

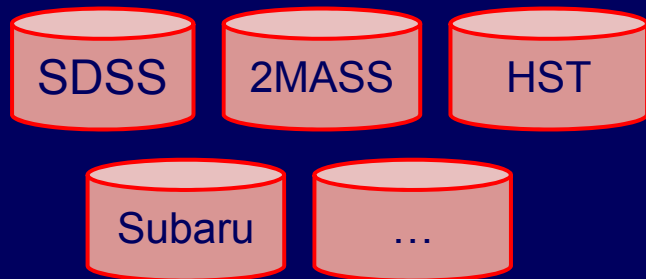
バーチャル天文台を利用した 天文学研究事例の紹介

国立天文台 天文データセンター
白崎 裕治

バーチャル天文台とは？

天文データベースの公開方式の国際標準を定義することにより、より高度なネットワーク経由でのデータ共有を可能にし、効率的な研究の支援をするシステム

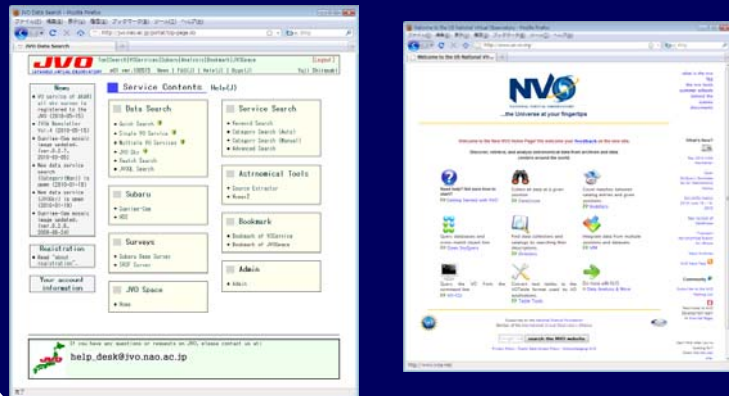
データサービス



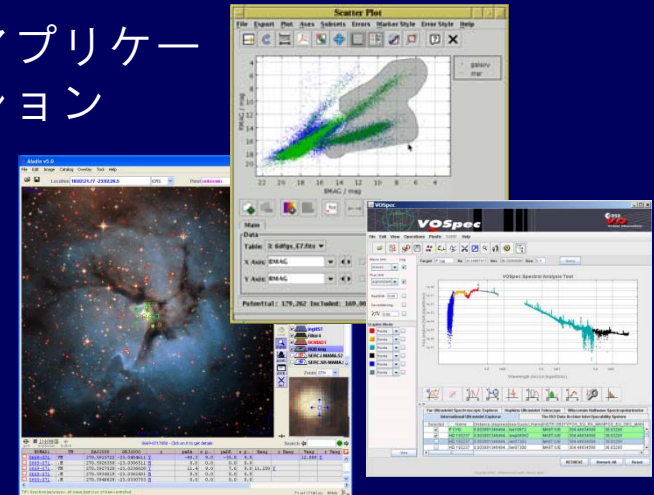
解析サービス



Web ポータル



アプリケーション



代表的なサービス・ツール

✓ Web ポータル

- JVOポータル <http://jvo.nao.ac.jp/portal>
- NVOポータル <http://www.us-vo.org/>

✓ アプリケーション

- Aladin : 天体画像表示
- TOPCAT : グラフ作成
- VOPlot : グラフ作成
- VOSpec : スペクトルデータ表示・解析

✓ その他

- <http://www.ivoa.net/cgi-bin/twiki/bin/view/IVOA/IvoaApplications>
- <http://www.euro-vo.org/pub/fc/software.html>

JVO ポータルの機能

データ検索

1. 高速検索

JVO 内部のデータベース
主要なカタログを登録

2. サービスを一つ指定して検索

サービスを検索し選択
テーブル選択
検索条件指定

3. 複数サービスへの同時検索

領域指定検索のみサポート

4. JVOSky サービス

Google Sky IF を利用したデータ検索

データサービス検索

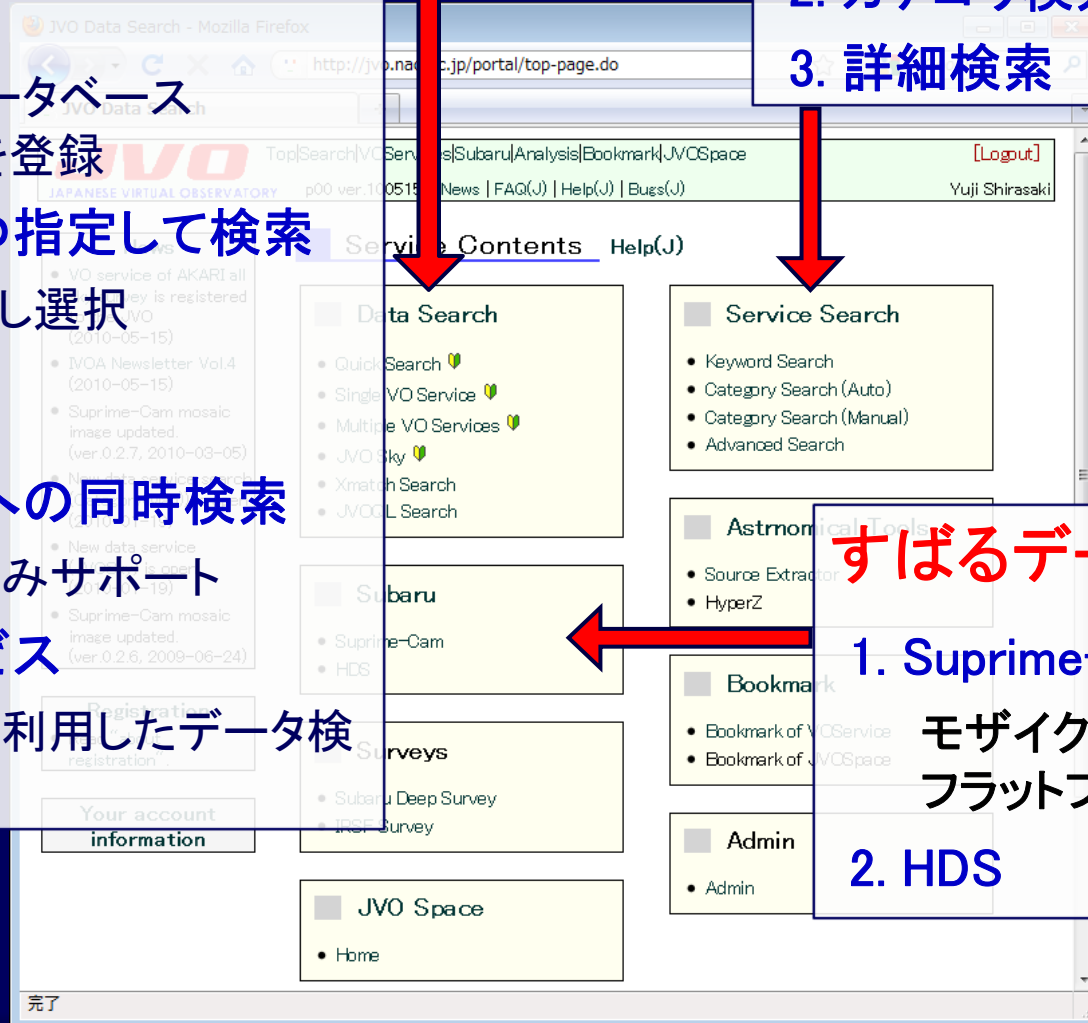
1. キーワード検索
2. カテゴリ検索
3. 詳細検索

すばるデータ検索

1. Suprime-Cam

モザイク画像作成
フラットフレーム作成

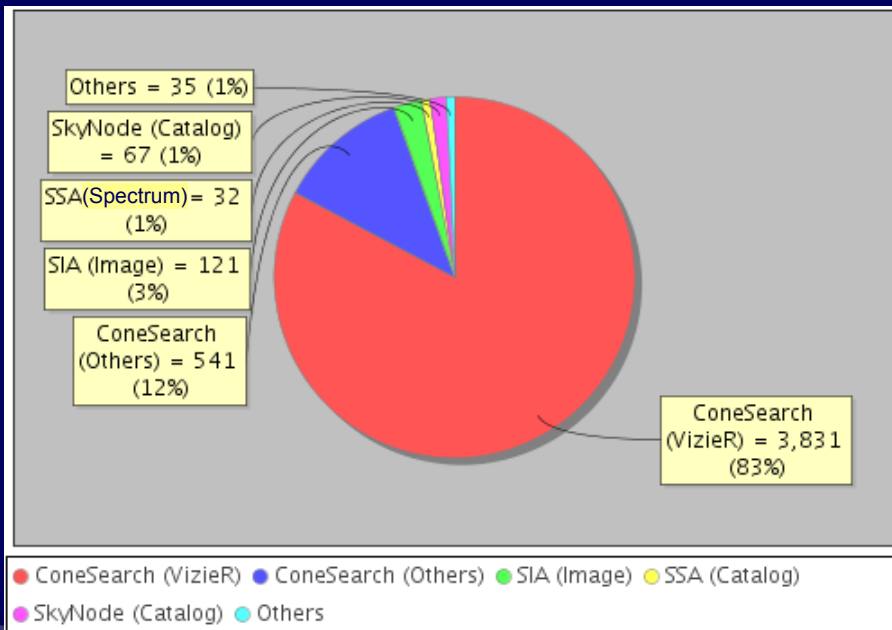
2. HDS



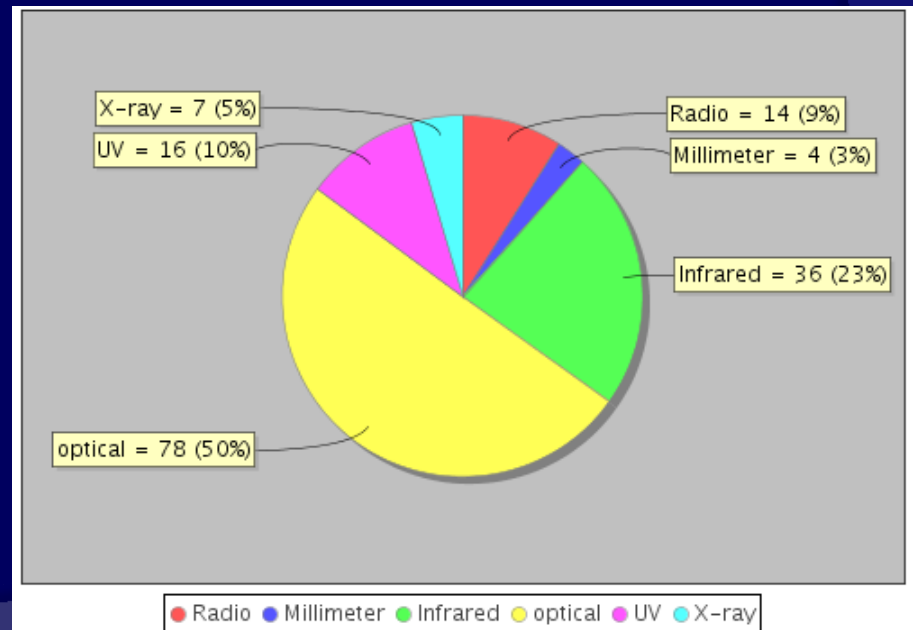
JVO から利用可能なサービス

- ✓ 利用可能なデータサービス: ~4600 (2010年3月)
- ✓ ConeSearch (カタログの座標検索サービス) 95%
- ✓ 画像サービスのうち半数は可視光、赤外が 20%

サービス種別毎の割合



画像サービスの波長毎の割合



Aladin



<http://aladin.u-strasbg.fr/aladin.gml>

- ✓ フランス ストラスブルグ天文データセンター (CDS)
- ✓ 画像データビューア、天体カタログデータも表示
- ✓ 三色合成
- ✓ 複数カタログ クロスマッチ
- ✓ VOクライアント機能
 - VOサービスから画像・カタログデータを取得して表示
 - さまざまな波長の画像データやカタログデータを横断的に取得可能
 - VOアプリケーションの中で最も使用頻度が高い。

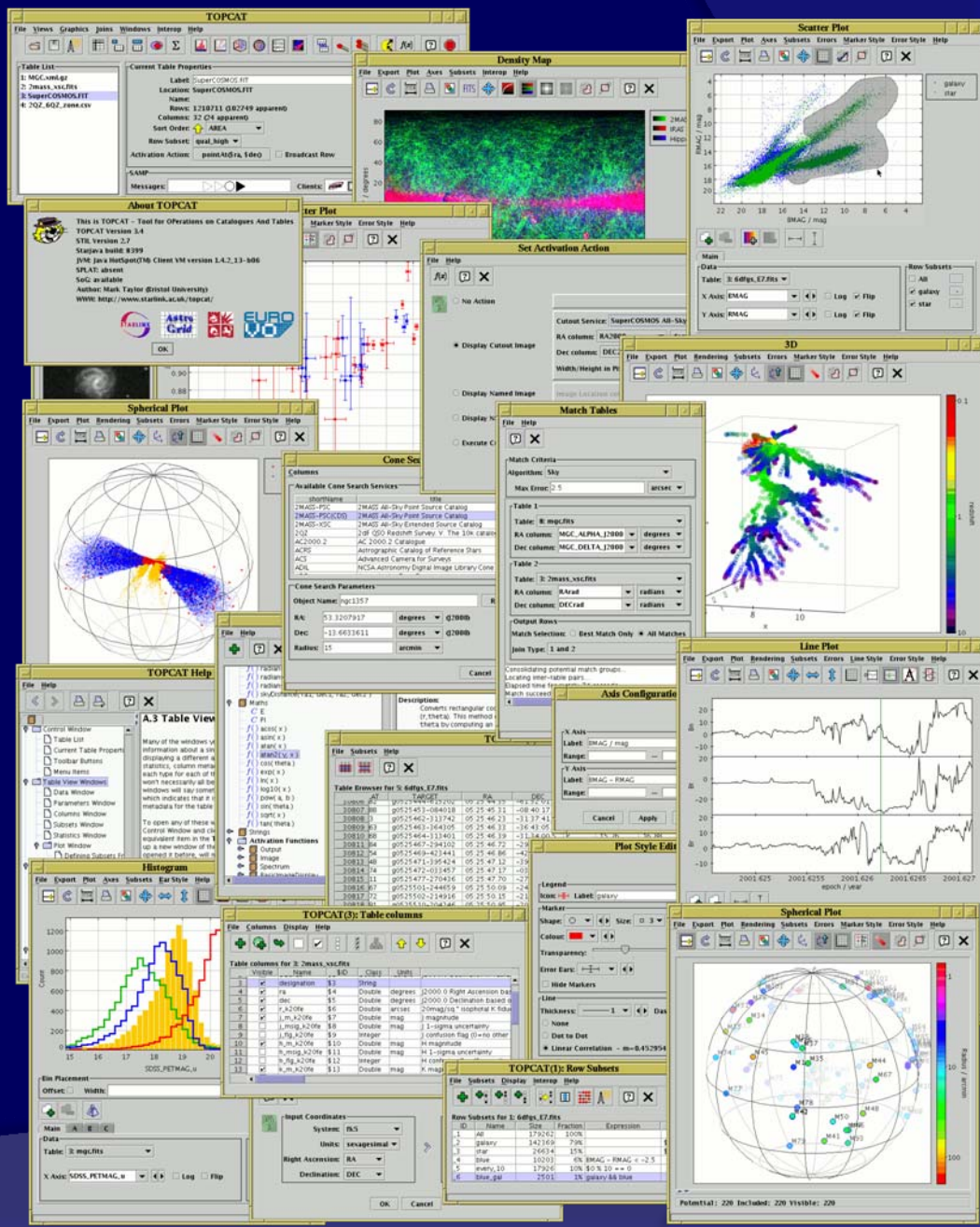


Topcat



<http://www.starlink.ac.uk/topcat/>

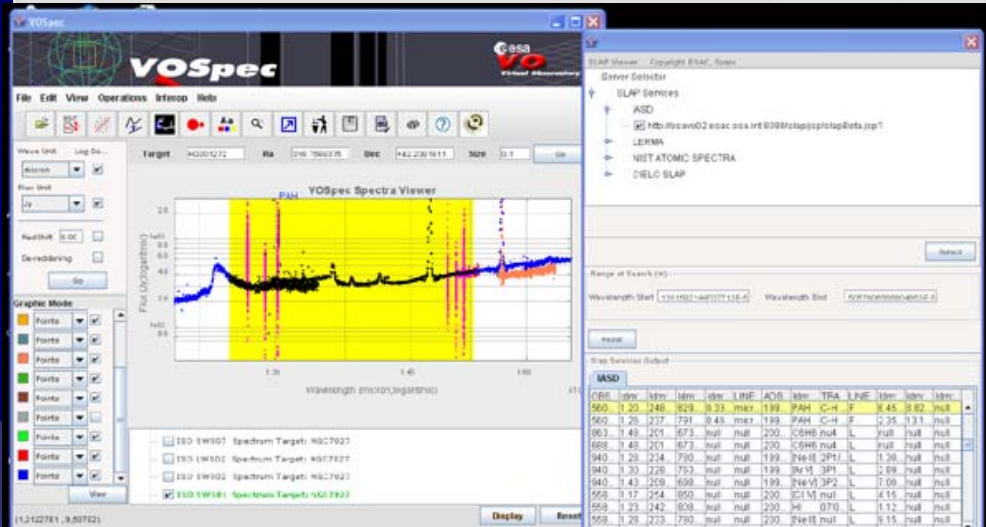
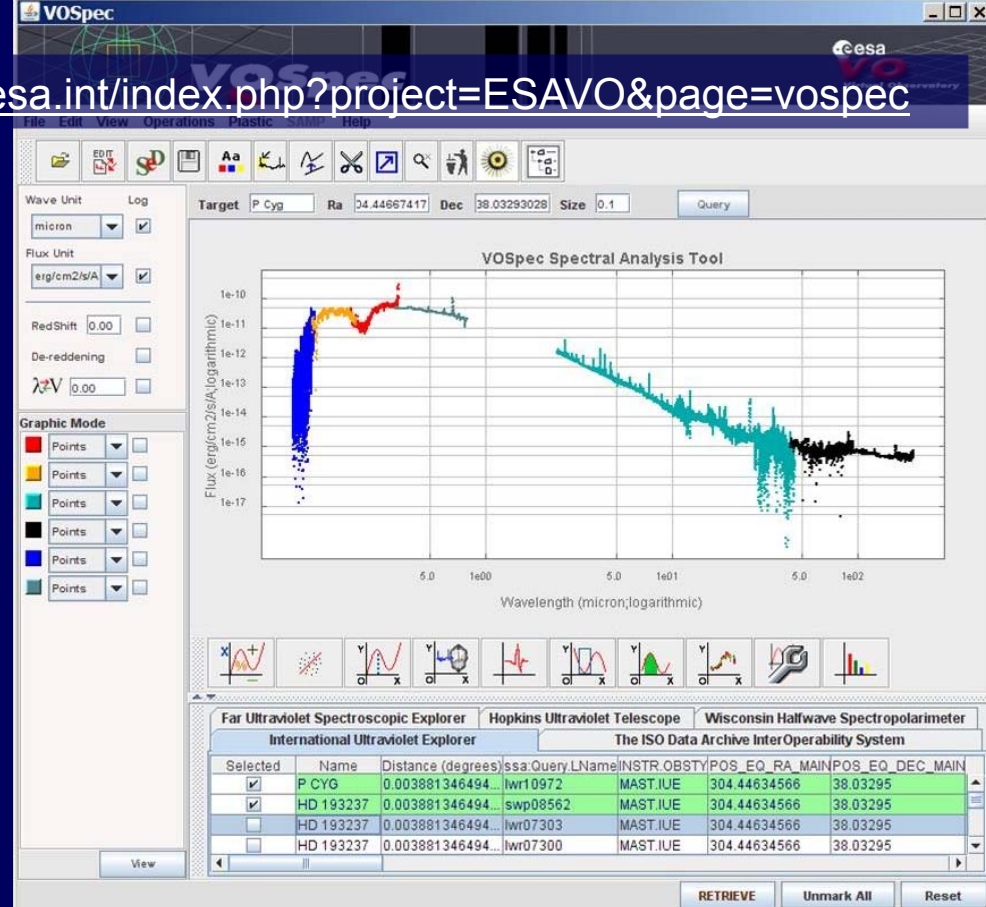
- ✓ イギリス Starlink プロジェクト
- ✓ 様々な種類のプロット作成
- ✓ 複数カタログのクロスマッチ機能
- ✓ VOクライアント機能
 - VO カタログデータサービスからデータを取得し、表示。
 - Aladin に次ぐ。
 - Aladin とデータ連携。



VOSpec

<http://www.sciops.esa.int/index.php?project=ESAVO&page=vospec>

- ✓ ESA/ESAC の VO グループが開発
- ✓ VO データサービスからスペクトルデータを取得できる。
- ✓ 複数のスペクトルデータを重ねて表示
- ✓ 単位変換を行う機能をもつ。単位の異なるスペクトルデータも同時に表示可能
- ✓ フィッティング機能
- ✓ スペクトルラインデータベースと連携し、ライン同定する機能あり。



VO を利用した査読論文

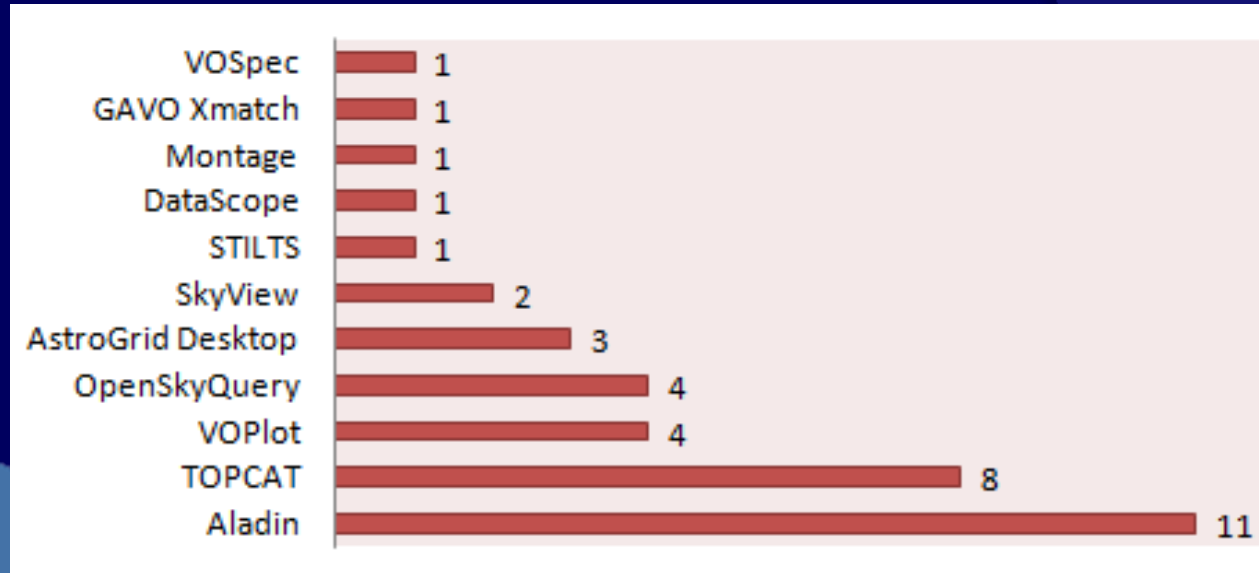
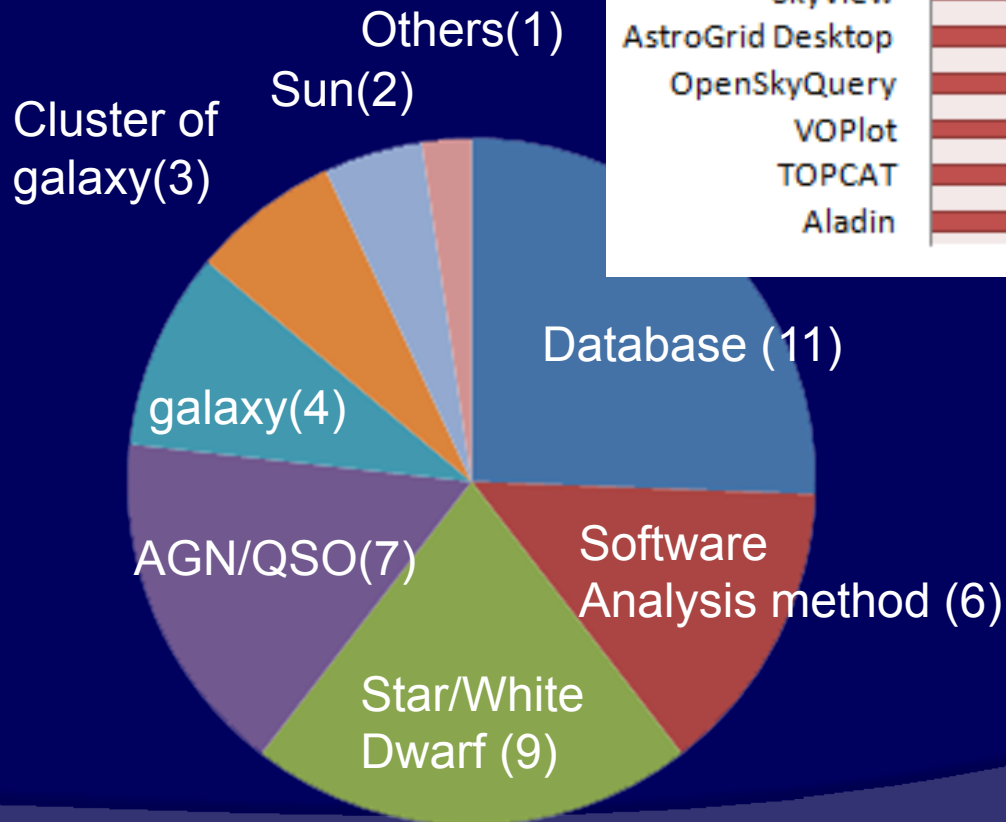
<http://www.euro-vo.org/pub/fc/papers.html>

43 papers

- [The GalMer database: Galaxy Mergers in the Virtual Observatory](#) Chilingarian I., Di Matteo P., Combes F., Melchior A.-L., Semelin B., A&A, in press
- [Scale Lengths of Disk Galaxies](#) Fathi K., Allen M., Boch Th., Hatziminaoglou E., Peletier R., MNRAS, in press
- [SDSSJ150634.27+013331.6: the second compact elliptical galaxy in the NGC5846 group](#) Chilingarian I. & Bergond G., MNRAS Letters, in press
- [VisIVO-Integrated Tools and Services for Large-Scale Astrophysical Visualization](#) Becciani et al., 2010, PASP, 122, 119
- [The SPECFIND V2.0 catalogue of radio cross-identifications and spectra. SPECFIND meets the Virtual Observatory](#) Vollmer et al., 2010, A&A, 511, 53
- [Montage: a grid portal and software toolkit for science-grade astronomical image mosaicking](#) Jacob J.C. et al., Int. J. Computational Science and Engineering, 2009, vol 4, No. 2
- [A Population of Compact Elliptical Galaxies Detected with the Virtual Observatory](#) Chilingarian I. et al., 2009, Science, 326, 1379
- [Properties of dusty tori in active galactic nuclei - II. Type 2 AGN](#) Hatziminaoglou E., Fritz J., Jarrett T., 2009, MNRAS, 399, 1206
- [The LAEX and NASA portals for CoRoT public data](#) Solano et al., 2009, A&A, 506, 455
- [The chemical abundance analysis of normal early A- and late B-type stars](#) Fossati et al., 2009, A&A, 503, 945
- [Exo-Dat: An Information System in Support of the CoRoT/Exoplanet Science](#) Deleuil et al., 2009, AJ, 138, 649
- [GALEX-SDSS Catalogs for Statistical Studies](#) Budavari et al., 2009, ApJ, 694, 1281
- [Data Mining and Machine Learning in Astronomy](#) Ball M., Brunner R.J., 2009, International Journal of Modern Physics
- [Quasar candidates selection in the Virtual Observatory era](#) D'Abrusco R., Longo G., Walton N.A., 2009, MNRAS, 396, 223
- [X-Ray Variability of sigma Orionis Young Stars as Observed with ROSAT](#) Caballero J.A. et al., 2009, AJ, 137, 5012
- [SDSS J125637-022452: A High Proper Motion L Subdwarf](#) Sivarani T., Lépine S., Kembhavi A.K., Gupchup J., 2009, ApJ, 694, 140
- [An IPHAS-based search for accreting very low-mass objects using VO tools](#) Valdivielso L. et al., 2009, A&A, 497, 973
- [The construction of the large quasar astrometric catalogue \(LQAC\)](#) Souchay J. et al., 2009, A&A, 494, 799
- [Stellar populations in a standard ISOGAL field in the Galactic disc](#) Ganesh et al., 2009, A&A, 493, 785
- [The Hubble Legacy Archive NICMOS grism data](#) Freudling W. et al., 2008, A&A, 490, 1165
- [Infrared Imaging of Sloan Digital Sky Survey Quasars: Implications for the Quasar K Correction](#) Kennefick & Bursick, 2008, AJ, 136, 1799
- [VOSA: Virtual Observatory SED Analyzer. An application to the Collinder 69 open cluster](#) Bayo A. et al., 2008, A&A, 492, 277
- [The TVO Archive for Cosmological Simulations: Web Services and Architecture](#) Costa A. et al., 2008, PASP, 120, 933
- [Initial data release from the INT Photometric H \$\alpha\$ Survey of the Northern Galactic Plane \(IPHAS\)](#) Gonzalez-Solares E. et al., 2008, MNRAS, 388, 89
- [Young stars and brown dwarfs surrounding Alnilam \(eps Ori\) and Mintaka \(del Ori\)](#) Caballero J.A. & Solano E., 2008, A&A, 485, 931
- [SDSSJ124155.33+114003.7 -- a Missing Link Between Compact Elliptical and Ultracompact Dwarf Galaxies](#) Chilingarian I.V. & Mamon G.A., 2008, MNRAS, 385, 83
- [Invisible sunspots and rate of solar magnetic flux emergence](#) Dalla S., Fletcher L., Walton, N. A., 2008, A&A, 479, L1
- [Stars and brown dwarfs in the \$\sigma\$ Orionis cluster: the Mayrit catalogue](#) Caballero J.A., 2008, A&A, 478, 667
- [Fossil Groups in the Sloan Digital Sky Survey](#) Santos W.A., Mendes de Oliveira C., Sodre L. Jr, 2007, AJ, 134, 1551
- [Albus 1: A Very Bright White Dwarf Candidate](#) Caballero J.A., Solano E., 2007, ApJ, 665, L151
- [Visualization, Exploration, and Data Analysis of Complex Astrophysical Data](#) Comparato et al., 2007, PASP, 119, 898
- [Using VO tools to investigate distant radio starbursts hosting obscured AGN in the HDF\(N\) region](#) Richards A.M.S., Muxlow T.W.B., Beswick, R., et al., 2007, A&A, 472, 805
- [Flare productivity of newly-emerged paired and isolated solar active regions](#) Dalla S., Fletcher L., Walton N.A., 2007, A&A, 468, 1103
- [eSDO algorithms, data centre and visualization tools](#) Auden E., Toutain T., Zharkov S., 2007, AN, 328, 356
- [The DRaGONS Survey: A Search for High-Redshift Radio Galaxies and Heavily Obscured Active Galactic Nuclei](#) Schmidt S., Connolly A., Hopkins A., 2006, ApJ, 649, 63
- [Cluster Merger Variance and the Luminosity Gap](#) Statistic Milosavljevic M., Miller C.J., Furlanetto S.R., Cooray A., 2006, ApJ, 637, L9
- [Spatial orientation of galaxies in the core of the Shapley concentration - the cluster Abell 3558](#) Aryal B., Kandel S.M., Saurer W., 2006, A&A, 458, 357
- [SearchCal: a virtual observatory tool for searching calibrators in optical long baseline interferometry. I. The bright object case](#) Bonneau D., Clausse J.-M., Delfosse X. et al., 2006, A&A, 456, 789
- [The shaping of planetary nebula Sh2-188 through interaction with the interstellar medium](#) Wareing C.J., O'Brien T.J., Zijlstra A.A. et al., 2006, MNRAS, 366, 387
- [Radio-loud Narrow-Line Type 1 Quasars](#) Komossa S., Voges W., Xu D., Mathur S. et al., 2006, ApJ, 132, 531
- [Luminous AGB stars in nearby galaxies. A study using virtual observatory tools](#) Tsalmantza P., Kontizas E., Cambrésy L., Genova F., Dapergolas A., Kontizas M., 2006, A&A, 447, 89
- [Using Virtual Observatory Tools for Astronomical Research](#) Kim S.C., Taylor J.D., Panter B., Sohn S.T., Heavens A.F., Mann R.G., 2005, Journal of the Korean Astronomical Society, 38, 85
- [Discovery of optically faint obscured quasars with Virtual Observatory tools](#) Padovani R., Allen M.G., Rosati P., Walton N.A., 2004, A&A, 424, 545

VO アプリケーションの 被利用頻度

VO 論文の分類



研究例1: “Fossil Groups in the Sloan Digital Sky Survey”

W. A. Santos et al, 2007, ApJ, 134, 1551

✓ VO を利用した Fossil group の探査

✓ Fossil group :

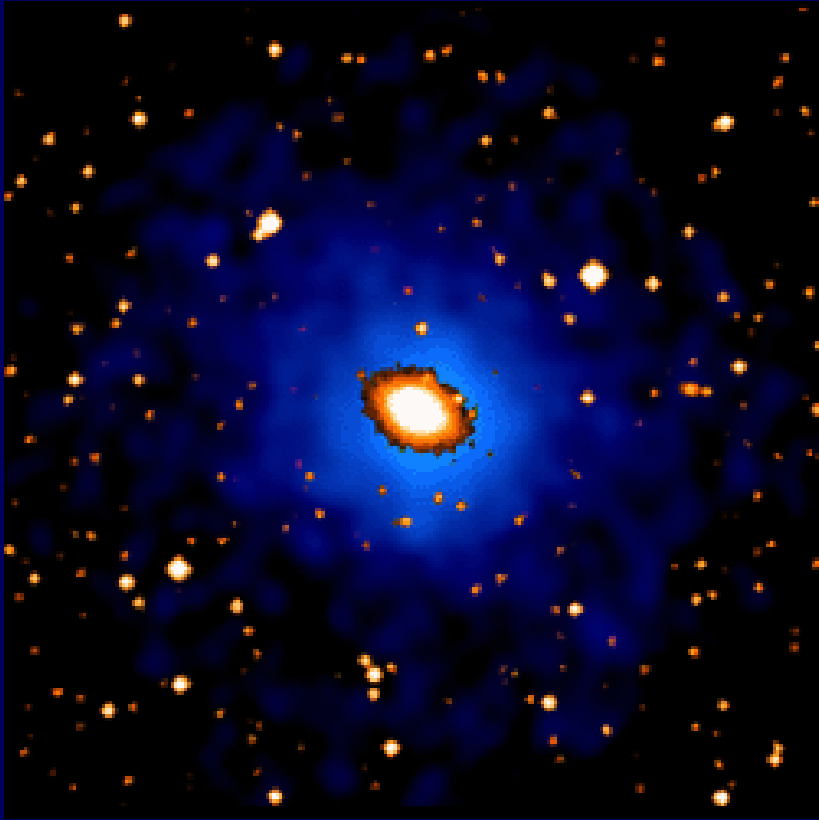
- 明るい巨大楕円銀河が中心に一つだけ孤立した状態の系。
- 銀河群並みの質量・X線輝度。
- 銀河の衝突・合体による最終形態と考えられる。

✓ 方法

- OpenSkyQuery (NVO ポータル) を利用
- SDSS LRG & Rosat All Sky カタログのクロスマッチ
- 広がった X線放射をともなう楕円銀河
- $0.5 h^{-1}_{70}$ Mpc 内の付随銀河が中心銀河より 2 等級以上暗い

✓ 34 の候補天体 (これ以前は15天体)

Fossil Group



Chandra X-ray observations of the
giant elliptical galaxy NGC 6482



DSS image of NGC 6482

研究例2：“ALBUS 1: A Very Bright White Dwarf Candidate”

J. A. Caballero & E. Solano, 2007, ApJ, 665, L151

- ✓ 明るい白色矮星 (候補) の発見 ($B_T = 11.8$)。
- ✓ オリオン座の恒星 Alnilam (ϵ Ori) と Mintaka (δ Ori) 周辺領域の研究中に偶然発見。
- ✓ Tycho-2 カタログと 2MASS カタログを Aladin でクロスマッチ。
- ✓ 他の星に比べ、極端に青い星を色等級図上で見つけた。
- ✓ 12番目に明るい白色矮星 (孤立系) となる。



FIG. 1.—False-color composite image, 5.6×5.6 arcmin² wide, centered on Albus 1. North is up, east is left.

色等級図

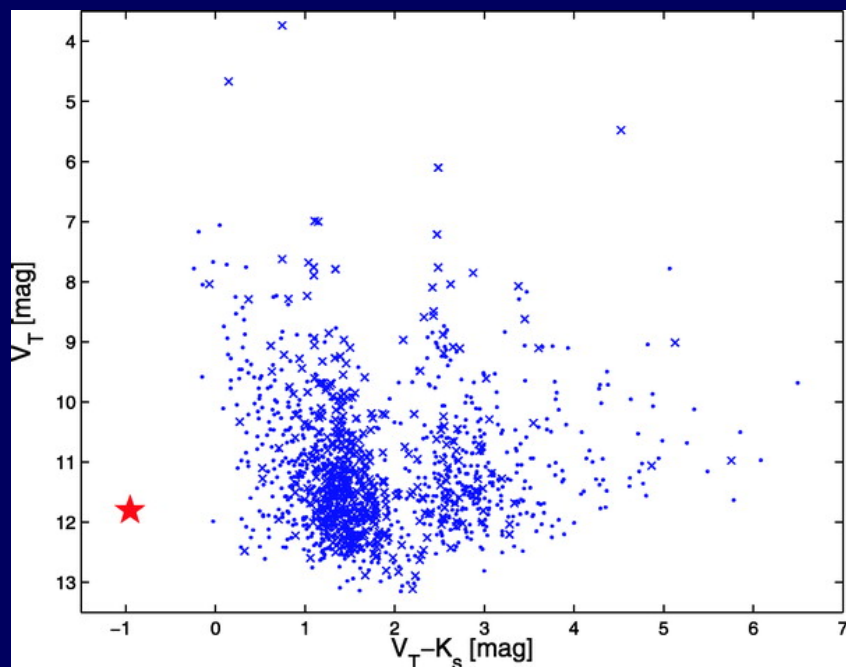


FIG. 2.— V_T vs. $V_T - K_s$ color-magnitude diagram from the data in J. A. Caballero & E. Solano (2007, in preparation). Tycho-2/2MASS sources with proper motions larger and smaller than 15 mas yr^{-1} are shown with crosses and dots, respectively. Albus 1 is highlighted with a big filled star.

候補天体 (Albus 1) の SED

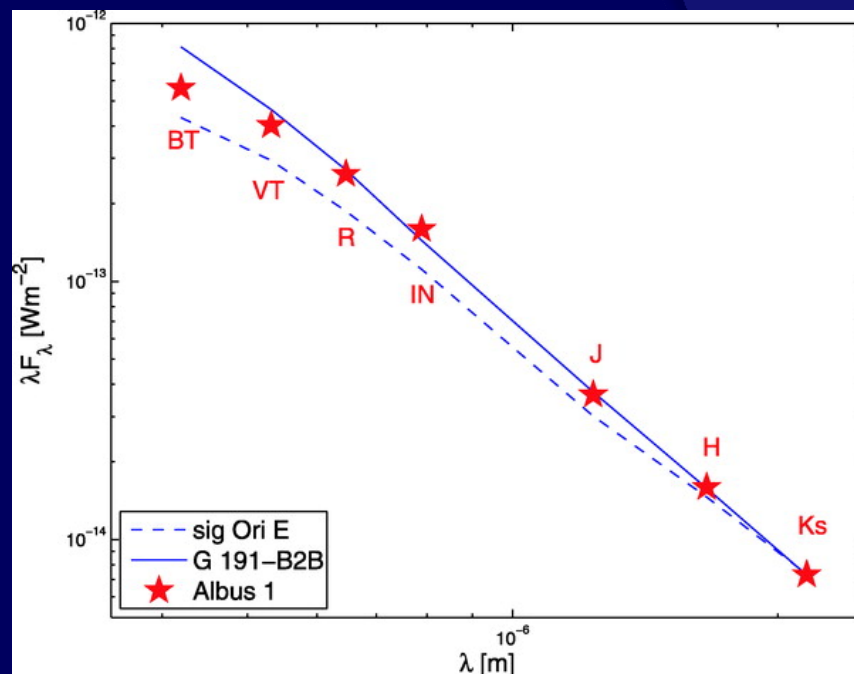


FIG. 4.—Spectral energy distributions of Albus 1, the DA1 white dwarf G191-B2B, and the B2 Vp star σ Ori E (shifted to a heliocentric distance of 0.5 kpc). The seven passbands ($B_T V_T R_I N_J H K_s$) are indicated.

* スペクトル観測によって B型準矮星であることが確認された。

S. Vennes et al (2007) ApJ 668 L59

“CPD -20 1123 (Albus 1) Is a Bright He-B Subdwarf”

研究例 3 : “Early Science Result from the Japanese Virtual Observatory: AGN and Galaxy Clustering at $z = 0.3$ to 3.0 ”

Y. Shirasaki et al. 2010 submitted to PASJ (arXiv:0907.5380v2)

✓ AGN 周辺の銀河数密度を測定する。

- AGN の環境依存性 → AGN 発生のメカニズム

✓ 従来の研究

- AGN 周辺銀河のスペクトル観測 → 赤方偏移を決定
- AGN-Galaxy の相関関数を求める。
- AGNの明るさ、赤方偏移、スペクトルタイプとの関係
- 問題点
 - サンプル数を増やすのが大変。中規模のサーベイ観測が必要。
 - 赤い銀河にバイアス。4000 Å の Break が顕著な銀河。
 - ~ 1Mpc 程度の Small Scale クラスターリングの統計は悪い
 - Cosmic Variance の影響を避けがたい

JVO Suprime-Cam Archive

✓ モザイク合成まで行われた Suprime-Cam 画像

- サンプルは多数（今回は AGN 周辺 484 視野）
- 多数のサンプルを足し合わせ → 小スケールのクラスタリング
- Photo-z セレクションなし → 青い銀河もサンプルに

✓ VO インターフェイスで公開

- JVO portal から AGN カタログとのクロスマッチ検索が可能
- QSO 周辺の画像のみを切り出して取得することが可能
- スクリプトを利用した自動処理に向いている。
- 自動化スクリプトで丸一日（ダウンロード後の解析処理含む）
- 生データからの解析はほぼ不可能

利用したデータ

- ✓ Veron QSO カタログ (12th ed)
- ✓ SDSS DR-5 QSO カタログ (4th ed)
- ✓ JVO Suprime-Cam Archive (B,V,R,I,i',z' バンド)
- ✓ UKIDSS DR-2 カタログ (K バンドデータ)
- ✓ 一つの AGN について、最も深い観測が行われたバンドのデータを利用

Table 3. Number of AGN samples for each AGN group and observation band.

	group	B	V	R	I	i'	z'	K
z1=0.3~0.6	z1-D	13	7	21	9	13	4	584
z2=0.6~0.9	z2-D	0	6	18	16	4	2	374
z3=0.1~1.3	z3-D	2	3	4	6	5	4	76
z4=1.3~1.8	z2-B	1	1	9	7	3	1	91
z5=1.8~3.0	z3-B	10	15	25	19	11	8	186
D : $M_V < -25$	z4-B	11	15	45	32	21	9	9
B : $M_V \geq -25$	z5-B	12	19	38	18	12	5	5

Suprime-Cam 484
UKIDSS 1325
合計 1809

AGN の赤方偏移、絶対等級分布

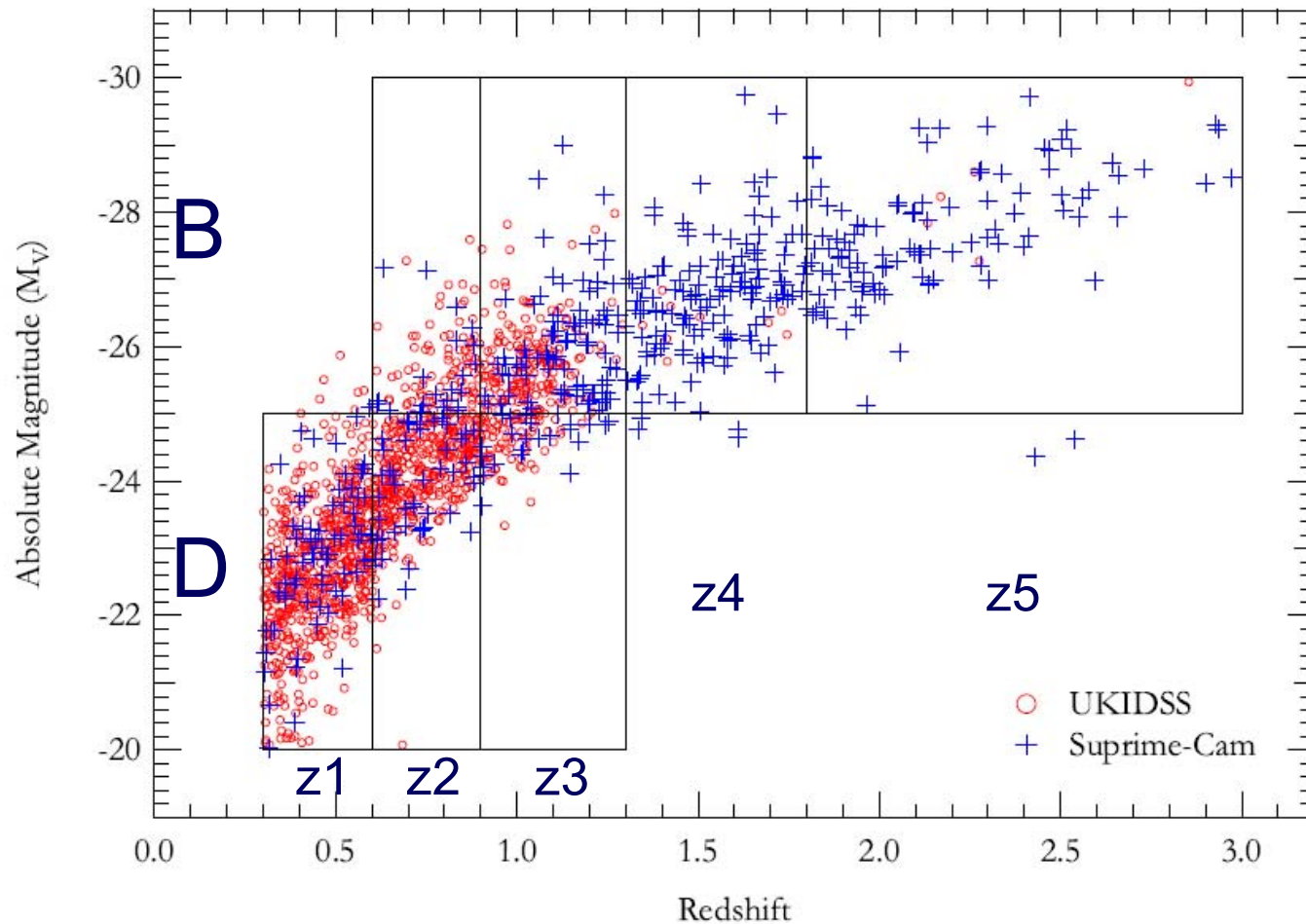


Fig. 5. K-corrected V band absolute magnitude vs redshift of the AGNs used in this work. Open circles represent AGN samples for which the galaxy sample is derived from the UKIDSS data, and the crosses represent AGN samples for which the galaxy sample is derived from the Suprime-Cam data.

AGN 周辺画像データの取得

JVOQL Search - Mozilla Firefox

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール(T) ヘルプ(H)

http://jvo.nao.ac.jp/portal/search/jvoql.c

JVOQL Search

JVO Top|Search|VOServices|Subaru|Analysis|Bookmark|JVOSpace
JAPANESE VIRTUAL OBSERVATORY p01 ver.100515 News | FAQ(J) | Help(J) | Bugs(J)

=> Location: Top Page > Search > JVOQL Search

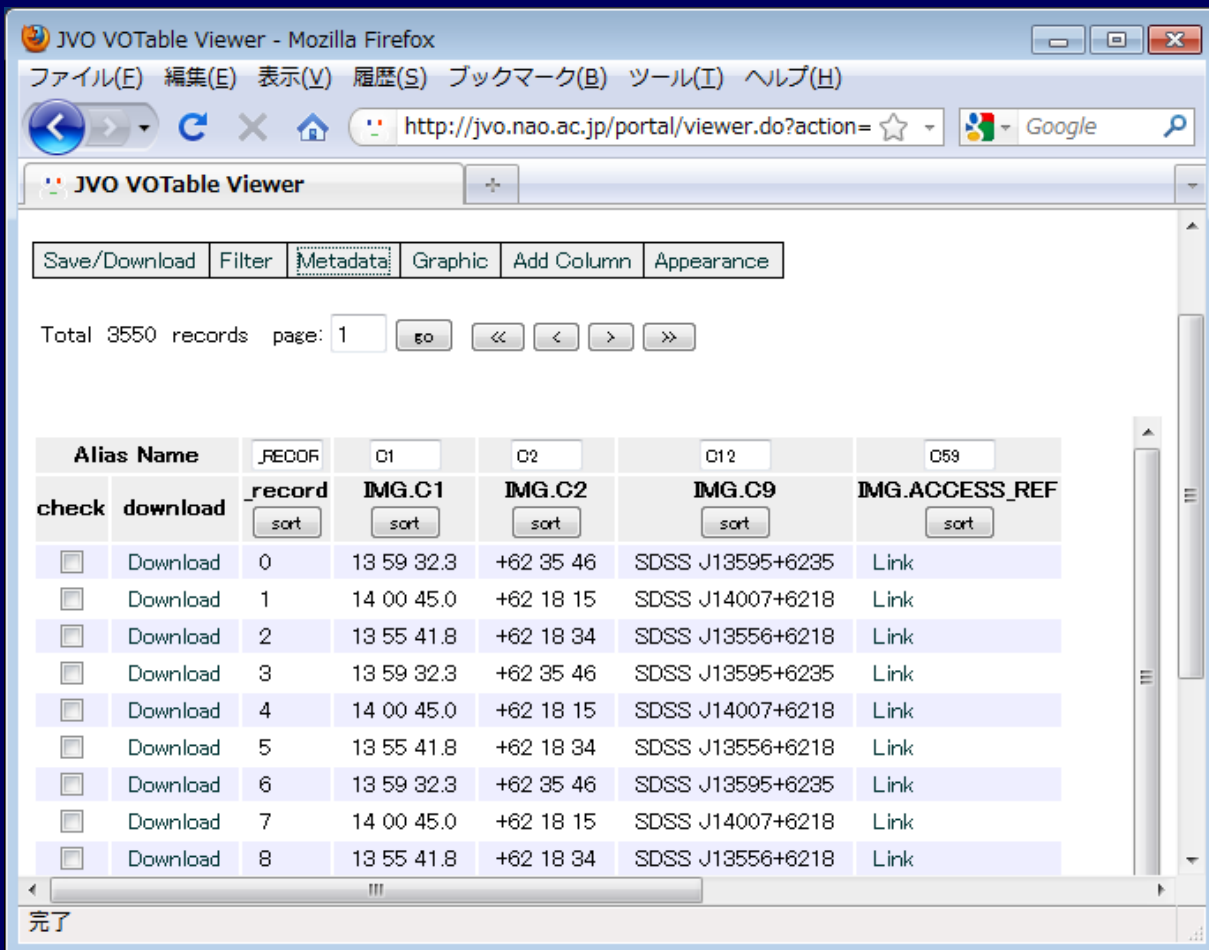
Input JVOQL

Suprime-Cam 画像データベースの識別子
Veron AGN カタログの識別子

```
SELECT gso.*, img.*
FROM ivo://jvo/vizier/VII/235:gso_veron_2006 gso,
      ivo://jvo/skynode/spcam:mosaic_meta AS img
WHERE gso.z >= 1.0 and gso.z < 1.1
AND
      img.region = Circle((gso.raj2000, gso.dej2000), 0.14)
```

赤方偏移の範囲(検索結果数に制限があるため)
切り出す画像の半径(度)

検索結果



JVO VOTable Viewer - Mozilla Firefox

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール(I) ヘルプ(H)

http://jvo.nao.ac.jp/portal/viewer.do?action=

JVO VOTable Viewer

Save/Download Filter Metadata Graphic Add Column Appearance

Total 3550 records page: 1

Alias Name	check	download	_record	C1	C2	C12	C59
			sort	sort	sort	sort	sort
	☐	Download	0	13 59 32.3	+62 35 46	SDSS J13595+6235	Link
	☐	Download	1	14 00 45.0	+62 18 15	SDSS J14007+6218	Link
	☐	Download	2	13 55 41.8	+62 18 34	SDSS J13556+6218	Link
	☐	Download	3	13 59 32.3	+62 35 46	SDSS J13595+6235	Link
	☐	Download	4	14 00 45.0	+62 18 15	SDSS J14007+6218	Link
	☐	Download	5	13 55 41.8	+62 18 34	SDSS J13556+6218	Link
	☐	Download	6	13 59 32.3	+62 35 46	SDSS J13595+6235	Link
	☐	Download	7	14 00 45.0	+62 18 15	SDSS J14007+6218	Link
	☐	Download	8	13 55 41.8	+62 18 34	SDSS J13556+6218	Link

完了

✓ AGN の座標と名前、リンクのみ表示

✓ CSV 形式でダウンロード可能

✓ 一件ずつダウンロードするのは大変

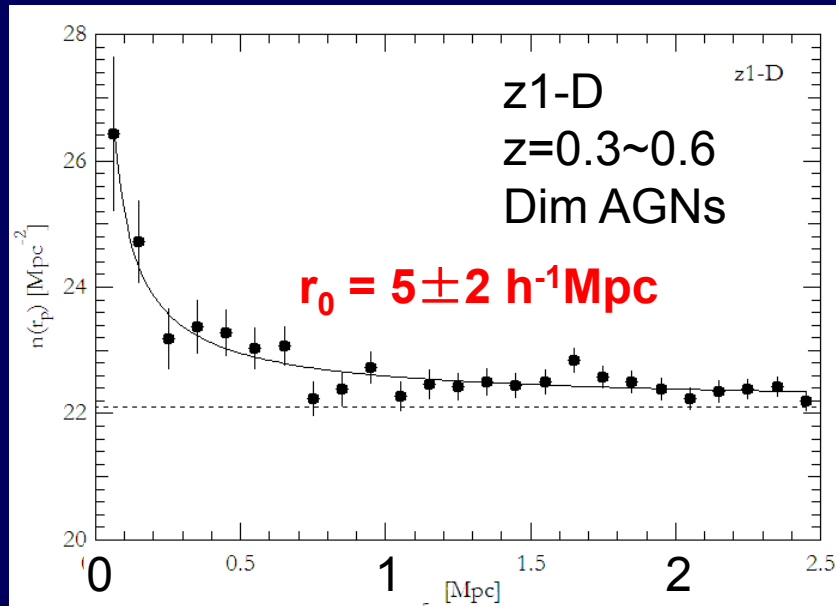
✓ まずは座標のみを保存し、画像データのある AGN の座標リストを作成。

スクリプトによる自動処理

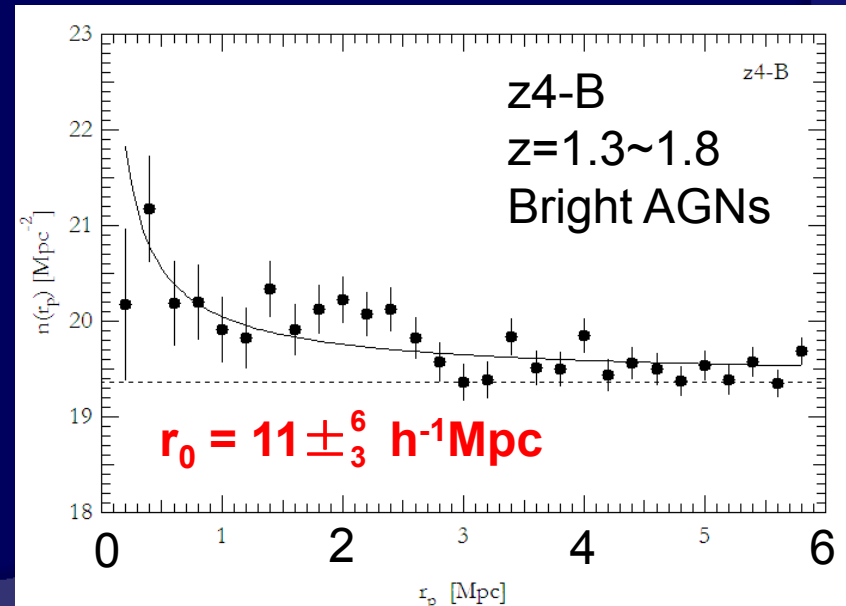
- ✓ データを一件ずつダウンロードするのは大変。
- ✓ データのダウンロードからカタログ作成までを自動処理するスクリプトを作成。
 - AGN 毎にこのスクリプトを実行。
 - 約12,000個の AGN → 40 並列で実行。約一日で完了。
 - 画像データは最後に削除する。必要なときにいつでもダウンロード可能。ディスクスペースの節約。
- ✓ データサービスへのアクセス
 - コマンドラインアクセスツールを使用。
 - 検索条件を変えて、くり返しデータ検索を行うのに便利。
 - 一般利用も利用できるよう公開予定。

AGN 周辺の銀河数密度分布

- ✓ Redshift 方向に積分された銀河数の面密度分布
- ✓ AGN redshift における comoving distance の関数
- ✓ 相関関数はべき関数を仮定。
- ✓ べき指数は 1.8 に固定。
- ✓ 面密度分布と相関関数の関係式から相関距離



Transverse comoving distance (Mpc)



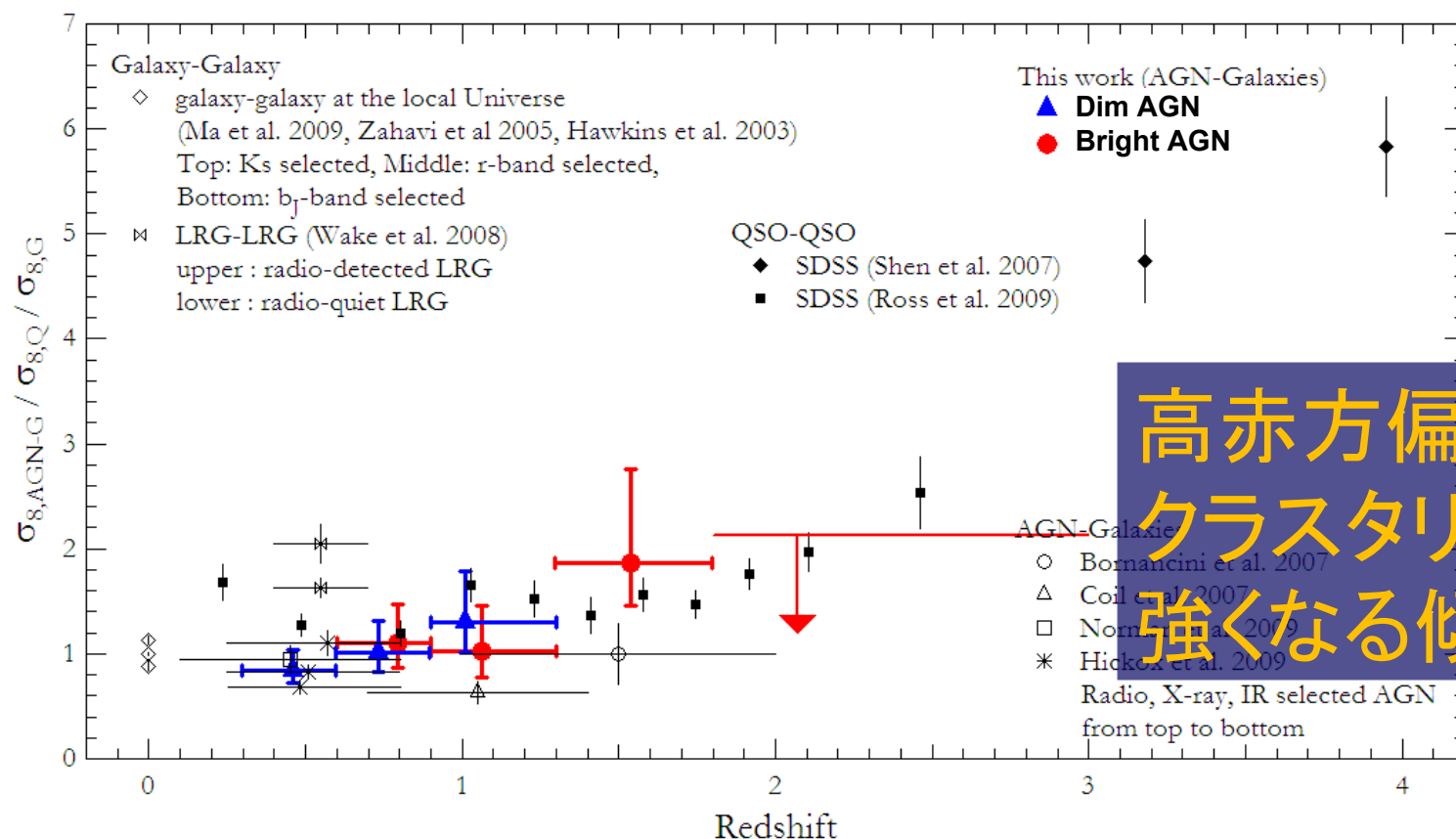
Transverse comoving distance (Mpc)

他の観測結果との比較

σ_8 : rms fluctuation of galaxy distribution in the sphere of 8 Mpc radius

$$\sigma_8^2 = (r_0/r_{\max})^\gamma J_2 \quad (14)$$

$$J_2 = 72/[(3-\gamma)(4-\gamma)(6-\gamma)2^\gamma]. \quad (15)$$



高赤方偏移で
クラスタリングが
強くなる傾向

JVO AGN 研究のまとめ

✓ 既存研究とは相補的關係

- 小スケール ($\sim 3h^{-1}\text{Mpc}$)での相関関数の形状を精度よく求めることができる。
- Cosmic Variance の影響はほぼ無視できる。
- 星生成の活発な青い銀河に対して感度がある。

✓ すばるのリダクション済みデータの公開は重要

- 特に Suprime-Cam は AGN の研究以外にも利用価値あり。
- 生データから始めるのではほぼ不可能な研究が実現

✓ スクリプトによる自動化技術は必須

- 出来合いの GUI アプリでは大量データの処理には役不足
- VO アクセス用コマンドラインツールを供給していきたい。

VO の利用方法のまとめ

✓ 簡便な VO 利用方法

- Aladin, TOPCAT などインストールして利用する。
使いやすい GUI, 分かりやすい可視化機能がある。
- VO ポータルサイトを利用する。
なにもインストールしなくても OK。 (web ブラウザ必要)

✓ より高度な VO 利用方法

- スクリプトなどで自動化。
- 大量または多種類のデータを使った研究。
- 従来の研究手法では得難い成果が期待できる。

✓ VO を利用した研究成果が出始めている。

- 現状はまだ前者の方法による、小規模なデータセットの利用に限定。
- “すばる” や、“あかり”、“すざく”といった高性能望遠鏡のデータが VO で流通するようになると VO の利用価値も高まる。

VO 講習会

- ✓ 年2回の初心者向け講習会
 - JVO ポータルの使い方
 - Aladin, TOPCAT 等の使い方
- ✓ 今年度一回目は出張講習 [tennet:7815]
 - 9/27-28 @ 京都大学
 - 申し込み締切: 2010年8月27日(金)
 - 二回目は冬 (12月?) に三鷹で開催予定。
 - 出張講習の希望も承ってます。
- ✓ 昨年度作成したマニュアル
 - <http://jvo.nao.ac.jp/vos2010/portal.pdf>

VO 関連国際会議

✓ 20th Astronomical Data Analysis Software & System (ADASS XX)

- 2010/11/07~11 @ Boston, USA
- <http://adass2010.cfa.harvard.edu/>
- 今年の Key Topics
Education and Public Outreach, Scientific Computing, Large Observatory Challenges, Cross Catalog Matching, Solar Astronomy, Grid and Grid Virtualization

✓ IVOA Interoperability Meeting

- 2010/12/07~11 @ 奈良
- 基本的には VO 標準仕様策定について議論
- VOに対応したソフトウェアの最新機能の紹介やサイエンスユースケースのセッションなどもあり。