

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

古矢志帆（指導教員：伊藤貴之）

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。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。

そこで本論文では、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。本手法では、大規模なデータから数値特徴を抽出し、スカラ場とベクタ場を同時に、適切な情報量で画面表示する可視化を実現する。スカラ場は複数の等値面を生成することで、そしてベクタ場は流線を生成することで可視化する。本手法では特に、等値面と同時に描画したときに起こりうる遮蔽や、データの特徴を示す渦などの現象を掴めるような流線群を自動で生成することに重点を置いている。

2 提案内容

2.1 スカラ場の可視化

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。具体的には、ユーザに特異点の数値から適当なものを選択させ、Marching Cubes 法 [2] を用いて等値面を生成する。各等値面はスカラ値ごとに色分けし、半透明表示する。

ボリュームレンダリングの分野において、伝達関数を半自動で決定する研究が既に行われており [3][4]、これらの研究を応用することで本処理も半自動化することが可能であると考えている。

2.2 ベクタ場の可視化

流線の生成において難しいのが、出発点の設定である。本章では、情報エントロピーにもとづいて最適な流線を選択する手法を提案する。

まず初めに、等間隔に設定した出発点から、流線を一時的に数百本生成する。そして、Takahashi ら [5] の手法を応用して、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。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、最適な流線を選択する。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。

$$E = -\frac{1}{\log_2(1+m)} \sum_{j=0}^m \frac{D_j}{L} \log_2 \frac{D_j}{L} \quad (1)$$

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、ディスプレイ上の長さを D_j 、三次元空間上の距離を L 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。

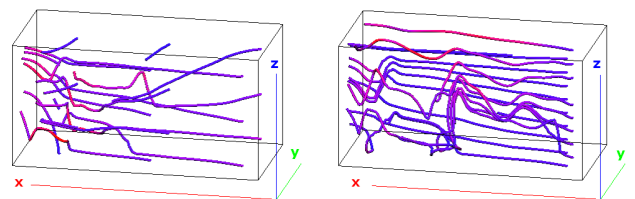


図 1: 出発点を等間隔に設定し 図 2: 本手法を用いて流線を自動生成した結果

流線の自動生成は近年盛んに行われている研究であり、例えば Li らは流れを示す代表的な流線のみを自動で描画する手法を提案している [6]。既存の手法に比べ、我々の手法ではより少ない本数で、ディスプレイ上で長く見え情報量の高い流線を描画することが可能である。図 1 は出発点を適当に設定し流線を生成した結果で、図 2 は 500 本の流線から本手法を用いて情報量の高い流線を選択した結果である。どちらも 18 本の流線を描画しているが、本手法を用いた結果のほうが効率よくベクタ場を可視化出

来ている．さらにより良い流線群を描画するために，我々は以下の三点を情報エントロピーの値に考慮する．

特異点 ベクタ場の興味の対象である代表的な特徴に，渦がある．情報エントロピーが高い流線のみを選んだ場合，まっすぐ伸びる流線群が選ばれやすくなり，結果として渦を成す流線群が選ばれにくくなる傾向にある．その理由としては，渦を成す流線群の式(1)における D_j が低いことが挙げられる．

渦は特異点付近に流線を生成させると観察することができるが知られている [7]．そこで，各特異点付近を通る流線を最低 1 本生成する，複数生成された場合には各々の情報エントロピーを比較し上位のものを描画する，などによってこの問題を解決する．

等値面による流線の遮蔽 等値面と流線を同時に描画した際に，大量の流線が等値面によって遮蔽され見えなくなってしまう状況は好ましくない．そこで，等値面に遮蔽されている流線の情報エントロピーを， m_0 を遮蔽されているセグメントの総数， α を遮蔽している等値面の不透明度として当てはめ，以下の数式を用いて求めなおす．

$$E' = (1 - \frac{m_0}{m})E + (\frac{m_0}{m})(1 - \alpha)E \quad (2)$$

ここで，等値面は 2.1 で述べたように，複数枚生成されている場合がある．流線の i 番目のセグメントが n_i 枚の等値面により遮蔽されているとき ($1 \leq i \leq m$)，不透明度が α_k の k 番目の等値面に遮蔽されているセグメントへの重みづけは，

$$D_{ik} = (1 - \alpha_k)D_{i(k-1)} \quad (3)$$

とあらわすことができる．数式(3)を再帰的に行うことで， i 番目のセグメントに対して n_i 枚の等値面による遮蔽を考慮した重みづけを行うことができる．本手法では $1 \leq j \leq n_j$ かつ $D_{i0} = D_i$ であるとし，以下の数式を適用することで情報エントロピーを求めている．

$$E = -\frac{1}{\log_2(1+m)} \sum_{j=0}^m \frac{D_j n_j}{L} \log_2 \frac{D_j n_j}{L} \quad (4)$$

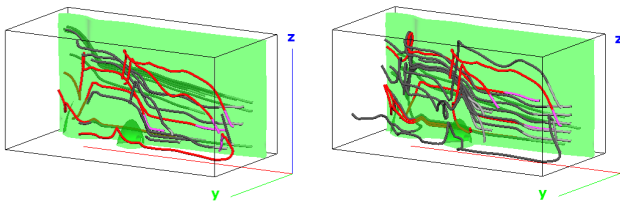


図 3: 等値面による遮蔽を考慮していない結果 図 4: 等値面による遮蔽を考慮した結果

図 3 と図 4 は，本処理を行った結果と行っていない結果を示すものである．図 3 では等値面の裏側に流線が多

く描画されていたのに対し，本処理を施した図 4 では視点側により多くの流線が描画され，その結果，可視化結果左部分に渦が出来ているのが観察できた．このように，本処理を行うことで，等値面の遮蔽によって可視性と情報量が低下した流線の描画を減らすことができ，より効率的にベクタ場の可視化を行うことが可能であるといえる．

流線の密度 本手法により求めた情報エントロピーにもとづいて流線を選択すると，非常に近い場所を通る似たような流線が積極的に選ばれるという問題点がある．この問題により，局所的に流線が密集した可視化結果が得られることとなり，あまり好ましくないといえる．

そこで，本手法では流線同士が一定距離以上離れた場所を通過しているかどうかを判定することで，流線の密集を防ぐ．これにより，流れを示す代表的な流線のみを選択することが可能となる．

3 まとめ

本論文では，スカラ場とベクタ場を同時に三次元で可視化する際の流線自動生成の一手法として，特異点や等値面による遮蔽を考慮した情報エントロピーにもとづいて，流線を選択する手法を提案した．

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, 2000.
- [2] W. Lorensen, H. Cline, Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol.21, No.4, pp.163-169, 1987.
- [3] G. Kindlmann, J. W. Durkin, Semi-automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering, *Proceedings of the 1998 IEEE symposium on Volume visualization*, pp. 79-86, 1998.
- [4] S. Takahashi, Y. Takeshima, I. Fujishiro, Topological Volume Skeletonization and Its Application to Transfer Function Design, *Graphical Models*, Vol. 66, No. 1, 24-49, 2004.
- [5] S. Takahashi, I. Fujishiro, Y. Takeshima, T. Nishita, A Feature-Driven Approach to Locating Optimal Viewpoints for Volume Visualization, *Proceedings of IEEE Visualization 2005*, pp. 495-502, 2005.
- [6] L. Li, H.-H. Hsieh, H.-W. Shen, Illustrative Streamline Placement and Visualization, *Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium 2008*, pp. 79-86, 2008.
- [7] K. Koyamada, T. Itoh, Seed Specification for Displaying a Streamline in an Irregular Volume, *Engineering with Computer*, Vol. 14, pp. 73-80, 1998.