

時系列ボリュームデータにおける 位相情報の視覚化

濱岡 史 大塚 理恵子[†] 竹島 由里子^{††} 高橋 成雄^{†††} 藤代 一成[†]

お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

[†] お茶の水女子大学 大学院 人間文化研究科

^{††} 東北大学 流体力学研究所

^{†††} 東京大学大学院 総合文化研究科

1 背景と目的

現在、シミュレーションや計測で得られるデータの多くは、時系列ボリュームデータの形式をとる。そのような大規模データから可視化アニメーションなどを通して、注目すべき特徴的な部分を見つけ出すことは、解析者にとって易しいことではない。

そこで、時系列ボリュームデータから、効率よく特徴的な部分を特定するシステムとして T-Map [1] が提案された。T-Map は、ボリュームデータの構造を微分位相幾何学的に解析し、特徴的な変化をもつ部分を (半) 自動的に特定するボリュームデータマイニング (Volume Data Mining: VDM) [2] の概念を拡張した環境である。しかし、現段階での位相解析結果の視覚化方法は、時間ステップ数の多いデータに対して十分に効果的とはいえない。

そこで本稿では、位相解析結果の視覚化に関して T-Map で現在用いられている手法の問題点を考慮して新たな手法を提案する。まず、2 節で T-Map について紹介し、3 節で T-Map における位相解析結果の描画方法の拡張について述べる。4 節で位相解析結果の新たな視覚化手法を提案し、有効性を検証する。最後に 5 節でまとめと今後の課題を述べる。

2 T-Map

T-Map では、各時刻におけるボリュームデータの位相構造を表現するために、ボリューム骨格木 (Volume Skeleton Tree: VST) [3] とよばれる木構造を利用する。各時刻におけるボリュームデータから抽出された VST を並べることで、位相構造が変化する時刻である臨界タイミングを特定できると考えられる。しかし、複雑な木構造からわずかな違いを捉えることは効率的ではない。そこで、情報可視化技術を利用して、大量の VST を視覚化することを考える。

まず、分子の類似検索における「構造-特性」知識 [4] を利用し、VST を定量的な値に変換する。具体的

には、VST の隣接行列と距離行列を求め、それぞれの特性多項式における各係数の絶対値の和を、 I_C , I_D とする。このようにして得られる値の組合せ (I_C , I_D) から、ほぼすべての木構造を識別できることが知られている。次に、この特性量を正方形を対角線で分割したグリフ [1] で表現する。分割された領域のうち、左上を I_C 、右下を I_D を表現する領域とする。このグリフは、 I_C の領域に (黒-青)、 I_D の領域に (黒-赤) の色相を与え、数値が大きくなるにつれて明度を高く設定している。そして、横軸右向きに時間軸をとり、各時刻におけるボリュームデータに対応するグリフを時間軸方向に並べたインデックス空間 [1] とよばれる表現を提案している。

また、T-Map は、インデックス空間をフィールド値方向に展開した拡張インデックス空間 [1] とよばれる表現も提供している。拡張インデックス空間では、横軸右向きに時間軸をとり、縦軸上向きにフィールド値のレベルをもつ 2 次元領域を定義する。領域中の各仮想ピクセルは、ある時刻における、あるフィールド値の等値面に対応する。T-Map では、等値面の位相構造を表現する方法として、Reeb Graph [5] を利用している。等値面の位相構造から抽出した Reeb Graph の集合を前述の方法で定量解析し、各仮想ピクセルの色を決定する。このとき、等値面に関しては、連結成分が複数存在する場合は考えられるため、インデックス空間のグリフに入れ子構造をもたせたものを用いる。

この表現方法では、ボリュームの位相構造の変化を、グリフの明度の変化として直観的に捉えることができる。

3 (拡張) インデックス空間の歪変換

現在の T-Map は、時間ステップ数が多いデータを扱うと、ディスプレイの大きさの制約により、個々のグリフが横方向につぶれてしまう。したがって、全体の概要を把握することはできるが、細部を認識することは難しい。そこで、インデックス空間の表現方法を拡張し、指定した時区間における詳細な情報を認識できるようにする。T-Map を 3 次元空間にマッピングすることで、注目したい時間ステップの情報を詳細に表示できるようにする。

具体的には、インデックス空間を円柱の側面にマッピングし、注目する時刻の位相解析結果を中央に表示する。図 1 上部は、水素原子と陽子の衝突データ

Visualizing Topological Information on

Time-Varying Volume Data

Aya Hamaoka, Rieko Otsuka[†], Yuriko Takeshima^{††},

Shigeo Takahashi^{†††}, Issei Fujishiro[†]

Department of Information Sciences, Faculty of Science

[†] Graduate School of Humanities and Sciences

Ochanomizu University

^{††} Institute for Fluid Science, Tohoku University

^{†††} Graduate School of Arts and Sciences, University of Tokyo

におけるインデックス空間を円柱にマッピングし、時刻 $t = 55$ を注目したものである。図 1 より、画面の中央付近では、描画されているグリフのアスペクト比が変化せず、正方形に描画されていることがわかる。

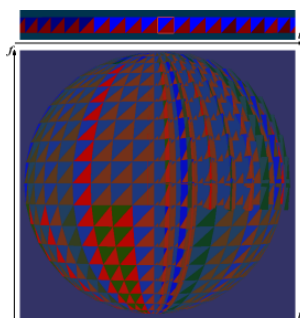


図 1: 水素原子と陽子の衝突データのインデックス空間と拡張インデックス空間 ($t = 55$)

さらに、拡張インデックス空間を 3 次元空間上に表現する。具体的には、拡張インデックス空間の注目したい一部分を切り出し、球面上にマッピングする。図 1 下部は、水素原子と陽子の衝突データにおける拡張インデックス空間をマッピングし、時刻 $t = 55$ 、フィールド値 $f = 16$ を中央に表示したものである。図 1 より、球面の中央付近では、グリフがほぼ正方形に表示されているのが分かる。また、グリフの大きさが小さすぎて見えにくかった入れ子構造が、球面付近では拡大されて描画され、注目したい箇所の詳細情報を把握しやすくなった。

4 提案手法

さらに、本研究では、前節で述べた T-Map の問題点を解決するため、全体の概要を表示する新たな視覚化手法を提案する。

インデックス空間に対応する表現方法として、まず、各 VST から得られる特性値 (I_C^V, I_D^V) と時間 t を軸とする 3 次元空間 (図 2) を定義し、対応する箇所に特性値の組合せをプロットすることで、時系列ポリウムデータにおける VST の変化を視覚化する。ここで、位相が変化しない時区間においては、VST の構造が変化しないため、特性値の組合せは変わらない。一方、VST の構造が変化する時刻では、特性値の組合せが変化し、プロットされる点の位置が大きく変化するので、臨界タイミングを容易に特定できると考えられる。

図 3 は、前節で例として用いた水素原子と陽子の衝突データにおける VST の特性値の変化を視覚化したものである。VST の特性値の組合せが変化する時刻で、プロットされた点の位置が変化していることがわかる。よって、時系列ポリウムデータの位相構造が変化する臨界タイミングを視覚的に捉えることができたといえる。

さらに、指定した時刻においてより詳しい情報を得

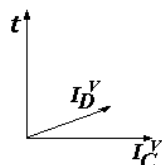


図 2: VST の視覚化において定義する空間

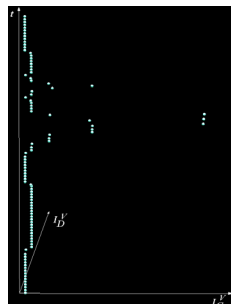


図 3: 水素原子と陽子の衝突データにおける VST の視覚化結果

るため、Reeb Graph の変化を視覚化する。各 Reeb Graph から得られる特性値 (I_C^R, I_D^R) とフィールド値のレベル f を軸とする 3 次元空間 (図 4) を定義し、対応する箇所に特性値の組み合わせをプロットする。このとき、プロットされた点の散らばりを観察することで、等値面の複雑さを理解できると考えられる。

図 5 は、時刻 $t = 55$ における各等値面の位相構造を視覚化したものである。プロットされた点の位置から、等値面の複雑さを確認することができる。また、複数の連結成分をもつフィールド値も容易に確認できた。

本手法は、特性値の組合せを点の位置で表現するため、グリフの明度差で表現する手法より、組合せの違いを捉えやすい。また、点で表現することによって、ある程度の大きさが必要となるグリフよりも、ディスプレイに占める割合が小さくなる。そのため、時間ステップ数の多いデータにも対応できると考えられる。

5 まとめと今後の課題

本稿では、時系列ポリウムデータの位相変化を視覚化した (拡張) インデックス空間を、3 次元空間にマッピングすることで、指定された時区間における詳細な情報を表示できるようにした。また、時系列ポリウムデータの位相変化を 3 次元空間内で視覚化する手法を提案し、実験を通じて有効性を検証した。

今後は、臨界タイミングの自動検出機能を実装し、時系列ポリウムデータの特徴的な部分の発見をより容易に行えるようにしたい。また、解析者が指定した区間における VST, Reeb Graph を表示することで、より詳しい解析につなげられるような環境の改良を考えている。

参考文献

- [1] 大塚, 藤代, 高橋, 竹島: 「T-map: 位相的特徴解析に基づく時系列ポリウムデータマイニング手法」, 画像電子学会誌, vol. 31, no. 4, pp.504-513, 2002 年 7 月
- [2] 藤代: 「ポリウムデータマイニング」, 可視化情報学会誌, 20 Suppl. (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
- [3] 竹島, 高橋, 藤代: 「ポリウム骨格抽出とその伝達関数設計への応用」, 画像電子学会 Visual Computing 情報処理学会グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2001 予稿集, pp. 79-84, 2001 年 6 月
- [4] Kier, L.B. and Hall, L.H.: *Molecular Connectivity in Chemistry and Drug Research*, Academic Press, 1973.
- [5] Takahashi, S., et al.: "Algorithms for Extracting Correct Critical Points and Constructing Topological Graphs from Discrete Geographical Elevation Data," *Computer Graphics Forum*, Vol. 14, No. 3, pp. C181-C192, Aug. 1995.

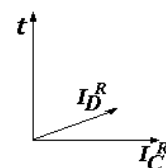


図 4: Reeb Graph の視覚化において定義する空間

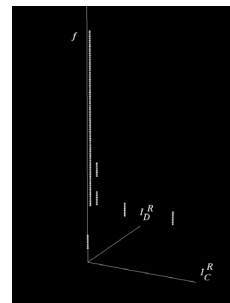


図 5: 水素原子と陽子の衝突データにおける Reeb Graph の視覚化結果 ($t = 55$)