や著しい劣化（錆含む）の無いこと、現物写真を添付
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 電源	電源装置が仕様（電圧範囲）を満足していること
	4. 送受信性能	送受信装置が仕様（送信出力および受信感度）を満足していること
	5. アンテナ機構	ギアの緩み、目視により著しい劣化の無いこと、現物写真を添付
	6. 内部状態	目視により、レドーム内部に雨水や害虫の侵入が発生していないこと、現物写真を添付
	7. 水平度	設置時の水平精度が維持されていること、現物写真を添付
	8. 警告ラベル	目視により、警告表示が劣化していないこと、現物写真を添付
	9. ソフトウェア	モーター基板、モニタ基板のソフトウェアを必要に応じ更新すること
信号処理装置	1. 外観	目視により、収納ボックス、保護管に、破損や著しい劣化（錆含む）の無いこと、現物写真を添付
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 電源	入力電圧が仕様（電圧範囲）を満足していること
	4. 機能性能	信号処理ユニットに対して、セルフテストエラーが発生しないこと
	5. 内部状態	目視により、収納ボックス内部に雨水や害虫の侵入が発生していないこと、現物写真を添付
	6. ソフトウェア	信号処理ユニットのソフトウェアを必要に応じて更新すること
表示装置	1. 外観	目視により、破損の無いこと、現物写真を添付
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 機能性能	内蔵 HDD に対して、ディスクエラーが発生しないこと、データ再生にて映像表示ができること
	4. ソフトウェア	データ収録表示ソフトウェアを必要に応じて更新すること
	5. ウィルスチェック	表示装置（パソコン）がウィルスに感染していないこと（最新パターンを使用）
周辺装置	1. 外観	目視により、破損の無いこと、現物写真を添付
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 外部 HDD	データ保存用外部 HDD に対して、ディスクエラーが発生しないこと
	4. UPS	無停電電源装置に対して、セルフテストエラーが発生しないこと、バッテリー寿命に対して交換すること
	5. HUB	すべての LAN ポートが正常に動作すること
	6. リブータ	リブート機能が正常に動作すること
	7. ルータ	外部回線接続が正常に動作すること
総合検査	1. レーダ映像	送受信を開始し、レーダ映像表示されること、現物写真を添付
	2. 観測データ	観測データが外部記憶装置に保存されること
	3. 再起動	UPS の電源を抜いて、自動的にシャットダウンし、電源を入れると再起動すること
	4. リモート操作	外部回線からリモート操作できること

また、都市域レーダについては、下記に留意し、事業局免許の更新を行う。

- ・事業局の再免許（更新）は、無線局免許手続規則に準じて実施する。
- ・気象レーダ（無線標定陸上局）の免許有効期間は、最大5年間である。
- ・再免許申請は、免許の有効期間満了前3ヶ月以上、6ヶ月を超えない期間内に実施する。

ただし、電波法関係法令の改正等により、事業局免許の更新内容は変更される可能性があるため、常に最新版の内容を確認することが必要である。

詳細は、総務省の電波利用ホームページに記載されている。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/proc/type/again/index.htm>

(b) 雨量計の保守

簡易点検では、受水筒内の金網やろ水器、転倒ますのゴミ、泥等の除去を行う。また、通常点検では、水準器の確認、転倒ますの動作確認、定雨量値を注いだ時の動作確認等の作業がある。

なお、気象観測施設設置の届出の必要がある場合には、気象業務法に準じた計器の再検定を行う。

(c) 水位計の保守

水位計の簡易点検は、計測状況と計測値に異常がないか、外観に異常がないかを確認する。通常点検は、水位・流量計の計測状況を変化させて動作確認、調整を行う。

2) サーバの保守作業

①ソフトウェア保守

ソフトウェア保守には、安定稼働を維持するために、日常的な稼働状況の確認、定期的なソフトウェアのバージョンアップ等を行う。また、障害時におけるソフトウェア保守には、関係者への連絡、対応等を行う障害対応を行う。

②セキュリティ対策

セキュリティ対策には、サーバにおけるウイルス対策や不正アクセス対策等がある。日常的な作業には、ウイルスセキュリティソフトのパターンファイル更新やOSのセキュリティ更新等が正常に行われているかの確認を行う。

また、インターネットを経由する通信を行う場合のセキュリティ対策においては、外部からの不正アクセスの有無を確認する定期的な作業もある。必要に応じて、通信機器にはアクセス制御等の設定を行う。

③データ管理

データ管理には、雨量、水位・流量データ、運転データ等がデータベースに正常に蓄積されているか、データベースのデータバックアップが正常に行われているかを確認する。また、データ欠損の有無を把握することで、計測技術、情報通信技術等の異常が早期に発見できる。

3) 精度の維持・向上作業

都市域レーダの観測、短時間降雨予測モデルの予測およびリアルタイム流出解析技術の解析精度については、蓄積したデータに基づき精度向上を実施する必要がある。

①都市域レーダ

(ア) 降雨観測精度評価

地上雨量計と都市域レーダの観測雨量の降雨観測精度評価を1年ごとに実施することを基本とする。評価指標は回帰係数・相関係数・RMSEとし、目標とする評価指標の値は、XMPと同程度とする。

(イ) 降雨観測精度向上作業

降雨観測精度評価の結果において、回帰係数の値がXMPの回帰係数の値(0.87~1.22)の範囲外の場合は、降雨観測精度向上作業を実施し、図2-18の式1における α (算出係数:初期値1.2)を降雨観測精度向上作業により決定された値に変更することで都市域レーダの観測雨量の精度向上を図る。散布図による降雨観測精度評価例を図6-4に示す。なお、実証研究における降雨観測精度向上作業は、資料編3.3.5を参照のこと。

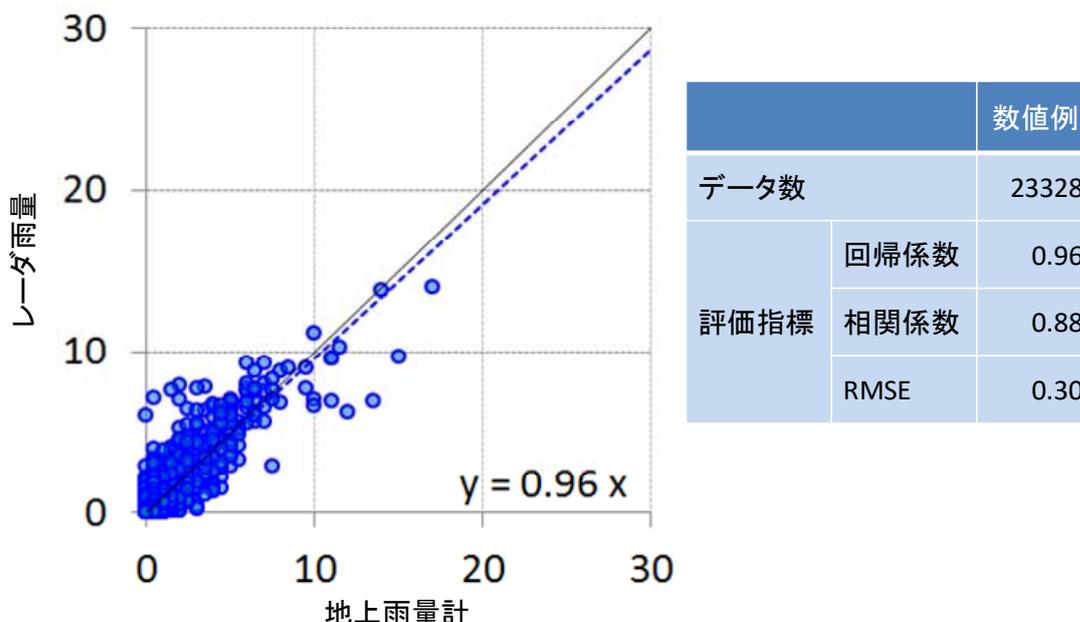


図 6-4 散布図による降雨観測精度評価例

②短時間降雨予測モデル

短時間降雨予測モデルは、地域の気象特性に大きく依存し、また、気象の変化等にも追従する必要があるため、随時パラメータを調整し、予測精度の確認を行うことが望ましい。

③リアルタイム流出解析技術

リアルタイム流出解析技術のモデル精度の維持、向上作業は下水道施設の新設、増設、改築更新に伴い施設の規模、諸元等が常に変化する。また、再開発等による土地利用の変化により雨水流出量が変わることが考えられる。このため、モデルの解析精度を確保するうえにおいて、構築されたモデルを更新する作業を行う。

また、地上雨量計、水位・流量計等の蓄積したデータに基づきキャリブレーションを行い、解析精度の向上を図る。キャリブレーションの考え方については、§27を参照のこと。

図 6-5 にモデル精度の維持、向上における作業イメージを示す。

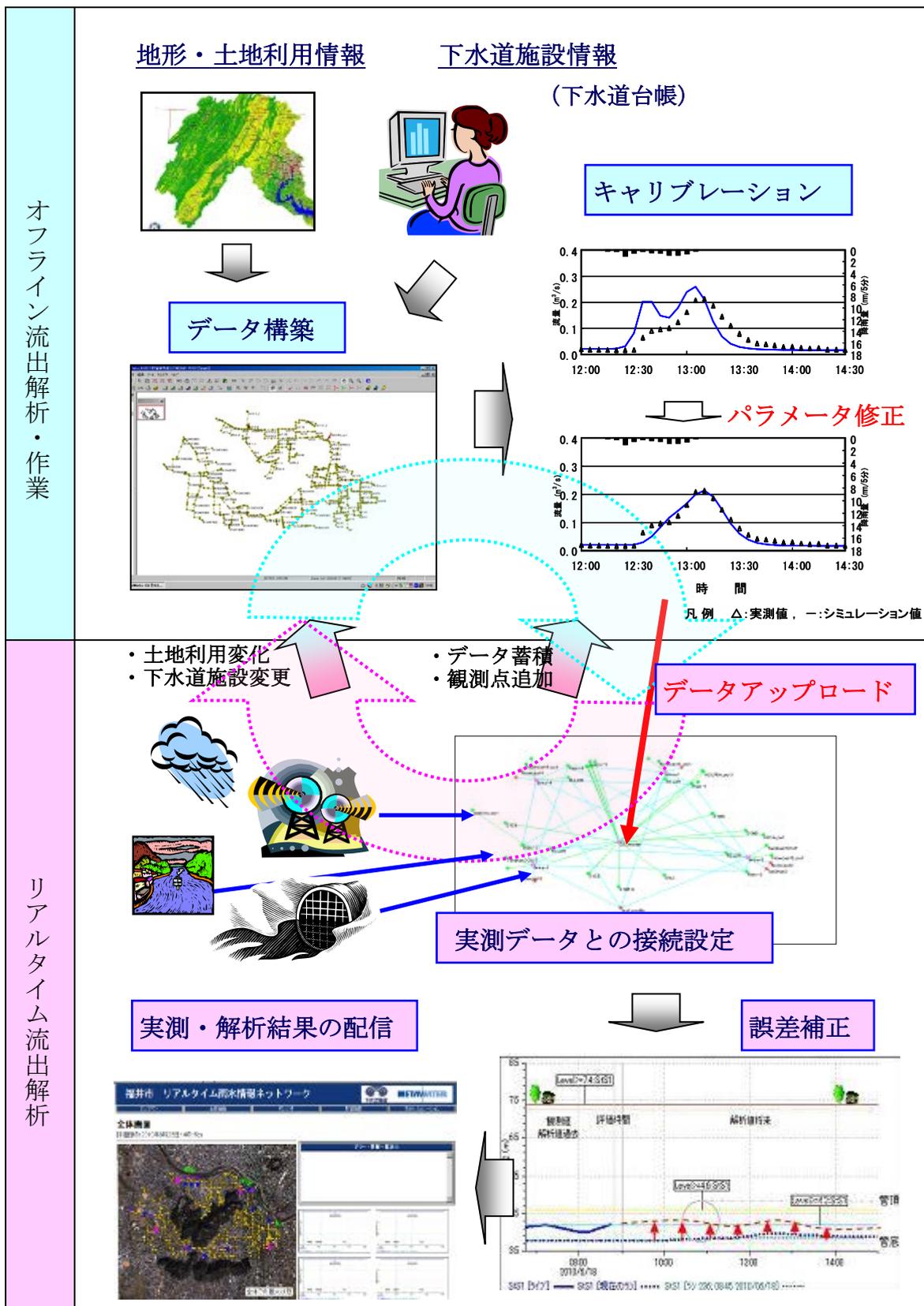


図 6-5 リアルタイム流出解析技術のモデルの維持，向上作業イメージ

参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説 2009年版. (社)日本下水道協会
- 2) 下水道維持管理指針 2014年版. (公社)日本下水道協会
- 3) 下水道用語集 2000年版. (社)日本下水道協会
- 4) 流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き) -2017年3月-. (公財)日本下水道新技術機構
- 5) 直原悠紀子, 大石哲. 超局地・超高時間分解能レーダー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. 日本気象学会 2014年度秋季大会
- 6) 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. 国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 7) 三好朋宏, 小林正和, 板垣修. 都市の浸水被害軽減に向けた浸水予測システムの開発と社会実験. 土木技術資料 59-12 (2017). 一般財団法人 土木研究センター
- 8) B-DASHプロジェクト ICTを活用した浸水対策施設運用支援システム導入ガイドライン(案). 国総研資料 No. 940. 2016. 国土技術政策総合研究所
- 9) 国土交通省レーダ雨量計の現状と観測技術. 河川 2016-9月号. 日本河川協会
- 10) 佐藤昂介, 西山浩司, 岩井真央, 小柳賢史, 藤崎成品. テーパリングクラウドの特性及び豪雨との関係. 平成23年度土木学会西部支部研究発表会(2011.3)
- 11) 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) 平成29年7月. 国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 12) 下水道事業における費用効果分析マニュアル 平成28年12月. 国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 13) 気象庁. 気象観測ガイドブック より良い気象観測のために. 2002.
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku_guide/guidebook.pdf

おわりに

本ガイドラインは平成 27～28 年度の実証研究に基づき作成したものであり，得られた結果については実証したフィールドにおける降雨・地域特性が強く影響する。このため，実際の運用にあたっては，現地条件等により本ガイドラインで示した効果と異なることがあり得る旨，申し添える。なお，国土技術政策総合研究所では今後も当該技術のフォローアップを行っていく予定である。

浸水対策技術については未だ発展途上であり，気候変動に伴う降雨現象の変化，人口減少社会の到来による都市構造の変化，下水道事業に関わる職員や技術者の減少などにより，現場のニーズが益々高くなることから，今後もより効率的な技術開発が進められることを期待するものである。

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

資料編

資料編目次

1 実証技術の概要と要素技術の設置状況	104
1.1 実証技術の概要	104
1.2 都市域レーダの設置状況	106
1.2.1 都市域レーダの設置検討および確認結果	106
1.2.2 都市域レーダ設置後の設置基準検討結果の確認	112
1.2.3 都市域レーダの合成観測画像の確認	124
1.3 地上雨量計・水位計の設置状況	126
1.3.1 地上雨量計	126
1.3.2 水位計	133
1.4 その他設備の設置状況	136
1.5 実証における要素技術の仕様	139
2 実証研究期間における雨量・水位観測状況	146
3 要素技術の性能評価	162
3.1 要素技術の基本性能	162
3.2 性能評価一覧	164
3.3 都市域レーダの特徴と性能評価	166
3.3.1 都市域レーダの特徴	166
3.3.2 降雨発生早期検知の評価	169
3.3.3 降雨観測精度の評価	172
3.3.4 信号減衰による欠測域の評価	193
3.3.5 降雨観測精度向上	195
3.3.6 距離分解能の違いによる降雨観測精度比較評価	203
3.4 レーダ雨量解析技術の特徴と性能評価	207
3.4.1 降雨予測モデルの理論	207
3.4.2 降雨予測手順	217
3.4.3 降雨予測モデルの適用範囲	222
3.4.4 降雨予測精度の評価	223
3.5 リアルタイム流出解析技術の特徴と性能評価	244
3.5.1 リアルタイム流出解析技術の特徴	244
3.5.2 オンライン解析とオフライン解析	246
3.5.3 流出解析精度評価	247
3.5.4 施設運転支援および自助・共助支援に有効な予測パターンの選定	267

4	施設運転支援による浸水被害軽減効果の評価	284
4.1	評価方法	284
4.2	評価結果	297
4.3	経費回収年の算定	299
4.3.1	導入費用	299
4.3.2	維持管理費	301
4.3.3	経費回収年	302
5	自助・共助支援効果の評価	303
5.1	情報配信による自助・共助の促進効果	303
5.2	自助・共助による浸水被害軽減効果の試算事例	309
5.2.1	評価方法	309
5.2.2	評価結果	312
6	運用・維持管理	325
6.1	運用	325
6.2	維持管理	347
7	関連法令	351
7.1	気象業務法に基づく予報業務の許可対象	351
7.2	9.4GHz帯気象レーダの一般無線局化に向けた検討	355
7.3	無線局の開局	356
8	問い合わせ先	357

1 実証技術の概要と要素技術の設置状況

1.1 実証技術の概要

実証研究では、計測技術のうち、レーダ雨量計として「都市域レーダ」を用いた。また、福井市では施設運転支援および自助・共助支援を行う構成（図 1-1）、富山市では自助・共助支援に特化した構成（図 1-2）とした。

なお、都市域レーダは XMP の観測範囲外や XMP の降雨観測精度が低下しやすい定量観測範囲外周部、電波消散により欠測が生じやすい地域など、主に XMP による降雨観測において補完する必要がある都市での活用を想定しているが、実証研究では、富山市において XMP と都市域レーダの降雨観測精度を比較することを目的として、XMP（水橋局）の近隣に設置した。

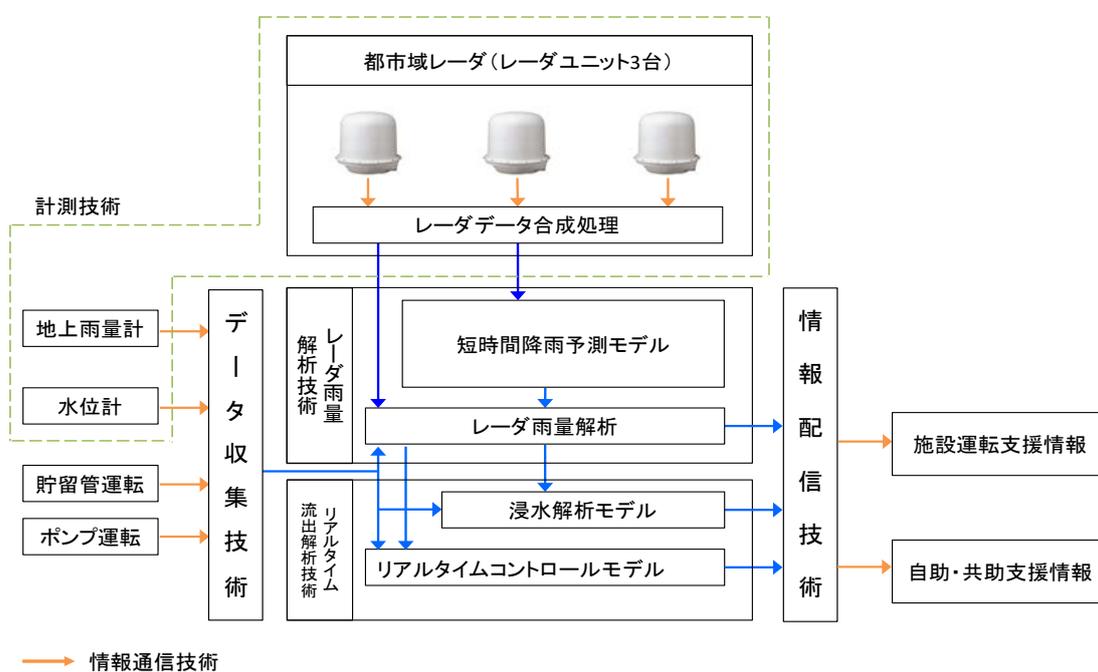


図 1-1 実証技術の構成（福井市）

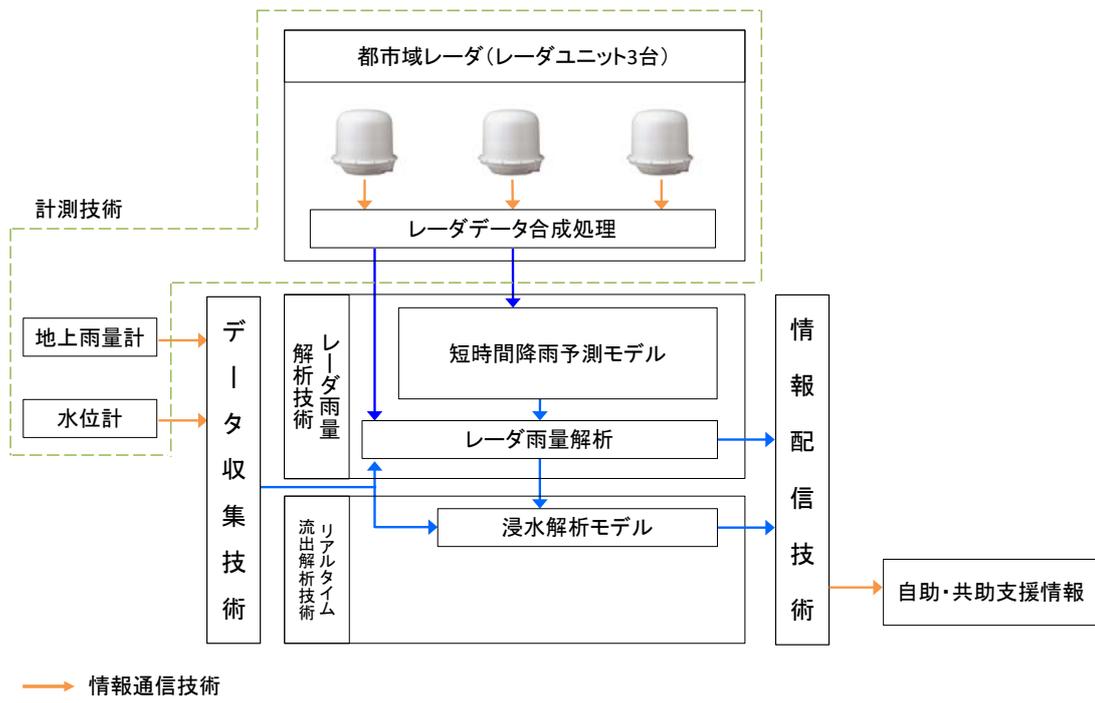


図 1-2 実証技術の構成 (富山市)

1.2 都市域レーダの設置状況

1.2.1 都市域レーダの設置検討および確認結果

(1) 基本配置の検討

基本配置の検討においては、目標性能に基づき、地形や建物による影響を考慮し、表 1-1 に示すとおり排水区全域に一律な 50mm/h の降雨に対して電波消散に耐えうる最大距離 15.3km 以内に各レーダユニットを配置することとした。

表 1-1 レーダユニット 1 台で降雨による電波消散に耐えうる最大距離

下水道排水区全域の降雨強度							
30 mm/h	40 mm/h	50 mm/h	60 mm/h	70 mm/h	80 mm/h	90 mm/h	100 mm/h
23.8 km	18.6 km	15.3 km	13.0 km	11.3 km	10.0 km	8.9 km	8.1 km

(2) 設置箇所の候補地の選定

基本配置において検討した地点の付近に位置する公共施設等の設置可能候補地点を選定した。選定した設置可能候補地点を表 1-2 に示す。

表 1-2 選定した設置可能候補地点

都市名	設置可能候補地点名			
福井市	森田中学校	福井市少年 自然の家	足羽第一中学校	グリーンハイツ 5号公園
富山市	倉垣小学校	藤ノ木小学校	熊野小学校	池多小学校

(3) 設置場所の設置基準に基づく確認結果および設置における留意事項の確認

1) 実証研究における設置基準および設置における留意事項

①設置基準

実証研究において設定した、レーダユニットの設置基準を表 1-3 に示す。

表 1-3 レーダユニットの設置基準

項目	要件	概要
地形に対する観測域の確認	高度 500m 領域の下水道排水区域観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域を確保する。	標高地形図を使ったシミュレーション等で確認する。
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	電波を送信する空中線装置に対して、観測域側の遮蔽がないよう架台の高さを確保する。	建物の屋上に設置する場合は、遮蔽物（給水塔など高さのある構造物）を避ける。
避雷針の考慮	建築基準法施行令に基づき、高さ 20 メートルを超える建築物に設置された避雷針に対して、空中線装置は、安全範囲内に設置する。安全範囲外になる場合は、空中線装置に対して、新規に設置する。	JIS A 4201:2003 を確認する。
放送受信アンテナの考慮	BS/CS 受信アンテナや地デジ放送受信アンテナへ影響がないこと。	送信電波が被らないように、アンテナを移動またはアンテナを避ける。
電源の確保	AC100V 単相、50/60 Hz アース付、10A 以上の 1 本を使用する。	商用電源を使う。
通信回線の配線経路の確保	通信業者の回線を 1 回線敷設するため、配線経路の確保が必要	観測データの転送およびリモート操作するための通信回線である。

2) 設置候補地における観測域の判定結果

実証研究にて選定した設置可能候補地点における観測域のシミュレーションを行った。シミュレーションによる確認方法については本編の図 4-8 を参照のこと。

①福井市

レーダユニット設置可能候補地点における高度 500m (降雨実況領域) および 1500m (降雨予測領域) の観測域の可視率判定結果を表 1-4 に示す。白色部分が可視と判定された領域で、黒色部分が不可視と判定された領域を表す。可視率は、赤四角枠内に占める白色部分より求めた。

高度 500m の赤四角枠は、下水道排水区域を中心に設定した観測域の確認のために設定した東西方向約 9.0km, 南北方向約 7.8km のシミュレーション領域で、高度 1500m の赤四角枠は、福井市を中心に設定した観測域の確認のために設定した東西方向約 40.5km, 南北方向約 41.1km のシミュレーション領域である。

表 1-4 (福井市) 各設置可能候補地点における観測域の判定結果

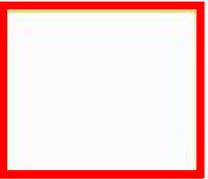
高度	森田中学校	福井市少年 自然の家	足羽第一 中学校	グリーンハイツ 5号公園
500m	 可視率：100%	 可視率：88.6%	 可視率：99.9%	 可視率：100%
1500m	 可視率：92.7%	 可視率：52.4%	 可視率：89.4%	 可視率：82.1%

②富山市

レーダユニット設置可能候補地点における高度 500m（降雨実況領域）および 1500m（降雨予測領域）の観測の可視率域判定結果を表 1-5 に示す。白色部分が可視と判定された領域で、黒色部分が不可視と判定された領域を表す。可視率は、赤四角枠内に占める白色部分より求めた。

高度 500m の赤四角枠は、下水道排水区域を中心に設定した観測域の確認のために設定した東西方向約 5.4km、南北方向約 4.4km のシミュレーション領域で、高度 1500m の赤四角枠は、富山市を中心に設定した観測域の確認のために設定した東西方向約 40.2km、南北方向約 41.1km のシミュレーション領域である。

表 1-5 （富山市）各設置可能候補地点における観測域の判定結果

高度	倉垣小学校	藤ノ木小学校	熊野小学校	池多小学校
500m	 可視率：100%	 可視率：100%	 可視率：100%	 可視率：100%
1500m	 可視率：86.5%	 可視率：89.1%	 可視率：91.4%	 可視率：88.1%

3) 設置基準に基づく検討結果

レーダユニット設置場所は、福井市においては、森田中学校・足羽第一中学校・グリーンハイツ 5 号公園を選定した。また、富山市においては、倉垣小学校・熊野小学校・池多小学校を選定した。レーダユニット設置場所の検討結果を表 1-6（福井市）および表 1-7（富山市）に示す。

表 1-6 (福井市) 設置場所の検討結果

場所 項目	森田中学校	福井少年 自然の家	足羽第一 中学校	グリーンハイツ 5号公園
地形に対する 観測域の確認 (シミュレー ション結果)	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 92.7%	・高度 500m 域での可 視率 88.6% ・高度 1500m 域での 可視率 52.4%	・高度 500m 域での可 視率 99.9% ・高度 1500m 域での 可視率 89.4%	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 82.1%
建物や木など の遮蔽物に対 する観測域の 確認	観測域に受水槽があ るため 3m の架台を使 用する。	後背に山があるため 北および東側の広い 範囲が観測できな い。また、観測域に貯 水タンクがあるため 3m の架台を使用す る。	問題なし(標準 1.3m の架台を使用する)。	観測域に構造物があ るため公園内に高さ 6m 以上の鉄塔を建設 する。
避雷針の考慮	設置高さ 22.5m のた め避雷針を新規に設 置する。	設置高さ 12m のため 避雷針は不要	設置高さ 16m のため 避雷針は不要	鉄塔の高さによつて は避雷針を新設す る。
放送受信アン テナの考慮	問題なし	問題なし	未使用の VHF アンテ ナは取り外す。また は高さを下げる。	問題なし
電源の確保	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
通信回線の配 線経路の確保	配線経路を確保	配線経路を確保でき ないため、建物外壁 に新規専用配管が必 要	配線経路を確保	配線経路を確保
総合判定	受水槽があるため架 台を 3m にする必要が あるが、地形や遮蔽 物に対する観測域の 確保もできており、 問題なし	後背に山があるため 北側および東側の広 い範囲が観測できな い。500m の可視率に 関して不十分とわか ったので不相当と判 断	VHF アンテナの高さ を下げる必要がある が、地形や遮蔽物に 対する観測域の確保 もできており、問題 なし	公園内に構造物があ るため、鉄塔の建設 が必要になるが、地 形や遮蔽物に対する 観測域の確保もでき ており、問題なし
	選定		選定	選定

表 1-7 (富山市) 設置場所の検討結果

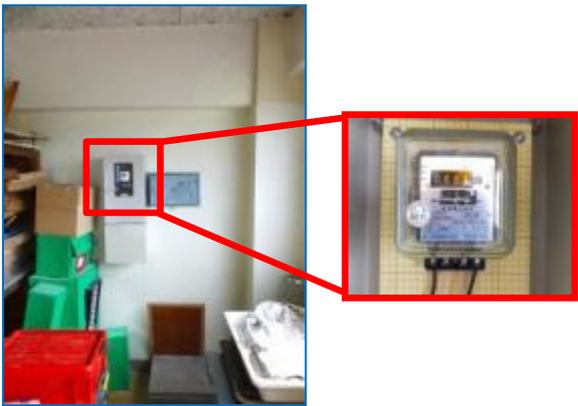
場所 項目	倉垣小学校	藤ノ木小学校	熊野小学校	池多小学校
地形に対する 観測域の確認 (シミュレー ション結果)	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 86.5%	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 89.1%	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 91.4%	・高度 500m 域での可 視率 100% ・高度 1500m 域での 可視率 88.1%
建物や木など の遮蔽物に対 する観測域の 確認	観測域に受水槽があ るため 4m の架台を使 用する。	観測域に大きな貯水 タンクがあるため 4m 以上の架台を使用す る。ただし、架台の固 定が容易ではない。	観測域に受水槽があ るため 4m の架台を使 用する。	問題なし(標準 1.3m の架台を使用する)。
避雷針の考慮	設置高さ 12m のため 避雷針は不要	設置高さ 15.5m のた め避雷針は不要	設置高さ 21m のため 避雷針を新規に設置 する。	設置高さ 16.5m のた め避雷針は不要
放送受信アン テナの考慮	アナログ放送アンテ ナを撤去し、地デジ アンテナ高さを低く する。	問題なし	未使用の VHF アンテ ナは取り外す。	地デジアンテナを移 設する。
電源の確保	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
通信回線の配 線経路の確保	配線経路を確保	配線経路を確保	新規光回線を直接屋 上まで敷設する。	配線経路を確保
総合判定	受水槽があるため架 台を 4m にする必要が あるが、地形や遮蔽 物に対する観測域の 確保もできており、 問題なし	大きな貯水タンクが あるため架台を 4m 以 上にする必要があ る。さらに、4m 以上 の架台の設置難易度 が高いことを考慮 し、不相当と判断	受水槽があるため架 台を 4m にする必要が あるが、地形や遮蔽 物に対する観測域の 確保もできており、 問題なし	地デジアンテナを移 設する必要がある が、地形や遮蔽物に 対する観測域の確保 もできており、問題 なし
	選定		選定	選定

1.2.2 都市域レーダ設置後の設置基準検討結果の確認

(1) 福井市

各レーダユニット設置場所において、設置後、設置基準検討結果を満たしているか確認した。森田中学校の確認結果を表 1-8 に、足羽第一中学校の確認結果を表 1-9 に、グリーンハイツ 5 号公園の確認結果を表 1-10 に示す。

表 1-8 (森田中学校) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	図 1-3 に示すとおり、高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	観測域に受水槽があるため 3m の架台を使用した。	
避雷針の考慮	地上高 22.5m のため、避雷針を新規に設置した。	
放送受信アンテナの考慮	問題なし	
電源の確保	既設の商用電源を利用。都市域レーダの使用電力量を把握するために電源メーターボックスを設置した。	
通信回線の配線経路の確保	電柱より光回線を敷設完了	
確認結果	3m 架台の使用により見晴らしを確保し、問題なく設置完了	

【観測日時】平成27年12月11日 3:24

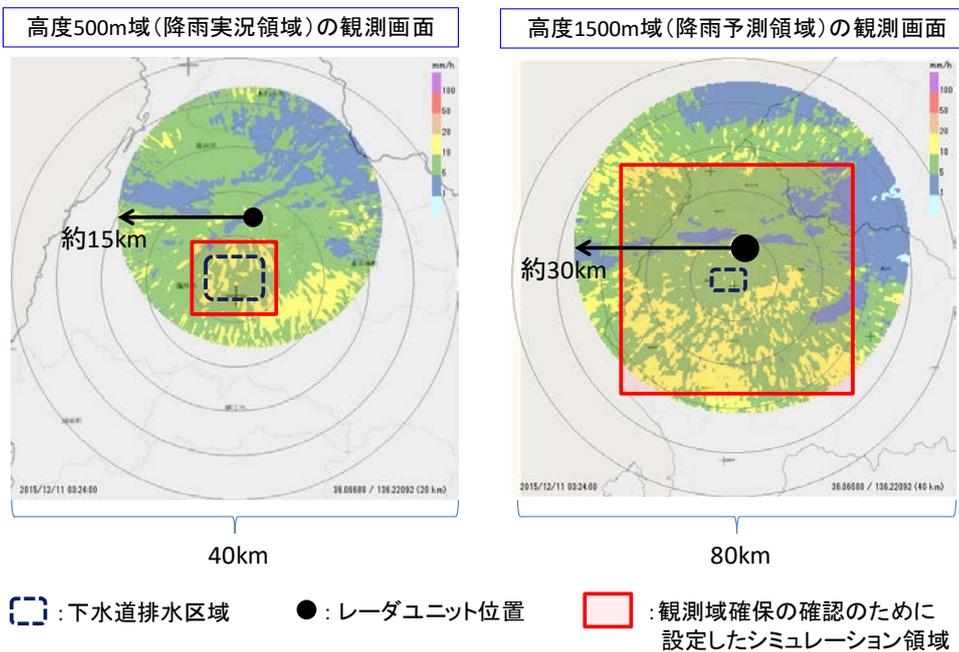


図 1-3 (森田中学校) 観測域確認画像

表 1-9 (足羽第一中学校) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	<p>図 1-4 に示すとおり，高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。</p>	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	<p>観測域に遮蔽物もないため，標準 1.3m の架台を使用した。</p>	
避雷針の考慮	<p>地上高 16m のため，避雷針不要</p>	
放送受信アンテナの考慮	<p>未使用の VHF アンテナは取り外した。</p>	
電源の確保	<p>既設の商用電源を利用。都市域レーダの使用電力量を把握するために電源メーターボックスを設置した。</p>	
通信回線の配線経路の確保	<p>電柱より光回線を敷設完了</p>	
確認結果	<p>未使用の VHF アンテナを取り外し，検討段階と変わらず，問題なく設置完了</p>	

【観測日時】平成27年12月11日 3:24

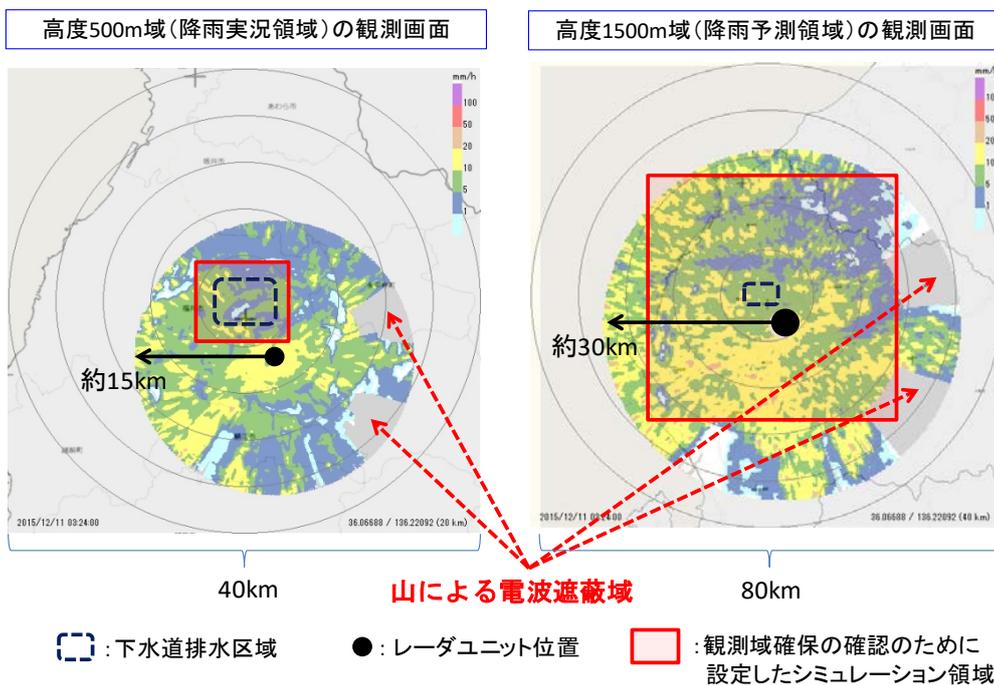


図 1-4 (足羽第一中学校) 観測域確認画像

表 1-10 (グリーンハイツ5号公園) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	<p>図 1-5 に示すとおり, 高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。ただし, 木の影響により, 遮蔽域がシミュレーション結果と異なった。</p>	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	<p>観測域に構造物があるため公園内に高さ 11m の鉄塔を建設した。</p>	
避雷針の考慮	<p>地上高 11m のため, 避雷針不要</p>	
放送受信アンテナの考慮	<p>問題なし</p>	
電源の確保	<p>AC100V 単相, 容量 30A を新設し, 電源メーターボックスを設置した。</p>	
通信回線の配線経路の確保	<p>電柱より光回線を敷設完了</p>	
確認結果	<p>11m の鉄塔建設となったが, 問題なく設置完了</p>	

【観測日時】平成27年12月11日 3:24

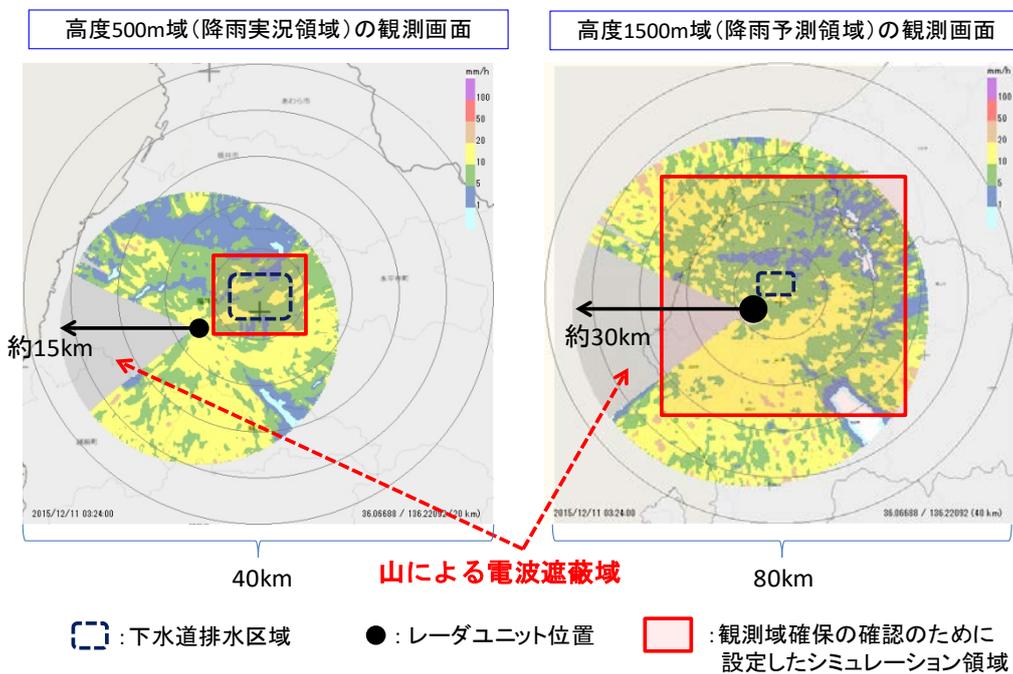
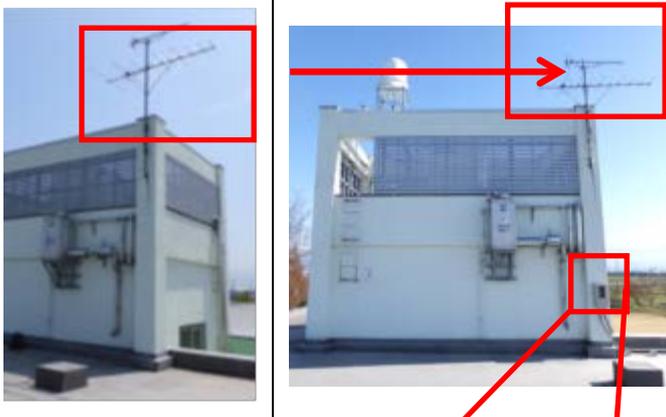


図 1-5 (グリーンハイツ5号公園) 観測域確認画像

(2) 富山市

各レーダユニット設置場所において、設置基準を満たしているか確認した。倉垣小学校の設置基準確認結果を表 1-11 に、熊野小学校の設置基準確認結果を表 1-12 に、池多小学校の設置基準確認結果を表 1-13 に示す。

表 1-11 (倉垣小学校) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	<p>図 1-6 に示すとおり、高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。</p>	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	<p>観測域に受水槽があるため、4m の架台で検討したが、受水槽より高い位置での設置が可能となったため、標準 1.3m の架台を使用した。</p>	
避雷針の考慮	地上高 12m のため、避雷針不要	
放送受信アンテナの考慮	<p>放送アンテナの高さを低くした。</p>	
電源の確保	<p>既設の商用電源を利用。都市域レーダの使用電力量を把握するために電源メーターボックスを設置した。</p>	
通信回線の配線経路の確保	電柱より光回線を敷設完了	
確認結果	標準架台 1.3m での設置となったが、問題なく設置完了	

【観測日時】平成27年12月27日 0:52

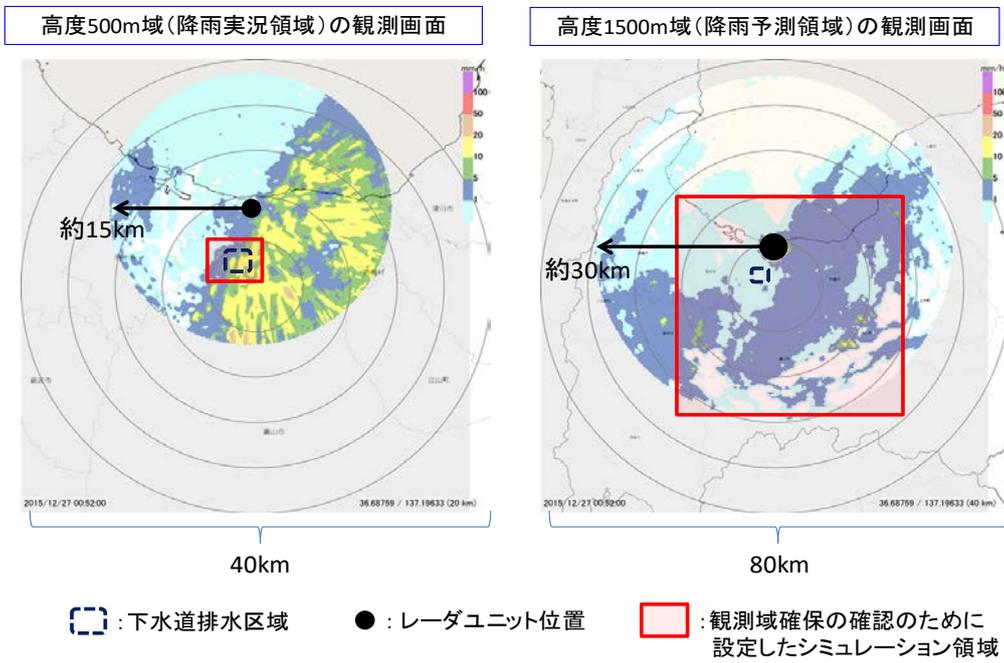


図 1-6 (倉垣小学校) 観測域確認画像

表 1-12 (熊野小学校) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	図 1-7 に示すとおり、高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	観測域に受水槽があるため、4m の架台で検討したが、受水槽より高い位置での設置が可能となったため、標準 1.3m の架台を使用した。	
避雷針の考慮	地上高 21m のため、避雷針を新規に設置した。	
放送受信アンテナの考慮	未使用の VHF アンテナの撤去完了	
電源の確保	既設の商用電源を利用。 都市域レーダの使用電力量を把握するために電源メーターボックスを設置した。	
通信回線の配線経路の確保	学校内にプルボックスを新設し、光回線を屋上まで敷設完了	
確認結果	標準架台 1.3m での設置となったが、問題なく設置完了	

【観測日時】平成27年12月27日 0:52

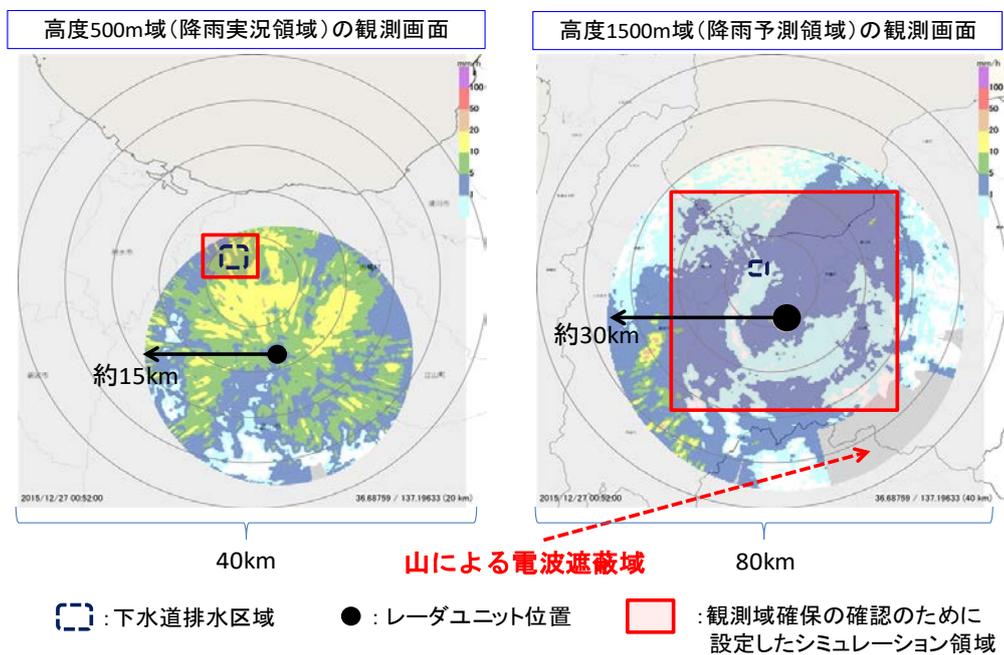


図 1-7 (熊野小学校) 観測域確認画像

表 1-13 (池多小学校) 設置検討結果の確認

項目	結果	
地形に対する観測域の確認	図 1-8 に示すとおり, 高度 500m の降雨実況領域の観測と最大高度 1500m の半径 30km 範囲の降雨予測領域の観測ができていることを確認した。	
建物や木などの遮蔽物に対する観測域の確認	観測域に遮蔽物もないため, 標準 1.3m の架台を使用した。	
避雷針の考慮	地上高 16.5m のため, 避雷針不要	
放送受信アンテナの考慮	地デジアンテナの移設完了	
電源の確保	既設の商用電源を利用。都市域レーダの使用電力量を把握するために電源メーターボックスを設置した。	
通信回線の配線経路の確保	電柱より光回線を敷設完了	
確認結果	地デジアンテナを移設し, 検討段階と変わらず, 問題なく設置完了	

【観測日時】平成27年12月27日 0:52

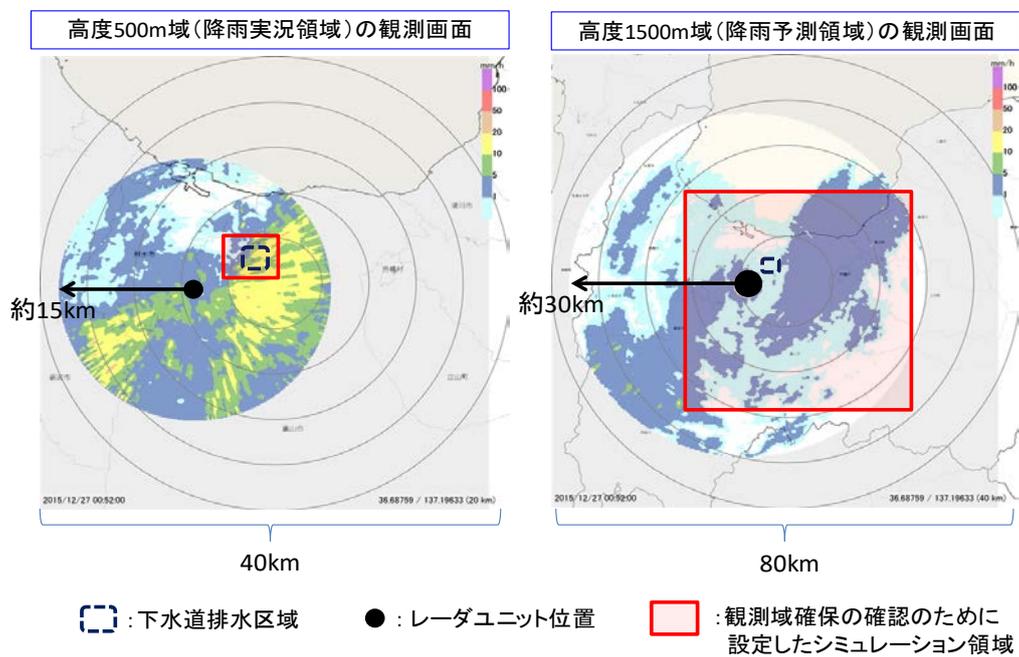


図 1-8 (池多小学校) 観測域確認画像

1.2.3 都市域レーダの合成観測画像の確認

(1) レーダユニット直上観測の確認

レーダユニット複数台を用いた都市域レーダにおいて、各レーダユニット直上が観測できているか確認する。

レーダユニット1台では、レーダユニット直上の観測ができず、欠測域が発生する。レーダユニット複数台を用いた都市域レーダを構成することで、レーダユニット直上に発生する欠測域を互いに補完し合い、欠測の無い観測が可能となる。なお、レーダユニット設置場所の選定においては、この直上観測の補完に留意し検討する必要がある。

レーダユニット直上観測の検証対象降雨は、レーダユニット設置後に観測された降雨のうち、広範囲に雨域を有する観測日を選定する。検証高度は、実況用雨量の観測高度 500m にて検証を行う。

1) 福井市

実証研究での観測データ（平成27年12月11日）の降雨による3台合成観測画像を図1-9に示す。レーダユニット直上を互いに補完観測できていることを3台合成画像より確認できた。

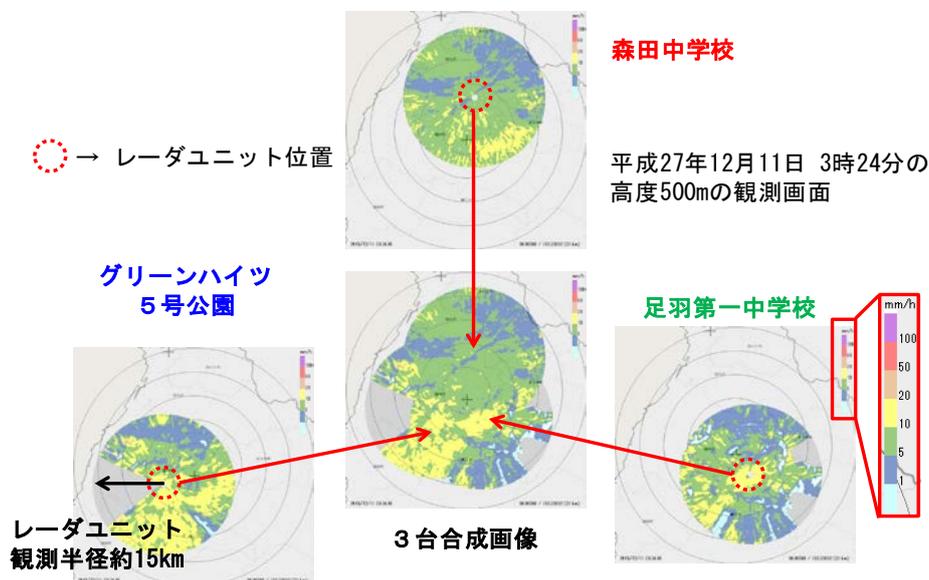


図 1-9 (福井市) レーダユニット3台による合成観測画面

2) 富山市

実証研究での観測データ（平成27年12月11日）の降雨による3台合成観測画像を図1-10に示す。レーダユニット直上を互いに補完観測できていることを3台合成画像より確認できた。

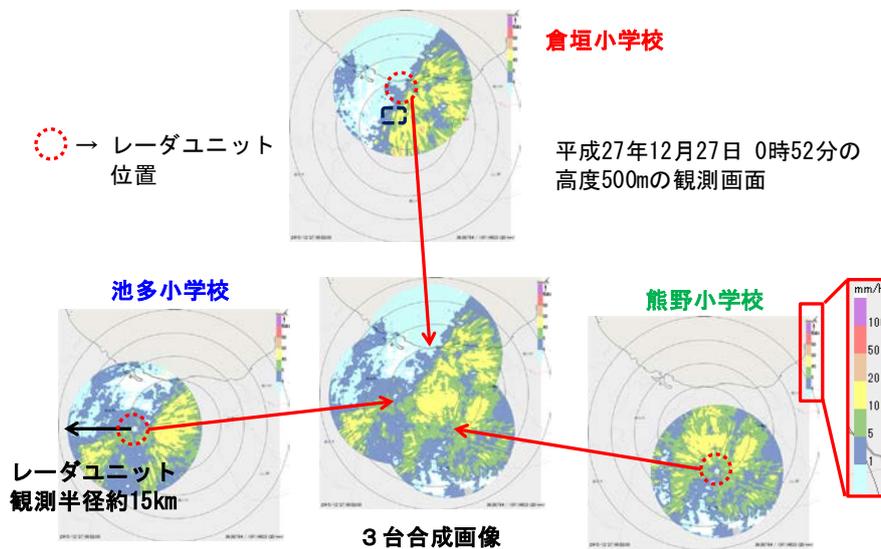


図 1-10 （富山市）レーダユニット3台による合成観測画面

1.3 地上雨量計・水位計の設置状況

実証試験に用いる計測機器の設置状況を以下に示す。なお、新設の機器は、本実証施設を平成 27 年度に構築した際に同時に設置した。

1.3.1 地上雨量計

(1) 設置目的

地上雨量計は、都市域レーダの観測精度検証を目的に設置した。

(2) 設置における留意点と設置場所

観測精度検証のために使用する地上雨量計は、実証対象排水区および各レーダユニットから中心付近と中心位置から約 10km、約 20km、約 30km に配置された既設気象庁地上雨量計とし、該当箇所雨量計が無い場合、新たに雨量計を設置した（平成 27 年度）。福井市および富山市における地上雨量計一覧を表 1-14、表 1-16 に、地上雨量計とレーダユニットの位置を図 1-11、図 1-12 にそれぞれ示す。

なお、新たに設置する雨量計は、本編の §9 に基づいて選定した。

表 1-14 (福井市) 地上雨量計一覧

No.	既 / 新	各レーダユニットからの距離 (km)			レーダユニット 3 台中心からの距離 (km)	名称	場所
		森田 中学校	足羽 第一 中学校	グリーン ハイツ 5 号公園			
①	既設	7.0	4.5	5.2	1.3	気象庁アメダス ・福井	N36.0550 E136.2217
②	新設	8.1	6.2	2.8	2.9	実証研究 ・第 6 排水区	N36.0530 E136.1938
③	既設	15.3	25.6	22.7	20.0	気象庁アメダス ・三国	N36.2433 E136.1733
④	既設	25.2	23.5	16.3	21.7	気象庁アメダス ・越廼	N36.0117 E135.9900
⑤	既設	28.2	22.8	30.6	27.0	気象庁アメダス ・大野	N35.9717 E136.4967
⑥	既設	39.1	28.8	30.5	33.4	気象庁アメダス ・今庄	N35.7667 E136.2000

レーダユニットは、それぞれ ▼ (森田中学校), ▼ (足羽第一中学校), ▼ (グリーンハイツ 5 号公園) で表示しており、円は各レーダユニットから半径 30km を示す。

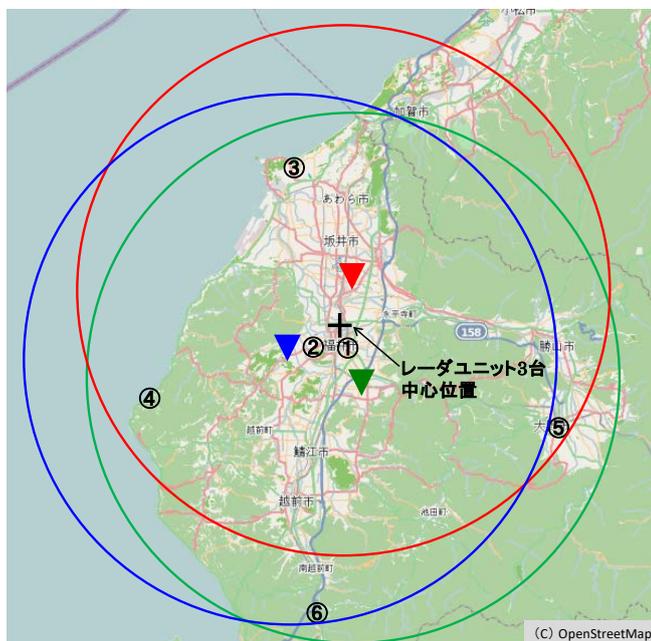


図 1-11 地上雨量計とレーダユニットの位置 (福井市)

上記を踏まえ、福井市の都市域レーダ雨量の精度検証における地上雨量計との組み合わせを次のとおりとした。

表 1-15 (福井市) 都市域レーダ雨量の精度検証における地上雨量計との組み合わせ

レーダ ユニット 設置場所	各レーダユニットからの観測距離			
	下水道排水区域における緻密な観測（高度 500m 領域を 100%観測）		降雨予測に必要な観測（最大高度 1500m で最大距離 30km 範囲を観測）	
	下水道排水区域 （～約 10km）	～約 10km	～約 20km	～約 30km
森田 中学校	②第 6 排水区	①福井	③三国	④越野 ⑤大野
足羽第一 中学校	②第 6 排水区	①福井	⑤大野	③三国 ④越野 ⑥今庄
グリーン ハイツ 5号公園	②第 6 排水区	①福井	③三国 ④越野	⑤大野 ⑥今庄
レーダユニッ ト 3 台中心位 置	②第 6 排水区	①福井	③三国 ④越野	⑤大野 ⑥今庄

参考：(福井市) レーダユニットの場所

No	レーダユニット	場所
1	森田中学校	N36. 11617, E136. 23775, 標高 24m
2	足羽第一中学校	N36. 02186, E136. 25083, 標高 24m
3	グリーンハイツ 5号公園	N36. 03926, E136. 16790, 標高 79m
—	レーダユニット 3 台中心位置	N36. 06688, E136. 22092, 標高 42m

表 1-16 (富山市) 地上雨量計一覧

No.	既 / 新	各レーダユニットからの距離 (km)			レーダユニ ット3台中 心からの距 離 (km)	名称	場所
		倉垣 小学校	熊野 小学校	池多 小学校			
①	既 設	4.6	9.0	7.8	2.3	気象庁アメダス ・富山	N36.7083 E137.2017
②	新 設	5.0	10.5	4.8	4.0	実証研究 ・呉羽排水区	N36.7104 E137.1616
③	既 設	11.2	3.7	7.1	4.4	気象庁アメダス ・秋ヶ島	N36.6483 E137.1867
④	既 設	13.0	23.4	13.4	17.1	気象庁アメダス ・伏木	N36.7917 E137.0550
⑤	既 設	26.1	23.9	16.8	23.2	気象庁アメダス ・砺波	N36.6100 E136.9550
⑥	既 設	22.6	28.3	31.5	25.5	気象庁アメダス ・魚津	N36.8217 E137.4283
⑦	既 設	24.2	34.9	24.6	28.7	気象庁アメダス ・氷見	N36.8633 E136.9600

レーダユニットは、それぞれ ▼(倉垣小学校), ▼(熊野小学校), ▼(池多小学校) で表示しており、円は各レーダユニットから半径 30km を示す。

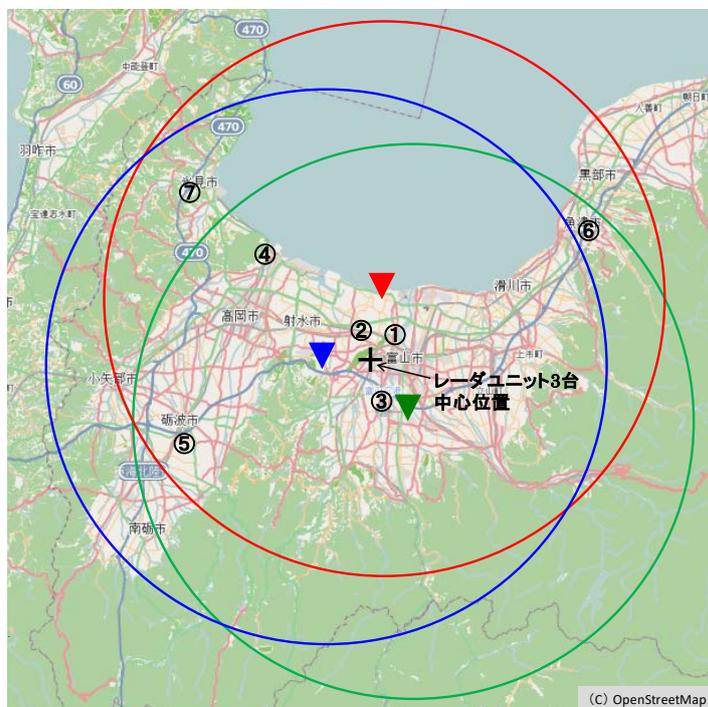


図 1-12 (富山市) 地上雨量計とレーダユニットの位置

上記を踏まえ、富山市の都市域レーダ雨量の精度検証における地上雨量計との組み合わせを次のとおりとした。

表 1-17 (富山市) 都市域レーダ雨量の精度検証における地上雨量計との組み合わせ

レーダ ユニット 設置場所	各レーダユニットからの観測距離			
	下水道排水区域における緻密な観測 (高度 500m 領域を 100%観測)		降雨予測に必要な観測 (最大高度 1500m で最大距離 30km 範囲を観測)	
	下水道排水区域 (～約 10km)	～約 10km	～約 20km	～約 30km
倉垣小学校	②呉羽排水区	①富山 ③秋ヶ島	④伏木 ⑥魚津	⑤砺波 ⑦氷見
熊野小学校	②呉羽排水区	①富山 ③秋ヶ島	④伏木 ⑤砺波	⑥魚津 ⑦氷見
池多小学校	②呉羽排水区	①富山 ③秋ヶ島	④伏木 ⑤砺波	⑥魚津 ⑦氷見
レーダユニッ ト 3 台中心位 置	②呉羽排水区	①富山 ③秋ヶ島	④伏木 ⑤砺波	⑥魚津 ⑦氷見

参考：(富山市) 各レーダユニットの場所

No	レーダユニット	場所
1	倉垣小学校	N36. 74916, E137. 19077, 標高 16m
2	熊野小学校	N36. 62915, E137. 22121, 標高 51m
3	池多小学校	N36. 68292, E137. 11987, 標高 42m
—	レーダユニット 3 台中心位置	N36. 68757, E137. 19633, 標高 36m

なお、福井市および富山市における都市域レーダ、XMP、Cバンドレーダおよび地上雨量計の位置関係を以下に示す。

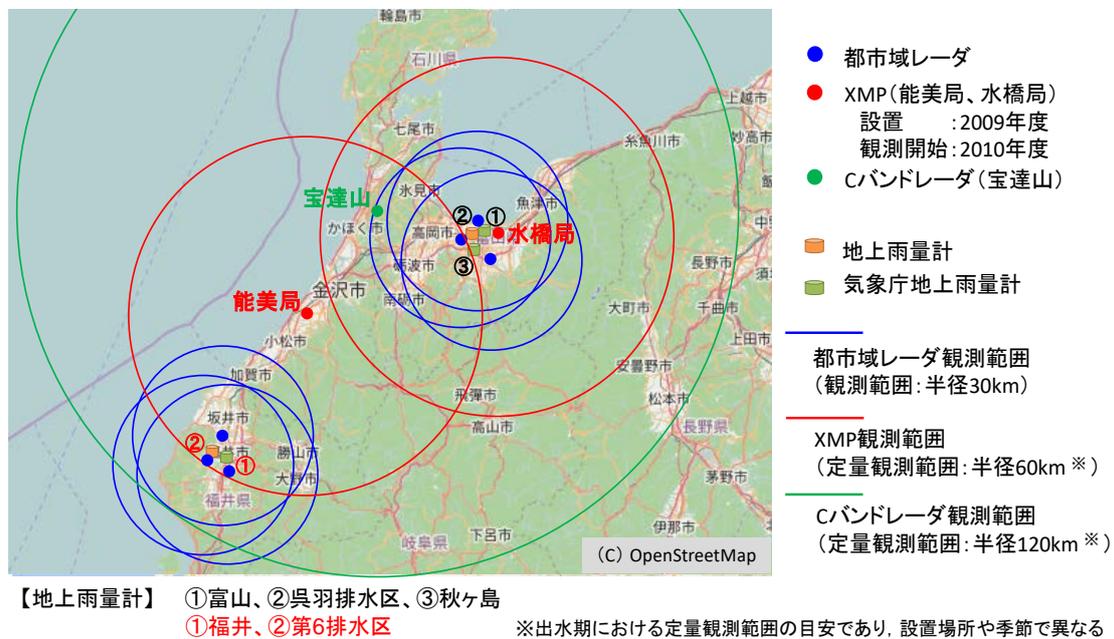


図 1-13 都市域レーダの設置状況

1.3.2 水位計

(1) 設置目的

実証研究の目的は、下水道排水区周辺の降雨を早期に捉え、降雨予測及び浸水予測を行い、住民と雨水対策施設運転管理者などに情報を提供することで局所的集中豪雨の被害軽減を図るものである。豪雨発生時においては、リアルタイム流出解析技術による管路内水位、地域の浸水予測を行い、浸水が発生する可能性のある地域住民に対し、早期に自助・共助支援を行うように促すとともに、貯留管内の貯留量の予測を行い、最適な運転による貯留容量の最大確保を目指すことである。

対象とする排水区内で浸水が予測を行うためには、過去の浸水状況等から浸水が発生しやすい箇所を明らかにし、その浸水の発生する箇所近傍に水位計を設置し、リアルタイムで水位を観測することが重要となる。

水位計の設置目的を表 1-18 に分類した。対象とする排水区の地形等を考慮したうえで、適切な箇所に水位計を設置する必要がある。

表 1-18 水位計の設置目的

	設置目的	設置場所
1	浸水状況及び下水管内の監視	過去浸水が多発した地点
2	雨水貯留施設運用	貯留管内およびその放流先
3	解析モデルキャリブレーション	主要管路
4	解析モデル境界条件設定	河川等との接続点付近

(2) 設置における留意点と設置場所

実証研究における、実証フィールドである橋南排水区、加茂河原・小山谷排水区、下北野排水区（福井市）、呉羽排水区（富山市）の特性を考慮し、表 1-19 に実証フィールドにおける水位計一覧を、図 1-14 および図 1-15 に水位計設置位置図を示す。

表 1-19 実証フィールドにおける設置目的と設置場所

	No.	目的	名称	オンライン活用※1	既設/新設
福井市	1	②	下北野貯留管	○	既設
	2	①, ③	城東	○	既設
	3	①, ③	立矢新	○	新設
	4	①, ③	桃園	○	新設
	5	①, ③	下水排水路	○	既設
	6	②	月見みのり貯留管	○	既設
	7	①, ②	山奥	○	既設
	8	②	社	○	既設
	9	②	若杉	○	既設
	10	④	狐川	○	既設
富山市	1	①, ③	呉羽新富田町	○	新設
	2	①, ③	茶屋町	○	新設
	3	③	呉羽苑	×	新設
	4	③	呉羽富田町	×	新設
	5	④	呉羽町北	○	新設

※1 ○：支援情報としてリアルタイム配信の対象とした水位計

×：流出解析モデルのキャリブレーションに用いるデータ取得を目的とした水位計

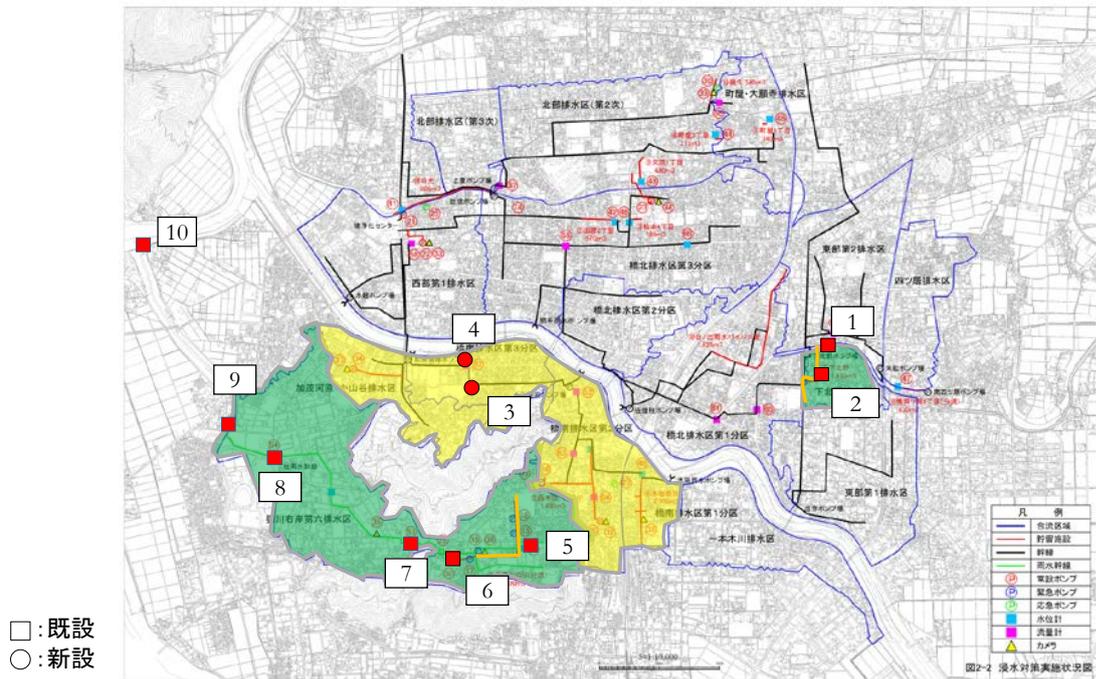


図 1-14 福井市水位計設置位置図

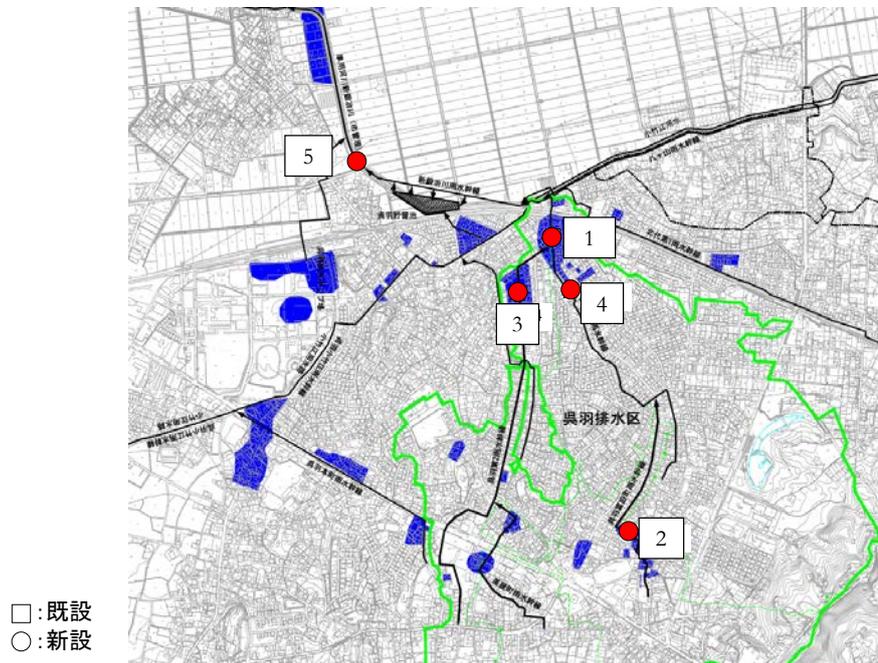


図 1-15 富山市水位計設置位置図

1.4 その他設備の設置状況

(1) 福井市

その他設備（レーダ雨量解析設備、リアルタイム流出解析設備、データ収集設備、情報配信設備）の設置は大瀬ポンプ場に、情報表示端末は福井市雨水対策室に設置した（平成27年度）。また、住民向けの情報配信端末としてタブレットを使用した。

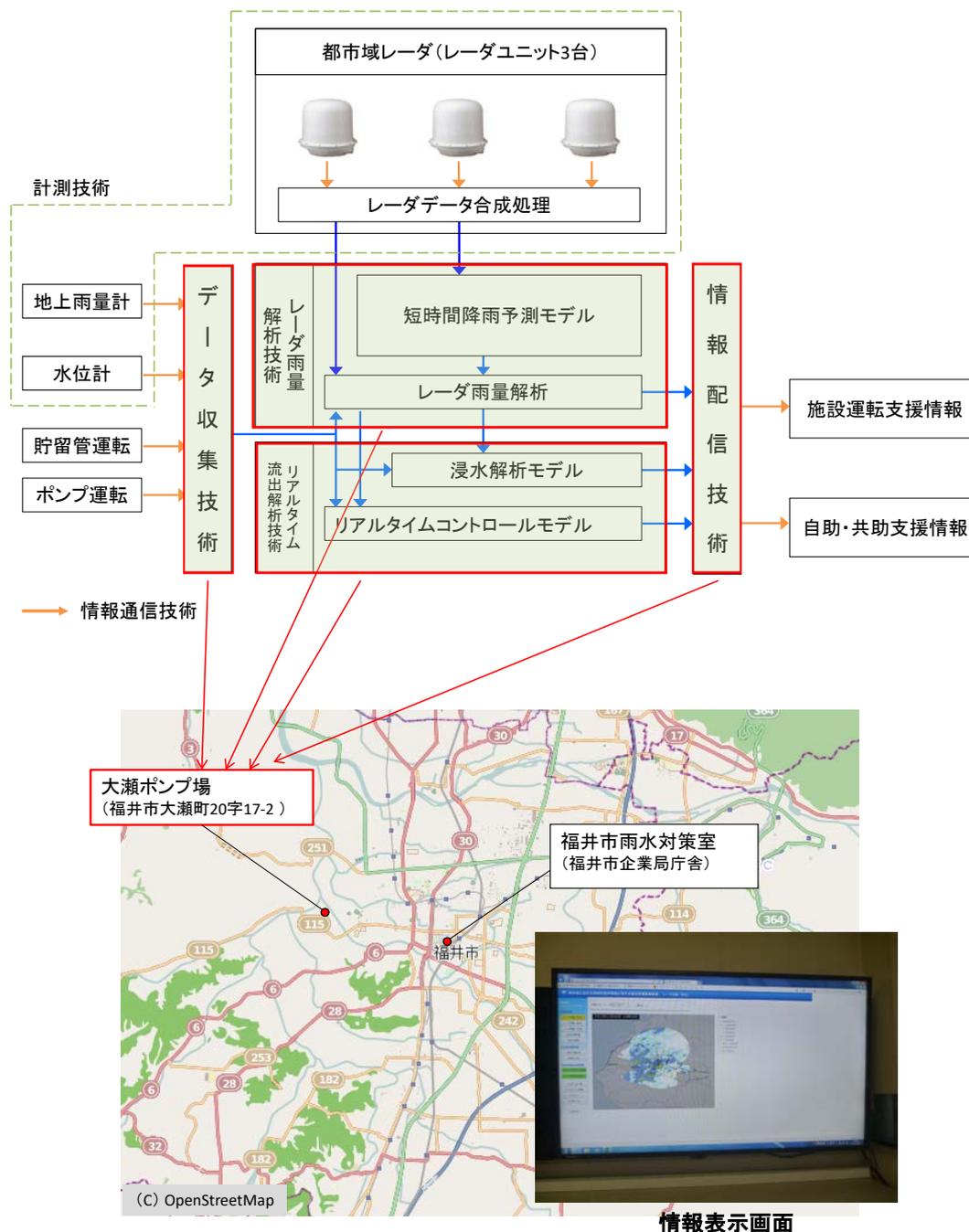


図 1-16 その他設備の設置位置（福井市）



図 1-17 大瀬ポンプ場設備設置概況（福井市）

(2) 富山市

その他設備（レーダ雨量解析設備，リアルタイム流出解析設備，データ収集設備，情報配信設備）は，新日本コンサルタントサーバ室に設置した（平成 27 年度）。

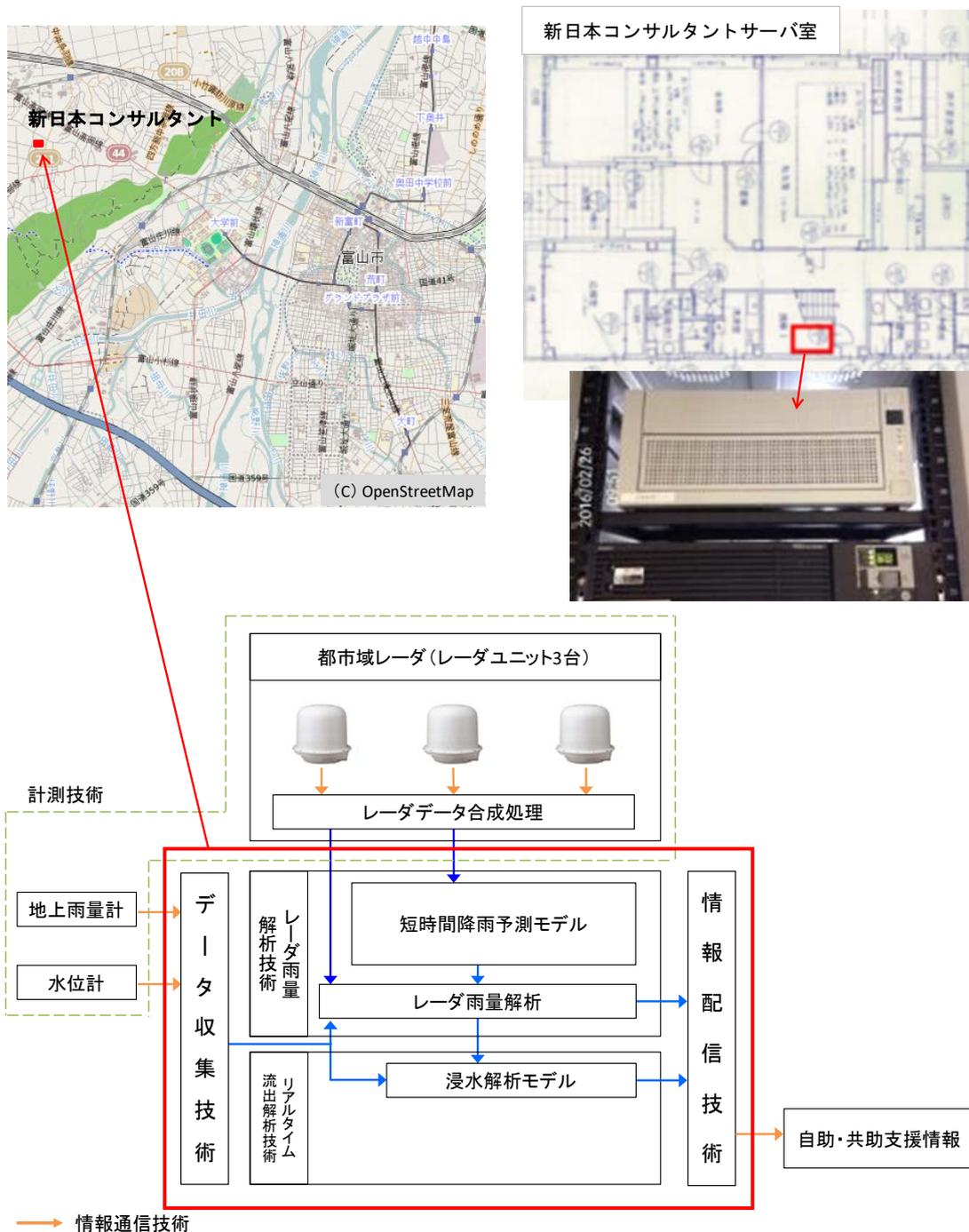


図 1-18 その他設備の設置状況（富山市）

1.5 実証における要素技術の仕様

(1) 計測技術

1) 都市域レーダ

実証研究において平成 27 年度に設置した都市域レーダの主な仕様を表 1-20 に示す。

表 1-20 都市域レーダの主な仕様一覧

項目	諸元等	備考
偏波方式	二重偏波 (水平, 垂直)	
送信周波数	9.4GHz 帯	実験試験局周波数
寸法	Φ1085mmx 高さ 1025mm (レドームサイズ)	
アンテナ径	Φ0.75m	
重量	約 68kg	
観測距離	30km	
送信出力	100W	水平, 垂直各々
パルス幅	0.1 ~ 50 μs	
ビーム幅	巾 2.7 度	水平, 垂直共
アンテナ回転数	最大 16rpm (可変)	設定値による
アンテナ方位駆動範囲	360 度全周	連続回転
アンテナ仰角可変範囲	-2 ~ 182 度	
耐風速 (レドーム)	60.0m/s (瞬間最大)	
動作温度範囲	-10℃ ~ +50℃	
観測機能	CAPPI, PPI, RHI, Sector PPI, Sector RHI	
出力データ	反射強度 Zh (dBZ), 折り返し補正速度 V (m/s), 速度幅 W (m/s), 偏波間位相差 φ DP (deg), 比偏波間位相差 Kdp (deg/km), 偏波間相関係数 ρ HV, 偏波間レーダ反射因子 Zdr (dB), 降水強度 R (mm/h)	
補正処理	距離減衰補正, 降雨減衰補正, 速度折り返し補正, 地形エコー除去, 干渉除去	
入力電圧	AC100 ~ 240V 単相, 50/60 Hz	
消費電力	650W 以下	

2) 地上雨量計

実証研究において平成 27 年度に新設した地上雨量計の仕様一覧を表 1-21 に示す。

表 1-21 地上雨量計仕様一覧

項目	福井市	富山市
検出方法	転倒ます計量方式	転倒ます計量方式
口径	Φ200mm ±0.3%以内	Φ200mm ±0.3%以内
一転倒雨量	0.5mm 以内	0.5mm 以内
精度	雨量 20mm まで, ±0.5mm 以内 雨量 20mm を超える時, ±3%以内	雨量 20mm まで, ±0.5mm 以内 雨量 20mm を超える時, ±3%以内
出力形式	0.5mm 毎の無電圧接点パルス (2 回路出力)	0.5mm 毎の無電圧接点パルス (2 回路出力)
パルス巾	100~250msec	100~250msec
接点容量	DV30V 0.5A (抵抗負荷)	DV30V 0.5A (抵抗負荷)
計測データ形式	CSV	CSV
使用条件	温度: -20℃~+50℃ 湿度: 0~100%RH	温度: -20℃~+50℃ 湿度: 0~100%RH
ヒータ	有り	有り
気象庁検定	有り	有り

3) 水位計

実証研究において平成 27 年度に新設した水位計の仕様一覧を表 1-22 に示す。

表 1-22 水位計仕様一覧

項目	福井市	富山市
検出方法	圧力式	圧力式
レンジ	0m~9m	0m~10m
精度	測定スパンの上限値の±0.1%	測定スパンの上限値の±0.2% (直線性, ヒステリシス含む)
計測データ形式	CSV	CSV
使用条件	0℃~+50℃	-10℃~+50℃

(2) データ収集技術

データ収集技術を構成する機能一覧を表 1-23、表 1-24 に、機器仕様一覧を表 1-25 に示す。

表 1-23 データ収集機能一覧（福井市）

機能	概要
施設運転データ収集	施設運転データの取得
水位観測データ収集	水位観測データの取得
CSV 変換	水位観測データの CSV 変換処理
プロセス管理	イベントログ，エラーログの記録管理

表 1-24 データ収集機能一覧（富山市）

機能	概要
水位観測データ収集	水位観測データの取得
CSV 変換	水位観測データの CSV 変換処理
プロセス管理	イベントログ，エラーログの記録管理

表 1-25 データ収集機器仕様一覧

項目	福井市	富山市
OS	Windows7ProSP1(32bit)	Windows7ProSP1(32bit)
CPU	Core i3 2120 3.3GHz	Core i3 2120 3.3GHz
メモリ容量	4GB(2GB×2)	4GB(2GB×2)
HDD 容量	1TB	1TB
周辺装置	—	—
セキュリティ対策	ウイルス対策ソフト	ウイルス対策ソフト

(3) レーダ雨量解析技術

レーダ雨量解析技術を構成する機能一覧を表 1-26、表 1-27 に、機器仕様一覧を表 1-28 に示す。

表 1-26 データ収集機能一覧（福井市）

機能	概要
合成雨量収集	合成雨量 CSV ファイル生成監視および FTP 連携によるダウンロード
予測演算	移流モデルを用いた予測演算の自動実行
予測結果出力	降雨予測結果ファイルの CSV 出力および FTP 連携によるアップロード
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理

表 1-27 データ収集機能一覧（富山市）

機能	概要
合成雨量収集	合成雨量 CSV ファイル生成監視および FTP 連携によるダウンロード
予測演算	特異移流モデルを用いた予測演算の自動実行
予測結果出力	降雨予測結果ファイルの CSV 出力および FTP 連携によるアップロード
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理

表 1-28 データ収集機器仕様一覧

項目	福井市	富山市
OS	Windows7ProSP1 (32bit)	Real-Time OS
CPU	Core i3 2120 3.3GHz	Xeon E5-2618L v3
メモリ容量	4GB (2GB×2)	8GB
HDD 容量	1TB	1TB
セキュリティ対策	ウイルス対策ソフト	—

(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を構成する機能一覧を表 1-29、表 1-30 に、機器仕様一覧を表 1-31 に示す。

表 1-29 リアルタイム流出解析機能一覧（福井市）

機能	概要
予測雨量取込	降雨予測結果 CSV ファイルの取込
流出解析	流出解析の自動実行
解析結果出力	流出解析結果の CSV ファイル出力
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理
リアルタイムコント ロールモデル	施設運転情報の出力

表 1-30 リアルタイム流出解析機能一覧（富山市）

機能	概要
予測雨量取込	降雨予測結果 CSV ファイルの取込
流出解析	流出解析の自動実行
解析結果出力	流出解析結果の CSV ファイル出力
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理

表 1-31 リアルタイム流出解析機器仕様一覧

項目	福井市	富山市
OS	WindowsServer2008R2(64bit) RAID Model	WindowsServer2008R2(64bit) RAID Model
CPU	Xeon E5-1225 v2 3.2GHz	Xeon E5-1225 v2 3.2GHz
メモリ容量	16GB(8GB×2)	16GB(8GB×2)
HDD 容量	2TB	2TB
セキュリティ対策	ウイルス対策ソフト	ウイルス対策ソフト

(5) 情報配信技術

情報配信技術を構成する機能一覧を表 1-32、表 1-33 に、機器仕様一覧を表 1-34 に示す。

表 1-32 情報配信機能一覧（福井市）

機能	概要
実測雨量取得	レーダ雨量合成データの取得および WEB 配信用データ加工処理
予測雨量取得	降雨予測結果データの取得および WEB 配信用データ加工処理
実測水位取得	水位観測データの取得および WEB 配信用データ加工処理
予測水位取得	流出解析結果データの取得および WEB 配信用データ加工処理
メール配信	設定条件に基づいたメール配信
WEB 配信	FTP 連携による配信情報の WEB アップロード
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理

表 1-33 情報配信機能一覧（富山市）

機能	概要
実測雨量取得	レーダ雨量合成データの取得および WEB 配信用データ加工処理
予測雨量取得	降雨予測結果データの取得および WEB 配信用データ加工処理
実測水位取得	水位観測データの取得および WEB 配信用データ加工処理
予測水位取得	流出解析結果データの取得および WEB 配信用データ加工処理
メール配信	設定条件に基づいたメール配信
WEB 配信	FTP 連携による配信情報の WEB アップロード
プロセス管理	イベントログ、エラーログの記録管理

表 1-34 情報配信機器仕様一覧

項目	福井市	富山市
OS	WindowsServer2008R2(64bit) RAID Model	WindowsServer2008R2(64bit) RAID Model
CPU	Xeon E5-1225 v2 3.2GHz	Xeon E5-1225 v2 3.2GHz
メモリ容量	16GB(8GB×2)	16GB(8GB×2)
HDD 容量	2TB	2TB
セキュリティ対策	ウイルス対策ソフト	ウイルス対策ソフト

(6) 情報通信技術

実証研究にて平成 27 年度に構築した情報通信構成を図 1-19、図 1-20 に示す。

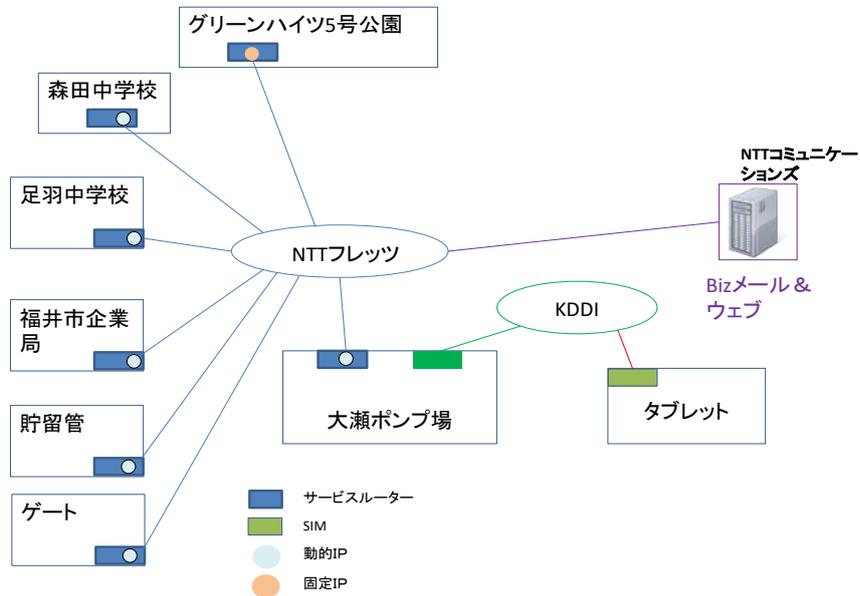


図 1-19 情報通信構成（福井市）

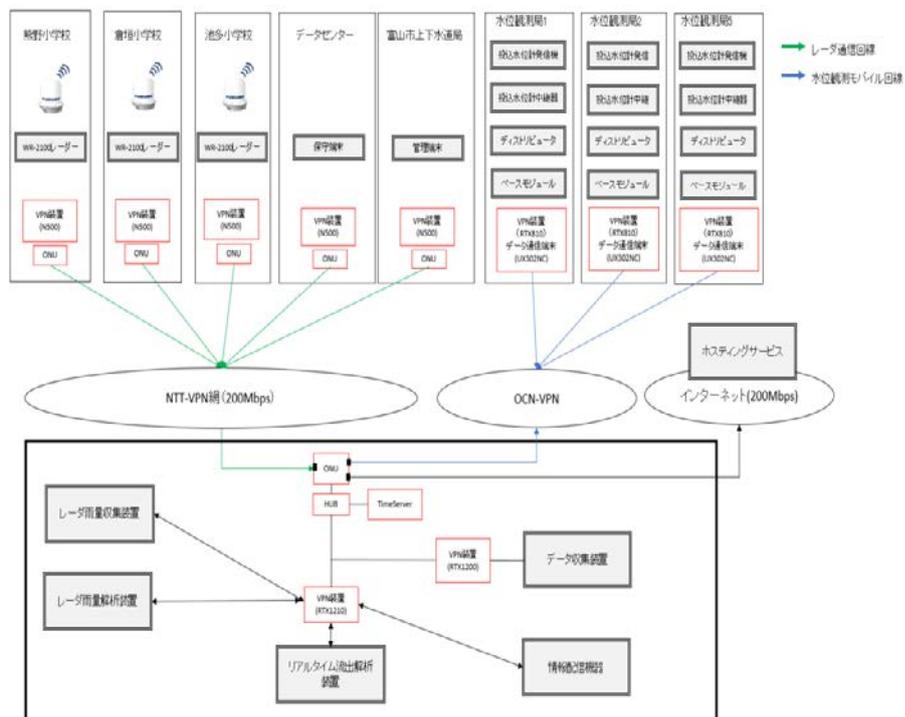


図 1-20 情報通信構成（富山市）

2 実証研究期間における雨量・水位観測状況

今回、実証研究期間においては、内水氾濫を伴う降雨は発生しなかったため、限られた条件での評価となった。今後、継続してデータを蓄積して確認していく必要がある。

(1) 雨量観測状況

平成28年4月1日から11月30日まで都市域レーダで距離分解能50mによる観測をおこなった。また12月1日から12月31日までは、今後予定されている電波法関係法令改正に対応するため、距離分解能を75mに変更し観測を行った。なお、電波法関係法令改正に関する詳細については、6.2を参照のこと。

当該観測期間における、最大1時間雨量は、福井市で13.1mm/h、富山市で19.2mm/h、最大10分雨量は、福井市で4.5mm/10min、富山市で6.2mm/10minであった。なお、実証研究期間中、浸水被害をもたらす降雨は計測されなかった。

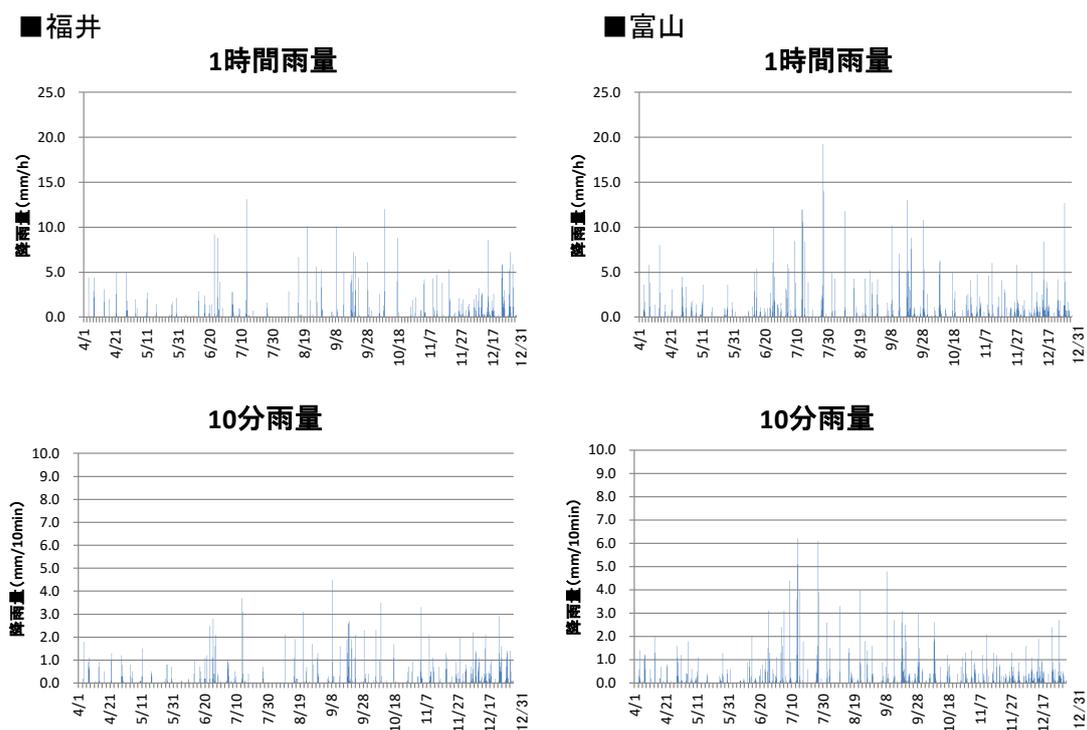
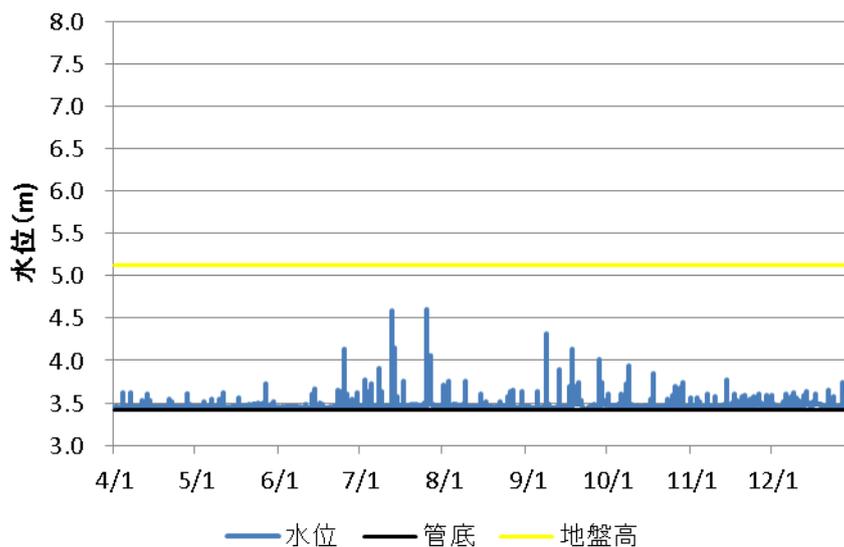


図 2-1 降雨観測状況

(2) 水位観測状況

福井市および富山市の代表的な年間水位計測結果を図 2-2 に示す。水位の表示間隔は1分である。地表面を超えた降雨は、福井市、富山市共に発生しなかった。

(福井市 立矢新)



(富山市 新富田町)

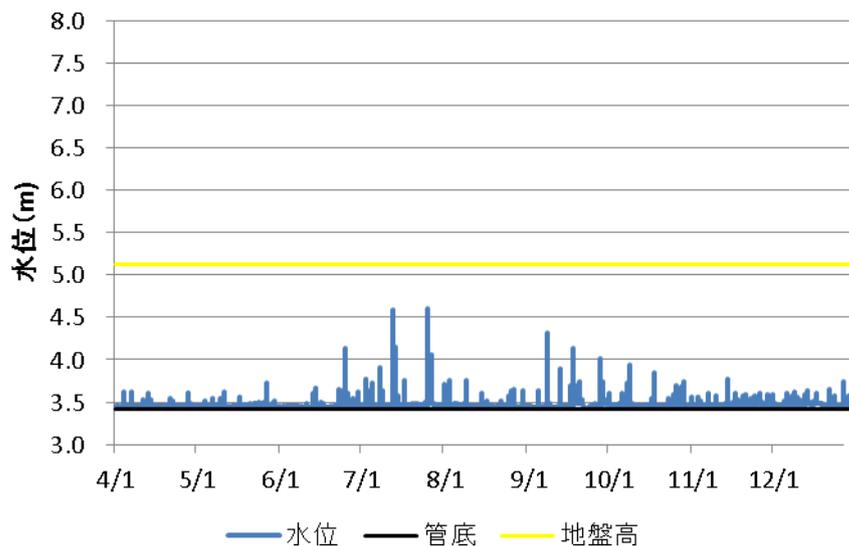


図 2-2 水位観測状況

(3) 評価対象降雨の選定

1) 都市域レーダの性能評価

実証研究で行った評価項目における対象降雨の一覧を表 2-1 に示す。なお、評価指標の詳細については、表 3-1 および表 3-2 を参照のこと。

表 2-1 評価項目における対象降雨

評価項目	対象降雨
3.3.2 降雨発生早期検知の評価	平成 28 年 3 月 1 日～11 月 30 日の全降雨
3.3.3 降雨観測精度の評価	平成 28 年 3 月 1 日～11 月 30 日の全降雨
3.3.4 信号減衰による欠損域率の評価	平成 28 年 3 月 1 日～11 月 30 日の全降雨
3.3.5 降雨観測精度向上	平成 28 年 3 月 1 日～11 月 30 日の期間で 日総降雨量が 10mm 以上の降雨

2) レーダ雨量解析技術およびリアルタイム流出解析技術の性能評価

レーダ雨量解析技術およびリアルタイム流出解析技術は、浸水を予測する技術であるため、浸水が発生するような強降雨に対して精度を確保する必要がある。よって、検証対象降雨は、浸水が発生もしくは地盤面付近まで水位が上昇した降雨を選定するものとした。本実証期間中においては、浸水が発生する降雨が無かったため、実証研究において観測したデータのうち時間雨量規模の大きい降雨順に 5 降雨を選定し性能評価を行った。ただし、流出解析精度評価のうち、浸水発生位置、範囲、浸水深、浸水発生時間については、過去の浸水発生降雨にて性能評価を行った。

3) 降雨波形の分類方法

降雨は、波形や分布（強雨域）が様々であり、評価は複数の特性の降雨において行う必要がある。降雨波形のパターンは、図 2-3 に示すように降雨の特徴分析を行い、1 降雨における降雨継続時間の中での降雨のピークの位置により分類した。降雨の特徴分析は、降雨の降り始めから終了するまでの時間を X 軸に、その降雨における 10 分ピッチの降雨量を Y 軸としてグラフ化したもので、降雨のピークが、全体の降雨時間を 1 とした中で 0.33 以下は「前方集中型」、0.33～0.66 は「中央集中型」、0.66 以降は「後方集中型」と分類した。実証対象降雨の降雨波形の分類方法を表 2-2 に示す。

表 2-2 降雨波形の分類方法

項目	内容
分析対象	降雨規模および降雨時間
降雨観測データ	都市域レーダ雨量計（排水区平均）
降雨規模	各排水区都市域レーダ雨量計平均雨量（該当メッシュ計測値の単純平均値として算定）に基づいた、10分ピッチの降雨データとする。
分類	<p>全体の降雨時間を1とし、降雨時間における降雨のピークが、集中する区間で分類する</p> <p>前方集中型 0.33 以前</p> <p>中央集中型 0.33～0.66 区間</p> <p>後方集中型 0.66 以降</p>

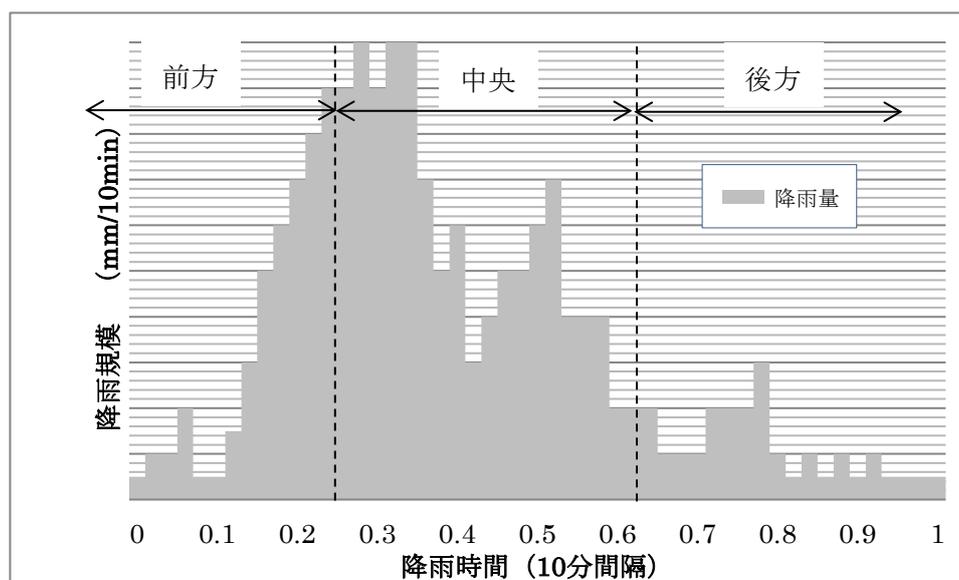


図 2-3 降雨の特徴分析のイメージ

4) 選定結果

規模の大きい降雨より 5 降雨を選定し、表 2-2 に従い分類した結果を示す。

①福井市選定降雨

- ・浸水が発生した降雨

⇒無し

- ・最大水位を示した降雨

⇒No. 2

- ・総降雨量，時間，10 分間最大降雨

⇒総降雨：No. 2，時間：No. 1，10 分間：No. 4

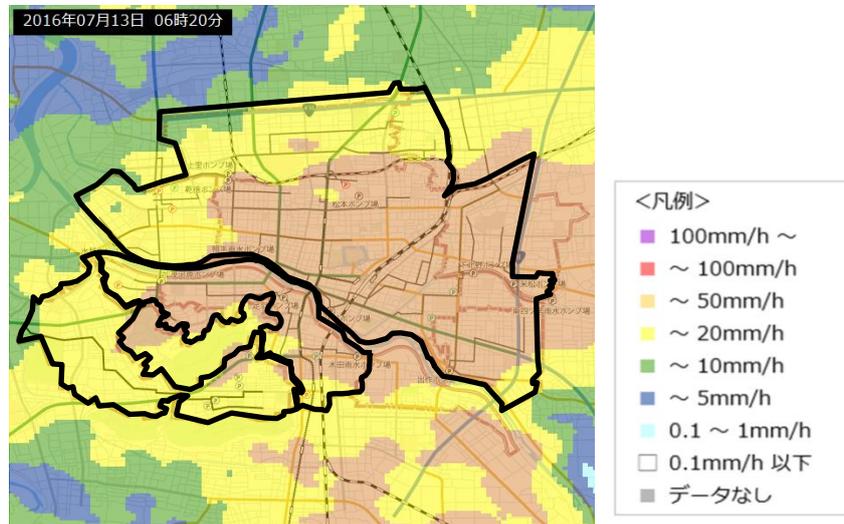
- ・降雨波形（前方，中央，後方）

⇒前方：No. 2，4，中央：No. 1，5，後方：No. 3

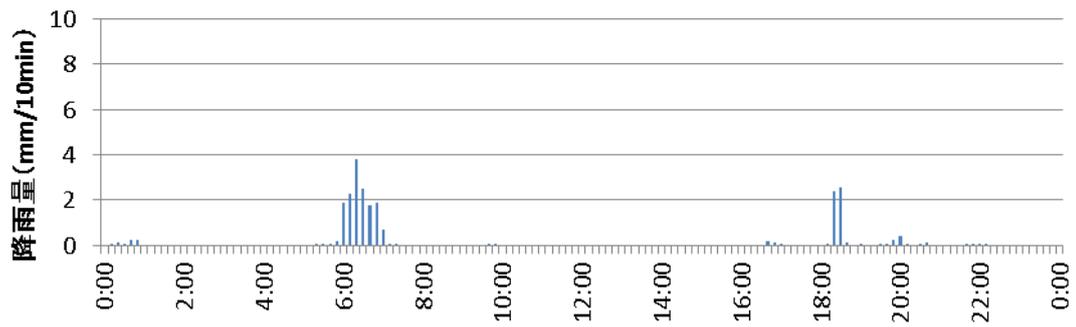
表 2-3 計測期間中の代表的な降雨と水位観測状況（福井市）

No	年月日	排水区平均雨量			降雨波形			水位	
		総降雨量 (mm)	時間 最大 (mm/h)	10.分間 (mm/10min)	前方 集中	中央 集中	後方 集中	水位 (m)	水深 (m)
1	平成 28 年 7 月 13 日	22.1	13.1	3.7		●		5.84	1.76
2	平成 28 年 10 月 9 日	24.9	12.0	3.5	●			6.00	1.92
3	平成 28 年 8 月 20 日	13.8	10.1	3.1			●	6.24	2.16
4	平成 28 年 9 月 8 日	11.8	10.1	4.5	●			5.54	1.46
5	平成 28 年 6 月 22 日	14.5	9.2	2.5		●		5.67	1.59

対象区域：全排水区



降雨分布 (6:20(ピーク時))



水位観測地点：立矢新

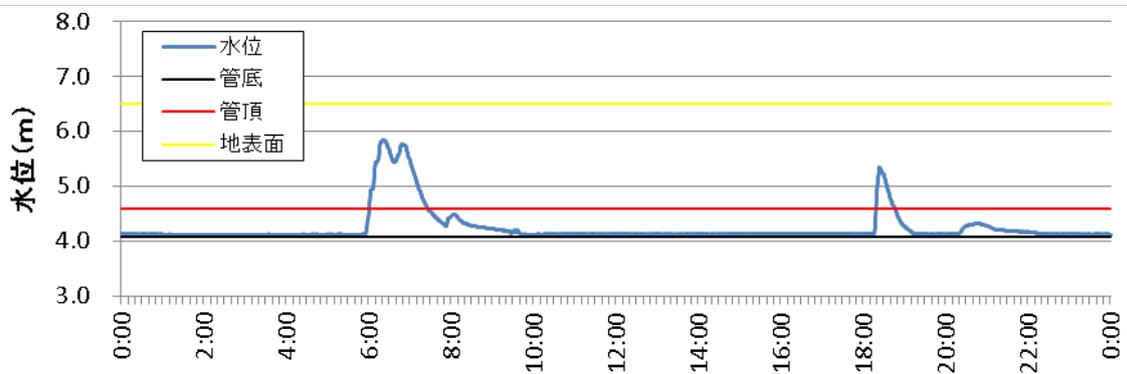
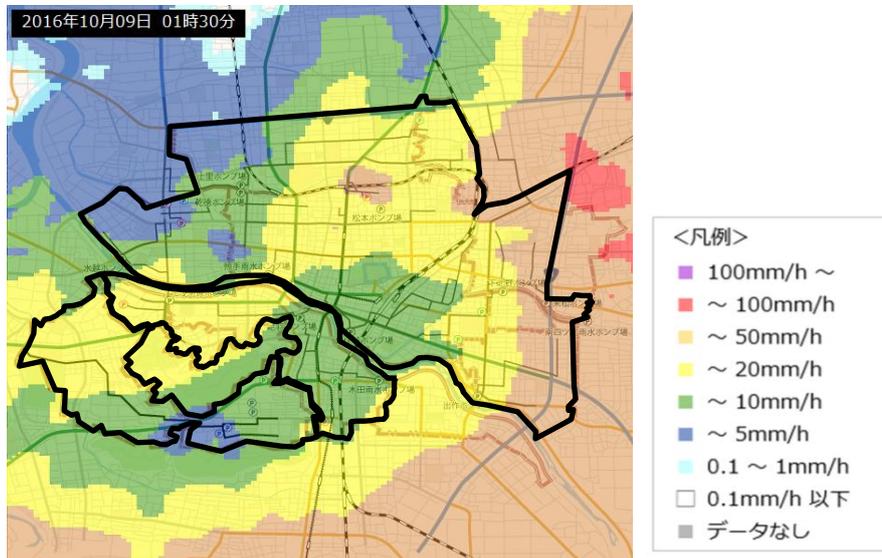
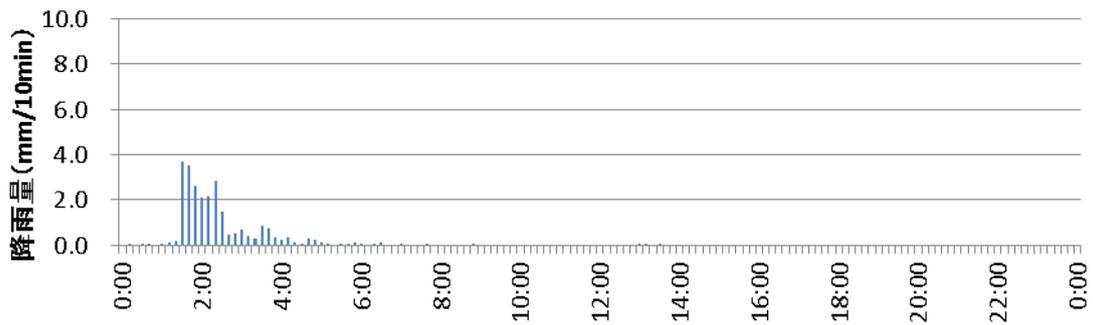


図 2-4 降雨および水位観測状況 (福井市 No.1 平成 28 年 7 月 13 日)

対象区域：全排水区



降雨分布 (1:30(ピーク時))



水位観測地点：立矢新

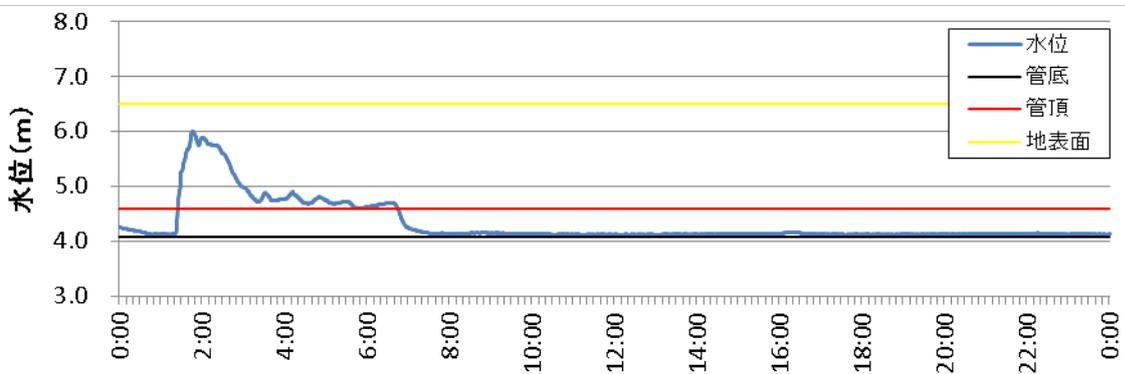
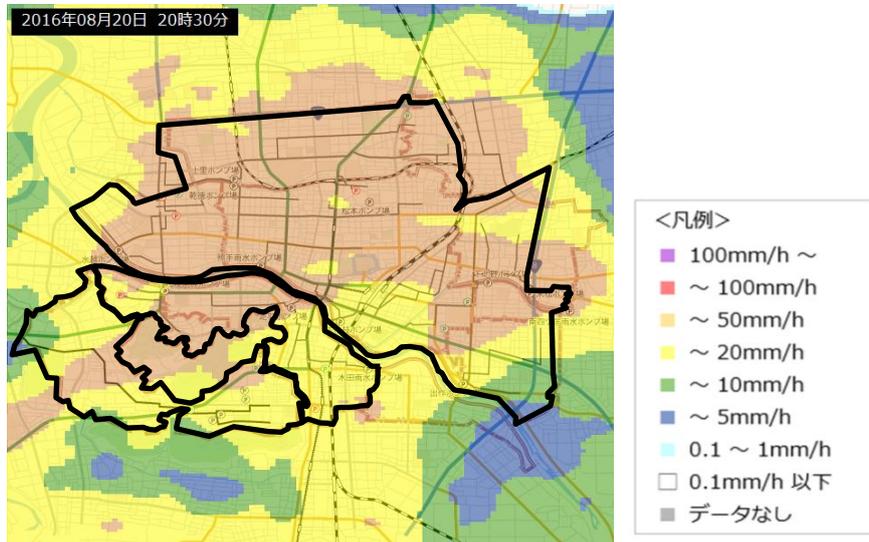
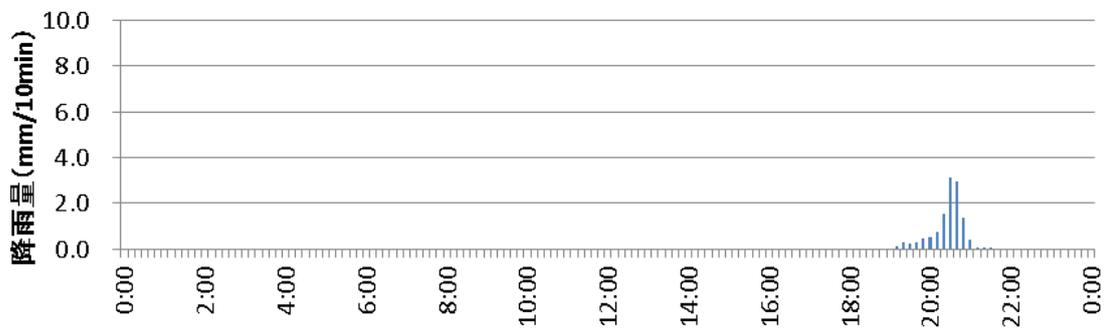


図 2-5 降雨および水位観測状況 (福井市 No. 2 平成 28 年 10 月 9 日)

対象区域：全排水区



降雨分布 (20:30(ピーク時))



水位観測地点：立矢新

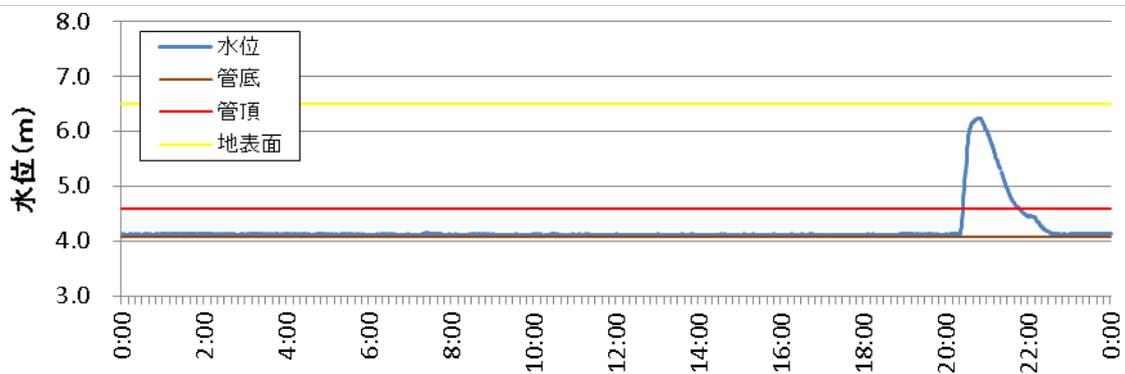
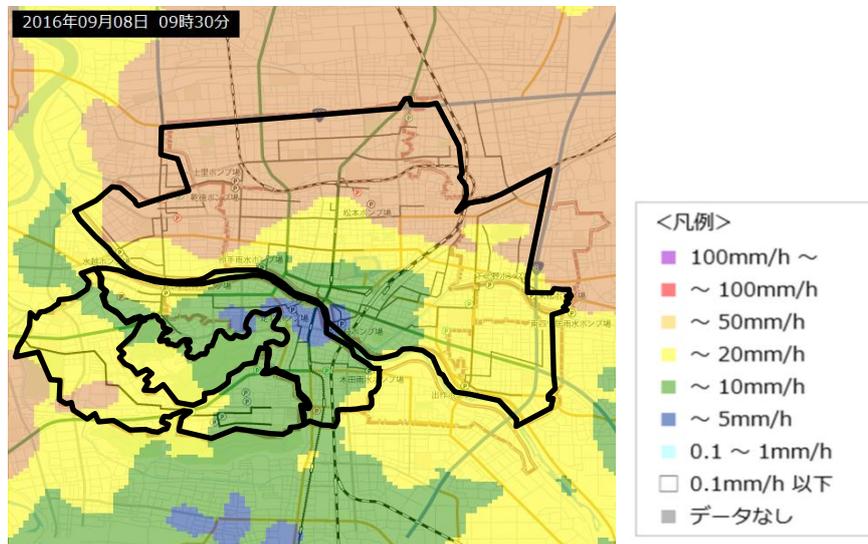
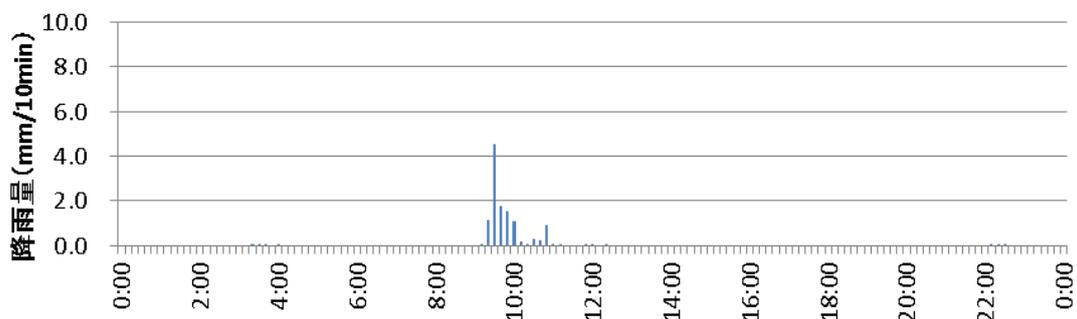


図 2-6 降雨および水位観測状況 (福井市 No.3 平成 28 年 8 月 20 日)

対象区域：全排水区



降雨分布 (9:30(ピーク時))



水位観測地点：立矢新

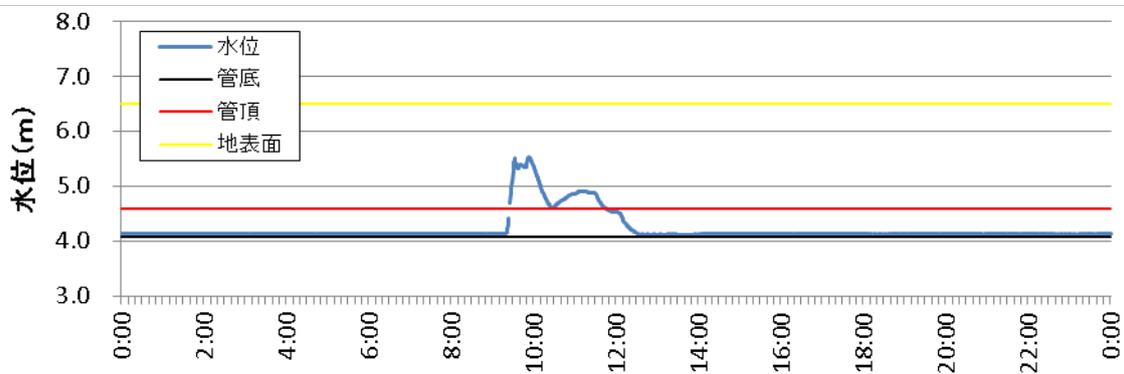
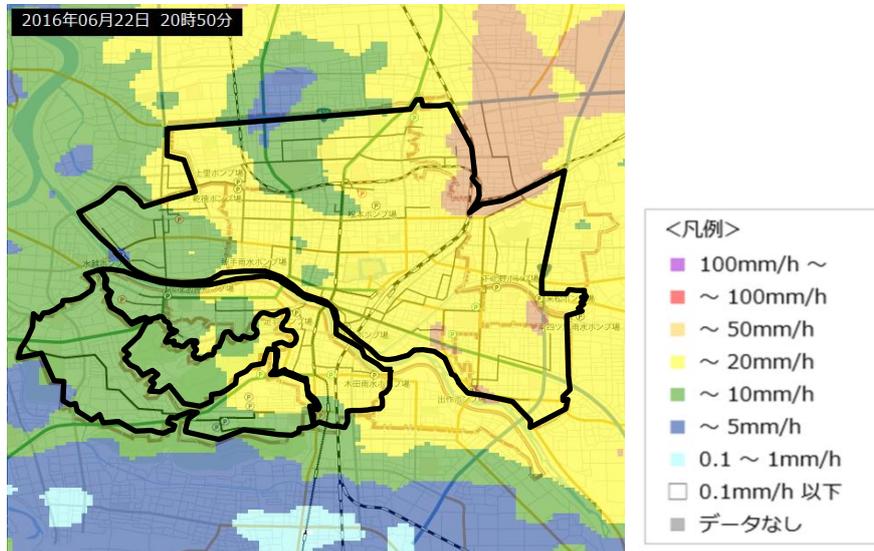
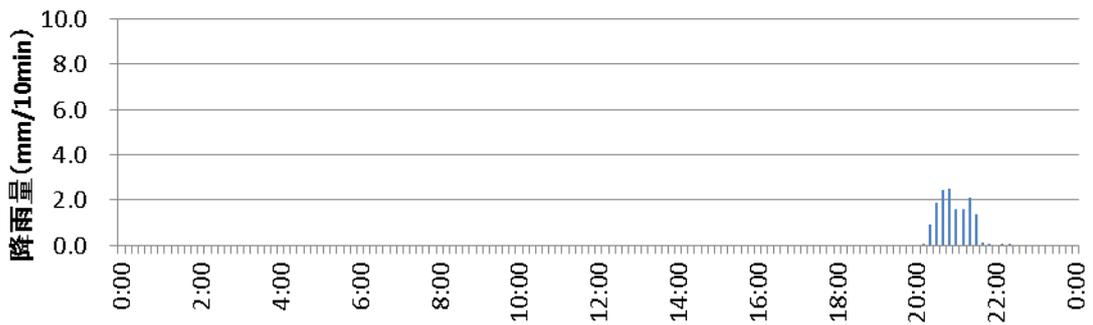


図 2-7 降雨および水位観測状況 (福井市 No. 4 平成 28 年 9 月 8 日)

対象区域：全排水区



降雨分布 (20:40(ピーク時))



水位観測地点：立矢新

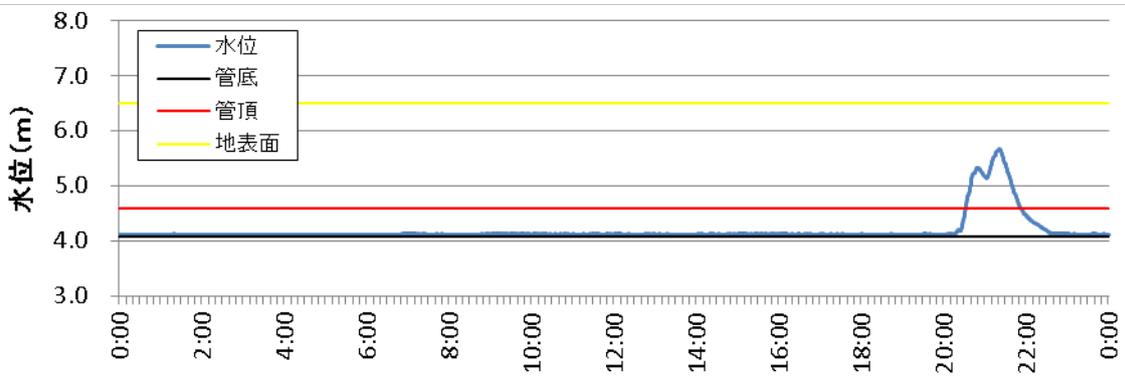


図 2-8 降雨および水位観測状況 (福井市 No.5 平成 28 年 6 月 22 日)

②富山市選定降雨

- ・浸水が発生した降雨

⇒無し

- ・最大水位を示した降雨

⇒No. 1

- ・総降雨量，時間，10 分間最大降雨

⇒総降雨：No. 1，時間：No. 1，10 分雨量：No. 3, 4

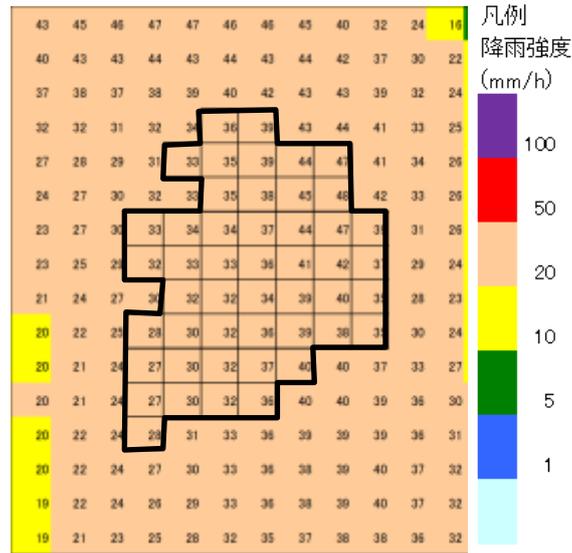
- ・降雨波形（前方，中央，後方）

⇒前方：No. 5，中央：No. 1, 2, 4，後方：No. 3

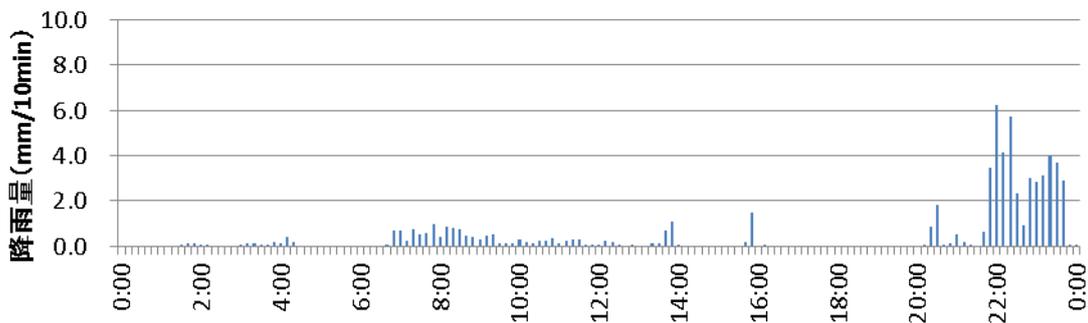
表 2-4 計測期間中の代表的な降雨と水位観測状況（富山市）

No	年月日	排水区平均雨量			降雨波形			水位	
		総降雨量(mm)	時間最大(mm/h)	10分間(mm/10min)	前方集中	中央集中	後方集中	水位(m)	水深(m)
1	平成 28 年 7 月 26 日	64.8	19.2	6.1		●		4.61	1.19
2	平成 28 年 9 月 18 日	52.1	13.0	3.1		●		4.14	0.72
3	平成 28 年 7 月 13 日	45.5	12.0	6.2			●	4.59	1.17
4	平成 28 年 7 月 13 日					●			
5	平成 28 年 8 月 9 日	15.7	11.8	3.3	●			3.76	0.34

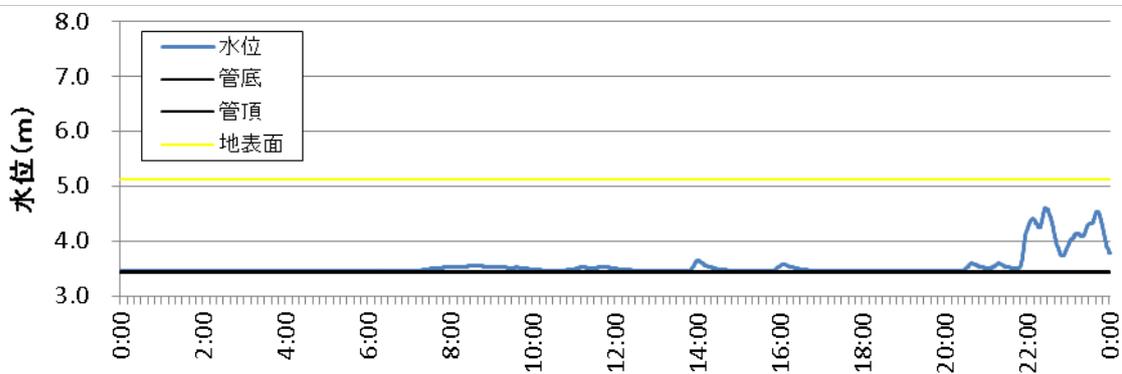
対象区域：呉羽排水区



降雨分布（22:00(ピーク時)）



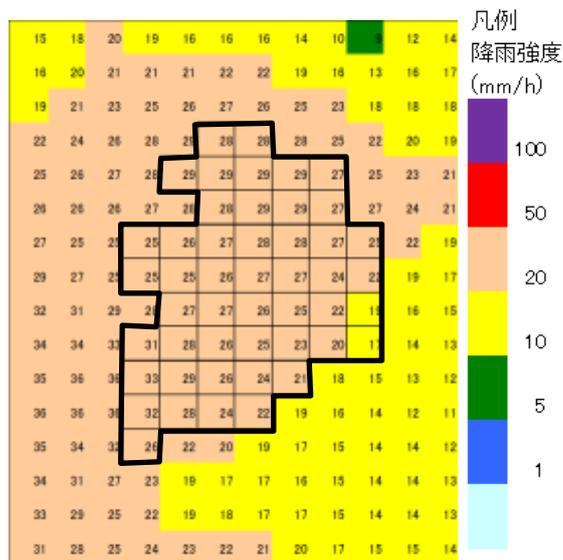
水位観測地点：呉羽新富田町



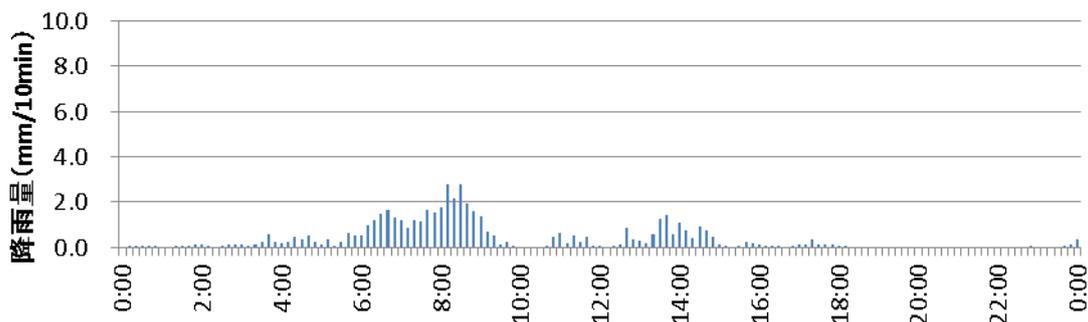
※地表面＝管頂

図 2-9 降雨および水位観測状況（富山市 No.1 平成 28 年 7 月 26 日）

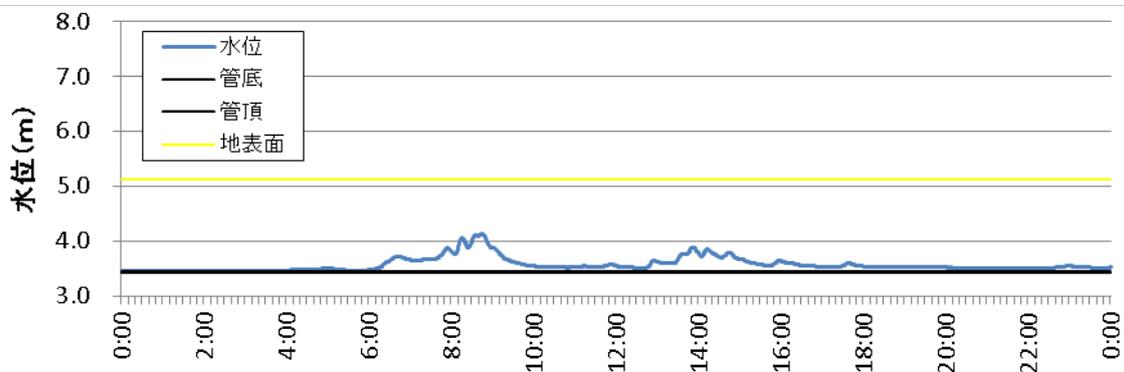
対象区域：呉羽排水区



降雨分布 (8:10(ピーク時))



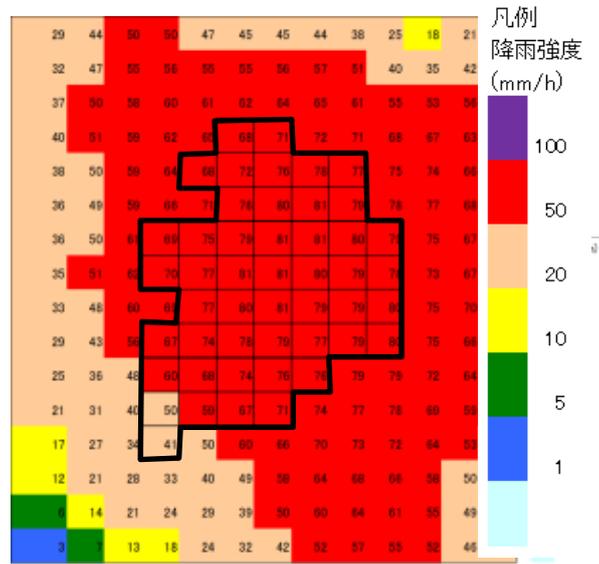
水位観測地点：呉羽新富田町



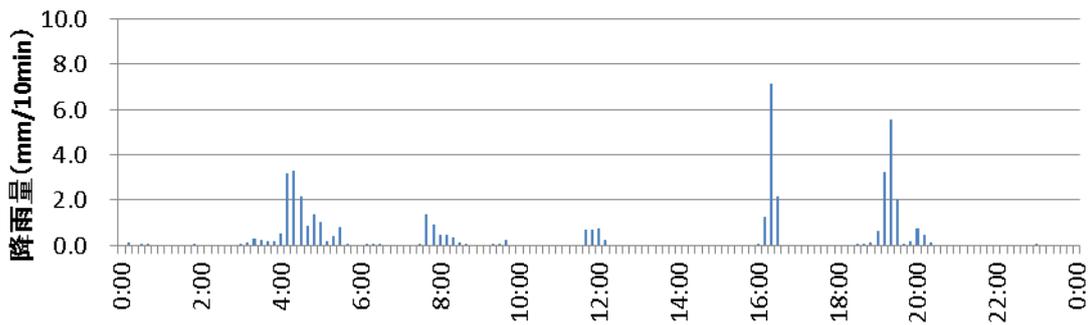
※地表面＝管頂

図 2-10 降雨および水位観測状況 (富山市 No.2 平成 28 年 9 月 18 日)

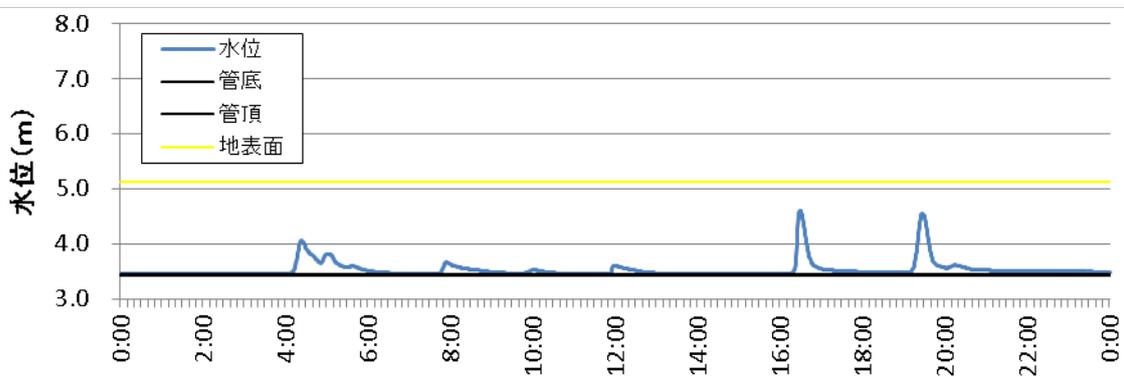
対象区域：呉羽排水区



降雨分布 (16:20(ピーク時))



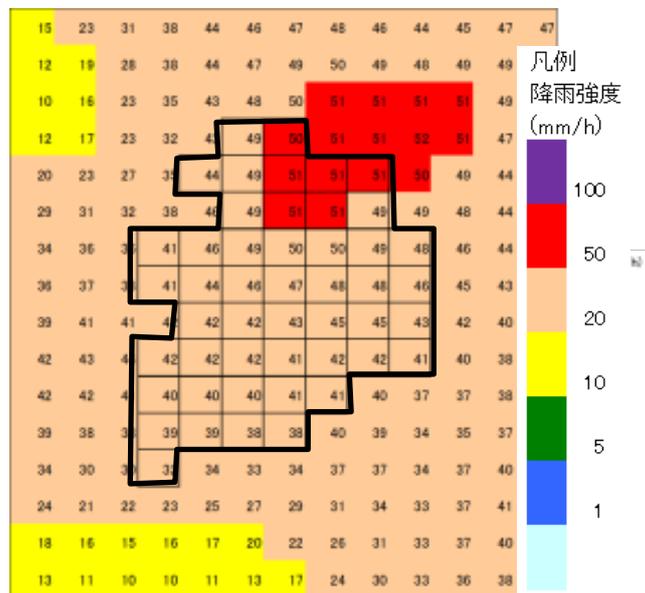
水位観測地点：呉羽新富田町



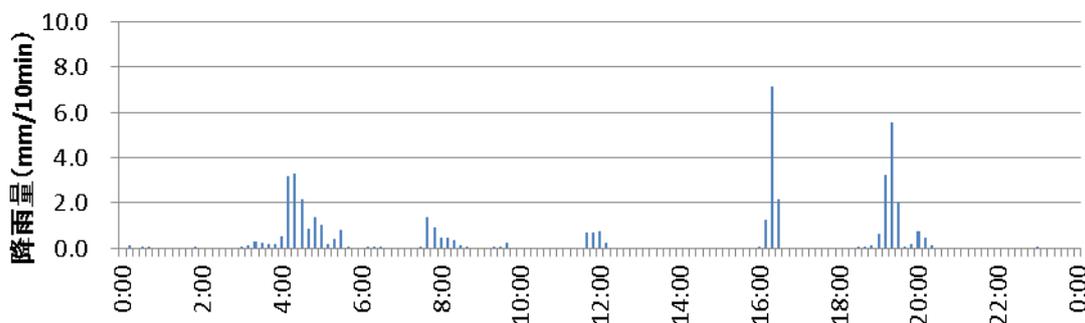
※地表面＝管頂

図 2-11 降雨および水位観測状況 (富山市 No.3 平成 28 年 7 月 13 日)

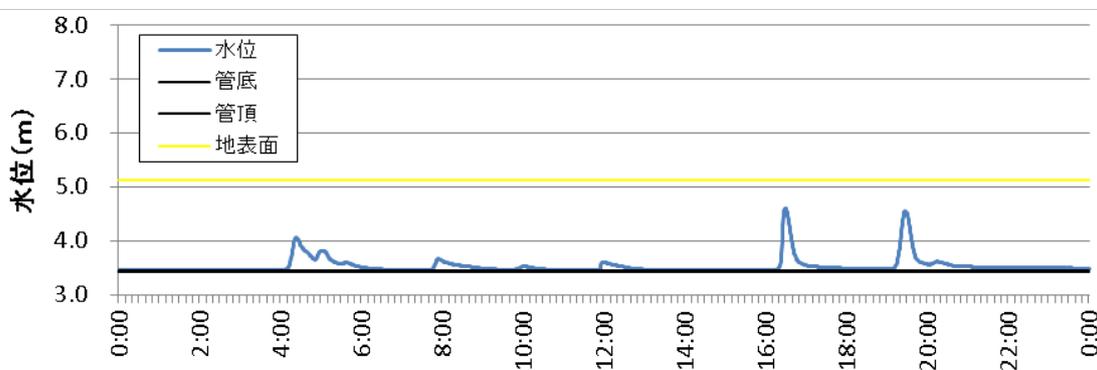
対象区域：呉羽排水区



降雨分布 (19:20(ピーク時))



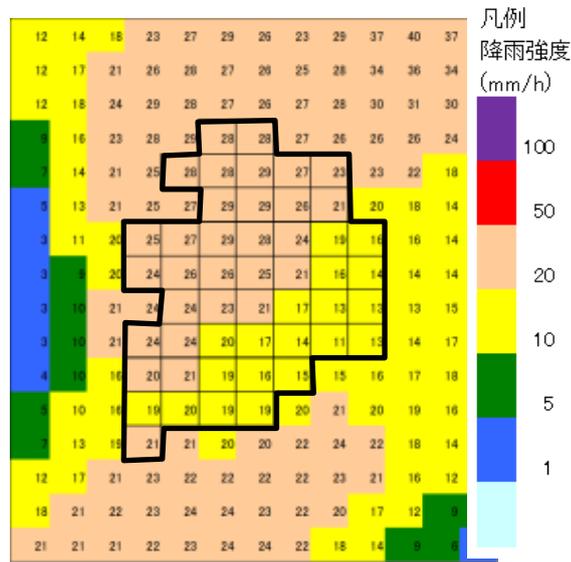
水位観測地点：呉羽新富田町



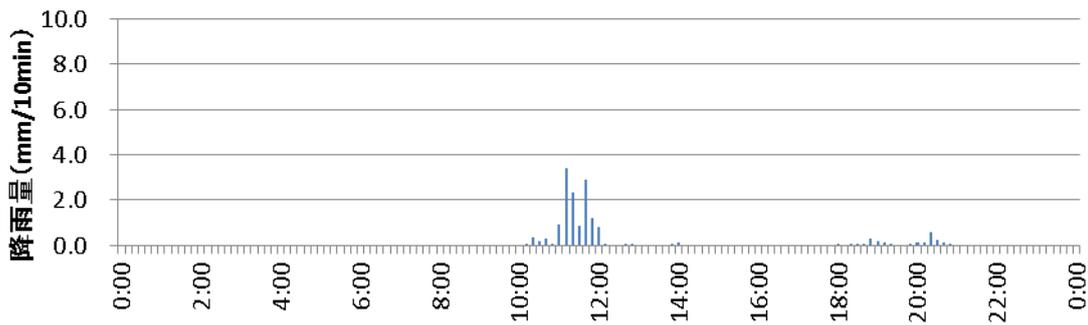
※地表面＝管頂

図 2-12 降雨および水位観測状況 (富山市 No. 4 平成 28 年 7 月 13 日)

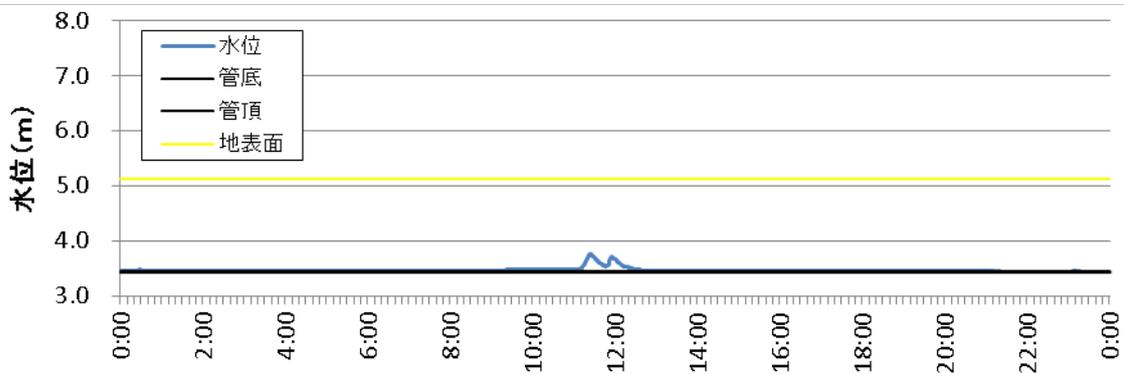
対象区域：呉羽排水区



降雨分布 (11:10(ピーク時))



水位観測地点：呉羽新富田町



※地表面＝管頂

図 2-13 降雨および水位観測状況 (富山市 No.5 平成 28 年 8 月 9 日)

3 要素技術の性能評価

3.1 要素技術の基本性能

(1) 最大予測時間

実証研究では、実証技術導入前に実証地区住民を対象としたアンケート調査を実施した。その結果、図 3-1 に示すとおり過去の浸水被害時の対策にかかった時間は最大 20 分であったため、情報配信にかかる時間を考慮し予測時間を 30 分と設定した。

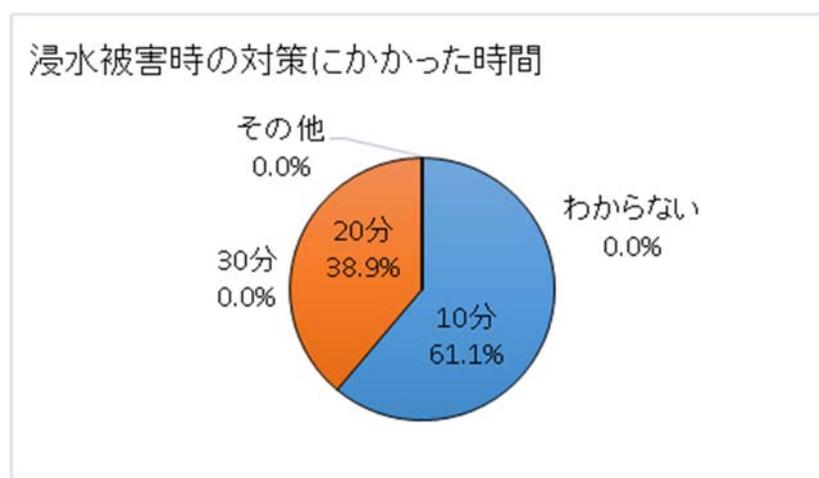


図 3-1 浸水被害時に対策にかかった時間（導入前アンケート調査抜粋）

(2) 予測配信時間

予測時間を 30 分と設定した結果を踏まえ、降雨観測から予測情報配信までの時間を 5 分以内と決定した。図 3-2 に観測から予測情報配信までの時間を示す。

これにより、図 3-3 に示すとおり最大 25 分後の浸水予測情報配信を行うことで、既存の浸水対策施設の運転支援、住民への自助・共助支援に必要な 20 分間のリードタイム確保を可能とした。

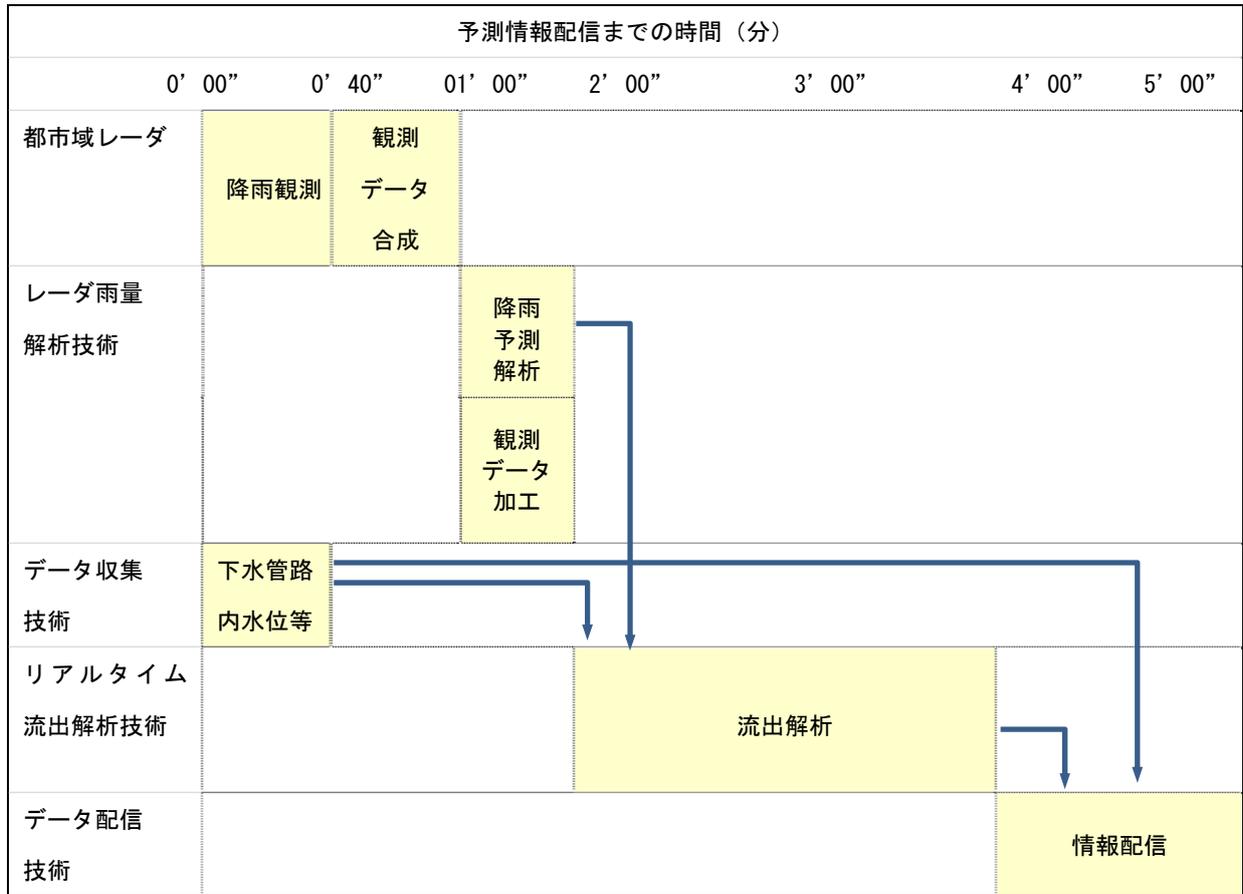


図 3-2 観測から予測情報配信までの時間

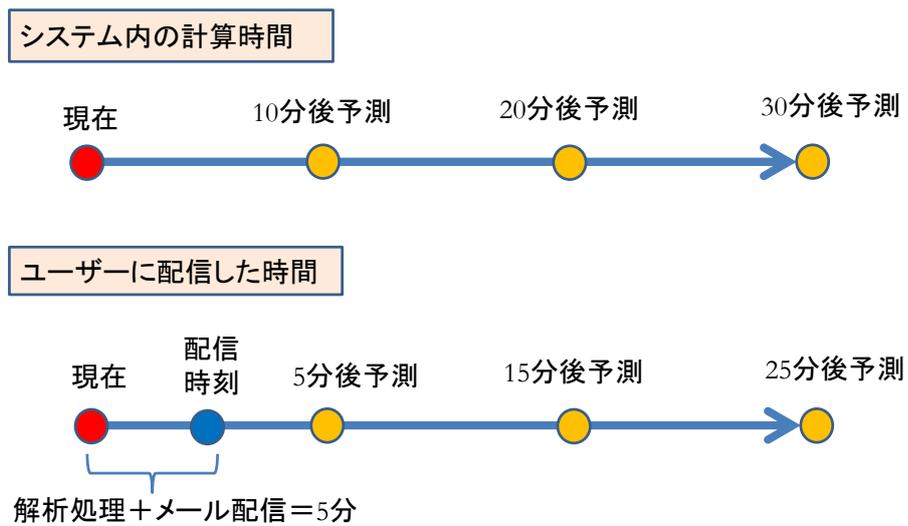


図 3-3 配信時間の考え方

3.2 性能評価一覧

実証技術を構成する要素技術毎に定めた性能目標および評価方法について表 3-1 および表 3-2 に示す。なお、確認項目を設定した理由等については、後述する各項目の目的および性能目標を参照することとし、表内に該当頁を記載する。

また、導入効果の評価として施設運転支援に基づく浸水被害軽減効果、情報配信による自助・共助の促進効果、経費回収年を求める。

表 3-1 評価項目一覧

要素技術	確認項目	評価目標および性能目標	評価方法等
都市域 レーダ	降雨発生早期検知 (P169)	①雨量の検知時刻 →XMP の降雨検知時刻と同じ、もしくはそれより早い時刻であること。	高度 500m の雨を対象として、0.5mm/h を都市域レーダが最初に検知した時刻と XMP が最初に検知した時刻を比較する。
	降雨観測精度 (P172)	①相関係数 →XMP 以上であること。 ②RMSE →XMP 以下であること。	レーダユニット 3 台中心から、10km 以内、20km 以内、30 km 以内に位置する地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ 10 分雨量で比較する。
	信号減衰による欠測域 (P193)	①欠測域率 →0% であること、 XMP と比較して、欠測域が少ないこと。	高度 500m 観測領域において全降雨を対象に、XMP と都市域レーダの観測可能域に対して発生した欠測域の面積を比較する。
レーダ雨量 解析技術	降雨予測精度 (P223)	①予測誤差 →累積雨量及び各時刻雨量の誤差量が、 ・移流、特異平均、特異中央で実測値に近い値となること。 ・特異最大でプラス方向の誤差となること。	降雨予測パターン（移流、特異最大、特異平均、特異中央）毎の降雨予測精度を予測誤差および累積雨量にて比較する。

表 3-2 評価項目一覧

要素技術	確認項目	評価目標および性能目標	評価方法等
リアルタイム 流出解析 技術	流出解析精度 (P247)	①管路内水位 →NS が 0.7 以上 ②浸水発生位置, 範囲, 浸水深 →浸水実績と同等 ③浸水発生時間 →浸水実績と同等	実測値と解析値を比較 ※②③は, 今回, 浸水が発生する降雨が観測されなかったため, 過去の浸水発生降雨にて評価する。
	施設運転支援, 自助・共助支援に有効な予測パターンの選定 (P267)	①施設運転支援 →水位立ち上がり～平常時水位までの期間で, 予測精度が高いこと。 ②自助・共助支援 →必要とするリードタイムを確保できること。	①施設運転支援 →移流と特異最大における水位実測値と予測値の差を要求性能と比較する。 ②自助・共助支援 →移流と特異最大の水位予測値に基づき算出したリードタイムと要求性能を比較する。

3.3 都市域レーダの特徴と性能評価

3.3.1 都市域レーダの特徴

(1) Xバンド MP レーダ

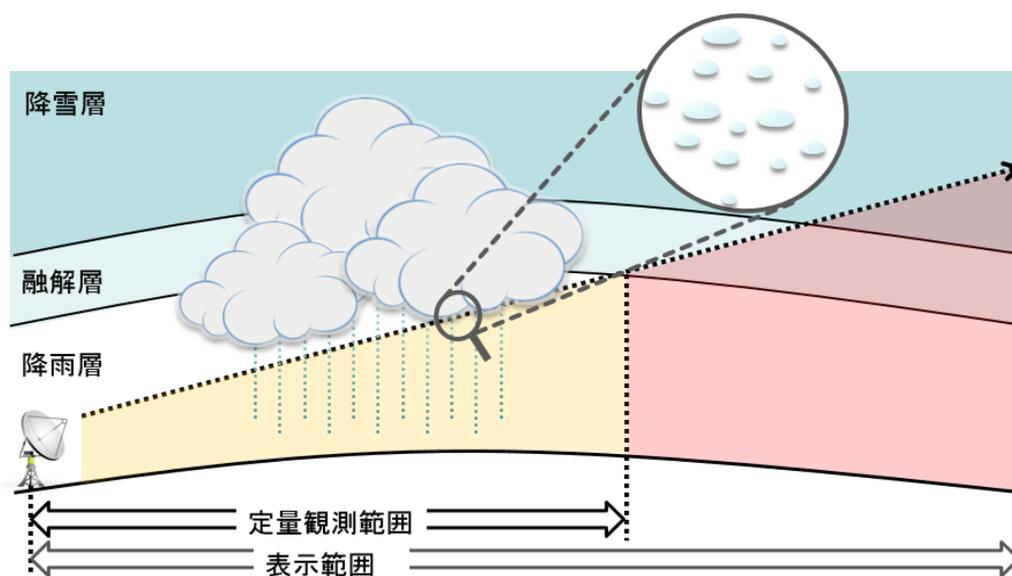
都市域レーダは、小型 X バンド MP レーダである。

MP レーダは、水平偏波と垂直偏波の 2 種類の電波を発射して、それぞれの反射した電波の位相差から雨滴の大きさを算定する。雨滴がレーダに接近あるいは離遠していると、反射した電波の波長は雨滴の移動速度分だけ変化する。これをドップラー効果といい、発射と反射電波の波長の違いにより雨滴の移動、すなわち風向きを把握できる。レーダ観測範囲が 2 基以上重なった範囲では、レーダ方向以外の風向きも把握できる。

(2) 観測範囲・高度

XRAIN においては図 3-4 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。

都市域レーダにおいては、観測範囲は 30km であり、30km 地点での観測高度は 1800m 程度であるため、出水期における融解層よりも低い高度を観測している。



出典：国土交通省「川の防災情報」(<http://www.river.go.jp/x/notes3.html>)

図 3-4 XRAIN の定量観測範囲

(3) 分解能

都市域レーダの距離分解能は75m、ビーム幅は 2.7° であり、下水道排水区域をカバーする10km程度の範囲において、きめ細かな観測ができる。

(4) 高い設置性

都市域レーダの観測範囲は半径30kmと狭いが、アンテナ径0.75m、レドーム径約1m、重量約68kgと小型・軽量なため、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、図3-5に示すとおり、スペースの限られた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。これにより、設置工期・コストの大幅な削減を実現でき、本実証研究においては、一箇所あたり設置工期は2日間であった。家庭用100V電源を利用可能な環境に配慮した省電力設計となっている。都市域レーダの機器・維持管理コストを表3-3に示す。



図 3-5 スペースの限られた建物屋上への設置例

表 3-3 都市域レーダの機器・維持管理コスト

コスト項目	費用
機器（工事含む）	約 3000～3500 万円/基
維持管理	約 300～500 万円/年/基

都市域レーダは従来の気象レーダに比べて安価であるため、図 3-6 に示すとおりレーダユニットを複数台設置することで、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、電波消散による欠測域を軽減することができる。

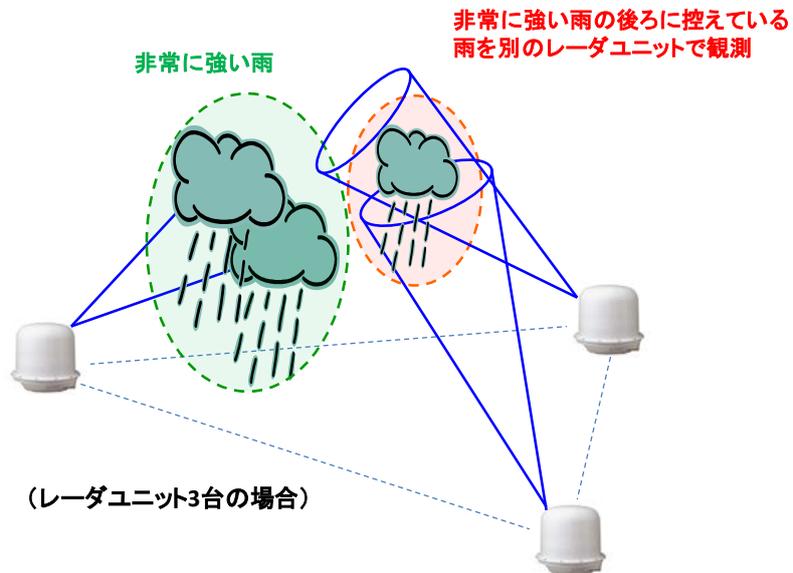


図 3-6 電波消散への対応

3.3.2 降雨発生早期検知の評価

(1) 評価方法

1) 目的

都市域レーダの設置性の高さを活かし、低高度を観測できるよう設置することで、図 3-7 に示すとおり、従来の気象レーダに比べ、低層の雨滴を検知しやすくなることが期待される。この特徴を利用して、低層から発達し豪雨となる降雨を出来る限り早期の検知による、施設運転支援および自助・共助支援のリードタイム確保への寄与を確認することが目的である。

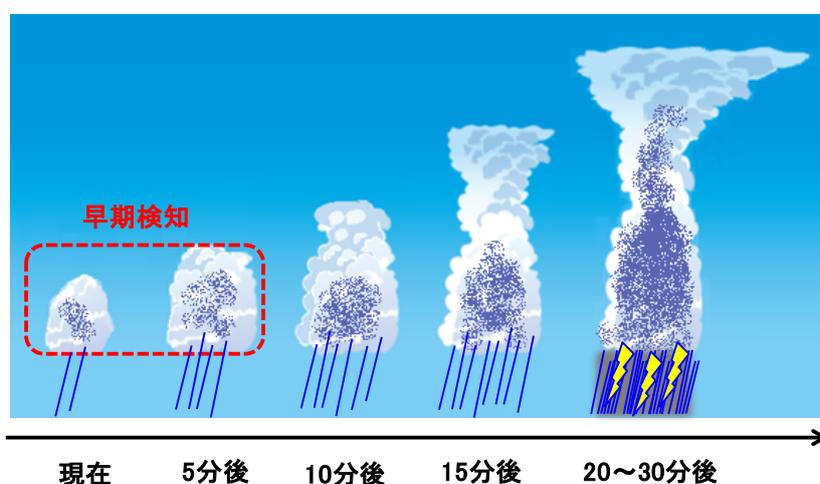


図 3-7 低高度の降雨観測による豪雨となる降雨の早期検知イメージ

2) 性能・目標

都市域レーダの降雨検知時刻と XMP の降雨検知時刻を比較し、XMP の検知時刻と同じ、もしくはそれより早い時刻であることとした。

3) 評価手順

都市域レーダの高度 500m の観測領域に対して、降雨強度 0.5mm/h を都市域レーダが最初に検知した時刻と XMP が最初に検知した時刻を比較し、評価した。

ただし、図 3-8 に示すように、富山市においては XMP (水橋局) が都市域レーダの近く (約 8km) にあり、XMP は富山市上空の低高度付近を観測していることから、早期検知の評価に適さないため、福井市のみ評価した。比較する観測高度は、都市域レーダの高度 500m、および XMP の高度 2000m 付近とした。

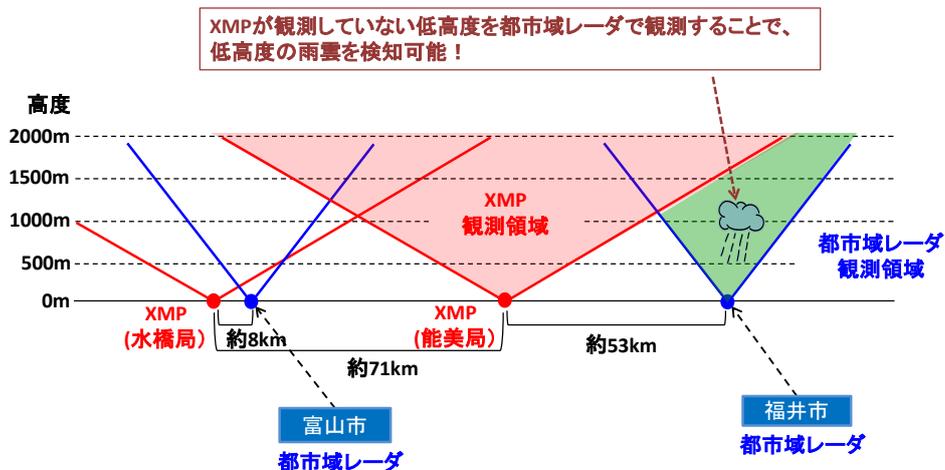
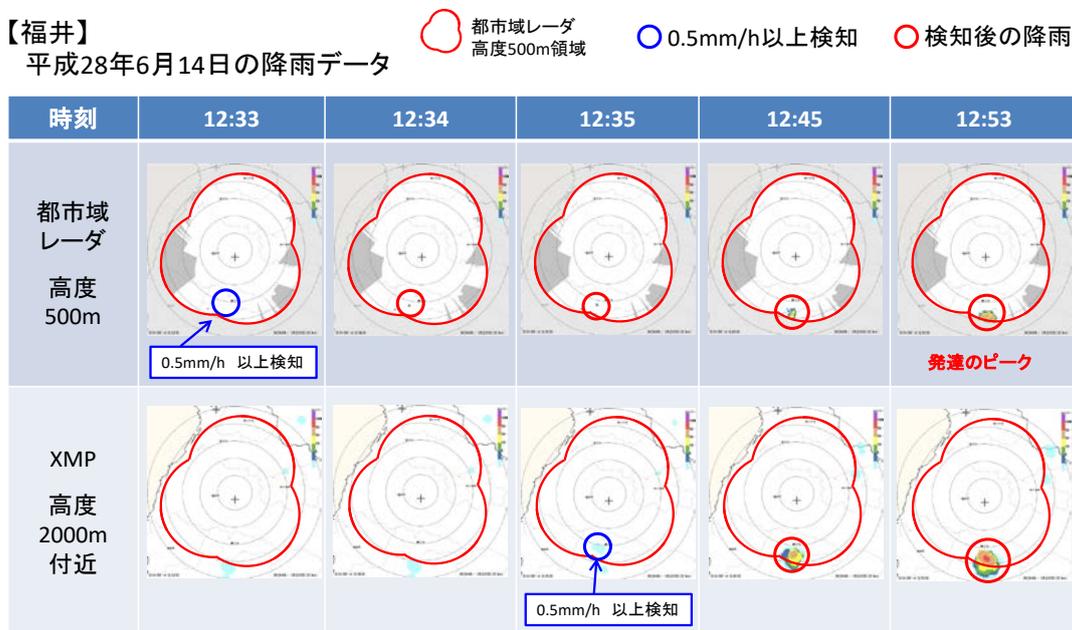


図 3-8 実証研究における XMP 及び都市域レーダの観測高度の関係

(2) 評価結果

ほとんどの降雨が移流による降雨であったが、高度 500m の低層から発達したと考えられる降雨を都市域レーダで XMP より 1~2 分早期検知できた事例を 3 ケース確認した。その 3 事例を図 3-9、図 3-10、図 3-11 に示す。

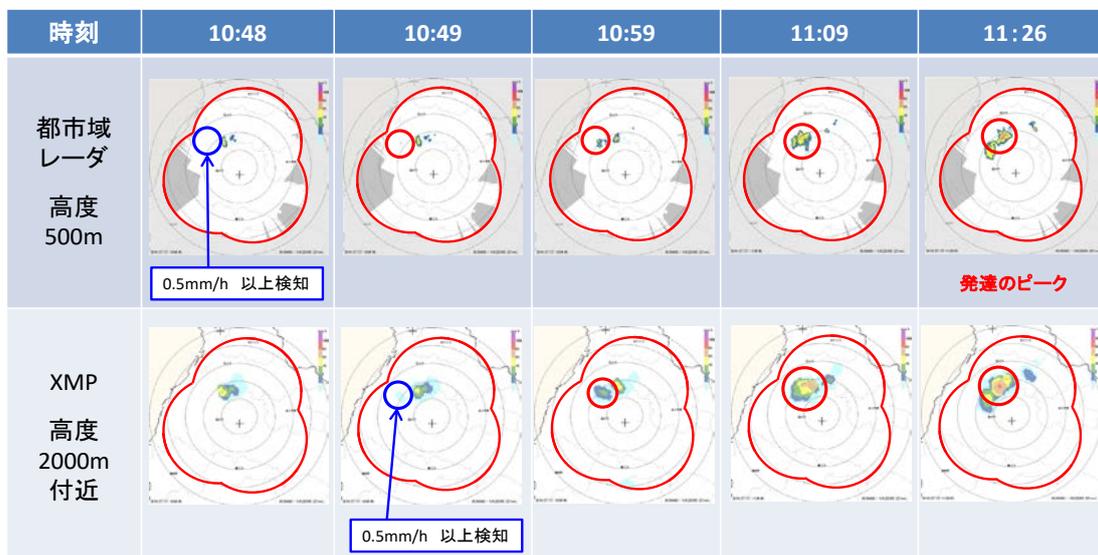


【結果】 都市域レーダで2分早く検知

図 3-9 降雨早期検知事例 1 (平成 28 年 6 月 14 日の降雨データ)

【福井】
平成28年7月27日の降雨データ

都市域レーダ 高度500m領域 0.5mm/h以上検知 検知後の降雨

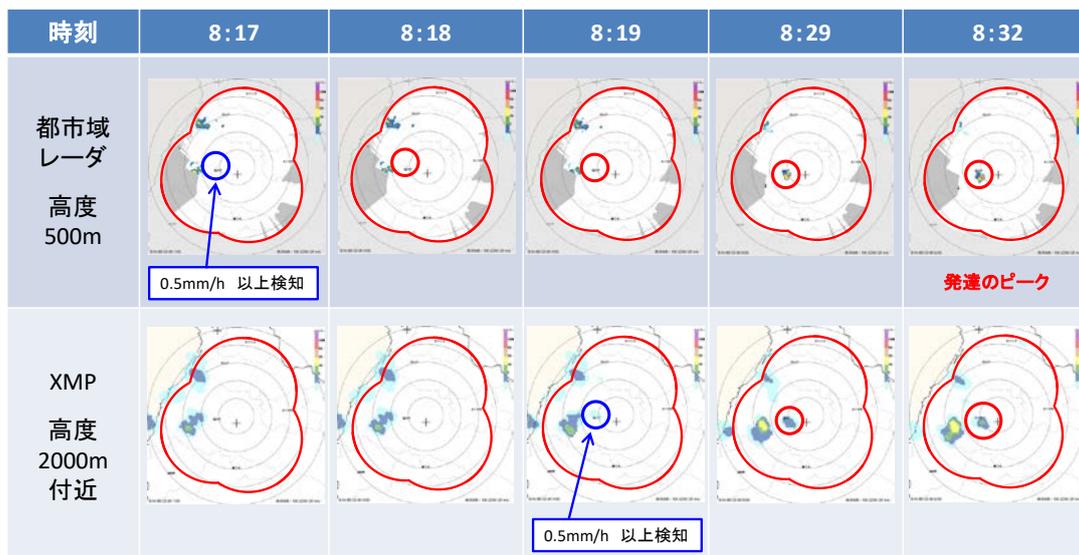


【結果】 都市域レーダで1分早く検知

図 3-10 降雨早期検知事例 2 (平成 28 年 7 月 27 日の降雨データ)

【福井】
平成28年8月3日の降雨データ

都市域レーダ 高度500m領域 0.5mm/h以上検知 検知後の降雨



【結果】 都市域レーダで2分早く検知

図 3-11 降雨早期検知事例 2 (平成 28 年 8 月 3 日の降雨データ)

3.3.3 降雨観測精度の評価

(1) 評価方法

1) 目的

基本性能である降雨観測精度の確認を目的に、実証フィールド上空の降雨を観測しているレーダ雨量計（都市域レーダおよび XMP）の降雨観測精度を検証した。福井市においては、XMP の補充として普及展開を想定し、XMP 定量観測距離 60km 周辺の同一の地上雨量計で評価した。富山市においては、基本性能である降雨観測精度を XMP と同等の距離にある同一の地上雨量計で評価した。

なお、検証に用いたレーダ雨量計のデータは、都市域レーダについてはレーダユニット 3 台の合成データを使用し、XMP については一般財団法人 河川情報センターが配信している XRAIN データを使用した。

2) 性能・目標

①相関係数

XMP の値に対して、同等またはそれ以上に強い正の相関があることとした。

②RMSE

XMP の値に対して、同等またはそれ以下に誤差が小さいこととした。

3) 評価手順

①降雨強度算出式および合成方法

精度評価で使用した都市域レーダの降雨強度算出式を図 3-12 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 3-12 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、各レーダユニットで観測したデータの合成方法は、観測データを距離による重み付け平均処理して雨量を算出する距離重み付け平均値法を使用して評価を行った。

<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

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

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

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

$$(式2) \quad Zh = BR^\beta$$

Zh : レーダ反射強度 (dBZ)

$B = 200, \beta = 1.6$: 雨滴係数

出典: 「気象と大気のレーダー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 3-12 降雨強度算出式

②雨量精度比較

地上雨量計と比較する都市域レーダの観測雨量データメッシュサイズを図 3-13 に示す。レーダユニット 3 台中心位置から 10km 以内にある地上雨量計は、高度 500m の観測範囲内にあるため、50m メッシュサイズの実況用観測データを使用した。レーダユニット 3 台中心位置から 10km~30km にある地上雨量計は、高度 500m の観測範囲外にあるため、高度 1500m を観測しているメッシュサイズ 250m の予測用観測データを使用した。また、都市域レーダと地上雨量計の配置図を図 3-14 に示す。

地上雨量計(10分値)を基準として、都市域レーダの観測雨量データ10分間平均値と比較する。

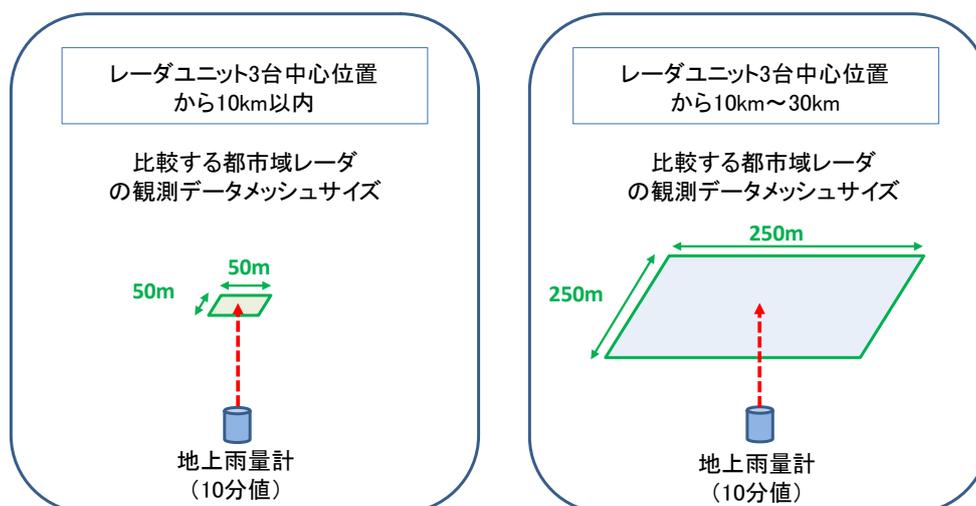


図 3-13 地上雨量計と比較する都市域レーダの観測雨量データメッシュサイズ

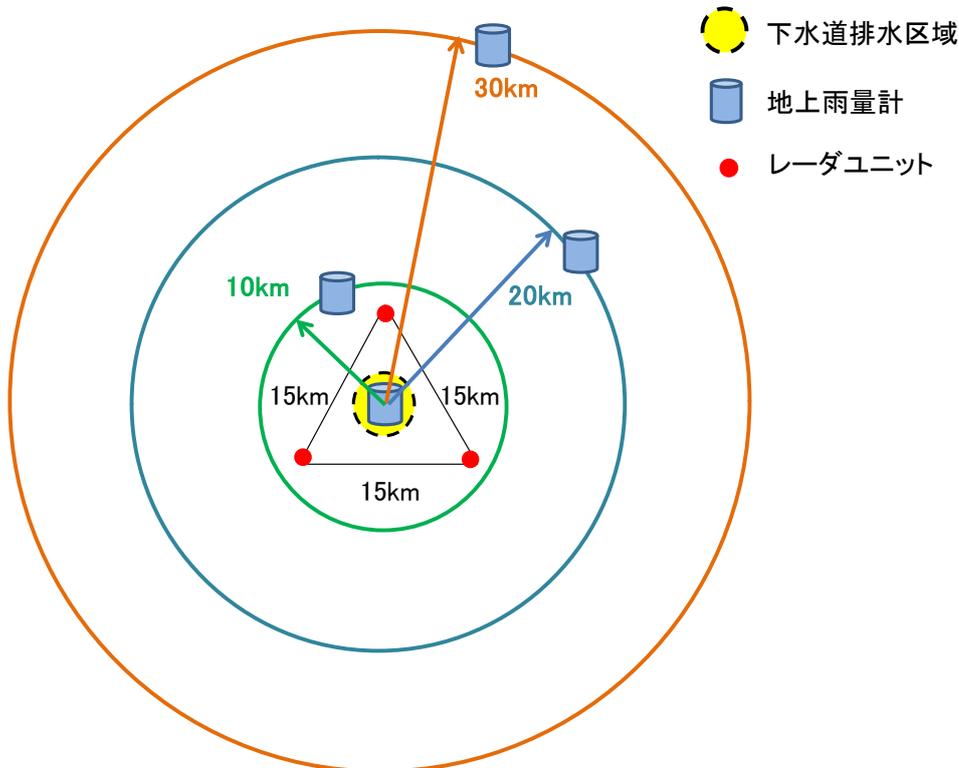


図 3-14 都市域レーダと地上雨量計の配置図

(a) 散布図による雨量精度比較

レーダユニット 3 台中心位置から 10km 以内に位置する地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ 10 分雨量で比較し、回帰係数、相関係数および RMSE（二乗平均平方根誤差）の値で評価した。また、レーダユニット 3 台中心位置から 10km 付近、20km 付近、30km 付近に位置する地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ 10 分雨量で比較し、観測距離による都市域レーダの観測精度の違いを、回帰係数、相関係数および RMSE の値で評価した。評価指標の内容を以下に示す。

- ・回帰係数：回帰曲線の傾き。1 に近いほど、地上雨量計との近似性が高い。
- ・相関係数：1 に近いほど、回帰係数（回帰曲線の傾き）との相関が高い。
- ・RMSE：0 に近いほど地上雨量計との誤差が小さい。誤差の算出方法は、地上雨量計を真値として、レーダ雨量との RMSE（平均二乗誤差）を求め、誤差量を判断する。0 に近いほど誤差が小さく降雨精度が高い。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}$$

N:データ数
X:レーダー雨量
Y:地上雨量計

(b)ハイエトグラフによる雨量精度比較

下水道排水区域内の位置する地上雨量計，レーダユニット3台中心位置から10km付近，20km付近，30km付近に位置する地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ1時間雨量で比較し，評価した。

評価した降雨は，下水道排水区内に新設した地上雨量計直上において，福井市・富山市の各都市域レーダで観測した降雨強度（mm/h）の高い5降雨で検証を実施した。その一覧表を表3-4（福井市：狐川第六排水区地上雨量計），表3-5（富山市：呉羽排水区地上雨量計）に示す。

表 3-4 （福井市）都市域レーダ観測降雨一覧表

No.	(2016年)日付	観測機器	地上雨量計																	
			①福井			②第6排水区			③三国			④越廼			⑤大野			⑥今庄		
			総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間
1	10/9	都地	27.4	13.5	3.9	25.7	15.2	4.4	19.9	5.5	2.3	25.2	8.1	5.5	5.6	4.3	2.4	1.0	1.0	0.7
		地	44.5	19.5	6.5	37.5	17.5	5.0	43.0	12.0	6.0	68.0	29.5	11.0	24.0	13.5	6.5	24.5	13.5	3.5
2	7/13	都地	25.2	14.5	5.6	25.2	12.9	4.8	11.6	3.0	1.7	20.1	8.6	5.3	19.1	7.0	4.4	5.5	2.5	2.2
		地	39.5	23.0	9.0	39.0	20.0	6.0	39.0	16.5	10.0	44.0	17.5	16.5	37.0	10.0	5.5	52.5	12.0	10.5
3	10/17	都地	23.5	9.5	2.0	27.2	11.3	2.6	23.5	6.1	1.7	28.3	8.3	2.1	13.8	4.9	1.4	0.6	0.3	0.2
		地	35.5	14.5	3.0	33.0	13.5	3.0	19.0	5.0	1.5	42.0	17.5	5.5	26.5	10.0	2.5	30.0	9.5	2.5
4	9/8	都地	13.0	10.4	4.6	12.4	10.9	4.6	21.7	13.4	5.9	20.5	12.4	5.0	28.5	18.5	7.1	1.4	1.0	1.0
		地	20.0	14.5	5.5	17.0	14.5	6.0	28.5	21.0	11.0	45.0	19.0	12.0	37.5	22.0	7.5	21.0	13.5	5.5
5	6/25	都地	16.6	8.0	2.2	17.8	9.3	2.4	17.8	10.5	3.7	21.0	9.6	2.8	26.6	6.9	3.8	7.1	2.9	1.7
		地	25.5	14.0	3.5	28.0	16.0	4.0	35.0	22.5	7.0	41.0	26.0	7.0	54.0	14.0	6.5	52.0	11.5	7.5

【計測機器】 都：都市域レーダ 地：地上雨量計

【単位】 総降雨量：mm/d 1時間最大雨量：mm/h 10分間最大雨量：mm/10min

表 3-5 （富山市）都市域レーダ観測降雨一覧表

No.	(2016年)日付	観測機器	地上雨量計																				
			①富山			②呉羽排水区			③秋ヶ島			④伏木			⑤砺波			⑥魚津			⑦氷見		
			総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間	総降雨量	1時間	10分間
1	7/26	都地	76.7	32.2	9.4	67.2	20.8	6.4	43.1	15.0	4.6	42.2	11.2	5.1	30.4	6.8	2.0	47.8	8.1	3.8	32.9	8.4	2.2
		地	98.5	42.5	14.0	88.0	29.0	11.5	38.5	15.0	5.0	64.0	16.0	9.5	26.0	5.5	2.5	64.0	19.5	8.5	48.5	10.0	3.0
2	9/18	都地	49.9	15.0	3.3	50.3	16.1	4.0	53.9	16.2	4.0	36.1	9.6	2.1	40.9	6.8	2.7	50.9	9.3	2.4	22.8	5.1	1.6
		地	92.0	21.5	5.0	89.0	20.0	5.0	90.5	26.0	7.0	68.5	17.5	4.0	90.0	22.0	6.5	100.0	20.5	6.5	44.0	9.5	3.5
3	9/28	都地	18.2	7.7	2.4	25.8	14.9	4.5	15.8	7.6	2.1	27.5	6.1	2.0	21.9	7.4	2.6	33.3	11.9	2.6	27.6	7.3	3.4
		地	30.5	11.0	4.0	39.0	19.5	5.5	29.0	15.5	4.0	43.5	10.5	4.0	32.5	15.0	5.0	51.5	28.5	7.0	40.5	11.0	5.0
4	9/8	都地	39.2	21.1	6.1	32.0	14.2	5.6	38.9	18.4	4.8	23.5	11.9	4.9	18.0	11.7	4.5	21.4	6.9	2.1	21.0	6.9	2.9
		地	51.0	26.5	7.5	42.5	16.0	6.5	58.5	24.5	8.5	31.5	13.5	7.0	36.5	21.0	10.0	37.5	12.0	3.0	32.5	13.0	5.5
5	7/13	都地	63.5	17.9	8.4	42.4	12.8	5.1	41.7	14.3	6.0	25.0	6.4	2.8	19.4	3.8	3.1	43.9	6.9	3.1	34.1	10.3	4.5
		地	103.5	37.0	17.0	59.0	17.5	12.0	69.0	24.5	9.5	30.5	5.5	3.0	24.0	5.0	3.5	48.5	9.5	3.5	40.5	11.5	6.5

【計測機器】 都：都市域レーダ 地：地上雨量計

【単位】 総降雨量：mm/d 1時間最大雨量：mm/h 10分間最大雨量：mm/10min

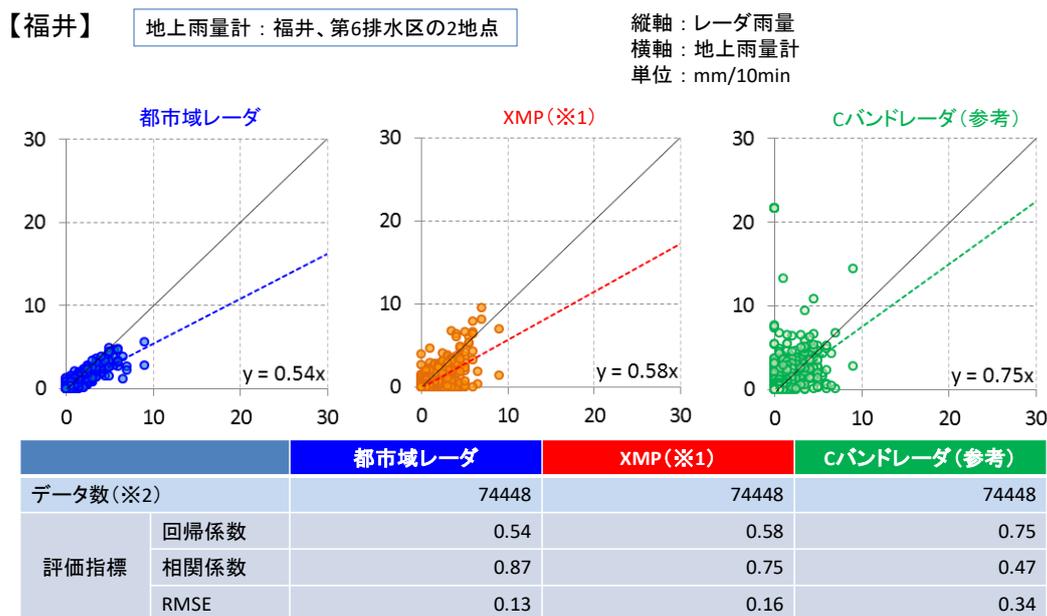
(2) 評価結果

1) 散布図による雨量精度比較

①福井市

(a)XMP との雨量精度比較

XMP の定量観測距離 60km 周辺において、相関係数の値は XMP 以上、RMSE の値は XMP と同程度であることを確認した。



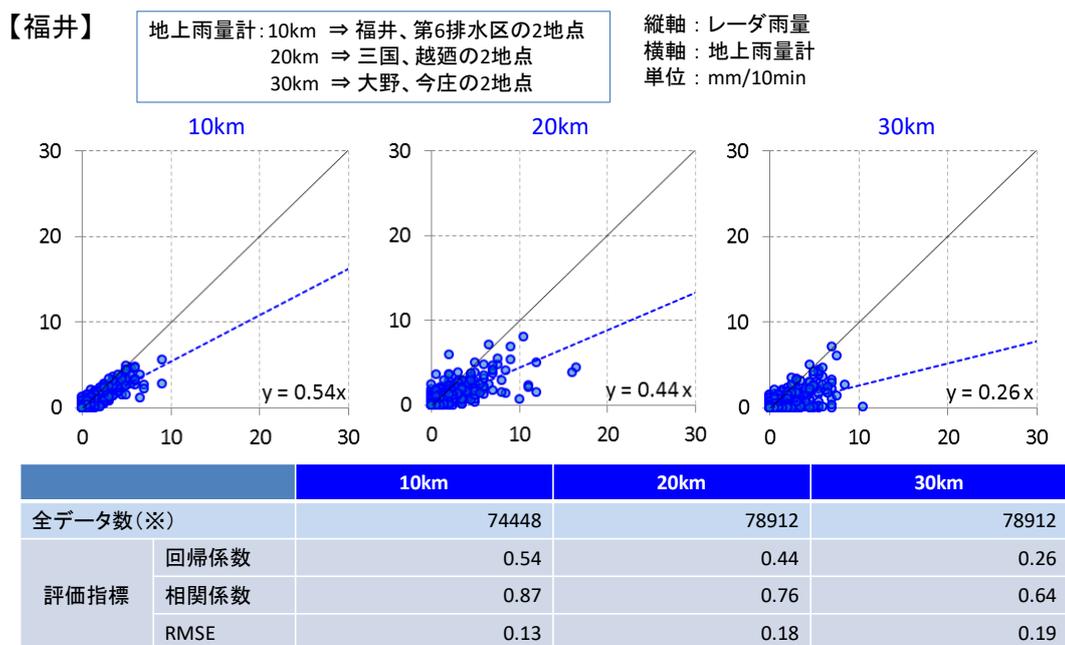
※1 能美局観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-15 XMP との雨量精度比較 (福井市)

(b)観測距離別雨量精度比較

観測距離が遠くなるほど回帰係数および相関係数は低くなっていることを確認した。この結果より、観測距離に応じて観測精度が異なることがわかった。



※ 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

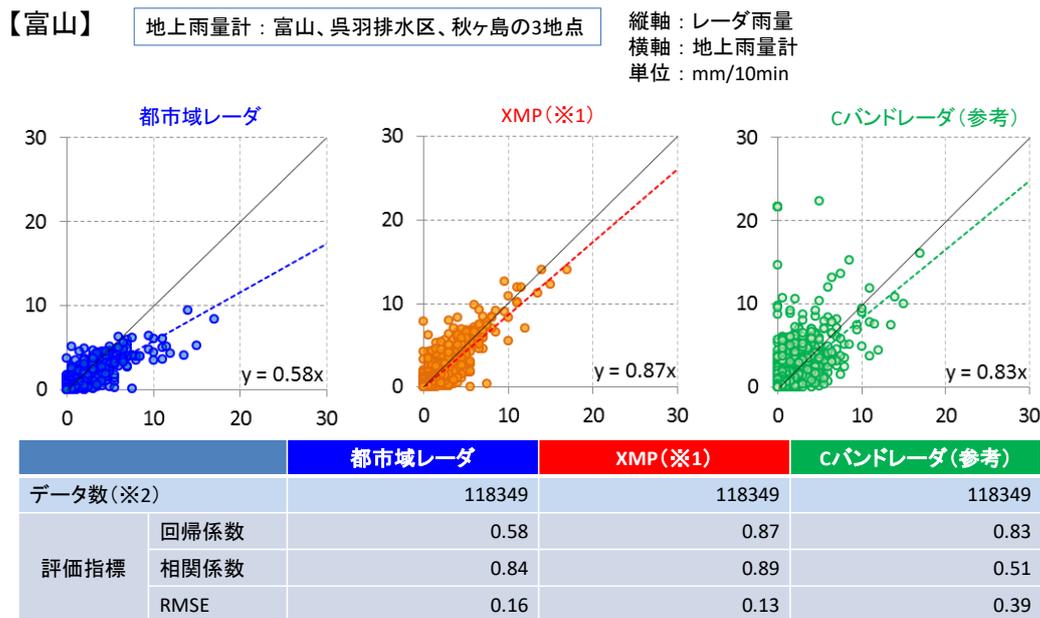
図 3-16 観測距離別雨量精度比較 (福井市)

②富山市

(a)XMP との雨量精度比較

(ア) XMP および都市域レーダから 0～10km 付近の観測範囲

相関係数の値は XMP と同等, RMSE の値も XMP と同等であることを確認した。



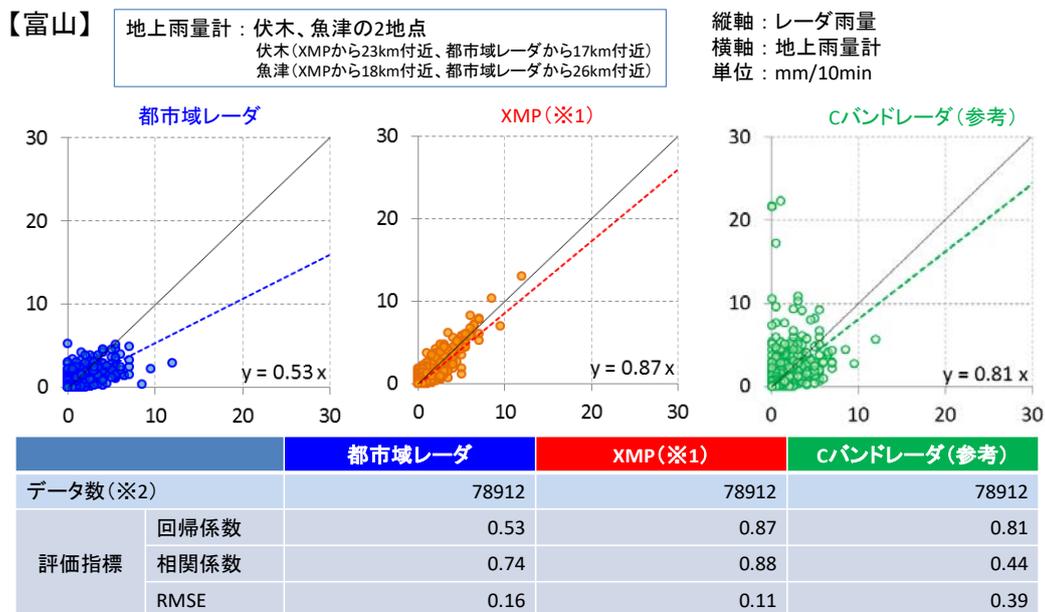
※1 水橋局と能美局の合成観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-17 XMP との雨量精度比較 (観測範囲 0～10km 付近)

(イ) XMP および都市域レーダから 10～20km 付近の観測範囲

相関係数の値は XMP より若干低いことを確認した。また、RMSE の値は、XMP と同等であることを確認した。



※1 伏木は水橋局と能美局の合成観測データ、魚津は水橋局観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-18 XMP との雨量精度比較 (観測範囲 10～20km 付近)

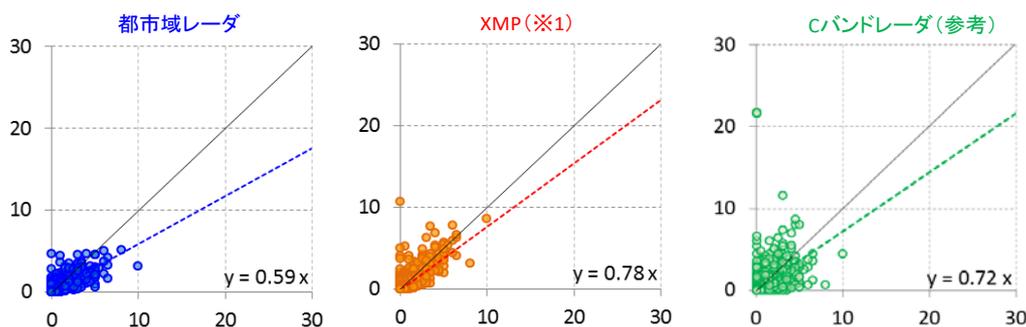
(ウ) XMP および都市域レーダから 20~30km 付近の観測範囲

都市域レーダから地上雨量計までの距離は 24~28km 程度と、XMP の 30km 以上よりも近いにもかかわらず、都市域レーダの相関係数の値は XMP より若干低かった。また、RMSE の値は、XMP と同等であることを確認した。

【富山】

地上雨量計：砺波、氷見の2地点
 砺波 (XMP から 32km 付近、都市域レーダから 24km 付近)
 氷見 (XMP から 35km 付近、都市域レーダから 28km 付近)

縦軸：レーダ雨量
 横軸：地上雨量計
 単位：mm/10min



	都市域レーダ	XMP (※1)	Cバンドレーダ (参考)
データ数 (※2)	78912	78912	78912
評価指標	回帰係数	0.59	0.72
	相関係数	0.77	0.37
	RMSE	0.13	0.37

※1 水橋局と能美局の合成観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-19 XMP との雨量精度比較 (観測範囲 20~30km 付近)

(b)観測距離別雨量精度比較

観測距離が遠くなるほど回帰係数および相関係数は低くなっていることを確認した。この結果より、観測距離に応じて観測精度が異なることがわかった。10kmの精度比較における相関係数の値は0.84、20kmの精度比較における相関係数の値は0.77、30kmの精度比較における相関係数の値は0.73であった。

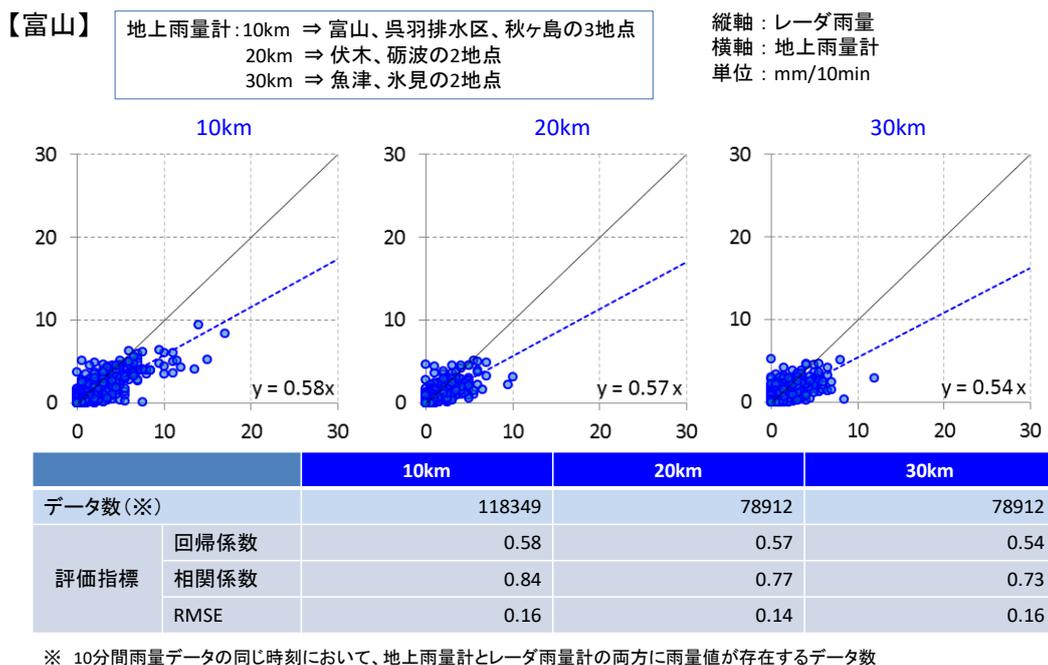


図 3-20 観測距離別雨量精度比較（富山市）

2) ハイエットグラフによる雨量精度比較

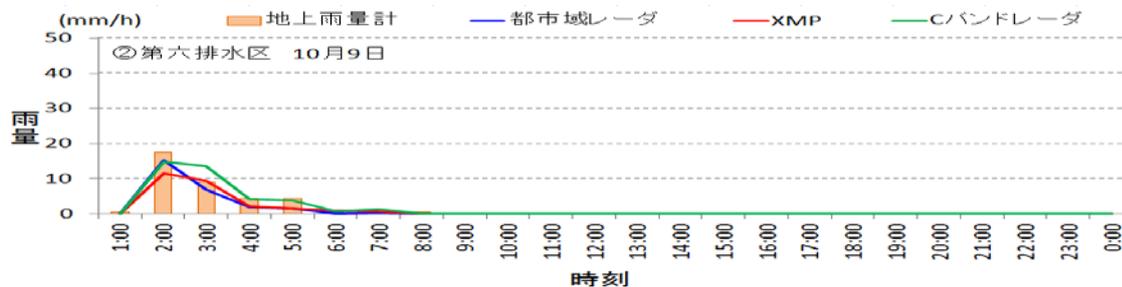
①福井市

観測距離が遠くなるほど、地上雨量計と比較して都市域レーダの雨量が弱く観測されていることを確認した。また、7月13日の7時、6月25日の2時においては、地上雨量計と比較して、雨量が弱く観測されていることを確認した。雨量が弱く観測される理由としては、使用している降雨量推定算出式で求められた雨量が低いこと、信号減衰発生による雨量の過小評価が考えられるため、降雨量推定算出式および合成方法を見直す必要がある。

(a) 観測日：平成 28 年 10 月 9 日

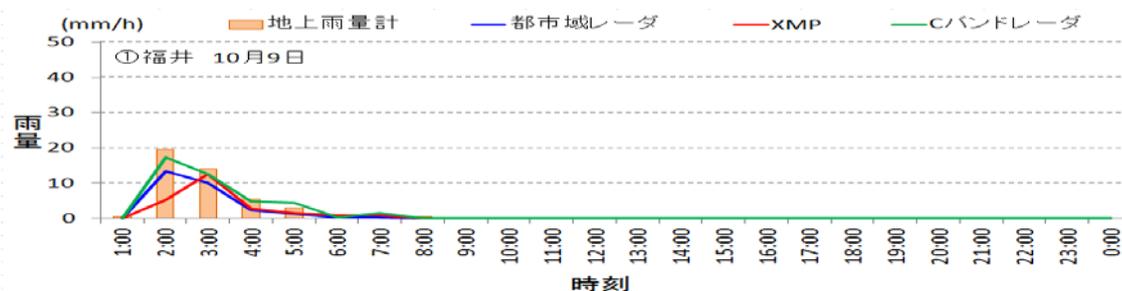
ア) 地上雨量計：②第 6 排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



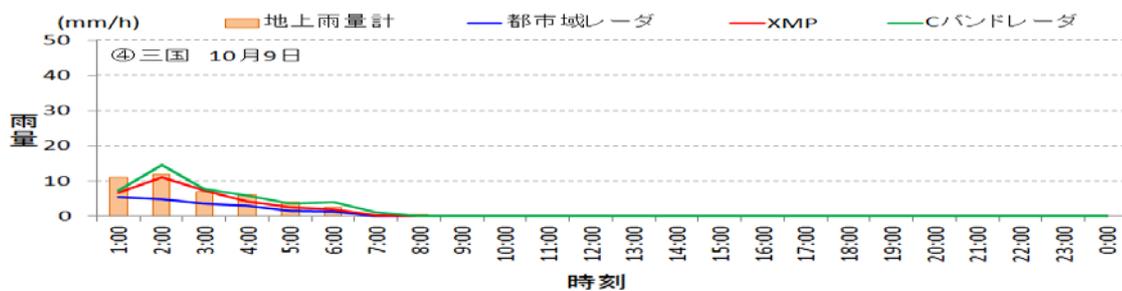
イ) 地上雨量計：①福井（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



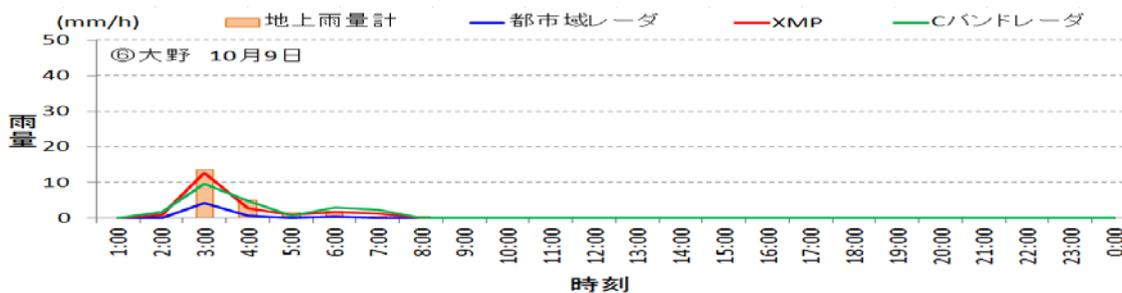
ウ) 地上雨量計：④三国（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 能美局からの距離 約 70km



エ) 地上雨量計：⑥大野（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

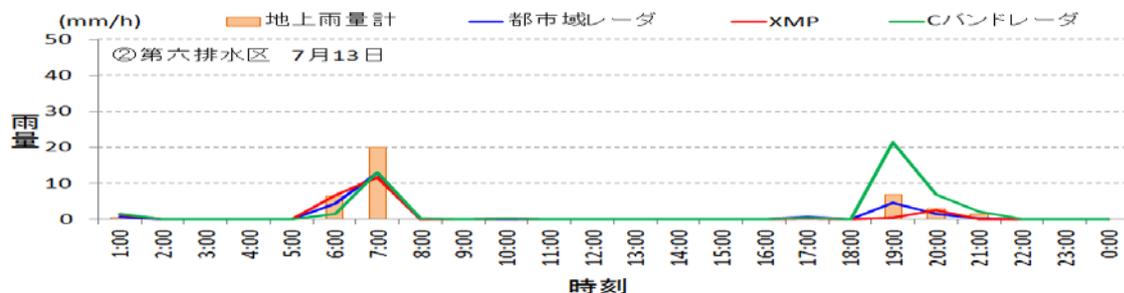
※ XMP 能美局からの距離 約 33km



(b) 観測日：平成 28 年 7 月 13 日

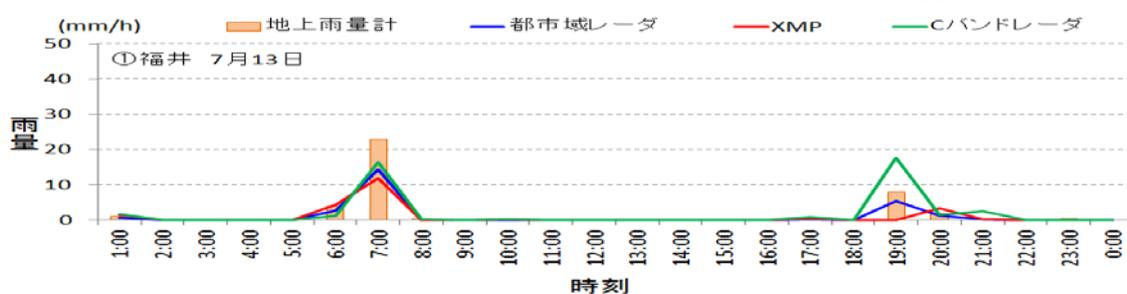
ア) 地上雨量計：②第 6 排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



イ) 地上雨量計：①福井（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



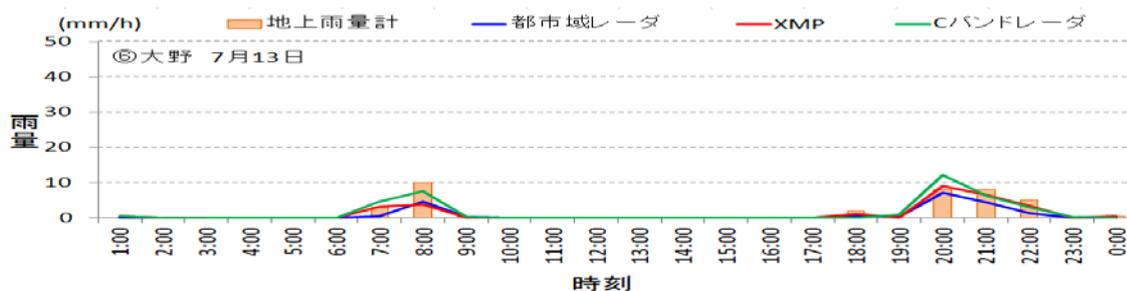
ウ) 地上雨量計：④三国（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 能美局からの距離 約 40km



エ) 地上雨量計：⑥大野（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

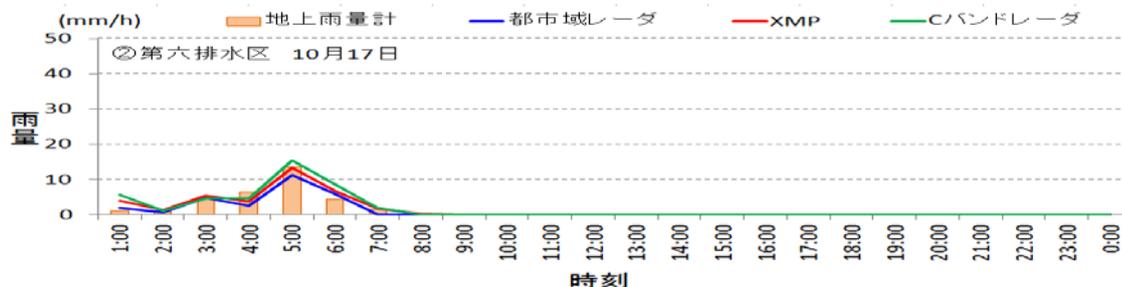
※ XMP 能美局からの距離 約 33km



(c) 観測日：平成 28 年 10 月 17 日

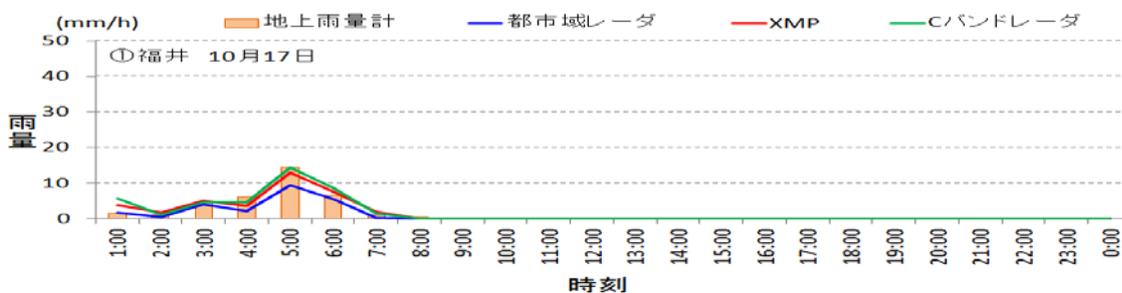
ア) 地上雨量計：②第 6 排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



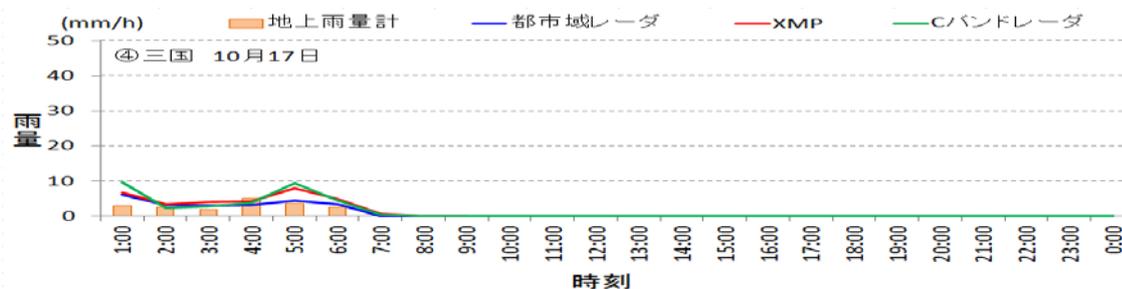
イ) 地上雨量計：①福井（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



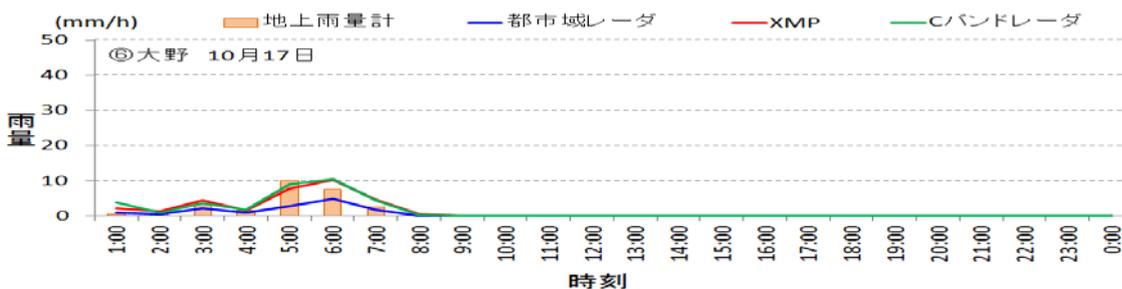
ウ) 地上雨量計：④三国（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 能美局からの距離 約 40km



エ) 地上雨量計：⑥大野（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

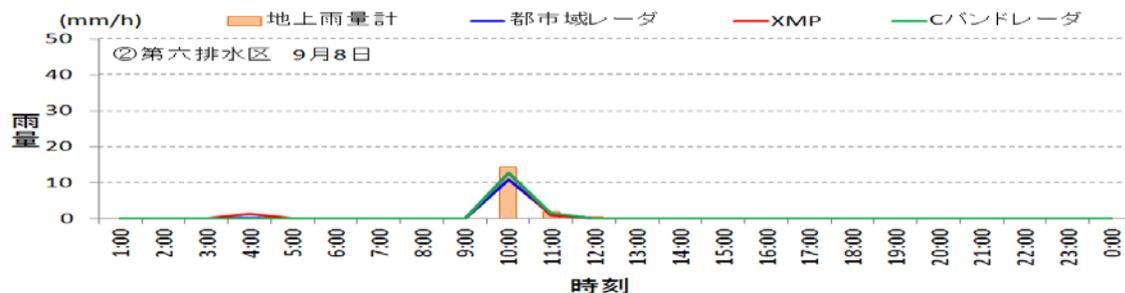
※ XMP 能美局からの距離 約 33km



(d) 観測日：平成 28 年 9 月 8 日

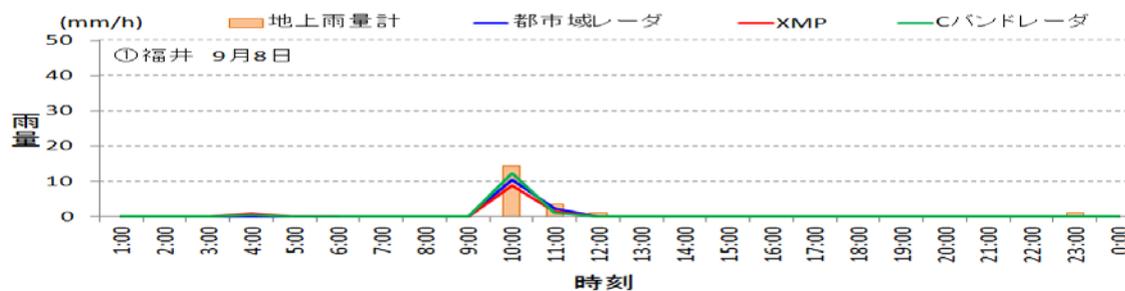
ア) 地上雨量計：②第 6 排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



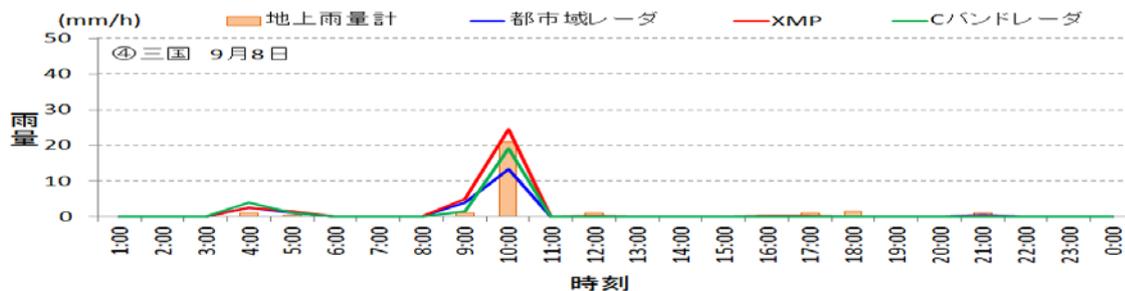
イ) 地上雨量計：①福井（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



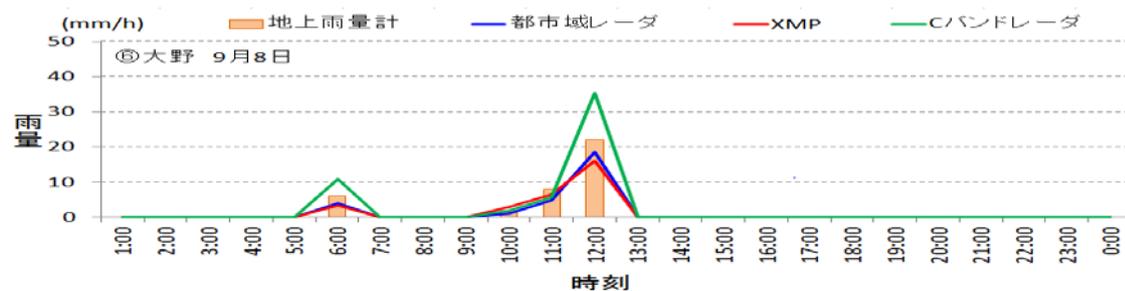
ウ) 地上雨量計：④三国（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 能美局からの距離 約 40km



エ) 地上雨量計：⑥大野（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

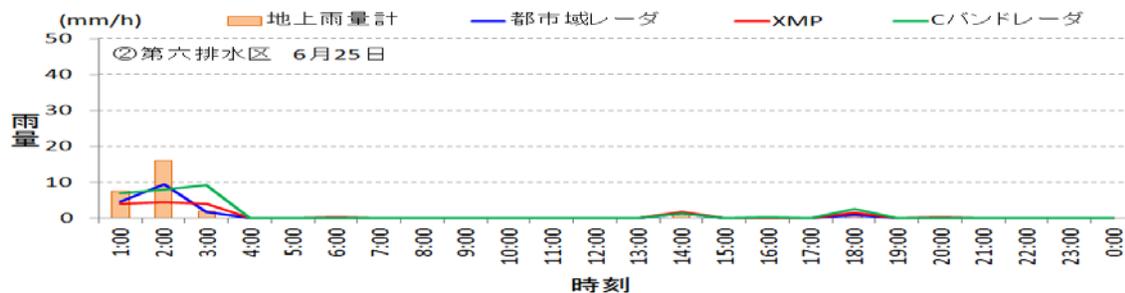
※ XMP 能美局からの距離 約 33km



(e) 観測日：平成 28 年 6 月 25 日

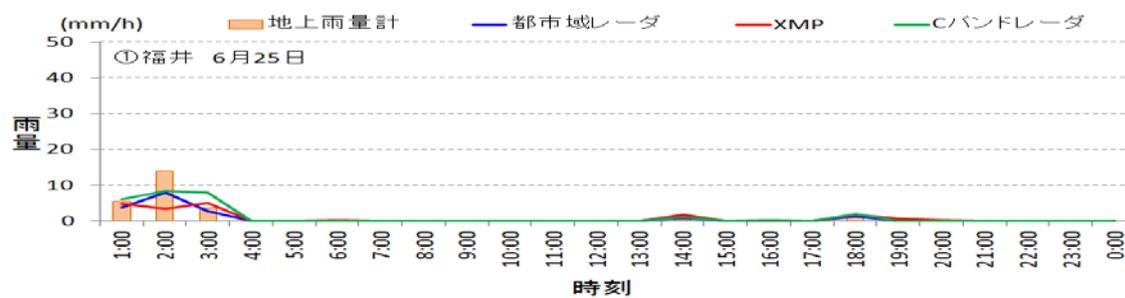
ア) 地上雨量計：②第 6 排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



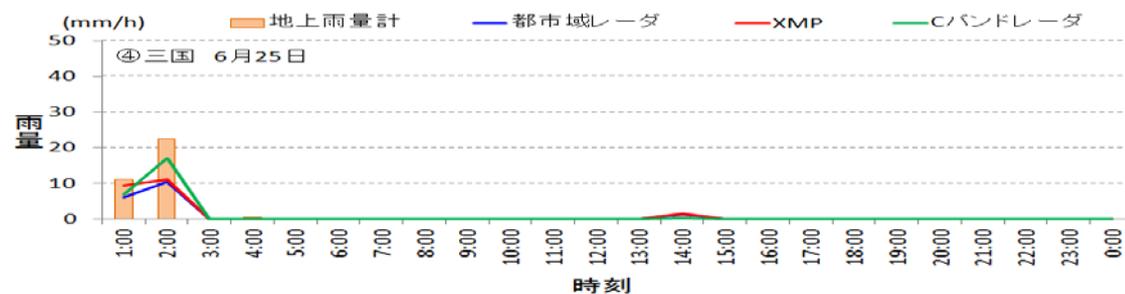
イ) 地上雨量計：①福井（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 能美局からの距離 約 55km



ウ) 地上雨量計：④三国（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 能美局からの距離 約 40km



エ) 地上雨量計：⑥大野（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

※ XMP 能美局からの距離 約 33km



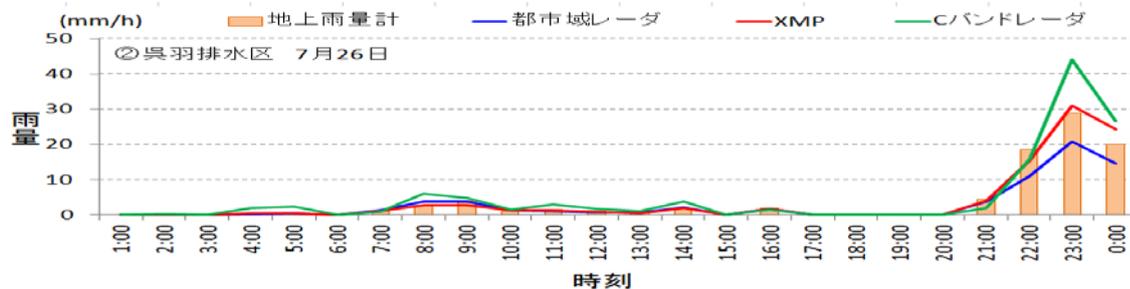
②富山市

観測距離が遠くなるほど、地上雨量計と比較して都市域レーダの雨量が弱く観測されていることを確認した。また、7月26日の「①富山」および「②呉羽排水区」の23時、7月13日の「①富山」の5時・17時においては、地上雨量計と比較して雨量が弱く観測されていることを確認した。雨量が弱く観測される理由としては、使用している降雨量推定算出式で求められた雨量が低いこと、信号減衰発生による雨量の過小評価が考えられるため、降雨量推定算出式および合成方法を見直す必要がある。

(a) 観測日：平成 28 年 7 月 26 日

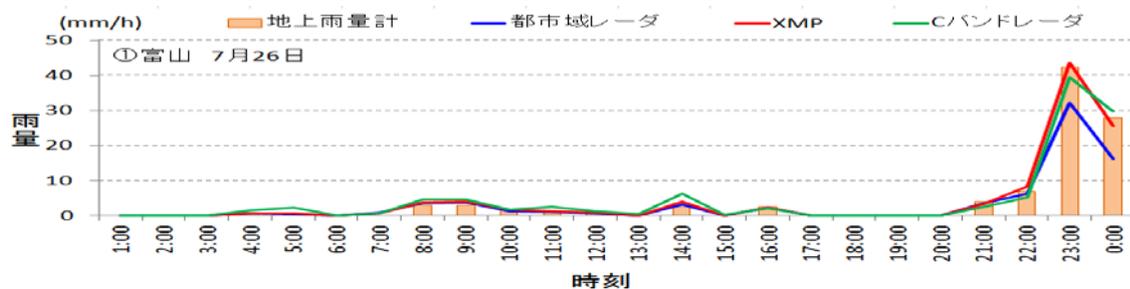
ア) 地上雨量計：②呉羽排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 10km



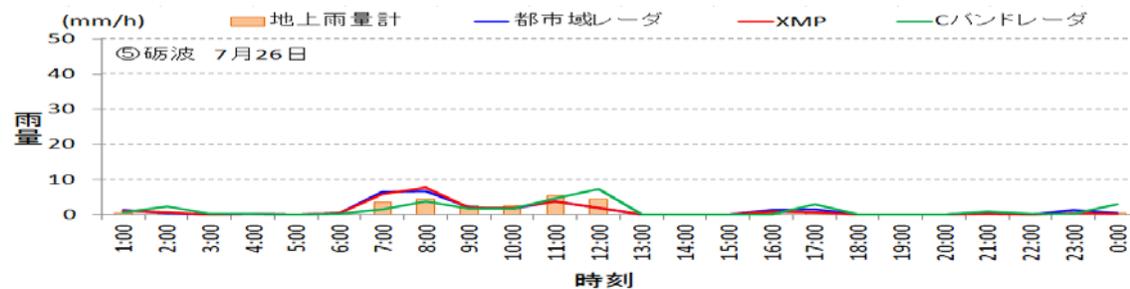
イ) 地上雨量計：①富山（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 7km



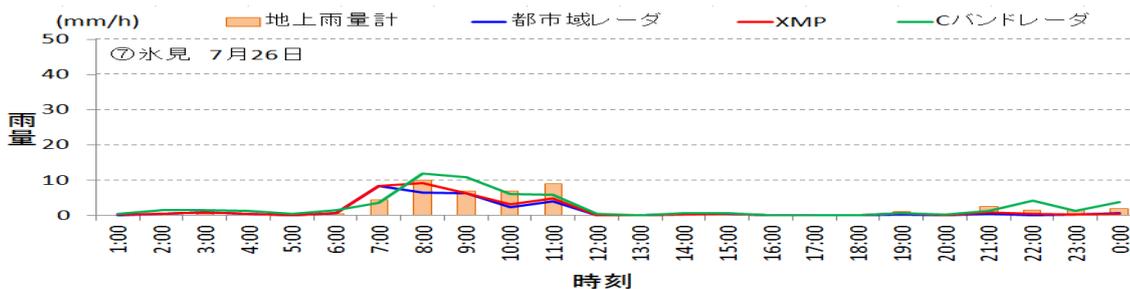
ウ) 地上雨量計：⑤砺波（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 30km



エ) 地上雨量計：⑦氷見（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

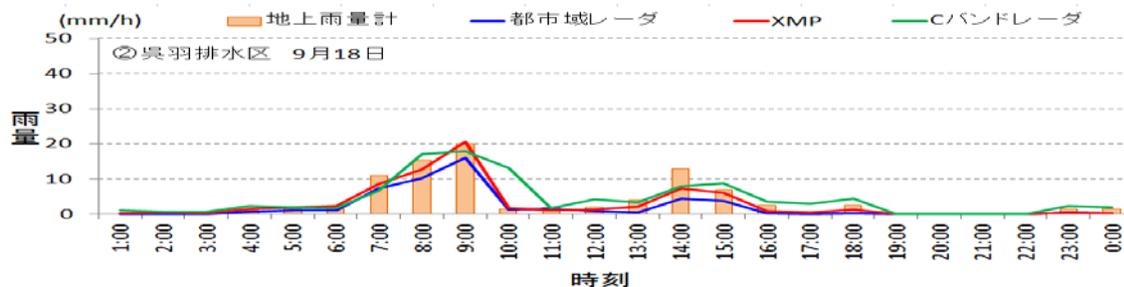
※ XMP 水橋局からの距離 約 33km



(b) 観測日：平成 28 年 9 月 18 日

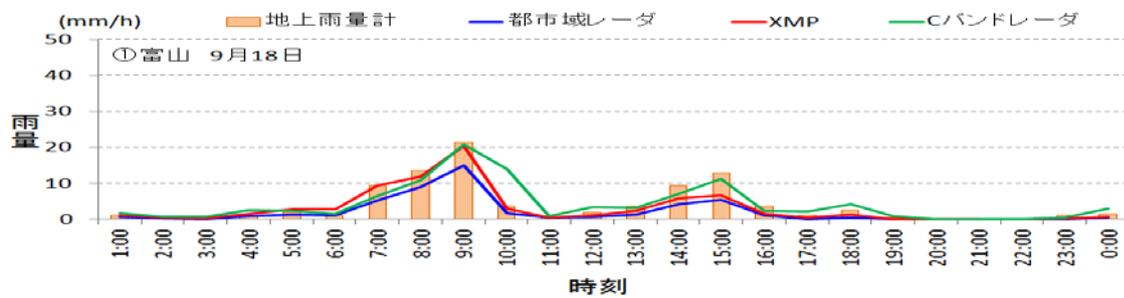
ア) 地上雨量計：②呉羽排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 10km



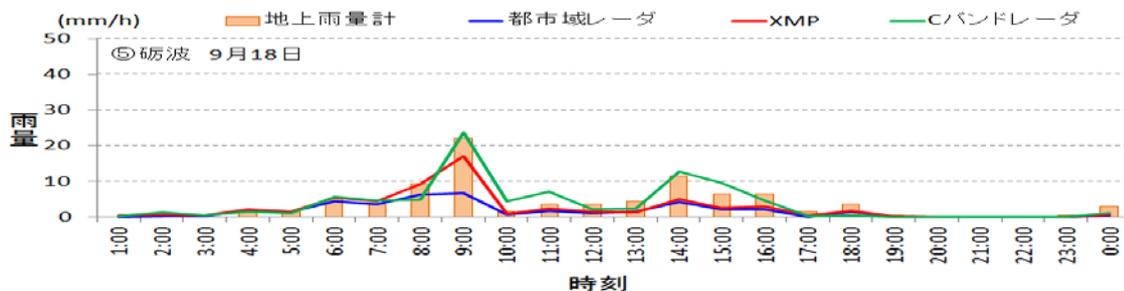
イ) 地上雨量計：①富山（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 7km



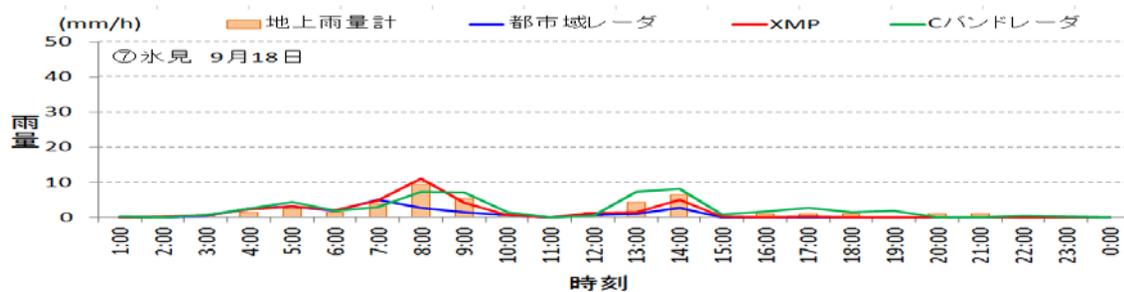
ウ) 地上雨量計：⑤砺波（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 30km



エ) 地上雨量計：⑦水見（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

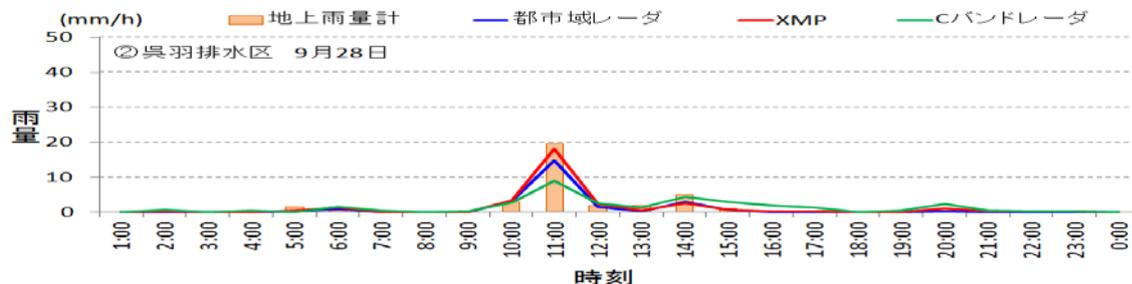
※ XMP 水橋局からの距離 約 33km



(c) 観測日：平成 28 年 9 月 28 日

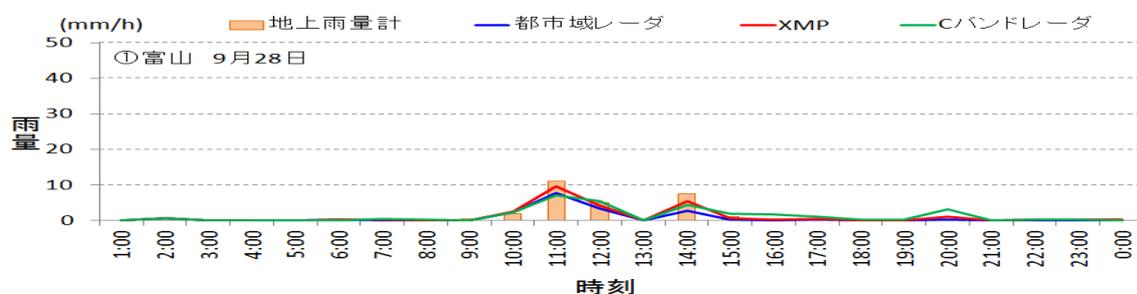
ア) 地上雨量計：②呉羽排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 10km



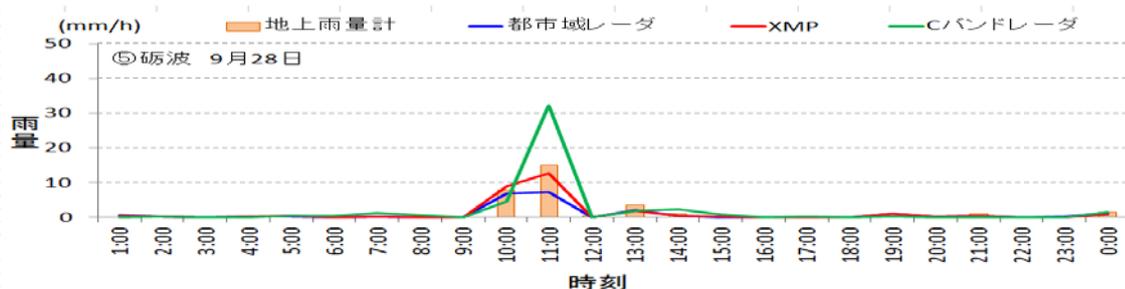
イ) 地上雨量計：①富山（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 7km



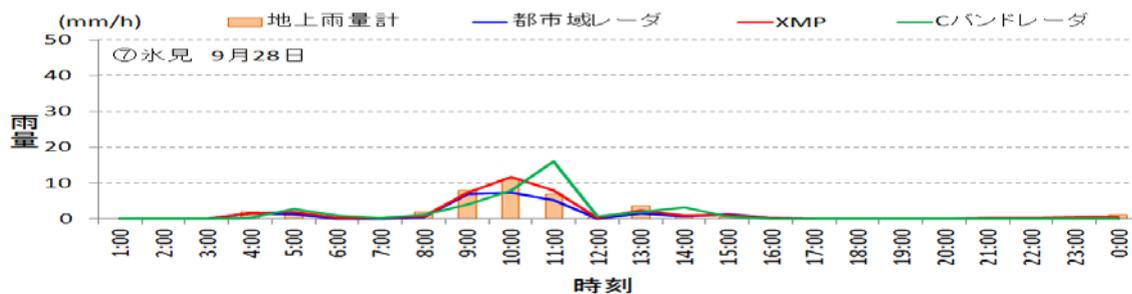
ウ) 地上雨量計：⑤砺波（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 30km



エ) 地上雨量計：⑦氷見（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

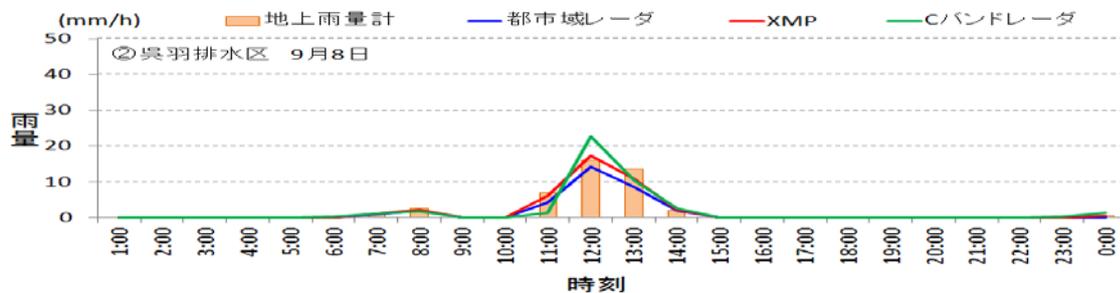
※ XMP 水橋局からの距離 約 33km



(d) 観測日：平成 28 年 9 月 8 日

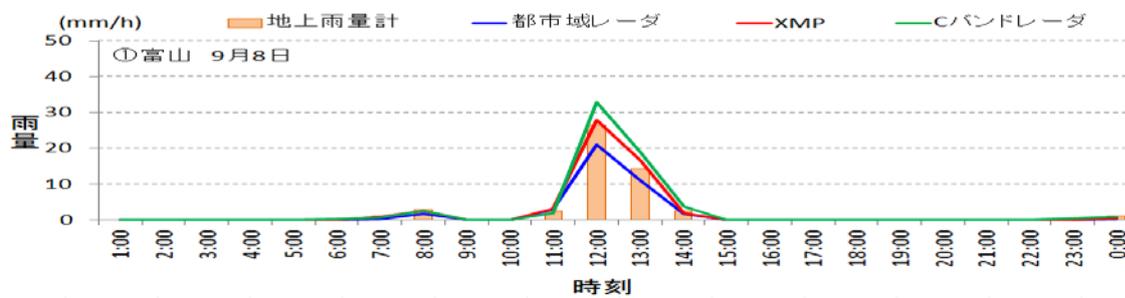
ア) 地上雨量計：②呉羽排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 10km



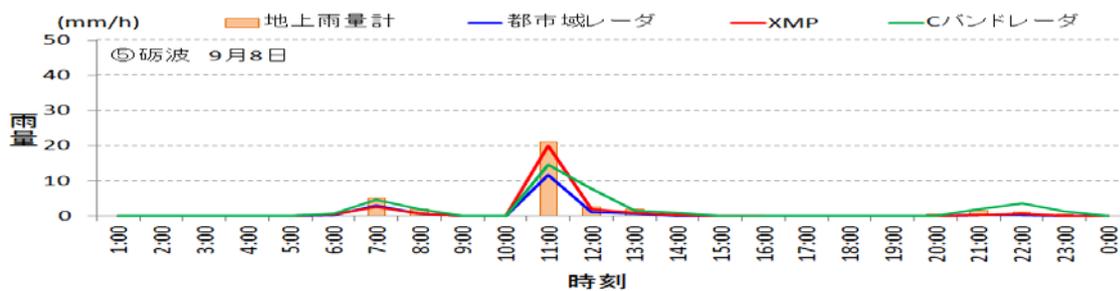
イ) 地上雨量計：①富山（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 7km



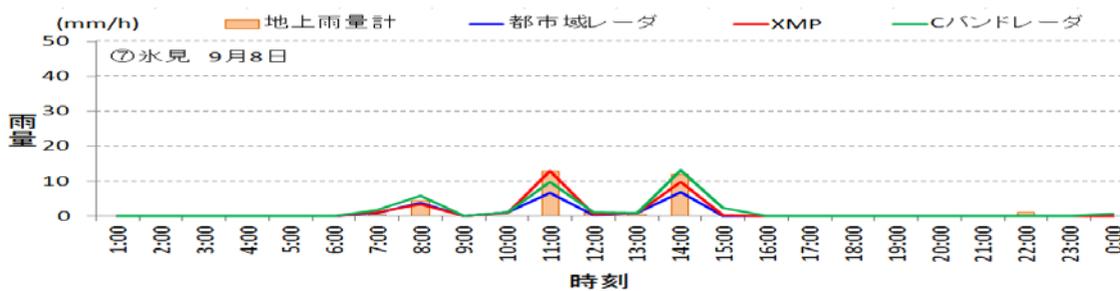
ウ) 地上雨量計：⑤砺波（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 30km



エ) 地上雨量計：⑦氷見（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 33km



(e) 観測日：平成 28 年 7 月 13 日

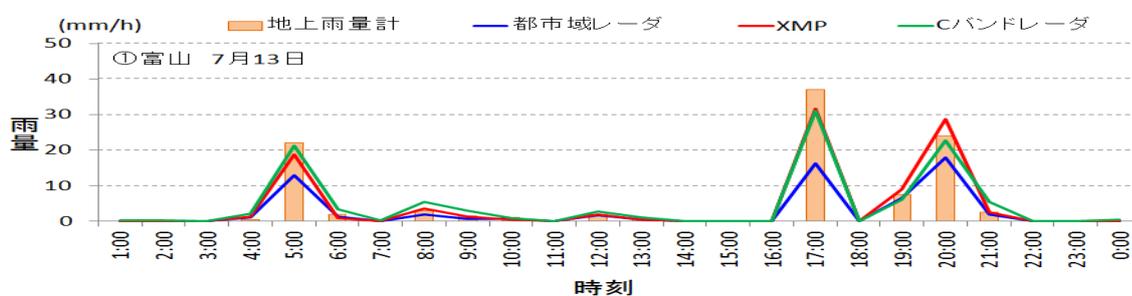
ア) 地上雨量計：②呉羽排水区（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 10km



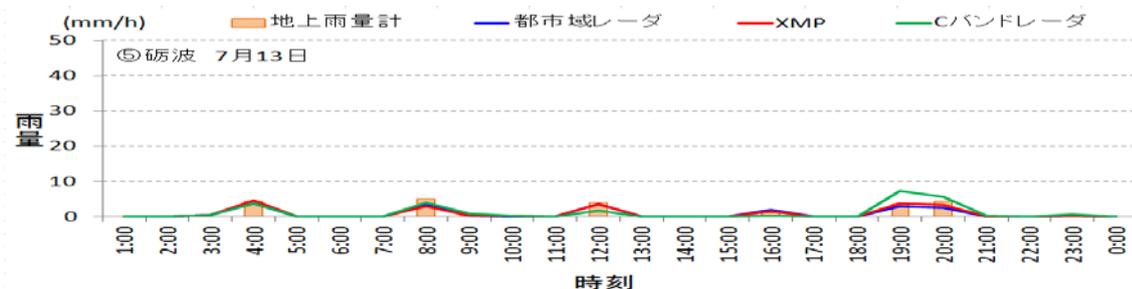
イ) 地上雨量計：①富山（都市域レーダの観測範囲 ～約 10km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 7km



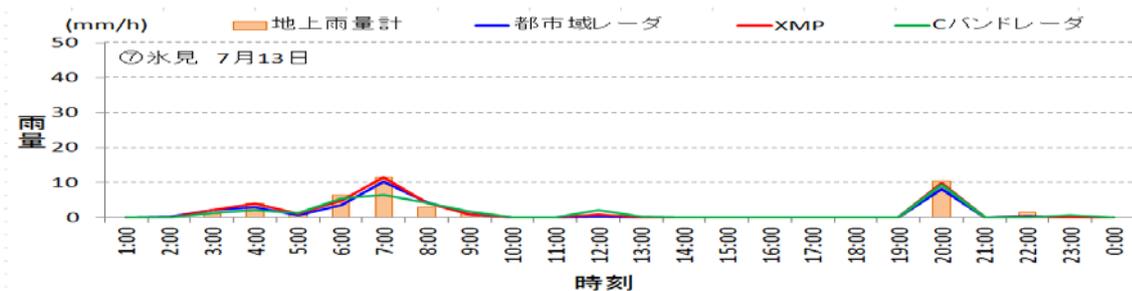
ウ) 地上雨量計：⑤砺波（都市域レーダの観測範囲 ～約 20km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 30km



エ) 地上雨量計：⑦氷見（都市域レーダの観測範囲 ～約 30km）

※ XMP 水橋局からの距離 約 33km



3.3.4 信号減衰による欠測域の評価

(1) 評価方法

1) 目的

都市域レーダの高度 500m 観測領域において、都市域レーダの欠測域の確認および XMP の定量観測距離 60km 周辺地域である福井市において、XMP で欠測が発生した場合に都市域レーダで補完観測ができることの確認を目的に評価を行った。

2) 性能・目標

①欠測域率

福井市・富山市の都市域レーダの高度 500m 観測領域における欠測域率を 0%とした。

②欠測期間

都市域レーダの欠測期間が、XMP の欠測期間より短いこととした。

3) 評価手順

①欠測域率

都市域レーダの高度 500m 観測領域において、都市域レーダと XMP の観測可能域に対して発生した欠測域の面積の比較により評価した。

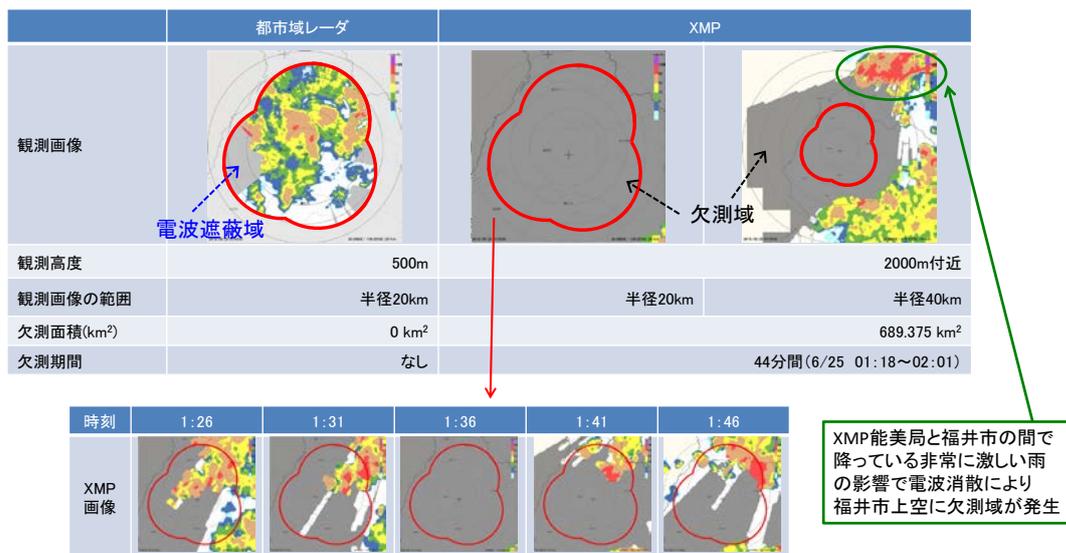
②欠測期間

都市域レーダの高度 500m 観測領域において、都市域レーダと XMP の観測可能域に対して発生した欠測期間の比較により評価した。

(2) 評価結果

福井市および富山市において、都市域レーダで欠測は発生しなかった。また、福井市における XMP の欠測期間は、1001 分間だった。XMP で欠測発生時に都市域レーダで観測できた事例を図 3-21 に示す。

福井市：XMP欠測発生時刻 平成28年6月25日 1時36分（XMPの欠測域の面積が最大となる時刻）



: 福井市の下水道排水区域上空における都市域レーダ高度500mの観測領域

図 3-21 【事例】 XMP の欠測（観測日：平成 28 年 6 月 25 日）

3.3.5 降雨観測精度向上

(1) 評価方法

1) 目的

実証研究における都市域レーダの降雨観測精度評価において、回帰係数が低いことを確認した。このため、降雨観測精度向上を目的に降雨量推定算出式およびレーダユニット3台の観測データの合成方法の検討および評価を行った。

2) 性能・目標

①回帰係数

XMP と比較して、同等またはそれ以上に近似性が高いこととした。

②相関係数

XMP と比較して、同等またはそれ以上に強い正の相関があることとした。

③RMSE

XMP と比較して、同等またはそれ以下に誤差が小さいこととした。

3) 評価手順

都市域レーダの降雨量推定算出式は、**図 3-22** の式 1 を使用しており、また、レーダユニット3台の観測データの合成方法は距離重み付け平均値法を使用しているが、降雨観測精度評価において回帰係数が低いため、**図 3-22** の XMP の算出式 (式 2) および最大値法 (合成方法) を使用することで降雨観測精度向上の検討作業を実施した。

また、降雨観測精度向上の検討作業では、**表 2-1** に示すとおり、平成 28 年 3 月 1 日～11 月 30 日の期間で、日総降雨量 10mm 以上を観測した降雨を対象に評価を行った。

なお、XMP の算出式および最大値法により算出した雨量データは、降雨観測精度向上の検討においてのみ使用しており、他の性能評価においては、**図 3-22** の式 1 の算出式および距離重み付け平均値法で算出した雨量データにて評価を行った。

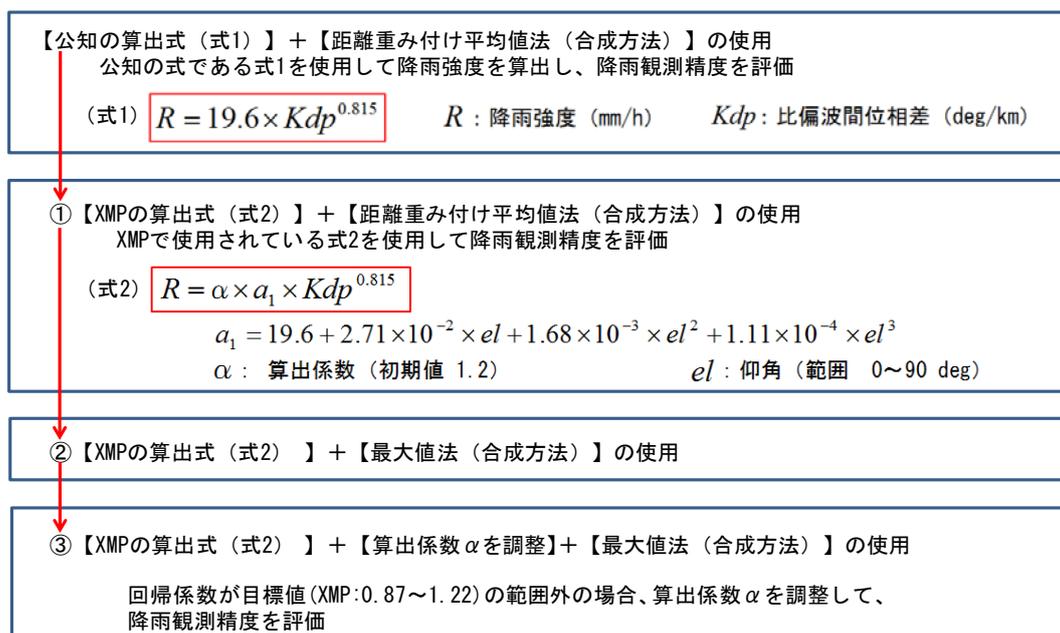


図 3-22 降雨観測精度向上検討手順

(2) 評価結果

XMP の算出式と最大値法を使用することで、回帰係数は、福井が 1.03 に、富山が 0.96 に大幅に改善した。降雨観測精度向上作業の各段階の評価結果を以下に示す。

1) XMP の算出式（式2）および距離重み付け平均値法（合成方法）の使用

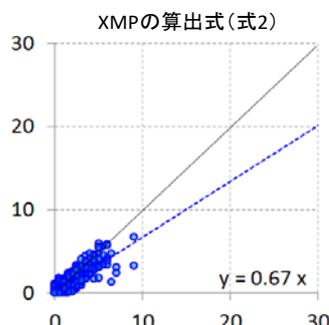
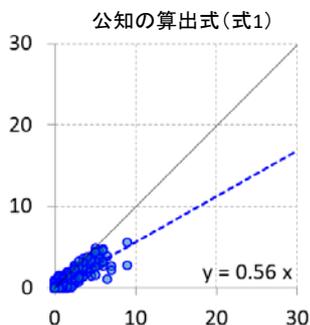
XMP の算出式を使用して降雨観測精度の検証を行った結果、公知の算出式に比べ回帰係数が向上した。

XMP の算出式を使用した場合の福井の降雨観測精度の評価結果を図 3-23 に、富山の降雨観測精度の評価結果を図 3-24 に示す。なお、評価ではレーダユニット 3 台中心位置から 10km 以内にある地上雨量計を用いた。

【福井】

地上雨量計：福井、第6排水区の2地点

縦軸：レーダ雨量
横軸：地上雨量計
単位：mm/10min



算出式種類	都市域レーダ		参考：XMP(※1)
	公知の算出式(式1)	XMPの算出式(式2)	
データ数(※2)	12096	12096	12096
評価指標	回帰係数	0.56	0.61
	相関係数	0.89	0.77
	RMSE	0.29	0.34

※1 能美局観測データ

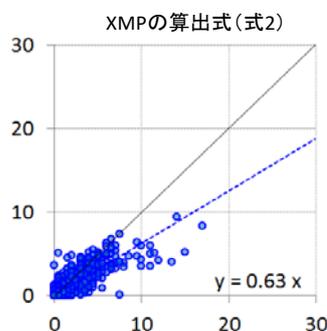
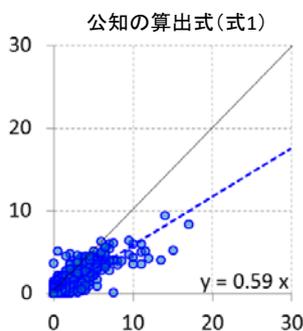
※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-23 (福井) XMP の算出式を使用

【富山】

地上雨量計：富山、呉羽排水区、秋ヶ島の3地点

縦軸：レーダ雨量
横軸：地上雨量計
単位：mm/10min



算出式種類	都市域レーダ		参考：XMP(※1)
	公知の算出式(式1)	XMPの算出式(式2)	
データ数(※2)	23328	23328	23328
評価指標	回帰係数	0.59	0.89
	相関係数	0.86	0.90
	RMSE	0.32	0.26

※1 水橋局と能美局の合成観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-24 (富山) XMP の算出式を使用

2) XMP の算出式 (式 2) および最大値法 (合成方法) の使用

本実証研究運用時の合成方法である距離重み付け平均値法を最大値法の合成方法に見直し、降雨観測精度の検証を行った結果、回帰係数が大幅に向上した。最大値法を使用した場合の福井の降雨観測精度の検証結果を図 3-28 に、富山の降雨観測精度の検証結果を図 3-29 に示す。なお、本実証研究運用時の合成方法である平均処理および見直した合成方法である最大値法の詳細を以下に示す。

・本実証研究運用時の合成方法

⇒ 【距離重み付け平均値法】

各レーダユニットの観測データを距離による重み付け平均処理して雨量を算出する方法。

《メリット》

レーダ探知範囲の境界付近において、隣接レーダとの降水強度に不連続が生じにくい。

《デメリット》

豪雨による降雨減衰の影響を受けたレーダの雨量データがあると、雨量を低く算出してしまう。降雨減衰により雨量を低く算出したレーダユニットの観測画像例とその時の 3 台合成画像例を図 3-25、図 3-26 に示す。

・見直した合成方法

⇒ 【最大値法】

レーダユニットの観測データの最大値を優先して雨量を算出する方法。

《メリット》

強い雨を確実に捉えることができる。

《デメリット》

レーダ探知範囲の境界付近において、隣接レーダとの降水強度に不連続が生じることがある。

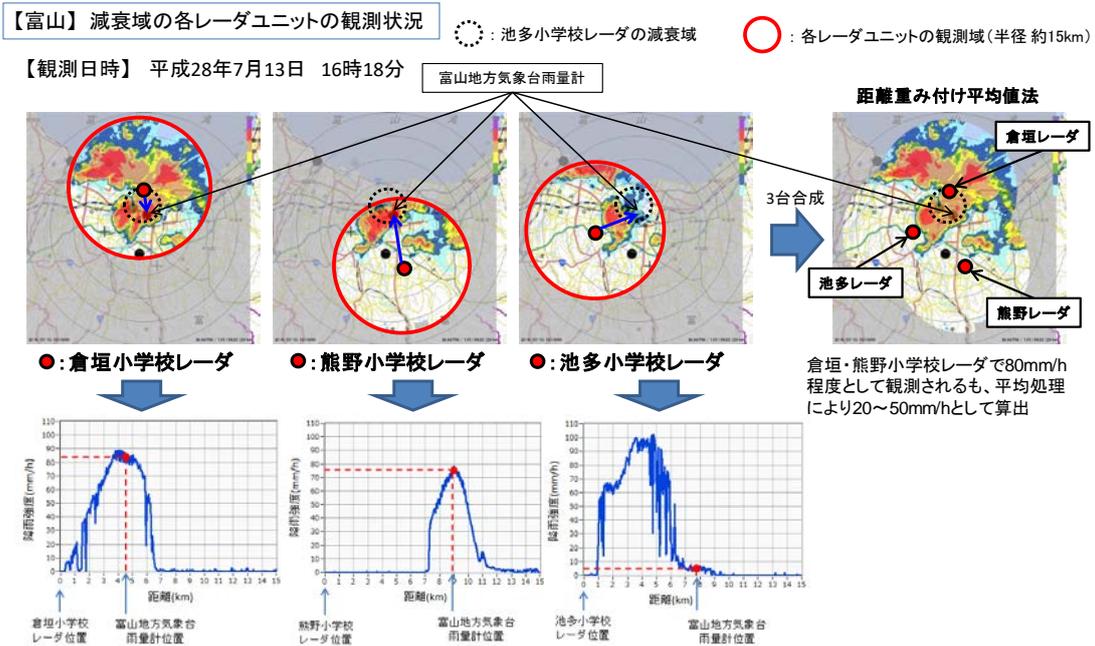


図 3-25 降雨減衰による観測画像例(富山 平成28年7月13日)

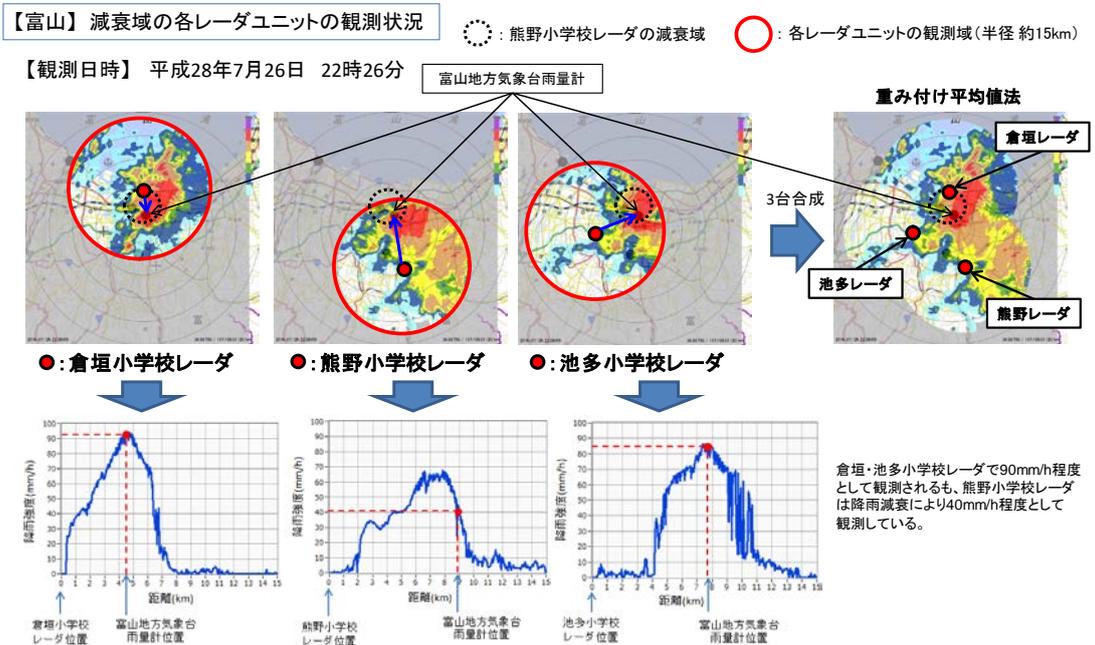


図 3-26 降雨減衰による観測画像例(富山 平成28年7月26日)

図 3-25 の池多小学校レーダおよび図 3-26 の熊野小学校レーダにおいて、受信電力が信号検出レベル以下になっていないため、欠測とはならなかったが、降雨減衰により雨量を低く算出していることがわかる。その結果、レーダユニット 3 台の合成雨量も低い値となるため、合成方法を各レーダユニットの観測データの最大値を優先して雨量を算出する最大値法にて降雨観測精度の検証を行った。

合成方法の違いによる観測画像の違いを図 3-27 に示す。中央の観測画像は最大値法により作成した観測画像で、左端の距離重み付け平均値法で作成した観測画像に比べて、降雨強度が高くなっている領域を確認することができる。

【富山】平成28年7月13日 16時23分の観測画像（XMPの算出式を使用）

下水道排水区域がある  の範囲において、最大値法が一番XMPに近い。

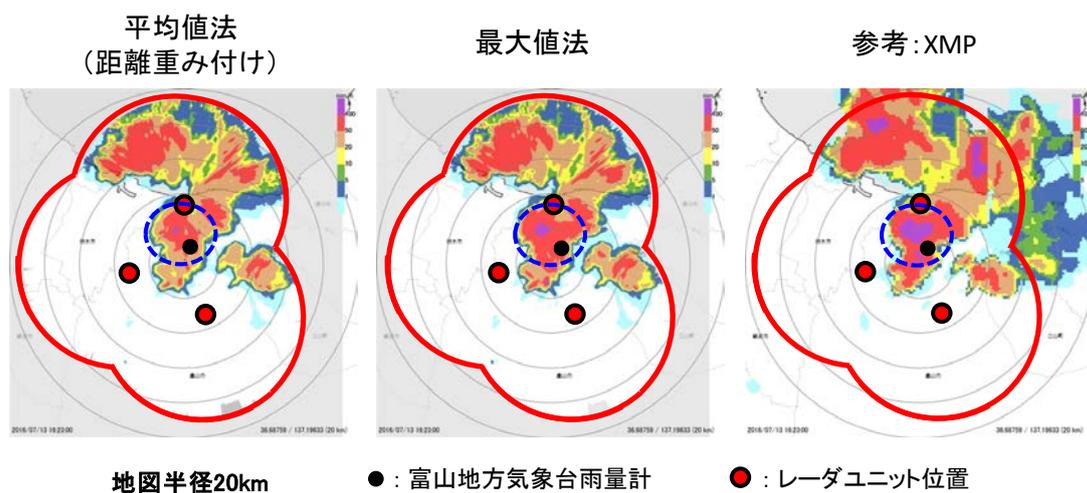
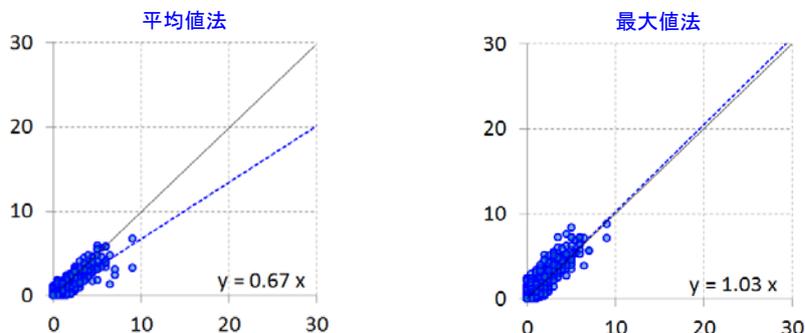


図 3-27 合成方法の違いによる観測画像の違い

【福井】

地上雨量計：福井、第6排水区の2地点

縦軸：レーダ雨量
横軸：地上雨量計
単位：mm/10min



合成方法		都市域レーダ		参考：XMP(※1)
		平均値法	最大値法	
データ数(※2)		12096	12096	12096
評価指標	回帰係数	0.67	1.03	0.61
	相関係数	0.89	0.90	0.77
	RMSE	0.26	0.27	0.34

※1 能美局観測データ

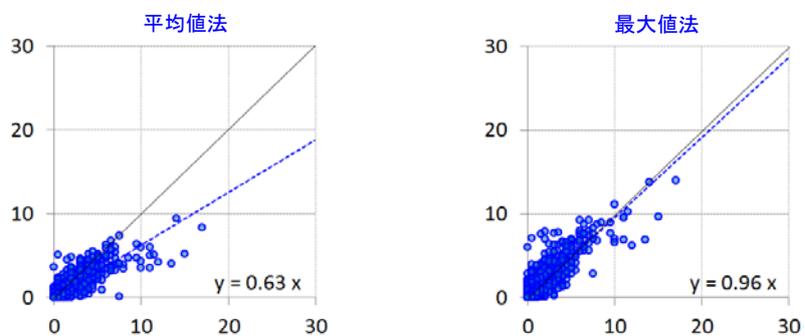
※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-28 (福井) 最大値法の合成方法により作成した散布図

【富山】

地上雨量計：富山、呉羽排水区、秋ヶ島の3地点

縦軸：レーダ雨量
横軸：地上雨量計
単位：mm/10min



合成方法		都市域レーダ		参考：XMP(※1)
		平均値法	最大値法	
データ数(※2)		23328	23328	23328
評価指標	回帰係数	0.63	0.96	0.89
	相関係数	0.85	0.88	0.90
	RMSE	0.31	0.30	0.26

※1 水橋局と能美局の合成観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

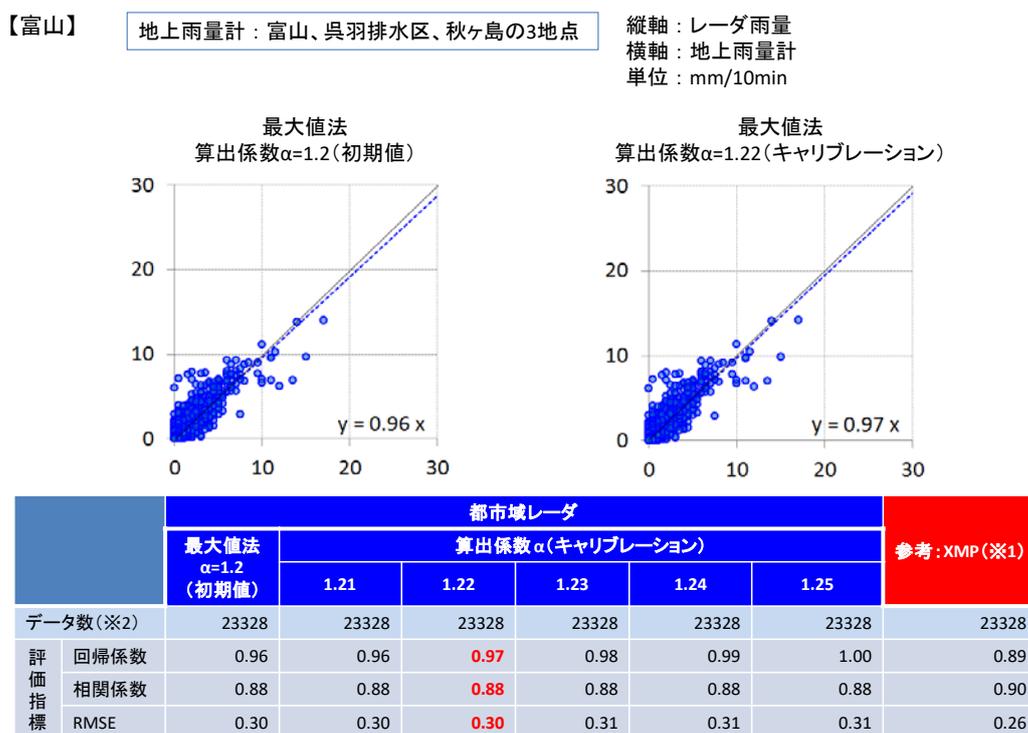
図 3-29 (富山) 最大値法の合成方法により作成した散布図

3) 算出係数 α の調整 (キャリブレーション)

降雨観測精度の評価指標において、回帰係数が目標値(XMP:0.87~1.22)の範囲外の場合、XMPの算出式(式2)の算出係数 α を調整して、回帰係数が1に近づくようキャリブレーションを実施する。ただし、回帰係数を1に近づけることで相関係数およびRMSEの値がキャリブレーション前に比べて悪化する場合は、悪化が最小限に留まるような算出係数を設定し、回帰係数を目標値(XMP:0.87~1.22)の範囲に収まるようキャリブレーションを実施する。

今回、キャリブレーション例として、最大値法で合成処理した結果、回帰係数が0.96となった富山においてキャリブレーションを実施した。

図3-30に示すとおり、算出係数 α が1.22の時に、相関係数およびRMSEが悪化せず、回帰係数が0.97に向上した。



※1 水橋局と能美局の合成観測データ

※2 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-30 (富山) キャリブレーション結果

3.3.6 距離分解能の違いによる降雨観測精度比較評価

(1) 評価方法

1) 目的

今後予定されている電波法関係法令改正により小型気象レーダの実用局としての免許を受けることが可能となる見込みである。ただし、占有周波数帯幅が限定されたため、距離分解能の変更（50m→75m）が必要である。距離分解能の変更作業を平成28年11月30日に実施し、12月1日より距離分解能75mで観測している。そこで、距離分解能75mの降雨観測精度確認を目的に距離分解能75mと50mの違いによる降雨観測精度の比較評価を行った。

なお、評価期間中に、規模の小さい降雨しか観測できなかったため、規模の大きな降雨を用いた距離分解能75mと50mとの観測精度の比較評価が課題として残る。

2) 性能・目標

①相関係数

距離分解能50mと比較して、距離分解能75mが同等であることとした。

②RMSE

距離分解能50mと比較して、距離分解能75mが同等であることとした。

3) 評価手順

①評価降雨選定

平成28年12月1日～12月31日の全降雨を対象に評価を行った。距離分解能75mの降雨観測状況一覧を表3-6に示す。ただし、雪を観測した日を除く（福井、富山ともに12/16が雪）。比較する距離分解能50mの降雨については、平成28年3月1日～11月30日の期間で、距離分解能75mの降雨と同規模程度の降雨を選定し、それぞれの降雨強度分布を示した図3-31により実際に同規模程度の降雨であるか確認した。その結果、データの分布（データ数の割合）が同じ形状のため、同規模程度の降雨であることを確認した。

表 3-6 距離分解能 75m の降雨観測状況一覧表

【福井】 距離分解能75m					【富山】 距離分解能75m				
No.	観測日	総雨量 (mm/日)	1時間最大雨量 (mm/h)	10分最大雨量 (mm/10min)	No.	観測日	総雨量 (mm/日)	1時間最大雨量 (mm/h)	10分最大雨量 (mm/10min)
1	2016/12/22	23.9	5.7	3.1	1	2016/12/27	65.5	12.3	2.5
2	2016/12/14	17.6	8.5	2.2	2	2016/12/8	11.8	5.4	1.7
3	2016/12/6	8.9	2.2	2.0	3	2016/12/29	18.0	6.4	1.5
4	2016/12/24	12.9	3.9	1.9	4	2016/12/10	9.8	3.2	1.5
5	2016/12/29	24.2	6.2	1.8	5	2016/12/17	24.6	4.9	1.4
6	2016/12/9	16.5	3.0	1.6	6	2016/12/6	9.3	2.4	1.4
7	2016/12/27	36.0	7.7	1.5	7	2016/12/9	12.9	2.2	1.4
8	2016/12/13	30.2	6.8	1.4	8	2016/12/13	20.4	5.3	1.3
9	2016/12/7	13.8	3.0	1.4	9	2016/12/14	23.4	3.7	1.3
10	2016/12/1	8.7	2.1	1.4	10	2016/12/7	3.3	1.4	1.2
11	2016/12/8	6.5	2.3	1.3	11	2016/12/22	9.9	4.6	1.1
12	2016/12/17	13.0	2.5	1.2	12	2016/12/23	7.2	1.9	1.1
13	2016/12/23	14.9	2.3	1.2	13	2016/12/1	5.6	1.3	0.9
14	2016/12/10	3.5	1.3	1.2	14	2016/12/24	3.8	2.3	0.8
15	2016/12/4	4.4	1.9	0.7	15	2016/12/11	6.6	1.4	0.6
16	2016/12/30	2.5	1.3	0.6	16	2016/12/15	3.4	1.1	0.5
17	2016/12/28	4.5	1.1	0.4	17	2016/12/26	2.8	0.6	0.2
18	2016/12/31	0.9	0.4	0.4	18	2016/12/28	0.8	0.4	0.2
19	2016/12/5	2.3	1.0	0.3	19	2016/12/30	1.5	0.7	0.1
20	2016/12/11	1.6	0.4	0.3	20	2016/12/5	0.9	0.4	0.1
21	2016/12/15	0.5	0.3	0.1					
22	2016/12/26	0.9	0.3	0.1					

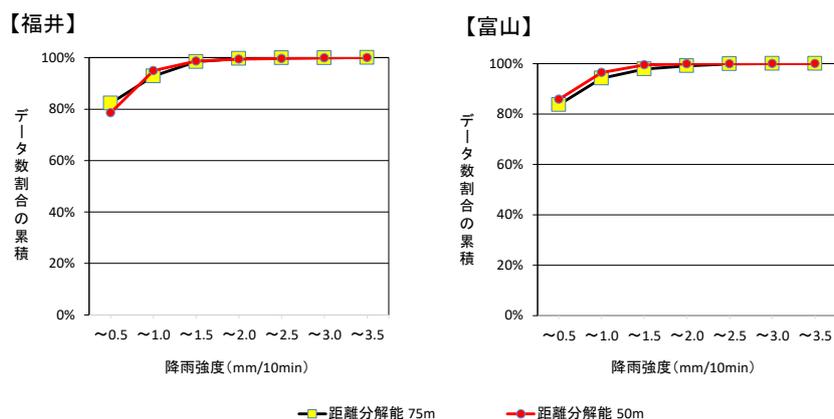


図 3-31 距離分解能毎の降雨強度分布

② 散布図による降雨観測精度比較

レーダユニット 3 台中心位置から 10km 以内に位置する地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ 10 分雨量で比較し、相関係数および RMSE の値で評価を行った。

③ ハイエトグラフによる降雨観測精度比較

下水道排水区域内に位置する地方気象台地上雨量計とレーダ雨量をそれぞれ 1 時間雨量で比較し、評価する。

なお、本実証研究においては、表 3-6 に示す 1 時間最大雨量の上位 5 降雨（黄色部分）で評価を行った。

(2) 評価結果

1) 散布図による降雨観測精度評価

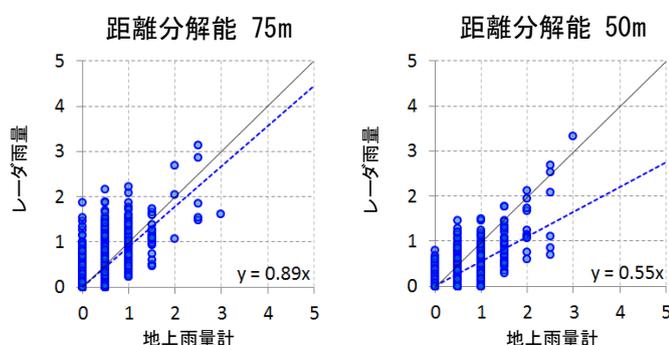
福井・富山ともに、相関係数およびRMSEの値は距離分解能50mと同等であった。よって、距離分解能75mの降雨観測精度は、距離分解能50mと同等であることが確認できた。

福井については、表3-4の降雨観測状況一覧の降雨を対象に距離分解能75mと50mの精度比較結果を図3-32に示す。

富山については、表3-5の降雨観測状況一覧の降雨を対象に距離分解能75mと50mの精度比較結果を図3-33に示す。

【福井】地上雨量計(①福井、②第六排水区)

雨量単位: mm/10min



算出式 合成方法	公知の算出式 平均値法
検証に 用いた 降雨	<距離分解能75m> 平成28年12月1日～ 12月31日 降雨観測日(22日間) (平成28年12月16日は 雪のため除外)
	<距離分解能50m> 平成28年3月1日～ 11月30日 同降雨強度の観測日 (22日間)
降雨強度 範囲	地上雨量計で 0～3.0 mm/10min

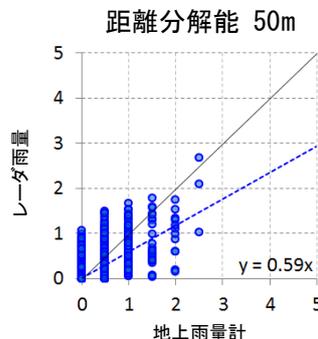
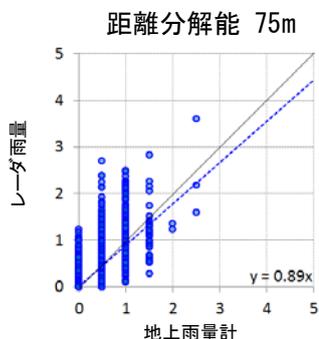
距離分解能		75m	50m
データ数(※)		6336	6336
評価指標	回帰係数	0.89	0.55
	相関係数	0.76	0.77
	RMSE	0.17	0.15

※ 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-32 (福井) 散布図による降雨観測精度比較

【富山】地上雨量計(①富山、②呉羽排水区、③秋ヶ島)

雨量単位: mm/10min



算出式 合成方法	公知の算出式 平均値法
検証に 用いた 降雨	<距離分解能75m> 平成28年12月1日～ 12月31日 降雨観測日(20日間) (平成28年12月16日は 雪のため除外)
	<距離分解能50m> 平成28年3月1日～ 11月30日 同降雨強度の観測日 (20日間)
降雨強度 範囲	地上雨量計で 0～2.5 mm/10min

距離分解能	75m	50m	
データ数(※)	8622(注)	8640	
評価指標	回帰係数	0.89	0.59
	相関係数	0.73	0.72
	RMSE	0.17	0.15

(注)地上雨量計(秋ヶ島)で
平成28年12月1日
21:10～24:00 欠測

※ 10分間雨量データの同じ時刻において、地上雨量計とレーダ雨量計の両方に雨量値が存在するデータ数

図 3-33 (富山) 散布図による降雨観測精度比較

2) ハイエトグラフによる降雨観測精度評価

福井・富山ともに、雨の降り始め、ピーク、雨が止むタイミングなど地上雨量計と相関がとれており、距離分解能 75m の降雨観測に問題ないことが確認できた。

3.4 レーダ雨量解析技術の特徴と性能評価

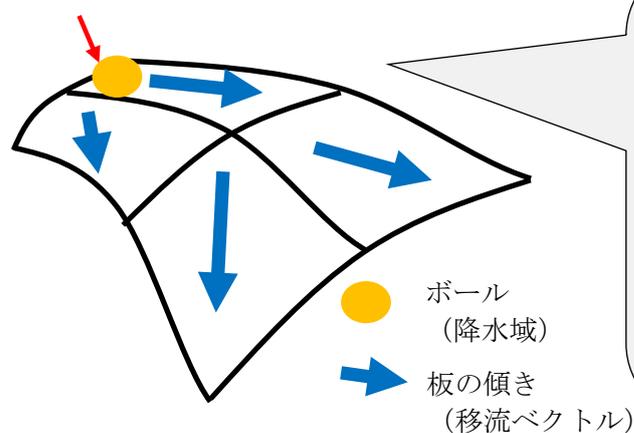
3.4.1 降雨予測モデルの理論

(1) 移流モデルの概念

1) 移流モデルの概要

移流モデルは、レーダ観測やアメダス等の雨量計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、運動学的に降雨を予測するものである。気象庁では、降水ナウキャスト等の短時間降雨予測に活用している。図 3-34 に移流モデルの概念を、図 3-35 に気象庁における移流モデルの活用例を示す。次頁以降に移流モデルの基礎理論式を示す。

板の傾きから将来のボールの動きを予測



移流モデルを概念的に示すと、ボールのようなものに見立てた降雨域が板の上を動いているとして、その板の傾き(移流ベクトル)を推測することで、将来のボールの動きを予測する手法である。板の傾きは、過去の板の傾きと現在のボールの位置から推定されるので、少しのずれがおきたりする。これが予測誤差の要因であり、移流モデルでは、これを考慮することができない。

図 3-34 移流モデルの概念

- ・ 降水ナウキャスト：1時間先までの5分毎の降水の強さを予報



図 3-35 気象庁における移流モデルの活用例

出典：気象庁 HP <http://www.jma.go.jp/jp/radnowc/>

2) 移流モデルの基礎理論式

移流モデルは以下の式で表現される。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} = w \quad (3.1)$$

ここに、 Z ：降雨強度、 t ：時間、 x ： x 成分、 y ： y 成分、

u ：移流ベクトルの x 方向成分、 v ：移流ベクトルの y 方向成分

w ：発達・衰弱項

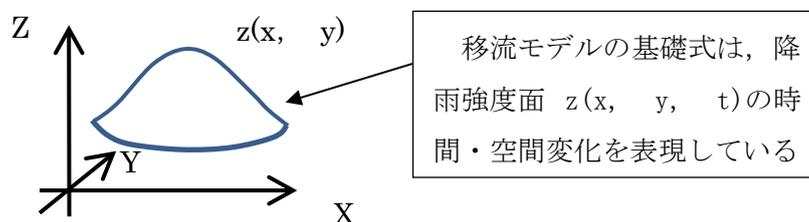


図 3-36 移流モデル基礎式のイメージ

地上の点 (x, y) における時刻 t の降雨強度が z であるとき、曲面 $z=z(x, y, t)$ を降雨強度面と呼ぶ。移流モデルでは、この降雨強度面を移流ベクトル (u, v) と発達・衰弱項 w によって変化させることにより降雨強度時空間分布データを外挿している。

以下、直原、中北の論文を一部引用しながら移流モデルについて概説する。

移流モデルの式(3.1)における移流ベクトル (u, v) 、発達・衰弱項 w は、平行移動に限らない雨域の変動を捉えられるようにするため、また線形最小二乗推定問題として定式化できるようにするために、これらを位置座標の一次式

$$u = c_1x + c_2y + c_3 \quad (3.2)$$

$$v = c_4x + c_5y + c_6 \quad (3.3)$$

$$w = c_7x + c_8y + c_9 \quad (3.4)$$

としている。ここで、 $c_1 \sim c_9$ は推定されるべきパラメータである。これらの式より、雨域の角速度 ω_{xy} 、せん断ひずみ速度 γ_{xy} 、 x 軸方向のひずみ速度 e_x 、 y 軸方向のひずみ速度 e_y は

$$\omega_{xy} = (-c_2 + c_4)/2 \quad (3.5)$$

$$\gamma_{xy} = c_2 + c_4 \quad (3.6)$$

$$e_x = c_1 \quad (3.7)$$

$$e_y = c_5 \quad (3.8)$$

として与えられる。もちろん、実際の雨域の移動は式(3.1)から式(3.4)で表現されるよりも複雑であるが、これ以上の雨域の変動を考慮に入れることはパラメータの同定・予測に必要な計算時間を増大させるだけで、実時間予測という観点からは好ましくない。

3) パラメータの同定

気象観測用レーダの観測範囲を網羅するような長方形領域をとり、それを Δx , Δy のメッシュ区画に分割する。このとき、

$$x_i = \left(i - \frac{1}{2}\right) \Delta x, \quad i = 1, \dots, M \quad (3.9)$$

$$y_j = \left(j - \frac{1}{2}\right) \Delta y, \quad j = 1, \dots, N \quad (3.10)$$

$$t_k = k\Delta t, \quad k = 0, \dots, -k-1 \quad (3.11)$$

とする。ただし、 Δt はデータの時間間隔、 M および N はそれぞれ x 方向、 y 方向のメッシュ区画数、 $(k+1)\Delta t$ はパラメータ同定に使用する過去のデータの長さである。座標 (x_i, y_j) は元の長方形領域の左から i 行 j 列目のメッシュ区画の中心点の座標である。

点 (x_i, y_j) 、時刻 t_k の偏微分を

$$\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)_{ijk} = \frac{z(x_i, y_j, t_{k+1}) - z(x_i, y_j, t_{k-1})}{2\Delta t} \quad (3.12)$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{ijk} = \frac{z(x_{i+1}, y_j, t_k) - z(x_{i-1}, y_j, t_k)}{2\Delta x} \quad (3.13)$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{ijk} = \frac{z(x_i, y_{j+1}, t_k) - z(x_i, y_{j-1}, t_k)}{2\Delta y} \quad (3.14)$$

のように近似し、

$$v_{ijk} = -\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)_{ijk} - \left\{ (c_1 x_i + c_2 y_j + c_3) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_{ijk} + (c_4 x_i + c_5 y_j + c_6) \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_{ijk} - (c_7 x_i + c_8 y_j + c_9) \right\} \quad (3.15)$$

とおく。パラメータ $c_1 \sim c_9$ が正しく同定されれば、 v_{ijk} は0（ゼロ）となるべきものである。したがって、

$$J_c = \sum_{k=-K}^{-1} \sum_{i=2}^{M-1} \sum_{j=2}^{N-1} v_{ijk}^2 \quad (3.16)$$

を最小にするように $c_1 \sim c_9$ を推定する。

実際には重回帰分析の重回帰式は式(3.15)を変形して

$$a_{ijk}^1 c_1 + a_{ijk}^2 c_2 + \cdots + a_{ijk}^9 c_9 = b_{ijk} - v_{ijk} \quad (3.17)$$

となる。ただし,

$$a_{ijk}^1 = x_i \left[\frac{\partial z}{\partial x} \right]_{ijk} \quad (3.18)$$

$$a_{ijk}^2 = y_j \left[\frac{\partial z}{\partial x} \right]_{ijk} \quad (3.19)$$

$$a_{ijk}^3 = \left[\frac{\partial z}{\partial x} \right]_{ijk} \quad (3.20)$$

$$a_{ijk}^4 = x_i \left[\frac{\partial z}{\partial y} \right]_{ijk} \quad (3.21)$$

$$a_{ijk}^5 = y_j \left[\frac{\partial z}{\partial y} \right]_{ijk} \quad (3.22)$$

$$a_{ijk}^6 = \left[\frac{\partial z}{\partial y} \right]_{ijk} \quad (3.23)$$

$$a_{ijk}^7 = -x_i \quad (3.24)$$

$$a_{ijk}^8 = -y_j \quad (3.25)$$

$$a_{ijk}^9 = -1 \quad (3.26)$$

$$b_{ijk} = - \left[\frac{\partial z}{\partial t} \right]_{ijk} \quad (3.27)$$

の形で考える。ここで、 $a_{ijk}^1, \dots, a_{ijk}^9, b_{ijk}$ はメッシュごとに決まる定数となる。

(2) 特異移流モデルの概念

1) 特異移流モデルの概要

降雨予測の誤差の原因は、初期値に含まれる誤差が拡大することに起因し、その誤差は時間の経過とともに拡大し、大きな誤差へと発展する。観測データの誤差や解析手法の限界から、初期値に含まれる誤差をゼロにすることはできず、時間とともに誤差が拡大することは避けることはできない。

そこで、このような誤差の拡大を事前に把握するため、少しずつ異なる初期値を多数用意するなどして多数の予測を行う「特異移流モデル」を用いる。本モデルからは複数の予測が求められるので、その平均やばらつきの程度といった統計的な性質を利用して最も起こりやすい現象の予測ができる。気象庁では、台風進路予報や季節予報等のため、数値予報に「アンサンブル(集団)予報」の手法を用いている。

本実証の特異移流モデルは、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 of 予測値を算出するモデルであり、誤差の広がりが大きければ、最も大きな雨に備えた対策(安全側対策)を採用することを可能とする。これらは比較的小さな流域を扱う場合に適しており、実証フィールドに適用して浸水予測まで行うのはこれまでになく、実証研究の独自の試みである。

なお、複数の予測から安全側の予測を採用することについては、一方で予測情報の空振りが増えやすくなる可能性もあることから、目的に応じた予測を用いるなどの留意が必要である。

図 3-37 に特異移流モデルの予測算出フローを、図 3-38 に気象庁におけるアンサンブル予報の活用例を示す。

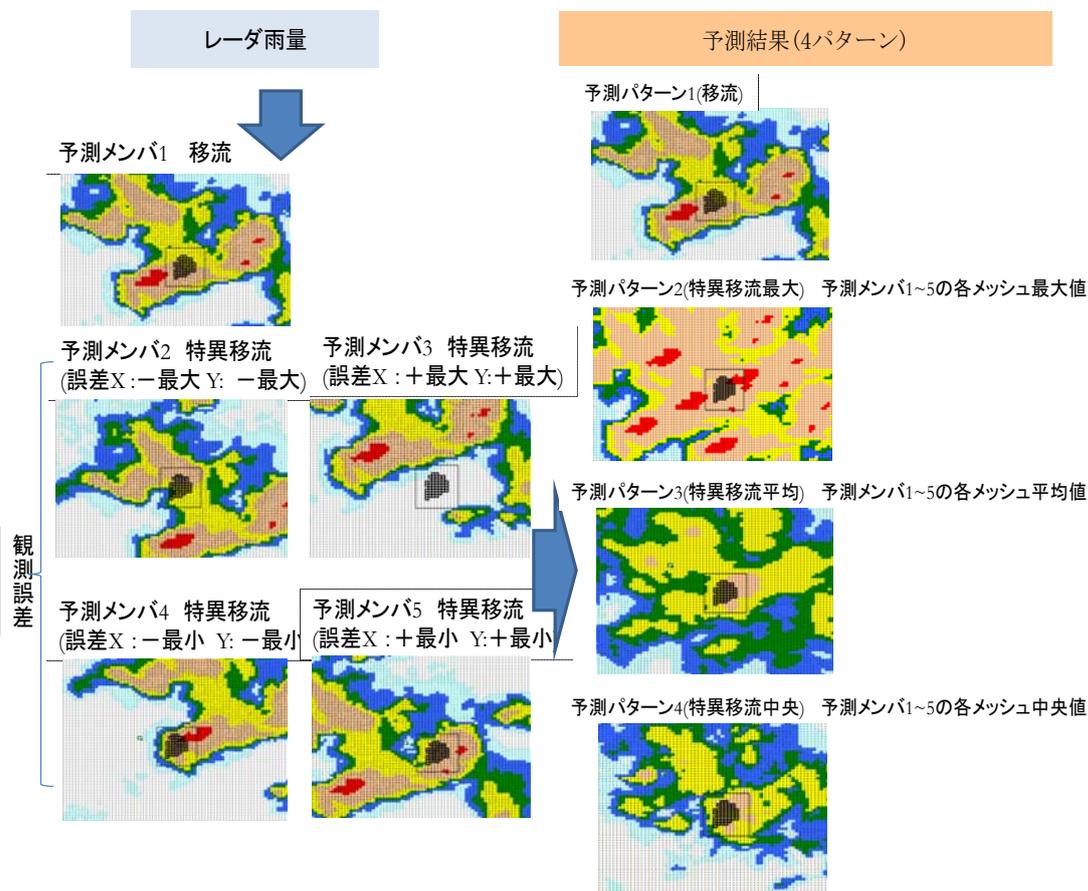


図 3-37 特異移流モデルの予測算出フロー

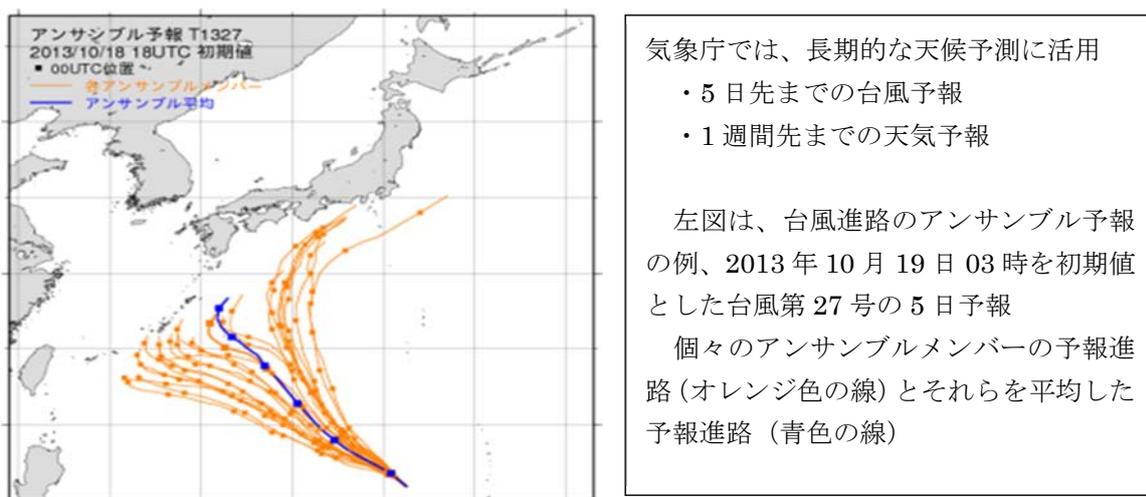


図 3-38 気象庁におけるアンサンブル予報の活用例

出典：気象庁 HP <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

2) 特異移流モデルの基礎理論式

特異移流モデルは、以下の式で表現される。

$$u = \frac{d(x \pm \delta_x)}{dt} = c_1(x \pm \delta_x) + c_2(y \pm \delta_y) + c_3 \quad (3.28)$$

$$v = \frac{d(y \pm \delta_y)}{dt} = c_4(x \pm \delta_x) + c_5(y \pm \delta_y) + c_6 \quad (3.29)$$

ここに、 Z ：降雨強度、 t ：時間、 x ： x 成分、 y ： y 成分、

u ：移流ベクトルの x 方向成分、 v ：移流ベクトルの y 方向成分

w ：発達・衰弱項

δx ：移流ベクトルの初期摂動 x 方向成分

δy ：移流ベクトルの初期摂動 y 方向成分

3) 初期摂動の算出方法

①初期特異ベクトル m_1 , m_2 の算出

移流モデルにおける特異ベクトルの定義およびその求め方を以下に示す。移流モデルでは移流ベクトル u , v および発達衰弱項 w が位置の座標 (x, y) を用いて式(3.2)から式(3.4)のように表される。特異ベクトル法は移流ベクトル u , v の摂動を分析する際に使用する。式(3.2)および式(3.3)より2次元ヤコビアン行列 \mathbf{J} は

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 \\ c_3 & c_4 \end{pmatrix} \quad (3.30)$$

となり、パラメータ $c_1 \sim c_4$ が同定されると \mathbf{J} は容易に求められる。

ここでヤコビアン行列 \mathbf{J} の固有ベクトル \mathbf{p}_1 , \mathbf{p}_2 を用いて固有ベクトル行列 $\mathbf{P} = (\mathbf{p}_1 \ \mathbf{p}_2)$ とすると、誤差行列 \mathbf{L} はヤコビアン行列 \mathbf{J} およびヤコビアン行列 \mathbf{J} の固有値 λ_1 , λ_2 , 固有ベクトル行列 \mathbf{P} により次のように定義される。

$$\mathbf{L} = \mathbf{P} \mathbf{e}^{\tau \mathbf{J}} \mathbf{P}^{-1} = \mathbf{P} \begin{pmatrix} e^{3\lambda_1} & 0 \\ 0 & e^{3\lambda_2} \end{pmatrix} \mathbf{P}^{-1} \quad (3.31)$$

τ は特異ベクトルが線形的に増幅すると仮定される時間であり、Ratih Indri Hapsariの論文に倣い $\tau = 3$ [hour]とした。

ここで誤差行列 \mathbf{L} の転置行列を \mathbf{L}^T と表記し、 $\mathbf{L} \mathbf{L}^T$ を前方スキーム (forward scheme), $\mathbf{L}^T \mathbf{L}$ を後方スキーム (backward scheme)と呼ぶ。初期摂動の作成に用いる初期特異ベクトル行列 \mathbf{M} は、この前方スキームの固有値 σ_1^1 , σ_2^1 の固有ベクトル \mathbf{m}_1 , \mathbf{m}_2 より

$$\mathbf{M} = (\mathbf{m}_1 \quad \mathbf{m}_2) \quad (3.32)$$

となる。ここで、初期特異ベクトル行列 \mathbf{M} のノルムが1となるように固有ベクトル \mathbf{m}_1 , \mathbf{m}_2 の値を調整しておく（なお、この後に得られる最終特異ベクトル行列 \mathbf{N} も同様にする）。

一方、後方特異ベクトルの固有値 σ_1^2 , σ_2^2 からそれぞれ求められた固有ベクトル \mathbf{n}_1 , \mathbf{n}_2 は最終特異ベクトル行列

$$\mathbf{N} = (\mathbf{n}_1 \quad \mathbf{n}_2) \quad (3.33)$$

を成す。最終特異ベクトル行列 \mathbf{N} は、初期特異ベクトル行列が発展した3時間後の結果となっている。

②初期摂動の算出

初期特異ベクトル \mathbf{m}_1 , \mathbf{m}_2 を用いて初期の誤差（摂動）を作成する。作成手順は以下の通り。

(a)時刻 $t = \Delta t$ の予測結果を得る。

(b)手順(a)で得られた時刻 $t = \Delta t$ の予測結果を現在時刻 $t = 0$ の降雨強度分布、時刻 $t = \Delta t$ に観測された降雨強度分布を $t = -\Delta t$ の降雨強度分布として移流モデルに入力し、改めてパラメータ同定を行う。ここではパラメータ $c_7 \sim c_9$ はあらかじめ0（ゼロ）としておく。

(c)手順(b)で同定されたパラメータを用い、格子点ごとに式(3.2), 式(3.3)から移流ベクトルを算出する。

(d)限られた範囲（対象流域、都市域など）のx方向成分 u , y方向成分 v のそれぞれの平均値を誤差ベクトル u_{error} , v_{error} とする

(e)次の手順で誤差ベクトル u_{error} , v_{error} から位置ベクトルを求める。

Step1: 手順②で同定されたパラメータ c_3 , c_6 を誤差ベクトル u_{error} , v_{error} からそれぞれ

引いたものを $\begin{pmatrix} u_{error} \\ v_{error} \end{pmatrix}_{process}$ とする。

$$\begin{pmatrix} u_{error} \\ v_{error} \end{pmatrix}_{process} = \begin{pmatrix} u_{error} \\ v_{error} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_3 \\ c_6 \end{pmatrix} \quad (3.34)$$

Step2 : $\begin{pmatrix} u_{error} \\ v_{error} \end{pmatrix}_{process}$ と手順②で同定されたパラメータ $c_1 \sim c_6$ から以下の式により誤差の

位置ベクトル $\begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix}$ を求める。

$$\begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 \\ c_4 & c_5 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u_{error} \\ v_{error} \end{pmatrix}_{process} \quad (3.35)$$

(f) 前方スキームから求められた初期特異ベクトル \mathbf{m}_1 , \mathbf{m}_2 を手順(e)で得られた誤差の位置ベクトルの長さに合わせる (スケーリング)。

$$\text{scaled Singular Vector} = \boldsymbol{\delta}(\delta_x, \delta_y) = \frac{\Delta t \sqrt{e_x^2 + e_y^2}}{\|\mathbf{m}_i\|} \mathbf{m}_i, \quad (i = 1, 2) \quad (3.36)$$

(g) スケーリングした初期特異ベクトルを移流ベクトルの式, 式(3.2), 式(3.3)の位置座標 (x, y) に足し引きし, 初期摂動を得る。

$$u = \frac{d(x \pm \delta_x)}{dt} = c_1(x \pm \delta_x) + c_2(y \pm \delta_y) + c_3 \quad (3.37)$$

$$v = \frac{d(y \pm \delta_y)}{dt} = c_4(x \pm \delta_x) + c_5(y \pm \delta_y) + c_6 \quad (3.38)$$

4) 予測パターンの概要および特性

移流モデル、特異移流モデルの予測パターンの概要および特性について表 3-7 に示す。

表 3-7 予測パターンの概要および特性

予測パターン		予測値の概要	予測雨量の特性		適用性 ^{※1}	
			メリット	デメリット	施設 運転 支援	自助 共助 支援
移流モデル		誤差を考慮しない1メンバーのみの予測値。	予測誤差が小さく、適切な施設運転支援情報の提供が可能。	予測誤差がマイナスになることがあり、その誤差を考慮して基準水位等を設定する必要がある。	○	△
特異 移流 モデル	平均 中央	5メンバーの予測のうち、各メッシュの平均・中央値を採用。	同上	同上	○	△
	最大	5メンバーの予測のうち、各メッシュの最大値を採用。	予測誤差がプラスになり、自助・共助支援において見逃しの無い安全側の予測が可能。	予測誤差がプラスになり、自助・共助支援において空振りが多くなる。	△	○

○：適用性が高い，△：適用性が低い

※1 実証技術では、適用性の判断基準として以下の通り設定した。

- 施設運転支援

適切な施設運転支援を可能とすることを目標とし、誤差が小さい予測パターンを選定した。

- 自助・共助支援

見逃しの無い安全側の予測が可能であり、自助・共助におけるリードタイムを確保可能であることを目標とし、誤差がプラスとなる予測パターンを選定した。

3.4.2 降雨予測手順

(1) 移流モデルの予測手順

1) 降雨観測データの読み込み

降雨観測値（レーダ観測値）を読み込む。

2) パラメータ C1～C9 の設定

回帰式（移流モデルの基礎式より）より、観測データから格子点毎に求められる定数 C1～C9 を設定する。

表 3-8 パラメータ制約による予測降雨場の変化パターン

(※「✓」は有効とするパラメータを示す)

予測パターン	降雨場の変化	パラメータの条件								
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
1-Parallel motion	降雨強度面の変化を平行移動のみに限定した場合。降雨強度面の発達・衰弱は考慮しない。			✓			✓			
2-Rotation motion	降雨強度面の変化を平行移動および回転のみに限定する場合。降雨強度面の発達・衰弱は考慮しない。		✓	✓	✓		✓			
3-Full motion	降雨強度面の変化に制約を設けない場合。降雨強度面の発達・衰弱は考慮しない。	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
4-Parallel & Growth	降雨強度面は平行移動させ、降雨強度面の発達・衰弱項を有効にした場合。			✓			✓	✓	✓	✓
5-Rotation & Growth	降雨強度面は平行移動および回転に加え、発達・衰弱しながら変化する。		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
6-Full motion & Growth	パラメータに制限を設けず、すべてのパラメータを有効にして予測を行う。	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3) 予測メンバーの出力

推定したパラメータと移流モデルの式から現在時刻の降雨強度面を変化させ、将来の降雨強度面を予測する。移流モデルでは1メンバーの予測値を出力する。

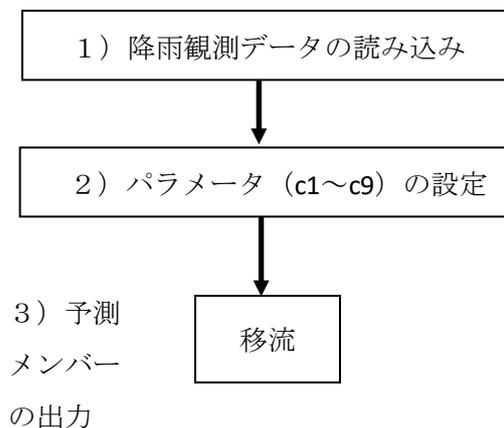


図 3-39 移流モデルの予測手順

(2) 特異移流モデルの予測手順

1) 降雨観測データの読み込み

降雨観測値（レーダ観測値）を読み込む。

2) パラメータ (C1~C9) の設定

回帰式（移流モデルの基礎式より）より、観測データから格子点毎に求められる定数 C1~C9 を設定する。

3) 観測誤差の設定

予測評価領域の「誤差の方向」に「誤差の大きさ」を与えることにより、誤差が最大・最小に発展する方向を求める。誤差が最小に発展する方向 $\delta 1$ 、誤差が最大に発展する方向 $\delta 2$ を XY 方向に足し引きすることにより、誤差を考慮した 4 メンバーの降雨予測結果を得る。

①誤差の方向：摂動の線形発展理論によって最大・最小に発展する初期値の摂動方向（特異ベクトル）を決定する。

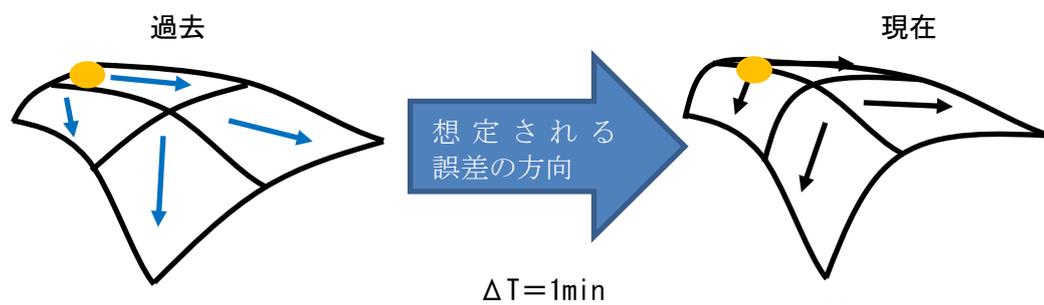


図 3-40 誤差の方向の概念

②誤差の大きさ：「移流モデルによる過去 ($\Delta T=1\text{min}$)を起点とした現在の予測値」－「現在の実測値」より、誤差の大きさを予測誤差の平均値として算出する。

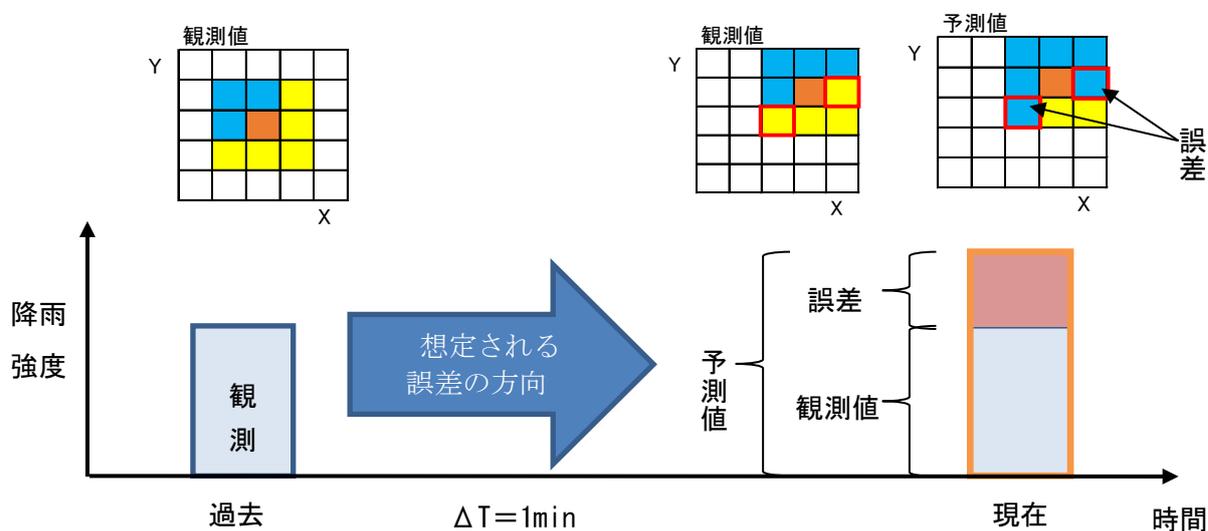


図 3-41 誤差の大きさの概念

4) 予測メンバーの出力

推定したパラメータと移流モデルの式から現在時刻の降雨強度面を変化させ、将来の降雨強度面を予測する。特異移流モデルでは、移流モデル 1 メンバーと特異移流モデルによる 4 メンバーの計 5 メンバー予測値を出力する。

5) 予測値の処理

特異移流モデルによる移流モデル 1 メンバーと特異移流モデル 4 メンバーの計 5 メンバー予測値はのそれぞれの予測メンバーの各メッシュの値に対し「最大値」、「平均値」、「中央値」を求め、3 パターンの予測値（統計量）を算出する。

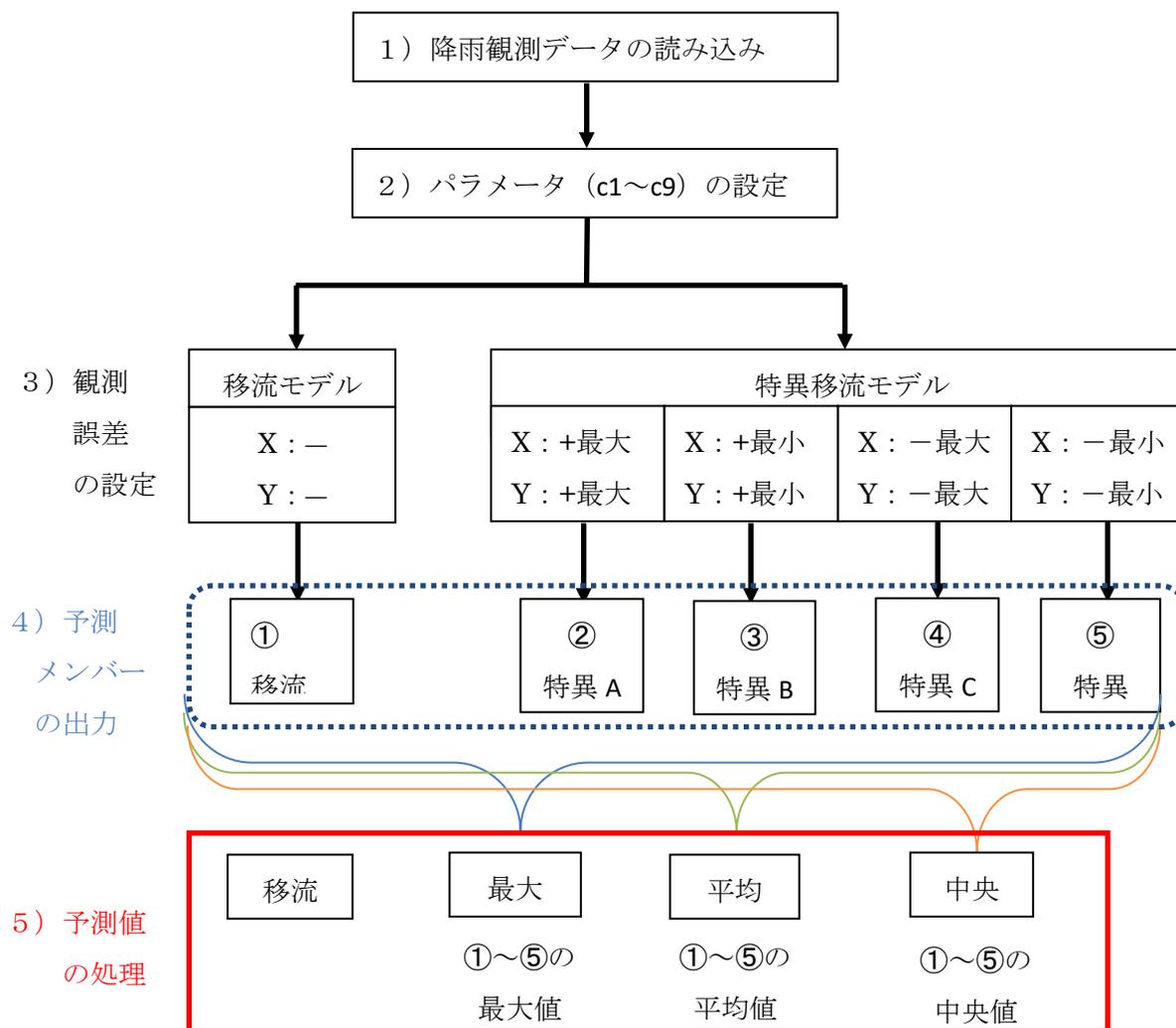


図 3-42 特異移流モデルの予測手順

3.4.3 降雨予測モデルの適用範囲

降雨予測手法は、力学的または運動学的な解法によるものに大別される。

- ・力学的解法による予測（数値気象モデル）

降雨強度、気温、気圧、風速、湿度等の複数の初期値より予測を行う手法。

- ・運動学的解法による予測

レーダ等から得られる降雨強度二次元分布データを用いて予測を行う。

移流モデルおよび特異移流モデルは、運動学的な解法にて降雨の移動過程を予測するものであり、以下に降水現象に対する適用性について示す。

- ・熱雷や線状降水帯といわれる積乱雲に起因する豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）は、運動学的な解法にてその現象を十分に捉えることができ、本予測モデル適用性は高い。ただし、発達途中の集中豪雨に対しては、例えば 10 分後の発達過程については予測が困難ではあるが、1 分周期にて観測する降雨情報よりその発達過程を随時補完し予測に反映することにより、予測精度を高めることができる。
- ・台風や前線による降雨は、力学的に現象をとらえる必要があり、前者の降水現象に比べ、本予測モデル（運動学的な解法）による適用性は低い。

表 3-9 降水現象に対する運動学的降雨予測モデルの適用性

降水現象	特長	適用性
台風	台風は、積乱雲が集まったもので、強い風と共に、広範囲かつ長時間にわたって降雨が発生する。	△
前線	前線は、寒冷前線・温暖前線・停滞前線・閉塞前線に分類され、寒冷前線、閉塞前線にて強い降雨が発生する。	○
熱雷	熱雷とは、夏季強い日射により局地的に発生する積乱雲による豪雨。短時間・局所的に強い雨が発生する。いわゆる近年のゲリラ豪雨。	◎
線状降水帯	積乱雲が帯状に並び、長時間・広域にわたり強い雨が発生する。	◎
雨雪まじり、雪	雨雪まじり、雪が降るものであり、降水量としては非常に小さい。	—

3.4.4 降雨予測精度の評価

(1) 評価方法

1) 目的

降雨予測精度の評価基準として自助・共助支援では、最悪の状況においても自助対応のリードタイムを確保することが必要であり、施設運転支援では、24時間、365日（小降雨～大降雨）を通して予測精度が高いことが求められる。これら用途に応じて適切な降雨予測パターンを選定するため、降雨予測パターンごとの降雨予測精度を確認した。

2) 性能・目標

実証研究では、移流、特異平均、特異中央、特異最大の4パターンの降雨予測パターンの予測精度を比較し、降雨予測パターンごとに以下の基準で評価を実施した。評価をするうえで、5分後、15分後、25分後それぞれの予測雨量を平均化することにより、予測パターン毎の予測雨量の傾向を捉え、用途に応じた予測性能の確認を実施した。

①10分間雨量の予測誤差

瞬間的な降雨量の評価として10分間雨量の誤差量にて、精度評価を行った。

「5、15、25分後予測の各時刻の10分間雨量の予測誤差の累計値／予測数」が0に近いものを、予測精度が高いと判定した。

②累積雨量の予測誤差

全体的な降雨量の評価として累積雨量の誤差量にて、精度評価を行った。本実証研究では「5、15、25分後予測の累積雨量の予測誤差の累計値／3」が0に近いものを予測精度が高いと判定した。

3) 評価手順

降雨予測パターン（移流，特異最大，特異平均，特異中央）毎の降雨予測精度を 5 分後，15 分後，25 分後予測の 10 分間雨量および累積雨量の平均誤差量により比較を行った。実証研究における評価手順を図 3-43 に示す。

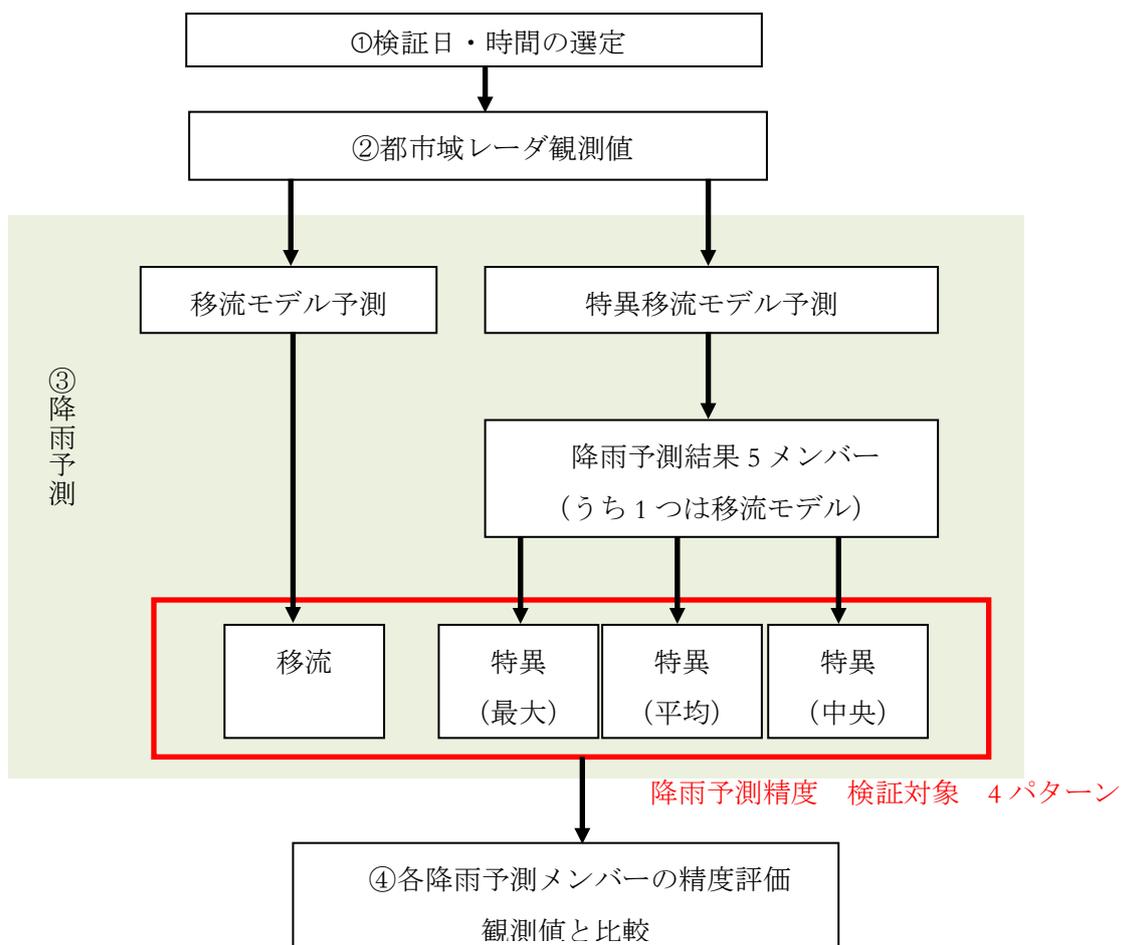


図 3-43 短時間降雨予測モデル評価手順

①評価日・時間の選定

評価日・時間は，40mm/h 以上の降雨が評価領域内に発生した時間帯を抽出する。

②都市域レーダ観測値

都市域レーダ観測情報を予測モデルにインプットする。

③降雨予測

移流モデルおよび特異移流モデルの 30 分間予測値を出力する。

④各降雨予測パターンの精度評価

各降雨予測値と観測値の誤差を比較する。

4) 評価範囲

評価範囲は、以下のとおりした。

福井市：福井市内の全排水区

富山市：呉羽排水区

(2) 評価結果

1) 特異移流予測メンバーの降雨分布確認

特異移流モデルの予測雨量の評価をするうえで、移流モデルに与えた誤差によって空間的な広がりをもった5つの予測メンバーが示す降雨域の範囲内に、評価対象である排水区が捉えられていることを確認した。確認結果について、最も強い雨を観測した富山 平成28年7月26日の中から、10分後予測結果を事例として図3-44および図3-45に示す。

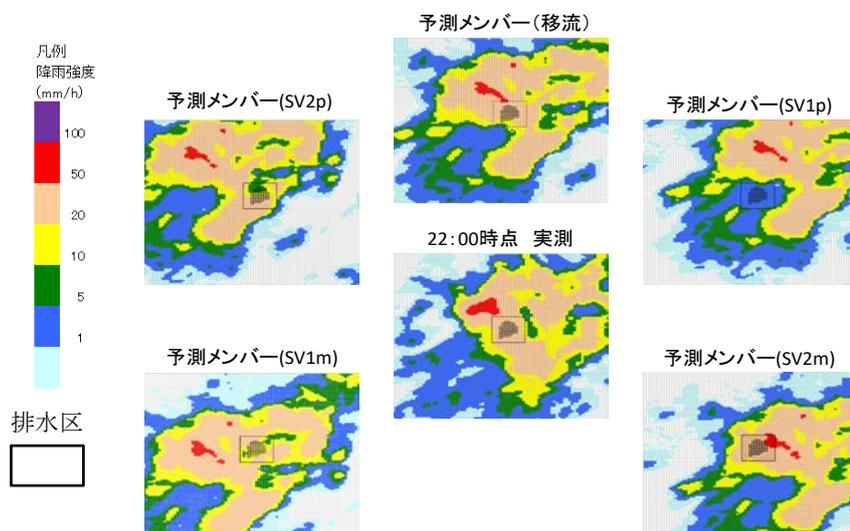


図 3-44 予測メンバー降雨分布 (平成28年7月26日 22時00分の予測結果)

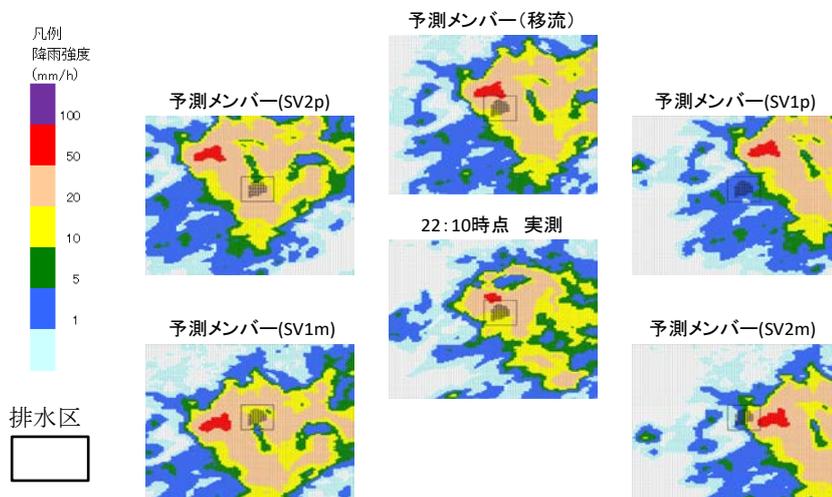


図 3-45 予測メンバー降雨分布（平成 28 年 7 月 26 日 22 時 10 分の予測結果）

2) 雨量の評価結果

平成 28 年 4 月 1 日～11 月 30 日までの全降雨のうち、福井・富山の情報配信基準水位を超える降雨で解析を実施した。累積雨量、10 分間雨量の誤差量の評価結果を表 3-10 および表 3-11 に示す。

①累積雨量

（福井）誤差量(mm) 移流-1.3 特異最大+12.3 特異平均-2.6 特異中央-5.1

（富山）誤差量(mm) 移流-4.4 特異最大+13.5 特異平均-6.5 特異中央-10.1

- ・移流，特異平均が実測値に近い値となった。
- ・概ね特異最大がプラス方向の誤差となった。

表 3-10 短時間降雨予測モデル 累積雨量の評価結果

福井市					
検証対象降雨	累積雨量 (mm)				
	実測 (都市域レーダ)	移流	特異 最大	特異 平均	特異 中央
7月13日(05:40～07:00)	13.7	13.7(0.0)	26.0(+12.3)	11.7(-2.0)	9.4(-4.3)
10月9日(01:10～04:10)	22.2	23.4(+1.2)	42.2(+20.0)	21.1(-1.1)	17.5(-4.7)
8月20日(18:40～20:30)	13.8	7.6(-6.2)	19.6(+5.8)	7.5(-6.3)	4.9(-8.9)
9月8日(09:00～11:00)	14.5	14.8(+0.3)	26.2(11.7)	12.5(-2.0)	10.5(-4.0)
6月22日(19:50～21:20)	13.3	11.7(-1.6)	24.8(+11.5)	11.8(-1.5)	9.5(-3.8)
平均誤差量	-	-1.3	+12.3	-2.6	-5.1
富山市					
検証対象降雨	累積雨量 (mm)				
	実測 (都市域レーダ)	移流	特異 最大	特異 平均	特異 中央
7月26日(21:30～23:50)	43.3	35.5(-7.6)	65.7(+22.6)	28.7(-14.4)	24.7(-18.4)
9月18日(05:00～09:50)	31.7	33.5(+1.8)	53.1(+21.4)	33.0(+1.3)	29.7(-2.0)
7月13日(15:50～16:30)	15.1	6.5(-8.6)	11.5(-3.6)	4.0(-11.1)	2.2(-12.9)
7月13日(18:30～19:30)	14.4	11.3(-3.1)	35.7(+21.3)	12.0(-2.4)	6.8(-7.6)
8月09日(10:00～12:30)	11.6	7.0(-4.6)	17.6(+6.0)	5.5(-6.1)	2.2(-9.4)
平均誤差量	-	-4.4	+13.5	-6.5	-10.1

※ 表に示す予測値は、5分後、15分後、25分後予測の累積雨量を平均化した値

※ ()内は予測した累積雨量と観測した累積雨量の差分(誤差量)

次頁の図 3-46 から図 3-55 に累積雨量の評価結果を示す。

□福井市 平成28年7月13日

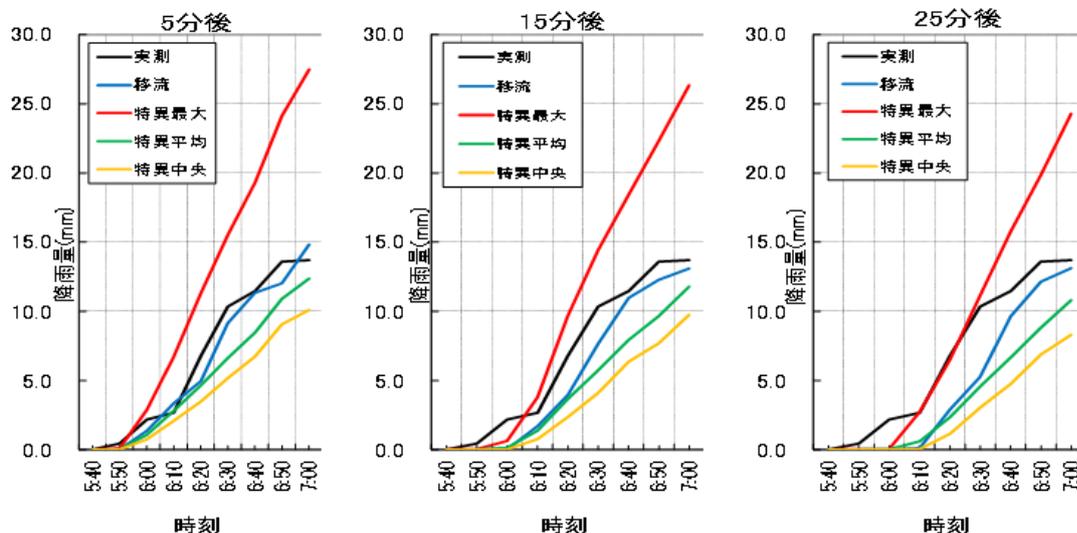


図 3-46 累積雨量の評価結果 (福井市 平成 28 年 7 月 13 日)

□福井市 平成28年10月9日

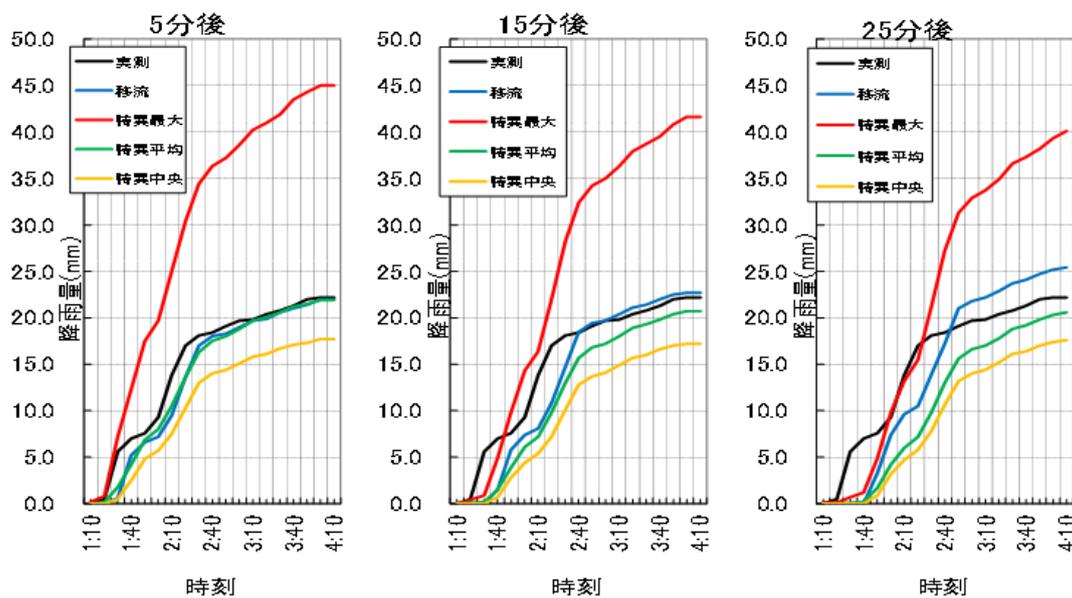


図 3-47 累積雨量の評価結果 (福井市 平成 28 年 10 月 9 日)

福井市 平成28年8月20日

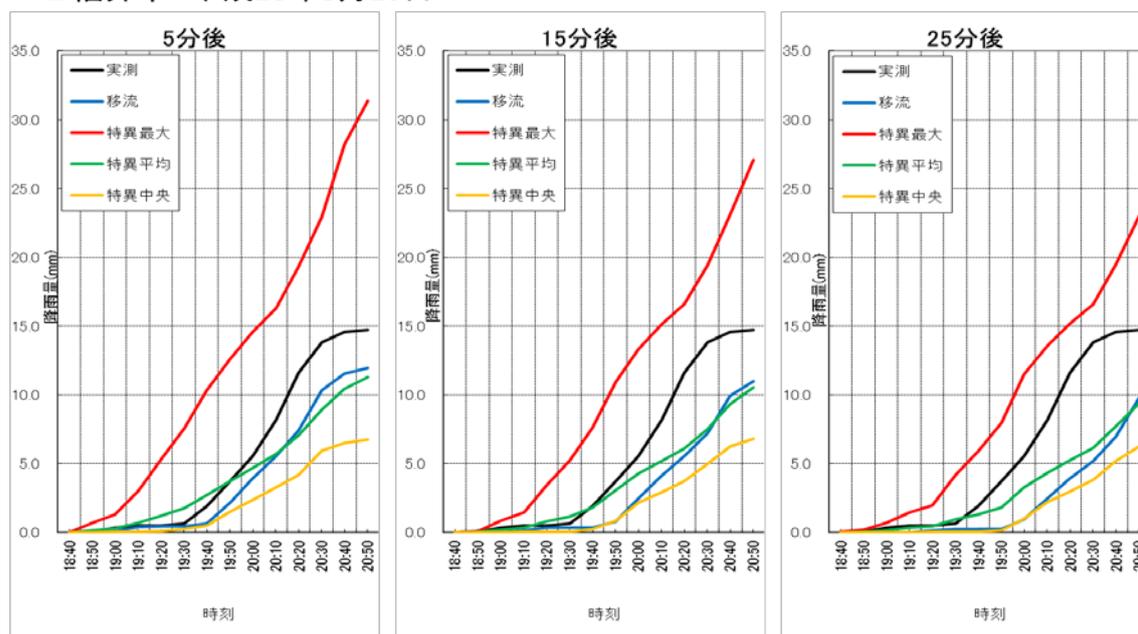


図 3-48 累積雨量の評価結果（福井市 平成 28 年 8 月 20 日）

福井市 平成28年9月8日

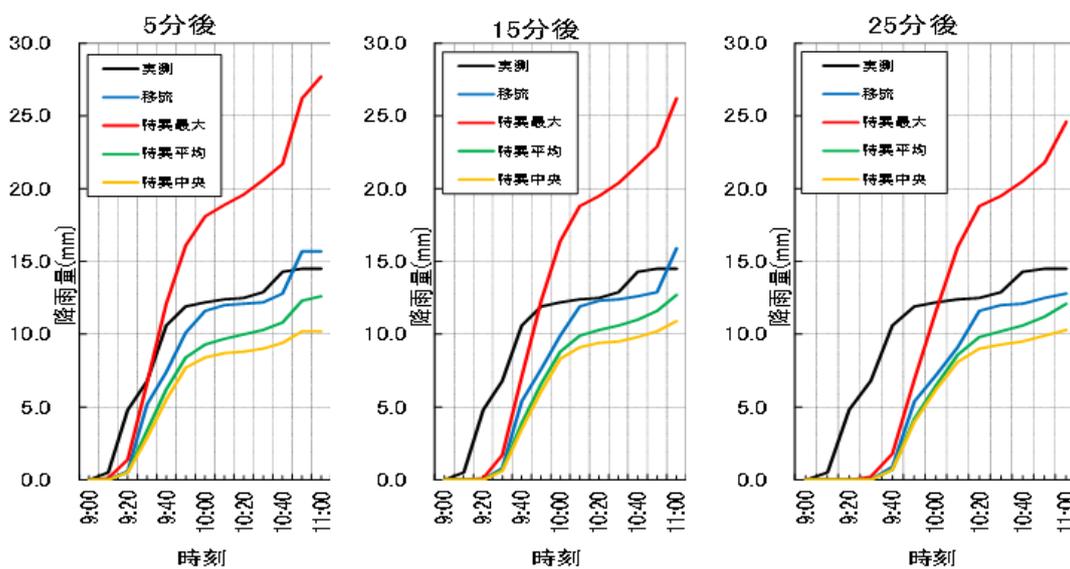


図 3-49 累積雨量の評価結果（福井市 平成 28 年 9 月 8 日）

福井市 平成28年6月22日

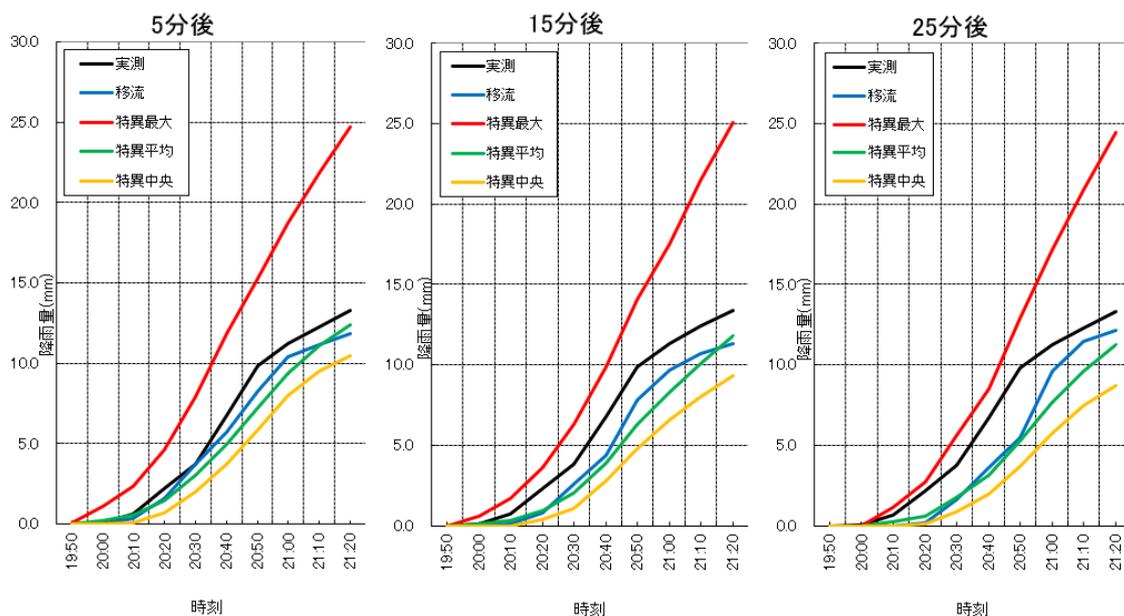


図 3-50 累積雨量の評価結果（福井市 平成 28 年 6 月 22 日）

富山市 平成28年7月26日

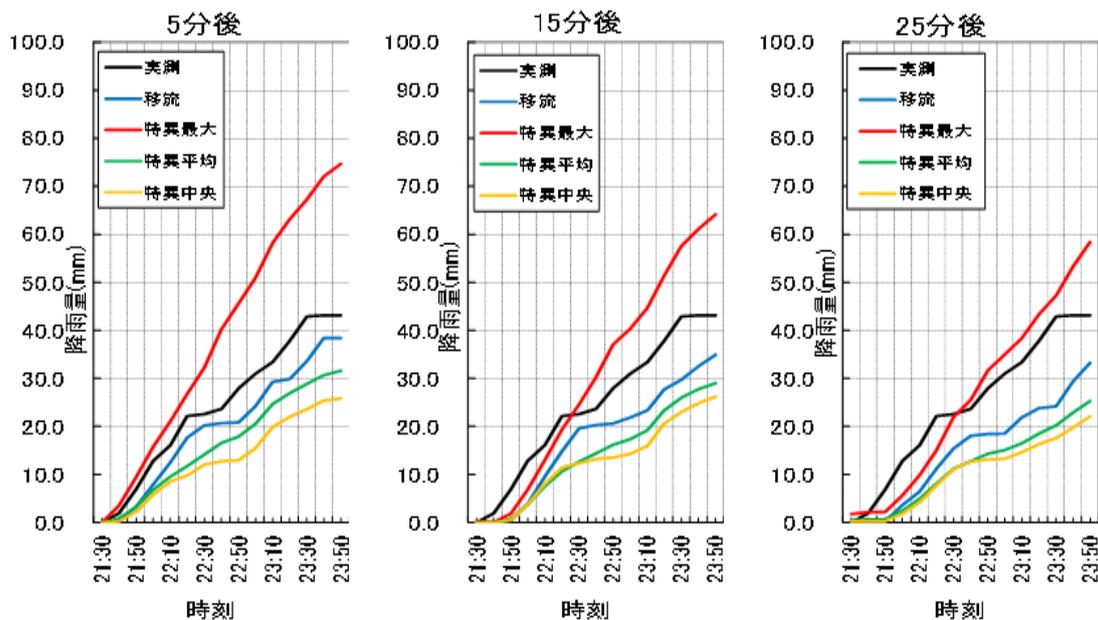


図 3-51 累積雨量の評価結果（富山市 平成 28 年 7 月 26 日）

富山市 平成28年9月18日

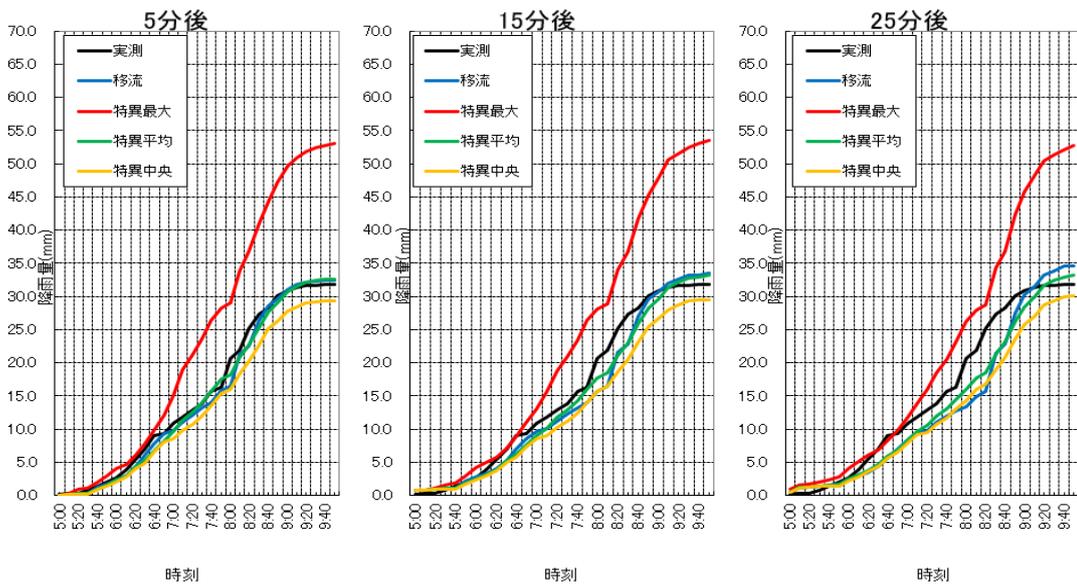


図 3-52 累積雨量の評価結果（富山市 平成 28 年 9 月 18 日）

富山市 平成28年7月13日

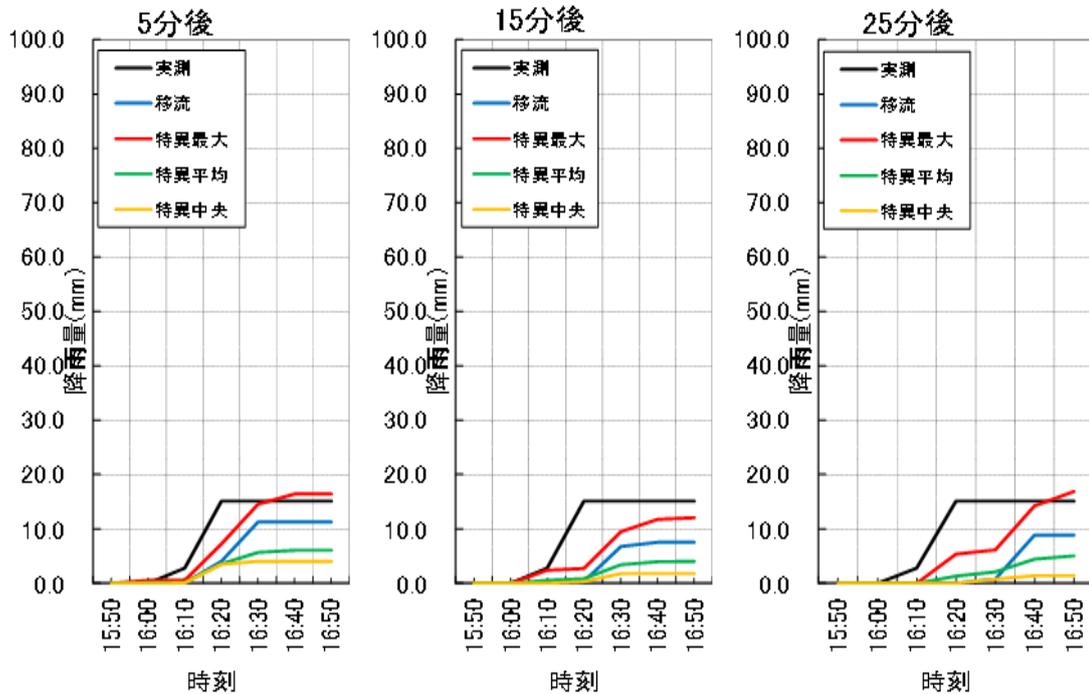


図 3-53 累積雨量の評価結果（富山市 平成 28 年 7 月 13 日）

富山市 平成28年7月13日

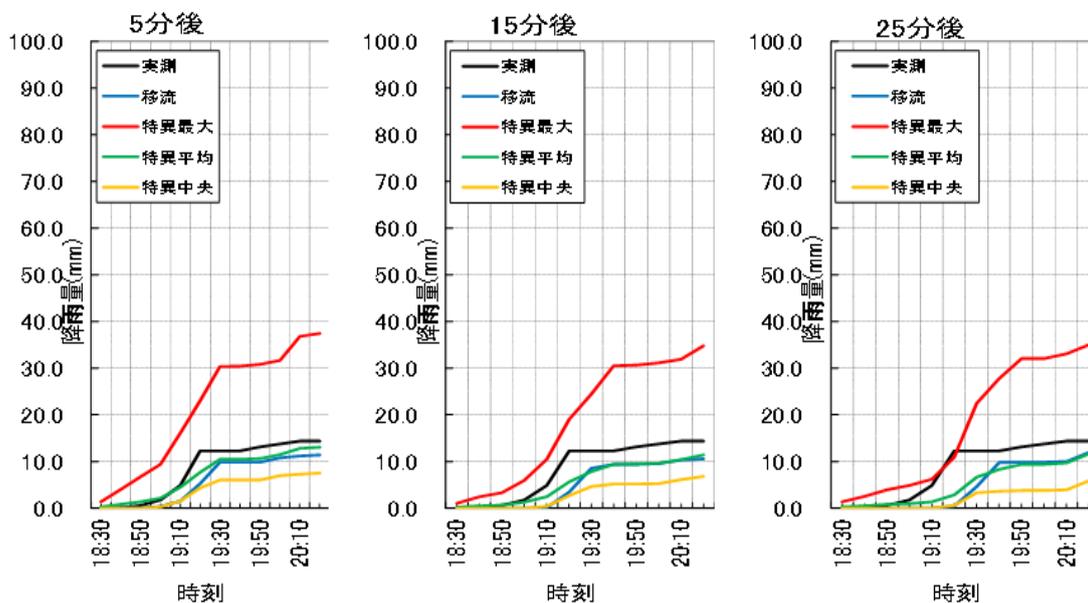


図 3-54 累積雨量の評価結果（富山市 平成 28 年 7 月 13 日）

富山市 平成28年8月9日

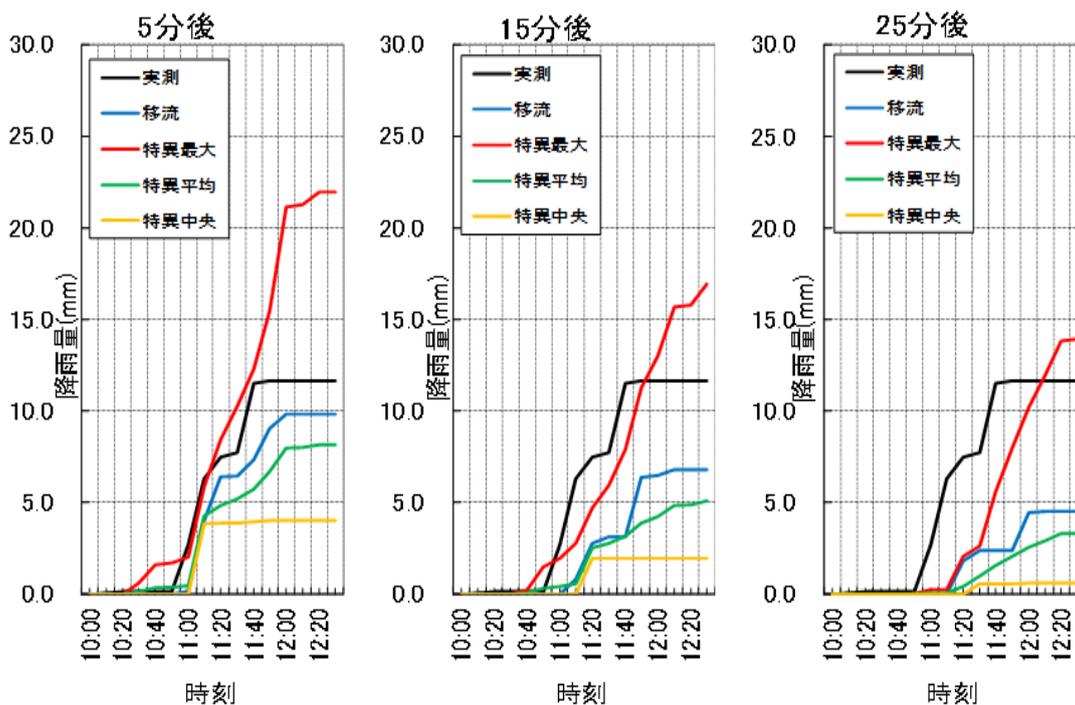


図 3-55 累積雨量の評価結果（富山市 平成 28 年 8 月 9 日）

②10 分間雨量

(福井) 誤差量 (mm/10min) 移流-0.1 特異最大+1.0 特異平均-0.2 特異中央-0.4

(富山) 誤差量 (mm/10min) 移流-0.4 特異最大+0.9 特異平均-0.6 特異中央-0.9

- ・移流, 特異平均が実測値に近い値となった。
- ・概ね特異最大がプラス方向の誤差となった。

表 3-11 短時間降雨予測モデル 10 分間雨量の評価結果

福井市					
検証対象降雨	10分間雨量(mm/10min)				
	実測 (都市域レーダ)	移流	特異 最大	特異 平均	特異 中央
7月13日(05:40~07:00)	1.5	1.5(0.0)	2.9(+1.4)	1.3(-0.2)	1.0(-0.5)
10月9日(01:10~04:10)	1.2	1.2(0.0)	2.2(+1.0)	1.1(-0.1)	0.9(-0.3)
8月20日(18:40~20:30)	1.2	0.6(-0.6)	1.6(+0.4)	0.6(-0.6)	0.4(-0.8)
9月8日(09:00~11:00)	1.1	1.1(0.0)	2.0(+0.9)	1.0(-0.1)	0.8(-0.3)
6月22日(19:50~21:20)	1.3	1.2(-0.1)	2.5(+1.2)	1.2(-0.1)	1.0(-0.3)
平均誤差量	-	-0.1	+1.0	-0.2	-0.4
富山市					
検証対象降雨	10分間雨量(mm/10min)				
	実測 (都市域レーダ)	移流	特異 最大	特異 平均	特異 中央
7月26日(21:30~23:50)	2.9	2.4(-0.5)	4.4(+1.5)	1.9(-1.0)	1.6(-1.3)
9月18日(05:00~09:50)	1.1	1.1(0.0)	1.8(+0.7)	1.1(0.0)	1.0(-0.1)
7月13日(15:50~16:30)	2.2	1.3(-0.8)	2.2(0.0)	0.7(-1.4)	0.3(-1.9)
7月13日(18:30~19:30)	1.2	0.9(-0.3)	3.0(+1.8)	1.0(-0.2)	0.6(-0.6)
8月09日(10:00~12:30)	0.7	0.4(-0.3)	1.1(+0.4)	0.3(-0.4)	0.1(-0.6)
平均誤差量	-	-0.4	+0.9	-0.6	-0.9

※ 表に示す数値は、5分後、15分後、25分後予測の10分間雨量を平均化した値

※ ()内は予測した10分間雨量と観測した10分間雨量の差分(誤差量)

次頁の図 3-56 から図 3-65 に 10 分間雨量の評価結果を示す。

福井市 平成28年7月13日

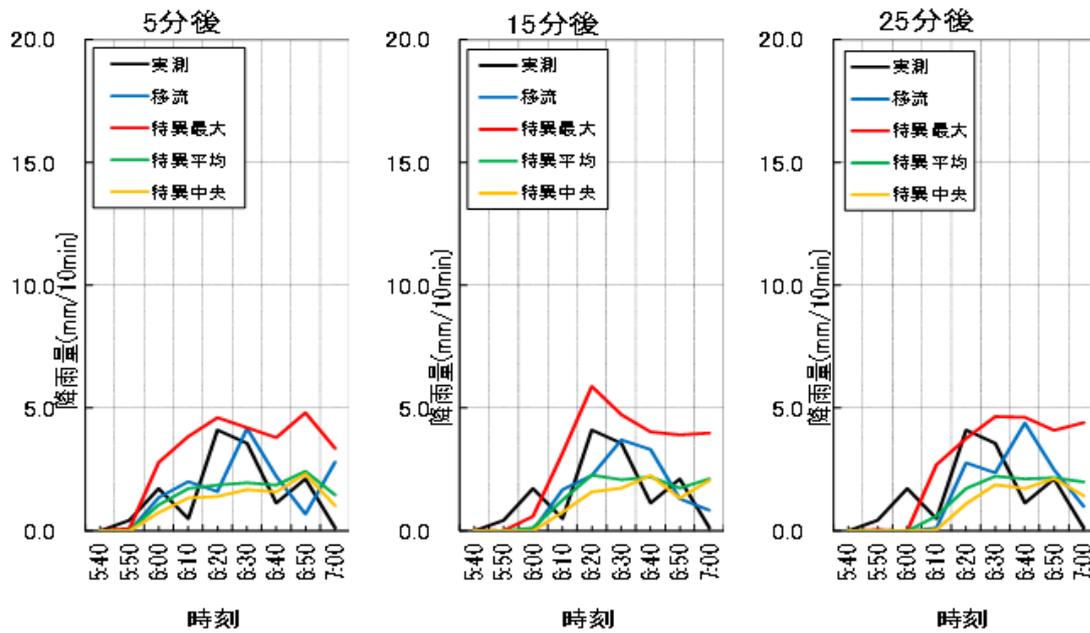


図 3-56 10分間雨量の評価結果（福井市 平成28年7月13日）

福井市 平成28年10月9日

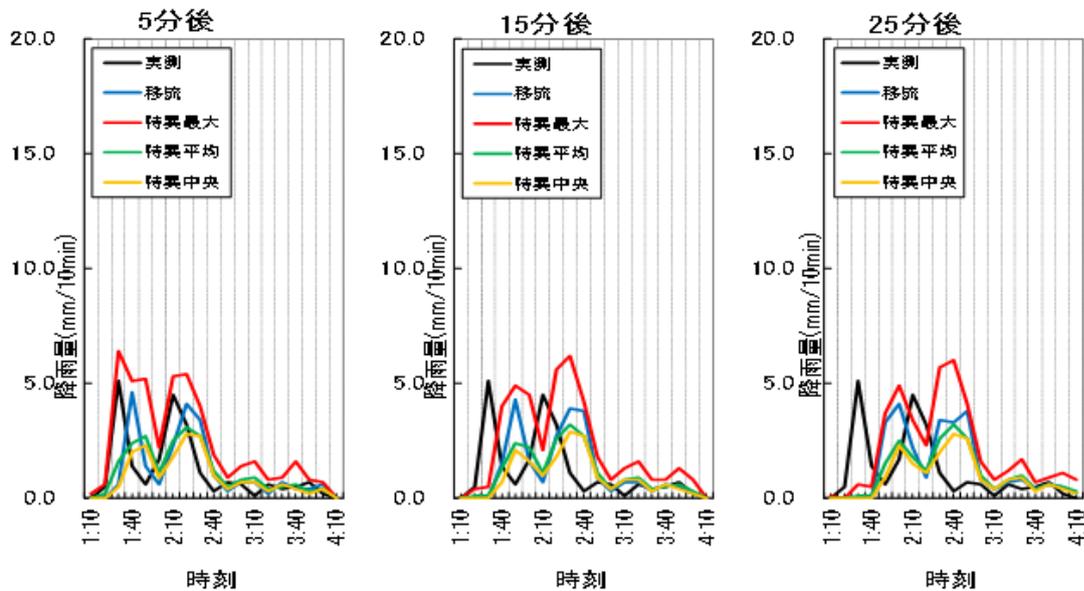


図 3-57 10分間雨量の評価結果（福井市 平成28年10月9日）

□福井市 平成28年8月20日

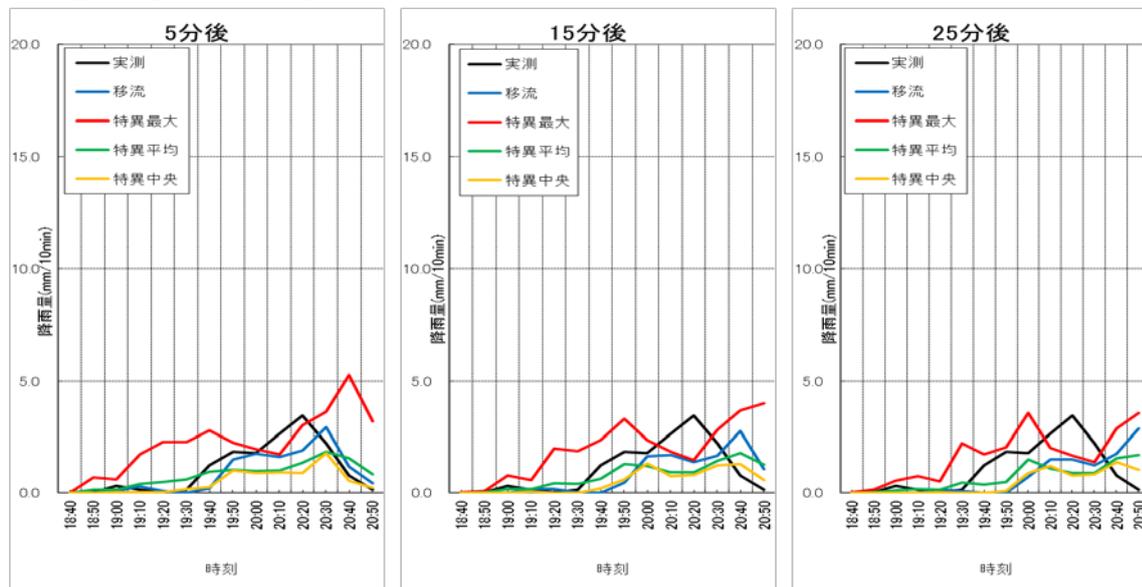


図 3-58 10 分間雨量の評価結果 (福井市 平成 28 年 8 月 20 日)

□福井市 平成28年9月8日

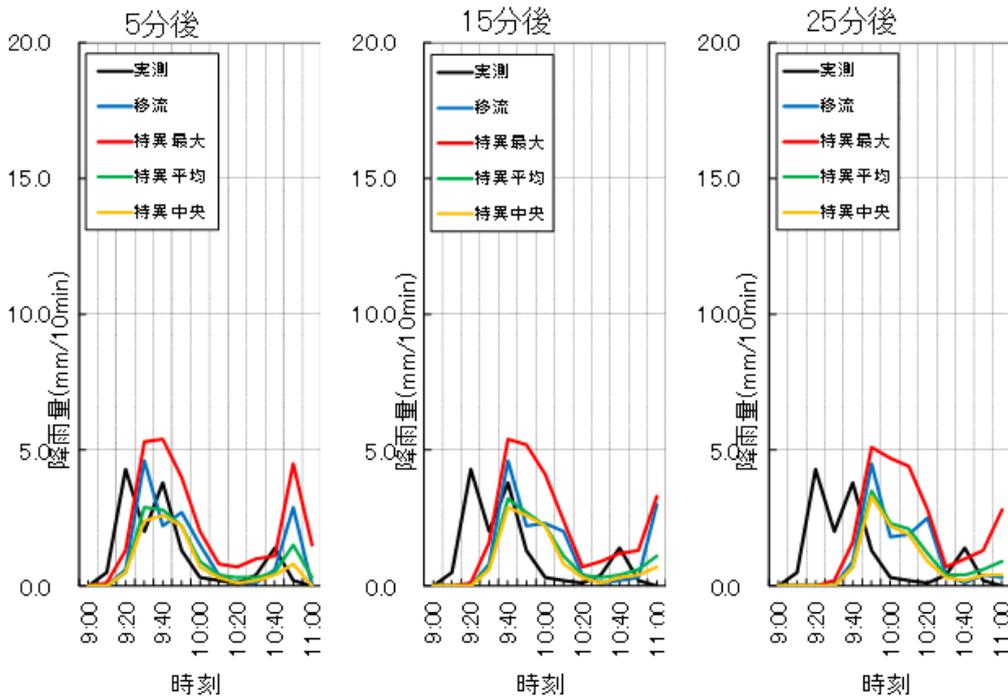


図 3-59 10 分間雨量の評価結果 (福井市 平成 28 年 9 月 8 日)

□福井市 平成28年6月22日

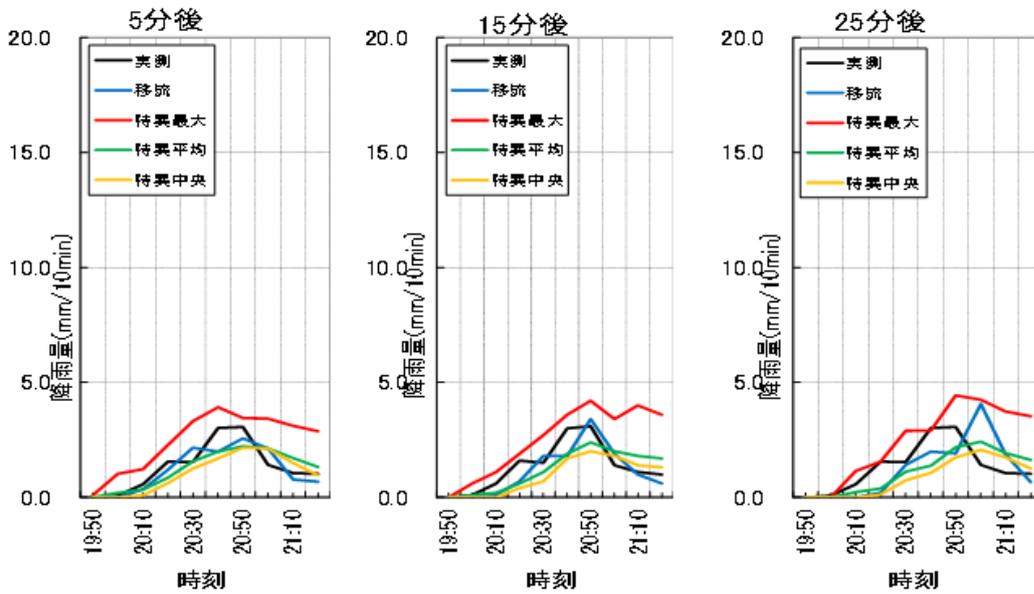


図 3-60 10 分間雨量の評価結果 (福井市 平成 28 年 6 月 22 日)

□富山市 平成28年7月26日

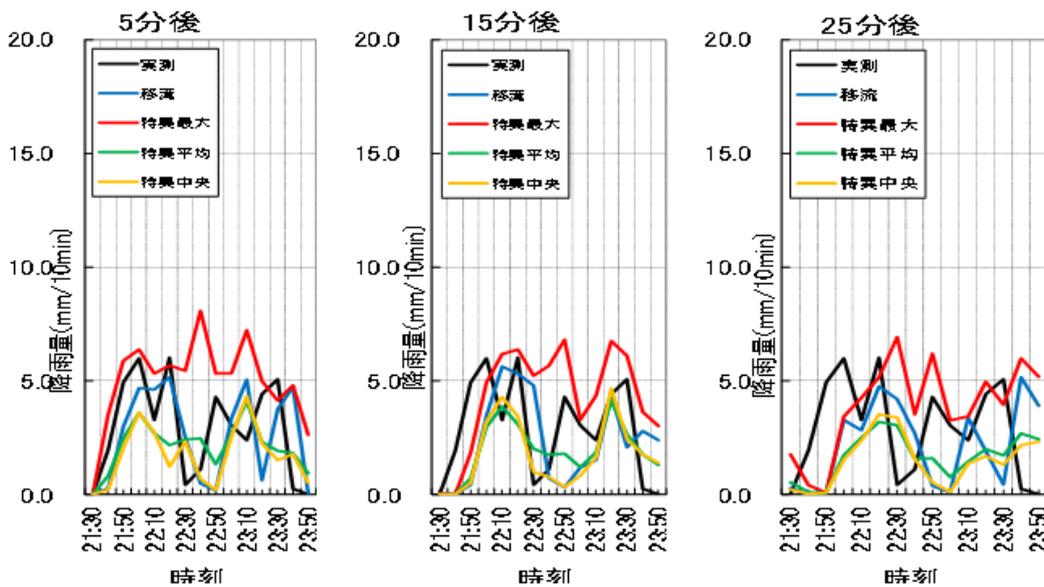


図 3-61 10 分間雨量の評価結果 (富山市 平成 28 年 7 月 26 日)

□富山市 平成28年9月18日

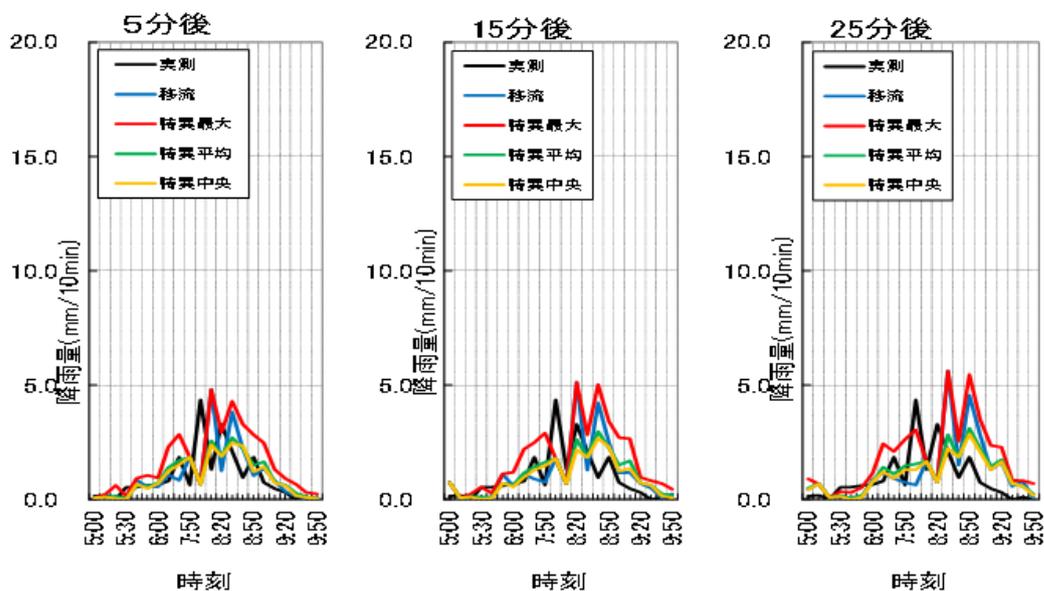


図 3-62 10分間雨量の評価結果（富山市 平成28年9月18日）

□富山市 平成28年7月13日

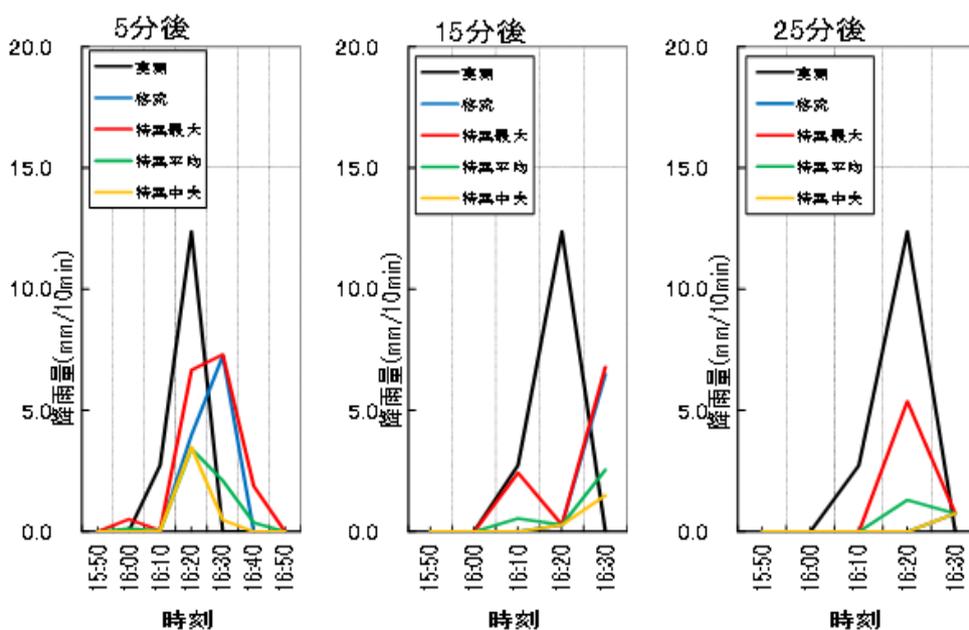


図 3-63 10分間雨量の評価結果（富山市 平成28年7月13日）

富山市 平成28年7月13日

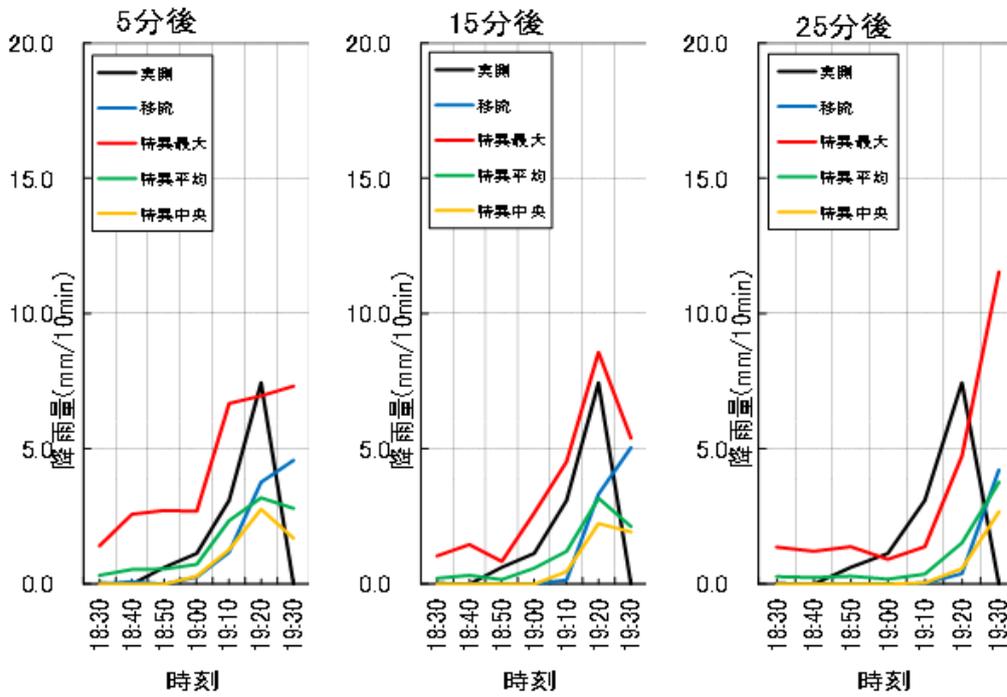


図 3-64 10分間雨量の評価結果（富山市 平成28年7月13日）

富山市 平成28年8月9日

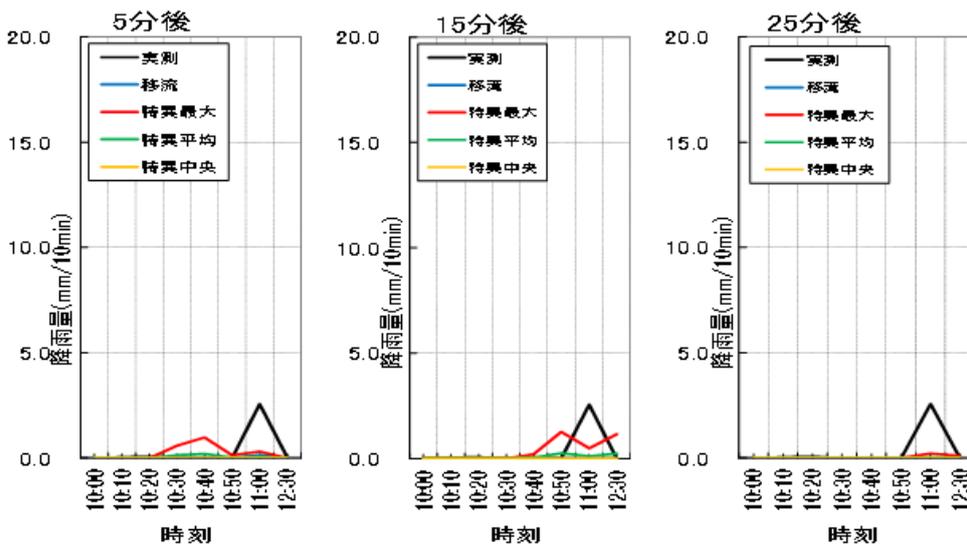


図 3-65 10分間雨量の評価結果（富山市 平成28年8月9日）

なお、降雨予測<実測となるケースにおいては、水位ピーク時において、水位予測値が、水位観測値と同等以上となることを確認し、降雨予測値の妥当性について確認した。

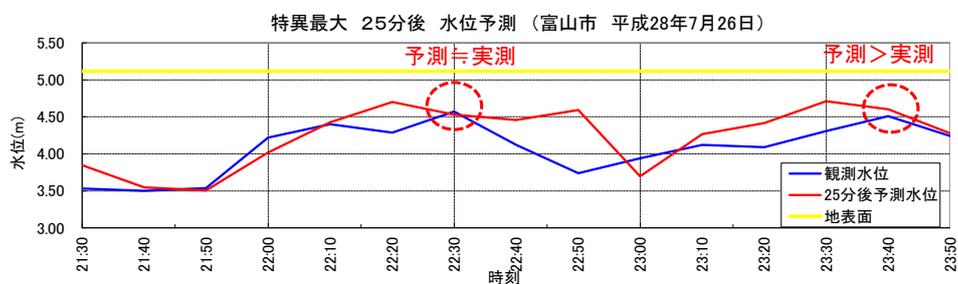
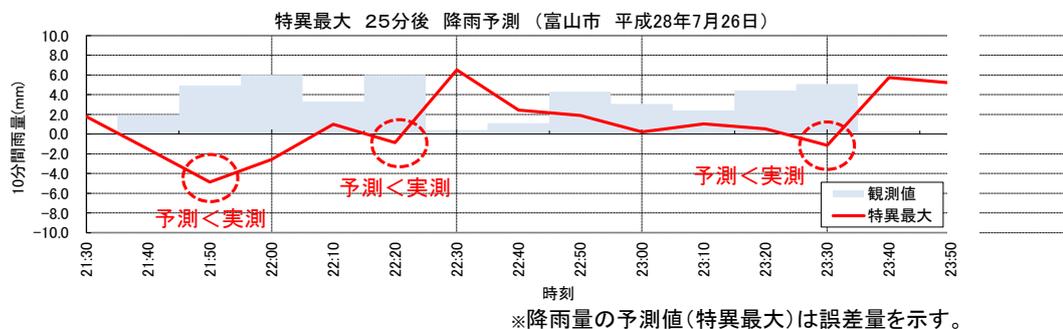


図 3-66 降雨予測<実測となるケースにおける予測値の妥当性の確認

3) 特異最大におけるマイナス誤差の要因

福井市の特異最大の予測誤差は、検証対象5ケースうち、すべてのケースでプラス誤差となったが、富山市においては、表 3-10 に示すとおり、7月13日(15:50~16:30)の1ケースにおいてマイナス誤差となった。

マイナス誤差の要因を分析するため、選定降雨の中で最も規模の大きい降雨を観測した富山7月26日とマイナス誤差となった7月13日16時のケースで、特異移流5メンバーの予測のばらつきの確認を行った。

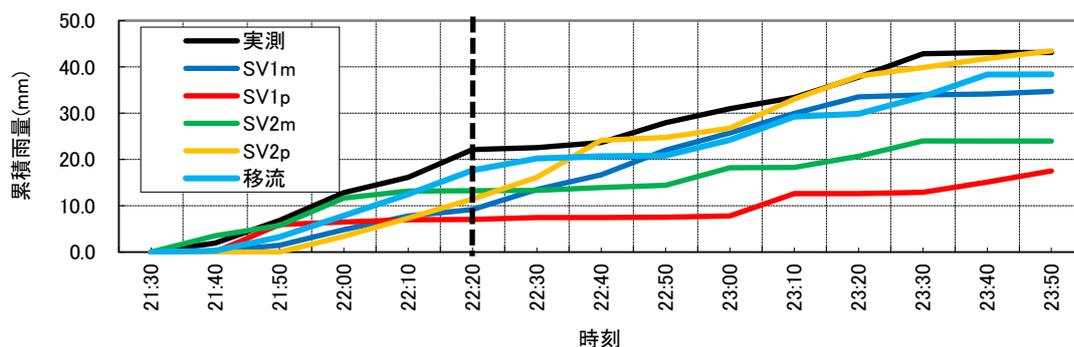


図 3-67 プラス誤差となった特異移流予測メンバーのばらつき (平成 28 年 7 月 26 日)

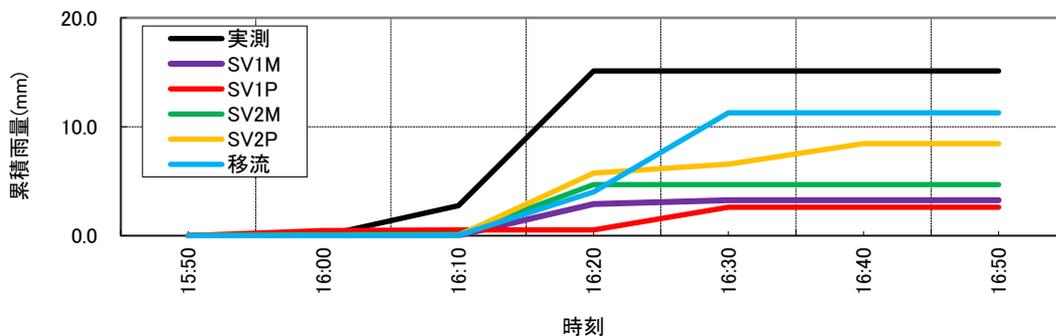


図 3-68 マイナス誤差となった特異移流予測メンバーのばらつき (平成 28 年 7 月 13 日)

プラス誤差となったケースでは、各メンバーの排水区平均雨量が概ね実測に近い値を示しているのに対し、マイナス誤差となったケースでは、実測に対し、小さい値を示している。当該現象が発生した要因を確認するため、最も誤差の広がり大きい16時20分時点の降雨分布の確認を行った。その結果、**図 3-69**に示すとおり、予測メンバーの強降雨域の平面的な広がりが大きく、弱い降雨域が排水区上に位置したことによるものであった。

- ・マイナス方向の誤差のケース：排水区上に弱い降雨域が分布
- ・プラス方向の誤差のケース：排水区上に強降雨域が分布

時系列的に雨域の移動方向について確認したところ、**図 3-70**に示すとおり、以下のことが確認できた。

- ・マイナス方向の誤差のケース：複数の強降雨域が異なる方向に移動している。
- ・プラス方向の誤差のケース：強降雨域の平面的な移動が直線的である。

以上のことから、複数の強降雨域が異なる方向に移動する場合、特異最大でも、マイナス誤差が発生する可能性があることが確認された。

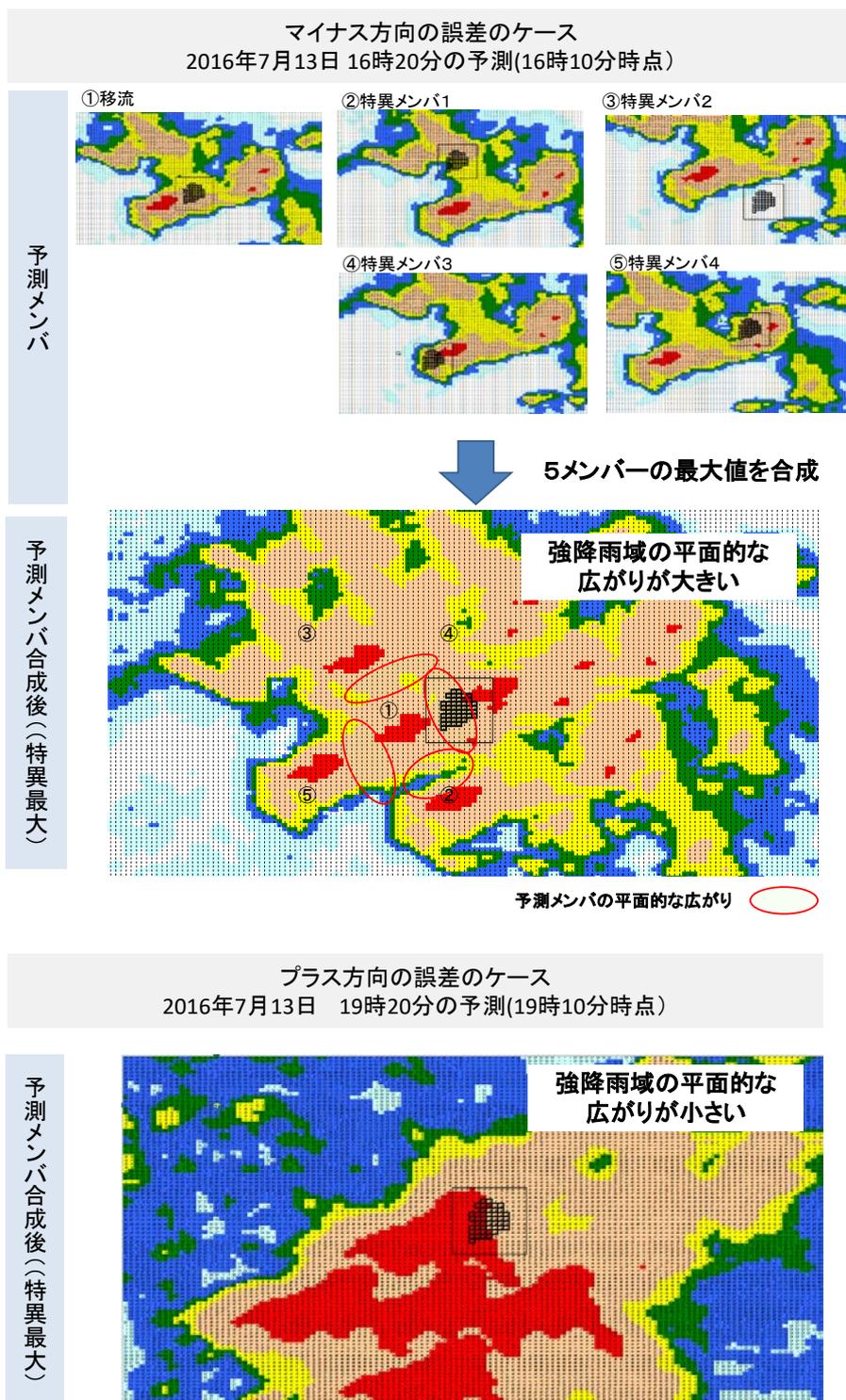


図 3-69 マイナス方向とプラス方向誤差のケースにおける特異最大予測値

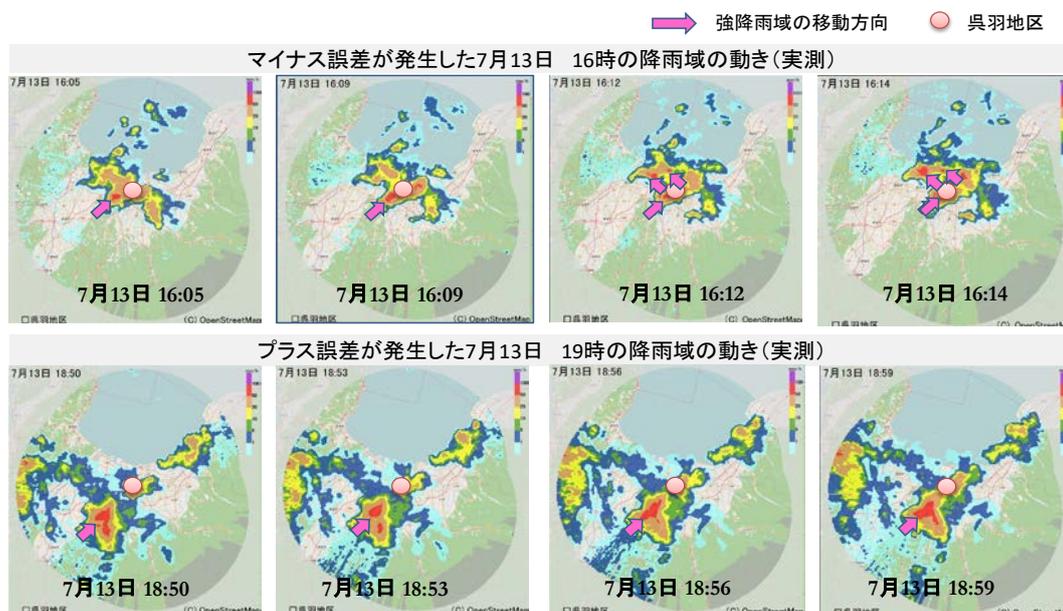


図 3-70 マイナス方向とプラス方向誤差のケースにおける雨域の移動方向

4) 課題

上記の結果から、特異最大に関しては、実測に対してプラス誤差となるよう予測メンバーの強降雨域の平面的な広がりを見直し、補正する新たな式を検討することが必要である。

また、特異平均、特異中央に関しては、表 3-10 および表 3-11 に示すとおり、実測を下回る予測結果が確認されている結果について、図 3-67 に示した予測のばらつき（誤差）の幅を少なくするための方策を検討し、より実測に近づけるよう予測精度の向上を図る必要がある。

3.5 リアルタイム流出解析技術の特徴と性能評価

3.5.1 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には、計算処理時間の大幅な短縮とリアルタイム拡張性の確保が可能な InfoWorksICM (Integrated Catchment Model) を使用した。

InfoWorksICM は下水道と河川の統合解析を実現する統合解析プラットフォームであり、核となる解析エンジンは GIS システムとの統合やプログラムの最適設計により高い解析速度を維持することが可能である。また、二次元的に氾濫を可視化する際、画像処理の高速化のための GPU (Graphics Processing Unit) にも対応している。

上位機種であるリアルタイムシステムとも同一プラットフォーム上においてシームレスな連携を実現しており、リアルタイム解析では「バッチ処理技術」により、解析処理時間の大幅な短縮を実現している。特に、下水道雨水排水区の流達時間の多くが 60 分以内であることから、短時間で浸水予測を完了する能力が不可欠である。

また、一次元 (下水道管路内及び川道内) と二次元モデル (地表面) の両モデルの構築が可能であり、外水氾濫/内水氾濫と地下 (下水道管網ネットワーク) の統合解析を実現した。

雨量レーダの利活用については、既に C バンド及び X バンド MP レーダの読込機能を実装しており、他レーダの読込についても開発が比較的容易である。雨量レーダの情報はメッシュデータとして読込まれた後、下水道ネットワークモデルに設定される下位集水域 (Subcatchment) に分布型の雨量情報として適用される。下位集水域に複数の雨量レーダメッシュが跨る場合は、面積比にて該当するレーダメッシュの雨量が加重平均化される自動処理が働く。図 3-71 に雨量レーダの取込みイメージを示す。

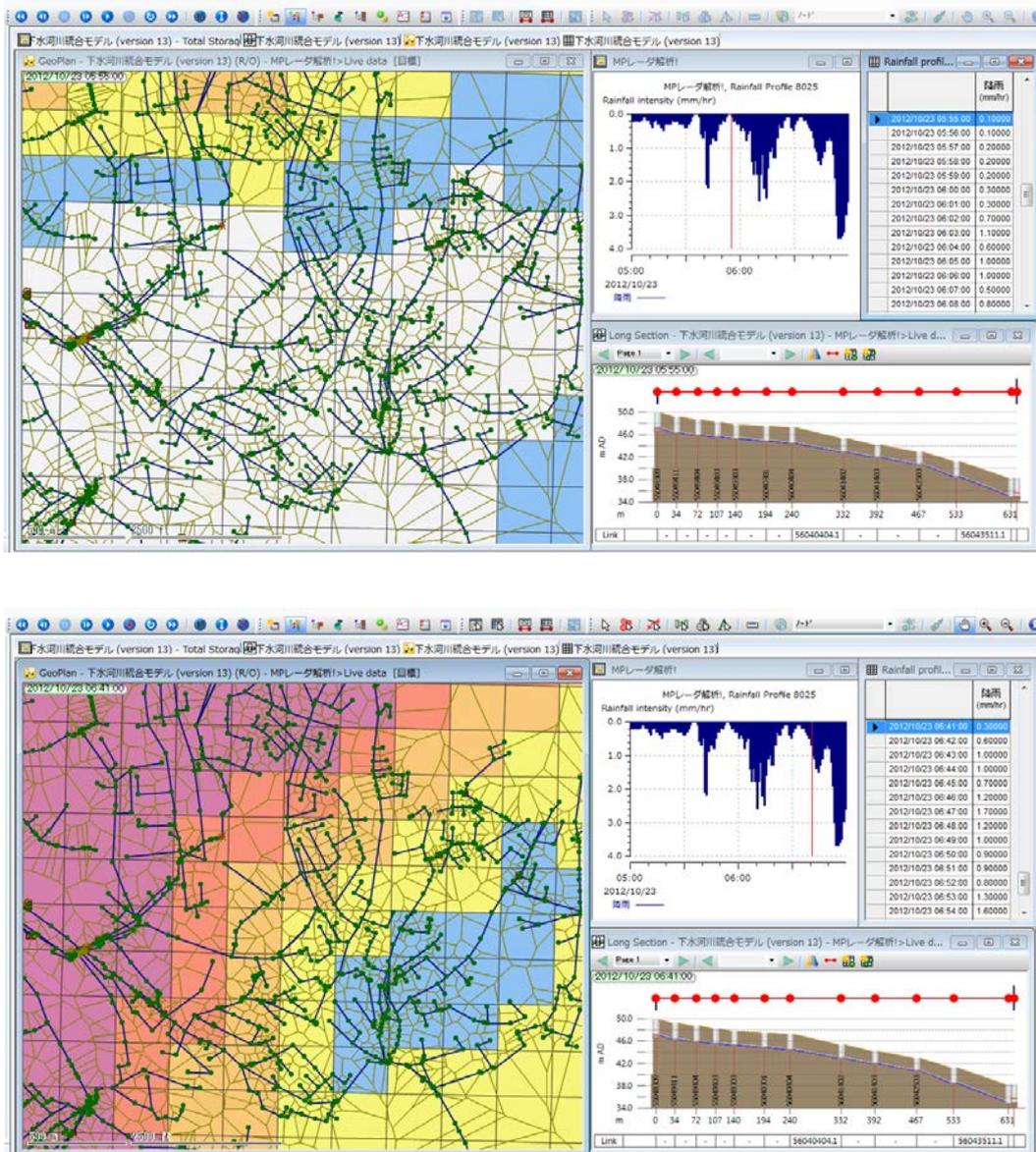


図 3-71 雨量レーダの取込みイメージ

3.5.2 オンライン解析とオフライン解析

オフライン解析であってもオンライン解析であっても、同じ解析エンジンを用いて指定された条件下で解析（計算）することには変わらない。しかしながら、オンライン解析では「解析時間の短縮」が必須条件であり、同じ解析エンジンを使用しつつ解析の時間を大幅に短縮する方法として「バッチ処理」の概念が用いられる。

「バッチ処理」とはオンライン解析において各タイムステップの解析計算に必要な解析の初期条件（値）を、過去の解析結果を基に予め且つ定期的に自動生成することである。

オンライン解析の場合は、「バッチ処理」で生成された初期条件（値）を基に全ての解析が実施されことにより、解析時間の大幅な短縮を実現している。「バッチ処理」で生成された初期条件（値）はステート（状態）ファイルとしてシステム内で識別・保管される。

以下に示す通り、オフライン解析は降雨を連続的に計算する（例えば 24 時間分）が、オンライン解析は 2 時間分（過去 1 時間、将来 1 時間）の降雨をバッチ処理により計算することで、計算時間が短くなる。

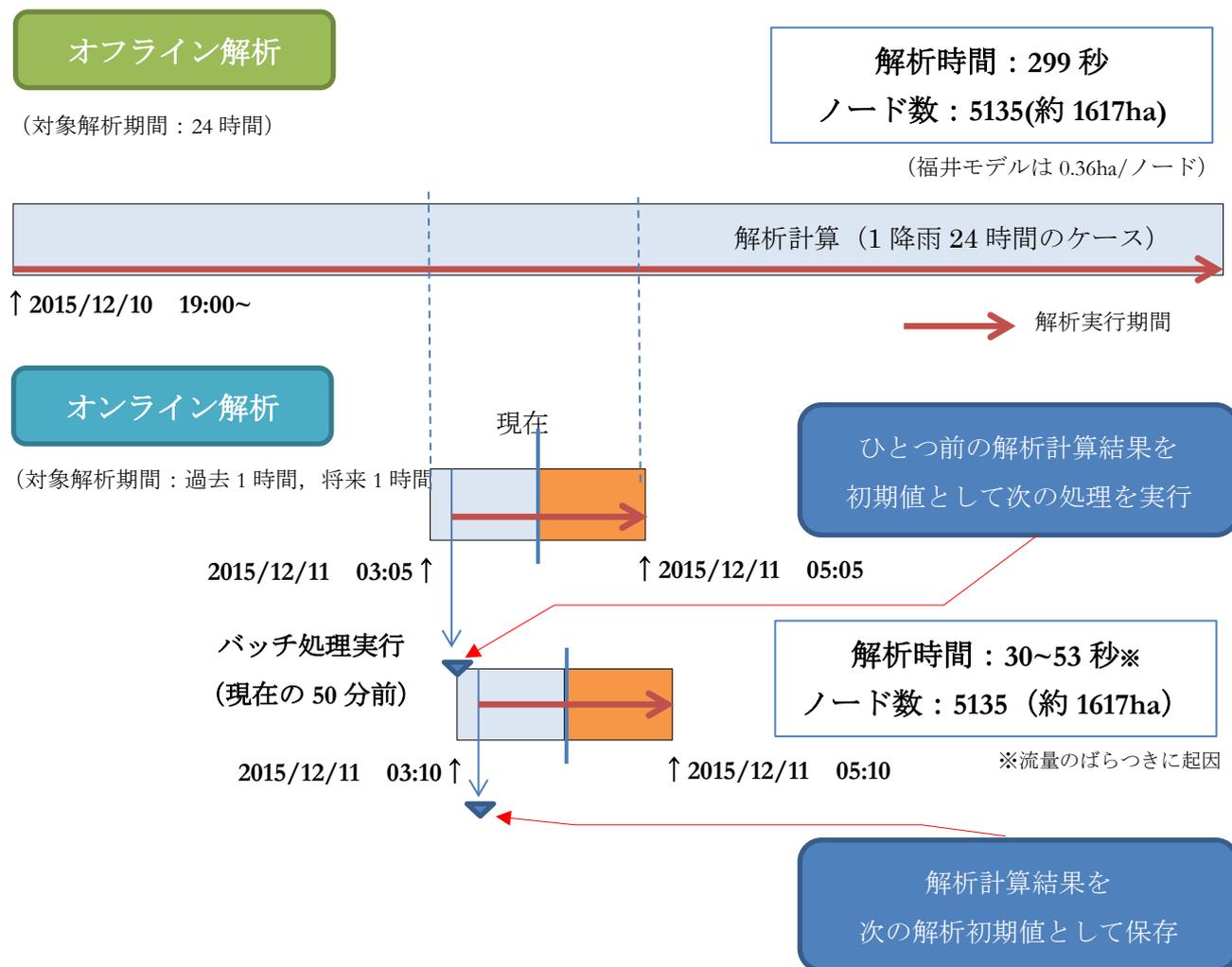


図 3-72 オンライン解析とオフライン解析の違い

3.5.3 流出解析精度評価

(1) 評価方法

1) 目的

流出解析モデルのパラメータ調整（キャリブレーション）を行い，降雨実測値による水位解析精度を確保する。

2) 性能・目標

流出解析では，精度の高い水位および浸水区域を確保するため，表 3-12 に示す性能目標値を設定した。

表 3-12 評価内容および方法

評価項目		性能目標	評価方法等
流出解析	流出解析精度	①管路内水位：NS が 0.7 以上 ②浸水発生位置，範囲，浸水深：概ね一致 ③浸水発生時間：概ね一致	実測値と解析値を比較 ※②③は，今回，浸水が発生する降雨が取得できなかったため，過去の浸水発生降雨にて評価する。

①管路内水位：NS が 0.7 以上

観測水位と実降雨による解析水位より、水位の整合性（ピーク水位の位置や時系列の水位変動・波形）について以下の指標を用いて比較評価し、精度評価を行なう。なお、自助のロードタイム確保や施設運転支援の精度確保の観点から、ハイドロの立ち上がりやピークの位置の整合性が重要であるため、NS(Nash-Sutcliffe 係数)を評価指標に採用する。

・ NS(Nash-Sutcliffe 係数) > 0.7

Nash-Sutcliffe 係数は、1970 年に (Nash and Sutcliffe, 1970) により提唱された指標であり値が 1 に近いほどモデルの精度はよいとされ、指標値 0 より小さい場合、ほぼ予測の効果がないとみなすことができる。一般的に 0.7 を超えると有効な精度であるとされている。

■ Nash-Sutcliffe 係数

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \{H_o(i) - H_c(i)\}^2}{\sum_{i=1}^N \{H_o(i) - H_{av}\}^2}$$

$$H_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_o(i)$$

N : 計算時間数

$H_o(i)$: i 時の実測水位

$H_c(i)$: i 時の計算水位

H_{av} : 実測水位の平均値

※取りうる範囲 : 1.0 以下

※的中の値 : 1.0

※単位 : 無し

※評価基準 : (NS ≤ 0.7 : ○), (0.0 ~ 1.0 : △), (マイナス : ×)

流出解析技術は、水位や浸水範囲を予測する技術であるため、NS は流量ではなく、水位に対して評価を実施した。なお、検証対象管路は、「円形管の圧力流れ」および「開水路の自由水面流れ」であるため、水位と流量は比例関係にあり、流量による評価と水位による評価は同等の結果となる。また、NS の評価範囲は、水位の全体的な波形の整合性を確認するため、平常水位の立ち上がりから、ピーク水位より下降し平常水位に戻るまでの期間または水位が安定するまでとした。

②浸水発生位置，範囲，浸水深

実証研究では，浸水被害の発生する降雨が無かったため，過去の浸水被害記録より評価を行った。浸水実績記録の床上，床下浸水の記録とシミュレーションによる浸水範囲，浸水深とを比較し，同等以上を目標とした。

③浸水発生時間

実証研究では，浸水被害の発生する降雨が無かったため，過去の浸水被害記録より評価を行った。浸水発生時間は，過去の記録とシミュレーションによる浸水時間とを比較し，同等以上を目標とした。

3) 評価手順

流出解析モデルのパラメータ調整（キャリブレーション）を行い，降雨実測値による水位解析精度を確保する。管路内水位については，実測値と解析値を比較した。また，浸水発生位置，範囲，浸水深，発生時間については，実測値と解析値を比較した。

キャリブレーションとは，雨水の流出状況および浸水現象等の十分な再現性を確保するため，モデルの諸元・降雨損失・表面流出モデルのパラメータの調整を図り，現況の雨水流出挙動の再現化を図るものである。少なくとも3ケース程度の降雨時の水位観測値と解析値を相互に比較し，その整合性の確認により，都市域レーダに対応した高精度な流出解析モデルを構築する。キャリブレーションフローを図 3-73 に示す。

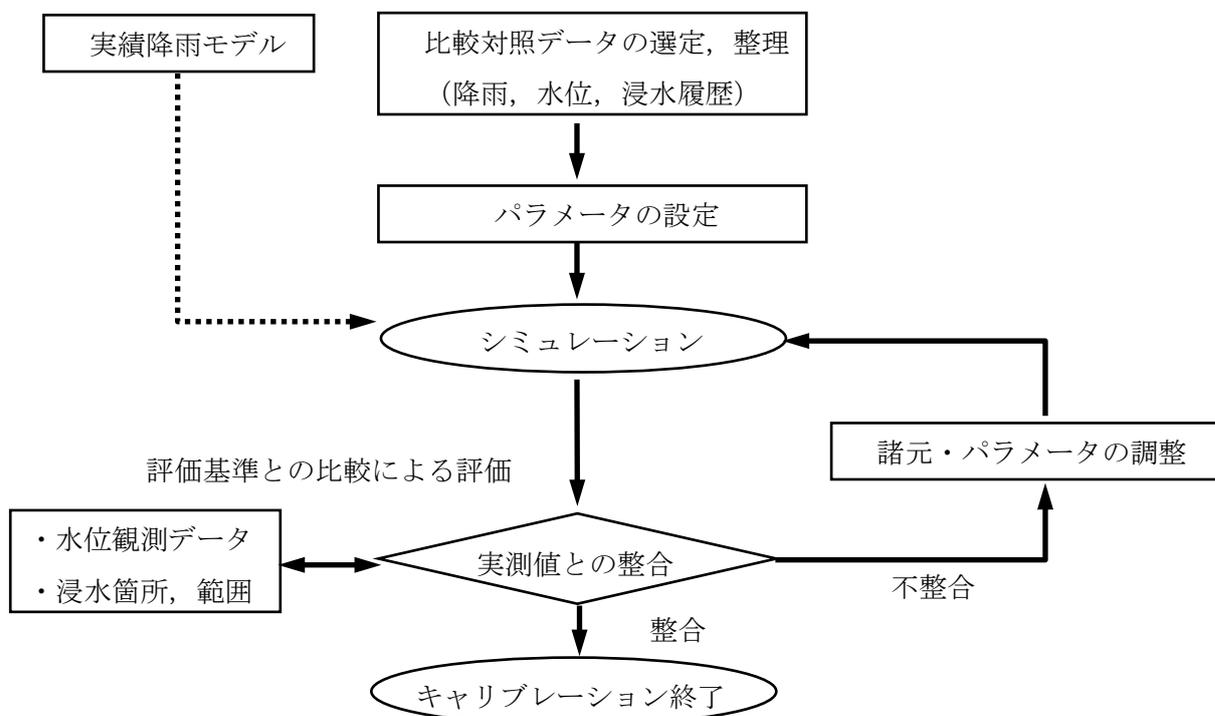


図 3-73 キャリブレーションフロー

4) パラメータの設定

降雨損失モデル，表面流出モデルのパラメータについて調整を図り，キャリブレーションを行う。パラメータはまずは，標準値を用い，その後パラメータを変動させ，評価対象降雨において水位のNS値が0.7以上確保できるパラメータ値を採用とした。

表 3-15 に本実証研究にて採用したパラメータ値を示す。

表 3-13 流出解析モデルのパラメータの概要

各パラメータの概要		概念図
降雨損失モデル	<p>■ 流出係数</p> <p>総流出流量やピーク流量が変化。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大 → 流出流量が増加 ・小 → 流出流量が減少 <p>■ 流出係数の標準値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下水道計画における工種別基礎流出係数の平均値。 	
表面流出モデル	<p>■ 流出の遅れを表す係数</p> <p>総流出流量は変化無し。地表面からの流出速度（ピーク位置）が変化。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大 → 流量のピークが上がる。 ・小 → 流量のピークが下がる。 <p>■ 流出の遅れを表す係数の標準値</p> <ul style="list-style-type: none"> ・不浸透面 : 1 ・浸透面 : 4 	

表 3-14 工種別基礎流出係数の標準値

工種別	流出係数 C	標準値 (平均値)
屋根	0.85~0.95	0.90
道路	0.80~0.90	0.85
その他の不透面	0.75~0.85	0.80
水面	1.00	1.00
間地	0.10~0.30	0.20
芝, 樹木の多い公園	0.05~0.25	0.15
こう配の緩い山地	0.20~0.40	0.30
こう配の急な山地	0.40~0.60	0.50

表 3-15 パラメータの初期設定値と最終設定値

No	工種	初期設定値		最終設定値	
		降雨損失モデル	表面流出モデル	降雨損失モデル	表面流出モデル
		流出係数	流出の遅れを表す係数	流出係数	流出の遅れを表す係数
1	屋根	0.90	1	0.95	1
2	道路	0.85	1	0.90	1
3	駐車場	0.85	1	0.90	1
4	水面	1.00	1	1.00	1
5	間地(計画区域)	0.20	4	0.35	2
6	間地(計画区域外)	0.20	4	0.20	3
7	畑	0.20	4	0.20	3
8	公園	0.15	4	0.25	3
9	山地	0.30	4	0.20	3

5) 実測調査

降雨時の雨水流出量は、種々の要因により変化し、地域による差が大きいため、対象流域においては、流出状況の実態を把握するために、実測調査を行うことが必要である。

実測調査結果は、流出解析モデルのキャリブレーションに必要であり、流域をモデル化する際の妥当性を判断する基となる。キャリブレーションにおいては、特定の時刻における解析値を実測値に合わせるのではなく、解析目的に応じて全体的な流出パターン、最大水位等の適合性に留意して実施する必要がある。

流出解析モデル作成上必要な主な水位データは、以下のものがある。

- ・管きょ内水位
- ・放流先水位（外水位）等

実証研究においては、上記最低限必要な条件を基に、当該フィールドの特性を考慮し、水位計の設置目的を表 1-18 に分類し、配置計画を行った。キャリブレーションにおける水位計設置箇所については、以下の点に留意し選定した。

- ・浸水常襲地域（浸水発生箇所における水位精度の確保が不可欠）
- ・上流，中流，下流点（上～下流域の流出特性を把握する。ただし，平坦地や土地地用に変化が無い地域においては，必要に応じて検討）

浸水範囲の確認は、監視カメラを活用することが望ましい。その際、浸水深も確認できるようにその構造配置位置の検討が必要である。

(2) 評価結果

1) 福井市

① 下水管路内水位

平成 28 年 4 月 1 日～11 月 30 日までの全降雨のうち、規模の大きい降雨より 5 降雨に対し評価を実施し、NS 値は、0.7 以上確保可能なモデルを構築した。下水管路内水位の評価結果を表 3-16 に、また代表的な水位計設置地点について NS 値の評価結果を図 3-74 から図 3-78 に示す。

なお、キャリブレーションはオフラインで行うため、設定値(水位)によりポンプ起動停止やゲートの開閉を再現している。このため、手動で操作を行う施設については観測値と解析値に相違が発生する可能性がある。NS 値の評価を行った降雨時にも以下に示すような理由で観測値と解析値が相違した。

・ 図 3-74 (平成 28 年 9 月 8 日)

足羽ポンプ場の遮集ポンプが稼働し、立矢新の系統に流入したため降雨終了後に観測水位が上昇したが、解析水位は足羽ポンプ場が稼働水位となっていなかったため上昇しなかった。

・ 図 3-76(平成 28 年 6 月 22 日, 7 月 13 日)

社雨水ゲート(閉まっているときは堰)が閉まっており、実際には初期条件で堰高まで水位が上がっているが、解析上では堰高まで水位が上昇するまで解析水位と相違が発生した。

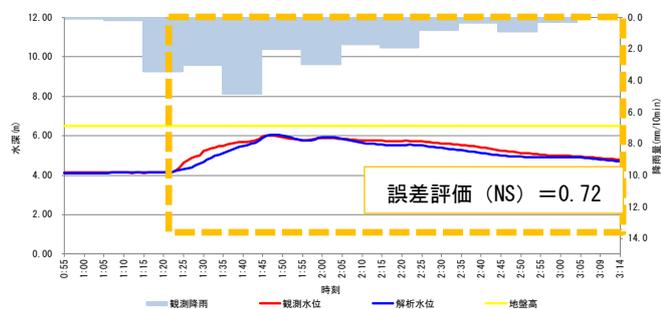
また、図 3-78(平成 28 年 6 月 22 日, 7 月 13 日, 8 月 20 日)では下北野貯留管のポンプ井における観測水位と解析水位を示しているが、ポンプ起動水位と管底に水位差があるため、ポンプ排水後に雨水が流入する際にポンプ井の水位が微増することがある。

表 3-16 下水管路内水位評価結果 (福井市)

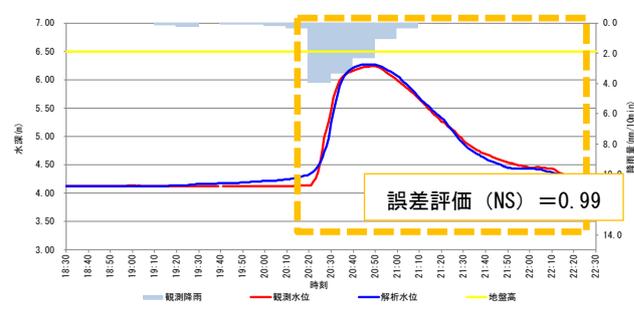
No	日付	NS 値				
		立矢新	貯留管内 月見みのり	山奥	社	管内 下北野貯留
①	平成 28 年 7 月 13 日	0.88	0.72	0.81	0.73	0.84
②	平成 28 年 10 月 9 日	0.72	0.73	0.73	0.77	0.71
③	平成 28 年 8 月 20 日	0.99	0.81	0.79	0.91	0.74
④	平成 28 年 9 月 8 日	0.91	0.72	0.70	0.92	-
⑤	平成 28 年 6 月 22 日	0.88	0.92	0.77	0.74	0.79

— : 貯留管への流入なし

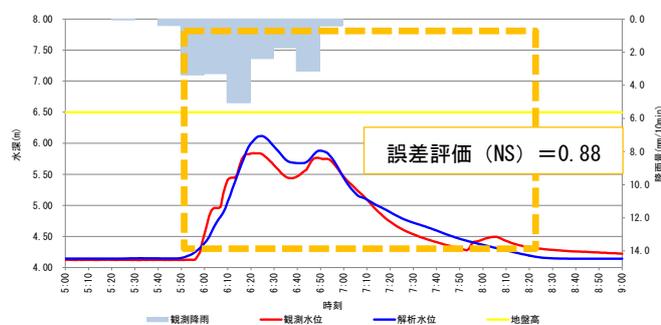
平成 28 年 10 月 9 日降雨



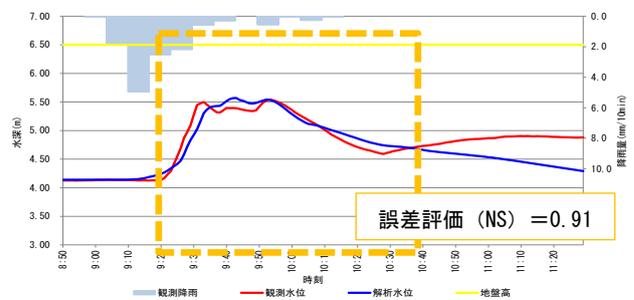
平成 28 年 8 月 20 日降雨



平成 28 年 7 月 13 日降雨



平成 28 年 9 月 8 日降雨



平成 28 年 6 月 22 日降雨

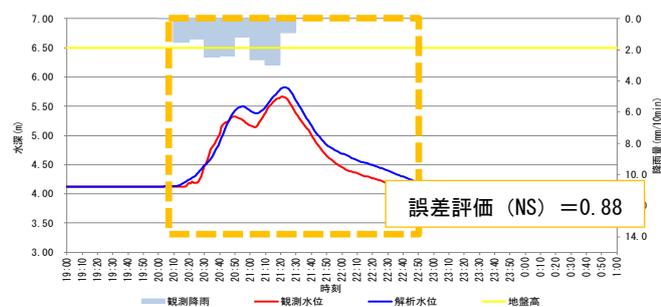
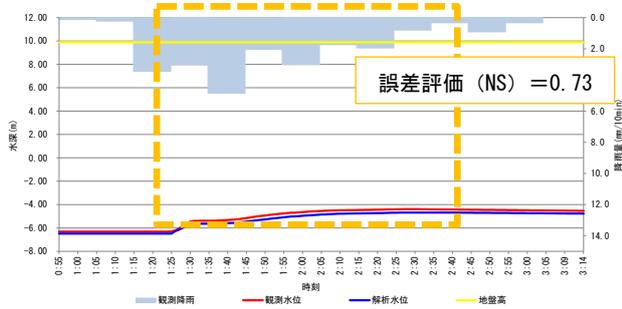
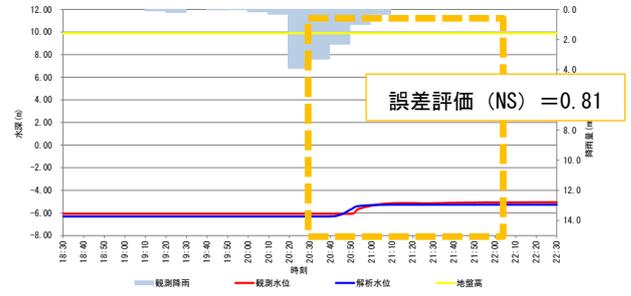


図 3-74 NS 値の評価結果 (立矢新)

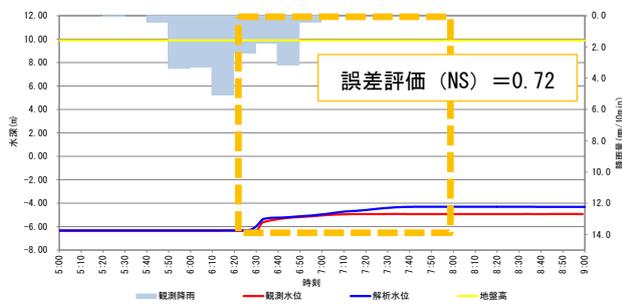
平成 28 年 10 月 9 日降雨



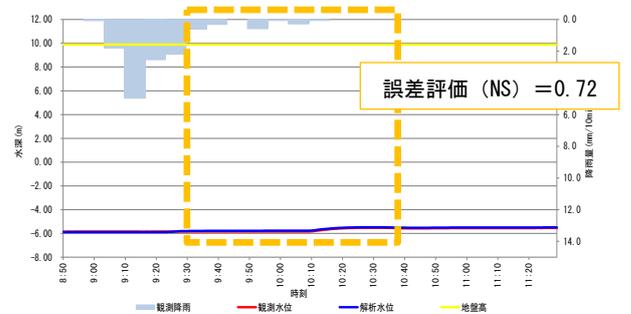
平成 28 年 8 月 20 日降雨



平成 28 年 7 月 13 日降雨



平成 28 年 9 月 8 日降雨



平成 28 年 6 月 22 日降雨

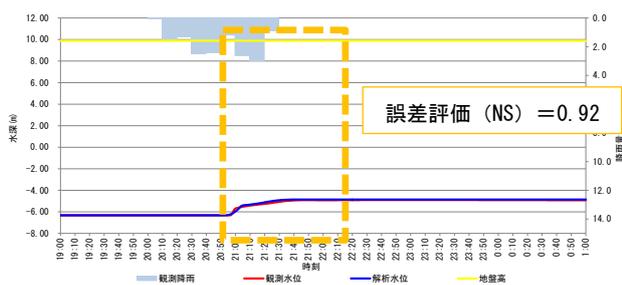
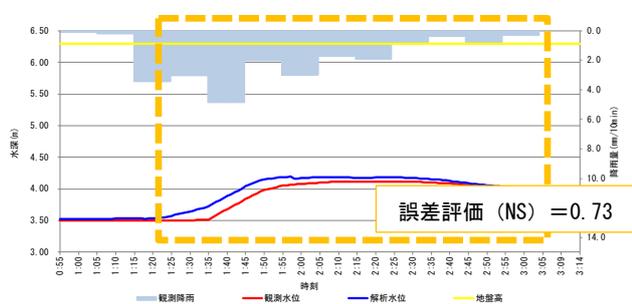
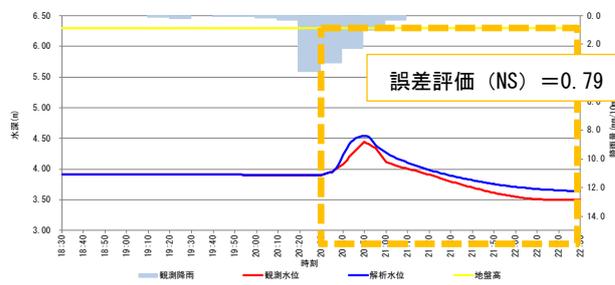


図 3-75 NS 値の評価結果 (月見みのり貯留管内)

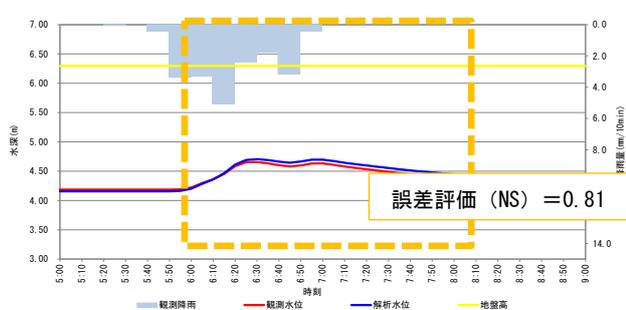
平成 28 年 10 月 9 日降雨



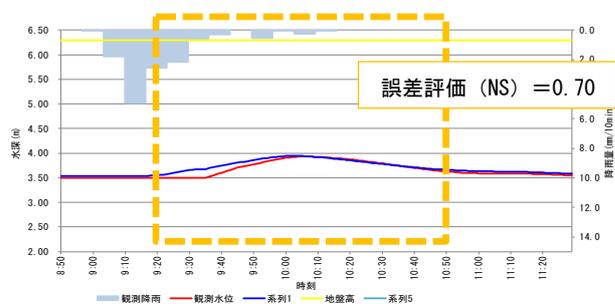
平成 28 年 8 月 20 日降雨



平成 28 年 7 月 13 日降雨



平成 28 年 9 月 8 日降雨



平成 28 年 6 月 22 日降雨

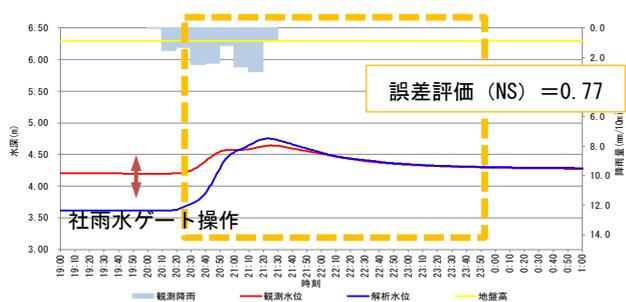
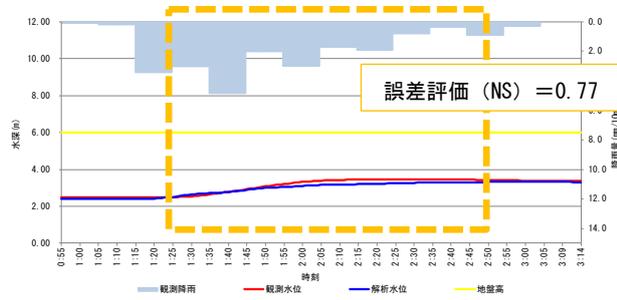
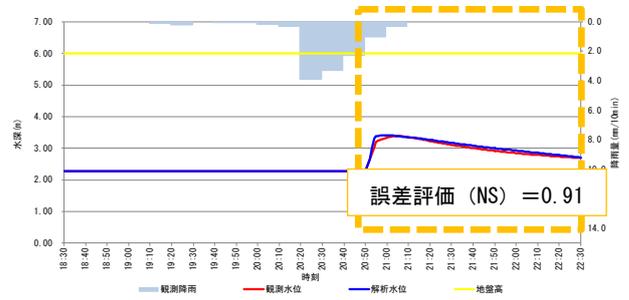


図 3-76 NS 値の評価結果 (山奥)

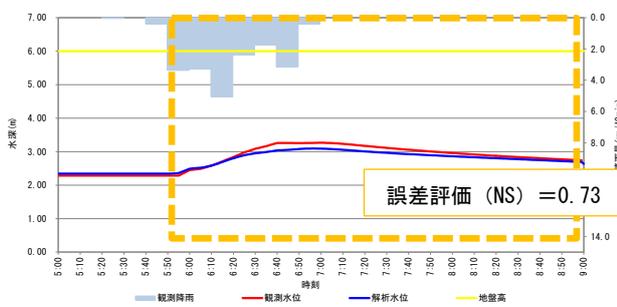
平成 28 年 10 月 9 日降雨



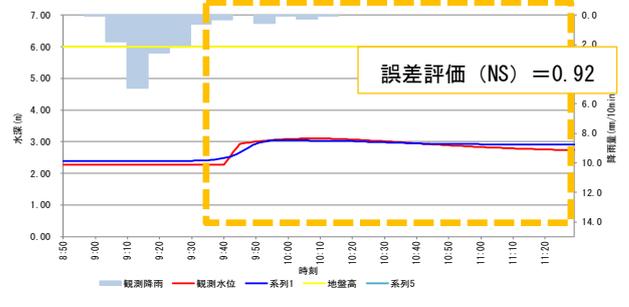
平成 28 年 8 月 20 日降雨



平成 28 年 7 月 13 日降雨



平成 28 年 9 月 8 日降雨



平成 28 年 6 月 22 日降雨

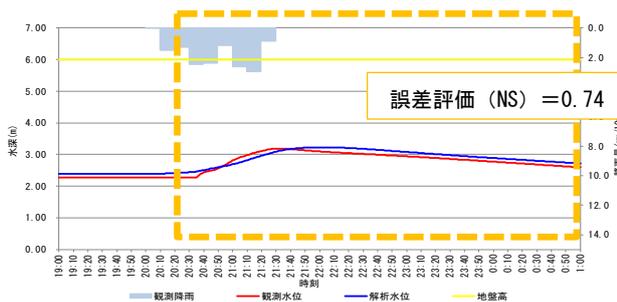
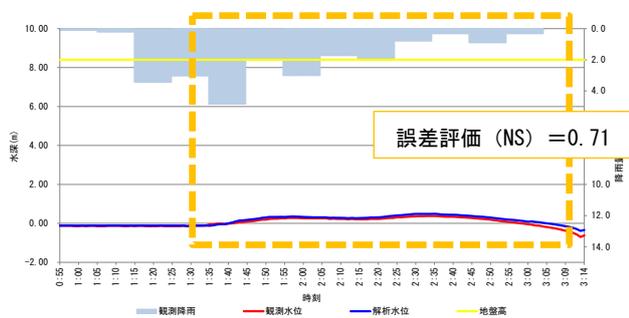
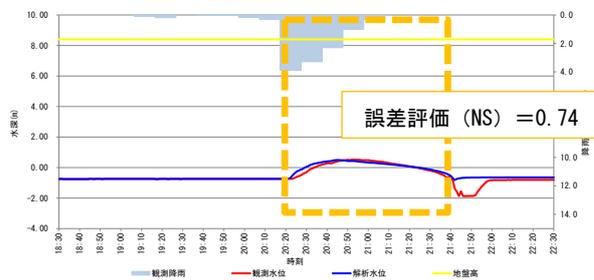


図 3-77 NS 値の評価結果 (社)

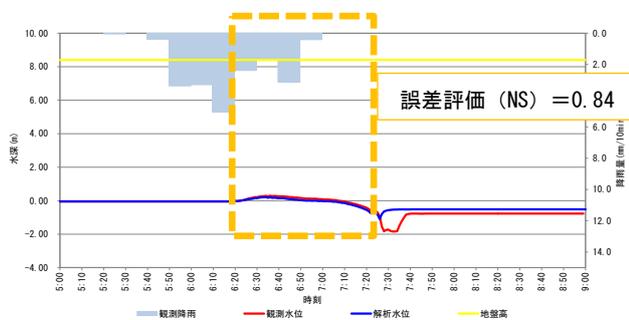
平成 28 年 10 月 9 日降雨



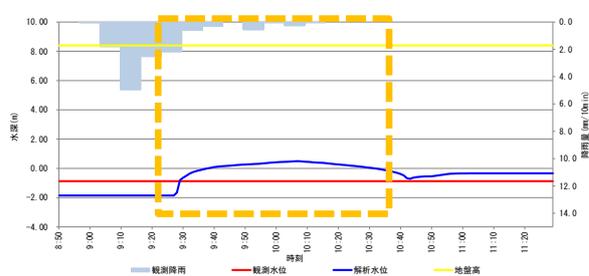
平成 28 年 8 月 20 日降雨



平成 28 年 7 月 13 日降雨



平成 28 年 9 月 8 日降雨



※貯留管への流入なし

平成 28 年 6 月 22 日降雨

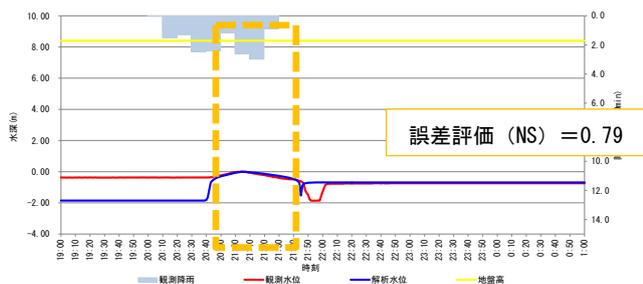


図 3-78 NS 値の評価結果 (下北野貯留管内)

②浸水発生位置，範囲，浸水深

実証期間中は浸水被害が発生しなかったため，過去，浸水発生日のシミュレーション結果と記録とを比較し，精度を評価することとした。記録には，住民からの電話などの時間を併記した通報記録，消防などの出動及び活動記録，職員の現地調査記録，浸水解消後の住民聞き取り調査記録や壁に付着したごみなどから水位を記録する現場調査記録などがある。

対象は，福井市で近年発生した，比較的記録の多く残る平成 24 年 9 月 6 日(時間最大 43.1mm/h)降雨とし，配備浸水調査報告書，大雨による作業報告書及び聞き取り調査報告書から，記録の残る特定の地域を抽出したうえで，シミュレーション結果の浸水発生位置，範囲，浸水深の妥当性を評価した。

浸水発生位置及び範囲の実績とシミュレーション結果を，**図 3-79**，**図 3-80**に示す。円で囲んだエリアの浸水範囲及び浸水深は，概ね実績と整合していることを確認した。

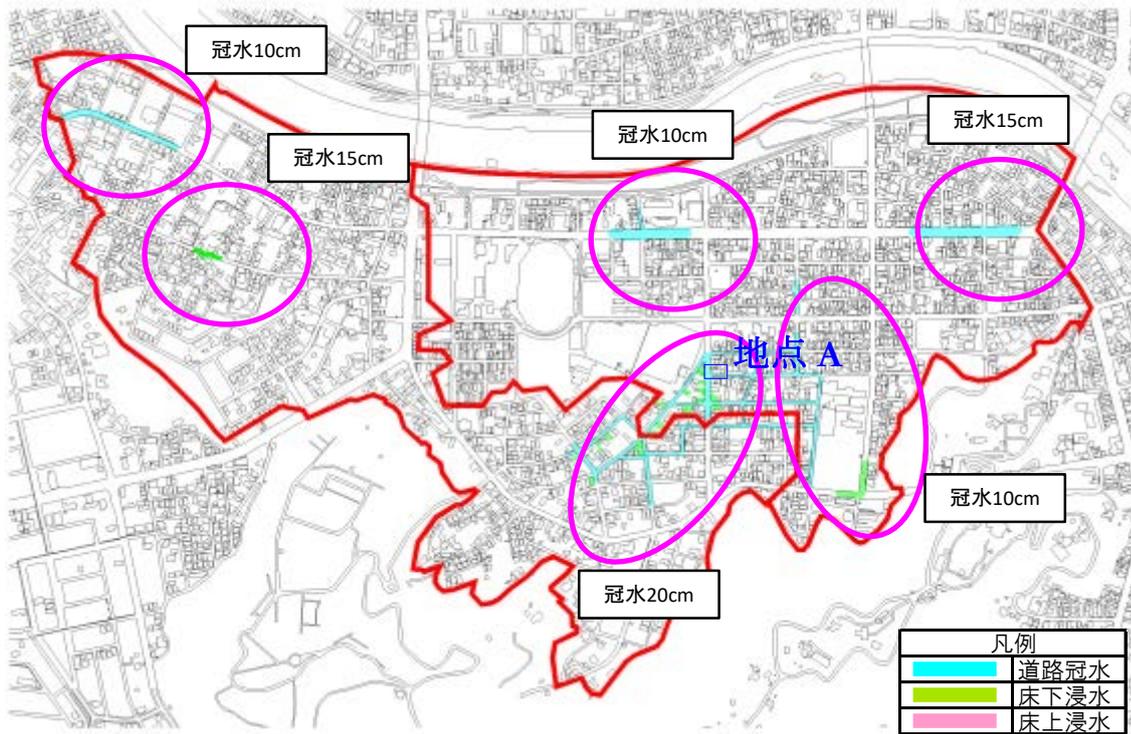


図 3-79 浸水実績 (平成 24 年 9 月 6 日降雨)

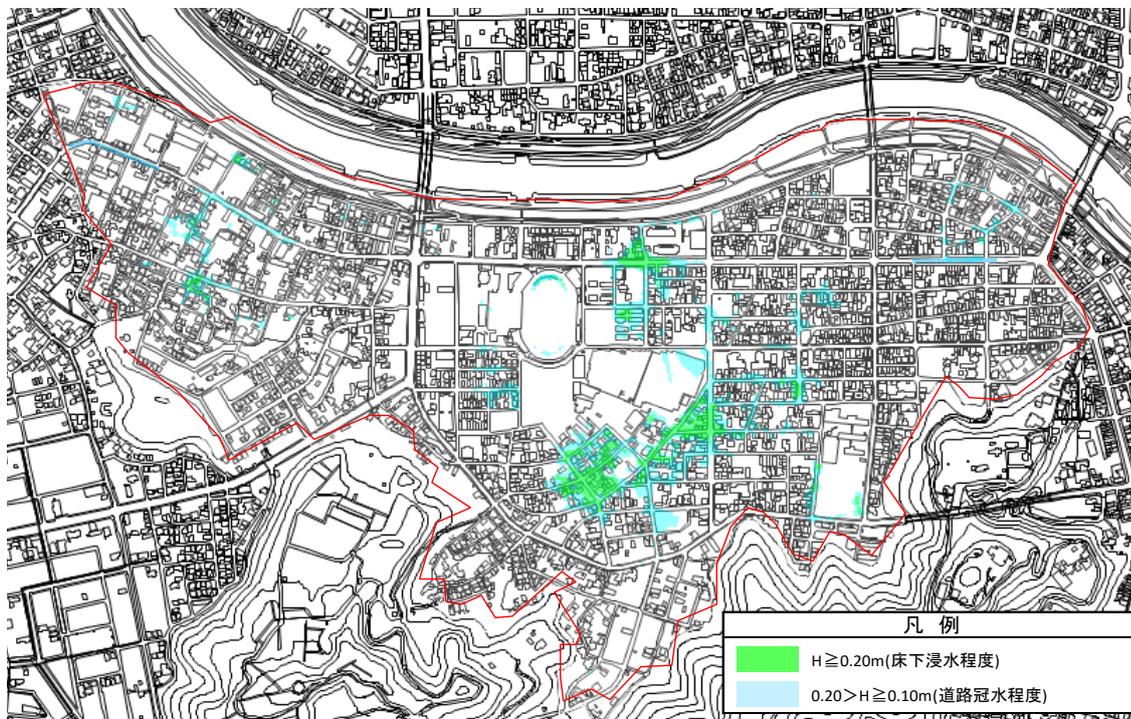


図 3-80 シミュレーション結果 (平成 24 年 9 月 6 日)

③浸水発生時間

時間と浸水深に関するシミュレーション結果の妥当性を評価した結果を、図 3-81 に示す。これは、住民からの通報記録の残る、図 3-79 の地点 A における水位のシミュレーション結果と記録とを比較したもので、道路冠水の始まった 6:55 分の水位と、9:00 頃の水位は、どちらもほぼ一致していることがわかる。

このように過去の浸水実績からシミュレーション結果の妥当性やキャリブレーションを行う必要もあるため、浸水常襲地区の特定、監視カメラの設置や、浸水発生時には、上記のような記録をできる限り多く正確に残し、報告書として取りまとめておくといよい。

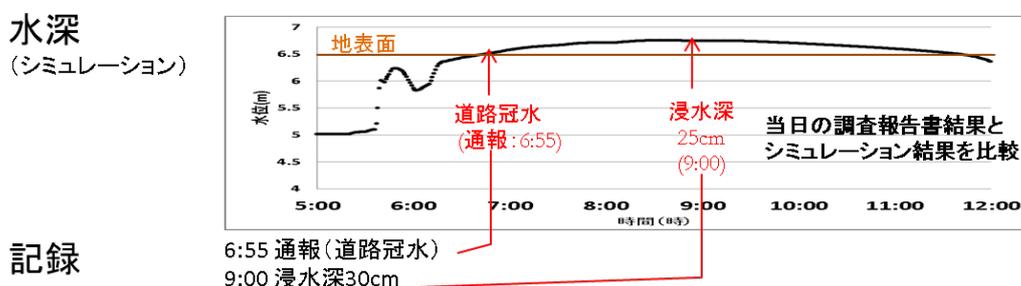


図 3-81 地点 A における時間及び浸水深の記録

2) 富山市

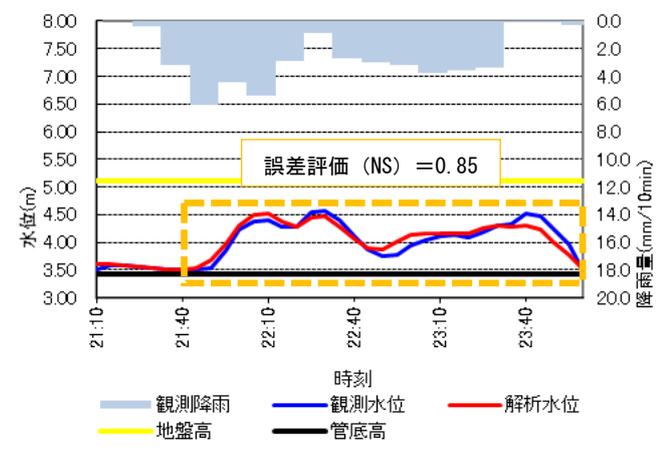
①下水管路内水位

平成 28 年 4 月 1 日～11 月 30 日までの全降雨のうち、規模の大きい降雨より 5 降雨に対し評価を実施した。対象降雨時の各地点における流出解析精度評価結果を下表に示す。全ての対象において、NS が 0.7 を超えており、流出解析モデルの再現性は高いと言える。

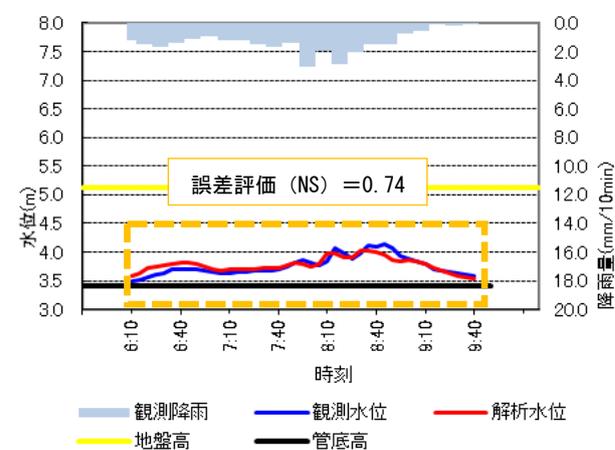
表 3-17 下水管路内水位評価結果 (富山市)

No	日付	NS 値			
		呉羽 新富田町	茶屋町	呉羽苑	呉羽 富田町
①	平成 28 年 7 月 26 日	0.85	0.72	0.81	0.83
②	平成 28 年 9 月 18 日	0.74	0.73	0.75	0.73
③	平成 28 年 7 月 13 日	0.86	0.74	0.78	0.76
④	平成 28 年 7 月 13 日	0.91	0.74	0.74	0.74
⑤	平成 28 年 8 月 9 日	0.70	0.70	0.72	0.71

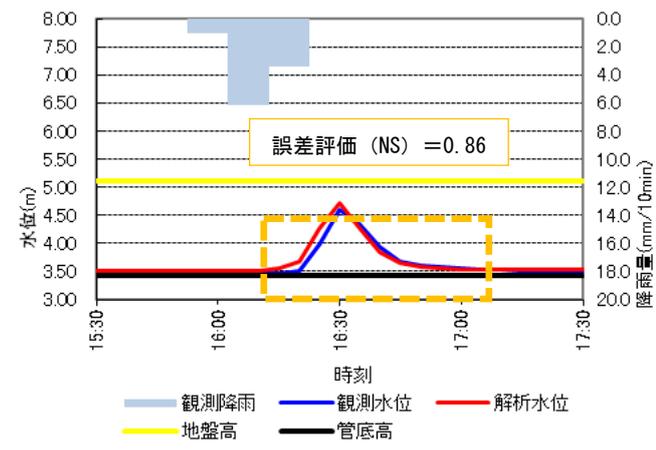
①平成 28 年 7 月 26 日降雨



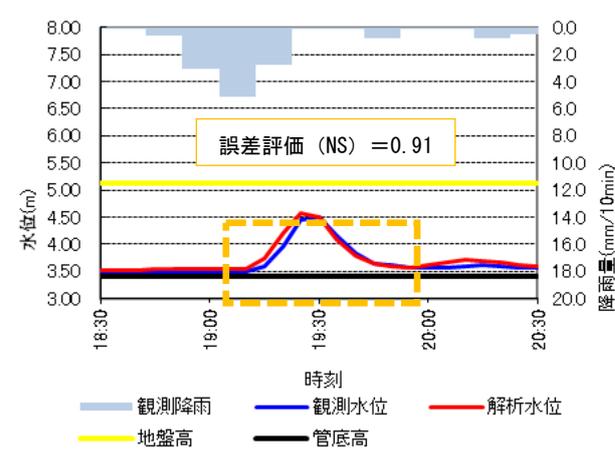
②平成 28 年 9 月 18 日降雨



③平成 28 年 7 月 13 日降雨



④平成 28 年 7 月 13 日降雨



⑤平成 28 年 8 月 9 日降雨

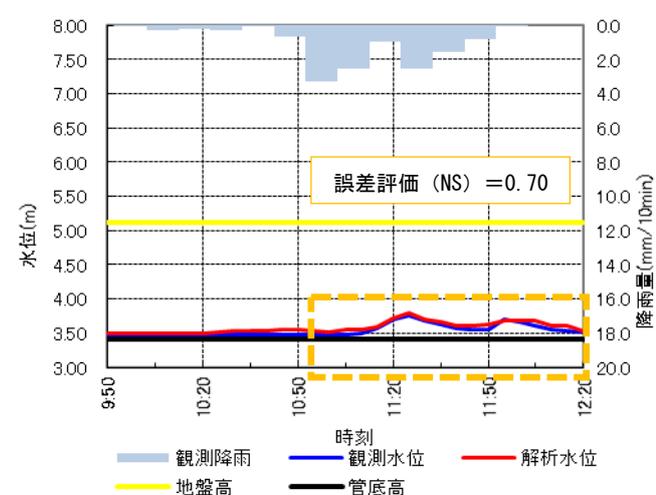
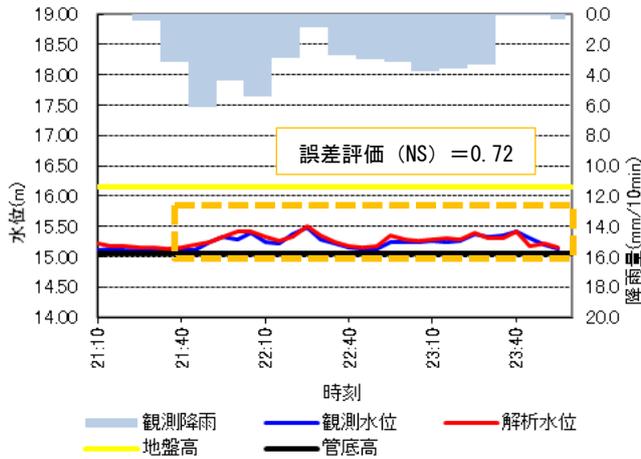
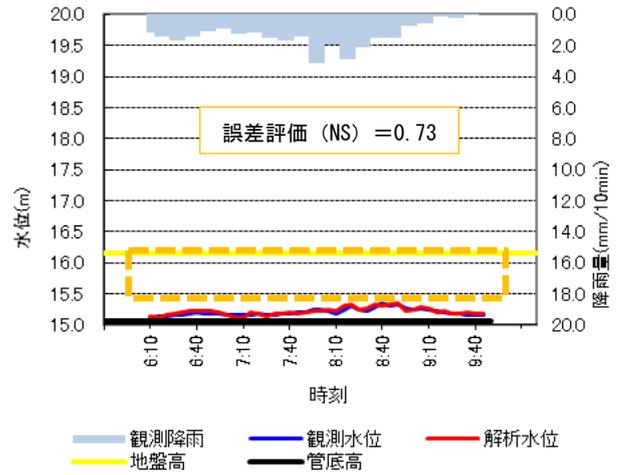


図 3-82 NS 値の評価結果 (呉羽新富田町)

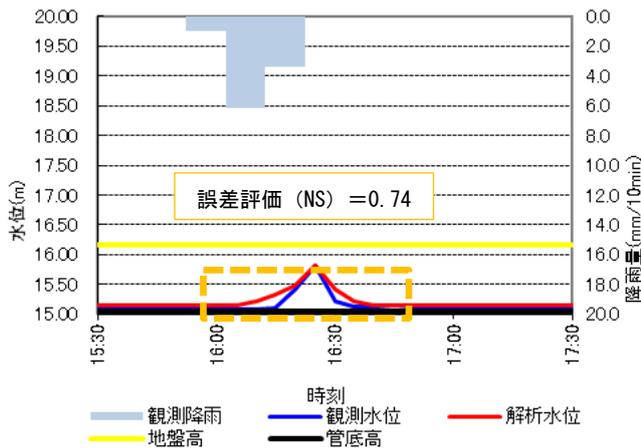
①平成 28 年 7 月 26 日降雨



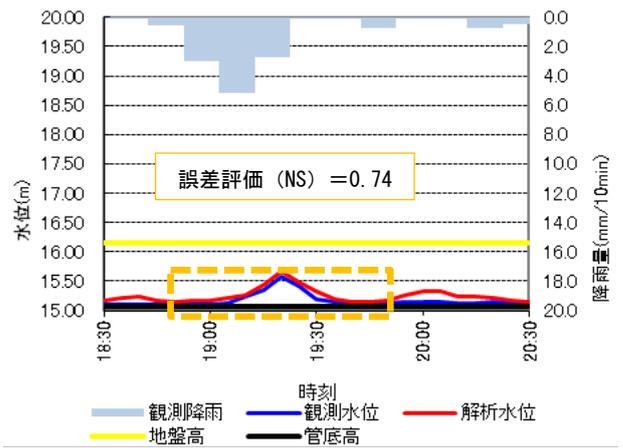
②平成 28 年 9 月 18 日降雨



③平成 28 年 7 月 13 日降雨



④平成 28 年 7 月 13 日降雨



⑤平成 28 年 8 月 9 日降雨

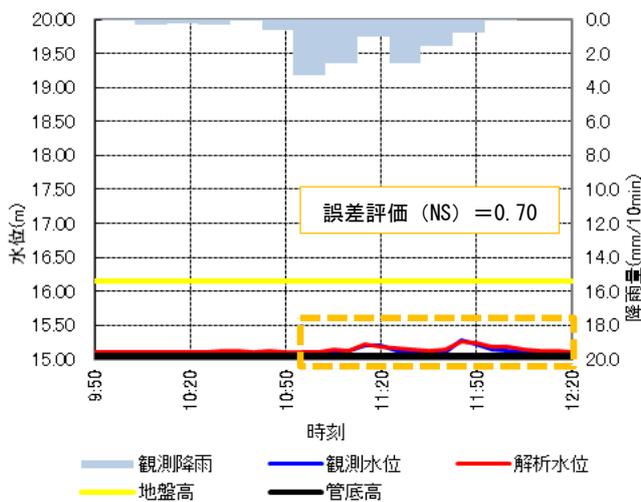
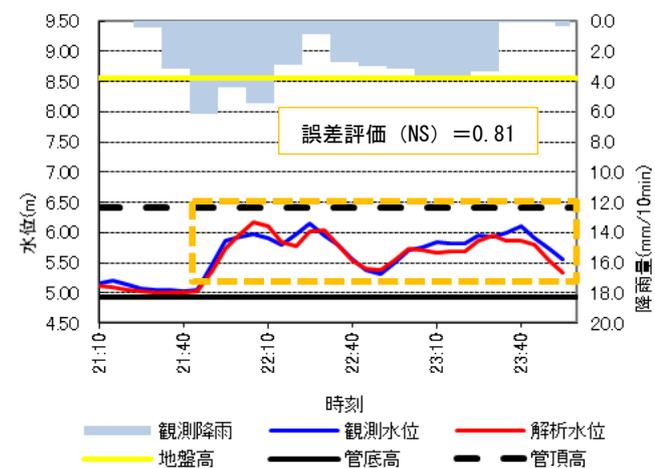
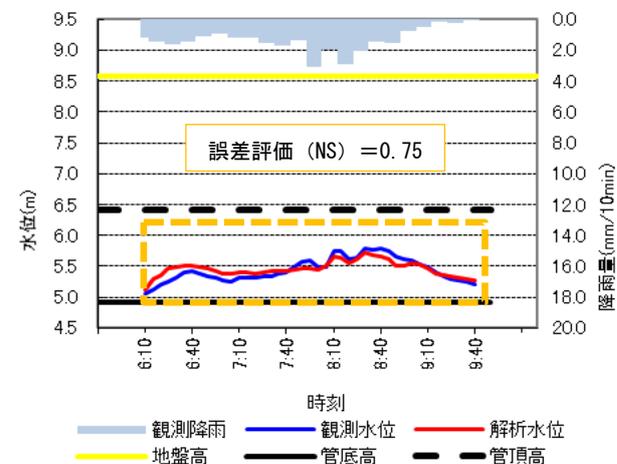


図 3-83 NS 値の評価結果 (茶屋町)

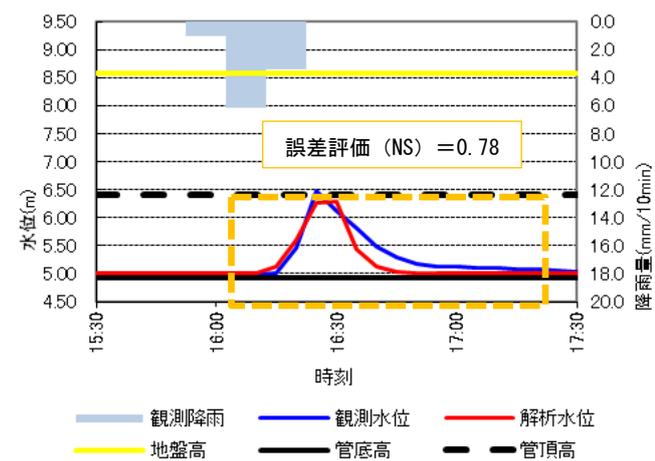
①平成 28 年 7 月 26 日降雨



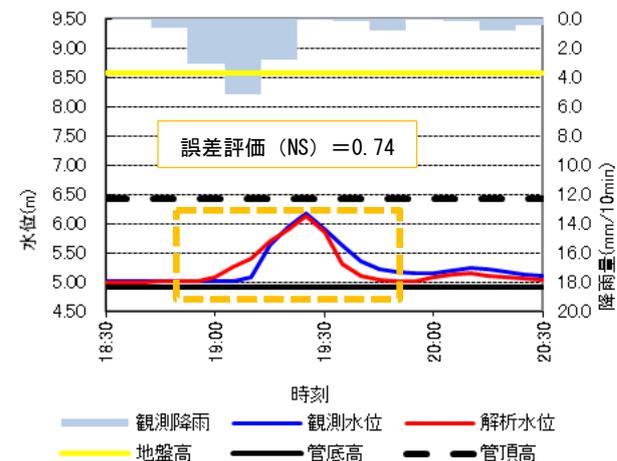
②平成 28 年 9 月 18 日降雨



③平成 28 年 7 月 13 日降雨



④平成 28 年 7 月 13 日降雨



⑤平成 28 年 8 月 9 日降雨

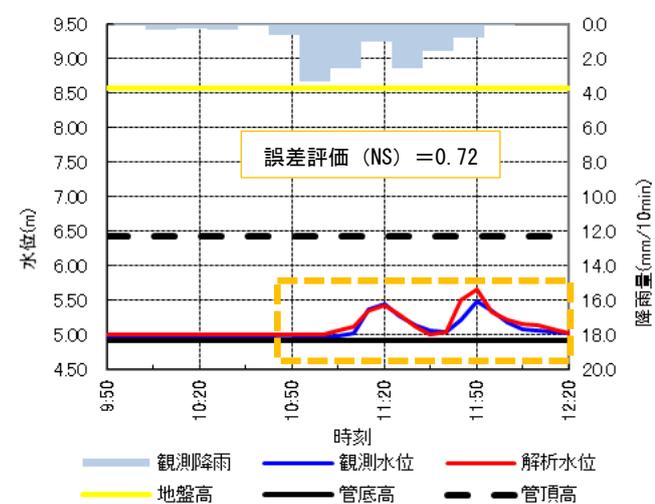
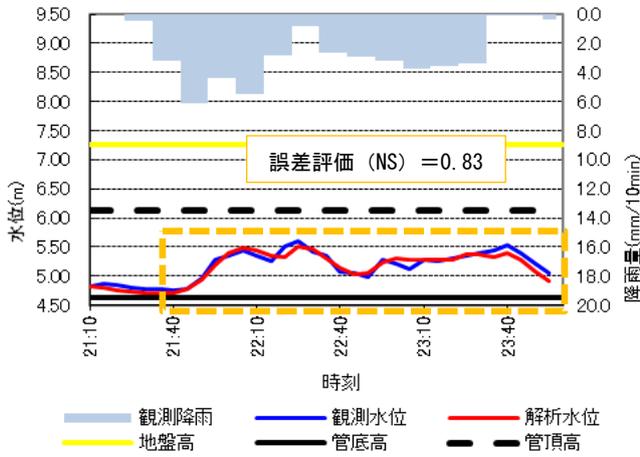
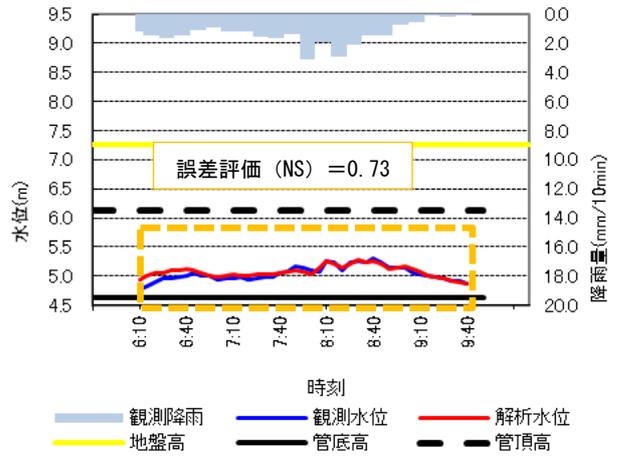


図 3-84 NS 値の評価結果 (吳羽苑)

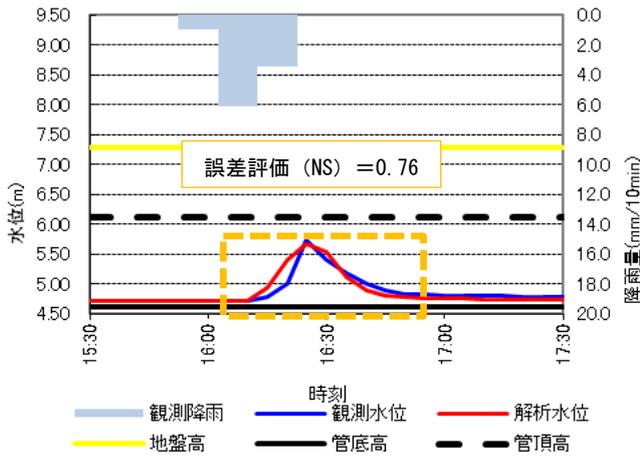
①平成 28 年 7 月 26 日降雨



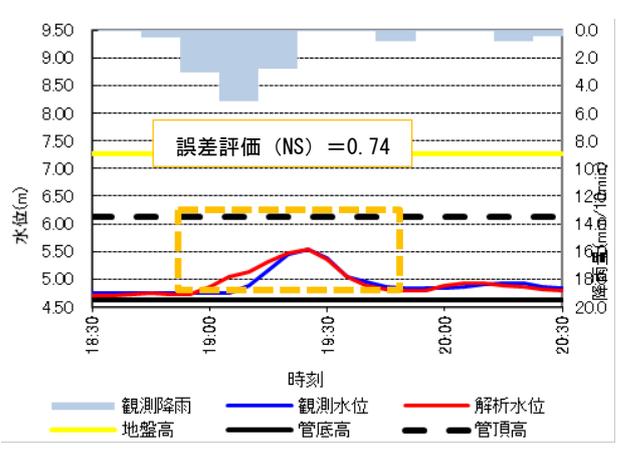
②平成 28 年 9 月 18 日降雨



③平成 28 年 7 月 13 日降雨



④平成 28 年 7 月 13 日降雨



⑤平成 28 年 8 月 9 日降雨

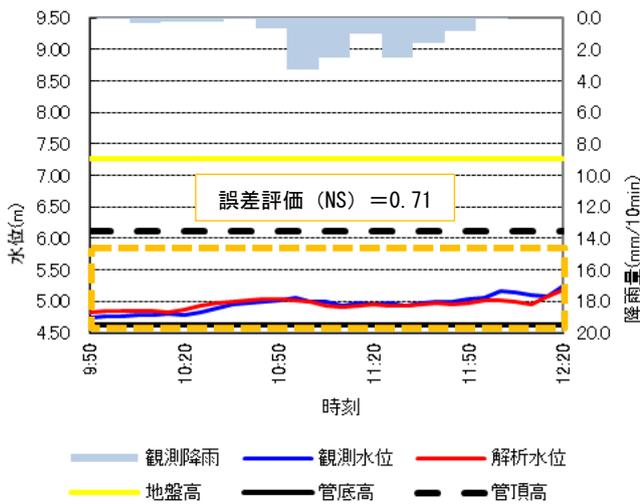


図 3-85 NS 値の評価結果 (呉羽富田町)

②浸水発生位置、範囲

実証期間中は、浸水被害が発生しなかったため、過去の浸水実績より、比較評価を行った。対象は、明確な浸水実績の記録のある平成16年7月25日(時間最大50.5mm/h)とし、近傍の富山地方気象台の地上量計を用いたシミュレーションを行い、結果の浸水発生位置、範囲、浸水深の妥当性を評価した。

浸水発生位置および範囲の実績と、シミュレーション結果を図3-86、図3-87に示す。浸水深0.1m以上の位置(円で囲んだエリア)が、概ね一致していることを確認した。

ただし、上記評価結果は、排水区直上の地上雨量計やレーダ雨量計ではないため、参考値とする。なお、浸水発生位置や範囲、浸水深等の浸水実績との整合性確認においては、地元住民への聞き取りや、監視カメラによりその範囲を特定していくことが望ましい。

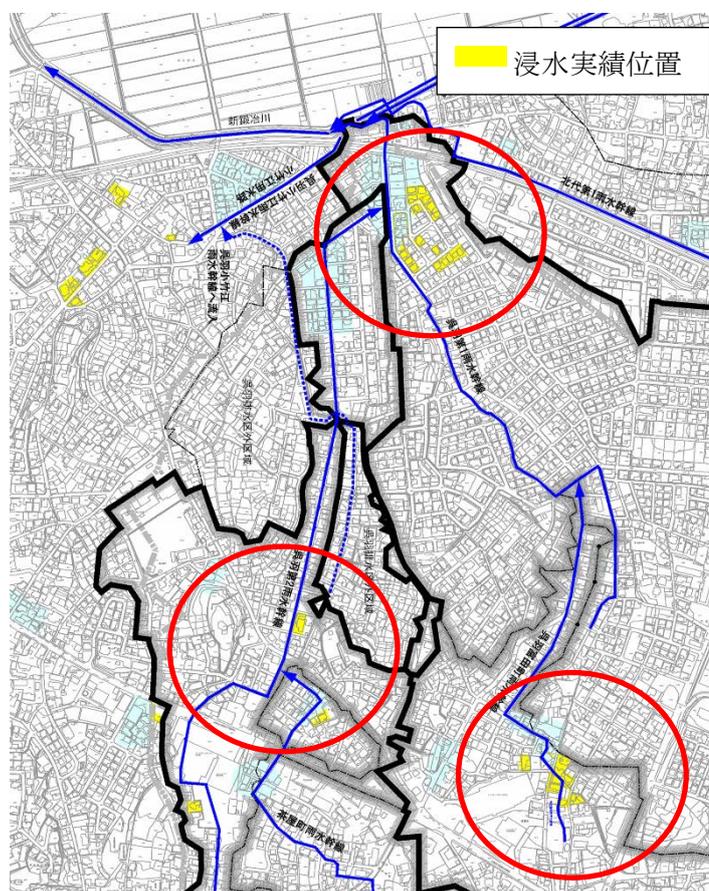


図 3-86 浸水実績

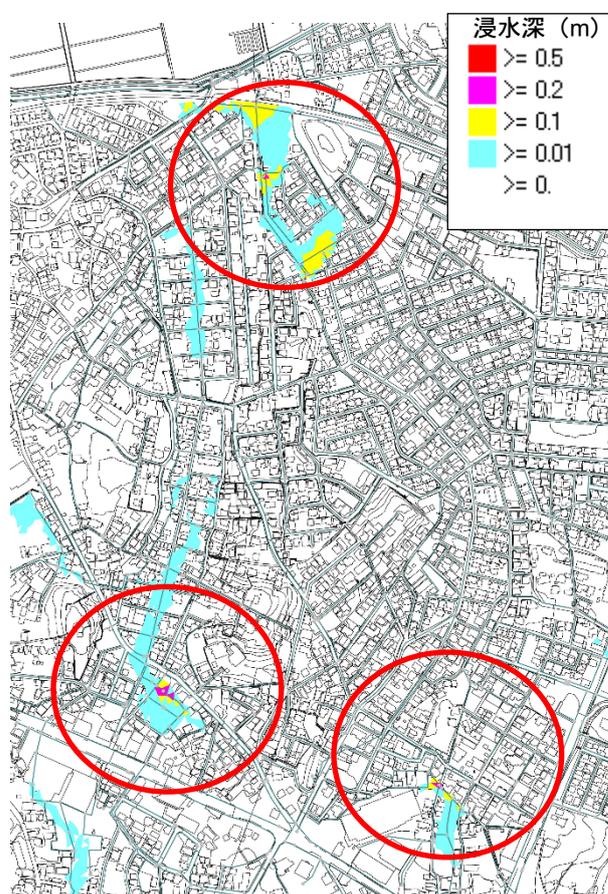


図 3-87 浸水解析図

③浸水発生時間

浸水発時間については、浸水時の水位記録等が無いため、評価対象外とした。

3.5.4 施設運転支援および自助・共助支援に有効な予測パターンの選定

(1) 評価方法

1) 目的

予測には誤差がかならず含まれることから、予測パターンの選定においては、予測値の誤差、空振りが発生する可能性、安全側をどこまで見込むか、などの要素について検討し、目的に応じた予測パターンを選定する必要がある。ここでは、施設運転支援および自助・共助支援に有効な降雨予測パターンの選定を行うことを目的とする。

2) 性能・目標

前述の降雨予測精度の評価結果より、降雨予測精度が実測値に近い値となる「移流」とプラス方向の誤差となる「特異最大」について表 3-18 のとおり評価を行い、施設運転支援および自助・共助支援に適切な予測パターンであることを確認する。

表 3-18 性能目標と評価方法

項目	性能目標	評価方法
施設運転支援	水位立ち上がり～ピーク水位までの期間で、予測精度が高いこと (RMSE が小さいこと)	移流と特異最大における水位実測値と予測値の差を比較
自助・共助支援	必要とするリードタイムが確保できること	移流と特異最大の水位予測値に基づき算出したリードタイムを比較

3) 評価手順

①施設運転支援

水位立ち上がりからピーク水位までの期間で、実測値と予測の RMSE を計測し、比較した。

②自助・共助支援

住民が必要とする自助・共助活動時間を確保するため、住民に対するアンケート調査やヒアリング等から、必要なリードタイムを設定した。

(a)リードタイムの定義

気象庁では、リードタイムを「警報・注意報を発表してから基準を超える現象が発生するまでの時間¹⁶⁾」と定義している。気象庁の定義を参考に実証技術におけるリードタイムは以下のとおり定義する。

「気象庁におけるリードタイム」 =

「基準を超える現象が発生した時間」 - 「警報・注意報を発表した時間」

「実証技術におけるリードタイム」 =

「浸水が発生した時間」 - 「浸水予測情報を配信した時間」

なお、最大 30 分後予測とした場合には、解析処理とメール送信に 5 分かかるため、情報活用者における予測時間としては最大 25 分となる。システム内の予測時間と情報活用者側の予測情報の時間の考え方について図 3-88 に示す。

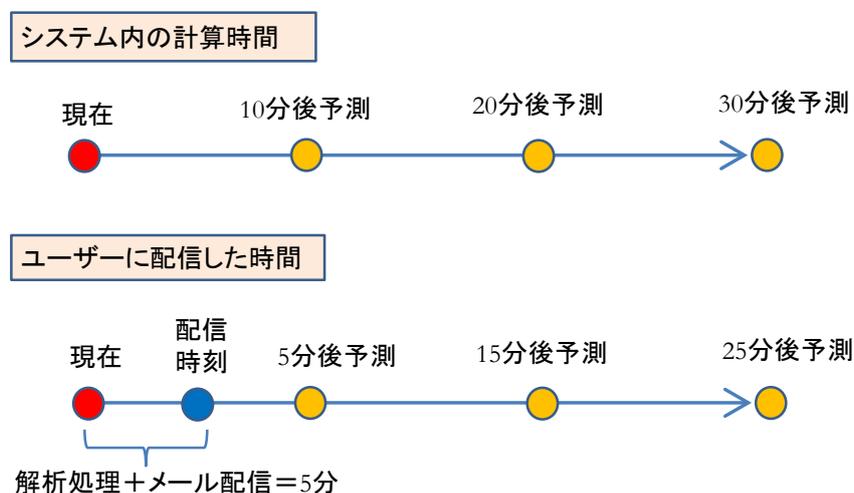


図 3-88 配信時間の考え方

(b)必要なリードタイム

必要なリードタイムは、住民アンケート調査結果から設定することが望ましいが、表 3-19 に示す所要時間を目安に設定することも可能とする。実証研究では、住民アンケート調査結果から住民が必要とするリードタイムを 20 分と設定した。

表 3-19 自助・共助対応の所要時間（実証研究による調査結果）

活動内容	所要時間	備考
土のうの設置	15 分	3 段設置（1 段当り 10 袋）
止水板の設置	10 分	準備, 取り付け
自動車移動	5 分	最大移動距離 200m

(c) リードタイムの確認方法

住民が必要とするリードタイムの確保と、実証技術の予測性能確認(最大 25 分後予測精度確認)を目的としたリードタイムを設定した。

本来は、地表面を超える降雨イベントを対象に評価を行うが、実証期間中に地表面を超える降雨イベントが発生しなかった。そのため、選定した 5 降雨のピーク水位に対して評価を行った。

(d) 住民側から見たリードタイム

住民が期待する自助・共助活動に必要な時間を確保出来ることを確認して、実証技術の性能を評価する目的で設定したリードタイム。

25 分 \geq 「浸水が発生した時刻」 - 「浸水予測情報を配信した時刻」 \geq 20 分

(e) 配信側（実証技術の予測精度）から見たリードタイム

実証技術の予測精度の確認を目的に設定したリードタイム。

25 分 \geq 「浸水発生を予測した時刻」 - 「浸水予測情報を配信した時刻」 \geq 20 分

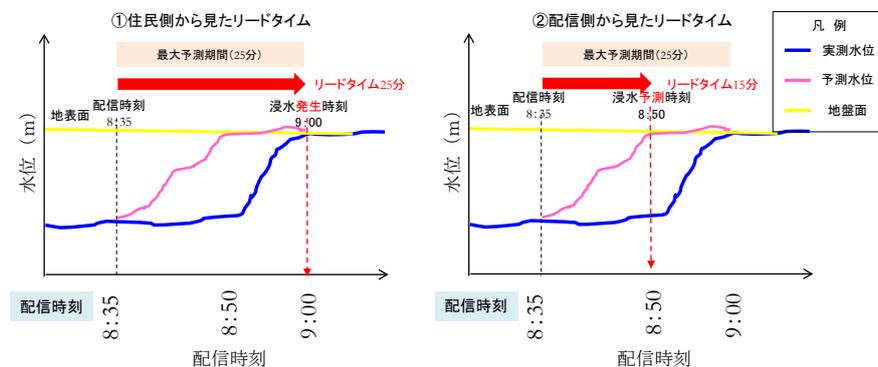


図 3-89 リードタイムの確認

(2) 評価結果

1) 福井市の評価事例

①施設運転支援（予測精度誤差の確認）

施設運転を行うためにはできるだけ精度の高い予測が要求されるため、それぞれのパターンについて各予測時刻における予測水位と実測水位の誤差を RMSE により評価した。なお、評価期間は水位の立ち上がりからピーク水位までとし、実際に施設運転に必要となる山奥の水位計を対象とした。評価結果を表 3-20 に示す。

ほとんどの予測時刻において特異最大にくらべ移流の予測誤差が小さい結果となったことから、施設運転支援においては移流モデルが適していると考えられる。

表 3-20 RMSE 評価結果

検討ケース	5 分後予測の RMSE (m)	
	移流	特異最大
7 月 13 日	0.15	0.53
10 月 9 日	0.07	0.62
8 月 20 日	0.04	0.23
9 月 8 日	0.12	0.33
6 月 22 日	0.04	0.24
平均	0.08	0.39

②自助・共助支援（リードタイム確保の確認）

移流と特異最大の水位予測値に基づきリードタイムを算出した結果、リードタイムを確保出来たケースが移流（1ケース）、特異最大（2ケース）と、特異最大がリードタイムを確保できるケースが多かった。

表 3-21 リードタイム評価結果（移流）

降雨イベント		①	②	③	④	⑤
		7/13	10/9	8/20	9/8	6/22
住民側から見た リードタイム	時間	16分	0分	25分	18分	0分
配信側から見た リードタイム	時間	14分	0分	13分	2分	0分

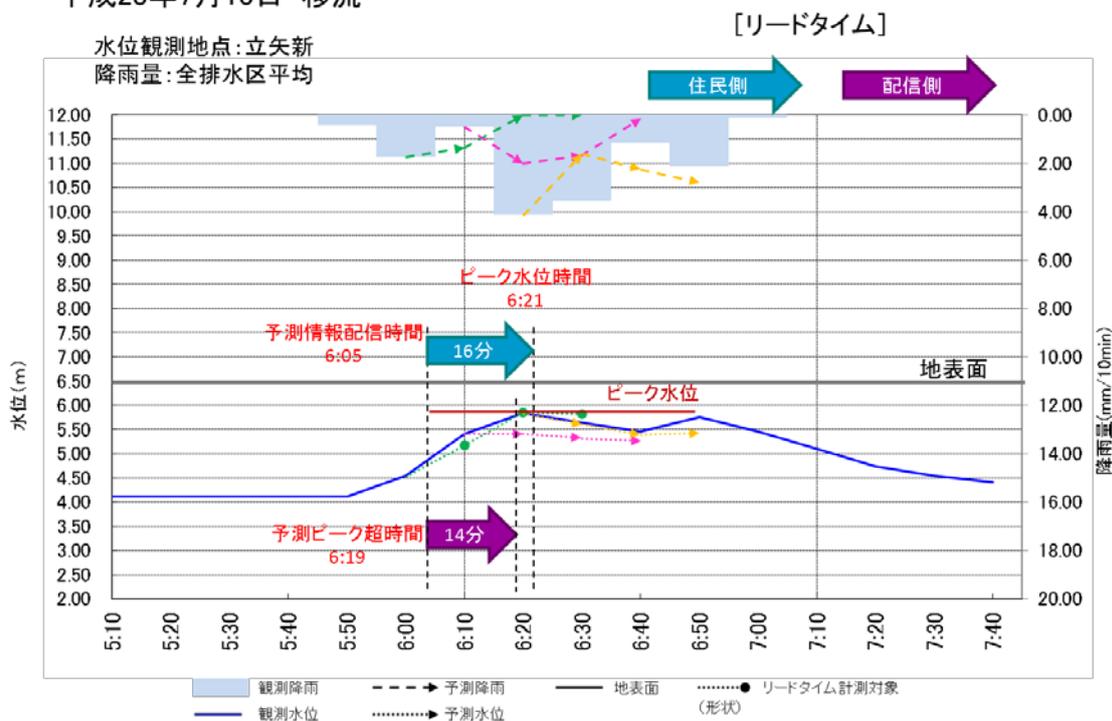
表 3-22 リードタイム評価結果（特異最大）

降雨イベント		①	②	③	④	⑤
		7/13	10/9	8/20	9/8	6/22
住民側から見た リードタイム	時間	16分	22分	25分	18分	16分
配信側から見た リードタイム	時間	11分	9分	13分	3分	8分

次頁以降に福井市の評価事例を示す。

福井

平成28年7月13日 移流



福井

平成28年7月13日 特異最大

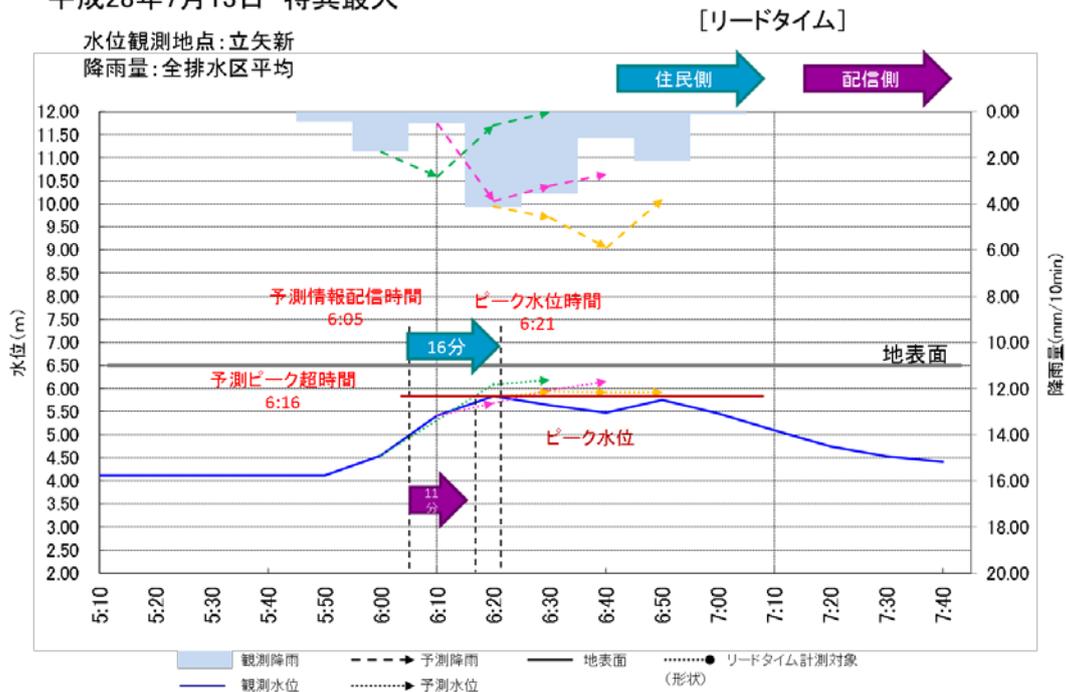


図 3-90 評価事例 (福井市 平成 28 年 7 月 13 日)

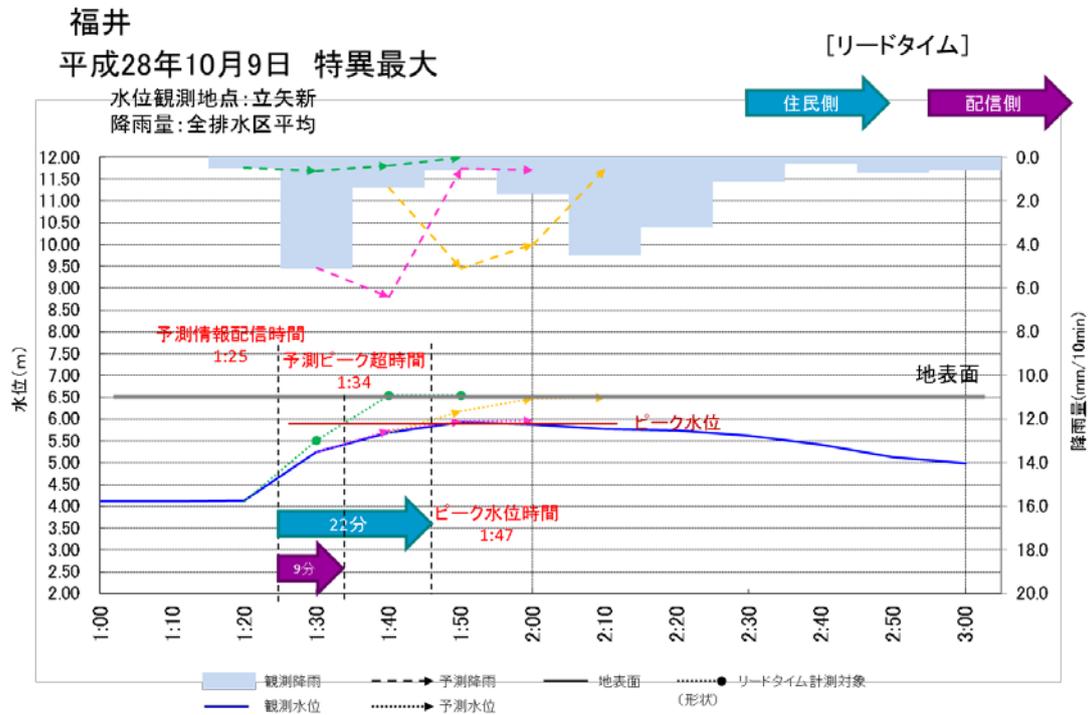
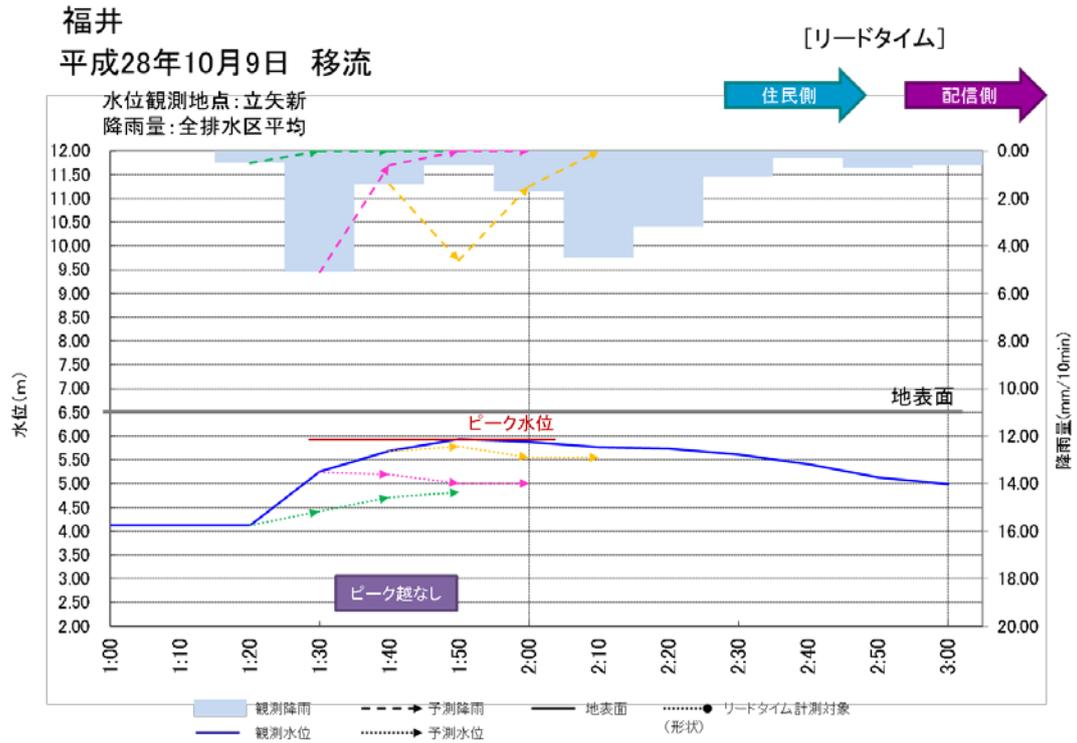


図 3-91 評価事例 (福井市 平成 28 年 10 月 9 日)

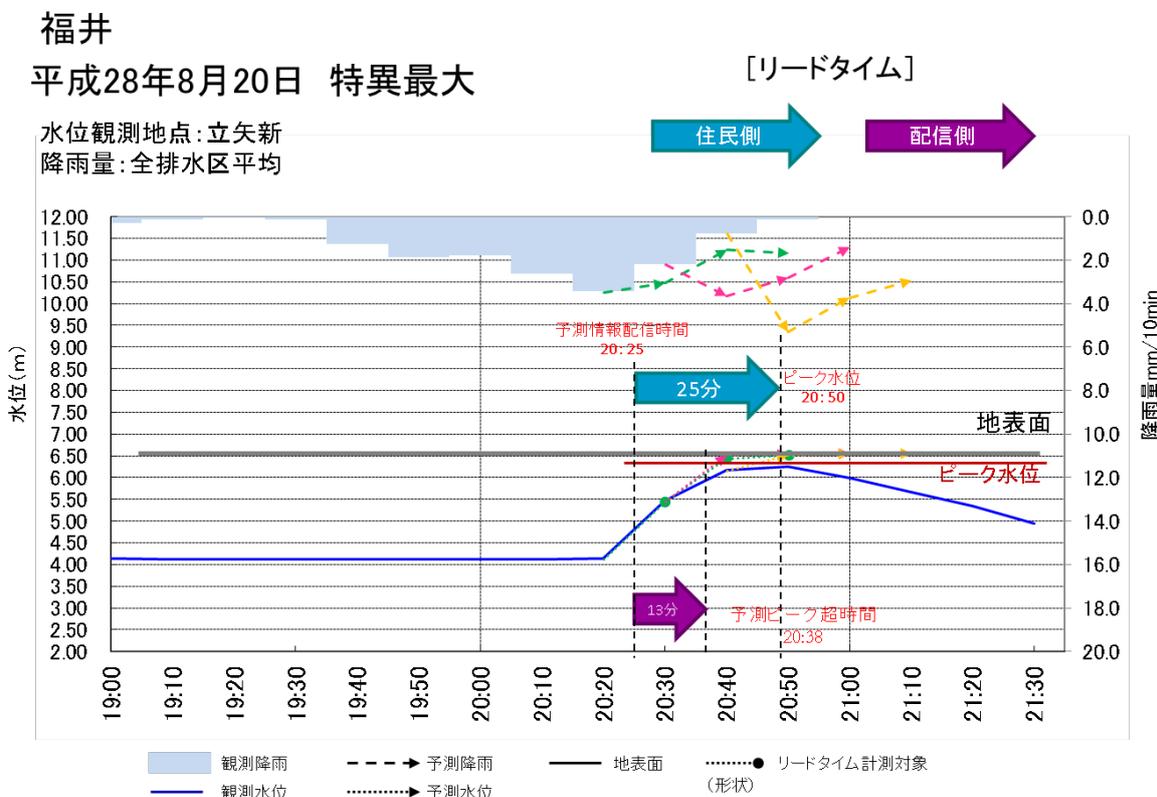
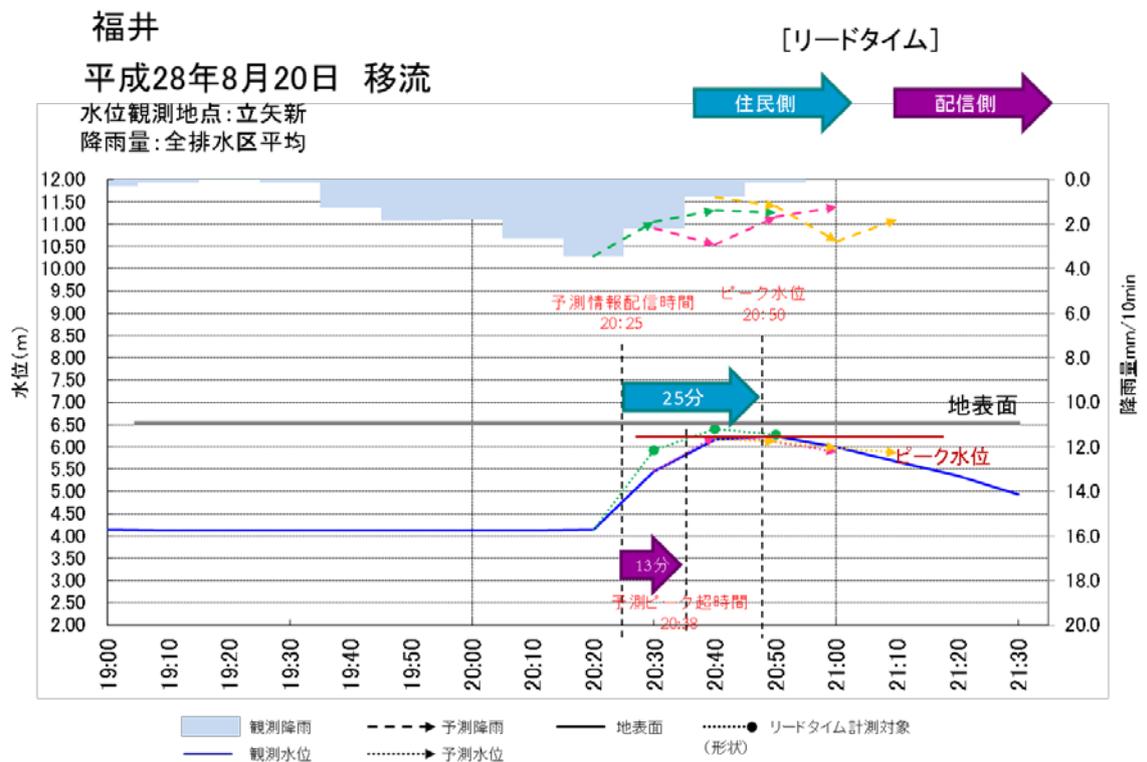


図 3-92 評価事例 (福井市 平成 28 年 8 月 20 日)

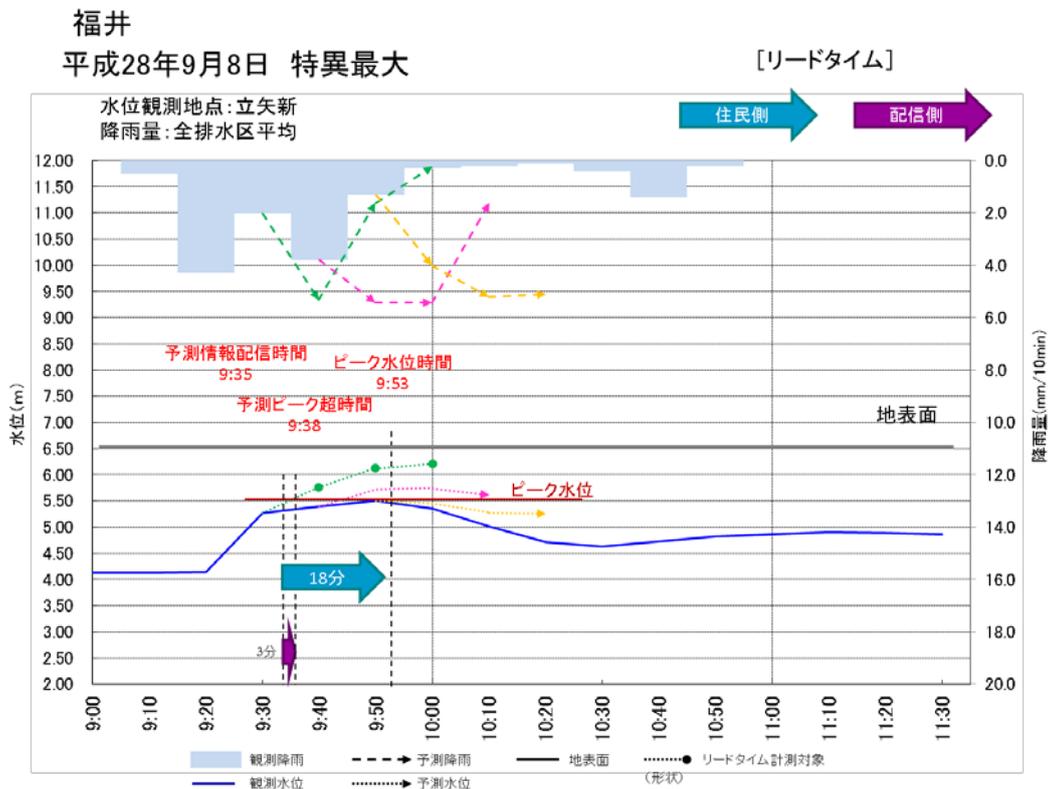
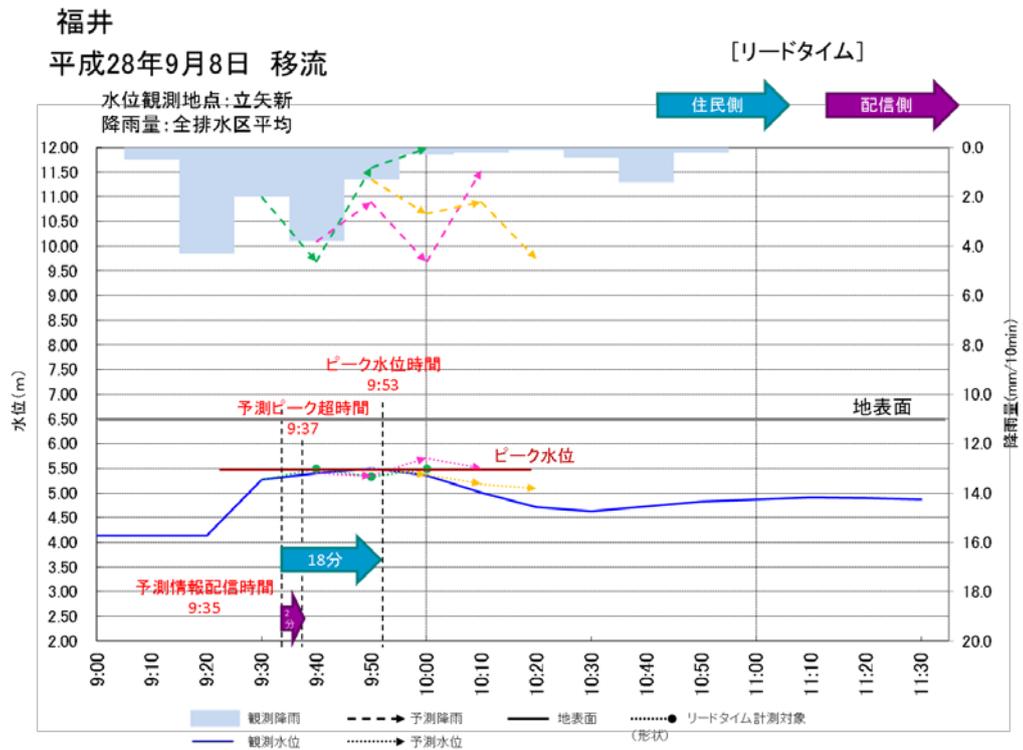
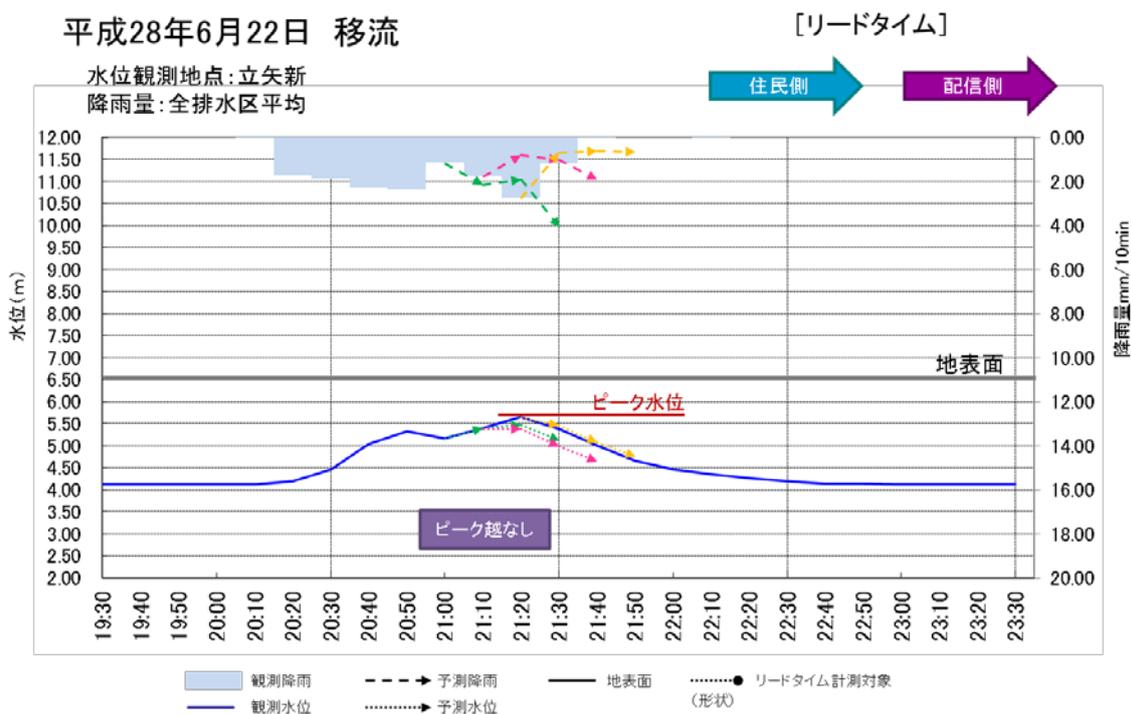


図 3-93 評価事例 (福井市 平成 28 年 9 月 8 日)

福井

平成28年6月22日 移流



福井

平成28年6月22日 特異最大

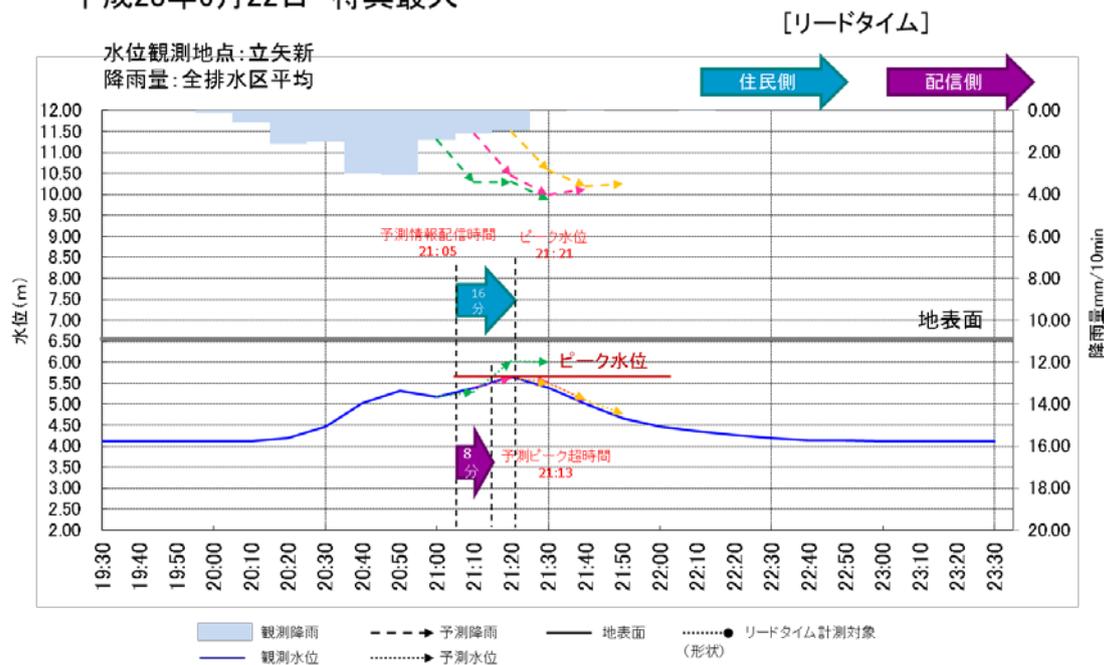


図 3-94 評価事例 (福井市 平成 28 年 6 月 22 日)

2) 富山市の評価事例

富山市の自助・共助支援におけるリードタイム評価結果を以下に示す。移流と特異最大の水位予測値に基づきリードタイムを算出した結果、リードタイムを確保出来たケースが移流（0 ケース）、特異最大（3 ケース）であり、特異最大がリードタイムを確保できるケースが多かった。

表 3-23 リードタイム評価結果（移流）

降雨イベント		①	②	③	④	⑤
		7/26	9/18	7/13	7/13	8/9
住民側から見た リードタイム	時間	0 分	15 分	4 分	2 分	18 分
配信側から見た リードタイム	時間	0 分	7 分	3 分	2 分	7 分

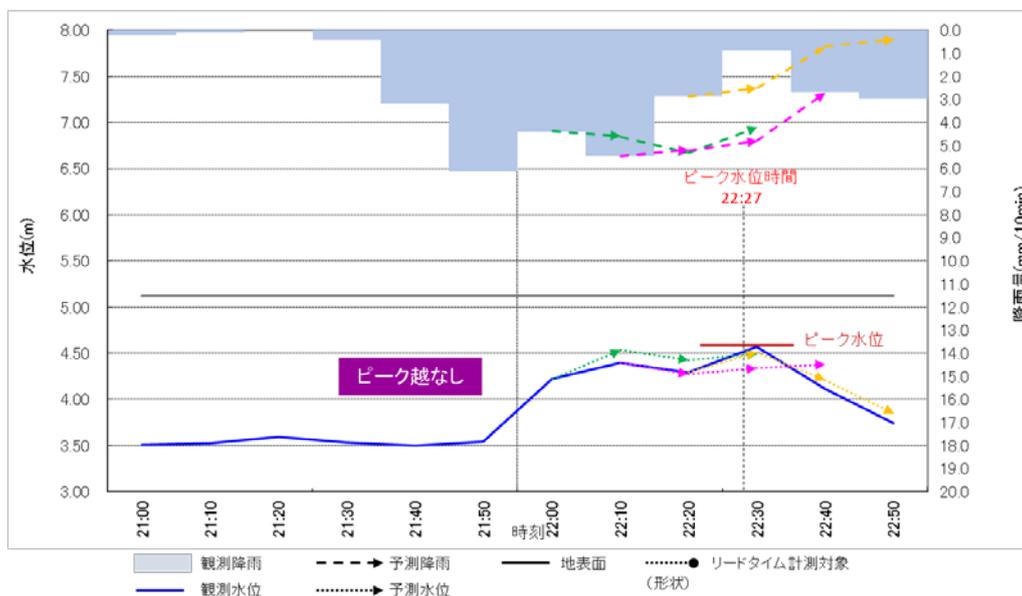
表 3-24 リードタイム評価結果（特異最大）

降雨イベント		①	②	③	④	⑤
		7/26	9/18	7/13	7/13	8/9
住民側から見た リードタイム	時間	22 分	25 分	14 分	22 分	18 分
配信側から見た リードタイム	時間	14 分	17 分	13 分	13 分	7 分

次頁以降に富山市の評価事例を示す。

富山
平成28年7月26日 移流

水位観測地点:新富田町
降雨量:呉羽排水区平均



富山
平成28年7月26日 特異最大

水位観測地点:新富田町
降雨量:呉羽排水区平均

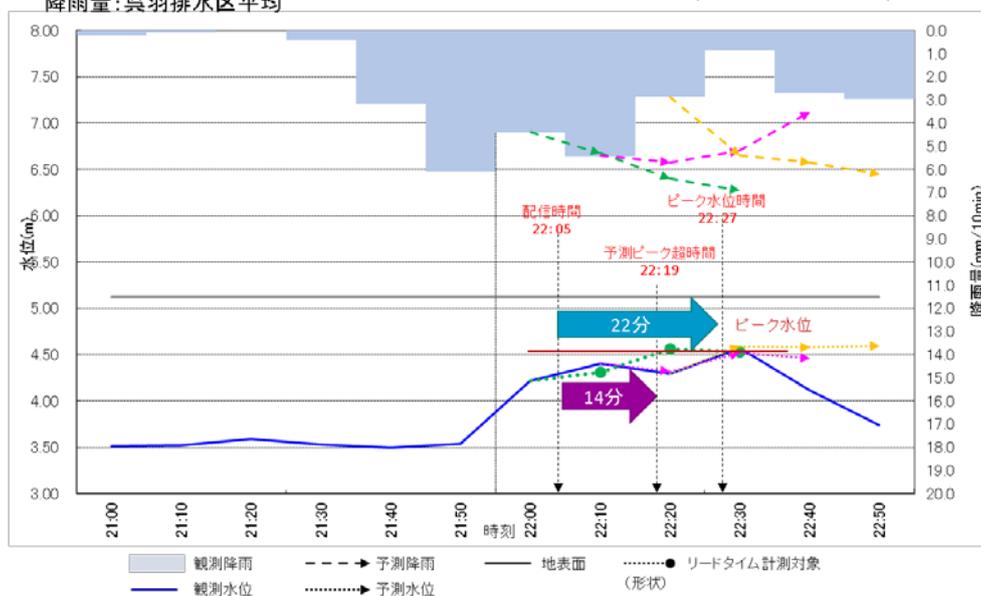


図 3-95 評価事例 (富山市 平成 28 年 7 月 26 日)

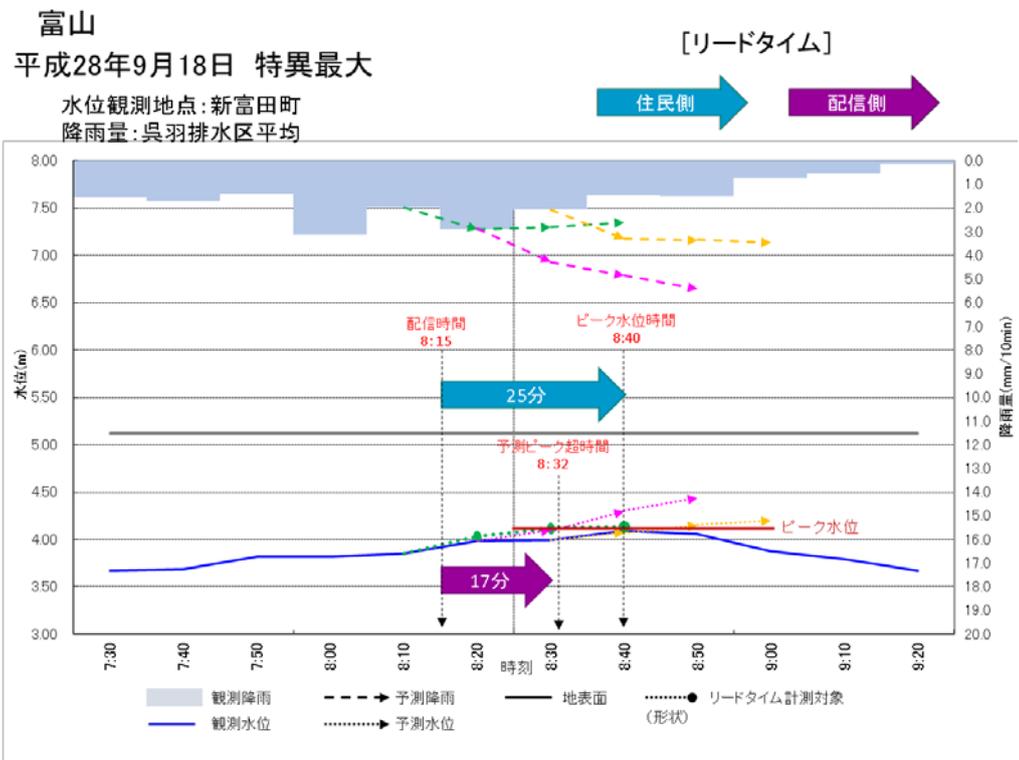
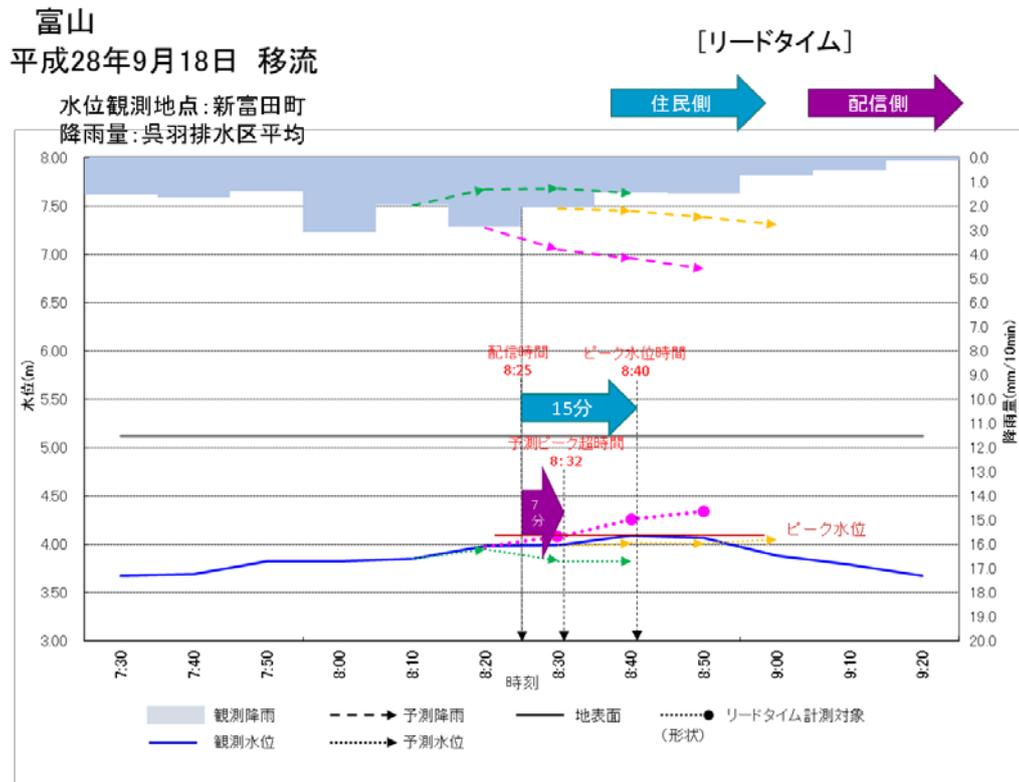
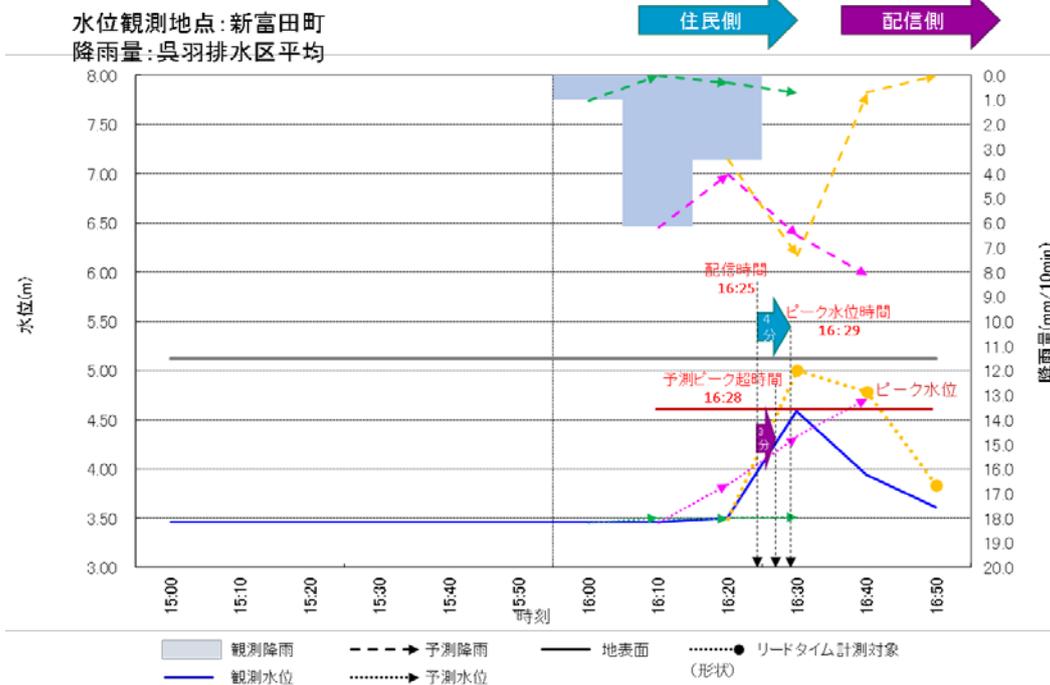


図 3-96 評価事例 (富山市 平成 28 年 9 月 18 日)

富山
平成28年7月13日 移流



富山
平成28年7月13日 特異最大

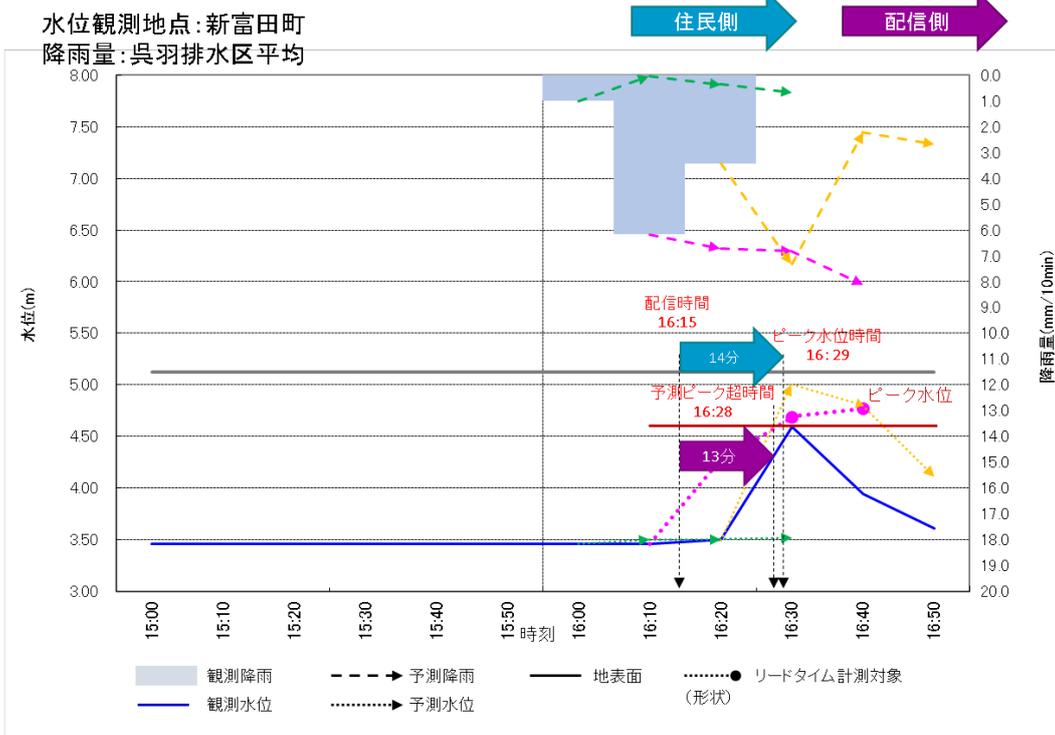


図 3-97 評価事例 (富山市 平成 28 年 7 月 13 日①)

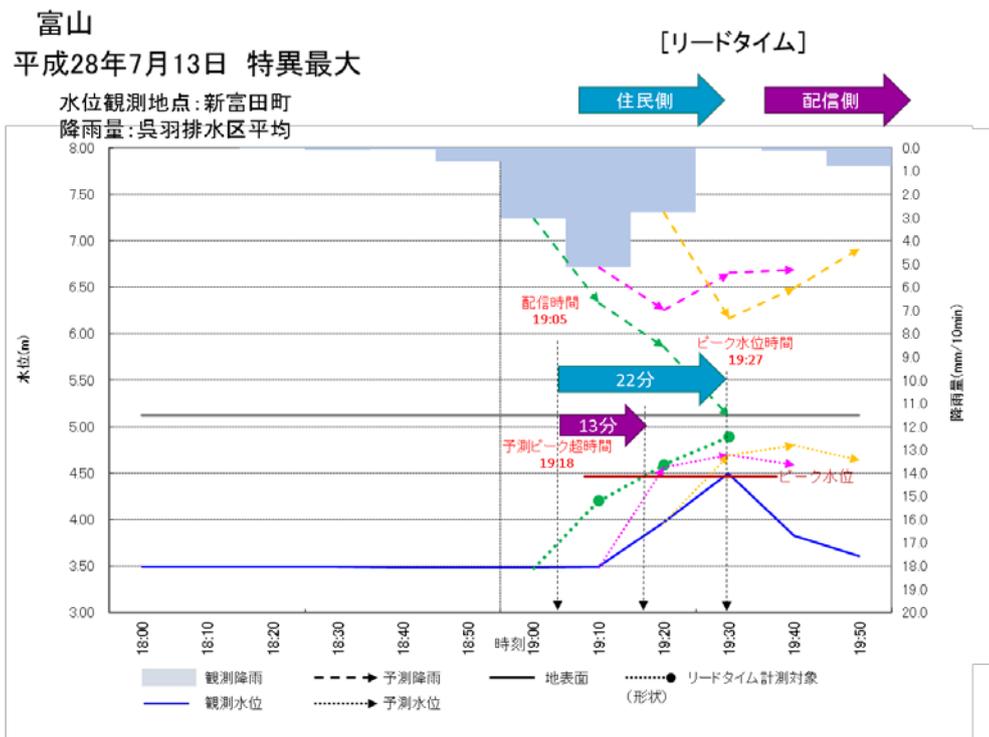
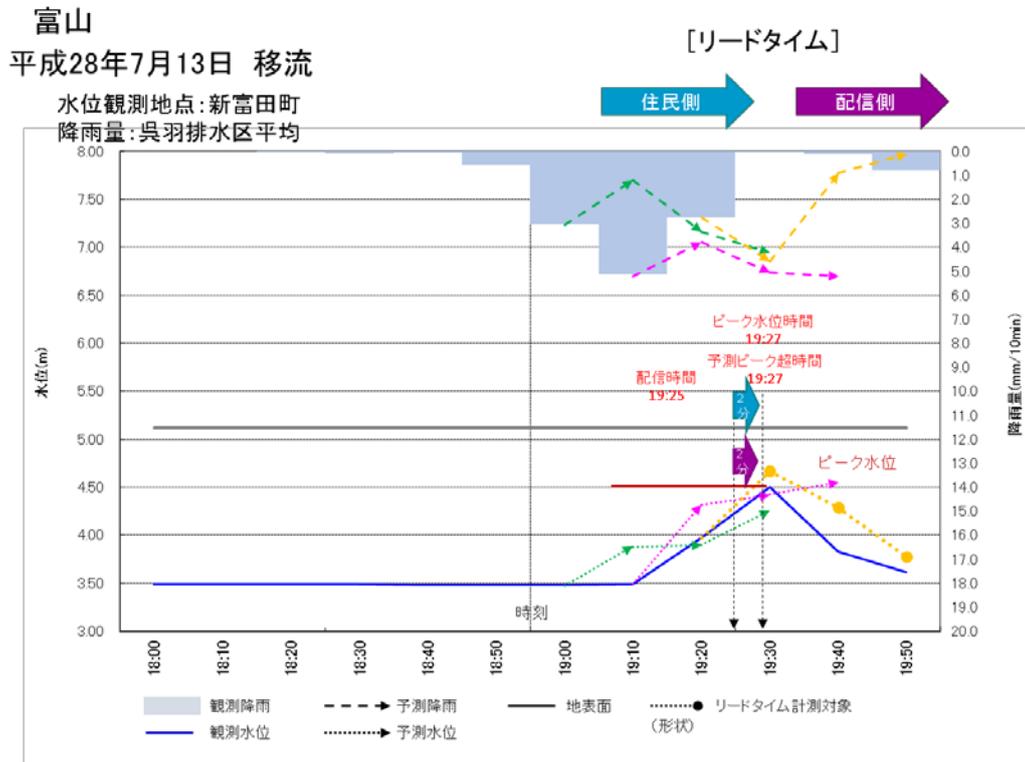


図 3-98 評価事例(富山市 平成28年7月13日②)

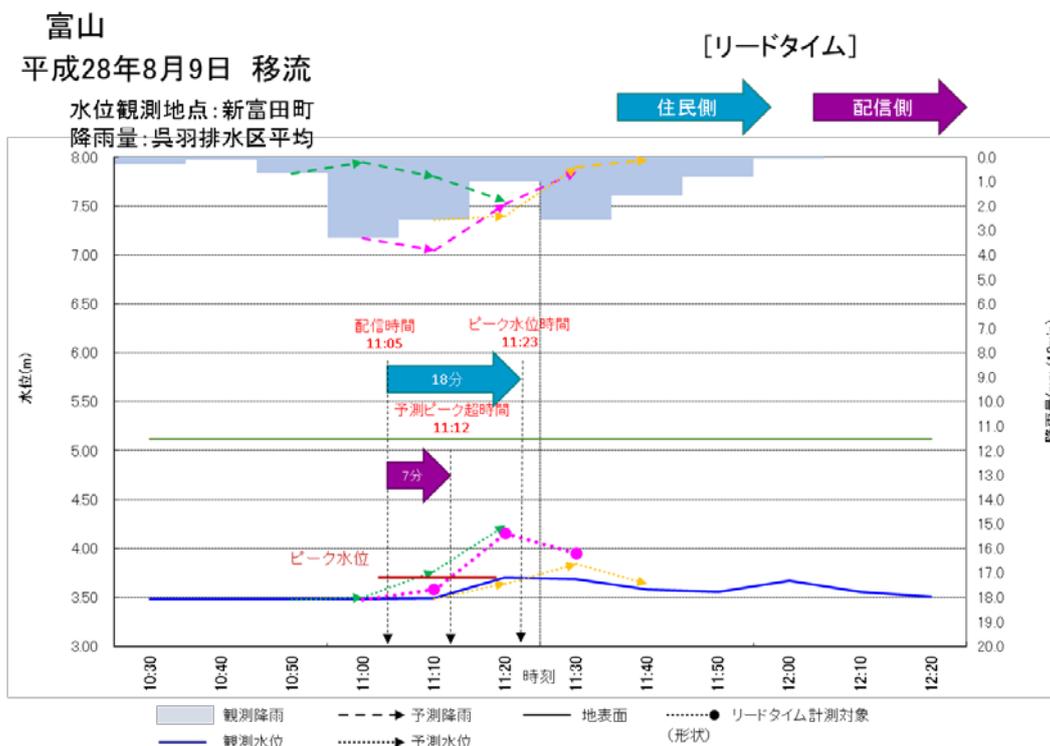
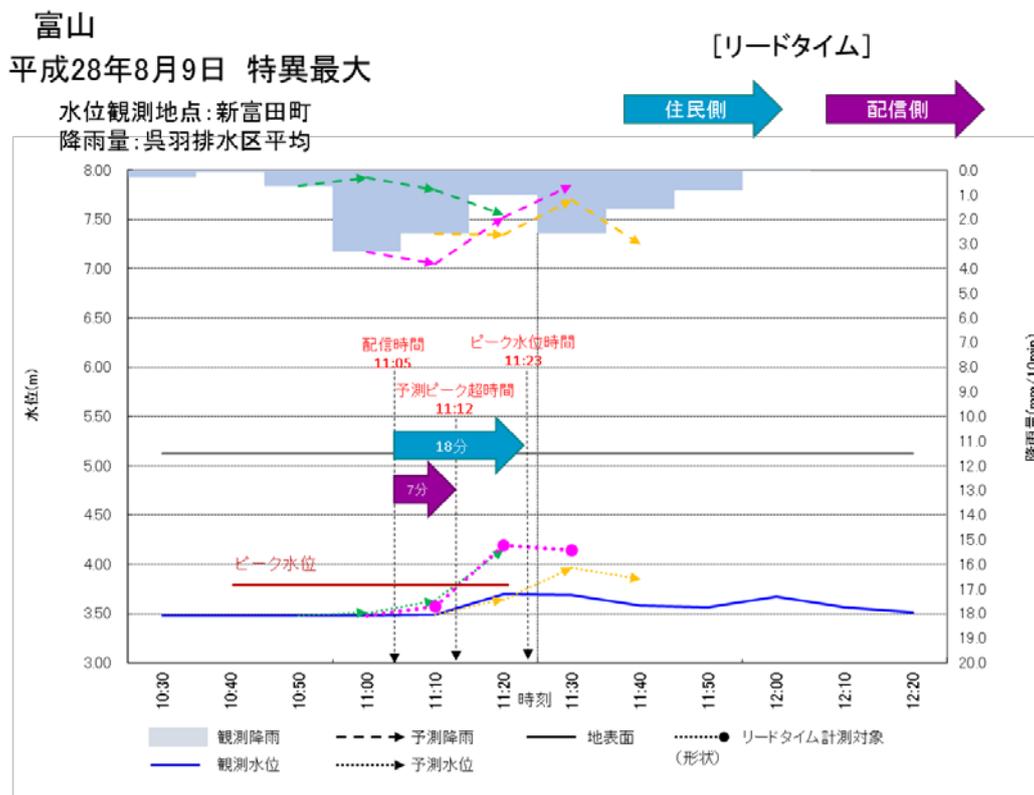


図 3-99 評価事例 (富山市 平成28年8月9日)

3) リードタイム確保に向けた対策

本研究においては、リードタイム 20 分以上を確保できないケースがあったため、以下の対応を検討する。なお、リードタイム確保のために安全側の対応を採用する場合、一方で空振りが増える点に注意が必要である。

- ・住民との対話の中で、降雨の状況によってリードタイムが確保できないケースがあることを説明し、早めの行動を促す。
- ・「過去の降雨を用いて浸水発生から床下浸水に至るまでの時間」を確認し、その結果を踏まえ、浸水発生を判断する水位基準を引き下げる（例：地上面－〇m）

4 施設運転支援による浸水被害軽減効果の評価

4.1 評価方法

(1) 浸水被害軽減効果の算定手順

施設運転支援による浸水被害軽減効果は福井市における雨水貯留管を対象に実施した。評価方法は、**図 4-1** に示すとおり、実証対象である月見・みのり雨水貯留管、下北野雨水貯留管において、実運用による水位予測精度、浸水被害軽減効果を確認した。その他雨水貯留管（9 か所）については、実証対象雨水貯留管の実運用において確認した水位予測精度に基づき実証技術導入後の浸水被害軽減効果を浸水シミュレーションにより算定した。

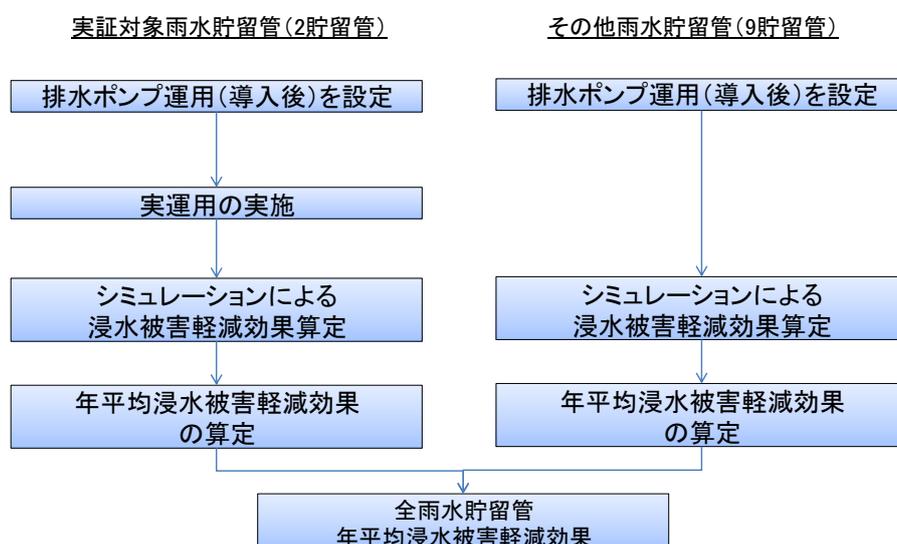


図 4-1 浸水被害軽減効果の算出

1) 実証対象雨水貯留における浸水被害軽減効果

①実証フィールド概要

福井市における下水道全体区域（雨水）は、1,821ha、12 排水区から構成されている。また、**表 4-1** に示すとおり、11 の雨水貯留管が整備されている。

このうち、施設運転支援における実証対象は、貯留管規模および排水先能力（排水能力が大きい場合、排水ポンプの運転時間を長くできるため貯留容量が同程度の場合は排水先の排水能力の大きい河川を選定）を考慮し、月見・みのり雨水貯留管および下北野雨水貯留管とした（**図 4-2** 参照）。

月見・みのり雨水貯留管が整備されている狐川右岸第六排水区は、足羽山と八幡山に囲まれた窪地に位置しており、雨水については、排水区を東西に横断する雨水幹線より一級河川狐川へ排水されている。平成 16 年に発生した福井豪雨による浸水被害を受け、月見・みのり雨水貯留管が整備された。

下北野雨水貯留管が整備されている下北野排水区は、一級河川荒川の左岸地区に位置し、荒

川下流に向かって緩やかに傾斜しており、比較的平坦な地形である。雨水については、下流に位置する下北野ポンプ場にて荒川に放流されている。また、浸水被害が頻発していたことから下北野雨水貯留管が整備された。

しかしながら、整備された雨水貯留管は、先行降雨により貯留可能性が減少し、豪雨時において貯留容量を最大限活用できないケースが発生している。福井市の主な浸水被害実績を表4-2に示す。

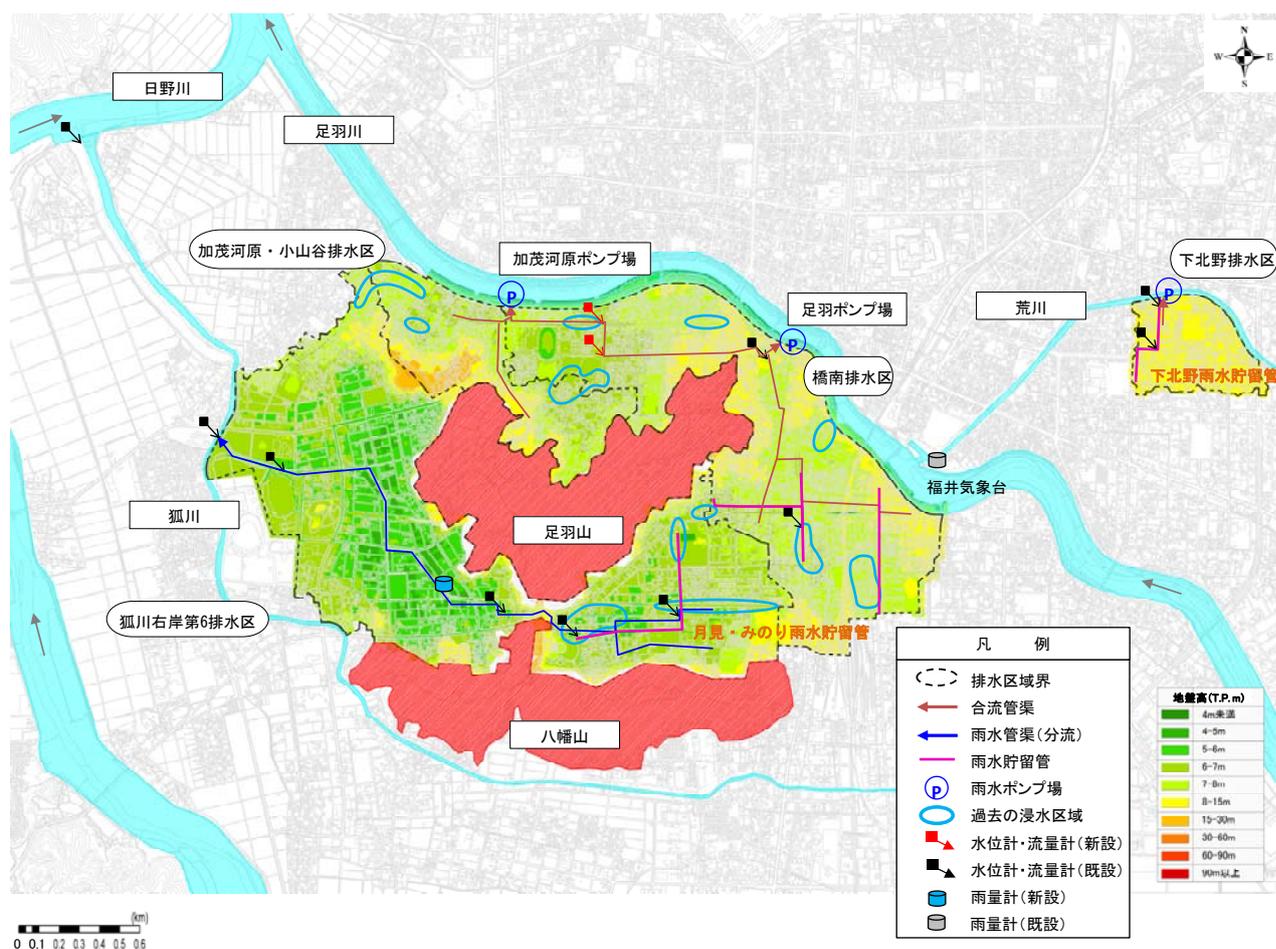


図 4-2 実証フィールドと施設配置図

表 4-1 雨水貯留管の概要

名称	諸元		排水先
	貯留容量 (m ³)	管径, 延長	
月見・みのり	12,700	φ 3,750mm, L=1,150m	下水管路
下北野	1,935	φ 1,650mm~2,400mm, L=553m	河川
町屋 1 丁目	360	□4,000~6,000mm×3,000mm, L=24m	下水管路
田原 2 丁目	570	φ 1,500mm, L=318m	下水管路
松本 4 丁目	780	□2,700×2,700mm, L=110m	下水管路
町屋 3 丁目	210	□2,000×3,000mm, L=34.5m	下水管路
西木田・みのり	1,400	φ 800mm~1,500mm, L=1107m	下水管路
木田・春日	2,000	φ 2,000mm, L=634m	下水管路
南四ツ居 2 丁目	800	φ 1,800mm, L=269m	下水管路
文京 1 丁目	480	φ 1,650mm, L=192.5m	下水管路
日光	800	φ 1,100mm, L=869m	下水管路

表 4-2 福井市の主な浸水実績

	発生 年月日	降雨状況			浸水状況	
		総降雨量 (mm)	最大降雨強度 (mm/h)	最大降雨強度 (mm/10min)	床上 (戸)	床下 (戸)
1	2004 (H16) .7.18 (平成 16 年福井豪雨)	197.5	75.0	19.0	2,125	6,199
2	2004 (H16) .10.20	140.5	25.5	5.5	6	11
3	2006 (H18) .7.17	125.0	31.5	7.0	0	4
4	2009 (H21) .8.2	94.0	62.5	23.0	0	15
5	2010 (H22) .9.16	108.0	29.0	7.5	0	16
6	2011 (H23) .8.19	84.5	44.0	12.0	3	62
7	2012 (H24) .9.6	133.5	62.5	14.5	0	123
8	2013 (H25) .7.13	69.0	54.5	11.5	0	9
9	2013 (H25) .9.3	87.0	46.5	22.5	0	17

②施設運転シナリオの設定

実証対象の月見・みのり雨水貯留管, 下北野雨水貯留管の諸元, 導入前・導入後運用条件, 運用支援情報を示す。

実証対象とした雨水貯留管の現状運転では, 雨水貯留管に貯留後, 放流先の水位低下を確認し, 貯留水の排水を行っていた。一方, 導入後の施設運転では, 現状運転に対して放流先において流下能力のある期間においては, 排水ポンプを連続稼働することで, 次降雨に備え可能な限り貯留量を確保できるよう排水ポンプの運転シナリオを設定した。

(a)月見・みのり雨水貯留管

月見・みのり雨水貯留管の現状運転は、一旦降雨が終了し、放流先水位が低下したことを確認後、貯留管内の雨水の排水を行っている。これは、降雨期間中において放流先水位の予測ができないため、貯留管からの排水の可否が判断できないためである。本技術導入後の運転では、降雨期間中における放流先水位の予測が可能であるため、放流先である社雨水幹線において基準水位以下であると予測される期間においては、降雨期間中でも排水ポンプを連続稼働することで、次降雨に備え可能な限り貯留量を確保できることとした。ポンプ起動・停止の基準水位は、導入前の貯留管内水位、ポンプ吐出先水位に加え、社雨水幹線の下流における山奥水位計（5分後予測水位）、社水位計（15分後予測水位）地点において管路設計における余裕率を考慮した矩形きょ9割水深とした。

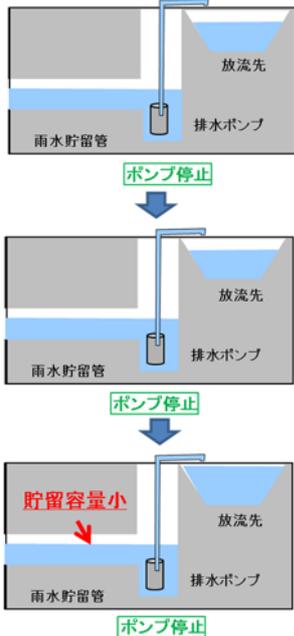
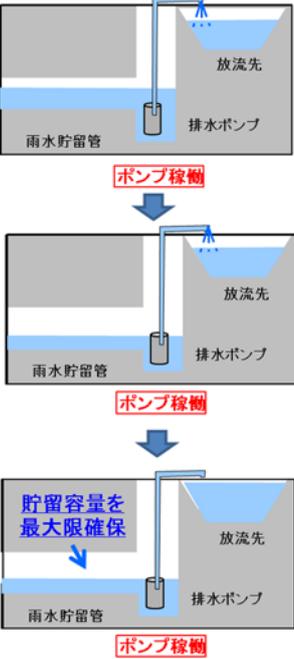
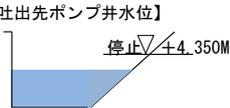
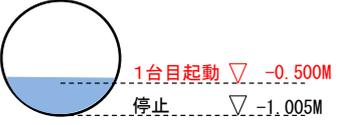
表 4-3 月見・みのり雨水貯留管の諸元、導入前・導入後運用条件

		導入前	導入後
諸元		貯留量：12,700m ³ （φ3,750mm L=1,150m） 計画降雨：43.1mm/h（5年に1回の降雨に対応） 取水堰：8カ所（固定堰） 排水ポンプ：口径200mm，4.5m ³ /min×2台（計：540m ³ /h）	
運用条件	模式図	<p>排水先の水位予測なし</p>	<p>●：社水位計 ●：山奥水位計 ●：排水先水路</p> <p>流下時間 ● → ●（3分） ● → ●（15分）</p>
	水位設定	<p>2台目起動 ∇ -3.920M 1台目起動 ∇ -4.850M 停止 ∇ -6.731M</p> <p>【吐出先管路水位】 ∇ -6.060M 停止 ∇ +5.800M 起動 ∇ +5.700M ∇ +5.030M</p>	<p>2台同時起動 ∇ -5.790M 停止 ∇ -6.731M</p> <p>【山奥雨水幹線5分先】 【社雨水幹線15分先】 停止 ∇ +5.570M 停止 ∇ +4.350M</p>

(b)下北野雨水貯留管

下北野雨水貯留管の現状運転は、合流改善貯留分（約 500 m³）を貯留し、引き続き流入がある場合には、排水ポンプが稼働する。導入後の運転条件は管内の貯留容量を最大限に確保する為、合流改善貯留量を超過する水位予測（貯留管内水位：25 分後予測）となった場合には、排水ポンプを先行運転することで、合流改善貯留分を浸水対策貯留分として活用するようにした。

表 4-4 下北野雨水貯留管の諸元，導入前・導入後運用条件

<p>諸元</p>	<p>貯留量：1,930m³（φ1,650～2,400mm L=553m） 計画降雨：43.1mm/h（5年に1回の降雨に対応） 取水堰：4カ所（固定堰） 排水ポンプ：口径300mm，9.5m³/min×2台（計：1,140m³/h）</p>	
<p>運用条件</p>	<p>導入前</p> 	<p>導入後</p> 
<p>水位設定</p>	<p>【貯留管内水位】</p>  <p>2台目起動 ▽ 0.300M 1台目起動 ▽ 0.000M 停止 ▽ -1.005M</p> <p>【吐出先ポンプ井水位】</p>  <p>停止 ▽ +4.350M</p>	<p>【貯留管内水位30分後】</p>  <p>1台目起動 ▽ -0.500M 停止 ▽ -1.005M</p> <p>【吐出先ポンプ井水位】</p> <p>変更なし</p>

③雨水貯留管の運用結果

実証研究期間においては、貯留管が満水となる降雨、浸水被害が発生する降雨は観測されなかった。このため、一部貯留があり導入後運転を実施した降雨（平成 28 年 10 月 9 日）を対象に、運用結果を示す。

(a)月見・みのり雨水貯留管

平成 28 年 10 月 9 日降雨における実運用の結果を、図 4-3 に示す。導入前運転条件における貯留管内水位に対して、導入後運転条件での実運用では水位が低下しており、導入後条件での実運用では、導入前条件での運転に対してポンプ運転開始から降雨終了までの期間において、 $1,188\text{m}^3$ 分の貯留容量（最大貯留容量の約 10%）を確保することができた。

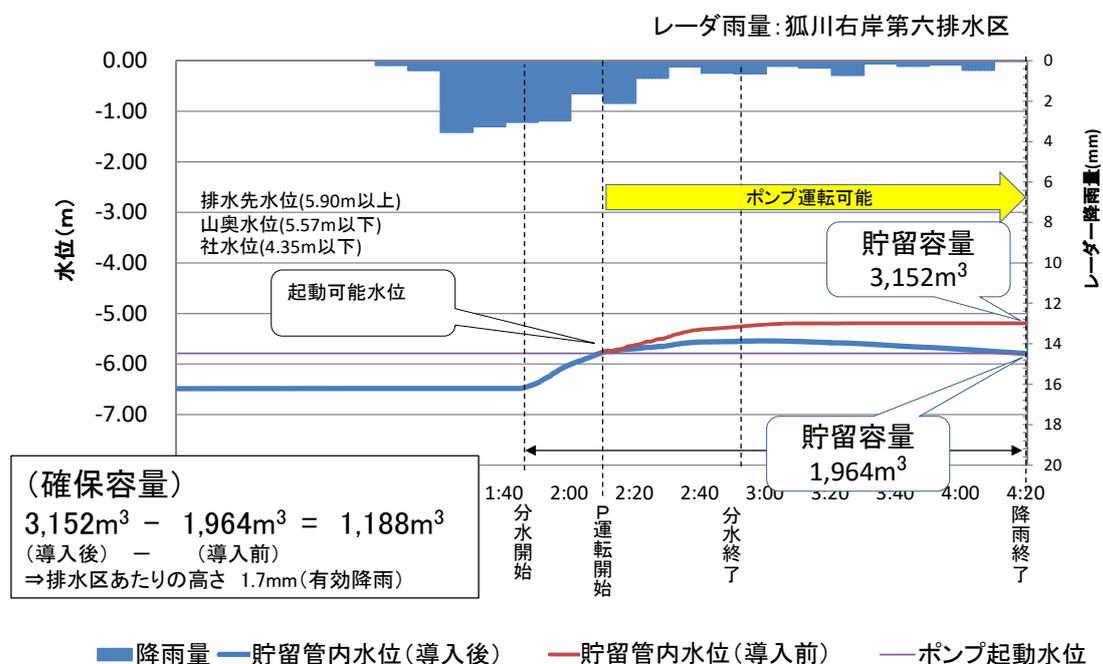


図 4-3 平成 28 年 10 月 9 日降雨における実運用(月見みのり貯留管)

また、実運用に用いた社雨水幹線予測水位の精度については、図 4-4 に示すとおり、許容水位誤差を水位予測地点の管路高と 9 割水深（開水路の余裕率）の水位差としたが、水位予測地点の山奥、社ともに許容水位誤差の範囲であった。

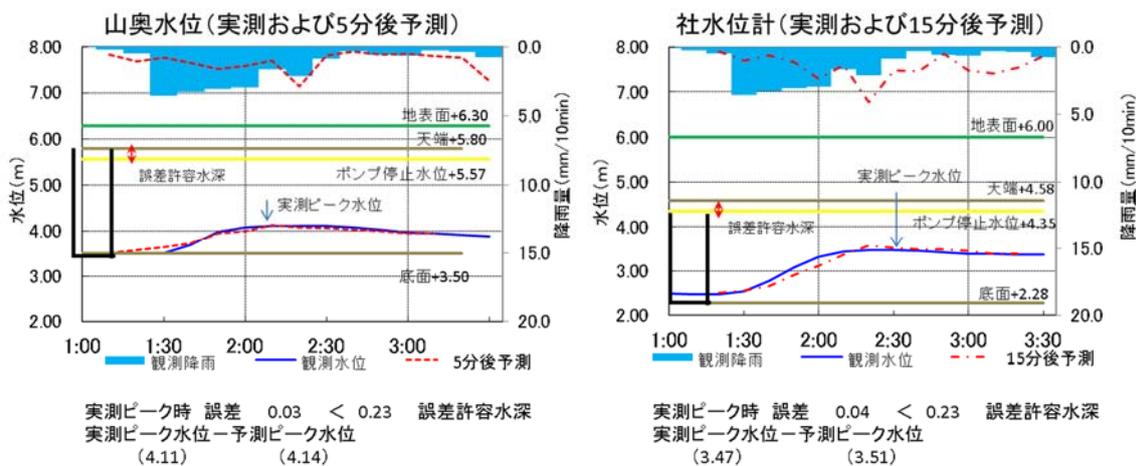


図 4-4 社雨水幹線における水位予測精度

(b)下北野雨水貯留管

平成 28 年 10 月 9 日降雨における実運用の結果を，図 4-5 に示す。導入前運転条件における貯留管内水位に対して，導入後運転条件での実運用では水位が低下しており，導入後条件での実運用では，導入前条件での運転に対して貯留容量最大時において，348m³分の貯留容量（最大貯留容量の約 20%）を確保することができた。

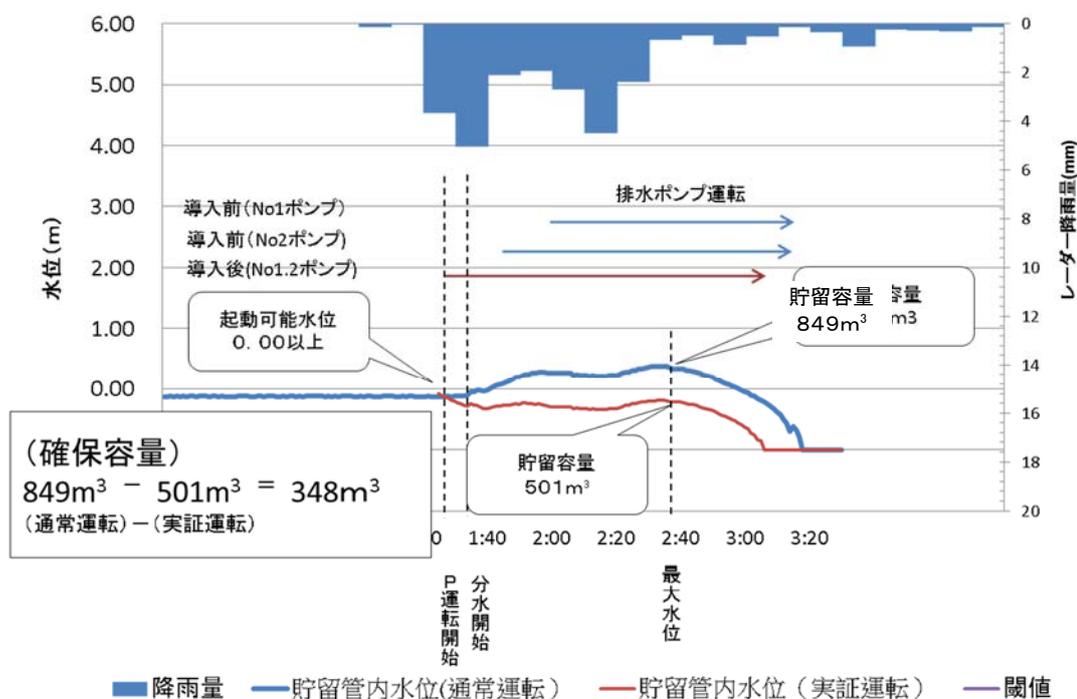


図 4-5 平成 28 年 10 月 9 日降雨における実運用（下北野貯留管）

④年平均浸水被害軽減効果の算定

年平均浸水被害額の算定方法を図 4-6 に示す。雨水貯留管の浸水被害軽減効果は、同一規模の降雨であっても降雨波形により異なることから、導入前後の施設運転シナリオに対して、実証研究において観測された降雨より降雨波形の異なる降雨（前方集中，中央集中，後方集中）を抽出のうえ算定を行うが、本実証研究においては、規模の小さい降雨しか観測できなかったため、計画降雨確率年（5年確率）相当に引き伸ばした降雨に基づき浸水シミュレーションを実施した。

また、確率年が異なる年の降雨を検討する必要があることから、評価確率年（1/1，1/5，1/10，1/30，1/50）毎に引き伸ばした対象降雨に基づく浸水シミュレーションにより年平均被害軽減額を算定した。なお、浸水被害軽減額は、「下水道による浸水対策施設における費用効果分析マニュアル」に基づき算出した。

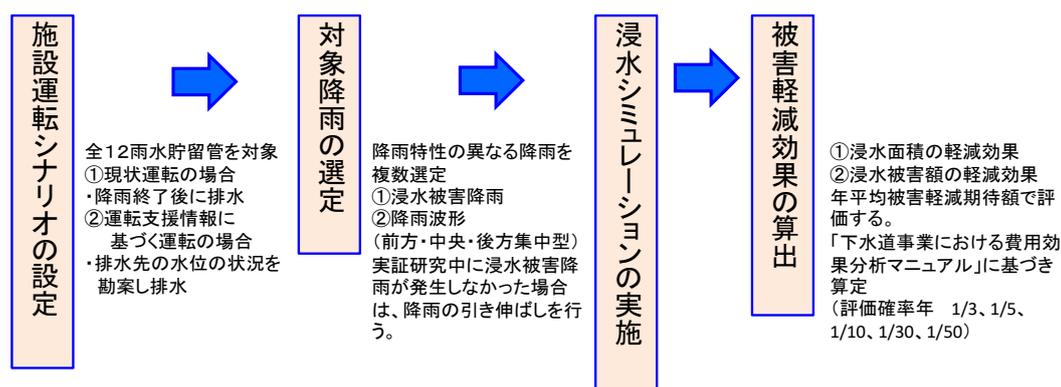


図 4-6 施設運転支援における年平均浸水被害軽減期待額算出の手順

(2) 対象降雨の選定

対象降雨分類結果を下表に示す。施設運転支援による浸水被害軽減効果は、同一規模の降雨であっても降雨波形により異なることから、観測された降雨より降雨波形の異なる降雨（前方集中，中央集中，後方集中）を抽出のうえ、浸水シミュレーションにより算出した。

表 4-5 モデル降雨の設定結果

対象降雨	降雨期間	降雨波形		
		前方集中	中央集中	後方集中
A	2016/10/08 21:30 ～ 2016/10/08 22:30			●
B	2016/7/13 05:20 ～ 2016/7/13 07:20		●	
C	2016/6/23 20:00 ～ 2016/6/24 01:30			●
D	2016/9/17 23:50 ～ 2016/9/18 01:30	●		
E	2016/8/20 19:00 ～ 2016/8/20 21:30		●	
F	2016/9/8 09:00 ～ 2016/9/8 12:10	●		

以下に降雨 C における具体的な手法を示す。なお、福井市における計画降雨強度は 43.1mm である。

(例) 福井市平成 28 年 6 月 23 日(降雨 C)の事例

(a)0:50～1:50 の期間にて 1 時間降雨量 8.47mm/h を観測

(b)0:50～1:00 の引き伸ばし

- ・ 10 分雨量 0.98 mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 0.98 = 4.99\text{mm} / 10\text{min}$

(c)1:00～1:10 の引き伸ばし

- ・ 10 分雨量 0.68 mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 0.68 = 3.46\text{mm} / 10\text{min}$

(d)1:10～1:20 の引き伸ばし

- ・ 10 分雨量 0.49mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 0.48 = 2.49\text{mm} / 10\text{min}$

(e)1:20～1:30 の引き伸ばし

- ・ 10 分雨量 1.27mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 1.27 = 6.46\text{mm} / 10\text{min}$

(f)1:30~1:40 の引き伸ばし

- ・ 10分雨量 2.79 mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 2.79 = 14.20\text{mm} / 10\text{min}$

(g)1:40~1:50 の引き伸ばし

- ・ 10分雨量 2.66 mm/10min
- ・ 引き伸ばし後降雨量 $43.1 / 8.47 \times 2.26 = 11.50\text{mm} / 10\text{min}$

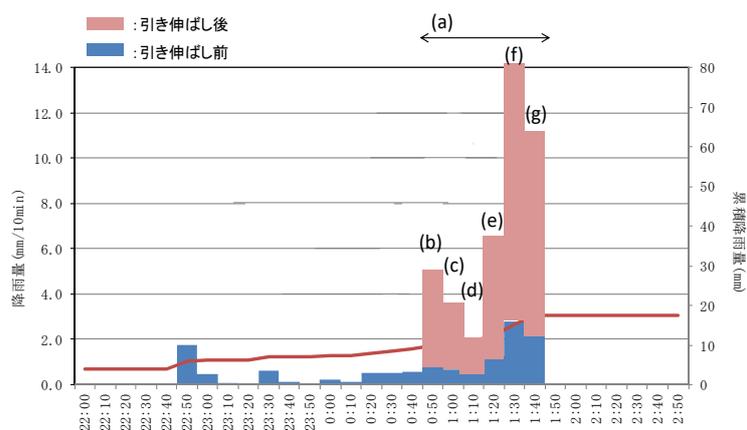


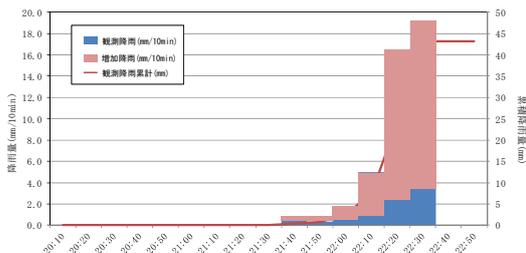
図 4-7 降雨の引き伸ばし事例

1) 降雨波形の引き伸ばし結果（計画降雨規模：5年確率）

(a)の引き伸ばし手法に基づき、選定降雨を引き伸ばした結果を図 4-8 に示す。

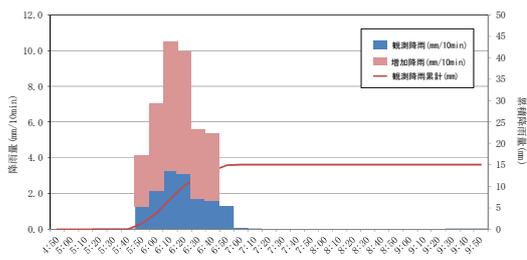
①降雨 A

- ・総降雨量： 6.0mm
- ・時間最大降雨：5.9mm/h
- ・10分最大降雨：2.7mm/10min



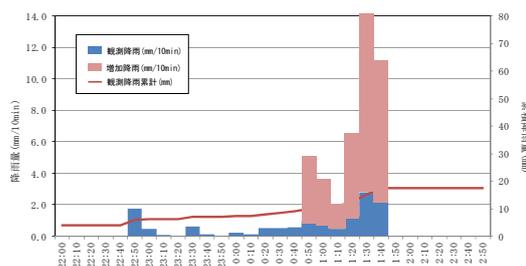
②降雨 B

- ・総降雨量： 15.0mm
- ・時間最大降雨：13.6mm/h
- ・10分最大降雨：3.4mm/10min



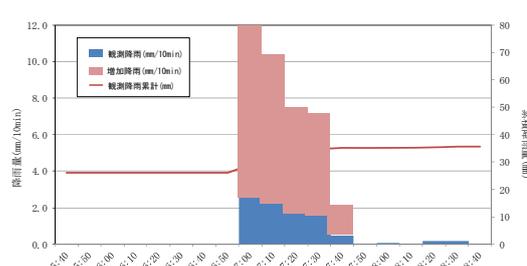
③降雨 C

- ・総降雨量： 13.4mm
- ・時間最大降雨：8.5mm/h
- ・10分最大降雨：2.8mm/10min



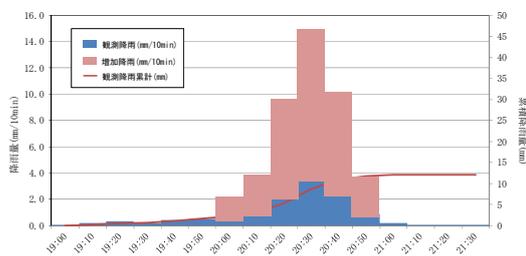
④降雨 D

- ・総降雨量： 9.6mm
- ・時間最大降雨：9.1mm/h
- ・10分最大降雨：2.8mm/10min



⑤降雨 E

- ・総降雨量： 12.1mm
- ・時間最大降雨：10.2mm/h
- ・10分最大降雨：3.4mm/10min



⑥降雨 F

- ・総降雨量： 11.7mm
- ・時間最大降雨：10.2mm/h
- ・10分最大降雨：4.5mm/10min

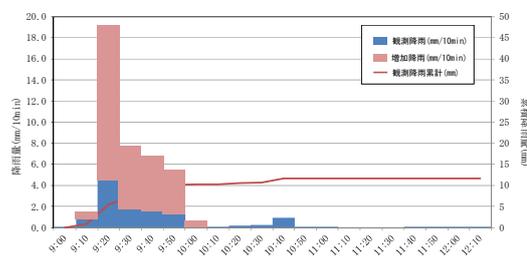


図 4-8 降雨の引き伸ばし結果

(3) 導入効果試算時のシミュレーション対象降雨の選定

1) 狐川右岸第六(月見みのり貯留管)

表 4-6 に示すとおり、中間的な削減効果を得られたのは降雨 C, D, E の降雨であった。

表 4-6 狐川第六排水区における対象降雨

検討ケース	項目	対象降雨					
		A	B	C	D	E	F
		2016/10/8	2016/7/13	2016/6/22	2016/9/17	2016/8/20	2016/9/8
現状運転	①浸水面積(ha)	7.6	5.9	8.0	6.8	8.4	8.7
	②浸水面積(ha)	5.8	4.5	6.3	5.5	6.6	7.3
対策運転	③浸水削減面積(ha)	1.8	1.4	1.7	1.3	1.8	1.4
	④削減率*	23.7%	23.7%	21.3%	19.1%	21.4%	16.1%
備考		最大の削減効果	最大の削減効果	中間的な削減効果	中間的な削減効果	中間的な削減効果	最小の削減効果

※③浸水削減面積＝①浸水面積－②浸水面積

※④削減率＝(1-対策運転による浸水面積/現状運転による浸水面積)×100

2) 下北野(下北野雨水貯留管)

表 4-7 に示すとおり、中間的な削減効果を得られたのは降雨 D であった。

表 4-7 下北野における対象降雨

検討ケース	項目	対象降雨					
		A	B	C	D	E	F
		2016/10/8	2016/7/13	2016/6/22	2016/9/17	2016/8/20	2016/9/8
現状運転	①浸水面積(ha)	4.4	2.1	3.0	2.8	3.2	2.3
	②浸水面積(ha)	3.7	1.3	2.5	1.8	2.8	1.2
対策運転	③浸水削減面積(ha)	0.7	0.8	0.5	1.0	0.4	1.1
	④削減率*	15.9%	38.1%	16.7%	35.7%	12.5%	47.8%
備考				中間的な削減効果	最小の削減効果	最大の削減効果	

※③浸水削減面積＝①浸水面積－②浸水面積

※④削減率＝(1-対策運転による浸水面積/現状運転による浸水面積)×100

3) その他の雨水貯留管

また 1)～2) 以外の排水区では浸水域削減効果の降雨によるバラつきはほとんど無かったため、全域において中間的な削減効果であった降雨 D をシミュレーション対象降雨とした。

これらの排水区で降雨による浸水域削減効果のバラつきがほとんどなかった理由として、1)～2) が有する貯留管に比べ、貯留容量が小さい点や排水先の管渠が比較的小さい(枝線)場合が多いため排水条件に合致しなかったことが挙げられる。

(4) 対象貯留管と排水条件の設定

対象貯留管は図 4-10 に示す 11 貯留管とした。これらの貯留管では通常運転に対し、放流先水位を予測し、排水ポンプを最大稼働させることで、次降雨発生時の貯留容量を最大限確保し、浸水被害を軽減させる。

排水ポンプの稼働条件は以下に示す通りである。

- ・ 貯留管管径の 1/4 水位
- ・ 排水先管渠が満管以下である(開水路は 9 割水深)
- ・ 複数台の排水ポンプを有する施設は全て同時稼働

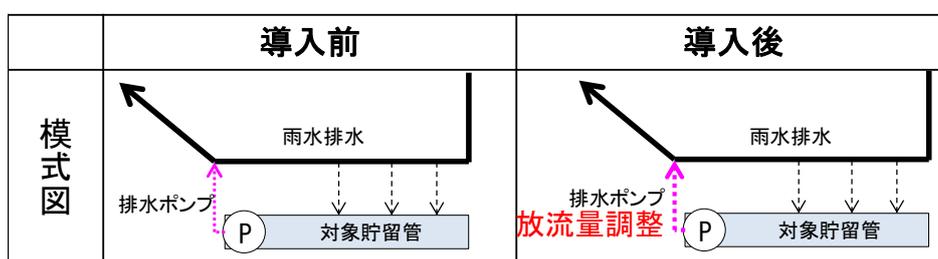


図 4-9 施設運転支援の導入イメージ

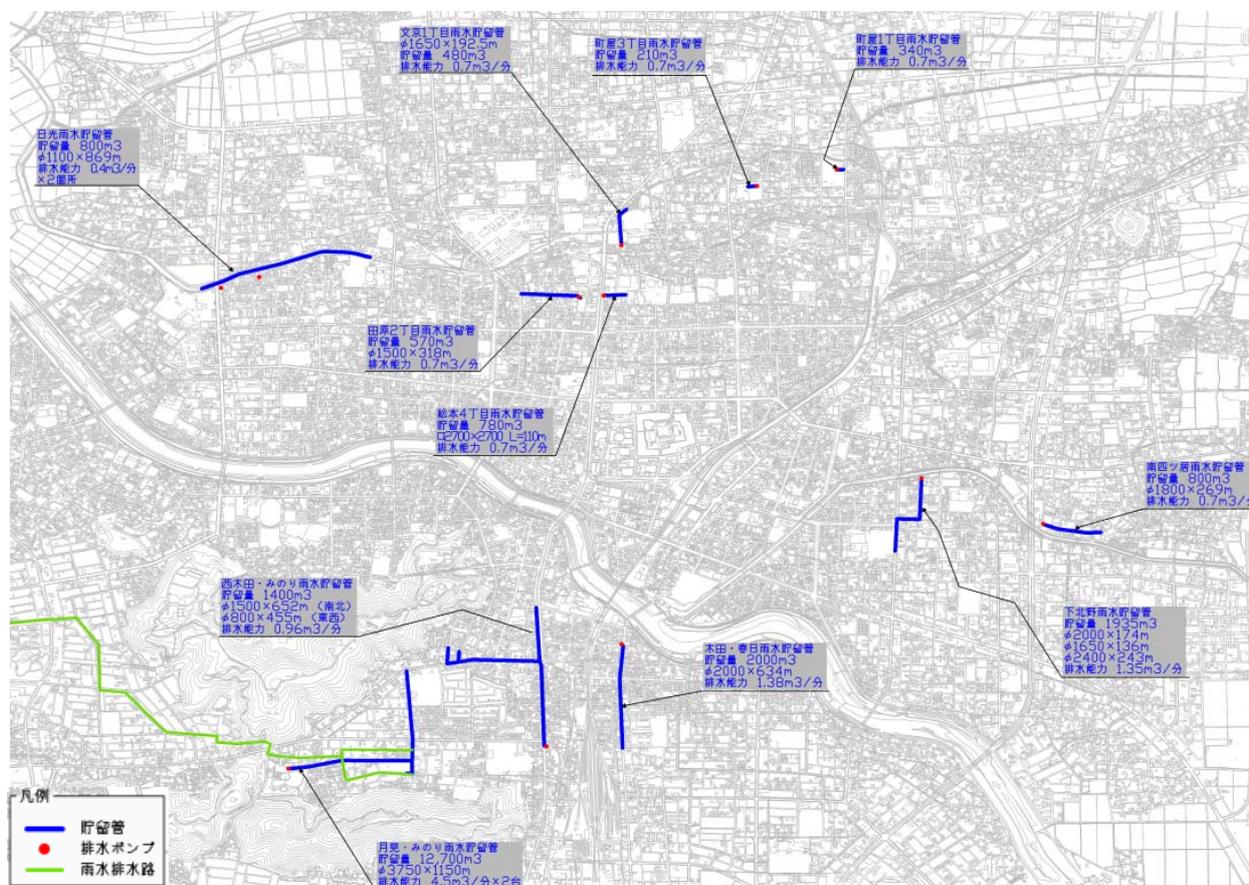


図 4-10 施設運転支援対象貯留管位置図

4.2 評価結果

(1) 浸水面積の削減率

表 4-8 および表 4-9 に浸水面積削減結果を示す。実証技術を導入することにより 12.4%～38.1%の削減効果があった。また、導入前後における浸水面積削減率を表 4-10 に示す。

表 4-8 狐川第六排水区における浸水面積削減率

検討ケース	項目	対象降雨					
		A	B	C	D	E	F
		2016/10/8	2016/7/13	2016/6/22	2016/9/17	2016/8/20	2016/9/8
現状運転	①浸水面積(ha)	7.6	5.9	8.0	6.8	8.4	8.7
	②浸水面積(ha)	5.8	4.5	6.3	5.5	6.6	7.3
対策運転	③浸水削減面積(ha)	1.8	1.4	1.7	1.3	1.8	1.4
	④削減率※	23.7%	23.7%	21.3%	19.1%	21.4%	16.1%
備考		最大の削減効果	最大の削減効果	中間的な削減効果	中間的な削減効果	中間的な削減効果	最小の削減効果

※③浸水削減面積＝①浸水面積－②浸水面積

※④削減率＝(1-対策運転による浸水面積/現状運転による浸水面積)×100

表 4-9 下北野における浸水面積削減率

検討ケース	項目	対象降雨					
		A	B	C	D	E	F
		2016/10/8	2016/7/13	2016/6/22	2016/9/17	2016/8/20	2016/9/8
現状運転	①浸水面積(ha)	4.4	2.1	3.0	2.8	3.2	2.3
	②浸水面積(ha)	3.7	1.3	2.5	1.8	2.8	1.2
対策運転	③浸水削減面積(ha)	0.7	0.8	0.5	1.0	0.4	1.1
	④削減率※	15.9%	38.1%	16.7%	35.7%	12.5%	47.8%
備考				中間的な削減効果	最小の削減効果	最大の削減効果	

※③浸水削減面積＝①浸水面積－②浸水面積

※④削減率＝(1-対策運転による浸水面積/現状運転による浸水面積)×100

表 4-10 導入前後における浸水面積削減率

確率年	3年				5年				10年				30年				50年				
	1cm以上	10cm以上	30cm以上	45cm以上	1cm以上	10cm以上	30cm以上	45cm以上	1cm以上	10cm以上	30cm以上	45cm以上	1cm以上	10cm以上	30cm以上	45cm以上	1cm以上	10cm以上	30cm以上	45cm以上	
浸水レベル																					
導入前	主要2貯留管	6.3	2	0.2	0.1	7.8	3.3	0.4	0.1	9.8	4.3	0.4	0.3	13.7	5.8	0.7	0.3	14.3	6.2	0.9	0.4
	その他9貯留管	45.29	13.28	0.43	0.25	59.13	20.3	0.72	0.35	73.36	28.86	1.29	0.58	88.1	45.07	4.6	1.26	95.0	54.2	2.5	1.5
	浸水面積(合計)	67.9				92.1				118.9				159.5				175.0			
導入後	主要2貯留管	4.7	1.3	0.1	0.1	6.4	2.3	0.2	0.1	8.4	3.2	0.3	0.3	13	5.1	0.5	0.3	13.7	5.5	0.7	0.4
	その他9貯留管	44.04	12.83	0.43	0.25	58.03	19.76	0.69	0.35	72.19	28.38	1.25	0.56	87.13	44.61	4.52	1.24	95.0	54.2	2.5	1.5
	浸水面積(合計)	63.8				87.8				114.6				156.4				173.5			
削減率	6%				5%				4%				2%				1%				

(2) 年平均浸水被害軽減期待額

表 4-11 に示すとおり、月見・みのり雨水貯留管および下北野雨水貯留管の施設運転支援効果の試算結果は 51.2 百万円/年となった。また、表 4-12 に示すとおり、その他 9 貯留管における施設運転支援効果の試算結果は、58.6 百万円/年となった。

なお、実証研究では、予測が外れた場合に発生する被害について考慮していないことに注意が必要である。支援対象とする施設や支援内容によって、予測が外れた場合に被害が発生する恐れがある場合は、それを含めた効果について別途検討することが望ましい。引き続き、予測精度及び予測が外れた場合に発生する被害の大きさを踏まえた浸水被害低減効果の評価手法について研究が必要である。

表 4-11 年平均浸水被害軽減期待額（月見・みのり貯留管，下北野貯留管）

① 流量 規模	② 年平均 超過確率 Nm	被害額			⑥ 区間 確率 Nm-1・Nm	⑦ 区間平均 被害軽減額 (Dm-1+Dm)/2	⑧=⑥×⑦ 年平均 被害 軽減額	⑨ 年平均 被害軽減 期待額
		③事業を 実施しない 場合	④事業を 実施した 場合	⑤被害 軽減額 Dm				
確率年		百万円	百万円	百万円		百万円	百万円	百万円
1	1.0000	0.0	0.0	0.0				
5	0.2000	409.0	318.0	91.0	0.8000	45.5	36.4	36.4
10	0.1000	535.0	443.0	92.0	0.1000	91.5	9.2	45.6
30	0.0333	731.0	674.0	57.0	0.0667	74.5	5.0	50.5
50	0.0200	782.0	732.0	50.0	0.0133	53.5	0.7	51.2

< 確率年毎降雨強度の根拠資料 >

観測データ：福井气象台 算定方法：岩井法

表 4-12 年平均浸水被害軽減期待額（その他 9 貯留管）

① 流量 規模	② 年平均 超過確率 Nm	被害額			⑥ 区間 確率 Nm-1・Nm	⑦ 区間平均 被害軽減額 (Dm-1+Dm)/2	⑧=⑥×⑦ 年平均 被害 軽減額	⑨ 年平均 被害軽減 期待額
		③事業を 実施しない 場合	④事業を 実施した 場合	⑤被害 軽減額 Dm				
確率年		百万円	百万円	百万円		百万円	百万円	百万円
1	1.0000	0.0	0.0	0.0				
5	0.2000	4,994.0	4,892.0	102.0	0.8000	51.0	40.8	40.8
10	0.1000	6,472.0	6,364.0	108.0	0.1000	105.0	10.5	51.3
30	0.0333	8,715.0	8,622.0	93.0	0.0667	100.5	6.7	58.0
50	0.0200	9,616.0	9,616.0	0.0	0.0133	46.5	0.6	58.6

< 確率年毎降雨強度の根拠資料 >

観測データ：福井气象台 算定方法：岩井法

4.3 経費回収年の算定

施設運転支援および自助・共助支援の浸水被害軽減額，導入費，維持管理費より，経費回収年を試算する。計算式を下記に示す。なお，経費回収年は実証区域外を含め，市全域に導入した場合について算出した。

$$\text{経費回収年} = \frac{\text{導入費（実証区域＋実証区域外）}}{\text{年平均浸水被害軽減期待額－維持管理費（実証区域＋実証区域外）}} \dots\dots\text{①式}$$

4.3.1 導入費用

福井市の実証技術における導入費のコスト構造および概算金額を表 4-13 に示す。導入費として掛かる費用は施設運転支援および自助・共助支援の両方に対応したシステムを構築した福井市では 616 百万円，また自助・共助支援に特化したシステムを構築した富山市では 285 百万円であった。

表 4-13 導入費に係るコスト一覧

種別		金額<百万円>				
		福井市		富山市		
導入費	実施設計費	90	(41)	48	(36)	
	機器費	計測技術（都市域レーダ）	87		84	
		計測技術（水位計・雨量計）	24	(20)	36	(24)
		レーダ雨量解析技術	59		12	
		リアルタイム流出解析技術	32		20	
		データ収集技術	48	(3)	-	
		情報配信技術	95	(34)	15	(2)
	エンジニアリング費	システム設計・試験	85	(15)	37	(5)
		オンラインモデル設定	10	(2)	2	(2)
	工事費	機器設置費	48	(16)	30	(16)
既設監視設備改造		38		-		
合計		616	(130)	285	(85)	

() : 内数，実証対象区域外費用

＜費用算定の考え方＞

1) 実証対象

実証における実績費用より算出した。なお、実証では導入検討に関する作業項目は含まれていないため、それぞれの費用は計上していない。

2) 実証対象外

実証フィールドでの実績を基に、下水道排水区域全域に支援情報の配信する事を想定した場合に必要なコストを試算した。

①実施設計費

下水道排水区域全域に支援情報の配信する場合に想定される機器費、工事費から試算した。

②機器費

(a)計測技術（水位計）

浸水予想区域図より選定した浸水常襲地区（20 地区）毎に 1 か所（地区毎に水位予測に合わせて内水氾濫情報も配信し地区全体の浸水状況を把握することが可能となるため、水位計は地区あたり 1 か所設置することとした）、計 20 か所に設置するものとした。

(b)データ収集技術

追加する雨水貯留管（9 か所）、水位計（20 か所）に関するデータを収集・管理するために必要な費用とした。

(c)情報配信技術

信号情報収集した雨水貯留管（9 か所）、水位計（20 か所）情報を配信するための情報配信画面を作成する費用とした。

③エンジニアリング費

(a)設計システム設計・調達・試験

追加機器に伴う各システムの改修に関する設計費を計上した。

(b)オンラインモデル設定

実証対象外排水区域（浸水実績のない四ツ居および一本木排水区を除く）に関する流出解析モデルの修正、キャリブレーション、オンラインモデル構築の費用とした。

④工事費

(a)機器設置費

水位計 20 か所の工事費に係る費用とした。

3) 富山市との比較

福井市は下水道の施設運転支援を目的としていることから、施設からデータを収集する「データ収集技術」が機器費として追加されている。

また、都市域レーダに関しても、レーダ雨量を施設運転に必要な情報に加工する機能を追加する必要があることから、費用が追加されている。

4.3.2 維持管理費

実証技術における維持管理費のコスト構造および概算金額を表 4-14 に示す。

維持管理費として掛かる費用は施設運転支援および自助・共助支援の両方に対応したシステムを構築した福井市では 17.2 百万円、また自助・共助支援に特化したシステムを構築した富山市では 14.0 百万円であった。

表 4-14 維持管理費に係るコスト一覧

種別		金額<百万円/年>				
		福井市		富山市		
維持 管理 費	電気代	0.8		0.5		
	通信費	3.8	(1.2)	3.6	(1.2)	
	保 守 費	レーダ	3.2		3.2	
		水位計・雨量計	4.6		3.0	(0.2)
		サーバ	1.6	(4.0)	0.5	
	ソフトウェア	3.2		3.2		
合計		17.2	(5.2)	14.0	(1.4)	

() : 内数, 実証対象区域外費用

＜費用算定の考え方＞

1) 実証対象

実証における実績費用より算出した。

2) 実証対象外

下水道排水区域全域に支援情報の配信するために必要なコストを計上した。

①通信費

水位計（20 か所）信号を水位計設置箇所から既存水位計測システムまでの費用とした。

②保守費

(a)データ収集技術

水位計（20 か所）を対象とした保守費用とした。

4.3.3 経費回収年

福井市の経費回収年結果を表 4-15 に示す。導入費が 616 百万円，維持管理費が 17.2 百万円／年，年平均浸水被害軽減期待額は施設運転支援 109.8 百万円と算定しており，①式より経費回収年は 6.7 年となる。

表 4-15 福井市における経費回収年

項目		金額
導入費	百万円	616
維持管理費	百万円/年	17.2
年平均浸水被害軽減期待額	百万円/年	109.8
経費回収年	年	6.7

5 自助・共助支援効果の評価

5.1 情報配信による自助・共助の促進効果

(1) 効果評価の考え方

本技術による自助・共助の促進効果は、対象とする活動に関する技術導入前後における行動の変化等に基づいて評価する。評価に当たっては、本編第2章の表2-2等を参考に対象とする自助・共助活動を選定し、期待する効果が得られるかどうか評価を行う。

また、参考までに資料編5.2に、施設運転支援と同様に浸水被害軽減効果について試算した事例を示す。なお、自助・共助活動による効果の算定方法は、現状ではまだ確立されていない。その点をふまえて、本実証研究における評価は、あくまでも一事例であることに留意し、導入する現場や評価対象に応じて適切に算定できるよう工夫することが望ましい。

(2) 評価指標

本実証研究においては、地域の状況を考慮した上で、自助・共助の促進効果を示す指標として被災前の土のう・止水板の設置、および自動車の移動に関する活動を実施する世帯割合の変化（自助・共助対応向上率）とした。

自助・共助対応率は、本技術導入前後で行ったアンケート結果より設定した。各評価指標について、浸水被害経験のある世帯の中へ浸水発生時における対応の有無を聞き、行動意思のある世帯数の率を算出した。次に、実証前後の対応率の差分を対応向上率として評価を行った。

本来、自助・共助対応向上率については、本技術導入前後の対応行動実施割合の変化で評価すべきであるが、研究期間中に浸水が生じるような降雨が発生しなかったため、技術導入後の実施割合を計測することができなかった。このため、行動意思のある世帯の行動実施率が100%と仮定して対応向上率を推定した。また、本調査結果は、実証地区の住民数や配信内容等からアンケート調査の対象が限定的な範囲であることに留意する必要がある。なお、実際に評価を実施する際には、対象地区の住民数や配信内容をふまえて調査対象数等や調査方法を工夫し、調査精度の向上を図ることが望ましい。

・土のう・止水板設置の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／浸水被害経験世帯数

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／浸水被害経験世帯数

向上率＝導入後対応率－導入前対応率

・自動車移動の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／浸水被害経験世帯数

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／浸水被害経験世帯数

向上率＝導入後対応率－導入前対応率

(3) 実証対象フィールド概要

1) 福井市

福井市における自助・共助支援における実証対象は、近年最も浸水被害が頻発している加茂河原・小山谷排水区および橋南排水区とした。

加茂河原・小山谷排水区および橋南排水区は旧市街地にあり、一級河川足羽川と足羽山に囲まれた低地区である。また、地形は、足羽山から足羽川の下流に向かって緩やかに下っている。各排水区の雨水は、下流に位置する加茂河原ポンプ場、足羽ポンプ場、木田ポンプ場から足羽川に放流されている。

なお福井市では、平成16年に発生した福井豪雨以降、浸水被害軽減に向けた取り組みを強化し、浸水ハザードマップを平成19年6月に作成し住民に配布するとともに、希望する住民に対し吸水性土のうを配布している（図5-1）。



図 5-1 吸水性土のう

2) 富山市

富山市における実証フィールドでは、自助・共助支援のみを実施した場合の浸水被害軽減効果について評価を行った。また、浸水被害軽減額は、降雨規模毎のシミュレーションによる浸水深より算定することを基本とした。ただし、本市においては、シミュレーションモデルが構築されている地域は一部のみであるため、過去の浸水実績より、確率規模ごとの被害額を推定し、その軽減効果を算定した。

実証フィールドは、分流式下水道で整備された呉羽排水区（排水区面積200ha）を対象とした。呉羽排水区は、神通川左岸処理区に位置し、南西から北西方向へ連なる呉羽丘陵の分水嶺を起点とし、射水平野の低平地を終点とする南から北側へ傾斜した約200haの流域である。

呉羽排水区では、5年確率（49mm/h）対応とすべくバイパス管や増補管、貯留施設を整備してきたところではあるが、全ての対策は完了しておらず、計画降雨まで対応されていない。このような中、計画降雨の10分雨量16mmに対し、平成25年7月25日に10分雨量23mmの超過降雨（局所的集中豪雨）が発生し、浸水被害が発生した。特に浸水常襲地域の新富田町は、窪地となっており、溢水した雨水が地表面を伝わり、本地域に流れ込む地形を呈していることから、浸水発生リスクが高く、自助・共助のソフト的施策を取り入れた浸水被害の軽減策が必要な地域

である。

実証研究では、新規に都市域レーダを導入し、当該排水区内のレーダ雨量を計測するとともに、1台の雨量計、6箇所の水位計で実証フィールド内の雨量および下水管路（分流式雨水）内水位を計測し、これら情報を用いたリアルタイム降雨予測・リアルタイム流出解析による浸水予測情報を実証研究区域における特定の住民に配信し、自助・共助の浸水被害軽減に活用した。

呉羽排水区の浸水被害実績を表 5-1 に示す。H16 年の浸水被害を受けて、呉羽排水区の自治会では、翌 H17 年に自主防災組織を編成した。この自主防災組織は「自分たちの地域は自分たちで守る」という自覚、連帯感に基づき、自主的に結成する組織であり、自治会では自主的に「水防活動マニュアルの整備」、「車の移動」、「止水板の導入」、「土のうの備蓄」、「防災隊によるサイレンを使用した自助活動の呼びかけ」、「定期的な防災・避難訓練」が実施されてきた。

しかし、内水ハザードマップ等の浸水に対する防災情報が不足しており、住民がいつ自助活動すべきか判断が出来ない状況であった。

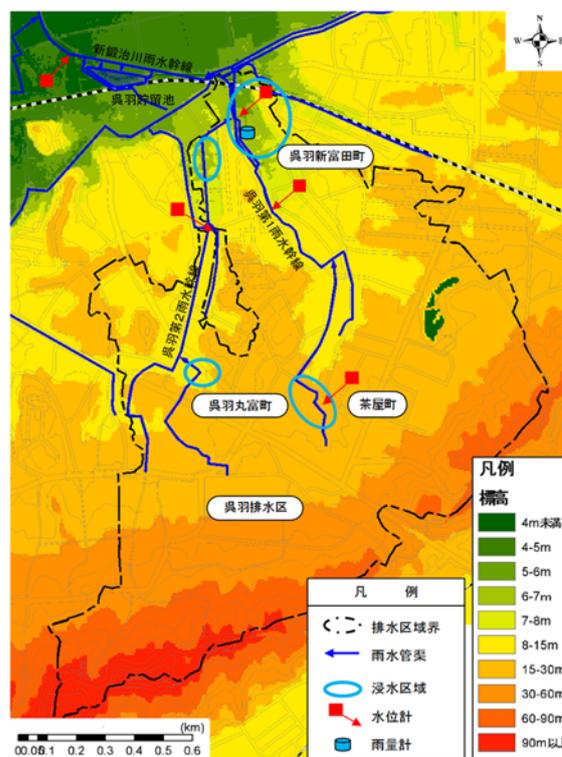


図 5-2 実証フィールドと施設配置図

表 5-1 呉羽排水区の浸水実績

年月日	雨量（富山地方气象台）			浸水戸数	
	総降雨量	最大降雨強度	最大降雨強度	床上	床下
	(mm)	(mm/h)	(mm/10min)		
平成 10 年 8 月 7 日	107	56	18	不明	不明
平成 10 年 8 月 12 日	117	66	17	不明	不明
平成 16 年 7 月 25 日	66	51	14	10	31
平成 20 年 7 月 8 日	103	47	18		3
平成 20 年 8 月 16 日	113	52	20		6
平成 25 年 7 月 25 日	113	52	20		不明

こうした状況から、自主防災組織を支援する形で情報提供を行うことで、自助・共助活動の促進による浸水被害の軽減が期待できると考え、本技術導入前に住民と技術導入説明会を開催し

た。技術導入説明会では、情報配信端末を実際に操作しながら、現状の自主防災隊の活動状況および情報配信活用性について意見交換を行った。富山における技術導入説明会の確認内容を表 5-2 に示す。

表 5-2 技術導入説明会での確認内容（富山市）

確認内容	確認結果
防災活動の体制および防災活動	<ul style="list-style-type: none"> ・ 防災隊長は町内会長 ・ 自主防災組織を編成 ・ 浸水時は 1,2 班が車を公園に移動 ・ 止水板, 車退避, 土のうを公園に備蓄
防災活動開始の基準	浸水常襲地点の水路に対して, 町内で設定した危険水位を確認 (待機水深 0.9m, 活動判断水深 1.45m)
情報端末の管理体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 町内会長 (防災隊長) と浸水常襲地点 1,2 班 ・ 端末が使える人
情報端末をどのように活用するか	<ul style="list-style-type: none"> ・ 危険水位を確認後, メガホンサイレンで声がけ ・ 現場を見る事が最重要である。その補完に活用

技術導入説明会の結果を踏まえ、自助・共助支援対象地区 84 世帯中、浸水常襲地点である低地の 46 世帯を対象として選定した。このうち、町内の自主防災組織、過去の浸水で被害を受けた地域住民にタブレットを配布し、局地的な豪雨の発生時や基準水位に達した場合のアラート情報や、§ 13 に示す情報配信技術により作成した降雨、管路内水位、浸水氾濫区域に関する現状と予測情報の配信 (図 5-3) を行うことで、防災隊長や自主防災組織が早期に自助・共助活動に取り組めるよう自主防災組織と地域住民の自助・共助活動を支援することとした。

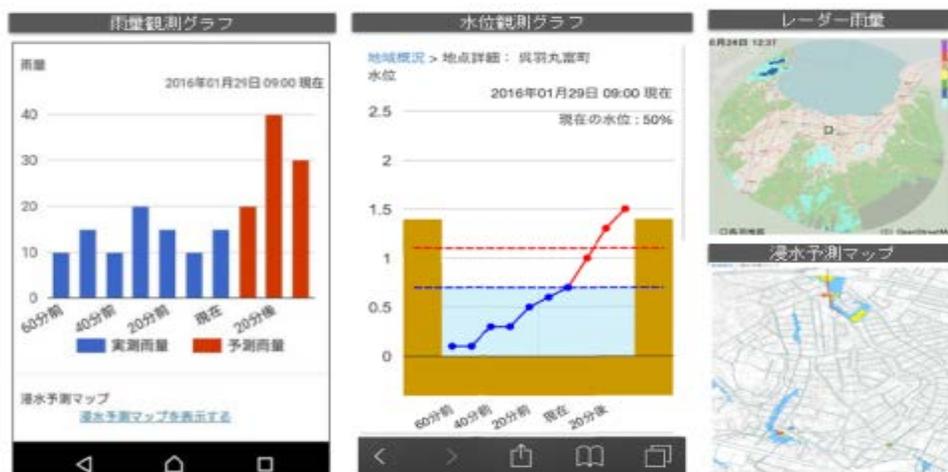


図 5-3 自助・共助支援情報例（富山市）

(4) 評価方法

自助・共助促進効果を把握するために、実証技術導入前後において住民にアンケートを行った。アンケート概要および結果を表 5-3 から表 5-6 に示す。

表 5-3 アンケート概要（導入前）

目的	①自助支援による対応項目の把握 ②対応項目のリードタイムの把握 ③配信方法、内容に関するニーズの把握	
対象地区名	福井市立矢新地区	富山市新富田地区
方法	アンケート	アンケート
配布数	235 世帯	84 世帯
回答数	161	45
回収率（方法）	68.5%（直接回収）	53.6%（郵送回収）
回収実施日	平成 28 年 1 月	平成 28 年 1 月

表 5-4 アンケート結果（導入前）

	設問	福井市 (88 世帯※)	富山市 (17 世帯※)
自助・共助対応率	これまでの浸水被害に、どのような被害軽減活動を行いましたか。		
	・土のう、または止水板設置	31%	35%
	・車の移動	60%	53%
	・その他	13%	11%

※ 浸水被害経験のある世帯のみを抽出

表 5-5 アンケート概要（導入後）

目的	①浸水被害軽減効果検証のため情報活用率、自助・共助対応率の抽出 ②情報配信における課題抽出	
対象地区名	福井市立矢新地区	富山市新富田地区
方法	アンケート	アンケート
配布数	28 世帯 (タブレット保有者(8 世帯) 情報共有者(20 世帯))	5 世帯 (タブレット保有者)
回答数	28	5
回収率（方法）	100%（直接回収）	100%(直接回収)
回収実施日	平成 28 年 12 月	平成 28 年 12 月

表 5-6 アンケート結果（導入後）

	設問	福井市 (28 世帯)	富山市 (5 世帯)
自助・共助 対応率	今後、予測情報を基に、どのような被害軽減活動を行いたいと思いますか。		
	・土のう、または止水板設置	84%	80%
	・車の移動	100%	100%
	・その他	61%	100%
	・行わない	0%	0%

（5）評価結果

アンケートの結果を表 5-7 に示す。福井市における土のう・止水板設置の対応向上率は 53%、自動車移動の対応向上率は 40%、富山市における土のう・止水板の設置については 45%、自動車の移動については 47%となった。

なお、対応向上率については、本来本技術導入前後の対応行動実施割合の変化で評価すべきであるが、研究期間中に浸水が生じるような降雨が発生しなかったため、技術導入後の実施割合を計測することができなかった。このため、行動意思のある世帯の行動実施率が 100%と仮定して対応向上率を推定した。

表 5-7 実証研究における自助・共助対応向上率

	項 目	導入前(a)	導入後(b)	向上率(b-a)
福井市	土のう・止水板設置 (%)	31	84	53
	自動車の移動 (%)	60	100	40
富山市	土のう・止水板設置 (%)	35	80	45
	自動車の移動 (%)	53	100	47

5.2 自助・共助による浸水被害軽減効果の試算事例

5.2.1 評価方法

(1) 浸水被害軽減効果の考え方

自助・共助支援に基づく浸水被害軽減効果の評価事例として、年平均浸水被害軽減期待額の試算結果を示す。現状の家屋資産額および応急対策費用（間接）、家庭用品被害額（内、自動車被害額）に「①情報活用率」、「②土のうや止水板の設置や家庭用品の移動（車の移動）による自助・共助対応向上率」、「③土のう・止水板保有率」を乗じることにより年平均浸水被害軽減期待額を算定した。「④年平均浸水被害額」については、「下水道事業における費用効果分析マニュアル」に基づき浸水シミュレーションにより算定した。ただし、流出解析モデルが構築されていない下水道排水区においては、浸水実績から算定した。

なお、自助・共助活動による算定方法は、現状ではまだ確立されていない。その点をふまえて本実証研究における評価は、あくまでも一事例であることに留意し、導入する現場や評価対象に応じて適切に算定できるよう工夫することが望ましい。

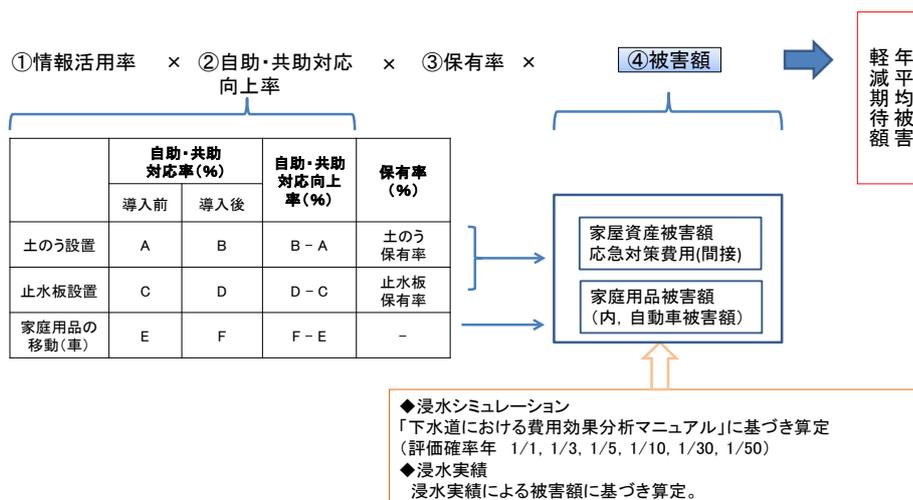


図 5-4 算定方法

1) 情報活用率

情報活用率は、自助・共助支援情報を配信対象とした住民（世帯数）に対して浸水氾濫時においてその情報を活用した住民（世帯数）の割合を示す。情報活用率の設定は、住民に対するアンケート調査やヒアリングにより設定した。

$$\text{情報活用率} = \text{情報活用世帯数} / \text{情報の配信を受けた世帯数}$$

2) 自助・共助対応率

土のう・止水板の設置，家庭用品の移動（内，車の移動）における自助・共助対応率は，表 5-8 に示すとおりである。それぞれ，住民に対するアンケート調査やヒアリングにより設定した。

表 5-8 自助・共助対応率確認項目

自助・共助対応率		浸水被害軽減項目
土のう設置対応率＝	$\frac{\text{土のうの設置を行った世帯数}}{\text{保有世帯数}}$	家屋資産被害額 応急対策費用
止水板設置対応率＝	$\frac{\text{止水板の設置を行った世帯数}}{\text{保有世帯数}}$	家屋資産被害額 応急対策費用
家庭用品移動対応率 (車の移動)＝	$\frac{\text{家庭用品(車)の移動を行った世帯数}}{\text{保有世帯数}}$	家庭用品被害額 (自動車被害額)

※被害額は，家屋資産被害額，応急対策費用，家庭用品被害額，自動車被害額を対象とする。ただし，床上浸水は，家屋資産被害額，応急対策費用（間接）は除く。

3) 保有率

土のう・止水板の保有率は，自助・共助支援情報を配信対象とした住民（世帯数）に対して土のう・止水板を保有している住民（世帯数）の割合を示す。保有率の設定は，自治体や住民へのヒアリングにより設定した。

4) 被害額

浸水被害額算定の対象項目は，土のう，止水板の設置による浸水被害軽減効果が見込める家屋資産被害額，応急対策費用（間接）および移動可能な家庭用品被害額，自動車被害額とした。

(2) シミュレーションモデル未構築の区域における評価方法

富山市においては、シミュレーションモデルが構築されている地域は一部のみであるため、過去の浸水実績より、確率規模ごとの被害額を算定し、その軽減効果を算定することとした。シミュレーションの有無による被害額算定手法の違いを図 5-5 に示す。

浸水実績による被害額の算定は、過去の浸水が起こった年月日、場所、規模（床上、床下）を整理し、浸水実績による確率規模ごとの浸水戸数を求め、「下水道における費用効果分析マニュアル（案）」に基づき年平均浸水被害軽減期待額を算出した。

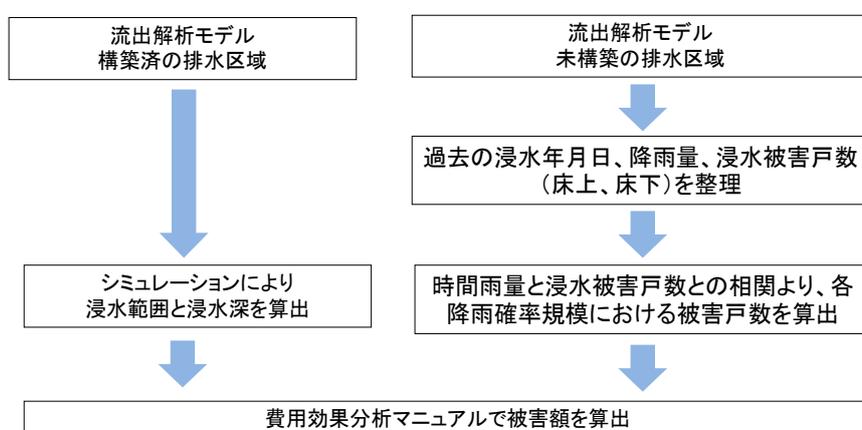


図 5-5 浸水実績による被害額算定手法

(3) 評価対象

実証研究における浸水被害軽減効果は、導入する都市域レーダの観測情報が下水道排水区域全体に活用できることから、実証研究フィールドにおける実証結果を踏まえ、下水道排水区域全体における浸水被害軽減効果を算定した。

5.2.2 評価結果

(1) 福井市

1) 情報活用率

情報活用率は、自助・共助支援対象者へのアンケートより設定した。本実証期間においては浸水に至る降雨がなかったため、今後とも情報を活用する意思のある世帯数の率を算出した。

・情報活用率

＝情報活用世帯数／情報の配信を受けた世帯数

＝今後も継続して利用したい世帯数／情報の配信を受けた世帯数

＝87%

2) 自助・共助対応向上率

自助・共助対応率は、本実証研究前後で行ったアンケート結果より設定した。本実証研究では、自助・共助活動を土のう・止水板の設置、自動車の移動と定義し、浸水被害経験のある世帯の中へ浸水発生時における対応の有無を聞き、行動意思のある世帯数の率を算出した。次に、実証前後の対応率の差分を対応向上率とし、実証技術導入効果算出に用いた。

・土のう・止水板設置の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／浸水被害経験世帯数

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／浸水被害経験世帯数

向上率＝導入後対応率－導入前対応率

・自動車移動の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／浸水被害経験世帯数

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／浸水被害経験世帯数

向上率＝導入後対応率－導入前対応率

3) 土のう・止水板の保有率

福井市では、H16 福井豪雨以降、吸水性土のうを希望者に配布している。世帯当たりの平均土のう保有数を 20 個/世帯と設定し、これまでの配布数から土のう保有世帯を推定し、10 年確率降雨における浸水地域世帯の吸水性土のう保有率を算出した。

10 年確率降雨における床下浸水被害世帯数 …(a)

$36,383 \text{ 世帯} \times 58.5 / 1,821 \text{ ha} = 1,168 \text{ 世帯}$

吸水性土のう保有世帯（世帯当たり平均土のう保有数(個/世帯) / 配布土のう数(個)）…(b)

$19,120 / 20 = 956 \text{ 世帯}$

福井市下水道排水区における土のう保有割合 (b/a) = 82 %

止水板は、自助・共助支援対象地区における現地調査において、保有実態がなかったため、市域の保有もなしと仮定した。福井市における土のう・止水板保有率算出条件を表 5-9 に示す。なお、今回の試算では、土のう・止水板を設置した場合、浸水深 0.3m までは被害が発生しないものとした。

自助・共助支援対象地区における土のう・止水板保有率は、アンケート結果より 75%であり、福井市全域の保有率よりも低い値となった。本実証における導入効果算出は、本値を採用した。

表 5-9 福井市における土のう止水板保有率算定条件

福井市排水区面積	1,821 ha
10年確率降雨における床下浸水エリア (0.1~0.3m)	58.5 ha
福井市排水区内世帯数	36,383 世帯
吸水性土のう配布数 (H17以降)	19,120 袋
世帯当たり吸水性土のう平均保有数	20 袋/世帯

4) 年平均浸水被害軽減期待額

福井市における実証技術導入による、浸水被害軽減額を表 5-10 および表 5-11 に示す。

表 5-10 福井市 浸水被害軽減額

流量規模 確率年	被害項目	① 情報活用率	② 自助・共助 対応 向上率	③ 土のう ・止水板 保有率	④ 浸水 被害額 (百万円)	被害軽減額		参考 浸水被害額 計 (百万円)
						⑤=①×② ×③×④ 浸水被害 軽減額 (百万円)	計 (百万円)	
1	家屋資産、応急対策費用	0.87	0.53	0.75	0	0.0	0.0	0.0
	家庭用品(自動車)被害額	0.87	0.40	1.00	0	0.0		
5	家屋資産、応急対策費用	0.87	0.53	0.75	662	228.9	268.6	776
	家庭用品(自動車)被害額	0.87	0.40	1.00	114	39.7		
10	家屋資産、応急対策費用	0.87	0.53	0.75	914	316.1	373.2	1,078
	家庭用品(自動車)被害額	0.87	0.40	1.00	164	57.1		
30	家屋資産、応急対策費用	0.87	0.53	0.75	1350	466.9	561.2	1,621
	家庭用品(自動車)被害額	0.87	0.40	1.00	271	94.3		
50	家屋資産、応急対策費用	0.87	0.53	0.75	1635	565.4	679.9	1,964
	家庭用品(自動車)被害額	0.87	0.40	1.00	329	114.5		

表 5-11 福井市 年平均浸水被害軽減期待額

① 流量 規模	② 年平均 超過確率 Nm	③ 被害 軽減額 Dm	④ 区間確率 Nm-1-Nm	⑤ 区間平均 被害軽減額 (Dm-1+Dm)/2	⑥=④×⑤ 年平均 被害軽減額	⑦ 年平均被害軽 減期待額
(確率年)		(百万円)		(百万円)	(百万円)	(百万円)
1	1.0000	0.0	1.0000	0.0	0.0	0.0
5	0.2000	268.6	0.8000	134.3	107.4	107.4
10	0.1000	373.2	0.1000	320.9	32.1	139.5
30	0.0333	561.2	0.0667	467.2	31.1	170.7
50	0.0200	679.9	0.0133	620.5	8.3	178.9

< 確率年毎降雨強度の根拠資料 >

観測データ：福井气象台 算定方法；岩井法

5) 導入前後における浸水被害軽減効果

表 5-12 に実証技術の導入により被害が軽減する可能性がある家屋および車両における浸水被害軽減効果を示す。なお、浸水被害軽減効果は、施設運転支援を実施した結果を踏まえて算出した。

表 5-12 導入前後の浸水被害軽減効果

導入前

確率年	情報活用率 (%)	家屋・自助 対応率 (%)	土のう・止水板 保有率 (%)	車・自助 対応率 (%)	被害軽減家屋 (世帯)	被害軽減車両 (台)	被害家屋 (世帯)	被害車両 (台)
5	87	31	75	60	171	940	676	860
10	87	31	75	60	236	1312	933	1202
30	87	31	75	60	349	2057	1377	1883
50	87	31	75	60	423	2502	1668	2292

導入後

確率年	情報活用率 (%)	家屋・自助 対応率 (%)	土のう・止水板 保有率 (%)	車・自助 対応率 (%)	被害軽減家屋 (世帯)	被害軽減車両 (台)	被害家屋 (世帯)	被害車両 (台)
5	87	31	75	60	464	1566	383	234
10	87	31	75	60	641	2187	528	327
30	87	31	75	60	946	3428	780	512
50	87	31	75	60	1146	4171	945	623

(2) 富山市

1) シミュレーションモデル構築済の地域

呉羽排水区においては、シミュレーションにより被害額を算定する。

2) シミュレーションモデル未構築の地域

呉羽排水区外のシミュレーションモデル未構築地域においては、浸水実績（床上・床下浸水戸数）より被害額を算定することとし、以下にその算定手法を示す。

①浸水被害実績の調査

富山市の過去の浸水戸数（床上，床下），時間雨量を整理する。

調査対象範囲は、水害統計期間より，昭和 45 年～平成 26 年とする。

浸水戸数は、浸水シミュレーションモデル構築済の地域（呉羽排水区）および外水氾濫による浸水は除くものとする。

時間雨量は、市域における降雨の隔たりを均すため，富山市近傍の測候所 3 点（富山，秋ヶ島，，大山，上市）の平均値を用いた。

浸水実績の位置図を図 5-6 に、浸水実績の一覧を表 5-13 に示す。

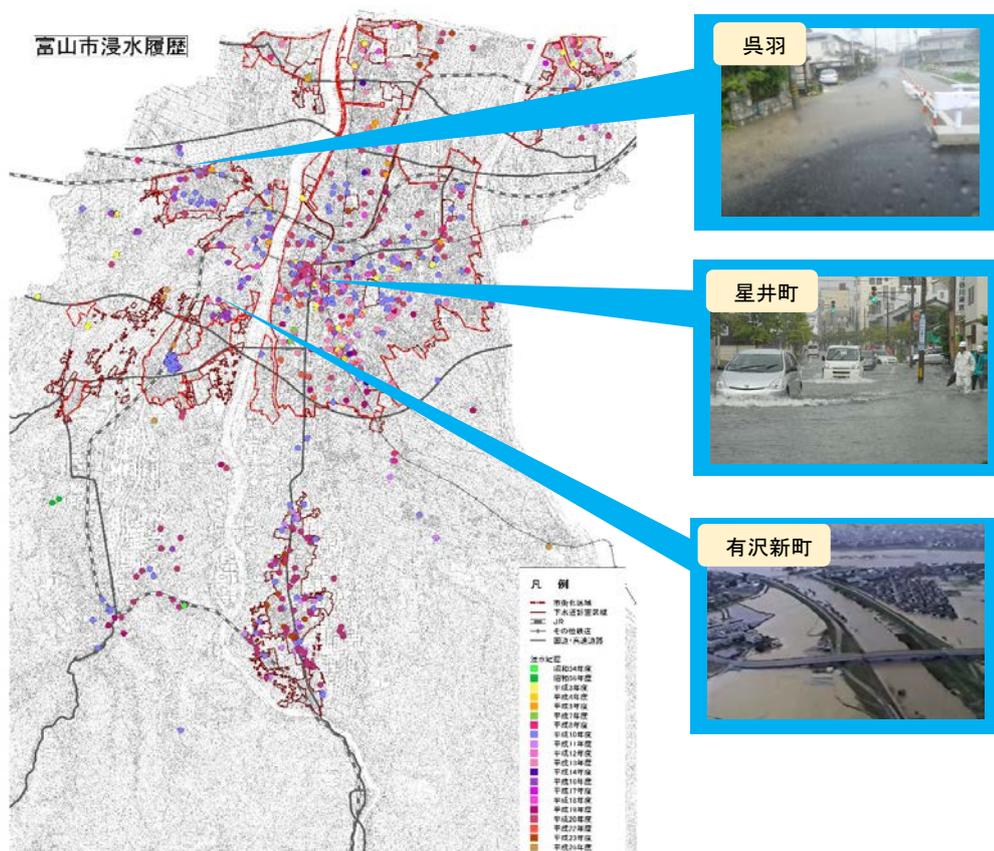


図 5-6 富山市の過去の浸水実績位置図

※出典：「富山市浸水対策基本計画見直し業務（平成 27 年 3 月）」 一部加筆修正

表 5-13 富山市の過去の浸水実績と降雨確率規模
(呉羽, 外水氾濫を除く)

No	年月日			浸水実績			時間雨量 mm/h
	和暦	西暦	月日	床上	床下	計	
1	S46	1971	6/20~7/27	5	1699	1704	40.0
2	S47	1972	5/7~5/9		31	31	20.0
3			9/6~9/19		130	130	30.0
4	S50	1975	6/3~7/18		25	25	21.0
5			8/5~8/25		8	8	32.0
6			9/16~9/24	1	29	30	43.0
7	S51	1976	5/19~7/21	13	39	52	45.0
8			8/1~8/16	47	410	457	31.0
9			9/7~9/14		32	32	21.0
10	S54	1979	9/24~10/1	13	82	95	45.0
11	S57	1982	8/6~8/24	1	31	32	20.0
12			9/10~9/13	2	2	4	17.0
13	S59	1984	7/18~7/29		295	295	22.0
14	S60	1985	5/27~7/24		176	176	28.0
15	S61	1986	8/19~8/24	4	119	123	39.0
16			9/29~10/1	13	272	285	8.0
17	S62	1987	9/2~9/5	1	47	48	15.0
18			9/15~9/20		14	14	18.0
19	S63	1988	8/9~8/31		2	2	7.0
20	H2	1990	9/11~9/20		1	1	16.0
21	H3	1991	6/29	5	102	107	17.0
22			7/12		5	5	26.0
23	H4	1992	6/21		5	5	16.0
24			8/24		10	10	10.0
25	H5	1993	7/12		56	56	24.0
26	H10	1998	8/7	151	675	826	48.0
27			8/12	25	307	332	49.0
28	H11	1999	9/15		18	18	29.0
29	H12	2000	8/9		33	33	15.0
30	H13	2001	6/29	2	29	31	13.0
31			8/7	1	110	111	19.0
32			8/30		14	14	10.0
33	H14	2002	7/13		7	7	28.0
34	H16	2004	6/29		5	5	16.0
35			7/18	3	6	9	36.0
36			7/25	27	65	92	37.0
37			9/14		16	16	34.0
38			10/20~10/21	531	612	1143	60.0
39	H17	2005	6/30		3	3	31.0
40			8/16		5	5	20.0
41	H18	2006	7/17		1	1	13.0
42			7/18		1	1	12.0
43			7/19		1	1	12.0
44	H19	2007	5/31		1	1	15.0
45			8/22		6	6	31.0
46			9/24~9/26		3	3	14.0
47	H20	2008	7/8	5	183	188	42.0
48			8/16	7	64	71	33.0
49	H22	2010	8/31	13	43	56	17.0
50	H23	2011	7/30		5	5	11.0
51			8/26		6	6	19.0
52			9/22		6	6	16.0
			計	870	5847	6717	

※出典：「富山市浸水対策基本計画見直し業務（平成 27 年 3 月）」 一部加筆修正

②時間雨量と浸水被害戸数との相関より、各降雨確率規模における被害戸数を算出

浸水戸数と時間雨量を散布図にプロットし、近似式により、降雨規模毎の浸水戸数を算出した。近似式は、相関係数の最も高い式型（二次式）を選定した。現在から過去 20、30、40 年間に区分し、相関係数を比較し、相関係数 0.7 以上（強い相関）を確保できる、過去 20 年間の実績を使用した二次式による相関式を採用とした。表 5-14 に集計期間別の近似式の相関係数を示す。図 5-7、図 5-8、図 5-9 に時間雨量と浸水戸数の相関図を示す。

表 5-14 集計期間別の近似式相関係数

集計期間	相関係数		備考
	床上	床下	
過去 20 年間 (H23～H 3)	0.70	0.72	採用
過去 30 年間 (H23～S56)	0.66	0.57	
過去 40 年間 (H23～S46)	0.54	0.21	

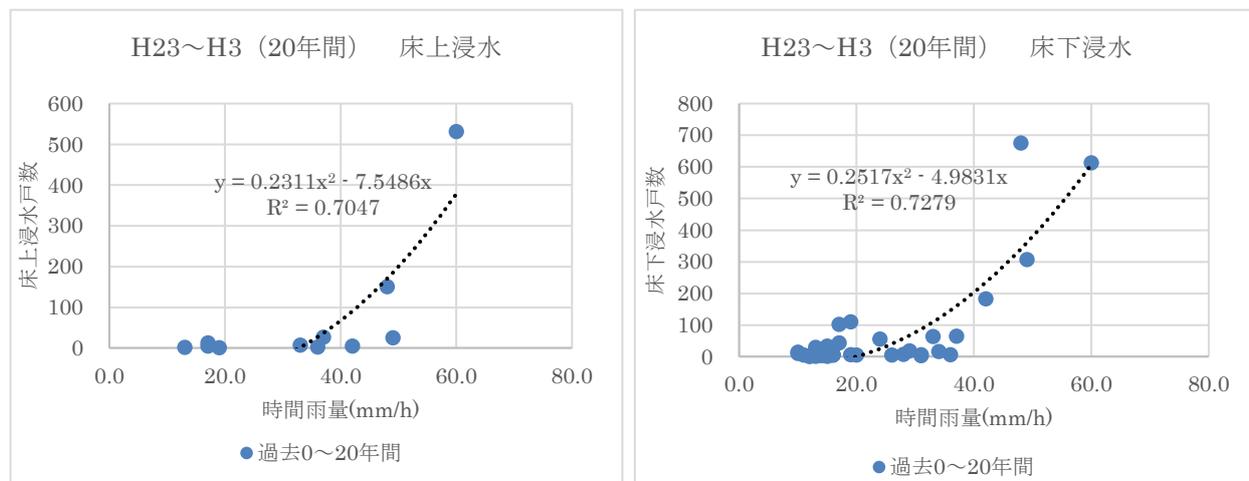


図 5-7 時間雨量と浸水戸数の相関（過去 20 年間）

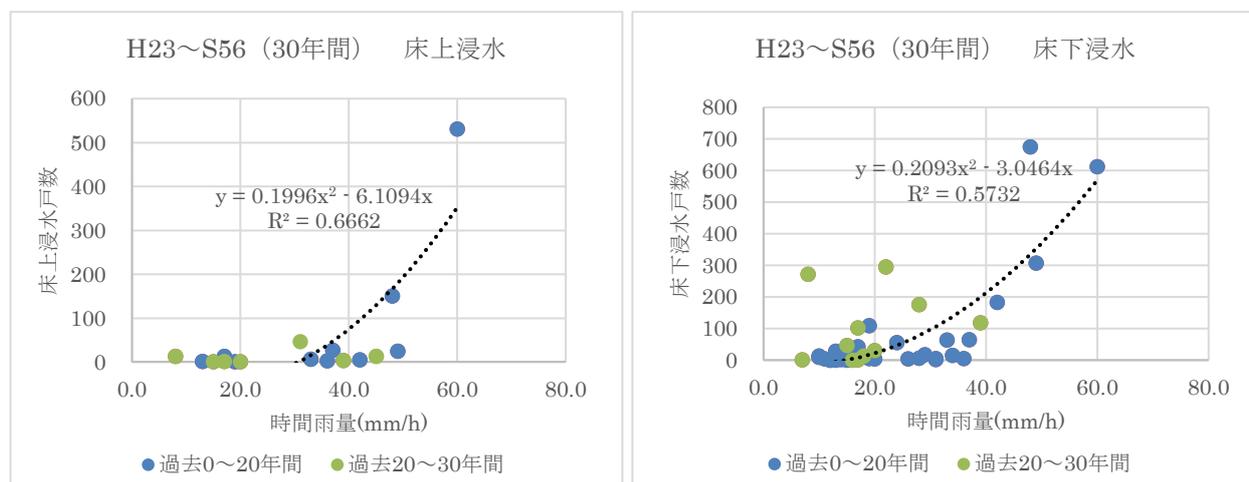


図 5-8 時間雨量と浸水戸数の相関（過去 30 年間）

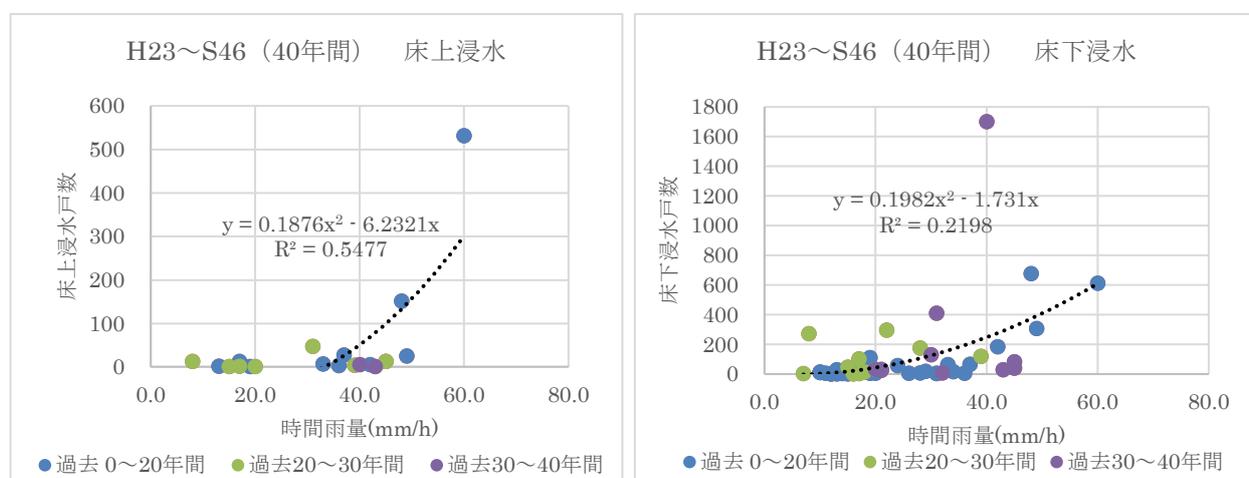


図 5-9 時間雨量と浸水戸数の相関（過去 40 年間）

③相関式より、降雨確率と浸水戸数を算定

選定した相関式より、降雨確率（降雨量）と浸水戸数を算定する。

降雨確率と時間雨量との関係は、富山市のトーマスプロットより読み取り設定する。

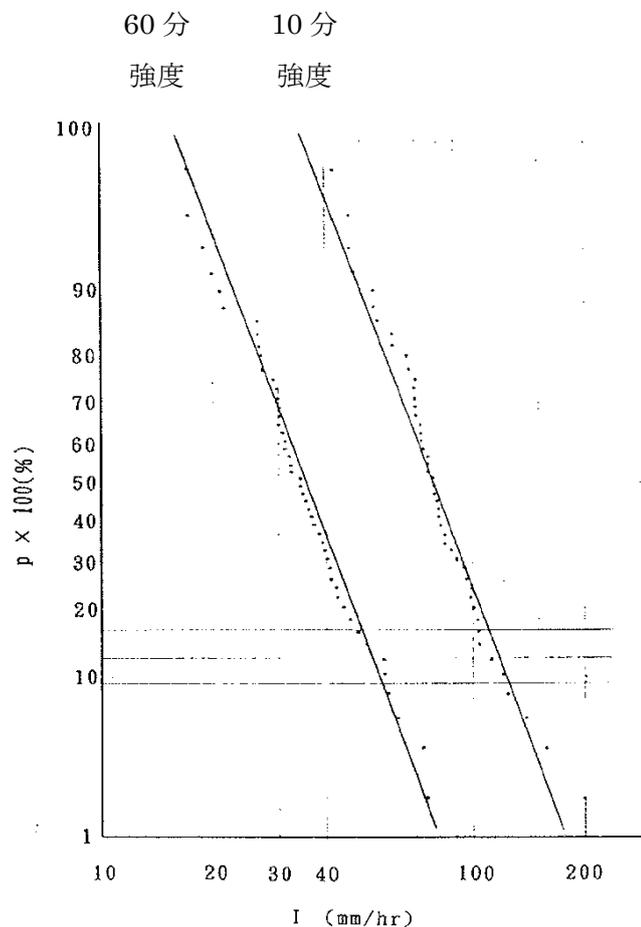


図 5-10 富山市計画降雨 トーマスプロット

<浸水戸数相関式>

$$\text{床上浸水戸数} \quad y = 0.2311X^2 - 7.5486X$$

$$\text{床下浸水戸数} \quad y = 0.2517X^2 - 4.9831X$$

ここに、 y : 浸水戸数, x = 時間雨量

※ただし、上記相関式は、60mm/h（12年確率程度）までの浸水実績より作成したものであるため、30年確率および50年確率の浸水戸数については参考値とする。

表 5-15 降雨規模と浸水戸数

降雨規模	年平均 超過確率	時間雨量 (mm/h)	浸水戸数(戸)		備考
			床上	床下	
1	1.00	35.00	0	0	
5	0.20	49.00	185	360	
10	0.10	58.00	340	558	
30	0.03	68.00	555	825	参考値
50	0.02	75.00	734	1042	参考値

④浸水被害軽減額の算定

浸水戸実績による被害額+シミュレーションによる被害額を費用効果分析マニュアルに準拠し算定する。浸水実績による被害額は、費用効果分析マニュアルの床上・床下の被害率に資産単価と浸水戸数を乗じ算出した。

浸水実績による被害額とシミュレーションによる被害額より、富山市全域の被害額とする。被害額は、家屋資産被害額、家庭用品被害額（一般家庭の自動車は家庭用品に含む）、応急対策費用を対象とした。

ただし、家屋資産被害額、応急対策費用に関しては、土のうや止水板設置等の自助活動にて床上浸水時の被害低減を図ることができないため、当該被害額においては床上浸水の被害額は対象外とした。

3) 情報活用率

情報活用率は、本実証地域における実証技術導入後のアンケート調査より、87%として設定した。なお、情報活用率は、本来、実際に情報を活用した世帯の割合で評価すべきであるが、実験期間中情報を配信するような降雨・浸水がなかったため、今後も継続して活用したい世帯は100%情報を活用すると仮定した試算を行った。

・情報活用率

＝情報活用世帯数／情報の配信を受けた世帯数

＝今後も継続して利用したい世帯数／情報の配信を受けた世帯数＝87%

4) 自助・共助対応向上率

自助・共助対応向上率は、本実証地域における実証技術導入前後のアンケート調査より、土のう・止水板の設置については45%、自動車の移動については47%として設定した。なお、実

証研究中に浸水が発生する降雨が無かったため、導入後の対応率は、今後の被害軽減活動への対応意向にて設定した。

・土のう・止水板設置の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／保有世帯数＝35%

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／保有世帯数＝80%

向上率＝導入後対応率－導入前対応率＝80－35＝45%

・自動車移動の対応向上率

導入前対応率＝過去の浸水被害で対応した世帯数／保有世帯数＝53%

導入後対応率＝今後の自助・共助活動への対応意向／保有世帯数＝100%

向上率＝導入後対応率－導入前対応率＝100－53＝47%

5) 土のう・止水板の保有率

土のう・止水板の保有率は、富山市全域における土のうの配布数が不明確であるため、実証地域の自主防災組織の土のう保有率を参考に49%として設定した。なお、止水板は、本実証地域のみ配布されているため、保有率は土のうのみを対象とした。

富山市全域の土のう保有率＝

実証地域土のう保有率 83%×富山市自主防災組織組織率 59%＝49%

実証地域土のう保有率

・10年確率降雨によるシミュレーションによる床下浸水戸数＝22世帯

・止水板保有世帯数＝16世帯

・土のうによる対応が必要な世帯数＝22－16＝6世帯

・土のう設置の対応が可能な世帯数

＝実証地域における土のう保有個数 100 個／1世帯当たり 20 個使用

＝100／20＝5世帯

・実証地域土のう保有率＝5／6＝83%

富山市自主防災組織組織率

・富山市の自主防災組織の組織率は、富山市のうち山間地域の山田、細入地域を除いた地域の組織率とした。表 5-16 に自主防災組織組織率を示す。

表 5-16 富山市自主防災組織組織率

地域	自主防災組織数	自主防災組織 世帯数 ①	世帯数 ②	自主防災組織率 ③=①/②
富山	286	79,169	138,583	57%
大沢野	39	4,113	8,601	48%
大山	10	881	3,815	23%
八尾	26	3,603	7,395	49%
婦中	62	14,716	14,716	100%
計	423	102,482	173,110	59%

6) 年平均浸水被害軽減期待額

富山市における実証技術導入による、浸水被害軽減額を表 5-17 および表 5-18 に示す。

表 5-17 富山市 浸水被害軽減額 (浸水実績+シミュレーション)

流量規模 確率年	被害項目	① 情報 活用 率	② 自助 ・共助 対応 向上率	③ 土のう ・止水 板 保有率	④ 浸水 被害額 (百万円)	被害軽減額		参考 浸水被害額 計 (百万円)
						⑤=①×② ×③×④ 浸水被害 軽減額 (百万円)	計 (百万円)	
1	家屋資産, 応急対策費用	0.87	0.45	0.49	0.00	0.0	0.0	0.0
	家庭用品 (自動車) 被害額	0.87	0.47	1.00	0.00	0.0		
5	家屋資産, 応急対策費用	0.87	0.45	0.49	418.50	80.3	147.2	582.0
	家庭用品 (自動車) 被害額	0.87	0.47	1.00	163.50	66.9		
10	家屋資産, 応急対策費用	0.87	0.45	0.49	664.10	127.4	247.2	957.2
	家庭用品 (自動車) 被害額	0.87	0.47	1.00	293.10	119.8		
30	家屋資産, 応急対策費用	0.87	0.45	0.49	58.50	11.2	18.2	75.7
	家庭用品 (自動車) 被害額	0.87	0.47	1.00	17.20	7.0		
50	家屋資産, 応急対策費用	0.87	0.45	0.49	81.90	15.7	24.9	104.4
	家庭用品 (自動車) 被害額	0.87	0.47	1.00	22.50	9.2		

表 5-18 富山市 年平均浸水被害軽減期待額 (浸水実績+シミュレーション)

① 流量 規模 (確率年)	② 年平均 超過確率 Nm	③ 被害 軽減額 Dm (百万円)	④ 区間確率 Nm-1-Nm	⑤ 区間平均 被害軽減額 (Dm-1+Dm)/2 (百万円)	⑥=④×⑤ 年平均 被害軽減額 (百万円)	⑦ 年平均 被害軽減期 待額 (百万円)
1	1.0000	0.0	1.0000	0.0	0.0	0.0
5	0.2000	147.2	0.8000	73.6	58.9	58.9
10	0.1000	247.2	0.1000	197.2	19.7	78.6
30	0.0333	18.2	0.0667	132.7	8.8	87.4※
50	0.0200	24.9	0.0133	21.6	0.3	87.7※

※ただし、浸水実績により算出した被害額のうち30年、50年は含まない

7) 導入前後における浸水被害軽減効果

表 5-19 に実証技術の導入前後において被害を受ける家屋および車両を示す。

表 5-19 導入前後の浸水被害

導入前

確率年	情報活用率 (%)	家屋・自助 対応率 (%)	家屋・自助 非対応率 (%)	土のう・止水板 保有率 (%)	車・自助 対応率 (%)	車・自助 非対応率 (%)	被害家屋 (世帯)	被害車両 (台)
5	87	35	65	49	53	47	103	277
10	87	35	65	49	53	47	162	370
30	87	35	65	49	53	47	14	47
50	87	35	65	49	53	47	20	62

導入後

確率年	情報活用率 (%)	家屋・自助 対応率 (%)	家屋・自助 非対応率 (%)	土のう・止水板 保有率 (%)	車・自助 対応率 (%)	車・自助 非対応率 (%)	被害家屋 (世帯)	被害車両 (台)
5	87	80	20	49	100	0	32	0
10	87	80	20	49	100	0	50	0
30	87	80	20	49	100	0	4	0
50	87	80	20	49	100	0	6	0

6 運用・維持管理

6.1 運用

(1) 福井市

福井市フィールドでは、降雨や管内水位の観測値や予測情報をもとに、雨水貯留管における排水ポンプを動作させる運転員への情報配信、自助・共助活動を行う市民への情報配信を行っている。

1) 施設運転支援

①情報配信対象

施設運転支援の配信対象は、雨水対策施設運転員、職員、及び雨水対策を担当する関連部署職員を対象とする。

②施設運転フロー

実証研究における施設運転支援は、今後予想される豪雨に対して適切に雨水貯留管の排水ポンプを運転し、既存施設の能力を最大限に活用することで浸水被害を軽減（雨水貯留管の施設運転支援）することを目的として情報を配信する。施設運転における導入前後の運用フローを図 6-1 に示す。

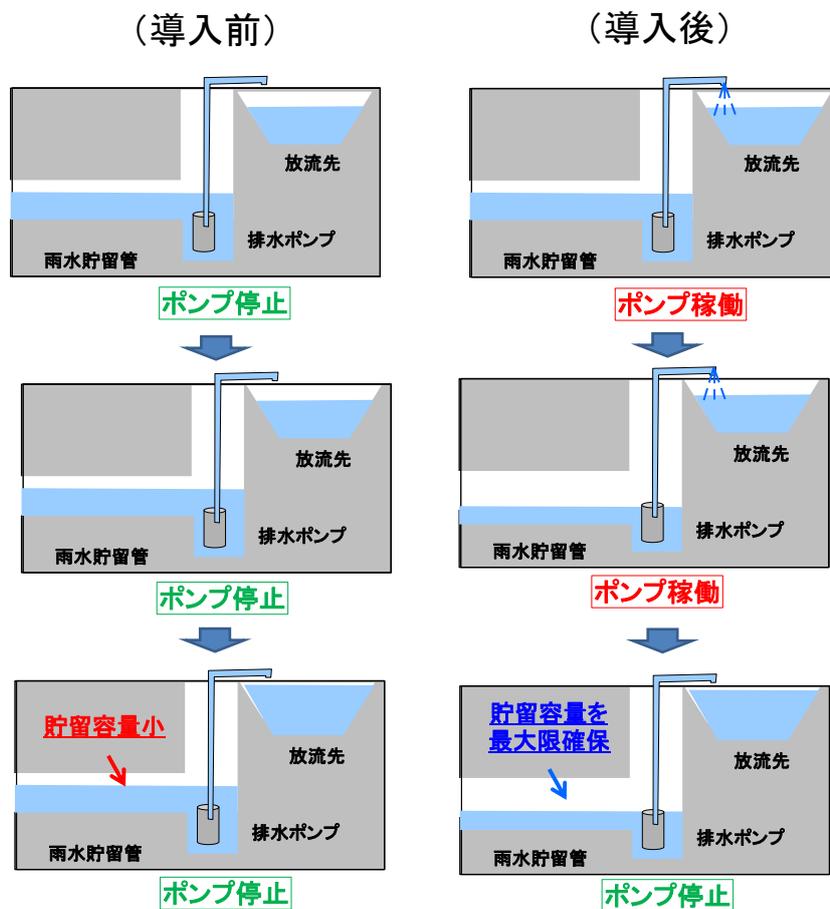


図 6-1 施設運転における導入前後の運用フロー

③排水ポンプ起動・停止の条件

本実証事業における評価対象とした各貯留管における導入前後の排水ポンプの運転判断条件を図 6-2 に示す。

導入後の月見のみり雨水貯留管の排水ポンプ起動・停止条件は、導入前の貯留管内水位、ポンプ吐出先水位に加え、社雨水幹線の下流における山奥水位（5 分後予測水位）、社（25 分後予測水位）とした。

導入後の下北野雨水貯留管の排水ポンプ起動・停止の判断は、導入前の貯留管内水位とポンプ吐出先水位に加え、貯留管内水位（25 分後予測水位）とした。

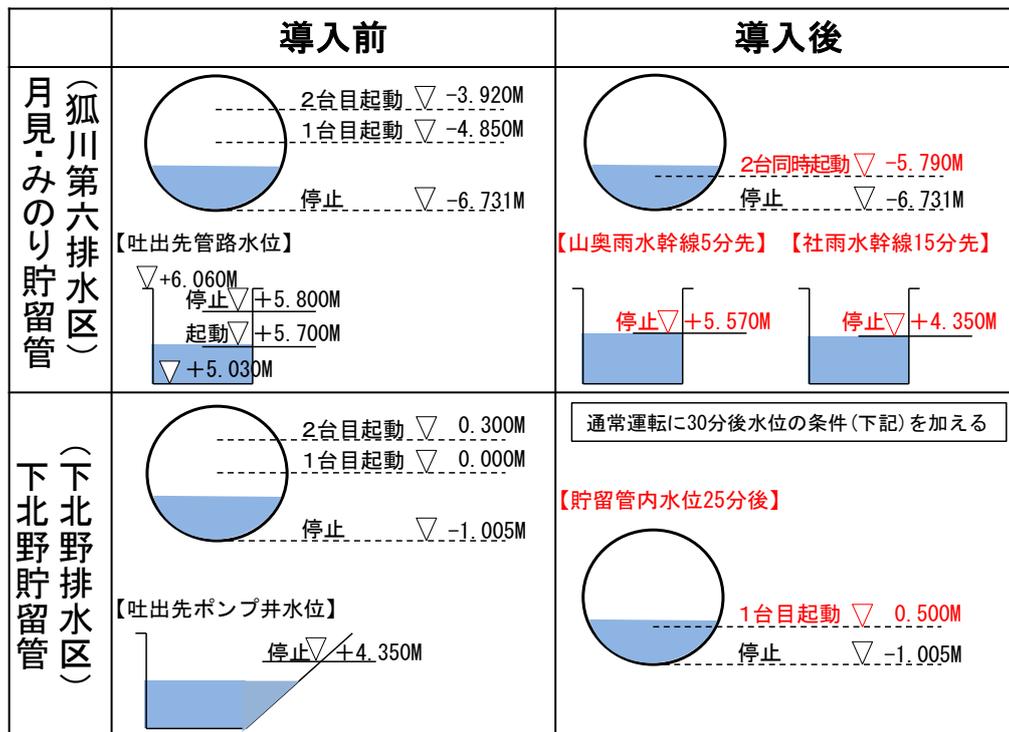


図 6-2 排水ポンプ起動・停止の条件

④情報の種類及び画面の構成

施設運営を行うための支援情報は、その信頼性を確保することは当然であるが、雨天時には迅速性を求められるため、運転員が雨量、水位等の複数情報から判断するのではなく、一目でポンプ起動・停止が分かる可視化された運転支援画面が必要である。

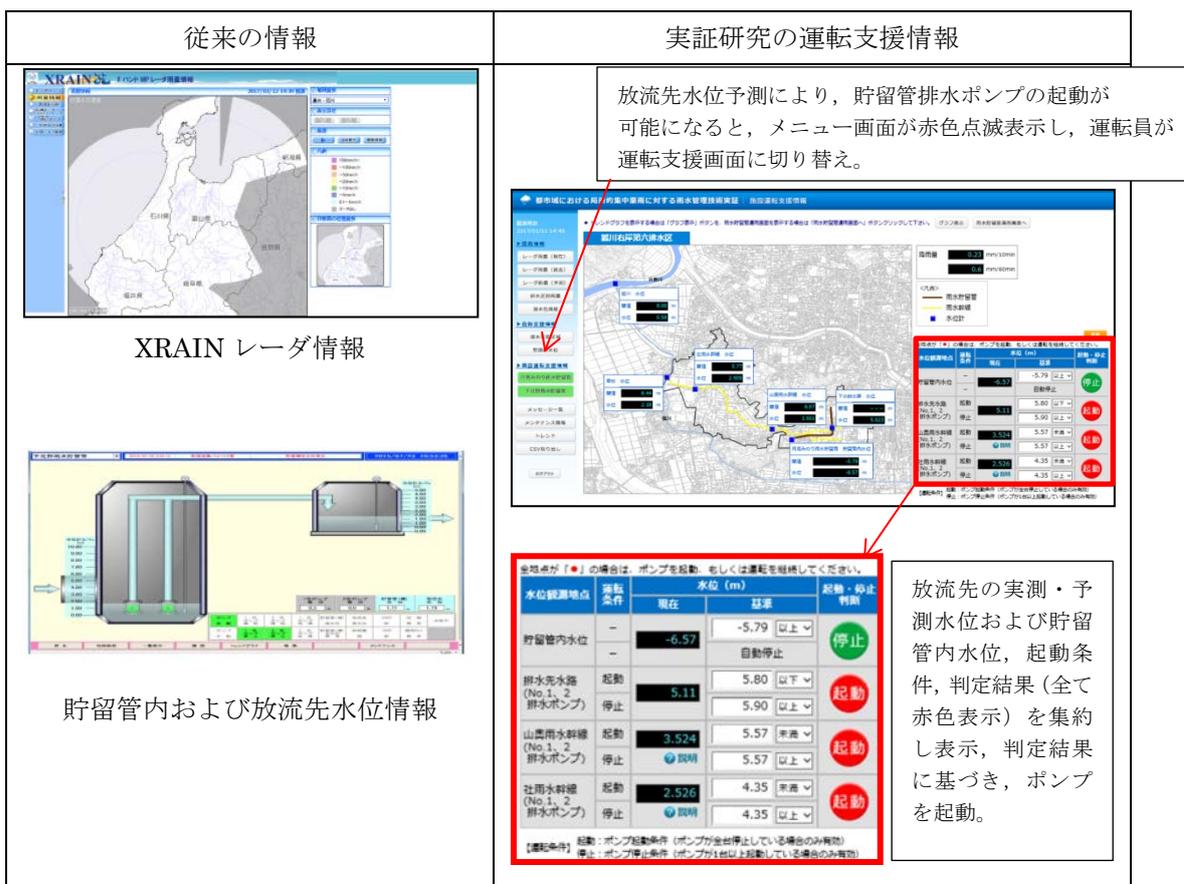


図 6-3 実証技術の表示画面の特徴と運用例

本実証研究では、図 6-3 に示すとおり、従来の情報に加え、一目で貯留管排水ポンプの起動が可能を判断できる運転支援情報画面により運用を行った。

⑤情報の種類

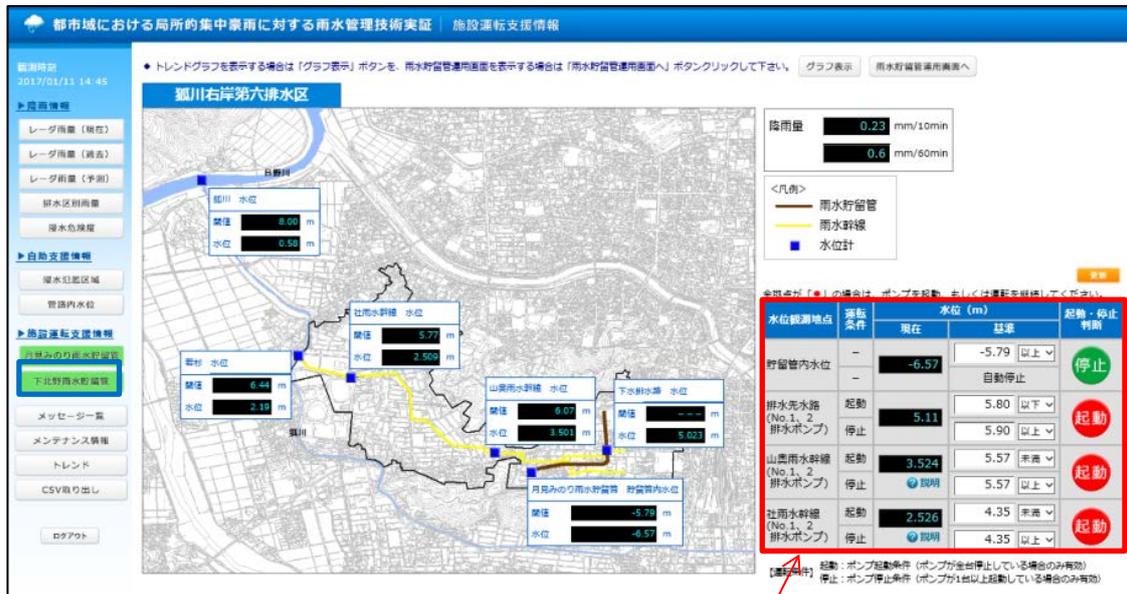
施設運用画面は、対象貯留管が設置されている排水区の上流から放流先までの現状水位を一目で監視できるよう表示している画面と、貯留管内の水位状況を視覚的に把握できるよう貯留管の横断図を表示している画面の 2 面から構成される。

(a)ポンプ運転判断支援画面

ポンプ運転判断支援画面を図 6-4 に示す。赤枠に示した一覧は、2) の条件に基づいた運転員による排水ポンプ起動・停止の判断を行うためのものである。本画面では、容易に判断を行うために、起動条件が全て整ったことを一目で確認できるよう各地点の実測・予測水位、基準値、判定結果を表示している。

なお、降雨の状況によっては運転員が常時画面を監視していることができずにポンプ運転の判断が遅れてしまう可能性があるため、青枠に示したメニューボタンの色替えや点滅等により、注意を促す。

<月見みのり雨水貯留管>



<下北野雨水貯留管>

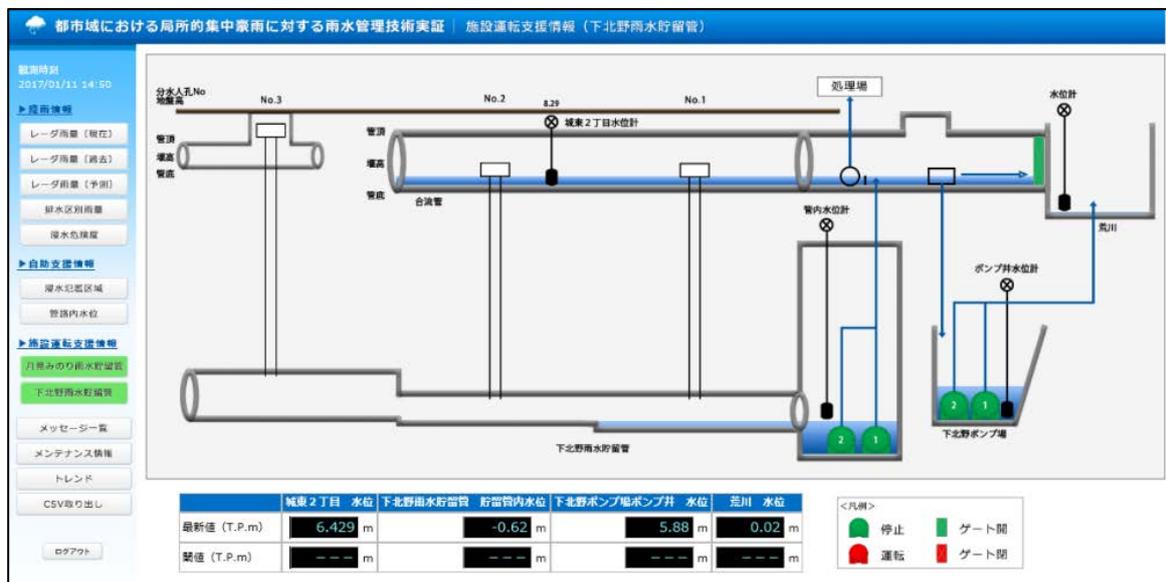


図 6-4 ポンプ運転判断支援画面

(b)雨水貯留管内水位監視画面

図 6-5 に示すとおり、本画面は対象貯留管の水位に加え、貯留管へ流入する雨水幹線の水位、放流先水位、ポンプの運転停止状態、ゲート開閉状態を視覚的に確認するためのものである。

<月見みのり雨水貯留管>



<下北野雨水貯留管>

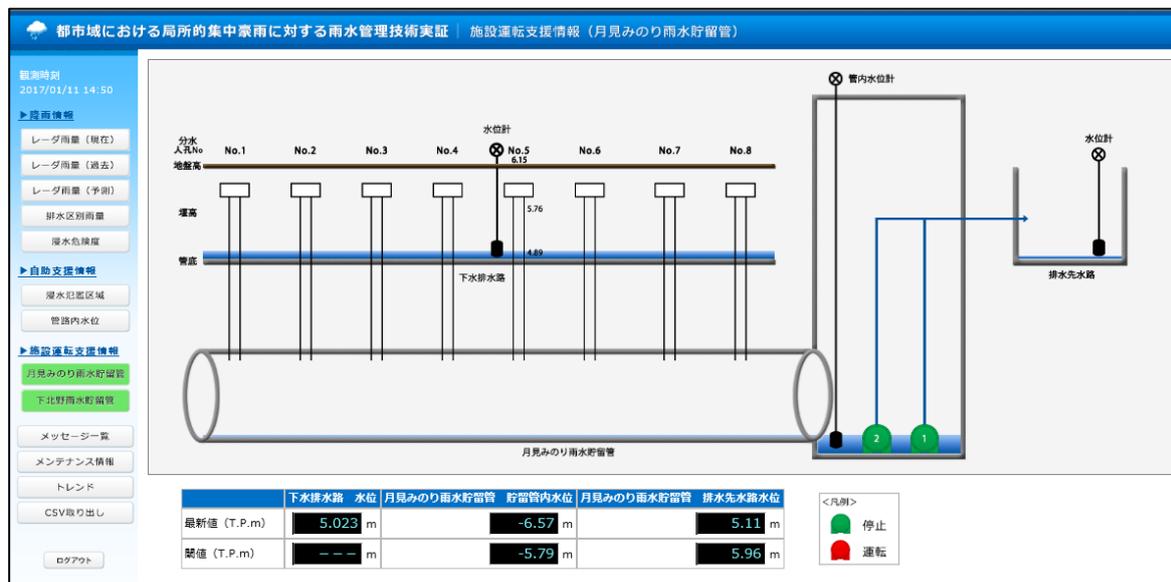


図 6-5 雨水貯留管内水位監視画面

2) 自助・共助支援

①対象および体制

自助・共助支援の福井市フィールドの概要を表 6-1 に示す。本実証研究では、浸水常襲地域である立矢新地区の中で、特に浸水被害が多発している家屋の住民を対象として選定した。それぞれの世帯の活動の内容を図 6-6 に、配信情報の連絡体制を図 6-7 に示す。

表 6-1 福井市フィールドにおける自助・共助支援概要

対象地区	立矢新地区(235 世帯)
対象者	浸水発生タブレット保有者(8 世帯)及び、情報を電話や声掛けによる情報活用者(20 世帯)
自助支援活動内容	(吸水性)土のうの設置, 車両の移動
共助支援活動内容	止水活動補助, 浸水予測情報の伝達

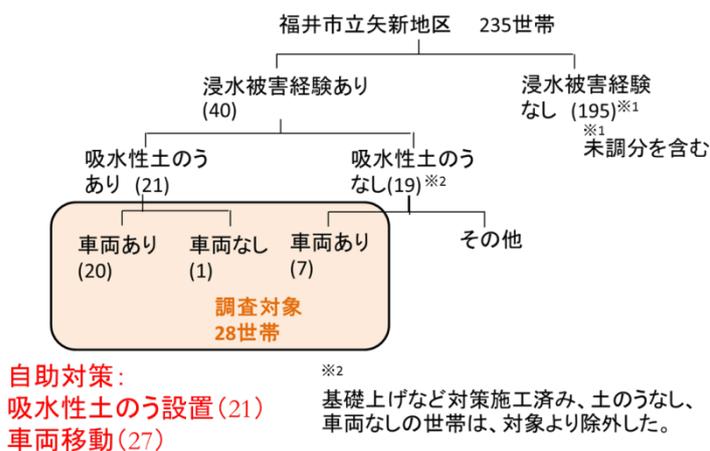


図 6-6 対象世帯及び支援内容

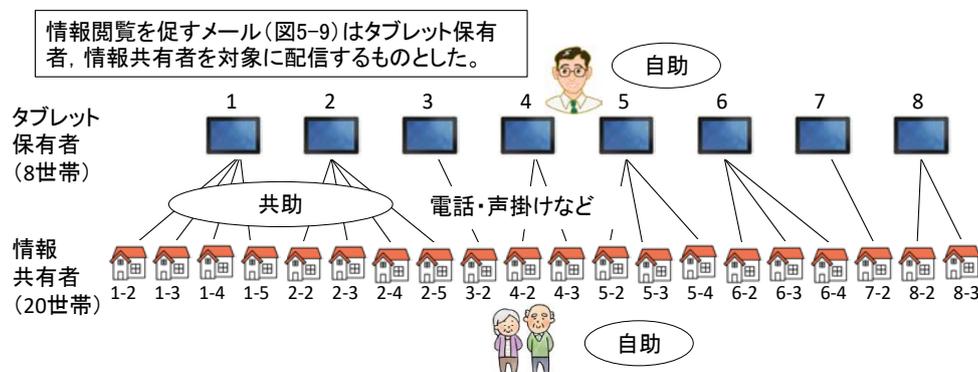


図 6-7 評価期間における支援情報共有に向けた連絡体制

②情報の種類及び画面の構成

住民が、自助・共助を行うか否かの判断を行うためには、降雨がその地域、もしくは排水区の上流側に到達するか、管路内水位がどの程度上昇するか、浸水が発生するかどうかを短時間で見極める必要がある。そのため、住民には、必要な情報を選択して提供すると共に、情報が数字の羅列ではなく画像化され、可視化しやすいものが求められる。画面は、高齢者が利用者に含まれることを考慮し、文字を大きく表示する、操作性を容易にするなどの配慮が必要である。

また、特に局所的豪雨が発生した場合、地区に降雨が到達する前に情報を確認することが、被害が起きる前に自助・共助支援を行うためには重要であるため、浸水が予測される場合には、タブレット情報の確認を促すメールを配信した。

自助・共助支援における情報配信の種類と流れを図 6-8 に示す。

ステージ 配信手段	対象者	基準/情報の内容
(第1段階) メール※	<ul style="list-style-type: none"> ・タブレット保有者 ・情報共有者 	立矢新地区管路内水位予測値 =25分後までに、地表面-0.8mとなった場合
(第2段階) タブレット 情報	<ul style="list-style-type: none"> ・タブレット保有者 	<ul style="list-style-type: none"> ・レーダ雨量画面（現在，予測） <div data-bbox="630 544 1316 952"> </div> ・管路内水位画面（現在，予測） <div data-bbox="603 996 1348 1355"> </div> ・浸水予測画面 <div data-bbox="598 1444 1364 1870"> </div>
(第3段階) 電話，声か け，サイレ ン	<ul style="list-style-type: none"> ・タブレット保有者→ 情報活用者 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸水予測画面

自助・共助
支援の
実施決定

共助支援の
実施決定

図 6-8 情報配信の流れ

※情報閲覧を促すメール配信

地区において、管路内水位が地表面に達し、浸水が発生する可能性があるとして予測された場合、自助・共助支援対象者には、タブレット情報の確認を促すメールを配信した。対象者は、本メール受信を受けて、タブレットの情報を確認し、自助・共助支援の対応の必要性を判断する。また、タブレットを所有していない近隣住民に対して、自助・共助支援の実施有無を判断する情報を電話、声かけ、サイレンで連絡した。(共助支援)

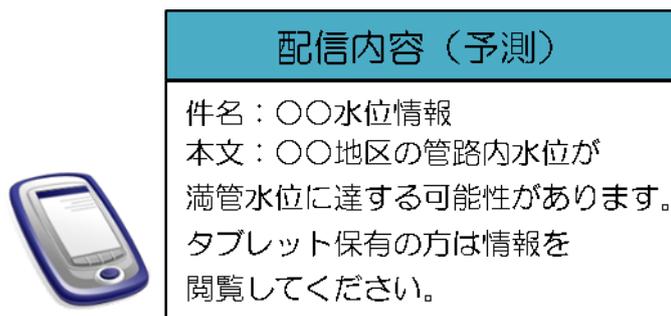


図 6-9 配信メールの例

③情報の種類

(a)降雨（予測）情報

レーダ雨量・雨雲の現在の様子と予測の動きを表示する（図 6-10）。雨の動き及び強度の予測を確認することで、地区への雨の到達の可能性を把握することができるため、地域で自助・共助支援を行うか否かの判断を下すための情報となる。

また、広域、市域、排水区域における現在の降雨状況及び予測を確認することができるため、従来の気象予測に比べ、詳細な情報を得ることができるとともに、局所的豪雨の発生も認識することが可能となる。

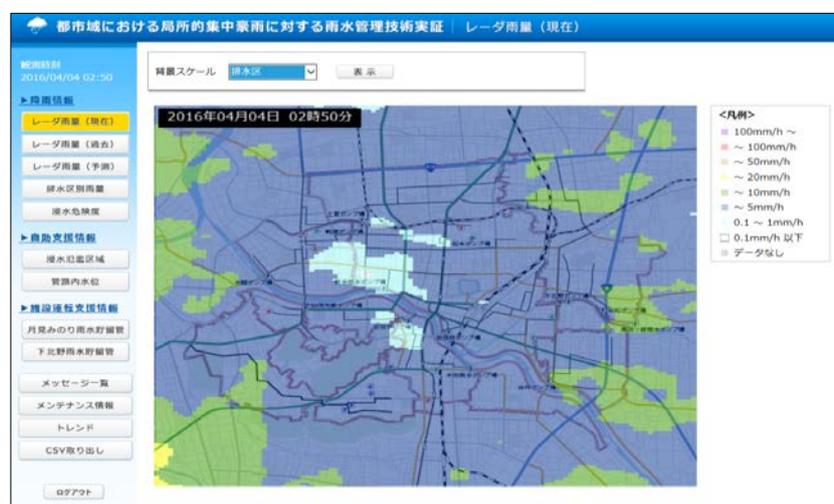


図 6-10 降雨(予測)情報画面(例)

(b)管路内水位

地区末端の下水管路内の現在の水位、及び予測水位を表示する（図 6-11）。予測水位が地表面に達する可能性がある場合は、地域における浸水の危険性を確認することができるため、自助・共助支援を行うか否かの判断を下すための情報となる。本画面では、地域のレーダ降雨実績及び予測降水量も別枠で表示するため、地域の自助・共助を支援する自治体の雨水管理部局、地域の防災隊員、消防などへ、より高度の情報を提供することが可能である。

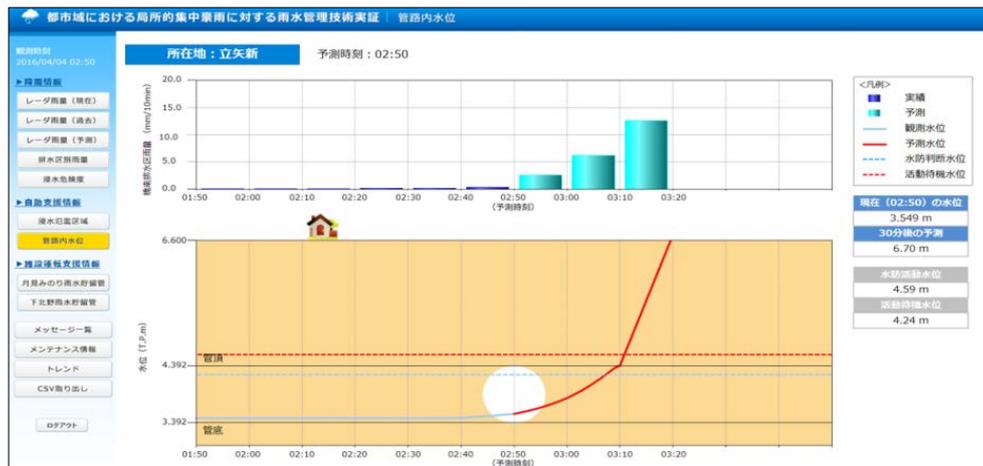


図 6-11 管路内水位(予測)情報画面(例)

(c)浸水氾濫区域

地図上に浸水発生が予測される場合、浸水深に応じて画面上に表示される（図 6-12）。予測情報に基づき、地域の浸水（深）予測が地図上に可視化されるため、自助・共助支援を行うか否かの判断を下すための情報となる。住民は、本画面を閲覧するだけで地域の浸水の可能性を地図上で確認できるとともに、降雨（予測）情報、管路内水位予測情報と照らし合わせることで、より精度を高く自助・共助支援実施に向けた判断を下すことができる。



図 6-12 浸水氾濫区域(予測)画面(例)

④情報活用の取組

情報配信はインターネットを利用するため、利用者に使用法に関する説明会を開催した。特に、浸水をもたらす降雨は突然発生することもあるため、日ごろから操作し、急な降雨にも迅速に情報を確認できるよう説明や講習を行うことが重要である。また、扱いに不慣れな高齢者が利用者に含まれる点に留意して、実証研究における情報端末であるタブレットを実際に用いた利用説明会を開催するとともに、操作が困難な世帯については、共助支援によるインターネット端末以外での情報配信、すなわち声掛けやサイレンなどの地区ごとの体制や配信設備の必要性の有無を確認した。

本実証研究における技術導入説明会の様子を図 6-13 に示す。



図 6-13 技術導入説明会開催（例）

技術導入説明会における説明資料の構成を、表 6-2 に示す。また、情報端末等の説明資料を用意し、情報端末の収納袋に同梱するなど、ユーザ側の視点に沿って準備を行うことが重要である。

福井市での実証研究では、目的に応じて技術導入説明会を 2 回開催した。

- 1.平成 28 年 6 月 23 日 19:00～21:00（内容：実証研究概要，情報端末の使用法他）
- 2.平成 28 年 12 月 13 日 19:00～20:30（内容：情報活用率，自助・共助支援対応率算定，情報活用後の調査及び意見に関するヒアリング他）

また、現地調査を以下の通り実施した。

調査日 平成 28 年 7 月 15, 16 日（金，土曜日）

調査箇所 立矢新 1 区，2 区

調査方法 戸建住宅を個別訪問し聞き取りを実施

調査内容

- ・平成16年7月18日福井豪雨及び以降8回の福井市豪雨時の実態調査
- ・浸水の有無
- ・水防活動事前対策の有無，豪雨時の対策実施有無及び内容，活動時間

調査結果

・浸水

浸水が頻発する箇所は豪雨ごとに数回床下浸水が発生した箇所がある。その他は，福井豪雨時のみに床下浸水が発生し，それ以降は自宅前の道路冠水のみとの意見が多数であった。

・浸水被害

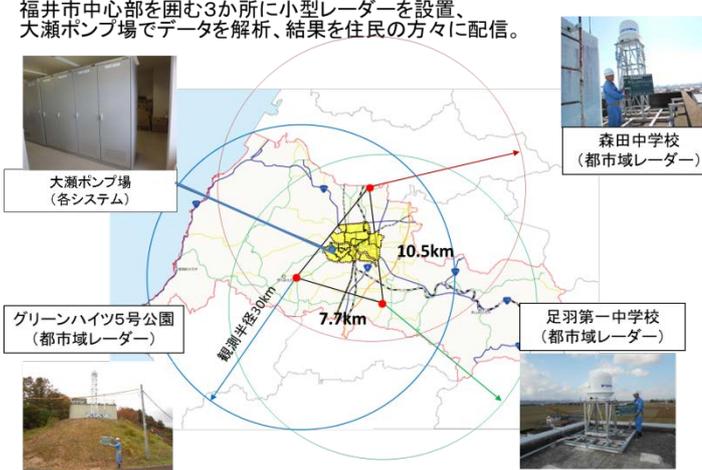
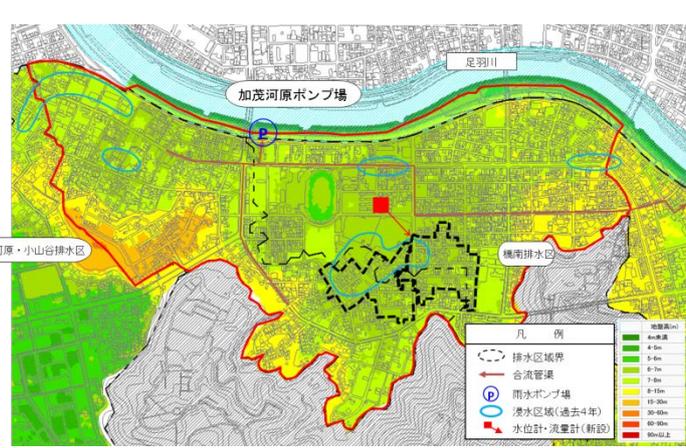
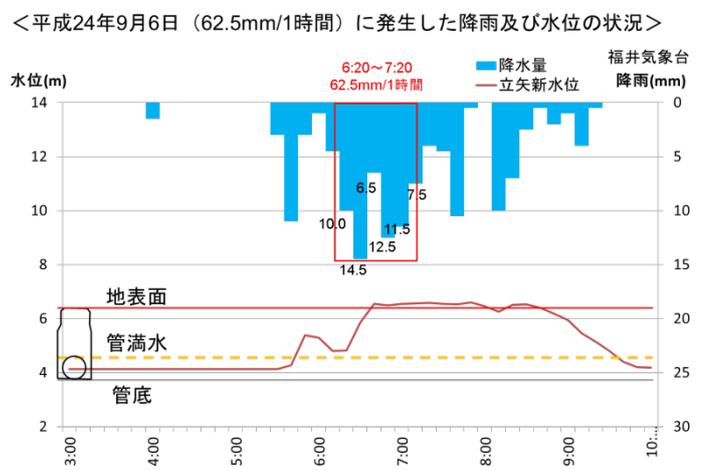
福井豪雨 - 床上浸水による被害，車両の水没（廃車を含む），床下浸水（消毒を実施）
以降豪雨 - 床下浸水（一部消毒を実施），浸水時の車両通過による車庫シャッター破損

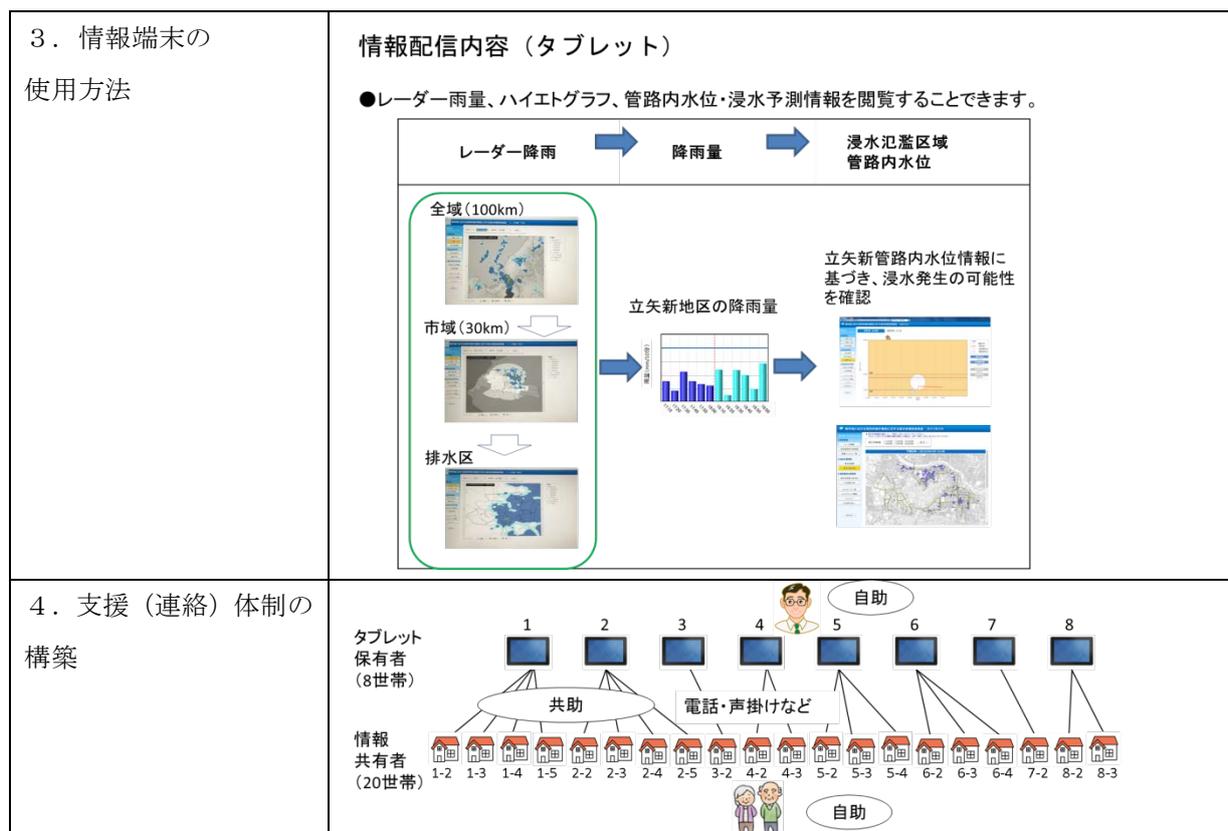
・事前対策

福井豪雨 - 対策実施なし

以降豪雨 - 車両の移動，吸水型土のうの準備，（家財道具の移動はなし）

表 6-2 技術導入説明会説明資料（例）

章	説明資料の内容（例）
<p>1. 導入技術の概要</p>	<p>福井市中心部を囲む3か所に小型レーダーを設置、大瀬ポンプ場でデータを解析、結果を住民の方々に配信。</p>  <p>大瀬ポンプ場 (各システム)</p> <p>グリーンハイツ5号公園 (都市域レーダー)</p> <p>森田中学校 (都市域レーダー)</p> <p>足羽第一中学校 (都市域レーダー)</p>
<p>2. 地区の浸水特性</p>	<p><下水道雨水排水状況及び地盤高></p>  <p><地域の降雨特性></p> <p><平成24年9月6日（62.5mm/1時間）に発生した降雨及び水位の状況></p>  <p>福井气象台 降雨(mm)</p> <p>■ 降水量 — 立矢新水位</p> <p>水位(m)</p> <p>6:20~7:20 62.5mm/1時間</p> <p>10.0 6.5 11.5 12.5 14.5</p> <p>7.5</p> <p>地表面 管満水 管底</p>



（2）富山市

富山市では、自助・共助支援対象地区の既存の防災活動体制を支援する形で情報提供を行うことにより浸水被害軽減効果を高められると考え、実証技術の導入前に自助・共助支援対象地区の特定住民を対象とした技術導入説明会を実施した。その中で地区の防災活動状況の把握、実証技術が配信する情報について住民に理解していただいたうえで、情報配信対象者および体制、情報の配信フローを特定し、観測・予測（降雨・水位）情報の配信を7月から開始した。

1）技術導入説明会

技術導入説明会では、情報配信端末を実際に操作しながら、現状の自主防災隊の活動状況および情報配信活用性について意見交換を行った。

日時：平成28年4月23日 19:00～20:30

内容：実証研究概要、防災活動の実態・課題の把握、自助情報端末の使用法他

富山における技術導入説明会の様子を図6-14、主な確認内容を表6-4に示す。

表 6-3 技術導入説明会説明資料（富山）

<p>章</p> <p>1. 導入技術の概要</p>	<p style="text-align: center;">説明資料の内容（例）</p> <p style="text-align: center;">実証研究の内容</p> <p style="text-align: center;">レーダー設置状況 (熊野小学校)</p>
<p>2. 地区の浸水実績</p>	

3. 情報端末の使用

ご利用方法

①雨量・水位のレベルに応じてメールが届きます

Level.1

富山市周辺の強い雨を通知
1時間に40mm以上

Level.2

呉羽地区に接近する激しい雨を予測通知
1時間に40mm以上

Level.3

浸水監視地点の水位上昇を予測通知
水位90cm到達

Level.4

浸水監視地点のさらなる水位上昇を通知
水位145cm到達

メール受信イメージ

[Lv1.降雨情報]富山市周辺

タイトルで、どのレベルで配信されたのがわかります

呉羽地域の観測情報はこちらから

②メールが届いたら、インターネットにアクセスして周辺の雨量・水位をご確認ください。

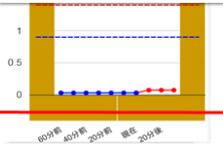
富山市周辺で強い雨を観測

呉羽地域の観測情報はこちらからURLをクリック





①のマークをクリックすると、新富田町の過去1時間(青)、今後30分(赤)の水位と雨量が確認できます



7月4日 17:46



「雨雲の動き」をクリックすると、直近10分間の雨雲の動きをから、強い雨が接近していないか確認できます



図 6-14 技術導入説明会の様子

表 6-4 技術導入説明会での確認内容

確認内容	確認結果
防災活動の体制および防災活動	<ul style="list-style-type: none"> 自主防災組織を編成（防災隊長は町内会長） 浸水時は 1, 2 班が車を公園に移動 止水板, 車退避, 土のうを公園に備蓄
防災活動開始の基準	浸水常襲地点の水路に対して町内で設定した活動基準を確認（待機水深 0.9m, 活動判断水深 1.45m）
情報端末の管理体制	<ul style="list-style-type: none"> 町内会長（防災隊長）と 1, 2 班 端末が使える人
情報端末をどのように活用するか	<ul style="list-style-type: none"> 危険水位を確認後, メガホンサイレンで声がけ 現場を見る事が最重要である。その補完に活用

2) 対象および体制

技術導入説明会の結果を踏まえ、自助・共助支援対象地区 84 世帯中、過去に浸水被害を受けた低地の 1 班, 2 班 46 世帯を対象として選定した。対象世帯から代表して 3 世帯にタブレットを配布するとともに、町内の自主防災組織にタブレット 2 台を配布した。また、ボランティア活動として自主防災組織を支援する目的で、地区の防災士にタブレットを 3 台配布、計 8 台のタブレットに対して情報配信を行った。

自助・共助体制は、配信される予測水位が町内で設定した活動待機水位を超えた場合に、タブレットを保有する自主防災組織と 1 班, 2 班の住民が浸水常襲地点の監視を開始する。さらに水位が上昇し、活動判断水位を超えた場合に、自主防災組織が防災活動を判断し、サイレンを利用した声かけにより、1 班と 2 班の住民を中心に周知する体制とした。自助・共助支援概要を表 6-5、配信世帯の位置図を図 6-15、自助・共助体制を図 6-16 に示す。

表 6-5 自助・共助支援概要

対象地区	呉羽地区新富田町(全 84 世帯)
対象者	<ul style="list-style-type: none"> ・新富田町 1 班, 2 班 (46 世帯) ・タブレット保有者 (全 8 台) <ul style="list-style-type: none"> (新富田町) 自主防災組織 2 台 1 班, 2 班の住民 3 台 (新富田町以外) 地区の防災士 3 台 ・情報共有者 <ul style="list-style-type: none"> 新富田町 1 班, 2 班のうち, タブレット保有者を除く 43 世帯
自助支援活動内容	止水板設置, 車両の移動
共助支援活動内容	サイレンによる声かけ



図 6-15 配信世帯の位置図

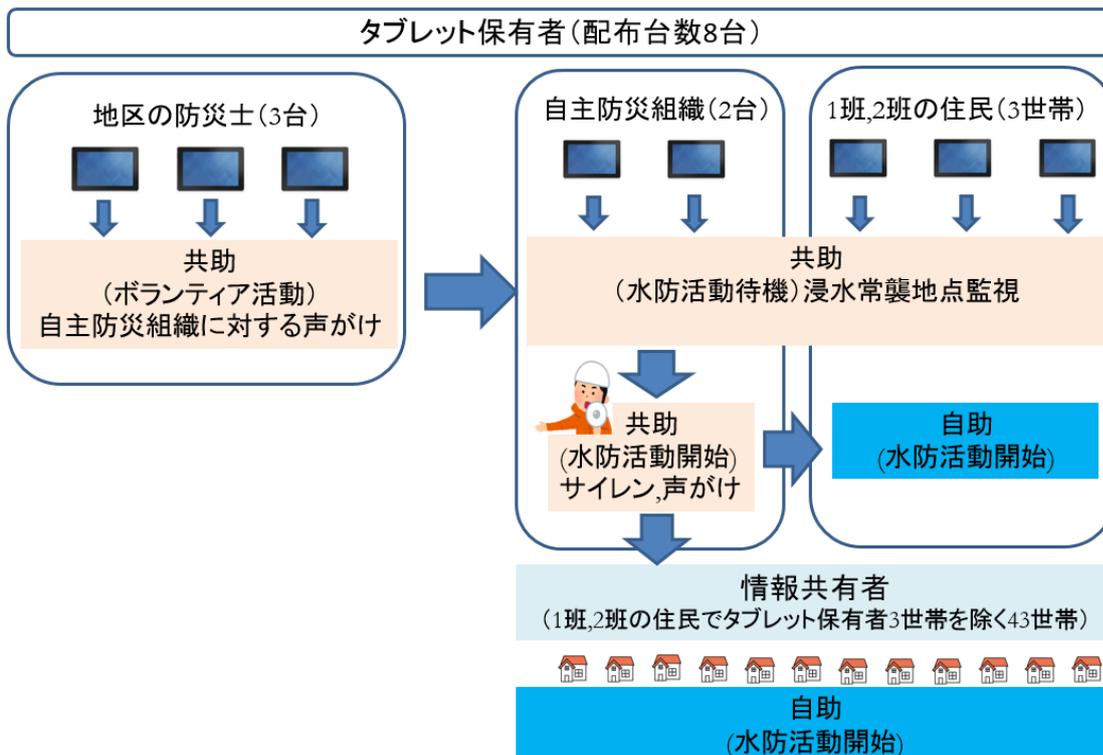


図 6-16 自助・共助体制

3) 情報の配信フロー

富山市では、技術導入説明会の結果をもとに雨の接近、および排水路内の水位が活動基準水位に到達した時に、自主防災体が実施している水位監視活動を支援するため、雨雲の接近（実測・予測）、水位の上昇（実測・予測）をメールで知らせる運用とした。併せて、タブレット端末から浸水常襲地点の水位状況を視覚的に判断可能とする WEB 配信による情報提供を実施した。

なお、情報利用者の多くはタブレット端末操作に不慣れな高齢者が想定されたため、極力操作を必要としないインターフェースとし、情報活用率の向上を図った。

これらにより、従来に比べて自助・共助活動開始判断が短縮され、住民が必要としている自助・共助活動時間の確保、および浸水被害軽減に効果的であると考えた。

以下に情報配信の流れおよび配信情報を示す。



図 6-17 情報配信の流れ

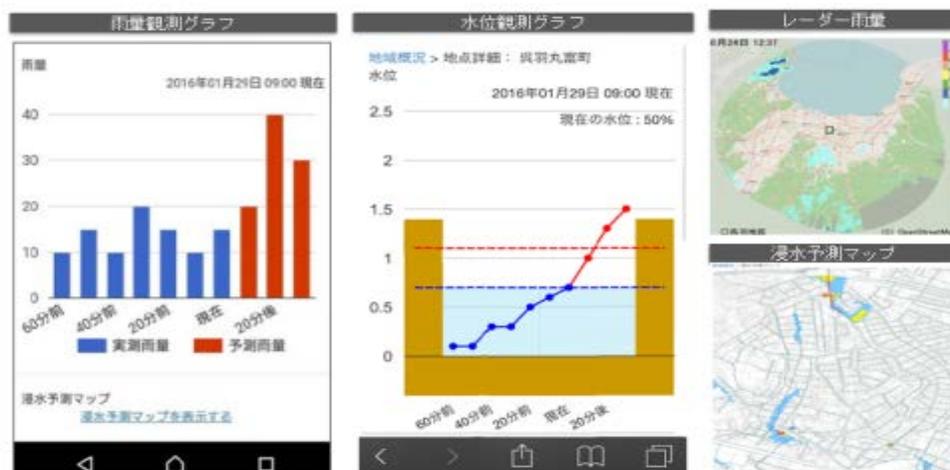


図 6-18 配信情報

①実測雨量監視 (Lv1)

情報提供者に早い段階で気象の変化に気づきを与えることを目的に、自助・共助支援対象地区周辺のレーダ観測範囲内に、富山市における計画降雨を超過する降雨（40mm/h）が観測されたタイミングで、周辺に雨雲が発達していることを知らせるメール配信をした。



図 6-19 配信画面

②実測雨量監視 (Lv2)

自助・共助支援対象地区で 30 分後に富山市における計画降雨を超過する可能性がある降雨（40mm/h）が予測されたタイミングで、呉羽地区に強い雨の接近を知らせるメール配信をした。



図 6-20 配信画面

③予測水位監視 (Lv3)

浸水常襲地点の排水路内水位が、自治会で定められている水深 0.9m 到達を予測したタイミングで、水位が上昇していることを知らせるメール配信し、当該メール配信を受けて住民が浸水常襲地点で水位監視活動を行った。

④実測水位監視 (Lv4)

浸水常襲地点の排水路内水位が、自治会で定められている水深 1.45m 到達を観測したタイミングで、さらに水位が上昇していることを知らせるメール配信し、当該メール配信を受けて自助・共助活動開始を行う体制をとったが、本年度については、メール配信実績はなかった。



新富田町で水位が上昇
 呉羽地域の観測情報はここらから

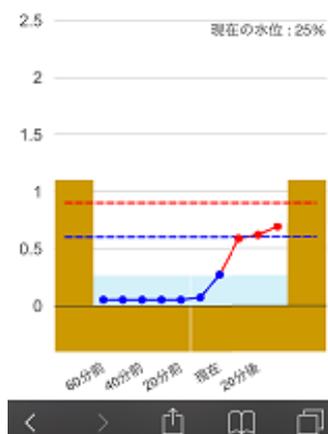


図 6-21 配信画面

6.2 維持管理

(1) 点検項目

水位計，サーバの保守点検は既に確立されているため，ここでは，新しい技術である都市域レーダで実施した保守点検作業内容を以下に記載する。

都市域レーダの保守点検項目一覧表を表 6-6 に示す。

都市域レーダの保守点検作業は，都市域レーダ出荷時の性能を維持しているか確認することを目的としており，過去1年間の降雨観測に問題ないこと，および今後も継続して降雨観測が可能なことを確認するための作業であるため，毎年実施することが望ましい。

また，本保守点検作業において，必要な人員は2名である。

表 6-6 都市域レーダの点検項目一覧表

点検項目		検査基準
空中線装置	1. 外観	目視により、レドーム、固定材、保護管に、破損や著しい劣化（錆含む）の無いこと
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 電源	電源装置が仕様（電圧範囲）を満足していること
	4. 送受信性能	送受信装置が仕様（送信出力および受信感度）を満足していること
	5. アンテナ機構	ギアの緩み、目視により著しい劣化の無いこと
	6. 内部状態	目視により、レドーム内部に雨水や害虫の侵入が発生していないこと
	7. 水平度	設置時の水平精度が維持されていること
	8. 警告ラベル	目視により、警告表示が劣化していないこと
	9. ソフトウェア	モーター基板、モニタ基板のソフトウェアを必要に応じて更新すること
信号処理装置	1. 外観	目視により、収納ボックス、保護管に、破損や著しい劣化（錆含む）の無いこと
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 電源	入力電圧が仕様（電圧範囲）を満足していること
	4. 機能性能	信号処理ユニットに対して、セルフテストエラーが発生しないこと
	5. 内部状態	目視により、収納ボックス内部に雨水や害虫の侵入が発生していないこと
	6. ソフトウェア	信号処理ユニットのソフトウェアを必要に応じて更新すること
表示装置	1. 外観	目視により、破損の無いこと
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 機能性能	内蔵 HDD に対して、ディスクエラーが発生しないこと、データ再生にて映像表示ができること
	4. ソフトウェア	データ収録表示ソフトウェアを必要に応じて更新すること
	5. ウィルスチェック	表示装置（パソコン）がウィルスに感染していないこと（最新パターンを使用）
周辺装置	1. 外観	目視により、破損の無いこと
	2. ケーブル	接続ケーブルに緩みがないこと
	3. 外部 HDD	データ保存用外部 HDD に対して、ディスクエラーが発生しないこと
	4. UPS	無停電電源装置に対して、セルフテストエラーが発生しないこと、バッテリー寿命に対して交換すること
	5. HUB	すべての LAN ポートが正常に動作すること
	6. リブータ	リブート機能が正常に動作すること
	7. ルータ	外部回線接続が正常に動作すること
総合検査	1. レーダ映像	送受信を開始し、レーダ映像表示されること
	2. 観測データ	観測データが外部記憶装置に保存されること
	3. 再起動	UPS の電源を抜いて、自動的にシャットダウンし、電源を入れると再起動すること
	4. リモート操作	外部回線からリモート操作できること

(2) 定期交換部品一覧

都市域レーダの定期交換部品一覧表を表 6-7 に示す。

表 6-7 都市域レーダの定期交換部品一覧表

No.	品名	数量	交換期間
1	ドレンフィルタ 19インチラック(OPCA-15R)用	1	1 年
2	水平/垂直モーター	各 1	2 年
3	表示装置 PC (主)	1	5 年
4	表示装置 PC (副)	1	3 年
5	PXI シャーシ	1	5 年
6	PXI用FAN	1	5 年
7	警告ラベル (レドーム外面)	1	5 年
8	ロータリージョイント	1	5 年
9	水平/垂直ギア	各 1	5 年
10	電源ユニット(ATU)	1	5 年
11	冷暖房機ファン 19インチラック(OPCA-15R)用	2	5 年
12	パワーサプライ(スイッチング電源) 19インチラック(OPCA-15R)用	1	5 年
13	サージアブゾーバ (SPU電源、SPU LAN)	各 1	5 年
14	UPS本体	1	5 年

(3) 都市域レーダに対する留意事項

都市域レーダの送信電波を至近距離で身体に受けると、人体、特に目に悪影響を与える恐れがあるため、電波を送信する空中線装置の設置場所に対して、立ち入り禁止区域の設定および安全についてなど、次の留意事項がある。

- ・レーダ動作中につき、立ち入り禁止の表示を掲示すること。
- ・レーダ動作中にアンテナ付近を至近距離で見ないこと。
- ・送信しているアンテナに、至近距離で身体を向けないこと。
- ・安全基準値 $10\text{W}/\text{m}^2$ となる距離以内には近づかないこと。

また、立ち入り禁止区域での作業時ならびにその他必要な場合には、電源設備（AC電源）の電源断、または、リモート操作によりレーダの電波を停止できること。

7 関連法令

7.1 気象業務法に基づく予報業務の許可対象

(1) 本技術から配信可能な予測情報と気象業務法の適用

1) 予測情報の種別と同法の適用

本技術から配信可能な予測情報は、「①雨量予測」、「②下水管路内水位予測」「③内水氾濫区域予測」である。このうち、気象業務法における予報業務の許可対象は雨量予測である。

- ① 雨量予測・・・・・・・・対象
- ② 下水管路内水位予測・・・・対象外
- ③ 内水氾濫区域予測・・・・対象外

※②、③については、実証研究と同じ内容であれば、特段気象庁への確認は必要ない。

①雨量予測

「雨量」は予報業務の対象である「気象（気温、降水量、風向、風速、天気その他の大気の諸現象）」の降水量に該当することから、気象業務法における予報業務の許可対象となる。

②水管路内水位予測

「下水管路内水位」は、予報業務の対象である「気象、地象、津波、高潮、波浪又は洪水」に該当する項目がないことから気象業務法における予報業務の許可対象外となる。

③内水氾濫予測

本技術における「内水氾濫」は、同法に定義される「水象（気象又は地震に密接に関連する陸水及び海洋の諸現象）に含まれる。一方、予報業務の対象である「気象、地象、津波、高潮、波浪又は洪水」のうち、「水象」は「津波、高潮、波浪又は洪水」であることから、「内水氾濫」は気象業務法における予報業務の許可対象外と解釈できる。

なお、「津波、高潮、波浪又は洪水」が「水象」であることの根拠は、気象業務法（法第十三条第2項）において「気象庁は、前項の予報及び警報の外、政令の定めるところにより、津波、高潮、波浪及び洪水以外の水象についての一般の利用に適合する予報及び警報をすることができる。」による。

(2) 配信可能な予測情報の運用にあたっての留意点

1) 雨量予測

「雨量予測」は、予報業務の許可対象であることから、気象業務法および「気象等及び地震動の予報業務許可等の申請の手引き」に基づき実施する。

なお、配信については、 7-1 に示すとおり、気象事業者等が降雨予測サーバを 24 時間監視・保守できる体制を構築する必要がある。

2) 下水管内水位予測

「下水管内水位予測」及びその配信は、予報業務の許可対象外であることから気象業務法に基づく「予報業務の許可事業者（気象）」が行う必要はないが、配信体制については、下水管内水位予測サーバを24時間監視・保守できる体制を構築することが望ましい。

3) 内水氾濫予測

本技術において「内水氾濫予測」及びその配信は、予報業務の許可対象外であることから気象業務法に基づく「予報業務の許可事業者（気象）」が行う必要はないが、配信体制については、下水管内水位予測サーバを24時間監視・保守できる体制を構築することが望ましい。

なお、住民等へ配信する際には、気象庁が大雨による浸水害の恐れがある場合に発表する「大雨警報（浸水害）」、「大雨注意報」及び「大雨警報（浸水害）の危険度分布」と、区別可能な名称・表示となるよう考慮する必要がある。

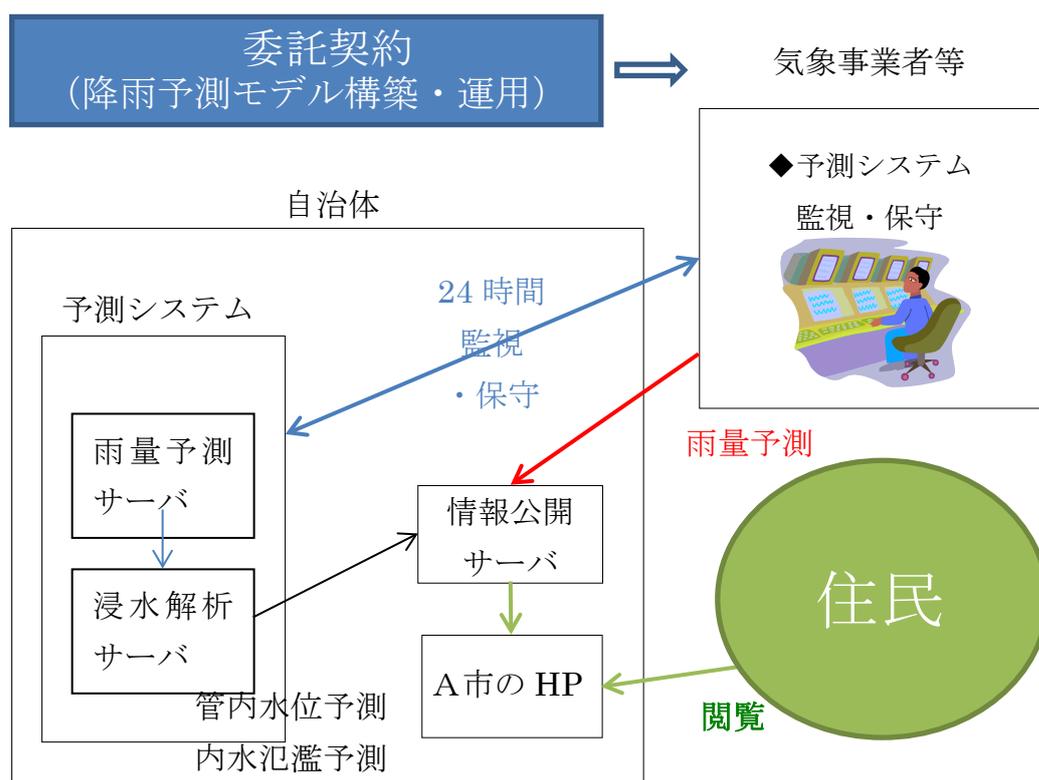


図 7-1 本技術における雨量等予測情報の配信体制

<参考> 「予報」とは

気象業務法（第17条：「予報業務の許可」）では、「気象庁以外の者が気象，地象，津波，高潮，波浪又は洪水の予報の業務（以下「予報業務」という。）を行おうとする場合は，気象庁長官の許可を受けなければならない。」とされている。

このうち，「予報」及び「業務」とは，「気象等及び地震動の予報業務許可等の申請の手引き」において，以下のとおり定義されている。

予報とは気象業務法によって「観測の成果に基づく現象の予想の発表」と定義されています。具体的には、「時」と「場所」を特定して、今後生じる自然現象の状況を、観測の成果を基に自然科学的方法によって予想し、その結果を利用者（第三者）へ提供することをいいます。

業務とは「定時的または非定時的に反復・継続して行われる行為」をいいます。

よって、例えば、気温や天気などの予想結果や地震発生後に特定の地点の地震動の震度や到達時刻などの予想結果を世の中に対して反復・継続して発表することは、その発表手段や営利か非営利かを問わず、予報業務許可の対象となります。

出典：気象等及び地震動の予報業務許可等の申請の手引き，H25.4.11改訂版，P1

したがって，住民等の利用者に配信する本技術の予測情報が，「気象，地象，津波，高潮，波浪又は洪水」に該当する場合には，気象業務法における予報業務の許可対象となる。

「大雨警報（浸水害）」とは

警報とは，重大な災害が発生するおそれのあるときに警戒を呼びかけて行う予報である。気象庁のホームページ（「気象警報・注意報の種類」http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/warning_kind.html）によると，「大雨警報は，大雨による重大な土砂災害や浸水害が発生するおそれがあると予想したときに発表します。特に警戒すべき事項を標題に明示して「大雨警報（土砂災害）」，「大雨警報（浸水害）」又は「大雨警報（土砂災害，浸水害）」のように発表します。雨が止んでも重大な土砂災害等のおそれが残っている場合には発表を継続します。」とされている。

「大雨注意報」とは

注意報とは，災害が発生するおそれのあるときに注意を呼びかけて行う予報です。気象庁のホームページ（「気象警報・注意報の種類」）によると，「大雨注意報は，大雨による土砂災害や浸水害が発生するおそれがあると予想したときに発表します。雨が止んでも，土砂災害等のおそれが残っている場合には発表を継続します。」とされている。

「大雨警報（浸水害）の危険度分布」とは

気象庁のホームページ（「大雨警報（浸水害）の危険度分布」<https://www.jma.go.jp/jp/suigaimesh/inund.html>）によると、「大雨警報（浸水害）の危険度分布は、大雨警報（浸水害）を補足する情報です。短時間強雨による浸水害発生の危険度の高まりの予測を示しており、大雨警報（浸水害）等が発表されたときに、どこで危険度が高まるかを面的に確認することができます。1時間先までの表面雨量指数の予測値が大雨警報（浸水害）等の基準値に到達したかどうかで、危険度を5段階に判定し、色分け表示しています。」とされている。

7.2 9.4GHz 帯気象レーダの一般無線局化に向けた検討

我が国では、国、自治体、企業などの気象用レーダとして、C帯の一部（5.3GHz帯）を用いる大型の気象用レーダや、X帯の一部（9.7GHz帯）を用いる気象用レーダが利用されている。

国土交通省や地方自治体等で河川管理、下水道管理や防災活動等に役立てるために運用されているが、需要の増加・多様化とともに、既存の枠組みでは対応できなくなってきた。

他方、X帯の他の一部（9.4GHz帯）は、長く船舶航行支援用レーダ（以下、船舶用レーダ）及び航空機用気象レーダ（以下、航空機用レーダ）として割当てられて利用されており、小型かつ低価格の製品が多いことから、これらの設備や派生技術を利用して、いわゆるゲリラ豪雨や竜巻等の局地的に短時間で変化する、極端気象と呼ばれるような現象の観測や、移動型の気象観測レーダ等の需要に応えるべく実験が行われており、その有用性から、一般無線局としての利用要望が高まっている。また、これに対応すべくメーカーによる気象観測レーダの開発も行われている。

こうしたニーズを踏まえ、情報通信審議会情報通信技術分科会陸上無線通信委員会は、「気象レーダの技術的条件」について検討を行った。

その結果、9.4GHz帯汎用型気象レーダ（都市域レーダも該当）については、同一周波数を使用する船舶用レーダ、航空機用気象レーダへの混信影響を回避できないことから実験試験局のみの利用となった。

7.3 無線局の開局

無線局を開設し運用するためには、「無線局免許」が必要である。

無線局の免許取得は、無線局免許手続規則(昭和 25 年 11 月 30 日電波監理委員会規則第 15 号)に準じて実施する。

開設した局は免許人以外の者の使用に供してはならず、また、原則として免許人以外の者が運用してはならない。

免許人以外の者が運用する場合は、電波法施行規則(総務省告示第 330 号)に従って契約の締結、総務省告示第 330 号第 4 項で定める書類等適切に処理し、免許人が監督する。

無線局の開局の手続きは、下記総務省のホームページを参照。

●無線局の開局手続き・検査

<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/proc/>

申請から免許、運用までのフローを図 7-2 に示す。



図 7-2 無線局免許手続フロー

8 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、以下にお願いいたします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水道研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3343 FAX 029-864-2817 URL www.nilim.go.jp/
----------------------	--

本書は、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果を取りまとめたものです。

<実証研究者 連絡先>

メタウォーター株式会社	営業本部営業企画部 〒104-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 TEL 03-6853-7340 FAX 03-6853-8714 URL www.metawater.co.jp/
株式会社新日本コンサルタント	事業推進部 企画営業グループ 〒930-0142 富山県富山市吉作910番地の1 TEL 076-436-2111 FAX 076-436-2260 URL www.shinnihon-cst.co.jp/
古野電気株式会社	システムソリューション ビジネスユニット 〒662-8580 兵庫県西宮市芦原町9番52号 TEL 0798-63-1270 FAX 0798-63-1054 URL www.furuno.com/jp/systems/
株式会社江守情報	情報システム事業部ソリューション・ビジネス部 〒918-8510 福井県福井市毛矢1-6-23 TEL 0776-36-6453 FAX 0776-36-8133 URL www.emori.co.jp/
株式会社日水コン	名古屋下水道部 〒456-0002 愛知県名古屋市熱田区金山町1-7-5 TEL 052-681-4075 FAX 052-681-3380 URL www.nissuicon.co.jp/
神戸大学	都市安全研究センター 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-803-6338 FAX 078-803-6394 URL www.rcuss.kobe-u.ac.jp
福井市	下水道部下水道管路課雨水対策室 〒918-8522 福井県福井市大手3丁目13番1号 TEL 0776-20-5651 FAX 0776-20-5446 URL www.city.fukui.lg.jp/
富山市	上下水道局 〒930-0859 富山県富山市牛島本町二丁目1番20号 TEL 076-432-8792 FAX 076-432-8796 URL www.city.toyama.toyama.jp/

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 998 March 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675