

すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発³

榎 基宏, 多賀正敏^{*1 #1}, 小澤友彦^{*2}, 野田祥代, 奥村真一郎^{*3}, 吉野 彰,
古荘玲子^{*1}, 馬場 肇^{*3 #2}, 洞口俊博^{*4}, 高田唯史, 市川伸一

(2004年3月31日受理)

Development of Public Science Archive System of Subaru Telescope 3

Motohiro ENOKI, Masatoshi TAGA^{*1 #1}, Tomohiko OZAWA^{*2}, Sachiyo NODA,
Shin-ichiro OKUMURA^{*3},
Akira YOSHINO, Reiko FURUSHO^{*1}, Hajime BABA^{*3 #2}, Toshihiro HORAGUCHI^{*4},
Tadafumi TAKATA, and Shin-ichi ICHIKAWA

Abstract

We report various improvement in a public science archive system, SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive system). While SMOKA has been in operation since June 2001, a lot of new features have been developed and implemented for promoting astronomical researches using archive data. In this paper, we have developed a new feature for providing calibrated data, that is, bias subtracted, flatfielded, and position and flux calibrated Suprime-Cam data. We have also implemented the FITS header correction at the data request. Furthermore, we have improved the image quick look and developed the features for browsing weather data, skymonitor images, and other information on the observations of Okayama and Kiso observatories.

1. はじめに

観測は天文学研究において最も主要な柱である。ある観測時刻における天域の唯一の記録である観測データを、散逸しないよう保存し管理して後の利用に供するのがアーカイブの第一の目的である。観測データは非常に多くの情報を持っているので、観測者の元々の意図とは別の視点に立った新たな研究に役立てることができる場合がある。例えば、一つの天体の様々な観測データを組み合わせて比較することにより、その天体の新たな一面が見えてくる可能性がある。あるいは、大規模なサンプルを用いての統計的研究を進める

こともできる。また、ある天体の観測を行う前に過去に蓄積されたその天体や天域の観測データを調べることは、観測計画を立案する際に重要な足掛かりを与えてくれる。更に、実観測であれば研究目的以外に使用し難いような第一線で活躍している望遠鏡の観測データを教育目的に再利用する事も可能にもなる。従って、研究者や教育者が利用しやすいようにアーカイブシステムを構築し整備することは、天文学の研究や教育を進める上で非常に有用である。2003年に開催された国際天文学連合 (IAU: International Astronomical Union) 第25回総会においても、観測データはアーカイブにして公開するべきであるという決議がなされている¹⁾。こうした観点に立って、我々は、国立天文台のすばる望遠鏡、岡山天体物理観測所188cm望遠鏡、ならびに東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡の観測データを保管・提供するアーカイブシステム SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive system)[†]を開発し

^{*1} 早稲田大学 (Waseda University)

^{*2} みさと天文台 (Misato Observatory)

^{*3} 宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency)

^{*4} 国立科学博物館 (National Science Museum)

^{#1} 現所属; 宇宙航空研究開発機構 (present address; Japan Aerospace Exploration Agency)

^{#2} 現所属; 早稲田大学 (present address; Waseda University)

運用を行ってきた^{2), 3)}
(以下論文 1, 論文 2)。

現在, SMOKA で公開しているのは, すばる望遠鏡については第一期観測装置である 7 つの観測装置 (Suprime-Cam⁴⁾, FOCAS⁵⁾, HDS⁶⁾, OHS/CISCO^{7), 8)}, COMICS⁹⁾, CIAO¹⁰⁾, IRCS¹¹⁾), および 2 つのファーストライト期試験観測装置 (CAC, MIRTOS¹²⁾) によって取得された観測データである。岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡に関しては 3 つの観測装置 (SNG¹³⁾, OASIS¹⁴⁾, HIDES¹⁵⁾) により取得された観測データが, 木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡に関しては 2 つの観測装置 (1kCCD¹⁶⁾, 2kCCD¹⁷⁾) により取得された観測データが, SMOKA を介して公開されている。SMOKA ではこれらの観測データの検索を行うため共通のインターフェースを提供しており, 利用者は観測データをオンラインで取得できるようになっている。

アーカイブシステムを利用して効果的に天文学の研究や教育を進めるためには, 単にデータをまとめて保管するだけでなく, 利用者が目的の観測データを容易に取得できるように様々な条件での検索を可能とすること, 取得した観測データを整約解析する上で必要な情報を提供することが必要である。我々はこれらの改善に常時努めており, 2001 年 6 月の SMOKA 運用開始以降も, 論文 1, 論文 2 で述べられている開発課題を順に解決してきている。最も重要な開発課題の一つは検索機能の強化であったが, 2003 年 3 月までに, 移動天体 (太陽系天体) 検索機能が追加され, 黄道, 銀河座標による検索, 観測波長による検索も可能になり, 観測データの整約解析に必要な較正フレームの自動検索機能も作成された。また, 観測データの品質を評価する上で重要な材料となる, 天候や温度, 湿度といった環境データへの参照機能が, すばる望遠鏡のデータについてのみではあるが, 追加された。検索やデータの評価のさらなる効率化をはかるため, 赤外線データの早見画像の追加を含む早見画像の拡充も行ってきた。更に, 運用開始当初は SMOKA に組み込まれていなかった, 高分散分光器 HIDES の観測データの組み込みも行った³⁾。

SMOKA の前身である, 岡山天体物理観測所と木曾観測所の観測データを提供していた MOKA (Mitaka-Okayama-Kiso Archive system 18-21) の開発開始から 10 年がたち, SMOKA の公開開始

からも 3 年が経過し, 日本においてもデータアーカイブを用いた天文学研究が徐々に浸透してきている。SMOKA は多くの利用者に活用され天文学研究成果が生まれてきており, また, SMOKA で公開されている観測データを活用した教育活動も行われている。しかしながら, SMOKA が天文学を推進する上でより有力な手段となるためには, まだ解決すべき課題が数多く残されている。その中で最も重要な課題は整約済みデータの提供である^{2), 3)}。これまで, SMOKA では解析処理をいっさい施していない生データのみを提供してきた。整約作業は利用者が行わなければならない, 装置固有の問題やデータ取得の状況を十分に把握できない利用者には, 整約作業は困難なものであり, 天文学的成果に至る道は遠かった。それ故, 利用者がアーカイブデータから天文学的成果をより効率的に引き出せるようにするために, 整約済みデータの提供機能が強く望まれてきたのである。また, データの内容や品質を迅速に評価できるように, これら整約済みデータに対応した早見機能の拡充も課題となっている。さらに, すばる望遠鏡でのみ行われていた環境データの提供を, 岡山天体物理観測所と木曾観測所についても行うことも必要となってきている。また, SMOKA が公開している地上の光赤外望遠鏡の観測データを, X 線や電波等の複数の波長域にまたがった他の観測データアーカイブと連携させることも重要となってきている。そこで, Web 上で複数のリモート天文データサーバと利用者の間を仲介する多波長天文画像データ検索閲覧システム jMAISON³⁷⁾ に早見画像を提供し, 他の波長域の観測データとの重ね合せの実現を目指すこととした。

本論文では, 以上の課題を解決すべく SMOKA に追加補強された機能について報告する。2 章では, 今回の主要な開発箇所である整約済みデータの提供機能を解説する。3 章では新たに追加された環境データ等の参照機能について, 4 章では拡充された早見機能について, 5 章ではその他の新機能について, 6 章では SMOKA と jMAISON の連携について述べる。SMOKA の利用状況と運用上の課題, 更に天文学研究成果と教育利用について 7 章で述べ, 今後の技術的課題について 8 章で論じ, 9 章でまとめを行う。

2. 整約済みデータの提供機能の開発

生データに加えて整約済みデータの提供をすることは, より早く天文学研究成果を産み出すことを可能とするのはもちろん, データの品質のよ

[†] <http://smoka.nao.ac.jp/>

り的確な評価を可能にするものである。本論文では、SMOKA において利用者からの請求が最も多いすばる望遠鏡の Suprime-Cam の観測データを対象に、整約として、いわゆる一次処理（バイアスの差引処理、フラットフィールド処理）、および、位置較正とフラックス較正の処理を施して提供することとした。

論文 2 では整約済みデータの提供方法として 3 つの可能性を論じたが、方法 (2)、すなわち、あらかじめ整約済みデータを作成しておく方法を選択した。ただし、位置較正とフラックス較正は、実際の運用上においては、あるいは、観測データの品質によっては、必ずしも一次処理と一括して行われるとは限らない。また、場合によってはより良い処理結果を目指して再処理が行われることもありうる。そのため、位置較正とフラックス較正の情報は、データ請求時に FITS ヘッダに書き込む（実際には入れ替える）こととし、その際に併せて、その時点までに判明している FITS ヘッダの誤りを訂正することとした。また、一次処理がどのように行われたかの履歴や、較正結果の精度の目安になる情報なども利用者が閲覧できるようにした。処理履歴や精度表示まで含めた全体のデータの流れを図 1 に示した。以下でその詳細を述べる。

2.1 一次処理

前述の通り、当面 Suprime-Cam データのみを対象とし、一次処理としてバイアス差引処理とフラットフィールド処理を施すこととした。処理は一観測ラン（Suprime-Cam が連続して望遠鏡に搭載され稼働している期間：おおむね数日から十日間）をひとまとまりとして行っている。また、全てのオブジェクトフレーム（天体が写っているフレーム）を対象とするのではなく、処理後の品質（精度）がある程度以上のフレームのみを公開対象としている。処理手順の概要は以下の通りである。

(1) 前準備

一観測ランのチップ毎フレーム一覧を作成する。そこから、チップ毎バイアスフレームの一覧、チップ毎フィルター毎オブジェクトフレームの一覧も作成する。

(2) スーパーバイアスフレームの作成

ここでは各バイアスフレームからオーバースキャンピクセル部の平均値を差し引いた上で多数枚合成したものをスーパーバイアスフレームと呼ぶ。チップ毎に処理を行う。(1)で作成したチップ毎バイアスフレームの一覧をもとにして、画像

表示、および、統計量グラフ表示を行い、不適と思われるフレーム（光が入ってしまっている場合など）を除いた後に処理を行っている。

(3) スーパーフラットフレームの作成

チップ毎、フィルター毎に処理を行う。(1)で作成したチップ毎フィルター毎オブジェクトフレームの一覧をもとに、カウントが適切な範囲（おおむね 15000ADU から 30000ADU の間、saturation level は 31000ADU 程度:2.6 electrons/ADU）にあり、かつ、ガイダープローブによる陰りが無いフレームを選択し、画像表示を行って不適と思われるフレーム（明るく大きな天体が写っている場合、空が曇っている場合など）を除いた後に、各フレームからオーバースキャンピクセル部の平均値を差し引き、さらに(2)で作成したスーパーバイアスフレームを差し引き、フレーム中央部の平均値が 1 になるように規格化して合成をする。これをスーパーフラットフレームと呼ぶ。

オブジェクトフレームに十分な枚数（30～40 枚程度）がある場合には、処理を単純化するため、ドームフラットフレームやスカイフラットフレームは用いていない。

(4) バイアス差引処理とフラットフィールド処理

チップ毎、フィルター毎に処理を行う。オブジェクトフレームに対し、オーバースキャンピクセル部の平均値を差し引き、(2)で作成したスーパーバイアスフレームを差し引いて、(3)で作成したスーパーフラットフレームで割り算を行う。

フラットフィールド処理後のフレームに対しては精度指標の算出を行っている。精度指標はフレーム内で均一に分布した 15 箇所の領域の平均カウント値の標準偏差を求めることで得ている。処理後のフレームの画像表示とこの精度指標の値を参考にして、処理精度が良くないと思われるフレームは公開対象から除いている（標準偏差が平均カウント値の 1% を越えるかどうかを目安としている）。

(5) ファイル配置

処理後のフレームをサーバー内の所定箇所に配置した上で、管理データベースの更新を行う。処理前のフレーム番号は例えば、SUPA00123456 であるが、処理後は SUPF00123456 として区別をつけている（ファイル名はフレーム番号に .fits をつけたもの）。なお、現在は、モザイク処理は行っていない。また、処理の履歴やパラメータはログファイルとして保存し、後述の通り利用者が参照できるようにしている。

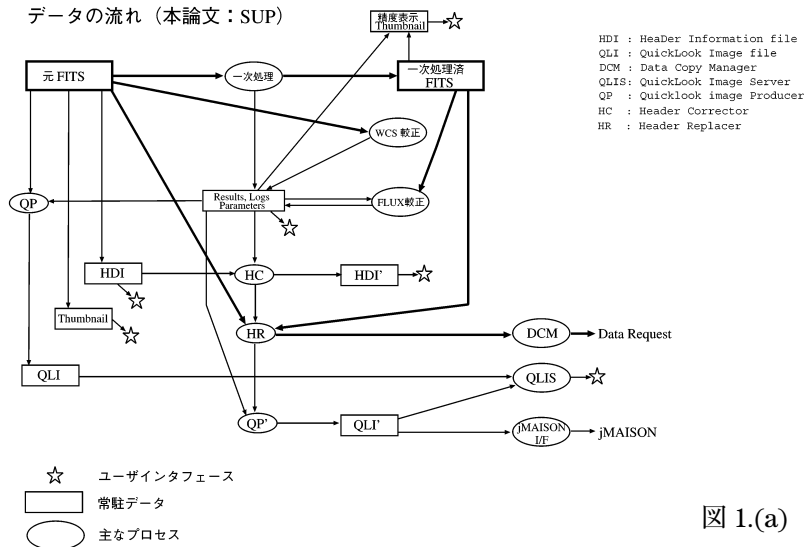


図 1.(a)

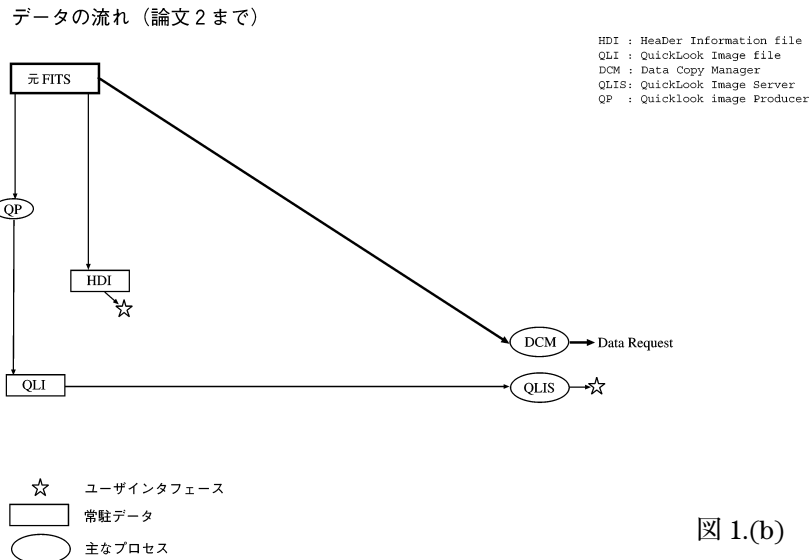


図 1.(b)

図 1. 整約済みデータ提供機能におけるデータの流れ. 本論文で開発実装したSuprime-Cam データの場合のデータの流れを図 1.(a) に, 論文 2 まで, または, Suprime-Cam 以外のデータの場合を図 1.(b) に示した. 磁気ディスクや磁気テープライブラリなどの上に常駐するデータを四角で, 主なプロセスを楕円で示している. また, ユーザインタフェース (利用者の Web ブラウザ) を星印で示した. データの流れを表す矢印で太線は観測データ本体を, 細線はそれ以外を示している.

処理の概要は上記の通りであるが, できるだけ単純かつ標準的な処理を行うことで, 容易な再現を可能にし, かつ, 運用として現実的な作業量・作業難度にとどめるよう留意した. したがって, 必ずしも最良の処理ではない場合があるが, 運用という枠の中ではやむを得ないものと考えている. それを補う目的で, 観測者から提供される整約済みデータ (既に一部の観測者から提供の申し出がある) を別途 SMOKA に組み入れて公開することを検討している. スーパーバイアスフレームやスーパーフラットフレームを作成するのに十分なフレーム数 (スーパーバイアスフレームなら 10 枚程度, スーパーフラットフレームなら 20~

30 枚程度) がない場合や, 大きな天体を含んだフレームが多数ある場合などには, マスク処理を含めたより複雑な処理が必要であり, 上で述べた単純な処理では十分な精度を得られない場合もある. こういった場合, 現在は, 整約済みデータを提供していない.

また, 処理の主要部分 (観測データそのものを加工する過程) はできるだけ IRAF²²⁾ の標準タスクを用いることとした. これは, 多くの研究者が利用しているソフトウェアである IRAF を共通語として処理内容を表現するためである. 今回開発した smokapkg と称する IRAF 上のパッケージの主要部分は, IRAF の標準タスクを CL スクリプト

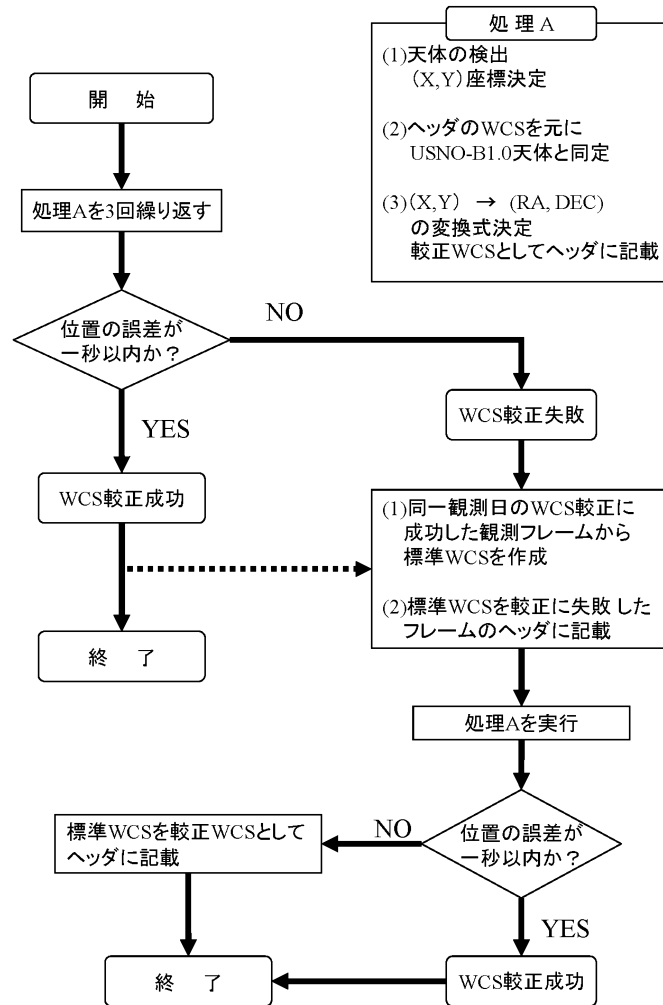


図 2. 位置校正機能におけるデータ処理の流れ.

で組み合わせたものである。処理の主要部分に属さず IRAF の標準タスクでは実現が難しい、あるいは、作業効率が上がらない箇所のみ、自作のソフトウェアを用いている。フラットフィールド処理の後に処理の履歴などを FITS ヘッダに書き込むための処理と統計値の算出は Fortran プログラムで、フレームの選択の際に統計量をグラフ表示する部分はデータベースを扱う関係で Java プログラムで実現し、それを IRAF のタスクとして組み入れている。IRAF の標準タスクは、バージョンアップの際に処理内容やパラメータが変更されることがしばしばあり、その点は注意せねばならない。処理履歴を記載したログファイルには IRAF と smokapkg のどのバージョンを用いたかを明確に示すようにしている。

2.2 位置校正

すばる望遠鏡の Suprime-Cam は、8 メートルクラスの望遠鏡としては最大の視野を持つ観測装置であり、観測データに含まれる膨大な数の天体

のより正確な位置情報は天文学研究上大きな意義を持っている。一般に観測データの FITS ヘッダには、その位置情報（天球座標）を示す World Coordinates System (WCS) が FITS キーワードとして記録されている。すばる望遠鏡の観測データの WCS は、望遠鏡のポインティングをもとにした単純なもので、観測装置に特有の光学系に由来する歪み、大気差の変化、観測装置の着脱に伴う焦点位置のずれなどは、この単純な WCS では正しく表現されない。特に、視野が 30 分にも及ぶ Suprime-Cam においては、光学的歪みによる視野の端での座標の系統的なずれは数十秒にも達する。これは天体の同定を困難にするだけでなく、例えば 6 章に述べる jMAISON のように、WCS を利用して他の観測装置のデータと座標を合わせ、画像の重ねあわせを行うような場合には深刻な問題となる。

そこで、我々は Suprime-Cam の観測データの WCS の校正を行うシステムを開発、実装した。位置校正におけるデータ処理の流れは図 2 に示し

2002-02-13 / 473 frames

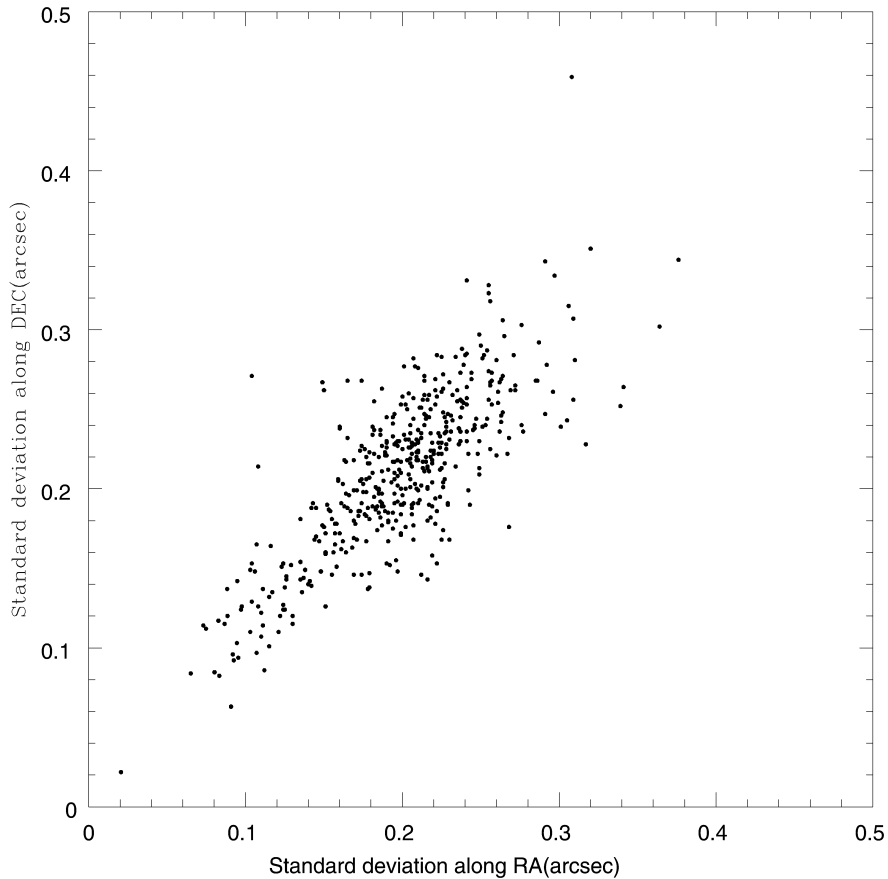


図3. 2002年2月13日のSuprime-Camの観測データで、WCS較正を行って成功した473フレームの位置精度の分布．横軸／縦軸はそれぞれ赤経，赤緯方向への残差の標準偏差．

た．WCS較正は，まず観測画像に写っている天体そのものをリファレンスにして，以下のように行われる．

1. 観測データから天体を検出²³⁾し，そのピクセル単位の重心位置座標 (X, Y) を決定する．
2. 観測データの FITS ヘッダに記録されている (精度の悪い) WCS をもとに，1. で検出した天体を USNO-B1.0 カタログ²⁴⁾で同定する²⁵⁾．これによって，検出された各天体の重心位置座標 (X, Y) と USNO-B1.0 から得られる天球座標 (赤経・赤緯) の間の対応関係が得られる．
3. 2. で得られた対応関係から，X, Y 座標から赤経・赤緯への変換式 (の係数) を IRAF のタスク (ccmap) を用いて求め，それを較正 WCS として FITS ヘッダに記録する．また，この変換式の精度の目安として，変換式から求められる赤経・赤緯と USNO-B1.0 のカタログ値の間の残差の標準偏差，および変換係数を求めるのに利用したリファレンス

天体の数を FITS ヘッダに記録する．

以上 1.-3. の手順を何回か繰り返す．最初の繰り返しにおける 2. の手順において，FITS ヘッダに記録されている較正前の WCS が特に大きな誤差 (数十秒) を含む事がある．この場合，同定が正しく行われない天体が含まれる事になり，それが変換式の精度に影響する．そこで，上記 1.-3. の処理を繰り返して逐次的に WCS を改良し，その精度を上げるという方法を採用している．経験的には 2 回の繰り返し処理で十分であるが，確実性を高めるため，現在は 3 回の繰り返し処理を行っている．この手続きで WCS 較正に成功すれば，その典型的な位置精度は 0.2 ~ 0.3 秒程度まで改善される (図3)．なお，上記手順 1, 2 では東京大学宇宙線研究所の安田直樹氏が，参考文献²³⁾, ²⁵⁾ を基に作成した天体検出および天体同定プログラムを使用している．

以上の手続きで WCS 較正を行った結果，残差の標準偏差が 1 秒を越えたフレームは何らかの理由で WCS 較正に失敗したと判断する．その原因はさまざまであるが，例えば，球状星団や銀河面

など天体が異常に密集したところでは、天体の検出ができない、USNO-B1.0 カタログによる同定ができない等の理由で失敗することが多い。また、露出時間が短かったり、そもそも天体の少ない天域を観測しているため検出天体が非常に少ない（典型的には10個未満）場合も、変換式を精度良く求めることができないため上記の方法によるWCS較正は適用しない。このように自フレーム内で検出された天体をリファレンスにしてWCSを較正できなかった場合、以下の方法を試みる。

まず、上記の方法で較正WCSが得られた同一観測日のフレームから、CCDチップごとの「標準WCS」を作成する。これは、これらのフレームのWCSの平均とでもいうものであるが、その精度は3～5秒程度で、観測データのFITSヘッダに最初から記録されているWCSに比べれば若干精度がよい。この標準WCSをWCS較正を試みるフレームのヘッダに付け、再度1-3.によってWCSの較正を試みる。標準WCSからスタートすることで、特に2.の手続きにおける天体同定の精度が改善されてWCS較正が成功する場合がある。成功した場合、WCSそのものとその精度をFITSヘッダに記録する。この手続きでもWCS較正がうまく行かない場合は標準WCSをそのまま利用する。この場合、標準WCSの精度があまりよくなく、また定量的な保証も難しいため、FITSヘッダには精度情報は記録しない。

2.3 フラックス較正

言うまでもなく、天体の明るさは観測データの持つ最も基本的な情報のひとつである。正確な測光を行うためには測光標準星の観測と細心のデータ処理が必要であり、一次処理をできる限り省力化して行うSMOKAでそのような精密な測光データを提供することは難しい。しかし、例えば既存の観測データをもとに観測計画を立てる場合など、多少精度は悪くても観測天体の明るさの目安を得たいという場合も多い。SMOKAでは、USNO-B1.0 カタログに提供されている等級を基準としてフラックス較正を行い、観測天体の明るさの目安を提供している。フラックスの較正は、2.1の一次処理と2.2のWCS較正が行われており、かつ、CCDの線型性が保たれている範囲に押さえるために露出時間の短い（10秒程度）観測フレームに対して行う。WCS較正の過程で、観測フレームから天体を検出し、それをUSNO-B1.0 カタログで同定する際に各天体の等級のカタログ値も得ることができる。このカタログ値と

IRAFを使った自動測光の間の回帰直線を求めることで、CCDのピクセル値に対応する等級を決定することができる。USNO-B1.0の内部的な測光誤差は0.25等程度とされている²⁴⁾。SMOKAにおけるフラックス較正の精度はこれより若干悪い程度（0.4等程度）であると処理結果より推測される。なお現在、フラックス較正はW-C-ICバンドでのみ行っている。これは、他のバンドで該当するフレーム数が少ないことによる。

2.4 一次処理及び較正の履歴と精度の表示

2.1節で述べた通り、SMOKAで提供される一次処理済データは必ずしも最良の処理を施されたとは限らず、また、較正用フレーム取得状況や天候の変化等の要因により一次処理の精度を高めることには限界がある。そのため、一次処理済のデータの利用にあたっては、利用者に処理の精度（限界）を認識してもらう必要があり、それを判断する材料として処理の履歴と精度の目安を閲覧できるようにした。

(1) 一次処理の履歴表示

一次処理の各段階において、どのような処理が行われたのか利用者が閲覧できるようにしている。具体的には、各観測フレームのデータ情報表示画面（2.6節参照、図9）から、一次処理履歴表示ページに進むことにより、一次処理の手順や、バイアス差し引きに用いたスーパーバイアスフレーム、フラットフィールド処理に用いたスーパーフラットフレーム等の作成履歴情報（どのフレームを用いたか、作成に用いたIRAFの各タスクのパラメータ等）をたどることが可能であるようにしている。いずれの処理についても、用いたIRAF、smokapkgのバージョン、処理日時が示される。これらの表示情報は、一次処理のログファイルの情報を抽出して編集したものである。

(2) 一次処理の精度表示

一次処理の精度は、アーカイブ利用者が目的の観測データを取捨選択をする際に必要な情報である。そのため、利用者が検索した複数の観測フレームについて、その一次処理済画像のスカイの均一性を表示して、精度の目安とできるようにした（図4）。

スカイの均一性を計算するために、まず、画像のスカイのカウント値を以下の手順で求める。

(1) 画像のカウント値の平均値と標準偏差を計算する。(2) 各ピクセルのカウント値から平均値を差し引いた値が、標準偏差の3倍を越える領域は、天体が写っていると見なし、その領域を取り除い

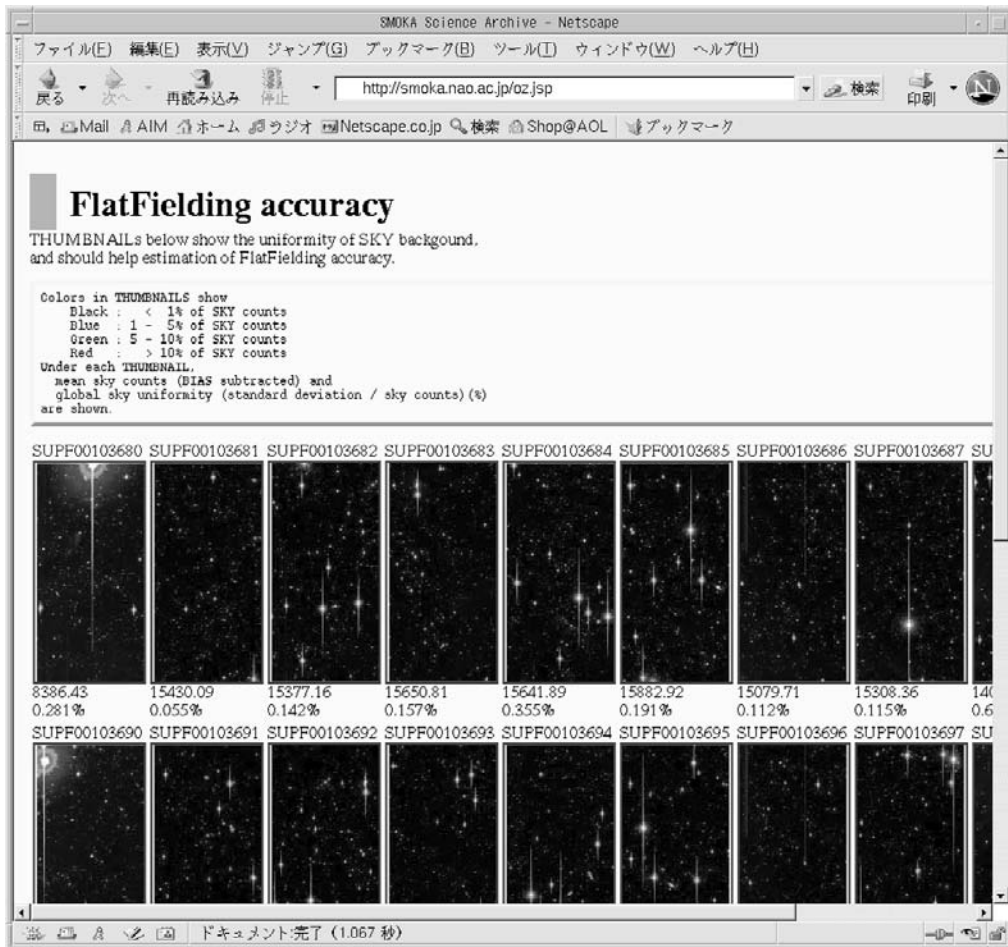


図 4. 一次処理の精度表示画面の例. 精度の指標としてスカイの均一性が表示されている. 各フレームのスカイのカウント値と大局的な精度指標値が各画像の下に記述される. 該当する精度表示画像が存在しない場合は, “no data”と示される.

た画像を作る. (1)–(2) の処理を繰り返し行い, (2) で天体として取り除かれる領域がなくなった画像のカウント値の平均を, 元の画像のスカイのカウント値とする. 次に, スカイのカウント値に対する, 各ピクセルのカウント値とスカイのカウント値の差の比率を計算し, これをスカイの均一性の指標とみなす. 精度表示画面で, 実際には, スカイの均一性が 1 %未満の領域を黒, 1 %以上 5 %未満の領域を青, 5 %以上 10 %未満の領域を緑, 10 %以上の領域を赤と色分けして示している. これにより一次処理後のスカイの均一性を一目で確認できるようになった. さらに, 精度表示画面 (図 4) では, 精度を示す画像ばかりではなく, スカイのカウント値や, 2.1.(4) 節で述べた大局的な精度指標値も示した. また, この画面上の各画像から, それぞれの観測フレームのデータ情報表示画面へのリンクが張られている.

(3) 位置較正とフラックス較正の精度表示

WCS およびフラックスの較正の精度は, その

目安となる数値をそれぞれ FITS ヘッダに記録して利用者が直接参照できるようにしている. また, それを視覚的にも確認できるように, (図 5) および (図 6) に示したように, データ情報表示画面上 (2.6 節参照, 図 9) で較正結果をグラフ化したものも Web 上で提供している.

2.5 FITS ヘッダ書き換え/訂正機能

FITS ファイルのヘッダ部分には, 観測データの属性情報 (座標, 時刻, 波長, 観測装置のパラメータなど) が記載されている. これらの情報はアーカイブ利用者が観測データを解析する際に必要な材料となっている. しかしながら, 望遠鏡や観測装置などの観測システムの障害により, ヘッダに記載されている属性情報が誤っていたり, 欠落することがある.

そこで, SMOKA では観測データ取得後に判明した属性情報の誤りや欠落と, その訂正された値をデータベース化している. また, 一次処理と位

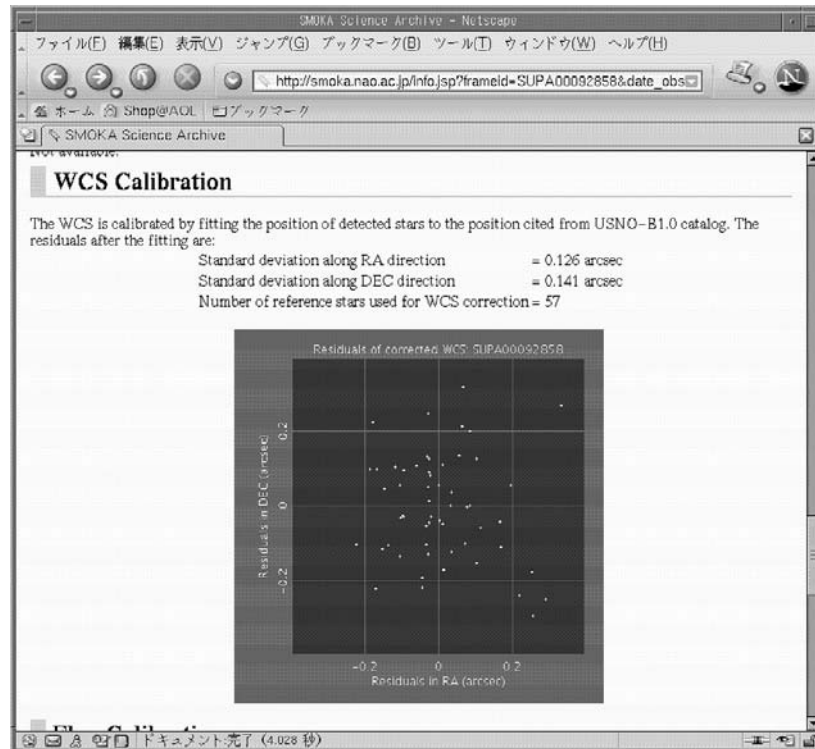


図 5. WCS 較正の精度表示の例. WCS 較正を行った後の赤経方向, 赤緯方向の残差, および較正に使ったリファレンス天体の数を数値および図として表示している.

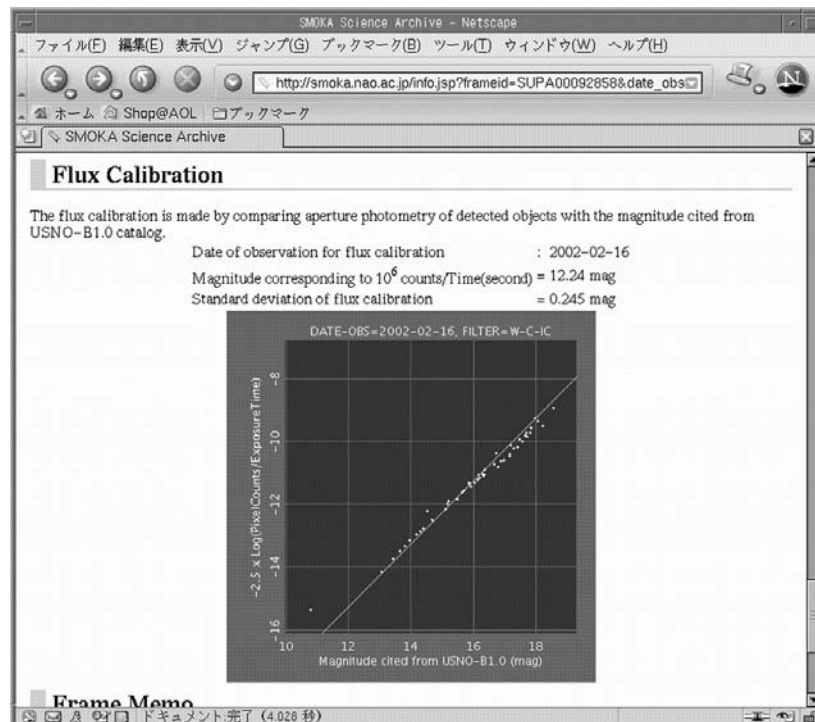


図 6. フラックス較正の精度表示の例. 図の縦軸は各天体に aperture photometry を適用した結果, 横軸は USNO-B1.0 に示されている各天体の等級である. 最小二乗フィットで求めた直線が較正結果である.

位置較正とフラックス較正の情報もデータベース化している. そして, これらのデータベースを参照することにより, FITS ファイルのヘッダ部分の書き換えと, 検索時にデータ情報表示画面で利用

者に閲覧させている FITS のヘッダ部分だけを切り取った HDI ファイル (Header Information file) の再作成を行っている. この書き換えと再作成の作業は, 整約済みデータだけでなく全てのデータ

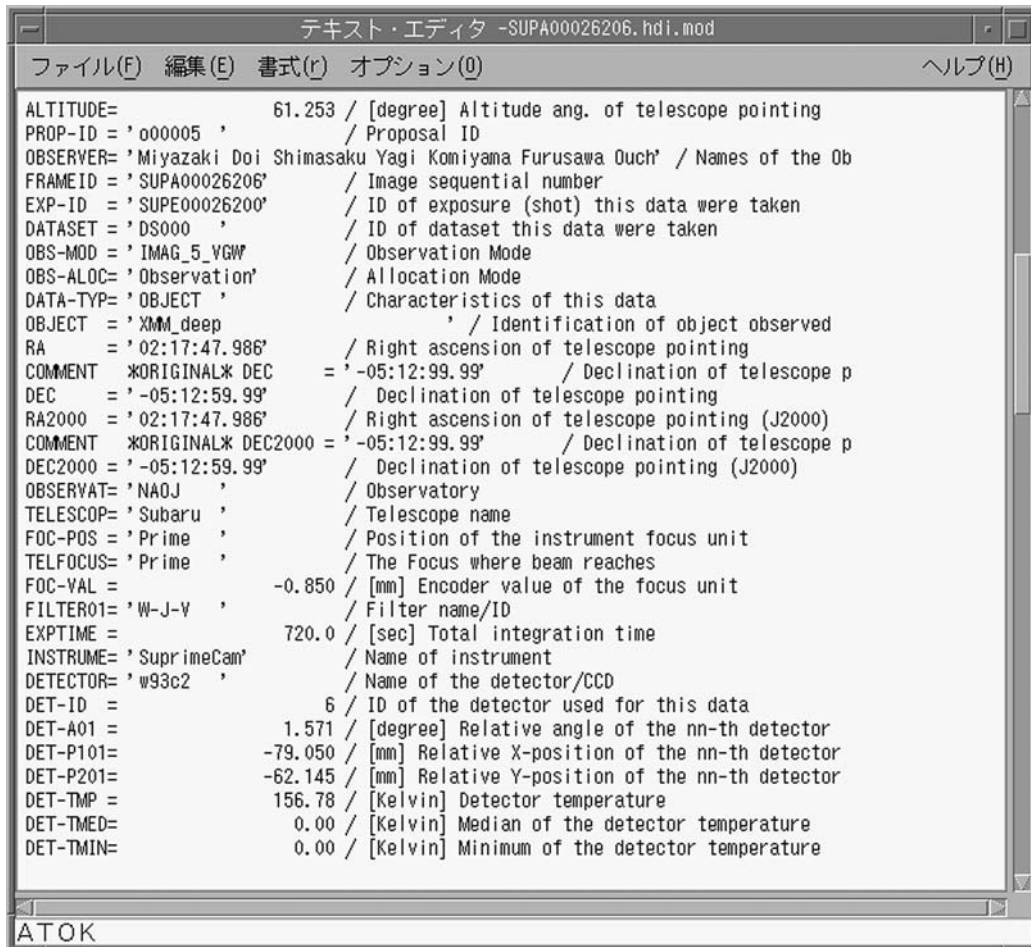


図 7. 書き換えたヘッダの例. DEC, およびDEC2000 の値が書き換えられている。

に対して行っている。属性情報の誤りについては、それを含む行をコメント化し、その直下の行に訂正された値を入れたヘッダカードを挿入している。欠落した情報はヘッダカードを書き加えている。書き換えられたヘッダの例を図 7 に示した。HDI については、検索結果を表示するまでの時間を短縮させるため、HC (Header Corrector) を用いて予め再作成しておいたファイルを用意して表示させている。FITS ファイルのヘッダ部分については、最新のヘッダ訂正情報を反映させるため、利用者からの請求があった際に、HC を用いて新たにヘッダを作り、HR (Header Replacer) を用いてヘッダを入れ替えてから FITS ファイルを提供している。整約済みデータが請求された場合は、これと同時に一次処理と位置較正とフラックス較正の情報を新たなヘッダに付加している。なおこの機能は Suprime-Cam データだけでなく、他の観測装置のデータにも適用が可能であり、ヘッダ情報の誤りが特に多い木曽観測所の 1kCCD のデータへの早期適用を計画している。

2.6 GUI の改良

従来 SMOKA ではいっさいの解析処理を施していない生データのみを利用者に提供していた。今回の改良により Suprime-Cam のデータについて整約済みデータの提供を開始したが、整約済みデータが提供できない場合や、利用者自身が解析処理を行いたい場合も考慮して、

- (1) ヘッダの観測データ属性情報の誤り、欠落のみ書き換えた FITS ファイル
- (2) (1)に加え、位置較正を行い、更に可能ならフラックス較正も行った FITS ファイル
- (3) (1)に加え、一次処理、および位置とフラックス較正を施した FITS ファイル

の 3 種類の FITS ファイルを提供することにした。2.3 で述べた通り、一次処理および位置較正を行ったフレームに対してのみフラックス較正を施すので、(2), (3) については、フラックス較正が可能である場合のみ、フラックス較正も施してある。同一のフレーム番号のデータに対しファイル名は、例えば(1) SUPA00103701.fits (2) SUPW00103701.fits (3) SUPF00103701.fits などと区別して提供している (表 1)。観測データの品質や観

表 1 提供する FITS ファイルの種類

	ヘッダ訂正	位置較正	フラックス較正	一次処理
(1) SUPA	O	X	X	X
(2) SUPW	O	O	O #	X
(3) SUPF	O	O	O #	O

可能であれば

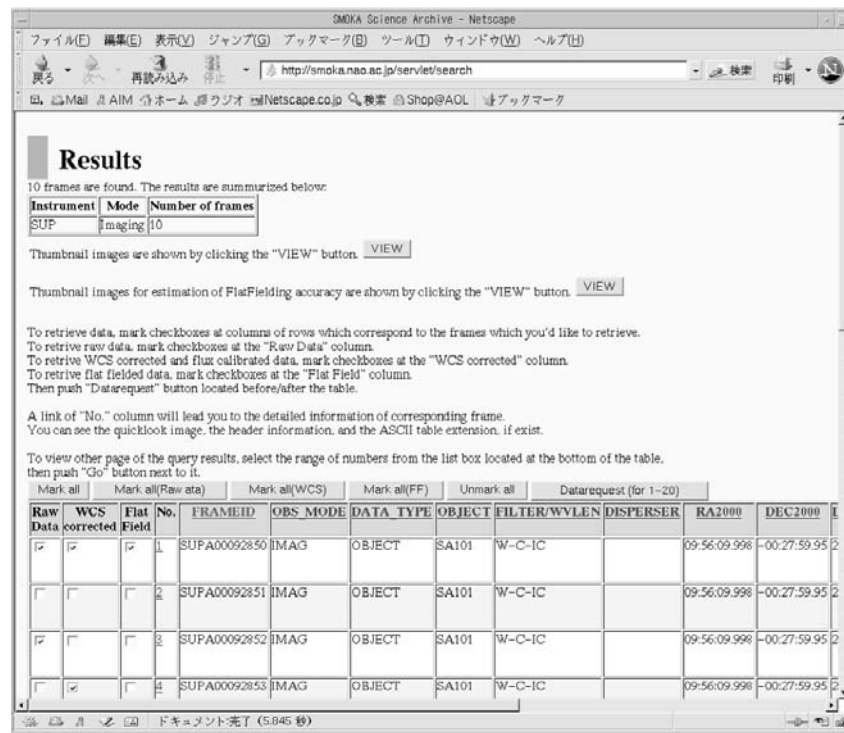


図 8. 検索結果一覧表示画面の例.

測条件によっては整約処理が可能ではないものもあるため、検索結果一覧表示画面に (2), (3) のファイルの有無を表示し、その一覧の中から必要なものを選択できるように GUI を改造した (図 8). また、そこからリンクしてあるデータ情報表示画面の例を図 9 に、データ請求画面の例を図 10 に示した.

3. 環境などの参照機能の開発

観測データの品質に大きな影響を与えるものとして、観測時の天候などの環境条件が挙げられる. これらを示すデータとしては、気温や湿度などの数値データや雲量や空の透明度などの判断に利用する全天画像、さらには観測時に観測者が天候を判断して記した天候表や観測装置の状況等も含まれた観測野帳などがある. アーカイブされている観測データの品質の判断を容易にするための各種環境データを利用者に提供することも重要であ

る. SMOKA では、特に観測データの品質の安定性の指標となる、環境データの時間変動を表示することに重点を置いている.

すばる望遠鏡に対する環境データ参照機能はすでに開発され、公開されている³⁾. そこで今回は、MOKA で組み込んだ機能²¹⁾ を発展させて、岡山天体物理観測所^{26), 27)} ならびに東京大学木曽観測所^{28), 29)} における各種環境データの参照機能の開発を行った.

3.1 天候データ表示機能

SMOKA では、天候に関する各種データのうち、気温、湿度、気圧、露点、風向、風速など数値的に計測されたものを図示する部分を気象モニターと呼び、雲量などの確認を目的として取得されている全天カメラの画像を表示する部分をスカイモニターと呼んでいる. 天候データの表示機能は、木曽観測所ならびに岡山天体物理観測所ともに共

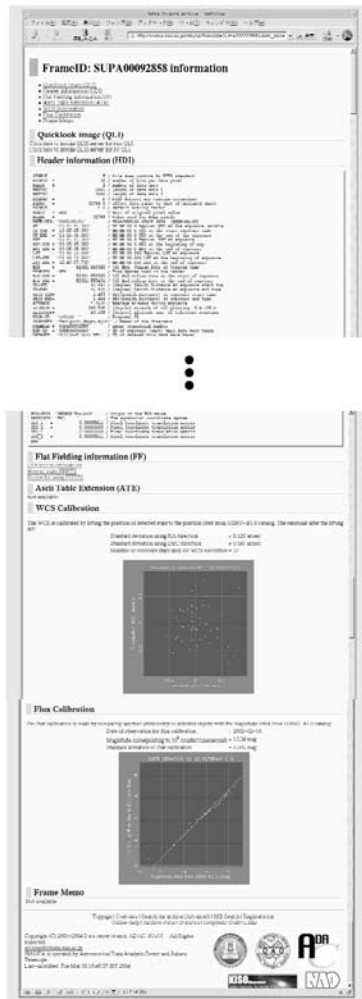


図 9. データ情報表示画面の例. HDI を表示している中間部分は省略して示している. 下部には図5, 図6 で示したWCS 較正とフラックス較正の精度が表示されている.

図 10. データ請求画面の例.

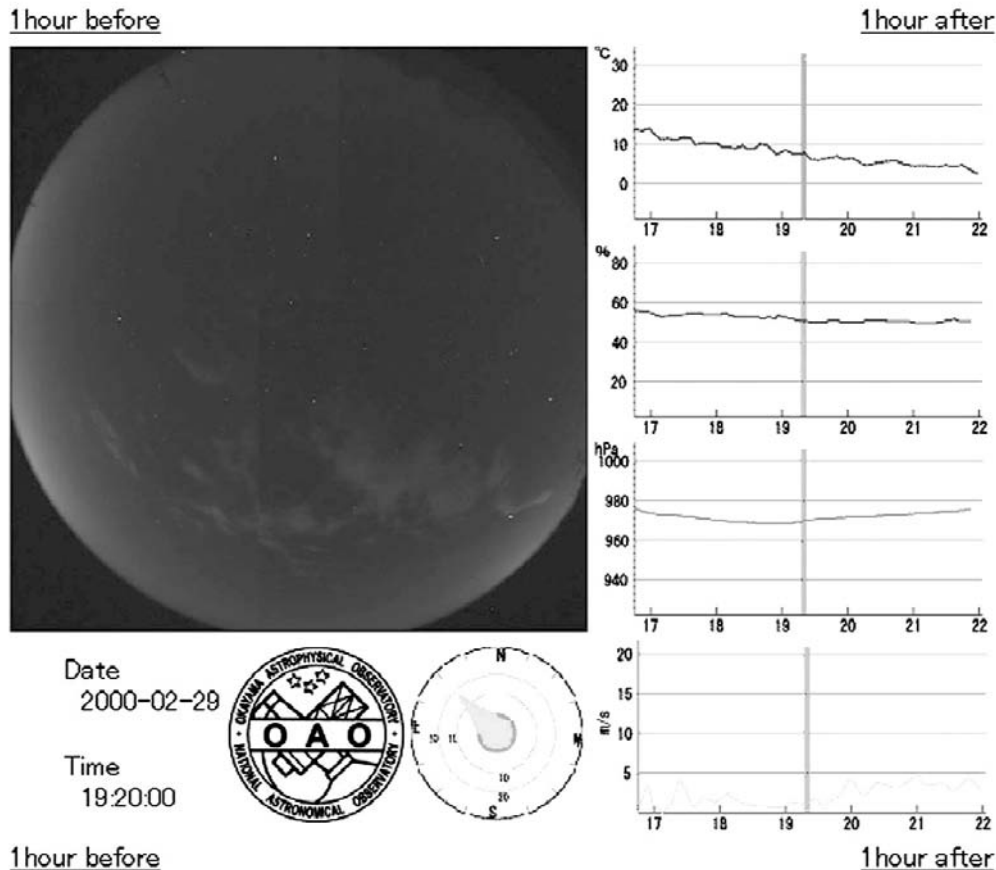


図 11. 天候データ表示画面の例. 左上の画像がスカイモニター画像. この画像は上が北を示している. 右側に縦に並ぶグラフが, 気象モニター各グラフで, 上から, 気温, 湿度, 気圧, 風速に当たる. スカイモニター画像の下には, 風向を示す矢印と観測所のロゴが表示される. この例では, 岡山天体物理観測所のものを示している.

通のものとした. これは, アーカイブ利用者にとっての操作性の向上とアーカイブシステム開発における開発効率の向上を図るためである. しかし, すばる望遠鏡の天候データと, 岡山天体物理観測所と木曽観測所の天候データとは取得時間間隔も種類も異なることから, 今回開発した天候データ表示機能はすばる望遠鏡のものとは別に開発した. 天候データ表示画面の例を (図11) に示した. この画面は7 分割されており, うち 5 ヶ所が気象モニターに当たり, 残り 2 ヶ所がスカイモニターに当たる.

(1) 気象モニター

気象モニター部分には, 気温, 湿度, 気圧, 風向, 風速をグラフ化した画が表示される. 指定した時刻を中心に前後 3 時間, 計 6 時間分のグラフが表示されるが, 風向については, 指定した時点での方位を矢印で示すのみで前後の変化を読み取ることはできない. ただし, 前後 1 時間の時点へのリンクを用意することで, 時間的な変動も簡便

に確認できるものとした. 該当するデータが存在しない場合は, 各表示枠の中に “no data” と記述されるようにした.

岡山天体物理観測所については, 観測所内 36 インチ望遠鏡ドーム外部の北側に設置されたセンサーのデータを気象モニターでの表示の対象とした. これは計測されているデータの種類の豊富さと測定継続性から判断したものである. 測定は 10 分に 1 度の頻度で 1997 年から行われており, 1999 年以降は大きなデータの欠損も無く非常に安定したものとなっている. この気象データは岡山天体物理観測所でデータベース化されており, このデータベースを SMOKA のデータベースにミラーすることにより, 気象データを組み込んでいく. 木曽観測所では現在, 気圧の測定を行っていないため, 代わりに露点のデータを表示している. 各種センサーは本館屋上に設置されている. 測定は 1999 年から行われているが, 計測される種類の変更や欠損期間が長く継続性が低い. 木曽観測

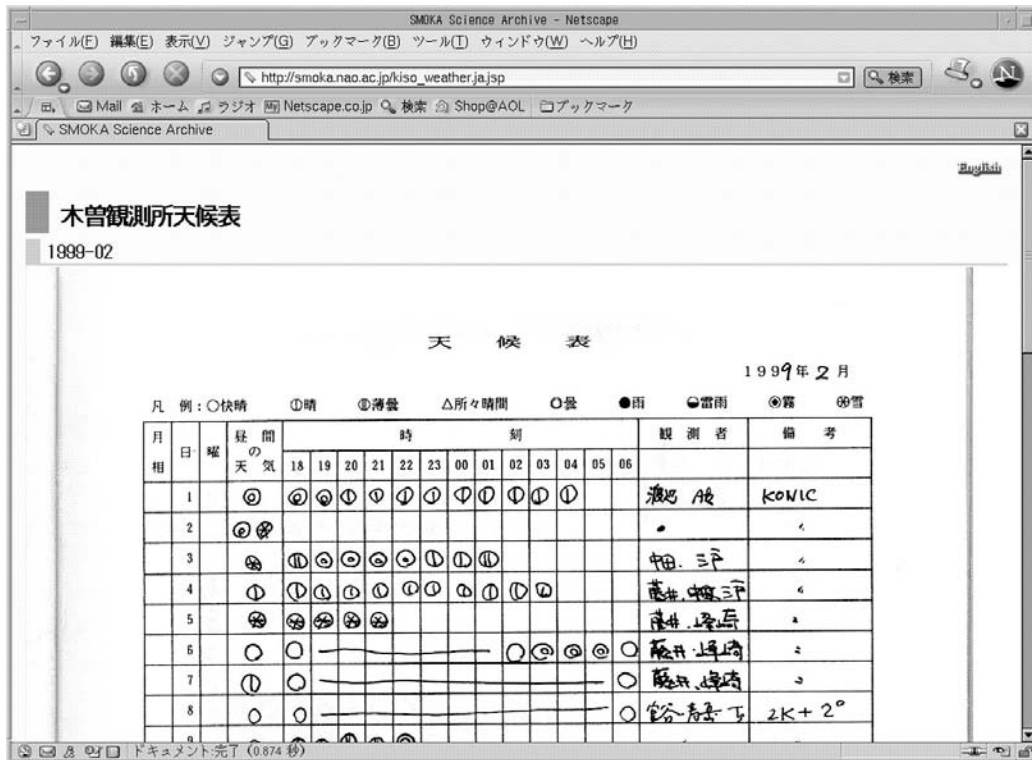


図 12. 木曽観測所の天候表表示画面の例.

所では継続的かつ安定的なデータ取得を目指して整備中であるとのことである．現在，木曽観測所からは ftp 等のネットワークを介したデータ移送が不可能であるので，気象データをコピーした DVD を三鷹に移送することで SMOKA に組み込んでいる．

(2) スカイモニター

スカイモニターは，岡山天体物理観測所ならびに木曽観測所が運用している雲量等天候確認用の可視光の全天カメラの画像を表示している．画面に表示中の中心時刻においてスカイモニターの画像が取得されていない場合は，前後 5 分以内で最も近い時刻に撮影された画像を表示する．前後 5 分以内の画像が存在しない場合は，表示枠の中に“no data”と記述するようにしている．

岡山天体物理観測所のカメラは本館屋上に設置され，日の入りから翌朝日の出までの間，15 分に 1 枚の頻度で撮影が行われている．撮影は 1997 年から行われているが，安定し連続して画像が得られているのは 1999 年以降である．画像は岡山天体物理観測所で jpeg 形式で保存されており，これを ftp で取得することにより，SMOKA に組み込んでいる．木曽観測所のカメラは本館 2 階屋上に設置されており，夜間におよそ 6 分に 1 枚の頻度で撮影されている．撮影は，2001 年 9 月か

ら行われているが，連続的に画像が得られているのは 2002 年以降である．現在，木曽観測所ではこの可視光全天カメラに代わり，赤外線全天カメラを立ち上げつつある．今後，SMOKA ではこのデータを組み込んでいく予定である．木曽の全天カメラの画像は gif 形式で保存されており，前述の気象データと共に DVD にコピーされ移送され，SMOKA に組み込んでいる．

3.2 その他の参照機能

(1) 木曽観測所天候表の表示機能

観測時の天候を記録した天候表は，アーカイブ利用者が観測データを解析する上でも有用である．木曽観測所には観測者が毎時の天候状況を手書きで記録した天候表が保存されているので，この記録をスキャナーで読み取り公開することにした．この天候表は，木曽観測所でスキャンされ，1 か月分を 1 つの gif 形式のファイルとして保存されている．そのファイルは木曽観測所で DVD にコピーされ，三鷹に移送されている．SMOKA ではそのファイルが到着次第順次 DVD からハードディスクにコピーしておき，その月に取得されたすべての観測データの観測者占有期間（1 年間）が過ぎた後に Web ページに組み込んで公開している．図 12 に示すように，1 ヶ月分の天候表を

岡山天体物理観測所 HIDES 観測ログ

2000-10-10

HIDES Observing Log (Okayama Astrophysical Observatory/NAOJ) Page: 1 of 4

Observer(s): 宮本, 比田井, Date: 2000/10/10

No.	file name	object	JST (h:m:s)	exp. (s)	slit-w (mm)	maskFL/R (mm)	filter	cross-d.	scan(deg)	remarks
1	hb01817	bias	18:38:07	0	100	0.75/0.75	—	Red	-1.0	
2	hb01818	bias	18:44:06	0						
3	hb01819	bias	18:48:00	0						
4	hb01820	bias	18:59:11	0						
5	hb01821	bias	19:03:40	0						
6	hb01822	Flat	19:11:31	150						High 2400p
7	1823	Flat	19:20:39	150						
8	1824	Flat	19:24:49	150						
9	1825	Flat	19:28:19	150						
10	1826	Flat	19:49:40	150						
11	1827	Comp	20:50:28	20	200					
12	1828	HR 9133	20:59:12	300						200

図 13. 岡山天体物理観測所の観野帳表示画面の例。

一つの画面に表示している。

(2) 岡山天体物理観測所の観測野帳の表示機能

観測者が観測時に、観測モード、露出時間、望遠鏡や観測装置の状態、気象などを記録した観測野帳に記載されている情報は、アーカイブ利用者が観測データを解析する上でも有用である。岡山天体物理観測所には観測者が手書きで記録した観測野帳が保管されているので、現在主に稼動している HIDES の観測野帳を公開することにした。観測野帳は岡山天体物理観測所でスキャンされ、1 観測日ごとに 1 つの pdf ファイルとして保存されている。SMOKA では、その pdf ファイルを ftp で取得し、gif 形式に変換してから、その日の観測データの観測者占有期間（2 年間）が過ぎた後に Web ページに組み込んで公開している。図 13 に示すように、観測野帳は一日分を一つの画面で表示している。今後、検索結果画面で観測日に対応する観測野帳が参照可能になるように改良することを検討している。

4. 早見機能の拡充

早見画像（QLI; Quick-Look Image）表示機能とは、利用者の目的に合致した観測フレームの取捨選択を助けるために、QLI を Web ブラウザ上で表示する機能のことである。他のデータアーカイブ

システムが提供している単なる縮小画像とは異なり、SMOKA が提供している QLI は、縮小された画像の他、ピクセルの統計量やスペクトルトレースなど、観測データの質の評価に必要な情報を付加した FITS ファイルである。そのため、SMOKA の QLI 表示機能は、観測画像のみならず観測データに関する様々な情報を Web ブラウザ上に表示させることができる。この SMOKA の QLI 表示システムは、ハワイ観測所のデータアーカイブシステムである STARS^{30), 31)} 用に開発したもの³²⁾ を SMOKA 用に移植、改良したものである。今回は、整約済みデータの提供に合わせて QLI 表示機能を改善するとともに、新たに整約済みデータ等の QLI の作成機能の追加を行った。

4.1 早見画像表示方法の改善

すばる望遠鏡の Suprime-Cam は、その広い視野を複数の CCD でカバーしている。広がった天体は複数の CCD にまたがって写る一方、目的天体が特定の CCD のみに写っている場合もある。そのため、フレーム単位の QLI では目的天体の一部しか見ることができなかったり、逆に全く写っていないフレームの QLI が表示される場合もある。したがって、同時露出のフレームを組み合わせて視野全体を把握できるようにしたモザイク

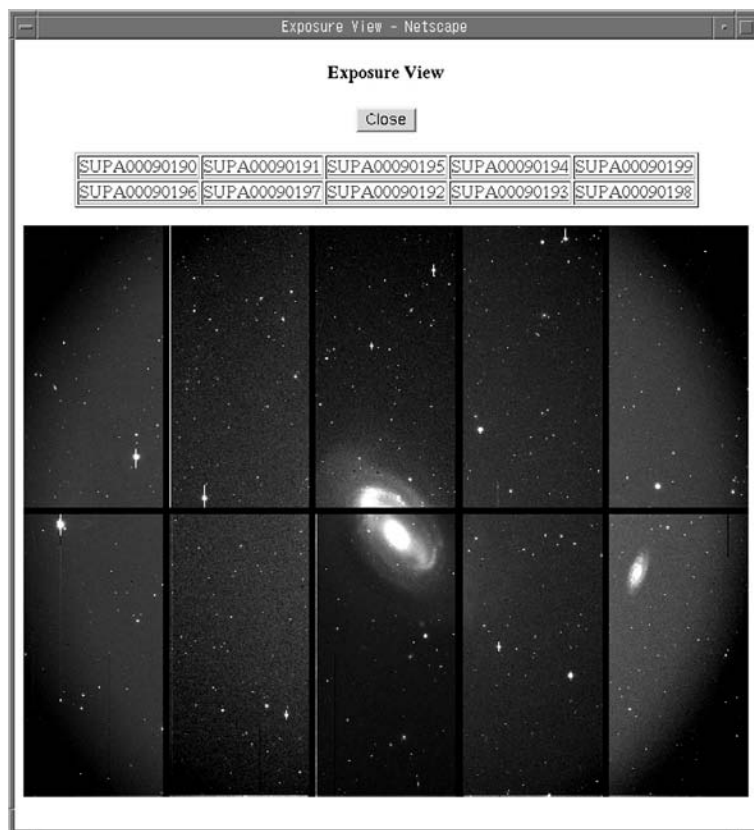


図 14. すばるSuprime-Cam のQLI のモザイク画像. 上部のリンクをクリックすると個別のフレームのQLIを表示する.

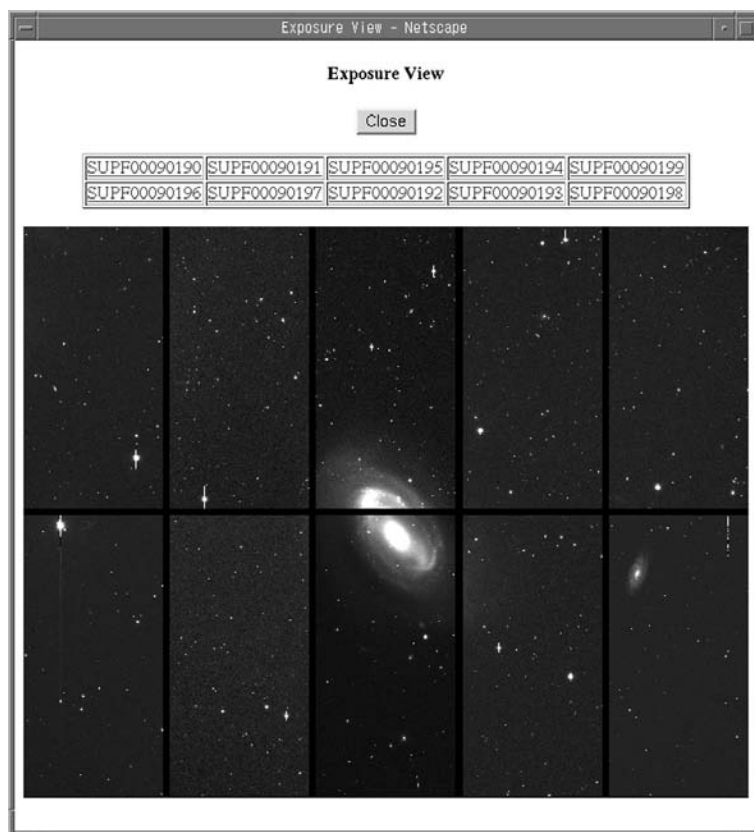


図 15. すばるSuprime-Cam の整約済データのQLI のモザイク画像. 上部のリンクをクリックすると個別のフレームの整約済データのQLIを表示する.

画像は、アーカイブを効率的に利用するための重要な役割を果たしている。SMOKA でも Suprime-Cam についてはモザイク画像による早見機能を既に提供しているが、これまではフレーム単位で QLI をまず表示し、その後利用者がモザイク画像を選択することになっていた。今回の改良によってモザイク画像をまず表示し (図14)、その中の各フレームの QLI は、このモザイク画像からのリンクで表示させるようにした。

4.2 整約済みデータのQLI

モザイク画像を表示する際、生データから作成した QLI を単に並べるだけでは、視野周辺部の CCD チップに対応するフレームでの周辺減光や各 CCD チップのゲインに差があることにより、利用者にとって見にくいものになってしまう。そこで、整約処理が行われた観測データに対しては新たに QLI を作成することにした。これまでは、SMOKA では早見画像生成機能 (QP) を用いて生データの FITS ファイルから QLI を作成してきた³³⁾。しかし、このQP は、位置較正を行った後の WCS に対応しておらず、また 16-bit 整数データ FITS ファイルのみからしか QLI を作成できず、32-bit 浮動小数点データ FITS ファイルである整約済みデータには対応していない。そこで、位置較正後の WCS と32-bit 浮動小数点データに対応し、モザイク画像用にゲインの差の補正を行えるように QP の改良を行い、整約済みデータの QLI の作成を行った。例として図 14 で示したものと同一フレームに対する整約済みデータの QLI のモザイク画像を図 15 に示した。

4.3 赤外装置早見画像の追加

赤外線観測装置について、すでに作成されている OASIS, OHS, IRCS に加え、CIAO, 及び COMICS のQLI 作成機能を新たに開発した。

CIAO のQLI は基本的にOASIS, OHS, IRCS の場合と同様の簡易フラット処理を施し、2 × 2 ビニング (撮像の場合のみ) と 8-bit 化処理を施したものである³⁾。

COMICS については、生データ (4次元データ) について時間軸に積分し、かつチョッピングの ON-OFF の差引を行った簡易チョッピング処理画像である「COMQ」データを元に 8-bit 化の処理をしてQLI を作成している。この COMQ はハワイ観測所の観測装置制御システムであるOBCP 上にある QDAS (Quick Data Analysis System)³⁴⁾ で観測直後に生成されている。COMICS の分光観

測時には撮像観測側の検出器からスリットビューワのイメージが同時に作成されるので、このスリットビューワイメージの QLI も用意し、分光観測データの解析に便宜を図っている³⁵⁾。COMICS の場合、観測データファイルのフォーマットはそれほど大きくないのでビニングは施していない。また、チョッピングの ON-OFF 差引により背景は平坦化されているので、フラット処理も省略している。

5. その他の新機能

SMOKA で重点的に進めている開発の一つは、アーカイブ利用者が迅速に解析を進めるために必要となる情報をより多く、より簡便な方法で提供することである。この章では、2-4 章で述べた新機能の他に開発・追加した、1. 検索結果サムネイル表示機能、2. FITS キーワードオンライン辞書機能、3. IRC の較正用フレーム検索機能、の3つの新機能について解説する。これらの機能の追加によって、アーカイブデータのさらなる利用の促進が期待される。

5.1 検索結果サムネイル表示

4.1 節で述べた、SMOKA の早見画像表示機能は、1つの画像 (または、モザイクされた1つの画像セット) を対象としたものであるため、利用者が複数の画像を見比べて目的に合った観測データを取捨選択する事には向いていない。そこで、サムネイル化した複数の画像を同時に閲覧できる機能の開発を行った (図 16)。

複数の画像を一度に閲覧できるようにする事が目的であるため、開発にあたっては1つ1つの画像容量を小さくし、また表示における負荷を低く押さえることを追求した。そのため、サーバー上で予めサムネイル画像を作成し、それらを検索結果一覧画面からリンクした画面で表示することとした。また、ここで表示される各サムネイル画像から、それぞれの画像に対する観測フレームのデータ情報表示画面がリンクさせ、更にそこから各観測フレームの早見画像表示機能へとつながるようにした。

5.2 FITS キーワードオンライン辞書

FITS ヘッダの各キーワードの定義を知ることには観測データの整約解析に不可欠である。しかし、すばる望遠鏡の観測データで採用されたFITS キーワードは多種多様であり、その定義を全て把握しておくことは困難である。そこで、利用者が各

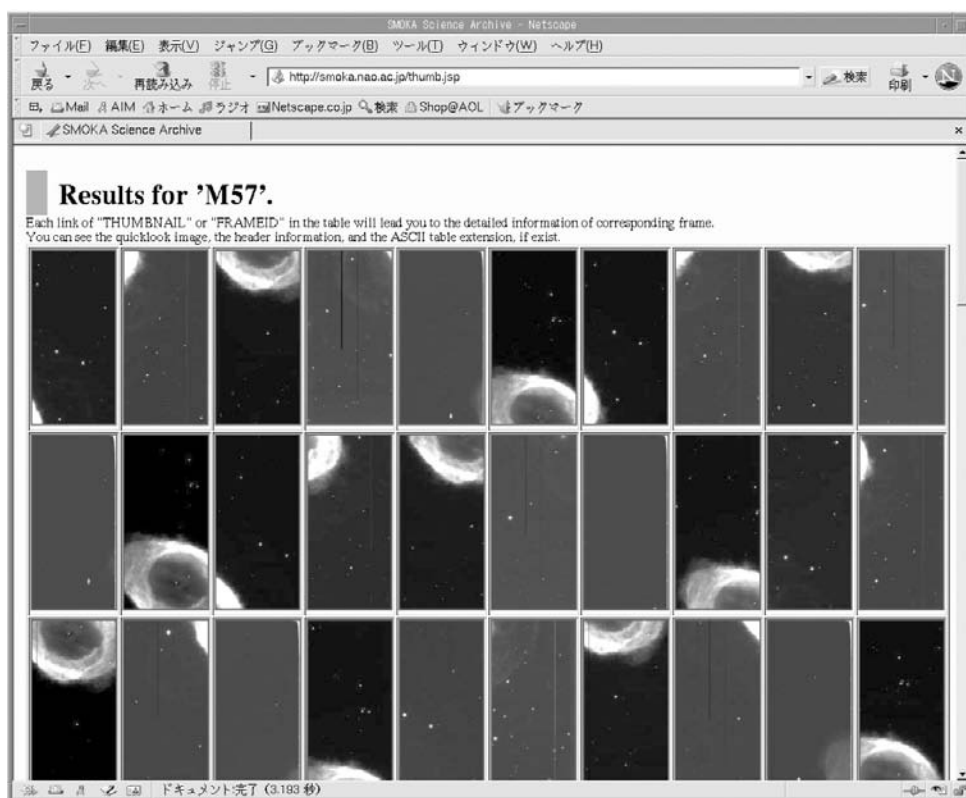


図 16. サムネイル表示画面の例. 該当する画像が存在しない場合は, “no thumbnail”と示される.

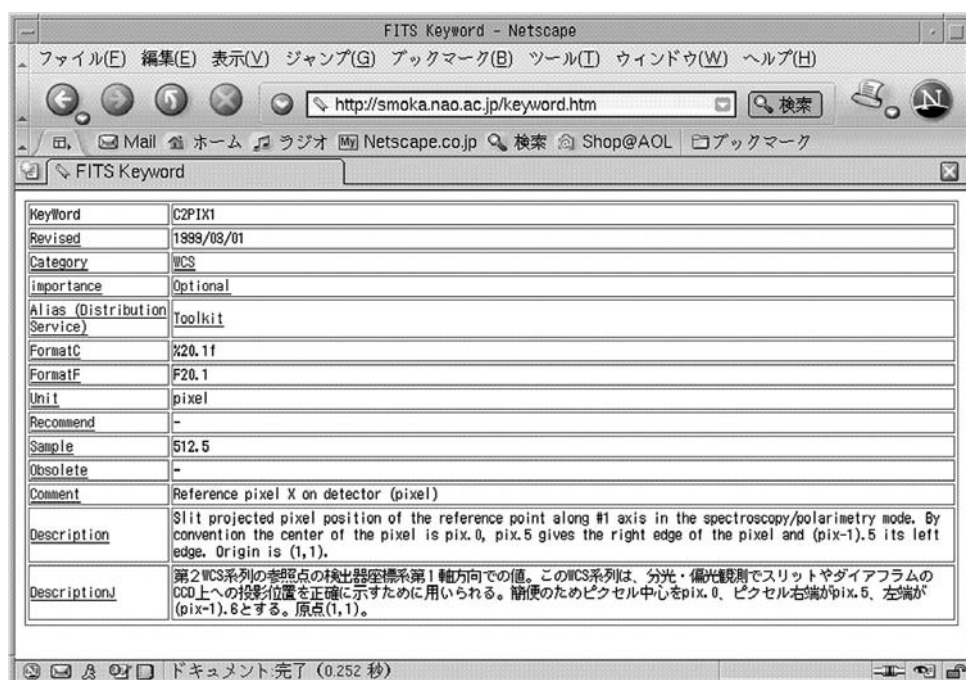


図 17. キーワード定義表示画面の例. この図はキーワードC2PIX1の定義を表示している.

キーワードの定義を容易に参照できる機能が必要となる. 現在, SMOKAにおいて, すばる観測装置のキーワードの定義がアルファベット順で並べられてまとめて公開されている*.

今回, より手軽にヘッダのキーワードの定義を

知ることを可能にするため, データ情報表示画面からキーワードの定義を表示できる機能を開発した. キーワード定義の表示画面は, データ情報表示画面の HDI 表示上のキーワード名から自動的にリンクが張られるようにしている. 予め, 「FITS の手引き」³⁶⁾に記載されているすばる望遠鏡観測データの FITS ヘッダのキーワードの名

* <http://smoka.nao.ac.jp/fits/FITSHEAD.HTM>

前, 更新日, カテゴリー, フォーマット, 単位, コメントなどの定義をデータベースに登録しておき, 利用者が任意のキーワードをクリックするとデータベースからその定義が呼び出され, 別画面に表示されるようにした (図17).

今後, この機能を SMOKA 内部だけで利用するのではなく, 外部からも URL を指定すれば参照可能になるように改良する計画である. また, 「FITS の手引き」に掲載されているキーワード定義はすばる望遠鏡に関したものに限定されているため, オンライン辞書もすばる望遠鏡の観測装置についてのみの対応となっている. 今後, 木曾観測所と岡山天体物理観測所の観測装置に関するキーワードもオンライン辞書化するために, キーワード定義を整理して公開するようにこれらの観測所に働きかけていく予定である.

5.3 較正フレーム検索 (IRC)

SMOKA では論文 2 の3.3 章に記したように, 検索によって得られたフレームについてそれらの較正に必要なフレームを検索し, 請求するフレームリストに追加するサービスを提供している. 対応している観測機器は, これまで Suprime-Cam, FOCAS, OHS, HDS, CAC (すばる望遠鏡), 1kCCD, 2kCCD (木曾観測所), SNG, OASIS, HIDES (岡山天体物理観測所) の10 装置であったが, 今回すばる望遠鏡のIRCS¹¹⁾の較正フレーム検索機能を追加した.

IRCS は撮像と分光の二つのモードをもつ複数モード観測装置であり, さらに分光モードについても較正手順の異なる GRISM と ECHELLE の2つのモードを有している. さらに較正に必要なヘッダ情報がアーカイブデータ公開後に整備されたこと, またその後にも較正に必要なヘッダキーワードが変更されたといった特殊な事情がある. これらの条件を元に定められた較正フレームの検索条件を表 2 に掲げた. この表 2 には, 他の観測装置の検索条件も再掲してあるが, いずれもオブジェクトフレームから標準星フレーム, それらを合わせたフレームから比較スペクトルフレーム, さらにそれらを合わせたフレームからフラット, ダーク, バイアスフレームと求めていく手法は共通である. なお, 論文 2 に掲載した表は若干の誤りがあるため, 今回, その部分も訂正して表 2 としてまとめて掲載した.

6. jMAISON との連携

jMAISON^{* 37)} とは, 複数のリモート天文データ (画像, カタログ) サーバと利用者との間を仲介する, 多波長天文画像データ表示システムである. これを用いることで, 一つの天域を可視光, 電波, X 線などの様々な波長の観測データを重ね合わせて見るができるようになり, 新たな研究を切り開くヒントを得ることが期待できる. これまで, jMAISON では, 主にサーベイ撮像データを提供しており, ポインティング撮像データ (特定の天体に向けて撮ったデータ) としては X 線の ASCA のデータしか閲覧することができなかった. そこで, 今回, jMAISON へ Suprime-Cam の整約済みデータの QLI を提供するためのインターフェースを開発した. Suprime-Cam の観測データを提供することにしたのは, Suprime-Cam は広い視野を撮像しており, 他の波長のデータとの重ね合わせが容易で意義が大きいという利点を有するからである. また, 観測データ本体ではなく QLI を提供することにしたのは, 他の波長の観測データの空間分解能と比較すると QLI で十分であり, ファイルサイズが小さいためにダウンロードが速いからである.

SMOKA と jMAISON の間のデータの流れを図18に示している. 以下ではその処理過程の概略を記す. まず, jMAISON の利用者は, Web 上で検索したい天球上の領域を指定する. jMAISON はその情報を URL にして SMOKA に送信する. SMOKA 側はその領域内に Suprime-Cam の整約済みデータがあるかどうか検索し, 該当する観測フレームが存在すれば, そのフレーム名と代表的な観測データの属性情報の値 (天体名, フィルター名など) のリストを返信する. jMAISON は受け取ったリストをデータ検索画面に埋め込み, 利用者の Web ブラウザに表示する. 次に jMAISON の利用者は, そのリストを見て使用目的に合致したフレーム名を Web 上で選択する. jMAISON はそのフレーム名を URL にして送信し, それを受けて SMOKA はそのフレーム名に対応した QLI を検索し読み込む. jMAISON はその QLI をダウンロードし, 他の画像と重ね合わせて利用者の Web ブラウザで表示する. なお, SMOKA と jMAISON 間の通信は http プロトコルで行われている.

今後は, Suprime-Cam 以外の観測データも jMAISON に提供していく予定である.

* <http://maison.isas.ac.jp/>, <http://maison.nao.ac.jp/>

表2. 較正フレーム検索条件
・較正フレーム検索条件

	std	comp	flat	dark	bias
SUP	—	—	flat MJD ± 3.5 同じDET_ID 同じFILTER01	—	—
FCS	—	MJD ± 3.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じOBS_MOD 同じFILTER01 同じFILTER02 同じFILTER03 同じSLIT 同じDISPERSR	MJD ± 3.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じOBS_MOD 同じFILTER01 同じFILTER02 同じFILTER03 (同じSLIT) (同じDISPERSR) (分光モードの場合)	MJD ± 3.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2	MJD ± 3.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2
OHS	MJD ± 0.5 同じOBS_MOD 同じFILTER01 同じFILTER02	—	—	—	—
IRC	—	MJD ≥ 51899 MJD ± 0.5 同じOBS_MOD 同じSLIT (同じFILTER01) (同じFILTER02) (同じFILTER03) (同じI_MFOCMC) (同じI_MDFMST) (GRISM モードの場合) [同じI_SPWPK] [同じI_MECHAS] [同じI_MXDSAS] [ECHELLE モードの場合]	MJD ≥ 51899 MJD ± 0.5 同じOBS_MOD 同じSLIT 同じFILTER01 同じFILTER02 同じFILTER03 同じI_MFOCMC 同じI_MDFMST	MJD ≥ 51899 MJD ± 0.5 (同じEXPTIME) (MJD < 52184 の場合) [同じEXP1TIME] [MJD ≥ 52184 の場合]	—
CIA	未	—	未	未	—
COM	未	未	未	未	—
HDS	—	MJD ± 0.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じSLT_LEN 同じH_EROTAN 同じH_COLLIM 同じH_CROSSD 同じH_CROTAN	MJD ± 0.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じSLT_LEN 同じH_EROTAN 同じH_COLLIM 同じH_CROSSD 同じH_CROTAN	MJD ± 0.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2	MJD ± 0.5 同じDET_ID 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2
CAC	MJD ± 0.125 同じFILTER02 ALTITUDE ± 20	—	MJD ± 0.5 同じFILTER02	MJD ± 0.5	MJD ± 0.0417
MIR	—	—	未	未	未
KCC	—	—	MJD ± 0.5 同じFILTER	MJD ± 0.5	MJD ± 0.5
KCD	—	—	MJD ± 0.5 同じFILTER	MJD ± 0.5	MJD ± 0.5
OAS	—	—	MJD ± 0.5 同じFILTER	MJD ± 0.5	—
CSD	—	MJD ± 0.5 同じWAVELEN 同じWAVERNG	MJD ± 0.5 同じWAVELEN 同じWAVERNG	MJD ± 0.5	MJD ± 0.5
HID	—	MJD ± 0.5 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じGAIN 同じFILTER01 同じSLT_WID 同じZ_CROSSD 同じZ_CD_ANG	MJD ± 0.5 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じGAIN 同じFILTER01 同じSLT_WID 同じZ_CROSSD 同じZ_CD_ANG	MJD ± 0.5 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じGAIN	MJD ± 0.5 同じBIN_FCT1 同じBIN_FCT2 同じGAIN

‘—’は該当ファイルなしまたは不要

‘未’はヘッダ情報が未整備で必要な情報が得られないもの、または標準的な較正手法が確立されていないもの

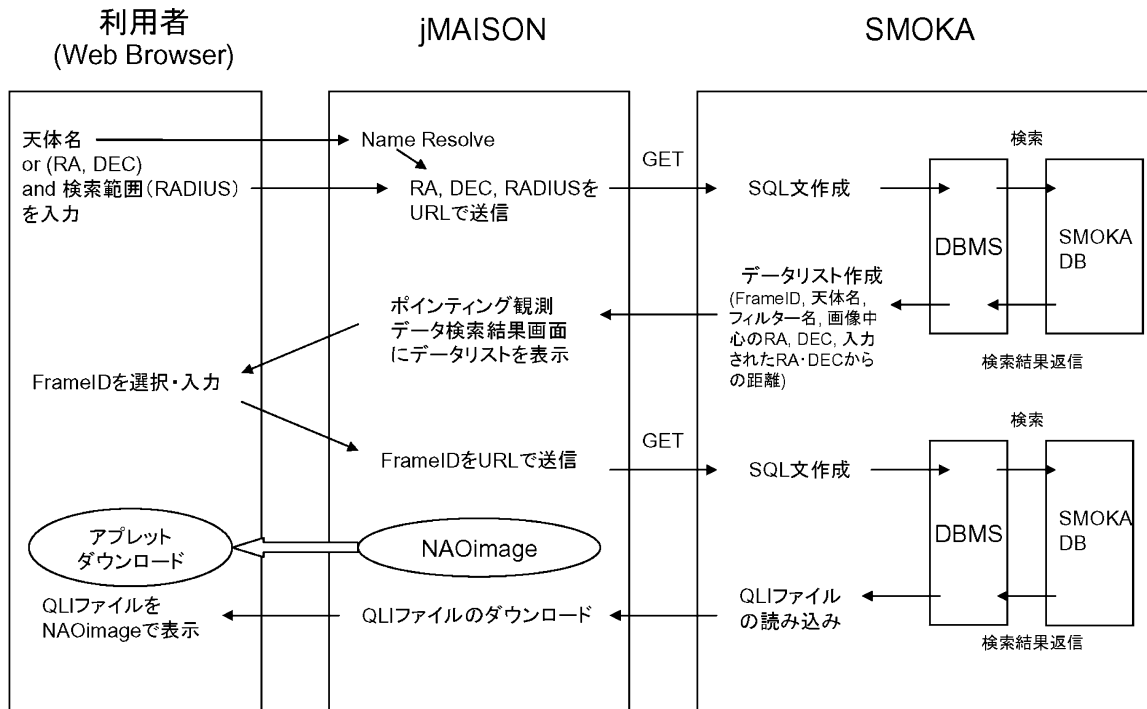


図 18. jMAISON と SMOKA におけるデータの流れ。

7. 利用状況と運用面の課題

SMOKA の公開は 2001 年 6 月に開始されたが、すばる望遠鏡の共同利用観測のデータの公開が始まった 2002 年 6 月から利用が急激に増えている。図 19 に観測データの FITS ファイルの月毎請求量 (GB) を示した。最近では、請求量は月 100GB を越えて推移している。SMOKA では観測データの取得は登録制にしており (検索と QLI の閲覧を行う限りは登録の必要はない)、そのための利用者登録は年度毎更新としている。2004 年 3 月 31 日 (平成 15 年度末) 現在での登録利用者数は 140 名である。公開開始から 3 年近くがたち、SMOKA で得られたデータを用いた天文学の研究成果も生まれてきている^{38) - 42)}。今後データの蓄積が増えるにしたがって研究成果も増えて行くことが期待される。また、SMOKA のデータを活用した教育活動も進んでおり、例えば、PAOFITS ワーキンググループ* によって、球状星団や散開星団の多色撮像画像から色等級図を作って年齢を推定する実習教材、ハッブル法則を求める実習教材などの高校生向け教材などが開発され、実際に授業で用いられている⁴³⁾。

このように SMOKA は研究活動や教育活動に大い

に利用されているわけであるが、論文 2 や文献⁴⁴⁾で論じた以下の運用面での課題が依然として残されている。

SMOKA の運用の実務を行っているのは、国立天文台天文学データ解析計算センターに所属する運用要員 (本論文著者のうちの 3 名) である。システムの不具合への対応は、開発グループメンバー (本論文の著者全員) がそれぞれの開発分担に応じて対応している。運用体制は依然として脆弱であるが、短期的に改善できる見通しは暗い。

データ請求に応じた磁気テープライブラリ (SONY 社 PetaSite) からの読み出しの速度の問題に対しては、読み出し順序の最適化と、読み出し並列度の向上の 2 点の対策を講ずる計画であるが、いまだ実現されていない。当面の対処として、利用が特に多い Suprime-Cam のデータの最近の分を磁気ディスク上に置くことによって、磁気テープライブラリの読み出しネックを軽減している。しかし、磁気ディスクの容量には限りがあり、磁気ディスク上に置けるデータはごく一部にすぎない。上記の根本的な対策が必要である。

また、観測データの属性情報 (位置、時刻、波長、観測装置パラメータなど) の欠落や誤りの問題は、データ入力の自動化を妨げており、運用の能率を低下させている主因の一つになっている。できるだけ早く観測システムへのフィードバック

* <http://paofits.dc.nao.ac.jp>

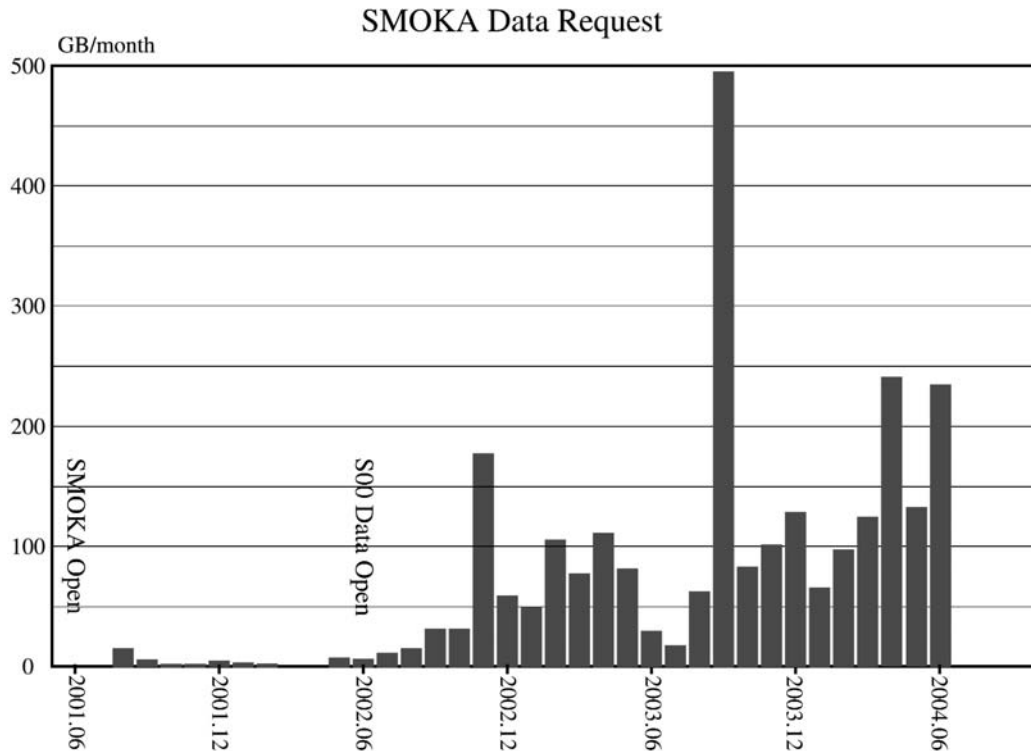


図 19. 観測データの月毎請求量(GB). 1, 2 名の利用者により集中してデータ請求が行われたことにより, 突出してデータ請求量が多い月がある (2003 年 9 月など).

を行って欠落や誤りのあるフレームを減らし, 補填修正の作業を軽減させることが必要である. そのため, データ取得後のできるだけ早い時期にヘッダ情報のチェックを行うことを計画している.

岡山天体物理観測所や木曽観測所の観測データの入力に相当の時間と労力が必要となっている問題は早期解決のめどが立たず, 依然として入力が遅れている状況にある.

以上の運用面の課題, 特に体制的な原因によるものに対しては, SMOKAの天文学的研究・教育効果を高めつつ, 中長期的視野で解決を目指していく他ないであろう.

8. 今後の技術的課題

これまで, SMOKA では有益性や利便性や向上のために色々な機能を追加, 補強してきた. しかしながら, 利用者からの要望の全てに答えられているわけではない. 7 章で論じた運用上の課題とは別に, SMOKA を利用して天文学の研究や教育を促進し, より有用なものとするためには, 何点かの技術的課題が残っている. 以下ではそれぞれの技術的課題と展望について論じる.

8.1 アーカイブデータを用いた天体カタログの作成

現在SMOKA では個々の観測データを公開して

いるだけであるが, 2 章で述べた整約済みデータから天体を検出し, その物理量を抽出してカタログ化して公開することができれば, より多くの研究成果を得ることが可能になる. 更に, 8.4 節で後述する Virtual Observatory にデータを提供するためにも, 現在行っている一次処理だけでなく, モザイクング (S/N マップ付) や重ね合わせ処理等を行った後のカタログ化を進める必要がある.

また, SMOKA 開発・運用グループメンバー自身が, このカタログを用いた天文学研究の推進をし, データアーカイブの天文学研究における有用性を自ら示していくことが必要である.

8.2 検索機能の更なる強化

観測データアーカイブを用いて効率的に天文学研究を進めるためには, 観測データの検索機能が充実していることが必要である. 論文 2 で述べた通り, 天体の位置を条件とした検索機能に加え, 移動天体検索, 波長による検索の機能を開発し SMOKA に実装してきたが, 利用者の多様な天文学的要求に応えるべく更なる検索機能の高度化を目指している.

(1) 重複領域検索

特定の天域や天体を指定せず, 複数回の観測が行われている領域を検索する方法が求められている. 例えば, 3 色以上の観測が行われている領域,

積算撮像時間が一定時間を越えている領域などが検索対象である。前者は天体の色指数を求めたい場合に有効であり、後者は利用者が長い観測時間を費やすことなしに位置や明るさが変化する天体を調べたり、深い撮像データを得たりする場合に有効である。各観測データが含んでいる領域を示す情報をどのような形で記録するかが、この機能実現のための課題となっている。

(2) グラフィカル検索

観測データの天球分布図から、マウスなどで領域を選択して検索できる機能を提供することを検討している。検索範囲を指定する領域を如何に表現するか、絞り込み検索を可能とするための領域の記憶方法をどのように実装するかが、この機能の実現に向けての課題となっている。

(3) カタログ連携検索

現在のSMOKAでは、SIMBAD およびNED を用いて天体名での検索を可能にしている。これに加え、既存の天体カタログと連携した検索機能、例えば、球状星団が写っている撮像データ群を探し出すような機能を提供する事を検討している。この機能には、8.1 節で述べた SMOKA で作成する天体カタログとの連携も可能としたい。こういったカタログ連携機能は既に STScI のアーカイブシステムのMAST* 等で実用化されており、アーカイブデータを用いた天文学研究を進める上では必須の機能の一つとなってきた。この機能を実現するためには、多種多様な検索条件をどのように入力させるか、というユーザーインターフェースの設計が課題となっている。また、この技術的課題の他に、MAST 等と比べてSMOKA としての特徴をどのように打ち出していくかということも検討課題となっている。

(4) 全項目検索、全文検索

全項目検索とは、FITS のヘッダ情報の全てのキーワードの値を対象とした検索である。全文検索とはHDI に記載されている全ての情報に対する検索の事である。全文検索は、HDI に記載されているキーワードとその値だけでなく、COMMENT 文に書かれた内容も検索対象とする。現在のSMOKAでは、検索速度を向上させるため、各観測装置に共通な一部の重要なヘッダ情報のみ検索対象としており、各装置固有のヘッダ情報は検索対象としていない。そのため、各装置に固有な情報を条件として検索をしたい時には、全項目検索が必要となる。また、例えばHIDESではヨードセルの情報

を知るためのキーワードがヘッダに無く COMMENT 文を見るしかない場合があるため、全文検索が必要な機能となる。SMOKA の持っているヘッダ情報を登録した複数のデータベーステーブルのうち、どれを検索対象とするか、どのような形で検索条件を入力し検索結果を表示すれば利用者にとって分かりやすいかが検討課題となっている。

8.3 環境データの公開

観測時の湿度や風速などの気象データは、観測データの質や信頼性を判断する上で重要な材料であるので、SMOKA では気象データの提供機能の開発を進めてきた。これらに加え、観測者が観測時の状況を記録した観測野帳を公開することが可能になれば、利用者がアーカイブデータを整約解析する上で極めて有用な情報を提供できるようになる。今回の機能強化で岡山天体物理観測所については観測野帳の公開を開始したが、すばる望遠鏡についても公開を目指していきたい。どのような形で公開すれば利用者にとって分かりやすく、観測データに直結した形になるかが検討課題となっている。

また、現在SMOKA のすばる望遠鏡気象モニター表示機能では、全天カメラの画像を提供している。しかしこの画像だけでは、望遠鏡が向いている方向の空の状態を容易に判断することができない。視野方向の空の状態をより詳しく知るために、2003 年 5 月より稼働を始めた、望遠鏡が向いている方向と同じ天域をモニターしている、すばる望遠鏡の新スカイモニターのデータを組み込むことを検討している。

8.4 新規観測装置の組み入れ

SMOKA では、現在公開している観測装置の観測データを逐次追加する事に加え、それらとは別の観測装置の観測データを新たに組み込むことも進めている。現時点で新たに組み込む事を検討している観測装置は、木曽観測所の KONIC ⁴⁵⁾、岡山天体物理観測所のHBS ⁴⁶⁾ である。また、4.3 節で述べたすばる望遠鏡の COMICS のデータに簡易解析処理を施したCOMQ のデータの組み込みも検討中である。更に、すばる望遠鏡第二期観測装置である、MOIRCS ⁴⁷⁾、FMOS ⁴⁸⁾, ⁴⁹⁾ のデータの組み込みも想定している。

論文 1 でも述べられているが、新規の観測装置の観測データを組み込みを行う際に問題となるのは、データのフォーマット、特に FITS ヘッダ内の情報である。効率的なデータ整約解析やデータ

* <http://archive.stsci.edu/>

検索のためにも、必要な情報をもれなく FITS ヘッダに記載するようにし、それを示す FITS ヘッダキーワードを共通化することが必要である。このためには、観測装置開発グループや観測所との連携・協力が欠かせない。

8.5 Virtual Observatory との連携

近年、Virtual Observatory (VO ; 仮想天文台) というプロジェクトが世界中で進められている*⁵⁰⁾。我が国でも、国立天文台において Japanese Virtual Observatory (JVO) として開発が進められている†^{51), 52), 53)}。この計画は、現在世界中に分散して存在する天体観測データのアーカイブを有機的に結合し、それらを解析する共通のツールを開発することによって、これまで知られていない宇宙の新しい姿を明らかにすることをねらいとしており、膨大な観測データを収め管理する計算機やデータベースシステムを「望遠鏡」、そのデータを解析するツールを「観測装置」として、データアーカイブに記録された宇宙を観測するという意味から「仮想天文台」という名前がつけられている。

SMOKA は、すばる望遠鏡をはじめとする日本の主要な光赤外望遠鏡観測データを VO に提供する窓口となる事が期待されている。今後の SMOKA の改良は VO との連携を視野に入れて進めたいが、当面は、以下に述べるような VO へ提供可能なデータを充実させる事に力を注いでいきたい。

VO にデータを提供するには、データの質を明確にする必要があり、そのためには ESO で実現されているような Quality Control (QC; 質の揃ったデータを提供すること)⁵⁴⁾ が必須である。しかしながら、現在のすばる望遠鏡の運用状況では早期の実現は難しいと思われる。SMOKA としては、まず、含まれる情報量が多く天文学的有益性が高いと思われる *Suprime-Cam* のデータに絞って、BIAS 値や温度等の変動のモニター、オートガイダー、スリットビューワー、シャックハルトマンのデータの抽出など、できる部分から手がけていく予定である。観測装置の状態やオペレータ報告など、より詳しい環境情報の提供も必要となってくる。また、天文学的な有益性をより高めるため、モザイク処理や重ね合わせ処理、それに付随

した S/N マップの作成なども視野に入れていく予定である。

9. まとめ

我々は、すばる望遠鏡、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡、および東京大学木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡で取得された観測データを公開するアーカイブシステム SMOKA を開発し、運用を行っている。SMOKA の利用者が、より効率よく観測データを取得し、天文学的成果を得られることが可能になるように様々な開発・改良を行ってきた。前回の改良(論文 2)においては、検索機能を強化することに主眼が置かれていたが、今回は、利用者が観測データを解析する際に必要な情報をより効率的に得ることができる機能の開発・改良を重点的に行った。まず、SMOKA 開発当初からの重要な課題の一つであった整約済みデータの提供を、すばる望遠鏡 *Suprime-Cam* のデータについて開始した。また、それに対応させて早見機能の拡充も行った。これにより、より早く天文学研究の成果を得られる可能性がもたらされるだけでなく、データの品質のよりの確な評価が可能になった。次に、環境データの提供を、従来行っていたすばる望遠鏡だけでなく、岡山天体物理観測所と木曾観測所についても行うようにした。また、多波長天文画像データ検索・閲覧システム *jMAISON* に整約済みデータの QLI を提供するインターフェースを開発した。

SMOKA の前身である MOKA の開発開始から 10 年が経過し、アーカイブ利用者も増加し、天文学的研究成果が徐々に挙ってきており、天文学教育目的の利用も進みつつある。しかし、SMOKA には解決すべき課題が運用面においても技術面においても、なお残されている。特に、技術面においては、検索機能の更なる強化や天体カタログの作成が課題である。また、VO との連携を目指し、VO に提供する価値のあるデータを整え充実させる事にも力を注いでいきたい。さらに、天体カタログ等を用いた自らの天文学研究を推進することが、今後の最も重要な課題である。

謝 辞

本研究は、天文情報処理研究会[‡]のワーキンググループ活動の一環として行われた。開発作業にあたっては、天文学データ解析計算センター DB/DA プロジェクトの計算機資源を活用した。国立天文台の西村史朗氏、ハワイ観測所の小杉城治氏、東京大学宇宙線研究所の安田直樹氏、福岡

* International Virtual Observatory Alliance (IVOA)
<http://www.ivoa.net/>

† <http://jvo.nao.ac.jp/>

‡ <http://jaipa.nao.ac.jp/>

教育大学の金光理氏，渋谷教育学園幕張高校の田口弘子氏の助力に感謝する．有益な助言を下された，匿名の査読者にも感謝したい．また，各観測装置の詳細な情報を提供して下さった国立天文台の八木雅文氏，環境データの組み入れに際して御尽力頂いた岡山天体物理観測所の泉浦秀行，増田盛治，柳澤顕史，吉田道利の各氏，東京大学木曾観測所の青木勉，宮田隆志，磯貝瑞希の各氏，VO についての情報を提供して下さった国立天文台の本田敏志氏に感謝する．また，MOKA / SMOKA 10 周年記念研究会（2004 年 2 月 23–24 日開催）に参加して頂き，SMOKA の課題や将来に関する議論を通じて VO との関係等，今後の方向性を定めることに貢献して頂いた，岡山天体物理観測所の吉田道利，宇宙航空研究開発機構の吉田重臣，東京大学宇宙線研究所の安田直樹，ぐんま天文台の西原英治，東京大学木曾観測所の青木勉の各氏にも感謝する．SMOKA の開発，運用を影に日向に支援して下さい，ハワイ観測所，岡山天体物理学観測所，木曾観測所のスタッフの方々にも感謝する．有用な各種フリーソフトウェアを提供している開発者にも感謝したい．

本アーカイブ運用には，CDS によって運用されている SIMBAD データベースおよび JPL によって運用されている NED データベースを利用している．移動天体検索に必要な軌道要素データベースを作成するにあたっては，MPC から提供されている MPCORB を利用している．

本研究は，国立天文台天文学データ解析計算センタープロジェクト経費の援助を得て行われた．

Reference

- 1) IAU Information Bulletin, 94, 35–36 (2004).
- 2) 馬場 肇，安田直樹，市川伸一，八木雅文，岩本信之，高田唯史，洞口俊博，多賀正敏，渡邊 大，奥村真一郎，小澤友彦，山本直孝，濱部 勝:すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発，国立天文台報，**6**, 23–36 (2002).
- 3) 山本直孝，野田祥代，多賀正敏，小澤友彦，洞口俊博，奥村真一郎，古莊玲子，馬場 肇，八木雅文，安田直樹，高田唯史，市川伸一: すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発2，国立天文台報，**6**, 79–100 (2003).
- 4) S. Miyazaki, Y. Komiyama, M. Sekiguchi, S. Okamura, M. Doi, H. Furusawa, M. Hamabe, K. Imi, M. Kimura, F. Nakata, N. Okada, M. Ouchi, K. Shimasaku, M. Yagi, and N. Yasuda: Subaru Prime Focus Camera—Suprime-Cam, *PASJ*, **54**, 833–953 (2002).
- 5) N. Kashikawa, K. Aoki, R. Asai, N. Ebizuka, M. Inata, M. Iye, K. S. Kawabata, G. Kosugi, Y. Ohyama, K. Okita, T. Ozawa, Y. Saito, T. Sasaki, K. Sekiguchi, Y. Shimizu, H. Taguchi, T. Takata, Y. Yadoumaru, and M. Yoshida: FOCAS: The Faint Object Camera and Spectrograph for the Subaru Telescope, *PASJ*, **54**, 819–832 (2002).
- 6) K. Noguchi, W. Aoki, S. Kawanomoto, H. Ando, S. Honda, H. Izumiura, E. Kambe, K. Okita, K. Sadakane, B. Sato, A. Tajitsu, T. Takada-Hidai, W. Tanaka, E. Watanabe, and M. Yoshida: High Dispersion Spectrograph (HDS) for the Subaru Telescope, *PASJ*, **54**, 855–864 (2002).
- 7) F. Iwamuro, K. Motohara, T. Maihara, R. Hata, and T. Harashima: OHS: OH-Airglow Suppressor for the Subaru Telescope, *PASJ*, **53**, 355–360 (2001).
- 8) K. Motohara, F. Iwamuro, T. Maihara, S. Oya, H. Tsukamoto, M. Imanishi, H. Terada, M. Goto, J. Iwai, H. Tanabe, R. Hata, T. Taguchi, and T. Harashima: CISCO: Cooled Infrared Spectrograph and Camera for OHS on the Subaru Telescope, *PASJ*, **54**, 315–325 (2002).
- 9) H. Kataza, Y. Okamoto, S. Takubo, T. Onaka, S. Sako, K. Nakamura, T. Miyata, and T. Yamashita: COMICS: the cooled mid-infrared camera and spectrometer for the Subaru Telescope, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4008**, 1144–1152 (2000).
- 10) M. Tamura, H. Suto, Y. Itoh, N. Ebizuka, Y. Doi, K. Murakawa, S. S. Hayashi, Y. Oasa, H. Takami, and N. Kaifu: Coronagraph imager with adaptive optics (CIAO) : description and first results, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4008**, 1153–1161 (2000).

- 11) N. Kobayashi, A. T. Tokunaga, H. Terada, M. Goto, M. Weber, R. Potter, P. M. Onaka, G. K. Ching, T. T. Young, K. Fletcher, D. Neil, L. Robertson, D. Cook, M. Imanishi, and D. W. Warren: IRCS: Infrared Camera and Spectrograph for the Subaru Telescope, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, Proc. SPIE, **2008**, 1056 – 1066 (2000).
- 12) D. Tomono and T. Nishimura: Mid-infrared test observation system (MIR-TOS) for SUBARU, *Infrared Astronomical Instrumentation*, ed. A. M. Fowler, Proc. SPIE **3354**, 1150 – 1157 (1998).
- 13) G. Kosugi, H. Ohtani, T. Sasaki, H. Koyano, Y. Shimizu, M. Yoshida, M. Sasaki, K. Aoki, and A. Baba: Spectro-nebula graph: A Tridimensional Spectroscopic System Based on a Local Area Network of Personal Computers, *PASP*, **107**, 474 – 482 (1995).
- 14) S. Okumura, E. Nishihara, E. Watanabe, A. Mori, H. Kataza, and T. Yamashita: OASIS: A Multi-Purpose Near-Infrared Camera and Spectrograph, *PASJ*, **52**, 931 – 942 (2000).
- 15) H. Izumiura: HIDES: a High Dispersion Echelle Spectrograph, *Observational Astrophysics in Asia and its Future*, 4th East Asian Meeting on Astronomy (4th EAMA) – held 3 – 10 Feb., 1999 in Kunming, China, ed. P. S. Chen., Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, 77 (1999).
- 16) S. Yoshida, T. Aoki, T. Soyano, K. Tarusawa, M. Sekiguchi, M. Doi, N. Kashikawa, S. Okamura, K. Shimasaku, M. Yagi, and N. Yasuda: CCD Cameras for the Kiso 105 cm Schmidt Telescope, Future Utilisation of Schmidt Telescope, ed. J. Chapman, R. Cannon, S. Harrison and B. Hidayat, Proc. of IAU Coll. **148**, 33 – 37 (1994).
- 17) N. Itoh, T. Soyano, K. Tarusawa, T. Aoki, S. Yoshida, T. Hasegawa, Y. Yodomaru, Y. Nakada, and S. Miyazaki: A Very Wide-Field CCD Camera for Kiso Schmidt Telescope, *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **6**, 41 – 48 (2001).
- 18) T. Horaguchi, S. Ichikawa, M. Yoshida, S. Yoshida, and M. Hamabe: An Archival System for Observational Data Obtained at the Okayama and Kiso Observatories, *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **4**, 1 – 8 (1994).
- 19) T. Takata, S. Ichikawa, T. Horaguchi, S. Yoshida, M. Yoshida, T. Ito, E. Nishihara, and M. Hamabe: An Archival System for Observational Data Obtained at the Okayama and Kiso Observatories. II, *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **4**, 9 – 21 (1995).
- 20) 西原英治, 洞口俊博, 伊藤孝士, 高田唯史, 青木賢太郎, 吉田道利, 吉田重臣, 市川伸一, 濱部 勝: データアーカイブシステム MOKA2 の開発, 国立天文台報, **3**, 23 – 33 (1997).
- 21) T. Horaguchi, E. Nishihara, M. Yoshida, K. Aoki, T. Ito, M. Watanabe, S. Ichikawa, T. Takata, S. Yoshida, and M. Hamabe: An Astronomical Data Archive System with a Java-Based User Interface, *PASJ*, **51**, 693 – 701 (1999).
- 22) D. Tody: The IRAF Data Reduction and Analysis System, in *Instrumentation in Astronomy VI*, ed. D.L. Crawford, Proc. SPIE, **627**, 733 – 756 (1986).
- 23) F. Valdes: Faint Object Classification and Analysis System, NOAO document. (<ftp://iraf.noao.edu/iraf/docs/focas/focas.ps.Z>)
- 24) D. G. Monet, S. E. Levine, B. Canzian, H. D. Ables, A. R. Bird, C. C. Dahn, H. H. Guetter, H. C. Harris, A. A. Henden, S. K. Leggett et al.: The USNO-B Catalog, *AJ*, **125**, 984 – 993 (2003).
- 25) F. Murtagh: A new approach to point-pattern matching, *PASP*, **104**, 301 – 307 (1992).
- 26) 吉田道利, 清水康広, 岡田隆史, 中村京子, 西原英治, 青木 勉, 小澤友彦: 岡山天体物理観測所気象モニターの開発, 国立天文台報, **3**, 135 – 144 (1998).
- 27) 浦口史寛, 吉田道利, 清水康広, 岡田隆史: 岡山天体物理観測所スカイモニタ

- ーの開発, 国立天文台報, **4**, 181–189 (2000).
- 28) 宮田隆志, KISO AUTOMATIC OBSERVING SYSTEM –KAOS–, 2001 年度木曾シュミットシンポジウム集録, 15–21 (2002).
- 29) 中田好一, 平成14 年度木曾観測所概況報告, 2003 年度木曾シュミットシンポジウム集録, 3–10 (2004).
- 30) T. Takata, R. Ogasawara, K. Kawarai, and T. Yamamoto: Data archive and database system of the SUBARU Telescope, Observatory Operations to Optimize Scientific Return, ed. Peter J. Quinn, Proc. SPIE, **3349**, 247–254 (1998).
- 31) T. Takata, R. Ogasawara, G. Kosugi, Y. Mizumoto, S. Ichikawa, N. Yasuda, M. Taga, M. Yagi, T. Horaguchi, H. Baba, M. Watanabe, T. Ozawa, M. Hamabe, T. Yamamoto, and K. Kawarai: STARS (Subaru Telescope archive system) for the effective return from Subaru Telescope, Observatory Operations to Optimize Scientific Return II, ed. Peter J. Quinn, Proc. SPIE, **4010**, 181–189 (2000).
- 32) M. Taga, M. Hamabe, N. Yasuda, T. Horaguchi, T. Takata, W. Aoki, T. Ozawa, M. Watanabe, H. Baba, and S.-I. Ichikawa: An Image Evaluation System for Subaru Telescope Data Archive, *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **6**, 49–57 (2001).
- 33) M. Hamabe, M. Taga, W. Aoki, N. Yasuda, T. Takata, S.-I. Ichikawa, H. Baba, T. Ozawa, M. Watanabe, and T. Horaguchi: New Image Quick-Look System for Subaru Telescope Data Archive, ADASS IX, ed. N. Manset, C. Veillet, and D. Crabtree, ASP Conference Proceedings Series, **216**, 482–485 (2000).
- 34) R. Ogasawara, G. Kosugi, T. Takata, J. Noumaru, T. Sasaki, Y. Chikada, Y. Mizumoto, M. Yagi, N. Yasuda, S. Ichikawa, M. Yoshida, K. Kawarai, Y. Ishihara, and A. Kawai: The Subaru Telescope Software Trinity System, ADASS XII, ed. H. E. Payne, R. I. Jedrzejewski, and R. N. Hook, ASP Conference Proceedings Series, 295, 142–151 (2003).
- 35) 片笠宏一: 地上からの中間赤外線観測の扉を開く COMICS, 天文月報, **97**, 210–215 (2004).
- 36) 天文情報処理研究会監修, 日本FITS 委員会協力: FITS の手引き 第5 版, 国立天文台天文学データ解析計算センター発行 (2004).
- 37) 渡邊 大, 青木賢太郎, 三浦 昭, 安田直樹: 多波長天文画像データ検索・閲覧サービス「jMAISON」の開発, 国立天文台報, **6**, 1–9 (2002).
- 38) S. C. Chapman, A. J. Barger, L.L. Cowie, D. Scott, C. Borys, P. Capak, E. B. Fomalont, G. F. Lewis, E. A. Richards, A. T. Steffen, G. Wilson, and M. Yun: The Properties of Microjansky Radio Sources in the Hubble Deep Field-North, SSA 13, and SSA 22 Fields, *ApJ* **585**, 57–66 (2003).
- 39) T. Takata, N. Kashikawa, K. Nakanishi, K. Aoki, R. Asai, N. Ebizuka, M. Inaka, M. Iye, K. S. Kawabata, G. Kosugi, et al.: Dusty ERO Search behind Two Massive Clusters, *PASJ* **55**, 789–800 (2003).
- 40) A. J. Barger, L. L. Cowie, P. Capak, D. M. Alexander, F. E. Bauer, E. Fernandez, W. N. Brandt, G. P. Garmire, and A. E. Hornschemeier: Optical and Infrared Properties of the 2 Ms Chandra Deep Field North X-Ray Sources, *AJ* **126**, 632–665 (2003).
- 41) P. Capak, L. L. Cowie, E. M. Hu, A. L. Barger, M. Dickinson, E. Fernandez, M. Giavalisco, Y. Komiyama, C. Kretchmer, C. McNally, S. Miyazaki, S. Okamura, and D. Stern: A Deep Wide-Field, Optical, and Near-Infrared Catalog of a Large Area around the Hubble Deep Field North, *AJ* **127**, 180–198 (2004).
- 42) E. M. Hu, L. L. Cowie, P. Capak, R. G. McMahon, T. Hayashino, and Y. Komiyama: The Luminosity Function of Ly alpha Emitters at Redshift $z \sim 5.7$, *AJ* **127**, 563–575 (2004).

- 43) 古荘玲子, 原 正, 洞口俊博, PAOFITS WG: リアルデータを教室に – 公開天文台ネットワーク PAOFITS WG の活動 –, 天文月報, **97**, 149–155 (2004).
- 44) 市川伸一: 観測データアーカイブMOKAとSMOKA, 天文月報, **95**, 266–271 (2002).
- 45) N. Itoh, K. Yanagisawa, T. Ichikawa, K. Tarusawa, and H. Kataza: Kiso observatory near-infrared camera with a large format array, *Infrared Technology XXI*, ed. B. F. Andresen and M. Strojnik, *Proc. SPIE*, **2552**, 430–437 (1995).
- 46) K. Kawabata, A. Okazaki, H. Akitaya, N. Hirakata, R. Hirata, Y. Ikeda, M. Kondoh, S. Masuda, and M. Seki: A New Spectropolarimeter at the Dodaira Observatory, *PASP*, **111**, 898–908 (1999).
- 47) C. Tokoku, R. Suzuki, T. Ichikawa, K. Asai, Y. Katsuno, K. Omata, T. Yamada, A. Sasaki, and T. Nishimura: MOIRCS: Multi-Object Infrared Camera and Spectrograph for the Subaru Telescope, *Instrument Design and Performance for Optical/Infrared Ground-based Telescopes*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4841**, 1625–1633 (2003).
- 48) T. Maihara, K. Ohta, N. Tamura, H. Ohtani, M. Akiyama, J. Noumaru, N. Kaifu, H. Karoji, M. Iye, G. B. Dalton, I. R. Parry, D. J. Robertson, R. M. Sharples, D. Ren, J. R. Allington-Smith, K. Taylor, and P. R. Gillingham: Fiber multi-object spectrograph (FMOS) for the Subaru Telescope, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4008**, 1111–1118 (2000).
- 49) M. Kimura, T. Maihara, K. Ohta, F. Iwamuro, S. Eto, M. Lino, D. Mochida, T. Shima, H. Karoji, J. Noumaru, M. Akiyama, J. Brzeski, P. R. Gillingham, A. M. Moore, G. Smith, G. B. Dalton, I. A. Tosh, G. J. Murray, D. J. Robertson, and N. Tamura: Fibre-Multi-Object Spectrograph (FMOS) for Subaru Telescope, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4841**, 974–984 (2003).
- 50) 洞口俊博: 世界の「仮想天文台」計画, 天文月報, **95**, 318–324 (2002).
- 51) 大石雅寿: Japanese Virtual Observatory の構築, 天文月報, **95**, 566–575 (2002).
- 52) Y. Mizumoto, M. Ohishi, N. Yasuda, Y. Shirasaki, M. Tanaka, Y. Masunaga, K. Miura, H. Monzen, K. Kawarai, Y. Ishihara, Y. Yamaguchi, and H. Yanaka: Construction of the Japanese Virtual Observatory (JVO), *ADASS XII, ASP Conference Proceedings Series*, ed. H. E. Payne, R. I. Jedrzejewski, and R. N. Hook, **295**, 96–99 (2003).
- 53) M. Ohisi, Y. Mizumoto, N. Yasuda, Y. Shirasaki, M. Tanaka, S. Honda, and Y. Masunaga: A Prototype toward Japanese Virtual Observatory (JVO), *SAINT2004* (2004).
- 54) R. W. Hanuschik, W. Hummel, P. Sartoretti, and D. R. Silva: Quality control of the ESO-VLT instruments, *Observatory Operations to Optimize Scientific Return III*, ed. P. J. Quinn, *Proc. SPIE*, **4844**, 139–148 (2002).