

ボリュームデータマイニング：

大規模ボリュームの視覚的解析における serendipity の追求

藤代 一成

お茶の水女子大学理学部情報科学科

〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

fuji@is.ocha.ac.jp

ボリュームビジュアライゼーションは、測定やシミュレーションから得られた大規模な3次元データに潜む内部構造や振舞いを探究するために必要不可欠なツールである。ボリュームレンダリングされた画像の品質を大きく左右する伝達関数の最適化は、革新的ハードウェア技術によって対話的な可視化環境が普及し始めた現在でもなお、サイズが加速度的に大規模化しているボリュームデータを可視化する上で最も重要な課題の一つとなっている。本稿では、ボリュームの位相解析に基づく著者の最近の伝達関数半自動設計方式を説明し、それを発展させて、ユーザに強化された視覚解析能力を与えるコラボレーション環境であるボリュームデータマイニングのコンセプトを提唱する。

Volume Data Mining:
The Pursuit of Serendipity for Visual Exploration of Large-Scale Volume Data

Issei Fujishiro

Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan

fuji@is.ocha.ac.jp

Volume visualization has served as an indispensable methodology in various disciplines for exploring the inner structures and complex behavior of volumetric objects embedded in large-scale sampled or simulated 3D datasets. Although the advent of hardware-based acceleration mechanisms enables the user to visualize such volumes interactively, the rapid increase in their data size makes it difficult to adjust transfer functions sufficiently with repeated evaluation of resulting images. In order to provide the user with the enhanced serendipity, this article describes an approach to collaborative visual exploration, termed *volume data mining*, where a 3D field topology analysis plays an important role in automating transfer function design.

1. ボリュームビジュアライゼーション

コンピュータビジュアライゼーション – 計算機を援用したデータの可視化 – は：

- ① 時空間独立性：対象の時空間スケールに依存しない
- ② 第一人称性：個々のユーザの好きな見方で対象を観察できる
- ③ 非侵襲性：対象を壊さずにその内部を探れる
- ④ 再現性：得心のゆくまで繰り返し対象を視ることが出来る

といった特長をもつことから、あらゆる理工学分野で必要不可欠な方法論として認められている。特に、計算/計測環境およびCG技術の急速な進展を受けて、ユーザは元々興味のある3次元対象の解析を志向するようになった。その結果、対象は3次元的に中身の詰まったボリュームとして表現され、その内部構造や振舞いを2次元グラフィックデバイス上に画像として表現するための可視化技術に大きな期待が寄せられるようになった。このような背景から登場してきた可視化技術が、ボリュームビジュアライゼーション (volume visualization) である[7]。

2. 伝達関数設計の重要性

ボリューム全体を一度に可視化するためには、ボリューム空間内に十分な個数の標本点をとり、そこでのスカラ値を伝達関数 (transfer function) とよばれる関数を用いて適当なカラー値と半透明度値に変換した後に、ボリュームレンダリング (volume rendering) とよばれる専用の投影法を用いてスクリーンに向けて順に投影し、混合しなければならない。ボリュームレンダリングは、空間の各点の厳密な値を見せることを断念する代わりに、ボリューム全体のデータ分布を多色のゼリーのように直観的に見せることができる。

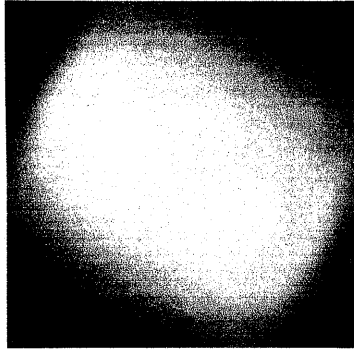
ボリュームレンダリングの最大の欠点は、標本点数に比例する計算時間を要することであった。しかし、99年にレイキャスティングによって256³個の標本点から構成されるボリュームデータを実時間で可視化できる専用PCIボード[4]が発表

され、単一のPC環境でも対話的なボリュームの視覚解析が可能になったばかりでなく、専用ボードを搭載したPCのクラスタコンピューティングによる並列ボリュームレンダリングの研究開発にも注目が集まっており、この種の欠点は確実に緩和されつつある。

ところで、ボリュームレンダリングされた画像の品質を大きく左右する伝達関数の最適化は、こうした対話的な可視化環境が普及し始めた現在でもなお、ボリュームビジュアライゼーションにおける最も重要な課題の一つである。IEEE Visualization2000 国際会議では、ソースを知らされていないパネリストたちが、自らの手法で設計した伝達関数を用いて、与えられたボリュームの可視化を試みるという興味深いパネルが行われた[5]。本年度は、Kindlmannが提案したフィールド導関数に基づくボリューム内部境界の強調方式[3]が第1席をとっている。

一方、藤代らは99年に、ボリュームフィールドの位相解析を利用し、目的値の変化に伴い等値面列がもつ位相の同値性が崩れるような臨界フィールド値を求め、対応する不透明度を相対的に僅かに上昇させるとともに、色相にも不連続性をもたせるように伝達関数を強調して、わかりやすい可視化結果を得る手法を開発している[1]。

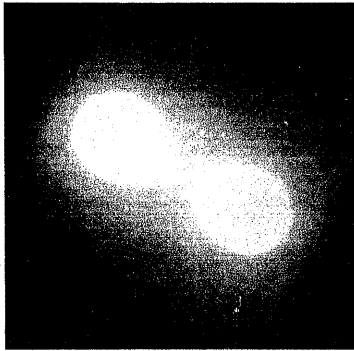
図1に、水素分子の周りの3次元電荷密度分布データを、連続的な伝達関数と、上記の手法によって半自動設計された伝達関数とを用いて、ボリュームレンダリングした場合の結果を示す。後者の方が、視線方向のフィールド積分による遮蔽効果の中でも、同分布の内部構造を理解しやすく可視化できていることがわかる。この手法によって、あらゆる可視化目的に対してつねに最良の結果を与えるような伝達関数が設計できるという保証が存在するわけではない。しかし、その初期設定をより良好なものにすることで、ユーザの調整は容易になり、再レンダリングの回数が減って、解析全体のスループットが改善される効果が期待できる。



Color TF



Opacity TF



Color TF



Opacity TF

図1 異なる伝達関数による視覚的効果の違い
上：連続的な伝達関数
下：ボリューム位相解析によって特定された
臨界フィールド値で強調された伝達関数

3. ボリュームデータマイニング

前節で述べた伝達関数の半自動設計手法のメリットは、単にわかりやすいレンダリング (comprehensible rendering) を提供するだけにとどまらない。

現在も、対象となるボリュームデータのサイズは増加する一方である。G バイトサイズのボリュームがK オーダの個数分並ぶような時系列ボリュームデータも珍しくなく、その場合の全容量はT バイトオーダにまで達する。しかし、このように膨大なデータのなかから、ユーザが本当に注意して観察しなければならない箇所はごく一部に限られる。与えられたデータのスナップショットをただ愚直に描き、それらをつなげてアニメーション化するだけの旧来の可視化スタイルでは、データサイズの増加とともに、有効な情報が得られる確率は減少する一方である。そこで、ユーザに代わって、与えられた時系列ボリュームデータの構造を調べ、特徴的な変化をもつ部分を(半)自動的に特定し、ユーザをより高度な価値判断に専念させられるようなコラボレーションメカニズムが必要となってくる。このコンセプトを、ここではボリュームデータマイニング (volume data mining) [2, 8] とよぶことにする。

実際文献[1, 9]では、各時刻ごとに、ボリューム位相解析によって得られる適切な伝達関数を用いて可視化する方式を、具体的な原始衝突問題に応用する試みが報告されている。位相解析のコンセプトを一貫させれば、4D ボリュームデータの中で、ボリュームフィールドの位相同値性を崩すような臨界時刻を求めることも可能であり、その前後に可視化を集中すれば、きわめて効果的な out-of-core visualization を実現することができる。

このように、ユーザと可視化支援環境とのコラボレーションを基盤として、より強化された 解析能力 (serendipity) [6] をユーザに提供できるような、ボリュームデータマイニングのフレームワークの確立が課題である。

謝 辞

本論文を発表する機会を頂戴した、奈良女子大学の城 和貴教授に感謝いたします。

なお本研究の一部は、文部省科学研究費補助金基盤研究(C)(2)11680349 および三菱プレシジョン株式会社との共同研究として行われた。

参考文献

- [1] Fujishiro, I., Azuma, T., and Takeshima, Y.: "Automating transfer function design for comprehensible volume rendering based on 3D field topology analysis," In *Proc. IEEE Visualization'99*, San Francisco, October 1999, pp.467-470, p.563.
- [2] Fujishiro, I., Azuma, T., Takeshima, Y., and Takahashi, S.: "Volume data mining using 3D field topology analysis," *IEEE CG&A*, Vol.20, No.5, pp.46-51, September/October 2000.
- [3] Kindlmann, G. and Durkin, J.W.: "Semi-automatic generation of transfer functions for direct volume rendering," In *Proc. Symposium on Volume Visualization*, Research Triangle Park, October 1998, ACM SIGGRAPH, pp.79-86.
- [4] Pfister, H., Hardenbergh, J., Knittel, J., Lauer, H., and Seiler, L.: "The VolumePro real-time ray-casting system," In *Proc. ACM SIGGRAPH99*, August 1999, pp.251-260.
- [5] Pfister, H., et al: "The transfer function bake-off," In *Proc. IEEE Visualization2000*, Salt Lake City, October 2000, pp.523-526.
- [6] Ramakrishnan, N. and Grama, A.Y.: "Data mining: From serendipity to science," *IEEE Computer*, Vol. 32, No 8, pp.34-37, August 1999.
- [7] 中嶋, 藤代 (編著): コンピュータビジュアルリゼーション, 共立出版, 2000年11月
- [8] 藤代: 「ボリュームデータマイニング」, 第28回可視化情報シンポジウムオーガナイズドセッション『ボリュームデータマイニング』基調講演, 可視化情報学会誌, Vol. 20 Suppl., No. 1 (第28回可視化情報シンポジウム講演論文集), pp. 161-162, 2000年7月

- [9] 竹島, 藤代, 山口, 高橋: 「時系列ボリュームデータマイニングのための位相解析アプローチ」, 可視化情報学会誌, Vol.20 Suppl., No.1 (第28回可視化情報シンポジウム講演論文集), pp. 163-166, 2000年7月