

---

# 多周波電波観測による 超高光度赤外線銀河のエネルギー源診断

---

林 隆之（麻布中学校・高等学校，国立天文台）

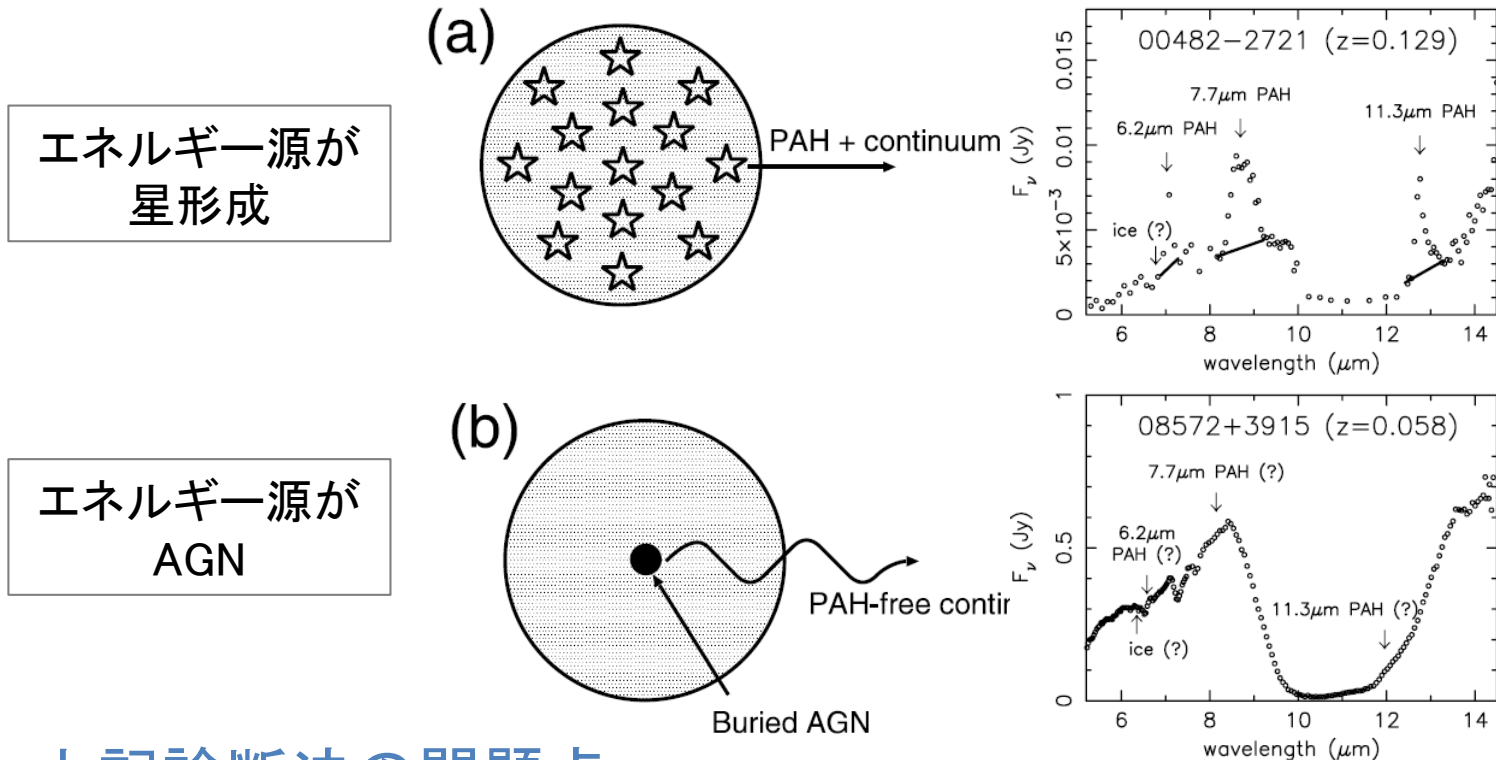
共同研究者： 今西 昌俊（国立天文台）  
萩原 喜昭（東洋大学）

- **Ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs)**
  - 赤外線光度が  $L > 10^{12} L_{\odot}$  となる銀河
  - 赤外線を放射するダストのエネルギー源として星形成とAGNが候補
  - 中心部の全面がダストに覆われ, 中心部を見通せない
- **ULIRGsのエネルギー源診断の重要性**
  - 高赤方偏移におけるsubmm銀河の低赤方偏移版
  - 低赤方偏移ULIRGsのエネルギー源を診断することは, 星形成史, ブラックホール形成史, 銀河形成史を考える上で示唆を与える

## 今回の発表の概要

赤外線分光観測でAGNの貢献が推測されたULIRGs 10天体に対して多周波のJVLA観測を行ったところ, 4天体からAGN由来と考えられるシンクロトロン放射を検出した。

- 赤外線分光によるULIRGsの赤外線エネルギー源診断
  - AGNからの強いX線放射がPAHを壊す (Voit 1992)
  - PAH放射の有無からAGNの有無を推定可能 (e.g., Imanishi+ 2000)

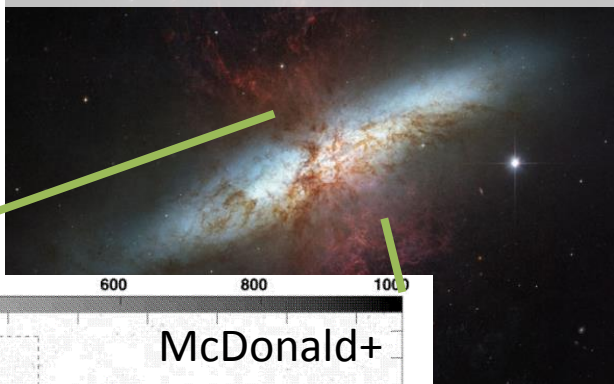


- 上記診断法の問題点
  - 中心部は直に見えておらず、診断はいわば「状況証拠」である。
  - 「AGN」の赤外線スペクトルだけは、中心部でのコンパクトかつ極端に活発な星形成を排除しきれない (Spoon+ 2004)

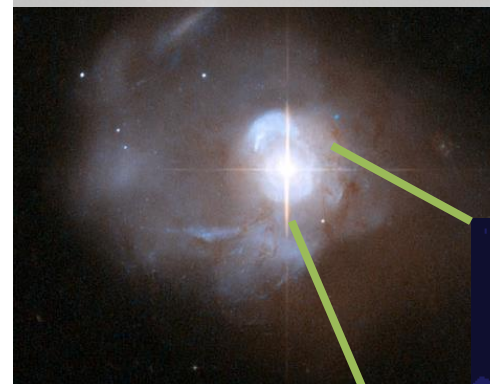
# Introduction

- ULIRGsのエネルギー源診断における電波観測の優位性
  - 電波はダストに対する透過力が高い
  - 中心部にあるのがAGNか星形成か，電波なら直接見える

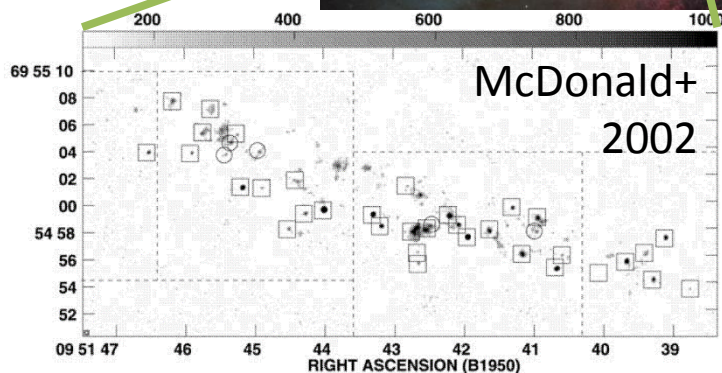
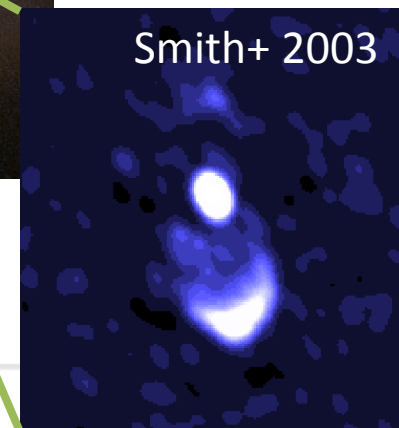
M 82 (Starburst)



Mrk 231 (AGN)



Smith+ 2003



## 本観測研究の目的

- 赤外線によるエネルギー源診断結果を電波で独立に検証する
- 中心部で生じる「極端な星形成」を棄却する

# Introduction:

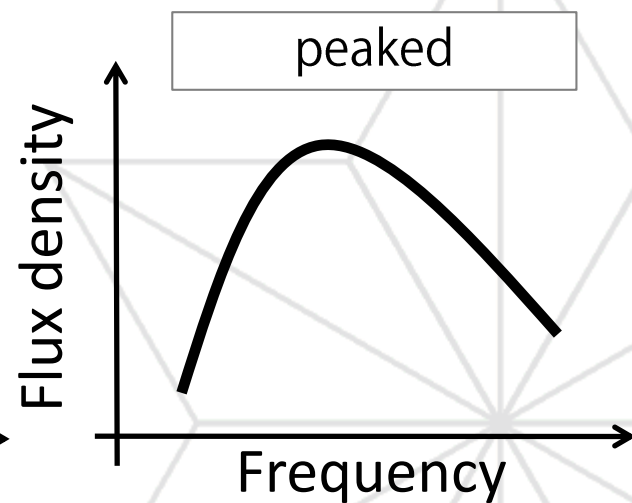
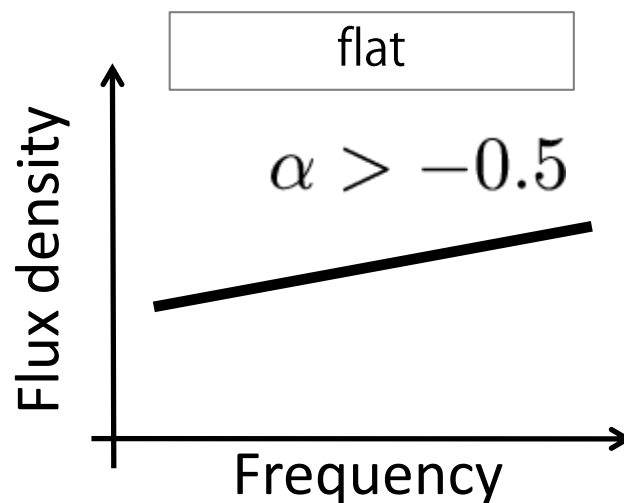
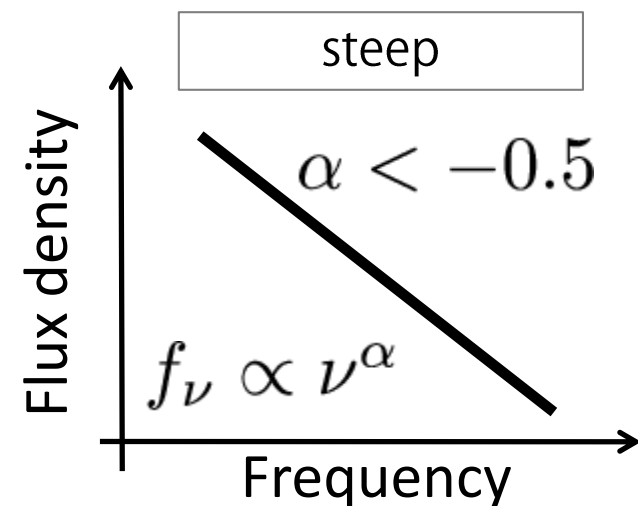
## • 各種電波源の観測特徴

– スペクトル形状または変動の有無でAGNを同定可能

	物理	GHz帯のスペクトル	変動
AGN	シンクロトン放射	steep, flat, <b>peaked</b>	<b>ありうる</b>
星形成 (HII領域の集合)	制動放射	flat	なし
星形成 (SNRsの集合)	シンクロトン放射	steep	なし

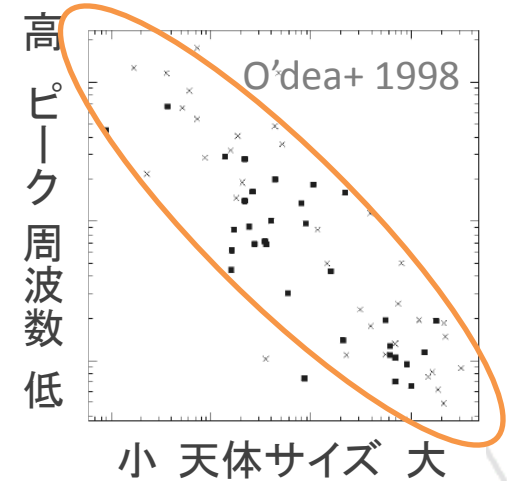
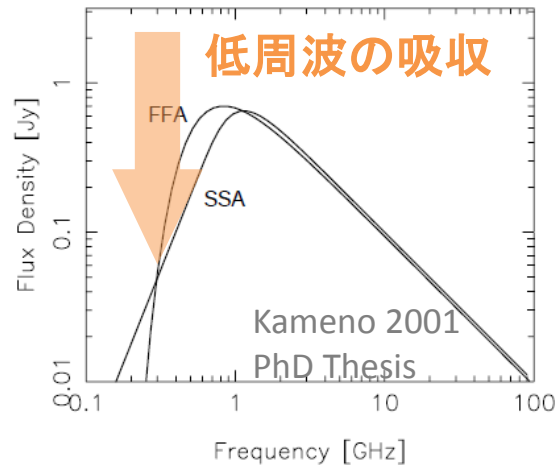
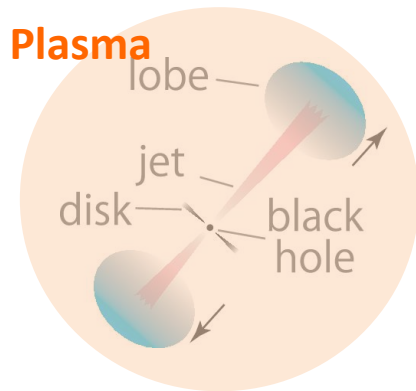
PeakedならばAGN

変動があればAGN



# Introduction

- なぜ “peaked” だと, 超新星残骸ではなくAGNと判定できるか
  - denseな環境にあるコンパクトな天体は低周波に吸収を受ける
  - AGNでは天体サイズと吸収強度に相関あり (<10 kpcでpeak周波数>1 GHz)



## – SNRs+シンクロトロン自己吸収の可能性

- SNRsのような淡いプラズマでは磁場が弱くGHz帯にピークを作れない

## – 自由-自由吸収の可能性

- GHz帯にピークをつくるほどのプラズマ量では, 今回の観測天体の明るさだと, 自由-自由放射が高周波で卓越し, 高周波でflatになる

## • 観測天体の選定

- 中間赤外線分光サーベイ サンプル with Spitzer (Imanishi+ 2007)
  - IRAS 1Jy sample (Kim & Sanders 1998) → 69 ULIRGs @  $z < 0.15$
  - Veilleux+ 1999のBPT 図から, Seyfert銀河を除外 → 48 ULIRGs
- 銀河スケール (<10 kpc) がVLA分解能に収まる  $z < 0.14$  (1" : 2 kpc)  
→ 42 ULIRGs
- AGNの兆候がImanishi+ 2007で報告されている  
→ 24 ULIRGs
- RA 22-05hに位置する  
→ 9 ULIRGs

※ これらに, 赤外線診断法でAGNの兆候がないものの, submm波での HCN/HCO<sup>+</sup> 輝線強度比からAGNが示唆された1天体をサンプルに加えた

※ VLAのサーベイ (FIRST, NVSS) で全天体に対応電波源が見つかった (2.3 -17.8 mJy)



- JVLA観測 (P.I. 林)

- バンド, 配列, 周波数

- U band (D配列) : 13.5 GHz, 14.5 GHz
- X band (C配列) : 8.5 GHz, 9.5 GHz
- C band (C配列) : 5 GHz, 6 GHz
- L band (B配列) : 1.1 GHz, 1.4 GHz, 1.7 GHz

各観測の分解能は $\sim 5''$ で等しい

- 観測日

- U band: 2015 Oct. 18-20
- X band: 2016 Mar. 18
- C band: 2016 Mar. 19
- L band: 2016 Jul. 08, Aug 19

1年以内に4バンドを観測

- 典型的なイメージング感度

- $1\sigma \sim 10\mu\text{Jy}$



© NRAO



# Result

- Morphology

- 全天体の全周波数のすべてが点源

- Spectral shape

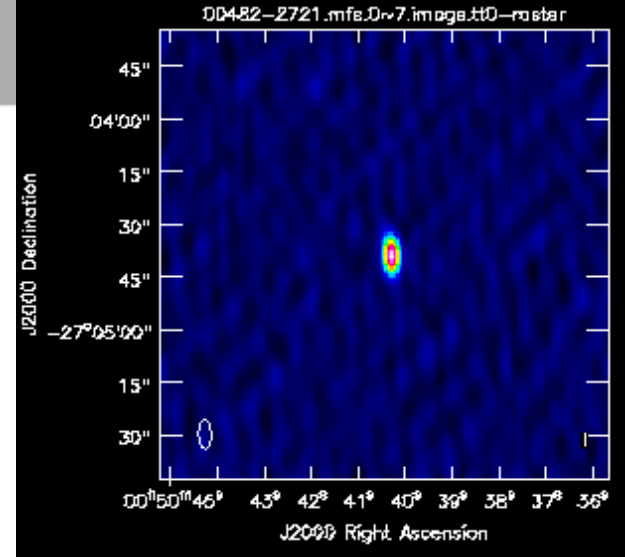
下の関数をフィッティングし、ピークの有無を目視で評価

$$\log S = a - \sqrt{b^2 + [c \log \nu - d]^2} \quad (\text{Dallacasa+ 2000})$$

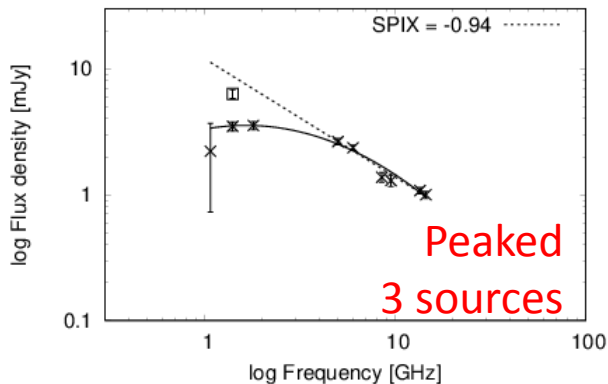
- 3天体にピークがあり、かつ高周波でsteep ( $\alpha < -0.5$ )

- 6天体が高周波でsteep ( $\alpha < -0.5$ )

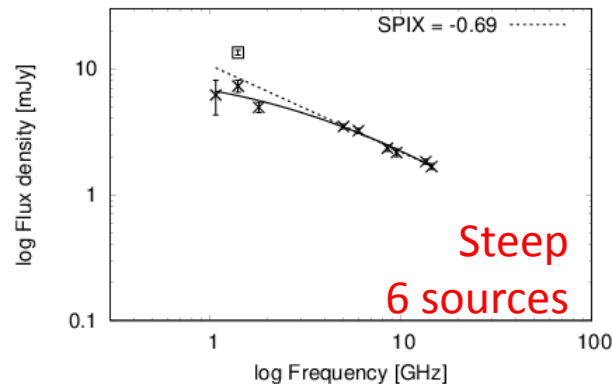
- 1天体が高周波でflat ( $\alpha > -0.5$ )



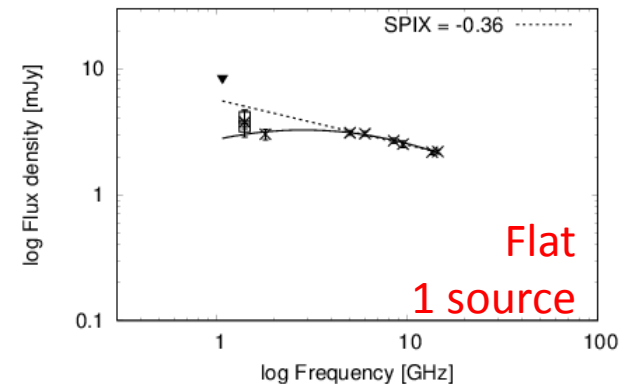
00482-2721



01004-2237



01298-0744



- Variability (1.4GHz)

「変動のSN」を利用し, NVSS (D配列) /FIRST (B配列)と比較

$$V = \frac{|S_1 - S_2|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad V > 3 \text{ で変動ありと見なす}$$

- NVSSの測光あり(9天体)

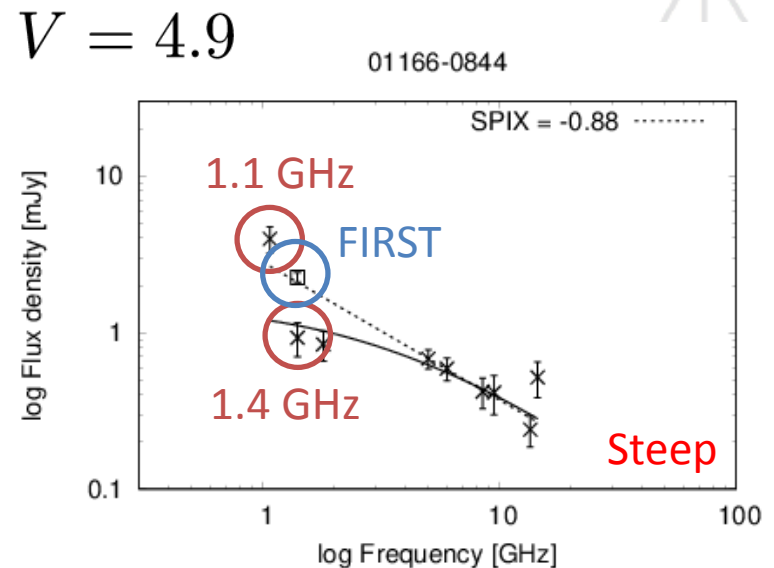
- 2天体のフラックスが (本観測) > (NVSS)
- いずれにも有意な変化なし

- FIRSTの測光あり(4天体)

- 1天体で有意な変化あり(01166-0844)  $V = 4.9$

※ ただし, 1.1 GHzのデータ点からは  
変動なしとも言え要検証 (右図)

1.4, 1.7 GHzのデータ点は変動ありを示唆するが, この2点以外のフィッティングからは変動なしとも言える



- 個別の観測天体におけるAGNの有無の評価

- 有意な変動の見つかった1天体

- SNRsの集合では極端な変動は考えづらく、**変動はAGN起源**だろう

- 電波スペクトルにピークの見つかった3天体

- GHz帯のピークは淡いSNRsではつくれず、**低周波の吸収はAGN起源**だろう

- 変動もピークも見つからなかった6天体

- 電波源がSNRsである可能性を棄却できない

- 少なくとも4天体で赤外線によるエネルギー源診断結果は正しい
- 中心部で生じる「極端な星形成」が必要ないことが言えた

- 電波観測によるAGN探索の可能性

- 赤外線診断法によるAGNの気配の濃淡に関わらず、電波でAGNが検出された

- 電波観測は赤外線診断法に対して相補的な役割を果たしうる

赤外線分光観測で多くのULIRGsにAGN候補が見つまっている一方で、コンパクトで極端に活発な星形成が生じている可能性を排除しきれていない。これらのULIRGsに対して、透過力の高い電波観測によって独立にAGNを探索した。

## • Result & Discussion

- 6天体は「強度変動の未検出」かつ「steep/flat spectrum」を示した
  - これらのULIRGsではAGNと星形成の縮退は解けず
- 4天体が「有意な強度変動」または「peaked spectrum」を示した
  - これらのULIRGs中にはAGNがあると断定可能。
    - 赤外線診断でULIRGsに推測されたAGNを電波で検出した
    - ULIRGsのエネルギー源として「極端な星形成」はなくても良い

## • Future studies

- AGNと断定できない天体に対してはVLBI観測で輝度温度を測定する
- 赤外線診断でAGNの見つからない天体にサーベイを広げる