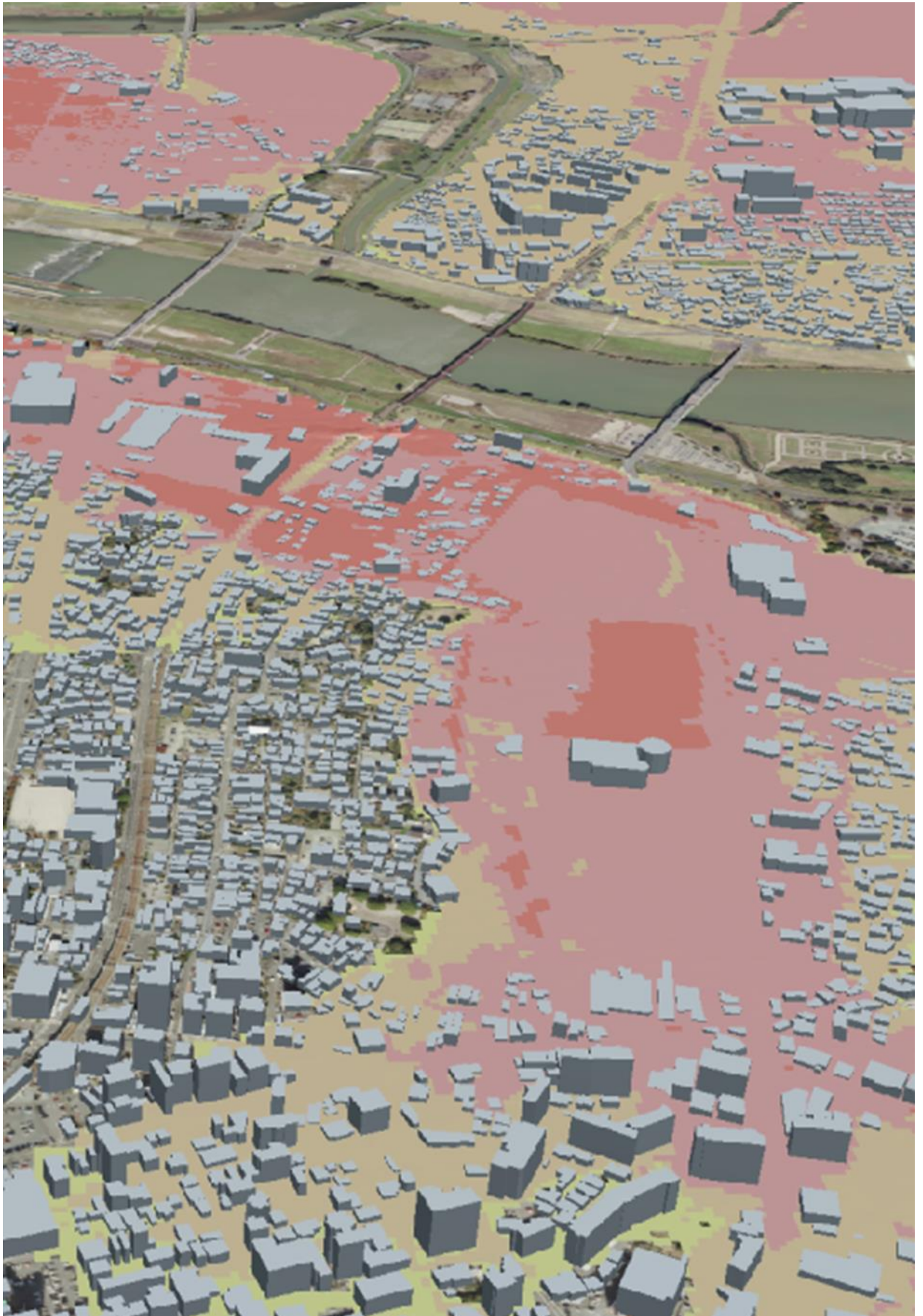




PLATEAU
by MLIT

PLATEAU Technical Report
3D都市モデル活用のための技術資料



人工衛星観測データを用いた浸水被害把握

series No. 71

技術検証レポート

Technical Report on Flood Damage Assessment Using Synthetic Aperture Radar (SAR) Image Data

目次

1. ユースケースの概要	- 1 -
1-1. 現状と課題	- 1 -
1-1-1. 課題認識	- 1 -
1-1-2. 既存業務フロー	- 2 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 4 -
1-3. 創出価値	- 8 -
1-4. 想定事業機会	- 8 -
2. 実証実験の概要	- 9 -
2-1. 実証仮説	- 9 -
2-2. 実証フロー	- 9 -
2-3. 検証ポイント	- 10 -
2-4. 実施体制	- 10 -
2-5. 実証エリア	- 11 -
2-6. スケジュール	- 13 -
3. 実証システム	- 14 -
3-1. アーキテクチャ	- 14 -
3-1-1. システムアーキテクチャ	- 14 -
3-1-2. データアーキテクチャ	- 18 -
3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ	- 20 -
3-2. システム機能	- 23 -
3-2-1. システム機能一覧	- 23 -
3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ	- 25 -
3-2-3. 開発機能の詳細要件	- 27 -
3-3. アルゴリズム	- 45 -
3-3-1. 利用したアルゴリズム	- 45 -
3-3-2. 開発したアルゴリズム	- 46 -
3-4. データインタフェース	- 53 -
3-4-1. ファイル入力インタフェース	- 53 -
3-4-2. ファイル出力インタフェース	- 54 -
3-4-3. 内部連携インタフェース	- 55 -
3-4-4. 外部連携インタフェース	- 57 -
3-5. 実証に用いたデータ	- 58 -
3-5-1. 活用したデータ一覧	- 58 -
3-5-2. 生成・変換したデータ	- 65 -
3-6. ユーザーインタフェース	- 66 -
3-6-1. 画面一覧	- 66 -

3-6-2. 画面遷移図	- 67 -
3-6-3. 各画面仕様詳細.....	- 68 -
3-7. 実証システムの利用手順.....	- 77 -
3-7-1. 実証システムの利用フロー.....	- 77 -
3-7-2. 各画面操作方法.....	- 78 -
4. 実証技術の検証.....	- 83 -
4-1. アルゴリズムの検証	- 83 -
4-1-1. 検証目的	- 83 -
4-1-2. KPI.....	- 83 -
4-1-3. 検証方法と検証シナリオ	- 84 -
4-1-4. 検証結果	- 85 -
5. 政策面での有用性検証	- 87 -
5-1. 検証目的	- 87 -
5-2. 検証方法	- 87 -
5-3. 被験者	- 88 -
5-4. ヒアリング・アンケートの詳細.....	- 88 -
5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル.....	- 88 -
5-4-2. アジェンダの詳細.....	- 89 -
5-4-3. 検証項目と評価方法.....	- 90 -
5-4-4. 実証実験の様子.....	- 91 -
5-5. 検証結果	- 103 -
6. 成果と課題	- 108 -
6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性	- 108 -
6-1-2. 3D 都市モデルのビジネス面での優位性	- 109 -
6-1-3. 3D 都市モデルの政策面での優位性	- 110 -
6-2. 実証実験で得られた課題と対応策.....	- 111 -
6-3. 今後の展望.....	- 112 -
7. 用語集.....	- 113 -

1. ユースケースの概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 課題認識

洪水等の浸水被害発生時には、地方公共団体は被災状況の把握、応急対応や復旧計画の立案、被災者支援等のために浸水域や家屋の被害状況を把握する必要がある。しかし、現状ではこれらを迅速に行うためのシステムは確立されておらず、地方公共団体担当職員の巡視等によって被害状況を確認している。

このため、地方公共団体の現場では、災害発生時に人的リソースがひっ迫するなか、どのようにして早期に被害状況を把握し被災者の生活再建に必須となる罹災証明書を効率的かつ迅速に発行するかといった課題が議論されている。

被害状況の把握について、災害対策基本法においては、被災者から申請があったときは遅滞なく調査を行うよう定められている。しかし、罹災証明書発行申請を受け付けてからの対応では申請数が膨大なことに加え、住民ごとの申請タイミングが異なるため、応援人員の派遣要求も含めて的確な調査計画を立てることは難しい。そのため地方公共団体では実態として、住民の申請を受けた後に調査を開始するのではなく、発災直後から調査を開始するケースが多い。

それでも従来の業務フローでは、現地職員の巡回から浸水域の特定まで1週間以上かかることがあり、結果として罹災証明書発行までに要する期間も長期化する傾向にあり、浸水域及び被害状況の把握の効率化は急務である。

これらの課題を解決するため、3D都市モデルと人工衛星観測データを用いた迅速な被害状況把握を可能にし、罹災証明書発行業務の効率化を行う。

1-1-2. 既存業務フロー

罹災証明書発行に関わる事前調査の業務フロー概要及びボトルネックとなる部分を以下の図に示す。

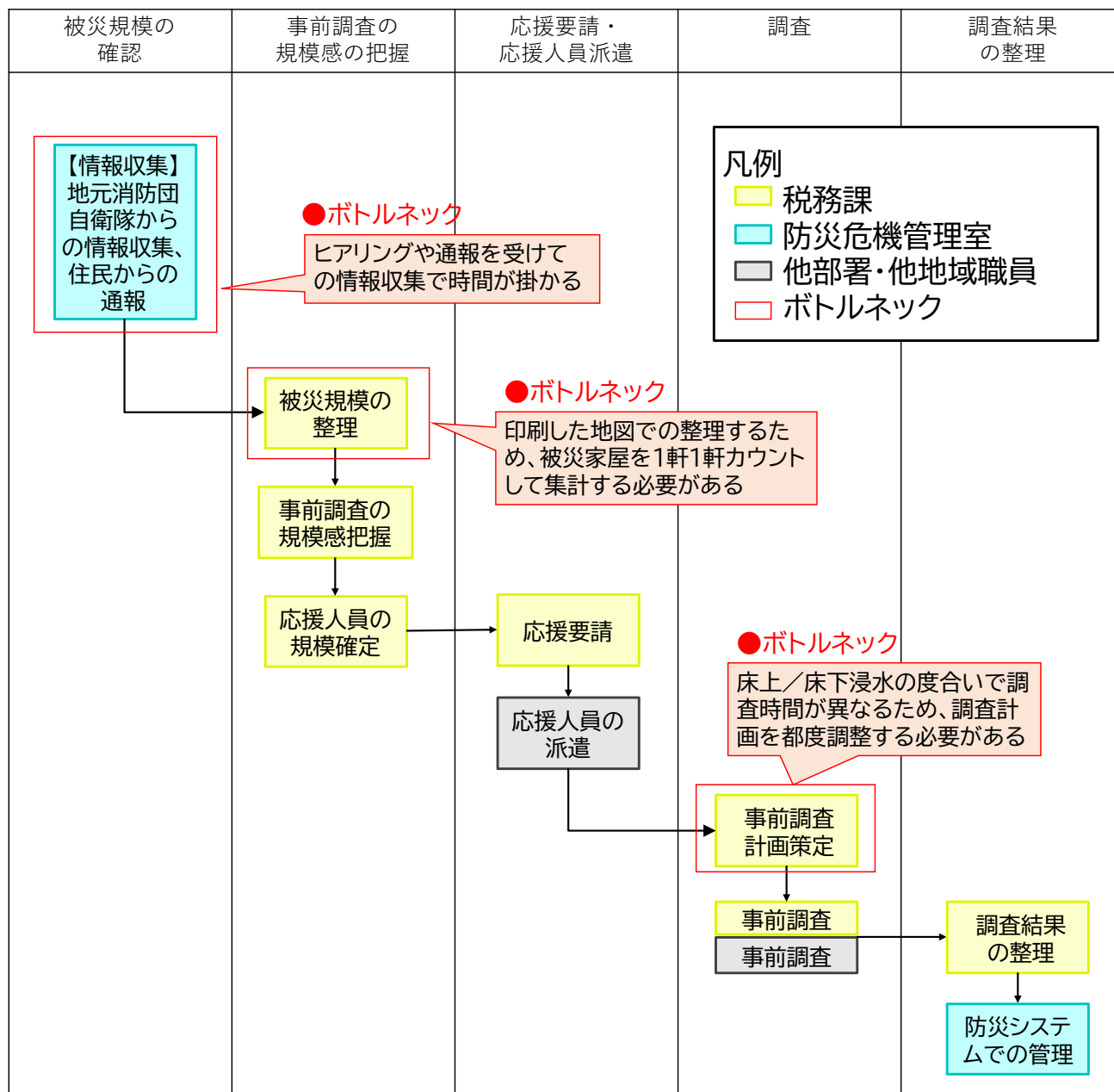


図 1-1 既存業務フロー

※本実証実験を行った大牟田市においては、税務課が罹災証明書発行のための調査業務を担当している。

表 1-1 既存業務概要

実施項目	実施主体	業務概要
被災規模の確認	防災危機管理室	<ul style="list-style-type: none"> ● 甚大な被害が想定される場合、住民の申請前に事前の動き出しとして、地元消防団や自衛隊から被災現場の状況のヒアリングを行い、情報収集を行う。 ● ヒアリング結果や、住民からの通報により収集した情報を整理して浸水域を推定する。推定した浸水域を地図と照らし合わせて被害状況を想定する。
事前調査の規模感の把握	税務課	<ul style="list-style-type: none"> ● 想定する被害状況から被害認定調査を行う家の総数を整理する。 ● 被害認定調査を行う家の持ち主等の情報について、課税台帳等を用いて特定する。
応援要請・応援人員派遣	税務課・応援人員	<ul style="list-style-type: none"> ● 被災規模から必要人員の規模の見積りを行い、応援要請を行う。 ● 応援要請を受けて、応援人員を派遣する。
調査	税務課・応援人員	<ul style="list-style-type: none"> ● 被害認定調査を行う家を網羅的に現地に赴き、被害認定調査を実施する。
調査結果の整理	税務課	<ul style="list-style-type: none"> ● 調査結果を防災システムへと格納する。

1-2. 課題解決のアプローチ

既存業務フローで最も負担となっている「情報収集」、「被災状況の確認」、「調査計画」の工程について、本実証で開発するシステム（以下、「本システム」という。）を用いることで地方公共団体担当者の対応時間の削減等の業務効率化を実現する。

具体的には、人工衛星観測データから分析した浸水域と 3D 都市モデルをマッチングさせることで、家屋単位での浸水深の算出及び被災判定を行うシステムを開発する。また、分析された家屋単位の被害状況をデータベースに取り込み、3D 都市モデル上に浸水状況を 3D で可視化する WebGIS システムについても開発する。

本システムにより、人工衛星観測データを利用することで洪水災害等の水災害に際して迅速に被害状況を把握し、罹災証明書発行業務の効率化を図る。また、ダッシュボード機能による集計や分析結果を 3D 可視化することで、家屋単位の浸水状況を直感的に確認できるようにし、行政担当職員自身の第一次調査を支援する。

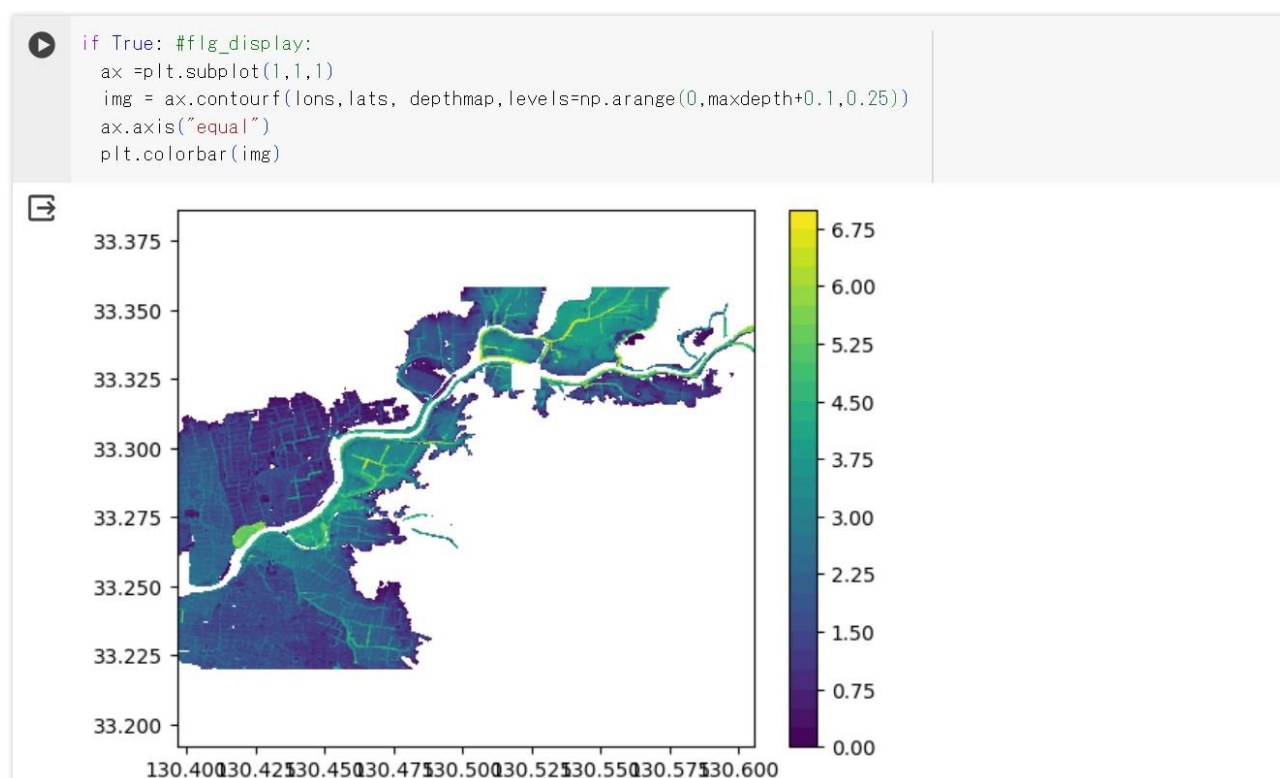


図 1-2 人工衛星観測データの解析による浸水深の推定

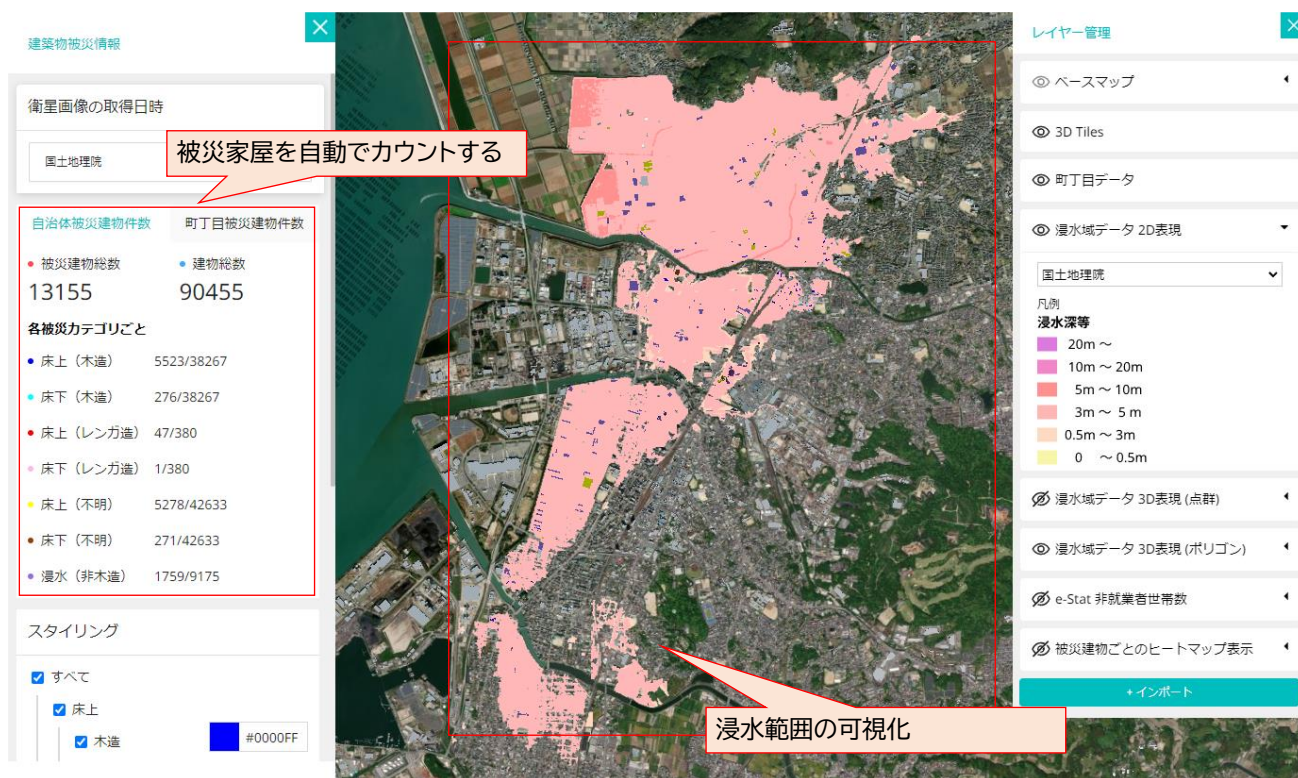


図 1-3 Re:Earth 上での浸水域と被災家屋の可視化

本システムの導入で期待される罹災証明書発行における事前調査での各工程の改善点を以下の表に示す。なお、Re:Earthとは、株式会社ユーカリヤが主導で進める OSS プロジェクト及びそのクラウドサービスを指す。本資料では「Re:Earth OSS」を OSS プロジェクトにおけるソースコードを指し、単に「Re:Earth」と称す場合は株式会社ユーカリヤが運営するクラウドサービスを指す。

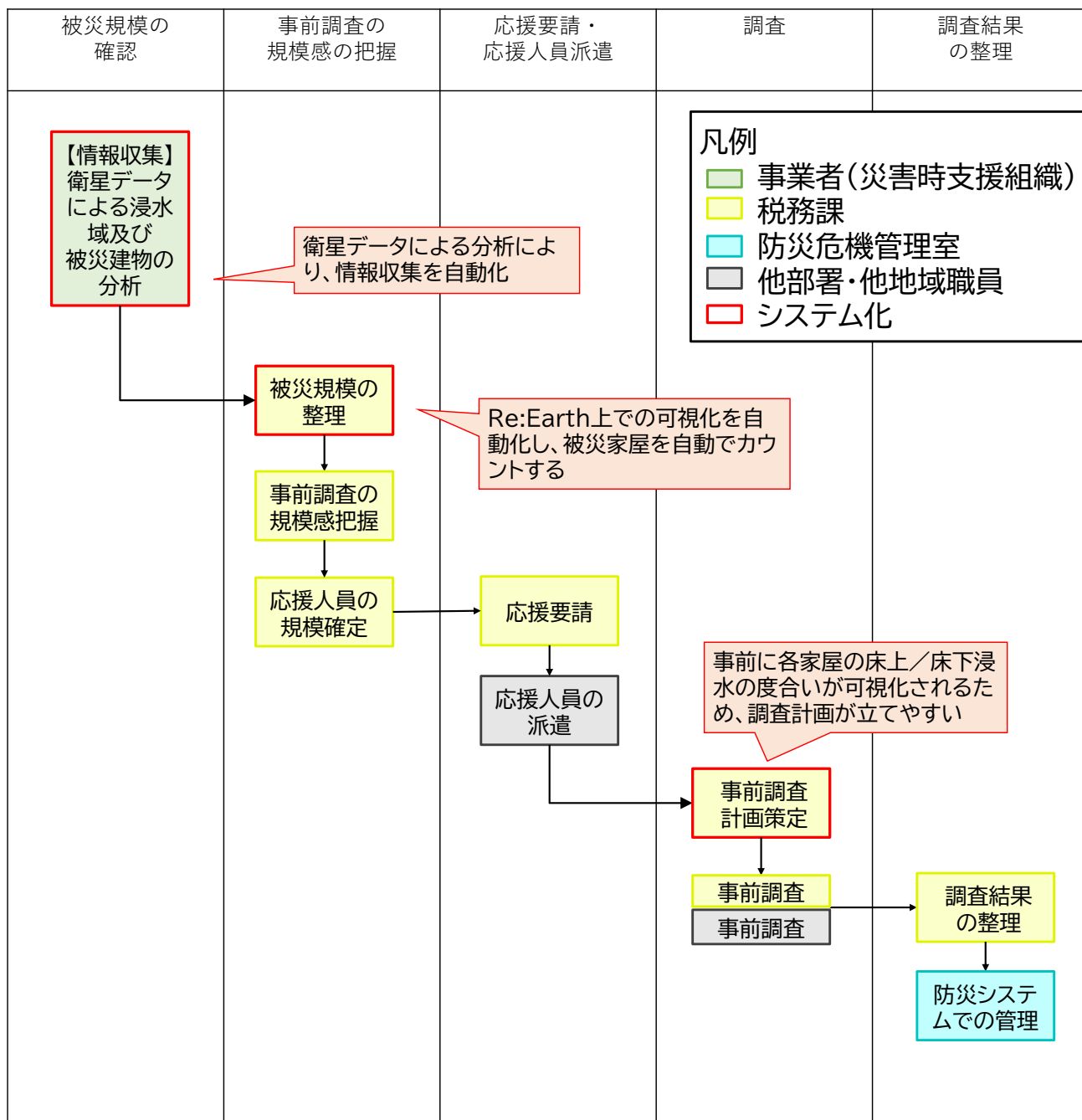


図 1-4 改善後の業務フロー

表 1-2 本システム導入による改善点

実施項目	実施主体	本システム導入による改善点
情報収集（衛星データによる浸水域及び被災建物の分析）	事業者（災害支援組織）	<ul style="list-style-type: none"> ● 災害発生時の衛星データの解析を行い、浸水域、被災家屋、建物ごとの浸水深、建物ごとの被災判定を判定し、分析結果を、罹災証明書発行支援プラグインを実装した Re:Earth 上に反映する。 ● 上記の作業を災害発生時の衛星データ公開から 1 日～2 日程度で行うことで、従来システムで実施していた地元消防団と自衛隊からのヒアリングや住民からの通報により行っていた情報収集の時間が削減される。
被災規模の可視化	税務課	<ul style="list-style-type: none"> ● システムによって被災家屋の可視化・総数確認を行うことが可能になるため、収集した情報を印刷した地図等で整理する時間が削減される。
被災建物の情報表示	税務課	<ul style="list-style-type: none"> ● システムによって被災家屋の浸水程度を把握できるため、調査に必要な工数を推定することが可能となり調査計画が立てやすくなるほか、被害状況を精緻に把握できることにより調査計画の見直しの手戻りが少なくなる。

1-3. 創出価値

発災直後の人工衛星観測データ（SAR 衛星及び光学衛星データ）の解析により浸水域及び浸水深を取得した後、3D 都市モデルが保有する家屋情報や地方公共団体が保有する住民情報等を組み合わせて分析することで、家屋単位の浸水深を算出することで被災状況把握の迅速化を図る。

本実証の人工衛星観測データの解析においては、SAR 衛星データを使用することとした。SAR 衛星データの採用理由は以下の3点である。

- 1つ目は、SAR 衛星データは雲や天候に影響されないため、災害発生時でも信頼性の高い情報を収集できる点である。
- 2つ目は、SAR は一度に広域を観測できるため、災害発生地域全体の被災状況を一度に把握することができる点である。
- 3つ目は、SAR は地表の微細な変化も捉えることができるため、高い精度で地形や物体の特徴を捉え、被害状況を正確に把握することができる点である。

さらに、罹災証明書発行に資する被災建物を自動抽出・リスト化することで、災害復旧期における被災者支援を早期に実現するとともに、地方公共団体の罹災証明書発行業務に携わる職員の労力軽減につなげる。

1-4. 想定事業機会

表 1-3 想定事業機会

項目	内容
利用者	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方公共団体
提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ● 洪水等の浸水被害発生直後の人工衛星観測データから分析した浸水域と 3D 都市モデルの地形モデル及び建築物モデルをマッチングさせることで、家屋単位での浸水深の算出及び被災判定を迅速化する。 ● 導出された被災家屋リストをデータベース化し、WebGIS エンジン上で可視化することで地方公共団体における罹災証明書発行業務の効率化する。
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行における事前調査の迅速化するためのサービス提供 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 罹災証明書発行支援サービスとして地方公共団体に定額サブスクリプションとして提供を行う。

2. 実証実験の概要

2-1. 実証仮説

- Web上で人工衛星観測データ（SARデータ）を取得し、これを用いて浸水域を算出。その結果と3D都市モデルが持つ家屋情報を組み合わせて分析することで、家屋単位の浸水深を算出する。これらのシステムをウェブで完結したものとして構築することが出来る。
- 分析された家屋単位の被害状況をデータベースに取り込み、3D都市モデルが持つUUID（汎用一意識別子）や不動産IDをキーとすることで住居表示や他の情報との連携を可能とする。
- 分析結果を家屋単位の浸水状況として三次元可視化することで、地方公共団体担当職員による被害状況の一次調査に向けた情報提供を可能とする。
- 地方公共団体担当職員が、浸水被害が重大な地区や被災の可能性が高い地区から優先して現場確認を行うことなどを可能とし、罹災証明書発行業務を効率化することができる。
- 人工衛星観測データと3D都市モデルを組み合わせた建物被災の解析ソリューションを活用することで罹災証明書発行の迅速化・省力化が実現し、災害復旧期における被災者支援と罹災証明書発行に従事する職員の労力低減が実現する。

2-2. 実証フロー

システム要件定義作成 のための意見交換	<ul style="list-style-type: none"> ● 自治体（大牟田市）の関係部局とのヒアリングを通じて、被災状況下での主に罹災証明書発行に関連する課題・ニーズを抽出する ● 調査したニーズに基づきシステム要件定義・実証計画を策定する
Re:EarthへのPython ライブラリの実装	<ul style="list-style-type: none"> ● 「Re:Earth CMS」から配信されるAPIを活用し、より高度な解析を可能にするPythonライブラリを実装する。 ● 人工衛星観測データから浸水範囲を取得するPythonライブラリを開発・実装する。
衛星データ解析 災害時との比較検証	<ul style="list-style-type: none"> ● 実証範囲において至近年に発生した浸水被害に対して、人工衛星観測データ分析による浸水域推定の検証を行い、検証結果をシステム開発に反映させる。 ● 近年に発生した浸水被害に対して、現地で取得した浸水深と本システムから求まる浸水深の比較検証を行う。
罹災証明書発行支援 ツールの開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 人工衛星観測データ解析から浸水範囲に存在する3D建物データと衝突判定を実施し、被災範囲を推定する。 ● 3D都市モデルIDと不動産IDとのリンクをはかり、被災家屋の抽出およびリスト化を実行する。
被害認定（第1次調査） への対応	<ul style="list-style-type: none"> ● 過去の罹災証明書発行の実績がある家屋については、システムから進出された家屋とのマッチングから精度検証を行う（対象家屋に対する浸水深評価など）
ユーザビリティ評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行に携わる行政職員を対象にシステムを用いた実証を実施する。なお、システム開発においては、行政職員との意見交換会を適宜開催し、システム開発内容に反映させる。 <p style="text-align: right;">※SARデータをベースにしたアルゴリズムで検討を進めることを想定している</p>

図 2-1 実証フロー

2-3. 検証ポイント

- 人工衛星観測データと 3D 都市モデルによる被災状況解析アルゴリズムの評価
 - 人工衛星観測データと 3D 都市モデルを組み合わせた被災状況の分析結果が、罹災証明書発行業務へ適用するにあたって十分な精度を得ることができるかを確認する。

上記 1 点の検証ポイントについては、【4 章：実証技術の検証】にて検証結果を記載

- 罹災証明書発行支援業務における本システムの有用性
 - システム導入にあたって、罹災証明書発行業務の効率化（時間短縮、人員削減）に繋がる可能性があるかを確認する。

上記 1 点の検証ポイントについては、【5 章：政策面での有用性検証】にて検証結果を記載

2-4. 実施体制

表 2-1 実施体制

役割	主体	詳細
全体管理	国土交通省 都市局	プロジェクト全体ディレクション
	アクセンチュア	プロジェクト全体マネジメント
実施事業者	福山コンサルタント	ユースケース実証における企画・検証・運営
	ユーカリヤ	罹災証明書発行支援システム開発 人工衛星観測データ分析及び Python ライブラリ開発の全体管理
	sorano me	人工衛星観測データ分析
	Georepublic Japan	Python ライブラリ開発
実施協力	福岡県大牟田市	システムを活用した実証実験の協力
	福岡県久留米市	システム開発における開発要件に関する情報提供

2-5. 実証エリア

表 2-2 実証エリア①

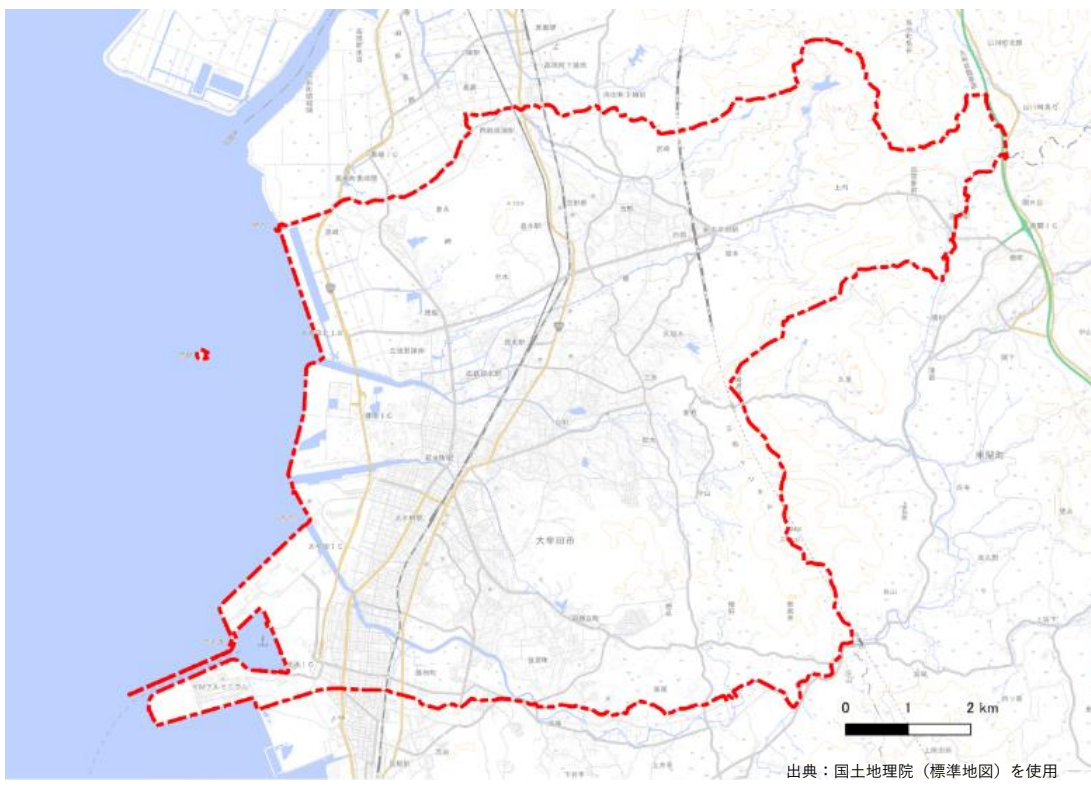
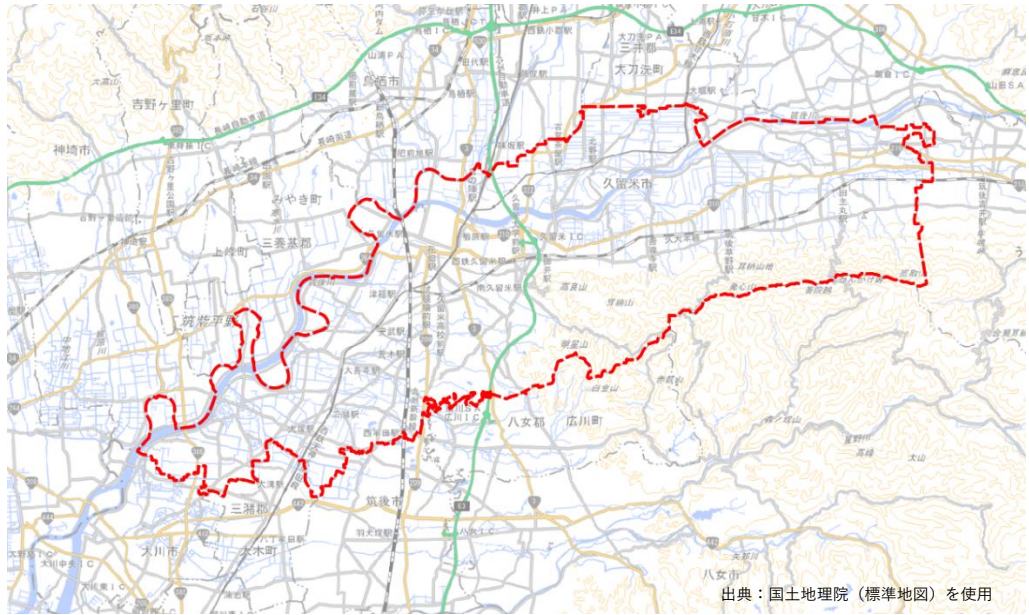
項目	内容
実証地	福岡県大牟田市
面積	81.45 km ²
マップ (対象エリア は赤枠内)	 <p>出典：国土地理院（標準地図）を使用</p>

表 2-3 実証エリア②

項目	内容
実証地	福岡県久留米市
面積	230 km ²
マップ (対象エリア は赤枠内)	 <p>出典：国土地理院（標準地図）を使用</p>

2-6. スケジュール

表 2-4 スケジュール

実施事項	2023 年									2024 年		
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
1. 3D 都市モデルの活用方策・実証手法の検討	←————→											
2. Re:Earth に関連する Python ライブラリ新規開発			←————→									
3. 衛星データ解析手法の検討			←————→									
4. 罹災証明書発行支援プラグイン開発							←————→					
5. 実証実験実施								←————→				
6. 成果取りまとめ								←————→				

3. 実証システム

3-1. アーキテクチャ

3-1-1. システムアーキテクチャ

本システムは、SAR データと 3D 都市モデルを用いて被災家屋を判定するシステムとその結果に基づいて行政の罹災証明書発行業務を支援するシステムにより構成される。

被災家屋を判定するシステムは、①SAR データを用いて対象エリアの浸水域及び浸水深を推定する機能、②推定結果と 3D 都市モデルの建築物モデルを組み合わせ各建物の床上/床下浸水の判定を行う機能で構成される。

①SAR データを用いて対象エリアの浸水域及び浸水深を推定する機能は、次の 2 ステップで推定を行う。

まず、浸水域を識別するため、洪水発生時と平時の 2 つの SAR データをインプットデータとして、機械学習モデル (PyTorch にて実装・公開されている U-Net モデル) により、地点ごと (SAR データのピクセルごと) に水面の有無 (浸水の有無) を浸水確率として評価する。ここで用いる機械学習モデルは洪水発生時の SAR データと同エリアの洪水範囲の正解データを学習させたものである。洪水発生時と平時の 2 つの SAR データを基に、各地点に対して浸水の有無を値範囲 0~1 の浸水確率として出力する。この浸水確率に対して閾値を設定することで浸水域を推定する。

次に、浸水域と浸水深の推定を行う。具体的には前ステップで推定した浸水域と国土地理院の数値標高モデルから、浸水面の標高の推定を行う。浸水域内の地形の最も高い部分の標高を特定し、その標高を浸水面標高として算出する。ここで算出された浸水面標高は、浸水判定用に浸水面標高ラスターデータとして、可視化用に浸水面サーフェスの 3D Tiles として出力される。

②各建物の床上/床下浸水の判定を行う機能は、次の 3 ステップで判定を行う。

まず、3D 都市モデル (建築物モデル LOD1) の CityGML をパースし、建築物の GMLID・緯度・経度・標高及び構造種別に関する属性情報を Python で扱えるデータの配列として取得し、浸水面の緯度・経度と建築物の緯度・経度を重ね合わせることで、浸水面標高と建築物の標高の差分を浸水深として取得する。

次に、建築物モデルの構造種別を用いて地盤面から床上までの高さを規定し、床上/床下浸水の判定を行う。具体的には、建築基準法施行令第二十二條を参照し、「木造・土蔵造」、「レンガ造・コンクリートブロック造・石造」、「不明」の属性を持つ建築物は、地盤面からの床上までの高さを 0.45m、それ以外の建築物は 0m とした。

最後に、これらの解析結果を基に、罹災証明書発行の対象となる全建物について、床上浸水/床下浸水/非浸水の浸水レベルと構造種別と組み合わせて 11 種の被災カテゴリ (※) に分類し、その被災カテゴリを属性として付与した被災家屋データ (CSV 形式) を出力し、罹災証明書発行業務を支援するシステムにアップロードを行う。

※構造種別 4 種 (木造・土蔵造/レンガ造・コンクリートブロック造・石造/不明/非木造) × 浸水レベル 3 種 (床上浸水/床下浸水/非浸水) なお、非木造は床上高さが 0m のため、浸水レベルが浸水/非浸水のみ 2 種となるため、合計 11 種となる。

Python のスクリプトにより、SAR データを用いて対象エリアの浸水域及び浸水深を推定し、加えて被災家屋を判定するシステムを実装した。どちらも、Google が提供するブラウザ上での Python 環境である「Google Colaboratory」にて実装した。なお、本システムで利用する 2 つの汎用機能を Python ライブラリ化している。1 つ目は、3D 都市モデル (CityGML 形式) をパースし、Python で扱えるデータの配列として読み込むことができる Python ライブラリ「Plateau Utils」である。2 つ目は、罹災証明書発行業務を支援するシステムのベースとなるプラットフォーム「Re:Earth」の CMS に、被災家屋データ等の各種データをアップロードするための Python ライブラリ「Re:Earth CMS API」である。

また、本機能で利用する Python 機械学習モデルは、Python のオープンソースの機械学習ライブラリである PyTorch にて実装・公開されている U-Net モデルをベースにして転移学習を行ったモデルを使用した。また、学習用データセットとして、同衛星 (Sentinel-1) で撮影された他のエリアの SAR データとこれに対応する洪水領域の正解データとして Cloud to Street システムによる Global Flood Database を利用している。

罹災証明書発行業務を支援するシステムは、3D 都市モデルをはじめとした 3D データを可視化可能な「Re:Earth」上で動作するプラグインとしてスクラッチで開発した。罹災証明書の発行が必要とされる建物の情報を様々な形で可視化できるよう、このプラグインにはデータ読み込み機能、ダッシュボード機能、検索機能、ダウンロード機能を実装した。

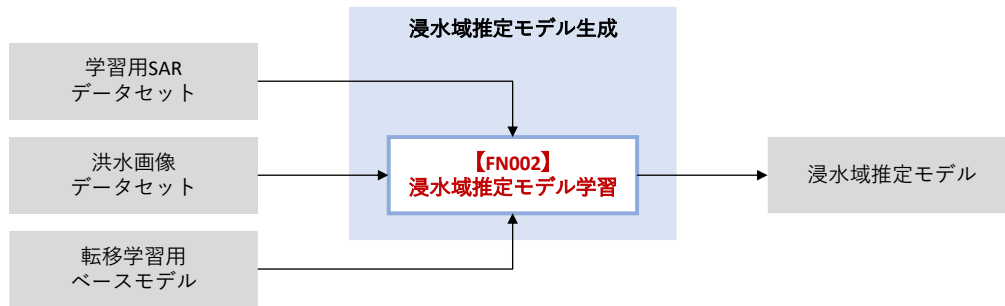
データ読み込み機能は、前述した人工衛星観測データの解析結果である被災家屋データを Re:Earth CMS から読み込む。データの読み込みは、Re:Earth CMS API を通じて得られる URL を入力することで行うことができる。これにより、発災直後に撮影された複数の衛星画像を比較するため、各解析結果をインタラクティブに切り替える機能を実現している。

ダッシュボード機能は、読み込んだ解析結果から 11 種の被災カテゴリの被災家屋数を表示する。合わせてステータスに応じて Re:Earth 上で表示される 3D 都市モデル (建築物モデル) を着色表示し、被災状況を直感的に把握できるようにしている。

検索機能は、任意の町丁目を選択することで、選択した町丁目ごとの被災家屋数が 11 種の被災カテゴリ別に表示される。

ダウンロード機能は、選択した町丁目ごとの 11 種の被災カテゴリ別に集計された被災家屋数と 3D 都市モデルに付与されている GMLID・緯度・経度・浸水深・被災カテゴリ・町丁目・不動産 ID といった属性情報付きの被災家屋データを CSV 形式でダウンロードできる。

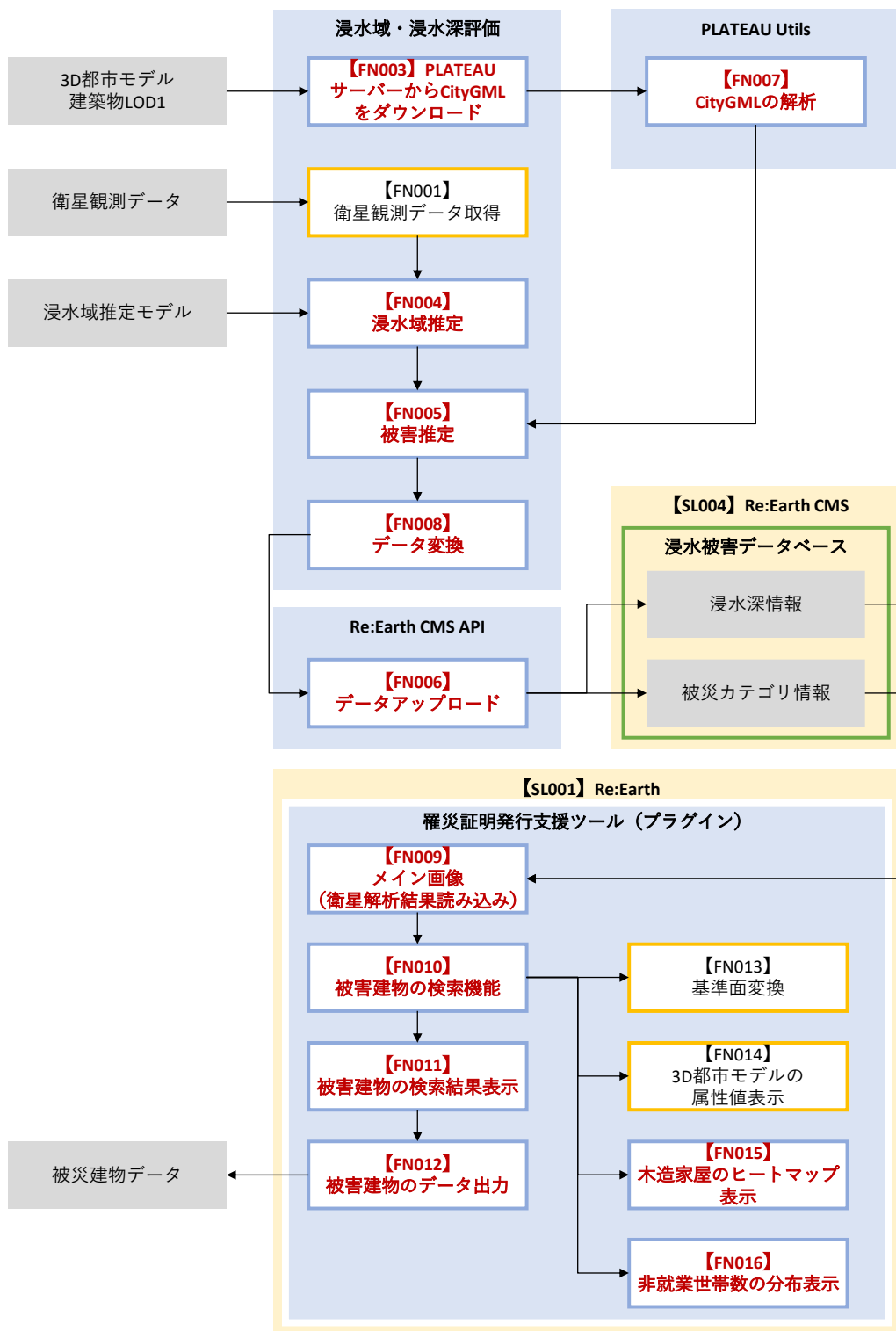
本システムのシステムアーキテクチャは下図のとおりである。



凡例



図 3-1 システムアーキテクチャ（浸水域推定モデル生成）

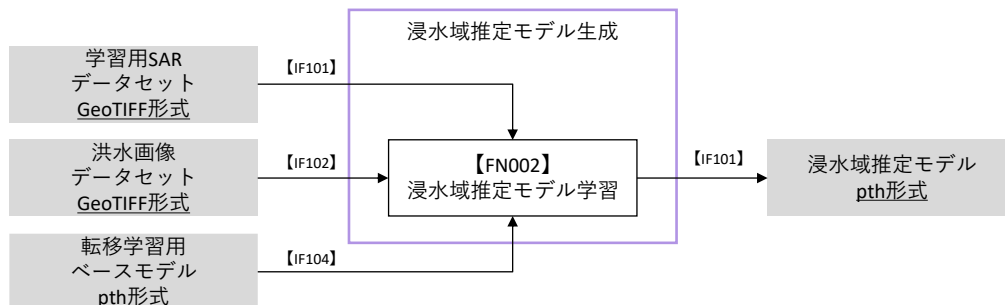


凡例



図 3-2 システムアーキテクチャ (衛星画像解析、罹災証明書発行支援システム)

3-1-2. データアーキテクチャ



凡例

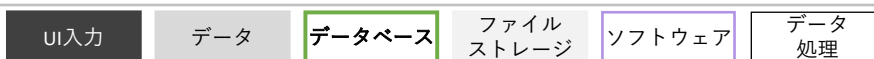


図 3-3 データアーキテクチャ（浸水域推定モデル生成）

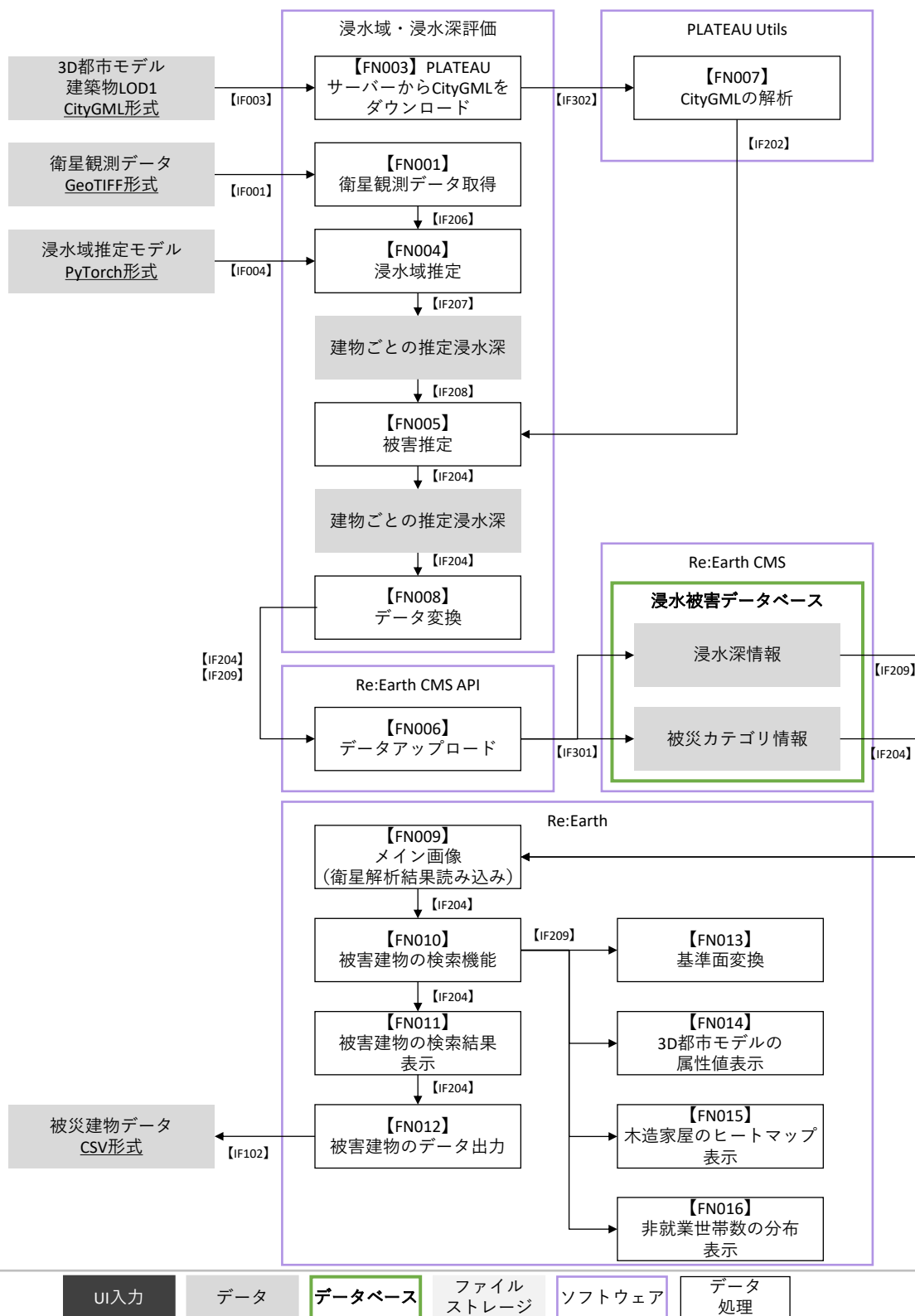


図 3-4 データアーキテクチャ (衛星画像解析、罹災証明書発行支援システム)

3-1-3. ハードウェアアーキテクチャ

3-1-3-a. 利用したハードウェア一覧

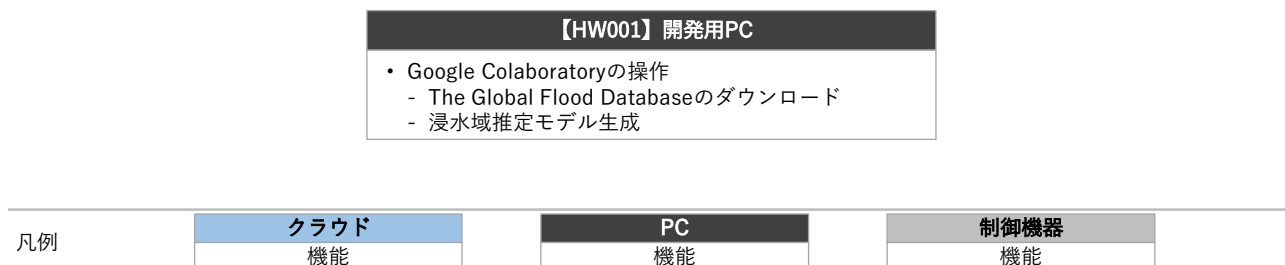


図 3-5 ハードウェアアーキテクチャ（浸水域推定モデル生成）



図 3-6 ハードウェアアーキテクチャ（衛星画像解析、罹災証明書発行支援ツール）

表 3-1 利用したハードウェア一覧

ID	種別	品番	用途
HW001	開発用 PC	—	● 浸水域推定学習モデルを生成する。
HW002	解析用 PC	—	● 浸水域及び浸水深評価を行う。
HW003	データ閲覧用 PC	—	● 罹災証明書発行支援プラグインを実行する。

3-1-3-b. 利用したハードウェア詳細

1) 【HW001】開発用 PC

● 仕様・スペック

- なし（実行環境である Google Colaboratory は、クラウド上での実行のためハードウェアに依存しない）
- 実行環境（例）
 - ◇ CPU：Intel (R) Core (TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz
 - ◇ RAM：16.0 GB
 - ◇ GPU：(CPU にオンボードのもの)
 - ◇ OS：Windows 10 Home
 - ◇ インターネット接続：必要

2) 【HW002】解析用 PC

● 仕様・スペック

- なし（実行環境である Google Colaboratory は、クラウド上での実行のためハードウェアに依存しない）
- 実行環境（例）
 - ◇ CPU：Intel (R) Core (TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz
 - ◇ RAM：16.0 GB
 - ◇ GPU：(CPU にオンボードのもの)
 - ◇ OS：Windows 10 Home
 - ◇ インターネット接続：必要

3) 【HW003】データ閲覧用 PC

● 選定理由

- Re:Earth の要求仕様を満たすスペック

● 仕様

- Re:Earth の要求仕様は以下のとおり

◇ 対応 OS

- Windows 10/11
- Apple macOS 10.12 (macOS Sierra) +
- 上記デスクトップ Web ブラウザが動作する Linux
- ChromeOS
- iOS 11+
- Android 10+

◇ 対応 Web ブラウザ

- Chrome 58_
- Firefox 57+
- Safari 11+ (macOS のみ)
- Microsoft Edge XX 以降
- iOS (11+) Safari
- Android (10+) Chrome

◇ インターネット接続：必要

3-2. システム機能

3-2-1. システム機能一覧

表 3-2 システム機能一覧

(赤字：新規開発)

大分類	小分類	ID	機能名	機能説明
衛星データ解析	浸水域推定学習モデル提供	FN001	衛星観測データの取得	● 浸水域推定モデル生成及び浸水域推定に必要な衛星データの取得を行う。
		FN002	水面推定モデルの生成	● 衛星データの各ピクセルが水面である可能性の推定を行う機械学習モデルを生成する。
	浸水域及び浸水深評価	FN003	PLATEAUサーバーからのデータダウンロード	● 緯度・経度を入力とし、解析に必要なデータセット（建築物モデル）を Re:Earth CMS などから REST API により取得し、実データへの場所を示す。
		FN004	浸水域推定	● FN002 の機械学習モデルを用いて、対象事情の衛星データの各ピクセルについて、浸水の可能性を推定する。
		FN005	被害推定	● 浸水域データと建物データから浸水深の推定及び被災カテゴリの判定を建物ごとに行う。
		FN006	Re:Earth CMS へのデータアップロード	● 解析結果を、Re:Earth CMS に REST API によりアップロードする。
		FN007	CityGML の解析	● CityGML を解析し、データ分析可能なデータ形式にする。
		FN008	データ変換	● npz 形式のファイルを png 形式及び 3DTiles 形式へ変換する
罹災証明書発行支援	罹災証明書発行支援プラグイン	FN009	メイン画面（衛星解析結果読込）	● 衛星データ解析で浸水域推定による被災エリアと浸水深推定による建物ごとの浸水深のデータを読み込む。
		FN010	被害建物の結果表示機能	● 建物浸水程度をもとにした被災建物の集計結果を表示する。
		FN011	被災建物の検索機能	● 町丁目単位で被災建物の検索を行い、検索結果に該当する被災建物数を表示する。
		FN012	被災建物のデ	● 集計されたデータを CSV で出力する。

			ータ出力	
		FN013	3D 都市モデルの色分け可視化	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行支援プラグインにより、衛星データ解析結果を 3D 都市モデルの属性として保持し、属性値をもとにした色分けを 3 次元地図上で可視する
		FN014	3D 都市モデルの属性値表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 3 次元地図の 3D 都市モデルをクリックすることで、不動産 ID や、衛星データ解析により付与された浸水深と被災カテゴリ（木造（床下）等）を表示する
		FN015	木造家屋のヒートマップ表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行支援プラグインにより、木造家屋のヒートマップを読み込み、3 次元地図上に表示する。
		FN016	非就業世帯数の分布表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行支援プラグインにより、非就業者世帯数の分布を読み込み、3 次元地図上に表示する。

3-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ

表 3-3 利用したソフトウェア・ライブラリ

ID	項目	内容
SL001	Re:Earth	● ユーカリヤ社が提供する Web GIS サービス
SL002	Google Colaboratory	● Google 社が提供するブラウザ上で Jupyter Notebook (Python) を記述、実行
SL003	Python	<ul style="list-style-type: none"> ● 汎用のプログラミング言語で、シンプルな文法や豊富な標準ライブラリを備えており、データサイエンス、ウェブ開発、ゲーム開発、ネットワークプログラミング、自動化、機械学習など、さまざまな分野で広く利用されている。 ● Python バージョンについては、衛星観測データの前処理等におけるライブラリに依存する。前処理や浸水域解析、浸水深解析それぞれを分離することより、各段階において柔軟に Python バージョンを選択することは可能である。
SL004	Re:Earth CMS	● ユーカリヤ社が提供する Re:Earth を構成するデータ管理機能。ヘッドレス CMS として、各種データセットの管理や API でのデータ配信を行う。
SL005	CUDA	● NVIDIA 社が提供する GPU 向け汎用並列計算プラットフォーム (AI を GPU で動作させるために必要)
SL006	lxml	● XML/HTML 形式データ操作ライブラリ (CityGML からジオメトリなどの情報の抽出に使用)
SL007	GeoPandas	● 地理空間情報データ操作ライブラリ (GIS データの加工のために使用)
SL008	GDAL	● 地理空間情報データ操作ライブラリ (GIS データから画像に変換/地理情報の付与に使用)
SL009	rasterio	● 地理空間情報画像操作ライブラリ (変化検出結果から GIS データへの変換に使用)
SL010	PyTorch	● Deep Learning フレームワーク (AI の構造定義や学習/判読処理のために使用)
SL011	MLFlow	● AI 実験管理用ライブラリ (AI 学習結果・学習時設定パラメータ管理に使用)
SL012	scikit-image (skimage)	● 画像処理/機械学習ライブラリ (領域判定に使用)
SL013	numpy	● 数値情報処理の根幹ライブラリ
SL014	scipy	● 数学、科学、工学分野の数値解析ライブラリ
SL015	matplotlib	● グラフ描画ライブラリ

SL016	ee	● Google Earth Engine (GEE) を利用するためのライブラリ (SAR 衛星画像を取得するために利用)
SL017	torchvision	● PyTorch プロジェクトに含まれているパッケージ
SL018	pyproj	● 座標変換用のライブラリ
SL019	geemap	● ee から取得したデータをインタラクティブな地図画面での操作や時系列データの描画などを行えるようにしたもの
SL020	scikit-learn	● 機械学習のライブラリ
SL021	requests	● API アクセスに利用
SL022	tqdm	● データのダウンロードの進捗を表示
SL023	progressbar	● 実行時間の予想と把握のためのライブラリ
SL024	pickle	● 解析結果の状態のローカル保存に使用
SL025	affine	● 座標の変換に使用
SL026	json	● JSON ファイルの読み込みに使用
SL027	shapely	● ラスターデータの処理に使用
SL028	shutil	● ZIP ファイルの生成に使用
SL029	sys	● Google ドライブ上のファイルへのアクセスに使用
SL030	os	● Google ドライブ上のファイルへのアクセスに使用

3-2-3. 開発機能の詳細要件

開発機能の詳細要件を記す。なお、本業務において新規開発した要素（機能名）を赤字で示す。

1. 【FN002】水面推定モデルの生成

- 機能概要

- SAR 画像データと教師データ（Global Flood Database）から水面推定を行う機械学習モデルの生成を行う。

- フローチャート

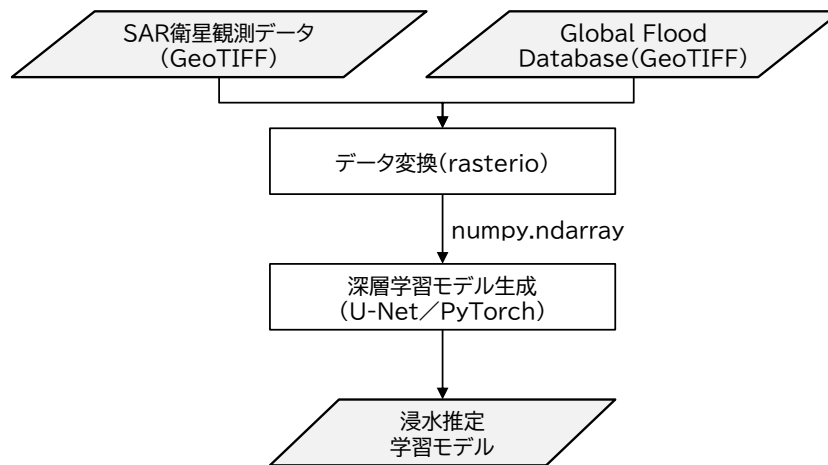


図 3-7 水面推定モデルの生成のフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ SAR 衛星観測データ

- 内容

- SAR 衛星観測データ

- 形式

- GeoTIFF 形式

- データ詳細

- 人工衛星観測データのうち、SAR（合成開口レーダー）衛星によるデータ
- Copernicus Open Access Hub から、教師データと同範囲の SAR 衛星観測データである【DT101】 Sentinel-1 をダウンロードして使用
- 【IF001】衛星観測データ GeoTIFF ファイル入力を使用

- ◇ Global Flood Database

- 内容

- 教師データ

- 【DT103】を使用

- 形式
 - GeoTIFF 形式
- データ詳細
 - 過去の洪水時の SAR 衛星観測データのデータベース
 - 【IF001】衛星観測データ GeoTIFF ファイル入力を使用
- 出力
 - ◇ 学習モデル
 - 内容
 - SAR 画像データにより水面推定を行う機械学習モデル
 - 形式
 - pth 形式
 - データ詳細
 - PyTorch にて実装・公開されている U-Net モデルをベースにして転移学習を行ったモデルを使用
 - 【IF101】浸水域推定モデル pth 形式ファイル出力を使用
- 機能詳細
 - 学習モデルの生成
 - ◇ 処理内容
 - SAR 画像データと教師データ (Global Flood Database) から水面推定を行う機械学習モデルの生成を行う。
 - ◇ 利用するライブラリ
 - rasterio、PyTorch、numpy
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 【AL001】深層学習 (U-Net /PyTorch)、【AL101】水面推定の学習モデル生成

2. 【FN003】 PLATEAU サーバーからのデータダウンロード

- 機能概要

- 本機能は各種地理空間情報を管理し、API でデータの I/O を可能にする「Re:Earth CMS」から、都道府県名と市町村名をキーとして、CityGML などのデータが格納された zip ファイルをダウンロードするための API を得るものである。zip ファイルのダウンロード及び継続する処理については、【FN007】 CityGML の解析が実施する。

- フローチャート

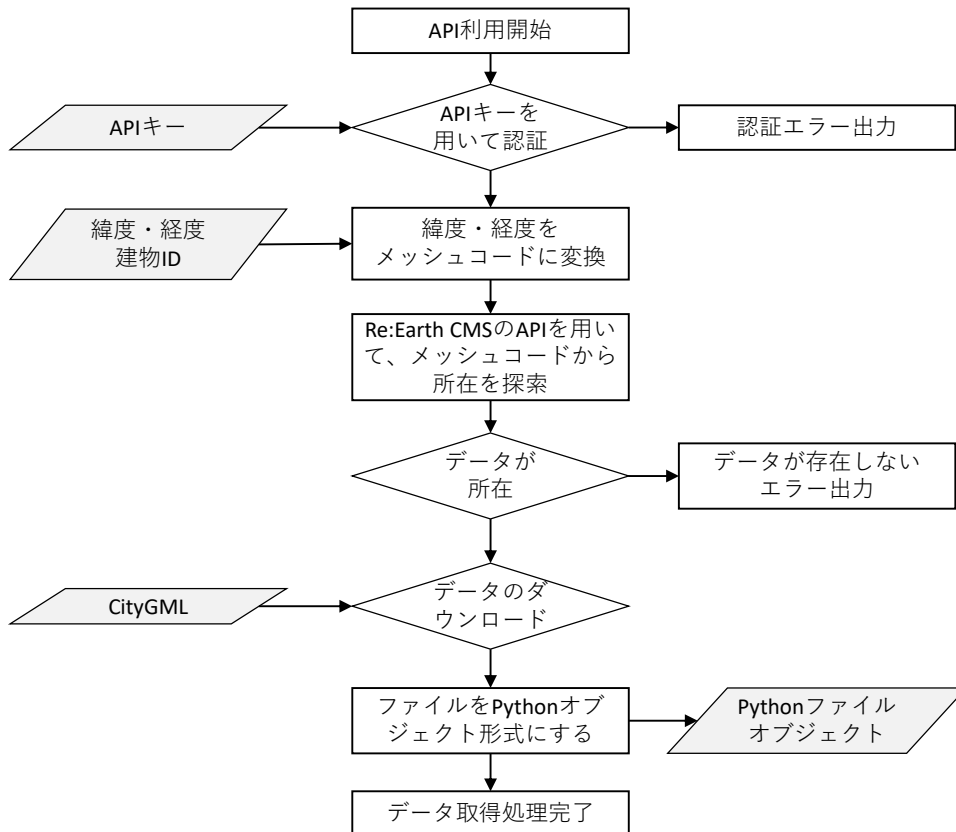


図 3-8 PLATEAU からデータダウンロードのフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ API のエンドポイント、API のアクセストークン、プロジェクトの ID 又はエイリアス、モデルの ID 又はエイリアス、都道府県名、市町村名

- 内容

- CityGML 読み込みに使用する

- 形式

- PostGIS にポリゴンとして格納された 3D 都市モデル

- データ詳細

- CityGML の読み込みに使用する API のアクセストークンや、読み込み対象の設定
- 【IF003】 建築物データ CityGML ファイル入力を使用

- 出力
 - ◇ 建築物データ
 - 内容
 - CityGML の読み込みを行った建築物データ
 - 形式
 - Python オブジェクトリスト
 - データ詳細
 - CityGML の建物属性をパースした Python ファイルオブジェクト
 - 【IF205】 CityGML をパースして建物属性を Python オブジェクトリストに変換したデータを使用
- 機能詳細
 - CityGML の読み込み
 - ◇ 処理内容
 - CityGML 形式の 3D 都市モデルを読み込み、Python リストオブジェクトとして出力する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - requests、tqdm、GDAL、Shapely
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

3. 【FN004】 浸水域推定

- 機能概要

- ラスターのピクセルごとに浸水の判定（確率計算）を【FN002】水面推定モデルの生成で作成したモデルを使用して行う。

- フローチャート

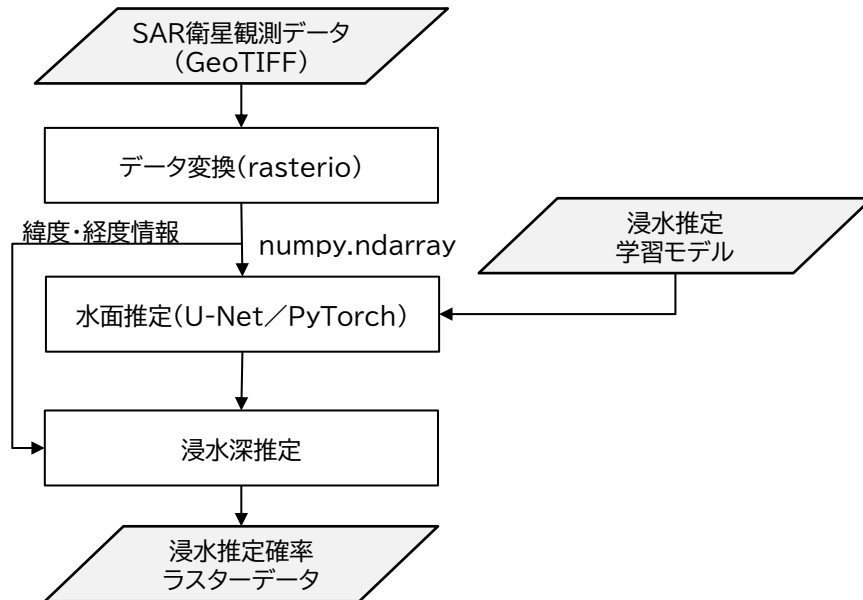


図 3-9 浸水域推定のフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ 衛星画像データ

- 内容

- SAR 衛星観測データ

- 形式

- GeoTIFF 形式

- データ詳細

- 人工衛星観測データのうち、SAR（合成開口レーダー）衛星による観測データを使用
- Python ライブラリ「ee」を使用して、Python のスクリプトから Google Earth Engine にアクセスして、SAR 衛星観測データを取得
- 【IF001】衛星観測データ GeoTIFF ファイル入力を使用

- ◇ 学習モデル

- 内容

- SAR 画像データにより水面推定を行う機械学習モデル

- 形式

- pth 形式

- データ詳細
 - PyTorch の仕様に基づき、SAR 画像データにより水面推定を行う機械学習モデル
 - 【IF004】 転移学習用データベースモデル pth 形式ファイル入力を使用
- 出力
 - ◇ ピクセルごとの浸水推定確率ラスタデータ
 - 内容
 - ピクセルごとに浸水推定確率が付与されたラスタデータ
 - 形式
 - npz 形式
 - データ詳細
 - ピクセルごとに浸水確率が付与されたラスタデータであり、Numpy を使用して保存されたデータファイル
 - 【IF207】 分析結果の浸水確率ラスタデータを使用
- 機能詳細
 - 水面推定
 - ◇ 処理内容
 - 学習モデルを用いて衛星画像データの水面推定を行う
 - ◇ 利用するライブラリ
 - rasterio、PyTorch、Numpy
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - 【AL102】 浸水ピクセル推定

4. 【FN005】被害推定

- 機能概要
 - 浸水確率ラスタデータに対し標高を加味し、浸水域及びその水面標高を推定する。
 - 水面標高に対して、各建物について浸水深判定を行い、建物ごとの被災カテゴリ判定を行う。
- フローチャート

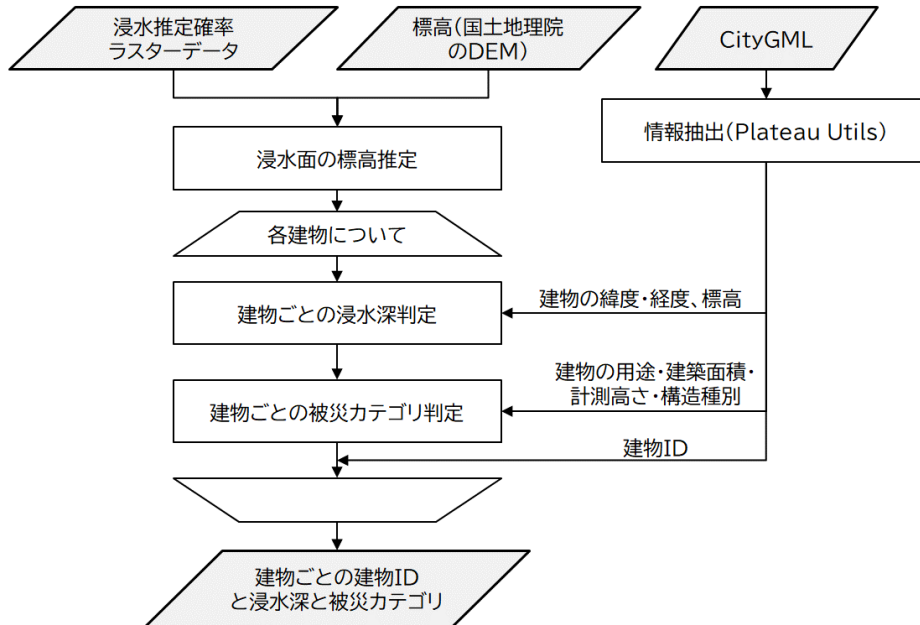


図 3-10 被害推定のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ ピクセルごとのラスタデータ
 - 内容
 - ピクセルごとの浸水推定確率ラスタデータ
 - 形式
 - npz 形式
 - データ詳細
 - ピクセルごとに浸水確率が付与されたラスタデータであり、Numpy を使用して保存されたデータファイル
 - 【IF207】分析結果の浸水確率ラスタデータを使用
 - ◇ 標高データ
 - 内容
 - 国土地理院から入手した標高データ
 - 【DT102】を使用
 - 形式
 - XML 形式

- データ詳細
 - 国土地理院が提供する数値標高モデル (DEM) 5A 及び数値標高モデル (DEM) 5B を requests モジュールにより、国土地理院のウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>) から Python のスクリプトを用いてダウンロードする。
- ◇ 建造物モデル
 - 内容
 - PLATEAU の 3D 都市モデルの建築物モデル
 - 【DT001】、【DT002】、【DT003】、【DT004】、【DT005】、【DT006】 を使用
 - 形式
 - CityGML 形式
 - データ詳細
 - PLATEAU の CityGML から読み込む建造物
 - 【IF003】 建築物データ CityGML ファイル入力を使用
- 出力
 - ◇ 建物ごとの推定浸水深
 - 内容
 - 建物 ID と浸水深、床上/床下等の被災カテゴリを出力
 - 形式
 - Python オブジェクトのリストとして出力
 - データ詳細
 - 建物ごとに建物 ID と浸水深、浸水深と構造種別から算出した床上/床下等の被災カテゴリを出力
 - 【IF204】 【IF203】 に加えて被災カテゴリを追加したデータを使用
 - ◇ 浸水面の配列データ
 - 内容
 - 浸水面の緯度、経度、標高の配列データ
 - 形式
 - npz 形式
 - データ詳細
 - Numpy を使用して保存されたデータファイル (経度、緯度、標高の配列)
 - 【IF207】 分析結果の浸水確率ラスタデータを使用
- 機能詳細
 - 被害推定
 - ◇ 処理内容
 - 浸水確率ラスタデータに対し標高を加味し、浸水域及びその水面標高を推定する。各建物について、その立地における水面標高から浸水深を導出し、建物の属性に基づいて床上/床下等の被災カテゴリ分類を行う。

- ◇ 利用するライブラリ
 - Numpy、plateauutils,requests
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - 【AL103】 浸水面の標高推定、【AL104】 建物ごとの浸水深推定、【AL105】 建物ごとの被災カテゴリの判定

5. 【FN006】データアップロード

- 機能概要

- 各種地理空間情報を管理し、APIでデータのI/Oを可能にする「Re:Earth CMS」の本実証のプロジェクトへ、推定した浸水域データをアップロードするものである。

- フローチャート

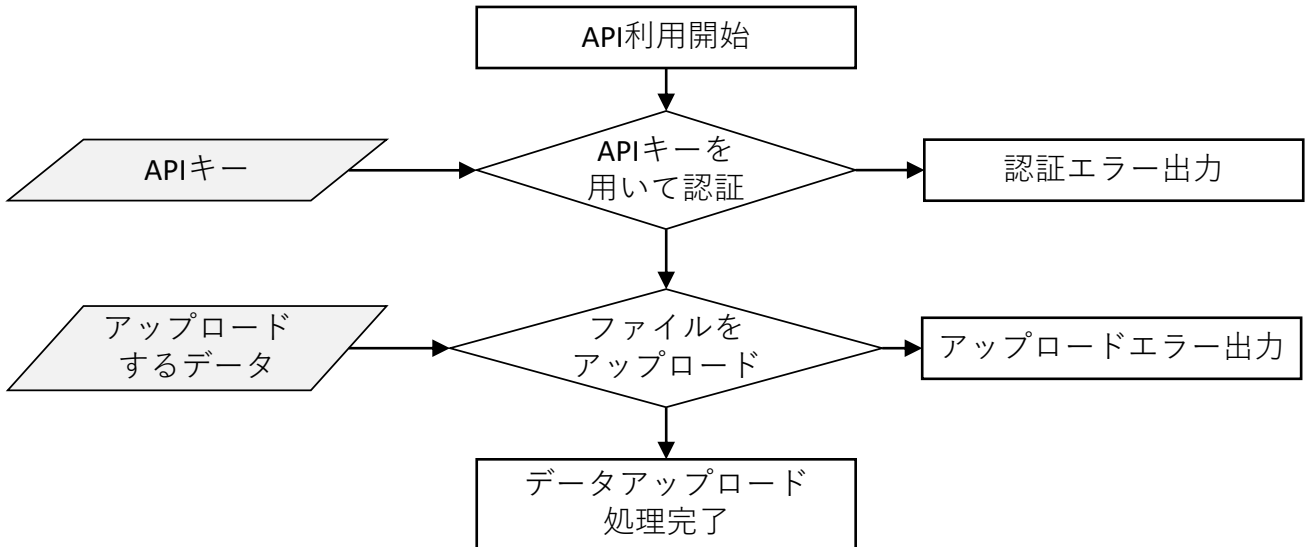


図 3-11 データアップロードのフローチャート

- データ仕様

- 入力

- ◇ Re:Earth CMS へアップロードするための情報

- 内容

- Re:Earth CMS API のエンドポイント、同 API のアクセストークン、Re:Earth CMS に登録されているプロジェクトの ID 又はエイリアス、Re:Earth CMS のモデルの ID 又はエイリアス、アップロードを行うローカルマシンのファイルパス

- 出力

- ◇ アップロードの成否

- 内容

- アップロードの正否を出力

- 形式

- Python の Boolean 値で True 又は False

- データ詳細

- 出力として、アップロードの正否が出力される

- 機能詳細

- Re:Earth CMS へデータアップロード

- ◇ 処理内容

- 推定した浸水域データをアップロードする

- ◇ 利用するライブラリ
 - requests、tqdm
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

6. 【FN007】 CityGML の解析

- 機能概要

- CityGML の zip ファイルのダウンロード処理を実施する。
- 処理範囲から zip ファイル内の必要なファイルのふるい分けを実施する。
- CityGML の XML ファイルごとに建物の ID、緯度経度、用途、構造種別の判定、標高の取得を行い、順次配列に格納する。
- 処理が終わったら配列を返す。

- フローチャート

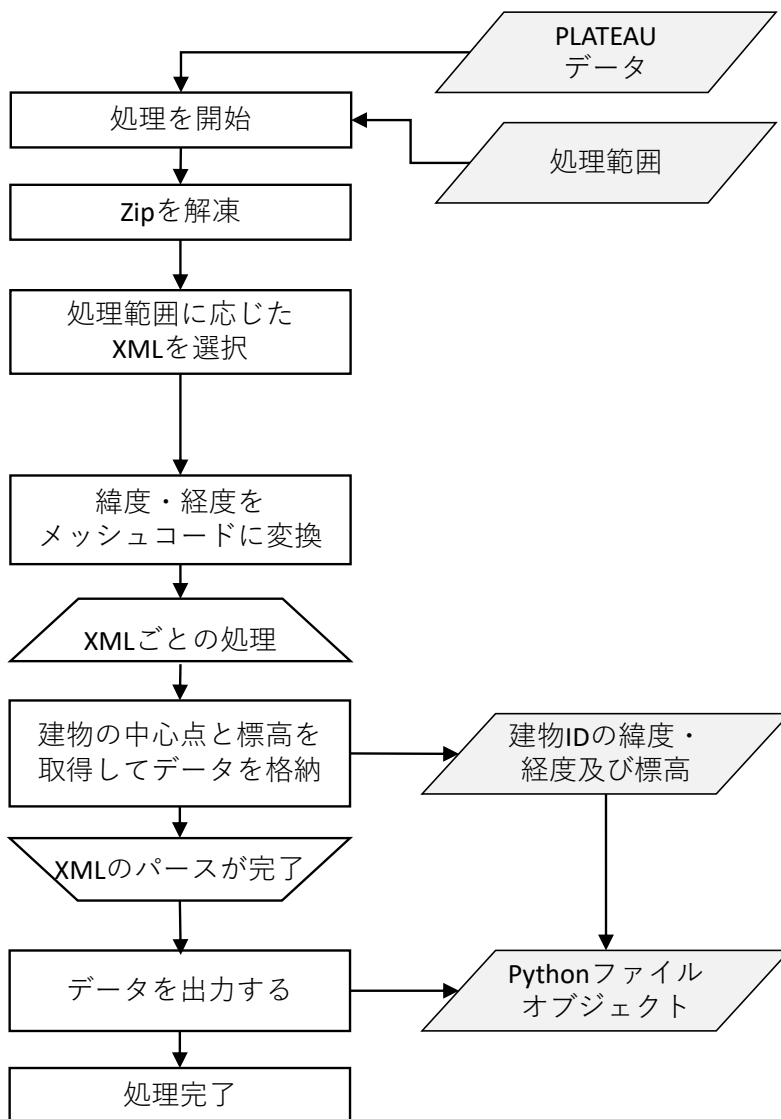


図 3-12 CityGML の解析のフローチャート

- データ仕様

- 入力
 - ◇ CityGML、処理範囲
 - 内容

- 3D 都市モデルの建築物、道路のジオメトリデータ
 - 形式
 - PostGIS にポリゴンとして格納された 3D 都市モデル
 - データ詳細
 - 【IF003】 建築物データ CityGML ファイル入力を使用
- 出力
 - ◇ 建造物データ
 - 内容
 - 衛星データ解析に必要な CityGML 建造物データをパースしたもの
 - 形式
 - Python オブジェクトの配列
 - データ詳細
 - 建物の ID、緯度経度、構造種別、標高を含んだデータ
 - 【IF202】 CityGML をパースして建物属性を JSON 形式に変換したデータを使用
- 機能詳細
 - CityGML の変換
 - ◇ 処理内容
 - CityGML を衛星データ解析へ利用できるよう変換
 - ◇ 利用するライブラリ
 - requests、tqdm、numpy、Shapely
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

7. 【FN008】データ変換

- 機能概要
 - 浸水面の配列データを XYZ タイル (png 形式) 及び浸水標高ポイントデータ (3DTiles 形式) へ変換する。
- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 浸水面の配列データ
 - 内容
 - 浸水面の緯度、経度、標高の配列データ
 - 形式
 - npz 形式
 - データ詳細
 - Numpy を使用して保存されたデータファイル (経度、緯度、標高の配列)
 - 【IF208】分析結果の浸水面の標高ラスタデータを使用
 - 出力
 - ◇ 水面標高と浸水深のデータ
 - 内容
 - XYZ タイルと浸水標高ポイントデータを出力
 - 形式
 - XYZ タイル (png 形式)、浸水標高ポイントデータ (3DTiles 形式)
 - データ詳細
 - 地盤面からの浸水深によって色分けされた水面標高と浸水深のデータ
 - 【IF209】罹災証明書発行支援システムで表示するための XYZ タイル及び 3DTiles を使用
 - 機能詳細
 - データ変換
 - ◇ 処理内容
 - Numpy ファイルを罹災証明書発行支援システムで表示するために PNG タイル及び 3DTiles へ変換
 - ◇ 利用するライブラリ
 - numpy、Shapely
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

8. 【FN009】メイン画面（衛星解析結果読込）

- 機能概要
 - Re:Earth プラグイン機能により、解析結果の読み込みを行う。
- フローチャート

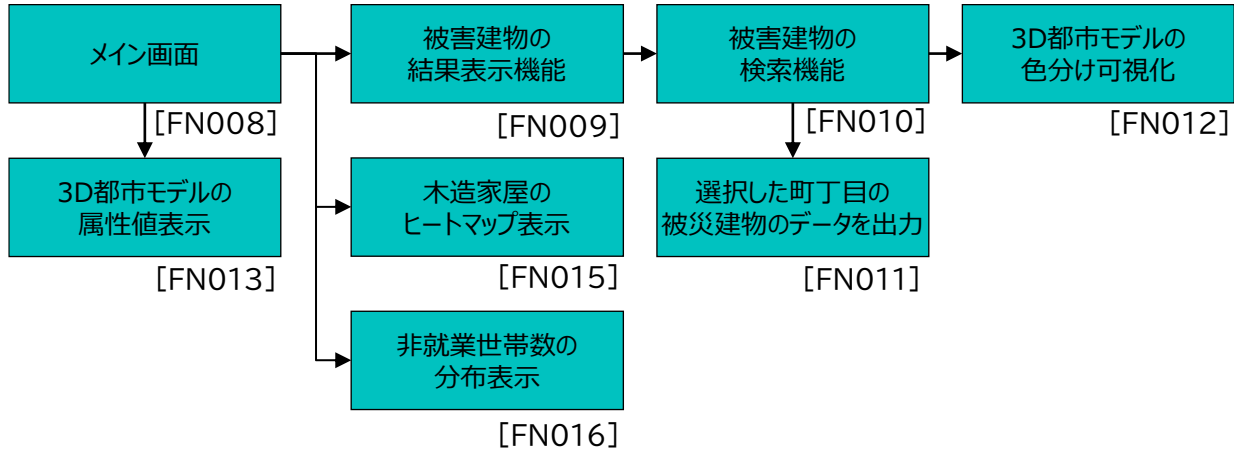


図 3-13 罹災証明書発行支援プラグインのフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 水面標高と浸水深のデータ
 - 内容
 - XYZ タイルと浸水標高ポイントデータを出力
 - 形式
 - XYZ タイル (png 形式)、浸水標高ポイントデータ (3DTiles 形式)
 - データ詳細
 - 地盤面からの浸水深によって色分けされた水面標高と浸水深のデータ
 - ◇ 建物属性データ
 - 内容
 - 衛星解析によって得られた浸水深等の建物属性
 - 【DT003】、【DT004】、【DT005】、【DT006】、【DT007】、【DT008】 を使用
 - 形式
 - CSV 形式
 - データ詳細
 - 建物 ID と浸水深、床上/床下等のカテゴリ
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 浸水域推定による被災エリア及び浸水深推定による建物別の被災結果を読み込む
 - ◇ 利用するライブラリ

- Turf.JS
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

9. 【FN010】被害建物の結果表示機能

- 機能概要
 - Re:Earth プラグイン機能により、被災建物の浸水カテゴリ別の表示を行う。
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 被災建物の 3D 都市モデルの建物別の被災カテゴリをもとにした集計結果を表示する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - Turf.JS
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

10. 【FN011】被災建物の検索機能

- 機能概要
 - Re:Earth プラグイン機能により、町丁目単位での被災建物の件数検索を行う。
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 町丁目単位で検索を行い、被災建物の 3D 都市モデルの建物別の被災カテゴリをもとにした集計結果を表示する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - Turf.JS
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

11. 【FN012】被災建物のダウンロード機能

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 被災建物件数、被災建物の属性情報
 - 内容
 - 被害認定によって付与された属性に基づく集計データ
 - 形式
 - CSV 形式
 - データ詳細
 - 建物ごとの推定浸水深によって付与された属性に基づく集計データ
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 被災建物の集計データをダウンロードする
 - ◇ 利用するライブラリ
 - Turf.JS
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

12. 【FN015】木造家屋のヒートマップ表示

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 木造家屋のヒートマップ表示
 - 内容
 - 木造家屋についてのヒートマップ
 - 形式
 - XYZ タイル (png 形式)
 - データ詳細
 - 被害認定によって算出された被災カテゴリと建築物の構造種別を基に集計された木造建物の総数と床上浸水、床下浸水の3つのヒートマップ
 - 【IF209】罹災証明書発行支援システムで表示するためのXYZ タイル及び3DTiles を使用
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 木造家屋のヒートマップを表示する
 - ◇ 利用するライブラリ

- Turf.JS
- ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

13. 【FN016】非就業者世帯数の分布表示

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 被災建物件数、被災建物の属性情報
 - 内容
 - 非就業者世帯数の分布に基づく集計データ
 - 形式
 - XYZ タイル (png 形式)
 - データ詳細
 - e-Stat の非就業世帯数 (250m メッシュ) を集計したデータ
 - 【IF209】罹災証明書発行支援システムで表示するための XYZ タイル及び 3DTiles を使用
- 機能詳細
 - 罹災証明書発行支援プラグイン
 - ◇ 処理内容
 - 非就業者世帯数の分布を表示する
 - ◇ 利用するライブラリ
 - Turf.JS
 - ◇ 利用するアルゴリズム
 - なし

3-3. アルゴリズム

3-3-1. 利用したアルゴリズム

1) 【AL001】 深層学習 (U-Net /PyTorch)

- アルゴリズムの目的、概要：領域抽出を行う
 - 画像からの特徴点抽出及び特徴量記述子の演算に用いるアルゴリズム
 - FAST による特徴点の抽出（コーナー検出）と BRIEF による特徴量記述子の考え方を組み合わせ、スケール普遍性や回転不変性のための調整を加えたもの
- 入力データ：Numpy.Array（学習データ：SAR 衛星観測、教師データ：Global Flood Database）
- 出力データ：学習モデル（PyTorch の仕様に基づく）
- アルゴリズムのパラメータ
 - 特になし（ハイパーパラメータは設定済み）
- 本アルゴリズムの実装形態：既存ライブラリ（PyTorch）を活用
- アルゴリズムのフローチャート ・ アルゴリズムの数式
- イメージ

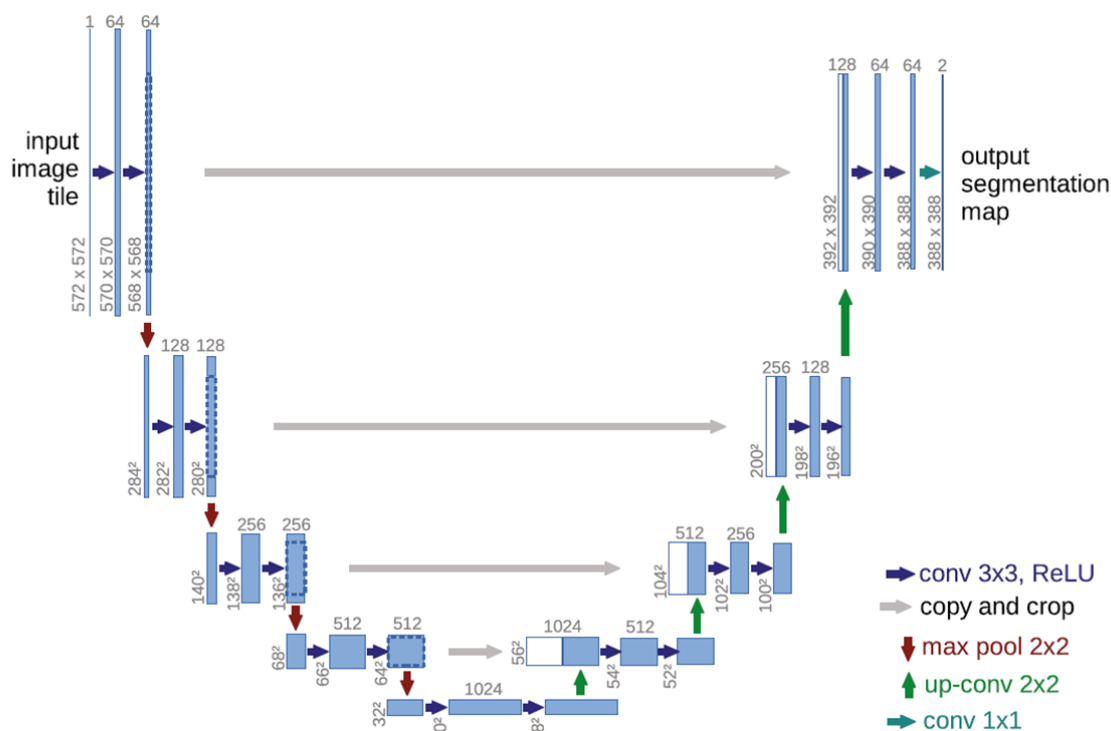


図 3-14 U-Net の構造¹（ただし今回の入力は 512x512）

¹ 参考資料：O. Ronneberger, Ph. Fischer, & T. Brox（2015） U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, CoRR, 2015

3-3-2. 開発したアルゴリズム

1) 【AL101】 水面推定の学習モデル生成

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN002】 水面推定モデルの生成
 - アルゴリズムの目的、概要
 - 洪水用学習データセット (Global Flood Database) を評価ベースに、衛星データを1枚1枚、ピクセルごとに水面の推定を行う学習モデルを構築する。
 - 学習モデルは、【AL001】 深層学習 (U-Net /PyTorch) の U-Net の構造 (図 3-14) を用いて、入力層だけ 512x512 のピクセルデータとなるよう変更を加えて、他はそのまま使用する。
 - GeoTIFF 形式の入力データを学習モデルの入力仕様 (512x512 のピクセルデータ) に合うように変換する。学習ボリューム : Train720 タイル、Test180 タイル
 - 入力データ :
 - SAR 衛星観測データ
 - ◇ GeoTIFF 形式
 - ◇ 【DT101】 利用したその他のデータ参照
 - ◇ 【IF001】 衛星観測データ GeoTIFF ファイル入力を使用
 - Global Flood Database
 - ◇ GeoTIFF 形式
 - ◇ 【DT103】 利用したその他のデータ参照
 - ◇ 【IF002】 衛星観測データをベースにマスキングされた洪水画像データセット GeoTIFF ファイル入力を使用
 - 出力データ
 - 学習モデル
 - ◇ pth 形式
- U-Net の構造を用いて、入力層だけ 512x512 のピクセルデータとなるよう変更を加えた
- ◇ 【IF101】 浸水域推定モデル pth 形式ファイル出力を使用

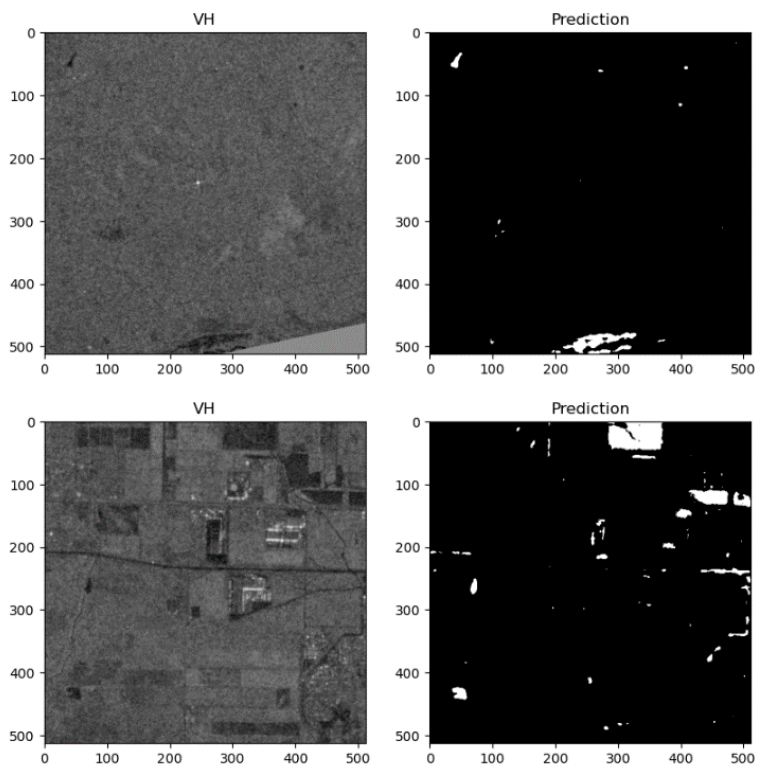


図 3-15 U-Net を用いて作成した学習モデルの入出力データ
(左：入力する人工衛星観測データ、右：出力される浸水ピクセル)

- アルゴリズムのパラメータ
 - 特になし
- 本アルゴリズムの実装形態：コーディング
- アルゴリズムのフローチャート・アルゴリズムの数式

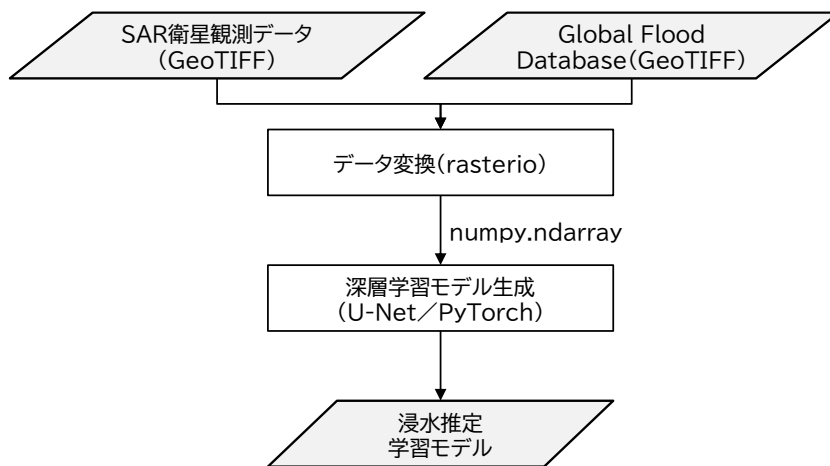


図 3-16 アルゴリズムフローチャート (AL101)

2) 【AL102】 浸水ピクセル推定

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN004】 浸水域推定
- アルゴリズムの目的、概要
 - 衛星データは該当事象日と比較用の平時（事象日の1サイクル前（Sentinel-1なら12日前）やその1年前の観測）と組み合わせる。【FN002】の学習モデルを用いて、各日について水面の推定が行われたデータを入力とする。事象日に新たな水面となったピクセルを浸水と推定する。
 - 適切な緯度経度情報を付与する。
- 入力データ
 - 水面推定ラスターデータ
 - ◇ 【IF206】 分析結果の水面推定ラスターデータを使用
 - 緯度経度情報
 - ◇ 人工衛星画像の角四隅の緯度・経度情報
- 出力データ
 - 浸水確率ラスターデータ
 - ◇ 【IF207】 分析結果の浸水確率ラスターデータを使用
- アルゴリズムのパラメータ
 - 特になし
- 本アルゴリズムの実装形態：コーディング
- アルゴリズムのフローチャート・アルゴリズムの数式

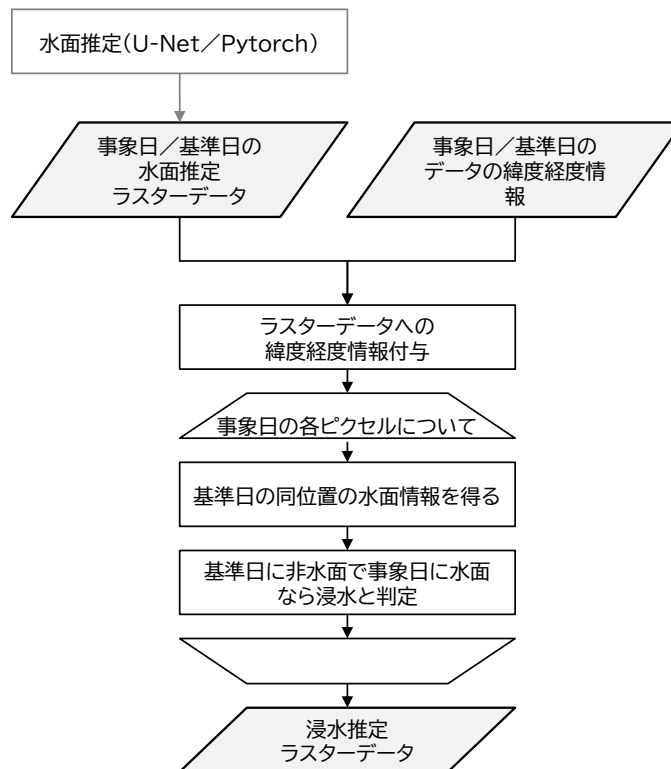


図 3-17 アルゴリズムフローチャート (AL102)

3) 【AL103】 浸水面の標高推定

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN004】 浸水域推定
- アルゴリズムの目的、概要
 - 各ピクセルの浸水の確率と標高から、各浸水域ではその浸水面が一定の標高であるとの仮定のもとで、浸水域の境界（エッジ）から浸水面の標高を推定する。
 - ◇ 浸水域の拡大補正により浸水面の標高がより高く推定されるため、システム全体としては床上判定の見逃しを抑えることができる。
- 入力データ
 - ピクセルごとの浸水推定確率ラスタデータ
 - ◇ 【IF207】 分析結果の浸水確率ラスタデータを使用
 - 標高（国土地理院 DEM 5A、5B）
 - ◇ 国土地理院が提供する数値標高モデル（DEM）5A 及び数値標高モデル（DEM）5B を requests モジュールにより、国土地理院のウェブサイト (<https://cyberjapandata.gsi.go.jp/>) から Python のスクリプトからダウンロードする
 - ◇ 【DT102】 を使用
- 出力データ
 - 浸水面の標高ラスタデータ
 - ◇ 【IF208】 分析結果の浸水面の標高ラスタデータを使用
- アルゴリズムのパラメータ
 - 浸水深の上限値
 - 1つの浸水面の面積の上限値
- 本アルゴリズムの実装形態：コーディング
- アルゴリズムのフローチャート・アルゴリズムの数式

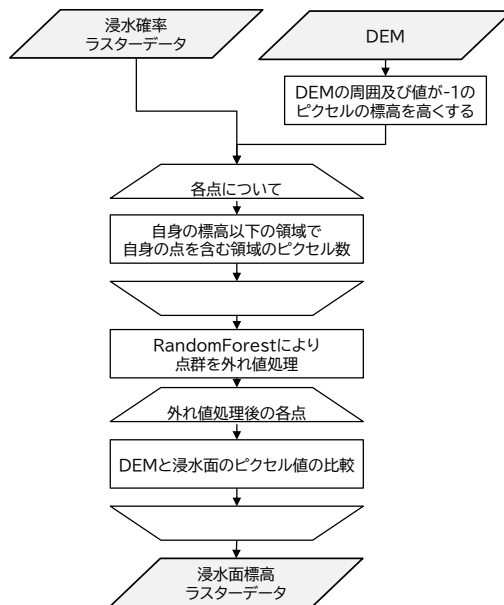


図 3-18 アルゴリズムフローチャート (AL103)

4) 【AL104】建物ごとの浸水深推定

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN005】被害推定
- アルゴリズムの目的、概要
 - 建物が属する浸水域での浸水面の標高から建物が立地する標高を引いた値を浸水深の推定値とする。
- 入力データ
 - 浸水面の標高ラスタデータ
 - ◇ 【IF208】分析結果の浸水面の標高ラスタデータを使用
 - 建物の緯度経度標高
 - ◇ 【IF202】CityGMLをパースして建物属性をJSON形式に変換したデータを使用
- 出力データ
 - 建物ごとの推定浸水深
 - ◇ 【IF203】【IF202】に加えて建物浸水深を追加したデータを使用
- アルゴリズムのパラメータ：
 - 特になし
- 本アルゴリズムの実装形態：コーディング
- アルゴリズムのフローチャート・アルゴリズムの数式

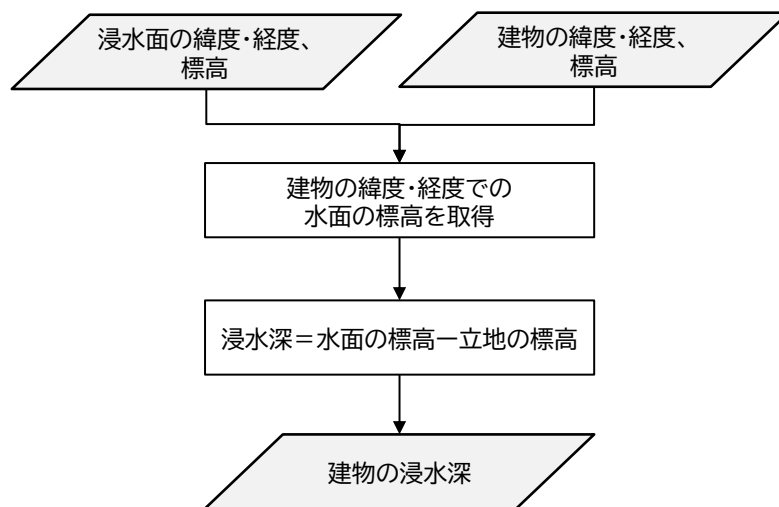


図 3-19 アルゴリズムフローチャート (AL104)

5) 【AL105】建物ごとの被災カテゴリの判定

- 本アルゴリズムを利用した機能
 - 【FN005】被害推定
- アルゴリズムの目的、概要
 - 罹災証明書発行の手引きに基づき、建物ごとの被災カテゴリを判定する。
 - 3D都市モデルに付与された建物ごとの浸水深と属性値により、各建物の被災状況の判定を行う。
 - 3D都市モデルの建物用途属性を参照し、建築物モデルの用途が住居系建築物かつ建築基準法施行令第四十条に従い面積が10m²以上又は建築基準法施行令第二十一条に従い建物計測高さが2.1m以上であるものを住居として定義し、住居以外を対象外とする。
 - 3D都市モデルの構造種別により地盤面から床上までの高さを規定し、床上/床下浸水の判定を行う。具体的には、建築基準法施行令第二十二条に従い、「木造・土蔵造」、「レンガ造・コンクリートブロック造・石造」、「不明」の属性を持つ建築物は、地盤面からの床上までの高さを0.45m、それ以外の建築物は0mとする。なお、「不明」については、本実証実験の目的に照らし合わせて、罹災証明書発行の手順において作業工数が多い分類に区分する。
- 入力データ
 - 建築物データ
 - ◇ 建築物の浸水深、用途・建築面積・計測高さ・構造種別
 - ◇ 【IF203】【IF202】に加えて建物浸水深を追加したデータを使用
- 出力データ
 - 入力データに被災カテゴリが付与された建築物データ
 - ◇ 【IF204】【IF203】に加えて被災カテゴリを追加したデータを使用
- アルゴリズムのパラメータ
 - 特になし
- 本アルゴリズムの実装形態：コーディング

● アルゴリズムのチャート・アルゴリズムの数式

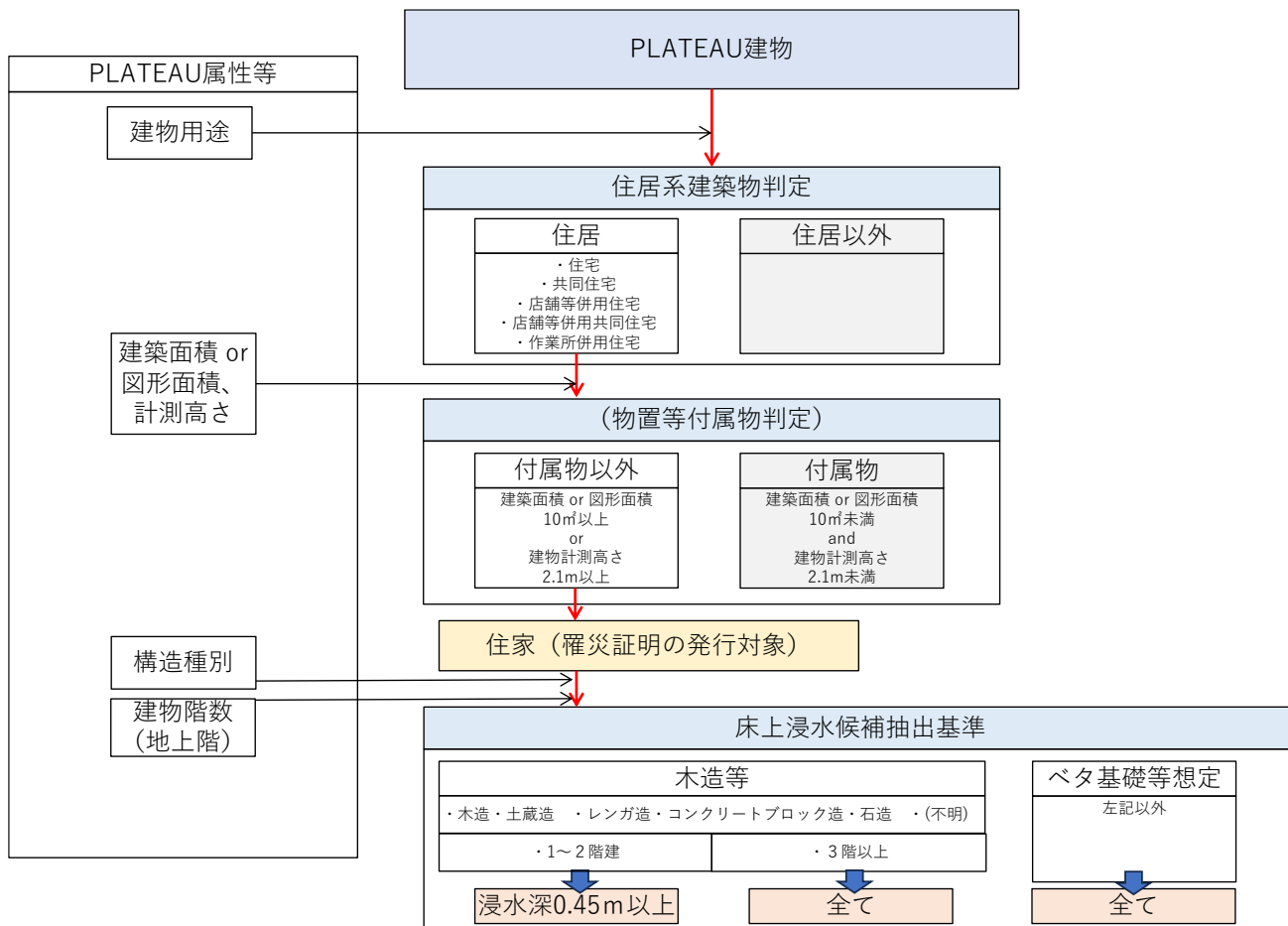


図 3-20 アルゴリズムフローチャート (AL105)

3-4. データインタフェース

3-4-1. ファイル入力インタフェース

- 1) 【IF001】衛星観測データ GeoTIFF ファイル入力
 - 本インタフェースを利用する機能：【FN001】【FN002】
 - 形式
 - GeoTIFF 形式
 - 詳細
 - 【DT101】を使用
 - Copernicus Open Access Hub から、教師データと同範囲の SAR 衛星観測データである Sentinel-1 をダウンロードする、あるいは、Python ライブラリ「ee」を使用して、Python のスクリプトから Google Earth Engine にアクセスして、SAR 衛星観測データを取得する

- 2) 【IF002】衛星観測データをベースにマスキングされた洪水画像データセット GeoTIFF ファイル入力
 - 本インタフェースを利用する機能：【FN002】
 - 形式
 - GeoTIFF 形式
 - 詳細
 - 過去の洪水時の SAR 衛星観測データのデータベースを扱う IF
 - 【DT103】を使用

- 3) 【IF003】建築物データ CityGML ファイル入力
 - 本インタフェースを利用した機能：【FN003】【FN007】
 - 形式
 - CityGML 形式
 - 詳細
 - 【DT001】～【DT008】を使用

- 4) 【IF004】転移学習用データベースモデル pth 形式ファイル入力
 - 本インタフェースを利用した機能：【FN002】
 - 形式
 - pth 形式

3-4-2. ファイル出力インタフェース

1) 【IF101】 浸水域推定モデル pth 形式ファイル出力

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN002】
- 概要
 - PyTorch において、U-Net モデルを転移学習した後、完成したモデルの状態を保存する (pth 形式)。
 - pth ファイルには、機械学習モデルそのものが保存されており、このファイルを読み込むことで、機械学習モデルを使用することができる。

2) 【IF102】 被災建物データ CSV ファイル出力

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN012】

表 3-4 被災建物データ CSV 出力

建物 ID	経度	緯度	標高	被災カテゴリー	建物浸水深	町丁目	不動産 ID	
gid	lon	lat	dem	flood_category	flood_depth	address	real_estate_id_of_building	real_estate_id_of_building_ownership
' bldg_383f1804-aa34-4634-949f-f769e09fa92d'	130.41263587199900	33.22489181671550	3.8059999994277950	'非浸水(非木造)'	None	'城島町江上本'	'72034112186669-0000'	'72034112186669-0000'
' bldg_877dea60-35d0-4fd9-8b02-852e39c75d81'	130.41619367090000	33.22492719812360	4.4549999992370606	'非浸水(非木造)'	None	'城島町江上'	'46433584356737-0000'	'46433584356737-0000'
' bldg_b75ca4b1-92b3-44a5-ad16-5e72cd09b0f2'	130.41286751062700	33.22492397949450	3.7000000047683720	'浸水(非木造)'	0.46999999523162840	城島町江上本	'3847159247090-0000'	'3847159247090-0000'
...

3-4-3. 内部連携インターフェース

- 1) 【IF201】 CityGML のダウンロード
 - 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】 【FN007】
 - ファイル形式
 - CityGML

- 2) 【IF202】 CityGML をパースして建物属性を JSON 形式に変換したデータ
 - 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN005】 【FN007】
 - ファイル形式
 - JSON 形式（建物 ID、緯度経度、建物種別（木造等）、用途、標高）

- 3) 【IF203】 【IF202】 に加えて建物浸水深を追加したデータ
 - 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN005】
 - ファイル形式
 - JSON 形式（建物 ID、緯度経度、建物種別（木造等）、用途、標高、建物浸水深）

- 4) 【IF204】 【IF203】 に加えて被災カテゴリを追加したデータ
 - 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN005】 【FN006】
 - ファイル形式
 - JSON 形式（建物 ID、緯度経度、建物種別（木造等）、用途、標高、建物浸水深を含んだ Python オブジェクトの配列）

- 5) 【IF205】 CityGML をパースして建物属性を Python オブジェクトリストに変換したデータ
 - 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN005】 【FN007】
 - ファイル形式
 - Python オブジェクトリスト（建物 ID、緯度経度、建物種別（木造等）、用途、標高）

6) 【IF206】 分析結果の水面推定ラスターデータ

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN004】、【FN005】
- データ形式
 - npz 形式
- データ詳細
 - ピクセルごとに水面推定されたラスターデータであり、Numpy を使用して緯度、経度、水面推定結果が保存されたデータファイル

7) 【IF207】 分析結果の浸水確率ラスターデータ

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN004】、【FN005】
- データ形式
 - npz 形式
- データ詳細
 - ピクセルごとに浸水確率が付与されたラスターデータであり、Numpy を使用して緯度、経度、浸水確率が保存されたデータファイル

8) 【IF208】 分析結果の浸水面の標高ラスターデータ

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN005】、【FN008】
- データ形式
 - npz 形式
- データ詳細
 - ピクセルごとに標高が付与されたラスターデータであり、Numpy を使用して緯度、経度、標高が保存されたデータファイル

9) 【IF209】 罹災証明書発行支援システムで表示するための XYZ タイル及び 3DTiles

- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN006】、【FN008】、【FN009】、【FN010】、【FN011】、【FN012】、【FN013】、【FN014】、【FN015】、【FN016】
- データ形式
 - png 形式及び 3DTiles 形式

3-4-4. 外部連携インターフェース

1) 【IF301】 Re:Earth CMS API

- インタフェースの概要
 - Re:Earth CMS へデータをアップロードする
- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN006】
- 詳細
 - Re:Earth CMS とは、地理空間データを含む様々なデータを管理するためのアプリケーションである。これは、コンテンツ管理システム（CMS）であり、ユーザーが大量のデータを扱い、Web API を通じてデータを活用することを支援する役割をもつ。Re:Earth CMS API は Re:Earth CMS に対し、データ登録とそれを一元的に公開する機能、さらにはユーザー自身のスクリプトやプラグインによる拡張性を実現する。

2) 【IF302】 Plateau Utils

- インタフェースの概要
 - CityGML を読み込み、属性情報をパースする
- 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN007】

表 3-5 Plateau Utils のレスポンス

フィールド	名称	説明
output ()	Python list	Python オブジェクト（建物 ID、緯度経度、構造種別（木造等）、用途、標高を含んだ Python オブジェクトの配列）

3-5. 実証に用いたデータ

3-5-1. 活用したデータ一覧

1) 利用した 3D 都市モデル

- 年度：2023 年度
- 都市名：大牟田市
- ファイル名：40202_omuta-shi_city_2023_citygml_1_op.zip
- メッシュ番号：(全域)

49305410, 49305411, 49304301, 49304302, 49304303, 49304304, 49304305, 49304306, 49304307, 49304308, 49304309, 49304312, 49304313, 49304314, 49304315, 49304316, 49304317, 49304318, 49304319, 49304322, 49304323, 49304324, 49304325, 49304326, 49304327, 49304328, 49304329, 49304333, 49304334, 49304335, 49304336, 49304337, 49304338, 49304339, 49304343, 49304344, 49304345, 49304346, 49304347, 49304348, 49304349, 49304353, 49304354, 49304355, 49304356, 49304357, 49304358, 49304359, 49304364, 49304365, 49304366, 49304367, 49304368, 49304369, 49304373, 49304374, 49304375, 49304376, 49304377, 49304378, 49304379, 49304383, 49304384, 49304385, 49304386, 49304387, 49304388, 49304389, 49304394, 49304395, 49304396, 49304397, 49304398, 49304399, 49304400, 49304410, 49304411, 49304420, 49304430, 49304460, 49304470, 49304471, 49304472, 49304480, 49304481, 49304482, 49304490, 49304491, 49304492, 49304493, 49305305, 49305306, 49305307, 49305308, 49305309, 49305400, 49305401, 49305403

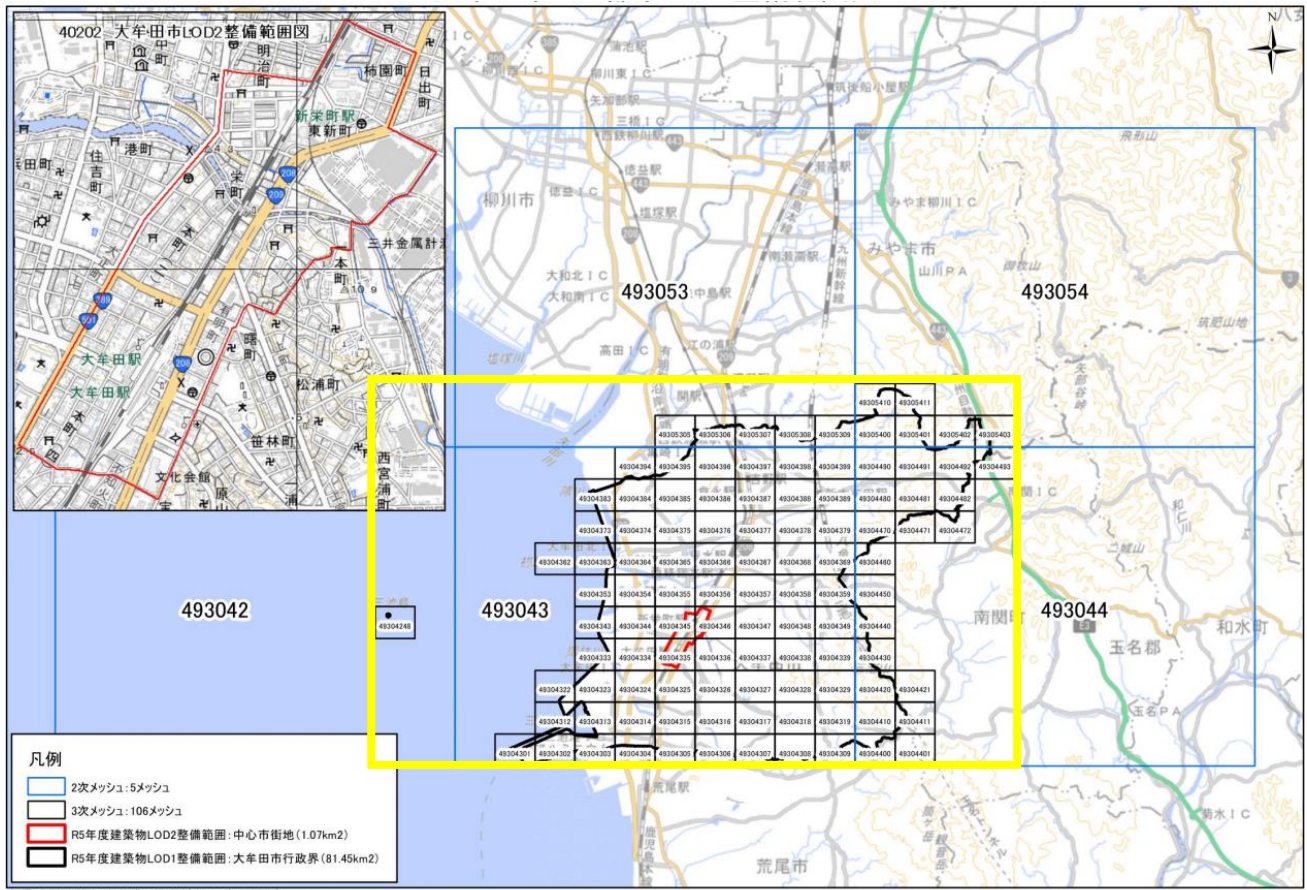


図 3-21 インデックスマップ (大牟田市)

- 年度：2020 年度
- 都市名：久留米市
- ファイル名：40203_kurume-shi_2020_citygml_3_op.zip
- メッシュ番号：(全域)
 - 49306363, 49306366, 49306367, 49306372, 49306373, 49306374, 49306375, 49306376, 49306377, 49306381, 49306382, 49306383, 49306384, 49306385, 49306386, 49306387, 49306388, 49306391, 49306392, 49306393, 49306394, 49306395, 49306396, 49306397, 49306398, 49307301, 49307302, 49307303, 49307304, 49307305, 49307306, 49307307, 49307308, 49307311, 49307313, 49307314, 49307315, 49307316, 49307317, 49307318, 49307319, 49307323, 49307324, 49307326, 49307327, 49307328, 49307329, 49307334, 49307336, 49307337, 49307338, 49307339, 49307344, 49307345, 49307347, 49307348, 49307349, 49307354, 49307356, 49307357, 49307358, 49307359, 49307366, 49307367, 49307368, 49307369, 49307379, 49307388, 49307389, 49307398, 49307399, 49307400, 49307401, 49307410, 49307411, 49307412, 49307413, 49307420, 49307421, 49307422, 49307423, 49307430, 49307431, 49307432, 49307433, 49307434, 49307435, 49307440, 49307441, 49307442, 49307443, 49307444, 49307445, 49307446, 49307450, 49307451, 49307452, 49307453, 49307454, 49307455, 49307460, 49307461, 49307462, 49307463, 49307464, 49307465, 49307466, 49307470, 49307471, 49307472, 49307473, 49307474, 49307475, 49307476, 49307477, 49307480, 49307481,

49307482, 49307483, 49307484, 49307485, 49307486, 49307487, 49307488, 49307489, 49307490,
 49307491, 49307492, 49307493, 49307494, 49307495, 49307496, 49307497, 49307498, 49307499,
 49307580, 49307590, 49307591, 49307592, 49307593, 49307594, 49307595, 50300400, 50300401,
 50300402, 50300403, 50300404, 50300405, 50300406, 50300407, 50300408, 50300409, 50300410,
 50300411, 50300412, 50300413, 50300414, 50300415, 50300416, 50300417, 50300418, 50300419,
 50300424, 50300425, 50300426, 50300427, 50300428, 50300429, 50300436, 50300437, 50300438,
 50300439, 50300446, 50300449, 50300500, 50300501, 50300502, 50300503, 50300504, 50300505,
 50300506, 50300507, 50300508, 50300510, 50300511, 50300512, 50300513, 50300514, 50300515,
 50300516, 50300517, 50300518, 50300520, 50300521, 50300522, 50300523, 50300524, 50300525,
 50300526, 50300527, 50300528, 50300530, 50300531, 50300532, 50300533, 50300534, 50300535,
 50300536, 50300537, 50300538, 50300540

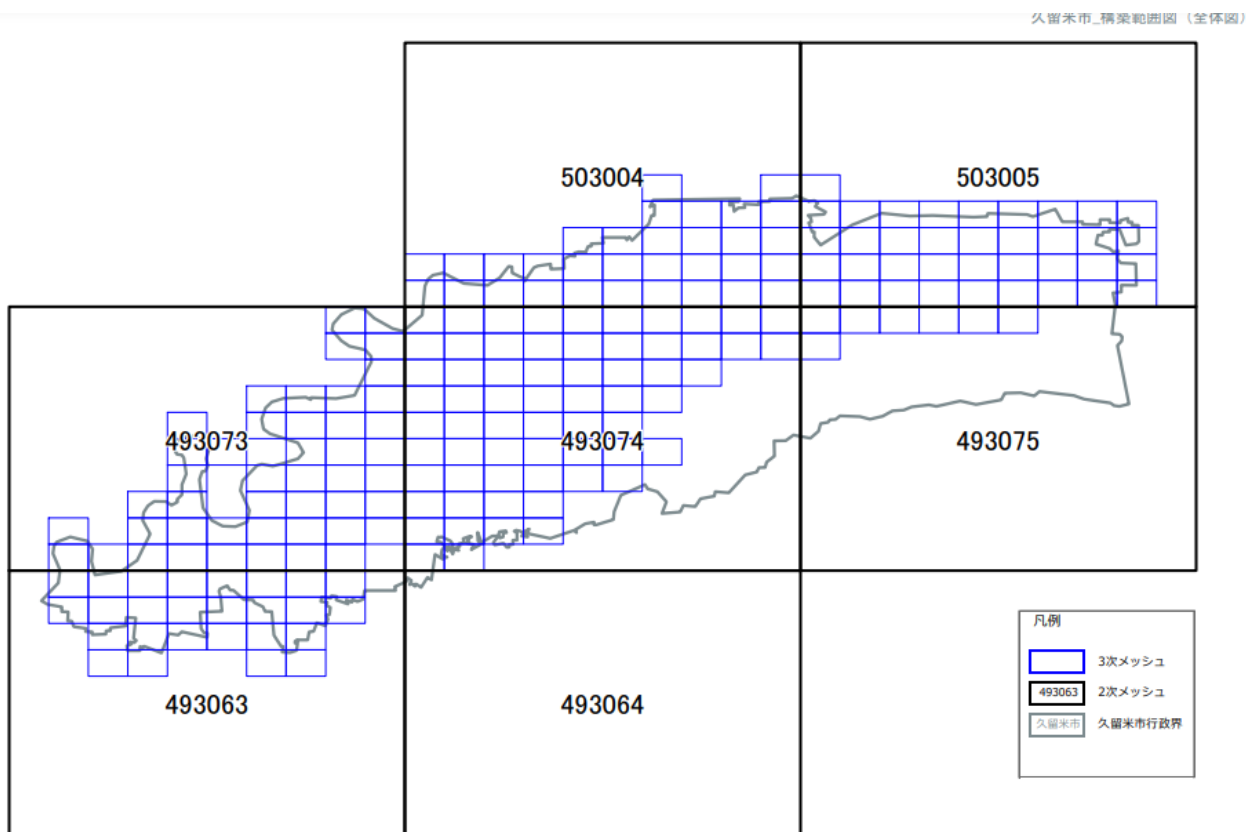


図 3-22 インデックスマップ (久留米市)

表 3-6 利用した 3D 都市モデル

地物	地物型	属性区分	ID	属性名	内容	データを利用した機能 (ID)
建築物 LOD1	bldg:Building	空間属性	DT001	bldg:lod1Solid	建築物ソリッド	FN005
			DT002	bldg:lod0FootPrint	平面投影形状	FN005
		主題属性	DT003	bldg:usage	用途	FN005 FN014
			DT004	bldg:measuredHeight	計測高さ	FN005 FN014
			DT005	bldg:storeysAboveGround	地上階数	FN005 FN013
			DT006	uro:buildingStructureType	構造種別	FN005 FN014
		関連役割	DT007	uro:realEstateIDOfBuilding	建物の不動産 ID	FN014
			DT008	uro:realEstateIDOfBuildingUnitOwnership	建物の不動産 ID の一覧	FN014

2) 利用したその他のデータ

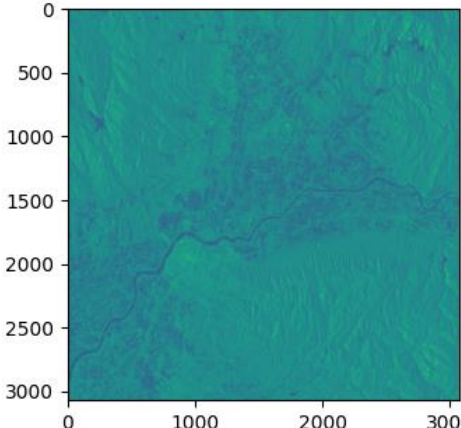
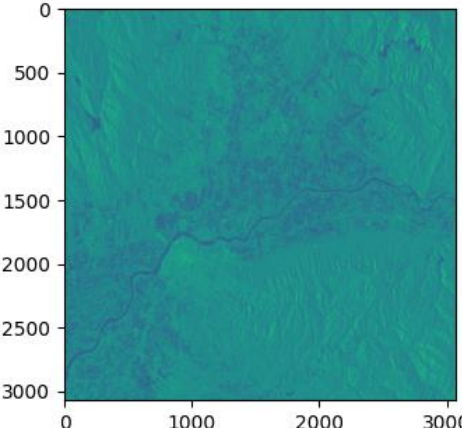
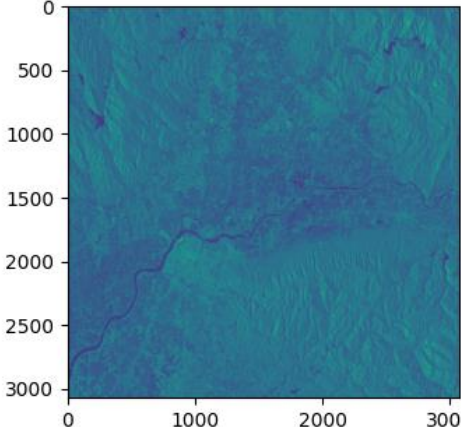
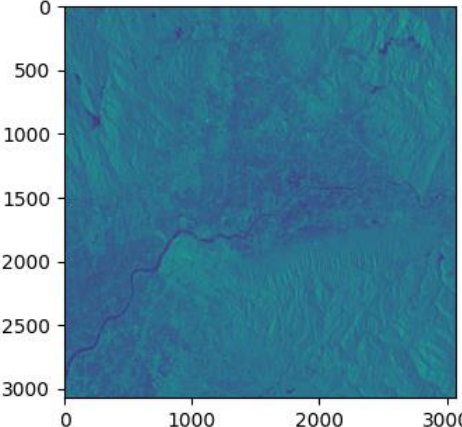
1. データ一覧

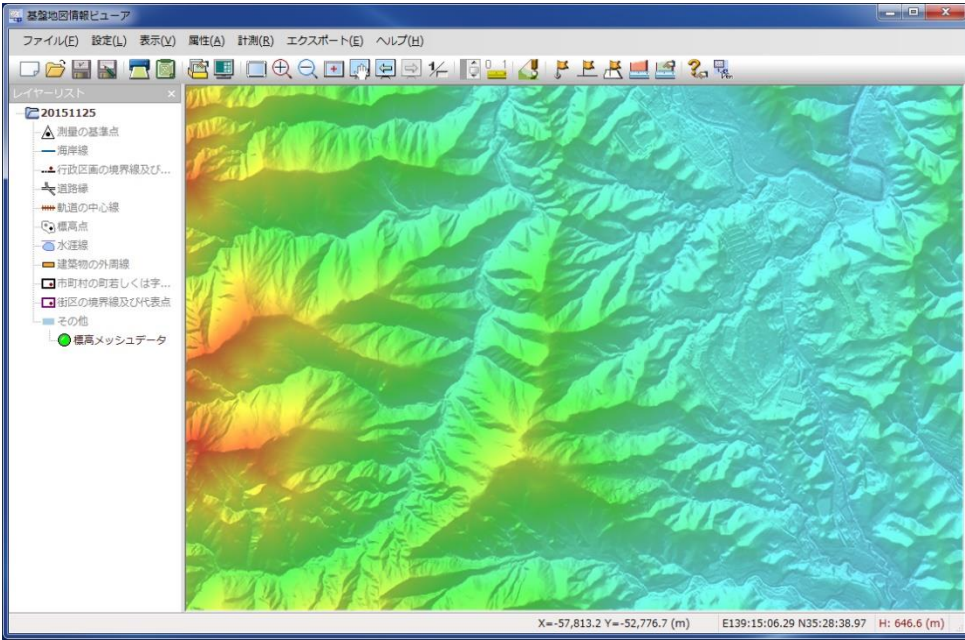
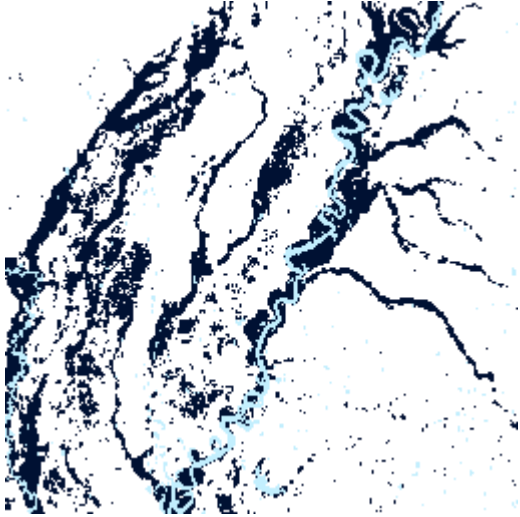
表 3-7 利用したその他データ (一覧)

ID	エリア (都市)	活用データ	内容	データ形式	出所	データを利用 した機能 (ID)
DT101	久留米市	Sentinel-1 (SAR データ)	欧州宇宙機関の開発した地球観測衛星。Cバンドのマイクロ波を送受信する合成開口レーダーを搭載する。陸域や海面の観測を行う	GeoTIFF	欧州宇宙機関	FN001 FN002
DT102	大牟田市 久留米市	数値標高モデル (DEM)	各種測量により計測された平面位置及び標高値を用いた3次元座標を、デジタルで表現したもの	XML	国土地理院	FN005
DT103	—	Global Flood Database	MODIS の観測から作成された洪水域のデータ (水面推定モデルの生成の教師データ)	GeoTIFF	Cloud to Street	FN002

2. データサンプル (イメージ)

表 3-8 利用したその他データ (サンプル)

ID	活用データ	サンプル・イメージ
DT101	Sentinel-1 (SAR データ)	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Curent orbit VH</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Curent orbit VV</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Last mean orbit VH</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Last mean orbit VV</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">Sentinel-1 のイメージ</p>

<p>DT102</p>	<p>数値標高モデル (DEM)</p>	 <p>数値標高モデル (DEM) のイメージ²</p>
<p>DT103</p>	<p>Global Flood Database</p>	 <p>Global Flood Database のイメージ</p>

² 出典：国土地理院ウェブサイト (https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html)

3-5-2. 生成・変換したデータ

表 3-9 生成・変換したデータ

ID	システムに入力するデータ (データ形式)	用途	処理内容	データ処理ソフトウェア	活用データ (データ形式)	データを利用した機能 (ID)
DT201	非就業者世帯数 (3DTiles 形式)	Re:Earth 上で可視化するため	<ul style="list-style-type: none"> e-Stat から取得した非就業者世帯数のデータを取得し、ラスタータイル化し、Re:Earth CMS を通じて Re:Earth で可視化した (変換は、Project-PLATEAU/FMEscript-CityGML-to-3DTiles を利用) 	QGIS	非就業者世帯数 (CSV 形式)	FN016

3-6. ユーザーインターフェース

3-6-1. 画面一覧

表 3-10 画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	画面説明	画面を表示した機能 (ID)
SC001	-	メイン画面 (衛星解析結果読込)	● 既存システムの3D都市モデルビュー及びダッシュボード機能が1画面に統一された画面	FN009-FN014
SC002	SC001,SC003	被害建物の結果表示機能	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、被災カテゴリをもとにした被災建物の集計結果を表示	FN010
SC003	SC001,SC002,SC004,SC005	被災建物の検索機能	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、町丁目単位で被災建物の検索を行う	FN011
SC004	SC001,SC003	選択した町丁目の被災建物のデータ出力	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、町丁目単位で集計された被災建物のデータをCSVで出力	FN012
SC005	SC001,SC003	3D都市モデルの色分け可視化	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、衛星データ解析結果を3D都市モデルの属性として保持し、属性値をもとにした被災建物の色分けを3次元地図上で可視化	FN013
SC006	SC001	3D都市モデルの属性値表示	● 3D都市モデルをクリックすることで、不動産IDや、衛星データ解析により付与された浸水深を属性値として表示	FN014
SC007	SC001	木造家屋のヒートマップ表示	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、木造家屋のヒートマップを読み込み、3次元地図上に表示	FN015
SC008	SC001	非就業世帯数の分布表示	● 罹災証明書発行支援プラグインにより、非就業者世帯数の分布を読み込み、3次元地図上に表示	FN016

3-6-2. 画面遷移図

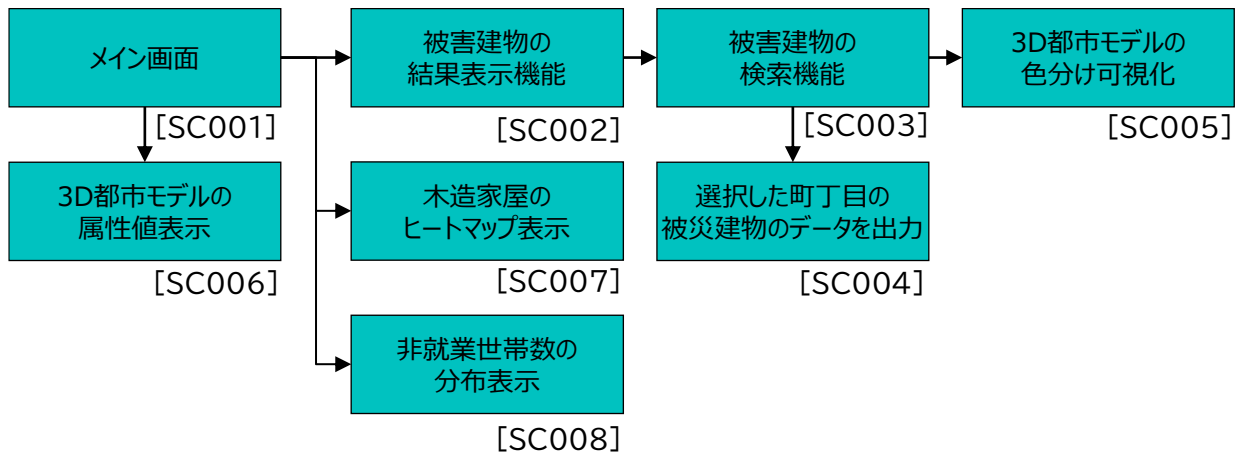


図 3-23 PC 用画面遷移図

3-6-3. 各画面仕様詳細

1) PC 用画面

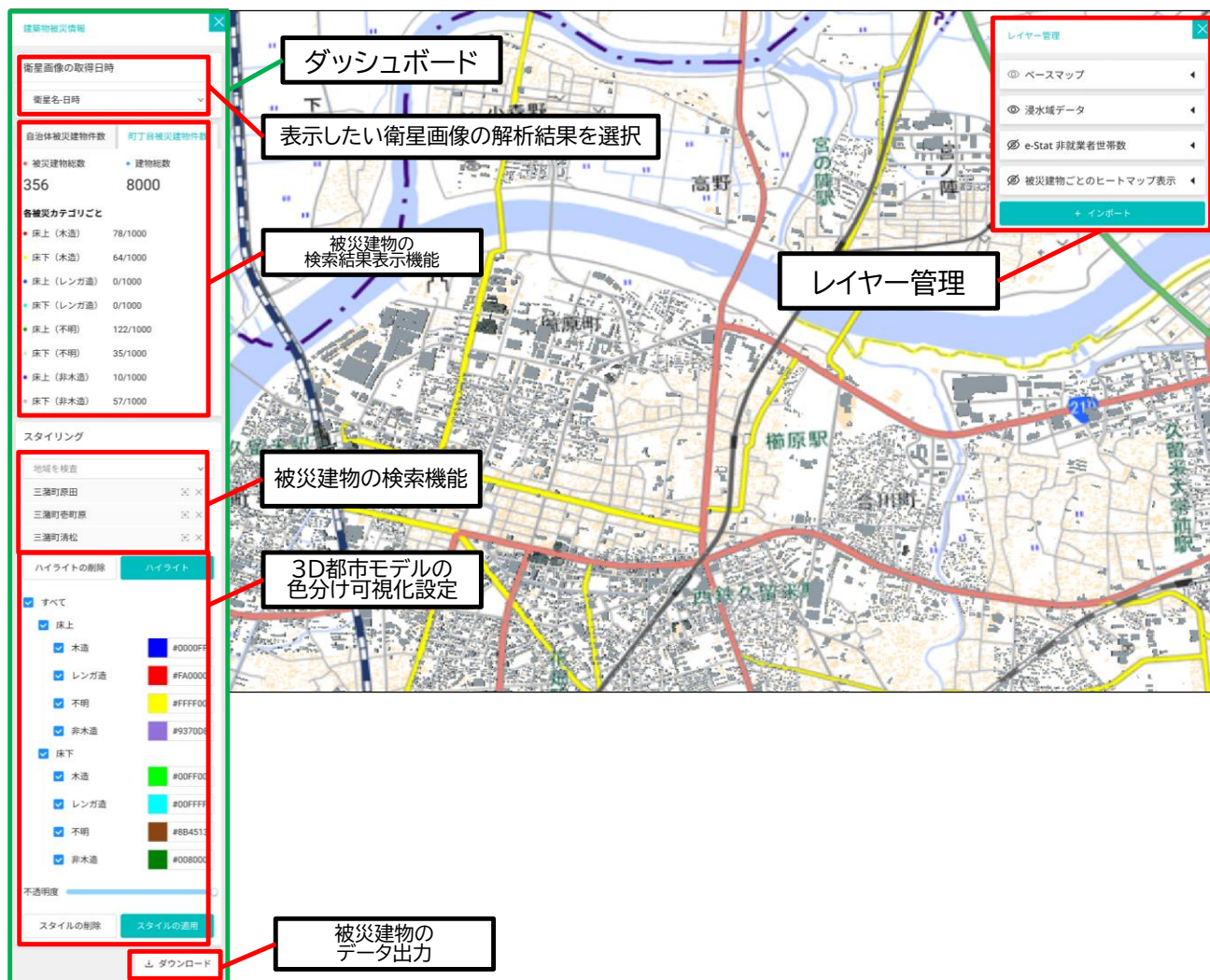


図 3-24 PC 用画面（全体）

1. 【SC001】メイン画面（衛星解析結果読込）

- 画面の目的・概要
 - 既存システムの3D都市モデルビューと、ダッシュボードを同一画面に統合した画面。
 - 3D都市モデルビューとダッシュボードを連携させ、同一画面上で相互の確認可能。
 - 画面上部の衛星画像の取得日時プルダウンから、表示する衛星解析結果を選択可能。
- 画面のイメージ

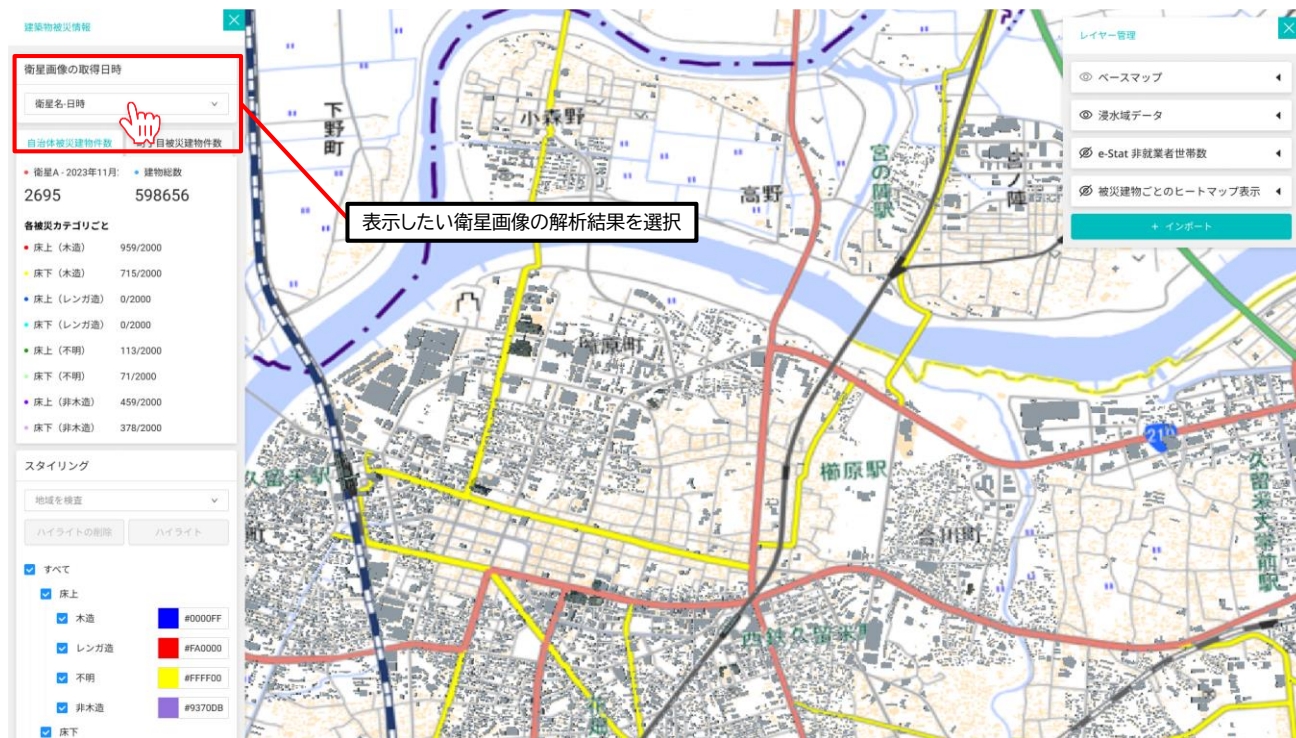


図 3-25 メイン画面（衛星解析結果読込）—衛星画像の取得日時選択

2. 【SC002】被害建物の検索機能

- 画面の目的・概要
 - ダッシュボード上で町丁目単位の被害建物の検索が可能。
 - 地方公共団体全体での被災建物をデフォルトで表示。
- 画面のイメージ



図 3-26 被災建物の検索機能

3. 【SC003】被災建物の検索結果表示

● 画面の目的・概要

- ダッシュボード上のタブにおいて、地方公共団体全域及び【SC002】の町丁目単位の表示を選択し、被災建物の被災カテゴリごとの検索結果を表示。
- 被災建物総数及び建物総数を表示。

● 画面のイメージ

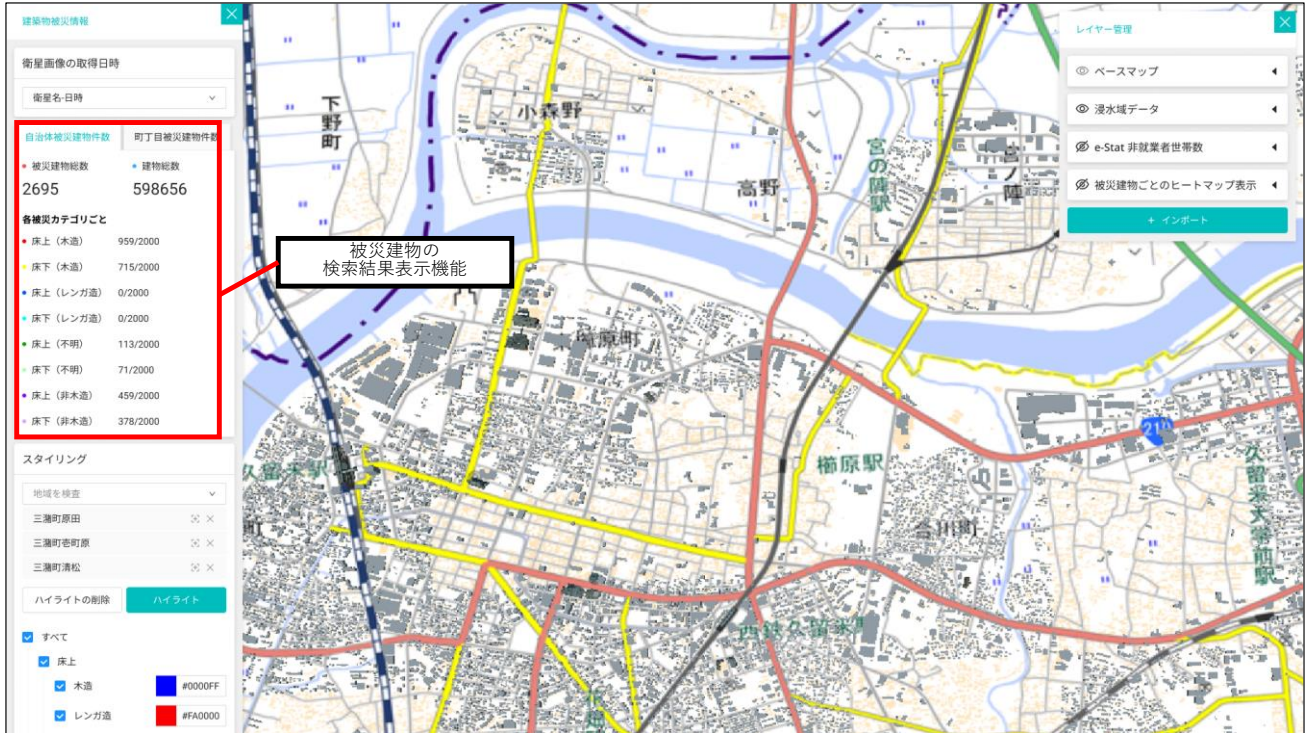


図 3-27 被災建物の検索機能表示



図 3-28 被災建物の検索機能表示 (表示内容)

4. 【SC004】被災建物のデータ出力

- 画面の目的・概要

- 【SC002】の町丁目単位の被災建物の被災カテゴリごとの検索結果をダウンロード。
- 【SC005】の色分け可視化設定の3DTilesのスタイルファイルをダウンロード。

- 画面のイメージ

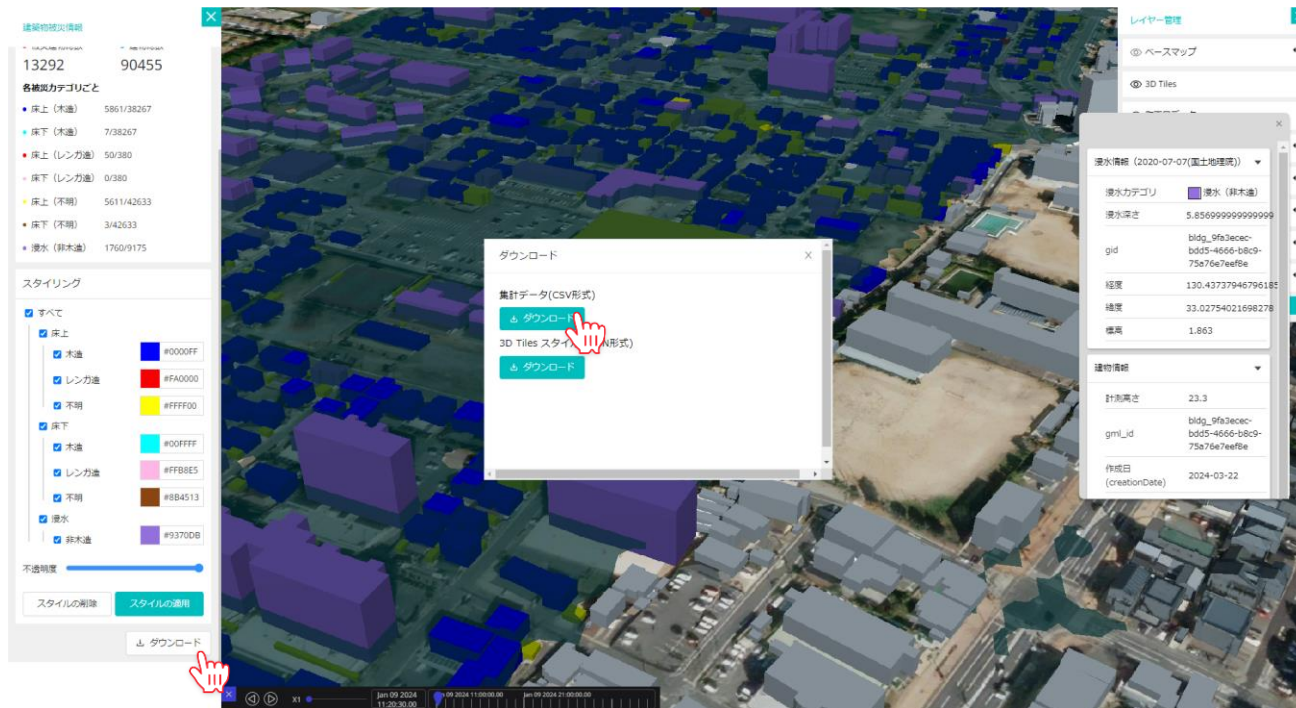


図 3-29 被災建物のデータ出力

5. 【SC005】 3D 都市モデルの色分け可視化

● 画面の目的・概要

- ダッシュボード上で、スタイルの設定をした上で、スタイルの適用ボタンを押下することで、設定したスタイルをもとに 3D 都市モデルの色分け可視化。

● 画面のイメージ

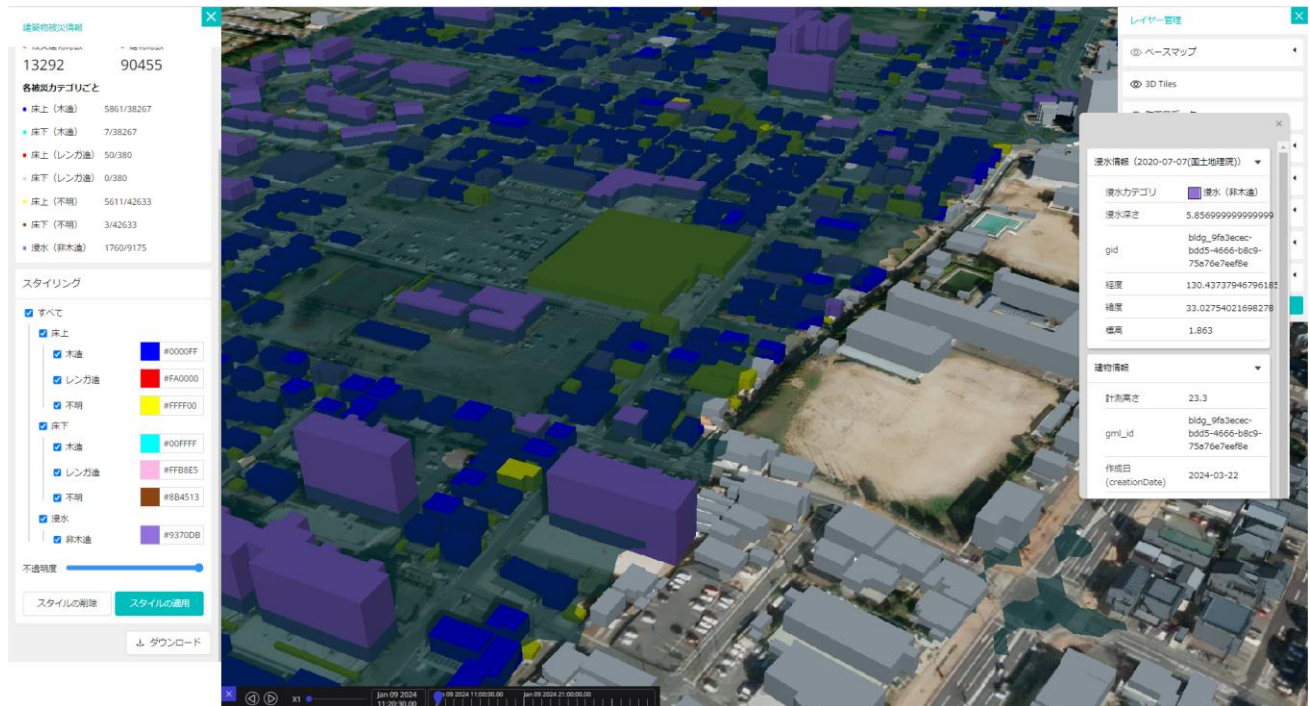


図 3-30 3D 都市モデルの色分け可視化

6. 【SC006】 3D 都市モデルの属性値表示

● 画面の目的・概要

- 3D 都市モデルビュー上で、3D 都市モデルを選択することで、選択した 3D 都市モデルに付与されている属性値及び衛星画像の解析結果を表示する。

● 画面のイメージ

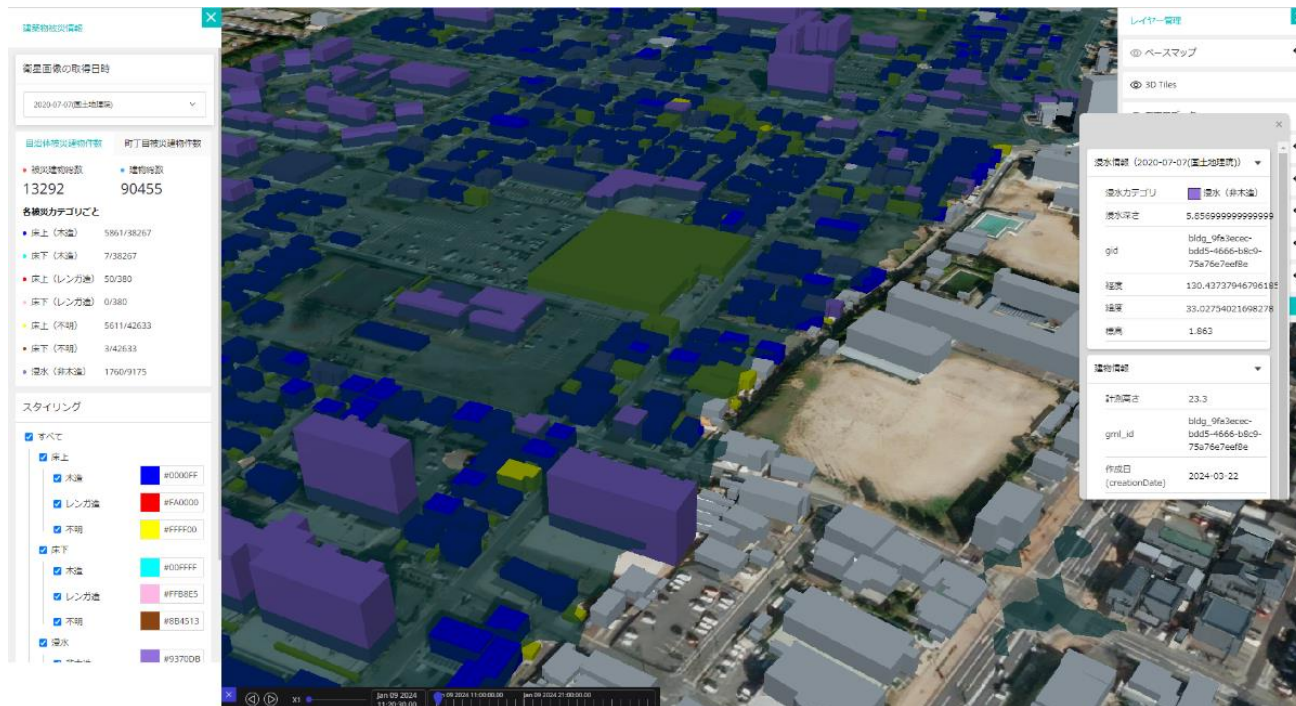


図 3-31 3D 都市モデルの属性値表示

7. 【SC007】木造家屋のヒートマップ表示

● 画面の目的・概要

- 罹災証明書発行支援プラグインにより、木造家屋のヒートマップを読み込み、3次元地図上に表示する。

● 画面のイメージ

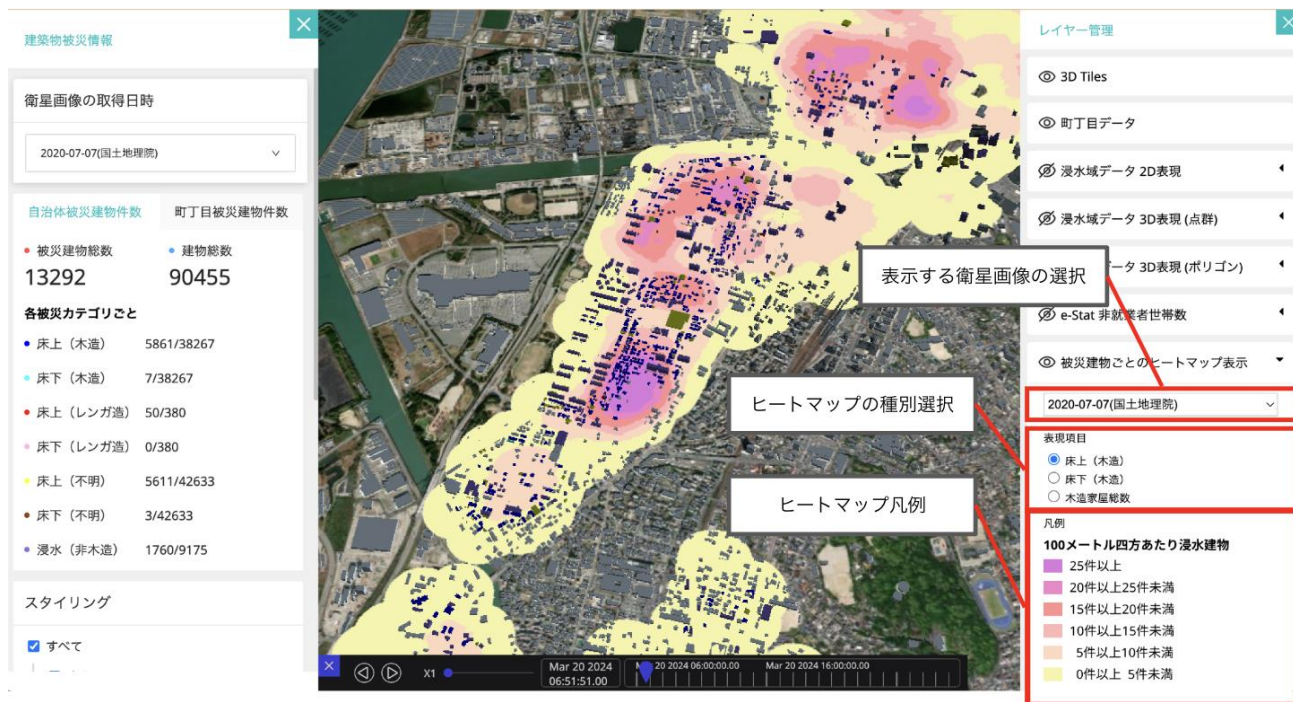


図 3-32 木造家屋のヒートマップ表示

8. 【SC008】非就業世帯数の分布表示

- 画面の目的・概要
 - 罹災証明書発行支援プラグインにより、非就業者世帯数の分布を読み込み、3次元地図上に表示する。
- 画面のイメージ



図 3-33 非就業世帯数の分布表示

3-7. 実証システムの利用手順

3-7-1. 実証システムの利用フロー

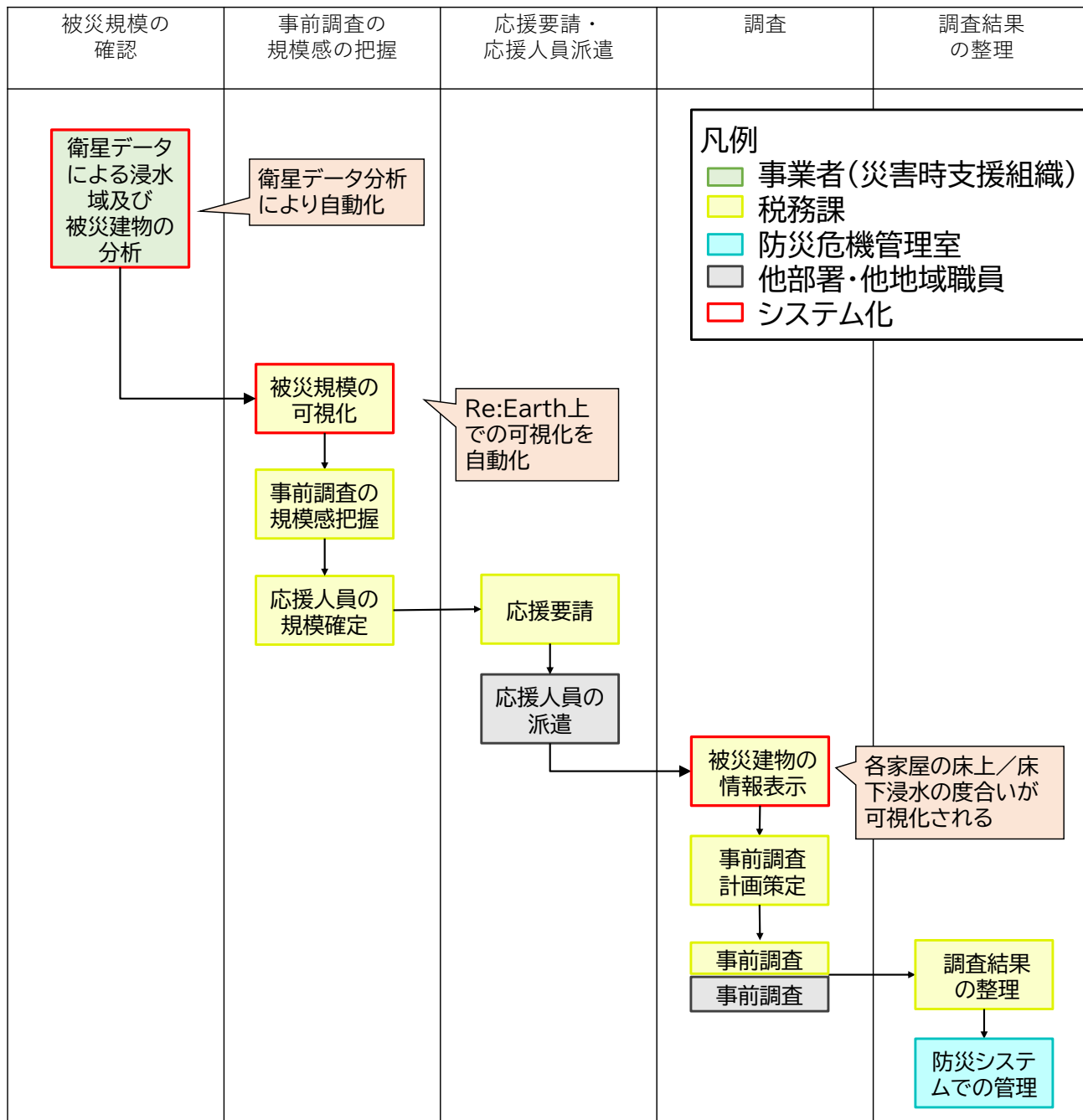


図 3-34 システムの利用フロー

3-7-2. 各画面操作方法

1) 衛星データによる浸水域及び被災建物の分析

- Github で公開されているクローン用のファイルを GoogleColaboratory で実行することで、自分の GoogleDrive 内にクローンファイルを展開する



図 3-35 GoogleColaboratory ランタイムの実行

マイドライブ > plateau-2023-uc01-sat... > PLATEAU-FloodSAR ▾

種類 ▾ ユーザー ▾ 最終更新 ▾

名前 ↑	オーナー	最終更新 ▾	ファイルサイズ	⋮
0_PrepareProject.ipynb	自分	2024/01/19	75 KB	⋮
1_EstimateSAR_FloodPrbDiff.ipynb	自分	2024/01/24	4.8 MB	⋮
2_GeneratePointGroup.ipynb	自分	2024/01/24	1.4 MB	⋮
3_CalcFloodDEMRaster.ipynb	自分	2024/01/24	256 KB	⋮
4_AssessBuildings.ipynb	自分	2024/01/24	209 KB	⋮
5_Upload.ipynb	自分	2024/01/29	54 KB	⋮
plateau_floodsar_lib.py	自分	2023/12/28	25 KB	⋮
s1_ALOS-2_EstimateSAR-FloodPrb.ipynb	自分	2023/12/28	2 MB	⋮
s1-s2_ASNARO_2_EstimateSAR_FloodPrb.ipynb	自分	2023/12/28	278 KB	⋮

図 3-36 GoogleDrive 内へのファイルのクローン

- GoogleDrive 内にクローンされたファイルを GoogleColaboratry で実行することで、衛星データによる浸水域及び被災建物の分析を行う



図 3-37 GoogleColaboratory の実行

表 3-11 クローンされるファイル一覧

ファイル名	機能
0_PrepareProject.ipynb	プロジェクトの初期設定、3D 都市モデル (CityGML) の読み込み
1_EstimateSAR-FloodPrbDiff.ipynb	SAR データの読み込み、SAR データによる浸水確率の推定
2_GeneratePointGroup.ipynb	浸水ポイントクラウドデータの生成
3_CalcFloodDEMRaster.ipynb	浸水面の高度ラスターデータと浸水深データの生成
4_AssessBuildings.ipynb	建物への浸水深付与
5_Upload.ipynb	Re:Earth CMS へのアップロード
plateau_floodsar_lib.py	DEM データの補正用のプログラム
s1-s3_GIAJ_FloodArea_Raster.ipynb	国土地理院の浸水推定図を用いる場合、 1_EstimateSAR-FloodPrbDiff.ipynb、 2_GeneratePointGroup.ipynb、3_CalcFloodDEMRaster.ipynb の 代わりに使用するファイル
s1_ALOS-2_EstimateSAR-FloodPrb.ipynb	ALOS-2 を用いる場合、1_EstimateSAR-FloodPrbDiff.ipynb の代 わりに使用するファイル
s1-s2_ASNARO-2_EstimateSAR_FloodPrb.ipynb	ASNARO-2 を用いる場合、1_EstimateSAR-FloodPrbDiff.ipynb、 2_GeneratePointGroup.ipynb の代わりに使用するファイル

2) 被災規模の可視化

- ダッシュボード上で衛星画像の取得日時を設定する
- ダッシュボード上で地方公共団体被災建物件数が表示される
- ダッシュボード上で被災建物の被災カテゴリごとの色分けスタイル設定を行うことで、3D 都市モデルビュー上で 3D 都市モデルが被災カテゴリごとに色分け可視化される

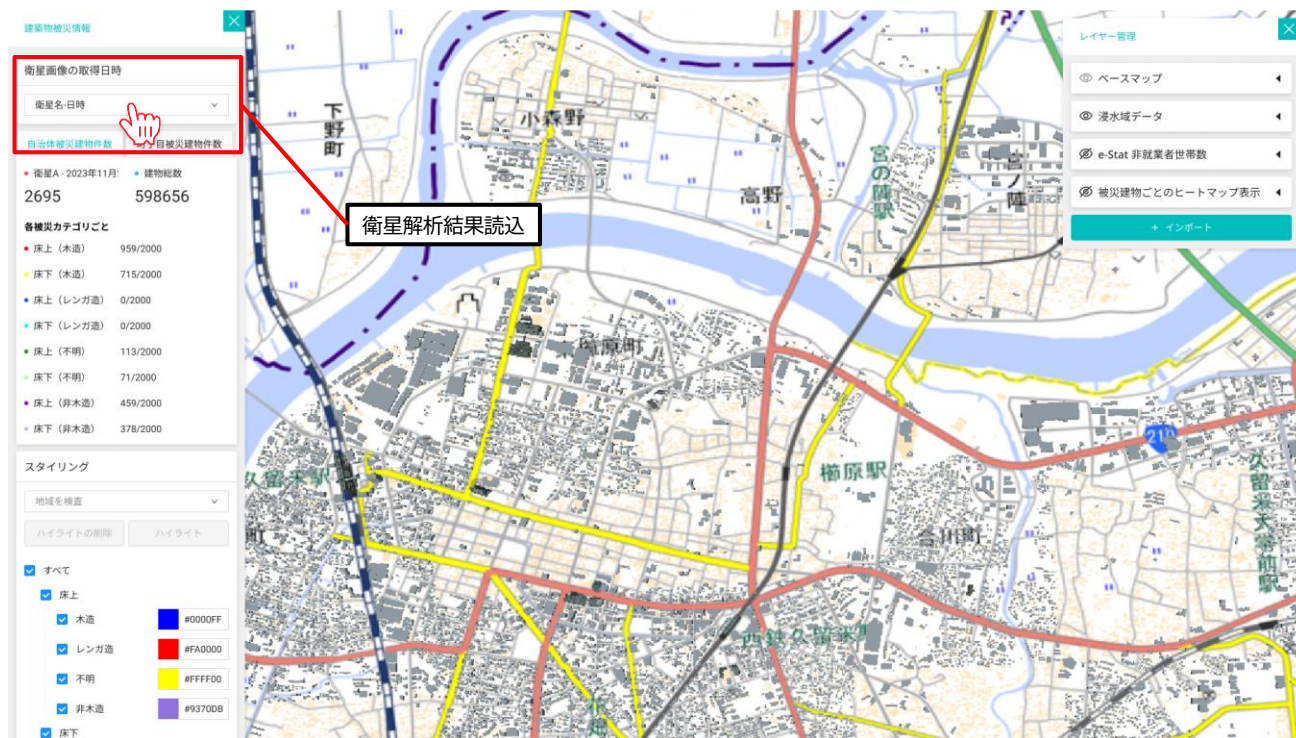


図 3-38 被災規模の可視化—衛星画像の取得日時選択①

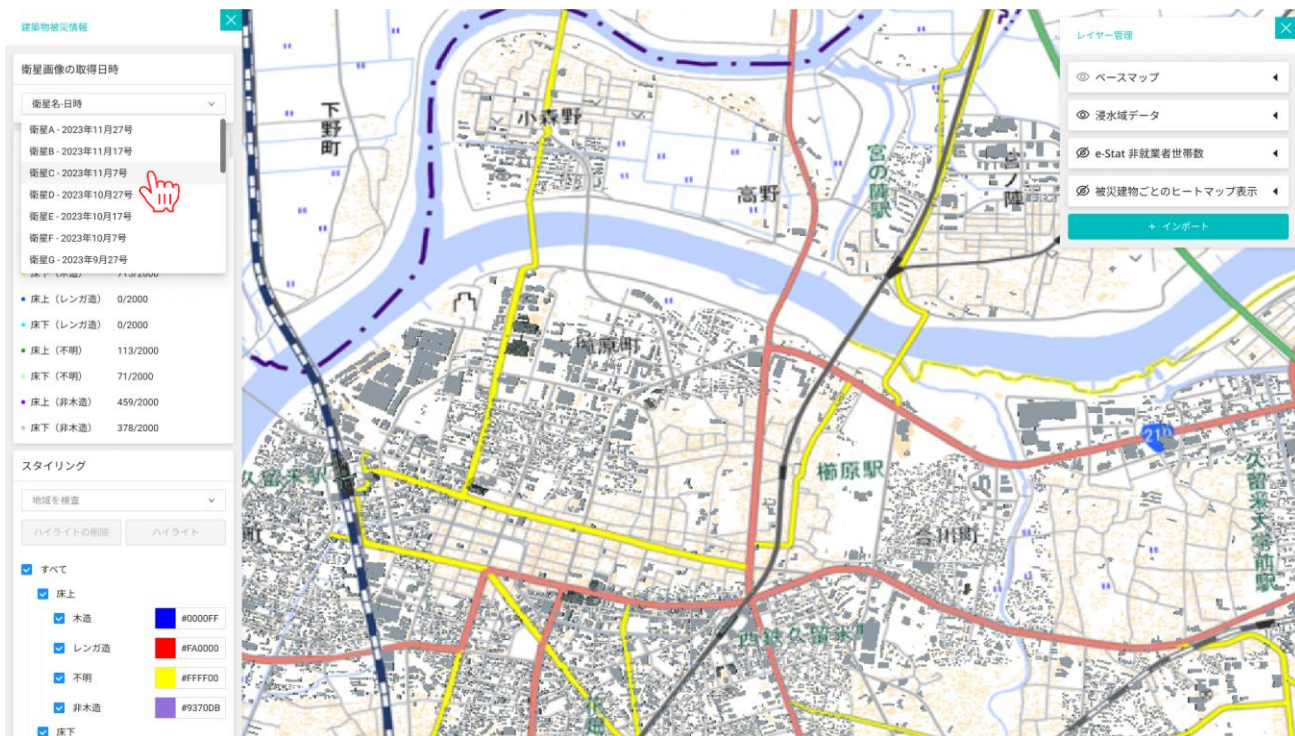


図 3-39 被災規模の可視化—衛星画像の取得日時選択②

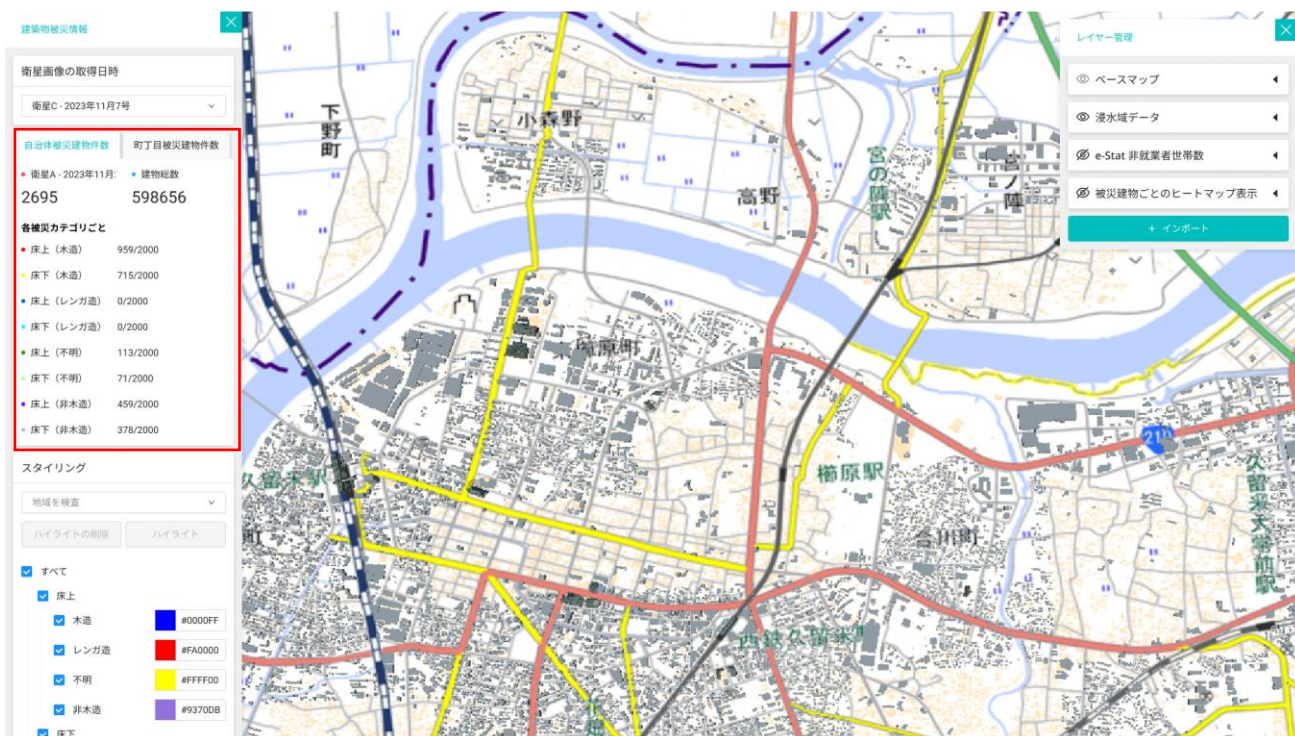


図 3-40 被災規模の可視化—建物被災件数の表示

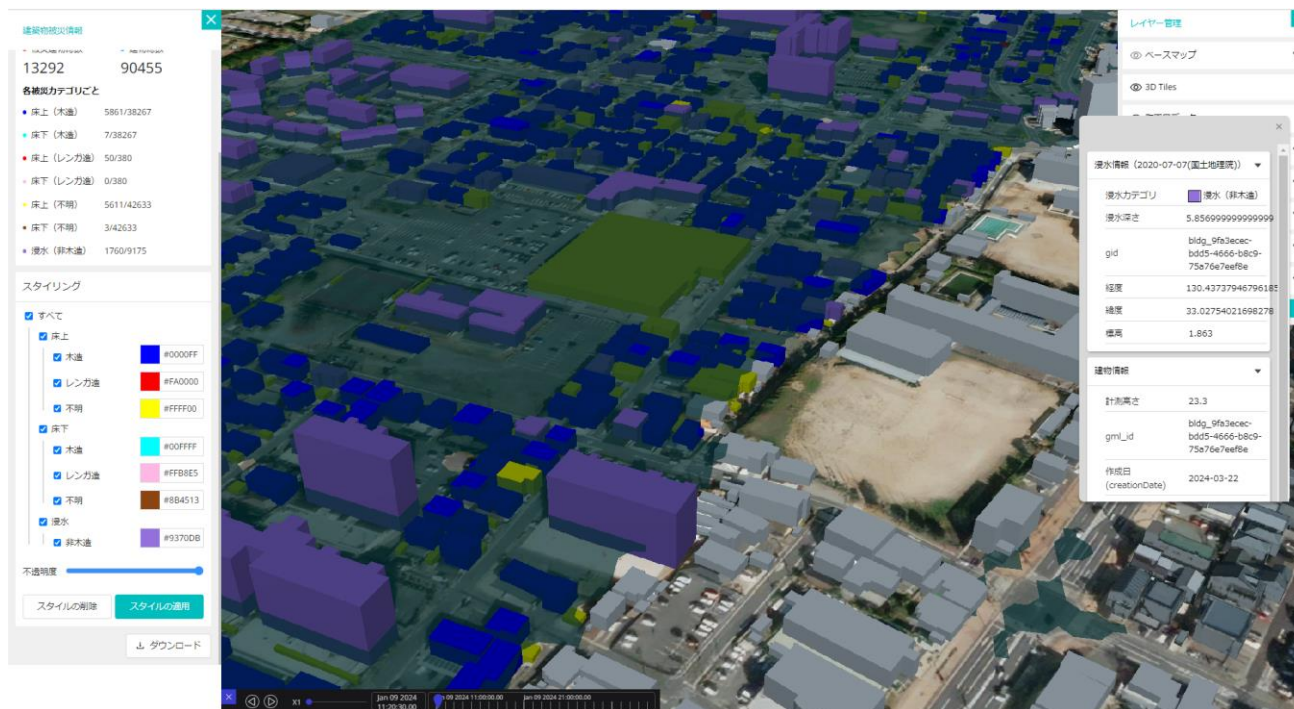


図 3-41 3D 都市モデルの色分け可視化

3) 被災建物の情報表示

- 3D 都市モデルビュー上で、3D 都市モデルを選択することで、選択した 3D 都市モデルに付与されている属性値を表示する

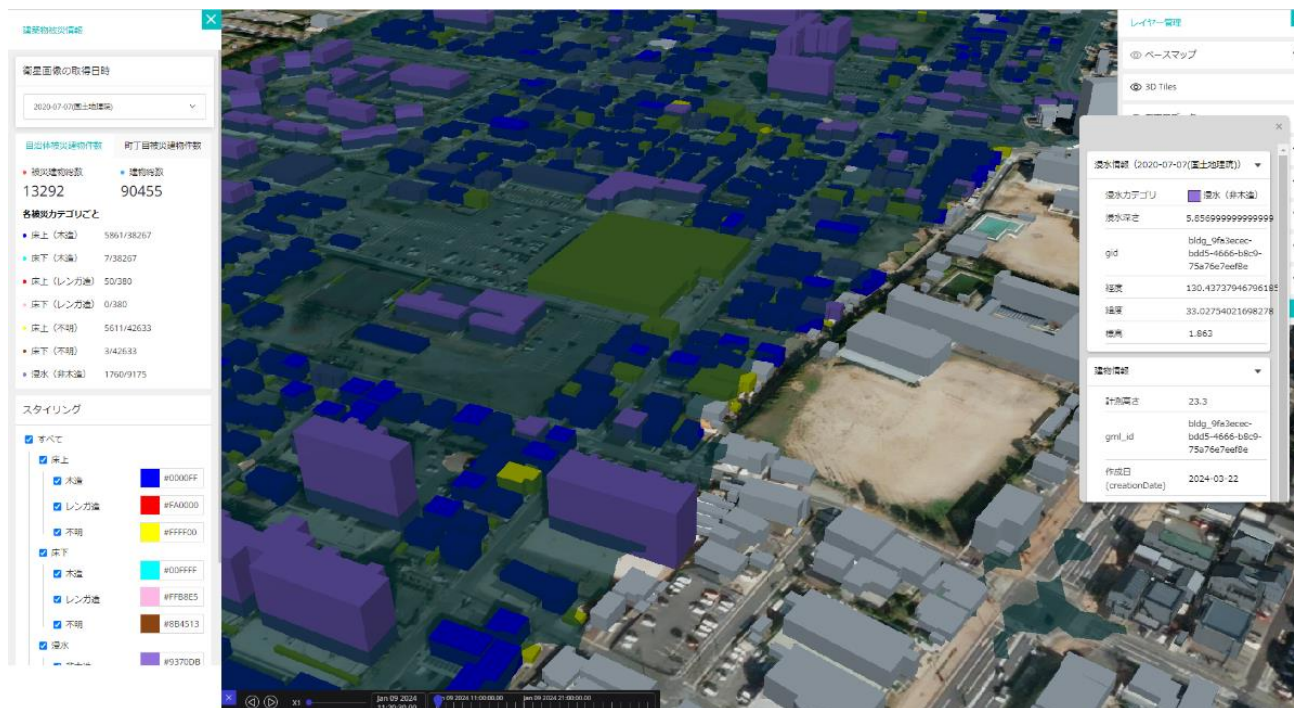


図 3-42 3D 都市モデルの属性値表示

4. 実証技術の検証

4-1. アルゴリズムの検証

4-1-1. 検証目的

- 人工衛星観測データと 3D 都市モデルによる被災家屋抽出の性能の評価によって、本アルゴリズムの有用性を検証する。

4-1-2. KPI

表 4-1 KPI 一覧

No.	評価指標・KPI	目標値	目標値の設定理由	検証方法サマリー
1	被災家屋抽出の精度（再現率）	70%	● 大牟田市へのヒアリングに基づき目標値を設定し、KPI として評価した。	<ul style="list-style-type: none"> ● 過去の被災データを GIS 分析した結果と比較した ● 被災建物の浸水判定と被災判定の精度評価

※当初計画では、浸水深での検証を想定していたが、実績データが床上／床下等の被災判定カテゴリのみだったため、被災判定カテゴリでの再現率の検証を行った。

※当初計画では、精度評価において適合率の算出を想定していたが、実績データが罹災証明書の発行の申請を受けて調査を行った建物のみであるため、罹災証明書の申請していない建物を「非浸水」の実績データとできない。そのため「非浸水」の実績データが必要な適合率での検証は行わず、再現率での検証を行った。

※久留米市では、久留米市全域と、衛星の撮影タイミングがピーク時より後であったことを考慮し、市全域ではなく、実績データの内、解析結果で浸水している建物がある町丁目のみを対象に検証を行った。

4-1-3. 検証方法と検証シナリオ

1) 被災家屋抽出の精度

過去の被災データと人工衛星観測データと 3D 都市モデルにより抽出した被災家屋及び被災判定を比較し、精度の検証を行う。

①被災家屋全体、②床上浸水家屋、③床下浸水家屋の 3 パターンの再現率を算出する。

$$\text{被災家屋抽出の精度（再現率）（\%）} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \times 100$$

※TP（True Positive、真陽性）：正解値を正として、その予測が正しい場合

※FN（False Negative、偽陰性）：正解値を正として、その予測が誤りの場合

① 被災家屋全体

◇ TP：過去の被災データの被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルにより抽出できた被災家屋の数

◇ FN：過去の被災データの被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルにより抽出できなかった被災家屋の数

② 床上浸水家屋

◇ TP：過去の被災データで床上浸水の被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルの解析結果により抽出できた床上浸水家屋の数

◇ FN：過去の被災データで床上浸水の被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルの解析結果により抽出できなかった床上浸水家屋の数

③ 床下浸水家屋

◇ TP：過去の被災データで床下浸水の被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルの解析結果により抽出できた床下浸水家屋の数

◇ FN：過去の被災データで床下浸水の被災家屋のうち、人工衛星観測データと 3D 都市モデルの解析結果により抽出できなかった床下浸水家屋の数

表 4-2 検証シナリオ一覧（被災家屋抽出の精度）

No.	検証方法	エリア	対象データ
1	被災家屋抽出の精度	福岡県久留米市	人工衛星観測データ（Sentinel-1）
2	被災家屋抽出の精度	福岡県大牟田市	国土地理院の浸水推定図（※）

※国土地理院の浸水推定図を用いた解析では、図の浸水域をそのまま利用するため本システムによる浸水域推定を行わないが、地形データと組み合わせた際の浸水深推定精度の検証のため、床上浸水及び床下浸水の被災判定の精度評価を行う。

4-1-4. 検証結果

久留米市と大牟田市の検証結果を以下にまとめる。

No.1 久留米市

被災家屋全体の再現率は 52.2%と、KPI に設定していた地方公共団体のヒアリング結果に基づく目標値である再現率 70%以上の精度は確認できなかった。精度低下の要因として、久留米市の最大浸水深と想定される 2020 年 7 月 6 月～7 日に対し、今回使用した人工衛星観測データの観測日が 2020 年 7 月 10 日のため、ピーク時に撮影された衛星写真での解析でなかったことが考えられる。対応策としては都市の排水能力を加味したアルゴリズムを構築することで、排水された浸水域を推定する（ピーク時の浸水域を逆算する）といった機能の開発により改善が期待できる。

また、床上浸水の再現率は 73.3%、床下浸水の再現率は 7.5%と、床上浸水に関しては KPI に設定していた 70%以上の精度が確認できた。これは、事前のヒアリングを通じて、地方公共団体職員より床上浸水判定の見落としを避けたいというニーズを聞き取ったため、本システムでは浸水確率が比較的低く推定されたピクセルにおいても浸水したとみなすように閾値を設定し、結果として浸水深が大きくなるように実装したことが原因と考えられる。

No.2 大牟田市

床上浸水の再現率は 97.4%、床下浸水の再現率が 1.3%と、こちらも床上浸水に関しては KPI に設定していた 70%を達成できた。一方で床下浸水の再現率が低い精度となった要因としては、国土地理院の浸水推定図が 1/25000 の位置精度であるのに対して、解析に使用している地形データが 5m 精度であることから、位置精度に不整合が生じ、高標高地点を基準に浸水面が推定され、浸水深が過剰に高く推定されたことが原因であると考えられる。

表 4-3 検証結果サマリー

黄セル：KPI 達成

青セル：KPI 未達

検証内容	評価指標 ・KPI	目標値	結果			示唆
			地域	項目	評価値	
被災家屋 抽出の精 度	再現率	70%以上	久留 米市	被災家屋全 体	52.2%	● 被災家屋全体の抽出精度では、KPI 未達であった。ピーク時に撮影された衛星写真での解析でなかったと考えられる。 ● 床上浸水の分類精度は高く、床下浸水の分類精度では低かった。これは、浸水深を大きく推定するよう実装したことが原因であると考えられる。
				床上浸水	73.3%	
				床下浸水	7.5%	
			大牟 田市	床上浸水	97.4%	
				床下浸水	1.3%	

① 久留米市：人工衛星観測データ（Sentinel-1）

評価指標：浸水の再現率=52.2%（KPIの70%を達成できず）

床上浸水の再現率=73.3%（KPIの70%を達成した）

床下浸水の再現率=7.5%（KPIの70%を達成できず）

表 4-4 正解数（人工衛星観測データ）

項目	正解の区分		
	被災家屋全体	床上浸水	床下浸水
解析結果（TP）	457	85	57
実績データ（TP+FN）	876	116	760
再現率	52.2%	73.3%	7.5%

② 大牟田市：国土地理院の浸水推定図

評価指標：床上浸水の再現率=97.4%（KPIの70%を達成した）

床下浸水の再現率=1.3%（KPIの70%を達成できず）

表 4-5 正解数（国土地理院の浸水推定図）

項目	正解の区分	
	床上浸水	床下浸水
解析結果（TP）	489	4
実績データ（TP+FN）	502	319
再現率	97.4%	1.3%

5. 政策面での有用性検証

5-1. 検証目的

実証仮説に基づき、以下の検証目的を設定する。

【実証仮説（再掲）】

人工衛星観測データと 3D 都市モデルを組み合わせた建物被災の解析ソリューションを活用することで罹災証明書発行の迅速化・省力化が実現し、災害復旧期における被災者支援と罹災証明書発行に従事する職員の労力低減が実現する。

主に以下の 2 点について、政策面での有用性検証を行った。

- システムのユーザビリティ検証
 - 今年度開発した本システムにおける UI・UX の分かりやすさ・使いやすさを確認する。
- 罹災証明書発行システムの生産性向上の検証
 - 今年度開発した本システムにより、従来のシステムのシステムと比較して罹災証明書発行の迅速化・省力化が実現したかを確認する。

5-2. 検証方法

検証方法としては、被験者に対してデモンストレーションを取り入れたヒアリング・アンケートを実施した。（ヒアリング・アンケートの項目については「5-4 ヒアリング・アンケートの詳細」に記載）

地方公共団体向けヒアリングの実施方法

- 会場：地方公共団体の会議室
- 機材：体験・デモ用に以下のスペックの PC を用意する。
 - CPU：10th Gen Intel(R) Core(TM) i7 以上
 - GPU：NVIDIA Geforce RTX 3060 Laptop GPU
 - メモリ：16.0 GB 以上
 - OS：Windows 10 以降
 - 通信環境：事業者で用意したモバイル Wi-Fi

5-3. 被験者

表 5-1 被験者リスト（地方公共団体）

分類	具体名称	部署	役職	担当業務	人数
地方公共団体	大牟田市	税務課	主事～主任程度	● 調査計画や現地調査を行う担当者	1名
		防災危機管理室	主事～主任程度	● 防災システムの管理を行う担当者	2名
		都市計画・公園課	主事～主任程度	● 3D都市モデルの管理を行う担当者	2名

5-4. ヒアリング・アンケートの詳細

5-4-1. アジェンダ・タイムテーブル

表 5-2 アジェンダ・タイムテーブル

No.	アジェンダ	所要時間
1	実証実験の目的と罹災証明書発行支援システムの説明	30分
2	操作のデモ・操作の体験①（Re:Earth エディタでのデータインポート）	10分
3	操作のデモ・操作の体験②（罹災証明書発行支援システム）	15分
4	意見交換・ヒアリング	30分
5	アンケート回答	5分

5-4-2. アジェンダの詳細

表 5-3 アジェンダの詳細

No.	アジェンダ（再掲）	内容
1	実証実験の目的を説明	<ul style="list-style-type: none"> ● 本実証実験でアプローチする課題や背景の説明 ● 本実証実験の比較対象となる従来手法の説明 ● 本実証実験で用いるシステムの提供価値 ● システムの全体像の説明
2	操作の体験①	<ul style="list-style-type: none"> ● Re:Earth エディタでのデータインポート <ul style="list-style-type: none"> ➢ 事業者から受け取った URL を Re:Earth エディタで入力することで、地方公共団体側でもデータの可視化が行えることを確認するデモ ● 上記デモ内容を事業者が体験
3	操作の体験②	<ul style="list-style-type: none"> ● 罹災証明書発行支援システム <ul style="list-style-type: none"> ➢ 人工衛星観測データの解析によって得られた浸水域や被災建物を罹災証明書発行支援システムにより可視化するデモ ● 上記デモ内容を事業者が体験
4	意見交換・ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● 質疑応答及びヒアリングを実施
5	アンケート回答	<ul style="list-style-type: none"> ● アンケート回答を依頼し、その場で回答（5分）、アンケート用紙を回収

5-4-3. 検証項目と評価方法

検証項目と評価方法については、以下のとおりとした。

表 5-4 検証項目と評価方法

検証観点	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1) 罹災証明書発行システムの生産性向上の検証	1	地域全体の被災規模を把握することができたか	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象ユーザーに本年度開発したシステムを体験していただいた後、アンケートを実施 ● 選択肢は「とても不満」を1、「とても満足」を5とした5段階で設定 ● 回答を集計し、各選択肢の選択率から評価（各設間で、過半数の4以上の回答を目標とする） 	● アンケートの各設問に自由記入欄を設定
	2	地域全体の被災規模を把握することで事前調査の規模感の把握について効率化が実感できたか		
	3	町丁目単位で被災規模が把握することができたか		
	4	町丁目単位で被災規模を把握することで事前調査の調査計画の業務効率化が実感できたか		
2) ユーザビリティの評価	5	画面表示（UI）が分かりやすいか		

5-4-4. 実証実験の様子



図 5-1 罹災証明書発行支援システムについてデモを交えて説明を行っている模様①



図 5-2 罹災証明書発行支援システムについてデモを交えて説明を行っている模様②



図 5-3 罹災証明書発行支援システムを利用し地方公共団体職員が被災状況を確認している様子①



図 5-4 罹災証明書発行支援システムを利用し地方公共団体職員が被災状況を確認している様子②



図 5-5 システムの体験を終え、地方公共団体職員からヒアリングを行っている様子①



図 5-6 システムの体験を終え、地方公共団体職員からヒアリングを行っている様子②

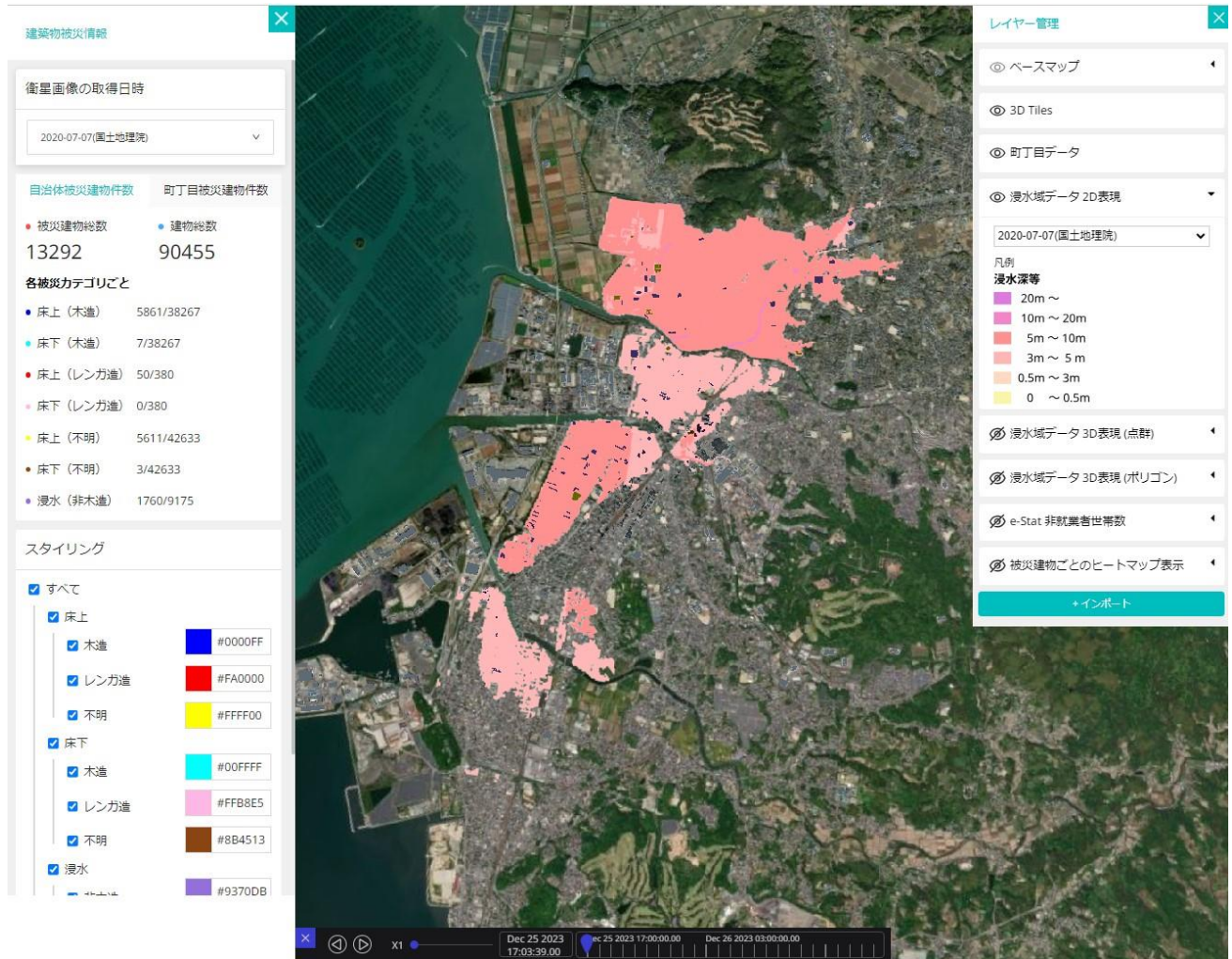


図 5-7 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（浸水域データの 2D 可視化）

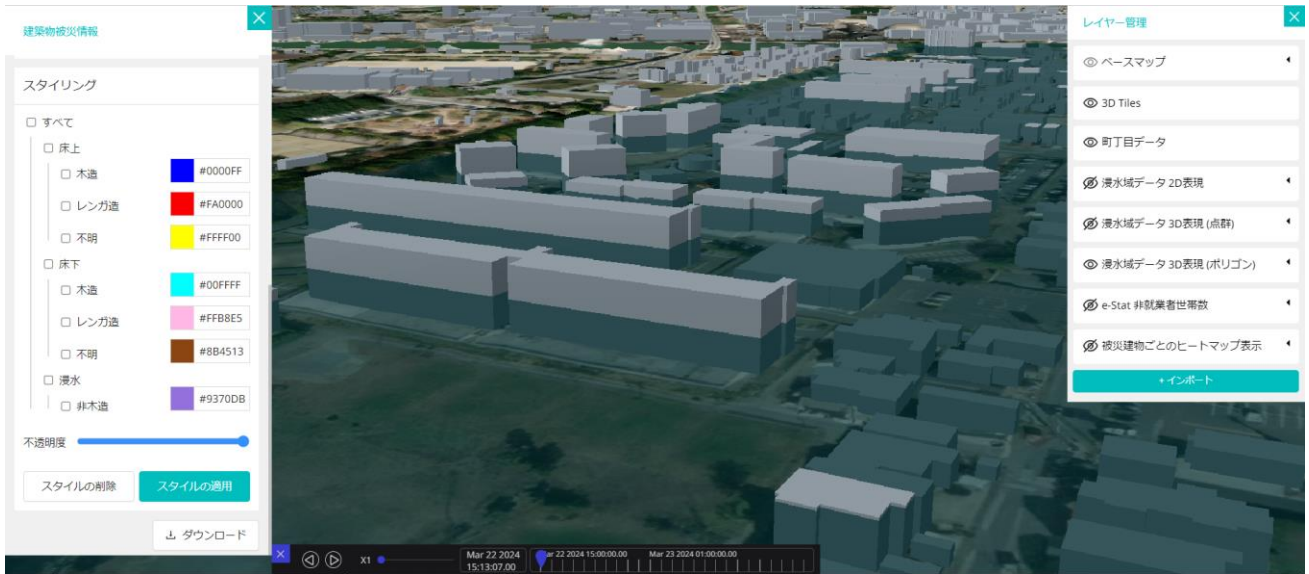


図 5-8 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（浸水域データの3D可視化）

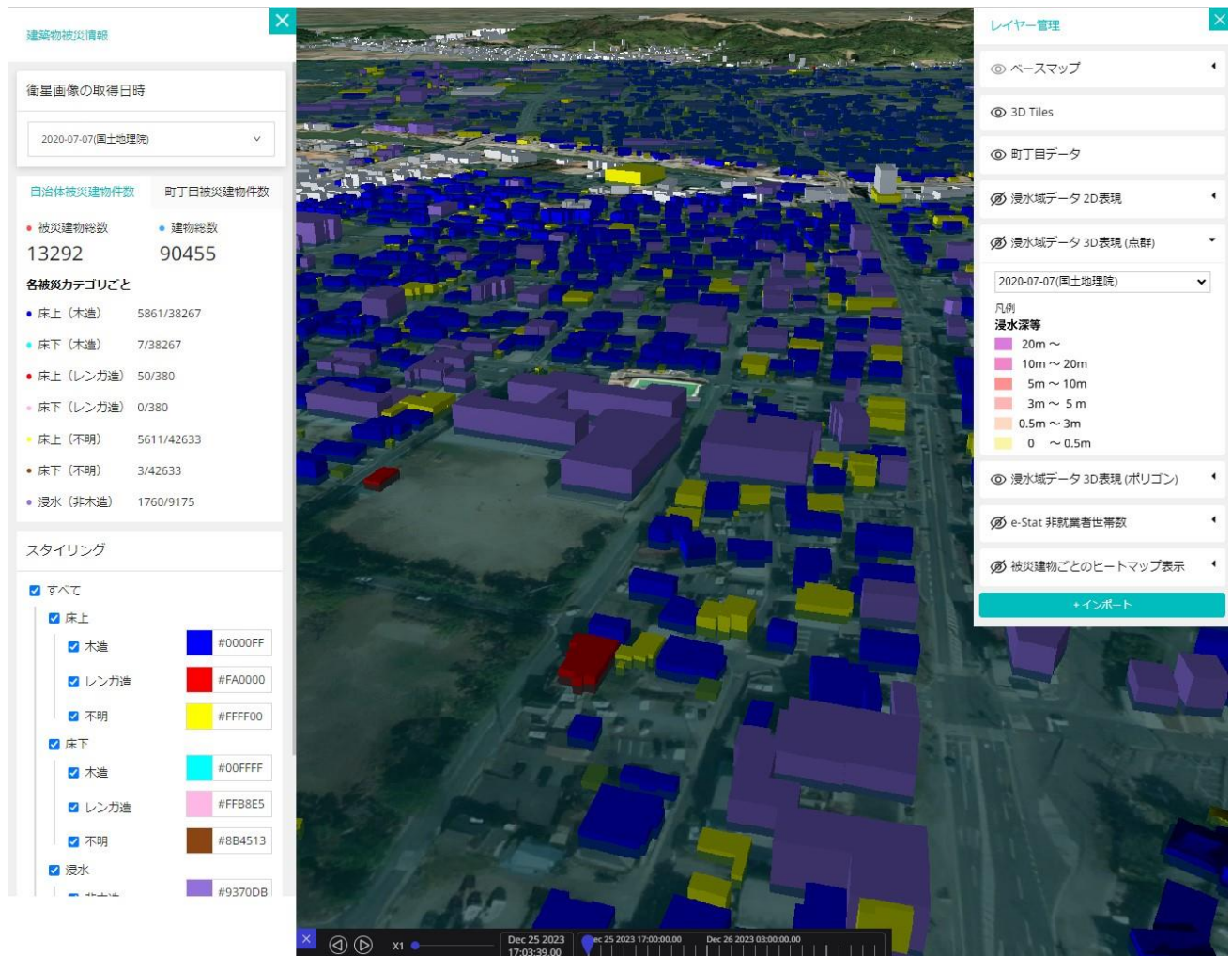


図 5-9 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（被災建物の被災カテゴリ別の色分け可視化）

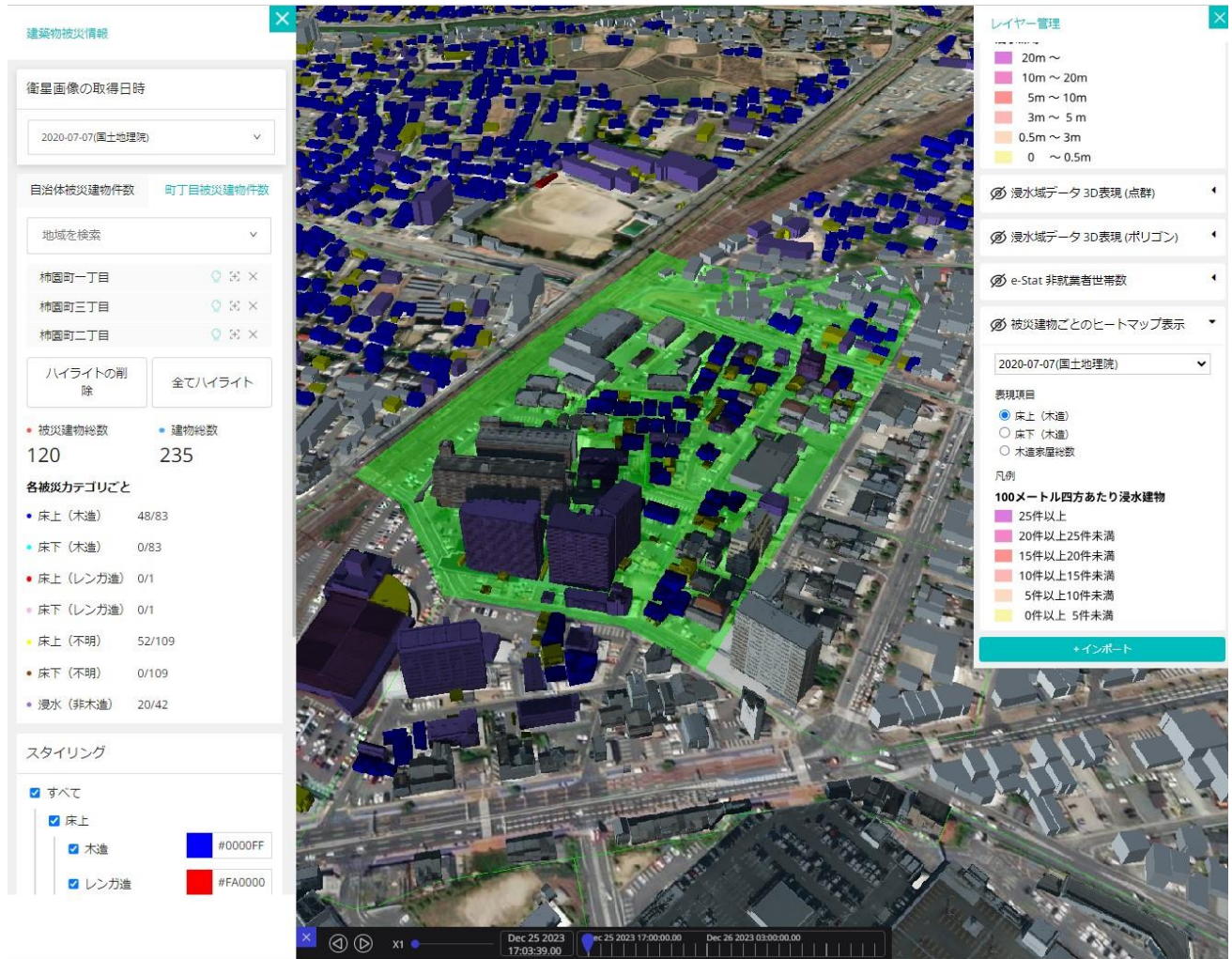


図 5-10 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（町丁目単位での被災家屋数の表示）

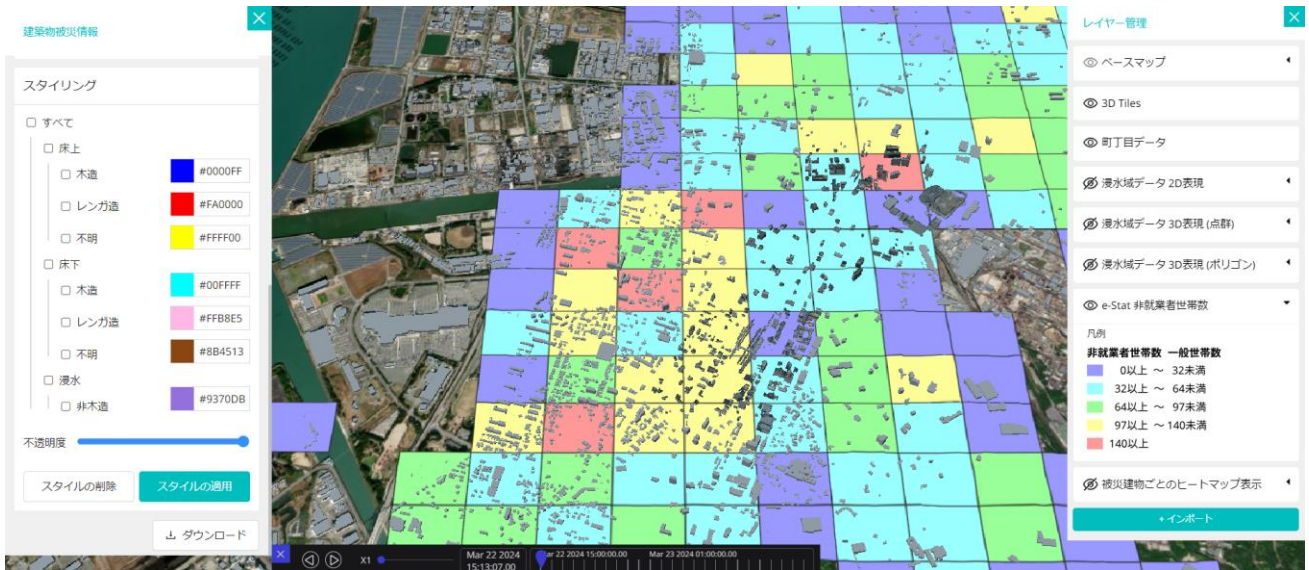


図 5-11 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（非就業者世帯数の表示）

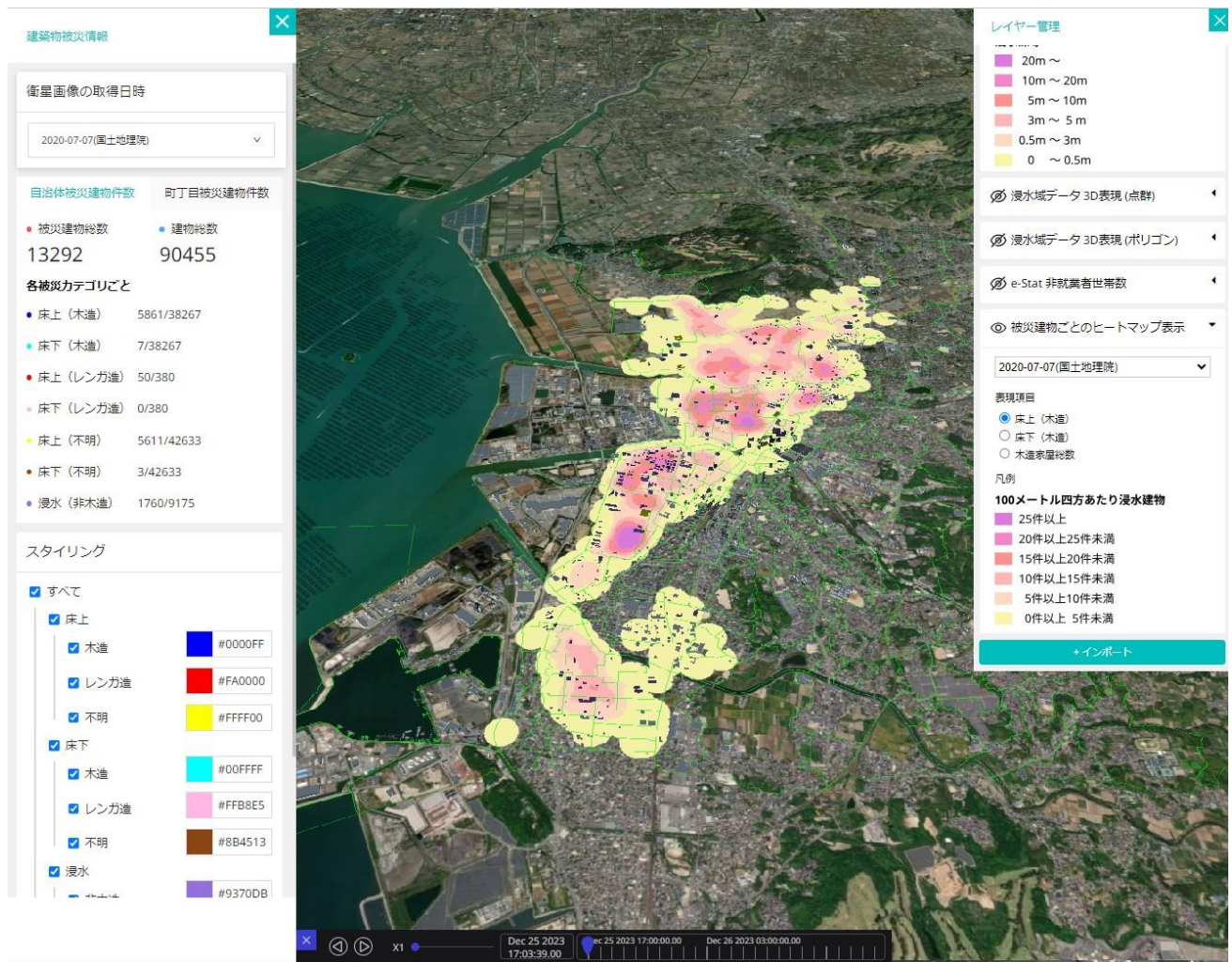


図 5-12 実証実験で用いた罹災証明書発行支援システムのキャプチャ画面（木造家屋のヒートマップ表示）

5-5. 検証結果

罹災証明書発行に携わる業務を実施する地方公共団体担当者に向けて、実際の業務を想定し必要十分な機能及びインターフェースを兼ね備えた罹災証明書発行支援システムを提供し、一定の評価を得られた。

今回開発した罹災証明書発行支援システムでは人工衛星観測データの解析を用いて「浸水域の可視化」・「市全域での被災家屋の可視化・総数表示」・「町丁目単位での被災家屋の可視化・総数表示」を行う仕様となっている。その中でも特に「市全域での被災家屋の総数表示」については、人工衛星観測データの解析を用いることで浸水域の特定の迅速化が行えることから、実業務上で地方公共団体担当職員が課題と感じていた「被災規模の把握」についても価値を提供することができた。

ユーザビリティに関しては、動作にあたり衛星画像の選択を自動で設定し、画面遷移を少なくし、ブラウザページにアクセスした段階で設定した中で最新の人工衛星観測データの解析結果を可視化するように設定していた。その結果、画面表示（UI）の分かりやすさをはかる評価指標において、参加者全員から「満足」以上の回答を得た。

1) 罹災証明書発行システムの生産性向上の検証

Q1 地域全体の被災規模を把握することができたか

全参加者のうち、100%（5/5名）が「とても満足」か「満足」と回答した。地域全体の被災規模の把握が可能なシステムであることが明らかになった。

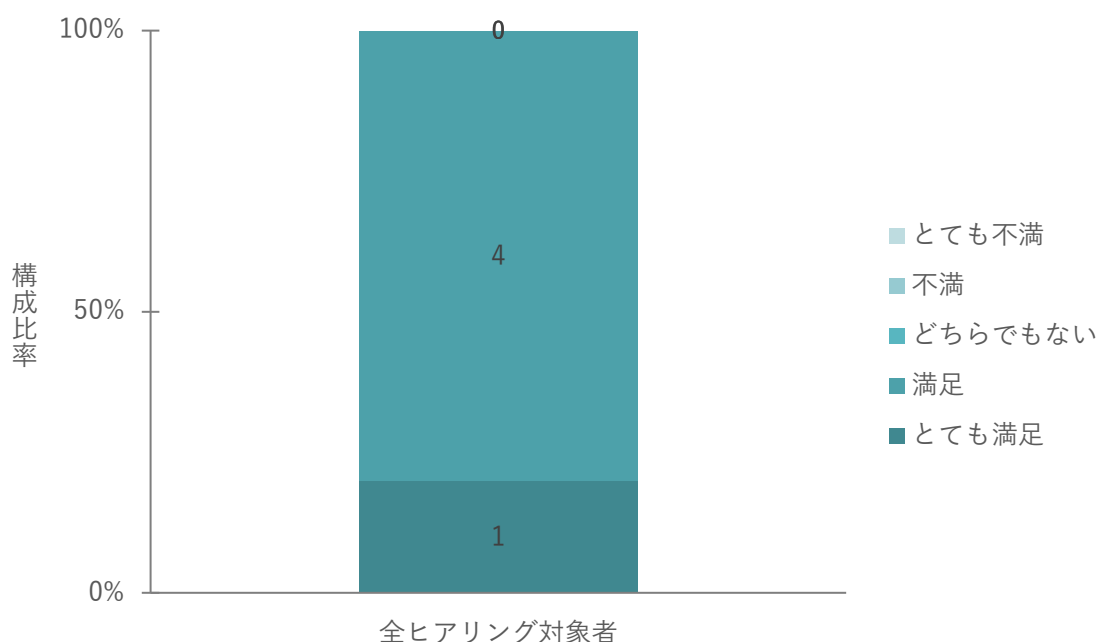


図 5-13 地域全体の被災規模を把握することができたか

Q2 地域全体の被災規模を把握することで事前調査の規模感の把握について効率化が実感できたか

全参加者のうち、100% (5/5名) が「とても満足」か「満足」と回答した。システムにより地域全体の被災規模を把握することで、事前調査の規模感が把握について効率化が実感できたことが明らかになった。

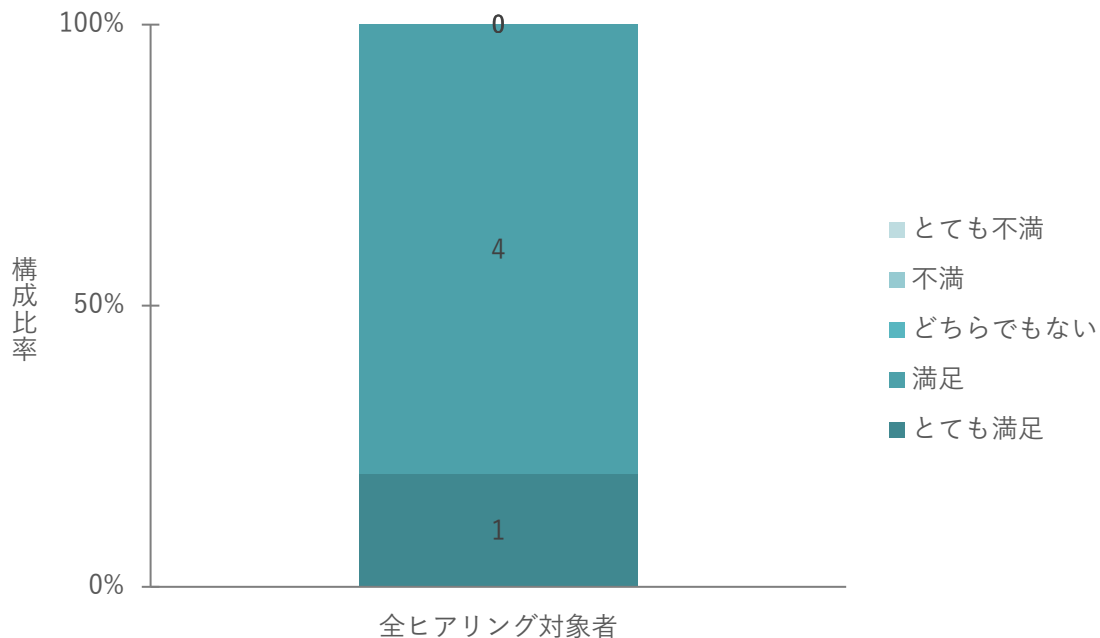


図 5-14 地域全体の被災規模を把握することで事前調査の規模感の把握について効率化が実感できたか

Q3 町丁目単位で被災規模が把握することができたか

全参加者のうち、100%（5/5名）が「とても満足」か「満足」と回答した。町丁目単位で被災規模の把握が可能なシステムであることが明らかになった。

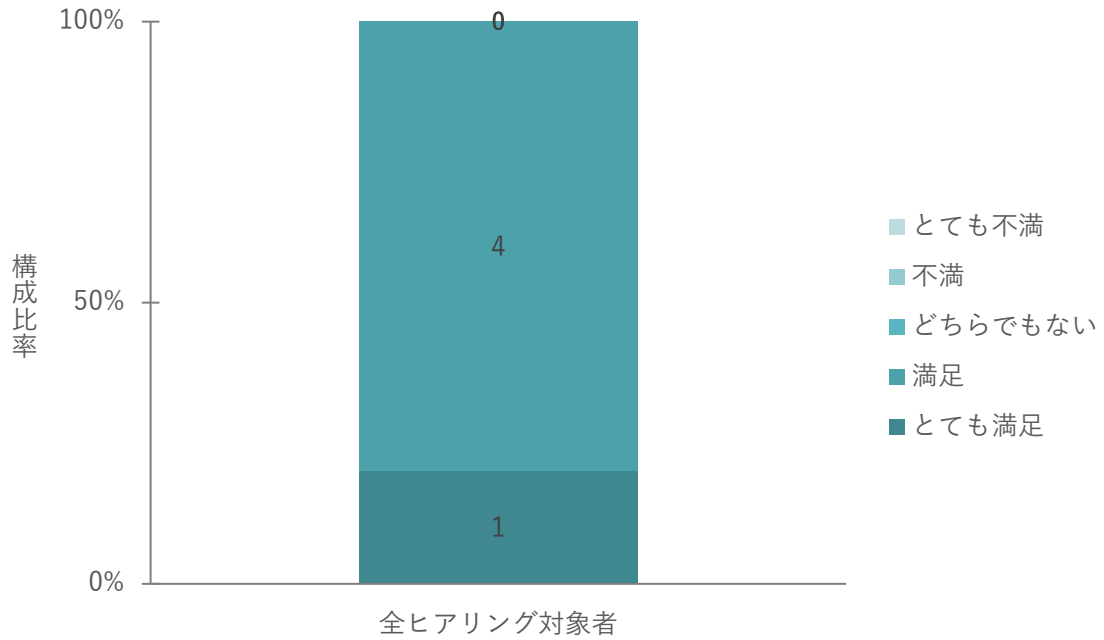


図 5-15 町丁目単位で被災規模が把握することができたか

Q4 町丁目単位で被災規模を把握することで事前調査の調査計画の業務効率化が実感できたか

全参加者のうち、100%（5/5名）が「とても満足」か「満足」と回答した。町丁目単位で被災規模を把握することで事前調査の調査計画の業務効率化が可能なシステムであることが明らかになった。

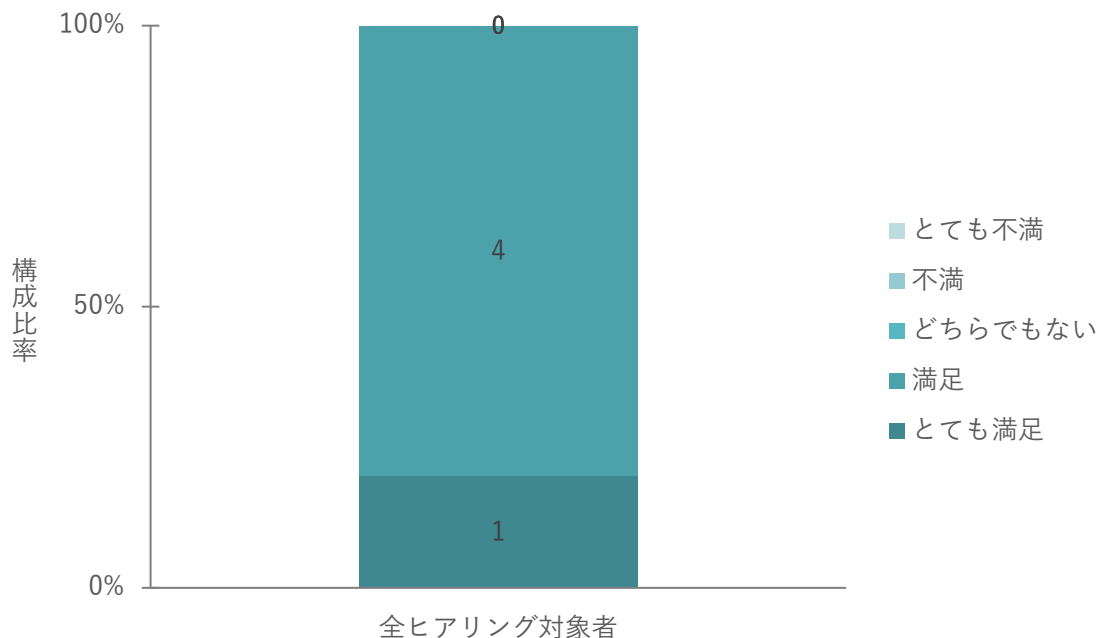


図 5-16 町丁目単位で被災規模を把握することで事前調査の調査計画の業務効率化が実感できたか

2) ユーザビリティ評価

Q5 画面表示 (UI) が分かりやすいか

全ヒアリング対象者のうち、100%の回答者 (5/5 名) が「とても満足」か「満足」と回答した。本年度開発したシステムがユーザーフレンドリーな仕様であることが分かる。

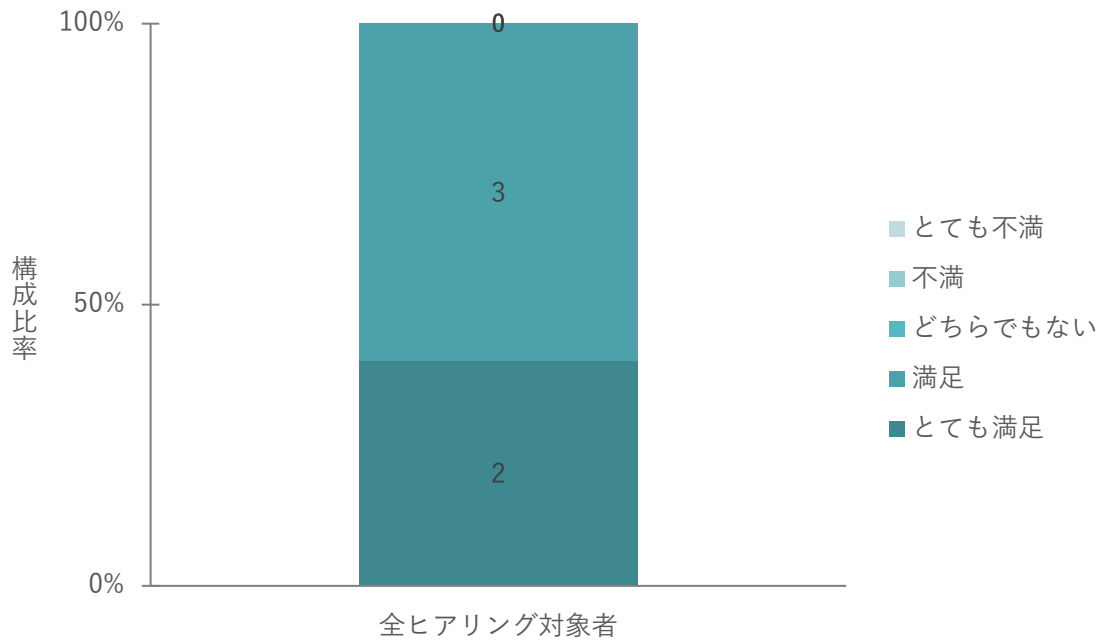


図 5-17 画面表示 (UI) が分かりやすいか

6. 成果と課題

6-1-1. 3D 都市モデルの技術面での優位性

表 6-1 3D 都市モデルの技術面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの技術面での優位性
システム・機能	WebGIS	<ul style="list-style-type: none"> ● WebGIS であるため、ブラウザ上での地図移動、ズームイン・アウトが可能であり、ユーザーの意図に合わせて詳細表示、広域表示ができる。 ● 3D 都市モデルと浸水 3D 可視化により、建物の浸水状況を視覚的に把握することができる。
衛星データ解析	浸水域及び浸水深評価	<ul style="list-style-type: none"> ● 発災後に撮影した人工衛星観測データの分析により、自動で浸水域取得することが可能。さらに、浸水域と 3D 都市モデルから建物ごとの浸水深を推定することで、行政区における被災状況を把握することができる。 (これまで、職員や消防団・地域住民などからの情報を統合して浸水域を推定していたため、広域での被災状況を把握するまで相応の時間を要していた。)
罹災証明書発行支援	建物構造種別ごとの被災建物件数	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルの CityGML の構造種別属性を活用することで、建物構造種別ごとの被災建物数（床上・床下）を把握することができる。
	町丁目ごとの被災建物件数	<ul style="list-style-type: none"> ● 町丁目ごとでの被災建物の集計（構造種別ごと）と可視化ができる。
	被災建物ごとのヒートマップ表示	<ul style="list-style-type: none"> ● 被災建物ごと（木造家屋の床上・床下件数）のヒートマップ表示により、俯瞰的広域に被災が集中している地域を可視化・確認することができる。
	被災建物リストの出力	<ul style="list-style-type: none"> ● 町丁目ごとに被災建物リスト（CSV 形式）を出力することで、ローカル PC での集計作業などができる。

6-1-2. 3D 都市モデルのビジネス面での優位性

表 6-2 3D 都市モデルのビジネス面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルのビジネス面での優位性
データサイエンティストの参画	衛星データ解析	<ul style="list-style-type: none">● 衛星データ解析の OSS 化により、3D 都市モデルの活用を検討しているデータサイエンティストの参画を促すことが可能となる。
	Plateau Utils	<ul style="list-style-type: none">● Plateau Utils によって 3D 都市モデルの CityGML から任意のメタデータだけを抽出することができることから、解析対象のデータだけを抽出し扱うことができる。● 解析に適したデータの作成が Plateau Utils によって手軽に行えるため、データサイエンティストが PLATEAU を用いた解析を行いやすい環境を提供できる。● データサイエンティストの利用拡大が見込める。

6-1-3. 3D 都市モデルの政策面での優位性

表 6-3 3D 都市モデルの政策面での優位性

大項目	小項目	3D 都市モデルの政策面での優位性
行政業務の効率化	被災家屋数の把握	<ul style="list-style-type: none"> ● 水害により被災した住家に対する被害認定調査の対象となる「木造家屋・1～2階建」について、3D 都市モデルの CityGML 属性と建物浸水深との判定により、罹災証明書発行に必要な被害認定調査対象の家屋数を把握することができる。 ● 発災直後に被災家屋数を把握することで、被害認定調査に必要な人員配置計画（必要に応じて、周辺地方公共団体への支援要請）ができる。
	町丁目ごとの被災家屋数の把握	<ul style="list-style-type: none"> ● 町丁目ごとの被災家屋数を把握することで、被害認定調査を重点的かつ優先的に実施する地区を設定することができる。
	不動産 ID による住居の特定	<ul style="list-style-type: none"> ● 3D 都市モデルの CityGML 属性に含まれている不動産 ID を用いることで、被災家屋と住民基本台帳等のデータと紐づけが可能である。

6-2. 実証実験で得られた課題と対応策

表 6-4 実証実験で得られた課題

大項目	小項目	実証実験で得られた課題	課題に対する対応策
システム (機能)	実行環境を考慮した3Dビューワの改善	● 実装の際には本システムを利用する地方公共団体が保有するマシンスペックとインターネット回線で問題なく機能するかの確認が行えていない。	● 本システムは3Dマップ上での操作が主のシステムであるため、実装に当たっては地方公共団体の端末上の制約を考慮し、限られた性能の端末やネットワーク環境でもストレスなく動作するよう、3DTilesのフォーマットを用いて描画スピードを向上させる。
システム (UI・UX)	クリックの少ないUI・UXの開発	● 実装に向けて、地方公共団体の職員がより容易に操作できるようなUI・UXの設計が必要となった。	● クリックの少ない操作で解析結果の表示内容の確認ができるよう改善する。
アルゴリズム	衛星解析精度向上	● 本実証実験で構築した解析手法では、現場の被害状況と解析結果による被害想定にズレが生まれる可能性があり、現地写真や浸水深を取得し、解析結果に補正を与えるなど、より正確な解析結果を得るための工夫が必要である。	● 地方公共団体職員と連携して、現地写真や浸水深を取得することで、解析結果に補正を与え、より正確な解析結果を得られる体制を作る。
	衛星解析精度向上	● ピーク時に撮影された衛星写真での解析でないことを考慮した補正が十分でない。	● 都市の排水能力を加味したピーク時の水面を推定するアルゴリズムを構築する。 ● 複数の衛星画像・航空画像を解析し、それらの結果を比較検証することで精緻な最大浸水深を取得する。
サービス運用	罹災証明書発行の行政手続の簡略化	● 本システムでは、罹災証明書発行まで一気通貫に出来るものではなく、罹災証明書発行業務の一部を担うことしかできない。	● 不動産IDとの連携から、固定資産課税台帳や住民基本台帳等から所有者・住民の情報と連携ができるようになれば、罹災証明書の発行に関する行政手続を一気通貫で行うことができる。
	活用シーンの拡大	● 本システムでは、衛星画像を水害での活用のみを想定している。	● 衛星画像解析分野においては、水害対応のみならず、地震や土砂災害といった他分野への活用が期待できる。

6-3. 今後の展望

本年度のユースケースで開発した「罹災証明書発行支援システム」では、人工衛星観測データの観測による被災家屋の抽出及びリスト化や、罹災証明書発行の発行プロセスにおける発災直後に行政機関が実施する一時調査を効率化できる可能性を示すことができた。

実証実験時の「現場の状況を踏まえて、浸水深の高さの程度を調整ができるといい」といった要望や、1枚の衛星画像の解析結果ではある地域では最大浸水深を捉えられても、別の地域では最大浸水深を捉えられないという状況があることを踏まえ、現場の状況から解析結果をリアルタイムに補正する機能や、同災害の複数の衛星画像や浸水域からの解析結果を統合することで地域全体の最大浸水深時の解析結果に近づける機能の検討を進める。

本取組では、災害発生直後の初動時に、人手によらず人工衛星観測データを用いた建物の浸水に係る調査を行うことを念頭に置いており、災害発生時に地方公共団体の人的リソースがひっ迫する中で本システムの活用は有効な手段であると考えられる。また、国内のみならず台風やハリケーンを起因とした洪水災害の多い諸外国への技術展開も期待できる。

さらに、固定資産課税台帳や住民基本台帳等から所有者・住民の情報を連携できるようになれば、罹災証明書の発行に関する申請・手続の簡略化・効率化が期待できる。加えて、罹災証明書の発行手続には住民からの申請が必要となるため、本システムによる解析結果に基づいてマイナンバー・マイナポータル等を活用してプッシュ通知を行うことで、より迅速な被災者支援が期待できる。

7. 用語集

A) アルファベット順

表 7-1 用語集（アルファベット順）

No.	用語	説明
1	Re:Earth	株式会社ユーカリヤが主導で進める OSS プロジェクト及びそのクラウドサービスを指す。本資料では「Re:Earth OSS」を OSS プロジェクトにおけるソース コードを指し、単に「Re:Earth」と称す場合は株式会社ユーカリヤが運営するクラウドサービスを指す。
2	Re:Earth CMS	Re:Earth を構成するデータ管理機能。 ヘッドレス CMS として、各種データセットの管理や API でのデータ配信を行う。
3	Re:Earth Python Library	3D 都市モデルの CityGML の ZIP ファイルの URL を指定することで、3D 都市モデルのパーズを行うことができる。
4	Re:Earth Visualiser	Re:Earth を構成するデータ可視化及び Web ブラウザでのビューワを作成する機能。 データ編集・可視化をし、プラグインによって、各種ファンクションを設置する。 作成したプロジェクトの公開用 URL を発行することで、誰でも Web ブラウザから閲覧することができる。
5	SAR	Synthetic Aperture Radar（合成開口レーダー）の略。 衛星から地球の表面に向けてレーダー波を発射し、その反射波を受信して画像を生成する。

B) 五十音順

表 7-2 用語集（五十音順）

No.	用語	説明
1	光学衛星	可視光線や近赤外線を利用して地球を観測する衛星。 カメラのようなセンサーを用いて地表の画像を取得する。
2	バンド	衛星の周波数帯の違いであり、これにより透過率が変わる。
3	プラグイン	Re:Earth のプロジェクトに対してインストールし、主に UI をはじめとして機能拡張をすることができるもの。
4	罹災証明書	風水害、地震等の自然災害により、住家（現に居住する家屋）が被害を受けた場合、「全壊」「大規模半壊」「中規模半壊」「半壊」「準半壊」「準半壊に至らない（一部損壊）」など被害の程度を証明するもの。

以上

人工衛星観測データを用いた浸水被害把握
技術検証レポート

2024年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局

受託者：株式会社福山コンサルタント、株式会社ユーカリヤ