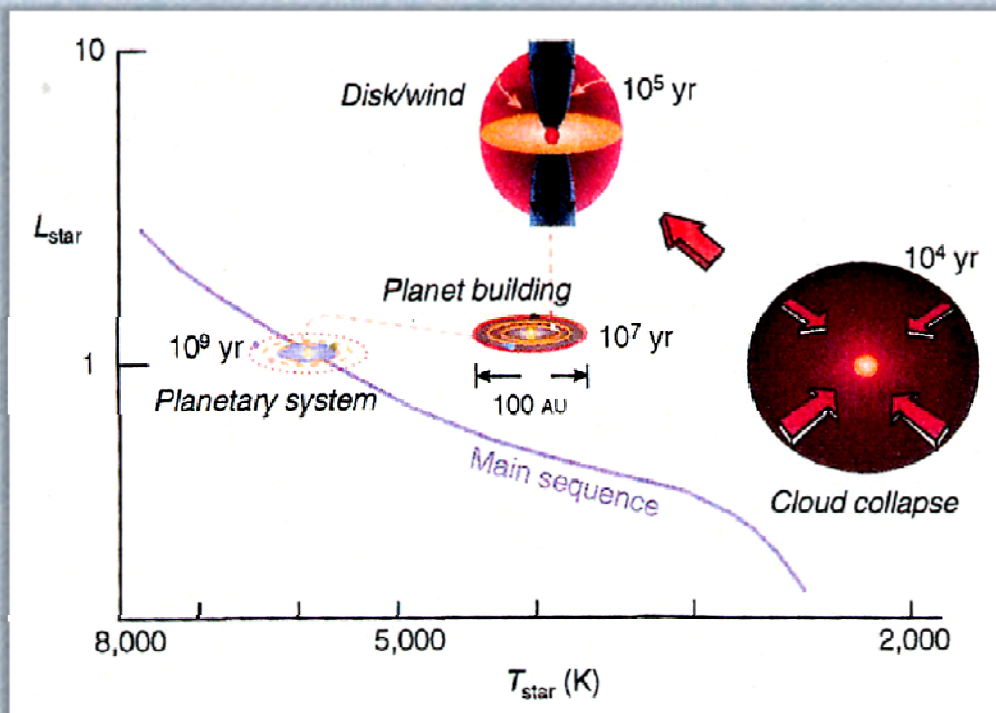


# 若い褐色矮星と惑星質量天体の観測

サブグループ1 観測系 大朝 由美子

# 低質量星の形成と進化



星のHR図と進化過程

## 低質量星の形成

分子雲コア (Class 0)



原始星(Class I)



Tタウリ段階(Class II, III)



主系列星

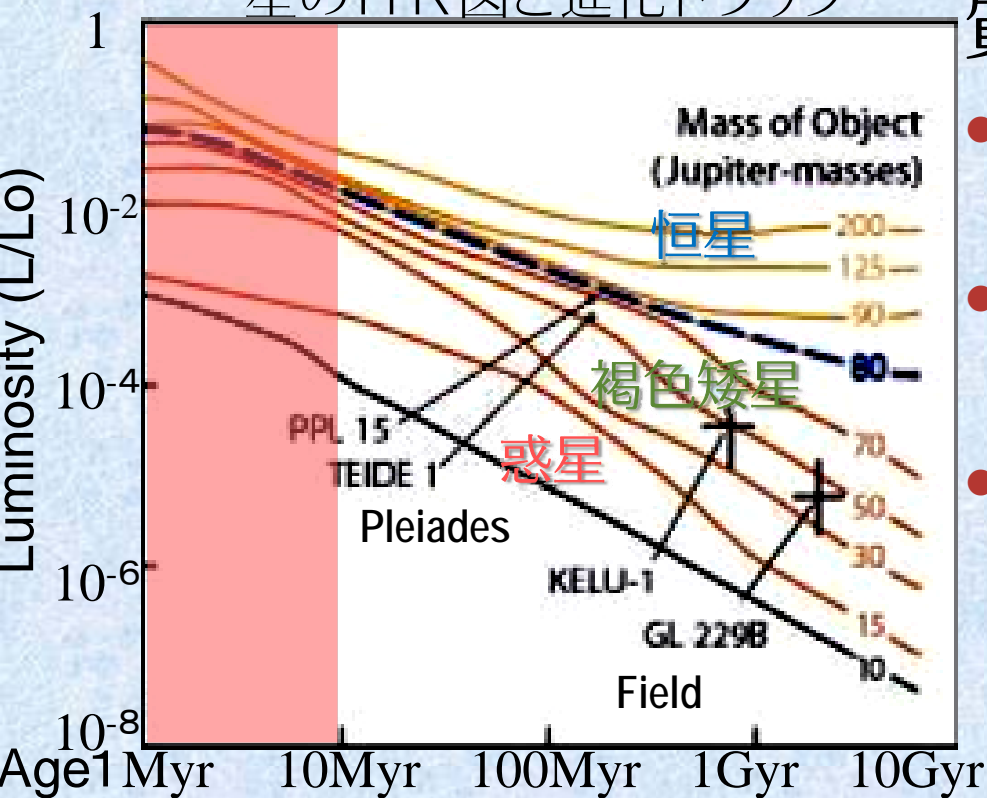
- 星の一生は、ほぼその質量で決まる
- 10Mo~0.3Moについては軽い星ほど多く形成されている
- さらに軽い褐色矮星、惑星/惑星質量天体は、より重い低質量星に比べてどのくらい存在するのか？

# 若い天体の特徴

質量が小さい天体も、若いときほど明るい

- × 若い天体 & 軽い天体 → 近赤外で明るい
- × 若い天体は星形成領域に付随 → 距離、年齢がほぼ同じ

星のHR図と進化トラック



質量が大きいものほど明るい

- 太陽の0.08倍以上の質量をもつ  
恒星
- 0.013~0.08倍の質量をもつ  
褐色矮星
- 0.013倍以下の系外惑星や惑星  
質量天体

伴星=惑星

単独=惑星質量天体

分子雲に埋もれた若い軽い天体の検出 → 近赤外探査観測

# 観測結果例：大質量星形成領域 S106

Oasa et al. 2006, AJ, 131,1608-1629

## × 領域

距離 600pc  $l \sim 76^\circ$   $b \sim -0.6^\circ$  はくちょう座分子雲

過去に Hodapp & Rayner (1991)  $K \sim 13.5$ 等  $JHK$ で14星を測光

## × 観測

1999年 すばる望遠鏡 8.2m + CISCO (1024x1024 HgCdTe)

$0.''116/\text{pix}$  シーイング $\sim 0.''3$

$JHK'$  バンド 6分( $J$ )、4分( $HK'$ )積分

観測領域 約 $5' \times 5'$

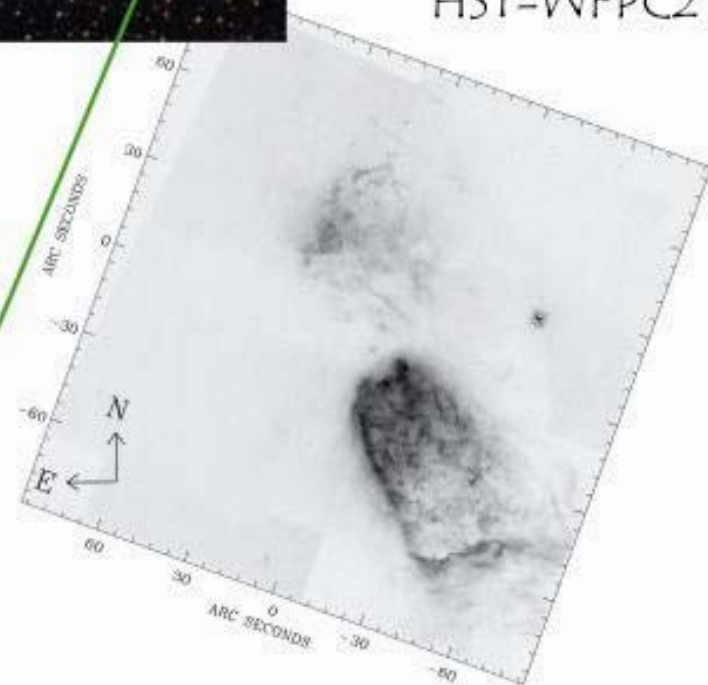
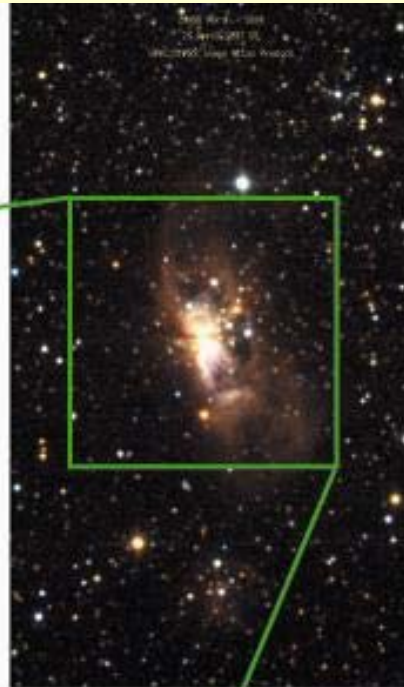
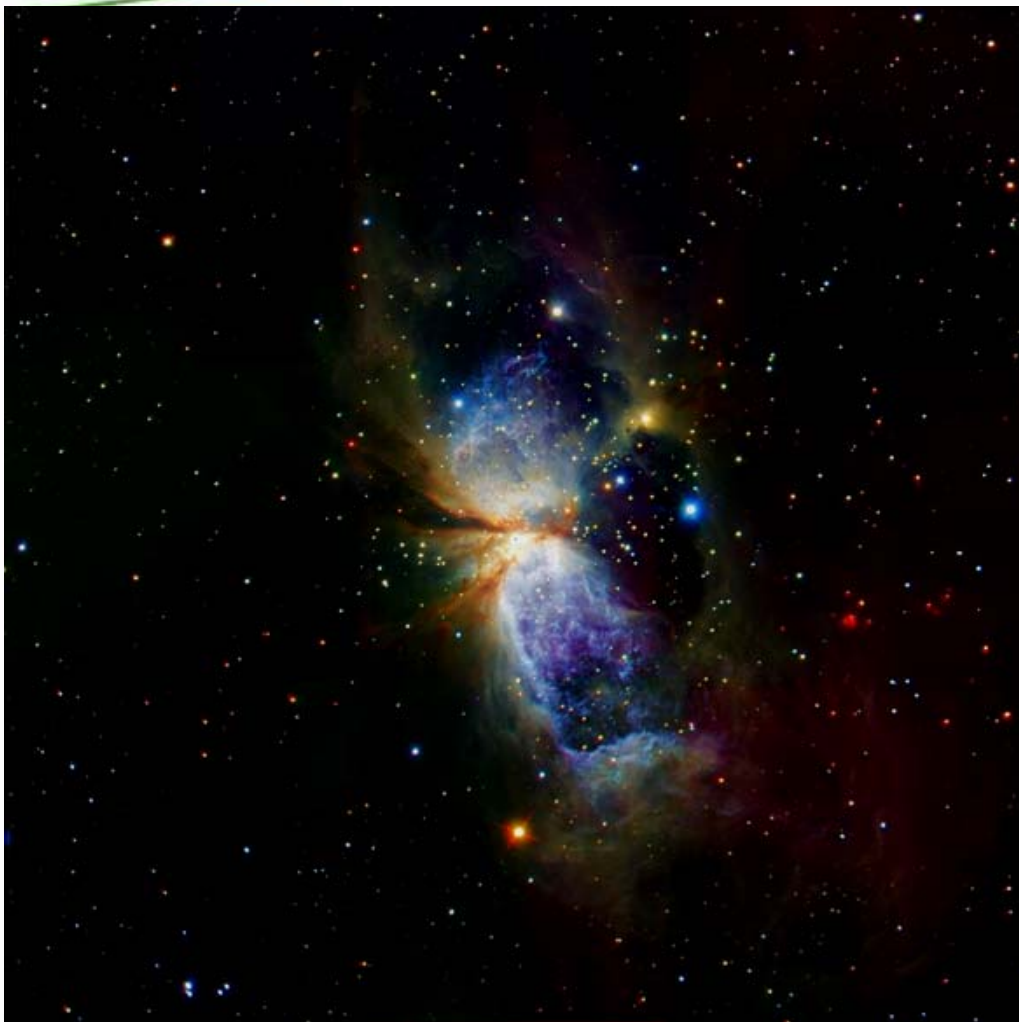
$10\sigma$  検出限界  $J, H, K' \sim 21-21.5, 20-20.5, 20-20.5$ 等

星形成領域における近赤外探査観測で最も深い

# SUBARU+CISCO

2MASS

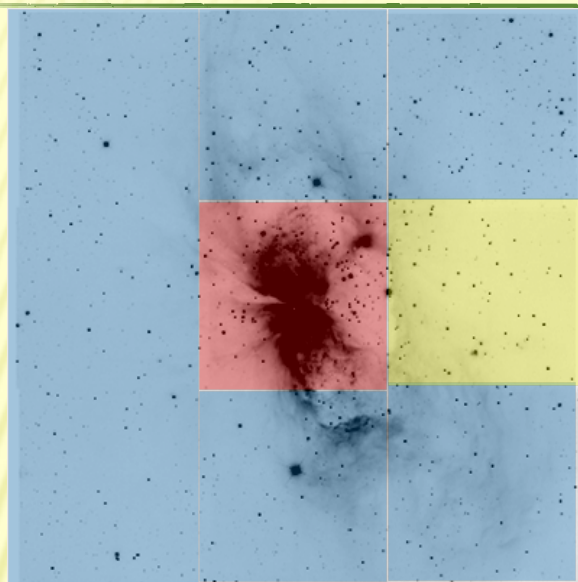
HST-WFPC2



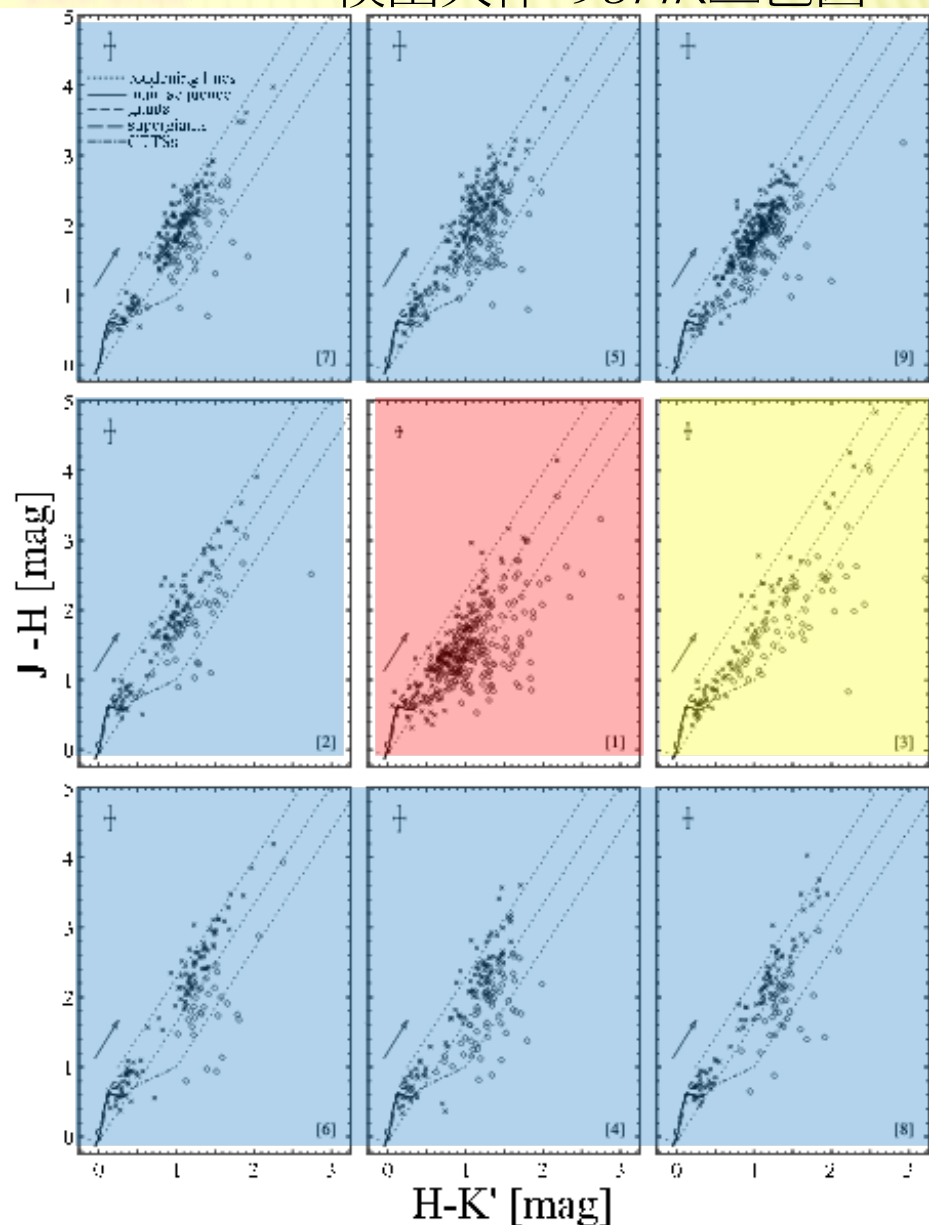
← 5' →

# 近赤外測光観測 二色図

検出天体のJHK二色図



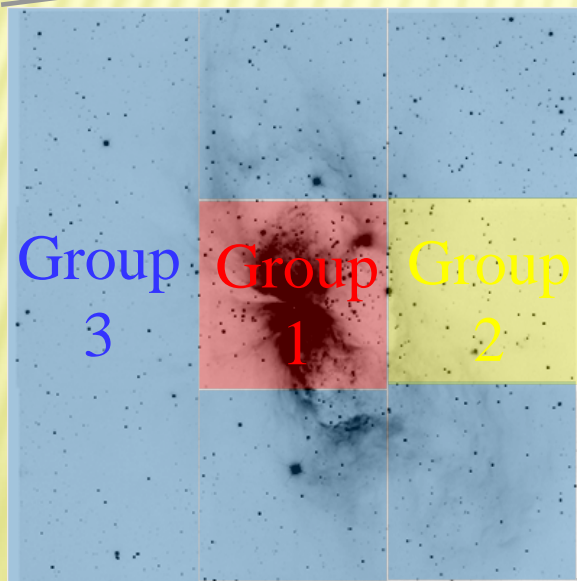
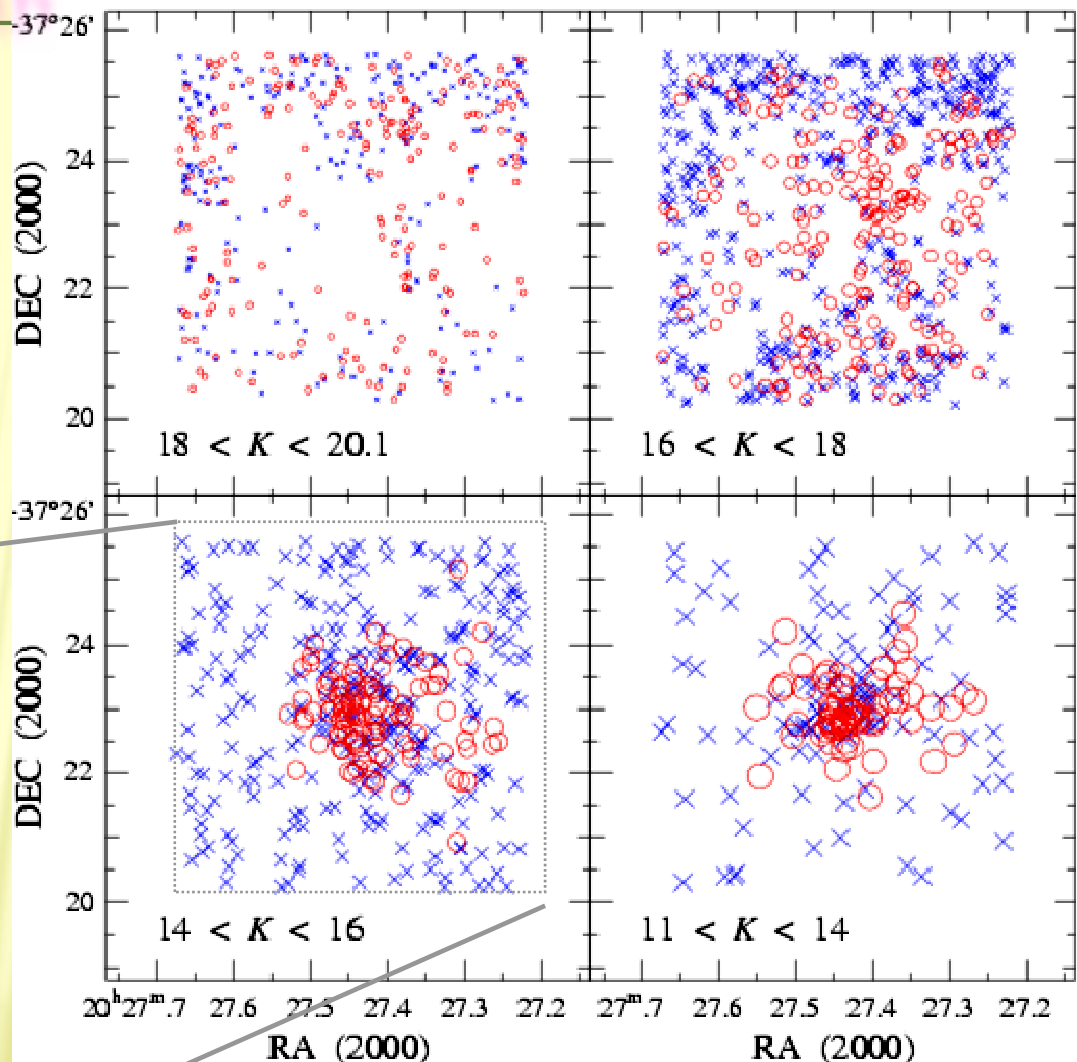
- + 約1700天体を3波長で検出
- + 星間赤化、近赤外超過が領域によって異なる
- + YSO候補を約600個同定
- + YSO個数比は領域による ( $24 \pm 16 \sim 52 \pm 9\%$ )



# 近赤外測光 星分布

星の二色図、色等級図、空間分布、YSOの密度、個数比等から領域を三つにグループ化

× Field stars    ○ YSOs



明るいYSO : 中心部に集中  
暗いYSO : 全体に分布

# 近赤外測光

## 星の初期質量関数

三つのグループで質量関数を比較すると

### × 共通点

質量の大きい星から小さい天体へ、観測限界まで星数は単調増加

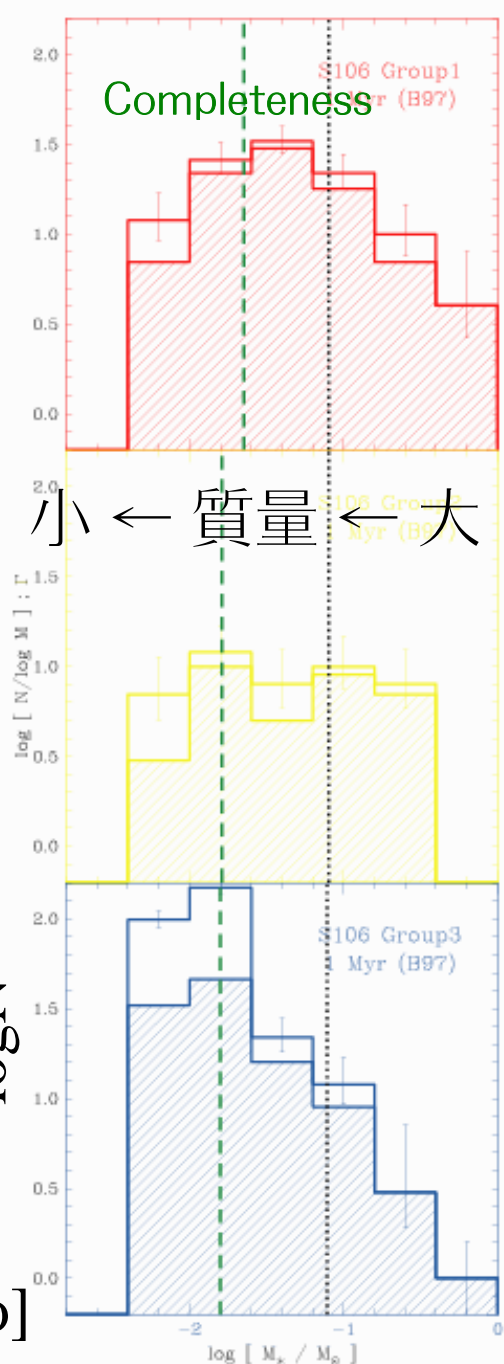
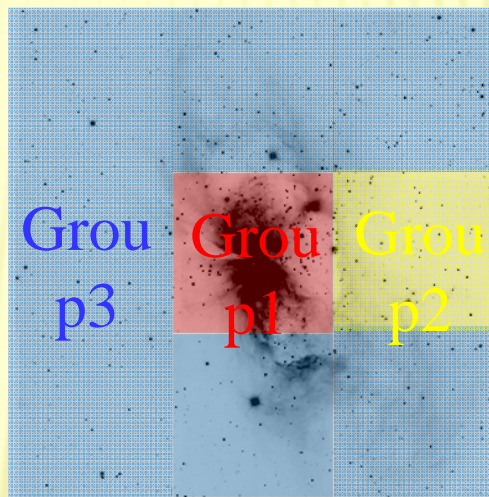
→ 褐色矮星・惑星質量天体の数は低質量星より多い

### × 異なる点

増加関数の傾きは異なる

→ 1pc規模で質量関数は変わる可能性あり

但し、JHK測光のみから求めた質量には、不定性が残る



グループごとの初期質量関数



# 若くて軽い?

## 超低質量天体の質量推定

質量の決定 → HR図で進化トラックと比較  
温度を知る必要あり!

### 1 多波長測光観測

JHKより長いLバンド( $3.5 \mu\text{m}$ ),  
短い,I,Zバンド( $0.8, 1.0 \mu\text{m}$ ) 他

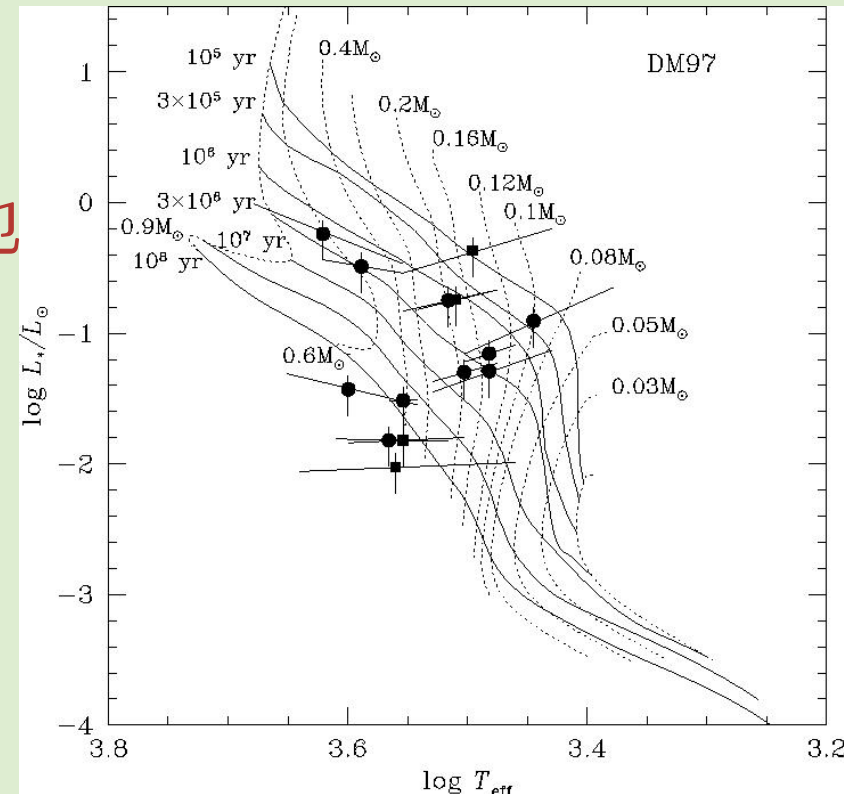
SEDから温度推定

赤外超過(ディスク成分)は  
年齢が若い証拠

### 2 近赤外分光観測

水や金属(Na,K)の吸収量から  
温度推定

低質量YSOのHR図+進化トラック



Itoh et al. (2002)

# 近赤外 $3\mu\text{m}$ 測光観測

→ 若さを示す近赤外超過の検出

すばる望遠鏡+IRCIS(1024x1024  
InSb 視野約 $1'$ )

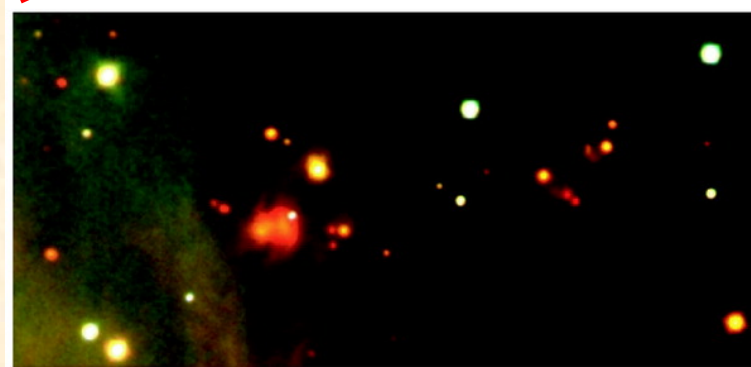
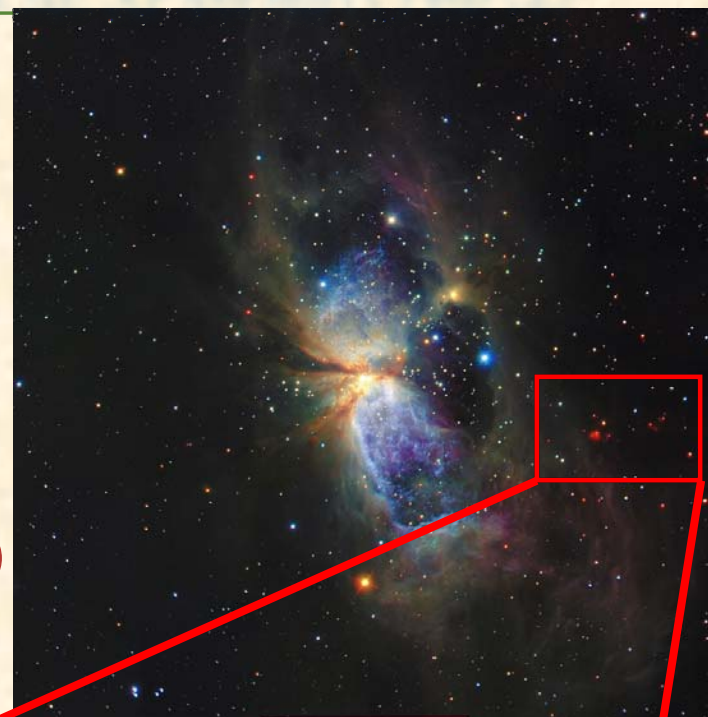
2005年5月観測。シーイング $0.''5$

L'バンド( $3.5\mu\text{m}$ )

観測領域  $1' \times 2'$  (主にグループII)

積分時間 500-1000秒

$10\sigma$ の限界等級  $\sim 16$ 等

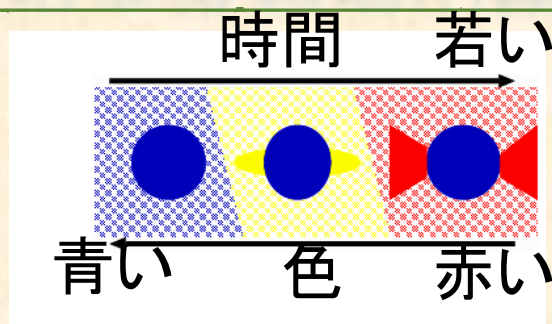


上下ともに  $JHK$  三色画像。  
下はグループIIの一部を示す

# 近赤外 $3\mu\text{m}$ 測光観測

→ 若さの指標となる近赤外超過の検出

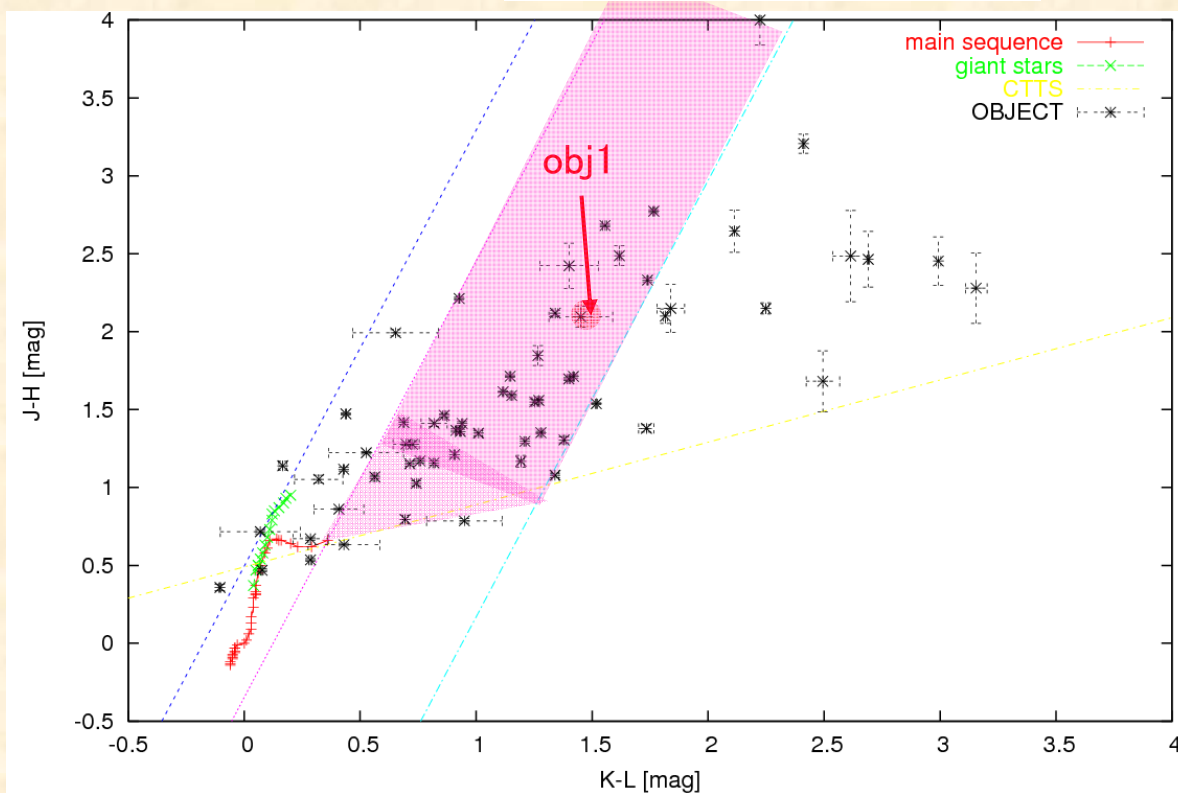
グループIIの天体をLバンド測光  
JHK測光と合わせると...



- ✖ Lで約90天体検出
- ✖ JHKL or HKL 二色図から赤外超過を持つ天体をYSOと同定



YSO比率 8.2%  
活発な星形成活動を示す



JHKLの二色図

# YSO候補天体の近赤外分光観測

→ 有効温度を求め、質量を推定

- すばる望遠鏡+CISCO(1024x1024 HgCdTe 視野約 2' )  
2004年8月観測。シーイング0."3-0."6

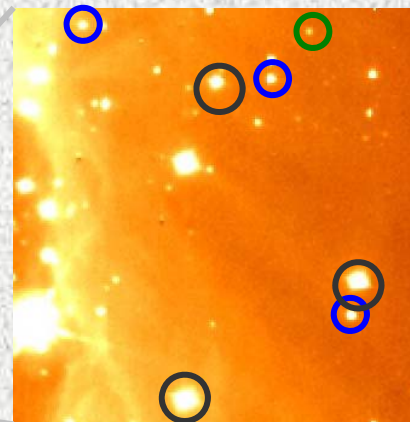
Kバンド(1.9-2.5  $\mu\text{m}$ )、スリット0."5、 $R\sim 300$

- すばる望遠鏡+MOIRCS(2048x2048x2 HgCdTe 視野約 4' x7' )  
2006年9月,2007年8月観測。

シーイング0."3-0."5

HKバンド(1.3-2.5  $\mu\text{m}$ )

スリット0."5、 $R\sim 300$

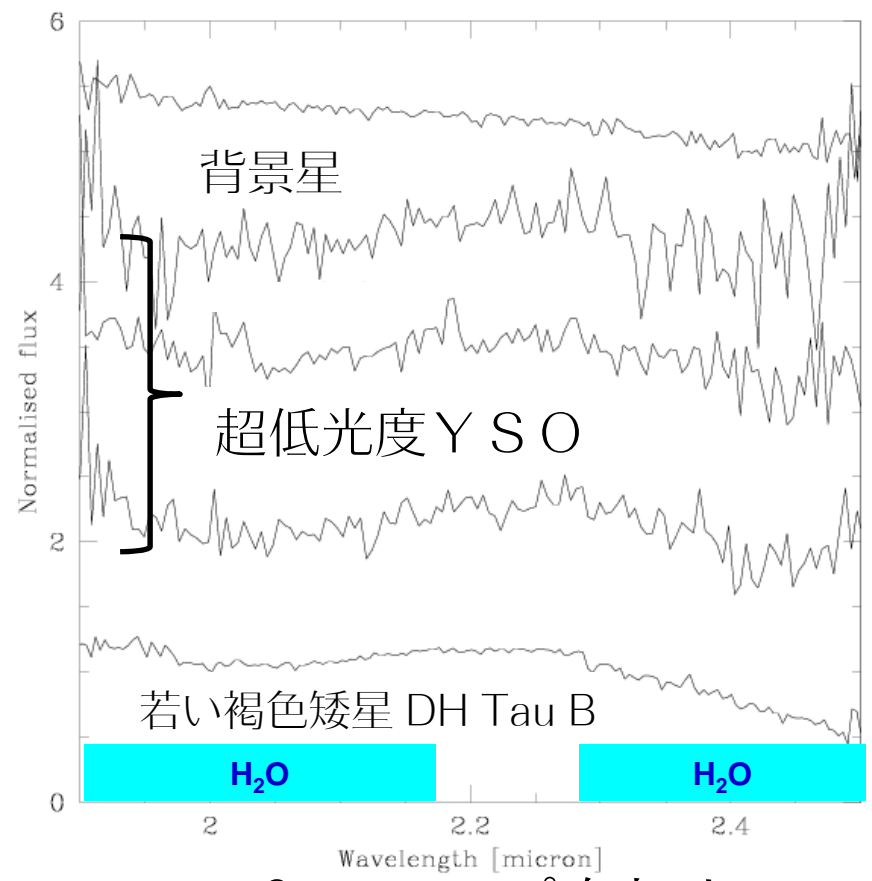


左は  $JHK'$  三色画像。右は  $K'$  バンド拡大画像。低質量YSO (○)と若い褐色矮星(○)、若い惑星質量天体(○)の例を示す

Oasa et al. 2006,  
IAU meeting  
2007, ESO  
Workshop etc.

# 近赤外分光観測

## スペクトルにみられる水の吸収



2  $\mu$ m スペクトル

超低質量YSO候補と背景星を  
Kバンド(2  $\mu$ m)分光

- ✖ 超低光度YSOは若い褐色矮星と似たスペクトル
- ✖ 低温度星に特徴的な水の吸収がみられる

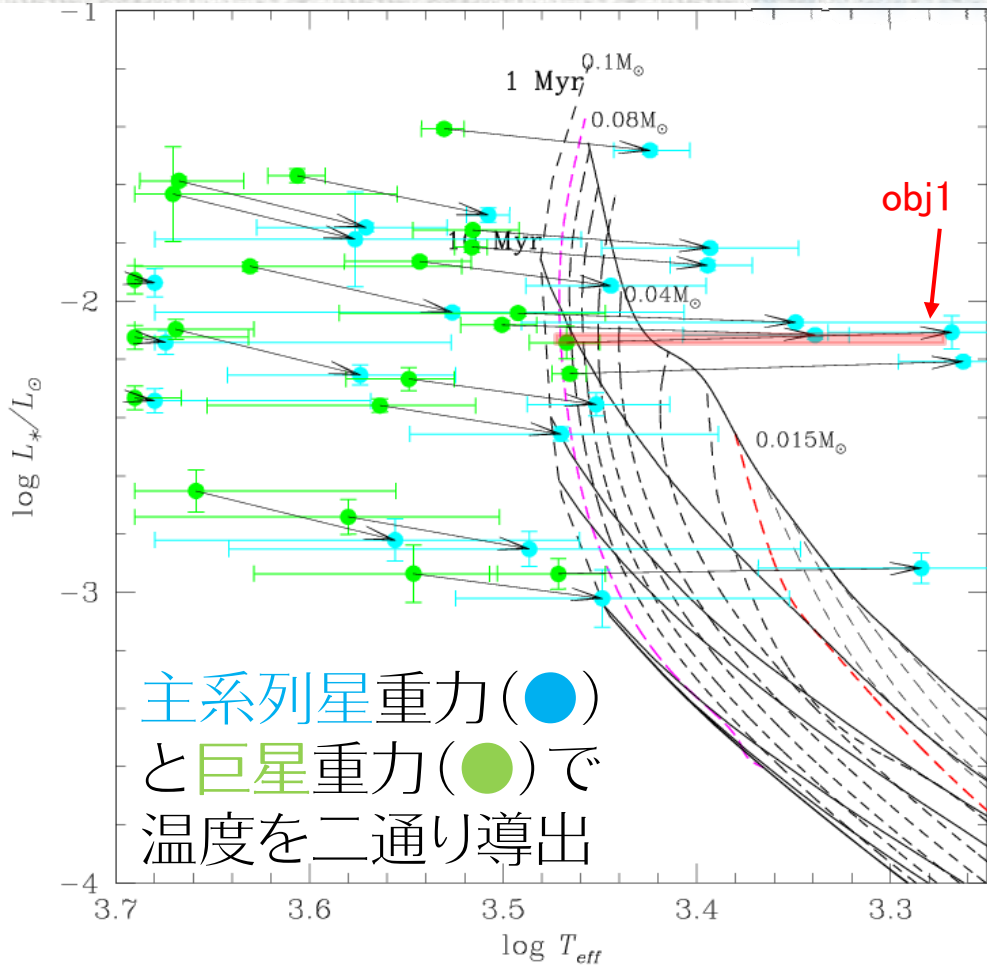


超低光度YSOは低温？

YSOには星周円盤による減光があるため、減光に依存しない水の吸収量比 $Q$ と有効温度の関係を導出し、温度を推定

# 近赤外分光観測

## 有効温度と光度から質量推定



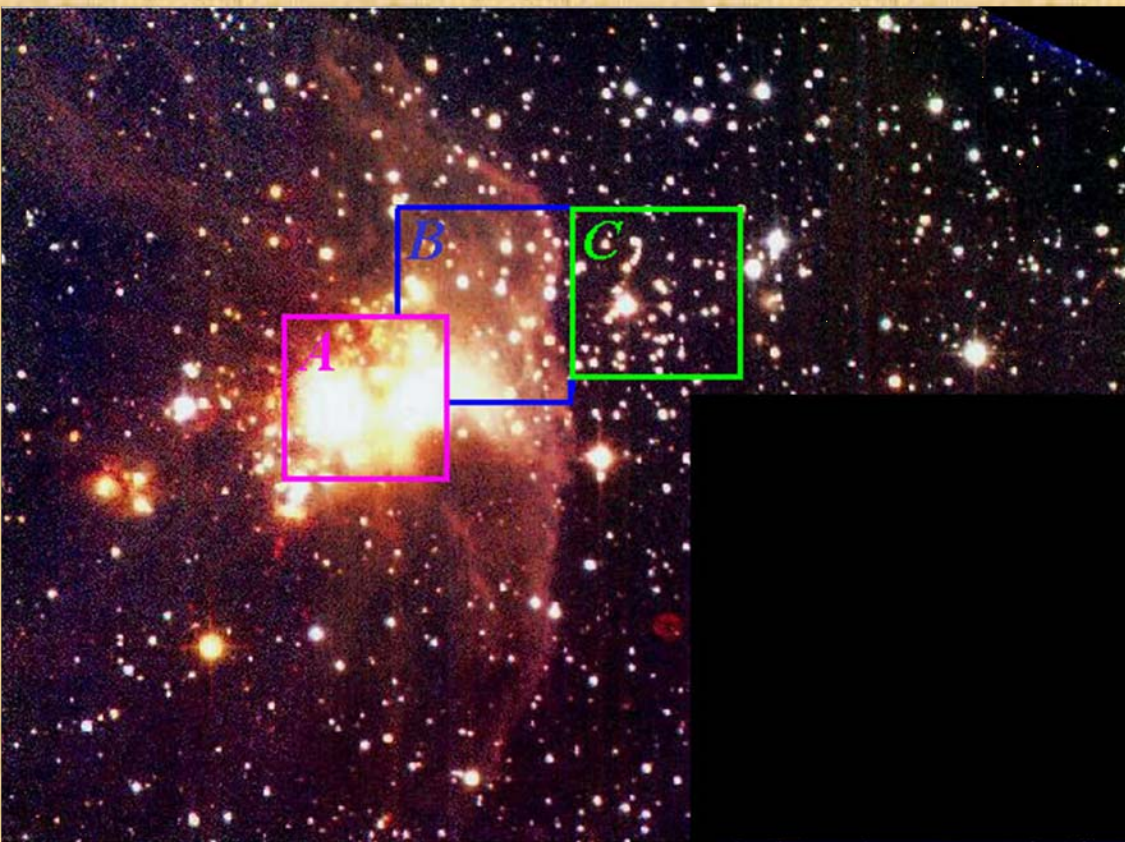
星のHR図と進化トラック

- ✖ 水の吸収Q(分光)から温度、測光から光度を導出  
→ HR図と進化トラックから質量を推定
- ✖ 低光度・低温YSO天体は、超低質量をもつ
- ✖ YSOの重力を主系列星or巨星と仮定した場合で、温度・質量は異なる
- ✖ 3-5892は、JHK&JHKLの赤外超過&水の吸収あり

→ 星周円盤をもつ若い褐色矮星が存在!

# BRC14領域における連鎖的星形成

ハワイ大学2.2m望遠鏡+SIRIUS(3バンド同時撮像カメラ)  
 $J, H, K$  バンド測光観測



- ✖ バンドで18等を越す限界等級( $10\sigma$ )を達成
- ✖  $JHK$ 二色図から、近赤外超過を示すYSOを約80個同定
- ✖ 電離ガス領域(西)が分子雲(東)を圧縮しており、C,B,Aの順に連鎖的に星が形成されている傾向が見られた