

# 気象シミュレーション結果の三次元可視化の一手法

古矢志帆<sup>○</sup>, 伊藤貴之(お茶の水女子大学 人間文化創成科学研究科)

## A Technique for 3D Visualization of Weather Simulation Results Shiho FURUYA and Takayuki ITOH

### ABSTRACT

Various volume visualization techniques for scalar and vector fields have been independently presented. However, we think simultaneous visualization of the two fields is still an open problem. We present a technique to visualize time-varying volume data of weather simulation results. Our goal is to visualize scalar field (pressure or temperature) and vector field (wind) together in a single 3D space. Our technique visualizes a scalar field applying isosurfaces, and a vector field applying streamlines. The technique selectively displays adequate number of streamlines by estimating them applying information entropy.

**Keywords:** Volume visualization, Weather simulation, Streamline

### 1. 概要

ボリューム可視化の分野において、スカラ場あるいはベクタ場の可視化の研究は、ほぼ独立に進んできた。しかし、スカラ場とベクタ場を同時に、かつ三次元的に可視化する試みは、さまざまな観点から研究の余地があると思われる。

例えば気象シミュレーションの分野では現在でも、スカラ場（気温・気圧など）とベクタ場（風向）を二次元的な手法（断面上の等高線や矢印など）で可視化する事例が多い。しかし二次元的な可視化結果からは、気象現象の立体的なメカニズムの理解は難しい場合が多い。

これに対して、三次元的な手法によって気象シミュレーション結果のスカラ場とベクタ場を同時に可視化する試みも、いくつか発表されている。一例として Treinishら[1]は、局所的な気象モデルの可視化（ex.主要都市の天候）を発表している。この可視化表現では、風を地表からの高さに応じて風速が強いほど長いリボンを用い、また各々の主要都市を長い棒で表現している。棒の色の変化とリボンのなびく様子で、主要都市で観測されたスカラ値と風の流れ場を表現している。しかしこの手法においても、どの地点を局所的に可視化することで最も有用な情報を得られるか、という点において議論が残っていると考えられる。

そこで本報告では、スカラ場とベクタ場を同時に可視化するための大局的な可視化の一手法を提案する。本手法は、気象シミュレーション結果から得られる風向・気温・気圧の時系列データを対象とする。本手法では、その大規模なデータから数値特徴を抽出し、風と気圧（あるいは気温）を同時に、適切な情報量で画面表示する可

視化を実現する。

現段階で我々は、気象データのみについて可視化を試みているが、気象以外の大規模なシミュレーションデータに対しても適用可能な手法の確立を目指している。

### 2. 提案内容

#### 2.1 特異点の算出

気象シミュレーション結果におけるスカラ場の興味の対象である代表的な特徴として、気圧であれば高気圧や低気圧、気温であれば暖気や寒気が挙げられる。また同様に、ベクタ場の興味の対象である代表的な特徴には、渦が挙げられる。これらを可視化するために本手法では、データの極大値・極小値・鞍点を「特異点」として着目し、その周辺の数値分布を可視化する。

渦中心点を代表とするベクタ場の特異点を求める手法の例として、小山田ら[2]の手法が知られている。ただし現時点での我々の実装では、スカラ場とベクタ場の特異点は一致するものと仮定し、渦の可視化にはスカラ場の特異点を用いることとする。以降、スカラ場とベクタ場の可視化の処理において「特異点」とは、スカラ場の極大値・極小値・鞍点となる格子点を指すものとする。また以降では、極大値・極小値・鞍点の各々に該当する格子点を1個以上有するボリュームデータを仮定する。

#### 2.2 スカラ場の可視化

本手法では、2.1節で定義したスカラ場の特異点を求め、それを利用してスカラ場を可視化する。現段階の著者らの実装では、特異点周辺の複数のスカラ値から、複数の等値面を生成している。その枚数は最大三枚とし、それぞれに赤・青・緑の色を割り当て、半透明表示する。スカラ値と等値面の不透明度は、それぞれユーザが任意

に指定できるものとする。

### 2.3 ベクタ場の可視化

現段階の著者らの実装では、ベクタ場を流線で表現している。特異点周りを通過する流線に赤色を、その他の流線に黒色を割り当て、また流線の始点が分かるように、始点の色を薄くすることにした。

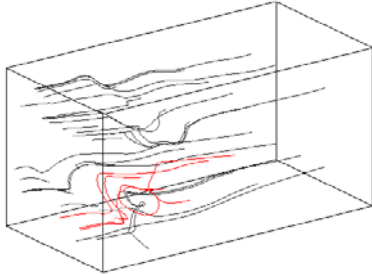


Fig.1: Streamlines (not considering information entropy or critical points).

流線の生成において難しいのが、生成本数と、出発点の設定である。Fig.1 は等間隔に設定した出発点から流線を生成した例である。この図では、特異点周辺を通過する流線を赤色で、それ以外を黒色で描画している（以下 Fig.2, Fig.3 も同様）。ベクタ場の全体的な特徴は掴めるものの、局所的な特徴である渦が発生している場所がわかりづらい。本手法は、生成した流線を、『評価』することで、これらの問題を回避する。

まず、等間隔に設定した出発点から、流線を数百本生成する。そして、その時点の視点に対する、大量に生成した流線の各々の情報エントロピーを算出する。Bordoloi ら[3]や Takahashi ら[4]の手法を応用して、ある視点に対して情報エントロピーを算出することで、一段階目の評価を行う。本手法では、流線が一様に長く見えるほど、情報エントロピーが高いと定義している。

情報エントロピーを求める式は以下のとおりである。

$$E = -\frac{1}{\log_2(m+1)} \sum_{j=0}^m \frac{A_j}{S} \log_2 \frac{A_j}{S}$$

各々の流線はセグメントと呼ばれる小さな線分列の集まりで構成されている。ここで j 番目のセグメントの、ディスプレイ上の長さを  $A_j$ 、三次元空間上の距離を  $S$  とし、上記の式を用いて情報エントロピーを算出する。そして、各流線の情報エントロピーが高い順に、流線群をソートし、上位に属する流線を描画する。このとき、全ての流線を一元的にソートすると、ディスプレイ上に長い流線の情報エントロピーが高いために、渦を成している部位の流線がソートした結果下位になることが多い。その結果 Fig.2 に示すように、渦周辺の流線があまり描画されないという問題が起こりえる。そこで我々は、特異点付近を通過する流線とそれ以外の流線を分別してソートすることにした。Fig.3 に可視化結果の例を示す。

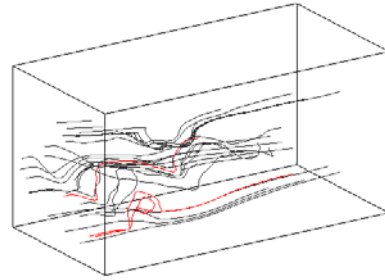


Fig.2: Streamlines (considering only information entropy).

ここで視点を操作すると、ディスプレイ上の線分列の見かけの長さが変わるので、情報エントロピーも変換する。よって視点を操作するたびに、生成した流線に対して評価を行うことで、あらゆる視点に対して、より良い流線の組だけを描画することが可能である。

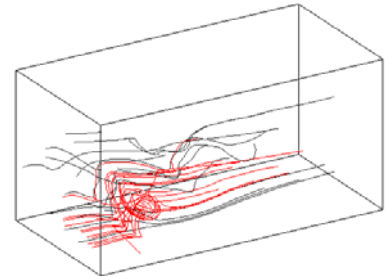


Fig.3: Streamlines (considering information entropy and critical points).

Fig.1 と Fig.3 を比較してもわかるように、同じ本数の流線を描画していても、情報エントロピーを考慮したほうが、その時々視点に合わせて適切に選んだ流線の組だけを描画することが可能である。

ここで、我々は以上の処理の有効性を確かめるために、アンケートを実施した。3 か所の視点からの可視化結果に対し、どの可視化結果が一番データの特徴が掴めるか、11 名から回答を得た。

Table.1: Result of questionnaire

	1位	2位	3位
視点1	C	B	A
視点2	C	B	A
視点3	B	C	A

情報エントロピーや特異点を考慮していない可視化結果を A、情報エントロピーのみを考慮した可視化結果を B、情報エントロピーと特異点情報を考慮した可視化結果を C とし、表にまとめたのが Table.1 である。何も考慮していない可視化結果よりも、情報エントロピーを考慮した B,C の可視化結果の方がデータの特徴が掴めるという回答を得た。また、特異点を考慮したほうが渦回りなど局所的な特徴が掴めるということで、視点1と視

点2ではCの可視化結果が一番データの特徴が掴めるといふ回答を得た．ところが、視点によっては、情報エントロピーの評価のみでは、似たような流れを示す流線が描画されてしまうという問題が発生するため、視点3では可視化結果CよりもBの方がデータの特徴がわかりやすいという結果になった．Fig.4に示すように、視点3における可視化結果からもわかるように、特異点周りの流線が多く描画されすぎてしまい、かえって局所的な特徴が掴みづらくなってしまっている．

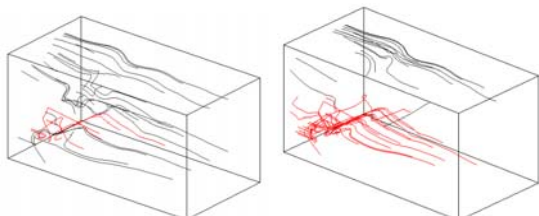


Fig.4: (left) Image of result B  
(right) Image of result C

この結果から、より少ない本数で、より効率的に流れ場を可視化するためにも、似たような流れを示す流線は出来る限り描画しないほうが良いと我々は考え、流線同士の三次元空間における距離を評価するプログラムを現在実装中である．

情報エントロピーの算出と、三次元空間上の距離の測定、という二段階の評価を経て、情報エントロピーが上位の流線のみを描画することで、本手法では渦まわりの流れ場と、渦のない個所の流れ場を、効率的に可視化することが可能である．

## 2.4 スカラ場とベクタ場の同時可視化

本手法では2.2および2.3節で論じた方法を同時に適用することで、スカラ場とベクタ場を同時に可視化する．

このとき、等値面と流線が遮蔽しあって可視性が下がる、という問題点がある．この問題に対して著者らは現在、スカラ場可視化手法の不透明度を自動調節する、あるいはスカラ場可視化手法の不透明度を流線の情報エントロピー算出に反映する、などの手法を検討している．

## 3. GUIの実装

本手法の可視化に用いる各々のパラメータは、ユーザが任意に設定出来るものとしている．そこで、よりインタラクティブにユーザが可視化することが出来るように、我々はGUIを実装した．

GUIには、GLUT上のC++ベースのユーザインターフェースライブラリであるGLUIを用いた．GLUIは、GLUTにのみ依存するので、OSに依存しないGUIを実装することが可能である．

Fig.5は、我々が開発している可視化ツールの画面である．左側に可視化結果を描画し、右側にあるGUIで可視化に必要なパラメータを操作する．このGUIで調節で

きるパラメータの例として、流線では生成本数と、特異点まわりとそれ以外における描画本数を指定出来る．等値面では、赤・青・緑に色分けした三枚の等値面の値を指定できる．流線と等値面の描画は、チェックボックスで切り替えることが可能である．等値面の数値の初期値は、極大値と極小値がそれぞれ代入されているため、ユーザは等値面の描画にチェックを入れるだけで、極大値または極小値の等値面を生成できるようになっている．

また、右側上部にあるトラックボールを操作することで、可視化結果を回転・拡大縮小・平行移動させることが可能である．

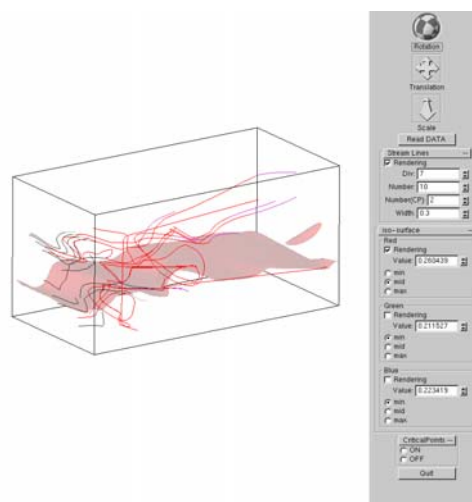


Fig.5: Operation using GUI

これら全ての操作は、マウスだけで簡単に実現できる．このGUIを用いることで、ユーザは左側に描画される可視化結果を眺めながら、流線や等値面の描画に必要な各々のパラメータを調節することが可能である．

## 4. 実行結果

本手法を用いて、気象シミュレーションデータを可視化した結果を示す．本報告では、格子数  $81 \times 41 \times 81$  個、各格子点に風の流れ場(x,y,z)・気圧・気温が101ステップ記録されているデータを使用した．

まず前処理として、全ステップに対して特異点を算出する処理を施した．その結果、極大値・極小値・鞍点の各々に該当する格子点が一つ以上見つかった99ステップ目の気圧および流れ場のデータを抽出し、可視化を行った．この99ステップ目には、極大値が13点、極小値が9点、鞍点が25点、合計47個の特異点が見つかった．

前処理の結果得られた極大値周辺の値における等値面を一枚生成し、気圧を可視化した結果がFig.6である．ここでは特異点のうち、極大点を緑色で、極小点を黄色で点描している．Fig.6の黒枠で囲まれた部分が、高気圧に相当している．値を1つ指定しただけで、二つの高気圧が可視化された．見つかった極大値13点のうち、

指定した値に近い極大点が2点あったため、この2点周辺の高気圧が可視化されたと考えられる。

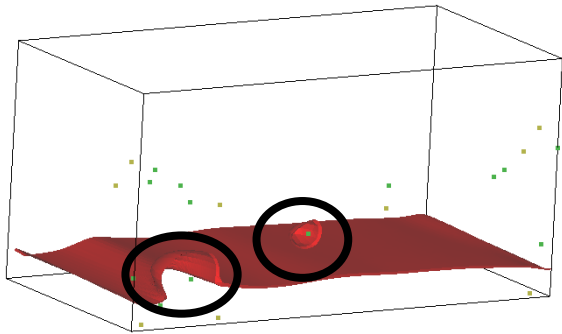


Fig. 6: Visualization of high pressures

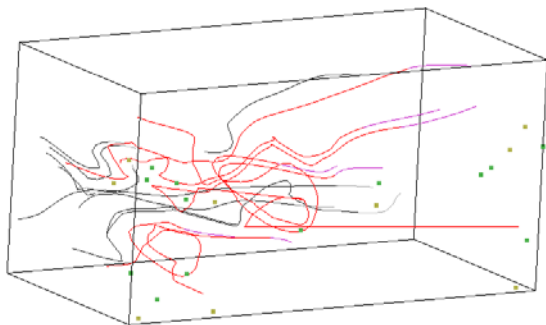


Fig. 7: Visualization of the flow around the high pressures

高気圧周辺の風の流れ場を可視化した結果が Fig.7 である。この図では、特異点周辺を通過する流線を赤色で、その他の流線を黒色で描画している。また、流れの向きがわかるように、流線を成すセグメントの全体の8分の1に対してだけ、描画色を変えた。

Fig.7 からわかるように、高気圧周辺には渦が発生しているのが観察できる。北半球の場合、高気圧周りでは、一般的に反時計回りの渦巻き状に外側へ向かう風が吹いているといわれている。Fig.7 を見ると、画面右方向から左方向へ風が流れる途中で渦巻き状になっているのが観察でき、この現象を確認することができた。なぜ上記のような現象が起こるのかというと、高気圧中心に下降気流が発生することで、地上に降りてきた空気が行き場をなくして外側に噴き出すからであるといわれている。

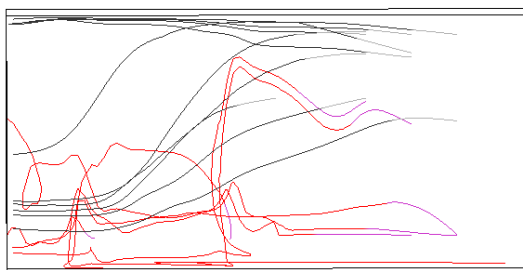


Fig. 8: Streamlines from another view point

ここで、Fig.7 を別の角度から眺めた結果である Fig.8 を観察してみる。画面右方向から左方向へ風が流れ、その途中の渦を巻いていたあたりで急激に鉛直方向下向きの風になっていることがわかる。このことから、この渦を成していた風は下降気流であり、一連の気象現象の可視化をすることが出来た。

今回はシミュレーションの一部を可視化した、今後気圧や風の流れ場の時間による変化を可視化することで、今回可視化した一連の気象現象のメカニズムを可視化することが可能であると考えている。

## 5. まとめと今後の課題

本報告では、気象シミュレーションのデータを用いて、スカラ場とベクタ場を同時に三次元で可視化する一手法を提案した。今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- スカラ場とベクタ場の同時可視化の観点から、より適切に流線の情報エントロピーを算出する
- シミュレーション結果をアニメーション再生することで、既に発生した渦の観察だけでなく、渦の発生や消滅といった気象事象を観察できるようにする
- 可視化結果の表示だけでなく、情報エントロピー算出などにも GPU プログラミングを適用することで、インタラクティブ性を向上する
- GUI の操作性に対して、ユーザテストを実施することで操作性の向上を図る

## 謝辞

気象シミュレーションデータを提供して頂いた、お茶の水女子大学河村哲也教授、安田史氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] L. Treinish, Z. Christidis, "Visualization Techniques for Applications of High-Resolution Numerical Weather Models", Proceedings of the Sixteenth International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, pp. 66-69, January 2000.
- [2] 小山田 耕二, 土井 章男, 千葉 則茂, 三中西 信治, "四面体格子を用いた渦の可視化: 数値流体シミュレーションへの適用", 電子情報通信学会論文誌 D-II, pp. 1871-1878, November 1996.
- [3] U. Bordoloi, H. Shen, "View Selection for Volume Rendering", IEEE Visualization 2005, pp. 487-494, October 2005.
- [4] S. Takahashi, I. Fujishiro, Y. Takeshima, T. Nishita, "A Feature-Driven Approach to Locating Optimal Viewpoints for Volume Visualization", IEEE Visualization 2005, pp. 495-502, October 2005.