

「木曾シュミット撮像データのデジタル教材化計画」

西浦 慎悟、土橋 一仁、水野 孝雄（東京学芸大学・自然科学系・宇宙地球科学分野）

柏木 雄太（東京学芸大学・大学院教育学研究科）

1. 東京学芸大学・理科教室における教員養成の現状：

東京学芸大学は、学校教員(主に小学校教員)養成を本務とする教育大学である。そのため、通常の大学に比べて文部科学省や教育界の動向の影響を受けやすく、裏に表にその内部状況は独特である。本学を取り巻く教育界の様子は西浦(2007, “105cm シュミット望遠鏡と 2kCCD カメラを用いた天文学教育実践”, 木曾シンポジウム 2007 集録)で簡単に触れたので、ここでは要点のみを記しておく。

1997年7月の教育職員養成審議会では「新たな時代に向けた教員養成の改善方策について」と題して、教員の資質向上の必要性が謳われた。ただしここで言う「教員の資質」とは「専門的職業である『教職』に対する愛着、誇り、一体感に支えられた知識、技能等の総体」といった意味内容を持つもので、先天的な要因に基づく「素質」とは区別され、後天的に形成可能なものとされる。そして「教員としての普遍的な資質・能力」として、教育者としての使命感、人間の成長・発達についての深い理解、幼児・児童・生徒に対する教育的愛情、教科等の専門的知識、広く豊かな教養、などが挙げられ、さらに「これからの教員に求められる資質」として、全地球的な広い視野、変化に適応するための知識と技術、課題解決能力、が挙げられている。これらを簡潔に要約すれば、今後は『学級運営の実践的指導力』と『多岐にわたる専門知識と技術』を備えている教員を養成する必要がある、ということになる。このような要請に対して、観測天文学を題材とした実習を行うことで、教員志望学生達は数学、物理学、化学の基礎をリンクする形で天文学を中心とした専門知識を得ることが可能となり、観測データ処理を通してコンピュータ科学や情報リテラシーの技術を身につける切欠となるだろう。また一度実習に参加した学生が、後年TAとして主体的に実習に加わることで、学級運営のトレーニングを重ねることも可能である。ここで『学級運営の実践的指導力と多岐にわたる専門知識と技術などは、現場で経験を積むことで習得するものだ』と考えている方は、ここで認識を改めて頂きたい。学校教員養成過程においては、はるか以前から教育実習が取り入れられている。その教育実習を行ってなお、今になってこのような資質を強く求められるほど、現在の教育現場は逼迫しているのである。

2. 天文学研究室学部生に対する教育実践：

東京学芸大学宇宙地球科学分野天文学研究室では、2004年から毎年8月中期に、「天文学観測解析実習」と銘打った集中実習を行っている。昨年度の木曾シンポ 2007 では、本実習の指導方針、具体的な内容、スケジュールについて詳細な報告を行った。これらについては前述の木曾シンポ 2007 集録を参照して頂きたい。なお本節では、昨年度の実習結果報告を簡潔に行う。

2007 年度为天文学観測解析実習には学部3年生(当時)4名と TA 役の M2 生(当時)1 名が参加し、「渦状銀河の渦状腕における星生成活動性の調査」と「散開星団と球状星団の年齢・金属量の比較」をテーマに実施した。ただし天候には恵まれず、晴天は事実上最終日の晩のみであり、実習のほとんどは事前に用意した予備データを用いて行った。ただし NGC7082 についてのみ hazy 条件下で観測データを取得することができた。なお、天体のキャリブレーションは、同一視野内にある測光データがある恒星を用いて行った(主に SDSS、勿論フィルターシステムの違いは補正して用いる。後に詳述)。

「渦状銀河の渦状腕における星生成活動性の調査」では、渦巻銀河 M51 と M100 の H α 撮像観測を行い、

両者の渦状腕上に存在する星形成領域の $H\alpha$ 光度分布を比較した。星形成領域の測光には IRAF/apphot を使用した。なお M51 は子連れ銀河の通称を持つ相互作用銀河であり、M100 は派手な衝突の痕跡が見られないノーマルな渦巻銀河である。図1にM51とM100の可視光画像($B+V+H\alpha$)、 $H\alpha$ 輝線画像、そして $H\alpha$ 光度分布を示した。特に $H\alpha$ 光度分布からは、相互作用銀河であるM51には、M100よりも高 $H\alpha$ 光度の星形成領域が存在していることが分かる。これは銀河間相互作用によって星形成が活性化されている可能性を示している。

「散開星団と球状星団の年齢・金属量の比較」では、オーソドックスに散開星団 NGC7082 と球状星団 Palomar10 の測光を行い、HR 図を作成、等時曲線と比較することで両者の年齢や金属量の比較を行った。なお、NGC7082 の距離および色超過は Hassan (1973, A&AS, 9, 261)から、Palomar10 の距離と色超過は Kaisler et al. (1997, PASP, 109, 920)の値を用い、等時曲線は Girardi et al. (2002, A&A, 391, 195)を用いた。また恒星の検出には SExtractor を使用した。図2に NGC7082 と Palomar10 の可視光画像($B+V+R_c$)と($B-V$)- V の HR 図を示した。HR 図には等時曲線を重ねて描いてある。これからは、NGC7082 は年齢が 2.51—6.32 億年、金属量が約 0.0001 という結果が得られた。また Palomar10 については、用意した等時曲線では十分に説明できず、金属量が 0.03 以上、年齢不明となった。NGC7082 があまりにメタル・プアであることや、等時曲線が Palomar10 をうまくトレースできなかったことについては、詳細に検討する必要があるものの、何よりも図2に示す散開星団と球状星団の HR 図は、定性的にほとんど差が無いように見える。これは SExtractor を用いて、領域にある恒星を軒並み全て検出してしまったことで、前景・背景にある恒星が大量に混入してしまったためだろう。ただし Palomar10 がメタル・リッチな特殊な球状星団である、という事実も多少は効いているかもしれない。

また今回の実習でも事後アンケート(感想文)を実施した。参加した4名の学生たちの主な感想は、

- ・ 研究・解析の流れがわかった(1名)。
- ・ スケジュールが厳しかった(2名)。
- ・ PC 操作の不慣れを実感した(1名)。
- ・ 望遠鏡の中に入れることに驚いた(2名)。
- ・ 学ぶべきことが多いことを実感した(1名)。
- ・ 自分で考えることの大切さを学んだ(1名)

といったもので、「本実習を今後も行うべきか否か」という問いに対しては4名全員が yes と回答している(学生が特定できるため、ある意味当たり前)。そしてその理由としては、

- ・ データ解析の良い機会である(1名)。
- ・ 自分に足りないものを知る機会である(1名)。
- ・ さらに天文学に興味をわくため(1名)。
- ・ 学生間の交流ができるため(1名)。

といったものであった。2007 年度の実習では、参加学生たちの感想はかなりばらつきがあるが、総じて観測・解析・考察という流れを初めて体験したことに驚きを感じている様子が伺える。「自分で考えることの大切さを学んだ」というコメントが出てきたのは、教育者としては嬉しい限りである。また今回は初めて「もう一度はやりたくない」と答えた学生が1名いた。この学生は虫を非常に嫌っており、夏の観測所本館内に虫が沢山飛び・這い回っていることに強いストレスを感じた、とのこと。今後は虫除け対策も考えたい。

3. 観測データ教材化の試み:

理科教育実践とならぶ本実習のもう一つの目的は、観測データを用いたデジタル教材の作成である。

ここ数年の間で一般社会のコンピュータ環境は大きく変化し、高スペックのPCが低価格で入手できるようにな

り、インターネットの通信速度もはるかに高速化した。これに伴い、天文学研究の世界では、多様なデータ・アーカイブ提供システムが出現し、研究者でなくても容易に、HSTやSUBARU、OAO74、KISO シュミットのデータを入手できるようになった。加えてステライメージやマカリイといった MS-Windows 上で動作する有償・無償の解析ツールも出現し、一見、最新の観測データを簡単に教育現場に提供する環境が整ったように見える。しかし昨今の教育現場は益々、現場教員に肉体的・精神的負担を強いる状況になっており、その弊害として、

- ・ PC操作技術、
- ・ 情報リテラシー、
- ・ 天文学知識、

の不足が顕在化している。その結果、天体の画像データと解析ツールだけでは、元々天文学を学んだ教員や天文学に興味を持っている教員以外では、教材を使いこなせない状況になることが危惧される。そこで本教材開発研究では、『即、使用可能な教材の現場投入』を目標に掲げ、その第一段階として教材のプロトタイプ製作を行っている。教育現場への教材導入を容易にするため、我々の教材には、画像処理済みの「天体画像データ」に加えて、これを用いた実習のための「例題」、「ワークシート」、「解答例」、「解説」をセットで配布できることを念頭に置いている。また天体画像データは fits ファイルで用意するものとし、解析ツールには無償で入手可能なマカリイを使用する。なお現在我々が前提としている必要なPC操作技術は、

- 1) クリック、ダブルクリック、ドラッグなどのPC用語を理解している、
- 2) キーボードを用いて、表計算ソフトのワークシートへのデータ入力が可能、
- 3) 簡単なソフトウェアのインストールができる、
- 4) ネットワークを利用して任意のサイトからデータをダウンロードできる、

などである。

今回のプロトタイプ教材では、実習テーマとして「散開星団と球状星団の HR 図の比較」を取り上げた。このテーマには、高校地学 I の範囲内、必要な天文学知識がシンプル、作業がマカリイによるフォトン・カウントのみで簡単、過去に様々な現場で実績がある（銀河学校 2002、PAOFITS WG 開発教材セット = <http://paofits.nao.ac.jp/Materials/>）、そして実習対象に応じて難易度を調整できる(後述)、などの長所がある。

教材用の天体画像データは、天文学観測解析実習の時間内や共同利用時間中の悪条件下(薄曇り、シーイング大など)で取得した中から、使用に耐え得るものとして散開星団 NGC7788 と球状星団 M3 を選んだ。これらの観測条件は表1の通りである。

天体名	観測日	バンド	露光時間	観測条件
散開星団 NGC 7 7 8 8	2007/08/07	B	300sec	薄曇り
		V	300sec	薄曇り
		R _c	180sec	薄曇り
球状星団 M3	2008/05/05	B	300sec	晴、seeing 大
		V	300sec	晴、seeing 大
		R _c	180sec	晴、seeing 大

(表1:NGC7788とM3の観測条件)

画像処理には IRAF および SPIRAL(濱部, 2008, “SPIRAL の改修について”, 木曾シンポジウム 2008)を使用して、典型的な手法で行った。フラックス・キャリブレーションは、NGC7788 と M3 の同一視野内にある恒星の SDSS の測光データを、ジョンソン・カズンズシステムに変換することで行った(Smith 2002, astro-ph/0201143)。図3と図4にNGC7788とM3の可視光画像(B+V+R_c)を掲げた。また、マカリイを用いた約50個の恒星のフォトン・

カウントから描いた色・等級図も併せて示した(ただし NGC7788 については縦軸が見かけ等級のままである)。これらはそれぞれの星団の特徴をよく表したものになっている(2007 年度の天文学観測解析実習のように、これらを SExtractor で根こそぎ測光するとどうなるのだろうか?)。

この天体画像データに加えて、教材セットには測光作業の際の星の ID を容易にするために、NGC7788 と M3 のファインディング・チャートを用意した。また光子・カウントした値を記録し、HR 図作成の要となるワークシート(表 2)も製作した。

天体名: _____、等級のゼロ点: _____ mag							
ID 番号	B 強度 (ADU)	B 等級 (mag)	V 強度 (ADU)	V 等級 (mag)	V絶対等級 (mag)	強度比 V / B	B - V (mag)
1							
2							
3							
:							

(表 2:教材用ワークシートの一部)

高校2・3年生や大学1・2年生が実習の対象であれば、強度から等級の計算に関数電卓を用いることが可能である。対数の概念が身に付いていない高校1年生以下が対象であれば、強度と強度比を用いて両対数グラフ用紙に描かせるという方法もある。なお実習テーマは異なるものの、両対数グラフ用紙の使用については、中学3年生を対象にした実践例があり、プロット位置を間違えることがあるものの、実習中の巡回で適宜指導すれば使用が可能である旨が報告されている(中野 2008, “ゴム製弾丸加速装置を用いたクレーター形成実験”, 地学教育, 61, 85)。勿論、定性的な考察であれば、両対数グラフ用紙ではなく通常のグラフ用紙で十分である(例えば、銀河学校 2002)。表2は、上記どちらの難易度にも対応できるような書式にしたものだが、現場で実際に使用する場合には、それぞれに対応したワークシートを独立に使用する方が良いだろう(混乱を避けるため)。このようにデータの扱い方の難易度を変えることで、幅の広い実習対象に適用できる点は、この教材の大きな特徴と言えよう。今後は、実習用例題文や教師用解説文の作製や、解答例の整理、公開用HPの製作を行う。そして、2008 年度の天文学観測解析実習に参加する本学の2・3年生を相手に、この教材による実習実践を行う予定である。またさらに、使用可能な 2kCCD カメラによる星団画像を発掘し、星団データのバラエティを増やすことも考えている。

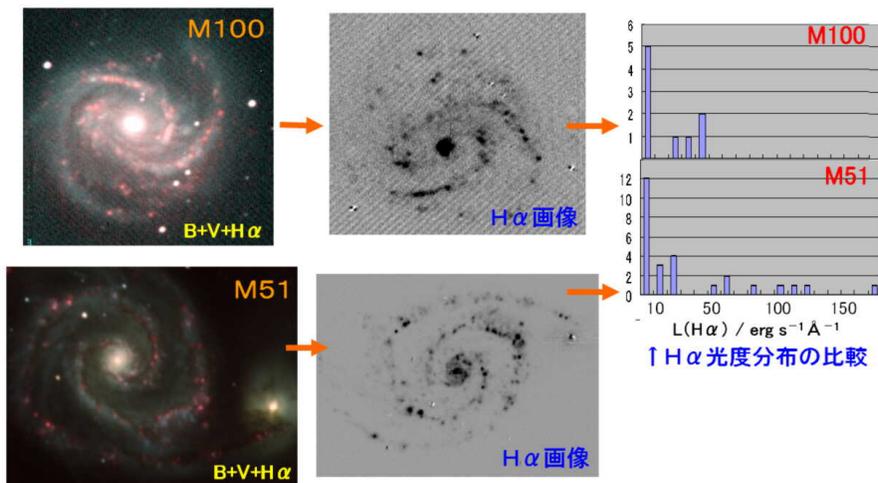
4. 観測実践のこれから:

ここからは通常のアストロノミカル研究とは異なる、理科教育の領域について紹介する。

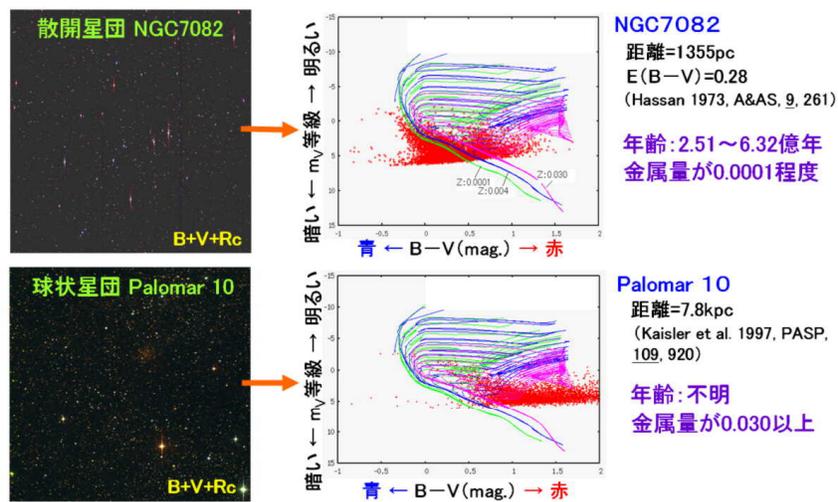
まず、定量的な記録がないため客観性に欠ける話であるが、何人かの関係者のコメントによれば、天文業界のアウトリーチ活動は、他の研究業界に比べて非常に活発である。特に滞在型の体験教室は、今や多くの研究機関や公共天文台で実施されている。しかし理科教育の観点からは、残念なことに、これらはその全てが『やりっ放し』の状態になっている。大抵の体験教室では、参加者に対する事後のアンケートや感想文は取られているものの、その結果や分析の公開は皆無である。これでは、直後の参加者への直接的効果が確認されるだけで、体験教室の長期的効果などは全く不明なままである。研究者や研究機関の責務として行うアウトリーチ活動であれば、従来のようなやりっ放しも有り得るが、活動の効果や意義を言及した場合、やはり重要なのはアウトリーチ活動を経て開発された教材や活動の結果・効果を客観的に議論し、それらを公開することである。そして公開場所としては、単にインターネット上のホームページではなく、適切な審査を経たジャーナル上が相応しい。これは勿論、査読を受けることで、報告内容の信用度が高められるからである。天文学に関する領域であれば、日本地

学教育学会 (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsese/>) の『地学教育』や、日本科学教育学会 (<http://certcms.shinshu-u.ac.jp/jsse/>) の『科学教育研究』、日本理科教育学会 (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/sjst/>) の『理科教育学研究』などがある。理科教育の業界では、活動のノウハウや教材開発、教育実践の効果などが重要視され、実際に児童・生徒に対して行った教育活動の効果を確認・研究する教育実践は比較的高く評価されるようである。その意味では、木曾観測所で行われている「銀河学校」や「星の教室」は、数十～百人単位で教育実践を行っている訳であり、これらの効果を定量的に議論することで、非常に有益な報告となるだろう。また「銀河学校」では毎年複数の実習テーマを構築して、10 名程度に対して教育実践を行っており、これらもまた重要な教材作成と実践報告となり得るものである。これらを報告文にまとめて教育系論文雑誌に受理されることで、参加者だけではなく、より広い対象に向けて貢献できることになる。木曾観測所のここ 10 年のアウトリーチ活動は、まさしく理科教育の教材と実践の宝庫と言えるもので、有効な利用・公開を進めることを提案したい。

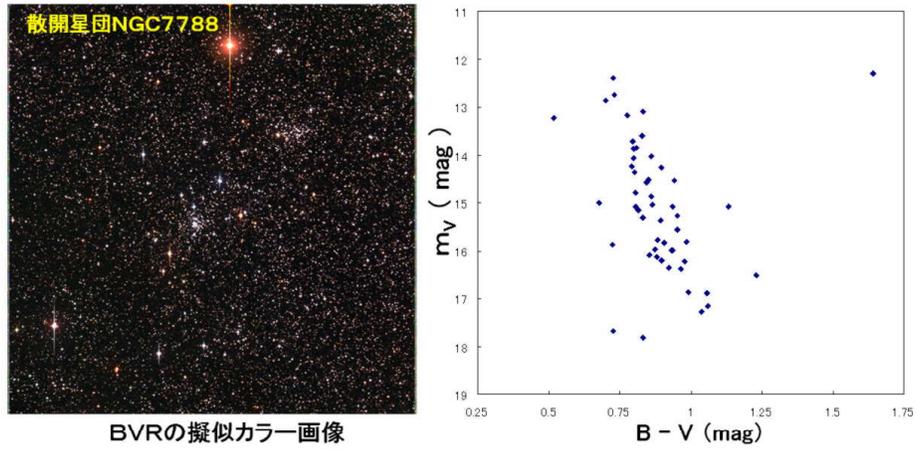
また話題が戻るが、現在幾つかの大学が木曾観測所で行っている実習は、共同利用という形を取っているため、これを観測所側から正式な実習時間として公開して頂くことで、より幅広く利用者が増加しないだろうか？ また場合によっては木曾観測所と何人かの実習ヘビーユーザーが合同で担当し、学生の所属を超えて実習を行うことが可能にならないだろうか？ 今後、観測実習の扱い方について議論を深めていく必要があると考える。



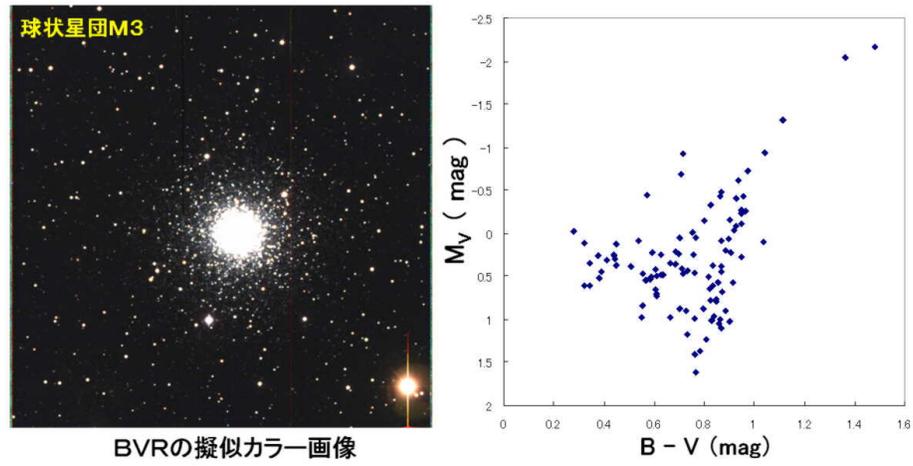
(図 1:「渦状銀河の渦状腕における星生成活動性の調査」の結果例)



(図 2:「散開星団と球状星団の年齢・金属量の比較」の結果例)



(図 3:NGC7788 の可視光画像[$B+V+R_c$]とHR図、ただし縦軸は見かけ等級)



(図 4:M3 の可視光画像[$B+V+R_c$]とHR図)