

AW3D[®] 全世界デジタル 3D 地図提供サービスの展開 —「見る 3D 地図」から「使える 3D 地図」へ—

筒井 健^{*1}・市川真弓^{*1}・高久淳一^{*2}

Overview of AW3DTM Global 3D Map Service

—“3D Maps That You Look at” Change to “3D Map That You Can Use”—

Ken TSUTSUI^{*1}, Mayumi ICHIKAWA^{*1} and Junichi TAKAKU^{*2}

Abstract

AW3DTM, the world's most precise global 3D map service, became the world's first five-meter-resolution 3D map covering all global land spaces in April 2016 by using Advanced Land Observing Satellite (ALOS). In addition to five-meter-resolution global map, enhanced service offers a higher-resolution 3D map at half-meter or two-meter resolution, both of which are offered on an on-demand basis using commercial high-resolution satellite imagery. This paper introduces the project history, technical characteristics, service contents, use cases and future prospects of AW3DTM.

Keywords : 3D map, Digital Elevation Model, Global dataset, High resolution satellite imagery, ALOS

1. はじめに

AW3D[®] 全世界デジタル 3D 地図提供サービスは、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の陸域観測技術衛星「ALOS (Advanced Land Observing Satellite)」によって撮影された約 300 万枚の画像と商用衛星画像を活用して、全世界の陸域をカバーする世界最高水準の高精細デジタル 3 次元地図 (以下、3D 地図) を整備、提供するサービスである。3D 地図は、高さを示す DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) とオルソ画像データで構成されている。現時点において、ALOS 衛星画像を基に作成された全世界をカバーする 5m 解像度の 3D 地図は全球データセットとしては世界最高の解像度である。また、より高精細なデータが必要な都市部等においては、DigitalGlobe 社の衛星画像を用いて最高で 0.5m 解像度まで解像度を高めた 3D 地図を提供している。

AW3D[®] は、世界で初めて 5m 解像度かつ 5m の高さ精度の DEM で世界中の陸域の起伏を表しているため、国内外問わずに 25,000 分の 1 相当の縮尺で地形情報を分析することが可能であり、新興国における地図整備、防災分野の洪水・土砂災害対策、資源分野の天然鉱物・水資源の調査、電力分野の効率的な発電計画、衛生分野における疫病

の感染拡大の対策等へ利用が進んできた。更に、必要なエリアでは 3D 地図の高さ精度を高めることが可能であり、先進国における通信や都市計画の分野など、より幅広い分野でその利用が広がり、従来の「見る 3D 地図」から「使える 3D 地図」へと 3D 地図の利用展開が進んでいる。これらの AW3D[®] の取り組みに関して、株式会社 NTT データと一般財団法人リモート・センシング技術センター (RESTEC) は、2016 年 3 月の内閣府主催の第 2 回宇宙開発利用大賞において、宇宙開発利用の推進に多大な貢献をし、極めて顕著な功績を認められる事例に贈られる「内閣総理大臣賞」を受賞した¹⁾。本稿では、AW3D プロジェクトの概要、3D 地図技術の特徴、サービスの内容、活用事例、及び今後の展望について紹介する。

2. プロジェクトの概要

AW3D[®] は、NTT データと RESTEC が共同で展開している 3D 地図サービスであり、JAXA との官民連携により、2014 年 2 月から開始した ALOS を活用した 5m 解像度の全世界 3D 地図整備及び提供のプロジェクトが発足のきっかけである。NTT データが JAXA から、ALOS の PRISM 画像を活用して全世界の 3D 地図データセットを整備する事業の委託を受けて、RESTEC と共に、2014 年 2 月から

(2016. 10. 7 受付, 2016. 11. 7 改訂受理)

^{*1} 株式会社 NTT データ 第一公共事業本部 e-コミュニティ事業部

〒135-8671 東京都江東区豊洲 3-3-9 豊洲センタービルアネックス

^{*2} 一般財団法人リモート・センシング技術センター

^{*1} NTT DATA Corporation

^{*2} Remote Sensing Technology Center of Japan

Table 1 Specification of AW3D

Product name	Standard	Enhanced
Resolution	5m (DEM)	0.5・2m (DEM)
	2.5m (Ortho image)	0.5m (Ortho image)
Geo-location accuracy	5m RMSE	2 m RMSE (with GCP)
		4 m RMSE (without GCP)
Production type	Archive	On demand
Product type	DSM (Digital Surface Model), DTM (Digital Terrain Model)*	

* DTM is produced on demand.

2016年3月のおおよそ2年間をかけて全世界の整備を完了した²⁾。

背景には、近年の3次元の地理空間情報への需要の高まりがある。アジアやアフリカ、南米をはじめとする新興国で急速に進むインフラ開発、異常気象に起因して世界各地で頻発する洪水等の自然災害対策等において、それらの計画・設計で必要となる高さ情報を伴う3D地図に需要が大変高まっている。また、先進国においても年々加速する通信や交通インフラの高度化に伴って、より高精度かつ高頻度な3次元地図へ期待が高まっている。高さ情報を伴う3D地図に関しては、航空機によるデータ収集や人手による現地調査が行われてきたが、コストと時間の観点の制約から整備されるエリア限界があった。一方で、宇宙空間の活用に関しては、これまで、全世界規模でのデータ整備としては、2000年にスペースシャトルで観測したデータを活用して整備された90m解像度または30m解像度のSRTM DEM (2003年に第一版公開)、米国と日本が共同でASTER センサから観測した画像による30m解像度のASTER G-DEM (2009年に第一版公開)があったが、高さ精度の限界から活用用途が限られていた。

本プロジェクトは、衛星画像を活用して上記の“コスト・整備エリア・精度”の3つの課題を解決して、全世界で実利用可能な3D地図とアプリケーションサービスの提供を目標としている。2014年から、ALOS衛星画像から陸域の高さ情報を5m解像度の細さで整備したDSM (Digital Surface Model: 数値表層モデル)、利用用途に応じて加工されたDTM (Digital Terrain Model: 数値地形モデル)等の製品を、整備済みのエリアから順次に、広く国内外へサービス提供してきた。Table 1にAW3D®製品の主な仕様を示す。

Fig. 1にエベレストの5mメッシュDSMとオルソ画像を重ね合わせた3D画像の例を示す。Fig. 2にAW3Dに基づく全世界の3D鳥瞰図を示す。また、Fig. 3に既往の30m解像度及び90m解像度との比較事例を示す。既往のデータと比べて、格段の詳細さで地形が表現されていることが分かる。なお、欠損エリアはSRTM-3等のデータで補

完している。5m解像度かつ5m高さ精度の3D地図は、おおよそ1/25,000地図に相当する縮尺であり、このような高い解像度で世界の陸域を網羅する3D地図の作成は世界初の試みであり、グローバルデータセットとしては世界で最も高精細なデータセットである。

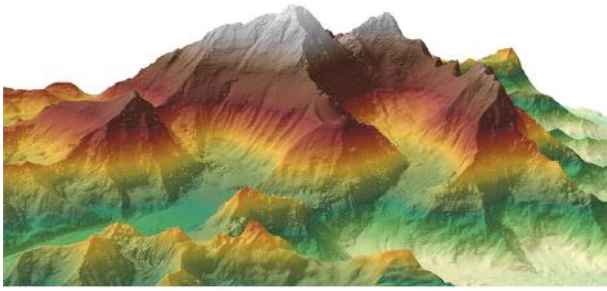
2015年には、都市エリア等における3D地図の高精細化ならびに更新の要望に応えるために、米国DigitalGlobe社と連携しWorldView衛星シリーズ等を活用した2m解像度の3D地図を、2016年からは0.5m解像度の3D地図をオンデマンドで加工して提供するサービスをAW3D®高精細版としてラインアップに追加した。Fig. 4に2m解像度のDSMを5m解像度と比較して示す。都市における各種計画等の利用の場合は、1,5/000や1,2/500縮尺のような大縮尺が必要とされるため、より高い高さ精度の3D地図の提供を目指して製品開発を行っている。

3. 3D地図の作成技術

ここでは、ALOS衛星画像に基づく5m解像度の全球3D地図作成技術を紹介する。ALOS衛星に搭載された地上解像度2.5mの光学センサ「PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping: パンクロマチック立体視センサ)」により観測された3方向視または2方向視の立体視画像をステレオ画像処理することにより、3D地図は作成された。ALOS衛星はJAXAの地球観測衛星で、2006年5月の運用開始から2011年4月の運用停止に至るまで、約5年間に渡り世界中の画像データを蓄積してきた。本プロジェクトでは、雲量が少なく地表が確認できる利用可能なほぼ全ての画像276万枚(立体視セット換算で約100万セット)を入力データに使用して、約100万枚相当のDSMデータを抽出し、それらを重ね合わせてつなぎ合わせるにより、緯度経度1度×1度を1区画として約24,000の区画から構成される全球陸域の標高データセットを作成した³⁾。また、作成にあたっては、「だいち」衛星の運用期間中に蓄積されてきた研究成果を活用して、同衛星の特性を最大限活かしたデータ解析により、高精度化を図った。ここでは、その代表的な3つの技術的特徴を述べる^{4)~6)}。

一つ目の特徴は、3方向から観測された立体視画像の活用である。PRISMは前方視、直下視、後方視の3つの望遠鏡で構成され、衛星の進行方向に対して同一場所をほぼ同時に3方向から観測可能であり、そのため高精度の地形情報の取得が可能となっている。例えば、急峻な高い山などを撮影する場合に、2方向からのみでは見えづらい部分があるが、3方向の観測によりほぼ全ての面良い条件で観測可能となる。3D地図の作成システムには、これら3方向視画像に対応した画像解析手法が組み込まれており、安定した高さ精度の抽出を確保している。

二つ目の特徴は、高精度な衛星の姿勢計測データの活用である。衛星の姿勢計測結果は、衛星の視線方向の決定に



(a) DSM



(b) Colored ortho-rectified image overlaid on DSM

Fig. 1 AW3D 5 m resolution DSM of Mt. Everest
©NTTDATA/RESTEC, Included ©JAXA

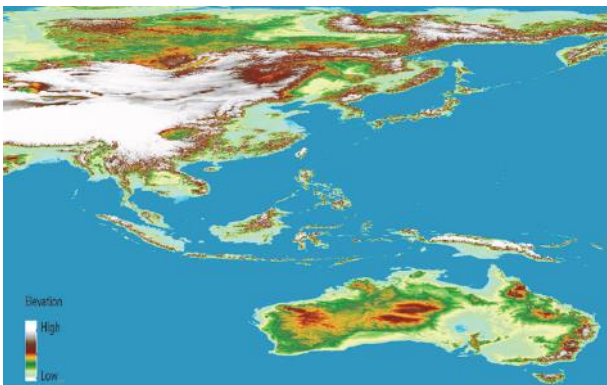
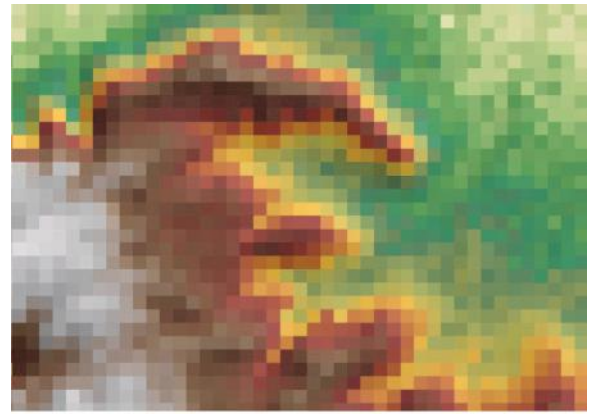
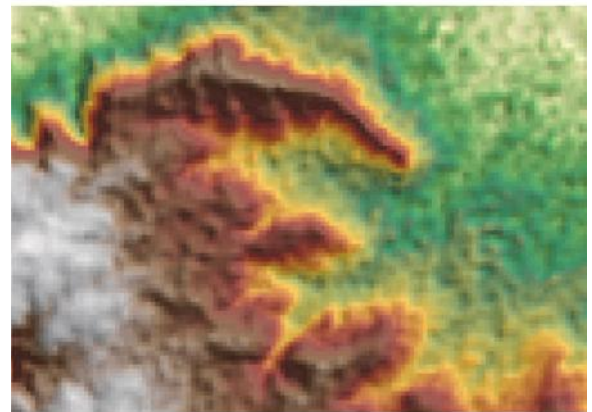


Fig. 2 Bird's eye view of AW3D global 3D map over Asia and Oceania area.
©NTTDATA/RESTEC, Included ©JAXA

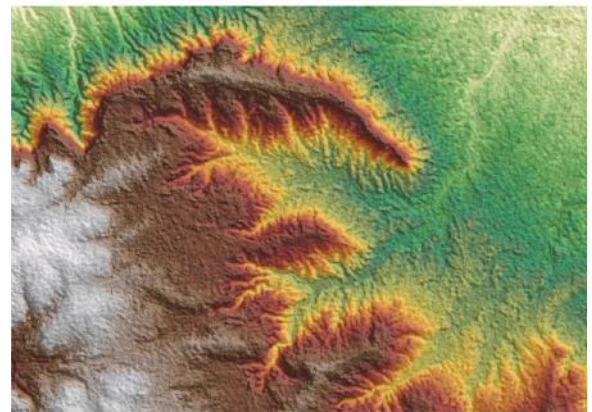
直結し、高精度の地表面の3次元位置決定に必須となる。従来、「だいち」の衛星画像では、10 Hz (約 0.1 秒周期) の間隔で計測された姿勢計測データが標準であった。しかしながら、最近の研究成果では、微小な衛星の姿勢振動が周期的な数 m 程度の高さ誤差を引き起こす場合があり、従来の 10 Hz の姿勢計測データではその除去が困難であることが明らかにされていた。その解決には、より高周波での姿勢計測データの利用が必要であり、本 3D 地図の作成では、実用では初めて 675 Hz (約 0.015 秒周期) の間隔で計測された高周波姿勢計測データを用いることにより、この



(a) 90m resolution SRTM



(b) 30m resolution SRTM



(c) 5m resolution AW3D

Fig. 3 Comparison of AW3D and SRTM

課題を解決している。Fig. 5 に、高周波姿勢計測データの利用による姿勢振動による周期誤差の除去の事例を示す。

三つ目の特徴は、複数の DSM データの重ね合わせ (スタッキング) による高さ精度の向上である。前述の通り、本データセットの作成では、雲の少ない利用可能な全ての画像を使用しており、その結果として、場所により枚数は異なるが、同一場所でだまかに 3~4 枚程度 (場所によっては 10 数枚の箇所もある) の複数の DSM が作成される。そ

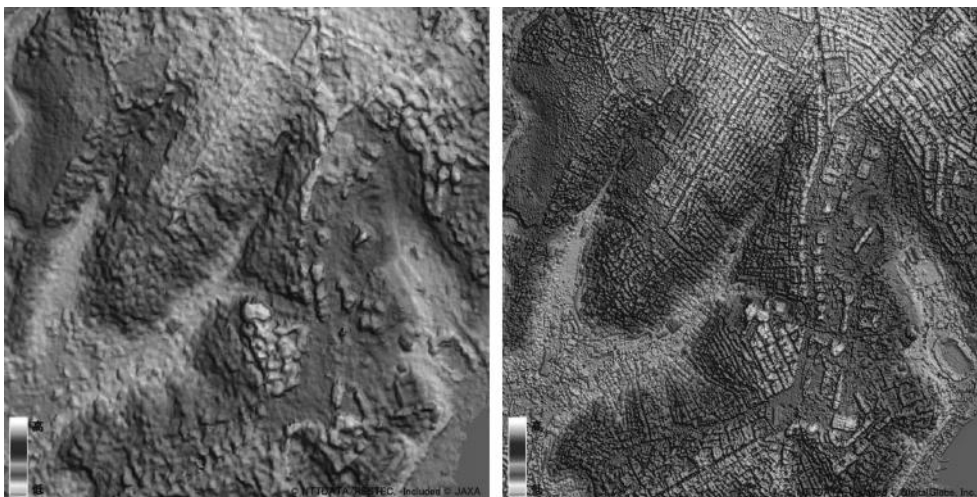


Fig. 4 AW3D 3D 5 m resolution DSM (Left) and 2 m resolution DSM (Right) in Istanbul.

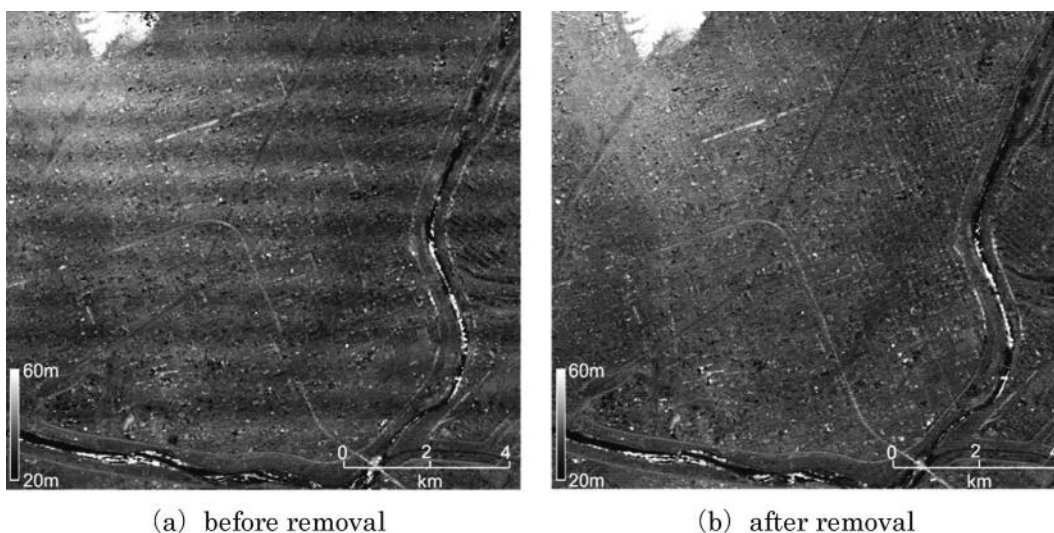


Fig. 5 Removal of attitude jitter noise on DSM by using high-frequency attitude data.

これらの複数の DSM を組み合わせられることにより、雲や雪で欠損したエリアを補完し、また、複数の高さ値を平均化することにより統計的な誤差を軽減して精度を向上させている。Fig. 6 に、スタッキングの概要図を示す。

上述の研究成果は、高速で並列処理可能なデータセット作成システムに組み込まれた。作成システムは、複数の計算機を効率的に組み合わせて構築され、1 日におおよそ 2,000~3,000 ペアのデータ処理が可能であり、3 か月毎におおよそ 3,000~4,000 区画の標高データが作成された。また、精度を担保するための作成されたデータセットの品質評価にも注力し、NASA のレーザ高度計データ (ICESat データ) 等を検証データに用いた精度検証や品質検査を区画単位に行い、高さ精度や残存した雲等による欠損率が評価された。最終的に完成した全球データセットは、ICESat データおよび地上検証点と比較して高さ精度約 3.3 m (RMSE) であり、欠損率は南極等の氷雪エリアを除いて約

8% 程度である³⁾。

4. 3D 地図の提供サービス

ここでは、提供サービスの内容を紹介する。2014 年 2 月のサービス開始以来、利用者のニーズに基づいて需要の多い新興国から順番にサービスリリースを行い、2016 年 3 月末の 5mm メッシュ全世界整備を経て、2016 年 4 月からは全世界を対象にサービスを提供している。

3D 地図は、標準製品ラインアップとして、利用用途に応じて、レベル 1~3 の 3 つの種類で提供されている。レベル 1 製品は、衛星画像から 3 次元データ抽出処理された結果の生データの形態の DSM であり、雲による欠損や画像処理における誤差はそのままの状態に残している。レベル 2 製品は、レベル 1 データに対し、欠損の補間や誤差の修正等が行われて、地図利用等のための品質確認が行われた

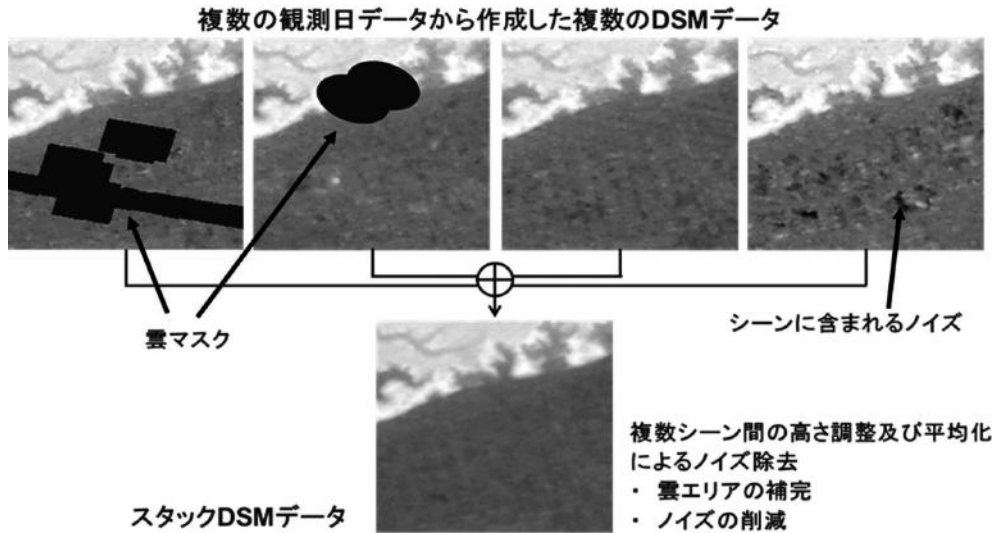


Fig. 6 Accuracy improvement by stacking of multiple DSMs.

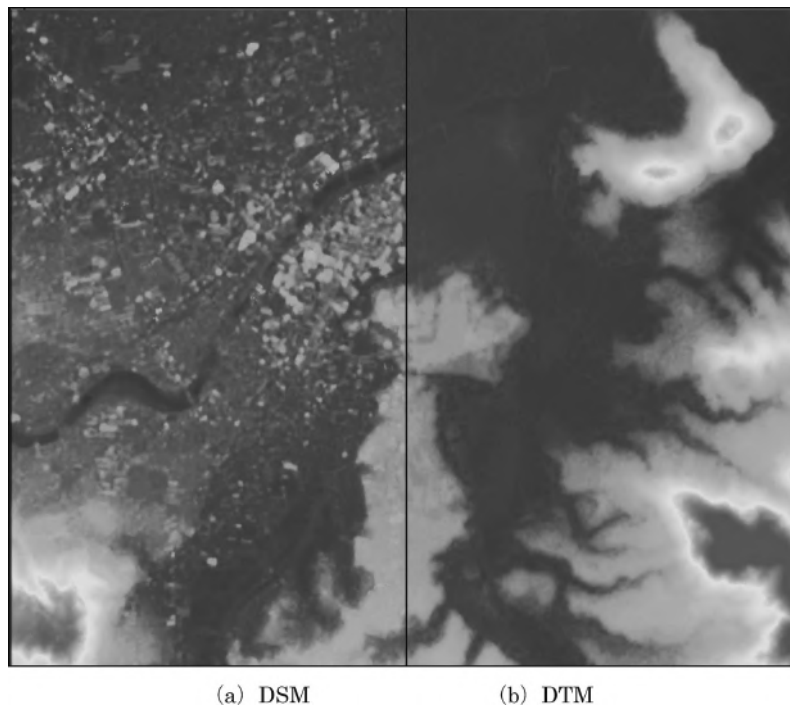


Fig. 7 Comparison of processing level: DSM (left) and DTM (Right)

製品である。欠損域は、通常、SRTM等の利用可能な他の高さデータを用いて補完される。レベル3製品は、レベル2製品から、建物の高さや樹木の高さを除去することで、地盤高さ値へ推定変換されたデータである。通常、建物の高さは周囲の高さの値で補完され、樹木の高さは、当該エリアの平均的な樹高値の減算による補正、あるいは、周囲の地面高さによって補完されて補正される。Fig. 7にDSM(レベル2)とDTM(レベル3)の製品比較の例を示す。

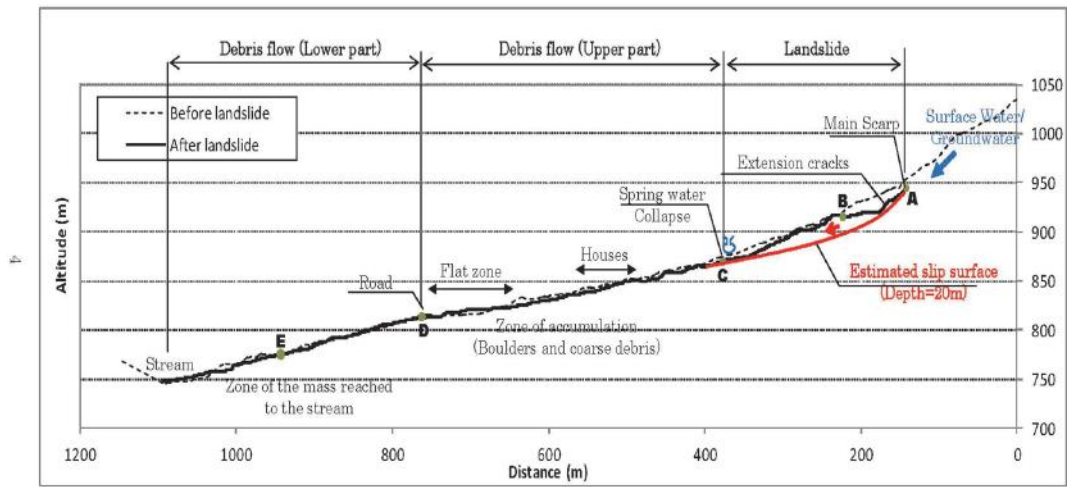
3D地図の利用は、国内外の大変多くの利用分野に広がっている。利用機関は、国内外の100機関以上、利用されたエリアは60カ国以上に及び、利用分野は防災、都市計画、

資源、水資源、気候変動、航空、森林、電力、通信等の23以上の分野に広がっている。ここではいくつかの利用事例を紹介する。

AW3D[®]の利用分野の特徴には、防災や建設計画などの高さ精度と品質が求められる分野が挙げられる。防災分野の例としては、2014年10月にスリランカで発生した大規模土砂災害での対応での活用が挙げられる⁷⁾。5m解像度DSMは、被災規模の把握に災害発生前の地形データとして活用され、発生後にヘリコプターから取得された地形データと比較され、災害発生メカニズムの把握と復旧対応計画に活用された(Fig. 8)。また、ハザードマップの基盤

Before the Landslide: DEM data of AW3D

After the Landslide: Topographic Analysis from Photos of the Aerial Survey from the Helicopter



Assumed cross section of Koslanda Landslide

Fig. 8 Landslide disaster survey in Badulla district, Sri Lanka in 2014 by using aerial survey and AW3D⁷⁾. (Provided by JICA Sri Lanka office)

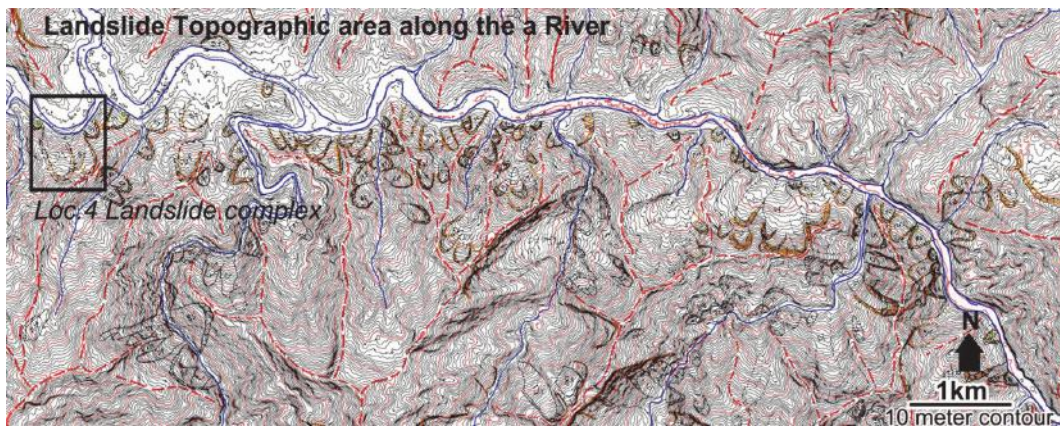


Fig. 9 Landslide hazard mapping along the National Road in central Vietnam by using AW3D⁸⁾. (Provided by professor Toyohiko Miyagi of Tohoku Gakuin University.)

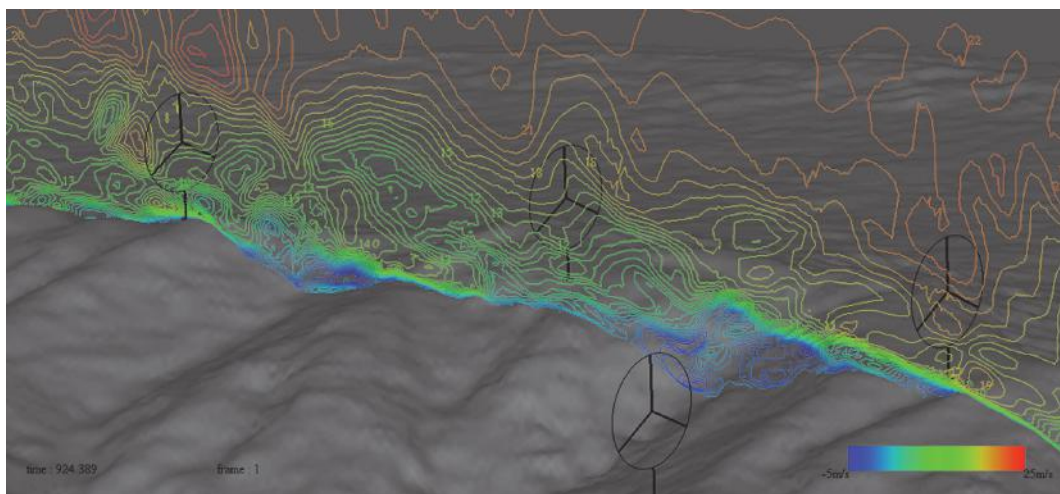


Fig. 10 Windfarm simulation by using RIAM-COMPACT® software and AW3D. (Provided by Tsubasa Windfarm Design)



Fig. 11 City 3D map based on AW3D.

情報としても有用であり、例えば、ベトナムを対象とした土砂災害発生危険箇所の抽出においては、幹線道路沿いの危険箇所 1,000 箇所以上が抽出された研究成果⁸⁾も公表されている (Fig. 9)。また、高さ精度の良さを活かして、シミュレーション計算との融合による活用も広がってきている。Fig. 10 に風力発電計画における風況予測シミュレーションにおける活用事例を示す。線の密度の濃いところは乱流が強い箇所を、線が等間隔のところは風が安定して得られる箇所であることを示している。地形の複雑なエリアでは、精度のよい高さデータが必要であり、樹高も含む精度の良い地表面高さデータとして活用されている (Fig. 10)。その他の分野では、例えば衛生分野における、世界保健機関 (WHO) におけるアフリカにおけるポリオウィルスの感染対策での活用が挙げられる。ポリオウィルスの河川を通じた拡大を正確に予測するための詳細な地形データとして利用され、詳細な地形をもとに、今までのデータでは把握できなかった河川や地下水の流路を把握することによって、ポリオ感染の拡大防止へ活用された。一方で、都市エリアにおいては更に高精細化した 0.5-2m 解像度の 3D 地図等の活用が始まっており、新興国の都市域での洪水時の浸水危険エリアの予測や、市街地での地すべりエリアの把握⁹⁾、先進国における通信分野や建設分野におけるシミュレーション用途で活用されている。Fig. 11 にシミュレーション用途の建物 3D 地図の例を示す。

これらは、衛星画像を活用した 3D 地図の新たな利用の広がりを見せている。従来の全球規模のグローバル 3D 地図が抱えてきた“精度の課題”、および、航空測量や現地測量による高精度の 3D 地図が抱えてきた“時間とコストの課題”に対して、AW3D[®]により両者のギャップを埋める「使える」3D 地図が新たに加わったことで、3次元の地理空間情報の新たな利用が広がっている。

5. 今後の展開

最後に、3D 地図サービス提の課題と今後の展望について述べる。3D 地図の課題には、① データの更新と② 更なる大縮尺地図への進化が挙げられる。① 更新については、現在、AW3D[®]のグローバルデータセットの元となる ALOS データは、2010 年前後に撮影された画像である。それは地図の基盤となるデータとしては利用可能な範囲ではあるが、早いスピードで変化する都市や新興国の土地利用状況に対しては、最新の状態へ更新することが課題である。常に最新の 3D 地図を利用できることが理想であり、土地利用の変化に追いついていくことが重要である。また、② 大縮尺への進化については、都市計画やより詳細な施設設計等の場合は 1,5/000 や 1,2/500 縮尺のような大縮尺が必要とされるため、更に良い高さ精度が必要となる。

これらの課題に対しては、宇宙・衛星機関と連携して、サービスレベルの向上を進めている。先述のように、2015 年からは DigitalGlobe 社と提携して商用で世界最高解像度の衛星画像を活用した 3D 地図のサービスを開始した。最新の衛星画像を用いれば、最新かつより大縮尺の 3D 地図を提供することが可能となり、都市計画や鉄道、道路、電力、通信、航空などのインフラ施設の設計や管理などの分野で利用可能となる。

一方で、これらの「使える 3D 地図」を活かすためには、ユーザーニーズを拾い上げて、それに応えるアプリケーションやそれに必要なコンテンツをいかに早くマーケットに出していくかが最も重要になる。そのためには、他の地理空間情報システムやコンテンツとの連携によるアプリケーションの展開が重要であり、国内外で地理空間情報に関連するサービス機関と連携を深めていきたいと考えてい

る。それらの活動を通じて、3D 地図をより付加価値のあるサービスとして提供し、世界規模で地理空間情報の新たな市場やサービスを創出していく。

引用文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/space/prize/prize.html> (2016.10.7)
- 2) <http://www.nttdata.com/jp/ja/news/release/2016/042602.html> (2016.10.7)
- 3) J. Takaku, T. Tadono, K. Tsutsui and M. Ichikawa: Validation of 'AW3D' Global DSM Generated from ALOS PRISM, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-4, 2016, XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, pp. 25-31, Jul. 2016.
- 4) J. Takaku and T. Tadono: High Resolution DSM Generation from ALOS PRISM — Processing Status and Influence of Attitude Fluctuation —, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Jul. 2010.
- 5) J. Takaku and T. Tadono: High Resolution DSM Generation from ALOS PRISM — Archiving and Mosaicking —, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Jul. 2011.
- 6) J. Takaku, T. Tadono, K. Tsutsui : Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS TC IV Symposium, Suzhou, China, pp. 243-248, 2014.
- 7) 独立行政法人 国際協力機構 スリランカ事務所：スリランカ民主社会主義共和国における土砂災害被害に対する現地調査の実施, Nov. 2014.
<https://www.jica.go.jp/srilanka/office/information/press/141107.html> (2016.10.7)
- 8) N. D. Dung, T. Miyagi, L. Luong, E. Hamasaki, K. Hayashi, D. V. Tien, H. Daimaru and S. Abe : ALOS W3D Data を用いた地すべり地形分布図作成の試み：ベトナム国道 7 号線沿線での例, 地形 37 (1), pp. 127-140, 2016.
- 9) 佐藤 剛, 八木浩司, 筒井 健, 高久淳一, 石館和奈 : AW3D 0.5 m DEM を用いて地すべり地形を表現する—ホンジュラス共和国テグシガルパの事例—, 日本地すべり学会 2016 年研究発表会, pp. 35, Aug. 2016.

〔著者紹介〕

●筒井 健 (ツツイ ケン)

株式会社 NTT データ e-コミュニティ事業部 課長。
1998 年 早稲田大学工学部資源工学科卒, 2000 年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了, 株式会社 NTT データ入社。2006 年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 (博士 (工学))。衛星画像や地理空間情報に関する研究開発, 商品・サービス開発に従事。AW3D (全世界デジタル 3D 地図提供サービス) のプロジェクトマネージャを担当。日本リモートセンシング学会に所属。

E-mail : tsutsuikn@nttdata.co.jp

●市川 真弓 (イチカワ マユミ)

株式会社 NTT データ e-コミュニティ事業部 主任。
2009 年 東京工業大学工学部社会工学科卒, 2011 年 東京工業大学大学院社会理工学研究科社会工学専攻修士課程修了。衛星画像や地理空間情報に関する研究開発, 商品・サービス開発に従事。日本リモートセンシング学会に所属。

E-mail : ichikawamy@nttdata.co.jp

●高久 淳一 (タカク ジュンイチ)

一般財団法人リモート・センシング技術センター 研究開発部 主幹研究員。

1996 年 工学院大学大学院工学研究科修士課程情報学専攻修了。JAXA 地球観測衛星光学センサ標準処理ソフトウェア開発等の業務を経て, 主に ALOS/GCOM 搭載の光学センサに関する校正検証および高次処理アルゴリズムの研究開発に従事。日本リモートセンシング学会に所属。

E-mail : takaku@restec.or.jp