第 25 回年次大会予稿

衛星写真から世界遺産の 3D 模型化の試み Attempts to 3D Modelling of World Heritages

山島一浩^{1*}

Kazuhiro YAMASHIMA^{1*}

1 筑波学院大学

Tsukuba Gakuin University

世界遺産シーギリヤ(スリランカ)について, ALOSグローバルデジタルサーフェスモデルを使用して 3Dプリンターで印刷した. スリランカには, 多くの歴史的・文化的地点があることを踏まえ, このデータを用いて世界遺産のモデリングの実現可能性を探った. PRISMによる世界デジタル表面モデルの分解能 30m(1 arcsec)のデータセットです. このデータセットは, 世界最高の精度を有するデジタル 3D地形データのDSMデータセット(5m分解能)に基づいて作成された標高データセットです. TIFF画像の形式のこのデータは, プログラムによって 3Dプリンタ用の 2D画像から 3D STLデータに変換される. その際, まず, 3600×3600 画素, 16 ビットのTIFF画像から, 世界遺産に必要な部分を抽出する. そして, 抽出した画像をSTLデータに変換し, 印刷出力する.

I have printed out models of the world heritages in Sri Lanka with a 3D printer by using the ALOS global digital surface model (DSM) "ALOS World 3D - 30m. Noting that Sri Lanka under such remarkable economic and social development also has many historical and cultural sites, we explored the feasibility of modelling the world heritages by using this data. The ALOS global digital surface model is open to the public at free by JAXA for the sake of the scientific research fields and utilization of the geospatial information. This is a data set of 30m (1 arcsec) resolution of the global digital surface model (DSM) by the Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) mounted on the advanced land observing satellite "ALOS". This data set was created based on the DSM data set (5m resolution) of the "world digital 3D topographic data", which has the world best accuracy at present as a global-size elevation dataset. This data in the form of TIFF images is converted from the 2D images to 3D STL data for 3D printers by a program. In doing this, firstly, the portions necessary for the world heritages are extracted from the TIFF images stored at 3600 × 3600pixels with 16 bits. Then, the extracted images are converted into the STL data, which is then printed out by the 3D printer. The output data is exhibited and released on Web.

キーワード: 世界遺産, Stereolithography, GeoTIFF

1 はじめに

スリランカは、多くの歴史的・文化的地点があることを踏まえ、このデータを用いて世界遺産のモデリングの実現可能性を探ろうと考えた。

スリランカの世界遺産のモデルをALOSグローバルデジタルサーフェスモデルを使用して3Dプリンターで印刷した。その過程に伴った議論を提示したい。

2 シーギリヤの歴史

スリランカのシーギリヤは、中部のマターレーにある古都である。シーギリヤは、5世紀、シンハラ王朝のカーシャパ王(在位 477～495 年)によって建設された王都でもあった。

巨大な岩であるシーギリヤ・ロックには、岩の上にある王宮跡と、麓の水路、庭園、貯蔵施設などの施設で構成される。頂上の面積は 1.6 ヘクタールもあり、王宮や住居、沐浴場などが残されている。

シーギリヤに王都を建てたカーシャパ王は、タミル人からシンハラ人に王権を取り戻したダートゥセーナ王の息子である。カーシャパは、甥であり軍司令官でもあったミガラミガラの支援を得て、クーデターをおこし、王権を篡奪した。

カーシャパ王は、弟にモッガラーナがいた。カーシャパ王は、モッガラーナに王位を奪還されることを恐れ、長らく首都であったアヌラーダプラを離れ、王都を移した。シーギリヤ・ロックに王宮が完成したのは、484 年のことである。

その 11 年後、モッガラーナはカーシャパ王に戦いを挑み、495 年、劣勢になったカーシャパ王は、自害した。

王権を奪取したモッガラーナ王は、都をかつてのアヌラーダプラに戻し、シーギリヤは、仏教僧に寄進された。14 世紀頃まで修道院として使われていたが、その後放棄される。

そして、イギリス統治時代の 1857 年に発見され、再び人々に知られることになった。

3 デジタル 3D地図とは

3.1 地理空間情報

日本国内の地理空間情報は、地理空間情報活用推進基本法に定義されるものを指す。つまり、空間上の特定の地点又は区域の位置を示す情報や、その情報に関連付けられた情報となる。また地球上の位置だけでなく、時間軸上の位置も対象となる。

3.2 デジタル 3D地図

デジタル 3D地図とは、地表の水平位置と高さの 3 次元座標値が記録されたデータのことである。高さを示す数値標高モデルと、水平位置を示す正射投影画像の 2 種類のデータで構成される。正射投影画像とは、上空から撮影された画像の地形にともなう歪みを除去し、位置情報が付与されたものである。

今回用いたデジタル 3D地図の数値標高モデルは、PRISMが取得した画像の中から雲が少ない約 300 万枚を活用して、5m の水平解像度という細かさと、5m の高さ精度（標準偏差）で、陸地の起伏を表現したものである。

PRISMによる世界デジタル表面モデルの分解能 30m (1 arcsec) のデータセットである。このデータセットは、5m分解能のDSMデータセットである。

それは、GeoTIFFで記録されている。

3.3 GeoTIFFの構成

3.3.1 TIFF

TIFFは、ビットマップ画像の符号化形式の一種である。タグと呼ばれる識別子を使うことによって、様々な形式のビットマップ画像を柔軟に表現できる。

TIFF形式は、汎用ラスタデータ形式で、クリップアート、ロゴタイプ、スキャンされたドキュメントなどのラスタイメージの保存、転送、表示、および印刷に適したフォーマットである。

TIFFは、ラスターイメージを格納および交換するためのタグベースのファイル形式です。TIFFは、ラスターイメージデータを記述して保存する。

TIFFの主な利点は、幅広いアプリケーションとコンピュータのアーキテクチャ、オペレーティングシステム、およびグラフィックスハードウェアの独立性に適している。

それは、合理的にコンパクトで、白黒、グレースケール、およびカラー画像を扱うことができ、スキャナ、モニタ、またはプリンタの固有の特性を調整することができる。

TIFFでは、フルRGBカラーまたは 64kカラーパレットのいずれかで、最大 48 ビット(R, G, およびBの各 16 ビットフィールド)のカラー解像度が可能である。

画像データを、解像度や色数、符号化方式が異なるものでも様々な形式で一つのファイルにまとめて格納できるため、アプリケーションソフトに依存することがあまり無いフ

ォーマットであると言える。

自由度の高い表現が可能なので、完全な互換性を保つことが難しくなっている。

TIFFの規約もすべてのタグをサポートする必要はないと明記している。

3.3.2 GeoTIFFの基本機能

GeoTIFFは、地理参照情報をTIFFファイルに埋め込むことを可能にするパブリックドメインのメタデータ標準です。GeoTIFFは、TIFF画像ファイルフォーマットで、デジタル衛星画像、航空写真、標高モデルで使用されている。

GeoTIFFファイルの地理データを使用して、地理情報ディスプレイの画面上の正しい位置とジオメトリに画像を配置することができる。さまざまなGISパッケージで簡単にデジタル衛星画像を保存するためにTIFF形式を使用していた。

GeoTIFFは、タグ付き画像ファイル形式ファイルに地理参照情報が埋め込まれている。GeoTIFF形式は、TIFF 6.0 に完全に準拠している。それ故、拡張機能は、TIFFがサポートするラスタデータの範囲を制限しない。

つまり、タグのセットを使用して、広範囲のジオリファレンス情報を格納し、地理座標系と投影座標系のニーズに対応させている。

投影方法(地図)、座標、楕円、測地系などの正確な位置情報を参照する必要性に応じた情報が追加されている。

投影には、UTM、米国国家平面、ナショナルグリッド、Transverse Mercator、Lambert Conformal Conicなどの基本投影タイプがある。

3.3.3 座標変換

GeoTIFFの目的は、ラスタデータセット内の地理参照された場所の明確な識別を可能にすることである。

GeoTIFF命名法では、「ジオリファレンス」とはラスタ空間をモデル空間に結びつけることを指し、「ジオコーディング」は、モデル空間がどのように地球上の点に座標を割り当ててくるかを定義することを指す。

ほとんどの場合、モデル空間は2次元のみであり、その場合、KとZの両方をゼロに設定する必要がある。この第3の次元は、3Dデジタル標高モデルおよび垂直座標系に対する将来のサポートを予期して提供される。

3.3.4 GISとGeoTIFF

GeoTIFFは、衛星画像データユーザーの間では事実上の標準になっている。

GeoTIFFをサポートするほとんどすべての標準GISおよびImage Processingパッケージは、世界中のさまざまなGISアプリケーションの標準イメージファイル形式である。

4 三次元形状を表現するデータ

4.1 3次元データファイル交換

3次元形状の表現には、stl形式がある。三次元形状を小さな三角形の集合体として表現するシステムである。そのシステムでは、色やトポロジーデータなどを表現できない。またカーブ形状などの表現も行うことが出来ない。しかしデータ構造が簡単であることからラピッドプロトタイピングの分野では標準フォーマットとなっている。

オブジェクトの形状は、三つの頂点の座

標と法線ベクトルにより定義される三角形ポリゴンであるファセットの集合により表現する。stl形式では、ASCII STL形式と、バイナリ STL形式があるが、今回使用したASCII形式について述べる。

ASCII STL形式では、最初の行は以下の文で始まる。

solid name

nameはオプションである。

このあとに次に示す三角形データが続く。

```
facet normal ni nj nk
  outer loop
    vertex v1x v1y v1z
    vertex v2x v2y v2z
    vertex v3x v3y v3z
  endloop
endfacet
```

5 3Dプリンタ

3Dプリンタは、uPrint SEである。モデル材は、ABSplus 熱可塑性プラスチックを使用している。ABSplusは、サポート材は、SR-30 可溶性である。造形エリア (X × Y × Z)は、203 × 152 × 152 mmで、積層ピッチは、0.254 mmである。

3Dプリンタは、STL形式を受け取れるが、このプリンタでは、ソフトであるCatalystEXが、STL形式から印刷データに変換する。

6 試作について

作業の流れは次のようになる。

3600×3600画素、16ビットのTIFF画像から、世界遺産に必要な部分を抽出する。

そして、3Dプリンタで出力する。

図 1 抽出された世界遺産

図 2 南北に区切った世界遺産の高さ

図 3 東西に区切った世界遺産の高さ

図 1 に抽出した画像を示す。

図 2 と図 3 に、シーギリヤ・ロックの断面図を示す。

GeoTIFF画像の形式のこのデータは、画面上では 2D 画像に見えるが、図 2 と図 3 にあるように高さを持つために STL データに変換できる。

そして、抽出した画像を STL データに変換し、3D プリンタで印刷出力した。

7 考察

このように地理空間情報を利用すると、

色々と便利なことが出来る。

しかし、一般の人が、日本以外の画像を自在に扱って 3D プリンタに出力することがどうなるのか、スリランカがそれを禁じたらどうなるのか。

3D データのファイルは空間情報基盤として位置付けられており、GIS や CAD などのアプリケーションで利用するにあたっては、各アプリケーションが必要とする分類や構造への加工や属性の追加が必要となる。

そのため、3D データは標準化された分類と単純なデータタイプ、加工しやすい構造となっている。3D データのファイルは GIS アプリケーション等で表示させるが、そのまま読み込み表示できるアプリケーションは少ない。

今回には、画像データ、3 次元データ、そして 3D プリンタの出力ファイルに変換した。

国土地理院では、主に地方公共団体に対し、地域に密着した詳細な地理情報である 3D データのファイルを誰もが利活用できるよう電子国土の背景データとして発信するよう呼びかけがされている。

互換性の問題を低減するためのサブセットが提案されるが、必ずしもその基準は守られない。

8 まとめ

スリランカにある世界遺産シーギリヤについて、ALOS グローバルデジタルサーフェスモデルを使用して 3D プリンタで印刷した。

参考文献

- [1] 宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター：「ALOS 全球数値地表モデル (DSM) "ALOS World 3D - 30m"」, 2015.