

# 3次元空間情報の活用に関する研究

国土管理・コンサル部会

国土管理・コンサル部会は、測位・測量及び地理空間情報をベースに、国土管理、社会資本の維持管理、環境、防災、産業、地域活性化等の社会の様々な分野において、応用解析、機器・ソフトウェア適用、品質管理、複合・統合化等に関する研究活動を実施している。

本報告は部会の自主研究として2021年度より実施してきた、3次元空間情報の活用に関する研究について紹介するものである。

## 1. はじめに

——せっかく取得した3D地理空間データの『紙地図表現仕様』からの脱却をめざして

実体図化機が発明され、それがデジタルになり、フィルムも画像化され、フルデジタルになるとともに、各種の画像処理技術の進歩により、地表面の3次元情報がより詳細に迅速に取得できるようになってきた。さらに、航空レーザ測量の実用化、地上レーザやUAVレーザによる緻密な情報取得、ALBレーザによる水底地形等、「点群」表現が実用化し、Z値が、XY値と同等に取得できるようになってきた。

その一方で、私たちが地形の状況を知るために、「図式」という約束に従った「地図」を作ることが、少なくとも200年以上続いている。3次元情報である「地」を、2次元媒体である「図」に落とし込んでいるため、従来からの図式に従っていると、せっかく得られている3次元情報が、もったいないことに、捨て去られてしまう、あるいは、認識できなくなってしまう。

「点群」という言葉がポピュラーになるに従い、そのことが顕著になってきている。ここから、一步、脱皮しなければならないのではないだろうか、と思う今日この頃、つい最近、伊能忠敬の偉業を題材にした、現代・時代同時進行のユニークな映画「大河への道」が公開され、さっそく劇場にて鑑賞した。これをきっかけとして、これまでの写真測量の技術の変遷が、近代測量の歴史の中にスッポリとはまる感触を得た。

ここでは、「せっかく取得できている3次元の地理空間データ」を「図式」という「2次元表現に落とし込まれている」現状を整理し、「せっかく」と言わずにすむような時代を展望できないかと、話題提供かつ問題提起するものである。

## 2. REVIEW

### 2.1 REVIEW：3次元情報の扱い方の歴史

——紙地図表現としての3次元情報の表現方法  
時間軸に沿って

ステレオ写真を実体視すると絵が浮き出てきたり、余色実体メガネ（あるいは偏光レンズ・液晶シャッター眼鏡）をかけるとマイケルジャクソンがスクリーンから飛び出してきたり、そしてその原理を使って、国土地理院の地形図の等高線は描かれたんだということを知り、ロマンを求めて、測量会社に入社した(1986(S61))。貴重な寄り道をした末、入社12年目(1997(H9))に、図化機を用いて地形図を作成する業務の主任技術者として仕事をすることになった。そして、3次元情報がいろいろな現場で取得できているにも関わらず、最終成果は、「紙地図表現仕様」に落とし込まれていることを実感した。それでも当時から、「3次元的に把握できた」と言われてはいたのだが。

まずは、時代を追いつつ技術分野ごとに、3次元情報が地図作りの中でどのように扱われてきたかを整理してみようと思う。これは、筆者の約40年の職歴の中で学び経験してきたことの集大成である。入社1986(昭和61)年～定年退職2021(令和3)年～再雇用継続中～という期間は、測量作業にデジタル化が導入され始めたときから、ほぼ全工程がデジタルになった時期までを包括している。

#### 2.1.1 番外1：伊能図「大日本沿海輿地全図」 (1821江戸幕府に納品)

いきなり番外編であるが、1821年(文政4年)江戸



図1 伊能大図の作成風景／伊能中図の接合風景  
(映画「大河への道」パンフレットより)



図2 伊能大図／中図／小図(映画「大河への道」パンフレットより)

幕府に納品された伊能図である(図1,2参照)。映画「大河への道」の中で、当時の測量方法の概要が描かれている。すなわち、沿海輿地ということで、海岸沿いの道をたどり、路上に折れ点(梵天)を設けて、梵天間の直線の方位と距離をたどる「導線法」で測線描示の地図を作成しているのである。

すべての測線は基準平面への投影で、3次元表現は、周囲の山岳地のスケッチ程度しかない。測量方法は完全な「解放トラバース」であり、起伏のある地域

では、道に沿った斜距離と俯角からcos計算をして平面距離を算出することを、すでに当時の日本の測量技術者は知っていた(映画の演出が正しければ)。また、伊能測量隊は要所要所で、多くの点から見通せる地物(富士山・大木・寺院等)への見通し方位を計測して、導線鎖のずれを補正する「交会法」を併用し、誤差の調整を行っている。

現代の測量技術につながる理論・技術を駆使した測量成果であり、現代の衛星画像を基準とした水平精度は、実に99.8%(誤差0.2%)の高精度を誇っていることが、映画の中でも繰り返し強調されている(図2参照)。この高精度こそが、3次元の世界を2次元に表現する際に、3次元情報を適切に処理しているからであり、この技術が、巷間に伝わるように、日本の植民地化を企む英国を躊躇させ、明治時代の測量技術(三角測量、1:50,000地形図作成)につながっていくのである。

### 2.1.2 番外2: 1:20,000フランス式彩色地図「二分一迅速測図」(1881大日本帝国陸軍省)

明治維新後、当時のヨーロッパの先進技術を取り入れた文明開化があらゆる面で興っていくが、測量技術では当初、フランス軍の仕様が取り入れられた。明治14年(1881年)、関東平野を中心として、1:20,000迅速測図が作成され、フランス式の鮮やかな彩色地図が完成する(図3,4参照)。未だ、三角測量の整備前で

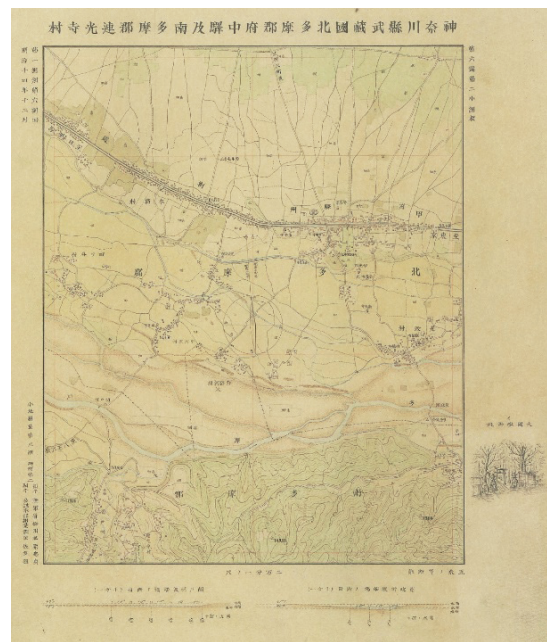


図3 明治14年 1:20,000迅速測図 東京府中付近(日本地図センター復刻版より)



図4 明治14年 1:20,000迅速測図 東京府中南方(日本地図センター復刻版より、図3の部分拡大)

あり、平面座標系等の統一は図られていない。まもなく一色刷りのドイツ式の測量方法が採用され、三角測量や1:50,000地形図の整備が進められていくことになる。

迅速測図を見て驚くのは、明治14年の時点で、既に「等高線」の概念が実用化され、詳細な三次元情報が、二次元の紙地図の上に表現されるようになってきていることである。測量方法は、近年(昭和40年代ごろ)まで第一線で活躍していた「平板」である。平板の上で水平位置が正確に描示され、等高線により、標高値も正確に表示されるようになったわけである。このままの技術で、アナログ写真測量の登場まで、継承されていくことになる。

### 2.1.3 実体図化機 (A7, A8, C8, . . .)

#### —アナログ図化1940±—

アナログ図化機で実体視して、Z盤を回してメスマークをバーチャル地表面に沿わせると、標高を計測することができた。取ろうとすれば、実体視できるすべての地点で3次元情報が得られるようになった瞬間であった。しかし、地図の図式が従来のものであったため、標高値を取得するのは等高線・標高単点の描示の場合だけであり、他の地物は、正射投影面に鉛筆で描画(プロット)できるだけで、標高値は捨てられていた。

### 2.1.4 解析図化機 (PLANICOMP, . . .)

#### —デジタル図化～アナログ編集1980±—

装着フィルムはアナログのままだが、ステレオ実体視してメスマークでプロットした際、全ての点で、3次元座

標を得られるようになり、初めて地図情報をデジタルデータで持つことができるようになった。そのデータを保持することにより、全点で3次元化が実現した瞬間であった。しかしここでも、地図編集システムが3次元に対応していなかったため、編集段階で、特に標高値が重要な地物(等高線、標高単点、他)以外は、Z値は削除され、平面図形のデータ構造を強いられた。確かに地図編集技術としての直角補正や転移・総合描示などの処理・操作は、平面図形でこそ実用レベルで実現できるのであり、3次元情報への処理・操作は至難の業である。

### 2.1.5 デジタルマッピング～デジタルマッピング (Microstation,,,) 1990±

図化作業のデジタル化を大きく進めたのが、マッピングデータ(描画線)をデジタルデータとして統一的に管理するDigital Mapping (Computer Mapping)であった。それでもやはり、図式が相変わらずゆえ、2次元図面は残ったままであった。「デジタル」が「デジタル」になるあたりが、デジタルデータの一般化・庶民化が進んできた時代である。

### 2.1.6 デジタル図化機 (Imagestation, Phodis, VertuoZo) デジタル・アナログ編集1995±

解析原理は解析図化機を踏襲するものの、フィルムを装着するのではなく、フィルムをスキャナ入力した「画像データ」を用いるようになり、工程のデジタル化が大きく進んだ。ほどなく、DMCなどのデジタル撮影が実用化し、デジタル図化機の本領を發揮することとなる。図化点は3次元で取得できるため、3次元のままで活用することが試みられつつあったが、編集上の困難は解決されておらず、やはり2次元の図面としてのデータ構造が優勢だったと思う。

それでも、一連工程の入口から、フィルムではなくデジタルデータで扱えるようになったことから、フルデジタルの時代に加速度的に進んでいった。

### 2.1.7 砂防新法～砂防基盤図 2001～2005～

山岳地や里山地区での急傾斜地の高低差や傾斜角を解析して、斜面崩壊や土石流等の危険地区を指定する事業が開始され、既存の地形図(1:2,500都市計画基本図等)を活用することとなったが、上述のとおり、等高線と標高単点しか標高情報を持っておらず、斜面

記号や垂直壁などの地図記号を3次元情報として活用することができなかった。そこで、微地形の3次元データ化が急務となった。

この当時、すでに解析図化機による図化作業が主たる生産体制となっていたので、図化機にかければ標高情報を得られることから、斜面の傾斜変換点や垂直壁の上端・下端を図化機にかけ、いわゆる「ブレイクライン」を取得する方策が盛んに行われた。

ようやく、地図が平面情報ではなく立体情報であること、あるべきであることが、認知されてきた時期であった。それでもデータ構造上、垂直壁の上端・下端、すなわち同じ平面位置で標高値が複数存在することとなり、従来の図式が全く想定していない事態となる。

砂防新法への取り組みにより、測量人は初めて、3次元の世界に足を踏み入れたといえる。折りしも、次項の航空レーザ測量が実用化されようとしていたときである。

#### 2.1.8 航空レーザ測量～UAVレーザ、地上レーザ 2005～2015～

ステレオ実体視による航空測量とは全く異なる技術の登場である。すなわち、プラットホームからレーザ光を照射し、地表面等の照射・反射点の3次元情報( $x, y, z$ )を直接取得する技術である。いわゆる「点群データ」の登場であり、フィルタリング等の進歩を必要とするものの、21世紀という節目のタイミングで、測量界の革命であったといえる。そして、この技術は測量業界にそのまま取り込まれたため、従来の「図式」との齟齬はますます顕在化し、未だ、解決には至っていない。点群データから図化が可能か否か、という問題である。賛否両論あり、未だ、手法の確立には至っていない。

それでも、齟齬があるということ自体、3次元情報の価値がかなり認められてきた証拠であり、解決への一歩を踏み出したといえる。

#### 2.1.9 ALB水底地形データ～定期縦横断 2010～

航空レーザ測量が地表面を計測することを目的として、当初、近赤外レーザを採用していたが、これを可視光域の緑色レーザに置き換えることにより、水中を計測対象にでき、水底地形を計測するALB技術(Airborne Lidar Bathymetry)が実用化した。現在この技術は急速に発展・普及しており、これまで、離散的な間隔(50m, 100m)での縦横断測量に頼っていた水底地形が、簡

単に面的に得られるようになり、大いに期待されている。

ただし、水の濁りが計測限界に与える影響は完全に解明されていない部分もあり、引き続き計測時の水質調査を実施していく必要があることや欠測部分の補測方法も考慮した業務設計が必要であることなど、効率化や品質管理においてさらなる改良の余地がある。

## 2.2 地図～地理情報～地理空間情報

紙地図表現から、デジタルデータへの進展に伴い、3次元情報の取得と表現が可能になってきている。これに関連して、「地図」の名称について振り返っておく。

紙図面に最初から描画していたアナログ地図から、解析図化機の実用化でデジタルデータで扱われるようになったころから、「地理情報」という語句が作られ、GIS (Geographic Information System) が、その地図の情報データそのものと、それらを扱うソフトウェア・ハードウェアの両方の意味で用いられた。ここでの発想を今振り返ると、地図の位置に対応する情報ということで、 $V=f(X, Y)$  の形式であることがわかる。その後、情報処理技術の進展とともに3次元地形をデータ化することも可能となり、DEMをはじめとする3次元地形表現がポピュラーになったが、これとても、 $Z=f(X, Y)$  の形式にすぎず、まだまだ、二次元表現にすぎない。昨今、3Dだ3Dだと得意満面の測量技術者の大半は、未だ2Dの世界で仕事をしているわけである。

GISという語句が一世を風靡していたころ、当時の米国のゴア副大統領の提唱したSpatial Data Infrastructure「空間データ基盤」を契機として、日本では地図情報のことを、「地理空間情報」あるいは「空間情報」と呼ぶようになり、GISはどちらかということ、これらの地理情報を処理するソフトウェア・ハードウェアのことを指すようになってきた。

さらに、航空レーザ測量の点群データを取り扱うようになると、 $V=f(X, Y)$  のように平面位置に一つの情報、という表現では不可能になり、 $V=f(X, Y, Z)$  の表現が必要になってきた。これにより初めて測量人は、3次元情報を完全に表現する方法を手に入れたことになる。今後はこの3次元データを活用した各種の演算・解析手法の発展が大いに期待されるところで、社会インフラ整備の調査・計画・施工・管理の全ての分野において生産性、安全性、快適性の向上のために重要な位置づけとなる。

現在、次のようなプロジェクトが進行しつつあり、3次元情報の扱い方を、いよいよ本格的に研究されていくものと期待するが、 $V=f(X, Y)$  ではなく  $V=f(X, Y, Z)$  の発想が必要であることを、常に認識しておくなくてはならないといえる。

◎3D都市モデルPLATEAU(<国土交通省 都市局) 2020～

◎デジタルマッピングの3次元仕様の検討(マッピングWG <国土地理院) 2020±～

◎i-Construction推進コンソーシアム(国土交通省)

### 3. PRESENT

#### 3.1 3次元データ活用の現状

前章における空間情報の発展経緯をふまえ、本章では現在の3次元データが社会インフラ整備においてどのように活用されているかについて、河川管理の事例をもとに紹介する。なお、社会インフラの代表格である道路と河川では管理対象の性質が大きく異なり、道路は人工構造物主体であるため3次元データを用いたモデル化が容易であるが、河川は自然公物であるためハードルが高いといえる。

そのような前提をふまえ、河川管理における3次元データの活用を以下のような段階的整理(表1参照)で考えた場合、現状はStep1と2が混在した過渡期であると考えられる。なお、社会インフラ整備の事業説明においては、従来計画との整合性は必須条件であり、Step1のように従来と同手法でありながらデータ密度を高めることで管理の精度を高める方法も合理的であるといえる。また、Step2については、二時期データの差分解析、環境分野での生息場の解析及び橋梁周辺の洗掘解析など特定範囲での詳細解析等に活用されている。今後は3次元データの蓄積、処理方法の工夫やマシン性能の向上等により、中長期的にはStep2やStep3の方法が中心の管理に移行していくものと考えられる。

このような状況をふまえ、以下に河川管理における3次元データの活用状況を紹介する。

#### 3.2 3次元データ活用の背景

##### 3.2.1 ALB導入の背景

国は人口減少社会における予算縮小、職員削減による制約をふまえ、生産性の2割向上を目指し、生産性革命プロジェクトを実施している。河川管理においても効率化・高度化が喫緊の課題となっており、i-ConstructionやICTの活用が重要である。このような状況下特に、BIM/CIM、情報化施工の領域が発展し、注目されている。

さらに、平成31年には3次元データ活用マニュアルが作成され、国の定期縦横断測量は原則点群測量で実施することになった。言うまでもなく、3次元データは面的なデータであり、その密度の高さにより解析等へ応用の幅が広く、3次元データの河川管理への積極的な活用が期待されている。

##### 3.2.2 ALBの特徴

ALB計測は、航空機やヘリコプターからレーザー光を地上に向けて照射し、反射光の到達時間から地面の位置と高さを測る技術で、広い範囲の面的なデータを作成することが可能である(図5～7参照)。

特徴として、以下が挙げられる。

【長所】：安全で効率的、高密度データが得られる、スケールメリットがある

【短所】：計測限界がある(水中部や植生下等において)



図5 ALBセンサーの概観

表1 河川管理における3次元データ活用段階の整理

段階	3次元データの活用方法	備考
Step0	標高段彩図、各種微地形表現等による全体的地形、定性的リスクの把握	汎用性の高い基本的活用方法
Step1 (断面)	ALB又はLPによる3次元データから断面を作成し、従来方式での管理を行う。断面間隔を任意に設定することが可能なため、従来把握できなかった危険箇所の抽出が可能。土砂堆積量の算出等は平均断面法(上下流二断面の平均×区間距離)による。	従来計画との整合性が良い。従来に比べデータ密度(断面数)が格段に向上
Step2 (体積)	ALB又はLPによる3次元データを用いて二時期又は基準面との面的な差分処理により、土砂量等を算出する。シミュレーションでは平面二次元解析の実施。	今後データの蓄積が進むと有用性がさらに増す。データ量が増え、処理能力が求められる。
Step3 (密度)	点群の密度による樹木ボリューム等の算出を行う。洪水流の抵抗係数算出や成長予測も考慮した伐採計画等に活用が期待される。	さらにデータ量が増え、解析方法の工夫や処理能力が求められる。

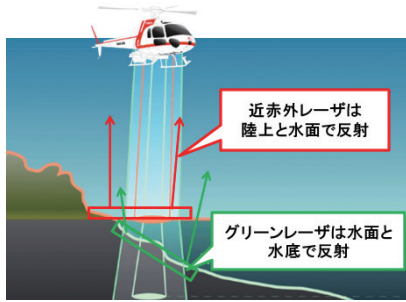


図6 システムの計測概念図

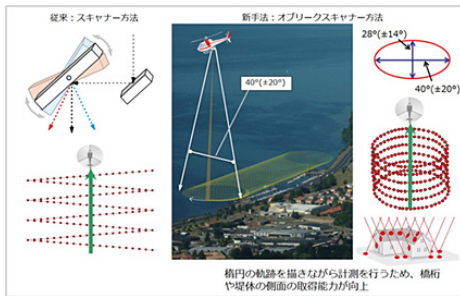


図7 オブリークスカナーの計測概念図

### 3.2.3 LP及びALBの計測状況

ALBやLPの計測状況は(公財)日本測量調査技術協会のHPで確認が可能である(図8参照)。同協会の調べによると、ALBおよびLPによる全国土のカバー率は、2023年4月現在において80%を越えている。

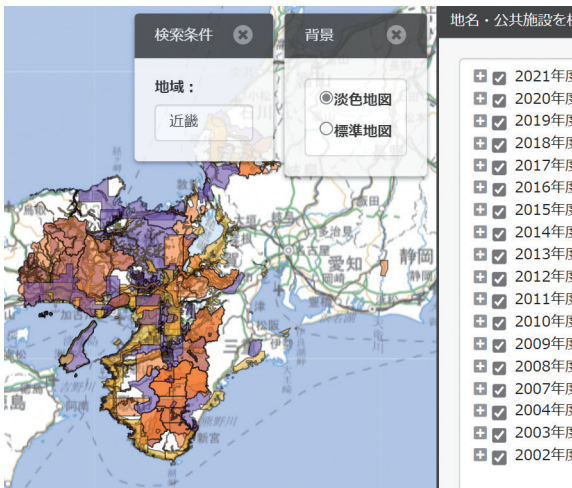


図8 航空レーザー測量データポータルサイトの表示例

### 3.2.4 3次元データ活用マニュアル

平成31年には3次元データ活用マニュアルが作成され、国の定期縦横断測量は原則点群測量で実施することになった(図9参照)。これは、3次元データを利用した河川管理の第一歩として、大きなパラダイムシフトの宣言と捉えることができる。

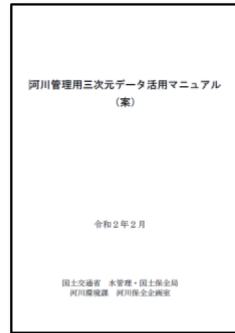


図9 3次元データ活用マニュアル

平成31年4月作成  
令和2年2月修正

## 3.3 3次元データの特徴

### 3.3.1 注意すべき点

3次元データは実測データとは異なり、一点ごとでは地形や位置を把握するのは困難であるという特徴をもつ(点群としてはじめて形状の意味を成す)。なお、実測と比べて一点ごとの計測精度は劣るものの(実測精度1cm程度に対してレーザー点は10cm程度のオーダー)、データ密度の高さをうまく利用することで総合的な地形把握の精度は飛躍的に向上する(図10参照)。

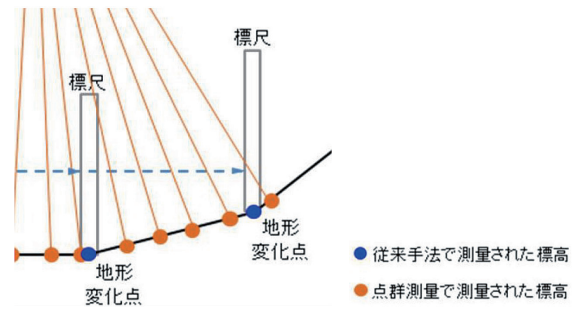


図10 実測と点群の計測概念の違い

### 3.3.2 データ活用のメリット

一旦データを作成すれば、多様な河川管理のニーズに対応し、長大な河道を効率良く解析し、区間毎の対策優先度等を客観的に評価することが可能である。また、経年的なデータを蓄積することにより、変化の傾向を把握や将来予測を実施することも可能である。

### 3.3.3 多様な解析の可能性

3次元データは多様な活用が可能であることも大きな特徴といえる。例えば、⑦任意箇所での縦横断面図作成等が可能、④DSM-DTM、二時期などの差分解析が可能、⑤計測と同時に撮影されるオルソデータを活用可能であること等が挙げられる(表2、図11～15参照)。

表2 河川3次元データの活用分野

大分類	中分類	小分類
治水関連	河道の流下能力	堤防高・形状(越水危険箇所)
		河道形状
		土砂堆積
		植生(樹木)の繁茂
	局所的な流速・流向・抵抗	水衝部
構造物	堤防	
	許可工作物(橋梁)	
危機管理	堤外側	被災箇所調査 災害復旧
	堤内側	堤内地盤形状
	自然環境	瀬・淵構造 植生(樹木)
河川環境他	占用	不法盛土・不法工作物
	利用	親水施設の利用

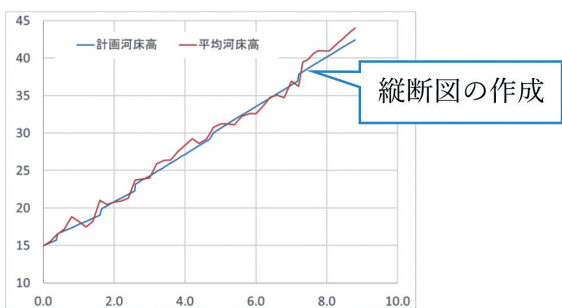


図11 河床横断面図の表示例

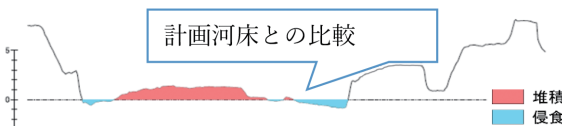


図12 DSMの概念(DTM/DEMとの違い)

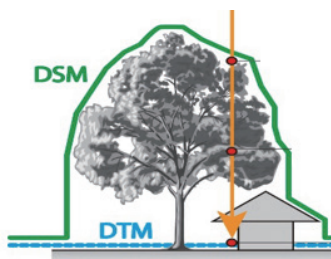


図13 落差工の確認事例(平面図上で断面作成位置を指定)



図14 落差工の航空写真

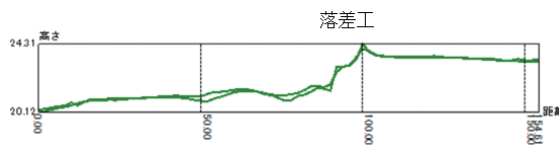


図15 落差工の確認事例(縦断面図で形状や高さを確認)

### 3.4 3次元データ活用の事例紹介

#### 3.4.1 断面データの活用(STEP1)

##### 3.4.1.1 堤防管理

堤防管理は従来200m、ないし100mの間隔で測線位置を基本とした管理を行ってきたが、3次元データを使用することで10m間隔の高密度データにより計画高水位を下回る危険箇所の存在を縦断面図上で確認することも可能である。また、平面図の堤防ラインに危険箇所を色表示することも可能である。図16は10mピッチ縦断面図とH.W.L.を基準とした堤防標高段彩図を示したものである。

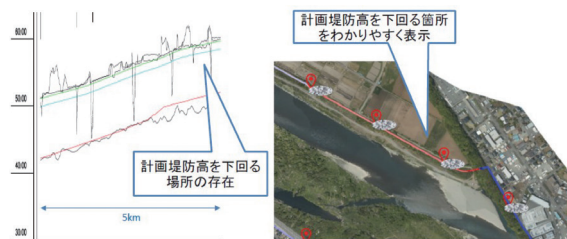


図16 計画堤防高による現況の確認例

##### 3.4.1.2 植生管理

植生管理の簡易な解析の事例を紹介する。横断面を作成し、その中で表層から反射したDSMと地盤をとらえたDTMの差分をとることで植生域を示すことができる。H.W.L.以下の河道断面において植生域の占める割合をもとめて河道の阻害率とした。本手法は簡易的ではあるが、植生繁茂による河積阻害の概略を把握し、対策優先度の判断材料とすることができる(図17参照)。

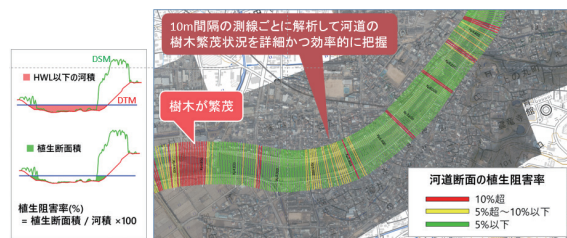


図17 植生解析結果の表現事例

##### 3.4.1.3 土砂量等の算出(STEP1、2)

背景としては、H30西日本台風、R1年台風19号など

で土砂堆積が進行しており、総務省では浚渫対策補助事業を実施している。補助事業を受けるためには、対策優先度を明確化する必要があり、その際にも3次元データが有効となる。まず、計画河床高などの基準面を設定し、それとの高低比較で掘削の必要な範囲とその掘削深を知ることができる(図18参照)。

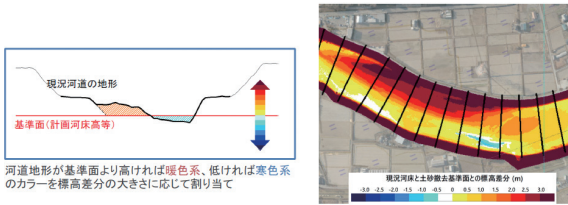


図18 土砂堆積状況の把握事例(基準面との差分による)

### 3.4.1.4 流下能力による掘削優先度の判断

前項の方法で、区間毎の土砂堆積量を算出することができるが、さらに検討を進めた事例を紹介する。河道の土砂管理を行う場合、現況流下能力が計画流量を満たしているかどうかを評価することが重要であり、計画流量比が1.0以上の区間は掘削対象から除外することが可能である。さらには、DBとして湾曲部、合流地点などの河道特性、重要水防箇所などの危険情報を点数化して評価することで客観的かつ総合的な優先度の判断を行うことが可能である。

このように面的な差分による土砂堆積量の算出と従来の流下能力算定方法との組み合わせにより、精度向上と従来計画との整合を考慮した資料の作成が重要と思われる(図19~21参照)。

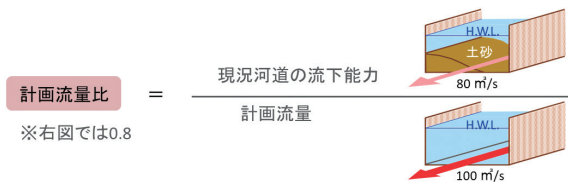


図19 計画流量比の定義式



図21 計画流量比の表現事例(GIS上に結果を表示したイメージ)

### 3.4.2 その他主題図の例(STEP0、2)

河川管理用に多くの主題図が作成されているが、例えば以下のようなものがある(図22~23参照)。

漏水リスク評価

⇒堤内地盤高とH.W.L.との比高差分図

中洲の冠水条件等の確認

⇒0.5m間隔の詳細段彩表示

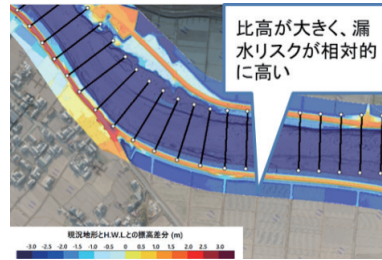


図22 比高による漏水リスク評価

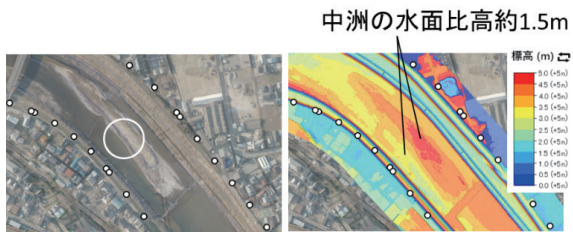


図23 水面からの比高確認

### 3.4.3 データ活用システムの例(STEP0、1、2)

3次元データや解析結果を日頃の業務で活用するため、国土交通省では「三次元河川管内図」の整備に

距離標	流下能力			土砂堆積			箇所特性			河道状況				
	計画流量	現況流下能力	比率	河道断面積	堆積面積	堆積率	合流点	湾曲部	橋梁	整備計画区間	堤防状況	浸水想定区域	重要水防箇所	D/D
X.XX	2800	4088.0	1.46	2516.29	546.5	0.22	0	0	0	1	4	0	0	0
X.XX	2800	3765.34	1.34	1978.77	260.136	0.13	0	0	0	1	4	0	0	0
X.XX	2800	3758.7	1.34	1958.7	276.584	0.14	0	0	0	1	1	0	0	0
X.XX	2800	3506.1	1.25	1724.05	177.556	0.10	0	0	0	1	1	0	3	0
X.XX	2800	3136.4	1.12	1661.14	184.71	0.11	0	0	1	1	1	0	0	1
X.XX	2800	3085.84	1.10	1866.6	402.38	0.22	0	0	0	1	1	0	0	1
X.XX	2800	3555.2	1.27	1793.33	255.086	0.14	0	0	0	1	1	0	0	1
X.XX	2800	3294	1.18	1579.65	100.934	0.06	0	0	0	1	1	0	0	1
X.XX	2800	3238	1.16	1488.59	118.546	0.08	0	0	1	1	1	0	0	1

図20 河道特性の把握事例



力を注いでおり、各都道府県でも河川台帳のデジタル化等のDX化が進んでいる。これらは、従来の紙による河川管内図の電子版で、3次元データ、オルソ・・・などのデータを搭載し、GISによる重ね合わせと3次元表示を可能とするものである。

活用方法として、現地確認の代替や事前調査、危険箇所の把握、工事箇所のスクリーニング、災害対応などが考えられる。なお、コメント機能を用いて日々の点検結果、写真等を共有する役割も重要である。

#### 【3次元河川管内図の主要データ】

三次元管内図は、施設等の管理 (GIS)、三次元ビューでの確認に加え、点検結果の蓄積と共有を行うもので、以下のようなデータを格納する距離標、河川区域、河川保全区域、堤防防護ライン、計画高水位 (面)、計画河床高 (面)、重要水防箇所、流下能力データ、浸水想定区域図、河川管理施設、河川環境図データなど



図24 三次元河川管内図の表示例

## 4. FUTURE : 3次元データ活用の今後

近年では、あらゆる業種でDX (デジタルトランスフォーメーション) への取り組みが始まっている。DXを実現するためのキーとなるのが「デジタルツイン」である。

デジタルツインのコンセプトは、従来のテクノロジーをベースに新しい要素 (IoTによるリアルタイムデータ、高精度な3Dデータ、AIによるデータ分析、AR/VRによるユーザー体験など) を取り入れることにより、実現性が高まっている。GISは、これらの要素と連携してデジタルツインを実現することが可能だ。データの取得と統合から、可視化、分析と予測、共有とコラボレーションまで、一連のワークフローで活用できる。たとえば、インフラ設備、道路などを計画・管理する目的で活用されてきた。GISで構築されたデジタルツインは、単一の施設のみならず、都市全体、さらには大規模な自然システムのシミュレーションにも活用されるようになってきている。

以下に近年の3次元関連のテクノロジーの動向を紹介する。

### 4.1 モバイル端末 (iPad Pro、iPhone) 搭載LiDARの利用

モバイル端末 (スマートフォンやタブレット) にLiDARが搭載されているものが販売されるようになった。Androidのスマートフォンにも一時期搭載されたものがあったが、iPadやiPhoneに搭載されるようになったことで、専門的な知識や技術と専用の高価な機材が必要であったLiDARスキャン技術が、一般の人にも広がってきている。

Apple社のホームページのプレスリリースでは、LiDARスキャンの利用によるARアプリや計測アプリの強化が発表された。また、搭載されているLiDARの計測距離は最大5メートルと示されている (<https://www.apple.com/jp/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/>)。このLiDARスキャン機能を用いた3Dスキャンアプリも開発され、専門的な知識がなくても、誰でも手軽に3Dモデルを作成できるようになっている。

もちろん、性能も精度も測量業務で使用している機材に遠く及ばず、公共測量に利用できるわけではない。しかし、様々な分野で実務への活用も広がっている。活用の1つとして、実務利用を目的としたアプリが開発されている。例えば、萩原建設工業 (本社: 北海道帯広市) とネクステラス (本社: 札幌市西区) が共同開発した建築・土木の現場作業に使用できるアプリ「ConstLiDAR」や、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所が株式会社マプリィと共同開発・リリースした樹木測定アプリ (直径を簡単に測定できる)「ForestScanner」などがある。また、モバイル端末の3Dモデルの活用として、東京都のデジタルツイン実現プロジェクトにおいて、「スマートフォンを活用した3Dマップ更新検証」が行われた。

このように手軽にLiDARが利用できるようになってきているが、搭載されているモバイル端末はまだ限られている。一昔前、専用の機材が必要であった衛星測位が、GNSS受信機 (当時はGPSのみ) がモバイル端末に搭載されることで一般に広がり、今ではほぼ全てのモバイル端末に搭載されている。LiDARが同じようになるかは分からないが、利用が増えることで、搭載されるモバイル端末が増え、さらに利活用シーンや適用範囲が広がっていくと考える。

表3 3Dスキャンアプリまとめ(モバイルスキャン協会 https://mobilescan.jp/)

	iPhone3Dスキャンアプリまとめ(R5/01/18更新)						※iPadも使えるよ				
アプリ											
価格	無料	無料	無料	無料	800円/月 800円/年	700円/月 800円/年	720円/月	5100円/月 4800円/年	月別5キーン990円/月 月125キーン1180円/月 年割5100円	800円/買い切り	
スキャンモード	LiDAR/フォトグラメリ iPhone	LiDAR/NoLiDAR	フォトグラメリ	NoRF	LiDAR/フォトグラメリ	LiDAR/フォトグラメリ	LiDAR/フォトグラメリ	LiDAR	LiDAR/フォトグラメリ	フォトグラメリ	
対応機種	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種	NoLiDARスキャン iPhone12シリーズ以降 iPad Pro(2020以降) iPad Pro(2020以降)	フォトグラメリ iOS14に対応可能な機種	NoRF iOS14に対応可能な機種	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種 特定のAndroid端末	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種 特定のAndroid端末	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種	LiDARスキャン iPhone12Proシリーズ以降 iPad Pro(2020以降) フォトグラメリ iOS14に対応する機種	フォトグラメリ iOS14に対応可能な機種
Photoモードの有無	撮影可能枚数200枚/日 片側毎撮影回数無制限	×	撮影可能枚数100枚/日 片側毎撮影回数無制限	撮影可能枚数100枚/日 片側毎撮影回数無制限	撮影可能枚数200枚/日 片側毎撮影回数無制限	撮影可能枚数200枚/日 片側毎撮影回数無制限	×	×	撮影可能枚数200枚/日 片側毎撮影回数無制限	撮影可能枚数100枚/日 片側毎撮影回数無制限	
カメラの有無	○	○	スマートフォンが 搭載するカメラあり	○	○	○	○	○	○	×	
最新アップデート	2023/01/18 Ver.0.1.3	2023/01/18 Ver.1.1	2023/01/09 Ver.10.2	2023/01/09 Ver.0.3.3	2023/01/18 Ver.0.3	2023/01/18 Ver.0.2	2023/01/18 Ver.3.1.1	2023/01/03 Ver.1.0.0	2023/01/18 Ver.1.0	2023/01/18 Ver.0.4.1	
出力形式	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、STL、FBX、点群(PDF、PLY、LAS)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、STL、点群(PDF、LAS)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、点群(PDF)	メッシュOBJ、GLTF、点群(PDF)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、点群(PDF、PLY、LAS)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、点群(PDF、PLY、LAS)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、点群(PDF、PLY、LAS)	点群(PDF)	メッシュOBJ、OBJ、GLTF、STL、FBX、点群(PDF、PLY、LAS)	メッシュOBJ	
ビデオ出力機能	○	○	×	○	○	○	○	×	○	×	
AR表示機能	○	○	×	×	○	○	○	×	○	○	
Android版	×	×	×	×	○	×	○	×	×	×	
特徴	・スキャンアプリ中最も多 機能なスキャンアプリ ・LiDARスキャンモードが 可能 ・iPhoneで利用できる 機能も多岐にわたる ・アプリ内で撮影した3D モデルを自分のモバイルに アップロードして共有可 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・スキャンアプリで唯一 NoLiDARスキャンモードを 搭載 ・NoLiDARスキャンモードは iPhoneで利用できる 機能も多岐にわたる ・アプリ内で撮影した3D モデルを自分のモバイルに アップロードして共有可 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・リアルタイムでスキャン 結果を確認可能 ・フォトグラメリよりも細 いスキャンラインが特徴 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・iPhoneだけNoRFが行える アプリ ・フォトグラメリよりも細 いスキャンラインが特徴 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・他アプリよりも家具の 質感が再現できる ・LiDARスキャンモードが 可能 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・スキャン中の視点やFPS 値の調整が可能 ・LiDARスキャンモードが 可能 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・スキャン中の視点やFPS 値の調整が可能 ・LiDARスキャンモードが 可能 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・有料ではあるが廉価なス キャン出力が可能 ・有料版ではマルチスキャ ンモードが可能 ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・スキャンアプリで唯一 NoLiDARスキャンモード が可能なアプリ ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	・800円/買い切り ・NoLiDARスキャンモード が可能なアプリ ・AR表示機能あり ・特定のLiDARスキャン アプリとして一番使いい やすい	

作成者のTwitterアカウント@iwamahi



図25 3Dスキャン結果(3d Scanner App使用)

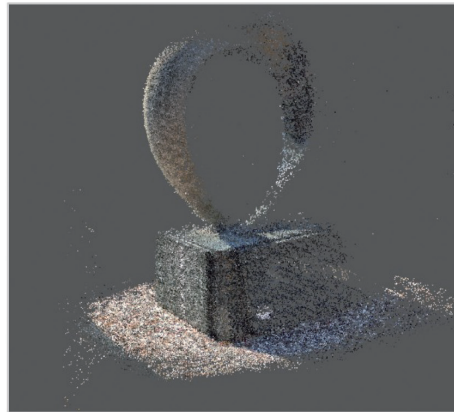


図26 3Dスキャン結果(SiteScape 使用)

3Dスキャンアプリを用いたスキャン手法については、モバイルスキャン協会から「モバイル端末スキャンマニュアル」、アプリのまとめ(表3)や精度検証結果が公開されている。アプリごとの特徴が表3のまとめに記載されているが、それぞれのアプリでスキャン手法や機能が異なる。

ここでは試しに、表3の1番目の3d Scanner App、8番目のSiteScape(無料版)を用いて、同じ対象物を計測してみた。図25、26に3Dスキャン結果を示す。これは、2021年度第3回国土管理コンサル部会で訪れた石巻市の日和山公園にある東日本大震災記念碑である。3d Scanner Appはスキャンモードがフォトグラメリである。3d Scanner Appの3Dスキャン結果では凹凸がわかりやすいためか、通常のカメラで撮影した画像よりも碑文が読みやすかった。また、SiteScapeはLiDARのみでスキャ

ンを行うため、スキャン結果は点群で表示される。立体的なデータを取得できるが、3d Scanner Appのスキャン結果のように物体の表面情報ははっきりと取得できない。

アプリを利用することで、図25、26のように3Dスキャン結果を容易に得ることはできる。ただし、自身が必要とする3Dモデルや利用の目的に合致するスキャン結果を得るためには、適切なアプリを選び、それぞれのアプリの特徴や機能に応じた適切な設定やスキャン手法を検討するなど試行錯誤が必要である。

#### 4.2 3D都市モデル(Project PLATEAU)

3D都市モデルは、実世界の都市を仮想的な世界に再現した3次元の地理空間データであり、国土交通省が主導するProject PLATEAUの基盤データとして整備されている。3D都市モデルは、単なる3Dの形状デー

タではなく、都市活動に係るさまざまなデータが結びつけられているため、基盤情報として機能し、これを通じて多様な知識や情報を共有できる。都市のDXの実現やデジタルツインを実現するためには、3D都市モデルは不可欠な要素技術の1つとなっている。現在、さまざまな分野において3D都市モデルの活用が試みられている(図27参照)。自然災害の危険性を地図上で表し、避難計画に利用する「ハザードマップ」の存在は以前から知られているが、多くの場合2次元の地図としての整備である。3D都市モデルを活用すれば、より直感的に理解可能な形で災害リスクを視覚化し、防災意識の向上に役立てることができる。



図27 災害発生時の最大浸水深で3D都市モデルを色分け表示した例

### 4.3 BIM/CIM

国土交通省では、建設現場の生産性向上を図る取り組みにおいて、3Dモデルを活用し社会資本の整備、管理を行うBIM/CIMの導入を推進している。BIM/CIMは、建設生産・管理システム全体の効率化・高度化を図ることを目的として活用されている。

建設事業において構造物を建設する際の段階は、大きく分けて「計画」「設計」「施工」「維持管理」があり、構造物が存在する限りこれらの段階は循環していく。設計、施工段階では、BIM/CIMソフトウェアを活用して、構造物の詳細な3Dモデルの設計や施工の進捗管理などを行う。計画段階で構造物の周辺環境を把握したり、建設による影響を評価したりする際や維持管理段階においては、GISを情報基盤とするこ

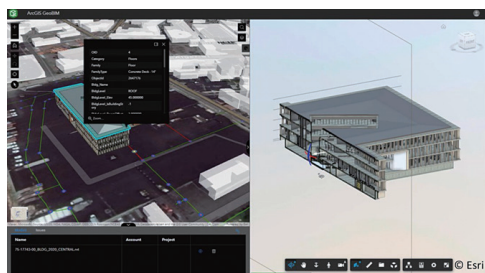


図28 GISの地図(左)とBIM/CIMの図面(右)を連携させたWebアプリケーション(ArcGIS GeoBIM)

とで建設事業に係る各種データの一元管理や情報共有が可能となる。BIM/CIMとGISを連携させて活用することで、建設事業全体のワークフローを効果的に進めることが期待できる(図28参照)。

### 4.4 点群データとドローン

点群データは構造物や地形、自動車や人の移動物等の様々なモノの3次元データ化に活用されている。静岡県では撮影した点群データを一般に公開する等のオープンデータ化が進み、建設・土木を始めとした多くの分野で活用が期待されている(図29参照)。点群データは航空機や車両などを利用してレーザ測量で取得する他、SfM (Structure from Motion) と呼ばれる技術を使用して撮影した複数の写真から作成することもできる。また、ドローンの小型化と低価格化が急速に進み、手軽にレーザ測量や写真測量が行える環境が整ってきている。

点群データを処理してCADやGISデータ化するためのソフトウェアも多く提供されてきた。Esri社のGISソフトウェア群「ArcGIS」では、レーザやカメラを搭載したドローンの飛行計画から、点群データの取得や写真撮影、取得したデータの処理・GISデータ化、GISデータの公開までの一連の作業をシームレスに行える(図30参照)。

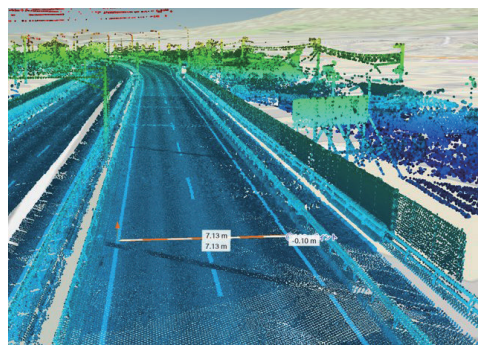


図29 点群データの表示と計測(出典:静岡県ポイントクラウドデータベース)

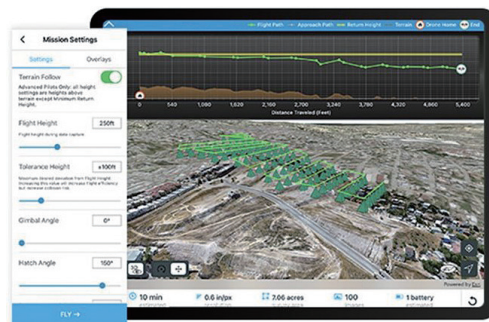


図30 ドローンの飛行計画の作成(Site Scan for ArcGIS)

#### 4.5 AR/VR

AR (Augmented Reality: 拡張現実)、VR (Virtual Reality: 仮想現実) の技術進化とスマートフォンの高性能化や安価なVRゴーグルの登場により、より身近な生活で3次元データを扱うことが増えてきた。AR/VRの技術は、ゲームやエンターテインメント分野に限らず、建設分野での施工管理やユーティリティでの設備管理等にも活用されてきている(図31、32参照)。

AR/VR技術を使用したアプリケーションの多くはUnityやUnreal Engineを代表とするゲームエンジンと呼ばれるソフトウェアで開発されており、ゲームエンジンにCADやBIM、点群等のデータを取り込むためのプラグインが提供されている。

GISの分野においても、Esri社ではUnityやUnreal Engine上にGISデータを取り込むためのプラグインを提供しており、GISデータを活用したAR/VRアプリケーションを作成することができる。



図31 左: AR利用イメージ(現実世界に3次元データを重ね合わせ)、右: VR利用イメージ(テーブル上に3次元データを再現)

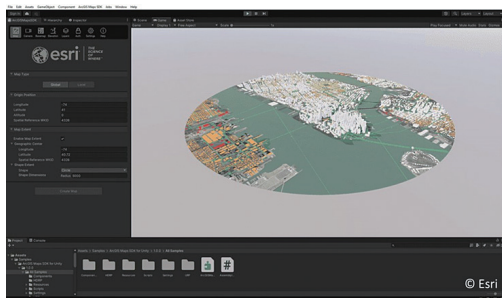


図32 ゲームエンジンに取り込んだGISデータ(ArcGIS Maps SDK for Unity)

#### ■参考文献

ESRIジャパン(2022): 図解入門ビジネス 最新 GIS [地理情報システム] のビジネス活用がよ〜くわかる本

#### 5. おわりに 3次元空間情報の将来像を夢みよう

日本社会では、道を歩き車を運転していても、現在地を地図と対応づけられる人は多い。カーナビが普及

したのも頷ける。これは、すでに江戸時代から明治・大正・昭和・平成と、地図が生活のすみずみに浸透し、頭の中でも地図が思い浮かべられるようになってきているからである(国によっては、まだ、そうでもない地域も多い)。専門家やマニアは、等高線図から山々の情景まで想像することができるほどである。このように、地理空間情報をしっかりと2Dの世界に投影できてきた私たちは、今、投影しないで3Dのままで情報を扱うことへの挑戦を始めたばかりである。

レーザ測量技術が実用化し、樹冠の上や地表面や水底の3次元座標を、直接、計測・記述することができるようになり、3Dデータを手に入れた、と悦に入っているのが現状であるといえよう。

2Dの地図図形の世界では、ユークリッド幾何学の豊富な知識が活用できるため、地物の内と外、図形の形状整合、平行性や直角性の活用など、地図を理解しやすく美しく描くことが可能になっている。それに引き換え、3Dデータは未だ、ランダムな「点群」が得られているだけである。単純な直方体の塊である一般的な建物ですら、その壁面や屋根の形状を効率よく記述する技術を持たない、あるいは未だ、研究・開発途上であるといえよう。

2D図形ならばパソコンの画面上で自由に表示でき、共通の理解が得られるのに、3D図形を表現し理解するすべを、まだ人類は持たない。断面図? 透視図? 鳥瞰表現? ホログラム? いろいろ苦心惨憺してきたけれど、決定打はない。おおいにデジタル化は進んだけれど、「モニター」で見ているうちは、所詮は2Dの表現に落とし込まれている。

もっともっと新しい発想で、3次元空間情報を育てていかねばならないのではないだろうか。測量業界にはまだまだ、無限の可能性が残っているといえよう。

#### ■執筆者

国土管理・コンサル部会

大山 容一(おおやま よういち) 1章、2章、5章

国際航業株式会社

鈴木 裕三(すずた ひろみ) 3章

朝日航洋株式会社

猿谷 享子(さるや きょうこ) 4.1項

国土地図株式会社

米良 伸一(めら しんいち) 4.2~5項

ESRIジャパン株式会社