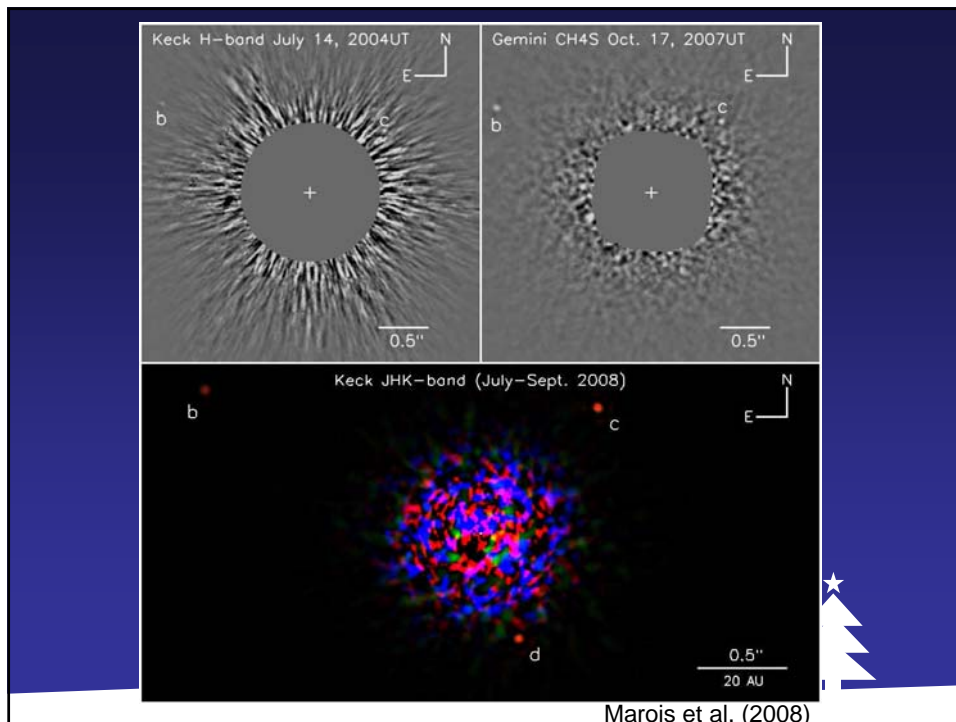
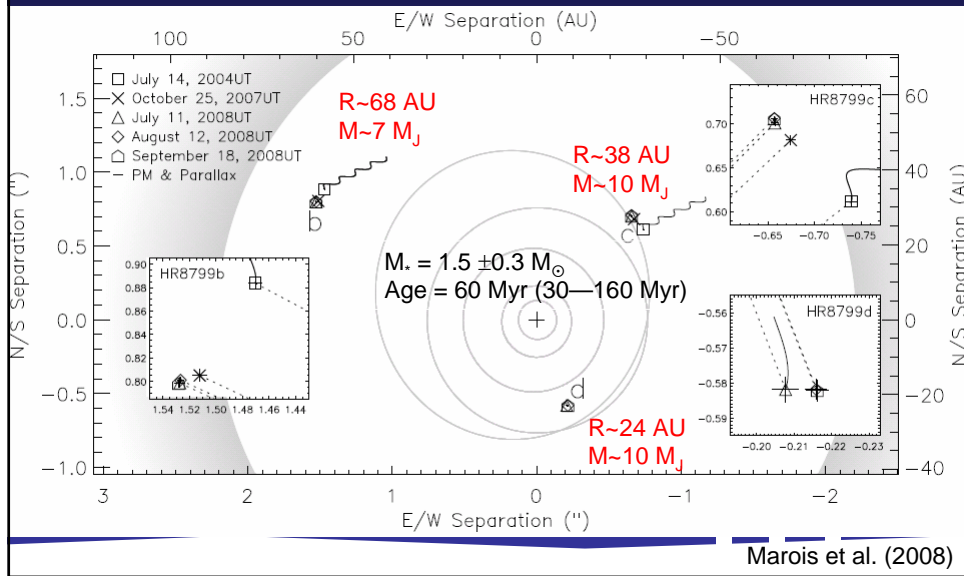


原始惑星系・デブリ円盤の観測

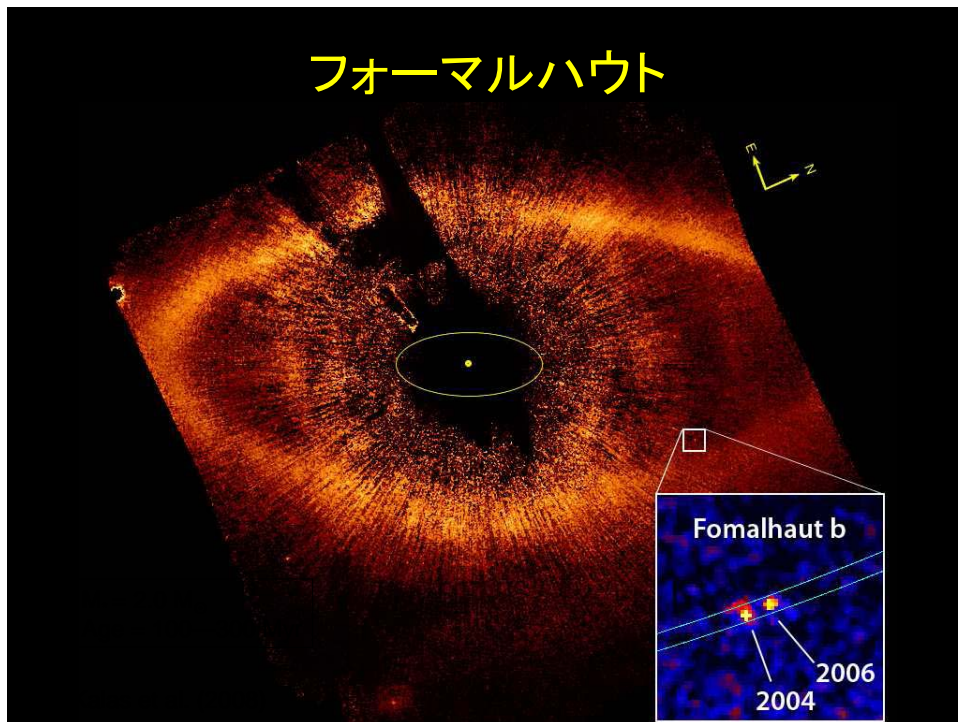
大阪大学理学研究科
宇宙地球科学専攻
深川 美里



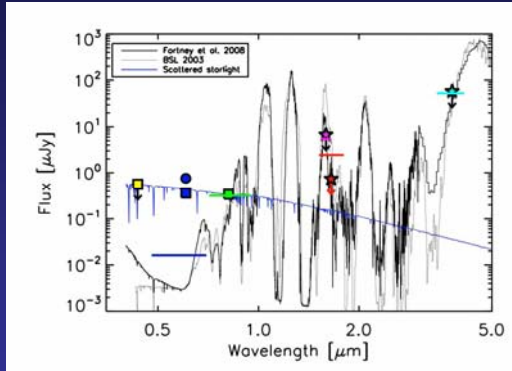
惑星系: HR 8799



フォーマルハウト



フォーマルハウトに付随する惑星



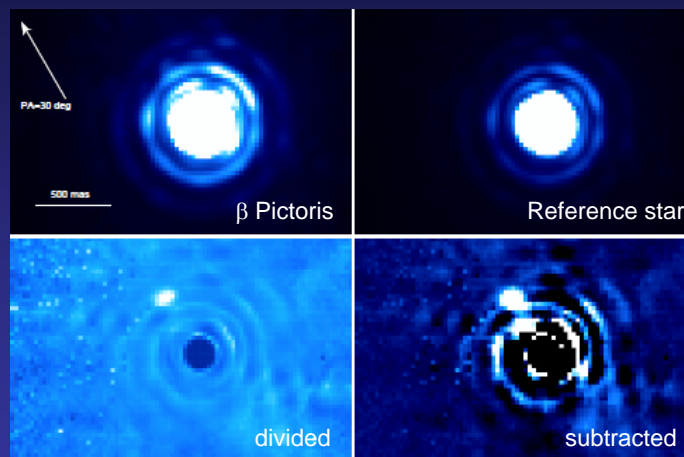
Kalas et al. (2008)

$M_* = 2.0 M_{\odot}$
 $R = 119 \text{ AU}$ (赤道面上)
 $M < \sim 3 M_J$

- 円盤の形態から惑星質量を求める際のモデル計算の詳細 (Chiang et al. 2008)
- 0.6 ミクロンの測光値が変動している → $H\alpha$? 散乱光?



β Pictoris に惑星?



$M_* = 1.8 M_{\odot}$
 Age = 12 Myr
 $R \sim 8 \text{ AU}$
 $M_p = 8 M_J$

Lagrange et al. (2008)



撮像されたベガ型星の周囲の惑星候補天体

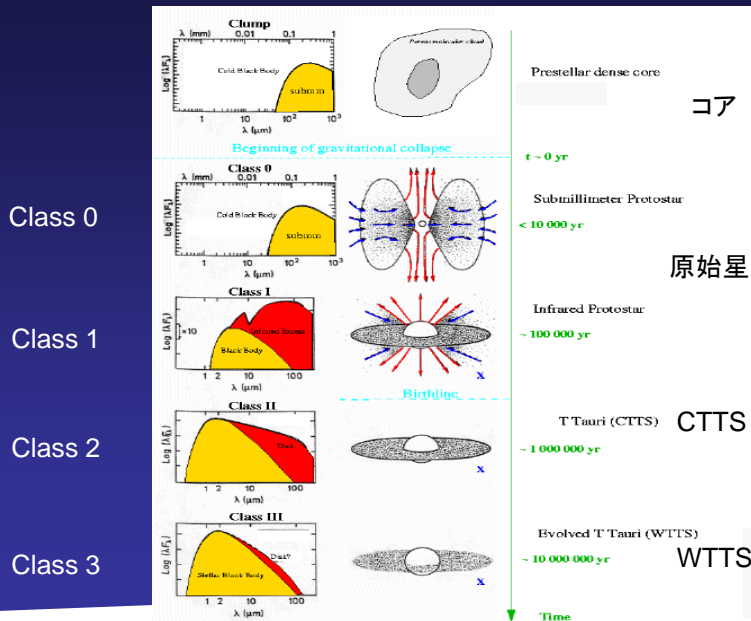
Star	Age (Myr)	Companion mass (MJ)	Separation (AU)	reference
Fomalhaut	100—300	≤ 3	98 (~119)	Kalas et al. (2008)
HR 8799	60—150	~7, ~10, ~10	68, 38, 24	Marois et al. (2008)
β Pictoris	12	~8	8	Lagrange et al. (2008)

- いずれも主星は A型星($1.5 - 2 M_{\odot}$)



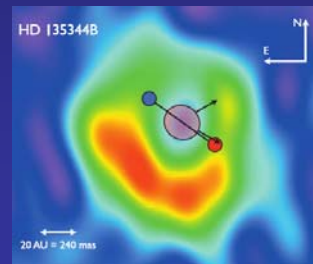
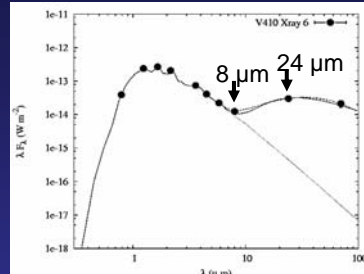
コア～原始星～Tタウリ型星

$M_* < 2.5 M_{\odot}$



原始惑星系円盤の寿命

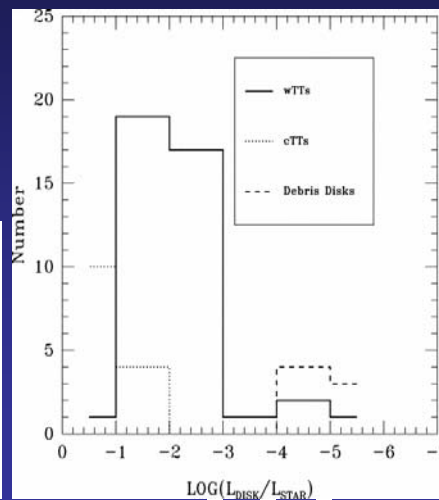
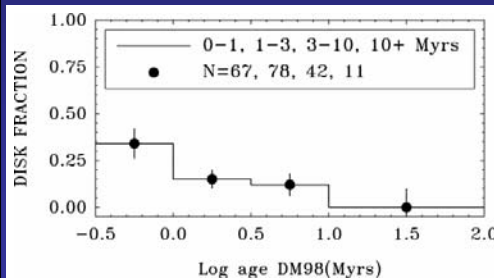
- 寿命の上限は約 10 Myr (赤外、ミリ波)
- Transitional Disk の重要性
 - 数が少ない → 速い (<1 Myr) 進化 (注: companion の可能性 - CoKu Tau/4 8 AU 離れた伴星)
 - 1-10 Myr の天体に観測されている
 - 中心星の質量が小さい方と割合が多い? (Sicilia-Aguilar et al. 2008)
 - 惑星形成 or photoevaporation?
 - 26 天体のサブミリ波観測 (円盤外側 20 - 100 AU の質量に感度がある) (Cieza et al. 2008)
 - 中間赤外での超過が大きい天体に限り 1 - 5 木星質量、それ以外の天体はサブミリ波で未検出
 - 一般には photoevaporation?



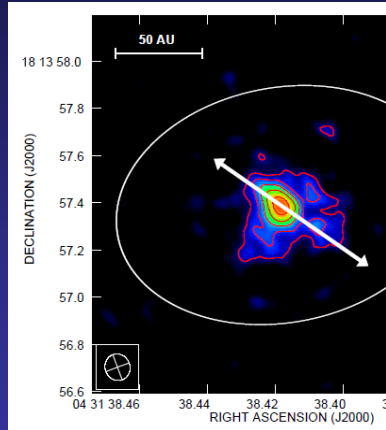
Pontoppidan et al. (2008)

原始惑星系円盤の寿命

- WTTS のうち約 1 Myr より若い天体の約 40% に円盤が付随 (Cieza et al. 2007) → それ以外は早々に円盤を失っている
 - 初期円盤質量の差
 - 惑星形成



円盤質量

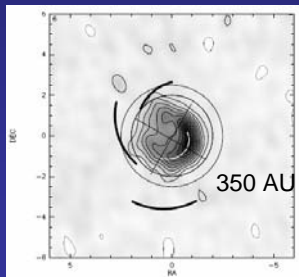
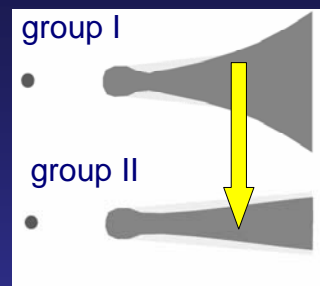


- 長波長で(=サイズの大きいダストからの放射を逃さずに)質量を求める
- HL Tau を VLA 1.3 cm で観測 (Greaves et al. 2008)
- 星の質量 $0.33 M_{\odot}$ 、円盤の質量 $0.13 M_{\odot}$ → 重力不安定性
- 星から 65 AU 離れたところで局所的にダスト密度が高くなっている領域 → 原始惑星(約 13 木星質量)??

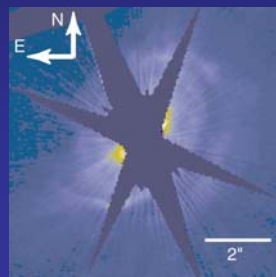


ダスト円盤の沈降

- 思っていたよりも速い?
 - ミリ波で明るく、ジェットが出ているような円盤が散乱光で検出できない
- 中心星の質量が小さい方が、沈降が速い?
- 進化は見えている (e.g., Scholz et al. 2007)



Pietu et al. (2005)

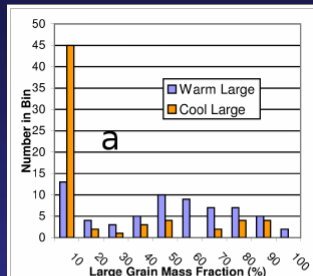


Grady et al. (2001)



ダスト

- おうし座にある65天体の中間赤外分光 (Sargent et al. 2008)
 - ダストの沈降が進んでいる円盤ほど結晶化シリケートが多い
 - 結晶化ダストの割合は円盤内側、外側でほぼ同じである → 内側の方が結晶化度が高い (A型星; van Boekel et al. 2004)



- シリカについて、スペクトルの解析からトリジマイトとクリストバライトが主成分であると報告(急速加熱後に急冷が必要) (Sargent et al. 2008)

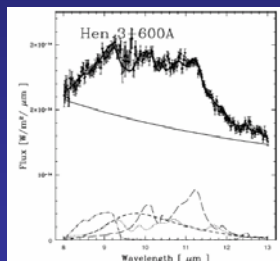
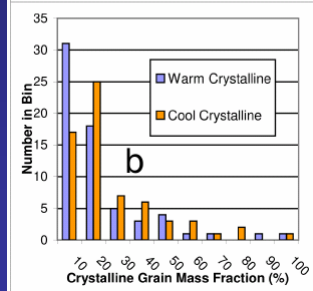


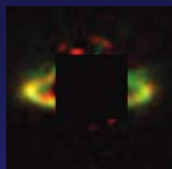
Fig. 3.—Fit result of Hen 3-600A. The thick solid line is the best-fit model spectrum, which is the sum of power-law continuum (thin solid line), silicate (dashed line), orthoacetic acid (dotted line), forsterite (long-dashed line), and silica (short-dashed line).

Honda et al. (2003)

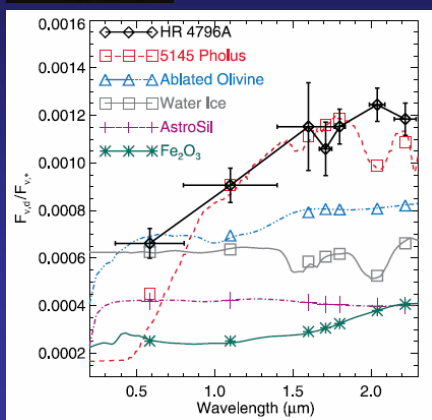


Sargent et al. (2008)

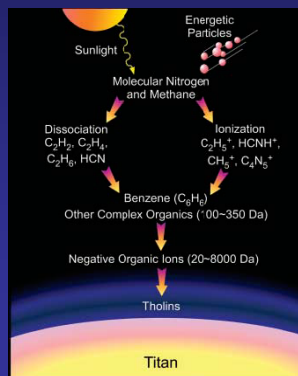
円盤散乱光の色



- Organic material in an icy matrix (Debes et al. 2007), or porous amorphous silicate and water ice (Kohler et al. 2008)



Debes et al. (2007)



Waite et al. (2007)

中間赤外域での分子輝線

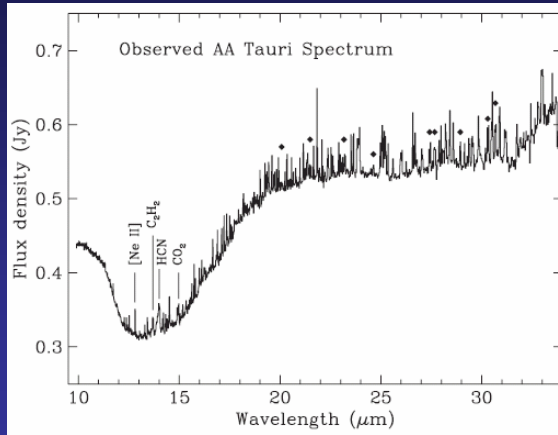
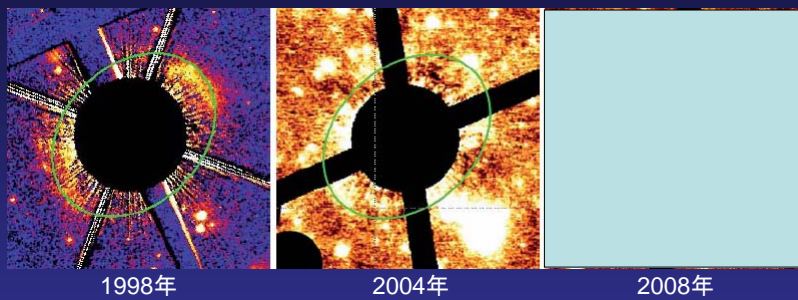


Fig. 1. Spitzer IRS spectrum of AA Tauri from 9.8 to 38.0 μm . The spectrum combines all orders of the short-high and long-high IRS modules (11). Rotational transitions of OH are marked with a diamond, and the Q branches of C_2H_2 , HCN, and CO_2 are labeled along with atomic [Ne II]. The majority of emission features are due to rotational transitions of H_2O (unmarked features).

Spitzer IRS
(Carr & Najita 2008)



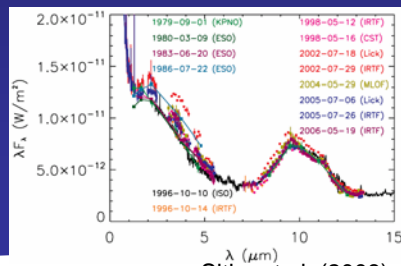
円盤構造の時間変動



1998年

2004年

2008年



Sitko et al. (2008)

- 内側の構造変動が外側の面輝度に影響？
- 変動のメカニズムは？



まとめ

- デブリ円盤を持つ天体に対して、相次いで(もっともらしい)惑星候補天体が撮像された
- 得られている観測結果は、早い段階でのダスト円盤の沈降や惑星形成の可能性を否定しない
- 中心星の質量による円盤の性質を議論できるようになっている
- ダスト分光が統計的な数に対して行われるようになり、太陽系内天体との類似が議論されている
- 水、有機分子が中間赤外線でも検出されている

今後(も)目指す方向

- 観測によって、質量(面密度)、温度、ダスト、ガス分子の半径・鉛直方向の分布を明らかにする
- 観測によって、それらの時間進化を明らかにする
- 系外惑星、太陽系内天体との関連を意識

