

話題提供2: 新星の爆発初期観測から何が分かるか?

2011.11.14 第3回新天体搜索者会議

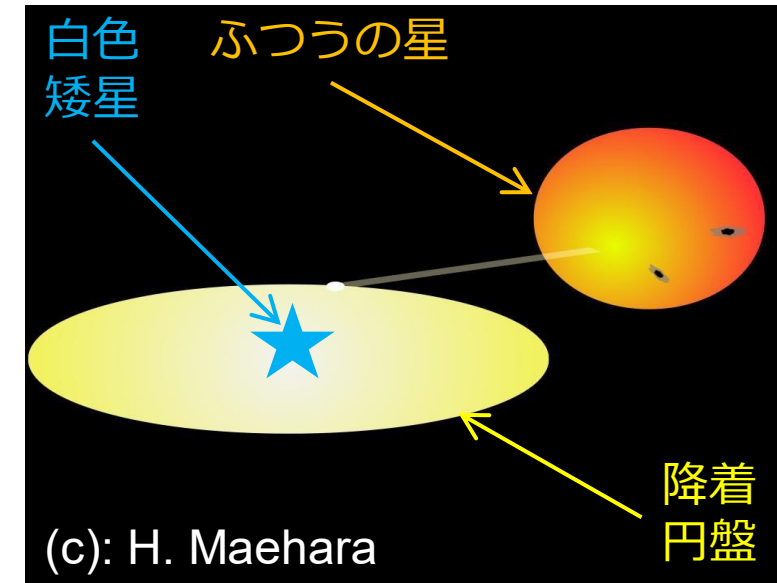
田口健太 (京都大学 宇宙物理学教室 博士課程 2 回生)

自己紹介

- 田口健太です
- 京都大学宇宙物理学教室・博士課程2回生(大学院生4年目)
 - 研究室は超新星グループ
 - せいめい望遠鏡で新星を観測したりしています
 - 超新星/矮新星グループや前原さん、他の京都/岡山の皆さんに手伝って頂いています
 - 「新星グループ」が京大にはないので、超新星グループと矮新星グループのはざまにいます。
- 「新星の初期」に限定して、自分の興味ある話をざっくばらんにします

新星とは (概要)

- 新星: 白色矮星と「ふつうの星」 (伴星、晩期型星) の連星系で起こる現象
 - ふつうの星 (太陽など): 水素を豊富に持っており、核融合反応で水素を燃やして輝く
 - 白色矮星: 「ふつうの星」の燃えカス (燃料が尽きている)
- 「ふつうの星」から白色矮星に水素ガス (燃料) が移動
→ ある程度溜まると**一気に燃え (熱核暴走反応)、とても明るくなる**
- Ia 型超新星・矮新星との違い
 - Ia 型超新星:
 - 白色矮星が (大体) チャンドラセカル限界質量に到達し、白色矮星**全体が爆発**
 - 「白色矮星 + 伴星から質量降着」説と「白色矮星同士の合体」説がある
 - 新星: 表面に降着した水素ガスのみが燃焼
 - 白色矮星本体は壊れない、
 - 矮新星: 降着円盤が明るくなる (核燃焼はしない)





特に興味深いと思う最近の初期観測例

T Pyx (2011)

- 2011-04-14.2931 UT: 発見
 - 反復新星のため、密に監視観測されていた
- 04-14.48 UT: 増光途上に分光@京産大
 - Wolf-Rayet 星の様な高温の輝線が見られた
 - 吸収成分は見られず

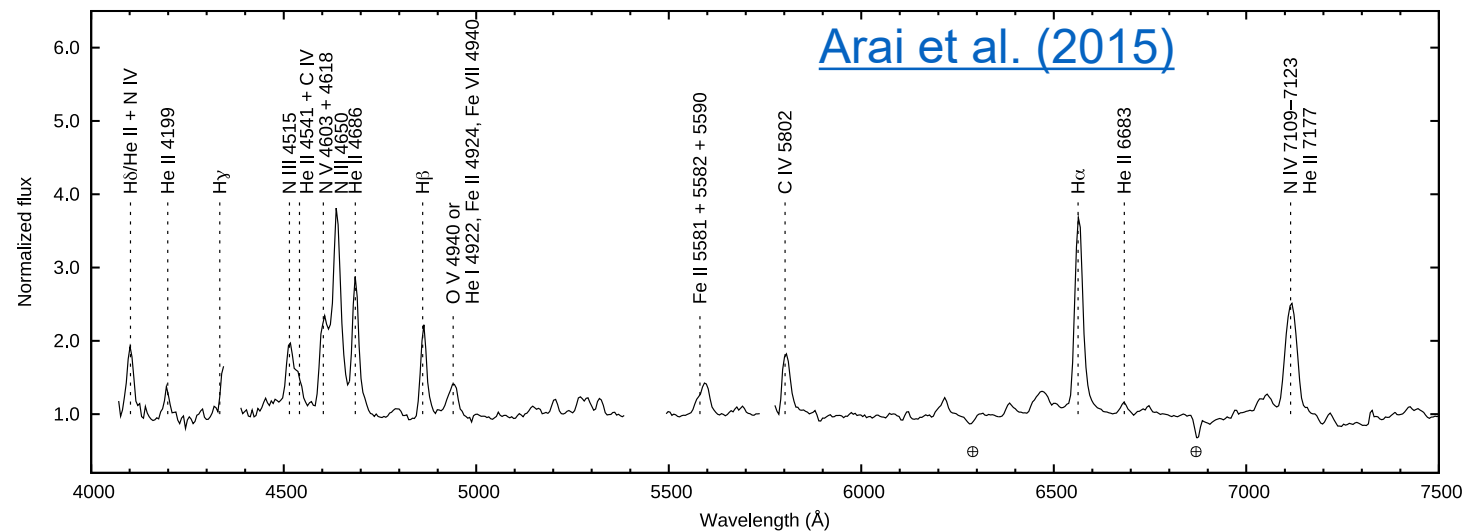
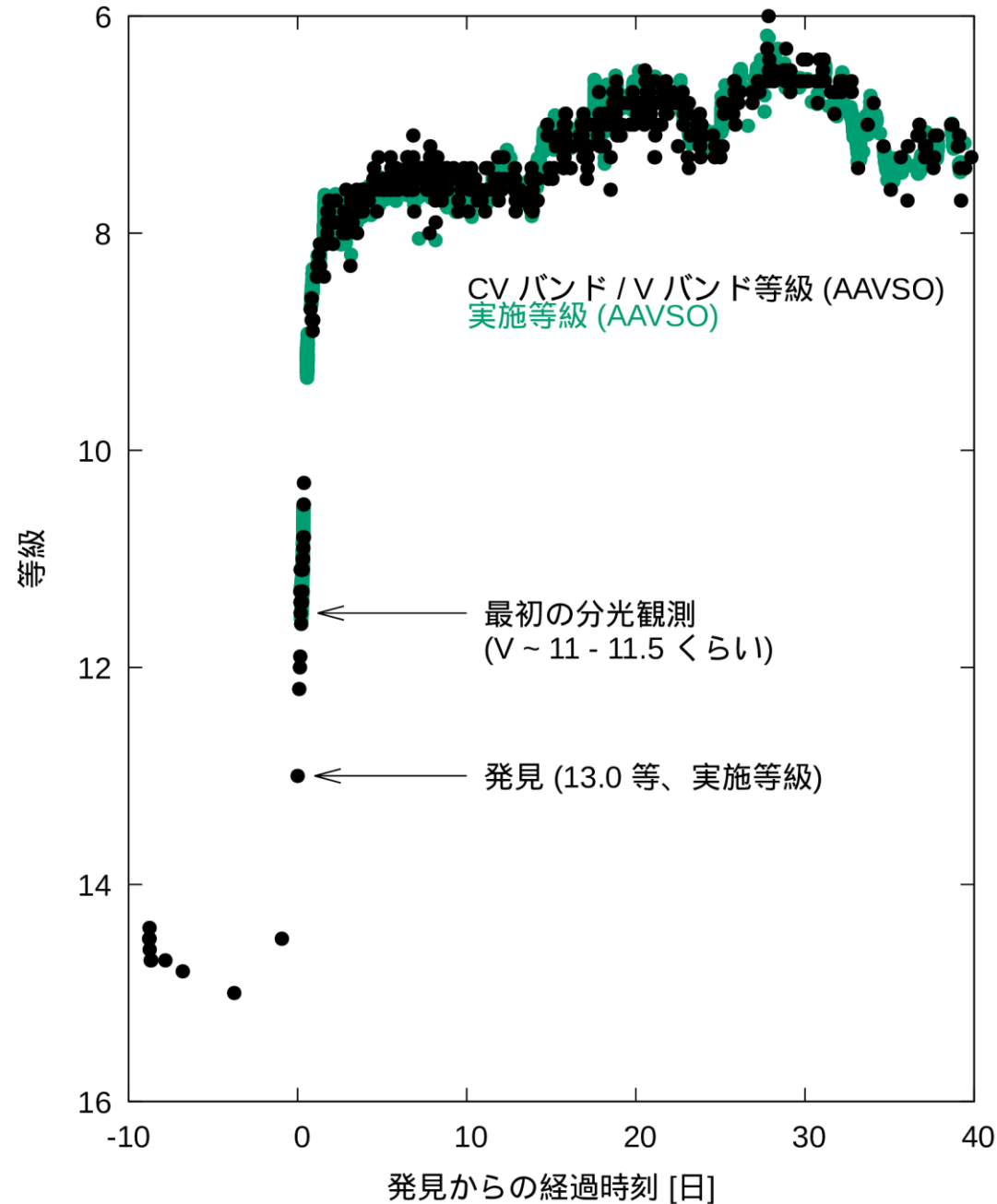
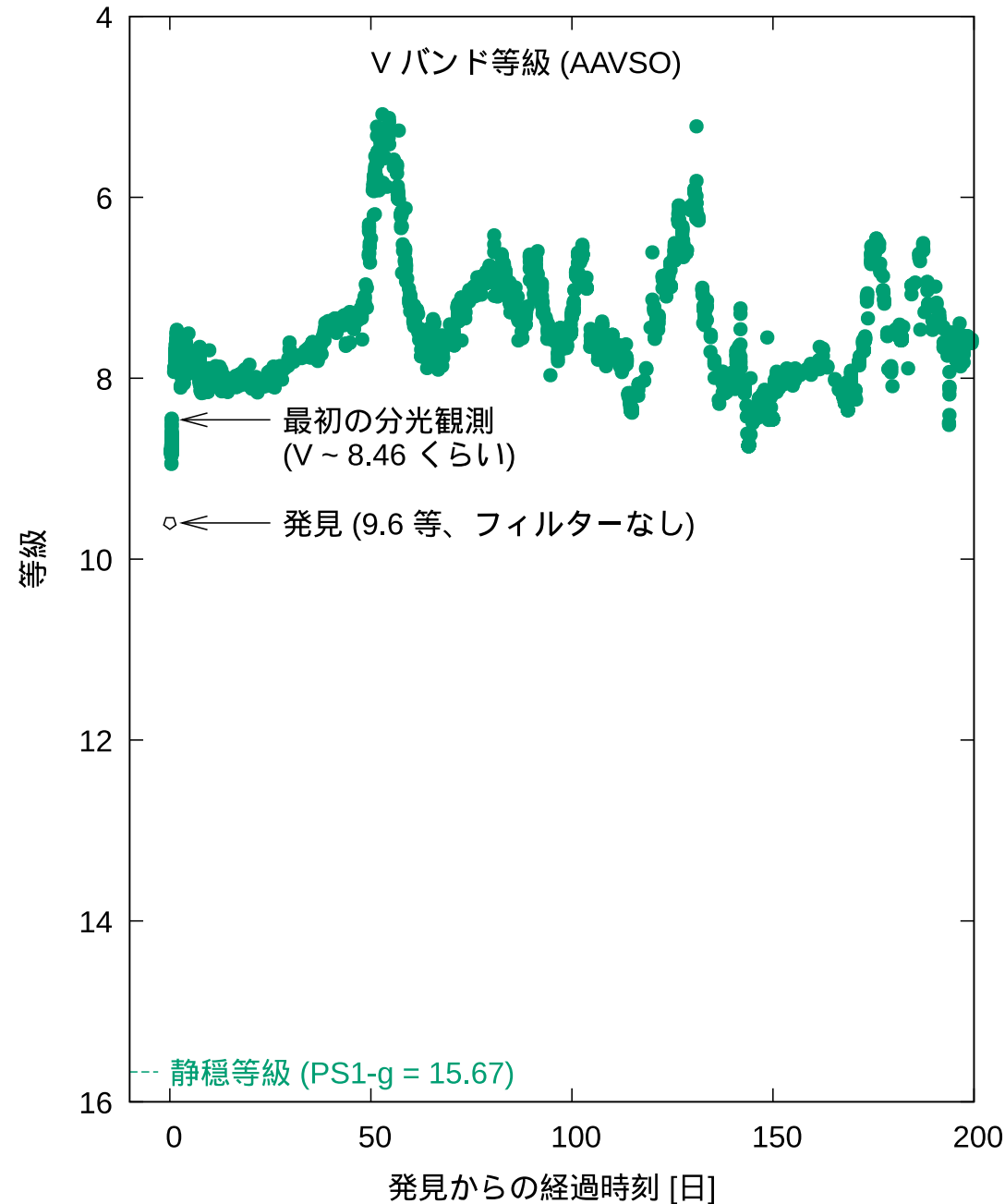


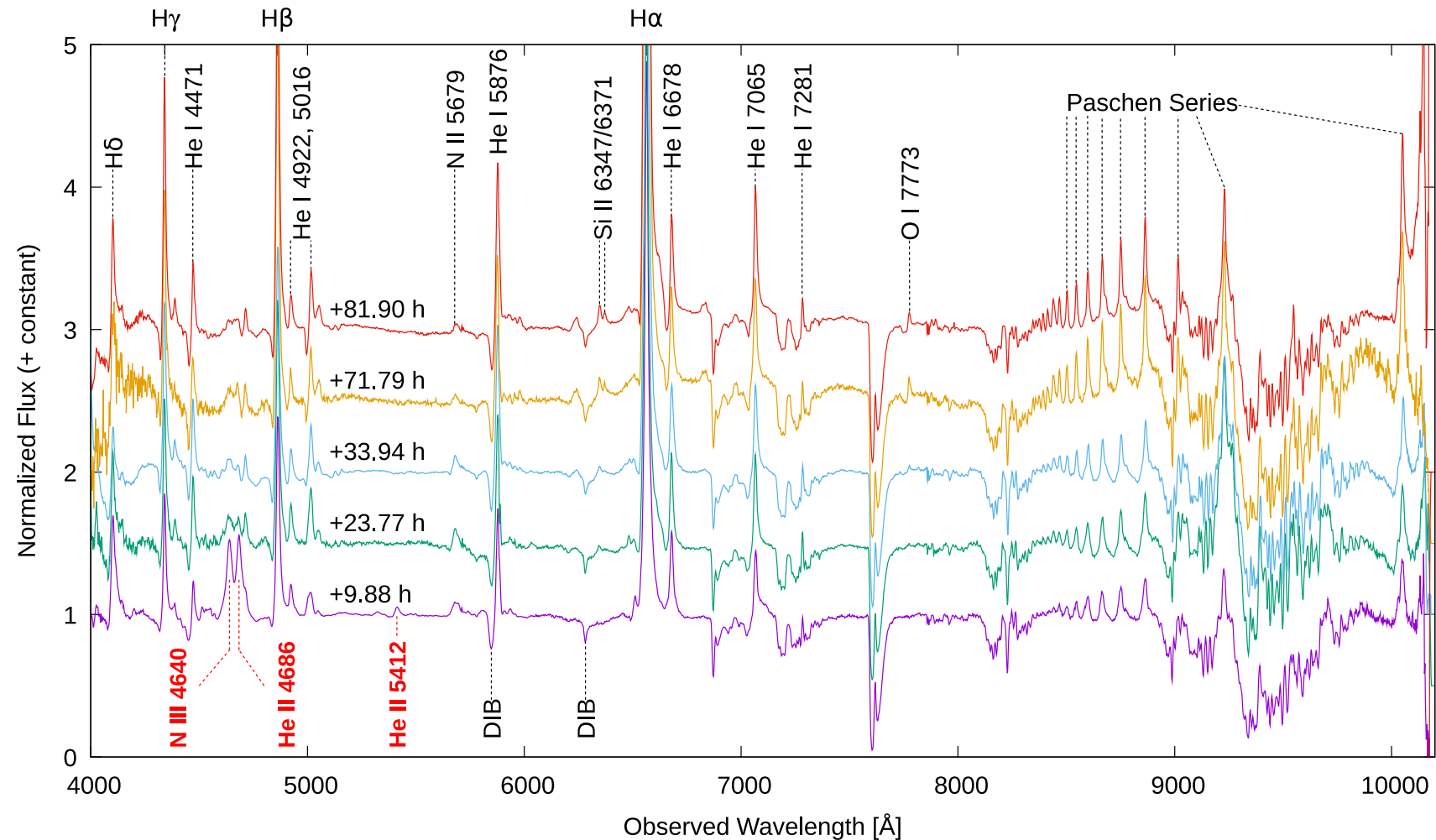
Figure 2: First spectrum of T Pyx on $t = 0.19$ d. The highly excited emissions were detected likely to Wolf-Rayet stars. Cross circles denote positions of telluric absorption bands.

V1405 Cas



- 2021-03-18.42 UT:
 - 中村祐二さんによる発見。9.6 等。
- 2021-03-18.82 UT ~ 18.85 UT
 - せいめい望遠鏡による分光
 - [大島修さん](#)も同時間帯に分光
 - 京大屋上で同時間帯に測光。V ~ 8.46 等。
 - 急増光期の分光観測！
 - He II や N III などの高階の輝線
 - Balmer 線などは吸収成分あり
- その後は 6 ~ 8 等くらいを推移

新星 V1405 Cas の最初期のスペクトル変化



- 発見 9.88 時間後のみ、He II や N III が検出
 - He II: 1階電離をしたヘリウムイオン
 - N III: 2階電離をした窒素イオン
 - 新星では、これらは通常観測されない
- これらのスペクトル線は、9.88 時間後が極めて高温だったと示唆する

反復新星 RS Oph の例

- 2006 年以來、15 年ぶりの新星爆発
- 爆発直後の分光観測のみ、「細い輝線」
 - 低速度の物質が周囲に存在している?
- この新星は、「共生」新星
 - 伴星は赤色巨星 → 低速度の星風が出ている
 - 爆発で広がる物質によって飲まれる前の星風が見えている可能性がある

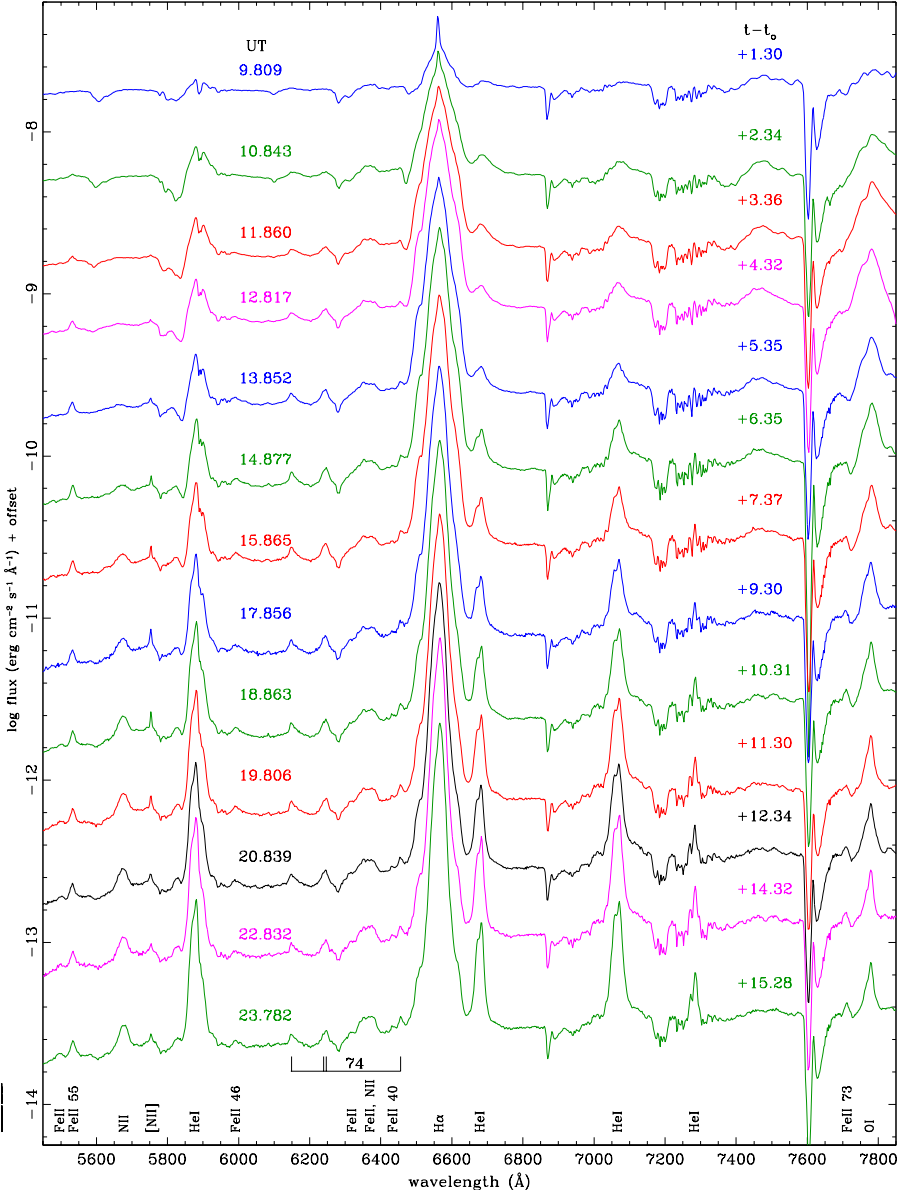


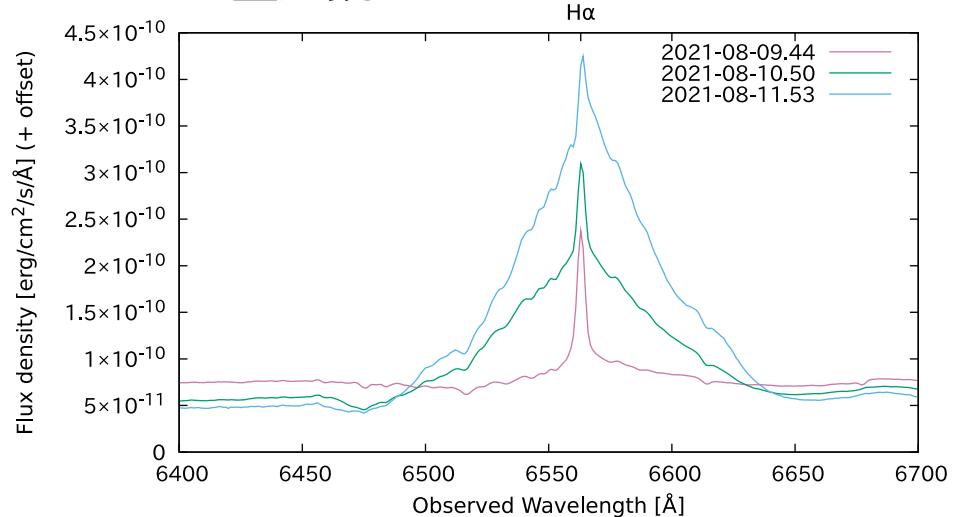
Figure 3: An expanded view of the 5450-7850 Å interval for the same spectra of Figure 1. The logarithm of the flux is adopted as the ordinates and a shift is applied to avoid overplotting.

[Munari & Valisa \[arXiv:2109.01101\]](https://arxiv.org/abs/2109.01101)

2022/11/14

第3回新天体搜索者会議 (田口@京都大学)

せいめい望遠鏡 RS Ophiuchi (through clouds)



理論的にはどう解釈されているか？

[Spectral Class \(weebly.com\)](http://weebly.com)

Type	Absorption lines	Temperature	Example
O	(H I, He I,) He II, N III, O III, Si IV	> 30000	
B	H I, He I, O II, Si III	> 10000	Orion's Belt
A	H I, Mg II, Si II, (Fe II, Ti II, Ca II)	> 7000	Sirius
F	H I, Ca II, Fe I, Ti I, Fe II, Ti II	> 6000	Procyon
G	(H I,) Ca II, Fe I, Ti I, etc., CH	> 5300	Sun
K	Ca II, Ca I, etc., TiO	> 4000	Arcturus
M	Ca I, TiO, etc.	> 2000	Betelgeuse

- 明るくなっている途中の新星
 - 全光度 (= 赤外 + 可視 + 紫外 + ...) L は Eddington 光度 L_{Edd} で一定
 - 外層が膨張中・光球半径 R が増大中
 - **有効温度 T が低下中** (Stefan-Boltzmann の法則: $L_{\text{Edd}} = 4\pi R^2 \sigma T^4$)
 - **輻射の中心が X 線 → 紫外 → 可視光と移る** → 可視光で明るくなる
 - V1405 Cas は増光中のみ高温の輝線が検出された！
 - He II (1階電離したヘリウム), N III (2階電離した窒素) などは O 型星の輝線
 - T Pyx は V1405 Cas よりも初期段階にあった
 - より高温 → 電離階数の高い N IV (3階電離した窒素), C IV (3階電離した炭素) などの輝線
- (現在、論文執筆中...)
- **初期に分光すれば、「爆発前に存在した」物質を調べることが可能 (かも: 次スライド)**

参考: 超新星の“Flash Spectroscopy”

Khazov et al. (2016)

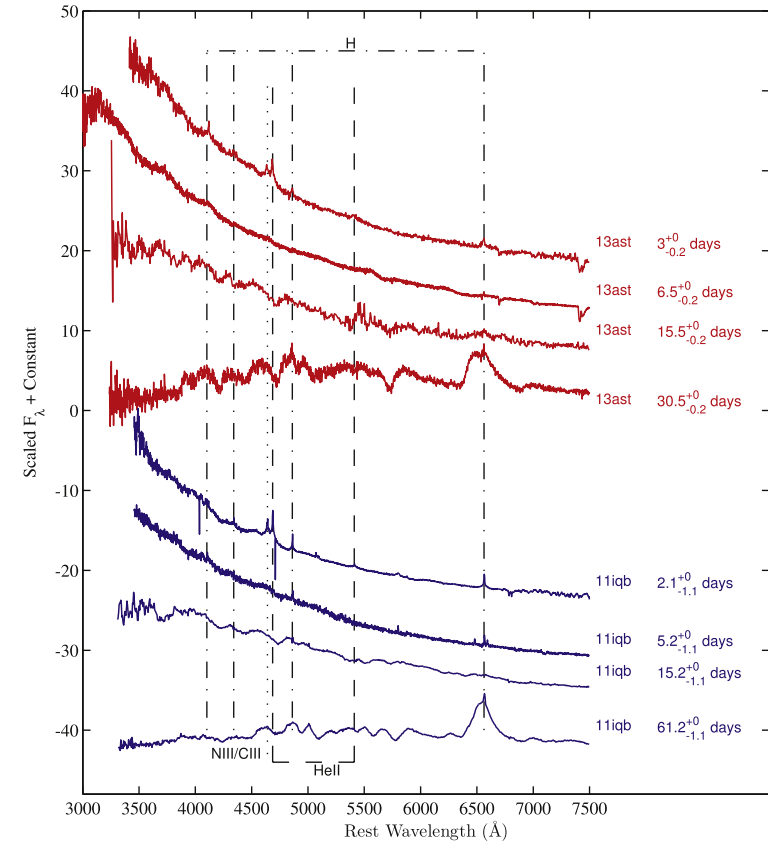
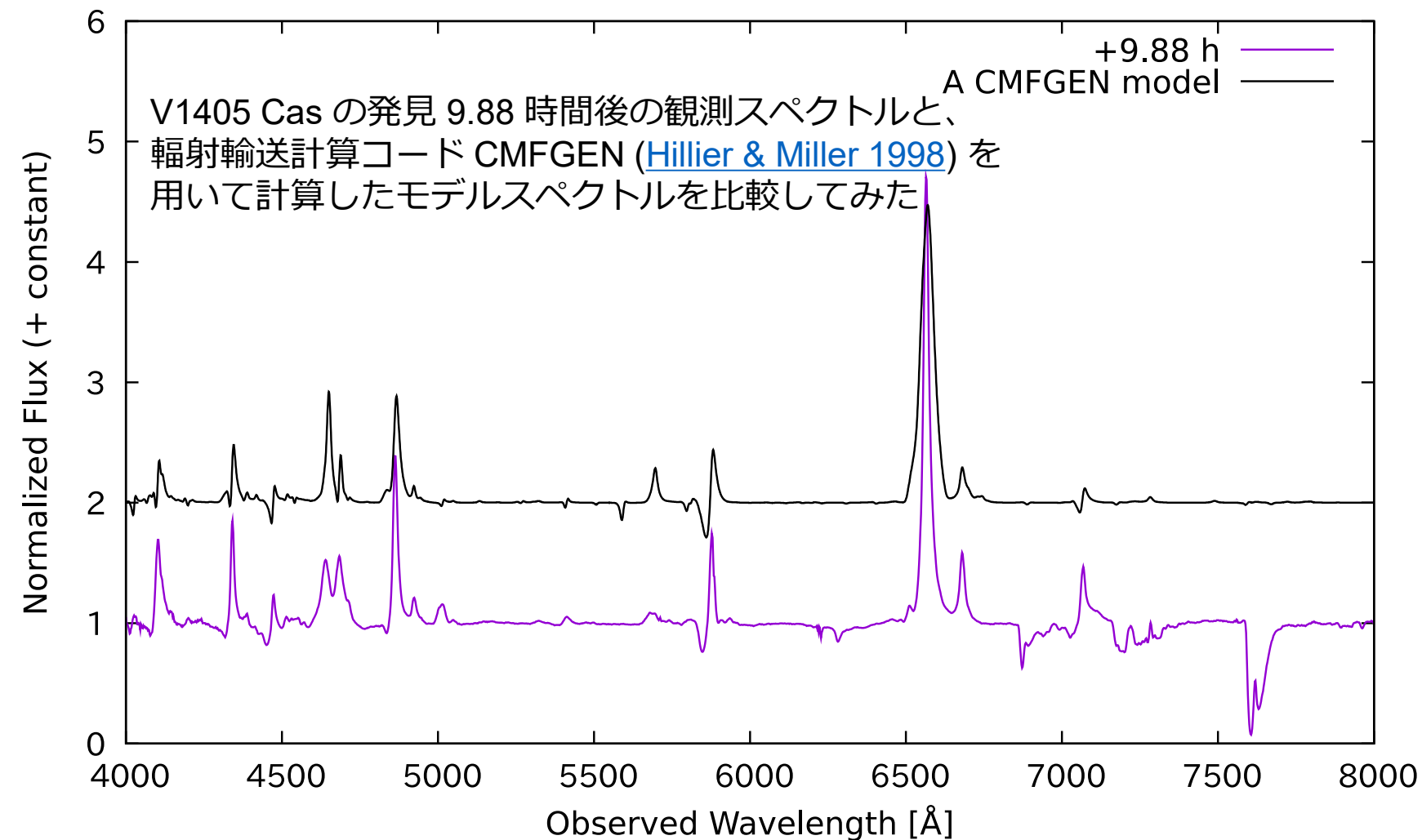


Figure 2. Spectral evolution of two of the FI events. The emission lines disappear within a few days, and P Cygni line profiles develop over time. These well-observed objects would be classified as FI if found prior to day 3 and as BF if found around day 5, demonstrating the evolution of SNe II, and why our measured FI fraction is only a lower limit on the true frequency of SNe having dense CSM. Data from Gal-Yam et al. (2014) and Smith et al. (2015).

- (重力崩壊型) 超新星でも、最初の数日間で、似たスペクトル進化を示す物があると報告されている
 - 最初はとても細い輝線
 - Shock-breakout で出た電離光子が周囲を電離 → 再結合の細かい line が形成される
 - その後、細い輝線は消え、P Cygni profile が発達する
 - 爆発する星本体が太いスペクトル線を形成する
 - 細い輝線は長くても 10 日以内に消える
 - 細い輝線が消える前に分光すれば、周囲の物質を調査できる (というような研究が超新星では最近の 1 つの流行り)
- 新星でも、最初の 1 日以内で発見・分光できれば、原理的には星周環境調査が出来る (はず)

スペクトルモデリング



• 輻射輸送計算

• 系に存在するガスの

- 密度
- 速度
- 組成

を仮定しスペクトルを
モデル計算で予想する

→ 観測とモデルを比較
して、ガスの量・組成
などを推定できるかも

• V1405 Cas (9.88 h)

- 似ている?
- 似ていない??



今後の観測に向けて

矮新星・新星・超新星の比較 (どういう天体が新星っぽい?)

• 絶対等級など

- 超新星: 物にもよるが -15 ~ -21 とか (銀河 1 つ分の明るさ) → **銀河系外** (銀河系内は 100 年に 1 回?)
- 新星: -6 ~ -9 くらい → **銀河系内 + M31**
- 矮新星: 2 ~ 5 くらい? → 銀河系内。特に近場。

• 増光幅

- 超新星: 8等以上? (SN 1987A などを除き、爆発前の天体は殆ど捉えられていない)
- 新星: 典型的には **7 ~ 10 等**くらい
 - ただし、爆発前の天体が暗ければ、7 ~ 19 等くらい明るくなることもある。
- 矮新星: **2 ~ 8 等**くらい?

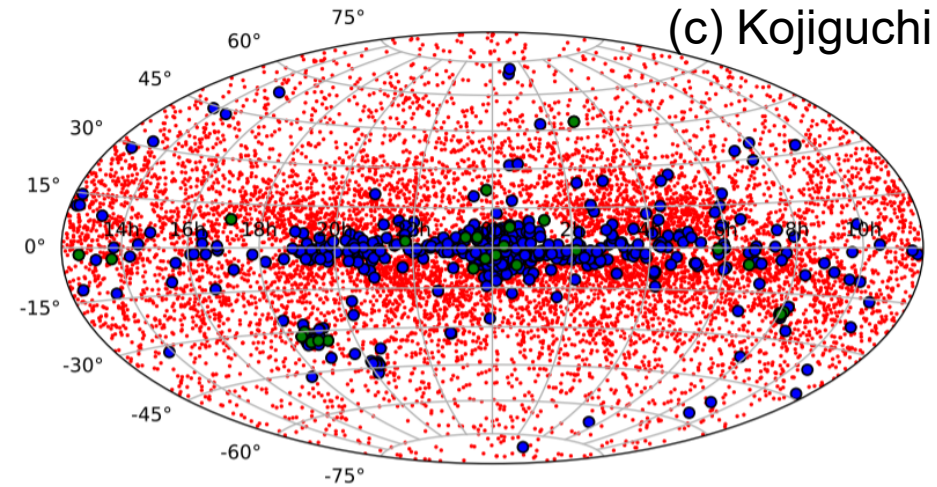
• 爆発周期・発見頻度

- 超新星: 1度きり。銀河系では 100 年に 1 回とかの頻度。毎日のように見つかる。
- 新星: 反復新星 (RS Oph など) はごく一部。大部分は 10^3 年やそれ以上。年間 10 ~ 30 天体発見。
- 矮新星: 数日 ~ 数十年くらい? 毎日のように見つかる
 - ただし、爆発間隔が長い WZ Sge 型矮新星は、増光幅が最も大きく、新星と紛らわしくなる

新星の出現位置

- **ほとんどが銀河面付近に集中**
 - 矮新星よりも銀河面・銀河中心に集中する
 - 銀河中心は減光が激しい
 - 最近では赤外線で見られる (reddened novae) ことも

矮新星, 新星, 反復新星の
出現位置 (銀河座標)

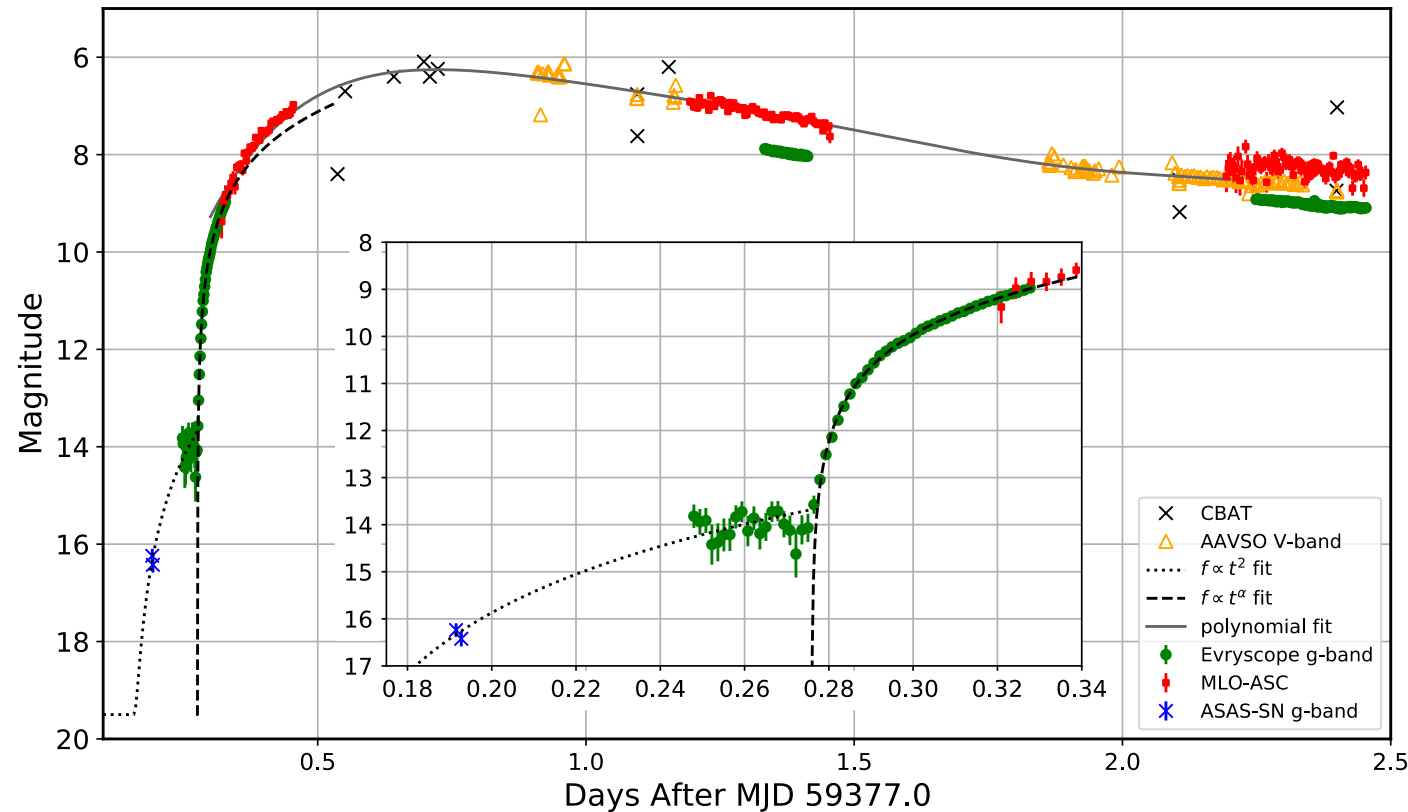


- 銀河中心を見続けた場合
 - 日本から夜間に銀河中心が見える時間: ~ 300-400 hours / year (晴天率 1/3 くらい)
 - Nova rate ~ 10 novae / year → 1 nova / 900 hours (900 h 銀河中心を見れば 1 nova くらい出るはず)
 - **2-3 年頑張れば、夜間の中に増光中の新星を見つけられるかも** (暗い新星を含めると、もう少し上がるかも?)

新星 V1405 Cas の例

- 爆発前: 15.67 等 (Pan-STARRS g)
- 発見: 9.6 等 (unfiltered)
- Gaia で年周視差が分かっていたため、絶対等級が分かった
 - 距離: 1.69 ± 0.07 kpc ($m - M = 11.13$)
 - 爆発前の絶対等級: 4.5 等くらい
- 発見時の絶対等級: -1.5 等くらい
 - 矮新星というには明るすぎる
 - 新星というには暗いが、明るくなる途中の新星としては「それっぽい」

新星 V1674 Her の 2 分 cadence の light curve (Quimby et al. [\[arXiv:2107.05763\]](https://arxiv.org/abs/2107.05763))



- 限界等級 14 等で 2 分 cadence の 全天サーベイをしたら写ってた
- 初期のこんなに 詳細な light curve は極めて珍しい
 - 5本の指に入る程、進化の速い新星だった

Figure 1. The complete light curve of V1674 Her based primarily on our preliminary Evryscope and ASC observations. The data have been augmented by photometric measurements from the AAVSO, CBAT and ASAS-SN. The Evryscope observations reveal pre-maximum plateau, lasting for ~ 3 hr, that is highlighted in the insert. Details of the various symbols and fits to the light curve are given in the figure legend.

- **但し「発見」は同観測で出来ず**

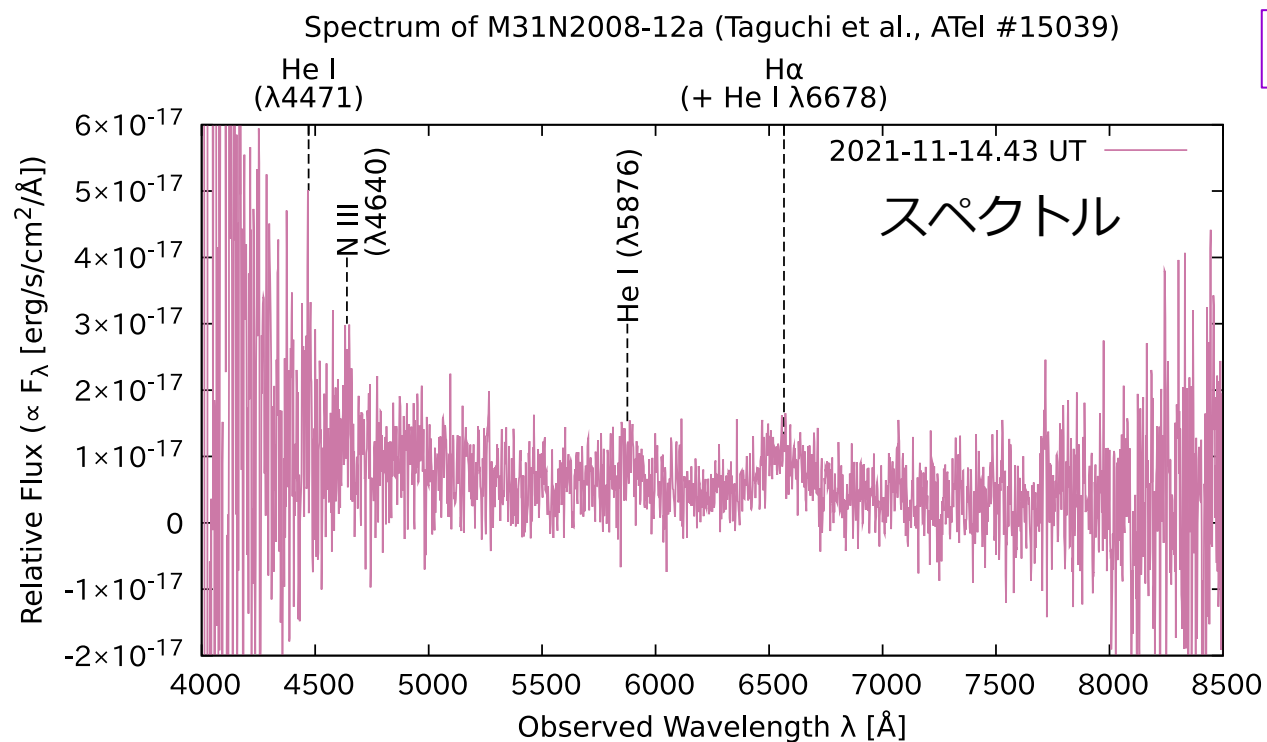
まとめ

- 新星を「なるべく早く」分光したい
- 増光途中の新星は、高温であろうと考えています
 - そして、みるみる温度が減少していく途中であると考えています
- 超新星とも共通ですが、「爆発による放出物質」に飲み込まれる前の、「爆発前から存在していた物質」を観測できるかも
- CBAT に載せて下さってもいいですが、並行して田口にも一方頂ければ、(起きていれば) すぐに対応できるかもしれません
 - 田口が京大を卒業するのは 2023 年 3 月 (予定) なので、それ以降は誰か...

という話をしたら、即日新星が...

- M31N2008-12a

- 毎年のように爆発するという、新星の中でも特異な天体
- 夕方 1 番に板垣さんが報告 → 即座にせいめいで観測を実行！



新星はこれ

せいめい望遠鏡で撮った画像
(簡易的に 3 色合成してみました)

