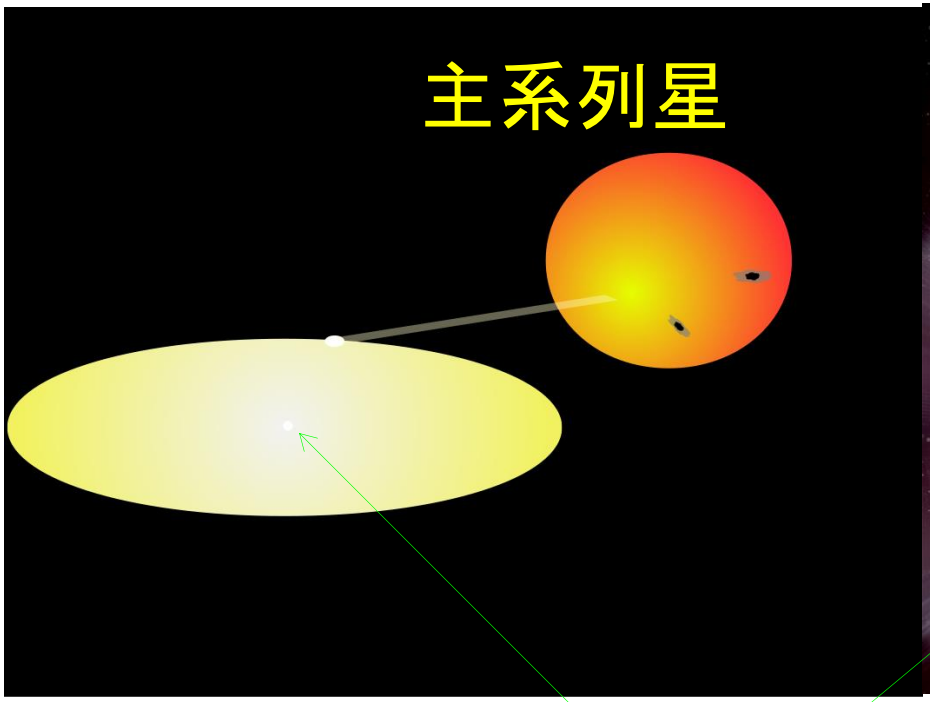
KOOLS-IFUを用いた古典新星の爆発早期（＋長期・高頻度）の分光観測提案

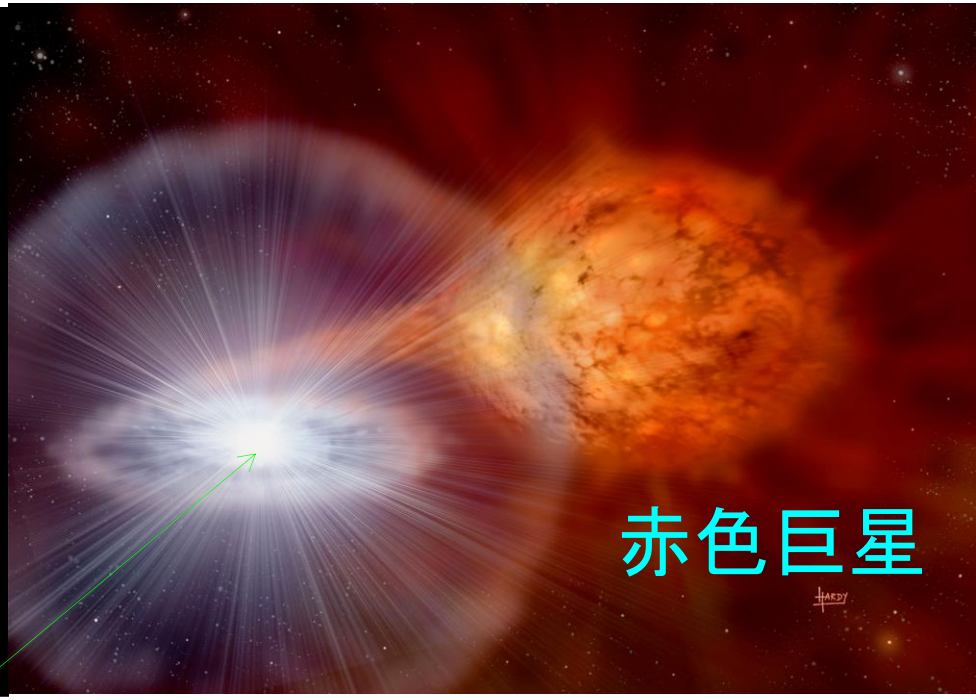
前原裕之（京都大学）

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

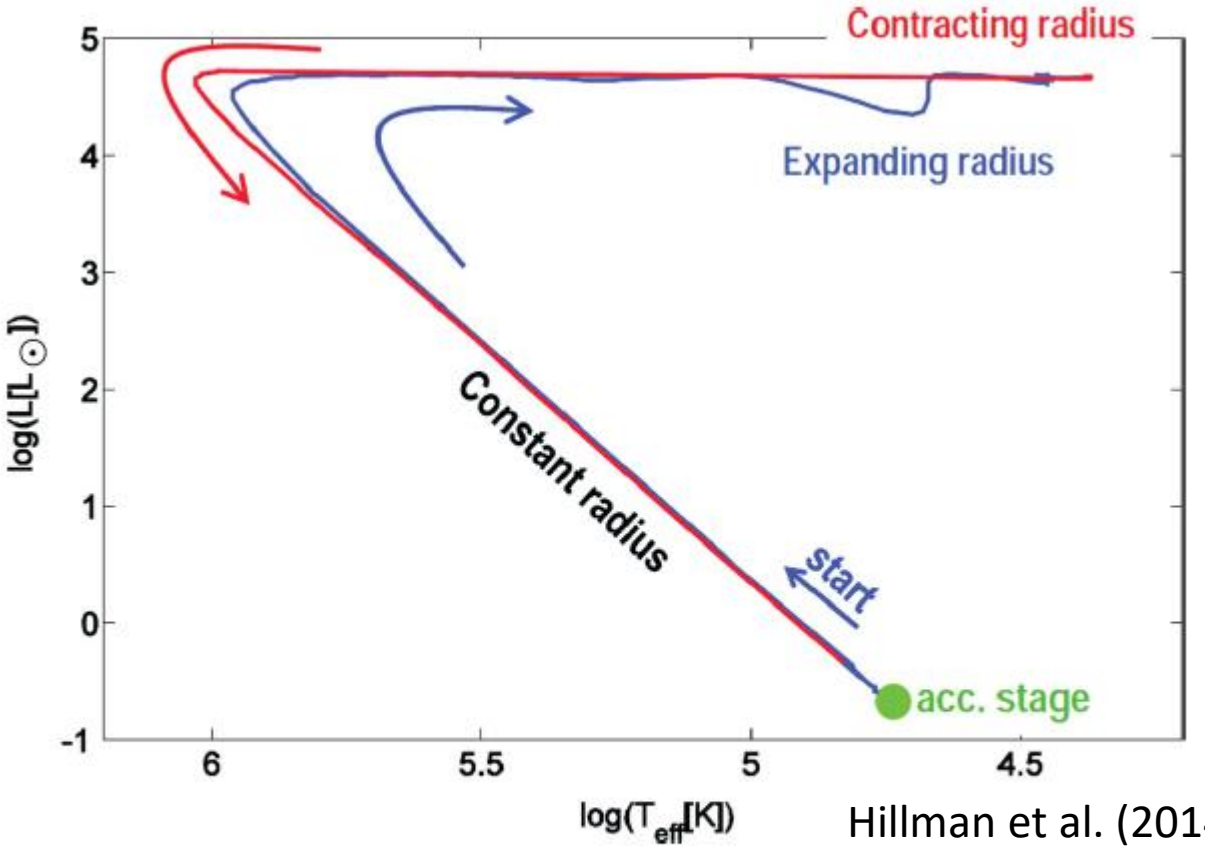




Credit: David A. Hardy & PPARC

白色矮星

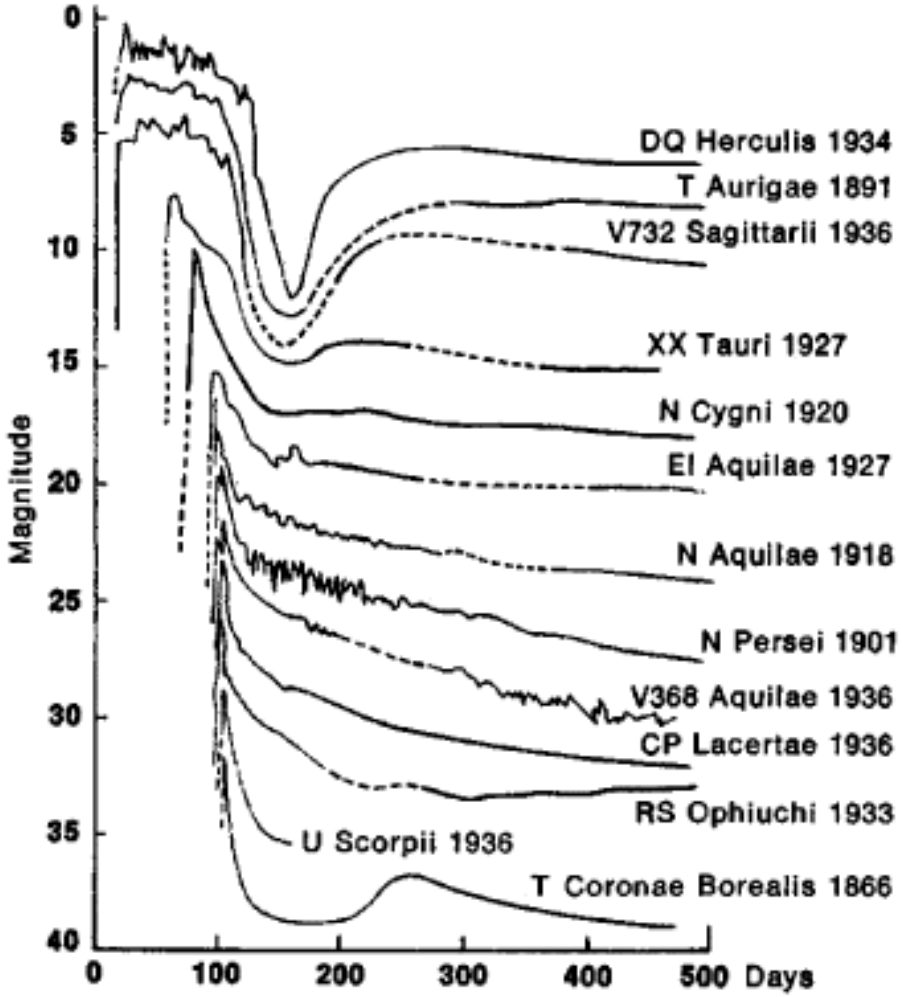
“Nova cycle” in HR diagram



Hillman et al. (2014)

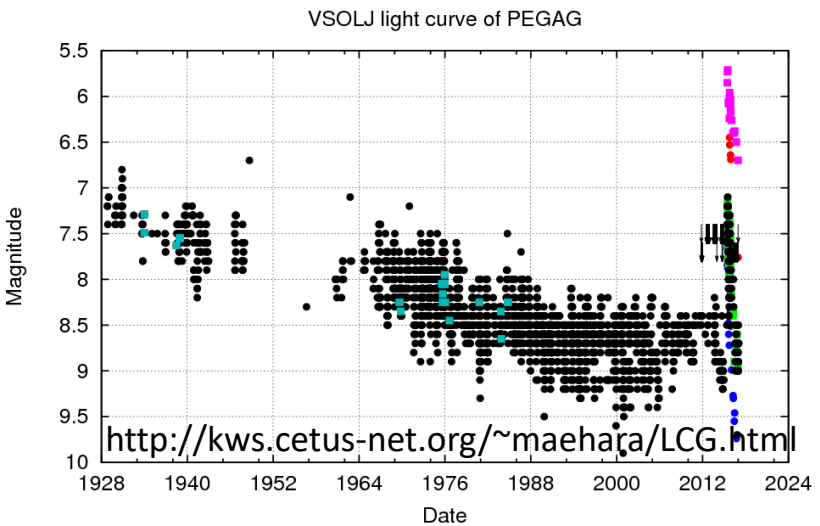
Figure 1. A full, typical nova cycle shown in an HR diagram, for the parameter combination; $M_{\rm WD} = 1.25\,{\rm M}_{\odot}$, $T_{\rm c} = 5 \times 10^7$ K and $\dot{M}_{\rm WD} = 10^{-10}\,{\rm M}_{\odot}\,{\rm yr}^{-1}$.

Optical light curves of novae

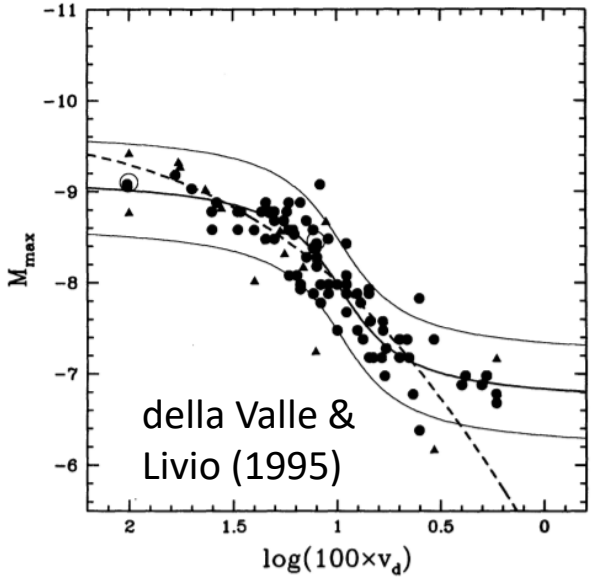


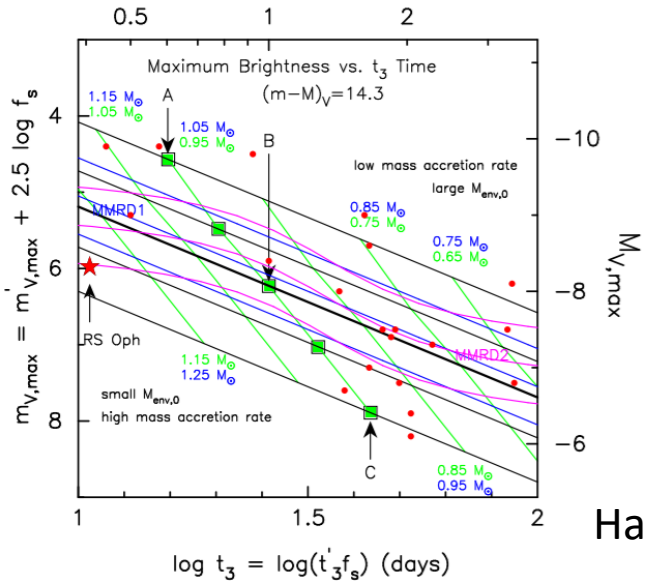
Payne-Gaposchkin (1957)

- 新星の光度曲線
  - 急速な増光
  - 減光速度はかなり幅がある
    - t3＝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

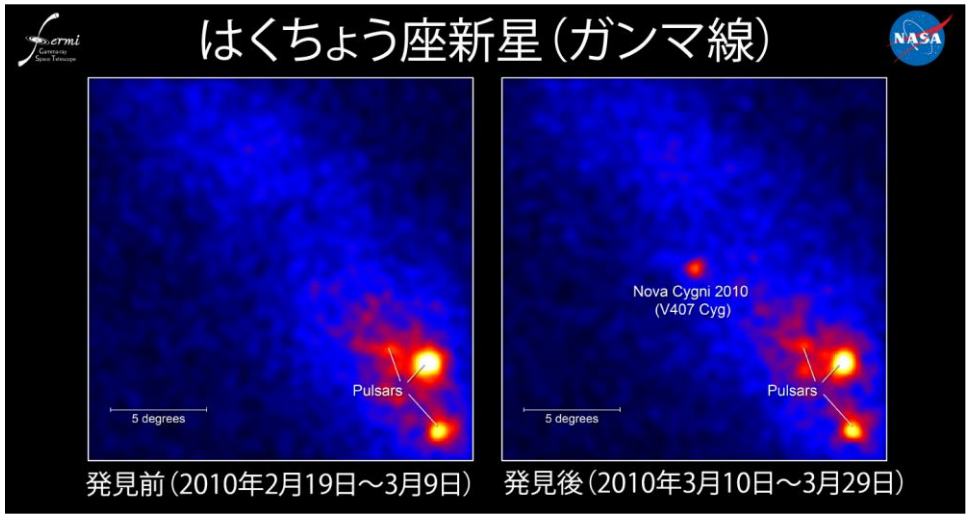


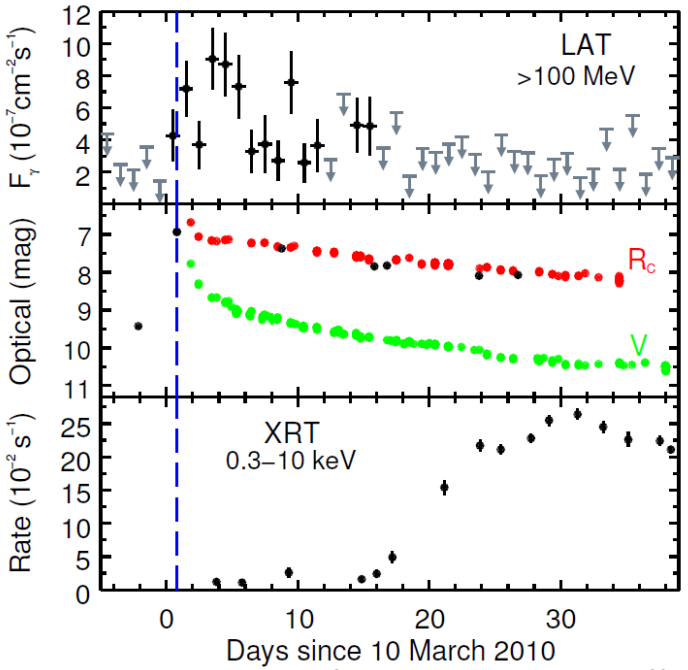


- 極大時の明るさと減光速度の関係
  - 速く暗くなる新星ほど明るい
- WD massと増光前のenvelope massで減光速度と極大光度が決まる
  - 重いWD：速く減光
  - 同じenvelope massならWDが重いほど明るい

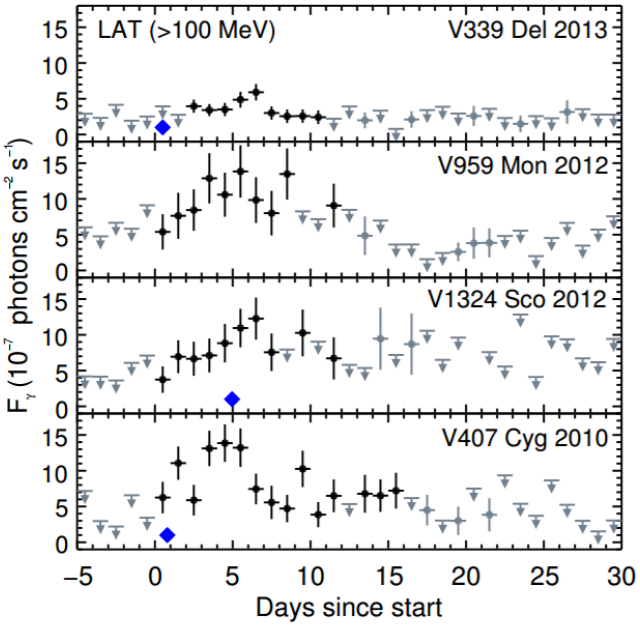
Hachisu & Kato (2010)

新星爆発に伴うガンマ線

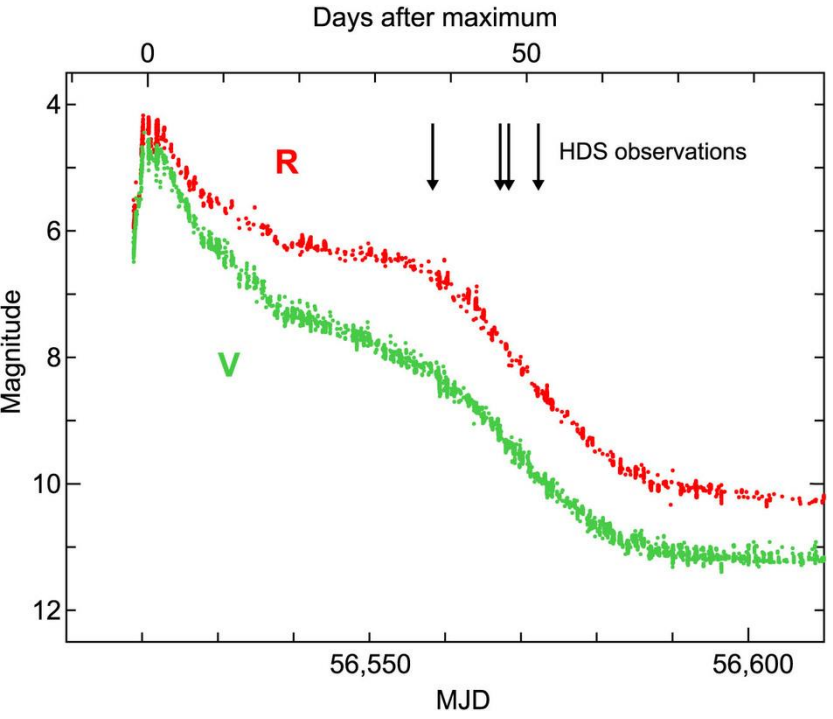




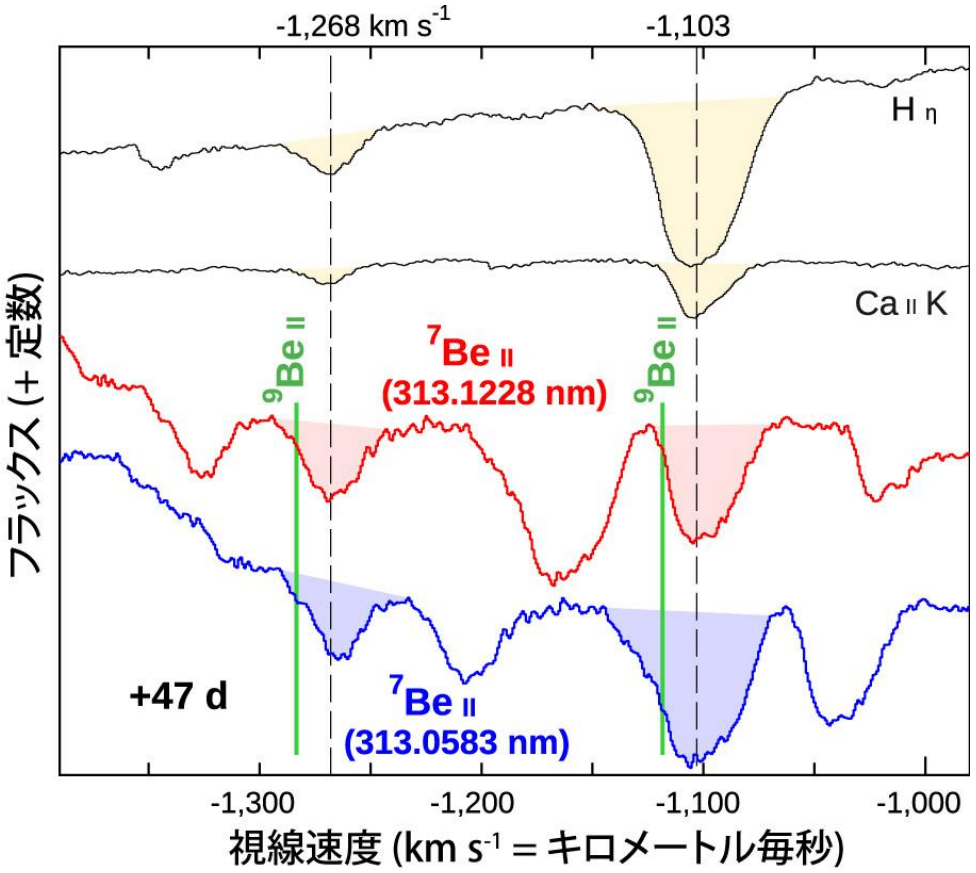
The Fermi-LAT Collaboration



新星爆発によるリチウム合成



Tajitsu et al. (2015)



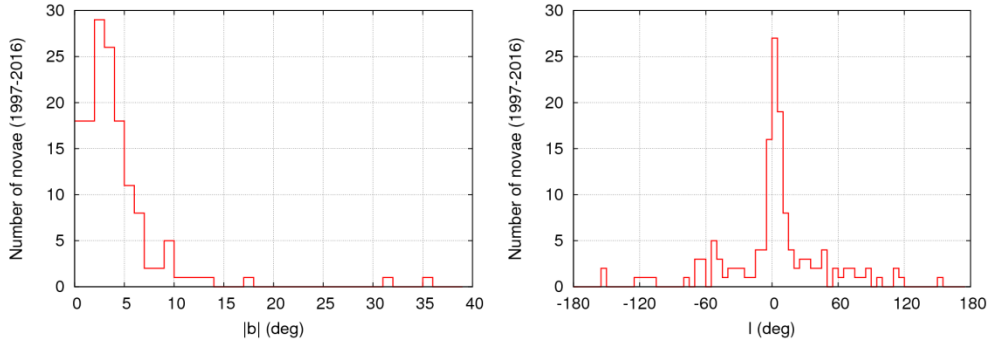
１年前のTomo-e/KOOLS-IFU研究会

- 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との増光の様子の比較
  - 木曽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~15°まで観測できませんか？
- KOOLS
  - 検出した晩に即時分光
  - Tomo-e alert→3.8m+KOOLSの観測システムの連携

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: ~10 novae / yr → ~900 hr / nova
  - 銀河中心付近が夜に見えている時間 : 1200 hr / yr (EL>15°)
    - 晴天率(1/3) → 400 hr / yr



- 木曽の晴天夜に起こる新星爆発の数 : ~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

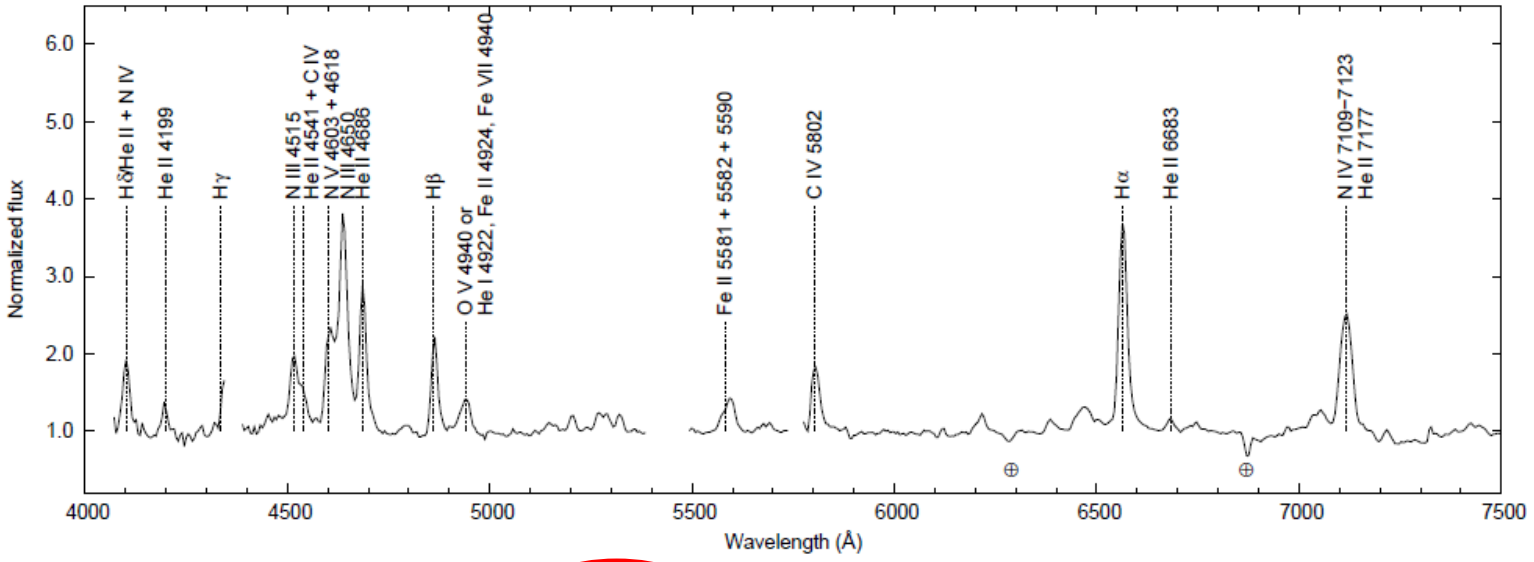


Figure 2: First spectrum of T Pyx on $t = 0.19$ d. The highly excited emissions were detected likely to Wolf-Rayet stars. Cross circles denote positions of telluric absorption bands.

Arai et al. (2015)

増光の早期発見で可能になる観測

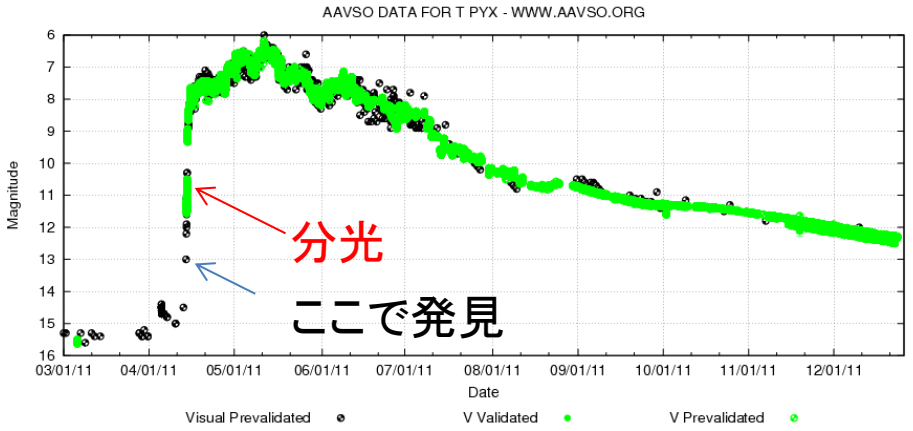
- Tomo-eの2 hr-cadenceのサーベイ観測
  - 銀河面も観測　(<18 mag)
  - 新星爆発の直後の新星の増光途中で検出が可能

3.8m+KOOLS-IFUでの観測

- 新星爆発直後のスペクトルの時間変化
- 新星爆発後の高頻度のモニタリング観測

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



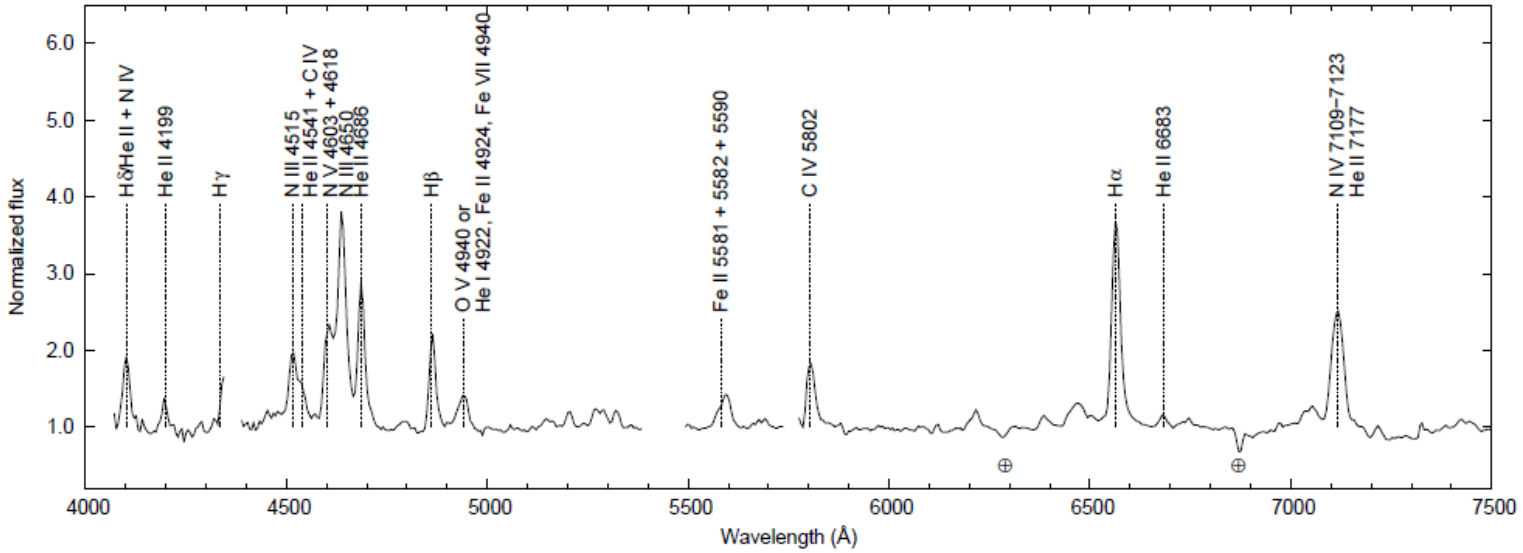
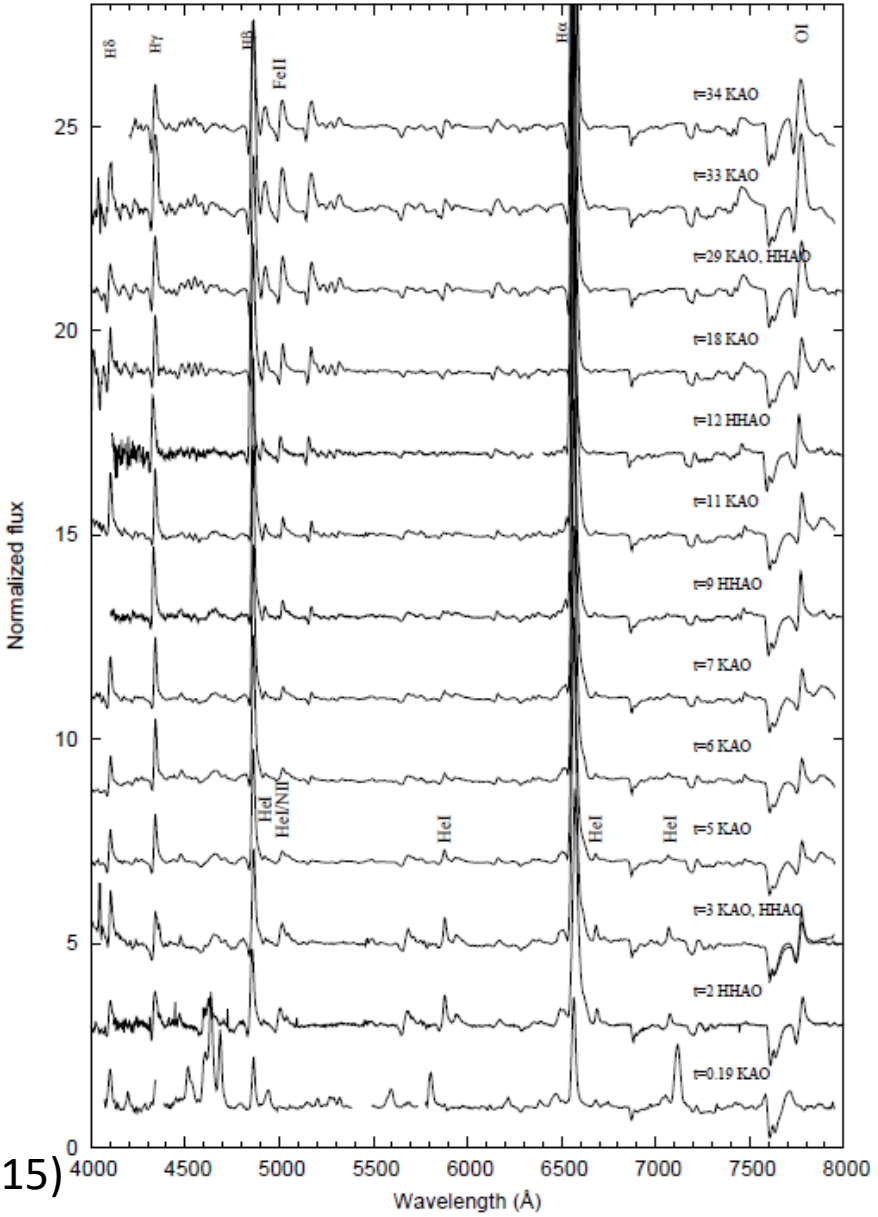


Figure 2: First spectrum of T Pyx on $t = 0.19$ d. The highly excited emissions were detected likely to Wolf-Rayet stars. Cross circles denote positions of telluric absorption bands.

Arai et al. (2015)

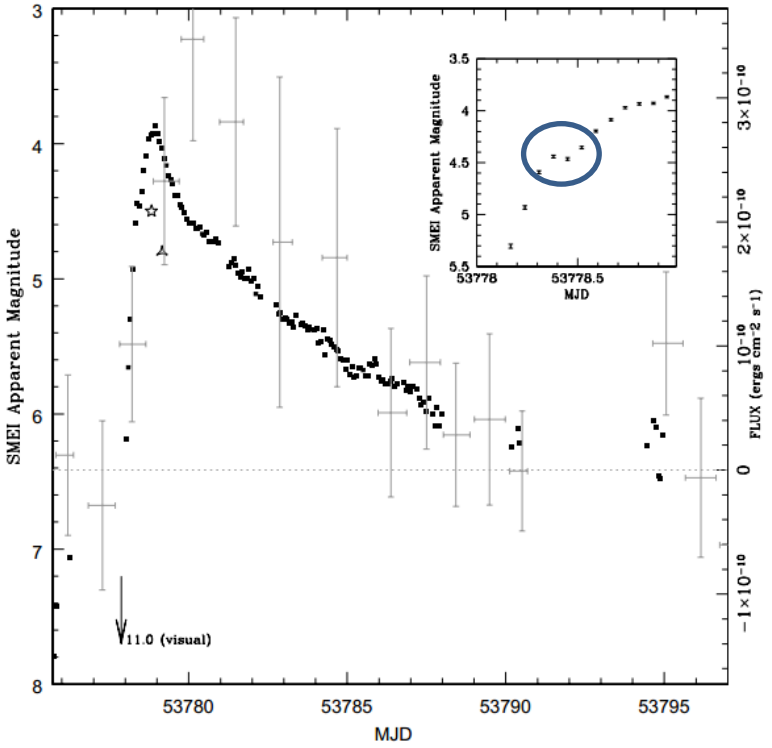
新星爆発直後のスペクトル

- WR-likeなスペクトルを示すのは t<1 d程度？
- Tomo-eなど爆発直後を発見したら、その晩のうちにKOOLSで分光
  - WR-like phaseの継続時間
  - WR-like -> He/N, Fe IIへの変化

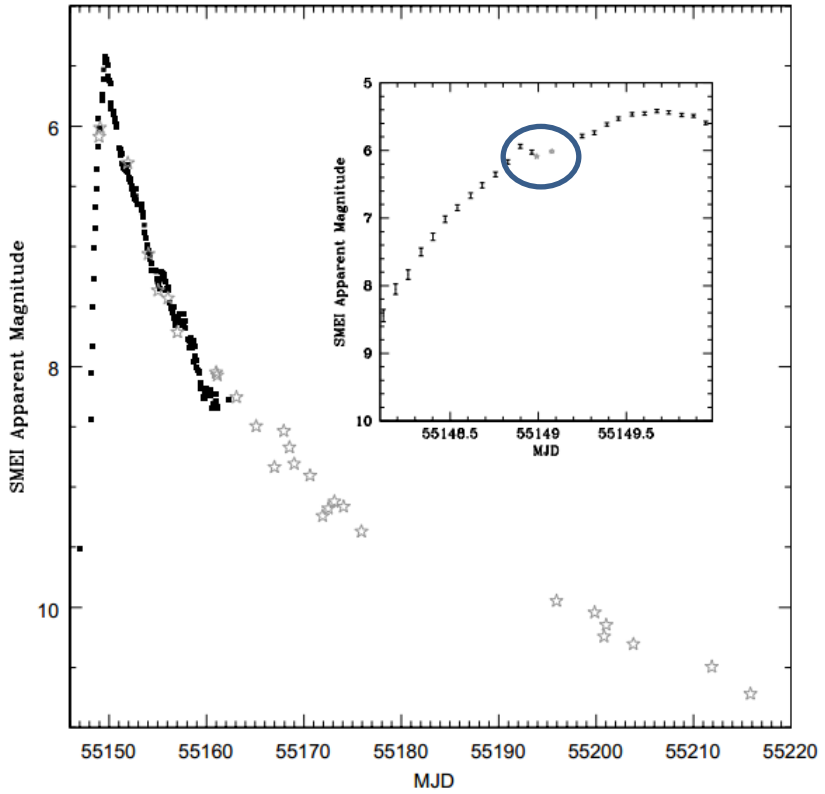


Arai et al. (2015)

Pre-maximum halts of classical novae



Light curve of RS Oph



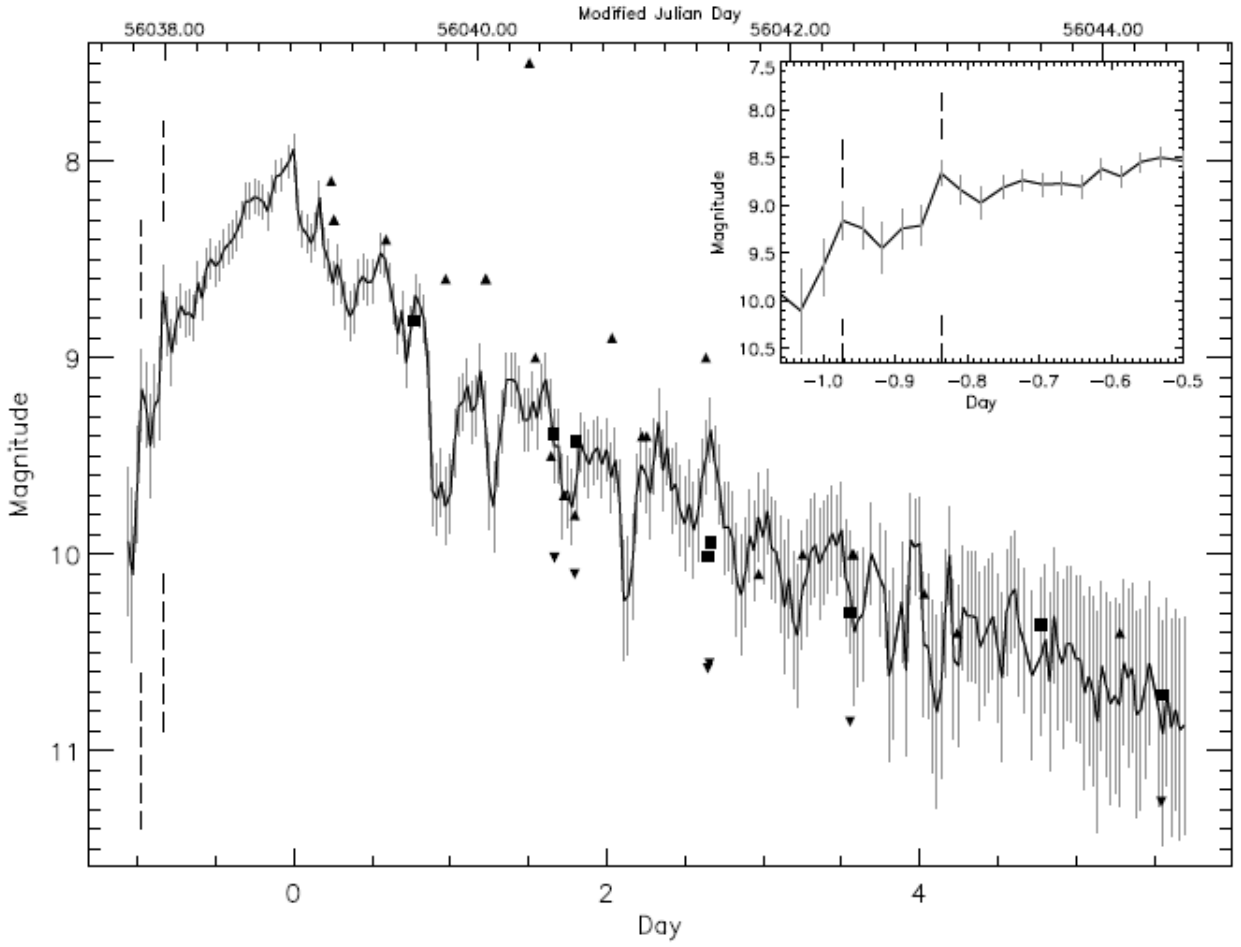
Light curve of KT Eri

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?



STEREO HI
40-min cadence

Eyres et al. (2017)

Pre-maximum light curve of V5589 Sgr

- Double pre–maximum halt?

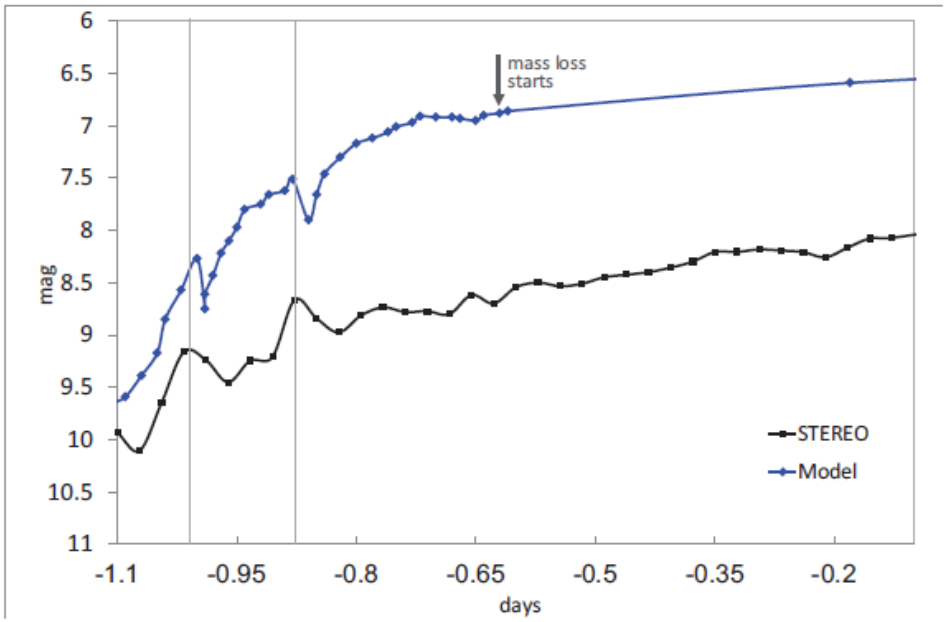


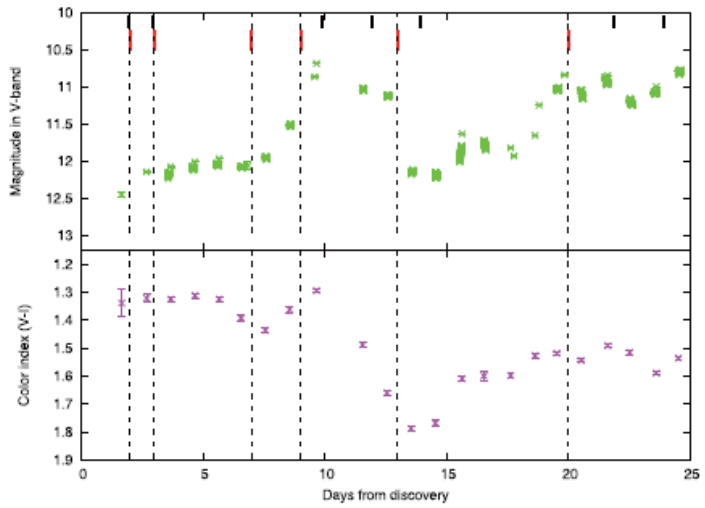
Figure 2. Comparison of data (lower line) and model (upper line) for the parameters giving the closest match to the pre–maximum behaviour (WD mass 1.0 $M_\odot$, central temperature 5×10^7 K and mass accretion rate 10^{-10} $M_\odot$ yr^{-1}). The time axis is relative to day 0 at JD 2456038.8224.

新星爆発の数値計算からは膨張する外層内の対流に伴うopacityの変化が原因ではないかと示唆されている

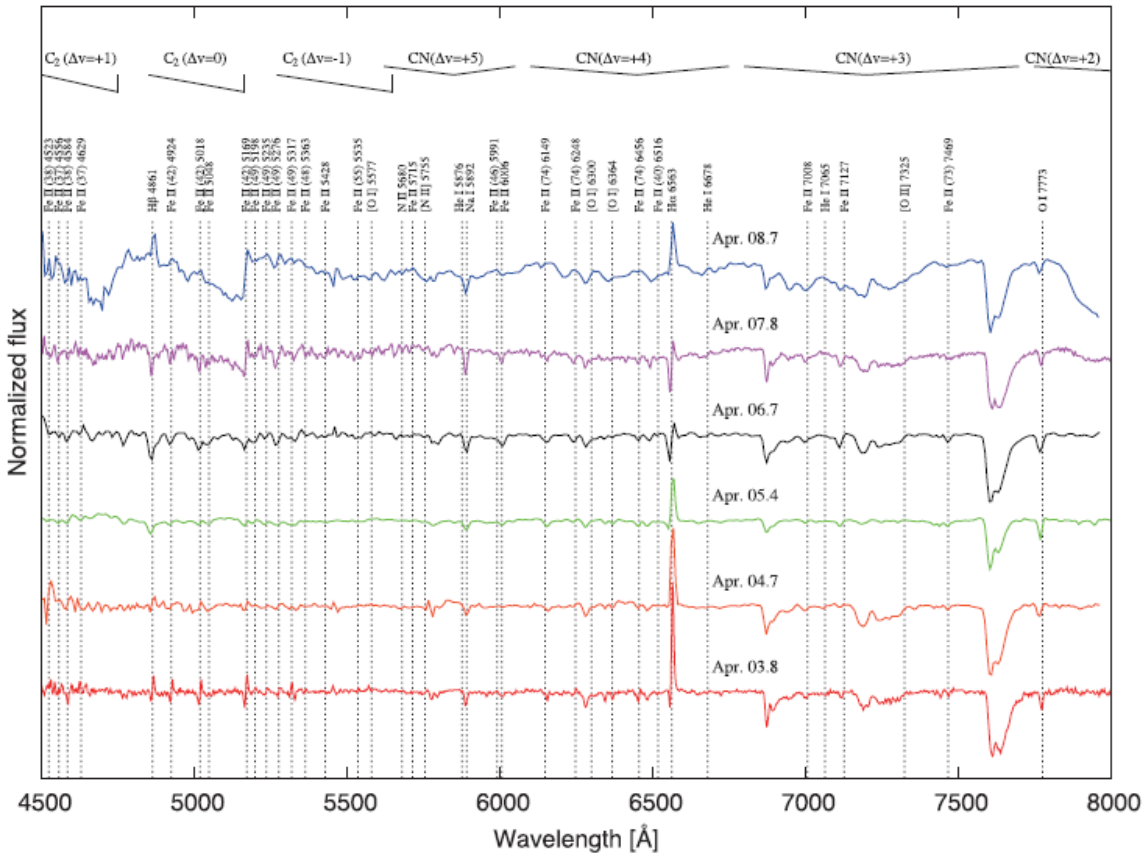
Eyres et al. (2017)

高頻度のモニタリング観測

- C2/CN分子の形成：V2676 Oph
  - 増光後、最初のピークの直前のみで観測



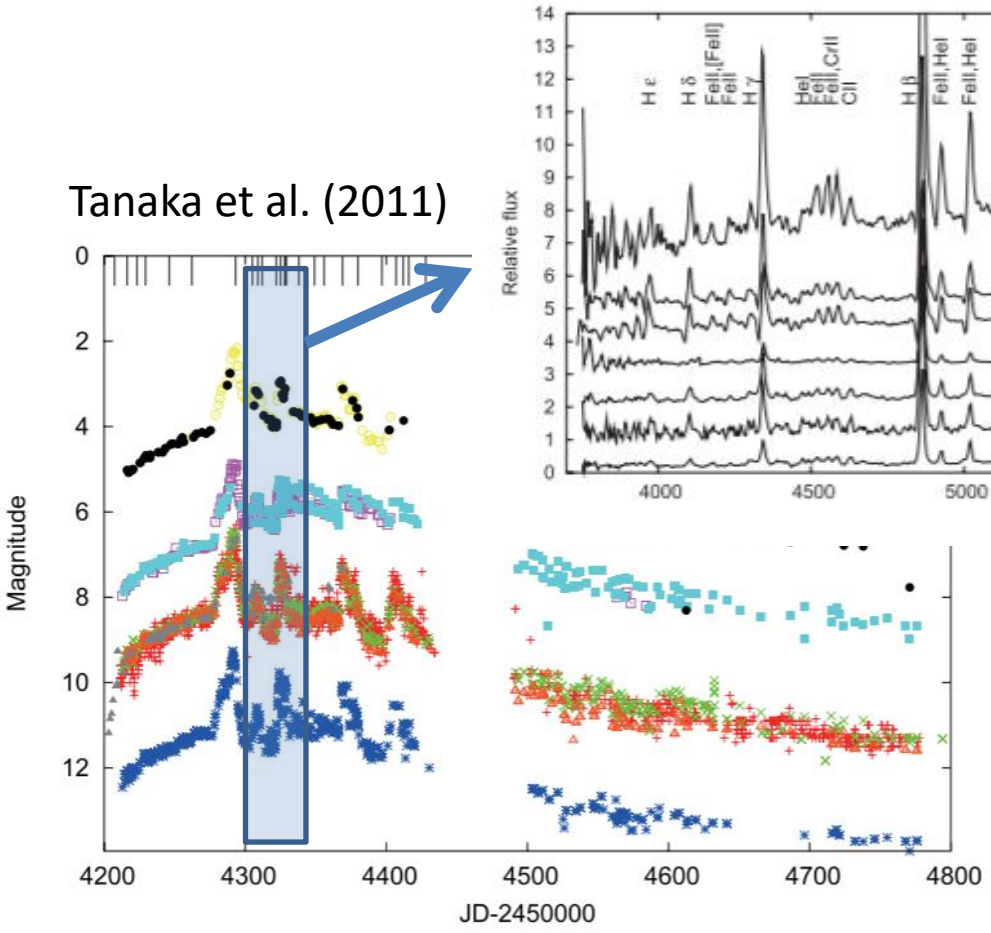
Kawakita+2015

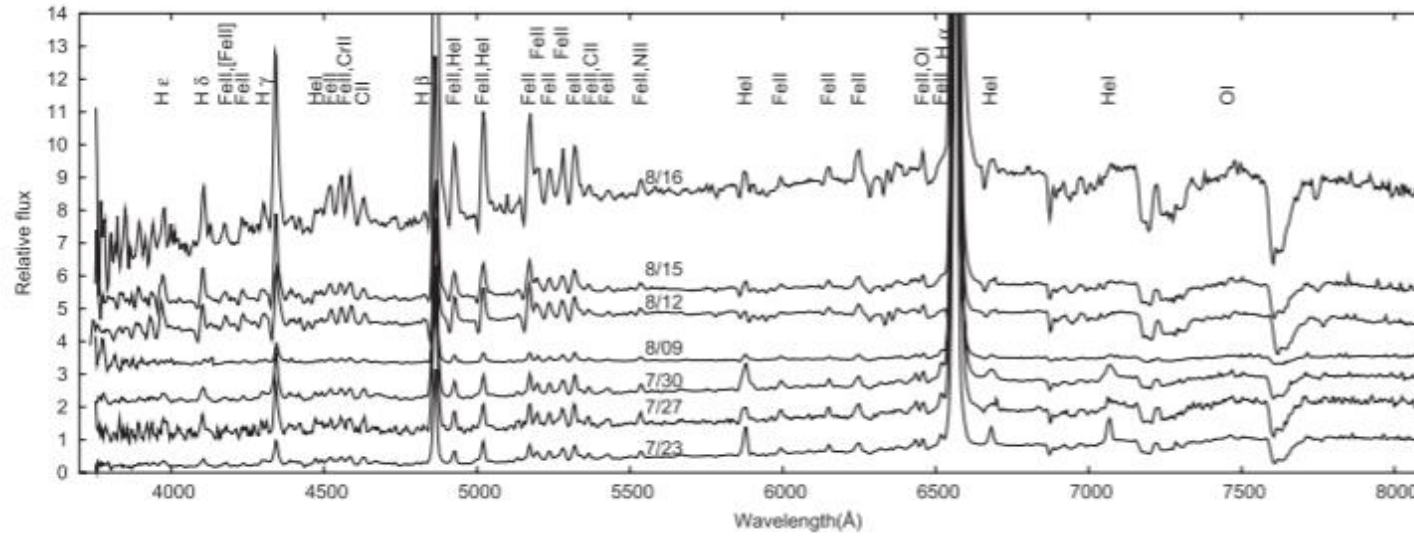


高頻度のモニタリング観測

- 複数のピークを示す新星

Tanaka et al. (2011)



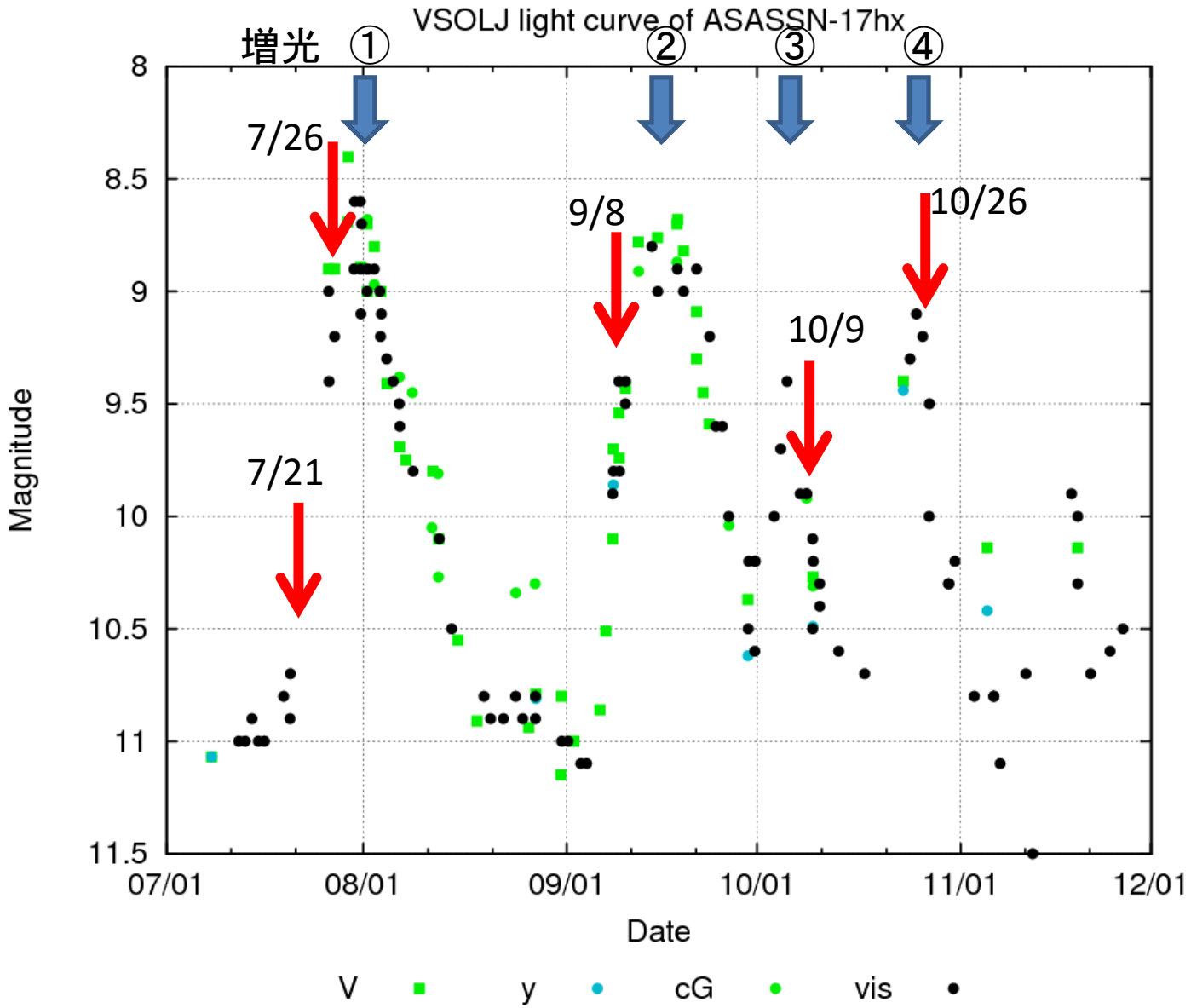


- ✓ 増光の後にP Cygプロファイルが発達
- ✓ P Cygプロファイルの吸収成分の速度はピークでは遅く暗くなると速くなる傾向

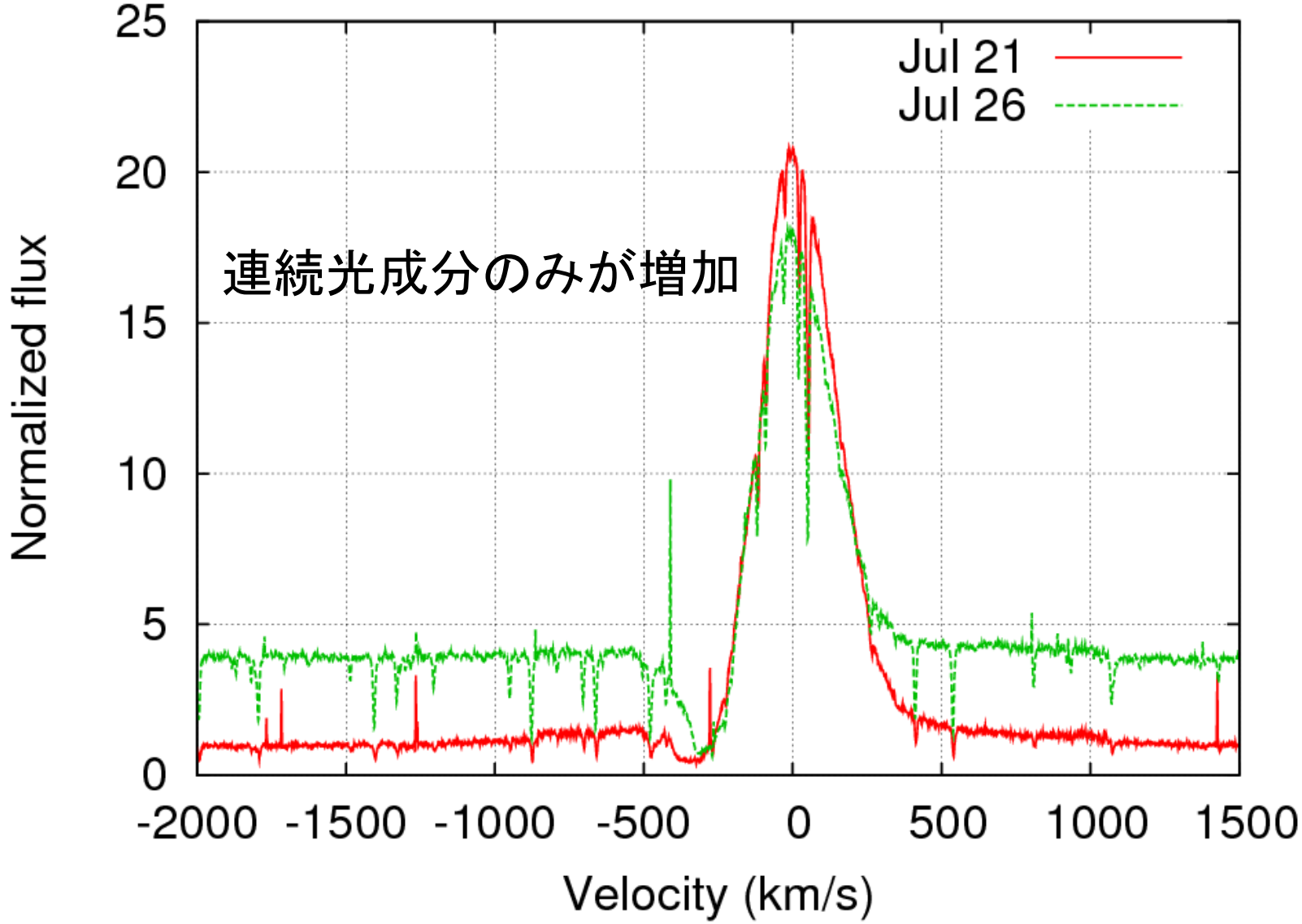
ASASSN-17hx=V621 Sct

- ASAS-SNによって2017年6月20日に発見された古典新星
  - 極大付近で4回の増光を示した
  - 各増光付近での高分散分光を実施
    - HIDES-Fの全自動観測のテストの一環としてその晩の観測天体リストに混ぜておいた

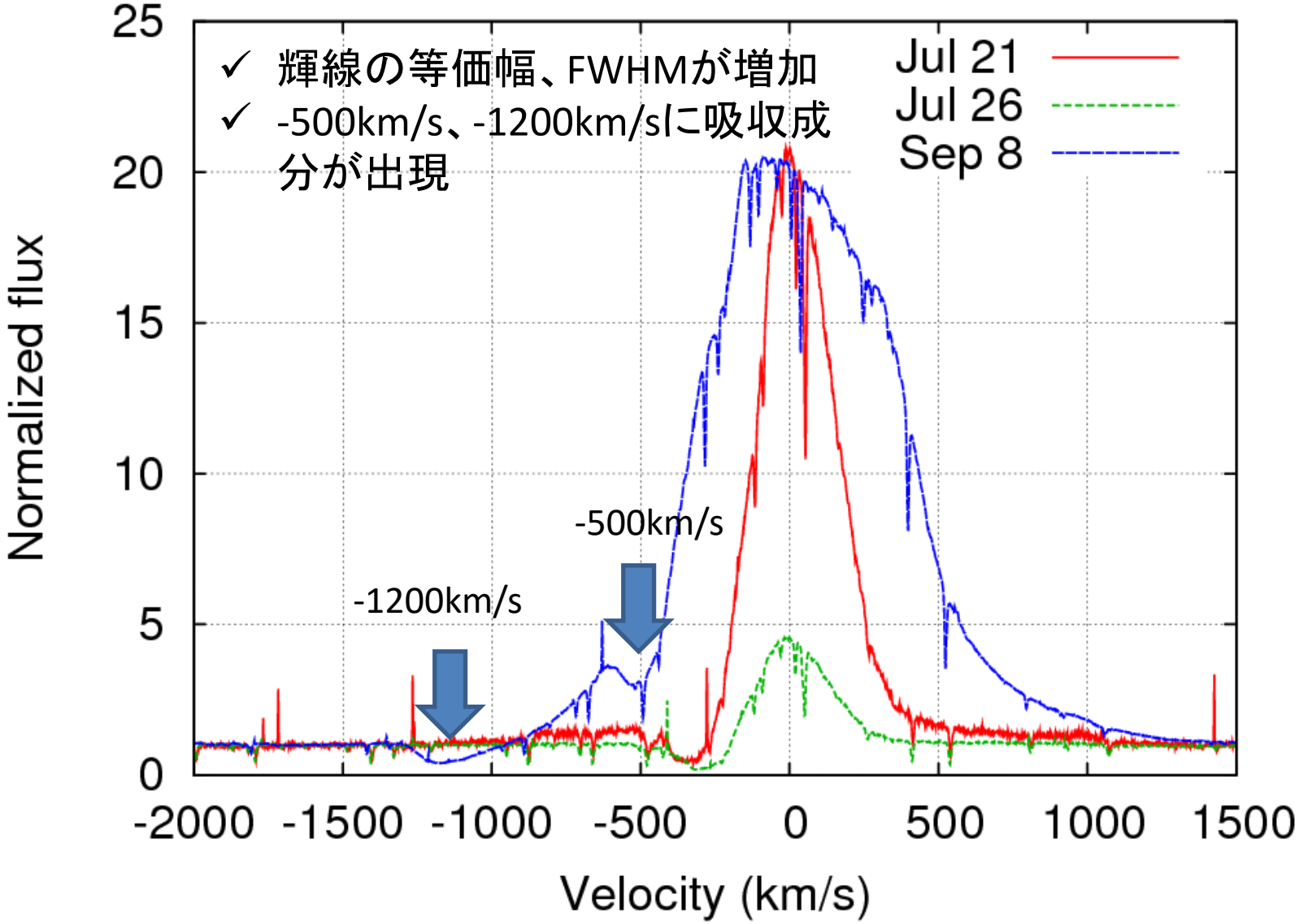
V621 Sct（光度曲線）



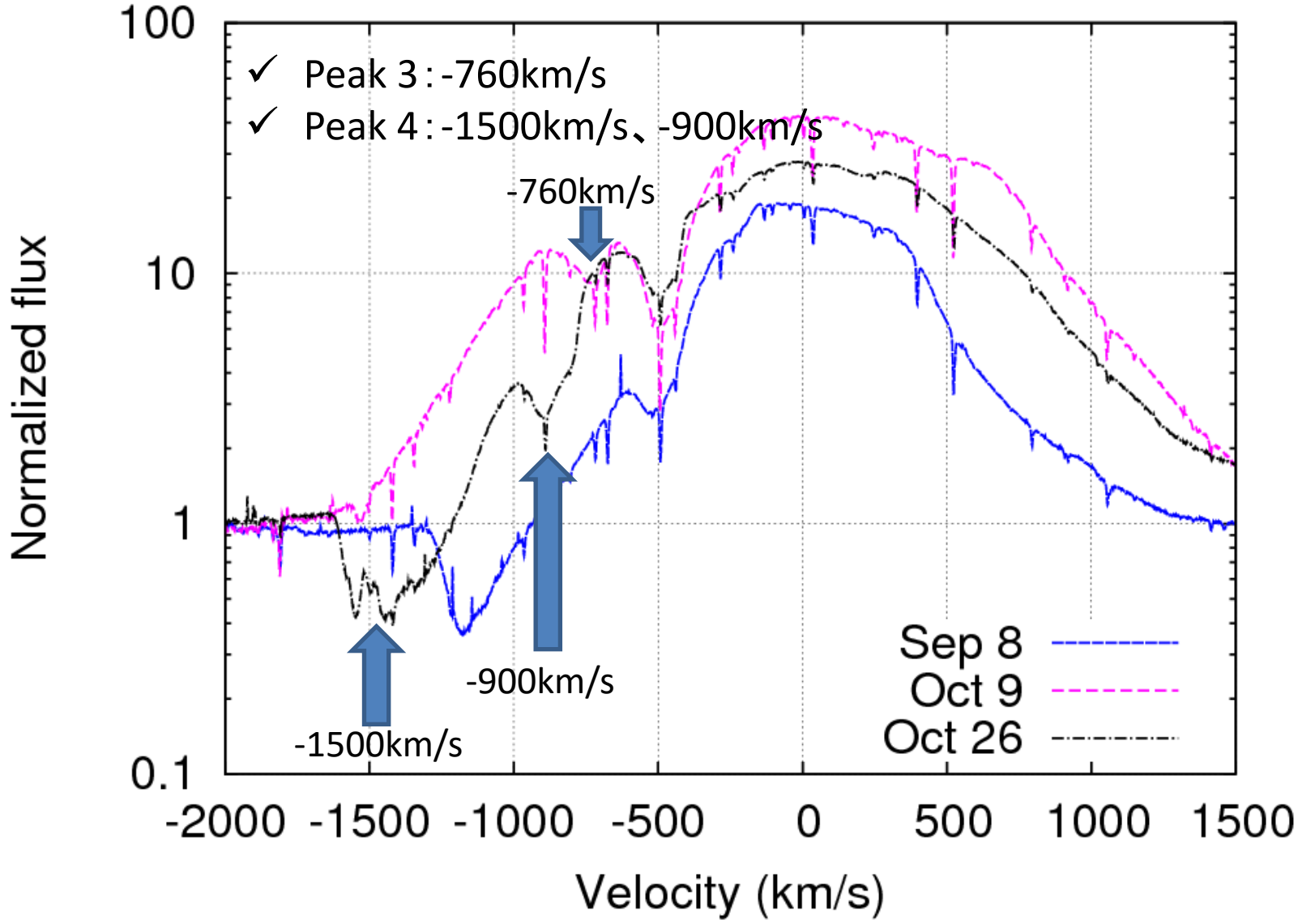
V621 Sct (Hα ; peak 1)



V621 Sct (Hα; peak 2)



V621 Sct (Hα; peak 3,4)

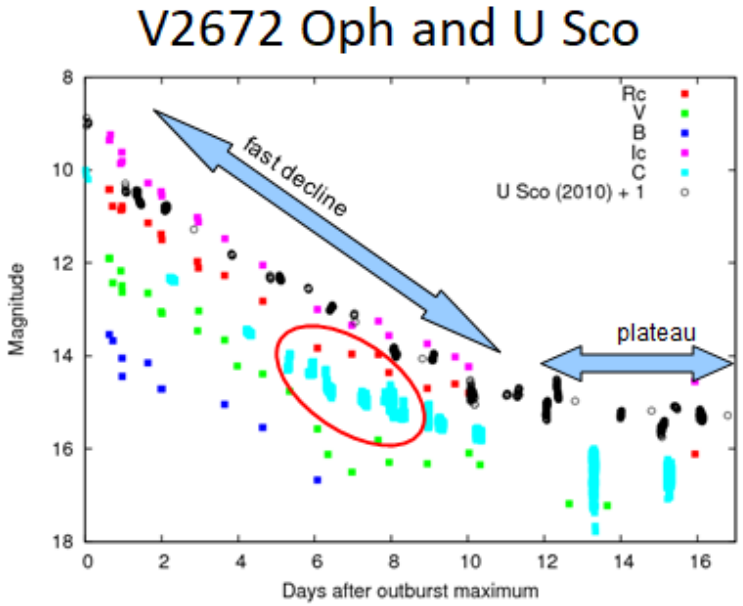


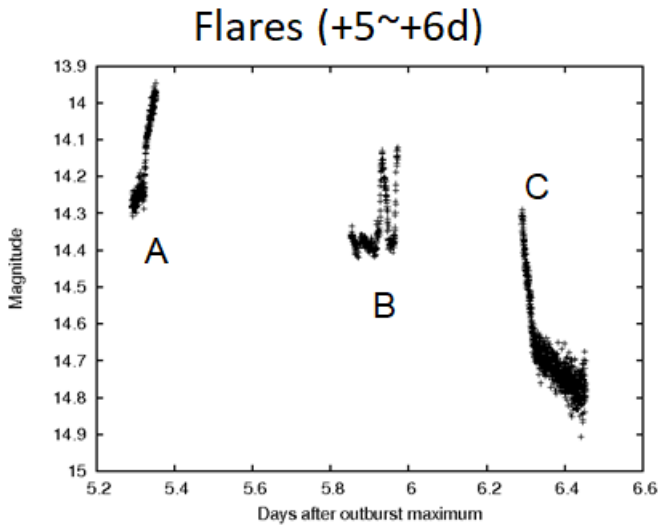
V621 Sct

- 極大付近で複数回の増光を示す古典新星
- 1回目の増光では連続光のみが増光し、Hαの輝線成分には大きな変化がなかった
  - P Cygni profileの吸収成分 : -250km/s
- 2-4回目の増光時
  - 増光に伴って、Hαに高速の吸収成分が出現
    - 2回目 : -1200km/s、-500km/s
    - 3回目 : -760km/s
    - 4回目 : -1500km/s、-900km/s

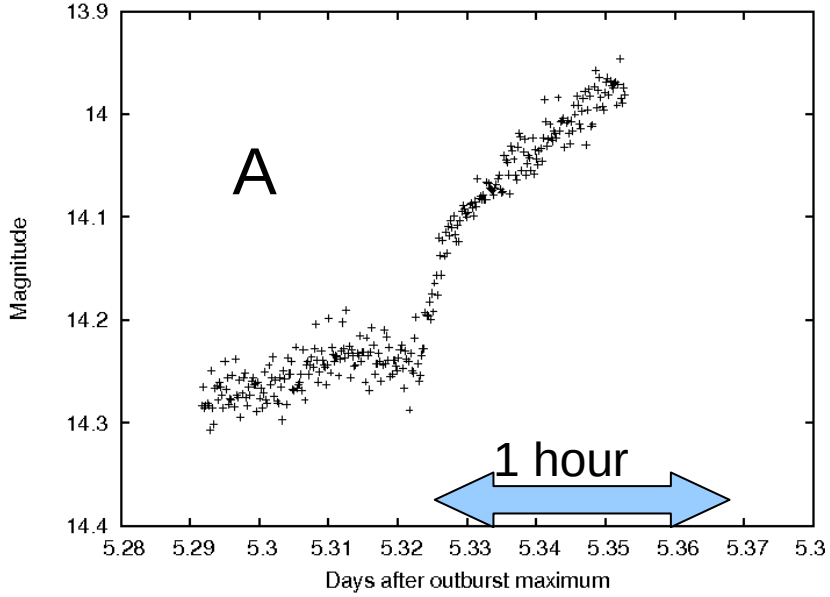
高時間分解能の分光観測

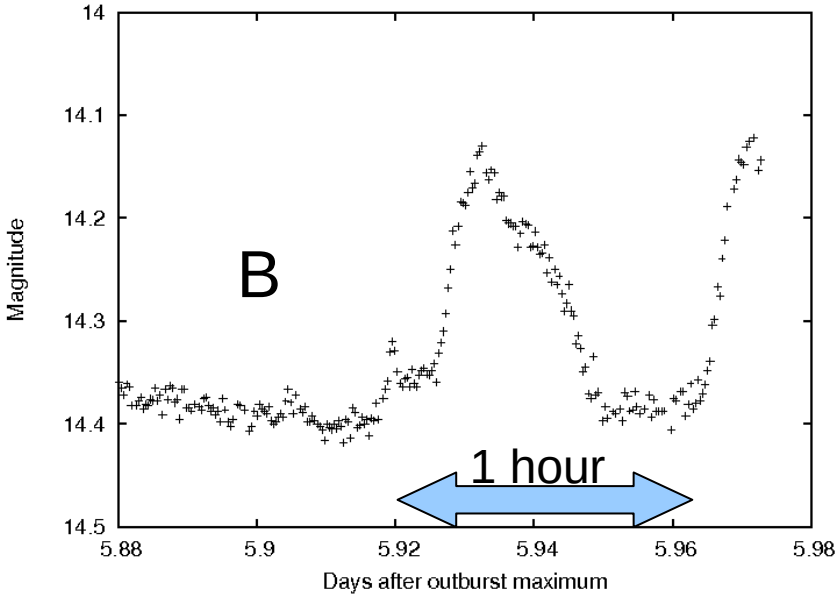
- 古典新星の短時間変動の起源
  - 極めて速い減光を示す新星で極大から4-5等程度暗くなった段階で短時間変動がみられる
  - 軌道周期等とは関係なさそう
  - 変動に伴うスペクトルの変化は？

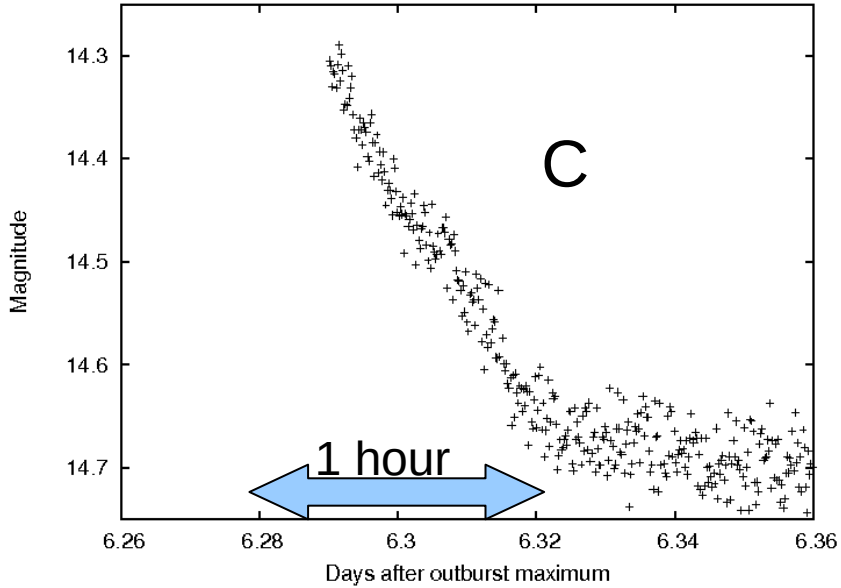




Flares (+5~+6d)


A
1 hour
Magnitude
Days after outburst maximum

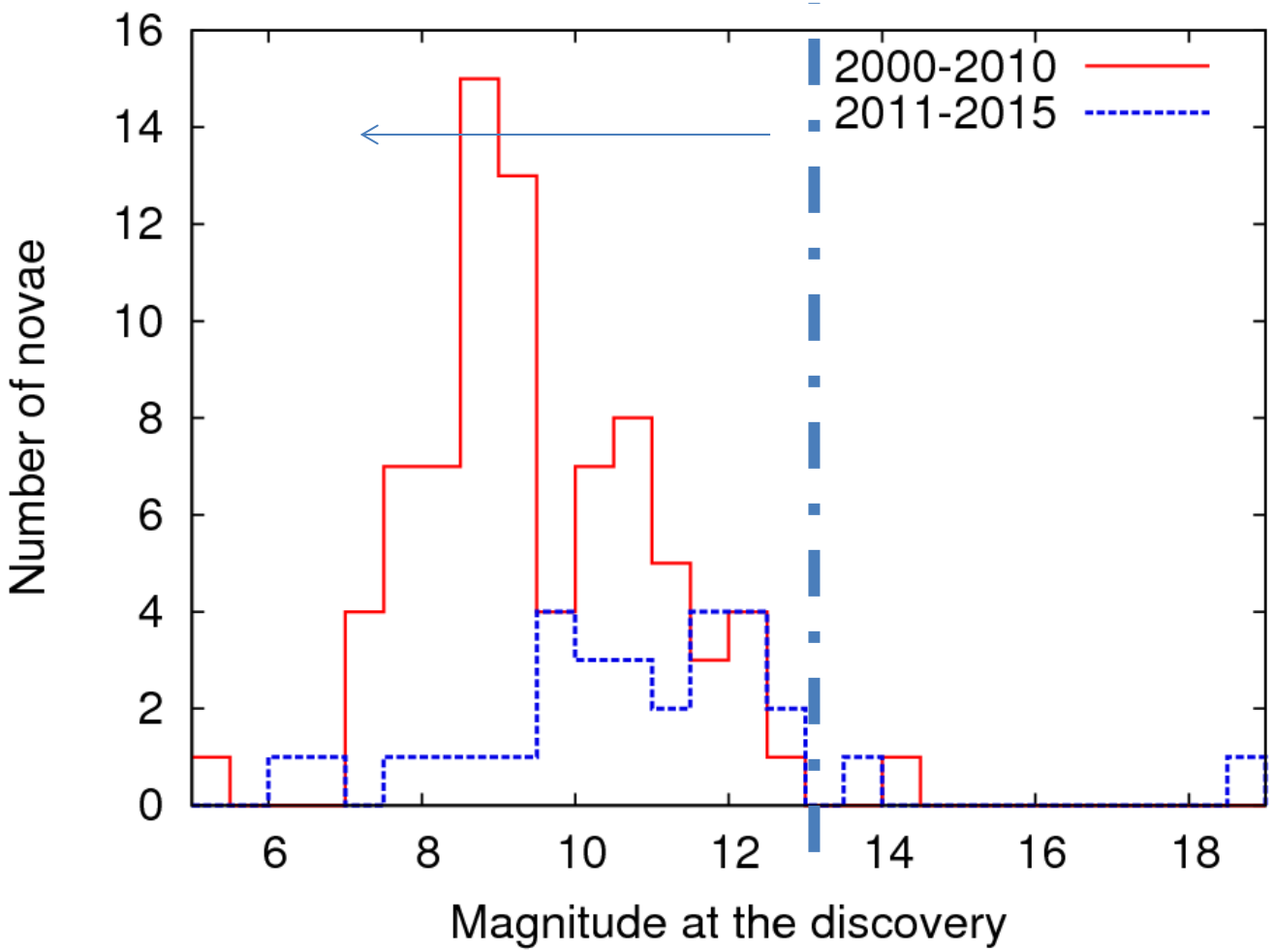

B
1 hour
Magnitude
Days after outburst maximum


C
1 hour
Magnitude
Days after outburst maximum

まとめ

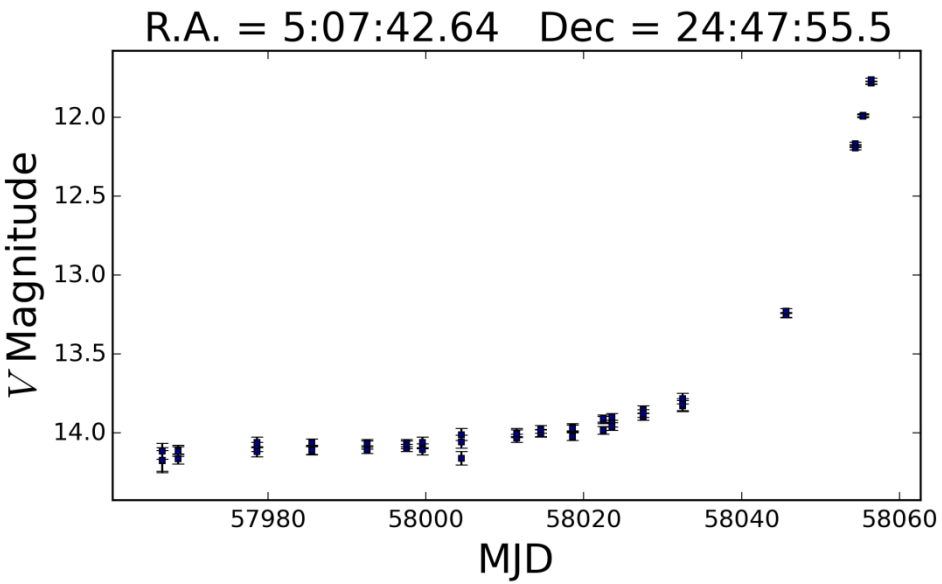
- 3.8m＋KOOLS-IFUでの古典新星観測
  - 発見早期の観測
    - 発見の情報を受けて即観測（同じ晩のうちに撮りたい）
    - Tomo-e、ZTFなどで見つかった天体のフォローアップ
    - False alarmもたくさんあるかもしれないが出たら観測
      - 新天体の素性を判定する役割を3.8mが担う
        → 意外な天体が混ざっているかもしれない
  - 長期間・高頻度のモニタリング
    - 16等より明るい → 10分積分でS/N>30 (2”シーイング、No. 5)
      - たいていの銀河系内の古典新星は発見時では13等よりも明るい（調整不足の初期運用フェーズでも大丈夫だろうと期待）
    - 10分・毎晩の観測ができるとよい
  - 他の望遠鏡との同時観測
    - 光赤外線大学間連携でのToO・キャンペーン観測など

古典新星の発見時の等級

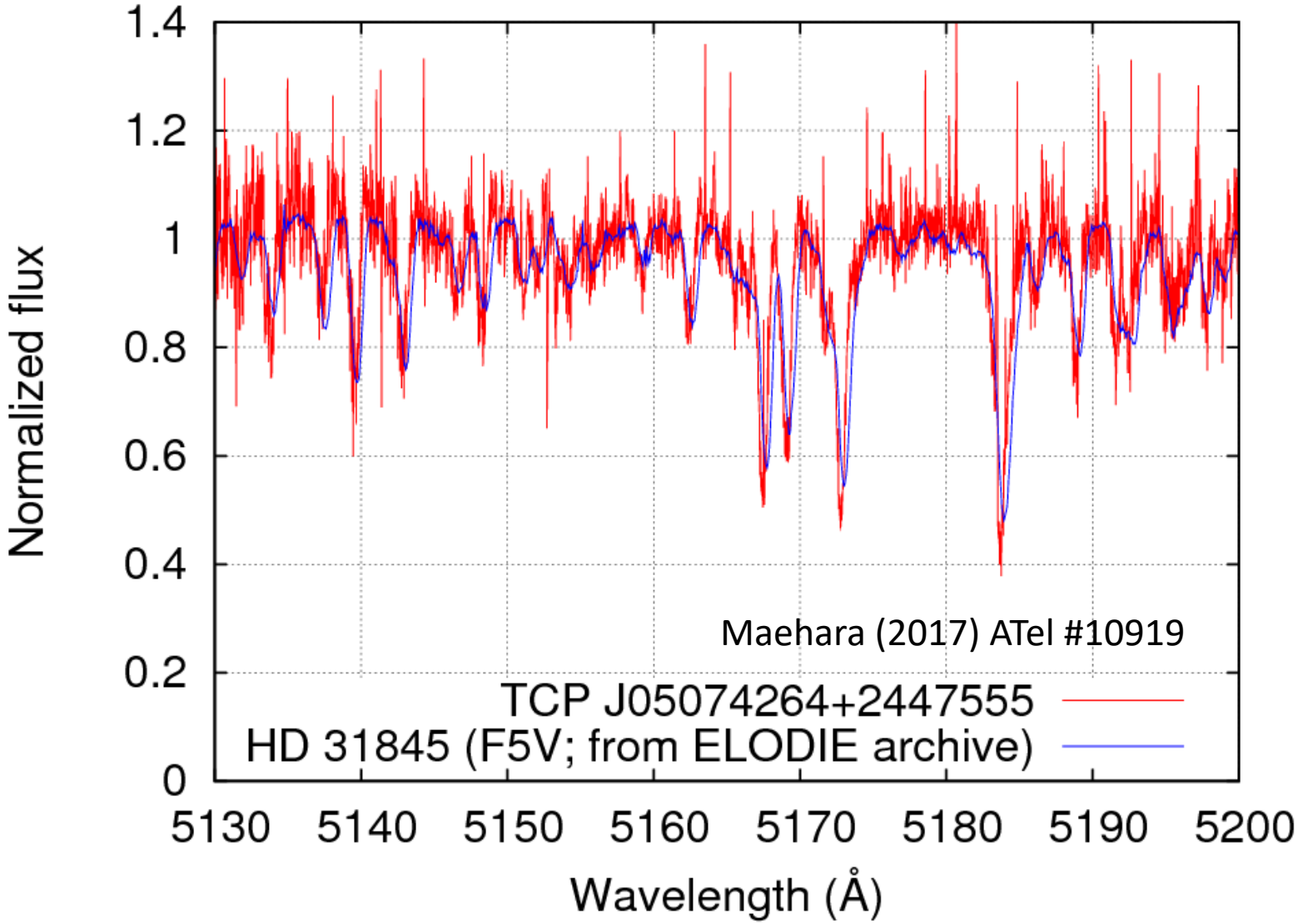


TCP J05074264+2447555

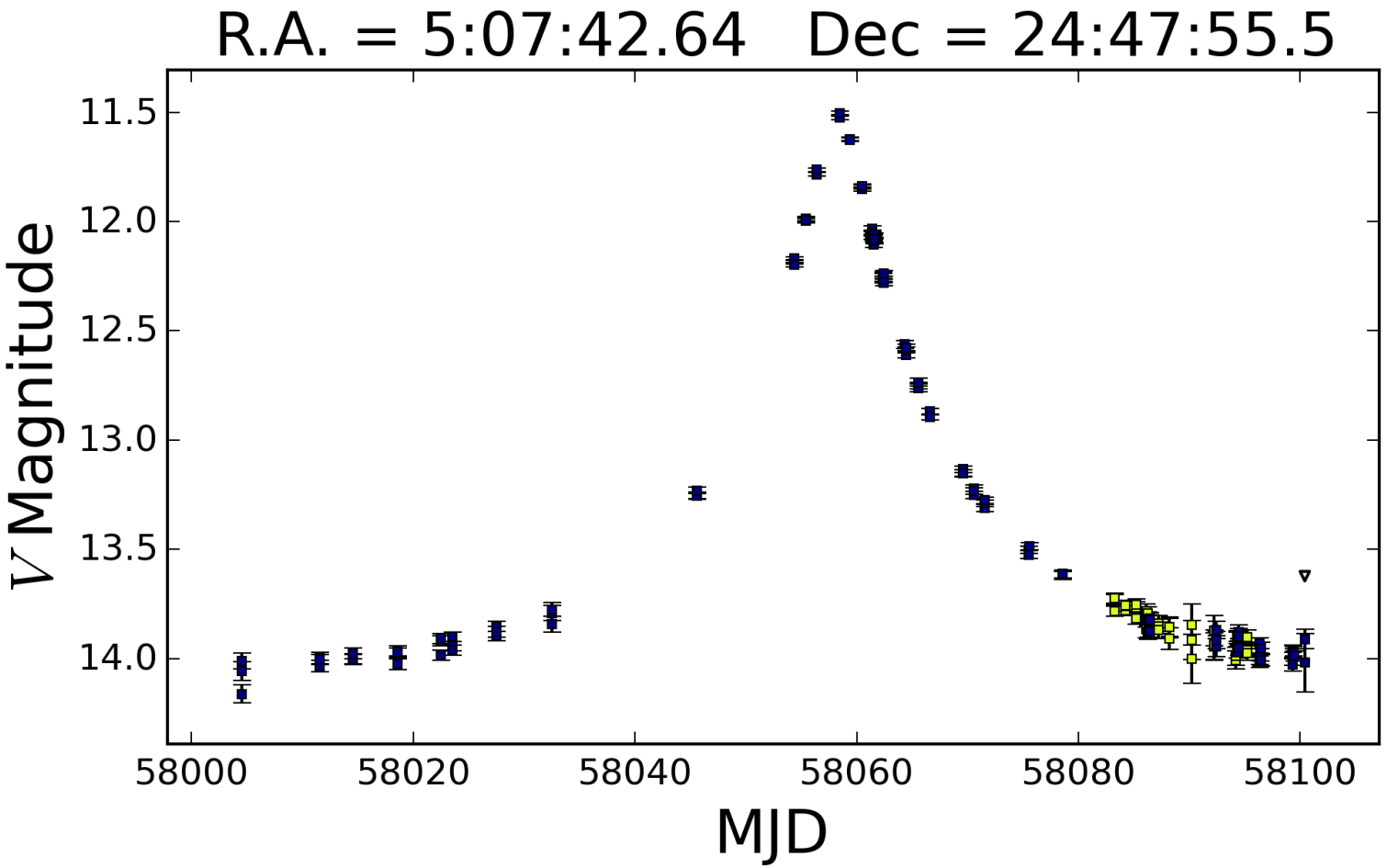
- アマチュアの小嶋正さんが10月31日に増光天体として発見
- ASASSNの光度曲線から重力マイクロレンズ現象と思われた



TCP J05074264+2447555のスペクトル (Mg Ib triplet)



TCP J05074264+2447555の光度曲線 (ASASSN)



TCP J05074264+2447555

- HIDESによる分光 (ATel #10919)
  - 自転速度の速いF5V型天体であることが分かった。
  - 距離 : 0.7-0.8 kpc （Fukui et al. in prep.）

  → これまで知られている中では最も近いソース天体

- Swiftによる観測 (ATel #10921)
  - X線で増光している天体が存在しない
  - UVの増光幅が可視の増光幅と一致 (~3 mag)

- 可視光測光
  - Single-lens microlensing modelでfitできることが分かった(ATel #10923)