

地理院地図 3D の公開

Public release of the GSI Maps 3D on the Internet

地理空間情報部 高桑紀之・大木章一・藤村英範・岡安里津

Geospatial Information Department

Noriyuki TAKAKUWA, Shoichi OKI, Hidenori FUJIMURA and Ritsu OKAYASU

応用地理部 佐藤壮紀

Geocartographic Department

Takenori SATO

要 旨

地形図等では等高線を用いて地形を平面上に表現しており、地形を理解するには一定の判読力が必要である。そこで地理院地図から配信している地図タイルや標高タイルを利用して、Web ブラウザ上で日本全国どこでも任意の視点から立体化した地図を見ることができ、且つ 3D プリンター用のデータも作成できる「地理院地図 3D」サイトを構築し、誰でも地形を直感的に理解できるようにした。

地理院地図 3D は、ユーザーが地図上で選択した任意の場所、範囲の標高タイルを取得し、WebGL と呼ばれる技術で立体モデルを作り、その地表面に、該当する標準地図や電子国土基本図（オルソ画像）を貼り付けて表示する。この立体化の処理過程には WebGL や HTML5 の Canvas を始めとする最新のインターネット技術を利用しており、それら新技術特有の技術的課題に取り組みつつ、3D プリンター用データとして出力する機能については、ファイルフォーマットなど外部の専門家などの技術的助言を受けつつ実現した。

今後は、ダム、橋梁等の社会資本を地理院地図 3D 上で表示し、その管理に資するような機能改良をしていく予定である。

1. はじめに

国土地理院は、紙、CD/DVD、インターネット等の媒体で地図・空中写真の提供を行っている。しかし、これらの地図・空中写真は、ほとんどの場合上空から地表面を見たときの状態を表したものであり、地図・空中写真から地形など実際の空間を理解するには一定の判読能力が必要とされる。これに対し、立体的に表現された地図・空中写真は、地形や地表の状況を直感的に理解できるという長所がある。

国土地理院では、平成 5 年から数値標高モデル（DEM）の提供を行っており、地図・空中写真と数値標高モデルを組み合わせることにより、地理情報システム（GIS）等のソフトウェア上で鳥瞰図の作成などが可能であった。しかし、これらの作業は、ソフトウェアの操作に一定の知識や技術を必要とす

ることから、決して容易なものではなかった。

一方、近年の Web ブラウザの進化により、多くの Web ブラウザで三次元コンピュータグラフィック（3D CG）を表示することが可能となった。また、印刷技術の世界では、3D プリンターが急速に普及しつつある。

このような動向を受け、国土地理院が整備・提供している地図情報と標高データを組み合わせることにより、三次元表現の地図を容易に作成・閲覧できる地理院地図 3D を構築し、平成 26 年 3 月に公開した（図-1）。



図-1 地理院地図 3D の表示例（筑波山）

これにより、特別な知識やソフトウェアがなくても、誰もが簡単な操作で日本国内の任意の場所の 3 次元地図が作成でき、地形をわかりやすく表現出来ることから、様々な場面での利活用が期待される。

しかしその実装にあたっては、今までの地理院地図のように単に平面として表示するのとは違う技術が必要とした。以降、ブラウザで三次元表示するための WebGL 技術やそれを利用するにあたっての課題等について説明する。

2. WebGL

地理院地図 3D の設計方針として、サーバ側で三次元計算をしてからブラウザに結果を表示する方法では、サーバ側に大きな負荷がかかり、応答性が非常に悪くなることが予想された。そこで全ての処理をブラウザ側で行うこととした。

地理院地図 3D において利用している WebGL とは、Web ブラウザ上で特別なプラグインなしで、ハードウェアによる 3D CG の計算支援を可能とする使用料を必要としない技術である。具体的には、OpenGL ES 2.0 と呼ばれるハードウェアによる計算支援体系と JavaScript を結びつけるもの（図-2）で、Internet Explorer 11, Firefox, Google Chrome や Safari といったブラウザで動作する。

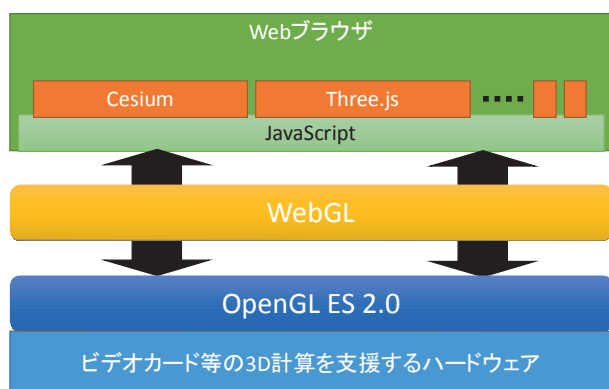


図-2 ブラウザとするレイヤー構造

開発の初期段階は、WebGL 利用に関する技術的検討から始まった。

2.1. Cesium

JavaScript から WebGL を利用するにあたって、その目的に応じた様々な JavaScript API を利用することができる。

最初に検討したものは Cesium と呼ばれる API で、平成 25 年 12 月に公開した自由に回転させることができる月球儀において利用した（図-3）。

Cesium は、ポリゴン等の三次元要素を緯度経度で指定して表示できるなど、地理空間情報に特化した API を持っており、また地理院地図の技術情報として地理院地図タイルを並べて貼り付けて地球儀のように表示するサンプルコードが掲載されている（図-4）。

しかし Cesium は高度な API を持つ反面、現在のところ IE で動作しないうえ、利用する機能によっては更に動作環境が限定される。

また地形を表現する標高タイルの読み込み手法についてはドキュメントも少なく、現在のところ良い解決方法が見つかっていない。

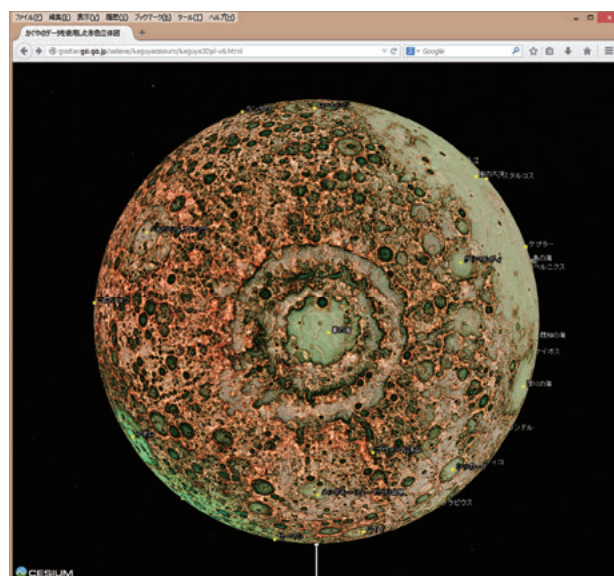


図-3 Cesium を利用した月の赤色立体地図



図-4 Cesium を利用した地理院地図

このような理由から別の API を探すことにした。

2.2. three.js

three.js は、Cesium のように地理空間情報に特化しているわけではないが、3D CG としてモデル化、レイトレーシング、アニメーションまでの必要な機能を高度に利用できるようにした API である。

国土地理院において three.js を最初に利用したのは、平成 25 年 12 月に公開した、月の赤色立体図の局地的な立体地図や西之島の立体地図である（図-5）。

地理院地図 3D においては、Cesium において地形表現の手法が解決できなかったことと、対応ブラウザが少ないことから、three.js を利用することとした。



図-5 three.js を利用した西之島(12月4日)の立体地図

3. 3D CG の基本要素と処理の流れ

3D CG における基本的な要素は、対象物（メッシュ）、光源（ライティング）、視点（カメラ）である（図-6）。

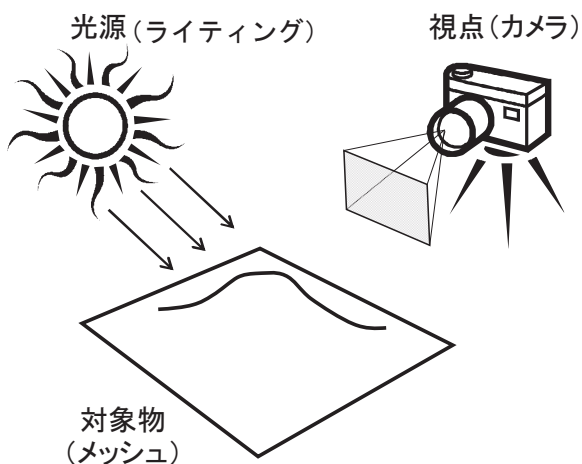


図-6 3D CG の基本要素

メッシュは更に、その形をポリゴンとして表現する形状（ジオメトリ）と、その表面の材質を表現する質感（マテリアル）で構成される。

ジオメトリは、形状を頂点と面で表現するだけでなく、頂点と面に向きを持った法線ベクトルを設定することで、陰影を制御することができる。

マテリアルは、色や光の反射・散乱などを指定することで材質を表現できるとともに、表面に画像データ（テクスチャ画像）を貼り付けて表現することもできる。

これら要素の情報を基に、レイトレーシングと呼ばれる光線のシミュレーション計算を行い、その結果が 3D CG としてブラウザの画面に表示される。

以下に、three.js の JavaScript プログラミングにおける処理の流れを示す。

1) 初期化

WebGL オブジェクトに対して Web ブラウザ上での表示範囲などを指定して初期化する。

2) 地形ジオメトリの作成

格子状のポリゴンの各頂点に対して、標高値を Z 値として入力し、地表面の形状を表現するジオメトリを作成する。

3) 地表を表すテクスチャ画像の作成

マテリアルとして、地形ジオメトリに地図画像や空中写真等の画像を貼り付ける。貼り付け方向や投影方法、位置など詳細に設定することもできるが、格子状の単純なジオメトリの場合、単純に一枚の画像を地形ジオメトリ全体に貼り付けることができる（図-7）。

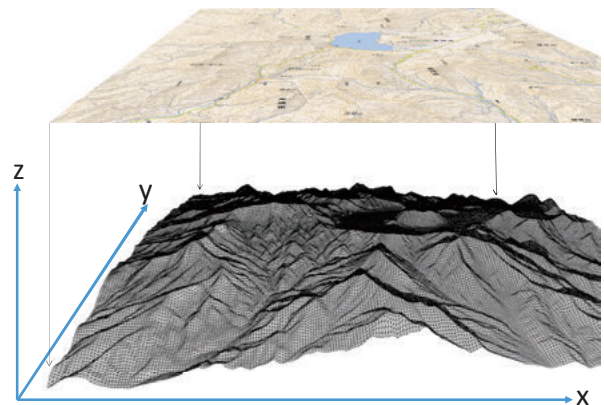


図-7 地形ジオメトリとテクスチャ

4) メッシュの作成

ジオメトリとマテリアルを合わせてメッシュデータを作る。

5) ライティングの設定

光が無いと、レイトレーシング計算はできず、結果的に暗闇の画像または陰影や質感の無い単純な 3D モデルになってしまう。

光源には、環境光と呼ばれる画面全体に一定の明るさを与える方向性の無い光や、平行光線やスポットライトのように方向性のある光がある。影 (shadow) や陰影 (shade) を付加する場合は方向性のある光源が必要である。

地理院地図 3D では、環境光源と平行光源の二つを設定している。

6) カメラの設定

最後に視点となるカメラを設置する。物体を様々な方向から見るようにする場合、対象となるメッシュを回転、移動させることで表現することもできるが、メッシュを固定し、カメラを回転、移動することでも同様の効果を得ることができる。

7) レンダリング

最後に、設定した要素を基に3次元モデルを作成する。

なお地理院地図 3D の地図画像テクスチャには既に陰影が画像として描かれているため、地表面メッシュに対しては光源情報等を基にしたレイトレーシング計算をしないように設定し、画像の陰影と計算による陰影が重複に表現されないようにしている。

4. 地理院タイルの利用

地理院地図 3D の地形ジオメトリは標高タイルからデータを作成し、また地表面に貼り付けるテクスチャ画像は、標準地図タイル、電子国土基本図（オルソ画像）等の画像タイル（以下、「地図・写真タイル」という。）を利用している（図-8）。

■地図や空中写真

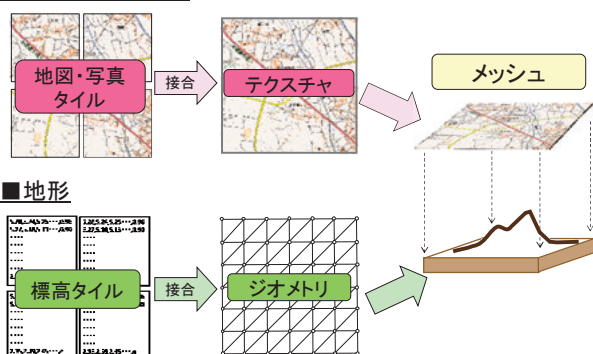


図-8 タイルの接合と貼り付け

地形を表現するジオメトリについては、地理院地図の地理院地図タイルの各ズームレベルの範囲について256列256行の格子状に標高値が並んだテキスト形式（カンマ区切り）の標高タイルを接合して作成する。読み込まれるタイル数は、 $3 \times 3 = 9$ 枚または $4 \times 4 = 16$ 枚で、ジオメトリの頂点数が多くなるほどブラウザでの処理の負荷が大きくなり応答性が悪くなるため、接合した標高タイルのデータを間引いて、最終的に頂点数が 257×257 の格子状ジオメトリにしている。

テクスチャ画像については、標準地図タイルや電子国土基本図（オルソ画像）等の画像タイルを使うが、標高タイルより1段階大きなズームレベルのものを読み込むようにしており、そのため読み込まれるタイル数は、 $6 \times 6 = 36$ 枚または $8 \times 8 = 64$ 枚となっている。これは標高タイルがズームレベル14までしか存在しないため、同じズームレベルに合わせるとズームレベル15～17に設定されている2万5千分1地形図相当の詳細な地図画像を利用できないからである。

4.1. Canvas を利用した画像処理の制約

テクスチャ画像の接合には、HTML5 の仕様として実装されたCanvasと呼ばれるJavaScriptによる画像処理機能を利用している。しかし、このCanvasにはクロスドメインにある画像に対してセキュリティ上の制約がある。

例えば、図-9のようにドメインbbb.go.jpのCanvasに対して別のドメインaaa.go.jpから画像データを読み込んだ場合、そのCanvasで処理した画像をWebGLや他のCanvasに転送できない。



クロスドメイン(別サーバー)にある画像の場合、転送時にセキュリティエラーとなる。

図-9 Canvas のクロスドメインの制約

このようなクロスドメインの制約があると、地図・写真タイルを常にCanvasのある同じサーバ上に設置する必要があり、現在の地理院地図 3D サイトは、地図・写真タイルや標高タイルを配信しているホスティングサーバ上に設置している。

5. 3D プリンター用データの提供

昨今では、三次元データを立体的に造形する3Dプリンターが、基本的な特許が切れたことによる低価格化等により、個人でも利用し易くなっている。低価格の3Dプリンターの多くは、フィラメントと呼ばれる樹脂を熱で融解して少しずつ積み上げていく熱溶融積層型であり、形状は出力できるがテクスチャ画像の出力はできない。

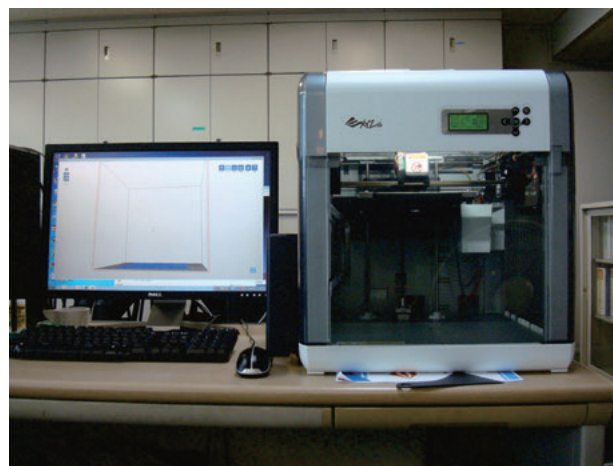


図-10 低価格の熱溶融積層型3Dプリンター

地理院地図 3D では、ブラウザで表示した 3D モデルを 3D プリンターで出力できるように STL 形式（拡張子が”stl”）と VRML 形式（拡張子が”vrl”）の二つのフォーマットに対応したファイルをダウンロードできるようにしている。

STL 形式のファイルは、上記のような形状しか出力できない 3D プリンター用のものである（図-11）。

VRML 形式のファイルは、地表面に貼り付けたテクスチャ画像も含めてカラー印刷できる 3D プリンター用のものであり（図-12）、このような 3D プリンター自体は非常に高価である。個人がカラー印刷された立体模型を手に入れる場合は、民間の出力業者に依頼することがほとんどと思われる。

3D プリンター用のファイル作成は、JavaScript では生成できないため専用の Web サーバを用意し、要求に応じて処理している。

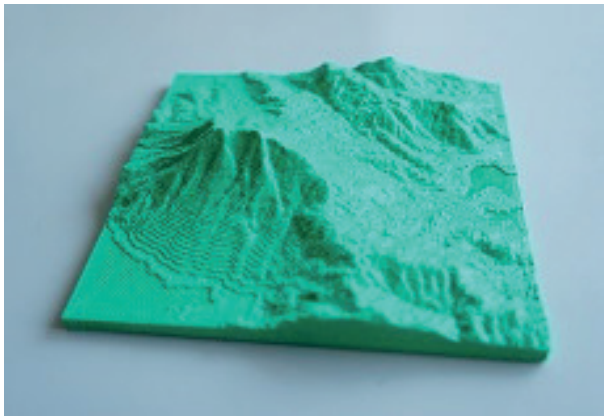


図-11 STL 形式で出力した筑波山（色は材料色）



図-12 VRML 形式でフルカラー出力した西之島

また材料色だけの立体模型の応用として、プロジェクターを使って立体模型の地表面に、地図や重ね合わせ情報を映像投影してプレゼンテーションとし

て利用するプロジェクションマッピングと呼ばれる方法を検討した（図-13）。このような利用は、フルカラー印刷されない安価な立体模型であっても様々な情報をその場で切り替えながら見せることができるという利点がある。

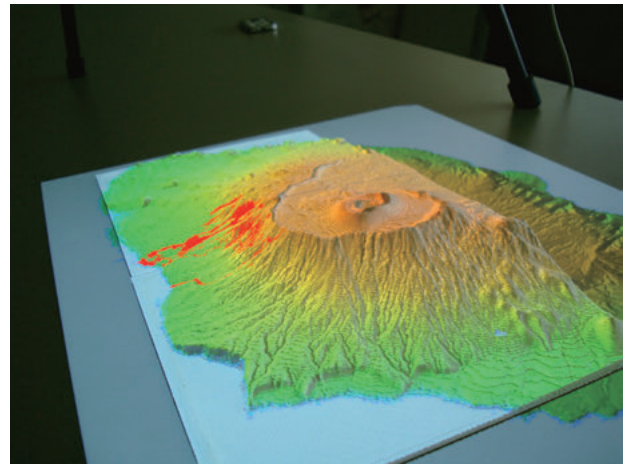


図-13 立体模型へのプロジェクションマッピング

伊豆大島に色別標高図と土砂崩れの範囲図を重ねて表示

6. まとめ

地理院地図 3D を公開することで、今まで 2 次元で公開してきた平面地図を誰でも簡単に 3 次元で閲覧できるようになり、地形等に関する情報をより直感的に理解できるようになった。

しかし三次元の情報処理に特有の大量のデータ処理の効率化や制約、複雑な処理プロセスの理解といった様々な課題がある。これらを解決してより使いやすいものとするとともに、またダム、橋梁等の社会資本を地理院地図 3D 上で表示し、その管理に資するような機能改良をしていく予定である。

（公開日：平成 26 年 7 月 28 日）

参 考 文 献

Khronos Group (2013): “WebGL Specification Version 1.0.2.3”, <https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/1.0/> (accessed 20 Jun. 2014).