

# 台風の3次元構造を観察するための対話的VRシステム

理学専攻 情報科学コース 1940662 楊安桐 (指導教員：伊藤貴之)

## 1 はじめに

気象観測・予報技術の進展により、気象の観測結果やシミュレーション結果の理解に可視化技術がよく用いられる。気象データの可視化には旧来からスカラ場(気温・気圧など)とベクタ場(風向)の2次元可視化手法が多用されてきた。一方で、気象現象の立体的なメカニズムを理解するには3次元的可視化による理解が不可欠である。そこで我々は、VR技術を用いた3次元可視化手法に着目している。

ゲームなどの民生用のバーチャルリアリティ(VR)機器が近年急速に普及しており、これに伴いVR技術を用いた科学的可視化を利用することがこれまで以上に容易になってきている。科学技術データの可視化にVR技術を適用することで、視野が広く立体感のある可視化を実現できるので、より直観的に自然現象を理解することが可能となる。清川ら[1]が述べるように、VR技術を用いた可視化には以下のいくつかのメリットがあげられる。

- 視野角と視点追従はVRディスプレイがPCモニターなどと最も顕著に異なるポイントである。特にヘッドマウントディスプレイ(HMD)は視点操作の面で優位性が高い。
- 2次元可視化技術と比較して、没入感・臨場感や立体感の面で優位である。

以上の利点により、HMDを用いたVRシステムを適用することで、ユーザがシミュレーション結果を没入的に観察すれば、気象シミュレーションの可視化においてもより直感的な理解が可能になると考えられる。

科学技術計算のためのVR可視化には、以前はCAVEに代表される高価なVR装置がよく使われてきた。しかし、費用や利便性などの理由から、VR装置を利用できるユーザは限られていた。それに対して近年では、OculusやHTC VIVEなどの安価で高性能なVR装置が普及して広く活用されている。また、ゲームエンジンであるUnityがHMDとの接続に対応したことや、HMDを含むVR機器ベンダーがゲームエンジン用プラグインを無償で公開していることもあり、VRの開発は以前と比較して容易なものとなった。これらの背景から、本論文はUnityとHTC VIVEを用いて、立体的に気象データを解析した結果を提案する。本研究は台風を焦点をしばって、日本周辺の台風の3次元構造や進路を再現することを目標とするものである。

## 2 提案手法

### 2.1 気象データの前処理

台風を可視化するために必要な気象データは公開されており、ダウンロード可能である。我々は気象庁のメソ数値予報モデル(MSM)のデータを用いている。MSMは研究教育目的であれば京都大学のサーバからダウンロードしてNetCDF形式で使用できる。現時点では、例として2016年8月の日本時間0時について

一ヶ月分の気象データを用いている。当該データには、緯度・経度方向ともに5kmの解像度で、ジオポテンシャル高度、風向、気温などの情報が気圧座標系で提供されている。我々はダウンロードした気象データを、鉛直方向に線型内挿・外挿することによって幾何学的な高度座標系に変換したのち、特定の時刻において可視化に用いる情報を抽出して保存している。

### 2.2 スカラ場・ベクタ場の同時可視化

本研究では気圧や気温をスカラ場とみなし、風向をベクタ場とみなし、これらを同時に可視化する。本研究では古矢ら[2]の可視化手法にならって、等値面でスカラ場(気圧・気温など)を、流線でベクタ場(風向)を同時に可視化する。

我々は等値面および流線の生成アルゴリズムをJava言語で開発している。図1はこのプログラムで可視化した等値面と流線である。ピンク色の曲線群が風向をあらわす流線群であり、緑色の面が等圧面(気圧が同一である点の集合)である。この画面を観察することで、どのような台風をどのように再現するのかを議論できる。

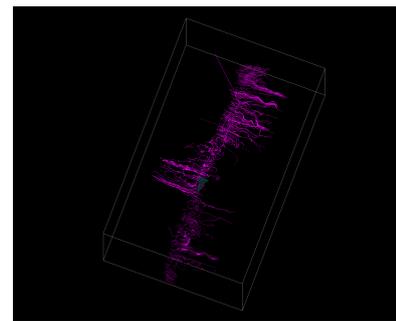


図1: 等値面と流線の生成結果の例

### 2.3 流線の密度と不透明度の設定

流線で台風を表現するにあたり、以下の2点に注意する必要がある。

**課題1:** 流線を過剰に生成することで描画速度が低下するのを避けたい。

**課題2:** 台風の形状理解に直接関係ある部位のみを対象として風向を詳細に表現し、それ以外の部位では流線を表示しないか、あるいは目立たなくすることが望ましい。

本手法では課題1を解決するために、ズームイン用とズームアウト用に別々の流線群を生成する。ズームイン用の流線は気圧が極小となる台風中心付近のみ生成し、これにより流線の長さを抑えて描画速度の低下を防ぐ。ズームアウト用には頂点を間引いた流線をファイル出力する。これによって頂点の総数を抑えて描画速度の低下を抑える。

また本手法では、課題2を解決するために、流線の不透明度を調節する。本手法で用いるデータには偏西風

に代表される定常的かつ一方向への風向も記録されている。このような定常的な風向を流線として表示してしまうと、台風の形など注目すべき部位の理解を妨げることがある。そこで我々は、定常的な風向に対応する流線の不透明度を下げることで、台風が発生している地域での流線を強調する。本手法では一定期間（現時点では2016年8月の1ヶ月間の日本時間0時）の風向の平均値を算出し、これと差分が大きい部位、あるいは台風の中心に近い部位にのみ高い不透明度を適用し、それ以外の部位に低い不透明度を適用する。

## 2.4 VRシステム上の可視化

VR環境の構築にはゲームエンジンUnityを用いている。2.2節に示したシステムで出力した流線と等値面のデータをインポートし、Unityで台風の3次元構造と進路を再現する。Unityでは円柱を連結させて流線（白色）、三角ポリゴンメッシュを用いて等値面（ピンク色）を表示している。流線 $N_i$ を構成する頂点群を $N_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ としたとき、隣接する2頂点を連結する円柱を生成し、この集合を1本の流線として描画する。このとき、あらかじめ頂点ごとに算出した不透明度 $\alpha$ を用いて、 $\alpha$ が0に近ければ不透明度が高い円柱を、1に近ければ不透明度が低い円柱を描画する。

また、ユーザがVR空間に没入して臨場感のある体験ができるように、本手法ではインタラクティブな仕組みを提供する。台風の形と進路を観察するために、UnityのUGUIを利用して操作画面を設計する。

## 3 実行例

本章では提案手法の実行例を示す。この実行例では、VR技術がもつ立体感や対話性、没入感などの特徴を利用し、VR空間上で台風の3次元構造と進路を観察する。我々是对話的な視点操作によって台風の中心を観察するために、HTC Viveのヘッドマウントディスプレイおよびコントローラを用いている。

ここでは2016年の台風10号を例として、8月27日の3時間ごとの気圧、気温、鉛直速度、東西風・南北風を入力し、2.2節に示した実装で流線と等値面を生成した。これをUnityで表示することで、台風の3次元構造と進路を再現する。この可視化結果では、観察したい日時と流線群を操作画面上で選択し、その時点の台風の3次元構造をUnity上で再現している。

気圧が極小となる台風中心付近は俗に「台風の眼」と呼ばれる。図2(上)に示すように、「台風の眼」付近の流れ場に見られる顕著な渦を観察することで、眼の周辺に最も特徴的な流れ場があることを体験できる。図2(下)は台風中心近くにある小さな渦の近くに没入した例である。台風と乱流のような、空間スケールの異なる現象の相互作用については、今後さらなる解析が期待される。

本手法を用いることで、VR空間に没入して台風の「形」を観察することができる。ユーザは左手用のコントローラを用いてVR空間を移動することで、台風周辺の任意の位置から台風の形を観察することができる。また、頭を動かすなどの動作によっても視点を自由に操作できる。一方で、右手用のコントローラによってUIページを操作できる。ユーザとのインタラクション

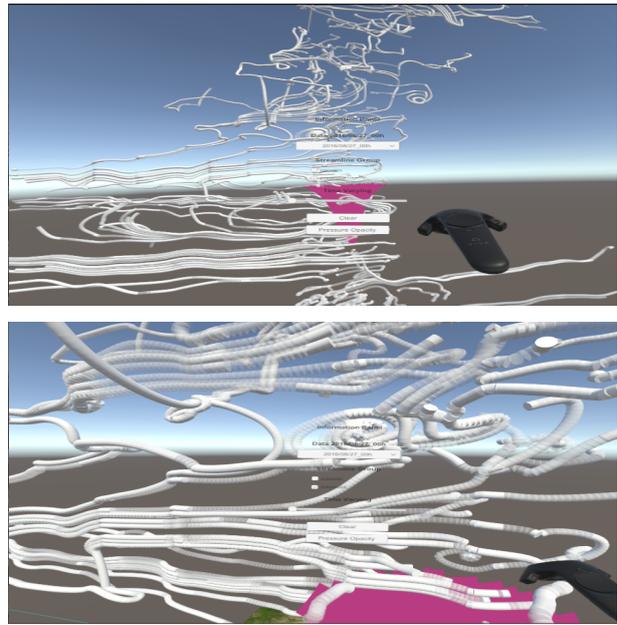


図 2: (上)VR空間で台風の中心付近に入り込んだ例。(下)VR空間で台風中心近くの渦。

を容易にするために、UIページはユーザの視線とともに移動可能な状態で実装されている。

## 4 まとめ

本論文では、台風の立体的なメカニズムを観察するためのVRシステムを提案した。我々はJava言語で開発したプログラムで流線と等値面を生成し、これらをUnityでインポートすることにより、VR空間内で台風の3次元構造と進路を再現した。本システムによって台風の3次元構造や進路などへの理解を促すことができる。

本システムを用いた台風可視化の特徴は以下の3点である。

- 空間で台風の3次元構造を再現することで、より効率的かつ詳細に観察できる。
- 空間で台風の構造・内部を平面的にではなく立体的に視覚化して理解を支援できる。
- 没入して台風を眺めることによって新たな視点で解析の手がかりを得られる。

例えば、図2(下)に示した台風中心付近の小さい渦のような現象を、3次的に観察しながら解析することで、台風内で生じているスケール間相互作用に関する解析の手がかりを得られる可能性が期待される。

## 参考文献

- [1] 清川.: バーチャルリアリティ技術を用いた科学的可視化のメリット. I 可視化情報学会誌, Vol.37, No.146, pp.2-7, 2017.
- [2] 古矢, 伊藤: スカラ場・ベクタ場同時可視化のための流線自動生成の一手法, 芸術科学会論文誌, Vol.8, No.3, pp.120-129, 2009.