

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月14日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500958

研究課題名（和文） 宇宙科学教育のための、多次元宇宙科学データ閲覧・解析システム構築

研究課題名（英文） A Study on Building Systems of Browsing and Analyzing
Multi-Dimensional Space Scientific Data for Educational Outreach.

研究代表者

三浦 昭 (MIURA AKIRA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：40280557

研究成果の概要（和文）：

宇宙科学データを広く教育に供するためのソフトウェア基盤の開発を行った。宇宙科学データは多次元の観測値で構成されることが多く、それらのデータを取り扱うツールは、専門性の高いものとなっている。本研究では、これらのデータの取り扱いを容易にし、教材用のソフトウェア開発を行えるよう、土台となるライブラリ群を作成し、実際のサービスを模擬したテストベッドにおいて、各ライブラリが適切に動作することを検証した。

研究成果の概要（英文）：

We have built basic software libraries suitable for educational applications of space scientific data. In many case, space scientific data consist of multi-dimensional values and tools for analyzing such data require special skills of the field. The libraries built in this study lessen the specialty of processing space scientific data. We also built test beds with the libraries and examined the proper behavior of the functions included in the libraries.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：教材情報システム、宇宙科学、可視化

1. 研究開始当初の背景

宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究本部（ISAS）では、従来から ISAS の科学衛星が生み出す世界最高水準の宇宙科学データを蓄積し、DARTS (Data ARchives and Transmission System) と呼ばれる宇宙科学データアーカイブや、解析システムとし

て無償で公開してきた。これらのデータからは非常に多くの成果が得られており、今後もアーカイブの利用価値は高い。高水準の科学データは、他にも様々な機関から公開されており、これらを教育用として普及することは大変有用である。

例えば科学衛星から取得される X 線天文デ

ータは、一般の望遠鏡で得られる 2 次元（写真）データとは異なり、個々の光子の観測時刻やエネルギーまで高い精度で記録され、高次元のデータとなっている。我々はその解析を通して宇宙のダイナミックな事象を知ることができる。

宇宙科学教育に提供できるようなソフトを作成するにあたって、既存の解析システムは、その分野の専門家を対象に最適化されてきたがために、教育・アウトリーチの観点からすると、利用者に相応の予備知識を要求するような、難易度の高いサービスとなっている。これを広く教育環境に提供するのは、困難が伴う。

逆に一般利用者向けに全天の画像を提供するような、プラネタリウム風のサービスがある。これらのサービスは天体の画像を探索するには手軽なツールであるが、2 次元データしか提供されておらず、元となった宇宙科学データと比較すると情報量が欠落したものとなっている。

このような敷居を取り払い、学生等でも容易に宇宙科学に興味を持ちデータを探索・解析できるソフトウェアを用意する必要がある。

2. 研究の目的

前節のような現状に鑑み、本研究では、容易に高次元データを扱うことができるような、宇宙科学教育ソフトのインフラ整備を行う。GUI ベースで、利用者の負担を抑えた、宇宙科学データ閲覧・解析システムの礎を目指す。図 1 に、想定する整備範囲を示す。

	教育・アウトリーチ用アプリケーション		
用途	可視化,解析		
	動作検証	動作検証	
描画	グラフィックスライブラリ (Open GL)		
解析	共通ライブラリ (C, C++)		
UI	CLI, GUI	GUI	GUI
環境	XCode		その他
機器	PC:Mac	Mobile:iOS	その他

図 1 本研究で想定する整備範囲

網掛け: 想定する整備範囲

白抜き: 今後の課題

構築したシステムを用いたサービスや利用者のサポート等の実務フェーズは、本研究課題に含めない。本研究においては、関連する宇宙科学教育における解析ツールの難解性を解決し、広範囲のユーザ（教育者、学生等）が容易に最新の宇宙科学データに触れる機会を提供するためのライブラリ群と、それに基づいた、ユーザインタフェースのテストベッドを構築する。

3. 研究の方法

宇宙科学データを教育に供するために、それぞれの観測データにどのような特徴があるかを分析する。ここで対象としている宇宙科学データは、例えば空間(X-Y)方向、時間方向、エネルギー(波長)方向の 4 つのパラメータを持つような多次元のデータである場合が多い。なお本研究終了後の発展のために、開発する分析ツールは、できるだけ特定分野に偏らず、共通化できるライブラリ構成を検討する。

これらのライブラリは、利用者が容易に観測データの特徴を認識し、検索できるような、利用者向け解析ライブラリとしても活用する。この際、解析手順を記録し、専門家向けの解析ソフト等との比較検討ができることや、後段のテストベッドで過程を再現できることを心がける。

また端末側に実装するのが適切でないと思われるような、CPU 負荷の高い処理や、専門性の高いライブラリを要求する処理は、別途サーバ側で処理する等の工夫をして、端末側の負荷を低減するものとする。

煩雑なインストール作業を伴わず、誰でも解析・教育環境を体験できるようなツールのひな型を構築する。

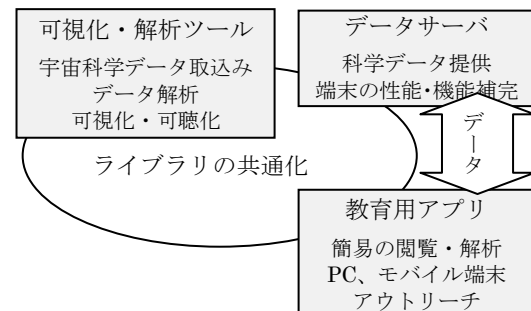


図 2 ソフトウェア資源の共通化

4. 研究成果

以下に本研究の成果を述べる。構築したライブラリ群については、動作確認のためのテストベッドの実行例を適宜掲載する。

(1) 共通ライブラリ群

ライブラリの作成にあたっては、PC、モバイルデバイスの別なく、同じソースが共有できるように配慮した。用いた言語は、C と C++ を基本としており、広範囲のプラットフォームへの応用が可能である。

(2) 時系列データの逐次取り込み

宇宙科学データは時系列で観測値が格納されていることが多く、これらのデータを効率良く取得することは、利用者の待ち時間の

短縮やアプリを稼働させる端末のリソース削減にもつながる。

かつてはパソコンが支配的であった情報端末の分野で、近年はモバイル端末がシェアを広げている。本研究課題で構築するソフトウェアの対象としても、モバイル端末は無視できない存在となっている。しかしながらモバイル端末は、パソコンと比べて通信環境や CPU 性能、電源環境等の制約が大きい。

このような制約の中で利用者の待ち時間や端末の負荷を軽減するために、本研究においては、映像配信におけるプログレッシブダウンロードのような、データの逐次取込みを科学データの取得に応用した。

専門家向けの解析ライブラリが、データの完全性を保証するために、データ全てを取得した上で利用者にインタフェースを提供するのに対して、本研究のデータ取得ライブラ

リは、データ取得途中で逐次利用者（教育用ソフト等）へデータを受け渡すこととした。その結果、データ取得ライブラリで同時に参照できるデータ範囲は限定的となるが、データ取得途中からの可視化や解析が可能となるため、待ち時間が短縮される。また用意すべきバッファもデータ総量に対して僅かで済むため、端末のリソース消費も低減できる。

図 3 に FITS 形式の場合のデータ処理フローを示す。FITS 形式のデータは、各ファイルの冒頭に、そのファイルのデータ構造が記述されており、これを読み解くことでデータ構造に則った逐次取込みが可能となる。FITS 形式に限らず、時系列データにおいて、ファイルの冒頭にデータ構造が記述されているか、もしくはデータ構造が既知の場合は、この手法が応用可能である。

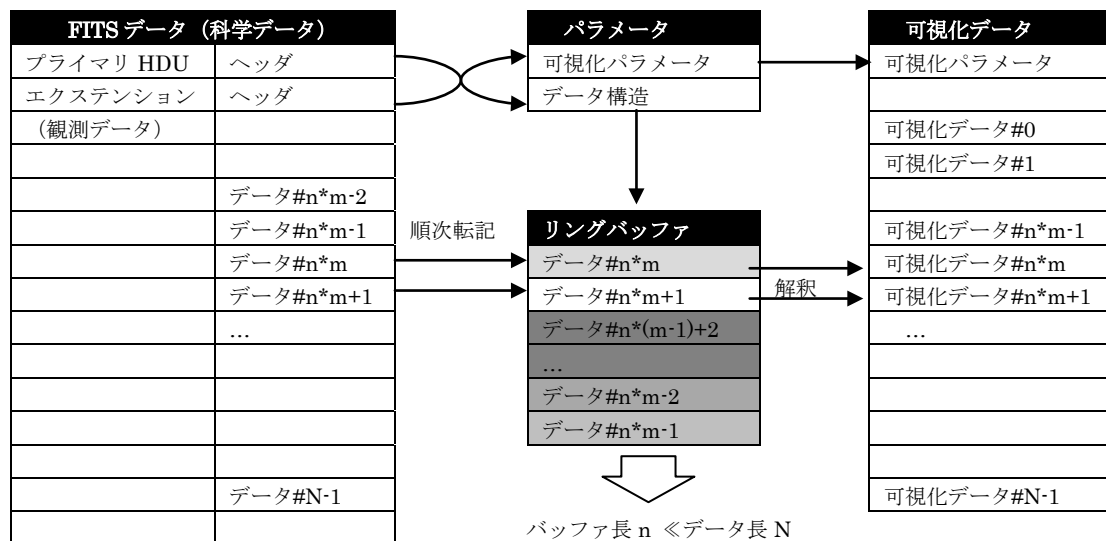


図 3 逐次取込み型データ処理 (FITS 形式の場合)

(3) X 線天文衛星の観測データ処理

X 線天文衛星が取得した観測データは、光子が検出される度に個々のイベントとして記録され、その検出時刻、飛来方向 (X-Y)、エネルギーといった多次元の情報が含まれている。これらのデータを解析することにより、一般に見られる天体写真のような画像の他、スペクトルやライトカーブといった様々な切り口での可視化が可能となる。しかしながらこのような解析を可能とするライブラリやツールとして広く提供されているものは、研究者向けに開発されたものであるため、インストールもプログラミングも決して容易なものではない。またモバイル系の OS 向けに整備されたライブラリではないため、昨今著しく普及しつつあるモバイル端末でこれらのソフトを使用することは困難である。

そこで本研究では、科学データの読み込みと

基本的な解析に絞って、様々な OS で利用可能な解析ライブラリを構築した。

また観測される時間変動の中には極めて短周期の規則的な変動も含まれており、このような時間変動を検出するためには FFT や χ 自乗検定等が用いられている。正確な周期検出には、衛星の地球周回や太陽周回によるドップラー効果を補正する必要がある。このような、基本的なツールもライブラリとして提供する。図 4 に、これらライブラリを用いて可視化した原データの FFT 結果と時刻補正後の FFT 結果を示す。原データにおいては時刻によって周期 (各波形のピーク位置) が変動していたものが、時刻補正後には周期が一致する様子が表現できている。

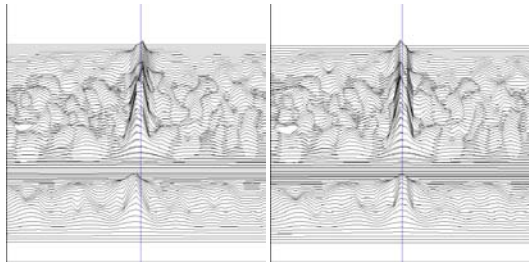


図 4 ドップラー効果の影響と時刻補正

左: 時刻補正前、右: 時刻補正後
横軸: 周波数、縦軸: 時刻

観測データの解析結果に対しては、次に示すような幾通りかの可視化・可聴化ライブラリを構築した。

- X-Y 画像: 通常天体写真風の画像
- スペクトル: X線のエネルギー分布
- ライトカーブ: 時系列の強度変化
- 観測時の軌道
- X線イベントの可視化・可聴化

本研究のライブラリを用いた可視化と可聴化の結果を図 5、図 6 に示す。この例は X 線天文衛星「あすか」が観測したかにパルサーのデータを用いている。図 6 の可聴化結果は、合成音をオーディオアナライザで表示したものである。可視化結果、可聴化結果共に、横軸が時刻、縦軸がエネルギー（周波数）を表している。

可聴化にあたっては、MIDI フォーマットを用いた。個々の X 線イベントのエネルギーを MIDI の音高（ピッチベンド）に変換して、イベント発生時刻に比例した時系列で楽器音を再生するものである。MIDI は汎用かつコンパクトなフォーマットであり、端末上でそのまま再生しても良いし、生成した MIDI データを音楽ソフトに読み込むことも可能であり、効果音や BGM としても応用範囲が広い。

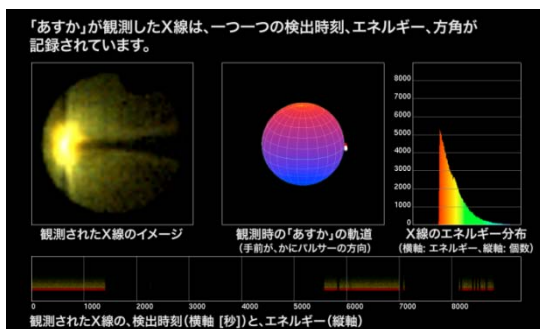


図 5 X線天文データの可視化

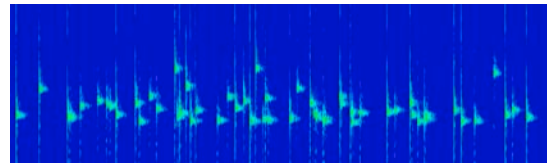
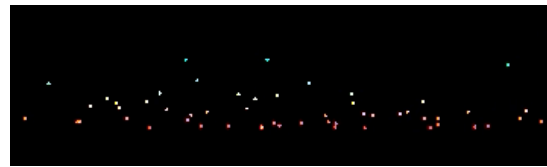


図 6 X線イベントの可視化・可聴化

上: 可視化 (本研究のソフトで描画)
下: 可聴化 (オーディオアナライザ出力)

X 線天文データの FITS ファイルは、観測の通し番号や観測に用いた検出器等、観測にまつわるパラメータが規則に従ってファイル名に埋め込まれている。そこで、FITS ファイル選択画面では、観測に付随する情報を、ファイル名と共に表示し、利用者の補助とする仕組みを導入した。それぞれの観測に付けられた通し番号を用いれば、DARTS の Web サイトで公開されている関連情報等とリンクさせることも容易であり、端末側に解説記事を持たせることなく、それぞれの観測にまつわる情報をネットワーク経由で得ることができる。

(4) 太陽地球物理データ

太陽地球物理データに関しては、Kp 指数と「あけぼの」衛星の PWS (plasma wave and sounder) 観測機器のデータを用いた。

Kp 指数は地磁気の活動度を表すものであり、3 時間毎の値が時系列で公表されている。Kp 指数を図示したものは、楽譜様であり、Bartels musical diagram として公開されている。本研究では、Kp 指数の各値を音階にあてはめて、時系列に MIDI データを作成することにより可聴化した。

PWS データは宇宙空間を飛び交う電波を約 20KHz から約 5MHz の範囲で長期間に渡って観測している。観測結果は 2 秒間隔×2 チャンネル×256 周波数帯域に分割して、夫々の強度が記録されている。

PWS データは、周波数帯域を 1/250 倍すると 80Hz~20KHz になり、ほぼ人間の可聴域に変換できる。そこで本研究では、擬似白色ノイズを、各チャンネルの電波強度分布に比例したフィルタに通すことにより、電波強度をステレオ音で再生するライブラリを構築した。図 7 に可聴化の概略を示す。図 8 には PWS データのスペクトログラムを示す。図 9 に、本研究の手法で同データを可聴化したものをオーディオアナライザで表示した

結果を示す。元のスペクトログラムの特性が、音として再現されていることがわかる。

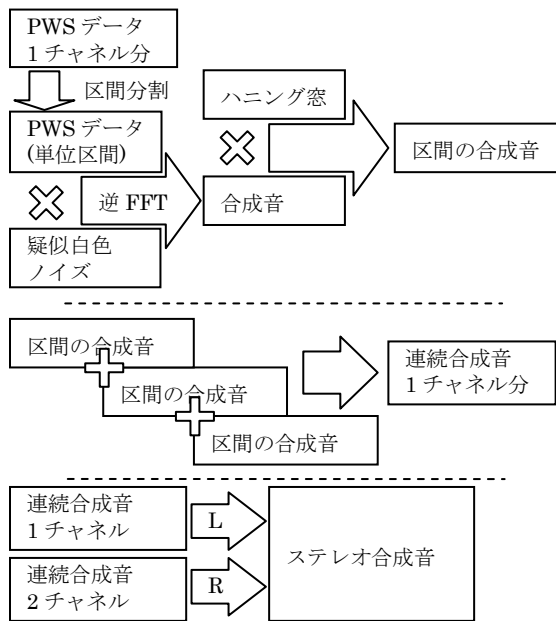


図 7 PWS データのステレオ可聴化

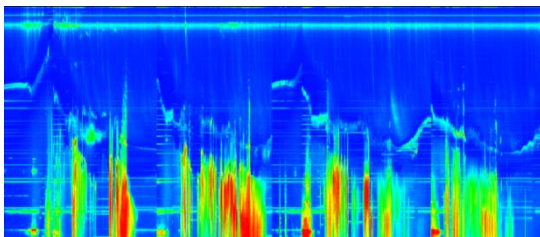


図 8 PWS データのスペクトログラム

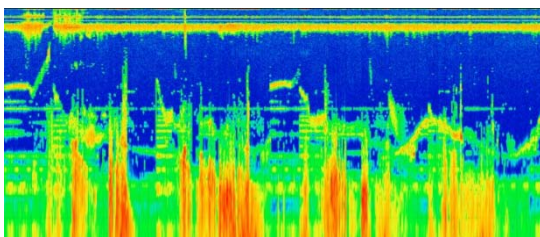


図 9 PWS データの可聴化結果

PWS データの可視化においては、スペクトログラム描画に加えて、各チャンネルのスペクトログラム（強度分布）から周波数帯域毎の強度比を求めて、擬似的に3次元（周波数方向×2チャンネルステレオ×時間）に映像化するライブラリを構築した。図 10 に、そのスナップショットを示す。

可聴化・可視化共に、チャンネル間の相関を疑似的にステレオ化することで、イベントの発生状況を直感的に把握することが可能となる。

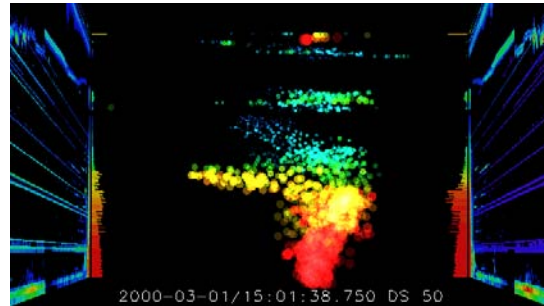


図 10 PWS データの可視化結果

左右端: 各チャンネルのスペクトログラム
中央: 疑似ステレオ化した電波の分布

(5) 位置・姿勢データ

観測データを解析するにあたっては、多くの場合、観測の当事者である宇宙機や観測対象の天体の位置・姿勢を補助データとして求める必要がある。

本研究では、このような位置・姿勢データも可視化するライブラリを構築した。位置・姿勢の可視化自体が科学観測の本質ではないが、観測時点の宇宙機の状態を可視化することにより、その観測データが得られた経緯を直感的に把握することが可能となる。

位置情報の可視化はX線天文衛星「あすか」と小惑星探査機「はやぶさ」の2例について可視化ライブラリを作成した。「あすか」の位置情報は軌道要素として FITS 形式で公開されており、この軌道要素と、各観測データに記録されている時刻情報とを併せればその時刻の「あすか」の位置を得ることができる。「はやぶさ」及びその観測対象であったイトカワの位置・姿勢は、いずれも SPICE カーネルという形式で公開されている。

「あすか」の軌道は地球周回であるため、「あすか」の軌道描画にあたっては、地球の画像とそれを周回する「あすか」の位置をプロットするライブラリを作成した。図 5 の中央に描かれた球体と白点が、係るライブラリで描かれた地球と「あすか」の軌道である。また球体に描かれた経緯度線は、J2000 分点における赤経・赤緯を表している。図中では視点は観測対象（かにパルサー）に固定している。例えば軌道情報と X 線イベント発生状況を同時に示すことで、イベントが観測されない期間が長時間に渡る理由（＝「あすか」が地球の裏側に隠れていること）などを直感的に把握できるようになる。

小惑星イトカワの形状は球体ではないため、別途イトカワの形状データを描画するライブラリを作成した。イトカワの形状はポリゴンメッシュ（互いに頂点を共有する三角形の集合体）で表現されており、基本的には Open GL のライブラリで高速に描画可能で

ある。陰影については、Open GL では陰 (shade) しかサポートされていないため、影 (shadow) の描画のために、距離バッファを 2 種類作成し、擬似的にイトカワに影を付ける仕組みとした。すなわち、通常の距離バッファに加え、太陽を視点とした時のイトカワ表面までの距離を 2 つ目の距離バッファとする。2 つ目の距離バッファの値以遠とされた表面は影として描画する。ただし高精細の形状モデルで、かつ影を描画するには相応の負荷がかかるため、現時点では PC 用にコンパイルした時のみ、高精細モデルと影の処理が有効になるようにしている。図 11 は、モバイル端末のシミュレータで再現したイトカワの形状である。モバイル端末のリソースで詳細な表現がどこまで許されるかについては、今後の課題である。

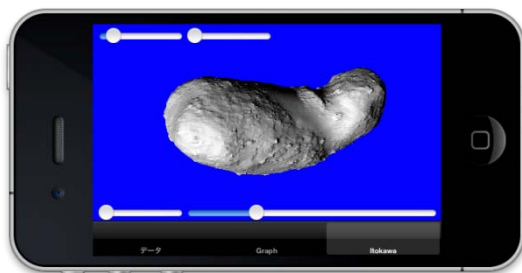


図 11 モバイル端末上での
イトカワの形状再現

本研究では 2 種類の宇宙機に関連する軌道データを取り扱ったが、「あすか」や「はやぶさ」と同様のフォーマットで軌道情報を得ることができる宇宙機は他にも存在しており、他の宇宙機への応用も容易である。またイトカワ同様に、ポリゴンメッシュで表現された形状データであれば、基本的には本研究のライブラリで描画可能である。

(6) まとめ

本研究においては、各種宇宙科学データを教育用アプリケーションとして利用できるようにするためのインフラとなるライブラリ群の開発と、それらを用いたテストベッドによる動作検証を行った。

実運用フェーズとしては、これらのインフラを用いた教育用アプリの製作や実際の教育・アウトリーチ活動への展開が想定される。このようなフェーズに移行するにあたっては、各観測データの専門家のみならず、教育の実務者等のフィードバックも得つつ実施する必要があり、その具体化は今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- ① 三浦 昭、海老沢研、宇宙科学データの可視化—モバイル環境に適した科学データの取り扱いについて—、宇宙科学情報解析論文誌、査読有、2 巻、2013、9-18
- ② 宇野伸一郎、外谷渉、三浦昭、海老沢研、宇宙科学データ可聴化プロジェクトの現状、宇宙科学情報解析論文誌、査読有、2 巻、2012、7-12
- ③ 三浦昭、宇野伸一郎、木村智樹、海老沢研、宇宙科学データの可視化・可聴化～教育・広報利用～、宇宙科学情報解析論文誌、査読有、1 巻、2012、13-22
- ④ 宇野伸一郎、外谷渉、三浦昭、海老沢研、宇宙科学データ可聴化プロジェクト 2 音声グラフ表示ソフトウェアの試作、日本福祉大学健康科学論集、査読有、14 巻、2011、1-9

〔学会発表〕(計 7 件)

- ① 三浦昭、宇宙科学データの広報・教育用アプリケーションの開発、電子情報通信学会 2013 年総合大会、2013. 3. 20、岐阜
- ② 三浦昭、山本幸生、吉川真、小惑星探査機「はやぶさ」軌跡の映像化、平成 24 年度宇宙科学情報解析シンポジウム、2013. 2. 15、相模原
- ③ 三浦昭、宇宙科学データの可視化—モバイル環境への応用について—、平成 23 年度宇宙科学情報解析シンポジウム、2012. 2. 15、相模原
- ④ 三浦昭、海老沢研、宇宙科学データの時系列可視化と携帯型デバイスへの応用検討、日本天文学会 2012 年春季年会、2012 . 3. 19-22、京都
- ⑤ 三浦昭、宇宙科学データの映像化—見えないものが見えるまで—、「宇宙科学映像利用による科学文化形成ユニット」第 3 回シンポジウム、2011. 7. 6、三鷹
- ⑥ 三浦昭、海老沢研、大規模宇宙科学データの特徴量抽出と映像・音声化 - 教育利用として -、日本天文学会 2011 年春季年会予稿集、2011. 3. 16-19、筑波
- ⑦ 三浦昭、大規模科学衛星データの広報・教育利用について、平成 22 年度宇宙科学情報解析シンポジウム、2011. 2. 16、相模原

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 昭 (MIURA AKIRA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：40280557