

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00173

研究課題名(和文) 微分位相解析に基づく高度可視化環境の開発

研究課題名(英文) Development of Advanced Visualization Environment based on Differential Topology Analysis

研究代表者

竹島 由里子 (TAKESHIMA, Yuriko)

東京工科大学・メディア学部・教授

研究者番号：20313398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚的にデータを解析する可視化処理におけるパラメータ値設定を、対象データの特徴である微分位相構造を用いて自動的に決定し、適切な可視化結果が獲得可能な高度可視化環境の構築を行った。これまでにユーザが手動で行っていた処理の効率化だけでなく、誤った解釈を促進するような可視化結果の獲得を避け、ユーザの技量に関係なく、適切な可視化パラメータ値を包括的に設定することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

可視化のパラメータ値自動設定問題は、可視化分野においても重大な課題の1つである。しかし、可視化パラメータ値設定と可視化処理を統合的に扱える環境は存在していなかった。本研究では、データの特徴として微分位相構造に着目し、代表的な可視化パラメータ値を統合的に設定できる環境を構築できたため、可視化処理の効率化に貢献できる。また、天文学分野という具体的な分野に適用したことにより、実際の天文学者の解析に役立てることができ、有用性が示せたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we proposed an advanced visualization environment that includes a mechanism to define an appropriate visualization parameter values based on the topological structure of the target dataset. As a result, it can avoid not only the effort of the manual settings of the visualization parameter values but also the misinterpretation due to incorrect visualization results. Besides, it is possible to obtain the appropriate visualization results regardless of user skill comprehensively.

研究分野：可視化

キーワード：可視化 微分位相解析 特徴解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 科学技術分野では、複雑な現象を解明するために様々な数値解析や実験が行われている。それらによって得られた数値データを、そのまま数値の状態では解析することは困難であるため、コンピュータ内で画像に変換し、視覚的に解析する可視化が広く利用されている。可視化においては、与えられた数値データをどのように画像に変換するかといった可視化技法を適切に選択する必要がある。また、利用する可視化技法のパラメタ値や、物理値を色へ変換する伝達関数、視点の位など、可視化に必要なパラメタ値をどのように設定するかによって、得られる可視化結果が大きく変化してしまうことから、適切な可視化パラメタ値を設定することが大変重要である。しかし、実際の解析現場では、ユーザの試行錯誤によって可視化パラメタ値を設定している場合がほとんどであり、視覚解析の効率に影響するだけでなく、解析結果の誤った解釈を促進する危険性もある。この問題を解決するために、ユーザの技量に関係なく、適切な可視化パラメタ値を設定する方法が必要不可欠であるといえる。

(2) 可視化による解析が広く利用されるにつれ、汎用の可視化システムも数多く公開されているが、いずれも可視化パラメタ値設定に関する補助的な機能を備えていない。また、それらの機能をユーザが独自で追加し、データ読み込みから可視化技法の決定、可視化パラメタ値の設定までの一連の処理を同一システム内で行えるようにできるような機構を備えている汎用可視化ソフトウェアはほとんど存在しない。そのためデータ特徴を考慮して可視化パラメタ値を設定するためには、各ユーザが独自プログラムを作成し、可視化処理とは別プログラムを実行した後、得られた結果を可視化処理システムに入力するという 2 段階のステップを踏む必要があった。これは、可視化処理の作業効率を下げるだけでなく、人為的なミスも誘発しやすい。そのため、適切な可視化パラメタ値設定処理を含めた、可視化環境の需要は高まっている。

(3) 汎用の可視化システムでは決められた可視化処理のみが利用可能であり、可視化処理自体をユーザがカスタマイズできる機能を持っているものはごく一部である。しかし、より高度な可視化を実現するためには、可視化処理のカスタマイズは必要不可欠である。一般的に、可視化処理自体をカスタマイズするためには、一からその処理に関するプログラムを自作する必要がある。可視化を専門としないユーザにとっては大変負荷が高い作業である。そのため、可視化処理自体を用意にカスタマイズ可能な環境が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、対象データの特徴に応じて、可視化パラメタ値を自動的に設定する高度可視化環境の構築を目指す。これを実現するために、大きく次の 3 点に着目する

#### (1) 可視化パラメタ値自動設定法の開発

1 つの可視化結果を得るためには、複数の可視化パラメタ値を設定する必要がある。そのため、適切な可視化パラメタ値を設定することは大変自由度が高く、難しい問題である。そこで、本研究では微分位相構造に基づいてすべての可視化パラメタ値を統合的に設定する方法を開発する。

#### (2) 微分位相解析ツールの拡張

これまでに、構造格子データにおける微分位相解析ツールの開発を行ってきた。しかし、実際の解析現場で利用される格子構造は非構造格子であることも多く、現在のツールのままでは利用が不可能である。本研究では、既存のツールを拡張し、非構造格子用の微分位相解析ツールを開発する。

#### (3) 高度可視化環境の開発

対象データの視覚解析において必要となる可視化パラメタ値を統合的に管理して設定するためには、対象データの特徴抽出処理を含めた視覚解析を実現するための高度可視化環境の開発が必要不可欠である。本研究では、ユーザがカスタマイズ可能な可視化環境としてモジュール型可視化環境の構築を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 可視化パラメタ値自動設定法の開発

可視化パラメタは大きく分けて、すべての可視化技術共通のパラメタと可視化技法固有のパラメタに分類することができる。すべての可視化技術共通のパラメタである、物理値を色や不透明度に変換する伝達関数は、設定に関する自由度が高いため、手動で適切に決定することは容易ではない。そこで本研究では、微分位相構造が変化する物理値を強調するように伝達関数を設計する。図 1 に色伝達関数および 1 次

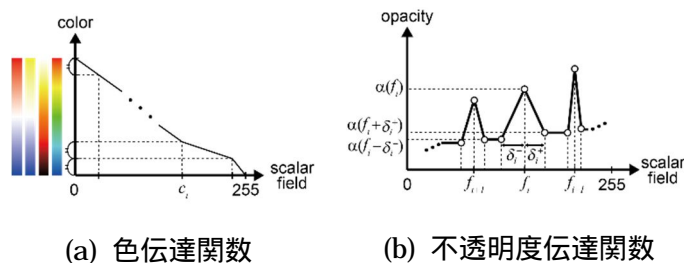


図 1 伝達関数設計方針

元不透明度伝達関数の設計方針を示す。色伝達関数設計では、図 1(a)に示すように微分位相構造が変化する臨界点の物理値（以下、臨界フィールド値とよぶ） $c_i$ の個数によって色空間を等間隔に分割し、隣接する臨界フィールド値がなす区間に均等に色を割り当てる。これにより、臨界

フィールド値が密に存在するフィールド値区間には多くの色が割り当てられることになり、急激に位相変化が起こるフィールド値の変化を色変化から把握することが可能になる。不透明度に関しては、臨界フィールド値または隣接する臨界フィールド値の中央値である代表フィールド値  $f_i$  のいずれかを強調することで、微分位相構造が変化する領域や、代表的な位相構造をわかりやすく可視化することができる。ここで、ボリュームレンダリングにおいては、臨界フィールド値または代表フィールド値の値だけの不透明度を高くした場合、サンプリング間隔によっては強調すべき面の情報がサンプリングされない可能性があるため、図 1(b)に示すような強調するフィールド値を含む小区間を強調するようなハット関数を利用する。ハット関数の高さとは幅は、サンプリング間隔および強調する位相構造と同相な領域の体積から決定する。さらに、複数のフィールド値を強調して表示するためには、3次元空間の内側に存在する構造ほど不透明度を高く設定する必要があることから、強調するフィールド値が大きいものほど不透明度が高くなるような傾斜をつけて設定する。可視化技法固有のパラメタ値設定においては、強調する位相構造と同相な領域で3次元データを分割して考え、各領域の情報を含んだ可視化結果が得られるように設定する機構を採用する。例えば、断面生成の場合は、最も多くの領域を通過する断面を自動的に提示する。

#### (2) 微分位相解析ツールの拡張

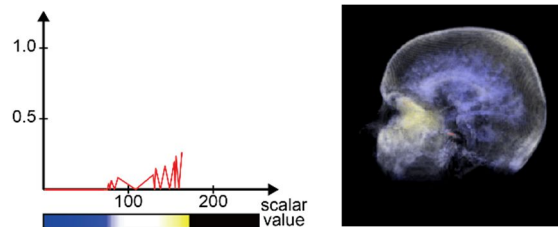
非構造格子データの微分位相解析を実現するために、構造格子データの微分位相解析ツールを拡張する。微分位相解析ツールでは、まず初めにデータを四面体要素に分割するため、非構造格子データの四面体要素をそのまま利用する。今回は、プリズム型の要素をもつデータは扱わないものとする。

#### (3) 高度可視化環境の開発

汎用的なモジュール型プログラミング環境の構築は、多数のモジュールを用意しなければならないことから、特定の分野に特化してモジュール型プログラミング環境を構築することとした。本研究では、天文学分野の研究者の方々からの協力が得られたことから、天文学で利用されている分光分布データに着目する。基本的なモジュールセットとして、天文学者が解析に利用している分析法や画像処理法を組み込む。

### 4. 研究成果

(1) 本研究で提案した微分位相構造に基づく伝達関数自動設計法を用いて、人の頭部データを可視化した結果を示す。図 2(a)は自動的に設定された伝達関数、図 2(b)は得られた可視化結果である。図から脳内部がわかる可視化結果が得られていることが見て取れる。これは、微分位相構造を用いることで、構造が変化する物理値を強調した可視化結果が得られていることを示す。人体では、位相構造が変化する物理値と組成が変化する物理値がある程度うまく対応するため、効果的な可視化結果が得られたと考えられる。これ以外にも、いくつかのデータを可視化してみた結果、おおむね良好な可視化結果が得られた。また、一般的な手動で伝達関数を設計する方法では、図 2(a)に示すような伝達関数を作成することは大変困難であることから、本手法が有効であると考えられる。



(a) 伝達関数 (b) 可視化結果

図 2 人の頭部データの可視化結果

本研究により、ある程度適切な可視化パラメタ値をデータの特徴量から自動的に決定することが可能になった。ここで、必ずしも微分位相構造を強調した場合がユーザにとって最適な可視化結果であるとは限らないことから、ユーザ独自に微調整を行うことが考えられる。しかし、初期状態としてある程度データ構造が分かる可視化結果が得られていることで、一から手動で設定を行うよりも、より効率的・効果的に可視化パラメタ値の設定が行えると考えられる。

(2) 本研究では、非構造格子データへの解析ツールの拡張を行った。これにより、格子構造が異なるデータへの適用が可能になった。しかし、特定のデータ形式にのみを対象としており、汎用のデータ形式への対応までは進んでいない。一方、微分位相解析ツールとして新たに Topology Tool Kit の開発が世界的に進んでいることから、Topology Tool Kit と連携を行うことについても今後検討する必要がある。

(3) 天文学分野の三次元分光データのためのビジュアルプログラミング環境のシステム全体図を図 3 に示す。従来は、個々の天文学者が個別にコマンドラインでプログラミングを行っていたのに対し、モジュールを接続するだけでユーザが求めるプログラムが作成でき

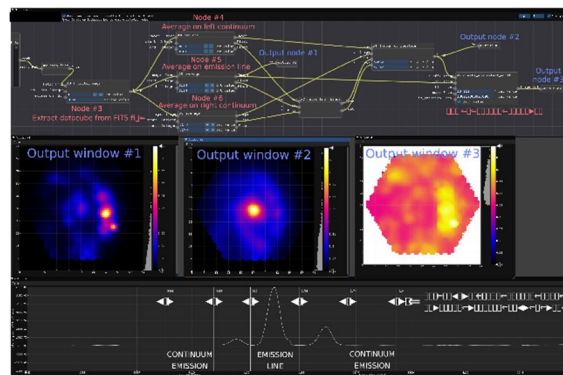


図 3 可視化システム全体図

るようになった。基本的な処理に関するモジュールをあらかじめ用意するとともに、ユーザ独自のモジュールの開発も可能になっている。モジュールとして、一般的に天文学者が利用している機能を実装した。実際に天文学者の方に利用していただくことにより、可視化環境の使いやすさや必要な機能に関するフィードバックをいただいている。

本研究により、モジュールをつなげるという簡単な作業で複雑なプログラムを実現できる環境を構築した。個々のユーザがモジュールを作成することにより、カスタマイズした可視化処理を行うことも可能である。また、頻繁に使うモジュールグループをマクロとして扱う機能を導入することにより、よりわかりやすい可視化環境を提示することが可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Malik Olivier Boussejra, Rikuo Uchiki, Shunya Takekawa, Kazuya Matsubayashi, Yuriko Takeshima, Makoto Uemura, Issei Fujishiro	4. 巻 7
2. 論文標題 aflak: Visual Programming Environment with Macro Support for Collaborative and Exploratory Astronomical Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 116-127
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10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Rikuo Uchiki, Malik Olivier Boussejra, Liyu Zhu, Yuriko Takeshima, Kazuya Matsubayashi, Makoto Uemura, Issei Fujishiro
2. 発表標題 Accurate Visualization of Galaxy Velocity Fields from Three-Dimensional Integral Field Spectroscopy Data
3. 学会等名 EuroVis 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Malik Olivier Boussejra, Rikuo Uchiki, Yuriko Takeshima, Kazuya Matsubayashi, Shunya Takekawa, Makoto Uemura, Issei Fujishiro
2. 発表標題 aflak: Visual Programming Environment Enabling End to End Provenance Management for the Analysis of Astronomical Datasets
3. 学会等名 PacificVAST 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Malik Olivier Boussejra, Rikuo Uchiki, Shunya Takekawa, Kazuya Matsubayashi, Yuriko Takeshima, Makoto Uemura and Issei Fujishiro
2. 発表標題 aflak: Visual Programming Environment with Macro Support for Collaborative and Exploratory Astronomical Analysis
3. 学会等名 The 6th IEEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹島由里子
2. 発表標題 面分光データのための可視化環境開発
3. 学会等名 日本機械学会 計算力学部門 設計に活かすデータ同化研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rikuo Uchiki, Malik Olivier Boussejra, Liyu Zhu, Yuriko Takeshima, Kazuya Matsubayashi, Makoto Uemura, Issei Fujishiro
2. 発表標題 Accurate Visualization of Galaxy Velocity Fields from Three-Dimensional Integral Field Spectroscopy Data
3. 学会等名 EuroVis 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Malik Olivier Boussejra, Kazuya Matsubayashi, Yuriko Takeshima, Shunya Takekawa, Rikuo Uchiki, Makoto Uemura, Issei Fujishiro
2. 発表標題 aflak: Pluggable Visual Programming Environment with Quick Feedback Loop Tuned for Astrophysical Observations
3. 学会等名 IEEE VIS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Malik Olivier Boussejra, Shunya Takekawa, Rikuo Uchiki, Kazuya Matsubayashi, Yuriko Takeshima, Makoto Uemura, Issei Fujishiro
2. 発表標題 aflak: Pluggable Visual Programming Environment with Quick Feedback Loop Tuned for Multi-Spectral Astrophysical Observations
3. 学会等名 The 28th annual international Astronomical Data Analysis Software & Systems conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木本真理究, 竹川俊也, 打木陸雄, 松林和也, 竹島由里子, 植村誠, 藤代一成
2. 発表標題 アフラーク：分光データ解析用ビジュアルプログラミング環境
3. 学会等名 2018 (平成30) 年度宇宙科学情報解析シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹島由里子, 高橋成雄, 藤代一成
2. 発表標題 ポリウムレンダリング画像における質の定量的評価
3. 学会等名 第288回画像電子学会研究会 in 徳島
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 打木陸雄, Malik Olivier Boussejra, 松林和也, 竹島由里子, 植村 誠, 藤代一成
2. 発表標題 AFLAK：モジュール可視化環境による等価幅マップの生成
3. 学会等名 日本天文学会2019 年春季大会
4. 発表年 2019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
研究 分担者	藤代 一成  (FUJISHIRO Issei)  (00181347)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授    (32612)	