

2009/9/11

TAO 6.5m 近赤外線観測装置ワークショップ

星形成領域におけるYSO食連星サーベイ

国立天文台・ELTプロジェクト室  
山下卓也

# 概要

- 広視野赤外線観測装置を用いた星形成観測
  - 良く行われる観測
  - 問題点
- 食連星観測による星の物理パラメータの決定
  - ライトカーブ+視線速度 → 主星・伴星の質量・半径(温度、光度)
- 食連星サーベイの現状
  - Monitor プロジェクト
- YSO食連星サーベイの提案
  - TAO 6.5m のメリット
    - 近赤外線・連続性
    - 円盤システム(同土)の食の発見?!

# 広視野赤外線装置を用いた星形成研究

- すばる MOIRCS で良く行われる星形成関連の観測
  - 超低質量YSOの統計的研究
    - 星形成領域の深いYSOサーベイ・多天体分光
    - より軽い星(褐色矮星・惑星質量)の存在・形成・進化
    - IMF の軽い側の関数形
- しかし、どうしても残る疑問点！
  - 進化モデルは正しいのか？
- この問題の解決の数少ない方法の一つ
  - → 食連星による星パラメーターの決定
    - YSO の食連星はまだあまり進んでいない

# 星の物理量の決定

- 天体質量の決定

- 軌道(運動)を決定 → ニュートン力学で質量決定
- (可視赤外線天文では主に)連星系を用いる
  - 電波では、星周ガスの運動を用いる

- 連星系

- 実視連星の質量

- 位置を精度良く測定して軌道を決定
  - 2天体の相対位置変化だけだと、質量の和しかわからない
- 連星系の軌道周期:  $P$
- 連星系の軌道長半径:  $a = a_1 + a_2$

$$- \frac{a^3}{P^2} = \frac{G(M_1 + M_2)}{4\pi^2}$$

- » 連星系の見かけの軌道長半径:  $\alpha$

- » 距離 (d) がわかっていると:  $a = \alpha \times d$

# 星の物理量の決定

## – 分光連星の質量

- DLEB: Double lined (SB2) eclipsing binary
  - $M_1 \sin^3 i$ ,  $M_2 \sin^3 i$ が求まる
- SLEB: Single lined (SB1) eclipsing binary
  - 質量関数 ( $(M_2 \sin^3 i)^3 / (M_1 + M_2)^2$ )しか求まらない
- SB2 で(相対位置)実視連星でもあると、主星・伴星の質量が求まる
- 食が観測されると、 $i$ が求まり、かつ…
  - Eclipsing Binary(食連星)

## • Eclipsing Binary(食連星)

- 測光観測で“食”を起こす天体を見つけ、光度変化を観測
- 視線速度の観測を合わせて主星・伴星の質量決定
  - モデルを介するが、主星・伴星の半径も求まる
    - 表面温度、光度、表面重力も求まる(多色データ)

# 食連星(Eclipsing Binary)観測の現状

- 観測の現状
  - 1Mo 以上の主系列星は多く観測されている
  - $< 1\text{Mo}$ , YSO の観測は非常に少ない
  - 実行中の食連星サーベイプロジェクト
    - Monitor
  - 散開星団トランジットサーベイの副産物
    - UStAPS
      - The University of St Andrews Planet Search
    - EXPLORE-OC
      - EXtrasolar PPlanet Occultation REsearch – Open Cluster
    - PISCES
      - Planets in Stellar Clusters Extensive Search
    - STEPSS
      - Survey for Transiting Extrasolar Planets in Stellar Systems

# Monitor プロジェクト

- 9つの若い散開星団の測光モニター
  - 超低質量星・BDの掩蔽, 惑星トランジットを見つける
    - 若い星の、年齢・質量・半径・光度の関連を較正
    - K型星から惑星まで
    - 副産物: 自転とフレア
  - 2004年開始、世界中の 2- 4 m 望遠鏡を利用
  - 100以上のEB + 約3のトランジット惑星を見つけると期待
- ターゲット
  - $t \ll 200$  Myr、1回の撮像で数百天体が撮れること
    - Primary: ONC, NGC2362, NGC2547, NGC2516
    - Secondary: h &  $\chi$  Per, IC4665, Blanco 1, M50, M34

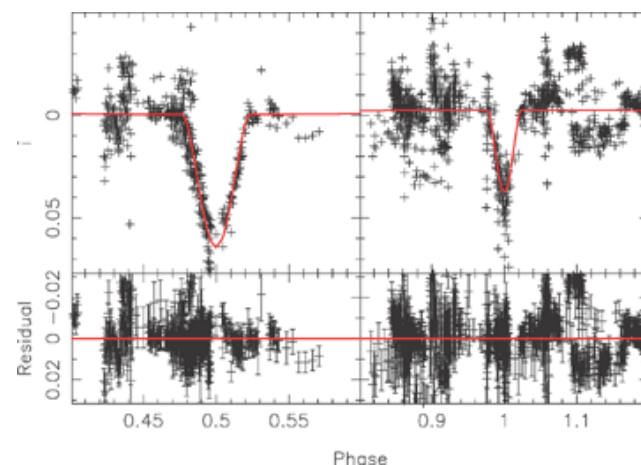
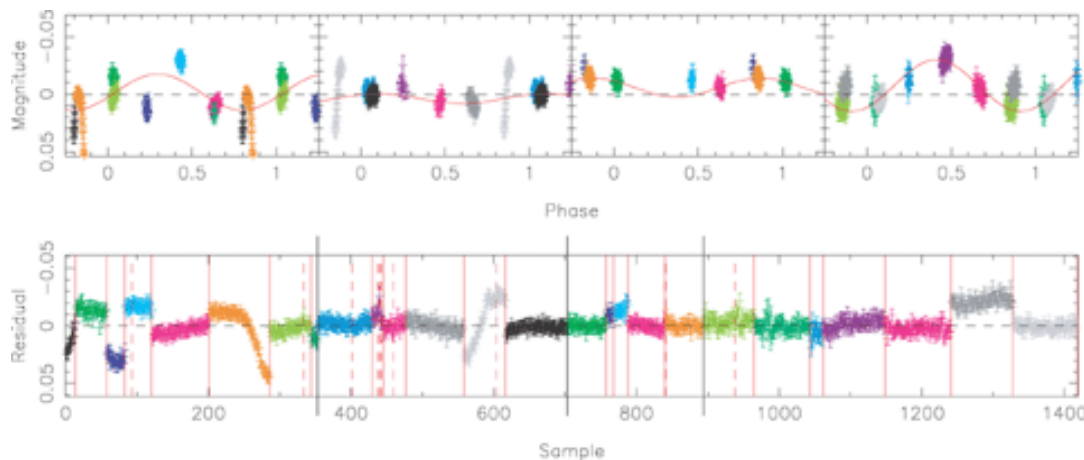
# Monitor プロジェクト

- 望遠鏡＋装置
  - INT 2.5m: Wide Field Cam
  - ESO/MPI 2.2m: Wide Field Imager
  - CTIO 4m: Mosaic II
  - CFHT 3.6m: MegaCAM
  - KPNO 4m: Mosaic
- サーベイの深さ
  - 主系列の下限質量星に対して測光精度～1%
  - $I = 19 \text{ mag}$  が分光RVフォローアップを行う限界
- サンプリング間隔
  - $< 15 \text{ min} : 1\text{hr}$  (最短)の掩蔽を見逃さない
  - できれば  $5 \text{ min}$  に近く: ingress, egress を分解する



# Monitor プロジェクト

- オリオンのサンプル (Irwin J. et al. MN 380, 541 2007)
  - WFC on 2.5m INT, 34' × 34' 写野、10夜の観測を2+2セット
  - 積分時間: 60s at V and 30s at i バンド → 3.5分頻度
  - 限界等級: 1% 精度で、18mag at V and 17mag at i バンド
  - 2500天体のライトカーブ取得
    - EB イベント ~ 0.05mag v.s. 食以外 ~ 0.03mag PV
  - 黒点の自転による変動
    - フィッティング → 4.9日の自転による modulation でOK
    - 黒点の生成・消滅 → ライトカーブが粗だとうまくフィットできない

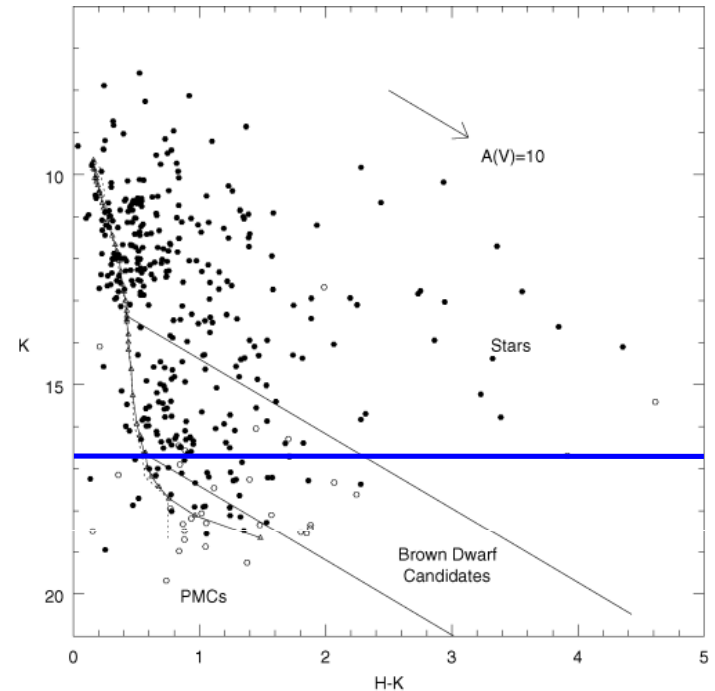


# 食連星サーベイの提案

- 可視光モニター観測ではできない(不得意な)天体を狙う
- TAO 6.5m の利点
  - 近赤外線観測
    - 若いEBを多数発見できる
      - 同年齢仮定が成り立っていない?
      - 多くのサンプルが必要
    - より若い天体をサーベイできる
      - 進化トラックのより若い時期の天体データを提供できる
      - 円盤システム(同土)の食が発見できるかも!
  - 連続的に観測できる
    - 黒点(など)による別原因の変光の補正が容易

# 食連星サーベイの提案

- 対象とする天体 (主星、伴星)
  - 若い星状天体 (YSO)
    - 低質量星 YSO
    - 若い褐色矮星
    - あわよくば、惑星質量天体
  - Orion: 1 Myr の進化モデル (右図)
    - $A_V=10\text{mag}$ : BDの主星が十分に検出できる
    - $A_V \sim 0\text{mag}$ : 主星が惑星質量天体
- 対象とする現象
  - 食による減光
    - Eclipsing Binary
    - 惑星トランジット
  - 周期: 10日程度までを狙う?
    - 使える時間に依存: 長いほどよい



Lucas+05 MN361, 211  
Orion 周辺部:  $26''$ , 396天体

# 食連星サーベイの提案

- 観測計画
  - 期間
  - 観測頻度
    - 5分毎 (ingress, egress を分解)
  - 積分時間
    - 1分を仮定
  - 感度 (すばるMIRCSから換算)
    - 1分積分,  $100\sigma$ 
      - 17.8 mag at J
      - 16.7 mag at H
      - 16.8 mag at Ks
  - 面積
    - $8' \times 4' \times 4'$  写野程度

# 食連星サーベイの提案

- 観測計画
  - 対象領域
    - 年齢 < 10Myr の星形成領域 (散開星団は含めない)
      - ONC(-5° )            ~1Myr, 480pc
      - NGC2362(-25° ) ~5Myr
      - その他南天の近傍星形成領域
        - » 未調査です
      - IC348 (+32° )    ~3Myr
- 発見確率 (定量的計算はしていません)
  - 写野: 8' × 4' × 4写野
    - WFC on 2.5m INT, 34' × 34' の1/9
    - 中心部を狙うので星の数密度は高い
      - Monitor はOrion 周辺部
      - Monitor の期待値: >100 の食連星 (オリオンだけではない)

# 食連星サーベイの提案：フォローアップ観測

- フォローアップの高分散分光 (RV)
  - Monitor では  $I < 19$  mag を設定 (8-10m 可視高分散分光)
  - 例えば、すばる IRCS を用いると
    - 1hr,  $5\sigma$
    - AO がフルに効いていると仮定
    - J,H,K  $\sim 18$ mag
    - 発見される多くの食連星は赤外RV観測可能
  - TMT に拡張
    - + 2.8 mag  $\rightarrow$  21 mag
- 原始星は吸収線の視線速度測定は難しい？
  - 非常に若い原始星は円盤表面からの吸収線がある？
  - 円盤からの輝線がみられる場合もある(分離が困難?)

# 食連星サーベイの提案

- しかし、**円盤システム(同士?)の食が見られるかも!**
  - 原始星・円盤の幾何構造の新しい情報が得られる
    - 但し、ある程度離れたシステムでないといけない??
      - 円盤のサイズ?
      - 軌道周期の長いシステム → 長時間モニター
- 散乱光しか見えていない天体の場合は、Pole-on から見るのに等しい?!
  - 角運動量が揃っていると食を起こす幾何学的配置はない?
  - ひょっとしたら妙なシステムがあるかも

# 観測装置へのリクエスト

- 高いダイナミックレンジ
  - ある程度明るい星も対象にできると良い
    - しかし、明るい星は数も少ないし・・・
- 短い読み出し時間
  - 高い観測効率
  - ダイナミックレンジ確保のためには短時間積分の足し算？
    - 10秒程度であれば・・・