合同シンポジウム

第一部　第 45 回 測量技術講演会

国 土 地 理 院 近 畿 地 方 測 量 部

公 益 社 団 法 人　日 本 測 量 協 会 関 西 支 部

都市デジタルツインを支えるAI・XR技術

―地理空間情報との融合による可視化・体験・意思決定支援―

大阪大学 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻
教授　福田知弘

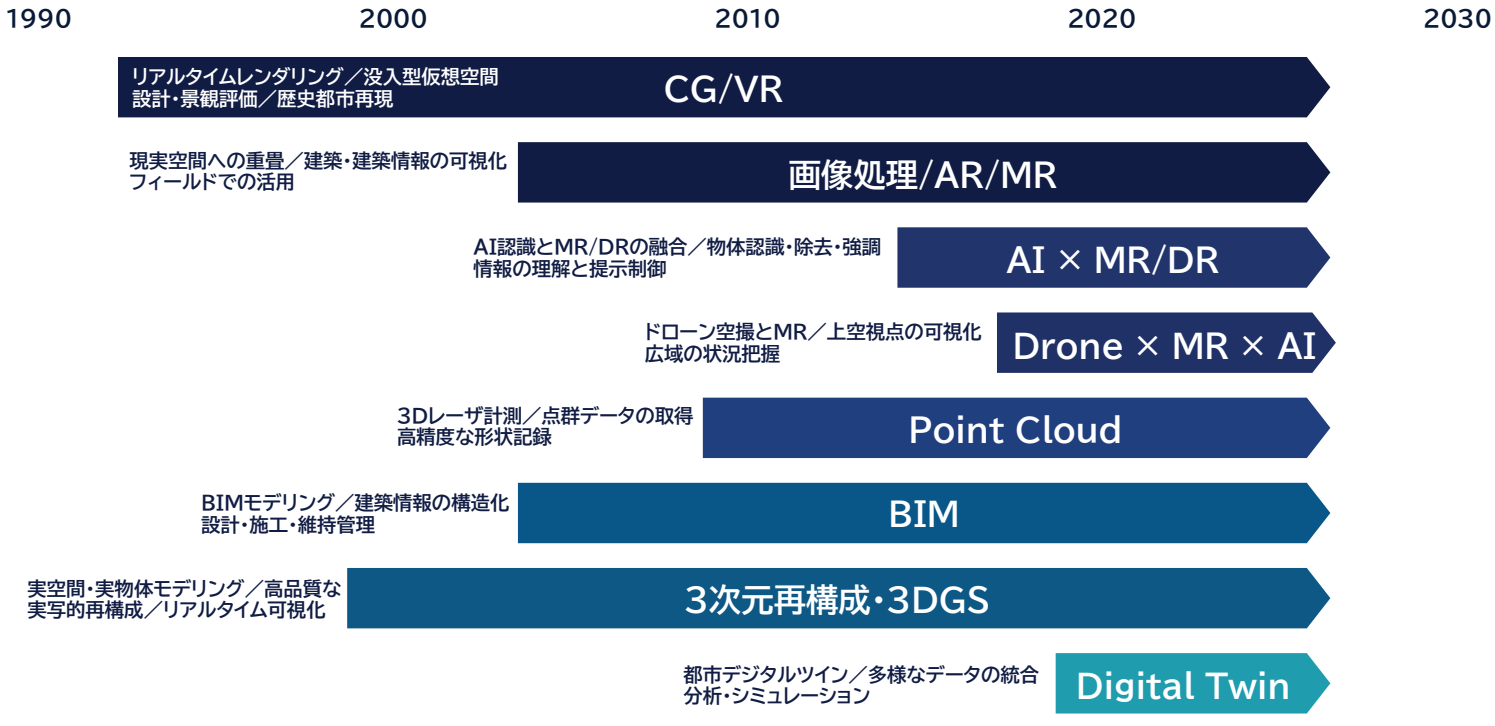
大阪大学
THE UNIVERSITY OF OSAKA

私たちは、都市を「デジタルにする」研究を続けてきた。



都市を、AIにも人間にも
「理解できる空間」にできるか？

技術は変わってきた。しかし、対象は一貫して「実空間」である。

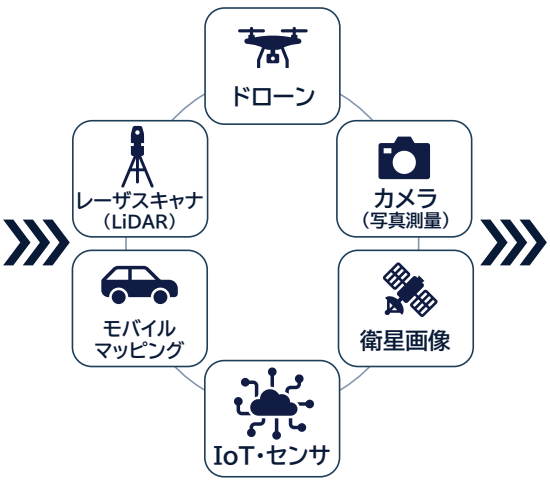


1. 都市を「捉える」

Digital Twinの出発点は、現実空間をデジタル情報として捉えることである。

実写都市 | Reality Capture | Digital Representation

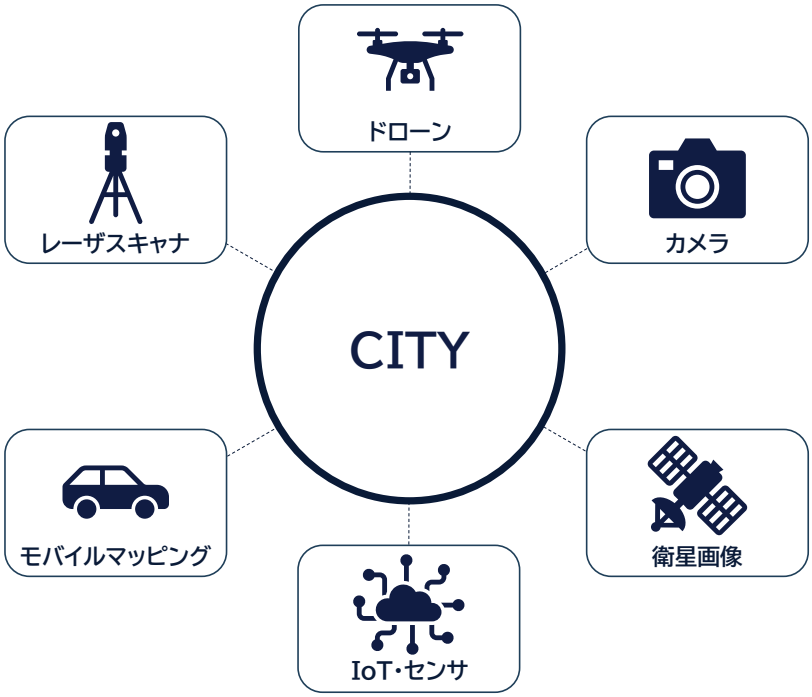






作成: ChatGPT

単一のセンサでは、都市のすべてを捉えきれない。



点群は、現実空間の「形」を高密度に記録する。



点群



写真

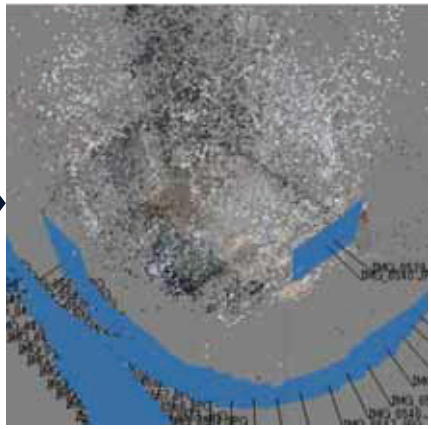
大阪大学適塾記念センター

画像は、形状だけでなく「見た目」を持つ空間情報である。

Images



SfM



3D



3DGSは、画像から「空間そのもの」を表現する新しい選択肢を与えた。

Input Images



3DGS



★[Hashizume et al. 2024]

「3Dモデル」といっても、表現している情報は同じではない。

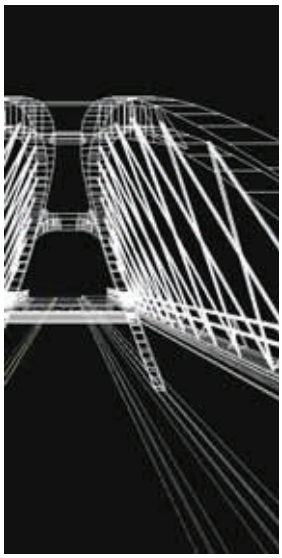
Point Cloud



Mesh



CAD



BIM



3DGS



3Dにすれば、
「都市を理解した」ことに
なるのだろうか？

2. 都市を「理解する」

AIは、計測された「形」を、都市を構成する「意味」へ変換する。

Point Cloud + Image ⟫ AI ⟫ Building Road Vehicle Person Tree …



⟫ Semantic Segmentation ⟫



★[Kido et al. 2021]



⟫ Instance Segmentation ⟫



★[Shimizu et al. 2023]

「何がどこにあるのか」を理解することで、都市データは意味を持つ。

Original



Segmentation / Semantic map





★[Xia et al. 2021]

AIによる「理解」が、XRによる「現実空間の編集」を可能にする。

現実画像



MR/DR



Semantic Segmentation

Removal / Inpainting

★[Kikuchi et al. 2022]

AIによる空間理解は、2D画像から3D空間へ広がっている。

Image　Point Cloud　3D Model



OpenScene [Peng et al. 2023]

AI



Open3DSG [Koch et al. 2024]

Semantic → Instance → Spatial Relationship

都市を理解するには、一つのデータだけでは不十分である。

Image　Point Cloud　Text　+ BIM / GIS / Sensor / Simulation ...



Chat-3D [Wang et al. 2023]

Multimodal AI

Spatial Understanding

Question / Reasoning



OpenMask3D [Takmaz et al. 2023]

AIの役割は、「認識」から「再構成・生成」へ広がっている。

Measure

Recognize

Reconstruct

Generate

Point Cloud / Image → Semantic → 3D Geometry → 3D Scene

1本の動画から、3D空間を再構成する。

Input video frame



reconstructed 3D point map

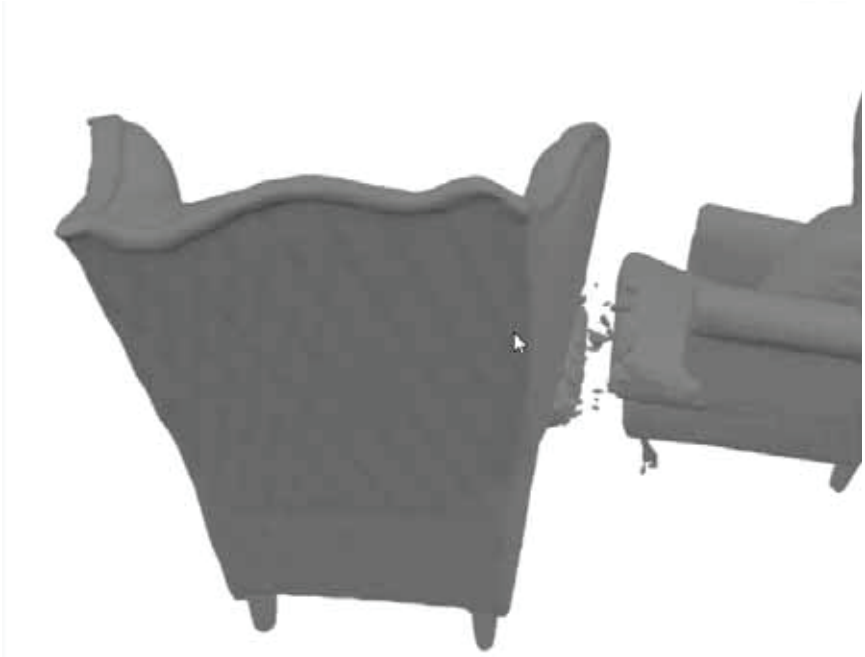
[Wang et al. VGGT 2025]

1枚の画像から、複数の物体を含む3Dシーンを生成する。

Input an image »» Segmentation »» Generation







[Huang et al. MIDI 2025] *21*

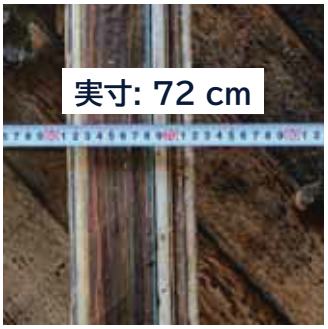
AIによる3D再構成は、形状だけでなく「尺度」まで扱えるようになった。しかし、万能ではない。



マルタ騎士団の鍵穴より
ドーム直径
実寸：41 m
MoGe-2で計測：16.34 m





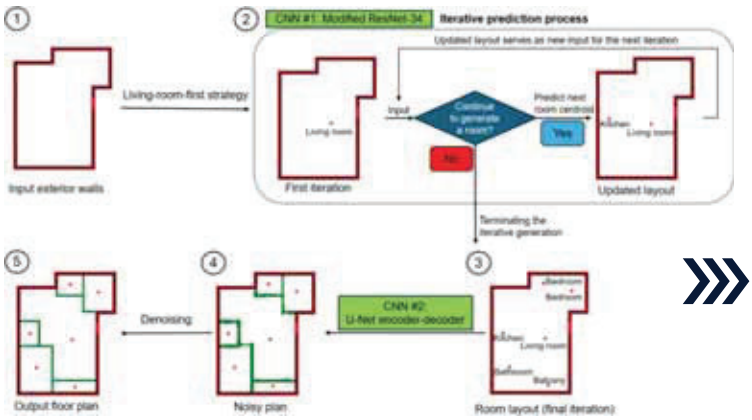




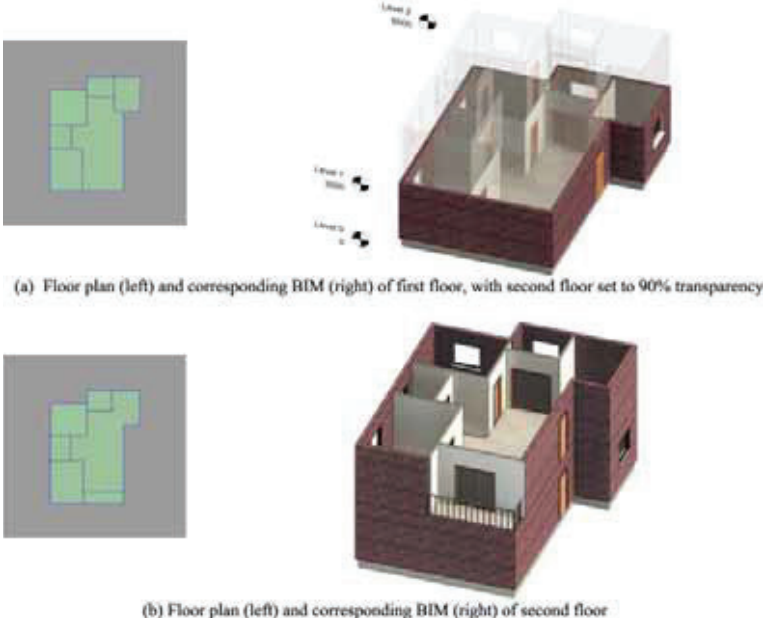
[Wang et al. MoGe-2 2025] *22*

「理解するAI」から「モデルをつくるAI」へ。

Outline ⋙ 2D Floorplan ⋙ AI ⋙ 3D BIM



複合ネットワークのワークフロー



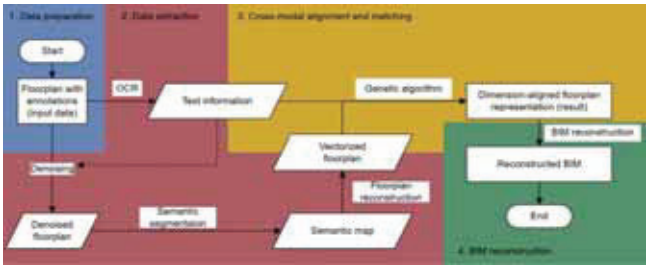
(a) Floor plan (left) and corresponding BIM (right) of first floor, with second floor set to 90% transparency

(b) Floor plan (left) and corresponding BIM (right) of second floor

GitHub: RogerLiang0725/ResBIM ★[Liang et al. 2026a]

2D図面から、意味と寸法を理解した3D BIMへ。

Annotated Floorplan ⋙ AI ⋙ Text-Geometry Matching ⋙ BIM Reconstruction



AIによる図面理解からBIM再構築までの全体フロー

★[Liang et al. 2026b]



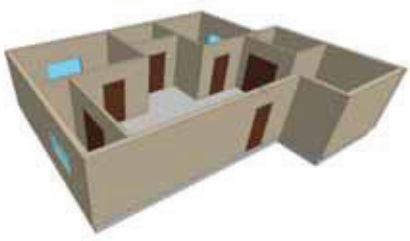
(a) Input annotated floorplan



(b) Reference BIM in BIMVision



(c) Reconstructed BIM floorplan with manual dimensions for visualization



(d) Reconstructed BIM in BIMVision

3. 都市を「モデル化する」

3Dモデルは Digital Twinの重要な構成要素だが、それだけではない。

3D MODEL ≠ **DIGITAL TWIN**

“What does it look like?”

“What is happening?”

“What will happen?”

“What should we do?”

Digital Twinは、現実とデジタルを循環させる仕組みである。

Reality ⇄ Digital

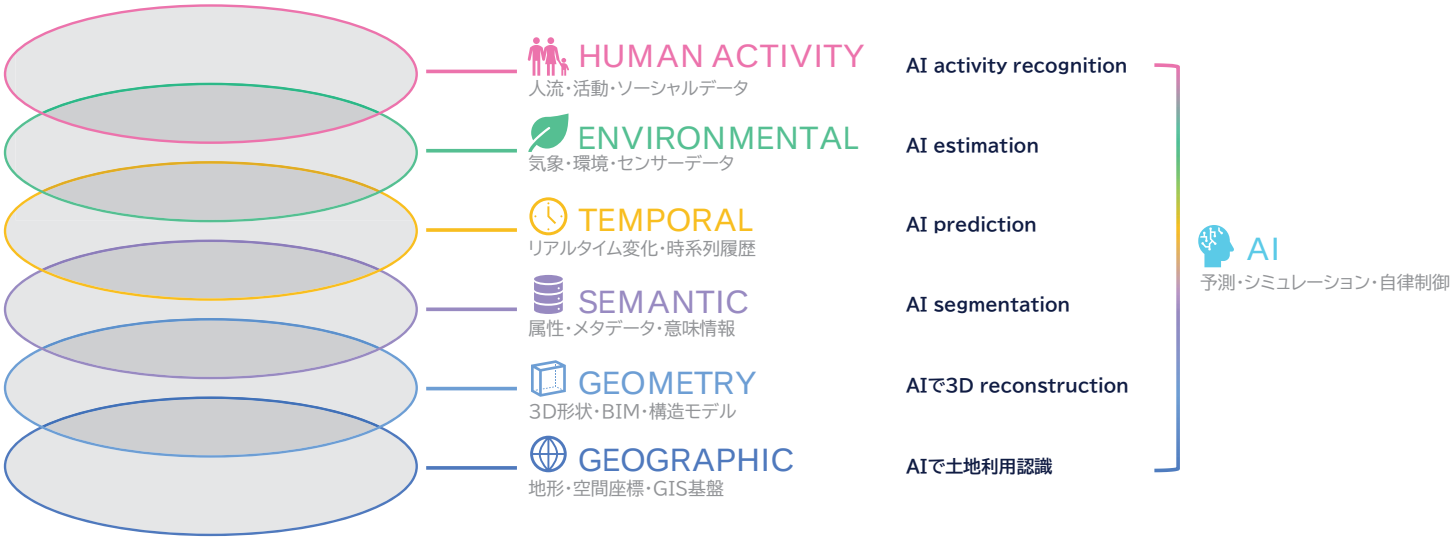
Data

Model

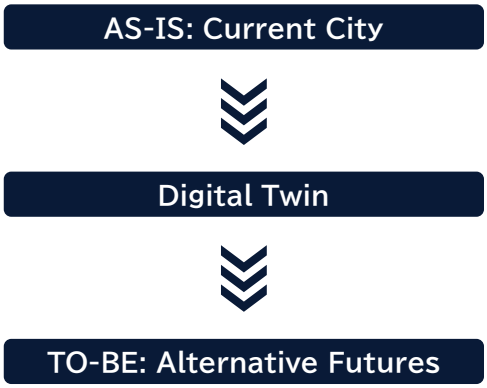
AI

Simulation

都市Digital Twinを7つの情報次元から捉えてみる。

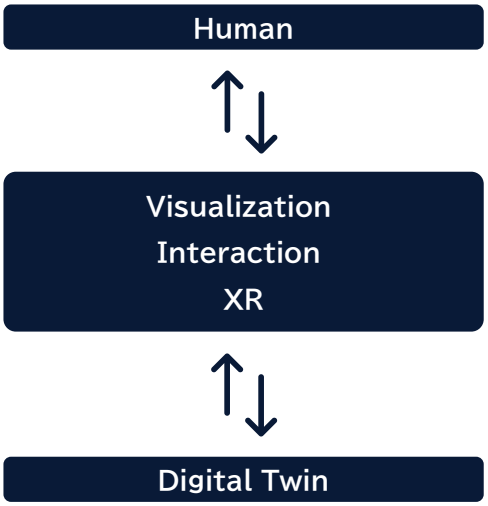


Digital Twinは、現在を再現するだけでなく、未来を比較するための空間でもある。



4. 都市を「体験する」

Digital Twinと人間を、Visualization・Interaction・XRでつなぐ。



XRは「表示技術」から「空間と関わる技術」へ進化してきた。

VR 仮想空間を体験

AR ⊂ MR 現実+デジタル情報・空間

AI × XR 空間を認識＋適応的に提示

Digital Twin × XR 都市の状態・変化・未来を体験



★[Fukuda et al. 2009]

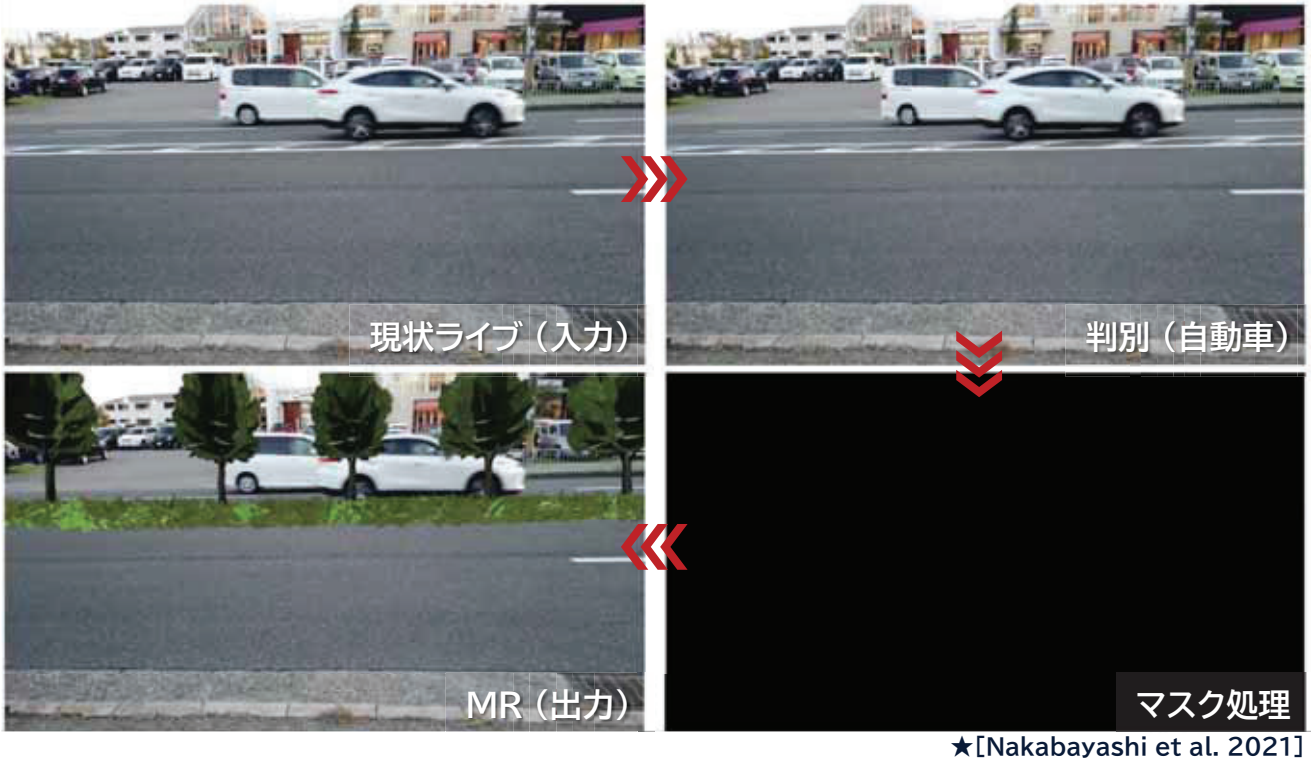


★[Zhu et al. 2018]



★[Kido et al. 2020]

「現実を認識するAI」と「現実に重ねるXR」が出会う。



★[Nakabayashi et al. 2021]

AIは、XRで可視化された情報を「意味のある情報」として解釈できる。

データセットの例



MR 画像



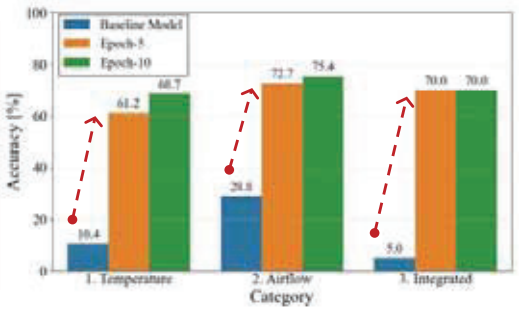
凡例

凡例：マゼンタの線は 1.0 m/s、白の線は 0.25m/s 、黒の線は 0.1 m/s を示す
質問：流速が0.1 m/s 未満の領域の気温は？
回答：29.93
解説：黒の線で囲まれている領域は主に赤のような暖色である。領域内の色と凡例画像を照合することで領域内の温度を特定できます

結果



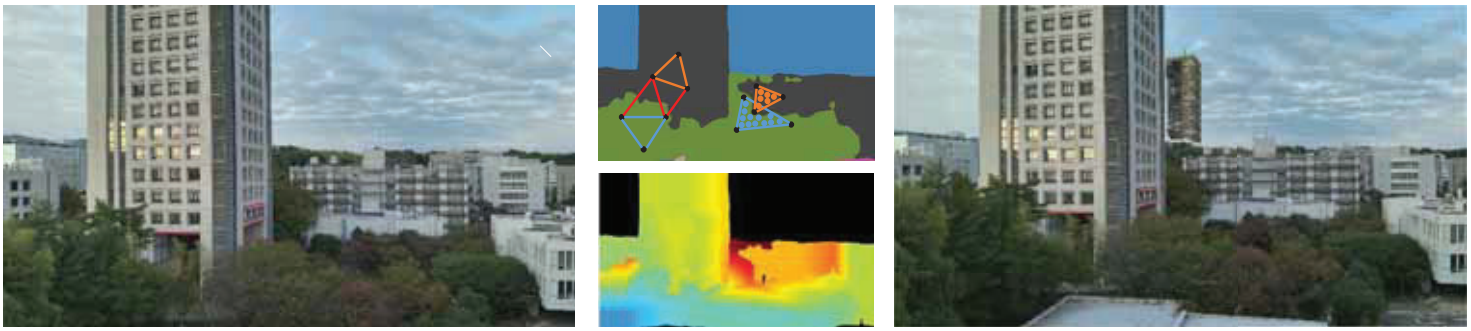
質問：流速が1.0m/s以上の領域の気温は、ほかの領域より気温が高いか？



★[Futamura & Fukuda 2026]

XRによって、都市を体験する「視点」そのものを拡張できる。

Drone scene ⟫ Semantic Segmentation + SLAM → Depth Estimation ⟫ MR Result



★[Shi et al. 2025]

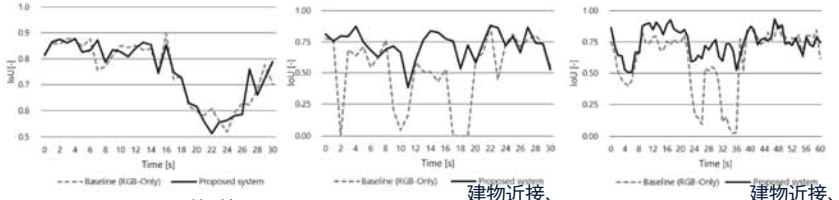
異なるセンサ情報を融合して、空間的な位置を安定して推定する

RGB + Thermal ⟫ Stable Localization





Baseline（Kinoshita *et al.*, 2024） Ours

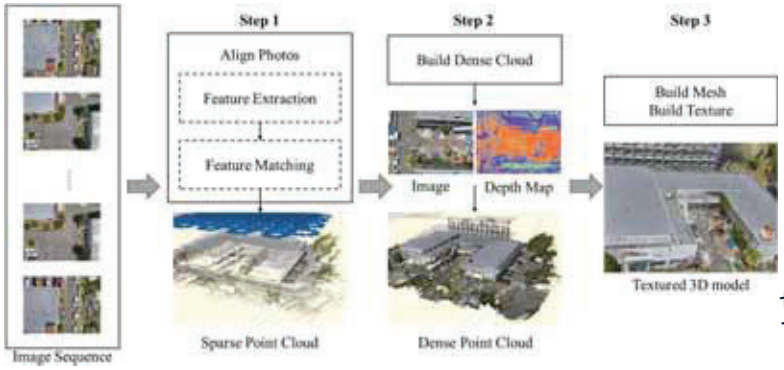


(a) Route A 俯瞰撮影 (b) Route B 建物近接、並行垂直移動 (c) Route C 建物近接、旋回

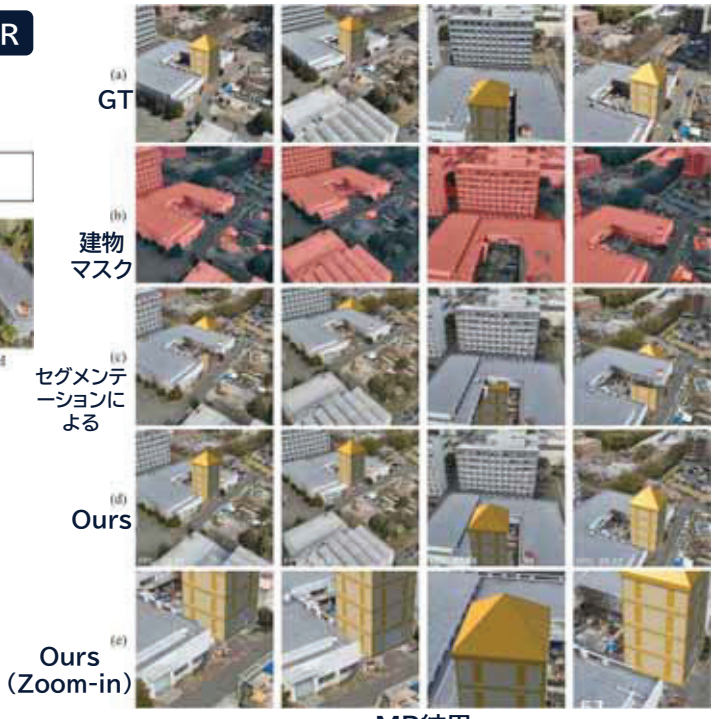
★[Fukuda & Fukuda 2026]

Drone-view MRで都市を上空から体験する

Drone ⋙ Depth ⋙ Drone-view MR



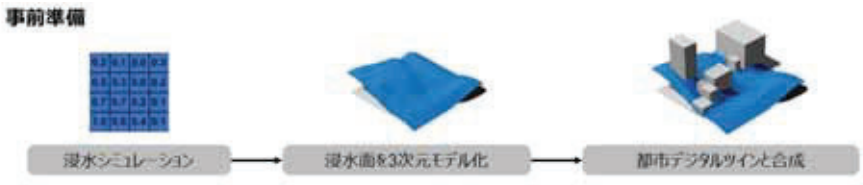
ワークフロー

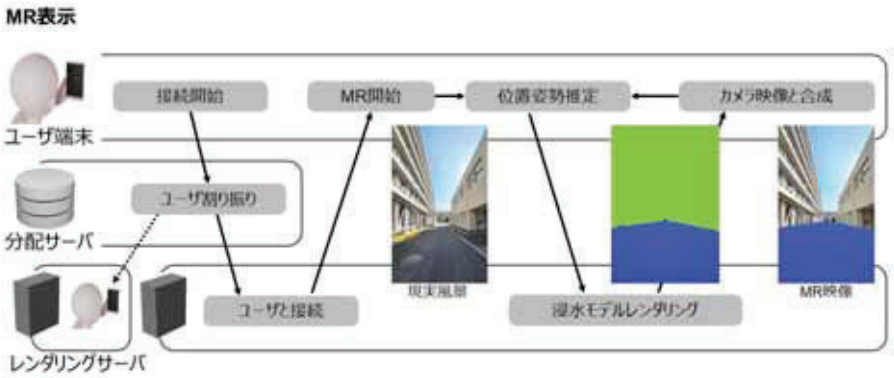


MR結果

★[Yang et al. 2026]

Digital Twinは、「まだ起きていない都市の状態」を体験可能にする。



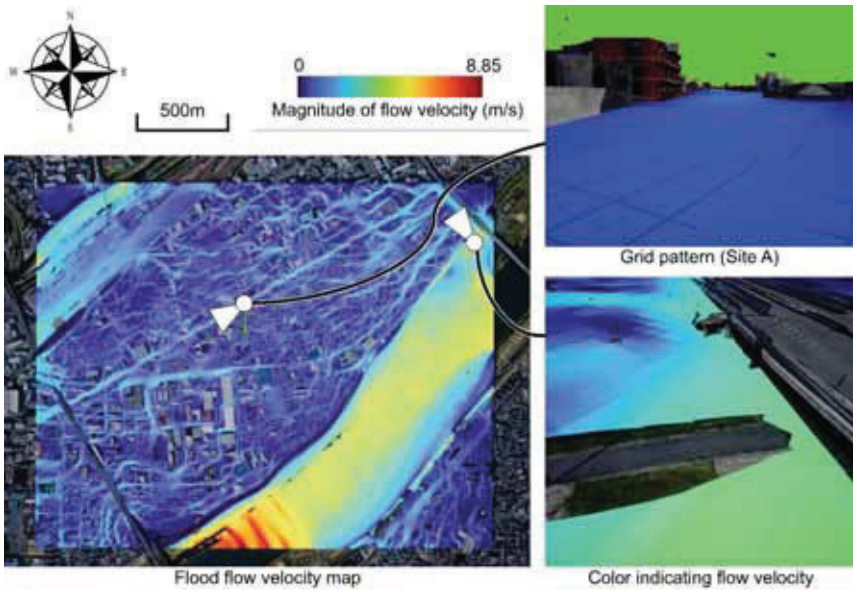






★[Tsujimoto et al. 2024]

災害時の都市を地上から体験する。



Flood flow velocity map

Grid pattern (Site A)

Color indicating flow velocity







★[Tsujimoto et al. 2024]

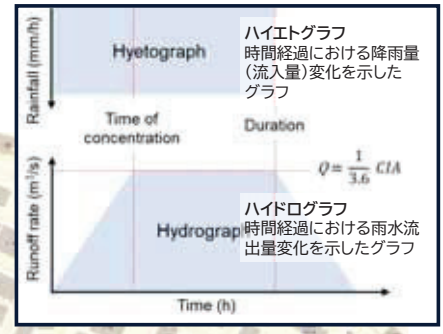
災害時の都市を上空から体験する。


現状映像


仮想世界



オクルージョン付き洪水MR



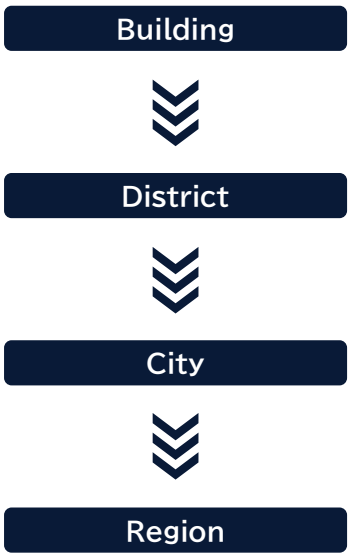
★[Kikuchi et al. 2022]

同じDigital Twinを、異なる主体が共有する。



5. 都市を「つなぐ」

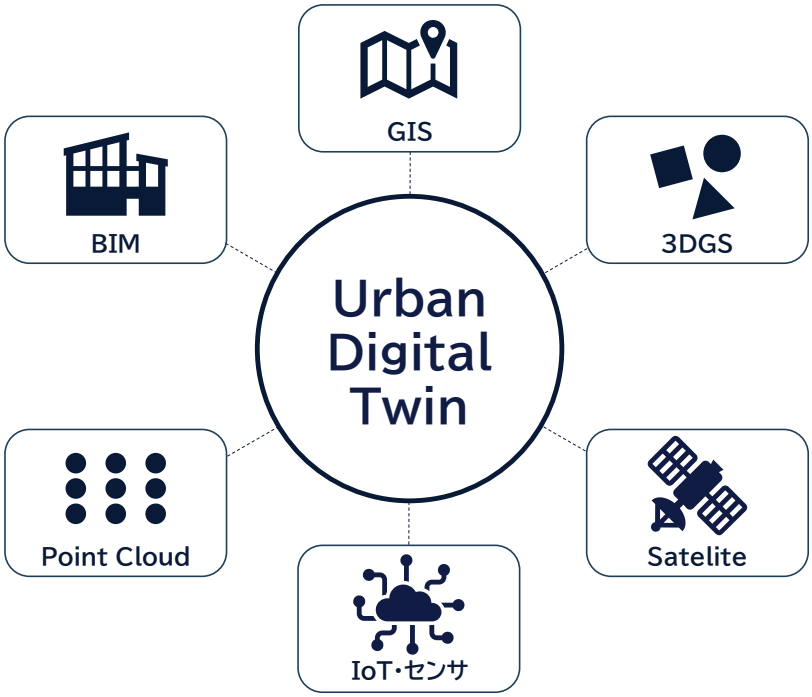
建築から都市へ——
異なる空間情報を「どこでつなぐか」が重要になる。



都市Digital Twinでは、GlobalとLocalの空間情報をつなぐ必要がある。

GLOBAL		LOCAL
GIS		BIM
Map		Point Cloud
GNSS	Registration	SLAM
Satellite	Transformation	3DGS
Latitude / Longitude		XR

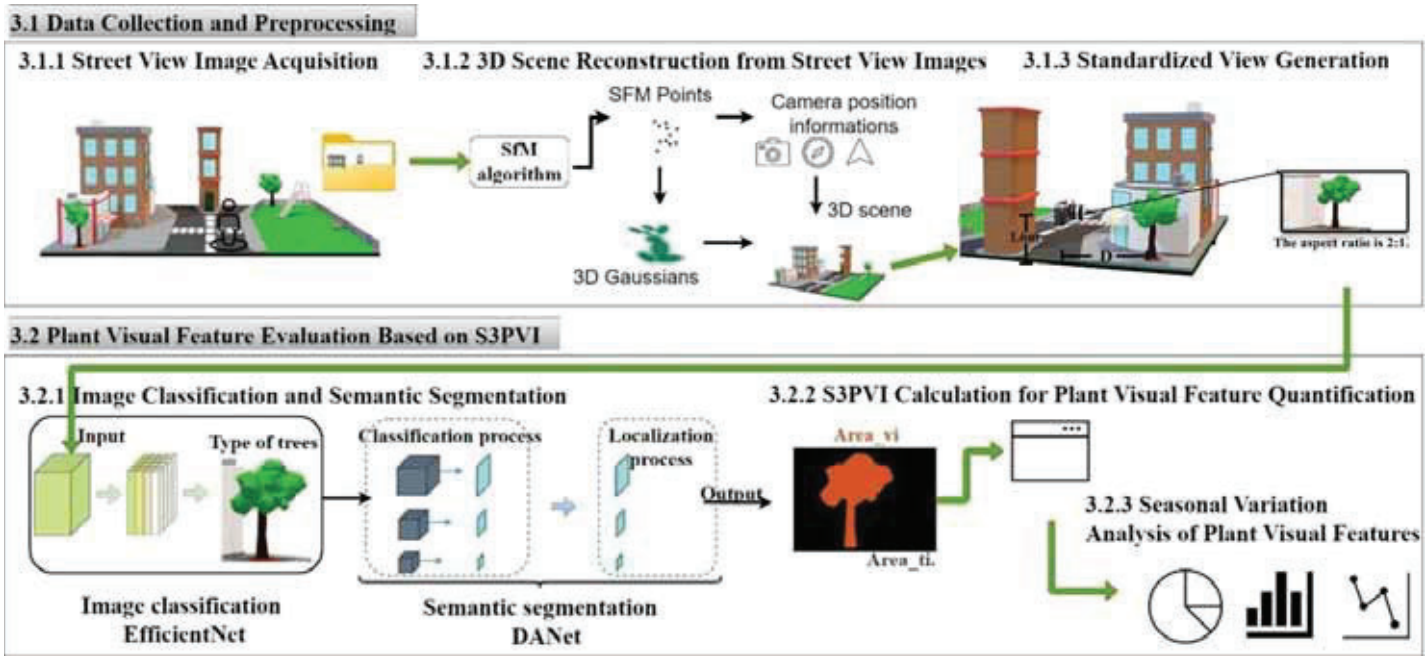
異なる空間情報を、一つの都市の情報として統合する。



6. 都市を「考える」

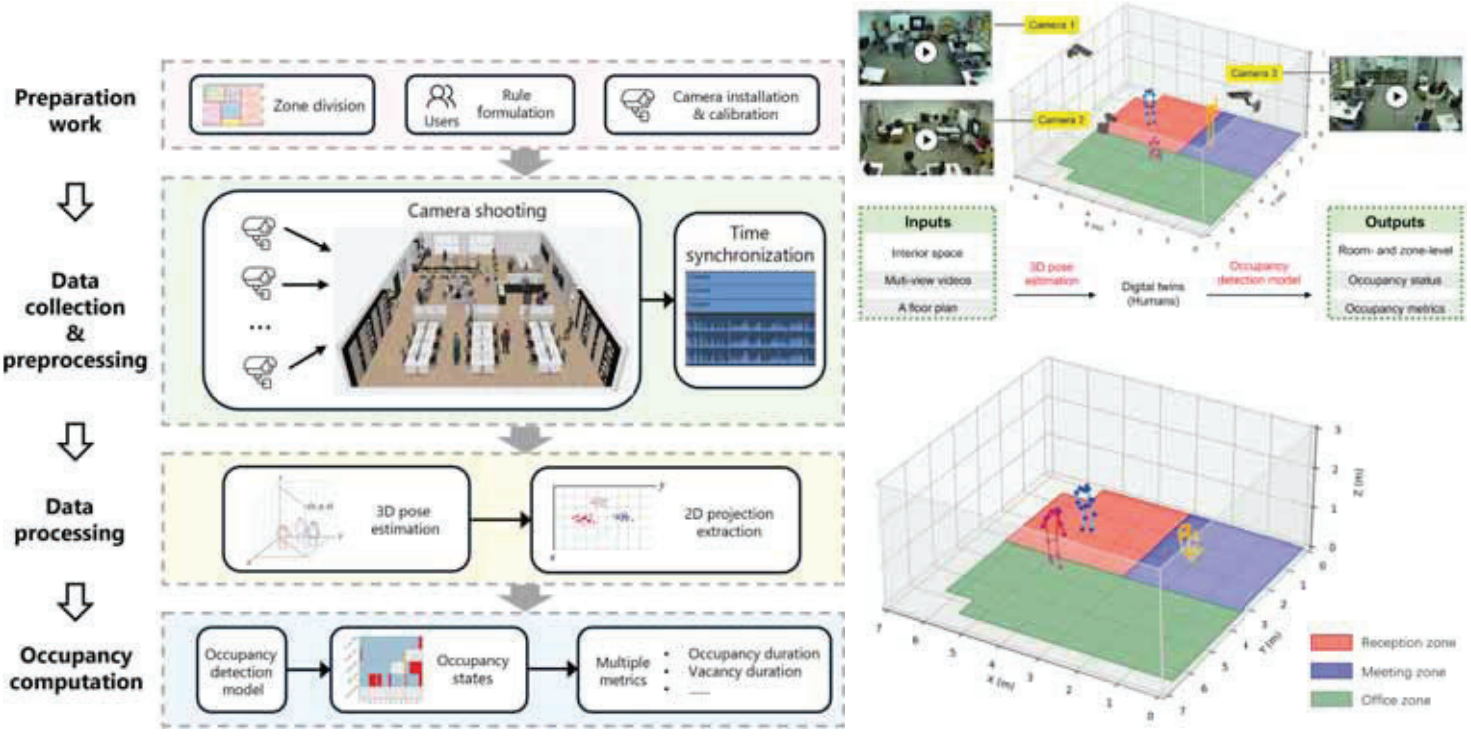
都市の「見た目」を、AIによって環境情報へ変換する。

Street View image ⋙ AI ⋙ Plant species / S3PVI ⋙ Urban spatial distribution



★[Hu et al. 2025]

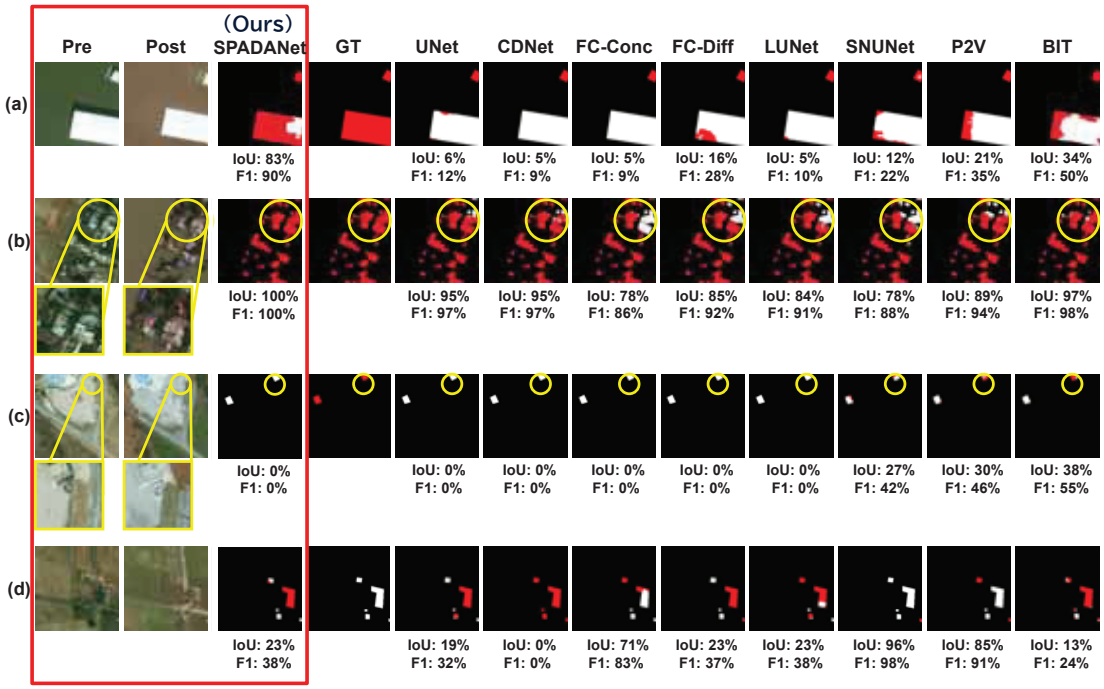
Digital Twinの対象は「建物」から「そこで起きる活動」へ広がる。



★[Chen et al. 2025]

都市Digital Twinは、災害時の「状態」を理解し、対応を支援する。

衛星画像 ⋙ AI ⋙ 被災建物判定



災害直後、限られた教師データでも被害状況を把握する。

- 10% label → 約74% performance
- Recall +9%

★[Yu et al. 2025] 49

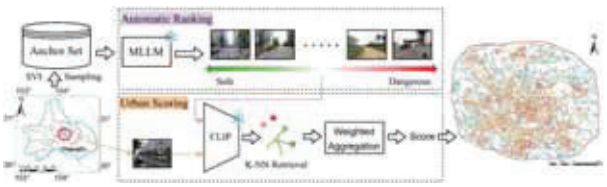
画像から都市の主観的な状態を空間情報にする

街路画像 ⋙ AI ⋙ 都市安全感 ⋙ 空間分布



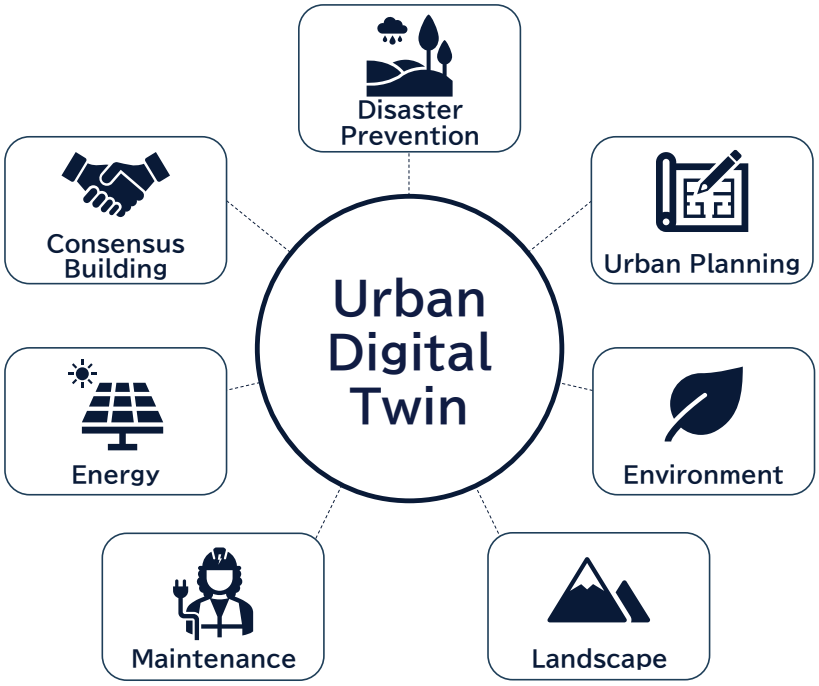
成都市中心部の安全感空間分布





★[Zhang et al. 2025] 50

Digital Twinは、一つの用途のための技術ではない。



7. 都市の未来を「意思決定する」

「データを集める」から、「データから判断する」へ。

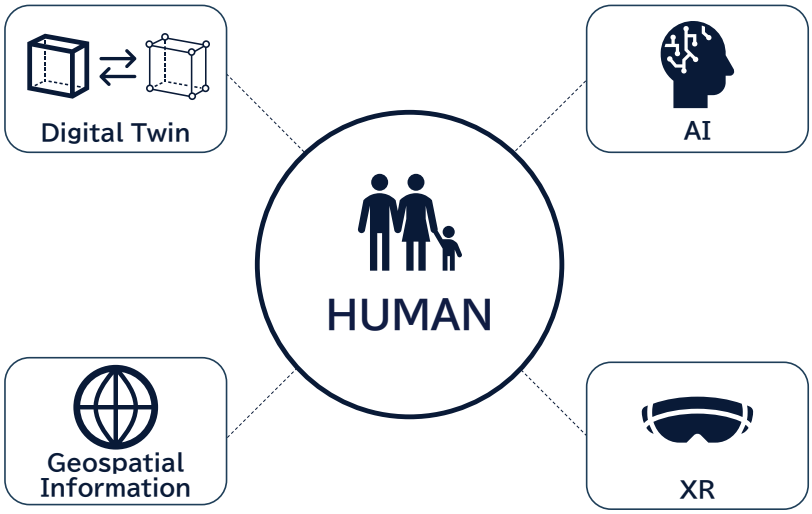
Data » Understanding » Simulation

» Visualization » Experience » Decision

Digital Twinは、「未来を比較する」ための環境になり得る。

Current City » Digital Twin » A / B / C » Future City

Digital Twinの中心に置くべきものは、人間である。



Epilogue.

次の都市Digital Twinへ

これまで別々に見えていた研究が、Digital Twinという一つの流れでつながる。

PERCEPTION
都市を捉える
- Sensing
- Point Cloud
- Image

UNDERSTANDING
都市を認識・解釈する
- Semantic
- Spatial
- Multimodal

MODELING
都市を再構成する
- 3D
- BIM
- Simulation

EXPERIENCE
都市を体験する
- VR
- AR / MR
- Drone

DECISION
都市について判断する
- Disaster
- Environment
- Planning
- Consensus

AI：各段階を高度化する
Geospatial Information：空間をつなぐ
Urban Digital Twin：これらを循環させる

「都市のコピー」から、
「都市を理解し、未来を考える環境」へ。

Today
3D City

Next
Understandable City

Future
Decision-supporting City