

# デジタルツイン構築技術の文化財への応用

中村良介（産業技術総合研究所）

Applying Digital Twin Technology to Cultural Properties

Nakamura Ryosuke (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

・デジタルツイン／Digital twins・三次元GIS／3D GIS

・サイバーフィジカルシステム／Cyber-physical system・Society 5.0／Society 5.0

## 1. はじめに

デジタルツインは、現実（フィジカル）空間に存在する物体（モノ）と、その時間的な変化（コト）をサイバー空間に映しとり、現実の鏡像（ツイン）をつくりあげるための技術である。サイバー空間に蓄積された膨大なデジタル情報は、AIによるビッグデータ解析やスーパーコンピューターによる数値シミュレーションの基礎データとなり、現実世界で将来起こるであろうイベントの予測や制御に用いられる。

元々のデジタルツインは、Industry 4.0構想の一部として提案されたコンセプトであり、主に工場内などの限られた人工空間のみを対象としてきた。しかし近年の自動運転技術の発展やSociety 5.0構想<sup>1)</sup>の進展に伴い、その対象を屋外の一般空間や、地中・海上・上空といったより広範な領域に拡大しつつある。

産業技術総合研究所（以下、産総研）では、このデジタルツインを構築／運用するための基盤として、点群・メッシュ・ソリッドといった多様な形式の静的三次元データや、動的な移動体の軌跡情報などを大量に保持・処理することができる3DDB systemを開発している。時空の制約を離れて、あらゆる種類の膨大なデータを扱うことができるというデジタルツインの特徴をわかりやすく一般に示すためには、いまなお地中に存在する埋蔵文化財や、数百～数万年前につくられた考古学的遺物といった文化財

は非常に魅力的なターゲットとなる。

本稿では、こうした文化財データを産総研のデジタルツイン基盤3DDBに取り込むために行われてきた活動と、その直近の成果および将来的な課題について紹介する。

## 2. 3DDBシステムの概要

3DDBシステムの本体は、その名のとおりPostGISデータベースに収納された膨大かつ多様な3次元オブジェクトデータである。この3DデータにWebを通じてアクセスするための標準User Interface (UI)として、CesiumベースのThree Dimensional Viewer (TDV)<sup>2)</sup>を持ち、API経由で検索・表示・登録・高度解析といった各種の処理を行う。コンテナ技術を活用することで、Amazon Web Serviceなどの商用クラウドにも容易にデプロイすることができるが、現在の公開版は産総研が運用する大規模AIクラウド計算システム「ABCI」<sup>3)</sup> (AI Bridging Cloud Infrastructure)上で運用されている。ABCIはNVIDIA GPUアクセラレーターを備えた合計1200台の計算ノードと、合算で約35PBの容量を有する共有ファイルシステム、データ公開に利用できるクラウドストレージ、これらを相互接続する高速なInfiniBandネットワークなどから構成されている。こうしたABCIの計算リソースや3DDB上の3次元データへアクセスするための認可はOAuthに基づいて行われ、GoogleやTwitterな

どの外部 ID を認証に利用することもできるよう設計されている。

## (1) 座標系

日常空間において、人間は空間の広がりを「上」を表す鉛直 Z 方向と、それに直行する地表面 (XY) として直感的に把握している。そこで 3DDB では個々のオブジェクトの形状および位置関係を（日本平面直角座標系のような）局所的な直交 (XYZ) 座標系で記述する。

一方、実際の地球表面は、球に近い複雑な形状を持つており、鉛直方向は場所によって変化する。そこで 3DDB では、オブジェクトの存在範囲を示すメタデータは、緯度・経度・標高（または梢円体高）というグローバルな座標系で定義し、3 次元データそのものの座標は前述のとおり局所直交座標系で定義されるものとした。このように定義されたグローバル／ローカルの座標系間の関係は、地球中心に固定された原点を持つ直交座標系 ECEF とローカルな直交座標系の間の変換行列としてデータベース上に格納される。また局所座標系が準拠する参照座標系の定義には EPSG ( European Petroleum Survey Group ) コード<sup>4)</sup> を採用する。

## (2) 静的データフォーマット

静的な 3 次元オブジェクトの主要な形式は、点群・メッシュ・ソリッドの 3 種に分類され、それぞれに多種多様なフォーマットが利用されている。とくにスマートフォンやヘッドマウントディスプレイを字活用する AR/VR では usdz や glTF といった比較的新しいフォーマットが急速に普及しつつあり、将来の展開を見定めることは難しい。そこで現時点での普及度と標準化レベルを鑑み、点群・メッシュ・ソリッドについて、それぞれ LAS/OBJ/FBX をベースフォーマットとした。今後の動向変化に柔軟に対応していくため、このベースフォーマットからの変換 API を、比較的需要の多いフォーマットから順次実装している。

## (3) 動的データフォーマット

移動体の軌跡や現在位置を表す動的 3 次元データフォーマットも、地上・海上・空中・宇宙空間といったフィールドごとに多種多様なフォーマットおよび配信方式が存在する。それぞれの代表的な位置データのフォーマット／配信方式を表 1 に示す。前述した 3DDB の標準 UI である TDV では、こうした移動体データを Cesium 用の CZML というフォーマットへ変換することで、統一的なリアルタイム表示を実現している<sup>5)</sup>。今後は、PostGIS の拡張として開発がすすめられている MobilityDB<sup>6)</sup> の機能を取り込むことで、国際標準フォーラムである Open Geospatial Consortium (OGC) で策定された移動体データ標準形式 MovingFeature<sup>7)</sup> や、大規模データの処理・可視化などに対応していく予定である。

表 1 移動体種別と配信方式

移動体種別	データフォーマット／配信方式
バス	GTFS
航空機	ADS-B
船舶	AIS
人工衛星	TLE

## (4) データ検索／表示機能

3DDB 上に存在するデータは、独自の API を通じて検索することができる。また全てのデータが OGC 標準形式 3D tiles<sup>8)</sup> に変換されており、そのアクセス先 URL が検索結果に含まれているため、検索後、即座に TDV などの Web UI で表示することができる。現状で検索に利用できるメタデータは（1）データの名称や説明文に含まれる単語（2）緯度経度および高さ（あるいは深さ）で指定される存在範囲（3）データが作成された時期（4）作成者などであるが、今後はこのメタデータや検索プロトコルを、他の地理空間情報システムと共通化できるような標準化をすすめていく必要がある。

国内外の多くの行政機関がオープンソースのデータ管理システム CKAN を採用しており、内閣府の SIP リファレンスアーキテクチャーの中で

は、このCKANを地理空間データへ拡張する方式Geospatial-CKANが提言されている<sup>9)</sup>。3DDBと他機関が保持するデータベースとの間で統合検索を実現するため、現状のメタデータをGeospatial-CKANに適合させるための検討をすすめている。

一方、衛星画像や従来のGISの分野ではSTAC(SpatioTemporal Asset Catalogs)という新しい国際標準がデファクトとなりつつある<sup>10)</sup>。現実空間に対応する3次元構造を持つデジタルツインにおいても、実際的なほとんどの応用事例は、既存の地図情報や衛星画像といった2次元データなしでは成り立たない。このため3DDBの検索APIも、将来的にはSTACとの相互運用性を持たせる必要があると考えられる。

## (5) データ登録／位置情報付与機能

近年Apple iPhoneのようなLIDARを搭載したスマートフォンの普及により、研究者や専門家以外の一般の人々が容易に3次元データを取得できるようになってきた。LIDARがない場合でも、Visual SLAMやNeRFといった新技術によって、カメラ画像だけから広域の高品質3次元データを構築することも可能になりつつある。また新たに公共工事で建造される構造物については、従来の2次元図面ではなく3次元のBIM/CIM(Building/Construction Information Model)といった形でデータを整備することが国の政策として推進されている<sup>11)</sup>。ユーザーは、こうした多様なフォーマットの3次元データを3DDBに登録することができる。

スマートフォンなどで取得した3次元モデルは、屋屋外であればGPSによって絶対位置が付与できる。しかし、その平均的な精度は水平方向(緯度経度)で10m程度であり、高さの精度はさらに低い。そこで、3DDBのデータ登録UI/APIでは、(A)背景に置かれた国土地理院の電子国土基本図とDigital Elevation Model(B)(測量専門家によって提供されたより高精度の)基準点群、という2とおりのベースマップを提供し、ユーザーが手動で適切な位置情報を付与できるようにしている(図1)。

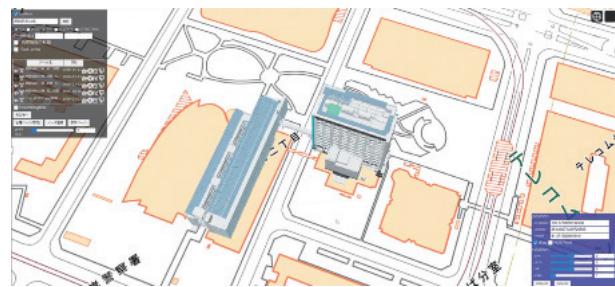


図1 BIMをTDV上の地理院地図に合わせて配置

(A)は日本全国で利用できるが、位置精度は(1/2500の地図が利用可能な地域であっても)数メートル程度である。一方(B)はRTK-GNSSで標定されているため、数cm程度の精度を持つと想定されるが、利用できる領域が、現状ではかなり限定されてしまう。しかしながら、静岡県では「VIRTUAL静岡」<sup>12)</sup>プロジェクトで取得された高精度点群を県全域で(B)に用いることができる。また2023年度前半には、東京都も同様の取り組みを完了することを予定している<sup>13)</sup>。こうした自治体単位のデジタルツイン基盤構築が、スーパーシティやデジタル田園都市構想の進展に伴い加速していくば、(B)の手法ができる領域は拡大していくことが期待できる。



図2 高精度点群上へ配置された樹木モデル

屋内や地下で測定した3次元モデルについては、(1)まず(A)(B)いずれかの手法で建物のような地上構造物あるいは地下街や駅といった地下の構造物モデル(～通常BIMなどから作成されるソリッドモデル)を、地図上の正確な位置に置く(図1)(2)その後、スマートフォンなどで取得した屋内/

地下の詳細なモデルを、その構造物モデル内に配置する、というふたつの段階を踏むことで絶対位置を付与することができる（図3）。このようにして、地球上に存在するあらゆるオブジェクトを、サイバー空間に「転写」することが可能となる。



図3 屋内三次元データへの絶対位置座標付与

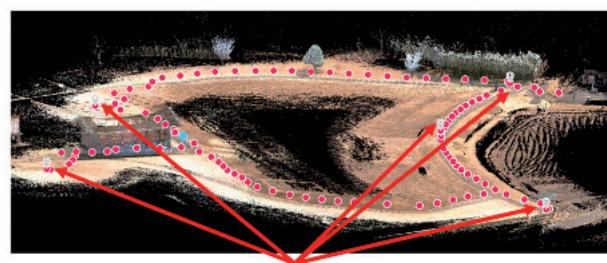
なお専門家が測定した高精度点群は、EPSG コードを指定して登録すれば、それだけで適切な位置に配置される。しかし「高さ」梢円体高ではなく「標高」で与えられている場合には、ジオイドモデルの違いが誤差となる可能性がある。

#### （6）位置情報付与機能の高度化

前項で述べたように、現状ではGPSで取得した大雑把な初期位置から、手動で基準データに合わせることでより正確な位置を決定できる。しかし近い将来に基準となる高精度点群が全国的に整備されるようになれば、この位置合わせ作業の自動化が強く望まれるだろう。初期位置精度をGPSで10m程度まで抑え込めるのであれば、対象となるデータを点群に変換した上で、ICPやNDTといったアルゴリズムを適用することで、自動位置合わせを行うことができる。現在、この自動位置合わせ API を実装中であり、2022年度中に試験運用を開始する予定である。

では、位置合わせの基準となる点群がまだ整備されていない場所ではどうしたらよいだろうか？最近では、Ichimill<sup>14)</sup>のようなVRS方式のRTK-GNSS や準天頂衛星のCLAS 対応受信機を用いて、cm 精度での測位が（測量の専門家でなくとも）容易にできるようになりつつある。3次元データが完全なローカルXYZ座標しか持っておらず、かつ基準となる

高精度背景点群がない場合であっても、屋外の空がひらけた場所であれば上述のような衛星測位によって【ローカルXYZ 対応する緯度経度標高】のペアで記述される地上基準点を準備することができる。この地上基準点を最低3点用意してAPIに渡せば、ヘルマート変換によってデータ全体に絶対位置を付与する機能を現在実装中である。この機能も、点群自動マッチング機能と同様に2022年度中に試験運用開始を予定している。



これらの地点で緯度経度標高測定

図4 衛星測位による地上基準点の設定事例

### 3. 文化財データへの適用事例

#### （1）オープンデータのとりこみ

デジタルツイン技術のデモンストレーションとして公開されているTDV<sup>2)</sup>には、オープンな文化財データが掲載されている。「VIRTUAL 静岡」<sup>12)</sup>の掛川城、大阪市立大学（現：大阪公立大学）の岸和田城<sup>15)</sup>については、城の内部も含む点群データが登録されており、周囲の地形との関係や内部構造を見てとることができる（図5、6）。

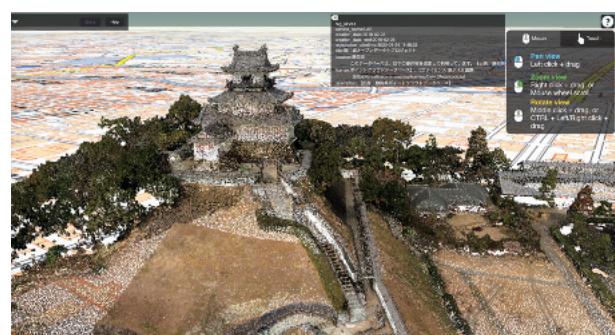


図5 TDV で表示されている掛川城の外観



図6 TDV で表示されている岸和田城内部の展示室

富田林市は、重要文化財「旧杉山家住宅」の内部を Matterport 社の赤外線深度センサ搭載カメラ (PRO2) で計測し、同社のヴァーチャルツアーサービス (3D Showcase) を通じて公開している<sup>16)</sup>。Web ブラウザ上で利用できるこのヴァーチャルツアーサービスでは、360 度パノラマ画像/平面図/3D Model を閲覧することができる。富田林市は、この計測によって取得されたオリジナルデータを、G 空間情報センターあるいは商用の 3 次元データプラットフォーム Sketchfab からクリエイティブコモンズの「表示／非商用」ライセンス (CC BY NC)<sup>17)</sup> で公開している。そこで 3DDB では、このオープンな 3 次元データを 2 次利用する形で登録し、さらに富田林市から提供いただいた周辺道路の MMS 点群データと合わせて閲覧できるようにした。その結果、図7 に示されるように Matterport 単体のデータでは把握が難しい周辺環境との関係を効果的に可視化することができた。

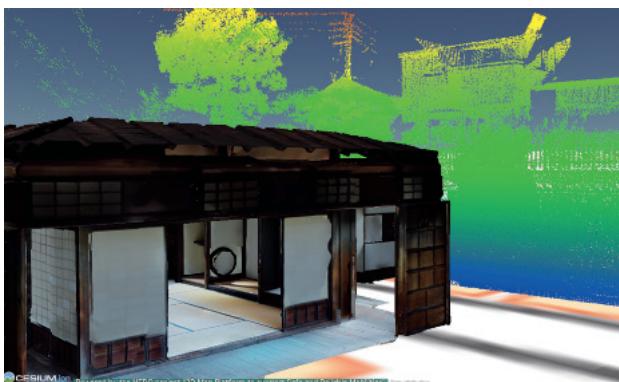


図7 TDV で表示されている旧杉山家住宅

富田林市は、その後、国重要文化財の仁王門を持つ龍泉寺についても同様に、3 次元データをオープンデータとして公開している。この龍泉寺のデータも、G 空間情報センターから公開されているものを 2 次利用する形で 3DDB に登録した (図8)。旧杉山家住宅は屋内が対象であったのに対して、龍泉寺では屋外が主な対象であるため、測定にはライカ社の BLK360 で利用されている。位置情報を付与することで、この寺院が置かれている地理的な背景を、わかりやすく表示できている。



図8 TDV 上で表示されている龍泉寺点群データ

2022 年 10 月には、福井県越前市が市役所や武生公会堂記念館、市街地の一部の三次元データを市のページからオープンデータライセンスで公開開始した<sup>18)</sup>。これらのデータについても富田林市のデータと同様に、3DDB での 2 次公開を準備中である。

## (2) 個別の自治体との連携

前項で紹介した静岡県や富田林市といった先進的な自治体では、文化財の三次元データを独自に取得し、G 空間情報センターや Sketchfab といった既存のプラットフォームを活用して公開している。こうした自治体では、行政データ全般をクリエイティブコモンズライセンスや政府標準利用規約<sup>19)</sup> などに準拠する形で、オープンデータとして公開していることが多い。このため、出典を明記さえすれば文化財 3 次元データを 3DDB へ登録し、TDV 上で誰もが簡単に見られるようにすることができる。

一方で産総研は、個別の自治体と共同で新たな文

化財三次元データを取得し 3DDB から直接発信する試みもすすめている。具体的には、福井県鯖江市および茨城県大洗町との間に共同研究契約を締結し、それぞれの文化財管理部門の助言に基づいて、古墳／出土遺物／歴史的建造物といった様々な文化財の3次元データ測定を行っている。

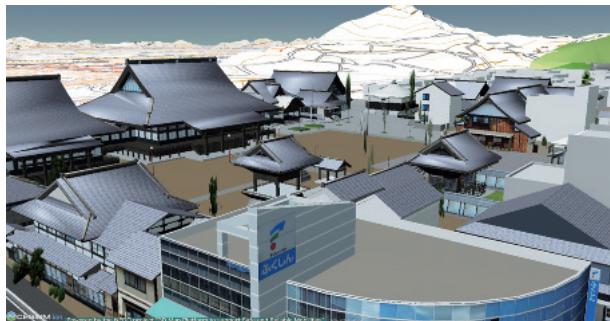


図9 TDV 上の鯖江市街3次元モデル

自治体側は主に、(i) 3次元測定を行う遺物の選定 (ii) 屋外での三次元測定に関わる周辺住民との調整 (iii) 公開の前提となるデータポリシーの策定などを担当する。鯖江市では、すでに市街地の三次元データを公開しており（図9）、2022年度中に新規取得した文化財データについても公開できるよう準備をすすめている。

図10では、2022年の夏に大洗町「幕末と明治の博物館」で開催された第5回埋蔵文化財企画展（OARAI KOFUN EXPO '22）の会場を Matterport 3D Showcase で公開している事例が示されている。公式の解説ボードだけでなく、会期中に追加されたポップなども、画面上のピンをクリックすることで表示されるようになっており、会場までの物理的な距離やコロナの問題で実展示を観覧できなかつた人も、バーチャルに雰囲気を味わえるようになっている。

この企画展に先立って、展示される代表的な土器／埴輪の三次元測定を行い、Sketchfab 上でアクセスできるようにした（図11）。会場の3D Showcase から、この土器／埴輪の3次元データを表示できるようになっているため、現実世界では不可能なアングル／距離から展示品を鑑賞することが可能となっている。

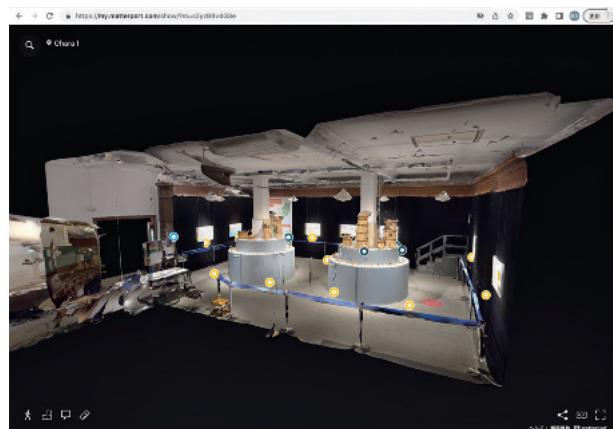


図10 OARAI KOFUN EXPO '22 のバーチャル会場

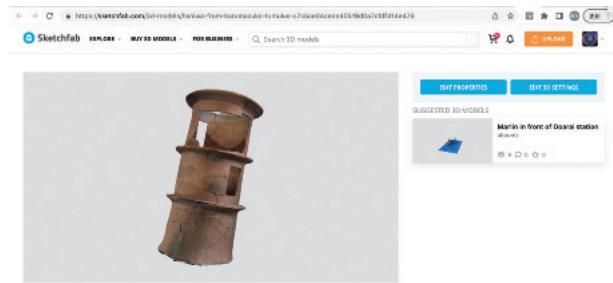


図11 Sketchfab 上の埴輪3次元モデル

図11の埴輪のような磯浜古墳群から出土したいくつかの遺物については、その正確な出土状況がオルソ画像などで記録されている。つまり、当時の画像を現在のフォトグラメトリー技術で再処理することで、発掘当時の状況を3次元データとして再構成できる可能性がある。3DDBには、こうした過去の発掘現場や、そこから出土した遺物を3DDBに登録することも可能である。登録の際、3次元データに正確な絶対位置情報を紐つけておけば、観光客などが古墳群を訪問した際。（現在は地下に埋め戻されている）発掘現場や、古墳が築造された当初に埴輪が樹立されていた様子をARを用いて再現表示できる。発掘が行われていた当時と現在の状況の違いを可視化するため、2022年度中に磯浜古墳群全体の3次元測定の準備をすすめている。

このようにデジタルツイン技術を文化財データに適用することで、時間と空間の壁を超えて現実世界の広がりを体感する場を構築することが可能となる。

## 4. 文化財総覧 WebGIS との連携

3章で示したように、3DDB には文化財データが集積しつつあるが、産総研が個別の自治体・大学・博物館などと連携してデータを収集したり、オープンになっている文化財データを独自に登録するという現在の手法には限界がある。一方、奈良文化財研究所では文化財の位置を示す地理情報を全国から集積し、文化財総覧 WebGIS から公開している<sup>20)</sup>。そこで文化財総覧 WebGIS との連携により、3DDB で日本全国の文化財データを配信できるような機能追加を行った<sup>21)</sup>。

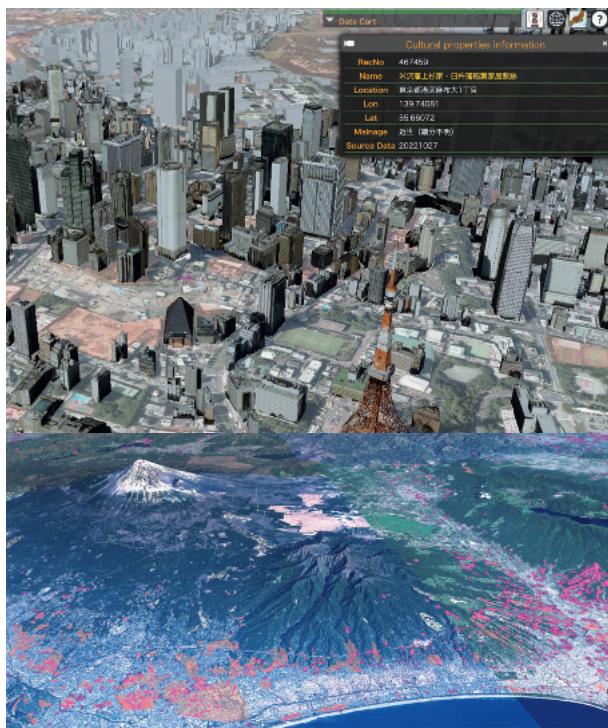


図 12 TDV 上に表示された文化財の存在位置／範囲

具体的には、文化財総覧 WebGIS に収録されている 60 万件以上のポイントおよびポリゴンデータを GeoJSON 形式で提供してもらい、それを OGC 国際標準である WMS (Web Mapping Service) で配信できる形式に変換した。3DDB の標準 Viewer である TDV では、WMS で配信されたマップを、ボタン一つで背景図として追加することができる。このため、現在の地表の状態と地下に存在する埋蔵文化財

の関係や、遺跡分布と地形の相関などを簡単に可視化することができるようになった (図 13)。表示されているポイントやポリゴンは、対応する文化財総覧 WebGIS データにリンクされているため、遺跡の発掘報告書などへも容易にたどりつける。

埋蔵文化財については、現在の 2 次元ポリゴンに深さ情報を付加することで 3 次元データに拡張することができる。国土交通省が主導する日本全国の 3D 都市モデルの整備・オープンデータ化プロジェクトプラターでは、こうした地下の 3 次元データについても CityGML という国際標準形式の採用を推進している<sup>22)</sup>。2-(2) で述べたとおり現在の 3DDB では OBJ/FBX をそれぞれメッシュ／ソリッドのベースフォーマットとしているが、まもなく CityGML を新たなベースフォーマットして追加する予定である。その後は、埋蔵文化財データを 3DDB に登録し、地上のデータとまったく同じように検索／表示できるようになる。また 3DDB に登録されている地下鉄の駅や埋設されている電気・ガス・水道といった地下のインフラとの相対位置関係を把握できるようになれば、都市の開発計画立案などにも有効活用できると期待される。

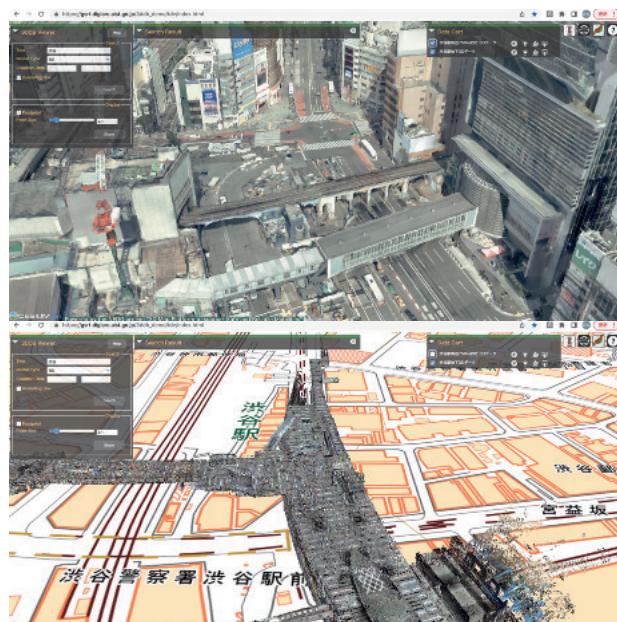


図 13 渋谷駅周辺の地上および地下鉄 3 次元データ

## 5. 今後の展望と課題

すでに開発に着手し、2022年度中に公開予定の機能については各章で述べてきたため、ここでは残されている課題と長期にわたる開発計画についてまとめる。

2章でも述べたように、3DDB システムの本体はバックエンドのデータベースと大規模計算のための CPU/GPU サーバー群、およびそれらにアクセスするための API であり、TDV はユーザーが利用できるポータルの一例を提供するものに過ぎない。TDV と同じ Cesium ベースの Viewer としては、PLATEAU VIEW や東京都デジタルツイン 3D ビューアー があり、どちらもソースコードは Github 上で公開されている<sup>23, 24)</sup>。また Cesium.js ではなく Three.js ベースのオープンな 3 次元 Viewer エンジンとしては iTowns があり、こちらの開発も活発にすすめられている<sup>25)</sup>。まずは、TDV 以外のこうした外部 Viewer から 3DDB の機能を利用してもらうため、データ検索・表示 API の仕様およびアクセス URL を公開する予定である。認証認可が必要なデータ登録 API を公開するには技術面以外での様々な調整が必要なため、その次のステップとなる。今後の産総研でのデジタルツイン開発は、ABCi の大規模な計算リソースや AI 解析技術を活用したバックエンドの整備に注力していくこととなる。

近年、Matterport Showcase によるバーチャル展示は、Covid-19 の影響で訪問者が激減した多くの博物館で、対策のひとつとして利用されるようになった。また遺物の三次元データのバーチャル展示については、多くの自治体が Sketchfab を利用している。しかし、こうした民間商用プラットフォーム上の 3 次元データは、現実空間のどこに存在するのか（あるいはかつて存在していたのか）という情報が欠けていることが多い。3 章で富田林市や大洗町の事例を通じて紹介したように、デジタルツインプラットフォームである 3DDB はフィジカルとバーチャルをリンクすることで、博物館の展示されている遺物がかつてどこにあったのか、あるいは写真にうつっ

ている遺構が現実空間のどこにあるのかを直感的に示すことができる。この特徴をさらに進化させるために、Matterport Showcase で閲覧できるパノラマ画像群と、3DDB 上の三次元モデルを直接リンクさせ視点を共有させるための API を開発中である。このリンクが実現すれば、コロナ禍になってから数多くの博物館で導入された Matterport showcase によるバーチャル展示とその展示品に、3DDB からアクセスする道が拓かれることとなる。同様に Sketchfab に掲載されている様々な文化 3 次元データについても、連携の手法を検討中である。

2022 年 10 月現在、3DDB の非公開内部版には約 2000 件、オープンデータを収録した公開版には約 200 件のデータが登録されている。そのうちの文化財関連のデータは 20 件弱にとどまるが、4 章に記述した奈良文化財研究所との連携により、その数はさらに増えていくことが期待される。また海外の遺跡などについても、オープンライセンスで公開されているものは積極的に登録していく予定である。

### 【謝辞】

文化財データとの連携についてご協力いただいている野口淳様（金沢大学古代文明・文化資源学研究所）・高田祐一様（奈良文化財研究所）・仲林篤史様（東大阪市）・林正樹様（富田林市教育委員会）・蓼沼香未由様（大洗町教育委員会）・深川義之様／藤田彩様／森田真史様（鯖江市文化課）そして 3DDB をともに開発してくれている産総研地理情報サービス研究チームのメンバーに感謝いたします。本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP18010）の結果得られたものです。

### 【補註および参考文献】

- 1) [https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)
- 2) [https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/3ddb\\_demo/tdv/index.html](https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/3ddb_demo/tdv/index.html)
- 3) [https://abci.ai/ja/about\\_abci/](https://abci.ai/ja/about_abci/)

- 4) <https://epsg.io/about>
- 5) 中村良介、杉本隆、織田篤嗣、堤千明、神山徹 2022  
「デジタルツインプラットフォームにおける移動体の  
統合管理」電子情報通信学会ソサエティ大会
- 6) <https://www.mobilitydb.com/>
- 7) <https://www.ogc.org/standards/3DTiles>
- 8) [https://testbed.nict.go.jp/bunkakai/pdf/da-v\\_tf-11-02.pdf](https://testbed.nict.go.jp/bunkakai/pdf/da-v_tf-11-02.pdf)
- 9) [https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/c-16\\_200318.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/c-16_200318.pdf)
- 10) <https://stacspec.org/en>
- 11) <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001389577.pdf>
- 12) [https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/kentoukai02/dt\\_kentou\\_02\\_04.pdf](https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/kentoukai02/dt_kentou_02_04.pdf)
- 13) [https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/kentoukai06/dt\\_kentou\\_06\\_03.pdf](https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/kentoukai06/dt_kentou_06_03.pdf)
- 14) <https://www.softbank.jp/biz/services/analytics/ichimill/>
- 15) <https://www.osaka-cu.ac.jp/ja/news/2021/220325>
- 16) <https://my.matterport.com/show/?m=ghqVQinkKFc>
- 17) <https://creativecommons.jp/licenses/>
- 18) <https://www.city.echizen.lg.jp/office/010/021/open-data-echizen.html>
- 19) [https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/opendata\\_nijiriyu\\_betten1.pdf](https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/opendata_nijiriyu_betten1.pdf)
- 20) 高田佑一 2022「文化財総覧 WebGIS：データと機能」  
奈良文化財研究所研究報告、第33冊、pp.101-104
- 21) [https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2022/pr20221018/pr20221018.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20221018/pr20221018.html)
- 22) [https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau\\_doc\\_0002\\_ver01.pdf](https://www.mlit.go.jp/plateau/file/libraries/doc/plateau_doc_0002_ver01.pdf)
- 23) <https://github.com/Project-PLATEAU/PLATEAU-VIEW>
- 24) <https://github.com/tokyo-digitaltwin>
- 25) 柳下 大、嘉山 陽一 2020「3次元点群データの3D Tiles  
化とWeb配信のパフォーマンス評価」第29回 地理情報  
システム学会 学術研究発表大会