

# TAO中間赤外線観測を用いた 双極状惑星状星雲ダストオーラスの観測計画



浅野 健太郎(ISAS/JAXA)

植田稔也 (デンバー大学), 宮田隆志, 上塚貴史 (東京大学)

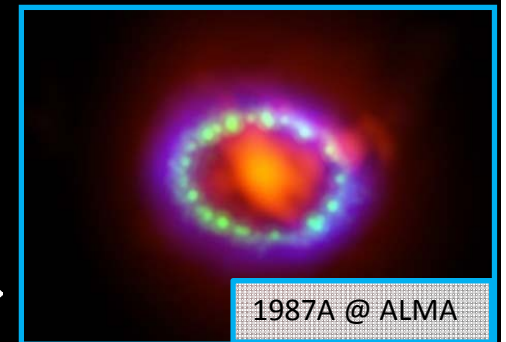
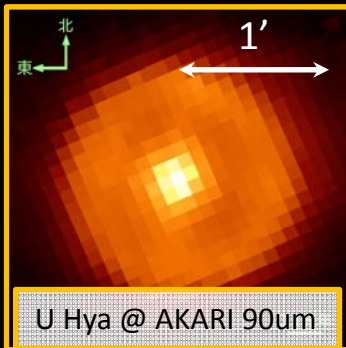
# ダストの形成と進化

- ダスト進化の問題点: ダスト形成・成長場所の詳細は未だに不明



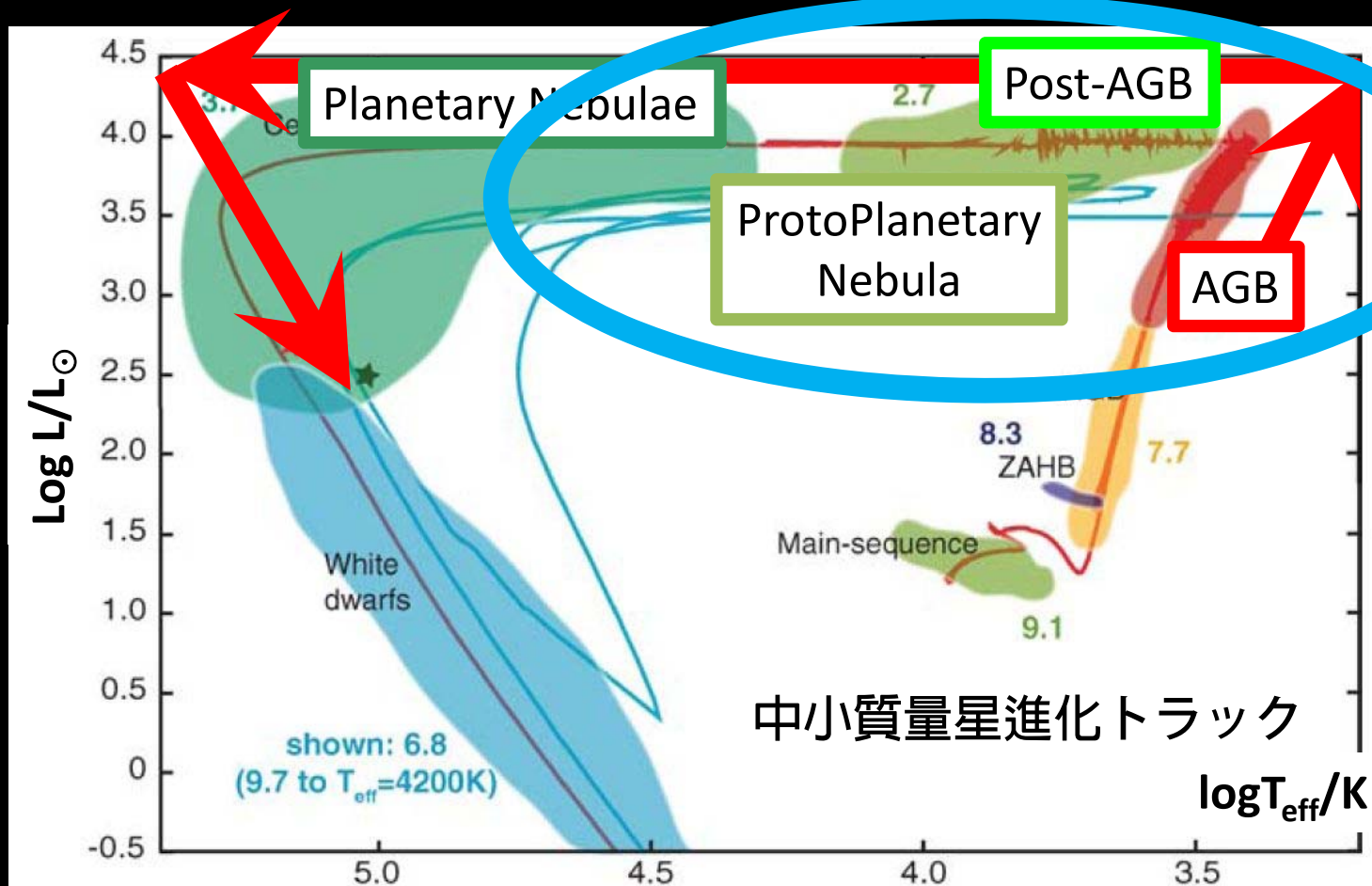
- ダスト形成の起源:

- 大質量星 末期天体 (WR, LBV, SN) :  $M_{ZAMS} > 8M$
- 中小質量星 末期天体 (AGB) :  $0.8 < M_{ZAMS} < 8M$



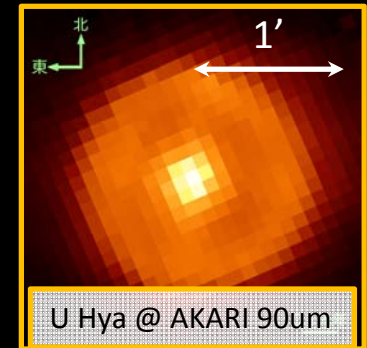
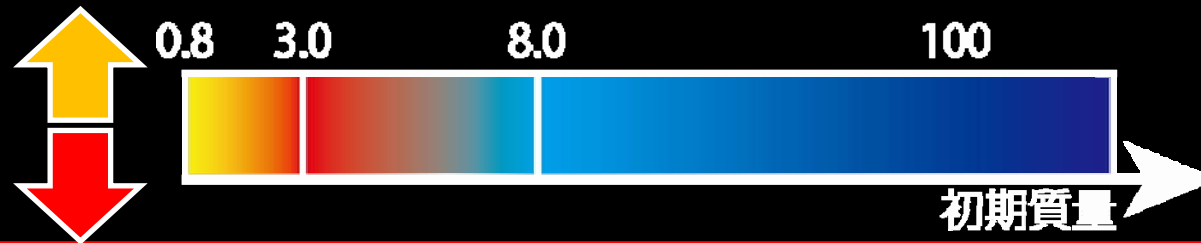
# 中小質量星のダスト生成

- $M_{ZAMS} = 0.8 \sim 8M_{\odot}$  ... 1桁もの幅広い初期質量( $M_{ZAMS}$ )
- ダスト生成量: 初期質損依存
- ダスト生成期: AGB tip~PPN
- ダスト生成時間: 数100- $10^{4-5}$ 年 ( $\Leftrightarrow$  SNeは短時間で爆発的に生成)

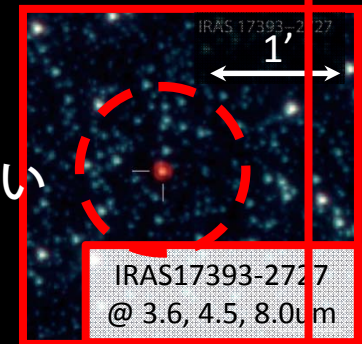


# 中小質量星 ダスト研究の現状

- 小質量星:  $M_{ZAMS}$  0.8~3  $M_{\odot}$  ... 広く研究が行われてきている
  - dust shell (AGB): 等方的, 緩やかな質量放出



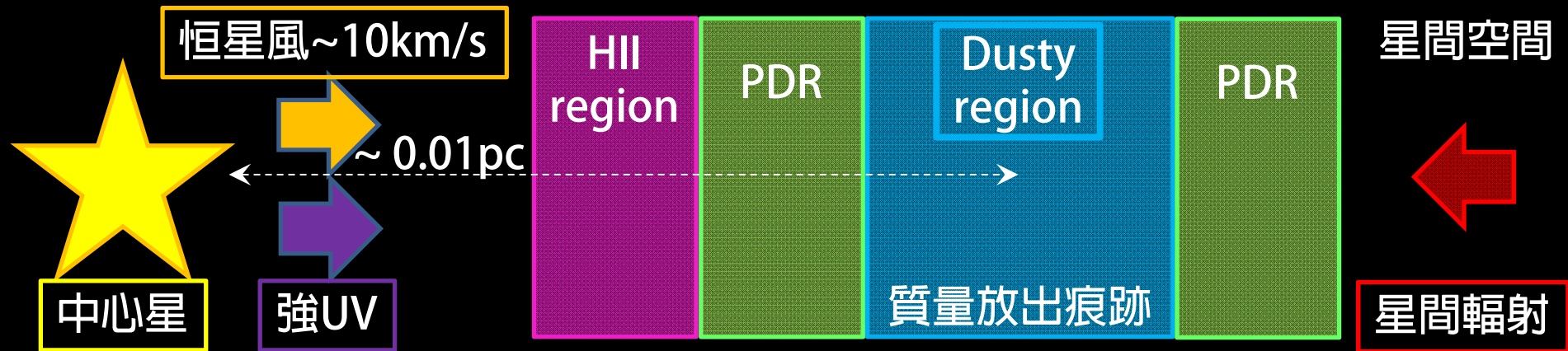
- 中質量星:  $M_{ZAMS}$  3~8  $M_{\odot}$  ... ダスト生成量が多く, **ダスト形成理解には重要**
  - 研究があまり進んでいない
  - pAGB~PPN 期:  $<10^3$  年 ... 天体数が少ない
  - ダスト生成量が多く, 濃いダストで覆われている ... 可視で見えない
  - Dustiest evolved stars (本年会 z120b 宮田)



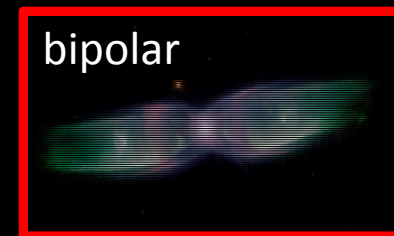
→ 進化の進んだ Planetary Nebula で調べる

# 惑星状星雲 (Planetary Nebulae)

- Planetary Nebulae : 中小質量星 最末期天体
  - PNe期 :  $10^4 \sim 5$ 年 ... 天体数が多い
  - **ダスト熱放射の空間分布から過去の質量放出史を探る事ができる**



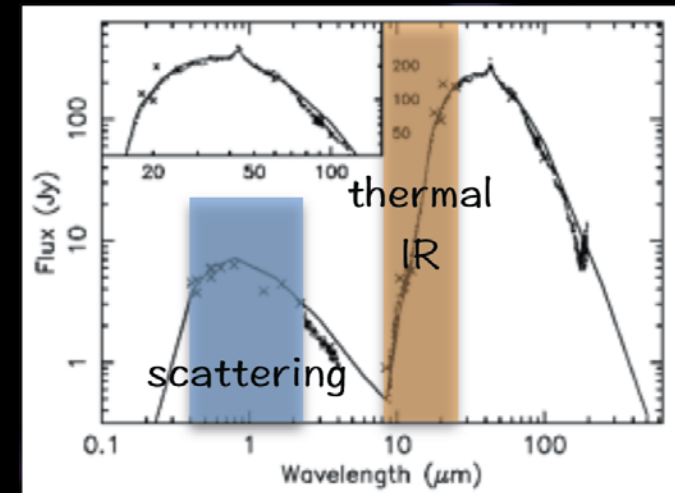
- 初期質量により PNe 形状が変化 (Corradi+1995, Stanghellini+2002, Pottasch +2010)
  - progenitor mass  $0.8 \sim 3 M_{\odot}$  : **round, elliptical**
  - **progenitor mass  $3 \sim 8 M_{\odot}$  : bipolar**



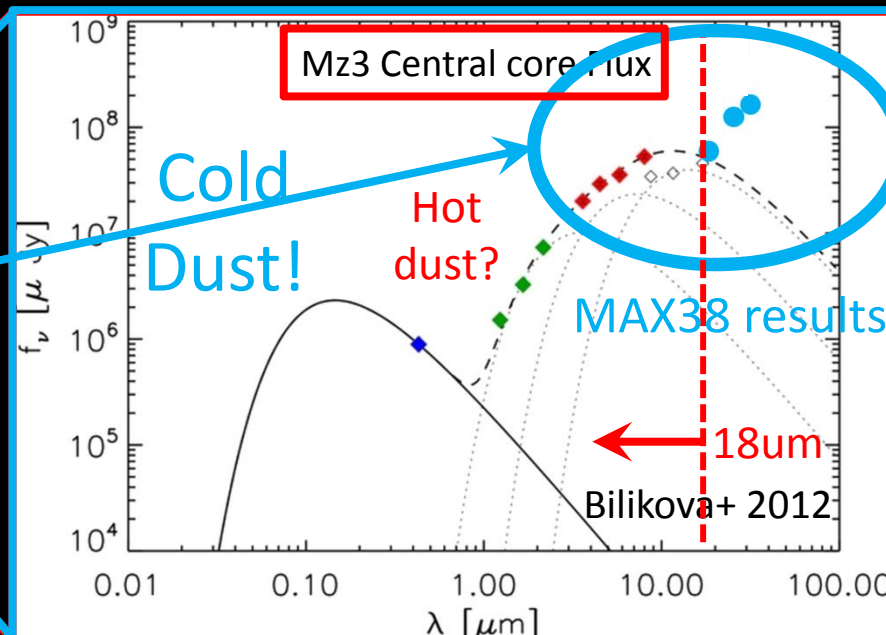
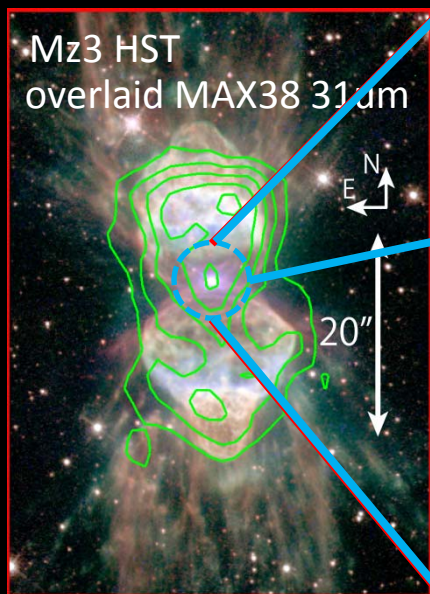
→ Massive AGB 期の質量放出とダスト生成を BPNeで調べる

# 双極状惑星状星雲 (Bipolar PNe)

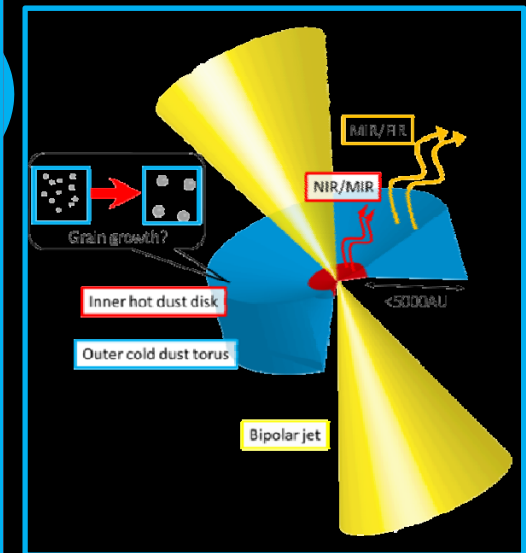
- SED: 2つのピーク, cold ダスト成分が卓越
- cold ダスト: 総ダスト質量の大半を占める  
分布は不明だった



- MIMIZUKU/TAO 前身装置 MAX38/miniTAO 1m  
の 30 μm帯観測によってcold ダストの  
空間分布は中心集中している事が明らかになった



90 K ダストーラス  
 $M_{\text{dust}} = 2.2 \times 10^{-3} M_{\odot}$

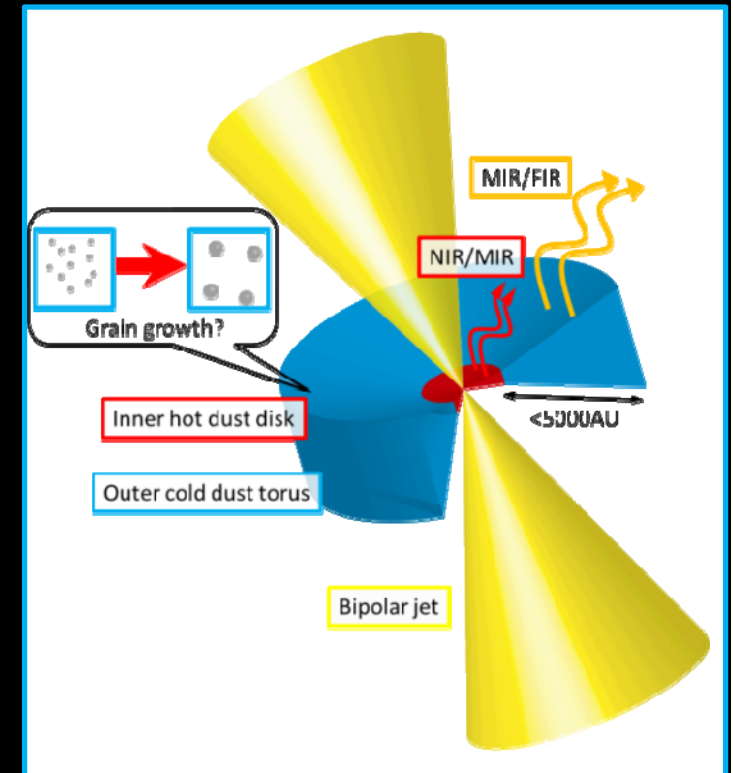


# BPNe 質量放出とダスト形成

- Bipolar PNe massive warm ダストトーラス
  - Compact な空間分布
  - temp:~100K, mass :>10<sup>-3</sup>M<sub>⊙</sub>, torus angle:>20deg
  - (小質量&大質量星とは異なる) 赤道面方向への強い質量放出

→ どこで, どの様な種類のダストが, どの位生成されたか?

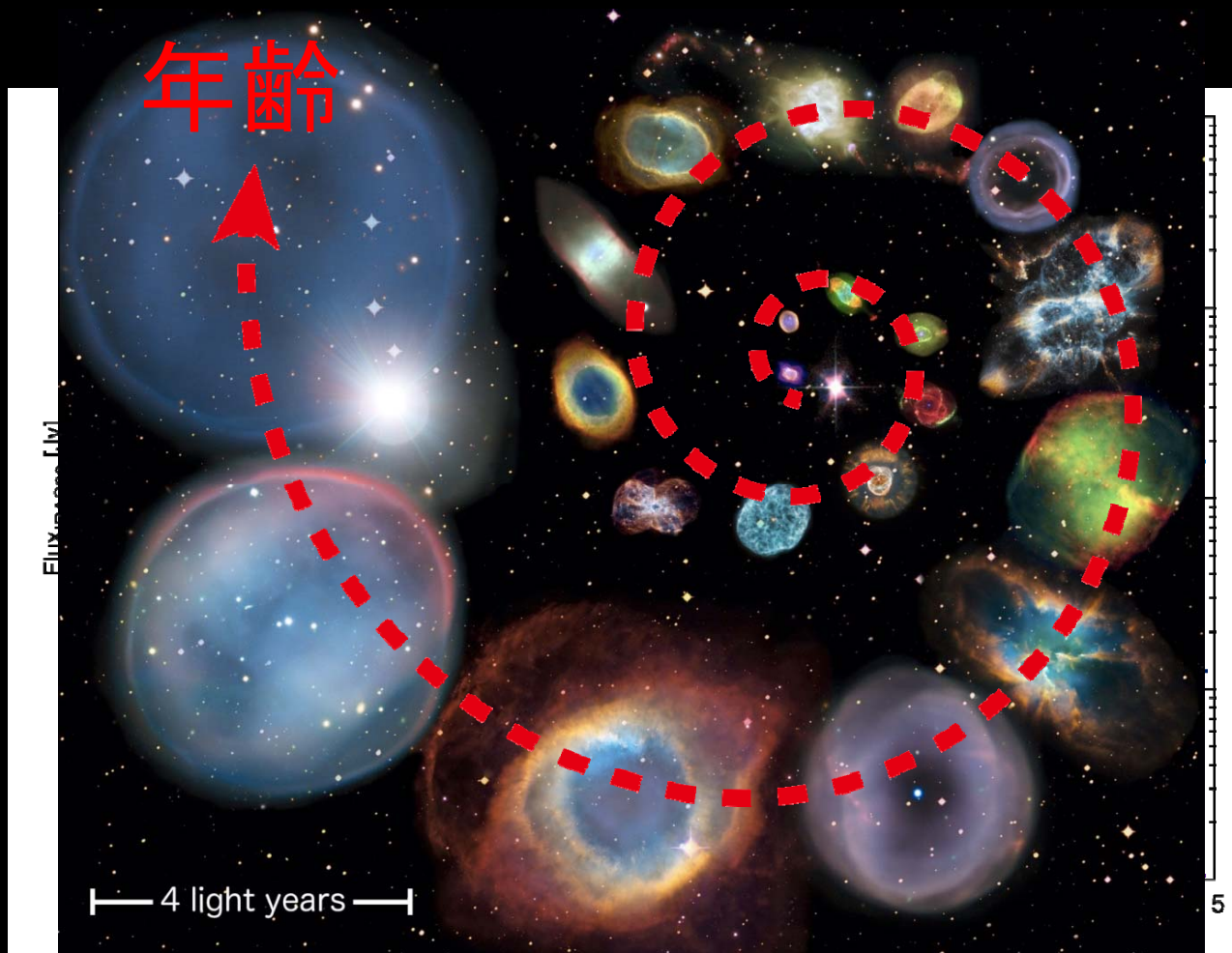
- どこで: 高空間分解観測
  - ダスト種: MIR 分光観測
  - どの位: 高精度測光観測
- MIMIZUKU/TAO 観測が最適



# Bipolar PNe dust torus 観測 by MIMIZUKU

- MIMIZUKU で cold ダストを空間分解可能なBPNe: **74**
  - **74** / 3288 天体 (Our galaxy PNe 3288 cf.Paker+2016, BPNe 82 cf.Corradi+1995)
  - bipolar like PNe, 南天 airmass < 2.0

- ダスト生成と質量放出の理解
  - ダストトーラス構造の詳細
  - 赤道面の強い質量放出機構の詳細
  - ダストトーラス・ダストの進化







# MIMIZUKU and ALMA synergy



- ~100K ダスト熱放射成分の検出
  - Mz3 flux 1/100 を想定

	波長 [ $\mu\text{m}$ ]	Flux [mJy]	S/N [ $\sigma$ ]	PWV [mm]	空間分解能 [arcmin]	積分時間 [min]
MIMIZUKU	31.7	1600	10	1.2	1.0''	0.5
12m array	350 (band10)	240	10	1.2	0.01-0.9''	0.3
TP array	350 (band10)	240	10	1.2	0.01-0.9''	220

- ダストトーラスの詳細な構造/温度構造を見るには ALMAは大変良い
  - Total flux (広がり成分) を測定するのは (高測光精度が可能な) MIMIZUKU が良い
  - あまり長波長になると, free-free emission が混入する可能性がある
- ALMA と MIMIZUKU/TAO は相補的な関係
    - より過去の質量放出 (外側の低温ダスト) の探索
    - ガス輝線観測による構造の詳細な Kinematics 調査

# まとめ

- 中質量星の質量放出現象の理解は bipolar PNe MIR観測が重要
  - MIMIZUKU/TAO
- ダスト生成と質量放出の理解
  - $< 100\text{K}$  のダスト高空間分解観測が重要
  - MIR観測での測光精度も重要
- Bipolar PNe: 82 / 3288 天体
  - MIMIZUKU 観測可能 : 74 / 3288
- MIMIZUKU/TAO & ALMA は相補的観測
  - Kinematics は ALMA がサポート
  - ただし, 長波長に行き過ぎてもダメ