

早期実装にむけた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7）

報 告 書

令和4年9月

国土交通省 都市局

松山スマートシティ推進コンソーシアム

## 目 次

1. はじめに.....	1- 1
1. 1 都市の課題について.....	1- 1
1. 2 コンソーシアムについて.....	1- 2
2. 目指すスマートシティとロードマップ.....	2- 1
2. 1 目指す未来.....	2- 1
2.1.1 「笑顔あふれる歩いて暮らせるまち」の実現.....	2- 1
2.1.2 データ駆動型都市プランニングの実現.....	2- 2
2.1.3 市民参加まちづくりの展開.....	2- 4
2. 2 データ駆動型都市プランニングを支える先進技術.....	2- 5
2. 3 データ駆動型都市プランニングによる次世代都市サービス....	2- 6
2. 4 ロードマップ.....	2- 7
2. 5 KPI.....	2- 8
3. 実証実験の位置づけ.....	3- 1
3. 1 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ..	3- 1
3. 2 ロードマップの達成に向けた課題.....	3- 3
3. 3 課題解決に向けた本実証実験の意義、位置づけ.....	3- 4
4. 実験計画.....	4- 1
4. 1 対象地区.....	4- 1
4. 2 実験フロー.....	4- 2
4. 3 体制.....	4- 3
4. 4 スケジュール.....	4- 3
4. 5 実証内容と実証したい仮説.....	4- 5
5. 実験実施結果.....	5- 1
5. 1 実験結果.....	5- 1
5. 2 分析.....	5-12
5. 3 考察.....	5-15
5. 4 技術の実装可能な時期、実装に向けて残された課題.....	5-17
6. 横展開に向けた一般化した成果.....	6- 1
6. 1 3D都市モデル等可視化ツールを活用した避難行動の支援....	6- 1
6. 2 インプットデータの標準化・可視化手法の共有化.....	6- 1
6. 3 避難訓練の高度化等.....	6- 1
7. まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案...	7- 1

## 1. はじめに

松山市は、四国の北西部、愛媛県のほぼ中央に位置し、四国最大の人口約 51 万人を有する中核市である。そのまちづくりは、加藤嘉明が松山城を築城し、城を中心とした城下町が形成されたことに始まる。中心部には、松山城のほか、日本最古と言われる道後温泉などがあり、日本有数の観光地である。また、司馬遼太郎の小説『坂の上の雲』の主人公、俳人正岡子規や秋山好古・真之兄弟らが生まれ育った地でもあり、まちなかには小説にゆかりの地をはじめとした様々な歴史・文化資源が点在する。



図 1.1.1 松山市の位置

### 1.1 都市の課題について

#### ①歩いて暮らせるまちづくりの実現

松山市は、今後の更なる少子高齢化の進展や社会保障費増大などの社会情勢の変化に対応するため、コンパクトで質の高いまちづくりを目指している。この実現には、中心市街地や郊外拠点への都市機能の集約や住み替え促進、歩行者空間の創出、回遊性の向上、また、これらを支える公共交通のサービス水準の向上といった様々な施策を一体的に実施することが必要となる。

松山市では、「歩いて暮らせるまちづくり」として、徒歩や自転車など遅い交通に着目しながら、日本に 17 都市しか残っていない路面電車や戦災復興時に広幅員に確保された街路空間などの既存ストックを生かしたまちづくりを行っている。

ロープウェー街や花園町通りでは、道路空間を再配分し、歩行者空間を拡大することで、市民や観光客の回遊性を高め、空き店舗数の減少や通行者数の増加、沿線の地価の上昇につながっており、今後、このような取組みをさらに推進、拡大していく必要がある。

#### ②歩いて暮らせるまちづくりを進める計画手法・合意形成手法の確立

歩いて暮らせるまちづくりは、副次的に健康の増進や交流機会の増加など、社会全体で様々な効果が期待できる一方、自動車交通を対象とした整備と異なり、費用便益比の算出手法などは確立されていないため、整備根拠が希薄になることが多い。また、用地買収を伴わない既成市街地の整備は、長年にわたり沿道店舗や沿道住民のライフスタイルが定着しているため、道路の使い方を変えることに、沿道の不安は大きく、合意形成が難しい。そのため、整備根拠や事業実施の合理性、客観性に基づいた計画手法や合意形成手法の確立が課題となっている。

#### ③歩いて暮らせるまちづくりを支える多様な公共交通サービス

松山市の中心市街地は路面電車が走るほか、都市圏内は 3 線の私鉄郊外電車やバスが放射状に都心と郊外を結んでいる。現状の公共交通網は、比較的充実しているものの、今後は、公共交通路線沿線の生産年齢人口の低下が見込まれ、路線バス等の採算性の悪化が予測されるほか、運転手不足も相まって、路線は縮小傾向となる。

歩いて暮らせるまちづくりを進めるためには、徒歩や自転車など遅い交通が通行しやすい空間を整備するだけでなく、徒歩や自転車の移動を補う多様な交通手段が必要になり、公共交通は、逆風の中、さらなる充実と維持を求められている。

## 1.2 コンソーシアムについて

前項の課題を解決するため、関係する公民学が連携し、学のデータ分析力や、民の技術力・情報等を活用しながら取り組みを推進できる体制を構築する。

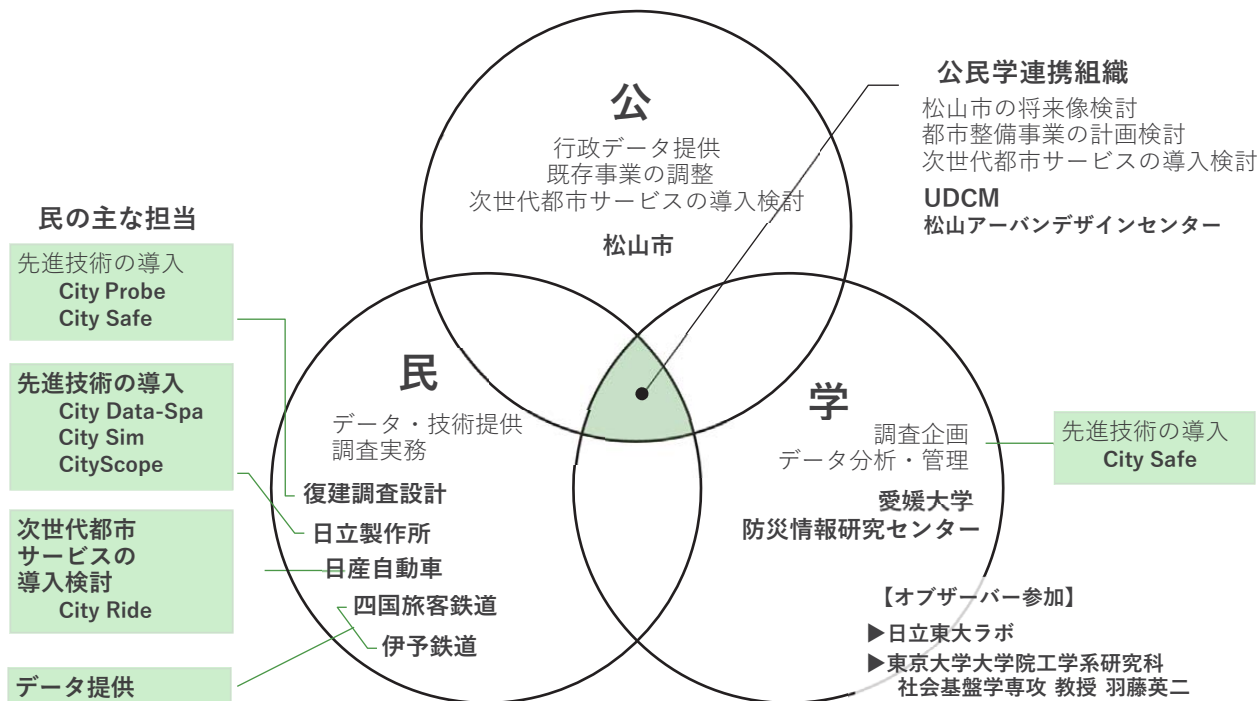


図 1.2.1 松山スマートシティ推進コンソーシアムの構成員

### データ駆動型都市プランニング推進：

松山市、UDCM（松山アーバンデザインセンター）

### 先進技術の導入：

センシング機器（City Probe）の導入検討：復建調査設計株式会社

都市データプラットフォーム（City Data-Spa）構築：株式会社日立製作所

可視化ツール（CityScope）・シミュレーションツール（City Sim）の構築：日立東大ラボ（連携）

### 調査・モデル構築・解析：

UDCM、復建調査設計株式会社

### データ提供：

伊予鉄道株式会社、四国旅客鉄道株式会社

### 次世代都市サービスの導入：

次世代モビリティ（City Ride）の検討；日産自動車株式会社

避難行動支援（City Safe）の検討：愛媛大学防災情報研究センター、松山市、  
復建調査設計株式会社

### 調査研究協力：

愛媛大学防災情報研究センター

## 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

#### 2.1.1 「笑顔あふれる歩いて暮らせるまち」の実現

豊かな都市空間の形成や最適化された次世代都市サービスを提供することにより、歩いて暮らせるまちづくりを推進し、市民の生きがいや健康の増進、低炭素・循環型のまち、観光地としての魅力向上、交流促進による経済活性化、災害に強いまちを実現する。

#### スマートシティの取組により目指す6つの都市像

- 広域拠点となる交通基盤を整備する【良好な交通環境の整備、交通基盤の整備】
- 生涯にわたって安心な暮らしをつくる【健康づくりの推進】
- 豊かな自然と共生する【低炭素・循環型まちづくりの推進】
- 都市全体の価値や魅力を向上する【観光産業の振興】
- 暮らしを支える地域経済を活性化する【事業所立地と雇用創出の推進】
- 災害に強いまちをつくる【災害発生時における体制の整備】

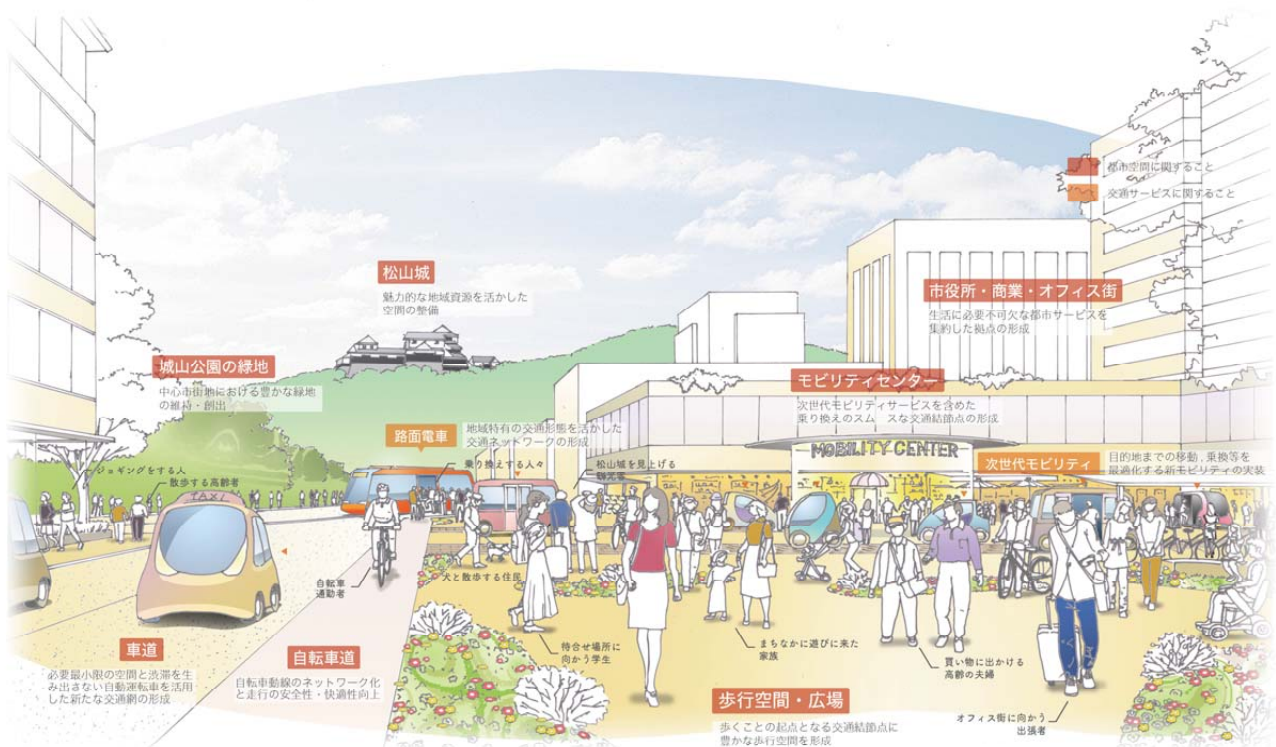


図 2.1.1 将来イメージ

## 2.1.2 データ駆動型都市プランニングの実現

前述の「笑顔あふれる歩いて暮らせるまち」の実現のためには、従来は別分野として個々に検討・立案・実行されていた事案や施策をサイバー上で重ね合わせ、都市全体として最適解を見出すことが有効と考える。本プロジェクトは松山市においてサイバー空間である都市データプラットフォームと都市というフィジカル空間を高度に融合させた、Society5.0を具現化する取組であり、都市活動の諸データを活用し、価値に変換するデータ処理・蓄積・伝達方法を整備することで知識集約型システムの構築を行うものである。

都市のあるべき将来像に向けた計画策定においては、計画精度の向上と十分な合意形成を可能とした計画プロセスが求められ、先進的技術を用いた都市マネジメント手法の確立が必須である。

松山市では、様々なまちのデータを多分野に活用することで、都市空間の改変や住民行動変容を推進することを目指している。この取組を実現するためには、(1) センシング技術を用いてまちの情報を収集し、(2) 都市データプラットフォームに蓄積し、(3) シミュレーションデータとして活用、あるいは(4) データを可視化し理解促進/住民合意促進を行い、都市計画やサービス提供に反映することが重要となる。

# Data-driven Urban Planning

## データ駆動型都市プランニング

スマートシティ実現に向け、松山市では、4つの先進的技術を用いてデータ駆動型都市プランニングの方法論を確立する。

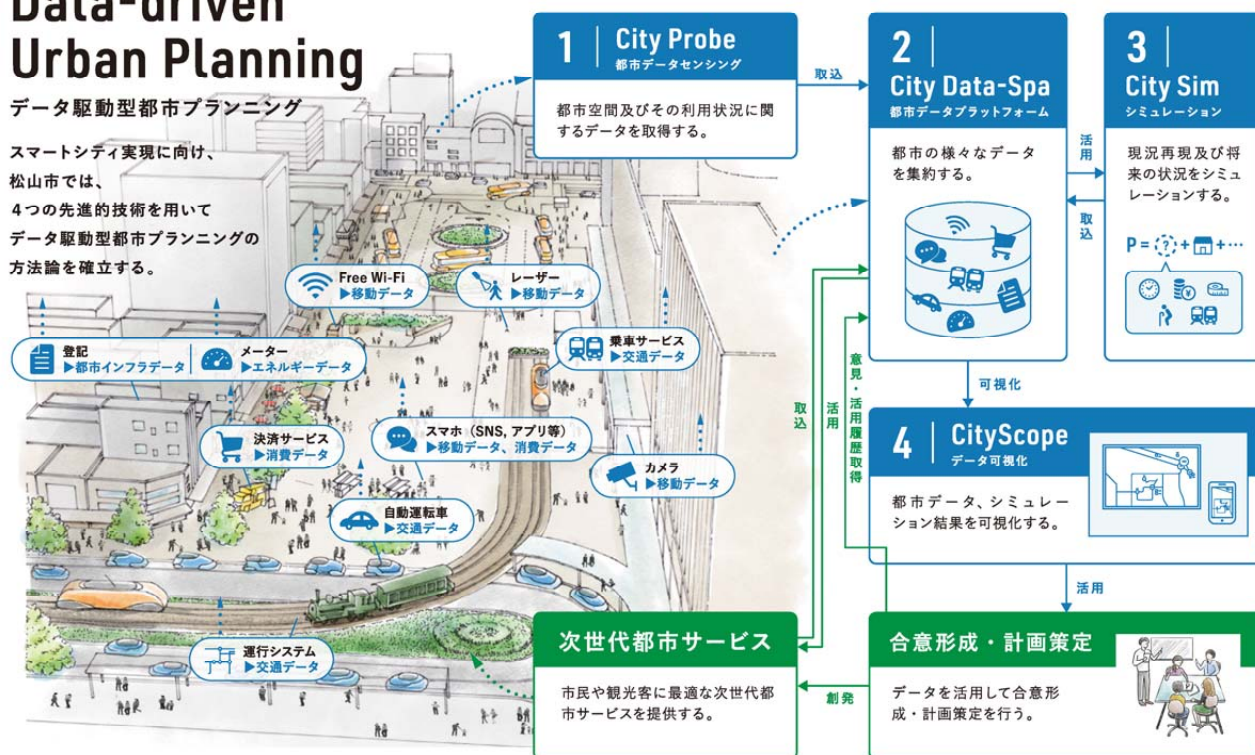


図 2.1.2 データ駆動型都市プランニングのイメージ

これらのプロセスを通じてスマート・プランニングを実現し、サービス提供するまでの方法論を、本プロジェクトでは“データ駆動型都市プランニング (Data-driven Urban Planning)”と定義する。その構築には以下の4つのツールを実装する。

- (1) City Probe (都市データセンシング)
- (2) City Data-Spa (都市データプラットフォーム)
- (3) City Sim (シミュレーションツール)
- (4) CityScope (可視化ツール)

データ駆動型都市プランニングの実行プロセスについて、以下図 2.1.3 を用いて述べる。比較のため、従来の都市計画の流れを合わせて図化した (図の左、As Is)。従来行われている大規模で長期に渡る検討業務では、検討から立案、実行までを 5~10 年のスパンで実施する、いわゆるウォーターフォール型といえる。これに対し ToBe (めざす姿) では、各種センシング情報などを集約する都市データプラットフォーム導入にて、数か月から 1 年という短いスパンでエリア内を細やかに検討~実行する業務形態が可能となると考える。これはいわゆるアジャイル型と言われるものであり、ウォーターフォール型に加えて、検討や維持・運用の場面で実施されるようになると考えている (以下図参照)。アジャイル型は、比較的「短期間で」データを用いた現状把握、効果検証を「反復する」ことで、より検討を深めていくものと考えているが、これらは現時点の整理であり、今後都市データプラットフォームに蓄積される情報が増え、年数を経っていくとウォーターフォール型の業務フローも変更になる可能性もある。

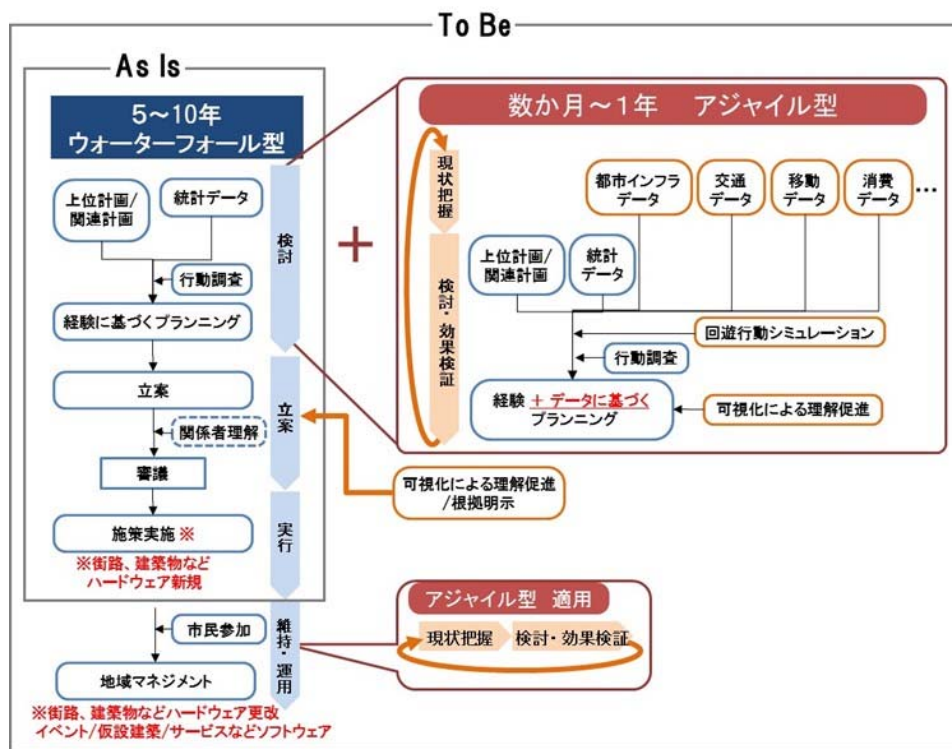


図 2.1.3 都市計画業務イメージ

### 2.1.3 市民参加まちづくりの展開

松山市が、ロープウェー街や道後温泉本館周辺、花園町通りなど、都市空間の改変を通して、沿線地権者や市民等との合意形成を経験してきた中で、最初に提示した案で合意形成が完結することはなく、何度も整備案を提示しては、様々な声を聞き、その都度修正を繰り返す。その過程において、とりわけ整備イメージの共有は難しい。言葉だけでは到底伝えきれないため、計画平面図などをテーブルに広げるものの、図面読解力のない方には十分に理解されず、担当者は説明に苦慮する。また、パース図や模型を準備することで、整備後の空間情報をうまく伝えられたとしても、沿線の方々が、長年に渡りそこで培ってきたライフスタイルが公共空間の変化によってどう変わるかまではわかりにくく、お互いの思いを共有できないまま、払拭できない不安や懸念が整備への抵抗になることや、これまでなかった民側の新しいアイデアや期待が整備に反映されず埋没されるといったことが生じやすい。そこで、費用や労力を要するものの、社会実験を実施し、整備イメージを体験、体感してもらってきた。

このように、百聞は一見に如かず、百見は一体験に如かずで、進められてきた都市空間改変での合意形成手法は、データ駆動型都市プランニングにおけるデータの可視化を通して、そのツールや手法を見直し、拡充し、市民参加のまちづくりに展開することが可能と考える。(図 2.1.4)

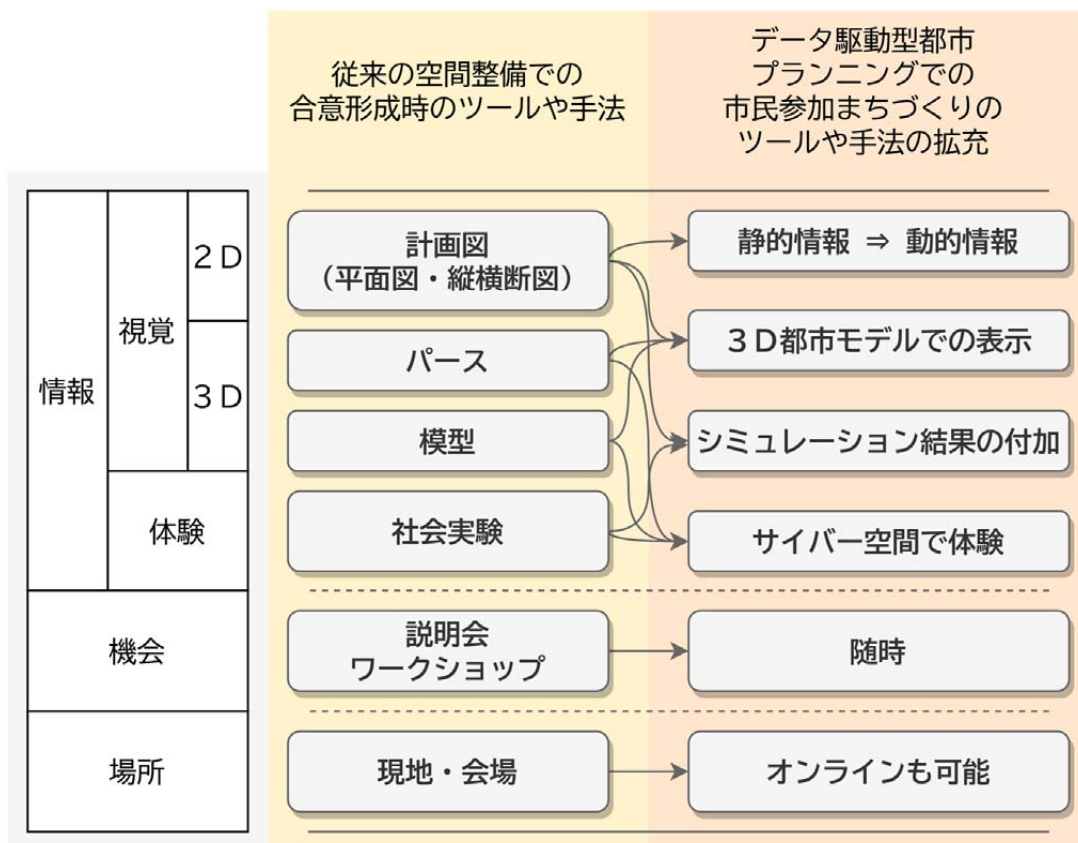


図 2.1.4 データ駆動型都市プランニングでの市民参加まちづくり手法の拡充イメージ



## 2.2 データ駆動型都市プランニングを支える先進技術

### (1) City Probe (センシング技術)

スマートフォンに搭載されている GPS や加速度センサー、Wi-Fi などの受信機、ステレオカメラやレーザーなどのセンシング機器を活用し、都市空間における人や車両などの移動・滞在情報を継続的にモニタリングするための技術開発及び仕組みを構築する。

また、センシング機器の実空間への実装や、移動体情報の収集のためのアプリケーション開発などを目指す。

### (2) City Data-Spa (都市データプラットフォーム)

City Probe で収集されたデータや自治体／企業等からの提供データを集約・蓄積し、スマート・プランニングや観光／防災／環境などの多分野にデータを活用するための、“都市データプラットフォーム (City Data-Spa<sup>※</sup>)” を構築する。

構造化／非構造化を問わずあらゆる企業データを一元的に管理する大規模なデータレイク (Data lake) という既存の概念に対して、地域から湧き出すデータが触媒となって市民や地域企業の活動を活性化させ多くの人が集まる、例えるなら温泉のような求心力と効用を持つ地域密着型の都市データプラットフォームを目指すものである。

※ City Data-Spa : 本コンソーシアムにおける都市データプラットフォームの愛称

### (3) City Sim (シミュレーションツール)

現在は交通流シミュレーションおよび回遊行動シミュレーション、避難シミュレーションなど、個別のシミュレーションツールが独立して存在するが、今後は広域と狭域の行動シミュレータの連動や複数の交通手段を用いて移動する人の行動など、各種シミュレーションの連動を試みる。



図 2.2.1 シミュレーションの一例

#### (4) CityScope (可視化ツール)

都市データプラットフォームに取得/蓄積した各種データを活用する手段のひとつとして、情報の可視化を想定している。2018年度以降、松山市のまちづくりにおける各関係者との合意形成を支援するツールとして、日立東大ラボのCityScope<sup>※</sup>を松山アーバンデザインセンターに設置し、実験的に活用している。2020年度の実証実験では、可視化ツールとしてプロトタイプ版の都市データプラットフォームと連携利用することを想定している。

※ CityScope：日立東大ラボで提唱するまちづくりにおけるデータ可視化ツール。本実証では、日立製作所東京社会イノベーション協創センターの有する顧客協創手法 Nexperience で用いられるツールのひとつである Cyber-PoC for Cities を活用している。

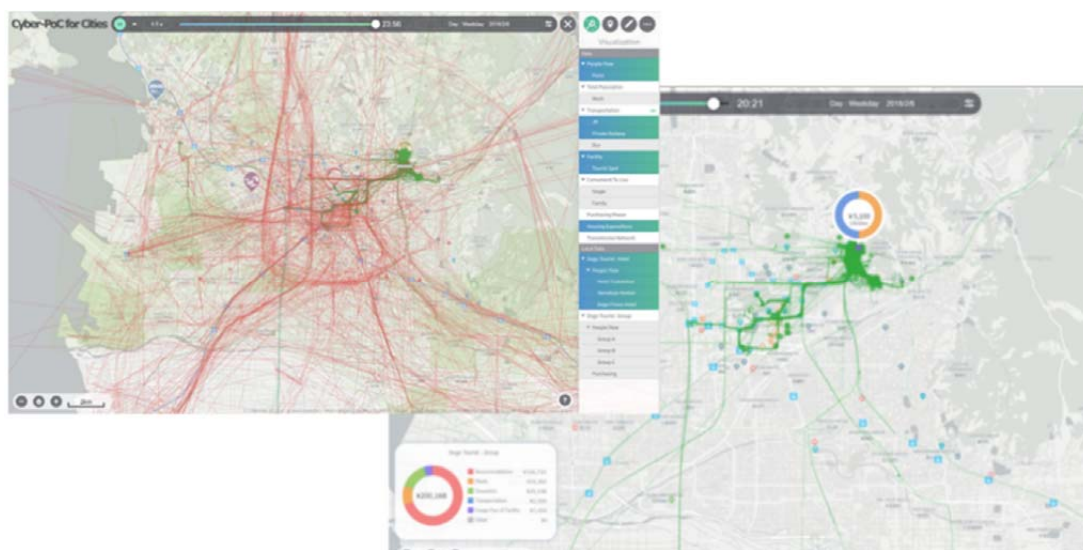


図 2.2.2 CityScope を用いた可視化イメージ

### 2.3 データ駆動型都市プランニングによる次世代都市サービス

#### (1) City Ride (次世代モビリティサービス)

モビリティサービスの情報体系を都市データプラットフォーム (City Data-Spa) に接続し、運行計画の最適化や利用者への情報・サービス提供を行う次世代モビリティサービスの構築を目指す。利用者には、予約・情報ツールやサブスクリプションサービスを提供し、公共交通ネットワークを一体的なサービスとして利用できるようにする。地域の人の移動を活性化させるために、自動運転技術を用いたモビリティサービスの導入を想定し、鉄道やバスによる大量輸送の成立が難しい発着地間の移動を支援する。新たに導入するモビリティサービスと既往公共交通が連携した統合的な交通サービス体系を、交通行動データとシミュレーションによる導入効果や交通影響の定量的評価に基づき構築する。

#### (2) City Safe (避難行動支援サービス)

昨今、全国各地で水害による甚大な被害が発生している状況を踏まえて、「災害に強いまちをつくる」【災害発生時における体制の整備】に着目し、「データ駆動型の都市プランニング」の各種技術を用いた、市民の災害に対する危機意識の向上や、迅速・適切な避難行動などに資するサービスを構築する。

2.4 ロードマップ

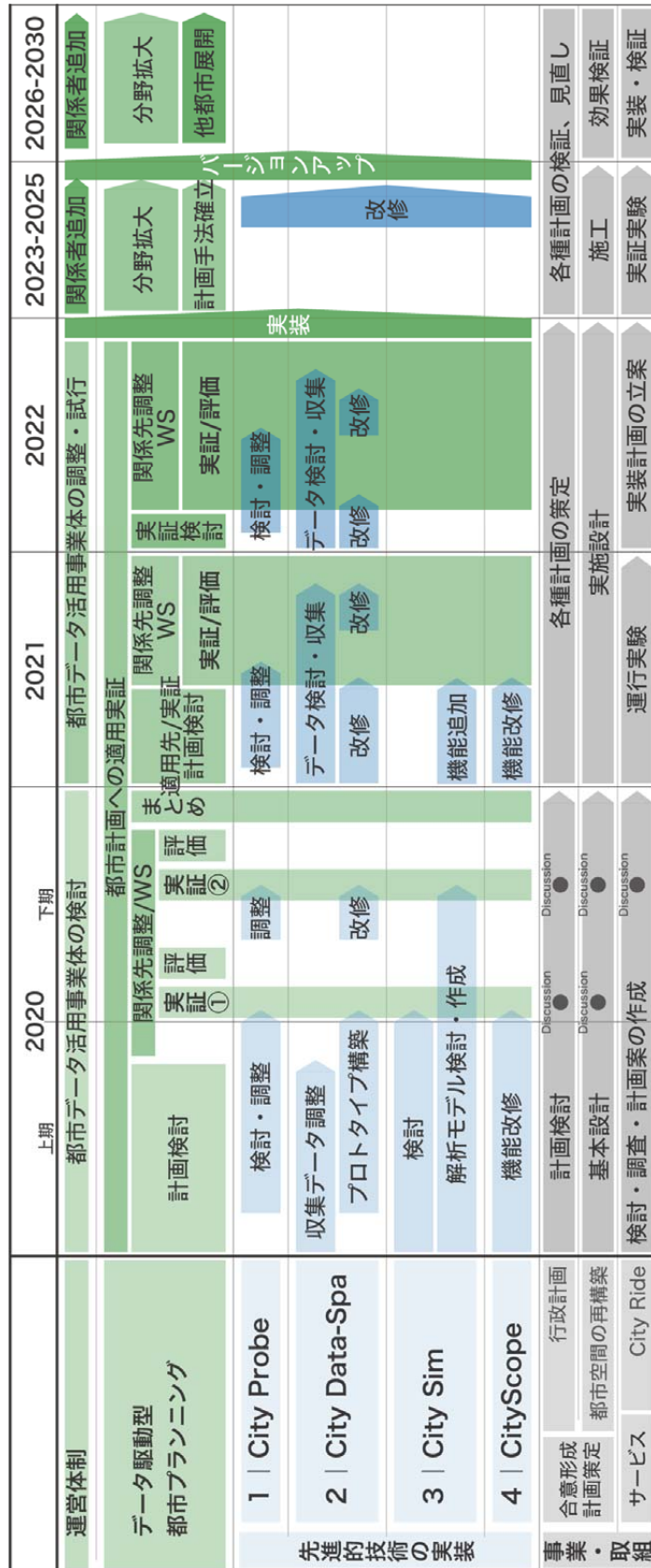


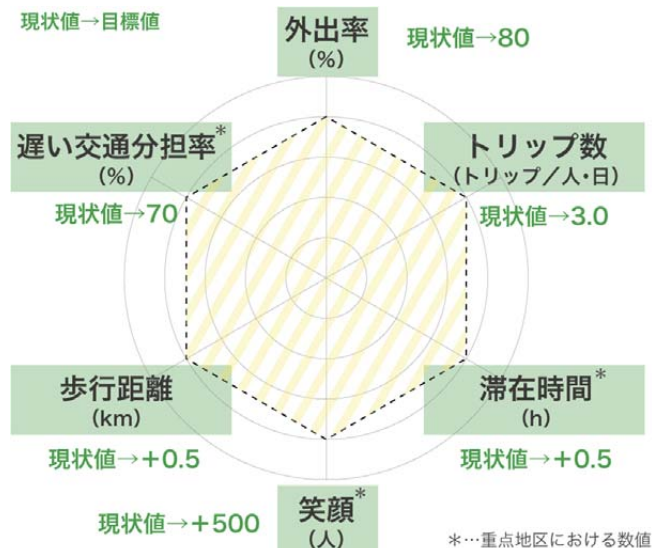
図 2.4.1 ロードマップ

## 2.5 KPI

### (1) スマートシティの目標に関する KPI

表 2.4.1 スマートシティの KPI

KPI	KPI の説明	現状値	目標値	達成年度
歩いて暮らせるまちの KPI の提案	先進技術を用いて効率的で効果的な KPI の算出手法を提案した数	0	6	R12



歩いて暮らせるまちづくりを進めていく上で、ひとの活動やまちの魅力、まちを歩く楽しさなどを評価する明確で効果的な指標が必要になる。本取組では先進技術により効率的に取得できる KPI の提案を目指し、次の6つについて検討する。

図 2.5.1 歩いて暮らせるまちの6つの KPI

表 2.5.2 6つの KPI の内容と目標値

KPI	KPI の説明	現状値	目標値	達成年度
外出率 (%)	人口に対する外出した人数 (スマホのGPSデータ、公共交通の利用者数、カメラでの通行者数などから推計) 人の活動を示す指標	—	80.0	R12
トリップ数 (トリップ/人・日)	外出した人が目的地まで移動する回数 (スマホのGPSデータからの算出を想定) 人の活動を示す指標	—	3.0	R12
中心市街地滞在時間 (時間)	重点区域外から来街した方が重点区域内に滞在する時間 (スマホのGPSデータからの算出を想定) 中心市街地の魅力を示す指標	—	現状値+0.5	R12
歩行距離 (km)	外出した人が1日に徒歩で移動する平均距離 (スマホのGPSデータからの算出を想定) 人の活動を示す指標	—	現状値+0.5	R12
市駅前広場の笑顔 (人)	市駅前広場で歩く人の笑顔の数をカメラで観測 人の活動及び楽しさを示す指標	—	現状値+500	R12
中心市街地来街者の遅い交通分担率 (%)	重点区域外から区域内に来街する人のうち、徒歩・自転車・公共交通の移動手段で来街する人の割合 自動車から遅い交通への移動手段の転換状況を示す指標	—	70	R12

(2) 松山市の目標に関する KPI

表 2.5.3 松山市の目標に関する KPI

目標	KPI	KPI の説明	現状値	目標値	達成年度
広域拠点となる交通基盤を整備する	市内中心部の放置自転車数の台数 (台)	市内中心部の放置自転車数 安全で安心な歩行者空間の確保状況を表す指標	2,856	2,000	R4
	公共交通機関 (郊外電車・路面電車・バス) の乗降客数 (人)	伊予鉄道(株)が運営する郊外電車・路面電車・バスの乗降客数の合計 公共交通の利用促進状況を表す指標	27,088,000	27,300,000	R12
	広域交通拠点 (JR 松山駅・松山空港・松山港) の乗降客数 (人)	広域交通拠点である JR 松山駅・松山空港・松山港の乗降客の合計 広域公共交通の利用促進状況を表す指標	9,279,000	9,400,000	R4
	居住誘導区域内人口 (人)	居住誘導区域内に居住している人口 コンパクト・プラス・ネットワークの施策効果を示す指標	317,206	330,000	R12
	中心市街地の地価 (㎡/円)	中心市街地の地価 (国土交通省地価公示価格 千舟町 4 丁目 2-2) スマートシティを進めることの効果を示す指標	363,000	400,000	R12
生涯にわたって安心な暮らしをつくる	国民健康保険の金額 (千円)	国民健康保険給付費の額 医療費低減効果を示す指標	43,461,041	41,287,988	R12
豊かな自然と共生する	松山市域からの温室効果ガス排出量 (万-CO2)	地球温暖化の要因となる温室効果ガスの排出量を CO2 換算した量。 環境保全の状況を示す指標	393.1	271.5	R4
	住宅などに設置された太陽光システムの設置容量 (kW)	市内の民間住宅などに設置された太陽光発電システムの電力の出力量、 温室効果ガスの削減の取組状況を示す指標	140,491	151,000	R4
都市全体の価値や魅力を向上する	観光客推定数 (人)	本市を訪れた観光客の数 本市の観光に関する魅力度を表す指標	5,827,900	6,200,000	R4
	外国人観光客数 (人)	本市を訪れた外国人の数 外国人に対する本市の魅力度を表す指標	187,500	310,000	R4
	自動運転車両の配車数 (台)	自動運転車両の導入数 公共交通サービス向上を示す指標	-	1	R12
	MaaS アプリ実装	MaaS アプリの実装数 交通サービス向上や公共交通分担率増につながる指標	-	1	R12
暮らしを支える地域経済を活性化する	商業・サービス業などにおける市内事業所数 (所)	経済センサス基礎調査で集計された業種のうち、卸売・小売業、宿泊業、飲食サービス業、生活関連サービス業・娯楽業の事業所数及び従業者人数の合計。	10,607	10,621	R4
	商業・サービス業などにおける市内従業員数 (人)		81,600	81,635	R4
災害に強いまちをつくる	復旧復興シミュレーションの実装	被災後、いかに早く復興を行うか、最適な避難経路は何かを、被災状況モデルを用いてシミュレーションを可能にする	-	1	R12

(3) 都市データ収集/利活用に関する KPI

表 2.5.4 都市データ収集/利活用に関する KPI

	指標名	指標の説明	現状値	目標値	達成年度
データ 収集	データ種別数	収集するデータの種類	-	20	R3
				50	R7
	データ提供者数	データ提供の協力者数	-	5	R3
				30	R7
	他基盤との連携数	API 連携による収集	-	2	R3
				5	R7
データ 活用・ サービス 適用	連携ツール数	都市データプラットフォームと連携するツールの数	-	10	R7
	プランニングへの応用数	スマート・プランニングへの適用件数	-	2	R3
	データ活用分野数	都市データプラットフォームを活用した分野	-	5	R7
	データ活用件数	延べ活用件数	-	50	R7
	ワークショップ件数	都市データプラットフォーム内のデータを活用したワークショップの件数	-	15	R7

### 3. 実証実験の位置づけ

#### 3.1 実証実験を行う技術・サービスのロードマップ内の位置づけ

松山スマートシティ推進コンソーシアムでは、豊かな都市空間の形成や最適化された次世代都市サービスを提供することにより、「笑顔あふれる歩いて暮らせるまち」を推進し、市民の生きがいや健康の増進、低炭素・循環型のまち、観光地としての魅力向上、交流促進による経済活性化、災害に強いまちの実現を目指している。

この都市像の実現のためには、従来、別分野として個々に検討・立案・実行されていた事案や施策をサイバー上で重ね合わせ、都市全体として最適解を見出し、実空間に落とし込むことが有効と考えている。当コンソーシアムでは、フィジカル空間とサイバー空間とが高度に融合されたシステム構築の一つの方法論として、「データ駆動型都市プランニング」を掲げ、具体的なプロジェクトに取り組ながら、システムの実装を目指すものである。

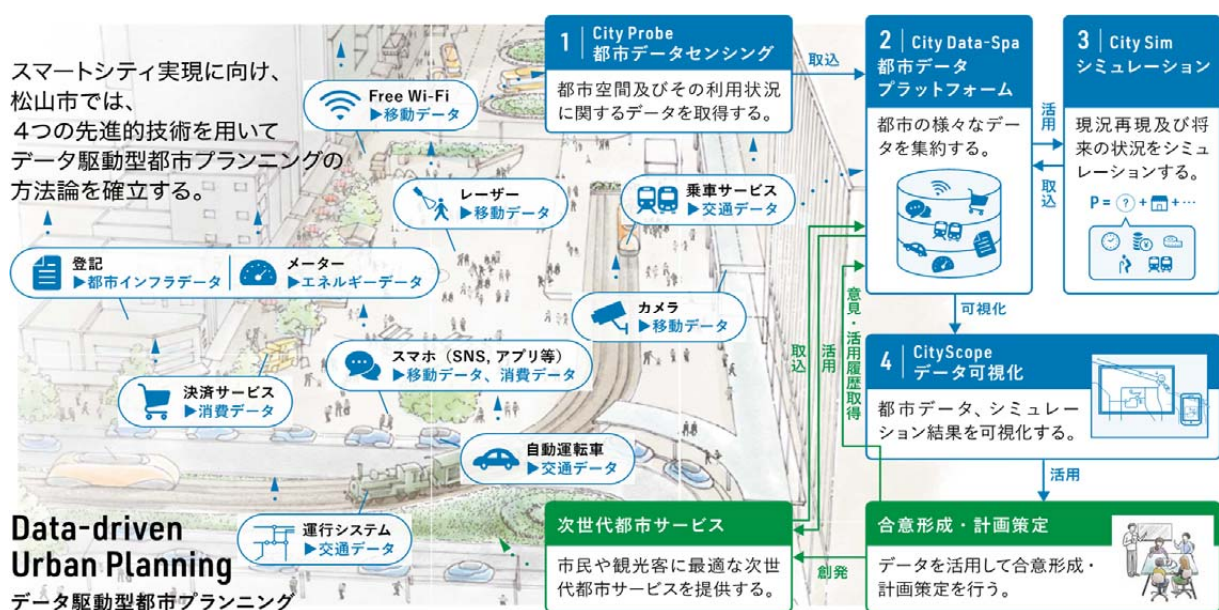


図 3.1.1 データ駆動型都市プランニング イメージ

この取組の中で、今回の実証実験では、昨今、全国各地で水害による甚大な被害が発生している状況を踏まえて、「災害に強いまちをつくる」【災害発生時における体制の整備】に着目し、「データ駆動型の都市プランニング」の各種技術を用いた、市民の災害に対する危機意識の向上や、迅速・適切な避難行動の支援などについて検証するものである。

#### スマートシティの取組により目指す6つの都市像

- 広域拠点となる交通基盤を整備する【良好な交通環境の整備、交通基盤の整備】
- 生涯にわたって安心な暮らしをつくる【健康づくりの推進】
- 豊かな自然と共生する【低炭素・循環型まちづくりの推進】
- 都市全体の価値や魅力を向上する【観光産業の振興】
- 暮らしを支える地域経済を活性化する【事業所立地と雇用創出の推進】
- 災害に強いまちをつくる【災害発生時における体制の整備】

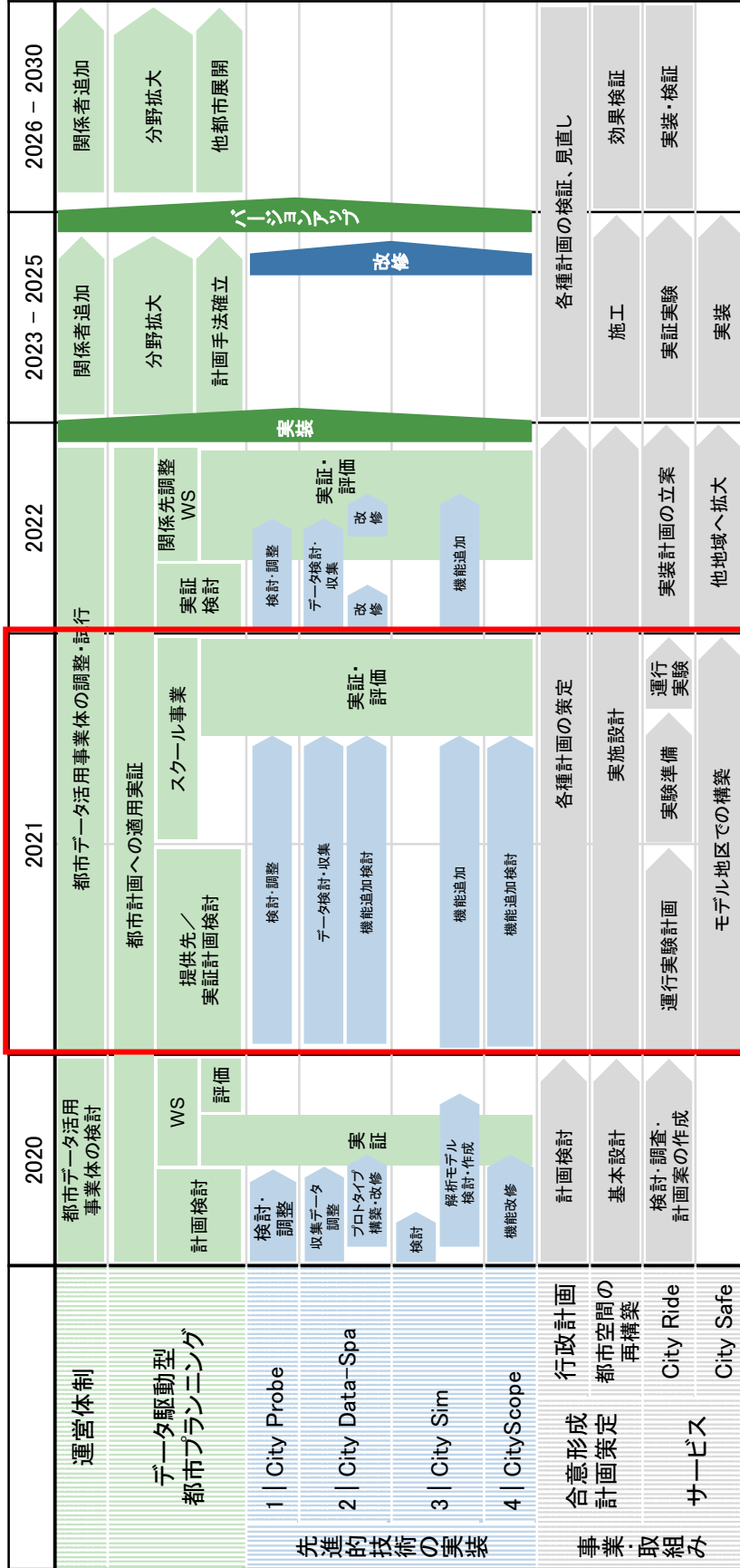


図 3.1.1 ロードマップ内の位置づけ



## 3.2 ロードマップの達成に向けた課題

### (1) データ収集上の課題

昨今、全国各地で水害による甚大な被害が発生している状況に対して、主な河川では水位情報の常時取得と公表がなされているほか、地域における浸水状況把握のためのワンコイン浸水センサ<sup>\*</sup>を用いた実証実験が行われるなど、データ収集の取り組みが進められている。

これら状況の中、「データ駆動型都市プランニング」の都市データセンシング (City Probe) の防災分野への適用の一つとして、安価かつ簡易で、多地点の水位データが即時かつ継続的に収集可能な水位観測の仕組み構築が一課題となっている。

※ワンコイン浸水センサ: 形状、価格もワンコイン程度 (500 円玉を想定) の現地設置センサ及び受信機で浸水の状況が把握可能な検知システム。



出典：国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課の資料より抜粋

### (2) データ集約・活用上の課題

都市・交通関連のデータを含めて、防災の観点からも、雨量や河川等水位、地形、下水道配管データなど、浸水シミュレーションに必要なデータを集約 (一元化) するプラットフォーム (都市 OS) が必要である。都市 OS の全体構造やデータの標準化、集約・格納方法などの仕組み (City Data-Spa) について具体的な検討と、実装が必要である。また、合わせて、格納するデータの一般公開 (共有化) に向けた課題の抽出と、運用・管理の仕組みづくりも必要となっている。

### (3) シミュレーション上の課題

一定の条件下での洪水浸水や高潮、津波浸水などのシミュレーション手法は、国や大学などの研究機関において確立されつつあるが、状況が変化する実際の気象状況に応じて、短時間で被災状況を事前予測 (City Sim) し、情報提供及び避難行動に繋げる技術が必要となっている。

### (4) 可視化及び情報提供上の課題

自然災害への備えとして、現状においては、防災ハザードマップなどによる危険箇所・エリア及び想定被災規模の提供や、異常気象時の防災気象情報・警戒レベルの提供などが行われている。しかし、ハザードマップは想定される最大・最終的な被災状況を示したもので、当状況に至るまでの過程 (時系列での状況) は示されていないことや、気象情報・警戒レベルの提供も、一般市民は、これから起こり得る可能性のある状況が不確かな中で避難行動を判断することから、逃げ遅れや適切でない場所への避難などが発生している。

これら課題に対して、日頃からのマイタイムラインの作成や避難訓練などの取り組みが行われているが、いずれも被災の過程を十分提供した上でのものとはなっていない。

このため、時系列及びオンラインでの可視化 (CityScope) 及び情報提供サービスの構築 (City Safe) が課題となっている。

### 3.3 課題解決に向けた本実証実験の意義、位置づけ

今回の実証実験では、データ駆動型都市プランニングの構成要素である、データ収集 (City Probe)、データ集約 (City Data-Spa)、予測 (City Sim)、可視化 (CityScope) と、市民への情報提供による避難行動支援 (City Safe) のそれぞれ及び連携について、実作業を通して、現時点での問題点を抽出し、今後解決すべき課題を明らかにするものである。

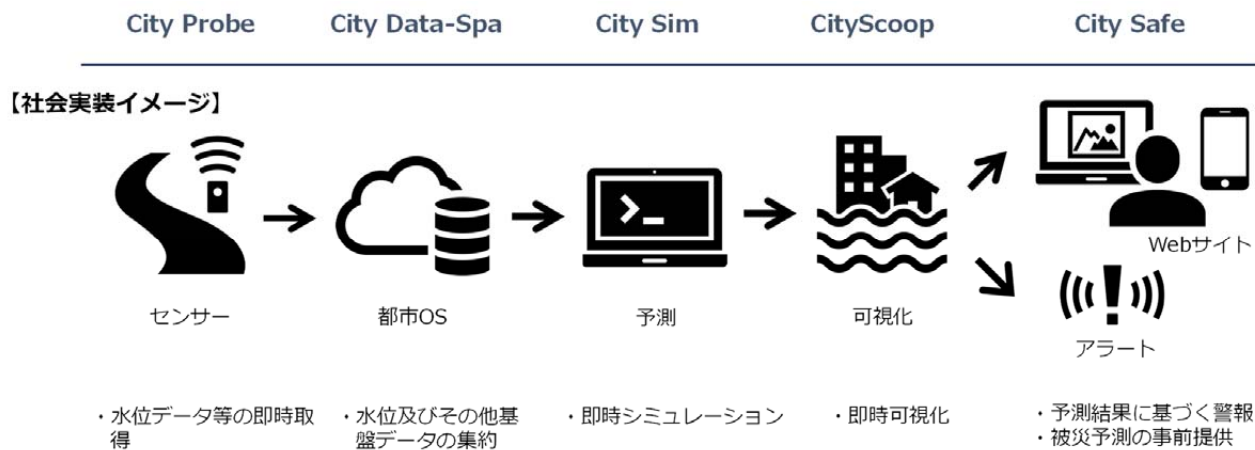
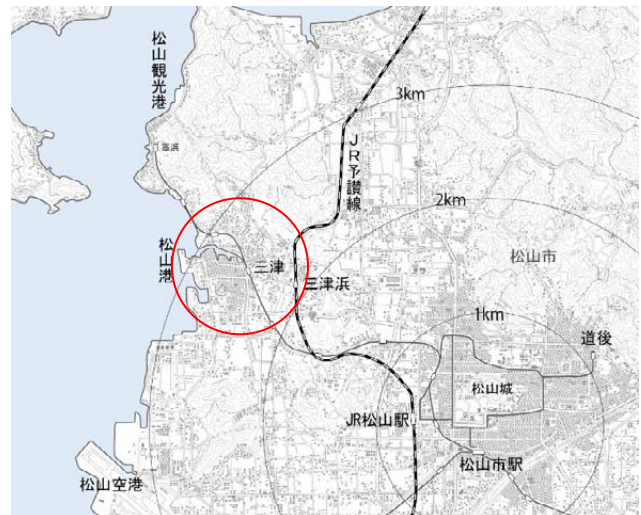


図 3.3.1 社会実装のイメージ

## 4. 実験計画

### 4.1 対象地区

本実証実験は、松山市中心市街地から北西約3kmの沿岸部に位置し、過去に台風に伴う高潮により甚大な被害に見舞われたことがあるほか、高潮・津波や内水浸水による被害発生リスクを抱えている、愛媛県松山市三津浜地区及び宮前地区を対象として実施する。



#### 三津浜地区+宮前地区+周辺

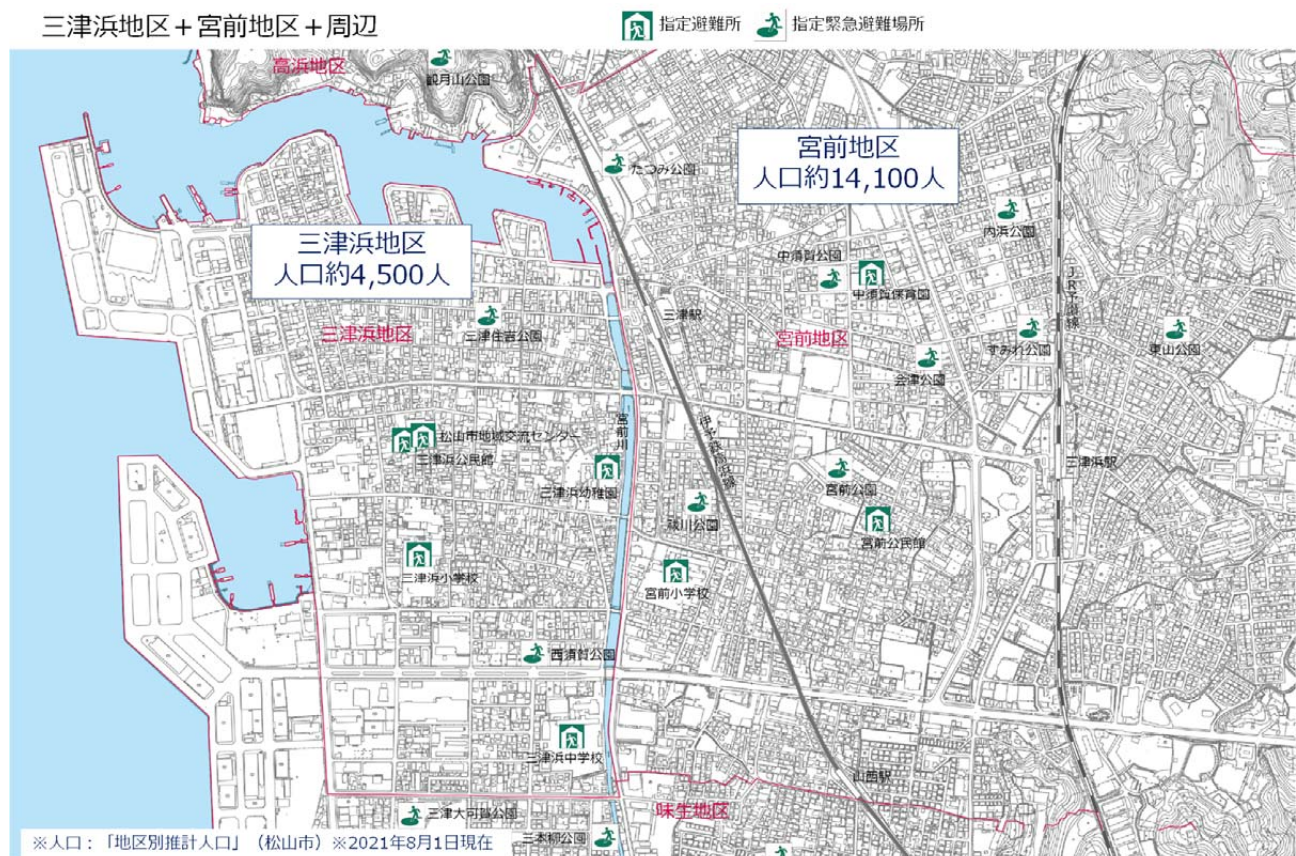


図 4.1.1 対象地区

## 4.2 実験フロー

本実証実験では、「データ駆動型都市プランニング」の要素技術を用いながら、以下のフローに従い実施する。

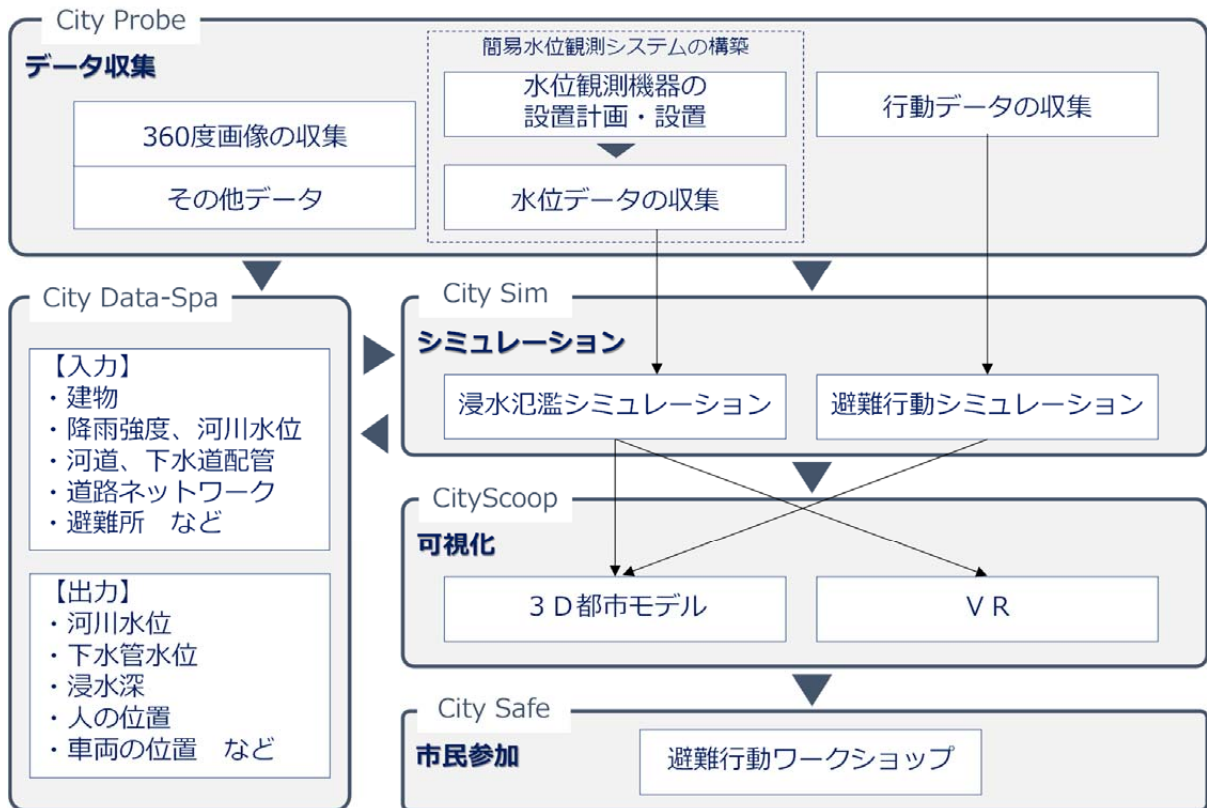


図 4.2.1 実験フロー

### 4.3 体制

実証実験にあたっては、松山スマートシティ推進コンソーシアムの構成員のうち、松山市内に拠点を置く構成員が取り組むものとし、「データ収集」(City Probe)、「シミュレーション (浸水、避難行動)」(City Sim)、「可視化」(CityScoop)、「ワークショップ」(City Safe) の4つのワーキンググループを立ち上げ、それぞれのグループでの技術課題等について具体的な検討を行うとともに、定期的に全体会議を開催し、進捗確認や全体調整、情報の共有化を図る。

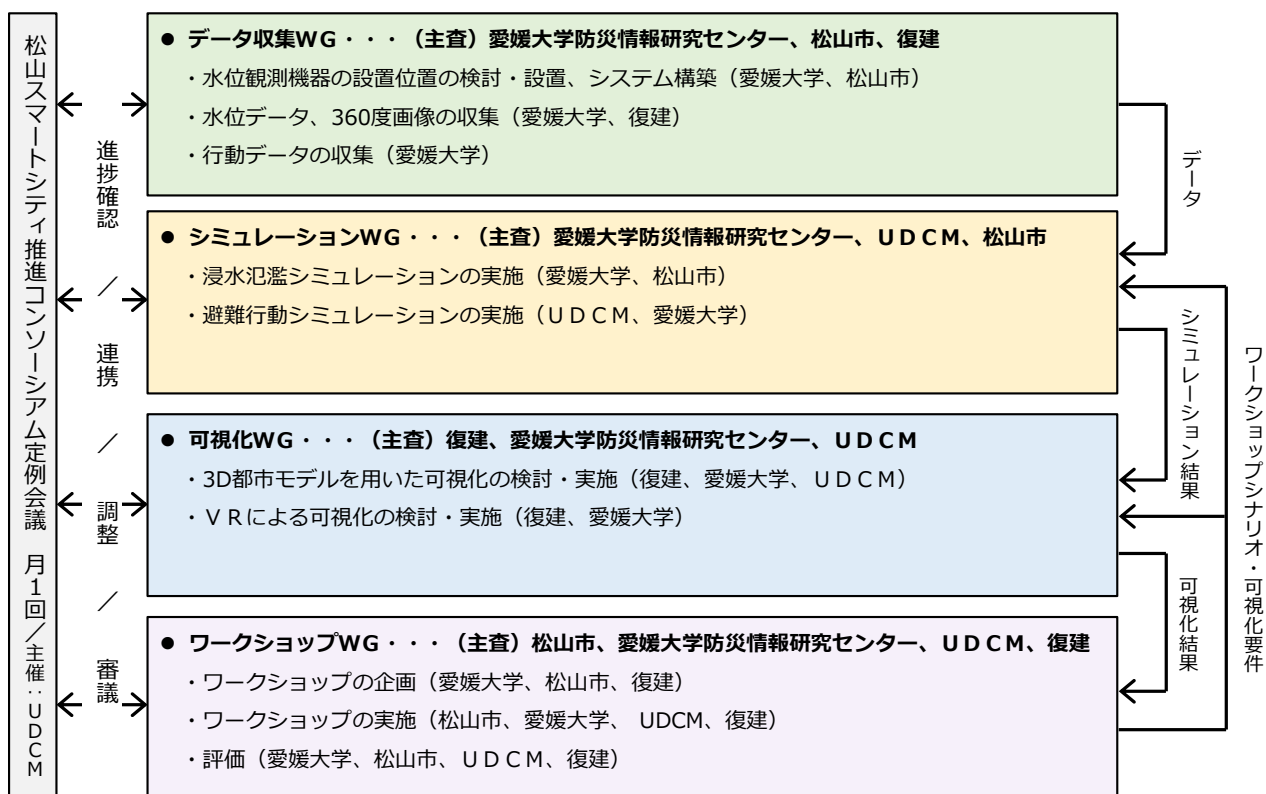


図 4.3.1 検討体制図

### 4.4 スケジュール

本実証実験は、「避難行動ワークショップ」を工程上のコントロールとして、以下のスケジュールのもとで行うものとする。

ワークショップは、別途進められている、住民参加の「避難所運営マニュアル策定会議」と同時開催とし、2021 (令和 3) 年度内に 3 回開催する予定であったが、第 3 回ワークショップ開催において、コロナウィルス感染拡大の影響により中止とし、2022 (令和 4) 年度に延期することとした。

WG	工程	2021 (令和3) 年度									2022 (令和4) 年度				
		8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
データ収集WG	水位観測機器の設置計画・設置	→	→												
	水位データ・360度画像の収集		→	→											
	行動データの収集		→	→											
シミュレーションWG	浸水氾濫シミュレーション	→	→	→	→										
	避難行動シミュレーション	→	→	→	→										
可視化WG	3D都市モデルを用いた可視化	→	→	→	→	→					→ 改良				
	VRによる可視化		→	→	→	→									
ワークショップWG	地元調整		→	→								→			
	ワークショップの開催				●WS1	●WS2	○WS3							●WS3	
	効果検証					→	→	→	→					→	
	報告書作成									→					→

図 4. 4. 1 スケジュール

## 4.5 実験内容と実証したい仮説

### (1) 簡易水位観測システムの構築

対象地区内の「宮前川」（二級河川）においては、愛媛県が危機管理型水位計を2箇所設置しており、取得データは、Webサイト\*での情報提供がなされているが、地区内水路での内水氾濫など、住民にとってより身近な状況のデータ取得と、シミュレーションへの適用可能性を検討することを目的として、安価かつ簡易な水位計を設置する。設置にあたり、具体的な設置箇所の検討を行うとともに、実際に現場に機器を設置し、水位データを取得するとともに、水位観測システムの構築について検討する。

※「川の水位情報」（国土交通省）

<https://k.river.go.jp/?zm=12&clat=33.773011756156684&c lon=132.72136688232425&t=0&dobs=1&drvr=1&dtv=1&dtmobs=1&dtmtv=1>

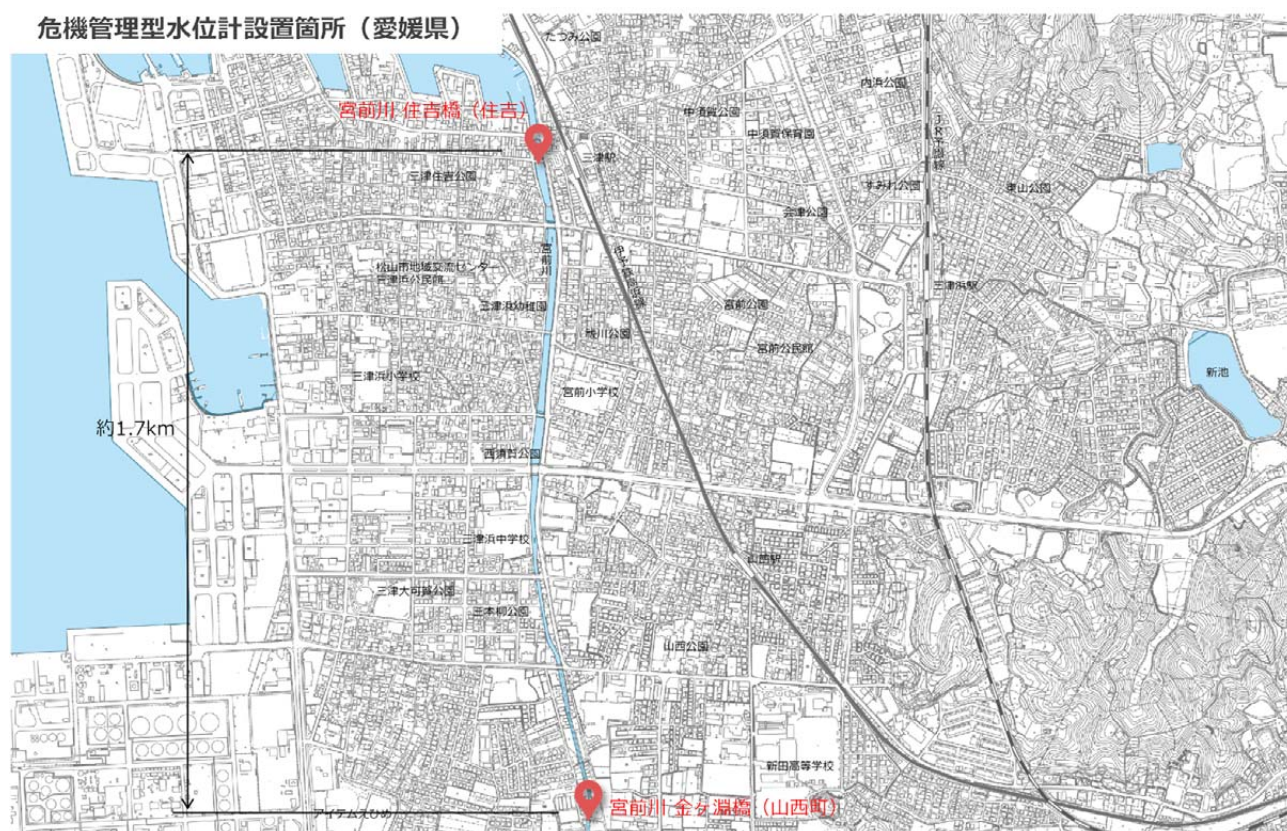


図 4.5.1 既存水位計設置箇所

#### 【実証したい仮説】

- 地区内水路などにおいて、安価かつ簡易な機器による水位観測システムを構築することで、複数箇所でのオンラインかつ継続的なデータ収集が可能となり、シミュレーションへの活用や住民等への情報提供など、地区防災システムの一つとして展開が可能になること。

## (2) データの集約・格納

シミュレーションや可視化を行うにあたり、3D都市モデルや、降雨、地形、下水道配管などのデータを収集するほか、水位データをサーバーに送信・格納する。

### 【実証したい仮説】

- ・設置した水位機器によるデータが安定して収集・データ送信可能であること、データフォーマットがシミュレーションに活用可能な形式（フォーマット）であること。

## (3) 浸水氾濫シミュレーション

高潮並びに内水を対象にして、時系列の浸水氾濫シミュレーションを実施する。シミュレーション実施にあたり、収集したデータをもとに、シミュレーションの入力データを作成するとともに、検証する災害シナリオを検討・設定する。

なお、シミュレーションモデルは「都市域氾濫解析モデル（NILIM2.0／国土技術政策総合研究所）」を適用する。

### 【実証したい仮説】

- ・時系列浸水氾濫シミュレーション及び可視化した結果の提示により、ハザードマップ等の静的かつ一定条件下での情報により住民が認識（想定）している被災状況との乖離を認識してもらうことで、事前の対策実施や災害時の迅速な避難行動に寄与すること。

## (4) 避難行動シミュレーション

災害発生時の避難行動を検証するため、地区の居住分布や道路網を収集・整理するとともに、時系列避難行動シミュレーションを構築する。

なお、避難行動は、自家用車と徒歩それぞれによることが想定されるが、今回は、浸水氾濫を対象とし、自家用車による高台避難を想定する。

### 【実証したい仮説】

- ・時系列避難行動シミュレーション及び可視化した結果の提示により、住民が想定している避難行動上の問題点を認識してもらうことで、災害時の迅速かつ適切な避難行動に寄与すること。



## (5) シミュレーション結果の可視化

(2) 及び(3) で行うシミュレーション結果について、複数のツール及びスケールから可視化する。

### ● 可視化 1 : 3D 都市モデル (鳥瞰)

国土交通省都市局が作成・公開している「3D 都市モデル」のデータを用いて、対象エリア全体の時系列の浸水状況及び避難行動を可視化する。

主に、エリアにおける浸水の広がりや避難行動とを鳥瞰することで、自宅周辺や避難経路上の浸水状況、避難遅れによる被災（避難行動の見直しによる安全確保）の状況を任意方向・任意高さから提示する。

### ● 可視化 2 : 3D 都市モデル (アイレベル)

「3D 都市モデル」のデータをもとに、対象エリア内の特定道路区間について、沿道建物壁面にテクスチャーを貼付し、浸水状況を可視化する。

主に、徒歩での避難移動中における周囲の浸水状況を、動的かつアイレベルで提示する。

### ● 可視化 3 : VR (アイレベル)

360 度カメラ画像をもとに、住民誰もがわかる地点（2 地点）でのリアルな浸水状況を提示する。

#### 【実証したい仮説】

- ・想定される被災状況を、時系列かつわかりやすく可視化・提示することにより、災害に対する危機意識が向上し、防災についての理解の向上や、災害時の迅速・適切な避難行動に寄与すること。

## (6) 避難行動ワークショップの実施

シミュレーション等により想定される災害（被災）状況を時系列かつわかりやすく提示することで、住民の危機意識や被災時の避難行動にどう影響するのかを検証するため、ワークショップを開催する。

ワークショップは、松山市防災・危機管理課が実施する「避難所運営マニュアル策定会議」と同時開催とする。

#### 【実証したい仮説】

- ・住民等が認識している災害（被災）状況と、シミュレーションにより想定される災害（被災）状況との違いを、わかりやすく提示することで、住民の危機意識が向上し、被災時の迅速・適切な避難行動に寄与すること。

## 5. 実験実施結果

### 5.1 実験結果

#### (1) 簡易水位観測システムの構築

対象地区内の二級河川「宮前川」に設置されている危機管理型水位計のほかに、地区内水路の水位データの把握と、シミュレーションへの適用を図ることを目的として、簡易な水位計を2箇所を設置するとともに、データの取得を行った。なお、設置にあたっては、水路幅の閉塞等により水位が上昇しやすい場所を選定した。

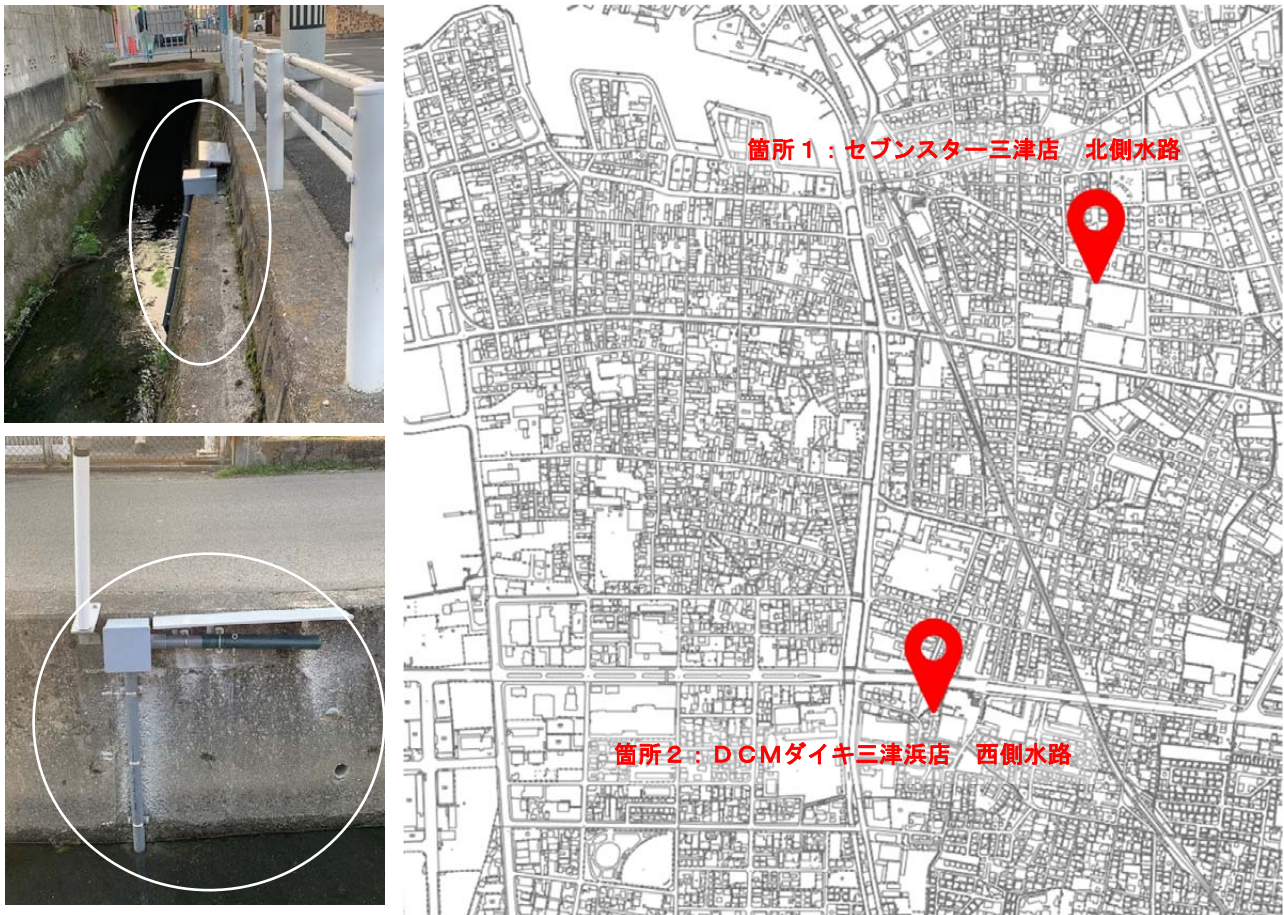


図 5.1.1 水位計の設置箇所

表 5.1.1 水位計の仕様と取得データ

項目		内容	今回実験での適用
機器仕様	製品名	インテグラル水位計 (応用地質株式会社)	—
	測定間隔	1分～10日 (任意)	1時間間隔
	データ通信方式	E-mail 方式またはデータサーバー方式	データサーバー方式
	データ転送間隔	5分～10日	1時間間隔
取得データ	電圧	V (ボルト)	—
	水位	M (メートル) ※基準は河床	M (メートル)
	温度	degC	—
	日時	—	2022/1/27～

## (2) 浸水氾濫シミュレーション

三津浜地区及び宮前地区における、高潮浸水並びに内水氾濫を対象として、時系列の浸水氾濫シミュレーションを実施した。シミュレーション条件は、平成 16 年県内最大降雨に加えて高潮が同時発生するというケースを想定した。

表 5.1.2 時系列の浸水氾濫シミュレーション条件

項目	内容	
対象事象	高潮浸水と内水氾濫の複合災害	
災害規模	高潮浸水	150 年に 1 度の降雨、過去最大級の台風を想定
	内水氾濫	平成 16 年 9 月 29 日に愛媛県下都市部で観測された最大の降雨（1 時間最大 83.5mm）を想定 ※松山市内水氾濫ハザードマップ作成と同条件
インプットデータ	標高データ：基盤地図情報数値標高モデル DEM を使用 ※河道と海域の標高データは、別途データを編集して追加	
	水域水位：計算開始時点から 1.5mT.P で固定し、計算開始後約 3 時間後から 1 分間に 0.16m の上昇速度で水位を上昇	
使用プログラム	都市域氾濫解析モデル（NILIM2.0／国土技術政策総合研究所）	
メッシュ単位	5m	
メッシュ数	66,000 メッシュ（300×220）	

表 5.1.3 浸水氾濫シミュレーションのインプットデータと出典

データ項目	構築データ	出典
氾濫原	氾濫原メッシュ分割・地盤高	基盤地図情報（DEM） ※国土地理院
	地表面の底面粗度係数	「津波浸水想定の設定の手引き」（国土交通省）ほか
	建物占有率	ゼンリン住宅地図（令和 3 年）をもとに決定
	降雨データ	表 5.1.2 の雨量
	内水排除ポンプ設定	松山市下水道整備課資料
	水路データ	
下水道	管路規模諸元	
	人孔諸元	
	下端水位データ	表 5.1.2 の水域水位
	ポンプ	松山市下水道整備課資料



図 5.1.2 浸水氾濫シミュレーションの対象範囲 出典：国土地理院ウェブサイト

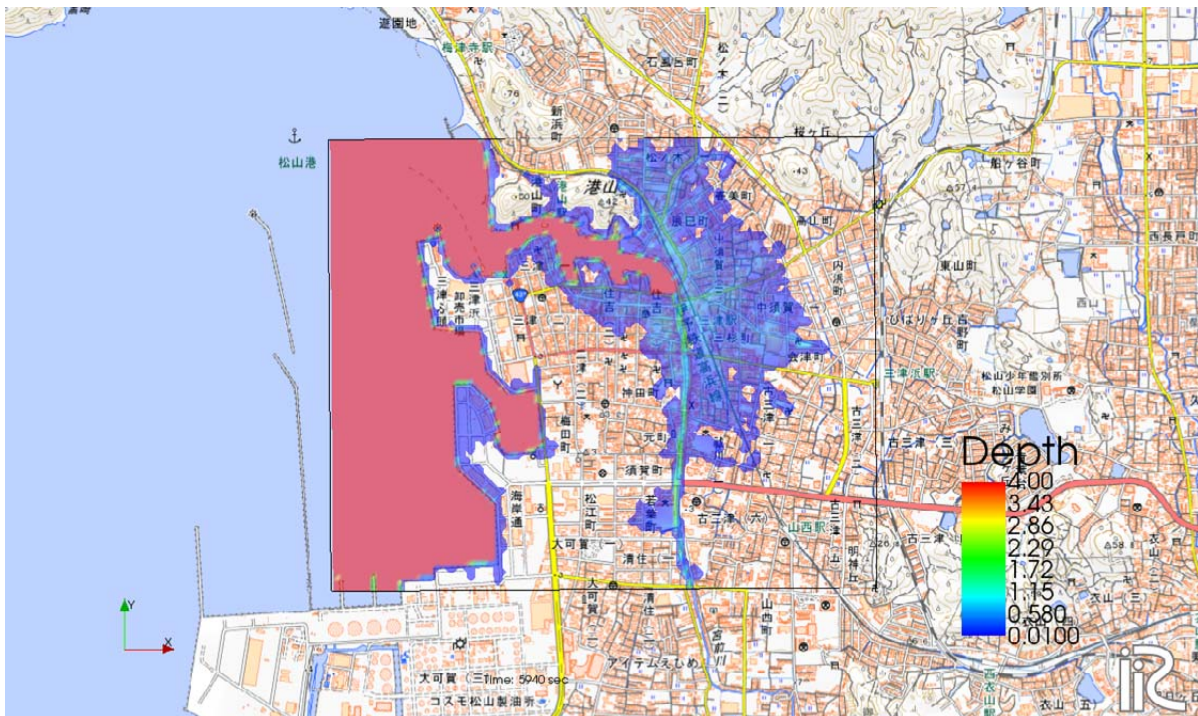


図 5.1.3 時系列の浸水氾濫シミュレーションを2次元で可視化した図

三津浜地区及び宮前地区における時系列の浸水氾濫のシミュレーション結果より、時間経過ごとの浸水状況を確認した。

表 5.1.4 時間経過ごとの浸水状況

時間経過	浸水状況	避難上の問題点
浸水開始～30分後	J R 三津浜駅東側の東山町や内浜町、中須賀の一部などで浸水発生	
30分～1時間後	中須賀や内浜町等で浸水が拡大	
1時間～1時間半後	辰巳町の辰巳交差点（県道）付近で浸水発生。中須賀ではさらに浸水が拡大	←浸水発生1時間後からの避難開始では辰巳交差点が浸水し始めるため、北側の避難が困難
1時間半～2時間後	三津浜地区でも巖島神社付近や正覚寺付近、愛隣こども園付近で浸水発生 宮前地区では、中須賀、内浜町のほか、春美町、三杉町などにも拡大 ◇中須賀保育園 浸水発生1時間50分後、1階部浸水	
2時間～2時間半後	宮前地区で広域に拡大（特に県道186号以北）	←浸水発生2時間後からの避難開始は主要道路の浸水により、車での避難は困難。
2時間半～3時間後	宮前地区の大部分で浸水発生。三津浜地区でも各所で浸水発生	
3時間～3時間半後	浸水開始3時間10分後、宮前川が破堤。宮前地区、三津浜地区のほとんどで浸水 ◇三津浜公民館 3時間30分後1階部浸水 ◇三津浜幼稚園 3時間10分後1階部浸水 3時間20分後1階部完全浸水 ◇三津浜小学校 3時間20分後1階部浸水開始 3時間30分後1階部浸水 ◇三津浜中学校 3時間10分後1階部浸水 3時間20分後1階部完全浸水 ◇中須賀保育園 3時間30分後1階部完全浸水 3時間40分後2階部浸水 ◇宮前公民館 3時間30分後1階部浸水 3時間30分後2階部浸水 ◇宮前小学校 3時間10分後1階部浸水開始 3時間20分後1階部浸水	

### (3) 避難行動シミュレーション

道路ネットワーク及び地区居住人口等を収集・整理し、避難行動のシミュレーションを実施した。シミュレーションの条件は、災害発生時に同時に出発するものとし、自宅から避難所までの自動車による避難を想定した。

表 5.1.5 自動車による避難行動シミュレーションの条件

項目	内容
避難方法	自動車
出発地および目的地	出発地：居住メッシュ 目的地：指定避難所（三津浜、宮前、高浜等地区） ※出発地と目的地の組み合わせからランダムに避難先を設定 ※避難所別の避難台数は収容人数の割合に応じて設定
入力データ	デジタル道路地図（DRM）、居住人口メッシュ、Zenrin 建物 ※500m メッシュ人口と建物データを紐づけ
使用プログラム	C++（避難シミュレーション）、JAVA（入力データの作成）
手法	リカーシブプロジットモデルによる経路探索を実施 ※リカーシブプロジットモデル：災害時のネットワークにおいては、ドライバーは経験や情報を持たず、先読みを伴う近視眼的な判断が重要となることから、こうした意思決定において、空間割引率の概念を導入した一般化モデル

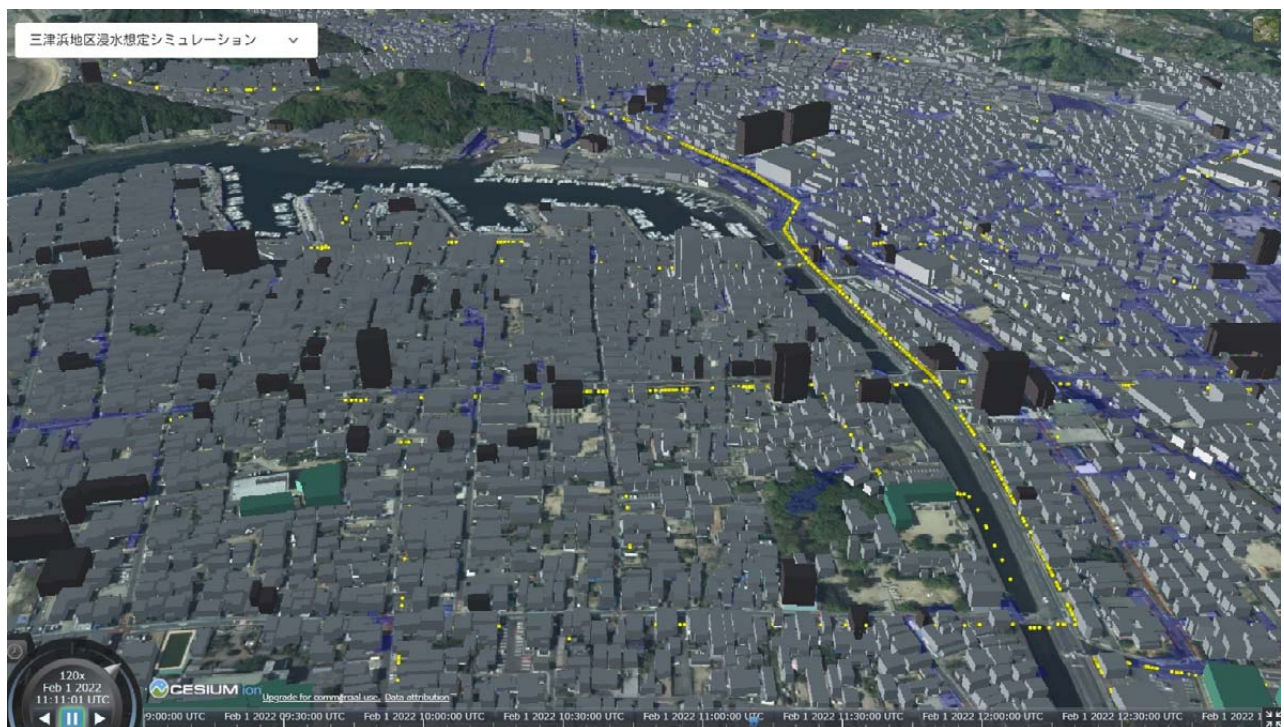


図 5.1.4 時系列の避難行動シミュレーション

#### (4) シミュレーション結果の可視化

##### ● 可視化 1 : 3D 都市モデル (鳥瞰)

国土交通省都市局が作成・公開している「3D 都市モデル」のデータと、対象エリア全体でシミュレーションを実施した時系列の浸水状況及び避難行動の結果を時刻同期させ重ね合わせを行った。

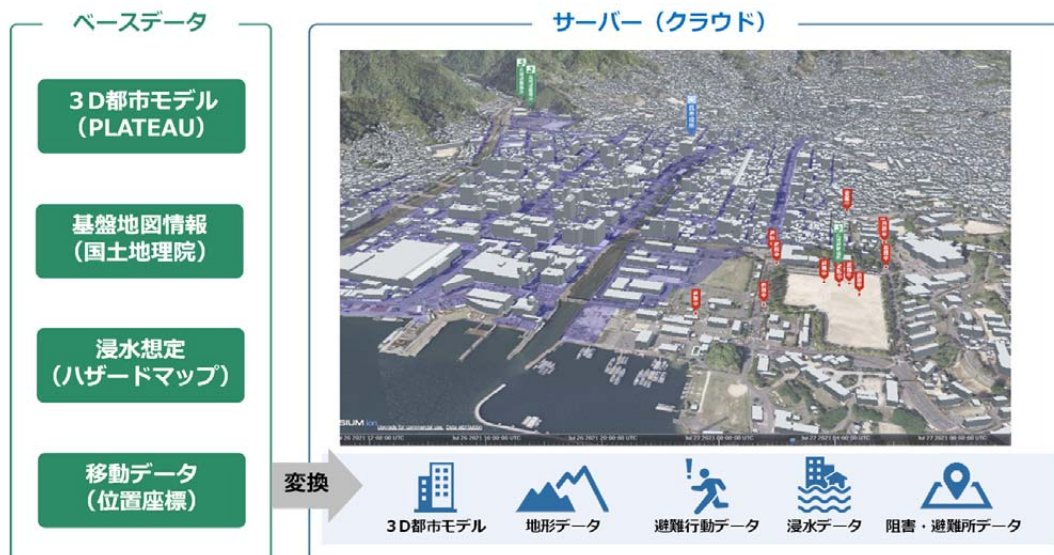


図 5.1.5 可視化の構成イメージ

3D 都市モデルとシミュレーション結果の重ね合わせは、オープンソース (Cesium) を用いて行った。可視化にあたっては、入力データとなる時系列の浸水シミュレーション結果は 5m メッシュ単位で出力しているが、5m メッシュ単位ではデータ容量が大きく、また、メッシュ単位のままであると凹凸ができることから、浸水高さでランクを設定し、1分単位・ランク単位でポリゴン化し、そのデータを入力データとして可視化した。(図 5.1.6)

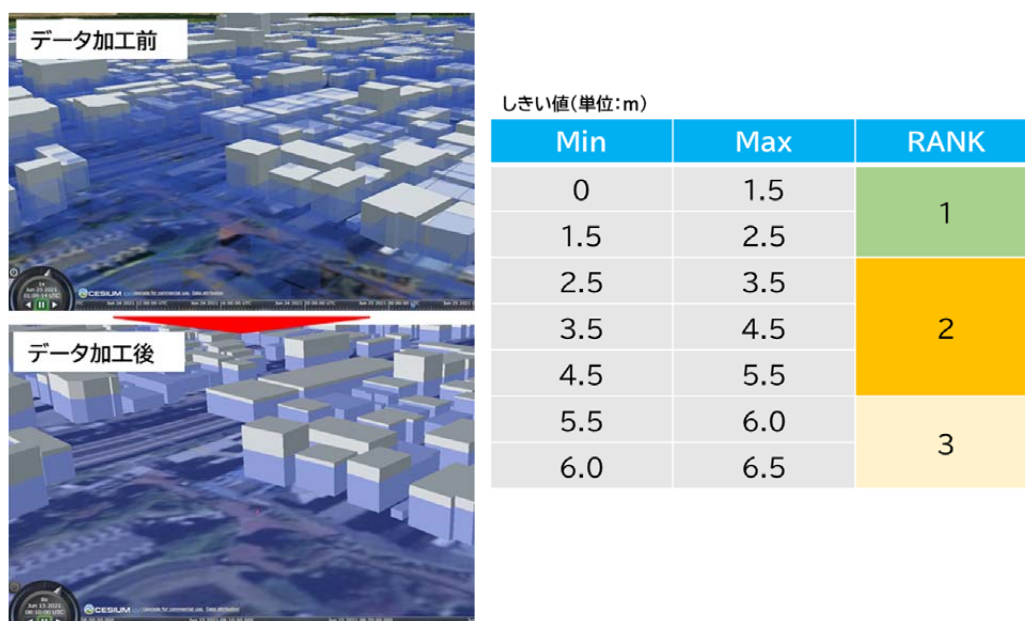


図 5.1.6 浸水シミュレーション結果の加工イメージ

3D 都市モデルに時系列の浸水氾濫シミュレーション結果を可視化することで、時系列での浸水の広がりや浸水高さを確認することが可能である。建物には指定避難所や堅ろう建物といった属性情報を付与し、色分けし、指定避難所周辺の浸水状況や、1 階部等の利用可否、垂直避難が可能な建物を一目で確認できるようにした。

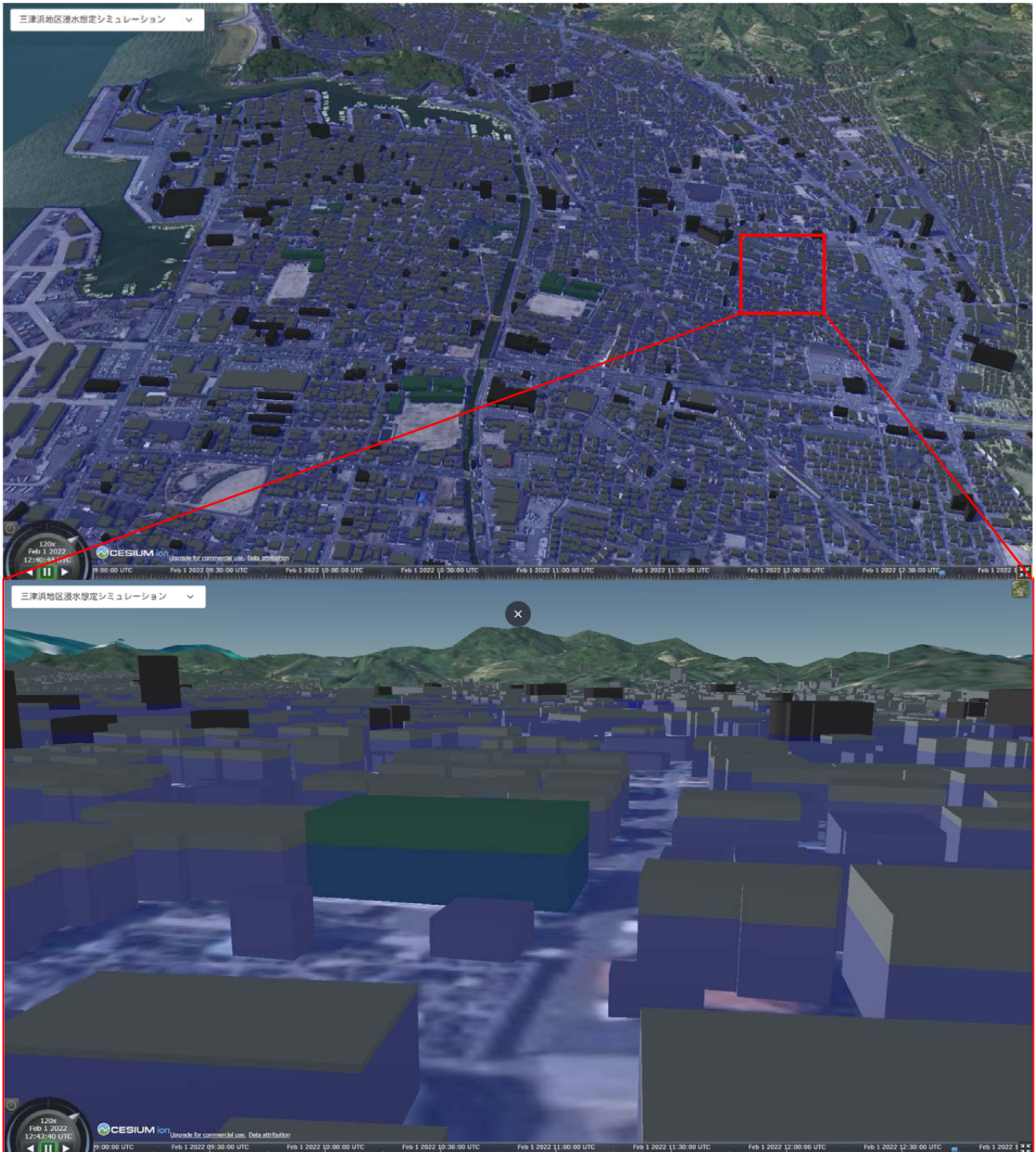


図 5.1.7 3D 都市モデルと浸水氾濫シミュレーションの可視化



● 可視化 2 : 3D 都市モデル (アイレベル)

対象エリアの 3D 都市モデルは、LOD1 (テクスチャなし) であることから、特定道路区間 (図 5.1.8) について、建物壁面にテクスチャを貼付し、周辺景色をよりリアルに再現した。当モデルに浸水氾濫シミュレーション結果を重ね合わせ、徒歩での避難移動中における、周囲の浸水状況を動的かつアイレベルで提示した。(図 5.1.9)

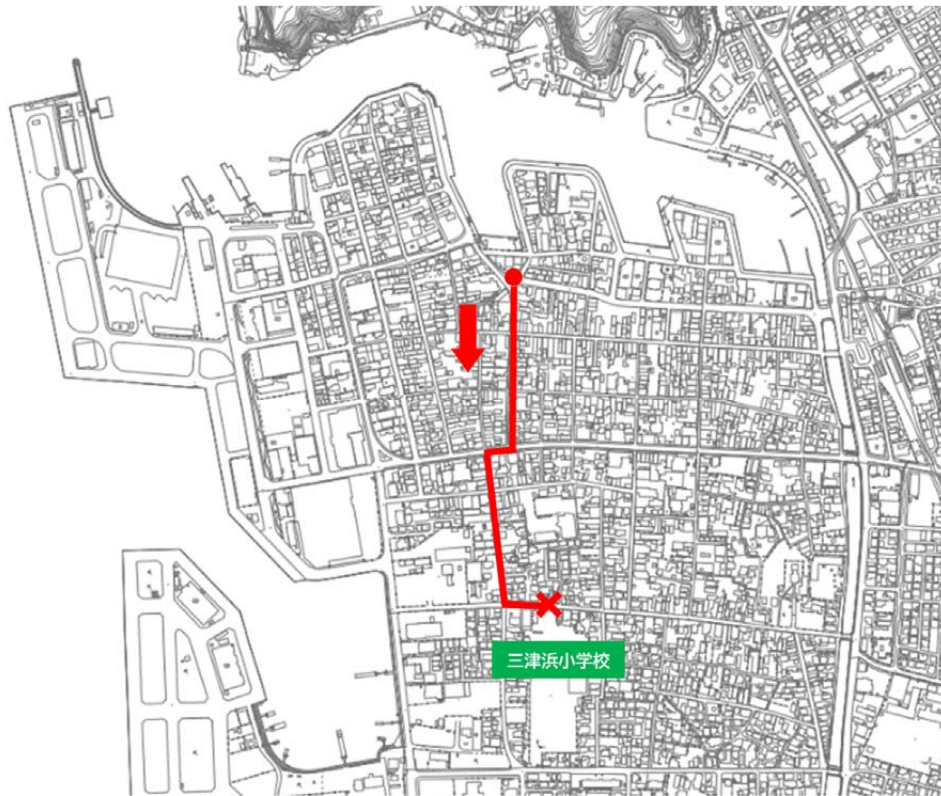


図 5.1.8 対象道路区間 (テクスチャ貼付)

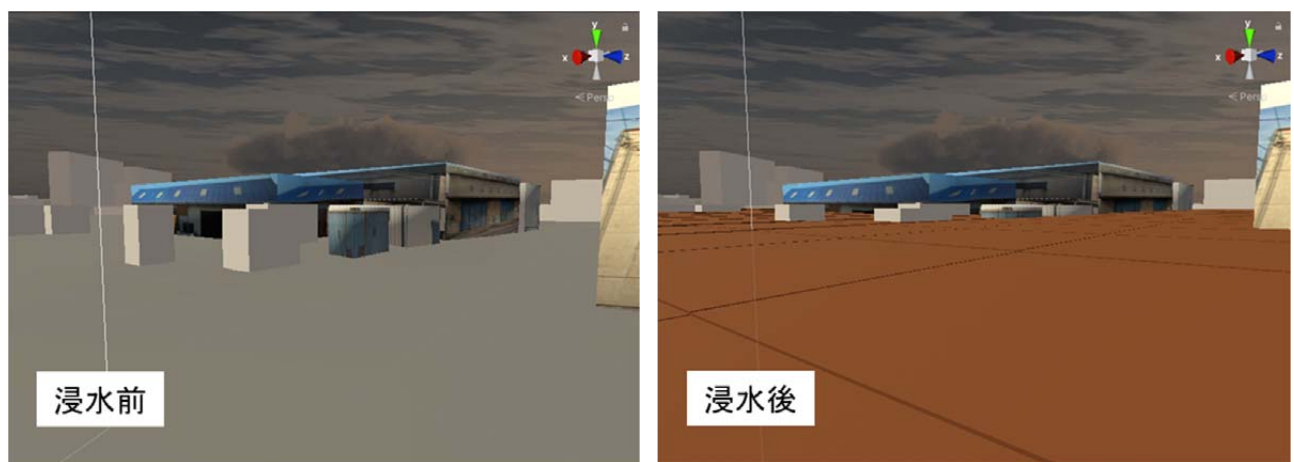


図 5.1.9 3D 都市モデル (アイレベル)

● 可視化 3 : VR (アイレベル)

360度カメラ画像をもとに、伊予鉄道三津駅前住吉橋と、住民が日常的に利用する幹線道路の2箇所(図5.1.10)を対象に、VR(バーチャルリアリティ)を作成した。

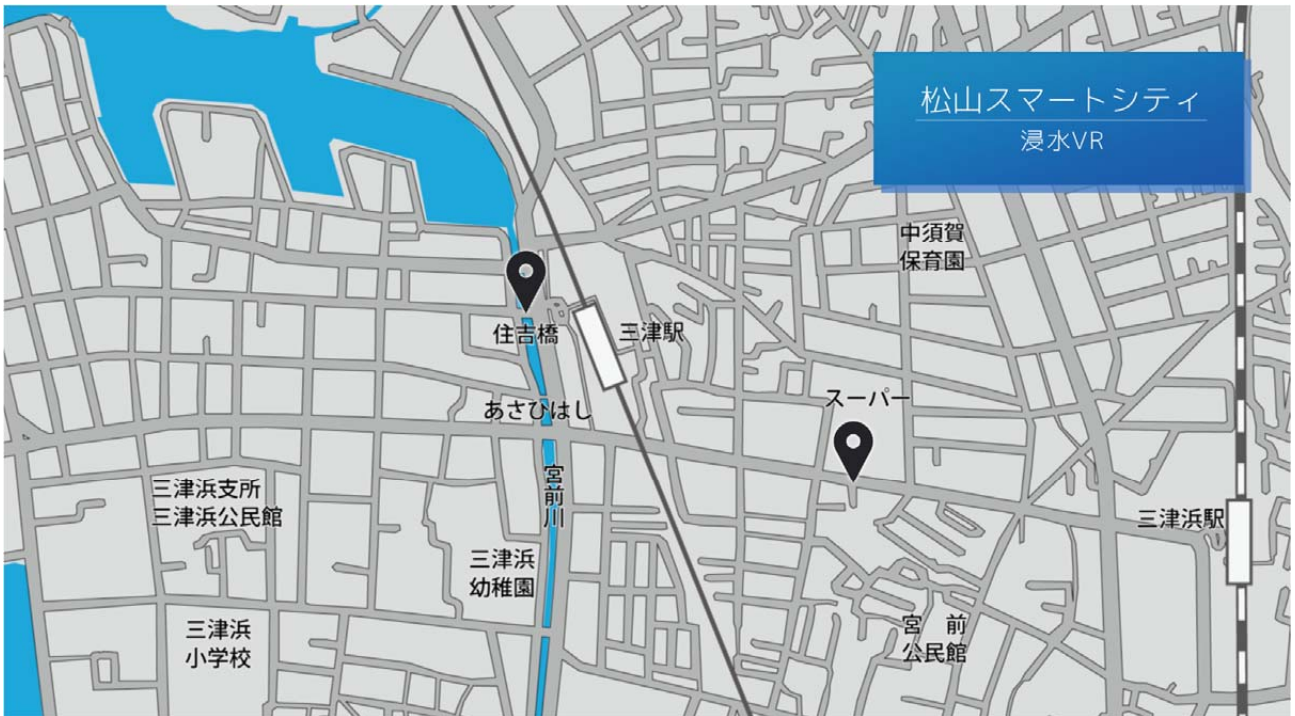


図 5.1.10 対象箇所位置図

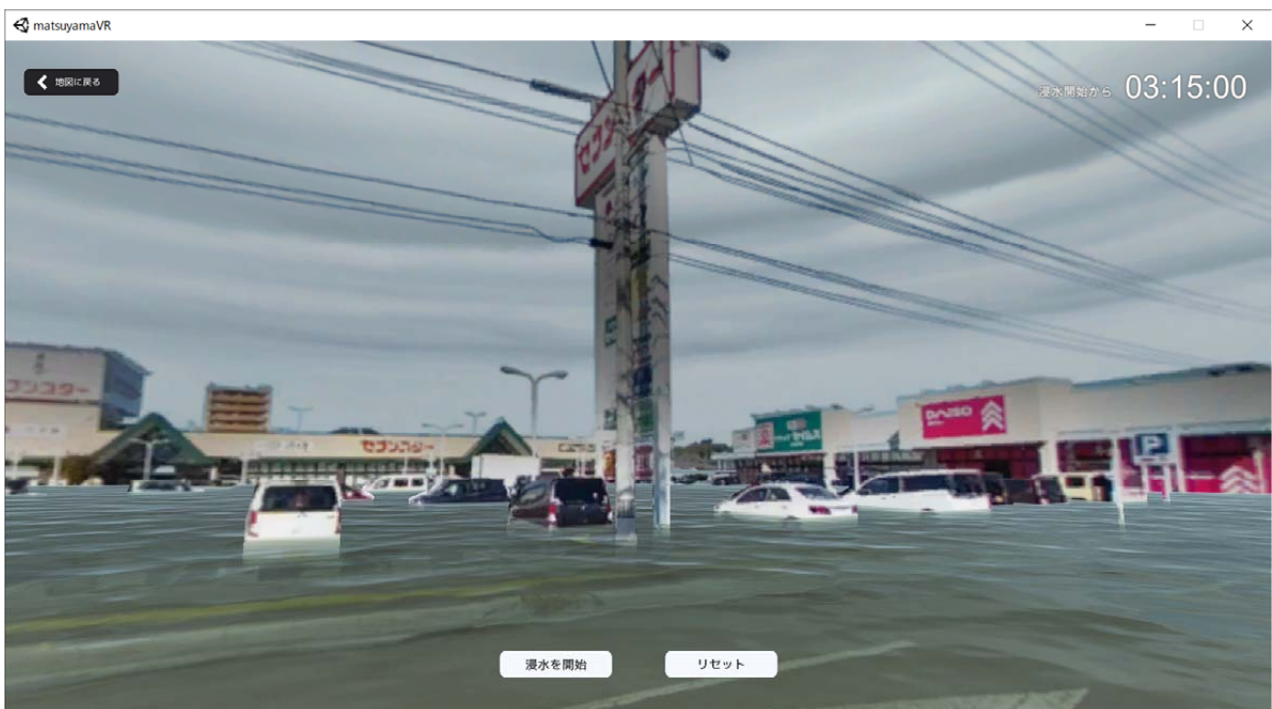
三津駅前 住吉橋 (西向き)



## 商業施設（スーパー）駐車場付近（南向き）



## 商業施設（スーパー）駐車場付近（北向き）



## (5) 避難行動ワークショップの実施

ハザードマップ等の静的ツールにより住民等が認識している災害（被災）状況と、今回作成するシミュレーション等により想定される災害（被災）状況との違いをわかりやすく提示することで、住民の危機意識や被災時の避難行動にどう影響するのか（効果があるのか）を検証するため、ワークショップを実施した。なお、ワークショップは松山市防災・危機管理課が実施する「避難所ごとの運営マニュアル策定会議」と同時開催した。

全体プログラム概要							
<b>第1回ワークショップ</b>							
－地域に起こりうる災害－							
<b>内容</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近年の気象変動について</li> <li>・地域のハザードマップ確認</li> <li>・マイタイムラインについて</li> <li>・アンケート</li> </ul>	<b>実施概要</b> <table border="1"> <tr> <td>場所</td> <td>松山西消防署</td> </tr> <tr> <td>日時</td> <td>令和3年10月28日</td> </tr> <tr> <td>参加者数</td> <td>20人</td> </tr> </table>	場所	松山西消防署	日時	令和3年10月28日	参加者数	20人
場所	松山西消防署						
日時	令和3年10月28日						
参加者数	20人						
<b>第2回ワークショップ</b>							
－住民の危機意識を向上させるための有効なツールを検証－							
<b>内容</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・動的な浸水避難シミュレーション</li> <li>・水害VRの体験</li> <li>・マイタイムラインの見直し</li> <li>・アンケート</li> </ul>	<b>実施概要</b> <table border="1"> <tr> <td>場所</td> <td>松山西消防署</td> </tr> <tr> <td>日時</td> <td>令和3年12月16日</td> </tr> <tr> <td>参加者数</td> <td>18人</td> </tr> </table>	場所	松山西消防署	日時	令和3年12月16日	参加者数	18人
場所	松山西消防署						
日時	令和3年12月16日						
参加者数	18人						
<b>第3回ワークショップ</b>							
－避難の遅れが及ぼす危険とコミュニティタイムのワークショップ－							
<b>内容</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域の要支援者について</li> <li>・3D都市モデルや浸水VRの体験</li> <li>・要支援者を考慮したシミュレーション</li> <li>・コミュニティタイムラインを考える</li> </ul>	<b>実施概要</b> <table border="1"> <tr> <td>場所</td> <td>松山西消防署</td> </tr> <tr> <td>日時</td> <td>令和4年7月28日 ※当初予定：令和4年2月1日(火)</td> </tr> <tr> <td>参加者数</td> <td>12人</td> </tr> </table>	場所	松山西消防署	日時	令和4年7月28日 ※当初予定：令和4年2月1日(火)	参加者数	12人
場所	松山西消防署						
日時	令和4年7月28日 ※当初予定：令和4年2月1日(火)						
参加者数	12人						
<b>時系列の浸水・避難行動シミュレーションの可視化が 住民の危機意識や被災時の避難行動にどう影響するのかを検証</b>							

図 5.1.11 ワークショップの全体概要

※第3回ワークショップは、コロナウィルス感染拡大に伴い、当初予定を延期し開催。

表 5.1.6 ワークショップの参加者

参加者一覧	
三津浜・宮前地区の自主防災組織（18名）	
松山スマートシティ推進コンソーシアム	松山市
	愛媛大学防災情報研究センター
	松山アーバンデザインセンター
	復建調査設計株式会社
関係者	松山西消防署

## 5.2 分析

ワークショップにおいて、時系列の浸水避難シミュレーションやVRが住民の危機意識や被災時の避難行動にどのような変化を与えるかを検証するため、防災ハザードマップのみの情報と、シミュレーション及びVR提示後それぞれでアンケートを行った。

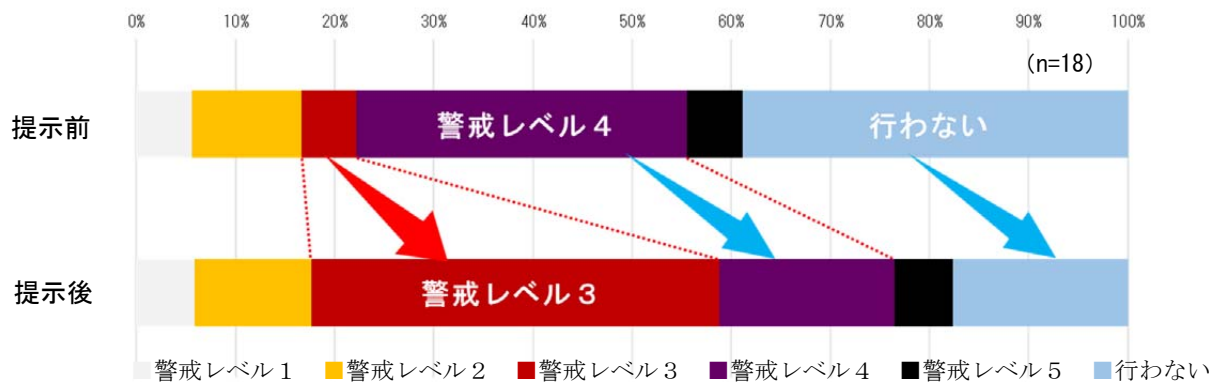
表 5.2.1 アンケート調査の概要

目的	・時系列浸水避難シミュレーションやVRが住民の危機意識や被災時の避難行動にどのような変化を与えるかを検証
設問構成 (提示前後)	・自宅における高潮・内水氾濫の頻度と程度に対する認識
	・高潮・内水氾濫に対する恐ろしさ、不安
	・災害発生時のタイミング（警戒レベル）ごとの避難行動
	・避難先、避難経路
回答者数	18名

シミュレーション・VR提示前後で、住民の危機意識や被災時の避難行動について以下のような変化が確認された。

### a. 行動1：車を高台に避難させる

提示後、「車を高台に移動させる」行動を早い段階で行う、と判断する人が増加し、行わないと回答する人が大幅に減少した。自動車避難の際に障害となる内水氾濫、渋滞の発生を改めて認識し、早期避難の意識が向上することが確認できた。



警戒レベル	避難情報
5	緊急安全確保
4	避難指示
3	高齢者等避難
2	大雨・洪水・高潮注意報（気象庁）
1	早期注意情報（気象庁）

図 5.2.1 車の高台避難

## b. 行動2：避難経路、場所を変更する

提示後、「避難経路、場所を変更する」と回答した人が全体の半数以上を占めた。また、避難経路について、地区内の指定避難所周辺が内水氾濫により危険性が高まることを認識し、“自動車を利用して郊外に避難する”、“外に避難せず、自宅上階など垂直避難をする”に変わった人が確認された。

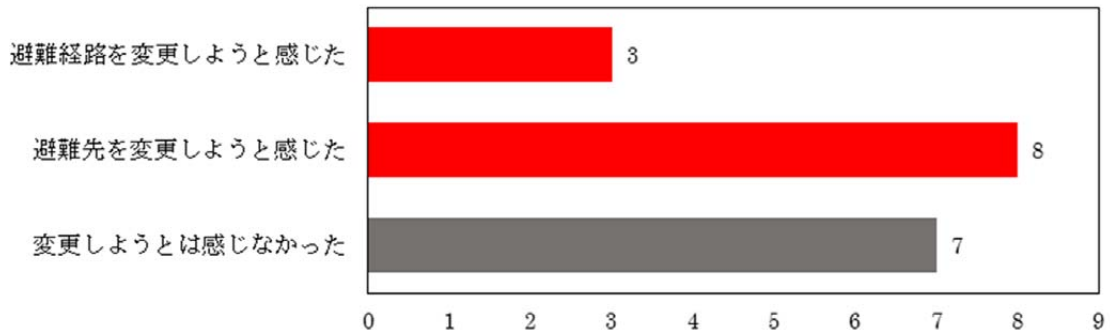


図 5.2.2 避難経路、避難先の変更

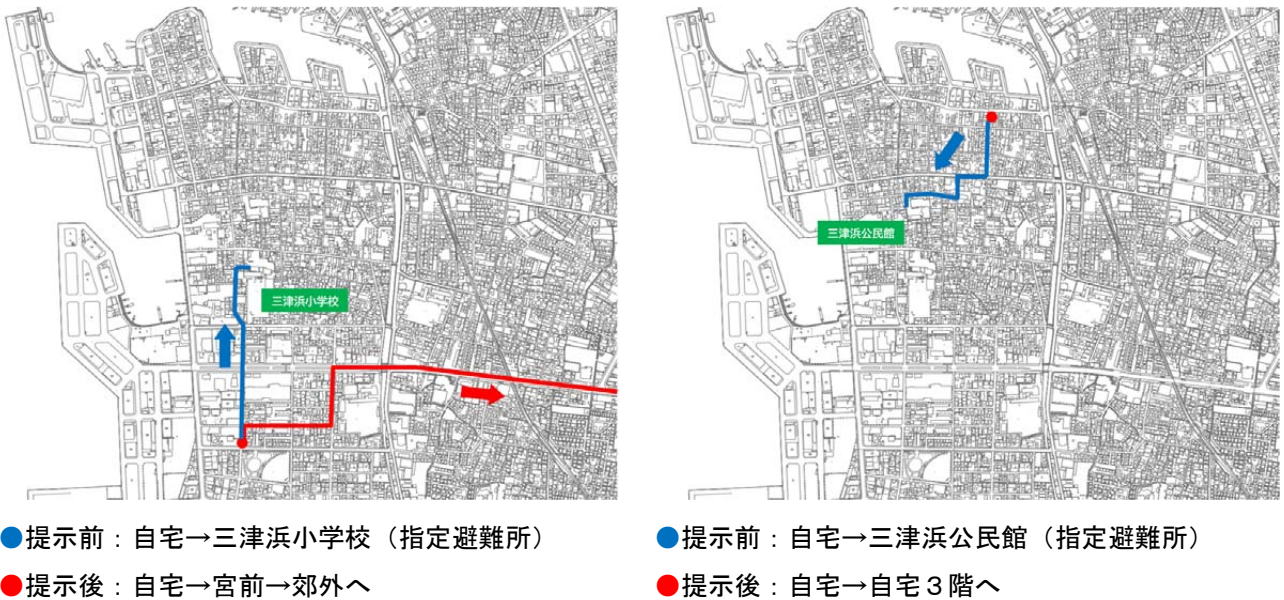


図 5.2.3 避難経路変更の例

また、浸水避難シミュレーション及びVRそれぞれの提示により、以下のような意識変化（効果）が確認された。

### c. 可視化方法の違いによる意識変化

浸水避難シミュレーションは、被災状況を俯瞰的に見ることから、町全体の被害把握や家屋が浸水することに対する意識啓発には効果的であった。一方、浸水により避難できなくなることや浸水が迫ってくることなど、自身の生命に関わる危険性認知に対しては、VRが効果的であることが確認された。

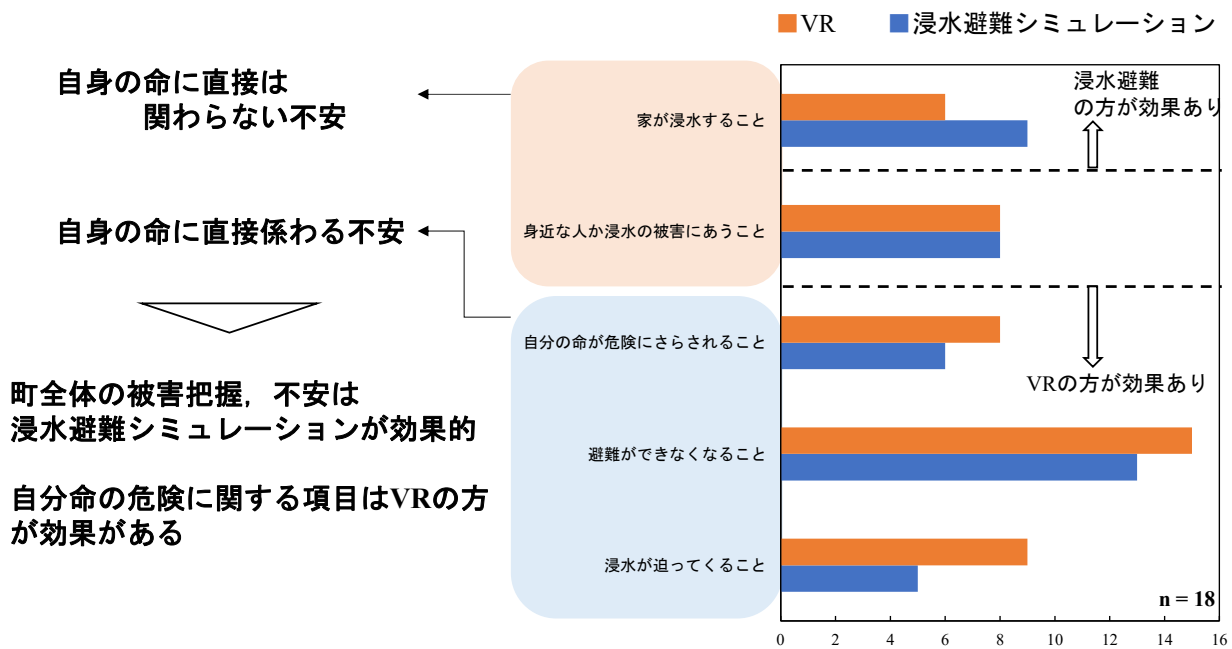


図 5.2.4 高潮・内水氾濫に対する不安事項

これらの結果等から、時系列の浸水シミュレーションやVRを提示することで、ハザードマップ等の静的かつ一定条件下での情報により住民が認識（想定）している被災状況との乖離を認識し、災害発生に備えた事前の防災行動や、迅速で適切な避難行動に寄与するものと考えられる。

### 5.3 考察

#### (1) 目標達成と持続可能性

今回の実証実験により、従来のハザードマップでの情報提供に比べて、時系列かつわかりやすく災害時の被災状況を提示することで、迅速かつ適切な避難行動に繋がる可能性が高いことが確認された。

一方で、当システムは災害発生時を対象としたものであり、“データセンシング～データ集約～シミュレーション～可視化～情報提供”、のフローにおいて、各要素それぞれが短時間で行われ、かつ、要素間も短時間、シームレスに受け渡し可能にすることが必要不可欠である。また、多くの住民に対して情報を提供するためには、Web上で公開し、誰でも閲覧可能にするなどが必要となる。

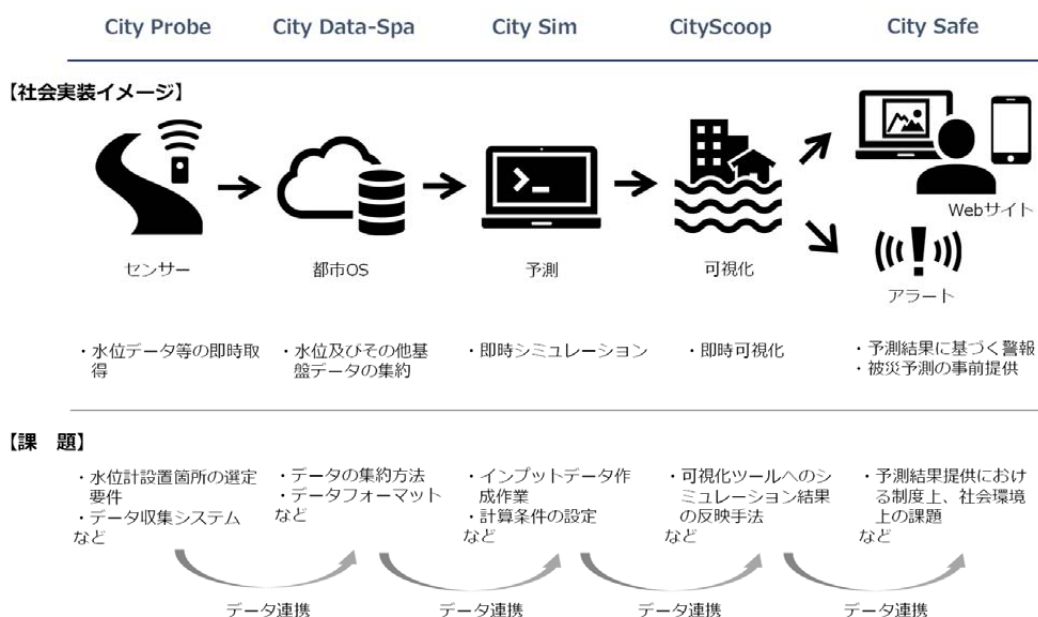
今回作成した時系列3DシミュレーションについてはWeb上で閲覧可能な仕様になっていることから、特定のデータや災害シナリオなどの環境下での予測であることを明記するなどの条件付きで、松山アーバンデザインセンターのホームページなどで公開することを検討している。しかし、全体を通して、現時点では、未だ人の手を介す部分が多々あるなど、技術的に解決すべき課題があるほか、シミュレーション結果を一般に公開することに対する是非、当システムの運用・管理の仕組みづくりなど、持続化に向けた課題も残っている。今後、技術的な課題解決やシミュレーション結果の公開に対する合意形成、運用・管理の仕組み構築が図られると、有用かつ持続的なシステムになるとと思われる。

#### (2) 今後の発展

現在、災害発生時に発令される警報は地区単位での発令となっており、必ずしも避難が必要とは限らない住民にも発令されている。災害発生時に安易に避難することが逆に危険な場合もあることから、避難警報発令のタイミングや精度向上、危険エリアの絞り込みなどが必要であると思われる。

今回の実証実験で設置した水位計のように、河川だけでなく、多数箇所に水位計を設置することで、よりミクロな単位で降雨による増水状況を把握することができるほか、事前に、「いつ」「どこで」「どの程度」の災害が発生するのかがわかることで、迅速・適切な避難行動に繋がることが期待される。

本実証実験において確認された技術的課題について、引き続き検討を行っていくとともに、今回実証では着手していない都市OSの構築、予測結果を一般に提供することについての制度上、社会環境上の課題に対する議論を進めていく予定である。





実証したい仮説と検証 まとめ

項目	実証したい仮説	検証結果
簡易水位観測システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地区内水路などにおいて、安価かつ簡易な機器による水位観測システムを構築することで、複数箇所でのオンラインかつ継続的なデータ収集が可能となり、シミュレーションへの活用や住民等への情報提供など、地区防災システムの一つとして展開が可能になること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川だけでなく、地区内水路など、多地点で水位データが取得可能になることで、情報提供やシミュレーションへの活用可能性があることが確認された。</li> <li>・一方で、設置箇所の選定方法、災害時に安定した通信が可能なのかどうかなどの課題は残った。</li> </ul>
データの集約・格納	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置した水位機器によるデータが安定して収集・データ送信可能であること、データフォーマットがシミュレーションに活用可能な形式（フォーマット）であること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今回用いた水位計は同一製品であることから、フォーマットについて検証できていないことや、仮のサーバーへ転送・蓄積していることから、都市 OS の構築については今後検討が必要である。</li> </ul>
浸水氾濫シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時系列浸水氾濫シミュレーション及び可視化した結果の提示により、ハザードマップ等の静的かつ一定条件下での情報により住民が認識（想定）している被災状況との乖離を認識してもらうことで、事前の対策実施や災害時の迅速な避難行動に寄与すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住民ワークショップでのアンケート結果によると、時系列シミュレーションやVRなど、災害状況をよりわかりやすい形で提示することで、災害の危険性に対する認識が高まり、事前準備や迅速・適切な避難行動に寄与することが確認された。</li> </ul>
避難行動シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時系列避難行動シミュレーション及び可視化した結果の提示により、住民が想定している避難行動上の問題点を認識してもらうことで、災害時の迅速かつ適切な避難行動に寄与すること。</li> </ul>	
シミュレーション結果の可視化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・想定される被災状況を、時系列かつわかりやすく可視化・提示することにより、災害に対する危機意識が向上し、防災についての理解の向上や、災害時の迅速・適切な避難行動に寄与すること。</li> </ul>	
避難行動ワークショップの実施	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住民等が認識している災害（被災）状況と、シミュレーションにより想定される災害（被災）状況との違いを、わかりやすく提示することで、住民の危機意識が向上し、被災時の迅速・適切な避難行動に寄与すること。</li> </ul>	

## 5.4 技術の実装可能な時期、実装に向けて残された課題

### (1) データセンシング (City Probe)

水位計による水位データ等を常時取得する際は、水位計の設置箇所の選定要件を定めること、並びに、データ収集のシステム化が必要となる。水位計設置箇所の効果的な選定のためには、水位が上昇しやすい場所を経験的に把握しておく必要があり、また、データ収集においては、リアルタイムにデータを取得するための安定したデータ転送（通信環境整備）が必要である。

### (2) 都市 OS (City Data-Spa)

取得した水位データやシミュレーション、可視化に必要な各種データを集約・格納するためのプラットフォーム（都市 OS）の構築や、データフォーマットの標準化などが必要である。また、災害発生時のみ水位データを取得し、災害時以外の不必要な水位データは除外するなど、データの格納方法などの具体を検討・設定する必要がある。

また、都市 OS のデータの閲覧や使用について、対象者の設定、公開方法などの議論が必要である。

### (3) シミュレーション (City Sim)

シミュレーションを行うにあたっては、災害シナリオや降雨量、下水道の配管状況など、前提条件の設定やデータ整備が必要となる。

社会実装に向けては、シミュレーションのための事前のデータ整備や、オンラインシミュレーションなど、システムの自動化が必要である。

### (4) 可視化 (City Scoop)

シミュレーション結果の可視化においては、膨大なデータを取り扱うことから、スムーズにアニメーション表示することが容易でなく、緊急を要する災害発生時での活用においては課題が残る。

今回、スムーズなアニメーションとなるよう、浸水高さでランクを設定し、1分単位・ランク単位でポリゴン化を行ったが、未だ人の手を介す必要があることから、自動化に向けた技術開発が必要である。

また、今回対象としたエリアの 3D 都市モデルは LOD1 であることから、よりリアルな表現のためには LOD2 など、データ整備が必要である。



図 5.4.1 3D 都市モデルの表現レベル

浸水VR（アイレベル）の可視化では、360度カメラで撮影した画像を利用することで、よりリアルに表現することができ、また、今回作成したVRは、浸水深のインプットデータを入れ替えることができるため、様々な浸水事象に応じた可視化が可能である。

しかし、現時点ではWebでの公開に対応していないことから、今後、Web上でリアルタイムに公開するための技術開発が必要である。

#### (5) 情報提供（公開）（City Safe）

今回の実証実験では、地区住民参加のワークショップにおいて提示し、その効果が確認されたところであるが、社会実装にあたっては、シミュレーションの精度が問われ、万一、予測結果と実事象が異なった場合の責任の所在等、制度上、社会環境上の課題が残っている。

一方で、当システム構築の意義は、災害時の避難行動支援だけでなく、地区住民の事前のリスク管理にも繋がることから、公開にあたっての条件や公開方法などの議論が必要である。

【まとめ：課題と解決に向けて】

項目	課題	課題解決に向けて
City Probe (データセンシング)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水位計設置箇所の選定要件の設定</li> <li>・水位計の設置及び維持管理主体、費用負担</li> <li>・安定したデータ転送（通信環境整備）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・行政による水位計設置要件の設定</li> <li>・高速通信環境の整備、行政による継続的なメンテナンス</li> </ul>
City Data-Spa (都市 OS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォーム（都市 OS）の構築</li> <li>・データフォーマットの標準化</li> <li>・日常（災害時以外）の水位データ除外</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロトタイプ作成（徐々にバージョンアップ）</li> <li>・データフォーマットの設定</li> <li>・水位の閾値の設定</li> </ul>
City Sim (シミュレーション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害シナリオなどの前提条件の設定</li> <li>・地形、下水道の配管状況など、事前のデータ整備</li> <li>・オンラインシミュレーションなどのシステム自動化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・想定シナリオの事前設定</li> <li>・必要データの更新及び管理の仕組みづくり</li> <li>・技術開発の推進等</li> </ul>
City Scope (可視化)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可視化時間の短縮</li> <li>・可視化の自動化、浸水VRのWeb対応</li> <li>・3D都市モデルのデータ更新、LOD2データの整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可視化用3D都市モデルの作成（不要データの削除等）</li> <li>・技術開発の推進</li> <li>・3D都市モデルのデータ作成及び更新の仕組みづくり等</li> </ul>
City Safe (避難行動支援)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可視化データのWeb常時公開</li> <li>・浸水氾濫に対応した避難訓練の実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シミュレーション精度の向上及び公開条件の設定等</li> <li>・市民を交えた合意形成</li> <li>・避難訓練の高度化等</li> </ul>

## 6. 横展開に向けた一般化した成果

### 6.1 3D都市モデル等可視化ツールを活用した避難行動の支援

昨今、津波や大雨による河川氾濫、内水浸水、土砂災害など、全国各地で甚大な被害が発生している中、避難訓練や防災ハザードマップの作成、マイタイムラインの作成など、災害時において、迅速な避難行動を行うための取り組みが進められている。

一方、国土交通省都市局において、3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化のリーディングプロジェクトである「PLATEAU（プラトー）」の取り組みが推進されており、特に、現時点では2Dで作成されている防災ハザードマップなどの防災支援ツールに対して、3Dにより浸水高さなどが表現でき、また、時系列での被災状況が可視化可能であることから、防災支援として有効なツールとなることが期待されている。

今回、オープンデータ化されている3D都市モデルをベースに、シミュレーション結果を重ね合わせ、被災状況を時系列かつよりリアルに提示することで、住民の避難意識が変化し、迅速・適切な行動に繋がる可能性があることが確認された。

水位等のデータ収集からシミュレーション、可視化、結果提示の一連のフローの実装においては、いくつか現時点では解決できていない事項もあるものの、シミュレーション手法は既に一般化されつつあり、また、3D都市モデル等の可視化ツールへの反映は今回実証実験で検証済であることから、他地域での適用は十分可能である。

### 6.2 インputデータの標準化・可視化手法の共有化

浸水シミュレーションの実施においては、基本的には防災ハザードマップ作成時のデータを用いている。全国各地で防災ハザードマップが作成されているが、作成のためのinputデータはオープン化されておらず、フォーマットも統一されていない。また、3D都市モデルを用いた可視化においても、メッシュデータとしてアウトputされる浸水シミュレーション結果データをそのまま反映させた場合、非現実的な表現になるところがあるため、今回実証実験においては、データの編集を行っている。

これらノウハウを含めた可視化手法について、今後、手引きの作成・共有化を図ることで、横展開がより促進されるものと思われる。

### 6.3 避難訓練の高度化等

今回の実証実験においては、シミュレーション及び可視化結果を、住民参加のワークショップの場で提示することで効果検証を行ったが、限られた住民を対象としたものであることから、今後は、地区全体住民などへの展開が必要である。

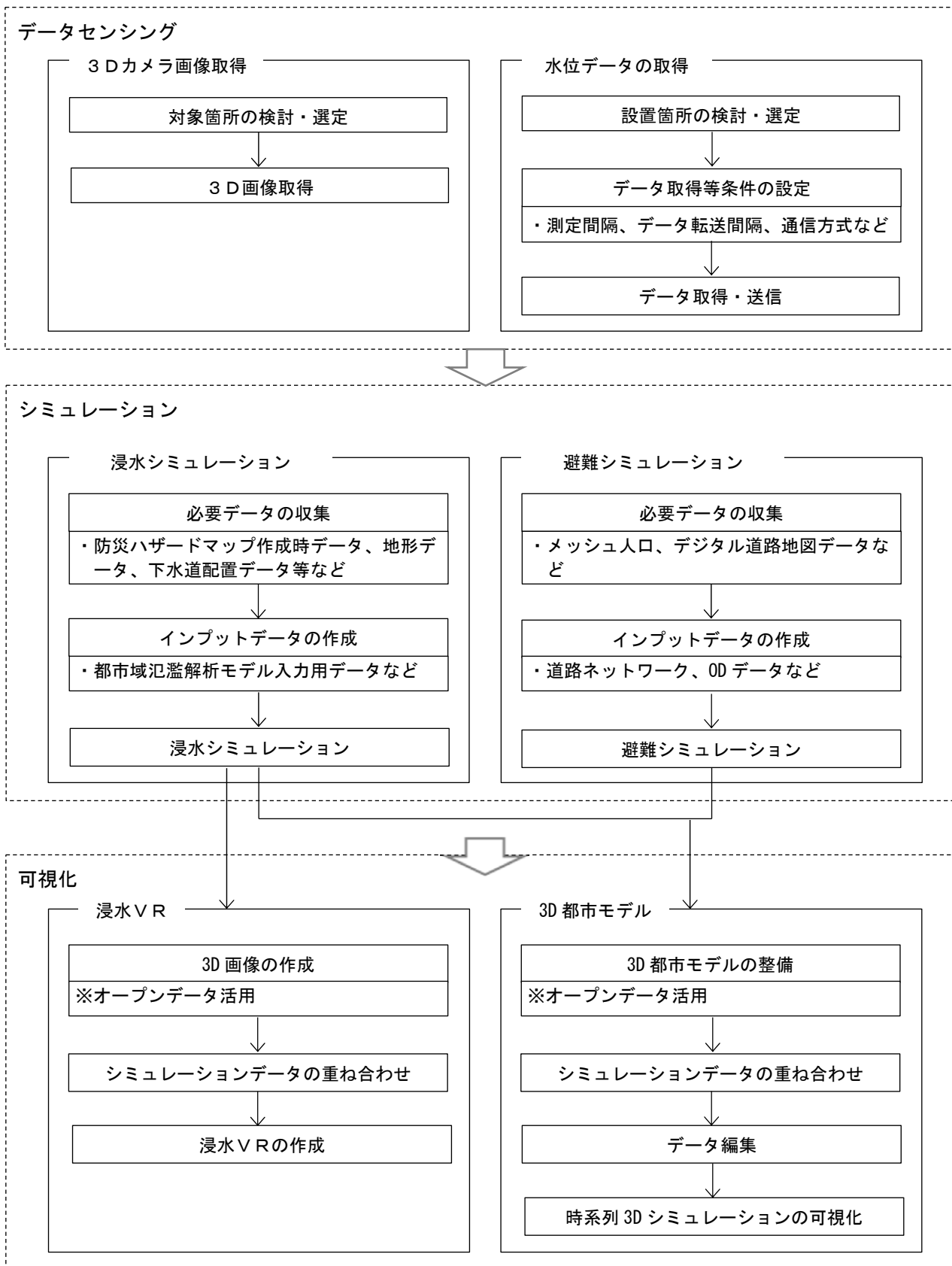
現在、各所で防災避難訓練が行われているが、時系列3Dシミュレーションを防災避難訓練などに活用し、提示する被災状況を踏まえた上で避難訓練を行うことにより、より現実的なものになる。

データ取得～シミュレーション～可視化の一連のフローがオンラインでない場合でも適用可能であることから、他地区でも早期の実装が可能であると思われる。

【今回実証実験で使用した機器・プログラム・データ等】

	項目	データ等
データセンシング (水位計)	製品名	インテグラル水位計 (既製品)
	測定間隔	1分～10日 (任意) ※今回実証実験では1時間に設定
	データ通信方式	データサーバー方式
	データ転送間隔	5分～10日 ※今回実証実験では1時間に設定
	水位	M (メートル) ※基準は河床
データセンシング (VR)	3D画像	3Dカメラ機器 (既製品)
シミュレーション	災害データ	防災ハザードマップ作成時のデータ (自治体所有)
	地形データ	基盤地図情報数値標高モデル DEM (国土地理院)
	建物占有率	住宅地図 (ゼンリン)
	プログラム	都市域氾濫解析モデル (NILIM2.0/国土技術政策総合研究所)
	下水道等データ	自治体所有データ
	道路ネットワーク	デジタル道路地図 (日本デジタル道路地図協会)
	居住人口	地域メッシュ統計 (総務省統計局)
3D都市モデル	基盤データ	「PLATEAU」オープンデータ (国土交通省都市局)
	プログラム	「Cesium」 (オープンソース)
浸水VR	プログラム	「Unity」 (ゲーム開発プラットフォーム)

## 【作業フロー】



## 7. まちづくりと連携して整備することが効果的な施設・設備の提案

### (1) 3D都市モデルの更新の仕組み化

3D都市モデルは、水災害時の浸水等被災状況把握や、都市計画基礎調査データの管理、まちづくりへの活用など、多様な場面において有効なプラットフォームデータであるが、建物や道路等インフラが日々変化している中、データ更新が重要となってくる。特に、防災分野への適用においては、最新データの利用が必要不可欠であるが、現時点ではデータ更新の仕組みは確立されていない。

まちづくりと連携した3D都市モデルの整備・更新の仕組みづくりが必要である。

### (2) 避難可能建物の事前調整及びデータベース作成

今回実証実験で行った、浸水シミュレーション及び可視化ツールでの提示が、迅速な避難行動に繋がる可能性があることが確認された。実際の災害発生時に、自動車による高台避難以外に、付近の高層建物に避難することは十分考えられるが、日頃から該当箇所を把握している人は多くない。

3D都市モデルを活用して、浸水等が無く、避難可能な建物を抽出し、住民が当建物への避難について事前に所有者と調整・住民間での共有化を図っておくことで、災害時に速やかに避難することが可能となる。



早期実装にむけた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7）  
報 告 書

令和4年9月

国土交通省 都市局  
松山スマートシティ推進コンソーシアム

## 参考資料（避難行動ワークショップ）

### （１）第１回ワークショップ

#### ◆開催概要

開催日時	令和３年 １０月２８日（木） 19:30～20:45	
開催場所	松山市西消防署 ４階	
参加者	一般参加者	18名
	関係者	愛媛大学 森脇 教授 藤森 助教 松山アーバンデザインセンター 三谷 氏 吉田 氏 愛媛大生 5名 松山西消防署 3名
	事務局	松山市 7名 復建調査設計株式会社 2名
配付物	<b>【避難所運営マニュアル策定WS】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・避難所運営マニュアル策定のための資料（松山市）</li> <li>・高潮・内水ハザードマップ（松山市）</li> </ul> <b>【避難行動WS】</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・筆記用具</li> <li>・アンケート調査票</li> <li>・三津浜、宮前の高潮・内水ハザードマップ</li> <li>・マイタイムライン（マイ避難マップ、私の災害リスク、いつ何をするかシート）</li> </ul>	

◆内容（全体の流れ）

時刻		事項	担当
19:30~19:40	10分	<b>■ 避難行動 WS 開会挨拶、アンケート</b> ・ 学生の紹介（5名） ・ アンケートの説明、回答、回収	愛媛大学 森脇教授
↓		↓	
19:40~20:00	20分	<b>■ 地域の災害リスクの説明</b> ・ ハザードマップの見方 ・ 災害発生のメカニズム ・ 過去の災害事例、三津浜・宮前の災害リスク ・ 三津浜・宮前地区の避難所の位置とその説明 ・ 三津浜・宮前における過去の被災	//
↓		↓	
20:00~20:10	10分	<b>■ マイタイムラインの説明とマイ避難マップワーク</b> ・ マイタイムラインの必要性 ・ マイ避難マップの配布、回答、回収 （大学が回収、次回のWSで参加者に返却） ・ 想定災害は高潮浸水	//
↓		↓	
20:10~20:20	10分	<b>■ 私の災害リスク・いつ何をするかシートの説明</b> ・ 警戒レベルの説明 ・ 私の災害リスク・いつ何をするかシート配布	//
↓		↓	
20:20~20:35	15分	<b>■ 私の災害リスク・いつ何をするかシートのワーク</b> ・ 地域の災害リスクの説明を受けた後のアンケート ・ 私の災害リスク・いつ何をするかシート回答、回収 （大学が回収、次回のWSで参加者に返却）	//
↓		↓	
20:35~20:40	5分	<b>■ まとめ、次回の説明</b>	愛媛大学 森脇教授
↓		↓	
20:40~20:45	5分	<b>■ 閉会挨拶</b> ・ VR、3D都市モデルのさわり ・ 質疑応答	松山市 竹場氏

◆状況写真



開会挨拶（避難行動WS）



アンケート回答の様子



災害リスクの説明



マイ避難マップワーク



私の災害リスク・いつ何をするかシート



閉会挨拶（避難行動WS）

(2) 第2回ワークショップ

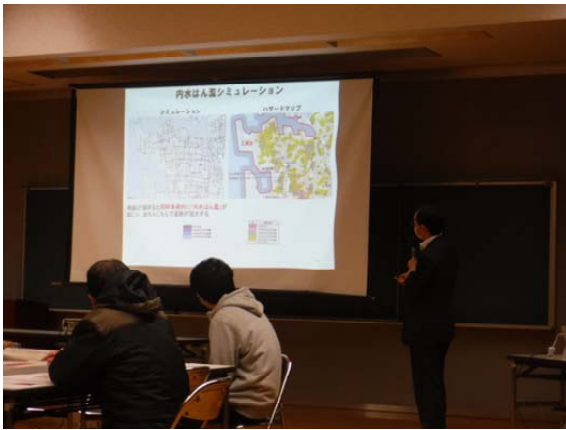
◆開催概要

開催日時	令和3年 12月16日(木) 19:00~20:40	
開催場所	松山市西消防署 4階	
参加者	一般参加者	18名
	関係者	愛媛大学 森脇 教授 藤森 助教 木原 氏 松山アーバンデザインセンター 三谷 氏 吉田 氏 愛媛大生 5名
	事務局	松山市 7名 復建調査設計株式会社 2名
配付物	【避難行動WS】 ・筆記用具 ・アンケート調査票 ・マイタイムライン(マイ避難マップ、私の災害リスク、いつ何をするかシート)	

◆内容（全体の流れ）

時刻		事項	担当
19:00~19:05	5分	■ 開会挨拶	松山市 竹場氏
↓		↓	
19:05~19:10	5分	■ はじめに ・第2回避難行動WSの概要説明 ・アンケートの配布・回答 ■ 第1回避難行動ワークショップの振り返り	愛媛大学 森脇教授、木原氏
↓		↓	
19:10~19:30	20分	■ 浸水氾濫・避難行動シミュレーションについて説明 ■ 内水・高潮浸水シミュレーション ・災害リスクの周知 ■ 避難シミュレーション ・内水・高潮シミュレーションに避難行動を適用 ・アンケート回答	愛媛大学 森脇教授
↓		↓	
19:30~19:50	20分	■ 3D都市モデルを用いた可視化（アイレベル） ・VRによる災害リスクの周知 ・アンケート回答	愛媛大学 木原氏
↓		↓	
19:50~20:15	25分	■ マイタイムラインの作成 ・マイ避難マップ、私の災害リスク、いつ何をするかシート配布・回答	//
↓		↓	
20:15~20:30	15分	■ マイタイムラインの見直し ・第1回で回収したものを配布 ・第1回と比較した結果を発表 ・マイタイムラインの回収	愛媛大学 森脇教授、木原氏
↓		↓	
20:30~20:35	5分	■ まとめ、次回の説明 ・第3回WSの概要説明等	愛媛大学 森脇教授
↓		↓	
20:35~20:40	5分	■ 閉会挨拶	松山市 竹場氏
↓		↓	
20:40~		・会議室撤収	

◆状況写真



森脇教授による災害リスクの説明



アンケート回答の様子



木原氏による水害体験 VR-1



木原氏による水害体験 VR-2



マイタイムライン作成の様子



参加者による避難意識の変化の発表

(3) 第3回ワークショップ

◆開催概要

開催日時	令和4年 7月28日(木) 19:00~20:40	
開催場所	松山市西消防署 4階	
参加者	一般参加者	12名 三津浜地区：7名 宮前地区：5名
	関係者	松山西消防署 2名 愛媛大学 森脇 教授 藤森 助教 松山アーバンデザインセンター 三谷 氏 愛媛大生 4名
	事務局	松山市 9名 復建調査設計株式会社 2名
配付物	【避難行動WS】 ・筆記用具 ・説明資料	



◆内容（全体の流れ）

時刻		事項	担当
19:00~19:05	5分	<b>■ 開会挨拶</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ はじめに</li> </ul>	森脇先生
↓		↓	
19:05~19:25	20分	<b>■ 第1回、第2回避難行動ワークショップの振り返り</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ これまでの振り返り</li> <li>・ 宮前地区でのVR</li> </ul>	森脇先生
↓		↓	
19:25~19:45	20分	<b>■ 避難開始の遅れが及ぼす危険性</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3D都市モデル・浸水VRを用いた災害リスクの認知</li> </ul>	復建
19:45~19:55	10分	<b>■ 要支援者を考慮した避難行動シミュレーション</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地域の要支援者を認知</li> <li>・ 避難は個人だけではなく、地域で考える事の必要性</li> <li>・ シミュレーションを視聴いただく</li> </ul>	森脇先生
↓		↓	
19:55~20:35	40分	<b>■ コミュニティタイムラインの作成</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地域で持ち帰ってコミュニティタイムラインを作成できるような情報を共有する、コミュニケーションの場とする。</li> <li>・ 全体発表</li> </ul>	森脇先生
↓		↓	
20:35~20:40	10分	<b>■ まとめ</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 第3回WSのまとめ</li> <li>・ 質疑応答</li> </ul>	松山市 危機管理課 内田氏
↓		↓	
20:40~		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 会議室撤収</li> </ul>	

◆状況写真



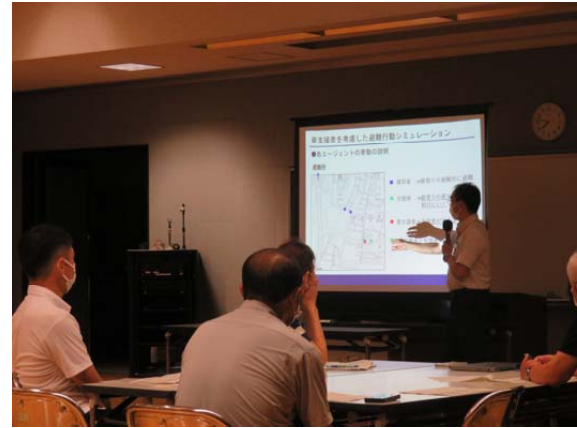
森脇教授による災害リスクの説明



宮前地区の浸水VRの紹介



3D都市モデルの紹介



要支援者を考慮した避難シミュレーション



コミュニティタイムラインの作成



参加者による避難意識の変化の発表