

ScaleCity：透明な 3 次元都市模型を用いた都市データの可視化

坂本凜^{†1}

東京大学大学院
学際情報学府

横窪安奈^{†2}

東京大学大学院
情報学環

道方孝志^{†3}

東京大学大学院
情報学環

越塚登^{†4}

東京大学大学院
情報学環

1. はじめに

市民の意向を反映させたまちづくりは、ライフスタイルが多様化した市民の要求に適合したサービス・居住環境の供給に繋がり、都市の持続可能性に寄与する。この目的を実現するための手段として、まちづくりのプロセスへの市民参加が注目されている。市民参加にも市民への情報伝達からエンパワーメントまで市民の関与の大きさが異なるが、その一つとしてアメリカのシアトル市の「近隣計画プログラム [1]」や国内でも小田原市の第五次総合計画の策定プロセス [2] や千葉県松戸市の「イマジンまつど [3]」のように市民が行政と協働して提案を行う形態がある。

「イマジンまつど」の例では二日間にわたる市民フォーラムで 50, 60 人程度の市民が 10 人ほどの市の職員とグループワークで松戸の現状認識から始まり、市のありたい将来のビジョンを描き「まつど未来づくり会議」という基本計画策定に向けた会議への提言を行なっている。このように実際に専門家に対し市民自らが対等に提案を行うためには、自分の街に対する深い見識が求められる。

市民それぞれが日常的に過ごす中で得る知見と、都市のデータを結びつけることで自身の街への理解が促進される。データを非専門家である市民が理解するためには、直感的に捉えやすい形での可視化が必要である。位置情報を持つ都市のデータを地図上にマーカーをプロットし可視化することは可能ではあるが、フラットなデジタル地図では、理解の手がかりとなる建物の高さや環境情報を十分に伝えることは難しい。

そこで本研究では、市民が効果的にまちづくりに参加するため、都市のデータを直感的に理解するために、都市の立体構造と組み合わせ可視化するシステム「ScaleCity (ス



図1 ScaleCity の設置の様子. ディスプレイに新宿駅周辺の透明な都市模型を貼付し、都営バスと都営地下鉄のデータをデジタル地図内に表示した。

ケールシティ)」を提案する。ScaleCity は、図 1 に示すように 3D プリントで作成した透明な都市模型とデジタルな地図を重ね合わせ、市民が容易に都市のデータを解釈できるよう設計した。

2. 関連研究

2.1. デジタル技術を活用した市民参加型のまちづくり

デジタル技術を活用した市民参加型のまちづくりの具体的な事例として、国内では、横浜市を対象とした「PLATEAU[4]」のデータを用いたタンジブルインターフェースや AR を用いた体感型の都市計画ツールを用いたワークショップが開催されている [5]。国外では、スペインのパルセロナやブルガリアのソフィアなど実在の都市を舞台にしてユーザーとの共同デザインが可能となるアプリケーション「SuperBarrio[6]」が展開されている。このアプリケーションでは、街灯や市場など街の要素となるコンポーネントを配置することができ、それらを集計することで街に必要なとされているものが何かを明らかにすることができる。「City Scope[7]」はデジタルプラットフォームとブロックを操作することで入力できるタンジブルなインターフェースであり、これを用いてハンブルグの難民の宿泊施設の割り当てについてなど実際に複数の都市でワークショップが開

Urban Data Visualization System Using Transparent City Models

^{†1} RIN SAKAMOTO, The University of Tokyo Graduate School of Interdisciplinary Information Studies

^{†2} ANNA YOKOKUBO, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

^{†3} TAKASHI MICHIKATA, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

^{†4} NOBORU KOSHIZUKA, The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

催されている [8].

2.2. 二次元地図を用いた都市データの可視化

都市データの可視化方法は多岐に渡るが、地理的な要素が重要なデータには、地図上に円グラフを配置したり、特定の場所を示すマーカーを用いたりする方法が採られることが多い。さらに、人の移動パターン [9] や交通 [10] などの動的な情報を表現する際にも、地図ベースの視覚化が用いられる。こうした地図ベースの可視化は個人用の小さなディスプレイに映すだけでなく、壁面のスクリーンにプロジェクターで投影することで、複数人で可視化したものを共有しながら利用することが可能である [11]。都市は人や交通など様々な要素から成り立っているため複数のデータを重畳することで地域の理解が深まる可能性がある。例えば人の移動と公共交通など複数のデータが組み合わさることで地域に多くの人が集まる時間帯やその理由、またその場所が公共交通によってどれだけサポートされているかなど特定のエリアへのアクセス方法やその地域の結びつきの強さを理解できる。ただし同時に複数のデータを二次元平面の地図上に表示すると情報過多から直感的な理解の妨げになりうる。

都市は、人々や交通、上下水道のインフラ、環境といった様々な要素で構成されている。例えば、都市の交通流と大気質のデータを組み合わせることにより、交通量が大气汚染にどのような影響を与えているかを理解することができる。しかし、これら多様なデータを一つの二次元地図上に表示すると、情報過多により直感的な理解が難しくなることがある。

可視化が人に与える影響に関する研究では、あるトピックについての賛成反対の立場が態度がまだ定まっていない人の意見を変えるのにデータの可視化が有効であるという実験が報告されており [12]、市民が現状を正しく理解する上で可視化が有効なサポート手段である可能性を示唆している。

2.3. 三次元地図を用いた都市データの可視化

ディスプレイ上に表示する 3 次元 CG を用いた可視化の手法が存在する。国土交通省が公開している PLATEAU では、2023 年 12 月時点で全国約 130 都市の三次元データが整備されている。PLATEAU は、総務省が定めた特定のエリアを識別可能な形で数字コードとして管理されており、各建築物モデルや地形モデルのデータが「統計に用いる標準地域メッシュおよび標準地域メッシュコード」の地域標準メッシュに基づいて区画分けされている。また、一つのファイルには各メッシュコードに対応した領域内のデータが CityGML 形式で格納されている。三次元 CG を用いた

手法は実際の都市の形状を再現することで、自分の日常の体験との結びつきがより強く、より理解につながりやすいというメリットが存在する。ただしその分二次元地図に比べて操作の自由度が上がり複雑になってしまう、データの準備が大変になるといった欠点も存在する。

三次元都市のデータ可視化には Augmented Reality[13] や Virtual Reality [14] を用いた方法もある。ハプティクス技術の進歩により、デジタル空間で物体に触れた際の触感をリアルタイムでフィードバックすることで本当に触っているかのような体験も可能である。デジタル空間内で移動することで都市模型を利用した時に比べて物理世界では大きなスペースを必要とせずに広い都市の領域を対象として表示する体験が可能となっている。ただし市民参加の文脈においては、Head-Mounted Display を装着する不快感だけでなく、不慣れな人を対象として同時に複数人に操作してもらう際のオペレーションの複雑さなどが欠点となる。

2.4. 立体模型を用いたデータの可視化

「Tangible Landscape[15]」は景観の模型にプロジェクターで映像を投影することで水の流れや地形、模型を変形させた際の影響など可視化するシステムで、大学院生を対象としたレッスン後のテストの結果一部の項目で正の効果があることを示唆している。で触れた「City Scope[7]」以外にもビルなどの立体物をタンジブルなインターフェースとして採用することで、表示データの変更だけでなく、都市の外観を変えることで、どのように都市が変わりうるかをシミュレーションを用いて提示することができるシステムが開発されている [16][17]。

しかしこれらのシステムは映像を投影するためにプロジェクターを用いているため、位置合わせの問題や手の影による体験の阻害といった欠点がある。

3. ScaleCity

ScaleCity は都市のデータをマッピングするデジタル地図と、対応する領域の透明な都市模型の二つで構成した直感的な都市データ可視化システムである。ScaleCity では、複数のユーザーが同時に建築物のような周囲の環境と都市のデータを関連づけて解釈することが可能である。以下では ScaleCity を構成する透明な都市模型とデジタル地図について詳細に述べる。図 2 に ScaleCity のシステム構成図を示す。

3.1. 透明な 3 次元都市模型の作成

透明な都市模型を 3D プリントするためのデータは図 3 のような平らな土台の上に地形、建物が重畳している。これ

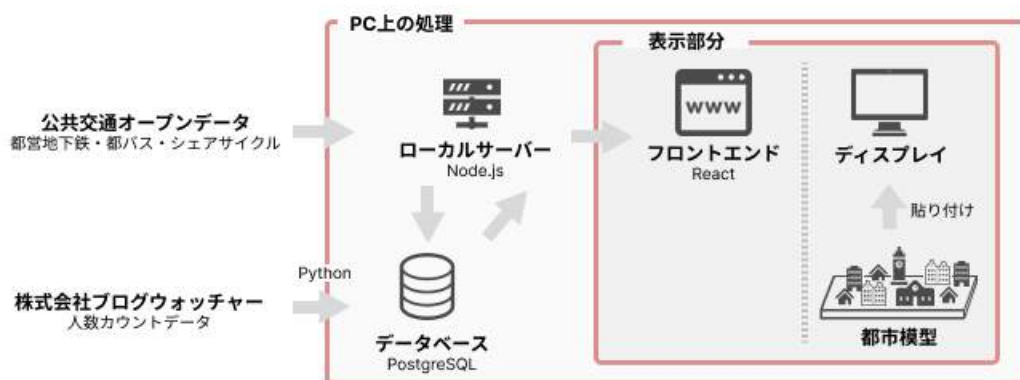


図2 ScaleCity のシステム構成図。

を3D プリントした後、現実世界の位置関係と同じになるように並べて使用した。

ScaleCity では PLATEAU のデータを利用しており、それらを3D プリント可能な形に処理を施した。PLATEAU の建築物モデルデータは、都市のランドマークを精巧に印刷し、建造物を用意に認識するために、建物の形状がより詳細に表現されている Level of Detail 2 (LOD2) を使用した。また、LOD2 が用意されていないエリアでは、建物の形状が簡略化された Level of Detail 1 (LOD1) を使用した。

ScaleCity では標準地域メッシュコードの1つの領域内の建築物モデルおよび地形モデルのデータを1辺約 136mm × 111mm になるように印刷している。サイズは3D プリンターの造形可能な大きさに従って決定した。

建築物が複数のメッシュにまたがって建っている場合、そのうちの1つのファイルにしかデータが格納されていないため、複数のメッシュ領域をタイル上にして利用する際にはデータの処理を適切に行わないと、データが欠けてしまう。特に大きなビルや商業施設がこれによって欠けると環境データと都市データの対応が崩れユーザーの理解に影響がでるため、処理を適切に行う必要がある。ScaleCity はその要件に合うように以下の流れでデータを作成したものを利用した。

3.1.1 都市データを印刷用データへ変換する処理の流れ

図4に示す PLATEAU のデータを3D プリント用のデータへ変換する処理の流れについて以下で述べる。

まず印刷したい領域とその周辺の領域の特定を行う。このプロセスでは、目的の範囲とその境界を跨いで建築物を共有する周辺エリアを国土交通省の PLATEAU の Unity SDK^{*1}を使用して読み込み、obj ファイル形式で出力する。

次に Blender^{*2}に対象エリアの建築物モデルと地形モデ

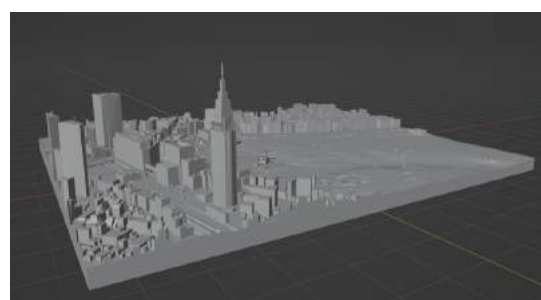


図3 PLATEAU データを用いて作成した1メッシュ分のデータの例。地形データと建物データが土台となる平面上にあり穴ができないように側面も作成している。

ルの obj ファイルを0.01 倍の倍率でインポートする。複数の建築物モデルを1つの建築物モデルとして統合し、地形モデルも同様に1つに統合する。この時地形モデルはこのままでは複雑なので Decimate モディファイアを用いて頂点を減らす。

地形モデルに対し、土台となる平面メッシュを作成して統合する。まず標準メッシュ1区画より少し大きい 11400mm × 9600mm のサイズの平面メッシュを作成する。地形モデルも同じ大きさになるようにカットする。平面メッシュと地形モデルを統合し側面をフィルする、その後 STL 形式で出力する。

Fusion360^{*3}に土台と統合した地形モデルをインポートし穴がないように修正後、標準メッシュ区画のサイズになるようにカットして出力する。

Blender 上で標準メッシュサイズになるように建物モデルをカットする。一度建物モデルを統合してからカットすることでエリア内の境界線上の建物を含むことが可能にな

^{*1} <https://github.com/Synesthesias/PLATEAU-SDK-for-Unity>

^{*2} <https://www.blender.org/>

^{*3} <https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>



図4 都市データを印刷用データへ変換する処理の流れ。

る。その後穴が空いてしまった箇所を埋める。

地形モデルと建物モデルの統合では、Blender 上に地形モデルを再びインポートし、建物モデルと Boolean モディファイアを用いて統合する。

3.1.2 印刷と後処理

データを光造形式の3Dプリンターである Formlabs 3 で印刷するため、Preform というソフトウェアにインポートし、データのスケール調整後、印刷物が大きく歪まないようにするため水平な状態から 5° 斜めに傾けたのち補助材を設置しクリアレジンを素材として印刷する。

印刷物は紫外線による硬化をせず数日間の乾燥後、やすりがけをした後コーティング剤として紫外線防止保護塗料を塗装する。これによって印刷物の保護が可能になるだけでなく透明度も上がる。

実際に ScaleCity として使用する際には、複数のタイルをディスプレイの画面と同じサイズの透明なアクリル板に現実世界の位置関係に対応するように並べて透明な両面テー

プを用いて貼り付け、さらにそのアクリル板をディスプレイに貼り付け固定する。

3.2. デジタル地図と都市データのマッピング

表示するデジタル地図として Open Street Map (OSM)^{*4}に加えて、PLATEAU の道路データを用いたシンプルな地図も選択可能にし、バスや地下鉄などの公共交通機関のオープンデータを主に重畳するデータとして採用した。リアルタイムの API 呼び出しや、データベースに格納したデータの取得によって、フロントエンドでのデータ表示を実現している。以下ではデータの呼び出しというバックエンド処理について述べた後、表示部分について述べる。

3.2.1 都市データの取得と表示用への加工

本節ではデータのリアルタイム API の呼び出しとデータベースに格納、およびデータ取得部分について述べる。本研究では、都バスや都営地下鉄などの公共交通機関、シェアサイクル、エリア内の人数データを取り扱う。これらのデータの取得とフロントエンドへのデータ転送は、Node.js サーバー^{*5}を立ち上げそのサーバー上で行う。以下ではそれぞれについて述べる。

公共交通機関のデータは GTFS (General Transit Feed Specification) 形式でオープンデータとして提供されている^{*6}。リアルタイム GTFS 形式の REST API を呼び出すと、呼び出した時刻に運行している車両の情報を取得することができる。都バスのデータには、バスの現在位置 (緯度経度) が含まれている。都営地下鉄のデータには、遅延時間や次の駅への到着予定時刻、出発時刻が含まれている。

Node.js サーバーでは、バスデータの前回と現在のフェッチタイミングの時刻と位置情報を保持する。都営地下鉄のデータでは、出発時刻と到着時刻に遅延時間を加算し、駅情報を緯度経度に変換する。

東京メトロのデータでは、遅延が「15 分以上」という形でのみ提供され正確な遅延時間がわからない場合がある。このような場合、GTFS 形式のスケジュールデータを利用して、表示したい時刻のデータを検索し、配列に対象時刻の車両データの情報を格納して利用する。

すでに公共交通の一端を担っているシェアサイクルサービスのうち HELLO CYCLING^{*7}とドコモ・バイクシェア^{*8}の二つのサービスはオープンデータとしてアクセス可能となっている。GET リクエストを送ることで、最新のポートの利用可能な自転車の台数と駐車可能台数を取得できる。ポート番号からポートの緯度経度情報に変換し、これを配

^{*4} <https://www.openstreetmap.org/>

^{*5} <https://nodejs.org/en>

^{*6} <https://ckan.odpt.org/dataset>

^{*7} <https://www.hellocycling.jp/>

^{*8} <https://docomo-cycle.jp/>



図5 ScaleCity のデータ表示部分。地図上に都バスおよび都営地下鉄の表示時刻の位置を示す円マーカを表示している。またメッシュ内の人数を白から赤へのグラデーションによって示している。

列として格納する。

エリア内の人数データとして、株式会社プログウォッチャー^{*9}から有償で提供されるスマートフォンのGPSデータを活用している。このデータは、異なる時刻に各デバイスから緯度経度情報が送信され、Androidのスマートフォンでは10分ごとにデータを取得しているため、10分ごとに区切って特定のメッシュコード内の人数を推定し、GeoJSON形式に対応したPostgreSQL^{*10}データベースに格納して利用する。

人流データ以外のデータもPostgreSQLに格納することで、過去のデータをユーザーは現実の時間の流れとは独立に再生スピードを調整して表示することを可能にしている。このプロセスは以下のように構成されている。まず3分ごとにGETリクエストを送信し、公共交通機関やシェアサイクルなどのリアルタイムデータを定期的に取得する。取得したデータは、前述の方法（例えば、位置データの変換など）で処理し、変換後のデータはPostgreSQLデータベースに格納する。これにより、データの永続的な保存と効率的なクエリが可能になる。

3.2.2 都市のデータのデジタル地図上への表示

フロントエンドでは、図5に示すように地図の表示、地理データをマーカーやメッシュとして描画、表示しているデータの時刻やデータの判例を表示する3つの部分をReact^{*11}と地図用ライブラリであるLeaflet^{*12}を用いて作成した。

表示する地図は詳細な情報を表示することが可能なOSMのタイルデータおよび、PLATEAUの道路データを利用した。PLATEAUの道路データはGeojson形式になっているがそのままLeaflet上に読み込むと動作が重くなるた

め、QGIS^{*13}上に一度読み込み、QGISのライブラリであるQMetaTilesを用いてタイル画像にして、それを読み込んで表示した。

都営地下鉄と都バスの位置情報は、緯度経度データに基づき、Leafletを使用して地図上の円形マーカーに反映する。マーカーは定められたデータ取得間隔に従って、直線的なアニメーションで前の位置から現在位置へ移動する。具体的には、バスの場合、新たなデータを取得すると、それまでのアニメーションを停止し、新しいスタート地点をマーカーの初期位置として設定します。次に、目的地までの距離をアニメーションの各フレームで計算し、経過時間をデータ取得間隔で割った値によって進行度を決定し、その進んだ分だけマーカーの位置を更新する。営地下鉄の位置情報のアニメーションでは、一つ前のデータ取得時の時刻と最新のデータ取得時の時刻を基にしている。ここで計算される推測位置は、電車が出発駅と次の到着駅の間のどこにあるかを特定するものである。この位置の計算には、表示時刻が出発時刻と到着時刻の間のどの点にあるかを基に行う。リアルタイムの場合、この表示時刻は実際の現在時刻を意味し、データベースからの情報取得の場合はその元データが記録された時刻を指す。この方法により、電車が経路上でどの位置にあるかを推測し、スタート時刻から終了時刻までのアニメーションで視覚的に表現する。ただし、道路や線路に沿った移動ではなく都バスも都営地下鉄もスタート地点と終了地点を端にした線分上での移動を仮定している。

滞在人数のカウントは、時間に応じてメッシュごとに集計され、その人数に基づいてメッシュの色を変化させて表示する。人数が少ない場合はメッシュを白色にし、人数が多いエリアでは赤色へとグラデーションがかかるようにRGB値を調整し、人口密度の違いを視覚的に表現する。

シェアサイクルのデータは各時間ごとのポートの位置にそのポートでその時間に利用可能な自転車の台数、駐車可能な自転車の台数を半円の半径のサイズを台数に対応させて変更することで表示する。

4. 展示

2023年11月7～9日の3日間に渡り、スペインのバルセロナで開催された「Smart City Expo World Congress^{*14}」にて、ScaleCityの展示を実施した。展示の際に来場者から得られた反応や感想を列挙する。

- 参加者が行った過去の建築物を指差し、自分の経験と都市模型を結びつけながら著者との対話が生まれた。
- データが見えやすい視点から建物の立体感がわかりや

^{*9} <https://www.blogwatcher.co.jp/terms/>

^{*10} <https://www.postgresql.org/>

^{*11} <https://ja.react.dev/>

^{*12} <https://leafletjs.com/>

^{*13} <https://www.qgis.org/ja/site/>

^{*14} <https://www.smartcityexpo.com/>

すい視点へ移行するため、自然に体を移動させながら ScaleCity の写真の撮影をした。

- 著者ら出展者による展示の説明なしに、3 人のグループが ScaleCity を見ながら、ScaleCity の挙動についての会話をを行った。
- プランニングのシミュレーション結果を可視化してほしい。
- 壁面に吊るす形で展示していたため、構造物の側面がやや見にくかった。画面または模型を動かしてより立体的に見たい。
- 模型を触ったらデジタル地図に何かしらの反応が欲しい。

これらの反応や感想から、ScaleCity は市民が自分たちの街をより深く理解し、まちづくりに積極的に参加するための有効なツールとなる可能性がある。

5. 議論

5.1. 都市模型の大きさ

今回の 3D 都市模型は、新宿区の一部を 1.2/10000 の縮尺で印刷したものであった。展示の際には 32 インチのディスプレイを使用した。都市模型は 12 枚のタイルを使い、実際の世界での範囲はおおよそ 12 平方 km に相当する領域を表示した。これは新宿区 (18.23 平方 km) の約 2/3 ほどの大きさであり、さらに複数のディスプレイとタイルを用いることで市区町村の大きさの表示をすることが可能となる。建物や土地の隆起を立体的に把握することが可能であったため、新宿駅周辺の高層ビル街に人流が多く移動していることがより直感的に把握することが可能であった。建物の形状や密集度からベッドタウンなど場所の特徴がわかり、それが他のデータと結びつくことで直感的な理解につながるとより一般化して言える可能性がある。一方で、模型が小さすぎる欠点として、なだらかな坂などの構造が上から覗き込む視点ではわかりづらいことや、そこに自分が立っている一人称視点での体験とそのままでは結びつけづらいことが考えられる。また模型が小さいため、模型のビルなどを移動させることでシステムへの入力とするようなインタラクションには向いていない。

5.2. 提示する都市データ

建物の影、街のランドマークが見える位置、空がどれだけ見えるかといった視覚的情報は建物の高さを模型や 3DCG で表示することによって明確になるため ScaleCity との相性が良い。これは、ドローンの移動経路計画なども建物の高さ情報を活用できる。市民参加型の都市計画の文脈では、例えばハザードマップや避難経路などの災害関連データの

表示が重要である。再開発地域におけるリスクの可視化により、市民が過剰な開発に対して意見を述べやすくなります。また、店舗データや公共交通機関データを組み合わせることで、「15 分都市構想」の実現度を地元エリアで可視化することも可能である。これはコンパクトシティの実現に向けた現状理解の有効な手段となりうる。さらに、道路やエリアの開発による街の変化のシミュレーション結果を ScaleCity の縮尺で可視化することで、市区町村レベルでのマクロな影響も一目で理解できるため、適切な前提知識のもとでの議論に繋げやすい。

5.3. インタラクティブな要素

今回の 3D 都市模型はデジタル地図上に重畳することで、建造物の構造や土地の隆起等を触知可能な形にしていたものの、模型に触れることに対してフィードバックが不足していた。体験者の感想にもこの欠点は挙げられていたが、非専門家の多人数が体験する ScaleCity では、フィードバックによる理解の促進と関心の維持が重要である。ただし ScaleCity の都市模型の大きさの節でも述べたように模型の一部を動かす入力方法は適していない。

代わりに、これから検討する方法として金属繊維が埋め込まれた透明な曲げセンサー [18] や透明な接触覚センサー [19]、非可視光の塗料を用いたマーカー、ディスプレイ周囲のカメラによるユーザーの指の動きのセンシングなどがある。これらの方法は、模型を透明に保ちつつ、システムの入力インターフェースとして機能する可能性がある。今後の展開として、これらの技術を組み合わせて、より豊かなインタラクションを導入することが考えられる。

5.4. 市民参加型の都市計画に ScaleCity を導入する利点と欠点

ScaleCity はデータの専門家ではない市民が市民参画のまちづくりの場で都市に対する造詣を深めるための都市データ可視化システムである。ScaleCity のシステム構成が市民参画においてどのような利点と欠点があるかについて述べる。

ScaleCity は、ディスプレイサイズに応じて地図タイルの枚数を柔軟に調整し、表示領域の変更に迅速に対応できる設計となっている。重複エリアの再利用も可能であり、これにより資源の効率的な利用が促進される。まちづくりの場面では対象となるエリアから遠く離れた土地までカバーする必要がないため、この機能は、都市計画における予算の制約が大きい市民参加の初期段階において特に有益となる。用いられたデータは人数データを除けば PLATEAU からの都市模型データと公共交通機関の情報を含むオープンデータで、これらは無料でアクセス可能であることから、コスト

効率の高い計画立案が可能となる。

さらに、3D プリント技術を利用することで、伝統的な手作業に比べて時間と労力の削減が見込める。これは、印刷後の仕上げ作業にのみ時間を要するためである。このアプローチにより、初期投資を抑えつつ、都市計画のプロセスにおいて市民の積極的な参加を促すことができ、従って、ScaleCity のアプローチは、市民参加を促し、都市の特性を形作る決定を下す際のコストと時間の効率性を大幅に改善するものと考えられる。

しかし、ScaleCity は一度参加した人の継続率を高めたり、体験を通じて都市に対する理解を促進させるシステムを開発し、幼少期からの体験の機会を作ることで将来的に継続してまちづくりに参加する市民を増やす可能性はあるが、まちづくりのワークショップに体験したことがない市民への参加を誘発はできない。参加者を引きつけるためにはシステムの用途を拡張し、より幅広いアプリケーションへの応用を考える必要がある。例えば、位置情報を活用した Ingress のようなゲームの可視化に ScaleCity を利用することが考えられる。このようなゲームは市民にとって身近で楽しい体験を提供し、それを通じて自然と都市に関する理解や関心を高めることができる。

6. 今後の展望

今後の展望として、この展示の経験から ScaleCity の利用者が積極的に触るきっかけを作るためのインタラクションの設計や、重畳するデータの選定・表示方法の改善を行う。

7. 謝辞

本研究は日立東大ラボの支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] 坂口陽子, 小泉秀樹, 伊藤史子, 渡辺俊一米国シアトル市「近隣計画プログラム」における地域の公共性と広域的公共性, 都市計画論文集, Vol. 36, pp. 31–36 (2001).
- [2] 小田原 TRY フォーラム - 小田原市, <https://www.city.odawara.kanagawa.jp/field/municipality/vision/odawaratryforum.html> (2011). (参照 2023-12-8).
- [3] 高中 誠, 山本紘史, 大橋あゆ美次世代型協働による総合計画の策定, https://www.esri.cao.go.jp/jp/esri/archive/e_rnote/e_rnote020/e_rnote013.pdf (2010). (参照 2023-12-8).
- [4] PLATEAU- 国土交通省, <https://milt.go.jp/plateau/> (2020). (参照 2023-12-4).
- [5] XR 技術を用いた体感型アーバンプランニングツール - 国土交通省, <https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc22-035/> (2023). (参照 2023-12-8).
- [6] IAAC projects named finalists in the New European Bauhaus Awards, <https://iaac.net/tova-superbarrio-new-european-bauhaus-prizes/> (2023). (参照 2023-12-8).
- [7] Alonso, L., Zhang, Y. R., Grignard, A., Noyman, A., Sakai, Y., ElKatsha, M., Doorley, R. and Larson, K.: CityScope: A Data-Driven Interactive Simulation Tool for Urban Design. Use Case Volpe, *Unifying Themes in Complex Systems IX*, pp. 253–261 (2018).
- [8] Noyman, A., Holtz, T., Kröger, J., Noennig, J. R. and Larson, K.: Finding Places: HCI Platform for Public Participation in Refugees' Accommodation Process, *Procedia Comput. Sci.*, Vol. 112, pp. 2463–2472 (2017).
- [9] Fan, Z., Yang, C., Zhang, Z., Song, X., Liu, Y., Jiang, R., Chen, Q. and Shibasaki, R.: Human Mobility-based Individual-level Epidemic Simulation Platform, *ACM Trans. Spatial Algorithms Syst.*, Vol. 8, No. 3, pp. 1–16 (2022).
- [10] Chen, W., Huang, Z., Wu, F., Zhu, M., Guan, H. and Maciejewski, R.: VAUD: A Visual Analysis Approach for Exploring Spatio-Temporal Urban Data, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol. 24, No. 9, pp. 2636–2648 (2018).
- [11] Florence, J., Hornsby, K. and Egenhofer, M. J.: The GIS wallboard: interactions with spatial information on large-scale displays, *International Symposium on Spatial Data Handling*, Vol. 7, Taylor and Francis: Delft, The Netherlands, pp. 449–463 (1996).
- [12] Pandey, A. V., Manivannan, A., Nov, O., Satterthwaite, M. and Bertini, E.: The Persuasive Power of Data Visualization, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, Vol. 20, No. 12, pp. 2211–2220 (2014).
- [13] Zhang, L., Chen, S., Dong, H. and El Saddik, A.: Visualizing Toronto City Data with HoloLens: Using Augmented Reality for a City Model, *IEEE Consumer Electronics Magazine*, Vol. 7, No. 3, pp. 73–80 (2018).
- [14] Zhang, C., Zeng, W. and Liu, L.: UrbanVR: An immersive analytics system for context-aware urban design, *Comput. Graph.*, Vol. 99, pp. 128–138 (2021).
- [15] Millar, G. C., Tabrizian, P., Petrasova, A., Petras, V., Harmon, B., Mitsova, H. and Meentemeyer, R. K.: Tangible Landscape: A Hands-on Method for Teaching Terrain Analysis, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, Montreal QC Canada, ACM, pp. 1–12 (2018).
- [16] Mahyar, N., Burke, K. J., Xiang, J. e., Meng, S. c., Booth, K. S., Girling, C. L. and Kellett, R. W.: UD Co-Spaces: A Table-Centred Multi-Display Environment for Public Engagement in Urban Design Charrettes, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, ISS '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 109–118 (2016).
- [17] Underkoffler, J. and Ishii, H.: Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing*

- Systems*, CHI '99, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 386–393 (1999).
- [18] Nag, A., Simorangkir, R. B. V., Valentin, E., Björninen, T., Ukkonen, L., Hashmi, R. M. and Mukhopadhyay, S. C.: A Transparent Strain Sensor Based on PDMS-Embedded Conductive Fabric for Wearable Sensing Applications, *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 71020–71027 (2018).
- [19] Sarwar, M. S., Dobashi, Y., Preston, C., Wyss, J. K. M., Mirabbasi, S. and Madden, J. D. W.: Bend, stretch, and touch: Locating a finger on an actively deformed transparent sensor array, *Sci Adv*, Vol. 3, No. 3, p. e1602200 (2017).