

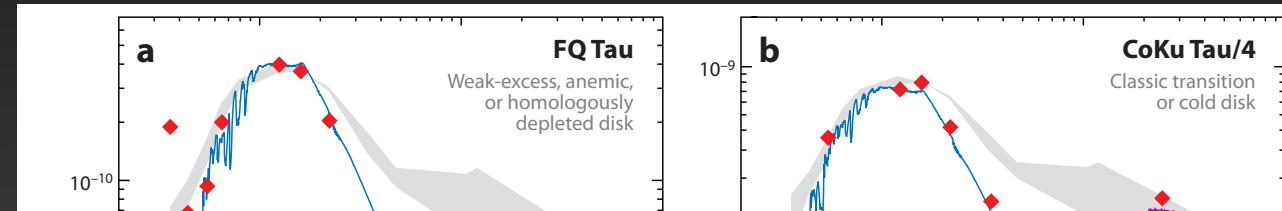
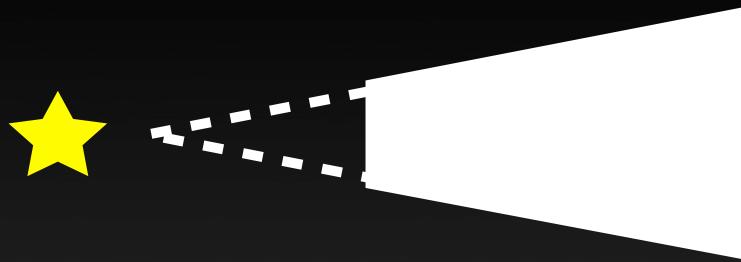
遷移段階円盤Sz91のサブミリ波および近赤外線を用いた 高分解能観測

塚越 崇 (茨城大学)

百瀬宗武(茨城大), 橋本淳(U. Oklahoma), 工藤智幸(NAOJ),
S.Andrews(CfA), 斎藤正雄(JAO/NAOJ), 北村良実(JAXA),
大橋永芳(NAOJ), D.Wilner(CfA), 川辺良平(JAO/NAOJ),
SEEDS project member

Transition Disk

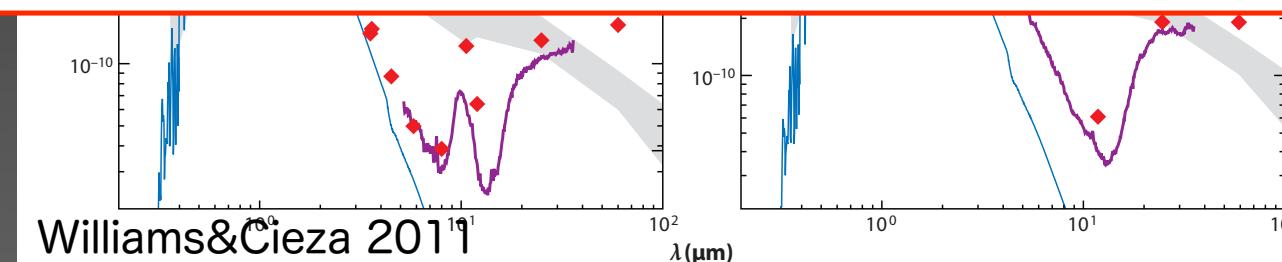
- 近/中間赤外線フラックスの減少  
 - 円盤内側の穴構造を示唆
 - 円盤進化・惑星系形成の理解へのキーとなる天体



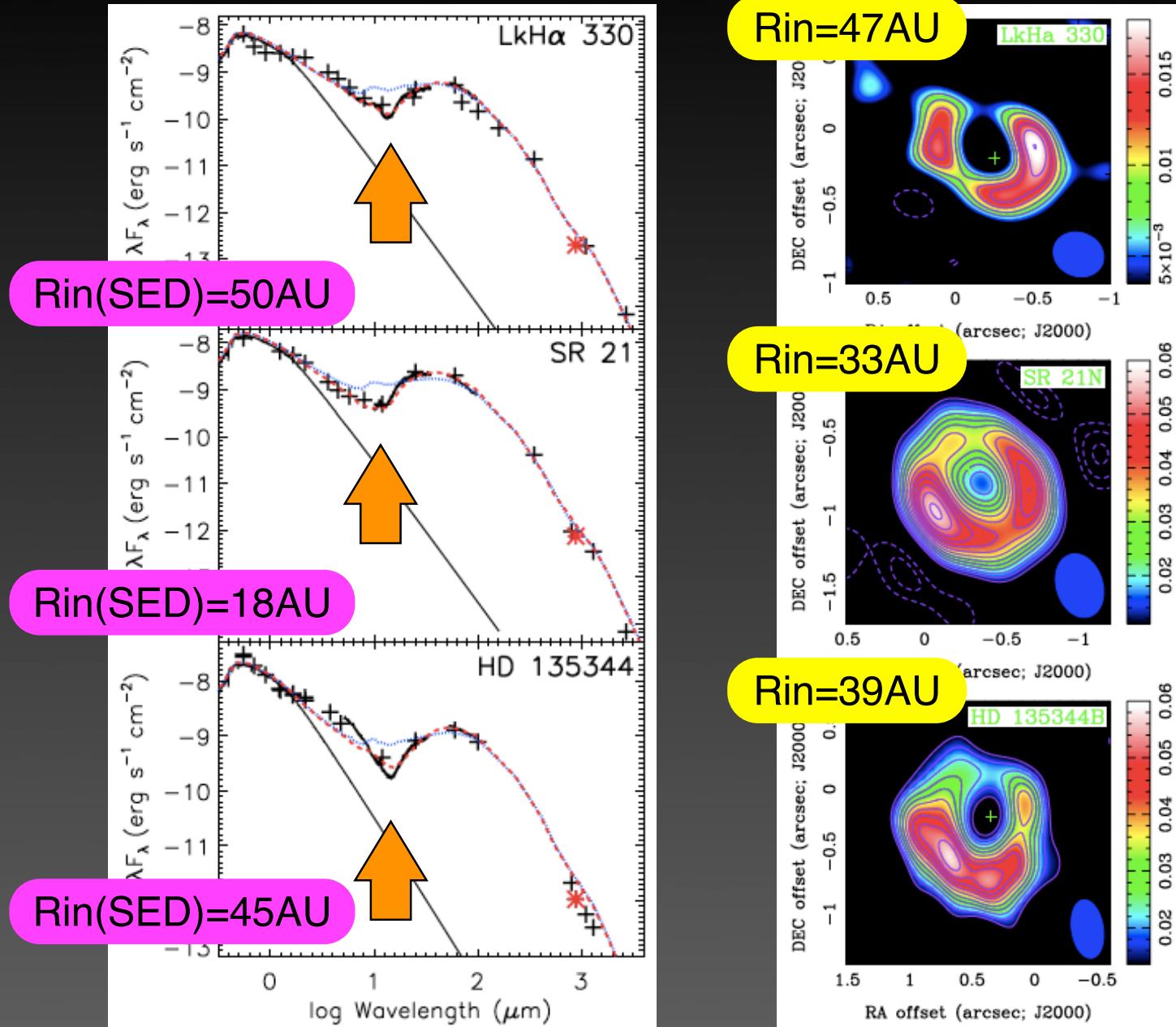
様々な理論モデルが提唱

↓

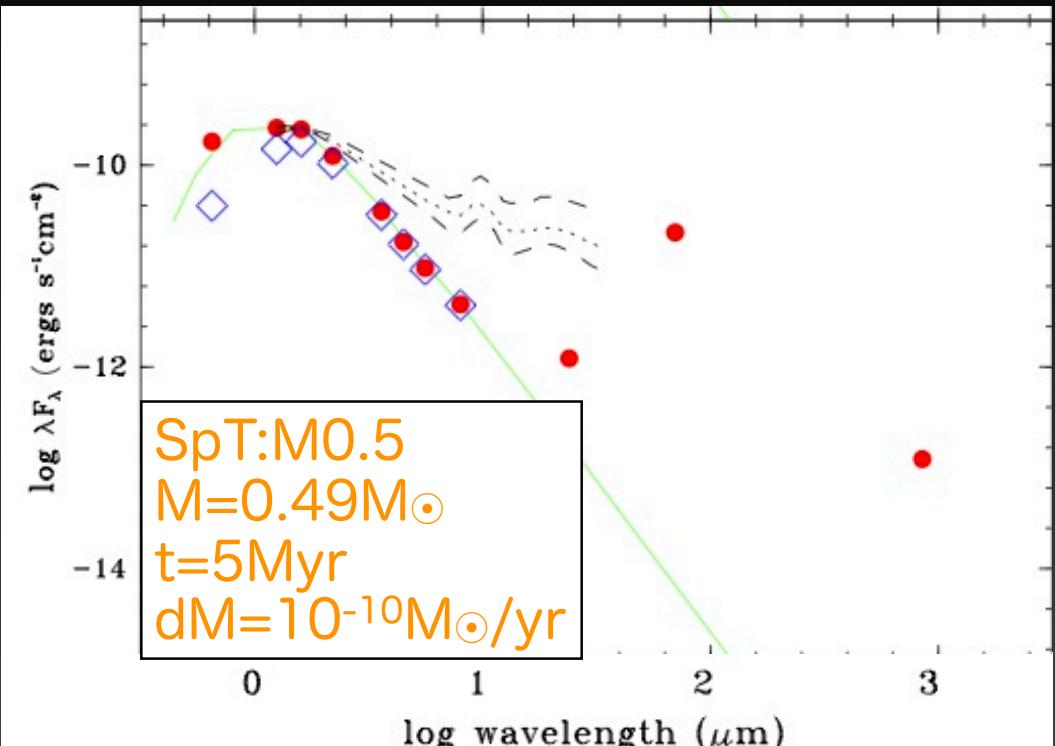
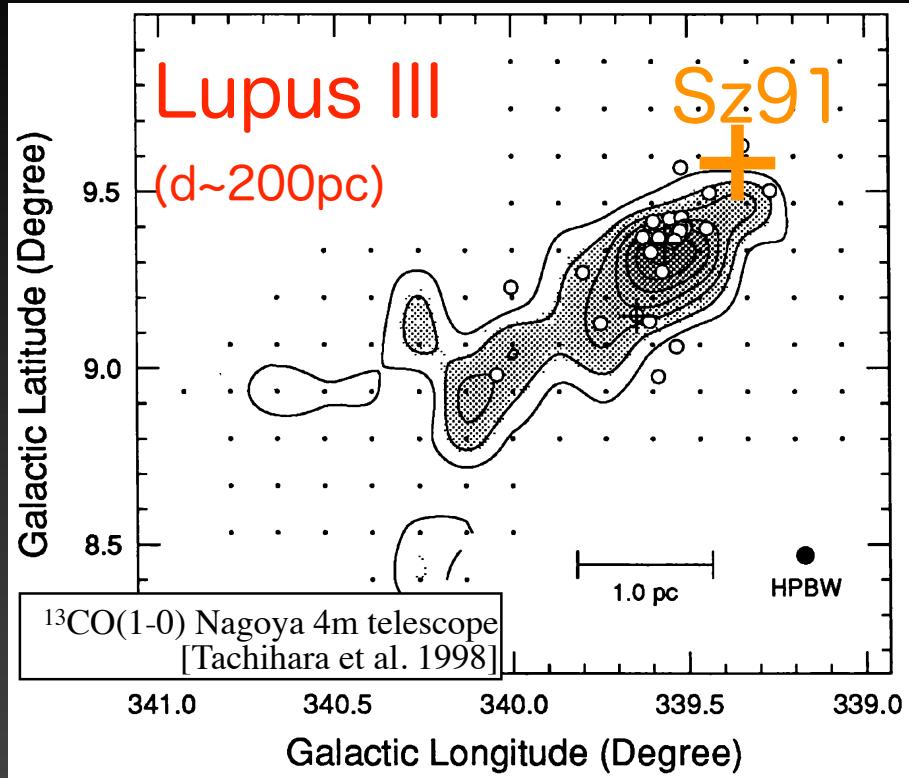
円盤の密度/温度分布と速度構造を 高分解能観測で明らかにする事が重要



SED v.s. Direct Imaging



Transition Disk Obj.: Sz91



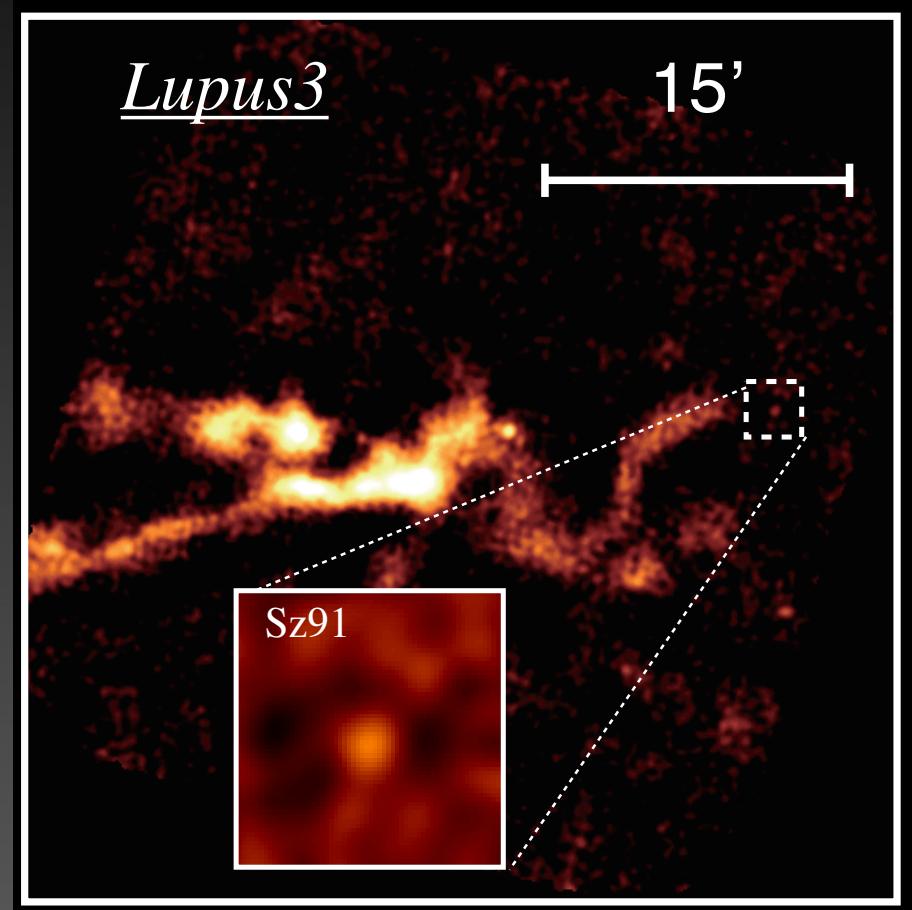
- 特徴的なSED [Romero+12]
 - IR超過無し - Class III
 - ~20μmに大きなdip
 - ~100μmに超過

- 大きな穴構造
- cold dustが多く残存

Transition Disk Obj.: Sz91

- AzTEC/ASTE 1.1mm survey[Kawabe+13]
 - 近傍星形成領域のマッピングサーベイ(Lup, Cha, Oph)
 - 分解能~30”
- Sz91@1.1mm
 - 27.2 ± 6.0 mJy
 - 観測領域内214個class IIIの中で唯一の検出

円盤構造は?
-> 高分解能観測へ

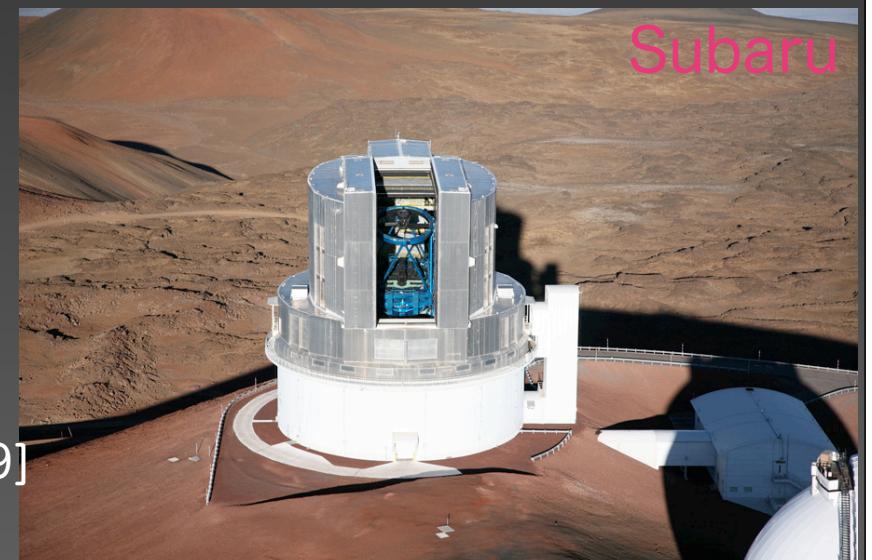


Observation

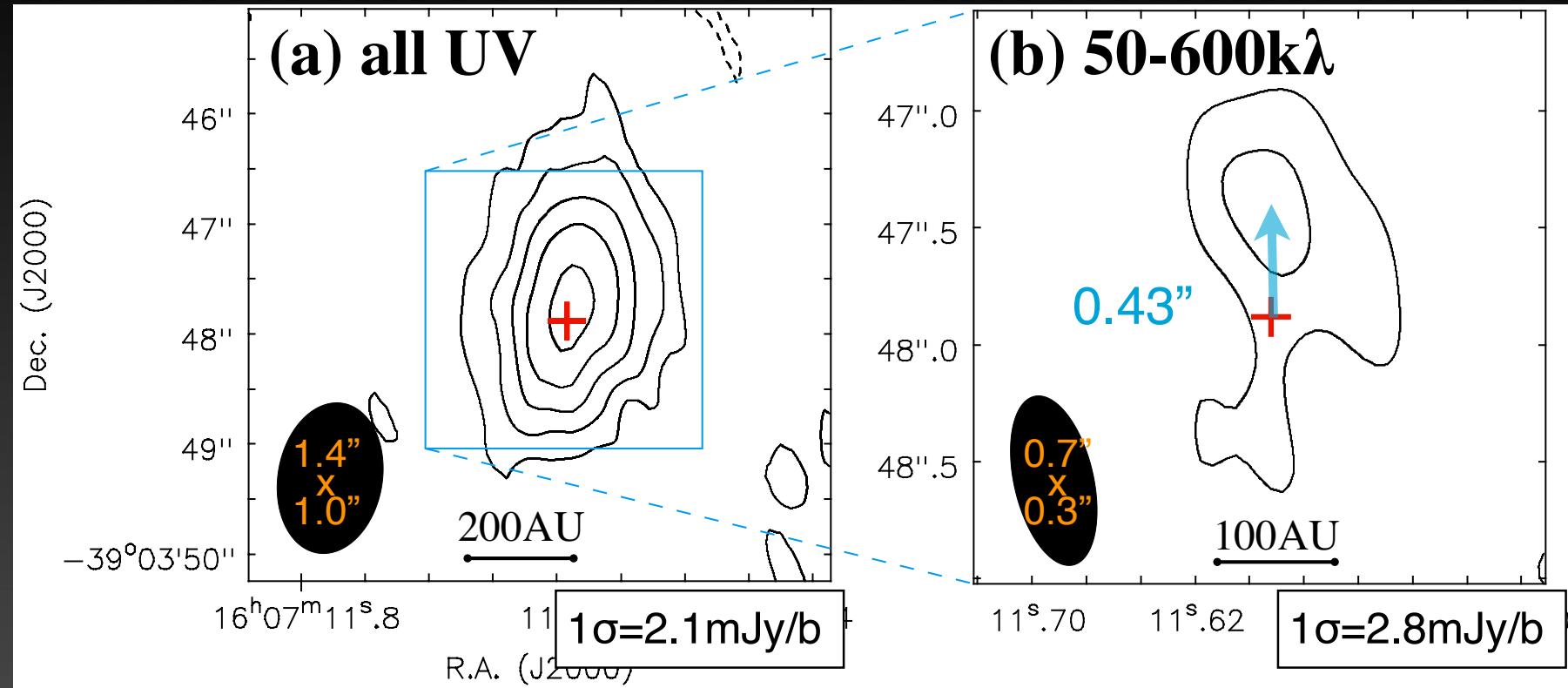
- Submillimeter Array
 - 345GHz continuum: Compact and VEX
 - 0.5-1.5" resolution
 - CO(3-2) line: Compact
 - 2-5" resolution



- HiCIAO/Subaru
 - Ks-band polarized intensity
 - ~0.2" resolution
 - SEEDs project survey [Tamura+2009]



SMA 345GHz連続波



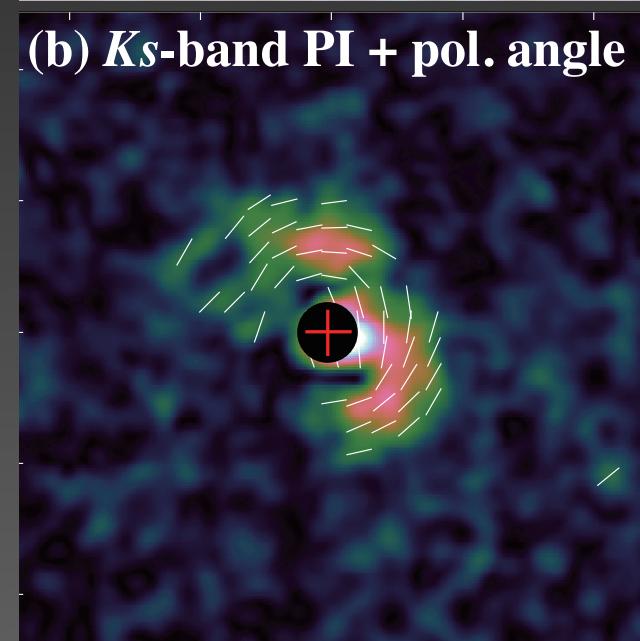
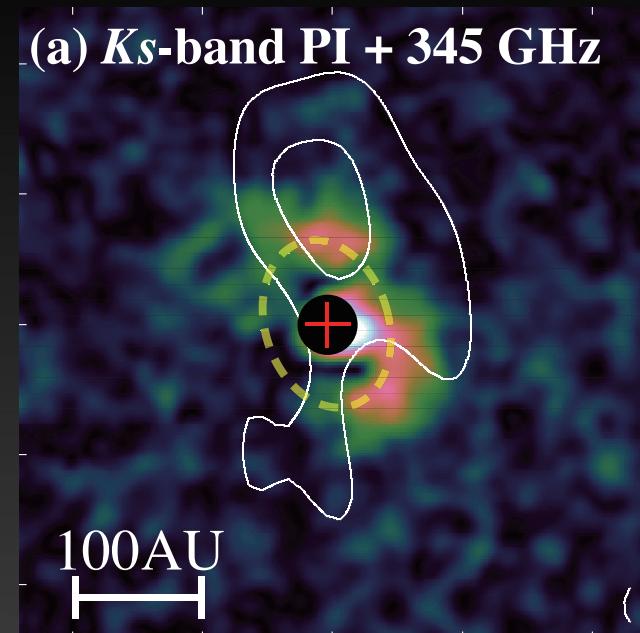
- $F(345\text{GHz}) = 32.1 \pm 3.6 \text{ mJy}$
- ダスト円盤サイズ: $R_{\text{out}} = 170 \text{ AU}$
- 星の位置にピーク無し => ダストのdepletion/clearing

K-band Polarized Intensity(PI)

- 三日月状の放射
 - 偏光角は中心対称に分布
 - サブミリ波放射の内側に分布
- 南北にギャップ構造
 - inner holeの存在を示唆
 - サブミリ波とconsistent

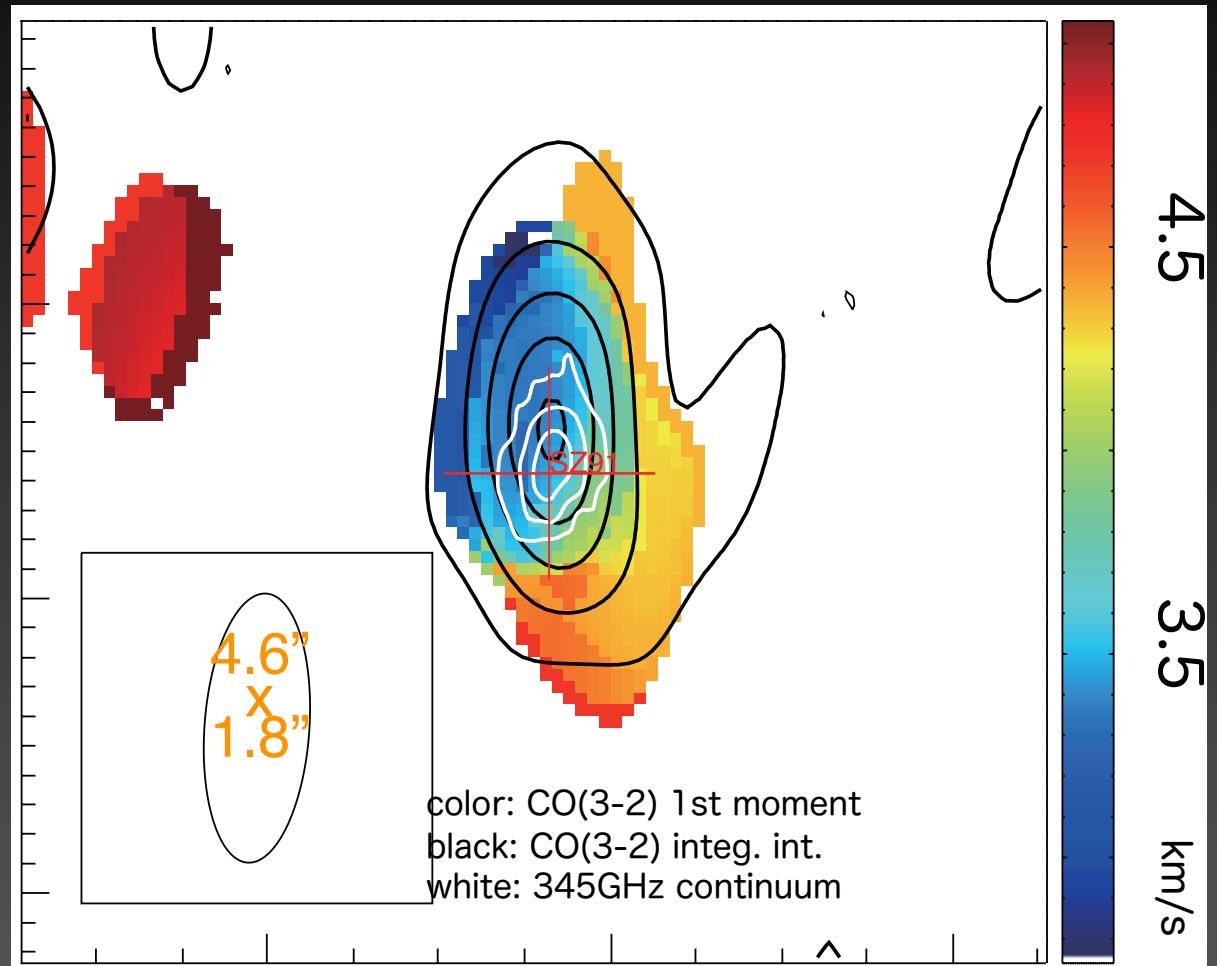
円盤内側での散乱光

- $R_{in}=65\text{AU}$, inc.=40deg.
 - 楕円フィッティングより



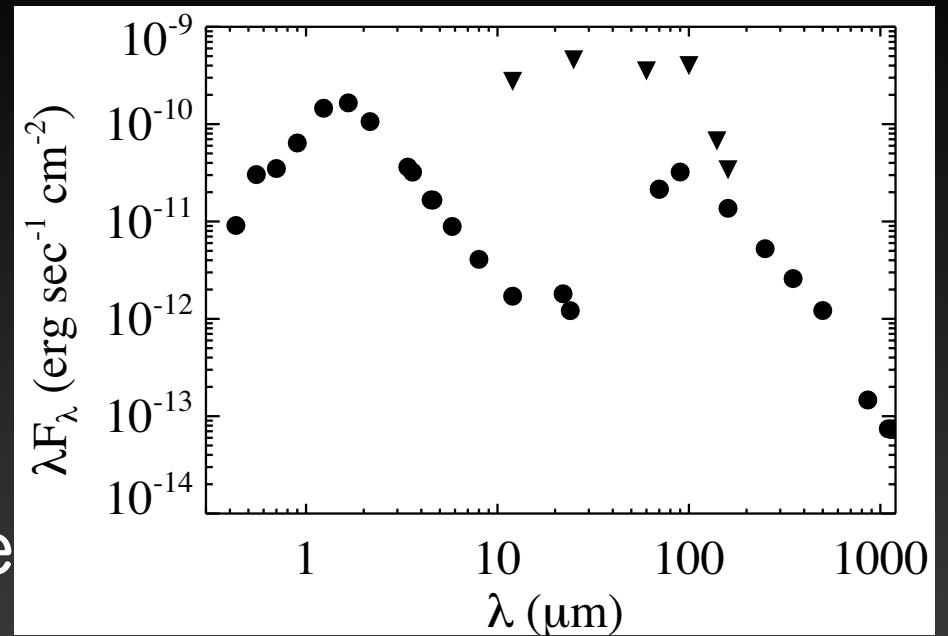
SMA CO(3-2)輝線

- 中心星付近にピーク
- 南北方向に速度勾配
 - ダスト円盤長軸方向と consistent
- 回転円盤を示唆
 - $R_{\text{out}}=420\text{AU}$
 - 1.5-6.1 km/s



円盤構造: SEDフィッティング

- モデリング
 - 2コンポーネントモデル
円盤 + inner hot component



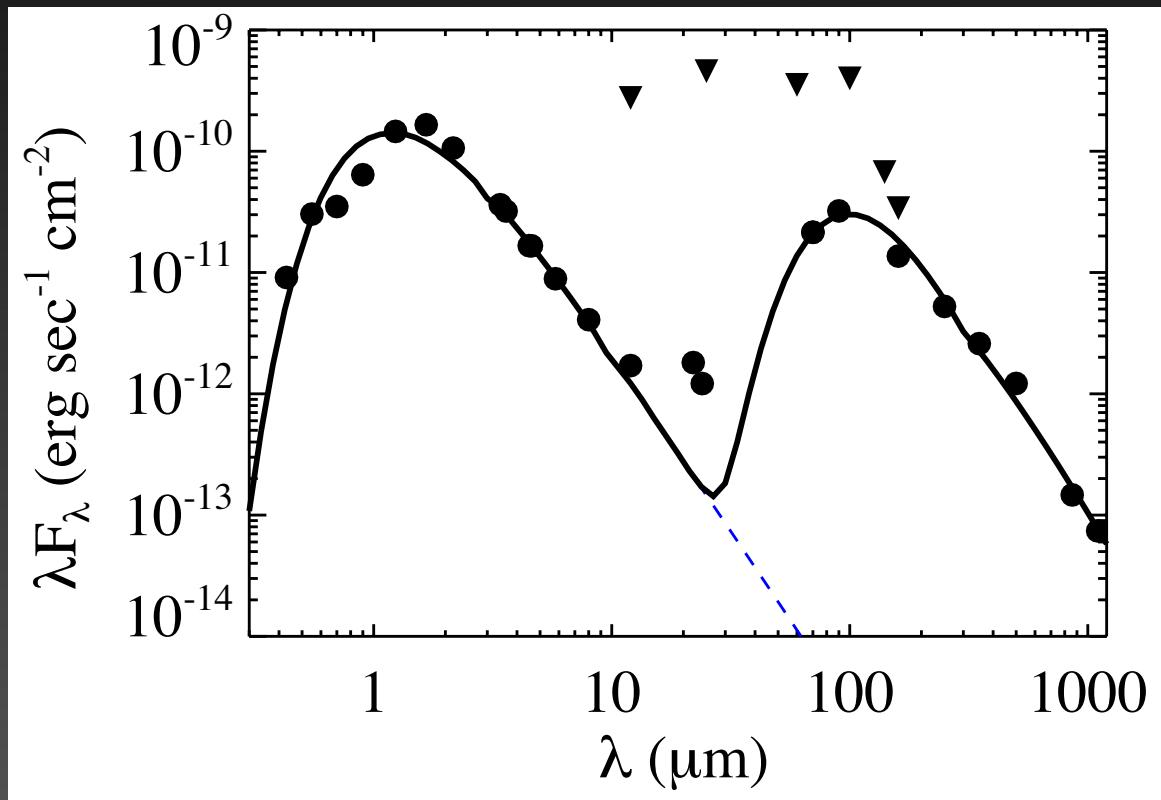
- 円盤モデル: power-law profile
[Kitamura+02]

- 柱密度分布: $\Sigma_{\text{in}}(r/R_{\text{in}})^{-p}$
 - 温度分布: $T_{\text{in}}(r/R_{\text{in}})^{-q}$
 - g/d比: 100:1
 - κ_ν [Adams+1988]
 - hot component: 单温graybody
- $$S_\lambda = B(\lambda, T_c)[1 - \exp(-\kappa_\nu \Sigma_c)] \times \Omega_c$$

Parameter	Fixed Value
$M_\star (M_\odot)$	0.49 ¹
A_V (mag)	2.0 ¹
T_{eff} (K)	3724 ¹
R_{in} (AU)	65
R_{out} (AU)	170
i (degree)	40.0
p	1.5
q	0.5

円盤構造: SEDフィッティング

- 円盤放射で $>70\mu\text{m}$ データを再現

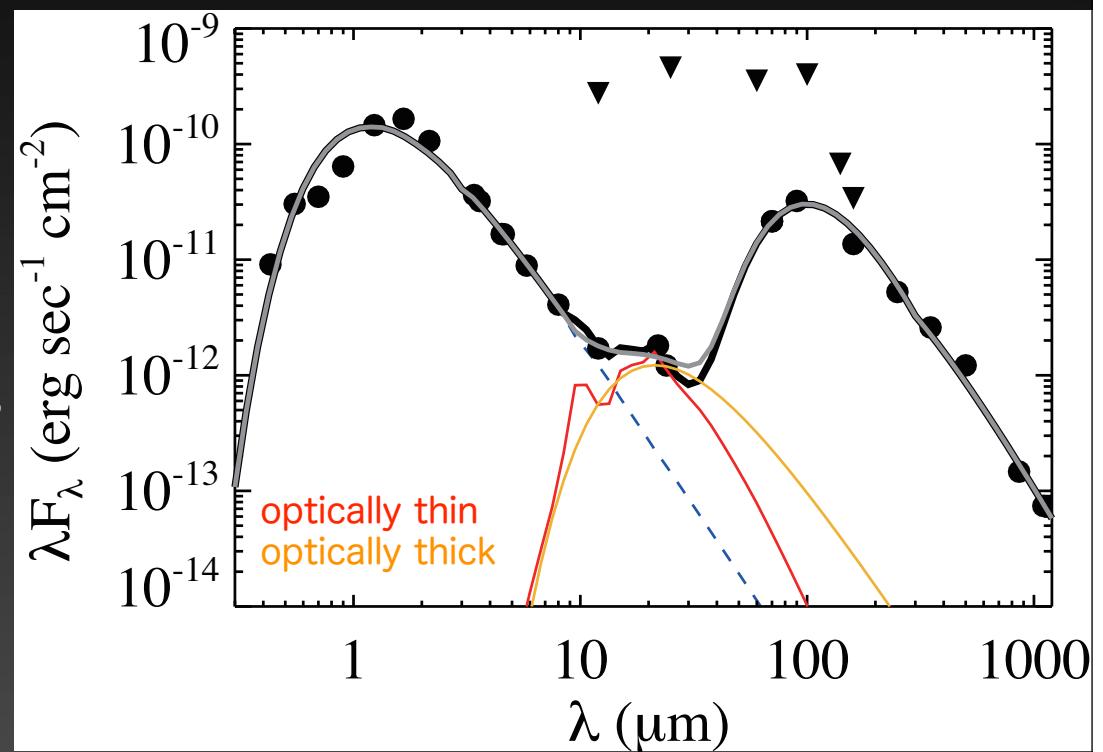


g/d=100:1	
Parameter	Value
Stellar parameters	
R_* (R_\odot)	1.29 ± 0.03
T_* (K)	4148 ± 55
L_* (L_\odot)	0.49 ± 0.02
Cold outer disk	
T_{in} (K)	32.5 ± 3.9
Σ_{in}^{-1} (g cm ⁻²)	0.67 ± 0.03
β	0.5 ± 0.1
M_{disk}^{-1} ($10^{-3} M_\odot$)	2.4 ± 0.8

(既知の)Transition Diskの中
で最も軽い円盤 [Andrews+2011]

円盤構造: SEDフィッティング

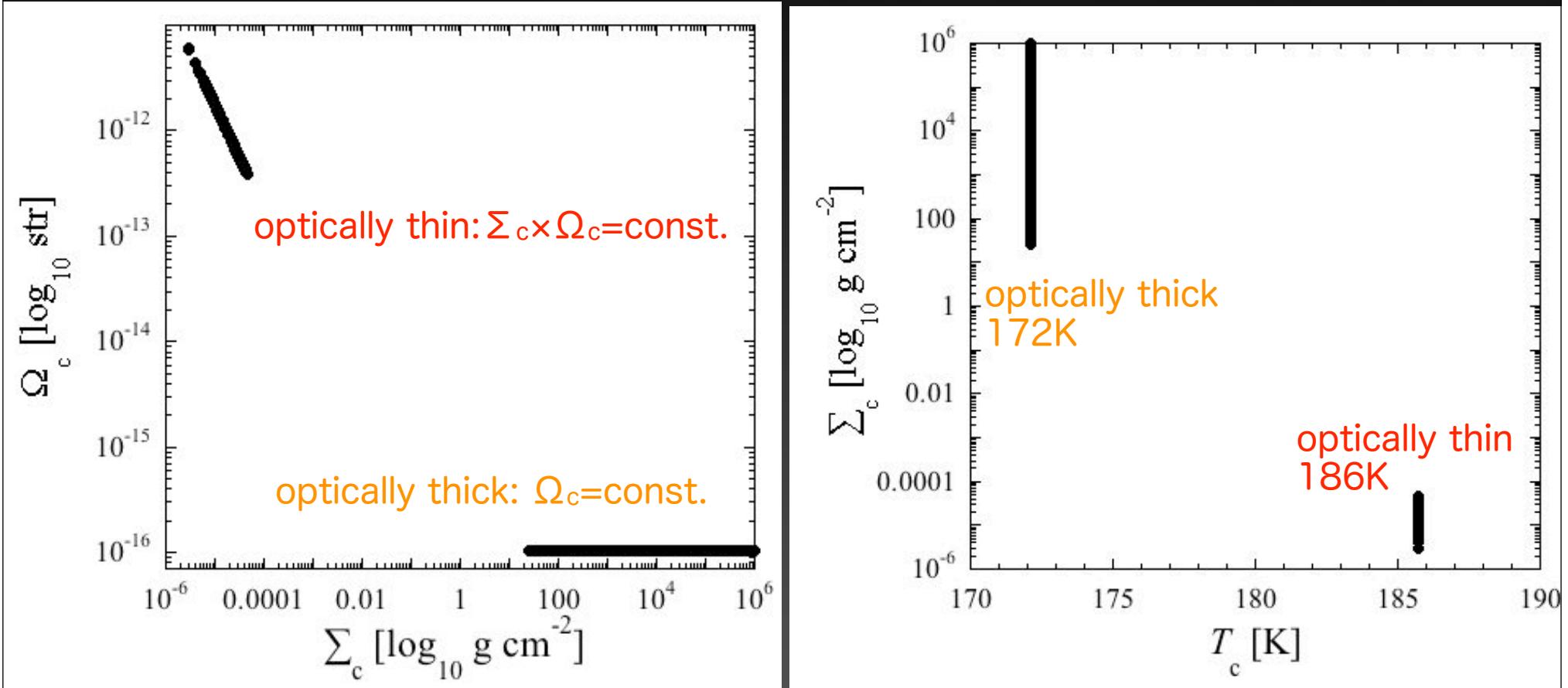
- Hot componentを追加
 - ~20μmデータを再現
- ベストフィットとなる[T_c , Σ_c , Ω_c]を χ^2 平面で探す
 - 初期値を変えて6000 runs



円盤内側(inner hole)にhot dustが存在

Hot component

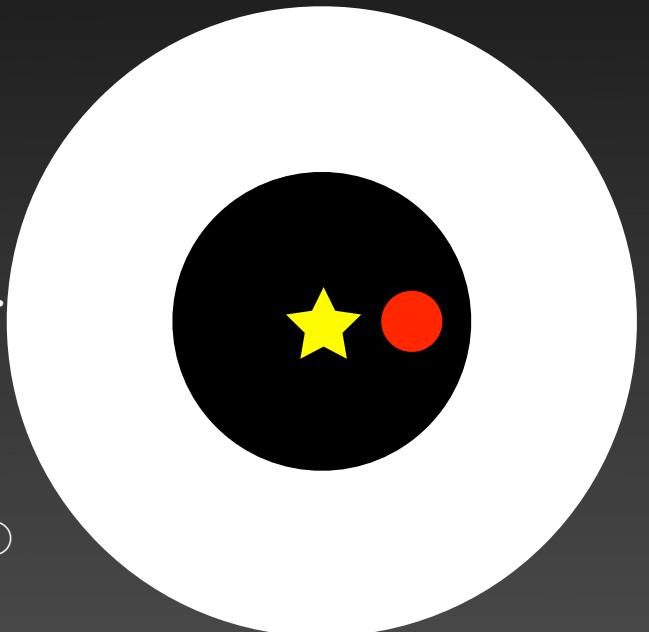
min. χ^2 プロット



- optically thin --- 186K, $M_c=3\times 10^{-9} M_\odot$
- optically thick --- 172K, $M_c>6\times 10^{-7} M_\odot$

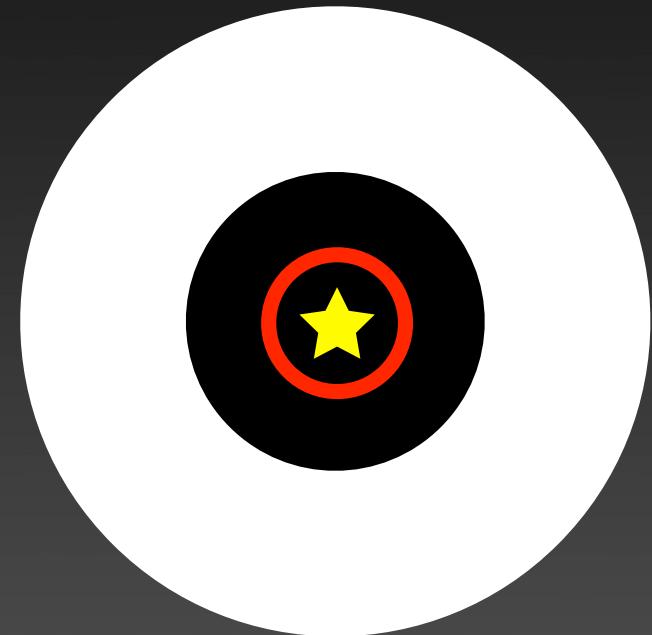
Implications of hot component 1

- 局所的な放射源がinner holeにある
 - 周惑星系円盤
- 光学的に厚い周惑星系円盤とすると [e.g.
D'Angelo+03]
 - 幾何学的に薄い円盤であれば $\Omega_c \rightarrow R \sim 60R_\odot$
 - 3-65AUのヒル半径より十分に小さい
 - $T_c = 172\text{ K}$



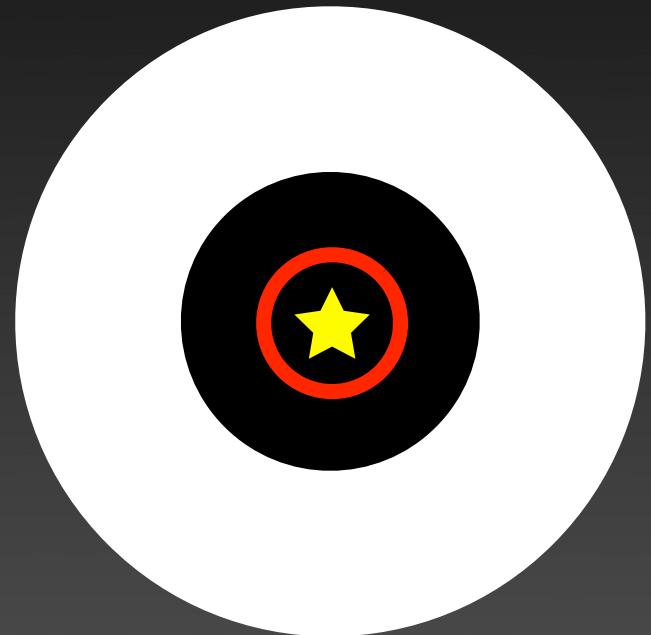
Implications of hot component 2

- 中心星に照らされたリング構造
 - 单温graybodyによるSED再現
=>広がった円盤ではなく‘リング’構造
 - $T_c \rightarrow$ リングの位置 [円盤温度分布を外挿]
 - $R=2.0\text{AU}$ (optically thin: 186K)
 - $R=2.3\text{AU}$ (optically thick: 172K)
 - $\Omega_c \rightarrow$ リングの幅
 - optically thin: $dR>53\text{AU}$
 - optically thick: $dR=0.01\text{AU}$



Implications of hot component 2

- 中心星に照らされたリング構造
 - 单温graybodyによるSED再現
=>広がった円盤ではなく‘リング’構造
 - $T_c \rightarrow$ リングの位置 [円盤温度分布を外挿]
 - $R=2.0\text{AU}$ (optically thin: 186K)
 - $R=2.3\text{AU}$ (optically thick: 172K)
 - $\Omega_c \rightarrow$ リングの幅
 - optically thin: $dR>53\text{AU}$
 - optically thick: $dR=0.01\text{AU}$



$R=2.3\text{AU}$ にある光
学的に厚いリング

Summary

- Transition disk(TD)天体Sz91の高分解能観測
 - submm, NIR
 - 円盤構造を空間分解
 - 大きいinner hole(~65AU)
 - 既知のTDの中では最も軽い円盤
 - 穴内にhot dustが残存
 - 周惑星円盤のような局所的な放射源
 - 2.3AUにある光学的に厚いリング
 - ALMA cycle1による高分解能&高感度観測へ
 - 穴内におけるダストとガスの分布
 - ガスの運動
- 
- 進化したTD?