

セファイド教材の開発

五 島 正 光 (巢鴨中学高校)

要旨：ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) のキープロジェクトでは、セファイド変光星の周期光度関係にもとづいて系外銀河の距離を求め、後退速度と組合せてハッブル定数を算出している。PAOFITS では、キープロジェクトの成果にもとづいた教材の開発を進めている。この教材は、HST が撮像した系外銀河の FITS 画像を、画像解析ソフト「マカリィ」で高校生たちに解析させ、変光周期を求めさせ、系外銀河の距離を求めさせるものである。ここでは、変光周期を 32 日とキープロジェクトが求めた NGC4321 (M100) のセファイドについて、教材化の目処が立ったことを報告する。

1. PAOFITS の距離はしご教材

地球から天体までの距離は、いくつかの方法の積み重ねによって測られており、距離はしごとよばれている。(表1)

PAOFITS では、すでに主系列星、超新星、ハッブル則についての教材開発を終え、試行授業の段階に進んでいる。年周視差と、ここで報告するセファイドについては、教材開発の段階にある。

表1 距離はしご

年周視差	~ 1×10^2 pc
主系列星	~ 5×10^4 pc
セファイド	~ 1.5×10^7 pc
a型超新星	~ 3×10^9 pc
ハッブルの法則	
杉山直 (2003) より抜粋	

2. セファイド教材

PAOFITS で開発を進めているセファイド教材は次の2種類からなる。

1) 銀河系内の距離が既知のセファイド変光星について、FITS 画像を測光して光度曲線を描く。複数のセファイドの光度曲線から、周期光度関係を求める。この教材に必要なセファイド変光星の FITS 画像については、和歌山大学の富田研究室で、その撮像作業が進められている。

2) 系外銀河のセファイドについて、FITS 画像を測光して光度曲線を描く。周期・見かけの明るさを求め、周期光度関係にもとづいて距離を求める。この教材に必要な FITS 画像は、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) のアーカイブから入手する。

3. HST のキープロジェクト

ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) のキープロジェクトの目的はハッブル定数を $\pm 10\%$ の正確さで求めることである。その目的の達成のために、プロ

ジェクトのメンバーたちは、系外銀河のセファイドを系統的に HST で観測し、18 個の系外銀河の距離を求めてきた。

これらの成果について、論文や報告書はキープロジェクトのウェブから、FITS 画像は HST のアーカイブサイトから入手できる。

4. 教材の作成

キープロジェクトにより距離の求められた 18 個の系外銀河から、教材とする銀河として、まずは NGC4321 (M100) を選択した。その番号が覚えやすく、生徒も親近感を感じるのではないかと考えたからである。

Ferrarese ほか(1996)は 1994 年に 12 回の観測を行い、NGC4321 (M100) に 52 個のセファイドを同定した。(表2)

表2 Ferrarese ほかによる観測の概要

観測期日：1994 年 4 月 23 日， 5 月 4, 6, 9, 12, 16, 20, 26, 30 日， 6 月 7, 17, 19 日の計 12 回
観測装置：HST の WFPC2
露出時間：1800 秒 + 1800 秒
フィルタ：F555W (ジョンソン V に相当)
論文：Ferrarese, L. et al., 1996, ApJ, 464, 568
同定したセファイド数：52 個

1) FITS 画像の入手

まずヨーロッパ南天天文台 (ESO) の次のサイトで登録を行った。

<http://archive.eso.org/register/new>

そして必要な画像を得るために、次の HST アーカイブサイトにアクセスした。

<http://archive.eso.org/wdb/wdb/hst/science/fo rm/>

Target Name に M100 と入力し Search をクリックした。

表示された観測一覧から該当するものを

Release Date (HST では撮像後 1 年) を手がかりに探し, 該当する Dataset Name をクリックした。

すると 1 回の露出ごとのデータが表示された。Ferrarese ほか(1996)は 1 回の観測について 1800 秒露出で 2 回撮像したので, 2 つのチェックボックスをマークし Request Marked Datasets をクリックした。

要求に従い登録してある ID とパスワードを入力し, OK をクリックした。

次の画面で Re-calibrate と ftp を選択し, submit をクリックした。(ここで Re-calibrate を選択すると, リクエストした画像について, 宇宙線除去などの一次処理を自動処理する。)

しばらく待つと(約 30 分), ftp サイトが指示されたので, 画像セットをダウンロードした。画像セットには 35 個のファイルが含まれていたが, ファイルサイズの最も大きな画像を目的のものと判断した。

2) 解析の手順

論文を手がかりにして, 次の性質をもつセファイドとして, Ferrarese ほか(1996)による 31 番目のセファイド (C31) を測光することにした。

- ・この観測期間で見積もりやすい周期のもの
- ・見かけの光度が明るく, 見つけやすいもの
- ・他の星とのならびから同定しやすいもの

そして, ダウンロードした各画像について, C31 を同定し, 位置が近く, 同じくらいの明るさをもつ恒星を標準として, マカリィで測光した。光度曲線は図 1 のように描けた。

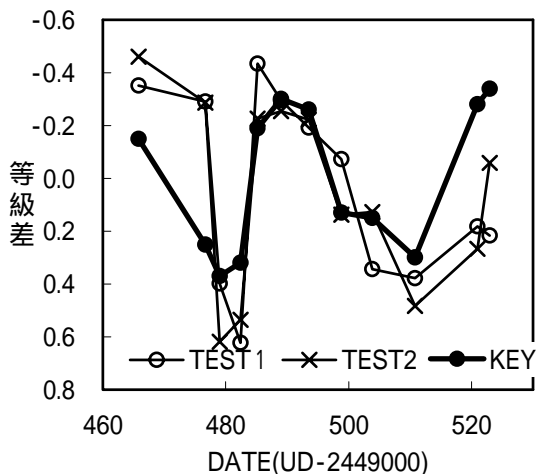


図1 C31の光度曲線

図 1 の縦軸は, 12 個のカウント値の単純平均との比を等級差に換算したものである。太い実線で示した Ferrarese ほか(1996)の結果と比較すると, 2 つめの 5 月 4 日の光度が約 0.6 等異なるものの, 変光周期や変光の幅に大差のないものとなった。この光度曲線より変光周期を 30 日と読みとった。この値と Ferrarese ほか(1996)の 12 回の等級の平均値 25.5 を見かけの等級として, 図 2 に示す銀河系内セファイドの周期光度関係 (Stothers, 1983) より, 絶対等級を -5.63 と見積もった。そして, その距離を $M=m+5-5\log d$ より, 16.9Mpc と求めた。

なお, Ferrarese ほか(1996)の結果は, 周期が 32 日, 見かけの等級が 25.49 , 距離は $16.1 \pm 1.3\text{Mpc}$ であった。

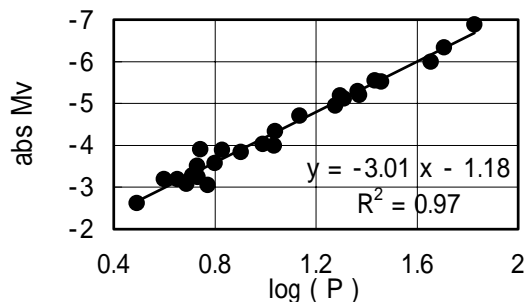


図2 セファイド変光星の周期光度関係

3) ワークシートの作成

マカリィでの測光により, NGC4321 (M100) の距離を求められることが確認されたので, 次の作業を行った後に, ワークシートを作成し, 授業を試行する。

- ・セファイドを見つけやすくするために, FITS 画像をトリミングする。
- ・マカリィによるカウント値を見かけの等級に換算する方法について検討する。

謝辞 この教材開発にあたり, 国立科学博物館の洞口俊博氏と, 国立天文台の市川伸一氏には多くの助言をいただいた。ここに感謝いたします。

文献

- Ferrarese, L. et al., 1996, ApJ 464, 568
 杉山 直, 2003, 天文月報 96, 646
 Stothers, R. B., 1983, ApJ 274, 20