

デジタルツインを用いた都市地震被害速報の3次元可視化

3D Visualization Framework for Urban Earthquake Damage Reporting Using Digital Twins

大阪公立大学 講師 金子健作

(研究計画ないし研究手法の概略)

甚大な自然災害を最小化するために、自助・共助・公助の役割が求められている。特に、想定被害が広範囲に及ぶ地震災害において、自助・共助の役割はますます重要になってきている。地震に関する事前・事後の災害対応情報は豊富に存在するものの、それらが最大限に活用されているとは言い難い。将来起こりえる地震を個人の問題として意識づけるための一つの方法として、これまでの数100メートルメッシュに基づく統計的な被害推定や2次元的な可視化から進化し、建物一棟ごとの被害推定や3次元可視化が有効であると考えられる。本研究では、地震発災後の即時対応や、将来想定される様々な地震に対するリスクを理解するため、デジタルツインを用いて建物一棟ごとの地震被害の可視化する技術を構築する(図1)。

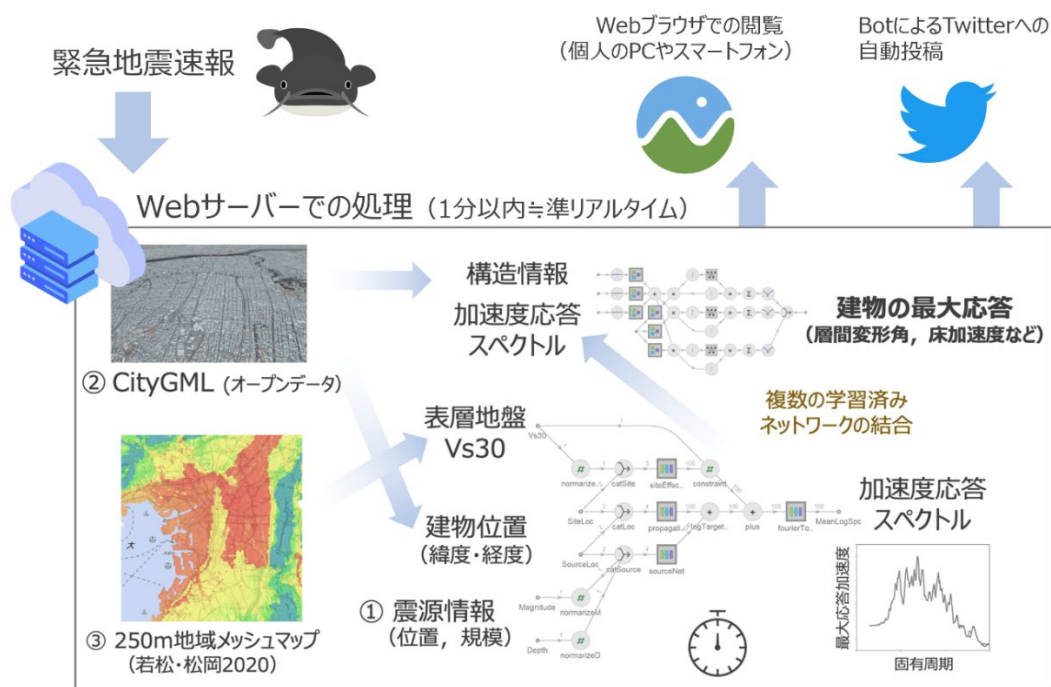
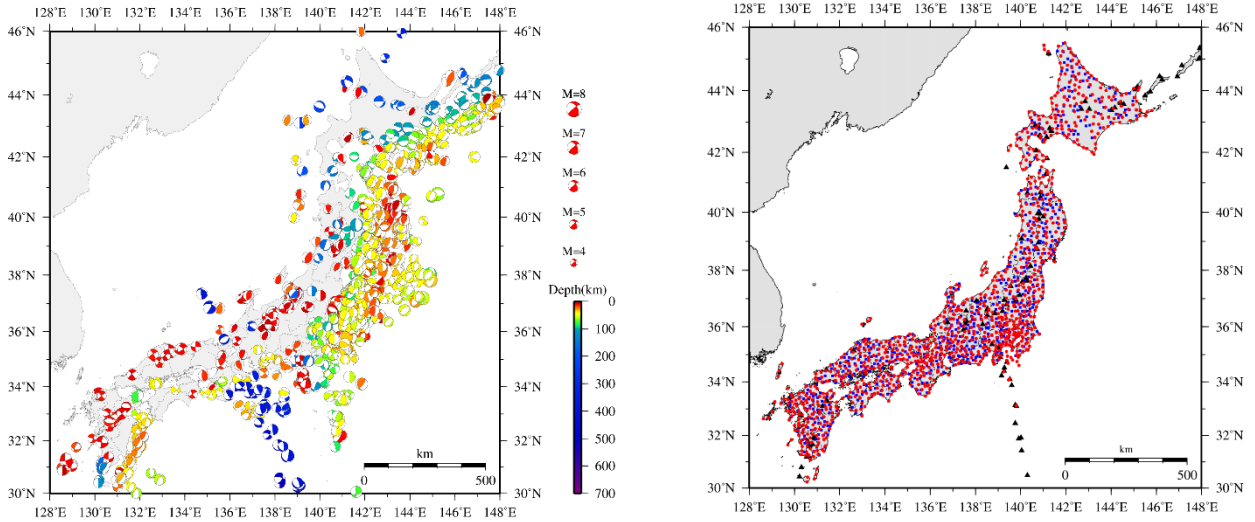


図1 震源情報から建物群応答推定までのフレームワーク

その技術の概要は、次のとおりである。図2に示す過去の数十万の地震動記録を深層学習して、震源情報(マグニチュード、震源深さ、震央)から、地表面の加速度応答スペクトルを面的に推定できるモデルを作成する(地震動予測AI, 図3)。次に、多様な構造特性や階数を有する非線形地震応答解析モデルを数十万作成して、時刻歴解析で得る層間変形角や床加速度を深層学習する(建物応答推定AI)。国土交通省のProject PLATEAUの3D都市モデルに含まれる建物属性情報から、一棟ずつの質点系モデルを作成する。訓練済みの地震動予測AIと建物応答推定AIから、数十万棟の応答を1分以内に推定できる。



(a) 震源 (1996年～2022年)

(b) 観測点 (諸島を除く)

図2 訓練データに用いた震源と地震観測点

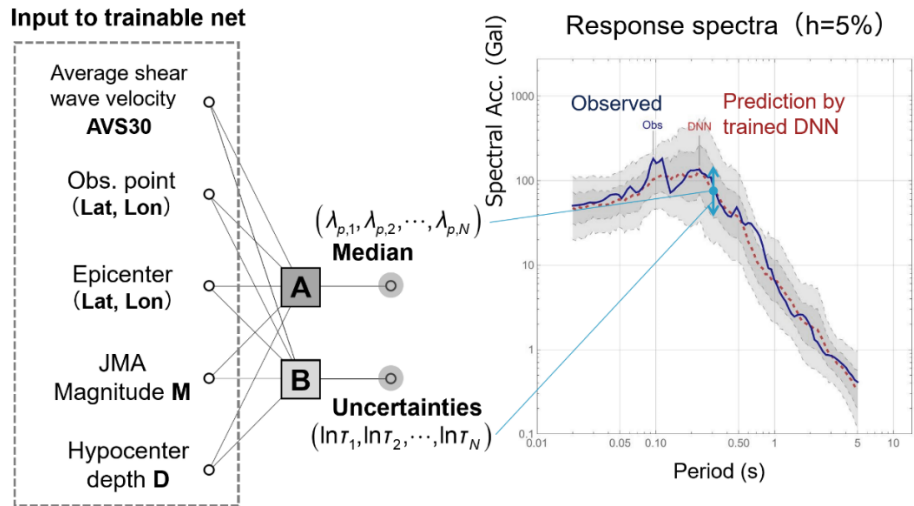


図3 応答スペクトルの推定を学習する深層ニューラルネットワーク

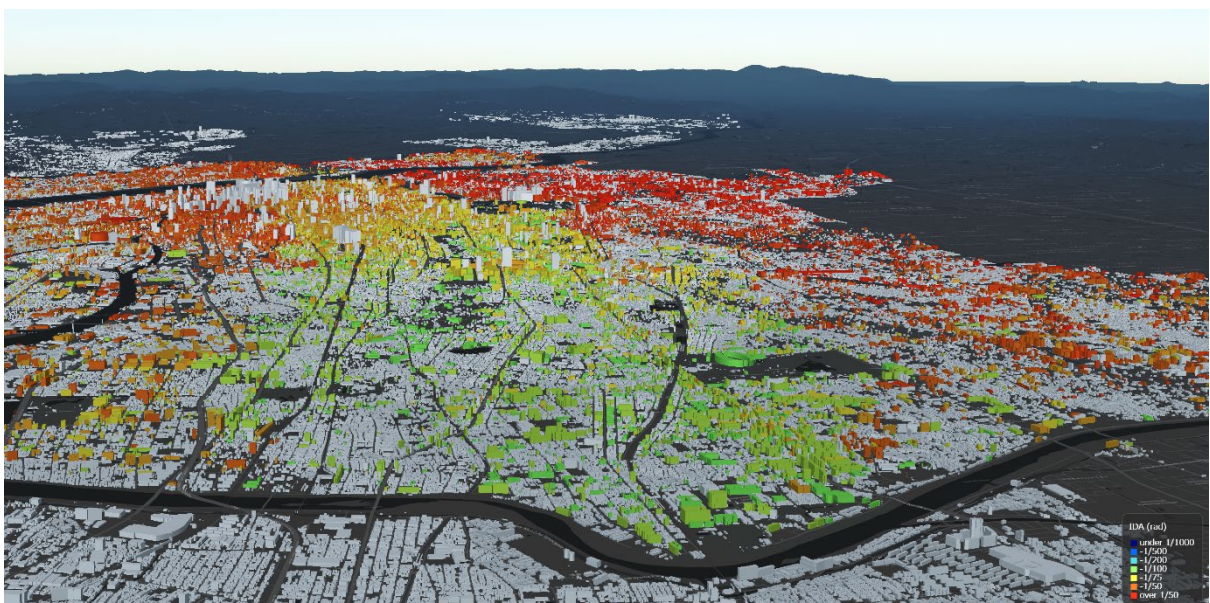
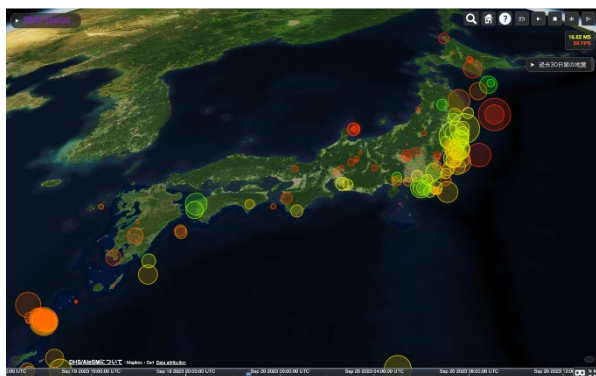


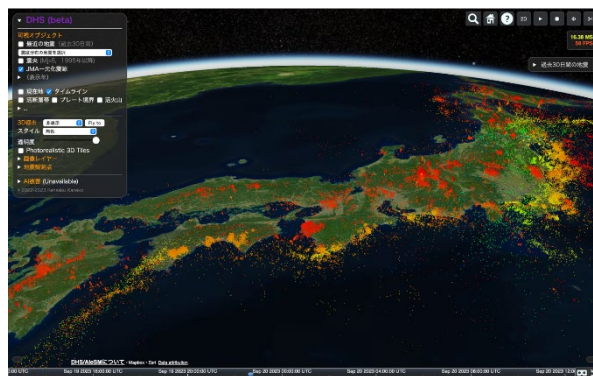
図4 建物群の最大層間変形角の即時推定とその可視化 (大阪市周辺)

推定結果を3次元的に可視化するために、WebGISのフレームワークであるCesiumJSを利用してJavaScriptでGUIを実装し、Webアプリケーションを構築した。このアプリケーションはOSに依存せず、またパソコンだけでなくタブレットやスマートフォンでも利用できる。大阪公立大学が立地する大阪市について、前述した訓練済みAIにより、震源の位置と規模を想定して建物の最大層間変形角を可視化した例を図4に示す。GUIのドロップダウンリストなどから被害項目を選択すると、3D都市モデルの一棟ずつに被害度に応じて着色される。また、Googleから公開されたPhotorealistic 3D Tilesをベースの建物として表示すると、写実的なフォトグラメトリモデルに被害度をオーバーレイして表示できるため、より直感的な理解が期待できる。

地震発災後の非常時に活用するには、常時から利用し、アプリケーションの操作に慣れておくのが望ましい。防災啓発・防災教育、地震後の監視などを一つのアプリケーションに統合することで、新たな関心が生まれることを期待した。そのため、気象庁が公表する震度分布も表示できるようにした。また、様々なハザード情報などをWebGIS上で自由に重畳可能とした(図5)。さらに、タイムラインなどの視覚的工夫を凝らし、防災教育にも役立てられる



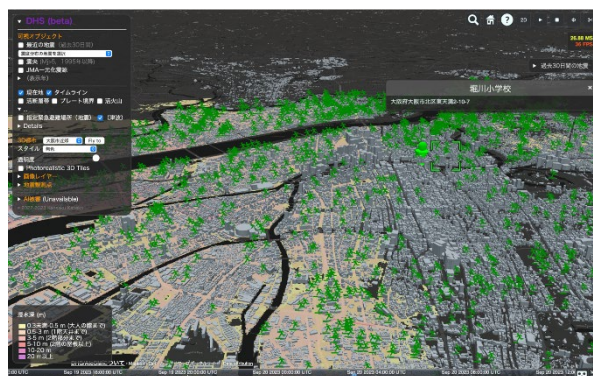
(a) 最近の地震



(b) 日本列島の震源分布(地震カタログ)



(c) 主要活断層



(d) 浸水深さと避難所

図5 地震リスクに関わるオープンデータの可視化と重畳

表1 用いたオープンソースデータ

出典	データソース
気象庁	地震カタログ(気象庁一元化震源)
防災科学技術研究所	J-SHIS
国土地理院	ハザードマップポータルサイト
国土地理院	指定緊急避難場所データ
国土地理院	自然災害伝承碑データ

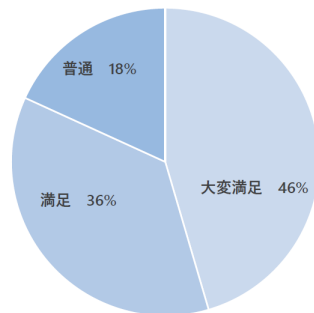
ようにした。用いたオープンデータの一例を表 1 に示す。

(実験調査によって得られた新しい知見)

作成した Web アプリケーションを一般公開するのに先立ち、大阪公立大学が主催する防災講座 2023³⁾の一回で「デジタルツイン×地震防災」と題して、2023 年 9 月に市民へのデモンストレーションを行った。参加者の年齢層は 40 代~70 代であり、そのうち 60 代が約半分、70 代が約 1/3 を占めた。図 6 のアンケート集計結果から理解されるように、これらの年齢層に対して、3 次元可視化による地震リスクの対話的理解のアプローチは好評であり、自由記述欄においても興味深いなどの前向きな回答が多く見られた。今回の講座では、30 代以下の参加者がいなかったため、若年層に対する効果は不明であるが、今後、高校生や大学生を対象とした市民講座を開催することにより、本研究の成果を確認したい。

6. 今回の講座はいかがでしたか

大変満足	5
満足	4
普通	2
やや不満	0
不満	0



7. 同様の公開講座があれば、次回参加したいと思いますか

ぜひ参加したい	8
参加したい	5
どちらともいえない	0
参加したくない	0

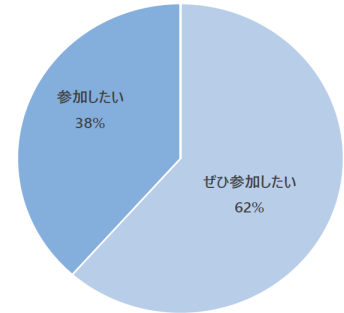


図 6 防災講座「デジタルツイン×地震防災」におけるアンケート結果

研究助成の期間中では、木造建物を除外して、概ね 5 階建て以上の鉄骨造や鉄筋コンクリート造建物を対象とした。市民の感心が高い木造住宅を評価対象に加えるために、現在、空中写真などから、日本全土の建物の構造種別を分類する深層学習モデルを開発中であり⁴⁾、3D 都市モデルで欠損する構造種別の属性を補完する作業をしている。これに基づいて、木造建物も含めた都市レベルの建物群被害分布を 3 次元表示できるフレームワークの準備を進めている。

(発表論文)

- 1) 金子健作：都市空間のオープンデータと強震観測データを利用した地震被害リスク可視化のための Web アプリケーション，シンポジウム「建物から人間に至るモニタリング評価技術の取り組みと災害時への適用」，2024 年 3 月 7 日
- 2) K. Kaneko, T. Iwasaki, K. Yoneyama: Physics-Informed Deep Learning Model for Predicting Spatial Variability in Strong Ground Motions, 18th World Conference on Earthquake Engineering, 2024.6
- 3) 金子健作ほか：防災講座 2023 「関東大震災から 100 年～防災研究の温故知新～」，大阪公立大学，<https://www.omu.ac.jp/lifelong-learning/course/event-02746.html>，2023 年 9 月
- 4) 林あかり，金子健作：3D 都市モデルデータの構造種別分類に向けた空中写真の深層学習，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.8