

授業でFITS画像を利用するための工夫 — JAHOU教材「宇宙の年齢を求める」を事例として—

五 島 正 光(巣鴨中学高校)

1. はじめに

筆者の勤務する巣鴨中学高校での地学の授業は、中学2年と高校1年の必修、そして高校3年の選択(文系)の3種類である。そのうち、FITS画像を利用した授業は高校1年の地学Iで実践している。本稿ではFITS画像を利用した教育活動(FITS教育)を整理し、通常の授業での実践例を紹介する。

2. FITS画像を利用した教育活動の類型

筆者がこれまでに実践したり見学したりしたFITS教育は次の3つの類型に分けられる。

1) 研究者タイプ: FITS画像を利用して生徒自身が行う一連の研究活動(テーマの設定、研究の計画、観測、解析、結果と考察、成果の発表)であり、次の2つに細分できる。

(1) プロポーザルタイプ: 生徒自身がFITS画像を撮像するもの。天文台へ赴いたり、遠隔操作をしたり、撮像を依頼したりする。この例として「君が天文学者になる4日間」、「銀河学校」、ハンズオンユニバース(HOU)という米国の天文教育プロジェクトによる「撮像リクエストシステム」、「北の丸インターネット望遠鏡(KIT)」などがある。

(2) アーカイブタイプ: すでに撮像されているFITS画像を利用するもの。研究用アーカイブ(SMOKA, HSTアーカイブなど)を利用するものや、教育用アーカイブ(HOUアーカイブ, KITアーカイブなど)を利用するものがある。

2) プログラムタイプ: 教育活動の導入において研究課題とFITS画像が与えられる。解析方法などの手順は示されるものの、画像は最新のものであり、解析結果は指導者にとっても未知である。この例として、HOUの「超新星探索」や「小惑星探索」、日本ハンズオンユニバース協会(JAHOU)の「ジュピタープロジェクト」、スペースガード協会の「アステロイドキャッチャー」、美星天文台の「星の学校」、葛飾区郷土と天文の博物館の「太陽観測」などがある。

3) トレーニングタイプ: FITS画像とワークシート、さらに教師用指導書が用意されており、課題の設定から研究成果までを、学習者に短時間で体験させるものである。この例として、HOUカリキュラム、JAHOUスペクトルカリキュラム、PAOFITS教材などがある。

3. 地学I・IIとFITS教育

FITS教育を高校で展開する場面として、地学Iの探究活動および地学IIの課題研究が想定される(表1)。これらを前述のFITS教育の類型と結びつけると、地学Iの探究活動ではトレーニングタイプが中心となり、地学IIの課題研究では、プログラムタイプあるいは条件が整えば研究者タイプも可能である。実際に日本天文学会ジュニアセッションで課題研究の成果を発表した高校生もいる。

表1 地学I・IIとFITS教育

	地学I	地学II
	探究活動	課題研究
活動時間	授業時間	数ヶ月
時間割の制限	時間割の枠内	時間割の枠外
活動の場所	主に学校内	研究所・施設も
課題の設定	教師主体	生徒主体
画像の入手	アーカイブ教材	撮像も
望遠鏡の操作	しない	することも
学問上の新発見	再発見・追体験	期待できる

4. 授業実践「宇宙の年齢を求める」

1) 教材の選択

本稿では2003年より実践しているJAHOUスペクトル教材「宇宙膨張」による授業を紹介する。他のFITS画像の教材に比べて、生徒たちの関心が高く、毎年とりあげている。

この教材は、画像解析ソフト(HOU-IP)、FITS画像、ワークシート、そして教師用指導書から構成されている。FITS画像は国立天文台岡山天体物理観測所の188cm鏡で撮像された銀河の分光画像である。これらの銀河はIa型超新星により距離が知られているものから選ばれている。

授業展開を大まかに述べると、銀河の分光画像を解析し、輝線の波長を読み取り、赤方偏移を求め、後退速度を算出させる。そして、距離と後退速度の関係から、宇宙の年齢を求めさせるものである。通常はハッブル定数を求めてから宇宙年齢を算出させるが、この教材ではハッブル定数を数値としては求めさせず、作図より宇宙の年齢を算出させる点に特徴がある。

2) 教材の編集

JAHOU教材では生徒たち自身に考えさせることを重要視しており、できるだけ教えない授業を展開するように想定している。しかしなが

ら、この教材を初めて実践した際には3, 4時間を要し、途中から飽きた生徒も見られた。

そこで次年度より、地学 I の他の探究活動と同様に1時間で終わることを目標として、FITS 画像やワークシートを次のように編集し、指示すべき事項を精査した。

(1) 必ずしも必要ではない内容を削除した。

(2) FITS 画像に波長情報を加えると同時に、画像解析ソフトを HOU-IP から Makali`i (マカリイ) に変更し、画像での座標を波長へ換算することなく、直接に波長を読み取れるようにした。

(3) ひとつの銀河を例として、PC 画面を投影し、Makali`i の操作方法を具体的に示した。

(4) 輝線を読み取りにくい銀河については、生徒たちの進み具合にあわせて、読み取るべき輝線を具体的に指示した。また、輝線の読み取りに困難を感じている生徒には、その都度、読み取るべき輝線を具体的に指示した。

これらの編集により、Makali`i で波長を読み取る作業は1時間の授業のうちに確実に終わることが可能となった。作業の遅い生徒には、ワークシートにしたがって宇宙年齢を求めるまでを宿題として課し、次の授業において各自の結果を確認し、宇宙の膨張について考察させた。結果として初年度の半分の、2時間の授業で扱える教材となった。

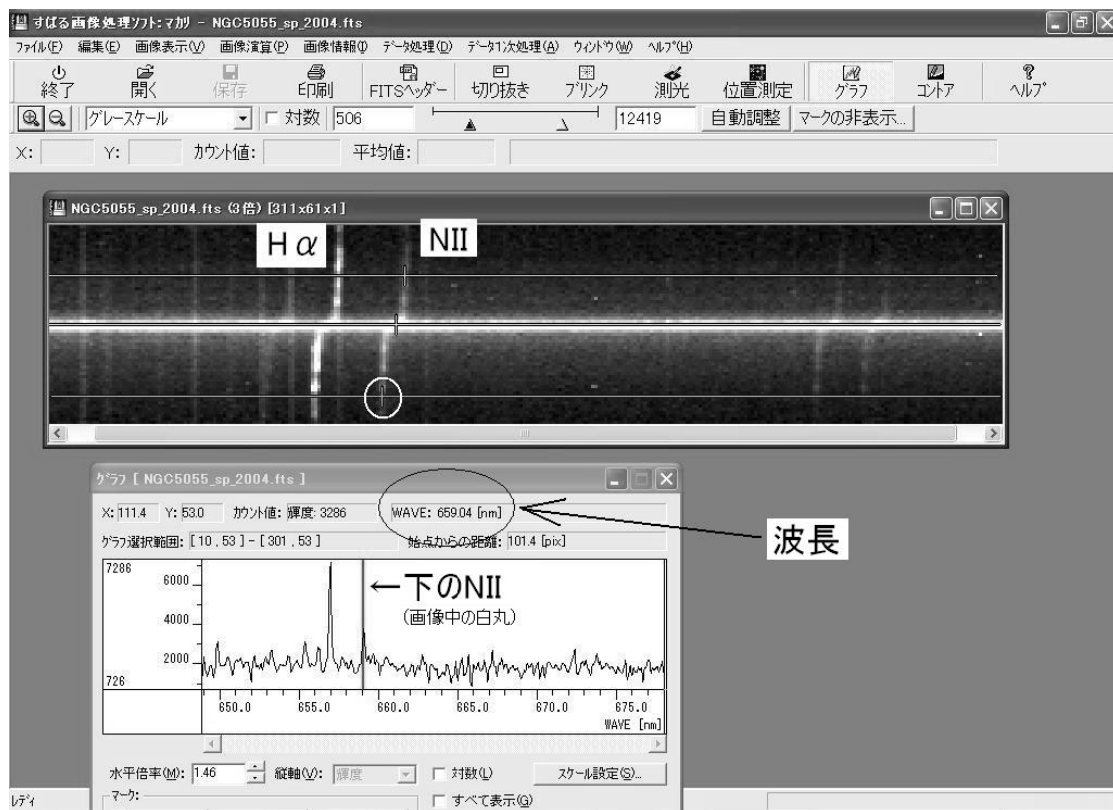


図1 NGC5055 の分光画像をマカリで解析

3) 授業の概要

編集した後の教材による実践の概要を示す。

① 分光画像の輝線の波長を読み取る

距離のわかっている9つの銀河の分光画像について、画像解析ソフト Makali`i を利用して H α と N II の波長を読み取る。地球大気による輝線は直線であるのに対し、銀河の輝線は回転により曲線になっている(図1)。

② ドップラー効果より後退速度を算出する

H α 線の波長は 656.3nm である。これと画像から求めた波長を次式のドップラー効果に代入し、銀河の後退速度を算出する。

$$v = c \times (\lambda' - \lambda) / \lambda$$

v: 後退速度 [km/s]

c: 光速 [3.00 $\times 10^8$ m/s]

λ : 輝線の波長 [nm]

λ' : 観測された輝線の波長 [nm]

③ 距離—速度図を描く

9つの銀河の距離はいずれも I a 型超新星によって求められている。縦軸に後退速度、横軸に距離をとり、距離—速度図を描く(図2)。

傾きがハッブル定数に相当するが、そのこと

にはふれない。

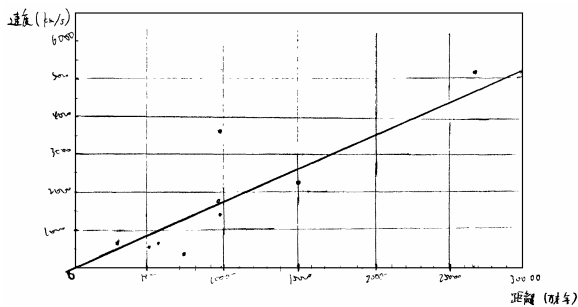


図2 生徒の描いた距離－速度図

④ 宇宙年齢を求める

1億光年、2億光年、3億光年の距離に銀河があるとすると、それぞれの銀河の後退速度を図2から読み取らせる。そして、時間を遡るにつれて、それらの距離がどのように変化するかについて、50億年前と100億年前の値を算出させ図示させる。すると銀河間の距離は短くなり、ついには1点に集まることが示される(図3)。このことから、宇宙は膨張して現在の姿になったと考えられることを説明し、3つの線分の横軸との交点から宇宙年齢を求めさせる。

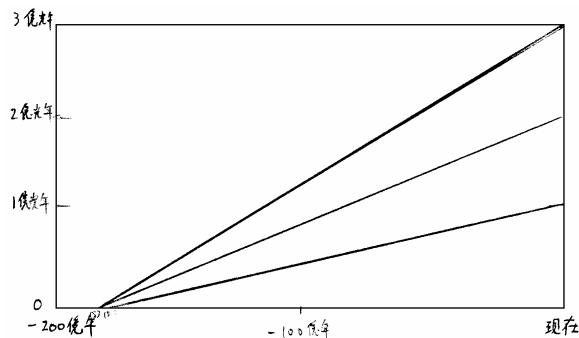


図3 作図から宇宙年齢を求める

この生徒が求めた宇宙年齢は182億年

5. 今後の課題

これまでの授業では JAHOU によるものを利用したが、同様の教材は PAOFITS でも作成されている。JAHOU のものは9つの銀河の分光画像による一通りの展開であるのに対して、PAOFITS によるものでは、合計18枚の画像を用意して3段階の展開を想定している。5つの銀河を必須のものとして、自分たちで選んだり、教師の指示によって画像を追加したりするようになっている。さらにはクウェーサーも含まれており、実践の場面に合わせた多様な展開が可能である。

しかしながら、PAOFITS の教材では、ハッブル定数から宇宙年齢を求めることになってい

る。原理的としては距離と速度と時間の関係のみであるのだが、光年やパーセクという使い慣れない単位を用いる上に、いったん定数としてから時間を求めるために即座に理解することは難しいようである。

PAOFITSの教材として用意された画像を利用しながら、授業の展開にあたってはJAHOUにより考案されたものも取り入れながら、今後も実践を続けたい。

表2 教材として分光画像の用意された銀河

J A H O U	P A O F I T S
NGC5055 (10.0)	データセット1
NGC4579 (15.6)	NGC2403 (3.22)
NGC1003 (18.2)	NGC3198 (13.80)
NGC4178 (21.9)	NGC2608 (31.00)
NGC1084 (30.2)	NGC7678 (51.80)
NGC2713 (30.2)	NGC 673 (72.40)
NGC7723 (30.2)	データセット2
NGC4501 (46.1)	NGC3031 (3.63)
NGC 673 (82.0)	NGC4258 (7.98)
	NGC 925 (9.16)
	NGC3627 (10.05)
	NGC2541 (11.22)
	NGC7331 (14.72)
	NGC4536 (14.93)
	NGC4321 (15.21)
	NGC4548 (16.22)
	NGC4414 (17.70)
	NGC4639 (21.98)
	NGC2713 (55.40)
	クウェーサー3C273

() は距離、単位は Mpc。JAHOU では Ia 型超新星、PAOFITS では Hubble Key Project によって求められた距離の値を用いている。

参考

五島正光(2004)：F I T S 画像を利用した高校天文教育。理科の教育, 53(1), 31-33

F I T S 画像を教育に活用するためのワーキンググループ (PAOFITS)

<http://paofits.dc.nao.ac.jp/>

日本ハンズオンユニバース協会 (JAHOU)

<http://www.jahou.org/>

画像解析ソフト Makali`i (マカリイ)

<http://www.nao.ac.jp/others/Makalii/index.html>

Hands-on Universe (HOU)

<http://www.handsonuniverse.org/>