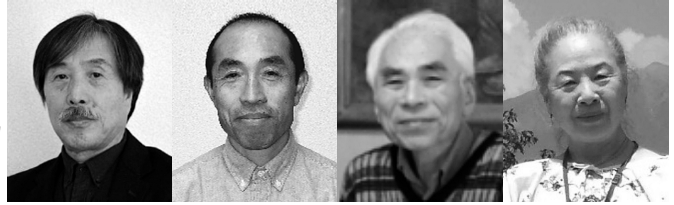


東京大学木曾観測所 写真乾板のデジタル化



青木

征矢野

中嶋

宮内

青木 勉¹・征矢野 隆夫²・中嶋 浩一³・
宮内 良子⁴・森 由貴⁵・樽澤 賢一⁶・
小林 尚人⁷・古澤 順子⁸・市川 伸一⁹・

SMOKAグループ¹⁰

〈^{1,2,5,6,7} 東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所 〒397-0101 長野県木曾郡木曾町三岳 10762-30〉

〈³ 一橋大学 〒186-8601 東京都国立市中 2-1〉

〈^{4,8,9,10} 国立天文台 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: ⁵ moriyuki@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

現代の可視光天文学において、観測データはCCDなどの固体検出器を用いて全てデジタル的に記録されているが、30年前まではアナログ写真が天体観測の主流であった。長いタイムスケールの変動を研究する天文学にとって30年は一瞬でしかなく、前世紀を通して写真乾板に記録された天文データは、様々な時間変動天体の過去を知るための貴重なデータとして残されている。東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所（以下木曾観測所^{*1}）には1974年の開設以来約25年にわたりシュミット望遠鏡で撮影し続けた7000枚強の写真乾板が存在する。それを活用すべく、東京大学、一橋大学ならびに国立天文台が共同でこの膨大なデータの完全なデジタル化とアーカイブ化を進め、この度SMOKA^{*2}での公開に至った。本データが多くの方々へ活用されることを期待している。

1. 意 義

今日のように大量の写真が瞬時にデジタルデータとして記録されネットを流れていく時代において、若い方は「写真乾板」をご存じだろうか。一昔前のフィルムカメラと同じ原理で、乾いた感光

膜がついたガラス板を望遠鏡の焦点に置き露光するアナログ天体写真が、プロの天体観測にも長年使われていたのである。

光赤外天文学のこの30年は望遠鏡大口径化の時代であったが、それと同時に可視光検出器の標準となったCCDなど固体検出器技術の急速な進

^{*1} <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kiso/ohp/>

^{*2} <https://smoka.nao.ac.jp/>

展により、観測装置の感度も文字通り桁違いに向上した。19世紀末から近代天文学の主流であった写真乾板は1980年代の半ばからは急速にCCDにとって代われ、20世紀末以降の天文学はほぼ全てCCDに移行した。

写真乾板は安価に大きなものが作れるため、特にシュミット望遠鏡のような広視野サーベイ望遠鏡で活躍していた。そのため、世界中のシュミット望遠鏡を擁する観測所には広い天域について大量の写真データが残されている。日本でも、1974年に開設した東京大学木曾観測所の105 cmシュミット望遠鏡が約25年にわたって撮り続けた大量の写真乾板データが残されている。この貴重な財産を現代に活かすべく、我々はそのデジタルアーカイブ化を5年がかりで進め、国立天文台から公開するに至った。

1.1 時間変動の天文学とデータマイニング

大望遠鏡時代に突入すると同時に、占有的に使用できるようになった中小口径望遠鏡を活かした天体の時間変動の観測が活発に行われるようになり、新しい“Time Domain Astronomy”(略称TDA)の時代が訪れている [1]。これは「時間的に変化する天文現象」を分野横断的に網羅した研究概念で、具体的には太陽系天体の運動から、変光星、活動銀河核、恒星の固有運動と銀河回転など、様々なテーマが含まれている。

これらは基本的に、新たな観測により未来に向かった時間変化を見ることが念頭にあるが、逆に過去に向かって時間変化を遡る研究手法がある。不規則な変光を示すTタウリ型星やかんむり座R星などは、過去に撮影された天体写真乾板があれば長い時間軸にわたる貴重な変光データが得られる。それ以上に、過去の写真乾板には思いがけない未知の現象が写っていたり、ある天体が現在とは全く違った姿で写っているということもあり得る。これらを「宝の山」と表現する人もいるが、過去のデータの山から宝を発掘するという意味で「データマイニング」とも言われる。

例えば、今知られている超新星残骸の元になった星 (progenitor) がどういうタイプの星であったかは、超新星爆発、ひいてはそれを用いた宇宙論研究でも大変重要なテーマであるが、過去の写真乾板に記録されていた情報から爆発前の星について重要な制約が得られている [2, 3]。

1.2 世界の流れ

過去の膨大な観測データの山から宝を発掘する「マイニング」は、考えただけでも大変である。世界中の天文台に散在する過去の写真乾板をどのようにしてマイニングするのか…。フレア星を研究していたブルガリアの天文学者、Milcho K. Tsvetkovがこの大事業への取り組みを開始したのは、1990年代の始めのことであった。

彼はまず国際協力を実現するためにIAUを動かし、1991年の総会決議として「世界中の各天文機関がその所有する歴史的データの保存を整理し、それらのカタログを整備するべきだ」という勧告 (C14) を引き出した [4]。そして自らが先頭に立ってその事業を実行、すなわち各国の天文台に手紙を書き、所有する写真乾板のリストなどを収集した。1993年にはその最初の成果が発表され、木曾観測所の1992年末時点の6798枚の写真乾板リストもその中に含まれている [5]。

またこの頃にはインターネットの普及が始まり、天体写真をデジタル化してデータベースを構築し、それをインターネットから検索可能にする趨勢となった。フランスのストラスブール天文台の天文データセンター (CDS) がAladinという名前の天体画像検索表示サービスを始めたのもちょうどこの頃であった。

世界の天文台がそれぞれ保有する写真乾板をデジタル化してデータベースを構築し、過去のデータを容易かつ瞬時に検索可能とする要請は高まった。さらに写真乾板は劣化や破損により情報が失われることもあり、保有機関の保存コストのことも考えると、一刻も早くデジタル化すべきである。

そこで2000年のIAU総会の決議として、「過去のデータの保護のためにも、また新しい情報化社会にマッチしたデータ活用のためにも、歴史的記録をデジタル化せねばならない」という勧告(B3)が出された[6]。これを受けて2001年に、Commissions No. 5, No. 9の共同研究として“Task Force Preservation and Digitization of Photographic Plates”が発足し活動を開始した。そしてこのグループは、2012年の総会でIAUの組織が大幅に改編された際、Commission B2のワーキンググループ(WG)“Preservation and Digitization of Photographic Plates”となり、現在に至っている。

この新しいWGの最初の活動として、2014年にチェコのプラハで「天体写真の保護、デジタル化、およびその科学的利用」をテーマとした国際ワークショップ、“Astroplate 2014”が開かれることとなった[7]。中心になったのはプラハの天文学者で高エネルギー天文学のRene Hudecである。そこでは、写真乾板の劣化や保存方法についての研究、各国の天文台での天体写真デジタル化の取り組み状況、データサービスの開発、変光星研究をはじめとする各種の時間軸データ利用の研究の紹介など、幅広い話題が提供された。さらに2016年、2019年にもワークショップが開かれ[8, 9]、過去の天文データのデジタル化、データサービス、およびデータ利用研究の大きな進展を印象付ける多数の研究発表が行われた。

各天文台が保有する乾板枚数は、米国のスミソニアン天文台が最も多く、その数およそ50万枚である。ドイツのゾンネンベルク天文台がこれに次いで27万5千枚、3位はウクライナのオデッサ天文台で約10万枚である。スミソニアン天文台では“DASCH project”と称したデジタル化作業が進行しており、2019年時点で約36%の写真乾板のデジタル化およびデータベース化が完了し、データ量は230 TBに達している。ゾンネンベルク天文台では、2019年時点で約85%のデジタル

化が完了し、データ量は25 TB、データベースの名称は“SOFIA”である。一方オデッサ天文台では、デジタル化はまだ5%程度であり、鋭意進行中である。ドイツでは各天文台が協力して、デジタル化写真データのデータベースサービス“AP-PLAUSE”を立ち上げている。2018年10月に公開されたData Release 3では、約7万枚の天体写真スキャンデータと、そこから抽出された35億個の天体情報などが、検索可能なデータベースとして提供されている。

この他、過去の写真データから得られる情報をGAIA衛星データと比較総合して新たな地平を切り開く研究も始まっており[10]、この分野は現在、かつてない活気に満ちあふれている。2018年のIAU総会決議(B3)で、天体写真などの歴史的データのデジタル化を集中的に行うべきことが勧告された[11]のも、このような状況を踏まえてのことであった。

2. 木曾観測所シュミット望遠鏡

木曾観測所は、長野県南西部に位置する木曾町三岳の標高1120 mの尾根伝いに広がった緑豊かな台地に建設されている。1974年に東京大学東京天文台の5番目の観測所として開設され、1978年度より本格的な観測を開始した。当初から全国に関連研究者に実質的な共同利用施設として開放されていた。

シュミット望遠鏡は、ドイツのシュミット(B. Schmidt)によって1931年に発明された。主鏡である球面鏡を用いて集光し、その曲率中心に非球面の薄い補正板を置いて焦点面での球面収差を除去することで、広い視野と明るい光学系を実現する。木曾観測所のシュミット望遠鏡は、補正板口径が105 cm、主鏡は150 cm、焦点距離は330 cmで、F比は3.1であり、パロマー天文台のシュミット望遠鏡などに次いで世界第4位の口径を有している(図1)。制御系には可視光望遠鏡では国内初のミニコン(計算機)が取り入れられていた。



図1 シュミット望遠鏡 (2020年撮影).

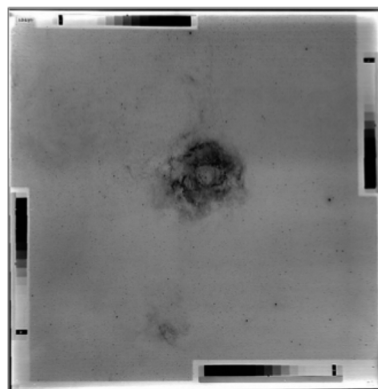


図2 典型的な観測で撮影された写真乾板の例 (ばら星雲).

その効果は大きく、追加的な制御や機能の更新に、プログラムの変更や計算機の交換で対応できる利点が活かされた。また、観測された写真乾板の観測ログがデジタルデータで記録され、カタログ化されていたことにより、写真乾板のデジタル化と検索システムの構築を非常にスムーズに実現することができた。

3. 写真乾板

光検出器としての写真乾板は天文学の観測に100年以上の間用いられてきた。木曾観測所のシュミット望遠鏡ができた1970年代以降には、米国のイーストマン・コダック社で製造された写真乾板が使われていた。木曾観測所では主に14インチ (35.6 cm × 35.6 cm, 厚さ1 mm) の写真乾板を使用した。この写真乾板は写野6度角を一度に撮影できることが特長で、その時代では最も効率的で最良の検出器であったと言える。しかし感光材である写真乳剤は、露光量とその結果生じた濃度との間に線形的な関係が成り立たない感度特性の非線形性や光検出効率の低さなどの欠点も知られている。また、1993年の夏になるとコダック社から写真乾板の製造中止の発表が行われたため、それ以後は在庫の写真乾板を用いた観測を行う一方で、それ以前から開発を進めていた最新の固体検出器を用いたカメラ (1KCCD) や、すばる望遠鏡のSuprime-Camやスローン・デジタル・スカイサーベイ (SDSS) カメラの原型と

なったモザイクカメラの開発・使用も進められた。木曾観測所では写真乾板から固体検出器への移行が非常にスムーズに進み、以後新たな装置開発と観測・研究のサイクルが観測所の基本スタイルとなっていった。

3.1 写真乾板の種類とフィルター

木曾観測所で実際に使用した写真乾板は、前述した (L) 36 cm角乾板が主で、全体の96%以上を占めている。また一部で (S) 24 cm角 (約4%) の写真乾板や、36 cm角だが厚さが2 mmの写真乾板も使用された。シュミット望遠鏡の焦点面は球面となるため写真乾板を焦点面に合わせて曲げて使用する必要があるが、この2 mm厚の乾板は曲げる際に比較的割れやすく、観測の初期段階で使用した後は使われなくなった。その他、単独の天体を狙った観測では、手札サイズの乾板もごく少数使用された。

先に述べたように、写真乳剤は非線形な感度特性を有する。木曾観測所ではこの入出力における非線形性を補正するために、写真乾板の4辺に沿って既知の露光量比で作成したステップウエッジを焼き込んでいる [12] (図2参照)。乾板に写った星像から物理量を抽出する際には、撮影乾板毎に特性曲線を作成して実際の物理量を導出することになる。

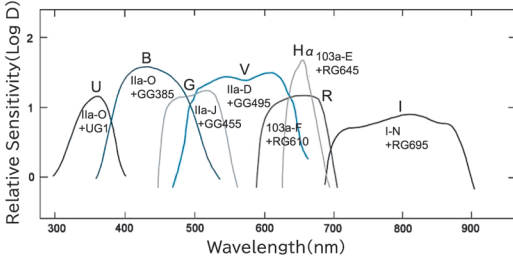


図3 観測に使用された写真乾板とフィルターの組合せによる観測波長帯。

木曾観測所ではそれぞれの観測目的に応じて観測波長帯（バンド）を決め、短波長側をカットするフィルターと分光感度の長波長端が異なる様々な写真乾板を組合せてバンドを作って実際の観測を行ってきた。図3に乾板とフィルターの組合せによる主な観測波長帯を示す。

写真乾板名は乳剤の分光感度特性の違いにより、長波長側の感度端の波長が短いものから長い側に伸びる順にO, J, D, E, F, N, Zなどの英文字で表されており、粒状性では粗い乾板から微粒子の乾板になるに従って、I, II, III, IVのようにローマ数字で表されている。実際に観測に使用された乾板名およびフィルターについては、[13]を参照されたい。

木曾観測所ではシュミット望遠鏡の広い視野を活かした様々な観測プロジェクトが実施され、写真乾板に記録されてきた。中でも、(1) 紫外超過銀河の探査（高瀬文志郎，宮内良子），(2) 銀河の表面測光（小平桂一，岡村定矩），(3) 小惑星や彗星の探査（香西洋樹，古川麒一郎）などがその代表例である。木曾観測所におけるシュミット望遠鏡の観測プログラムは、パロマー天文台のように全天域を隈無く観測するのではなく、掃天探査を要する研究テーマを主とし、個別の研究テーマをこれに加える形で月毎に編成された。

写真乾板以外では、1989年に天文教育・普及活動の教材として木曾観測所スライドセット「遙かなる宇宙へ」が日本天文学会より監修・頒布されたが、そのための天体写真撮影に、コニカ(株)

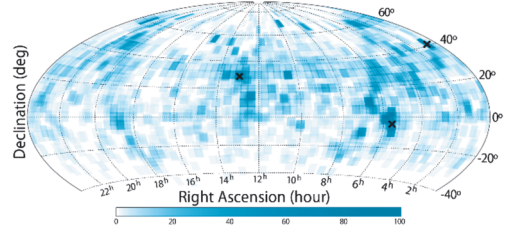


図4 写真乾板で観測された領域と観測回数。



図5 木曾観測所の写真乾板保存室。

の協力を得て 36 cm 角の大型カラーフィルム（サクラカラー SR1600）が用いられた。このスライドセットの制作は、前年度より長野県教育委員会の内地留学生であった畑英利氏と樽澤賢一（木曾観測所）が中心となって所員全員が協力して行い、日本天文学会を通じて販売された。当時国内には教育現場で利用する天体スライドはなく、木曾観測所で作成した高品質のスライドセットには大きな反響があった。

以上のように、木曾観測所のシュミット望遠鏡では1974年の開所から1999年までの間に写真乾板とカラーフィルムを用いて7045枚の画像が撮られた。観測された領域と観測回数を図4に示す。アンドロメダ銀河 ($0^h43^m, +41^\circ$)、かみのけ座銀河団 ($13^h, +30^\circ$)、オリオン座星生成領域 ($6^h, 0^\circ$) などの観測回数が多いことがわかる（図4の×印）。写真乾板とカラーフィルムは殆ど全て、木曾観測所内の写真乾板保存室に保管されている（図5）。

4. 乾板のデジタル化

写真乾板を画像解析する場合には、アナログか



図6 スキャンシステムの全景.

らデジタルへと数値変換する必要がある。乾板全盛期には、特別推進研究（代表：小平桂一）で1985年に導入されたパーキン・エルマー社のPDS（大型写真乾板用高速マイクロデンシトメータ）を数値化する測定機として用いていた [14]。この装置は当時としては高速高精度を誇っており、世界の主要な天文台でも使われたものである。しかし、PDSは乾板を大型テーブルに載せてX、Y軸を移動させながら1点で測定する方式であるため、乾板全面のスキャンに1日を要し、そのデータ量は2400フィートのオープンリールの磁気テープ（容量は180 MB）で1-2本にもなった。

今日では磁気テープを扱える計算システムは皆無となり、我々は7000枚にもおよぶ乾板のデジタル化を現実的な時間で完成させる手段を模索して、市販の透過型スキャナーを用いるシステムを考案した。スキャナーの選定にあたっては、スキャン面積、位置および濃度分解能、スキャンスピード、透過原稿対応、価格などについて検討し、A3サイズのEPSON ES-G11000を選択した。乾板スキャンシステムの全体像を図6に示す。

スキャナーの解像度は、シュミット望遠鏡の焦点面スケール（16 μm /秒角）と木曾の平均シーイング（3秒角程度）から、1200 dpi（約1.3秒角/画素）と決めた。原稿設定はポジとした。スキャン範囲はA3サイズのため355 mm \times 310 mmとなり、画像は東西が約20 mmカットされる（図7）。この条件での1枚あたりのデータサイズとスキャン時間は、乾板で240 MB、10分、カラーフィルムで690 MB、15分であった。

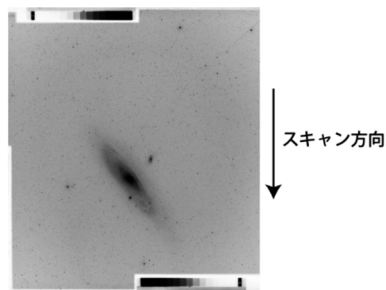


図7 乾板のスキャン画像。画像は北が上、左が東。東西のステップウエッジがカットされるが、天体の画像はほぼ全て取り込んでいる。

我々が選択したスキャナーは手頃であるが次のような画像歪みがあった。図7に示すスキャンと直角方向に縮小光学系のスケールずれが0.25%、また、同側で数ドットの縮小度場所むらがあり、温度依存性も見られた。それに比べスキャン方向ではスケールずれは見られず、 ± 0.5 ドットと安定していた。その他、軸の非直交が 0.12° 程度見られた。何れも従来の測定機精度には及ばないものであるが、最終的なデータは標準星による位置較正を行うため、局所的な歪み以外は較正可能と考えている。スキャンデータの位置精度については6.3節を参考にされたい。

2015年8月に試験測定を実施し、同9月に共同利用の課題申請を行って測定を開始した。以来、各年度のスキャン枚数は累計で、2015年度末に402枚、2016年度末に834枚、2017年度末に2655枚、そして2018年度末には目標の6202枚を達成し、乾板に関してのスキャンを完了した。その後、2019-2020年度にカラーフィルム132枚をスキャンして、デジタル化作業は完了となった。なお、未撮影や廃棄により存在しない乾板、およびテスト観測や画質の悪い乾板など711枚はスキャン対象から除外した。

スキャンしたデータにはサイズの異なるものが含まれる。乾板では（L）36 cm角と（S）24 cm角、カラーフィルムでは36 cm角と手札サイズ（各自切断のため不ぞろい）がある。公開データ

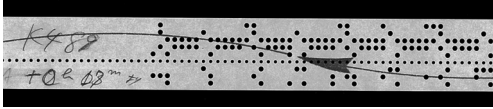


図8 観測記録の紙テープ出力。

を見る際には注意していただきたい。

5. 関連情報の収集と整理

木曾観測所の105 cm シュミット望遠鏡の制御は、当時としてはまだあまり実用に供されていなかった電子計算機を取り入れて行われた。このことが今回のデータベース構築を容易にした。当時は望遠鏡の状態や観測情報をキャラクターコードとして、1文字を1列8穴の紙テープに出力した(図8)。その後、時代と共に磁気テープ、フロッピーディスク、ハードディスクなどに転記され、現在まで保管されてきた。この撮影乾板情報は「1行リスト」と呼ばれ、観測日時、観測位置、乾板の種類、フィルター、露出時間、乾板の状態などが132桁の文字情報で記録されている [15, 16]。

乾板の画像データの公開にあたり、その活用を促すために、乾板に関する基礎資料をSMOKAアーカイブページから閲覧できるようにした。リストしている資料の項目を以下に示す。1行リストの詳細についても、このページで確認できる。

- 1) 全乾板の1行リストと項目の解説
- 2) 乾板関連の主だった論文
- 3) 乾板、フィルターに関する情報

また、SMOKAの検索システムで出力されるリスト(図11参照)の最右列に、撮影乾板毎の観測野帳へのリンクが貼ってある。野帳には欠番の理由や観測中のトラブル、エピソードなども記されており、当時の観測者の思いが伺い知れる面白い資料でもある(図9)。是非ご覧いただきたい。

6. デジタル化データの公開

以上のようにして作成された写真乾板デジタル化データは、公開して研究や教育活動に役立てる

Date: 1986-04-24 Observer: T. K. M. S. NO. 3

Check Items

Plate NO. [K-5061] 66
 Area NO. [A-999]
 R. A. [11h 33m] (1950.0/Date)
 Dec. [23° 37']
 Object [Halley]

if -Holder 10² 10² 10 1
 -800 Emulsion 0 1 0 0
 FD-NO.

Box NO.	1	1	5	0
Guide-X (SIT)	2			
Guide-Y (SIT)	3			
Sky-Monitor	4			
A-SW	5	0	1	0
Temp. (°C)	6	×	5	5
Humidity (%)	7			
Seeing	8	8	2	7
Trail (α)	9	6	3	7
Trail (δ)				

Direct: 2' 4" S Verlex []

Emulsion + Filter [100 mm]
 Exposure Time [10 min.]
 Sky Monitor Total Count []

Wedge: Filter [100 mm] NO [0,0]
 Exposure Time [10 min.]

Dev.: Developer [D19, D19, Others]
 Duration [10 min.]

CPU + α手
 Obs. JST

1. 22 00 30 : :
 2. : : - : :
 3. : : - : :

Exp. Time → 24.50
 Carriage → IN
 Flower Scan ON [A.G.]
 Mirror Cover → OPEN
 Shutter → OPEN
 Data → A-SW : DATA-IN
 Mirror Cover → CLOSE
 Carriage → OUT

図9 観測野帳記入例. 1986-04-24 Comet Halley撮影。

ことが望まれる。長年にわたって木曾観測所のCCDデータを公開している縁で、SMOKA[17]グループがそれを担当することとなった。

6.1 FITS ファイルへの変換

写真乾板デジタル化データの公開にあたっては、元のTIFFファイルだけでなく、様々な情報をヘッダに書き込んで利便性と有用性を高めたFITS[18, 19]ファイルとしても公開することが望ましい。TIFFファイルをBITPIX=8のFITSファイルへ変換し、5章で述べた1行リスト中の、乾板番号、観測日時、赤経赤緯、天域番号、乳剤、露出時間、プリズム、フィルター、観測者、などの情報をヘッダに書き込んだ。赤経赤緯についてはピクセルサイズなどとともにWCS (World Coordinates System) としても書き込み、概略位置を得られるようにした。また、元のTIFFファイルでは写真乾板と同じく星が黒、空が白となっているが、FITSファイルでは他の観測装置デー



図10 検索画面の例（抜粋）.

タに合わせて星が白，空が黒となるように白黒反転している．作成したFITSファイルは，TIFFファイルと同数の6195である^{*3}．

カラーフィルムのデジタル化データについては，教育や広報目的での画像使用が主となることが想定されるため，FITSファイルへの変換は行わず，TIFFファイルのままで公開している．データはカラーネガのため，使用の際は一般的なカラーポジ画像に変換する必要がある．また，大型フィルムを自家現像したため現像ムラなどがある．画像変換の簡単なドキュメントを用意しているので，用途に合わせて各自で調整していただきたい．

6.2 公開システムの構築

写真乾板デジタル化データでは，その検索項目

がSMOKAで公開している観測装置（CCDなどの撮像素子使用）の検索項目とはかなり異なるため，SMOKAとは別のシステムとして構築した．ただし，ソフトウェアや構成要素はできるだけ共通のものを用いて，構築と維持管理の省力化をはかった．また，ファイルの請求に必要な利用者登録（検索やサムネイル画像閲覧などには不要）はSMOKAと共通とした．

図10に検索画面の例を示した．検索条件として乾板番号や赤経赤緯などを直接入力する他，天体名を赤経赤緯に変換（Resolve）して検索することもできる．

図11に検索結果表示画面の例を示した．各乾板の諸元が表として示されている．左端の通し番号をクリックすると，FITSヘッダや後述する位

^{*3} スキャンした6202枚のうち7枚は，1行リストに観測日時や観測位置のデータがないテスト観測データであったため，公開データから除外した．

Results
12:30:49.42, 12:23:28, J2000 (Radius 60.0 arcmin)

[Click here to know how to look search results.](#)

7 plates were found. The results are summarized below:
 Thumbnail images.

To retrieve data, mark checkboxes at the "TIFF", "FITS", or "FITSQ" column of rows which correspond to the frames which you'd like to retrieve. Then push "Datarequest" button located before/after the table.
 A link of "No." column will lead you to the detailed information of the corresponding frame on the FITS header and Astrometric Calibration.

No.	TIFF	FITS	FITSQ	FRAME ID	PLATEID	DATE OBS	FITS SIZE	RA2000	DEC2000	UT	PRISM	EMULSION	EXPTIME	FILTER	PLT
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> W	X	KSP03307	L03307	1981-05-25	234	12:29:59.091	+13:05:19.98	12:12:58	2DD-	3AF+	130.1	NONE	CCAA
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> W	X	KSP03308	L03308	1981-05-26	234	12:29:46.351	+13:03:14.10	11:52:02	2DA+	3AF+	140.0	NONE	BCBA
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> W	<input type="checkbox"/>	KSP04090	L04090	1983-06-01	234	12:28:19.596	+12:17:50.29	11:51:49		2AO+	30.0	38-2	AAA
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> W	<input type="checkbox"/>	KSP05042	L05042	1986-04-12	234	12:27:04.152	+12:27:38.28	12:10:27		2AO-	50.0	38-2	AAA
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> W	<input type="checkbox"/>	KSP05379	L05379	1987-02-20	234	12:31:09.283	+12:23:40.32	13:58:32		2AO-	40.0	38-2	AAA

図11 検索結果表示画面の例 (抜粋).

Thumbnails

Each link of "THUMBNAIL" will lead you to the detailed information of corresponding frame. You can see the FITS header and information on Astrometric Calibration, if exist.

図12 サムネイル表示画面の例 (抜粋).

天体名=comet Hyakutakeのサムネイル表示画面.

位置較正の情報が表示される。隣の TIFF ボックス, FITS ボックス, FITSQ ボックスはそれぞれ, TIFF, FITS (KSP: 後述), FITS (KSQ: 後述) のファイルを請求するためのものである。右端には観測野帳のスキャン画像 (図9参照) を閲覧できるリンクが設定されている。また, 上部の View ボタンからサムネイル画像を表示させることもできる (図12)。

トップページ画面からは, 前述の検索画面 (Kiso Schmidt Plate Archive Search) の他, 天体名 (観測野帳から読み取った小惑星や彗星の名称) での検索 (Simple Search) や公開全ファイルのリスト (List of Plates) に至ることもできる。

また各種資料へのリンクも掲載されている。

これらの機能を持たせた公開システムは, 2019年9月11日に運用を開始した。公開URLは, <https://pplate.nao.ac.jp/> である。

6.3 位置較正

デジタル化データの位置較正を行い, その結果を FITS ヘッダに WCS として書き込めば, DS9[20] などのブラウザで表示してカーソル位置の座標を即座に高い精度で読み取れるなど, 有用性が格段に高まることが期待できる。

シュミット望遠鏡の天球投影法である ARC[19] を用いて位置較正を行った。使用した標準星カタログは UCAC4[21] である。星数や残差などの条

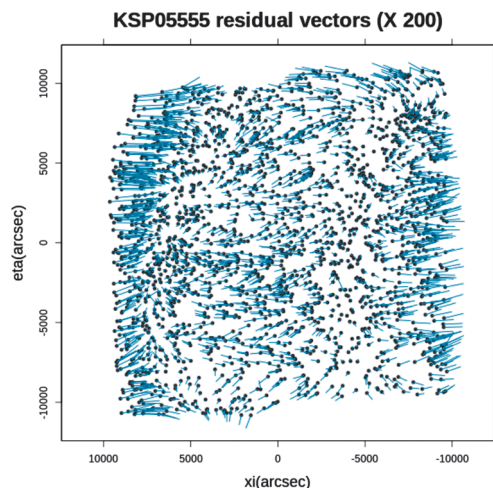


図13 投影法ARCでフィットを行った際の位置較正の残差ベクトル分布図(例)。残差を200倍して表示している。横軸は天球面を投影した平面の赤経方向、縦軸は同じく赤緯方向である。

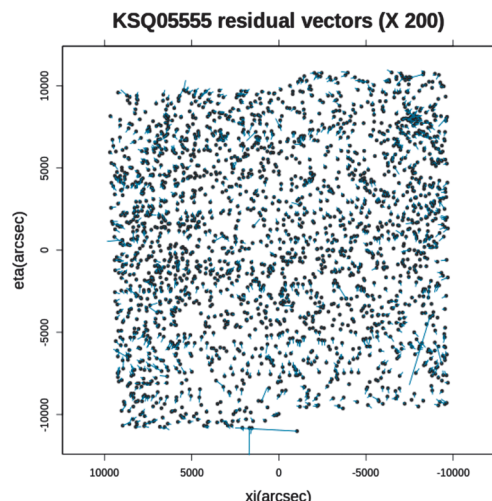


図14 ARC-SIP(三次)を用いた場合の位置較正の残差ベクトル分布図(例)。残差表示の倍率、横軸、縦軸は図13に同じ。

件[22](ここでは省略)を満す「合格」のものは5542枚であった。合格にならなかったものの多くは、試験に用いられた乾板、星があまり写っていない乾板の他、2点像や3点像などの多重露出の乾板、サブビームプリズム使用の乾板、対物プリズム使用で像が著しく重なっている乾板などであった。位置較正を行うことでスキャンの際の誤り(乾板の取り違い、スキャン方向/表裏の誤り)が判明し、適宜対応できるなど副次的な効果もあった。

位置較正の結果を評価してみると、図13の残差分布で示す通り結果はおおむね良好であるものの、乾板の端、特に画像のxi(X)方向(スキャンと直角方向)の端の残差が大きいことがわかる。これは4章で述べたスキャナーの画像歪みが原因であると思われる。その歪みに対応して乾板全面についてより精度が高い位置情報を提供すべく、高次項を加えたARC-SIP(3次)を用いて再度位置較正を行った。その結果、図14の残差分布で示す通り、乾板全面にわたって良好な結果を得ることができた。ただし、次数を上げたことなどによってフィットが収束しない場合が増え(特

に対物プリズム使用の乾板)、また、扱いが複雑な多点像乾板を対象から除いたために、「合格」は4609枚にとどまった。さらに、DS9の古い版(8.0より前)ではARC-SIPで表現された赤経赤緯を正しく表示できないことが判明したため、ARCとARC-SIPの両者の情報を公開して利用者を選択してもらうこととし、区別のためにKSP(ARC)とKSQ(ARC-SIP)の2系列のFITSファイルを提供することとした。(図11の表の3カラム目と4カラム目のボックスに対応する。FITS欄のW印は位置較正(ARC)の情報が存在することを示し、FITSQ欄のX印は、KSQ系列のFITSファイルが存在しないことを示している。)

7. 今後の課題と計画

今回のデジタル化で、スキャナーの画像歪みによる位置情報(astrometry)への影響が無視できないことがわかったが、それについてはソフトウェア的な補正で十分な精度は担保できている。現在の大きな課題は測光を行う環境やツールの整備である。従来の観測所への写真乾板に関する問い合わせは、まずは天体の有無についてで

あるが、当然ながら明るさについての情報、それが検出されていなかった場合の上限値についての質問も多かった。測光による天体の明るさの定量的な導出について、過去のPDSなどでの経験に基づく情報をまとめ、ユーザー自身で簡単な見積もりができるような整備を進めたいと考えている。

ひいては今後の課題で最も大切なものは、如何に本アーカイブデータをユーザーに使いやすいうものができるかということである。まずはデータを見ていただき、ご提案などを木曾観測所ないし本原稿の著者までご連絡いただければ幸いである。

謝 辞

本稿の執筆にあたり、岡村定矩氏、濱部勝氏には、貴重なコメントとご助言をいただいた。また、2018年度から写真乾板のデジタル化（スキャン）作業を、青木星氏（明星大学）に委託した。実務作業が急速に進展したことは彼の功績によるものである。最後に、木曾観測所において写真乾板での観測・データ処理にご尽力いただいた全ての皆様に感謝申し上げる。

参 考 文 献

- [1] Griffin, R. E. M., et al., eds. 2011, IAU Symp. 285, New Horizons in Time-Domain Astronomy (Cambridge University Press, Cambridge)
- [2] Smartt, S. J., 2009, ARA&A, 47, 63
- [3] Do, A., et al., 2021, MNRAS, submitted (arXiv:2102.07796)
- [4] https://www.iau.org/static/resolutions/IAU1991_French.pdf (2021.06.22)
- [5] Tsvetkov, M. K., & García, J. R., 1993, Contrib. Inst. Copérnico (Buenos Aires), 2, 12
- [6] https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2000_French.pdf (2021.06.22)
- [7] https://www.astroplate.cz/wp-content/uploads/2014/12/astroplate_2014_proceedings_rev_2.pdf (2021.06.22)
- [8] <https://www.astroplate.cz/wp-content/uploads/Proceedings/AstroplateProceedings2016.pdf> (2021.06.22)
- [9] https://www.plate-archive.org/applause/wp-content/uploads/2019/04/LSwST_abstract_booklet.pdf

- (2021.06.22)
- [10] <http://sf2a.eu/proceedings/2019/2019sf2a.conf.0189R.pdf> (2021.06.21)
- [11] https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2018_ResolB3_English.pdf (2021.06.22)
- [12] KISO INFORMATION BULLETIN, 1987, 2(4), 90
- [13] http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/RESEARCH/PlateArchive/docs/list_exp.pdf (2021.06.22)
- [14] 樽沢賢一, 征矢野隆夫, 野口猛, 岡村定矩, 1986, 東京天文台報, 20, 674
- [15] 野口猛, 前原英夫, 征矢野隆夫, 1978, 東京天文台報, 18, 417
- [16] KISO INFORMATION BULLETIN, 1979, 1, 1, 1
- [17] <https://smoka.nao.ac.jp/> (2021.06.18)
- [18] https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_standard.html (2021.06.18)
- [19] <http://jaipa.nao.ac.jp/jfits/> 「FITSの手引き」第7.0版 (2021.06.18)
- [20] <https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9/home> (2021.06.18)
- [21] <https://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/ucac> (2021.06.18)
- [22] https://pplate.nao.ac.jp/KSP_astrometric_calib.jsp (2021.06.23)

Digitization of Photographic Plates at Kiso Observatory

Tsutomu AOKI¹ Takao SOYANO² Koichi NAKAJIMA³ Nagako MIYAUCHI⁴ Yuki MORI⁵ Ken'ichi TARUSAWA⁶ Naoto KOBAYASHI⁷ Junko FURUSAWA⁸ Shin-ichi ICHIKAWA⁹ SMOKA group¹⁰
^{1, 2, 5, 6, 7} Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 10762-30 Mitake, Kiso-machi, Kiso-gun, Nagano 397-0101, Japan
³ Hitotsubashi University, 2-1 Naka, Kunitachi, Tokyo 186-8601, Japan
^{4, 8, 9, 10} National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: We have completed a digital archive of 6195 Kiso Schmidt plates, which had been obtained for about 25 years since 1974, and opened at SMOKA/NAOJ for public use. We hope those data will be of any use for a variety of studies in retrospective time-domain astronomy.