

地形データの立体視化の実践

Practice of Stereoscopic Visualization of Terrain Data

青木 成一郎, 作花 一志 (京都情報大学院大学)

Seiichiro Aoki, Kazushi Sakka

(The Kyoto College of Graduate Studies for Informatics)

Abstract

The advantage of stereoscopic visualization of numerical data is easy to grasp, including depth information, from visibility improvement, and it is very useful for data analysis. In this paper, we describe the creation and method of stereoscopic video of terrain data conducted by students under the guidance of the authors.

1. はじめに

数値データの3D可視化は、分野を問わず、これまで数多く行われてきたが、制作及び再生に必要な機材が高価であったことや使いやすい制作ツールがあまり無かったことから、立体視化まで行った事例は少ない。しかし、立体視化による可視性向上の恩恵は大きく、左右及び上下方向だけでなく、奥行き方向の情報も視点変更することなく同時に把握でき、立体的な構造をとらえることができる。図1は、筆者らが松本琢磨氏（名古屋大学）と共に作成した太陽表面の磁場構造を立体視化した動画のスナップショットである。太陽表面の磁場データ（SOHO/MDI）を元にforce-free近似（プラズマから磁場へのフィードバックを無視する近似）を用いて磁力線（図1のチューブ状構造）を計算し、立体視化している。立体視化することで、重なっている磁力線の立体的な構造を、視点変更することなく把握することができる。

立体視化は、研究面[1]のみならず、教育面においても効果が大きく、立体視化したコンテンツは優れた教育ツールとなる。著者ら（青木と作花）が専門とする天文学の分野におけるコンテンツの実例には、国立天文台の4次元デジタルプロジェクトが制作及び整備する（立体視）天体シミュレーターMitaka（ミタカ）及びシミュレーションデータ等を用いた立体視3D動画などがある。これらのコ

ンテンツは公開[2]され、誰でも自由に無償利用することが可能である。これらのコンテンツを用いて立体視投影しながら大学教員が行う小中学校での出前授業や、科学館・博物館や天文台における展示等が活用事例となる。筆頭著者の青木も京都大学において、太陽のX線映像や磁場映像（図1）などの立体視3D動画群「Kyoto4D」を制作指揮[3]し、これらの動画コンテンツとMitakaとを組み合わせ、生涯学習施設、予備校、小学校などでの講演を行ったり、博物館や天文台での展示[4]において上映及び運用したりしてきた（のべ見学者数3万5千名弱）。筆頭著者が立体視コンテンツを教育ツールとして活用する[5]理由は、映像に興味を持たせやすいと同時に、直感的に現象を把握しやすいためである。また、視聴者との対話的要素を含めた運用も容易であり、科学コミュニケーションツールとして活用しやすい利点もある。なお、近年では、京都大学における「地（知）の拠点整備事業」（2015年度）及び学内授業（天文台で学ぶ地域科学コミュニケーション、2015年、2016年）において、筆頭著者はこれらのコンテンツを科学コミュニケーションスキルを修得するツールとしても活用し、解説者育成をしている（のべ育成数104名）。

前述した天文映像コンテンツの立体視化に関しては稿を改めて紹介することとし、本論文では、これらの経験と実績を踏まえて2016年度の京都情報大学院大学の修了プロジェクト開発・研究において著

者らの指導の下に大学院生が行った立体視化について述べる。

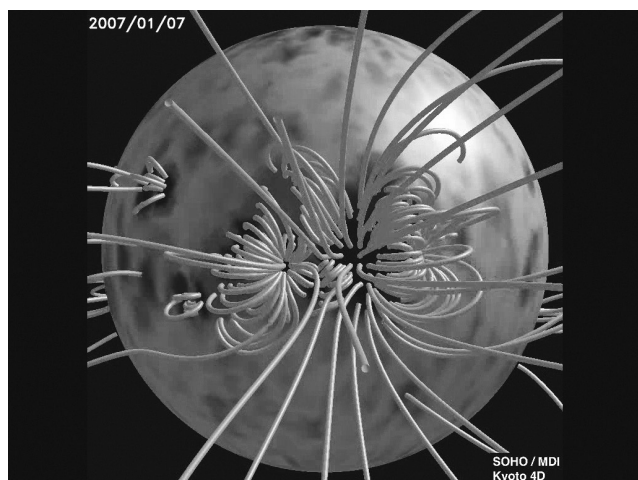


図1 筆頭著者(青木)が制作指揮した天文映像コンテンツ「太陽と磁場構造」球の表面の模様は、太陽表面での磁場のN極及びS極を表し、チューブ状の構造は磁力線を表す。

2. 3D 映像立体視化

本節では、京都情報大学院大学の大学院生が著者ら(青木と作花)の指導の下、修了プロジェクト開発・研究(修士レポート「Rによる地形データの可視化」(佐々木拓夢氏(2017年3月修了))において行った立体視化について紹介する。

2-1 3D 可視化

前述のプロジェクトでは、GIS (Geographic Information System; 地理情報システム) データとして、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを用いた。用いたデータは水平方向に10m間隔のメッシュ、高度方向に5mの精度を持つ、地形図の等高線データ[6]である。今回は、国土地理院のウェブサイトから取得したXML形式のデータを、GeoTiff (Georeferenced Tagged Image File Format) 形式のデータへ変換したものを利用した。なお、GeoTiff形式は画像フォーマットであるTiff形式を拡張したもので、埋め込まれたジオリファレンス情報を元に、標高などの計算をすることができる。なお、変換には、「基盤地図情報 標高DEMデータ変換ツール」(株式会社エコリスが無償公開する変換ツール)[7]を利用した。ところで、国土地理院提供のデータは、日本全国のエリアごとに分割されており、今回立体視化の対象とした富士山を中心と

する東西及び南北方向へ22.5km四方のデータは、複数のエリアにまたがるため、前述によって変換した複数のGeoTiffデータを結合し、結合したGeoTiffデータを読み込み、R言語で処理した。なお、R言語による処理ソフトウェアとして、無償で利用可能な、Rstudio[8]及びEZR[9]を用いた。なお、用いたデータサイズは、一辺が2,250メッシュの約500万(5,062,500)のセルデータである。このサイズのデータ処理でも、標準的なスペックのノートブック型PC(ただし、RAMの容量は16GB程度必要)を用いて、contour図生成に1分程度、鳥瞰図生成に20秒程度と、計算コストがそれほど膨大にならないことも、RstudioやEZRの特徴である。

GeoTiffデータをR言語で処理するライブラリとして、rgdal及びrgl(無償公開)を用いて、contour図や鳥瞰図を作成した。なお、rgdalはGISデータ読み込みに必要な関数をパッケージ化したライブラリであり、GeoTiff形式のデータなどのラスターデータの他に、GPX (GPS eXchange Format)形式(GPSロガーで使われるGPS測位データの形式の1つ)などのベクターデータなどを読み込むこともできる。今回は、ラスターデータを読み込む関数であるreadGDALを用いてGeoTiffデータを読み込んでいる。本稿では、前述の富士山近傍22.5km四方の標高データを用いて作成したcontour図及び鳥瞰図を紹介するが、それぞれ、spplot及びpersp3dという関数を用いることで生成できる。

標高モデルデータの標高情報を元にspplotを用いてcontour図を作成したものが図1である。海拔0mから4,000mまでを16等分割し、250mの高さごとに色分けしている。色づけに用いたカラーパレットはRstudioやEZRに標準的に実装されているterrain.colorsである。なお、鳥瞰図(後述)において、自然の地形をイメージしやすい色づけのため、このカラーパレットを用いた。

今回、鳥瞰図から立体視映像化したため、ここで鳥瞰図の作成について述べる。鳥瞰図の生成には、rglライブラリを用いたが、このライブラリを用いると、3次元図の作成及び作成した3次元図の視点を移動したり、ズームインやズームアウトなどのインタラクティブな操作を行ったりすることができる。今回は、rglライブラリで定義される関数のうち、persp3dを用いて鳥瞰図を作成した。図2が富士山近傍の鳥瞰図である。大沢崩(富士山正面の谷部分)

を正面に、富士スバルラインを大沢崩の左方のジグザク状模様（中央左下）として確認することができる。道路の形状まで確認可能であるのは、東西南北方向に 10m ごと、高さ方向に 5m ごとの精密なデータを使用したからである。

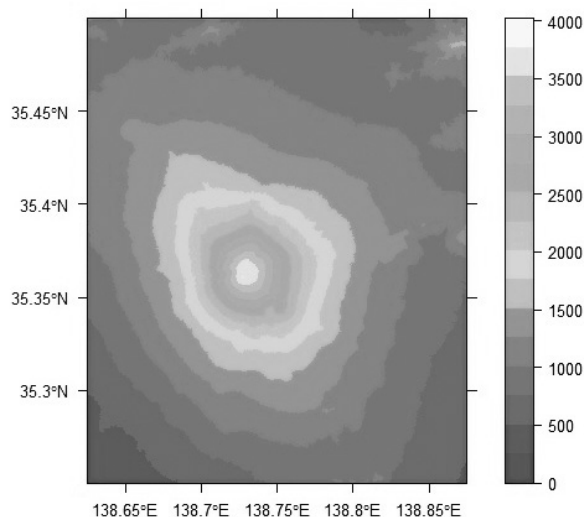


図2 富士山の contour 図
250m ごとの高さごとに色分けしている。

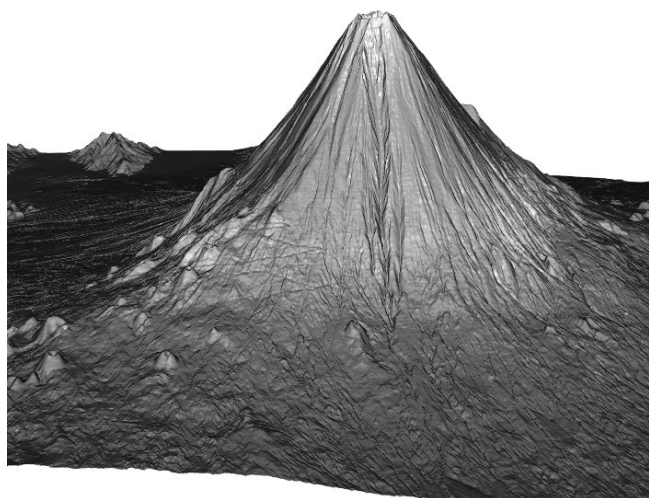


図3 富士山の鳥瞰図
大沢崩（富士山正面の谷部分）を正面に、富士スバルラインを大沢崩の左方のジグザク状模様（中央左下）として確認することができる。

以上が、3D可視化に関するものである。鳥瞰図作成まで行った操作をまとめると以下となる。

- (1) 国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルデータの変換（XML から GeoTiff へ）
- (2) GeoTiff データの結合（データが複数エリアにわたる場合）
- (3) gdal ライブラリの関数 readGDAL を用いた

Rstudio（または EZR）への読み込み

- (4) rgl ライブラリの関数 persp3d を用いた鳥瞰図作成（カラーパレット：terrain.colors）

このようにして作成した鳥瞰図を元に立体視化する方法は、次節で述べる。

2-2 立体視化の方法

今回は、静止画よりも全体的な構造を把握しやすい、動画の立体視化を行った。具体的には、富士山を視点の中心に置いた鳥瞰図で、水平方向に 180 度視点変更する動画を作成している。富士山からの距離は変更せずに視点変更しているため、富士山を半周分周回する鳥瞰図の動画となる。この方法による視点変更の場合、立体視化動画を簡易に制作できるため、今回、この方法を用いた。また、動画のフォーマットとして Microsoft Windows において再生環境の制限を受けにくい、Windows Media Video (wmv) を用いた。立体視動画の形式は、図4のように左眼用映像と右眼用映像を横並びに並べた、サイドバイサイド形式とした。なお、サイドバイサイド形式は、民生用 3D プロジェクタや 3D テレビ等で広く採用されているアクティブシャッター（時分割）方式の立体視システムにおいて標準的な形式であり、汎用性が高い。また、左眼用動画と右眼用動画を別の動画として用意し、立体視用動画としてサイドバイサイド形式で結合しているため、例えば左眼用映像のみを通常の 2D 投影用プロジェクタで投影したり PC のモニターで閲覧したりすることで、2D 投影・閲覧用コンテンツとしても利用することができる。従って、今回制作したコンテンツは、立体視システムが必須の限られた環境でのみ投影・閲覧可能なものではなく、汎用性が高いコンテンツである。

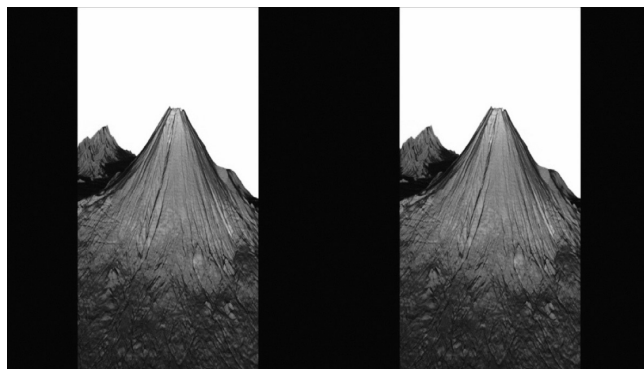


図4 サイドバイサイド形式の立体視動画
左眼用映像と右眼用映像の視差は 1 度としている。

今回の左眼用及び右眼用動画は、鳥瞰図の静止画

のスナップショットから作成した。左右の眼の視差は1度としているため、この視差にあわせて、本来は左眼用と右眼用動画の元となるスナップショットは独立して用意する必要があるが、特に今回は、富士山を中心に水平方向に回転する鳥瞰図の画像を用いるため、視差を水平方向の回転に読み替えることができる。つまり左眼用画像に対して、右眼用画像は視線の方向を1度ずらした画像を用いることで視差の効果を実現している。そのため、左眼用映像及び右眼用映像の元となる静止画を独立に用意する必要はなく、1度ずつの水平方向の回転とともに連続的に生成したスナップショットのうち、左眼用映像作成に用いるスナップショットのセットと右眼用映像作成に用いるセットの開始と終了の位置（鳥瞰図の画像ファイル番号）を図5のように1つずらす方法をとっている。図5の、点線枠は左眼用動画生成に用いた画像ファイルのセットの例、一点鎖線枠は右眼用動画生成に用いた画像ファイルのセットの例である。



図5 左眼用動画と右眼用動画に用いた静止画セットの違い

点線枠は左眼用動画生成に用いた画像ファイルのセット例、一点鎖線枠は右眼用動画生成に用いた画像ファイルのセット例である。例えば左眼用映像には huji000.png から huji011.png、右眼用映像には huji001.png から huji012.png を用い、使用する連番ファイルのセットを1つずつずらしている。

この手法に基づき、次の方法でサイドバイサイド形式の鳥瞰図の立体視動画を制作した。

- (1) 富士山を視点の中心に置き、Rstudioにおいて、関数 `rotate3d` を用いて鳥瞰図を水平方向に右回りに180度の角度を回転するよう指定し、関数 `movie3d` を用いて鳥瞰図を角度1度回転させるごとにスナップショットを1枚、連番のファイル名で保存した。これにより、富士山を中心に据え、水平方向に右回りに1度ずつ視線方向が異なる、回転角度180度分のスナップショット（保存順の連番ファイル名で181枚）のセットが生成される。
- (2) 保存画像ファイル名の番号が0番から179番を連番の順番に結合して左眼用動画を作成する（図5点線枠部分相当）。また、画像番号が1番から180番の順番に結合した動画を右眼用

動画として別途作成する（図5一点鎖線枠部分相当）。

- (3) 動画編集ツールを用いて、左眼用動画と右眼用動画を左右横並びにして結合する（サイドバイサイド形式立体視動画）。この際、出力する動画は、Full HD（1920 × 1080）の解像度とし、動画フォーマットは Windows Media Video（拡張子 `wmv`）とした。

上記（1）から（3）の作業により、解像度が Full HD の `wmv` フォーマットで、サイドバイサイド形式立体視動画を制作した。図4が実際に制作したサイドバイサイド形式の動画のスナップショットである。図4の左側の画像は左眼用動画、右側の画像は右眼用動画である。図4において左右に並んだ画像に違いを感じることができないのは、左右の動画の視差が1度と非常に小さいためである。

この手法により、立体視化映像を、佐々木拓夢氏が京都情報大学院大学修士プロジェクト開発・研究（修士レポート「Rによる地形データの可視化」）の一環として制作し、最終試験において立体視投影を行った。

3. 今後の課題

立体視動画は、オブジェクトが重なっている場合、前後の位置関係を視点変更せずとも把握できることが大きな利点である。今回は、第1段階として、地形データを元に富士山近傍の標高データを立体視化したため、立体視化の利点はあまり大きくはなかったが、メッシュごとに雨量データをヒストグラム化したり、気温データをグラフ化したりしたデータを標高データの上に載せるなど、他の観測情報を付加することでオブジェクトが重なることが考えられる。そのような場合、立体視によって視点変更せずに全体的な状況を一瞥で把握でき、その後の分析に有用となることが期待される。また、動画は時系列情報を持つため、それら観測データから作成した動画によって時間変化を把握し、分析に用いることもできる。また、立体視映像のビデオコンテンツなどのeラーニングコンテンツにおける効果的な活用も今後考えていきたい[10]。

4. まとめ

京都情報大学院大学の修了プロジェクトにおける学生指導により、地形データを用いた立体視動画を、R言語を用いて制作した。制作したコンテンツは富士山を中心に半周周回する鳥瞰図の立体視動画である。元となるデータは、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルであり、元のXML形式からGeoTiff形式へ変換の上で使用している。R言語における処理には、Rstudio及びEZRを使用し、ライブラリrgdalとrglを用いてGeoTiffデータの読み込みと鳥瞰図生成を行っている。このデータから、富士山を中心に水平方向に1度ごとに回転させながら鳥瞰図のスナップショットを生成し、それを元に左眼用動画と右眼用動画を作成した。これらの動画をサイドバイサイド形式で結合し、立体視動画を制作した。今後、雨量や気温データなどの観測データを標高データへ載せるなどすることで、立体視の利点が分析に生かされることが期待される。

謝辞

本論文執筆にあたり、資料及びデータを提供して頂いた佐々木拓夢氏に、謹んで感謝の意を表する。

また、本論文の元となる研究の一部は、JPSP 科研費 15K01099, 16H3087 の助成を受けたものである。

【参考文献】

- [1] J. Okumura, D. Mineyama, H. Watanabe, T. Nakamura, K. Otsuji, T. Matsumoto, S.I. Aoki, E. Asano and K. Shibata. “Three Dimensional Visualization of the Solar Corona using Soft X-ray Images taken with Yohkoh/SXT and Hinode/XRT”. in The 1st ICSU World Data System Conference, 2011. <http://pacocat.com/sun/IGY50.pdf>
- [2] 国立天文台 4 次元デジタル宇宙プロジェクトウェブサイト <http://4d2u.nao.ac.jp/t/index.html>

- [3] “京都大学花山天文台での天文教育普及活動& 4 次元デジタル宇宙シアター”. 2015, <http://www.museum.kyoto-u.ac.jp/modules/event/content0513.html>
- [4] “京都大学総合博物館特別展「明月記と最新宇宙像」関連イベント 4 次元デジタル宇宙シアター”. 2014, <http://www.museum.kyoto-u.ac.jp/modules/special/content0044.html>
- [5] “京都大学 4 次元デジタル宇宙シアターによる天文普及活動”. 宇宙ユニットシンポジウム, 2017, https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/etc/symp10/short_presentation/short_presentation_10_61.pdf
- [6] <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- [7] <http://www.ecoris.co.jp/contents/demtool.html>
- [8] <https://www.rstudio.com/>
- [9] <http://www.jichi.ac.jp/saitama-sct/SaitamaHP.files/statmed.html>
- [10] 青木成一郎, 作花一志. “数値データの 3D 立体視化の実践と e ラーニングにおける活用の可能性”. 情報教育シンポジウム論文集, 2017 (25), 168-171 (2017-08-10)

◆著者紹介

青木 成一郎 Seiichiro Aoki

京都情報大学院大学准教授。
東京大学大学院理学系研究科博士課程修了（博士（理学））
専門は天体物理学、可視化。
京都大学非常勤講師、関西大学非常勤講師
平成 25 年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞 受賞

作花 一志 Kazushi Sakka

京都情報大学院大学教授
京都大学大学院理学研究科博士課程修了（理学博士）
専門分野は古天文学、統計学。
元京都大学理学部・総合人間学部講師、
元京都コンピュータ学院鴨川校校長、
元天文教育普及研究会編集委員長