

# リアルデータを教室に —公開天文台ネットワーク PAOFITS WG の活動—

古 荘 玲 子

〈早稲田大学教育学部 〒169-8050 東京都新宿区西早稲田 1-6-1〉

e-mail: furshork@cc.nao.ac.jp

原 正

〈埼玉県立豊岡高校 〒358-0003 入間市豊岡 1-15〉

e-mail: tdshara@kg8.so-net.ne.jp

洞 口 俊 博

〈国立科学博物館理工学研究所 〒169-0073 東京都新宿区百人町 3-23-1〉

e-mail: horaguti@kahaku.go.jp

## PAOFITS WG\*

報道機関等に発表された天体画像を単に鑑賞するのではなく、研究用の本格的な観測データを主体的に解析処理する作業は、天文学に関心のある生徒たちにとって非常に新鮮で刺激的な体験となり、教育的にも効果的だと考えられます。私たち PAOFITS ワーキンググループはそのような“データ”を活用した教材の開発を行っています。ここではその活動を紹介します。

### 1. はじめに

天文学者は、観測から、どうやって天体の性質や宇宙の広さを知ることができるのか？

研究の現場から出てくる、広報用のきれいな画像をただ眺めるだけではなく、実際に物理量を測定することが可能な“データ”を使って、科学としての天文学を体験できるような実習を、学校の教室で行いたい。そんな先生方の熱意からこの活動は始まりました。

PAOFITS ワーキンググループ（以下、PAOFITS と省略）は、公開天文台ネットワーク

(PAONET)\*<sup>1</sup> のワーキンググループ (WG) として発足しました。しかし、もともとは PAONET 内の WG ですが、現在は PAONET 会員以外の人でもメンバーとして参加しています。メンバーは現在約 40 名ほどで、教員と研究者・公共天文台などの社会教育施設職員がほぼ半数ずつという構成になっています。

PAOFITS の目的は、FITS データを用いてデータ解析の体験を軸とした学校実習教材を開発することです。FITS (The Flexible Image Transport System) とは、天文学の研究観測現場で広く使われているデータのフォーマットです\*<sup>2</sup>。

\* PAOFITS のメンバーリストは PAOFITS の Web site [http://paofits.dc.nao.ac.jp/] で見ることができます。

\*<sup>1</sup> 公開天文台ネットワーク (PAONET): <http://www.nao.ac.jp/pio/paonet/>

報道機関などに発表された天体画像は、さまざまな処理が施され、さらに圧縮処理された画像ファイルになっています。Webに公開されているような画像もほとんどがこのような圧縮処理された“綺麗な”画像です。一方、生の研究観測画像は、圧縮処理されているjpegなどの画像と異なり、天体の等級（明るさ）や色、画像上の天体の位置など、さまざまな天体の物理量を求めることが可能です。これらの研究観測で得られたデータをお互いに正しく交換したり蓄積（アーカイブ）したりするための標準フォーマットとして作られた規約が、FITSというわけです<sup>1)~3)</sup>。現在はいわゆる画像データだけではなく、天体カタログのようなデータベースなどの用途でもこのフォーマットが使われるようになってきています。

ところで、実際に地学天文分野の教科書に載っているような実習はどのようなものでしょうか。教科書は本ですので、どうしても、例えば星のスペクトル型と明るさなどといった数値表が載っていて、この数値の羅列をもとに計算をし、図やグラフを作るような課題が中心になってしまいがちです。課題研究であれば実際の観測が例として挙げられることもありますが、通常授業時間の中で行われるような実習で、観測データを実際に解析してみるような内容は今のところまれです。

では、コンピュータを用いて実際のデータを解析してみるといった実習を行う環境はどうでしょうか。文部科学省は「2005年度までに、すべての小中高等学校等が各学級の授業においてコンピュータを活用できる環境を整備する」ことを目標としており、近年、小中高校のコンピュータ教室やネットワークの整備は進んでいます。学校でのコンピュータを使った実習環境自体は整備されてきているといえるでしょう。

## 2. 活動のあらまし

PAOFITSでは毎月1回程度、国立天文台（三鷹）天文学データ解析計算センターなどに集まり、検討会を行っています。メンバーの半数は教員なので、日曜祝日や夏休みなどの休暇期間を中心に検討会を開き、テーマの検討、教材執筆や試作教材の試用といった集中作業などを行っています。

天体の明るさや位置などの測定が可能なFITSデータの特徴を活かすことから、実際にFITSデータを生徒自らが測定するような実習教材の開発が目標となりました。また、“生徒にとって魅力的なデータ”ということを考えて、HSTやすばる望遠鏡などでとられた研究用データの活用を目指しました。

しかし、研究用データを用いるといっても、どうやって教材に使えるデータを入手するかという問題がありました。さらに大きな問題点は、FITSデータを解析することのできる簡便で安価な（できれば無償の）ソフトで適切なものがないことでした。

前者の問題に関しては、まずは研究用アーカイブの活用を検討しました。国立天文台の天文データセンター<sup>\*3</sup>では、SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive system)<sup>4), 5)</sup>をはじめとした研究用アーカイブを開発し整備・公開しています<sup>6)</sup>。これらのアーカイブは、いろいろな望遠鏡/観測装置でとられたデータを一定の観測者占有期間が過ぎたものから公開していて、無償の研究教育目的であれば誰でもデータを取得することができます。例えば、SMOKAでは、国立天文台のすばる望遠鏡と岡山天体物理観測所 188 cm 望遠鏡、東大天文センター木曾観測所の 105 cm シュミット望遠鏡でとられたデータが公開されていま

\*2 日本 FITS 委員会：<http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~kanamitu/fits/>

\*3 天文データセンター：<http://dbc.nao.ac.jp/>

表 1 主な FITS 解析ソフトの用途・特徴など

このほか、FITS データを表示する機能を持つソフト（ビューア）もある。

主な用途による区分（例）	動作機種/OS	有償/無償 特徴、実習で使用した際のメリット・デメリットなど。
研究用解析ソフト（IRAF など）	主に WS (UNIX)	IRAF はフリーだが高価なライセンスのものもある。 IRAF では FITS ビューアを併用することも多い。解析機能は豊富で演算結果については一定の信頼度があるが、使用者に計算機のスキルを要求する。
商用ソフト（StellaImage など）	PC（主に Windows）	有償 主に見栄えの良い画像を作る目的で使用される画像処理ソフト。解析機能より画像処理フィルターなど画像処理機能に重点が置かれているものが主。
教育プロジェクト開発ソフト（HOU-IP など）	PC (Windows/Mac)	有償？（ライセンス制/プロジェクト参加が条件、など） 元々教育目的で作られていて操作性は良いが、言語が英語である、機能に限界がある、プロジェクト参加が使用条件であるなどの問題があるものも多い。
その他 フリーウェア/シェアウェア （虹星、BeSpec など）	PC	無償/安価 画像データ解析或いは分光データ解析だけ、などの単目的のものが多い。演習目的が変わるごとに異なるソフトを使うのではソフト操作の習熟に時間と労力がかかりすぎ、本末転倒になるおそれがある。

すし、HST アーカイブではハッブル宇宙望遠鏡 (HST) でとられたデータが、IUE アーカイブでは国際紫外線観測衛星 (IUE) でとられたデータが公開されています。

後者については、パソコン上で動作し教育利用に適したソフト開発を検討しました。このソフト開発についての詳細は後述します。

以上を考慮した上で、分野はまず高校地学分野を選択しました。これは主に、WG メンバーの教員のほとんどが高校教員であるといった状況によります。高校取扱い範囲にあり実習で取り上げるのに効果的と思われる、さらに使用可能データがあるテーマを検討した結果、最初の教材テーマとして『星団の HR 図を作ろう』を選び、開発を進めました。

### 3. 教材『星団の HR 図を作ろう』の開発

この教材のねらいは、ハッブル宇宙望遠鏡・木

曾シュミット望遠鏡が撮影した生の画像 (FITS 画像) からパソコンを用いて星の明るさを測定し、星団の HR 図を作成すること、さらにそれをもとに以下の活動を行うことです。

- 球状星団の HR 図をもとに年齢を推定する。
- 散開星団の HR 図を作成し主系列を描く。
- 球状星団と散開星団の HR 図を作成し、恒星の進化について考える。

#### 3.1 データの検討

すでに述べたように、データは主に研究用アーカイブデータを中心に使用できそうなデータを検討しました。まず、球状星団編のデータには、データが豊富で 1 次処理済データが提供されています。HST アーカイブのデータを使用することにしました。生の観測データは、そのままでは撮像装置 (カメラ) の画素ごとの感度ムラや読出しノイズなどを含んでいます。これらの較正を 1 次処理といいます。教材のデータには、1 次処理が終わったデータを提供することにしました。教材の

開発が進んでいくと、球状星団だけではなく散開星団も教材化したいという欲が出てきました。散開星団編のデータには、視野の広い東大天文センター木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡のデータを用いることにしました。

### 3.2 解析ソフトの開発

FITS データを用いた実習には、その目的に適した FITS 解析ソフトが必要です。これまでに存在していた主な FITS 解析ソフトは、表 1 に掲げたように、いずれも我々が想定する実習で使用するには何らかの不都合がありました。つまり、教材の開発と同時に解析ソフトの整備も避けて通れない問題でした。PAOFITS がソフト開発を検討していた頃、科学技術振興事業団 (JST) も教育用 FITS データ解析ソフトを開発しようとしていました。そこで、このソフト Junior Image Processor (JIP) 制作に企画から協力し、国立天文台での JIP 配布許諾を得ることになりました。その後、JIP 制作企画協力の経験を活かし、国立天文台すばる画像解析ソフト“マカリィ (Makalii)”開発を支援しました。“マカリィ (Makalii)”とはハワイ語で“小さな目”という意味で、星団“すばる”のことも指します。このソフトは教育・研究目的であれば自由に使えるものとして国立天文台が制作したものです。さらに海外での利用、例えばす

ばる望遠鏡のあるハワイでも使えるように英語版が整備されました。

ここで、FITS 解析ソフト“マカリィ”の概要と、ソフト開発において PAOFITS で特に配慮した点について述べたいと思います。まず、解析ソフトは学校現場の多くで使われている Windows OS 上で動作するものとして開発しました。主な解析機能は 測光/位置測定/分光 (グラフ描画)/ブリンク などです。

図 1 は、マカリィで FITS 画像データを開いたところです。データは教材 (球状星団編) で使用している NGC 362 のデータです。

図 2 は測光モードの画面で、実習『星団の HR 図を作ろう』の異なる 2 バンドの画像データ (3.3 参照) を開いています。測光モードはボタンで簡単に切り替えができ、またメニューから選ぶこともできます。測光の操作はマウスで星を選んでクリックするだけです。数値リストの表示されているダイアログを測光ダイアログといいます。測光ダイアログの“測定半径”を自動にしておけば、星像の広がりから星としての領域と背景領域とを算出し、星の明るさとして星領域内のカウント値 (カメラの各画素が受けた光の量を示す値) の総計を計算します。測光結果はプレインテキストか CSV (Comma Separated Values) 形式\*4 ファイルに

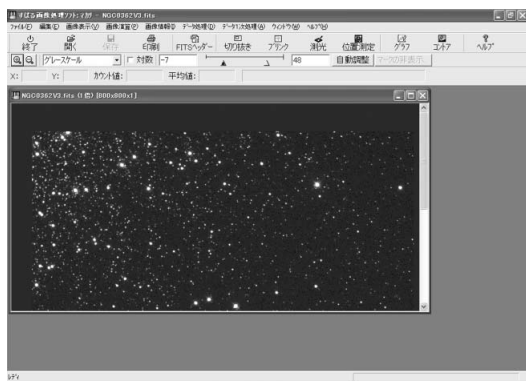


図 1 マカリィで FITS データ (画像) を開いたところ。

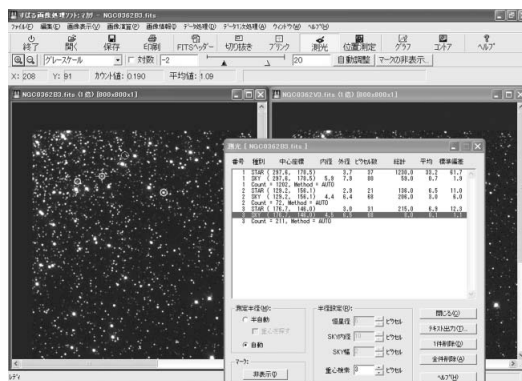


図 2 測光モード画面。測光値はアパーチャ (測光半径) 内のカウント値の積分。アパーチャは星像とみなされた領域の半径のこと。



図 3 PAOFITS Web サイトのトップページのスクリーンショット。URL は <http://paofits.dc.nao.ac.jp/>。

保存できます。CSV 形式ファイル保存ができるようにしたのは、測光作業後に表計算ソフトを使って測光結果から色等級図を作成する、といった展開を考慮してのことです。

さらに、学校現場では解析作業が 1 時限の授業内に終わらないことが容易に予想されました。そこで、作業結果を Ascii Table Extension (ATE) (FITS 規約に則った情報添付形式) として FITS データに付帯させて保存できるように工夫しました。ATE に保存したファイルを再び読み込むと、マカリィでの作業情報、例えば測光結果ならば測光ダイアログのデータだけでなく測光した星につき画像上のマークも復帰し、作業の再開がスムーズに行えるよう考慮しました。

### 3.3 最初の教材『星団の HR 図を作ろう』

教材セットとして以下の内容を作成しました。

- 教師用解説書、ワークシート (例)
- データセット (星団の FITS データと画像、恒

星進化の理論曲線データなど)

#### ● 解析ソフト & ツール (Excel マクロなど)

教師用解説書は、背景となる天文学や FITS データのあらましにも触れたものを作成しました。特に、題目は“HR 図を作ろう”ですが、実際には B バンドと V バンドに相当する 2 色データの測光から色等級図 (CM 図) を作成する内容なので、バンド測光や色、CM 図についてなどの解説を用意しました。教師用解説書にはほかに、授業の組み立て案やワークシートとその解答例および解説も含まれています。ワークシートは開発メンバーが実際に授業で試用したものをもとに作成しました。授業での実践についてはこの後で少し触れたいと思います。

データセットの FITS データは、この実習用に画像の位置合わせなどの処理をしました。図 1 で開かれている画像をよく見ると画像の上部と左側が黒いのは、教材化する際に B バンド画像と V バンド画像とで視野をそろえたためです。これは、この実習の目的をあくまで画像解析から結果を得て考察を行うことに絞ったからです。画像解析とはこの場合は色の違う 2 枚の画像それぞれで星の明るさを測ることで、実際の観測を行ってデータを得た場合には 3.1 で述べたように画像の 1 次処理や、データから実際に知りたい物理量を取り出すための補正が必要となりますが、本実習教材ではこのような作業は省くことにしました。

教材データとしてはこのほか、実習を行う上で必要と思われる星団の早見画像や恒星進化の理論曲線データも用意しました。

さらに、配布ソフトとして、測光データを処理して CM 図を作るための Excel マクロも用意しました。本来ならば、測光値から等級の計算をさせるような表計算プログラムも生徒自身の手で作成できれば良いのかもしれませんが、しかし、実際の

\*4 1 行の各項目をコンマ (,) で区切ったテキスト形式のデータ記述方法。テキスト形式のため簡単に編集できる。また、エクセルをはじめとする多くの表計算ソフト/データベースソフトで入出力が可能。



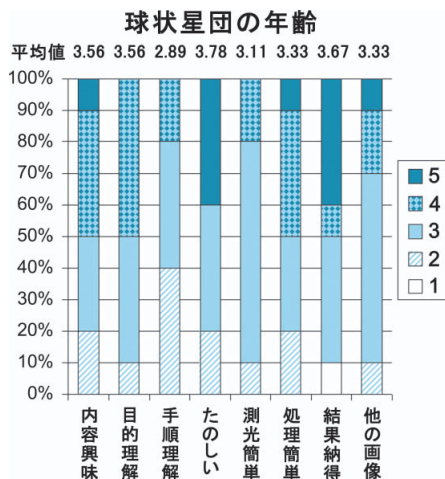


図4 『星団のHR図を作ろう』の実習後に生徒に対して行ったアンケート結果。5段階評価で、3が“どちらでもない”，数値が大きいほど評価が高い

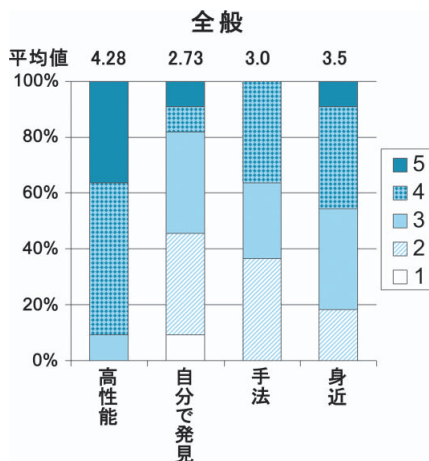


図5 FITSを使った実習の後に、生徒に対して行ったアンケート結果。

学校現場では、限られた時間内に実習を行うためにある程度の効率化は必要です。このような状況を考慮して、マクロを用意し利用するかどうかは教材を使う教員に判断をゆだねることにしました。

教材セットやソフトの情報，アーカイブの情報などはすべてWebを通じて配信することにし，Webサイトを立ち上げました(図3)。ここで，新規開発や更新された教材などを順次公開していきます。

#### 4. 実際の授業で

教材の授業展開とワークシートの作成段階で，著者の一人でPAOFITSメンバーでもある原正が，データセットとソフトを実際に授業に使ってみました。さらに，現在開発中のハッブル則教材(銀河のスペクトルデータを測定しハッブル則を導く)も含めて，FITSデータを用いた実習についても質問しています。図4と図5は実習後に生徒に対して行った評価アンケートの結果です。3が“どちらでもない”で数値が大きいほど評価が高いことを示します。結果の平均値はおおむね3を

#### アンケートの質問項目

1. 星団の年齢について
  - 1) 講義形式の授業と比べて，内容に興味を持たた。
  - 2) 講義形式の授業と比べて，目的がわかりやすかった。
  - 3) 講義形式の授業と比べて，手順が理解しやすかった。
  - 4) 講義形式の授業と比べて，やっていて楽しかった。
  - 5) 画像から明るさのデータを測定するのは簡単だった。
  - 6) グラフや計算で結果を見つけるのは簡単だった。
  - 7) 自分でも納得いく結果が出せた。
  - 8) 他にも星団の画像があれば，自分でもやってみたい。
2. 全般について<sup>†</sup>
  - 1) すばる望遠鏡のような，より高性能の望遠鏡の画像を使いたい。
  - 2) 画像を得られれば，自分でも何か発見できそうな気がする。
  - 3) 天文学で使われている手法がわかった。
  - 4) 宇宙のことが以前より身近に感じられる。

<sup>†</sup> 2回のアンケート内容をまとめた。質問1)と2)は2度目のアンケート設問である。

超し、特に内容への興味関心、CM図を作成することへの目的理解や結果の納得度は一定の評価ができる結果だったことがうかがえます。また、一般的な質問についてみれば、すばる望遠鏡などとられたデータを使いたいという希望が平均で4.27となり、最も要望が強いことがわかりました。一方で、授業中の生徒は熱中して測光作業をしていた様子でしたが、実習操作の手順理解は一番低い数値が出ました。この教材開発の目的である、研究データを用いることで実習への興味づけを強めることと、自分で測光したデータを用いた作図で結果への理解をより深めることについては、講義形式と比較してある程度の効果を見ることが出来たと思います。ただ、ソフト操作の習熟に力点を置きすぎると、手段が目的化するおそれがあります。この辺りの結果は、ソフトやワークシートの改善に役立てていきます。

## 5. 今後の展望

完成した実習教材『星団のHR図を作ろう』はPAOFITSのWebサイトで公開中です。今後は、試用報告を随時受付けて改良を行っていくことにしています。そして、現在は新しい実習教材開発に取りかかっています。テーマは“距離はしご”のそれぞれの段階について実習教材を作成しようということになりました。例えば分光視差やハッブル則など、それぞれについて数十分から数時間の実習教材を開発中です。

## 参考文献

- 1) 天文情報処理研究会（監修）、2000、FITSの手引き第4.1版（国立天文台天文学データ解析計算センター）
- 2) Greisen E. W., Calabretta M. R., 2002, A&A 395, 1061
- 3) Calabretta M. R., Greisen E. W., 2002, A&A 395, 1077
- 4) 馬場 肇, 他, 2002, 国立天文台報 6, 23
- 5) 山本直孝, 他, 2003, 国立天文台報 6, 79
- 6) 市川伸一, 2002, 天文月報 95(6), 226

### Activities of PAOFITS Working Group

**Reiko FURUSHO**

*School of Education, Waseda University, 1-6-1 Nishi-waseda, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8050*

**Tadashi HARA**

*Toyooka High School, 1-15 Toyooka, Iruma, Saitama 358-0003*

**Toshihiro HORAGUCHI**

*Department of Science and Engineering, National Science Museum, Tokyo 169-0073*

**& PAOFITS WG**

Abstract: Beautiful astronomical images attract many students who are interested in astronomy. It should be a good opportunity for such students to develop their knowledge through hands-on analyses of the real images. We, PAOFITS Working Group, are developing educational materials utilizing real observational data that can be used for astronomy education at high school. In this article, we introduce our activities and some of the materials.