

研究施設を利用した天体観測・解析実習について II

山縣 朋彦*・伊藤 信成**・西浦 慎悟***・濱部 勝****

On the Curriculum of Lectures on Observational Astronomy for Students of Bunkyo University at Kiso Observatory II

Tomohiko YAMAGATA, Nobunari ITOH, Shingo NISHIURA, Masaru HAMABE

要旨 2004年から始めた、東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所における合宿形式の集中講義による天体観測解析実習は、今年10年目を迎えた。文教大学では、主に教育学部理科専修の学生が対象である。内容は木曾観測所のシュミット望遠鏡を利用したデータ取得およびそのデータの解析実習である。同様の合宿形式の実習は三重大学教育学部、東京学芸大学教育学部、日本女子大学理学部でも実施している。当初、各大学では、互いに協力関係を保ちつつ、別個に実施していたが、2010年からは大学合同で同一日程内容で実習を行っている。本実習内容の一部を報告する。

本稿では、観測画像からRGBカラー合成を行う実習の現状を中心に報告し、また新たな木曾観測所における実習内容としてカラー合成による球状星団の変光星探査の観測解析実習を提案する。

キーワード：天文教育 理科教育 観測解析実習 研究施設 教員養成

1 はじめに

近年、いわゆる「ゆとり教育」の弊害によると思われる学力低下が問題視されるようになってきている。この「ゆとり教育」の影響は、理科や数学などの教科で、特に深刻で、資源の乏しい日本における技術立国としての根幹に関わる問題としても問題視されている。そこで、2008年に改訂された学習指導要領では、授業時数、特に理科・数学授業時数の大幅な増加が図られている。例えば、中学校3年間の理科の時間数は、改訂前の290時間から改訂後の2012年度以降には385時間と3割以上増加している。また、学習内容についても、理科においては、「科学的な体験、自然体験の充実を図ること」を学習指導要領の基本的な考え方の柱に掲げ、自然体験を初めとする観

察、実験の充実がうたわれている¹⁾。

一方で、現在の初等中等教育の現場では、団塊世代の教員の大量退職に伴い、首都圏を中心に教員確保が困難な状況も見られる。特に、理科教員の不足は深刻な問題になりつつある。現在、文教大学を初めとする教員養成系の大学に在学している学生の多くは「脱ゆとり世代」の教育を担当することになる教員候補であるにもかかわらず、彼ら自身が、まさしく「ゆとり教育世代」の学生となっている。従って、多くの学生にとって、現実問題として初等中等教育段階での理科教育不足が深刻な問題となっている。そこで、教員養成系大学のみならず理系の大学を中心に、学部教育段階での教育で、基礎学力不足対策を考慮したカリキュラムが公式非公式に取り入れられている。また、初等中等教育段階での授業時数の低下もあって、当該学生は特に直接的な自然体験、特に夜間観察を必要とする天文学関連の経験が乏しい傾向にある。将来教員になる学生にとっては、基礎学力強化と共に、自然体験及び、研究現場を実体験

*やまがた ともひこ 文教大学教育学部学校教育課程理科専修

**いとう のぶなり 三重大学教育学部理科教育講座

***にしうら しんご 東京学芸大学自然科学系宇宙地球科学分野

****はまべ まさる 日本女子大学理学部数物科学科物理情報コース

として経験することは極めて有意義であろう。

そこで、文教大学教育学部理科専修地学研究室では長野県木曾郡木曾町にある東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所（以下、木曾観測所）²⁾の一角を借りて、集中講義形式で天体観測解析実習を行っている。この集中講義は、2004年度から科目名「地学実験III」（2016年度からはカリキュラム改訂により「宇宙地球科学実験III」に科目名変更予定）として、4泊5日ないし3泊4日の集中講義で実施している。初期の様子については山縣、西浦（2005）³⁾を参照されたい。本年（2013年）、10回目を迎えるにあたり、その現状を報告する。

2 教育実践内容

木曾観測所は、東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センターに所属する観測施設で、主要な設備としては、105cm シュミット望遠鏡（主鏡口径150cm、補正板口径105cm、主焦点距離330cm、口径比F/3.1）がある。設立は1974年で、当初は東京大学東京天文台の観測所として開設された。その後、東京天文台（現国立天文台）の改組にともない、東京大学理学部附属天文学教育研究センターの観測所となった。木曾観測所は開設当初から大学共同利用機関として、全国の天文学研究者に門戸を開放して共同利用に供する形で運営されている。

木曾観測所は大学共同利用機関とは言え、本来東京大学の研究教育施設であり、学部学生に対する実習は、従来、東京大学の学生に限られていた。しかし2004年に東京大学を初めとする国立大学が独立法人となったのに伴い、木曾観測所では他大学にも、教育実践研究を目的とした利用を認めるようになった。これによって観測所スタッフの協力の下に学部学生に対する観測・解析の場が与えられ、現在では文教大学教育学部をはじめ三重大学教育学部、東京学芸大学教育学部、日本女子大学理学部、和歌山大学教育学部が、公式な形で

大学生に対する天文学観測解析実習による教育実践研究を行っている。

2004年から2009年までは、文教大学、三重大学、東京学芸大学、日本女子大学の4大学で、一部の実習期間を重複させるなど、協力関係を維持していたが、2010年からは、実習内容も含めて、同一の日程で合同実習を行っている。2011年度、2013年度には和歌山大学も参加し、現在は5大学合同で実施している。当初は、施設利用に伴う実習実施の効率化と教員の負担軽減が念頭にあったが、後述するように、大学合同実習による想定外の学生に対する好影響があることが分かってきている。

木曾観測所で実習を実施している各大学とも共通した問題として、本格的な観測解析実習を行うとなると、大学での日常的な空間では設備的、時間的、マンパワー的に実施が困難であると言う実体がある。環境が整った場所で集中的に実習を行う事により、その困難さを軽減できることが、教員サイドの大きなメリットとなっている。また、木曾観測所での実習が成立している大きな要素として、各大学の教員が大学院在学時から現在まで、何らかの意味で木曾観測所を使っての研究活動を行っている経験者であり、観測所滞在の状況や、望遠鏡を初めとする観測機器の操作に熟練しているということも指摘しておく必要がある。

実習は原則として、木曾観測所のメンテナンス期間、即ち、通常の観測割り当てのない時期であると同時に大学の夏休み期間である8月に集中講義として行っている。観測所滞在中には、観測・データの解析だけではなく、その合間に、街中では難しい天の川の観察や、流星群の観察といった体験もできる。また、8月中旬はペルセウス座流星群が活発な時期であるので、1年中でも流星を見る確率が高い時期でもある。但し、メンテナンスが行われていることから分かるように、天候には必ずしも恵まれた時期ではないことが、問題である。しかしながら、今までの経験からすると、3泊のうち1晩以上は晴れて、天の川

や流星が肉眼で観察できている。

実習の目的は、期間中（できれば1日目）にシュミット望遠鏡でデータを取得して、実習期間内に解析を終了することであるが、天候が主たる理由で、どうしても大半の活動は、あらかじめ用意したデータに基づく解析になってしまうことが多い。実習は、あえて、各大学の学生を混在させて3から4名を1グループとし、この1グループに対して、コンピュータ1台と1課題を与えて行う。

実習内容の概略をまとめると次の6段階になる。

- ①施設見学
- ②イントロダクション実習
- ③本実習（データ取得＋解析）
- ④成果発表会
- ⑤夜間観察
- ⑥周辺自然観察会

1日目の午後、来所後に望遠鏡ドーム内へ学生を引率し、実際の105cmシュミット望遠鏡とドーム内の制御室、ドーム内設備の見学を行う。またその際には、望遠鏡の管理・運用を行っている観測所スタッフから望遠鏡に関する詳細な解説を行っていただいている。通常立ち入ることが許されない場所での見学なので、学生に対するインパクトは大きい。なお、105cmシュミット望遠鏡のドーム（図1）は、講義、解析実習、宿泊を行う観測所本館から数100m離れた所にある。また、観測の際にはシュミット望遠鏡とドームの制御操作は観測所本館内から行われ、観測時には原則としてドームは無人となる。

解析実習においては、デジタル化された観測データを使用するので、コンピュータを使った画像解析が主たる作業となる。2012年度までは、木曾観測所の実習用のPC（MS-Windows XPとLinuxのデュアルブート）又は、各大学の研究室から異なるハードウェアのPC（主にMS-Windows）を持ち込んで利用していた。観測所のPCの老朽化や、異なるハードウェアに対するメンテナンス



図1 木曾観測所シュミットドーム



図2 105cmシュミット望遠鏡

ス等に不都合な点が多かったので、2013年度からは、文教大学と三重大大学のそれぞれで同一のハードウェアのノートPC（MSWindow7 64bit）合計17台を用意し、実習期間中に持ち寄ることによって解析実習を行うこととしている。ハードウェアを同一にすることで、事前にPC環境を整えることが可能になり、実習環境の大幅な改善につながった。解析に使用しているソフトウェアは、Cygwin, IRAF, SPIRAL, すばる画像解析ソフト Makali'i, アストロアーツ社製の StellaImage（最新版は7）である。なお、Cygwin, IRAF, SPIRAL, Makali'i はいずれも天文学研究者、教育者、天文学愛好家等の利用のために無償で提供されているソフトウェアである。シュミット望遠鏡で観測されるデータは1980年代以前は写真乾板によってアナログ的に記録され、必要な場合

は、写真乾板をマイクロデンシトメータ等で測定し、デジタル化していた。現在では、観測データは CCD をはじめとする固体撮像素子で取得し、記録している。取得された観測データには、天体からの信号に加えて、夜天光や市街光などによる背景光（スカイ成分）、CCD のデータ読みだしの際の線型性の保持と負のノイズ保持のための嵩上げ信号（いわゆるバイアス成分）、暗信号成分（ダーク成分）が含まれている。また加えて精密な画像解析を行うためには CCD カメラの画素ごとの感度むらも補正（いわゆるフラット補正）する必要がある。これらをまとめると、未処理の観測データ中の信号は以下のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} (\text{未処理データ}) = & ((\text{天体}) + (\text{スカイ成分})) \\ & \times (\text{感度むら}) + (\text{バイアス成分}) \\ & + (\text{ダーク成分}) \end{aligned}$$

ただし、木曾観測所の CCD カメラではダーク成分は無視できるほど小さいことが予め確認されている (Itoh et al., 2001)⁴⁾ ので、実習で使うデータでは、ダーク成分の補正は必要ない。

CCD で得られた未処理のデータからは、どのような解析においても、これらの共通の1次処理が必要となる。以上の操作はある意味で、定型の単純操作であるので、実習ではイントロダクション実習と位置づけて、1日目の夕刻に、CCD の原理と処理内容の講義と共に実施している。具体的な作業はアンドロメダ銀河 (M31) を撮影した画像を用意して、グループごとにデータを分担して、全員同時に同じ作業をさせて、RGB3 色合成を行っている。

通常観測データから作製する天体のカラー写真は、観測波長が異なる3つのバンドのデータを光の3原色 RGB に割り当て、合成して作る。天体写真の場合は、対象物を直接肉眼で確認することができないことが多いこともあり、多くの場合カラー写真合成の際の RGB に実際の RGB の波長を対応させるわけではない。この場合、本来のカラー写真とは異なることになり、疑似カラー写真

と言うこともある。マスコミなどで取り上げられる華やかな天体写真の多くは、この様な「本来の色」とは異なる疑似カラーであることが多く、作製の際には積極的に色調整が行われることも希ではない。この事実を学生に知ってもらうこともこの作業の目的の1つである。

M31 の広がりは一見天球上で視野3度以上あり、広視野の木曾観測所の CCD カメラでも全体を撮影することはできない。そこで、全体像をカラー写真として再現するためには、3種類のバンドで、少なくとも9領域に分け、合計27フレームでデータを取得する必要がある。木曾観測所のデータの中からこの条件に合うものとして、2002年1月6日に観測したデータがあるので、利用している。観測は $B \cdot V \cdot R$ の3バンドで、露光時間は B バンド、 V バンドが300秒、 R バンドが180秒である。実習では、各グループ毎に異なる領域を分担し、完成後に合わせて完成させる (図3)。1次処理の操作は IRAF の画像演算機能を使うが行うが、IRAF の操作は Unix 系のコマンド操作が主であるので、GUI に慣れた学生はかなり戸惑いを見せる。1次処理が済んだところで、StellaImage を利用して、RGB3 色合成を行う。カラー合成については、図3に示したようにグループごとに輝度調整の仕方が異なるので、配色が全く違ってしまふ。カラー写真の原理を知らない多くの学生には新鮮に感じるようである。この M31 の作業によって、初学者の学生は、本実習の解析に比較的スムーズに入っているものと考えている。

2日目から3日目にかけて行う③の解析実習内容と④の成果発表会については、西浦他 (2012)⁵⁾ に詳細な報告があるので、参照されたい。ちなみに、2013年の課題は、「散開星団 h-Per の色・等級図」、「散開星団 χ -Per の色・等級図」、「球状星団 M13 の色・等級図」、「楕円銀河 M32 と M110 の表面測光とカラー・プロファイル」、「渦巻銀河 M100 と M101 の表面測光とカラー・プロファイル」、「銀河団 A2151 までの距離と

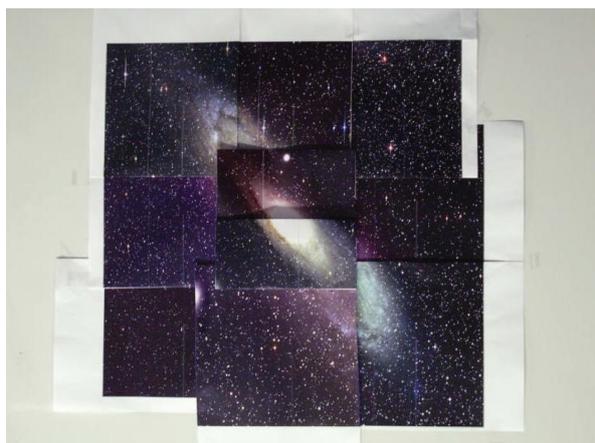


図3 M31 合成画像

A2151 メンバー銀河の形態・密度関係」である。

シュミット望遠鏡は原則として、直接観望ができるような構造になっていないので、シュミット望遠鏡での観望は不可能である。そこで、夜間に惑星や星雲の観望を行うために木曾観測所の30cm望遠鏡(K.3T)と移動式の小型望遠鏡を使用している。木曾観測所は市街光が少なく、天気が良いければ、肉眼で天の川が観察できる。また、8月中旬には、三大流星群の一つであるペルセウス座流星群の極大があるので、年間で最も流星を目撃する可能性が高い時期の一つである。これらを実際に目の当たりにすることだけでも学生に対する教育効果は絶大であると考えている。

4日目の最終日にはバスをチャーターして、木曾観測所周辺の自然観察を行っている。周辺には御岳山、赤沢美林、有名な花こう岩地形である寢覚ノ床(図4)等の自然環境が多く存在するので、それらを体験的に見学することになっている。

3 カラー合成による変光星検出

我々が過去に行った具体的な実習課題の主なもの、山縣他(2005)³⁾、伊藤他(2012)⁶⁾、西浦他(2012)⁵⁾に示したとおりである。ここでは、今後本実習で実施するべく準備している新たな実習課題、「カラー合成による球状星団の変光星検出」の概略を説明する。



図4 寢覚ノ床

球状星団は銀河系誕生初期に生まれた数百から数千個の恒星が密集した集団である。その銀河系内での分布は銀河系の周りに球対象になっている。我々の銀河系の周りには150個ほどの球状星団が知られている。球状星団はほぼ同じ時期に誕生しているので、恒星進化の様子はどの星団でもほぼ同じで、若干の違いはあるものの、各星団での恒星のHR図上の分布は同じ状況を示す。特に、星団内の恒星で、主系列星の時に太陽程度の質量であった星は、現在、進化してHR図上の水平分枝の場所に達している。そのうちで、セファイド不安定帯と呼ばれる脈動変光星の状態に入っている星をこと座RR型変光星という。こと座RR型変光星の変光周期は大半が1日以下で、変光幅はおおよそ1等である。また、その絶対等級はおおよそ0.5等である。球状星団内のこと座RR型変光星が見つかり、見かけの等級と絶対等級、星間吸収量の大きさから、その球状星団の距離を正確に求めることができる。

変光星の検出には、古典的には同一条件(バンドや露光時間)で観測した、時刻の異なる2つの画像を見比べる(ブリンク)ことによって、探すという方法が用いられてきた。現在よく行われている検出法は、画像処理により2つの画像から天体を自動的に検出・測光して、等級差を検出したり、同じく画像処理により、Point Spread Functionと明るさのレベルを合わせた2つの画像を引き算することで行われている。検出後は、当該の変光

星を時間を追って測光することにより光度曲線を確定し、変光星として同定することになる。

我々は、この変光星探査をRGBカラー合成でおこなう方法を提起する。具体的には、同一のバンド（例えばVバンド）で異なる時刻に撮影した3つの画像を使って、RGBのカラー合成をするのである。この合成画像では、変光しない恒星はRGBの3色共に同じ強度なので、無着色であるが、変光している恒星はRGBで強度が異なっているため、変光のタイミングが合えば着色して浮かび上がってくる。図5は具体的な例として、木曾観測所で取得された露光時間等ほぼ同じ条件のVバンド画像をRGB合成したものである。

カラー合成による変光星探査は天文学としての現実的な実用性は、それほど大きいと言えないが、実習には適していると考えている。つまり、カラー合成なので、興味を引きやすいことと、合成がうまくいく場合には変光する恒星のみが着色するので、カラー合成の理解にもつながり教育的意味は大きいと考えている。また、こと座RR型変光星の変光周期は1日程度なので一晩ないしは二晩程度の観測でデータが取得可能であるため、天候に恵まれれば、木曾観測所での実習期間内で検出と解析が可能となる。

但し、合成の際には3つのフレームの星像の広

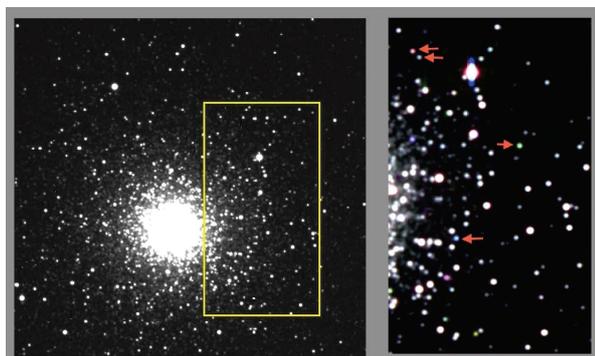


図5 (右) M3の疑似カラー表示。左の4角に囲まれた部分を3つのVバンド画像（露光時間各300秒）をR（2006年5月5日）、G（2008年8月3日）、B（2009年3月8日）としてRGB合成したもの。矢印で示した恒星はClement（2001）⁷⁾で確認されている変光星。

がり具合、即ち Point Spread Function および、フラックスレベルの調整をかなり慎重に行う必要がある。合成前の1次処理に関してもより丁寧に行う必要がある。因みに、図5もこの処理を行っている。

4 まとめと今後

4.1 参加学生のアンケートから

2013年の実習が終了した直後にその感想を書かせた中から、主なものをあげる。

天体写真のRGB合成について

- バンドを組み合わせて、良く見られている写真が、実際に見えるものではなく、解析していることを実感した。
 - こんな風にしていつも見ている画像になっているとは知らなかった。
 - 画像はこんなに手間がかかっていたのかと驚いた。
 - 三色合成したときに学者の辛さを知った
 - ここに来る前の天文台・学者に対するイメージは望遠鏡で星を見て綺麗だなと言いつつやらせていると思っていたが、星や星雲・銀河の本当の光度を出し、色をつける大変な作業をやっていると知った。
 - 1枚ではつまらない画像がきれいな写真になった時は感動しました。
 - 天体の写真がもともと写真にあるのではなく、いろいろな段階を通過しているということがわかった。
 - 自分で1次処理をして、三色合成をして普段見るような画像を得ることができ嬉しかったし、愛着がわきました。データ処理の楽しさを感じました。
- 大学合同の実習形態について
- 作業の時間を自由に設定でき、他大学の学生とグループを組むので努力しやすかった。
 - 知り合ってすぐの人と協力しあい研究する

ことは、普段ではまずないことだと思うので、実習参加をして良かったと思います。

- 研究の仕方がわかった。初めての人と交流しながら進めていくことで、自分の意見をしっかり伝える能力、コミュニケーション能力等もついたと思います。話し合い討論する楽しさを知りました。

4.2 まとめと今後

以上の感想からも、当初想定したとおり、多くの学生は、天体写真、ないしはカラー写真に対する認識が変わった様子が見える。本実習は、学生にとって、日常空間を離れた異空間の外部と隔絶した閉鎖環境で、集中的に行う実習になっている。このことにより、彼らに通常考えられない集中力を導き出す事に成功している。また、当初我々も予想しなかったことであるが、複数の大学合同の形式にすることによって、背景の異なる初対面の学生同士が、良い意味でのコミュニケーションをはかる場となっていることが感想からもうかがえる。本実習は10年目を迎え、形式や機材についての方向性が見えてきたと考えている。問題点としては、受け入れ人数に限界があることである。各大学共に選択科目又は自由科目であるので、学生の参加は原則自由意志である。また、実施時期が夏休み中であることもあり、当初は履修者が多くなかったが、最近では学生間の評価が高まったことと、参加大学が増えたことから、履修希望者が増えつつある。木曾観測所の受け入れ人数には限界があるので、今後は参加人数の制限をせざるを得ないと危惧している。なお、木曾観測所の観測日程等を考えると、1シーズンに複数回の実習日程で実施することは実際問題としては困難と考えている。

5 謝辞

観測解析実習の実施にあたっては、東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観

測所の皆さんの全面的な協力をいただいております。感謝の意を表します。本稿の執筆に際しては、学術振興会による科学研究費補助金(23501014)から一部の援助を受けました。

参考文献

- 1) 文部科学省「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書 平成20年
- 2) 東京大学木曾観測所ホームページ <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/>
- 3) 山縣朋彦, 西浦慎悟, 「研究施設を利用した天体観測・解析実習について」, 文教大学教育学部紀要, 39, 2005年, pp111-120
- 4) Itoh, et al., "A Very Wide-Field CCD Camera for Kiso Schmidt Telescope", Pub. Nat. Astron. Obs. Japan, vol.6, 2001年 pp.41-48
- 5) 西浦慎悟, 濱部勝, 伊藤信成, 山縣朋彦, 「天体画像解析実習用データ集の作成」, 東京学芸大学紀要 自然科学系 64, 2012年, pp45-53
- 6) 伊藤信成, 山縣朋彦, 濱部勝, 西浦慎悟, 三戸洋之「天文分野を対象とした自主型解析体験教材の開発 I」三重大学教育学部紀要, 2012年, pp
- 7) C. Clement et al. "Variable Stars in Galactic Globular Clusters" Astron. J., 122, 2001年, pp2587-2599

