

先進的技術やデータを活用したスマートシティ
の実証調査（その6）
報告書

令和3年3月

国土交通省 都市局

藤枝 ICT コンソーシアム

目次

1. はじめに	1
1.1. 都市の課題について	1
1.2. コンソーシアムについて	4
1.3. スマートシティ実行計画の策定	5
2. 目指すスマートシティとロードマップ	6
2.1. 目指す未来	6
2.2. ロードマップ	8
2.3. KPI	9
3. 実証実験の位置付け	10
3.1. 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ上の位置付け	10
3.2. ロードマップ達成に向けた課題	10
3.3. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置付け	10
4. 実験計画	11
4.1. 実験で実証したい仮説	11
4.1.1. 仮説背景	11
4.1.2. 水位予測の導入効果に関する仮説	12
4.1.3. 高精度な水位予測を行うための仮説	13
4.2. 実験内容・方法	14
4.2.1. 全体構成概略	14
4.2.2. 実施地点	15
4.2.3. センサ	16
4.2.4. 利用データ	18
4.2.5. システム	18
4.2.6. AI モデル	20
4.2.7. UI	21
4.2.8. スケジュール	26
4.3. 仮説の検証に向けた調査方法	26
4.3.1. 水位予測検証	26
4.3.2. UI および導入効果検証	29

5.	実施結果	30
5.1.	センサ設置結果	30
5.2.	水位予測インプットデータ	31
5.2.1.	気象データ	31
5.2.2.	センサデータ	33
5.3.	水位予測結果	35
5.3.1.	実証実験での予測結果	35
5.3.2.	精度分析結果	39
5.3.3.	予測手法評価	41
5.3.4.	考察	43
5.4.	UI 評価	44
5.4.1.	UI 評価結果	44
5.4.2.	UI 評価考察	45
5.5.	導入効果に対する評価	48
5.5.1.	導入効果に対する評価結果	48
5.5.2.	導入効果に対する評価考察	49
5.6.	実装に向けた技術課題	57
5.6.1.	予測モデルに関する課題	57
5.6.2.	雨量予報精度誤差に関する課題	57
5.6.3.	今後のモデル開発の方向性	57
5.7.	ビジネス性課題	58
6.	横展開に向けた課題	59
6.1.	予測モデルの導入について	59
6.1.1.	地理的条件	59
6.1.2.	データ量・質に関する条件	59
6.2.	一般化に向けた諸課題	60
6.2.1.	河川データ連携に関する課題	60
6.2.2.	過去データに関する課題	62
6.2.3.	気象業務法に関する課題	63
6.2.4.	浚渫の影響	64
6.2.5.	ダム・用水の問題	64

1. はじめに

1.1. 都市の課題について

藤枝市は、中心市街地の活性化基本計画に基づくまちづくりに取り組み、居住者数や従業者数の増加に寄与してきたものの、中小企業が9割を占める産業構造や中山間地域が7割を占める地勢の中にあり、若い世代の流出をはじめ、南海トラフ地震など自然災害リスクへの対応や公共インフラの維持管理、郊外・中山間地の交通対策、交流人口の創出等、地方都市における課題が山積している。

これらの課題を解決するために、施策横断的な先端技術活用や、それに伴う収集データをEBPMに役立てることにより、4K施策（健康・教育・環境・危機管理）における効果の最大化を図る。

【現状・今後の課題と求められるもの】

現状・今後		求められるもの
① 人口減少社会への対峙	→	根拠に基づく政策立案・施策展開
② 郊外・中山間の交通弱者増加	→	移動支援・安全モビリティ
③ 産業の持続性・担い手減少	→	生産性と企業価値の向上、人材育成と雇用確保
④ 若い世代(特に女性)の流出	→	安心・柔軟に働き、活躍できる環境
⑤ 自然災害リスクの拡大	→	都市防災対策・ライフライン、集落対策

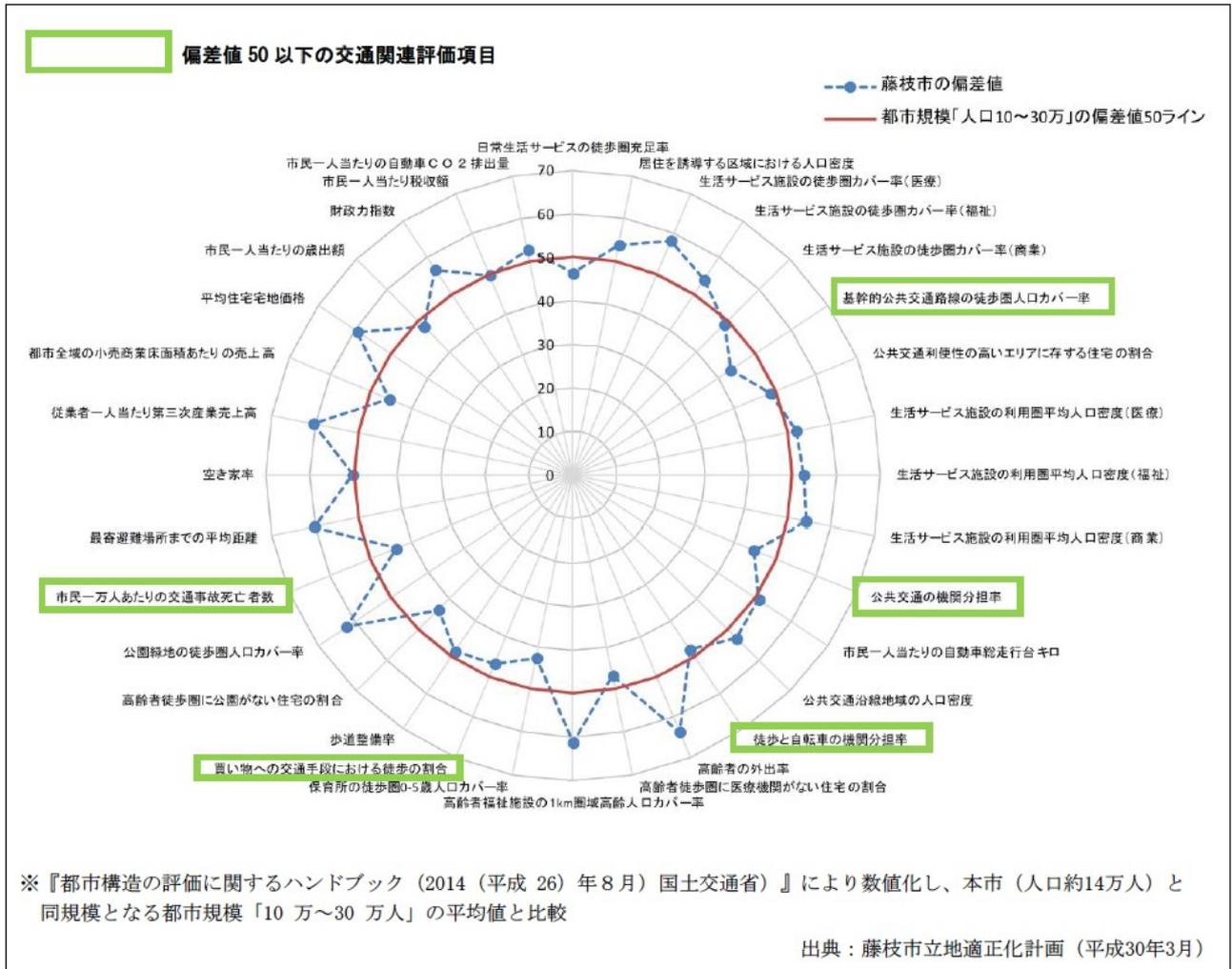
(1) 人口減少社会への対峙

人口減少を和らげる「抑制」と人口減少を前提に対応するまちづくりを行う「適応」の両方の視点から人口減少への対応に取り組む。人口減少を見越すまちづくりは非常に難しく、経験則的な説明が通用しなくなるため、根拠に基づく政策立案・施策展開に対応していく。

「抑制」の視点としては、4K施策（健康、教育、環境、危機管理）をはじめとする市民生活に直結する施策の効果を高めるため、積極的にICTを活用し、安心・快適・便利な暮らしの実現を図ると共に、産業の振興においてもサービスや技術の革新に向けたICT導入を推進し、生活の場・働く場の魅力向上による人口の誘導を進める。

これと並行し「適応」の視点として、上記のように地域課題解決に向けたICT活用を進め、個別課題の解決（＝最適化）を積み重ねることにより全体の最適化を図ると共に、業務における代替労働力としてのAIやロボティクス等ICT導入が進むことで、業務効率の向上＝労働力の減少の補完を図り、長期的な人口減少に対応する。

これら「抑制」と「適応」の取組に対して「ICT」を横断して活用することで、人の流れを生み出すとともに、不足する人手を補う生産性が高くスリムでスマートな生活環境を創り出す。



(3) 産業の持続性・担い手減少

本市の人口移動の特徴として、20歳代後半から40歳代の転入が超過していることが挙げられ、働き盛りの子育て世代の転入が実現している。しかし一方で、地元中小企業へのアンケート結果によれば、半数程度が人手不足で雇用に困難を感じており、市内大学から地元企業への就業も低水準である。

本市は中小企業が9割を超える産業構造が特徴であるが、15歳以上就業率は平成22年まで減少傾向であったが、以降持ち直し、平成27年は58.9%となっている。

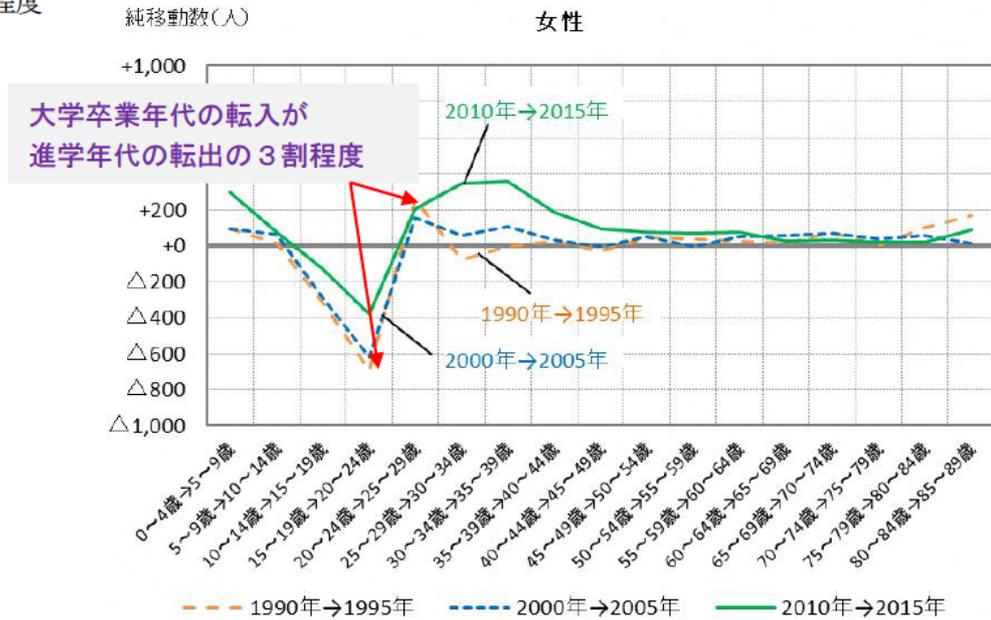
今後のさらなる少子化による雇用の逼迫を見据え、生産性向上の視点からも、ICTスキルを身に付けた人材の育成と地元企業とのマッチング、技術・サービス革新、研究開発など付加価値の創造を促進していくことが求められる。

(4) 若い世代（特に女性）の流出

年齢別の人口移動では、高校卒業後の転出が多く、大学卒業後の転入（Uターン）は、高校卒業後の転出者数を下回っている。これは高校卒業後、進学先の選択肢が少なく、市外に流出し、そのまま市外に就職する人が多いためと考えられる。

○年齢階級別の人口移動の状況

- ・進学により転出した若者のUターンが少ない。
- ・特に女性は3割程度



出典：「ふじえだ健康都市総合戦略」

(5) 自然災害リスクの拡大

本市は、30年以内の発生確率70~80%と言われる南海トラフ巨大地震による被害が想定されるエリアであるとともに、瀬戸川などの河川沿いへの集落形成・宅地化により、市街化区域における大雨・洪水による浸水が想定されている。

また、人口密集地の点在や市域の約7割が中山間地域を占めていることから、大規模災害発生時には被害が広範囲に及ぶことが予想される。土砂災害の危険性がある場所は中山間が多く存在するが、市街化区域においても一部存在している。

また本市においては、主要河川以外に県管理河川である二級河川が17河川、市管理河川である準用河川が69河川あり、近年、雨の降り方が局地化・集中化・激甚化し、主要河川以外の中小河川においても浸水被害が発生する危険性が高まっていることから、これら河川に対する浸水対策が必要となっている。災害に対応する都市基盤整備と、行政・市民の災害対応力の向上が今後の課題である。

1.2. コンソーシアムについて

平成29年4月、市内外の大学・企業など100を超える産学官の参画により「藤枝ICTコンソーシアム」を設立。ICTを活用して市内産業の活性化、相互の成長・発展を目的に事業に取り組んでいる。

企業が求めるICTスキルを身に付ける次世代人材の育成、クラウドソーシングの推進による新しい働き方の提案により、地元産業の成長支援、競争力向上を図っている。藤枝ICTコンソーシアムの運営体制について以下に記す。

取組		実施主体	役割
全体（事務局・支援）		藤枝 ICT コンソーシアム事務局	事務局、ファシリテーション
		藤枝市	事務局支援
		ソフトバンク株式会社	技術支援
個別最適	人流解析	藤枝市	事務局・事業管理
	オープンイノベーション	藤枝 ICT コンソーシアム事務局	ファシリテーション
		藤枝市	事務局・事業管理
	オンデマンド交通	藤枝市	事務局・事業管理
		公共交通事業者 (Monet Technologies 株式会社)	ソリューション提供
	AI 河川水位観測	藤枝市	フィールド提供・事業評価
		株式会社イトラスト	水位監視ソリューション提供
		株式会社ウェザーニューズ	
ソフトバンク株式会社			
全体最適	データ連携基盤 (都市 OS)	藤枝 ICT コンソーシアム事務局	ファシリテーション
		藤枝市	事業管理
		ソフトバンク株式会社	技術支援
その他		藤枝 ICT コンソーシアム参加企業 (約 100 団体)	適宜

1.3. スマートシティ実行計画の策定

藤枝 ICT コンソーシアムは、ICT やデータをまちづくりに活用し、持続可能な都市づくりにつなげる、国土交通省の「スマートシティモデル事業」に、全国 15 のモデル事業の一つとして、静岡県内の市町で唯一選定された。

選定により、産学官連携による“ICT の都市防災や都市空間づくりへの活用”、また“次世代モビリティの展開”などの推進が加速し、「スマート・コンパクトシティ」形成に向けて、有意義な実証を重ねることができた。

2. 目指すスマートシティとロードマップ

2.1. 目指す未来

“まち”と“ひと”が元気な健康都市・藤枝 ～都市と産業の健全で持続的な発展と、市民の安全・安心で健やかな暮らしの実現～

魅力と個性ある「拠点」と拠点同士の「つながり」が強化された独自のプラットフォーム「藤枝型コンパクト+ネットワーク」による「都市」において、先駆的な技術やイノベーションを駆使し新たな価値を創造する「魅力あるしごと」が“ひと”を呼び込み、さらに“ひと”が“しごと”を生み出す好循環により、高い競争力を有した健全な「産業」がある「元気な“まち”」。

この“まち”のもとで、未来に希望を持ちながら、安全安心で健やかに自分らしく暮らし、活躍し、学び、交流する「元気な“ひと”」。

元気な“まち”が魅力的な“ひとを創り、元気な“ひと”が持続可能な“まち”を創る、“まち”と“ひと”がつながり高め合う「健康都市」を目指すことで、人口減少を切り開く地域づくりを行う。

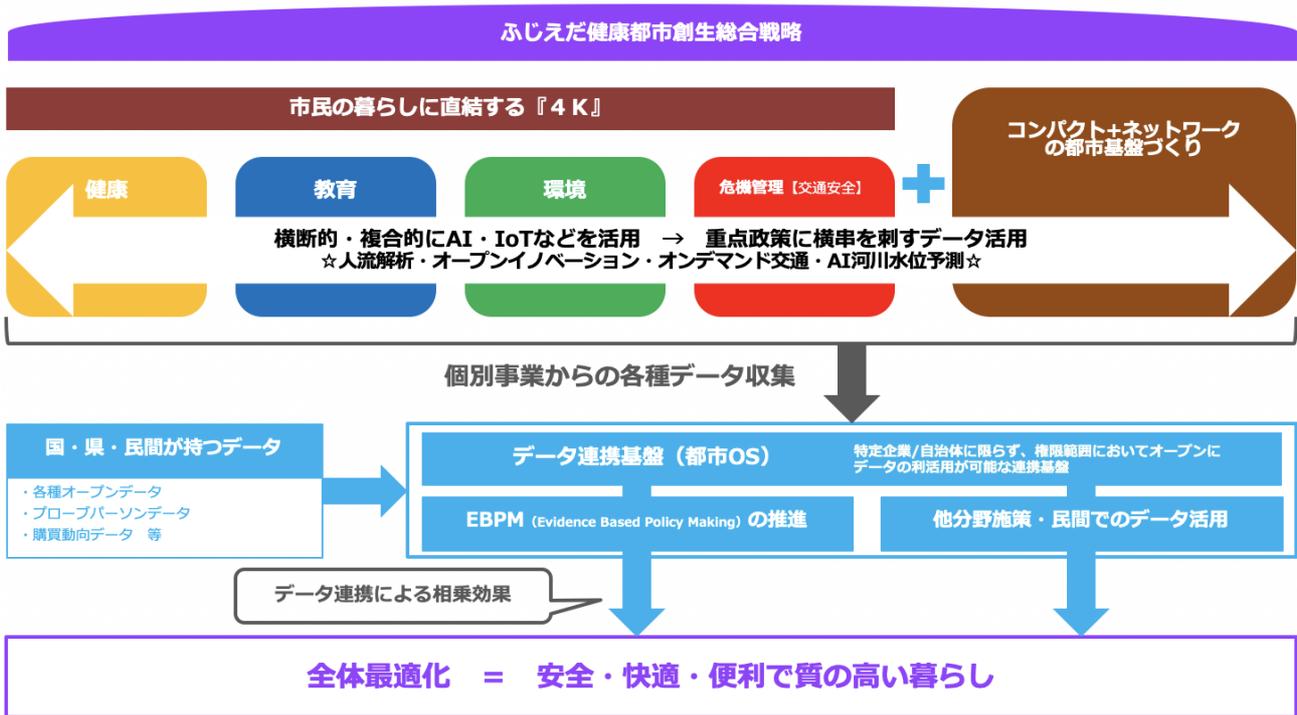
コンパクトで輝きのある 安全・快適・便利な スマート・コンパクトシティ

これまで本市の重点戦略として推進してきた「4K施策（健康・教育・環境・危機管理）」と「コンパクト+ネットワーク」をさらに深化させ、「ICTの活用」によりソフト・ハードを掛け合わせることで、相乗効果を生み出し多領域へと好影響を波及させる。これにより、「力強い経済」、「安全安心な社会」、「優しい環境」の3方良しの「持続可能なまち」「スマート・コンパクトシティ」づくりを進める。

“スマート・コンパクトシティ”の形成は、産業、暮らし、働き方に“変革”を起こし、経済発展と課題解決が両立する人間中心の新たな社会、いわば「藤枝版 Society5.0」である。

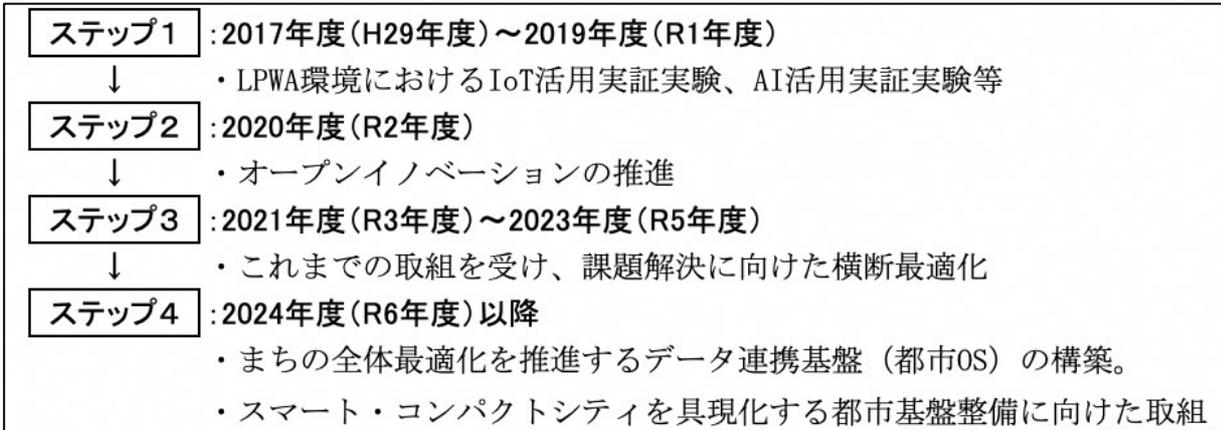
官民連携のもとでオープンイノベーションを推進し、個別最適化により得られた各分野のデータは、スマート化による住民の暮らしの向上に資するものとし、横断的な利活用と経年的蓄積を図り、都市の強靱化、魅力ある都市空間づくりに役立てる。

※オープンイノベーション：異業種、異分野が持つ技術や、アイデア、サービス、ノウハウ、知識など組み合わせ、革新的な取組につなげるイノベーションの方法論



2.2. ロードマップ

スマート・コンパクトシティ実現に向けたロードマップを描く。



2.3. KPI

1章において提示した地域の課題に対して以下のKPIを設定し、事業評価を実施する。KPI設定に関しては基準年を平成30年度とした場合に達成目標値を令和6年度に設定する。

第2期ふじえだ健康都市創生総合戦略における中期的目標 ※いずれも2019年を基準とした2029年目標値

- 25歳～29歳のUIJターン者数 100人増
- 子育て世代の転入者数 250人増
- 街なかへの居住人数 1,000人増
- 関係人口 500人増

課題	KPI	基準年 H30		目標値 R6
① 人口減少社会への対峙	施策推進におけるデータ活用（EBPM実践）件数	—	→	20件
② 郊外・中山間の交通弱者増加	路線バスと乗合タクシーの利用者数	1,385千人	→	1,400千人
③ 産業の持続性・担い手減少	ICT人材と市内企業のマッチング数	—	→	50件
	ICTを新たに導入した企業数	—	→	25件
④ 若い世代の流出	子育て世代（20～40代）の転入者数	3,153人	→	3,309人
⑤ 自然災害リスクの拡大	災害時情報配信システム登録人数	6,751人	→	9,000人
	藤枝市水位・雨量観測システム利用件数	2,152件	→	10,000件

【参考】

※⑤自然災害リスクの拡大におけるKPIの実績値

災害時情報配信システム登録件数 7,783人（2019/4/1～2020/3/31）

8,905人（2020/4/1～2021/1/31）

藤枝市水位・雨量観測システム利用件数 5,919件（2019/4/1～2020/3/31）

2,802件（2020/4/1～2021/1/31）

3. 実証実験の位置付け

3.1. 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ上の位置付け

行政サービスやまちづくりの様々な領域においてICT、デジタル活用が求められている中、藤枝市では特に市民の暮らしに直結する4K分野において、重点的にデジタル活用を進めることで、市民の暮らしがより便利で豊かになり、本市ならではの安全・安心なスマートシティを目指している。

その実現に向けて、地域課題を先端技術で解決するオープンイノベーションを推進することで個別最適化を進めた後に、その中で得られたデータ利活用を推進し、データ連携基盤（都市OS）によるスマートシティを形成していく。

今回4K分野の“危機管理”への対応として、「自然災害リスクの拡大」における防災観点での課題解決に向けて、河川の水位予測による水防業務の効率化と市民への的確な避難指示に関して検証するものである。

3.2. ロードマップ達成に向けた課題

データ連携基盤（都市OS）によるスマートシティ形成に向けては、市域のあらゆる情報のデータ化が不可欠であることから、個別最適化においてデータ収集を伴う事業展開が望ましい。市民のパーソナルデータ取得にかかる許諾（オプトイン）は、何らかの課題が解決することや、利便性が向上するといった要素を伴うことが求められると同時に、個々のリテラシーにも左右される。そのため、より分かりやすい社会課題から取組むことにより、市民の共感を得るスマート化を優先させたいと考えている。

3.3. 課題解決に向けた本実証実験の意義・位置付け

3.2のような視点から、解決すべき課題として取り組むのが本実証実験である。

2019年度の台風19号をはじめ、局所的に多発化するゲリラ豪雨には、市域における気象の一元的な把握や総合的な水位監視が重要であり、市民に対する避難指示や市内産業の事業継続に向けては必要不可欠であると考えている。

特に市が管理する中小河川は本数が多く、増水速度が速いため、水位把握や予測が難しく越水リスクが高い。水位データや気象データを利用して水位予測が可能か、実現したサービスに基づいて将来的に職員の負担削減、迅速な避難活動に貢献できるか、局所的な雨でも予測がしっかりできるかの観点から記述する。

4. 実験計画

4.1. 実験で実証したい仮説

4.1.1. 仮説背景

(1) 中小河川の課題（特性）

本報告書における、中小河川とは二級河川または準用河川を指す。中小河川は氾濫頻度が高いという課題と氾濫までの時間が非常に短いという2つの課題がある。

・ 氾濫頻度

中小河川は、流域面積が狭いため、局所的な降雨が対象中小河川水位に、大河川と比較して大きな影響を及ぼすという特徴がある。そのため、一般的に大河川は氾濫した際の影響がより大きいものの、氾濫が発生する頻度は低く、中小河川は、氾濫した際の影響は大河川と比較して小さいものの、氾濫が発生する頻度が高いといえる。

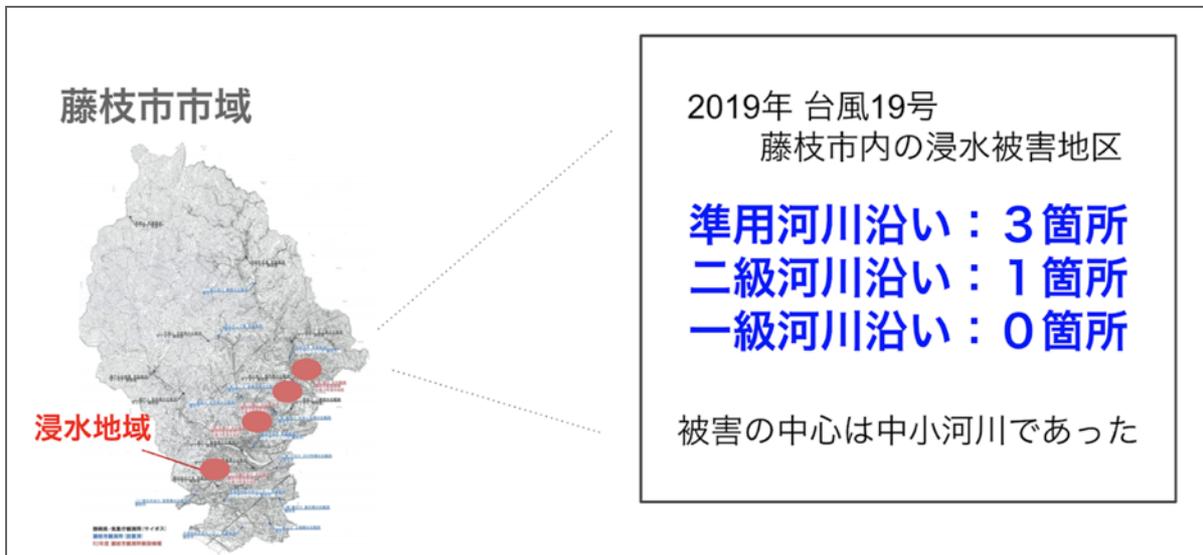


図 4-1: 2019 年に発生した令和元年台風第 19 号における、藤枝市内の浸水被害地域

図 4-1 の通り、2019 年の令和元年台風第 19 号における藤枝市内の浸水被害地域は、準用河川沿いが 3 箇所、二級河川沿いが 1 箇所、一級河川沿いが 0 箇所となっており、藤枝市においても中小河川がより氾濫しやすいことが見て取れる。

・ 氾濫までの時間

また、その他の特徴として、中小河川は氾濫までの時間が非常に短いという課題がある。降雨量と、時間、流量との関係性のイメージを図 4-2(信濃川大河津資料館ホームページより引用：<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/ohkouzu/bousaic/0908kyokuti/0908kyokuti.htm>)に示す。

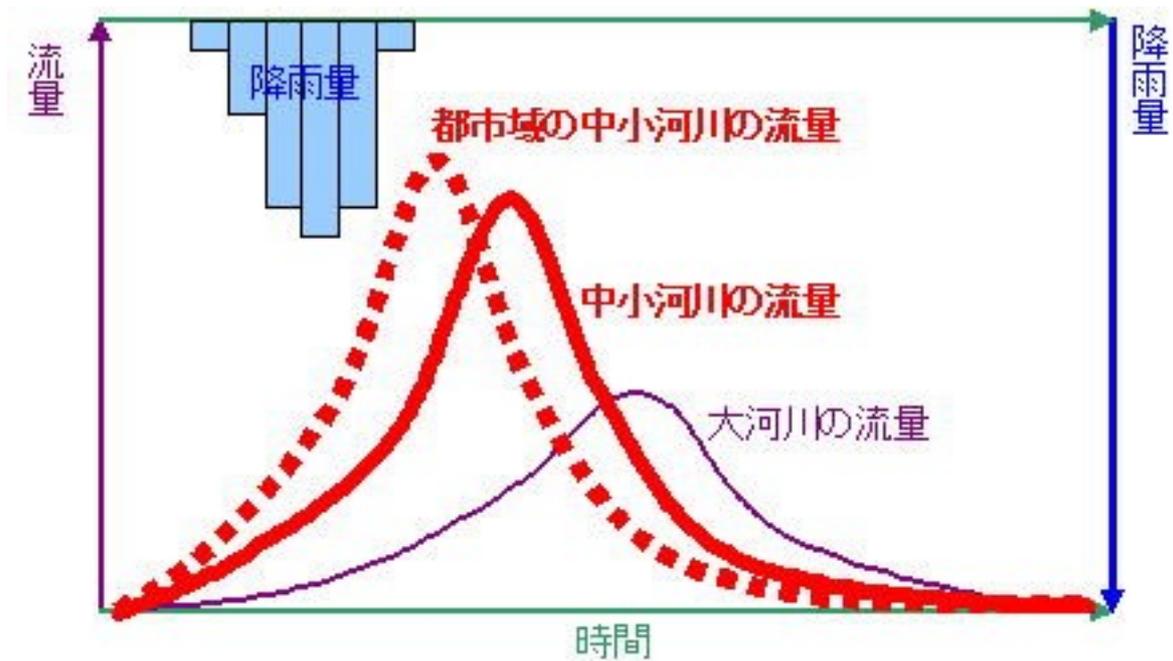


図 4-2: 降雨と河川流量の相関性に関するイメージ

特に都市を流れる河川では、雨が土壌を浸透して時間をかけて河川に注ぎ込むのではなく、アスファルトや下水を通して短時間に河川へ到達するため、河川への流出時間が短い。そのため、ゲリラ豪雨や台風など、短時間にまとまった降雨がある場合に、もの数時間で氾濫するという事例がある。

(2) 河川課の職員がオペレーション上抱える課題や防災対策における課題

一級河川および二級河川のうち、水位周知河川に指定される河川は、水位計の設置地点において避難準備・高齢者等避難開始、避難勧告、避難指示（緊急）の3段階の避難指示発令目安となる危険水位の設定がある。それぞれの水位は目安として、越水まで約3時間・2時間・1時間の時間的余裕があることを示している。

この3段階の水位目安に応じて、避難指示の発令の検討や各種必要な防災対策の検討を行っている。本実証実験における藤枝市内対象の12河川はすべて、目安を設定するための十分な過去水位のデータがないこと。局所的な豪雨の影響が大きく、越水までの時間が雨量によって大きく変化するため、水位目安の設定が困難であること。詳細な河道断面の測量が必要となるため、コスト負担が大きいことなどの理由によって水位目安の設定ができない。

水位目安がないため、降雨量と河川水位の増減を監視しながら氾濫危険性を分析する必要があるため、自治体職員の業務負担が大きく、また氾濫が予想できずに行うべき対処が事後となるといった課題が発生している。

4.1.2. 水位予測の導入効果に関する仮説

4.1.1項に記述した通り、中小河川は、氾濫頻度が高いこと、氾濫までの時間が短いこと、危険性を判断するための有効な指標がないという問題がある。そのため、河川監視への負担が重いこと、排水作業や通行規制などの防災活動が事前に実施できないこと、確度の高い避難情報の発令が難しいことなどの課題が生じている。

本実証実験では、これら課題を解決する手段として、水位予測が有効であると仮説立てている。具体的には、水位予測を導入することで以下の3つの効果があると仮説を立てた。

- (1) 未来の河川水位がわかることによって、現地に出向いて河川状況を調査する必要性や監視の負担が削減され、水位及び冠水状況監視に要する人員の最適化が図れる
- (2) 事前に越水を検知できることで、排水作業や通行規制などの防災行動着手の早期化が図れる
- (3) 河川の越水危険性を検知することで、確度の高い避難情報の発令が図れる

4.1.3. 高精度な水位予測を行うための仮説

本実証実験では、高精度の中小河川の水位予測を行なうために以下2つの仮説を立てた。

- (1) 時間軸による変化を考慮することにより、高精度予測ができるのではないか。

自治体の管理する中小河川では、水位・雨量以外のデータがないため、予測に利用可能な特徴量は限定される。例えば、自治体によっては同一河川内の上流・下流水位は計測していないケースである。このように利用可能な特徴量が限られている場合において、特徴量が少ない場合の予測を可能とする時系列解析モデルを利用すれば、高精度な予測ができないかと仮説を立てた。

- (2) 雨量による水位上昇を重点的に考慮することにより、高精度予測ができるのではないか。

中小河川では、雨によって急激な水位上昇が生じる。図4-3にて、47分の間に急激に水位が上昇した中小河川の写真を示す(信濃川大河津資料館ホームページより引用：

<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/ohkouzu/bousaic/0908kyokuti/0908kyokuti.htm>)。このように、中小河川は急激な水位上昇が起こる特徴がある。この急な水位上昇の予測のため、雨と水位上昇の関係性に特に焦点を当て、分析結果を予測モデルに反映することで、高精度な予測が実現できないかと仮説を立てた。

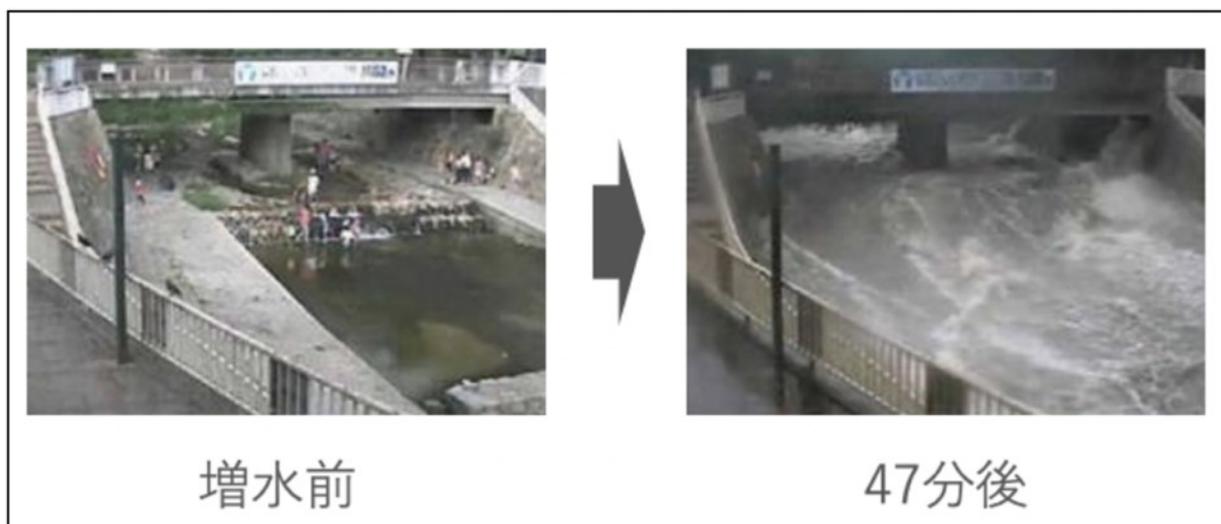


図4-3:2009年7月28日 兵庫県都賀川の増水前後の写真

4.2. 実験内容・方法

4.2.1. 全体構成概略

本実証実験の、構成の概略を図 4-4 に示す。また、表 4-1 の通り藤枝市、イトラスト、ウェザーニューズ、ソフトバンクの4者が連携して実現している。

イトラストが運用する水位計および雨量計が観測したデータは、イトラストが運用するテレメータシステムを経由して、ウェザーニューズのストレージシステムに全期間保存されている。ウェザーニューズで保存運用される過去水位データをソフトバンクへ提供を行い、そのデータを利用してソフトバンクは対象河川の水位予測モデルの開発を実施した。ソフトバンクでは開発評価した水位予測モデルを、クラウド環境に実装を行い、各種データ連携および表示システムの開発を行った。藤枝市は、webブラウザを経由してソフトバンクの表示システムへアクセスし、監視業務に利用した。

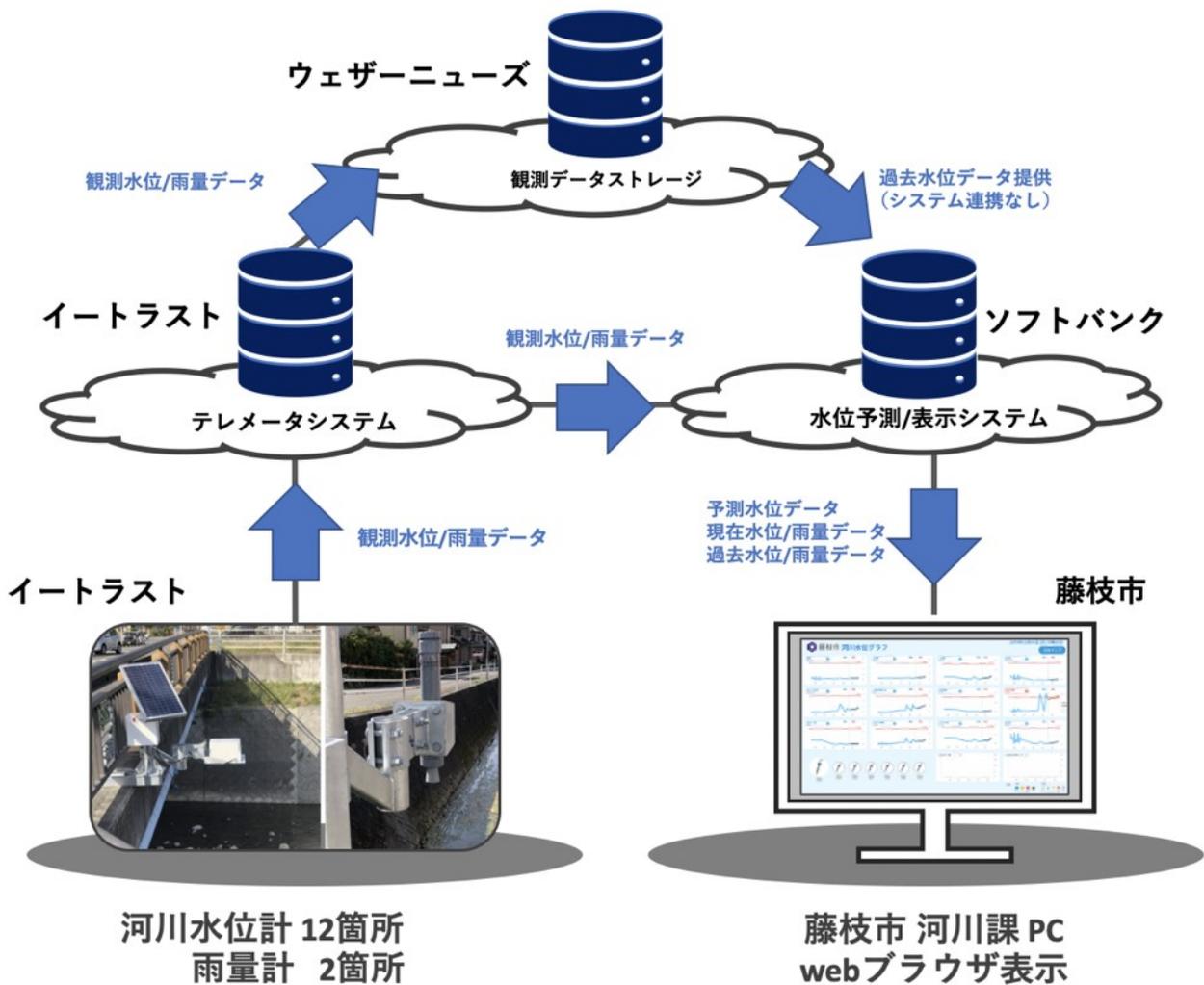


図 4-4: 実証実験の概略

表 4-1: 実証実験における藤枝 ICT コンソーシアムメンバーの役割

事業者名	役割
藤枝市	フィールド提供 システム利用・評価 河川水位予測結果評価
イートラスト	河川水位計・雨量計運用 テレメータシステム運用 ソフトバンクのシステムへデータ転送機能開発
ウェザーニューズ	観測データストレージ運用 ソフトバンクへ過去水位データ提供
ソフトバンク (主幹事)	河川水位予測モデル開発 河川水位予測システム開発・運用 表示機能システム開発・運用 各種データ転送機能開発・運用 システム評価 河川水位予測結果評価

4.2.2. 実施地点

水位センサの設置にあたっては、浸水被害のある地区を流れる本川及びその支川を選定した。その中でも、今までの水防活動による経験から、住民からの土嚢設置、強制排水ポンプの設置要請や道路冠水による通行規制がある、本市が特にマークしている場所である。昨今の降雨による浸水被害の多くは、河川堤防の決壊や河川から溢れた水による浸水（外水氾濫）に起因するものではなく、本川水位の上昇により、支川や水路等から本川に排水できず発生する浸水（内水氾濫）によるものである。内水氾濫は、外水氾濫と比較すると、「浸水被害の発生頻度が多い」、「浸水被害の発生までのリードタイム（防災行動に必要な時間）が短い」、「河川から離れた地区においても浸水被害が発生する」という特徴があり、住民生活のうえで、より身近な課題となっている。

そのことから、雨量と本川並びに支川の因果関係を立証するためのセンサの配置となっている。

4.2.3. センサ

(1) センサ設置箇所と種別

等級	河川名	地点名	センサ種別
準	小石川	2019 号橋	超音波水位センサ
準	黒石川	黒石橋	超音波水位センサ長距離型
準	藤岡川	女池ヶ谷橋	超音波水位センサ
二	東光寺谷川	若宮橋	超音波水位センサ長距離型
準	法の川	新飯塚橋	超音波水位センサ長距離型
二	葉梨川	井尻橋	超音波水位センサ長距離型
二	栃山川	土瑞橋	電波式水位センサ
二	朝比奈川	殿橋	電波式水位センサ
準	桐川	三輪向原桐川橋	超音波水位センサ長距離型
準	大溝川	若王子大橋橋	超音波水位センサ長距離型
準	八幡川	5030 号橋	超音波水位センサ長距離型
二	内瀬戸谷川	水上八反田橋	超音波水位センサ長距離型

(2) 超音波水位センサについて

一般仕様	電源条件	塩化チオニルリチウム電池、3.6V 19Ah
	標準電池寿命	1 年（測定・送信間隔＝10 分）
	質量	約 1kg
	筐体	硬質ポリ塩化ビニル、防水仕様
	外形寸法	直径 60mm × 長さ 451mm（突起部除く）（最外径 72mm）
測定部	方式	超音波パルス方式
	測定範囲	0.5m ～ 5.0m
	分解能	1mm
	精度	±5%RS（1.0m ～ 5.0m）、±5cm（0.5m～1.0m）
LPWA 無線機部	送信出力	10mW
	変調方式	LoRa
	周波数	429.25～429.7375MHz
	チャンネル数	40ch CH 間隔 12.5kHz のうち 1ch を使用
	規格	ARIB STD-T67 準拠

(3) 超音波水位センサ長距離型について

一般仕様	電源条件	塩化チオニルリチウム電池、3.6V 19Ah
	標準電池寿命	1年（測定・送信間隔=10分）
	質量	約2kg
	筐体	硬質ポリ塩化ビニル、防水仕様
	外形寸法	直径60mm × 長さ1200mm（突起部除く）
測定部	方式	超音波パルス方式
	測定範囲	0.5m ~ 10.0m
	分解能	1mm
	精度	±5%RS（1.0m ~ 5.0m）、±5cm（0.5m~1.0m）
LPWA 無線機部	送信出力	10mW
	変調方式	LoRa
	周波数	429.25~429.7375MHz
	チャンネル数	40ch CH間隔12.5kHzのうち1chを使用
	規格	ARIB STD-T67 準拠

(4) 電波式水位センサについて

一般仕様	電源条件	公称電圧DC12V、ソーラー独立電源、密閉型鉛蓄電池
	無日照動作	5日
	質量	測定部：約3kg、 ソーラーパネル：約2.6kg ソーラー電源部：約12kg
	筐体	測定部：ポリカーボネート、防水仕様IP65
	外形寸法	測定部：W250 x H150 x D175 mm
測定部	方式	FMCW 反射検知式
	測定範囲	0.8m ~ 10.0m
	分解能	1mm
	精度	±5%RS（1.0m ~ 10.0m）、±5cm（0.5m~1.0m）
LPWA 無線機部	送信出力	10mW
	変調方式	LoRa
	周波数	429.25~429.7375MHz
	チャンネル数	40ch CH間隔12.5kHzのうち1chを使用
	規格	ARIB STD-T67 準拠

4.2.4. 利用データ

本実証実験で用いたインプットデータは、河川水位データの他に、速報版降水短時間予報、速報版解析雨量の2種類を利用している。それぞれの雨量情報は表4-2の通りで、速報版降水短時間予報は1km四方のメッシュで6時間先までの予報雨量を配信し、速報版解析雨量は同メッシュ単位で実績雨量の配信を行っている。

表 4-2: 速報版洪水短時間予報、速報版解析雨量の情報

	速報版降水短時間予報	速報版解析雨量
配信情報	予報雨量(mm/時間)	実績雨量(mm/時間)
時間範囲	後60～360分	前60分
配信間隔	10分毎	10分毎
メッシュサイズ	1km四方	1km四方
主管省庁	気象庁	気象庁
解析に用いるデータ	レーダー・アメダス・解析雨量 全国の雨量計	レーダー・アメダス 全国の雨量計

4.2.5. システム

本項では、データ処理を行ったシステムについて記述する。本実証実験のために、以下のシステム構成図で表現できるシステム開発及び提供を行った。システム構成図及びデータフロー図を記載する。

(1) システム構成図

システム構成図および主な装置は以下の通りであり、パブリッククラウド上で構築を行った。

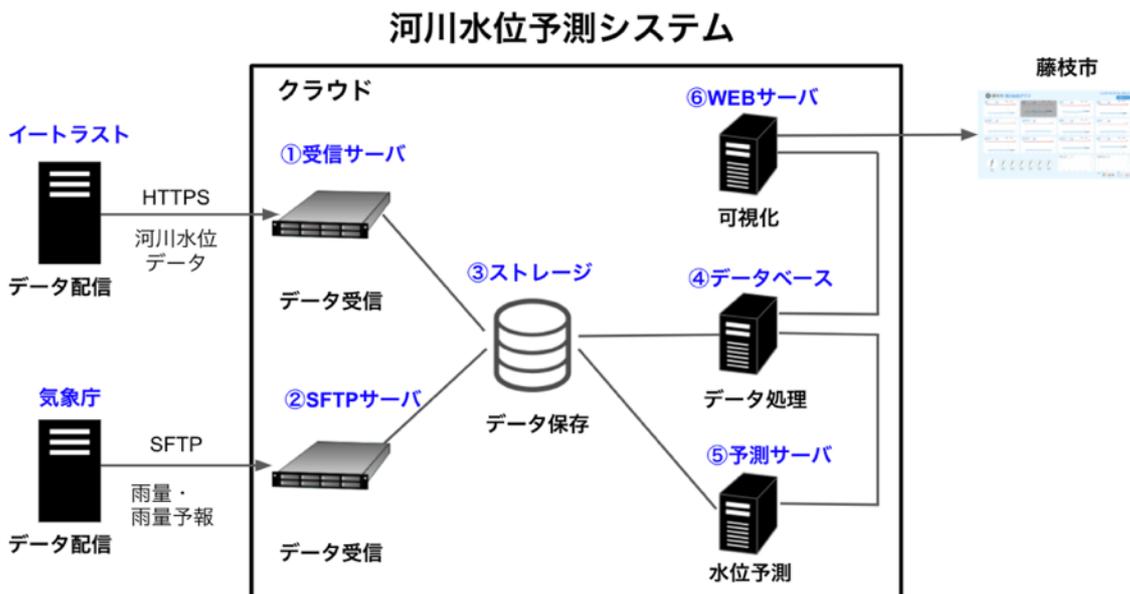


図 4-5: システム構成図

No.	役割	詳細
①	受信サーバ	イートラストのデータ配信サーバから河川水位データを HTTPS にて受信する Gateway サーバ
②	SFTP サーバ	気象庁のデータ配信サーバから気象データ (速報版降水短時間予報、速報板解析雨量) を SFTP にて受信するサーバ
③	ストレージ	外部入力された RAW データおよび整形済データの保存、各サーバとのデータ連携のためのストレージ
④	データベース	データの抽出、変換、整形、統合処理を行うデータベース
⑤	予測サーバ	河川水位予測を行うサーバ
⑥	WEB サーバ	現在水位・水位予測の可視化画面提供するサーバ

(2) データフロー図

データフロー図および主なプロセスは以下の通りであり、10 分間隔で一連の処理を行った。

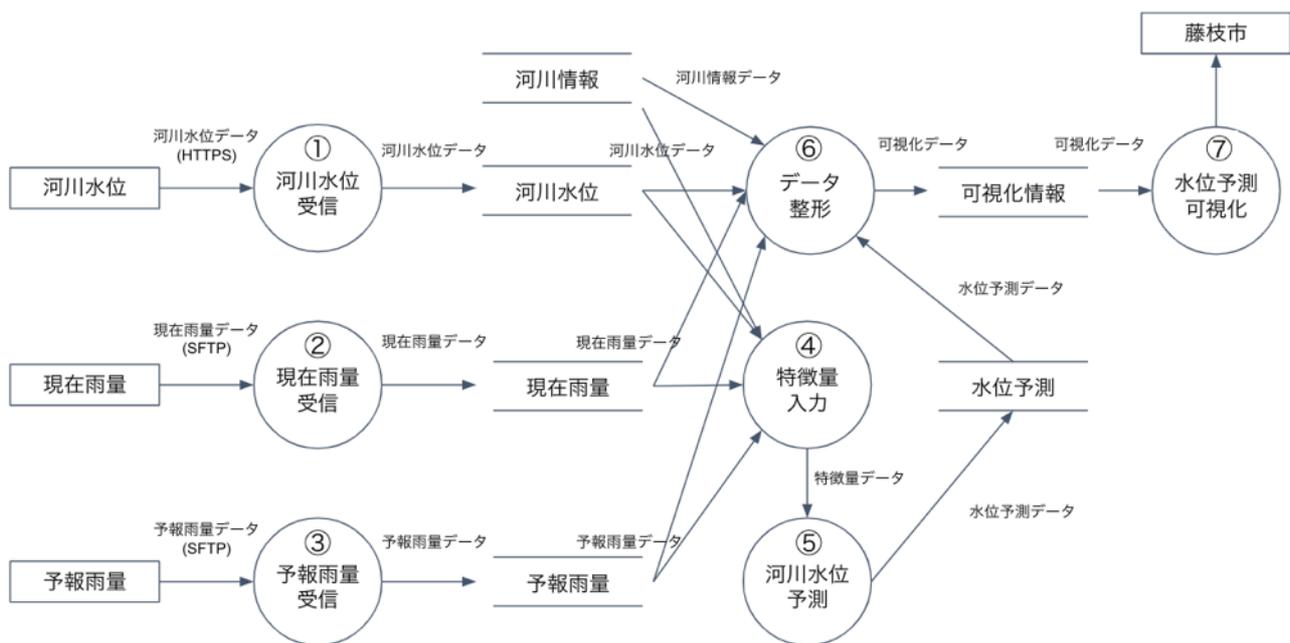


図 4-6: データフロー図

No.	役割	詳細
①	河川水位受信	河川水位データ配信サーバから HTTPS にて 10 分間隔で受信し保存
②	現在雨量受信	現在雨量データを配信サーバから SFTP にて 10 分間隔で受信し保存
③	予報雨量受信	予報雨量データを気象庁から SFTP にて 10 分間隔で受信し保存
④	特微量入力	受信データから、予測に用いる特微量を抽出し、10 分間隔で⑤へ入力
⑤	河川水位予測	予測処理を行い、河川水位予測データを出力
⑥	データ整形	⑤で出力された河川水位予測データと各種データから抽出・統合・整形の処理を行い可視化情報データ出力
⑦	水位予測可視化	可視化画面に現在の河川水位、水位予測などを表示

※⑤～⑦は前のプロセス終了後に稼働する

4.2.6. AI モデル

本実証実験で開発した水位予測システムのアルゴリズムは、現在時刻から1,2,3時間先の予測水位を出力するものである。開発したアルゴリズムは時系列解析モデルとデータ解析モデルの2種類あり、それぞれの特徴を本項にて記述する。尚、水位予測に用いる入力情報は、両手法とも水位、実績雨量、予報雨量に計測時間を加えた4種類であり、予測対象地点毎に予測モデルを生成する。水位予測システムの概略を図4-5で示す。AIアルゴリズムは図4-7中央の水位予測システムの中に組み込まれる。今回の実証実験期間でシステム導入には時系列解析モデルを導入したが、データを用いた検証は両アルゴリズムとも実施した。



図 4-7: 水位予測の入力データと出力図

(1) 時系列解析モデル

本実証実験で使用した時系列解析モデルでは、入力データの計測時間を用いて、時系列データとして解析して学習する。これにより時間に伴う水位変化を学習し、雨量・水位以外の要因による水位変化を時系列から考慮することができる。

本アルゴリズムの長所は、前述した通り水位・雨量以外の要因による水位変動を、時系列解析によって間接的に考慮できる場合があることである。短所は、比較的長期間の学習データが必要とされることである。水位の変動を時系列の変化とともに学習するため、比較的長い期間の学習データが必要となる。

(2) データ解析モデル

本実証実験で使用したデータ解析モデルは、雨量と急激な水位上昇の関係性に着目した予測モデルである。各河川3時間前から3時間後の雨量の中から、水位上昇への影響が高い要素を分析・抽出し、水位の急上昇を予測するよう学習を行う。

本アルゴリズムの長所は、比較的短い期間の学習データでも効率よく予測ができること、雨量が要因となる急激な水位の急上昇を予測できることである。短所は、予報雨量の精度により依存してしまうことである。雨量を大きな要素として予測しているため、予報雨量が外れたとき、予測水位への影響は大きくなる。

4.2.7. UI

本項では、ユーザが監視および操作を行う画面について記述する。

本実証実験のために、5種類の画面を藤枝市河川課職員に提供した。それぞれの画面について以下に詳細を記述する。

(1) 一覧表示画面

・対象データ

本画面での表示対象は水位計 12 箇所、雨量計 2 箇所、雨量予報データ 1 箇所である。

・確認可能なデータ

本画面では、水位計の最終取得時から 12 時間前までの実測データと 3 時間先までの予測データ、雨量計の最終取得時から 15 時間前までの実測データ、雨量予報の最終取得時の実測データと 6 時間先までの予測データが確認可能である。

・目的

本画面では、藤枝市河川課職員が一度に市内センサの状況と 3 時間後までの予測河川水位情報、6 時間後までの雨量予報情報を視認できることで、緊急時対応の情報確認時間の短縮を目的として提供を行った。

・手法

本画面では、グラフを一つの画面に並べて表示を行い、最新の実測値と予測値を比較、最大の値について閾値と比較し、河川/橋名のアイコンに色をつけることで強調表示を行った。また、雨量予報については、観測値/予測値をもとに傘のアイコンを用いて強度がひと目でわかるような表示を実装した。

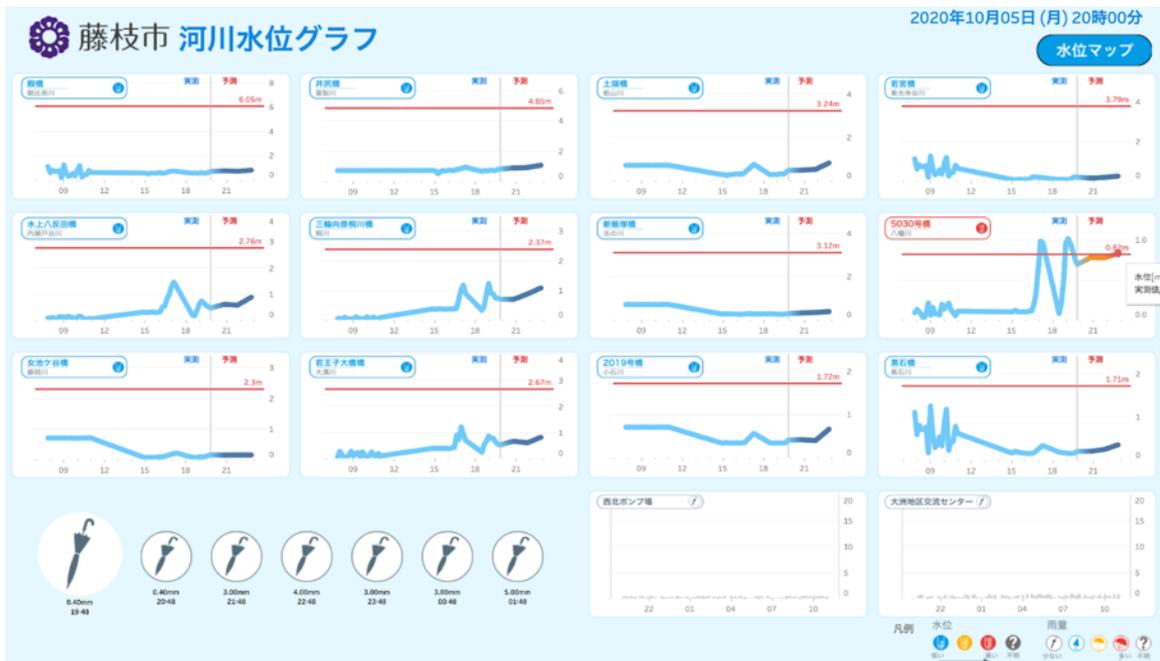


図 4-8: 一覧表示画面

(3) 現在水位表示画面

- ・対象データ

本画面での表示対象は水位計 12 箇所である。

- ・確認可能な内容

本画面では、水位計の最終取得時から 12 時間前までの実測データと 3 時間先までの予測データ、最終取得時のタイムスタンプ、水位計ごとの河川断面図が確認可能である。

- ・目的

本画面では、藤枝市河川課職員が水位計の最終取得時から 12 時間前までの実測データと 3 時間先までの予測データ、河川断面図情報を重ねて表示することで、藤枝市河川課職員が水位のトレンドを確認し、危険を未然に知得できることを目的として提供を行った。

- ・手法

本画面では、一つの画面に線グラフとエリアグラフをならべて表示を行い、エリアグラフの下には対象河川の断面図を配置、グラフを透過させることで断面図上に水位を透過させて表示を行った。また、現在水位と 1, 2, 3 時間後の 3 つの予測水位の中で 3 段階ある警戒水位を超えているものがあれば、河川 / 橋名のアイコンの色を該当する警戒段階に色付けする強調表示を行った。

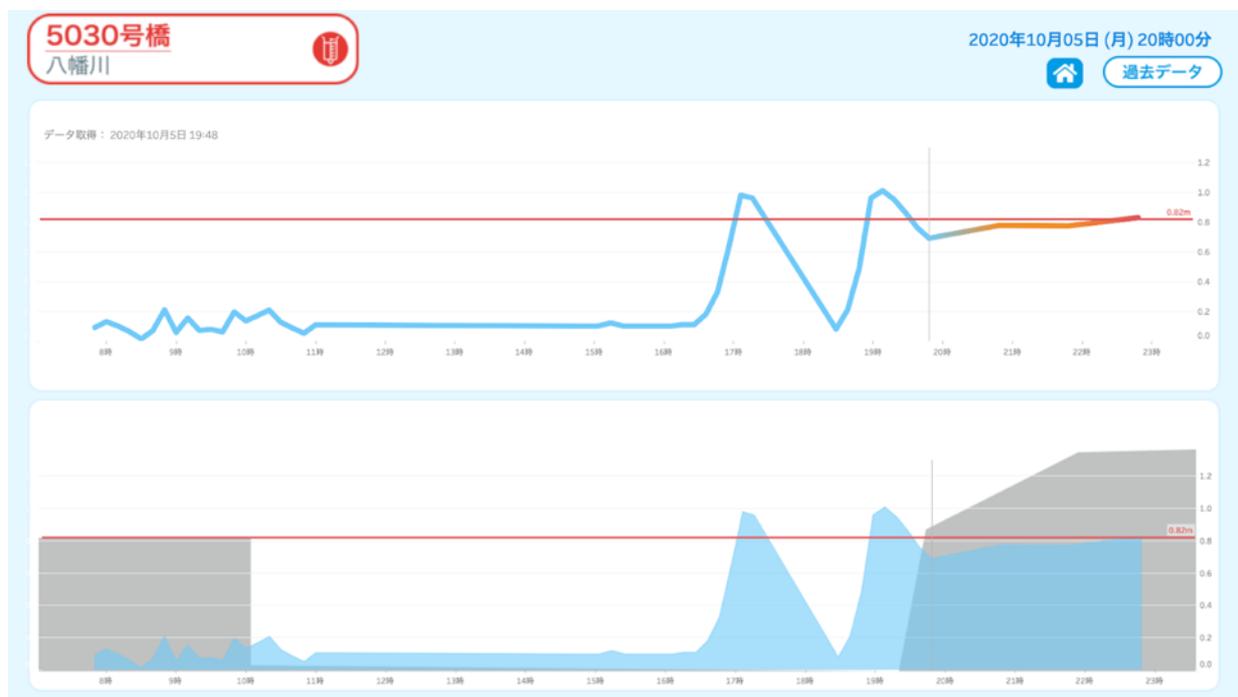


図 4-10: 現在水位表示画面

(4) 過去水位表示画面

- ・対象データ

本画面での表示対象は水位計 12 箇所である。

- ・確認可能な内容

本画面では、水位計の取得している全期間の実測データ、水位計ごとの河川断面図が確認可能である。

- ・目的

本画面では、水位計で取得している全期間の実測データを、表示期間を指定して確認することで、藤枝市河川課職員が河川ごとに特定期間の水位分析を行うこと目的として提供を行った。

- ・手法

本画面では、一つの画面に線グラフとエリアグラフをならべて表示を行い、エリアグラフの下には対象河川の断面図を配置しグラフを透過させることで断面図上に水位を透過させて表示、そして特定期間のデータのみを表示するため、期間を指定可能なタイムスケールの設置を行った。また、現在水位と 1, 2, 3 時間後の 3 つの予測水位の中で 3 段階ある警戒水位を超えているものがあれば、河川/橋名のアイコンの色を該当する警戒段階に色付けする強調表示を行った。

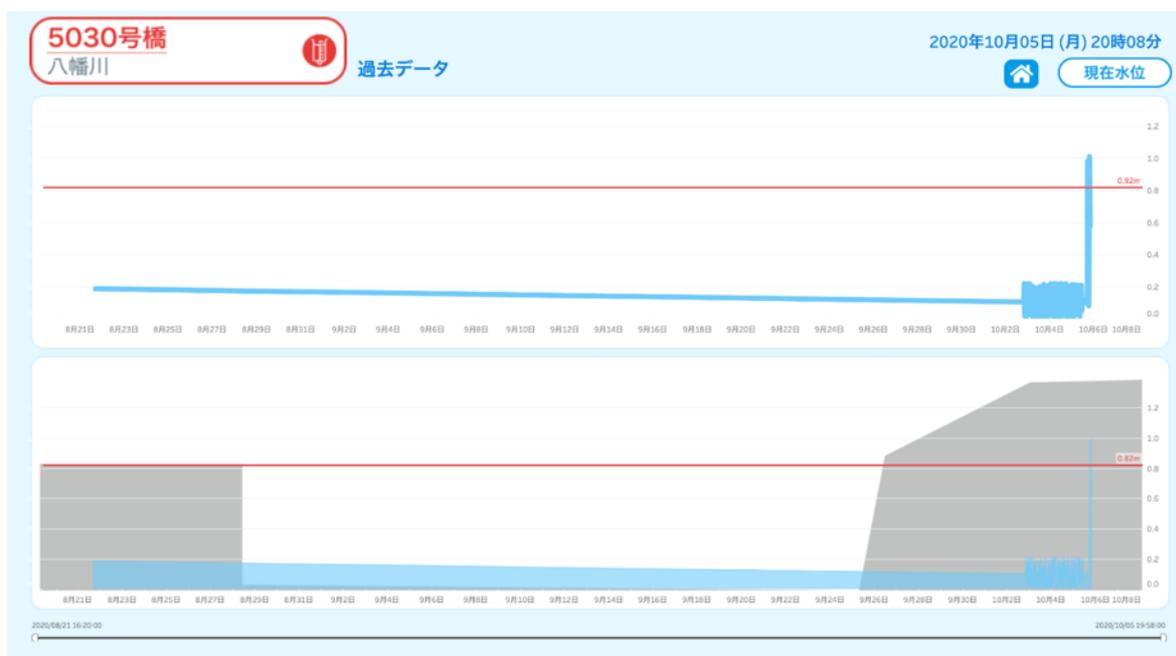


図 4-11:過去水位表示画面

(5) 過去雨量表示画面

・対象データ

本画面での表示対象は雨量計 2 箇所である。

・確認可能な内容

本画面では、雨量計の取得している全期間の実測データ、積算雨量データ(6 時間以上雨量が 0mm の場合は値を 0 にする)が確認可能である。

・目的

本画面では、雨量計で取得している全期間の実測データと積算雨量データを、表示期間を指定して表示して確認することで、藤枝市河川課職員が特定期間の雨量分析を行うこと目的として提供を行った。

・手法

本画面では、一つのグラフに棒グラフ(右軸:10 分間雨量)と線グラフ(左軸:積算雨量)をならべて表示、そして特定期間のデータのみを表示するため、期間指定が可能なタイムスケールの設置を行った。また、最新の実測値について閾値と比較し、河川名のアイコンに色をつけることで強調表示を行った。(積算雨量については、降水があった場合は積算を行い、6 時間以上雨量が 0mm のデータが続いた場合に、0 にリセットする。)

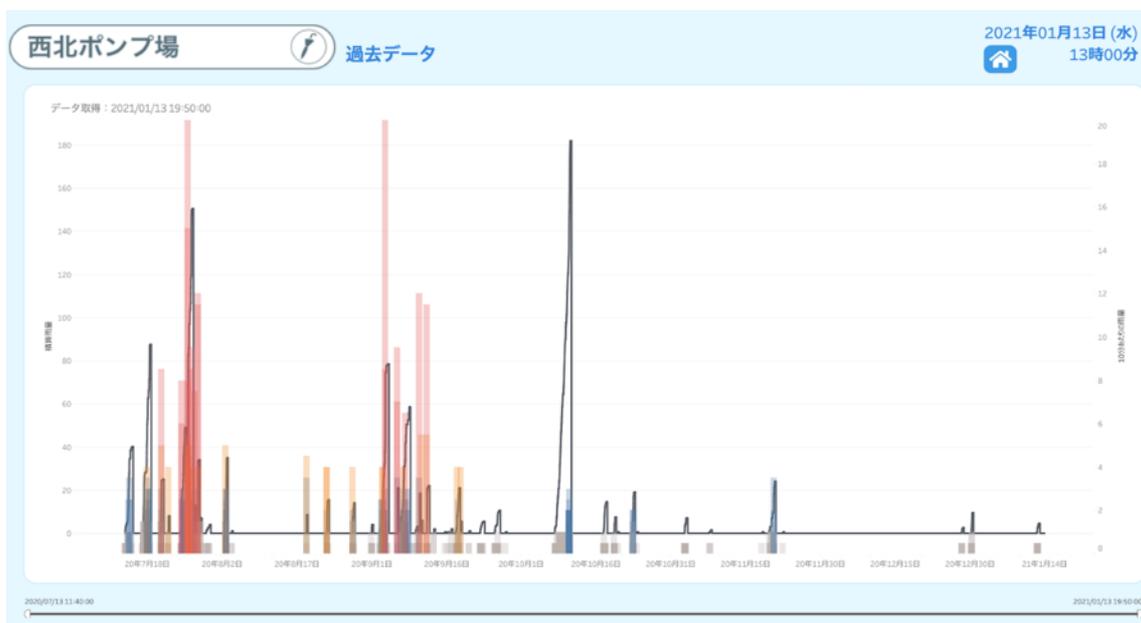


図 4-12:過去雨量表示画面

4.2.8. スケジュール

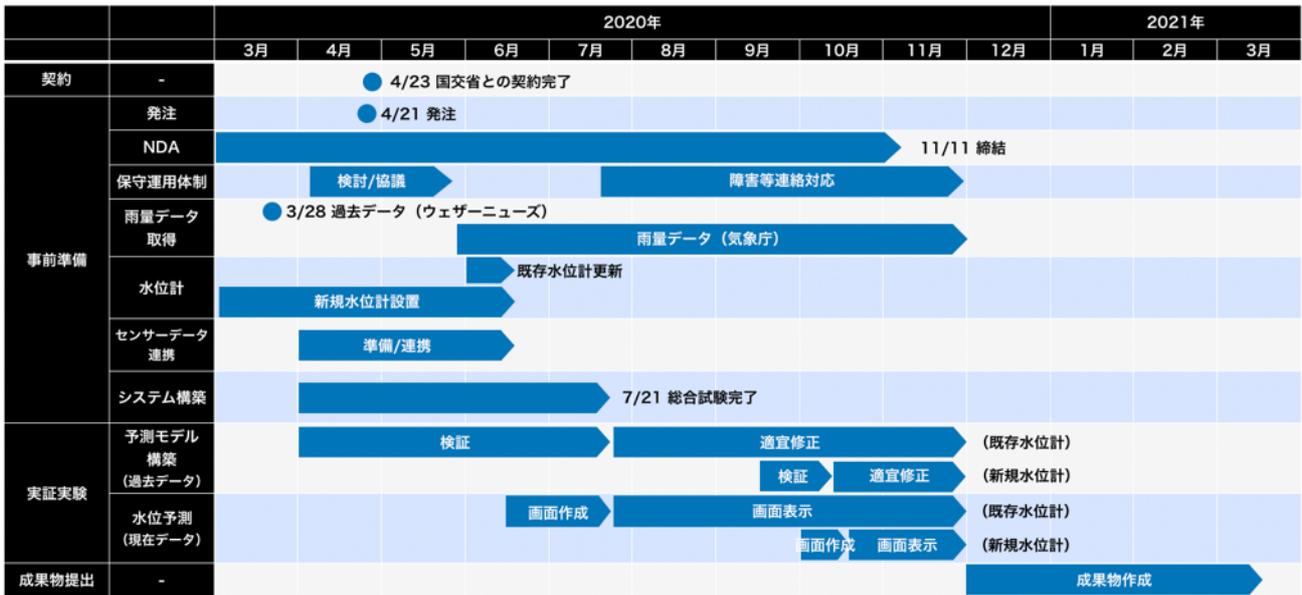


図 4-13:スケジュール

4.3. 仮説の検証に向けた調査方法

4.3.1. 水位予測検証

本項では予測モデルの評価方法について記述する。以下 2 種類の評価手法による評価値を算出する。

(1) RMSE による評価

RMSE (平均平方二乗誤差) によって、実測値と予測値の誤差平均を算出する。RMSE は、回帰モデルの最も一般的な性能指標の 1 つであり、以下の式で表される。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (pred_i - act_i)^2}$$

ここで、i は予測対象時点、n は予測対象時点の総数を示し、pred, act はそれぞれ予測値と実測値を表す。この指標によって、各アルゴリズムによる予測値と実測値の二乗誤差の平均を算出する。二乗誤差を使うことによって、予測値が大きく外れた場合の影響が大きく反映される。RMSE 値は、0 以上の値を取り、0 に近いほど予測誤差が小さく予測精度が高いことを示す。河川水位予測に関する他論文の研究でも、評価指標に RMSE を採用しているため、本取り組みでも利用する。

本評価では、評価期間を予測期間の中でも豪雨時に絞り、RMSE を算出する。豪雨時において予測値が活用されるためである。豪雨時は気象庁の情報を参考に 10mm/h 以上の降雨量の時間とした。

(2) 避難水位到達時の事前予測有無

実水位が避難判断水位に到達時、避難判断を超える水位値の予測有無を評価軸とする。図 4-15 に評価例を示す。図 4-14 中の左側の図は、実測値の危険水位超過時に、予測値も超過した値を出している

ため、正解した例である。一方右側の図は、実測値の危険水位超過時、予測値が危険水位より低い値を出しているため超過の予測を失敗した例である。

本実証実験では、越水ライン 80%の水位をこの評価の基準水位として用いる。本実証実験での予測対象河川では、避難判断水位といった基準水位は設定されていない。そこで藤枝市河川管理担当者に判断基準の水位を確認した結果、越水ラインのおよそ 80%あたりを基準としている話があったため、越水ライン 80%を本評価の基準水位とする。

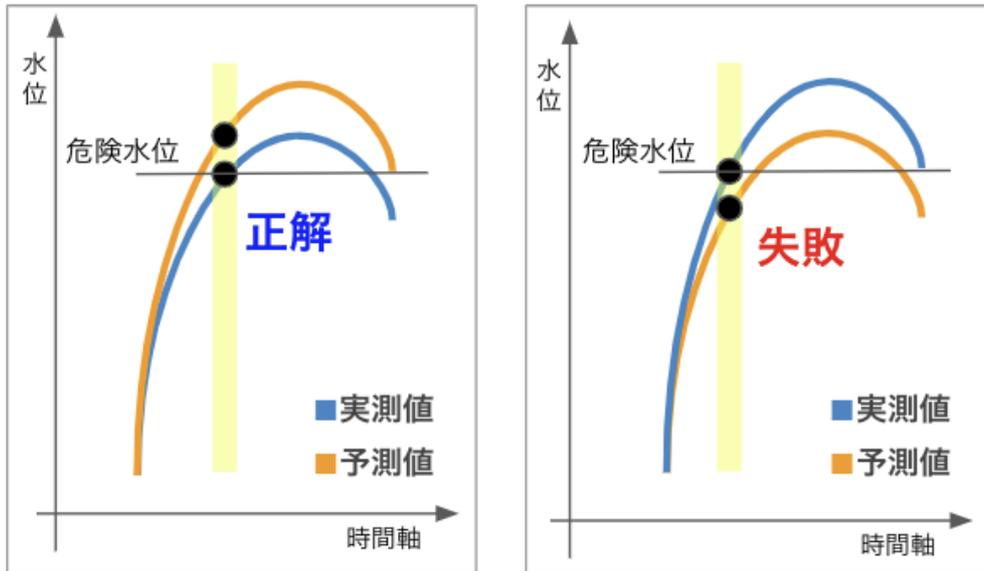


図 4-14: 避難判断水位超過予測有無による評価

これら 2つの指標を用いて 4.2.6 項にて前述した 2つのモデルによる予測結果を比較し、各地点評価結果を表 4-3 の形式で整理する。表内の手法 1 は 4.2.6 項で示した時系列解析モデルを指し、手法 2 は同項で示したデータ解析モデルを指す。以後、手法 1 (時系列解析モデル)、手法 2 (データ解析モデル) と記す。

表 4-3: 評価結果の整理

		全期間				10mm/h 以上の降雨			
		3h 予測 RMSE		1h 予測 RMSE		3h 予測 RMSE		1h 予測 RMSE	
河川名	地点名	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2
小石川	2019 号橋								
黒石川	黒石橋								
藤岡川	女池ヶ谷橋								
東光寺谷川	若宮橋								
法の川	新飯塚橋								
葉梨川	井尻橋								
枳山川	土瑞橋								
朝比奈川	殿橋								
桐川	桐川橋								
大溝川	若王子大橋橋								
八幡川	5030 号橋								
内瀬戸谷川	水上八反田橋								
平均値									

			基準水位超過 事前予測回数			
			3h 予測		1h 予測	
河川名	地点名	基準水位 (cm)	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2
小石川	2019 号橋	137.6				
黒石川	黒石橋	136.8				
藤岡川	女池ヶ谷橋	184				
東光寺谷川	若宮橋	303.2				
法の川	新飯塚橋	249.6				
葉梨川	井尻橋	388				
枳山川	土瑞橋	259.2				
朝比奈川	殿橋	484				
桐川	桐川橋	189.6				
大溝川	若王子大橋橋	213.6				
八幡川	5030 号橋	65.6				
内瀬戸谷川	水上八反田橋	220.8				

4.3.2. UI および導入効果検証

本実証実験では、水位予測システムのUI デザインおよび操作感と、水位予測システムによって、どのような業務効果が生まれたか検証した。その検証方法について記述する。

(1) 業務観察

システムの利用実態を把握するため、藤枝市河川課事務所に観察用のカメラを設置した。令和2年台風第14号が接近した、10月9日から3日間、リモートでシステムの操作状況を観察し、利用者がどの程度使用されたか、どのような操作を行っているかを確認し、UIの改善点を検証した。

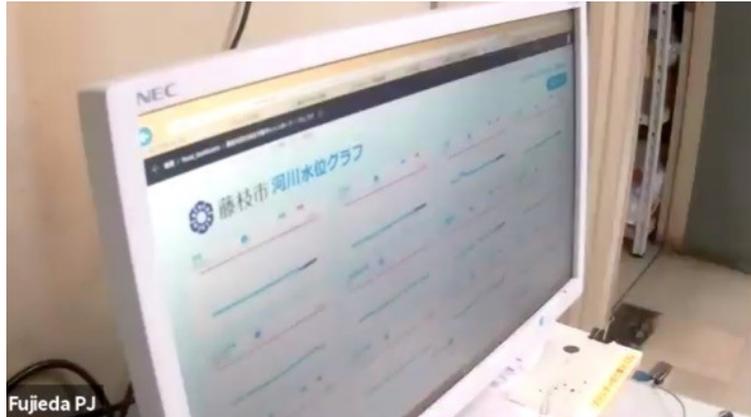


図 4-15: 観察風景

(2) インタビュー

利用者に対して50項目のインタビューをオンライン会議ツールにて実施した。

表 4-4: 質問項目の抜粋

No	質問	検証内容
1	使い勝手について悪いところがあったか?	ストレスのないUIが提供できているかどうか
2	直感的にわかりにくい、判断に迷うところがあったか?	ストレスのないUIが提供できているかどうか
3	イートラストのシステムを参照したか?	本システムで提供している情報が足りているかどうか、以前のシステムの方が使いやすいといったところがないか
4	体制が組みまれていた間、システムをどの程度の頻度で確認したか?	災害時にとる職員の行動に対して情報提供方法が最適かどうか
5	水位予測に関してどこに注目したか?	UIの構成で工夫できる点を探る
6	あとどのくらいで氾濫するのかの表示はどのような場合に必要か?	最適な情報提供のタイミングを探る
7	価格を抑えると機能を絞らざるを得ないが、最低限これだけは欲しいという機能は?	最も価値を感じた機能は何か

5. 実施結果

5.1. センサ設置結果

本実証実験で使用したセンサについて記述する。本実証実験期間内で計 12 地点の水位を計測した。内 8 地点は 2018 年 3 月に設置をしており、残り 4 地点は実証実験期間内に設置し、2020 年 6 月 13 日より計測開始した。各地点の情報は表 5-1 に示す。

表 5-1：センサ設置箇所一覧

等級	河川名	場所	方式	新規/既存	設置年月
準	小石川	2019 号橋	超音波	既存	2018/3/26 ~
準	黒石川	黒石橋	超音波	既存	2018/3/26 ~
準	藤岡川	女池ヶ谷橋	超音波	既存	2018/3/26 ~
二	東光寺谷川	若宮橋	超音波	既存	2018/3/26 ~
準	法の川	新飯塚橋	超音波	既存	2018/3/26 ~
二	葉梨川	井尻橋	電波→超音波	既存	2018/3/26 ~
二	栃山川	土瑞橋	電波	既存	2018/3/26 ~
二	朝比奈川	殿橋	電波	既存	2018/3/26 ~
準	桐川	三輪向原桐川橋	超音波	新規	2020/6/12 ~
準	大溝川	若王子大橋橋	超音波	新規	2020/6/12 ~
準	八幡川	5030 号橋	超音波	新規	2020/6/12 ~
二	内瀬戸谷川	水上八反田橋	超音波	新規	2020/6/12 ~

(1) センサ毎のデータ取得地における異常値の有無について

・異常値 1

2017 年度に設置した超音波式水位センサ（小石川、黒石川、藤岡川、東光寺谷川、法の川）では水面の異物やその他の要因で超音波の反射を正しく受ける事ができず、異常値が観測される例があった。異物の例は水面の水草、護岸の植物、低水位のため露出した河床等であった。

・異常値 2

葉梨川井尻橋の電波式水位センサでは川筋の変化によりセンサ直下の大半が干上がった状態となったため、電波の反射を正しく受ける事ができず異常値が観測される例があった。

・改善 1

異常値 1 に対しては異常値を取り除く処理をセンサに追加し下表の通り異常値の発生率を低減することができた。具体的には、これまで 20 秒間の測定値の平均していた方式から 20 秒間の測定値のうち上位下位それぞれ 25%を除いて平均する方式とした。これは国土交通省 危機管理型水位計の観測基準にある異常値除去方式例を準用した。この改修作業は 2020 年 6 月の超音波水位センサー設置時に実施した。

・改善2

異常値その2に対し水位センサーの移設を実施しました。その際、移設・設置の容易な超音波式水位センサーへの変更も同時に実施した。その結果、下表の通り異常値発生率を低減することができた。

表 5-2: 異常値発生率の改善表

等級	河川名	場所	到達率[%]	異常値発生率[%] (改善前)	異常値発生率[%] (改善後)
準	小石川	2019号橋	99	0.004	0.000
準	黒石川	黒石橋	97	0.026	0.000
準	藤岡川	女池ヶ谷橋	99	2.010	0.000
二	東光寺谷川	若宮橋	97	0.005	0.000
準	法の川	新飯塚橋	98	0.044	0.000
二	葉梨川	井尻橋	86	4.234	0.000
二	栃山川	土瑞橋	99	0.000	0.000
二	朝比奈川	殿橋	96	0.000	0.000
準	桐川	三輪向原桐川橋	99	※	0.000
準	大溝川	若王子大橋橋	98	※	0.000
準	八幡川	5030号橋	100	※	0.000
二	内瀬戸谷川	水上八反田橋	100	※	0.000

※超音波水位センサーの改善後に設置したため改善前の記録はなし

5.2. 水位予測インプットデータ

5.2.1. 気象データ

(1) 降雨

水位予測システムの評価期間である2020年6月23日から2020年11月31日までの降雨量について、表5-3に示す。尚、藤枝市中心部から最も近いアメダス静岡空港観測所の観測情報を参照しており、比較として2019年における同期間の降雨量を合わせて示す。

表 5-3: 2020年6月23日から2020年11月31日までの降雨量

月	降水量の合計(mm)		日降水量の最大(mm)		1時間降水量の最大(mm)	
	2020年	2019年	2020年	2019年	2020年	2019年
6月	149.5	125.0	96.5	91.0	22.5	19.5
7月	784.0	418.0	133.5	86.0	86.0	75.0
8月	56.5	185.5	36.0	72.0	36.5	25.0
9月	139.5	81.5	35.0	51.0	16.5	21.5
10月	209.0	572.5	88.0	375.0	12.5	54.5
11月	33.0	113.5	14.0	49.5	5.5	8.5

後述する通り、2020年は強い台風の接近がなかったことから、2019年と比較して河川水位に大きな影響を与えた降雨機会は少なかった。

(2) 台風

実証実験期間中、静岡県に2つの台風が接近した。接近した2つの台風について、そのカテゴリ、静岡県への最接近日、アメダス静岡空港観測所で観測した日降水量を表5-4に示す。また、進路を図5-1および5-2(気象庁ホームページより引用：

https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/route_map/)に示す。

実証実験期間中、令和1年台風第19号のような大きな勢力の台風の接近はなく、カテゴリ1に分類される小さな勢力の台風が接近したのみであった。

表 5-4:2020年静岡県に接近した台風の名称、カテゴリ、最接近日、日降水量

台風名称	カテゴリ	最接近日	日降水量(mm)
令和2年台風第12号	1	2020年9月22日	4.0
令和2年台風第14号	1	2020年10月10日	80.0

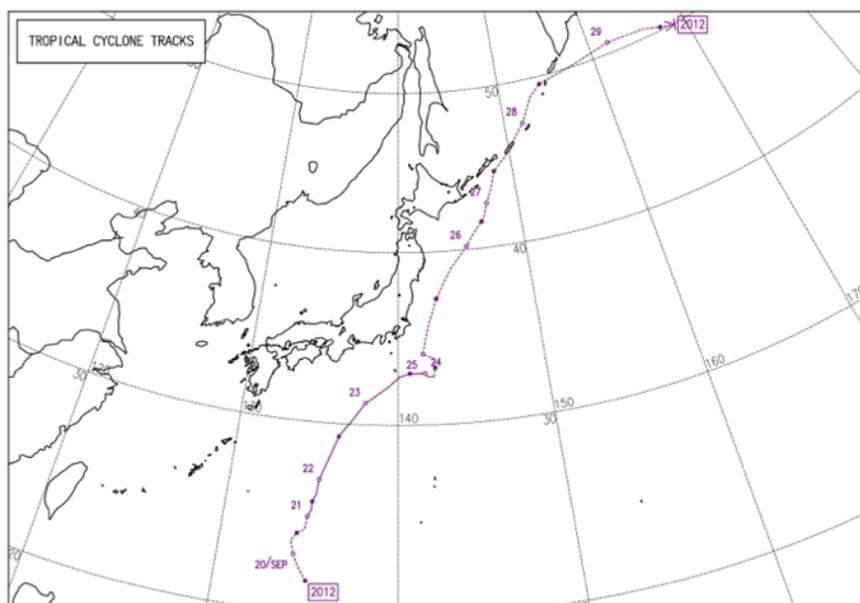


図 5-1:令和2年台風第12号進路

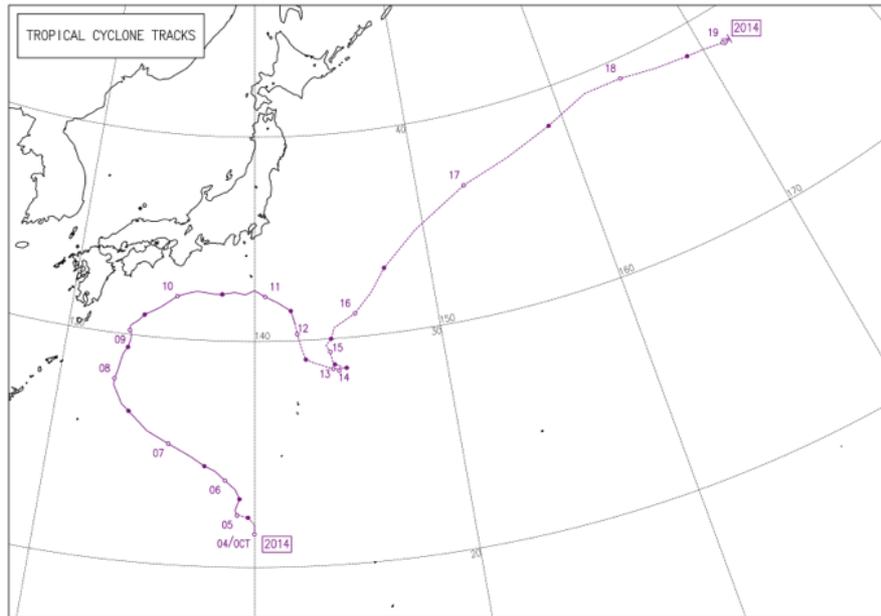


図 5-2: 令和 2 年台風第 14 号進路

5.2.2. センサデータ

本実証実験で用いる水位予測システムでは、各水位計測地点の 1, 2, 3 時間後の水位をリアルタイムで予測する。この水位予測実施のために、あらかじめ過去計測データを学習データとして学習し、各地点の水位予測モデルを生成する。水位計既存設置箇所 8 地点は、設置以後の計測データを学習データとして利用した。表 5-5 内赤枠部分が用いた過去データである。新規設置箇所 4 地点は、実証実験期間内のデータを学習期間と予測期間に分けて、予測モデル生成を行った。そのため、新規設置地点の予測対象期間は、1.5 ヶ月間と他 8 地点に比べて短い。

表 5-5: 実証実験予測対象地点と水位計データ利用期間

等級	河川名	場所	学習期間	予測対象期間
準	小石川	2019 号橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
準	黒石川	黒石橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
準	藤岡川	女池ヶ谷橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
二	東光寺谷川	若宮橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
準	法の川	新飯塚橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
二	葉梨川	井尻橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
二	栃山川	土瑞橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
二	朝比奈川	殿橋	2018/7/4 - 2020/3/31	2020/7/22 - 2020/11/30
準	桐川	三輪向原桐川橋	2020/6/13 - 2020/9/10	2020/10/13 - 2020/11/30
準	大溝川	若王子大橋橋	2020/6/13 - 2020/9/10	2020/10/13 - 2020/11/30
準	八幡川	5030 号橋	2020/6/13 - 2020/9/10	2020/10/13 - 2020/11/30
二	内瀬戸谷川	水上八反田橋	2020/6/13 - 2020/9/10	2020/10/13 - 2020/11/30

既存設置水位計 8 地点の実証実験期間内計測データの欠測割合を表 5-6 に示す。既存設置 8 地点では、2020 年 7 月 22 日から 2020 年 11 月 30 日までに計測したデータを予測対象とした。対象期間内に計測対象回数は各地点 19,008 回あった。井尻橋を除く 7 地点において、10%を下回る欠測の割合で計測ができていた。

井尻橋地点では欠測割合が 80.66%と多く、水位予測はできなかった。原因はこの地点では河底に土砂が堆積し、川の流れが変わったため水位の計測が困難となったことであった。対応として、実証期間内の 2020 年 9 月 4 日、水位計を移設し改善した。土砂堆積も含め、河川特徴の変化に対する課題は 6 章にて後述する。

表 5-6: 既存設置水位計 8 地点 予測対象期間の欠測割合

水位計設置地点名	欠損数	総数	割合[%]
2019 号橋	83	19,008	0.44
井尻橋	15,331	19,008	80.66
土瑞橋	29	19,008	0.15
女池ヶ谷橋	155	19,008	0.82
新飯塚橋	73	19,008	0.38
殿橋	724	19,008	3.81
若宮橋	984	19,008	5.18
黒石橋	50	19,008	0.26

続いて新規設置水位計 4 地点の利用データに関して述べる。実証実験内計測期間を学習期間（2020 年 6 月 13 日から 2020 年 9 月 10 日まで）と予測期間（2020 年 10 月 13 日から 2020 年 11 月 30 日まで）に分けて欠測割合を算出した。学習期間と予測期間の間の 1 ヶ月は、4 地点分の水位予測 AI 開発期間のため、利用データの対象としなかった。

新規設置 4 地点の学習データ欠測割合を表 5-7 に示す。2020 年 6 月 13 日から 2020 年 9 月 10 日までの各地点 12,960 回が計測対象であった。最も欠損値が多い三輪向原桐側橋では、欠測割合が 3.71%と小さく、問題はなかった。

表 5-7: 新規設置水位計 4 地点 学習対象期間の欠測割合

水位計設置地点名	欠損数	総数	割合[%]
5030 号橋	35	12,960	0.27
三輪向原桐川橋	481	12,960	3.71
若王子大橋橋	8	12,960	0.06
水上八反田橋	5	12,960	0.04

次に、新規設置 4 地点の予測データ欠測割合を表 5-8 に示す。2020 年 10 月 13 日から 2020 年 11 月 30 日までの期間内に各地点 7,056 回が計測対象回数であった。5030 号橋地点が最も欠損割合が大きく、2.83%であった。こちらも欠損割合が大きく見られず問題とならない割合であった。

表 5-8:新規設置水位計 4 地点 予測対象期間の欠測割合

水位計設置地点名	欠損数	総数	割合 [%]
5030 号橋	200	7,056	2.83
三輪向原桐川橋	15	7,056	0.21
若王子大橋橋	12	7,056	0.17
水上八反田橋	1	7,056	0.01

5.3. 水位予測結果

5.3.1. 実証実験での予測結果

本項では実証期間内にリアルタイムで提供した水位予測結果について記述する。水位予測提供期間が既存設置水位計と新規設置水位計で異なるため、水位予測対象期間も異なる。まず、既存設置水位計地点での水位予測結果について述べる。

(1) 既存設置水位計 8 地点

既存設置水位計 8 地点は 2020 年 7 月 12 日から 2020 年 11 月 30 日までを水位予測提供期間とした。実証実験期間内の水位予測は、気象庁からの実績雨量・予報雨量と水位計からの計測水位の 3 種類のデータを入力として、各水位計測時に 1, 2, 3 時間後の水位を予測した。グラフ化した結果を次に示す。

2019 号橋地点の実水位と 3 時間前の予測水位を図 5-3 に示す。横軸に日時、縦軸に水位（単位：cm）を示す。青線が実測水位、橙線が対象時刻を 3 時間前に予測した水位を表す。実測水位と予測水位の詳細を確認するため、期間内で雨量が比較的多かった 2020 年 7 月 28 日周辺と 2020 年 9 月 3 日周辺の結果を整理する。

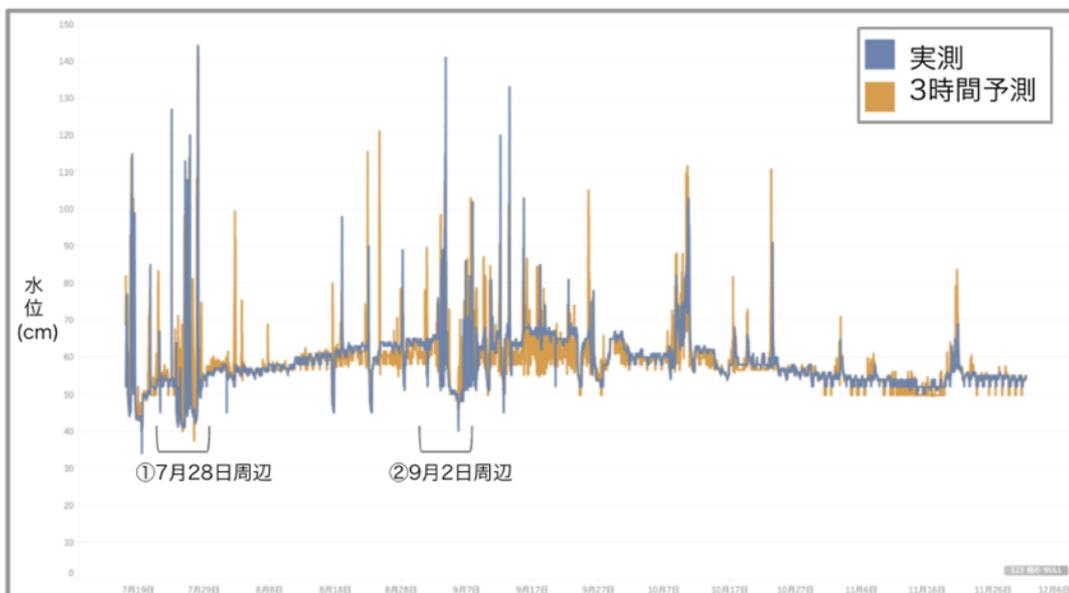


図 5-3:2019 号橋地点の予測結果

図 5-4 左図に 2019 号橋地点の 2020 年 7 月 25 日から 2020 年 7 月 28 日までの実測水位と 3 時間の予測水位を示す。3 時間後の予測では、水位のピークを遅れて予測している結果を確認できた。2020 年 7 月

28日1時10分に実測水位は144cmとピークを迎えているが、予測水位では水位のピークを2時間40分後の3時40分に迎えていた。

また、3時間後の水位予測と比べ1時間後の水位予測の方が予測しやすいことが分かった。図5-4右図に2019号橋の1時間後の水位予測結果を示す。青線が実測水位、赤線が対象時間を1時間前に算出した1時間の予測水位を表す。グラフ全体として、3時間後の水位予測結果より1時間後の水位予測結果が実測水位に近く、誤差が小さいことが分かる。

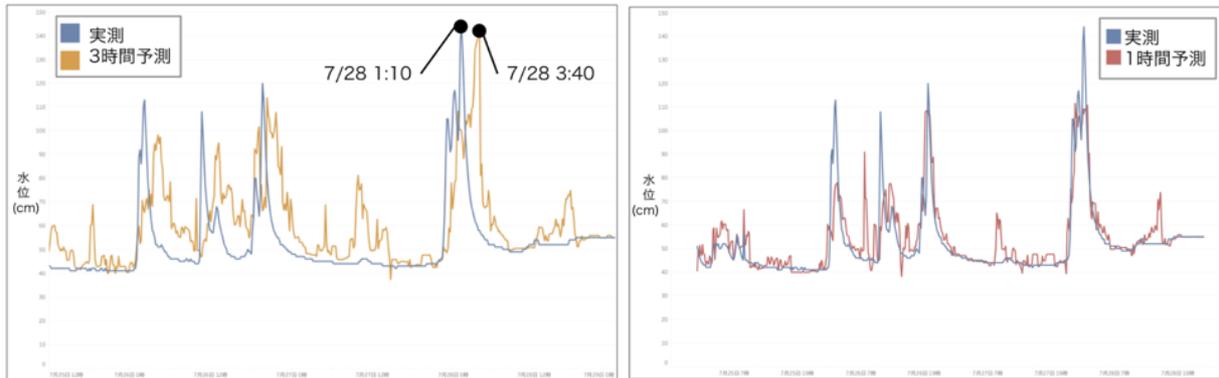


図5-4:2020年7月28日周辺の2019号橋地点 予測結果

次に、水位予測に対する雨量予測精度を確認する。図5-5に、2020年7月28日周辺の実績雨量と3時間予報雨量を示す。横軸は時間を指し、予報雨量はこの対象時間の雨量を予測している。考察を行うため10分毎雨量を1時間毎の平均に集約した。2020年7月27日11時では、予報雨量が9.83mm/hであるのに対し、実績雨量は0.40mm/hであったが、それに比例して予測水位も高く算出してしまった。一方、2020年7月28日1時では、予報雨量が13.33mm/hであるのに対し、実績雨量は23.17mm/hであった。このため、予測水位も低く算出してしまったと考えられる。この結果、水位予測精度は雨量予報精度に依存していることが示唆された。

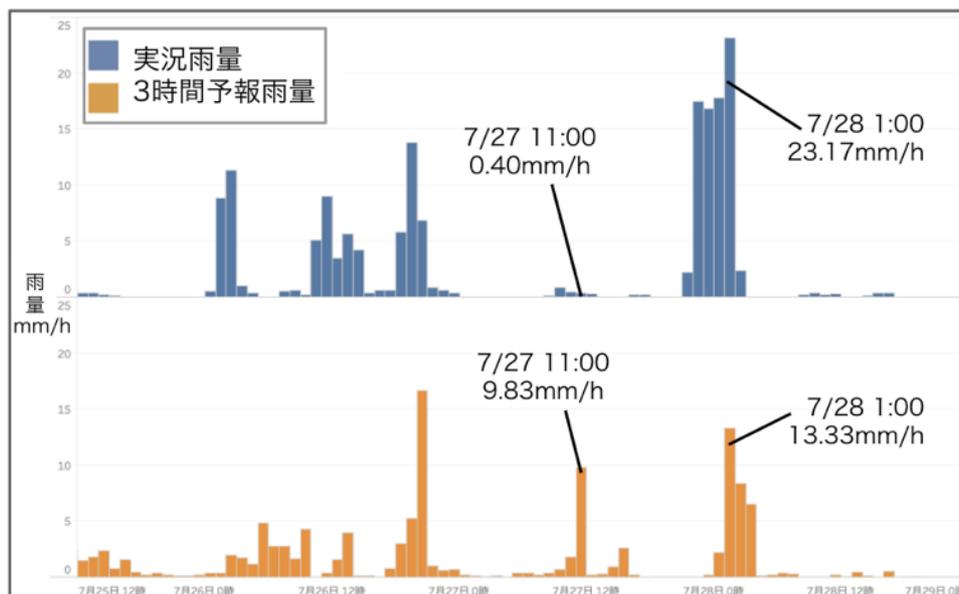


図5-5:2020年7月28日周辺の2019号橋地点 雨量予報精度

次に2019号橋地点の2020年9月2日周辺の水位予測結果を確認する。図5-6左図には2019号橋地点の2020年9月2日から2020年9月4日までの実測水位と3時間の予測水位を示す。青線が実測水位、橙線が3時間後の予測水位を表す。また図5-6右図に、実測水位（青線）と1時間後の予測水位（赤線）を示す。2020年9月3日16時40分に水位のピークを迎えているが、実測水位に比べ1時間後の予測、3時間後の予測ともに低い値で予測を行っていた。

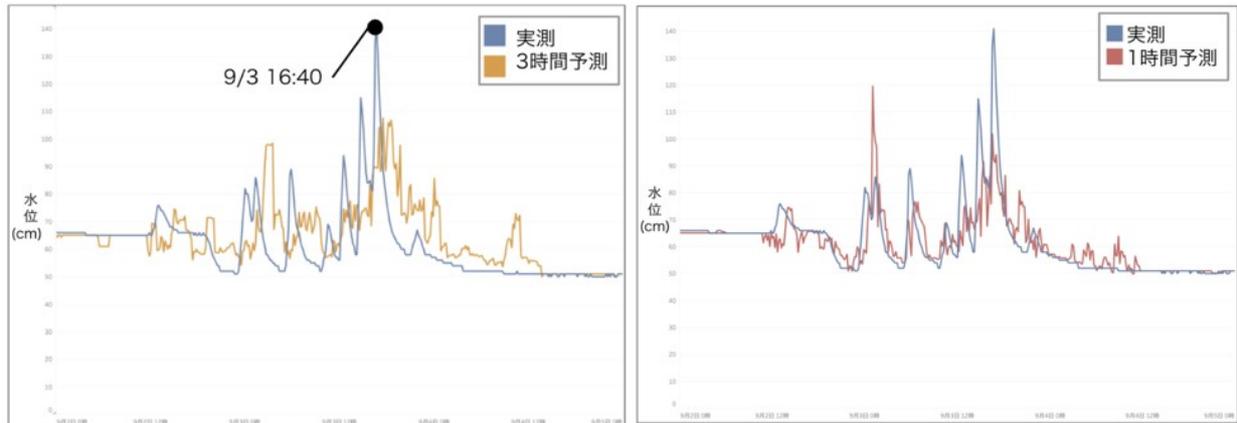


図5-6:2020年9月2日周辺の2019号橋地点 予測結果

図5-7に、2020年9月2日から2020年9月4日までの実績雨量（青）と3時間後の雨量予報（橙）を示す。2020年9月3日16時に実績雨量が18.50mm/hと最大値を記録しているが、予報雨量は0.13mm/hと大きく異なる値を出している。この雨量誤差が予測精度に影響しているものと考えられる。

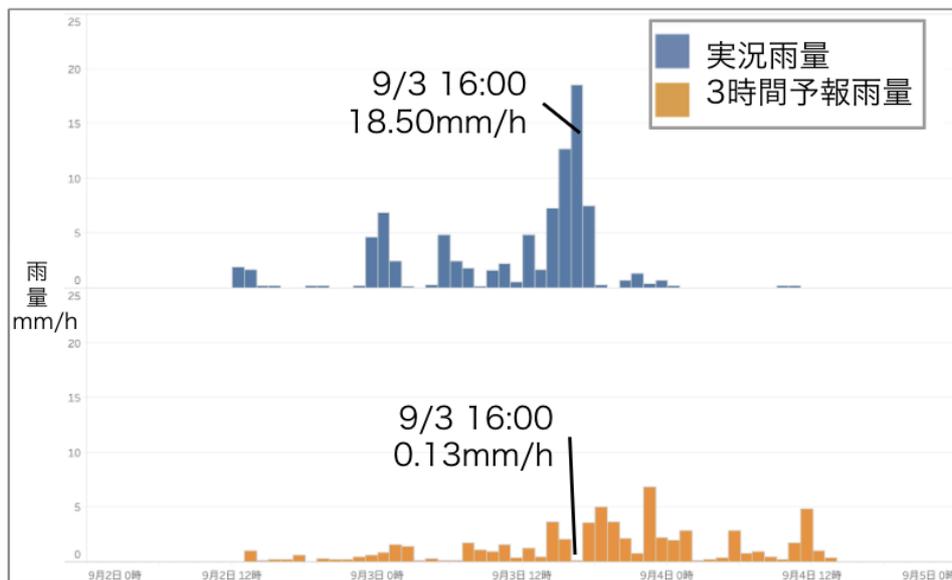


図5-7:2020年9月2日周辺の2019号橋地点 予測結果

他地点でも同様に雨量予報精度が予測結果に影響を与える事例が見られたため、今後、雨量予報の精度まで考慮した水位予測を実施する必要がある。具体的検討策は5.3.2項にて後述する。またその他の既存水位計設置7地点における雨量予報を用いた予測結果は、付録1に記載する。

(2) 新規設置水位計 4 地点

新規設置水位計 4 地点は 2020 年 10 月 15 日から 2020 年 11 月 30 日までを水位予測提供期間とした。学習期間は、実証実験期間内の 2020 年 6 月 13 日から 9 月 10 日までの約 3 ヶ月とし、既存設置水位計 8 地点と比較して学習期間が短い。図 5-8 に三輪向原桐川橋の水位予測結果を示す。青線が実測水位、橙線が 3 時間後の予測水位を指す。水位予測対象期間に 10mm/h 以上の降雨が発生せず、水位が高くなることはなかったが、比較的水位が上昇した 2020 年 10 月 23 日周辺の予測結果に対象を当てて結果を確認する。

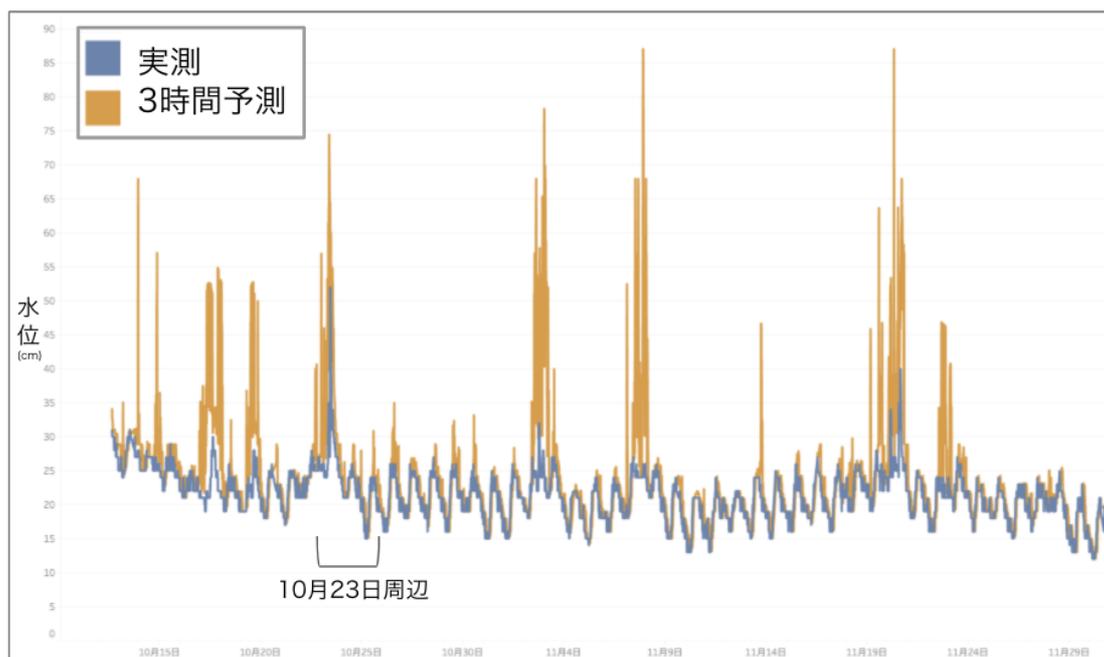


図 5-8: 三輪向原桐川橋地点の予測結果

図 5-9 左図に三輪向原桐川橋地点の 3 時間後の水位予測結果、右図に 1 時間後の水位予測結果を示す。青線が実測水位、橙線が 3 時間後の予測水位、赤線が 1 時間後の予測水位を示す。平常水位と大きく変わらず、水位上昇時の検証として不十分であるが、短期間の学習データでも多少の水位上昇であれば予測できることが分かった。他 3 地点の予測結果も付録 2 にて記載する。

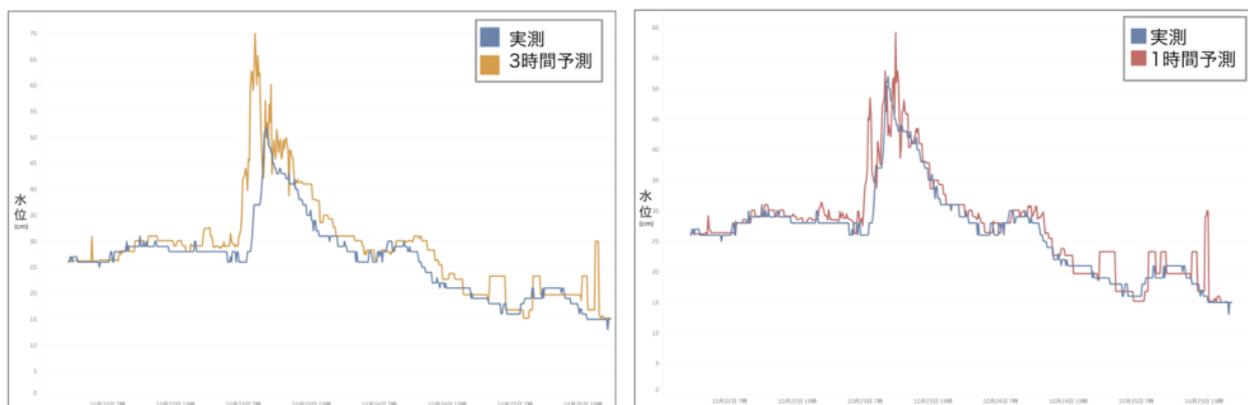


図 5-9: 2020 年 10 月 23 日周辺の三輪向原桐川橋地点 予測結果

5.3.2. 精度分析結果

本項では実証実験で用いた予測結果について評価を行う。この結果は雨量予報を用いて予測値を算出している。本実証実験内に採用した水位予測手法は4.2.6項で記述した手法1であるが、異なるアプローチで予測を行う手法2も同期間、同入力データを用いて予測した。その評価結果を次節で述べる。雨量予報を利用しており、5.3.1項で記述した通り水位予測精度が雨量予報に依存してしまう問題があるため、手法としての比較は次項で行う。

(1) RMSE による評価

本項では、4.3.1項にて述べたRMSEを用いた評価結果を整理する。表5-9に、まとめた結果を示す。前述の通り、RMSEは予測誤差を計測する評価指標であり、0に近づくほど予測値が実測値に近いことを示している。単位はmで算出している。全期間と10mm/h以上の降雨時に絞った期間でRMSEを算出した。しかし、新規設置4地点では10mm/hを超える雨量が計測されなかったため、10mm/h以上の降雨時のRMSEを算出対象外としている。

各手法の平均値(表5-9下部)より、1時間後の予測結果より3時間後の予測結果の数値が高く、予測が難しいことがわかる。また、全期間を対象とした時よりも10mm/h以上の降雨時のRMSEが高く、予測の難易度が高いことが分かる。

全期間を対象とした各手法の平均値に注目すると、0.10を下回っている。特に、水位計新規設置4地点に関してはRMSE値が低い。これは、これら地点の予測対象期間に10mm/h以上の降雨量を記録しなかったため、大きな予想誤差が生じなかったと考えられる。

10mm/h以上の降雨時を対象としたRMSEでは、特に新飯塚橋のRMSEが際立って大きく値が算出された。これら結果を踏まえて新飯塚橋を中心に予測手法を改善していく必要がある。

表5-9: 実証実験予測評価 予報雨量を用いた全期間と10mm/h以上の降雨時のRMSE

		全期間				10mm/h以上の降雨			
		3h予測RMSE		1h予測RMSE		3h予測RMSE		1h予測RMSE	
河川名	地点名	手法1	手法2	手法1	手法2	手法1	手法2	手法1	手法2
小石川	2019号橋	0.06	0.07	0.04	0.04	0.3	0.33	0.23	0.26
黒石川	黒石橋	0.09	0.10	0.05	0.06	0.35	0.45	0.25	0.34
藤岡川	女池ヶ谷橋	0.05	0.04	0.03	0.03	0.22	0.23	0.17	0.23
東光寺谷川	若宮橋	0.08	0.06	0.08	0.03	0.26	0.19	0.24	0.19
法の川	新飯塚橋	0.11	0.12	0.09	0.06	0.6	0.52	0.34	0.45
葉梨川	井尻橋	0.21	0.12	0.15	0.07	0.33	0.27	0.27	0.19
枋山川	土瑞橋	0.15	0.15	0.09	0.08	0.27	0.22	0.19	0.18
朝比奈川	殿橋	0.14	0.13	0.09	0.07	0.23	0.2	0.26	0.16
桐川	桐川橋	0.07	0.03	0.05	0.02	-	-	-	-
大溝川	大橋橋	0.04	0.03	0.02	0.02	-	-	-	-
八幡川	5030号橋	0.04	0.02	0.02	0.01	-	-	-	-
内瀬戸谷川	八羽田橋	0.04	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-
平均値		0.09	0.07	0.06	0.04	0.32	0.30	0.24	0.25

(2) 基準水位超過時の事前予測

本項では、4.3.1 項にて述べた基準水位到達の事前予測回数を用いて評価を行う。予測対象地点では避難判断水位が未設定のため、ヒアリングに基づき越水ラインの 80%を基準水位として評価を行った。表 5-10 に予測結果をまとめる。予測対象 12 地点の内、2019 号橋、黒石橋の 2 地点でしか基準水位に達しなかったため、残り 10 地点では評価を行うことができなかった。

2 地点計 3 回の基準水位超過の内、手法 1、手法 2 共に基準水位超過を事前予測できた回数は 0 回であった。その理由として、集中豪雨による水位の急上昇を予測することができなかったためと考えられる。2019 号橋・黒石橋の基準水位超過時の降雨時間は、いずれも 5 時間未満であった。学習に利用した 2019 年データは、台風上陸時に 12 時間以上の降雨と、基準水位を超える水位上昇が見られた。短期間の集中豪雨時の水位予測精度にも焦点を当てて分析・学習する必要がある。本予測は河川課職員の対応判断を補助することを目的とするので、基準水位超過の予測精度の向上は今後も引き続き取り組むべき課題である。

表 5-10: 実証実験 基準水位超過の予測評価

		基準水位超過 事前予測回数				
		基準水位 (cm)	3h 予測		1h 予測	
河川名	地点名		手法 1	手法 2	手法 1	手法 2
小石川	2019 号橋	137.6	0 回/2 回	0 回/2 回	0 回/2 回	0 回/2 回
黒石川	黒石橋	136.8	0 回/1 回	0 回/1 回	0 回/1 回	0 回/1 回
藤岡川	女池ヶ谷橋	184	-	-	-	-
東光寺谷川	若宮橋	303.2	-	-	-	-
法の川	新飯塚橋	249.6	-	-	-	-
葉梨川	井尻橋	388	-	-	-	-
枋山川	土瑞橋	259.2	-	-	-	-
朝比奈川	殿橋	484	-	-	-	-
桐川	桐川橋	189.6	-	-	-	-
大溝川	大橋橋	213.6	-	-	-	-
八幡川	5030 号橋	65.6	-	-	-	-
内瀬戸谷川	八羽田橋	220.8	-	-	-	-

5.3.3. 予測手法評価

(1) RMSE による評価

本項では独自に開発した手法1と手法2の比較評価を実績雨量にて導いた予測結果で2つのモデルの精度を比較する。予報雨量を用いた場合、雨量予測精度の誤差が要因となり水位予測の精度に影響するため2つの手法の精度の比較が正確にできないためである。

表5-11に実績雨量を用いた予測結果のRMSEを示す。こちらも5.2.2項の評価と同じく全期間と10mm/h以上の降雨時に絞った降雨期間の2つを対象として、各手法のRMSEを算出した。全地点のRMSEの平均において、手法2の結果が上回った。

表 5-11:実績雨量を用いた水位予測 RMSE 評価結果

		全期間				10mm/h以上の降雨			
		3h予測RMSE		1h予測RMSE		3h予測RMSE		1h予測RMSE	
河川名	地点名	手法1	手法2	手法1	手法2	手法1	手法2	手法1	手法2
小石川	2019号橋	0.04	0.06	0.03	0.04	0.26	0.28	0.24	0.23
黒石川	黒石橋	0.07	0.08	0.04	0.05	0.34	0.35	0.31	0.28
藤岡川	女池ヶ谷橋	0.04	0.03	0.03	0.03	0.17	0.17	0.19	0.18
東光寺谷川	若宮橋	0.07	0.05	0.07	0.03	0.32	0.21	0.28	0.19
法の川	新飯塚橋	1.55	0.08	1.55	0.05	0.63	0.34	0.63	0.32
葉梨川	井尻橋	1.07	0.11	1.07	0.06	0.82	0.23	0.82	0.18
枋山川	土瑞橋	0.10	0.15	0.07	0.08	0.44	0.29	0.26	0.21
朝比奈川	殿橋	0.79	0.13	0.79	0.07	0.65	0.17	0.65	0.15
桐川	桐川橋	0.06	0.02	0.04	0.02	-	-	-	-
大溝川	大橋橋	0.02	0.02	0.02	0.01	-	-	-	-
八幡川	5030号橋	0.02	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-
内瀬戸谷川	八羽田橋	0.03	0.03	0.03	0.01	-	-	-	-
平均値		0.32	0.06	0.31	0.04	0.45	0.26	0.42	0.22

図5-10に2020年7月28日前後の2019号橋地点3時間予測結果を示す。左図は手法1の予測結果、右図は手法2の予測結果を示す。手法1では予測水位のピークが実測より大きくずれており、実測水位ピーク時に予測水位を低く見積もってしまっている。手法2でも同様に予測水位のピークはずれているものの、実測水位ピーク時の予測水位も高い値を算出している。また両モデルで、水位降下時の予測精度が低いため、水位降下の予測は今後の課題となる。その他11地点の実績雨量を用いた予測結果は付録3に記す。

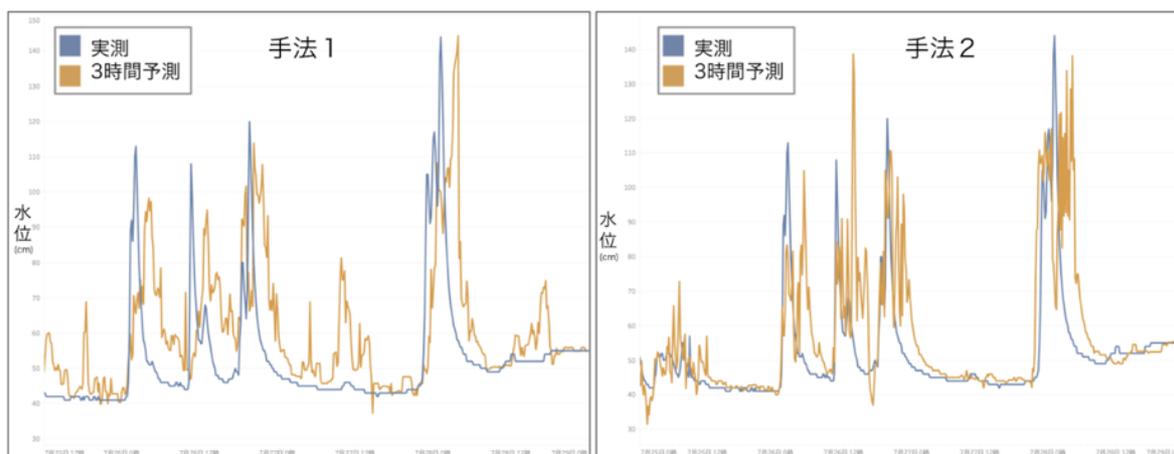


図 5-10:実績雨量を用いた水位予測結果

(2) 基準水位超過時の事前予測

次に基準水位超過時の事前予測の評価結果を述べる。表 5-12 に実績雨量を用いた水位予測の基準水位超過予測評価結果を示す。5.3.2 項で前述の通り実証実験の予測期間では、2 地点計 3 回しか基準水位に達しなかった。雨量予報を用いた評価と異なる結果を青字で示す。

雨量予報を用いた水位予測では両手法で事前予測はできなかったが、実績雨量を用いたところ手法 2 では黒石橋における 1 時間後の予測で事前に超過を検知することに成功した。手法 1 と比較して手法 2 の方が基準水位超過時の予測結果は良い結果となった。しかしながら、今回の検証可能地点が 12 地点中の 2 地点と不十分であるため、今後継続して検証が必要である。

表 5-12:実績雨量を用いた水位予測 基準水位超過時の事前予測

		基準水位超過 事前予測回数				
		3h 予測		1h 予測		
河川名	地点名	基準水位 (cm)	手法 1	手法 2	手法 1	手法 2
小石川	2019 号橋	137.6	0 回/2 回	0 回/2 回	0 回/2 回	0 回/2 回
黒石川	黒石橋	136.8	0 回/1 回	0 回/1 回	0 回/1 回	1 回/1 回
藤岡川	女池ヶ谷橋	184	-	-	-	-
東光寺谷川	若宮橋	303.2	-	-	-	-
法の川	新飯塚橋	249.6	-	-	-	-
葉梨川	井尻橋	388	-	-	-	-
枳山川	土瑞橋	259.2	-	-	-	-
朝比奈川	殿橋	484	-	-	-	-
桐川	桐川橋	189.6	-	-	-	-
大溝川	大橋橋	213.6	-	-	-	-
八幡川	5030 号橋	65.6	-	-	-	-
内瀬戸谷川	八羽田橋	220.8	-	-	-	-

5.3.4. 考察

本実証実験で得られた予測結果から、水位予測精度の向上を図るために必要なデータの条件、予測手法の改善方向性、雨量予報誤差の扱いについて考察する。

(1) 必要なデータの条件

本実証実験では、予測システムに学習させる期間として約1年9ヶ月（既存水位計設置8地点）と約3ヶ月（新規水位計設置4地点）の2種類を検証した。予測対象期間は、既存8地点が約4ヶ月（2020/7/13～2020/11/31）、新規4地点が約1.5ヶ月（2020/10/15～2020/11/30）であった。各地点名と期間は5.2.2項の表5-5に示す。

既存水位計設置8地点では10mm/h以上の降雨時、3時間予測のRMSEが開発手法1では平均0.32、開発手法2では平均0.27となった。これら8地点の学習データ期間には平均約3回のやや強い雨が続く期間を記録している。このことから、同等の精度を出すには少なくとも平均約3回の強い雨が続く期間が必要と考える。水位計新規設置4地点では、およそ1.5ヶ月間の予測対象期間に10mm/h以上の降雨が生じなかった。

(2) 予測手法の改善方向性

予測モデルの考察は、手法1と手法2に分けて考察する。手法1では、水位予測のピークが全体的に遅れる事例が多く見られた。学習データが不足時、現在水位を予測水位としてそのまま出力してしまうためである。そのため、学習データが短期間の場合でも高精度予測ができるよう算出方法を改良する必要がある。

手法2は、手法1と比較して全体的に良い精度結果となった。雨量による水位増減に焦点をあてアルゴリズム検討をしたため、藤枝市内の中小河川のように雨による水位増減が大きい地域では高精度に予測ができた。一般に中小河川は雨による急激な水位上昇が起きる特徴があるため、この手法は他地域でも有用と考えられる。

また両モデルで、水位降下時の予測精度に課題があることがグラフから分かった。水位降下時の変動を事前に捉えることができるように予測手法を改善する必要がある。

(3) 雨量予報精度

5.3.1項で示したとおり、予報雨量の誤差が水位予測の精度に影響することが確認できた。今後、雨量予報の誤差を水位予測の精度に影響を与えないようにするための手法や表現方法を継続して検討していく。手法については、雨量予報ではなく実績雨量をインプットデータとして、雨量予報に依存しない水位予測手法を検討する予定である。また、表現方法としては、過去の雨量予報統計から想定誤差を算出し、雨量予報の想定最大値から算出される予測水位の最大値と、雨量予報の想定最小値から算出される予測水位の最小値を信頼区間として表示する方法を検討する予定である。

5.4. UI 評価

5.4.1. UI 評価結果

本項では業務観察および、4.3.2 項の質問項目の回答から得られたユーザー（藤枝市河川課職員）からの評価結果について述べる。

（1）一覧画面の効果

従来は水位計の値を一覧で視認する機能ができなかったため、過去の経験から越水しやすい河川をマップ画面から選択して、個別に水位の確認を行っていた。その場合に、過去越水しなかった場所で氾濫が起きた場合に、見落とす危険性があった。

本実証実験では、4.2.7 項で示した一覧表示画面を提供し、水位情報が一覧で確認できるようになったこと。また、予測表示によって、将来の危険性を事前に検知することができるようになったため、危険度の高い河川を見落とす危険性が減ったという評価を得た。

（2）閲覧数

本実証実験では、4.2.7 項で示した、一覧画面、マップ画面、水位計ごとの現在水位画面、過去水位画面、過去雨量画面と 5 種類の画面を提供している。実証実験開始前に一覧画面が最も閲覧頻度が高い画面であると仮説を立てた。インタビューおよび業務観察の結果、最も多いのは一覧画面であり、仮説通りであるという結果が得た。

（3）自動ログアウト時間

本実証実験で、提供した UI は、120 分間無操作時間が続くと、自動的にログアウトされる仕様である。セキュリティ面から、一定時間無操作であると、自動的にログアウトする仕様は他のウェブサービスでも一般的である。しかしながら、自動ログアウト機能がユーザの業務効率を落としており、危険度の高い河川を見落とす危険性につながる恐れがあることが分かった。ログアウト時間の調整は 5.4.2 項で考察する。

（4）データ更新頻度

本実証実験では、水位の計測時点から水位予測システムに表示するまで、10 分程度のタイムラグが発生している。その要因については 6.2.1 項に記述する。

本タイムラグについて、平常時は気にならないが、豪雨時は心配になってしまうという評価であった。その結果、豪雨時の現在水位の確認に、本実証実験のシステムではなく、イートラストのシステムを確認しにいく行為を行い、閲覧先画面が増え、業務効率が低下している。また、タイムラグについては 5 分以下であることが望ましいという評価だった。

（5）一覧画面の UI デザイン

本実証実験で提供した画面のうち、ユーザから UI デザインの修正要望があったのが一覧画面であった。一覧画面のグラフ線が太く、水位が読み取りにくいいため、グラフ線を細くしが好ましいという評価

があった。また、一覧画面内の水位グラフの視認性を高める観点から、現在水位から越水までどのくらい余裕があるのかを表示してほしいという要望があった。UIデザインの改善案について、5.4.2項で考察する。

(6) 表示先

本実証実験では、一般的な20インチ程度の1920×1080の解像度のPCモニターで表示することを念頭にデザインを行った。現状スマートフォンからでもアクセス可能であるが、最適化された表示はできないが、調査など外出時に確認することや、河川課以外の職員にも共有することを見据えて、将来的にはスマートフォンからでもアクセスできるようにしたいとの要望があった。

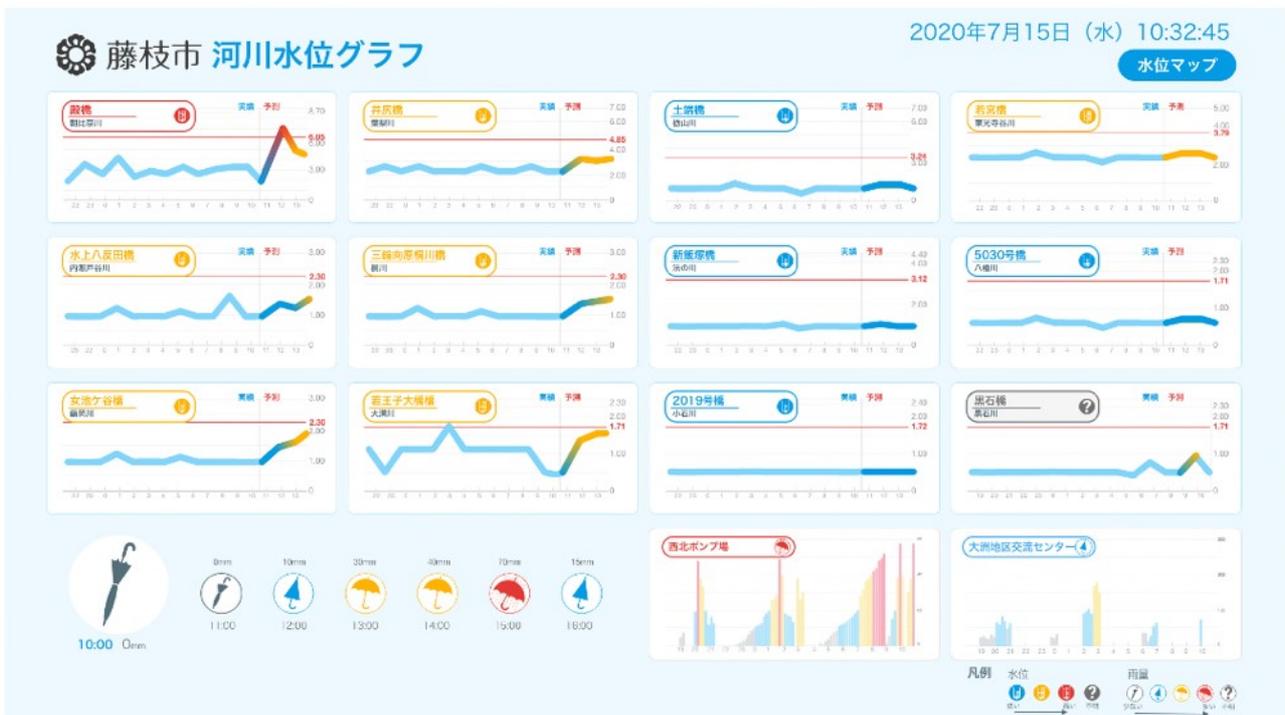
また、50インチ程度の大型のモニターで表示し、多くの職員が同じ画面を共有しながら閲覧できるような環境を準備したいという意向があった。一般的なPC用モニターから、大型のモニターの表示に対応できる手法を5.4.2項で考察する。

5.4.2. UI 評価考察

本項では、5.4.1項で記述した結果および実証実験期間中の運用課題から、UIデザインの改善案および必要な追加機能について考察した結果を述べる。

(1) UI デザイン案

本実証実験のユーザインタビュー結果を反映したUIデザインを図5-11に示す。尚、図の上部は既存のUIデザイン、下部は変更後のUIデザインである。河川課職員の評価結果を反映して、グラフ線の最適化および、越水までの距離表示できるように改良を行った。



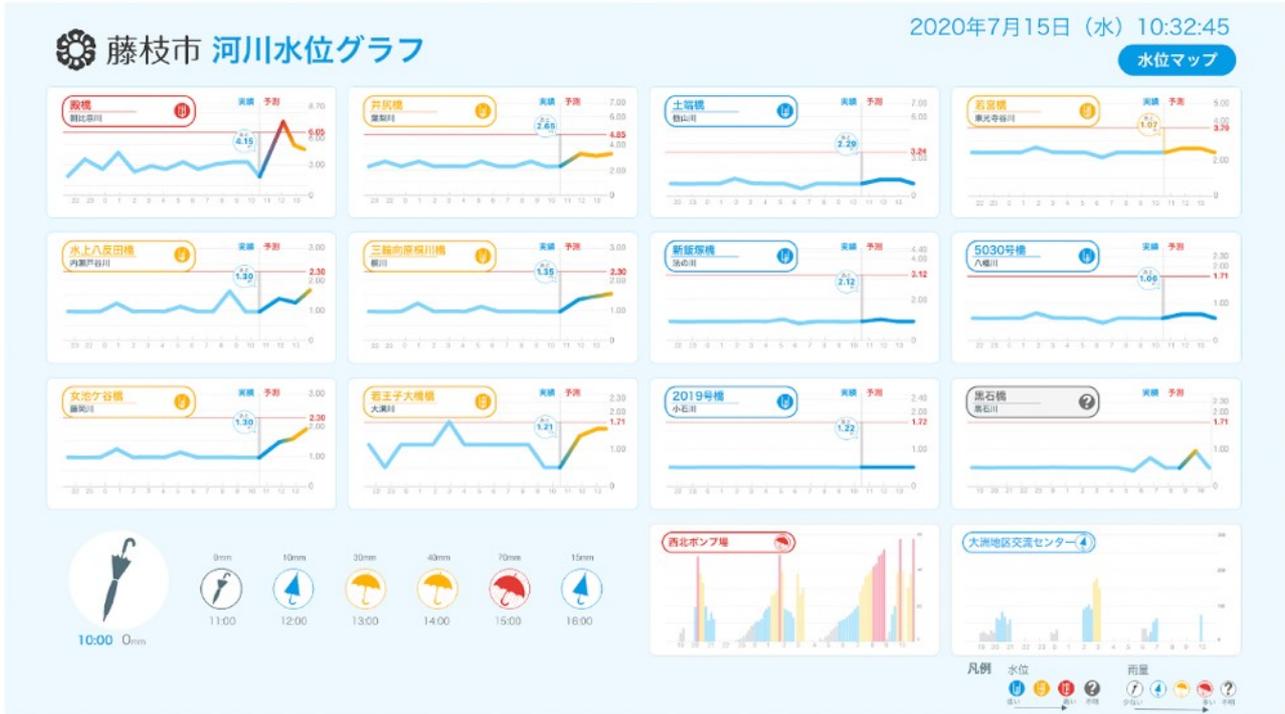


図 5-11: UI デザイン案(上部:当初デザイン、下部:改良後デザイン)

また、本証実験では 4.2.7 項で示した通り、5 種類の画面を提供している。その中でも最も閲覧数が多い画面をログイン後に最初に表示するページとして配置するべきである。5.3.1 項で示した通り、一覧表示画面が最も閲覧数が多い結果になったため、ログイン後に表示する最初の画面は、一覧表示画面が最も相応しく、その他の各ページには一覧表示画面を起点にしてアクセス可能とするようなデザインが相応しいという結論を得ることができた。

(2) 追加機能

4.2.7 項で示した機能に加えて、本実証実験によって確認できた必要機能を表 5-13 に示す。

表 5-13: 追加機能

画面	追加機能	詳細
一覧グラフ画面	越水までの距離表示機能	各グラフにおいて、越水までの距離を表示する
	自動レイアウト機能	画面サイズによってグラフレイアウトを最適化
センサ管理画面	稼働設定機能	水位計の稼働状況を設定
	危険水位設定機能	対象水位計の設定
	アラート開始水位設定機能	アラート発報の開始水位を設定する
ユーザ管理画面	ログアウト時間設定機能	自動ログアウト時間の設定

・越水までの距離表示機能

ユーザから要望があった機能である。詳細グラフ画面であれば、縦軸の確認が容易であるため、越水までの程度余裕があるのかは視認しやすいが、一覧画面では、縦軸が小さく表示されるため視認がし

にくい。現状の UI では、詳細な距離を確認するにはグラフにカーソルを当てる必要があるが、操作を極力減らしたいというユーザからの要望に答えられていない。そのため、越水までの距離をグラフに表示する機能が必要であると考える。

・レイアウト選択機能

配備体制によって、動員される人員数は大きく変わってくる。5.4.1 項からも、テレビなどの大きなディスプレイにて表示させたい場合や、手元の PC で表示させたい場合など、状況や場所によって、表示先のディスプレイサイズを変えたいという要望があった。現状の UI は、一般的な PC のモニタサイズに適したレイアウトになっているが、様々なディスプレイに対応するため、4×4 レイアウトを自動最適する機能が必要であると考える。

・稼働設定機能

水位計は設備不具合や移設工事によって、正常にデータが送られない状態になることがある。今回の実証実験期間中も、河川の水流が変わり、移設作業を行った水位計が 1 台ある。このような水位計は、監視対象から外すために、表示から削除するもしくは、休止状態がわかる状態にする必要がある。本実証実験では、ユーザ側の権限でこの設定ができず、水位予測システム提供者への伝達、確認して表示対象から外すという作業が必要になり、多少の時間が必要になり、連絡する手間も必要である。図 5-12 に示すようなセンサ管理画面中で、稼働状態を設定する機能が必要であると考える。

編集

河川名	設置場所	稼働状況	警戒Lv. 1	Lv. 2	Lv. 3	Lv. 4	アラート開始Lv
XX川	XX橋	<input checked="" type="checkbox"/>	5. 1m	6. 2m	8. 4m	10. 0m	Lv. 2
YY川	YY橋	<input type="checkbox"/>	3. 0m	4. 2m	5. 6m	7. 0m	Lv. 1 Lv. 2 Lv. 3
ZZ川	ZZ橋	<input checked="" type="checkbox"/>	2. 4m	4. 4m	6. 5m	8. 5m	Lv. 3

更新反映

図 5-12: センサ管理画面のイメージ

・危険水位設定機能

水位周知河川ではない河川に設置した水位計は、避難指示水準に合わせた公式の警戒水位の設定がない。実証実験にて使用したシステムでは、アラート発報や表示色の変更のため、危険水位を設定できる機能があるが、一定の閾値に固定している(4.2.7 項を参照)。時間の経過や時期によって、一定の閾値ではなく、可変することがニーズとして期待されるため、図 5-12 に示すようなセンサ管理画面中で、危険水位を設定する機能が必要であると考える。

・アラート開始水位設定機能

既存システムでは、各危険水位設定基準を超過した場合、無条件にメールによるアラート発報を行う。前述の危険水位設定によって、ユーザが低い水位を危険水位に設定した場合にアラートが頻発する可能性がある。それを回避するため、図 5-12 に示すようなセンサ管理画面中で、アラートをどのレベルから開始するかを設定できる機能が必要であると考える。

・ログアウト時間設定機能

ユーザインタビューにて、ログアウト時間を変更したいという要望があった。体制配備時にディスプレイにて、一覧グラフ画面を常時表示し、常に目に見える状態にしたいと、定期的なログアウトが発生すると、利便性が落ちるという理由からである。現状のシステムは 120 分無操作状態が続くと、自動的にログアウトされる仕様となる。ログアウト時間は、状況や自治体毎に様々なポリシーが想定されるため、図 5-13 に示すようなアカウント管理画面中で、ログアウト時間を設定できる機能が必要であると考える。

削除	メールアドレス	Admin権限	ログアウト時間設定
<input type="checkbox"/>	xxx@xxx. go. jp	<input checked="" type="checkbox"/>	4時間
<input type="checkbox"/>	yyy@yyy. go. jp	<input checked="" type="checkbox"/>	3時間
<input checked="" type="checkbox"/>	zzz@zzz. go. jp	<input type="checkbox"/>	4時間
			5時間
			1時間

1~12時間内：1時間毎
 12時間以降：24時間毎選択

ユーザ追加
更新反映

図 5-13: アカウント管理画面のイメージ

5.5. 導入効果に対する評価

5.5.1. 導入効果に対する評価結果

本項では、河川水位予測がもたらす河川課職員の業務効果として、システムを利用した河川課職員とのインタビューを通して確認できた結果を述べる。

本実証実験において、仮説としていた防災行動への効果を利用者に確認した結果を表 5-14 に示す。水位及び冠水状況監視に要する人員の削減は、水位予測があることによって必要な監視人員そのものを削減する効果や期待感は確認できなかった。しかしながら、水位予測があることで配備体制の最適化が図れ、全体的な人員削減への効果が確認できた。その要因や水位予測の有無による行動変容の違いについては、5.5.2-1にて詳述する。排水作業および通行規制の早期着手/実施、確度の高い避難情報の発令については、実証実験期間中には発生しなかったため、次年度以降に台風等の自然災害が発生した場合の効果は期待できるという回答であった。排水作業/通行規制への効果については、現地調査漏れを防ぐこと、越水の予測によって事前指示ができることによって効果が期待できる。その要因や水位予測の

有無による行動変容の違いについては、5.5.2-2 および 5.5.2-3 にて詳述する。確度の高い避難情報の発令は、水位予測によって不要な避難情報の発出を防ぐことによって確度の高い避難情報の発令が期待できる。その要因や水位予測の有無による行動変容の違いについては、5.5.2-4 にて詳述する。

表 5-14: UX 評価

評価対象	評価	理由
水位および冠水状況監視に要する工数の削減	一部効果あり	監視人員自体の数には直接的な効果や期待感の確認できなかった。配備体制の最適化が測れるため、防災体制全体の工数削減をはかることが可能である。
排水作業の早期着手	効果が期待される	危険度が高い河川を把握することで現地調査の漏れを防ぐことが可能。越水の予測により、越水時に必要となる排水および交通誘導等の事前対応が期待できる。
通行規制の早期実施	効果が期待される	
確度の高い避難情報の発令	効果が期待される	不要な避難情報の発出を防ぐことが期待される。

5.5.2. 導入効果に対する評価考察

本項では、河川水位予測がもたらす UX への効果として、5.5.1 項で確認したインタビュー結果についてなぜ課題解決ができたのか考察を述べる。

(1) 体制判断における効果考察

・背景

藤枝市では、時間雨量、積算雨量、台風の強風域/暴風域情報、土砂災害警戒情報に応じて、水防体制指標に基づき 5 段階の配備体制を取っている。ウェザーニューズは自治体の最適配備体制をサポートするため、雨量や土砂災害の基準に応じて最適配備体制（WNI レベル）を通知するサービスを、契約自治体に実施している。藤枝市は配備体制を確認後、職員が指標に基づく行動を取っている。表 5-15 に、各段階における、雨量、暴風・強風、土砂災害の基準と動員人数を表す。

表 5-15: 配備体制目安

WNI Lv	Lv 名	人数	雨量基準 (平野のみ記述、①②はOR条件)	暴風・強風基準	土砂災害基準	備考
5	大規模出動レベル	水防本部+70名程度（一次配置） 水防本部+70名程度（二次配置）	50mm/hかつ積算150mm			WN5で第一次配備の全員が参集されるわけではなく、状況によって一次配備の一部機能（現場統括班や情報収拾班など）だけ取捨される。避難指示や避難所開設が必要な場合は船員参集される。
4	中規模出動レベル	水防当番9~10名+河川課職員	①50mm/h ②3時間積算100mm	台風の暴風域に入る (風速25m/s以上)	WN指標「警戒」	農林課も招集される場合もある
3	出動レベル	水防当番9~10名	①40mm/h ②積算150mmかつ5mm/h		WN指標「注意」	自主避難者がいる場合や、警戒発令した場合は、危機管理部の一部が招集される
2	警戒レベル	水防当番2~4名	①30mm/h ②積算80mmかつ5mm/h	台風の強風域に入る (風速15m/s以上)		
1	注意レベル	配備待機	①20mm/h ②積算60mmかつ5mm/h			

・発生している問題

体制判断には2種類の問題が発生している。

問題1：結果的に過剰な体制判断となり、通常業務への影響と過剰な人件費が発生している。

問題2：結果的に不適切な体制判断を行った場合において、災害初期対応がとれず、対処が遅れが生じている。

例として、問題1では、今後河川水位が下がり、洪水危険性はないものの、積算雨量などが下がらないために WNI レベルが下がらず、無駄な体制を維持しなくてはならないようなケース。問題2は、ゲリラ豪雨など、局地的で短時間の豪雨によって WNI レベルが上がったものの、すぐに止むことを予想して、体制を変更しなかったが、河川水位が突発的に上昇し、本来とるべき体制をとれなかったようなケースがある。

・解決手法

それぞれの問題について、要因の深掘り以下に示す。

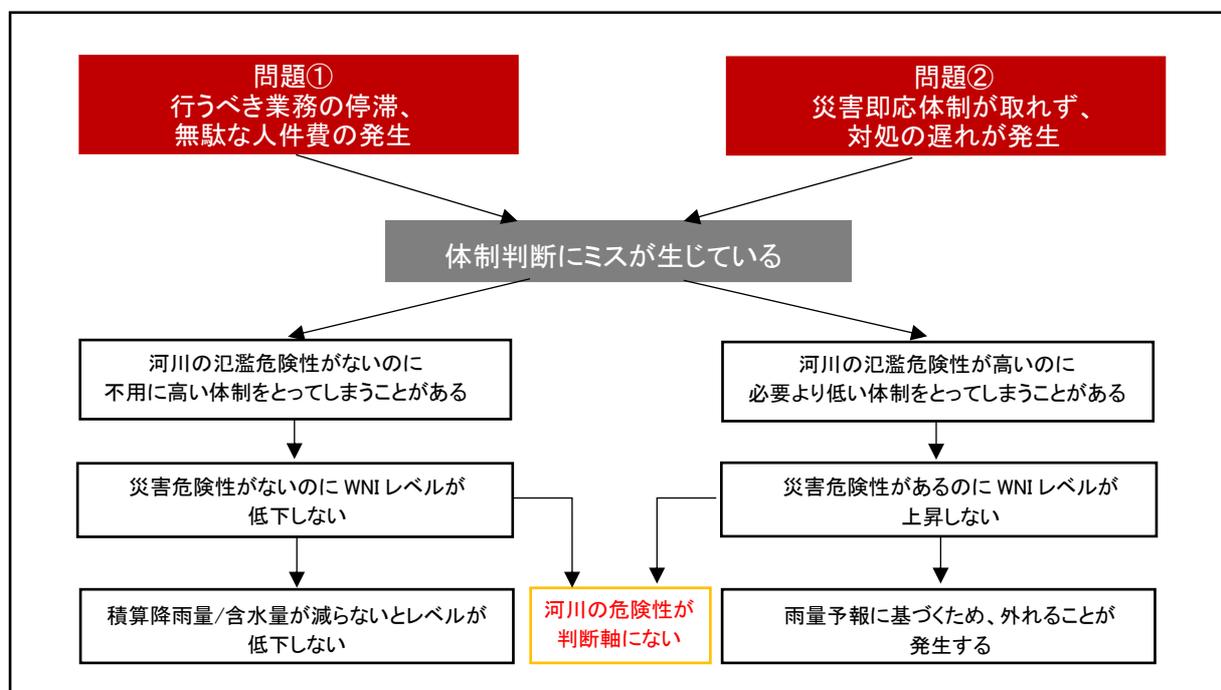
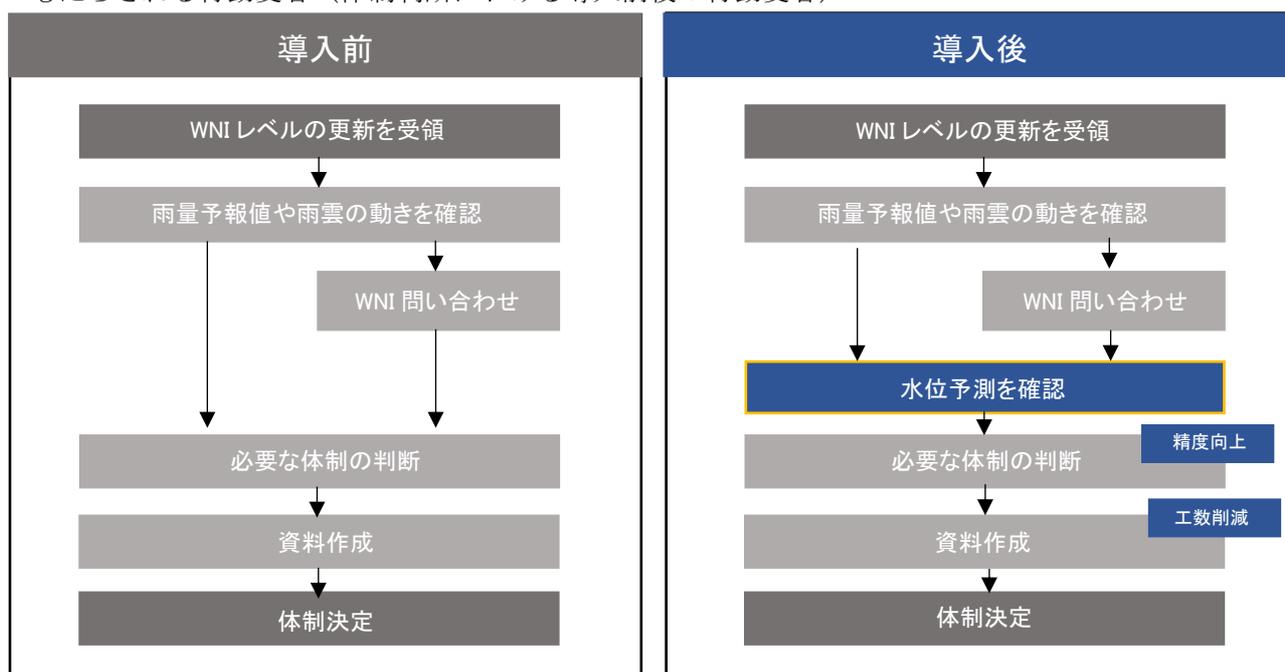


表 5-15 に示したように、WNI レベルは風雨の程度に応じて機械的に算出を行う。雨量の状況と、河川の危険度は必ずしもイコールではないため、本来とるべき体制との相違が生じていることが問題の要因であると確認した。本実証実験で提供した河川水位の予測データがある場合、将来の河川水位を鑑みて、体制判断に役立てることが可能であり、上記の相違を削減できることを確認した。例として、積算雨量/含水量が減らず WNI レベルが低下しない場合において、河川水位が今後増加しないことが確認できた場合は水防体制を下げ、不要な職員を体制から解くことで、業務の円滑化、残業や休日出勤の削減が可能となる。

- ・もたらされる行動変容（体制判断における導入前後の行動変容）



実証実験において、今までの体制判断をする際の情報源に河川水位予測が加わることによって、上記のような行動変容が期待できる。行動変容の結果として、体制判断においてより適切な配備体制判断につながることで、また体制判断の際の根拠として資料作成をする際に、河川水位予測結果を用いることで、その工数も削減される。

- ・今後

今回の実証実験では、5.2.1 項に記述したとおり、大きな台風の接近等がなく、70 名以上が動員される一次配備体制の確立がなかった。そのため、一次配備体制等大規模な防災体制が必要とされる場合に、迅速な配備解除や配備確立に効果がもたらされるかを次年度以降も継続して検証を行う予定である。

（2）現地調査

- ・背景

藤枝市では、表 5-15 に示した一次配備体制時、図 5-16 に表される体制をとる。調整班および現場統括班が、実証実験のユーザである河川課が担当している。

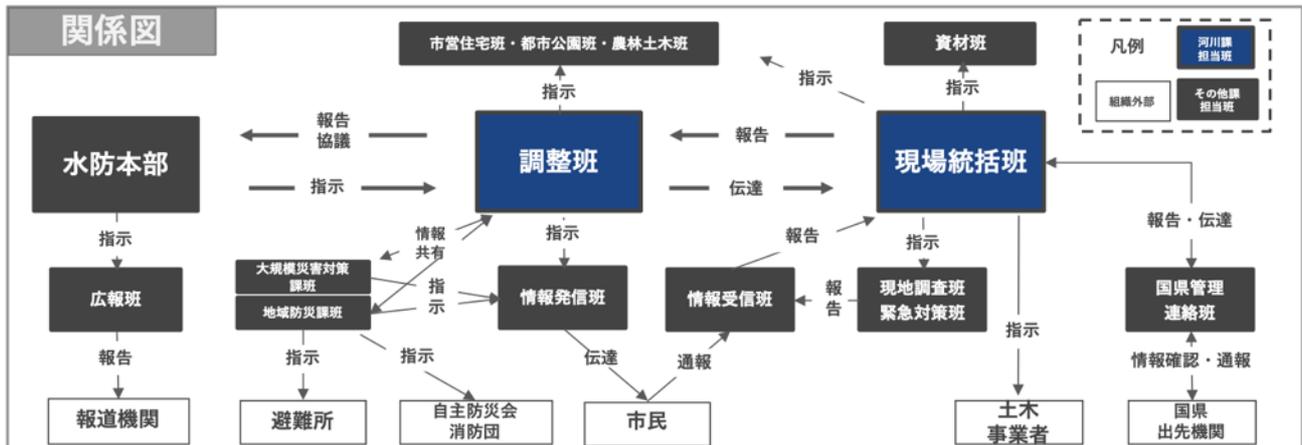


図 5-16: 一次配備体制時の藤枝市役割関係図

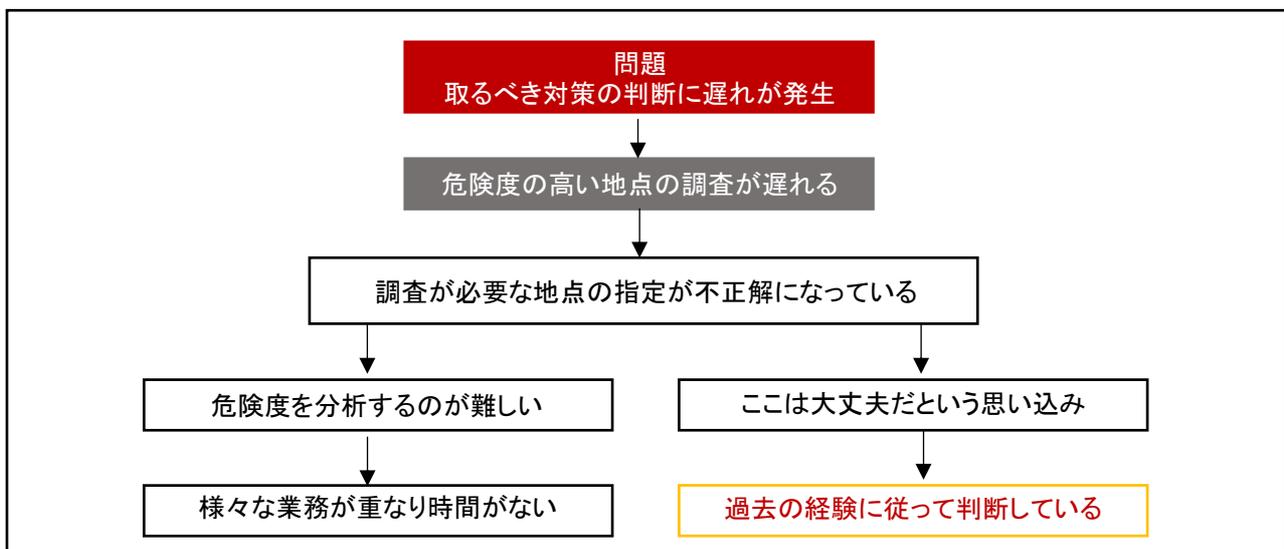
配備体制確立後、河川状況について定期的または緊急的に現地での調査を行っている。現場統括班が調査場所の指示を行い、現地調査班が調査および報告を行う。調査員は対象地点到着後、水位計設置点から上・下流 1km 前後の河川状況の確認、および周囲の外水・内水氾濫状況や、写真撮影を行い、情報受信班へ報告をする。情報受信班から、調査結果を受領した現場統括班は、その現地状況に応じて、しるべき対策を検討する。対策が必要な場合には、資材班や地元建設業協同組合への指示を行い、国県の対応が必要な場合は、国県管理連絡班へ内容を通達する。

・発生している問題

台風などでの、広範囲な河川での氾濫危険性が高い時に、現地調査対象は情報や経験に基づき危険性の高い地点から順に行うため、調査を行っていない河川の流域で被害が発生してしまうことや、状況の把握や対応に遅れが発生してしまうという問題を確認した。

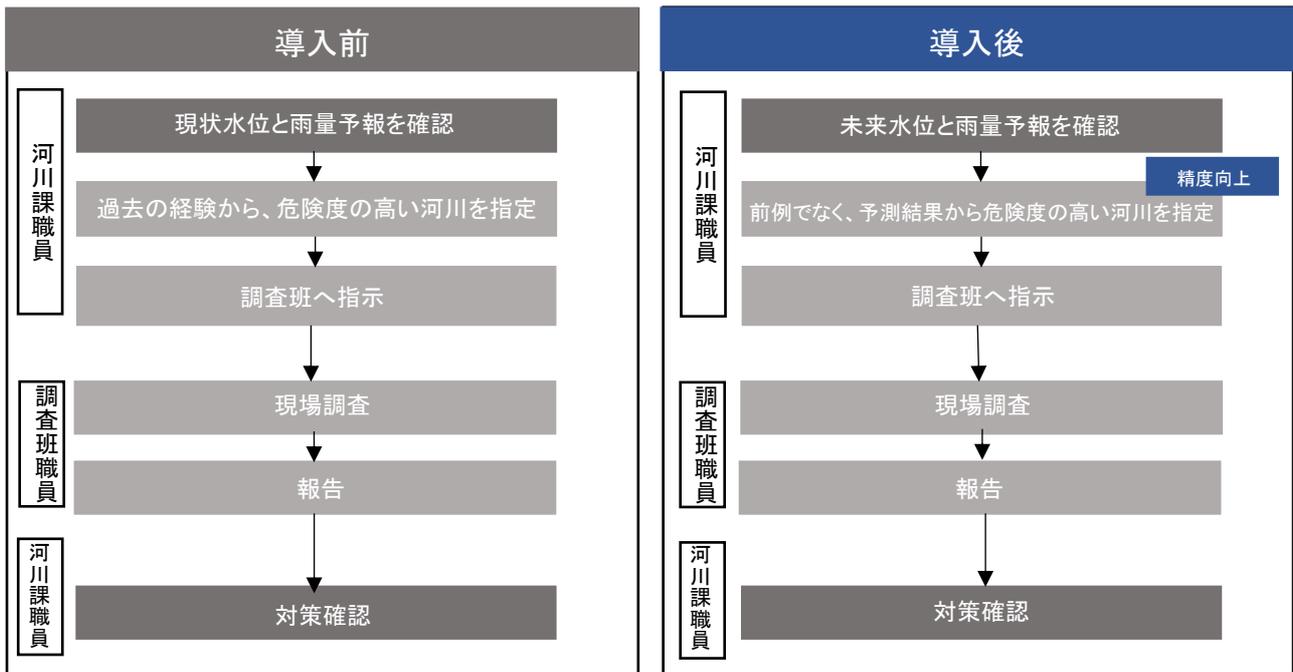
・解決手法

本問題について、要因の分析を以下に示す。



要因としては2つあり、そもそも職員だけで今後の危険度を分析することが難しく、同時に広範囲での災害危険性が高い場合において、様々な業務対応が重なり、その時間を確保するのが難しい。また、長年の業務の蓄積により、職員はより溢れやすい川はどこかというのが経験的知識としてあるため、溢れやすい川が問題なければ、他の河川も問題ないだろうという、前例から過去の経験に基づいた優先行動を取られていることが確認された。その結果として、本来調査すべき河川が漏れてしまうことにつながっていることが分かった。

・もたらされる行動変容（現地調査における導入前後の行動変容）



調査検討段階において、判断する際の情報源として河川水位予測が加わることにより、行動変容をもたらされることが期待できる。行動変容の結果として、本来調査すべき河川を漏らさずに実施でき、より素早い対策を講じることが可能となる。

・今後

今回の実証実験では、水位予測システムは河川課職員にのみ提供している。現地調査は、一次配備体制においては河川課以外の職員が実施することとなる。調査を行う職員にも、水位予測システムを閲覧できるようにすることで、調査対象の現状と将来の危険度が数値として認識することができ、主体性のある調査が行え、その結果として報告内容の質が向上するのではないかという仮説が生まれた。次年度以降、システムの結果を河川課以外の職員にも閲覧できるような環境を整備することを検討すると同時に、その効果を検証する予定である。

(3) 防災行動

・背景

河川の外水氾濫が発生する場合に、土嚢による越水防御、また排水ポンプを使用して越水後の排水処

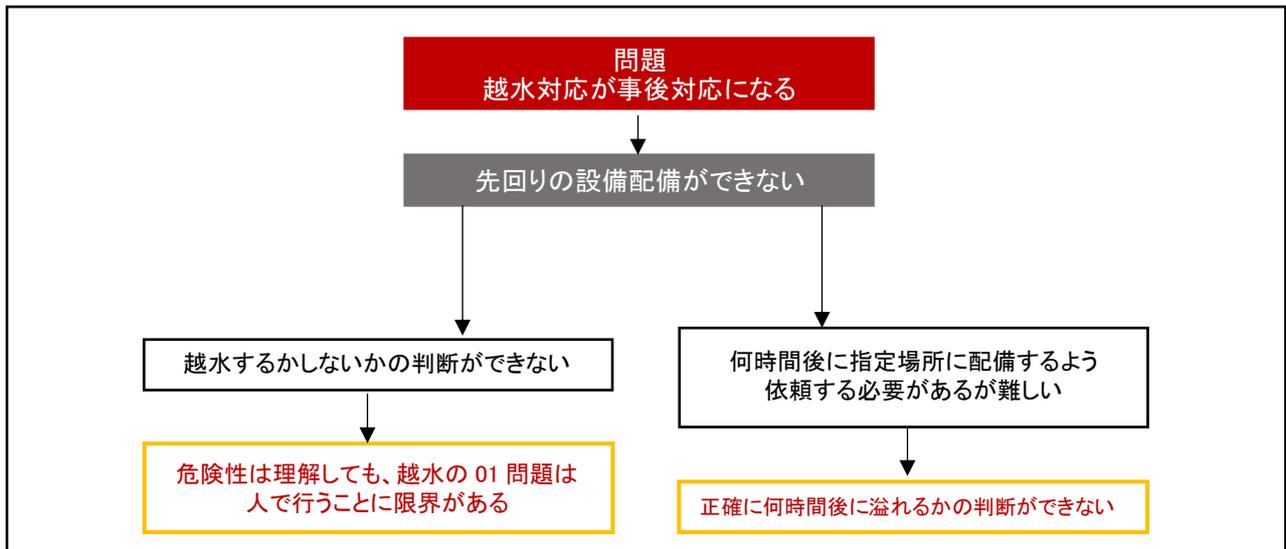
理を行う必要がある。藤枝市では、図 5-16 に示した組織図において、現場統括班の指示に従って建設業協同組合員等が主たる実施者となって対処に当たる。現場統括班は、事前に越水が想定される箇所に、事前の資材配備を指示し、その指示に従って建設業協同組合員等が拠点へ資材配備する。越水を知得すると、現場統括班は、建設業協同組合員等に対して、越水場所の位置と対処の指示を行う。建設業協同組合員等はその指示に従って、対象地点に資材を運搬、設置を行い、対応を行うこととなる。

・発生している問題

本実証実験においては河川水位の予測がなければ、越水対応が越水を知得してからの事後対応になることが多く、被害の拡大してからの対応になっているという問題を確認した。また、知得後の対応になること、現場に到着した頃にはすでに越水した河川水が捌けてしまい、事前の対応ができない状況が発生している。

・解決策

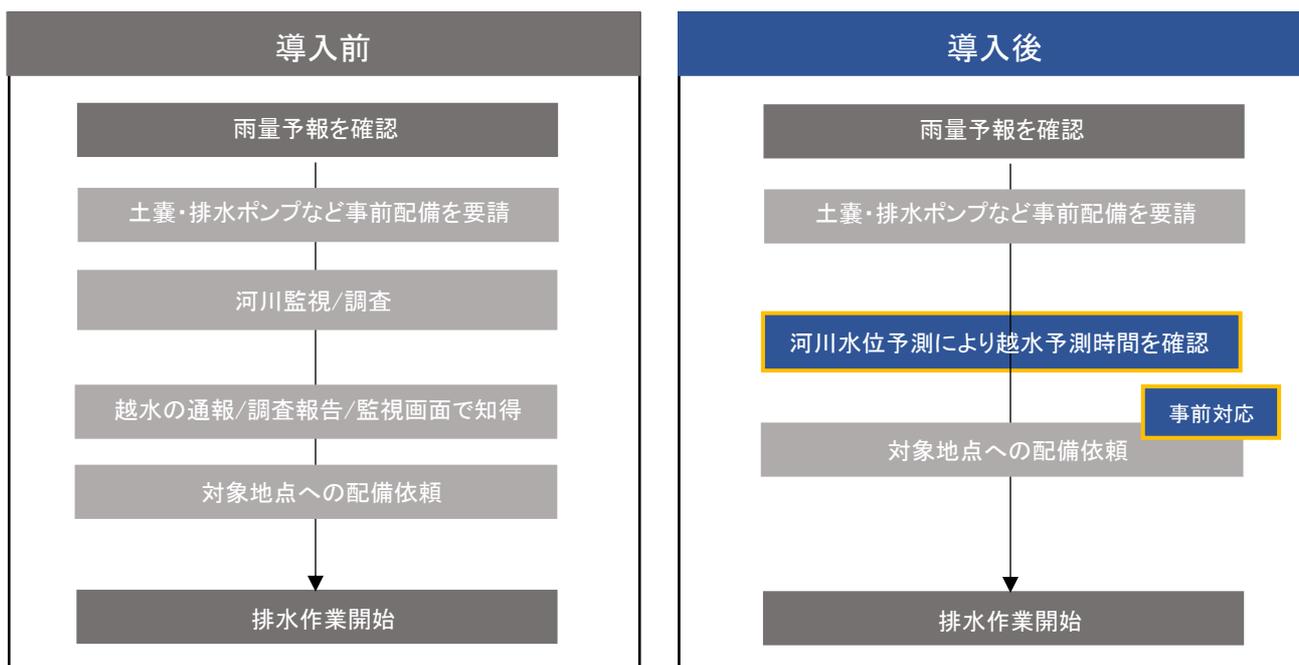
本問題について、要因の分析を以下に示す。



現地での対応を支持するにあたり、越水するのかわからないかの判断と、またその場所にいつ向かうかを伝える必要があるが、越水の予見は非常に難しいこと。また、それが何時間後に越水するかの判断がつかないことで、越水が起きてからの事後対応となってしまっている。

水位予測情報によって、事前に越水することを知得できることで、事前に建設業協同組合員に何時間後に向かうかを指示可能となり、越水前に必要な資材機材の配備を行うことが可能である。

- ・もたらされる行動変容（防災行動における導入前後の行動変容）



既存の防災対応に河川水位予測が加わることによって、行動変容をもたらされることが期待できる。行動変容の結果として、従来であれば越水知得後に対応を指示していたものが、予測水位を確認することで事前に対応を指示することが可能となり、被害の拡大を防ぐことが可能である。

- ・今後

今回の実証実験では、5.2.1項に記述したとおり、大きな台風の接近等がなく、事前配備地点への排水ポンプ配備は行ったものの、越水地点への配備機会はなかった。次年度以降、予測結果を用いて事前の配備指示を行う場合、課題を確認していく予定である。

（４）避難指示

- ・背景

基礎自治体である藤枝市は、避難情報を発出する権限および責務を持つ。避難指示は、警戒レベル3（避難準備・高齢者等避難開始）、4（避難勧告）、5（避難指示（緊急））という3つの段階に分かれて発出される。二級河川以上の水位周知河川において、それぞれの段階の目安となる基準水位が設けられており、その判断基準水位に到達した場合もしくは到達されることが予測される場合に、これら避難情報の発出について検討する。

- ・発生している問題

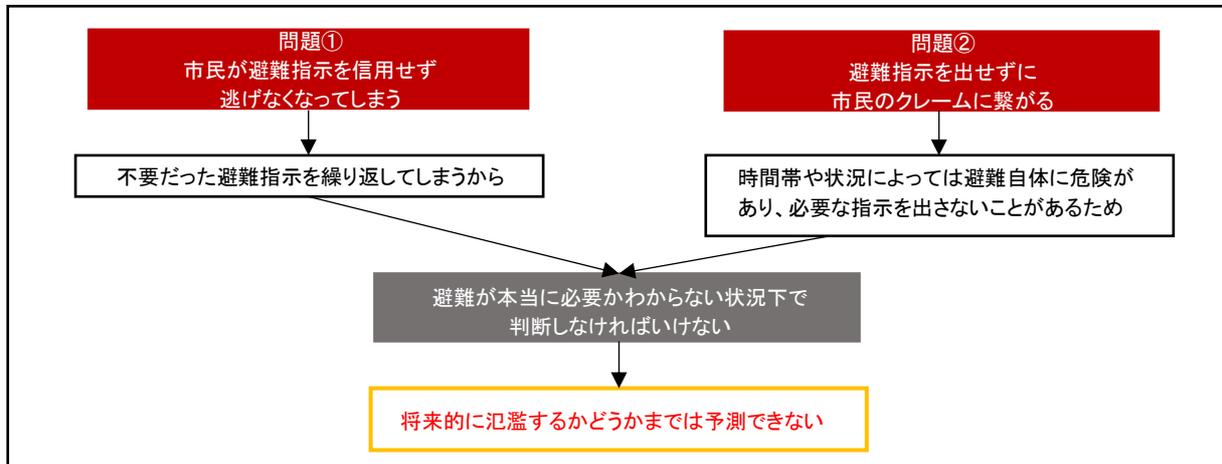
本実証実験において、自治体の避難指示発出において、避難指示の発出判断における困難さに関する2つの問題を確認した。

問題1) 避難情報を発出したが、結果的に被害が発生しなかった場合、避難情報を信用しなくなってしまい、避難情報の実質的有効性がない

問題2) 避難情報を発出しなかったが、結果的に被害が発生した場合、被害の拡大や住民不信につながる

・解決策

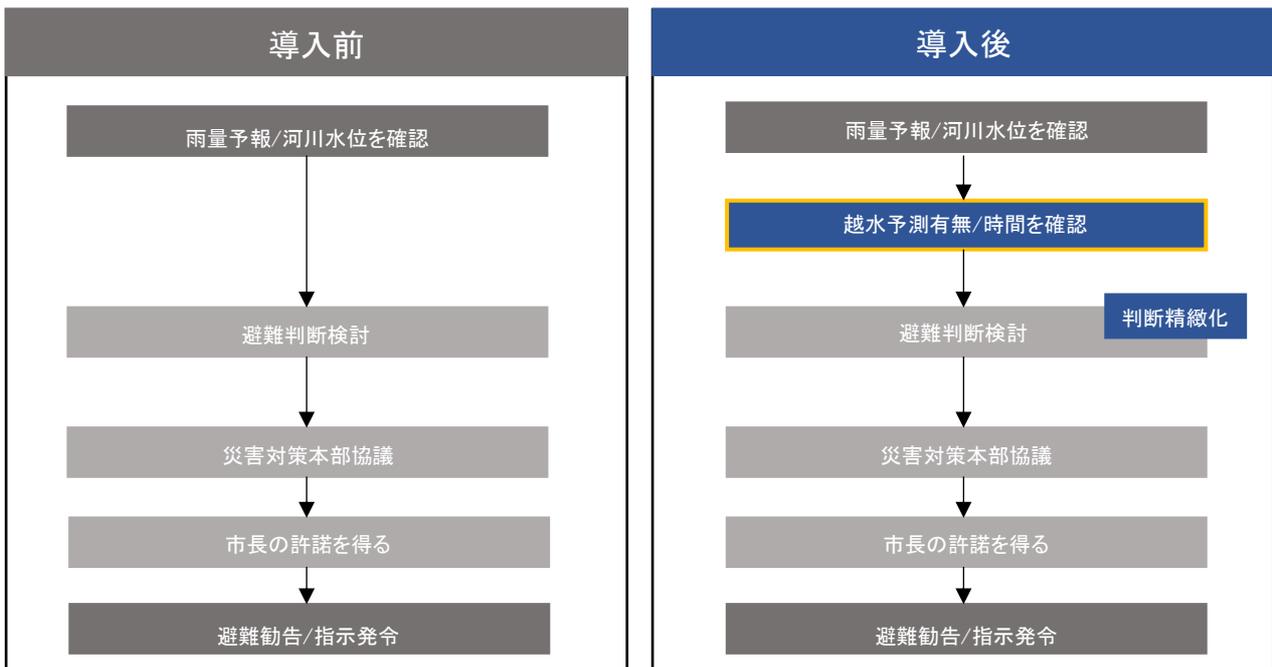
上記問題が発生する要因について考察した結果を以下に示す。



背景で記述した通り、避難情報の発出にあたっては河川水位の基準水位を用いて検討を行うが、判断においては様々な要素を総合的に判断する必要がある。様々な要素とは、どのような被害が想定されるのか、避難情報を発出する範囲、時間帯や、降雨状況によっては逆に避難すること自体に危険がある場合である。その中でも、本当に避難が必要かどうか、言い換えると河川が越水して浸水被害が生じるのかの判断は非常に難しく、職員だけで分析するのは非常に困難な作業である。

河川水位予測によって未来、いつこの河川が氾濫するのか把握できれば、不要な避難情報を発出する事がなくなり、市民の必要な避難情報を的確に発出する事が可能となる。

・もたらされる行動変容（避難指示における導入前後の行動変容）



既存の避難指示対応に河川水位予測が加わることによって、行動変容をもたらされることが期待できる。行動変容の結果として、避難判断の発出について、判断材料の一つとなり、より精緻なものとなることが可能である。

・今後

今回の実証実験では、5.2.1項に記述したとおり、大きな台風の接近等がなく避難勧告の発出はなかった。次年度以降、予測結果を用いて避難勧告検討を行う場合、水位予測が実際に使用可能だったのか、また効果と課題を確認していく予定である。

5.6. 実装に向けた技術課題

5.6.1. 予測モデルに関する課題

本実証実験では、藤枝市内の12の河川において1,2,3時間後の水位予測を実施した。この結果から予測モデルの課題として、水位予測による予測誤差への対応を挙げる。近年、情報技術の向上によりAIによる予測手法も数多く提案され、予測精度は高くなっている傾向にある。しかし、AIによる100%正確な予測は既存の技術では不可能であり、予測と実測に誤差が生じる。水害対策の現場での実用化に向けて予測誤差も生じることを認識した上での対策が必要と考える。

加えて、水位予測AIの学習に必要な学習データの期間に関する課題も挙げられる。本実証実験において、水位計新規設置4地点では3ヶ月間という短期間データを水位予測AIに学習させた。このように水位予測モデルは、短期間データの学習にも対応させる必要がある。予測手法の開発の際、引き続き取り組むべき課題の1つといえる。

5.6.2. 雨量予報精度誤差に関する課題

本実証実験では、予報雨量を入力として河川水位の予測値を算出した。この予報雨量も予測であるため、実雨量との間に誤差が生じる。その予報雨量を用いて、予測を更に行っているため、予報雨量の予測誤差が水位予測の精度に影響する。特に、線状降水帯のような断続的に振り続く雨の場合は一般的に予報が難しいとされ、雨量の予測誤差も大きくなる傾向がある。本実証実験期間でも例外でなく、予報雨量の予測誤差が水位予測の精度に影響があることが実証された。

5.6.3. 今後のモデル開発の方向性

本項では前項で述べた予測モデルと雨量予報誤差に関する課題を踏まえ、今後のモデル開発方向性を述べる。開発方向性として、予測誤差への対応、短期間データによる学習の対応、そして上流下流を考慮した算出手法の改良の3点を挙げる。

(1) 予測誤差への対応

5.4.3項において、水位予測精度、ならびに水位予測に利用する予報雨量にも誤差が生じることを述べた。この対策として、予測区間を用いた水位予測値の提供が必要と考える。つまり、予測水位の誤差

を考慮して、最小値と最大値から示される予測値の区間を提供する。これにより、予測値の不正解率を抑えることができる。しかしながら、予測水位が区間として与えられることにより、利用者が判断しにくくなるという短所も存在する。ユーザ視点を加えた予測誤差に対する対策を今後検討したい。

(2) 短期間データの学習

水位予測 AI に学習させるデータは可能な限り長期間であることが望ましい。しかし、実環境では水位計設置直後で十分な学習データを持ち合わせない状態が多い。本実証実験で新規設置した水位計地点 4 箇所がこれにあたる。今後は短い学習データ期間でも高精度な水位予測を実現させるため、効率の良い学習手法を検討・開発する。

(3) 上流・下流地点の水位を考慮した算出手法の改善

本実証実験で用いた水位予測では、水位計測地点のみの水位と雨量に焦点を当てて予測を行った。河川水位は上流や下流の影響に応じて変化するため、上流下流の水位や雨量を考慮するのが望ましい。今後は水工学の観点から上流下流の情報を加えた特徴量の見直しを検討したい。

5.7. ビジネス性課題

本実証実験での、河川課職員へのインタビューで、本システムについての価値を評価いただいた。その結果は、業務効率への期待として、500 万円程度の購入価格としての評価をいただいた。今後商用実装を検討するうえで、本価格を参考にして商用化を考慮する必要がある。

ソフトバンクの見積として、単年黒字化を図るには最低でも 13 の顧客が必要である。そのため、藤枝市で今後商用実装するにあたっては、事前の営業活動によって顧客見込みが経つことが必要となる。どのような自治体に、本中小河川を対象にした水位予測サービスの需要があるかは、目下全国の自治体へのインタビューを通して実施しているところである。

6. 横展開に向けた課題

6.1. 予測モデルの導入について

本節では、実証実験を通して、水位予測モデルが導入できる地理的な条件や必要となるデータについて記述する。

6.1.1. 地理的条件

本予測モデルが実装しやすい地理的条件として大きく3点挙げられる。

(1) 用水・水門開閉の影響が小さい地点

幾つかの地点で、用水・水門による影響での水位上昇が見られた。これら要因による水位上昇の予測は、用水流出量もしくは水門の開閉状況が必要である。

(2) 海水位による影響が小さい地点

海に近い地点の河川水位は満潮干潮の影響を大きく受け、雨による水位上昇の影響が小さい。また、増水した水位はそのまま海に流れるため、大きな水位上昇は起らない。このことから海岸沿いに近い水位計測地点は予測対象として適していないと考えられる。

(3) 河川の特徴変化が少ない地点

本予測モデルが対象とする河川水位計測地点では、水位予測の実施期間において、例えば土砂堆積により河川流域が変化するような特徴が変化しないことを前提とする。過去データから河川の特徴を学習するためである。そのため、水位予測の実施期間において河川の特徴が変化する場合、予測対象地点として相応しくない。

6.1.2. データ量・質に関する条件

一概に水位予測に必要なデータの期間を占めることは難しいが、水位予測を行うためには水位上昇時の予測精度が重要であるため、学習期間でなく学習データに一定数の洪水回数が必要となる。加えて、予測対象地点によって水位上昇傾向が異なることから、学習データに含まれる必要な洪水回数を示すことは難しいが、本実証実験内で用いた水位予測のための学習データでは、危険判断水位に近づく水位上昇が各地平均3回存在した。この学習データを用いて実証実験期間を実績雨量で予測した結果、10mm/h以上の降雨時に手法2でRMSE平均0.30以下の精度を出すことができた。このことから、危険判断水位に近づくほどの水位上昇が少なくとも3回は学習データ内に含まれることが望ましい。

また、利用する水位・雨量計測データに関して、欠損割合が少ない方が望ましい。本実証実験内では欠損値に対し、予測前の前処理として補間処理を行った。しかし、10%以上の異常値が見られるデータでは、欠損値に対して扱える手法が限られるため、欠損割合は全体の10%以内であることが望ましい。特に10mm/h以上の降雨時のデータは予測モデルを学習させる上で非常に重要なため、10mm/h以上の降雨時データの異常値割合が10%未満であることが肝心である。

6.2. 一般化に向けた諸課題

6.2.1. 河川データ連携に関する課題

本実証実験では河川水位センサデータを入手するため、イートラストのサーバとソフトバンクの受信サーバ間でデータ授受のためのインタフェース開発を行った。今後、一般化する際の課題として3点挙げられる。

(1) 自治体ごとのデータの連携方法差異

1点目は自治体ごとにデータの連携方法が異なるということである。例として図6-1の通り、A自治体はHTTP PUTでの連携、B自治体はSFTP等のファイル共有での連携、C自治体はHTTP GETでの連携というように、自治体ごとに連携方法が異なる可能性がある。また同じHTTP GETだったとしても自治体ごとに仕様が異なる可能性が高い。このためデータ連携に関する開発が毎回発生してしまう。

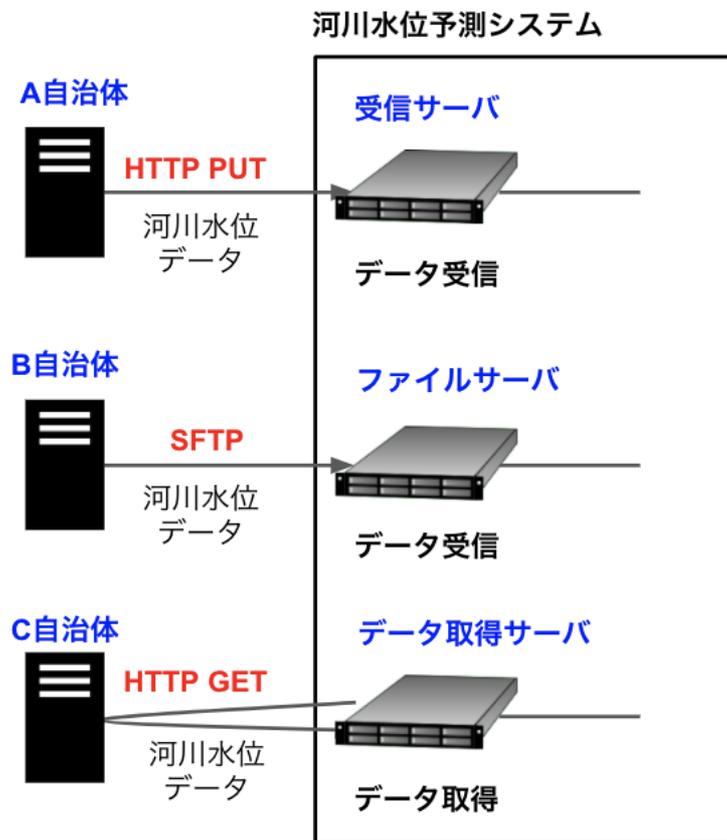


図 6-1: データ連携方法に関する課題

(2) データフォーマット、データの中身の差異

2点目は、図6-2に示すように自治体ごとにデータフォーマットやデータの中身が異なるということである。この場合、システム内でのデータ抽出やデータ整形等において個別実装を行う必要がある。また、可視化画面においても表示させるデータに差分が発生するため画面変更を伴う開発が発生してしまう。

A自治体

タイムスタンプ(JST)	河川番号	データ(cm)
2021-01-15 08:00	001	100

B自治体

unix時間	場所	緯度	経度	データ(mm)	センサー種別
1610636400	東京	35°41'	139°41'	1000	水位計

C自治体

タイムスタンプ(UTC)	シリアル番号	data種別	データ(base64)
2021-01-14 01:00	jef99kf445fm	水位	MTAwMA==

図 6-2: データフォーマットに関する課題

(3) データ受信までのタイムラグ

3点目は、図 6-3 に示すように河川水位センサーがデータ取得した時間とそのデータがソフトバンクで受信するまでタイムラグがあることである。藤枝市河川課職員の評価として、中小河川では5分の間に大きな水位上昇を起こすこともあり、心理的な不安感が増大するため、特に台風など災害発生時はタイムラグを5分程度に収めることが望ましいとの意見をいただいているが、今回の実証実験においても10分程度のタイムラグがあったため、実際にセンサーがデータを受信してから可視化画面に河川水位予測が表示されるまで時間がかかってしまう。これは気象庁から配信されるデータにも当てはまる。

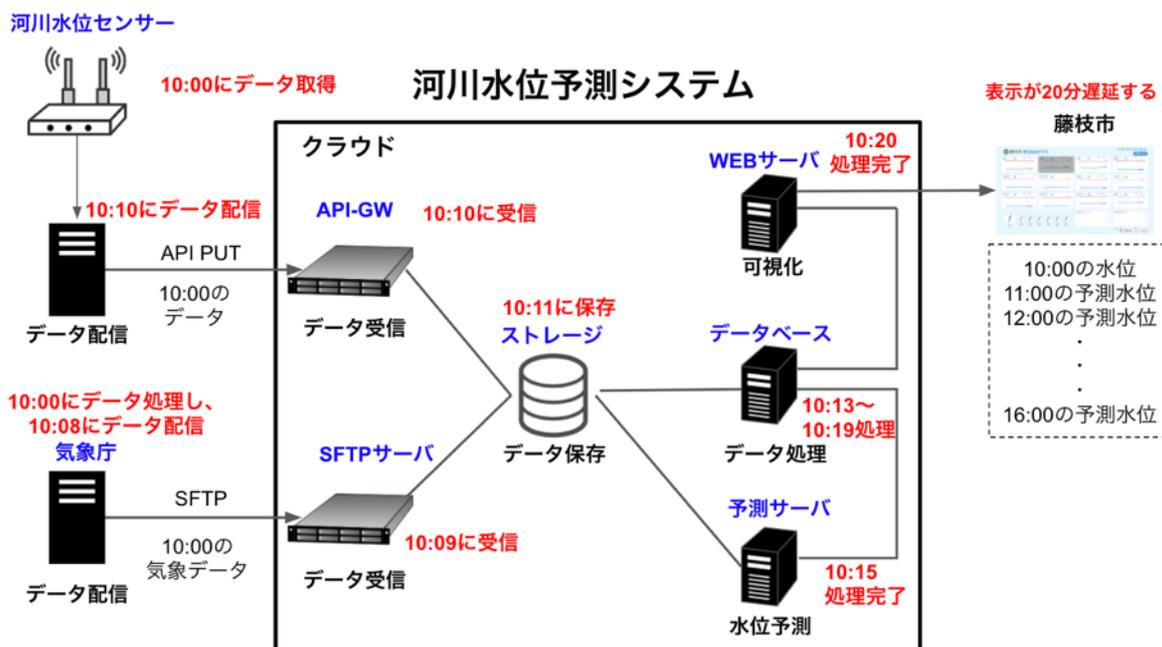


図 6-3: データ受信のタイムラグに関する課題

解決策として、(1)、(2)に関してはデータフォーマットとデータ連携のインターフェースを標準化し、全自治体のデータをオープンデータとして公開することである。これにより、オープンデータポータルと河川システム間のインタフェース開発を一度構築すれば他自治体への展開も低コストかつ短納期で提供が可能となる。

(3)の解決策としては、図6-4に示すようなセンサデータおよび気象データのすみやかな配信を実施することである。オープンデータ化した場合もリアルタイムでデータを反映させる等の工夫が必要となる。

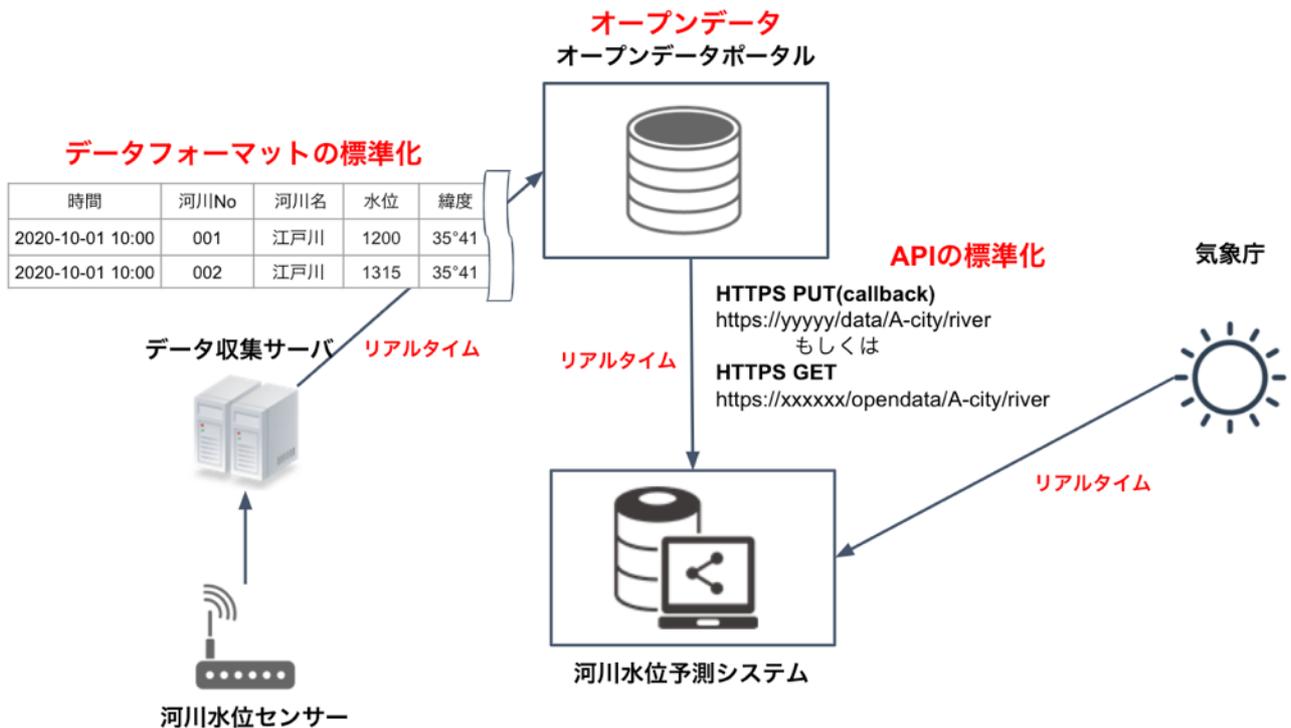


図 6-4: 課題解決に向けた課題

6.2.2. 過去データに関する課題

藤枝市の所有する水位計および雨量計のデータはウェザーニューズのストレージ環境において全期間保存されており、本実証実験におけるAIモデルの学習作業において、同社から提供をうけたデータを使用している。AIモデルの開発において、様々な地形や環境においてモデル評価を行うことが重要であるが、その入手において下記に示す2つの問題を提起する。

(1) 市町村水位データの入手

国や都道府県が管理する河川における過去の水位データについては、一般財団法人河川情報センターが運営する水防災オープンデータ提供サービスにて入手が可能である。(URL：<http://www.river.or.jp/koeki/opendata/index.html>)

対して、市町村が管理する河川のデータは、このような集約サービスがないため、どの自治体に河川水位データがあるのか、その期間や頻度など、情報取得が難しい。またデータのオープン化も進んでお

らず、データを入手する手段が乏しい現状がある。今後、中小河川の予測を開発するにあたって、情報取得および入手手段を講じる必要がある。

(2) 過去データの価格

水防災オープンデータ提供サービスにおいては、国の管轄するデータは地方整備局単位、都道府県が管轄するデータは都道府県単位で、2014年7月以降の過去データを販売している。価格は、半年分の上記1単位で、税抜き28万円（雨量・水位・ダム諸量含む）となっている。

AIの学習には、より長い期間のデータがあることが好ましいが、6年分のデータを手に入れる場合、1都道府県分で税抜き336万円の費用が必要となり、開発の初期段階において手軽に検証できる価格ではない現状である。雨量・水位・ダム諸量を分割することや、都道府県の中の河川単位に分割するなど、細分化を行い、より入手しやすい環境となることを期待される。

6.2.3. 気象業務法に関する課題

本実証実験で提供する水位予測は、気象業務法の洪水予報に該当する行為であり、提供するうえで気象業務法に則った形で提供を行う必要がある。本システムの出力する予測結果を用いて、基礎自治体が実施可能なことについて、気象庁に確認を行なった結果を分類する。表6-1は、気象庁へ確認を行った分類結果である。

表 6-1： 現地調査における導入前後の行動変容

市の職員が土嚢を設置する・水門を調整する	○
市民に土嚢設置を呼びかける	○
市民に避難準備・高齢者等避難開始を呼びかける	○
市民に避難勧告・避難指示を出す	○
近隣に居合わせた人に避難指示・避難指示を出す	○
市のHPで常時水位予測値を公表する	×

表6-1の通り、予測値を使用して、土嚢設置などなにか行動に移すことは問題なく、また市民への避難指示や土嚢設置を呼びかけるなどの行為も許可される。しかしながら、予測値を外部に公開すること、例えばホームページ上で公開して、市民に公開することは現状の気象業務法で制限されている行為である。それは、気象業務法で、他者に対する予報の発表を制限しているためであり、業務委託を受けてシステム納入を行った発注元は例外として、それ以外の如何なる他者にも予測の発表は許されていない。また、気象予報は免許制になっており、所定の条件を満たすことで予報免許が与えられる。洪水予報については、現状免許制にはなっておらず、気象庁の他は国および都道府県にのみ許可が与えられており、市町村や民間への認可はされていない。

そのため基礎自治体に提供する水位予測情報は、市民への一般公開ができないため、水位予測値は基礎自治体の中に利用が制限され、システムの価値も行政の稼働削減などでしか価値の訴求ができないという課題がある。一般的に災害のソフト対策で期待されることの大きな要素は市民の自助を促すことであり、予報値の公開は自助を促す上では説得力のある情報の一つである。本年度より「洪水及び土砂災害の予報のあり方に関する検討会」が開催され、技術的な評価や認可の仕組みがなされることで、基礎自治体や民間も予報機能を持てれば今後横展開の加速につながる期待がある。

6.2.4. 浚渫の影響

洪水が発生するリスクの高い河川は流下能力を維持・向上させ、そのリスクを下げるため浚渫が一定の頻度で行われると推測する。浚渫を行うと、該当河川の流下能力が変わり、それ以前の水位データをもとに作成したモデルの特徴と河川の特徴が一致しなくなる恐れがある。実際にどのような工事を行うと、どの程度予測精度に影響するかといった検証は今回の実証実験には含まれていないため、今後の横展開を起こっていくために課題となる可能性がある。

6.2.5. ダム・用水の問題

藤枝市においては、農業用水等の用水路が存在し河川から水を引き込んでいる。豪雨や台風が予想された場合は、水門を閉じ河川からの水の流入を防止するため、河川水位が上昇する原因となる。解決策として、水門にセンサーを設置し河川水位予測に反映させることで適切な水門の開閉および河川の氾濫防止につながると思われる。

また、ため池やダムに関しては洪水の一部を貯水池に溜め込み、安全な流量だけを放流することで下流域の洪水被害を軽減する役割がある。このような役割を洪水調整と言い、豪雨時は下流域が安全である量を推定し貯水池に流れ込む洪水の一部の放出を行う。異常な豪雨時は下流に流す量を徐々に増加させ、最後は貯水池に入ってくる水量と同じ量を下流に流すようになる。また、降雨がない時期でも洪水時に備えるために事前放流を行うことがある。

以上のようにため池・ダムの放流も河川水位へ大きな影響があるため、洪水調整と水位予測を連携させることでより精度の高い水位予測が可能になると思われる。

付録 1

手法 1 による予報雨量を用いた水位予測結果（既存設置水位 7 地点 2020 年 7 月 28 日周辺）

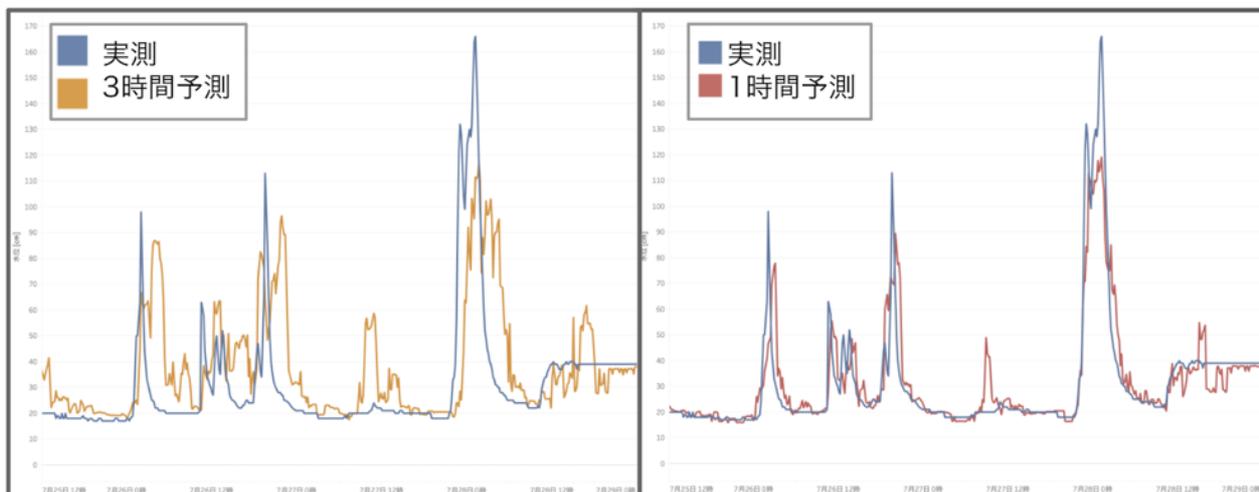


図 A-1: 予報雨量を用いた水位予測結果 黒石橋

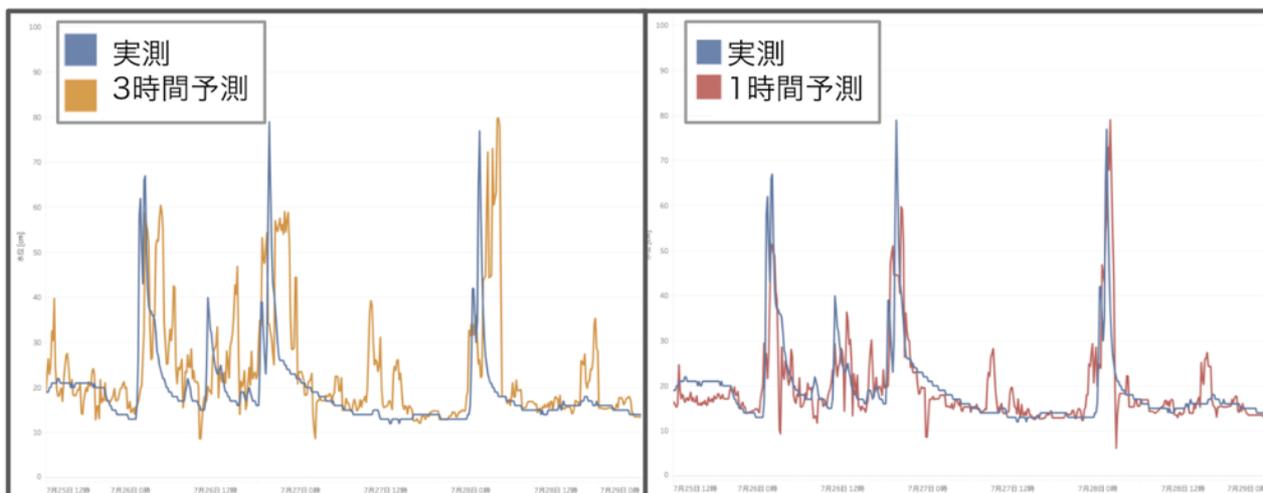


図 A-2: 予報雨量を用いた水位予測結果 女池ヶ谷橋

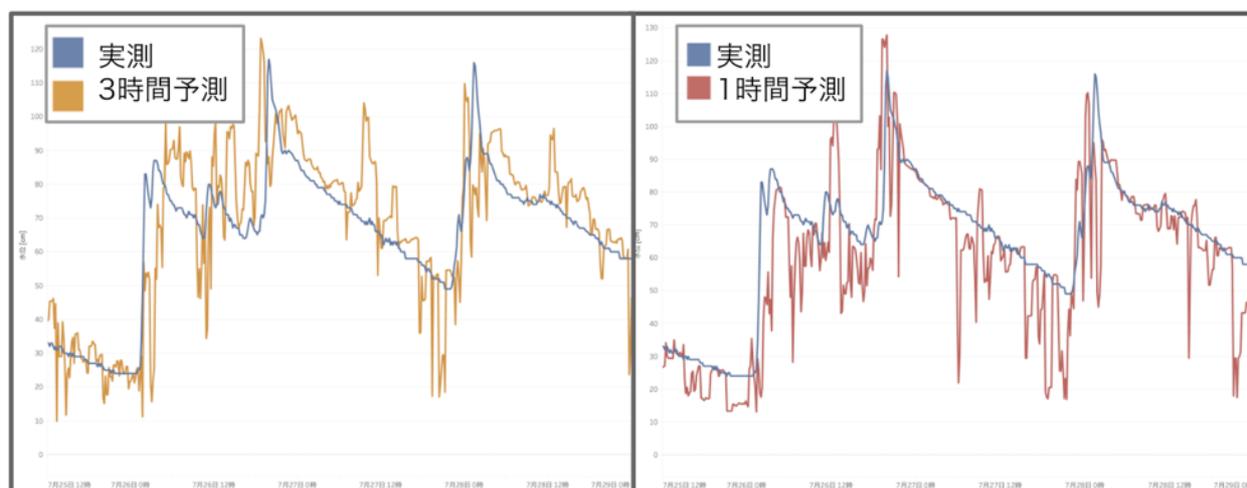


図 A-3: 予報雨量を用いた水位予測結果 若宮橋

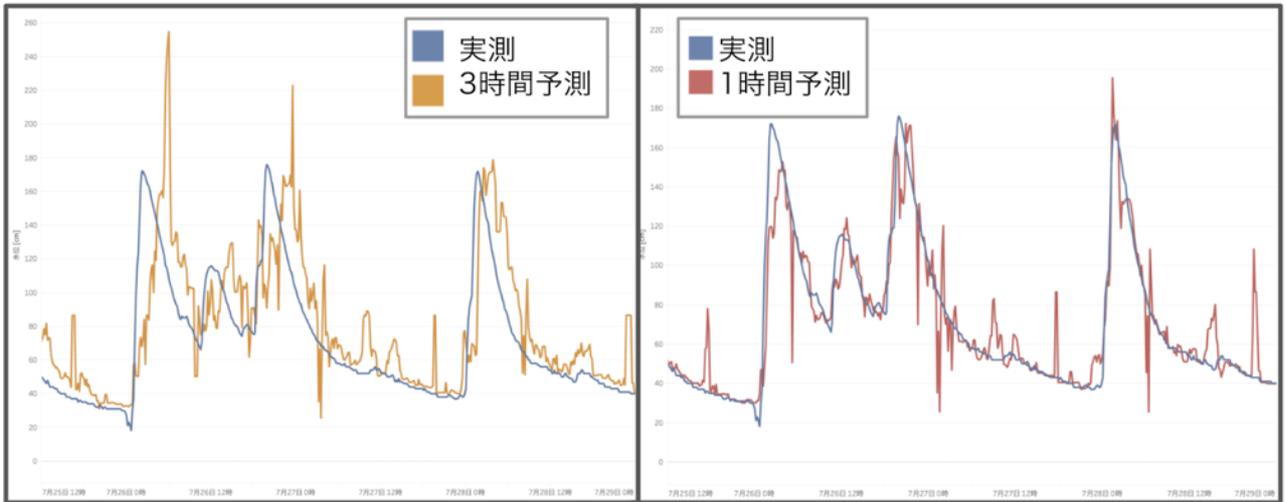


図 A-4: 予報雨量を用いた水位予測結果 新飯塚橋

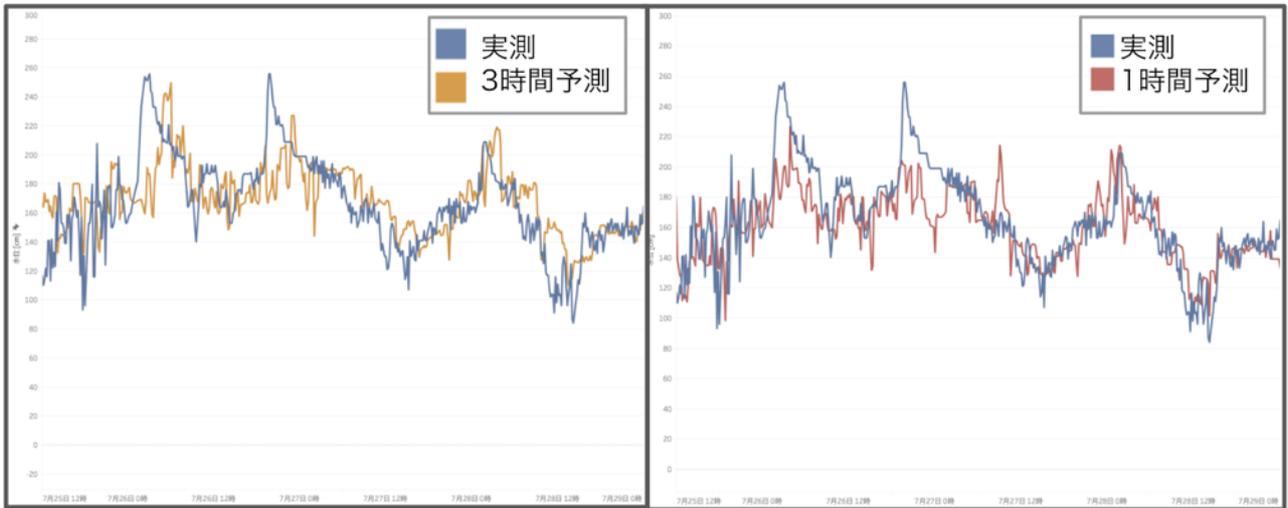


図 A-5: 予報雨量を用いた水位予測結果 井尻橋

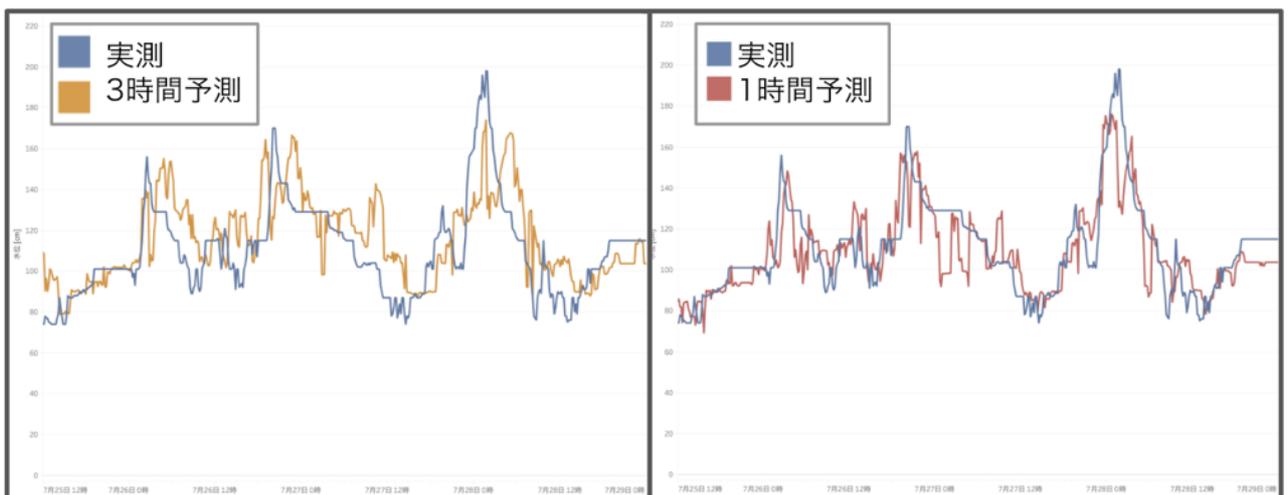


図 A-6: 予報雨量を用いた水位予測結果 土瑞橋

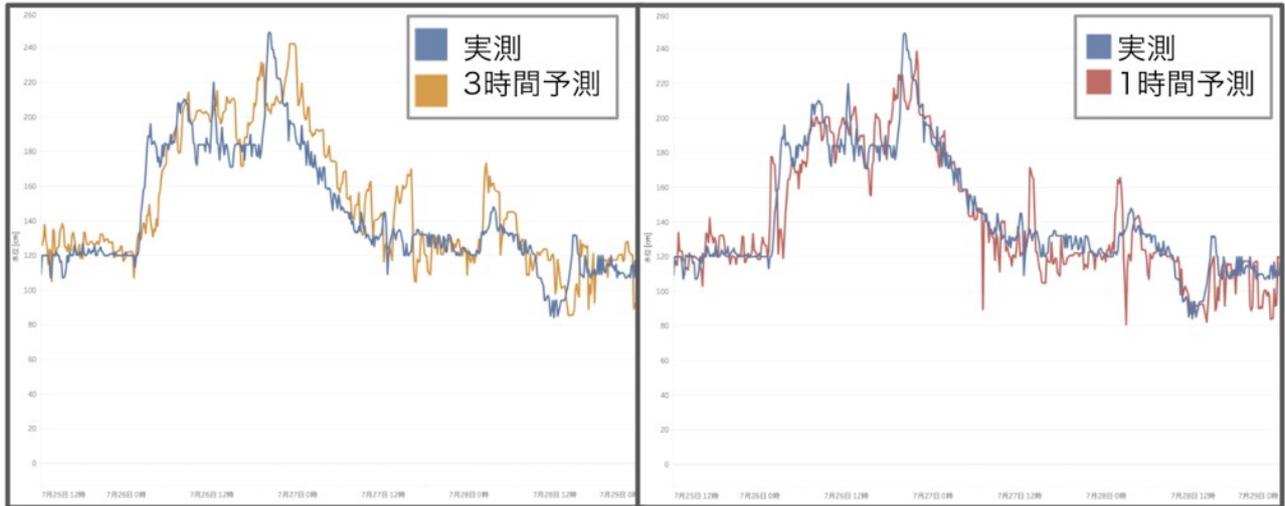


図 A-7: 予報雨量を用いた水位予測結果 殿橋

付録 2

手法 1 による予報雨量を用いた水位予測結果（新規設置水位 3 地点 2020 年 7 月 28 日周辺）

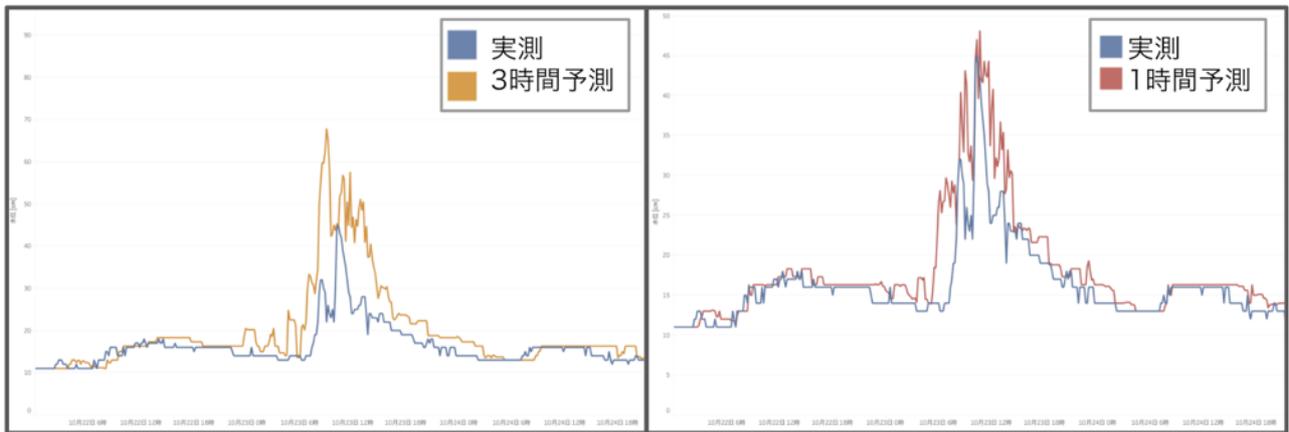


図 B-1: 予報雨量を用いた水位予測結果 若王子大橋橋

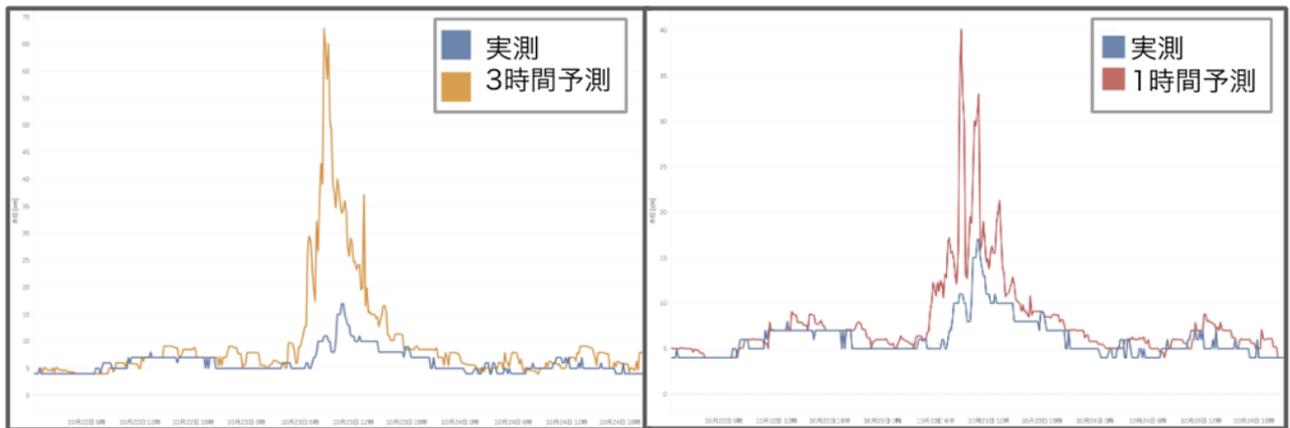


図 B-2: 予報雨量を用いた水位予測結果 5030 号橋

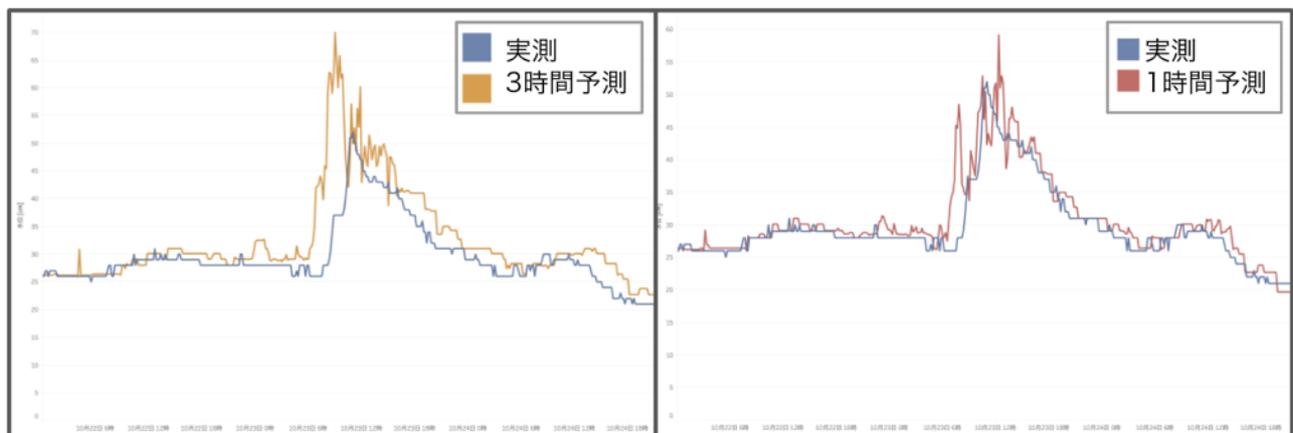


図 B-3: 予報雨量を用いた水位予測結果 水上八反田橋

付録 3

実績雨量を用いた水位予測結果（水位計設置 11 地点 2020 年 7 月 28 日周辺）

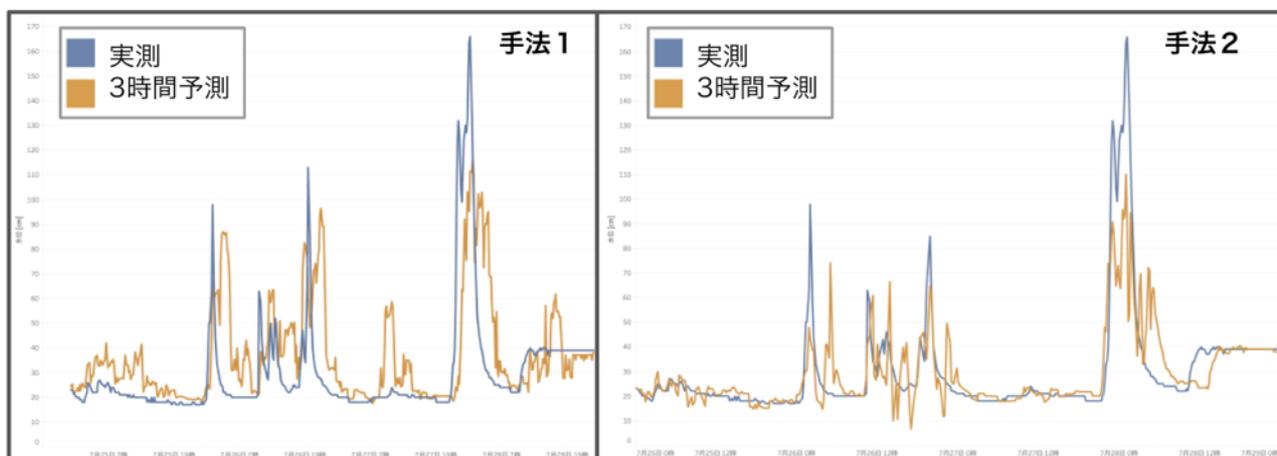


図 C-1:実績雨量を用いた水位予測結果 黒石橋

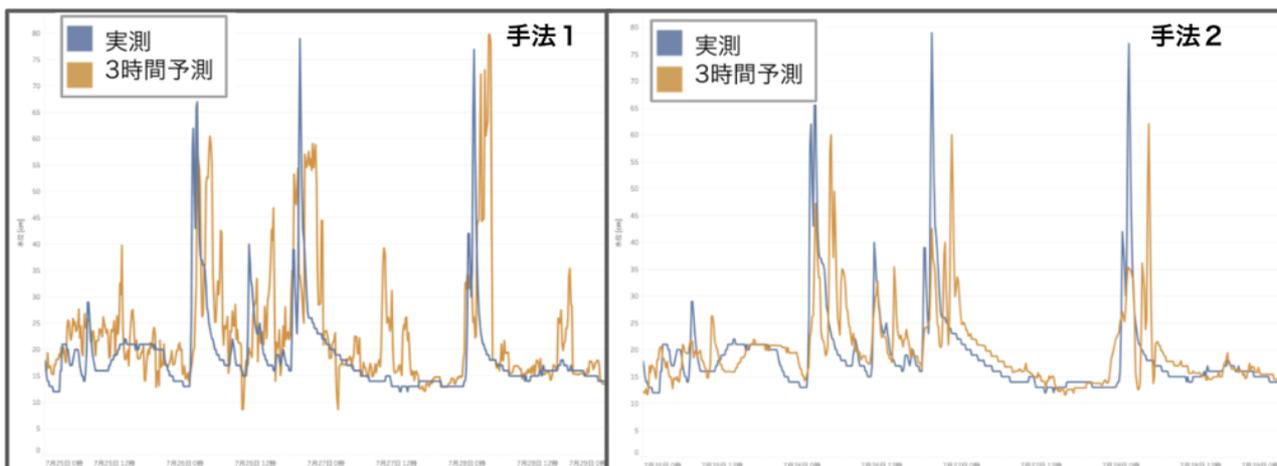


図 C-2:実績雨量を用いた水位予測結果 女池ヶ谷橋

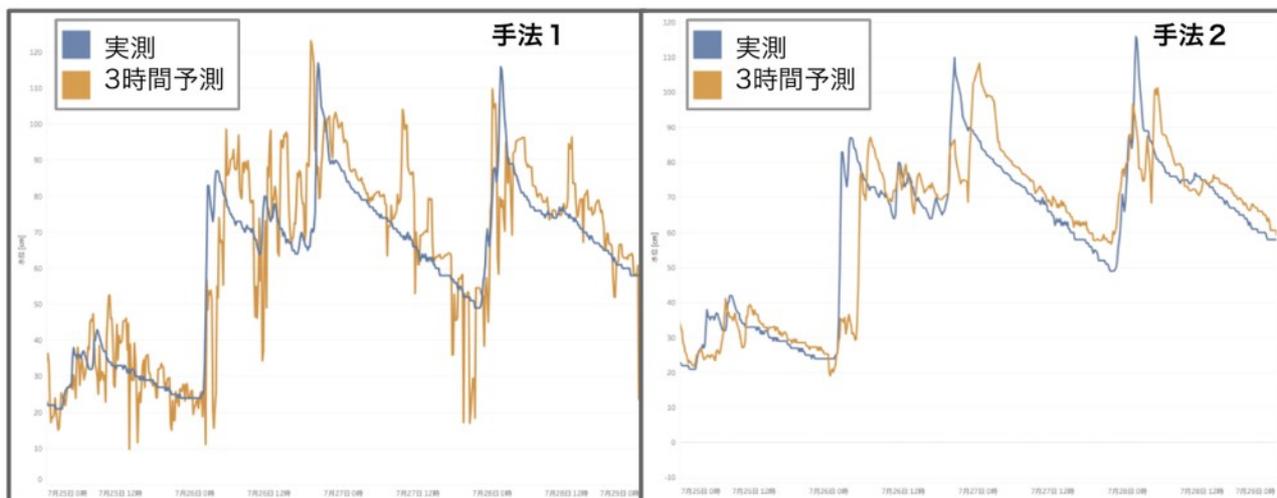


図 C-3:実績雨量を用いた水位予測結果 若宮橋

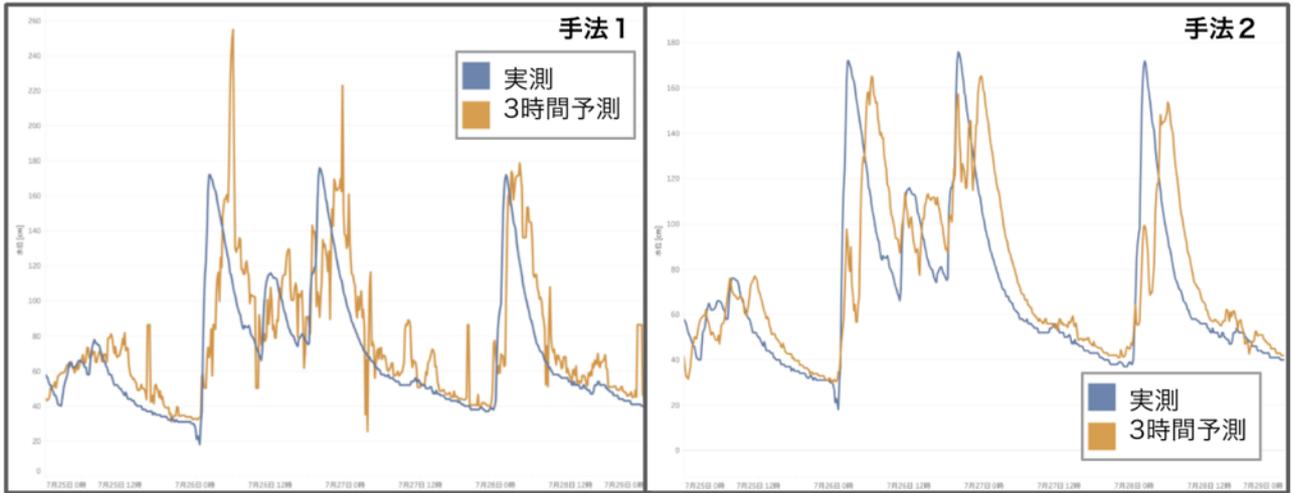


図 C-4:実績雨量を用いた水位予測結果 新飯塚橋

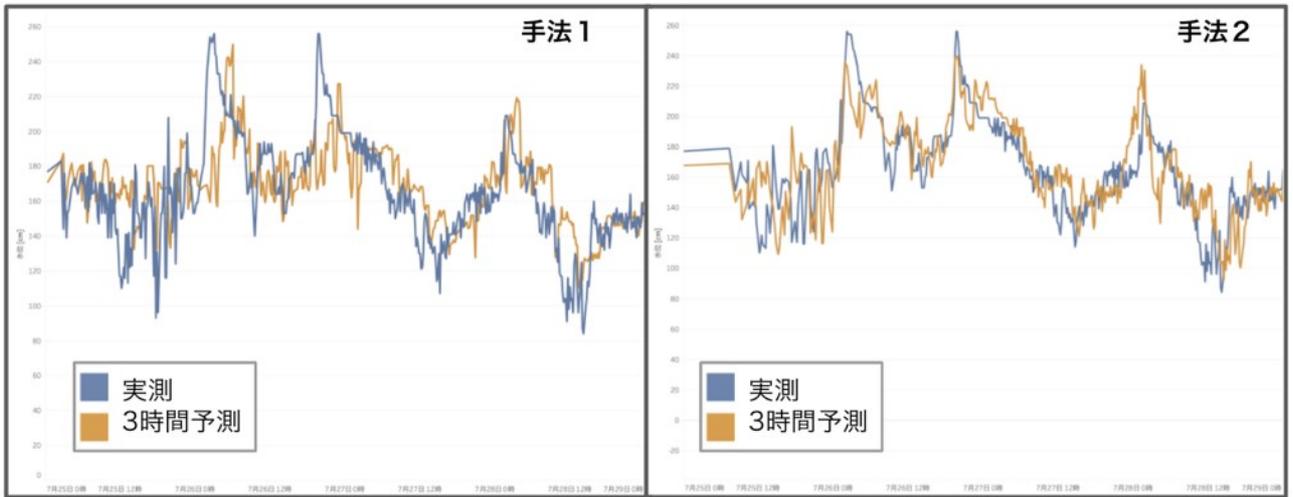


図 C-5:実績雨量を用いた水位予測結果 井尻橋

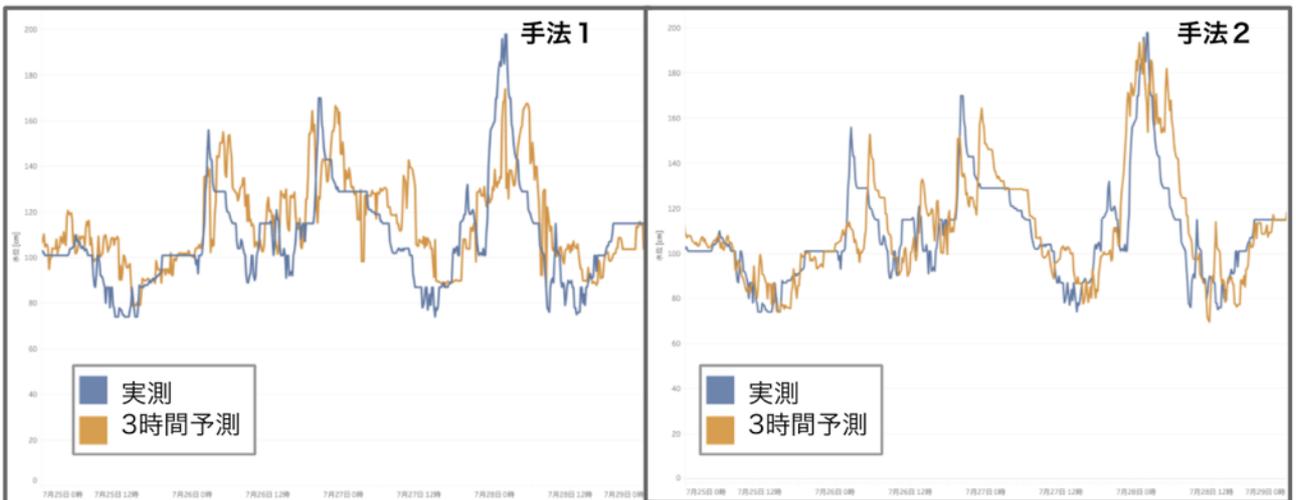


図 C-6:実績雨量を用いた水位予測結果 土瑞橋

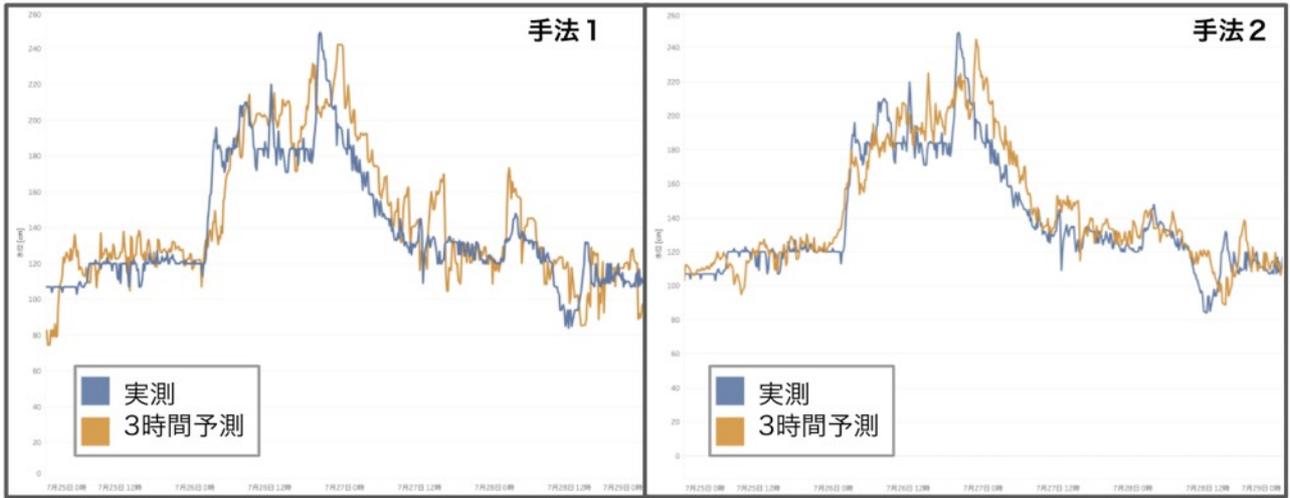


図 C-7:実績雨量を用いた水位予測結果 殿橋

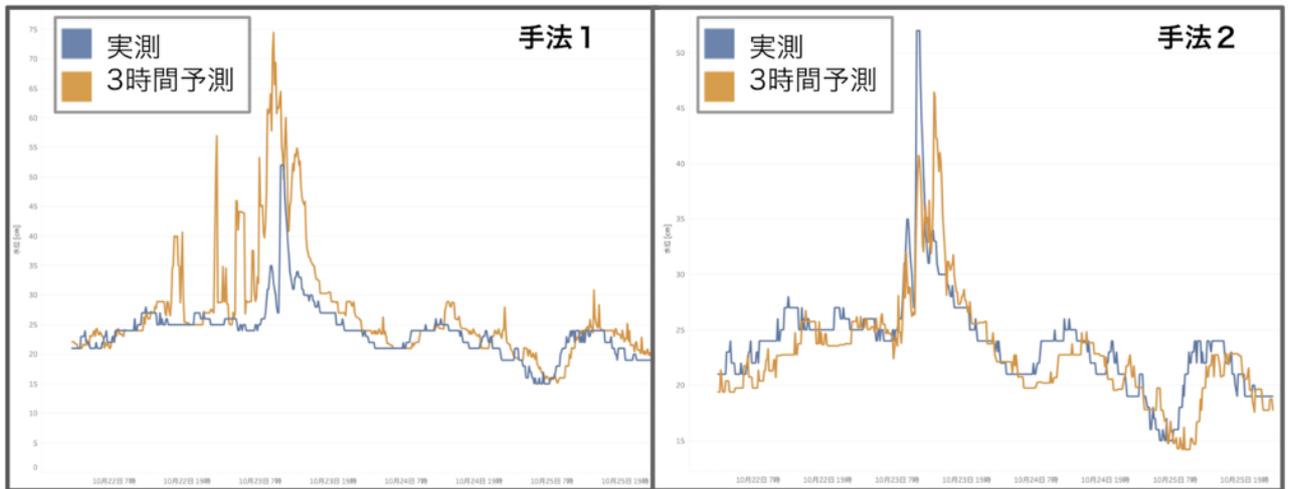


図 C-8:実績雨量を用いた水位予測結果 三輪向原桐川橋

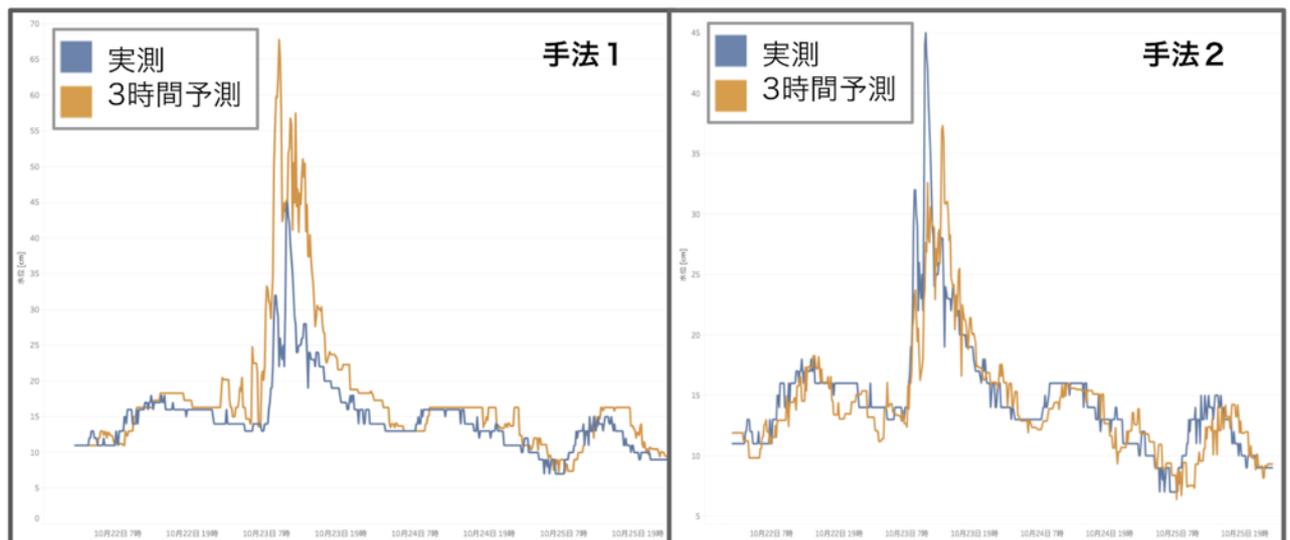


図 C-9:実績雨量を用いた水位予測結果 若王子大橋橋

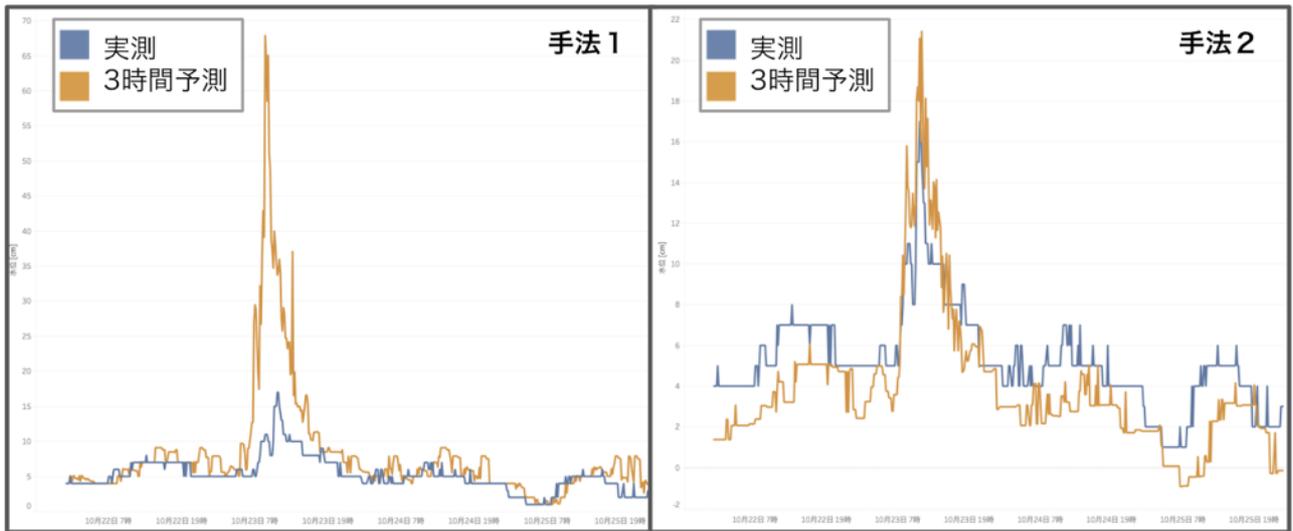


図 C-10:実績雨量を用いた水位予測結果 5030 号橋

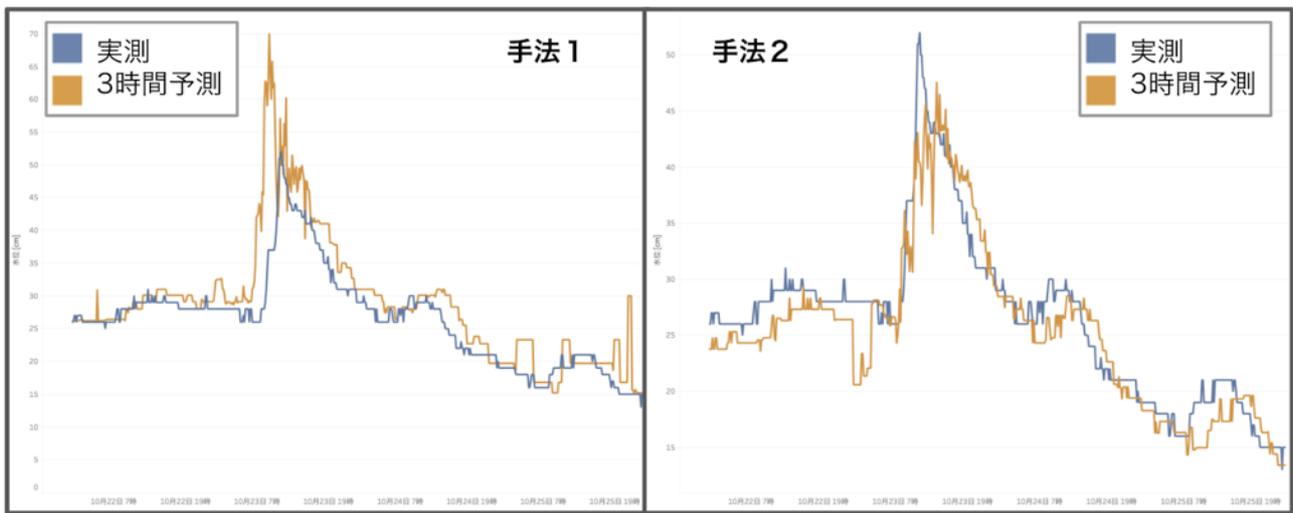


図 C-11:実績雨量を用いた水位予測結果 水上八反田橋

先進的技術やデータを活用したスマートシティ

の実証調査（その6）

報告書

令和3年3月

国土交通省 都市局

藤枝 ICT コンソーシアム