

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 ○伊藤貴之
お茶の水女子大学

A Streamline Selection Technique for Integrated Scalar and Vector Visualization

Shiho Furuya Takayuki Itoh
Ochanomizu University

Scalar and vector field visualization techniques have evolved almost independently. We think integration of scalar and vector visualization is still an interesting topic. This paper presents a streamline selection technique for integrated scalar and vector field visualization. The technique visualizes a scalar field by multiple semi-transparent isosurfaces, and a vector field by multiple streamlines, while the technique adequately selects the streamlines considering reduction of cluttering among the isosurfaces and streamlines.

1. はじめに

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スカラ場とベクタ場を同時に可視化する試みも発表されている。一例としてTreinishら⁽¹⁾は気象シミュレーション結果を題材として、対話的操作によって局所的な現象

を可視化する事例を発表している。しかしこの手法においても、可視化のために生成する間接的なオブジェクト（断面、等値面、流線など）をどのように自動的に選べば、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、大局的かつ半自動的な可視化手法を提案する。本手法では、複数の等値面を生成することでスカラ場を可視化し、多数の流線を生成することでベクタ場を可視化する。この際に本手法では、等値面と同時に描画したときに起こりうる遮蔽の問題を回避する、データの特徴を示す渦などの現象を優先的に表現する、などの点を考慮しながら流線を自動選択する。

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、その値あるいはそれに近い値を可視化する。現時点での我々の実装では、まずGUIを用いてユーザに特異点を生じるスカラ値を提示する。続いてユーザにそのスカラ値の中から適当な数個を選択させ、GUIを用いてスカラ値を微調節させる。このようにして対話的に設定されたスカラ値に対して、本手法ではMarching Cubes法⁽²⁾を用いて等値面を生成する。そしてスカラ値ごとに各等値面を色分けし、半透明表示する。

このように現時点での我々の実装では、スカラ値を対話的に設定させている。それに対して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いくつか発表⁽³⁾⁽⁴⁾されている。これらの原理を応用することで、本手法における等値面生成を半自動化することが可能である。

2.2 ベクタ場の可視化

流線によるベクタ場可視化結果の有効性は、どの流線を選ぶか、言い換えればどこから出発した流線を描くかに大きく依存する。本手法では、まず仮に多数の流線を生成し、その中から情報エントロピーにもとづいて最適な流線を選択する。本手法ではまず、等間隔に設定した出発点から、流線を一時的に多数（著者らの実装では500本程度）生成する。そしてTakahashiら⁽⁵⁾の手法を応用して、その時点で設定されている視点に対する、各流線の情報エントロピーを算出する。そ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、情報量のある流線を選択する。本手法では、流線が一樣に長く見えるほど、情報エントロピーが高いと定義する。情報エントロピーを求める式は以下のとおりである。

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

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_j として、式(1)に代入して情報エントロピーを算出する。視点を操作した際には、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

ピーを再算出し、流線を再選択する。以上により、任意の視点に対して、適切な流線を選択描画する。

流線の自動生成は近年盛んに行われている研究である。例えばLiら⁽⁶⁾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。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伸びる情報量の高い流線を選択する傾向にある。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果的にベクタ場を可視化できているのがわかる。

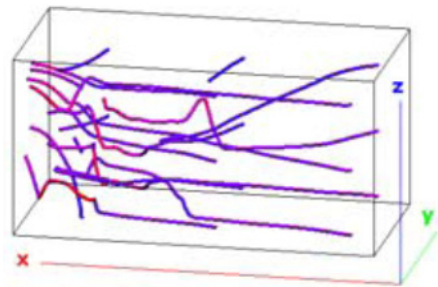


図1 本手法を適用せずに、等間隔に設定した18か所の出発点から流線を生成した結果。

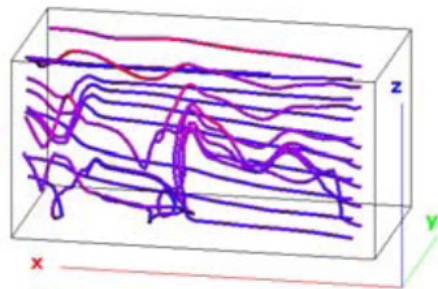


図2 本手法を用いて流線を自動選択した結果。

さらに適切に流線群を選択するために、我々は以下の三点を情報エントロピーの算出に考慮する。

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、結果として渦を表現する曲線的な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 が低い傾向にある

ことが挙げられる。ここで、渦は特異点付近に生成できることから、あらかじめ抽出された特異点周辺に優先的に流線を生成することで効果的に渦を可視化できることが知られている⁽⁷⁾。そこで本手法では、

- 各特異点付近を通る流線の中から情報エントロピーの高いものを、特異点ごとに最低1本選択する

というルールを加えることで、特異点近傍におけるベクタ場の現象を効果的に可視化する。

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てしまうようでは、適切な流線が選択されたとはいえない。そこで本手法では、等値面に遮蔽されている流線の情報エントロピーを下げることを考える。2.1節で述べたように、本手法では複数の等値面を生成する場合を想定する。ここで、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、不透明度が α_k である 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を

$$D_{ik} = (1 - \alpha_k) D_{i(k-1)} \quad (2)$$

とする。そして式(2)を再帰的に適用することで、 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を算出する。我々の実装では $1 \leq j \leq n_j$ かつ $D_{i0} = D_i$ であるとし、以下の式(3)を適用することで情報エントロピーを求める。

$$E = -\frac{1}{\log_2(1+m)} \sum_{j=0}^m \frac{D_{jn_j}}{L_j} \log_2 \frac{D_{jn_j}}{L_j} \quad (3)$$

図3,4 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生成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生成され、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、等値面の遮蔽による可視性の低下した流線の生成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。その結果として、局所的に流線が密

集した、あまり好ましくない可視化結果が得られることがある。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。

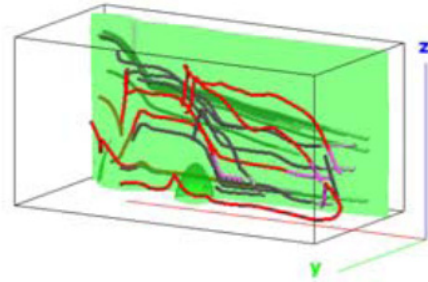


図3 等値面による遮蔽を考慮しないで流線を自動選択した例。

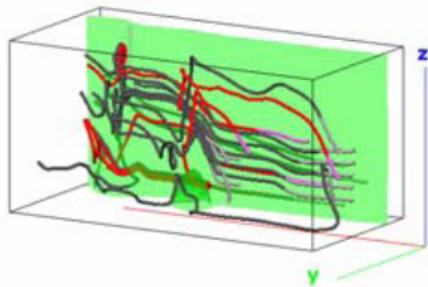


図4 等値面による遮蔽を考慮して流線を自動選択した例。

3. 適用事例

気象シミュレーションデータを可視化した事例を示す。本事例では、スカラ場（気温および気圧）とベクタ場（風速）の各値を各格子点に記録した、格子数80x40x80の直交格子ボリュームを用いた。なお本事例では、 z 軸（図中の青い座標軸）の正方向が上空方向である点に注意されたい。

図5は、ある極大値を少し下回る気圧値を青色の等値面で、別のある極小値を少し上回る気圧値を緑色の等値面で可視化したものである。図中の青い円の周辺が高気圧を、緑の円の周辺が低気圧を示している。この高気圧の近傍について、流線を生成して流れ場を可視化した例が図6である。特異点付近を通過する流線は赤色で、それ以外の流線は黒色で描画している。流れの向きが分かるように、流線の始点は

薄い色で表現している。この可視化結果から、高気圧の周辺を回り込むように風が吹いているのが確認できる。図7は図6に対して視点を切り替え、さらに気圧の谷と尾根を矢印で書き加えたものである。赤色の矢印が気圧の谷を、青色の矢印が気圧の尾根をあらわしており、谷部分には上昇気流が、また尾根付近で下降気流が発生しているのがみえる。このことから、気圧の谷の部分には上昇気流が発生する現象と、気圧の尾根の部分には高気圧性の渦、すなわち下降気流が発生する現象を確認できた。

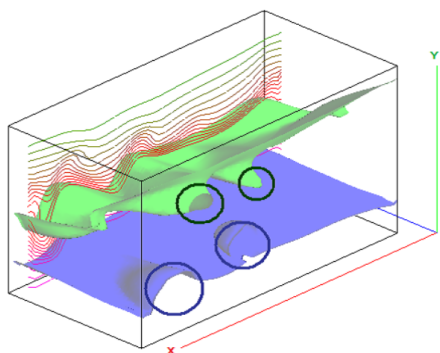


図5 適用事例：高気圧と低気圧。

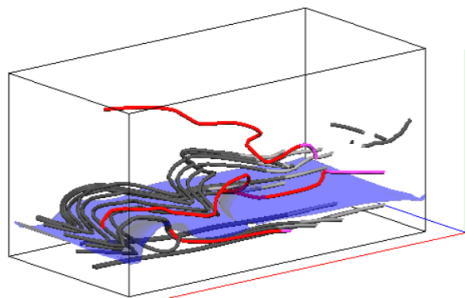


図6 適用事例：高気圧の周囲の流れ場。

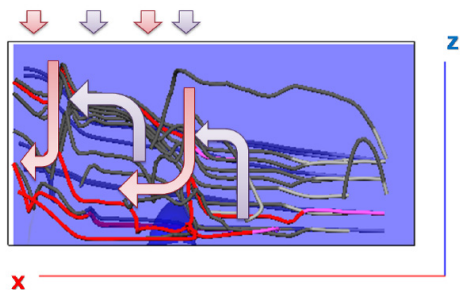


図7 適用事例：下降気流と上昇気流。

4. まとめ

本報告では、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。

今後の課題には、等値面による流線遮蔽判定の高速化、特異点が非常に多いボリュームデータにおいて重要な特異点を選択する機能を搭載すること、時系列ボリュームデータにおいて効果的な流線選択ができるように本手法を拡張すること、などがある。

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, Sixteenth International Conference on Interactive Information and Processing Systems for Meteorology, 66-69, 2000.
- (2) W. Lorensen, H. Cline, Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 21(4), 163-169, 1987.
- (3) G. Kindlmann, J. W. Durkin, Semi-automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering, IEEE Symposium on Volume Visualization, 79-86, 1998.
- (4) S. Takahashi, Y. Takeshima, I. Fujishiro, Topological Volume Skeletonization and Its Application to Transfer Function Design, Graphical Models, 66(1), 24-49, 2004.
- (5) S. Takahashi, I. Fujishiro, Y. Takeshima, T. Nishita, A Feature-Driven Approach to Locating Optimal Viewpoints for Volume Visualization, IEEE Visualization, 495-502, 2005.
- (6) L. Li, H.-H. Hsieh, H.-W. Shen, Illustrative Streamline Placement and Visualization, IEEE Pacific Visualization Symposium, 79-86, 2008.
- (7) K. Koyamada, T. Itoh, Seed Specification for Displaying a Streamline in an Irregular Volume, Engineering with Computer, 14, 73-80, 1998.