

SPICA サイエンスワークショップ 2009

原始惑星系円盤からの
中間赤外線
水素分子輝線

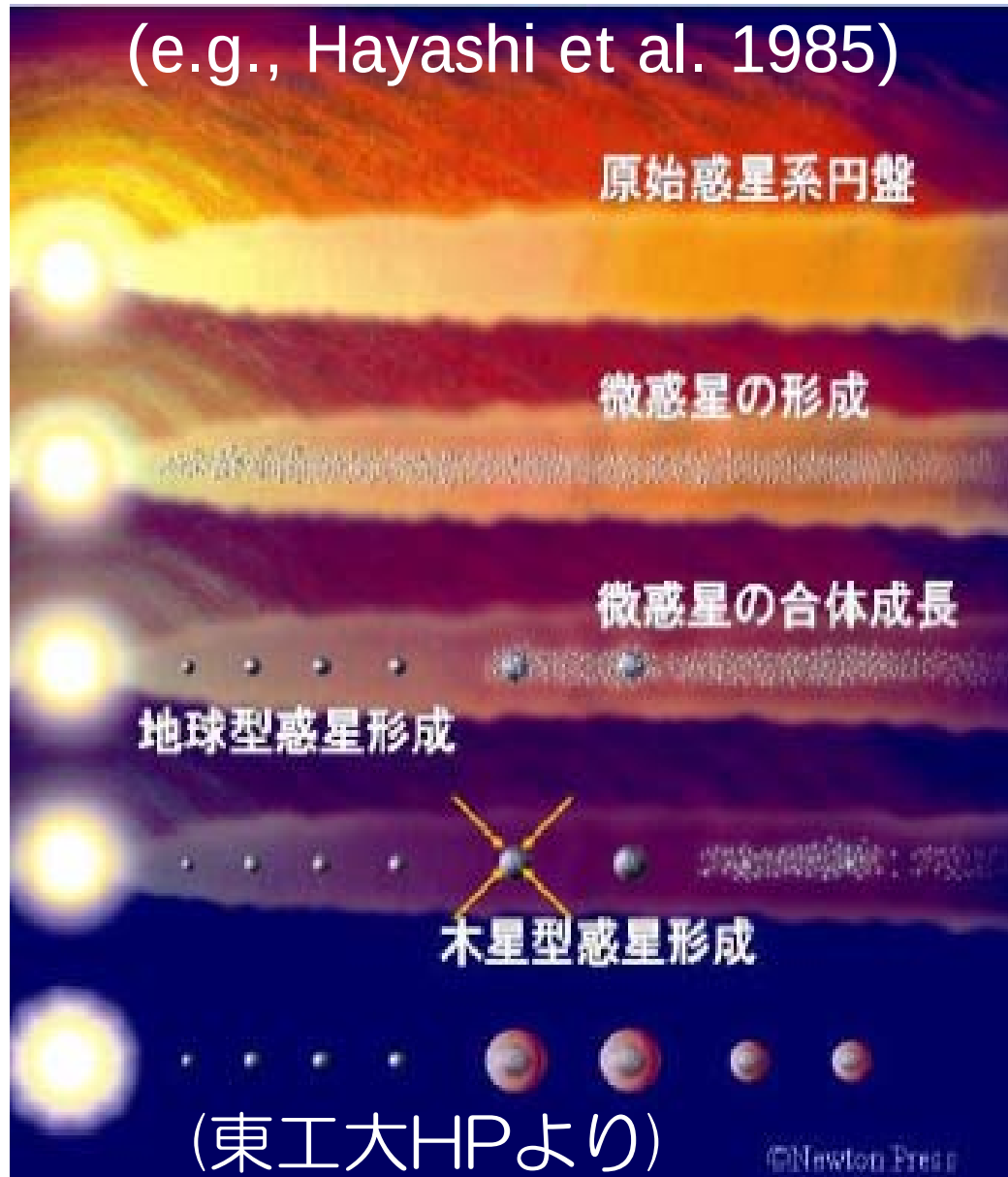
野村 英子

(京大理宇宙物理学教室)

§ 1 Introduction

原始惑星系円盤から惑星系へ

(e.g., Hayashi et al. 1985)



ダストの合体成長・
赤道面への沈殿



微惑星形成



地球型惑星形成

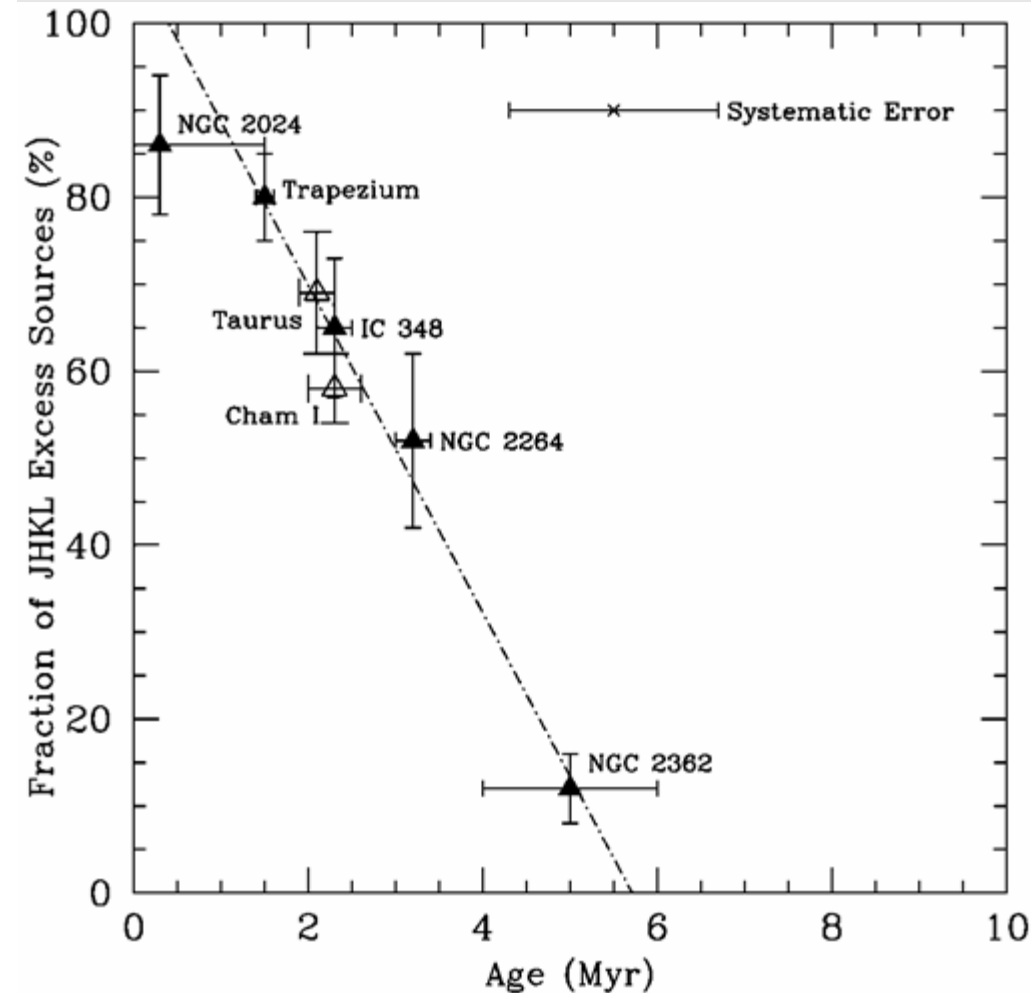


ガス惑星形成



ガス円盤の散逸
→ 惑星系形成

原始惑星系円盤ダストの散逸



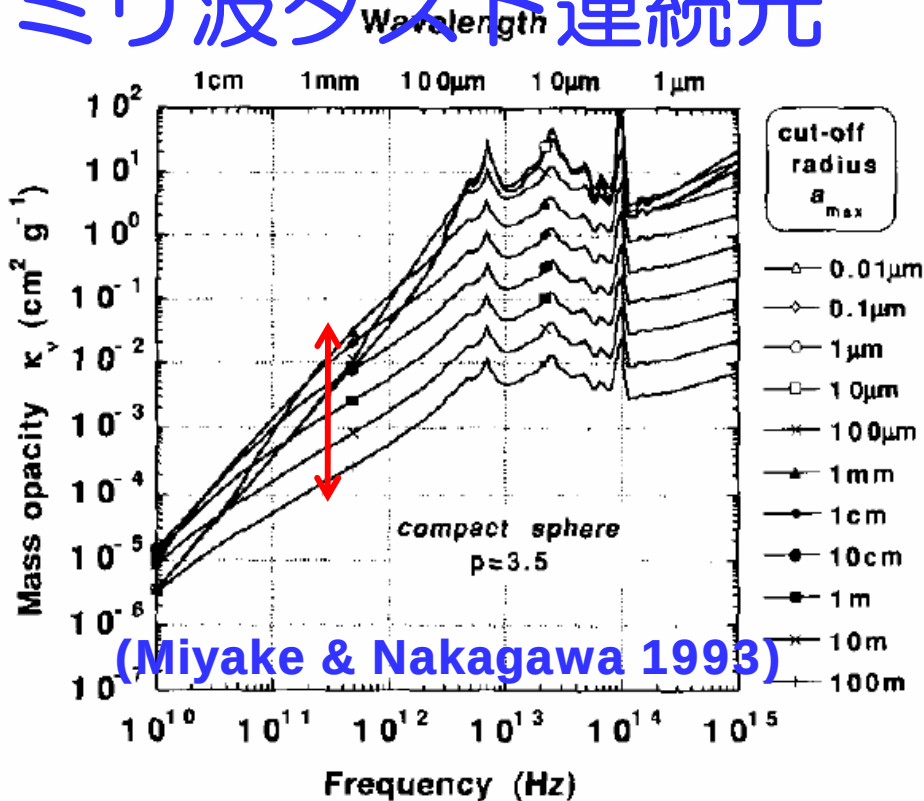
(Haisch et al. 2001)

近赤外線
ダスト連続光観測：
中心星付近の
ダストが
 10^6 年程度で散逸

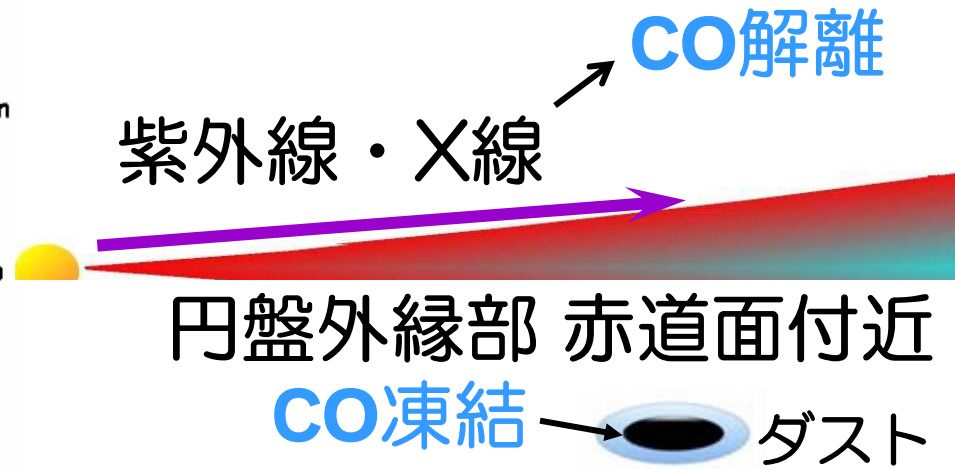
円盤ガス散逸の
時間尺度？

原始惑星系円盤ガス質量の観測

ミリ波ダスト連続光



ミリ波CO輝線



円盤表面での光解離、
赤道面付近での凍結

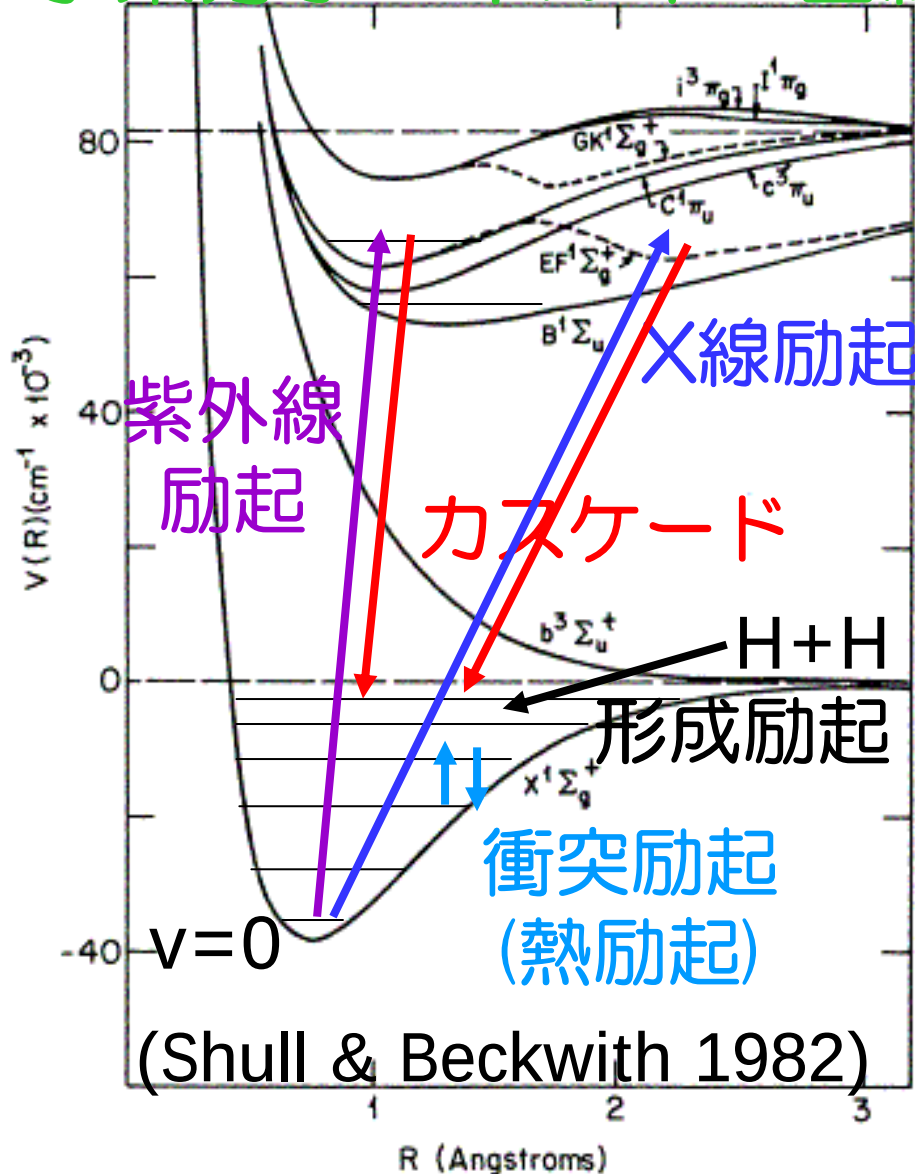
円盤内ダスト進化
→ ダスト光学定数に
大きな不定性

→ CO存在量に
大きな不定性

➡ 水素分子輝線観測の重要性

水素分子励起機構・水素分子輝線

水素分子エネルギー曲線



紫外線

Lymanバンド遷移線等
電子励起状態
からのカスケード

近赤外線

振動回転遷移線
(熱的、非熱的)

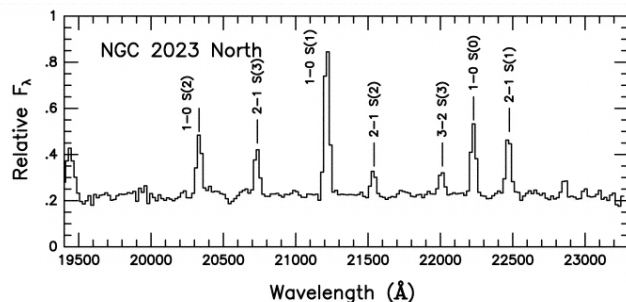
中間赤外線

純回転遷移線
(熱的)

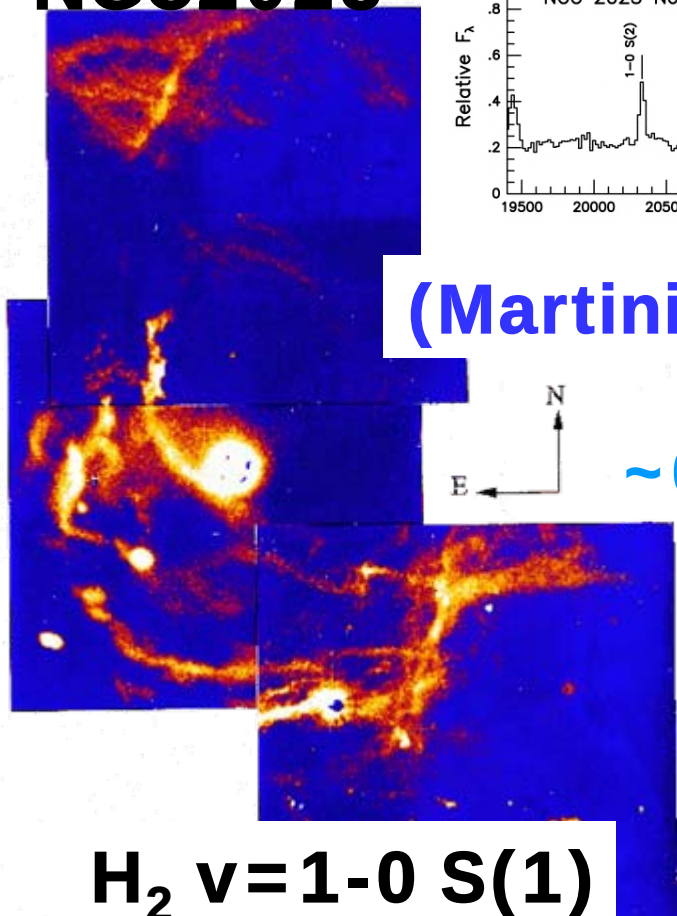
H₂ 輝線の観測 (NIR)

反射星雲

NGC2023



(Martini et al. 1999)

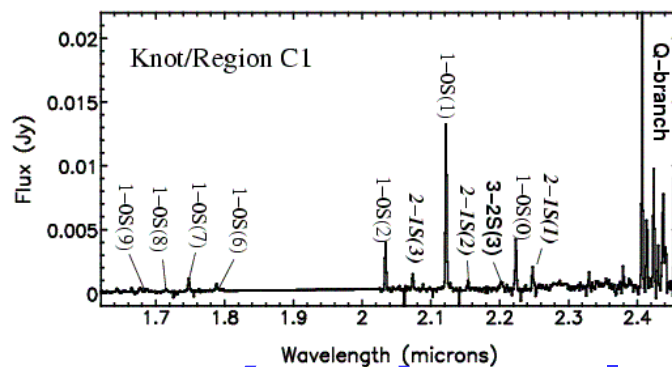
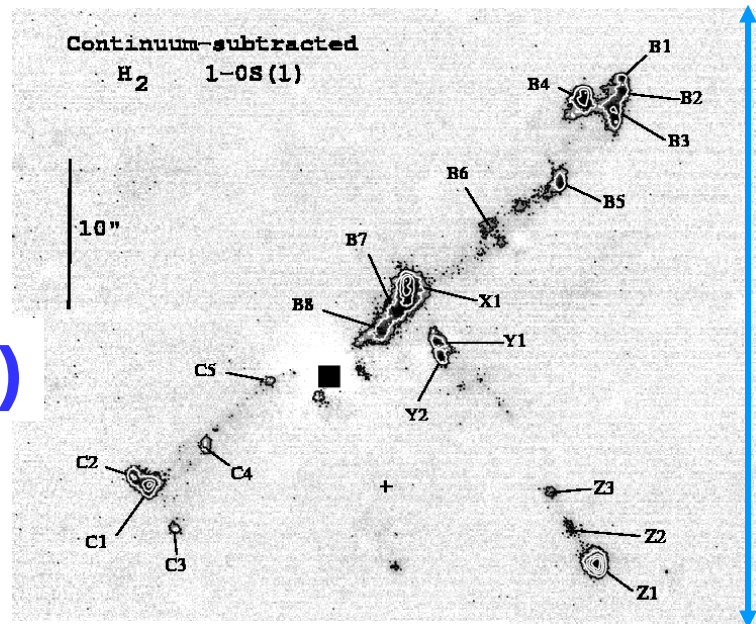


H₂ v=1-0 S(1)

(Field et al. 1998)

強い紫外線照射下

Jet IRAS 18151



(Davis et al. 2004)

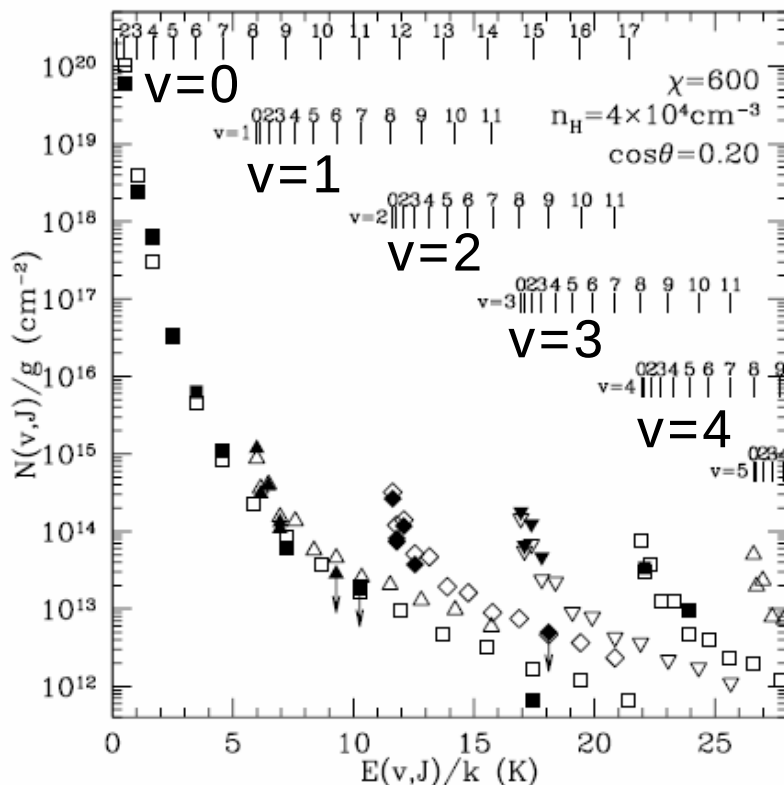
高温領域

H₂ 輝線の観測 (N&MIR)

反射星雲

S140

MIR(熱的) NIR(非熱的)



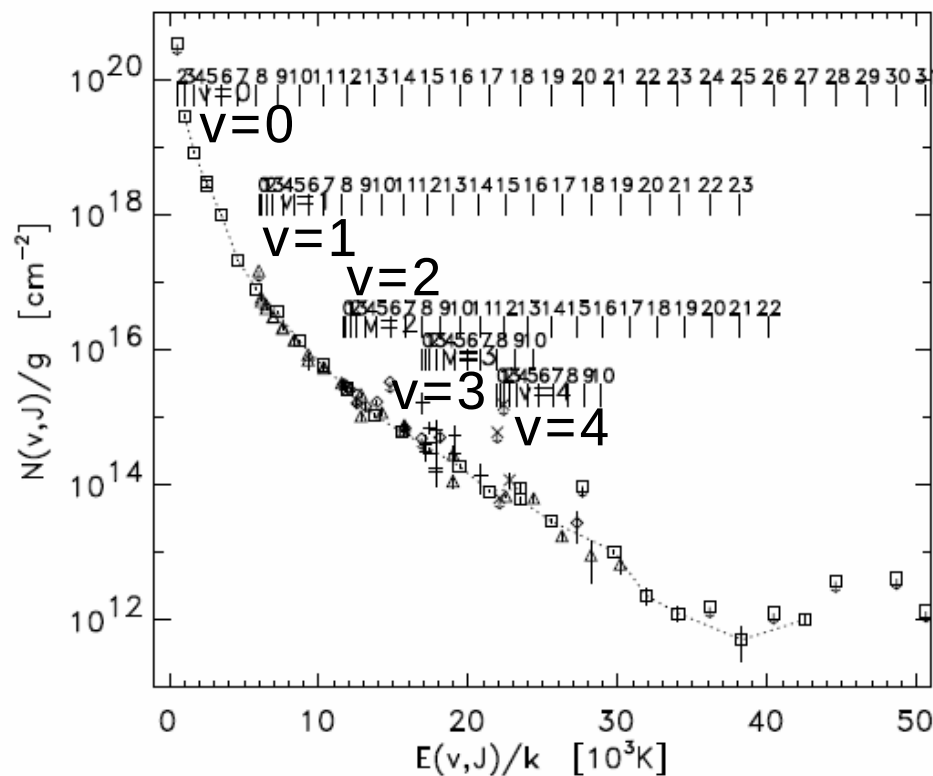
強い紫外線照射下

中間赤外線観測：ISO

Jet

Orion Peak1

MIR(熱的) NIR(熱的)



高温領域

(Bertoldi et al. 1999)

§ 2

原始惑星系円盤からの 水素分子輝線 - 観測 -

TTSからのH₂ 輝線の観測 (NIR)

‘Quiescent’ な輝線の検出

$F \sim 10^{-15} \text{ erg/s/cm}^2$, $\Delta v \sim 10\text{--}30 \text{ km/s}$

→ 円盤起源のH₂輝線

(cf. UV輝線 : Herczeg et al. 2002)

GG Tau, TW Hya, LkCa 15, DoAr 21

IRTF/CSHELL (R=21,500)

NOAO/Phoenix (R $\sim$ 60,000)

(Weintraub et al. 2000, Bary et al. 2002, 2003)

LkHa 264

Subaru/IRCS (R=20,900) (Itoh et al. 2003)

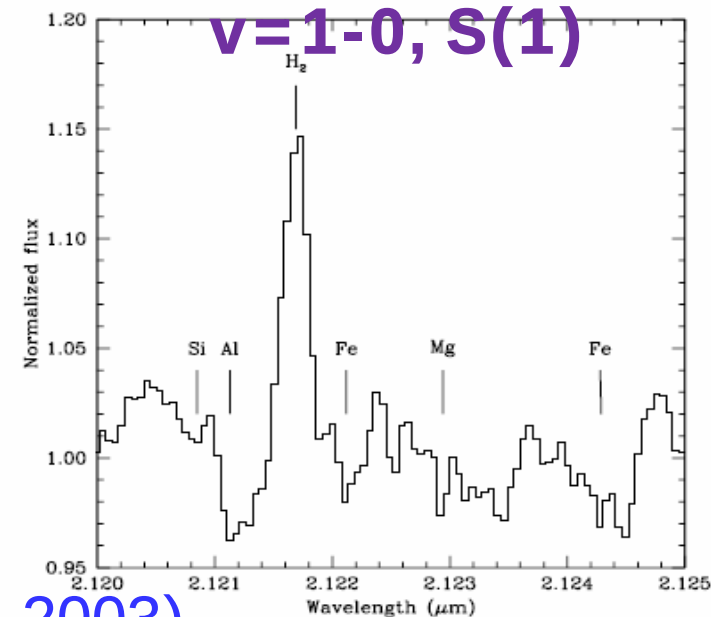
VLT/CRIRES (R=45,000) (Carmona et al. 2007)

ECHA J0843

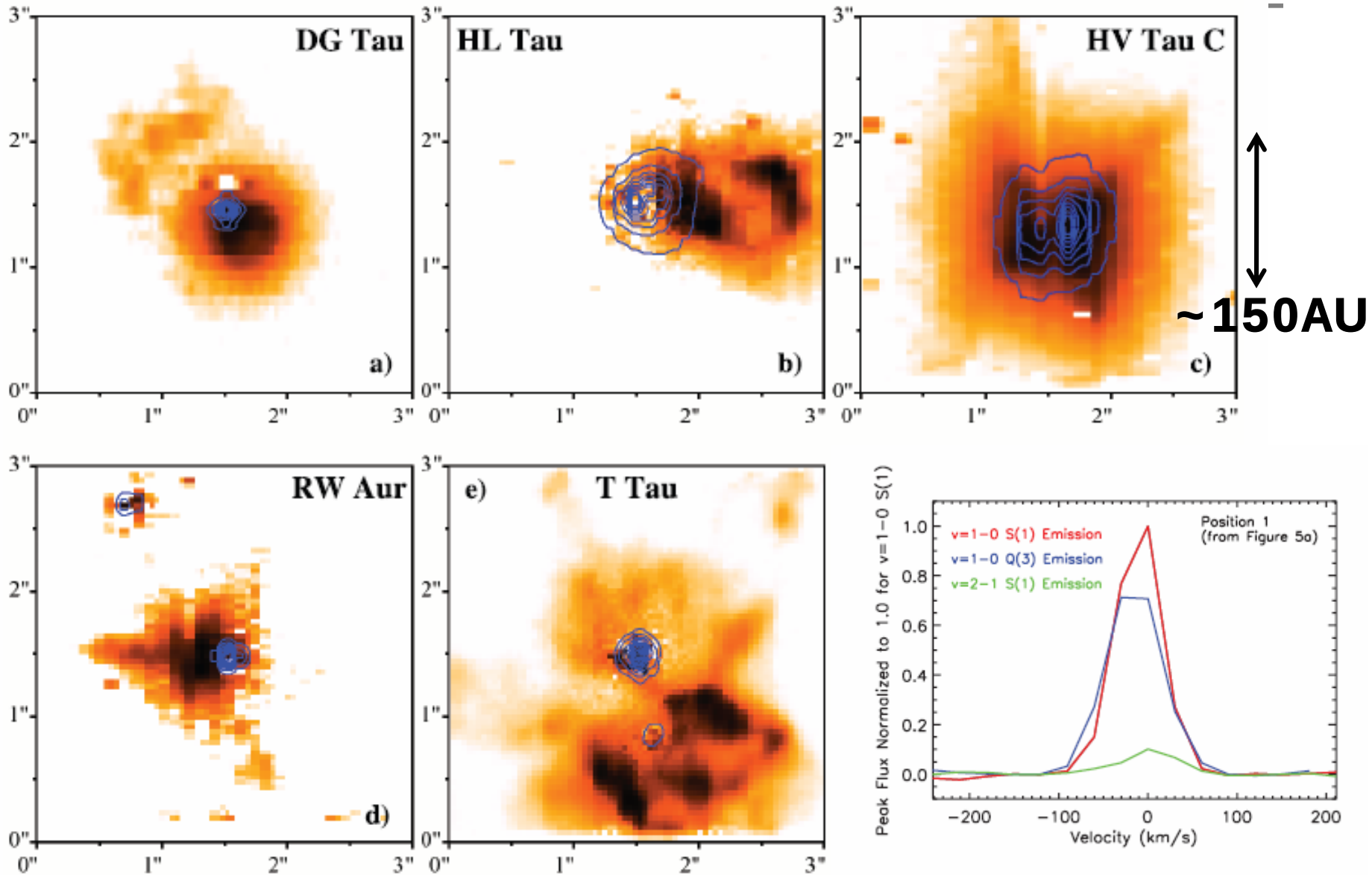
Gemini/Phoenix (R=62,400) (Ramsay Howat & Greaves 2007)

5 T Tauri stars & HD97048 in Cha I

Gemini/Phoenix (R $\sim$ 60,000) (Bary et al. 2008)



TTSからのH₂ 輝線の観測 (NIR)



1-0 S(1)@2.12 μm Gemini/NIFS (R $\sim$ 5300) (Beck et al. 2008)

TTSからのH₂ 輝線の観測(MIR)

ISOによる観測

GG Tau, GO Tau, LkCa 15, etc

$F \sim (2-7) \times 10^{-14} \text{ erg/s/cm}^2$

ISO/SWS (R $\sim$ 2,000-2,400)

(Thi et al. 1999, 2001)

地上望遠鏡による観測

上限のみ: $F < \sim 10^{-14} \text{ erg/s/cm}^2$

GG Tau, DG Tau, etc., S(1)@17 μm , S(2)@12 μm

IRTF/TEXES (R $\sim$ 40,000-83,000) (Richter et al. 2002)

LkCa 15, etc., S(1)@17 μm

Subaru/COMICS (R $\sim$ 5,000) (Sako et al. 2005),

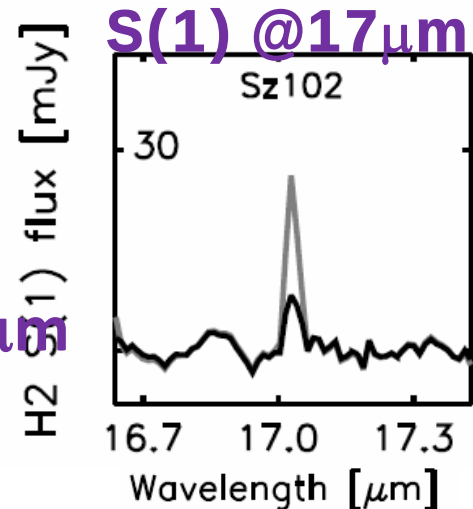
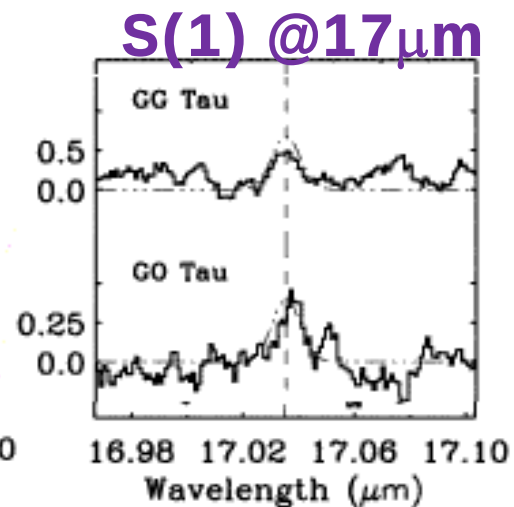
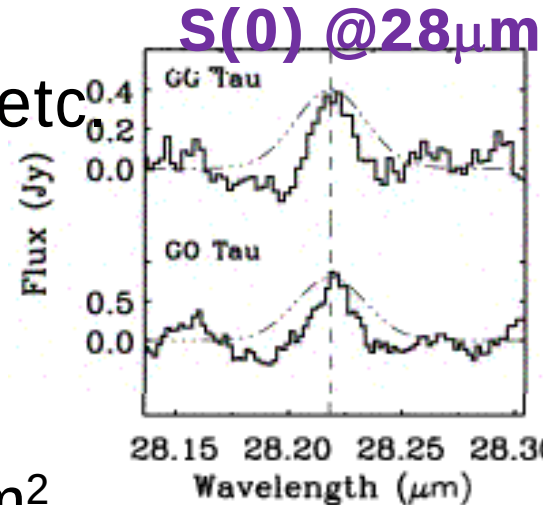
etc.

Spitzerによる観測 6 YSOs

S(0)@28 μm , S(1)@17 μm , S(2)@12 μm , S(3)@9.7 μm

Spitzer/IRS (R=600) $F \sim (0.3-7) \times 10^{-14} \text{ erg/s/cm}^2$

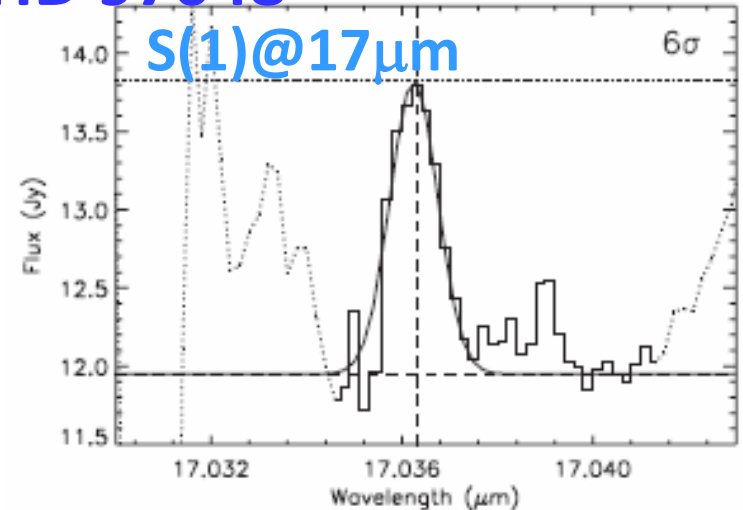
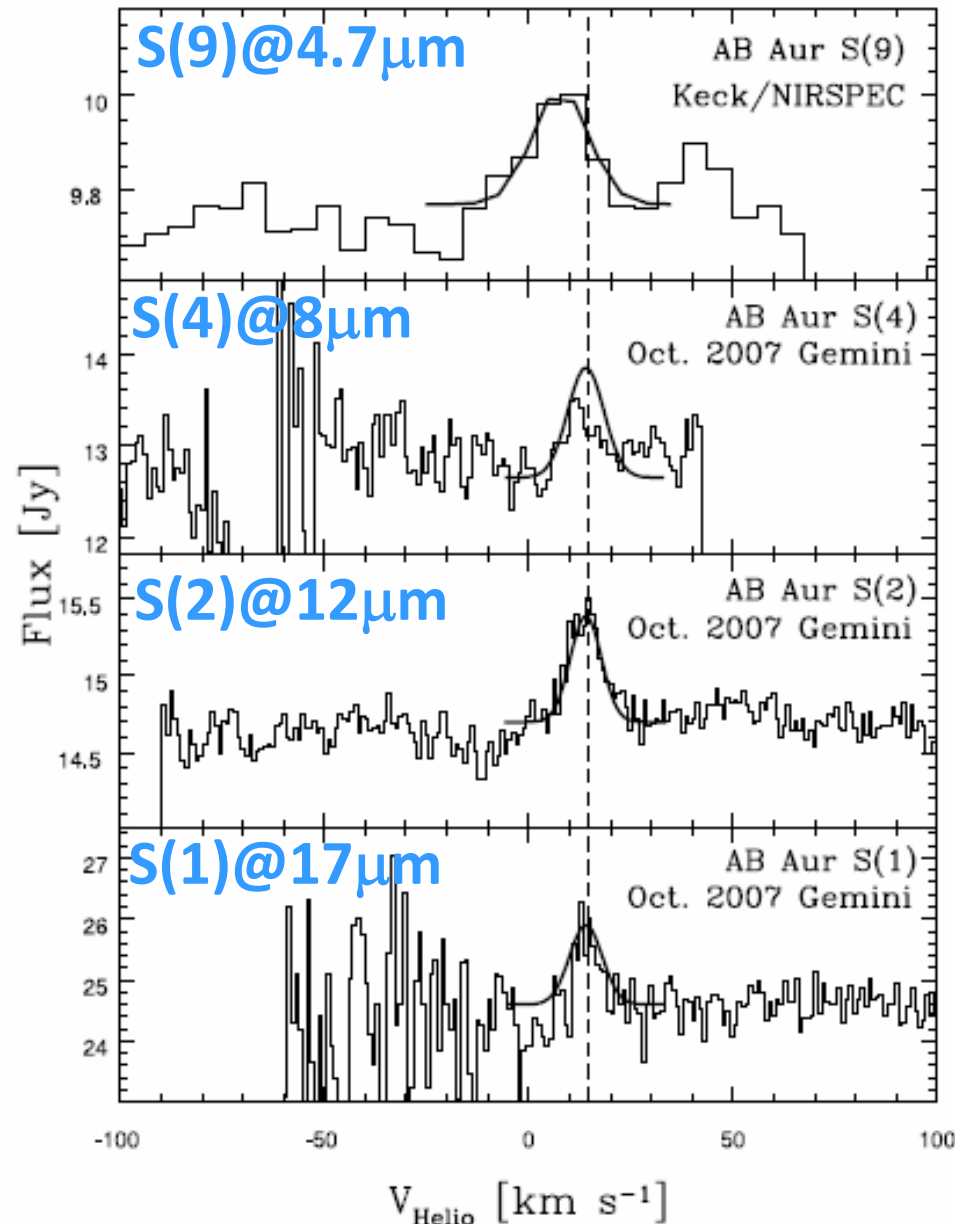
(Lahuis et al. 2007)



H AeからのH₂ 輝線の観測(MIR)

AB Aur

—HD 97048



地上望遠鏡による検出

$F \sim 10^{-14} \text{ erg/s/cm}^2$, $\Delta v \sim 10\text{-}20 \text{ km/s}$

AB Aur

Gemini/TEXES ($R > 80,000$),
(Keck/NIRSPEC ($R = 25,000$))
(Bitner et al. 2007, 2008)

HD 97048

VLT/VISIR ($R \sim 14,000$)
(Martin-Zaidi et al. 2007, 2009)

§ 3

原始惑星系円盤からの 水素分子輝線 - モデル計算 -

原始惑星系円盤の温度構造

ガス温度：局所熱平衡
($\Gamma_x + \Gamma_{pe} + L_{gr} - \Lambda_{line} = 0$)

Γ_x ：X線加熱（水素
原子・分子の電離）

Λ_{line} ：輻射冷却
(Ly α , OI, CII, CO
遷移線)

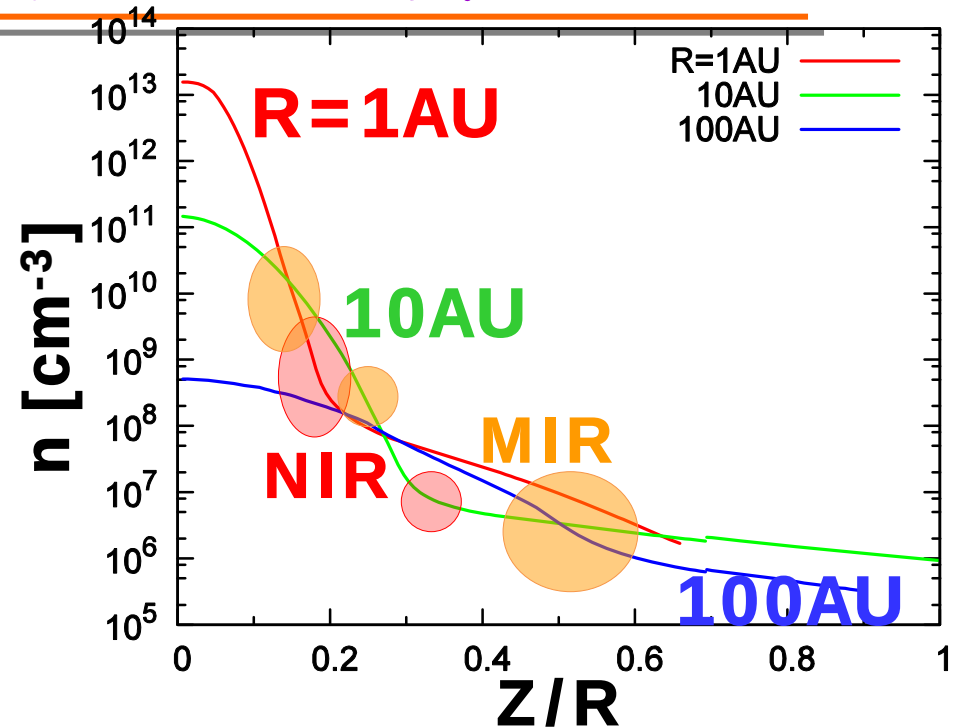
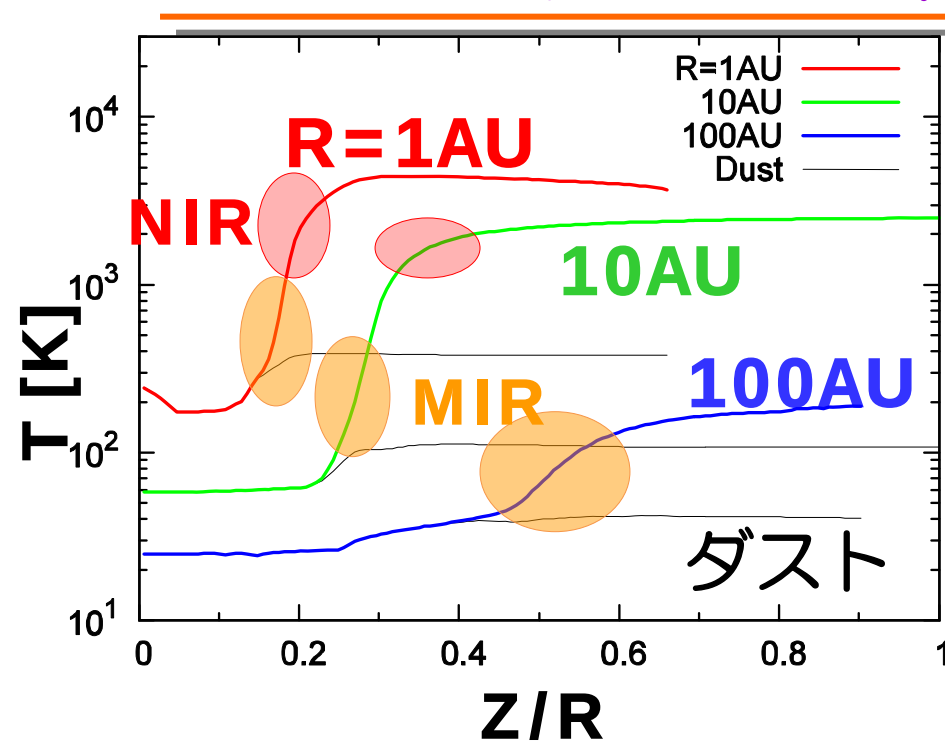
★
中心星 Γ_{pe} ：紫外線加熱
(ダスト上の光電効果)

L_{gr} ：ガス・ダスト
粒子の衝突による
加熱・冷却

ダスト温度：局所輻射平衡
加熱源：中心星からの輻射
冷却源：ダスト熱放射

円盤

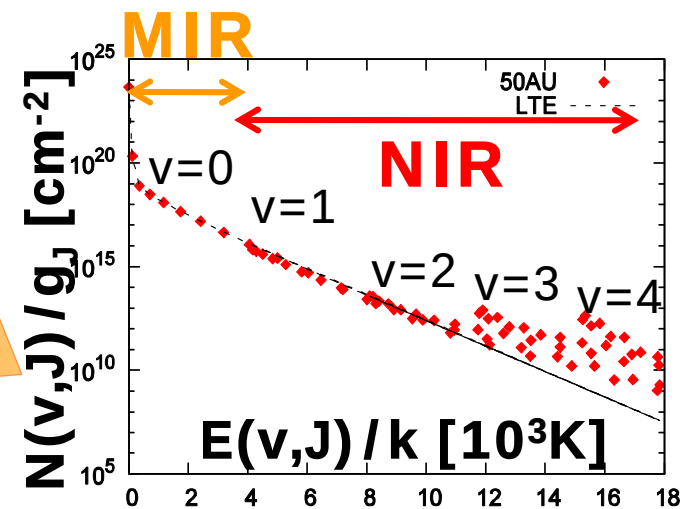
水素分子輝線放射領域



中間赤外線輝線：
円盤質量のより良い
トレーサー

中心星★

(Nomura et al. 2007)



H Ae, Tタウリ円盤からのH₂輝線

円盤温度・密度 + H₂滞在密度 + 輝線輻射輸送

(観測: Bitner et al. 2008, モデル: Nomura et al. 2007)

S(0)@28μm, **S(1)**@17μm, **S(2)**@12μm, **S(4)**@8μm

	Obs. (AB Aur)	H Ae disk	T Tauri disk
S(0)		0.3 x 10⁻¹⁵	0.01 x 10⁻¹⁵
S(1)	(6 – 11) x 10⁻¹⁵	7 x 10⁻¹⁵	0.2 x 10⁻¹⁵
S(2)	(5 – 9) x 10⁻¹⁵	8 x 10⁻¹⁵	0.1 x 10⁻¹⁵
S(4)	15 x 10⁻¹⁵	13 x 10⁻¹⁵	0.3 x 10⁻¹⁵
		↓	[erg/s/cm ²]

SPICA → Tタウリ円盤からのH₂輝線の統計的観測？
→ 原始惑星系円盤ガス散逸時期の観測的検証

S(0)@28μm (vs. **S(1)**@17μm, **S(2)**@12μm)？

質量の大部分 ⇔ 輝線強度：小 (∴ Einstein係数：小)

§ 4 まとめ

原始惑星系円盤からの中間赤外水素分子輝線

- 円盤ガスの良いトレーサー
- 地上望遠鏡による高分散観測
(Gemini/TEXES, VLT/VISIR)

H_{Ae} 円盤からのQuiescentな中間赤外線
H₂輝線を検出

- **SPICA** + 中間赤外線高分散分光器
 - **T Tauri** 円盤からのH₂輝線の検出
 - 統計的観測により、円盤ガス散逸時期の観測的検証

*ダスト表面反応起源の分子輝線の観測

