

# PAOFITS ワーキンググループの10年

## —研究者と共にする天文教材開発—

埼玉県立豊岡高等学校  
原 正

### 1. はじめに

天文学の分野では、観測データはデジタルで得られ、それを解析する手法が定着している。一方、理科教育の分野ではパソコンやインターネットの普及で、従来の印刷物では扱えない教材を教室で使うことが可能になってきた。データの情報量を落とさない共通の書式である FITS 形式を用いることで、研究者が解析したものと同一画像データを使った教材を作ることができる。このことで、生徒が日常使用することが難しい大型の望遠鏡や、天文学の先端の新しい観測装置で得られたデータを利用することが可能になる。

デジタルカメラも一般に普及しているが、画像の保存に用いられる JPEG や GIF などの形式では圧縮処理などが行われるためデータとしての信頼性に欠け、明るさを測定するなどの、測定値の強さの議論が必要な場合に問題を生じる。研究のために用いられる FITS 形式ではそのような欠点はない。

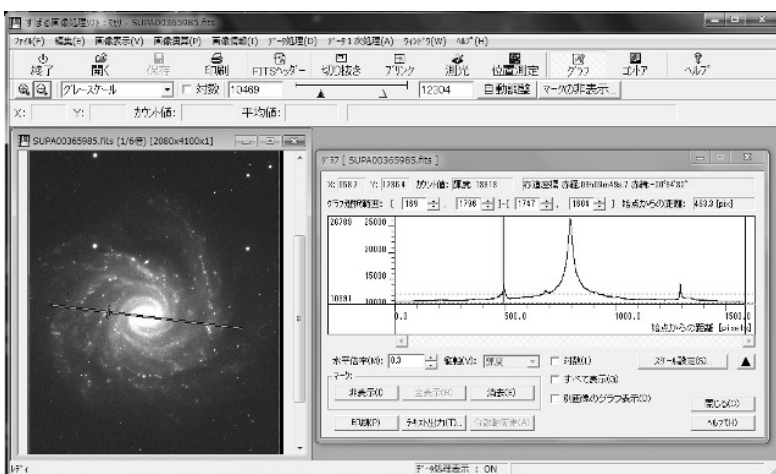


図1 すばる望遠鏡で撮像した銀河  
マカリで開いて輝度の断面をグラフに表示したところ

このような観点から、国内外の観測施設で観測されたデータのうち、FITS形式で保管されアーカイブシステムで公開されているものを使って高校や中学校向けの教材を作成しようという PAOFITS ワーキンググループが結成された。グループのメン

バーは天文学や教育学の研究者、博物館科学館の職員、天文台の職員など天文学の専門家のメンバー、および学校教員からなる。発足は2000年の秋である。

## 2. グループの活動

グループは年に数回の会合を行う。ここでは教材のアイデアやその具体化、問題などを検討している。研究者、教員ともに教材の提案をし、授業の具体的な進め方や生徒用のワークシートなど教材の具体化をしていく。ここで、教員側は教材を使った授業を行うことで、問題点の洗い出しができる。アーカイブデータから欲しいデータを検索する作業やデータの科学的な裏付けなど、高校や小中学校の教員だけでは難しいことについては、天文学を専門とするメンバーが協力する。また、観測された生のデータはそのまま教室で使用するには向かないので、ノイズの処理などのデータ処理は同様に専門家が行う。このような役割分担が非常にスムーズにできているのがこのグループの特徴であり、実際の授業で使いやすい教材を生み出す大きな力となっている

FITS 形式のデータを解析するためにはなんらかのソフトが必要となる。学校のPCで最も普及しているOSである windows で動くソフトが是非とも必要である。私たちのグループは、国立天文台が学校向けに「マカリ」を開発、改良する際の支援も行っている。

開発した教材の普及のため、年に1度ワークショップを開催している。これには国立天文台の共同研究の援助を受けている。これまで北から仙台、東京、岐阜、大阪、岡山、福岡で開催した。毎回40名以上の参加がある。大学から小学校を含む学校の教員、科学館や公開天文台の職員、天文の教育普及に興味を持つアマチュア天文家、教育学部の学生、高校生らが教材に実際に触れ、実習を体験している。これもグループの重要な活動と位置づけている。

グループはオープンなのでワークショップの参加等をきっかけに、新たにメンバーに加わる人も多い。また、データの教育利用に興味のある研究機関からデータの教材化の提案を受けることもある。ここ何年か、JAXAの持つX線天文衛星「すざく」や太陽観測衛星「ひので」のデータの教育利用についてアウトリーチの担当者が会合に参加したり、それをきっかけに教材が具体化するなど交流も進んでいる。

最近では、既存のアーカイブデータに頼るだけでなく、教材として質のよいデータを得る目的で観測も試みている。これは、国内のいくつかの天文台の協力を得て行っている。

### 3. 開発した教材とその公開

教材は生徒一人が1台のPCを用いる実習を前提にしており、データ、生徒が使うワークシート、表計算の数式やマクロを組み込んだ表計算のシート(図2)、教員用ガイドを同時に作って、テーマ毎にセットにしている。表計算のシートは限られた時間の中で煩雑な繰り返し計算をする時間を節約する目的で作成している。時間があれば手計算でもできるが、一斉授業では利用した方が時間短縮になる。

これまで、つぎのような教材を開発し、主にWEB(<http://paofits.nao.ac.jp/>)にて提供してきた。詳細はWEBページをご覧ください。

- ・『太陽の光球面の様子を調べよう』
- ・『太陽の黒点の温度を求めよう』
- ・『地球軌道の離心率を求めよう』
- ・『星団視差(散開星団までの距離を求めよう)』
- ・『セファイド変光星(系外銀河 M100 の距離を求めよう)』
- ・『ハッブルの法則』
- ・『超新星の明るさと銀河の距離』
- ・『星団の HR 図を作ろう』

また、天文の基本的な事柄を学び、データの取り扱いの練習の意味合いの強い教材として次のものを用意している。

- ・星の色と光の色
- ・星の等級と明るさの関係

授業で掲示して見せるための大型ポスターとして、すばる望遠鏡による精細な銀河の画像を用いたハッブル分類の図も作成した。

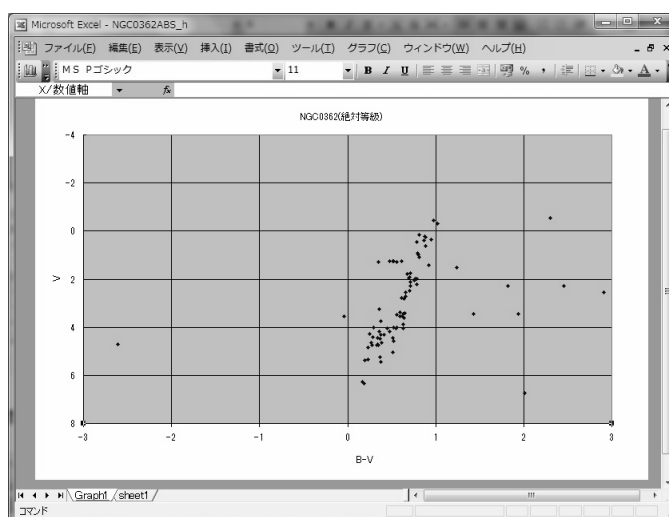


図2 球状星団のHR図

マクロを組み込んだ表計算ワークシートを使っている

#### 4. 教材の評価

グループでは開発した教材について授業実践をふまえた評価も行っている。この評価研究では事前事後の簡単なテストや感想を聞くアンケートを実施し、教材使用の効果を調査している。調査を行ったどの教材も共通に言えるのは、生徒の興味を喚起する効果である。また、天文学の方法を体験できたと感じる生徒が多くあらわれることも特徴である。

図3のグラフはIa型超新星による距離測定教材のアンケート結果である。8割を超える生徒が肯定的な回答を寄せている。この傾向は、授業を実施した文系理系、あるいは2年生、3年生のいずれの場合でも大きな差はない。特に、自分でもデータをとってみたいと考える生徒が3割にも達していることに注目している。実習を体験した生徒がデータ解析を身近なものと感じて、観測もやってみたいという意欲を引き出すことにつながったと思われる。

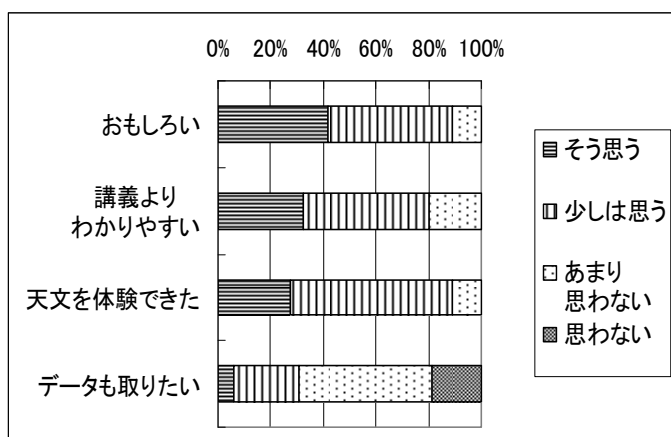


図3 生徒の感想

回答の理由の分析も行った。肯定的な回答に対し「特別教室での授業だから」や「講義ではなく実習だから」との本質的でない理由をあげた生徒は少なく、「本物のデータが使えた」とか「画像からデータがとれた」など、本教材の特徴を理由としているものが多い。

否定的な回答の理由としては「PCが苦手」、「数学が苦手」、「移動教室がめんどろ」といったことが多く、研究用データの使用そのものを否定するものは非常に少ない。ひとつ、気になるのは否定的な理由として「時間に追われて」とする生徒が少なくないことである。授業の進め方を含め検討の余地があるだろう。

教材を用いた授業を行う前後にテスト形式でアンケートを実施して、教材使用の効果を調べた結果を図4に示している。知識については少し改善されている。特に改善が大きいのは、光度曲線の形についての設問で、これは生徒自身が実習の際に自分が描いているので、この体験が大幅な改善につながったとみられる。これまで調査した教材においては、グラフの形

状やスペクトルの意味の読み取りなど、画像を設問としたものについては大きく改善する傾向が見られる。

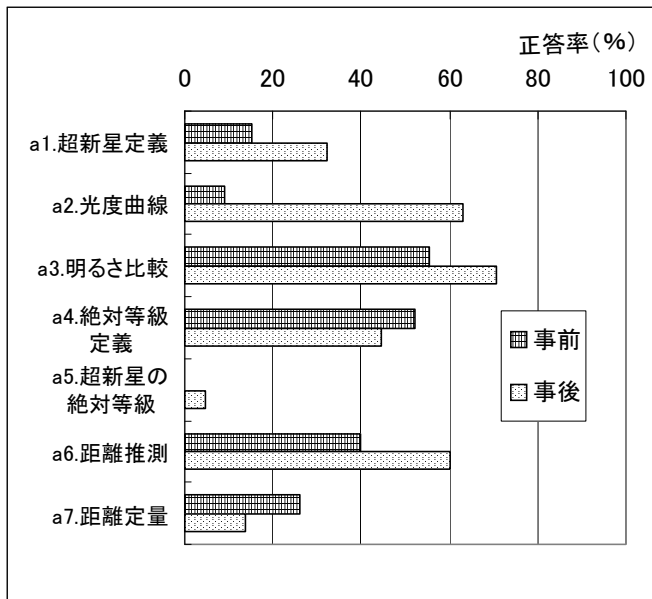


図4 事前事後アンケートの正答の変化

作業の過程をいくつかの段階に分け、それぞれの達成課題の難易度や結果の満足感などをアンケートした結果を図5に示す。これは先と同じくIa型超新星の距離を求める教材の調査結果だが、難易度で難しいと感じている生徒と簡単と感じている生徒が相半ばする状況である。しかし、結果を自分にとって満足のいくものだと感じている生徒が8

割を超えている。これもどの教材でも同様の傾向を示す。

結論として、多少課題は難しくても、結果に満足感が得られ、天文学の手法を体験でき、興味関心をもって取り組むことができる教材として仕上がっていることがわかる。ここで紹介した結果は著者の学校で実施した結果であるが、グループメンバーのいくつかの高校での結果もほぼ同様である。

今回は詳細を取り上げないが、生徒が授業に使ったワークシートには、生徒の作業の過程が残されている。これを詳細に分析して教材の問題点を洗い出し、改善することもおこなっている。

自由記述の感想では、「写真からデータが取れるとは思わなかったので驚いた。」「自分は気象を目指しているが天文でもよいかなど思った。」「この実習で数学の使い方がわかった。」などがあつた。

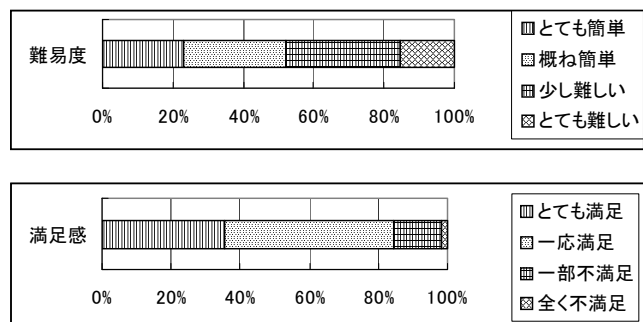


図5 上から課題の難易度、満足感  
最終過程の距離を求める段階についてのもの

## 5. これからの課題

グループが活動をはじめて10年になった。教材もある程度の数がそろいつつあるが、天文分野に限って言っても、まだ不足する分野がある。

たとえば、恒星までの距離を測定する技術として高校の教科書には三角視差を用いる方法が必ず載っているが、実際にこの視差が現れた画像はない。

すばる望遠鏡のような研究を目的とする天文台での教育利用を目的とする観測も計画したが、解決すべき問題が多く、未だに実現していない。また、天文ではよくあるが、大量のデータを統計処理して結果をだすような課題も教材化は困難である。しかし、研究用のデータはそのような処理を前提として観測されていたりするので、一目で目的の現象がわかるような教育用にきれいに整った画像を探すのはなかなか骨の折れる作業である。そこで、自前で観測ということも考えている。大型の機材は当然ではあるが学術研究のためにあるので、教育に撮像時間を割り当てることができる施設は多くない。グループのメンバーも本職を持っているので、時間的な制約もある。教育を主目的とする大型の可視光の観測装置がほしいところである。

私たちのグループの出発点には、最新の観測機器によるデータを用いることで、生徒の学習意欲を喚起し、実習を実りある結果に導こうという狙いがあった。したがってハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡、岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡などのアーカイブデータを利用している。授業での探求活動としてとらえる場合、「観測」が欠けているのは気になるところである。一方で急速に性能がよくなり、価格も下がっているデジタル一眼レフカメラは学校現場にも普及しつつある。これを利用すれば、「観測」を組み込んだ教材の構成も考えられる。この方向性の研究も必要な段階に来ていると思われる。

また、一昨年は世界天文年だったこともあり、教材の外国語化の問題も浮上してきた。ここで紹介したような取り組みは国際的に見ても進んでいる方である。ところが、教材が日本語であることや解析ソフトマカリの多言語化が難しい（英語版はある）ことから、海外に紹介するための障害となった。教材については、英語に堪能な我々のグループ以外の団体とも

協力する形で翻訳することができた。

## 6. まとめ

この10年間、研究者と教育現場の連携が円滑に行われた結果、多くの先進的な教材を開発し公開することができた。それらは生徒の探求的な学習活動の幅を広げ、興味を喚起するのに有効であることがわかった。教材の利用者の拡大も進んでいる。今後は天文に限らず、物理も含めた探求活動的な教材開発をも視野に入れつつ、さらに発展していくことを期待したい。

## 7. 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金「本格的な研究観測画像を用いた実践的な天文教育カリキュラムの開発」(課題番号 17500620)「本格的な天体観測画像を利用した自然認識力強化のための体験型科学教育プログラムの開発」(課題番号 20500797)の助成を受けて行われた。各地でのワークショップ開催には国立天文台共同研究の助成を受けた。あわせて、ここに感謝の意を表す。

また、授業の実践にあたって、埼玉県立豊岡高校の情報科の小島正順教諭にPC教室の使用時間やサーバ利用の便宜をはかっていただき、技術的な問題解決のために貴重な時間を割いて様々な有益なアドバイスをいただいた。ここに感謝する。

## 8. 参考

PAOFITS ウェブサイト <http://paofits.nao.ac.jp>

古荘玲子・原正・洞口俊博・PAOFITS WG(2004): リアルデータを教室に ー公開天文台ネットワーク PAOFITS WG の活動ー, 天文月報, **97**(3), 149-155.

原正・五島正光・洞口俊博・縣秀彦・矢治健太郎・古荘玲子・金光理(2008): I a 型超新星を使った銀河の距離測定の指導, 地学教育, **61**(4),113-122.

Horaguchi,T.,Furusho,R.,Agata,H. and paofits WG(2006): FITS Image Analysis Software for Education: Makali'i In: C. Arviset, D. Ponz and E.Solano(eds.). Proceedings of Astronomical Data Analysis Software and System XV. ASP Conference Series, **351**, 544-547.

原正・畠浩二・五島正光・洞口俊博・金光理・古荘玲子・矢治健太郎・PAOFITS ワーキンググループ(2009): 研究用銀河スペクトル画像を用いたハッブル則の高校向け教材の開発と試行, 地学教育, **62**(5), 151-165.