

せいめい望遠鏡による新星観測
(連星系・変光星研究会 2021/1/30)

京都大学 田口健太

プロポーザルの Collaborators:
前田啓一、前原裕之、磯貝桂介、小路口直冬、
反保雄介、野上大作、新井彰、植村誠

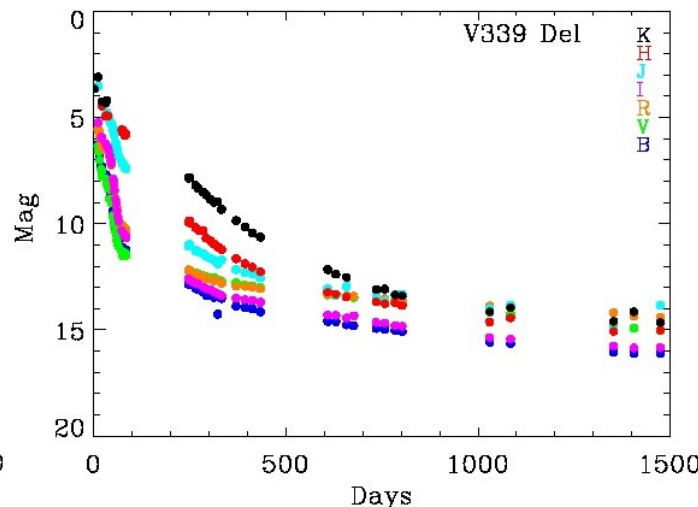
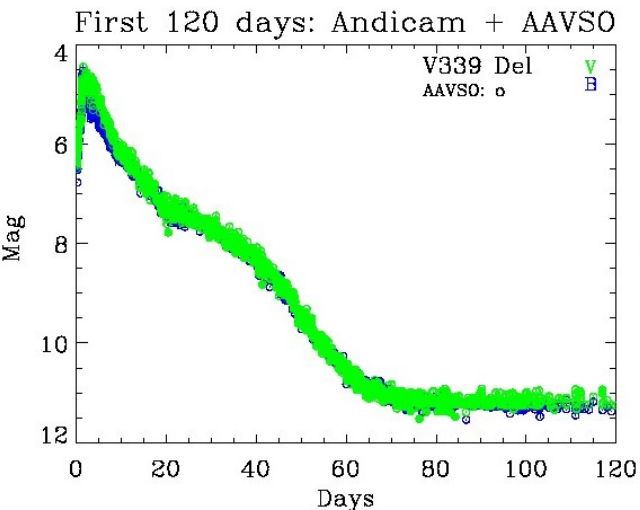
目次

- 顔を出す時間
- インTRODクシヨN (古典新星)
- 古典新星の初期 (極大付近まで) のスペクトル
- 京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた突発天体 (新星候補) の ToO 観測計画



1. イントロダクション (古典新星)

古典新星の光度曲線の例 (V339 Del, 2013)



光度曲線は下記より取得:

<http://www.astro.sunysb.edu/fwalter/SMARTS/NovaAtlas/v339del/phot/v339del.phot.html>

爆発前は $V > 15.3$ だった (ASAS-SN)



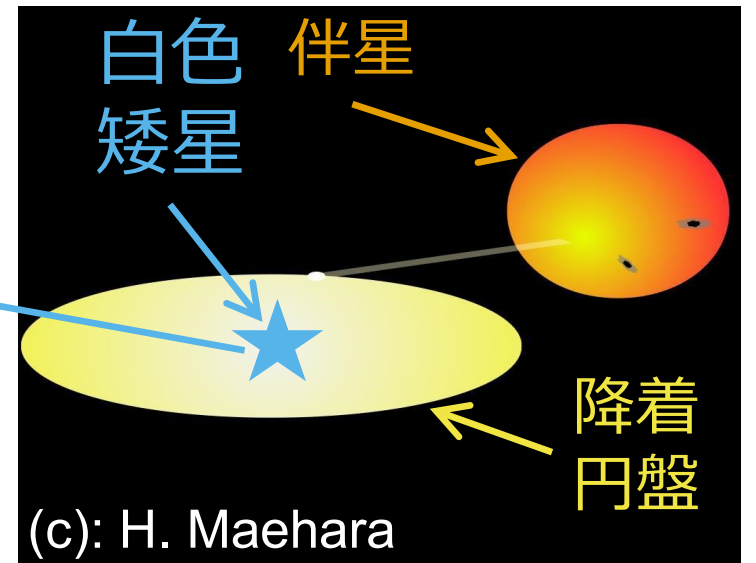
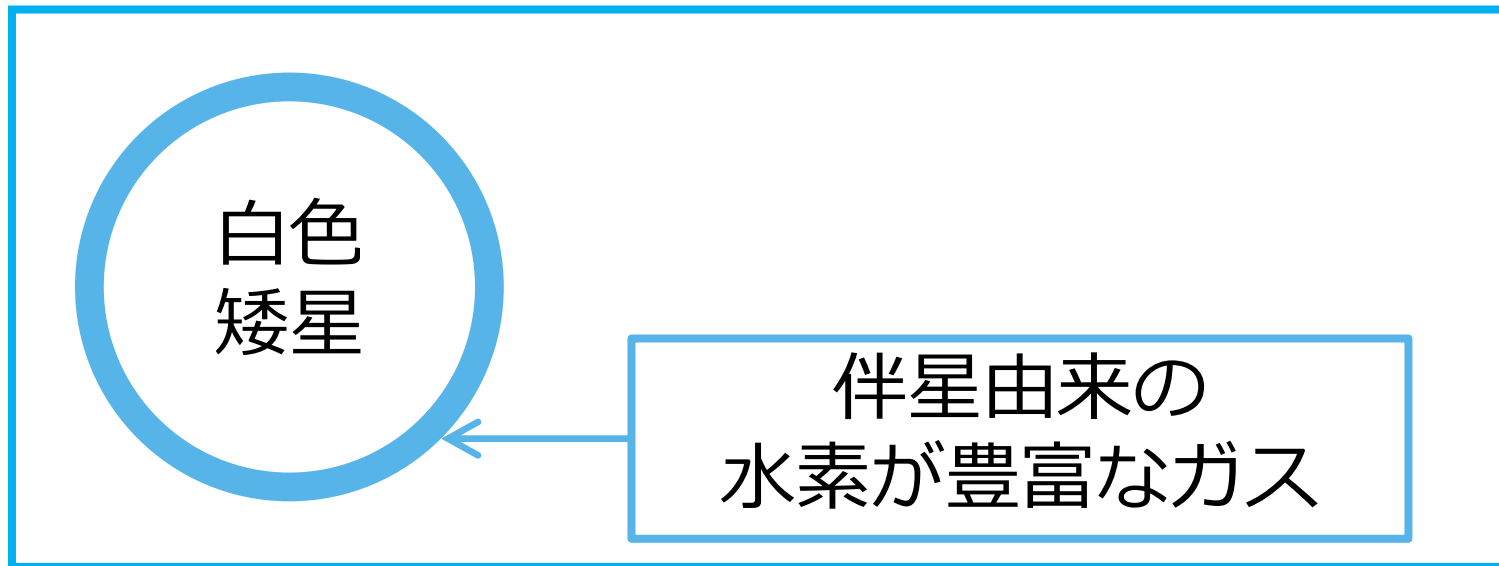
アニメは下記より取得:

<https://remanzacco.blogspot.com/2013/08/possible-bright-nova-in-delphinus.html>

- **突然 (~1 day) の増光 (V バンドで 10 等程度)**
 - **新しい星**が空に出現したように見えるから新星
 - その後は暗くなる、典型的には ~ 1 year
- 極大での絶対等級は $-6 \sim -10 \rightarrow$ **観測可能なのは銀河系内** (+ M31 など)
- **反復新星** と呼ばれる、過去に複数回の増光が観測されている新星も
 - \rightarrow 間隔が比較的安定しているものも多く (U Sco: 約10年に1回、など)、監視対象に

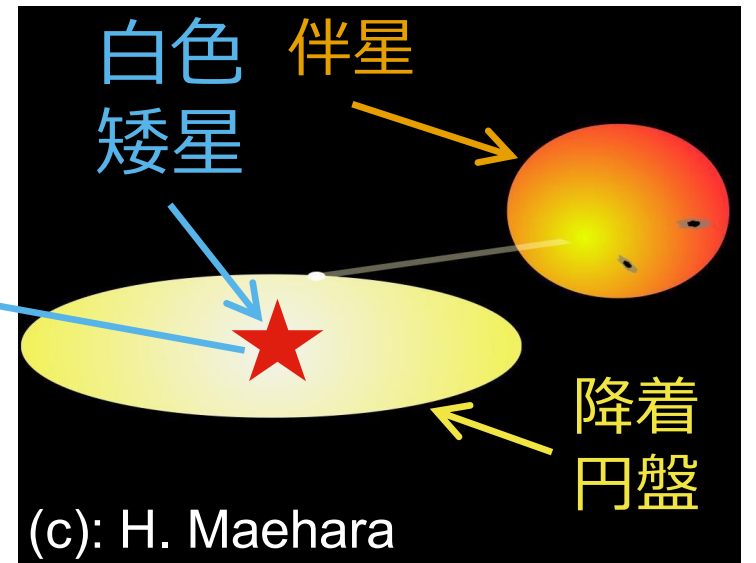
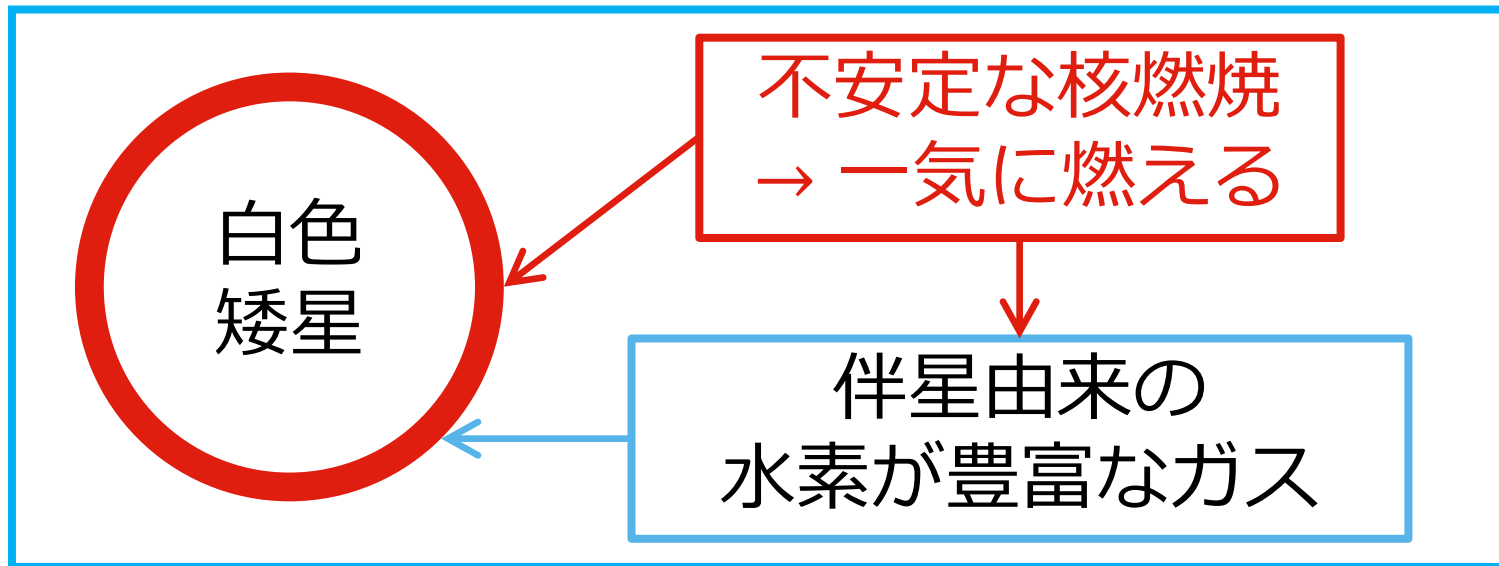
古典新星の爆発メカニズム

- 白色矮星 (主星) + 晩期型星 (伴星) の近接連星系
- 伴星からのガスが白色矮星表面に降着
 - 白色矮星表面に水素が豊富なガスが蓄積される
- ガスが降着すればするほど、溜まったガスの温度・密度も上昇
 - ある臨界質量 (白色矮星の質量によるが $10^{-6}M_{\odot}$ から $10^{-4}M_{\odot}$ くらい (by Starrfield)) に達すると、不安定な核燃焼 (Thermo-Nuclear Runaway; TNR) により、一気に水素が燃え、新星爆発に至る
- 新星爆発後、ガス降着により再び水素ガスが溜まっていく → 将来再び新星爆発する



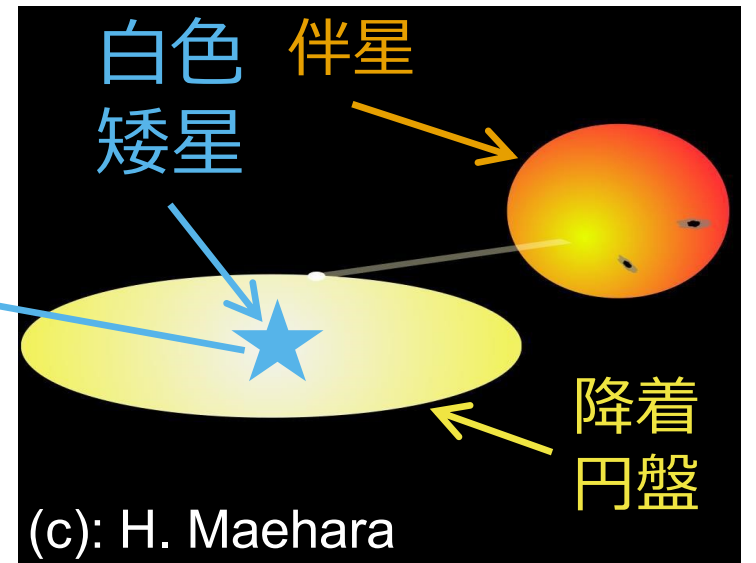
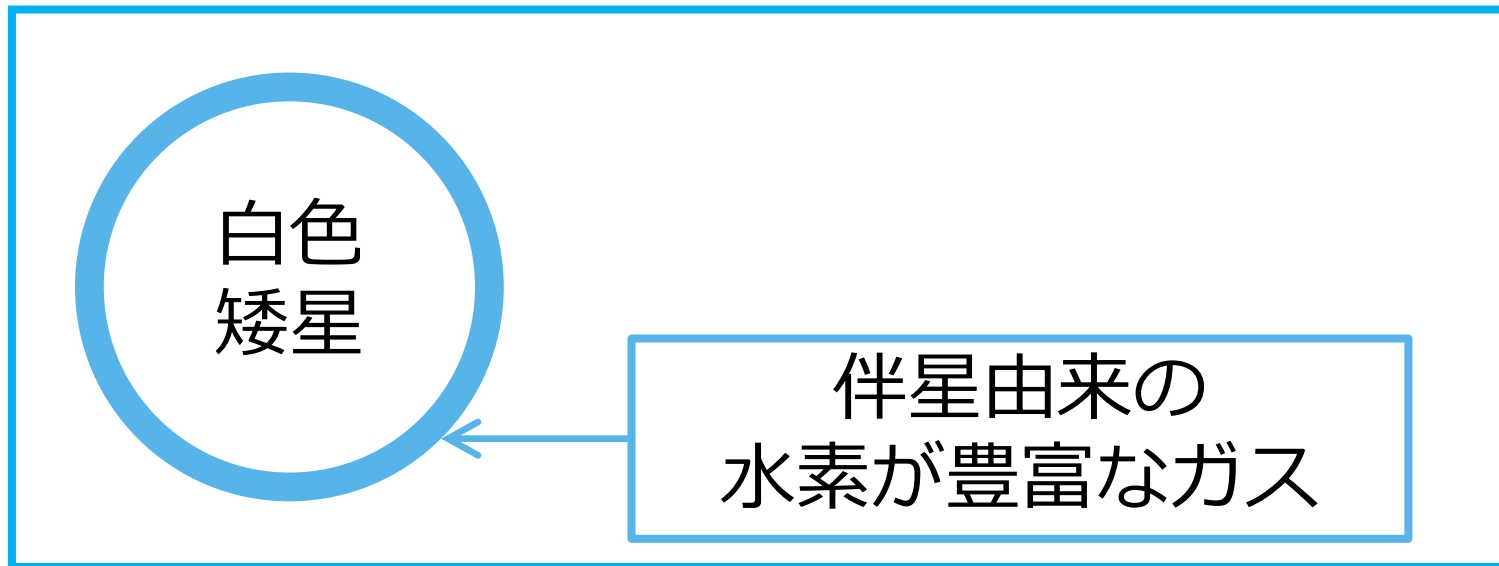
古典新星の爆発メカニズム

- 白色矮星 (主星) + 晩期型星 (伴星) の近接連星系
- 伴星からのガスが白色矮星表面に降着
 - 白色矮星表面に水素が豊富なガスが蓄積される
- ガスが降着すればするほど、溜まったガスの温度・密度も上昇
 - ある臨界質量 (白色矮星の質量によるが $10^{-6}M_{\odot}$ から $10^{-4}M_{\odot}$ くらい (by Starrfield)) に達すると、不安定な核燃焼 (Thermo-Nuclear Runaway; TNR) により、一気に水素が燃え、新星爆発に至る
- 新星爆発後、ガス降着により再び水素ガスが溜まっていく → 将来再び新星爆発する




古典新星の爆発メカニズム

- 白色矮星 (主星) + 晩期型星 (伴星) の近接連星系
- 伴星からのガスが白色矮星表面に降着
 - 白色矮星表面に水素が豊富なガスが蓄積される
- ガスが降着すればするほど、溜まったガスの温度・密度も上昇
 - ある臨界質量 (白色矮星の質量によるが $10^{-6}M_{\odot}$ から $10^{-4}M_{\odot}$ くらい (by Starrfield)) に達すると、不安定な核燃焼 (Thermo-Nuclear Runaway; TNR) により、一気に水素が燃え、新星爆発に至る
- 新星爆発後、ガス降着により再び水素ガスが溜まっていく → 将来再び新星爆発する



反復新星 (Recurrent novae、再帰新星、回帰新星)

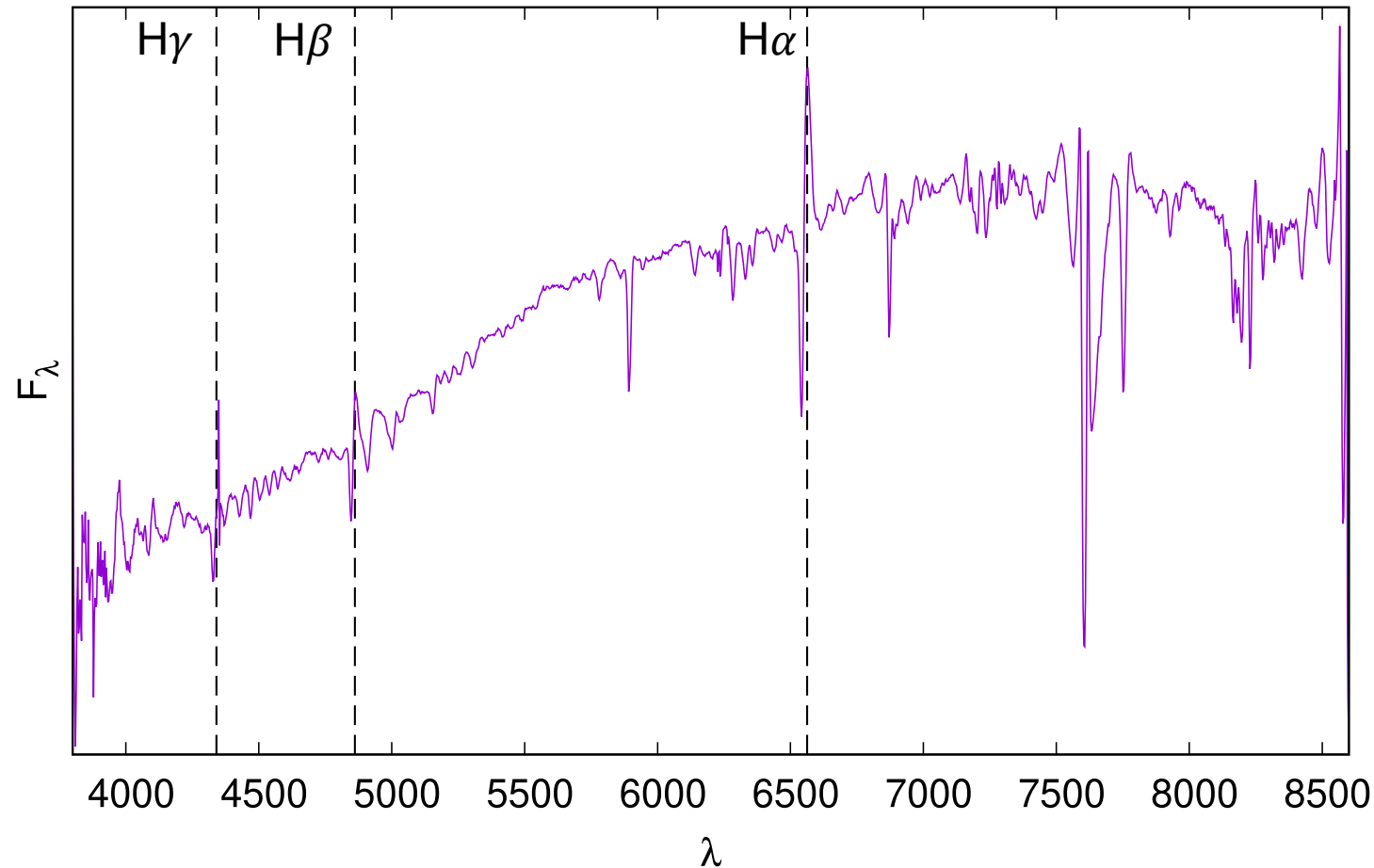
- 多くの新星では、爆発から次の爆発までの間隔は $\sim 10^5$ 年と思われてる
 - 理論的には白色矮星質量や質量降着率が大きい場合は、この間隔が短くなる
- この間隔が特に短く、人類史上複数回の新星爆発が捉えられているものを「反復新星」という
- 反復新星の例
 - V3890 Sgr: 1962, 1990, 2019 (京都大 3.8 m せいめい望遠鏡でも分光: [Atel #13947](#))
 - T CrB: 1866, 1946 (2026?)
 - **U Sco**: 1863, 1906, 1917, 1936, 1945, 1969, 1979, 1987, 1999, 2010 (2021?)
 - 3-4か月くらい太陽の方向に行くので見逃すかも...
 - この前太陽の裏側から帰ってきましたが、明るくなってはいないようです
 - **RS Oph**: 大体15年くらいに1回、前は 2006 年
 - M31N 2008-12a: 最も間隔が短く、1年に1回くらい増光する



2. 古典新星の初期 (極大付近まで) の スペクトル

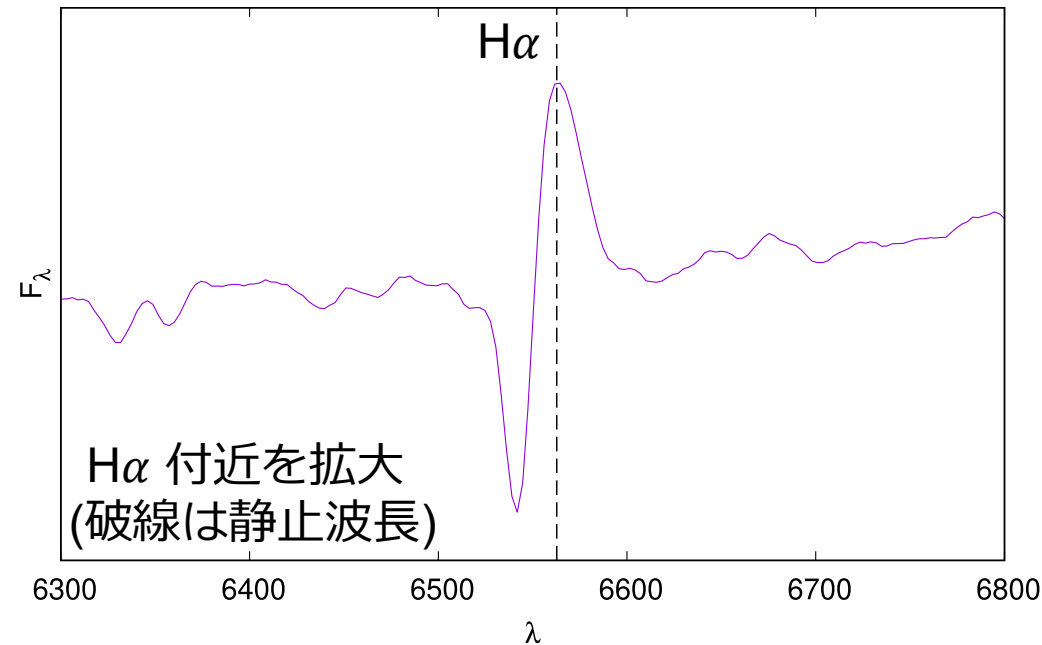
新星 V659 Sct (2019) のスペクトル (発見 1 日後) (せいめい望遠鏡共同利用 19B-N-CT03 で取得)

V659 Sct (2019/10/30)

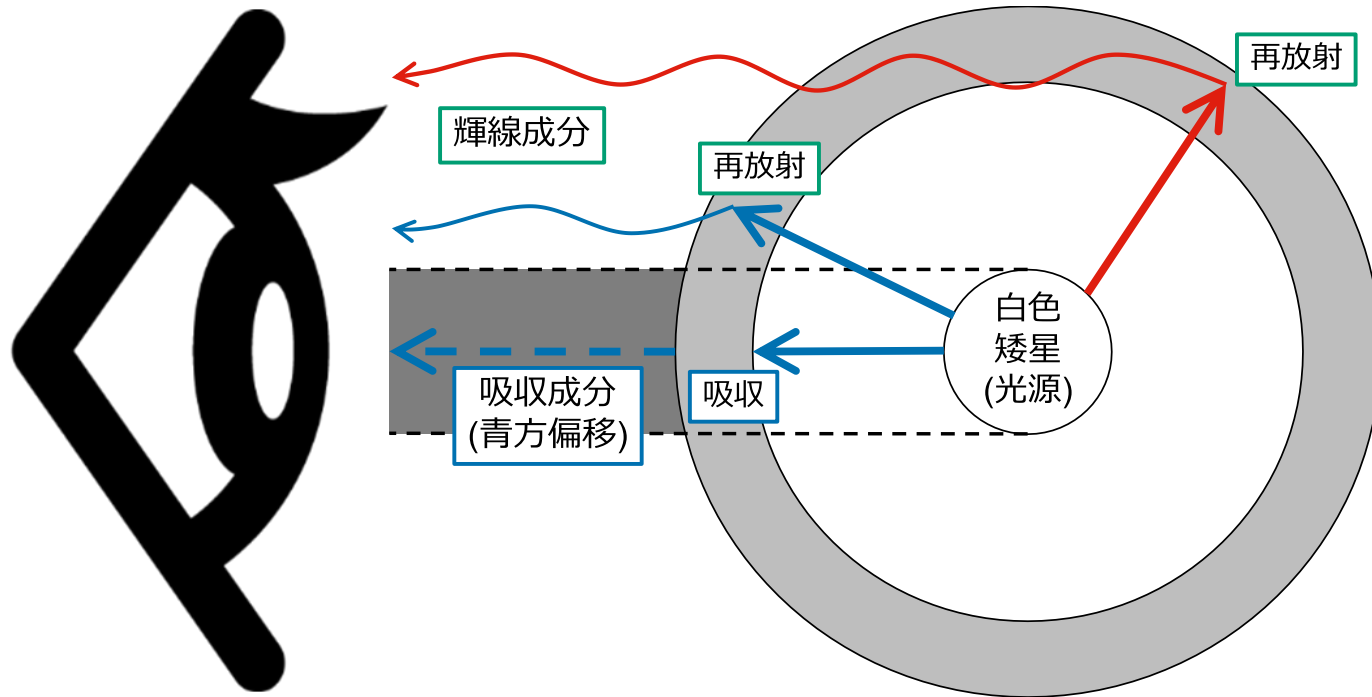


- 可視の極大等級付近では P Cygni 型の line がスペクトルに見られることが多い
 - 青方偏移した吸収成分
 - ほぼ静止波長の輝線成分

V659 Sct (2019/10/30), nearby H α

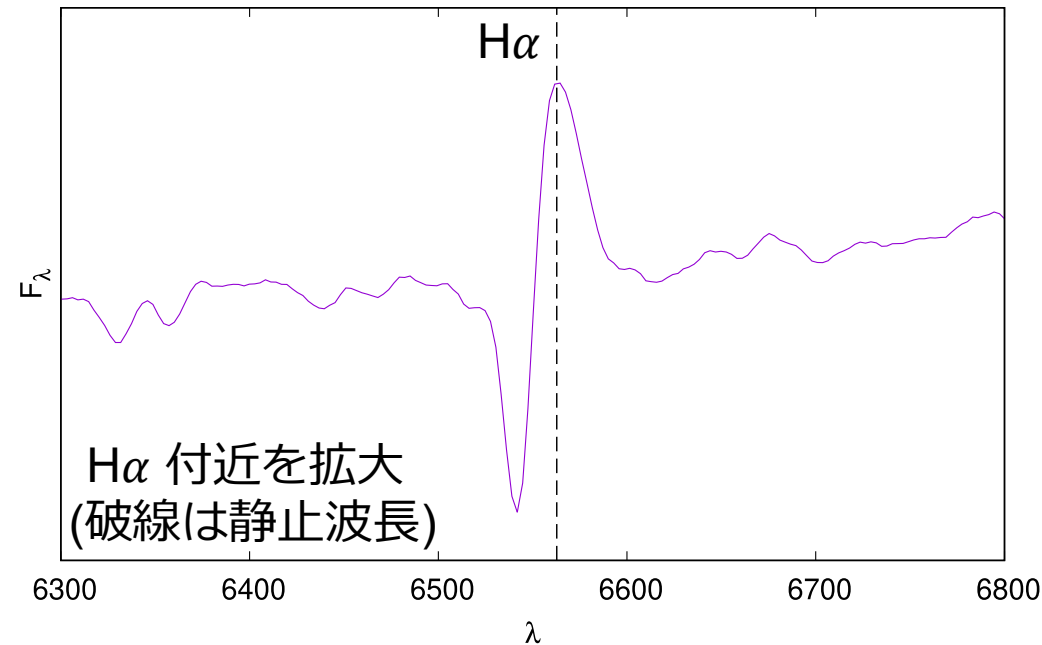


新星 V659 Sct (2019) のスペクトル (発見 1 日後) (せいめい望遠鏡共同利用 19B-N-CT03 で取得)



- 可視の極大等級付近では P Cygni 型の line がスペクトルに見られることが多い
 - 青方偏移した吸収成分
 - ほぼ静止波長の輝線成分

V659 Sct (2019/10/30), nearby H α

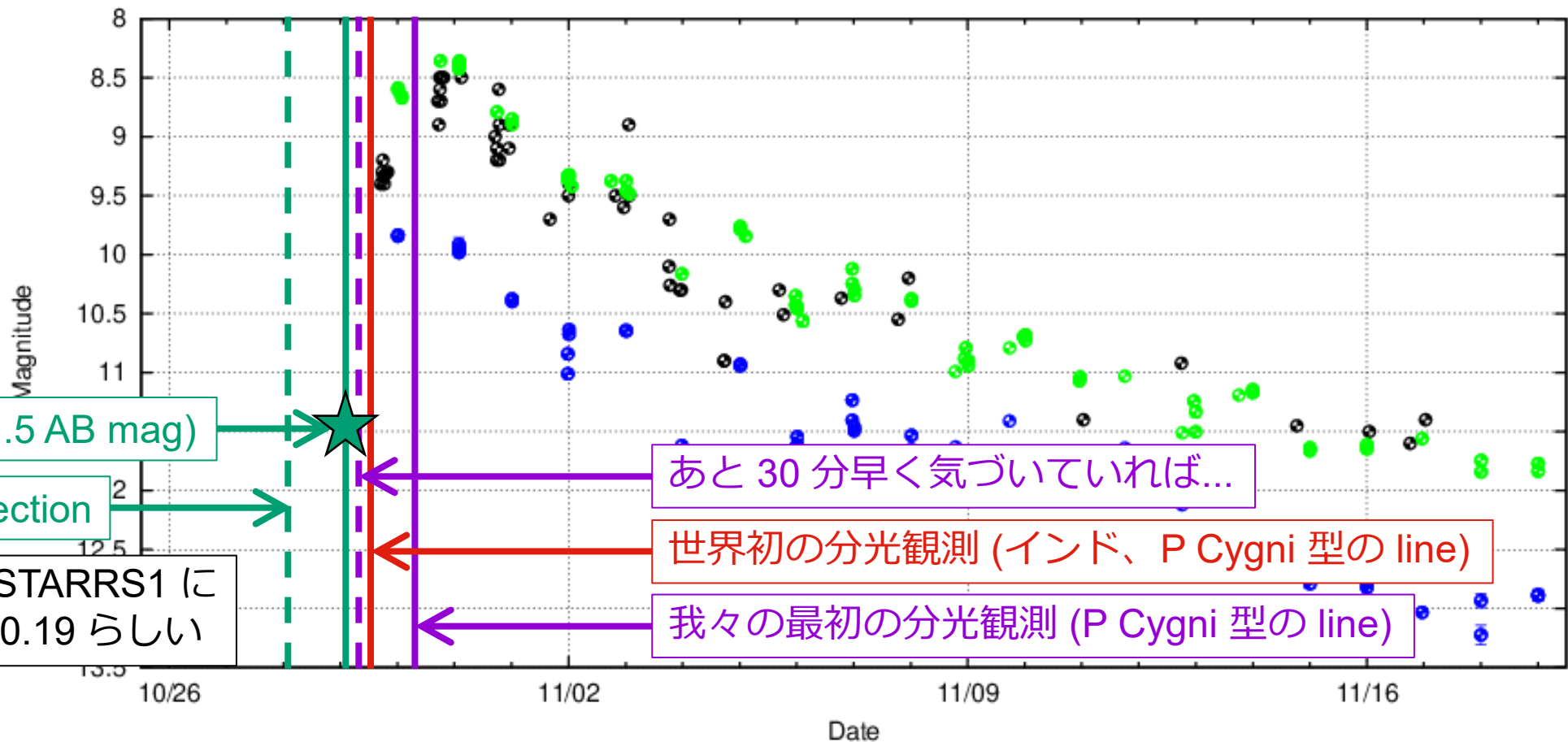


- この P Cygni 型の line は光学的に厚い、中心から外へ向かう wind の存在を示唆する。

→ この nova では発見 1 日後には、光学的に厚い wind が存在したと分かる

新星 V659 Sct (2019) の光度曲線

AAVSO DATA FOR V659 SCT - WWW.AAVSO.ORG



Discovery (11.5 AB mag)

Last non-detection

爆発前: Pan-STARRS1 によると $z = 20.19$ らしい

あと 30 分早く気づいていれば...

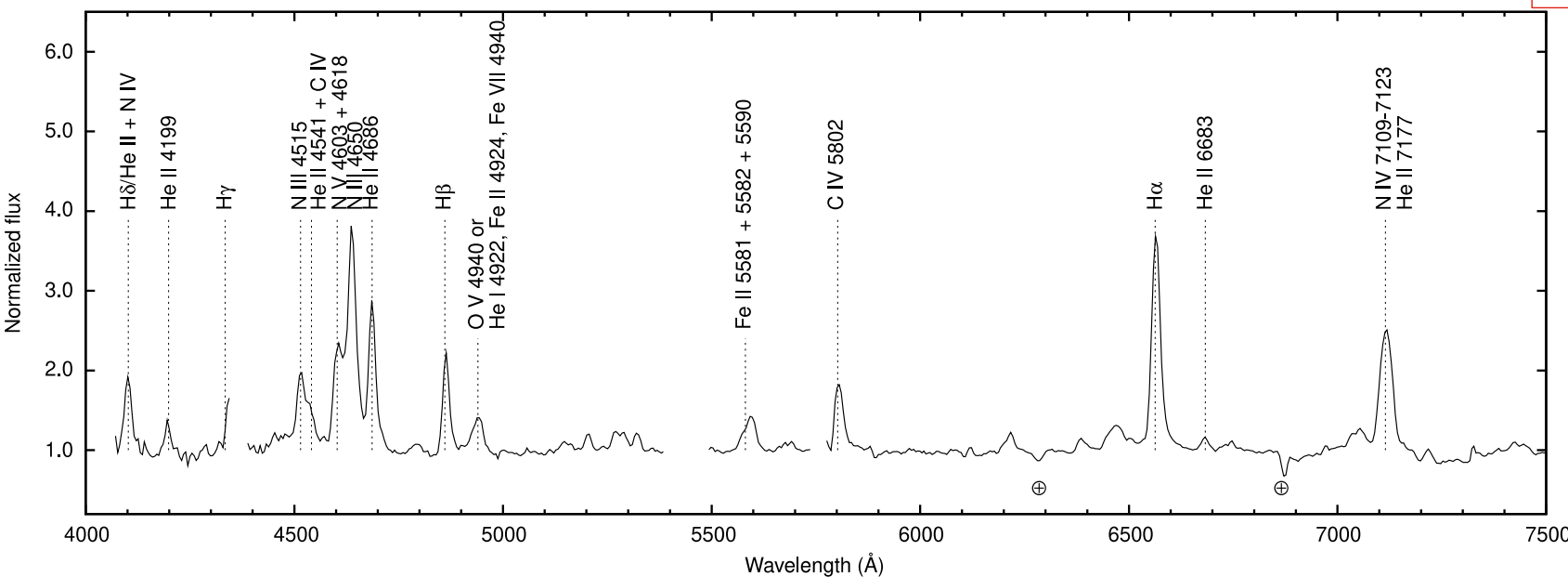
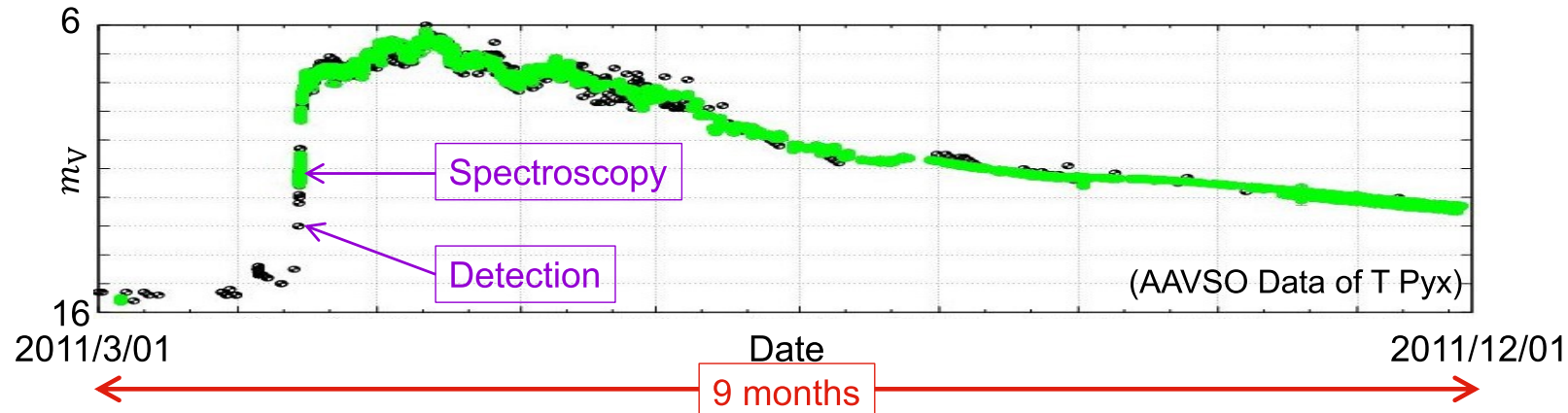
世界初の分光観測 (インド、P Cygni 型の line)

我々の最初の分光観測 (P Cygni 型の line)

Visual Prevalidated ● V Prevalidated ● B Prevalidated ●

超初期のフォローアップ (反復新星 T Pyx、2011年) (Arai et al. 2015)

- 反復新星 T Pyx を、増光中に分光した例 (発見 4 時間後、11等付近)
 - 既知の反復新星であり、爆発が予想されていたため、モニター観測が密に行われていた



- 輝線が多いスペクトル
 - P Cygni 型の line と異なり吸収成分はなし
(Wolf-Rayet 星に似たスペクトル)
- その後 P Cygni 型に移行
→ 増光中の新星のスペクトルは、光学的に厚い wind が出る以前の、系の情報を持っている (かも)

新星の物理をより理解するために

- 沢山の新星をより早くから分光観測したい!
 - 近年は、突発天体サーベイも進展している (ASAS-SN、ZTF、板垣さん、...)



- 新星候補が発見されたら速やかにフォローアップ観測を行いたい
 - 京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた ToO (Time of Opportunity) 観測を申請している
 - 突発天体へ速やかに向けられる運用体制・口径が大きいので時間分解能も上げられる
 - 爆発開始直後の急な増光はまだ捉えられていない...
 - しかし (徐々にではあるが) 観測体制などが整いつつある
- スペクトルを物理的に理解するのも大事
 - 輻射素過程・輻射輸送の理解もまた大事 (だけど難しい)



3. 京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた
突発天体 (新星候補) の ToO 観測計画

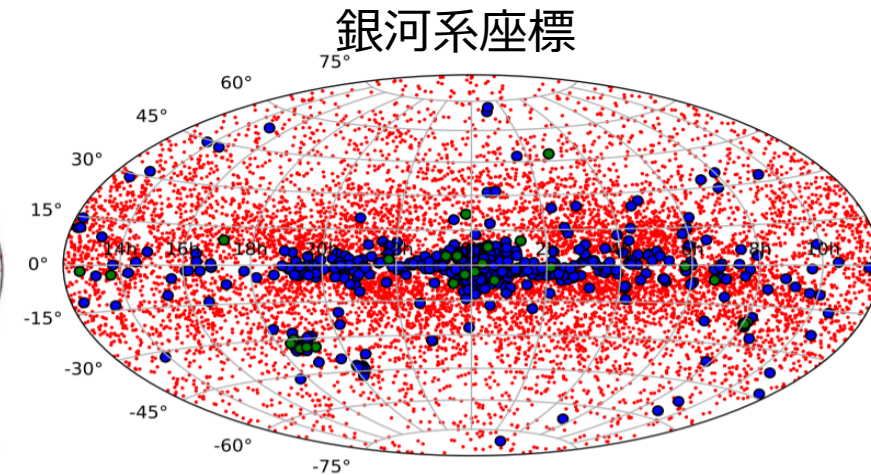
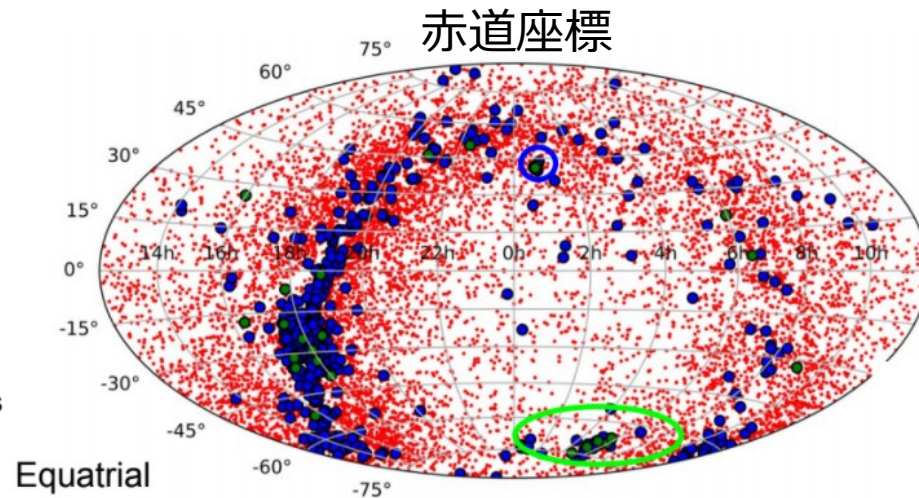
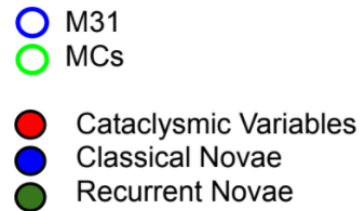
せいめい望遠鏡を用いた新星のフォローアップ観測

- 新星候補が見つかったら速やかにフォローアップ観測を行いたい
- 観測プラン (現時点での)
 - CBAT の TOCP、Transient Name Server、ZTF、VSNET、ASAS-SN など check
 - 報告された突発天体候補の中で、新星の可能性が高いものを選ぶ (が矮新星)
 - 超新星じゃないか (母銀河っぽいがあれば超新星だと判断できる)
 - 矮新星等じゃないか (増光幅、親星の有無・色、銀緯、過去の活動性などである程度予想可能)
(銀緯については次のスライド)
 - 過去のデータは都度 ASAS-SN や Pan-STARRS、AAVSO の VSX、ZTF などで調べる
 - 惑星・小惑星などじゃないか (オンラインの Minor Planet Checker というのでチェックする)
 - 取り敢えず分光 (分光器は KOOLS-IFU: Matsubayashi et al. 2019)
 - 矮新星などの場合、適宜打ち切る (The Astronomer's Telegram などに速報しておく)
 - 反復新星・新星の可能性が高そうな場合 → 最初の夜はぶっ通しで観測する (予定)

せいめい望遠鏡を用いた新星のフォローアップ観測

- イベントレートの見積もり
 - 岡山で銀河中心付近 (殆どの新星が起きる) が夜間に見える期間: ~ 3-400 時間 / 年
 - 晴天率 3 分の 1 を仮定

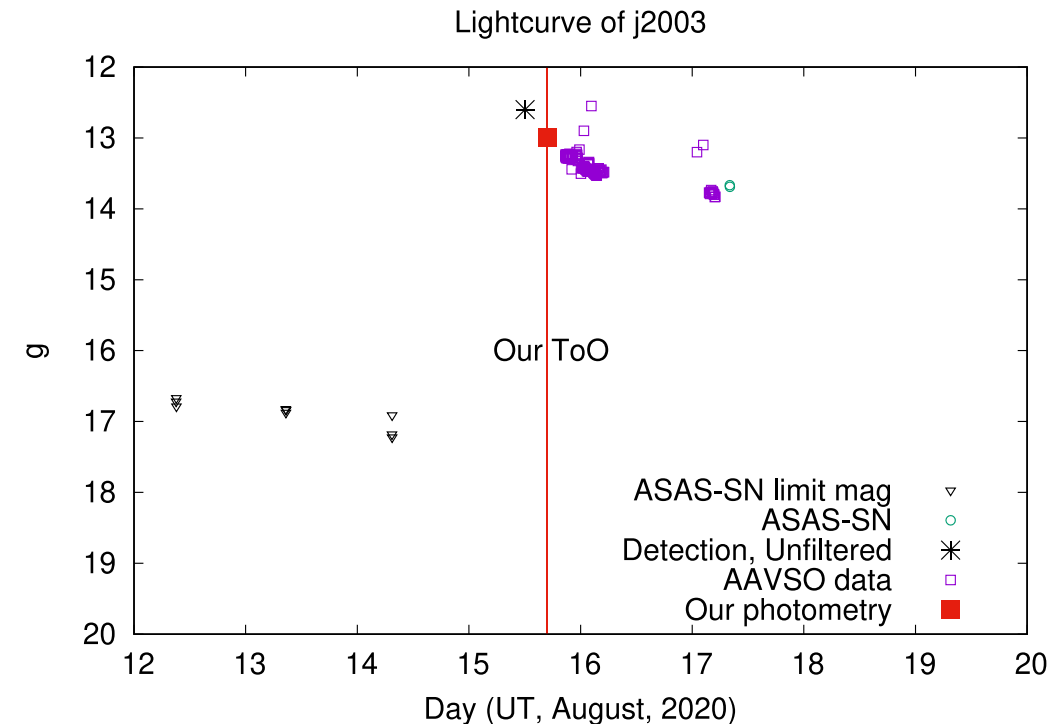
- 新星の出現分布図:
[(c): N. Kojiguchi]



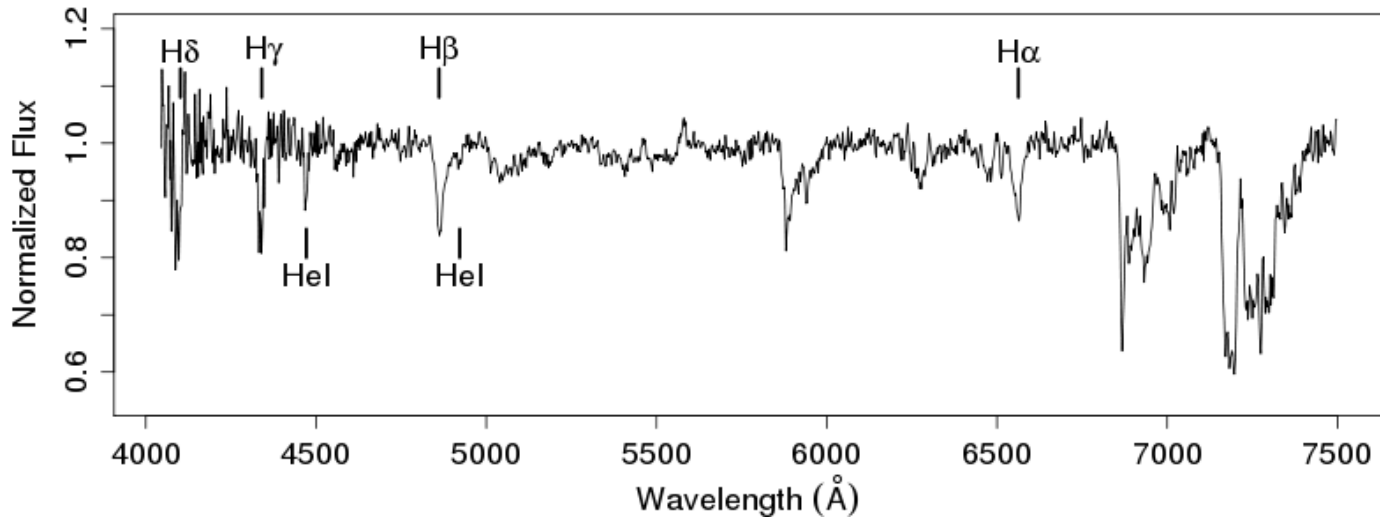
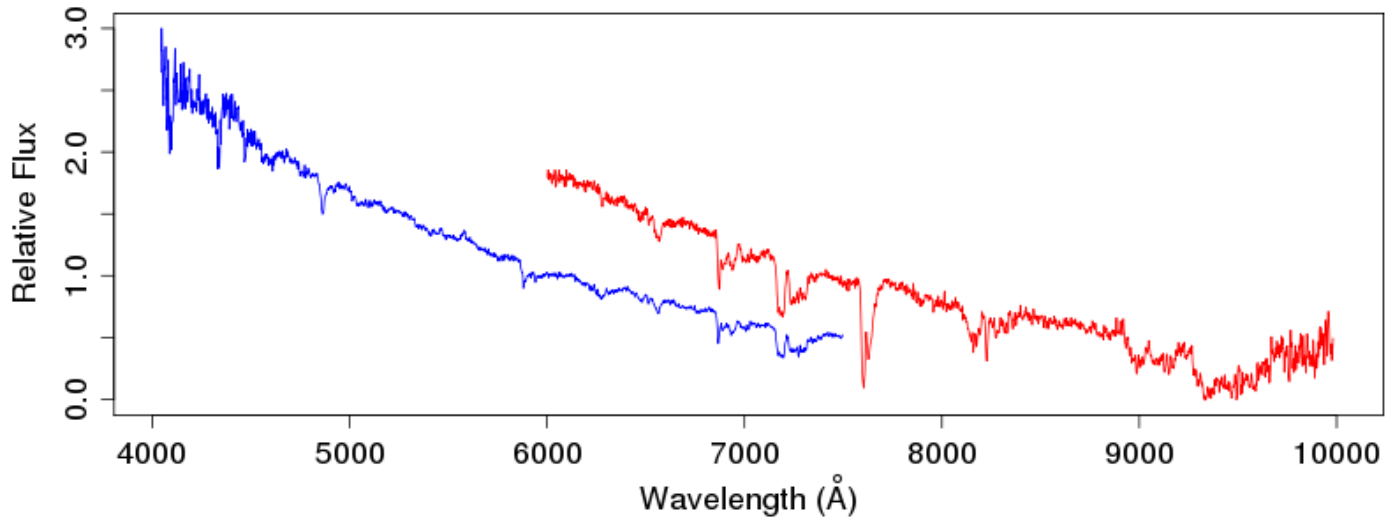
- 新星の event rate: ~ 10 新星 / 年
 - 900 時間 / 1 新星 (900 時間銀河中心を見続ければ 1 新星が起きる)
 - 1 新星 / 2-3 年 (2-3 年頑張れば、岡山から晴天夜に銀河中心が見え、そこで新星が起きる(はず))

即時観測の例: TCP J20034647+1335125

- 2020年8月15日
 - **21:06**: 西村栄男さんが発見、12.6 等
 - 24:30頃: CBAT の TOCP に投稿
 - 24:50: 田口らが投稿に気づく
 - **25:20-27:00**: リモート観測の実行
 - コロナのおかげで京大から岡山につなげるように
 - せいめいで分光 + 京大屋上 40 cm で測光
名越さん、大塚さん、磯貝さん、小路口さん、
反保さん、ありがとうございました
 - 29:11: 結果を The Astronomer's Telegram に投稿 ([Atel #13947](#))
 - 新星ではなく、矮新星という結論 (次のスライド)



即時観測の例: TCP J20034647+1335125



- スペクトルの特徴
 - 青い連続光 (降着円盤を示唆)
 - 測光でも青かった
 - Balmer や He I の吸収線
 - 増光幅: 約8.5 mag
 - 新星としては小さめ
 - 矮新星としては大きめ
- 増光幅の大きい矮新星と結論

過去のせいめい望遠鏡での新星関係の分光観測

- 2019B (7月-12月):
 - V3890 Sgr (8月28日): 29年ぶりの反復新星、前原さんが分光 ([Atel #13062](#))
 - V659 Sct (10月29日、ASAS-SN、西山さん、花島さん、西村さん、金子さん)
 - 29日: 発見 (日没直後の天体、あと 30 分早く発見情報に気づいていれば ...)
 - 30, 31日: 観測
- 2020A (1月-6月):
 - V670 Ser (2月23日、西村さん): 2月24日に分光 ([Atel #13519](#))

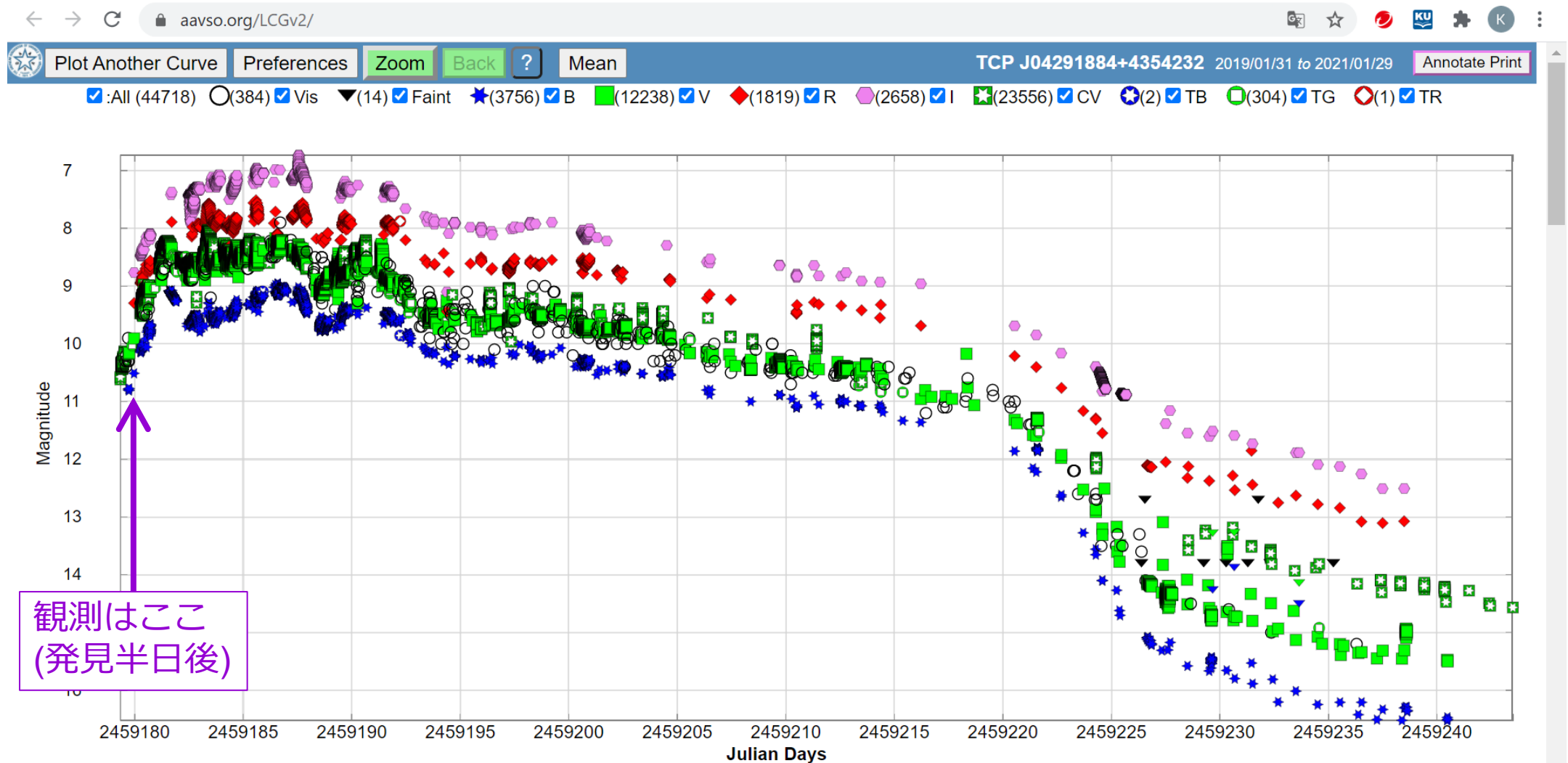
過去のせいめい望遠鏡での新星関係の分光観測

- 2020B (7月-12月): 新星候補の即日分光 (以下の赤字) には取り組みました
 - TCP J2003 (8月15日、西村さん): 21:06 に発見、25:00-27:00 に観測
 - 矮新星でした ([ATel #13947](#))
 - ASASSN-20kv (8月30日)、ASASSN-20kw (8月31日)、MASTER OT J213908.79+161240.2 (9月26日): 同様に即日分光を実施
 - 矮新星でした ([ATel #13972](#)、[ATel #13975](#)、[ATel #14042](#))
 - V1391 Cas (7月28日、Korotkiy さん、Sokolovsky さん)
 - 他所の観測によって新星と同定されました
 - 8月4日以降、長期に渡って合間時間に観測して頂きました (ありがとうございました)
 - V6593 Sgr (10月3日): せいめい望遠鏡は不調で使えず...
 - 他所の観測によって新星と同定されました
- (次のスライドに続く)

過去のせいめい望遠鏡での新星関係の分光観測

- 2020B (7月-12月): 新星候補の**即日分光** (以下の**赤字**) には取り組みました
 - **ASASSN-20om** (11月20日): M31 の新星候補として報告
 - 即日分光した結果、M31 の新星と確認 ([ATel #14204](#))
 - 次は銀河系内の新星に挑戦したい (M31 の新星は極大付近しか観測できない為)
 - V1112 Per (11月25日、上田さん): 新星 (発見は 10.6 等)
 - 報告されたのが日本の朝だったので、観測は半日後から
 - 11月26日、せいめい望遠鏡 (エンジニアリング時間 + DDT) で1晩ずっと観測して頂きました (前原さん、ありがとうございました)
 - 現在、解析中 (次のスライド)
 - **PNV J00494388+4033383** (12月2日、XOSS): M31 の新星候補として報告
 - 即日分光した結果、M31 の矮新星ではなく、銀河系内の (M31に近い方向の) 矮新星でした
- 2021A (1月-6月): 特になし

11月26日の新星 V1112 Per の分光観測結果 (解析中)

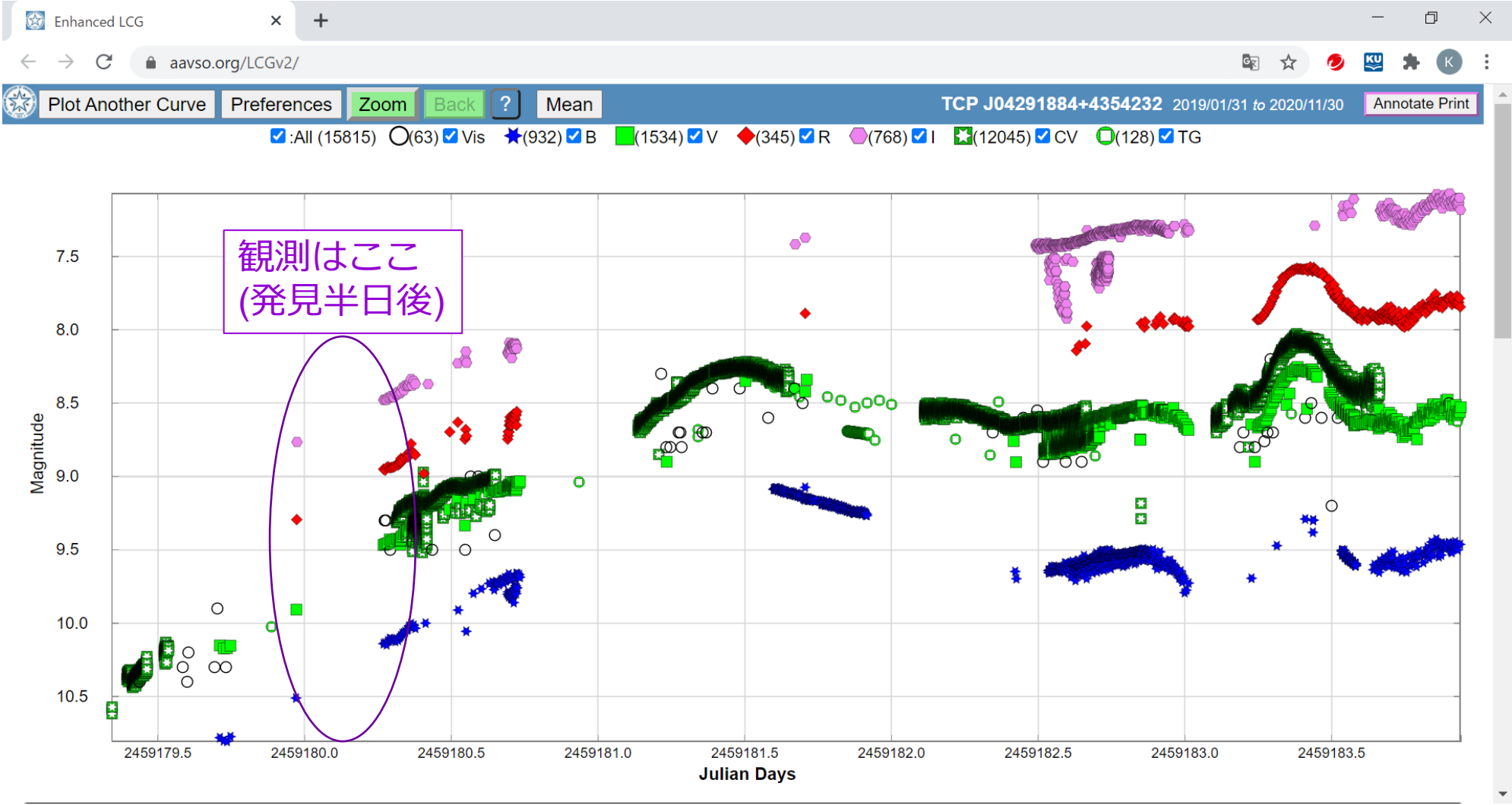


2021/1/30

連星系・変光星研究会

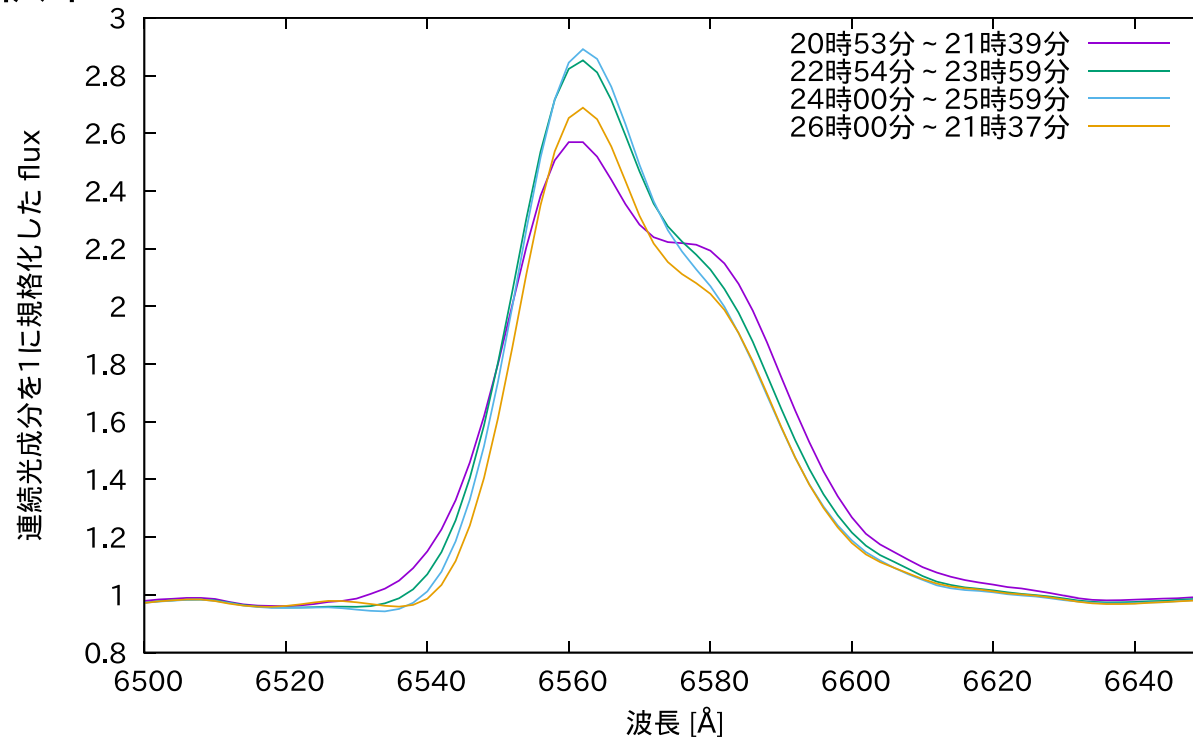
23

11月26日の新星 V1112 Per の分光観測結果 (解析中)



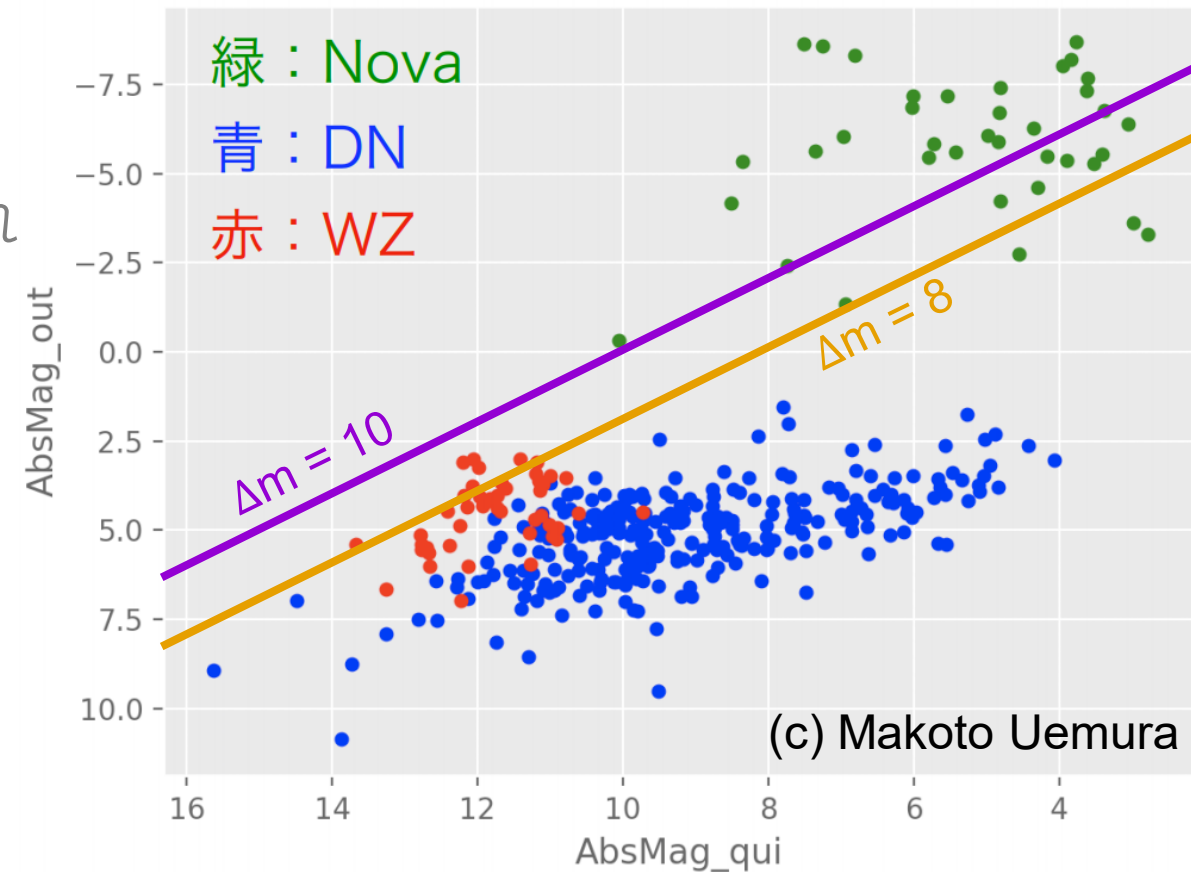
11月26日の新星 V1112 Per の分光観測結果 (解析中)

- 大島さんと同じ天体、4000-7500 Å (一例として、 $H\alpha$ の変動を示す)
 - 何か 6560 Å 付近と 6580 Å 付近に2成分ある (右側のコブは 6579 Å の C II かも?)
 - 一晩の中で微妙に変化している
 - 現在、解析・解釈中



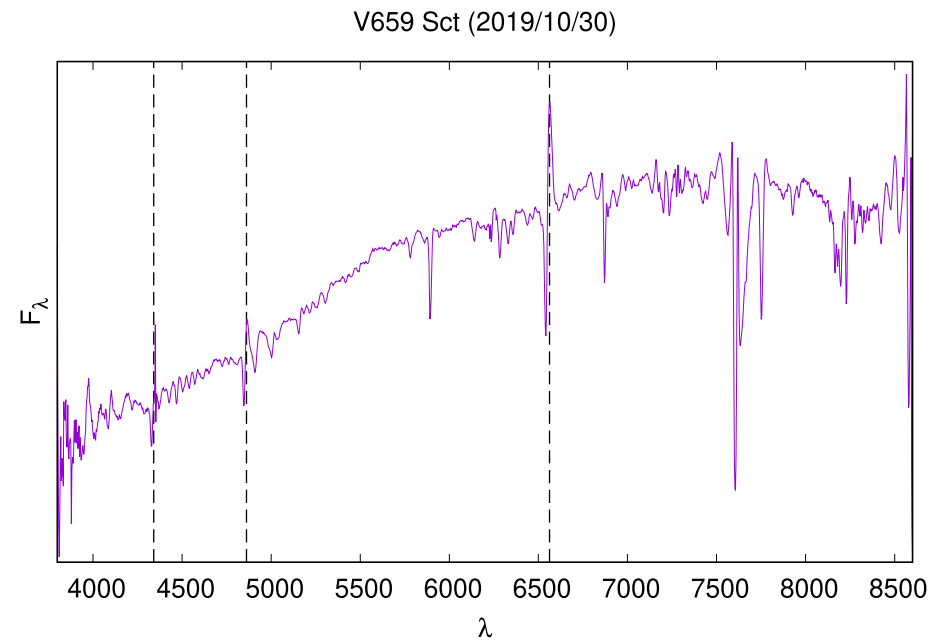
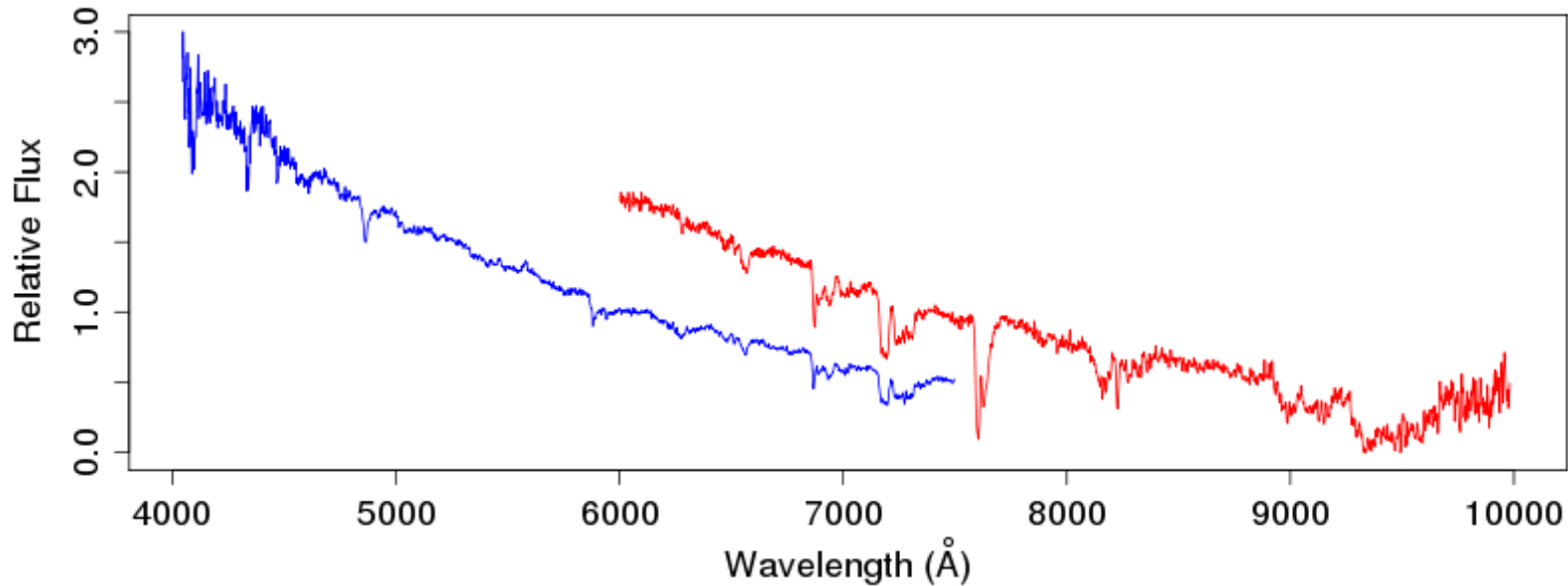
今後の課題: 矮新星との区別

- **増光幅で区別したい** (矮新星: $\Delta m_V \sim 5$ 等、新星: $\Delta m_V \sim 10$ 等)
 - ただし、 $\Delta m_V \sim 8$ 等くらいは微妙 (区別がつかない)
- その他の区別のつけ方
 - 色 (矮新星は青いことが多い)
 - 但し理論的には増光中の新星も青いと予想され
 - 位置 (新星は銀河面に集中)
 - 過去の活動性
 - 反復新星かどうか?
 - 過去に繰り返し増光を示す矮新星かどうか?
 - 天体までの距離
 - 近場のものなら年周視差が出ている?
- 矮新星以外の突発天体も区別する必要



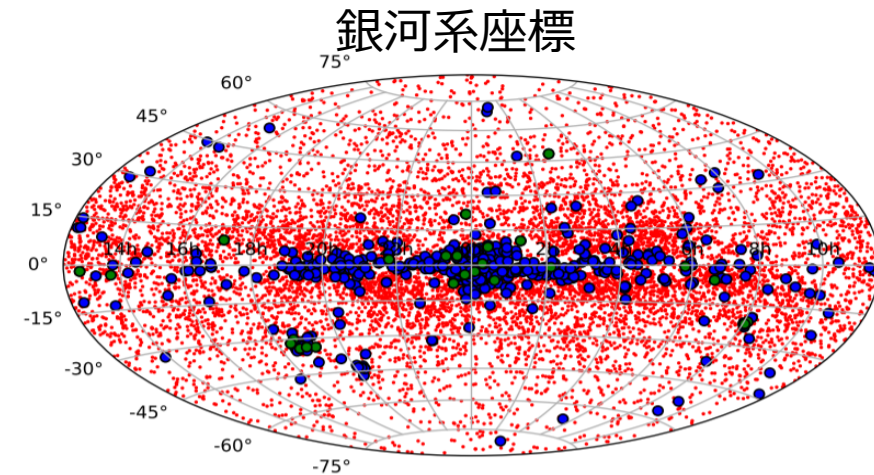
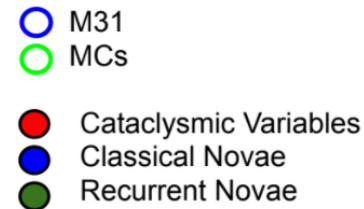
今後の課題: 矮新星との区別

- 増光幅で区別したい (矮新星: $\Delta m_V \sim 5$ 等、新星: $\Delta m_V \sim 10$ 等)
 - ただし、 $\Delta m_V \sim 8$ 等くらいは微妙 (区別がつかない)
- その他の区別のつけ方
 - 色 (矮新星は青いことが多い)
 - 但し理論的には増光中の新星も青いと予想される



今後の課題: 矮新星との区別

- 増光幅で区別したい (矮新星: $\Delta m_V \sim 5$ 等、新星: $\Delta m_V \sim 10$ 等)
 - ただし、 $\Delta m_V \sim 8$ 等くらいは微妙 (区別がつかない)
- その他の区別のつけ方
 - 色 (矮新星は青いことが多い)
 - 但し理論的には増光中の新星も青いと予想される
 - 位置 (新星は銀河面に集中)
 - 過去の活動性
 - 反復新星かどうか?
 - 過去に繰り返し増光を示す矮新星かどうか?
 - 天体までの距離
 - 近場のものなら年周視差が出ている? → 絶対等級に制限がつくかも
- 矮新星以外の突発天体も区別する必要



今後の課題: 矮新星との区別

- **増光幅で区別したい** (矮新星: $\Delta m_V \sim 5$ 等、新星: $\Delta m_V \sim 10$ 等)
 - ただし、 $\Delta m_V \sim 8$ 等くらいは微妙 (区別がつかない)
- その他の区別のつけ方
 - 色 (矮新星は青いことが多い)
 - 但し理論的には増光中の新星も青いと予想される
 - 位置 (新星は銀河面に集中)
 - **過去の活動性**
 - 反復新星かどうか?
 - 過去に繰り返し増光を示す矮新星かどうか?
 - 天体までの距離
 - 近場のものなら年周視差が出ている? → 絶対等級に制限がつくかも
- 矮新星以外の突発天体も区別する必要

今後に向けて

- ZTF などの突発天体サーベイのデータをいち早く見ることが重要そう
- フォローアップ観測に速やかに移ることも重要そう
 - 将来的には自動化とか出来ればいいですが...
- 反復新星に関しては、
 - ZTF のデータとかで新規反復新星 (過去に1回だけ爆発した天体の増光) があるかも

まとめ

- 新星の極大付近でのスペクトル
 - 光学的に厚い wind を示唆する P Cygni 型の line がみられることが多い
- Arai et al. (2015)
 - 反復新星 T Pyx を増光中に分光した例
 - Wolf-Rayet 星のような輝線スペクトルを示した → P Cygni 型の line は後で登場
- 京都大学 3.8 m せいめい望遠鏡を用いた新星 (候補) の ToO 観測を計画中
 - 候補が見つかったら直ぐに向ける！
 - 2020年下半期は、矮新星を含め何天体か「その日のうちに分光」が出来るように
 - 体制が整いつつあるのが大きい (コロナ対策で京都からリモート観測できるように)
 - 今後は矮新星と新星の区別などの精度を高めていきたいです
 - ですが、「明るい矮新星」と「暗めの新星」はいくらか被るので、仕方ない所もある
- **新星候補を見つけたら、ご連絡よろしくお願い致します！**