

オープンデータを活用した 都市モデル構築の現状と課題

藤原 達也¹・雫石 和利²・木下 大也³・重清 祐之⁴
二瓶 忠宏⁵・時永 洋一⁶・赤渕 明寛⁷

¹非会員 産学官CIM・GIS研究会 (〒060-0807 札幌市北区北7条西5丁目6-1ストックマンション札幌507)
E-mail:tatsuya.fujiwara@gmail.com

²非会員 株式会社ドーコン 技術情報部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目)
E-mail:ks1127@docon.jp

³非会員 株式会社岩崎 企画調査部 (〒060-0034 札幌市中央区北4条東2丁目1番地)
E-mail: h-kinoshita@iwasakinet.co.jp

⁴非会員 株式会社シン技術コンサル 空間情報部 (〒003-0021 札幌市白石区栄通2丁目8-31)
E-mail: shigekiyo@shin-eng.co.jp

⁵非会員 株式会社タナカコンサルタント 地理空間情報部 (〒053-0052 苫小牧市新開町2丁目1-3)
E-mail: t0130-nihei@tanakaconsul.co.jp

⁶非会員 HRS株式会社 (〒047-0005 小樽市勝納町8-39)
E-mail: y.toki@h-r-s.co.jp

⁷非会員 株式会社ヒューネス (〒001-0013 札幌市北区北13条西4丁目1-28)
E-mail: akabuchi@hunes.co.jp

ICT の活用には、コンピュータやそのネットワークにより構成される仮想世界に、対象となる現実世界の事物を再現することが必要となる。土木分野では自然環境、土木構造物をはじめとする人工物等を再現したモデルを活用することと捉えられる。これらの個別モデルを統合し、都市全体を対象とする都市モデルは、以前よりデータベース、GIS、CIM等によって構築・活用されている。

都市モデルの構築は、多くの調査に基づくデータが必要となるが、近年、これらの公共データは、「オープンデータ」として公開が進められている。

本論文では、オープンデータを公開している都市を一例として、都市モデルを構築し、土木分野で活用するために必要なオープンデータのあり方、今後の方向性を提案するとともに、活用推進に際しての課題を明らかにする。

Key Words : GIS, integrated GIS, construction information modeling, open data, city model

1. 背景

(1) 産学官CIM・GIS研究会について

我が国の地理空間情報の整備や共有の取組は、1995年の阪神淡路大震災が契機となっている。その後、国家計画として地理空間情報および地理空間情報システム (Geographic Information System ; GIS) に関する取組が展開され、北海道産学官研究フォーラムでは、この動向に沿って1998年10月に北海道GIS・GPS研究会を設立し、地理空間情報活用推進基本法の成立に向けて提言を行うとともに、地理空間情報活用に向けた取り組みを実施してきた。¹⁾

その後、2011年に発生した東日本大震災の復興事業促進を目指し、国土交通省よりCIM (Construction Information

Modeling) が提唱され、試行が進められている。これを機に、北海道産学官研究フォーラムでは、CIMはGISや地理空間情報活用の延長にあるものとの考えに基づき、2014年7月に産学官CIM・GIS研究会を設立し、研究活動、基盤技術の普及、人材育成活動に取り組んでいる。



図-1 産学官CIM・GIS研究会の位置づけ

(2) 地理空間情報活用の展開

地方自治体では、内部システムとして地理空間情報に関わる多様な管理システムが運用されている。その中で最も導入が進んでいるのは、土地、建物に公平な税金を賦課するための固定資産管理システムである。また、インフラ管理用のシステムも多く導入されており道路、上水道、下水道システムが法定図書として、台帳と密に連携しながら稼働している。これらのシステムでは、航空写真（オルソ）、地形図、地番図などの共用空間と各専用管理システムの主題情報から運用され、相互に情報共有されながら日々、更新される。こうしたネットワーク型のGIS（図-2）を特に、統合型GISと呼び、維持コスト低減、データの鮮度、多様なニーズの吸収などの面から理想的なモデルといえる。

統合型GISでは、データ構築や活用の利便性などから、個々の地物を表す形状を点、線、面で単純化しているが、必要に応じて三次元形状を取り入れたものがCIM活用の将来像と考える。

(3) 地理空間情報のオープンデータ化

近年、自治体によるオープンデータの公開が始まり、地理空間情報に関してもニーズが多いことから配信事例が増加している。これらのデータは、土木調査設計業務の成果に基づくものも多く活用されている。

室蘭市では、航空写真、都市計画現況図、地番図やAED、避難場所、各防災上の指定区域などがダウンロードできるようになっており、そのデータを利用した多様なコンテンツも公開されている（図-3）。このように、基盤になる地図のデジタル情報と日々変わる位置付きの地物が標準フォーマットにのっとり配信されることは、情報取得のコストを下げ利活用が加速される。

以上の背景から、本論文では、都市モデルを構築する際に必要となるデータ作成に関する計測技術の動向を整理するとともに、室蘭市を事例としてオープンデータを

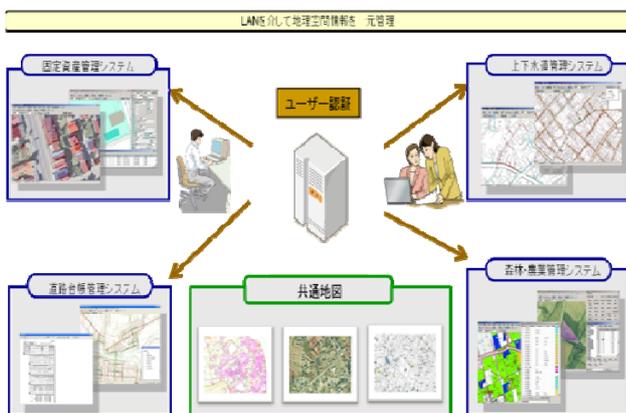


図-2 統合型GIS 情報共有

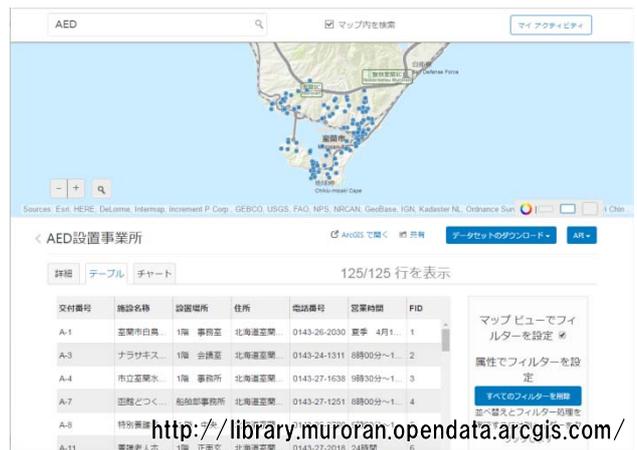


図-3 ArcGIS Open Dataの室蘭市公式サイト

中心に都市モデルを構築し、今後、CIM等の土木建設分野で活用するために必要なオープンデータのあり方、今後の方向性、活用推進に対する課題を検討する。

2. データの取得に関する計測技術の動向

(1) 地形モデル構築の技術展開

現在、日本では、「ICTの全面的な活用（ICT土工）」などの施策を建設現場に導入することにより、建設生産システム全体の生産性向上を図り、もって魅力ある建設現場を目指す取り組みである i-Construction が進められている。この取り組みでは、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle；UAV）などによる三次元計測データを活用した「情報化施工」をはじめ、詳細な数値地形モデルの活用が求められている。本節では、数値地形モデルの作成や活用に関する技術展開を述べる。

数値地形モデルは、土木分野において都市モデルを構築活用するにあたって、最も基盤となるモデルである。

a) 航空測量

従前、航空写真測量や衛星リモートセンシングなどからデジタル標高モデル（Digital Elevation Model；DEM）を生成し、数値地形モデルを作成していた。航空写真測量は、航空カメラから地上を撮影した航空写真を使用し、広範囲の正確な地図を作成することを目的に生まれた技術である。1970年代は、フィルムを用いたアナログ航空カメラで撮影された航空写真から、アナログ図化機を用いて航空写真上の地物を線画として扱っていた。当時は、道路台帳などの紙地図が主流で、数値地形モデルの作成という概念はまだ生まれていなかったと考えられる。

1980年代には、アナログ図化機から解析図化機へ移行し、アナログ図化機で線画として扱っていた地物を三次元の点の集合体として扱うことが可能になり、



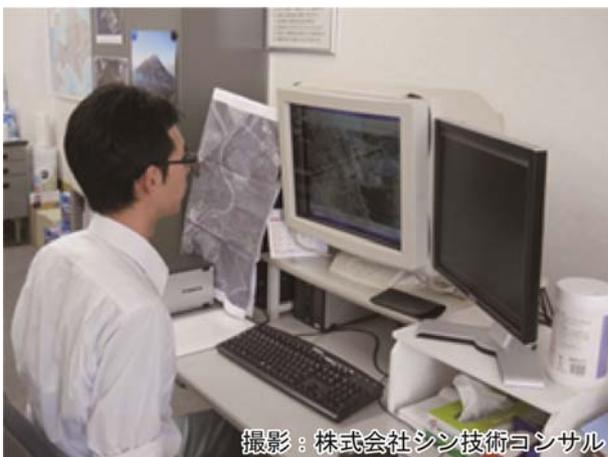
撮影：株式会社シン技術コンサル

図-4 解析図化

10 点程度の基準点からステレオモデルを構築し、目視により DEM データを生成していた (図-4)。

そして、1990 年代には、パソコンおよびその周辺機器が発展し、ハードウェア、ソフトウェアともに充実化・安定化が進んだ。これに伴い、航空写真測量もフィルム写真として扱っていた航空写真をスキャナによりデジタル画像化するなど、デジタル化が進展し、デジタル写真測量システムが主流となった (図-5)。デジタル写真測量システムでは、デジタル画像化された航空写真の同一地点を自動探索するステレオマッチング法という計測技術が開発され、DEM データの生成が可能となった。生成した DEM データは、航空写真に写っている地物形状を高密度な点群として取得することができるため、現実世界に近い状態の数値地形モデル作成が可能となった。

北海道においては、2000 年の有珠山噴火の際に、有珠山周辺における多時期の航空写真から、デジタル写真測量システムにより、多時期の DEM データとオルソ画像を作成し、有珠山の地殻変動を面的・時系列的に把握した事例が見られる²⁾。技術の発展により、景観的な数値地形モデルの作成とともに、時系列的な地殻変動を把握するための数値地形モデル作成という概念が生まれた。



撮影：株式会社シン技術コンサル

図-5 デジタル写真測量システム



撮影：株式会社シン技術コンサル

図-6 デジタル航空カメラ



撮影：株式会社タナカコンサル

図-7 レーザー計測機器の搭載状況

近年では、高密度かつ高精度の DEM データを作成することができるようになり、局所的な地形解析なども可能となった。この背景には、センサの大型化および画像合成技術の開発、衛星データで広く使われているパンシャープ処理の応用、3 ラインセンサを搭載した航空カメラや大型デジタル航空カメラの普及 (図-6)、標高データ取得を目的とした航空レーザー計測機器の出現 (図-7) など、デジタル化のさらなる進展がある。

航空レーザー計測では、樹木下の地表面の標高を取得することができるため、津波や洪水の浸水想定などに活用されるようになり、自治体単位など広い範囲を対象とした利用が進むようになった。

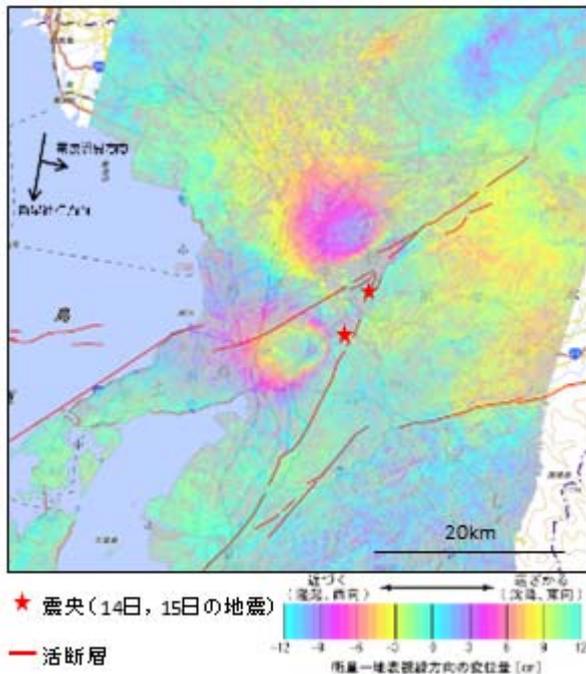
b) 衛星リモートセンシング

衛星リモートセンシングでは、スペースシャトルに搭載されたレーダより全地球規模での数値標高モデルを観測したスペースシャトル立体地形データ (Shuttle Radar Topography Mission ; SRTM) がある。現在、SRTM-1 (1 秒メッシュ：約 30m)、SRTM-3 (3 秒メッシュ：約 90m) などの DEM データが公開されている。日本においては、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構より陸域観測技術衛星「だいち」 (Advanced Land Observing Satellite ; ALOS) のパナクロマチック立体視センサ (Panchromatic

Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping ; PRISM) から得られた数値地表モデル (Digital Surface Model ; DSM) が水平解像度 30m で無償公開されている。これらにより、自治体単位、国単位といった範囲だけでなく、全世界を対象とした GIS への活用が可能となり、Google マップや Bing Maps などの登場に伴い、一般社会において広く利用されるようになった。

地表の変位の計測に有効とされているものでは、宇宙から地球表面の変動を監視する技術の合成開口レーダー (synthetic aperture radar ; SAR) 技術がある。SAR とは、人工衛星などに搭載した特殊なレーダーで地表面の詳細を調べるもので、この SAR 観測を同じ場所に対して 2 回以上行って、SAR 干渉解析を行うと地表面の動きを目で見える形で詳細にとらえることができる。例えば、地震による地殻変動を測定すれば、地表の変位 (移動) の分布から、地震がどのように発生したのかがわかり、地表の変動把握に有効である (図-8)。

以上、様々な方法で数値地形モデルの作成や利用が可能となった。最も利用されているものの 1 つに国土地理院の DEM データがある。国土地理院で公開している DEM データは、数値地図 25000 の等高線および標高点から作成された 50m、250m メッシュ標高からはじまり、基盤地図情報として整備された航空写真測量からの 5m (0.2 秒間隔) メッシュ標高から作成された 10m メッシュデータ、航空レーザデータから作成された 5m メッシ



「熊本地震 2014 年 11 月 14 日-2016 年 4 月 15 日」の解析結果 (国土地理院 : <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>)

図-8 だいち 2号干渉 SAR による変動検出

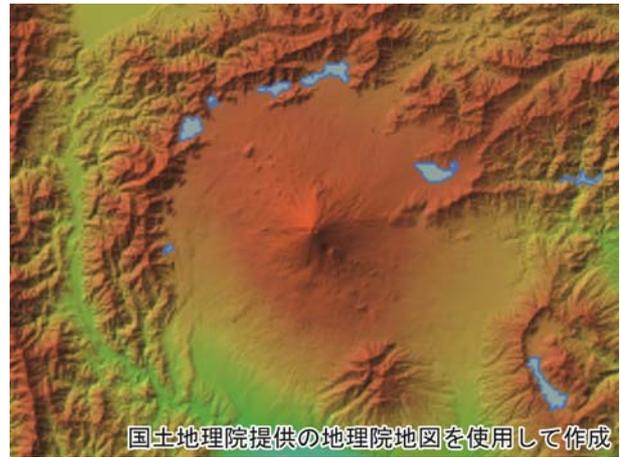


図-9 色別標高図

ュデータが公開されている。これらのデータはダウンロードした上で利用可能であるが、地理院地図としてクラウド上でタイル化 (地理院タイル) されているため、直接 GIS で背景データとして利用することが可能になった (図-9)。

(2) 既設構造物等のモデル構築に関する計測技術

地形モデルの他、土木分野において都市モデルを活用するにあたっては、既設構造物等のモデルが重要となる。

既設構造物は、その設計データよりモデルを作成する際、時間を要することから、各種計測技術を用いてモデルデータを取得し、効率的にモデルを作成する技術が求められている。

a) オブリーク航空カメラによる空中写真撮影

オブリーク航空カメラとは、1地点から同時に直下と4つの斜方向 (前方、後方、左方、右方) の画像を撮影できるカメラで、建物の側面などの画像を効率的に取得することが可能である。従来の垂直写真だけでは困難であった高層ビル群等の三次元モデル作成に有効なツールとして注目されている。

b) 自動車による道路現況レーザ計測

航空機や衛星からだけではなく、レーザ計測機器などを搭載した自動車による道路現況レーザ計測 (Mobile Mapping System ; MMS) を使用して、道路を走行しながら

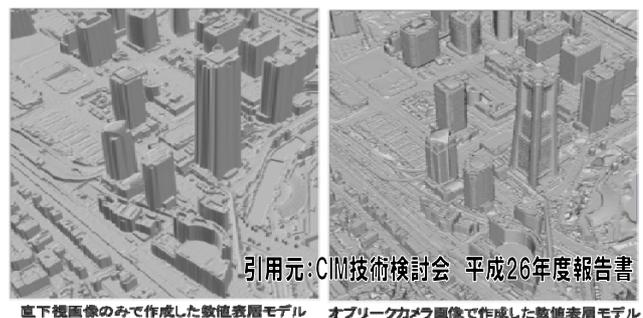


図-10 オブリークカメラによるモデル作成例



引用元 : <https://www.mitsubishielectric.co.jp/mms/spec.html>

図-11 MMS

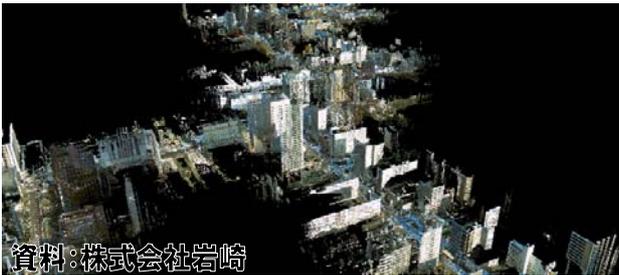


図-12 MMSで計測した都市の点群データ

ら路面周辺の高密度点群計測を行う事例が増えている(図-11, 図-12)。

走行しながら堤防、建物・道路の形状・標識・ガードレール・路面文字・マンホール等の道路周辺の三次元位置情報を高精度で効率的に取得することができ、この成果が河川や道路施設管理などのGISや三次元CADへ活用されるなど、高密度かつ高精度な数値地形モデルの活用が進展している。

c) SfM/MVS技術を用いた計測技術

UAVに限らず、撮影した動画や静止画より三次元モデルを生成する技術(Structure from Motion/ Multi-View Stereo; SfM/MVS)により、既設構造物モデルを効率的に作成することができる(図-13)。



図-13 SfMによる既設構造物(橋脚)のモデル作成

(3) 今後の動向

今後はさらに数値地形モデルや既設構造物モデルの高密度・高精度化が進展し、一般に利用される場面が多くなるものと考えられる。その具体例を以下に述べる。

i-Constructionに関連して、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」が、2016年3月30日に制定された。このマニュアルでは、UAVを用いた航空写真測量から生成される三次元点群に対して、標準化と精度の確保が図られている。精度の確保では、平面位置、高さの誤差が最大でも0.05mを超えないものと定められている。また、作成される三次元点群データの点密度は0.5mメッシュに1点以上が標準として定められており、UAVの撮影写真から高密度・高精度な三次元数値地形モデルが作成可能となる。そして、作成された数値地形モデルは公共測量成果として登録されることで、広く一般に利用可能になると考えられる。

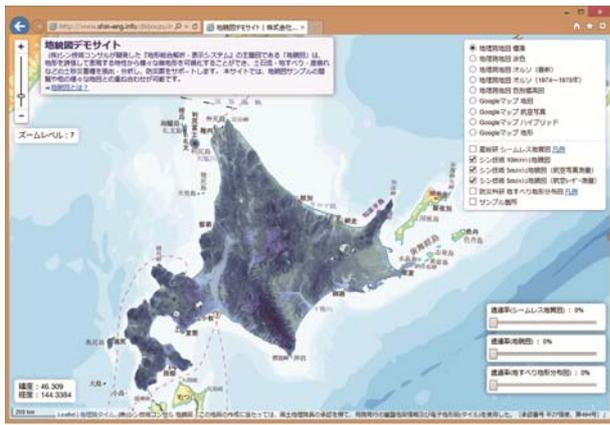
また、容易かつ迅速にDEMデータが生成可能なレーザスキャナは、これまで地上用と有人の航空機に搭載されるのが一般的であった。しかし、近年、レーザスキャナの小型化により、UAVにも搭載可能となった³⁾(図-14)。今後、レーザスキャナがより小型化し安価になることで、小規模な地元測量業者や研究機関などでも容易に航空レーザ計測が可能になると推察される。さらに、レーザスキャナが取得したDSMデータをフィルタリングするソフトウェアが高精度な自動フィルタリングを可能とし、安価になることで、高密度・高精度のDEMデータの普及はさらに進むと考えられる。

一方、高解像度なDEMデータによる微地形の表現手法も発展してきている。これまで一般的であった等高線や段彩図では、微地形の表現性が乏しいことから、「赤色立体地図」、「陰陽図」、「ELSAMAP」などが登場した。近年では、DEMデータから微地形を表現した「地貌図」がインターネットで無料公開されている⁴⁾(図-15)。また、微地形を表現する図法の作成手法が長野県林業総合センターのホームページ上に公開されて



引用元 : <http://www.riegl-japan.co.jp/product/uas-uav/riegl-vux-1.html>

図-14 小型レーザスキャナ



URL <http://shin-eng.info/chibouzu/index.html>

図-15 地貌図デモサイト（現在は北海道のみ公開）

おり⁵⁾、高解像度なDEMの利用場面が増加する可能性がある。

既設建造物のモデル化についても、SiM/MVS技術とレーザスキャナによる計測とを併用することによって、再現性の高いモデルを作成して活用する場面が増加するものと考えられる（図-16）。

3. 都市モデル構築活用事例

(1) 防災計画での活用事例

都市モデルに地すべり区域等地盤の情報を重ねて表示させることで、容易に三次元地形上で危険区域を判別することが可能になり、災害図上訓練等のリスク・コミュニケーションツールとして活用できる（図-17）。

(2) 新設道路事業での活用事例

住宅街や大学が隣接する地域での新設道路事業において、施工時に近隣住民や関係者と完成後のイメージや施工概要を共有し、合意形成をするための資料として都市モデルを作成している。作成した都市モデルは、完成イメージのほか、施工時の土砂掘削計画・粉じん対策・運搬計画等工事全般の説明においても広く活用されている（図-18、図-19、図-20）。



図-16 SiMとレーザスキャナの組み合わせ

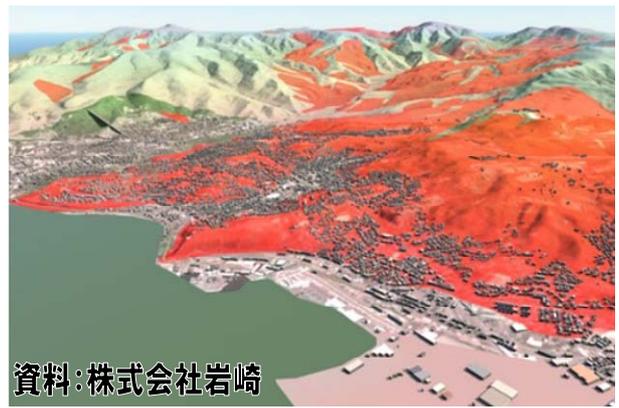


図-17 地すべり危険区域の可視化



図-18 工事着手前モデル



図-19 完成後モデル

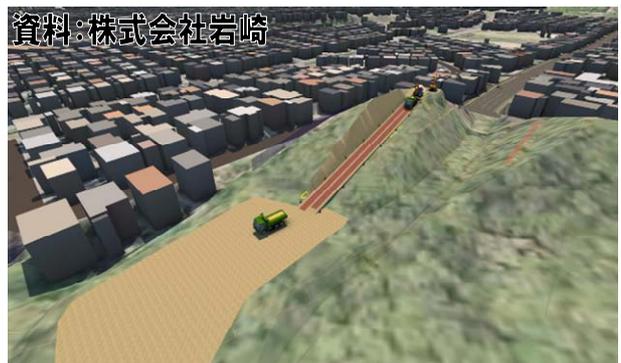


図-20 土砂掘削方法の検討

(3) 沿岸部災害防除工事での活用事例

海岸沿い道路への越波防止を図るための海岸擁壁を施工する工事において、都市モデルを作成し、周辺住民や漁業関係者へ完成モデルや工事計画を説明した（図-21）。

地形・海面・海岸擁壁の他に、工事完了後に整備されるバス停留所部分もモデル化し、地域住民に事業の必要性和効果について説明し、円滑に工事を完了することができた（図-22）。

また、施工管理情報や設置日などの記録を消波ブロックの三次元モデルに属性情報として統合することで、今後の維持管理・メンテナンスの効率化に配慮した。これは、三次元モデルとGISの概念が融合したものであり、属性情報の可視化による構造物の維持管理モデルといえる（図-23）。

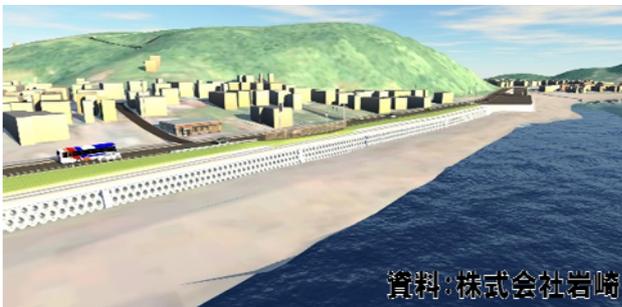


図-21 海岸擁壁工事完了モデル

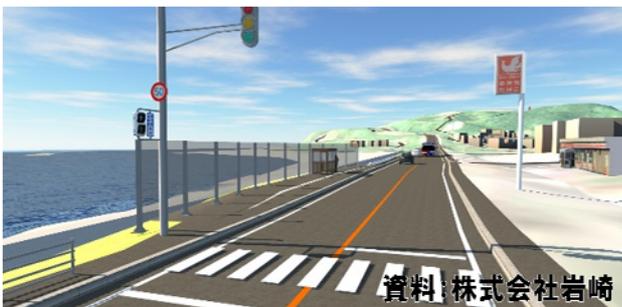


図-22 バス停留所完成イメージ

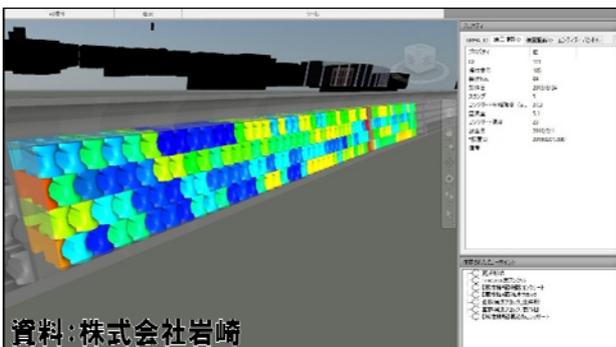


図-23 三次元モデルと属性情報の統合

4. オープンデータによる都市モデル構築

以上では、都市モデル構築における計測技術の動向、構築したモデルの活用事例について述べた。本章では、多くの有益な情報を公開している室蘭市を対象に、現時点でオープンデータとして公開されているデータを中心に都市モデルを構築する。実際の土木建設事業においては、あらかじめ都市全体のモデルを作成しておくことによって、多くの分野での利活用が容易となり、応用範囲が広がる。

(1) 地形モデル

地形モデルの構築に際しては、国土地理院が公開している基盤地図情報（数値標高モデル）5mメッシュを使用した。さらに、室蘭市では、位置情報付きの航空写真データを公開しており、これらを用いて詳細な地形モデルを再現することができる（図-24、図-25）。

(2) 既設構造物モデル

a) 道路

道路については、航空写真より現状を確認できるが、GIS等で活用するためのデータとしては、室蘭市が提供している都市計画現況図データや、国土地理院が提供している基盤地図情報（基本項目）がある。しかし、これ



図-24 室蘭市全域を対象とした地形モデル



図-25 室蘭市全域を対象とした地形モデル
（一部拡大表示）



図-26 都市計画現況図（道路データ）の表示例



図-27 国土基本情報（道路中心線）の表示例

らのデータは道路縁のデータとなっている（図-26）。

各種集計・解析に活用するための道路中心線データとしては、有償で提供されている国土地理院の国土基本情報が利用できるが、このデータには幅員等の情報がないため、表示の際は、全て同一スタイルとなる（図-27）。

b) 鉄道

鉄道路線については、都市計画現況図、基盤地図情報（基本項目）とともに、軌道中心線として提供されている（図-28）。

c) 建築物

建築物については、都市計画現況図、基盤地図情報（基本項目）として、建築物の外周線または面データが提供されている。これらのデータは、用途、階数、構造



図-28 都市計画現況図（鉄道中心線）の表示例

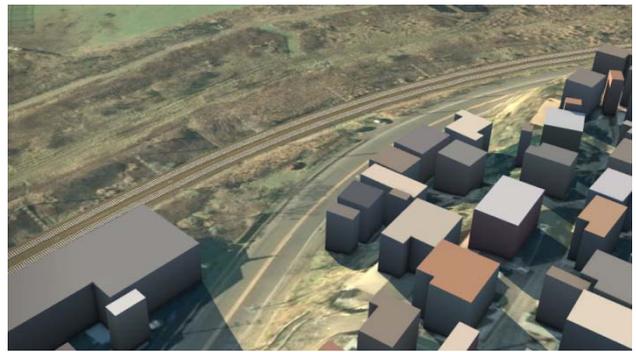


図-29 都市計画現況図（建物）を一律の高さで表現

等、属性情報がないため、三次元表示するような用途では、一律の高さでの表現となる（図-29）。

c) 各種施設

国土交通省国土政策局では、国土数値情報ダウンロードサービス（<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）により地形、土地利用、公共施設等の情報をGISデータとして公開している。公共施設の形状は、ポイントデータであるが、基盤地図情報の建築物形状と空間結合し各種属性情報を有効活用できる（図-30）。

(3) 各種統計データ

政府統計の総合窓口（<http://e-stat.go.jp/SG2/eStatGIS/page/download.html>）では、国勢調査や経済センサス、事業所・企業統計調査、農業センサスの結果を提供している。

これらは、GISでは広く活用されているが、今後は三次元モデルと組み合わせた応用活用に展開するものと考えられる（図-31）。



図-30 学校を抽出し強調表示

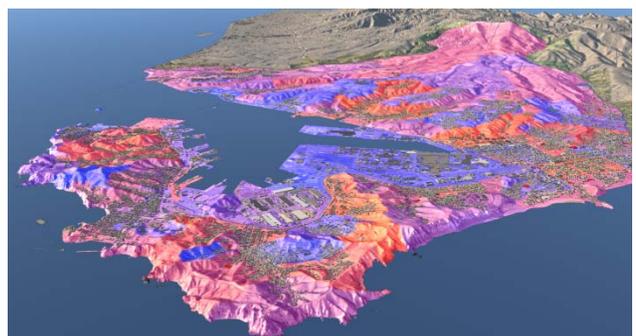


図-31 国勢調査の人口により主題図作成

参考文献

- 1) 山村悦夫：ゆびきたす時代,産学官研究フォーラム, 2004.
- 2) 小荒井衛, 渡辺伸之, 松尾馨, 飯田洋, 長谷川裕之：デジタル写真測量による有珠山の面的な地表変動の時系列把握, 国土地理院時報, 95, pp.57-62, 2001.
- 3) 高橋弘, 瀬口栄作, 都竹正志, 高野正範, 若松孝平：UAV 搭載レーザスキャナとヘリ搭載レーザスキャナの計測品質比較, 日本写真測量学会 平成 27 年度秋季学術講演会発表論文集, pp.107-108, 2015.
- 4) 齋藤健一：地形表現とその周辺 その 26 地貌図で見る北海道, 測量, 66 (4), pp.32-33, 2016.
- 5) 数値地形データを用いた「微地形図」の作成方法, 長野県林業総合センター,
<http://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/documents/bichikei.pdf> (最終閲覧日：2016 年 4 月 14 日)

(2016. 4. ? 受付)