

# 大規模惑星大気数値シミュレーションデータの可視化ツールの開発 - 地図投影法の切り替え機能の実現方法の検討 -

森脇 大智<sup>\*1</sup>, 村橋 究理基<sup>\*2</sup>, 石渡 正樹<sup>\*2</sup>, 林 祥介<sup>\*3</sup>, 杉山 耕一朗<sup>\*1</sup>

## Development of a visualization tool for huge numerical simulation data of planetary atmospheres – Implementation of switching between map projections –

MORIWAKI Daichi<sup>\*1</sup>, MURAHASHI Kuriki<sup>\*2</sup>, ISHIWATARI Masaki<sup>\*2</sup>,  
HAYASHI Yoshi-Yuki<sup>\*3</sup>, SUGIYAMA Ko-ichiro<sup>\*1</sup>

### ABSTRACT

An implementation method of map projection is investigated for realizing a visualization tool suitable for huge numerical simulation data of planetary atmospheres by the use of Web Map Tile Service (WMTS). It is found that a combination use of multiple WMTS-compatible web map libraries is effective to achieve map projections. The multiple libraries are used together by using a computer programming technique called wrapping. Our test confirms that operations such as switching between map projections including a projection onto a three-dimensional sphere are easily realized in a Web browser.

**Keywords:** Visualization tool, Web map tile service, Numerical simulation data, Big data, Map projection

### 概 要

Web Map Tile Service (WMTS) を活用した大規模惑星大気数値シミュレーションデータの可視化ツールの実現に向けて、地図投影法の切り替え機能の実装方法について調査検討を行った。WMTS 対応の Web 地図ライブラリの特徴を調べたところ、当該機能の実装にはライブラリを複数組み合わせることが有効であることを確認した。そこでラッピングと呼ばれるコンピュータプログラミング手法によって複数のライブラリを併用することにした。動作テストの結果、3次元球面への投影を含む地図投影法の切り替え操作を Web ブラウザ上で容易に実現できることを確認した。

#### 1. はじめに

スーパーコンピュータを用いた数値計算によって、高解像度な惑星大気の数値シミュレーション

データが次々生成されている。解像度がディスプレイのピクセル数を上回るような高解像度な数値シミュレーションデータの可視化にお

\* 2022 年 11 月 30 日受付 (Received November 30, 2022)

<sup>\*1</sup> 松江工業高等専門学校 情報工学科 (National Institute of Technology, Matsue College)

<sup>\*2</sup> 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻 (Hokkaido University)

<sup>\*3</sup> 神戸大学大学院理学研究科惑星学専攻 /CPS (Center for Planetary Science, Kobe Univ.)

いては、拡大率や表示場所を自由に変えながら、全体像の把握や興味ある現象の発見・分析ができる必要がある。高解像度な数値シミュレーションデータの可視化ツールを実現するために、筆者らはマウス操作によるスムーズな拡大縮小およびスクロールを実現している国土地理院の地理院地図<sup>5)</sup>に着目した。地図として表示される標高図も、数値シミュレーションデータから作成される物理量の水平断面図や鉛直断面図も、同じ2次元の等値線図だからである。地理院地図で使われている Web Map Tile Service (WMTS)<sup>7,11)</sup>と呼ばれる技術が惑星大気の数値シミュレーションデータの可視化に応用できるのではないかと考え、WMTS を活用した可視化ツール dcwmt の開発に取り組んできた<sup>14)</sup>。

dcwmt の開発において問題となったことは、WMTS は超高解像度な画像を扱う仕組みを提供しているにすぎないことであった。WMTS ではタイルセットと呼ばれる予め拡大率に合わせて分割された画像群をデータソースとして用いる。WMTS を用いることでクライアントは画像全体ではなく必要なタイルのみを読み込むだけで良く、結果として超高解像度な等値線図の軽快な拡大縮小およびスクロール操作が実現される。一方で WMTS のタイルはあくまで画像であり、画像の色から元の物理量の値に逆変換することは考えられていないため、例えば等値線の間隔を変更して再描画するといったことは出来ない。惑星大気の数値シミュレーションデータを扱う上で必要とされる機能、すなわち、物理量の値から等値線図を再描画する機能や地図投影法を切り替える機能の実現が dcwmt の課題となった。

筆者らは、dcwmt の開発としてこれまで、物理量の値から等値線図を再描画する機能を考案し実装してきた。数値データタイルという数値(実数値)を画像の画素値(RGB 値)に一対一で変換したタイルを独自に定義することで、タイルの各画素の色から元の物理量の値に逆変換できるようにした。dcwmt では数値データタイルか

ら逆変換した物理量の値を使い、ユーザの操作に合わせて等値線図をリアルタイムに描画できるようにした。

dcwmt の残る課題である地図投影法の切り替え機能の実現方法について調査検討を行うことが、本研究の目的である。開発コスト低減のために、本研究では地図投影法の切り替え機能を一から実装するのではなく、オープンソースソフトウェアとして公開されている WMTS 対応の Web 地図ライブラリを複数併用するという開発方針を採用する。以下、2 節では WMTS 対応の Web 地図ライブラリの比較検討を行い、ライブラリの組み合わせについて検討する。3 節では複数の Web 地図ライブラリを併用するためのプログラミング的手法について述べ、4 節では実装および動作テストの結果を述べる。最後に議論とまとめを行う。

## 2. Web 地図ライブラリの調査

代表的な Web 地図ライブラリについて、地図投影法の切り替えに関する調査結果の概要を表 1 に示す。我々が従来用いてきた Web 地図ライブラリである Leaflet<sup>6)</sup>は軽量かつ構造がシンプルであり、何らかの地図投影法が適用された等値線図を表示することはできる。しかしながら、表示しているものは画像の集合としてのタイルセットにすぎない。タイルには緯度経度情報が埋め込まれていないため、Leaflet 上で地図投影法の切り替えを行うことはできない。これに対して高機能なライブラリとして知られる OpenLayers<sup>12)</sup>や CesiumJS<sup>13)</sup>では、Web メルカトル図法で描画された等値線図からタイルセットを作成することで、1つのタイルセットから様々な地図投影法を適用した等値線図を描画できることがわかった。Web メルカトル図法とは北緯・南緯ともに 85 度以上を無視することで世界を正方形で表現した地図投影法であり、その縦横を  $2^n$  ( $n \geq 0$ ) 分割したものが Web メルカトル図法に従って作成されたタイルセットである(図 1)。特

表 1. 本研究で調査した Web 地図ライブラリとそれらの特徴

	Leaflet	OpenLayers	CesiumJS
地図投影の切り替え	×	○ (PROJ4JS)	△ (メルカトル図法, 正距円筒図法のみ)
3次元球面への投影	×	×	○

定の緯度経度の範囲を等分割しているため、各タイルに含まれる緯度経度の範囲が一意に決まり、ライブラリは投影法を適用するために必要な各タイルの変形の度合いを計算することができる。

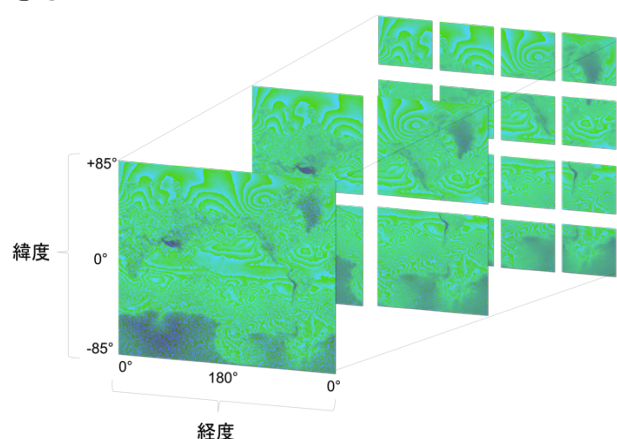


図 1. Web メルカトル図法に従って作成された数値データタイルのタイルセット

表 1 に示すように、OpenLayers は測地系の変換用 JavaScript ライブラリ PROJ4JS<sup>13)</sup>を活用することで多種多様な地図投影法に対応することがわかった。CesiumJS は、適用可能な地図投影法の種類こそ少ないが、惑星気象学の標準的可視化ツール DCL<sup>3)</sup>のようなコマンドベースの可視化ツールでは扱うことのできなかつた 3 次元球面への投影とそのシームレスな操作が可能であることがわかった。CesiumJS の利用は Web 技術の活用による新たな解析方法の提案につながる可能性があると言える。

以上より、本研究では表 1 で挙げた 3 つの

Web 地図ライブラリの全てを併用するのが良いと結論付けることにした。2 次元の等値線図に対して地図投影法の切り替えを行う場合は OpenLayers を用い、3 次元球面上で等値線図を表示する場合は CesiumJS を用いることにする。用いるライブラリの切り替えを可能にすることで、2 次元的な描画と 3 次元的な描画の切り替えもツール内で行えるようにする。数値シミュレーションデータから作成された物理量の鉛直断面図や直交直線座標で描かれた等値線図など、地図投影法の切り替えが必要とされないものについては、従来通りに Leaflet を用いて可視化することにした。

### 3. 複数 Web 地図ライブラリの併用方法

2 節で述べた 3 つの Web 地図ライブラリを併用するためには、各ライブラリが提供している WMTS を扱うためのクラスを使用場面に応じて適宜切り替える必要がある。そのため、本研究ではこれらクラスに対してコンピュータプログラミングで複雑な構造を隠蔽するために一般的に用いられる「ラッピング」と呼ばれる手法を使うことにし、役割ごとに 3 つのラッパークラスを定義することにした。ラッパークラスの役割は Leaflet のクラスの役割に倣っている。その理由は、構造がシンプルであるがゆえに Leaflet のクラスの役割や使い方は筆者らにとって理解しやすいものであったためである。

表 2. ラッパークラスと各ライブラリが提供している WMTS を扱うためのクラスの対応。  
\*layerCartesian のように\*がついているクラスは、数値データタイルを扱えるように拡張した独自クラスである。これらは括弧で括られた各ライブラリの提供するクラスを継承している。

ラッパークラス	Leaflet	OpenLayers	CesiumJS
viewer	L.map	ol.View ol.Map	Cesium.Viewer
layerManager	L.control.layers	ol.Map	Cesium.Viewer.imageryLayers
layer	*layerCartesian (L.GridLayer)	*layerProjection (ol.layer.Tile)	*layer3D (Cesium.UrlTemplateImageryProvider)

本研究で定義したラッパークラス viewer, layerManager, layer, がラップする各 Web 地図ライブラリのクラスを表 2 に示す。viewer クラスは地図の基盤となるクラスで、HTML 要素とのバインドや拡大縮小処理、中心点の制御を行うものである。layerManager クラスは地図に関するクラスで、地図を重ね合わせる際にどの地図を一番前にするかなどの管理を行うものである。layer クラスはタイルに関するクラスで、地図として表示するために HTML の Canvas 要素を並べ処理や各 Canvas 要素に描画を行う処理を行うものである。

表 2 のラッパークラス viewer と layerManager において、OpenLayers では ol.Map が両方に登場し、CesiumJS では Cesium.Viewer とそのメンバ変数である Cesium.Viewer.imageryLayers が登場している。このことは、OpenLayers と CesiumJS のクラスが本研究で定義した 3 つのラッパークラスに必ずしも一対一対応していないことを意味している。OpenLayers においては、ol.Map が viewer と layerManager の両方の役割を担っている。CesiumJS においては、Cesium.Viewer のインスタンスが作成されると同時にメンバ変数として Cesium.Viewer.imageryLayers が生成されることから、Cesium.Viewer が viewer と layerManager の両方の役割を担っていると言える。そのため OpenLayers と CesiumJS については、内部的には viewer クラスが生成したインスタンスを layerManager クラスで再利用することにした。

表 2 はまた、layer クラスでまとめられたクラス群に対して数値データタイルを扱うための拡張を行っていることも示している。  
\*layerCartesian のように \* がついているクラスは、数値データタイルから物理量の値を逆変換して等値線図を再描画できるように拡張を加えた独自クラスである。独自クラスの処理の流れは共通しており、以下の 4 つの処理を順に行っている。

1. 数値データタイルを受け取る。
2. 数値データタイルの各画素の RGB 値から物理量の値を逆変換する。もしユーザからの指示があれば物理量に対して統計処理を適用する。
3. 物理量の値に基づいて Canvas 要素に描画する。例えば等値線図をカラートーンで描画する場合は、カラーマップを参照して物理量の値に対応する色を取得し、その色を Canvas 要素へ描画する。
4. 描画した Canvas 要素を返す。

図 2 に本研究で定義したラッパークラスを用いてカラートーン図を描画する処理のシーケンス図を示す。ラッピングにより、データを可視化するまでの処理が Web 地図ライブラリに依存しなくなった。ユーザは viewer, layerManager, layer, の各ラッパークラスを順に呼ぶだけで良く、各 Web 地図ライブラリのメソッドを意識する必要はない。

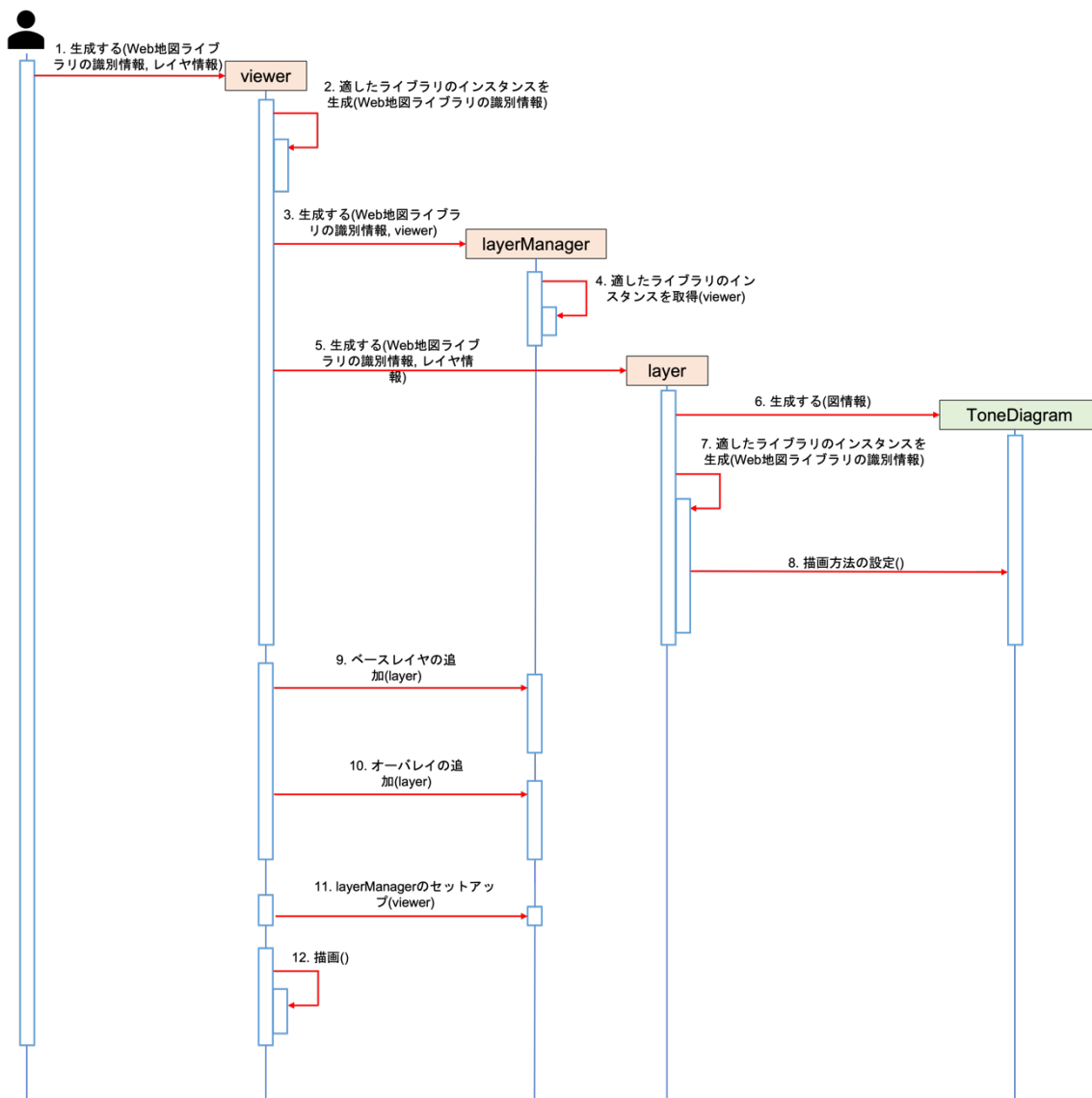


図 2. カラートーン図を描画する処理のシーケンス図。 図中の ToneDiagram はカラートーン図を描画するために用意したクラスであり, それ以外のクラスは表 2 で示したラッパークラスである。

#### 4. 複数 Web 地図ライブラリの併用手法の 実装ならびに動作テスト

3 節で述べた複数 Web 地図ライブラリの併用方法に基づいて, 試作ツールの実装とその動作テストを行い, そのソースファイルと試作ツールの使い方を記したチュートリアルを公開した<sup>4,8)</sup>。

図 3 に試作ツールの概観を示すが, 概観はこ

れまで筆者らの開発してきた dcwmt と類似している。図 3 の[a]の部分には数値シミュレーションデータから作成した等値線図が表示され, [b]の部分に Web 地図ライブラリの切り替えやカラーマップの変更などを行うためのメニューが存在する。図 3 の[c]の部分には表示する物理量の切り替えや重ね合わせといったメニューが表示される。

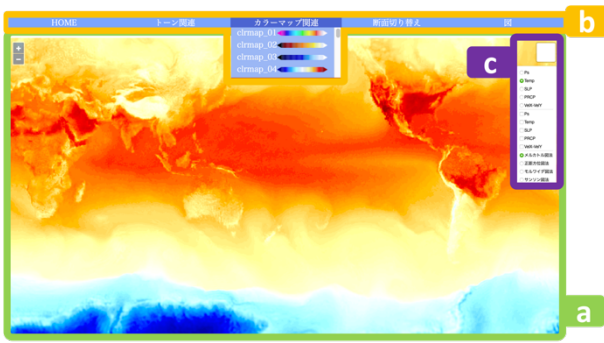


図 3. 本研究で作成した試作ツールの外観。

図 3 の[b]のメニュー部分から Web 地図ライブラリの切り替えが可能である。図 4 に示すように、「CesiumJS 表示」を選択することで指定した物理量が 3 次元球面へ投影される。PC のマウス操作によって、球面の回転や拡大縮小といった操作が可能である。また、「OpenLayers 表示」を選択することで、画面右側のメニューに適用可能な複数の地図投影法が表示されるようになる。メニュー内で投影法を選択すると、図 5 に示さ

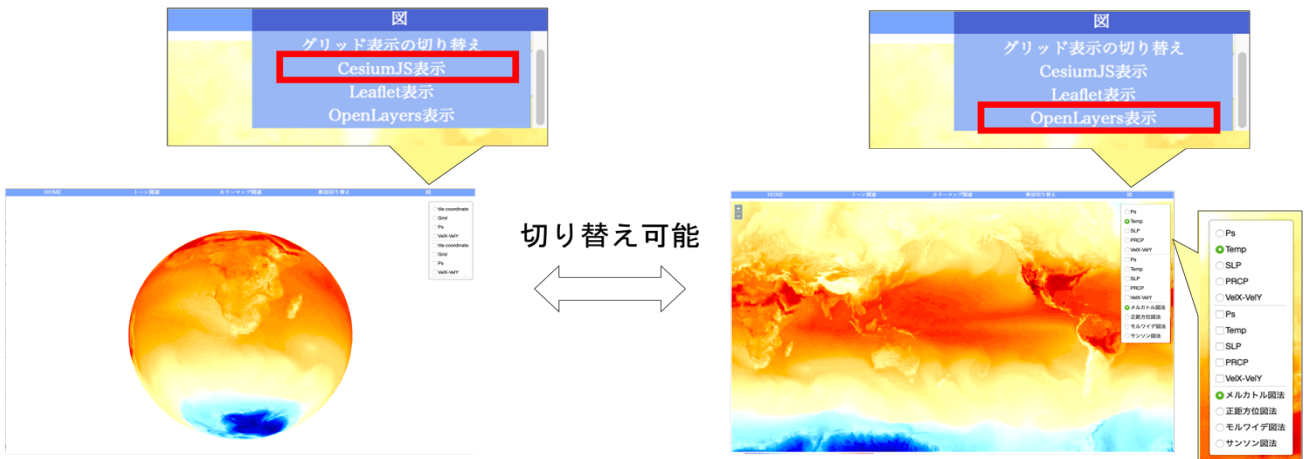


図 4. ライブラリの切り替えの例。CesiumJS (左) と OpenLayers (右) を用いた表示の例を示す。

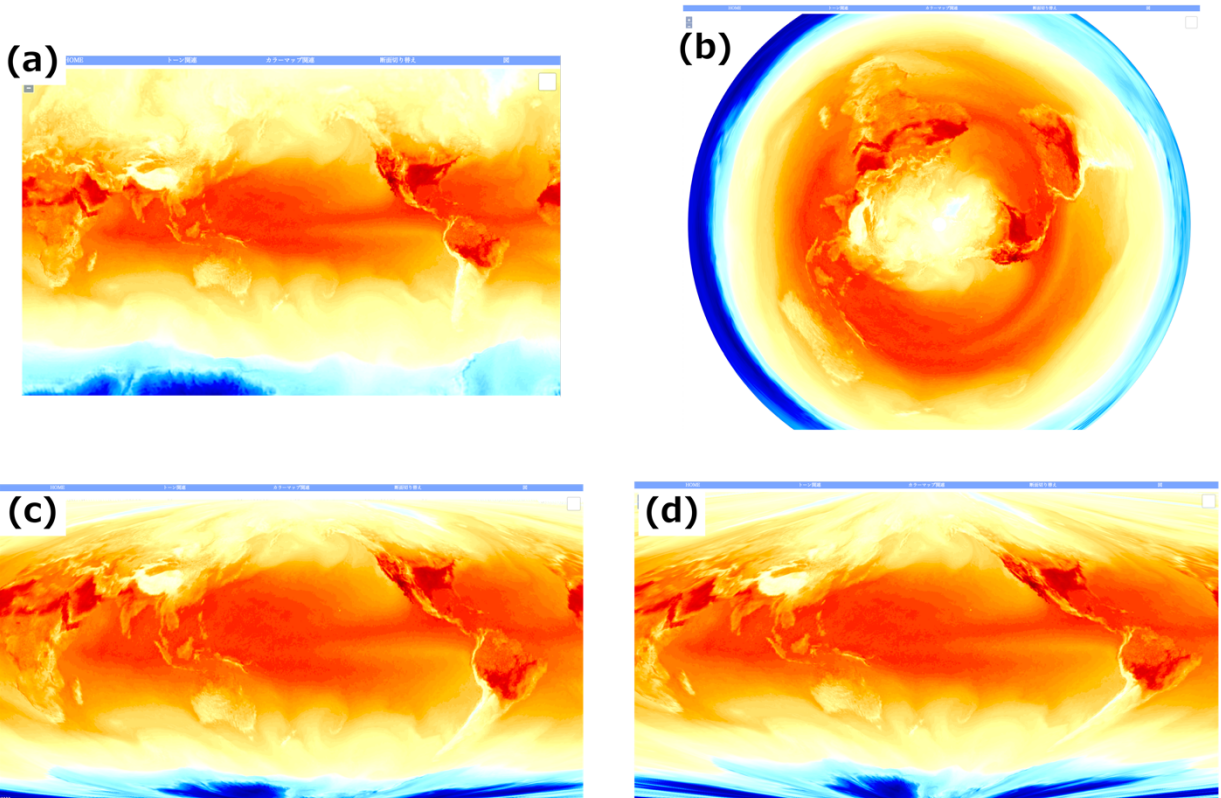


図 5. 投影法の切り替えの例。メルカトル図法(a), 正距方位図法(b), モルワイデ図法(c), サンソン図法(d), を用いた表示の例を示す。

れるようにデータの投影法が切り替わる．現時点では，メルカトル図法，正距方位図法，モルワイデ図法，サンソン図法が実装されている(図 5)．2 節で述べたように測地系の変換を行うための JavaScript ライブラリ PROJ4JS を活用すれば図 5 に示した以外の地図投影法を用いた物理量の描画は容易である．

これまで dcwmt では，風速ベクトルの描画，物理量の重ね合わせ，カラーマップの変更といった機能が実装されていた．これら機能を OpenLayers や CesiumJS を用いた場合でも実装できるかの確認を行った．動作テストの結果を図 6, 7 に示すが，OpenLayers と CesiumJS のそれぞれを用いた場合についてもこれらの機能を問題なく実現することができた．

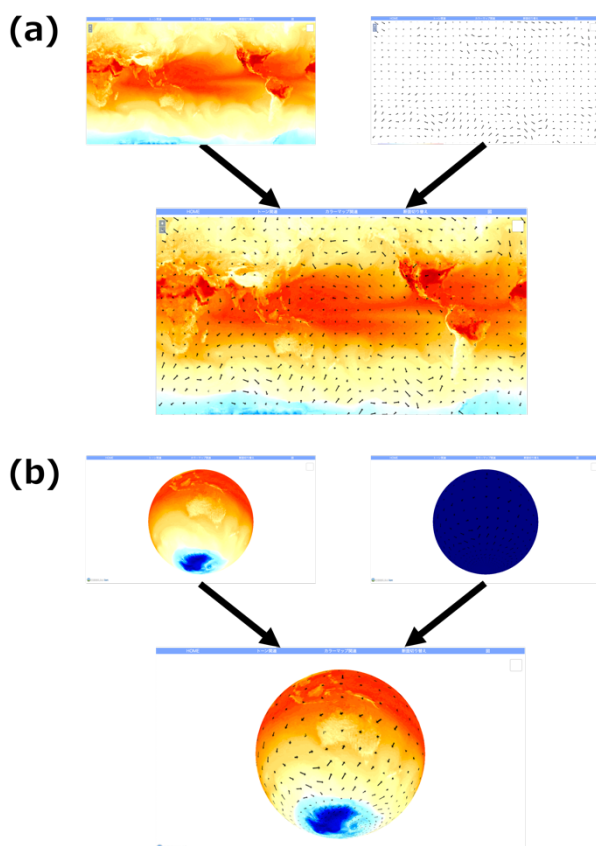


図 6. 物理量の重ね合わせ表示の例.

OpenLayers (a) と CesiumJS (b) を用いて温度と風速ベクトルを重ね合わせた例を示す．

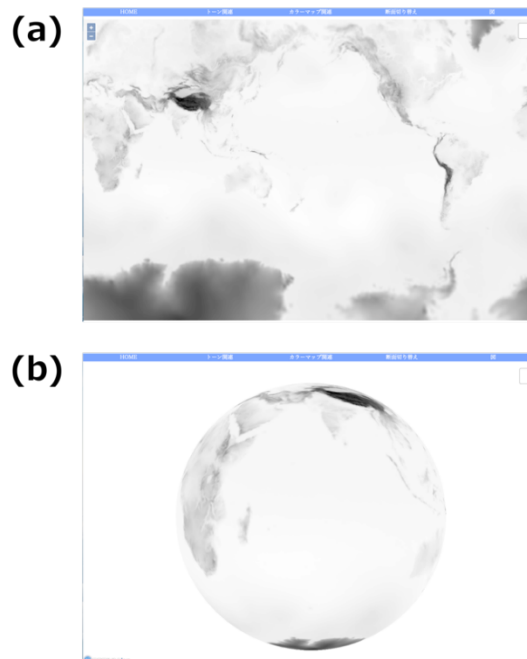


図 7. グレースケールでの描画の例.

OpenLayers (a) と CesiumJS (b) を用いた表示の例を示す．

## 5. 議論

本研究では等値線図に適用する地図投影法の切り替え機能を実装するために，Web メルカトル図法に従って作成したタイルセットをデータソースとして用いる方式を採用した．この方式の欠点は，極近傍を把握できないことであり，これは Web メルカトル図法が北緯・南緯の 85 度以上を切り捨てることに起因する．極近傍を把握するためには，データソースとしてのタイルセットを 2 つ以上用意するのが現実的である．すなわち，Web メルカトル図法に従って作成したタイルセットに加え，図 5(b)で示した正距方位図法のような極中心に描画されたタイルセットを用意する．タイルセットの切り替えは，表示する物理量の切り替えという形で既に実現されている．物理量の切り替えと同様に，図 3 の [c] の部分に表示されるメニューを操作することで，正距方位図法と他の投影法を切り替えることができる．

## 6. まとめ

著者らがこれまでに開発してきた可視化ツール dcwmt において課題として残っていた地図投影法の切り替え機能の実現方法の調査検討を行った。当該機能の実装にはライブラリを複数組み合わせることが有効であることを確認し、ラッピングと呼ばれるコンピュータプログラミング手法によって複数のライブラリを併用することにした。動作テストの結果、3次元球面への投影を含む地図投影法の切り替え操作を Web ブラウザ上で容易に実現できることを確認した。

今後の課題の1つ目は、ブラウザ上で描画された物理量を共同研究者間で共有する方法の検討が挙げられる。この課題は西岡らの「ドラッグ&ドロップマップ」(略称:DD マップ)<sup>10)</sup>という仕組みが参考になる。DD マップでは、国土地理院などの複数のタイル配信ウェブサイトをサムネイル的に表示しておき、それらを専用の領域にドラッグ&ドロップすることで、表示物の Web ブラウザ上での切り替えを可能としている<sup>9)</sup>。描画に必要な各種パラメータは独自に定義された MapLayer オブジェクトという仕様に従って、JavaScript Object Notation (JSON) ファイルに保管されている。この枠組みを利用することで、共同研究者と共有したい描画面面をサムネイルとして一覧表示することや、そのサムネイルのドラッグ&ドロップによって興味ある現象の再描画が可能になると考えられる。

今後の課題の2つ目は、5節で議論した極近傍の数値シミュレーションデータの保持方法である。これには近年急速に普及してきた Cloud Optimized GeoTIFF (COG)<sup>2)</sup>の利用が有効と考えられる。これは GeoTIFF と呼ばれる緯度経度情報を埋め込んだ Tag Image File Format (TIFF) 形式の画像から成るタイルセットである。本研究で利用している Web 地図ライブラリ群においても COG 対応が急速に進んでおり、将来的には COG が利用可能となると考えられる。COG を利用する場合においても、3節で述べたラッピングの手法は

有効であり、具体的なライブラリを意識しない形で可視化ツールを実現出来るであろう。

## 謝辞

本研究は会津大学宇宙情報科学研究センターにおける共同利用・共同研究(2020年度)として実施された。また、本研究は JSPS 科研費 JP17K05656 の助成を受けた。試作ツールで可視化を試す際のサンプルデータは神戸大学 高橋芳幸准教授より提供して頂いた。

## 参考文献

- (1) CesiumJS, <https://cesium.com/platform/cesiumjs/> (参照日: 2022年8月7日)
- (2) Cloud Optimized GeoTIFF, <https://www.cogeo.org/> (参照日: 2022年8月7日)
- (3) DCL (Dennou Club Library), [http://www.gfd-dennou.org/library/dcl/html/dcl\\_doc.html](http://www.gfd-dennou.org/library/dcl/html/dcl_doc.html) (参照日: 2022年8月7日)
- (4) dcwmt(Dennou Club Web Map Tool), <http://www.gfd-dennou.org/library/dcwmt/>, (参照日: 2022年10月31日)
- (5) 国土地理院地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/> (参照日: 2022年8月7日)
- (6) Leaflet, <https://leafletjs.com/> (参照日: 2022年8月7日)
- (7) Masó, J, K. Pomakis, and N. Julià, OpenGIS® Web Map Tile Service Implementation Standard, 2010, [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=35326](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=35326) (参照日: 2022年8月7日)
- (8) 森脇 大智, dcwmt, [https://github.com/gfd-dennou-club/dcwmt/tree/v0.3\\_cesium\\_and\\_openlayers\\_and\\_leaflet](https://github.com/gfd-dennou-club/dcwmt/tree/v0.3_cesium_and_openlayers_and_leaflet) (参照日: 2022年8月16日)
- (9) 西岡芳晴, ドラッグ&ドロップマップ (試験公開), <https://gsj-seamless.jp/labs/ddmap/>, (参照日: 2022年8月11日)



- (10)西岡芳晴, ドラッグ&ドロップマップの考案と試験実装, 情報地質, 30, 2019, 111-114, doi: 10.6010/geoinformatics.30.3\_111
- (11)野々垣進, 西岡芳晴, 川畑 大作, 根本 達也, 北尾 馨, フリーオープンソースソフトウェアを用いた日本シームレス地質図 Web Map Tile Service の利用法, 情報地質, 24, 2013, 125-132, doi: 10.6010/geoinformatics.24.125
- (12)OpenLayers, <https://openlayers.org/> (参照日: 2022年8月7日)
- (13)PROJ4JS, <http://proj4js.org/> (参照日: 2022年8月7日)
- (14)杉山耕一朗, 松村和樹, 森脇大智, 村橋究理基, 石渡正樹, 林祥介, ウェブ地図技術を用いた大規模惑星大気数値シミュレーションデータの可視化, 宇宙科学情報解析論文誌, 10, 2021, 127-137, doi:10.20637/00047378