

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18300030

研究課題名（和文） 視線情報を利用した大規模 3 次元流れ場の可視化環境の構築

研究課題名（英文） Establishing Gaze-Directed Visualization Environments for Large-Scale, Three-Dimensional Flow Fields

研究代表者

茅 暁陽 (MAO XIAOYANG)

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・教授

研究者番号：20283195

研究成果の概要：本研究は、流れ場の複雑な振舞いに対する直感的な理解を促す可視化技術として、ユーザの視線情報を利用した流れ場の可視化環境を構築した。具体的には、流れ場を観察するユーザの視線特性と認知モデルを確立した上で、注視時間や視線の軌跡といった情報からユーザの関心やデータの重要度を予測し、それらに合わせて表示資源を合理的に配分し、非定常流の動的特性を効果的に可視化する方法を開発した。さらに、初心者のトレーニングおよび協調型ビジュアルデータマイニングを目的とする視線履歴の記録・可視化方法も併せて開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2007 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：可視化，流体可視化，ボリュームビジュアライゼーション，情報可視化，非定常流，視線情報処理，視線追跡装置，テクスチャ合成

## 1. 研究開始当初の背景

近年の計算機パワーの向上と計算科学の進歩によって本格化した 3 次元数値流体シミュレーションから得られる大規模データを視覚的に表現し、流れ場の複雑な振舞いに対する直感的な理解を促す可視化技術への関心が一層高まってきた。ところが、サイズ制約のある 2 次元表示装置上に流れ場が投影される際、奥行き方向に流跡線や粒子などのプリミティブ同士が遮蔽を起こすため、さまざま

な流体可視化技術が開発されてきたにもかかわらず、流れ場全体の構造や振舞いを真に 3 次元的に観察することは不可能なままであった。

## 2. 研究の目的

一方で、ユーザの視線を計算機入力に用いる研究が近年注目されつつある。実際の流れ場を観察するにあたって、ユーザは特定の領域(物体の境界付近、特異点付近、流れの剥

離箇所、等)を長い時間注視したり、重要な構造や興味をもった流れのボタンを選択的に目で追ったりする。そこで本研究では、注視時間や視線の軌跡といった情報からユーザの関心やデータの重要度を予測し、それらに合わせて表示資源を合理的に配分する可視化方法を提案する。例えば、ユーザがあるところに目を向けるとその詳細が表示され、さらに見つめるとさまざまな物理量も見えてくる。また流れの特定部位に注目すれば、その振舞いが観察されやすいようにトレーサが自動的に挿入される。さらに視線が数箇所の間を行き来すると、それらの相関が可視化される。本研究では、このような効果的な可視化環境の構築に向けて、視線情報処理技術とそれに基づく流れ場の新しい可視化技術を考案・実装・評価する。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、以下に示すような2つのサブゴールを設定した。

#### (1) 流れ場を観察するユーザの視線特性と認知モデルの確立

視線がある場所に少し長く停留しても、必ずしも認知的なプロセスが起きているとは限らない。視線からユーザの意図をできるだけ正確に推定する技術の確立は、本研究を成功させるための鍵でもある。視線の特性は個人差があり、また観察の対象と目的によっても異なるため、本研究ではまず視線追跡装置を核とする実験環境を構築し、代表的なユーザと流体可視化タスクとを想定した実験を実施することにより、流体可視化におけるユーザの視線特性と認知モデルとの関係を明らかにする。

#### (2) トレーサの適応的挿入による2/3次元非定常流の可視化

流れ場のダイナミックな振舞いを観察する最も代表的な方法は、流れ場にトレーサとよばれるプリミティブを挿入し、その移流過程を表示することである。しかし複雑な3次元流れ場の場合、奥行き方向にトレーサ同士が重なり合い、流跡線が複雑に交差するため、有用な情報が全く得られない場合が少なくない。一方、トレーサの密度を低くした場合、個々のトレーサの軌跡は確認できるものの、重要な箇所が可視化されなかったり、流れ場の大局的な振舞いや構造が把握できなかったりする可能性がある。本研究ではユーザの注視点および視線の軌跡からユーザが注目する領域やフローパターンを予測し、重要な領域や構造が観察されやすいようにトレーサを挿入する位置やタイミングを自動制御する手法を開発する。

本適応的可視化手法は、初心者へのトレーニングおよび協調型ビジュアルデータマイニングにも効果的であると考えられる。

### 4. 研究成果

本研究で得られた成果は、以下の4点にまとめられる。

#### (1) 視線情報取得環境の構築と視線特性と認知の関係モデルの提案

まず非接触型視線追跡装置を利用し、流れ場を観察するユーザの視線情報を取得する基本環境を構築した。

続いて、視線と人間の注意や認知モデルとの関連を調べる実験を行い、得られたデータの分析により、視線スキャンパスが認知的戦略と注意配置、マウスの動きが認知プロセスの結果であることがそれぞれ判明した。これは、流れ場を観察する際のユーザの視線特性と認知プロセスとの間の関係を初めて定式化したものであり、後述の研究成果を得る上での基礎モデルとしての役割を果たした。

さらに、ユーザの心拍などの生理データと視線情報を組み合わせることにより、ユーザの注視に関する情報をより正確に特定する手法も提案した [発表⑥, 論文①]。

#### (2) 2次元非定常流に対する視線情報ベースの可視化手法の開発

動的に変化する2次元非定常流を観察するユーザの注視情報を獲得する方法を開発し、その注視情報に基づき、2次元非定常流において、関心をもつ領域の詳細な可視化や、重要と思われる流れの追跡を効果的に行える流脈線・流線の自動生成アルゴリズムを開発した [発表②]。

開発した手法の効果の説明するために、**図1**にその適用事例を示す。**図1(a)**は代表的なテクスチャベースの流体可視化手法である線積分畳込み(LIC)法による2次元流れ場全体の稠密な可視化結果である。これに対し、**図1(b)**では、全体の流れを簡略しながらも、重要な意味をもつ流れのパターンを強調表示するために、すべての注視位置を通過する流脈線を選択し、個々に粒子の軌跡を過去に遡って生成し、色により現在注視している領域の流脈線(青)と過去に注視した領域の流脈線(緑)とを区別して表示している。

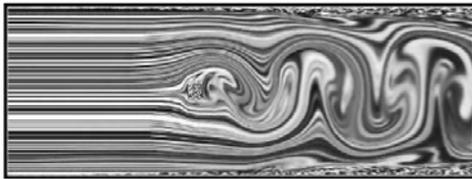
#### (3) 3次元流れ場に対する視線情報ベースの可視化手法の開発

複数のビューポイントからのユーザの視線情報を相補的に利用することにより、視線追跡装置から得られる2次元スクリーン上の視線位置から3次元流れ場におけるユーザの注視点の3次元位置を算出し、ユーザの関心領域を特定する方法を開発した。

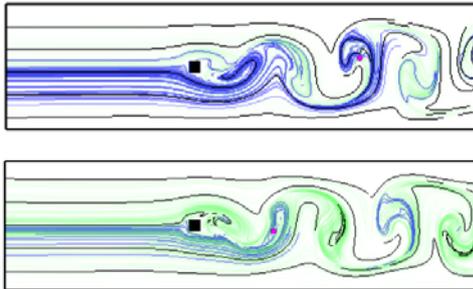
さらに、この3次元流れ場における注視点情報に基づき、各領域におけるユーザの関心度合いを算出し、関心のある領域の詳細を効果的に可視化するために、流線の密度やボリュームレンダリングにおける不透明度伝達

関数を適応的に調整する手法を開発した[発表①③⑤].

図2に開発した可視化手法の適用事例を示す. 予めユーザには, 与えられた流れ場の関連スカラー場の等値面 (もしくはボリュームレンダリング像) が見せられ(上段(1)), 視線情報が計測される(下段(a)). 下段(b)では, 算出された代表的な3次元注視点の位置を重畳表示している. その位置と注目度の情報を利用して, シードポイントが自動選択され, 選択的に流線が描かれている (上段(3)).



(a) LIC法による流れ場の可視化



(b) すべての注視位置を通過する流脈線表示

図1: 視線情報に基づく2次元流れ場の可視化

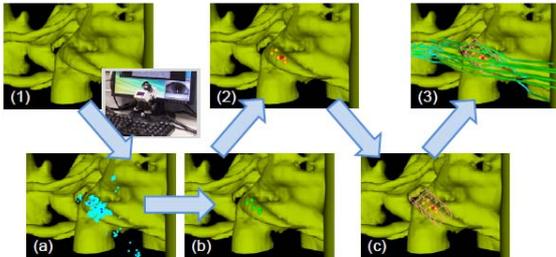


図2: 視線情報に基づく3次元流れ場における流線の自動配置

#### (4) テクスチャ合成と非写実的レンダリング法の提案

以上の主要成果に加えて, 流れ場の可視化に広く利用できるテクスチャ合成法[論文④]と伝統的なマーブリング技法に根ざした非写実的レンダリング法を提案し[論文③], 後者に関してはGPUを利用したリアルタイム処理系も実装した[論文②] (図3). これらに対しても, 上記の視線情報の活用手法を組み合わせた適応的表示環境の構築が可能である.

なお, 図書[①②]に収録された可視化技術の総説においても, 本研究の成果の一部を紹介している.



図3: 流れ場のリアルタイムシミュレーションを用いて生成されたマーブリング模様

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Tao Lin, Atsumi Imamiya, and Xiaoyang Mao: "Using multiple data sources to get closer insights into user cost and task performance," *Interacting with Computers*, Vol.20, No.3, pp.364-374, 2008. [査読有]
- ② Jiayi Xu, Xiaoyang Mao, and Xiaogang Jin: "Nondissipative marbling," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.28, No.2, pp.35-43, 2008. [査読有]
- ③ Xiaogang Jin, Shaochun Chen, and Xiaoyang Mao: "Computer-generated marbling textures: A GPU-based design system," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.27, No.2, pp.78-84, 2007. [査読有]
- ④ Jianbing Shen, Xiaogang Jin, Xiaoyang Mao, and Jieqing Feng: "Completion based texture design using deformation," *The Visual Computer*, Vol.22, No.9-11, pp.936-945, 2006. [査読有]

[学会発表] (計6件)

- ① 渡邊大介, 小野謙二, 茅 暁陽: 「視線に基づく関心領域の特定と流れの可視化への適用」, 可視化情報学会第36回可視化情報シンポジウム, 東京, 2008年7月22日
- ② 渡辺彰信, 茅 暁陽, 渡辺大介, 小野謙二: 「視線情報を用いた非定常流における流脈線と流跡線の自動配置」, Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム, 東京, 2008年6月21日
- ③ Daisuke Watanabe, Kenji Ono, and Xiaoyang Mao: "Eye tracking based automatic ROI detection and streamline

seeding in large flow field visualization,”  
*First International Workshop on Super Visualization*, Island of Kos, June 7, 2008.

- ④ 深澤 綾, 小俣昌樹, 今宮淳美: 「Web ページにおける視線停留時間と脈波波高に基づく興味度合いの特定」, 情報処理学会第 70 回全国大会, つくば, 2008 年 3 月 15 日
- ⑤ 渡邊大介, 小野謙二, 茅 暁陽: 「視線情報を利用した 3 次元流れ場における関心領域の取得と流線の自動配置」, 可視化情報学会可視化情報全国講演会 2007, 岐阜, 2007 年 9 月 27 日
- ⑥ Tao Lin and Atsumi Imamiya: “Combined user physical, physiological and subjective measures for assessing usability,” *The 8th ACM International Conference on Multimodal Interfaces*, Banff, Nov. 4, 2006.

[図書] (計 2 件)

- ① 藤代一成, 茅 暁陽: 「ビジュアライゼーション」, 画像電子情報ハンドブック, 第 II 編第 6 章 (pp. 252-264), 東京電機大学出版社, 2008 年
- ② 藤代一成, 茅 暁陽: 「ビジュアライゼーション」, ビジュアルコンピューティング - 3 次元 CG による画像合成 -, 西田友是, 近藤邦雄, 藤代一成 (監修), 東京電機大学出版社, 第 6 章 (pp. 125- 141), 2006 年

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

茅 暁陽 (MAO XIAOYANG)  
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・  
教授  
研究者番号: 20283195

### (2) 研究分担者

小野 謙二 (KENJI ONO)  
理化学研究所・機能シミュレーション  
チーム・チームリーダー  
研究者番号: 90334333

### (3) 連携研究者

今宮 淳美 (IMAMIYA ATSUMI)  
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・  
教授  
研究者番号: 40006276