

3次元格子データの materialization

—3D プリンタによる“物質化”—

岡 島 悟*

1. はじめに

気象・気候の研究に用いられる数値データが高度化・多様化すると共に、近年はそれらのデータを可視化する手法もまた多様化している。「天気」では、過去にもいくつかの可視化手法が紹介されている（例えば新井ほか 2011; 小林ほか 1992）。本稿では、そのような可視化の先を行く手法の1つとして、3D プリンタを活用して3次元格子データの「物質化 (materialization)」を試みた事例を紹介する。

2. 造形対象

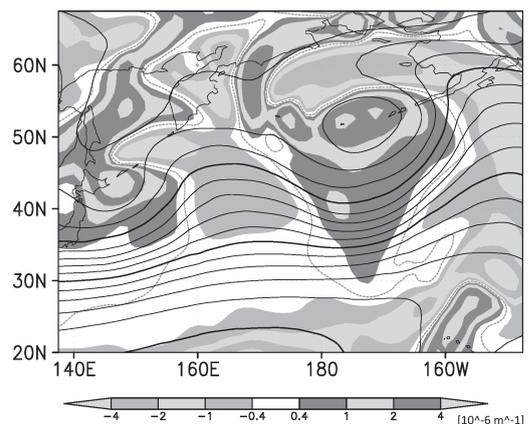
本事例では、風速場から個々の高低気圧性渦領域を特定する手法 (Okajima *et al.* 2021) により求められた、3次元的な低気圧性渦の構造を造形した。具体的には、2017年1月27日06UTCにおいて北太平洋上で局所的な曲率が $4.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ (曲率半径2,500kmに相当)となる曲面により構成される3次元領域である。

400hPa面における曲率分布を第1図に示す。使用したデータは全球大気再解析 JRA-55 (Kobayashi *et al.* 2015; Harada *et al.* 2016) である。曲率の特性によりジェット気流に伴う水平シアの影響が除かれ、50°N, 170°W 付近の切離低気圧に対応する低気圧性渦領域が明瞭となっている。一般に、このような形状は複雑な曲面から構成されるため、切削による加工が困難である。しかし、2次元断面を積み重ねていく3Dプリンタであれば造形可能であるため、3Dプリンタによる造形の有効性を示す好例であると言える。

3. 造形の手順

3D プリンタへの入力には、3D モデルデータを作る必要がある。入力用の3D モデルデータはポリゴン(多角形) から成るため、格子点上のデータを境界面の座標を記述するポリゴンの情報に変換しなければならない。3次元格子点データから直接3D モデルを作成する業務用ソフトウェアも存在するようだが、本事例では、個人で気軽に行える手順として、Linux 対応のオープンソースフリーウェアである ParaView (<https://www.paraview.org/>, 2022.1.23閲覧) と blender (<https://www.blender.org/>, 2022.1.23閲覧) を組み合わせて、入力用の3D モデルデータを作成した。この方法であれば、3DCAD (3次元コンピュータ支援設計) や、3D モデルデータの形式に関する知識は殆ど必要ない。

具体的には、①まず描画ソフト ParaView を使って



第1図 2017年1月27日06UTCにおける、400hPa面水平風の局所的な曲率 (正が低気圧性渦に対応)。灰点線は曲率のゼロ線、黒線は400hPa面ジオポテンシャル高度を表す(80m 毎)。

* Satoru OKAJIMA, 東京大学先端科学技術研究センター。

okajima@atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp

© 2022 日本気象学会

格子点データから等値面を作成しエクスポート、②そのデータを3DCG作成ソフト blender にインポートして調整を行った上で3Dモデルデータとして出力し、③3Dプリンティングサービスに入稿する、という手順である。以下、詳細を説明する。

まず、造形対象となる立体を表現する3次元格子データを ParaView でインポートし、等値面を作成する。本稿では紙面の制約により ParaView の詳細な利用法については省略するが (Ayachit (2015) 等が詳しい)、今回の事例では、ヘッダ情報を含んだ vtk というアスキー形式のデータに入力データを変換した (より正確には、vtk のうち構造点の形式)。現在では、データを vtk フォーマットで出力する python ライブラリ pyevtk (<https://github.com/paulo-herrera/PyEVTk>, 2022.1.23閲覧) も利用可能である。

なお、造形する3Dモデルは閉じた立体である必要があるため、格子点データを ParaView でインポートする前に、元の格子の上下左右前後等に適切な値 (ゼロ等) の格子点を1つずつ追加しておくことが安全である。これにより、描画した等値面が閉曲面となることが保証され、後の工程での手間を省くことが出来る。

次に第2図のように、ParaView の Contour 機能を利用して等値面を描画する。細かな調整は次の blender で行えるため、この段階では第2図のように宙に浮いている曲面が存在していても良い。造形したい等値面が概ね描画できたら、メニューからエクスポートを選び、blender が対応している x3d という形式 (XML ベースの3DCG フォーマット) で保存する。

次に、保存した x3d ファイルを3DCG作成ソフト blender でインポートする。格子点間隔に対応した多数の頂点が設定され、小さな三角形ポリゴンの集まりとしてオブジェクトが表示される (第3図)。この時、

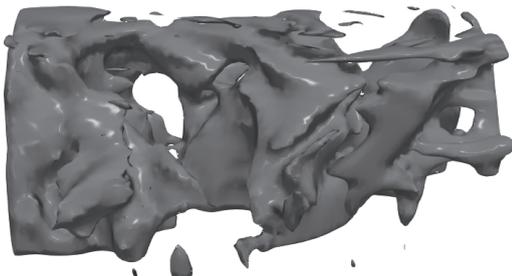
起動時に表示されている立方体は不要なので削除しておく。通常の3Dモデルや実在する物体のスキニングデータと異なり、宙に浮いている等値面など、不要なポリゴンが存在する可能性が高いため、それらを編集モードで除去しておく。穴が出来てしまった場合には忘れずに埋めておく (辺を選択して F キーを押す方法が楽)。

最終的な造形後に土台があると飾りやすい。ParaView にインポートする段階で土台部分のデータを結合することも可能だが、blender で直方体のオブジェクトを作成し、等値面のオブジェクトに土台として接合させることも可能である。土台がある程度の厚みを持った直方体である場合、素材の冷却に伴うたわみの防止やコストカットのため、「肉抜き」を行うことが望ましい。肉抜きには、blender のアドオン Bool Tool を有効にし、直方体や円柱などの形状を指定して切り抜くのが良いだろう。

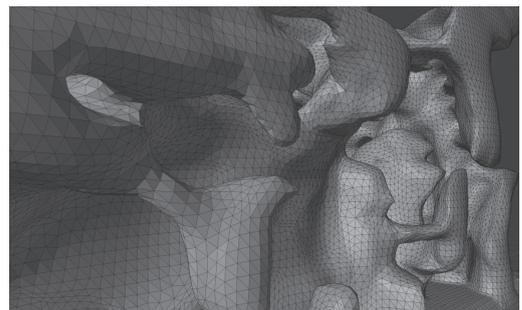
元の格子点データの解像度によっては、ポリゴンが粗いと感じる場合があるだろう。その場合は、頂点を細分化し、全ての頂点を選択した上で適当なスムージングを掛けることで、より滑らかなオブジェクトを得ることが可能である (ただし、過度な細分化を行うと処理が非常に遅くなる)。この時、スムージングには、ポリゴンの頂点を実際に動かす操作と、単に見た目を滑らかにする操作があるという点に注意したい。

ParaView で出力したファイルをインポートしたオブジェクトは、非常に大きいサイズである可能性がある。これは ParaView の入力データのヘッダに記述した数値が、blender において全て m 単位として解釈されたためである。その場合、必要に応じてサイズや位置を調整する必要がある。

必要な編集と調整が出来たら、3Dモデルデータと



第2図 ParaView で描画した、低気圧性渦の形状を示す等値面。



第3図 等値面の3Dモデルデータを blender でインポートしたオブジェクトの拡大図。

して出力・保存する。3Dモデル用のファイルフォーマットは多数存在するが、stl（三角形要素を記述した3DCADで良く用いられるフォーマット）もしくはobj（頂点や法線を記述したシンプルなフォーマット）を選んでおけば、およそどの3Dプリンティングサービスでも対応してもらえるはずである。

また、blenderは3DCG作成ソフトであるので、第4図のように、この段階でレンダリングした画像や動画を出力することが可能である。

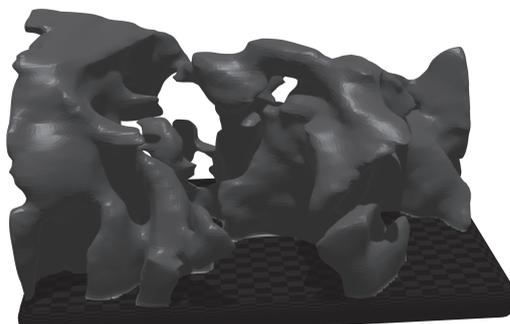
適切なファイル形式の3Dモデルデータが出来たら、後は3Dプリンタで造形するのみである。個人や組織で3Dプリンタを所有していれば良いが、高精度の3Dプリンタは非常に高価であるため、多くの場合は適当な3Dプリンティングサービスに造形を依頼することになるだろう。

オンライン入稿が可能なサービスは多く存在し、納期や料金・造形可能なサイズなど多様であるが、特に注意すべきなのは造形精度である。例えば200格子点からなる辺を8cmとして造形する場合、最低でも0.4mmの精度が必要になる。細い柱状の構造や尖った部分がある場合には、さらに高い精度が必要になる。造形精度限界はサービスにより異なり、特に造形方法や素材によって大きく左右される。第1表に主な造形方法について示した。個人利用に適した、比較的安価（数千円）に数十 μm の精度を出せる方式は、光造形もしくは粉末焼結だろう。

ファイルをアップロードすると自動で3Dモデルを評価してくれる見

積サービス (<https://inter-culture.jp/>, 2021.1.23閲覧) 等もあり、有用である。場合によってはblenderにおけるstlファイルの単位換算が上手く行かないことがあり、その場合はサイズを1,000倍にして出力する必要がある。

実際に造形した完成品を第5図に示す。サイズは長辺が約10cmで、左が光造形のナイロン系樹脂、右が粉末焼結のポリプロピレン系樹脂による。積層は写真の鉛直上向きに行っている。この写真でも、光造形の方が粉末焼結に比べて滑らかで艶のある仕上がりになっていること、また光造形に必要なサポート柱が

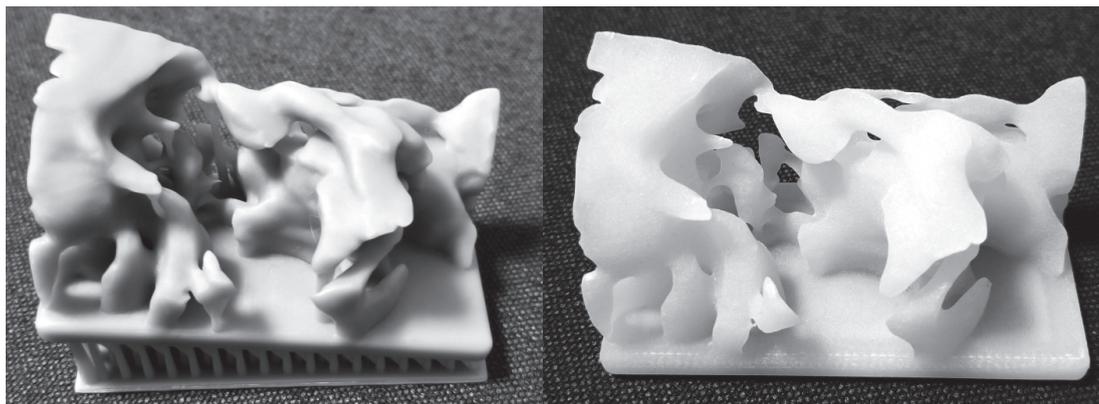


第4図 blenderでレンダリングし出力した画像。

第1表 主な造形法の特徴。

造形法	表面	サポート剤	その他
光造形	滑らか	要（柱状）	材料費安、精度高
粉末焼結	粉っぽい	不要	材料費安、精度低
インクジェット	ざらざら*	要*	精度高、カラー可*、材料費高
熱溶解積層	ざらざら	要	主にコンシューマ向け

*インクジェット方式は特に素材による差が大きい



第5図 3Dプリンティングサービスで実際に造形した立体。左は光造形、右は粉末焼結造形による。

立っていることが分かるだろう。また、右の造形では精度の上限が相対的に低かったため、3Dモデルのポリゴンを手動で編集し、柱や突起状の部分が概ね造形不可能にならないようにした。

4. おわりに

本稿はあくまで「作ってみた」という事例の紹介に過ぎないが、自らの研究対象を実際に触れることの出来る物体に materialize することは、我々が普段画面上のデータとして見ているのとは異なる気付き・喜びを伴うと実感した。

また、近年ではものづくり学習の一環として、工業高校や大学に留まらず小学校に至るまで、教育現場での3Dプリンタの活用事例が増えている(例えば、鈴木ほか 2016; 山本ほか 2018)。文部科学省が配布している「主体的・対話的で深い学び」の視点から技術分野の授業改善を行う際の参考となる資料では3DCADの活用が取り上げられており(文部科学省 2020)、また、技術分野の学習指導書の関連データとして3Dプリンタ用データを配布している出版社も出てきている(月ヶ瀬小中学校 2021)。

将来的に、3Dプリンタがさらに広く普及すれば、研究者自らが作成した3Dモデルデータを教育用に配布する、といったアウトリーチ活動も可能になると期待される。拙稿が、少しでもそのような活動の役に立てれば幸いである。

謝辞

本稿執筆にあたり、東京大学先端科学技術研究センターの中村 尚教授には有益なコメントを頂きました。ここにお礼を申し上げます。

参考文献

- 新井直樹, 瀬之口 敦, 2011: 気象情報の見える化の試み—気象情報可視化ツール Wvis の開発と可視化事例—. 天気, 58, 835-839.
- Ayachit, U., 2015: The ParaView Guide: A Parallel Visualization Application. Kitware, Inc., 276pp.
- Harada, Y., *et al.*, 2016: The JRA-55 reanalysis: representation of atmospheric circulation and climate variability. J. Meteor. Soc. Japan, 94, 269-302.
- 小林ちあき, 波多野健一, 1992: 3次元グラフィックスを用いた数値予報 GPV 可視化システム. 天気, 39.
- Kobayashi, S., *et al.*, 2015: The JRA-55 reanalysis: general specifications and basic characteristics. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 5-48.
- 文部科学省, 2020: 技術・家庭(技術分野)の指導における ICT の活用について.
https://www.mext.go.jp/content/20201110-mxt_jogai01-000010146_008.pdf (2022.1.24閲覧).
- Okajima, S., H. Nakamura and Y. Kaspi, 2021: Cyclonic and anticyclonic contributions to atmospheric energetics. Sci. Rep., 11, 1-10.
- 鈴木二正, 芳賀高洋, 大川恵子, 村井 純, 2016: 小学校低学年における3Dプリンタ学習の可能性. 教育とコンピュータ, 2, 10-19.
- 月ヶ瀬小中学校, 2021: 3Dプリンタ 授業や学校教育での実践.
<http://www.naracity.ed.jp/tsukigase-e/index.cfm/1,2101,37,1.html> (2022.1.24閲覧).
- 山本利一, 細田悠介, 佐藤正直, 石故裕介, 沢田石秀昭, 2018: 小学校教育における3Dプリンタを活用したものづくり学習の提案. 日本産業技術教育学会誌, 60, 201-208.