



第5章 研究

Research

究

- 『 木曾観測所における研究の変遷 』 小林 尚人
- 『 夜天光観測 』 青木 勉
- 『 木曾観測所でやり残したこと 』 田鍋 浩義
- 『 シュミット望遠鏡の極軸調整 』 浜島 清利
- 『 小惑星探査 』 香西 洋樹
- 『 KUG サーベイ(木曾紫外超過銀河の探査) 』 宮内 良子
- 『 炭素星サーベイ 』 前原 英夫
- 『 スターカウントによる銀河構造の解析 』 山縣 朋彦
- 『 銀河の表面測光と天体画像処理システム 』 岡村 定矩
- 『 SPIRAL ソフト開発 』 濱部 勝
- 『 KONIC 』 市川 隆
- 『 木曾観測所とはやぶさ 』 安部 正真
- 『 彗星ダストトレイル観測 』 猿楽 祐樹
- 『 多色撮像観測で探る銀河の星生成 』 西浦 慎悟
- 『 木曾シュミットによる日印共同研究 』 小倉 勝男

アンドロメダ銀河 (M31): アンドロメダ座にある渦巻銀河で、われわれの銀河系とほぼ同じ大きさ、同じ形をしている。肉眼でもその光芒を見ることができる。この銀河のすぐ北(上)にはNGC205、南(下)にはM32 (NGC221) の2つの小さな楕円銀河がある。これらの銀河はM31 (NGC224) のまわりを回る伴銀河である。M31は、われわれの銀河系やマゼラン星雲、周辺の小さな銀河と共に局部銀河群という銀河集団を形成している。直径約11万光年、距離は約230万光年である。

撮影日：1988年10月31日、撮影番号：K5883、乳剤：コニカSR1600、フィルター：なし、現像：ハイコンII 6分

木曾観測所における研究の変遷

～ 中小望遠鏡の未来 ～

小林 尚人

木曾観測所 副所長



21世紀の光赤外天文学は、大望遠鏡の登場とともに始まった。コンピュータ制御された大型光学系の建設技術が成熟することで、望遠鏡の大口径化が可能となり、より暗い天体へとパラメータ・スペースが掘り下げられていく。しかしその直前の20世紀の終わりに、天文学がもっと本質的な発展を遂げていたことを知らない人が多い。「検出器の革命」である。半導体技術の成熟により CCD 2次元検出器が登場し、それまで主流であった写真乾板や光電管技術にとってかわり、天体観測の感度が文字通り桁違いに増加した。それに続く赤外線 2次元検出器の登場により、革命は揺るぎないものとなった。

木曾観測所は、見事にその時代を走り抜けてきた。第3章には、写真乾板に始まり、黎明期の CCD、大フォーマットの CCD カメラ、赤外素子への挑戦等、木曾を中心にこつこつ育てられていった日本の光学観測技術の進展がまとめられている。対して本章では、欧米の強力なサイエンスに対抗して、東京天文台を中心とした日本のコミュニティが、さまざまな模索を通じて、天文学研究上のその独自の位置を築いていく過程が記されている。

超広視野を誇るシュミット望遠鏡の最大の強みは、Zwicky と Baade 以来、常に天体のサーベイ（掃天）にある。その対象は、光学天文学の3つの主役である「銀河、星、太陽系天体」のすべてに亘る。

木曾シュミットによる観測研究は、木曾の暗い夜空と6度視野を完全に覆う写真乾板を活かした掃天で始まった。初代所長の高瀬先生たちによる紫外超過銀河の探査（宮内氏の稿を参照）、そして小平先生、岡村先生たちによる銀河表面測光で大きく発展した銀河研究は、岡村先生が創設した東大の銀河グループに明確に受け継がれていった。また、広い視野を活かした銀河系内の恒星分布の研究も、代表的な成果の双璧である。石田先生、吉井先生、山縣先生たちによるスターカウント、前原先生たちによる対物プリズムを用いた炭素星の探査といった先駆的な研究は、最近では広視野 CCD カメラ KWFC を用いて進められている銀河系内変光星の包括的な探査（第1章：松永氏の稿を参照）にまで引き継がれ、木曾は歴史的にも、銀河系構造を探る最も基礎的な研究に重要な貢献を続けている。それ以外にも、小暮先生（元京都大学）、小倉先生に代表される星生成領域の輝線星サーベイ、その後の CCD による星団の広視野測光で木曾は広く知られている。

移動天体、時間変動天体でもある太陽系小天体も、掃天の主要な対象である。観測所初期の香西先生による小惑星の探査は、安部先生のチームによる小惑星探査衛星のための測光モニターにつながる。木曾で撮られたウェスト彗星、百武彗星やヘルボップ彗星の迫力ある画像をご覧になった方も多いと思うが（第4章）、超広視野に目一杯広がる彗星は、シュミット望遠鏡の格好の対象である。明るい光学系と CCD による感度向上の組み合わせは、かすかにしか見えない彗星のダスト・トレイルの世界初検出につながった（猿楽氏の稿を参照）。その後の、多数の彗星に対するダスト・トレイルの独占的な研

究には、当時の中田所長の強力なサポートがあったことを付け加えておきたい。これらの観測は、後の KWFC による「時間変動天体、突発天体の観測」につながっていく。現在、観測所プログラムとして包括的な超新星サーベイがすすめられているが（第1章：諸隈、富永氏の稿を参照）、時間変動観測はフレキシブルに使える小望遠鏡が最も得意とする分野であり、重力波天体のフォローアップも含めて木曾観測所の今後の発展の方向を指し示している。

木曾観測所は、いち早く CCD やモザイク CCD を導入し、日本における検出器革命の指導的役割を十二分に果たしてきた。引き続き大口径の時代になった今、それでは小望遠鏡の役割は終わったのだろうか？物量作戦しか思いつかない輩は別だが、優れた天文学者、実験家や元気な若手研究者達はそんなことは考えていないようだ。巨大望遠鏡は、検出器革命をもっとも労力のかかるやり方で延長したにすぎない。10 m 望遠鏡の口径を 30 m にすることは、検出器や装置の感度を 3-9 倍にすることに等しい。検出器の雑音はまだまだ落とせる類のものであり、また装置のスループットも実験的努力によりまだ上げる余地が十分にある。建造と維持に莫大な費用がかかる”恐竜”的な巨大望遠鏡を建設し続けることは、素粒子物理の世界の SSC 計画と同じくそのうち頭打ちになる。新しい時代の”哺乳類”を生み出す新規開発の方が、より重要であるのは自明である。

そのようなアイディアの基盤として、安価に運営できる中小望遠鏡群がますます重要になってきている。木曾にはその全てが揃っている。大望遠鏡のサイエンスで活躍する優秀な若い人達が、巨大望遠鏡にない何か新しいものを求めて、こちらから何も言わずとも木曾にやって来るようになった。先鋭的な装置開発、ソフト開発、コミュニティの形成まで勝手にやってのけ、観測所プロジェクトによるサイエンスを強力にすすめてくれている。CCD の次世代たる CMOS センサーカメラの開発をはじめ、そういった最近の木曾の流れが第1章（木曾観測所最前線）に書かれている。木曾にはそういうアンビエンスがあるのだろうか。本記念誌に登場する歴代のすべての関係者各位に、深く敬意を表さざるを得ない。

次世代の研究者の教育・育成も含めて「研究」と呼ぶのであれば、言うまでもなく、人間の背丈にあった、アクセス性が高く扱いやすい望遠鏡が必要になる。物理、化学や生命科学における「実験室」のようなものであろうか。小望遠鏡をさっさと淘汰してしまい、高級データマシンにすぎない大望遠鏡しか擁しない機関からは研究者が育たなくなった状況を直視するにつれて、研究と教育を結ぶ中小望遠鏡の整備が、各大学にますます必要とされているように感じざるを得ない。日本の天文学の性急な変化の轍を踏まないように、中小望遠鏡とその経験を残すかたちで着実に大口径化に進むよう、インドなど新興国の天文学指導者達は慎重に舵を切ろうとしている。

本章は単なるノスタルジーの対象ではなく、未来へのさまざまなヒントが詰まっていることを感じていただければと考えている。40 年にして、木曾のような天体観測所の価値はますます高まっており、中小望遠鏡は最も先鋭的なツールとなっている。最近でも、系外惑星のような大発見（ドップラー分光、トランジット時間分解測光）は、中小望遠鏡においてこそなされていることに注意されたい。天文においては、多くのブレークスルーサイエンスが、既存の施設の”賢い”活用により生まれている。逆に巨大望遠鏡からは、まだインクリメンタル・サイエンス(incremental science)以上のものは多く生み出されていない。巨大望遠鏡の下に多数の小望遠鏡がヒエラルキーの構成要素として存在しているのではなく、人間の多様なアイディアを試す中小望遠鏡が実験場として頂上にあり、巨大望遠鏡はそれに隷属するツールでしかない。それを読み違えたコミュニティに明るい未来があるようには思えないのだが、その予想が正しいかどうかは 20 年後に冷徹に明らかになるだけである。

夜天光観測

～ 木曾の観測一番乗り“先見の明？”～

青木 勉 (木曾観測所)



夜天光チームは1974年以前から木曾の地「神谷」で観測を行っていた。今思えば木曾一番乗りである。

我々は1964年以降、堂平観測所で大気光観測を行ってきたが、夜天光の他の成分光である黄道光や対日照の観測も行いたいと考えていた。黄道光や対日照は連続光の光源であるから、その観測は市街光に大きく影響される。市街光が年々増加する堂平は観測に向かず、市街光を避けて観測できる空の暗い場所探しが重要となっていた。その場所が長野県木曾地方の「神谷」であった。ここは都会から離れて空が暗く、しかも四季を通じて東京から比較的行き易いことも魅力であった。神谷の観測小屋は1968年に山の中腹にある畠の一部を借りて、プレハブを建てた。道路は無く、麓で宿泊や食事の世話になった小坂暢男氏宅から200m程の山道を、飲料水を入れたポリタンクを背負い上げることもあった。勿論、観測装置や赤道儀などの機材の運搬は重労働である。大勢の人力でこれらの装置を運び上げたことは、苦労話として思い出に残っている。

大気光の定常観測では、その絶対強度の検定にランプ式の標準光源を用いている。この検定は空の暗い場所で、 α Aur や α Lyr を使って行うが神谷は最も

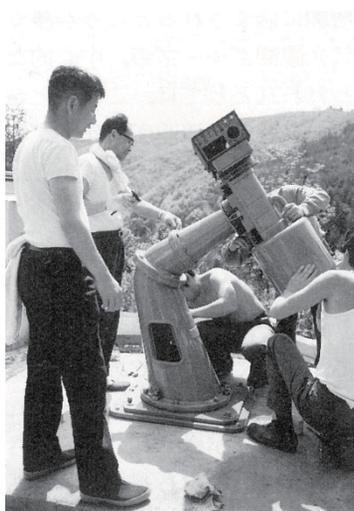


図1. 神谷での赤道儀据付け作業

適した場所であり、重要な仕事の一つとなった。その他、この地ではアメリカの Atmospheric Explorer C 衛星との同時観測や、内之浦から上げるロケットに搭載

される大気光観測器の感度調整や絶対強度校正などのテストも行ってきた。また、高地は北極星を1mm幅のスリットに落とし込み、定速度で巻き上げるフィルムに写す、天候カメラを考案・制作した。それはその後木曾観測所の晴天率調査に利用された。

1970年頃からシュミット望遠鏡の建設計画が進行中であった。そして、その設置場所が検討の結果我々が試験観測を行っている木曾地方が適当であるということになり、その場所に夜天光観測所も建設することになった。それ以後は、シュミット・グループとともに、実際の設置場所の選定のために、木曾地方各地の現地調査や、必要なテストなどを行った。神谷での試験観測は、こうして木曾観測所が完成するまで続いた。

1974年に東京天文台木曾観測所が完成した。夜天光観測室は敷地の東北端にあつて、観測棟とスライディング・ルーフ室が建てられた。観測棟は平屋建てで、内部には観測室、光学機器室、実験工作室、資料室、暗室、休息室などがあり、屋上には種々の観測器が置けるようになっていた。観測室は中2階があり、大気光観測機器はここに設置され、屋内から天窓を通して観測出来るようになっていた。一方、スライディング・ルーフには、種々の観測装置が取り付けられる2台の赤道儀が設置された。以降は観測



図2. 夜天光観測室(取付け道路より北北西を望む)

機器と観測概況について簡単に紹介する。

木曾に設置した大気光関係の観測器は、光電測光器、分光器および全天カメラである。分光器と全天カメラは堂平から移設したが、光電測光器（大気光高速多色天頂光電測光器）は堂平時代からの夢であった、全自動で無人観測ができるようにした。これは薄明時間と月の出入り時刻を考慮して時刻ボードにピンを差し込み、1ヶ月間の観測時間を制御するものである。当初、10枚の干渉フィルターを通して観測された測光データは紙テープに記録していたが、1983年にパソコン（FM-11）に置き換え、データ取得や解析を行うようになった。その結果リアルタイムで観測結果を把握できるようになった。堂平でも継続して観測していた分光器は、1975年に木曾に移設したものの、機器の老朽化が進み、1978年に観測



図3. 夜天光の定常観測装置。左から全天カメラ、分光器、天頂測光器。背景に木曾御岳山を望む。

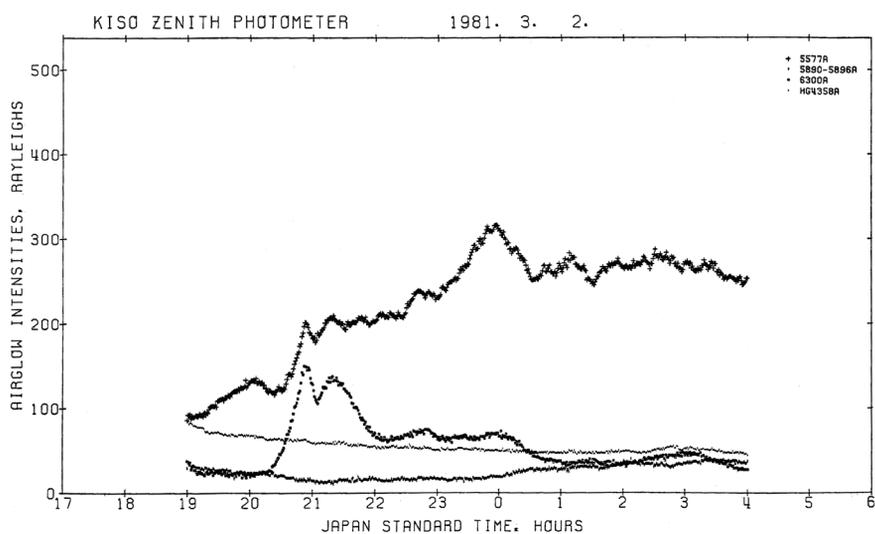


図4. 天頂測光器による各輝線強度の毎分値のグラフ。1981年3月2/3日

を中止した。全天カメラは半球型のガラスドーム内に魚眼レンズを納め、昼間は金属カバーで覆い、夜間のみ観測出来るようにした。設置当初はガラスドームの内側が結露し星像が写らないトラブルが発生した。対策として、大阪工業試験所で透明導電膜（酸化インジウム）が開発されたことを知り、宮下がガラスドームの内側に真空蒸着する実験を行い成功した。この膜に電流を流して、ジュール熱でガラスを温めるとう方法で結露を完全に防止することができた。全天カメラは当初250コマのマガジンを使用していたが、天頂測光器が自動化され1ヶ月間は無人で観測出来るようになったので、1980年より750コマ用マガジンに交換した。この全天カメラは後にハワイのマウナケア山頂のすばる望遠鏡のサイト・テストに使用された。その他には、黄道光や彗星の観測に使用した可搬型の光電測光器である「比較受光器」、夜天光の測光時に視野内の端から他端へ可動式のワイヤを走らせて、視野内の星を隠して星の測光をし、その差を求める「星消去式測光器」、彗星のスペクトル観測に「I. I. 付分光器」なども活躍した。

最後に観測概況についてである。それまで堂平観測所で続けていた太陽地球環境国際定常監視特別事業（MONSEE）の大気光観測拠点を1979年の始めから正式に木曾に移した。木曾で観測された天頂測光器の観測データは、三鷹の大型計算機で処理し、大気光世界資料センターに保管し、編集・発表された。

木曾における大気光の定常観測は1979年から1990年3月に終了するまで、続けられた。（以後、新潟大学の木山氏が引き続き夜天光の観測の一部を引き継いで行った。）その間には、1984年9月に発生した長野県西部地震の衝撃で、パソコンやスライディング・ルーフ室のシャッターが壊れた。また、赤道儀の極軸も7'程ずれてしまう等の被害がでた。1987年10月21日には、北海道で低緯度オーロラが発生した時、木曾の天頂の大気光きく増

光したことが分かった。その他数多の成果はあるが、紙面の関係で最後に「全天カメラ」の写真解析について取り上げる。全天カメラには星の奇跡の他に流星や人工衛星等が写る。1985年10月8日19時過ぎに、関西から東海地方にかけての上空をコスモス衛星が火の玉となって落下した様子が記録されていた。流星は0等級より明るいもののみ検出することができるが、宮下は1977~1990年までの約35700コマの写真から約800個の明るい流星を検出した。

以上、国立天文台報 Vol.1. 1, No. 3 田鍋浩義, 嵩地厚, 宮下暁彦, 田中京子「東京天文台における大気光観測」から抜粋し、青木の感想も含め簡単にまとめさせて頂いた。 文責 青木 勉

木曾観測所でやり残したこと

田鍋 浩義
(元国立天文台)



夜空から来る自然光の総称を夜天光と云い、その主な成分光は大気光、黄道光、星野光である(理科年表参照)。これらの光は全天に拡がり重なり合っ て観測されるが、それぞれが時間的、空間的に明る さが変化する。私たち旧東京天文台測光部のグルー プは、木曾観測所の開所以来、夜天光観測室で大気 光と黄道光の観測を続けていた。ちなみにもう一つ の成分光の星野光については、数年前に創案製作し たウォラストンプリズムを利用した測定装置で、パロマー写真星図の極限等級までのスターカウント を三鷹で行なって、大量のデータを得ていた。

大気光は、地球大気の発する輝線、輝帯の光であるから、適当な干渉フィルターを使えば、大気光だけの分離観測が可能である。問題は黄道光の観測であった。黄道光の天球上の輝度分布を知るためには、小型望遠鏡に光電測光器をつけて、広範囲の空の掃天観測をしなければならないが(当時はまだCCDなどは実用化されていなかった)、掃天中に明るい星も頻繁に視野内に入ってくる。光電測光では、これら

の星を含めた視野内のトータルの明るさが測定されてしまうので、データ整約の段階で1つ1つの星を同定してその等級に応じた明るさの差し引きを、手作業でしなければならなかった。これを何とか自動化できないものかと、前々から考えていたが、面光源(黄道光)と点光源(星)の違いを利用して星だけを分離除去することを思いついた。掃天用望遠鏡の焦点面に適当な視野絞り(正方形が便利)を置き、視野絞りの片側から他方側へ細いワイヤを走らせると、ワイヤは星々を次々に隠していき、その都度光電出力に逆パルス状の信号が出る。このパルスの深さを計算機に加算させて、最後に視野全体の明るさから差し引かせれば、面光源のみの明るさが得られるのである。このアイディアは、国際研究集会などでも何度か紹介し、黄道光観測者たちの興味を引くことができた。

その後、財源を得て試作器「星消去式測光器」を作り、最初のテスト結果を日本天文学会の年会で報告したが、なおいろいろと改良の必要があり、試行を続けているうちに、1989年に私が停年を迎えてしまい、残念ながらこの観測器は未完成に終わってしまった。

あれから25年、その間の電子機器の各段の進歩により、今ならまた新しい方法による違った観測器も考えられると思うが、私としてはあの時点で、あのアイディアによる観測器が実現できなかったことは、大変心残りであった。当時、この観測器の製作やテストに協力してくれた旧測光部のメンバー諸氏に深く感謝している。

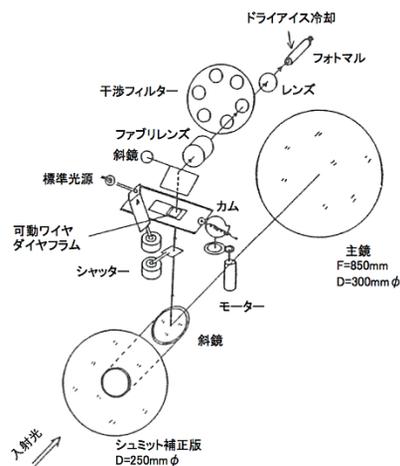


図5. 望遠鏡及び光電測光器の模式図

シュミット望遠鏡の極軸調整

～ 最適方向を求めて ～

浜島 清利 (河合塾物理科)



木曾観測所黎明期の話題の一つを記してみたい。それはシュミット望遠鏡の極軸方向をどのように定めたかという経緯である。

極軸調整はなぜ大切か

極軸の調整は、通常はガイド量を少なくするために必要なものである。しかし、シュミット望遠鏡の場合はそれ以上に大切な意味をもつ。ガイドによって乾板中心の星像を点状に写し得ても、写野が広いために周辺の像は大気の屈折が異なり、露出時間が長くなると星像が流れてしまう微分大気差とよばれる問題が避けられない。実際、IIIa JやINなどの乾板は2～3時間の露出を要した。そして、極軸は天の真の北極と見かけの北極との間に設定するのがよいと思われていた。極近くの星は見かけの極を中心に日周運動するし、天頂近い星は真の極を中心に運動するからである。2つの極は角度で1.3' 離れている。

極軸が2つ?

まず、極軸の方向を調べるには、極からのズレが大きいほどガイド量が大きくなることを利用する。岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡の極軸設定で考案された方法で、赤緯方向のガイド量から極軸を定め、修正を繰り返して最終設定に至った。赤経方向のガイド量からも極軸の方向を独立に求めることができることを確かめ、木曾では精度を上げるために両者を採用した。ところが、赤緯方向から求めた結果に対して、赤経方向からの結果は角度で約2'も異なっていた。結局、極軸を正しく設定するどころか、その測定方法自体の再検討を迫られることになってしまった。

動き回る極軸

はじめは当惑したが、やがて我々は矛盾の原因は望遠鏡を支えるフォークのたわみにあると考えた。台座の上での極軸は1つの方向でも、たわみがあれば

実質的に極軸の向きは変わる。たわみ方は時角によって変わるので、極軸は時角と共に動くことになる。それを調べるには、古典的な方法を改良すればよいことに気づいた。古典的方法とはカーチスによるもので、周極星を写真に撮る。まず、望遠鏡をほぼ極に向け、シャッターを開いたまま極軸回りに回転させて写す。星の軌跡は円となって、中心が極軸方向を示す。次に望遠鏡を固定し、シャッターは開放のまま放置して、日周運動を写す。円の中心は見かけの極である。我々がこのような写真を既に撮りながらもガイド量のデータ解析を重視したのは、精度の点で比較にならないと考えたからである。カーチス法の精度の悪さは、極軸回りに回転させたときに軌跡が完全な円にならず、歪んでいるため中心が求めにくいことにあった。この歪みこそたわみがあるという1つの証拠ともなっていた。

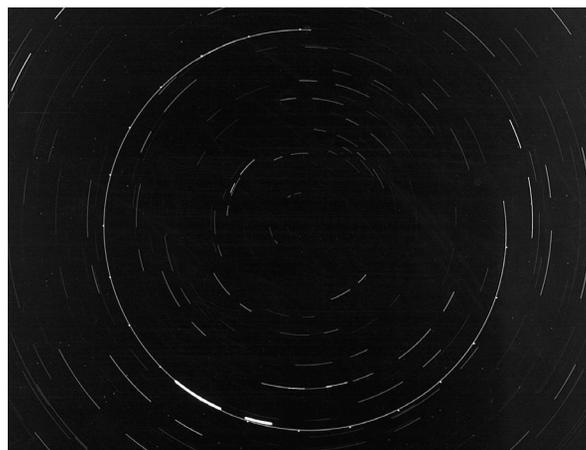


図1. 詳細カーチス法写真。明るい星は北極星。

極軸が動くという観点で、改めてこれを見直せば、歪みから極軸の動きが分かるはずである。そのためには写真の撮り方を少し改良する必要がある。極軸回りに回転させるとき、1時間ごとの時角で止めてはシャッターを開くようにする。この結果、軌跡は飛び飛びの点列になる。星相互の区別を見やすくするため、シャッターを開放にした軌跡も写しておく。

乾板自身は望遠鏡に固定されているので、極軸方向は乾板上では一つの定点となる。実は、それがどこであるかを一意的に決めることはできない。適当に選んだ定点に応じて、極軸の動きが決まる。そこで、機械系が時角 0 時を中心として、正負の時角で対称形状であることに注目する。極軸の動きも時角 0 時に対して対称的になるはずという条件を課すことによって決めたものを図 2 に示す。時角 0 時の時、最も地平線に近く、±6 時で約 1′ 上に持ち上がっていく様子が見て取れる。時角が 12 時間異なった極軸位置が互いに近いところにあるが、これは望遠鏡のフォークがちょうど反転した状態に対応していて、たわみとして合理的である。なお、得られた極軸移動パターンの下での必要なガイド量を計算してみると、赤緯方向、赤経方向共に観測値と合うことも確かめられた。

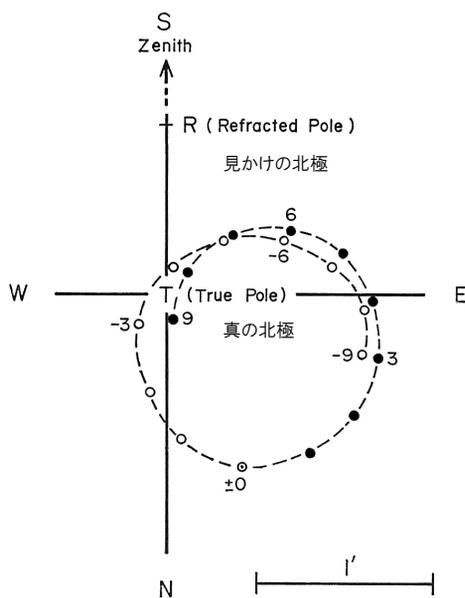


図 2. 極軸の移動パターン

最適方向は常識通りではなかった

極軸設定は微分大気差による星像の流れを少なくすることが目的であった。我々は、当初、極軸移動の平均的な方向を見かけの極と真の極の中間に向ければよいと考えていた。しかし、実際に行ってみた結果は思わしいものではなく、極軸が移動する場合、どこへ向けるのがよいか、改めて考え直す必要が生じてきた。

極軸移動パターンを天球のどの位置に置くと、乾板周辺の星像がどの程度流れるかを計算によって調

べてみた。時角 0 時近く（-2 時～2 時）が観測には適していること、それに観測機会の多寡を考慮して最適位置を決めることができる。観測機会とは、木曾では天域を 5° 平方を単位として約 1600 に分割して撮影していくことの考慮であり、赤緯が小さいほど重みを加えたといってもよい。その結果、時角 0 時での極軸を真の極より 50″ 地平線側に置くのがよいことが分かった。真の極と見かけの極の間に向けるという常識とは全く異なった結果である。なお、剛体極軸の場合は常識が成立していることも確かめた。何より特筆すべきは、極軸が動いても最適設定をすれば、星像の流れに関して剛体極軸と変わらない結果が得られるという確認ができたことであろう。テスト期間中、数度にわたって極軸方向は動かされているが、最適方向に向けられたとき、確かに良い結果が得られている。

本稿は東京天文台報第 18 巻第 2 冊（1978 年）に基づいている。共著者は、石田恵一、高瀬文志郎、青木勉、征矢野隆夫の各氏である。極軸調整の重要性を強調されていた石田さんに見て頂けないのは本当に残念である。望遠鏡の設計段階から、ガイド量が精確に測れるよう周到な準備をされていた。高瀬さんも病床にあって見て頂けなかった。岡山観測所で極軸の決定法を考案し、実施されたのは清水実さんである。清水さんは木曾も兼任され、温かい励ましを頂いた。また、野口猛さんは最終的な極軸の調整をして下さった。極軸を動かすには 3 人がかりで半日かかる。望遠鏡の重量 70 トンは重心の真下に置かれた直径 20 cm の鉄球によって支えられ、鉄球から 2m ほど離れた 5 点にあるボルトで極軸を調整するようになっている。

望遠鏡のテスト期間中、特に印象深かったのは彗星ウエストの出現である。写真集にその雄姿をとどめているが、石田さんが初めて撮影に臨まれたときは、かなりの緊張を強いられた。望遠鏡を異常に傾けねばならず、ガイドもしづらかったからである。ともあれ、明け方の山の端近くに輝くウエストを肉眼で見るとすばらしく、まさに木曾の空の賜物であった。

小惑星探査

～ およそ100個の新小惑星発見 ～

香西 洋樹 (鳥取市佐治天文台 台長)



木曾観測所がオープンしたのは1974年。観測所の計画・候補地選定などに関係してきた者として感慨も一入。お祝いを述べさせて頂きたいと思う。と、同時に当時を振り返って見るに、オープン前の一定期間を当時関係者にテストの意味を込めて試用期間として観測時間が与えられることになり、幸い私もその一人としてかなりの自由度で望遠鏡の使用が許された。そこで考えたのが、シュミット望遠鏡の明るく広い写野の特徴が十分に発揮できる太陽系内の小天体、つまり小惑星の全天でのサーベイであった。小惑星のサーベイは、それまでマクドナルド天文台の小口径望遠鏡によるものが唯一で、パロマー天文台の48インチシュミットによりバン・ハウテン夫妻とゲーレル達による選択天域での観測しか無いのが実情だった。そこで、今回完成したシュミットの特徴を生かした全天のサーベイを企画し実行に移したのであった。

正式オープン前には、ほぼ毎月のように新月前後の1週間程の、しかも衝の位置を観測対象に選択したため24時を挟むように観測時間を設定させて貰い、毎晴夜観測に勤しんだ。当時は、コダック社の103a-Oと称する短波長に高感度の乾板を使用して、20分の露出によりおよそ21等級(写真等級)までの恒星が写ることを確かめ、恒星間を移動する小惑星像の長さが恒星像より長くなり確認可能である事も確認して実際の観測に着手した。

観測方法: 1星野20分露出で最低でも20分間の間隔を空けて同じ星野を撮影。

観測天域: 木曾観測所で分けられた木曾天域に従う。①最初は衝の位置を中心に黄道に沿って南北に各2天域ほど。②後半になると、特異天体の検出を目指して高黄緯を狙った。

検出: 木曾観測所のブリンクコンパレータと三

鷹にあったブリンクコンパレータ。

位置測定: 三鷹に乾板を持ち帰り、マン社製の座標測定器で0.001mmまで。

既知の小惑星との照合: 既知の小惑星で観測星野にあるものの予報値を三鷹の計算機で算出し、既知と新検出を区別する。

観測: 1星野の撮影が終わると別の星野を撮影。多いときには10星野ほど撮影する事もあり、20枚/1夜にも達し、もっとも多数の乾板を使用したのではないかと感じている。

検出に使用したブリンクコンパレータは電動で左右の視野像を切り替えるため、目を酷使する事になり8時間が限度だった。シンチレーションサイズが3秒以下のような鋭い星像が得られると1組の乾板を検査するのに約8時間を要したこともあるが、このような乾板には1平方度当たり10個以上で乾板全面には300個以上の移動天体が検出されることもあり、辛いながらも楽しい時間だった(図1)。

K528+530 1976.10.22.5210 α 1 40.0 δ 5 0

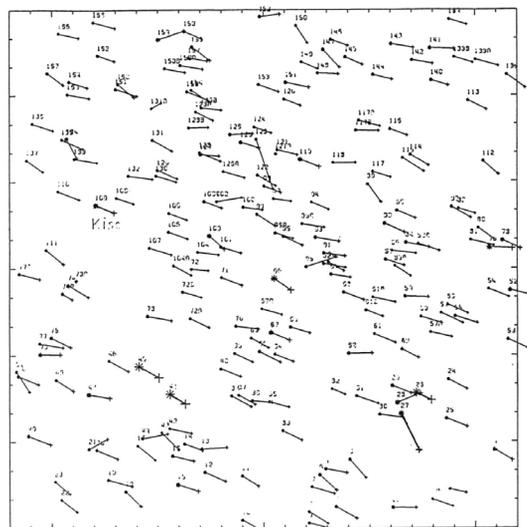


図1 黄道帯を撮影した乾板1枚分の天域で発見された移動天体。線の長さは1日当たりの移動量を表し、方向は移動方向を表す。この乾板の対から未同定の小惑星の候補が95個みつかった。

結 果:こうした観測を1988年頃まで継続し、観測結果から空間分布とサイズ分布について一応の結果を得ることができた。空間分布は軌道傾斜角がほぼ30度までに集中し光度分布は明るさが1等級暗くなるごとに2.8倍に増加する事である。いずれも、当時知られていたマクドナルド天文台とパロマー天文台のそれぞれの結果を、ほぼ追認するようなものであったが、マクドナルド天文台の限界等級より暗いものまで、またパロマー天文台のものより広範囲にわたるサーベイであった。尚、この結果は、理科年表に採用され記載された。

◎トピックス

1. 逃がした大魚

小惑星として発見され国際登録され 2060 番 Chiron (カイロン・キロンとも言う) が発見され、大きな話題になった。私の観測で、不審なイメージとしてマークして有ったにも拘わらず追跡観測ができず、未確認に終わっていたのがこのカイロン。大魚を逃がして仕舞ったのは返す返すも残念至極。後の祭りだった。この Chiron はその後の観測から彗星状のコマが観測されたので現在では彗星にも登録された珍しい天体。大きな軌道長半径を持つ暗い天体の中には彗星状を示すガスを失ったものがある事が実証された。

2. 拾った彗星

小惑星の星像は恒星状、恒星状としてはやや不思議な像として検出し、小惑星として国際登録されていた天体が、後日パロマー天文台のシュミット乾板を検査していたローエル天文台のスキッフにより彗星として発見・確認され B.Marsden により軌道が求められ周期 7.5 年の短周期彗星 D/1977C1 Skiff-Kosai スキッフ・コウサイ彗星として正式に国際登録されたが、残念ながら多くの観測者の掃索にも関わらずその後の観測が無く行方不明、現在は消滅した過去の彗星として登録されている。

3. 新小惑星の命名

新天体が発見され確認されると正式に国際登録され、発見者に命名の提案権が与えられる。私が木曾

観測所で発見した小惑星はほぼ100個。最初に発見した小惑星(2271)=Kiso=木曾、続いて(2330)=Ontake=御岳、(2470)=Agematsu=上松、(2924)=Mitake-Mura=三岳村、(2960)=Ohtaki=王滝村など木曾地方縁の地名(図2)を付けていく内に、地元の方から次は私の村、町をと言われ、長野県の名を(3111)=Misuzu=みすずとして命名(内緒話し:詩人金子みすず、も含む)。

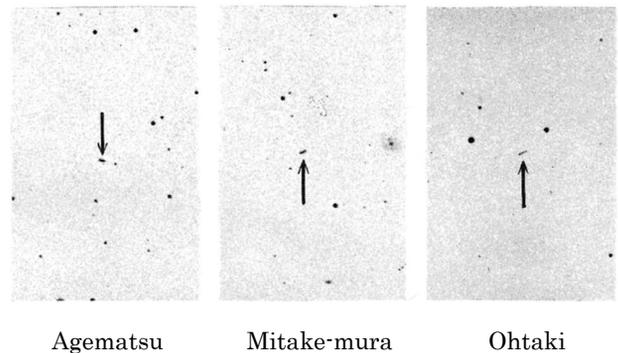


図2 木曾シュミットにより発見登録された小惑星。「上松」「三岳村」「王滝」と地元の名前がつけられている。

補 遺:日本の古代の名称と共に、日本の歴史書としても大きな意義を感じ、深く天文を理解されていた天皇で現在の天皇もお喜び下さいました。

(3878)=Jyoumon=縄文、(4072)=Yayoi=弥生、(4077)=Asuka=飛鳥、(4812)=Hakuhou=白鳳、(4855)=Tenpyou=天平、(4890)=Shikanoshima=志賀島、(4929)=Yamatai=邪馬台、(5017)=Tenchi=天智天皇、(5018)=Tenmu=天武天皇、(5082)=Nihonsyoki=日本書紀、(5454)=Kojiki=古事記、(7104)=Manyousyu=万葉集、

4. 御岳の噴火

ある夜、観測中に下から突き上げるような地震。望遠鏡が大きな音で軋む。冗談に、御岳が噴火するぞ、と。その後、実際に噴火したのだった。

観測所の候補地の場所探しなどについてはお書き下さる方がお有りと思うので、観測の思い出だけになりましたが、40周年記念、お目出度ございます。

KUG サーベイ(木曾紫外超過銀河の探査)

～ 世界のシュミット望遠鏡にない機能での探査 ～

宮内 良子 (国立天文台)



私が KUG サーベイに参加することになったのは、1980 年 11 月に東京大学東京天文台子午線部から銀河系部に移ってからでした。それまでは子午線部で子午環観測のカタログを作っていました。そして銀河系部に移る時に、高瀬文志郎先生に「KUG サーベイを手伝ってほしい、結果をカタログ化するので」と言われ、子午線部でのカタログ作りを生かせると思ってお引き受けしました。

KUG サーベイの始まる 2 年ほど前から、「KUV (木曾紫外超過天体) サーベイ」が、近藤雅之、野口猛、前原英夫の各氏によって行われていました。高瀬先生もそのサーベイに加わっていたのですが、先生はかねてから紫外超過の銀河のサーベイを考えておられました。そこに私が子午線部から移って来たので、KUG (木曾紫外超過銀河) としてのサーベイをすることになりました。

先生に銀河天文学を教えていただきながら、シュミット望遠鏡での観測もしました。最初のうちは KUG の探査領域は、マルカリアン銀河との比較の観点から、マルカリアン銀河の検出数が多い天域からはじめましたが、同時進行中であった KUV サー

ベイグループが設定した天域との共通性を考慮して、銀経 180° に沿った天域も取り入れて観測を行いました。ついで KUG のデータ処理が進むにつれ、観測する領域を増やしていきました。

探査方法の特徴は次のようになります：

- 1) シュミット望遠鏡の特徴である広い視野の、 $36\text{ cm} \times 36\text{ cm}$ の大型ガラス乾板を使用。
- 2) 乾板は観測前に増感をし、暗室でフォルダーに装填、望遠鏡にセットする。
- 3) 三種類(または二種類)のフィルターを交換しながら、一枚の乾板に少し位置をずらして三点(または二点)の像を写す。
- 4) 露出時間は、それぞれの星像の黒味が A0 型星で同じになるように設定する。
- 5) U 像が他の像より濃い銀河は A0 型星より青色をもつ UV 放射の強い銀河であるということで、これらを KUG として検出する。
- 6) 検出は、乾板を眼視マイクロスコップで精査して行い、次いで XY 座標測定機で位置を測定、さらに基準星として一枚の乾板に 25 個くらいの位置の判っている恒星を選び、これも位置を測定する。
- 7) 基準星の位置から銀河の位置情報を計算する。

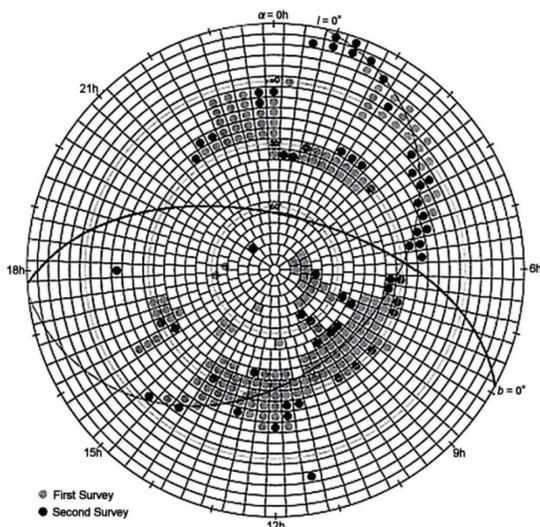


図 1. 木曾観測天域図

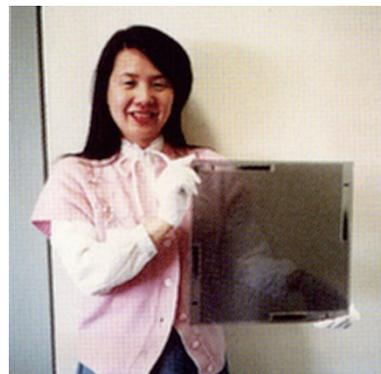
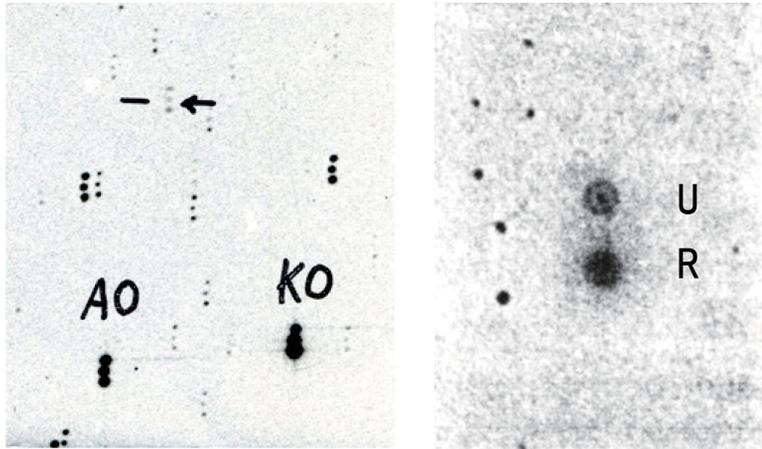


図 2. KUG サーベイ乾板を手にする筆者



NGC7742(目玉焼き銀河)

図3. 三点または二点像の写っている乾板の写真

これらの探査方法の中で、他のシュミット望遠鏡にない木曾の特徴として、一枚の乾板に写すためのフィルター交換は望遠鏡を動かさずに自動でできること、および、シュミット補正板は紫外線を透過するUBK7という材質であること、などです。また広視野のため多くの基準星が撮影され位置の決定精度が高い、ということもあります。

この観測は観測時間も長く大変でしたが、上手に撮れた時はほっとしたものでした。観測後に乾板を割ってしまうようなミスはありませんでしたが、増感をした乾板を装填中に割ってしまったこともありました。

カタログの作成に関しては、次のような整約を行いました：

- 1) 比較的明るい KUG サンプルについて、岡山 188 cmでの個別詳細観測を行う。
- 2) また Cassegrain II で 40 個の KUG サンプルのスペクトルを撮影。
- 3) 補充資料として POSS (パロマーシュミットの掃天写真) の引き伸ばしを加え、142 個の KUG を対象に形態分類型を設定し、形態分類をする。
- 4) UGR(または UR)の 3 点 (2 点) 像写真の相対的な黒みの違いから、紫外超過度を H,M,L の 3 段階に分類する。

この他にサイズ、等級、他のカタログとのクロスレファレンス等の諸データをリストしてカタログを作りました。これには KUG の観測用案内星図も付

けました。このカタログは 1984 年から 1993 年まで、高瀬・宮内で 10 天域ごとに 17 巻発行、18 巻は 1 から 17 巻をまとめて、170 天域、探査総数は 8,104 個になりました。ここでは私は主に位置測定・計算、観測用案内星図作りを担当していました。このカタログ作りで同定のノウハウを学び、高瀬先生の退官後、國學院大学に移られてからも一緒に 10 年間続けました。

その後、当時岡山天体物理観測所に移られていた前原英夫氏の協力と助言をいただき 1998 年から 2006 年まで、観測したすべての乾板を使って 6 巻のカタログを発行。62 天域、探査総数 1,986 個の紫外超過銀河を同定しました。その後、一橋大学名誉教授・中嶋浩一氏のご協力により宮内・前原での 6 巻分のカタログは KUG の位置情報を 2000.0 分点と 1950.0 分点を併記して、総合カタログとして宮内・前原・中嶋で 2010 年発行しました。この KUG カタログは写真乾板による最後のカタログです。

私にとっては、このサーベイは国立天文台を定年退職するまでの約 30 年にわたる仕事となり、よい記念となりました。今でも機会あるごとに中嶋氏と共に、SDSS などの最新の観測結果との比較検討を行い、より良いカタログに更新しています。

B. Takase and N. Miyachi-Isobe

Table I-2a. List of KUGs (A0035)

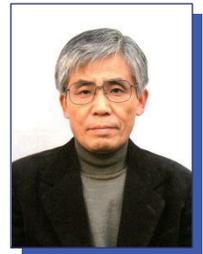
NO.	KUG-NAME	R.A. (1950.0)	DEC.	MOR. TYPE	APP. SIZE	APP. MAG.	UVX DEG.	OTHER NAME(S)
1	0621+743	6 21 29.8	74 19 54	Sp	1.8X1.1	15.0	M	U3460,MK4
2	0625+744	6 25 3.9	74 27 57	Sk	1.7X1.5	14.9	L	U3471
3	0635+756	6 35 24.4	75 40 19	Ig	0.7X0.3	17	H	MK5
4	0642+728	6 42 0.0	72 48 32	Sp:	1.3X0.3	15.7	L	U3527
5	0642+738	6 42 0.0	73 49 0	Sp:	0.3X0.2	16.5:	M	
6	0645+744	6 45 44.0	74 29 10	Sk	0.6X0.4	14.8	L	U3547,I450,MK6
7	0646+774	6 46 0.7	77 28 10	Sk	1.1X0.9	14.8	L	U3548,MK701
8	0654+761	6 54 51.4	76 10 57	?	0.4X0.3	17:	L	
9	0707+756	7 7 24.6	75 40 6	Ig	0.7X0.3	16	M	M+12-7-34
10	0709+729	7 9 50.3	72 56 6	Sk:	0.4X0.2	16.5:	M	
11	0710+741	7 10 53.7	74 6 1	C	0.3X0.3	16	H	MK377
12	0711+759	7 11 44.3	75 57 22	Sk	0.8X0.3	15.7	L	U3762
13	0713+745	7 13 29.4	74 33 27	C	0.2X0.2	17	H	MK380
14	0722+726	7 22 19.4	72 40 34	Ic	0.8X0.4	13.9	H	U3838,V141A,MK7,72153
15	0723+722	7 23 39.9	72 14 2	Ic	0.8X0.6	13.8	H	U3852,MK8
16	0725+726	7 25 5.6	72 37 19	Sp	0.9X0.7	15.0	H	U3864,V141
17	0727+755	7 27 52.1	75 35 28	Sp	0.6X0.3	15.6	M	Z349,006
18	0730+745A	7 30 22.6	74 33 25	Pf	0.7X0.3	14.8	H	U3906
19	0730+745B	7 30 27.7	74 33 56	Pf	0.9X0.3	14.8	M	Z350,044
20	0730+741	7 30 38.0	74 6 24	Sk:	0.6X0.3	15.5	L	Z331,004
21	0730+738	7 30 52.3	73 49 27	Sk	2.5X0.3	14.9	L	U3909
22	0738+756	7 38 18.6	75 36 16	?	0.3X0.2	16:	M	

表 1. カタログの一部

炭素星サーベイ

～ 対物プリズムはかく使われた ～

前原 英夫 (元国立天文台 岡山天体物理観測所 所長)



木曾シュミットには当初から二つの対物プリズムが装備されていた。BK7 (クラウン) ガラスの頂角 2° のプリズムと、F2 (フリント) ガラスの頂角 4° プリズムである。これらの仕様の概要を下表にまとめておくが、広視野で多数の天体のスペクトルを 14 インチの大型写真乾板に撮影できる強力な武器であった。これらの対物プリズムは、木曾で分光観測が可能な装置として種々の使われ方が考えられた。もちろん以下に述べるようにスペクトル型の分類に多用されたが、波長の基準を定めて視線速度を求めることについても可能性が追及された。一例として、前原&山下 (東京天文台報第 18 巻 p153) による大気のアバンドを基準とするための方法がある。

なお、近年では検出器として写真乾板でなく、

CCD カメラを用いて分光観測に使われることもあり、銀河学校などでスペクトルの基本を学ぶにも適切な装置として使用されているようである。ただ、分散方向を変えるための回転装置の金枠を含めた大きさは、「プリズム」と呼ぶにはあまりに大きく重い。望遠鏡への着脱・交換も、クレーンを使って数人で行う作業となる。

対物プリズム	頂角	材質	分散(@ Hy/A band)
1	2°	BK7	800/3800 Å/mm
2	4°	F2	170/1000 Å/mm

私たちはこれらの装置を用いて多種の天体の分光観測に挑んだ。 2° プリズムは低分散であるが限界等級が深く、微光天体のスペクトルが得られる。マルカリアンらが青い銀河を見つけるために用いた方法は木曾でも有効であり、代表的な研究課題としては、寿岳らによる「クエーサー、微光輝線天体のサーベイ」が挙げられる。主に高銀緯の天域を広くサーベイすることを狙ったものの、天候や限界等級等に手こずり、カタログとしてはまとめられなかった。

他方、 4° プリズムは恒星の分光観測に多用され

た。フリントガラスの屈折率の非一様性のためにハルトマン値が 0.70 とやや大きく、限界等級が期待まで深くならなかったものの、ハーバード分類が可能な分散であり、多数のテーマで恒星のスペクトル分類等に使用された。特に、石田を中心としたグループは主に銀河面近くの多数のM型星のサーベイとスペクトル分類を実施し、銀河系の構造について新たな知見をえた (Ishida,1984)。また、輝線を有する恒星のサーベイ (Maehara,1982) や、田村らによる惑星状星雲の分光診断も行われた。

表記のプロジェクトは征矢野と行ったものであり、木曾シュミットの 4° プリズム+IN 乾板を用いて、赤～近赤外 (660～880nm) 域波長のサーベイとして進めた。この波長域の炭素星は地球大気のアバンドの先にシアン分子による吸収帯が並んでいて、検出のよい目印になる。また、その天球上の位置と実視波長域の明るさをえるために、Vバンドの直接撮像も行った。サーベイ対象天域としては；銀河面に沿った $\pm 5^\circ$ の範囲で、銀経 30° おきに合計7つの選択領域を設けた。検出の限界は、Iバンドでほぼ11等級までコンプリートと見積もられた。一例として、カシオペア領域で検出された炭素星のプロットを示す (図1)。

炭素星は進化の進んだ AGB 星であり、絶対等級が高く、M型星と共に星間吸収の小さい赤から赤外

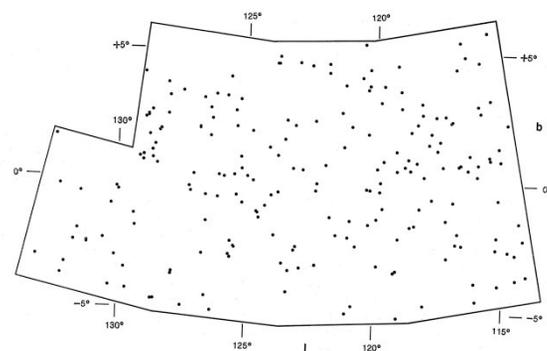


図1. カシオペア領域で検出された炭素星のプロット

域において特に明るい。この特徴を生かして、銀河面深くに分布する微光炭素星を検出し、これまでのサーベイで銀河面上の炭素星の銀経分布に大きな偏りがあるという結果を見直すデータとした。このカタログは、Maehara & Soyano, Soyano & Maehara により 7 領域を 7 つの論文として、Ann. Tokyo Astron. Obs., Second Ser., (1987 から 1999) に掲載した。

以下にこのサーベikatalogのまとめを示す。私たちはこのサーベイにより合計 1,069 個の炭素星を検出し、その座標、V等級、ファインディング・チャートを与えた。また、検出された炭素星について、Stephenson(1973, 1989)の炭素星総合カタログと同一定を行い、合計 314 個の新発見の炭素星が含まれていることが分かった。(表 1)

このサーベイにより、銀河系中の低温度炭素星のより深い分布が議論された。銀緯に対する数密度の平均的な分布は、銀河面付近で 0.85 星/平方度で、銀緯±5° でほぼ半減する。より微光の星を含めると、Blanco(1965)の示した銀経分布よりも、ずっと滑らかになった。また、カシオペア座領域の炭素星については C 分類型を求めた。その頻度分布を図 2 に示すが、このサーベイでは主に晩期型の炭素星を見つけていることがわかる。ただ、真の空間分布を求めるためには星間吸収を補正しなければならず、

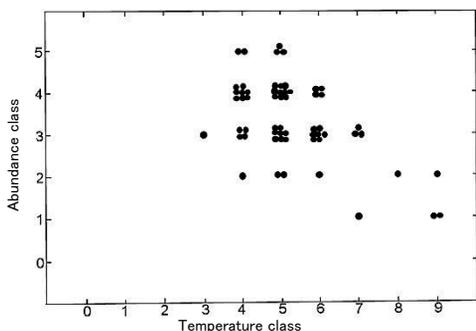


図 2. カシオペア座領域の炭素星の C 分類型で求めた頻度分布図

カタログ No.(論文番号)	天 域	銀 経	サーベイ(平方度)	検出星数	新発見数
1	カシオペア	120°	180	210	98
2	反中心	180°	200	125	21
3	はくちょう	90°	240	128	51
4	へび・わし・たて	30°	240	60	20
5	ペルセウス・きりん	150°	235	226	13
6	いっかくじゅう	210°	235	135	46
7	こぎつね	60°	230	185	65

表 1. 炭素星サーベイのカタログリスト

このサーベイだけでは無理で、赤外波長域の観測を待つこととなった。

炭素星は銀河系およびマゼラン雲や近傍矮小銀河において、プローブとして現在も重要な存在である。また、M 型星のような銀河系の外縁部に存在する顕著な天体や、クエーサー等の宇宙の果てにある天体の対物プリズムサーベイは、銀河系の構造や宇宙の進化に直結する成果をもたらしてきた。かつて CCD のような高感度の検出器がない中で、これらの対物プリズムサーベイは限界等級の壁に阻まれて、遠くの微光天体にまでは到達できなかった。しかしながら、木曾シュミットで実施されたこれらの探査は現在の深い検出の端緒をなした成果として、その存在意義は消えることはないと思われる。

References

- Blanco, (1965)
 Maehara, H., Contr. Bosscha Obs., No.71.
 Ishida, K. Space Distribution of red Giants and the Galactic Structure, in *Proc. IAU Coll. No. 78*, 257, 1984.
 Maehara, H. & Soyano, T., Ann. Tokyo Astron. Obs., Second Ser., Vol. 21, p. 293 – 310, 1987. (Paper I)
 Maehara, H. & Soyano, T., *ibid* Vol. 21, p. 423 – 435, 1987. (Paper II)
 Maehara, H. & Soyano, T., *ibid* Vol. 22, p. 59 – 71, 1988. (Paper III)
 Maehara, H. & Soyano, T., Publ. Natl. Astron. Obs. Jpn., Vol. 1, p. 207 - 215, 1990. (Paper IV)
 Soyano, T. & Maehara, H. *ibid* Vol. 2, p. 203 – 223, 1991. (Paper V)
 Soyano, T. & Maehara, H. *ibid* Vol. 3, p. 259 – 274, 1993. (Paper VI)
 Soyano, T. & Maehara, H. *ibid* Vol. 5, p. 149 – 166, 1999. (Paper VII)
 Stephenson, C. E., (1973, 1989)
 前原 & 山下, 東京天文台報第 18 巻 p153 – 161, 1977.

スターカウントによる銀河構造の解析

～ 20世紀スターカウント研究に果たした
木曾シュミットの役割 ～

山縣 朋彦 (文教大学教育学部)



天球上の様々な方向の星の数を調べて、銀河系の立体構造を調べる手法、即ちスターカウントの方法は、古くは18世紀のハーシェルにまで遡る。この方法は、いわば森の中で、周囲の木を観察して、森林の全体構造を推定するようなものと考えれば良い。手元に対象物を置いて実験ができない天文学の典型的な手法とも言えるかもしれない。統計的手法であるために、測光精度は元より、局所的な分布の揺らぎや統計誤差を小さくするためにも、観測領域はある程度の広さと深さが必要になるので、データを得るのにはかなりの労力を要する。また、その解析にも複雑な手順が必要となり、処理にも多大な労力を要する問題である。従って、近代的な観測解析手法が確立するまでは、事実上不可能であった。

それに対する一代転機は、1980年代にやってきた。データに関しては、木曾観測所を初めとする、広視野のシュミットカメラで撮ったアナログデータに対して、この頃になってようやく、乾板測定装置によって、デジタル化し、コンピュータ処理できるようになったことがある。これによって、スターカウントによる銀河解析が本格的にスタートしたと言っても良いであろう。

一方理論的な進展としては、1980年のBahcall and Soneiraの銀河モデルがある。彼らは、銀河をディスクとハローの2成分で表現し、天球上の様々な方向での等級と色の分布、即ちスターカウントデータを再現した。これに対して、Yoshii(1982)は北銀極(NGP)のデータを使って、銀河の北方向の垂直密度分布を調べて、ディスク成分とハロー成分の中間的な成分が存在することを発見した。一方、Gilmore and Reid(1983)も、南銀極(SGP)のデータを元に、SGPの垂直方向の密度分布にも同じものが存在することを確認し、thick diskと名付けた。ここで、大変残念であったのは、Yoshii(1982)が中間成分に明確な名前

を付けなかったことで、多くの人が今でも、thick diskの最初の同定者と名付け親とを混同していることである。

この頃までの解析では、使用しているデータは一部を除いて、観測領域が小さいか、測光精度があまり良くない限定的なデータを使っての解析であり、精度の点では、スターカウント解析として決定的な説得力を感じるものでは無かったと思っている。

Bahcall and Soneira(1984)は、thick diskの存在を批判するべく、5領域のデータを利用して彼らのdisk+haloの2成分モデルによるモデル解析を行っている。ここで使用された5領域のデータはSGP以外はそもそも観測領域も狭く測光精度にも限界があり、thick disk検出のためのモデル解析には精度上の困難があると考えられる。もっとも、彼らのthick disk否定の結論にもかかわらず、今になって、彼らの解析結果の図を見直してみると、むしろthick diskの存在を素直に受け入れて解釈の方が自然であることに気づくことができる。

スターカウント解析に安心して利用できる10平方度以上の観測領域の広さと十分なUBVの測光精度を持つデータの供給は、実際問題としては、銀河の南半球のデータをオーストラリア、サイディングスプリングのUKシュミットが、北半球のデータを日本の木曾シュミットが行ったと言うことは特筆すべき事実であると考えられる。

イギリスエジンバラ天文台では、UKシュミットのプレートをデジタル化する事を1つの目的として、COSMOSと呼ばれるプレート測定画像解析システムを構築していた。COSMOSは測定装置だけでなく、ある程度の画像解析も行うシステムであり、人も含めたチームとして総合的に動くものとなっていて、スターカウントを初めとして、星や銀河の測光データ解析についても数々の成果を出している。SGP

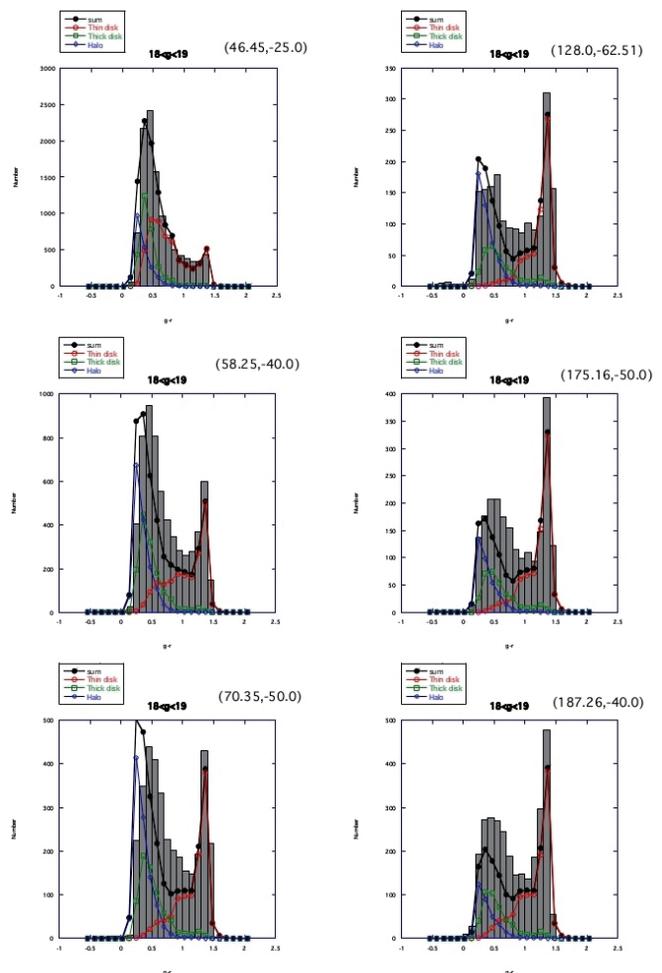
Bahcall and Soneira(1980)(thick disk を含まない2成分モデル) に相当するような3成分解析モデルを構築しなかったためであると想像される。ところが、我々日本グループは Yoshii et al.(1987)以来、thick disk を含む3成分のモデルコードを持っていたので、thin disk, thick disk, halo の3成分を仮定した、初の総合的な銀河3次元構造解析が可能となったのである。

その解析結果は表(論文中の Table5)に示したとおりである。銀河が回転対称であるという仮定はあるものの、当時得られているスターカウントデータを総合的に利用して、上下方向と半径方向の統一的な銀河モデルを提示している。これは、結果的には、写真乾板時代のスターカウント解析の集大成となり、その後、関連する仕事には常に引用されるものとなっている。

スターカウント解析の次のステージは21世紀になってやってきた。それは、Chen et al.(2001)や Juric et al.(2008)等による、SDSS の BigData とも言うべき圧倒的なスターカウントデータの出現である。詳細な説明はここでは述べないが、圧倒的なデータ量により、主として、主系列星による測光視差によって密度分布を出すことに主眼がある。従って、これらのデータには、まだ詳細なモデル解析を行う余地が残されており、例えば substructure を初めとして、ディスク flair 他の微細成分の解析が、まだ可能なのでは無いかと考えられる。

最後に、私事ではあるが、一つの個人的なエピソードを紹介する。数年前に一般学生相手に天文学全般の講義をする必要があり、そのために銀河構造のパラメータをある(権威ある)一般教科書で確認していた。そこに、銀河の中での太陽系の場所の記述が有り、その値として、銀河中心から銀河面に沿って8 kpc、銀河面から北へ40pc という数値が、特に何の根拠も示さずに記載されていた。これを見て、かつて北40pc という数値をスターカウント解析で出した本人としては、やや不思議な感覚に襲われた。それと同時に、木曾シュミットの観測データを使って解析した結果が、教科書に根拠を示さずに当然の値として載っていることにやや驚いたことを憶えている。もっとも、この数値は私の意識では上限に近い値で、我々の求めた値は、ある仮定を伴う値であ

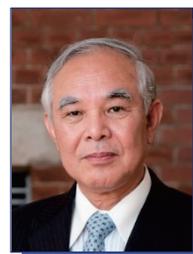
る。一般的に、モデル解析をすると、パラメータ同士は必ずしも独立にはならずに関連があることが多い。北40pc という我々の結論は thin disk の scale height と関連があり、当時仮定した thin disk の値に対応して出てきたものである。もしかしたら、どこか自分の気がついていないところで、他に何らかの別の根拠があるのではないかとも思った。その時、さらに調べて分かった一般教科書の記述の根拠(と思われるもの)は、天文学の標準的なデータ集である Allen's Astrophysical Quantities fourth edition(2000)の481ページである事が分かった。そこには北40pc という値の根拠に、Yamagata and Yoshii(1992)が記載されていたのである。何か面映ゆい感覚におそわれた瞬間であった。



銀河の表面測光と天体画像処理システム

～ 木曾の銀河表面測光が世界に羽ばたいた日 ～

岡村 定矩 (法政大学理工学部創生科学科)



私は木曾観測所の初代所長となった高瀬文志郎教授の下で学位論文を書いた。そのタイトルは「電子計算機による銀河の表面測光」である。高瀬先生は日本における銀河の観測研究の草分けの一人で、岡山の 74 吋で銀河の写真を撮影し、輝度分布の法則性を調べて銀河の距離を決定することを計画していた。しかし当時の状況はなかなか悲惨であった。1971 年 12 月に開かれた「観測天文学シンポジウム」で「岡山 74 インチ鏡による galaxies の観測」をレビューした京都大学の太田浩氏は以下のように述べている。『74 吋が建設されて 10 年のあいだに、銀河系外天体の観測は 16 テーマにおよんでいる。(中略) これらの観測のうち、1965 年以前の観測は全て中止されたか現在中断されているし、これまでに完了したものはごくわずかである (中略)。何故に研究が中止され、あるいは完了に時間を要するかを考えるのがこの小論の目的である。』その理由は、『測定装置の貧弱さやデータ解析の方法論が確立していない』ことであった。

学位論文で銀河の表面測光のデータ解析手法をほぼ確立させた私は、1978 年に助手として意気揚々と木曾観測所に赴任した。高瀬教授やこの分野に関心を持ち始めた東大の小平桂一助教授らと「銀河の定量解析」という戦略の中でさまざまなテーマの研究に取り組んだ。幸いなことに、私は 1981-1982 年にかけて、ブリティッシュ・カウンシルの奨学金を得てエジンバラ王立天文台 (ROE) に留学することができた。ROE はオーストラリアにある UK シュミット望遠鏡の運営本部でもあった。そこで見た天体画像処理システムに私は驚きとともに深い感銘を受けた。英国では、高性能画像表示装置を備えた 6 つの会話型計算機システムのネットワークである STARLINK が 1980 年から動き始めていた。ROE

はそのノードの一つであった。方法論は確立しても実際のデータ解析の効率は芳しくなかった日本の状況と比べると別世界に思えた。日本でもこのようなシステムを作らなければ世界に太刀打ちできない。



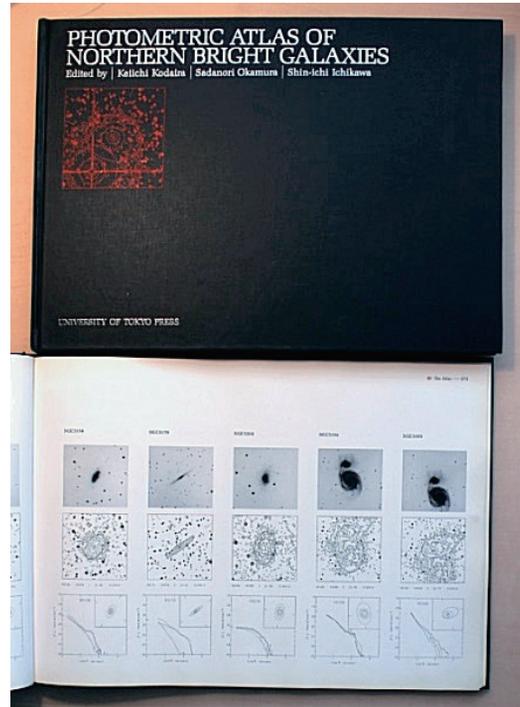
ROE の画像処理システム。中央は Simon Lilly

それを痛感した私は帰国後ことある毎にその必要性を説いた。

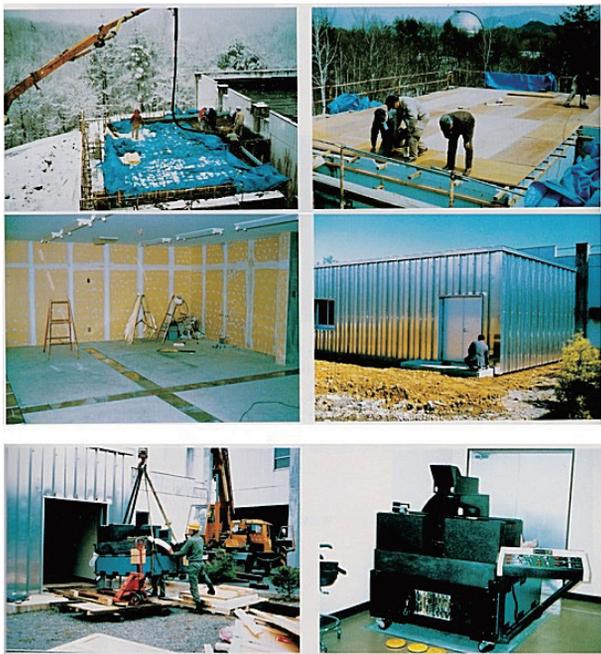
そのころまでには、木曾の銀河表面測光は世界的にも一定の評価を得ていた。その極めつけは、1984 年に ESO で開催された「Virgo Clusters of Galaxies」というワークショップである。ここで Sandage が、おとめ座銀河団のラス・カンパナスサーベイの結果を初めて公表した。私は小平先生と東大の渡辺正明君、市川伸一君らと木曾シュミット乾板で行ったおとめ座銀河団の研究結果を報告した。一部は岐阜大学の若松謙一氏がラス・カンパナスで撮影した写真乾板を用いたが、測定と解析はすべて木曾で行ったものである。二つの独立な研究が全く同じ重要な結果 (矮小銀河の面輝度分布が指数関数的である) を得たことと、表面測光にはそれほど実績のなかった Sandage が木曾の表面測光との合致を彼等の結果の信頼性の根拠としたことで、我々の論文はこの研究会で最も多く引用された報告の一つ

となった。

そのころ科学研究費に特別推進研究という新たな大型種目ができ、小平先生と二人でこれに申請した「新定量解析法による銀河構造決定要因の解明」が採択され、1984-89の5年間にわたり、通称「大規模サンプル」と呼ばれた研究プロジェクトが木曾で実施された。これは、13等級より明るい銀河で北天にあるもののほぼすべてを木曾シュミットで撮影し、均質な表面測光のデータベースを作って、銀河構造の決定要因を探るほか、さまざまな研究の基礎データとして提供することを目的としていた。研究遂行のために、私の切望していた天体画像処理システムとPDS2020GMSという大型写真乾板用の高性能測定機が導入された。画像処理システムのためのソフトウェアSPIRALの開発は濱部勝氏による稿に詳しく書かれている。



「大規模サンプル」による銀河測光アトラス



画像処理室の新設とPDS2020GMSの搬入

この大規模サンプルプロジェクトの遂行には木曾スタッフ全員が協力したことはもとより、東大の大学院生、国立天文台の関係者、さらに木曾に滞在していた外国人客員研究員からも多大な協力を得た。こうして、木曾の銀河表面測光が世界に羽ばたく準備が完成した頃に、皮肉なことに可視光天文学の検出器は写真からCCDへと世代交代し始めていた。視野の狭い個別天体の観測ではすでに、1970年代の

終わりからCCDへの移行が始まっていたが、最後まで生き延びた広視野のシュミット乾板も2000年頃には完全に表舞台から消えた。この流れの中で木曾も写真からCCDや近赤外カメラへと重点を移してゆくが、それについては別途述べられている。

大規模サンプルを中心とする木曾の銀河表面測光プロジェクトではソフト開発に多大の労力がつぎ込まれ、貴重な経験となった。濱部氏の稿にあるが、SPIRALは当時の状況を反映して、岡山で使われていたCCDによる直接画像とスペクトル画像にも対応できるように開発された。このため岡山の観測データを処理するために木曾に滞在する研究者もあった。また、SPIRALとは別系統で、より暗い銀河の自動検出と簡易測光を行うソフトも東大の山縣朋彦君、土居守君らによって作られた。これらの蓄積は、その後天文台の関口真木君と木曾で始めたモザイクCCDカメラ(柏川伸成氏の稿)のデータ処理ソフトの開発に引き継がれた。スローン・デジタル・スカイサーベイのソフトにもなにかの貢献ができたが、最終的にはそれらはすばる望遠鏡のSuprime-Camのデータ解析ソフトへと発展したのである。

SPIRAL ソフト開発

～ 画期的な銀河表面測光解析ソフト ～

濱部 勝 (日本女子大学理学部)



SPIRAL の名は Surface Photometry Interactive Reduction and Analysis Library の略として付けられた。語呂合わせは私が考えて、岡村定矩氏に修正していただいた記憶がある。その名が示すように銀河の表面測光データ処理ソフトウェアである。

最初の SPIRAL は 1984 年に小平桂一氏を代表者とする科研費特別推進研究「新定量解析法に基づく銀河構造決定要因の解明」の援助により木曾観測所に導入された高速画像処理システムの一部として構築された。そのハードウェアはスーパーミニコン FACOM S-3500 にイメージディスプレイ、グラフィックディスプレイ、X-Y プロッタといった当時最新鋭の画像出力機器を加えたものであった。

高速画像処理システムは、観測所のプロジェクトとして、岡村定矩氏をリーダーに、私および渡辺正明、市川伸一の両氏らで開発を進めた。開発にあたっては以下を基本方針とした。

(1) ドキュメンテーションの重視。

複数の人間で開発・保守をしていくためには、解説文書やソフトの改良点等の履歴の保持が重要である。それらを統一書式でソフトの中に残した。

(2) ソフトのモジュール化。

効率よい開発のためにライブラリの整備を先行して行った。これにより、場合によってはライブラリルーチンの組合せで容易にソフトが作成できた。

(3) データ形式の統一。

まだ FITS が十分に普及していない時期でもあり、また使用計算機との親和性も考えて独自のデータ形式を決めたが、天体の情報や観測条件だけではなくデータ処理の履歴も残せるものを考案し採用した。以上の方針は現在でも色褪せないものである。

SPIRAL は 1 年余りをかけてほぼ完成に至ったと記憶しているが、上に書いた開発方針の他に、作業領域の確保を自動化したこと、対話処理を採用した

ことなどからも大変使い勝手の良いものとなった。また、グラフィックディスプレイ等で処理結果を即座に目視で確認しながら処理解析を進めることは木曾観測所以外では困難だったため、一時は天文画像処理を行うなら木曾観測所でのというのがほぼ当然のようになっていたと思う。

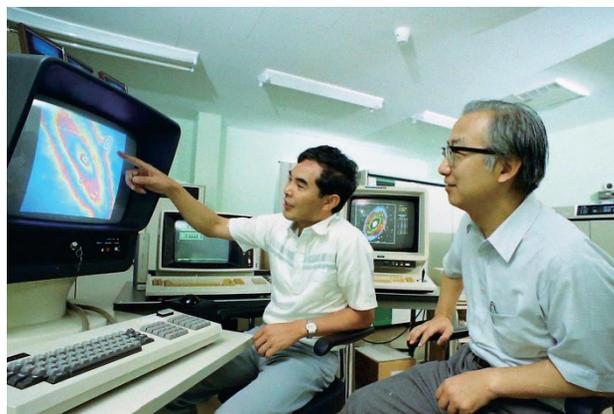


図1. S-3500 上の SPIRAL による処理結果をイメージディスプレイで確認する岡村氏と故石田蕙一氏

5 年間続いた特別推進研究が終わるまでには日本の光学観測天文学も新しい流れに乗り始めていた。最初は CCD の登場である。SPIRAL の開発を始めた当時はまだ写真による撮像観測が盛んであり、SPIRAL も写真データの処理解析を主たる目的としていたが、SPIRAL の完成と前後して岡山天体物理観測所に RCA の CCD が導入され、SPIRAL も次第に CCD へ対応するようになった。

1980 年代末になると米国国立光学天文台を中心に開発された汎用天文画像処理システム IRAF が話題になり始め、その利用のためのハードウェアとしての Sun Microsystems のワークステーションが日本の主な研究機関に導入された。IRAF が登場するまでは、結果を画面で逐一チェックしながら画像処理を進めるようなことは木曾観測所においてしかできなかったのだが、原理的には Sun のワークステー

ションで IRAF を使えば木曾のシステムを使用するのと同様な解析処理ができるようになったのである。1990 年には木曾観測所にも Sun のワークステーションが導入された。IRAF の導入と普及については IRAF 担当者会、のちの天文情報処理研究会 (JAIPA) が大きな役割を果たした。

Sun と IRAF のシステムは比較的コンパクトな構成の機器で画像処理を可能にしたが、IRAF のタスクだけでは銀河の画像処理には不十分であることもわかった。そこで 1990 年には SPIRAL を IRAF のアドオンパッケージとして Sun へ移植する作業が JAIPA の支援のもとに開始された。移植作業には私の他に青木哲郎、綾仁一哉、市川伸一、洞口俊博、吉田重臣の各氏などが携わった。移植に際してもまずは S-3500 のライブラリが移植された。

画像形式は IRAF の IMFORT ライブラリの採用で FITS 形式を使えるようになったが、作図、描画のルーチンの移植は容易ではなかった。これらについては Lick 版 MONGO や市川隆氏のライブラリなどを利用することにより 1992 年には Sun 版の SPIRAL がほぼ完成し、IRAF の一部として使用可能になっている。かつて木曾観測所でしか行えなかったデータ処理がどこでもできるようになったのである (図 2)。

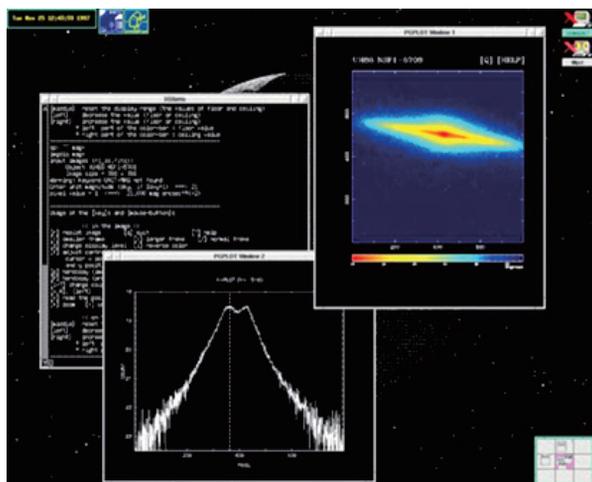


図 2. Sun 版の SPIRAL を使用中の画面

その後 SPIRAL を開発したメンバーも、それぞれが異なる場所で活躍するようになった。1990 年代の終わりころからは、私が細々と開発保守を続けている。現在の最新版の SPIRAL は、もはやワークステーションではなく PC をメインのプラットフォームと

し、Linux や Windows 上の Cygwin の環境のもとの使用を前提としている。データの形式としては標準的な FITS を想定し、入出力ルーチンも FITSIO を利用している。また、線画の作図および画像の画面出力には PGLOT を採用した。



図 3. KWFC で撮影した M42 のデータ 3 色 25 ショット分を IRAF と最新版の SPIRAL で処理し、三色合成した画像

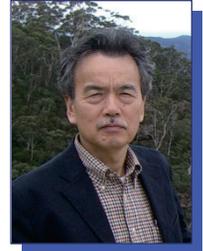
2001 年に私が日本女子大に移って以降は、卒業研究のテーマの一部として学生の力を借りつつ、私がほぼ一人で保守開発を続けている。以前に比べて天文学の手法としての表面測光は盛んでなくなっており、SPIRAL の最大の用途は学生の観測実習になっているが、現在の SPIRAL はすばる望遠鏡の SuprimeCam のデータはもちろん、木曾の CCD カメラにも対応して来ている。たとえば KWFC のデータの 1 次処理は、PC の能力にもよるが、一晩分の撮像データなら 30 分程度で効率よく処理できるようになっている。IRAF と SPIRAL および自作のプログラムを用いて KWFC のデータを処理した結果の一例を図 3 に示した。

最初に S-3500 版 SPIRAL の開発がはじめられてからすでに 30 年が経ち、当時の記憶も薄れつつある。シンポジウムや研究会の集録等をひっくり返しながらかこの文を書いたが、書き落としや誤りも多いとは思う。しかし、改めて SPIRAL の先進性を感じたのも事実である。

KONIC (Kiso Observatory Near-Infrared Camera)

～ 研究人生のルーツ ～

市川 隆 (東北大学理学研究科 天文学専攻)



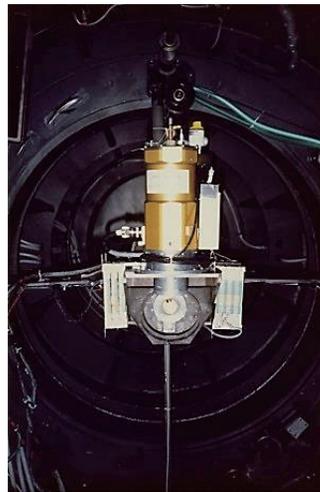
40年前、木曾観測所で105cmシュミット望遠鏡による観測が始まった頃、京都大学の大宇陀観測所で40cmシュミット望遠鏡を組み上げていた。大宇陀での観測で1982年に学位を取ってからは、時々木曾観測所に滞在して研究をさせてもらっていたが、アルバイトに明け暮れるにつれて、だんだん疎遠になっていった。ようやく1989年に一橋大学に職を得た。その頃、木曾の写真乾板を使ったハッブル定数の研究を進めていたので、頻りに木曾観測所に観測に通い、乾板をPDSで測定し、銀河の解析を行っていた。

一方、大宇陀観測所では写真乾板のIバンドで観測していたこともあって、一橋大学に移る頃、今後は赤外線による銀河の広視野観測が重要になるだろうと考えていた。当時は単素子のInSb赤外線センサーを使って、銀河を丹念にスキャン観測していた時代である。そんな折り、京都大学の上野宗孝さん(現JAXA)が国産の大型赤外線検出器を使って、自前の赤外線カメラを開発したというニュースが入ってきた。上野さんは佐藤修二先生の下、国立天文台でカメラを開発していた。一橋大からは車ですぐの所ということもあって、その大きな可能性を感じ、早速、その門をたたき、まだ大学院生だった上野さんに弟子入りした。センサーは三菱電気の開発した 512×512 PtSiで、感度は写真乾板並だが、 $5\mu\text{m}$ まで感度があり、当時としては 62×58 InSbの遙か上を行く世界最大の赤外線センサーであった。赤外線カメラのイロハを学び、口径10cmの単レンズを使って、野辺山のレタス畑でアンドロメダ銀河の世界初の赤外線観測も行った。その後はハワイで25cm望遠鏡による銀河中心の赤外線観測などを通じて観測手法についてもいろいろ学んだ。

このカメラを何とか国内で使えないかと、木曾シュミット望遠鏡に取り付けることを考えた。赤外線

でびかぴか光っている可視光の望遠鏡に赤外線カメラを取り付けなど、とんでもないことである。しかし口径比が小さいので、銀河の広視野観測には最適である。そうこうしている内に、1991年に木曾観測所の助手として転任することになり、早速、上野カメラの本格的運用を考えた。この時、木曾観測所ではCCDカメラの開発が進んでおり、これに参加することもできたが、すでに基本的な開発は済んでおり、また、技官が3人携わっていたので、私の出番はなさそうであった。また共同利用の観測所に新しい研究の可能性を生み出すのは常駐研究者の義務と考えていた。木曾に来て最初の年、柳澤君(当時東京学芸大)が、その次の年に伊藤信成君が入学してきて私と一緒に赤外線カメラの開発をすることになった。一方で、ハッブル定数の研究のための写真乾板の解析も渡辺大君と続けていた。Kバンドはさすがに補正板からの赤外線放射がきつく、S/Nは大変低かったが、JとHではなんとか観測できそうなことがわかった。

まず、主焦点に上野カメラを取り付けて近傍銀河



の観測をはじめた(写真下)。カメラは液体窒素冷却だったので、数時間おきにシュミット望遠鏡内部に入って液体窒素を補充しなければならぬ。シュミット望遠鏡の中は密閉空間なので、搬入口は開けていたものの、

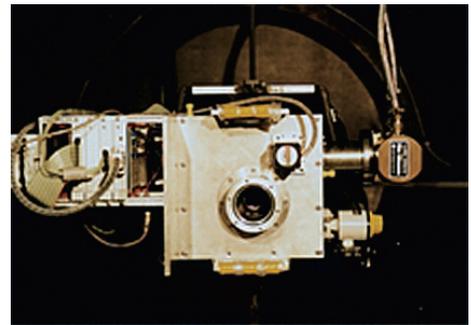
真夜中に補充することもあり、大変危険な作業だった。M82の観測などを行って、なんとか成果を上げることができたが、借り物ではない専用の装置で本

格的に赤外線観測を始めるため、新しい赤外線カメラ (KONIC, Kiso Observatory Near-Infrared Camera) の開発に挑戦することにした。当時、三菱電気では 1040×1040 PtSi を開発し、民生用への応用を検討しており、この検出器ならば世界の追随を許さない広視野赤外線カメラとなるはずである。感度は低くても良いサイエンスができるだろうと考えた。ただ、検出器を借りるに当たって、様々な問題に直面して、なかなか手元に届かなかった。そんな折、南アフリカ天文台で同じ検出器を使ったカメラが完成し、完全に先をこされてしまった。日本の検出器でありながら、外国のグループに先を越されたことは大変ショックであった。

当時、写真乾板を使ってハッブル定数を求める研究をしていたが、赤外線観測すれば、誤差の少ないハッブル定数が求まるのではないかと考え、近傍銀河の赤外線観測サーベイを計画して、カメラの開発を始めた。自分で開発した装置で研究するのは何とも楽しいものである。一方、同じ頃、国立天文台では 2 グループが 256×256 HgCdTe 検出器を使った赤外線カメラの開発を始めていた。木曾のグループは全員、赤外線カメラには全くの素人だったので、手探りであった。三鷹の専門家からの冷ややかな目を気にしながらの開発であった。カメラに冷凍機を使うのも私たちが初めてであった。ヘリウムガス配管を主焦点から観測室フロアまで 23m 引くための工事は大変危険な作業であった。望遠鏡のホークの上に命綱なしで登り、ドリルで望遠鏡ホークに穴をあけ、タップを立ててケーブルをネジ止め固定する作業はヒアヒアであった。よくも落下せずに済んだものである。クライオスタットは伊藤君が修士論文として設計した(この修士論文は今でも東北大で私のグループの教科書として使っている)。電気系は私たちの手に負えなかったので、柳澤君が片ざさんを始め、開発に長けた方々の協力を得て三鷹で開発を進めた。1996 年 4 月、東北大学に移る約半年前によく KONIC は一般公開された(写真右)。転勤後は柳澤君と伊藤君に任せっぱなしになり、その後、渡辺君たちが私の当初の目的であった乙女座銀河団の赤外線観測によるハッブル定数の研究で成果を上げてもらったのが救いであった。しかし、天

文学の発展は早く、この頃には 1024×1024 HgCdTe のカメラが外国で動き始めており、感度の低い KONIC は太刀打ちできなくなっていた。

何よりも楽しかったのは、もとより物作りが好きだったので、ドーム地下



室にある工作機械を自由に使わせてもらったことである。今にして思えば、ずいぶん危険な使い方をしていたかと思うが、フライスと旋盤を心置きなく使うことができた。両方とも結構大きいので、赤外線カメラのたいていの部品を作ることも可能であった。もちろん、素人なので簡単なものしか作れないが、幸い、樽沢さんにいろいろ教わりながら、もの作りを楽しんだ。木曾観測所では勝手気ままにやらせてもらって大変感謝している。東北大学理学研究科には機器開発研修室という工場があって、大型の工作機械に混じって、小型の古い工作機械は学生や教員が自由に使えるようになっている。木曾での経験を踏まえて、この工場で私が部品を作っていると、もの珍しいそうに技官の方々が冷やかしながら私の危うい手先を見ていたものである。

木曾観測に勤務していたのはわずか 5 年半であるが、大変密度の高い充実した期間であった。その後のすばる望遠鏡の MOIRCS、南極赤外線望遠鏡の開発の出発点は木曾観測所での KONIC 開発である。全くゼロからの出発であったので、まさに KONIC は私の開発・研究人生のルーツである。また木曾の人々との交流は今でも大変貴重な財産として残っている。天文台の所員ばかりでなく、近所の建設会社社長さん、木曾御岳の宮司さん、木曾病院のお医者さん、酒造元などなど職種も様々だが、多くの方々と親しくしていただいた。人との出会いが最も多かった時期でもある。今でも木曾の皆さんと交流を続けている。

木曾観測所とはやぶさ

～ 小惑星探査候補天体の観測 ～

安部 正真 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)



私が初めて木曾観測所に訪れたのは 1993 年の 1 月である。当時はまだ小惑星探査は予算化前で、ワーキンググループでの検討により、(1943)Anteros, (4660)Nereus, 1989ML の 3 つが探査候補となり、これらの地上観測の必要性が謳われていた(渡部他 1992)。その中でも 1989ML は軌道が未確定であった。軌道が未確定とは、天体の位置予測誤差が大きいことであり、どんなに魅力的な天体であっても、探査機が軌道予測された場所に到達しても、小惑星その場所にはいない(つまり探査できない)可能性が高いことを意味する。これでは、大きな予算を用いる探査計画の本当の意味での候補天体にはなりえない。しかし、当時の日本のロケットの能力では、燃料消費が少なく到達できる小惑星をめざし、少しでも多くの観測機器が搭載できることが望まれた。1989ML は 3 つの候補天体の中では最も探査機が到達しやすく、燃料消費の観点からはもっとも魅力的な天体であることは間違いなく、再度検出して位置測定を行い、軌道を確定させることが必要とされていた。

この 1989ML は 1989 年 6 月に発見された天体で、同年 7 月までにわずか 8 つの位置観測が報告されているだけであり、次の会合周期であった 1992 年 11 月の位置予測誤差は大きいことが予想された。そこで渡部氏を中心に木曾の広視野を活かした写真乾板観測が計画され、その観測に私も参加させていただいたのである。

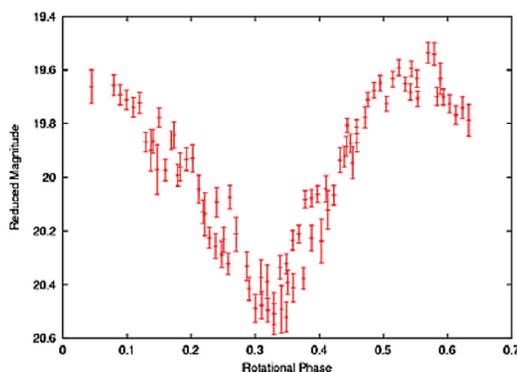
当時私は大学院博士課程の学生という身分で月の軌道や地球の自転進化の研究をしていたが、当時の指導教官である宇宙科学研究所の水谷氏の紹介で、

地上観測に参加する機会を得たのである。私の観測経験は少なく、同じく探査候補天体である Anteros の観測を岡山で行った程度であり、写真乾板での観測経験はなく、征矢野氏や樽沢氏にいろいろとご指導いただきながら一組の写真を現像し、探している移動天体が無いか、コンパレータを用いながら一生懸命探したのを記憶している。

残念ながら、我々の観測では 1989ML の再発見はできず、後に 1992WA として発見された天体が 1989ML と同一軌道の天体であることが確認され、10302 番という確定番号を得ることになった。後に確認したところ、我々が観測した予測位置から、写真乾板の視野サイズ以上ずれていたようである。

1994 年に宇宙科学研究所の助手として採用されてからは、藤原氏のもとで本格的に小惑星探査計画に関わるようになり、探査機搭載観測機器の開発も進めながら、探査候補天体の地上観測を中心に進めることとなった。木曾への公募課題についても 1994 年から「地球近傍小惑星の測光観測」という研究テーマで観測時間をいただき、1994 年と 1996 年には Anteros, 1996 年と 1999 年には 1989ML の観測を行い、小惑星の自転周期を推定した(Abe et al. 2000)。当時モザイク CCD の観測が行われており、105cm シュミットの集光力と広視野、CCD の感度を活かした移動天体探索は画期的であり、我々も探査候補天体観測中の視野の中に新小惑星発見をし、佐藤氏に位置測定を行っていただいた結果を MPC に報告した。その中のいくつかは命名権も取得し、(26877) Tokyogiants や(29328) Hanshintigers を提案させていただいたのは嬉しいことである。

日本の小惑星探査は 1994 年より実プロジェクトとして動きだした。プロジェクトスタート時の探査対象は Nereus であったが、1989ML の軌道が確定し 1989ML を探査対象に変え、2001 年の打ち上げを目指してプロジェクトが進められていた。しかし、2000 年の MV ロケット打ち上げ失敗により、2001 年の打ち上げ機会を逸することとなった。地球近傍小惑星は、探査機が探査しやすい軌道を持つ天体であるが、軌道長半径が地球に近いという理由から、会合周期は短くても 2 年で多くは 3 年以上である。そのため、ロケットの打ち上げのタイミングを逸すると、数年先まで打ち上げ機会が訪れない事態となった。そこで、急遽これまで見つかった小惑星の中から探査しやすい小惑星を探索したところ、(25143)1998SF36 が新しい候補として挙げられた。

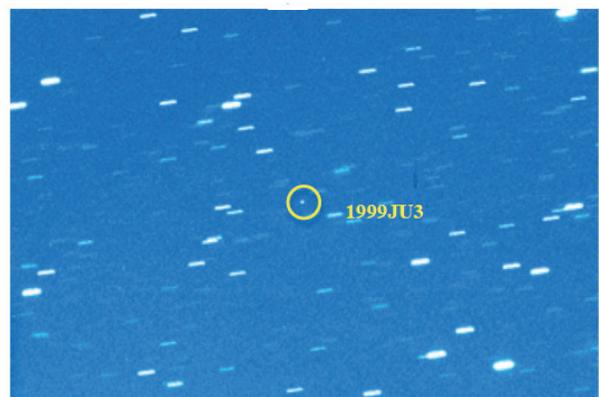


1998SF36 のライトカーブデータ

この小惑星も 1989ML と同じく、当初は軌道以外の情報がほとんどなく、世界中の研究者に協力を呼び掛けて、観測キャンペーンを行うこととなった。木曾観測所でも 2001 年 3 月と 8 月に観測時間をいただき、ライトカーブデータを取得した。ライトカーブデータは通常小惑星の自転周期を教えてくれるが、複数の観測時期に異なる方向から観測したライトカーブデータを用いることにより、小惑星の自転軸の向きや形を求めることができる。観測データは大場氏によりまとめられ(Ohba et al. 2003)、探査計画に大いに反映された。

以上のように、木曾観測所では複数の地球近傍小

惑星の測光観測を行ってきた。1999 年からは公募課題のタイトルを「日本の小惑星探査計画の探査候補天体の地上観測」と改め、観測好機を迎えた探査候補天体の多色測光観測とライトカーブデータ取得を精力的に行った。その結果は西原氏によってまとめられている(Nishihara 2005)。また、2003 年に無事はやぶさが打ちあがり、次の小惑星探査計画も 2006 年ごろから本格化した。我々はいち早くその候補天体である(162173)1999JU3 の地上観測を実施し、2007 年 9 月、11 月、2008 年 2 月に木曾観測所で観測時間をいただいている。その結果は川上氏によってまとめられている(Kawakami et al. 2010)。



はやぶさ 2 探査対象の 1999JU3

これまで、木曾では私も含め多くの研究者がはやぶさ、はやぶさ 2 計画に関連して、小惑星を観測する機会を与えていただいたことに感謝します。また職員の皆さんとのふれあいも来所する楽しみであったことを付け加えて筆を置くこととします。

彗星ダストトレイル観測

～ 道のりの起点 ～

猿楽 祐樹 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)



木曾観測所よりも若い世代に限れば、私は、木曾・上松地域を含め観測所ともっとも密につながっていると思う。2001年に学部4年生の実習(地惑)で初めて訪れてから、院生、初ポスドク、とたいへん長くお世話になってきた。私生活でも、新婚生活をスタートし、第一子を授かり、とても思い出が深い。そのきっかけとなったのが、彗星ダストトレイルだ。2kCCD時代の重要な観測テーマのひとつだろう。すべてを語り尽くすことはできないが、その道のりの始まりを振り返る。

彗星ダストトレイルとは、mm-cmサイズのダストが彗星軌道上に永い年月をかけて広がってできた塵雲である。太陽と反対方向に広がる尾(テイル)と異なり、飛行機雲のように細長く伸びる。1983年、赤外線天文衛星IRASの全天サーベイ観測によって8つの短周期彗星に検出され(当時、確定番号のついた短周期彗星は約70天体)、彗星核の描像や惑星間ダストの起源の探求に大きなインパクトを与えた。しかし、IRASの観測は1年足らずで終わり、その後は効率的な観測手法がなかったため、研究は滞ることになる。

2002年2月、木曾観測所で転機が訪れる。この頃、確定番号のついた短周期彗星は約150天体まで増えつつあった。1990年代に次々と太陽系外縁天体(カイパーベルト天体)が発見されだし、木曾でもサーベイ観測が行われていた。PIは木下さん(現・台湾中央大学)であったが、その晩は、渡部さん(国立天文台)と学生さんが観測していた。空き時間に次期小天体探査候補天体を観測するため、途中から石黒さん(現・ソウル大学)が合流した。石黒さんは、ちょうどその前日に、木曾シュミット望遠鏡を用いた可視光での彗星ダストトレイル観測の構想をもって、

4月以降の観測時間のプロポーザルを提出したばかりだった。

私の推測だが、石黒さんはうずうずしていたに違いない。そしてそれが、渡部さんにも伝わったのだろう。メインの観測が一段落したところで、渡部さんが「トレイルが見つかる可能性のある天体は、今何があるかな?」と尋ねられ、試しに22P/Kopffに望遠鏡を向けてみたそうである。シーイングは悪かったが、対日照が見えるくらい透明度の良い空だった。露出を始めてすぐに渡部さんは食事に行かれ、石黒さんは一人で撮れた画像をにらんだ。するとそれらしきものが見えた。この時、彗星は、太陽から3.0AU離れたところにあり、それほど活動的でなく、

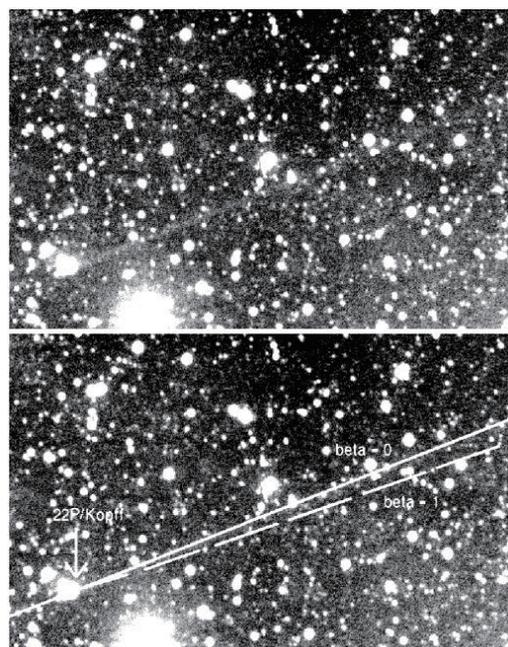


図1: 木曾シュミット望遠鏡を用いて、可視光で初めて検出された22P/Kopffのダストトレイル。beta=0の線が彗星の軌道を示しており、この線に沿って伸びるダスト雲が見える。beta=1の線はテイルの伸びる方向。(ApJ, 572, L117より)

テイルではなさそう。半信半疑で画像を見つめているところへ、戻ってきた渡部さんの「ああ、受かっているね!」という声が背後から聞こえ、確信と喜びが溢れてきた。この初検出の夜の状況が、渡部さんが太陽系小天体関係者のメーリングリストへ流されたメールによく表れているので引用させていただく。『探査は終了しました。シーイングはちょっと悪化し7秒台。鈴木君は疲労困憊でダウン。石黒君と私で、サーベイ後明け方までどうしようか、と考え、ダストトレイルのことを考えて、コップ彗星をねらいました。そしたら、どうでしょう!透明度、Fの明るいシュミットに助けられ、マウナケアでも長年、**Casy Lis** がトライして見えなかったダストトレイルを可視であっけなく検出してしまいました。これは世界初。石黒君は興奮しています。』

この記念すべき年に、私はちょうど大学院へ進学した。所属した研究室には石黒さんがいらっしゃった。探査に興味があり、「はやぶさ」のサイエスマネージャをされていた藤原顕先生の研究室を選んだが、「はやぶさ」はすでに打ち上げ1年前。進学したばかりの学生が手を出す余地はなく、打ち上げ後もイトカワへ到着するまでは、サイエンスデータも出てこない。そんな折に、すでに面識(学部4年の木曾での小惑星観測実習で!)のあった石黒さんが、受かったばかりのダストトレイルの研究をしてみないか、と誘ってくださったことから、この記念誌を書くに至っている。

秋頃から本格的に解析に入った。木曾での正式なダストトレイル観測が5月からスタートしており、すでに蓄積されたデータの処理から始めた。そのしょっぱなの解析で、一気にのめり込むきっかけとなったのが、2P/Enckeだ。後々、D論までつき合うことになる。この彗星は非常に変わり者(ゆえに面白い)で、公転周期が3.3年と最も短く、揮発性物質は枯渇した部類と考えられている。今でも日付を忘れないが、2002年9月9日、ほぼ遠日点(4.1AU)付近で観測されていた。夜帳を見ると、「深くまで写っているが、どれが2Pかわからない」とある。まったく期待の持てないデータだった。しかし、観測時間

から彗星核の位置を求め、移動量に合わせて画像をずらして足し合わせると、背景の星が流れる中に、目的の天体がポツンと浮かび上がってきた。しかもダストトレイルが前後に伸びている。IRASですでにトレイルが確認されていたが、解析を初めた頃の頃で、自分の手を動かして、本体の位置さえ分からないデータから、トレイルを検出できたことが非常に嬉しかった。

こうして木曾観測所での彗星ダストトレイルサーベイが加速していった。有無を調べるどころから、ダストの光学特性、トレイルの形成過程と次第に研究内容は発展していった。さらに、テイルも含めた全サイズのダストに対象が広がっていく。彗星活動も、日心距離に応じた通常の周期的な活動から、アウトバーストと呼ばれる突発的な活動までカバーするようになった。数えてみると、2002年から2010年までの間に、137個もの短周期彗星を観測してきた(2014年6月時点で確定番号がついているのは303天体)。我々の彗星ダスト雲の観測は、そこそこシーイングが悪くとも、空が暗く、視野が広いことが一番で、木曾にうまくマッチしていた。観測所の柔軟な対応のおかげもあり、ここまで来れた。こういった木曾観測所の良さがトレイルよろしくこれからも永く続いていくことを願っている。

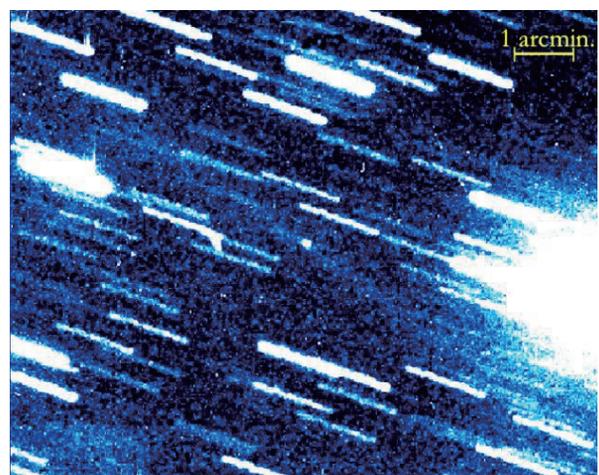


図2: 筆者の木曾観測所との深く長いおつきあいのキューピッドとなる2P/Enckeのダストトレイル。まだ解析が洗練されていない初期の画像をあえて掲載する。(2003年の木曾シュミットシンポジウム初参加の発表資料より)

多色撮像観測で探る銀河の星生成

～ 広視野狭帯域撮像の可能性 ～

西浦 慎悟 (東京学芸大学 自然科学系宇宙地球科学分野)



「西浦くん、丁度、今使えるお金があるんだけど、これで2kCCD用のH α フィルター作れないかなあ。仕様は君が決めて構わないからさあ」

木曾観測所所長中田好一先生からこんな電話があったのは、私が木曾観測所から東京学芸大学へ移って半年ほど経った2004年1月のことである。この電話が、近傍銀河の広視野輝線撮像観測計画への本格的なスタートとなった。『木曾105cmシュミット鏡と2kCCDカメラの広視野を活かして近傍銀河の多輝線撮像観測を行う』これは木曾観測所に研究機関研究員(ポストドク研究員の一つである)として勤めていた頃からの、私の悲願でもあった。

東北大学で学位を取得した私は、2年間のオーバー・ドクターを経て、2001年4月に木曾観測所の研究員に着任した。修士1年の頃から、コンパクト銀河群と呼ばれるクセのある銀河集団を研究してきた私にとって、銀河環境と銀河の形成進化の研究は避けては通れないテーマだった^{注1)}。銀河の形成進化の解明とは、恒星の集団がどのようにガスとチリの中から誕生して輪廻転生を繰り返すのかを明らかにすることに他ならない。手段としては大きく二つある。一つは銀河系内の星生成領域を、もう一つは系外銀河の星生成領域を観測して調べることである。

観測所に着任直後の私は、広報用のカラー天体画像を作成するため、共同利用時間の隙間や薄曇り時を狙って、銀河をはじめ様々な天体の多色撮像を行った。さすが約1度角四方の視野を持つ2kCCDカメラである。銀河系内の大きく広がった星生成領域も簡単にその全景を捉えてくれる。そして同時に、銀河系内星生成領域の構造の複雑さも教えてくれた。「こんな複雑な天体は、僕に

は無理だ」

こうして、一つ目の方法を諦めた。しかし、系外銀河の星生成領域を調べるためには、どうしてもH α などの輝線に対応した狭帯域フィルターが必要となる。しかし、当時の2kCCDカメラ用のフィルター群に、これらに対応したものは存在しなかった。結局、二つ目の方法も諦めた。

系外銀河における星生成領域研究の歴史は比較的古く、1970年代までにも写真乾板によるH α 撮像が数多く行われた。しかし、観測装置が、写真乾板からCCDに取って代われ、感度が向上しつつもその観測視野が小さくなると、自然と比較的明るい星生成領域を狙ったスリット分光が主流となって行く。狙い目はここにあった。主な輝線成分に対応させた「複数の」狭帯域フィルターと従来の広帯域フィルターを用いて、近傍銀河の広視野撮像を行えば、通常の分光観測では得られないような暗い星生成領域においてまでもその大局的なSEDと輝線成分を捉えることができる。これを分析することで、一つの銀河に何十・何百そして何千と存在する星生成領域の統計的なサンプルが手に入る。

2004年3月に、2kCCDカメラ用のH α 、[SII] $\lambda\lambda$ 6716,6731、そしてこれらの連続光成分に対応した狭帯域フィルターの3枚が揃った(通称、Ha6577, Ha6737, Ha6417)。そして、2006年に住友財団の基礎科学研究助成を受けたのを契機に、H β 、[OIII] $\lambda\lambda$ 4959,5007、そしてこれらの連続光に対応した狭帯域フィルターを作成することができた(通称、N487, N499, N519)。これら6枚の狭帯域フィルターによって、星生成領域からやって来る主な輝線成分をほぼ捉えることができるようになった。図1に、近傍銀河M101の



図1: M101 の(上)U+V+I及び(下)B+V+Ha6577(H α 帯)擬似カラー画像。上が北、左が東。視野は約 35 分角四方。

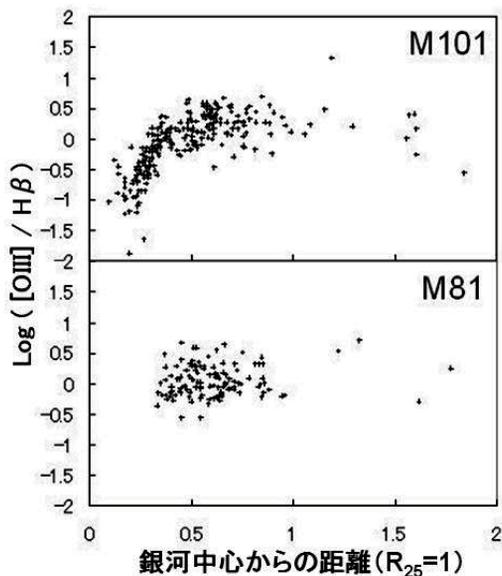


図2: M101 と M81 の HII 領域の、銀河中心からの距離 (R_{25} で規格化)に対する[OIII] / H β 輝線強度比。

U+V+I 及び B+V+Ha6577 (H α に相当) 擬似カラー画像を掲げる。U+V+I 画像で青く見える部分は、相対的に U バンドで明るく、大質量星が多く分布している所、B+V+Ha6577 画像で赤く見える部分は、H α 輝線が強く放射され、電離水素が

多く存在する所に相当する。これらは星生成領域の特徴であり、当然のことながら両者の位置は見事に一致している。

また、これもかなり前から指摘されていることだが、渦巻銀河の動径方向の金属量分布について、分光観測から得られた明るい星生成領域に対して、銀河中心から外側に向けて[OIII]/H β 輝線比が大きくなる傾向がある。この傾向は M101 と M81 についても示唆されていたが、図2を見て頂きたい。これは我々が得た M101 と M81 の [OIII]/H β 輝線強度比の動径方向分布である。M101 については従来どおりの傾向が見られるが、M81 についてはそのような傾向は全く見られない。これは今回の撮像観測で、暗い星生成領域まで輝線強度を得ることが出来たために、両者の違いを見つけれたと考えている。では M101 と M81 の違いは何だろうか？ これらのハッブル形態の違いもあるが、我々は銀河衝突の規模の違いではないかと考えている。特に M81 には隣接する銀河 M82、NGC3077 を結ぶような極めて特異な HI ガス分布が見つかっている。M81 は近傍でも稀に見るような激しい衝突銀河なのである。

最後に、20 世紀も終盤になって、銀河系と幾つかの系外渦巻銀河に、光学半径を超えるような外縁部、つまり超低密度・超低金属量環境での大質量星形成を示唆するような観測結果が報告された。このような銀河外縁部における星生成現象を捉えるには、広視野狭帯域撮像が余す所なく力を発揮する。木曾観測所設立 40 年を迎え、我々は KWFC という、2kCCD カメラ以上のはるかに広い宇宙を観る眼を手に入れた。これによって、さらに新しい銀河そして宇宙の姿を観ることが出来るだろう。

注 1) 1kCCD カメラに 8 時間毎に液体窒素を補給したのは懐かしい思い出である。モザイク CCD カメラ 1 号機では、3 時間半毎の補給で、しかも園芸用のジョウロを使っていた。やはり、懐かしい思い出である。2kCCD カメラ以降は、液体窒素の補給が無くなった。

木曾シュミットによる日印共同研究

～ Pandey との20年 ～

小倉 勝男 (元国学院大学)



1. 序

11月前後に木曾観測所を訪れて1人のインド人を見かけた方もおられるでしょう。彼は Dr. Anil K. Pandey といい、北インドの Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES) に所属しています。私と彼との付き合いは今年でちょうど20年、その間木曾シュミットによる共同研究を続けてきました。彼の来所はもう11回にも達し、まだ続くでしょう。ですから木曾シュミットの外国人ユーザーとしてはダントツと言えると思います。本稿では彼およびそのグループと私の共同研究の経緯を振り返ってみたいと思います。

2. 発端

阪神淡路大震災が起こった1995年1月中旬に南インド・バンガロールの Indian Institute of Astrophysics (IIA) で日本とインドの天文学者がそれぞれ10数名・数10名が集まった研究会が開かれました。これには日本学術振興会とインド・Department of Science and Technology (DST) がいくつかの科学分野で交流をサポートする枠組みをスタートさせ天文学もその一つに選ばれたことが背景にあります。そのため両国の天文学者で共通の関心がありそうな研究テーマに携わっている人たちが特に日本側からは参加しました。ですから日印の共同研究を取り持つ、語弊はありますがいわば集団見合いのようなものでした。

私は1980年頃まで若い散開星団の測光観測をしていましたし、その後はおうし座T型の輝線星のサーベイやハービッグ・ハロー(HH)天体の分光観測をやっていましたが、前者は木曾シュミットを使い、対物プリズム・乾板と組み合わせた観測でした。それを知っての事でしょう、Pandey から木曾シュミットを使って散開星団の測光観測をする共同研究

を持ちかけられました。彼はずっと散開星団の測光観測を続けてきて、特にその頃は散開星団の外縁部に広がる星団コロナに関心を持っていましたので、写野の広い CCD カメラが必要だったのです。折よく当時は木曾観測所で2K CCD カメラが開発中でした。私はたとえば IIA が Kavalur 観測所に有する2.3m Vainu Bappu 望遠鏡で HH 天体の探査を試みたいとも考えました。

3. 経過

私の HH 天体探査のためのインド渡航は早速翌年度に実現しました。しかし2.3m 鏡はトラッキングが悪くて長い露出に不適な事が判明し、その観測計画は中止しました。一方インド側では訪日の競争率が高い上に複雑な内部事情もあったようで、Pandey の訪日はなかなか実現しませんでした。そこでその間に特異な若い散開星団 NGC 3603 の UBVRi 測光データを彼に解析してもらう事にしました。これは私が関口和寛さんと South African Astronomical Observatory の1m 望遠鏡で取得したものです。しかし Pandey も1999年度からは日印協力の補助金をもらえるようになり、毎年のように木曾シュミットと2K カメラを使っての観測のために来日しました。木曾で天気が一番好い11月の観測を申請し7夜ほど割り当てて頂く事が多かったのですが、それでも天気の当たり外れはかなり大きくて、使用可能な測光データがほとんど得られなかった事もありました。

その中で最も印象深いのは2001年11月の観測です。2つの点で忘れる事が出来ません。観測割当は11月19日から同25日の7夜でしたが、前夜(と言っても夜半すぎですからもう19日に入りますが)はあおしし座流星雨の夜です。Pandey と私は17日の午後に木曾観測所に着きましたし、観測は19日

の夕方からですので、当夜は全くフリーだったのもまことに幸運でした。ですから私達は心ゆくまで快晴の下であの壮観を眺め脳裏に焼き付ける事が出来たのです。私は観測所の皆さん達と本館の屋上に陣取り、午前1時頃から5時近くまで寒さに耐えつつ生涯最高の眼福に浴しました。最後まで残ったのは樽沢さんと私でした。その木曾滞在時のもう1つの天恵はシュミット観測中のまれに見る好天です。7夜が全て快晴だったのです。私は大学の講義のために途中で離所しましたが、Pandeyによれば最後の夜の最後になって薄雲が出ただけだったとの事です。おかげで10個の星団の良い測光データを得る事が出来ました。私の観測人生のうちでこんな好天続きは国内は言うまでもなく、外国ですら経験がありません(そもそも7夜などもらえませぬ)。私たちの観測の前の17日・18日両夜も快晴だった事を考えると、この間の天気は木曾観測所の歴史の中でも空前絶後のものではないでしょうか。

木曾シュミットによる良い測光データはごく最近の観測を除きすべてARIESにおいてPandey自身及びその下の大学院生(学位取得後も含む)によって整約・解析され論文として結果が発表されています。そしてデータの一部として使われた論文も含めると主要ジャーナルに発表されたものだけで14編に達し、4人が学位を取得しています。観測もPandeyが主に行いましたが、日本語は全く解けませんので木曾のスタッフの方々の助力なしにはできません。途中からですが、三戸さんには特に大きな力になって頂きました。

日印協力の枠組みの下で私も10数回訪印しました。共同研究の中身も散開星団から次第に星形成に



重点が移って行ったため何度かARIESの大学院生向けに話もしました。2004年からはIIAがヒマラヤの奥地に設置した2m Himalayan Chandra Telescopeの2次元グリズム分光器を使っておうし座T型の輝線星の深い探査をしまし、ブライトリム分子雲の周りの星系の測光観測もしました。これらの結果も彼等および私自身の論文に使われています。

4. 現状と将来

私は2012年3月末に国学院大学を定年退職しました(非常勤講師としてはまだ勤めています)ので、その直前からそれまで毎年のように採択されてきた学振/DSTの共同研究補助金から外れてしまいました。私の代わりに小林尚人さんが後を継いで下さってPandeyと共に申請し、2年のブランクが生じましたが、2013年度からまた採択になりました。木曾シュミット活用の基本方針は維持しつつ、共同研究の方向も少し転換してさらなる発展が期待されます。木曾ではKWFCが動き出しましたし、ARIESではインド最大の3.6m望遠鏡が今年秋にファーストライトを迎えるからです。参加メンバーも日印それぞれ1人ずつから3人ずつに拡大されました。2013年度にはARIESからPandeyとDr. Saurabh Sharmaが来日・訪所しましたし、小林さんと一緒に引き継ぎも兼ねて私も訪印しました。これが学振/DSTの共同研究の下での私の最後の訪印になるでしょう。Pandeyと共同研究を始めて20年、まさに最適任者に後を継いで頂ける事を心から喜んでいきます。



建設中のARIES 3.6m望遠鏡ドーム前で
左からPandey、私、小林さん

