

ABSTRACT

We present ALMA observations of cold dust and molecular gas in four high-luminosity, heavily reddened ($A_V \sim 2.5 - 6$ mag) Type 1 quasars at $z \sim 2.5$ with virial $M_{BH} \sim 10^{10} M_\odot$, to test whether dusty, massive quasars represent the evolutionary link between submillimetre bright galaxies (SMGs) and unobscured quasars. All four quasars are detected in both the dust continuum and in the $^{12}\text{CO}(3-2)$ line. The mean dust mass is $6 \times 10^8 M_\odot$ assuming a typical high redshift quasar spectral energy distribution ($T=41\text{K}$, $\beta=1.95$ or $T=47\text{K}$, $\beta=1.6$). The implied star formation rates are very high $\sim 1000 M_\odot \text{ yr}^{-1}$ in all cases. Gas masses estimated from the CO line luminosities cover $\sim 1.5 \times 10^{10} (\alpha_{\text{CO}}/0.8) M_\odot$ and the gas depletion timescales are very short $\sim 5 - 20 \text{ Myr}$. A range of gas-to-dust ratios is observed in the sample. We resolve the molecular gas in one quasar - ULASJ2315+0143 ($z = 2.561$) - which shows a strong velocity gradient over $\sim 20 \text{ kpc}$. The velocity field is consistent with a rotationally supported gas disk but other scenarios, e.g. mergers, cannot be ruled out at the current resolution of these data. In another quasar - ULASJ1234+0907 ($z = 2.503$) - we detected molecular line emission from two millimetre bright galaxies within 200 kpc of the quasar, suggesting that this quasar resides in a significant over-density. **The high detection rate of both cold dust and molecular gas in these sources, suggests that reddened quasars could correspond to an early phase in massive galaxy formation associated with large gas reservoirs and significant star formation.**

Key words: galaxies:evolution - galaxies:formation - galaxies:high-redshift - galaxies:starburst

$z \sim 2.5$ の減光の強い大質量type1 quasar 4天体をALMAで観測し、cold dustと分子ガスを調べた。

- dusty quasarはSMGから(減光を受けない)normal quasarへの進化段階の天体であるという仮説を検証した。
 - 一般的な銀河進化モデルでは、high- z SMGはUV luminous quasarになると考えられていて、FIR/mm-bright quasarが少ない(850um detectのquasarが9/53@ $z \sim 2$, Priddey+03)。
 - FIR/mm bright quasarはSMGとUV luminous quasarの間の短い変遷期($\sim 1 \text{ Myr}$, Simpson+12)に当たるのかもしれない
- 全4天体でcold dustと分子ガスは検出された。
 - 減光を受けたquasarでは、大量のガスが存在し、激しい星形成を行っていることを示唆する結果。
- 遠方quasar($z > 6$)でのCOの検出は精力的に行われている(89天体)が、cosmic noon($1.5 < z < 3$)のquasarでのCOの検出例は少ない(13天体)。
 - その多くはレンズ天体のため、ガスやダストの分布を調べるのは難しい(同じ銀河内でも場所ごとに増光率が異なるから?)。
 - 本論文では重力レンズ効果を受けない天体をターゲットとする

Table 1. Summary of the properties - K band magnitudes, redshifts, line-of-sight extinctions, AGN luminosities and black hole masses - for the four reddened quasars observed with ALMA. The properties have been derived from NIR photometry and spectroscopy and presented in B12 and B15.

	ULASJ0123+1525	ULASJ1234+0907	VHSJ2101-5943	ULASJ2315+0143
R.A. (J2000)	01:23:12.52	12:34:27.52	21:01:19.46	23:15:56.23
Dec (J2000)	+15:25:22.7	+09:07:54.2	-59:43:44.8	+01:43:50.4
K_{AB}	18.59	18.05	16.68	18.38
$z_{H\alpha}$	2.629	2.503	2.313	2.560
A_V	4.0	6.0	2.5	3.4
$\log_{10}(L_{6\mu\text{m}} / L_\odot)$	47.8	47.4	47.4	47.5
$\log_{10}(M_{BH} / M_\odot)$	9.7	10.4	10.5	10.1

- COの高い検出率
red QSO (6/6:4+2(他の文献))に対しblue QSO(5/7, Coppin+08)

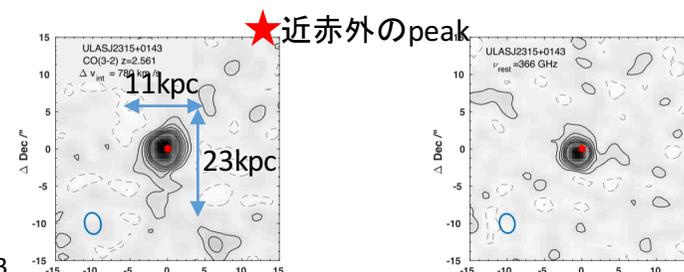


Fig. 3 最も空間分解能の高い天体のCO(左)とdust(366GHz, 右)の分布。
 ✓ high- z quasarのgasは核に分布するが、SMGの低電離ガスは>10kpcに広がる - reddened quasarはSMGに近い

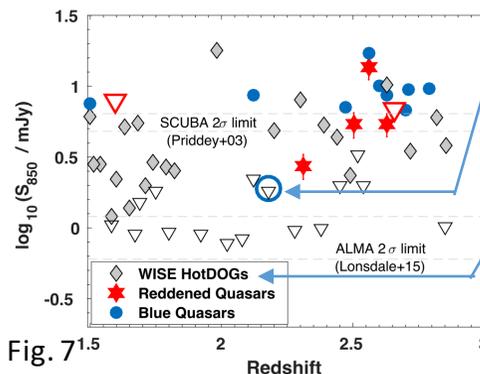


Fig. 7 blue quasarのstack : reddened quasarはblue quasarよりもstarburst銀河にhost?
 MIR luminous heavily obscured AGN : S850が低い <->MIRの放射はAGNで加熱されたdustが支配的で、星形成に付随するcold dustは少ない

red quasarはquasarとSMGの中間的なdynamical mass & gas mass
 ✓ ただしquasar, SMG, reddened quasarのsize, inclinationが同じと仮定

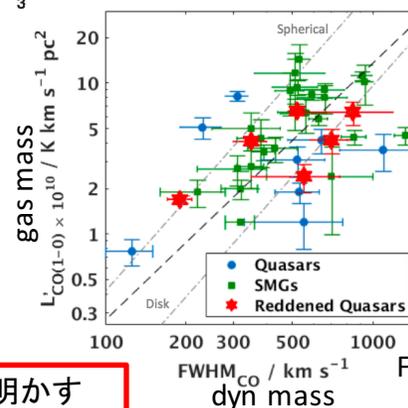


Fig. 9

SMG, quasar, reddened quasarの関係を明かすには、さらなるサンプルの構築が必要

広視野サーベイで得られたreddened quasar候補天体のうち分光で特定された ~ 20 天体の中の4天体。
 $A_V=6.0$ の最も強い減光を受けている天体から、 $A_V=2.5$ の平均的な減光の天体を対象。SFR=350-6000 $M_\odot \text{ yr}^{-1}$