

Tomo-eを用いた YSO超高時間解像度モニタ観測

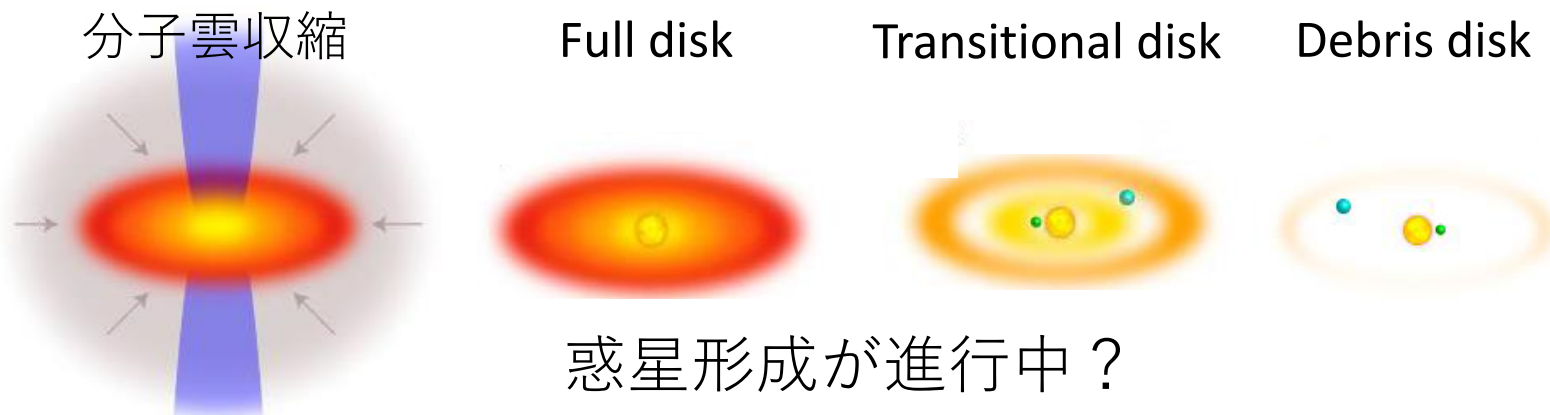
東京大学 天文学教育研究センター
森 智宏

Contents

- Introduction
 1. YSOの何を見たいか
 2. 変光の原因
 3. 変光観測の強み
- Tomo-eで狙うサイエンス
 1. Tomo-eの特徴と有望なサイエンス
 2. 有力な観測領域
 3. 達成しうる時間解像度
- いくつかの観測例

観測対象：

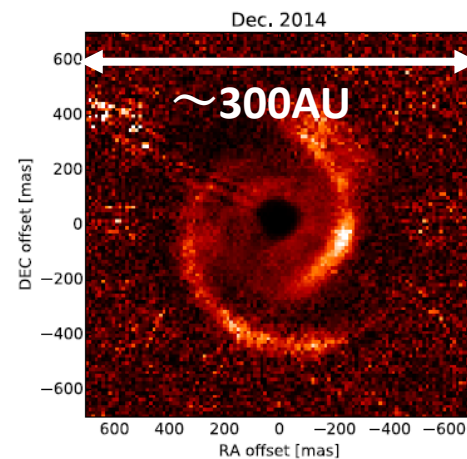
Young Stellar Objects (YSOs)に付随する星周円盤



- 近年の観測：円盤構造の非一様性を発見（下図. MWC 758）
⇒ 惑星形成との関係性が示唆？

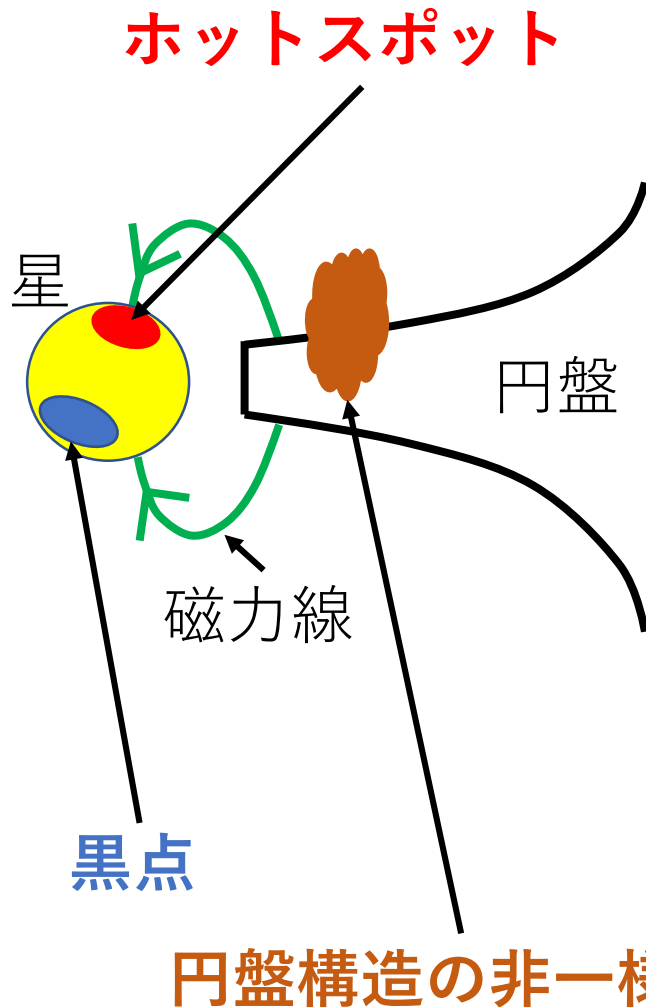


より内縁部 (0.1~1AU)のより詳細な構造を明らかにしたい



Benisty et al. 2015

YSO変光観測:変光の原因



1. ホットスポット

- 円盤降着流によるショックが起因
- 温度 = 7000~10000K

2. 黒点

- 中心星ガスと磁場の相互作用
- 温度 = 3000~4000K

3. 円盤ダスト分布の非一様性

- タイムスケール = ケプラー回転周期
- 波長依存性 → ダスト減光則

YSO変光観測の強み

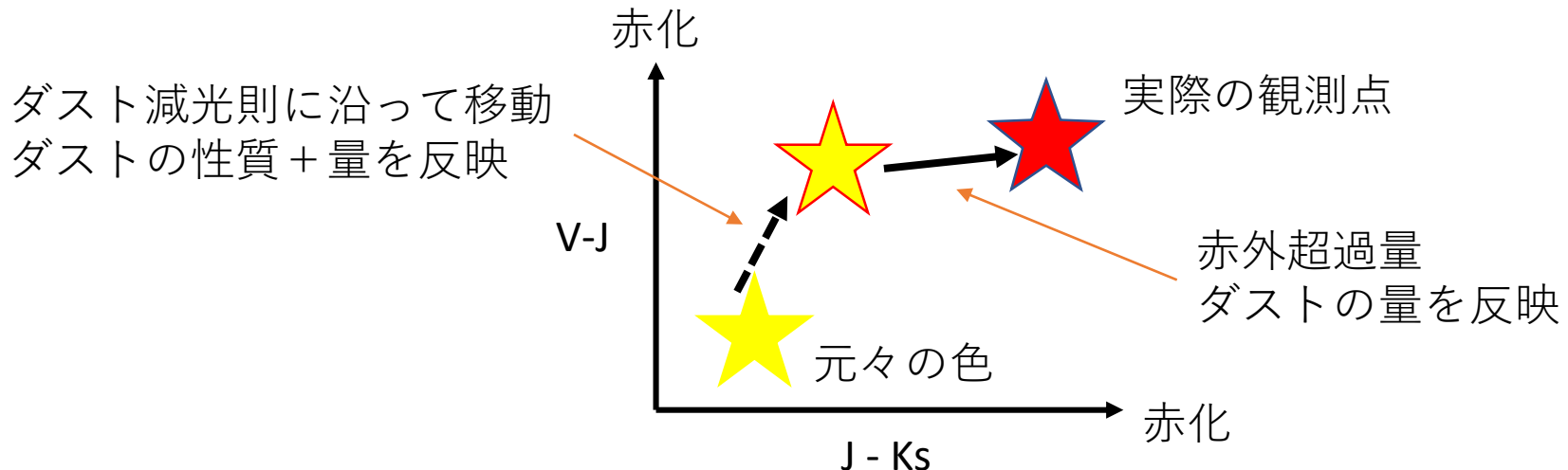
1. 中心星の明るさによる解像度の制限を受けない

⇒ 円盤の最内縁部領域 ($\sim 0.1\text{AU}$) を見ることができる

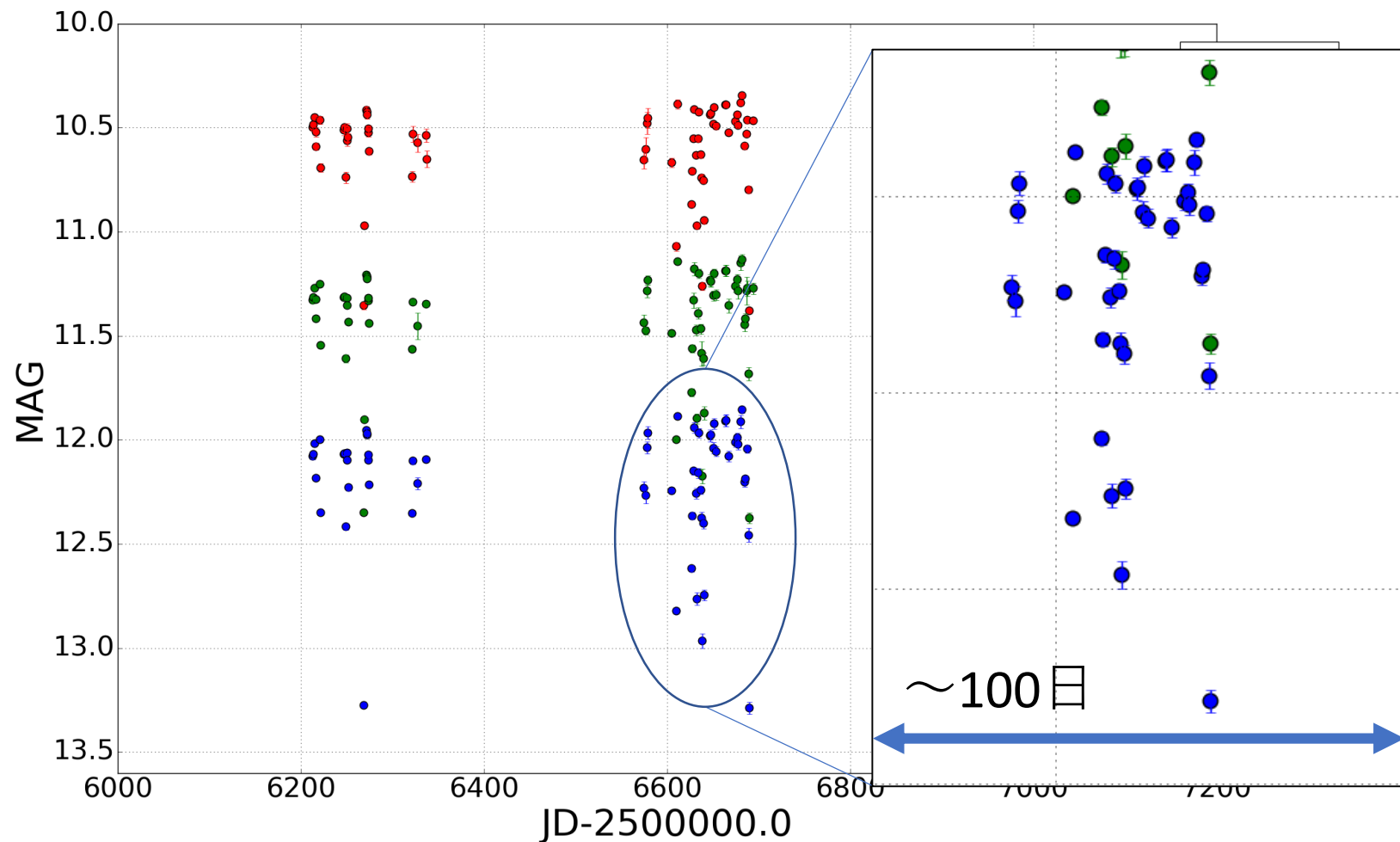
2. 時間変動を逐一追跡 ⇒ 非一様な構造の詳細を探れる

3. 可視～赤外波長域の同時観測で両者の関係を調べる

⇒ 変光を引き起こす ダスト粒子の性質を議論できる



観測例 (LkCa 15) : 2012~2015年観測の結果



- 円盤構造由来と思われる大きな減光 ($\Delta V \sim 1.4 \text{ mag}$) を検出
- ~ 1 日のサンプリング間隔 \Rightarrow 1日より速い変動は追えない

Tomoeで狙うサイエンス

- Tomoeの強み：

- 前例のない時間解像度 (frame rate = 2fps.)
- 高い感度 (0.5 s積分で~18mag)
- 広い視野 (FOV = 20 deg²)

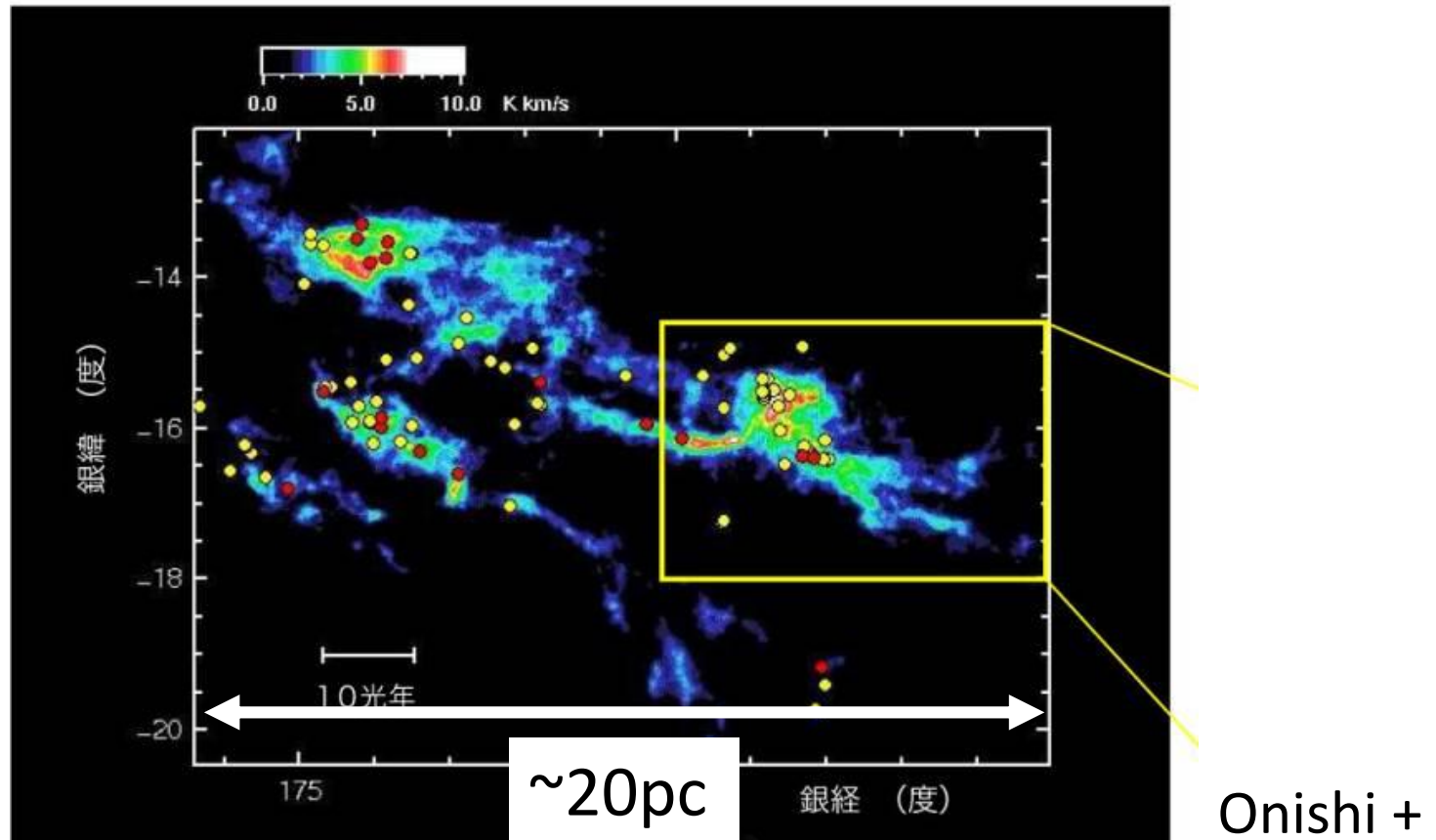
⇒ YSOsの短いタイムスケールの変動現象の研究に威力を発揮

例.

- 原始惑星系円盤構造の精密決定
- 円盤一星間の降着流の変動
- YSOs トランジット系外惑星探査

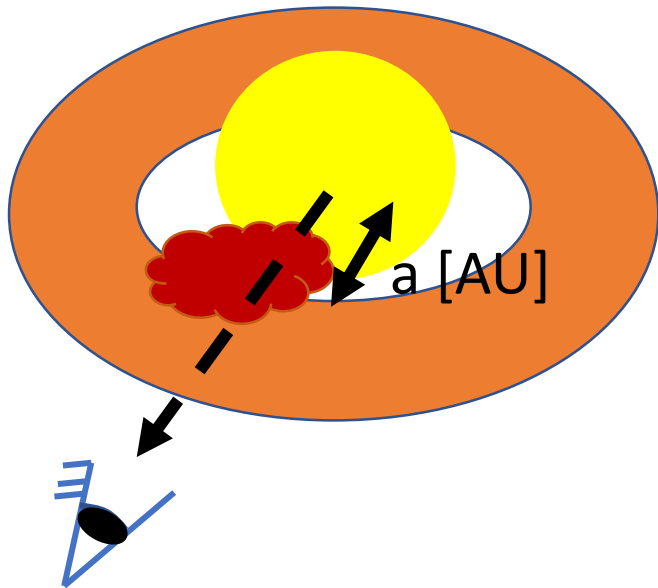
etc...

有力な観測領域：おうし座星形成領域



- 太陽系から最も近い ($\sim 140\text{pc}$) 低質量星形成領域
- 45deg^2 の範囲に広がる \Rightarrow Tomo-eのFOV (20deg^2)が生きる
- 約382個のYSOが存在し、典型的には $R \sim < 15\text{mag.}$ の明るさ

2 frame/sec. でとらえられる円盤の構造



星半径・質量： $R_* \cdot M_*$

ダスト塊のサイズ： R_{clump}

星とダスト塊の距離： a [AU]

ダスト塊の公転速度 v_{kep} [AU/s]

$$v_{kep} = 7.16 \times 10^{-4} \left(\frac{a}{1AU} \right)^{-1/2} \left(\frac{M_*}{M_{sun}} \right)^{1/2}$$

2fps.(500ms)で達成できる空間解像度

($a=0.1AU$, $M_* = 0.5M_{sun}$, $R_* = 0.5 R_{sun}$ を仮定)

$$R_{c,min} \sim 0.05AU$$

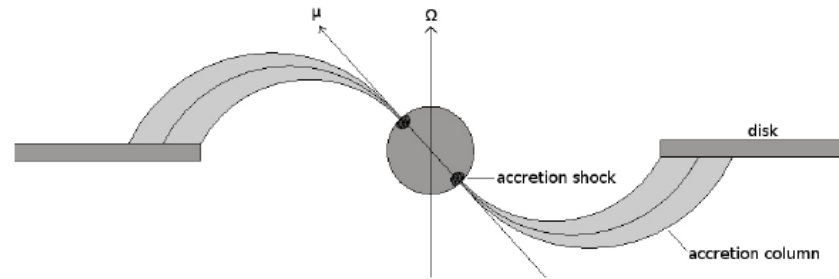


円盤構造のstructure function
(解像度 $< 0.1AU$)を調べられる

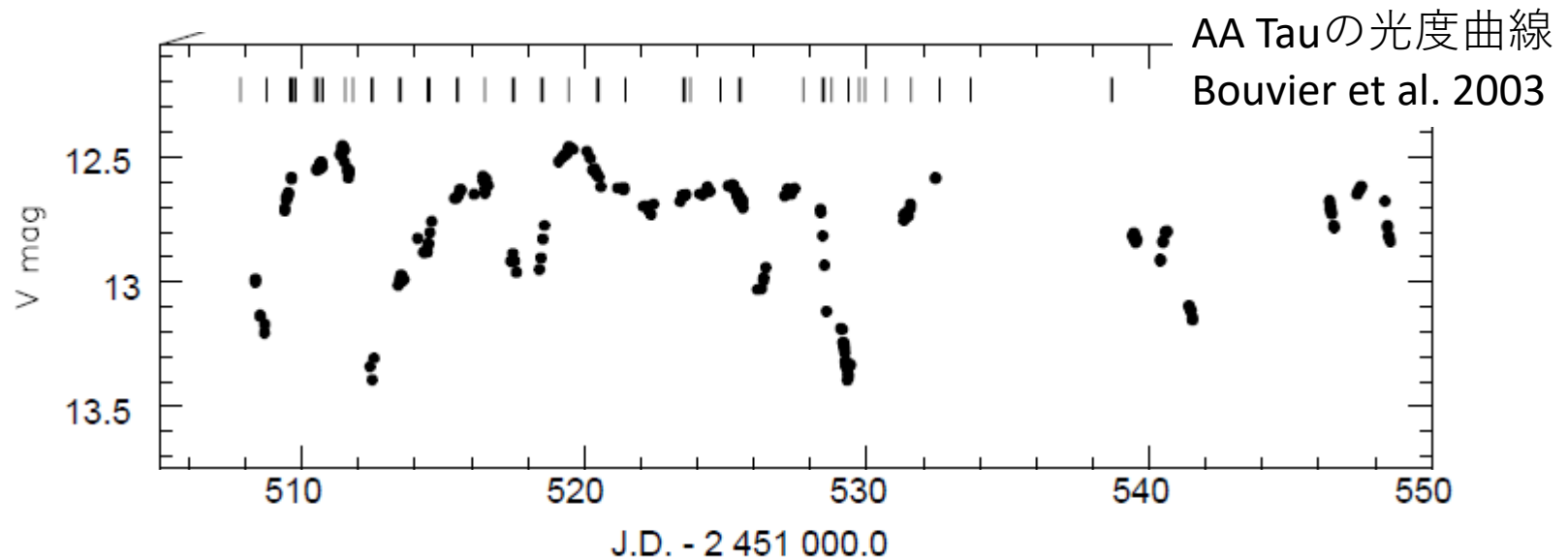
YSOs変光の代表的な例：AA Tau型変光

円盤内縁部の描像→

Mcginnis et al. 2016



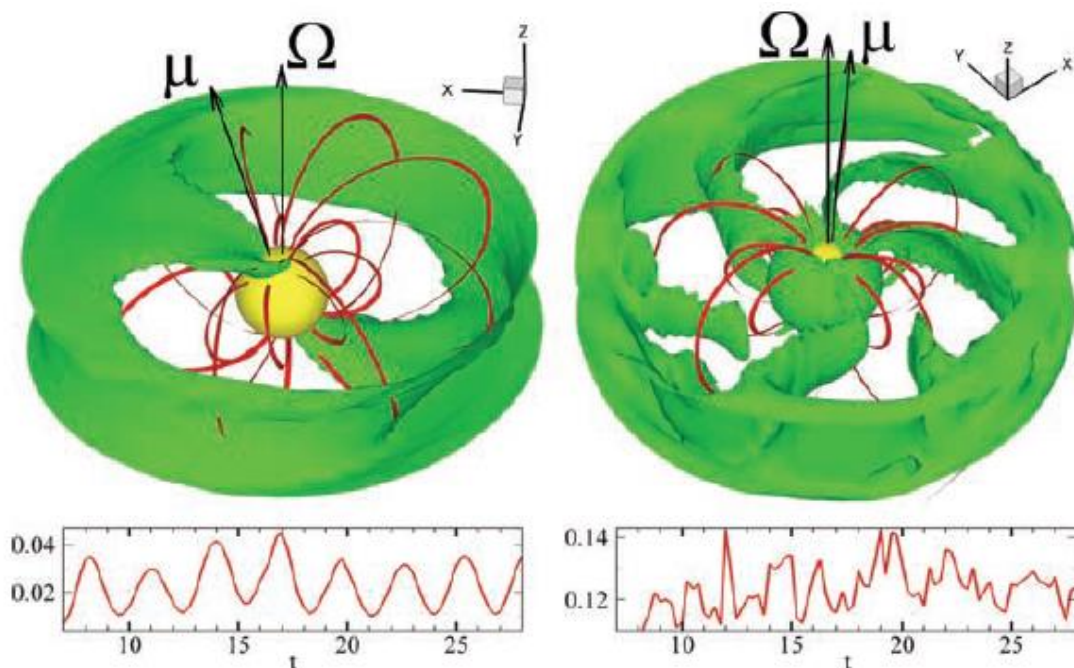
- 磁場に沿って降着ガスとともにダストも持ち上げられる
- 観測者に（準）周期的な変光として観測される



例 1. ガス降着の定常・非定常性の議論

ガス降着流の磁気流体シミュレーション

Kulkarni & Romanova 2008



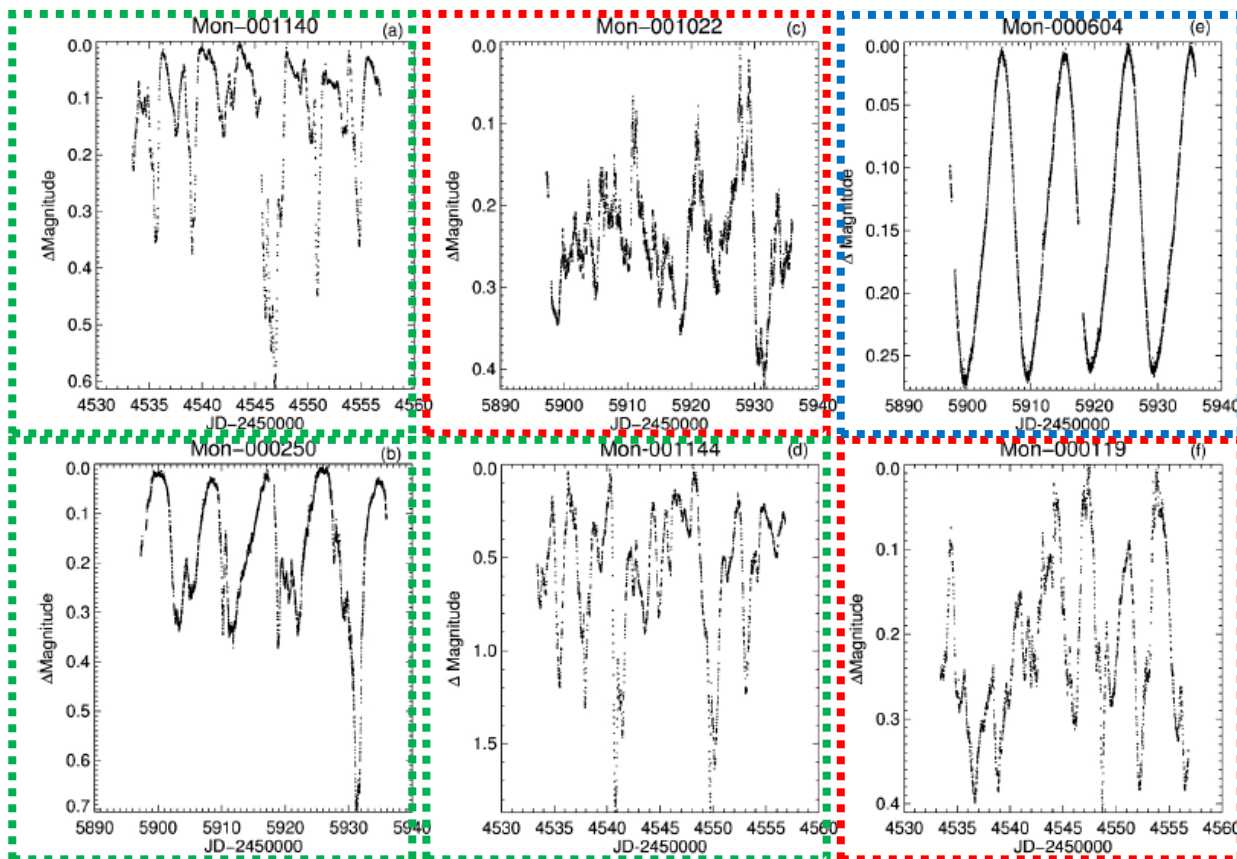
左：定常的な降着流 → 周期的変光が観測される

右：非定常的な降着流

→ 光度曲線が時間的・強度的にランダムになる

過去の観測例：Corot 望遠鏡によるモニタリング

Mcginnis et al. 2015



青：周期的

→黒点が寄与

緑：準周期的 (AA Tau型)

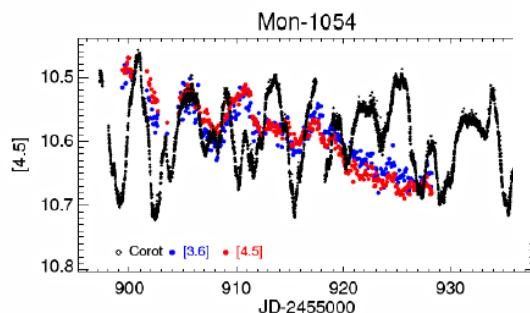
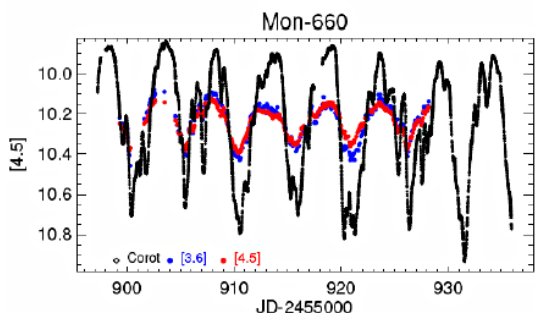
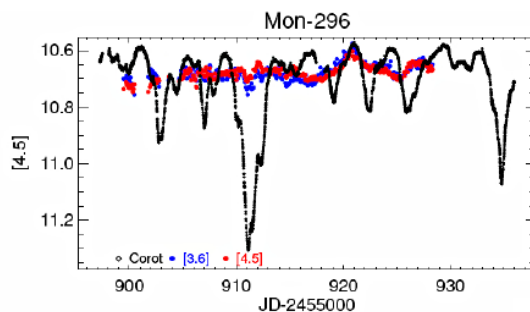
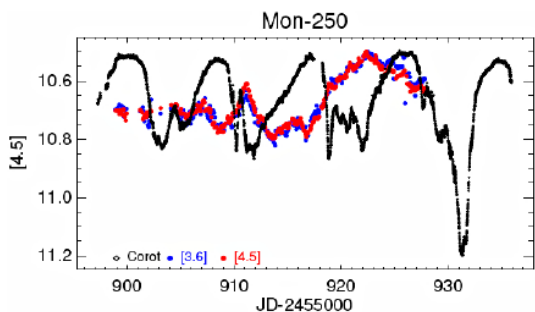
→定常的な降着流

赤：ランダムな変光

→非定常的な降着

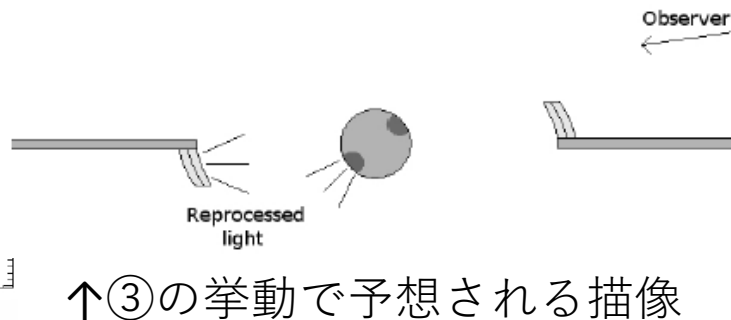
- 周期的・準周期的・ランダム等の様々な変光を観測
- 典型的なタイムスケール = 数時間～数日
- 典型的な変動幅 = 0.1 ~ 1等級

多波長（赤外域）同時観測



← Corot & Spitzer IRACの同時観測

- ① 逆相関
- ② 赤外変光なし
- ③ 正の相関
- ④ 可視・赤外で別の挙動

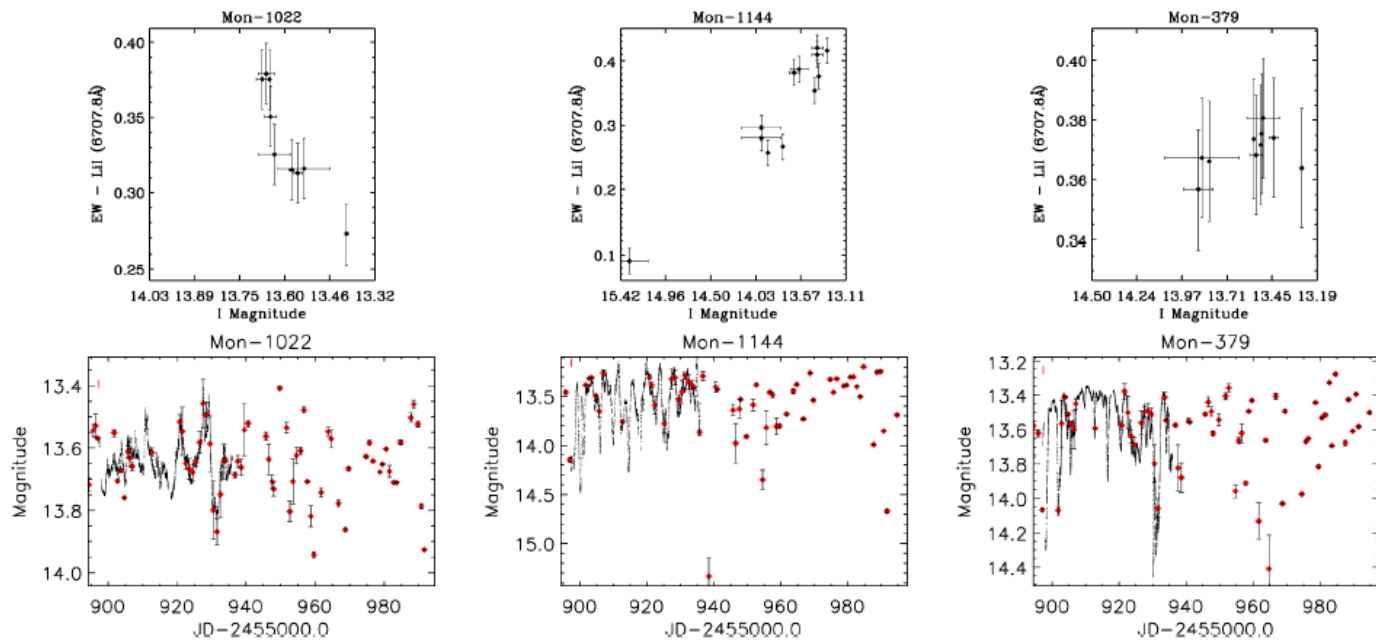


↑ ③の挙動で予想される描像

- 赤外 (3.6 & 4.5 μm)との相関を議論
- 変光の波長依存性を調べることで、円盤構造やダストの性質を議論できる (例. 右図)

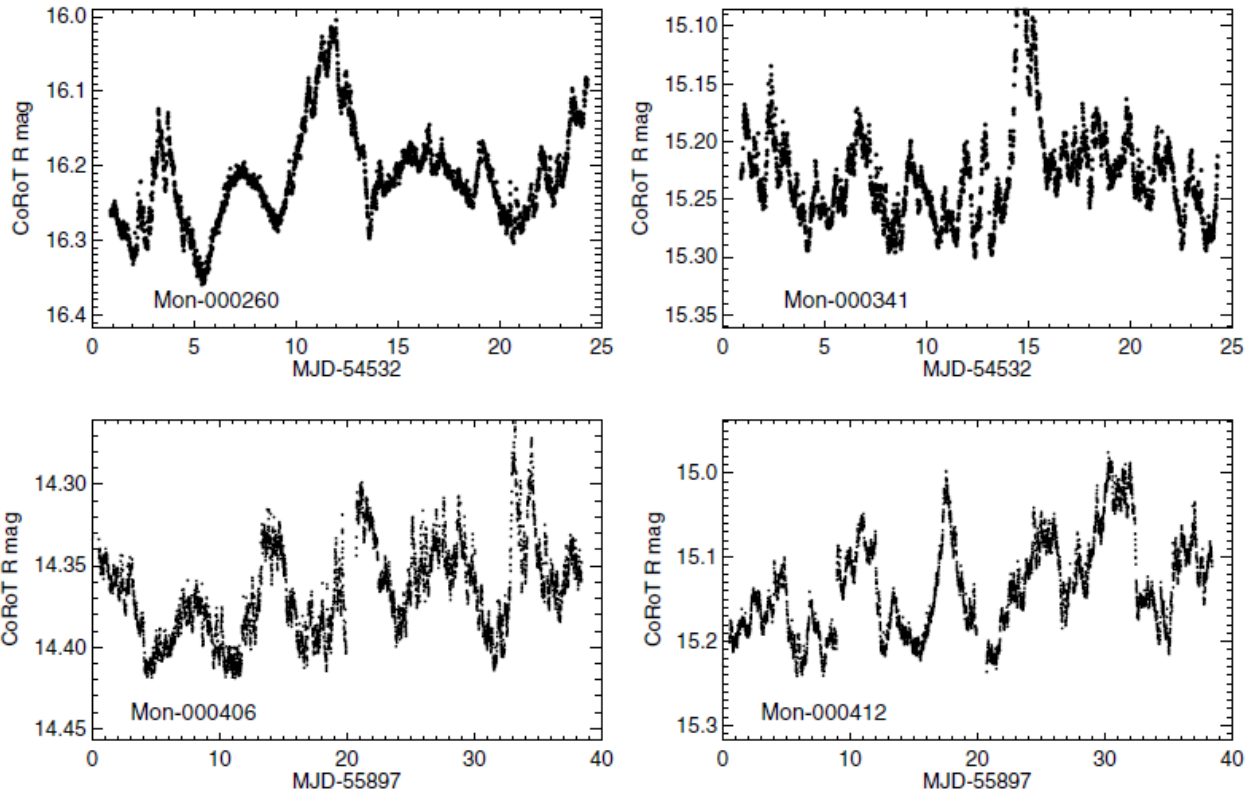
⇒ 赤外同時観測の重要性

分光観測との連携：“veiling”との相関



- “veiling” : 中心星UV超過による吸収線の‘埋め込み’
 - ⇒ 降着量と相関。変光との関係性を議論
 - ①明るくなる時veiling大→ホットスポットが変光に寄与
 - ②明るくなる時veiling小→降着流内のダストによる減光
 - ③相関なし→黒点が寄与 or 円盤ダストがスポットを隠す

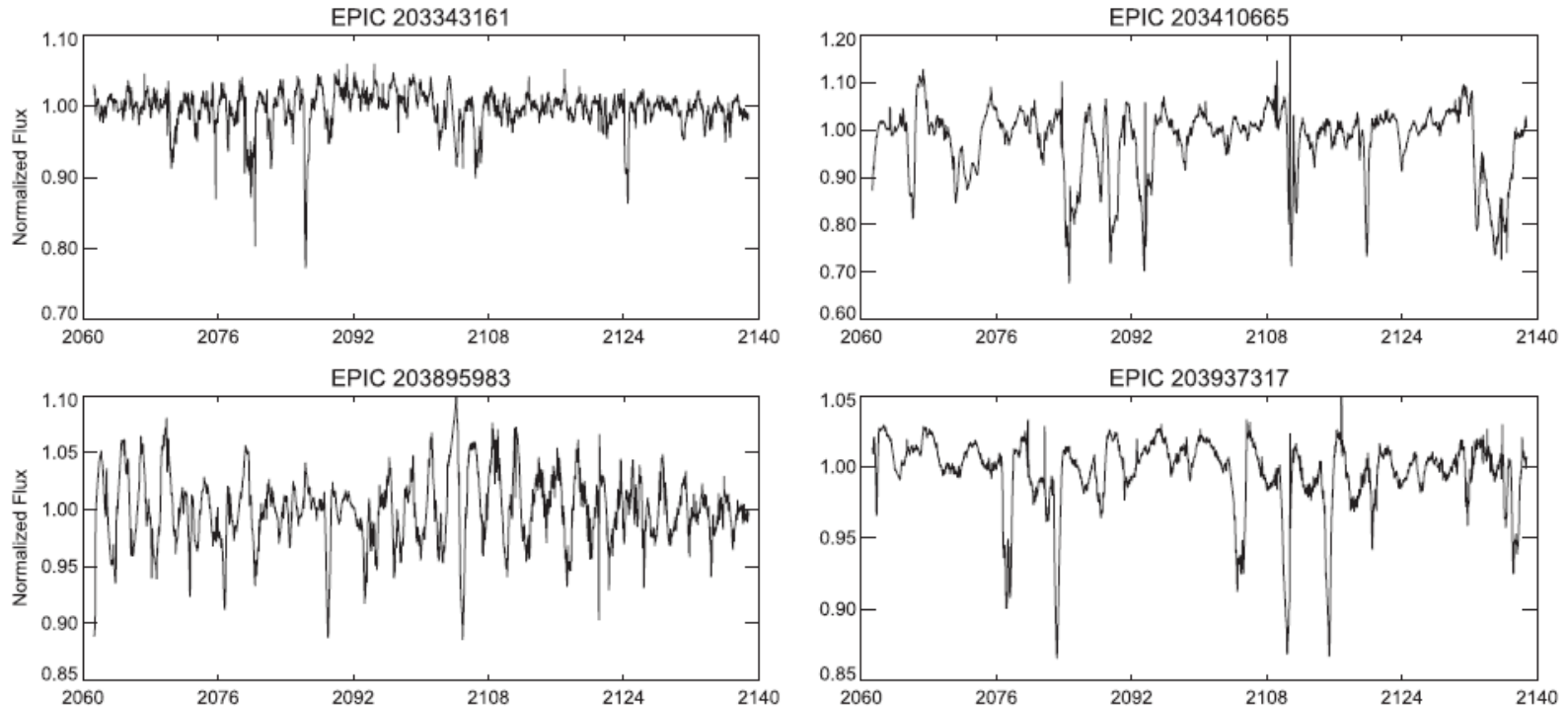
例 2. 降着率の突発的な上昇 (accretion burst)



- Corotによるモニタリング観測 (Stauffer et al. 2014)
- 数分～数時間のタイムスケールで急激な明るさの上昇
- 降着率の突発的な変動が起きている。原因は不明

例 3. Transitional disk天体のdipper型変光

- Transitional disk → 降着率・円盤質量が小さい



- 中心星近くに構造が乏しいにも関わらず、減光を検出
 - ロスビー波不安定に起因する円盤構造のゆがみ？
- ⇒ 速い変光現象はFull diskでなくとも起き得る

総括・展望

- 星磁場～円盤の相互作用に由来する変光現象を調べることは重要
- Tomo-eの広視野(20deg²)・高時間解像度(2fps.)を生かし星形成領域のサーベイ観測を実施
 - ⇒様々な天体の変光の様子に、かつてない精密さで迫る
- 赤外波長域との同時観測を行いたい
 - ⇒円盤構造・変光に寄与するダストの性質を調べる
- 分光観測との連携
 - ⇒降着現象との関連性を調べる