

# 多次元データと外部データ連携を融合させた地方都市における デジタルシティ基盤の構築

瀬戸寿一\*・関本義秀\*\*・朝日孝輔\*\*\*・遠藤隆浩\*\*\*

## Development of Digital City Infrastructure in Regional Cities by Integrating Multi-dimensional Data and External Data Collaboration

Toshikazu SETO\*, Yoshihide SEKIMOTO\*\*, Kosuke ASAHI\*\*\* and Takahiro ENDO\*\*\*

**Abstract:** In this study, we develop a platform that can display approximately 20 types of data via a web browser to realize a digital twin of a wider area, including a detailed reading display of block units and individual three-dimensional point cloud data (point cloud) of a city. Using actual data, we examine if the data model and visualization design correspond with the zoom level. It is recommended that this digital smart city platform should be standardized by other local governments, especially in areas where higher-order data visualization is yet to advance. To display this digital city in a lightweight environment, we consider the digital data situation of local governments in Japan. It is necessary to define the visualized design for each zoom level according to the characteristics of the data. We then arranged the display model of each zoom level for 20 types of urban infrastructure data related to the digital smart city by referring to the style schema of the tile form.

**Keywords:** デジタルシティ (Digital City), スマートシティ (Smart City), 3D タイル形式 (3D tiles), Deck.gl, Mapbox GL JS

### 1. はじめに

近年, 世界的にスマートシティによる都市の ICT 化やデジタルライゼーションが進む中で (Halegoua, 2020), 都市の基盤的な地図情報のみならず, 都市内で計測されるセンシングデータや, 3 次元都市モデルを始めとする膨大な実空間インフラデータが生成され, これらのデータを統合的に扱うデジタルツイン/デジタルシティ構築へのニーズが高まっている。これらは, データ量も膨大であることから, API 等で適切に取り出しやすい形式で格納され, オープンデータとして適切に共有されることが肝要である。

日本においては, オープンイノベーションの観点からも, 例えば, 地方自治体を始めとする公共機関が有する電子納品データにおいて, 例えば 3 次元点群データやドローンによる空撮のデータなどが蓄積されつつあり (藤津ほか, 2019), そのオープンデータ化や流通環境が整備されることにより, 工事成果

を広く活用しやすくなることが期待されている。

他方, 設計図や施工等で計測された 3 次元点群などのインフラデータは, 単体の設計・施工データとして扱うだけでなく, 各種 2 次元地図データや 3 次元建物モデル等とシームレスに合わせ, 街区単位での可視化や, さらに大規模なものでは都市全体を俯瞰し, インフラの状況を把握するニーズがある。

そこで本稿は, 都市に関わる多様な原データから, Web 上で高速に 3 次元的に視覚化できるデジタルシティ・プラットフォーム構築を行うことを目的に, それぞれのデータの効率的な変換や統一された視覚化のためのアーキテクチャデザインを検討し, その構築過程を報告するものである。本研究では, 対象地域として, 静岡県裾野市を取り上げる。後述するように, 裾野市ではコネクテッドシティ「Woven City」がトヨタ自動車によって 2021 年度より着工予定であり, 都市の現状や将来を視覚化し, 行政の計画や

\* 正会員 東京大学空間情報科学研究センター (Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo) 〒〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 E-mail : tosseto@csis.u-tokyo.ac.jp

\*\* 正会員 東京大学生産技術研究所 (Institute of Industrial Science, the University of Tokyo)

\*\*\* 非会員 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会 (Association for Promotion of Infrastructure Geospatial Information Distribution)

市民との対話のために、多様な地理空間情報によるデジタルシティ構築のニーズが高い。

本稿では、第2節で、主に WebGL による 3 次元都市モデルの視覚化プラットフォームに関する関連研究について言及し、プラットフォームの必要性について説明する。第3節では対象となる地域やデータの概観について説明する。第4節では、これらのデータを統合的に視覚化するアーキテクチャデザインを検討し、第5節で実際に幾つかのデータについての変換過程と、どの程度ブラウザ表示用にデータサイズを最適化できたかを検証する。第6節は、変換したデータを統合して可視化した結果について説明し、結論部で今後の課題について展望する。

## 2. 関連研究

3 次元的な要素を含む都市モデルデータを統合的に視覚化するには、これまでスタンドアロン型アプリケーションが必要で、Web 環境の場合も描画のために高度なマシンパワーを有する機器が必要であった。2006 年の Google Earth のリリースや、各種オープンソース技術の台頭に伴い、近年ではシステムの汎用化が急速に進んでいる。特に、ウェブブラウザ上で 3 次元グラフィックスを表示させるための標準仕様として 2011 年に策定された WebGL (Web Graphics Library) の登場以降、技術的な表現能力が飛躍的に向上し、容易に 3 次元モデルを Web 上でインタラクティブに表現できるようになり、関連研究やシステム開発が急速に進んできた。

例えば Stoter ほか (2020) は、スマートシティやデジタルツインなど、コンピュータベースの都市空間解析における 3D 都市モデリングの現状について議論し、モデルの一貫性・標準化・データ品質・相互運用性・データのメンテナンスについてレビューし、データの統一の重要性を強調した。Albeaik ほか (2017) は、低解像度の LiDAR データセットを利用して都市スケールの 3D モデルを作成するための自動 3D モデリング手法を開発し、一部の地域に適用する研究を行った。Kang and Lee (2017) は、WebGL に着目し、広域の建築物のためのデータ指向のレンダリング手法を開発した。建築データ、特に BIM

(Building Information Modeling) を意識して、建物を構成するオブジェクトの標準仕様として世界的に注目されている IFC (Industry Foundation Class) 形式に統合する研究として、Chen ほか (2018) が、オンラインでの 3D オブジェクトの可視化と様式化について議論した。彼らは、タイル形式を用いた IFC データをストリーミングするためのオープン仕様として Cesium が作成した 3D タイル仕様をケーススタディとして用いた。また、Netek ほか (2019) は、大規模データを用いた実証研究を行った。彼らはクラスタリングとヒートマップの可視化技術の比較実験を行い、開発の歴史が長い Leaflet や OpenLayers よりも Mapbox GL JS の優位性を強調した。その理由として、GPU ベースのコンピューティングに適していることがあげられる。

このように幾つかの先行研究では、1 または数種類のビッグデータを用いてインタラクティブな視覚化を主に WebGL で行うものである。しかしながら、デジタルツインを実現する場合は、個別のデータ表示や街区単位での視覚化だけでなく、都市レベルでの広域な 3 次元建物データや複数の 3 次元点群データ、さらに人や物流の流動データなども Web ブラウザでシームレスに表示できる技術が重要である (Kilsedar and Brovelli, 2020)。そこで、以下では複雑で多種類のデータセットを入手できる対象地域を設定した上で、データの統一的な変換フローを整理し、実際にプラットフォームを構築した経過を報告する。

## 3. 研究対象地域の概観とデータ

本研究では、様々な種類のオープンデータがありデータ利活用の取り組みを行政施策として策定されている静岡県裾野市を対象とした。その背景として、裾野市が「デジタルクリエイティブシティ構想」を 2020 年 3 月に発表したことがあげられる。これは、トヨタ自動車が「Woven City」プロジェクトを発表したことを受け、今後数年から数十年の間に、裾野市における人の流れやライフスタイルが大きく変化していくことが予想される。そのため、裾野市では既存の都市データ等を駆使し、未来に向けたシナリオの策定やデータ駆動型によるまちづくりが喫緊の

課題として重要になった。そこで、本研究で目指すような視覚的に都市の動向を理解しやすいプラットフォームの構築が求められた。

表 1 は、本研究で構築するプラットフォーム（デジタル裾野）に掲載されたデジタルデータの概要を示したものである。これらのデータは、裾野市の行政担当者と上記の政策上の経緯を踏まえて協議し、既存のオープンデータまたはデジタル裾野構築にあたって新たにオープンデータ化可能なコンテンツを前提に収集した。また、静岡県では 3 次元点群モデルを大規模にオープンデータとして公開しており、静岡県「PCDB」から 5 つのデータを利用した。

表 1 デジタル裾野のデータ概要

分類	データ種類	形式	ファイル数	サイズ
背景	航空写真	GeoTIFF	257	13.4GB
データ	建物形状	ESRI	1	1.98G
	(ゼンリン)	Shape		
点群	3 次元点群	LAS	5	12.01GB
データ	(静岡県)			
地物	公共施設	CSV	7	50KB
	道路網	ESRI	2	1.1MB
		Shape		
	路線索引図	ESRI	2	100KB
		Shape		
鉄道	(国土数値情報)	GeoJSON	2	810KB
都市計画		ESRI	8	635KB
		Shape		
行政界		ESRI	1	470KB
		Shape		
防災計画	(静岡県含)	ESRI	21	2.1MB
		Shape		
流動	すそのーる	GTFS	14	200KB
	バス関係			
	企業取引	CSV	3	560KB
	(民間 A 社)			
人の流れ		CSV	2	149.8MB
	(東大 CSIS)			

#### 4. アーキテクチャのデザイン

第 2 節で概観したように、個別の 3 次元点群データの詳細な読み込みや管理だけでなく、都市全体と個別のデータを Web ブラウザ上で、シームレスかつ俯瞰的に捉えるデジタルシティの構築という観点から、表 1 にあげる多様な原データをスケーラブルに表示可能にできるようなアーキテクチャ実現を検討した。3 次元データによる広域なデータを表示可能なオープンソースソフトウェアとして、例えば、Cesium.js や NASA World Wind, あるいは mago3D などが代表的なプラットフォームとして挙げられる。また、日本国内では、地理院 Globe など存在する。この中でも特に、Cesium.js や mago3D は WebGL ベースでのライブラリとして機能するもので、汎用性も高く都市データの視覚化や、BIM/CIM での活用事例等も紹介されているが、Web ブラウザ上でシームレスに、ユーザー側も負荷を感じず視覚化するためには、WebGL をベースにしつつ、軽量のレンダリングが必要となる。

そこで本研究では、拙稿（2019）での検証状況を踏まえながら、JavaScript ベースのオープンソースライブラリでの広域的な表示パフォーマンスや地図表現のデザイン等を比較検討した結果、最も軽量かつデザイン等のカスタマイズを容易に行うことができるアーキテクチャを採用した（図 1）。

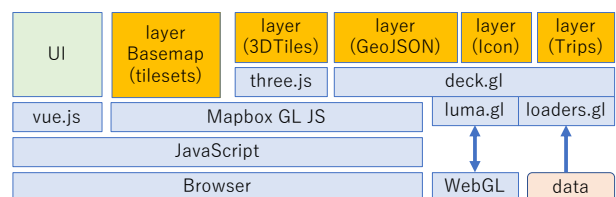


図 1 デジタル裾野のアーキテクチャ

ここでは、主に Mapbox 社が開発した Mapbox GL JS と、大縮尺での多様なデータ視覚化を可能とする Uber Technologies 社の Deck.gl を用いて、プラットフォームのプロトタイピングを試みた。Mapbox GL JS は 2020 年 5 月時点で、v.1.6.1 が公開されている。v.0.50.0 以降、Mapbox によって提供される地図デザ

イン・カスタマイズツール（Mapbox Studio）だけでなく、地図 API を複数読み込んで統合的に視覚化することや、サードパーティのレイヤーを合わせて描画可能である。なお、Mapbox は、大量かつ広範囲の地図データを高速に読み込むことが可能となるベクトルタイル方式に早くから注目し、各種タイル化するための変換ツールや表示用のアルゴリズムの開発を行ってきた。本プラットフォームの構築においても様々なファイルフォーマットのデータをスムーズに読み込む上で最適なライブラリである。

また、デジタルツインを実現する上では大量の基盤地図や 3 次元データ以外に、都市の中で 1 日を通して行われる人の動きや公共交通機関の運行のような動的なデータなど、ダイナミックな動きを視覚化するような実装が必要となる。動的データについては、Uber Technologies が開発した WebGL ベースのフレームワークである Deck.GL v.8.0.0 を利用した。これは、同社の vis.gl の一部であり、大量の地理空間情報を迅速に表示するだけでなく、人々の動きや、データ表示をクラスタ化するというインタラクティブ性を有した視覚化が可能なるものである。また、従来の 2 次元 GIS では表現されてこなかった 3 次元点群データは、レーザー測量により建物や構造物を密度高く計測することにより、現実空間の状態をデジタルデータとして再現できるものであるが、データ量も膨大になるため、ブラウザ上の表示を高速化の上では、一定の間引き処理を行う必要が生じた。

構築したデジタル裾野において表示されるデータは、大きく表 1 の 13 種類に分類されるが、これらを出るだけ統一的形式に変換した上で Web ブラウザでの表示に適切な軽量化ができる変換フローを検討した（図 2）。ここでは、(1)静的な GeoJSON や Icon として表示するもの、(2)動的なデータを JSON に変換して時間要素を加味して表示するもの、(3)広域あるいは 3 次元点群データのように大規模なデータをタイル形式で表示するもの、の 3 タイプに分類し、表示する地図のズームレベルも設定した。また、ズームレベルは、他のプラットフォームでの表示例を参考にしながら、データが今後多くなった場合に、互いのアイコンや形状が重なって表示しないように

最適な範囲を選択した。また、複数のレイヤーを視覚化することで本来不要なデータの読み込みが発生することを防ぐことも考慮した。

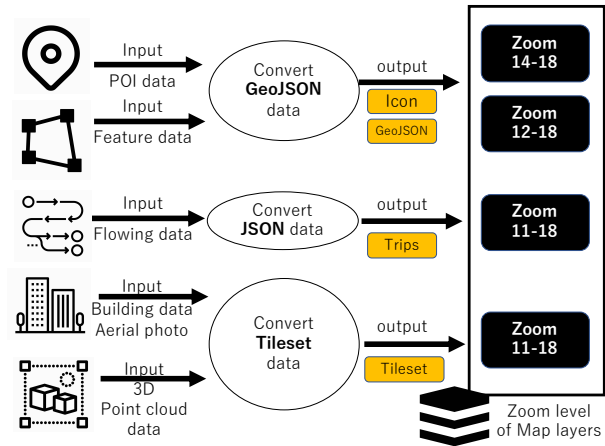


図 2 デジタル裾野のデータ分類と変換フロー

## 5. データの変換とその比較

### 5.1. 背景（基盤データ）

背景地図に用いるデータは、東京大学空間情報科学研究センター共同研究利用システム（JoRAS）において利用可能な「Zmap TOWN II (2016 年度 Shape 版) 静岡県 データセット (株式会社ゼンリン提供)」のうち、建物のシェープファイルをベースとした。このデータは建物単位のポリゴンデータとして全国統一的形式で提供されるもので、主要な属性の一つに階数が含まれるため、3 次元化した際にも、建物階数に応じて高さを変えて表現することが可能である。ここでは約 87 万棟のデータを Mapbox GL JS 上で軽量かつシームレスに読み込むために、タイル状に分割するベクトルタイルを採用した。この方式で配信するにあたり、Mapbox 社が提供するオープンソースの変換ツールである「tippecanoe」を用いて、バイナリベクトルタイル（.pbf）のズームレベル 13 から 18 に変換したものを読み込むこととした。また、Mapbox のスタイル様式に基づき、建物の階数属性に応じて概ね 1m 単位で可変させて表示させることとした。また、背景イメージは、裾野市が独自で撮影した最新の航空写真についても、「gdal2tiles」を用いて変換した。これらの処理を施すと、広域で描画すると大容量になる静

的な都市モデルでもタイル分割される。したがって、必要な空間的範囲とズームレベルに応じて都度サーバー側から順番にタイルを取得することで、表示範囲内で取得されるデータサイズとしては、数十～数百 MB 程度のボリュームに収めることができた。

## 4.2 流動データ

人の移動や公共交通機関の運行状況、あるいは地域同士のコネクションなど動的データの存在が欠かせない。しかしながら、これらのデータは一部を除いて必ずしも標準化されておらず、またデータサイズも非常に大規模になりがちであり、大規模な建物形状データよりもメモリ容量に負荷をかける。したがって、これらのデータは一律に変換できるものではなく、独自に開発した Python のスクリプトによって主に JSON 形式に変換を行った、またプラットフォーム上の表示は Deck.gl の機能 (Trip layer) を使って可視化した。

### ・GTFS データ

stops.txt (停留所座標) と shapes.txt (路線形状) をそれぞれ GeoJSON の Point, LineString のデータに変換し、GeoJSONLayer で可視化した。さらに、"trips.txt (便情報), stop\_times.txt (通過時刻) を組み合わせて経緯度座標とタイムスタンプの組み合わせデータを生成した。データボリュームは、3 路線、118 バスストップであったため、間引き処理は行わなかった。

### ・企業取引データ

民間企業 A 社からの提供により、2015 年から 2017 年の各年度 350 ノードからなる 3 年分の取引データ (CSV) を JSON に変換して可視化した。発注者と受注者それぞれの緯度経度データと取引高のデータを JSON として加工し、ArcLayer と ScatterplotLayer を生成し、Deck.gl の TripsLayer で可視化した。

### ・人の流れデータ

このデータは、東京大学 CSIS の「人の流れデータ・2016 年東駿河湾都市圏」をもとに、裾野市中心部を通過するデータとして、平日 600ID、休日 800ID

分の緯度経度とタイムスタンプを含む CSV データを JSON に変換し TripsLayer で可視化した。元ファイルは平日 63.1MB、休日 86.7MB あったが、このままプラットフォーム上で表示すると負荷が大きいため、約 2/3 サイズに縮小した。

## 4.3 3 次元点群データ

さらに 3 次元点群データの変換および重ね合わせ表示は、裾野市内に該当のものが存在しなかったため、静岡県内でサンプルデータとして取得可能な 5 件を対象とした。これらのデータを他のデータとオーバーレイ表示させる上で、3D Tiles に変換し、1 つのポイントクラウドデータを 1 レイヤとして読み込むこととした。

ここでは、LAS データの座標を再調整したほか、ブラウザ上での表示を最適化するために、「PDAL」(Point Data Abstraction Library)の v.2.1.0 を用いて、点密度を 10cm 程度に間引き処理を行った後に 3D Tiles への変換をするために「py3dtiles」(Oslandia 社)を用いた。表 2 に示すように 5 つのサンプルデータは、オリジナルファイルサイズが 50MB から一番大きいもので 6.5GB に達したが、これらを 3D tiles に変換することで、半分から 1/10 程度のデータサイズに圧縮し、約 30MB から、最大でも約 350MB 以内で生成できることが明らかとなった。

表 2 3 次元点群ファイルの変換結果

変換地点	X, Y, Z 地点数	元データ (MB)	タイル化 後 (MB)
地点 A (28-D0201-01)	22,854,836	594.2	344.1
地点 B (29-K2452-01)	2,141,686	55.7	34.7
地点 C (28-K2450-01)	2,301,317	59.8	32.3
地点 D (掛川城)	192,366,079	6,540.0	64.3
地点 E (韮山反射炉)	182,440,910	4,740.0	82.9

表 3 デジタル裾野のデータ変換結果

分類	データ種類	データ形式	File 数	合計 サイズ	オブジェクト 数	変換 形式	変換後の ファイルサイズ	ズーム レベル
背景	航空写真	GeoTIFF	257	13.4 GB	257 枚	Raster tile	1.6 GB	11-18
データ	建物形状 (ゼンリン)	ESRI Shape	1	1.98 GB	871,705 戸数	Binary vector tile	145.9 MB	13-18
点群 データ	3 次元点群 (静岡県)	LAS	5	12.01 GB	5 地点	3D vector tile	531 MB	11-18
地物 データ	公共施設	CSV	7	50 KB	224 POI	GeoJSON	80 KB	13-18
	道路網	ESRI Shape	2	1.1 MB	1938 ルート	GeoJSON	3.8 MB	14-18
	路線索引図	ESRI Shape	2	100 KB	291 箇所	GeoJSON	150 KB	12-18
	鉄道 (国土数値 情報)	GeoJSON	2	810 KB	7 箇所	GeoJSON	810 KB	ルート: 9-18 駅: 12-18
	都市計画	ESRI Shape	8	635 KB	73 ポリゴン	GeoJSON	900 KB	12-18
	行政界	ESRI Shape	1	470 KB	100 ポリゴン	GeoJSON	1 MB	12-18
	防災計画 (静岡県含)	ESRI Shape	21	2.1 MB	443 ポリゴン	GeoJSON	884 KB	14-18
流動 データ	すその一 バス関係	GTFS	14	200 KB	3 ルート 118 地点	GeoJSON	40 KB	ルート: 12-18 バス停: 15-18
	企業取引 (民間 A 社)	CSV	3	560 KB	300-350 ノード	JSON	130 KB	11-16
	人の流れ (東大 CSIS)	CSV	2	平日: 63.1 MB 休日: 86.7 MB	平日: 600 ID 休日: 800 ID	JSON	平日: 27.6 MB 休日: 37.3 MB	11-18

以上のように、Web ブラウザ上でシームレスに閲覧可能なデジタルシティが構築できるように、表 1 のデータを中心に、図 2 のフローで変換や最適化を行った。ここで重要な点の一つに、多種多様なデータフォーマットを統一化することと、Web 上でのレンダリングに適したファイルサイズの削減が必要であったため、その工夫も行う必要があった。各データの変換フォーマットとサイズ最適化、表示するズームレベルの設定の詳細は表 3 に示す。

このうち、図 3 は、主に数 MB レベルの軽量の静

データを変換した結果を示し、GeoJSON 形式に変換したものである。都市計画などのゾーニングデータや企業取引など複雑な形状のデータは、この変換によりデータの軽量化ができたが、道路ネットワークデータや行政区域などについては 2-4 倍ほどサイズが大きくなった。ただし、変換後の最大ボリューム自体が大きくても 4MB 程度であったため、Web 上でのレンダリング上は大きな影響は無かった。市域の範囲も限られており、変換時間は数秒から数十秒程度でほとんどかからなかった。

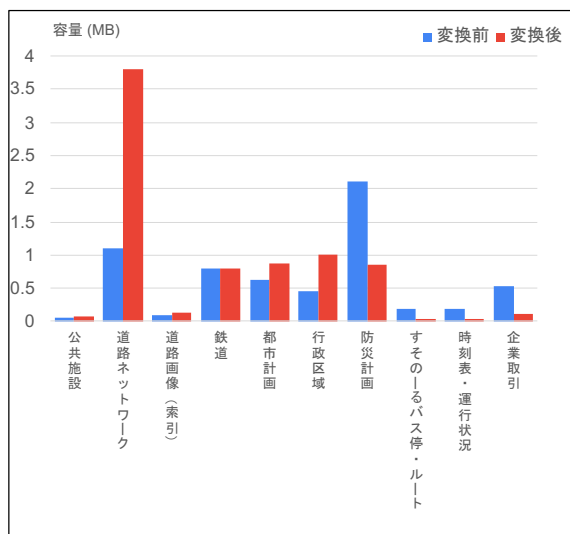


図3 軽量データの変換前後のサイズ比較

また、比較的大容量のデータについては最終的なフォーマットとしてタイル形式に変換することとしたが、それぞれのデータについて圧縮割合や変換のための処理時間については、比較検証が必要である。そこで、本プラットフォームでの対象の中で、航空写真と、建物形状データ、3次元点群データについて比較検討した(図4)。なお、点群データは5つのサンプルがそれぞれ異なるサイズであったため、その詳細を表3にまとめた。変換実験の条件は、以下の通りである。

#### <作業環境>

- ・Core:i7-9700k, CPU @3.60GHz, Memory 32GB
- ・OS: Windows 10 Subsystem for Linux (Ubuntu 18.04)

結果は、3種類のデータいずれもタイル化することで、1/5～1/10程度にサイズ圧縮ができ、表示するズームレベルもそれぞれ定義することで、一度にブラウザ上に呼び出すタイル数やファイル数を制御できるようになった。従来の視覚化手法では、この点が柔軟に行かない場合があり、特に大容量のレイヤーを複数同時に表示することが困難であったが、このような変換方法や最適化を行うことで、複数の Point of Interest (POI) だけでなく、背景地図と建物形状、そして3次元点群データが同時に表示することも可能になった。なお、この結果から、建物形状データ

や3次元点群データは、航空写真画像よりも処理にかかる時間もかからないことがわかった。

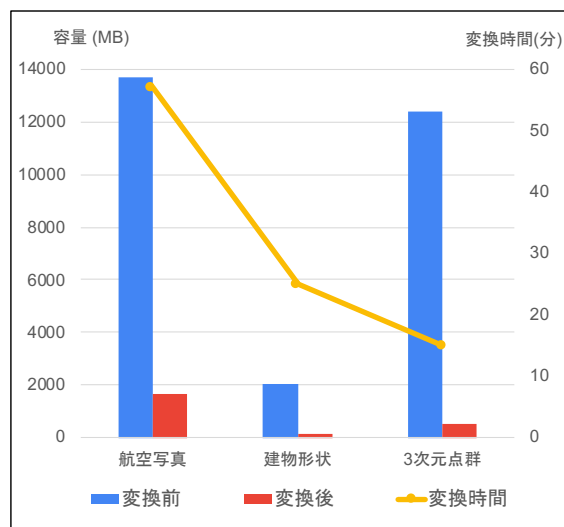


図4 大規模データの変換前後のサイズ比較

## 5. データ統合

以上のデータを加工・変換した上で、第4節で解説したアーキテクチャに基づき、3次元と時間軸を持ったデジタルシティとしてデータ統合を行った。図5はプラットフォームの初期画面と幾つかのデータを重ね合わせた状態を示したものである。

この構築されたデジタル裾野について、Firefox v.67.04において計測したところ、図5・下 (Zoom level 16) の範囲において、キャッシュサイズは約180MBが読み込まれ、メモリ使用量は約780MBで、CPU使用量は10%程度であった。さらに、動的データの表示例として地域のゾーニングデータと平日・休日の人の流れデータの重ね合わせ表示も試行した。その結果、人の流れデータが2種類加わると約60MB程度の追加のキャッシュサイズであることが明らかとなった。メモリは、約800MBほどであったが、CPUが約20-30%の使用量になり、GPU使用量も約30%程度であった。同様に3次元点群データについても、人の流れデータなど同じ割合でそれぞれ、負荷が増加した。

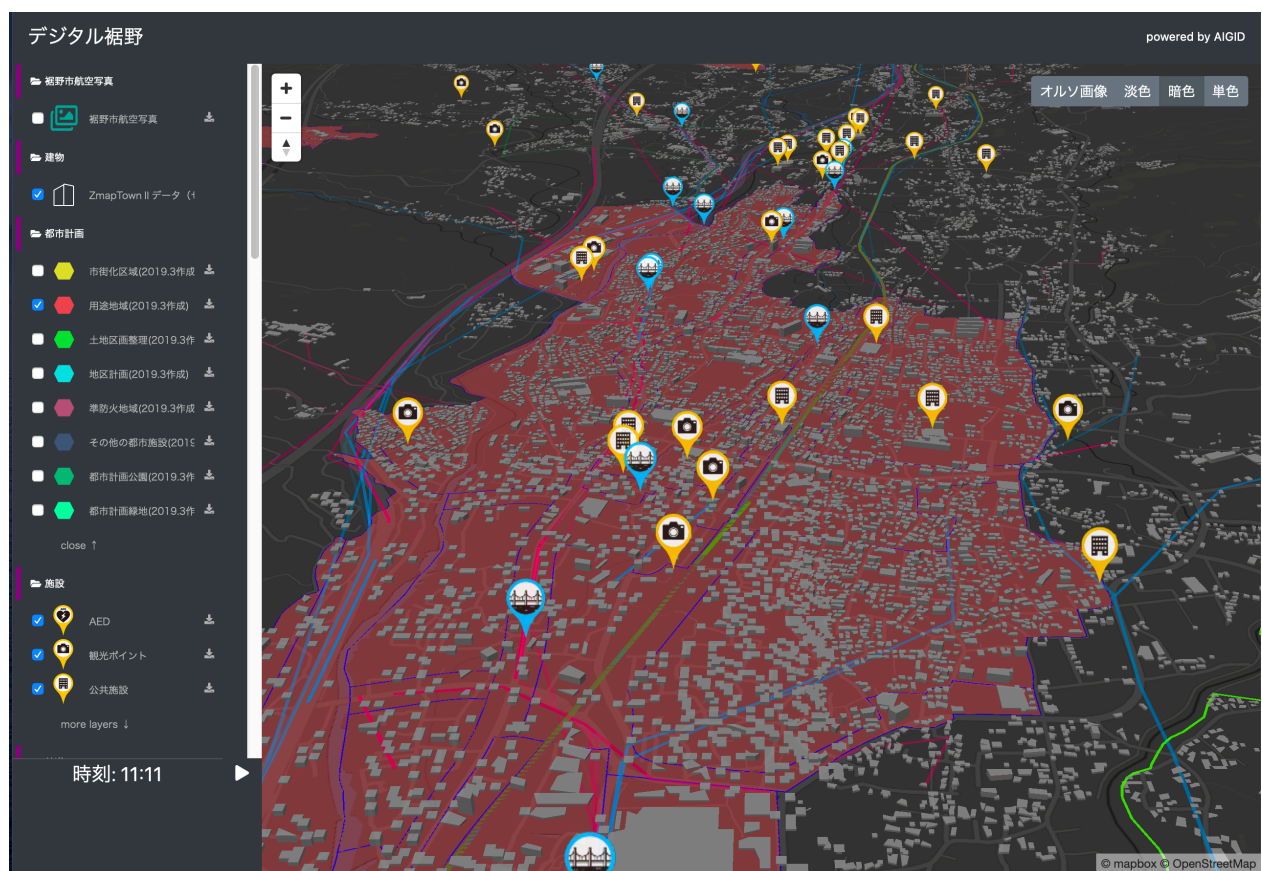
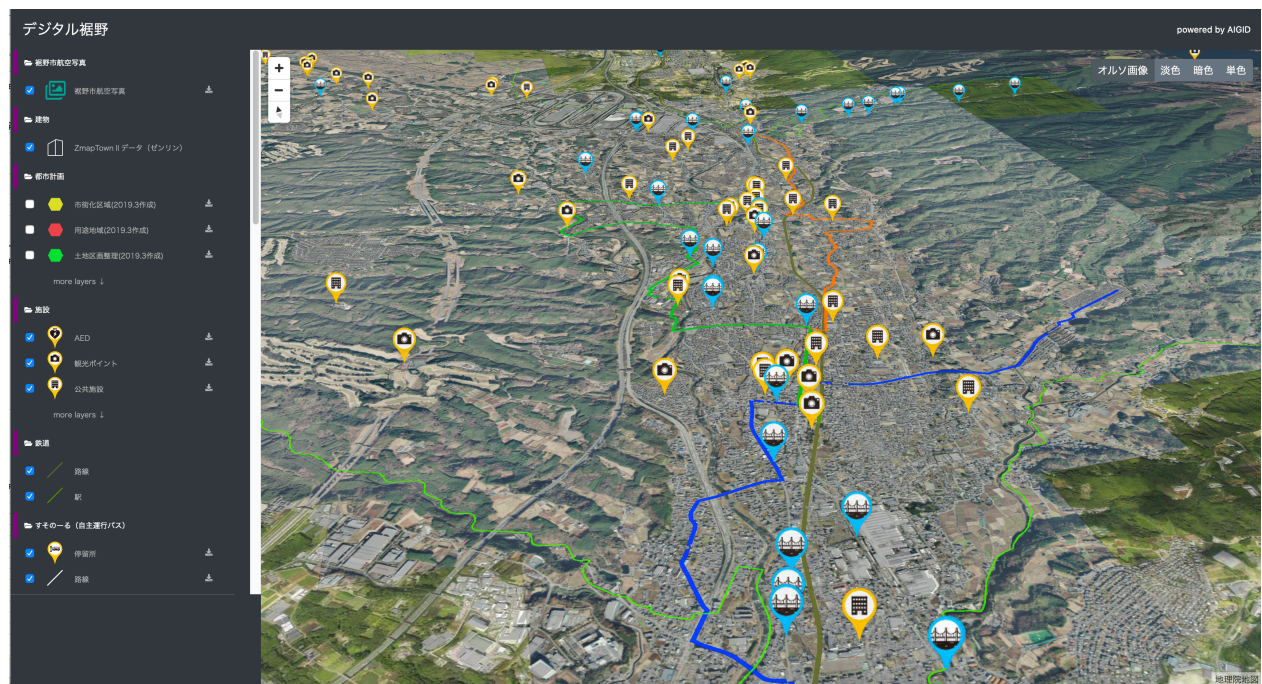


図5 デジタル裾野のインターフェース  
(上：初期画面，下：ゾーニングデータに人の流れデータを重ねたもの)

## 6. 結論

以上のように、本稿は都市モデルに関わる多様な原データから、Web上でシームレスかつ高速に3次元的に視覚化できるようなプラットフォーム構築を行うことを目的に、静岡県裾野市を対象に、13種類のデータを対象に(1)それぞれのデータの効率的な変換方法を検討しデータタイプで比較する、(2)統一された視覚化のためのアーキテクチャデザインを検討し、(3)必要な機能を開発し、データの容量やブラウザ上でのメモリやCPU使用量等のパフォーマンスを計測した。その結果、(1)については、デジタルシティに関わるデータの種類やボリューム、フォーマットは多様であることが明らかになったが、大きく3つのパターン(GeoJSON, JSON, Tileset)に集約することによって、データ統合しやすくなった。(2)については、Mapbox GLJSとDeck.glを組み合わせることで、複数のパターンによるダイナミックな視覚化が可能になった。(3)については、今回構築したプラットフォームにおいて、主に初期表示と、Webブラウザ上のパフォーマンスを計測し、特にポイントクラウドデータや人の流れのアニメーションについては、メモリ使用量やキャッシュは大きくならなかったものの、CPU・GPUパワーの負荷が一定かかることがわかった。

以上を踏まえて、今後のアーキテクチャ設計や開発における課題は、主にインターフェースの使いやすさやデータ変換の効率化が指摘できよう。前者については例えば、データの種類によってズームレベルを定義し、実際の表示も自動的に視点を切り替えることができたが、例えばポイントクラウドデータなどは、施設のボリュームもそれぞれ異なるため、Bounding boxなどによる定義が必要であること。また、操作画面の視点の切り替えについての拡張が必要である。

本プラットフォームでは鳥瞰的な視点での操作にとどめたが、特に点群データを内側から見る、真横から見るなどの操作も可能になるとよりデータの活用が充実するだろう。また後者は、一番大きな課題としては各データの自動変換の仕組みを作ることである。地域によってデータボリュームや属性が異なる

が、本研究である程度のデータタイプやカテゴリが定義できたため、これらのデータのWeb3Dプラットフォームにおける標準化がある程度深める必要がある。また、デジタルツインを充実する上では、建物内の属性や構造を含むBIMデータの融合やセンシングデータなどの大規模な流動データへのチャレンジが必要になる。この点は、WebGL技術の発展による負荷も軽減しつつあり、さらなる事例の充実が求められる。

## 謝辞

本稿をまとめるにあたり、データ提供や開発過程での検証に際し、多大なご協力いただいた裾野市企画部みらい政策課の皆様には感謝申し上げます。また、東京大学CSIS共同研究「デジタルシティ実現に向けたデータプラットフォーム構築に関する研究」の成果の一部である。

## 参考文献

- 瀬戸寿一・関本義秀・朝日孝輔・遠藤隆浩 (2019) 3次元インフラデータ連携のためのプラットフォーム整備と可視化機能の開発。「地理情報システム学会講演論文集」, 28, 4p.
- 藤津克彦・田中直樹・杉山由夏・関本義秀・瀬戸寿一・福田達也・三好邦彦 (2019) 受注者によるオンライン型電子納品の試行。「第1回 i-Constructionの推進に関するシンポジウム発表論文集」, 1, 53-56.
- Germaine R. Halegoua (2020) *Smart Cities. The MIT press essential knowledge series*. The MIT Press, Cambridge.
- Jantien Stoter (2020) State of the Art in 3D City Modelling: Six Challenges Facing 3D Data as a Platform, *GIM International*. <https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-in-3d-city-modelling-2> (最終閲覧日: 2020年8月15日)
- Kilsedar, C.E. and Brovelli, M.A. (2020) Multidimensional Visualization and Processing of Big Open Urban Geospatial Data on the Web, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 9, 434.

- Rostislav Néték and Jan Brus Tomecka (2019) Performance Testing on Marker Clustering and Heatmap Visualization Techniques: A Comparative Study on JavaScript Mapping Libraries. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **8**, 348.
- Saleh Albeaik, Mohamad Alrished, Salma Aldawood, Sattam Alsubaiee, and Anas Alfaris (2017) Virtual Cities: 3D Urban Modeling from Low Resolution LiDAR Data, *Proceedings of the 25th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL '17)*, Article 86, 1–4.
- Seokchan Kang and Jiyeong Lee (2017) Developing a Tile-Based Rendering Method to Improve Rendering Speed of 3D Geospatial Data with HTML5 and WebGL. *Journal of Sensors*, 1-11.
- Yiqun Chen, Erfan Shooraj, Abbas Rajabifard and Soheil Sabri (2018) From IFC to 3D Tiles: An Integrated Open-Source Solution for Visualising BIMs on Cesium. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **7**, 393.