

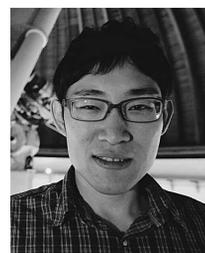
SMOKAの利用とその成果

吉田 鉄生

〈国立天文台天文データセンター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉
e-mail: yoshida.tessei@nao.ac.jp



吉田



樋口

樋口 祐一

〈国立天文台天文データセンター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉
e-mail: yuichi.higuchi@nao.ac.jp

「観測」を主な研究手段としている天文学において、ある天体がある時刻にどのような状態にあったか、といった観測事実は二度と得ることのできない唯一の記録である。天文データアーカイブは、このような貴重な観測データが失われることのないよう保存し、のちの研究のために提供することを最大の目的としている。SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso-Archive system) はそのような天文データアーカイブシステムの一つであり、すばる望遠鏡をはじめとした日本の光赤外大口径望遠鏡の観測データを公開している。本稿では、SMOKAから観測データを取得する方法とSMOKAを用いて輩出された研究論文を紹介する。最後に、筆者の論文一編を通して天文データアーカイブの公開データが実際にどのように最新研究に用いられているかを紹介する。

1. はじめに

1.1 天文データアーカイブの意義

天文学では、対象に直接触れて実験を行うことができないため、「観測」を主な研究手段としている。観測を続けていると、天体というものが実に変化に富んでいることがわかってくる。あるものは一定の速度で動き続け、あるものは粛々と同じ周期で増減光を繰り返す、あるものは何十年も変わらぬ姿を保ち続けているかと思えば突然明るくなったりするのである。このような、ある時刻においてある天体がどのような状態にあったか、といった観測事実は、二度と得ることのできない唯一の記録となる。この貴重な観測データが失われることのないように保存し、提供することが天文データアーカイブの最大の目的である。

天文データアーカイブで提供される観測データ

は先行研究の結果の確認・検証に用いられるほか、観測者の初期の目的とは異なる研究のために利用されることがある。例えば十数年前までしかおぼつて一つの天体の長期的変動を調べることが可能になるし、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容易になる。このように、天文データアーカイブは天文学にとってなくてはならない重要な存在であると言える。

1.2 SMOKAとは

すばる望遠鏡をはじめとし、日本が運用するいくつもの光赤外大口径望遠鏡は日々天体観測を行い続けている。国立天文台天文データセンターが提供するSMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso-Archive system)¹⁾ は、それらの観測データを公開している天文データアーカイブシステムである。2015年6月現在、すばる望遠鏡、岡山天体物理観測所188 cm望遠鏡、東京大学木曾観測所

105 cmシュミット望遠鏡，東京工業大学MIT-SuME望遠鏡群，東広島天文台1.5 mかなた望遠鏡に搭載された，計24観測装置の観測データがSMOKAを介して公開されている．2001年の公開開始以来，公開観測データは多くの人に利用され，多数の成果が生み出されている．

本稿では，SMOKAから観測データを取得する方法（2章），SMOKAを用いた研究成果（3章），および研究成果の一例としてSMOKAから取得した観測データのみを用いた論文を一編紹介する（4章）．

2. SMOKAのデータ取得方法

2.1 ユーザー登録

SMOKAはインターネット上*1に公開されており，研究者・アマチュアを問わず，誰でも利用することができる．ただし，データを取得するためには氏名や連絡先等の簡単なユーザー登録が必要である．

2.2 検索システムを選択

SMOKAで公開されている観測データ数（フレーム数）は1,000万を超える膨大な量であるため，SMOKAでは利用者が目的の観測データを効率的に取得できるよう，さまざまな検索システムを用意している．細かい条件を指定したい人はアドバンスド検索（2.3節参照），天体名のみで簡単な検索をしたい人はシンプル検索，観測年月日で視覚的な検索をしたい人はカレンダー検索，太陽系内の既知の小天体（小惑星，彗星）を検索したい人は移動天体検索など，利用者の目的に合わせて10通り以上の検索が選択可能である．

2.3 検索条件を指定

検索システムを選択したあとは検索条件を指定する．ここではSMOKAの主要な検索システムの一つであるアドバンスド検索を例にデータ取得までの流れを説明する．図1がアドバンスド検索

アドバンスド検索の画面

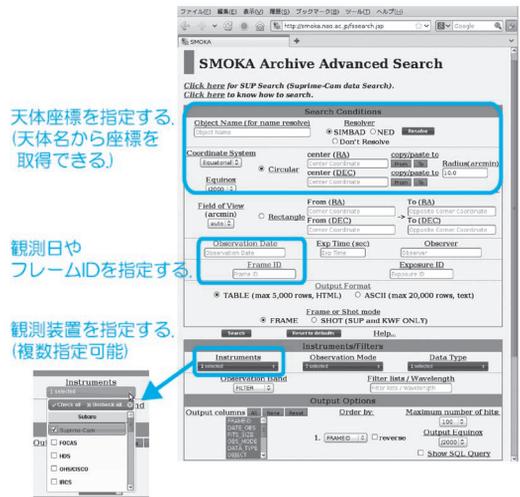


図1 アドバンスド検索の画面．天体座標，観測日，フレームID，観測装置など細かい検索条件を指定することができる．

検索結果の画面

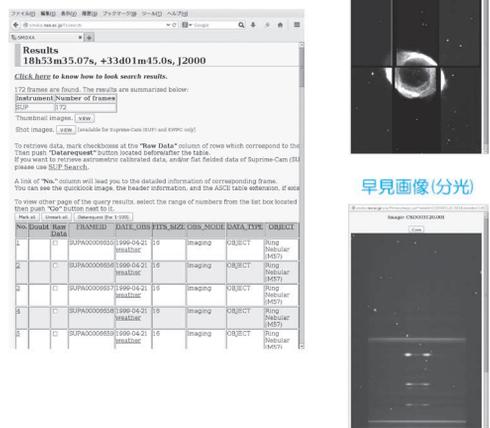


図2 検索結果の画面と早見画像の例．

の画面である．前述のとおり，アドバンスド検索では細かい条件を指定することができる．例えば天体座標（天体名から座標を取得することも可

*1 SMOKAのURL: <http://smoka.nao.ac.jp/>

能)、観測日、フレームID、観測装置名、観測フィルターなどの条件を指定することができる。もちろんすべての条件を指定する必要はなく、この中の一部を指定しても検索可能である。また、観測日はここからここまでといった範囲指定や、観測装置の複数指定なども可能であり、容易に目的の観測データを絞り込めるよう設計されている。

2.4 検索結果を確認

アドバンスド検索を実行すると、検索条件に該当する観測データの一覧が表示される(図2左)。利用者は以下に説明する「ヘッダー情報」および「早見画像」を閲覧することでデータを確認・選別することができる。ヘッダー情報とは、座標や観測日などの観測情報がまとめられたものことであり、すべての観測データに付随している。早見画像とは、データ請求前に撮像画像もしくは分光画像を簡単に確認するためのものである(図2右)。

2.5 データ請求

観測データを検索し選別したら、いよいよデータ請求である。データ請求画面でデータ請求ボタ

ンを押すだけで簡単に行うことができる。ユーザー登録時に登録した電子メールアドレスに通知を受けたのち、ネットワーク経由(FTP)で観測データを取得することができる。

3. SMOKAを用いた研究成果

SMOKAで公開しているデータを用いた査読論文は、本稿執筆時点(2015年5月)で173本輩出されている。図3は出版された論文数を年ごとにまとめたグラフであり、論文で使用された観測装置を模様で分けている。すばる望遠鏡の観測装置Suprime-Cam(図中ではSUPと書かれている)を中心に、さまざまな観測装置の公開データが論文に使用されていることがわかる。また、使用された分野は、太陽系、恒星、近傍銀河、遠方銀河、宇宙論、彗星など多岐にわたっており、多くの分野において天文データアーカイブが必要とされていることが伺える。次章では、SMOKAの公開データのみを用いた論文の一つ例に取って、天文データアーカイブの公開データがどのように実際の研究に用いられるのかを紹介する。

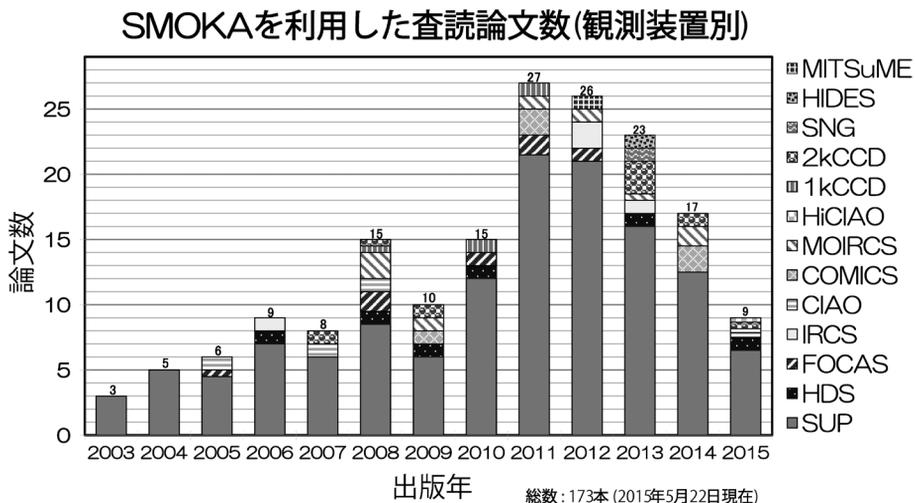


図3 SMOKAを使用した査読論文数の年推移。模様はそれぞれ異なる観測装置を表しており、図の右側に観測装置名を列挙した。SUPはすばる望遠鏡の観測装置Suprime-Camを示しており、最も多く利用されている。

4. 論文例

4.1 論文紹介

ここで紹介する論文は本稿の筆者の一人である樋口を主著とした、宇宙論モデルに関する論文である²⁾。樋口は、かつての観測者によって得られた過去の観測データを全く別の目的で使用することで、宇宙論研究に新たな知見をもたらした。このように、過去の観測データを保存し提供することは、最新の研究の発展に大いに役立つのである。以下、樋口の研究概要と使用した観測データを簡単に紹介する。

4.2 研究概要

現在、観測されている宇宙を再現するためのモデルとして、暗黒物質と暗黒エネルギーを仮定した Λ CDM (ラムダ・コールドダークマター) モデルが広く受け入れられている。これまで Λ CDMモデルの検証は、2点間の物質の密度の相関を計算した2点相関関数などの「統計量」を Sloan Digital Sky Surveyなどの観測データに対し計算することで行われてきた³⁾。しかし、このような統計量を用いた方法(統計的制限手法)だけでは Λ CDMモデルを十分に検証することができない。そこで、従来の統計的制限手法を補完する検証手法の一つとして注目されているのが、弱重力レンズ効果を用いた暗黒物質分布の「直接測定」である。この手法による Λ CDMモデルの検証は過去の観測データを用いても行うことができるので、天文データアーカイブに蓄積された豊富な公開データを有効利用することができる。

弱重力レンズ効果を用いた検証手法の概要は次のとおりである。 Λ CDMモデルを検証するためには、シミュレーションの暗黒物質分布と現実の宇宙の暗黒物質分布を比較すれば良い。まず、樋口らは宇宙論的な大規模シミュレーションを行うことで、 Λ CDMモデルを仮定した際の暗黒物質分布を知ることができる。ここで鍵となるのは、シミュレーションで無数に存在する「暗黒物質に

よるフィラメント構造」である。都合の良いことに、弱重力レンズ効果を用いることでこのフィラメント構造を観測することができるため、現実の宇宙の暗黒物質分布を知ることが可能である。よってシミュレーションと観測を直接比較することが可能となり、 Λ CDMモデルを検証することができる。しかし、重力レンズを用いたこのようなフィラメント構造の報告はまだ2例しかないのが現状である^{4),5)}。樋口らは貴重な3例目となる新たな「暗黒物質によるフィラメント構造」を発見するため、SMOKAで公開されている観測データに注目した。

解析に使用する観測データは複数の波長で撮像されていなければならない。なぜならば、レンズとなる天体(以降、レンズ天体)の近くにある銀河を用いて重力レンズ解析を行うと弱重力レンズ効果のシグナルが弱くなってしまうので、複数の

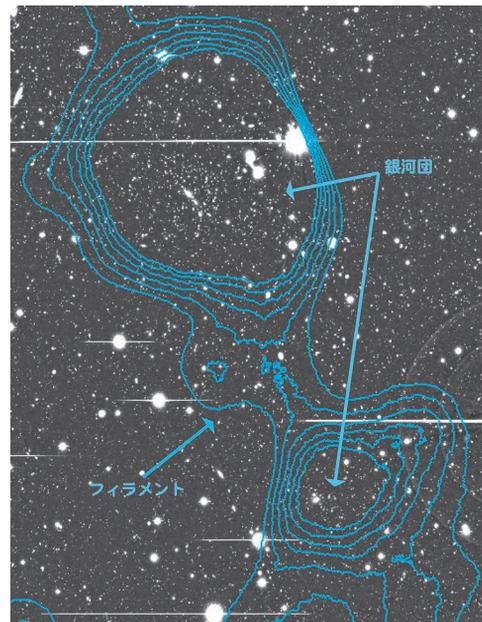


図4 重力レンズ解析により求められた銀河団の赤方偏移での質量分布²⁾。等高線の間隔は 0.5σ である。等高線の中心付近にそれぞれ一つずつ銀河団が存在しており、それらを結ぶ暗黒物質のフィラメント構造が見て取れる。

波長の観測データを用いてそのような銀河を排除し、レンズ天体の後ろにいる「背景銀河」のみを選び出す必要があるためだ。今回選んだ観測データは2003年にすばる望遠鏡の観測装置 Suprime-Camにより撮像されたもので、赤方偏移 $z=0.55$ にある銀河団 CL0016と RX J0018の観測データである。この観測データを得た観測者の元々の目的は銀河進化や形成の解明であり、天体の色の情報を使って銀河団付近の赤方偏移に存在する天体のみを選び出すために複数の波長での撮像を行っていたため、樋口らの研究に都合が良かった。図4に今回の重力レンズ解析の結果を示す。この図は二つの銀河団が存在する赤方偏移での質量分布を描いたもので、青い等高線は質量分布を表している。二つの銀河団の間に銀河団を結ぶ暗黒物質のフィラメント構造が見て取れる。樋口らは天文データアーカイブの公開データのみを用いて、暗黒物質のフィラメント構造の3例目を発見したのである。今回の発見は暗黒物質の直接測定を用いた Λ CDMモデルの検証の足がかりとなるだろう。

5. まとめ

天文データアーカイブはこれまでの観測データを保存し、提供することを目的としており、天文学にとってなくてはならない重要な存在である。提供される観測データは先行研究の結果の確認・検証に用いられるほか、観測者の初期の目的とは異なる研究のために利用されることがある。SMOKAは国立天文台天文データセンターが提供する天文データアーカイブシステムであり、すばる望遠鏡をはじめとした日本が運用するいくつかの光赤外大口径望遠鏡の観測データを公開している。SMOKAは研究者、アマチュアを問わず誰でも利用することができる。SMOKAの公開観測データは多くの人に利用され、現在までに173本の論文輩出につながった。

本稿では筆者の論文を通して公開データが実際にどのように利用されているかを見ることで、10年以上も前に観測されたデータでも研究者が新しい観点を加えることにより最新研究に利用できることを示した。天文データアーカイブに蓄積された観測データの中には、まだまだ多くの未発見の事実が眠っているだろう。天文データアーカイブが今後も多くの人に利用され、数々の成果に貢献することを願う。

参考文献

- 1) 馬場肇ほか, 2002, 国立天文台報 6, 23
- 2) Higuchi Y., et al., 2015, MNRAS, submitted (arXiv 1503.06373)
- 3) Tegmark M., et al., 2006, PhRvD 74, 123507
- 4) Dietrich J. P., et al., 2012, Nature 487, 202
- 5) Jauzac M., et al., 2012, MNRAS 426, 3369

Utilization and Product of SMOKA

Tessei YOSHIDA and Yuichi HIGUCHI

Astronomy Data Center, National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka 181-8588, Japan

Abstract: Astronomical data archives, which preserve and provide observational data, are very important for astronomy. SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso-Archive system) is one of such data archive systems, and provides public data observed with the Subaru telescope and several optical and infrared telescopes operated by Japan. Both researchers and amateur astronomers can retrieve the data from SMOKA. At present, 173 papers using SMOKA data have been accepted in various famous astronomical journals. In this article, we explain how to get data from SMOKA, and show a statistic of the 173 papers. In addition, we exemplify a utilization of archival data by introducing a recent study using SMOKA data only.