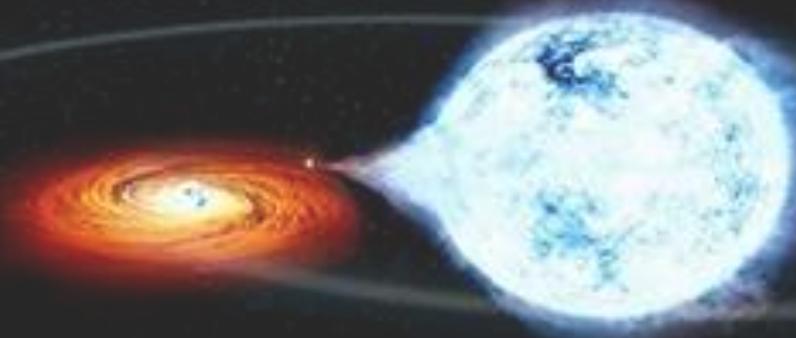


# 矮新星V3101 Cygのアウトバーン 終了後の連続分光観測



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

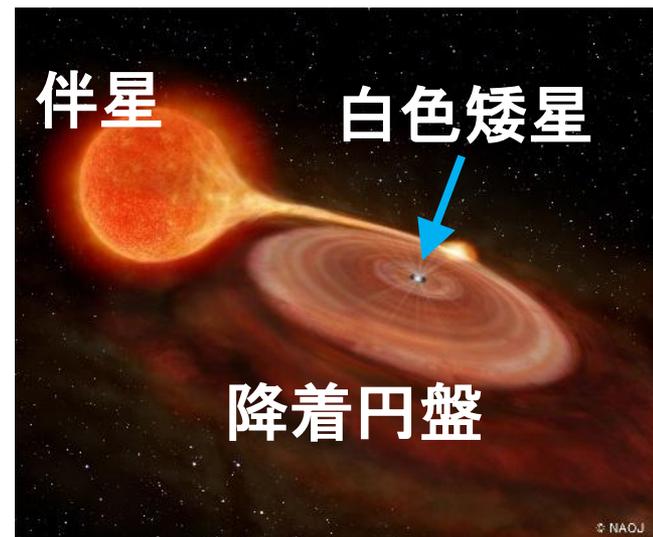
加藤太一、野上大作、反保雄介、小路口直冬(京都大学)、

成田憲保、福井暁彦(東京大学)他MuSCAT1/2 team、

VSNET/VSOLJ collaborations

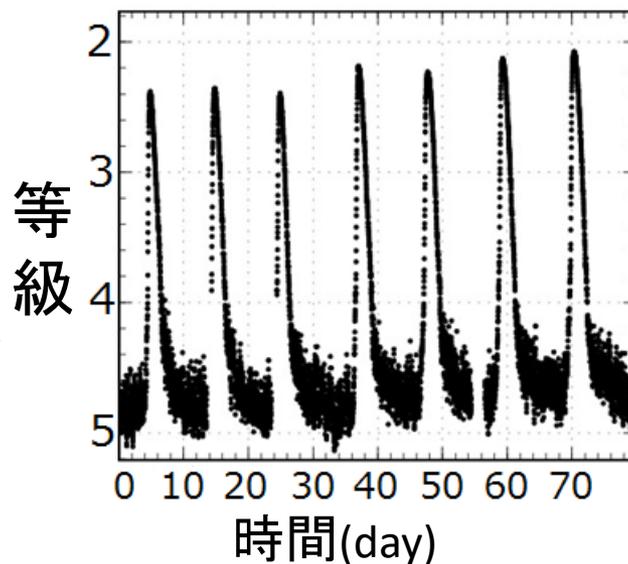
# 激変星

- 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



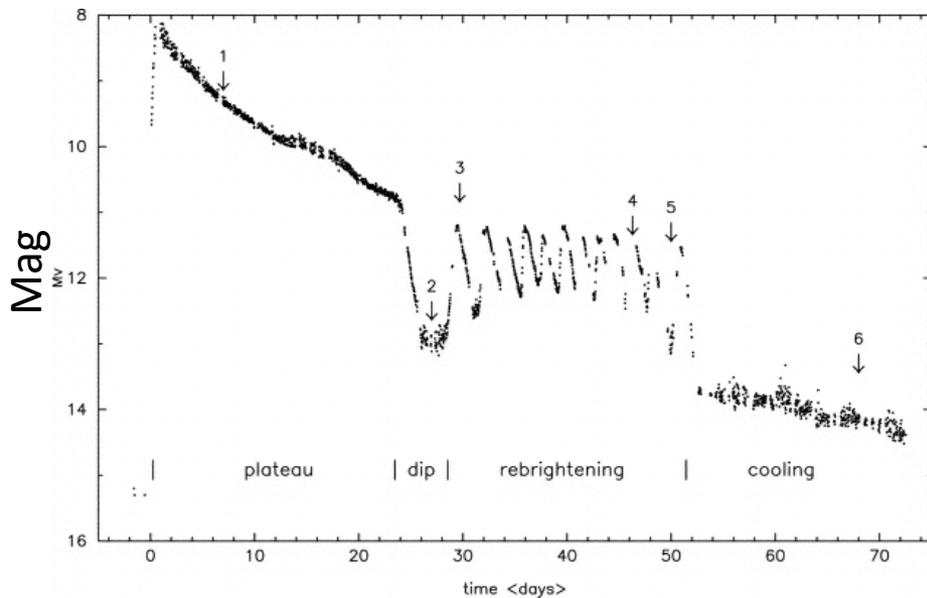
# 矮新星

- 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

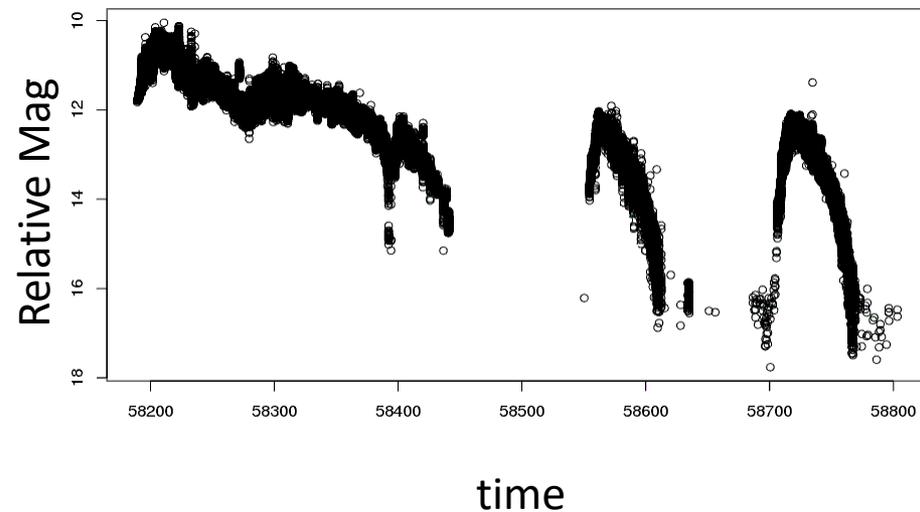


# 再増光

- 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。



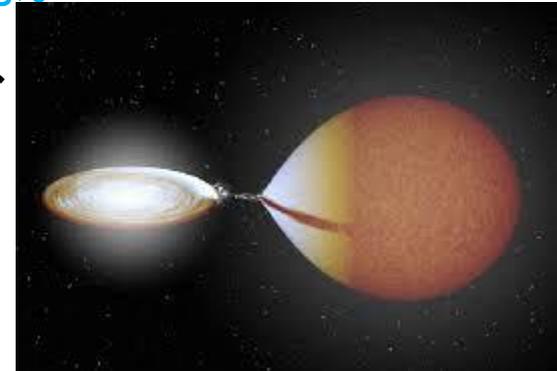
矮新星 WZ Sge (Godon+ 2004, data from VSNET)



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

# 再増光の仕組み

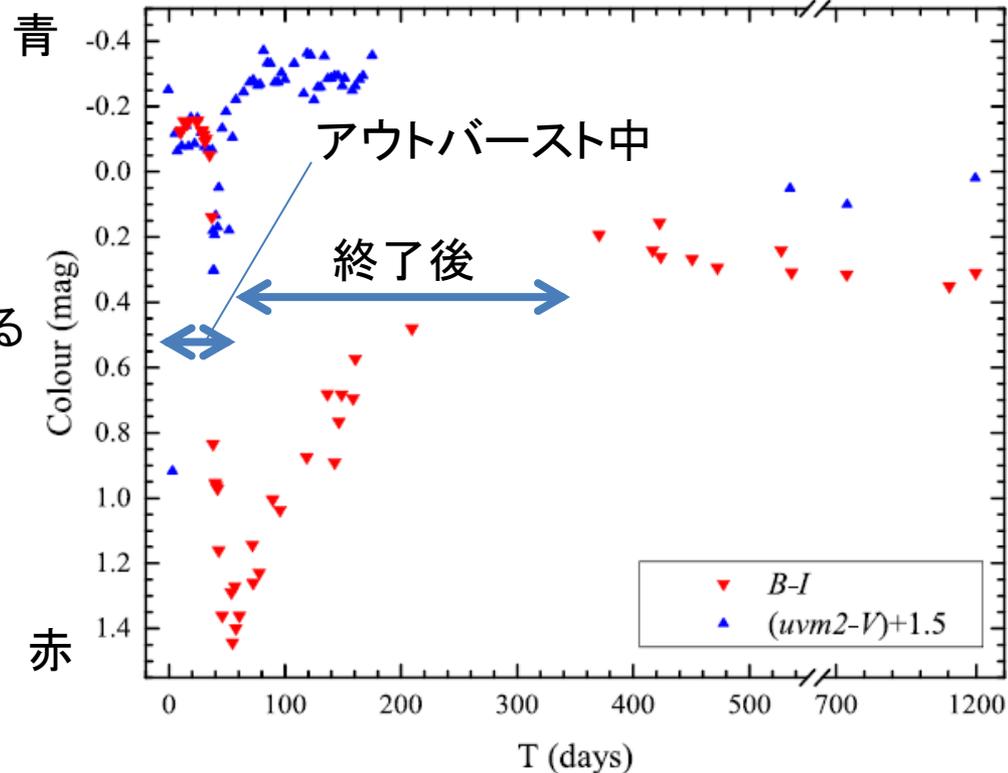
- 基本的にはoutburstと同じで円盤が光っているが、**何故outburst直後にまた明るくなるのかが謎。**
  - 次の2つの説がある
    - 伴星からの質量輸送率が増加 (Hameury et al. 2000)
    - 粘性の増加によるアウトバースト (Osaki, Meyer, Meyer-Hofmeister 2001)
  - 前者の**Enhanced Mass Transfer説は疑問が多い**
    - 質量輸送率が増加している様子は**観測されていない**
    - 伴星が照射を受けることで起きると説明されるが、照射を受けたところで**質量輸送率は増加しない**
      - 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)

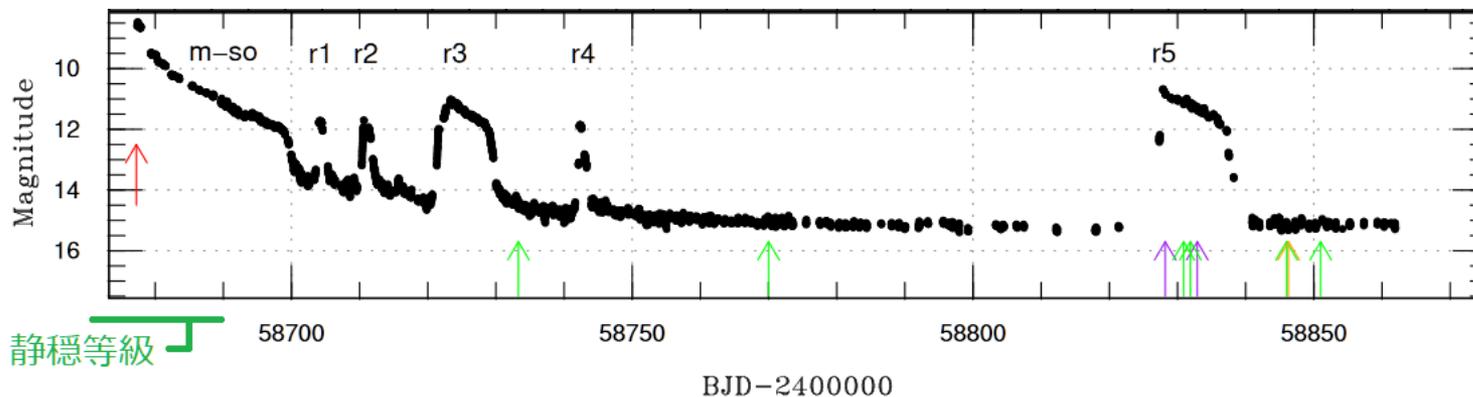


Inner hot region  
(rebrightening)

low temperature Mass Reservoir

# 分光観測による再増光の研究

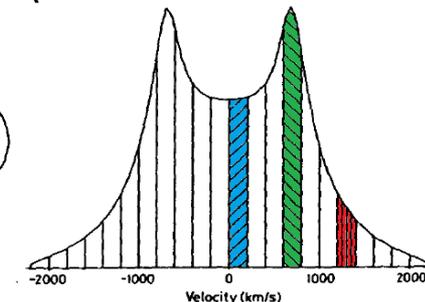
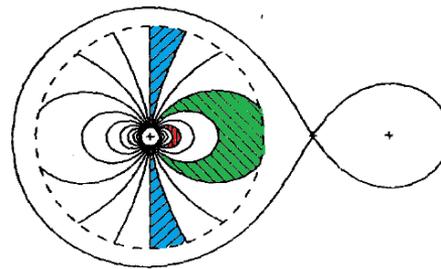
- アウトバースト後、何度も再増光を繰り返す天体V3101 Cygの連続分光観測を継続して行った。
- 京都大学の岡山天文台が持つ3.8mせいめい望遠鏡が稼働し、分光観測による再増光の研究が可能に



# 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。

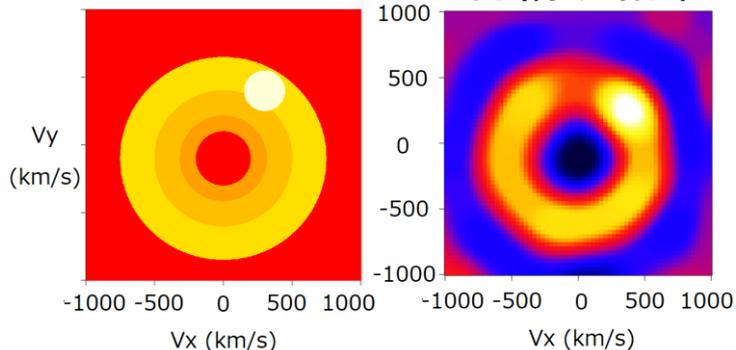


円盤由来の輝線は  
**double peak**の形で  
観測される  
(Hellier 2001)

Doppler Tomographyの例:

人工データ

再構成結果



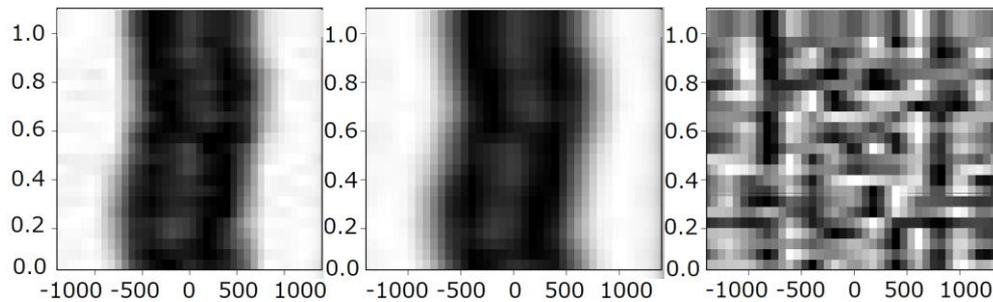
(Uemura et al. 2015のコードを使用)

(a) 人工データを  
模擬観測

(b) 再構成結果

(a) と(b)の残差

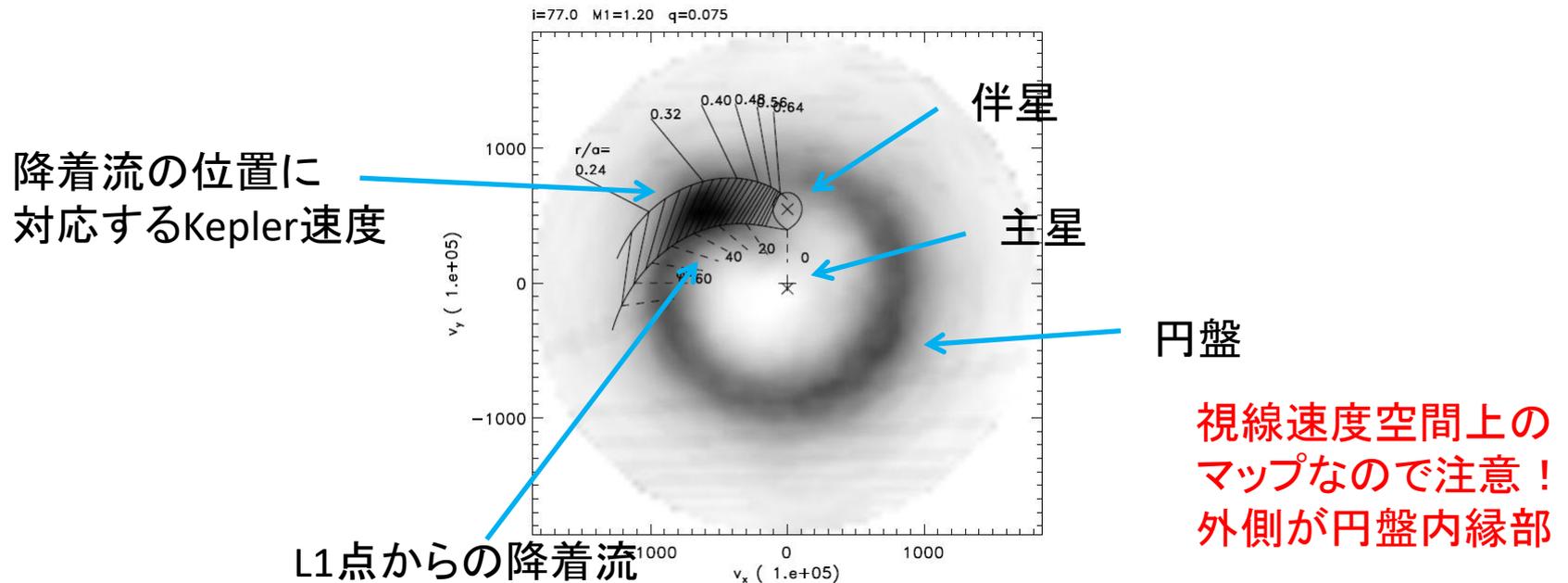
軌道フェーズ



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



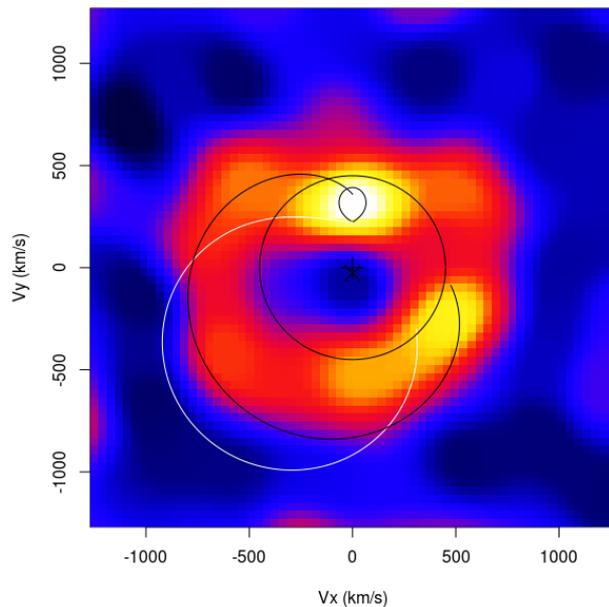
WZ Sgeの静穏時のスペクトル (Spruit and Rutten 1998)

- 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

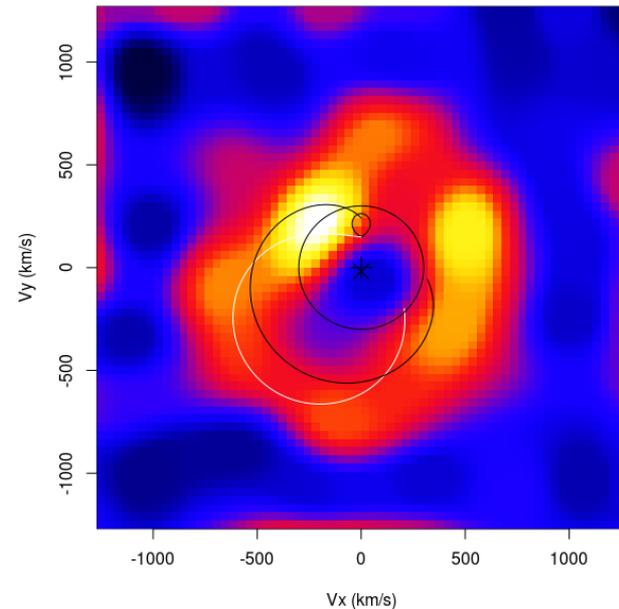
- 残念ながらこの天体はinclination、軌道運動の位相、主星質量が不明のため、それらしい値を使って推定するしかない。

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 =  $40^\circ$

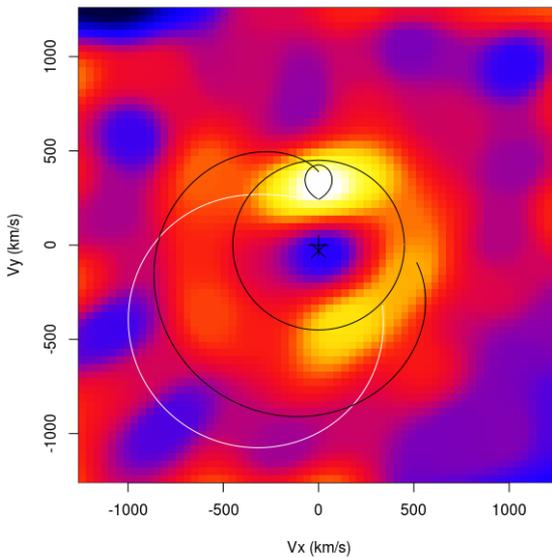
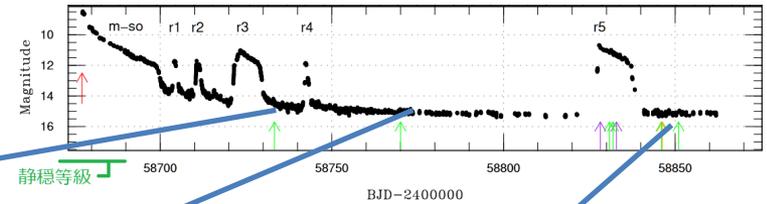
明るい点 = hot spotと仮定した場合



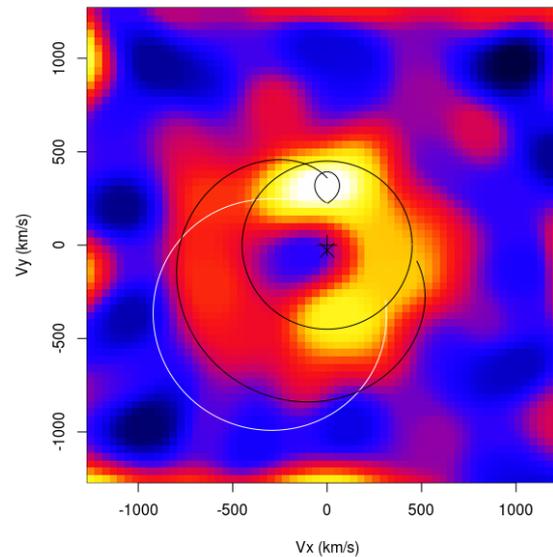
質量比 = 0.88(既知)  
主星質量 =  $0.05M_{\text{sol}}$   
inclination =  $30^\circ$

# V3101 CygのDoppler maps

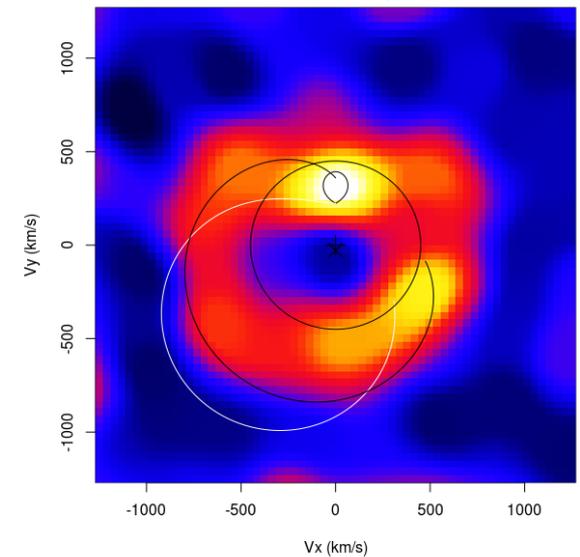
- 間に何度か再増光を起こしても  
得られるDoppler mapはほぼ一定



2019年10月6日



2019年12月28日

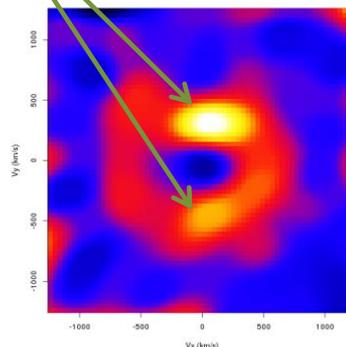


2020年4月29日

- 少なくともsuperhumpなどのprecessionする成分ではない

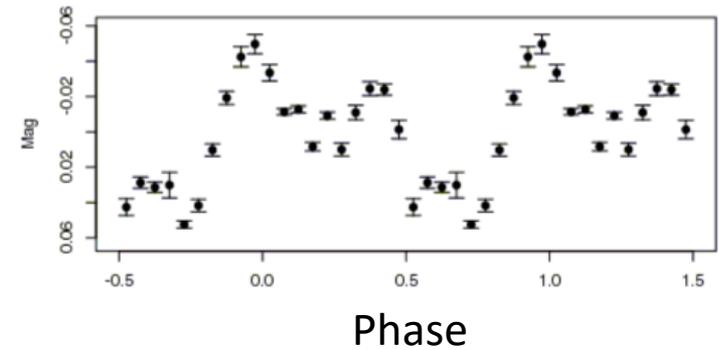
# 同時多色測光

- 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



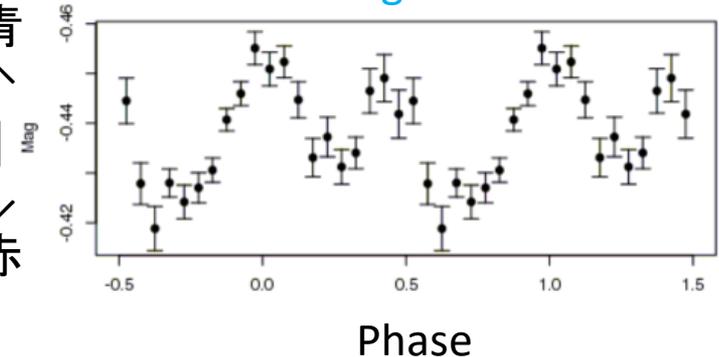
位相のzero pointを光度変動と合わせたDoppler Map

phase averaged profile

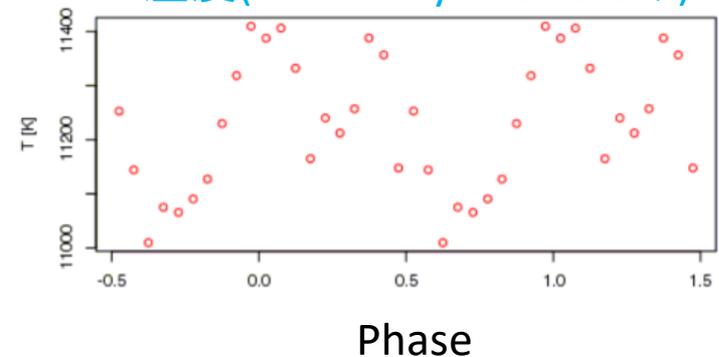


青  
↑  
—  
↓  
赤

g - i

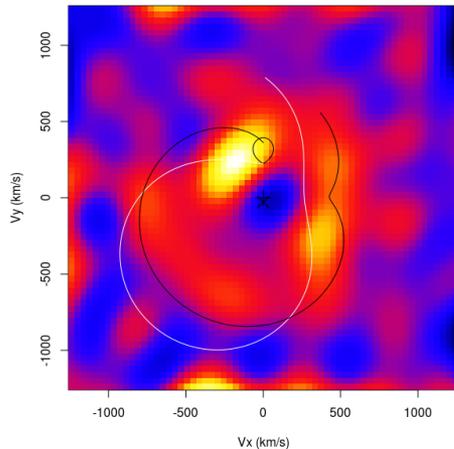


温度(blackbody fitしただけ)

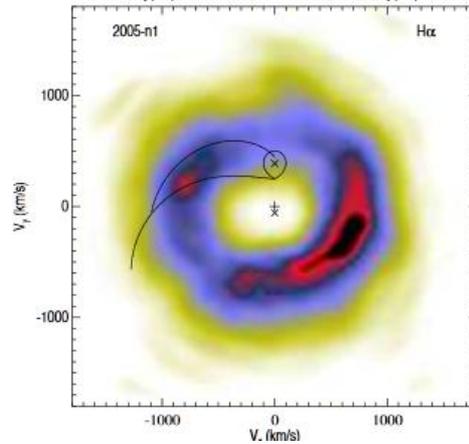


# 輝線の起源

- 明るい方のspotがhot spotだと仮定すると左図のようになる

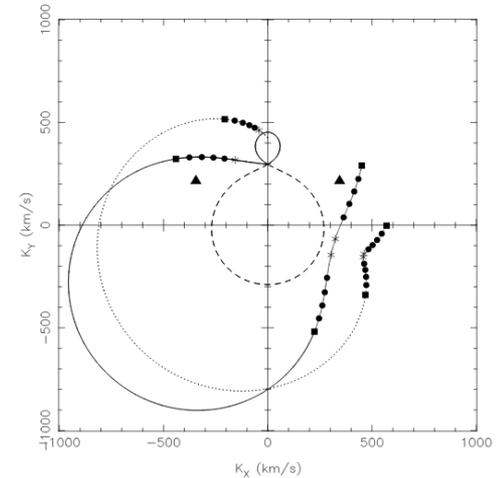


今回の結果



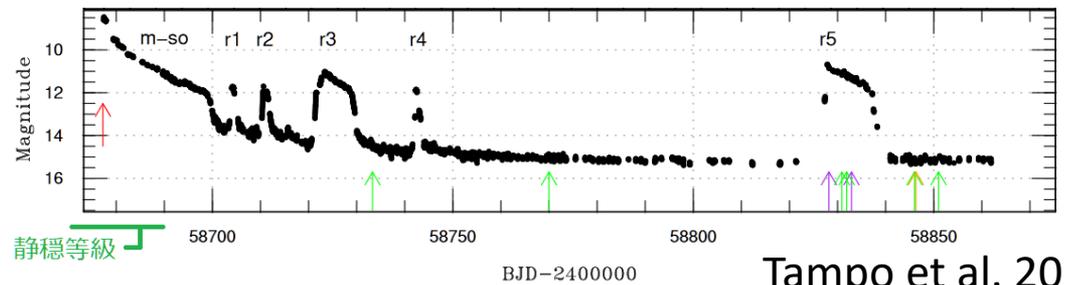
(HT Cas; Neustroev et al. 2016)

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。