

# 「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」

西浦 慎悟 (東京学芸大学・自然科学系・宇宙地球科学分野)

## 1. 東京学芸大学・理科教室における教員養成の現状

東京学芸大学をはじめ、全国に設置された教育大学・教育学部の役目は、優良な学校教員を養成することにある。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ている。ただし「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『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』を備えた教員養成の実現ということになる。特に「これからの教員に求められる資質」に挙げられている三つの資質が、観測現場で求められる能力と共通していることは興味深い。つまり、「全地球的な広い視野」は地球規模以上の宇宙を研究対象として視野の中に入れておくこと、「変化に適応するための知識と技術」は既に取得したデータの質・量を考慮しつつ、リアルタイムで変動する気象条件を考慮しつつ、臨機応変に観測計画を適宜修正して効率的な観測データ取得を目指すこと、そして「課題解決能力」は、それらデータを解析・分析して、当初の目的に沿った考察を行うこと、と置き換えることができる訳である。

このような解釈に対して『教員の資質修得のトレーニングは実際の教育現場で行えばよい』という声が出るかも知れない。しかしよく考えてみるべきだろう。元々教員養成のカリキュラムには、はるか以前から教育実習が組み込まれている、であるにも拘らず、1997年の教育職員養成審議会では「これからの教員に求められる資質」と銘打って上記のような資質の向上が謳われているのである。これは教育実習以外の場所における資質修得が期待されていると見るべきであろう。

また学校教員とは、その生涯を通して何百人という子供たちを導いていく職業である。僅かな時間ではあっても、教員志望学生たちが研究者の真似事を経験することによって、将来の彼らは自信と説得力のある本物の言葉で、子供たちに自然科学を伝えることができるようになるだろう。このことは、木曾観測所で行われてきた「銀河学校」参加者を中心に、自然科学を啓蒙・普及することを目的としたNPO法人「サイエンス・ステーション」が立ち上がったことを考えれば、十分に期待できることである。

## 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(「天文学研究室」は公称ではない、念のため)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。対象は天文学で卒業研究を行う予定の学部3年生数名である。本実践の主な目的は、「観測天文学研究のリアルな現場体験」「天文学と物理・化学・数学の多様な関連性の認識」「PC-UNIXを用いたデータ処理操作の体験」である。

本実習で実習担当者が行うことは、まず「実習テーマの提示」、そして「PC-UNIX 操作の基礎」「IRAF を用いた画像解析」に関するレクチャー、「観測所の設備見学の誘導・解説」と「105cm シュミット望遠鏡+2kCCD カメラの操作方法の説明」だけである。学生たちは2~3名でグループをつくり、全てを共同作業で行う。そして一度実習テーマを選んでしまえば、「観測天体の選択」、「ポインティング・チャートの作製」、「観測計画」、「データ解析・分析作業」、プレゼンテーション、までの全てを自分たちの力だけで行うことになる。

観測天体選出と観測計画立案の際には、以下のような事項に注意させている。

- ・ 観測地の位置として、09h10m30.8s, +35d47m38.7s, 海拔 1130m (105cm シュミット望遠鏡不動点)。
- ・ 実習期間中の観測可能時間帯として、19 時 30 分～03 時 30 分。
- ・ 観測天体の天頂角 Z.D. < 45 deg. (できる限り)。
- ・ 2kCCD カメラの視野、51.2 arcmin × 51.2 arcmin。
- ・ 日没後、真夜中、明け方のそれぞれの時間帯に 2～3 個の観測天体を用意する。
- ・ 積分時間は 1 画像当り 300sec+読み出し時間 100 秒。
- ・ 撮像枚数は 1 バンド当り最大 3 枚(狭帯域撮像の場合は 6 枚)。

実習テーマとしては以下のようなものを用意している。

- ・ **散開星団と球状星団の年齢・金属量の比較(1 回):** 散開星団と球状星団の多色撮像・測光観測を行い、各々の HR 図と理論的な等時曲線(例えば Bergusich & Vandenberg 1992, ApJS, 81, 163)を比較することで、両星団の年齢や金属量を求め、比較・考察を行う。
- ・ **惑星状星雲/超新星残骸の電離ガスの物理量調査(1 回):** 惑星状星雲と超新星残骸の狭帯域撮像観測( $H\beta$ , [OIII],  $H\alpha$ , [SII])を行い、その輝線強度比を電離ガスの光電離モデル(例えば Stasinska 1984, A&AS, 55, 15)・衝撃波モデル(例えば Dopita & Sutherland 1996, ApJS, 102, 161)と比較することで、星雲中の電離ガスの温度・密度・衝撃波速度などを推定する。
- ・ **スターカウント法による暗黒星雲中のダスト量測定:** 暗黒星雲の多色撮像・測光観測を行い、スターカウント法から Wolf 図(Wolf 1923, Astronomische Nachrichten, 219, 108)を得て、各バンドごとのダストによる吸収量・ダスト量・暗黒星雲質量を導出する。
- ・ **系外銀河の形態・測光学的性質の比較(2 回):** 楕円銀河(レンズ状銀河でも可)と渦状銀河(不規則銀河でも可)の多色撮像・測光観測を行い、各々の銀河の表面輝度分布を比較する。さらに楕円銀河と渦状銀河のバルジ部については、銀河の化学進化モデル(例えば Arimoto & Yoshii 1987, A&A, 173, 23; 1986, A&A, 164, 260; Fioc & Rocca-Volmerange 1997, A&A, 326, 950)と比較することで、その質量や年齢・金属量を推定する。
- ・ **渦状銀河の渦状腕における星生成活動性の調査:** 早期型および晩期型渦巻銀河の広・狭帯域撮像・測光観測を行う。そして渦状腕中の星生成領域の  $H\alpha$  強度から、大質量星の数や star formation rate (例えば Kennicutt 1998, ARA&A, 36, 189; Cardiel et al. 2003, ApJ, 584, 76)を見積もり、それらを比較・考察する。
- ・ **銀河団における形態・密度関係の調査(1 回):** 複数の銀河団(Abell et al. 1989, ApJS, 70, 1)の多色撮像・測光観測を行い、銀河の形態・カラー・空間数密度とその空間分布などを調査・考察する。銀河団銀河の検出・測光には SExtractor (Bertin & Arnouts 1996, A&AS, 117, 393)を使用する。
- ・ **銀河団銀河の光度関数を用いた宇宙年齢の推定(2 回):** 複数の銀河団の多色撮像・測光観測を行い、銀河団銀河の光度関数を導出する。そして光度関数の  $M_*$  に相当する銀河団銀河のサイズを、Our Galaxy と同じ 30kpc と仮定して、その見かけ上のサイズから銀河団までの距離を導出。カタログから得た銀河団の後退速度と併せることで、ハッブル定数・宇宙年齢を推定する。

なお括弧内の数字は、学生たちによって今までに選択された回数である。

実際の実習では、木曾観測所への来所の直前に、まず UNIX 系 OS の基本コマンドとアプリケーション(ls, cat, mkdir, cp などや vi,gnuplot)や IRAF による画像処理に関する基礎トレーニングを 6 コマ程度実施している。

来所してからは、まず 105cm シュミット望遠鏡ドームの見学と所内見学を行う。その後、必要なレクチャーと平行して観測作業に入る。悪天候時には過去に取得した予備データを用いた画像解析を行う。図 1 に実習中の典型的なスケジュールを掲げた。日没から明け方までの時間は、観測および画像解析・分析に充てている。特に本実習は観測所の盆休み当りに割り当てて頂いており、食事の大半は自炊となっている。また朝まで作業が

続くことを考慮して、作業開始は正午以降に設定している。

最終日には、1 グループ15～20分程度で結果発表会を行う。他機関の実習と重なっている場合には、他機関のスタッフ・学生にも結果発表会への出席をお願いしている。

図 2、3 には、2006 年度の実習で学生たちが導いた結果を簡単にまとめた図を掲げた。図 2 は矮小楕円銀河 M110(アンドロメダ銀河の伴銀河の一つ)の表面輝度分布図と、M110・渦状銀河 M101 バルジ部分のカラー・等級図と Arimoto & Yoshii (1987)の化学進化モデルの loci を比較した図である。図 3 は超新星残骸 NGC6960(Cygnus Loop[白鳥座網状星雲の南西部])の各所の[SII]/H $\alpha$  対[OIII]/H $\beta$ と、Dopita & Sutherland (1996)の衝撃波モデルの loci を比較した図である。

本実習は1回の参加人数が少ないが、今までの参加人数の推移を図4に示した。なお2007年度については予定人数である。また2006年度には大学院生(M生)1名もTAとして参加させた。

実習終了後にはA4用紙1枚程度の簡単な結果報告と感想を提出させているが、2006年度までに10名分を回収することができた。参加学生たちの主な感想としては、

- ・ 研究・解析の流れがわかった(7名)。
- ・ スケジュールが厳しかった(6名)。
- ・ PC操作の不慣れを実感した(4名)。
- ・ 星空がきれいだった(4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(2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10名全員がyesと回答している(学生が特定できるため、ある意味当たり前なのだが)。そしてその理由としては、

- ・ データ解析の良い機会である(5名)。
- ・ 自分に足りないものを知る機会である(2名)。
- ・ 授業では体験できないものであるため(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)。

といったものが挙げられた。感想と併せると、参加学生たちは、観測データをコンピュータを用いて解析する、という作業に最もインパクトを受けたように思われる。その意味では当初の目的のひとつであった「PC-UNIXを用いたデータ処理操作の体験」については、ある程度達成できているようである。しかし、その一方で「天文学と物理・化学・生物学・数学の多様な関連性の認識」については、今の所大きな成果は挙げていない。

### 3. 観測データ教材化の試み

本実習で得た観測データは、リダクション・キャリブレーションを施した上で、教材として公開する予定である。これは、ただ単に解析済み・測光済み画像を公開するだけのものではなく、実際に画像データを用いて実施できる天文学実習の例題とその解答例を併せて公開するものである。例えば、散開星団や球状星団の解析済み・測光済み画像に併せて、これらを用いて描けるHR図や、距離推定の解答例、これらを理解するために必要と考えられる原理や天文学的知識も公開する。実習を兼ねた教材作成用観測は、毎年8月中旬の整備期間に割り当ててもらっている。そのためデータ収集が進み難いが、2007年8月までに以下のような天体が、教材化できる程度のS/Nで取得できた。

- ・ 散開星団 : NGC6791(B, V, R, I)、NGC7788(B,V,R,I)
- ・ 球状星団 : M56(B, V, R, I)、PAL10(B,V,R,I)
- ・ 惑星状星雲 : M27(H $\beta$ \*, [OIII]\*, H $\alpha$ , [SII])
- ・ 超新星残骸 : NGC6960(H $\beta$ , [OIII], H $\alpha$ , [SII])

- ・ 渦巻銀河 : M51(U, B, V, R, I, [OIII], H $\alpha$ , [SII]), M101(U, B, V, R, I, [OIII], H $\alpha$ , [SII])
- ・ レンズ状銀河 : NGC5866(B, V, R, I), NGC7332(B, V, R, I)
- ・ 楕円銀河 : M110(B, V, R, I), NGC185(B, V, R, I), NGC524(B, V, R, I)
- ・ 銀河団 : A2151(B, V, R, I), A2270(B, V, R, I), A2443(B, V, R, I)

#### 4. 光害の半定量的調査

従来、光害の観測は、眼視による星数えによって行われることが多かった。最近ではデジタルカメラの性能向上に伴い、デジタル写真観測による星数えも試みられている。しかし点光源の観測は、光害の影響もさることながら、シーイングの影響も大きく、一概に均質なデータが得られるとは考えにくい。そこで市販の小口径望遠鏡と冷却 CCD カメラを用いて、木曽観測所(長野県木曽郡)と東京学芸大学(東京都小金井市)で夜空の背景光の直接測定を行い、そのデータをもとに光害の影響を考察した。

観測機器は以下の通り。

- ・ ミード製 LX200GPS-25SMT (口径 25cm, F/10, シュミットカセグレン)
- ・ MUTOH 製 冷却 CCD カメラ CV-04 (KAF-0400, 768pix×512pix, 約 10 分角四方)
- ・ 光映舎製 光害カット・フィルター IDAS LPS-P2 (FOV=直径約 80 度角の円形)
- ・ ユニヘッドロン製 Sky Quality Meter (スカイ・クオリティ・メーター)

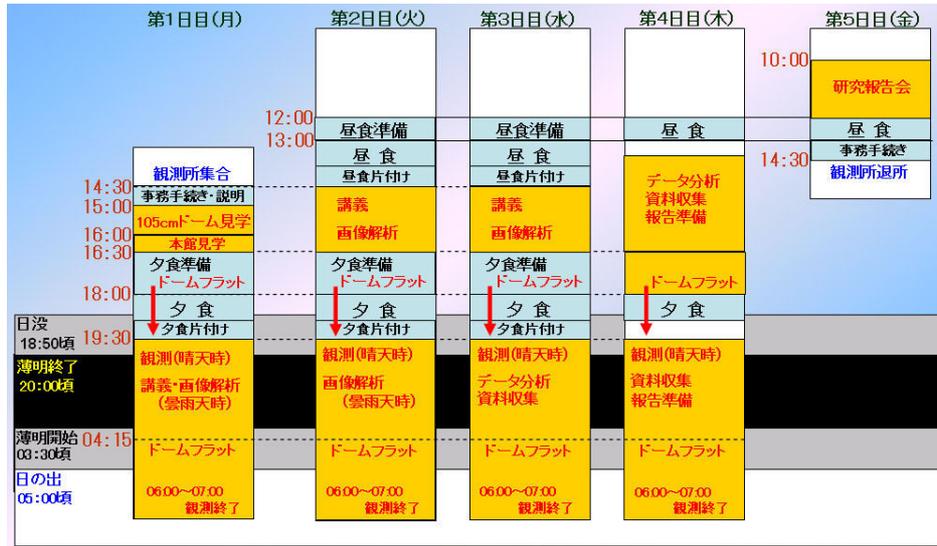
LX200GPS-25SMT のカセグレン焦点に CV-04 を取り付け、カメラ制御は市販製のノートパソコンで行った。

観測は、木曽観測所もしくは東京学芸大学の屋上で、東西南北の各方向に対して、高度 20°、45°、75° と異なる高度で夜空の背景光の撮像観測を行った。またフィルターは、未使用の場合と光害カットフィルター IDAS LPS-P2 を使用した場合の撮像を行うことで、光害に占める輝線成分の割合を調査した。

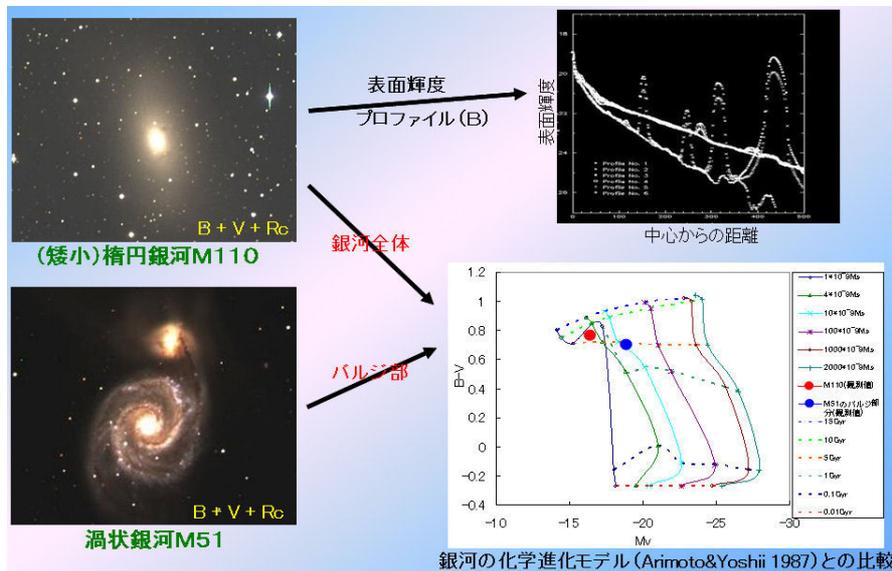
また冷却 CCD カメラが検出したフォトン・カウント数を、表面輝度に変換するために、スカイ・クオリティ・メーターを用いた。具体的には、フラット用スクリーンを冷却 CCD カメラで撮像する際に、同時にスカイ・クオリティ・メーターでフラット用スクリーンの輝度を測定、両者の比較から夜空の表面輝度を算出した。

図 5 にフィルター未使用の撮像観測から得られた、木曽と小金井市の夜空の背景光輝度の高度および方向依存性を示す。概して言えば木曽の夜空は、小金井市に比べて 3-4 等級暗く、天頂付近では約 20 等/平方秒程度の輝度である。小金井市あたりでは北極星(眼視で約 2 等星)が見えるか見えないか程度の空の状態であることを考えると、この違いはほぼ reasonable であると言える。また、どちらも低高度では天頂方向に比べて、空が明るくなっていることがわかるが、これは勿論低高度では遠くの街の明かりが影響しやすいためである。特に木曽で東の空が明るいのは上松町の明かり(JRの操車場か?)が原因であると思われる。

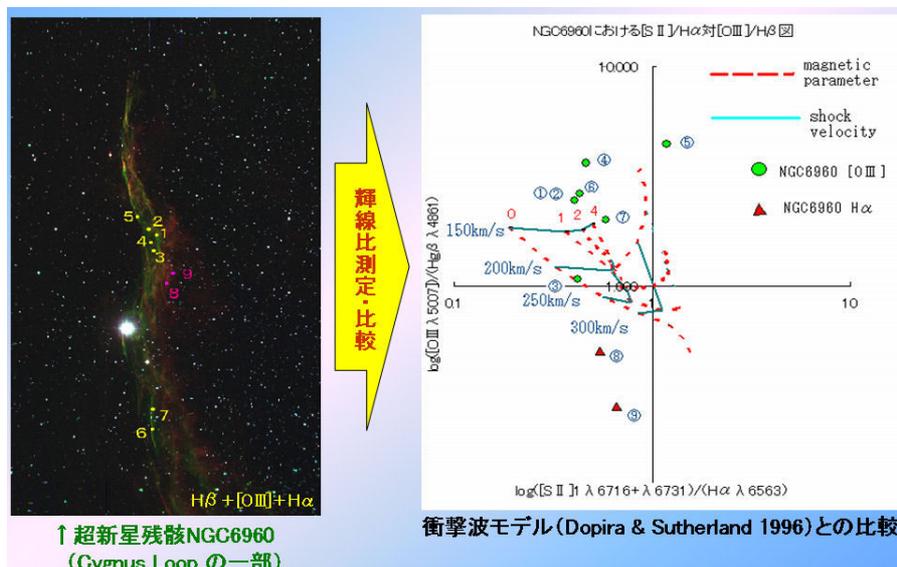
また光害カットフィルターを用いた撮像観測からは、夜空の背景光に占める連続光と輝線の比が、木曽で 57%(continuum):43%(line)、小金井市で 63%(continuum):37%(line)になっており、両者に大きな違いが見られないことが分った。ただし使用した光害カットフィルターは、Hg、Na をはじめ、主な輝線成分を軒並み同時にカットするため、具体的な輝線成分を特定することは出来ない。



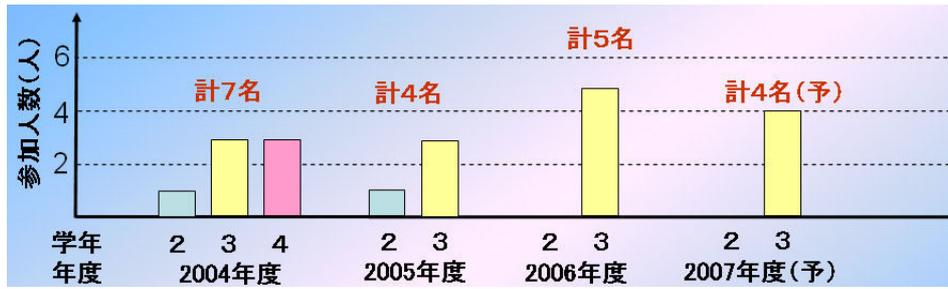
(図1:天体観測・解析実習の典型的なスケジュール)



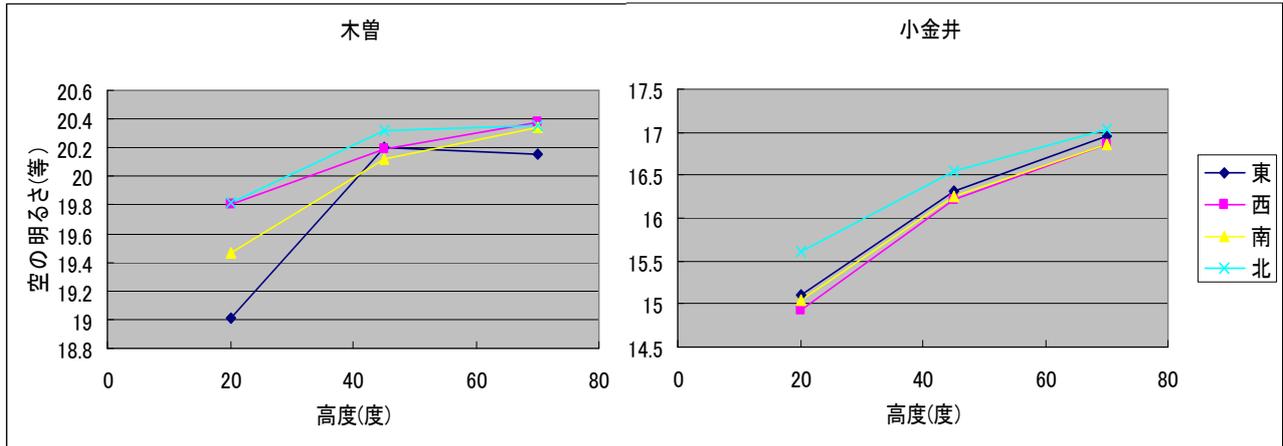
(図2:「系外銀河の形態・測光学的性質の比較」の結果例)



(図3:「惑星状星雲/超新星残骸の電離ガスの物理量調査」の結果例)



(図 4:天体観測・解析実習への参加者の推移。2007 年度の参加者は予定通りの人数で実施された。)



(図 5:木曾観測所[長野県木曾郡]と東京学芸大[東京都小金井]における空の明るさの高度・方向依存性)