



PLATEAU
by MLIT

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



衛生データによる都市デジタルツインの構築
技術検証レポート

Technical Report on Urban Digital Twin Construction Using Satellite Data

series No. 136

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 -
1-2. 課題解決のアプローチ	- 1 -
1-3. 創出価値	- 2 -
1-4. 想定事業機会	- 3 -
2. 実証実験の概要	- 4 -
2-1. 実証仮説	- 4 -
2-2. 検証ポイント	- 5 -
2-3. 実証フロー	- 6 -
2-4. 実施体制	- 7 -
2-5. 実証エリア	- 8 -
2-6. スケジュール	- 10 -
3. 開発スコープ	- 11 -
3-1. 概要	- 11 -
3-2. 開発内容	- 11 -
4. 実証システム	- 13 -
4-1. アーキテクチャ	- 13 -
4-1-1. システムアーキテクチャ	- 13 -
4-1-2. データアーキテクチャ	- 14 -
4-1-3. ハードウェアアーキテクチャ	- 15 -
4-2. システム機能	- 17 -
4-2-1. システム機能一覧	- 17 -
4-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ	- 18 -
4-2-3. 開発機能の詳細要件	- 19 -
4-3. アルゴリズム	- 26 -
4-3-1. 利用したアルゴリズム	- 26 -
4-3-2. 開発したアルゴリズム	- 28 -
4-4. データインタフェース	- 33 -
4-4-1. ファイル入力インタフェース	- 33 -
4-4-2. ファイル出力インタフェース	- 33 -
4-4-3. 内部連携インタフェース	- 34 -
4-4-4. 外部連携インタフェース	- 35 -
4-5. 実証に用いたデータ	- 35 -
4-6. ユーザーインタフェース	- 37 -
4-6-1. 画面一覧	- 37 -

4-6-2. 画面遷移図	- 38 -
4-6-3. 各画面仕様詳細	- 38 -
4-7. 実証システムの利用手順	- 39 -
4-7-1. 実証システムの利用フロー	- 39 -
4-7-2. 各画面操作方法	- 40 -
5. システムの非機能要件	- 41 -
5-1. 社会実装に向けた非機能要件	- 41 -
5-2. 有用性検証に向けた非機能要件	- 43 -
6. 品質	- 44 -
6-1. 機能要件の品質担保	- 44 -
6-2. 非機能要件の品質担保	- 45 -
7. 実証技術の機能要件の検証	- 46 -
7-1. ドローンデータと位置情報の比較による位置精度の検証	- 46 -
7-1-1. 検証目的	- 46 -
7-1-2. KPI	- 47 -
7-1-3. 検証方法と検証シナリオ	- 48 -
7-1-4. 検証結果	- 49 -
7-2. 日本の都市デジタルツインと 3D 都市モデルの比較による位置精度検証	- 54 -
7-2-1. 検証目的	- 54 -
7-2-2. KPI	- 54 -
7-2-3. 検証方法と検証シナリオ	- 55 -
7-2-4. 検証結果	- 55 -
8. 実証技術の非機能要件の検証	- 63 -
8-1. 検証目的	- 63 -
8-2. KPI	- 63 -
8-2-1. 検証方法と検証シナリオ	- 63 -
8-2-2. 検証結果	- 64 -
9. 公共政策面での有用性検証	- 66 -
9-1. 検証目的	- 66 -
9-2. 検証方法	- 67 -
9-3. 被験者	- 70 -
9-4. ヒアリング・アンケートの詳細	- 72 -
9-4-1. アジェンダ・タイムテーブル	- 72 -
9-4-2. アジェンダの詳細	- 72 -
9-4-3. 検証項目と評価方法	- 73 -
9-4-4. 実証実験の様子	- 74 -
9-5. 検証結果	- 80 -
10. リアルデータを活用したシミュレーション実証	- 93 -

10-1. 洪水シミュレーション.....	- 93 -
10-1-1. 検証目的.....	- 93 -
10-1-2. 実証方法.....	- 93 -
10-1-3. 実証結果.....	- 95 -
10-2. 交通ネットワーク分析.....	- 97 -
10-2-1. 検証目的.....	- 97 -
10-2-2. 実証方法.....	- 97 -
10-2-3. 実証結果.....	- 98 -
10-3. 洪水シミュレーションに付随するエコシミュレーション.....	- 102 -
10-3-1. 検証目的.....	- 102 -
10-3-2. 実証方法.....	- 102 -
10-3-3. 実証結果.....	- 102 -
11. 成果と課題.....	- 104 -
11-1. 本実証で得られた成果.....	- 104 -
11-1-1. 都市デジタルツインの技術面での優位性.....	- 104 -
11-1-2. 都市デジタルツインのビジネス面での優位性.....	- 105 -
11-1-3. 都市デジタルツインの公共政策面での優位性.....	- 105 -
11-2. 実証実験で得られた課題と対応案.....	- 106 -
11-3. 今後の展望.....	- 107 -
12. 用語集.....	- 110 -

1. ユースケースの概要

1-1. 現状と課題

1-1-1. 課題認識

近年、デジタルツインは防災、都市計画、交通シミュレーション、エンターテインメントなど多分野で活用が進んでいる。国内では国土交通省が主管する Project PLATEAU をはじめ、3D 都市モデルの整備と活用基盤が拡大しつつあり、高精度な都市データの社会実装が加速している。一方で、3D 都市モデルの整備には多大なコストと時間がかかること、更新頻度が十分でないこと、そしてフォトリアルかつ汎用的なデータ生成の自動化が進んでいないことが課題となっており、これらが市場拡大に向けた阻害要因となっている。

2023 年度から Project PLATEAU の一環として、国内の都市を対象にして、衛星データと 3D 都市モデルを組み合わせて高精度な都市デジタルツインを自動生成する AI を活用したシステム開発（3D 都市モデルを活用した高精度デジタルツインの構築）に取り組んだ。これらの取組では、3D 都市モデルと衛星データを組み合わせることで、フォトリアルな都市データを自動生成し、コンシューマサービスに利用可能なハイクオリティの都市デジタルツインデータを提供、3DCG 技術を必要とするゲーム、防災等の分野への展開によるデジタルツイン市場の拡大に寄与させることを目的とし、構築された都市デジタルツインは、オープンデータとして公開され、多様な領域での利用可能性が評価された。

一方で、世界に目を向けてみると、一部の地域では、3D モデルは防災シミュレーションやスマートシティ計画、環境モニタリング等の利活用が進みつつあるものの、依然として発展途上にある。特に新興国においては、急速な都市化や気候変動による自然災害リスクの高まり、都市構造を可視化するための 3D モデル整備の遅れ、高額な地上測量、航空測量に伴うコスト負担、専門人材、インフラ不足といった課題が大きく、都市計画や災害対策の立案に必要な「被害状況の可視化」が十分に行われていないのが現状である。このような背景から、現地調査を必要とせず、衛星画像やオープンデータを活用して広域かつ簡易に都市構造を再現するデジタルツイン技術が求められている。

1-2. 課題解決のアプローチ

本プロジェクトでは、これまでの国内での開発成果を活用しながら、3D 都市モデルが存在しない海外都市を対象にした都市デジタルツインを構築する。本案件で開発する手法は、衛星画像と OpenStreetMap などのオープンデータのみを入力して、現地測量や高額な航空測量を行うことなく、高精細かつ高精度な都市デジタルツインを構築可能とするものである。これにより、3D 都市モデルが未整備の地域においても、効率的かつ低コストで都市空間の再現を実現できる。本手法で利用するデータは新興国でも容易に入手できるため、インフラや専門人材が不足する地域にも適用可能な汎用性とスケーラビリティを備えている。また、構築した都市デジタルツインを活用し、防災分野における有効性を実証することで、実社会での利活用モデルを提示する。さらに、作成したデータを CityGML 形式に変換し、Project PLATEAU で確立された日本発のデジタルツイン技

術との互換性を確保する。これにより、日本の技術を新興国各地の都市デジタルツイン構築にスケラブルに展開し、日本発のデジタルツイン技術の国際的な社会実装を加速させることが期待される。以下三つの要素を統合したシステムを構築し、3D 都市モデルの活用が難しい海外都市の都市デジタルツイン作成においても、独自の AI 技術等を活用することで、実用化に資する都市デジタルツインデータを作成する。

第一に、位置情報の精度を重視した都市デジタルツインを構築するため、2023 年度の Project PLATEAU「3D 都市モデルを活用した高精度デジタルツインの構築」において開発したシステムを活用し、衛星画像とオープンデータの建物情報から AI を活用して都市デジタルツインを作成する特許技術に、建物情報の補完及び森林田畑生成を行う機能を追加する。出力したデータは、行政、研究機関向けに CityGML 形式でデータ提供を行うことができ、外部ツールによる水害評価や意思決定支援への展開を想定している。

第二に、高精細なビジュアルを重視した都市デジタルツインを構築するため、地理、衛星データを取得し、Blender と追加開発したアドオンを活用して建物の見た目補正、水や森など自然環境の質感強化、屋上構造の詳細化を行うことができるシステムを開発する。

第三に、構築された高精細なビジュアルを重視した都市デジタルツインに対して、防災シミュレーション等の災害影響を可視化する機能を統合し、水害等のユースケース実証及び、有用性検証を行えるようにする。

これらの三つの技術要素を、3D 都市モデルが存在しない海外都市においても、都市構造の再現、災害リスクの可視化を行い、現地の地方自治体や研究者の関係者間の合意形成や意思決定を円滑にすることを目指す。

本プロジェクトは、日本のデジタルツイン技術を国際展開するに当たり、高精細な 3D 都市モデルの活用が難しい環境においても、実用化に資するデータを作成し、新興国での社会実装に適合したスケラブルな都市デジタルツインの在り方を提示することへ寄与する。

1-3. 創出価値

本プロジェクトで開発する「衛星画像ベース×AI による都市デジタルツイン生成技術」は、3D 都市モデルが未整備の海外都市においても、現地測量や高額な航空測量を行わなくても、入手容易な衛星画像やオープンデータから自動的に 3D 都市モデルを構築できる。新興国でも利用可能なオープンデータと、従来の 3D 都市モデル構築手法と比べて、短期間かつ低コストで実行可能な処理プロセスにより、3D 都市モデルが未整備の都市においても、都市空間の迅速な 3D 可視化を可能にする新たな社会実装モデルとなる。これにより、災害対応やインフラ整備が急がれる国、地域において、高コストな現地測量等を行うことなく、災害リスクの視覚化や都市計画に基づく合意形成支援が可能となる。

また海外のさまざまな国における防災、都市開発、観光、エンターテインメントなど多様な分野において、3D の都市デジタルツインを活用したサービスを創出することができるようになることが期待される。出力形式と

しては、CityGML 形式に対応することで、Project PLATEAU の取組を通じて確立された日本発のデジタルツイン技術を世界に発信することが可能となる。

本取組を通じて、これまで都市デジタルツインの整備が困難だった海外の地域においても、短期間、低コストでのモデル整備と利活用の実現が可能となり、日本発のデジタルツイン技術の国際的展開と貢献のモデルケースを示すものである。

1-4. 想定事業機会

表 1-1 想定事業機会

項目	内容
利用者	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方自治体、防災公共機関 ● 研究機関
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツイン上で洪水などの災害リスクを可視化することで、地方自治体、防災公共機関は被害想定や対策シナリオを事前に把握、共有でき、迅速かつ的確な防災対応や住民避難誘導に活用できる ● 都市デジタルツインを都市開発などの分野で活用することで、地方自治体、防災公共機関は現実に即した将来シナリオの検証や合意形成を効率的に行い、持続可能で災害に強いまちづくりを推進するための意思決定が促進される
提供価値	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツイン上で洪水などの災害リスクを可視化することで、自治体・防災公共機関が被害想定や対応シナリオを事前に検討・共有し、迅速かつ的確な意思決定と住民対応を実現する防災支援サービス ● 都市デジタルツインを活用して都市開発の将来シナリオを可視化・検証することで、自治体・防災公共機関が合意形成と意思決定を効率化し、持続可能で災害に強いまちづくりを推進するための都市計画支援サービス

2. 実証実験の概要

2-1. 実証仮説

新興国においては、急速な都市化と気候変動の進行に伴い、さまざまな自然災害リスクが顕著に増大している。一方で、災害対応や都市計画の基盤となる 3D 都市モデルについては、地上測量、航空測量、衛星リモートセンシング等によるデータの取得・更新が、測量インフラの未整備、財政的制約、さらには地理空間情報分野における専門人材の不足といった課題により十分に進んでいない。その結果、被害状況や都市構造の可視化が困難となっている。このため、AI 技術と衛星画像、オープンな地図データを活用し、現地調査を要することなく、簡易かつ広域に都市構造を可視化できる技術の開発が求められており、本ユースケースはその実現を目的とする。

上記の目的意識のもとで地方自治体、防災公共機関、研究機関のユーザーが本技術を利用し、防災に実用化していくために重要な要素が二つある。位置情報の精度担保と都市デジタルツインの作成コストを下げるのが本技術を活用した都市デジタルツインの海外展開につながると捉えているため、都市デジタルツインの実証に対しての実証仮説を設定する。

またユーザーが、災害リスクの可視化及び現実に即した将来シナリオの検証や合意形成を行うためには、災害のユースケースを用いて都市における被害の発生状況を可視化することが重要であるため、以下のように仮説を設定する。

【位置情報の精度担保】

1. 従来、新興国等では都市構造の 3D モデル整備等が進んでいないが、衛星画像と OpenStreetMap 等のオープンデータを用いて AI 等によりデジタルツインを構築する技術を活用することで、高コストで作成時間のかかる地上測量や航空測量を行わずに、都市デジタルツインを構築する。その位置精度は、ドローンによる計測データとの比較においても、地方自治体や研究機関が防災対策等に活用できる水準を満たしている
2. 海外の行政機関や研究機関向けに CityGML 形式でデータ提供を行い、外部ツールによる水害評価や意思決定支援に展開することを目的として、衛星画像とオープンデータを活用し、AI 等を用いた都市デジタルツイン構築手法を日本の都市で実証する。その結果、3D 都市モデルとの比較により、地方自治体や研究機関が防災対策等に活用できる十分な位置精度を確認できる

【都市デジタルツイン構築の作成コスト低減】

1. 現地での地上測量や航空測量による都市デジタルツインの構築には、多大なコストを要する。また手動での 3D モデリングも同様である。衛星画像とオープンデータを活用し、AI 等を用いた自動でのデジタルツイン構築手法を用いることで、都市デジタルツイン構築に要するコストとリードタイムが削減できる

【災害ユースケースによる都市被害可視化と防災力向上】

1. ビジュアルの品質が高い都市デジタルツインを構築する技術を開発し、水害イメージを可視化する動画を作成することにより、海外の行政機関や研究機関のユーザーが、洪水などの災害リスクの可視化及び現実に即した将来シナリオの検証や合意形成の支援につなげることができる

2-2. 検証ポイント

衛星画像と OpenStreetMap のオープン地図データを用いて、AI 等の技術により位置精度を重視したパターンとビジュアルを重視したパターンの 2 パターンの都市デジタルツインを構築し、ドローン計測、3D 都市モデルとの比較を通じ、以下の観点で位置精度に関する有用性の評価を行う。また、ユースケースに関して、作成した水害のリスクを可視化した動画を活用し、行政機関や研究機関の方々への有用性アンケート及びヒアリングを実施することによって有用性の評価を行う。

表 2-1 技術実証観点一覧

No.	観点	技術実証観点
1	位置精度	● 自治体や研究機関が防災対策等に活用するために十分な精度を有しているか
2	作成コスト	● 現地データで作成するよりもコストが削減されるか ● 手動での 3D モデリングよりもコストが削減されるか
3	有用性	● 現地の行政機関や研究機関の目からも、現地防災に有効であるか

2-3. 実証フロー

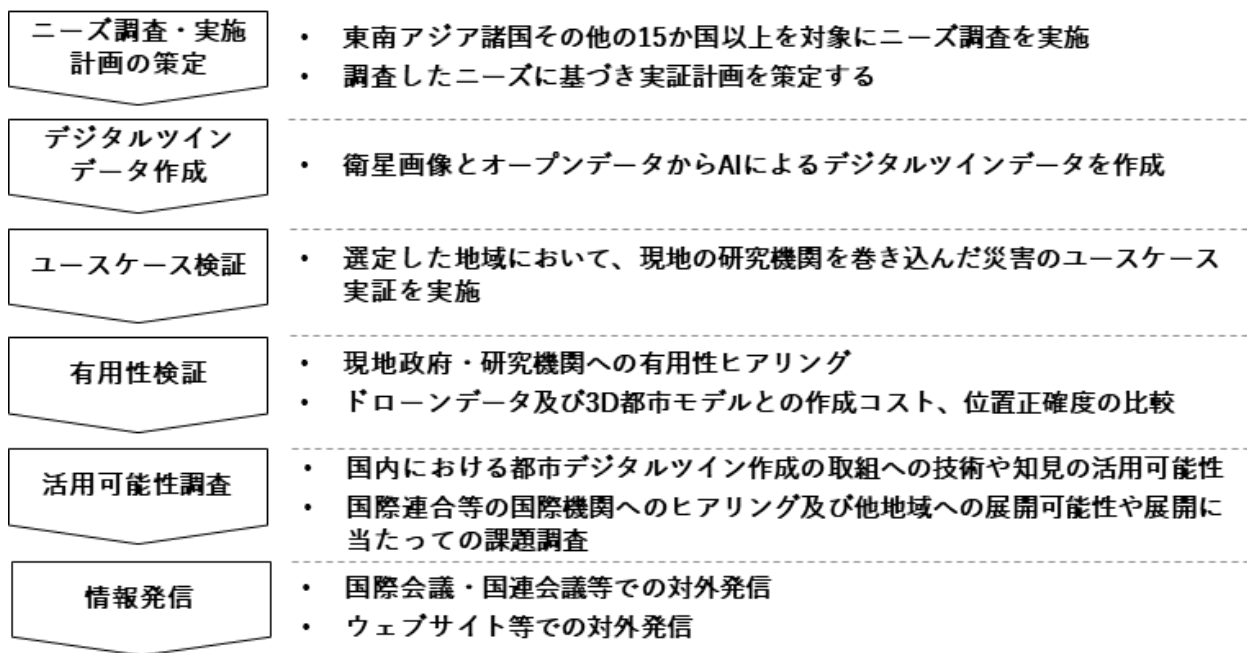


図 2-1 実証フロー

2-4. 実施体制

表 2-2 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	スペースデータ	実証における企画、開発、検証、運営
実施協力	国際連合宇宙部	ニーズ調査、情報発信支援
	Monash University Malaysia	ユースケース実証支援
	University of Nottingham Malaysia	ユースケース実証支援
	三菱電機	国内におけるデジタルツイン作成の取組への技術や知見の活用可能性検討

2-5. 実証エリア

実証エリアはヒアリングを通して決定した。国連宇宙部の協力によりニーズ調査を 17 の国際機関に行った後、その中から 9 機関を対象に、一対一での対話方式とアンケートによる詳細ヒアリングを行い、各機関のデジタルツイン構築に対する詳細なニーズを検討した。マレーシア セランゴール州 セメニー (Semenyih) は、洪水をはじめとする災害が多発していること、そのため政府も防災への関心が特に高いことなどが理由で、実証エリアとして適切であると判断し、決定した。

また、位置精度の検証には、すでに 3D 都市モデルが整備されている福岡県久留米市を対象エリアとして選定した。マレーシア セランゴール州 セメニー (Semenyih) と同じ手法で久留米市の都市デジタルツインを作成することで、今回のユースケースで用いた手法で作成された、都市デジタルツインの位置精度を検証する。久留米市は、PLATEAU において「建物データ」および「災害リスク(浸水)モデル(洪水浸水想定区域)(LOD1)」の両方が整備されており、分析に必要な条件を満たしている。また、他の候補地と比較して、OpenStreetMap (OSM) のデータ精度が相対的に高く、空間データの整合性や再現性の面で有利である点も評価できる。さらに、歴史的景観や古い家屋が集中する地区が少なく、建物形状や街区構造の再現が比較的容易であることから、分析対象として適していると判断した。

2-3 実証エリア


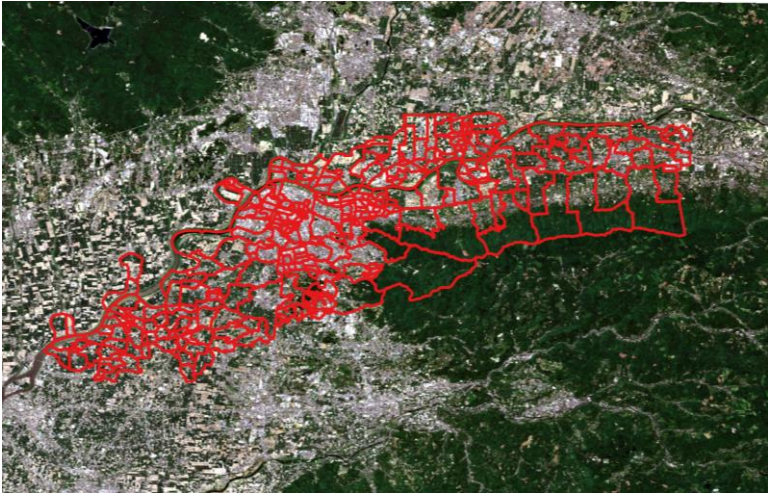
項目	内容
実証地	マレーシア セランゴール州 セメニー (Semenyih)
面積	57 km ²
マップ (対象エリアは赤枠内)	 <p>赤枠：高精度都市デジタルツインデータのエリア ©USGS/NASA Landsat</p>

表 2-4 実証エリア

項目	内容
実証地	福岡県久留米市
面積	229.8km ²
マップ (対象エリアは赤枠内)	 <p data-bbox="427 931 1374 963">赤枠：高精度都市デジタルツインデータのエリア © Copernicus Sentinel data</p>

2-6. スケジュール

表 2-5 スケジュール

実施事項	2025 年										2026 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. 海外における衛星データから作成する都市デジタルツインのニーズ調査	←————→												
1-1. アンケートによるニーズ調査	←————→												
1-2. 詳細ヒアリングによるニーズ調査	←————→												
1-3. 実証場所の選定			←————→										
2. 都市デジタルツインのデータ作成、水害イメージ動画の作成	←————→												
2-1. 都市デジタルツインのデータ作成	←————→												
2-2. 防災分野におけるユースケース検証向けの洪水シミュレーションのデモデータ作成			←————→										
3. 実証技術の検証				←————→									
3-1-1. ドローンデータとの位置情報の比較				←————→									
3-1-2. 日本の都市に対して構築した都市デジタルツインと 3D 都市モデルの比較				←————→									
3-2-1. 作成コストの比較				←————→									
4. 有用性検証				←————→									
4-1. ヒアリングの質問作成				←————→									
4-2. ヒアリング実施				←————→									
5. 実証結果とりまとめ							←————→						
5-1. 結果分析							←————→						
5-2. 結果まとめ								←————→					

3. 開発スコープ

3-1. 概要

新興国等においては、急速な都市化や気候変動による自然災害リスクの高まりに伴い、都市開発、防災分野における都市デジタルツインデータのニーズが顕在化している。

一方で、それらの実装技術は未成長であり、従来の地上測量や航空測量による 3D 都市モデル構築は、コスト、時間の観点から導入障壁が高く、特にリソースの限られた新興国等の都市では対応が困難なのが実情である。本プロジェクトでは、3D 都市モデルが未整備である海外地域において、衛星画像とオープンデータから AI を活用して都市デジタルツインデータを構築する。また、構築した都市デジタルツインと防災等のシミュレーションを組み合わせることで、新興国が抱える課題の解消に寄与する都市設計や災害対策の意思決定支援を行う。

3-2. 開発内容

2023 年度の PLATEAU 事業「3D 都市モデルを活用した高精度デジタルツインの構築」においては、スペースデータ社が保有する高精度なデジタルツインデータを自動生成する既存システムに、対象エリアの衛星画像や 3D 都市モデルを都市情報のデータベースとして追加することにより、公共測量成果である 3D 都市モデルの位置正確度や都市構造物の精度を維持しつつ、プロシージャルモデリングを用いて高精細なテクスチャの付与や建物のディテールアップ、看板や信号機等の都市設備の追加等の自動付与が可能な高精度都市デジタルツインデータを生成する AI の改修を行った。

本システムでは、3D 都市モデルがない海外の地域においても、衛星画像とオープンデータであるオープンストリートマップ等の地物データをインプットデータとして、地物の位置情報及び 2D 図形情報を担保しつつ、AI を活用して屋根のテクスチャを再現することで、省庁、地方自治体や研究機関の専門家向けコンテンツに利用可能な高精度な都市デジタルツインデータの自動生成を実現し、デジタルツインの社会実装を加速し、都市における社会経済の変革に貢献することを目的とする。

また、都市デジタルツインデータを CityGML 形式に変換し、既存の 3D 都市モデル等との互換性を保持しつつ、日本発技術の国際展開と応用実証を目的とする。

本システムでは、以下 2 パターンの都市デジタルツインを生成するためのシステムを構築した。

1. 位置情報の精度を重視
2. 高精細なビジュアルを重視

1. 位置情報の精度を重視するパターンとしては、2023 年度の PLATEAU 事業「3D 都市モデルを活用した高

精度デジタルツインの構築」において開発したシステムを活用し、地図情報や衛星データの取得、建物情報の補完、衛星画像からの属性推定及び都市デジタルツインの生成、配置、出力までを一貫して行う。取得、解析された地理情報は 3D モデル化され、CityGML 形式で出力可能とすることで、都市開発やシミュレーション等への応用を支援する

2. 高精細なビジュアルを重視するパターンとしては、地理、衛星データを取得し、Blender と追加開発したアドオンを活用して、建物の見た目の補正、水や森など自然環境の質感強化、屋上構造の詳細化を行う

4. 実証システム

4-1. アーキテクチャ

4-1-1. システムアーキテクチャ

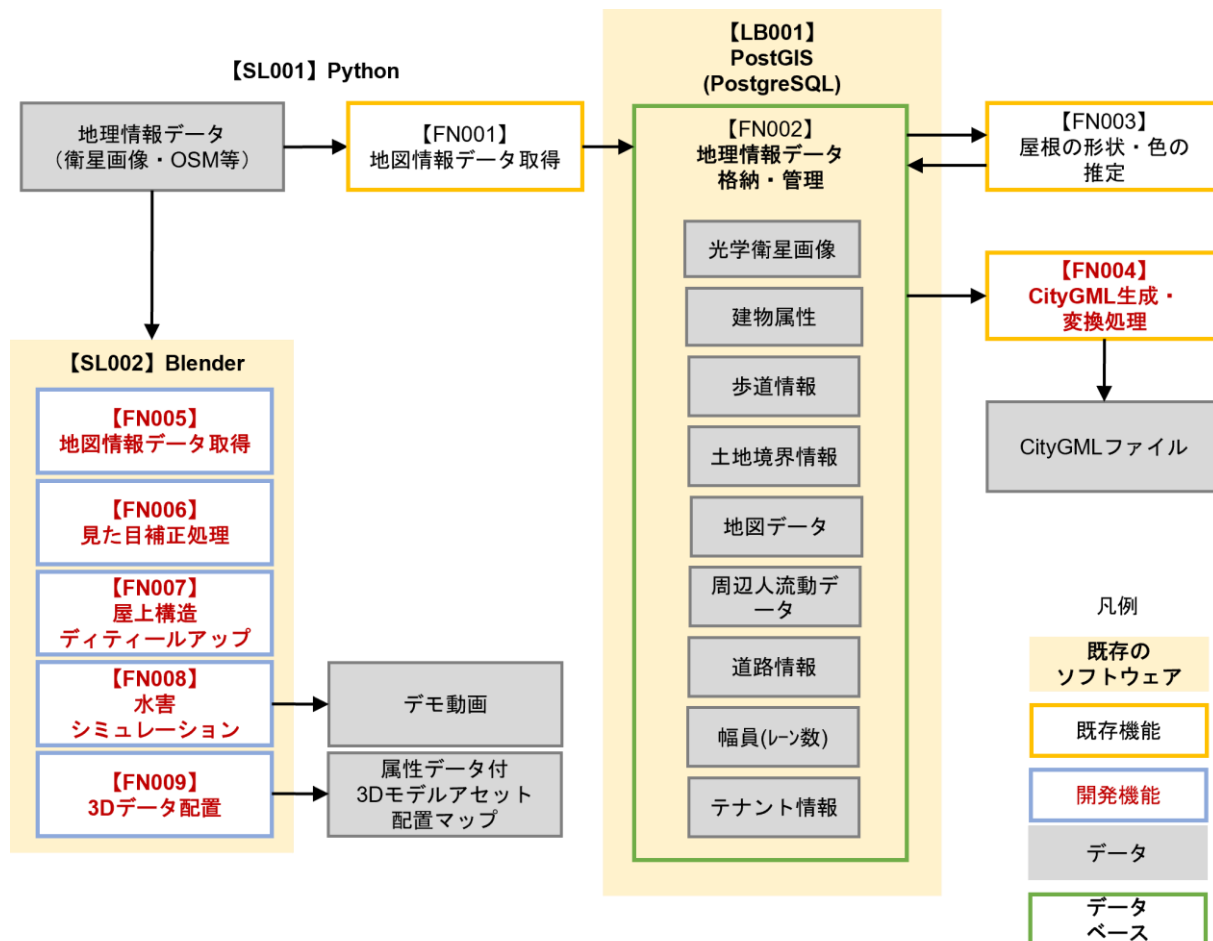


図 4-1 システムアーキテクチャ

4-1-2. データアーキテクチャ

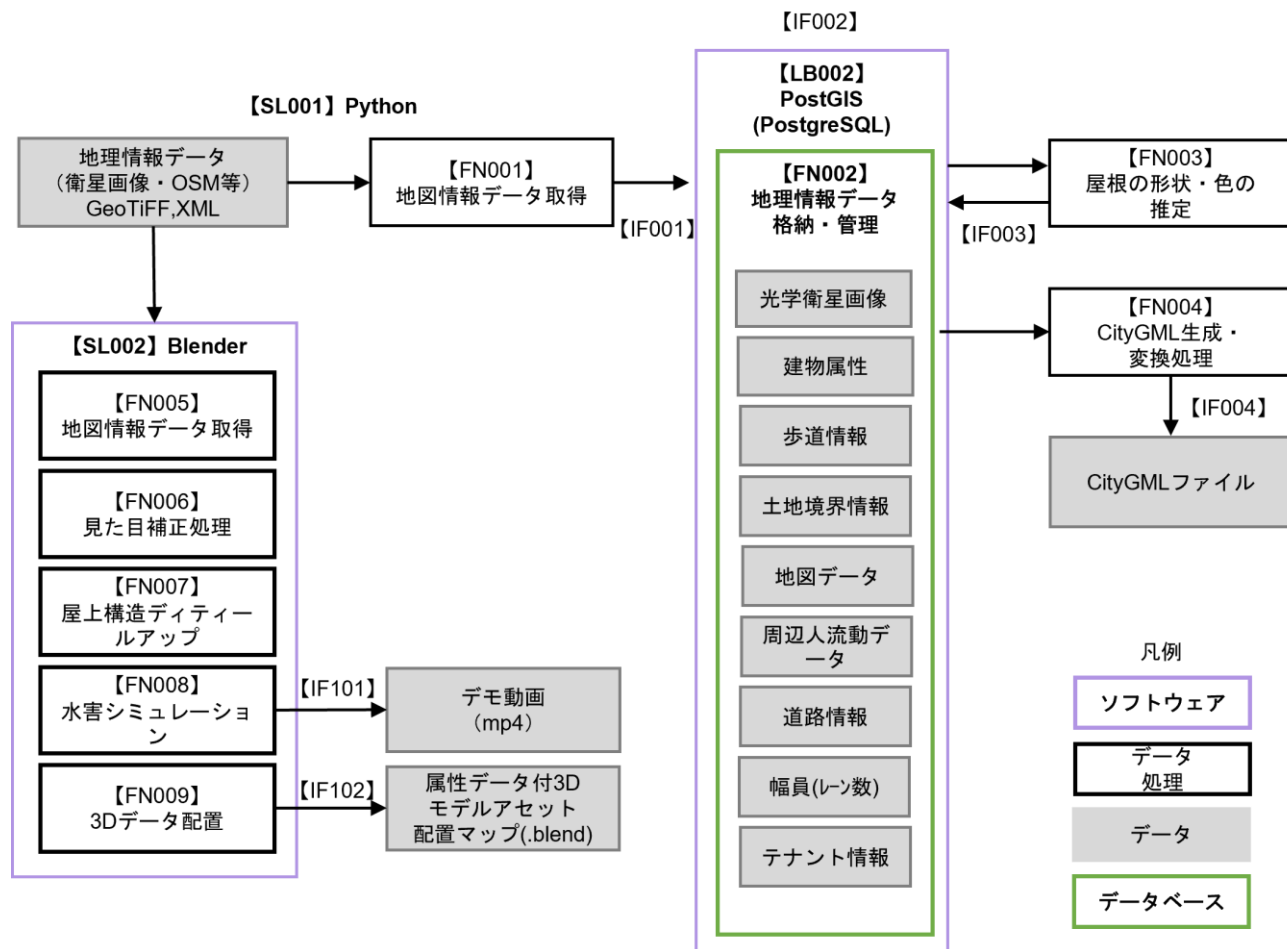


図 4-2 データアーキテクチャ

4-1-3. ハードウェアアーキテクチャ

4-1-3-1. 利用するハードウェア一覧

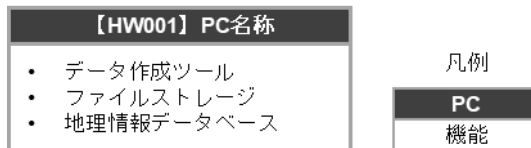


図 4-3 ハードウェアアーキテクチャ

表 4-1 利用するハードウェア一覧

ID	種別	品番	用途
HW001	PC	HP ENVY Desktop TE02-1097jp	● 機械学習

4-1-3-2. 利用するハードウェア詳細

【HW001】 PC : HP ENVY Desktop TE02-1097jp

- 選定理由
 - 機械学習処理に適したメモリ及び GPU を搭載している
- 仕様、スペック
 - OS : Windows 11 Pro
 - CPU : インテル® Core™ i9-13900 プロセッサー
 - GPU : NVIDIA® GeForce RTX™ 4070 Ti
 - メモリ : 64GB (16GB × 4) DDR5-4000MHz
 - ストレージ : 1TB Gen4 M.2 SSD (PCIe NVMe) + 1TB Gen4 M.2 SSD (PCIe NVMe)

- イメージ



図 4-4 HP ENVY TE02-1097jp¹

¹ 公式 HP より抜粋：https://jp.ext.hp.com/desktops/personal/envy_te02/

4-2. システム機能

4-2-1. システム機能一覧

表 4-2 【HW001】 PC 用機能一覧

※朱文字：新規開発、既存改修

ソフトウェア	ID	機能名	機能説明
【SL001】 uv(Python)	FN001	地理情報データ取得	● 地図情報や衛星データの情報を取得
	FN002	地理情報データ格納・管理	● 多様な地理空間データを一元的に格納・管理するための基盤機能
	FN003	屋根の形状・色の推定	● 光学衛星画像から建物屋根の形状および色を機械学習により自動推定する機能
	FN004	CityGML 生成・変換処理	● 地理情報データを、CityGML を生成・変換する処理
【SL002】 Blender	FN005	地理データ取得	● 地図情報や衛星データを取得する機能
	FN006	見回目補正処理	● Blender のアドオンを活用して以下実行 (1) オープン地図データの色情報から建物の色を変更 (2) Blender で使われているマテリアルを高品質化 (3) 水や森のマテリアル高品質化
	FN007	屋上構造ディテールアップ	● Blender のアドオンを活用して建物屋上のディテールアップ
	FN008	水害イメージ	● Blender のアドオンを活用して災害データをもとにした水位の変化、浸水範囲を 3D 空間に反映
	FN009	3D データ配置 (Blender)	● Blender 側で 3D 空間上に 3D データを配置

4-2-2. 利用したソフトウェア・ライブラリ

表 4-3 利用するソフトウェア一覧

※朱文字：新規開発、既存改修

ID	項目	バージョン	内容
SL001	uv(Python)	0.7.5(Python3.11.11)	● Python ライブラリの管理用ソフトウェア
SL002	Blender	4.2.6	● コンピュータグラフィックス制作用のオープンソース 3DCG ソフト

表 4-4 利用するライブラリー一覧

※朱文字：新規開発、既存改修

ID	項目	バージョン	内容
LB001	PostGIS	14.3	● PostgreSQL で地理空間 (GIS) データを扱えるようにする拡張機能
LB002	GDAL	3.9.2	● ラスタ・ベクタ形式の地理空間データを読み書き・変換・処理するためのオープンソースの地理空間情報データ操作ライブラリ (機械学習用データの抽出等に利用)

4-2-3. 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**朱文字**で示す。

PC 用機能一覧

1) 【FN001】地理情報データ取得

- 機能概要
 - 地図情報や光学衛星画像データを取得してデータベースへ取り込む
- フローチャート

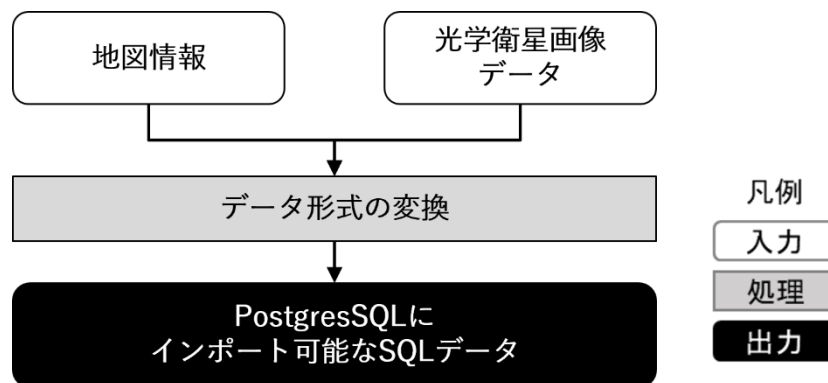


図 4-5 地図情報データ取得のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 地図情報
 - ◇ 光学衛星画像データ
 - 出力【IF001】
 - ◇ 建物の情報
 - 建物 ID
 - 識別用のユニークな ID
 - 側面情報
 - 窓の分類
 - ◇ ユニットのインデックス番号
 - 色
 - 屋上情報
 - 屋根形状の分類
 - ◇ インデックス番号
 - 色
 - 建物高さ
 - 設置面(緯度経度ポリゴン)

- 設置面で切り取った光学衛星データの画像
 - 広告の情報
 - 屋上広告の有無
 - 側面広告の有無
 - 入り口広告の有無
 - ◇ テナントの情報
 - 建物1階部分に入っているコンビニ等テナント情報
 - テナントインデックス番号
 - テナント詳細インデックス番号
 - 土地境界（緯度経度ポリゴン）
 - 周辺人流データ
 - 日常的にどれだけの人がある建物周辺や建物内にいるかという統計データ
 - 道路の情報
 - 形状（緯度経度ポリゴン）
 - 幅員（レーン数）
 - 歩道の有無
 - 境界情報で切り取った光学衛星データの画像
 - 機能詳細
 - 利用するライブラリ
 - ◇ GDAL
 - 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし
- 2) 【FN002】地理情報データ格納・管理
- 機能概要
 - 地図情報や光学衛星データから取り込んだ建物データや道路情報などの多様な地理空間データを一元的に格納・管理する
 - フローチャート

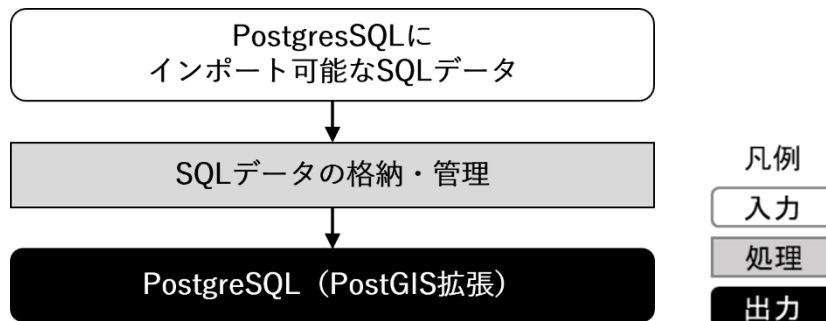


図 4-6 地理情報データ格納・管理のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ PostgreSQL にインポート可能な SQL データ
 - 出力【IF002】
 - ◇ PostgreSQL (PostGIS 拡張)
- 機能詳細
 - 利用するミドルウェア／データベース
 - ◇ PostgreSQL
 - ◇ PostGIS
 - 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

3) 【FN003】屋根の形状・色の推定

- 機能概要
 - 光学衛星データの画像ファイルから、機械学習等により建物の屋根の構造や色を予測する
- フローチャート

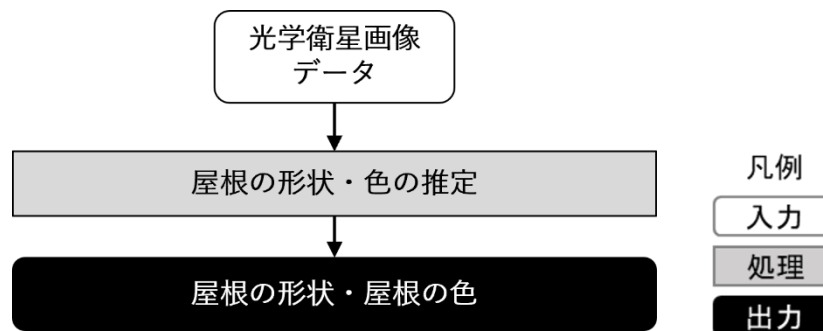


図 4-7 屋根の形状・色の推定のフローチャート

- データ仕様
 - 入力
 - ◇ 光学衛星画像データ
 - 出力【IF003】
 - ◇ 建物属性
 - 屋根色
 - 屋根形状
- 機能詳細
 - 利用するライブラリ
 - ◇ OpenCV

- ◇ Timm
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ Vision Transformer

4) 【FN004】 CityGML 生成・変換処理

- 機能概要
 - 地理情報データを、CityGML 形式のファイルとして出力する
- フローチャート

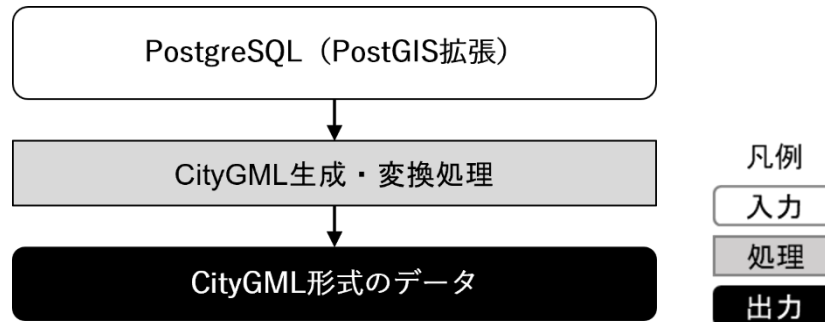


図 4-8 CityGML 生成・変換処理のフローチャート

- データ仕様
 - 出力【IF004】
 - ◇ CityGML 形式のデータ
- 機能詳細
 - 利用するミドルウェア／データベース
 - ◇ PostgreSQL
 - ◇ PostGIS
 - 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

5) 【FN005】 地理情報データ取得

- 機能概要
 - 地図情報や光学衛星データを取得して Blender へ取り込む

- フローチャート

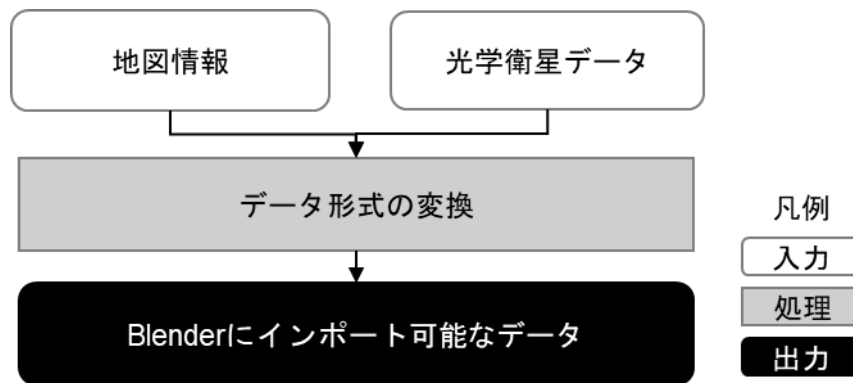


図 4-9 地理情報データ取得のフローチャート

- データ仕様

- 出力
 - ◇ Blender にインポート可能なデータ

- 機能詳細

- 利用するソフトウェア
 - ◇ Blender (ソフトウェア【SL002】を参照)
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

6) 【FN006】建物、水や木などの見た目補正処理

- 機能概要

- Blender のアドオンを活用して以下の処理を行う
 - ◇ オープン地図データの色情報から建物の色を変更
 - ◇ Blosm のマテリアルを高品質化
 - ◇ 水や木のマテリアル高品質化

- データ仕様

- 出力
 - ◇ 見た目補正を施された Blender プロジェクト

- 機能詳細

- 利用するソフトウェア
 - ◇ Blender (ソフトウェア【SL002】を参照)
- 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

7) 【FN007】 屋上構造ディテールアップ

- 機能概要
 - Blender のアドオンを活用して建物屋上のディテールアップする
- データ仕様
 - 出力
 - ◇ 見た目補正を施された Blender プロジェクト
- 機能詳細
 - 利用するソフトウェア
 - ◇ Blender (ソフトウェア【SL002】を参照)
 - 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

8) 【FN008】 水害イメージ可視化

- 機能概要
 - Blender のアドオンを活用して災害データをもとにした水位の変化、浸水範囲を 3D 空間に反映する
- データ仕様
 - 出力【IF101】
 - ◇ mp4
- 機能詳細
 - 利用するソフトウェア
 - ◇ Blender (ソフトウェア【SL002】を参照)
 - 利用するアルゴリズム
 - ◇ なし

9) 【FN009】 3D データ配置

- 機能概要
 - Blender 側で 3D 空間上に 3D データを配置
- データ仕様
 - 出力【IF102】
 - ◇ .blend
- 機能詳細
 - 利用するソフトウェア
 - ◇ Blender (ソフトウェア【SL002】を参照)
 - 利用するアルゴリズム

◇ なし

4-3. アルゴリズム

4-3-1. 利用したアルゴリズム

表 4-5 利用したアルゴリズム一覧

ID	アルゴリズムを利用した機能	名称	説明	選定理由
AL001	FN003	K-Means クラスタリング	<ul style="list-style-type: none"> 衛星データから屋根の色に対してクラスタリングを行い主要な色を抽出し、最頻色を屋根色として推定 	<ul style="list-style-type: none"> ニューラルネットワーク等の分類器だと教師データが不足するため、教師なし学習で色を推定するため
AL002	FN003	Vision Transformer	<ul style="list-style-type: none"> 自己注意機構を活用して画像全体の特徴を学習し推定 衛星データから屋根の形状に対して分類 	<ul style="list-style-type: none"> 画像分類において、学習コストに対して精度を上げやすいため

1) 【AL001】 K-Means クラスタリング

- 計算量

- ここで、 $O(\cdot)$ はビッグオー記法による時間計算量（演算回数のオーダー）を表す。データ点の数（サンプル数）を n 、クラスタ数を k 、特徴量の次元数を d 、収束までのイテレーション回数を i とすると。各イテレーションで：
 - ✧ 各データ点について、全てのクラスタ中心までの距離を計算（ $\rightarrow O(k \cdot d)$ ）
 - ✧ n 個の点に対してこれを実行（ $\rightarrow O(n \cdot k \cdot d)$ ）
- これを i 回繰り返すため、全体で $O(n \cdot k \cdot d \cdot i)$

- イメージ

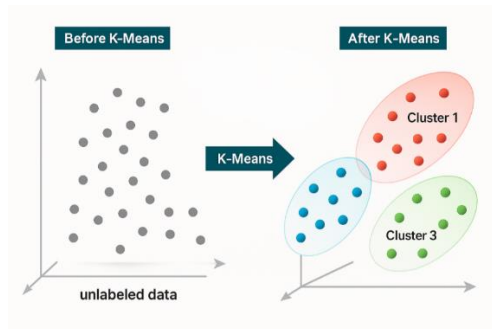


図 4-10 k-means クラスタリングのイメージ

2) 【AL002】 Vision Transformer

● 計算量

- ここで、 $O(\cdot)$ はビッグオー記法による時間計算量（演算回数のオーダー）を表す。画像のパッチ数を P 、パッチの次元を D 、Transformer のレイヤー数を L 、Attention のヘッド数を H 、Attention のヘッドの次元を K とすると
 - ✧ パッチのエンベディングの計算量は $O(PD)$
 - ✧ Attention の計算量は、各レイヤーにおいて $O(P^2HK)$ 。 L レイヤー分で $O(LP^2HK)$
 - ✧ MLP の計算量は、各レイヤーにおいて $O(PD^2)$ 。 L レイヤー分で $O(LPD^2)$
 - ✧ クラストークンの計算量は $O(D)$
- 全体を通しての ViT の計算量は、 $O(PD+LP^2HK+LPD^2+D)=O(LP^2HK+LPD^2)$
- 通常 $P \gg D > H, K$ であることから、ViT の計算量は主に $O(LP^2HK)$

● イメージ

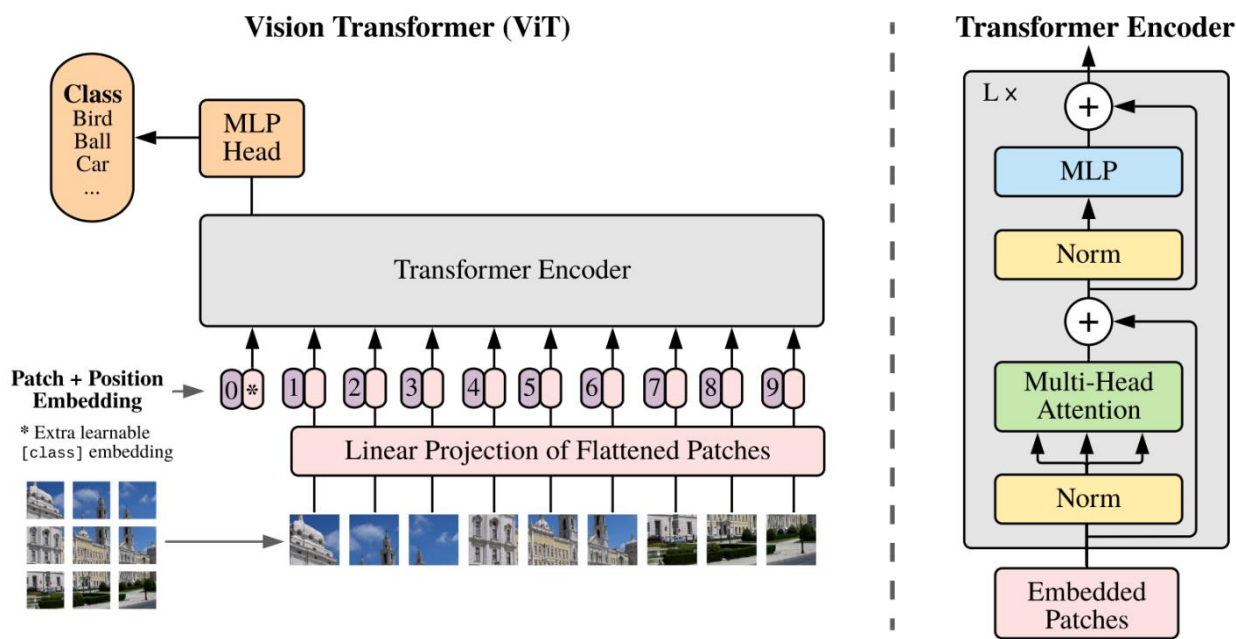


図 4-11 ViT のニューラルネットワークのイメージ

4-3-2. 開発したアルゴリズム

Blender の 3D モデリング環境において、木や建物のマテリアルを自動的に高品質化する機能を開発した。本手法では、衛星画像とオープンソースの建物情報をもとに木や建物を高精度に再現する。木や建物のマテリアル高品質化及び建物屋上のディテールアップの見た目補正のイメージは以下のとおり。後述のアルゴリズムを組み合わせで作成した。

- 見た目補正のイメージ

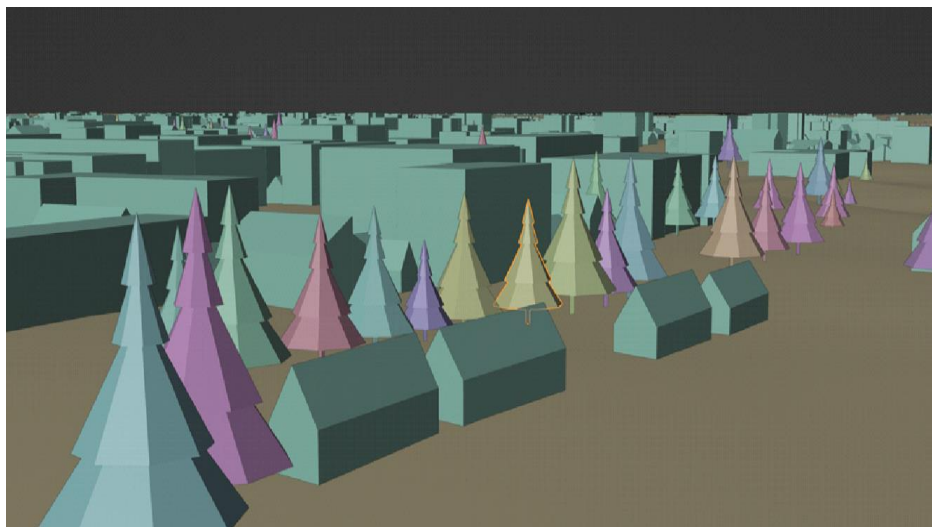


図 4-12 木や建物のマテリアル高品質化 見た目補正前

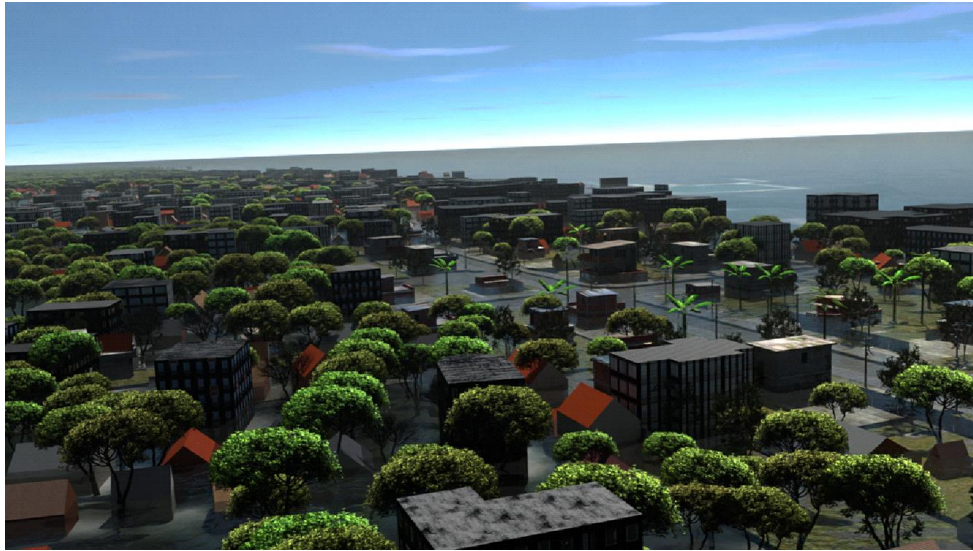


図 4-13 木や建物のマテリアル高品質化 見た目補正後

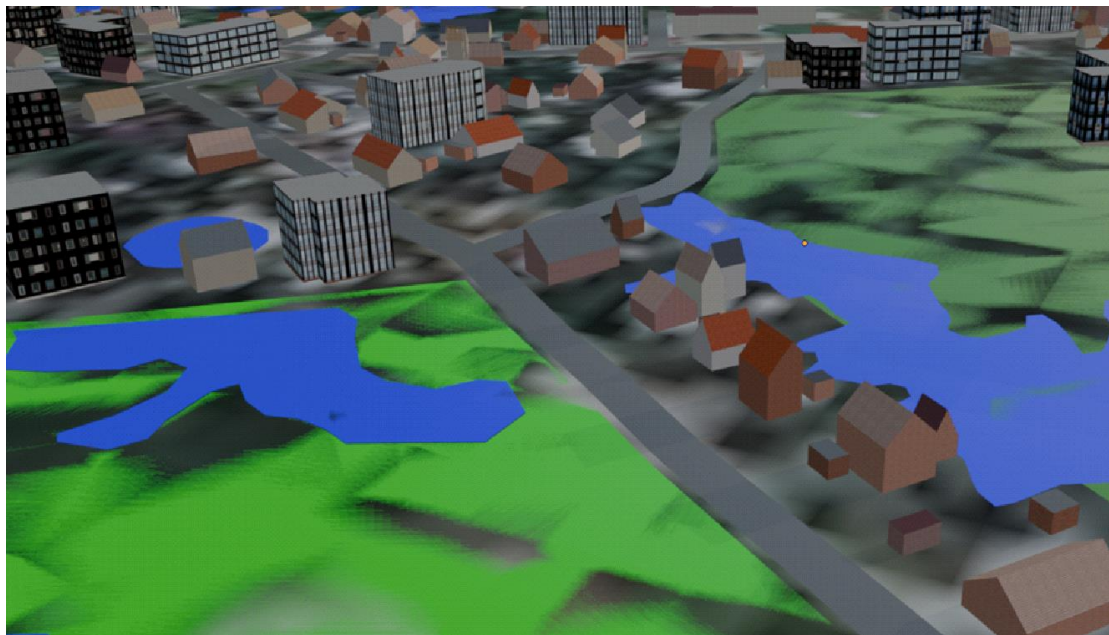


図 4-14 建物屋上のディテールアップ 見た目補正前



図 4-15 建物屋上のディテールアップ 見た目補正後

1) 【AL101】 Subdivision Surface

- 本アルゴリズムを利用する機能
 - 【FN006】 【FN007】
- アルゴリズムの詳細

Subdivision Surface モディファイア（略して「Subdiv」や「Subsurf」とも呼ばれる）は、メッシュの面を細かく分割して滑らかな外観を作り出すために使われます。シンプルで頂点数の少ないメッシュを使いながら、複雑で滑らかな表面を作成することができ、データ量を大幅に増やすことなく、滑らかで「有機的」な見た目のオブジェクトを実現できる。

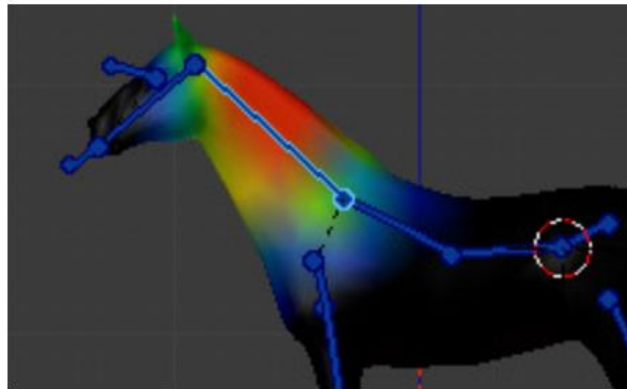


図 4-16 Subdivision Surface のイメージ (©Blender)

2) 【AL102】 Weight Painting

- 本アルゴリズムを利用する機能
 - 【FN006】 【FN007】
- アルゴリズムの詳細

ウェイトペイント (Weight Painting) は、大量のウェイト情報を非常に直感的な方法で管理する手法です。主にメッシュのリギング (骨組み設定) に使用され、頂点グループを使って各ボーンがメッシュにどれだけ影響を与えるかを定義します。しかし、ウェイトペイントはそれだけでなく、パーティクルの発生、ヘアの密度、多くのモディファイアやシェイプキーの制御などにも使用されます。



Vertex group in Weight Paint Mode.

図 4-17 ウェイトペイントモードでの頂点グループ (©Blender)

3) 【AL103】 ジオメトリノードモディファイア

- 本アルゴリズムを利用する機能
 - 【FN006】 【FN007】
- アルゴリズムの詳細

Geometry Nodes (ジオメトリノード) は、ノードベースの操作によってオブジェクトのジオメトリ (形状) を変更するためのシステムです。これを使用するには、ジオメトリノードモディファイアを追加し、ジオメトリノードエディターでノードを設定します。

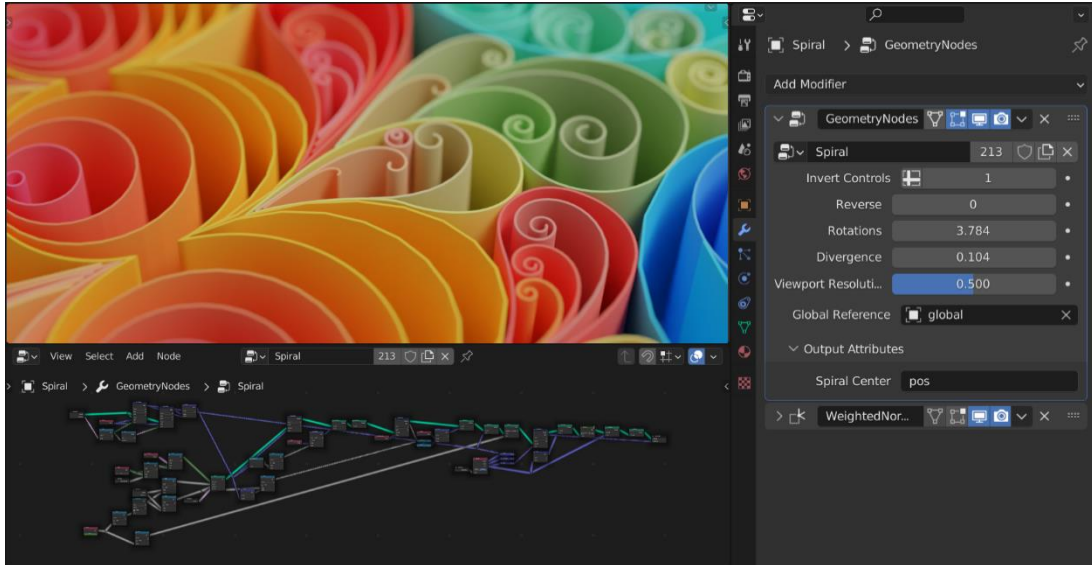


図 4-18 モディファイアースタックの(ジオメトリノード)モディファイアのプロパティ (©Blender)

4) 【AL104】パーティクル配置

- 本アルゴリズムを利用する機能
 - 【FN006】 【FN007】
- アルゴリズムの詳細

パーティクル（粒子）とは、通常は数千単位でメッシュオブジェクトから放出される多数の要素です。各パーティクルは、光の点やメッシュで構成されることがあり、結合されていたり動的に振る舞ったりします。これらはさまざまな影響や力に反応し、寿命という概念も持ちます。動的なパーティクルは、火、煙、霧、ほこり、魔法のエフェクトなどを表現することができる。ヘアタイプのパーティクルは、通常のパーティクルの一種。ヘアシステムはカーブ（曲線）を形成し、髪の毛、毛皮、草、ブラシの毛などを表現できる。パーティクルはパーティクルモディファイアとして表示されますが、全ての設定はパーティクルタブで行われる。

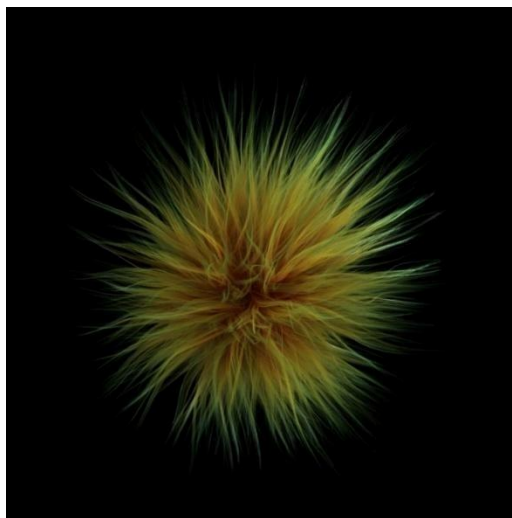


図 4-19 パーティクルで作られた毛皮の一部 (©Blender)

4-4. データインタフェース

4-4-1. ファイル入力インタフェース

- 1) 【IF001】 地理情報の入力
 - 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN001】 【FN005】
 - データ形式
 - 地図情報は XML：データのサンプルは下表 4-6
 - ◇ 属性データ
 - 衛星データ(GeoTIFF 等の緯度経度付き衛星センサデータ)は GeoTIFF
 - DTM データ(GeoTIFF 等の緯度経度付き標高データ)

表 4-6 地図情報及び属性データのサンプル

データ項目	値
建物 ID	116596178
屋根色	#AAAAAA
フットプリント	POLYGON(((11336892.135 329138.6538, … , 11336892.315 329138.6538)))
高さ	10m

4-4-2. ファイル出力インタフェース

- 1) 【IF101】 CityGML ファイル
 - 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN004】
 - データ形式
 - GML ファイル
- 2) 【IF102】 水害シミュレーション動画
 - 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN008】
 - データ形式
 - mp4 ファイル
- 3) 【IF103】 3D モデルアセット配置マップ出力
 - 本インタフェースを利用した機能
 - 【FN009】
 - データ形式
 - .blend

4-4-3. 内部連携インターフェース

1) 【IF201】 地図情報のデータ処理後

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN001】

表 4-7 地図情報のデータ処理後サンプル

データ項目	値
建物 ID	116596178
屋根色	#AAAAAA

2) 【IF202】 機械学習での衛星データから予測した建物属性

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN003】
- データ形式
 - 建物属性値
 - ◇ 屋根色
 - ◇ 屋根形状

表 4-8 衛星データから予測した屋根属性値サンプル

屋根色	屋根形状
#FF00FF	1

3) 【IF203】 地理情報データベースと 3D 都市モデルの建築物モデルを一致させるための緯度経度情報

- 本インターフェースを利用した機能
 - 【FN002】
- データ形式
 - 建物位置情報
 - ◇ 緯度経度ポリゴン

表 4-9 建物位置情報サンプル

緯度経度ポリゴン
POLYGON ((15551040.349594362 4253642.781569757,...))

4) 【IF204】 3D 都市モデルの建物属性データから抽出したデータ

- 本インターフェースを利用した機能

- 【FN004】
- データ形式
 - DTM データ(GeoTIFF 等の緯度経度付き標高データ)

4-4-4. 外部連携インターフェース

本プロジェクトにおいて、外部とのデータ連携は実施しない。

4-5. 実証に用いたデータ

- 1) 利用した衛星データ
 - ソース：Pleiades
 - 都市名：マレーシア セランゴール州 セメニー (Semenyih)



図 4-20 衛星画像 © Airbus DS

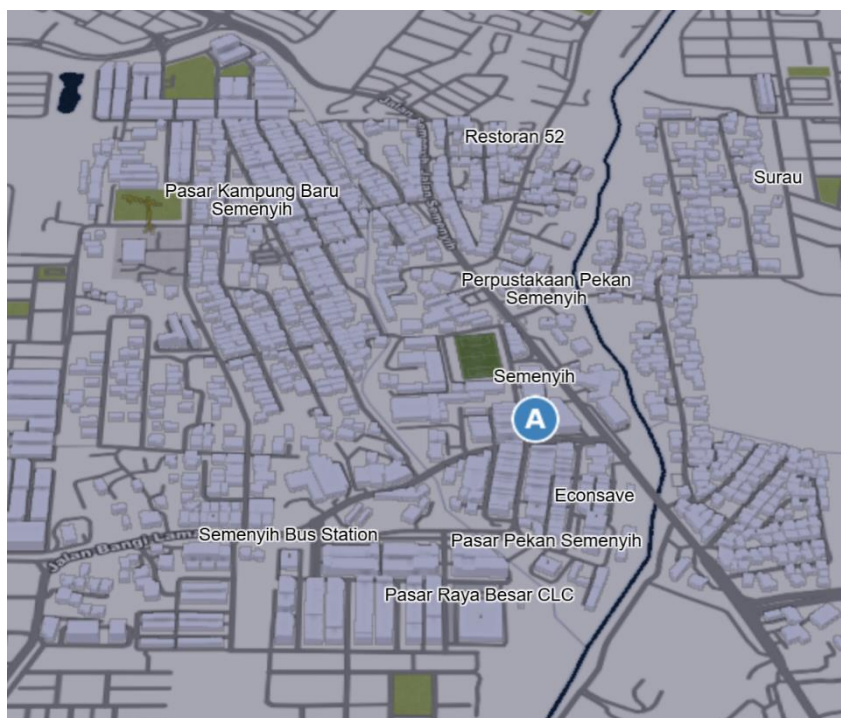
2) 利用したデータ

1. データ一覧

表 4-10 利用するその他データ (一覧)

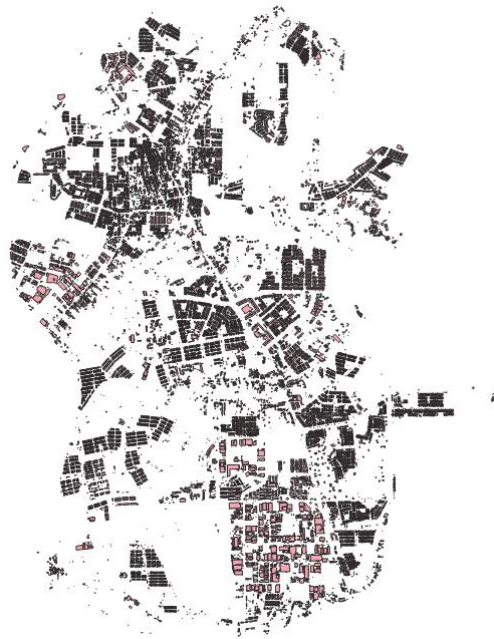
ID	データ名称	内容	データ形式	更新情報	出所	データを利用した機能 (ID)
DT101	OpenStreetMap	マッパーによる手動入力及び建物の輪郭の半自動抽出	shp	随時	OpenStreetMap	FN001 FN005
DT102	Google Open Buildings dataset	高解像度の衛星画像から抽出された建物の輪郭が含まれている	shp	2022年8月 又は 2023年5月	Google	FN001 FN005

2. データサンプル (イメージ)



Map data from OpenStreetMap

図 4-21 OpenStreetmap



©Google

図 4-22 Google Open Buildings dataset

4-6. ユーザーインターフェース

4-6-1. 画面一覧

【HW001】 PC 用画面

表 4-11 【HW001】 PC 用画面一覧

ID	連携 (ID)	画面名	説明	画面を表示した機能 (ID)
SC001	-	CityGML ファイル取り込み	<ul style="list-style-type: none"> ● CityGML ファイルを取り込むため 	FN007
SC002	-	プロジェクト取り込み	<ul style="list-style-type: none"> ● プロジェクトを取り込むため 	FN007
SC003	-	オブジェクト表示切替え	<ul style="list-style-type: none"> ● オブジェクト表示を切り替えるため 	FN007

4-6-2. 画面遷移図

【HW001】 PC 用画面

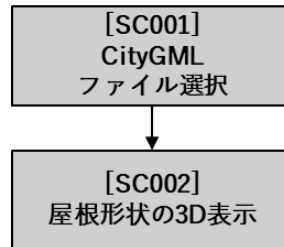


図 4-23 【HW001】 PC 用画面遷移図

4-6-3. 各画面仕様詳細

【HW001】 PC 用画面

1. 【SC001】 CityGML ファイル取り込み

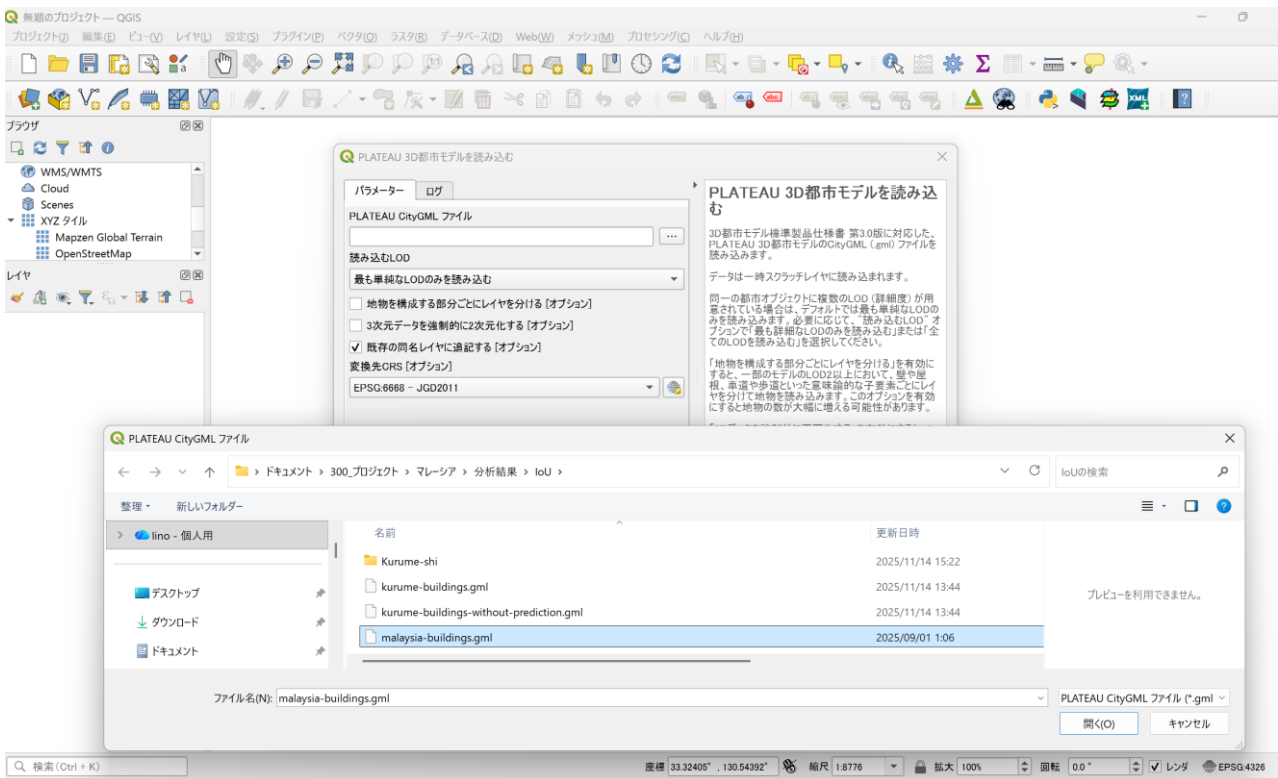


図 4-24 QGIS の画面

- 本画面の目的
 - QGIS の PLATEAU アドオンを用いて、取り込む CityGML ファイルを選択する。

2. 【SC002】 屋根の形状の 3D 表示



図 4-25 QGIS で表示した 3D の屋根

- 本画面の目的
 - QGIS の Qgis2threejs exporter アドオンを用いて、屋根の形状を 3D 表示する。

4-7. 実証システムの利用手順

4-7-1. 実証システムの利用フロー

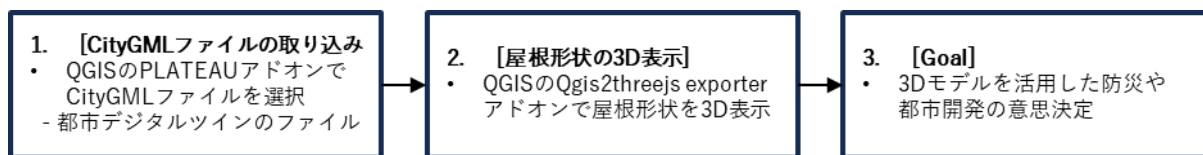


図 4-26 システムの利用フロー

1. 対象とする CityGML ファイルを取り込み、2. 屋根形状の 3D 表示を行い、3. 作成した都市デジタルツインを活用し、防災や都市開発に関する意思決定をしていく

4-7-2. 各画面操作方法

建物、地物の選択

- 3D ビュー上で建物をマウス選択し、属性等の詳細を確認する

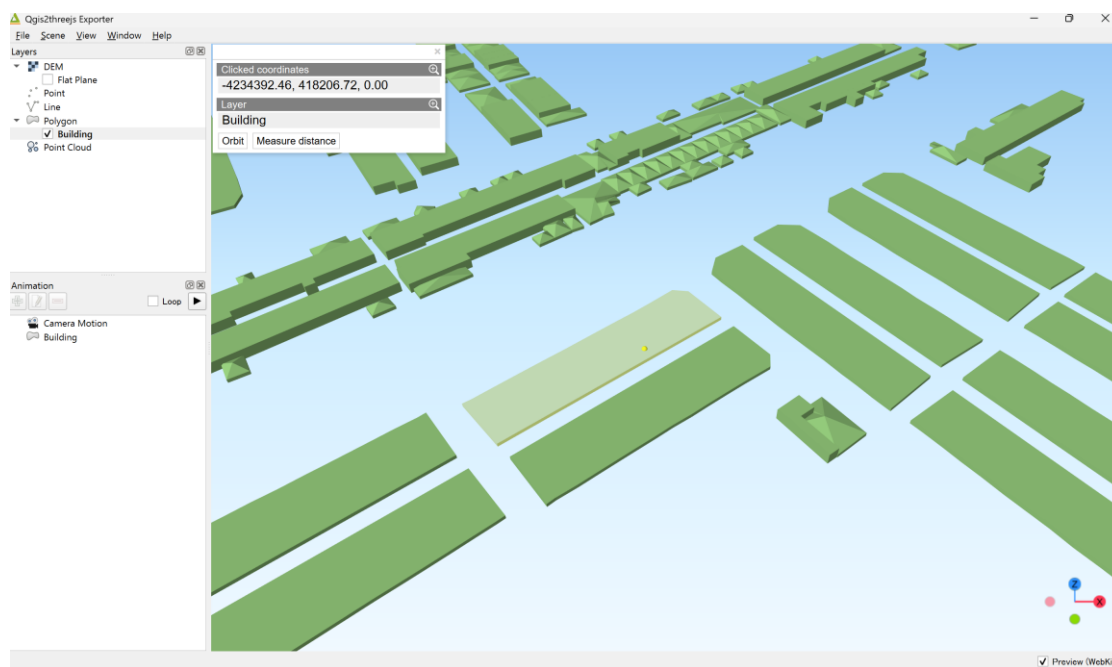


図 4-27 QGIS 上での建物、地物の選択

5. システムの非機能要件

5-1. 社会実装に向けた非機能要件

表 5-1 非機能要件一覧

カテゴリ	ID	項目	詳細
可用性	NR001	連続稼働時間	<ul style="list-style-type: none"> 業務を実施する就業時間内（8 時間を目途）の連続稼働を確保すること
性能・拡張性	NR002	データの読込速度	<ul style="list-style-type: none"> ユーザーが不快に感じることなくシステム運用を行うことを想定し、各種インプットデータの読込を 10 秒以内でおこなうこと
運用・保守性	NR003	開発コスト削減	<ul style="list-style-type: none"> 都市デジタルツインの作成のための開発コストが従来の方法に比べて十分に削減されていること
その他	NR004	操作性	<ul style="list-style-type: none"> 本システムの主なユーザーは海外政府機関、自治体のオフィサー等であることに鑑み、簡素かつ明快的な操作性を設計すること

1) 【NR001】システムの連続稼働時間

- 本非機能要件を適用するシステム
 - HW001
- 目標値
 - 8 時間
- 設定理由
 - 業務を実施する就業時間内で利用できることが求められる。そのため 7.5-8 時間の連続稼働時間を確保する。
- 評価方法
 - 評価不要

2) 【NR002】データの読込速度

- 本非機能要件を適用するシステム
 - HW001
- 目標値
 - 10 秒以内
- 設定理由
 - ユーザーが不快に感じることなくシステム運用を行うことを想定し、各種インプットデータの読込時間の 10 秒以内を確保する。

- 評価方法
 - 評価不要

- 3) 【NR003】 開発コスト削減
 - 本非機能要件を適用するシステム
 - HW001
 - 目標値
 - 90%削減
 - 設定理由
 - 3D都市モデルの整備においては、航空測量や地上レーザー測量などの現地測量工程がコスト構成の主要因を占める。一方、本研究で対象とする都市デジタルツインは、衛星画像及びオープンデータを活用し、現地測量を実施せずにモデルを生成する手法である。これにより、測量・データ取得にかかる費用を大幅に削減できるため。
 - 評価方法
 - 評価不要

- 4) 【NR004】 操作性
 - 本非機能要件を適用するシステム
 - HW001
 - 目標値
 - 海外政府機関、自治体のオフィサーにとって簡素かつ明快な操作性がある。
 - 設定理由
 - 本システムの主なユーザーは海外政府機関、自治体のオフィサー等であることに鑑み、簡素かつ明快な操作性が求められるため。
 - 評価方法
 - 評価不要

5-2. 有用性検証に向けた非機能要件

表 5-2 非機能要件一覧

カテゴリ	ID	項目	詳細
作成コスト	NR001	都市デジタルツインデータの作成コスト	作成した都市デジタルツインデータについて、国内における既存の 3D 都市モデル（「3D 都市モデル標準製品仕様書」、「3D 都市モデル標準作業手順書」、「3D 都市モデル整備のための測量マニュアル」等に基づいて作成されたもの）等と比較しつつ、作成コストの観点から、有用性を検証する

【NR101】作成コスト削減率

- 本非機能要件を適用するシステム
 - 都市デジタルツイン作成システム
- 目標値
 - 90%
- 設定理由
 - 3D 都市モデルの整備においては、航空測量や地上レーザー測量などの現地測量工程がコスト構成の主要因を占める。一方、本研究で対象とする都市デジタルツインは、衛星画像及びオープンデータを活用し、現地測量を実施せずにモデルを生成する手法である。これにより、測量・データ取得にかかる費用を大幅に削減できることから、従来手法比で 90% のコスト削減効果を想定する
- 評価方法
 - 3D 都市モデル整備費試算ツールで試算した国内における既存の 3D 都市モデルの作成コストと比較して 90% 減となることを確認する

6. 品質

6-1. 機能要件の品質担保

表 6-1 機能要件の品質担保方針

対象システム	試験項目	確認内容	試験期間	アクティビティ
都市デジタルツインモデルの技術検証	ドローン計測データとの位置正確度	ドローンでの計測データとアウトプットデータの建物の重複率を測定	2025年9月～2026年3月	検証
	3D都市モデルとの位置正確度	日本のあるエリアで同じ手法で作成したデータと、3D都市モデルの建物の重複率を測定		
	作成コスト	完成までに必要なコストと時間を測定		
ユースケース検証	アンケートによる有用性検証	都市デジタルツインを活用した水害シミュレーション結果などに対してニーズ主体からのヒアリング結果により評価	2025年9月～2026年3月	政府機関関係者へのヒアリング

6-2. 非機能要件の品質担保

表 6-2 非機能要件の品質担保方針

対象システム	試験項目	確認内容	試験期間	アクティビティ
作成コスト	作成コスト、時間	完成までに必要なコストと時間が従来に比べて減る	2025年9月～2026年3月	検証

7. 実証技術の機能要件の検証

7-1. ドローンデータと位置情報の比較による位置精度の検証

7-1-1. 検証目的

下記の検証により、都市スケールでの AI を活用した都市デジタルツイン作成技術の信頼性向上を図るとともに、高精度な地上計測が困難な地域においても、低コストで整備可能な都市デジタルツインの実用性を明らかにすることを目的とする。

- 衛星データとオープンデータの建物データから AI を活用して作成した都市デジタルツインデータにおける建物配置の位置精度を検証する。作成した都市デジタルツインデータの建物位置情報と現地の研究機関によるドローンによる現地計測データを基にした DEM の重複率を比較して、位置精度を検証することで、アルゴリズムの有用性を検証する
- 検証条件の前提として、新興国では 3D 都市モデルが存在せず、建物の正確な位置情報が入手できない。そこで現地計測したデータとの比較を行うため、現地研究機関の協力により、ドローンでの計測データを取得する。ドローンの計測データと作成した都市デジタルツインデータの建物位置の比較を行う

7-1-2. KPI

表 7-1 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	IoU (Intersection over Union)	0.5	<ul style="list-style-type: none"> ● 作成された都市デジタルツインには、地図データや建物ポリゴンなどの高信頼なオープンデータも用いられており、平面上での建物配置は比較的一致していることが期待されるため、一定の重複率は確保できると考えられる ● 現在のアルゴリズムでは土地の高低差や建物の高さに関する情報を十分に考慮できていないため、3次元的な形状一致には限りがあり、実際の計測データとは差異が生じる可能性がある ● DEM については、ドローン計測によるセンサノイズや解析処理の誤差を含むため、基準データとしての完全性に限界がある ● 過年度の 3D 都市モデルの高精度都市デジタルツイン構築実証実験業務において作成した 3D モデルと 3D 都市モデルの IoU は 0.6 と設定していた ● 以上を踏まえ、平面精度は高いが垂直精度には一定の誤差が含まれるという前提のもと、実用的かつ改善余地を残す指標として、IoU 0.5 を目標値とした 	<ul style="list-style-type: none"> ● 位置精度の調査と検証

IoU：2 種類のポリゴンデータなどがどれだけ重なっているかを示す指標であり、一般的に画像処理や地理情報システム（GIS）の分野で利用される

7-1-3. 検証方法と検証シナリオ

位置精度の評価は、現地研究機関の協力を得て実施したドローンの現地計測データをもとに行われた。検証機材には「DJI Mavic 2 Enterprise Dual (thermal)」を使用し、地上解像度 3.47cm の高精細な撮影を実施する。また、4 点の基準点を用いたジオリファレンスを施すことで、平均 RMS 誤差 0.004m という極めて高い精度での計測を実現した。

解析工程では、取得データから樹木や建物を含む地表高を示す「DSM (数値表層モデル)」を生成し、そこから地面のみの高さである「DEM (数値標高モデル)」を差し引くことで、対象物自体の高さを示す「nDSM (正規化数値表層モデル)」を抽出する。建物の抽出にあたっては、一般車両や塀などの非建物オブジェクトを除外しつつ、平屋住宅を過不足なく捉えるため、判別しきい値を 3.0m に設定する。これにより、ノイズを抑制しながら精緻な建物データの抽出を行う。

【利用するドローンの情報】

- 機種：DJI Mavic 2 Enterprise Dual (thermal)
- 地上解像度 (GSD)：3.47 cm
- ジオリファレンス (位置合わせ)：4 点の基準点 (GCP: Ground Control Points)
- 平均 RMS 誤差：0.004m

【IoU (Intersection over Union) の算出方法】

生成した都市デジタルツインとドローンで取得した DEM・DSM から推定した建物と生成した都市デジタルツインの地面ポリゴン情報の重なりから IoU を計算する。

分子：交差部分の面積 (比較対象のポリゴンが重なり合う部分の面積)

分母：合併部分の面積 (比較対象のポリゴンの重なり合う部分と重なり合わない部分を含む全体の面積)

$$\text{IoU} = \frac{\text{交差部分の面積}}{\text{合併部分の面積}}$$

表 7-2 検証シナリオ一覧（位置精度精度）

No.	検証方法	エリア	検証シナリオ
1	位置精度算出	マレーシア セランゴール州 セメニー (Semenyih) University of Nottingham Malaysia 近辺	IoU を用いて生成した都市デジタルツインとドローンで取得した DEM・DSM から推定した建物の高さの交差部分の面積を比較する

色の違いが地形の高さ（標高）を示す（単位はm）

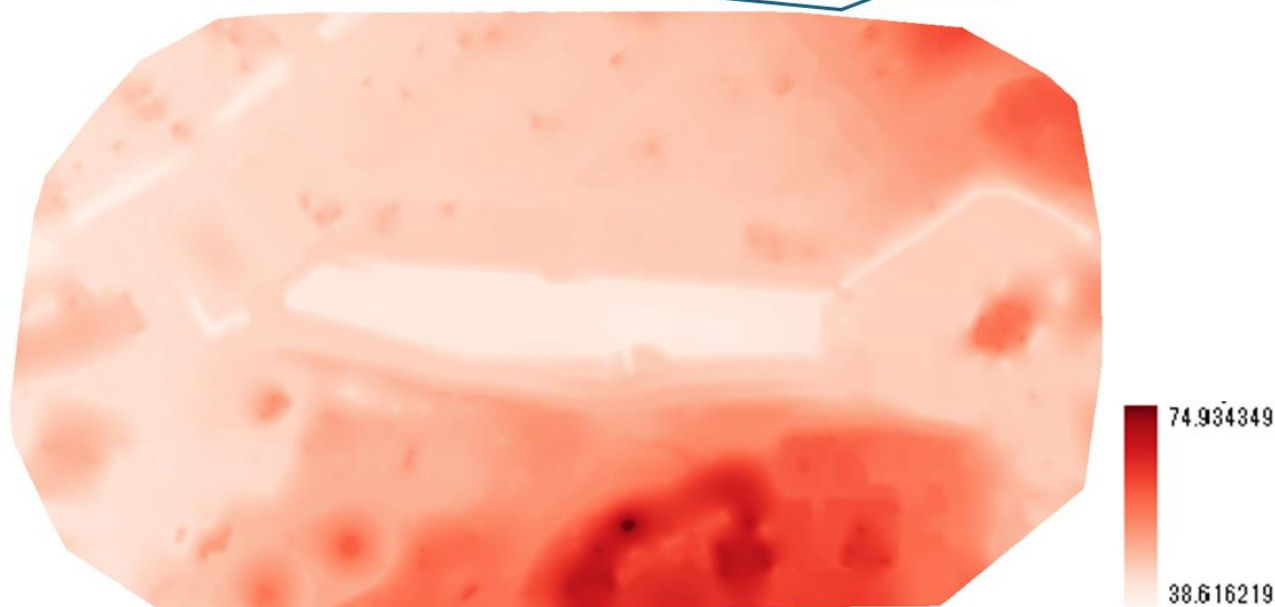


図 7-1 ドローン計測データを基にした DEM の例

7-1-4. 検証結果

1) 建物位置推定精度

● 検証結果まとめ

- 生成した都市デジタルツインとドローンで取得した DEM・DSM から推定した建物の高さの交差部分の面積を比較したところ、KPI 0.5 を上回る 0.74 の IoU を達成した。

表 7-3 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
			評価値	
建物とドローン計測データの重なり	IoU	0.5 以上	0.74	● 細かい形で差異があるが、建物の大部分のエリアが重なっており、KPI を達成した

【建物とドローン計測データの重なり】

評価指標：IoU=0.74 (KPI の 0.5 以上を達成)

ドローンから地上にレーザー光を照射して、広範囲に高密度・高精度の標高データを取得した標高データを使って、人工物・樹木等の高さを推測することができる。標高データには以下の 2 種類ある。

DSM (Digital Surface Model): 樹木や建物の上の高さを計測した数値表層モデル

DEM (Digital Elevation Model): 地面の高さを計測した数値標高モデル (国土地理院, 2011)

マレーシア現地研究機関の協力を得て、ドローンを用いて DEM と DSM の現地計測を行った結果を図 7-2 と図 7-3 に示す。また DSM から DEM の差分を引いた数値を図 7-4 に示す。次に建物 (木等も含む) の閾値として採用した 3m 以上のピクセルを青色で表示した結果を図 7-5 に示す。

一方で衛星データとオープンデータの建物データから AI を活用して作成した都市デジタルツインの建物は図 7-6 の通りである。この建物のピクセルと図 7-4 のピクセルの IoU を算出した結果は **0.74** となり、KPI の 0.5 を超える値となった。図 7-7 に示す通り建物の大部分のエリアは重なっていることが確認できた。このように高い値となった理由は、AI が作成した建物データの幾何学的歪みが抑えられており、計測データに対して水平方向で高い位置精度で整合したためであると考えられる。また、本検証ではドローン計測による高精度な DSM-DEM を用いており、評価結果の信頼性は高いと考えられる。

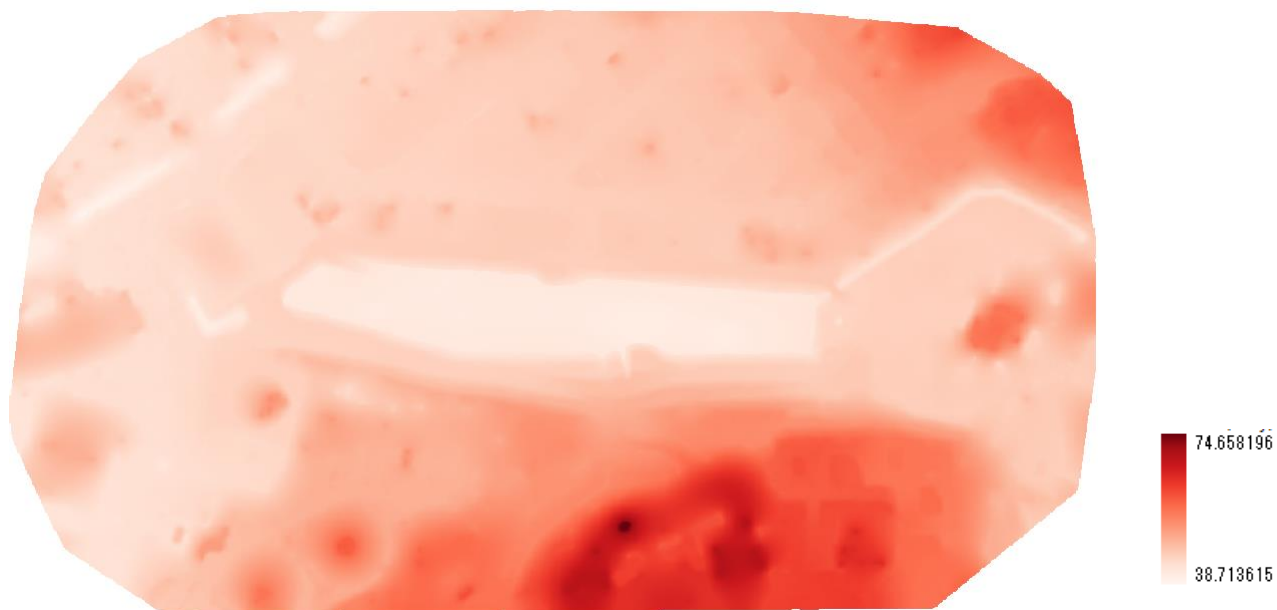


図 7-2 ドローン計測データを基にした DEM

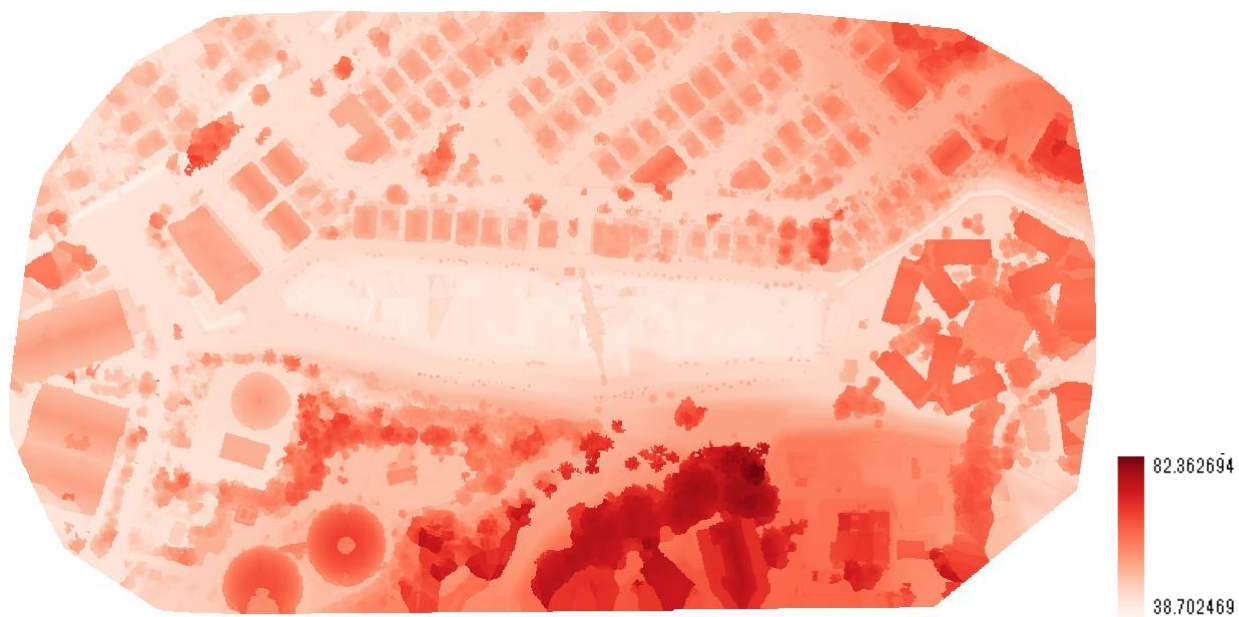


図 7-3 ドローン計測データを基にした DSM

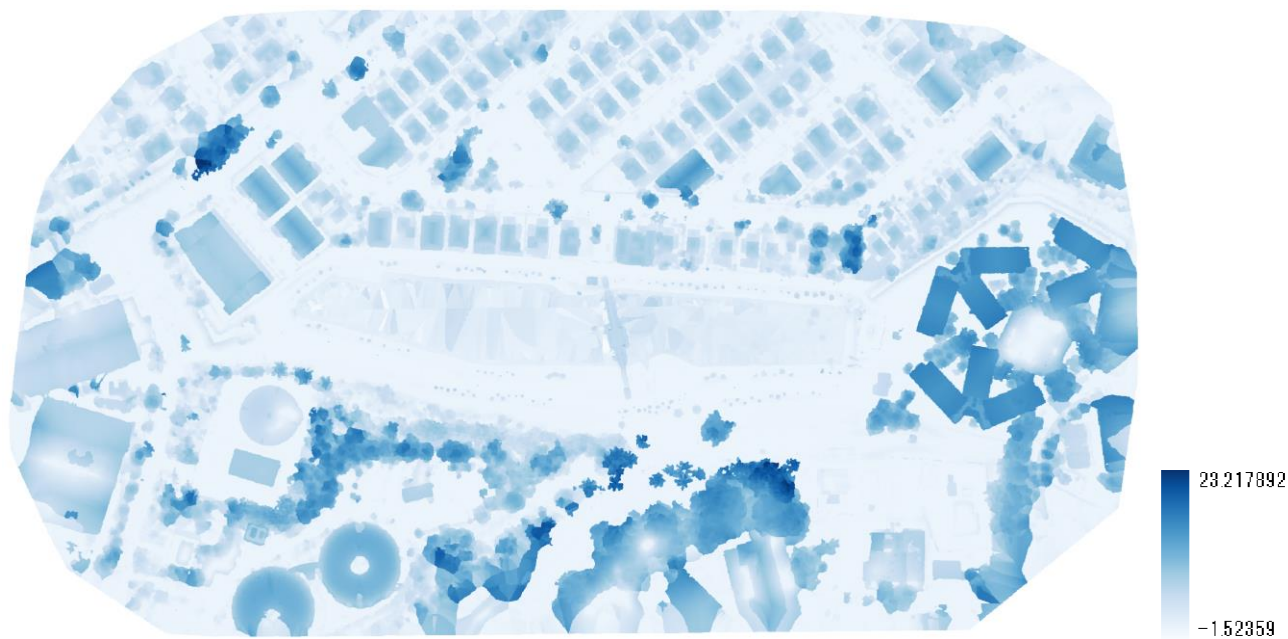


図 7-4 DSM-DEM

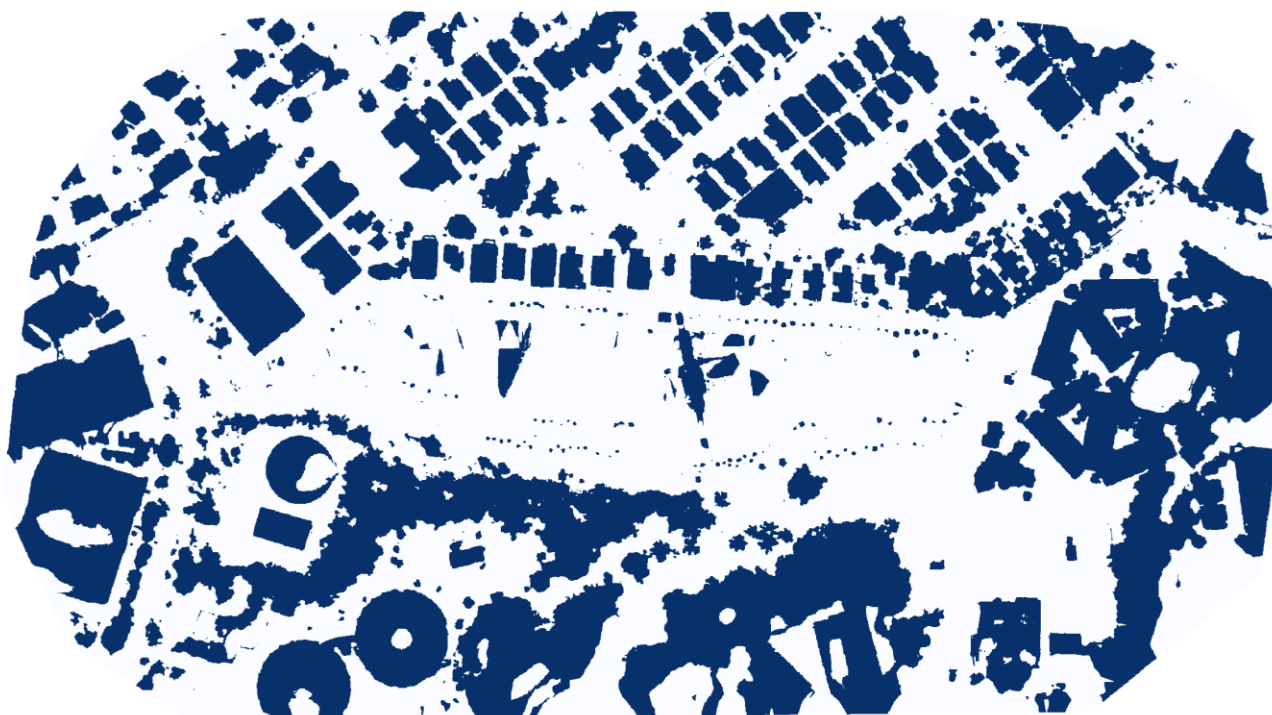


図 7-5 (DSM-DEM) が 3m 以上のエリア

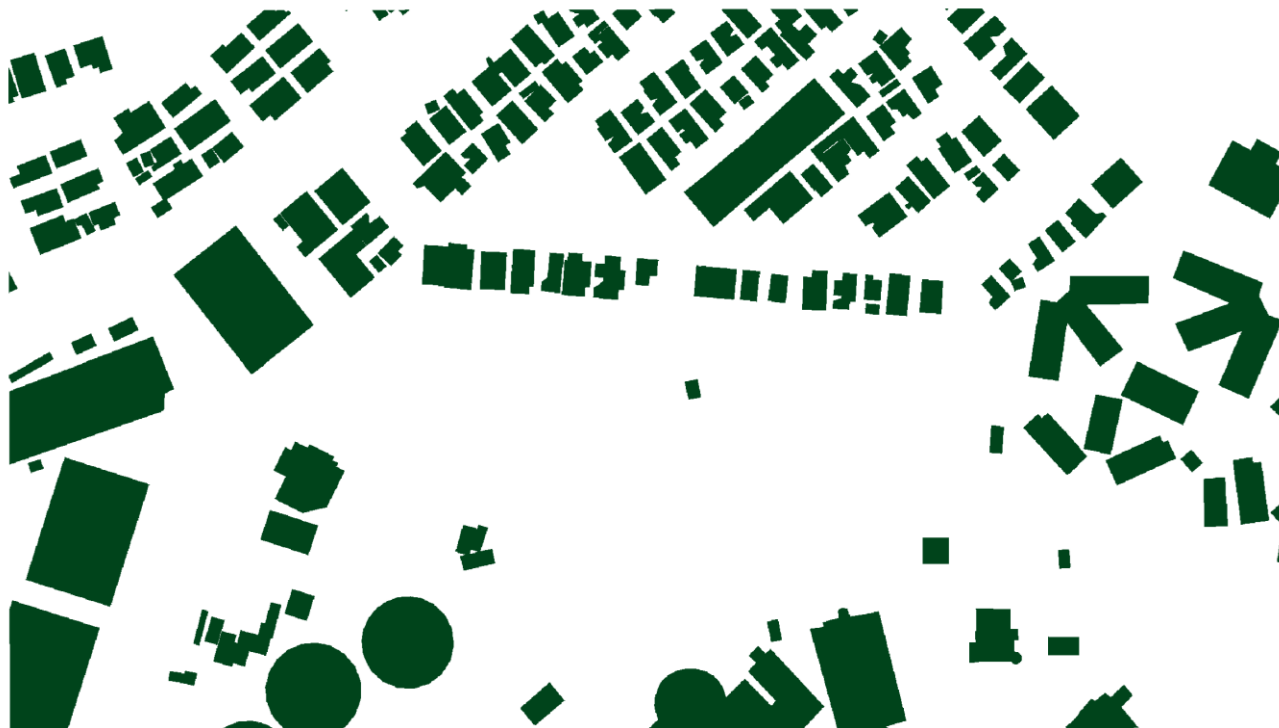


図 7-6 AI を活用して作成した都市デジタルツインデータの建物

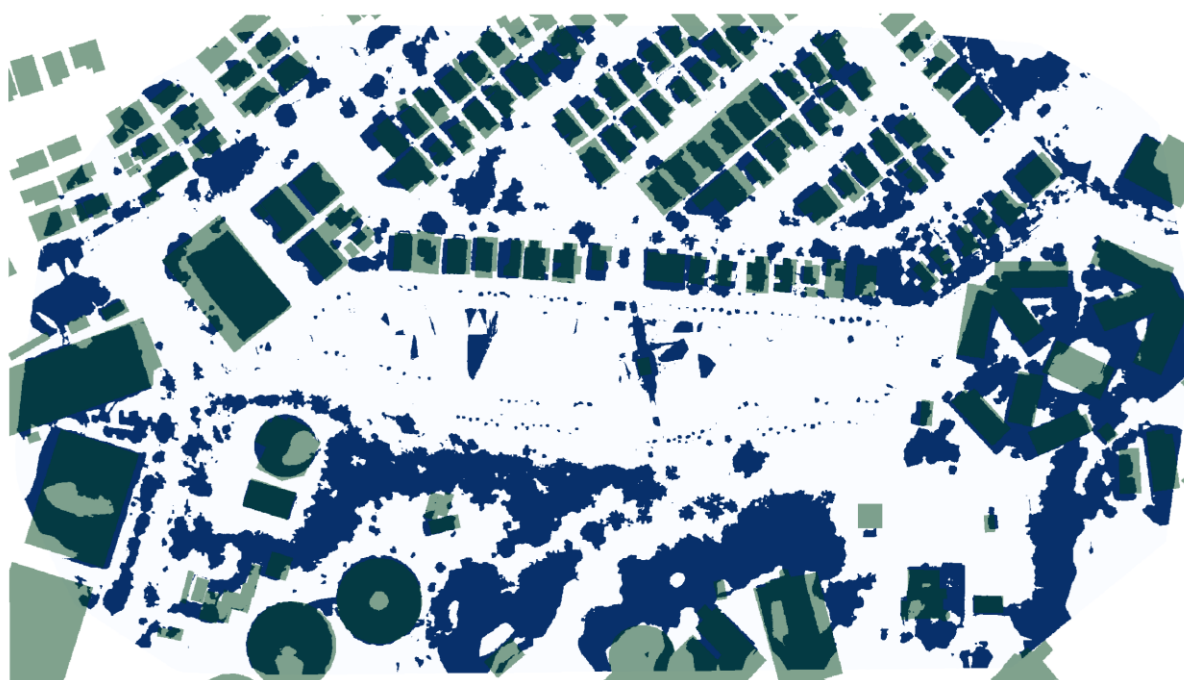


図 7-7 都市デジタルツインデータの建物と（DSM-DEM）が3 m以上のエリアの比較

7-2. 日本の都市デジタルツインと 3D 都市モデルの比較による位置精度検証

7-2-1. 検証目的

新興国等においては現時点で 3D 都市モデルが整備されていない地域がほとんどであるため、作成した都市デジタルツインとの厳密な位置精度の評価を行うことが困難である。そのため、本プロジェクトで確立した手法を用いて日本において 3D 都市モデルが整備されている地域を対象に都市デジタルツインを作成し、公開されている 3D 都市モデルの建物データとの位置精度比較を通じて、本手法の位置精度評価を実施する。尚、Project PLATEAU で整備されている 3D 都市モデルは、公共測量成果としての位置精度の評価がされており、位置精度が担保されている。

- 日本のあるエリアに対して構築した都市デジタルツインと 3D 都市モデルの建物の重複率を測定し、地方自治体や研究機関が防災対策等に活用するために十分な精度を有しているか検証する
- 作成した都市デジタルツインデータの建物位置情報と 3D 都市モデルデータの建物の重複率を比較して、位置精度を検証することで、本手法の位置精度を検証する

これらの検証により、日本国内において 3D 都市モデル（Project PLATEAU 等）によって位置精度が担保された地域を評価対象とし、信頼性の高い基準データを用いて、都市デジタルツインの位置精度を定量的に評価する手法を確立する。これにより、3D 都市モデルが存在しない海外地域でも評価可能な枠組みを提供することができる。また本プロジェクトで確立した手法を日本国内で検証し、十分な精度が得られれば、その評価手法と構築アルゴリズムは、将来的に新興国など 3D 都市モデル未整備地域への展開が可能となる。これは、AI と衛星データを活用した都市モデリングの信頼性を担保し、国際的な都市計画、防災等の施策への応用を促進する。

7-2-2. KPI

表 7-4 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	IoU（Intersection over Union）	0.6	● 作成された都市デジタルツインには、地図データや建物ポリゴンなどの高信頼なオープンデータも用いられており、平面上での建物配置は比較的一致していることが期待されるため、一定の重複率は確保できると考えられる	● 位置精度の調査と検証

		<ul style="list-style-type: none"> ● 現在のアルゴリズムでは土地の高低差や建物の高さに関する情報を十分に考慮できていないため、3次元的な形状一致には限りがあり、実際の計測データとは差異が生じるおそれがある ● 過年度の3D都市モデルの高精度都市デジタルツイン構築実証実験業務において作成した3Dモデルと3D都市モデルのIoUは0.6と設定しており、同等の目標値を設定した 	
--	--	---	--

7-2-3. 検証方法と検証シナリオ

a. 都市デジタルツインの作成

- 3D都市モデルが整備されている日本の都市を対象とした都市デジタルツインを作成する。

b. 位置精度の検証

- 3D都市モデルと平面図における建物敷地の一致度を、7-1と同様にIoUで評価する。
- OpenStreetMap等のオープンデータは建物データの欠損があるため、選定したエリア全体において、作成した都市デジタルツインと3D都市モデルの建物の重複率を比較するだけでは、IoUの値が低くなる。そこで、両方のデータで建物の一部が重なっている建物のみを対象としたIoUの評価も行う。

表 7-5 検証シナリオ一覧（位置精度）

No.	検証方法	エリア	検証シナリオ
1	位置精度算出	福岡県久留米市	IoUを用いて3D都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの交差部分の面積を比較する
2	位置精度算出	福岡県久留米市	IoUを用いて3D都市モデルの建物データと生成した都市デジタルツインデータの建物データの一部が重なっている建物を対象とし、両方のデータの交差部分の面積を比較する

7-2-4. 検証結果

1) 建物位置推定精度

- 検証結果まとめ
 - 3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの交差部分の面積を比較したところ、KPI 0.6 に対して 0.55 であった。
 - データを取得した年度が異なること、データ取得方法の違い等により、エリアによってそれぞれ過不足があるが、全体的には建物が重なる部分が多かった。

表 7-6 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
			評価値	
3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なり	IoU	0.6 以上	0.55	<ul style="list-style-type: none"> ● 建物の位置としては一致している場所が多いが、建物の形の違いなどの影響を受けた。 ● 2つの元データの年度の違い、データ取得方法により IoU の値が想定よりも高くなかった。

a. 3D 都市モデルの建物データと生成した都市デジタルツインデータの建物データ
 評価指標：IoU=0.55 (KPI 0.6)

生成された都市デジタルツインの久留米市内の建物と 3D 都市モデルにおける久留米市内の建物をそれぞれ図 7-8 と図 7-9 に示す。3D 都市モデルと都市デジタルツインを比較すると、建物数において約 1.5 万軒の増加が見られる。具体的には、3D 都市モデル（2020 年更新）の 102,376 軒に対し、都市デジタルツイン（～2025 年更新）では 117,351 軒へと拡大している。データを取得した年度が異なること、データ取得方法の違い等により、エリアによってそれぞれ過不足があるが、全体的には建物が重なる部分が多い。IoU の分布は図 7-10 の通り、IoU 0.1 以下が最も多く、その次に 0.5-0.7 の建物が多かった。IoU0.2 以下の建物は、主に「比較対象ではない建物との重なり部分」であり、ノイズとして処理することができるため、0.2 以下のノイズを除外した。例を図 7-11, 7-12, 7-13 に示す。3D 都市モデルの建物のデータが都市デジタルツインの建物よりも大きくなっている場所が多く、IoU の値に影響を与えている。

3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なり状況を図 7-14, 7-15, 7-16, 7-17 に示す。

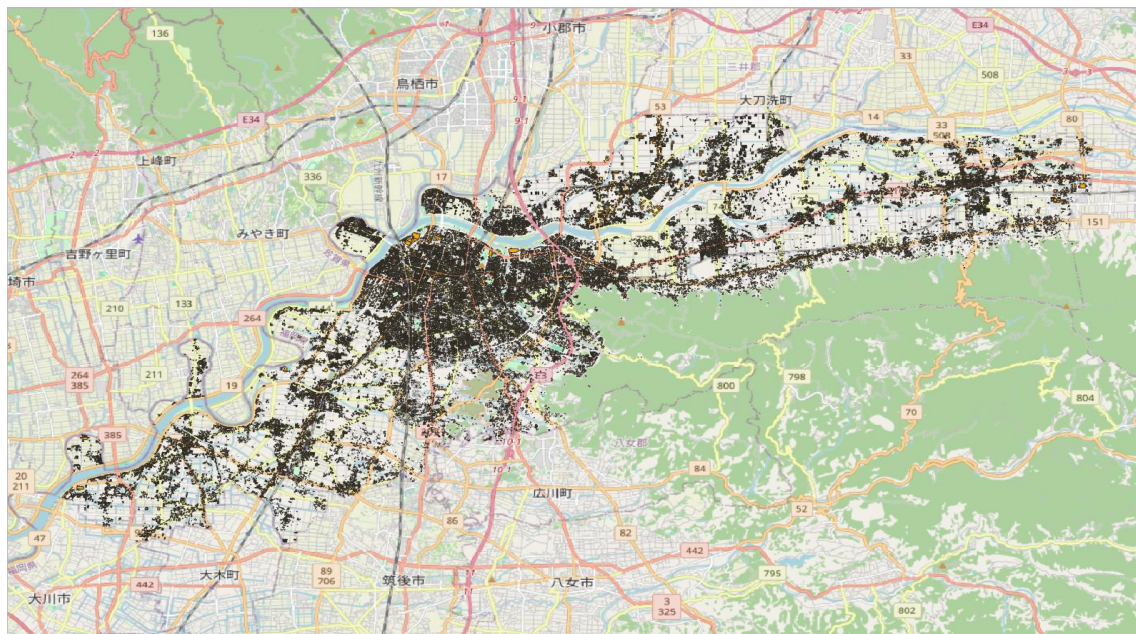


図 7-8 生成された都市デジタルツインの久留米市内の建物 (Map data from OpenStreetMap)

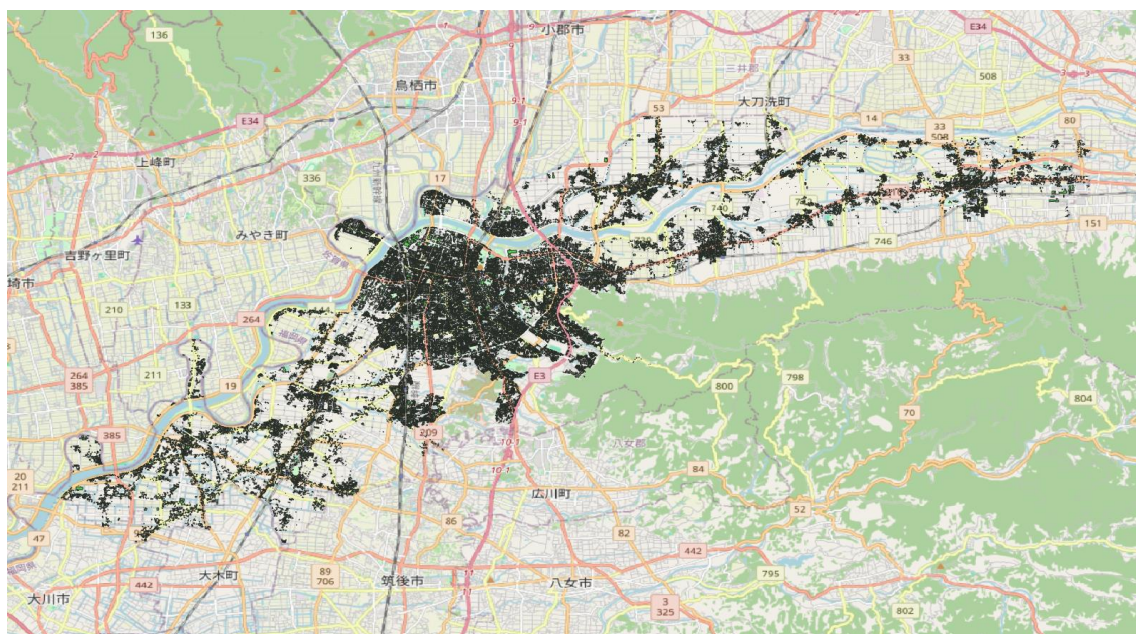


図 7-9 3D 都市モデルにおける久留米市内の建物 (Map data from OpenStreetMap)

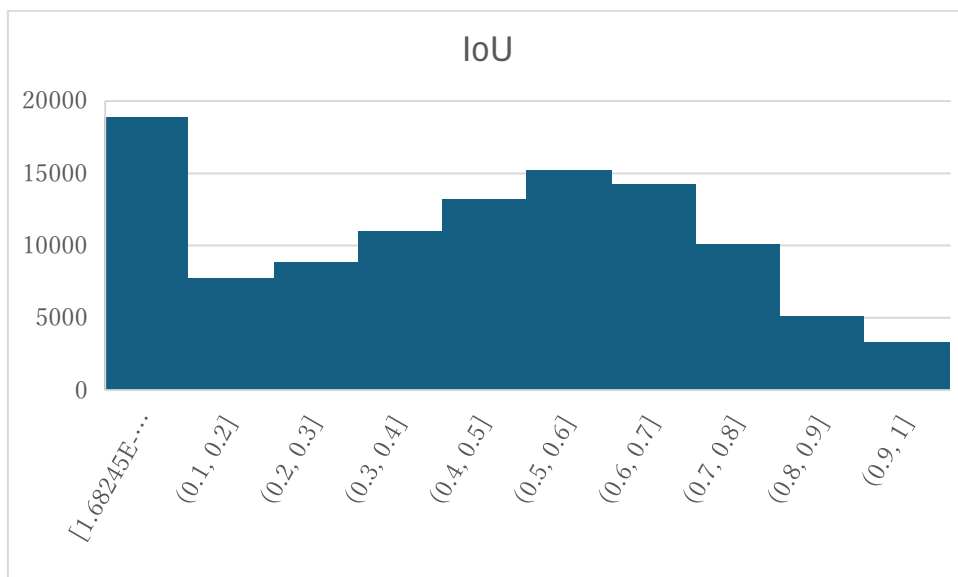


図 7-10 IoU の分布

表 7-7 検証結果サマリー

	0.2 以下のノイズを除外	全て含む
IoU	0.55	0.43

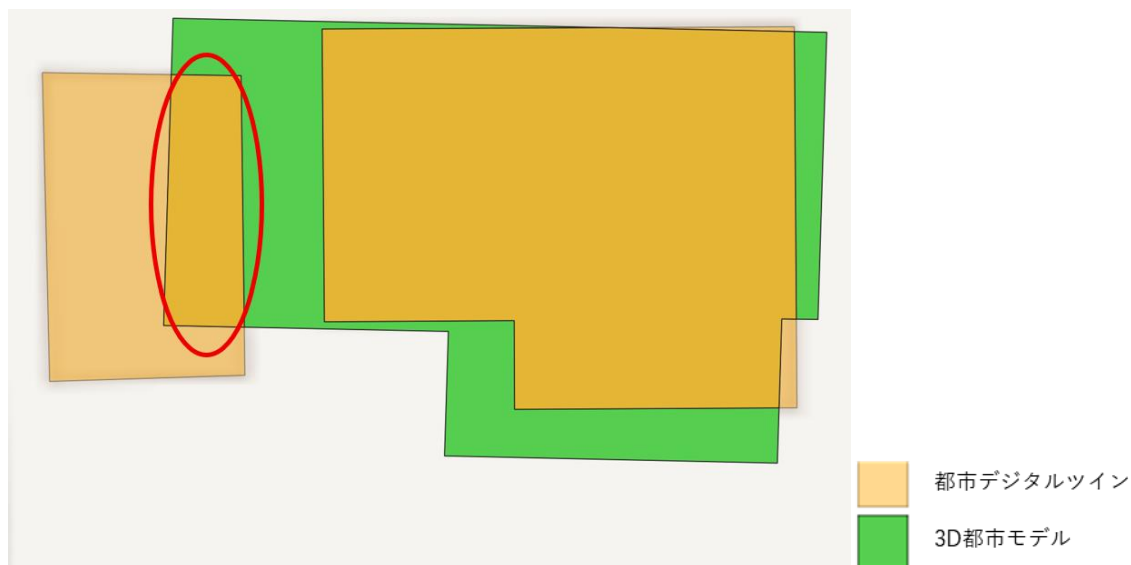


図 7-11 IoU 0.07 の建物の重なり

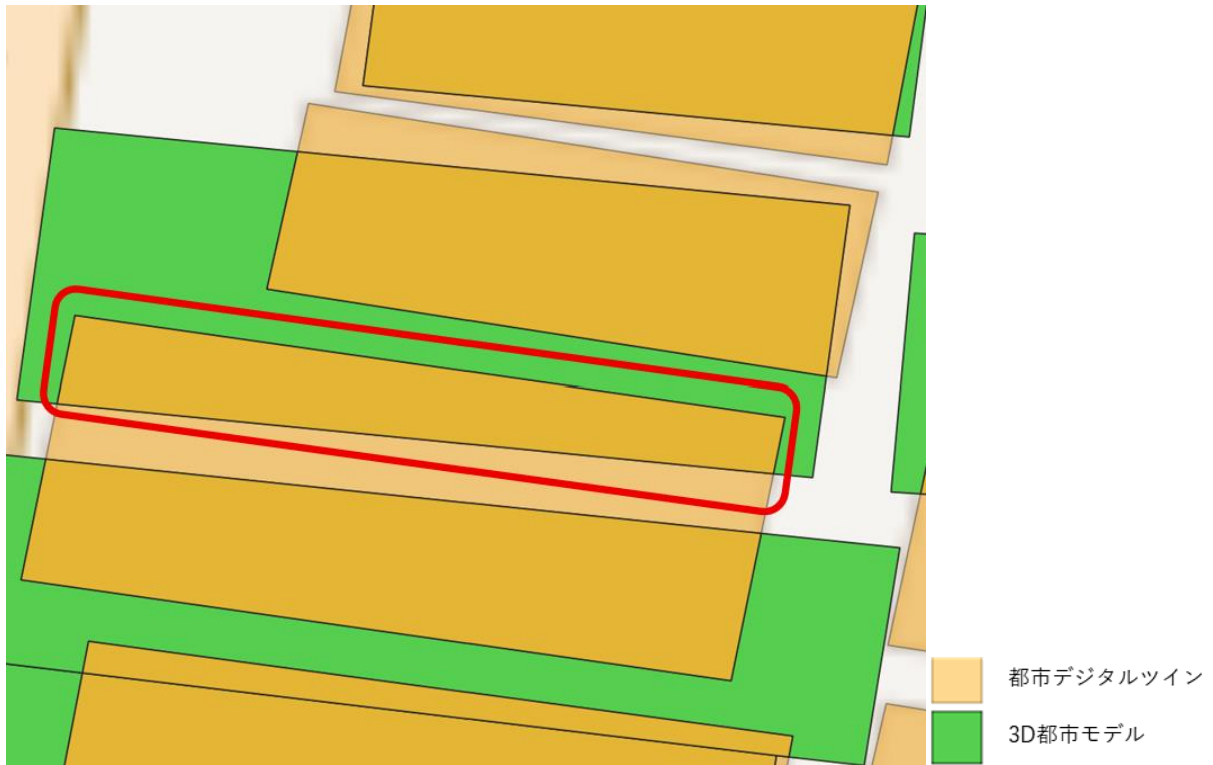


図 7-12 IoU 0.15 の建物の重なり

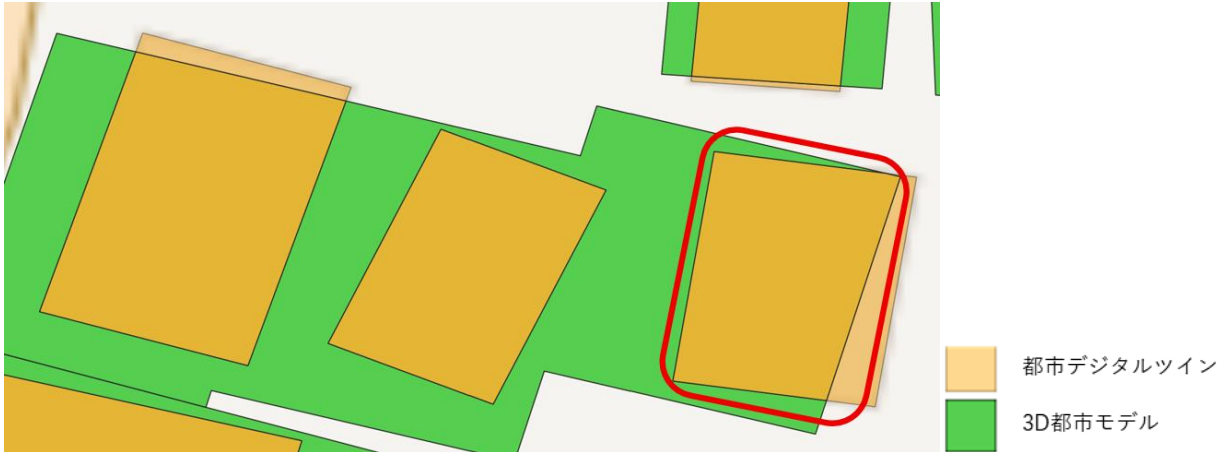


図 7-13 IoU 0.15 の建物の重なり



図 7-14 3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なり状況 (1)
(Map data from OpenStreetMap)



図 7-15 3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なり状況 (2)
(Map data from OpenStreetMap)



図 7-16 3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なる状況 (3)
(Map data from OpenStreetMap)



図 7-17 3D 都市モデルと生成した都市デジタルツインデータの重なる状況 (4)
(Map data from OpenStreetMap)

2つの元データの取得時期と建物を比べると、表 7-8 の通り都市デジタルツインの方が 3D 都市モデルに比べて更新年が最近であり建物の数も多い。また増築している建物等もあるため、IoU の値に影響を与えたと考えられる。

表 7-8 建物数と更新年

	3D 都市モデル	都市デジタルツイン
建物数	102376 軒	117351 軒
更新年	2020 年	～2025 年

8. 実証技術の非機能要件の検証

8-1. 検証目的

3D 都市モデルが整備されていない海外地域において、地上測量等により 3D 都市モデルを作成するのは非常に高額のコストがかかる一方で、衛星画像とオープンデータのみを活用した都市デジタルツインを作成することで、大幅なコストの削減を目的とする。コスト削減により、より多くの海外都市において都市デジタルツインを構築し、さまざまな用途でのサービス展開が実現されると期待される。

上記 7-2 にて述べた日本国内の都市を対象として、衛星データから作成した都市デジタルツインデータの作成コストと、3D 都市モデル整備費試算ツールで試算した 3D 都市モデルの作成コストを比較し、作成コストの観点から有用性検証を行った。

8-2. KPI

表 8-1 KPI 一覧

No.	評価指標、KPI	目標値	目標値の設定理由	検証方法
1	作成コスト削減率	90%	3D 都市モデルの整備においては、航空測量や地上レーザー測量などの現地測量工程がコスト構成の主要因を占める。一方、本研究で対象とする都市デジタルツインは、衛星画像及びオープンデータを活用し、現地測量を実施せずにモデルを生成する手法である。これにより、測量、データ取得にかかる費用を大幅に削減できることから、建築物 LOD1 を作る際のコストを従来手法比で 90%のコスト削減効果を想定する	作成コストの比較

8-2-1. 検証方法と検証シナリオ

都市デジタルツイン作成のコスト検証

- 比較対象とする 3D 都市モデルと同じ範囲において、都市デジタルツインの完成までに必要な計算量とコストを測定した
- 3D 都市モデルにおける建築物 LOD1 を作成するためにかかるコストを、3D 都市モデル整備費試算ツールを用いて算出した (https://www.mlit.go.jp/toshi/daisei/plateau_hojo.html#title2)

- 3D 都市モデル整備費試算ツールで試算したコストでは、3D 都市モデルの元となるデータの取得費用は含まれておらずモデル作成にかかるコストのみである
- 両方のコストを比較し、コスト削減率を算出した
- 3D 都市モデルは、[1]都市計画基本図（基盤地図情報）[2]都市計画基礎調査[3]公共測量成果（航空写真又は LP）の 3 点セットをデータソースとして LOD1 の 3D 都市モデルを整備し、航空測量から屋根形状を取得しデータ付与することで、LOD2 の 3D 都市モデルが整備されている。一方で、都市デジタルツインのデータ整備は、出典データとして OpenStreetMap 等のオープンデータの建物データありきで、衛星画像より都市デジタルツインを整備するため、仕様差は生じた
- 久留米市の建築物を屋根の形付きで出力するのにかかった時間に時間単価 5000 円を乗じて、都市デジタルツイン作成のコストを試算した

表 8-2 検証シナリオ一覧（位置精度）

No.	検証方法	エリア	検証シナリオ
1	作成コスト	福岡県久留米市	都市デジタルツインの完成までに必要なコストを、コスト試算ツールで試算した 3D 都市モデルの建築物 LOD1 の作成コストと比較

8-2-2. 検証結果

評価指標として掲げた「作成コスト削減率」において、当初の目標値であった 90%を上回る 92.7%の削減を達成した。これにより、従来の手法と比較して極めて高いコスト効率を実現できることが実証された。具体的な成果の示唆としては、従来コストに対して約 92.7%という大幅な削減に成功した点に加え、作業時間についても、久留米市の建築物を対象とした際、屋根の形状まで含めた出力を、50 時間程度で完了させている。ただし、今回作成した LOD1 の仕様については従来手法と一部差異があるため、厳密な意味での単純比較には留意を要するものの、それを加味しても極めて顕著な効率化が図られたものと評価できる。

表 8-3 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
作成コスト	作成コスト削減率	90%	92.7%	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来コストに対し約 92.7%の削減(KPI 90%)を達成 ● 50 時間程度で久留米市の建築物を屋根の形付きで出力した

本検証では、「3D 都市モデル整備費試算ツール」を用いた従来手法と、今回の手法によるコスト比較を実施した。まず、従来手法による建築物 LOD1 の整備コストを試算したところ、344.8 万円から 804.4 万円と算

出された。このコストの幅は、整備に用いる基盤データの精細度や、作業工程（品質管理の程度等）に応じた単価設定（高位・中位・低位）の差異を考慮しているためである。対して、本手法を用いて久留米市の建築物を屋根の形状付きで出力した際のコストを試算した。具体的には、要した作業時間に時間単価 5,000 円を乗じた結果、約 25 万円という極めて低いコストに抑えられている。これら両者の数値を基に作成コスト削減率を算出した結果、92.7%から 96.9%という大幅なコスト削減を達成した。なお、今回作成した LOD1 の仕様については、従来手法と一部差異があるため厳密な意味での単純比較には留意を要するものの、それを加味しても本手法がもたらす効率化の有意性は極めて高く、実用上の優位性を実証した。

9. 公共政策面での有用性検証

9-1. 検証目的

a. 実証仮説

新興国においては、急速な都市化と気候変動の進行に伴い、さまざまな自然災害リスクが顕著に増大している。一方で、災害対応や都市計画の基盤となる 3D 都市モデルについては、測量インフラの未整備、財政的制約、さらには地理空間情報分野における専門人材の不足といった課題によりデータの取得・更新が十分に進んでいない。その結果、被害状況や都市構造の可視化が困難となっている現状がある。

地方自治体、防災公共機関、研究機関のユーザーが、災害リスクの可視化及び現実に即した将来シナリオの検証や合意形成を行うためには、災害のユースケースを用いて都市における被害の発生状況を可視化することが重要である。したがって本検証では、「ビジュアルの品質が高い都市デジタルツインを構築する技術を開発し、水害イメージを作成することにより、海外の行政機関や研究機関のユーザーが、洪水などの災害リスクの可視化及び現実に即した将来シナリオの検証や合意形成の支援につなげることができる」という仮説を設定した。

b. 検証ポイント

上記の仮説に基づき、ビジュアルの品質が高い都市デジタルツインを構築し、現地の研究機関にヒアリングを行って選定した地域の水害イメージ動画を作成した。作成した動画を現地の行政機関や研究機関のスタッフに見てもらい、有用性アンケート及びヒアリングを実施することで、大半の人から現地防災や政策実務に有効であるとの回答をもらえるかを検証した。

9-2. 検証方法

本実証実験では、9-1 で定義した実証仮説に基づき、構築した都市デジタルツインおよび水害イメージが、現地の政府機関や研究機関の課題解決に貢献する有効な価値を提供できるかを検証した。

そのための基本的なアプローチとして、現地政府、研究機関等の利用想定者を被験者とし、プロジェクトの説明およびマレーシア・セメニ地区における水害イメージを視聴してもらった上で、ヒアリングおよびアンケートを実施した。具体的な検証手法としては、オーストラリア・シドニーで開催された国際宇宙会議（International Astronautical Congress、以下 IAC）およびオーストリア・ウィーンで開催された国連宇宙空間平和利用委員会科学技術小委員会（Scientific and Technical Subcommittee、以下 STSC）における対面での対話、ビデオ会議での対話、およびフォーム回答を用いた。使用機材として、説明資料と水害イメージを用意し提示した。

IAC は、1950 年から毎年秋に開催される、世界最大の宇宙関連の国際会議であり、各国の宇宙機関（NASA、JAXA 等）、企業、大学、研究者が集い、最先端の技術、宇宙政策、研究成果を発表する「宇宙のオリンピック」とも呼ばれる場である。

STSC は、ウィーンに拠点を置き、スペースデブリ（宇宙ゴミ）対策、衛星データによる災害管理、宇宙用原子力電源の安全性など、宇宙活動における科学・技術的な課題を世界各国で協議する場である。ここで得られた知見は国際的なガイドライン策定や、もう一つの小委員会である法律小委員会でのルール作りの基礎となる。

各ヒアリングの位置づけとして、本案件開発物の「有用性」や「導入意欲」といった直接的な評価を測るだけでなく、各国の社会実装を見据え、対象機関における「既存システムの現状と課題」「対象地域が抱える災害・地形的状況」「必要とされるデータ要件」、および「導入にあたって予想される障壁」を体系的に把握することを目的に調査を行った。また、PLATEAU プロジェクトの国際発信という側面から、今回の実証実験の技術紹介という側面もちあわせている。

このアプローチに基づき、検証の全体像として各項目に対して「検証観点」「主な検証内容」「検証手法」「主な評価指標」を設定し、定量・定性の両面から多角的に評価を実施した。具体的な検証の枠組みは、以下の表の通りである。

表 9-1 検証方法の全体像

検証対象の項目	検証観点	主な検証内容	検証手法	主な評価指標
① 本案件開発物に対する評価	災害関連のユーザースペース有用性	ビジュアル品質の高い都市デジタルツインと水害イメージが、現地の防災・都市計画等の実務において有用であるか	<ul style="list-style-type: none"> ● 5段階評価 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 5:非常に有用である ➢ 4:有用である ➢ 3:中程度に有用である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 有用性の5段階評価（過半数が「4」以上の回答であることを目標とする）

			<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2:あまり有用ではない ➤ 1:有用でない ● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答 	
	都市デジタルツイン導入への意欲と参加希望	都市デジタルツインプラットフォームの新規導入への意欲、およびパイロットプロジェクトが実施された場合の参加希望度合いと対象領域	<ul style="list-style-type: none"> ● 5段階 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 5:非常に導入意欲がある ➤ 4:導入意欲がある ➤ 3:導入意欲は中程度である ➤ 2:あまり導入意欲はない ➤ 1:導入意欲はない ● 10段階評価 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 10:パイロットプロジェクトに非常に興味がある ➤ 5:興味は中程度である ➤ 1:興味はない ● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答 	<ul style="list-style-type: none"> ● 導入意欲の5段階評価スコア ● パイロットプロジェクト参加希望の10段階評価スコア ● パイロット対象として希望する領域の傾向
② 活用状況とニーズの把握	既存システムの現状と課題	対象機関が現在利用しているシステム(2Dモデル等)の状況と、データ不足や解像度の低さなどの既存システムの課題	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● 既存システムの利用状況と課題に関する定性的な意見・傾向分析
	災害・地形的状況の把握	対象地域において対策が必要な主要な災害(洪水、土砂災害等)	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● 地域ごとの主要な災害リスクと、必

		の種類と、過去の影響 や被害状況		要とされる災害対 策の傾向
	統合したいデータと精度の期待値	都市デジタルツインに統合したいデータ（衛星、IoTセンサ、人口・環境データ等）と、求められる位置精度・空間解像度の期待値	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● ニーズの高い統合データの種類（集計） ● 用途別に求められる精度の要件（定性的意見）
③ 社会実装に向けた展望と課題	導入する場合のユースケースの分野と対象	自国・自機関に合わせて都市デジタルツインを導入・活用する場合、どのような分野（都市開発、環境モニタリング等）を想定するか	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● 自由記述やヒアリングで得られた希望するユースケースの分野や対象領域の集計
	新規導入にあたり予想される課題や障壁	新規導入に伴う技術的課題、既存システムとの統合ハードル、人材・専門性の不足、コスト面などの障壁	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● ヒアリングで挙げられた課題（技術的ハードル、人材不足、予算等）の傾向と定性的意見
	データセキュリティとプライバシー制限	政府データや詳細データを利用する際の、データ共有ポリシーやプライバシー制限、セキュリティ要件	● 対面・オンラインでのヒアリング/フォーム回答	● 国・機関ごとのセキュリティ要件とデータ取り扱いの制約事項の傾向

9-3. 被験者

本ユースケースでは、生成した対象地域の水害イメージを可視化した動画を用いて、都市計画や災害対策を行う現地政府、研究機関担当者をターゲットとしたヒアリング、アンケートを行った。研究機関だけでは“学術的な視点“に偏り、行政機関のみだと“政策実務的な視点“に偏るおそれがあるため、両機関を含む様々な機関からのヒアリングを実施した。

本実証実験では、上記に該当する2機関以上のスタッフにヒアリングを行い、本システムの有用性を検証した。ヒアリングの対象先は、ニーズ調査アンケートにおいて協力的な姿勢を示した機関を中心に、国際連合宇宙部との協議を経て決定した。動画を提示する機関はどれも、本ユースケースの主題である都市開発、災害対策、空間情報活用に関して、専門的知見を有することを前提とした。例えば、大学機関については、対象地域における都市防災や空間データの研究実績が豊富であり、現地における実態を理解する点をもって対象として選定した。一方、行政機関については、実際の都市政策や防災施策を所管する立場から、制度面や政策活用に関する実務的な知見を持つため、対象とした。

なお、海外機関との連携においては、回答の不確実性も考慮されることから、複数候補を挙げることでリスク分散を図った。どの機関から回答が得られても本実証において有意義なフィードバックを得られると判断しており、妥当性、適切性を確保した選定である。本プロジェクトでは、IAC や STSC における対面での対話、オンライン（ビデオ会議）での対話、フォーム回答といった多角的なアプローチによって、合計 17 機関に対してヒアリングを試みた。その 17 機関の一つとして、本実証の対象エリアであるマレーシアの都市計画を統括する「PLANMalaysia」へもアプローチを行っている。同機関は災害リスクを考慮したまちづくりを推進する立場にあり、本検証に極めて適した機関であるため、我々の技術紹介を実施した。このようにアプローチを試みた 17 機関のうち、詳細な回答が得られた 9 機関を抽出して、検証結果の対象として本章に記載している。

以下が、本プロジェクトにおいてヒアリングおよび技術紹介を実施した全 17 機関の体系的なリストである。

表 9-2 詳細ヒアリング先のリスト

ヒアリング手法	国	機関名称	分類	詳細回答有無
ビデオ会議	マレーシア	Department of Irrigation and Drainage (DID)	現地政府機関	有
	ネパール	Survey Department, Government of Nepal	現地政府機関	有
	ベトナム	Vegastar Technology Group	民間企業	有
IAC (対面)	パラグアイ	PARAGUAYAN SPACE AGENCY	現地政府機関	有
	エジプト	Egyptian Space Agency	現地政府機関	有
	モルディブ	Maldives Space Research Organization	非営利組織	有

	モロッコ	University Center for Research in Space Technologies, EMI	研究機関	有
	南アフリカ	Scientific and Industrial Research (CSIR)	研究機関	無
	ケニア	Kenya Forest Service	現地政府機関	無
	シエラレオネ	University of Sierra Leone	研究機関	無
	クック諸島	省庁の大臣一行 (Cook Island)	現地政府機関	無
STSC (対面)	マレーシア	Federal Department of Town and Country Planning (PLANMalaysia)	現地政府機関	無
	オーストリア	LeoTrek AI GmbH	民間企業	有
	フィリピン	Philippine Space Agency (PhilSA)	現地政府機関	有
	ナイジェリア	National Space Research and Development Agency	現地政府機関	無
	ハンガリー	Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)	国際機関	無
	ドイツ	Airbus Defense and Space GmbH	民間企業	無

9-4. ヒアリング・アンケートの詳細

9-4-1. アジェンダ・タイムテーブル

表 9-3 アジェンダ、タイムテーブル

No.	アジェンダ	所要時間
1	実験の背景、目的を説明	10分
2	都市デジタルツイン作成の技術を説明	10分
3	水害イメージに対するヒアリング	20分
4	都市デジタルツインの活用法に対するヒアリング	20分

9-4-2. アジェンダの詳細

表 9-4 アジェンダの詳細

No.	アジェンダ（再掲）	内容
1	実験の背景、目的を説明	<ul style="list-style-type: none"> ● Project PLATEAU の説明 ● 本プロジェクトの課題や背景の説明
2	都市デジタルツイン作成の技術を説明	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツインを構築する技術の説明
3	水害イメージに対するヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツイン上で水害イメージを見てもらい、ヒアリングする
4	都市デジタルツインの活用法に対するヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツインを、防災や都市開発などの分野でどのように活用できるかについてヒアリングする

9-4-3. 検証項目と評価方法

既存システムとの比較とユーザビリティ評価を検証項目とし、それぞれ定量、定性的に評価した。

表 9-5 検証項目と評価方法

検証ポイント	No.	検証項目	定量評価	定性評価
1) デジタルツイン上に水害イメージの有用性	1	災害に関するユースケースについて有用であるか	<ul style="list-style-type: none"> ● 選択肢は、「全くそうではない」を1、「非常にそうである」を5とする5段階評価で設定する ● 回答を集計し、各選択肢の選択率から評価（各設問で、過半数の4以上の回答を目標とする） 	<ul style="list-style-type: none"> ● 対象ユーザーに、本プロジェクトの説明及び水害イメージを見てもらった後に、アンケートを実施
2) 都市デジタルツイン導入についての関心度	2	都市デジタルツイン導入について関心があるか		
3) 導入する場合のユースケースの分野と対象について	3	都市デジタルツイン導入する場合、どのようなユースケースが考えられるか	<ul style="list-style-type: none"> ● 各設問に自由記入欄を設定 	
4) 都市デジタルツイン新規導入に当たり予想される課題や障壁	4	都市デジタルツインの新規導入に当たり予想される課題や障壁はどんなものがあるか		

9-4-4. 実証実験の様子

オーストラリア・シドニーで開催された IAC にて、構築したマレーシア・セメニ地区の都市デジタルツイン（水害イメージを可視化した動画）を各国の政府機関や研究機関に提示し、ヒアリングを実施している様子である。多様な国の機関に対して有用性や導入意欲を調査した結果、ほぼ全機関からの最高評価（5段階中5）を獲得し、パイロットプロジェクトへの強い参画意欲が示されるなど、極めて前向きな反応が得られた。

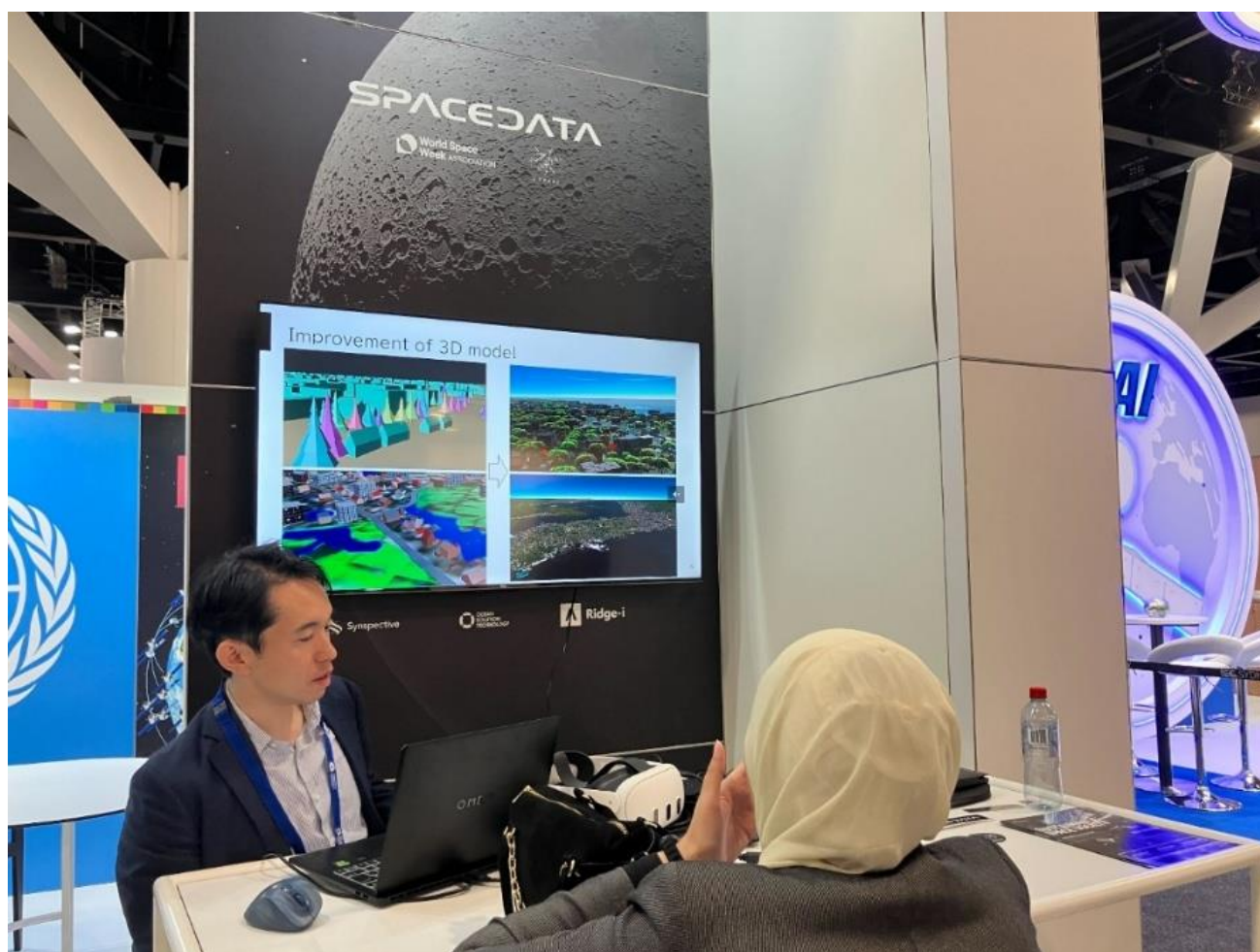


図 9-1 エジプトの宇宙機関へのヒアリング



図 9-2 パラグアイの政府機関へのヒアリング



図 9-3 クック諸島の政府機関へのヒアリング



図 9-4 南アフリカの政府機関へのヒアリング

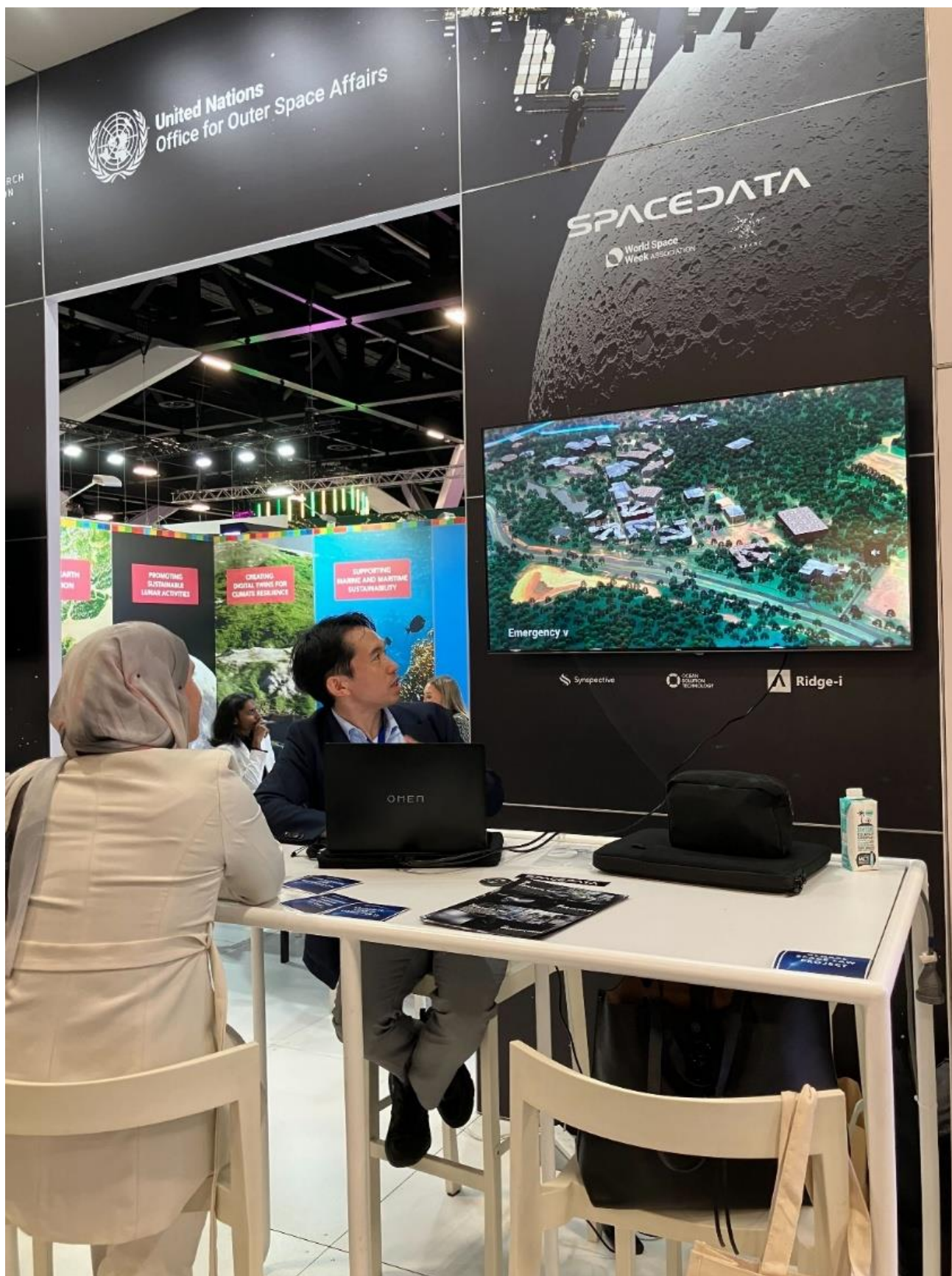


図 9-5 モロッコ研究機関へのヒアリング

オーストリア・ウィーンで開催された STSC のサイドイベントにて、各国の政府機関や事業者に向けて、PLATEAU プロジェクトの一環として構築したマレーシア・セメニ地区の都市デジタルツインの成果を発表した（図 9-6 にプレゼンテーションの様子を示す）。各機関との都市デジタルツインの導入・活用可能性に関するコミュニケーションを通じて極めて高い受容性と実需が確認され、日本発の PLATEAU プロジェクトを世界の防災や都市課題を解決するグローバル・スタンダードとして国際展開・標準化していくための強力な足掛かりを得る成果となった。



図 9-6 STSC でのプレゼンテーション

9-5. 検証結果

1. 検証ポイントに沿ったヒアリング項目

実証エリアであるマレーシアを含む各国の政府機関等を対象としたヒアリングの結果、都市デジタルツインの有用性および導入意欲は極めて高く、実用投入への期待が非常に大きいことが明らかになった。有用性評価および導入意欲の双方で最高評価（5段階中5）が最多を占めただけでなく、パイロットプロジェクトへの参画意欲においても、10段階評価で「10」と回答した機関が過半数にのぼるなど、極めて前向きな受容性が示された。

このように各国の機関から極めて高い評価と参画意欲が示された理由として、本プロジェクトの開発内容が「新興国が直面する根本的なボトルネック（高額な測量コストや専門人材・データの不足）」を直接的に解消し得るソリューションであったことが考えられる。従来の3D都市モデル整備は、航空測量や地上測量に多大なコストと期間を要し、リソースの限られた新興国では導入にハードルがあった。しかし本開発では、世界中どこでも入手可能な「衛星画像」と「オープンデータ」のみを入力情報とし、AI技術（機械学習やプロシージャルモデリング）を活用することで、現地測量を一切行わずに都市デジタルツインを自動生成・構築する手法の可能性を示した。

さらに、この低コストで構築されたモデル上に、水害時の浸水範囲や交通寸断状況といった具体的なイメージを統合し、動画として可視化したことで、3Dデータ未整備地域においても、実効性のある防災計画や都市開発の意思決定支援ツールとしての応用可能性が被験者に伝わったことが、最高評価につながったと考えられる。

マレーシア・セメニ地区における水害イメージを可視化した動画

<https://www.youtube.com/watch?v=32O3xngNzjE>

マレーシア・セメニ地区における避難計画と重要施設モニタリングの動画

<https://www.youtube.com/watch?v=OkCHfg34LLU>



図 9-7 水害イメージを可視化した動画のイメージ(1)



図 9-8 水害イメージを可視化した動画のイメージ(2)



図 9-9 水害イメージを可視化した動画のイメージ(3)

この結果は、衛星画像と AI を掛け合わせた都市デジタルツイン構築技術が、資金や測量インフラに制約のある国々に対して有用性を示すアプローチであることを示唆している。日本発の低コストかつ広域展開可能な都市デジタルツイン技術が、世界の災害リスク低減と持続可能な都市計画において、高い社会実装のポテンシャルを持つ可能性が示された。ヒアリングおよびアンケートの各設問項目に沿って、定量的な評価スコアおよび定性的な意見・傾向を以下に整理する。

1) 本案件開発物に対する評価

Q1 災害関連のユースケース有用性はどの程度か

詳細回答を得た全機関のうち、ほぼ 100% (8/9 機関) が、構築した都市デジタルツインと水害イメージの可視化動画について最高評価の「5 (非常に有用)」と回答した。高額な測量データがなくとも、衛星画像と AI を用いて生成したモデルが、災害関連ユースケースの活用には有用である可能性が示された。今後は洪水だけでなく、各国の主要災害に合わせた事例拡充を進めることで、より幅広い意思決定支援基盤としての展開につながり得ると考えられる。

Q2 都市デジタルツイン導入への意欲はどの程度か

有用性と同様に、回答機関のほぼ 100% (8/9 機関) が導入意欲について最高評価の「5 (非常に高い)」と回答した。

インフラ未整備地域においても低コストで構築できる本手法は、導入の初期ハードルを劇的に下げる要因となっている。

2) パイロットプロジェクト参加希望

Q3 パイロットプロジェクトへの参加意欲と対象領域はどのようになっているか

参加意欲を問う項目（10段階評価）において、有効回答のうち半数が最高値の「10」と回答し、それ以外も「8」または「9」と極めて前向きな意欲が示された。対象領域としては、質の良いデータを持つ特定地域へのアプローチを希望する声がある一方で、全国的なモデル開発を望む声も確認された。

対象領域の意見が分かれているが、まずは既存の空間データが一部整備されている地域をパイロットとして選定し、そこでベストプラクティスを確立したうえで全国的なモデル開発へと横展開するロードマップを描くことが現実的な方向性と考えられる。

3) 活用状況とニーズの把握

Q4 既存システムの対象領域と課題は何か

1D/2D モデルやドローン測量を部分的に利用している機関はあるものの、システムがプロジェクト内で閉じてしまっているケースが多い。課題として、データ形式の未標準化やデータ共有制限、高解像度データの高額な導入コストが挙げられている。

既存の2Dモデルやシステムがサイロ化しており、最新データとの統合が阻害されている実態が明確になった。本システムのグローバル展開においては、国際標準（CityGML等）への準拠を徹底するとともに、既存システムやオープンデータと容易に連携できる機能を提供することが競争優位性となる。

表 9-6 既存システムの対象領域と課題に関する定性コメント

No	検証項目	関連する定性コメント
1	既存システムの対象領域と課題は何か	<p>【データ未標準化や高コストによるサイロ化】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 既存システムには、データ共有が制限されている、データ形式が標準化されていないといった問題があるため、最新データの統合が困難である ● 衛星データは高解像度であるものの、高価過ぎて導入に対する政策的ハードルがある。データは現在プロジェクト内で閉じてしまっている ● 専門家の不足、新規システムを導入することに対する政策上のハードル

Q5 都市デジタルツインに統合したいデータの種類の期待値はどのようなものか

衛星画像やドローンデータのほか、水位センサ等の IoT データ、人口・社会経済データなど、多岐にわたるリアルデータの統合ニーズが確認された。

都市デジタルツインの構築だけではなく、社会経済データや IoT 観測データと掛け合わせることで真の価値が発揮される。精度については、既存データと合致する高精度な情報が求められている。

表 9-7 都市デジタルツインに統合したいデータの種類の精度の期待値に関する定性コメント

No	検証項目	関連する定性コメント
1	都市デジタルツインに統合したいデータの種類の期待値はどのようなものか	<p>【多様なリアルデータ統合と用途に応じた精度】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 衛星データ、水位知センサのデータ（水位など）、環境データ、社会経済データ、CCTV などの観測データ統合が必要と考えている ● 精度はニーズ評価・モデル設計・入力データの質などで判断される。既存のデータと合致する高精度な情報が求められている

4) 社会実装に向けた展望と課題

Q6 導入の場合のユースケース例と対象が必要な災害は何か

対象国で最も懸念されている災害は「洪水」であり、次いで「土砂崩れ」「干ばつ」などが挙げられた。過去の災害においては、救助遅れで多大な人命被害が出た事例も報告されている。防災、環境、都市計画等における意思決定支援ツールとしての都市デジタルツインのニーズが高い。

表 9-8 導入の場合のユースケース例と対象が必要な災害に関する定性コメント

No	検証項目	関連する定性コメント
1	導入の場合のユースケース例と対象が必要な災害は何か	<p>【データ不足への強い危機感と幅広い応用への期待】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 昨年発生した洪水で、被害インフラ、医療機関・学校などへの影響が大きかった。データ不足が救助計画の遅れを招き、約 200 名の犠牲者を出した ● 活用分野としては、環境モニタリングや、地形変化のモニタリング、都市計画・防災、防衛・火災、都市計画への適応等のための意思決定支援などが挙げられる

Q7 都市デジタルツイン新規導入にあたり予想される課題や障壁は何か

「エキスパート・人材の不足」「データ取得・インフラ整備のコスト」「既存システムとの統合ハードル」「制度的・政策的課題」の 4 点が、多くの機関から導入の障壁として挙げられた。

システムやデータを単体で納品するだけでは社会実装は進まないことが明白となった。最大の課題である人材不足と技術統合の壁を乗り越えるため、操作をノーコード化・簡略化した UI の開発を進めることや、トレーニング等も視野に入れた開発が重要になってくる。

表 9-9 都市デジタルツイン新規導入にあたり予想される課題や障壁に関する定性コメント

No	検証項目	関連する定性コメント
1	都市デジタルツイン新規導入にあたり予想される課題や障壁は何か	<p>【専門人材の不足と技術的・制度的ハードル】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 都市デジタルツインを扱うエキスパートの不足、データ取得やインフラ整備にかかるコスト、既存システムとの統合の難しさ、データ共有ポリシーの厳しさなどが課題である ● 最大の課題は制度・人材・データの欠如である。また、既存システムとの統合が難しく、データ共有の仕組みが確立されていない現状である。人材育成と評価も課題である ● 既存システムとのデータ統合、データ取得のコスト、新規システム導入における政策的・制度的ハードル、専門人材の不足など

Q8 データセキュリティとプライバシーに関する要件はどのようなものか

政府データや民間未公開データの利用にあたっては、厳格な申請・承認プロセスが必要であり、国家安全保障に関わる強いセキュリティ基準やサイバー攻撃への懸念が存在することが判明した。

海外政府機関にシステムを導入する際、データ越境移転は致命的な障壁となる可能性が高い。事業化に向けては、オンプレミス環境や指定の国内ローカルサーバーへのデプロイメントが可能なシステムアーキテクチャの構築、および権限に応じたアクセス制御機能を標準実装することを含め、各国の実情に応じた要件検討が必要。

表 9-10 データセキュリティとプライバシーに関する定性コメント

No	検証項目	関連する定性コメント
1	データセキュリティとプライバシーに関する要件はどのようなものか	<p>【厳格なデータ保護要件と申請プロセスの壁】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 国内で、民間には共有できないデータがあるなど、厳格なセキュリティとプライバシー保護のルールがある ● 政府データの利用には申請と承認が必要であり時間がかかる。サイバーセキュリティに関する懸念もある ● 国家安全保障や防衛に関わるデータなどを扱うため、高いセキュリティ要件が必要である

2. STSC での発表

日本発の 3D 都市モデル (Project PLATEAU) の技術をグローバル・スタンダードとして国際展開・標準化していくための足掛かりとして、広範な国外政府機関に対して今回構築した都市デジタルツインを紹介するため、ウィーンで開催された STSC のサイドイベントを開催した。イベントでは、国土交通省都市局国際・デジタル政策課企画専門官十川 優香氏、国連宇宙部長 Aarti Holla-Maini 氏にも登壇いただきご挨拶および PLATEAU

プロジェクトの説明をいただいた。また様々な国の機関や事業者を対象に、マレーシア・セメニ地区における水害イメージの可視化動画等を用いた本案件の成果を説明するプレゼンテーションを実施した。さらに、その後のレセプションを通じて、現地の都市計画や防災実務における都市デジタルツインの導入・活用可能性について深いコミュニケーションを図り、都市デジタルツイン導入におけるコストや専門家不足の懸念、洪水や地震など、対応すべき災害が具体的に共有されるなど、各国の実需を確認するとともに、今後の国際展開に向けた貴重なフィードバックを収集することに成功した。



UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs

HARNESSING JAPAN'S DIGITAL TWIN, AI, AND OPEN DATA IN DISASTER MANAGEMENT

STSC 2026 SIDE EVENT

Objective: Showcase Japan's cutting-edge digital twin and AI technologies for disaster management, highlighting integration with open data initiatives such as **PLATEAU**.



PROGRAM DETAILS

- Opening Remarks
 - Aarti Holla-Maini (Director, UNOOSA)
 - Yuka Sogawa (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)
- Technical Presentation
 - Yuka Sogawa (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)
 - Koichiro Osada (SpaceData Inc., Japan)
- Q&A
- Closing Remarks
 - Aarti Holla-Maini (Director, UNOOSA)
- Reception

ONLINE: MS TEAMS



9:00 - 10:00
4 FEBRUARY, 2026



Meeting Room M3 at M building
VIENNA INTERNATIONAL
CENTRE, VIENNA, AUSTRIA



Visit our website
STSC 2026

図 9-10 STSC サイドイベントの開催概要



図 9-11 STSC サイドイベントの発表資料 1



図 9-12 STSC サイドイベントの発表資料 2

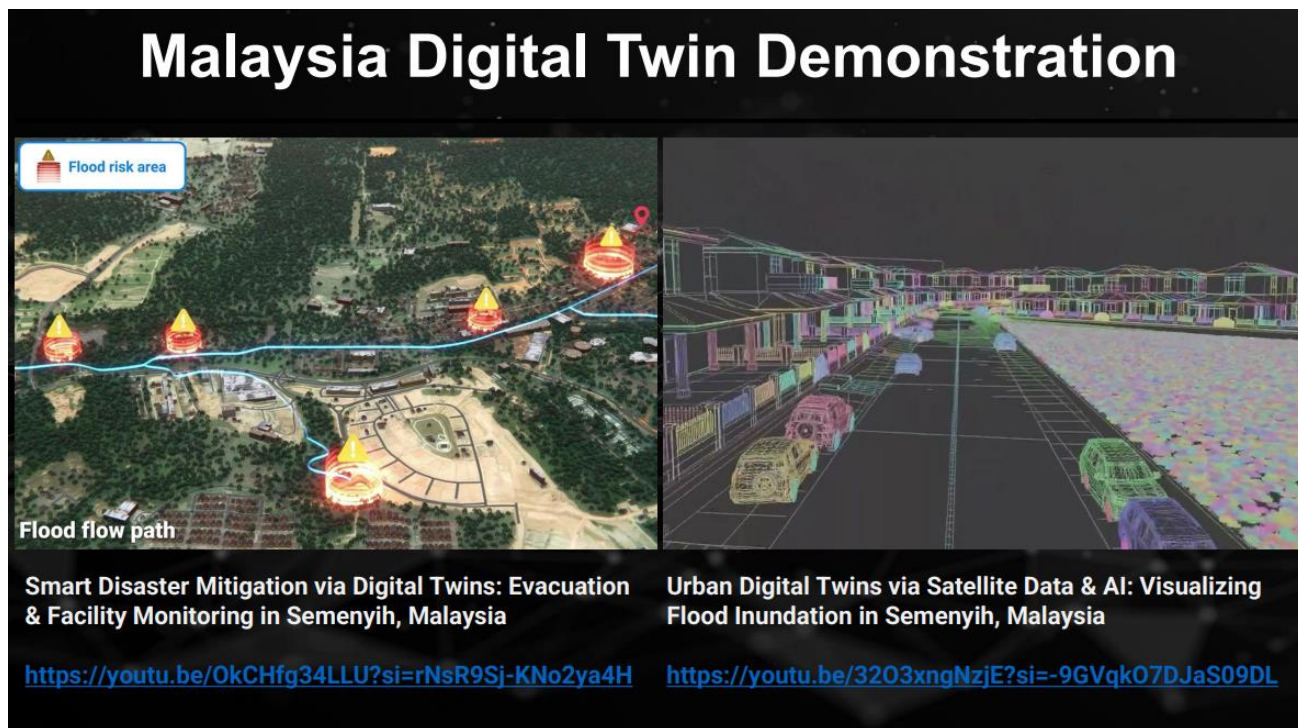


図 9-13 STSC サイドイベントの発表資料 3

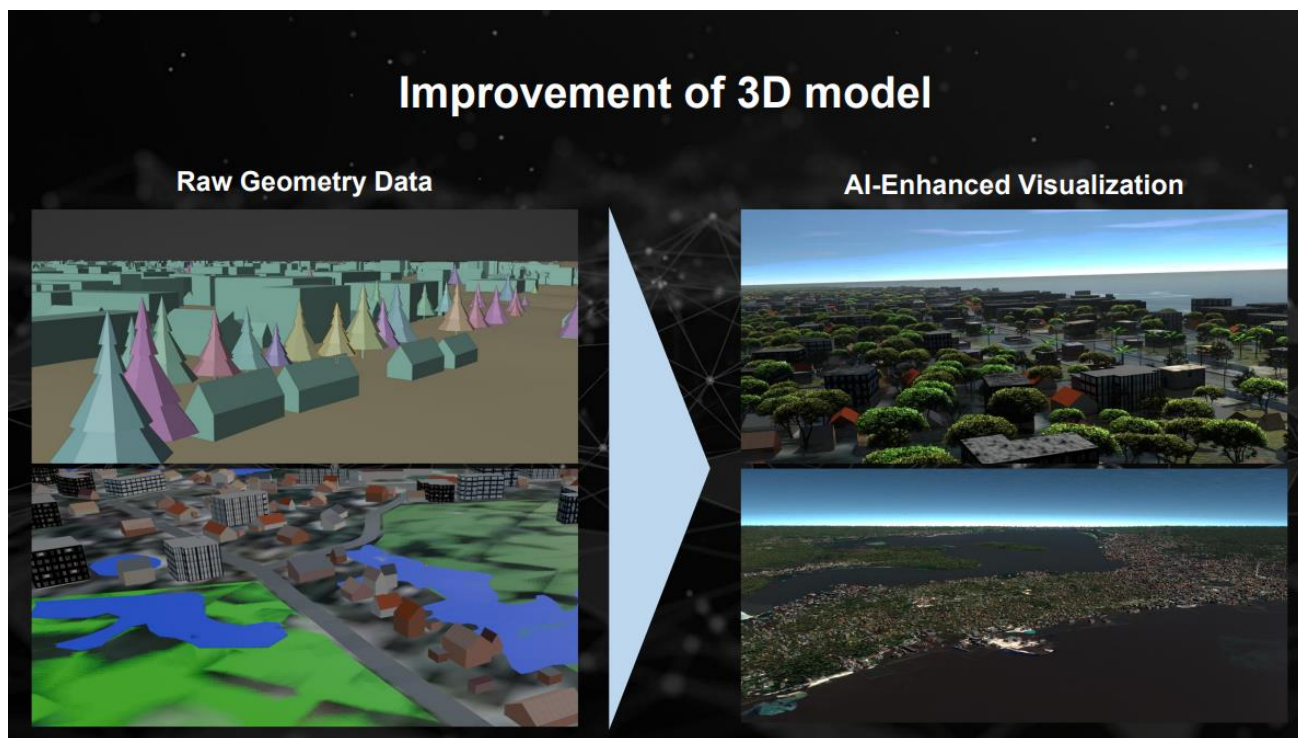


図 9-14 STSC サイドイベントの発表資料 4

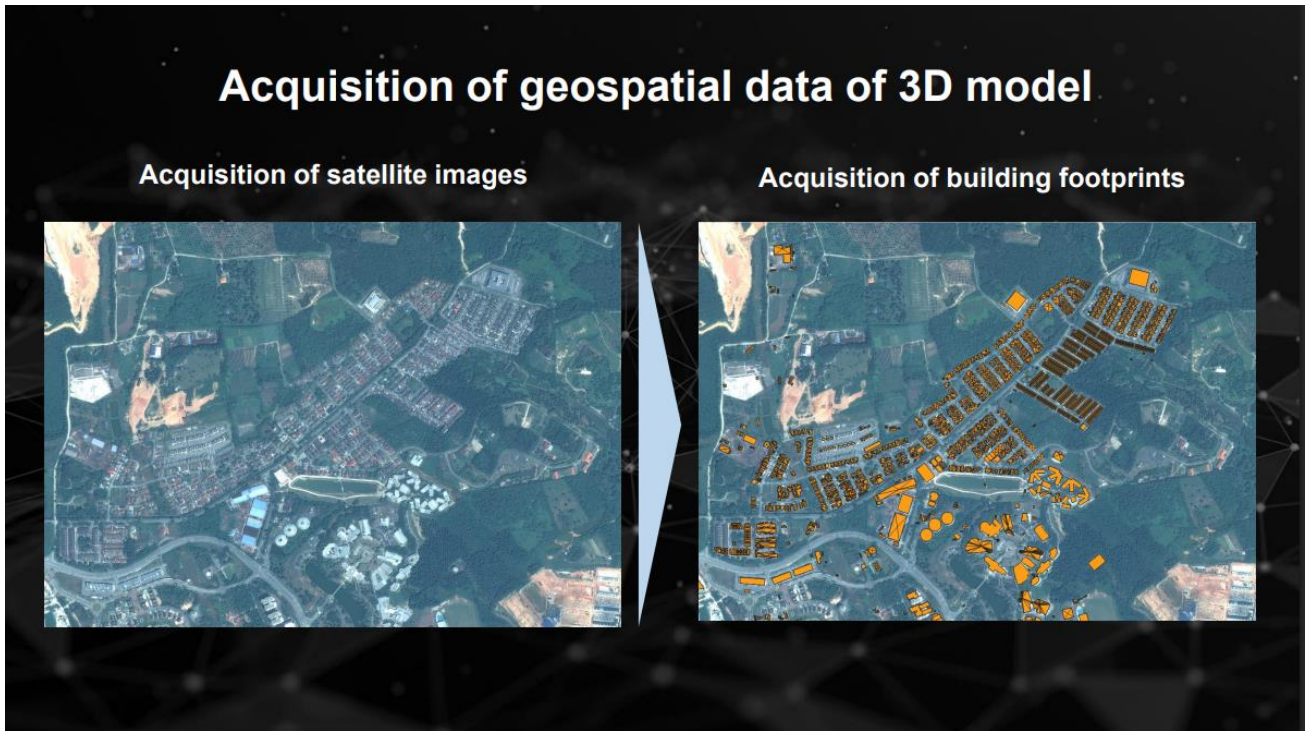


図 9-15 STSC サイドイベントの発表資料 5

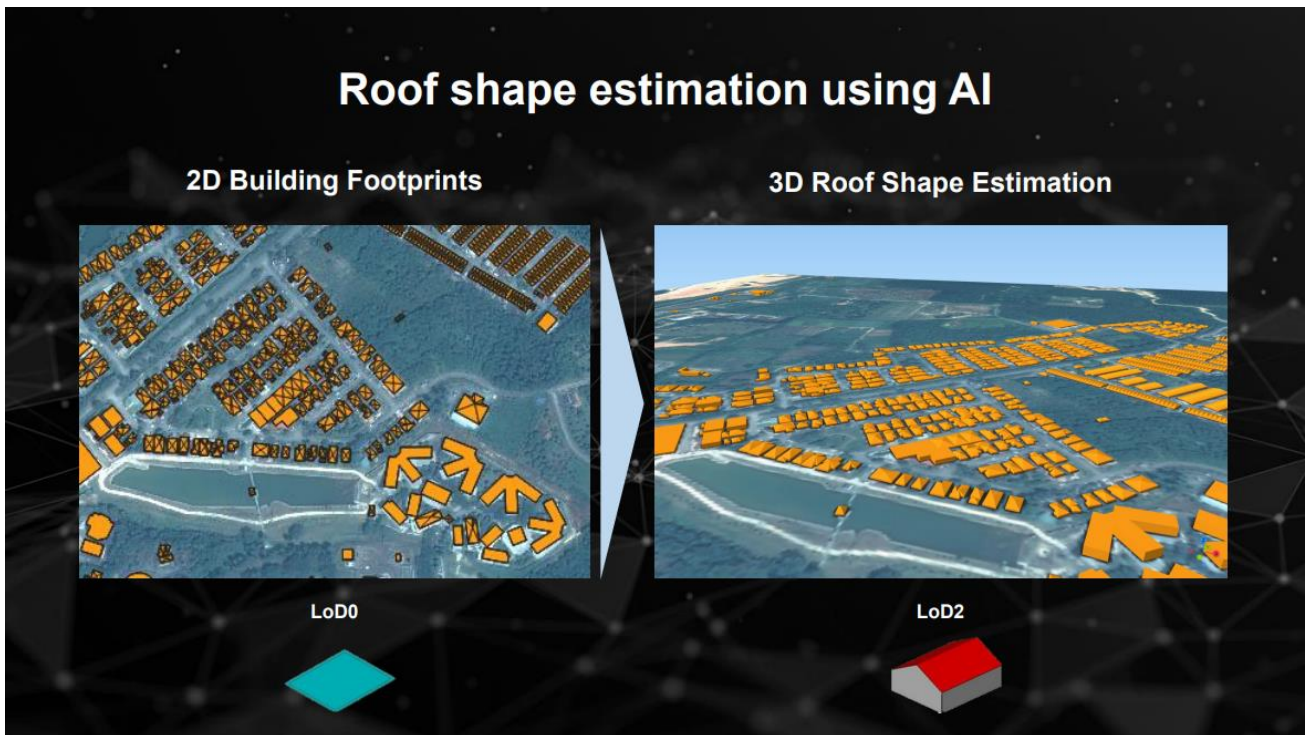


図 9-16 STSC サイドイベントの発表資料 6

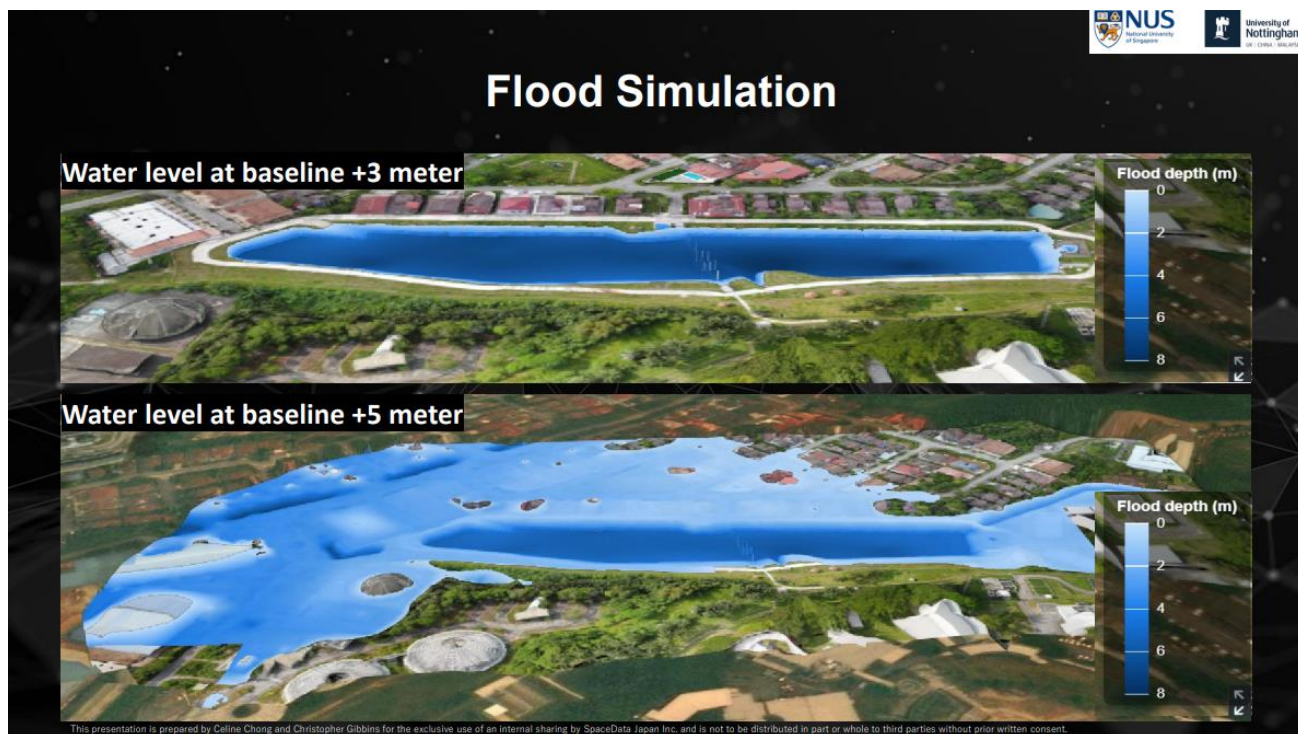


図 9-17 STSC サイドイベントの発表資料 7

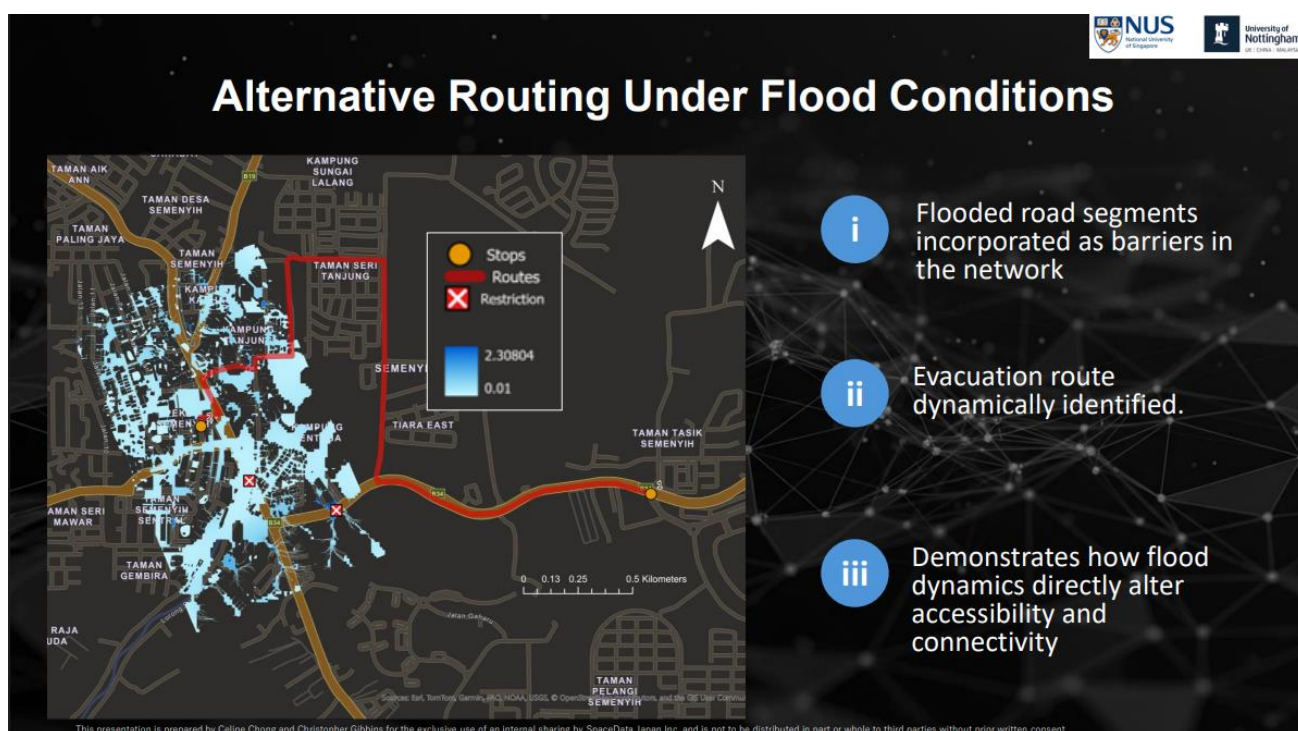
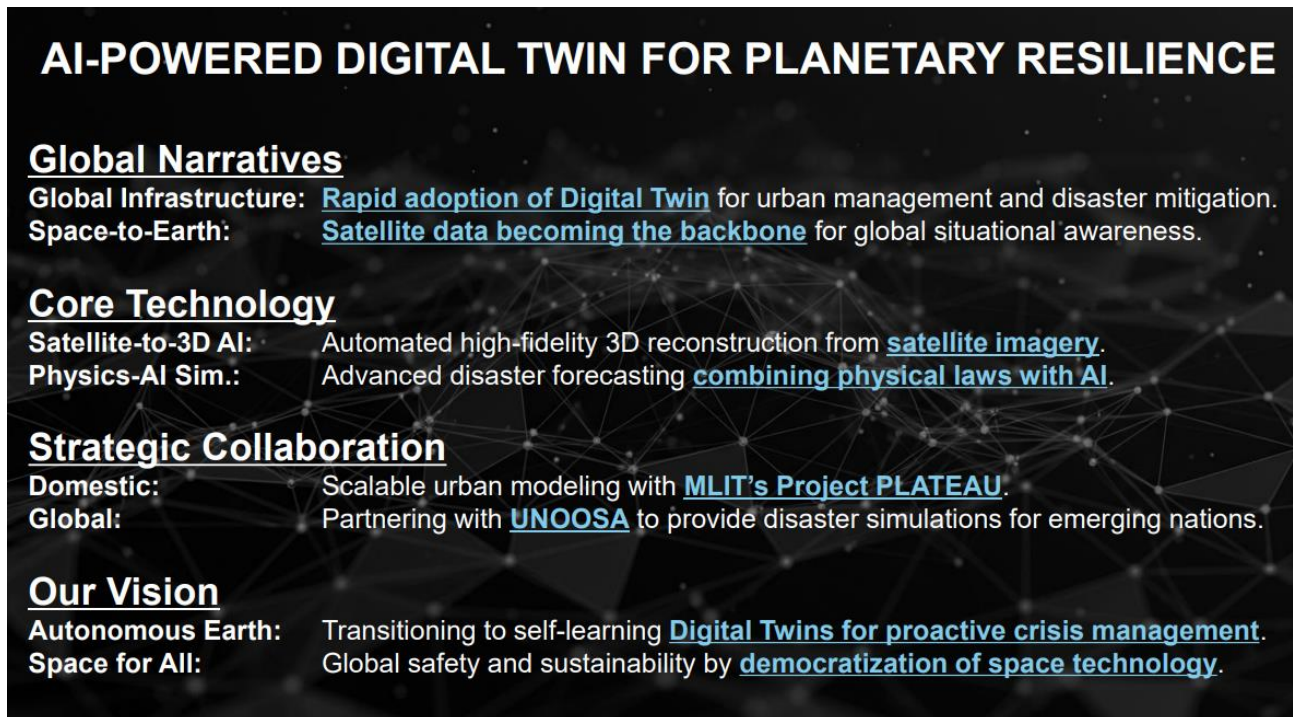


図 9-18 STSC サイドイベントの発表資料 8



AI-POWERED DIGITAL TWIN FOR PLANETARY RESILIENCE

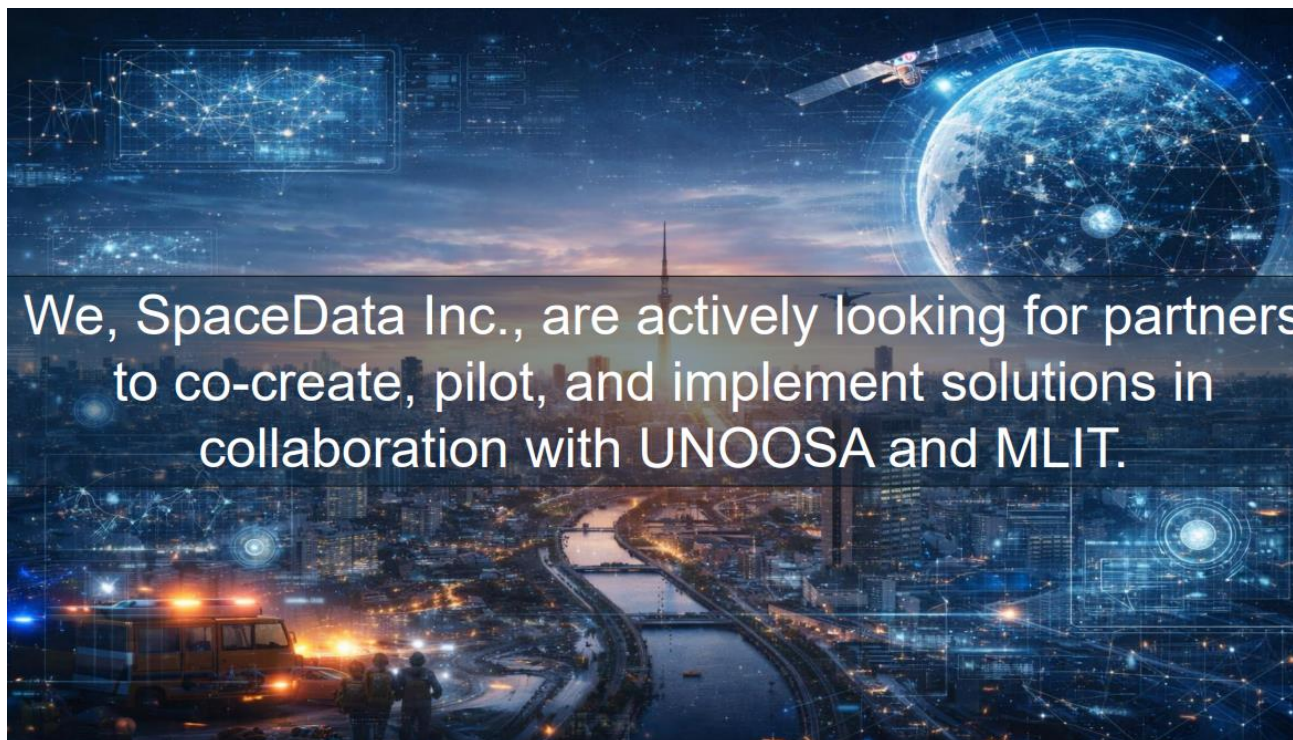
Global Narratives
Global Infrastructure: [Rapid adoption of Digital Twin](#) for urban management and disaster mitigation.
Space-to-Earth: [Satellite data becoming the backbone](#) for global situational awareness.

Core Technology
Satellite-to-3D AI: Automated high-fidelity 3D reconstruction from [satellite imagery](#).
Physics-AI Sim.: Advanced disaster forecasting [combining physical laws with AI](#).

Strategic Collaboration
Domestic: Scalable urban modeling with [MLIT's Project PLATEAU](#).
Global: Partnering with [UNOOSA](#) to provide disaster simulations for emerging nations.

Our Vision
Autonomous Earth: Transitioning to self-learning [Digital Twins for proactive crisis management](#).
Space for All: Global safety and sustainability by [democratization of space technology](#).

図 9-19 STSC サイドイベントの発表資料 9



We, SpaceData Inc., are actively looking for partners to co-create, pilot, and implement solutions in collaboration with UNOOSA and MLIT.

図 9-20 STSC サイドイベントの発表資料 10

10. リアルデータを活用したシミュレーション実証

10-1. 洪水シミュレーション

本実証では、構築した都市デジタルツインが実際の都市計画や防災の意思決定支援ツールとして多角的に有用であるかを検証するため、現地および関連する学術機関（National University of Singapore および University of Nottingham Malaysia）の協力を得て、リアルデータを用いた高度なシミュレーションを実施した。

単なる静的な都市デジタルツインの構築にとどまらず、リアルデータ（観測所の水位や降雨量、交通状況、環境センサ等の実際のデータ）を統合した高度なシミュレーションを行うことは、都市の複雑なダイナミクスを正確に再現し、現実に即した精緻な被害想定や将来シナリオの検証を行う上で極めて重要である。これにより、抽象的なリスクが空間的かつ定量的に明示され、行政や防災機関による科学的根拠に基づいた迅速な意思決定（避難ルートの策定や早期警戒システムの構築など）が可能となる。

対象地域であるマレーシア・セメニは、急速な都市化による洪水リスクの増大や、水文学的特性と都市インフラの複雑な相互作用という課題を抱えており、被害状況や環境リスクを統合的かつ空間的に明示できる意思決定支援ツールが強く求められている。その目的のために有用である「洪水ダイナミクス」と「交通ネットワーク分析」の検証を行った。

10-1-1. 検証目的

「洪水ダイナミクス」の検証は、単なる静的なリスク評価にとどまらず、リアルデータを用いた高度なシミュレーションを通じて、対象地域における洪水頻発エリアを動的かつ定量的に特定・評価することを目的とする。水位上昇に伴う浸水範囲の拡大プロセスを都市デジタルツイン上で精密に再現することで抽象的なリスクを明示し、行政や防災機関が科学的根拠に基づいて、実効性の高い都市開発や避難計画を立案するための意思決定支援ツールとしての有用性を検証する。

10-1-2. 実証方法

本シミュレーションは、対象地域における洪水頻発エリアを特定し、早期警戒システムや都市計画の立案を支援することを目的として実施した。シミュレーションプラットフォームには ArcGIS Pro (Hydrology & Spatial Analyst tools 等) を使用し、標高や降雨量、排水パターンに基づいた浸水範囲の予測を行った。

正確なシミュレーションを実行するため、まず RTK-GPS (リアルタイムキネマティック GPS) を用いたドローン測量を実施し、高精度なオルソモザイク画像、DSM (数値表層モデル)、および DEM (数値地形モデル) を生成した。ドローン計測の様子、取得した画像をそれぞれ図 10-1 と図 10-2 に示す。さらに水域については測深情報 (Bathymetric information) を組み込むことで、水陸両面の地形表現を精緻に統合した都市デジタル

ツイン環境を構築した。この基盤上に、過去および予測の降雨データ、河川ネットワーク、観測所からのリアルタイム水位データを入力し、ベースラインから+0.5m、+1m、+3m、+5m と段階的に水位が上昇した場合のシナリオを適用した。

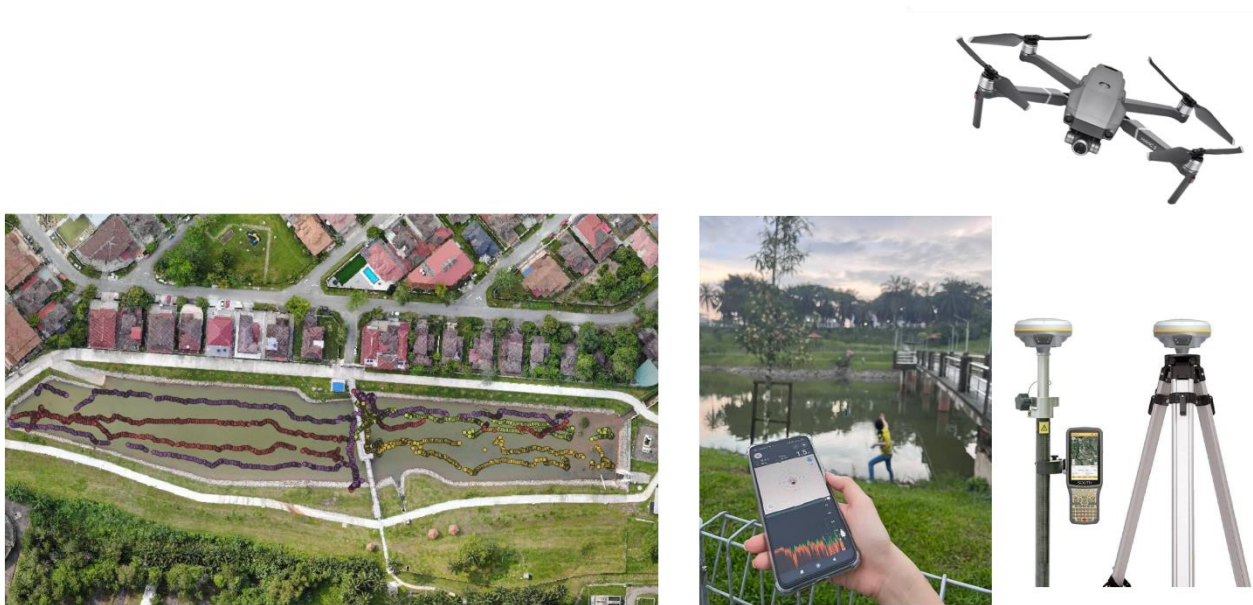


図 10-1 RTK GPS によってサポートされたドローン計測



図 10-2 ドローンで取得した現地の画像

10-1-3. 実証結果

時間経過や水位上昇に伴う浸水範囲の拡大と浸水深の変化が、構築した都市デジタルツイン上で詳細に可視化された。これにより、急速に都市化が進むセメニ地区において、河川の増水が都市部のインフラに及ぼす影響（洪水ダイナミクス）を空間的かつ直感的に把握することが可能となった。ベースラインから+0.5m、+1m、+3m、+5m と段階的に水位が上昇したシナリオのシミュレーション結果は図 10-3 の通り。

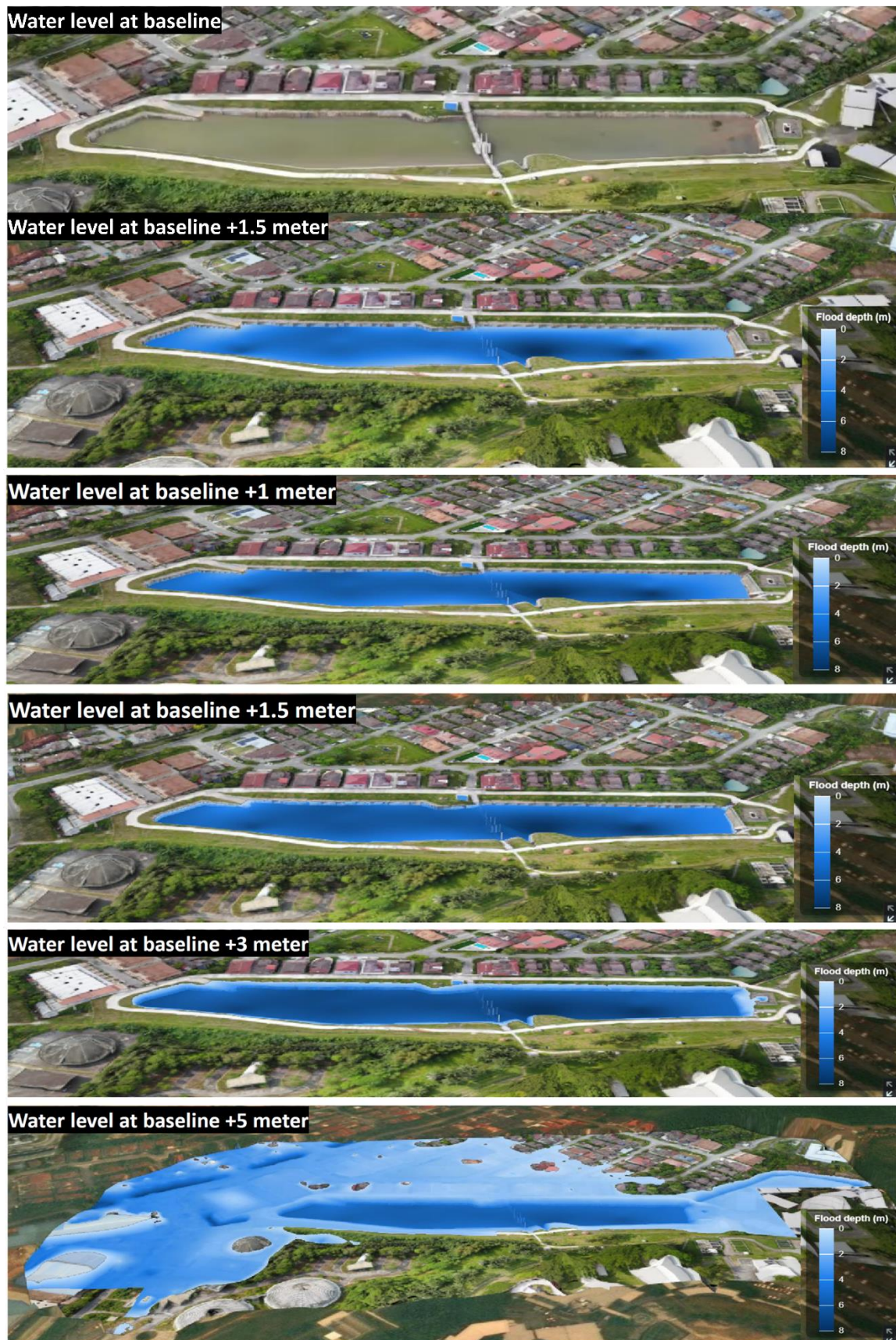


図 10-3 ドローンで取得した現地の画像

10-2. 交通ネットワーク分析

10-2-1. 検証目的

「交通ネットワーク分析」の検証は、対象地域において、洪水発生時の浸水データとリアルタイムの交通ネットワーク情報を統合したシミュレーションにより、災害が都市の交通やアクセシビリティに与える影響を空間的かつ定量的に特定・評価することを目的とした。構築した都市デジタルツイン上で、水位上昇に伴う道路の寸断状況や代替ルートを動的に可視化することで、行政や防災機関による迅速な交通管理の改善や、科学的根拠に基づいた避難・緊急輸送ルートの策定といった意思決定を支援する。

10-2-2. 実証方法

ArcGIS Pro (Network Analyst) およびリアルタイムの交通 API を利用してシミュレーションを実施した。平時の交通状況（ベースラインシナリオ）として通常ルーティングを図 10-4 のように設定した上で、豪雨イベント（100mm/hr を想定）発生時のシナリオを適用した。分析にあたっては、洪水シミュレーションの浸水深が 0.3m 以上の道路区間を「通行不能」なバリアとして定義し、ネットワークから除外する処理を行った。

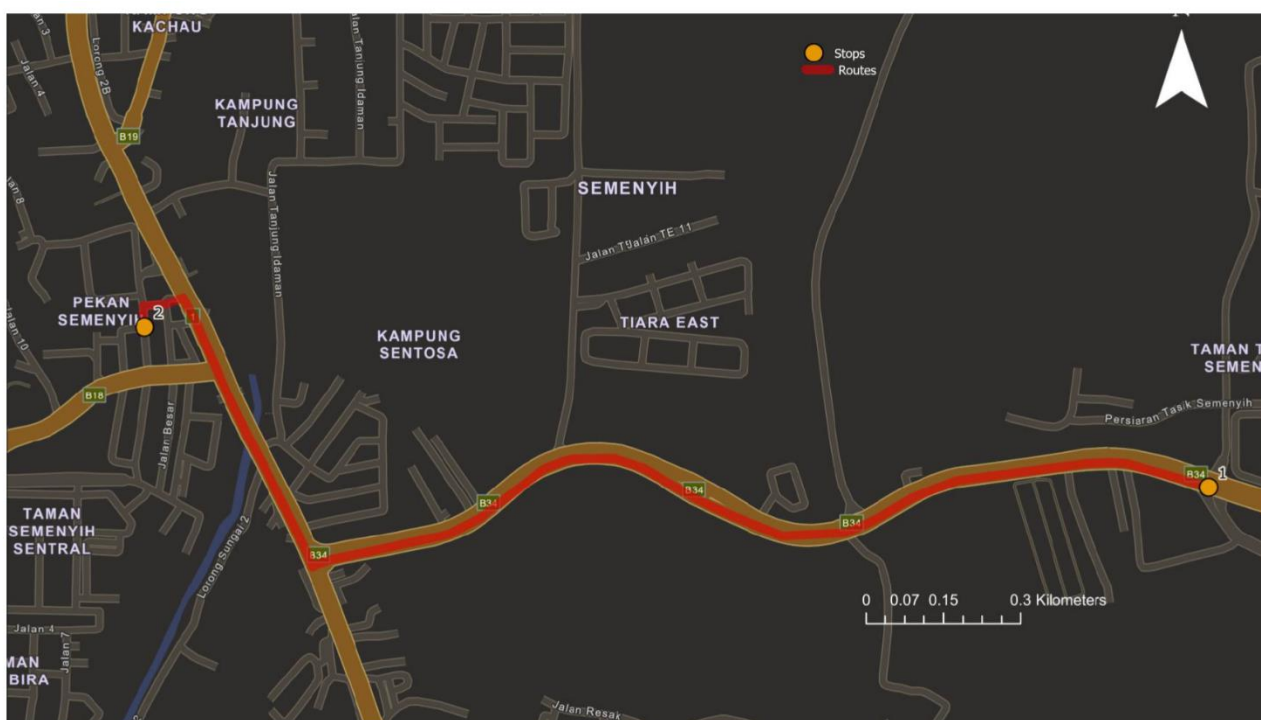


図 10-4 交通ネットワークシミュレーションにおける基本シナリオと地点間ルート解析

10-2-3. 実証結果

洪水による主要道路の寸断のシミュレーション結果を図 10-5、浸水深 0.3m 以上の道路区間を通行不能として設定したシミュレーション結果を図 10-6 に示す。

本シミュレーションにより、発災時の緊急輸送ルートを選定や避難計画の策定において、都市デジタルツインが極めて有効な判断材料を提供できることが実証された。洪水による主要道路の寸断した際の 3 つの代替ルートを動的に特定した。これにより、洪水ダイナミクスが交通の接続性と移動可能性に直接的な影響を与える様子が図 10-7 のように示された。

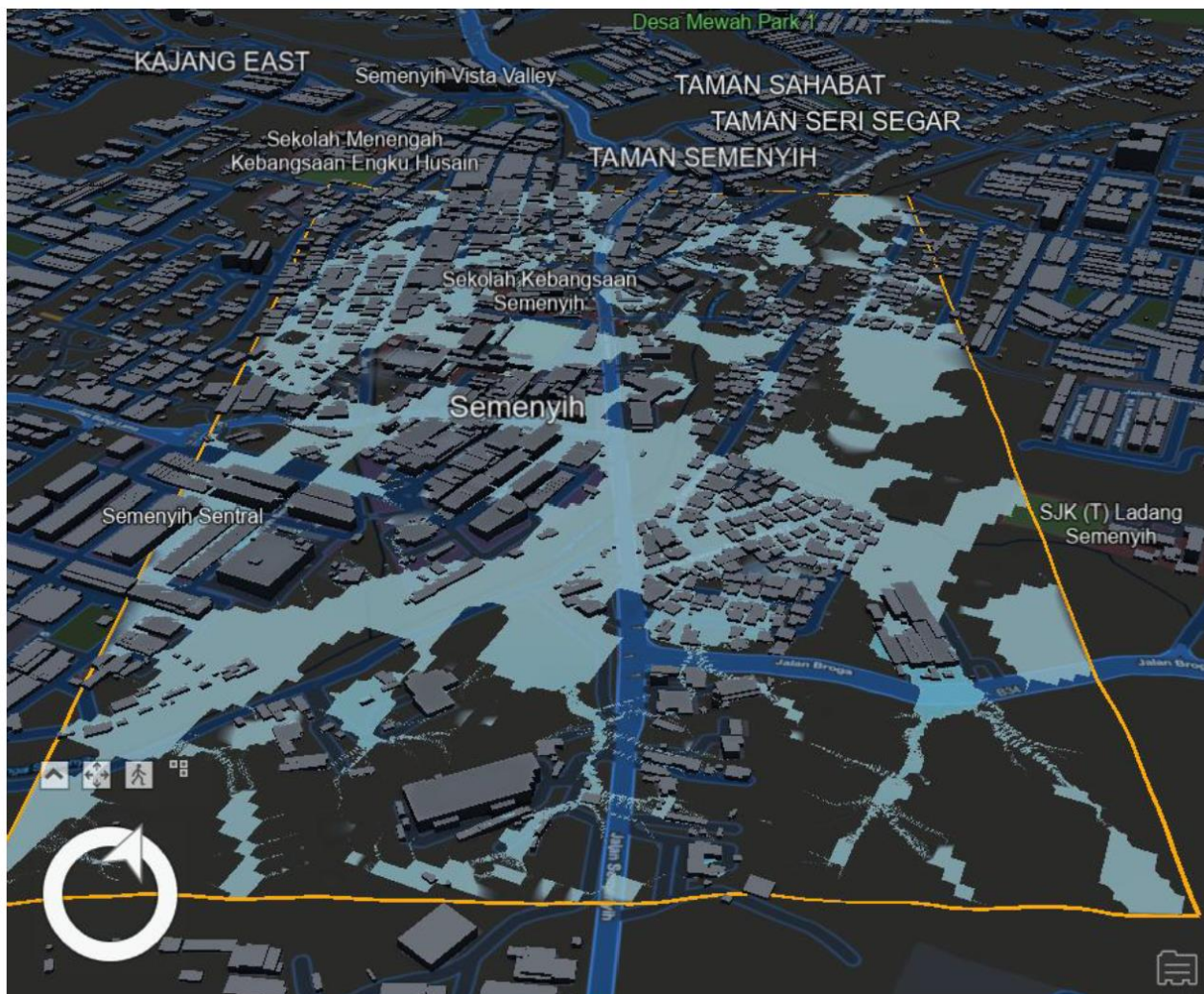


図 10-5 洪水による主要道路の寸断のシミュレーション結果

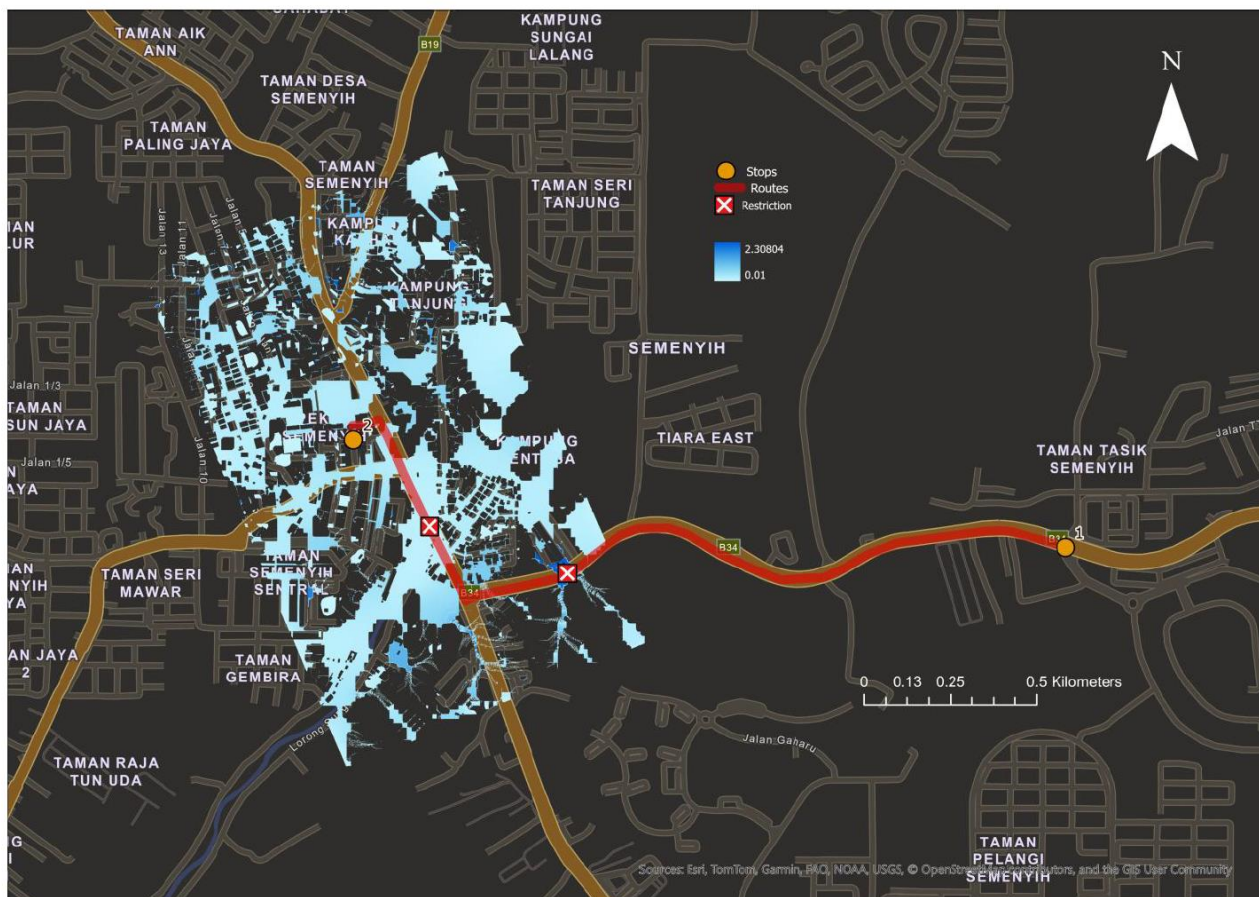


図 10-6 浸水深 0.3m 以上の道路区間を通行不能として設定したシミュレーション結果

最初に浸水した道路セグメントをネットワーク内の障壁（バリア）として組み込み、物理的な通行不能区間を設定した。次にこれらの障壁をリアルタイムに回避しつつ、目的地まで到達可能な 3 つの代替ルートを図 10-7, 10-8, 10-9 のように動的に抽出した。時々刻々と変化する洪水動態が、都市のアクセシビリティやネットワーク全体の接続性に対してどのように直接的な影響を及ぼすかを可視化し、その有効性を実証した。

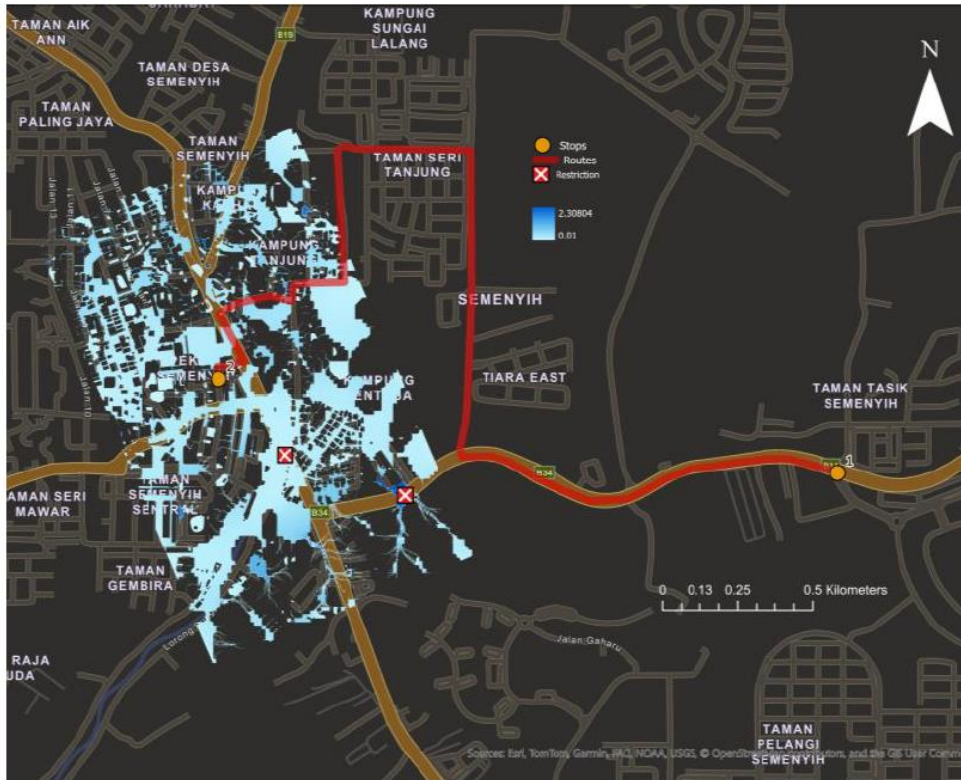


図 10-7 洪水時の道路ネットワークにおける代替ルートシミュレーションの結果 (1)

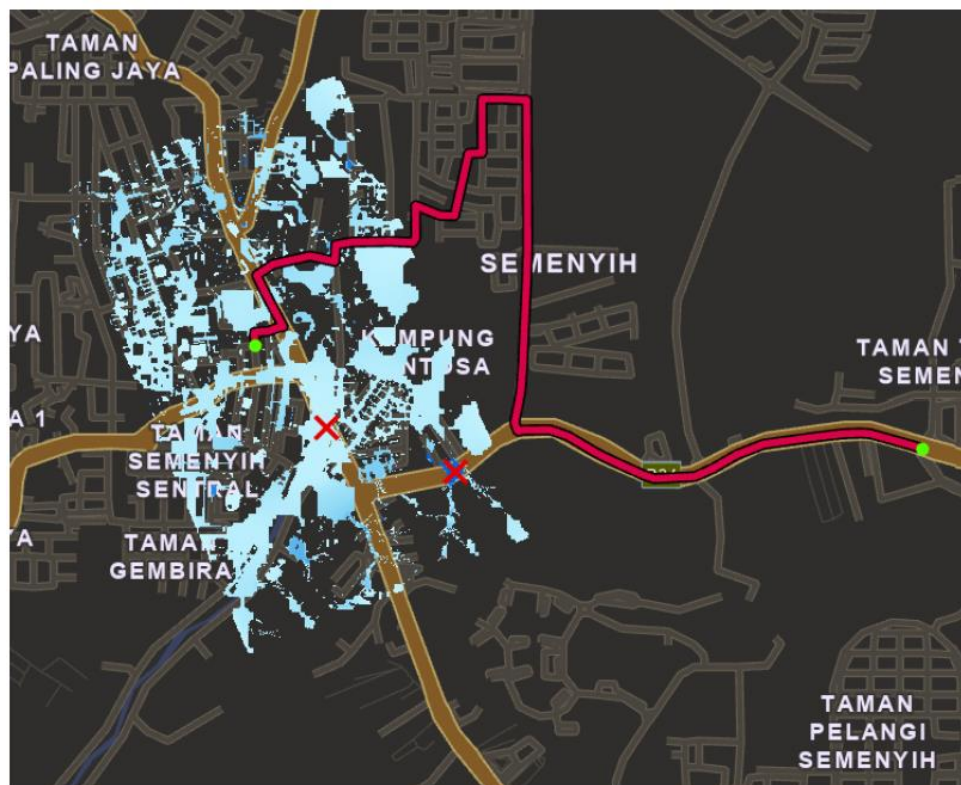


図 10-8 洪水時の道路ネットワークにおける代替ルートシミュレーションの結果 (2)

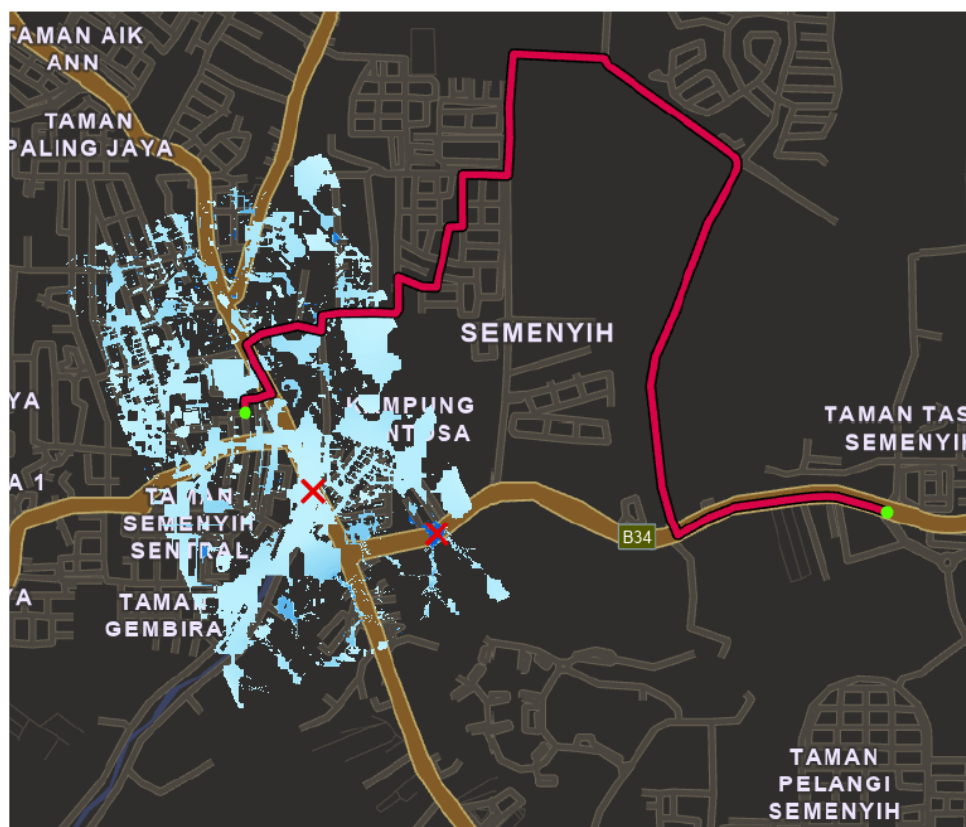


図 10-9 洪水時の道路ネットワークにおける代替ルートシミュレーションの結果 (3)

10-3. 洪水シミュレーションに付随するエコシミュレーション

10-3-1. 検証目的

本検証は、メインテーマである「洪水シミュレーションおよび交通ネットワーク分析」に付随する、補足的な暫定検証として実施したものである。都市デジタルツインが、地形の再現や浸水範囲といった「物理的な災害リスクの可視化」にとどまらず、IoT センサ等と連携することで、水質悪化や生態系リスクを追跡する「環境モニタリング基盤」としても拡張可能であることを示し、将来的な早期警戒システム (Early Warning System) への応用ポテンシャルを提示することを本検証の目的としている。

10-3-2. 実証方法

防災と水資源管理は密接に関連しており、特に洪水イベントに伴う土砂や汚染物質の流入は、水質や生態系に大きな影響を及ぼす。本検証では試験的なアプローチとして、対象地域の河川や湖沼に設置された各種水質・環境センサ (植物プランクトンの全体量を示す「クロロフィル」、有害なアオコ等の原因となる藍藻の指標「フィコシアニン」、および水位・水温など) からの連続観測データを、都市デジタルツイン上に統合した。ここでの都市デジタルツインがもたらす最大の付加価値は、湖の「上流 (入口)」と「下流 (出口)」のセンサデータを空間的に紐づけてリアルタイムに差分解析を行うことで、専門的な計測データを「現在、湖の中で有害な藻類が異常増殖しつつある」といった、行政担当者や一般市民にも直感的に理解できる『生態系のリスク指標 (早期警戒情報)』へと翻訳している点にある。さらに、これらを 3D の地形データや周囲の土地利用状況、洪水イメージと重ね合わせることで、大雨に伴う汚染物質の流入が生態系に与える影響を立体的に把握・予測する環境を構築した。

10-3-3. 実証結果

本分析では、下流と上流におけるクロロフィルの変化量 (ΔChl) およびフィコシアニンの変化量 (ΔPhyco) の差を算出することで、湖の生態学的な挙動を特定した。この手法により、対象の湖が現在、生態系において以下のいずれの役割 (状態) を果たしているかを明らかにすることが可能である。

- ①「バイオマスを減少させるフィルター」として機能している状態：湖が、上流から流れ込んだ汚れやプランクトンを沈殿・分解し、自然の浄水装置として働いている状態。一方で、有機物が減りすぎると、本来下流の川や海へ運ばれるはずの栄養やエネルギーが止まってしまう側面も持つ。
- ②「バイオマスを生成するリアクター」となっている状態：湖の中で藻類などのプランクトンが異常に増殖 (富栄養化) しており、水質悪化や赤潮などの兆候を示している状態。
- ③「藻類の組成を変化させるコミュニティ・シフター」として作用している状態：全体の生物量は変わらなくても、例えば無害な藻類から有毒なシアノバクテリア (藍藻・アオコなど) へ、湖内の生態系のバランスが危険な方向へ変化している状態。

都市デジタルツイン技術は、これらの生のセンサデータを解析し、エコシステムの振る舞いや早期の水質リスクを示す明確な指標へと変換する役割を担っている。湖が現在どの状態にあるかをリアルタイムに特定することで、「有害なシアノバクテリアが増加傾向（コミュニティ・シフター）にあるため、大規模なアオコが発生して甚大な被害が出る前に、上流からの排水規制や水質浄化対策を打つ」といった、科学的根拠に基づいた早期警戒や能動的な水資源管理の意思決定が可能となる。

実際のエコシステムシミュレーションの結果を図 10-10 に示す。解析結果によると、 Δ Chl および Δ Phyco の算出データに基づき、湖内がシアノバクテリア（藍藻）へと移行している可能性、すなわち現在の湖が③「藻類の組成を変化させるコミュニティ・シフター」として作用している可能性が示唆された。

都市デジタルツイン上でこれら生態系の振る舞いを高精度に再現・予測できることを実証したことで、従来の点検観測に依存しない、能動的な広域水環境モニタリング手法の妥当性が検証された。

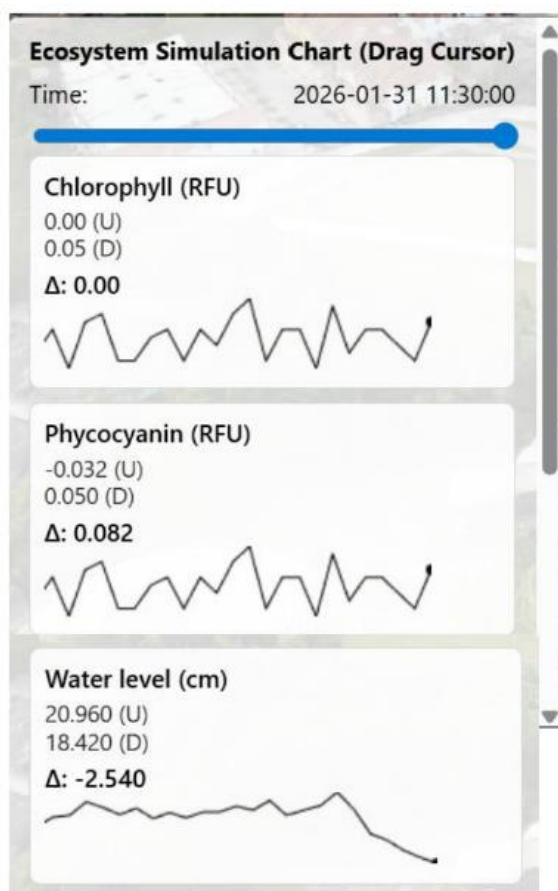


図 10-10 エコシミュレーションの解析結果

11. 成果と課題

11-1. 本実証で得られた成果

11-1-1. 都市デジタルツインの技術面での優位性

実証実験を通じて、以下のような都市デジタルツインの技術面での優位性が示された。

表 11-1 都市デジタルツインの技術面での優位性

大項目	小項目	都市デジタルツインの技術面での優位性
位置特定・生成精度	衛星画像とオープンデータのみによる平面位置精度の確保	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来、新興国等で正確な 3D 都市モデルを作成するには高コストな地上・航空測量が必須であり、測量インフラがない地域では作成自体が困難であった ● 本システムでは、衛星画像と OpenStreetMap 等のオープンデータのみを入力情報とし、現地測量なしでドローン実測データに対し IoU 0.74 (目標 0.5) という高い平面位置精度を達成した
AI・機械学習	光学衛星画像からの建物属性(屋根形状・色)自動推定	<ul style="list-style-type: none"> ● 通常、建物の屋根形状や詳細な色情報の付与には、目視による入力や高価な LiDAR データが必要となる ● 本システムでは、Vision Transformer (屋根形状分類) や K-Means クラスタリング (屋根色推定) といった機械学習アルゴリズムを実装し、安価な光学衛星画像から建物の属性情報を自動的かつ高精度に推定・付与することを可能にした
表現技術	プロシージャル技術によるビジュアルの自動高品質化	<ul style="list-style-type: none"> ● 低コストなデータソース (オープンデータ等) を用いる場合、通常は「豆腐モデル」と呼ばれる箱型の簡易な形状になりがちで、都市計画の合意形成等に必要の訴求力が不足する ● 本システムでは、Blender のジオメトリノード等を活用した「見た目補正処理」を開発し、低解像度なメッシュの平滑化、屋上構造のディテールアップ、水面・森林のマテリアル強化を自動処理することで、手動モデリングなしでフォトリアルな表現を実現した
データ互換性	国際標準 (CityGML) への準拠とシミュレーション連携	<ul style="list-style-type: none"> ● 独自の簡易生成ツールではデータ形式が特殊になりがちで、他システムでの二次利用が難しい場合が多い ● 本システムは、生成データを国際標準である CityGML 形式で出力するため、PLATEAU 等の既存プラットフォームとの互換性を確保している

		<ul style="list-style-type: none"> ● また、災害データ（浸水深等）を 3D 空間に統合し、mp4 動画として出力する機能を備えているため、専門ソフトウェアを持たない現地の意思決定者でも直感的にリスクを把握できる
--	--	--

11-1-2. 都市デジタルツインのビジネス面での優位性

表 11-2 都市デジタルツインのビジネス面での優位性

大項目	小項目	都市デジタルツインのビジネス面での優位性
コスト・リードタイムの削減	AI と衛星画像活用によるモデリングの効率化	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の 3D モデル構築は、航空測量や地上測量に多大なコストを要し、特に広域や海外展開においては予算確保が大きな障壁となっていた ● 衛星画像から AI で都市デジタルツインを自動生成する手法により、現地計測を最小限に抑え、従来比で大幅な低コストでのモデル整備が可能となる ● これにより、予算の限られた新興国市場への参入障壁が下がる
グローバル市場へのスケールビリティ	物理的制約を受けない広域展開の実現	<ul style="list-style-type: none"> ● 航空機を飛ばすことが困難な国境付近や、測量インフラが未整備な地域では、詳細な地図データの取得自体が困難であった。 ● 衛星データは地球上の広範囲の場所を網羅しているため、物理的な立ち入りや許可申請の制約を軽減し、より多くの都市を対象としたサービス展開が可能となる ● これにより、グローバル展開の価値が向上する

11-1-3. 都市デジタルツインの公共政策面での優位性

表 11-3 都市デジタルツインの公共政策面での優位性

大項目	小項目	都市デジタルツインの公共政策面での優位性
行政業務の価値/品質向上	水害シミュレーション等の統合による防災対策の最適化	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の防災計画は 2D 地図や統計データに基づくことが多く、浸水範囲や被害状況を立体的に把握することが困難であり、優先的な対策エリアの選定に主観が混じる余地があった ● 都市デジタルツインに水害イメージを統合することで、建物の位置を考慮したリアルな被害予測が可能となる ● これにより、避難経路の策定やインフラ整備の優先順位付けを科学的根拠に基づいて行うことができ、防災施策の実効性が高まる

11-2. 実証実験で得られた課題と対応案

表 11-4 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	課題に対する対応案
アルゴリズム	建物の位置・形状精度の検証 (IoU)	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在のアルゴリズムでは土地の高低差や建物の高さ情報を十分に考慮できていないため、3次元的な形状一致には限りがあり、実際の計測データと差異が生じる場合がある ● 久留米市での検証ではIoUが0.55となり目標(0.6)を下回った。これは衛星画像と正解データ(3D都市モデル)の取得年度のズレや、ノイズ(比較対象外の建物)が含まれたことが要因である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 浸水リスクが高い重要エリアや中心市街地においては、衛星データだけでなく一部「地上測量データ」を組み合わせるハイブリッド型アプローチを採用し、必要な箇所の精度を確保する ● 日本国内の信頼性の高いデータ(PLATEAU)を用いて評価手法を確立し、データの取得時期やノイズの影響を考慮した上で、アルゴリズムの信頼性を担保する枠組みを適用する
海外での都市デジタルツインの新規導入	既存システムやデータ、人材などの導入環境における懸念	<ul style="list-style-type: none"> ● データ連携等に課題がある国がある ● 詳細な解析に耐えうるデータ精度の確保に懸念がある国がある ● 都市デジタルツインを扱えるエキスパートが不足する国がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 世界標準のデータフォーマット CityGML 等をベースにしたモデリングをさらに拡大させる ● 浸水リスクが高いエリアや中心市街地には、一部地上測量データを組み合わせるハイブリッド型アプローチを提案する ● 国連や JICA 等の国際協力枠組みも活用し、現地の行政官に向けたワークショップや運用マニュアルの整備をセットで提供する

11-3. 今後の展望

本プロジェクトで検証した、衛星画像と AI を用いた高精度の都市デジタルツイン生成技術は、既存の 3D 都市モデルのような詳細な地図データが不足する海外都市においても、低コストで防災・都市計画の基盤を構築できる手法として有用性を示すことができた。技術検証によって、従来の地上測量よりも低いコストで、一定精度の都市デジタルツインを構築可能なことが確認された。有用性検証として実証フィールドであるマレーシアを含む海外政府機関等 9 機関を対象に行った詳細ヒアリングでは、有用性および導入意欲について高評価を得られ、パイロットプロジェクトへの参加意欲も極めて高いことが確認された。

このように各国の機関から極めて高い評価を獲得できた論拠として、新興国が直面する課題の 1 つであった「3D 都市モデルの導入コスト」に対して、比較的 low コストで入手が可能な衛星画像と AI の活用により直接的に解消できるソリューションであったことが挙げられる。また、当該案件にて制作した水害イメージの可視化動画は、専門知識を持たないユーザーへの説明において、直感的な理解を促す有効なツールになり得ると考えられる。

一方で、衛星画像と教師データ（正解データ）の取得時期の乖離や、観測手法の差異等に起因する建物の位置と高さの精度といった課題も確認されており、アルゴリズムのさらなる精度向上や検証手法の確立が求められる。これらに対応するためには、「構築手法とユースケース拡充」の面と、「外部技術との連携」の面に対する解決方向性が考えられる。

まず、「構築手法とユースケース拡充」の面においては、都市デジタルツイン構築手法自体の高度化を図るとともに、防災や都市開発、ドローン、自動運転といった広範な領域におけるシミュレーション・ユースケースの拡充を推進する。これらは、多様な産業分野において活用可能な基盤を提供し、社会実装を強力に加速させるような効果が期待される。

次に、「外部技術との連携」の面においては、衛星画像解析等の外部技術を都市デジタルツインに重畳し、データの高付加価値化を実現する。これらは、プラットフォームとしての提供価値をさらに引き上げ、世界的な都市課題に対する新たなデータ需要を喚起するような効果が期待される。その一例として、衛星解析技術を有する三菱電機株式会社のサービスと組み合わせたユースケース案を表 11-5 に記載する。

表 11-5 衛星画像解析の技術と組み合わせたユースケース案の例

No.	ユースケース(案)	内容	活用候補となる技術
1	高精度地形変化検知	洪水後の地盤沈下・斜面変状（含む、土砂崩れ）・堤防周辺の変位を、衛星の時系列データから自動的に検出。三菱電機の SAR 時系列解析技術を用いることで、ミリメートル単位の地表面変動を面的にかつ継続的に監視できるため、洪水後の二次災害リスクを早期に発見可能。都市デジタルツイン上で地形の変化をリアルタイムで反映し、3D で可視化するこ	<ul style="list-style-type: none"> ● SAR 時系列解析「MELTERRA-GeoTrack」 ● 土地利用自動分類 AI「MELTERRA-

		とで、洪水シミュレーションがより高精度化。地物 ID に変位指標や警戒度を付与することで、3D 上で危険区間を表示可能に。避難経路の安全性も常に最新の状態で評価できる。	LANDSCAN] ● 変化検出技術
2	AI 土地利用分析による洪水リスク予測	衛星画像から土地の使われ方(建物、道路、緑地、水域など)を自動的に分類し、都市の開発状況の変化を追跡。 新しい建物が建つと雨水が地面に吸収されにくくなり洪水リスクが高まるが、土地利用自動分類 AI を使えば、このような変化を早期に検知可能。 都市デジタルツイン上で土地利用の変化を反映させることで、都市開発に伴う洪水リスクの変化をシミュレーションでき、将来的な防災計画の立案に活用できる。	
3	浸水域の準リアルタイム把握とシミュレーション同化	発災前後 SAR で浸水域を抽出。洪水シミュレーションの初期条件・境界条件として都市デジタルツイン上に浸水域情報を随時連携し、浸水影響(街区、道路リンク、建物)シミュレーションを自動で更新。3D で今後の被害想定を重畳表示し、避難判断と救援計画に反映。 マレーシアでの実績をもとに、タイ、インドネシア、フィリピンなど、洪水被害が多い東南アジア諸国に展開可能。災害発生時に数時間以内に衛星データを取得・解析し、都市デジタルツイン上で被害状況を可視化することで、各国の防災機関が迅速に避難指示や救援活動を行えるよう支援する。	● SAR 衛星による浸水域抽出技術
4	インフラ老朽化監視による二次災害防止	道路、橋、堤防などのインフラ施設を衛星で継続的に監視し、洪水による損傷や老朽化の進行を早期に検出する。SAR 時系列解析技術により、ミリ単位の構造物の変形を検知できるため、洪水後に危険な状態になったインフラを特定し、二次災害を防ぐことが可能。 都市デジタルツイン上でインフラの状態を反映させることで、避難経路の安全性をリアルタイムに評価できる。日本国内では高齢化したインフラの維持管理に、海外では急速に整備されたインフラの品質管理に活用でき、自治体や政府機関向けに展開可能。	● SAR 時系列解析「MELTERRA-GeoTrack」 ● 超解像 AI「MELTERRA-HD」
5	建物被害・機能停止推定の 3D 提示	発災前後の高分解能光学+補完 SAR で建物単位の変化を検知し、PLATEAU 等の建物 ID に被害カテゴリ・確度・要現地確認フラグを付与して都市デジタルツイン上で被害分布と調査優先度を提示可能。	● 建物変化検知 ● SAR 変化検知 ● 超解像 AI「MELTERRA-HD」

本実証では、衛星画像とオープンデータから AI 等を用いて生成した都市デジタルツインを、国際標準規格「CityGML」形式で出力することで、海外の多様な GIS 環境におけるシームレスな相互運用性を実証した。これは、Project PLATEAU で培われたデータ仕様を海外へ展開し、その有効性を証明するうえで重要なマイルストーンとなる。今後は、海外政府機関等へのヒアリングで得られたニーズを反映させ、日本発の PLATEAU モデルの国際的な実用化と標準化を加速し、世界共通の課題である防災や都市開発を支えるグローバル・スタンダードの確立を目指す。

12. 用語集

A) アルファベット順

表 12-1 用語集（アルファベット順）

No.	用語	説明
1	3D 都市モデル	都市空間を構成する建物、地形、植生などを 3次元データとして再現したモデル。国土交通省の Project PLATEAU 等で整備が進められている。
2	Blender	コンピュータグラフィックス制作用のオープンソース 3DCG ソフトウェア。本実証では建物の見た目補正や水害シミュレーションの可視化に使用された。
3	CityGML	地理空間データを交換・保存するための国際標準フォーマット (XML ベース)。3D 都市モデルの標準データ形式として採用されている。
4	DEM	Digital Elevation Model (数値標高モデル)。建物や樹木を除いた、地面 (地表面) の高さを計測したデータ。
5	DSM	Digital Surface Model (数値表層モデル)。地面だけでなく、その上にある樹木や建物などの高さも含めた表層のデータ。
6	GDAL	ラスタおよびベクタ形式の地理空間データを読み書き・変換・処理するためのオープンソースライブラリ。機械学習用データの抽出等に利用された。
7	Geometry Nodes	Blender において、ノードベースの操作によってオブジェクトのジオメトリ (形状) を変更するためのシステム。
8	GeoTIFF	緯度経度などの位置情報 (ジオリファレンス情報) が埋め込まれた画像ファイル形式 (TIFF)。衛星画像のデータ形式として使用された。
9	Houdini	プロシージャル (手続き型) な生成を得意とする 3DCG ソフトウェア。本プロジェクトでは 3D モデル生成処理の一部に活用された。
10	IoU	Intersection over Union。2つの領域 (ポリゴン等) がどれだけ重なっているかを示す指標。本実証では位置精度の検証 (正解データとの重複率) に用いられた。
11	K-Means クラスタリング	データを k 個のクラスター (グループ) に分類するアルゴリズム。本システムでは、教師データが不足する屋根色の推定において、教師なし学習として利用された。
12	MELTERRA-GeoTrack	三菱電機の SAR 時系列解析技術。ミリメートル単位の地表面変動を面的かつ継続的に監視できる技術。
13	nDSM	Normalized Digital Surface Model (正規化数値表層モデル)。DSM (表層) から DEM (標高) を差し引くことで算出される、建物や樹木そのものの高さデータ。

14	OpenCV	オープンソースのコンピュータビジョンライブラリ。画像処理機能として屋根の形状・色推定等に利用された。
15	OpenStreetMap (OSM)	誰でも自由に利用・編集できるオープンな地図データベース。本システムにおいて建物位置や形状の入力データとして使用された。
16	PLATEAU	国土交通省が主導する、日本全国の 3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化を進めるプロジェクト (Project PLATEAU)。
17	PostGIS	リレーショナルデータベースである PostgreSQL で地理空間情報 (GIS データ) を扱えるようにするための拡張機能。
18	PostgreSQL	オープンソースのリレーショナルデータベース管理システム。本システムでは地理情報の格納・管理に利用された。
19	SAR	Synthetic Aperture Radar (合成開口レーダー)。衛星等から電波を照射し、その反射波を観測して地表を画像化する技術。天候や昼夜を問わず観測が可能。
20	Subdivision Surface	Blender 等の 3DCG ソフトにおけるモディファイアの一つ。メッシュの面を細かく分割して滑らかな外観を作り出す機能。
21	Timm	PyTorch Image Models。画像認識モデル (Vision Transformer 等) の実装を含む Python ライブラリ。
22	Unreal Engine	高品質なリアルタイム 3D 制作プラットフォーム (ゲームエンジン)。取得・解析された地理情報の 3D モデル化や表示に使用された。
23	uv (Python)	Python のパッケージおよびプロジェクト管理ツール (ライブラリ管理用ソフトウェア)。
24	Vision Transformer (ViT)	自然言語処理で用いられる Transformer モデルを画像認識に応用したアルゴリズム。自己注意機構により画像全体の特徴を学習し、屋根形状の分類に利用された。
25	Weight Painting	3DCG において、メッシュの頂点に対する「重み (影響度)」をペイントするように直感的に設定する手法。オブジェクトの制御や配置密度などに使用される

B) 五十音順

表 12-2 用語集（五十音順）

No.	用語	説明
1	アドオン	ソフトウェアに機能を追加するプログラム。本実証では Blender や QGIS の機能を拡張するために使用された。
2	オープンデータ	著作権等の制限がなく、誰でも自由に利用・再配布できるデータ。本プロジェクトでは OpenStreetMap などが該当する。
3	機械学習	データから反復的に学習し、パターンを見つけ出す AI 技術の一種。本システムでは屋根の形状や色の自動推定に用いられた。
4	航空測量	航空機に搭載したカメラやレーザー計測機を用いて、上空から地形や建物を測定する手法。コストが高いが精度が良い。
5	ジオメトリノードモディファイア	Blender において、ノード（命令の箱）を繋ぎ合わせることでオブジェクトの形状を操作する機能。建物のディテールアップ等に使用された。
6	ジオリファレンス	画像データや地図データに、緯度・経度などの位置情報を付与すること（位置合わせ）。
7	地上測量	地上に測量機器を設置して行う測量手法。高精度だが、広範囲を行うには多大な時間とコストがかかる。
8	都市デジタルツイン	現実世界（フィジカル空間）の情報を収集し、仮想世界（デジタル空間）に双子（ツイン）のように再現したモデル。シミュレーション等に活用される。
9	ドローン	無人航空機。本実証では、マレーシアでの現地調査において、比較検証用の高精度なデータを取得するために使用された。
10	パーティクル	3DCG において、多数の粒子（点やメッシュ）を発生させて、煙、炎、毛髪（草や森）などを表現する機能。
11	ハイブリッド型アプローチ	衛星データによる自動生成と、地上測量などの高精度データを組み合わせる手法。コストを抑えつつ必要な箇所の精度を確保するために提案されている。
12	非機能要件	システムが備えるべき機能（何をするか）以外の、性能、信頼性、操作性、保守性などの要件。
13	フォトリアル	写真のように写実的で現実感のある表現のこと。本プロジェクトでは都市モデルの見た目の品質として重視された。
14	プロシージャルモデリング	手動で形状を作るのではなく、数値やルール（アルゴリズム）に基づいて自動的に 3D モデルを生成する手法。
15	マテリアル	3DCG において、オブジェクトの表面の質感（色、光沢、反射、透過など）を定義する設定。
16	モディファイア	Blender において、元の形状データを破壊せずに、変形や細分化などの効果を与える機能。

17	ユースケース	システムや技術が実際に利用される具体的な場面や事例。本実証では「水害イメージ可視化」などが該当する
----	--------	---

以上

衛星データによる都市デジタルツインの構築
技術検証レポート

2026年3月 発行
委託者：国土交通省 都市局
受託者：株式会社スペースデータ