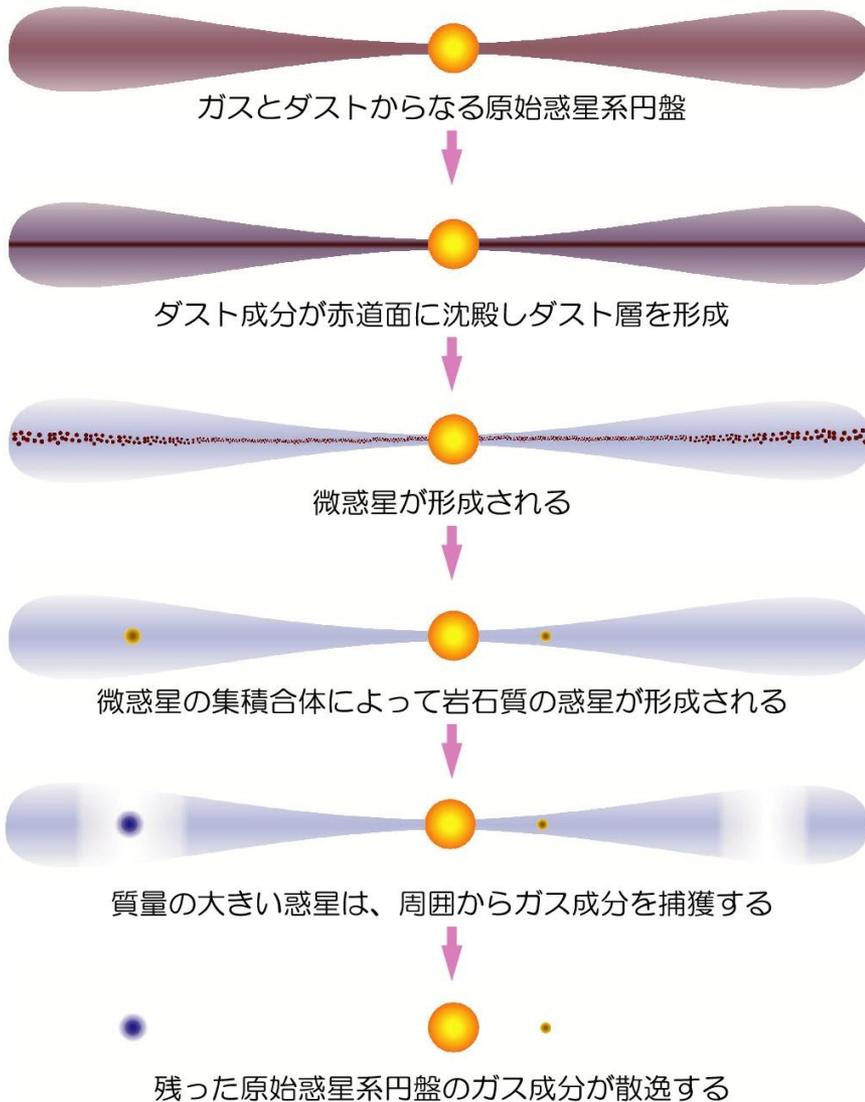


高コントラスト惑星探査カメラを用いた 原始惑星系円盤観測の可能性

武藤恭之

(工学院大学)

惑星系形成の標準的なシナリオ（京都モデル）



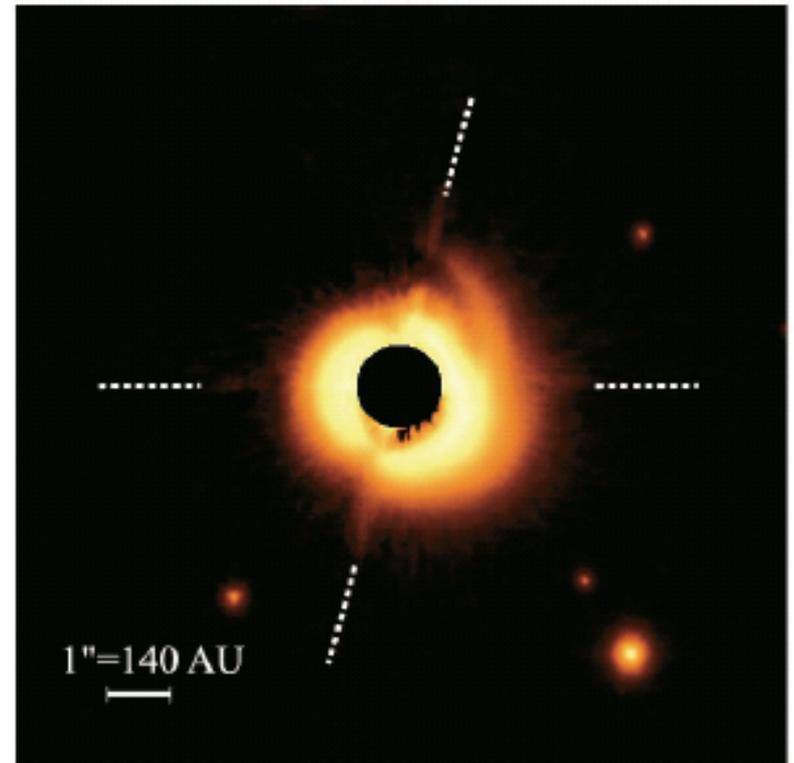
惑星形成の標準モデル

- コア集積モデル
– 京都モデル
– ダスト(μm)が出発
→ 微惑星(km)
→ 原始惑星(1000km)
– 「塵も積もれば山となる」モデル

Hayashi et al. 1985

原始惑星系円盤： 惑星系形成の初期条件

- 最小質量円盤
 - 中心に太陽質量程度の星
 - 太陽の1%程度の質量の薄いガス円盤
 - ガスの1%程度の質量のダスト
- 観測より、1000万年程度でガスは無くなる
 - この間に惑星系を作らなければならない



Fukagawa et al. 2006

原始惑星系円盤観測の基本

赤外ではoptically thick
電波ではoptically thin

~100AU
赤外線散乱光

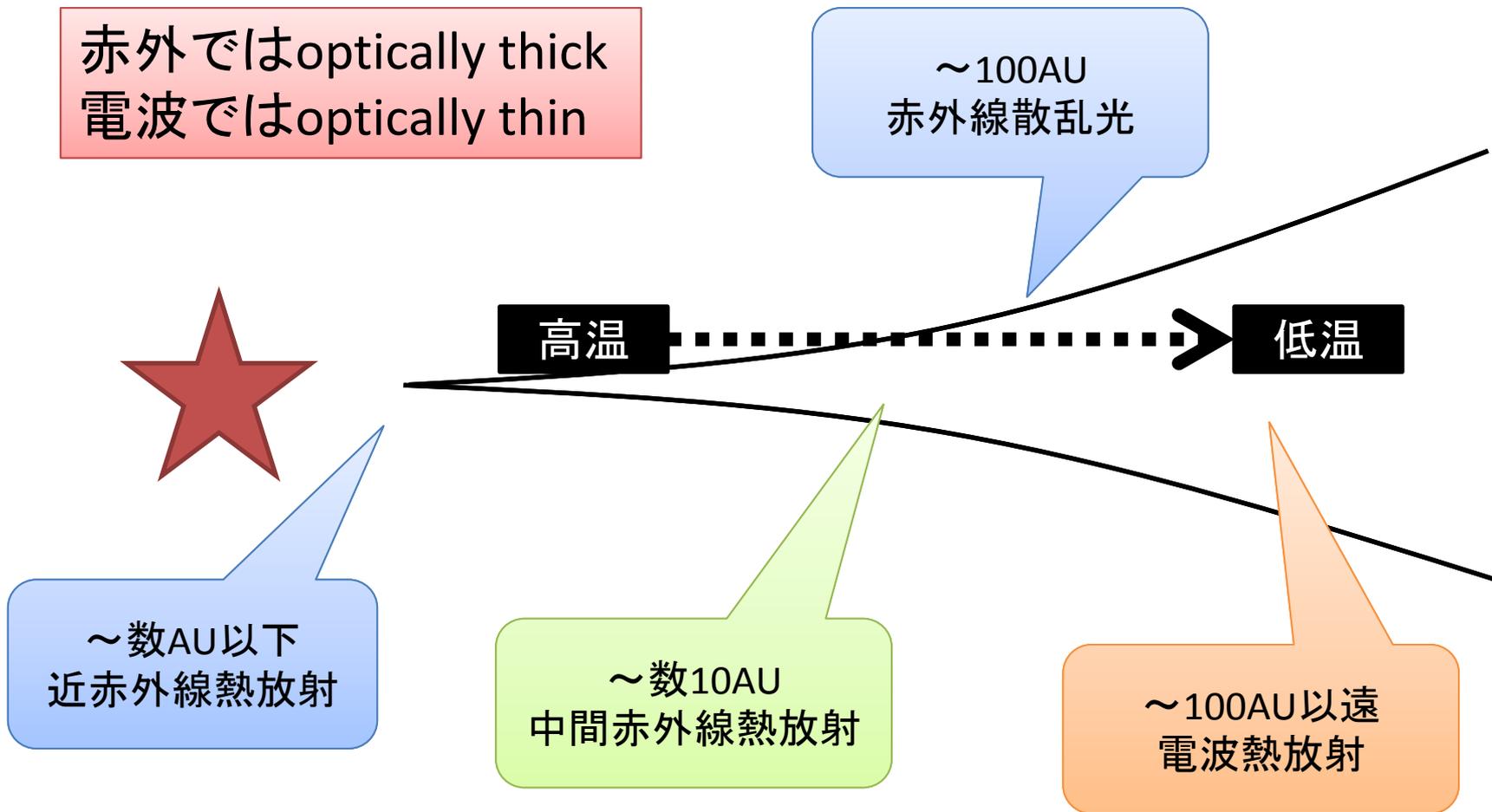
高温

低温

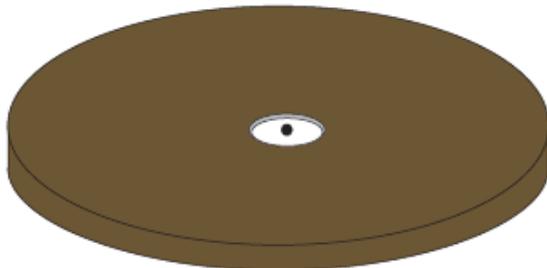
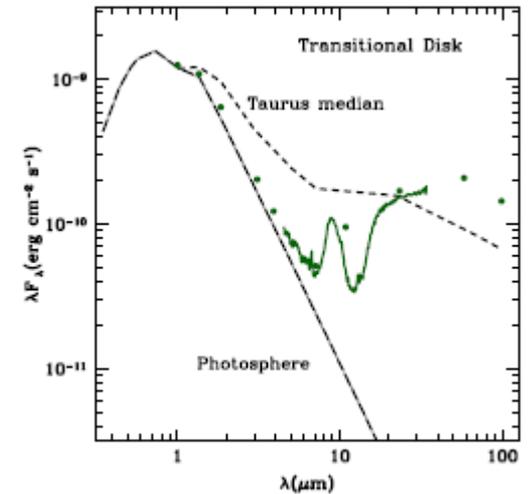
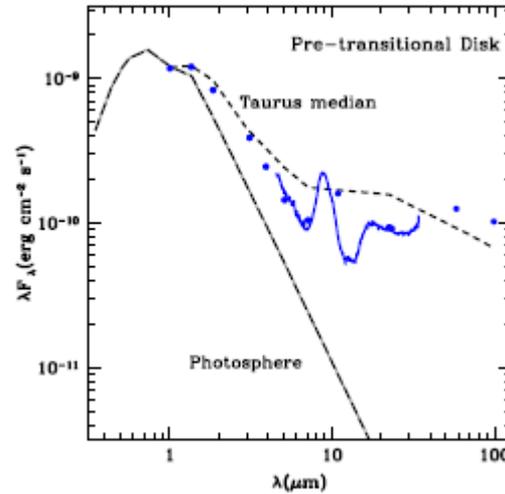
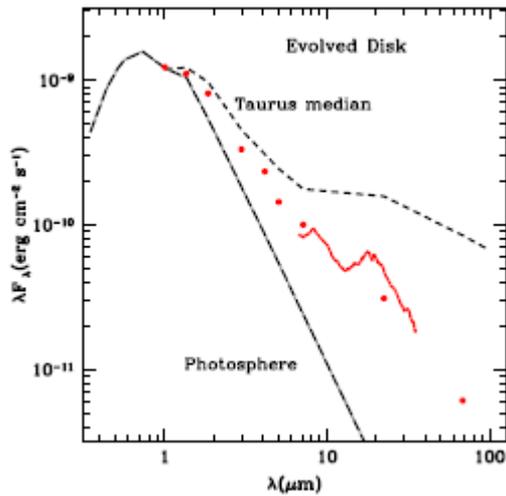
~数AU以下
近赤外線熱放射

~数10AU
中間赤外線熱放射

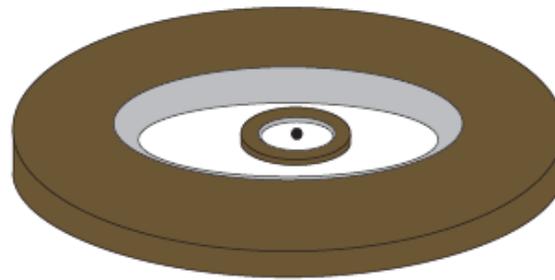
~100AU以遠
電波熱放射



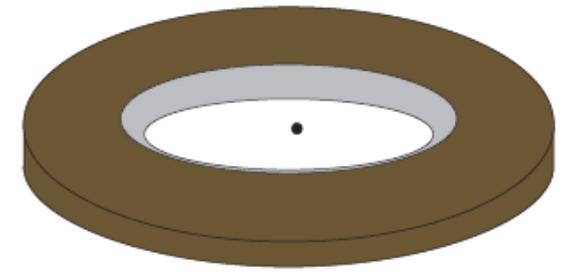
遷移円盤：SEDと円盤の描像



Full Disk



Pre-Transitional Disk



Transitional Disk

遷移円盤天体は円盤の進化過程を知る上で重要

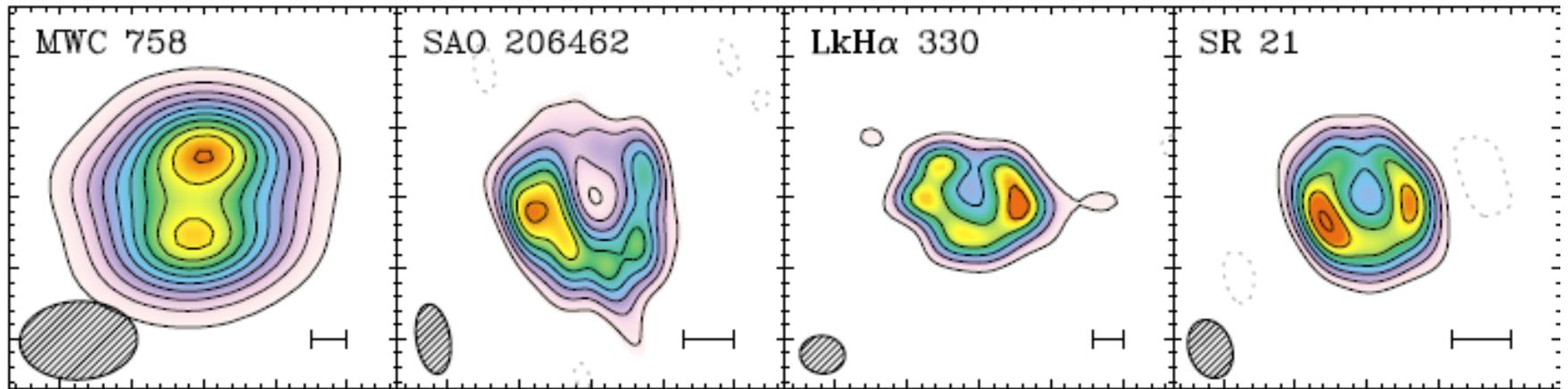
穴あき円盤はどうやってできるか？

- 中心星近傍の方が、ダストの成長が早い
 - 小さなダストが無くなっている
- 光蒸発＋円盤の粘性進化で、内側のガスが（ダストもろとも）無くなっている
- 何らかの惑星が存在し、外側からのガスの流れをせき止める
 - 物理プロセスそのものも、未解決な部分がある

穴の成因は、
円盤進化と惑星形成過程に密接な関係がある

サブミリ波で見えたダストの穴

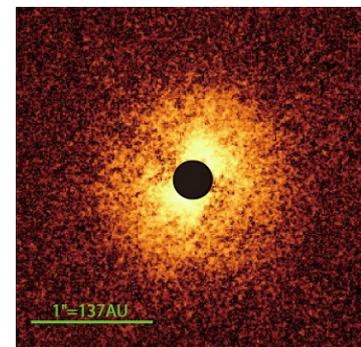
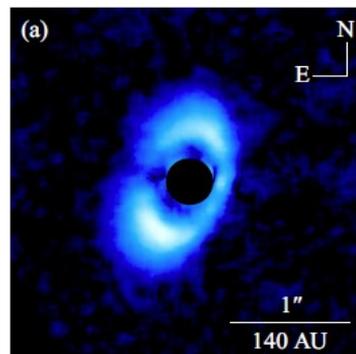
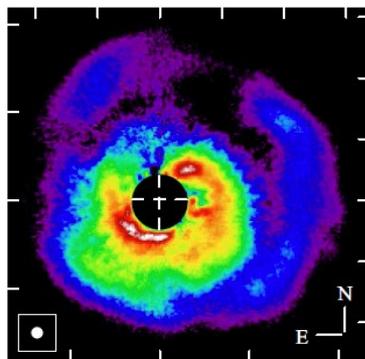
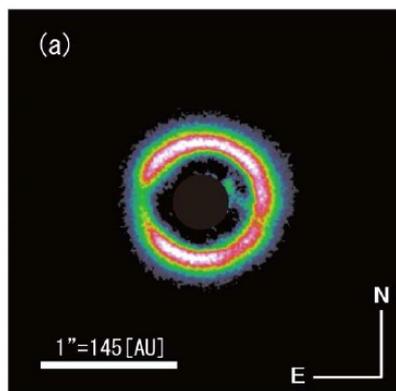
- SMAによる観測で、実際に円盤の中心部でダストが減っていることが分かった
- まさに、円盤の進化途中の姿を捉えている



サブミリのイメージとSEDの同時モデリングにより
穴の大きさや深さを推定

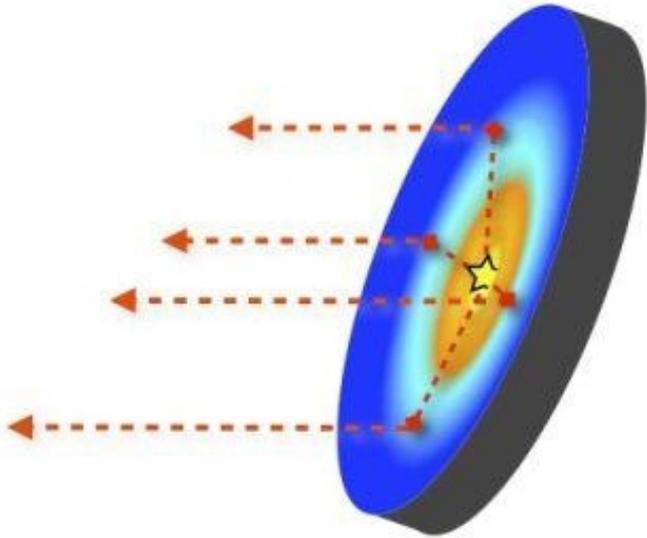
Strategic Exploration of Exoplanets and Disks with Subaru/HiCIAO

- すばる望遠鏡搭載のHiCIAO/AO188を用いた、円盤・惑星直接撮像プロジェクト
- 5年間で120夜観測、もう少しで終了
- 円盤：偏光撮像により、高角度分解能で中心星近傍まで迫れる
- 円盤は、遷移円盤天体を中心に観測



S E E D S

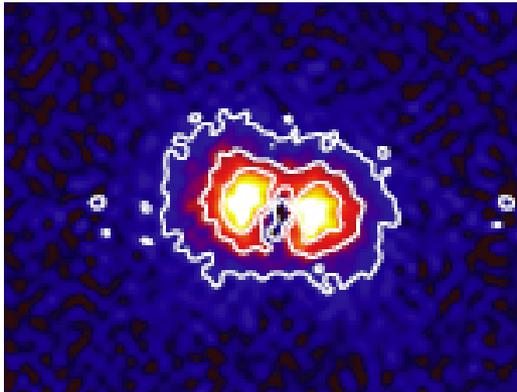
偏光差分撮像



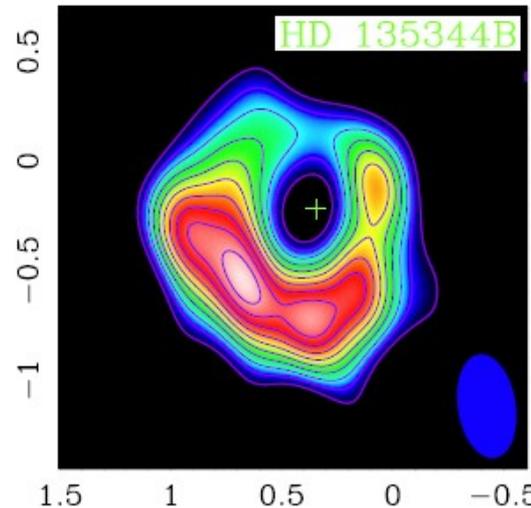
- 円盤散乱光は、偏光している
- 偏光している成分のみを抜き出すことで、中心星の光を抑え、円盤を鮮明に撮像することができる
- 欠点：偏光強度しかわからないので、円盤の構造とダストの情報が縮退

遷移円盤天体 SAO 206462

距離 ~ 140 pc, 中心星質量 $\sim 1.7M_{\text{sun}}$



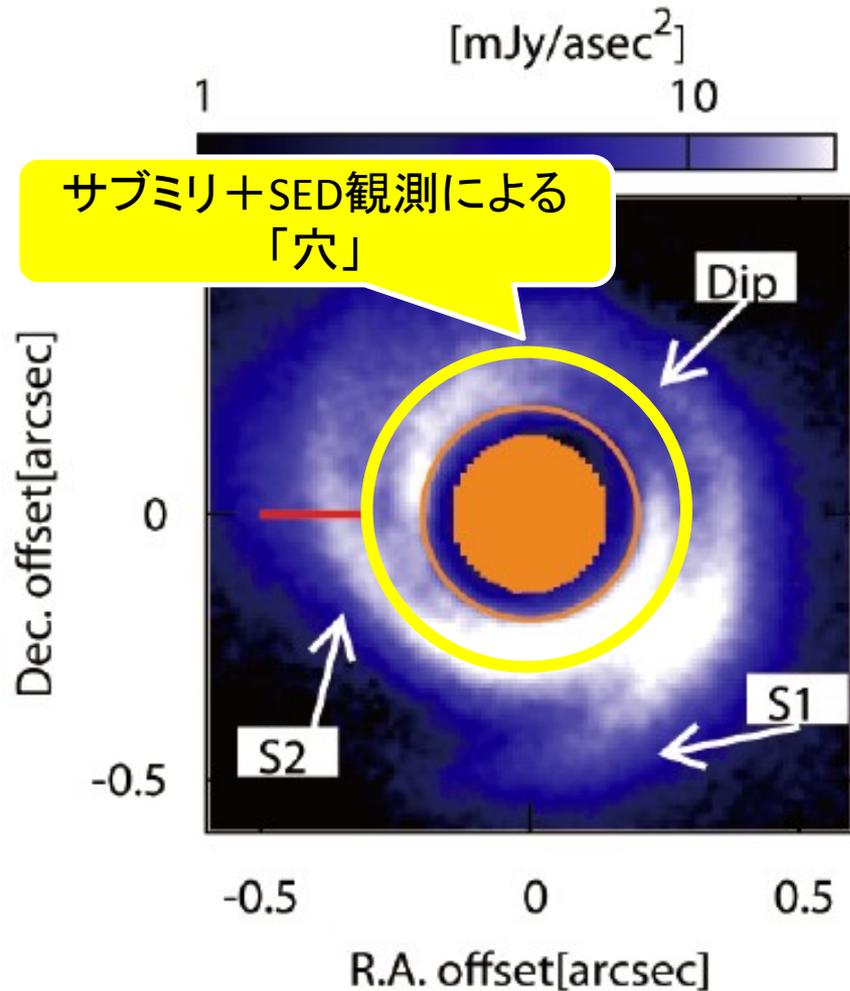
Marinas et al. (2011) @ 12 μm
分解能: $\sim 0.3''$



Brown et al. (2009) @ 880 μm
分解能 $\sim 0.47'' \times 0.25''$

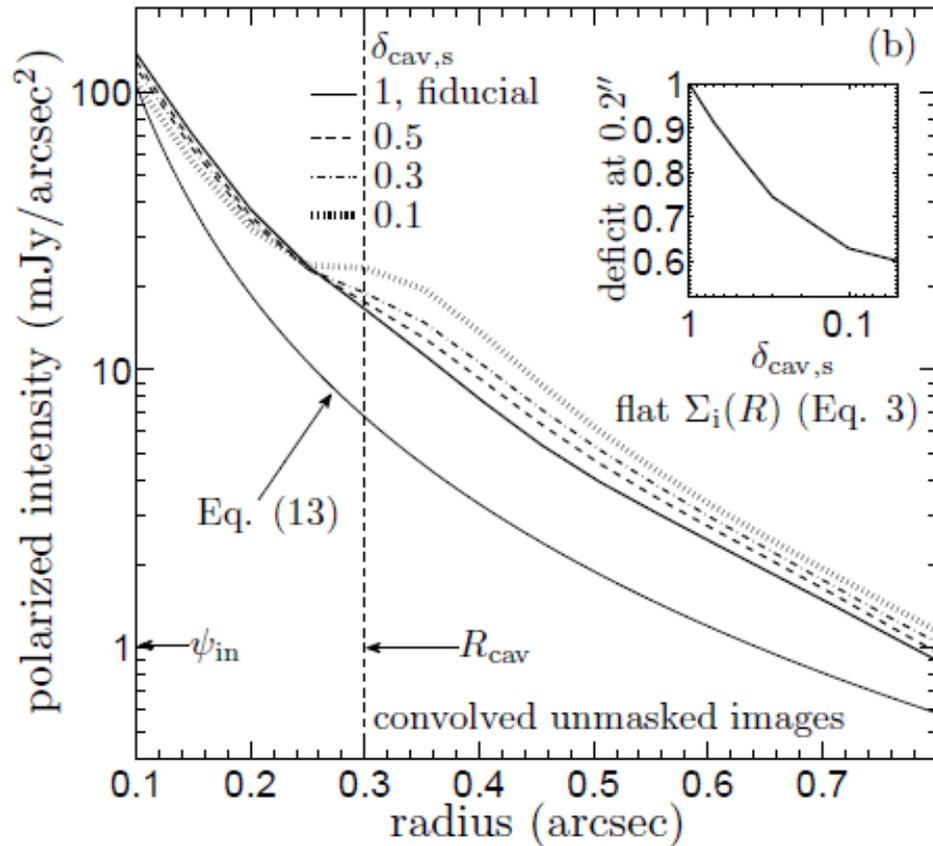
- 円盤構造の非対称性 @ 中間赤外 & サブミリ
- 中心にダストの穴がある
 - $R_{\text{cav}} = 46 \text{AU}$ with $10^{-5.2}$ depletion
 - Andrews et al. 2011

Hバンド偏光強度分布



- 分解能: 0.06秒程度
- 「穴」の部分に散乱光成分
– 46AU~0.3''
- スパイラル状の構造

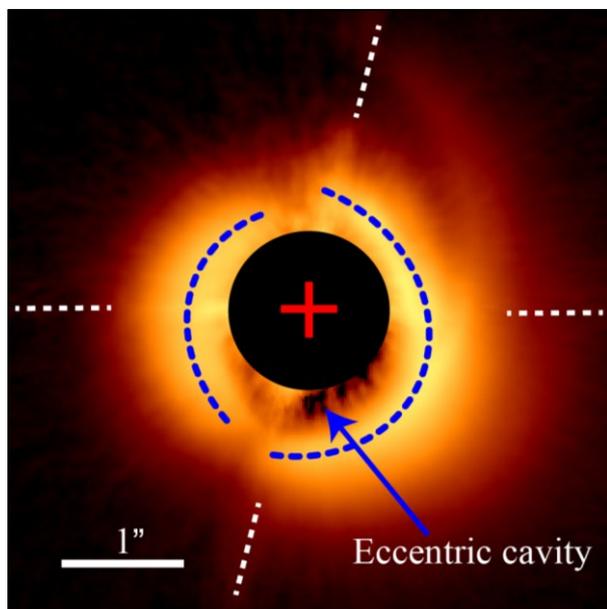
穴はある？ない？



- 「穴」のあるべき場所にも散乱光成分
- 近赤外散乱光に効いてくる小さなダスト成分は残りつつも、サブミリ波放射に効く大きなダスト成分は無くなっている？

遷移円盤天体 HD 142527

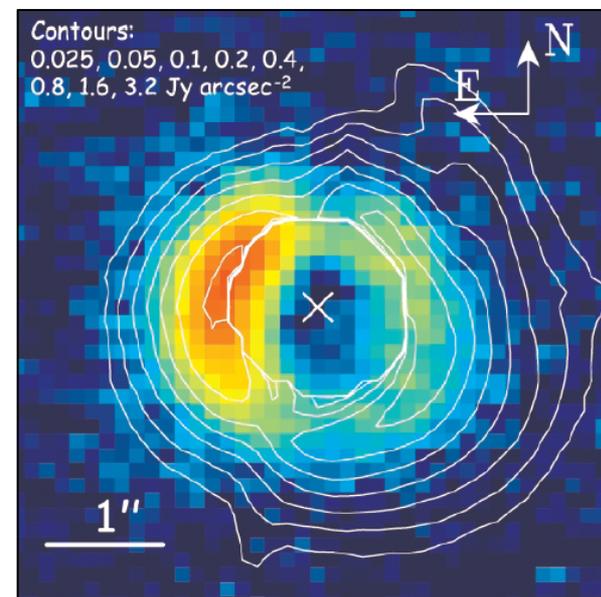
- Herbig Fe型星 ($M=2.2M_{\text{sun}}$, $T_{\text{eff}}=6250\text{K}$)
- 遷移円盤天体
- 近赤外線で、外側にスパイラル構造



1.6um scattered light
Fukagawa et al. 2006

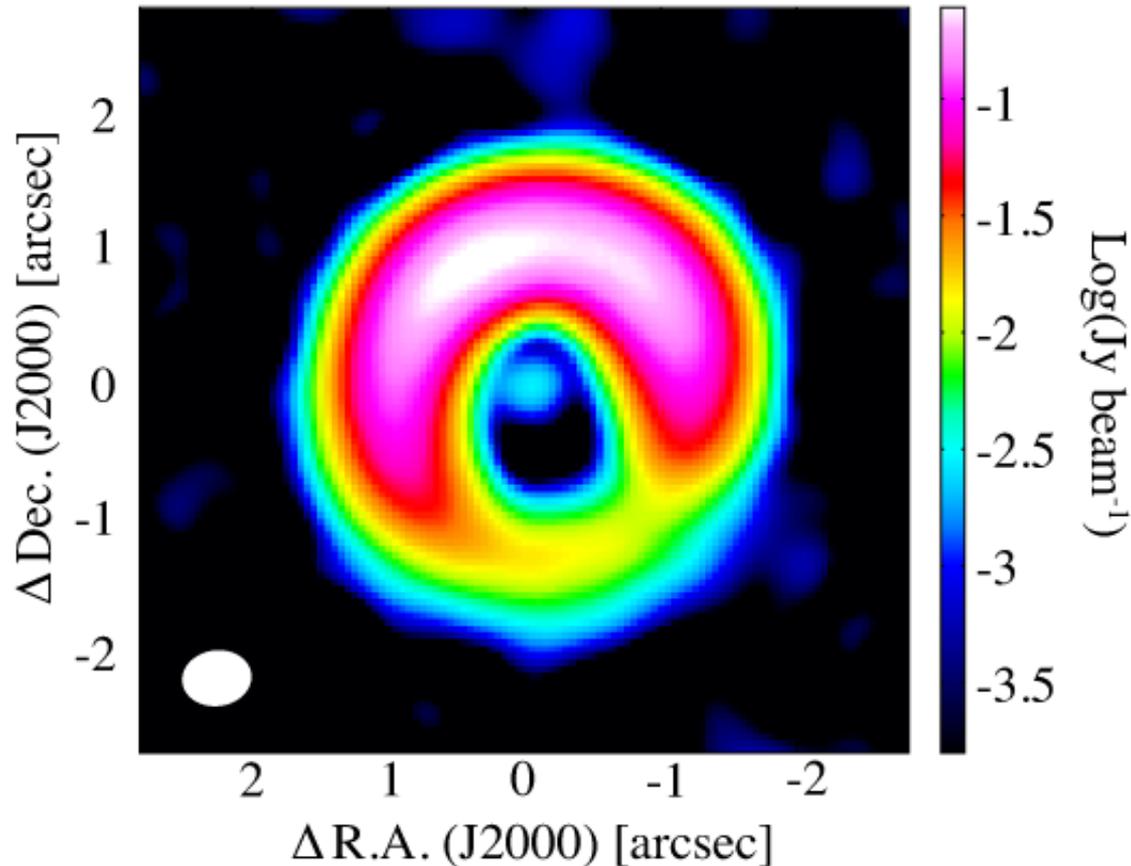


Lp, H2(1-0)S(1), Ks
Casassus et al. 2012



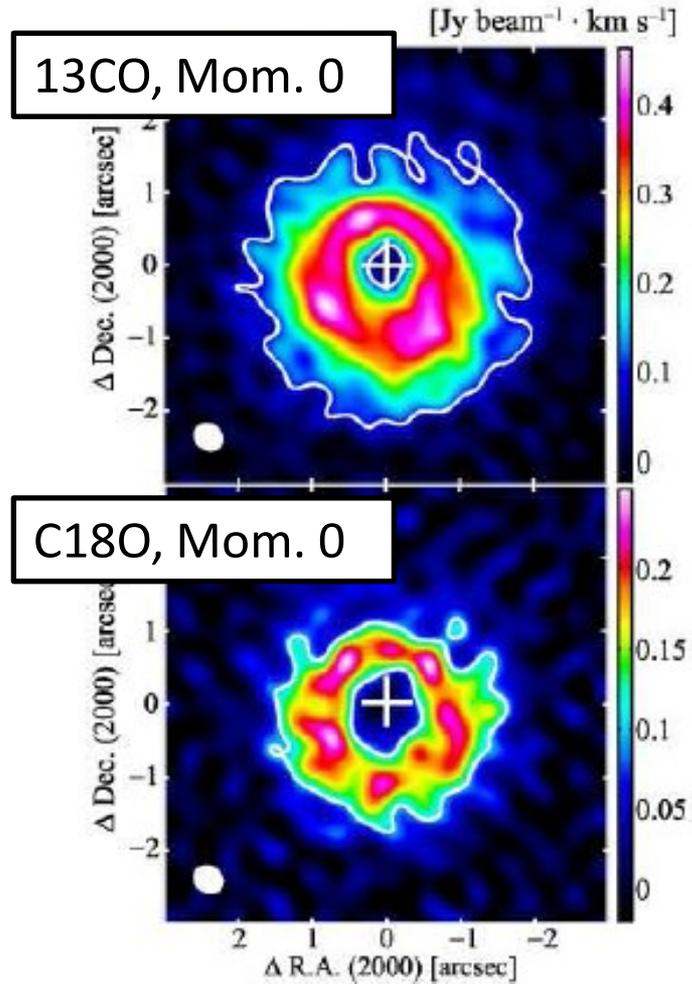
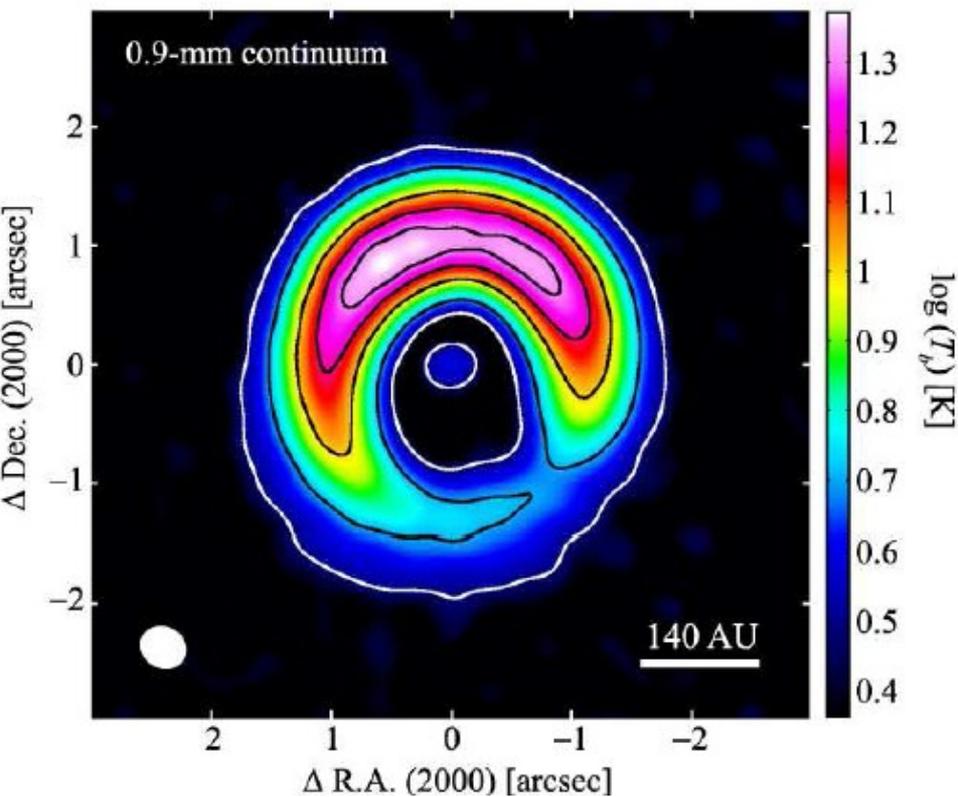
24.5um thermal emission
Fujiwara et al. 2006

ALMAによるHD 142527の観測



- 「馬蹄形」状のダスト分布、北と南の明るさの比が 25 倍
- 内側円盤 + ギャップ (non-detection) + 外側円盤

ダスト連続波 vs ガス輝線



ガスとダストで明るさ分布に明らかな差異がある

原始惑星系円盤観測の現状

- 赤外線・サブミリの観測により、円盤構造がイメージとしてとらえられるようになってきた
 - 円盤の様々な構造が捉えられる
- 円盤のガス・ダスト・表面構造の不一致が見えてきている
- 遷移円盤の穴の中のガス・ダスト構造は、解明すべき重要な課題
 - 遷移円盤の穴は、どうやってできているのか？

SEICAによる円盤観測の可能性

- SEICAの特徴

- より中心星の近くまで、円盤の構造を観測することができる

- 良いInner working angle ~ 0.1 秒
- 強度分布で良いコントラストを実現可能でありそう

- 高い望遠鏡の占有性

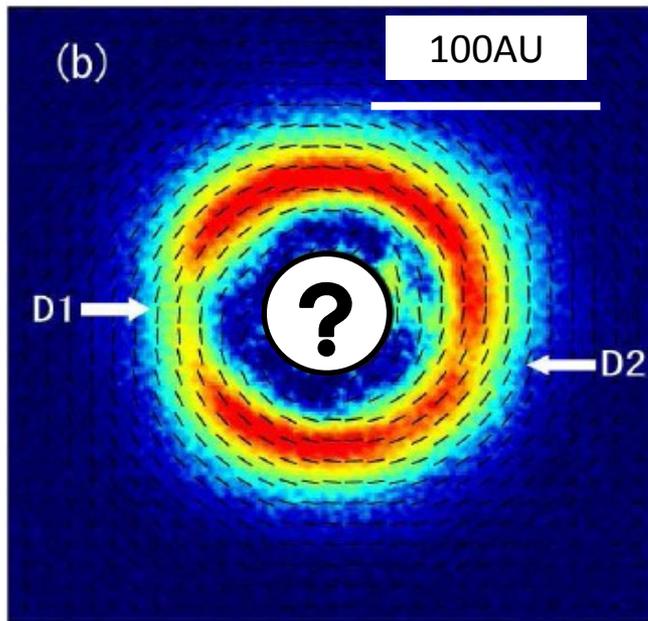
- (ミニ)サーベイ的な観測が可能

一つの可能性

円盤の内側の構造の強度分布を調べ
「穴」の中にどのくらい散乱光が見えるかを観測する

円盤内縁部の観測可能性

- SEICAにより、Subaru/HiCIAOよりも内側の円盤の様子を調べることができる

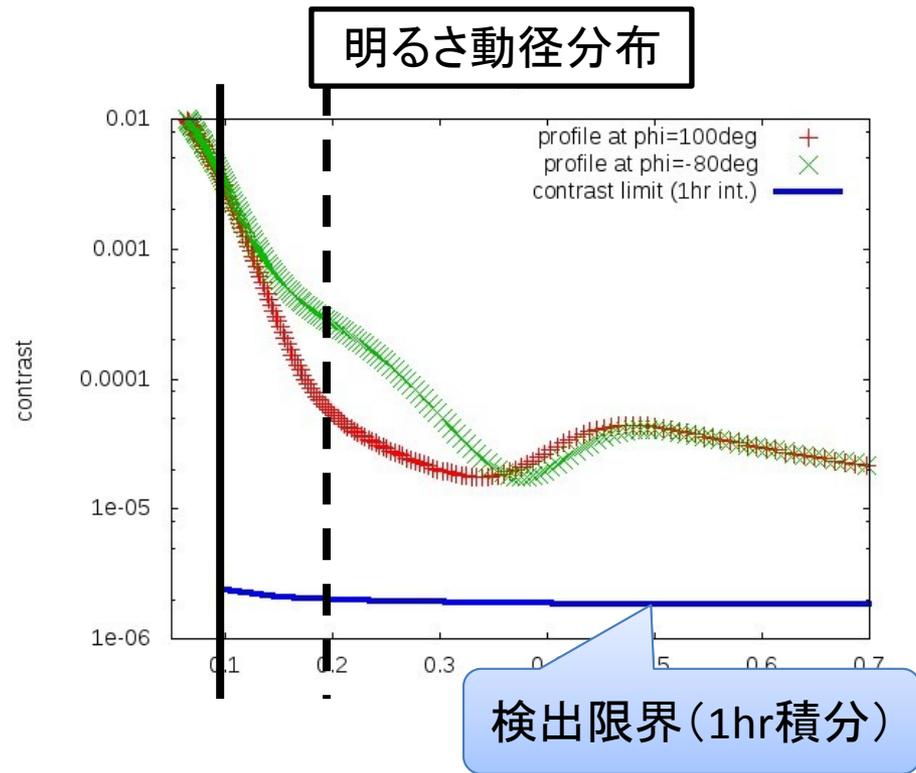
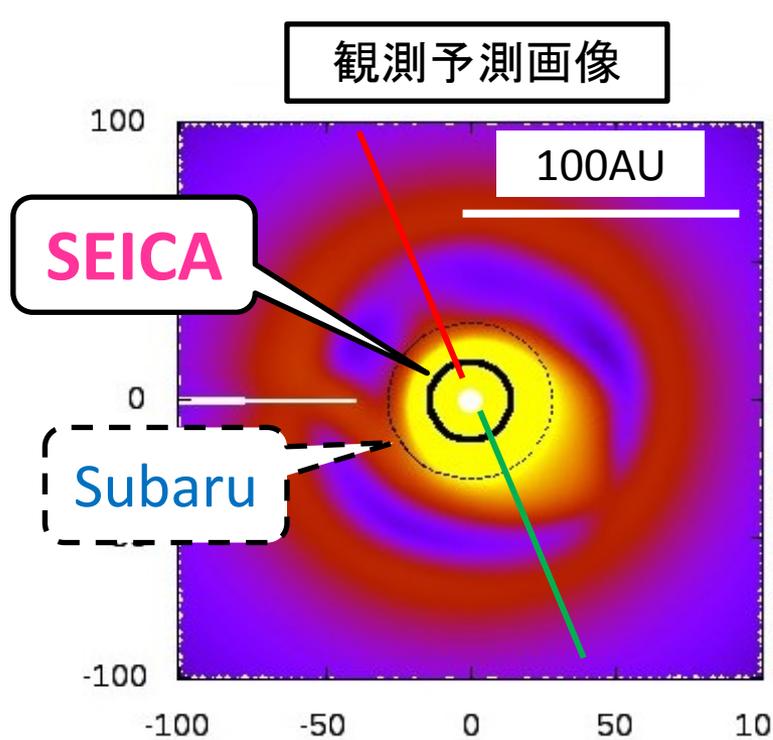


中心星付近に円盤はある？ない？
～「ギャップ」か「穴」か～

- 円盤進化過程の解明
 - 惑星形成時間への制限
 - ガス散逸メカニズム

京大3.8m望遠鏡で可能なサイエンス： 円盤内縁部の観測(2)

例：10木星質量の惑星@45AU



より内側を見ることで、「穴」の有無が明確にわかる

天体数・他のサイエンスなど

- 現在、SEEDS計画で観測されている円盤をもつ天体は30天体程度
 - 少なくとも、このくらいあると、統計的な議論も可能になってくる



Catalog of Circumstellar Disks

Created by Caer McCabe; Redesigned by Isabelle Jansen
Last updated 27 Mar. 2013; Maintained by [Karl Stapelfeldt](#)



Catalog of Resolved Disks

TOTAL NUMBER OF DISKS: 170 (PRE-MAIN SEQUENCE DISKS: 130, DEBRIS DISKS: 40)

Object	Category	SpTy	R band (mag)	Distance (pc)	Disk Diameter (")	Disk Diameter (AU)	Inclination	How Well Resolved	At ref. wavelength (micron)	# References
49 Cet	MS	A1	5.6	61	4.5	274.5		4.1	1300.39	30
HD 10647	MS	F8 V	5.5	17.35	37	642	52	2.5	870	9
Tau Ceti	MS	G8 V	3.5	3.6	37	133.2	60	3.2	850	14
beta Tri	giant	A5 III	2.9	38.9	5.6	218	41	0.9	70	5
gamma Tri	MS	A1V	3.9	34.4	8	275	83	1.4	70	6
HD 15115	MS	F2	6.8	45	19.38	872.1	90	372.1	0.61	12
HD 15745	MS	F2	7.5	64	7.5	480	67	147.7	0.59	6

他のサイエンスなど

- SEEDSデータとの比較によるpolarization degreeの導出
 - ダストの性質に対する制限
- 時間変動の探索
 - Day-scaleの明るさ変動の探査(円盤内縁の「壁」の変動が、外側の「影」として現れる)
 - 数年の時間間隔を空けた力学的運動の検出
 - 中心星から30AUの場所で、 ~ 0.1 asec per 10 years
- 高分散分光装置を組み合わせた、速度情報の観測？
- 原始星・デブリ円盤...

まとめ

- 円盤構造は、惑星形成や円盤進化の過程に密接に関連する重要な情報
- 特に、中心に穴がある「遷移円盤天体」に対する注目が集まっている
- SEICAを用いることで、円盤の情報を、より中心星の近くまで、かつ偏光の情報を含まない形で調べることが可能になる
- 「中心星近傍の円盤構造を、多数の天体について調べ、穴の成因を調べる」ことができる
- 円盤は惑星よりも観測はしやすい天体
 - 特に、初期成果を挙げていく段階で、面白い天体だろう