

バーチャル天文台を利用した QSO 周辺環境の統計的調査

○白崎裕治、田中昌宏、川野元聡、本田敏志、大石雅寿、水本好彦、大江将史(国立天文台)、
安田直樹(東大宇宙線研)、増永良文(お茶の水女子大)、
石原康秀、堤純平(富士通)、中本啓之、小林佑介、坂本道人(セック)



概要

我々国立天文台を中心とする JVO (Japanese Virtual Observatory) グループは VO を利用した天文学研究を推進している。本研究では、QSO 周辺銀河の数密度進化を調べることで、**QSO の発生・進化のメカニズム**や**宇宙大規模構造の形成史を解明**することを目的としている。

本研究のために、QSO カタログのデータベースと、すばる望遠鏡 SuprimeCam の画像データベースを構築し、**VO 標準のインターフェイスで検索実行可能**にした。これにより、QSO 周辺領域の SuprimeCam による深い撮像データを**容易に検索・取得**が行えるようになった。

このシステムを利用して、**37個の $z = 0.7 \sim 3.4$ の QSO** についてその SuprimeCam 画像データを取得し、周辺の銀河数密度分布を赤方偏移毎に調べた。

アンサンブル平均の結果では有意な銀河のクラスターリングは検出されていない。

1. バーチャル天文台

世界標準のインターフェイスで接続されたデータサービス群をバーチャル天文台 (VO) と呼ぶ。VO は世界各国のデータベースを連携し、様々な望遠鏡・観測装置により、様々な波長・領域において取得されたデータを、どこからでも容易に取得するためのシステムを実現する。

現在、国際バーチャル天文台連合により標準化作業が進捗中であり、この標準仕様に基づいたデータサービスも様々なデータセンターで構築されつつある。

VO が実現すると、**大規模データを利用した研究が進展**することが見込まれ、今から VO を利用した研究手法の確立を目指すことが重要である。

2. データベースの構築

現在の VO で利用できるデータサービスは、開発途上であるため、VO を利用したサイエンスを実践するには、まず自分で VO に対応したデータベースを構築する必要がある。そこで本研究において必要となる **QSO カタログ**と **SuprimeCam 画像データ**のデータベース化を行った。QSO カタログは VizieR より Veron et al. 2003 によるものを取得した。

SuprimeCam 画像データのリダクションは、国立天文台天文データセンターで公開されているソフトを利用した。全フレームのリダクションを行うため、**分散解析システム**を構築した。このシステムにより合計 29個の CPU をフル稼働して解析を行うことができる。サーバーの追加も容易に行え、今後のスケールアップも可能である。

JVO のポータルサイト上に検索用 GUI を配置し、指定した条件の QSO について SuprimeCam 画像データを簡単に検索できるサービスを構築した。ボタン押しで画像データから天体を検出することも可能である。**本システムのデモをポスター会場「V34c:JVOの研究開発 (JVOポータルのデモンストレーション) 田中昌宏」**において行っている。

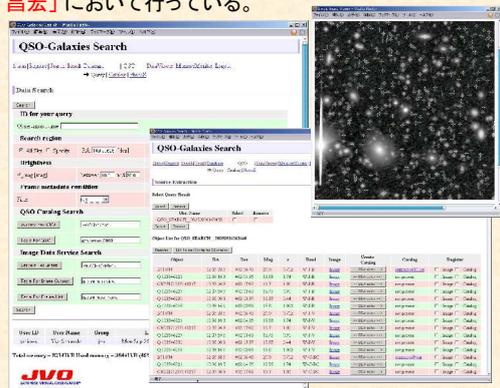


図1: JVOポータルによるQSOを含むSuprimeCam 画像データの検索デモ。

3. 解析方法

取得した画像データから、以下の手順でQSO 周辺の銀河数密度の分布を測定した。

1. SExtractor でカタログ作成、
2. 異なるフィルターによるカタログのクロスマッチ、
3. HyperZ により天体毎の赤方偏移確率分布の計算、
4. QSO と同じ赤方偏移である確率が0.5以上の天体を選択、
5. 4.で選択された天体について QSO からの角距離分布を作成
6. 画像のデッドスペース (bad ピクセル、明るい天体) を考慮して密度分布を計算、
7. 集中度を評価するための標準的な指標である B_{gg} を計算

集中度係数 B_{gg} の計算

QSO から距離 r における銀河数密度の超過 は以下のように定義される。

$$n(r)\delta V = \rho_g [1 + \xi_{gg}(r)] \delta V$$

超過度はべき関数に従うと仮定する。

$$\xi_{gg}(r) = B_{gg} r^{-\gamma}$$

Barr et al. (2003) の結果と比較するため、彼らの計算方法と同じく QSO から 0.5Mpc の領域での超過数から集中度係数を以下の式で求める。

$$B_{gg} = \frac{3 - \gamma}{2\pi} \frac{N_{tot} - N_{bg}}{\phi(m_{lim}, z)} (0.5\text{Mpc})^{\gamma-3}$$

$N_{tot} - N_{bg}$ は 0.5Mpc に相当する離角 ($\sim 60''$) 内における天体の超過数、 $\phi(m_{lim}, z)$ は赤方偏移 z における限界等級より明るい銀河の数密度である。 $\gamma = 1.77$, $I_\gamma = 3.78$ とした。

4. データ

画像データの選択において以下の条件を課した。

- 三つ以上のバンドで撮像され、R バンドのデータがあること。
- QSO を中心として10分角四方の領域をカバーしていること。

解析済みのデータのうち、上記の条件を満たすものは 17 視野あった。これらの視野に含まれる 37 個の QSO について解析を行った。

QSO	z	filters	m_{lim} [mag]	$\phi(m_{lim}, z)$ [Mpc ⁻³]	B_{gg} [Mpc ^{1.77}]
1WGA J1053.5+5725	0.784	Re,Le,z'	Rc<24.4	1.019e-02	-252 ± 180
1WGA J1051.9+5734	0.877	Re,Le,z'	Rc<24.9	1.061e-02	-155 ± 175
CIRS 22	0.983	B,Re,i',z'	Rc<26.3	1.641e-02	266 ± 87.6
RX J10522+5704	1.01	Re,Le,i',z'	Rc<24.6	6.755e-03	197 ± 277
CIRS 15	1.087	B,Re,i',z'	Rc<26.5	1.496e-02	211 ± 125
CIRS 19	1.085	B,Re,i',z'	Rc<25.8	1.094e-02	170 ± 93.0
1WGA J1052.6+5721	1.113	Re,Le,z'	Rc<24.3	4.476e-03	-352 ± 322
CIRS 21	1.401	B,Re,i',z'	Rc<25.9	6.850e-03	261 ± 187
1WGA J1052.5+5739	1.437	Re,Le,z'	Rc<24.5	2.652e-03	160 ± 588
CIRS 20	1.443	B,Re,i',z'	Rc<25.9	6.425e-03	351 ± 200
1WGA J1053.0+5731	1.447	Re,Le,z'	Rc<24.5	2.597e-03	444 ± 611
1WGA J1052.9+5725	1.527	Re,Le,z'	Rc<24.4	2.033e-03	879 ± 814
1WGA J1053.1+5728	1.568	Re,Le,z'	Rc<24.1	1.875e-03	458 ± 871
1WGA J1052.9+5730	1.676	Re,Le,z'	Rc<24.5	1.659e-03	920 ± 1104
Q 1233+6221	1.74	Re,Le,z'	Rc<24.8	1.920e-03	26.3 ± 344
1WGA J1053.7+5728	1.816	Re,Le,z'	Rc<24.3	1.040e-03	1889 ± 1692
1WGA J1052.2+5732	1.873	Re,Le,z'	Rc<24.9	1.677e-03	876 ± 1014
1WGA J1052.7+5711	1.876	Re,Le,z'	Rc<24.3	9.186e-04	-610 ± 1672
RX J10530+5737	1.881	Re,Le,z'	Rc<24.4	1.022e-03	618 ± 1693
B01.282	1.939	B,V,Re,Le,z'	Rc<25.1	1.776e-03	-512 ± 371
RX J10535+5724	1.956	Re,Le,z'	Rc<24.4	8.778e-04	-2155 ± 1896
Q 1235+6219	2.07	B,V,Re,Le,z'	Rc<25.1	1.452e-03	-486 ± 486
1WGA J1052.7+5715	2.144	Re,Le,z'	Rc<24.5	6.921e-04	2522 ± 2190
B01.251	2.182	B,V,Re,Le,z'	Rc<24.8	9.043e-04	24.8 ± 758
B01.075	2.217	B,V,Re,Le,z'	Rc<24.6	6.809e-04	2639 ± 997
RX J10533+5728	2.3	Re,Le,z'	Rc<24.5	5.144e-04	2344 ± 3238
B01.334	2.302	B,V,Re,Le,z'	Rc<25.1	1.019e-03	1081 ± 724
WEE 22	2.37	Re,Le,z'	Rc<24.7	5.837e-04	1730 ± 1786
1WGA J1053.1+5714	2.416	Re,Le,z'	Rc<24.3	3.087e-04	3309 ± 5124
B01.166	2.455	B,V,Re,Le,z'	Rc<25.0	7.244e-04	-168 ± 1099
Q 1234+6231	2.59	B,V,Re,Le,z'	Rc<25.0	5.878e-04	-971 ± 1217
RX J10521+5738	2.73	Re,Le,z'	Rc<24.9	4.141e-04	9839 ± 4877
1WGA J1051.0+5730	2.742	Re,Le,z'	Rc<24.5	2.242e-04	-237 ± 8296
0846+4430	2.8	Re,Le,z'	Rc<25.0	4.212e-04	-674 ± 3958
RX J10531+5734	2.949	Re,Le,z'	Rc<24.5	1.507e-04	13818 ± 13069
1WGA J1051.7+5728	3.409	Re,Le,z'	Rc<24.5	6.020e-05	-57723 ± 26357
RX J10514+5730	3.409	Re,Le,z'	Rc<24.5	6.020e-05	44823 ± 30455

表1: 今回解析を行ったQSOのリスト。

5. 結果

数密度分布のアンサンブル平均

赤方偏移別に4つのグループに分け、それぞれでQSO 周辺の天体数密度のアンサンブル平均を求めた(図2)。

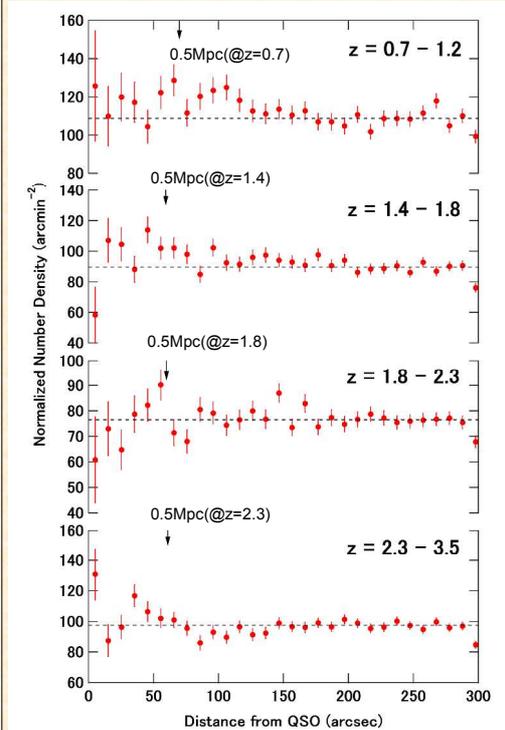


図2: QSO 周辺で検出された天体数密度分布。横軸はQSOからの角距離、縦軸は数密度。点線は 200''~290'' の領域での平均密度。

集中度係数

図3に、集中度係数 B_{gg} を個々のQSO 毎、各赤方偏移グループ毎に求めた結果を示す。

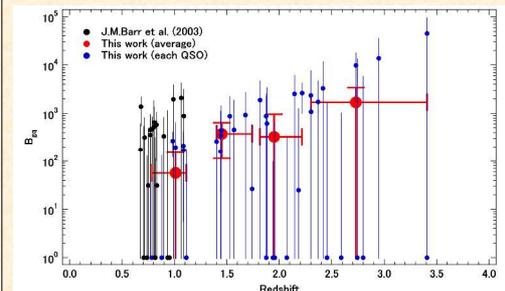


図3: 赤方偏移別集中度係数。黒丸は J.M.Barr et al (2003) の結果。青丸は今回得られた QSO 毎の結果。赤丸は 4 つの赤方偏移グループ毎の平均。縦軸の誤差棒は 1.65 σ (90%)。B_{gg}=1 の点は B_{gg}<1 のサンプル。

6. まとめ

VO の技術を利用したデータ検索システムを構築し、QSO カタログと SuprimeCam 画像データのクロスマッチ検索を簡単に実行することが可能となった。

赤方偏移 2 を超える QSO について、世界で初めてその周辺銀河数について統計的な調査を行い、密度分布超過度の上限值を求めることができた。

まだ未解析の画像データがあるので、今後その解析を継続して行いたい。また、**赤外のデータ**を利用することにより、Photometric redshift の決定精度が増すことが期待されるので、そうしたデータの利用も検討したい。

文献

J.M.Barr et al. Mon.Not.Roy.Astron.Soc. 346 (2003) 229