

地球観測データ三次元可視化ライブラリとレーダ雨量情報への応用

根本 利弘[†] 喜連川 優[‡]

[†] 東京大学 地球観測データ統融合連携研究機構/生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

[‡] 国立情報学研究所/東京大学 生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: [†] nemoto@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp, [‡] kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 地球観測データを対象とした三次元データの可視化ライブラリについて紹介する。当ライブラリは地球観測データの三次元可視化機能に加え、X 軸、Y 軸、Z 軸の切断面の二次元画像表示、地形、地図の表示等、三次元地球観測データの解析に有効な機能を有する。three.js を用い、JavaScript により記述されており、最新の Google Chrome 等の Web ブラウザ上で動作する。当ライブラリの機能を紹介するとともに、レーダによる雨量情報の表示システムへの適用について紹介する。

キーワード 地球観測データ、三次元可視化

1. はじめに

地球温暖化長期予測データや気象予測データなどのシミュレーション出力データ、降雨レーダによる地上や衛星からの観測データなど、地表面だけでなく、鉛直方向にも情報を有する三次元の地球観測データが数多く提供されるようになった。これら地球環境データはインターネットを通じて容易に入手可能なものも少なくないが、利用者が容易に使用できる三次元可視化環境が必ずしも十分でないため、利用者の多くはそれらのデータの水平断面、垂直断面を二次元画像として可視化するに留まっている。地球環境データを取り扱うことが可能な三次元可視化ソフトウェアとしては、フリーウェア、有償のソフトウェアを含めていくつかあるが、それらの大部分は利用者側のコンピュータにインストールして動作するアプリケーションソフトウェアである。データを可視化するためのパラメータは利用者自らが決定し、アプリケーションへ入力することによって可視化される。最適な可視化のためには対象とする地球環境データに関する専門知識も必要とされ、必ずしも容易に三次元可視化された結果を得ることができない。

我々は、地球環境に関連する様々なデータを統合・解析し、地球環境問題を解決するシステムとして、データ統合・解析システム (DIAS) [1] の構築を行ってきた。DIAS では、地球環境および社会経済データ等のデータセットばかりでなく、WWW を通じてこれらデータを利用し、解析を行うためのウェブアプリケーションの提供も行っている。アプリケーションとデータとを一体として提供することにより、利用者にワンストップでデータに適した可視化環境を提供することが可能である。

本稿では、我々が現在開発を進めている WWW 環境を通じてインタラクティブに利用可能な三次元可視化環境を実現するための地球環境データを対象とした三

次元可視化ライブラリについて述べる。本ライブラリは、three.js を利用し、JavaScript により記述している。特別なプラグインを必要とすることなく、最新の Google Chrome, Firefox 等の Web ブラウザ上で動作する。WWW 環境を通じて利用可能なアプリケーションを構築、提供することができ、専門知識を有するデータおよびアプリケーション提供者があらかじめ対象とするデータに対して適切な可視化パラメータを設定することが可能である。本ライブラリにおいては、表示対象とする三次元データと、X, Y, Z 軸の格子位置情報を与えることにより、当該データを容易に三次元表示する。さらに X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれに垂直な平面による切断面の二次元画像の表示、地形、地図の表示等、地球環境データの解析に不可欠な機能も提供する。このライブラリの機能について説明するとともに、本ライブラリを利用したレーダ雨量情報[2]を対象とした可視化アプリケーションの構築事例についても述べる。

2. 関連研究

科学データの三次元可視化システムとしては、医療分野を対象としたシステムが多くあげられるが [3][4][5]、地球環境データを扱うことが可能な三次元可視化ツールは多くはなく、Vis5d+[6]、Unidata IDV[7]、DioVISTA[8]などがあげられる。これらはいずれも三次元可視化を可能とするデスクトップアプリケーションソフトウェアである。インストールには、OS、コンパイラの違い、バージョンの違い等による制約を受ける。また、利用者は定められたインタフェースにより三次元可視化機能を利用することになり、自らが作成するウェブアプリケーションの一部として利用することは困難である。AVS[9]はモジュールの組み合わせによりデスクトップアプリケーションを作成することは可能であるが、ウェブアプリケーション用ではない。

WebGL を用いたビューアもあるが、これは可視化された結果を WWW を通じて見るためのものであり、ウェブアプリケーションの開発に用いることはできない。PVES[10]は WWW を通じて利用するアプリケーションであるが、三次元データの記述に VRML を用いているため、その利用にはブラウザに対するプラグインを必要とする。EXTRAWING[11]はシミュレーション結果の三次元可視化を行うものであるが、出力を動画もしくは KML+COLLADA 形式のファイルとしてこれらを Google Earth で読むものであり、独自ウェブアプリケーションの開発には向かない。アプリケーション開発のためのフレームワークとしては、ParaViewWeb[12]、[13]におけるフレームワーク、BrainBrowser[14]などがある。ParaViewWeb はモデル化、レンダリングをサーバサイドで行い、[13]におけるフレームワークではモデル化はサーバサイドで行い、レンダリングはクライアント側で行う。これらは三次元表現方法を変更するためにモデルを変更する場合には、そのたびにサーバへの通信が必要となる。また、一般にサーバ側にてモデル化を行うシステムの場合、モデルの情報を X3D などのファイルでクライアントへ送るため、Web ブラウザにおいて X3D を表示するための専用のプラグインを必要とする。BrainBrowser は医療データを対象としたフレームワークであり、モデル化、レンダリングをクライアント側で行うが、医療データと地球環境データでは、その可視化において、座標の扱い、地形、地図の表示等、異なる部分が多くあり、そのままの適用は困難である。three.js[15]は WWW による利用を目的とした Javascript の三次元ライブラリであり、最新のウェブブラウザであればプラグインを必要とはしないが、three.js は三次元可視化のプリミティブな機能を提供するライブラリであり、地球環境データを表示するためには、三次元モデルの構築、三次元座標の管理等、複雑かつ多大な工程を必要とする。

本稿で述べるライブラリは three.js を用いているが、さらに地球環境データを可視化するために適した設定、必要とされる機能を実装しており、ウェブアプリケーション開発者が容易に三次元可視化環境を実現することを可能とするライブラリである。この点で他の可視化システムとは異なる。

3. 地球環境データ三次元可視化ライブラリの機能

3.1. 地球環境データの特徴

地球環境データは、X、Y、Z 軸による格子の構造をもち、各格子点が値を有する。例えば、地球温暖化予測データの一例では、X 軸は緯度、Y 軸は経度、Z 軸は等気圧面であり、それぞれが数十～数百に分割され

た格子構造を有し、各格子点が温度や湿度といった物理量を有する。また、雨量情報においては、X 軸、Y 軸、Z 軸はそれぞれ緯度、経度、高度に対応し、各格子には、降雨強度が格納されている。降雨強度は一般的には強い降雨を中心に徐々に弱い強度が分布し、さらにその外側に降雨がない場所が分布する。すなわち、地球環境データにおいては、温暖化予測データにおける、温度、湿度データのように、空間内のすべての位置に情報が存在し、対象となるものの表面、境界がない、もしくは降雨情報のように、降雨の有無があるが、その境界よりも降水コアと呼ばれる内部の降雨の強い部分の方にデータ利用者の興味注がれる場合が多い。したがって、可視化においては、充滿している対象の内部の状態、分布をわかりやすく提示することが不可欠となる。

3.2. 開発指針

ライブラリの実装にあたっては、ライブラリの利用者（アプリケーション作成者）の利便性と汎用性に重点を置き、開発を進めている。利用者の利便性という点では、最低限の設定のみでデータの三次元表示を可能となるように実装した。具体的には、利用者はデータと HTML 内にデータ表示用の領域を用意するだけで少なくとも何らかの表示ができるよう、デフォルトのパラメータを設定したり、ライブラリがデータ内容を判断して適切なパラメータを設定したりするようにした。一方、汎用性を高めるため、ライブラリに適用する際のデータの構造を単純化するとともに、カスタマイズ可能なオプション設定を用意し、利用者が対象とするデータに合わせて各種パラメータを変更できるようにしている。

3.3. 三次元表現法

対象とする地球環境データは、その内部の分布等にも興味注がれるため、ボリュームレンダリングによる可視化が必要である。しかしながら、ボリュームレンダリングは負荷が大きく、アプリケーションの利用環境が多様であることを鑑みると、汎用的なアプリケーションの構築は困難である。また、ウェブアプリケーションを構築する場合、OpenGL を利用する WebGL が最新の主要な Web ブラウザに対応し、特別なプラグインを必要せずにインタラクティブな操作が可能なほぼ唯一の三次元可視化基盤であるが、WebGL は基本的にはサーフェスレンダリングに基づいており、ボリュームレンダリングには適していない。そこで、本ライブラリは、以降で述べる方法を用い、サーフェスレンダリングの技術を利用しつつも、内部の状態を見ることが可能となるような三次元表現法を用い、データを可視化する。なお、本ライブラリは WebGL を利用するが、実装を容易にするために、WebGL をラップし、

プリミティブな三次元可視化機能を提供する `three.js` を用いている。

3.3.1. スライス画像の重層

表示するデータの Z 軸の格子点の数だけ、Z 軸に垂直な半透明な平面を作成し、そこへその Z 平面における物理量を二次元可視化した断面画像をテクスチャとして貼り付けることにより、三次元データの可視化する。すなわち、X、Y 平面に水平な半透明の断面図を重ねることにより三次元表示する。重ねられる断面図の数がデータにより異なり、その結果、内部の透過具合が変化するため、重ねられた平面の不透明度を変更可能としている。本手法では、テクスチャが貼り付けられた Z 軸に垂直な平面のみを取り扱うだけでよく、レンダリングの負荷の軽量化が図れる。

3.3.2. 格子点への粒子配置

表示するデータの各格子点に物理量に対応した色を持つ半透明の粒子を配置することにより、三次元データを可視化する。粒子の不透明度は変更可能である。データが持つ格子点数と同数の粒子のみを取り扱うため、レンダリングの負荷が軽減される。

3.3.3. 格子領域への粒子群配置

表示するデータの各格子領域内に、物理量に対応した色を持つ粒子をランダムに配置することにより、三次元データを可視化する。この際、物理量から配置する粒子の数に変換する関数を設定することにより、物理量に応じた粒子密度を設定することが可能である。粒子の不透明度も変更可能である。データが持つ格子領域に対して複数の粒子を配置するため、3.3.2 の手法よりも粒子数は増えるものの、粒子のみを扱うため、レンダリングの負荷は小さい。

3.4. カラーリング

物理量から色情報への変換は、指定がない場合にはライブラリが最大値、最小値の間で青から赤へ色相が変化する関数が適用されるが、利用者が独自の関数を設定することが可能である。また、色情報をヌル値とすることにより、透明色とすることができる。これにより、物理量の特定の値のみを表示し、その三次元分布を把握しやすくなる。また、色相が変化する関数が適用されるが、利用者が独自の関数を設定することが可能である。また、色情報をヌル値とすることにより、透明色とすることができる。これにより、物理量の特定の値のみを表示し、その三次元分布を把握しやすくなる。

3.5. 空間表現

本ライブラリにおいて、三次元可視化の対象として必要とされる最小限のデータは、格子点における物理量を表す値の三次元配列、および各格子点の X、Y、Z 軸の位置を示す一次元配列である。本ライブラリでは、この物理座標系を内部において $[0, 1]$ 空間にマッピングし、この $[0, 1]$ 領域を三次元可視化する。物理座標系から内部 $[0, 1]$ 空間への変換関数は、指定がない場合にはライブラリが自動的に各軸の範囲が $[0, 1]$ 空間に収まるような線形関数が設定されるが、利用者が独自

の関数を設定することも可能である。この関数を変更することにより、データ自体に変更を加えず、地図投影法や可視化範囲の変更が可能となる。また、ライブラリに対して、 $[0, 1]$ 空間を三次元表示する際の X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれのスケールリングファクターを設定し、 $[0, 1]$ 空間を実際に画面に表示する際には、各軸の長さが異なる直方体となるように変形して表示することが可能である。地球環境データにおいては、X 軸、Y 軸は経度、緯度とされる場合が多いが、その範囲はデータに依存して様々であり、必ずしも正方形ではない。また、Z 軸は、分布等をわかりやすくするために、高度を強調した可視化が多々行われる。異なる領域のデータを扱う場合や、Z 軸の強調度合いを変更するような場合においても、表示される領域を常に $[0, 1]$ 空間とすることにより、アプリケーション作成者の混乱を防ぐことが可能であり、また、スケールリングファクターを変更するのみで各軸の強調度を変えることが可能になるなど、利便性が向上する。

3.6. 二次元断面表示

三次元表示画面とは別に HTML5 の `canvas` 要素を設けて、ライブラリにて設定することにより、X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれに垂直な断面図を表示する機能を有する。Canvas 要素のサイズに応じて断面図を描画するため、アプリケーション内での断面図の位置、サイズのカスタマイズが可能である。断面図のカラーリングは、三次元可視化の際に設定した物理量から色情報への変換関数が使用され、特定の値を表示しないことも可能である。また、等値線による描画も可能である。さらに、断面図を三次元画像内に表示することもできる。X 軸、Y 軸、Z 軸の断面画像の表示は独立しており、同時に表示することも可能である。

3.7. 地形、地図表示

格子点における標高値を表す二次元配列、および X 軸、Y 軸の位置を表す一次元配列を用意することにより、地形を三次元表示することが可能である。この際、標高値から色情報への変換を行う関数を設定することで、高度に応じたカラーリングを行うことができる。さらに、`OpenStreetMap`[16]などのタイル地図をライブラリにより設定することで、表示範囲内のタイルを取得し、地形上にマッピングして表示することが可能である。

3.8. サポート関数

ライブラリ利用者が地球環境データを用いたアプリケーションを開発する際に頻繁に使用する関数群を用意している。具体的には、入力に応じて色相が段階的に変化する色情報を得る関数、入力に応じて彩度が段階的に変化する色情報を得る関数、入力に応じて 2 つの色の間で段階的に変化する色情報を得る関数、気

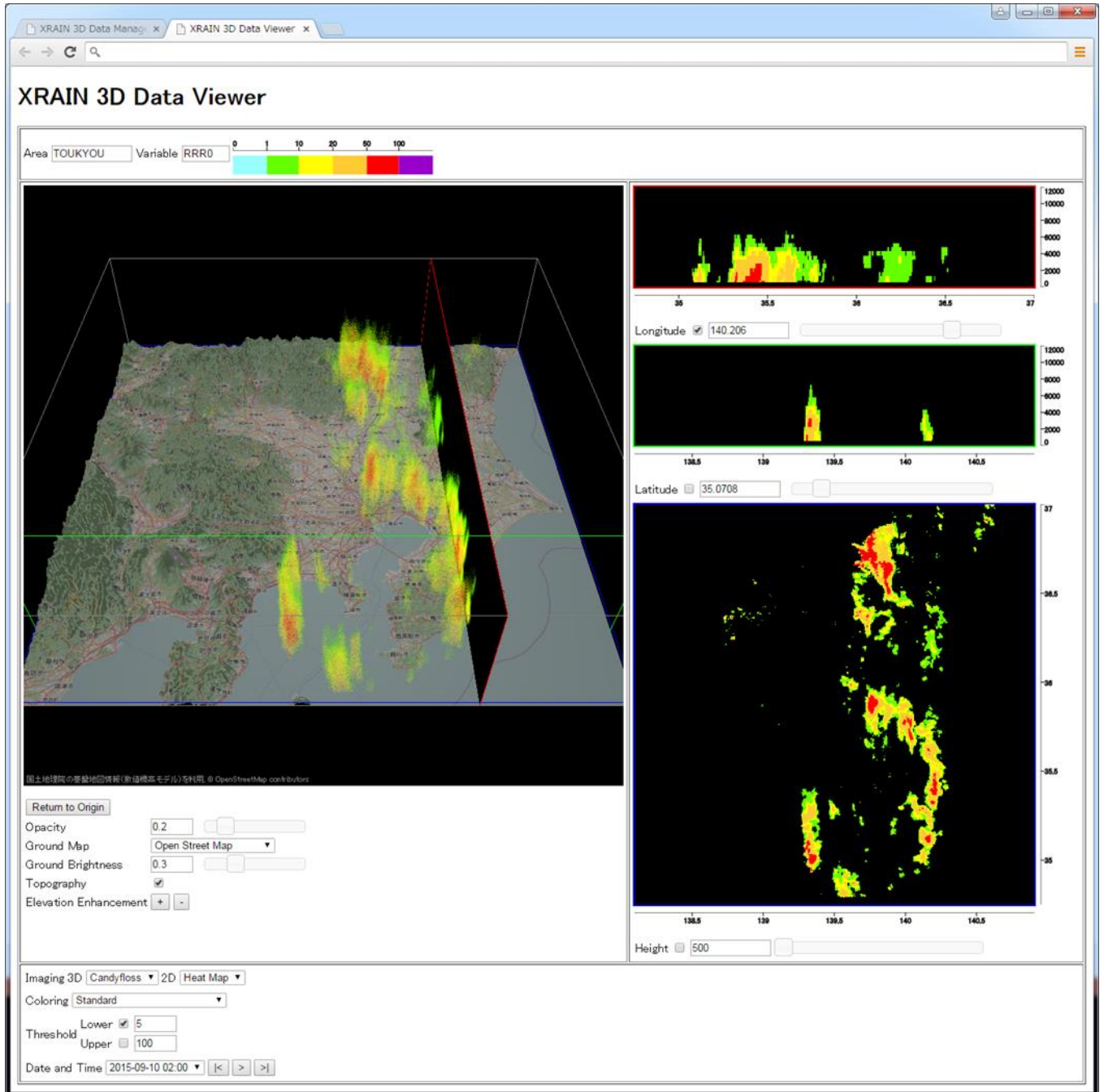


図 1 レーダ雨量情報三次元可視化アプリケーション

圧から高度，および高度から気圧への近似変換関数等である。

4. 地球環境データ三次元可視化ライブラリのレーダ雨量情報への適用

地球環境データ三次元可視化ライブラリを用い，レーダ雨量情報の三次元可視化アプリケーションを構築した。

レーダ雨量情報は，Xバンドのマルチパラメータ(MP)レーダを用いて雨粒の形状等を把握し，雨滴の扁平度から雨量を推定することによって得られるデー

タである[17]. 1つのレーダサイトから複数の仰角による観測を行い，さらに複数のサイトによる観測データを統合することにより，広域な雨量の三次元分布を得ることが可能である。本アプリケーションでは DIASより公開している国土交通省 Xバンド MPレーダネットワークのデータより作成された雨量の三次元分布情報を可視化する。アプリケーション利用者はまず，データ作成・管理画面より領域，期間を選択し，サーバ側に雨量情報三次元データを作成する。この際，サーバでは，指定された期間内のタイムステップ毎に分割されたファイルを作成する。可視化アプリケーションは，1タイムステップのファイルをサーバより取得し，

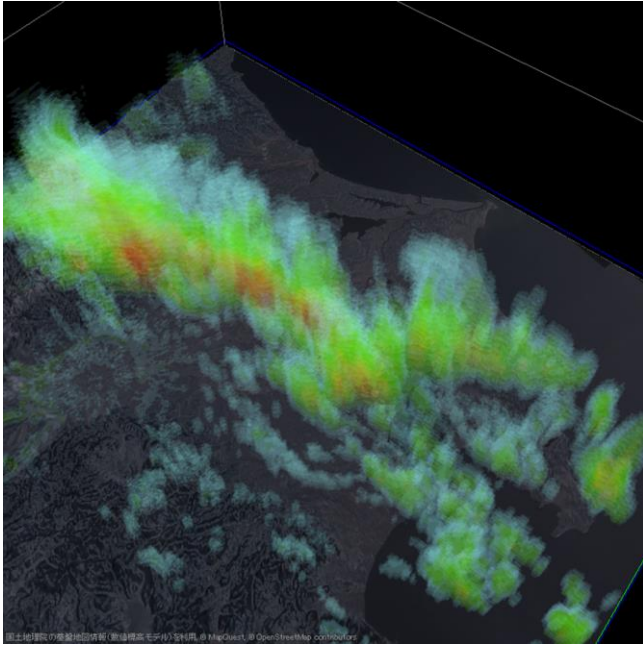


図 3 スライス画像の重層

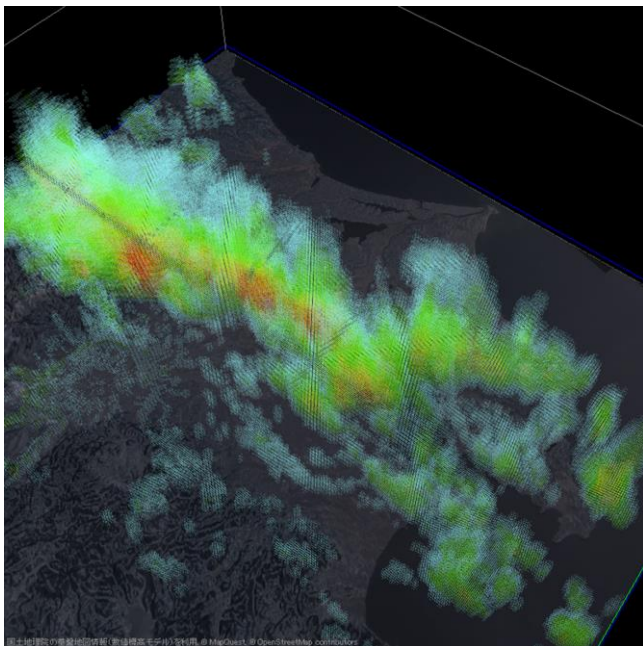


図 2 格子点への粒子配置

可視化を行う。表示対象時刻を変更する場合には、その都度ファイルダウンロードを行う。長期間にわたる雨量情報三次元データはサイズが大きくなり、クライアント側のブラウザで全期間内のデータを保持するには多大なメモリが必要とされ、ブラウザのメモリ不足により動作に支障をきたす恐れがあるためである。

図 1 は、レーダ雨量情報三次元可視化アプリケーションの全体画面である。上部に地域、表示対象物理量、凡例を表示し、その下の左側に三次元表示画面、右側に上より、緯線に垂直な平面、経線に垂直な平面、水平面のそれぞれによる断面図を表示する。三次元表示

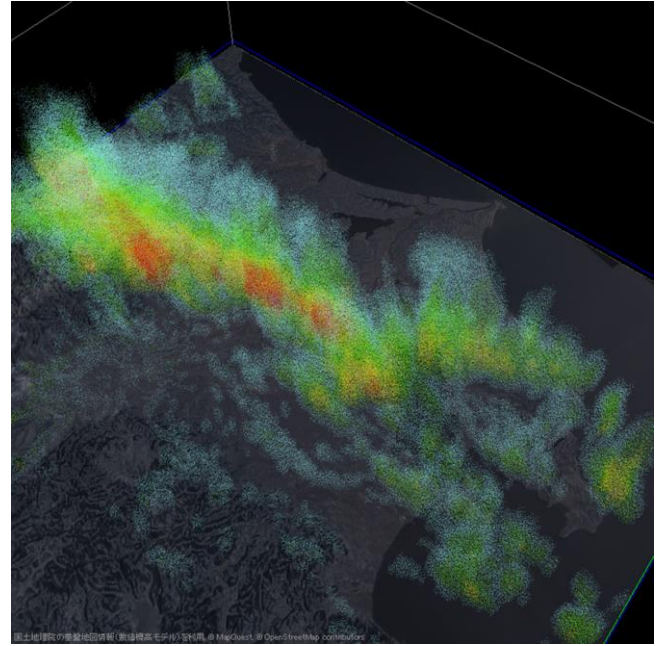


図 4 格子領域への粒子群配置

画面内でのマウス操作により視線の移動、拡大・縮小等を行うことができる。また、断面図の下のチェックボックスをチェックすることにより、三次元画像内に断面を表示することができ、断面の位置はチェックボックスの右のスライダーにより変更することが可能である。三次元表示画面の下には、可視化パラメータの設定画面があり、ここで、不透明度、表示する地図の選択、地形の表示の有無を設定する。また、高度の強調表示が可能であり、その度合いの設定ボタンも配置されている。その下には、三次元表現法、表示する値のスレッシュホールドの設定等が行える。また、表示対象とする時刻の選択や、表示対象時刻を順に変更することによるアニメーション表示も設定できる。図 2、図 3、図 4 はそれぞれ、雨量情報をスライス画像の重層による方法、格子点への粒子の配置による方法、格子領域への粒子群配置による方法で三次元可視化した場合の画像例である。

アプリケーションの作成においては、三次元表示画面、および 3 つの断面図画面を用意し、ライブラリに各種パラメータとともにそれらを設定している。さらに、各種操作用 HTML 要素を用意し、動作に合わせてパラメータ等を変更することで実現されている。三次元表示のための座標計算、マウス操作による視点移動、断面図の作成などの部分はライブラリ側の機能で実現されており、アプリケーション側の JavaScript は、ライブラリを除くと、コード数は 1000 行以下であり、そのうちの半分以上が物理量毎に色付けを変えるために用意したカラーリングのための物理量から色情報への変換関数である。

5. おわりに

本稿では、現在開発を行っているウェブアプリケーションにおいて利用可能な地球環境データを対象とした三次元可視化ライブラリについて説明し、レーダ雨量情報の可視化アプリケーションへの応用について紹介した。本ライブラリを用いることで、アプリケーション作成者から複雑な座標計算、断面図作成が隠蔽され、容易に三次元可視化ウェブアプリケーションを作成することが可能となる。今後は、風の情報を表示する際に利用されるベクトル表示機能や、標高タイルからも標高情報を取得できるようにする等の改良を加える予定である。なお、利用した雨量情報（XRAIN）データは、国土交通省より提供され、文部科学省気候変動適応戦略イニシアチブ「地球環境情報統融合プログラム（DIAS-P）」の枠組みの下で収集・提供されたものである。また、本研究は、DIAS-Pの支援を受けている。

参 考 文 献

- [1] “地球環境情報統融合プログラム”, <http://www.diasjp.net/>.
- [2] 国土交通省, “XバンドMPレーダの整備, 降雨・洪水予測の高度化等の技術研究開発により, 局地的な大雨や集中豪雨対策を推進します”, http://www.mlit.go.jp/report/press/river03_hh_000167.html.
- [3] Settapat et al., “Web-based 3D Visualization and Interaction of Medical Data using Web3D”, SICE Annual Conference, 2010.
- [4] Jacinto et al., “A Web Interface for 3D Visualization and Interactive Segmentation of Medical Images”, IEEE International Conference on 3D Web Technology, 2012.
- [5] Tiwari et al., “Web-based Volume Visualization of 3D Medical Data using Slice Streaming Method”, 6th International Conference on Computer and Communication Technology, 2015.
- [6] “Vis5d+ Home page”, <http://vis5d.sourceforge.net/>.
- [7] “Unidata IDV”, <http://www.unidata.ucar.edu/software/idv>.
- [8] 株式会社日立パワーソリューションズ, “雨雲可視化ソフトウェア DioVISTA/Storm”, http://www.hitachi-power-solutions.com/products/product03/p03_61.html.
- [9] “AVS”, <http://www.avs.com/>.
- [10] Yasukawa et al., “PVES: Powered Visualizer for Earth Environmental Science”, IEEE SYSTEM JOURNAL, Vol.2, No.3, 2008.
- [11] 川原慎太郎他, “Google Earth 用ボリューム可視化コンテンツ作成のための GUI ソフトウェアの開発”, 日本流体力学会学会誌 ながれ, 第 31 巻, 第 2 号, 2012.
- [12] Jourdain et al., “ParaViewWeb: A Web Framework for 3D Visualization and Data Processing”, International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications, Vol. 3, 2011.
- [13] Jung et al., “Declarative 3D Approaches for Distributed Web-based Scientific Visualization Services”, WWW2012 Workshop: Declarative 3D for the Web Architecture (Dec3D2012), 2012.
- [14] Sherif et al., “BrainBrowser: distributed, web-based neurological data visualization”, Frontiers in Neuroinformatics, Vol. 8, 2015.
- [15] “three.js – Javascript 3D library”, <http://threejs.org/>.
- [16] “OpenStreetMap”, <http://www.openstreetmap.org/>.
- [17] 国土交通省, “XRAIN の概要”, <http://www.mlit.go.jp/common/001046714.pdf>.
- [18] 根本利弘他, “地球環境データを対象とした 3 次元可視化ライブラリの開発”, 生研フォーラム, 2015.