

ALMA時代における TAO近赤外カメラでの サブミリ波銀河観測

~Pre ALMA era and ALMA era~

五十嵐創(Soh Ikarashi)

IoA M1

Contents

■ Pre ALMA era

- AzTEC/ASTEの観測成果
- すばるなどでもできるNIRのサイエンス。

■ ALMA era

- ALMAを活かすTAOとの連携

Submm/mm-bright Galaxy (SMG)

SMGs: Dusty Massive Starbursts at the early Universe

■ Bright at (sub)millimeter

- $L_{\text{IR}} \gtrsim 10^{12-13} L_{\text{sun}}$
- Star Formation Rates (SFRs) $\sim 100-1000 M_{\text{sun}}/\text{yr}$

■ Dusty \rightarrow optically very faint

■ Massive

- $M_{\text{dyn}} \sim 10^{11} M_{\text{sun}}$; $M_{\text{gas}} \sim 10^{10-11} M_{\text{sun}}$

■ High-redshift

- $z \sim 1-4$ ($z_{\text{median}} \sim 2.2$) (Chapman+05)
- Detectable at $z \sim 1-10$ because of the negative K-correction



*Hidden star formation in the early universe
Important role in galaxy formation and evolution*

Atacama Submillimeter Telescope Experiment: ASTE

- 10 m submm telescope
- alt. 4860m, Atacama desert, Chile
- 350 GHz (0.87 mm) spectroscopy: CATS345+MAC/WHSF
 - beam = 22", single pix
 - low T_{sys} & OTF
- 270 GHz (1.1 mm) continuum: AzTEC camera
 - 144 pix
 - FOV \sim 8 arcmin, beam = 28"



Deep and Wide SMGs surveys

- 2007/2008年にSXDF, ADF-S, SSA22を観測
 - SXDF (Ikarashi +, in prep)
 - 面積: 900 arcmin²
 - RMS: ~0.55 mJy
 - Source: 約165 ($>3.5\sigma$)
 - SSA22 (Tamura +, in prep)
 - 面積: 800 arcmin²
 - RMS: ~0.65 mJy
 - Source: 約130 ($>3.5\sigma$)
 - ADF-S (Hatsukade +, in prep)
 - 面積: 1000 arcmin²
 - RMA: ~0.60 mJy
 - Source: 約200 ($>3.5\sigma$)

- SMGsはOpticalでは非常に暗く分光が難しい。
 - B-bandで26等 (AB)より暗いのはざら。
- NIRではそれなりに明るい、22等(AB)ぐらいのことが多い。

**NIRCAMならば、30 時間程積分すれば分光できる！
10'x10'のMOSなら一度に前後10個？**

Target Science of Spectroscopy

Redshift

- Spectroscopy
 - 73 radio-identified SMGs
 - $z = 2.2$ (median)
 - $z = 1.7 - 2.8$ (interquartile)

(Chapman+05 ApJ 622, 772)

AGN診断

- NIR領域の複数の輝線(ex. $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、 $OIII$ 、 NII)を用いた診断

Veilleux + 1987

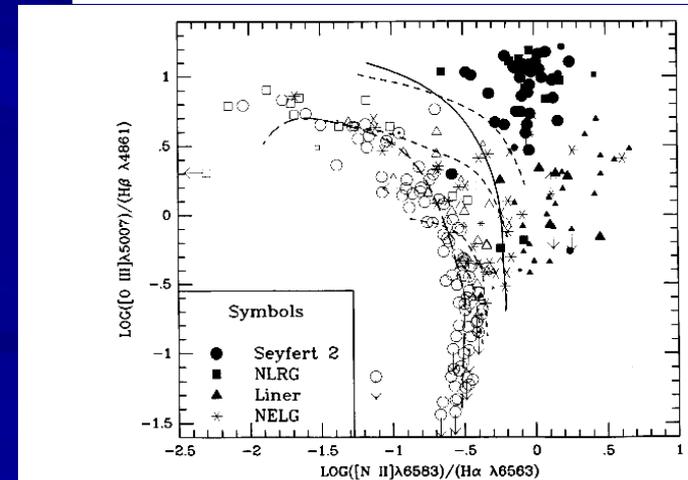
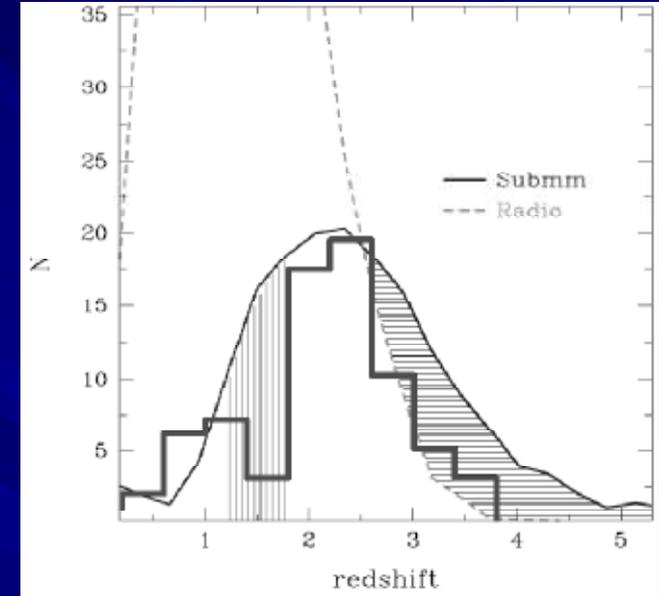


FIG. 1.—Reddening-corrected $[O III] \lambda 5007/H\beta$ vs. $[N II] \lambda 6583/H\alpha$ intensity ratios. Symbols for types of objects are as shown in keys to this figure and Fig. 2. Four short-dashed lines are H II region models of Evans and Dopita (1985) for $T_e = 56,000, 45,000, 38,500, \text{ and } 37,000$ K from the top to bottom respectively. Long-dashed curve represents H II region models of McCall, Rybski, and Shields (1985). Solid curve divides AGNs from H II region-like objects.

ALMA

いよいよ2010末に
部分運用のCfP!

- 日、台湾、米、欧の協力
- 南米チリ、アタカマ砂漠
- 標高5000m

- 観測波長: 30GHz (1cm) ~ 950GHz (315 μ m)
- 分解能: 0.1 ~ 0.01 arcsec @ 350GHz
- 2012年正式稼働予定

ALMAでもRedshift IDはできるが...

- ALMAでもCOラインを使ってSMGsのredshiftは決めることはできる。

64台Fullで使っても

1天体のredshiftを求めるのにおよそ
 3 [min] x 8 [tuning] = 24 [min] かかる
 24 [min] x 1000 個 = 400 [hours] !!

さらにAzTEC/ASTEに続くSMGサーベイに向けて
 450 μ m, 850 μ m, 1.1mmの3色カメラを作成中!!

例: $M_{\text{gas}} = 5 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$
 - CO-H₂ conversion factor = 0.8
 - velocity width = 500 km/s
 - velocity resolution = 50 km/s

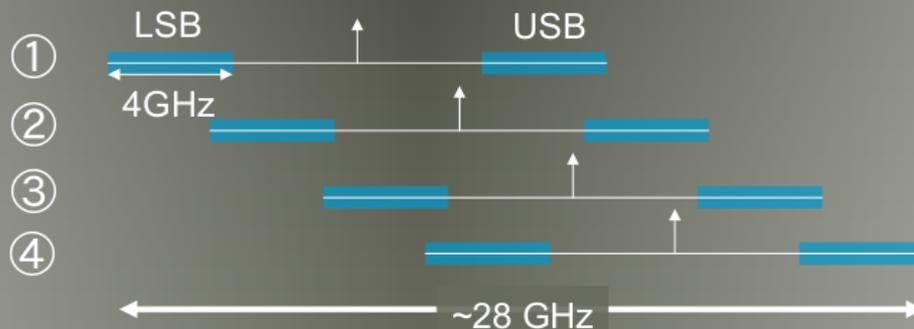
CO	z	ν_{obs} [GHz]	time for 5 σ detection [min]	
			64 antennas	16 antennas
CO(3-2)	2	115	2	30
CO(5-4)	4	115	3	40

• z 不定性 = ± 0.5

CO	ν_{rest} [GHz]	z	ν_{obs} 不定性 [GHz]
J=3-2	345	2	40
		3	22
		4	14
J=4-3	461	2	53
		3	29
		4	19

• ALMA バンド幅 = 4 GHz (IF=4-8)

- 周波数設定を変えて複数回観測する必要がある



ALMAでは高解像度を活かしたサイエンスをしたい

- 実はALMAの売りの高解像度も時間がかかる。

0.1"分解能 @ z=4 (~0.7 kpc)

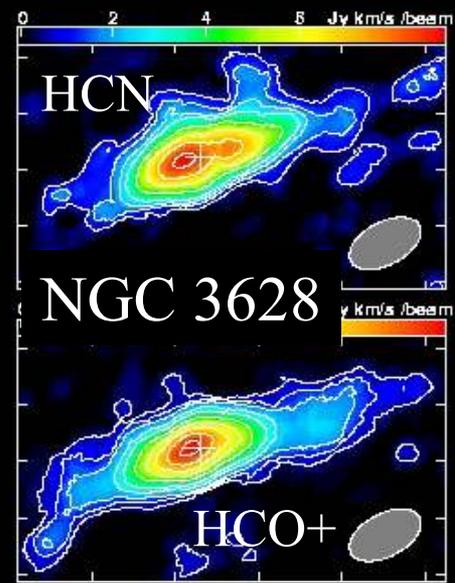
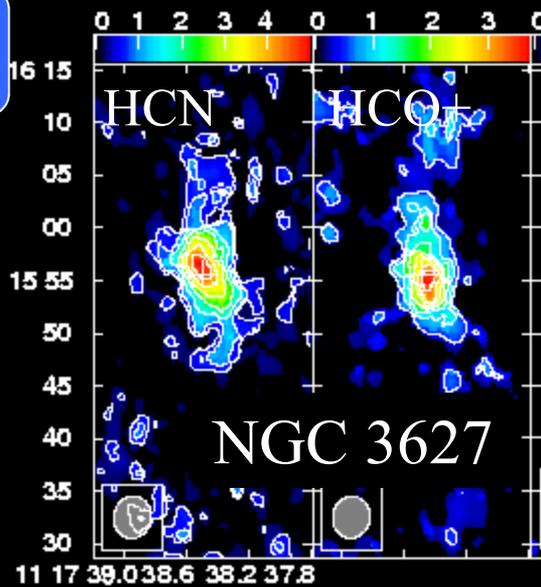
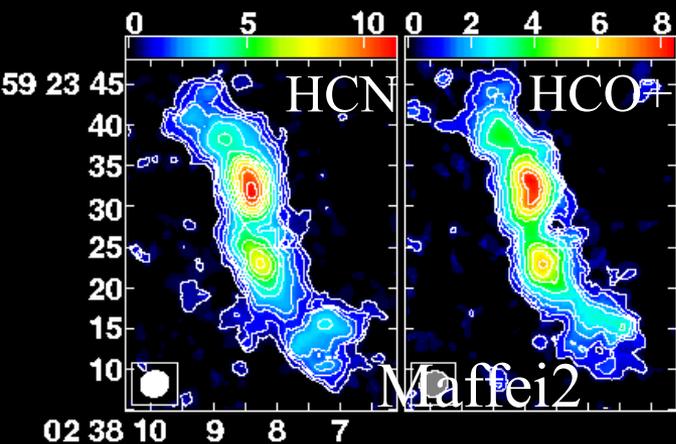
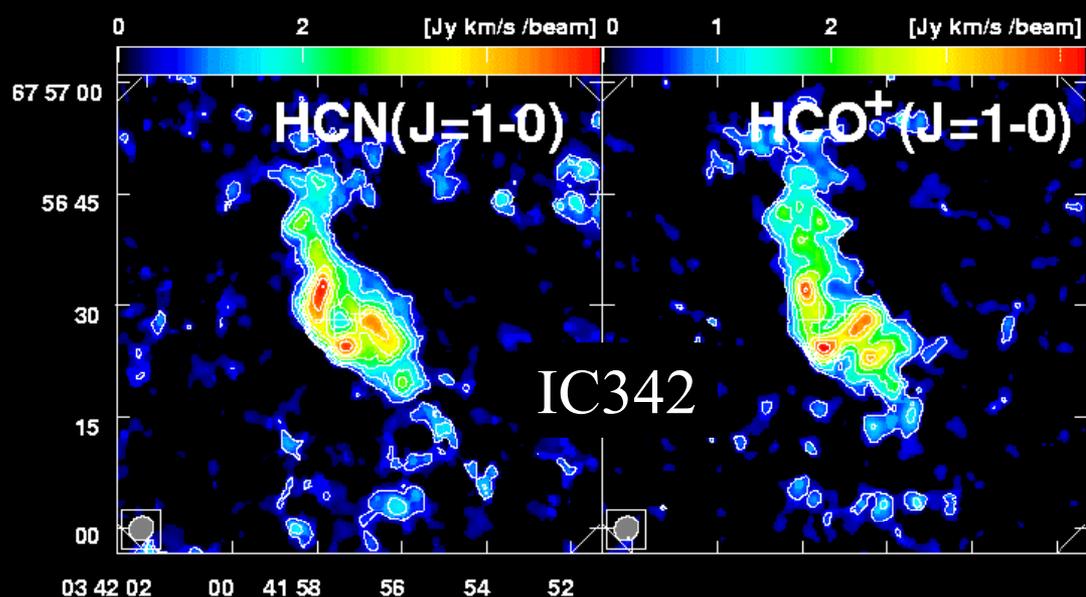
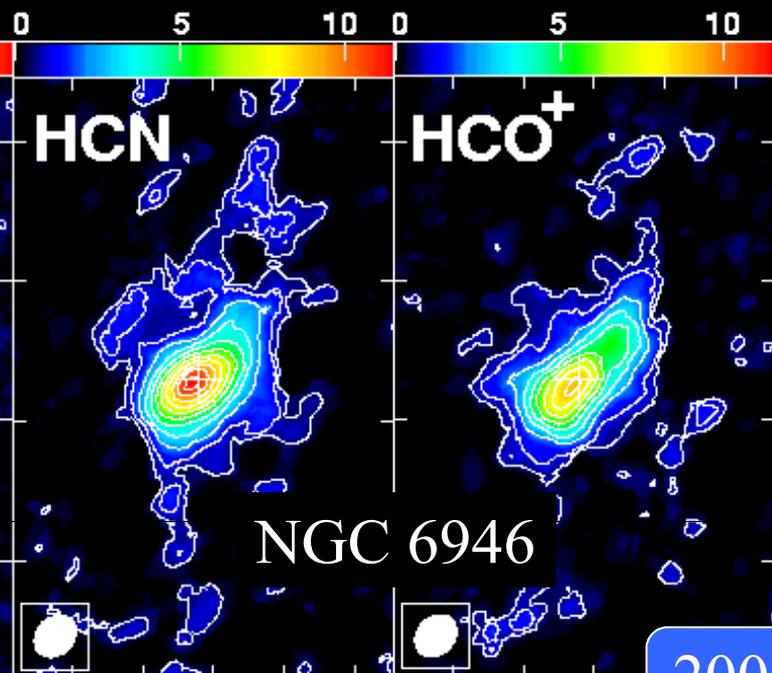
ν_{obs} [GHz]	band	expected Tb [mK]	time for 5 σ detection [hour]	
			64 antennas	16 antennas
230	band 6	46	11	180
350	band 7	50	7	120
650	band 9	43	20	350

0.01"の達成には
70時間！？

複数のラインによるサイエンスを
高分解能で！

- ・COラインによるtheremalize
- ・HCNとHCO+を用いたAGN判定
etc

HCN & HCO⁺ Images of Starburst Galaxies

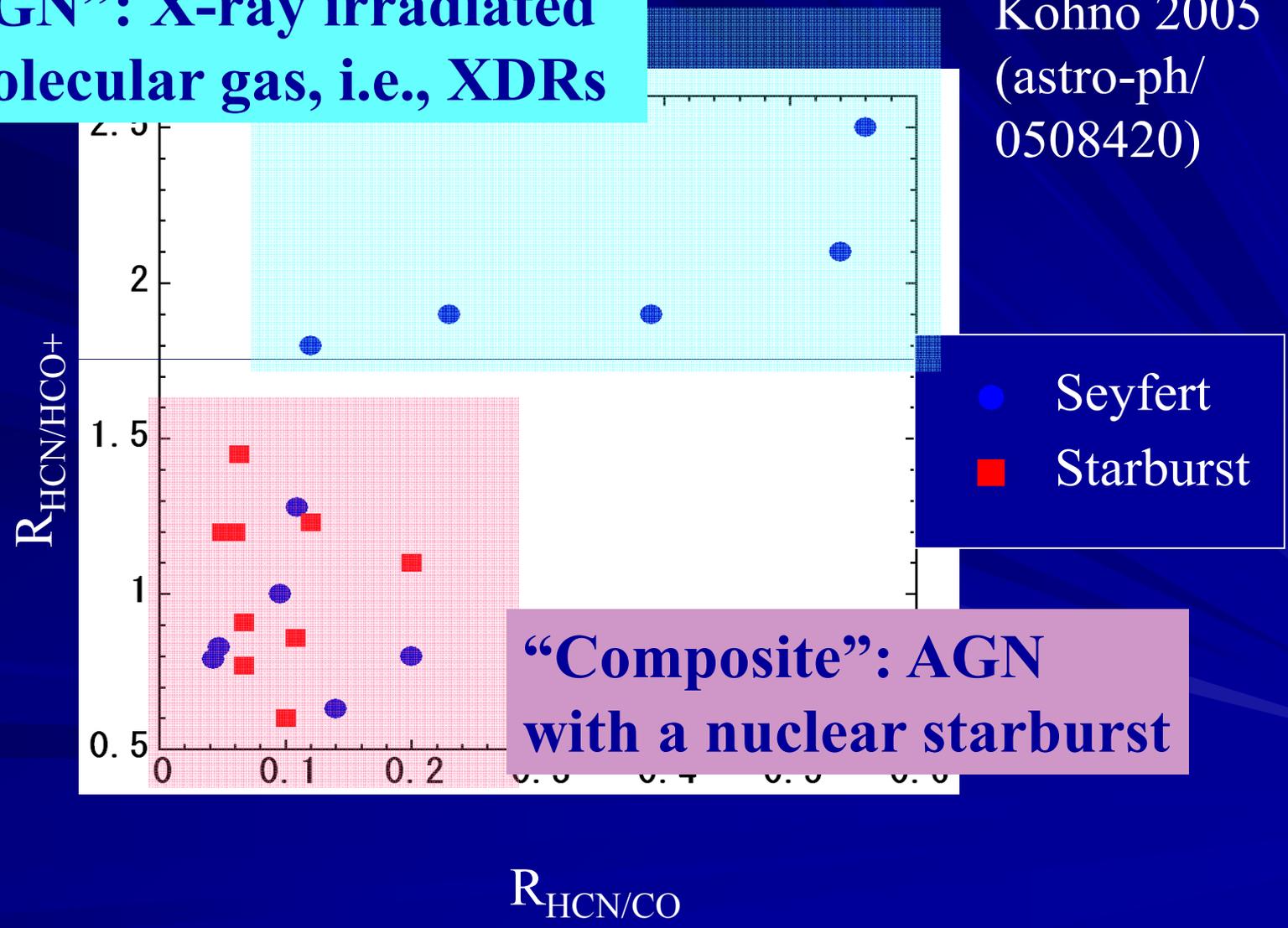


Dominant power source within observing beam

Kohno et al. 2001
(astro-ph/0206398)

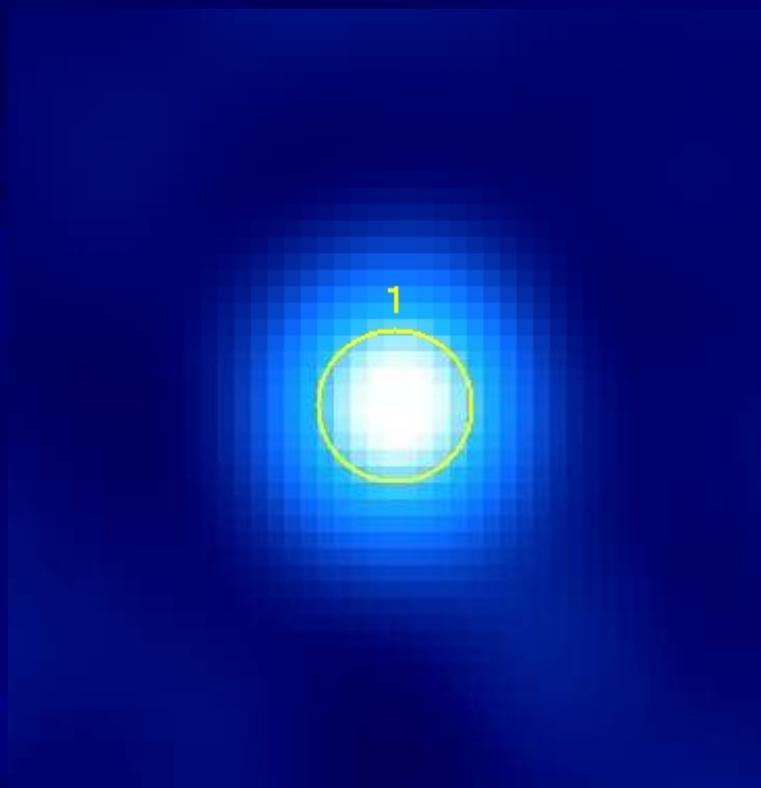
“Pure AGN”: X-ray irradiated dense molecular gas, i.e., XDRs

Kohno 2005
(astro-ph/0508420)



“Composite”: AGN with a nuclear starburst

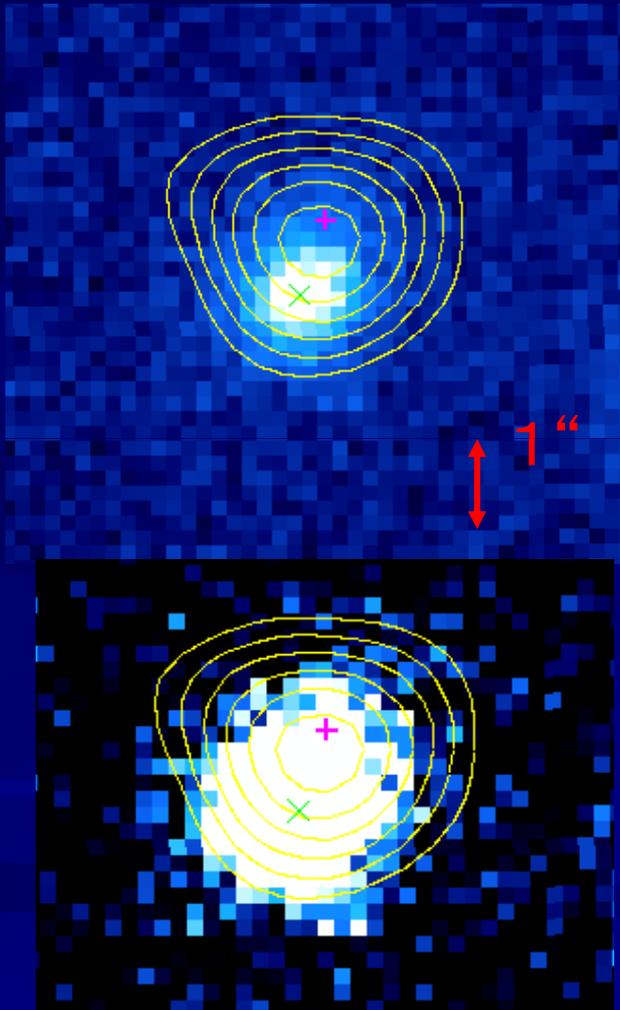
an ultra bright SMG, Orochi



- AzTEC/ASTEによる
1.1mm 連続波観測
で見つけた。
- Flux: 33.6 mJy
@1.1mm
- S/N~40
- カタログ名はAzTEC-
ASTE-SXDF1100.001



ALMAの高分解能との連携



- SMGsはdual component の徴候が見られることがある。

ALMAで低温ガス領域は $0.1'' \sim 0.01''$ の
分解能になる
Opt/NIRの高解像度も重要！！
NIRCAMのAOに期待！！

SXDF1100.001 (Ikarashi+ in prep)

ALMA Deep Field (ALDF)

- ALMAのレガシー観測で議論がすすんでいる。
- 候補サイト (ALMA-JT系外銀河subWG meeting)
 - SXDF (Subaru XMM/Newton Deep Field)
 - GOODS-S
 - etc..
- 日本のASTEのSMGsチームはSXDFを観測したいと考えている。

ALDFのサーベイplanにもよるが、深さを追及した場合
L \sim 10¹⁰ Lo程度のSMGs(?)が見つかるはず。
これらのfollow up にやはり集中的に時間を投入できる
ことは魅力的！！

まとめ

- SMGサイエンスにおいてALMA時代には高解像度のサイエンスをしたい！！
- ALMAの高解像度を活かすには赤外領域での事前のredshift測定、Opt/NIR領域での高解像度が重要！！