

# 公開天文データの活用方法

白 崎 裕 治

〈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: yuji.shirasaki@nao.ac.jp



近年の天体観測技術の向上により、高品質で利用価値の高い天文データが続々と生み出されるようになってきています。そうしたデータは国内外を問わず、広く天文学コミュニティに対して公開され、多くの科学的成果を上げています。本稿では、こうした公開データのさらなる利用促進を図ることを目的として、主として、どのようなデータが公開されているのか、それらはどこから入手可能であるのかといった点について紹介します。

## 1. はじめに

観測的天文学の研究においてデータアーカイブの利用はごく日常的に行われるようになってきています。すばる望遠鏡で観測した場合にはSTARS<sup>1)</sup> (Subaru Telescope Archive System) からデータを取得しますし、すざく衛星の観測データはDARTS<sup>2)</sup> (Data ARchives and Transmission System) もしくはHEASARC<sup>3)</sup> (High Energy Astrophysics Science Archive Research Center) から取得します。ALMAのデータはALMA Science Archive<sup>4)</sup> から取得することでしょう。

観測したデータは通常観測者に占有期間が設けられており、その期間は共同研究者を除き他の研究者は利用することができませんが、この期間を過ぎると誰でも利用できる公開データとなります。こうした公開データも利用することで、自分が観測したデータだけでは不十分な点を補うことができますし、より確かな研究結果を得ることが可能となります。また、観測者が当初意図した研究とは異なる観点で別の研究者がそのデータを解析することにより、新たな発見が生まれることも期待されます。アーカイブデータのそのような利用のされ方も非常に多くなってきています。

長大な観測時間を費やして行われるサーベイプロジェクトも盛んに行われています。そうしたサーベイ観測により得られたデータもカタログデータ等として公開され、多くの研究者が利用可能となっています。こうしたデータもデータベース化されWebインターフェイスによる検索が可能であったり、あるいはファイル単位でダウンロードすることができます。サーベイ観測のデータには、さまざまな種類の数多くの天体についての情報が蓄積されており、電波からX線にわたる広い周波数範囲で集められているものもあり、それから生み出される天文学研究には多くの可能性があります。

本稿では、そうしたインターネット経由で利用可能な天文データを活用する上で基礎となる事柄、すなわちデータが公開されている望遠鏡・装置・サーベイプロジェクトの紹介と、そのデータ取得の方法について一通りまとめました。また、そうした情報を簡単に検索できる仕組みを有するヴァーチャル天文台の利用方法とその仕組みについても簡単に紹介したいと思います。

## 2. 公開データアーカイブ

表1に観測データが公開データアーカイブより

表1 公開データアーカイブがある主要な望遠鏡と搭載観測装置の性能.

望遠鏡 口径 台数 (a)	装置	種別 (b)	波長 (c)	視野 (d)	波長 分解能 (e)
可視/赤外 (地上観測)					
Subaru	Suprime-Cam	I	O	W	—
8.2 m	HSC	I	O	W	—
	FOCAS	I, S	O	M	M
	Kyoto 3DII	I, S	O	M	M
	HDS	S	O	—	H
	CIAO	I	I	N	—
	HiCIAO	I	I	N	—
	CISCO/OHS	I, S	I	M	L
	IRCS	I, S	I	N	M
	MOIRCS	I, S	I	M	M
	COMICS	I, S	I	N	M
	FMOS	S	I	W	M
VLT	FORS1	I, S	O	M	M
8.2 m	FORS2	I, S	O	M	M
×4	VIMOS	I, S	O	W	M
	MUSE	I, S	O	M	M
	GIRAFFE	S	O	—	H
	UVES	S	O	—	H
	XSHOOTER	S	OI	—	M
	HAWK-I	I	I	M	—
	SPHERE	I, S	I	N	L
	ISAAC	I, S	I	M	M
	NACO	I, S	I	M	M
	VISIR	I, S	I	N	M
	SINFONI	I, S	I	N	M
	KMOS	S	I	—	M
	CRIFRES	S	I	—	H
Gemini	GMOS	I, S	O	M	M
8.1 m	NICI	I	I	N	—
×2	GSAOI	I	I	M	—
	GPI	I, S	I	N	L
	TReCS	I, S	I	N	L
	GNIRS	I, S	I	N	M
	NIRI	I, S	I	M	M
	NIFS	I, S	I	N	M
	FLAMINGOS1	I, S	I	M	M
	FLAMINGOS2	I, S	I	M	M
	MICHELE	I, S	I	N	H
	TEXES	S	I	—	H
	PHOENIX	S	I	—	H
紫外/可視/赤外 (衛星観測)					
GALEX		I, S	U	W	L
0.5 m					
HST	COS	I, S	U	N	M
2.4 m	GHRSS	S	U	—	H
	WFPC2	I	UO	M	—
	WF/PC	I	UO	M	—
	ACS	I, S	UO	M	L
	WFC3	I, S	UOI	M	L
	FOC	I, S	UO	N	M
	STIS	I, S	UO	N	H
	FOS	S	UO	—	M
	NICMOS	I, S	OI	N	L
Spitzer	IRAC	I	I	M	—
0.85 m	IRS	S	I	—	L
	MIPS	I, S	Im	M	L
AKARI	IRC	I, S	I	W	L
0.68 m	FIS	I	Im	M	—
WISE		I	I	W	—
0.4 m					
Herschel	PACS	I, S	Im	M	M
3.5 m	SPIRE	I, S	m	M	M
	HIFI	S	m	N	H
X線					
Suzaku	XIS	I, S	X	W	M
300 cm <sup>2</sup>	HXD	S	XG	W	L
×4					
Chandra	ACIS	I, S	X	W	M
400 cm <sup>2</sup>	HETG	S			H
	HRC	I, S	XU	W	L
	LEGT	S			H
XMM-Newton	EPIC	I, S	X	W	M
	RGS	S	X	—	H
1,000 cm <sup>2</sup>	OM	I	UO	W	—
×3					
電波					
ALMA		I, S	m	N	H
12 m×54					
7 m×12					
VLA		I, S	mR	N	H
25 m×27					
SMA		I, S	m	N	H
6 m×8					

(a) X線ミラーは5 keVにおける有効面積; (b) I: イメージ, S: スペクトル; (c) R: 電波 (<30 GHz), m: ミリ波・サブミリ波 (0.1–10 mm), I: 赤外 (1.1–100 μm), O: 可視 (0.3–1.1 μm), U: 紫外 (10–300 nm), X: X線 (0.12–120 keV), G: ガンマ線 (>120 keV); (d) W: >100 sq', M: 1–100 sq', N: <1 sq'; (e) 最大波長分解能 ( $\delta\lambda/\lambda$ ) H: >30,000, M: 1,000–30,000, L: <1,000, X線の場合, L: <20, M: 20–100, H: >100.

To browse the archive

Currently, raw data and various types of data products can be reached via different interfaces:

Category	Access Point	Data collection	Data Type	Instruments
LPO Raw Data	Raw data query form (all instruments) Instrument specific query forms Direct retrieval of raw data by file name	All ESO raw data	Various	Many La Silla Paranal instruments
LPO Data Products	Phase 3 main query form Phase 3 imaging query form Phase 3 spectral query form Phase 3 VIRCAM-specific query form	Phase 3 Data Products (ESO public surveys; ESO pipeline-reduced products; Large programs: GOODS, COSMOS, etc.)	Currently, Imaging and Spectroscopy	Various Pipeline products for UVES, XSHOOTER, HARPS, and more to come.
	Catalogue Facility query interface	Phase 3 Catalogues (ESO User Portal authentication required also when browsing)	Catalogues	Various
	FEROS and HARPS-Polarimetry pipeline processed data query form	FEROS and HARPS-Polarimetry pipeline processed data	Spectroscopy	FEROS, HARPS-Polarimetry, HARPS reduced calibrations (other HARPS see Phase3 above)
	Other Advanced Data Products (available only as downloadable packages, no query form)	Various (30 Doradus, Corot, GaB04s, etc.)	Spectroscopy Imaging Flux maps	FEROS WFI APEX
	Science Verification, Commissioning, EIS, etc. (no query form)	Full list of available data packages	Various	Many
APEX Quick Look Products	APEX query form	APEX	Heterodyne, Bolometer	APEX-2A, LABOCA, SABOCA, SHeFI
LPO Schedule	Scheduling query form	ESO Observing Programme Information and Scheduling		All La Silla Paranal instruments, including APEX
ALMA Data	ALMA Science Archive	All ALMA data	Cube	ALMA

図1 ESO Science Archive Facility.

入手可能な主要望遠鏡のリストを示します。表にはその望遠鏡に搭載されている装置の略称とその性能等についてもまとめてあります。ここに示した望遠鏡以外にもデータが公開されている望遠鏡は多数あり、JVO Webサイト<sup>5)</sup>においてまとめてみましたのでそちらをご参照ください。データアーカイブへのリンクも張っておりますのでご利用いただけたらと思います。

国立天文台が運用するすばる望遠鏡と合同ALMA観測所が運用するALMA望遠鏡のデータアーカイブについては本特集で別途紹介がありますので、ここではその他のデータアーカイブについて主だったものをいくつか紹介します。

## 2.1 ESO Science Archive

VLT (Very Large Telescope)<sup>6)</sup> はヨーロッパ南天天文台 (ESO: European Southern Observatory) がチリのアタカマ砂漠にある山、セロパラナルに建設した望遠鏡です。口径8.2 mの望遠鏡4台から構成されます。セロパラナルにはVLTの他、サーベイ観測専用の望遠鏡である口径2.6 mのVST (VLT Survey Telescope)<sup>7)</sup> や口径4.1 mのVISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy)<sup>8)</sup> もあります。VSTは可視光サーベイ、VISTAは近赤外サーベイを行います。

VLTをはじめとするこれらESOが運用する望

遠鏡のデータはESO Scicne Archive Facility<sup>9)</sup> から取得できます (図1)。ESO Scicne Archiveには観測生データの他、観測装置固有の歪みが補正された処理済みデータがPhase 3 Productsとして保管され公開されています。Phase 3 Productsとして公開されているデータには、VLTデータのパイプライン処理されたデータ、VLTを利用した観測プロジェクトの成果物としての画像、スペクトル、カタログデータ、そして、VSTやVISTAによるサーベイ観測データ (画像とカタログ) があります。

生データを取得するには、図1に示したページの“Raw data query form”をクリックして表示されるページから検索条件を指定して検索実行します。Phase 3 Productsを取得するには“Phase 3 main query form”をクリックして表示されるページから検索条件を指定して検索実行します。装置に固有の検索条件を指定することができる検索ページも用意されています。データをダウンロードするにはあらかじめユーザ登録をする必要があります。

## 2.2 Hubble Legacy Archive

口径2.4 mのHST (Hubble Space Telescope)<sup>10)</sup> はNASAがESA (European Space Agency) との協力のもと打ち上げた宇宙望遠鏡です。紫外から赤外の波長域の撮像・スペクトル観測を行えます。HSTのデータ公開はSTScI (Space Telescope Science Institute) によって管理・運用されているMAST<sup>11)</sup> (Mikulski Archive for Space Telescopes) において行われています。

MASTにはさまざまなタイプの検索インターフェイスが用意されています。HSTデータの検索でもっとも利用しやすいのは“Hubble Legacy Archive”<sup>12)</sup> (HLA; 図2) でしょう。HLAには処理済みのHSTデータが格納されており、それらは処理レベルに応じて5段階に分けられています。レベル1は露出ごとのデータ、レベル2は複数の露出データを観測ごとに足し合わせたデー

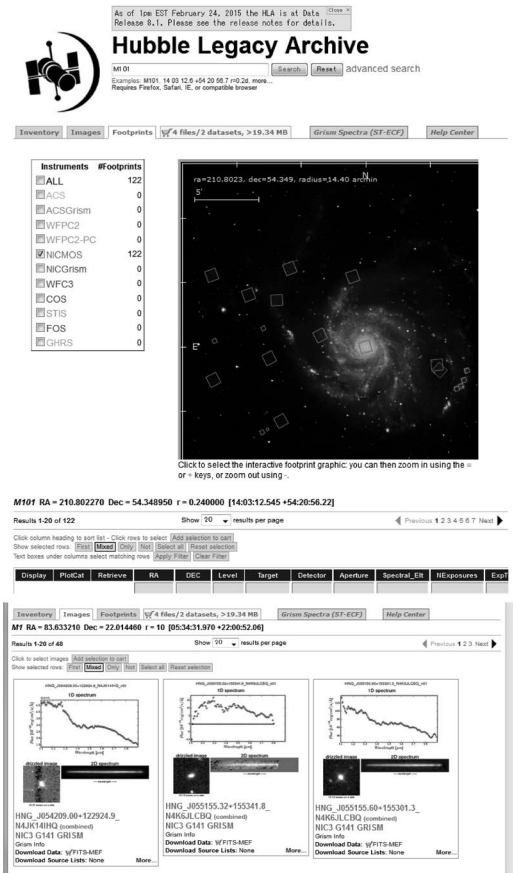


図2 HST Legacy Archive.

た、レベル3は複数の観測によるデータをすべて足し合わせたデータ、レベル4は3色カラー合成されたデータ、レベル5は観測者もしくはアーカイブユーザによって作成された High Level Science Products (HLSP) です。レベル1-5の取得できるデータは、FOC, HSP, WF/PCを除くHST全データです。

図2の画面上で天体名を入力することで、その座標を含む全データが検索されます。装置や処理レベルを指定して検索を行いたい場合は“advanced search”と書かれたリンクをクリックすることで、より詳細な検索条件を入力できるよ

になります。検索結果は複数の表示方法で閲覧することができます。“Inventory”タブではリスト表示、“Images”タブでは各データに対応したサムネイル付きのリスト、“Footprints”タブでは観測データの視野がオーバプロットされたマップが表示され、視覚的にデータを選択することができます。

HSTの観測データから抽出された天体リストがHubble Source Catalog<sup>13)</sup>として提供されています。天体リストのみ必要な場合はこちらも利用できます。

### 2.3 XMM-Newton Science Archive

XMM-Newton<sup>14)</sup>はESAにより打ち上げられたX線望遠鏡です。有効面積4,500 cm<sup>2</sup>を有する最大規模のX線ミラーを備えており、可視光サーベイ天体の対応天体の探査において力を発揮します。XMM-NewtonのデータアーカイブXSA<sup>15)</sup>(XMM-Newton Science Archive)はESAC(European Space Astronomy Center)により管理・運営されています。

XSAの検索ページにアクセスし、フォームに天体名などの検索条件を入力することでXMM-Newtonのデータが検索できます。取得できるデータは観測生データ一式を含むODF(Observation Data File)ファイルのほか、処理済みデータ一式を含むPPS(Pipeline Processing System)ファイル等です。

処理済みデータにはイベントリスト<sup>\*1</sup>のほか、二次元画像データ、ソースカタログ、十分明るい天体のスペクトルデータとレスポンスファイル等が含まれます。画像データは可視光データと同様のフォーマットとなっていますので、X線観測に馴染みのない方でも簡単に表示してみることができます。スペクトルデータの解析にはXSPEC<sup>16)</sup>等のX線データ用の標準ソフトウェア等が利用できます。PPSファイルに含まれるデータの詳細に

\*1 一光子ごとに検出時刻、エネルギー、位置座標が記録されたデータ。

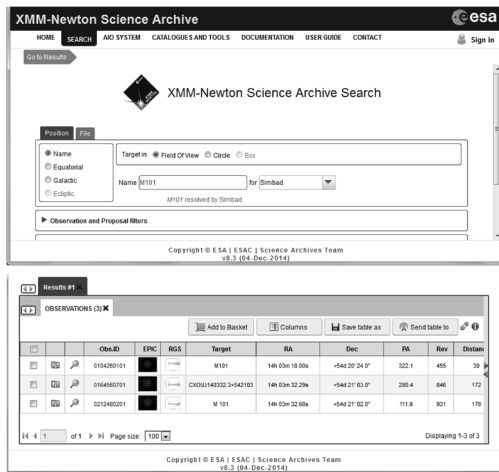


図3 XMM-Newton Science Archive.

については解説書<sup>17)</sup>をご覧ください。データを取得するためにはあらかじめユーザ登録を行っておく必要があります。

XMMで観測された天体リストのみ取得できればよいという場合には、XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue (3XMM-DR4)<sup>18)</sup>をダウンロードして利用することも可能です。このカタログは2000年2月から2012年12月までに行われた7,427の観測データをもとに作成されたもので、総観測面積800 deg<sup>2</sup>、総天体数37万天体となっています。Chandra衛星による同様のカタログThe Chandra Source Catalog<sup>19)</sup>もあります。

## 2.4 NRAO Data Archive

VLA (Karl G. Jansky Very Large Array)<sup>20)</sup>はNRAO (National Radio Astronomy Observatory)が米国ニューメキシコ州において運用を行っている干渉電波望遠鏡です。25 m径のパラボラアンテナ27台により構成され、ミリ波から超短波までの周波数帯74 MHz-50 GHz (0.6-410 cm)で観測を行います。最大空間分解能は0.04"に達します。

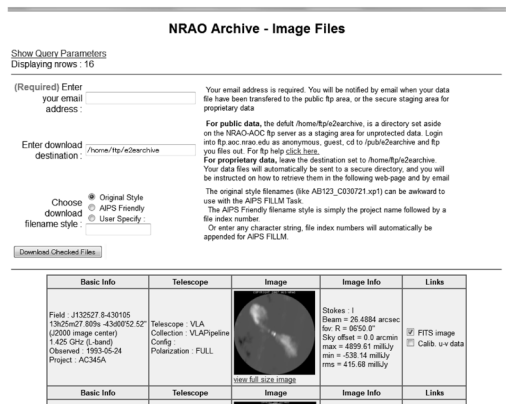
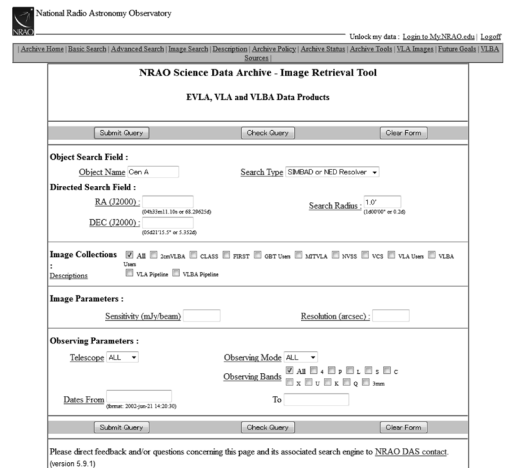


図4 NRAO Science Data Archive.

VLAのデータはNRAO Data Archive<sup>21)</sup>に保管され誰でもデータを取得することが可能です。VLAデータのほか、GBT (Green Bank Telescope)<sup>22)</sup>やVLBA (Very Long Baseline Array)<sup>23)</sup>のデータも保管されています。保管されているデータは上記望遠鏡の生データのほか、VLBAの処理済みデータ、各種サーベイ観測<sup>\*2)</sup>によって得られた画像データ等です。

画像データを取得するには、NRAO Data Archiveページの上部に表示されている“Image Search”リンクをクリックして表示されるページ

\*2 NRAO VLBA 2 cm Survey (2 cm VLBA), NRAO VLA Sky Survey (NVSS), Faint Images of the Radio Sky at Twenty-centimeters (FIRST), Cosmic Lens All-Sky Survey (CLASS), MITVLA Gravitational Lens Snapshot Survey (MIT-VLA), NRAO VLBA Calibrator Source Survey (VCS), NRAO VLA Archive Survey (NVAS-VLA Pipeline)

から検索を実行します (図4)。検索結果ページで取得したいデータ項目をチェックし、自分の電子メールアドレスを入力して、Download ボタンをクリックするとftpサイトにデータがコピーされ、コピーが完了するとメールでお知らせがきます。

### 3. 公開サーベイ観測データ

次に公開サーベイ観測データについて、広く利用されているSDSSデータの利用の仕方を簡単に説明し、その他のサーベイデータについても紹介します。

#### 3.1 SDSS

SDSS (Sloan Digital Sky Survey)<sup>24)</sup> は米国ニューメキシコ州のアパッチポイント天文台に建設された口径2.5 mの望遠鏡を用いた可視光サーベイ観測プロジェクトです。これまでに七つのサーベイプロジェクトが行われており、一部は実施中です。

**Legacy:** 全天の1/4に渡る領域で、均質な測光・スペクトル観測を行い宇宙の三次元地図を作成したプロジェクト; **Supernova:** Ia型超新星の観測により暗黒エネルギーの性質についての知見を得ることを目的としたプロジェクト; **SEGUE:** 銀河系内天体に特化したサーベイプロジェクト (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration); **MARVELS:** 恒星の視線速度の時間変動の測定により太陽系外惑星を探査するプロジェクト (Multi-object APO Radial Velocity Exoplanet Large-area Survey); **BOSS:** 銀河の三次元分布からバリオン音響振動の痕跡を探るプロジェクト (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey)。e-BOSSとして現在も進行中; **APOGEE:** 恒星の高分散スペクトル観測によりその化学組成や視線速度を測定し銀河系形成の歴史を探るプロジェクト (APO Galactic Evolution Experiment)。APOGEE-2として現在も進行中; **MaNGA:** 近傍銀河の二次元分光により、銀河の星形成からそ

の終焉までのライフサイクルを観測的に探る現在進行中のプロジェクト (Mapping Nearby Galaxies at APO)。

SDSSのデータはScience Archive Server<sup>25)</sup> (SAS), SkyServer<sup>26)</sup>, CasJobs<sup>27)</sup> から検索して取得することができるほか、直接ファイルをダウンロードすることも可能です。直接ダウンロードする方法は“Bulk Data Downloads” ページ<sup>28)</sup> に記載されています。wget やrsync といったコンソールアプリケーションによって複数のファイルを一度に取得することが可能です。全部で100 TB以上のデータがあります。必要なデータについて総量がどれくらいになるかをあらかじめ確認し、転送時間がどれくらいかかるかを計算してからダウンロードを開始するのがよいでしょう。

SASによるデータ取得はもっとも簡単です。ここでは、画像データ、可視もしくは近赤外のスペクトルデータを取得できます。図5の上部に表示されている画面から取得したいデータの種類を選

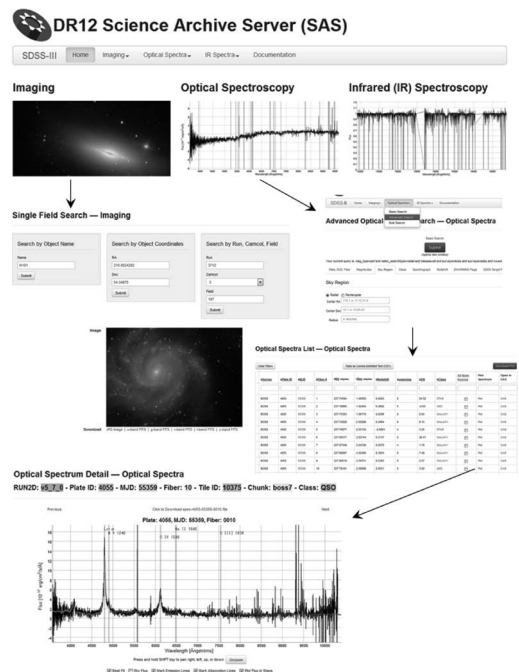


図5 SDSS Science Archive Server.

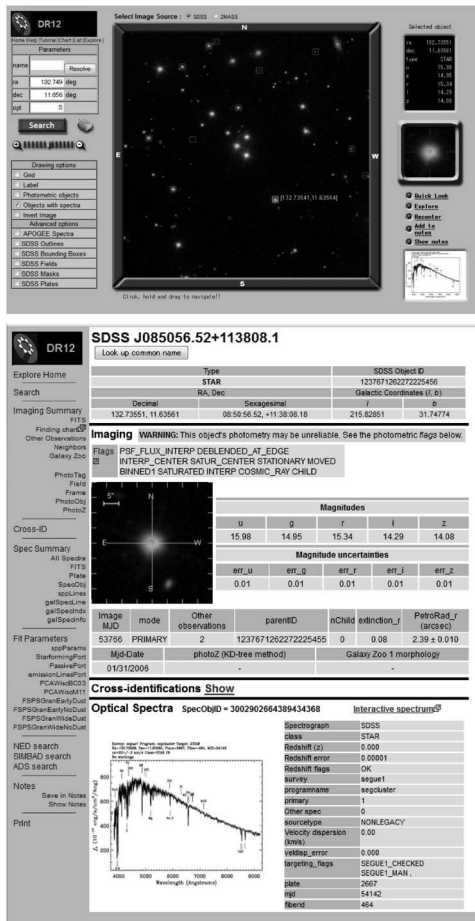


図6 SkyServer “Navigate” ページ。

択し、取得したいデータの座標または天体名などの条件で検索を実行します。座標でスペクトル検索をするには、ページ上部の“Optical Spectra”または“IR Spectra”の部分のメニューリストから“Advanced Search”を選択し、それで開いたページの“Submit”ボタン下にある“Sky Region”タブを開いてください。座標と検索半径を入力するフィールドが現れます。検索を実行すると、対応する画像もしくはスペクトルデータのリストが表示されます。スペクトルデータリスト中の“Plot”リンクをクリックすると対応するスペクトルデータが表示されます。スペクトルデータの表示範囲はカーソルで変更することができま

す。FITSデータを取得するには画像の下、もしくはスペクトルデータ表示の上部のリンクをクリックします。

SkyServerの検索画面は図6上のようにになっており、左上の入力フィールドに天体名を入力し“Resolve”ボタンをクリックするか、直接座標を入力して、その下の“Drawing Options”で例えば“Objects with spectra”のチェックボックスをチェックします。そうして“Search”ボタンをクリックすると、指定した座標域にあるスペクトルデータがある天体の位置が表示されます。カーソルで天体の位置をクリックすると右側に対応する天体の情報が表示されます。“Explore”リンクをクリックすると、図6下に示すその天体の詳細情報が表示されます。FITSデータをダウンロードするには図6下の左側に表示されている“FITS”リンクをクリックして表示されるページへ移動します。そのページにFITSデータへのリンクが表示されています。

以上紹介した検索方法以外にもSQLと呼ばれる検索言語を利用できる検索ページがあります。SQLの利用法については、国立天文台天文データが開催しているSQL講習会の資料集<sup>29)</sup>等が参考になります。

### 3.2 その他のサーベイ観測

SDSS以外にも表2に掲げたようなサーベイ観測があり、データが公開されています。また、JVOのWebサイト<sup>30)</sup>にもまとめたリストが掲載されており、データの取得先へのリンクも記載されています。それではSDSS以外の主要なサーベイ観測について紹介します。

ハッブル宇宙望遠鏡によるディープサーベイの観測データは初期宇宙の研究に広く利用され数多くの科学論文が生み出されました。北天と南天のそれぞれ非常に狭い領域（およそ0.002平方度）を深く観測したHDF-N（Hubble Deep Field North）<sup>31)</sup>とHDF-S（Hubble Deep Field South）<sup>32)</sup>、HDF-NとCDF-S（Chandra Deep Field South）<sup>33)</sup>の領域を

表2 データが公開されている主要なサーベイ観測.

サーベイ名	位置	観測面積 (a)	天体数 (b)	主たる望遠鏡	検出感度 (c)
Deep survey					
HDF-N	J1236+62	6.2 sq'	3.5 k	HST	$V_{606}=28.2$
HDF-S	J2233-61	6.2 sq'	2.7 k	HST	$V_{606}=28.2$
HUDF	J0333-28	6.2 sq'	8 k	HST	$V_{606}=29.0$
XDF	J0333-28	4.7 sq'	—	HST	$V_{606}=30.1$
GOODS	HDF CDF-S	320 sq'	34 k	HST	$z_{850}=26.6$
COSMOS	J1000+02	7,200 sq'	2 M	HST	$i_{775}=27.1$
CANDELS/DEEP	GOODS-S/N	125 sq'	—	HST	$F_{160W}=27.2$
CANDELS/WIDE	(d)	800 sq'	—	HST	$F_{160W}=26.5$
SXDS	J0218-05	5,760 sq'	900 k	Subaru	$R_c=27.7$
SDF	J1325+27	1,110 sq'	210 k	Subaru	$R_c=27.8$
Ultra-VISTA	COSMOS	1.5 sq°	329 k	VISTA	$K_s=24.8$
VIDEO	(e)	7.5 sq°	920 k	VISTA	$K_s=23.5$
UKIDSS/UDS	SXDS	0.8 sq°	251 k	UKIRT	$K=24.8$
UKIDSS/DXS	(f)	35 sq°	3,261 k	UKIRT	$K=23$
CDF-N	J1237+62	450 sq'	503	Chandra	$2.5 \times 10^{-17}$ (g)
CDF-S	J0332-28	460 sq'	740	Chandra	$9.1 \times 10^{-18}$ (g)
XMM-LSS	J0230-05	19,800 sq'	3 k	XMM	$4.0 \times 10^{-15}$ (g)
Large area survey					
AllWISE	全天		747 M	WISE	$F_{3.4 \mu m}=54 \mu Jy$
UKIDSS/GPS		1,800 sq°	700 M	UKIRT	$K=20$
VHS		4,000 sq°	592 M	VISTA	$K_s=20.0$
VPHAS+		424 sq°	530 M	VST	$H_s=21.6$
VVV		540 sq°	516 M	VISTA	$K_s=18.1$
2MASS	全天		470 M	2MASS	$K_s=14.3$
SDSS		14,055 sq°	469 M	SDSS	$r'=22.2$
DENIS		16,700 sq°	355 M	ESO-1 m	$K_s=14.0$
GALEX/AIS	全天		219 M	GALEX	$m_{FUV}=20$
UKIDSS/LAS		3,500 sq°	84 M	UKIRT	$K=20$
UKIDSS/GCS		1,000 sq°	63 M	UKIRT	$K=20$
VST-ATLAS		2,000 sq°	57 M	VST	$r'=22.2$
VIKING		690 sq°	46 M	VISTA	$K_s=20.5$
GLIMPSE 360	銀河面	511 sq°	43 M	Spitzer	$F_{3.6 \mu m}=21 \mu Jy$
KIDS		160 sq°	17 M	VST	$r'=25.2$
SWIRE		50 sq°	960 k	Spitzer	$F_{4.5 \mu m}=10 \mu Jy$
FIRST		10,575 sq°	946 k	VLA	$F_{1.4 GHz}=1 mJy$
AKARI/IRC-PSC	全天		871 k	AKARI	$F_{9 \mu m}=50 mJy$
AKARI/FIS-BSC	全天		427 k	AKARI	$F_{90 \mu m}=550 mJy$
MAXI	全天		~200	MAXI	$7.5 \times 10^{-12}$ (h)
Galaxy redshift survey					
SDSS		14,055 sq°	2,400 k	SDSS	$r=17.8$
GAMA		290 sq°	300 k	AAT	$r=19.8$
2dFGRS		1,500 sq°	221 k	AAT	$b_j=19.5$
6dFGS		17,000 sq°	125 k	UKST	$K=12.65$
VIPERS		24 sq°	57 k	VLT	$I=22.5$
DEEP2		2.8 sq°	50 k	Keck II	$R=24$
2MRS	~全天		44 k	Various	$K=11.75$
AGES		7.7 sq°	24 k	MMT	$I=20.0$
VVDS/Wide		8.6 sq°	22 k	VLT	$i=22.5$
CfA2		17,000 sq°	18 k	FLWO 1.5 m	$B=15.5$
2SLAQ		180 sq°	15 k	AAT	$i=19.8$
VVDS/Deep		0.6 sq°	12 k	VLT	$i=24.0$
zCOSMOS/Bright		1.7 sq°	11 k	VLT	$I=22.5$
VVDS/Ultra-Deep		0.14 sq°	1 k	VLT	$i=24.75$

(a) 実施中のサーベイについては本稿執筆時点で入手できた観測面積を記載, (b) 実施中のサーベイについては本稿執筆時点で入手できた天体数を記載, (c) 単位なしの値はAB等級, (d) GOODS-S/N+COSMOS+UKIDSS/UDS+EGS, (e) XMM-LSS+CDF-S+ELAIS, (f) XMM-LSS+LockmanHole+J1057+58+ELAIS+VVDS, (g) 0.5-2.0 keVにおける鏡軸方向に対する感度. 単位は $erg/cm^2/s$ , (h) 4-10 keVにおける37カ月積分による感度. 単位は $erg/cm^2/s$ .



拡張し、約0.1平方度に渡り観測を行った GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey)<sup>34)</sup>、さらに広域な2平方度の領域を観測した COSMOS<sup>35)</sup>、深さを極限まで突き詰めた HUDF (Hubble Ultra Deep Field)<sup>36), 37)</sup>、XDF (Hubble eXtreme Deep Field)<sup>38)</sup> があります。これらの観測領域は世界中の電波からX線に渡る名だたる望遠鏡群により総力を結集して観測されており、非常に良質で大量のデータがアーカイブされています。HSTの画像データ・カタログデータはMASTに“High Level Science Products”<sup>39)</sup>としてアーカイブされています。

すばる望遠鏡<sup>40)</sup>によるディープサーベイ観測 (Subaru Deep Field; SDF, Subaru/XMM Newton Deep Survey; SXDS) はSuprime-Camによる広視野撮像能力を活かして、遠方宇宙における大規模構造の研究をリードしました。得られた画像・カタログデータはSOAPs (Subaru Observatory Astronomical Projects) Server<sup>41)</sup>に保管されています。現在Hyper Suprime-Camによるサーベイ観測が行われており、データは国内研究機関に所属する研究者であれば優先的に利用することが可能です。優先利用するためにはHSC共同観測者登録<sup>42)</sup>を行い、“HSC collaboration policy”を遵守することが求められます。

UKIDSS (UKIRT Infrared Deep Sky Survey)<sup>43)</sup> はハワイ島マウナケア山頂に建設された口径3.8 mのUKIRT (United Kingdom Infra-Red Telescope) 望遠鏡<sup>44)</sup>による近赤外サーベイです。UKIDSSの五つのサーベイプロジェクトのうちLarge Area Survey (LAS) はSDSSの観測領域と広くオーバーラップしており、SDSSのデータと合わせることで、近紫外から近赤外にわたる合計9バンドの観測データが利用できます。LASのほかにはGalactic Plane Survey (GPS), Galactic Clusters Survey (GCS), Deep Extragalactic Survey (DXS), Ultra Deep Survey (UDS) があります。DXSはXMM-LSS (XMM-Newton Large-

Scale Structure), SXDS, Lockman Hole, ELAIS (European Large Area ISO Survey) の各サーベイ領域を観測し、UDSはSXDSの領域を観測しています。UKIDSSのデータはWFCAM Science Archive<sup>45)</sup>からSQL検索により取得することができます。

第2.1節で紹介したESOのVSTとVISTAにより、さまざまな目的のサーベイ観測が行われている最中で、そのデータも観測から一定期間が経過したのちに公開されています。ESO Science ArchiveまたはVISTA Science Archive (VSA)<sup>46)</sup>、OmegaCAM Science Archive (OSA)<sup>47)</sup>からデータを取得できます。VSAはVISTAデータ専用、OSAはVSTデータ専用のデータアーカイブで、SQLによる検索が行えます。VISTA/VIKINGではUKIDSS/LASより一等級深い観測データが得られます。

全天を観測したカタログとしては、近紫外線観測のGALEXカタログ<sup>48)</sup>、可視観測のデータを集めたGSC2.3カタログ<sup>49)</sup>、USNO-B1カタログ<sup>50), 51)</sup>、赤外観測の2MASSカタログ<sup>52)</sup>、AKARI全天カタログ<sup>53)</sup>、AllWISEカタログ<sup>54)</sup>、X線観測のROSATカタログ<sup>55), 56)</sup>などがあります。これらのデータはアストロメトリーなどの座標較正用のデータとしても利用価値があります。

また、全天X線監視装置MAXIは約90分で全天からのX線をスキャン観測することが可能であり、主に時間変動天体、突発天体の探査の研究分野で成果を上げています。天体ごとのライトカーブなどがMAXIのサイト<sup>57)</sup>から取得することができます。

銀河の赤方偏移を系統的に測定し、宇宙の三次元的構造を明かにしたサーベイも多数あります。それぞれのプロジェクトのサイトやVizieRカタログサービス、HEASARCなどのデータセンターから取得できます。

#### 4. 各種検索サービスとツール

前節で紹介したカタログの大部分はVizieRカ

タログ検索サービス<sup>58)</sup>からも取得することが可能です(図7)。VizieRはフランスのストラズブル天文データセンター(CDS: Centre de Données astronomiques de Strasbourg)<sup>59)</sup>が運用しています。さまざまなカタログデータや論文に掲載されたテーブルデータを集めてデータベース化しており、それらのカタログを検索することが可能です。本稿執筆時点では13,534のカタログが登録されています。

系外天体のデータベースNED (NASA/IPAC Extragalactic Database)<sup>60)</sup>では天体名または座標を指定して検索すると、対応する天体のさまざまな観測結果の一覧やデータへのリンク、関連論文へのリンクがまとめられた結果が表示されます。また天体種別による検索もでき、AGN, Starburst 銀河などの登録されている天体一覧を見ることができます。そのほかにもさまざまな検索や計算ツールなどが用意されています。

VizieRはカタログ検索、NEDは系外天体に特化した検索サービスですが、あらゆる天文データを一つのサイトから検索できるようにするための取り組みが進められています。望遠鏡による観測で天体を調べる実天文台に対比して、インターネットを介して世界中のデータベースから天体情報を集めてくるシステムをヴァーチャル天文台(VO: Virtual Observatory)と称します。VOを介して各種データサービスを利用できるようになってきています。

米国のVOプロジェクトで開発したData Discovery Tool<sup>61)</sup>では天体名または座標を入力し検索を実行すると、その天体のカタログデータ、画像・スペクトルデータといったさまざまなデータが取得できます(図8)。VizieRやNEDとは異なり、世界各国のデータセンターの協力により共通の方式で構築されたデータベースから構成される分散データベースを利用しています。こうした方式をとることにより、今後も続々と生み出されるであろうさまざまな大量の天文データを各データ

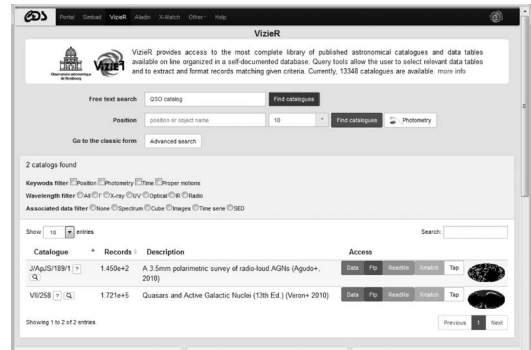


図7 VizieR.

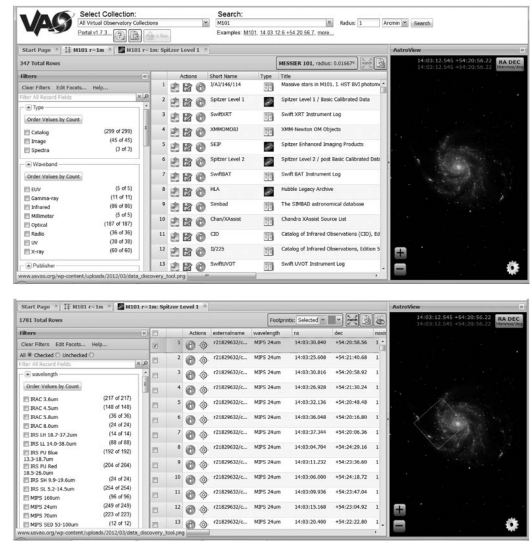


図8 Data Discovery Tool.

センターや観測所が分担してデータベース化することで、データ量に対してスケーラブルなデータ検索システムを実現することが可能となります。

私たち日本のVOグループもJVO portal<sup>62)</sup>の開発を行い、可能な限り容易にVOのシステムを利用できるユーザーインターフェイスを提供しています。図9に示すような天球マップ上に観測データがある領域を表示しクリックすることでデータまでたどりつけるような検索システム(JVOSky)等を開発しています。JVO portalの詳細についてはVO講習会の資料がJVOのプロジェクトサイトの講習会ページ<sup>63)</sup>にありますのでご

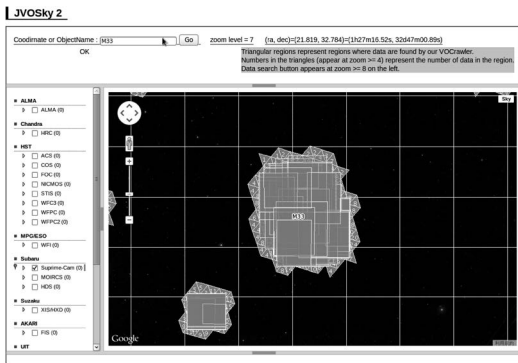


図9 JVOSky.

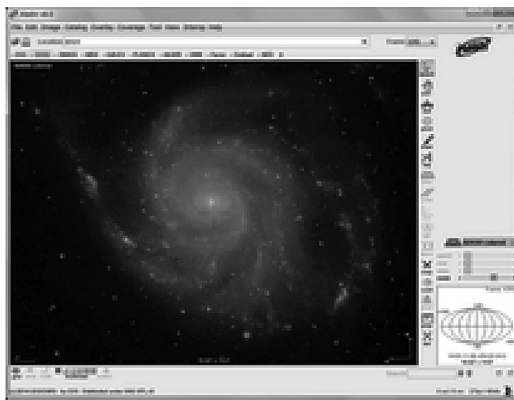


図10 Aladin.

覧いただけたら幸いです。

Webブラウザを利用したポータルサイト以外にも Desktop アプリケーションとして利用できる VO データサービスと連携可能なツールが開発されています。Aladin<sup>64</sup> は CDS が開発している画像ビューアです (図10)。インターネットに接続した環境で利用することで、さまざまな画像データを Aladin 専用の画像配信サーバーや VO データサービスサイトから取得し表示することが可能です。もちろん、自分の計算機上にある FITS ファイルを読み込んで表示することも可能です。

Specview<sup>65</sup> は STScI が開発したスペクトルデータ表示ツールです (図11)。VO データサービスからスペクトルデータやラインデータを取得でき、ラインの等価幅や中心波長の測定などが簡

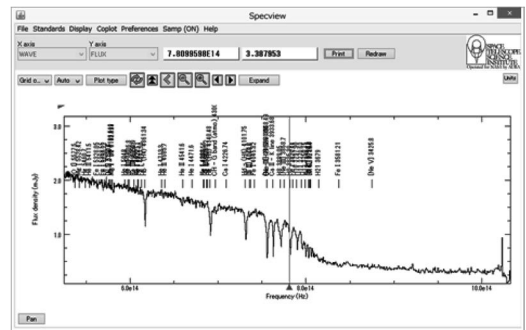


図11 Specview.

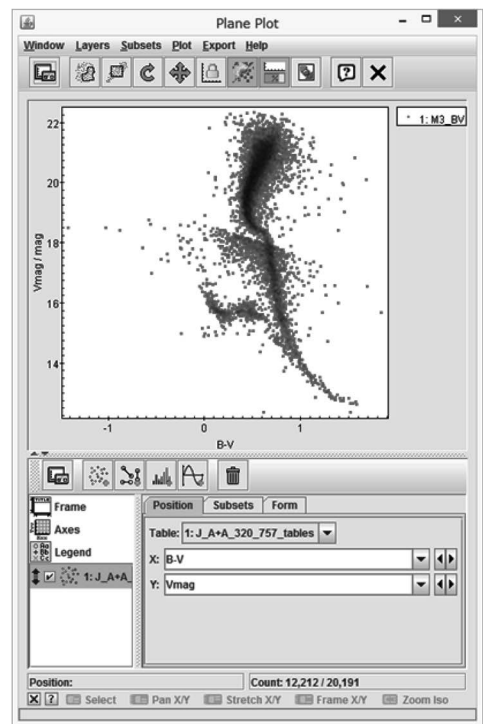


図12 Topcat.

単に行えます。Specviewを機能拡張したIris<sup>66</sup>もスペクトルデータ解析に利用できます。

TOPCAT<sup>67</sup> は Mark Talyer 氏が開発しているプロット作成ツールです (図12)。ファイルからデータを読み込んでプロットするという通常の使い方の他、VO データサービスからデータを取得しプロットする機能も有しています。

その他にも VO 機能が搭載された有用な Web

portal, Desktop アプリが欧州のVOプロジェクト (Euro-VO) のページ<sup>68)</sup> や IVOA (International Virtual Observatory Alliance) のページ<sup>69)</sup> にリストアップされていますので、ご参照ください。

## 5. ヴァーチャル天文台の仕組み

最後にヴァーチャル天文台がどのような仕組みにより実現されているのかを簡単に記させていただきます。

ヴァーチャル天文台を構成するデータベース自体は世界中のさまざまなサイトに分散しており、そのサイトを管理・運営するのも異なる組織、すなわち各地のデータセンタです。これらをあたかも一つのデータベースとして動作させるために重要となってくるのは、それぞれのサイトが配信するデータを説明するメタデータの記述形式とその配信方法、データ検索を行うプロトコルの仕様、検索結果の記述形式、そしてこれらの標準化です。

メタデータにはそのデータセットを説明する情報として、タイトル名やデータの概要文、データセットを作成した人あるいは組織名、データセットの種別やどういった目的に利用できるのかを示す情報、観測した領域の座標や波長域のデータが記述されます。また、データアクセスの方法も標準化された複数の検索プロトコルのうちのどのプロトコルを利用できるのか、また検索結果として返されるデータのデータモデルに関する情報も記載されます。

そうしたメタデータをデータベース化し標準化された方法でアクセス可能にすることで、これらメタデータデータベースの内容が定期的に収集され、どこにどういったデータが存在するのかを一元管理するデータベースに登録することが可能となります。この最終的にすべてのメタデータが集められたデータベースを Searchable Registry (または単に Registry) と呼びます。

前節で紹介した Data Discovery Tool や JVO

portal のような Web アプリケーションや, Aladin, TOPCAT, Specview といった Desktop アプリケーションは, このレジストリを利用することにより, ユーザがリクエストしているデータがどこにあるのかを突き止め, 実際にそのデータがあると思われるデータサービスに検索を実行し, 取得したデータをユーザが見やすい形式に整形して表示することができるようになります。

より詳細な仕組みについては JVO の VO 講習会資料をご覧ください。か, IVOA のホームページ上<sup>70)</sup> にたくさんの情報が保存されていますので, そちらを参照してください。

## 6. おわりに

公開データを活用した研究をさらに促進することを目的として, 主要な望遠鏡によるデータアーカイブの利用の仕方, さまざまなサーベイ観測データの紹介, 観測装置や波長によらずデータを横断的に検索できるデータサービス, アプリケーションの紹介を行いました。さまざまなデータアーカイブを調べてみると, パイプラインによる処理済みデータや観測グループが処理したデータが多数アーカイブされて配信されるようになってきていることを実感しました。そうしたデータが今後ますます増えていくにつれ, 多波長のデータを使った研究がより活発に行えるようになると思います。

本稿で紹介した以外にもデータが公開されている望遠鏡やサーベイデータは多数あります。ヴァーチャル天文台のシステムが当初の目論見どおりに機能するようになれば, そうしたデータが容易に見ることができることになると思います。そのためには, そうした情報をデータベース化する地道な作業が必要です。本稿が公開データを利用する研究に少しでもお役に立てたら幸いです。

## 参考文献

- 1) <https://stars.naoj.org/>
- 2) <http://www.darts.isas.jaxa.jp>
- 3) <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/>
- 4) <https://almascience.nao.ac.jp/>
- 5) <http://jvo.nao.ac.jp/facility.html>
- 6) <http://www.eso.org/public/teles-instr/paranal/>
- 7) <http://www.eso.org/public/teles-instr/surveytelescopes/vst>
- 8) <http://www.eso.org/public/teles-instr/surveytelescopes/vista>
- 9) <http://archive.eso.org/cms.html>
- 10) [http://www.stsci.edu/hst/HST\\_overview](http://www.stsci.edu/hst/HST_overview)
- 11) <http://archive.stsci.edu/>
- 12) <http://hla.stsci.edu/>
- 13) <http://archive.stsci.edu/hst/hsc/>
- 14) <http://xmm.esac.esa.int/>
- 15) <http://nxsa.esac.esa.int/nxsa-web/#search>
- 16) <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/xanadu/xspec/>
- 17) [http://xmm.esac.esa.int/external/xmm\\_user\\_support/documentation/index.shtml](http://xmm.esac.esa.int/external/xmm_user_support/documentation/index.shtml)
- 18) <http://xmm.esac.esa.int/xsa/#download>
- 19) <http://cxc.harvard.edu/csc/>
- 20) <https://public.nrao.edu/telescopes/vla/>
- 21) <https://archive.nrao.edu/>
- 22) <https://public.nrao.edu/telescopes/gbt>
- 23) <https://public.nrao.edu/telescopes/vlba>
- 24) <http://www.sdss.org/>
- 25) <http://dr12.sdss3.org/>
- 26) <http://skyserver.sdss.org/dr12/en/home.aspx>
- 27) <http://skyserver.sdss.org/casjobs/>
- 28) [http://www.sdss.org/dr12/data\\_access/bulk/](http://www.sdss.org/dr12/data_access/bulk/)
- 29) [http://www.adc.nao.ac.jp/\]/cc/public/koshu\\_shiryo.html#sql](http://www.adc.nao.ac.jp/]/cc/public/koshu_shiryo.html#sql)
- 30) <http://jvo.nao.ac.jp/survey.html>
- 31) <http://www.stsci.edu/ftp/science/hdf/hdf.html>
- 32) <http://www.stsci.edu/ftp/science/hdfsouth/>
- 33) <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/chandra/chandfs4ms.html>
- 34) <https://archive.stsci.edu/prepds/goods/>
- 35) <https://archive.stsci.edu/prepds/cosmos/>
- 36) <https://archive.stsci.edu/prepds/hudf09/>
- 37) <https://archive.stsci.edu/prepds/hudf12/>
- 38) <https://archive.stsci.edu/prepds/xdf/>
- 39) <http://archive.stsci.edu/hlsp/>
- 40) <http://subarutelescope.org/Observing/Telescope/index.html>
- 41) <http://soaps.nao.ac.jp/>
- 42) <http://hscsurvey.pbworks.com/>
- 43) <http://www.ukidss.org/>
- 44) <http://www.ukirt.hawaii.edu/>
- 45) <http://surveys.roe.ac.uk/wsa/>
- 46) <http://horus.roe.ac.uk/vsa/index.html>
- 47) <http://osa.roe.ac.uk/>
- 48) <http://galex.stsci.edu/GR6/>
- 49) <https://archive.stsci.edu/gsc/>
- 50) <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/ub1.html>
- 51) <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/284>
- 52) <http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/2mass.html>
- 53) <http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/Observation/PSC/Public/>
- 54) <http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/wise.html>
- 55) <http://www.xray.mpe.mpg.de/rosat/survey/rass-bsc/>
- 56) <http://www.xray.mpe.mpg.de/rosat/survey/rass-fsc/>
- 57) <http://maxi.riken.jp/top/>
- 58) <http://vizier.u-strasbg.fr/>
- 59) <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>
- 60) <https://ned.ipac.caltech.edu/>
- 61) <http://www.usvao.org/science-tools-services/vao-tools-services-data-discovery-tool/>
- 62) <http://jvo.nao.ac.jp/portal>
- 63) <http://jvo.nao.ac.jp/voschool.html>
- 64) <http://aladin.u-strasbg.fr/>
- 65) [http://www.stsci.edu/institute/software\\_hardware/specview](http://www.stsci.edu/institute/software_hardware/specview)
- 66) <http://www.usvao.org/science-tools-services/iris-sed-analysis-tool/>
- 67) <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>
- 68) <http://www.euro-vo.org/?q=science/software>
- 69) <http://www.ivoa.net/ astronomers/applications.html>
- 70) <http://www.ivoa.net/>

### An Encouragement of Using Public Astronomical Data

Yuji SHIRASAKI

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

Abstract: Thanks to the recent improvement of observational technology, there have been a lot of high quality and highly valuable astronomical data. Those data are publicly available and utilized for many astronomical researches. This paper introduce the dataset which can be widely used for various astronomical researches, as well as telescopes and instruments which are producing or produced such dataset for the purpose to encourage to use of the public astronomical data.