

太陽型恒星の形成

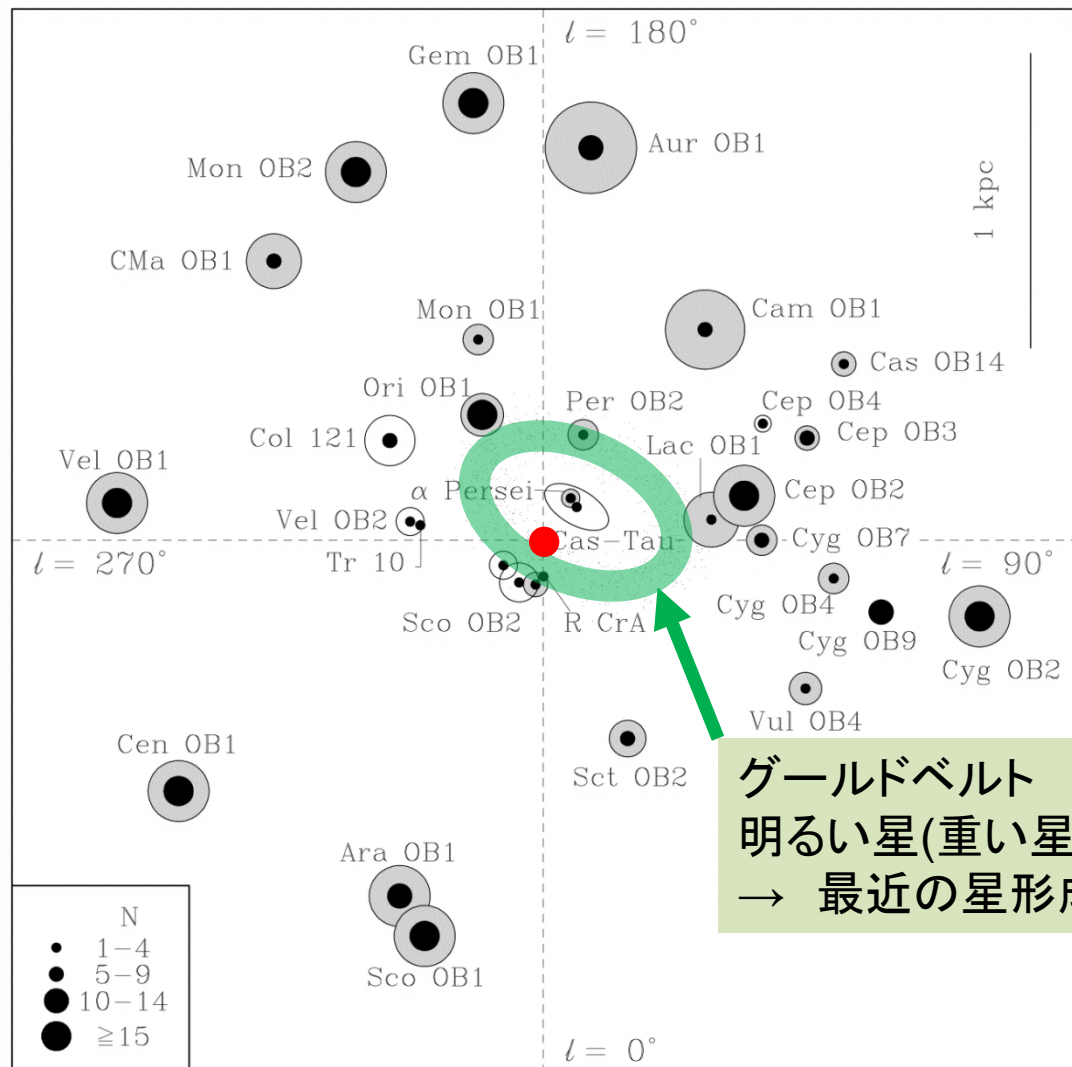
伊藤洋一(神戸大学)

1-1. 近傍の星形成領域

星は分子雲で生まれる
大半は星団として生まれる

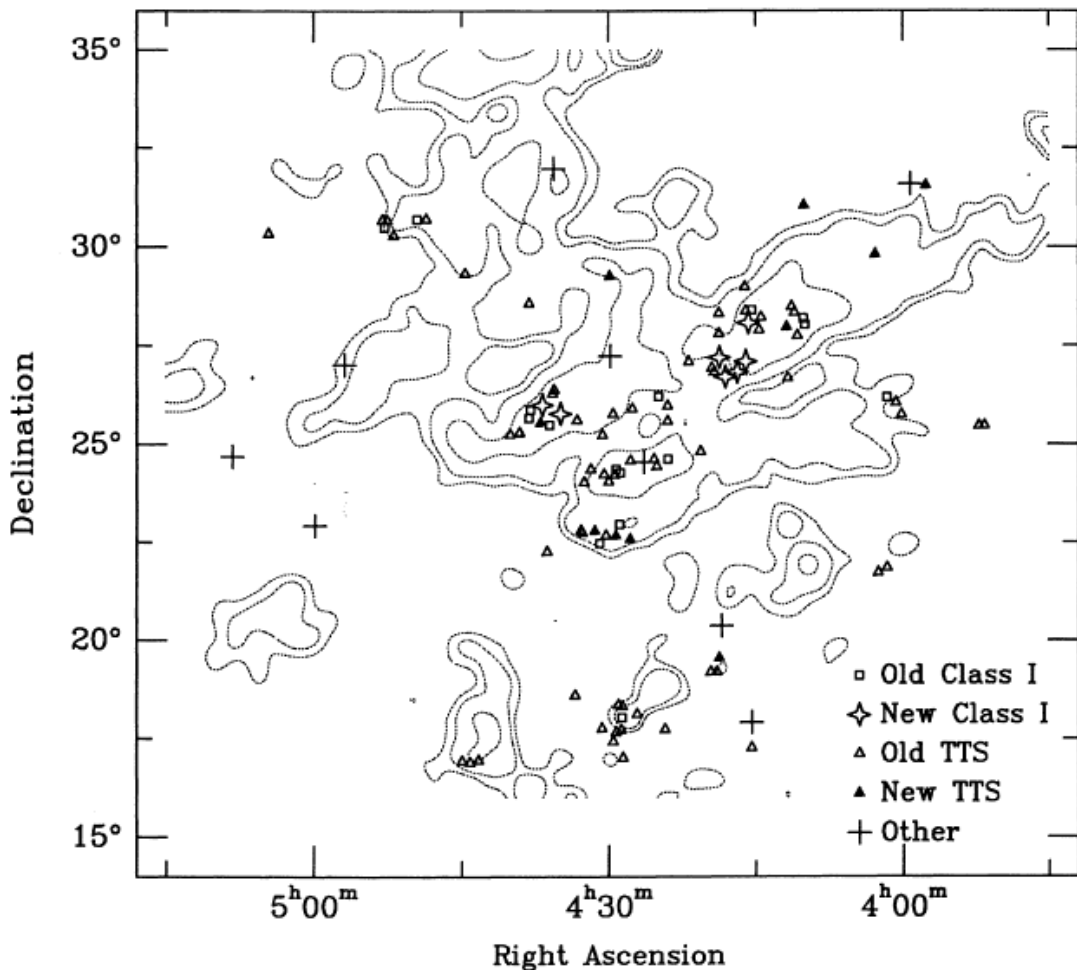
近傍の大質量星形成領域(OBアソシエーション)
低質量星形成領域はもっと
たくさんあるはず(未検出の
物も多い)

ゲールドベルト
明るい星(重い星)の集まり
→ 最近の星形成



de Zeeuw+ (1999)

1-2. 低質量星形成領域とTアソシエーション



最も近傍の星形成領域：
おうし座分子雲、へびつ
かい座分子雲など

1太陽質量程度の星が
100個ほど誕生

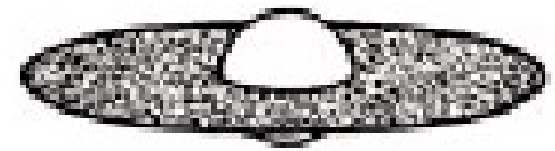
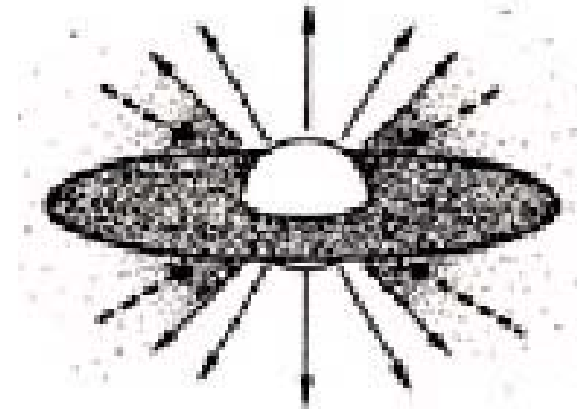
分子雲の濃い場所で、
星は集団で形成

FIG. 1. Sky map for Taurus–Auriga region. CO column densities from Ungrechts and Thaddeus (1987) are shown as dotted lines for flux densities of 3, 5, 10, 25, and 40 K km s^{-1} . Open triangles indicate the positions of optically visible T Tauri stars, while core sources from the Beichman *et al.* (1986) and Myers *et al.* (1987) surveys are plotted as open squares. The new *IRAS* sources discussed in this paper are indicated by stars (new class I sources), filled triangles (new TTS), or large crosses (galaxies and apparent field stars). The positions of some objects have been offset for clarity.

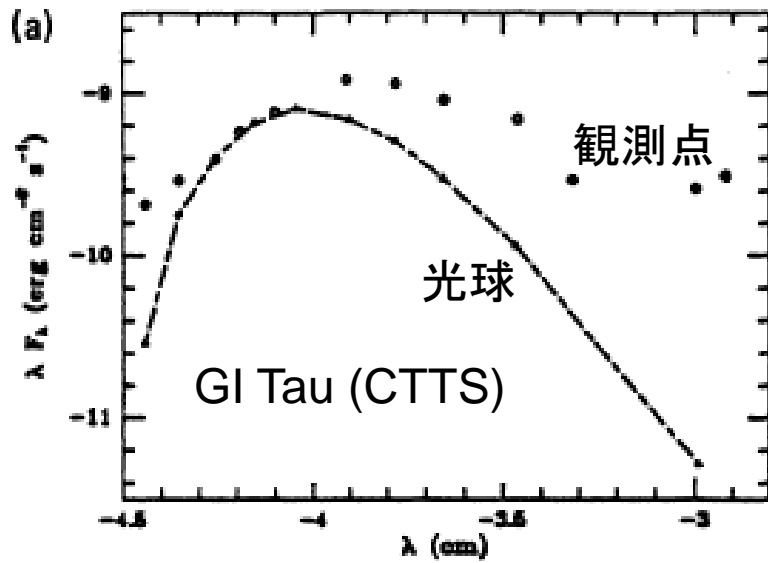
Kenyon+(1990), Ungrechts & Thaddeus (1987)

1-3.前主系列星の進化

- 原始星 (10万年)
中心に星が誕生
エンベロープ、原始惑星系円盤
質量降着
- 古典的Tタウリ型星 (CTTS; 100万年)
中心星が可視光で見え始める
原始惑星系円盤(赤外連続光の超過)
質量降着(強いH α 輝線)
- 弱輝線Tタウリ型星 (WTTS; 1000万年)
円盤が薄くなる
質量降着が弱くなる(弱いH α 輝線)



1-4. 連続光の超過



1. 紫外域～可視光の超過

境界層から

降着する物質がエネルギーを解放

2. 赤外域の超過

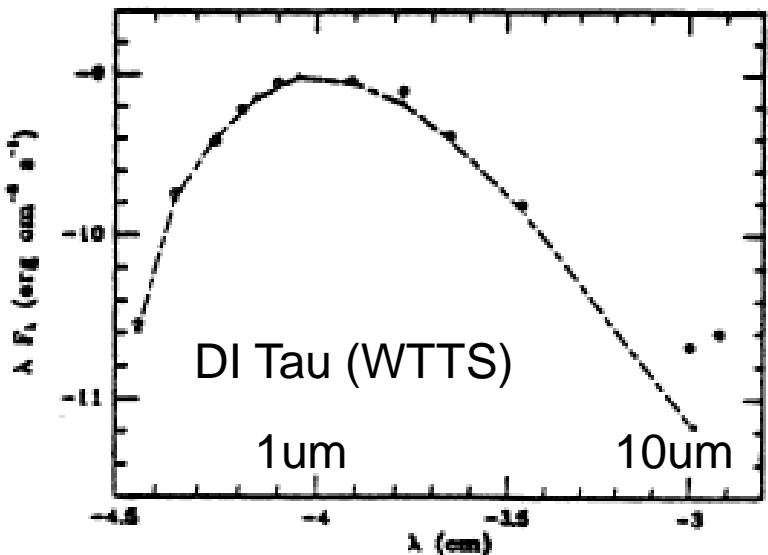
原始惑星系円盤から

- CTTSには大きな赤外超過

- WTTSは赤外超過ほとんどなし

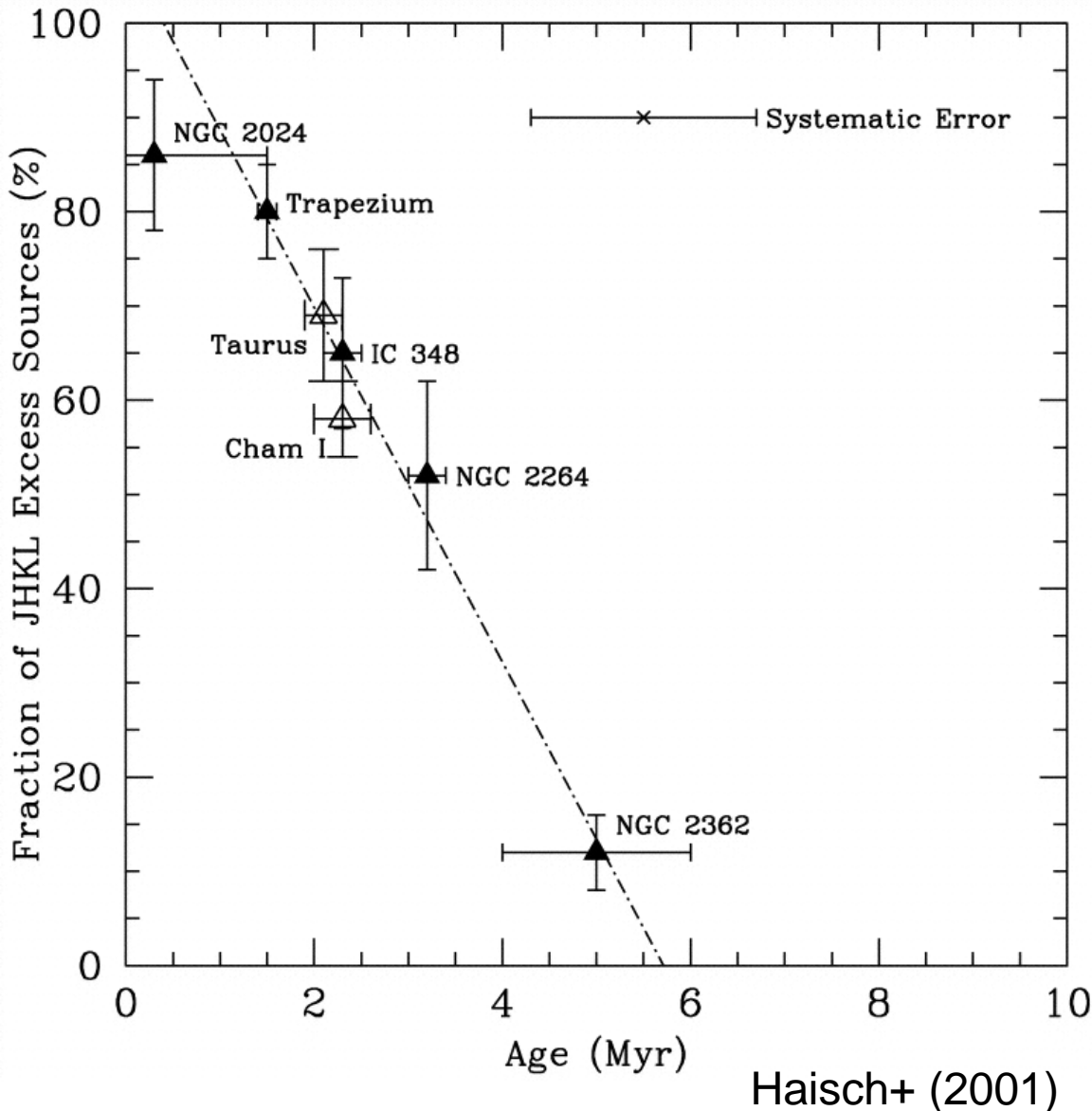
- Transition Disk天体

近赤外では超過なし、中間赤外では超過あり。CTTSとWTTSの中間



Strom+ (1989)

1-5. 原始惑星系円盤の寿命

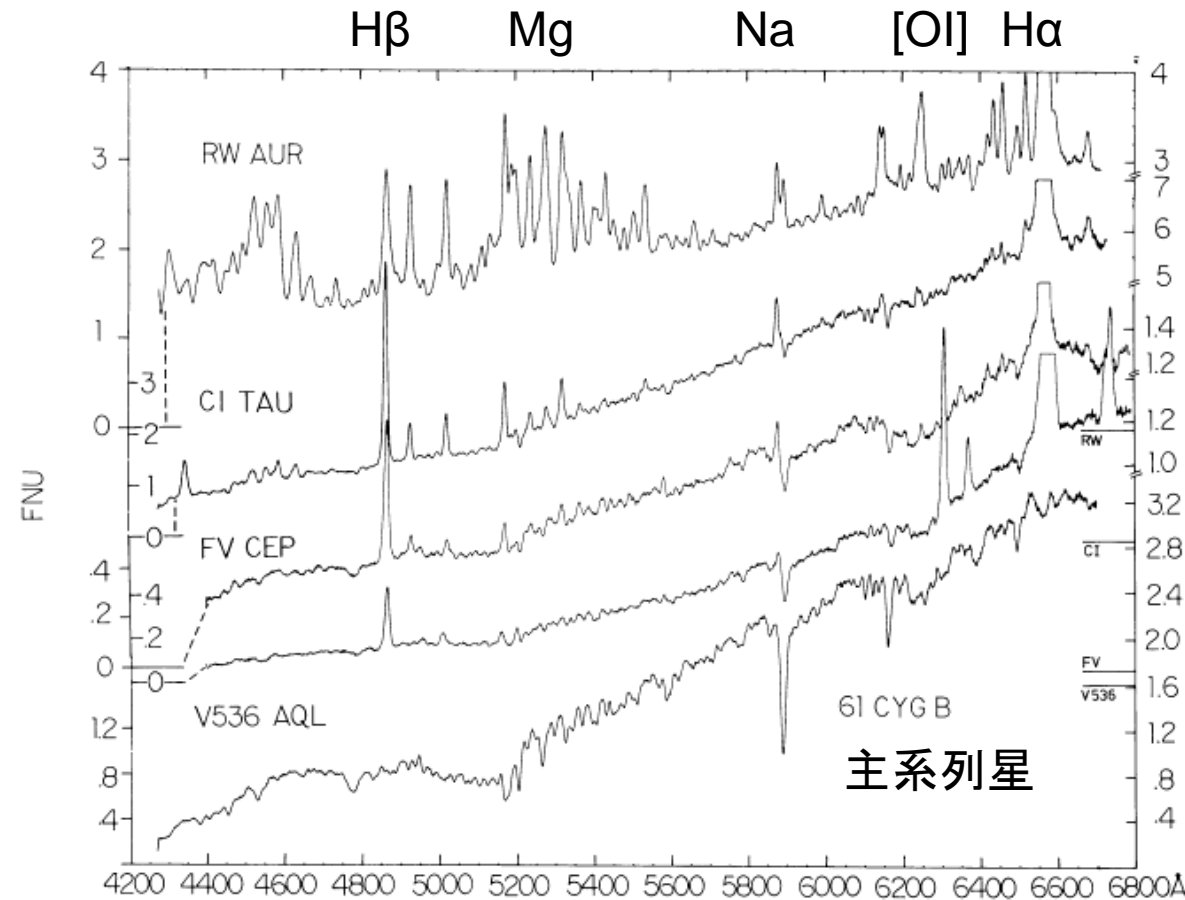


Lバンド($3\mu\text{m}$)の超過から円盤を持つ星の割合を求める

原始惑星系円盤の平均寿命は3Myr程度

- 星団の年齢の不定性
- 円盤は内側から消失。より長波長で超過のある天体もある

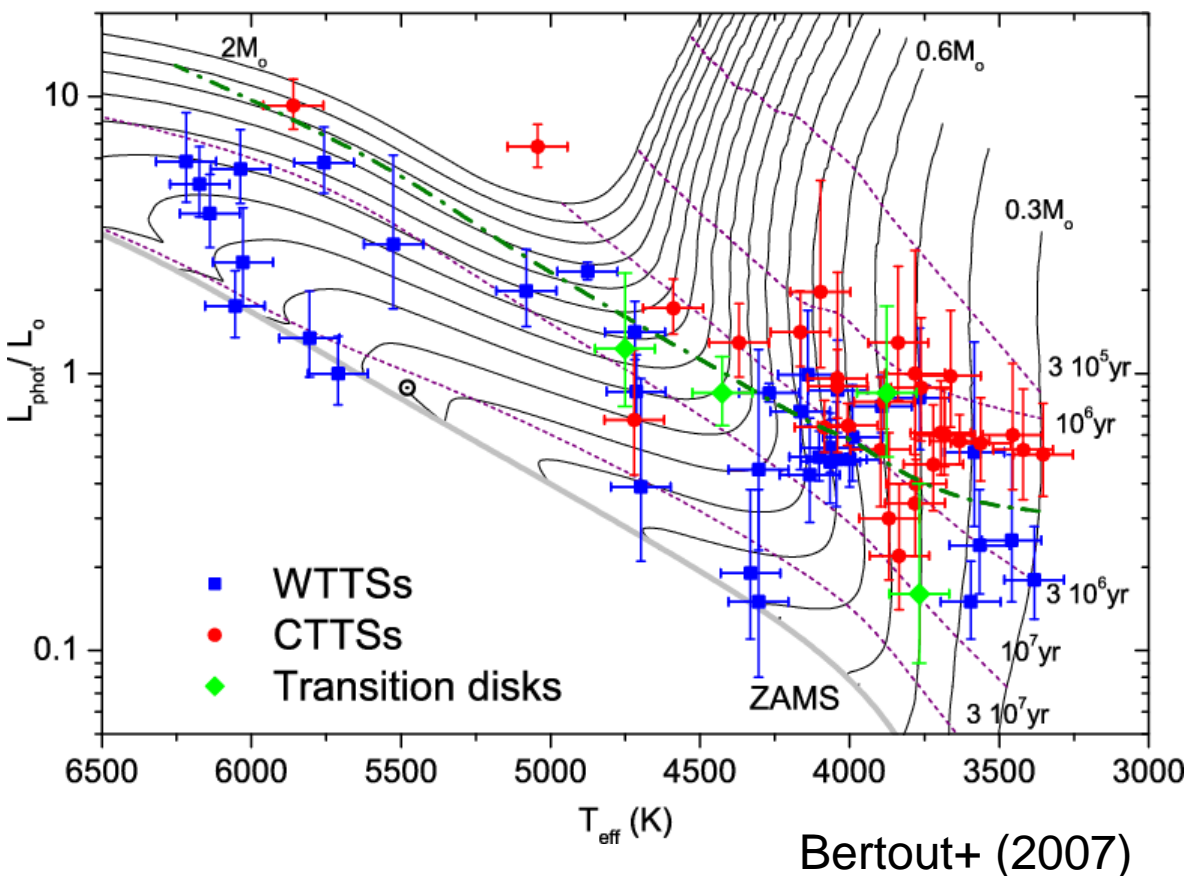
1-6. 輝線星としてのTタウリ型星



- H α などのバルマー線
質量降着
- [OI]などの禁制線
ジェット、質量放出
- Mgなど
彩層活動

FIG. 1.—A sequence of K7 photospheres, beginning with the normal star 61 Cyg B, showing the effect of increasing emission lines upon the underlying stellar absorption features. The continuum star RW Aur completes the sequence, although no photospheric type can be assigned. The ordinate represents F , linearly. Labeled lines inside the right-hand edge indicate the zero flux level, and these zero levels are also indicated on the left. Dashed lines, from the left-hand zero lines, show which ordinate scale refers to each spectrum. Ordinate scales on the right are in the order of the spectra presented.

1-7. 前主系列星の進化



- CTTS, TDO, WTTS の順で進化
- H α 輝線が弱まる(質量降着が少なくなる。円盤内側が消失)年齢は、およそ3Myr
- 以前は「CTTSとWTTSは同時代に存在する。円盤の進化には個性がある」と言われていた

1-8. 変光星としてのTタウリ型星

Tタウリ型星は変光星として発見

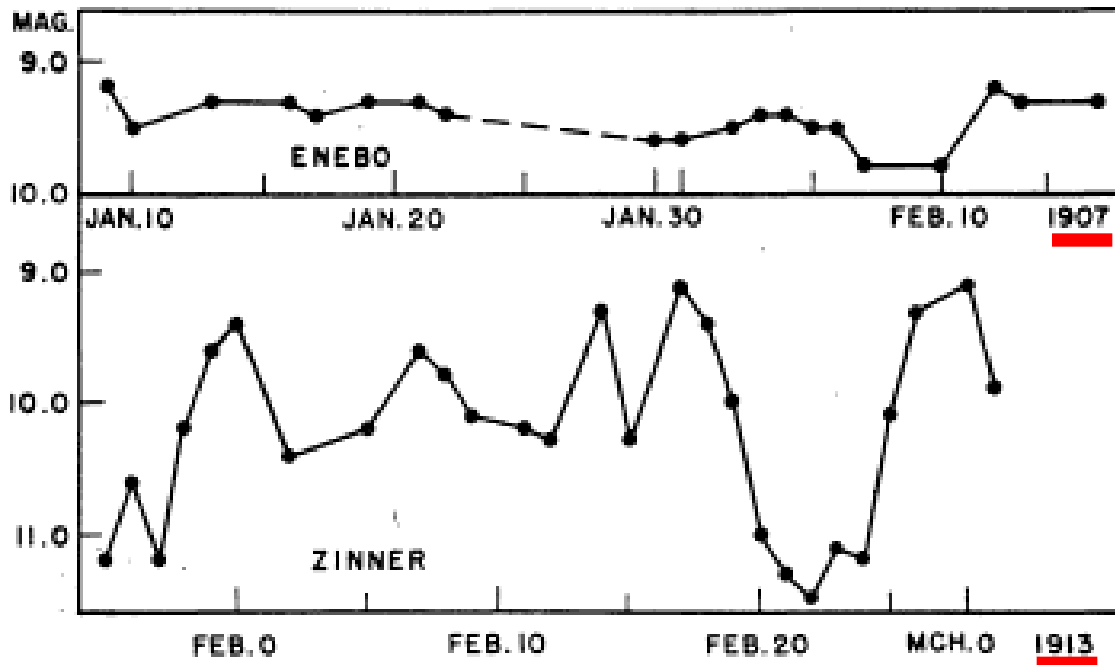


FIG. 2.—Light-curves of RW Aur by Enebo (*above*) and Zinner (*below*)

Joy (1945)

- 不規則な変光
 - 質量降着
 - 彩層活動
- 規則的な変光
 - 自転(黒点)

1-9. 自転の進化

WTTSはCTTSより高速
で自転

磁場でつながっていた原
始惑星系円盤内側(ゆっく
り公転)が消失したから

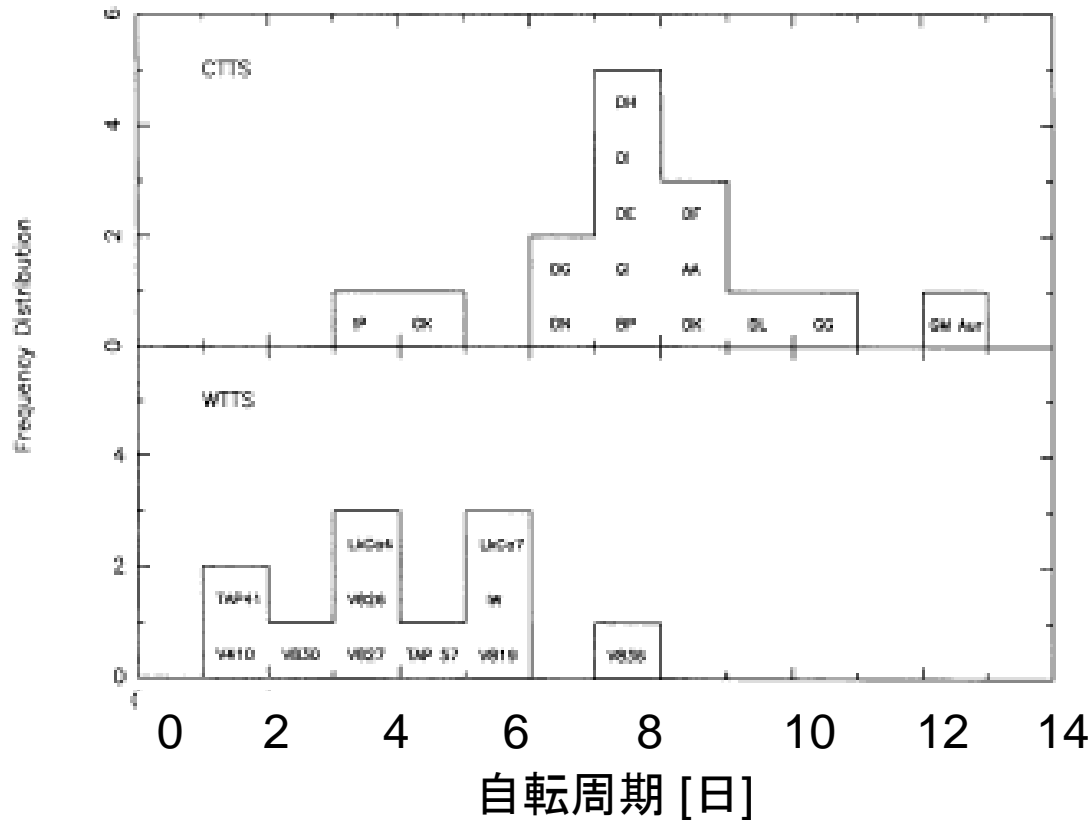


Fig. 31. Frequency distributions of the rotational periods of CTTS (top) and WTTS (bottom). Only stars with a spectral type from K7 to M1 are represented and identified by their names. The two distributions are different at the 99.9% confidence level, indicating that WTTS are faster rotators than CTTS

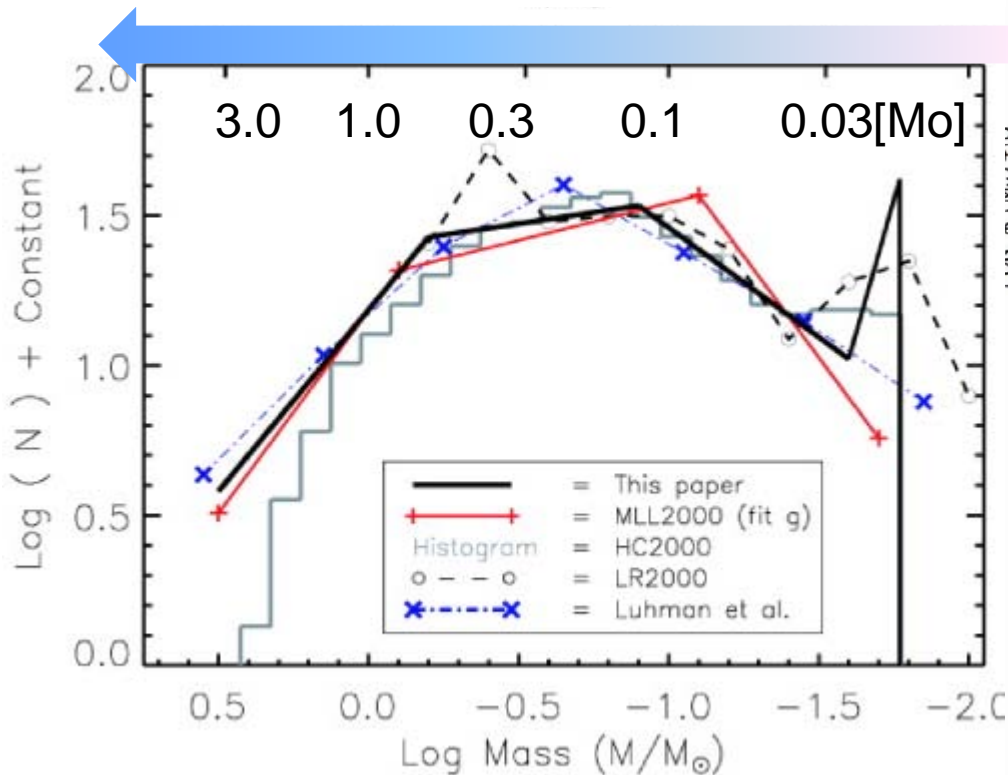
2-1. 知りたいこと1: 初期質量関数

1. 近傍の主系列星の光度関数

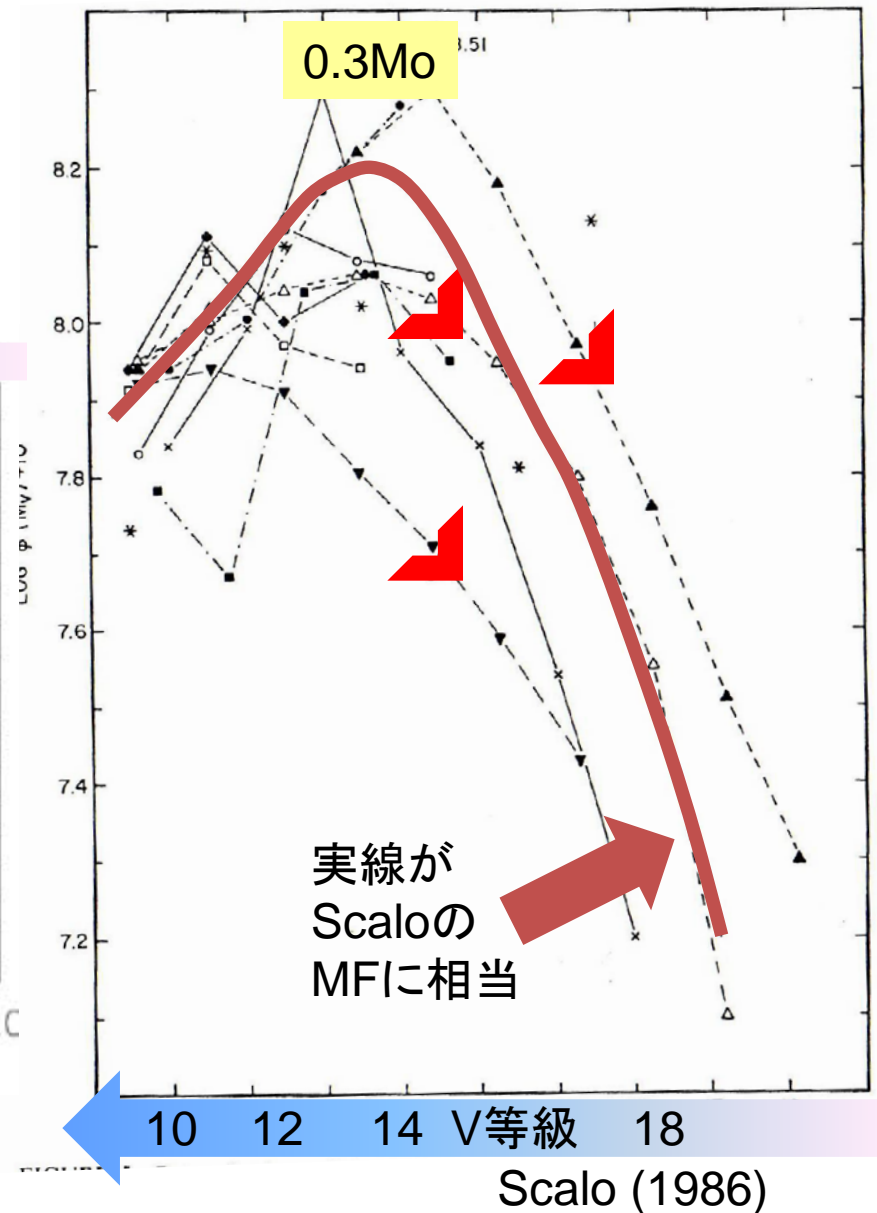
主系列星の年齢

2. 前主系列星の光度関数

質量光度関係、連星の分離

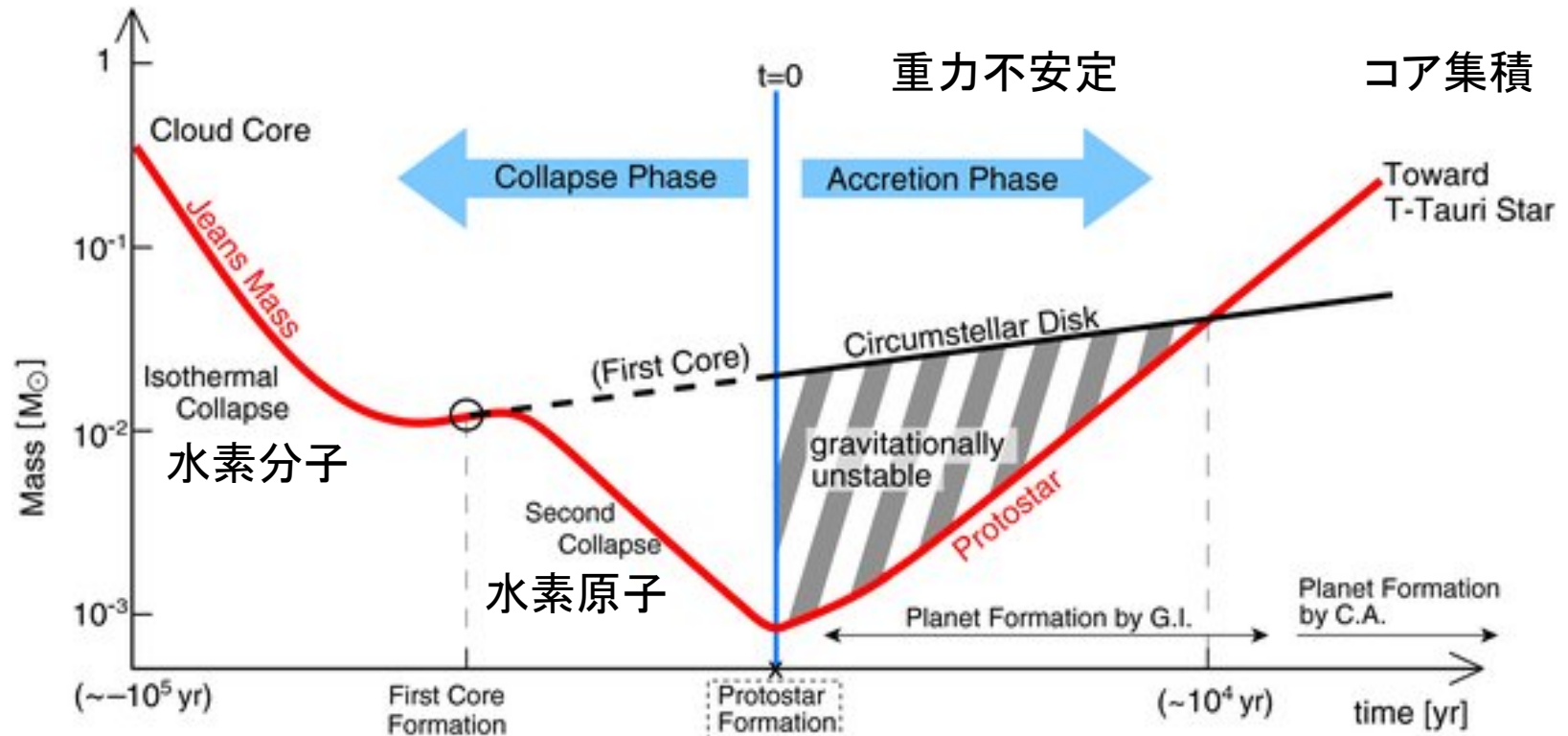


オリオン座分子雲で生まれた
前主系列星のIMF (Muench+ 2000)



2-2.知りたいこと2: 原始惑星系円盤と惑星の誕生

- 重い原始惑星系円盤が分裂して惑星が作られる
- 円盤内のダストが衝突によって成長し、惑星ができる
- 原始星初期には、中心星に比べて円盤は非常に重い



3. 近赤外偏光観測によるダストの成長過程の解明

原始惑星系円盤内でのダストの成長

Tanii+ (2012)

電波の多波長観測で β を決めることによって求められてきた

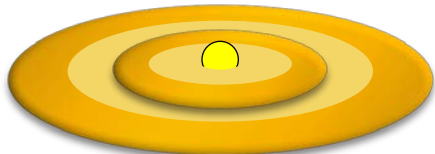
- ✓ 周波数によるビーム径の違い
- ✓ 光学的に厚くないか

偏光撮像観測

偏光度は、散乱体のサイズ、組成に依存 → 円盤を構成するダストの大きさや組成が分かる

観測対象: *UX Tau A* … pre-transitional disk天体 (Espaillat et al. 2007)

- ・ 中間赤外で シリケートの輝線を示さない → 円盤内で、微小なダストが欠乏
ギャップ内でダストの合体成長が進行？



Pre-transitional disk天体

円盤内にギャップがあり、
光学的に厚い円盤が内側と外側に分かれている

→ 円盤の進化過程を知る重要な手掛かり

研究の目的

原始惑星系円盤を偏光撮像観測することによって、円盤内のダストの大きさを調べ、円盤から惑星への進化過程を解明する

観測

観測天体	UX Tau A, SAO93770 (PSF参照星)
望遠鏡	すばる望遠鏡
装置	コロナグラフ装置 HiCIAO/AO188
観測波長	Hバンド(1.6 μ m)
観測モード	<i>PDI (Polarization Differential Imaging) モード</i>
積分時間	44分(UX Tau A)、16分(SA93770)
観測日	2009年12月23日
空間分解能	~0.1" (= 14AU)



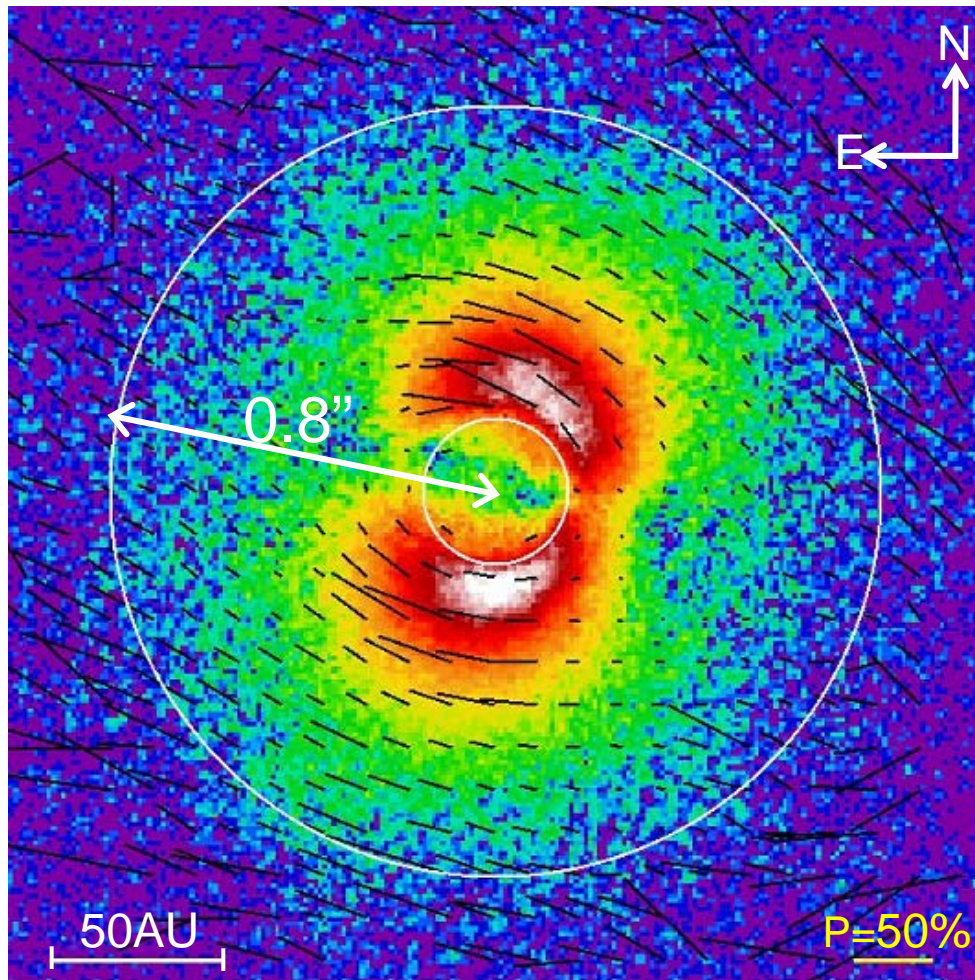
直交する2つの偏光成分を同時に取得できる偏光撮像モード

大気状態に依らない観測が可能！



結果

北西と南東方向に広がる強い偏光成分

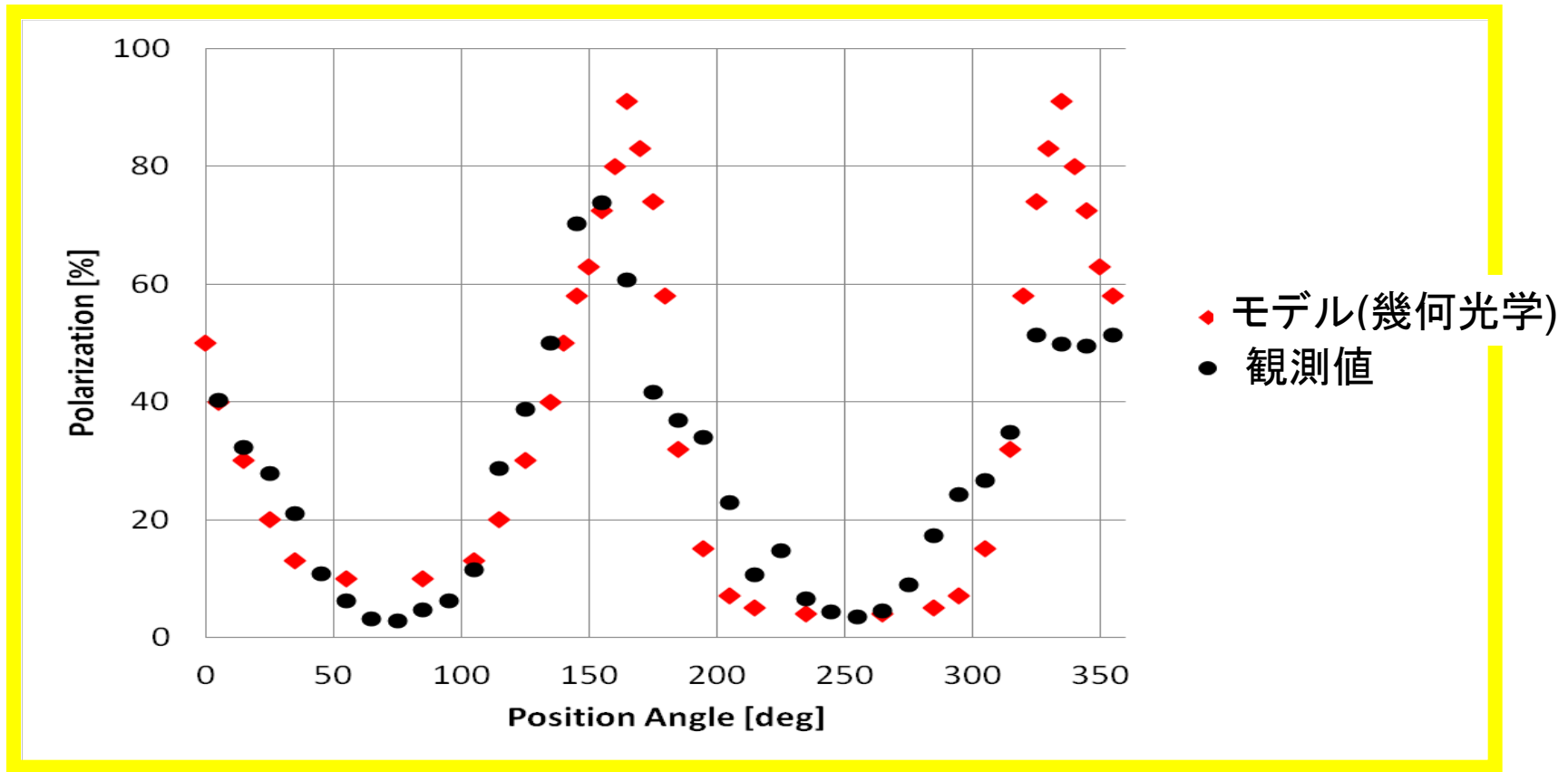


- **UX Tau Aの
原始惑星系円盤を検出**
- $>5\sigma$ 領域を円盤と考えると、
**⇒ 半径0.83" (約120AU)
偏光度 1.6-66%**
- ギャップ構造は検出せず

UX Tau Aの偏光強度画像. 黒線は偏光ベクトルを表す. 中央の円は、直径0.3" のマスク領域を表す.

結果

- UX Tau Aの円盤半径0.3" (約40AU) における偏光度分布を測定

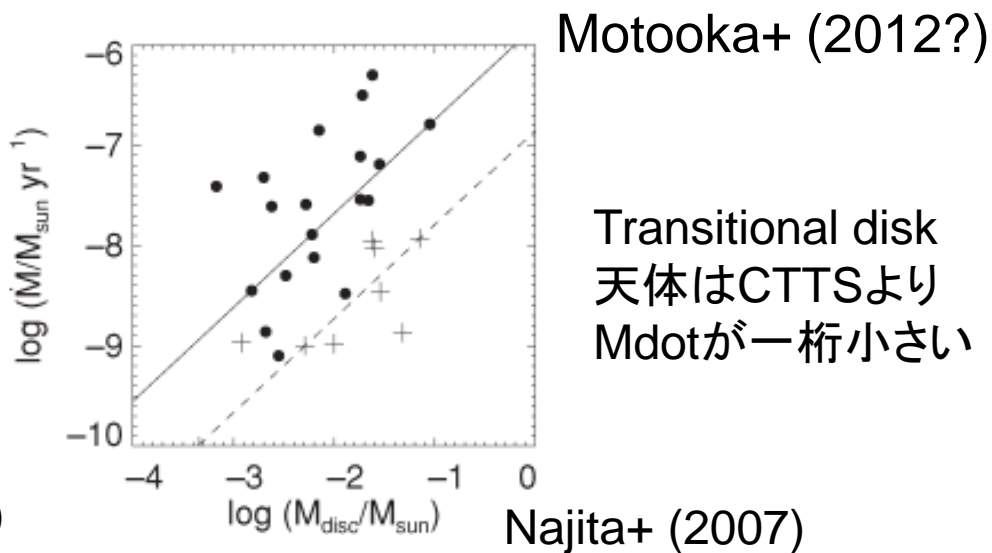
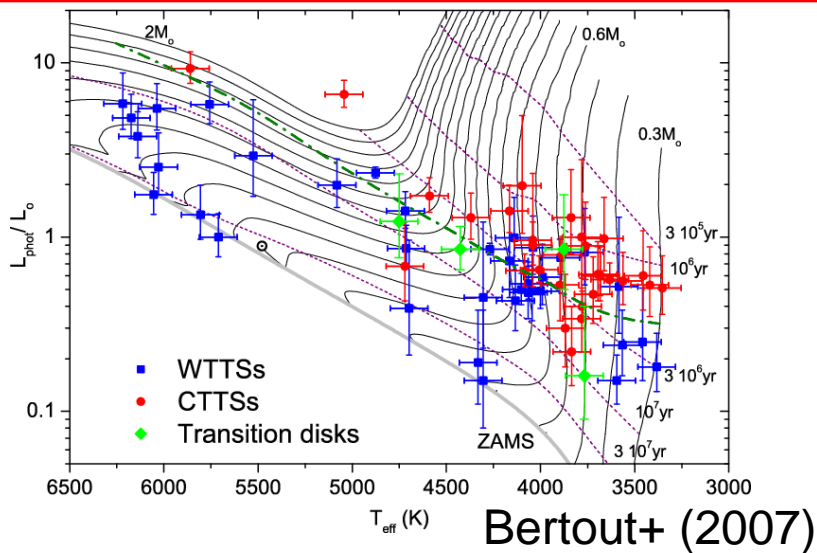


◆ 直径60 μm で100面体のダストからなる星周円盤の偏光モデル

⇒ 観測値とほぼ一致

UX Tau Aの円盤半径40AU付近では、
直径60 μm まで成長したごつごつした
ダストが存在

4. Ca輝線によるYSOの彩層活動の観測



Transitional disk
天体はCTTSより
Mdotが一桁小さい

前主系列星の彩層活動

前主系列星の彩層は活発に活動しており、活動の強さは星自身の自転や磁場、原始惑星系円盤からの質量降着などと深く関係する。

→彩層活動を調べるために、**Ca II 輝線**を用いる。

本研究の目的

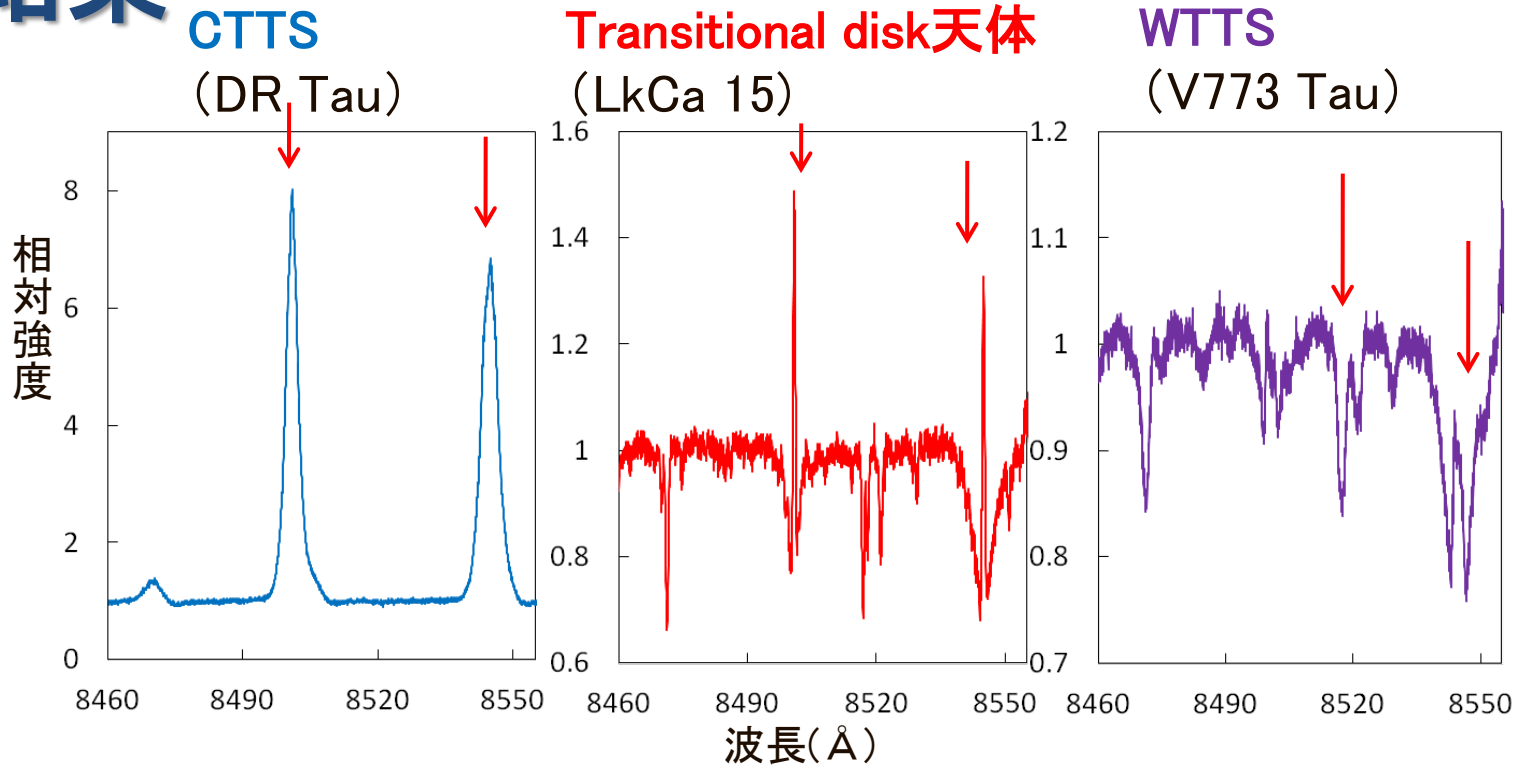
- 前主系列星の彩層活動は、進化段階によって変化すると考えられる。
- Ca II 輝線の中でも、若い星の観測に適した近赤外域のCa II 三重輝線を用いて、原始惑星系円盤と質量降着、彩層活動の進化過程を探る。



2.観測

- すばる望遠鏡+HDS(高分散分光器)
 - アーカイブデータ Keck望遠鏡+HIRES(高分散分光器)
- 取得天体:おうし座領域 CTTS18天体 Transitional disk天体10天体
 WTTS13天体 (スペクトル型:G~M5型)

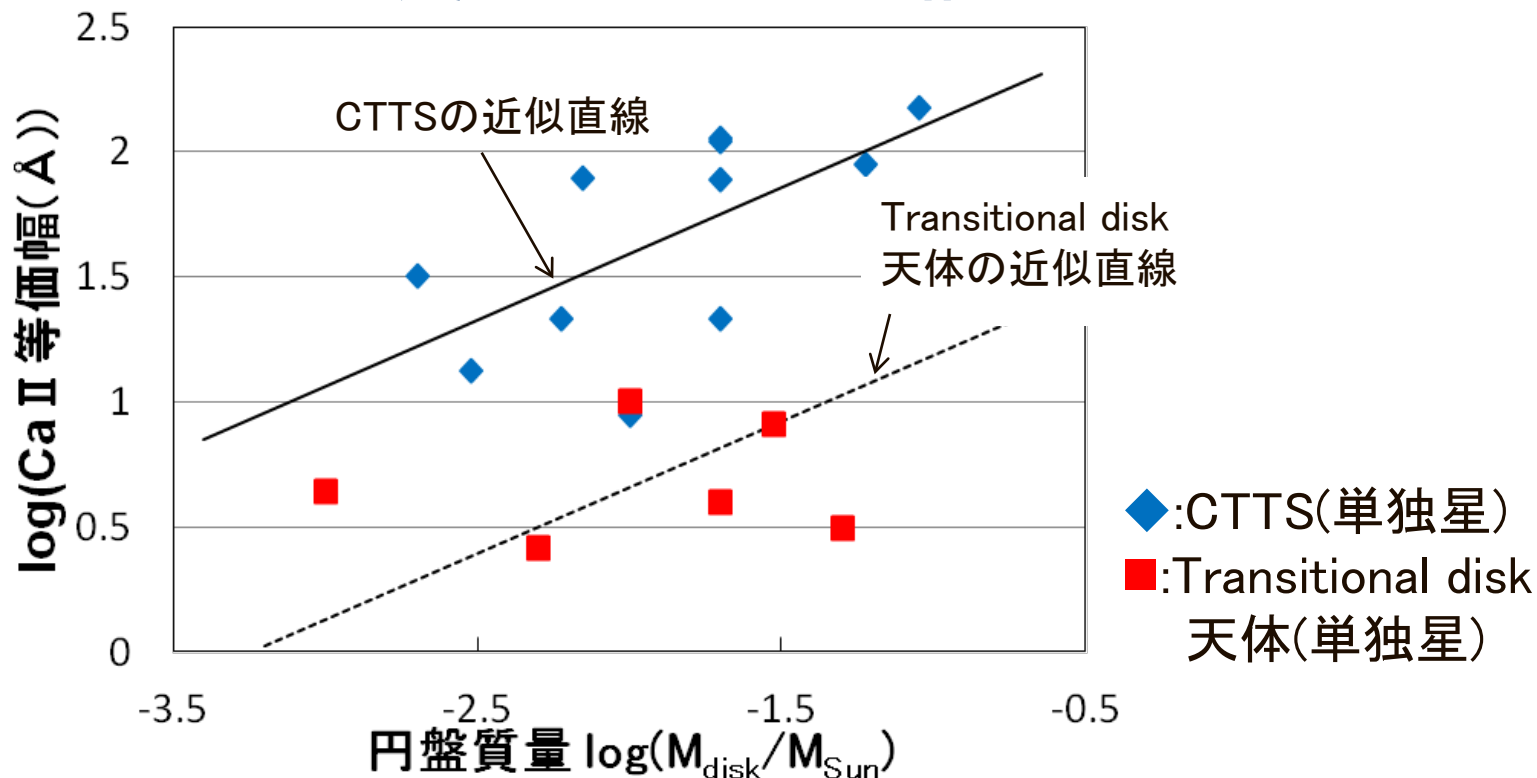
3.結果



⇒CTTSからWTTSへ進化段階を経るにつれ、
 彩層活動が弱まる。

4.考察

円盤質量とCa II 等価幅



- 彩層活動の強さを表す指標として、Ca II 輝線の等価幅を測定した。
 - 円盤質量が同じ場合、Transitional disk天体の等価幅はCTTSの10分の1程度になる。
- ⇒ 彩層活動はTransitional disk天体の段階で既に弱まる。