

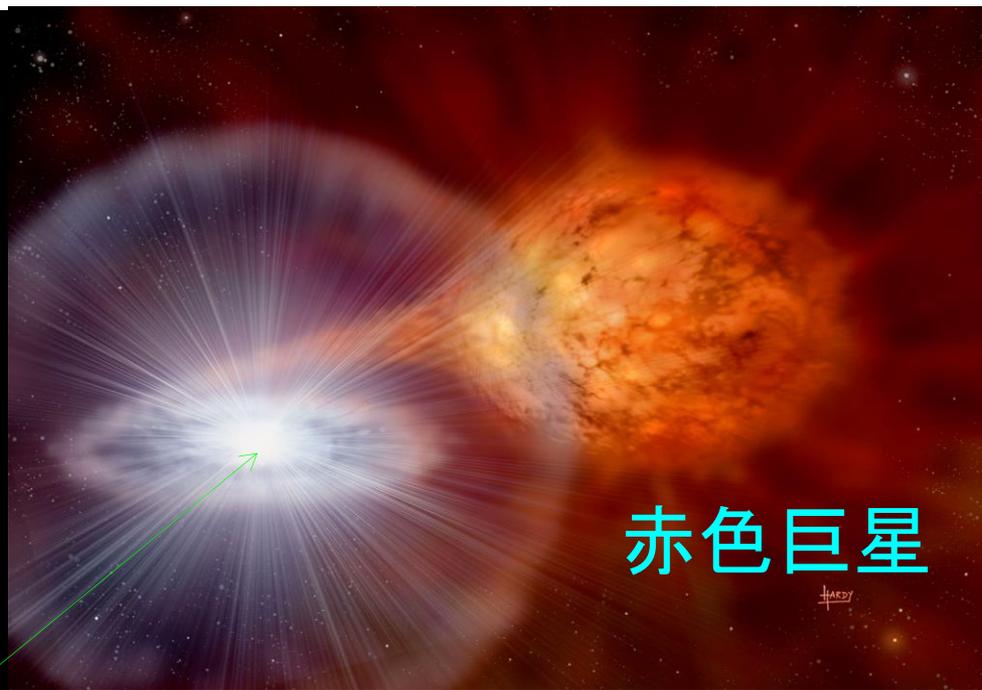
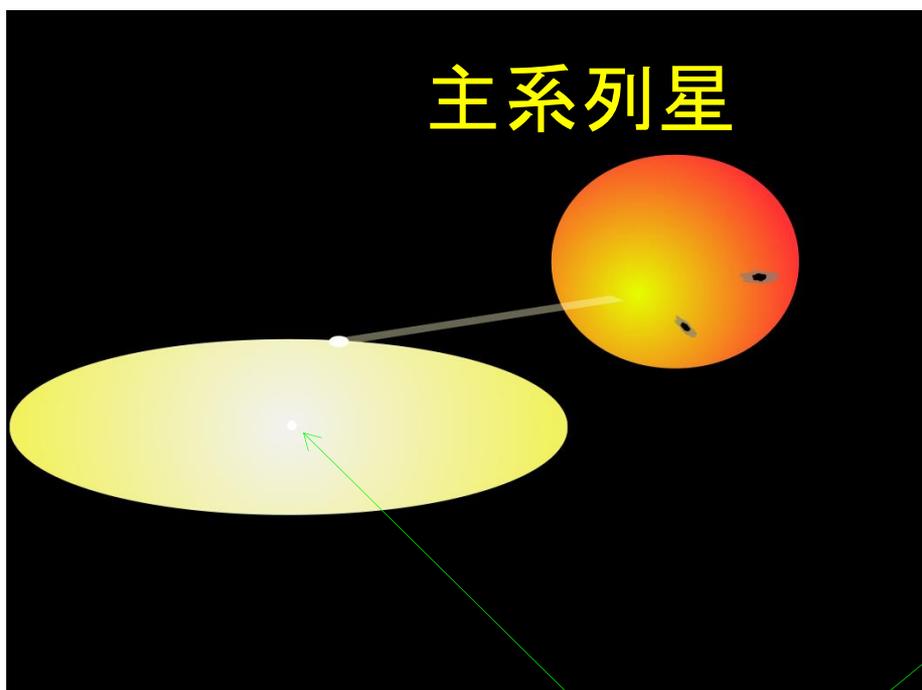
# 高頻度・広視野サーベイと即時分光 による古典新星の増光期の研究

前原裕之 (NAOJ)

# 連星系と新星(爆発)

- 白色矮星(主星)と普通の恒星(伴星)の連星系
  - 伴星は、主系列星の場合と赤色巨星の場合がある。
- 普通の星から白色矮星に向けてガス(水素)が流れ込み、白色矮星の表面に積もっていく。
- ガスが十分積もり、温度や密度が十分高くなると、白色矮星の表面で核融合反応が爆発的に起き、急激に明るくなる→**新星爆発**
- 銀河系内では新星は10天体/年の頻度
- 新星爆発を(~10 yrの間隔で)繰り返し起こす天体も知られている

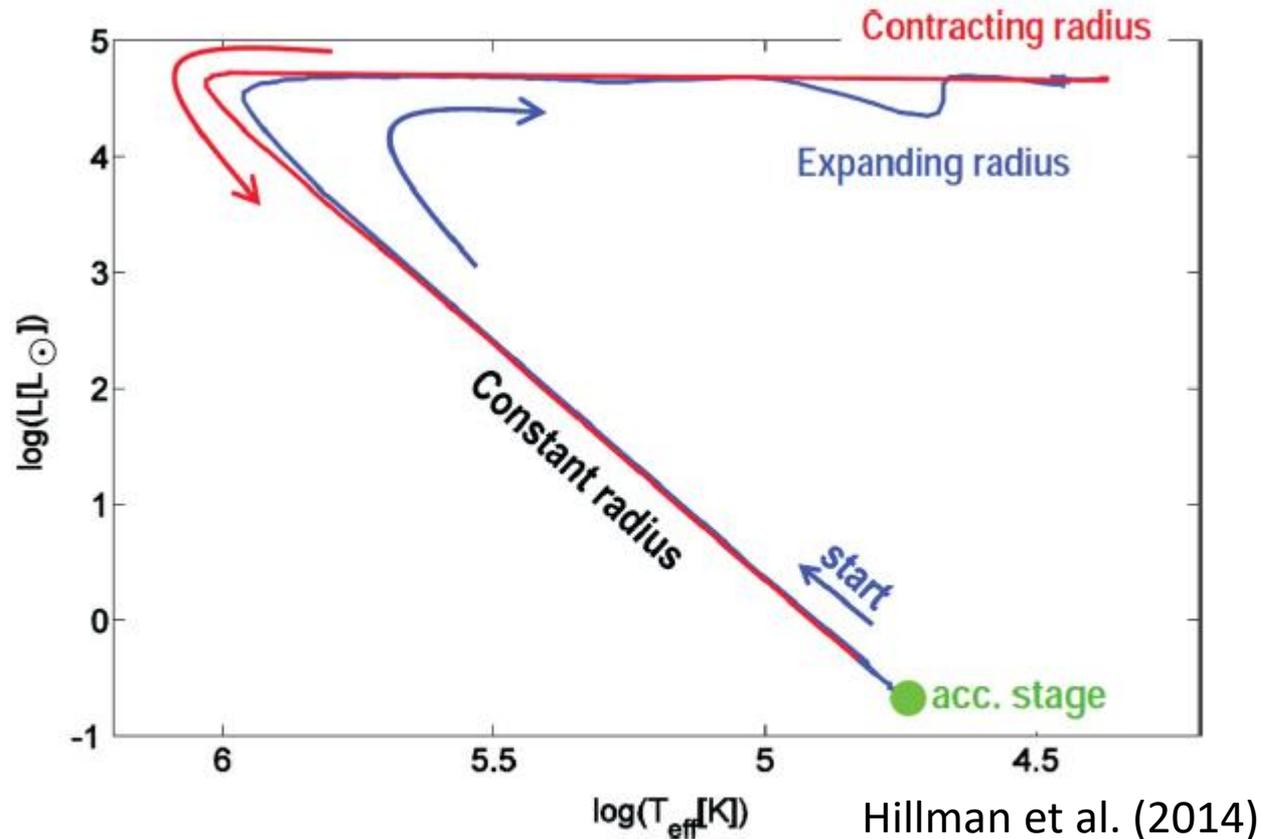
# 新星爆発を起こす可能性のある天体



Credit: David A. Hardy & PPARC

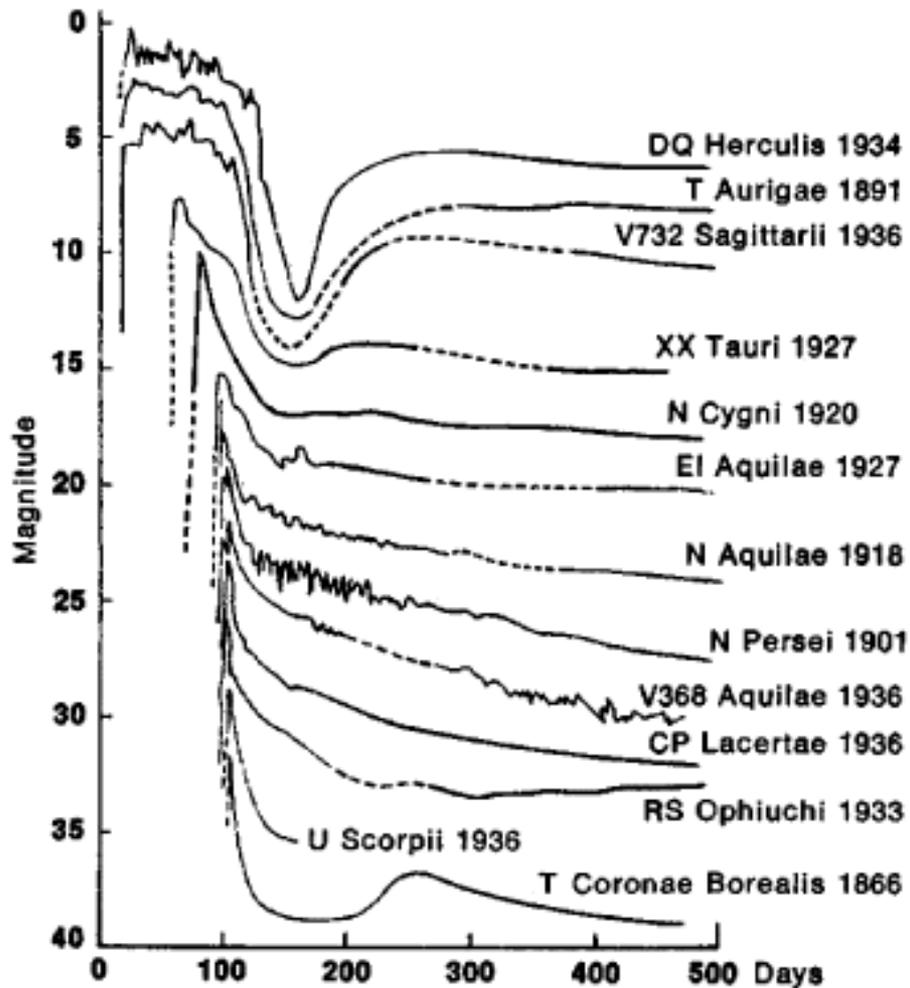
白色矮星

# “Nova cycle” in HR diagram



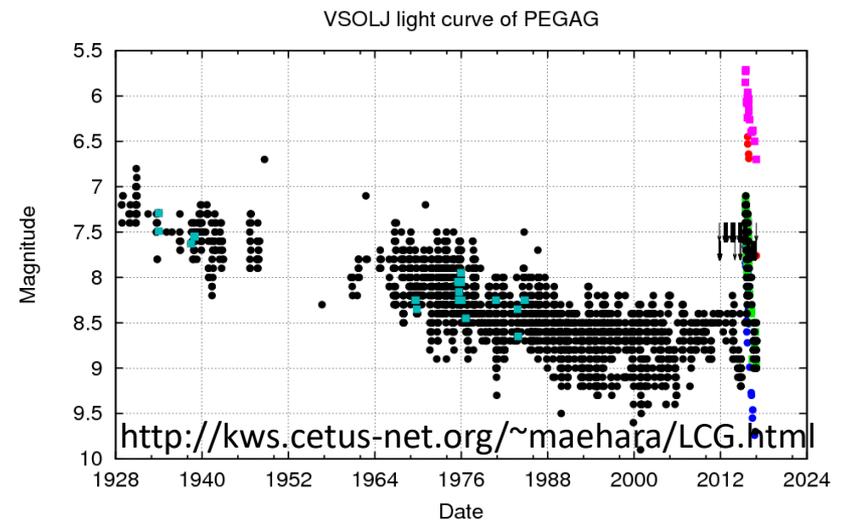
**Figure 1.** A full, typical nova cycle shown in an HR diagram, for the parameter combination;  $M_{\text{WD}} = 1.25 M_{\odot}$ ,  $T_c = 5 \times 10^7 \text{ K}$  and  $\dot{M}_{\text{WD}} = 10^{-10} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ .

# Optical light curves of novae

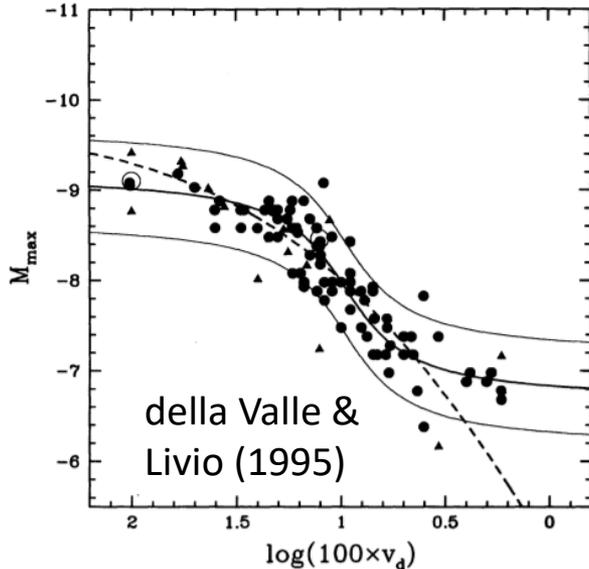


Payne-Gaposchkin (1957)

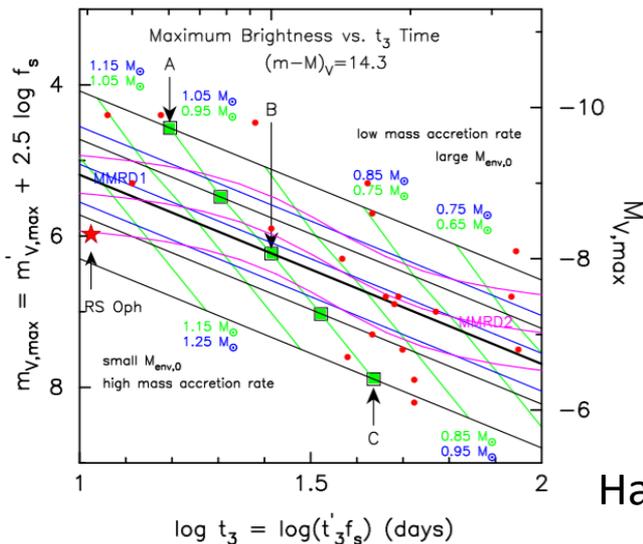
- 新星の光度曲線
  - 急速な増光
  - 減光速度はかなり幅がある
    - $t_3$  = 数日 ~ 100年
  - 可視極大付近での変光やダスト形成による減光を示す新星もある



# MMRD (maximum magnitude vs. rate-of-decline) relation



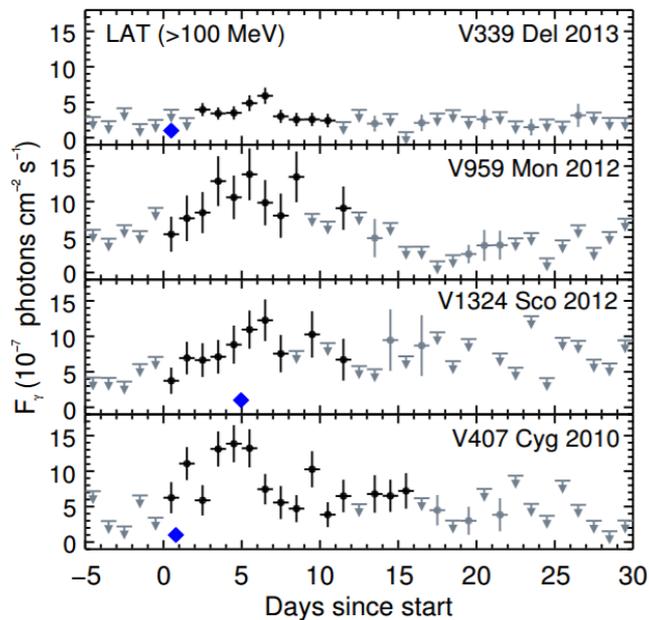
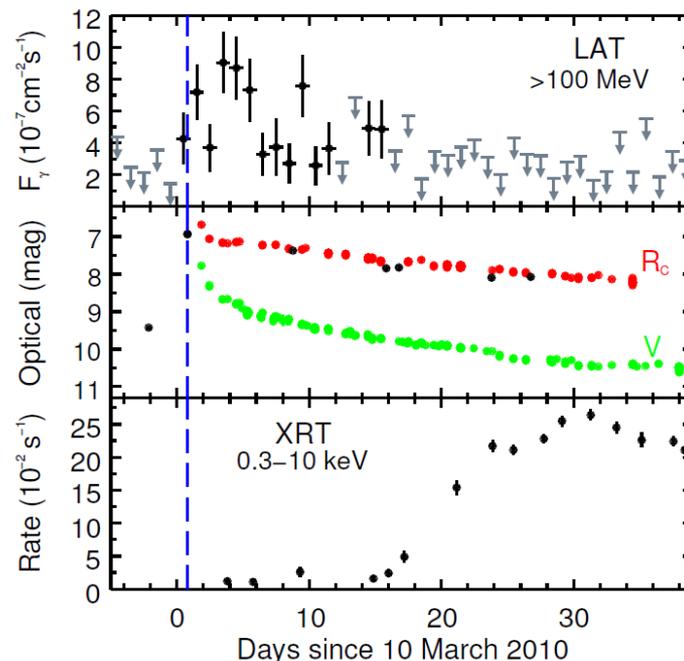
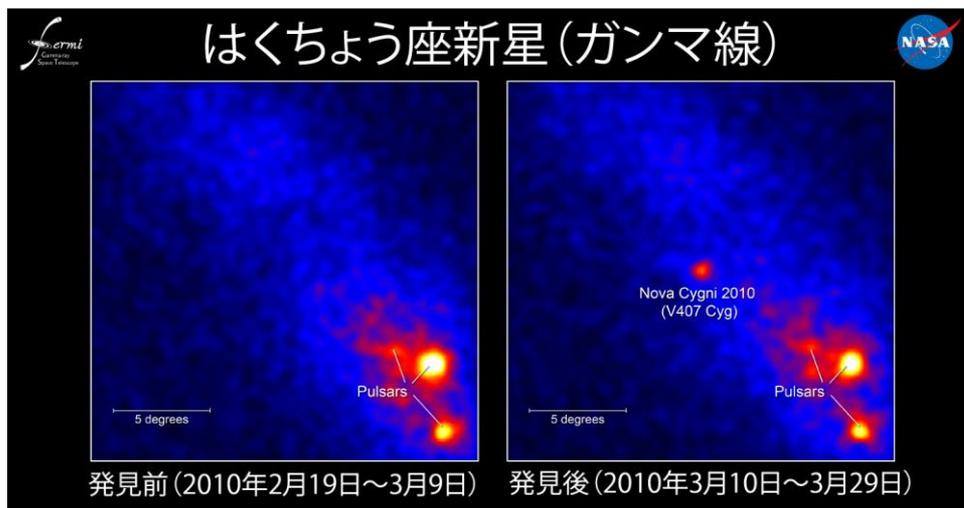
stretching factor ( $f_s$ ) for point B  
0.5 1 2



Hachisu & Kato (2010)

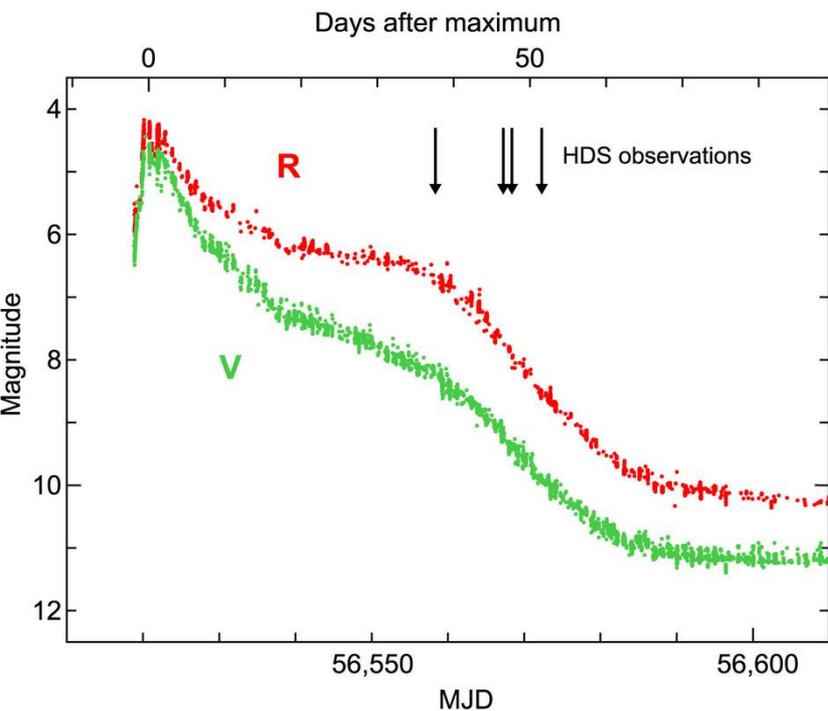
- 極大時の明るさと減光速度の関係
  - 速く暗くなる新星ほど明るい
- WD massと増光前のenvelope massで減光速度と極大光度が決まる
  - 重いWD:速く減光
  - 同じenvelope massならWDが重いほど明るい

# 新星爆発に伴うガンマ線

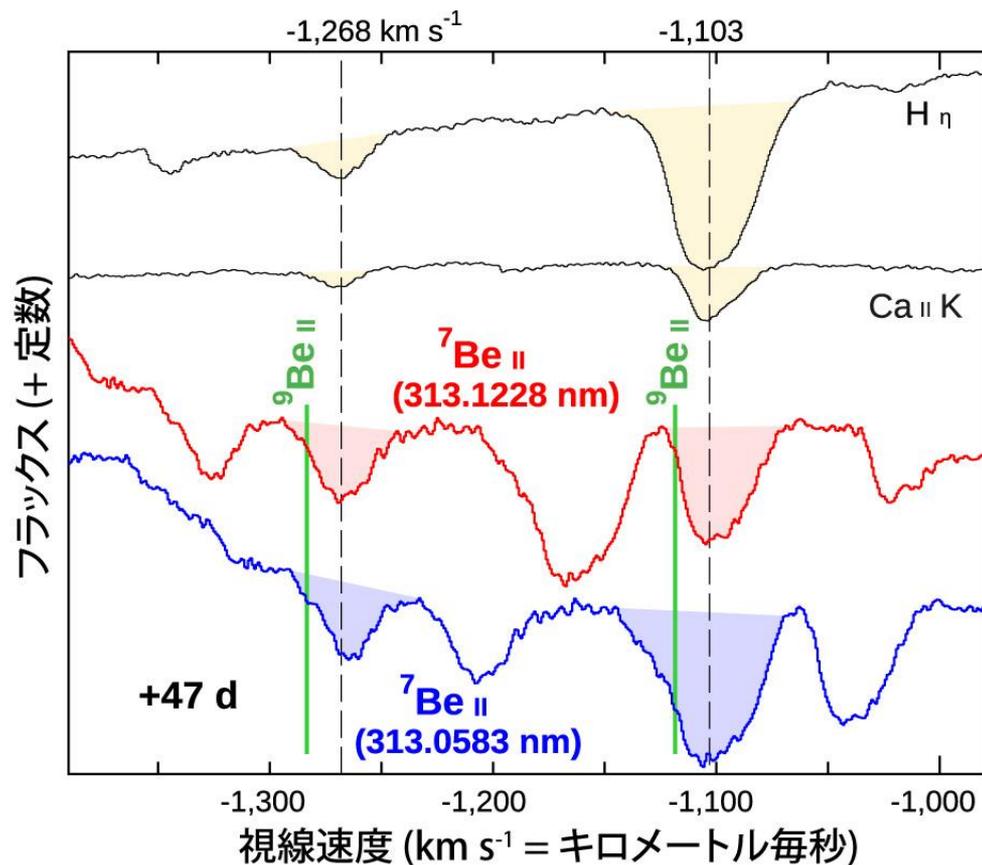


The Fermi-LAT Collaboration

# 新星爆発によるリチウム合成



Tajitsu et al. (2015)



# 増光の早期発見で可能になる観測

- Tomo-eの2 hr-cadenceのサーベイ観測
  - 銀河面も観測 (<18 mag)
  - 新星爆発の直後の**新星の増光途中で検出が可能**
- 新星爆発直後のスペクトルの時間変化
- 新星爆発直後のUV/X-ray flash
- Pre-maximum halt

# 新星爆発直後のスペクトル

- T Pyxの増光開始0.19日後
  - 回帰新星なので、アマチュアによる密なモニターがあった
  - WR-likeなスペクトル

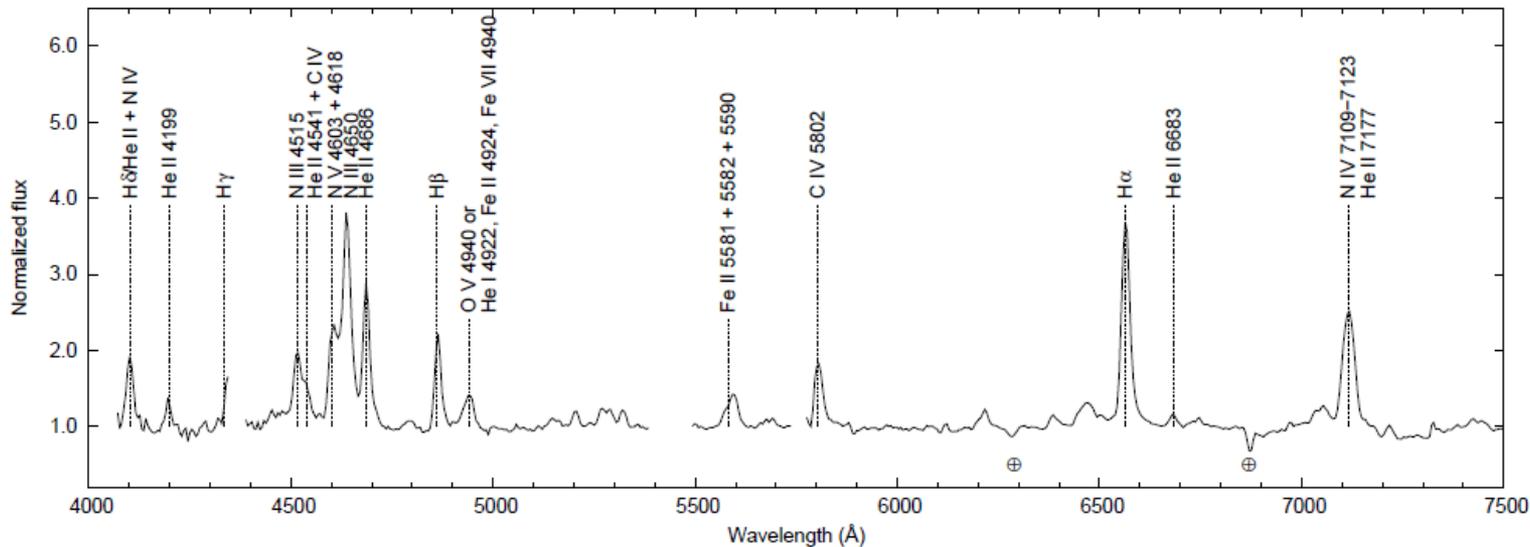
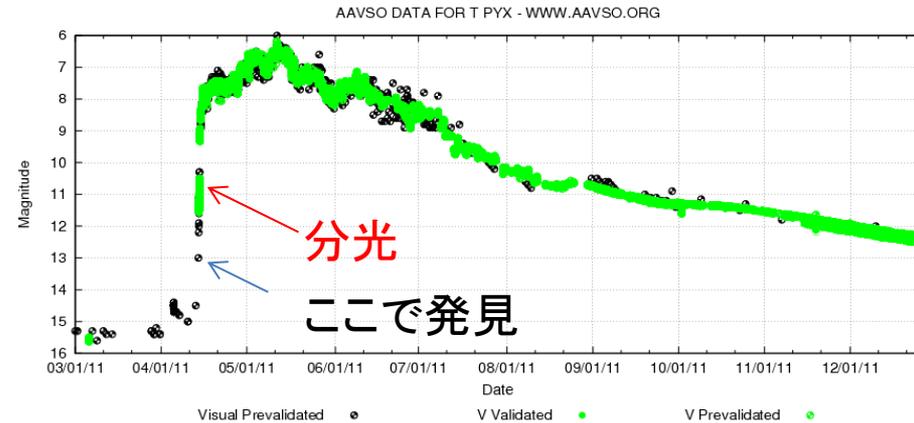


Figure 2: First spectrum of T Pyx on  $t = 0.19$  d. The highly excited emissions were detected likely to Wolf-Rayet stars. Cross circles denote positions of telluric absorption bands.

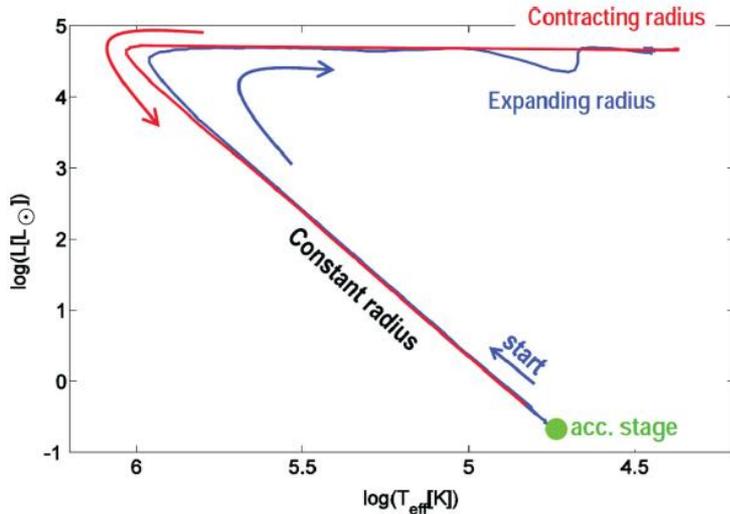
Arai et al. (2015)



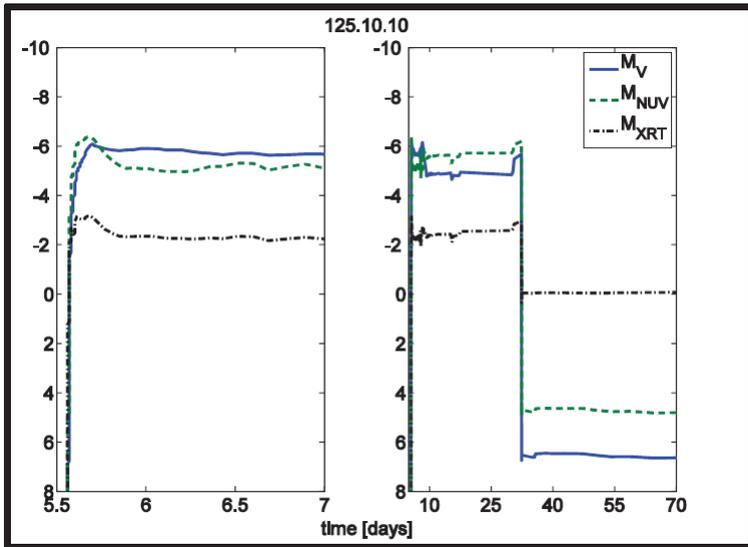
# 増光の早期発見で可能になる観測

- 新星爆発直後のスペクトルの時間変化
- 新星爆発直後のX-ray flash
- Pre-maximum halt

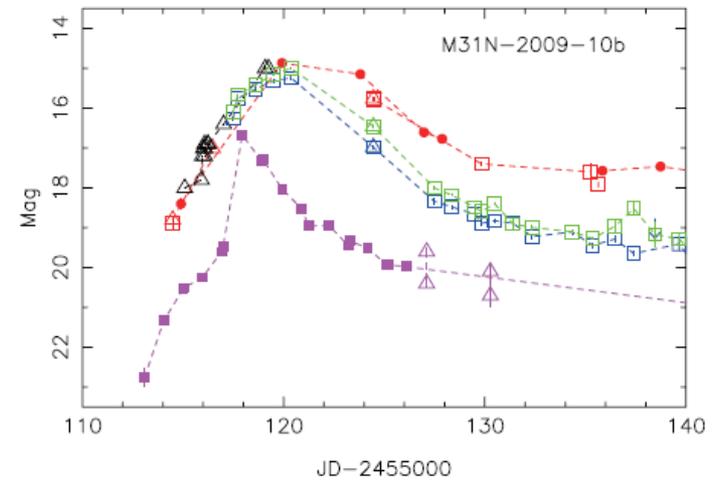
# X-ray/UV flash



- 可視の極大の前にX線/UVの"flash"があると予想される
  - 可視の極大よりも前にNUVのピークがあることは観測例がある

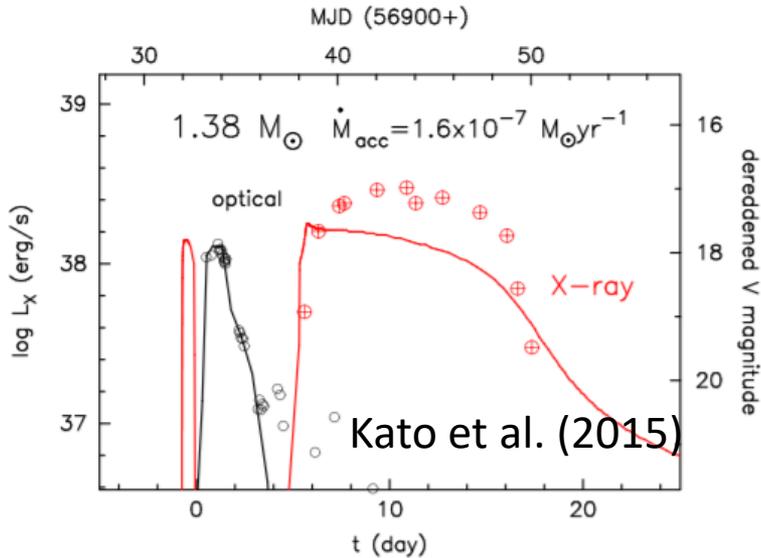


Hillman et al. (2014)



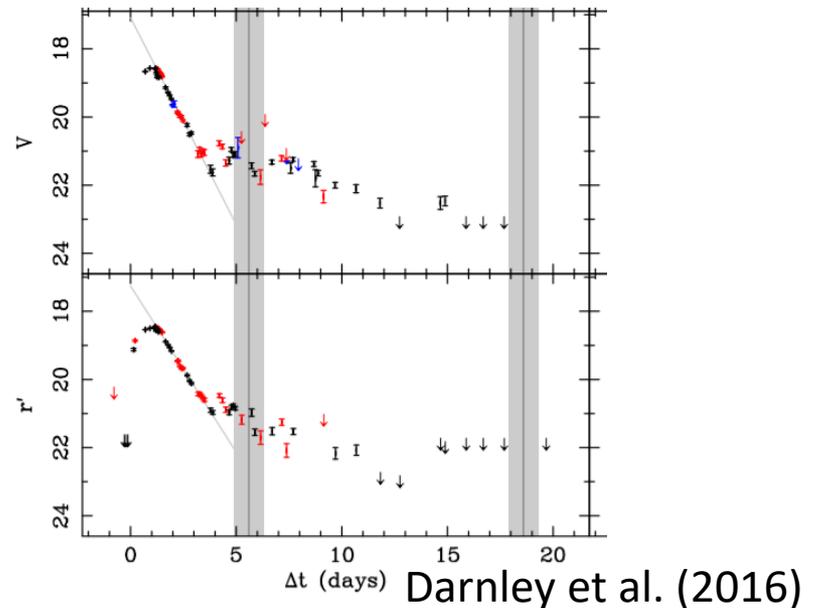
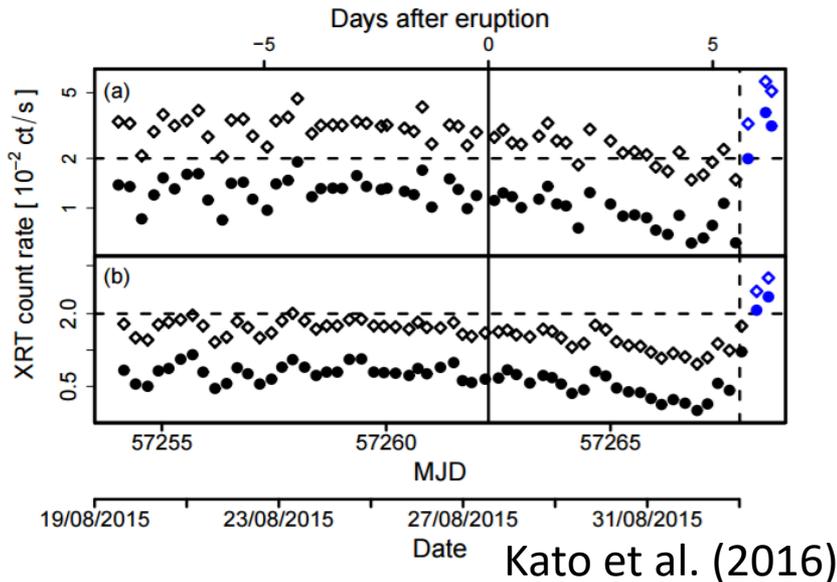
Cao et al. (2012)

# X-ray/UV flash



- M31N2008-12a

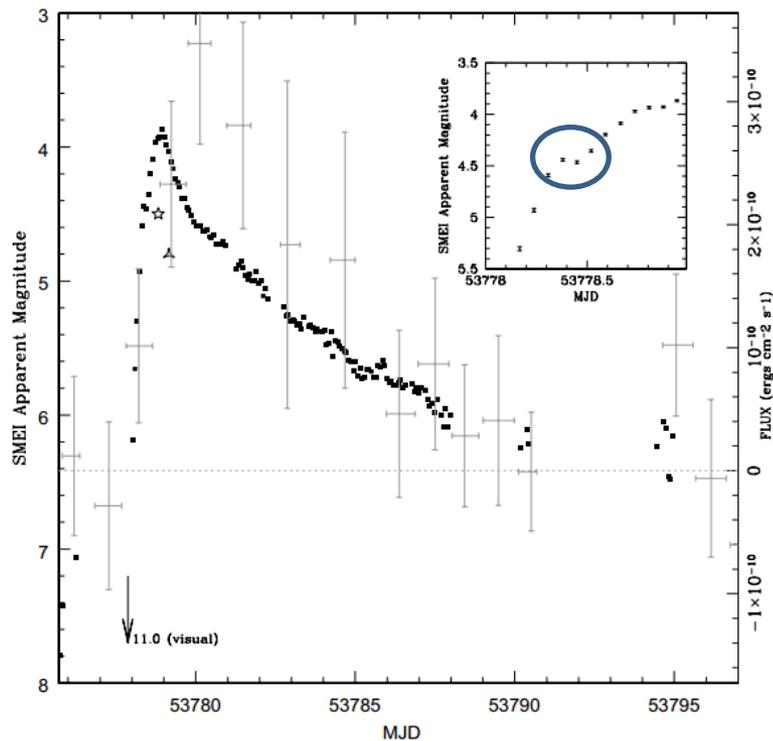
- 1年周期で爆発を繰り返す回帰新星
- 2015年の増光時にSwiftで増光予想時期に密なモニターが行われたが、**X-ray flashは未検出**
  - 周辺物質による吸収？



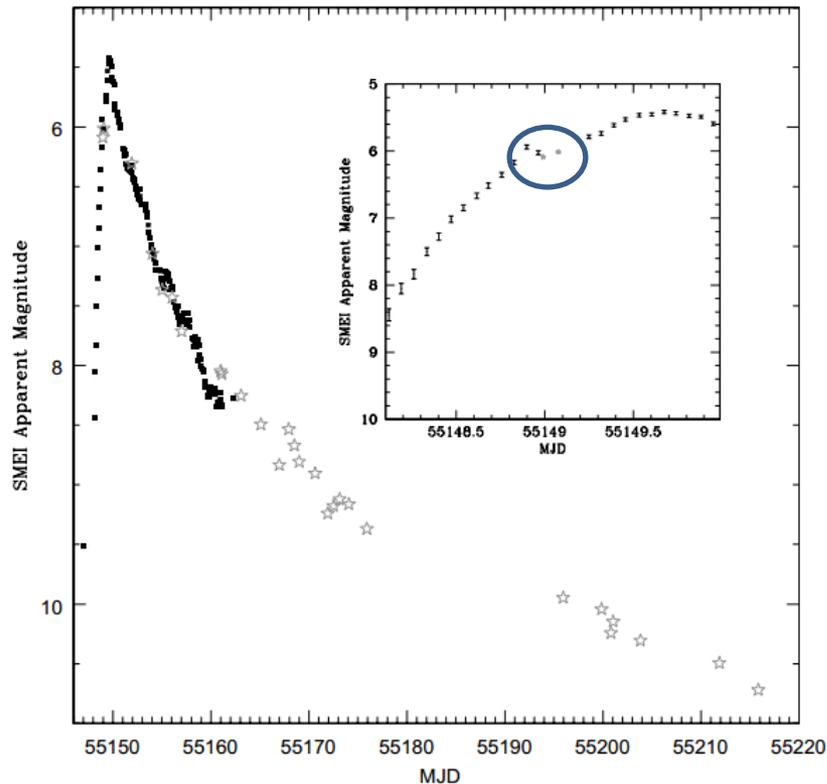
# 増光の早期発見で可能になる観測

- 新星爆発直後のスペクトルの時間変化
- 新星爆発直後のUV/X-ray flash
- Pre-maximum halt

# Pre-maximum halts of classical novae



Light curve of RS Oph



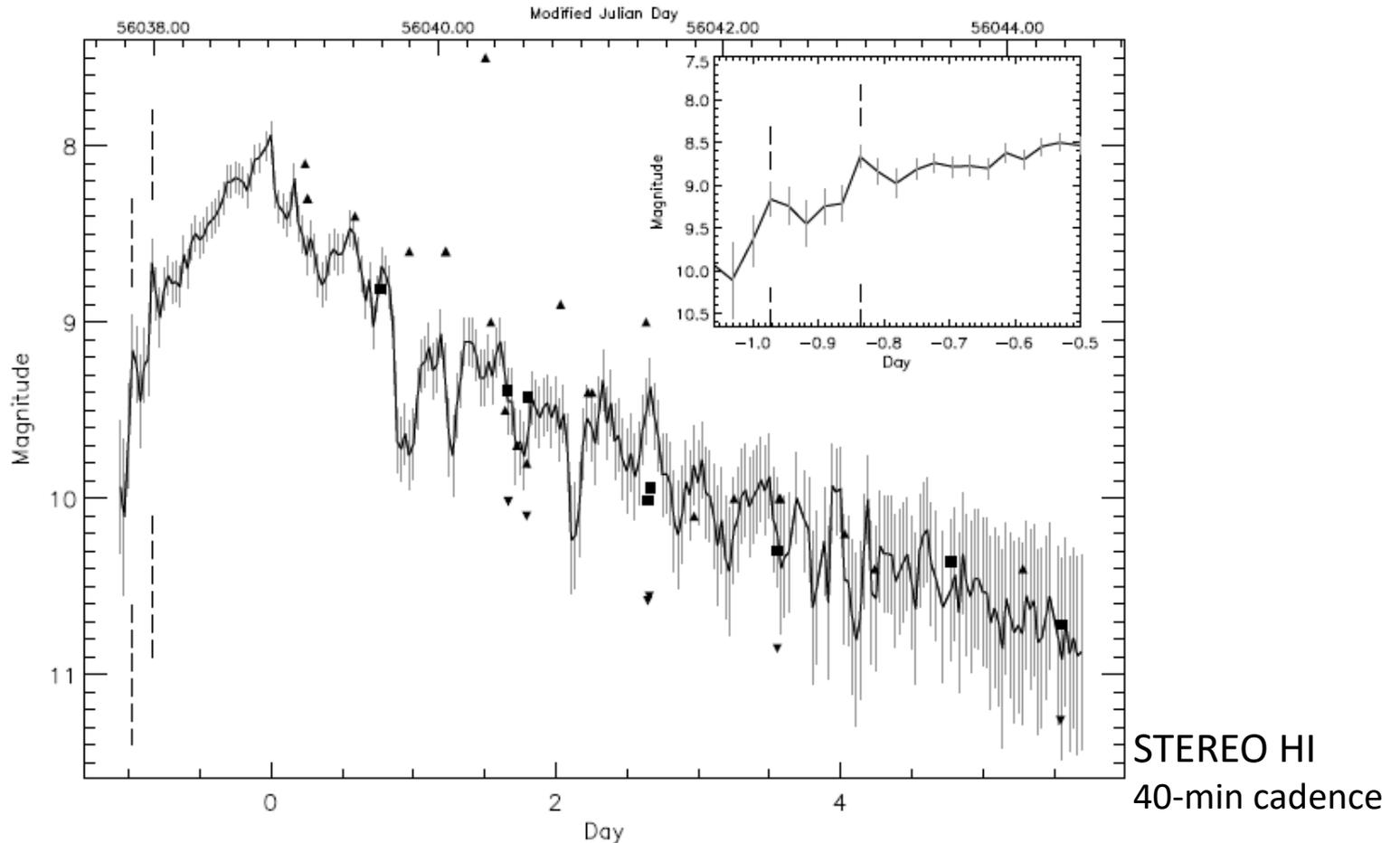
Light curve of KT Eri

Hounsell et al. (2010)

Solar Mass Ejection Imager (SMEI)によるデータ

# Pre-maximum light curve of V5589 Sgr

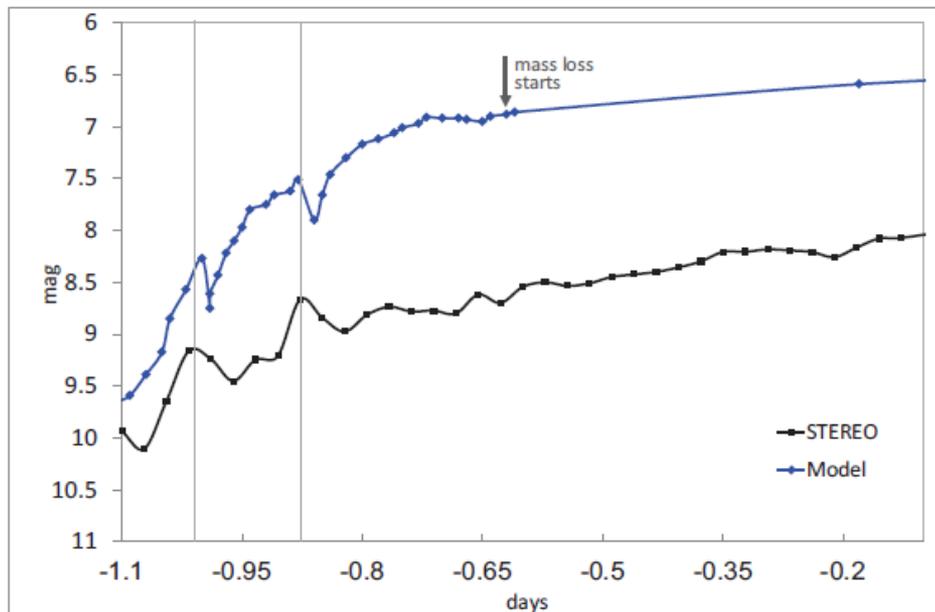
- Double pre-maximum halt?



Eyres et al. (2017)

# Pre-maximum light curve of V5589 Sgr

- Double pre-maximum halt?



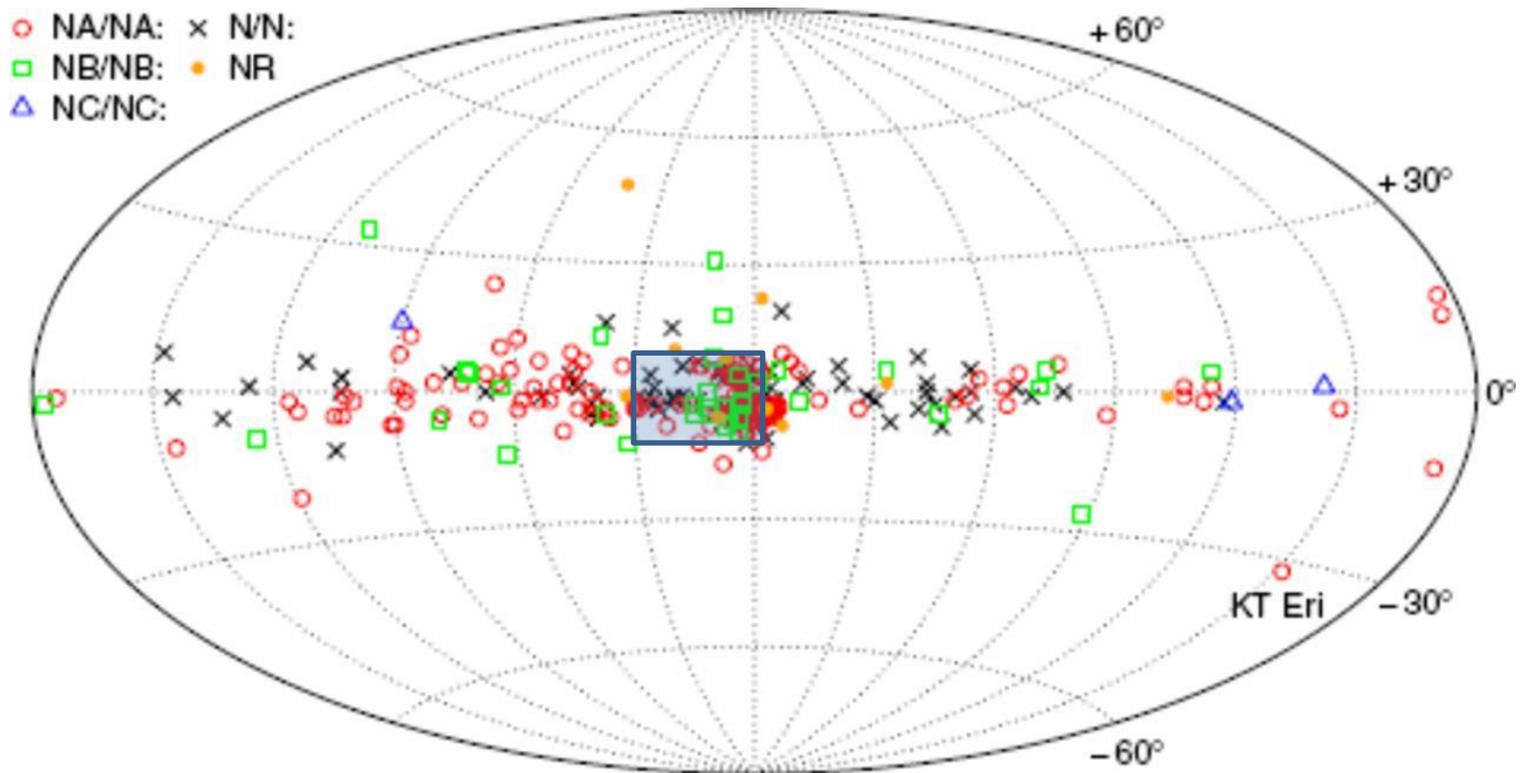
**Figure 2.** Comparison of data (lower line) and model (upper line) for the parameters giving the closest match to the pre-maximum behaviour (WD mass  $1.0 M_{\odot}$ , central temperature  $5 \times 10^7$  K and mass accretion rate  $10^{-10} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ ). The time axis is relative to day 0 at JD 2456038.8224.

# Tomo-eによるサーベイ

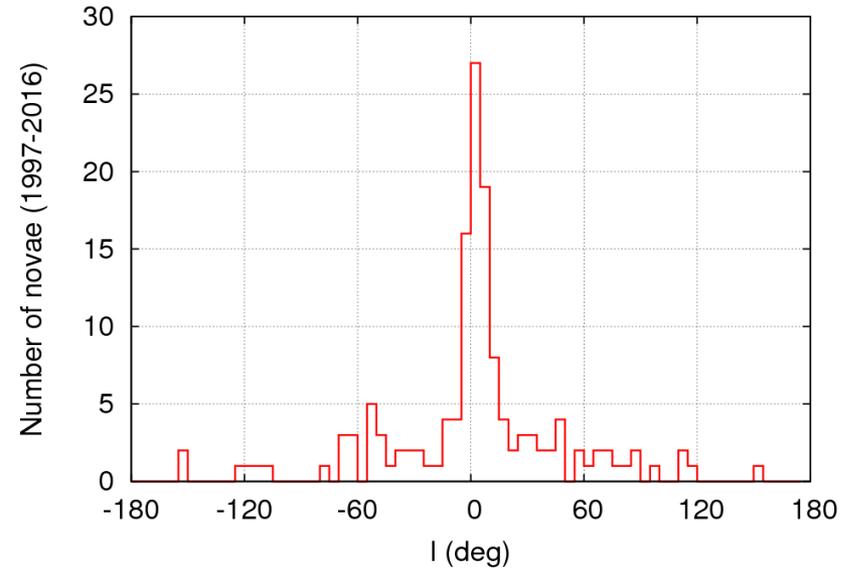
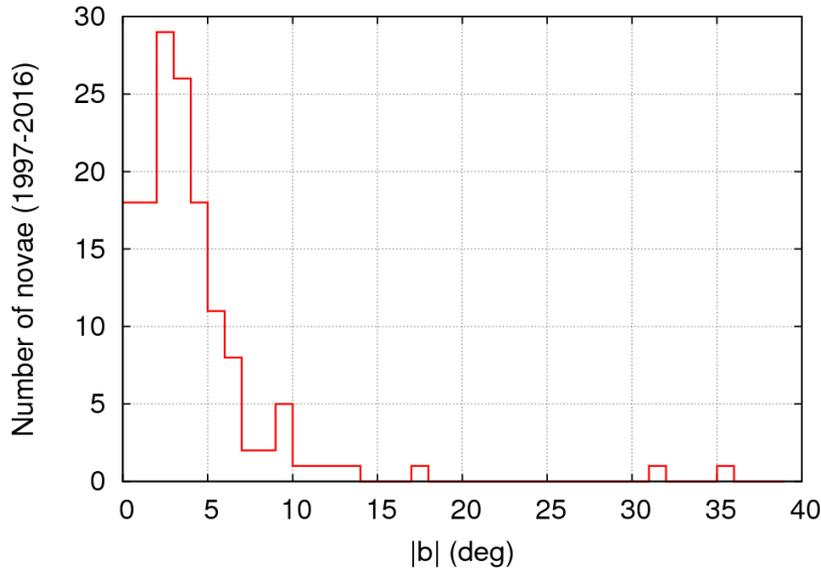
- 新星の出現位置
  - 大部分が銀河面
  - 銀緯の高い領域に出る新星は稀
    - $|b| > 30^\circ$  には数十年に1個程度しか発見されていない
    - 超新星サーベイの領域からの発見は難しい
- 銀河面(特に銀河中心付近)も撮る必要がある
  - $|b| < 10^\circ$  、  $0^\circ < |b| < 30^\circ$  (6領域程度?)

# 銀河系内の新星の出現位置

- 古典新星： 銀河面に集中
  - 大部分が銀河中心付近



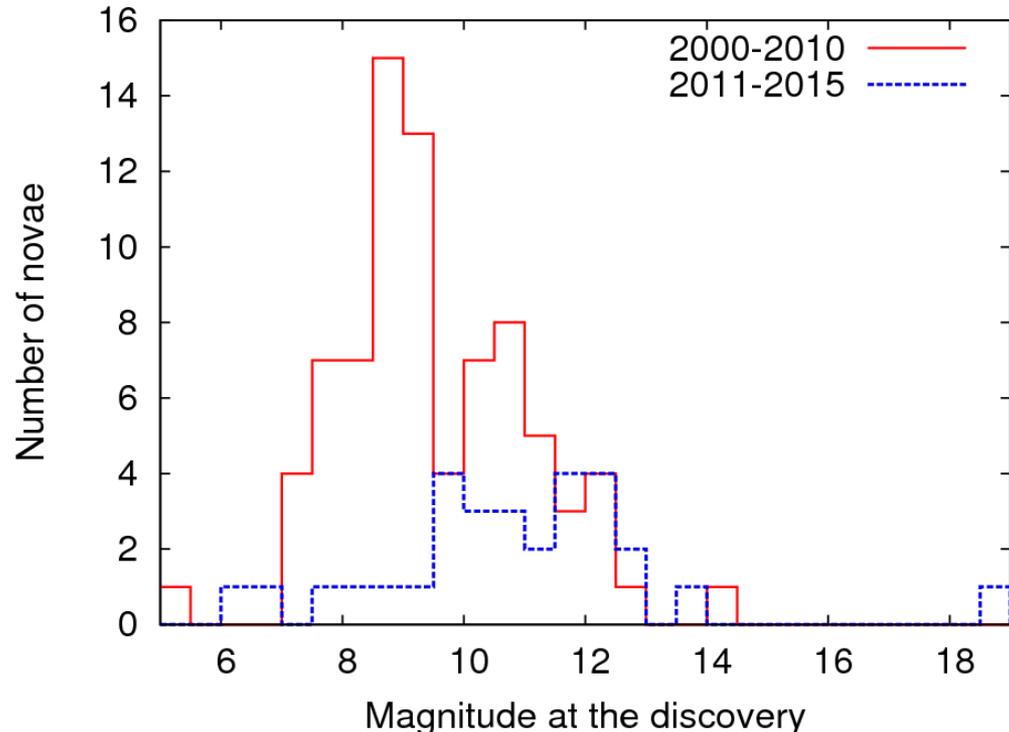
# Number of novae vs. b, l



- $|b| < 10^\circ$  、  $0^\circ < l < 30^\circ$  (6領域程度?)だけでもよさそう?

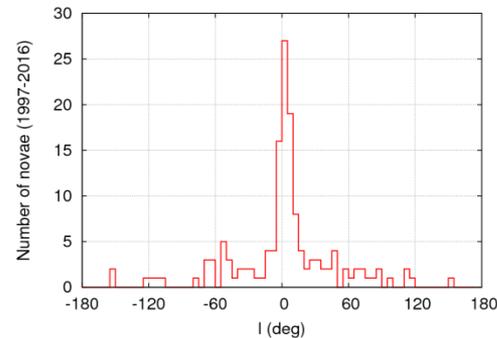
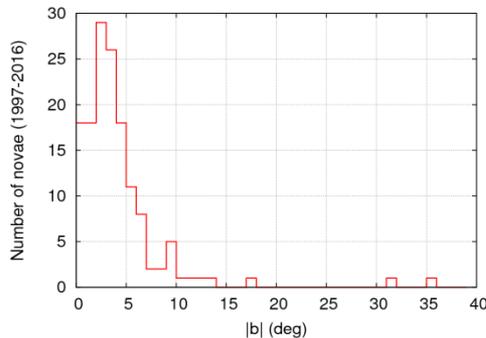
# Tomo-eで観測できる新星

- 発見されている新星の明るさは極大で8-10等のものが多い
  - 発見される古典新星はそれほど暗くない
    - 大部分がアマチュアによる発見
  - Tomo-eでは銀河系内に出現するほぼすべての新星で、極大前の5-6等暗い時期で発見できる可能性がある
  - より暗い新星？



# Event rateの見積もり

- Tomo-eで観測している時に新星爆発が起こる頻度
  - Number of novae:  $\sim 10$  novae / yr  $\rightarrow \sim 900$  hr / nova
  - 銀河中心付近が夜に見える時間: 1200 hr / yr (EL $>15^\circ$ )
    - 晴天率(1/3)  $\rightarrow 400$  hr / yr



- 木曾の晴天夜に起こる新星爆発の数:  $\sim 0.5$  / yr
  - 数年間の観測が必要?

# 分光観測への要求

- $T < 0.5d$ 
  - 検出したその晩のうちにKOOLS-IFUで観測
    - Tomo-e alertシステム → 3.8m + KOOLS-IFUの観測システム(キュー?)の連携

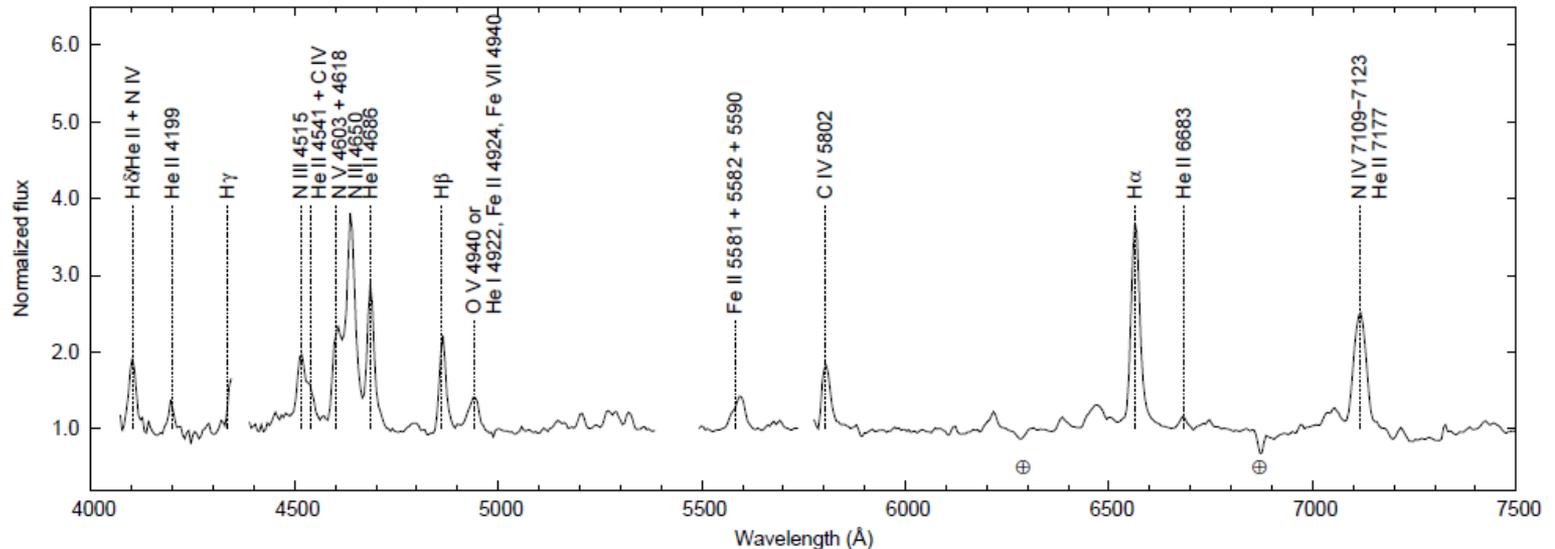


Figure 2: First spectrum of T Pyx on  $t = 0.19 d$ . The highly excited emissions were detected likely to Wolf-Rayet stars. Cross circles denote positions of telluric absorption bands.

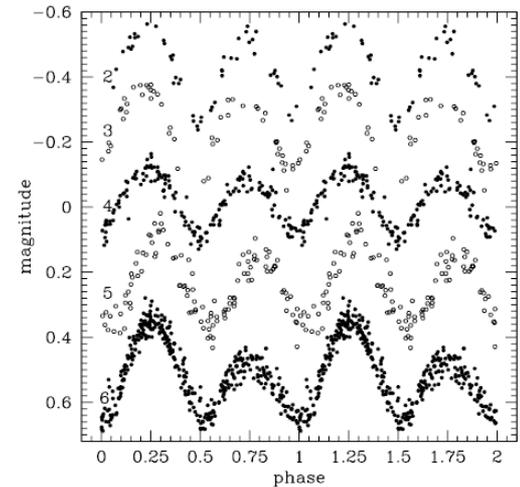
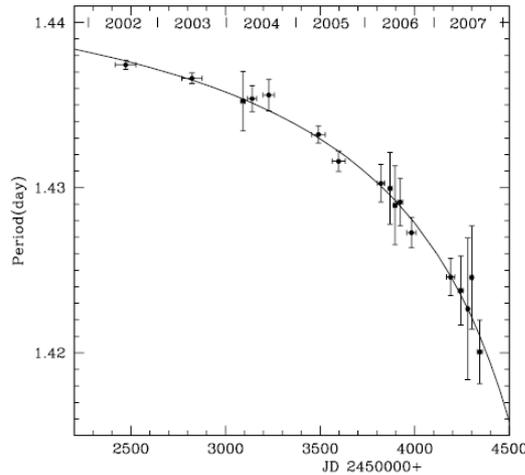
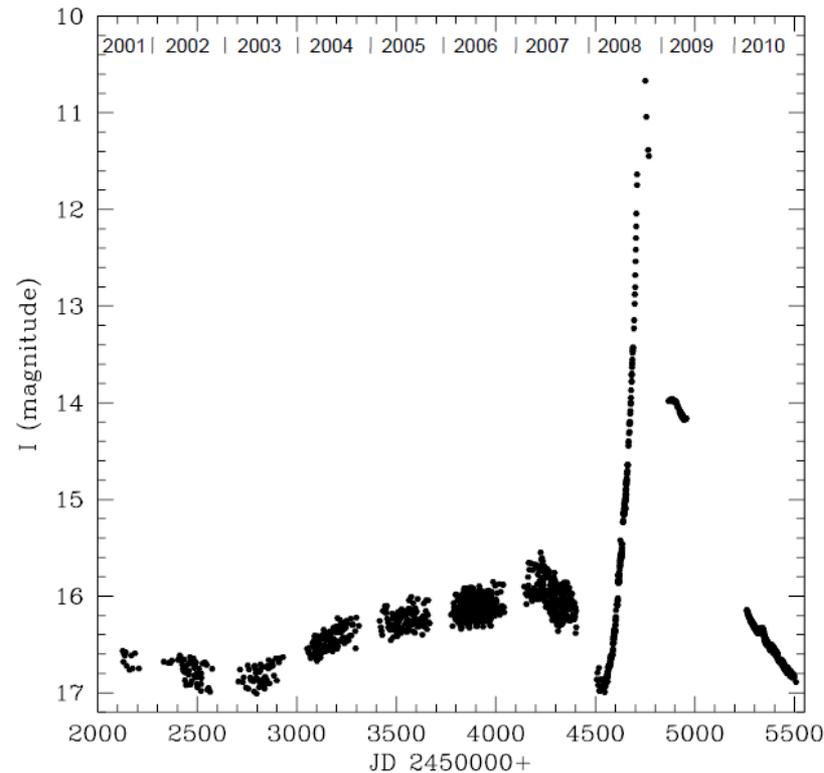
# まとめ

- Tomo-e 2-hr cadenceの観測で新星爆発の増光途中を検出できる可能性がある
  - 増光途中のスペクトルの変化、光度変化
  - X線、UVとの増光の様子と比較
  - 木曾の晴天夜に増光途中が入るのは数年に1例？
- Tomo-eサーベイ
  - 増光天体の即時アラートを出す
  - 銀河中心方向だけ $EL \sim 15^\circ$  まで観測できませんか？
- KOOLS
  - 検出した晩に即時分光
  - Tomo-e alert  $\rightarrow$  3.8m+KOOLSの観測システムの連携

# Stellar merger

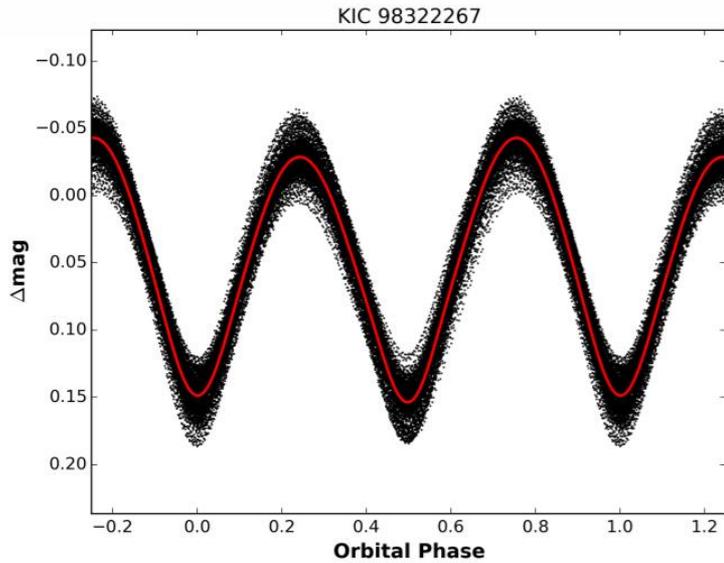
- V1309 Sco

– 発見前のOGLEのデータから、増光前は接触連星で周期が急速に短くなっていた



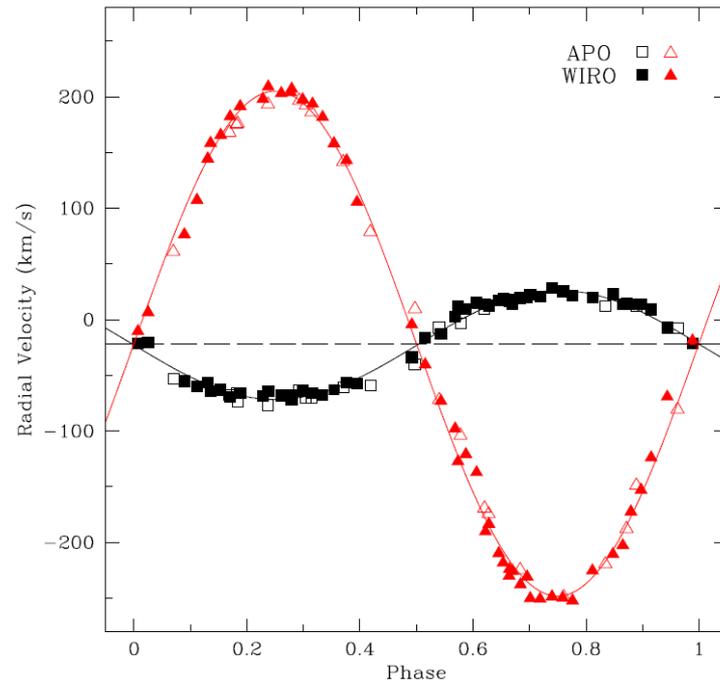
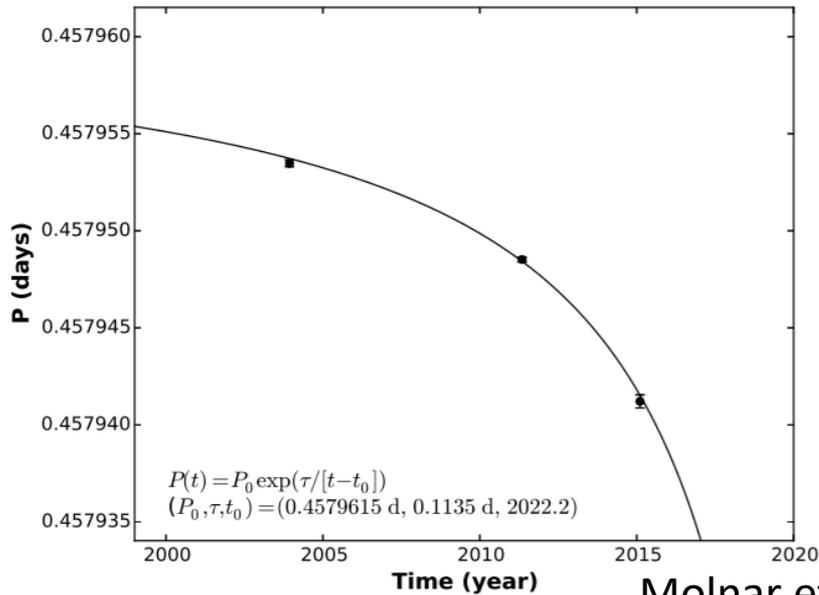
Tylenda et al. (2011)

# KIC 9832227



急速に周期が短くなっている接触連星

- $M_1=1.4M_{\text{sun}}$ ,  $M_2=0.3M_{\text{sun}}$
- 2022.2 $\pm$ 0.6にmergeする?



Molnar et al (2017)