

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12199

研究課題名（和文）連結階層モデルを利用した電磁流体のビジュアルシミュレーション

研究課題名（英文）Visual simulation of electromagnetic fluid using connected hierarchical model

研究代表者

石川 知一（Ishikawa, Tomokazu）

東洋大学・情報連携学部・准教授

研究者番号：30635545

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、電磁流体に起因する天体現象の映像をリアルに再現するため、マイクロなプラズマ粒子の運動とマクロな流体的振る舞いを同時に計算・再現する手法を開発した。階層型シミュレーションを導入し、機械学習手法を用いてマイクロな事象を検出、重要な領域の詳細な計算を可能にした。特に太陽プロミネンスを再現するシミュレーションに注力した。開発したCGコンテンツを利用してVRやMRコンテンツとしての提供も進めた。また、機械学習を応用した移動物体検出の研究発表も行い、映像化技術の基盤を築いた。計画通りの完全な実現には至らなかったが、多くの技術的進展と知見を獲得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、電磁流体シミュレーションの分野で新たな技術的基盤を築き、マイクロなプラズマ粒子運動とマクロな流体挙動を同時に計算・再現する手法を提案したことである。特に、階層型シミュレーションと機械学習を組み合わせ、具体的な天体現象のリアルな再現を可能にした点で大きな進展があった。社会的意義としては、得られた技術がVRやMRコンテンツの開発に応用され、教育やエンターテインメントの分野で高精度なシミュレーション映像を提供する基盤となることである。また、研究の派生で行った機械学習を応用した移動物体検出技術も、監視システムや自動運転など多岐にわたる応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method to simultaneously compute and reproduce the microscopic plasma particle motion and macroscopic fluid-like behavior in order to realistically reproduce images of astronomical phenomena caused by electromagnetic fluid. Hierarchical simulations are introduced, and machine learning methods are used to detect microscopic events and enable detailed calculations of important regions. Special emphasis was placed on simulations that reproduce solar prominences. We have also developed VR and MR contents using the developed CG contents. We also presented research on moving object detection using machine learning and laid the foundation for visualization technology. Although the project was not fully realized as planned, many technological advances and knowledge were gained.

研究分野：コンピュータグラフィックス，xR

キーワード：コンピュータグラフィックス 物理シミュレーション ビジュアルシミュレーション 電磁流体力学  
機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

電磁流体に起因する天体現象の映像化を行う場合に、プラズマ粒子の運動を捉えられるミクロなスケールと、観測できるマクロなレベルの流体的振る舞いを同時に計算に含むことが映像にリアリティを与えると考えられる。一般にプラズマ流体の数値計算法は大規模計算機環境の利用が必要になるため、映像化として利用する場合はモデルを適切に変更する必要がある。

本研究では、ミクロな事象が映像というマクロなシーンに与える影響を考慮したリアルな映像を、商用利用可能な時間内で作成することを目的とする。また、観測手法をレンダリング計算に含めることで、提案法のレンダリングだけでなく、宇宙物理学における可視化の面で貢献する。宇宙物理学においてプラズマ流体の数値計算の研究は盛んに行われており、現象の再現や原因解析に利用されている。例えば、オーロラの再現を行うために、磁気圏と電離圏のシミュレーションを階層的につなぐ数値計算法が提案されており、CG 技術を使った生成画像も提示されている。しかし、このような宇宙物理学で用いられる数値計算法をそのまま利用しても、計算コストが高い割に、視覚的な効果まで再現できていない。

天体現象において、ミクロな現象である磁場と流体の相互作用は無視できず、これが観測可能な視覚的に意味のあるマクロな現象に対して影響を与えていることが解明されてきている。近年の CG の研究においても、リアルな動きを再現するために、ミクロな現象を考慮したアニメーション制作が行われている。太陽プロミネンスやオーロラについても同様な手法がリアルな動きを再現するため貢献すると考えられるが、CG の分野ではまだこの研究は取り組まれていない。本研究では、近年の宇宙物理学の研究成果や知見をもとに、太陽の表面活動やオーロラのゆらぎのような天体現象を再現するための電磁流体のビジュアルシミュレーション手法を提案する。

## 2. 研究の目的

本研究は、コンピュータグラフィックス(以下、CG)分野の研究と位置づける。近年の宇宙物理学の知見から、電磁流体に起因する天体現象の映像化を行う場合に、プラズマ粒子の運動を捉えるスケール(以下、ミクロ)と、観測できるレベルの流体的振る舞い(以下、マクロ)を同時に計算に含むことが映像にリアリティを与えると考えられる。一般にプラズマ流体の数値計算法は大規模計算機環境の利用が必要になるが、現象の解析が目的で映像化のためにはモデルを適切に変更する必要がある。そこで本研究では、CG 分野で広く用いられる階層型シミュレーションを取り入れ、ミクロな事象が映像というマクロなシーンに与える影響を考慮したリアルな映像を、商用利用可能な時間内で作成することを目的とする。また、観測手法をレンダリング計算に含めることで、提案法をレンダリングするだけでなく、同じ物理量を使用する宇宙物理学にも可視化の面で貢献する。

## 3. 研究の方法

本研究では、電磁流体のビジュアルシミュレーションを目指し、ミクロなプラズマ粒子の運動とマクロな流体的振る舞いを同時に計算・再現する手法を開発した。以下、具体的な実施方法について説明する。

### (1) 階層型シミュレーションの導入

CG 分野で広く用いられる階層型シミュレーションを採用し、マクロとミクロの両方のスケールを同時に扱うことを目指した。これにより、ミクロなプラズマ粒子の運動がマクロな天体現象に与える影響をリアルに再現することを可能にした。

### (2) 機械学習の活用

ミクロな事象を検出するために機械学習手法を導入した。特に、マクロシミュレーションから重要なミクロ領域を抽出し、その領域の詳細な計算を行うためのモデルとして利用した。このアプローチは別の 3DCG モデリング時にも活用できることがわかり、別途研究成果として発表している。

### (3) 数値計算とシミュレーションの統合

電磁流体の数値計算法を用いて、プラズマ粒子の運動を詳細に解析することに挑戦した。これには大規模計算機環境の利用が必要不可欠であり、実際の現象に近いモデルを構築するための実装と実験を行った。当初予定していた研究テーマでは、現象が不安定になりシミュレーションが破綻することがあったが、電磁場を考慮しない熱計算と流体の計算の手法は成果が出たため、別の自然現象をテーマとして成果発表を行った。

### (4) 実験と検討

太陽のプロミネンスを再現するためのシミュレーションを重点的に開発し、ミクロな領域を捉えるための実験と最適化の方法を検討した。この過程で発生した境界条件の不安定性や領域特定の問題について、解決策を模索した。

### (5) 映像コンテンツの開発

得られたシミュレーションデータを用いて、VR や MR のコンテンツとして提供できるように開発し、関連する技術の発表を行った。

#### 4. 研究成果

太陽のプロミネンスを再現するシミュレーション開発に注力し、ミクロな事象を検出するための機械学習手法を取り入れた。本研究で用いる機械学習を応用して、移動物体検出を行うためのパラメータ調整についての研究発表を行っている（図1）。これにより、電磁流体のシミュレーションのミクロな事象をトラッキングすることも可能となる技術的基盤を整えた。また、VRやMRのコンテンツとして提供するための開発も進め、複数の研究発表を行っている。

電磁流体以外に温度が重要な要素となる流体シミュレーションの手法と映像化についての開発を行い（図2）、論文発表を行っている。また、本研究のキーアイデアである階層型モデリングと機械学習のアプローチを応用して3DCGモデルを外観と細部に分離して解く手法を考案し、成果発表を行っている（図3）。

総じて、当初想定していた電磁流体のシミュレーションの完全な実現には至らなかったものの、多くの知見と技術的進展を得ることができ、他の事象に適用することができる技術的基盤を築けたと言える。

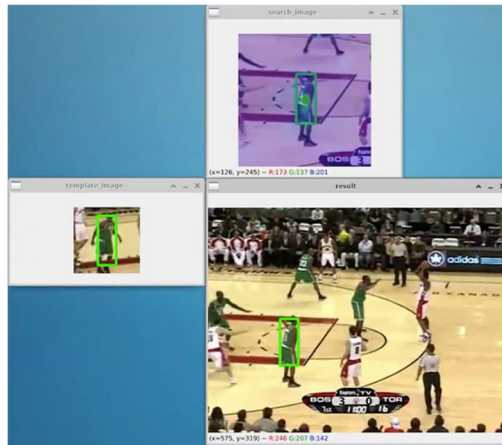


図1：移動物体検出の結果。図の左にあるテンプレート画像中の人物を動画中から検出し動画内で追跡する。

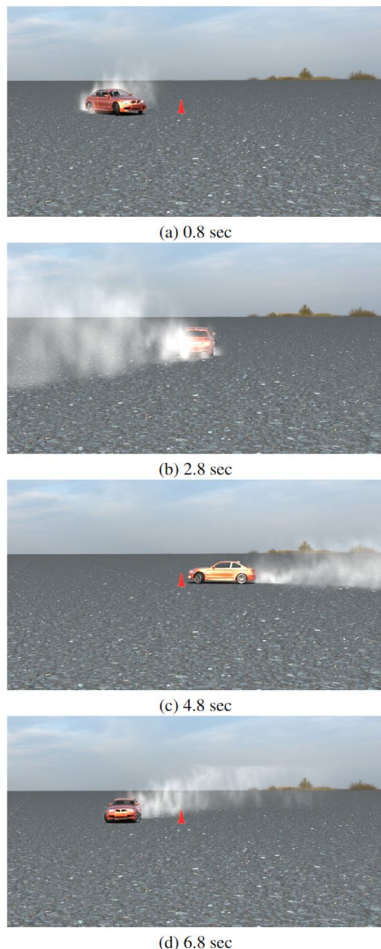


図2：タイヤスモークのシミュレーション結果

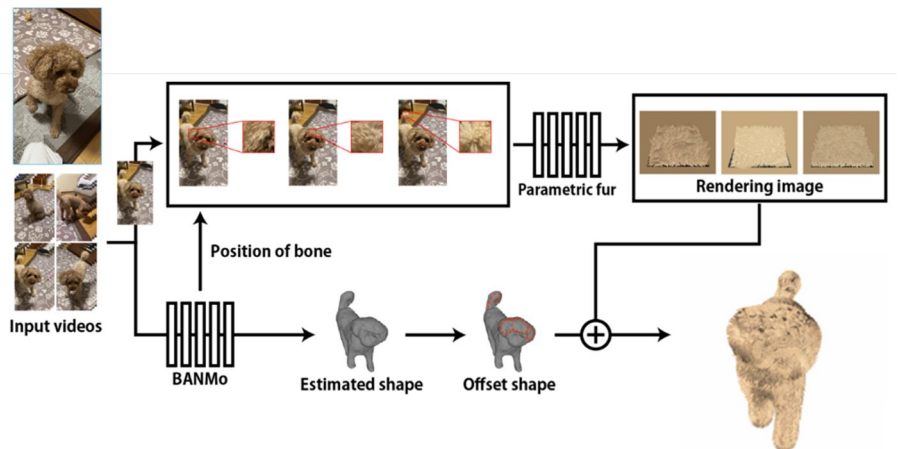


図3：動画から動物の3DCGモデルを作成する方法。階層的に胴体と毛皮に分離して機械学習で形状推定し、最終結果を得ている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Daiki Fukushima, Tomokazu Ishikawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Experiments And Discussions On Vision Transformer (ViT) Parameters For Object Tracking	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 Nicograph International (Nicolnt)	6. 最初と最後の頁 64-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/Nicolnt55861.2022.00020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomokazu Ishikawa	4. 巻 9
2. 論文標題 Background Music Search System to an Input Video Using Factor Analysis for Impression Words	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IIEEJ Transaction on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 69--77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 鈴木俊豪, 石川知一
2. 発表標題 実測データを考慮したリアルなブレスト・フィジックスの研究
3. 学会等名 映像表現・芸術科学 フォーラム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川知一
2. 発表標題 CGモデリングとアニメーション制作におけるGPU活用
3. 学会等名 GPU UNITE 2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomokazu Ishikawa
2. 発表標題 Background Music Search System to an Input Video Using Factor Analysis for Impression Words
3. 学会等名 IEVC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tezuka, Tomokazu Ishikawa
2. 発表標題 A Study of Information Presentation Method for Cooking Using HoloLens2
3. 学会等名 IEVC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeru Ishii, Tomokazu Ishikawa
2. 発表標題 A Research on the Playability of TRPG Using VR Technology
3. 学会等名 IEVC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福嶋大樹, 石川知一
2. 発表標題 Transformerを用いた物体追跡におけるパラメータ調整についての一研究
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤花菜, 石川知一
2. 発表標題 オンラインコミュニケーションにおける非言語情報可視化の実装と影響の調査
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉川智也, 石川知一
2. 発表標題 摩擦熱を考慮したタイヤスモークのCG表現
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 間中 優, 石川知一
2. 発表標題 クロスモーダル現象を用いたVR空間における触覚呈示の精度向上に関する検討
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田口太陽, 石川知一
2. 発表標題 MR・VRデバイスの特徴がエクサゲーミングに与える影響の調査と考察
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福嶋大樹, 石川知一
2. 発表標題 体毛のパラメータ推定を用いた動物の3DCG再現の高精度化についての研究
3. 学会等名 VC2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 玉川智也, 石川知一
2. 発表標題 摩擦熱を考慮したドリフト時のタイヤスモークのCG表現
3. 学会等名 VC2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福嶋大樹, 石川知一
2. 発表標題 物体の形状推定と毛皮推定を用いたペットの3Dモデリング
3. 学会等名 映像表現・芸術科学フォーラム2024
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------