

# 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 伊藤貴之

お茶の水女子大学 大学院 人間文化創成科学研究科 理学専攻

## 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を理解するのが難しい場合が多い。

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適な可視化結果が得られるか、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 スカラ場の可視化

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ある。これらを可視化するために本手法では、スカラ場の極大値・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。一例として現段階の著者らの実装では、上記の手法によって特異点周辺の複数のスカラ値を求め、これにしたがって複数の等値面を生成している。本手法では等値面をスカラ値ごとに色分けし、半透明表示する。

### 2.2 ベクタ場の可視化

気象シミュレーション結果におけるベクタ場の興味の対象である代表的な特徴に、渦がある。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。

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。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。本手法は、生成した流線を、二段階で『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の高い流線を優先して描画することで、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。j 番目のセグメントの、ディスプレイ

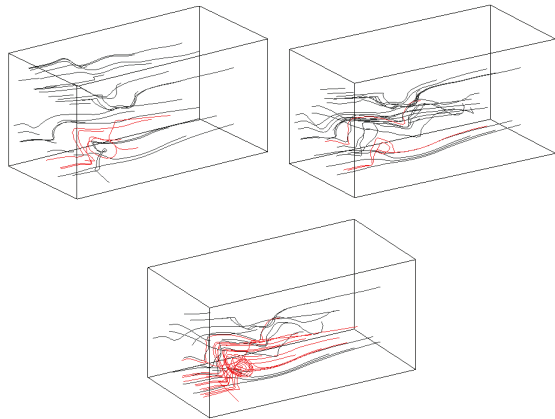
---

“A technique for 3D visualization of weather simulation results”

Shiho Furuya, Takayuki Itoh, Ochanomizu University

{shiho, itot}@itolab.is.ocha.ac.jp

レイ上の長さを  $A_j$  , 三次元空間上の距離を  $S$  として , 上記の式にあてはめ情報エントロピーを算出している . 視点が変わることで , ディスプレイ上の線分列の見かけの長さが変わり , 情報エントロピーが変わる . この評価を行うことで , 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 .



**図 1: (左上) エントロピーを考慮していない流線群  
(右上) 情報エントロピーを考慮した流線群  
(下) 情報エントロピーと特異点を考慮した流線群**

図 1 (左上) は等間隔に設定した出発点から流線を生成した結果で , 図 1 (右上) は同様にして生成した数百本の流線の情報エントロピーを算出して , 上位の流線を図 1 (左上) と同数描画した結果である . 赤く描画されているのが , 特異点付近を通過する , つまり渦を構成している流線である . 同じ本数を描画しているが , 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た最良の流線の組だけを描画することが可能である .

しかし , この情報エントロピーによる評価だけでは , 長さが長い流線の情報エントロピーが高いために , 渦を成している肝心の部分の流線が描画されにくいことがある . そこで本手法では , 特異点付近を通過する流線に対して , 情報エントロピーに重みづけをする . 図 1 (下) がその結果であり , 図 1 (右上) に比べて , 各段に渦周辺の流れ場の様子がわかりやすくなった .

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 , 効率的に可視化をすることが可能である . 流線の描画本数と特異点周辺の重み値は , ユーザが指定できるものとしている .

### 2.3 スカラ場とベクタ場の同時可視化

本手法では 2.1 および 2.2 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. 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
- ユーザがインタラクティブに可視化結果を操作できるように , GUI を設計する

### 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.