

同時多色測光観測を利用した 矮新星の降着円盤の構造推定

磯貝 桂介（京都大学 宇宙物理学教室 D2）

植村 誠（広島大学）

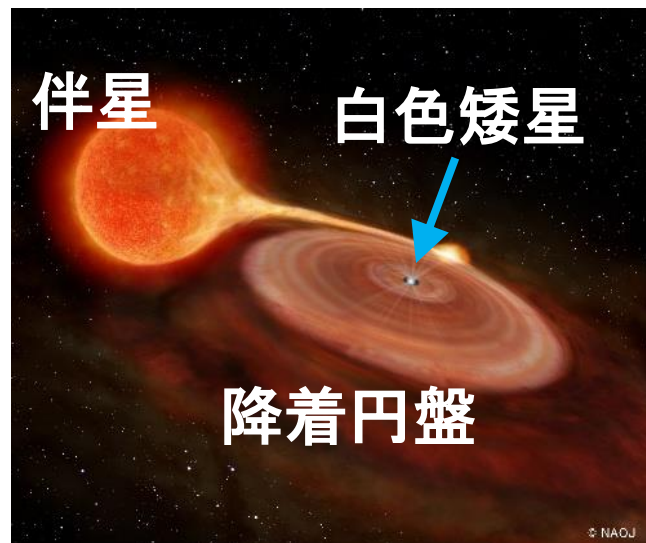
加藤 太一、野上大作（京都大学）

激変星

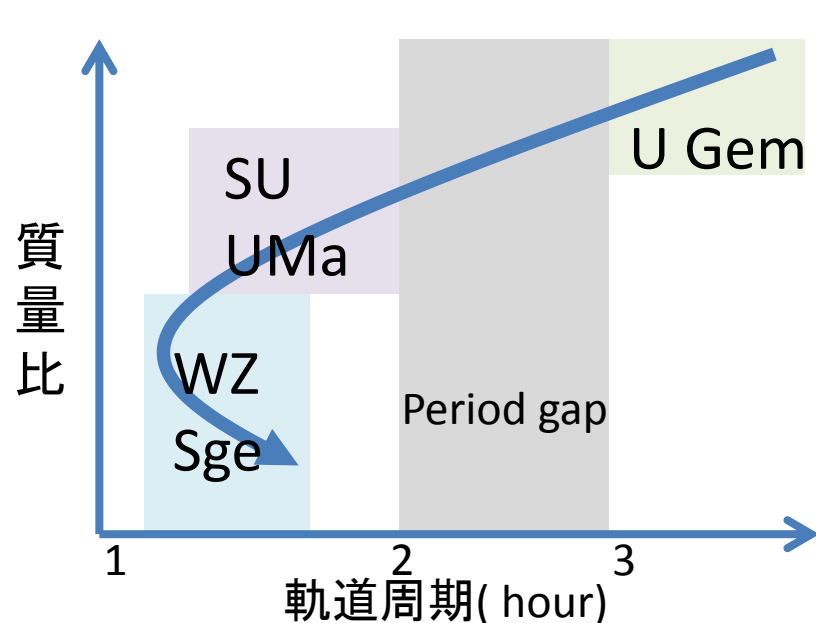
- 主星に**白色矮星**を持つ**近接連星系**
- 伴星からガスが流れ込み**降着円盤**を形成

激変星の進化経路

- 連星は重力波等で角運動量を失うことで近づいていき、最終的に**WZ Sge型矮新星**と呼ばれる天体に進化する。



激変星の模式図



U Gem型矮新星:

降着円盤の突発的な増光
アウトバーストを起こす(熱不安定による増光)

SU UMa型矮新星:

大規模なスーパーアウトバーストを起こす
(熱不安定性 + 3:1共鳴による潮汐不安定)

WZ Sge型矮新星:

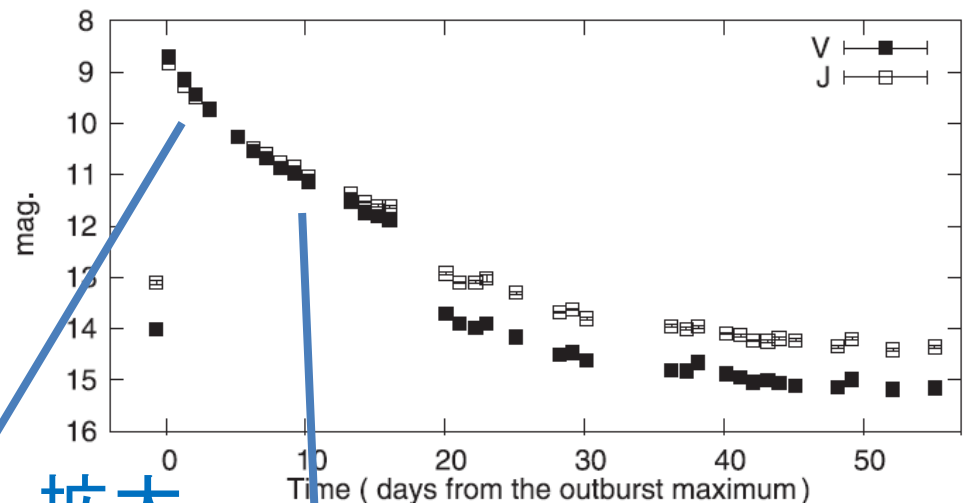
もっと大規模なスーパーアウトバースト

WZ Sge型で見られる微小変動

早期スーパーハンプ

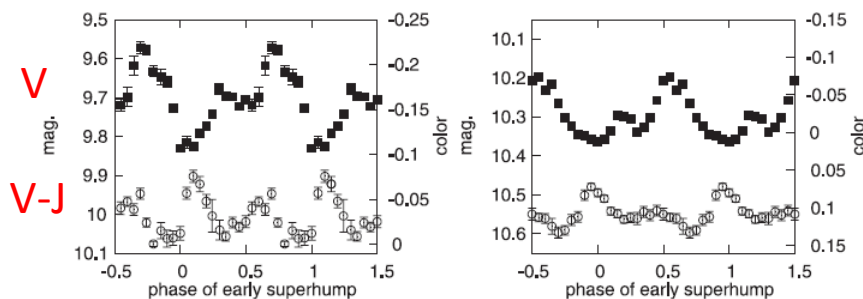
- WZ Sge型のアウトバーストでは増光前半に**早期スーパーハンプ**、後半に**スーパーハンプ**と呼ばれる微小な周期変動が観測される。
- スーパーハンプは楕円変形した円盤が原因
- では早期スーパーハンプは？

V455 Andの光度曲線(Matsui et al. 2009)



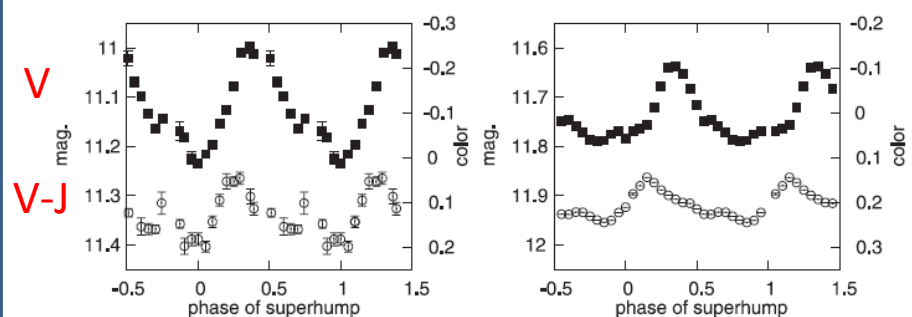
拡大

早期スーパーハンプの平均プロファイル



2コブで周期はほぼ軌道周期と一致

(ただの)スーパーハンプの平均プロファイル



軌道周期より数%長い変動

WZ Sge型で見られる微小変動

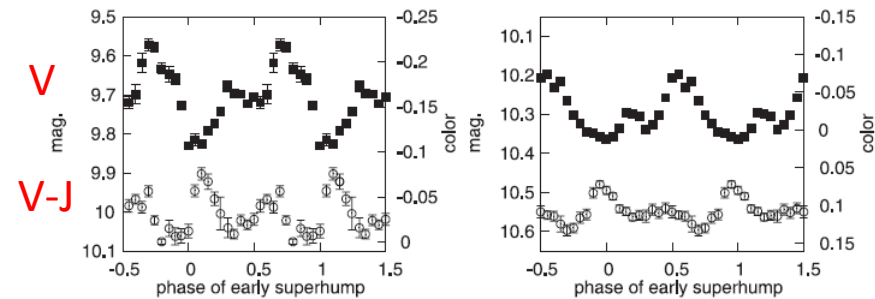
早期スーパーハンプ

- 早期スーパーハンプでは光度が最大るとき赤くなる
- また、振幅は天体の inclination に依存している

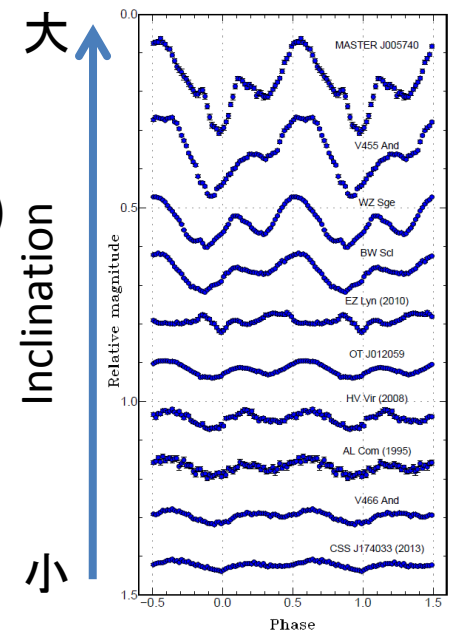


- 円盤外縁部の低温領域に垂直方向の構造
(Nogami et al. 1997, Maehara et al. 2007)
- ただし垂直構造の形成過程は未だ決着がついていない
- 早期スーパーハンプの同時多色dataは数える程度しかなく、これから観測が必要
(MITSuMEが非常にありがたい)

早期スーパーハンプの平均プロファイル



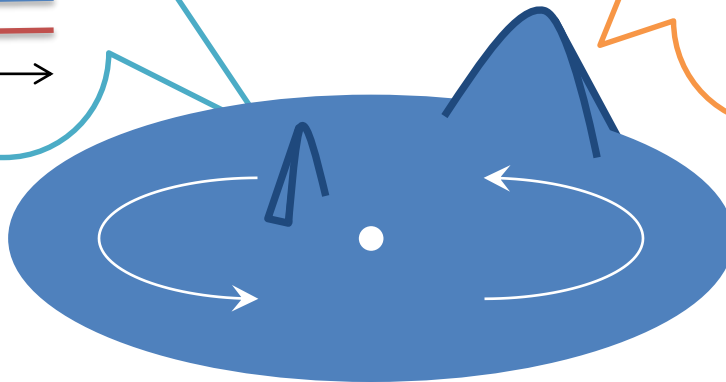
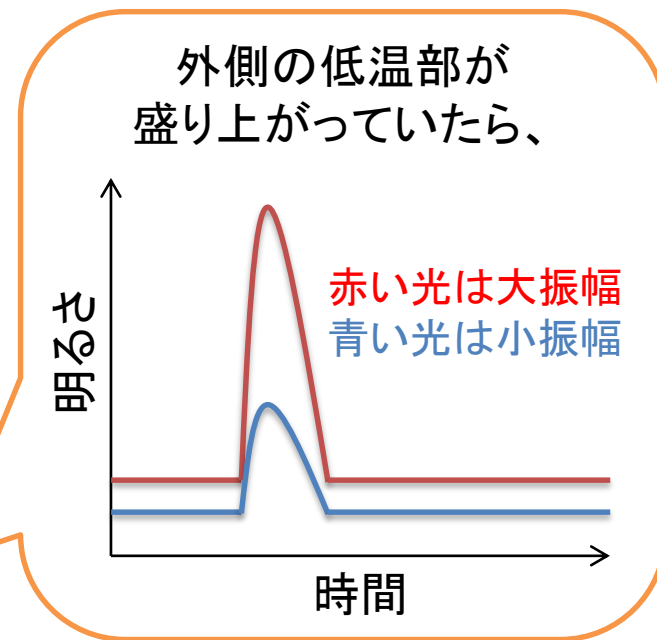
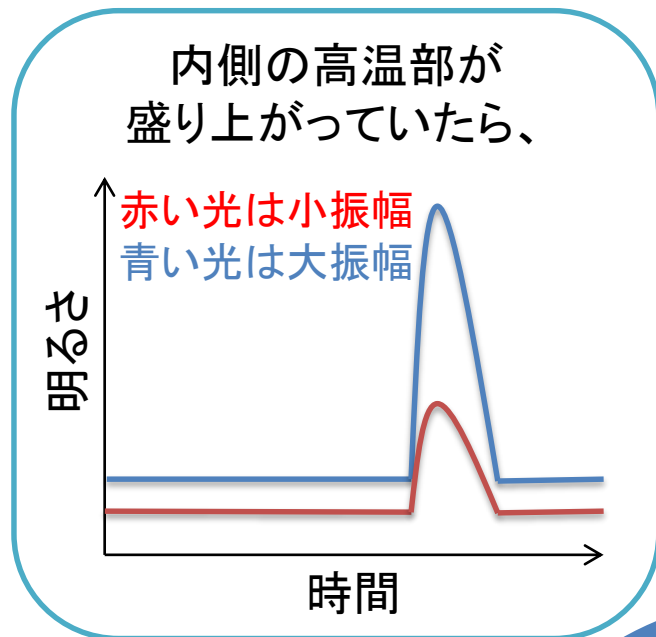
(Matsui et al. 2009)



Kato 2015

光度曲線から円盤構造を推定し モデルと比較しよう

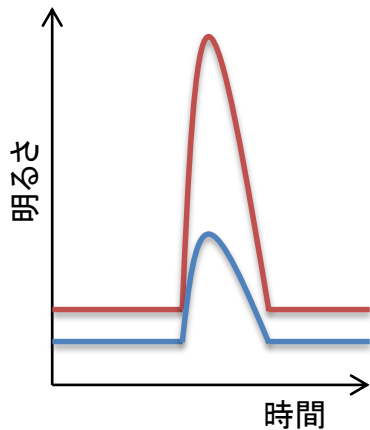
- 時系列情報→円盤の方位角方向
- 色情報→円盤の動径方向



ベイズモデルの詳細

入力

多バンドの光度曲線



モデル

円盤高さ $h(i,j)$ の事後分布をベイズ推定

$$P(h) \propto L[f_{\nu,obs}(\phi), f_{\nu,model}(\phi)]\pi(h)$$

事後分布

尤度関数

事前分布

* 尤度関数 (観測とモデルの光度曲線で定義)

$$L \propto \prod_{i,j} \exp - \frac{[f_{\nu_i,obs}(\phi_j) - f_{\nu_i,model}(\phi_j)]^2}{2\sigma^2}$$

* 事前分布

(局所的により滑らかに)

$$\pi_{smooth}(h) \propto \prod_{l,m} [\exp - \frac{(h_{l,m} - 2h_{l-1,m} + h_{l-2,m})^2}{2w^2} \exp - \frac{(h_{l,m} - 2h_{l,m-1} + h_{l,m-2})^2}{2w^2}],$$

($h=0.1r$ の円盤をデフォルトに)

$$\pi_{disk} \propto \begin{cases} \prod_{l,m} \exp - \frac{(h_{l,m} - h_{disk,l,m})^2}{2h_{disk,l,m}^2} & (h_{l,m} \geq 0) \\ 0 & (h_{l,m} < 0) \end{cases}$$

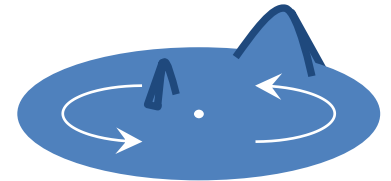
* 実際の推定はマルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)を使う。

* 円盤の温度分布は標準円盤モデルを想定して、

$$T = T_{in} \left(\frac{r}{r_{in}} \right)^{-3/4}$$

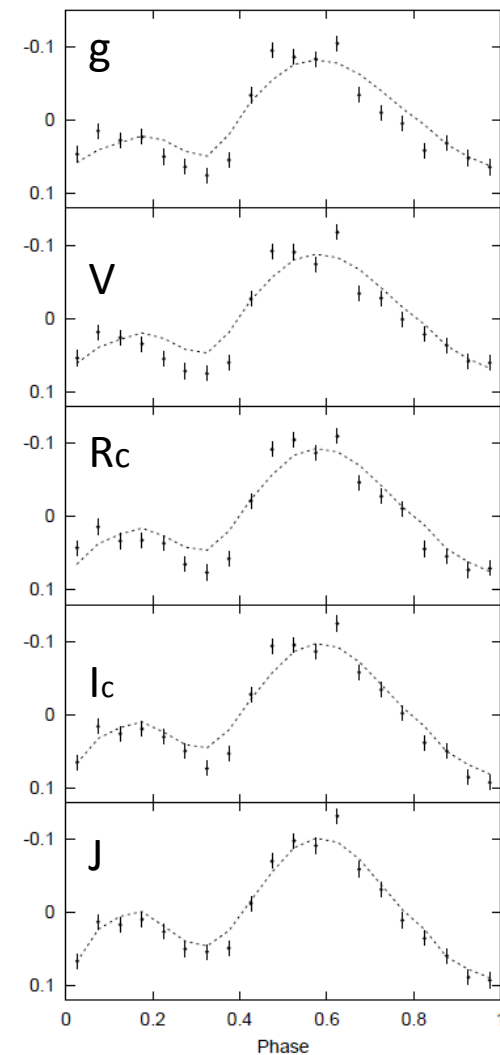
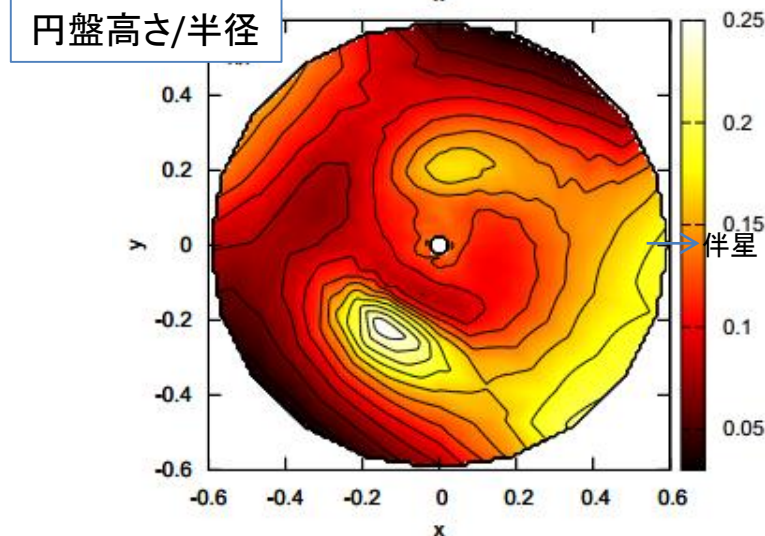
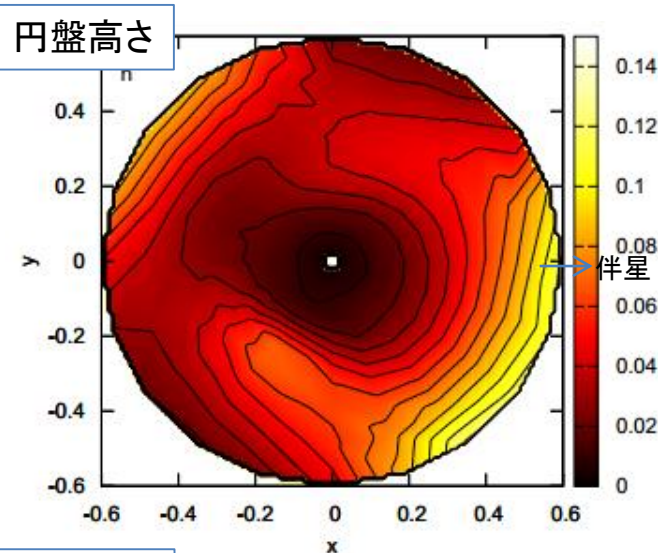
出力

円盤高さのマップ



矮新星 V455 Andのデータから再構成 極大5日目

- 極大5日後の5バンド (g,V,R,I,J) データ
- 主・副の極大をつくる構造＋内側への「腕」構造
- 円盤外縁の最大高さは、 $h/r = 0.20$ 。



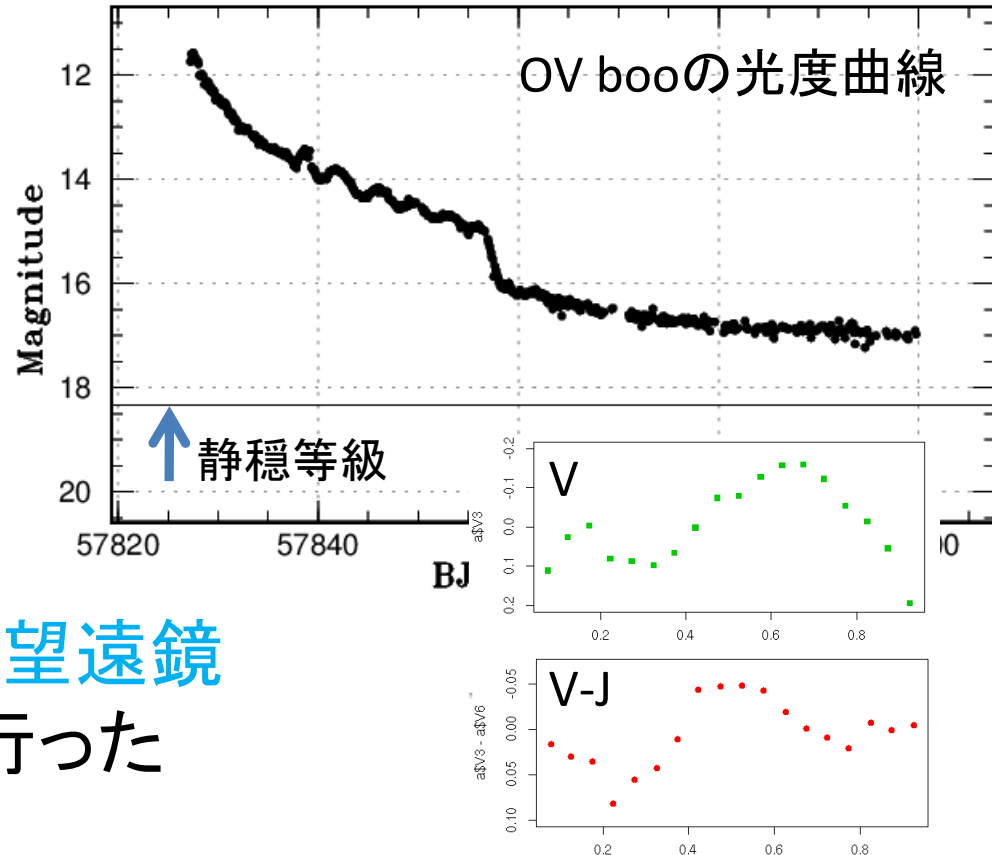
今回の対象天体

- Population II(金属欠乏星)候補の天体 OV Bootis
- 食連星であり、静穏時の観測から連星パラメータは既知
- 質量比($M2/M1$) = 0.065
- 軌道周期 66.6min

(Savoury et al. 2011)

- パラメータからWZ Sge型のアウトバーストが予想されており、2017年3月に爆発

- MITSuME + 広大かなた望遠鏡
による5色同時観測を行った



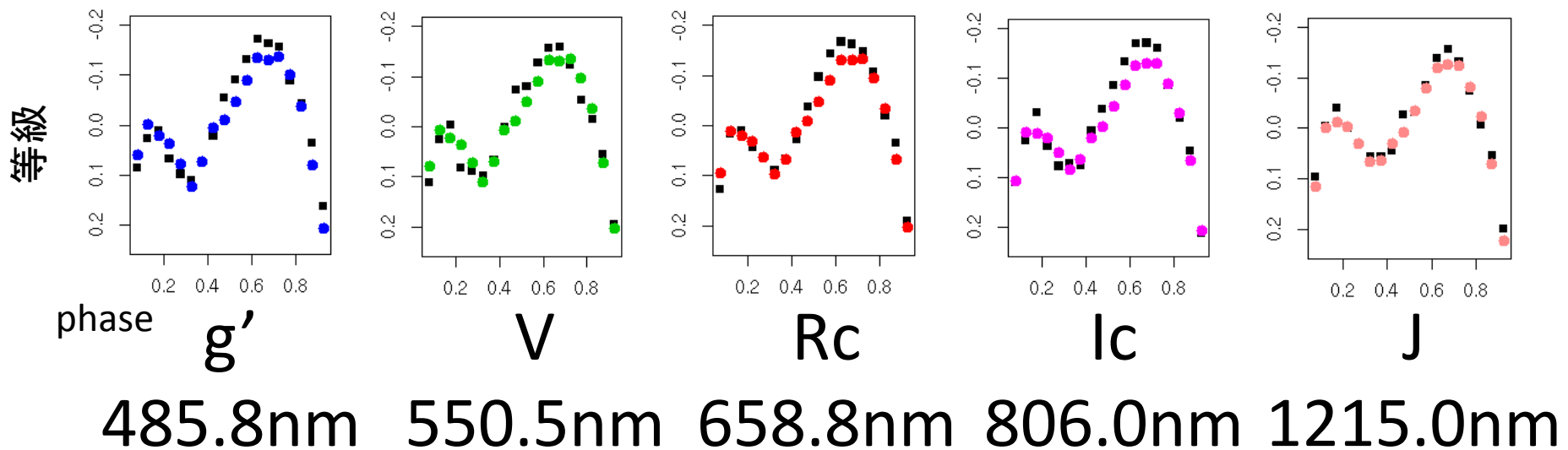
再構成結果

- 円盤内縁部の温度 T_{in} と円盤サイズ R_{out} を変えながらパラメータを探索した。
メッシュ数 20×16 , 光度曲線のbin 18×5 色

- 今のところ最もうまくいった結果:

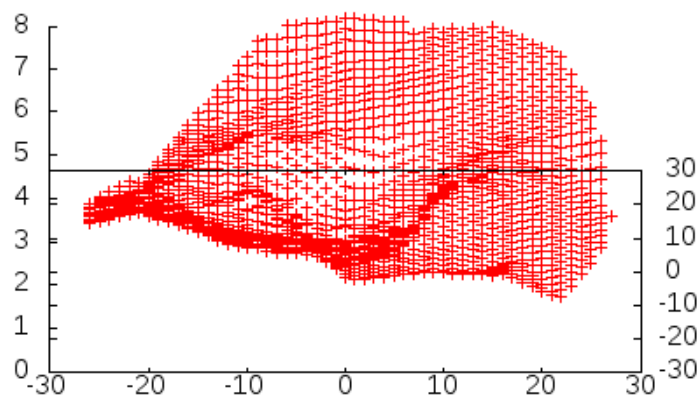
$$T_{in} = 81000\text{K}, R_{out} = 0.628/a \text{ (a: 連星間距離)}$$

黒点: 観測値
色点: 計算結果

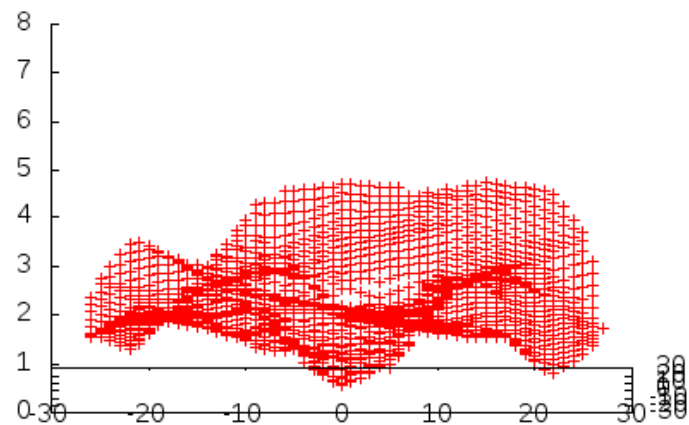


アニメーション

少し上から見た円盤

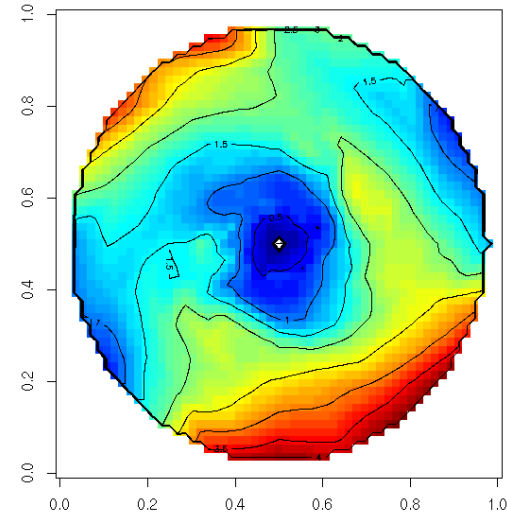


地球から見た円盤

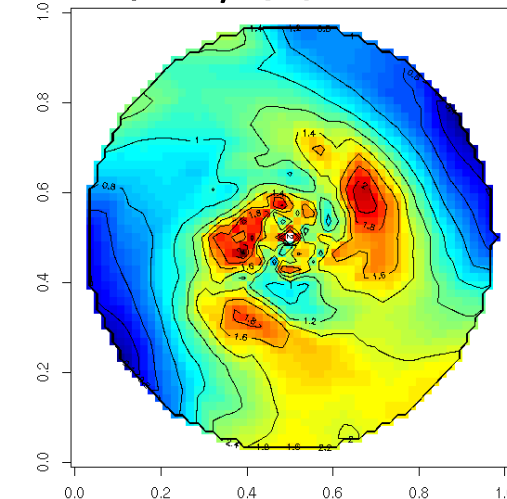


推定された円盤構造

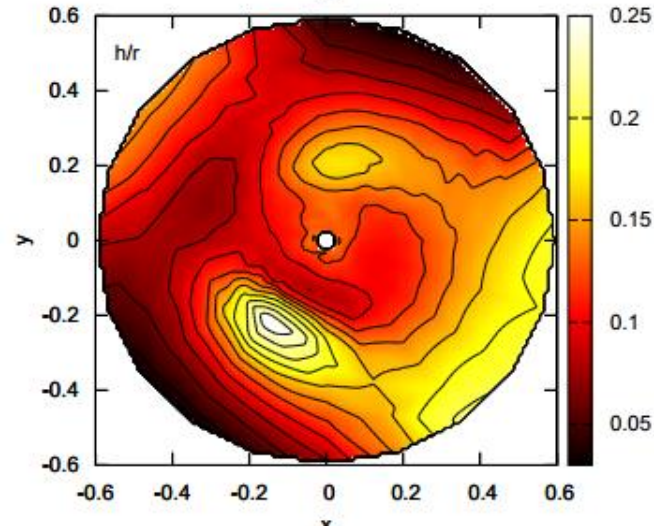
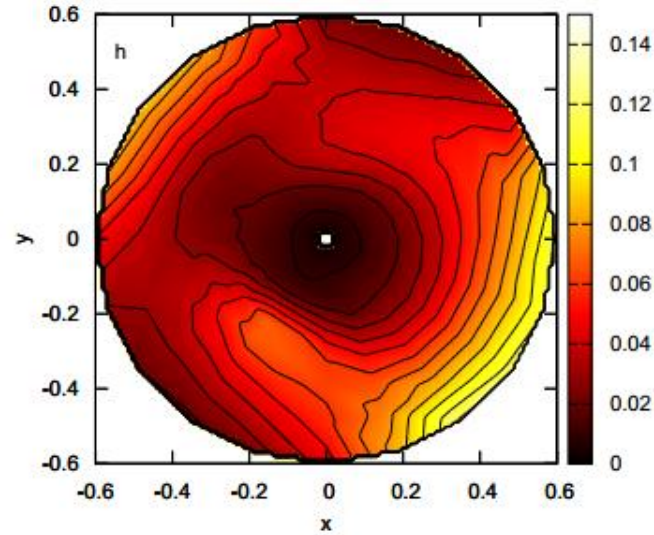
円盤高さ



円盤高さ/半径



先行研究: V455 And



- どちらも同様の構造(円盤外縁部に2箇所の盛り上がり+ 2本腕構造)が再現された。
- 円盤外縁の最大高さ
先行研究: $h/r = 0.20$
今回: $h/r = 0.12$
と大きく異なる。
(事前分布は $h=0.1r$)
- 温度分布が近似的なもの($T_{\text{in}}(\frac{r}{r_{\text{in}}})^{-3/4}$)を使っているのが原因？

今後の展望

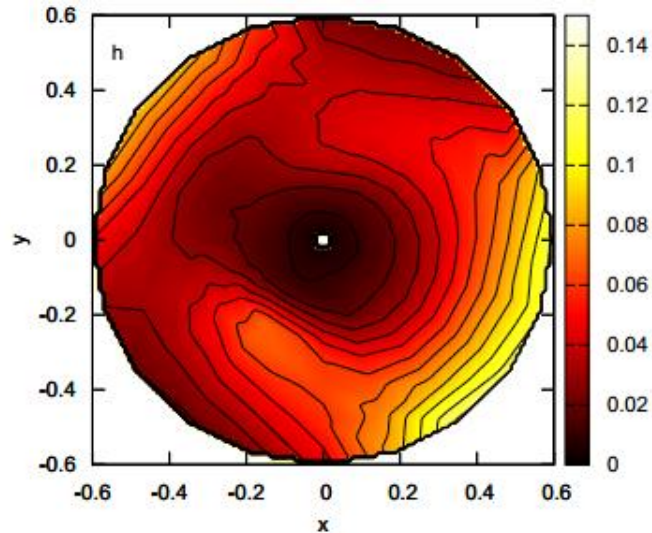
- 温度分布が単純すぎる
 - モデルを変更する
 - 別の手法で温度分布を持つてくる
 - Doppler tomography: 輝線の視線速度変化から
速度空間での輝度分布を再構成
 - Eclipse mapping: 食による光度変化から、
円盤上の光源の位置を推定
- MITSuMEを活用して観測例を増やそう
 - 矮新星は1～2時間周期で
色変化が見えるので良いtarget

先行研究: V455 Andの円盤構造推定

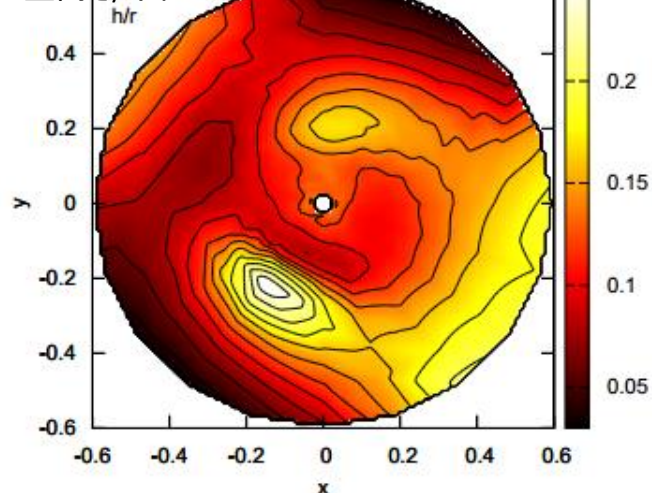
(Uemura et al. 2012)

- ・ 潮汐効果？ 2:1レゾナンス？

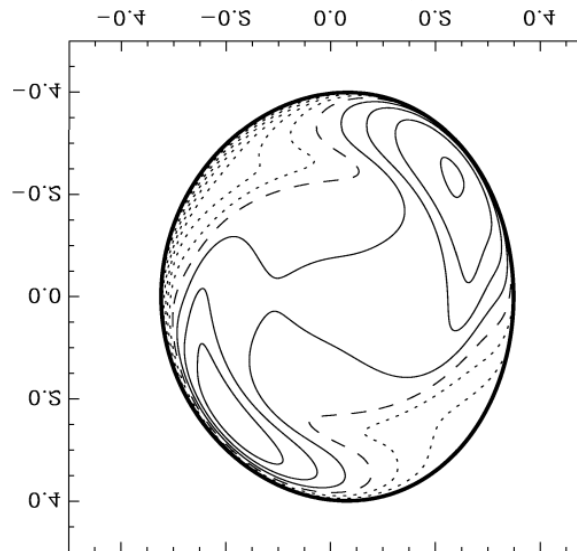
円盤高さ



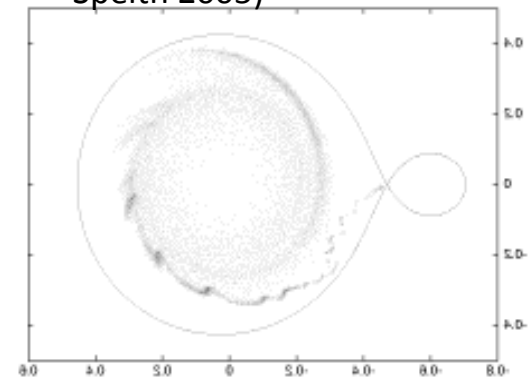
円盤高さ/半径



潮汐効果による円盤高さ
の歪みの理論計算 (Ogilvie 2002)



SPHによる2:1 レゾナンスの
シミュレーション (Kunze &
Speith 2005)



光度曲線から再構成された円盤は「潮汐効果」による歪みと似ているが、左上の構造は説明できない。

モデルとの残差

