

# 矮新星V3101 Cygのアウトバースト 終了後の連続分光観測



磯貝 桂介

京都大学 附属天文台 岡山天文台 研究員

東京大学 大学院総合文化研究科 特任研究員

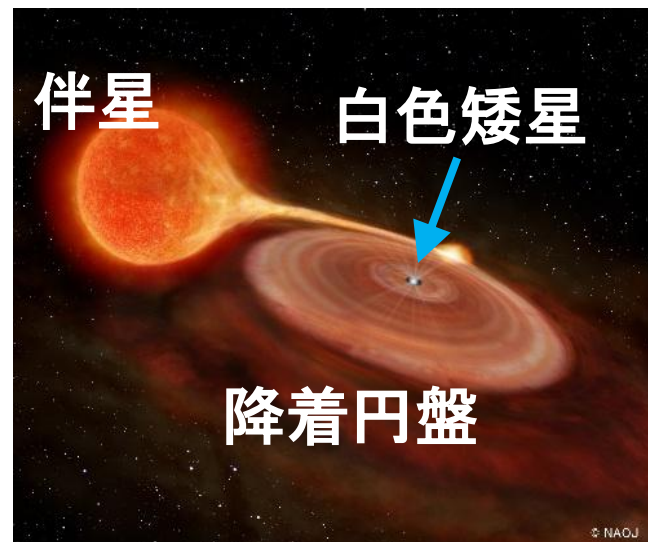
加藤太一、野上大作、反保雄介、小路口直冬(京都大学)、

成田憲保、福井暁彦(東京大学)他MuSCAT1/2 team、


VSNET/VSOLJ collaborations

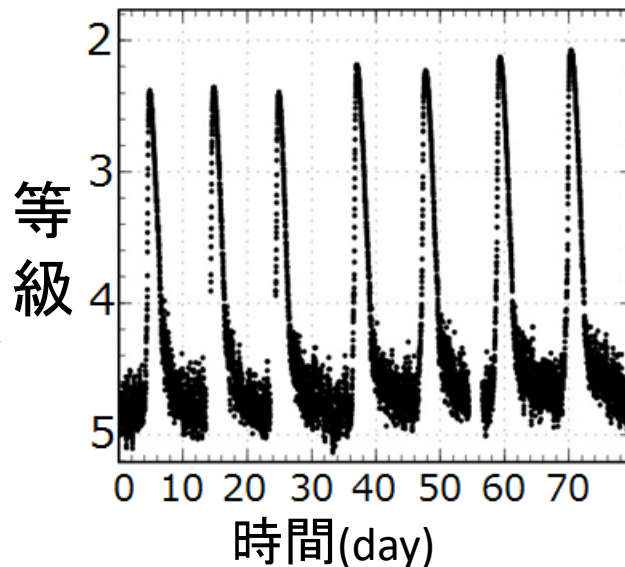
# 激変星

- 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



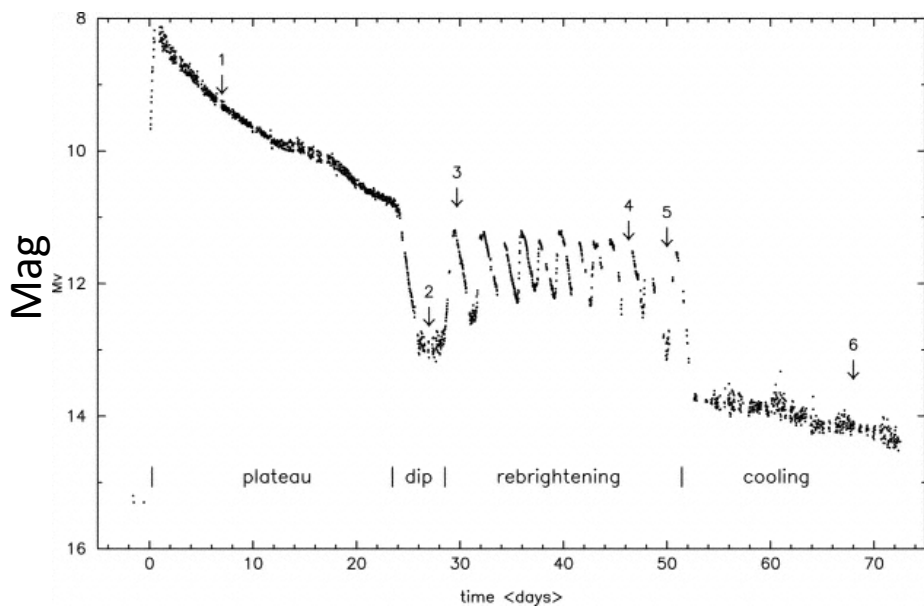
# 矮新星

- 激変星のsubclass
- 軌道周期1-9時間ほど
- **outburst**と呼ばれる、数等級の突発的な増光現象を起こし、 数日かけて減光する
- recurrence timeは数週間から数十年

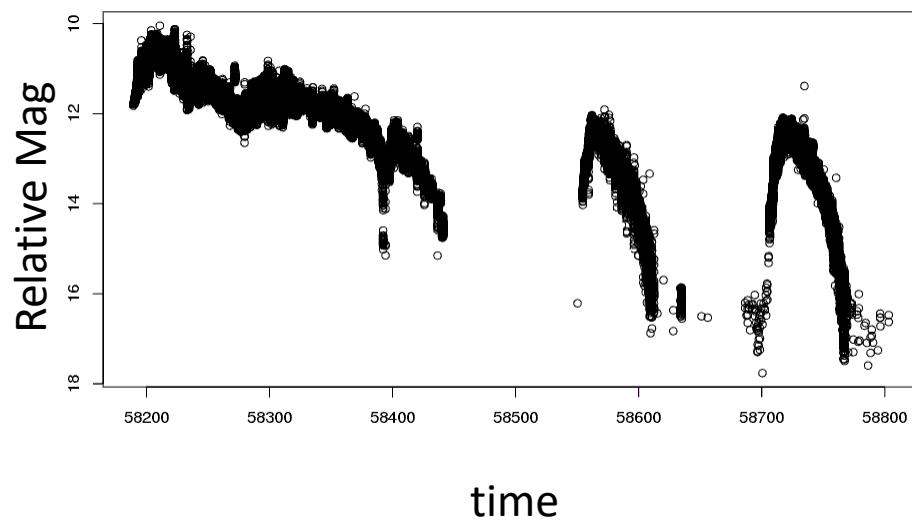


# 再増光

- **WZ Sge型矮新星**や**X線連星**はsuperoutburst後に再増光を示す。しかし**機構は未解明**。



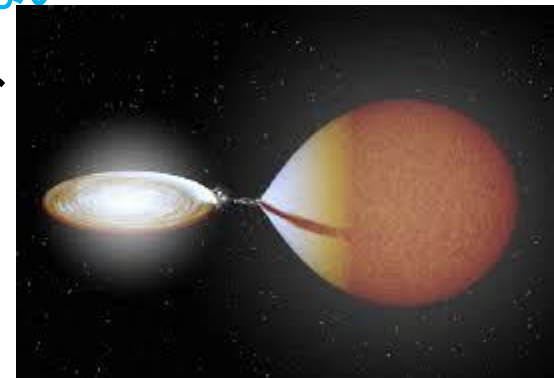
矮新星 WZ Sge (Godon+ 2004, data from VSNET)



X線連星 ASASSN-18ey  
(Niijima+ in prep., data from VSNET)

# 再増光の仕組み

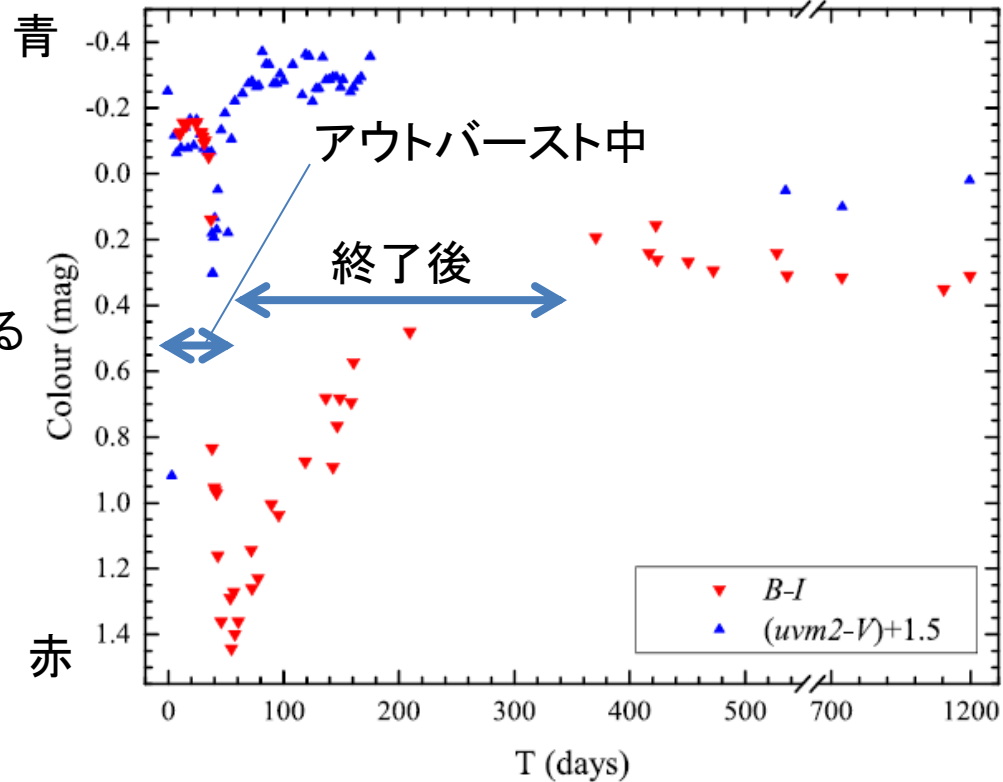
- 基本的にはoutburstと同じで円盤が光っているが、**何故outburst直後にまた明るくなるのかが謎。**
  - 次の2つの説がある
    - 伴星からの質量輸送率が増加 (Hameury et al. 2000)
    - 粘性の増加によるアウトバースト (Osaki, Meyer, Meyer-Hofmeister 2001)
  - 前者の**Enhanced Mass Transfer説は疑問が多い**
    - 質量輸送率が増加している様子は**観測されていない**
    - 伴星が照射を受けることで起きると説明されるが、照射を受けたところで**質量輸送率は増加しない**
      - 理由1) L1点は円盤の影に隠れている
      - 理由2) 少し離れた場所は加熱されるが、コリオリ力が邪魔でL1点までは容易にたどり着けない (Osaki & Meyer, 2003, 2004)
- ただし、**描像が簡単だからか信じている人は多い**



# 粘性増加 + Mass Reservoir Model

Neustroev et al. 2017

- アウトバースト後の円盤は粘性が一時的に増加していてアウトバーストしやすい状態になっているかもしれない。
- ただし、繰り返し同規模の再増光を起こすには質量を注入する必要がある (Meyer & Meyer-Hofmeister 2015)
- 観測から、superoutburst 終了後に赤い状態が続く様子が確認されている (e.g. Matsui et al. 2008)
- **円盤外縁部に低温のmass**が残っているのでは。
- **外側に残った質量が角運動量を失って降り注げば再増光を起こせるかも。** (Kato 1998, Hellier 2001, Osaki, 2001)

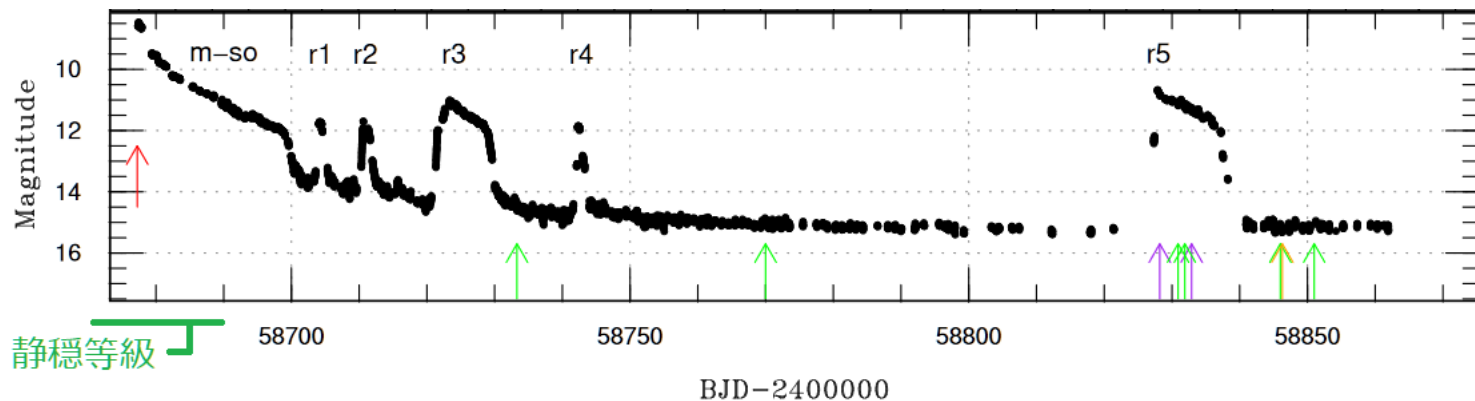


Inner hot region  
(rebrightening)

low temperature Mass Reservoir

# 分光観測による再増光の研究

- アウトバースト後、何度も再増光を繰り返す天体V3101 Cygの連続分光観測を継続して行った。
- 京都大学の岡山天文台が持つ3.8mせいめい望遠鏡が稼働し、分光観測による再増光の研究が可能に

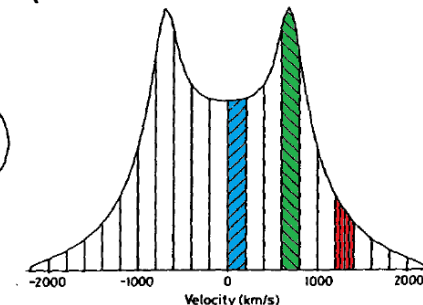
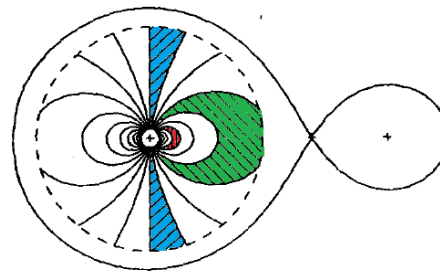




# せいめいでDoppler Tomography

(Marsh & Horne 1988)

- Tomography = 断層撮影法。  
CTスキャンのように、連星系を  
いろんな方向から分光観測し、  
**輝線プロファイル変化から**  
**速度空間上での輝度構造を推定する。**
- Uemura et al. 2015で  
開発されたコードを使用



下から円盤を見たとき、  
「**等視線速度線**」  
は上図のようになる。

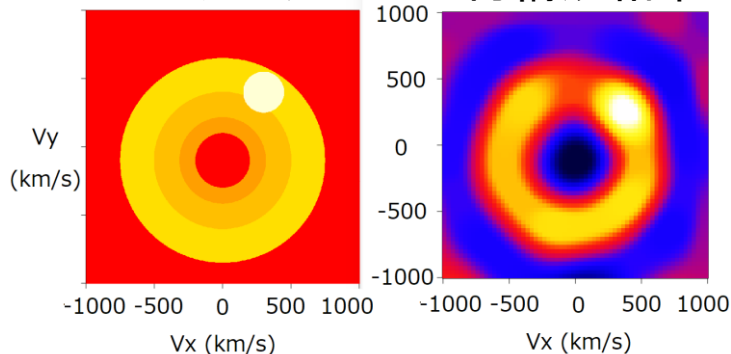


円盤由来の輝線は  
**double peak**の形で  
観測される  
(Hellier 2001)

Doppler Tomographyの例:

人工データ

再構成結果



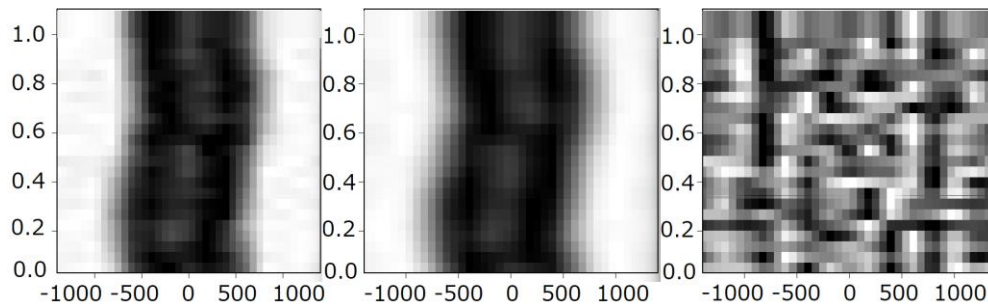
(Uemura et al. 2015のコードを使用)

(a) 人工データを  
模擬観測

(b) 再構成結果

(a) と(b)の残差

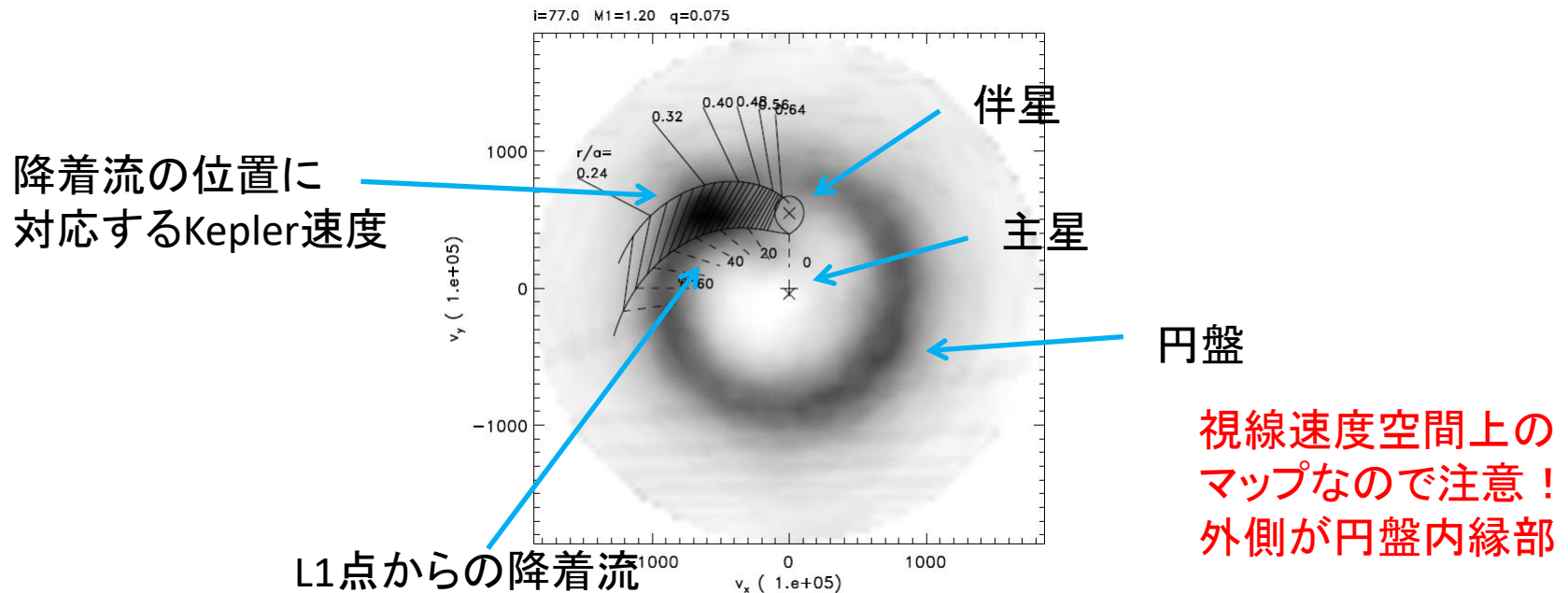
軌道フェーズ



視線速度(km/s)

# Doppler tomographyで何が見えるか

- WZ Sgeの静穏時の観測では円盤とhot spotが観測された



WZ Sgeの静穏時のスペクトル (Spruit and Rutten 1998)

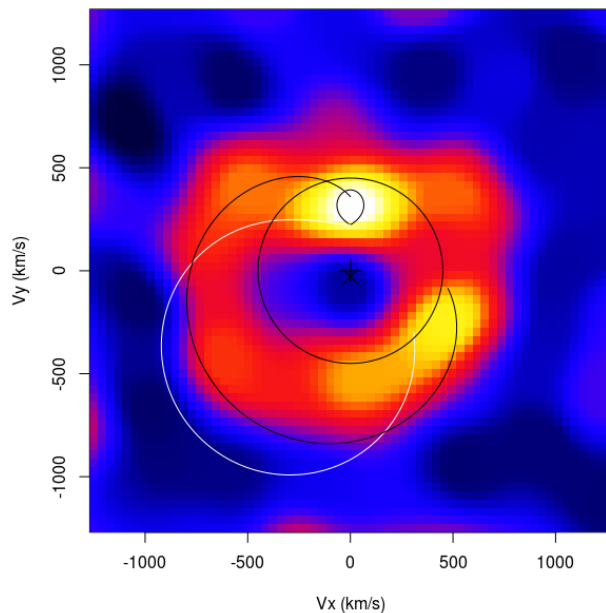
- 再増光がEMTで発生するなら、  
照射を受けた伴星とhot spotが目立つはず
- Mass Reservoirがあるなら低速度成分が豊富な円盤



# V3101 CygのDoppler map

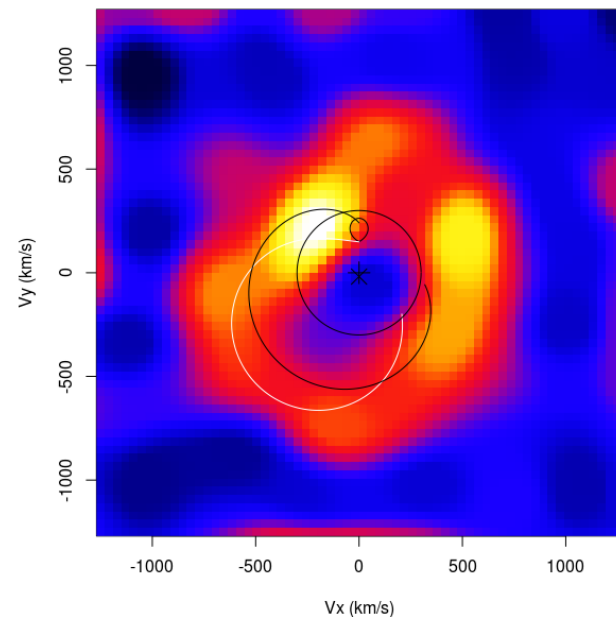
- 残念ながらこの天体はinclination、軌道運動の位相、主星質量が不明のため、それらしい値を使って推定するしかない。

明るい点 = 伴星と仮定した場合



質量比 = 0.88(既知)  
主星質量 =  $0.785M_{\text{sol}}$   
inclination =  $40^\circ$

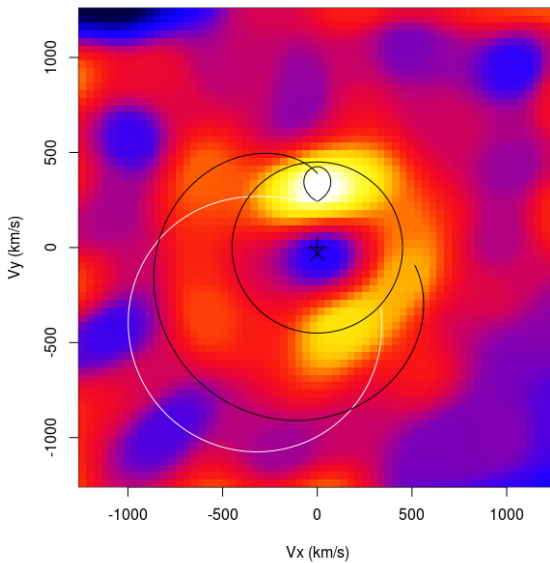
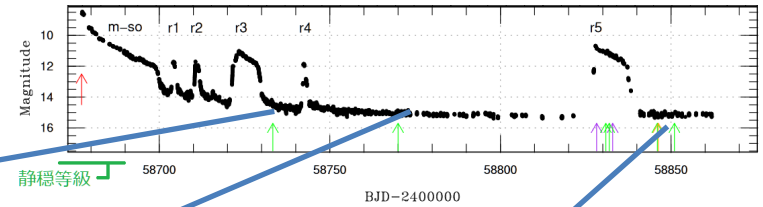
明るい点 = hot spotと仮定した場合



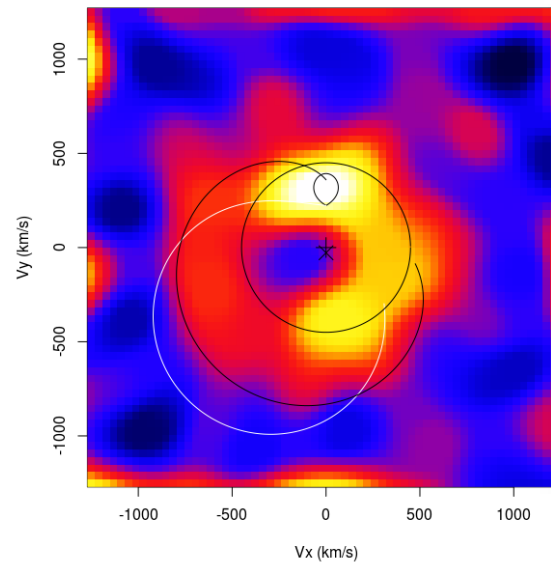
質量比 = 0.88(既知)  
主星質量 =  $0.05M_{\text{sol}}$   
inclination =  $30^\circ$

# V3101 CygのDoppler maps

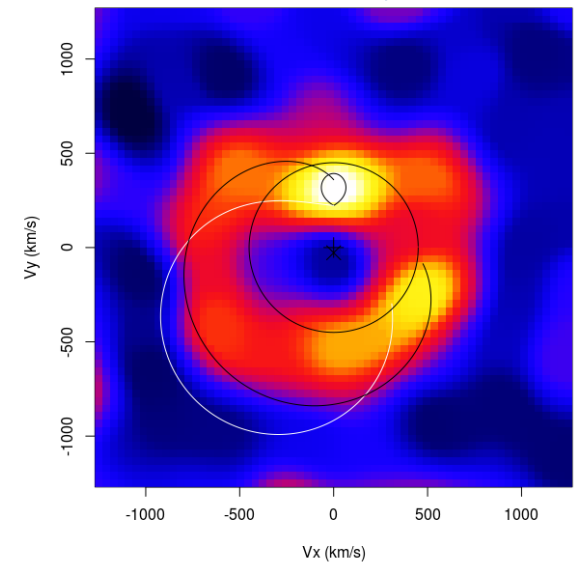
- 間に何度か再増光を起こしても  
得られるDoppler mapはほぼ一定



2019年10月6日



2019年12月28日

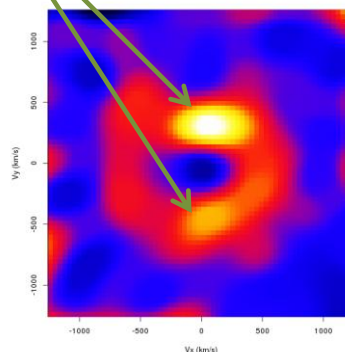


2020年4月29日

- 少なくともsuperhumpなどのprecessionする成分ではない

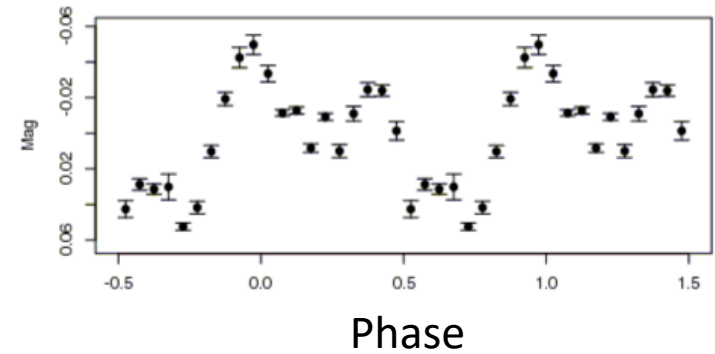
# 同時多色測光

- 岡山188cmに搭載された3色同時撮像装置MuSCATと姉妹機MuSCAT2(テネリフェ, 152cm)で準同時測光観測を行った。
- 軌道周期に一致する周期変動が見られた
- 明るいときに色は青くなっており、光度変動の起源は高温成分
- 光度変動のダブルピークとDoppler Mapの2つのspotが同じ位相を持つことを確認
- 照射によって加熱された伴星は数千K程度なのでDoppler mapのspotは伴星ではなくhot spot

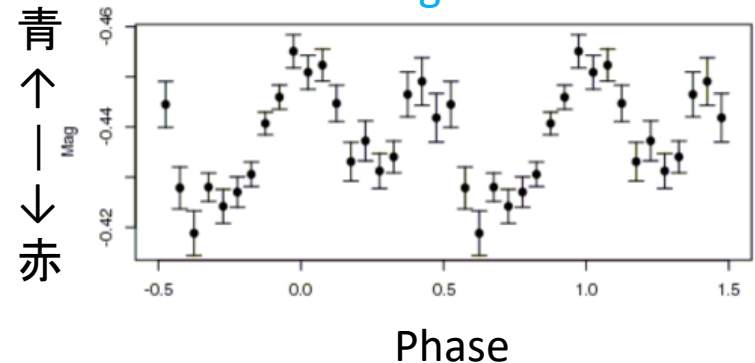


位相のzero pointを光度変動と合わせたDoppler Map

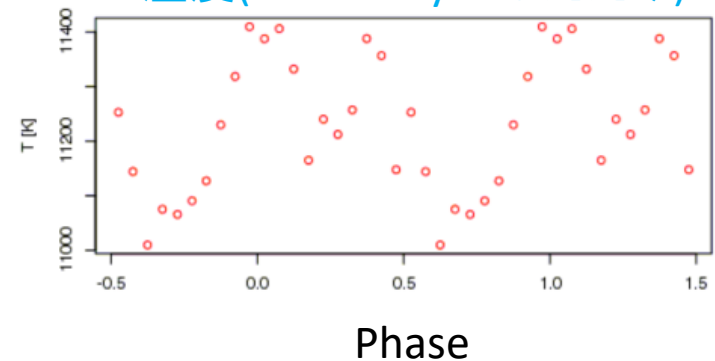
phase averaged profile



g - i

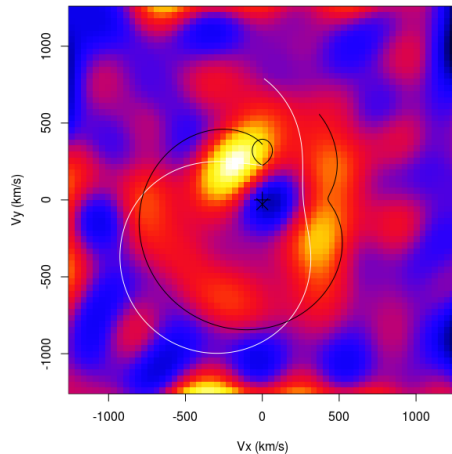


温度(blackbody fitしただけ)

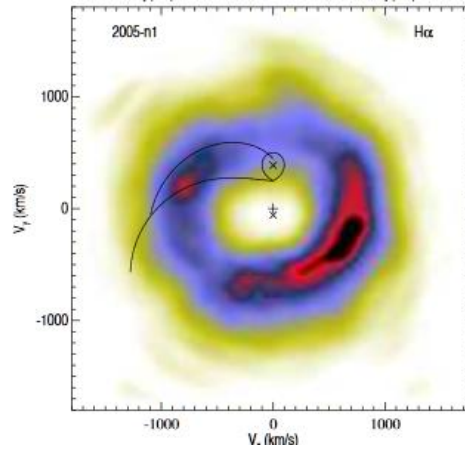


# 輝線の起源

- 明るい方のspotがhot spotだと仮定すると左図のようになる

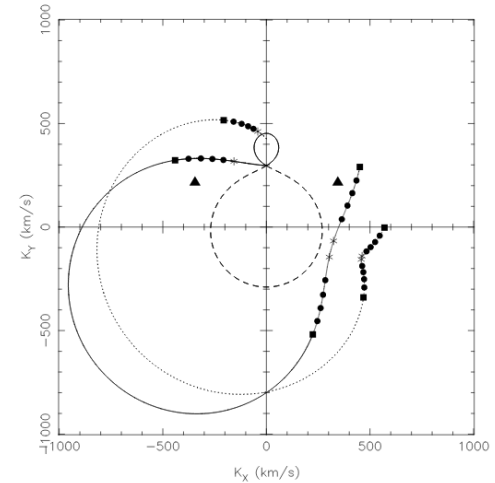


今回の結果



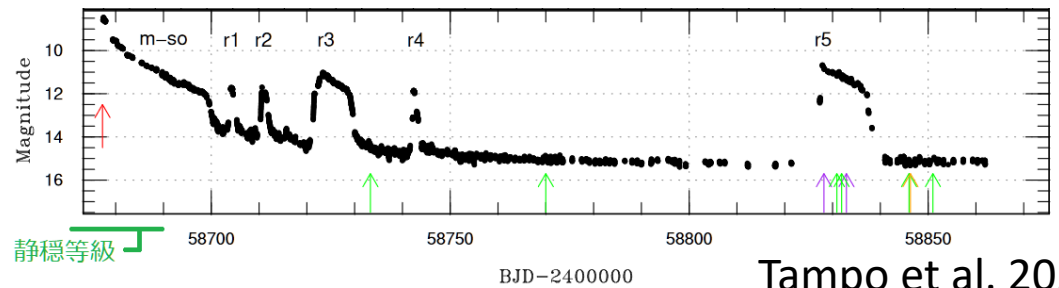
(HT Cas; Neustroev et al. 2016)

複数のhot spotが出現する場合の位置 (Roelofs et al. 2005)



- hot spotの逆側にもspotがある構造は他の天体でも見られるが起源は不明
- 潮汐力によってアーム構造が出現し、円盤が一部厚くなっていて irradiationによって生成された温度逆転層から放射？ (Neustroev et al. 2016)
- 降着流がhot spotではすべて止まらずに溢れ、ふたたび円盤とぶつかることでsecond hot spotが出現する？ (Roelofs et al. 2005)
  - ⇒ 今回は、予測される2nd, 3rd spotの位置が輝いている
  - ⇒ 質量輸送率が増加し、複数のhot spotが出来ているかもしれない？

# 結論



Tampo et al. 2020

再増光を説明する2つのモデルを検証

モデル1. EMTで再増光が発生するなら、

**照射を受けた伴星やhot spotが目立つ**

⇒次第に目立たなくなり再増光を起こさなくなる

モデル2. Mass Reservoirがあるなら**低視線速度成分が豊富**

⇒次第に円盤が縮む(低速度成分が見えなくなっていく)

V3101 Cygでは長期に渡る観測でも大きな時間変化がなく、上記の検証を行うことが出来なかった。

ただ、普通の天体はアウトバースト後赤くなるのに対し、この天体は青くなっている( $g-i$ で0.23  $\rightarrow$  -0.44 in r3-r4)。

更に**複数のhot spot**と思われるものが目立つことから、

赤い低温成分であるMass Reservoirモデルよりは

**EMT(質量輸送率増加)モデルがそれらしい。**

ただし、この天体は再増光中にsuperoutburstを起こした初の天体で、1年半たっても静穏状態より $V=2.5$ 等ほど明るく、時折スーパーアウトバーストを起こす。

通常の再増光とはあまりに違う現象で、再増光モデルの検証にならないかも。

# まとめ

- せいめいによる分光と、岡山188cm等による準同時撮像から再増光前後での円盤構造の研究を行った。
- Doppler map上に見られる**複数のspotは光度変動と同期**しており、1万K以上の高温成分だと分かった。
- Doppler map上で一番明るいspotがhot spotだと仮定すると、doppler mapで見られる他のspotが2nd, 3rd hot spotと場所が一致しており、更にアウトバースト前の静穏状態より色が青くなっていることから、**質量輸送率が一時的に上昇**していることを示唆する結果となった。
- 分光データの解析はまだpreliminaryなものなので視線速度変化から位相を調べるなどしていきたい。