

# 報告

## FITS 教材を取り入れた天文学体験講座の実践報告

# SPP 講座「宇宙の探求～天文学者を体験しよう」

篠原秀雄（埼玉県立蕨高等学校）

## 1. はじめに

### 1.1. この企画のねらい

「SPP」は「サイエンス・パートナーシップ・プログラム」の略称で、大学や研究機関等と中学校や高等学校との間で行われる科学技術や理科・数学に関係する連携事業です。

筆者の勤務校では、前年まで化学で SPP が実施されていましたが、今年度は天文で実施することになりました。

これまでの経験から、生徒たちの星や宇宙への興味・関心は高いものの、天文分野に関して学習してきた内容の少なさや、実際に星を見る実体験の不足などを実感しています。また、天文学者というのはいつも望遠鏡で星を見ているというイメージを、生徒に限らず一般の人も持っているように感じています。

実際の研究においては、物理学を手段として用いているわけですが、そのようなことはほとんど知られていないでしょう。地学を学んでいる生徒は、自分たちが学習している知見がどのようにして得られたのかという研究の過程を学ぶことなく、得られた知識のみをもっぱら学習しています。また、物理を学んでいる生徒にとっても、自分たちが学んでいる物理学が、実際にどのように研究の場で使われているのかを知る機会、ほとんどありません。

そこで、次の 3 つのことをねらいとして、この講座を企画しました。

- 1 宇宙についてもっと知ってもらいたい
- 2 天文学の研究方法を知ってもらいたい
- 3 自分でも体験してほしい

### 1.2. 蕨高校について

筆者の勤務校である蕨高校は、埼玉県の南部、人口密度日本一の蕨市にあります。住宅街のまっただ中で、2 等星がやっと見えるといった明るい空で、星を見るにはきびしい環境にあります。

学校自体は、「文武両道の進学校」をスローガンに掲げ、生徒の学習意欲は高く、部活動にも熱心に取り組んでいます。理科に関するカリキュラムは、表 1 のとおりです。

表 1 蕨高校の理科カリキュラム

1 年	理科総合 A、化学 I
2 年	物理 I / 生物 I / 地学 I から 1 科目を選択
3 年理系	化学 II は全員、物理 II / 生物 II から 1 科目を選択
3 年文系	化学 I / 生物 I / 地学 I から 1 科目を選択可 (理科の科目を選択しないことも可)

※地学は文系のみ選択可

### 1.3. プログラムのおおまかな流れ

この講座全体のプログラムの最後は、宇宙図 (<http://stw.mext.go.jp>) を用いて私たちの宇宙の過去・現在・将来といった宇宙論の講演で締めくくろうと考えました。生徒がもっとも関心を寄せる分野のひとつです。そして、この企画全体を通したすべてのプログラムが最終的にその最後の講義へ結びついていくように、その内容と構成を工夫しました(図 1)。

プログラムの概略は次のとおりです。

**(1) ガイダンス (2007年12月12日、  
蕨高校)**

- ・天体画像のスライドショー：  
どんな天体があるか知る。天体の美しさを味わう。天体のスケールの違いを知り、おおまかな階層構造について知る。

**(2) 講座第1日 (2007年12月22日、  
国立天文台三鷹キャンパス)**

- ・講義：  
天文台、天文学者の仕事等についての講義を聴く。
- ・施設見学：

4D2U シアターで宇宙の階層構造や大規模構造などについてイメージをつかむ。

- ・天体観望：  
公開望遠鏡で天体を実際に見る。対象天体として、惑星、星団、銀河というように、なるべく複数の階層構造をまたいで見られるようにする。

**(3) 講座第2日 (2008年1月7日、蕨高校)**

- ・望遠鏡と分光器の作製：  
望遠鏡の原理を学び実際に望遠鏡を作製する。スペクトルを観察、簡易分光

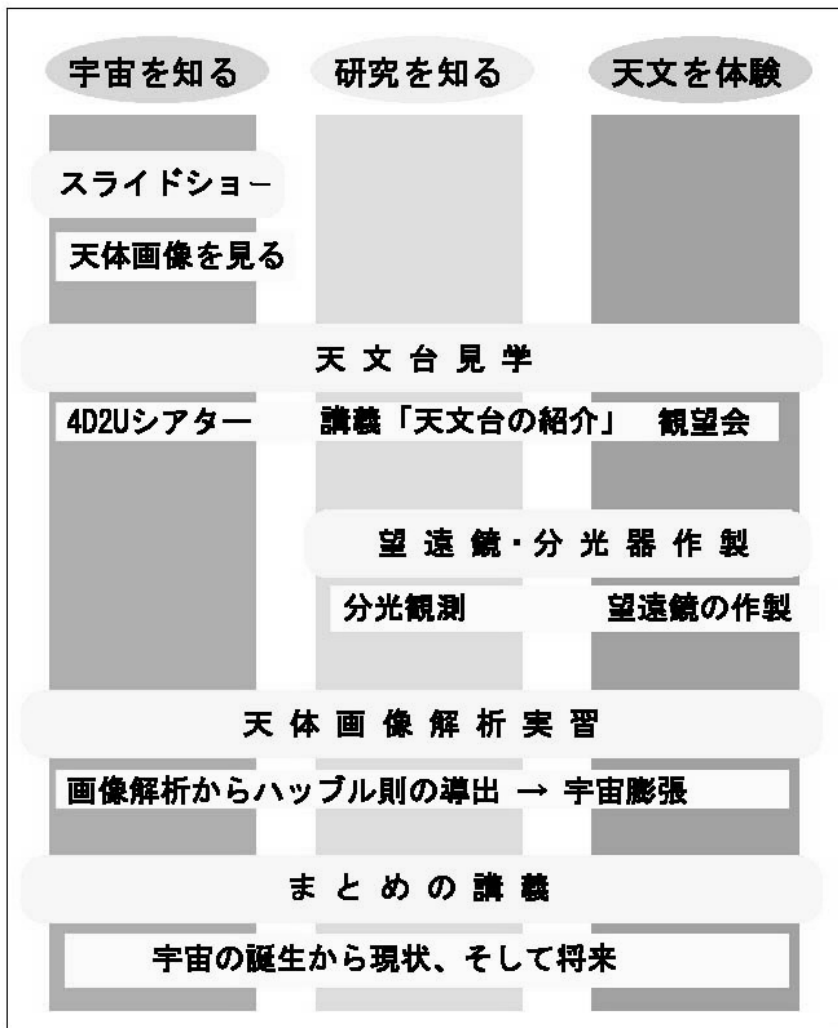


図1 プログラムの流れ

器を作製し、分光観測について学ぶ。

・ハッブルの法則の実習：

銀河のスペクトル画像からハッブルの法則を導く実習をおこない、宇宙膨張について学ぶ。

・講義：

最後にまとめとして宇宙の始まりや現状についての講義を聴く。

このような構成をとることにより、膨張宇宙までを単に天下りの知識として学ぶのではなく、その知識が得られた研究のプロセスまでを含めて学ぶことができます。

FITS 画像・FITS 教材は、プログラム第 2 日のハッブルの法則の実習の中で利用しました。

## 2. 参加者について

### 2.1. 募集方法について

募集定員は 25 名です。参加者を募集するにあたって、物理・地学選択者を優先することにして、2 段階に分けることにしました。これは、授業で学習していることとの関連性を重視したことと、物理・地学選択者には天文への興味関心が高い生徒が多いのではないかと予想したことによります。はじめに、第 1 期募集として、全体の定員枠の 7 割程度を物理・地学選択者だけから受け付けることにしました。その後、第 2 期として残りの枠を一般生徒から募集することにしました。

しかし、これがまったくの見込み違いで、第 1 期の募集をしてみると、1 人の申し込みもありませんでした。まったく予想外のことでした。

結局、第 2 期の一般生徒（1 年生と 2 年生）からの募集で、定員すべてが埋まることになりました。その結果、集まった生徒は女子・文系優勢になりました。

### 2.2. 参加者について

参加者は、2 年生より 1 年生の方が多く、男子より女子の方が多くなりました（表 2）。また、理系 9 名に対して文系が 13 名となりました（表 3：アンケート用紙へ未記入の場合があったので、数字の合計が人数の合計とあわないことがあります）。

理科の選択科目については、生物が圧倒的です（表 4）。物理の 5 名はすべて 1 年生で、来年度選択予定ということになります。したがって、前項に書いたように、現在物理を学んでいる生徒については応募がゼロでした（物理を教えている筆者としてはとてもショックでした）。

表 2 参加者の内訳（人）

学年	男子	女子	計
1 年生	8	7	15
2 年生	0	10	10
計	8	17	25

表 3 文系／理系（人）

文系	理系
13	9

表 4 選択科目（人）

物理	生物	地学
5	15	1

※履修予定の場合を含む

参加しなかった理由は、調査をしていないのではっきりしませんが、何人かの生徒との雑談で出てきたのは、部活動との関係で参加できないとか、天文台まで自分で行くのが面倒、などといったことでした。

また、以下は完全なる推測ですが、理系の生徒は理学系よりも工学系を志望する方が多いようで、宇宙の謎のようなものにあこがれ

る傾向が文系の生徒よりもむしろ少なく、より現実的なのかも知れません。

### 2.3. 参加者への事前アンケートから

この講座に参加した理由や、宇宙や天文学に対してどのようなイメージをもっているのかといったことについて、項目選択方式の事前アンケートで調査してみました。

#### (1) 参加した理由

上位3つと下位3つは表5のとおりです。天文台へ行って大きい望遠鏡で星を見ることが強い動機になっています。

表5 この講座に参加した理由

#### Top 3 (カッコ内は回答数)

1	大きい望遠鏡で星を見たい(18)
2	天文台へ行ってみたい(17)
3	星や宇宙に興味がある(16)

#### Bottom 3

3	星占いに興味がある(2)
2	宇宙に関するアニメや小説が好き(1)
1	将来天文に関する職業につきたい(0)

#### (2) 自分の目で見たことのある天体

ついでに、どのような天体(天文現象)を見たことがあるのか(ないのか)を知りたくて質問項目に入れておきました(表6)。

トップの流星、流星群については、2001年のしし群を見た生徒が多いようです。なお、回答数には本校の地学部員の回答を含んでいますので、それを除くと下位の項目の中で、「土星の環、日食、織女・牽牛星、M31」はすべて1人だけとなります。また、「彗星(2)」とありますが、これは地学部員2名がホームズ彗星を見ただけで、それ以外で彗星を見た生徒はいません。

気になるのは、「夏の大三角を見ている」のに「織女・牽牛星を見えていない」という回答が前者を見ている10人中6人もいること

です。学習システムの問題なのか、実体験の不足なのか、あるいは小学校4年生で学習してから日がたっしまい単に忘れてしまっただけなのか、そのあたりは追求していませんが、問題があることは確かでしょう。

表6 見たことがある天体(現象)

#### Top 3 (カッコ内は回答数)

1	流れ星、流星群(17)
2	オリオン座(16)
3	夏の大三角、冬の大三角(10)

#### Bottom 3

3	土星の環、日食、織女・牽牛星(3)
2	彗星(2)
1	自分の誕生日の星座(0)

※「日食」は部分日食で、皆既日食は0

## 3. 実施内容

### 3.1. ガイダンス(07年12月12日、藤高校)

講座第1日に先立って、放課後の1時間ほどを使って、ガイダンスを実施しました。

内容は、天体のスライドショーです。公開天文台ネットワーク(PAONET、<http://www.nao.ac.jp/paonet/>)のデータベースにある画像を有効活用させていただきました。

スライドの構成は、身近な天体である月からスタートして、惑星・彗星などの太陽系内天体、続いて散開星団や星雲、球状星団、そして銀河、銀河団という順に配列しました。そうすることにより、天体のスケールが段階的に大きくなっていき、宇宙の階層構造に触れられるようにしました(ただし、階層構造に本格的に触れるのは、天文台での4D2Uシアターになります)。また、画像はなるべく美しいものを選び、その魅力を十分に味わえるようにも配慮しました。



図2 国立天文台三鷹キャンパスの見学（正門前にて）

### 3.2. 第1日（07年12月22日、国立天文台）

この日は、午後1時に武蔵境駅に集合、バスで天文台に移動しました（図2）。輪講室で挨拶が済んだ後、すぐに施設見学になりました。

#### (1) 天文台施設見学

はじめに4D2Uシアターで立体画像による宇宙の映像を楽しみました。引率の教員を含めて私以外はこの映像を見るのが初めてで、宇宙を自在に移動して映し出される立体映像に驚きの声が上がっていました。地球を離れて、太陽系、星団、銀河、銀河団と、スケールが上がっていく映像で、宇宙の階層構造を十分に体感してもらえたと思います。また、月の誕生や渦巻き銀河の誕生などのムービーにも圧倒されました。

一般公開の前の特別上映ということで、シアターのスタッフの皆さまにもお世話になりました。この場をお借りしてお礼いたします。ありがとうございました。

その後は、すぐ近くにある天文台歴史館の見学でした。半分に分かれてドームに入り、そこにいたスタッフの方に丁寧に説明していただきました。生徒も引率教員も大きな望遠鏡や観測機器などに見入っていました。

#### (2) 講義

ここでは、天文台の紹介ビデオを見せていただくとともに、天文情報センター普及室長の縣秀彦氏から天文学者の仕事や天文学の研究内容などについて講義をしていただきました。熱の入った縣氏の講義に対して、生徒からは、宇宙人はいるか、ワープは可能か、などといった質問も飛び出し、とても活気のある時間になりました。

#### (3) 天体観望会

この日の最大の楽しみが、50cm 公開望遠鏡による天体観望でした。さらに8cm 望遠鏡と140mm 双眼鏡も用意していただき、火星やM103（散開星団）、M31などを観察する予定でした。

惑星、星団、銀河と、4D2U シアターで見た映像の実物を実際に見てほしいと思いましたが、とても残念なことに、雨天により中止となってしまいました。

### 3.3. 第2日（08年1月7日、蕨高校）

第2日は、会場を蕨高校に移し、朝9時から夕方4時まで、一日のプログラムでした。午前中は物理室で工作を中心に、午後はPC教室で画像解析と講義という流れでした。

(1) 望遠鏡・分光器の原理と作製

凸レンズのはたらきを学んだ後に、手作り望遠鏡を作製しました（図 3、4）。コルキットの 6cm 屈折+木製大型三脚のセットです。キットの手作り望遠鏡とはいっても、6cm もあるとなかなかの迫力です。工作を限られた時間の中で何とか終わらせるために、望遠鏡も三脚も事前に地学部の部員に一度試作してもらい、失敗しやすい点をチェックしたり、時間のかかる工作部分を事前に部員に作っておいてもらったりしました（時間がかかりそうだったのは三脚のヘッドの部分で、この工作については全員分を地学部員に事前に作ってもらいました）。それによって、1 時間強で何とか鏡筒を完成させるところまで進めることができました。三脚は時間がなくて工作できませんでしたので、持ち帰りとなってしまいました。



図 3 レンズのはたらきについての実習

(2) スペクトルの学習と分光器の作製

次はスペクトルと分光観測の説明でした。はじめに直視分光器で様々な光のスペクトルを観察しました（図 5）。光源として用いたのは、太陽光、蛍光灯、水素の放電管等です。水素の放電管と蛍光灯で輝線が異なることから、分光観測によって光源にある物質の種類がわかるということを知ってもらいます。さらに、ドップラー効果の説明も簡単にして、光源の運動状態までわかるということも学びます。このスペクトル観察、特に水素の輝線を見ておくことが、次のハッブルの法則に強く関連します。

続いて回折格子のレプリカフィルムと工作用紙を使った簡易分光器を作製しました。先ほどの望遠鏡とあわせて、分光観測の原理を知ることになります。



図 5 分光器によるスペクトルの観察



図 4 望遠鏡の作製

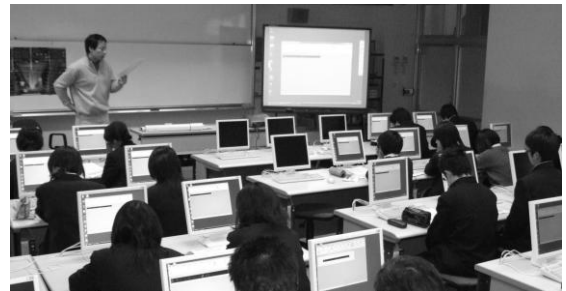


図 6 画像解析実習の様子

## (3) 画像解析実習

～FITS 教材「ハッブルの法則」の利用

午後は、会場を PC 教室に移し、ハッブルの法則をテーマとする画像解析実習に取り組みました (図 6)。

今回のこの実習では、対象生徒のほとんどが文系であったこともあって、物理の知識を駆使して画像解析をマスターするといったことではなく、「私たちが報道等で接する科学の成果が、どのように見いだされてくるのか」という過程を、少しでも味わってもらいたい」ということを主たるねらいとしました。

画像解析に使うソフト「マカリィ」は、昨年末に必要な数をインストールしておきました。生徒数分のライセンスを取得したのですが、生徒用 PC は再起動すると環境がもとに戻るようになっていたため、ライセンス登録の意味がないということになってしまいました。結局教員用 PC のみ、ライセンス登録をしました。

FITS 画像を利用する天文教材は、PAONET 内の PAOFITS ワーキンググループ (<http://paofits.dc.nao.ac.jp/>) の活動によって、HR 図やハッブルの法則など何種類か開発されています。ここには、解析対象の FITS 画像の他に、生徒用のテキストや指導する教員のためのガイドなどが用意されています。

今回は、こちらの教材の中からハッブルの法則の教材を利用させていただきました。銀河のスペクトル画像のセットは、短時間で行える 5 個の画像セットと、じっくり探求的活動としても取り組める 17 個の画像セットがありますが、今回の実習では前者を使用しています。この 5 個のデータセットは、ハッブルの法則のグラフを描くと比較的きれいな比例関係が得られるように銀河が選択されており、初心者が短時間で実習をするのに、とても適しています。

画像とともにテキストや教員ガイドもダウンロードしましたが、実習に使える時間が 1 時間半程度と非常に短かったこと、そして生徒の多数が文系であり物理を既習しているものが皆無であったことから、テキストとワークシートは独自のものを作成しました。また、マカリィの起動とファイルの読み込み、そして終了などの基本的な操作の練習だけは、事前ガイダンスの時に済ませておきました。

今回用意したテキストが、オリジナルのものと大きく違う点は、波長の変化から後退速度を計算する過程を省いたことです。ドップラー効果の原理についてはもちろん説明しましたが、「波源の移動 (後退) によって波長が変化する (長くなる)」、「波長の変化量が大きいほど波源の移動速度が大きい」といった程度の定性的なレベルにとどめ、数式の扱いはしていません。マカリィでは  $H\alpha$  線の波長がグラフから直接読み取れますから、その変化量をすぐにグラフにすることができます。グラフはエクセルの機能を使わず、紙に自分でプロットすることにしました (図 7)。



図 7 グラフの描画作業

テキストの中に、スペクトル画像の中の  $H\alpha$  線の位置を示しておいたこともあって、ほとんどの生徒がスムーズに実習を進めることができました。

なお、ここで読み取る  $H\alpha$  線については、

午前中のスペクトルの学習で水素の放電管の線スペクトルを見ていたため、生徒にとっては唐突でなく、水素で一番目立つ輝線として納得できたようです。

描いたグラフをもとにして、遠い銀河ほど大きな速度で後退しているということ、その解釈として「膨張する宇宙」という考えが出てきたこと、そしてその考えが他の証拠もあって現在では広く受け入れられていることなどを生徒に伝えました。

単に知識として「宇宙は膨張している」と伝えるだけよりも、このような実習を通して宇宙の膨張を知るという体験は、生徒にとってより深いレベルでの理解につながったことと思います。

#### (4) 講義

ここまでの総まとめとして、国立天文台 天文情報センター 普及室長の縣秀彦氏から講義をしていただきました（図 8）。「宇宙とは？」をテーマに、宇宙図を使いながら説明していただきました（図 9）。途中、宇宙図の見方（「今見える宇宙はしずく形の表面」であるといったこと）や観測の具体的な方法などについて難解な部分もありましたが、生徒は何とか食らいついていこうとしてがんばっていました。



図 8 宇宙についての講義の様子



図 9 宇宙図を手に講義される縣氏

ダークマターやダークエネルギーなどの話題で、宇宙を占める大部分が未解明であるという話は印象が強かったようです。天文学や天文学者に対するイメージもだいぶ変わったようです。

## 4. まとめ

### 4.1. 事後アンケート

最後に参加した生徒を対象にアンケートを実施しました。原稿を書いている時点で、完全な集計が済んでいないので、概略だけ記します。

プログラム個々に満足度を問いましたが、どれも 5 点満点でいうと 4 点台の得点でおおむね満足してもらえたようです。特にポイントが高かったのが、4D2U シアター、望遠鏡や分光器の製作、縣氏によるまとめの講義、でした。

天文学や天文学者に対するイメージの変化を問うたところ、多くの生徒が、この講座に参加する前は「天文学者はいつも望遠鏡をのぞいている」、「宇宙の大部分は解明されている」といったイメージだったようですが、講座に参加した後では「天文学の研究はデータ



解析が多い」とか「宇宙には未解明の部分が多い」といったように変化しています。

マカリィを使ったハッブルの法則の実習については、満足度のポイントは他のプログラムよりやや低めでしたが、それでも5点満点で平均4点以上ということで、限られた時間の中に詰め込んだ割にはよかったのではないかと思っています。感想の中にも「専門的なことは難しく理解できなかったけど、マカリィを使ってグラフを作り、宇宙が広がっていくことが分かって感動しました。」といったコメントもありました。

#### 4.2. 生徒の感想より

生徒の感想を、原文のまま2つほど載せませす。

「宇宙というものがどのように解明されていくかが分かって面白かった。天文学に対する知識がより一層深まった。難しい話も多かったが、宇宙の中の様々なことを理解できた。また宇宙にはまだまだ分からないことがあることが神秘的に感じた。」

「宇宙っていうのは星とか銀河とかあるんだよなーっていうぐらいの知識しかなかったけれども、今回のSPPで驚くほど知識が増えました。まず、天文学者。いつも望遠鏡ばかりのぞいていると思っていたら、実は研究中心。宇宙の広がり。太陽系、銀河の向こうには何があるのかなど。」

他にも同様の感想が多くありましたので、当初の目的であった「宇宙についてもっと知ってもらいたい」、「天文学の研究方法を知ってもらいたい」といったことについては、おおむね達成できたのではないかと考えています。

もうひとつのねらいであった「自分でも体験してほしい」についても、望遠鏡や分光器の作製、画像解析実習など、充実したプログラムを組むことができました。ただ、残念だ

ったのは、天候の事情により天文台の公開望遠鏡で天体観察ができなかったことです。これについては、何とかもう一度機会を作りたいと思っています。

次の文は別の生徒の感想です。

「ただ何となく宇宙について思っていたことが、大きく変わりました。宇宙が膨張していることや星を見ることが過去を見るなんてことは今まで一度も考えたことがなかったです。難しい内容もあって頭がついていけなくなりそうな事もあったけど、大まかなことは理解できたと思います。今回望遠鏡を作ったので、晴れた日には星の観測とかをしてみたいと思いました。今回の講義でまたいろいろな疑問が増えたので、時間がある時にでも趣味で調べてみたいです。」

このように、この講座への参加が天文を楽しむ終着点ではなく、これからも楽しんでいこうとする出発点になったという感想も複数ありました。これは、まさに望んでいたことで、今回の講座をきっかけに、さらに興味・関心を深めてくれたら、担当者としてはとても嬉しいことです。

※ この原稿は、FITS 画像教育利用ワークショップ(2007年12月23～24日、国立天文台三鷹キャンパス)の集録原稿に若干の修正を加えたものです。

篠原秀雄