



京都大学
KYOTO UNIVERSITY



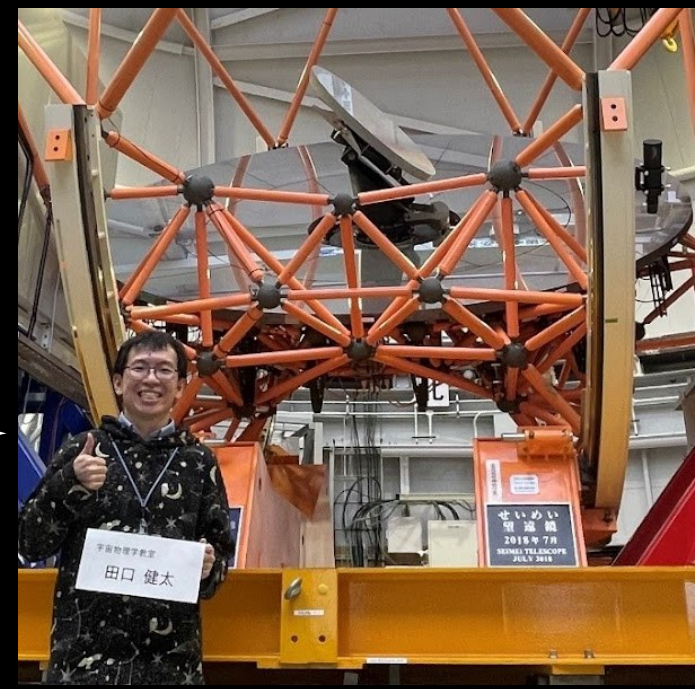
京都大学大学院理学研究科附属天文台

岡山天文台

せいめい望遠鏡を用いた新星の観測

2025-09-04 田口健太
(京都大学宇宙物理学教室・岡山天文台)

English Below



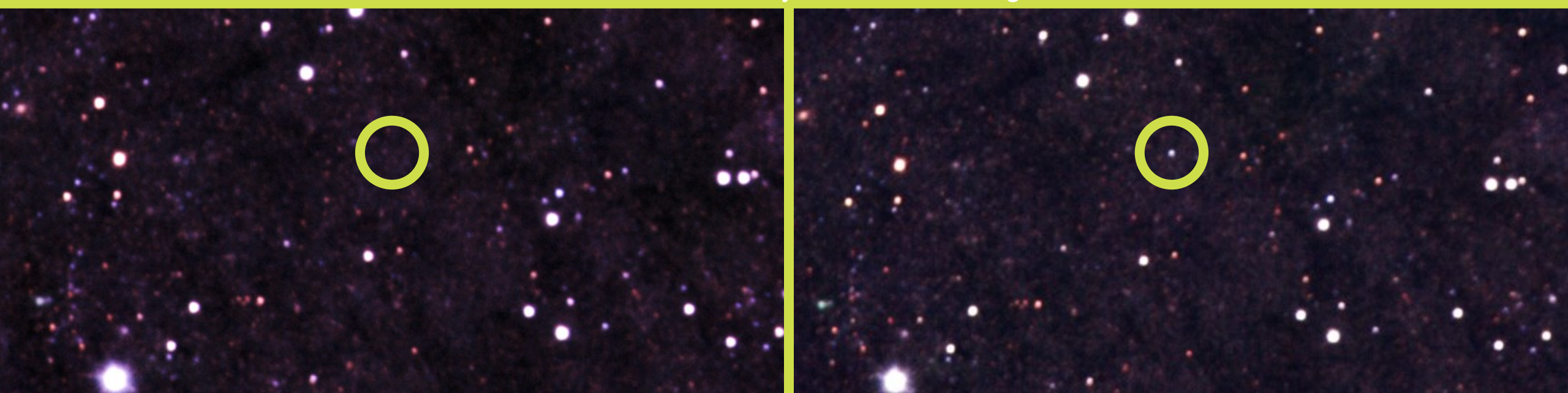
(古典) 新星、新星爆発 (nova、複数形は novae)

- ラテン語で “nova” は “new star” の意。
- **新しい星が突然出現したように見える (殆どの場合、数時間 ~ 1 日で増光)**
 - その後はゆっくり減光する (数週間 ~ 数年くらい)
- 宇宙物理学的には、白色矮星表面で発生する突発天体現象だとされる。

2023-11-04

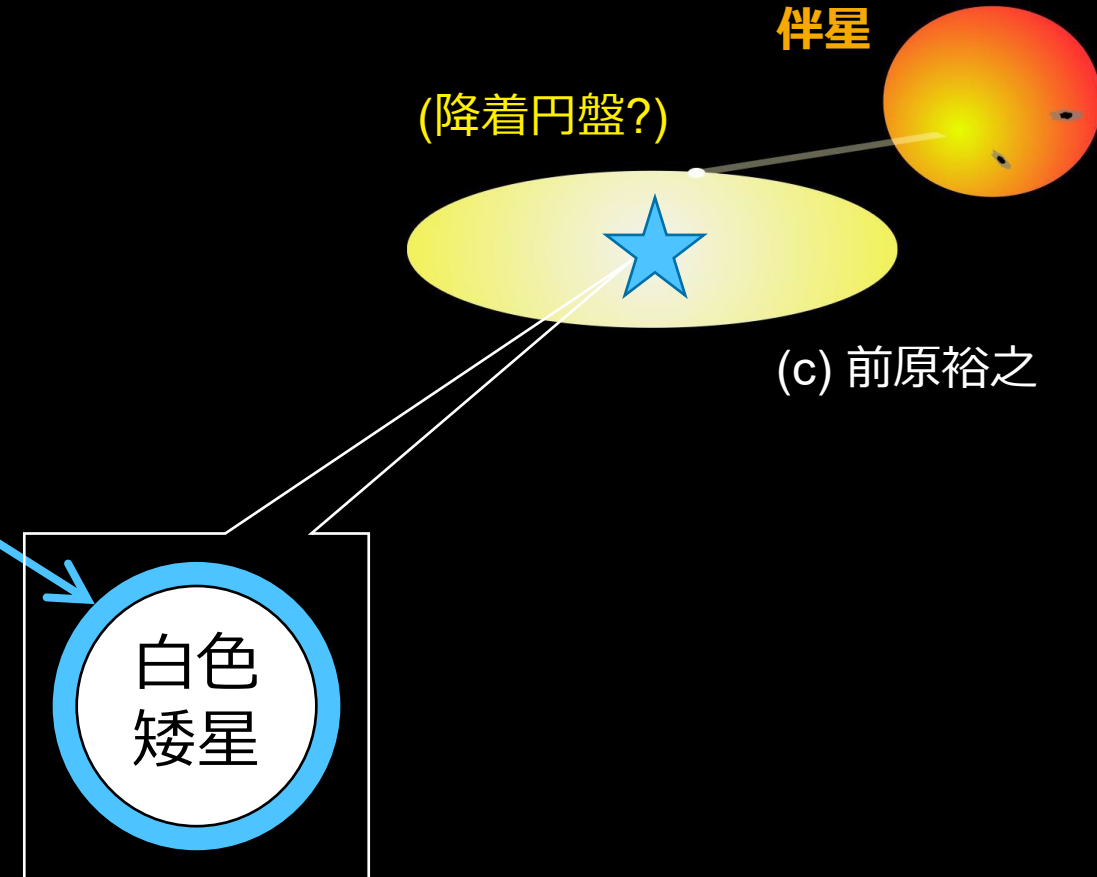
M31N2008-12a by Seimei/TriCCS g/r/i

2023-11-14



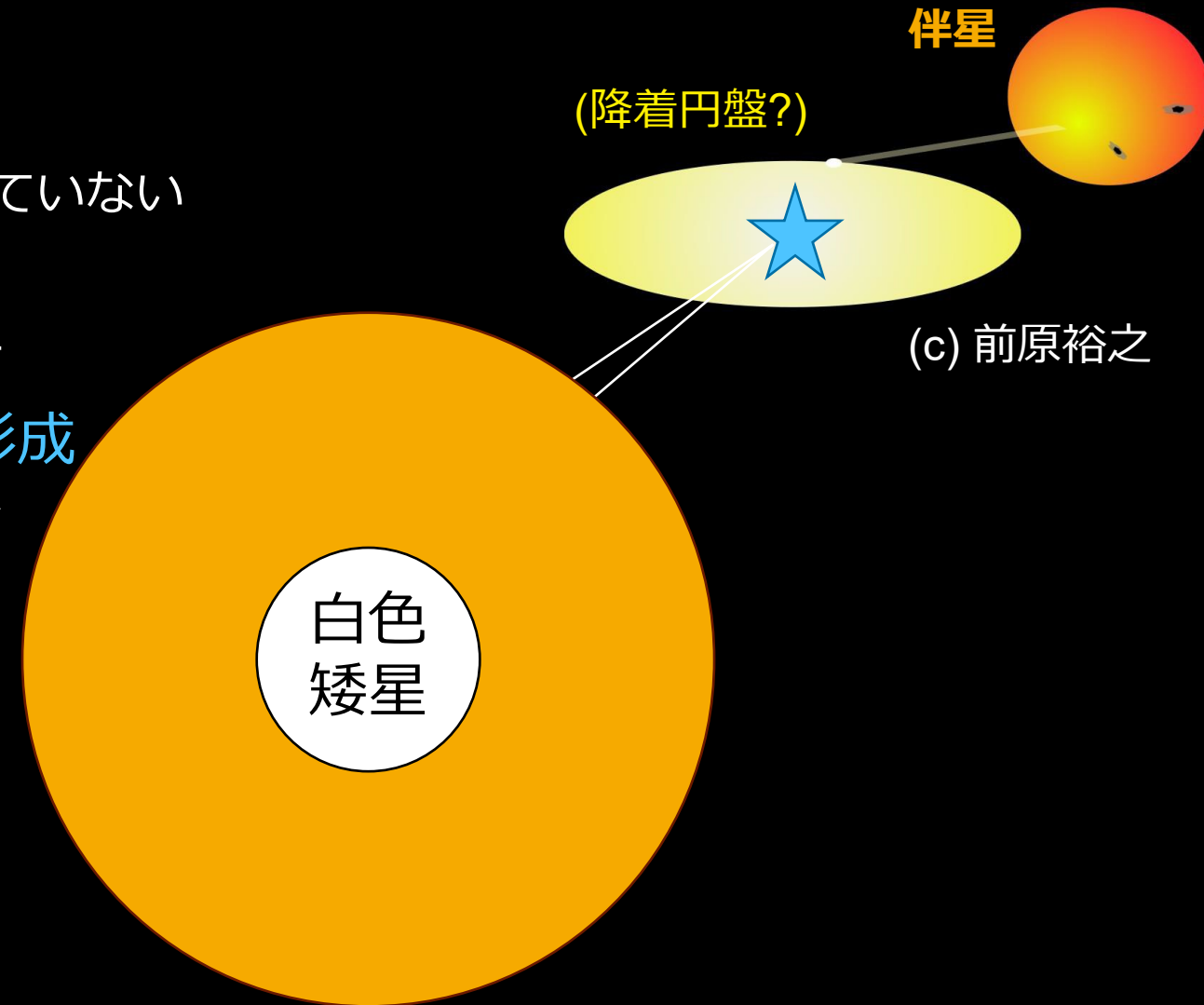
新星爆発のメカニズム: 熱核暴走反応

- 近接連星系
 - **白色矮星 (主星)**
 - 水素を燃やし尽くした → 核融合反応はしていない
 - **晩期型星 (伴星)**
- 水素ガスが伴星から白色矮星に降着
 - 白色矮星表面に**水素に富んだ表層を形成**
- 伴星からガスが降着すればするほど
 - 水素層の密度が上昇
 - **白色矮星表面で核反応が復活**
 - **熱核反応が暴走する**
 - 爆発して明るくなる



新星爆発のメカニズム: 熱核暴走反応

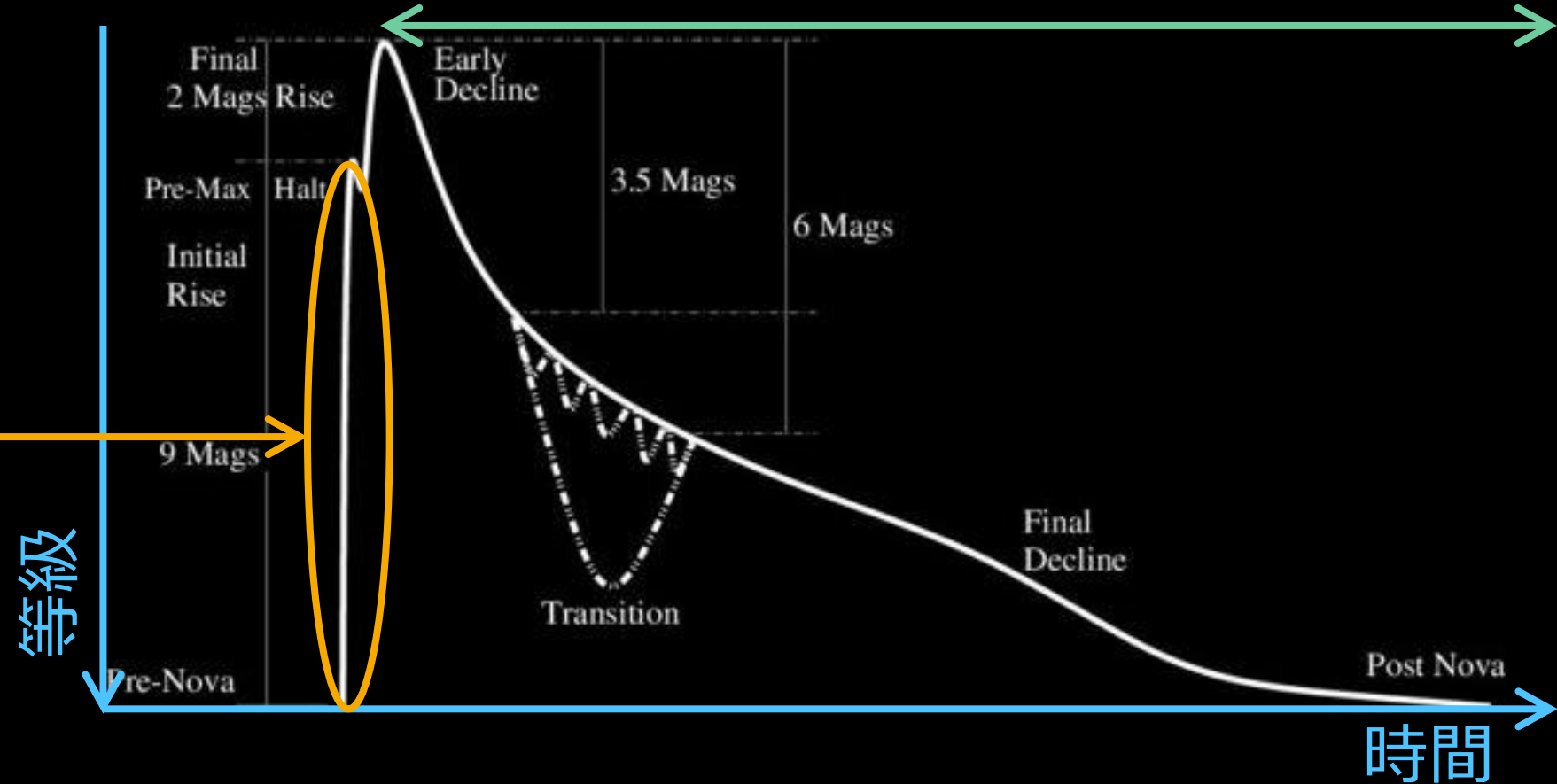
- 近接連星系
 - **白色矮星 (主星)**
 - 水素を燃やし尽くした → 核融合反応はしていない
 - **晩期型星 (伴星)**
- 水素ガスが伴星から白色矮星に降着
 - 白色矮星表面に**水素に富んだ表層を形成**
- 伴星からガスが降着すればするほど
 - 水素層の密度が上昇
 - **白色矮星表面で核反応が復活**
 - **熱核反応が暴走する**
 - 爆発して明るくなる



典型的な新星の光度曲線 (Bode & Evans 2008)

数週間 ~ 数年で減光

急増光 (≥ 7 mag):
数時間 ~ 数日



HR 図上での新星の初期進化

• 理論的な説明

1. 核反応が開始

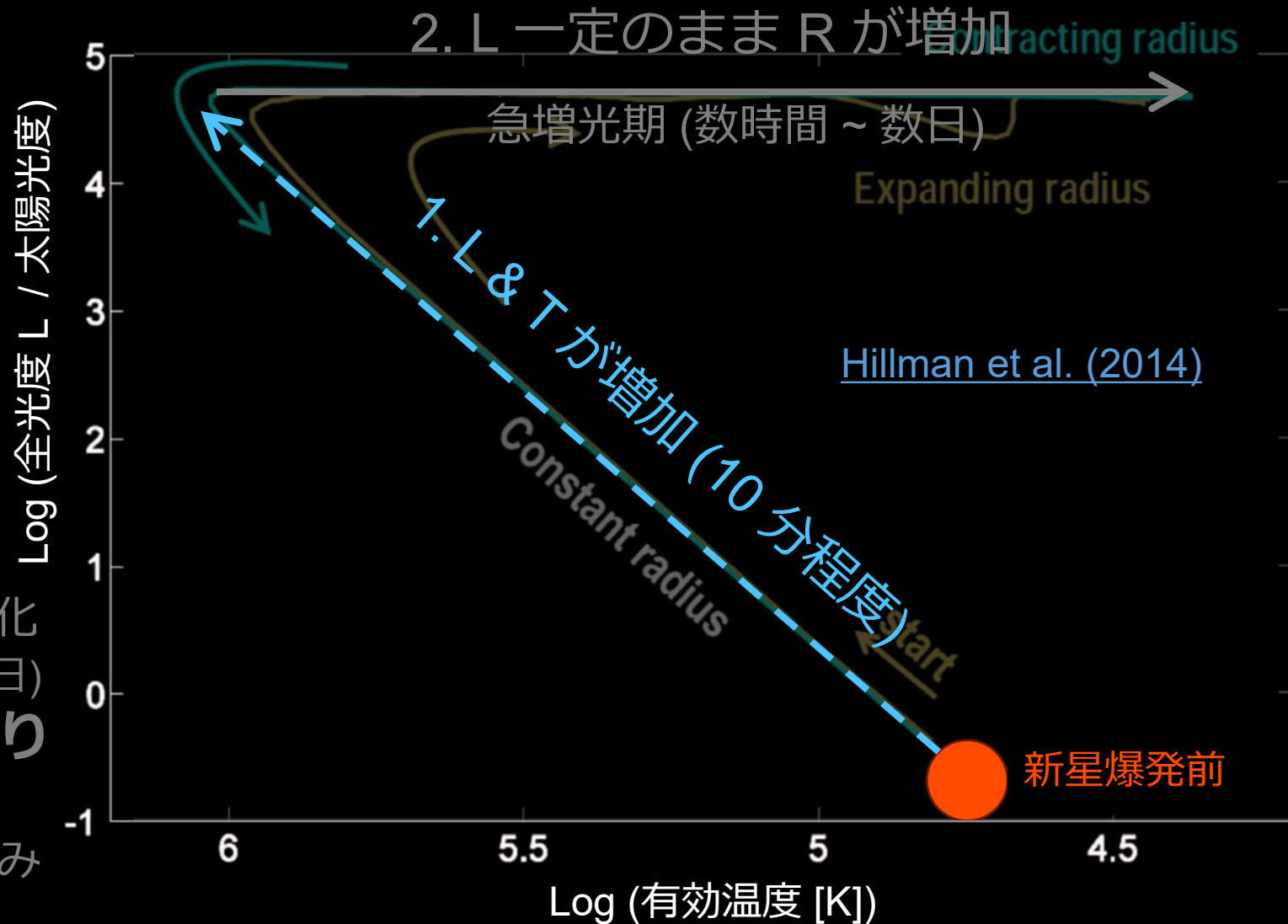
- 光度 L と温度 T が一気に増加
 - 10 分くらいなので観測困難
 - この間、半径は変化なし

2. 光度 L が $\sim 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ に

- 輻射圧で白色矮星外層が膨張
- 全光度を保ったまま半径が増加
- 温度が低下する ($L \propto R^2 T^4$)
- 軟 X、UV、可視、と SED が変化
= 可視光の急増光期 (数時間 ~ 数日)

→ 急増光期中の新星は極大期より小さく高温の火の玉

- 周囲に存在する物質を爆発に飲み込まれる前に分光するチャンス



HR 図上での新星の初期進化

• 理論的な説明

1. 核反応が開始

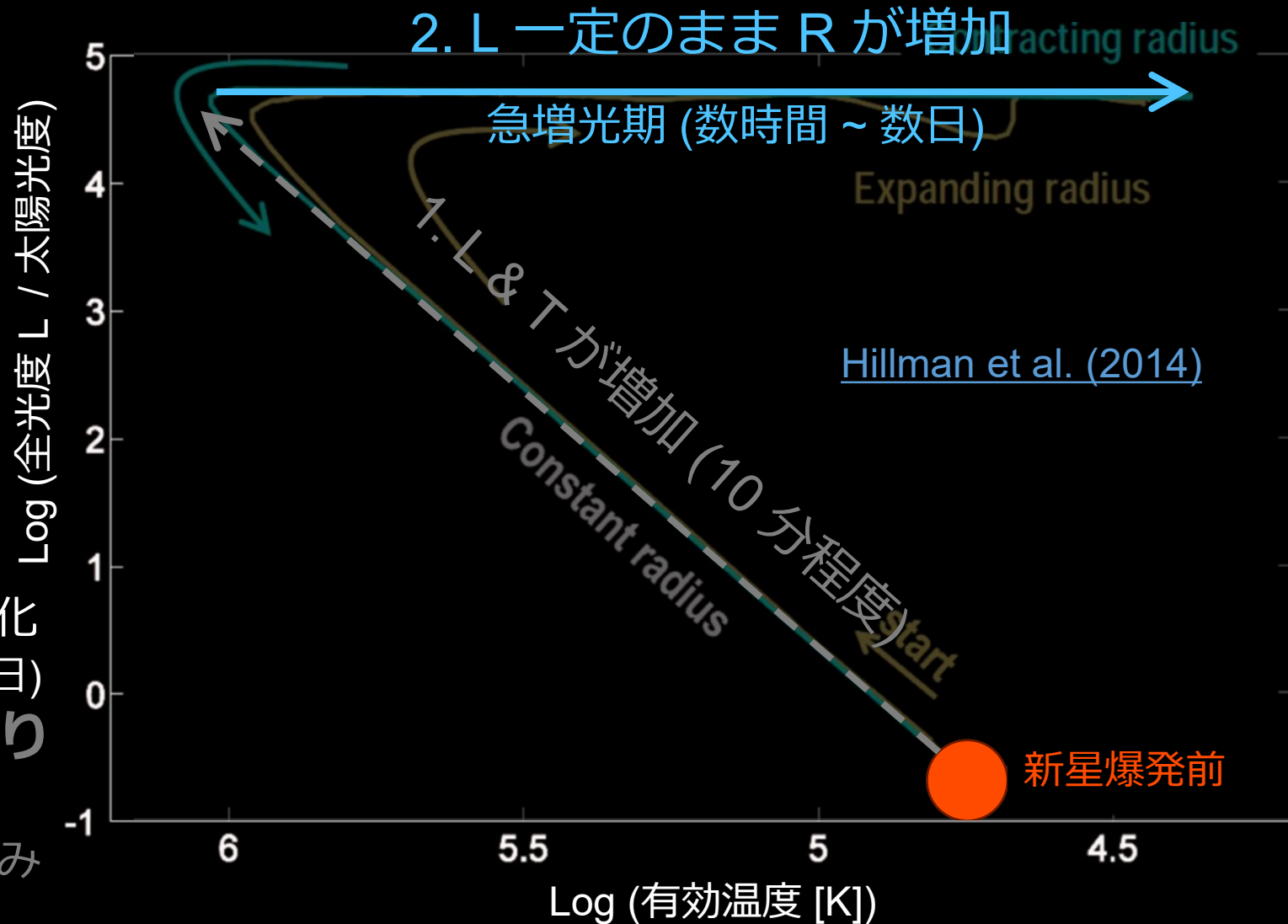
- 光度 L と温度 T が一気に増加
 - 10 分くらいなので観測困難
 - この間、半径は変化なし

2. 光度 L が $\sim 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ に

- 輻射圧で白色矮星外層が膨張
- 全光度を保ったまま半径が増加
- 温度が低下する ($L \propto R^2 T^4$)
- 軟 X、UV、可視、と SED が変化
= 可視光の急増光期 (数時間 ~ 数日)

→ 急増光期中の新星は極大期より小さく高温の火の玉

- 周囲に存在する物質を爆発に飲み込まれる前に分光するチャンス



HR 図上での新星の初期進化

• 理論的な説明

1. 核反応が開始

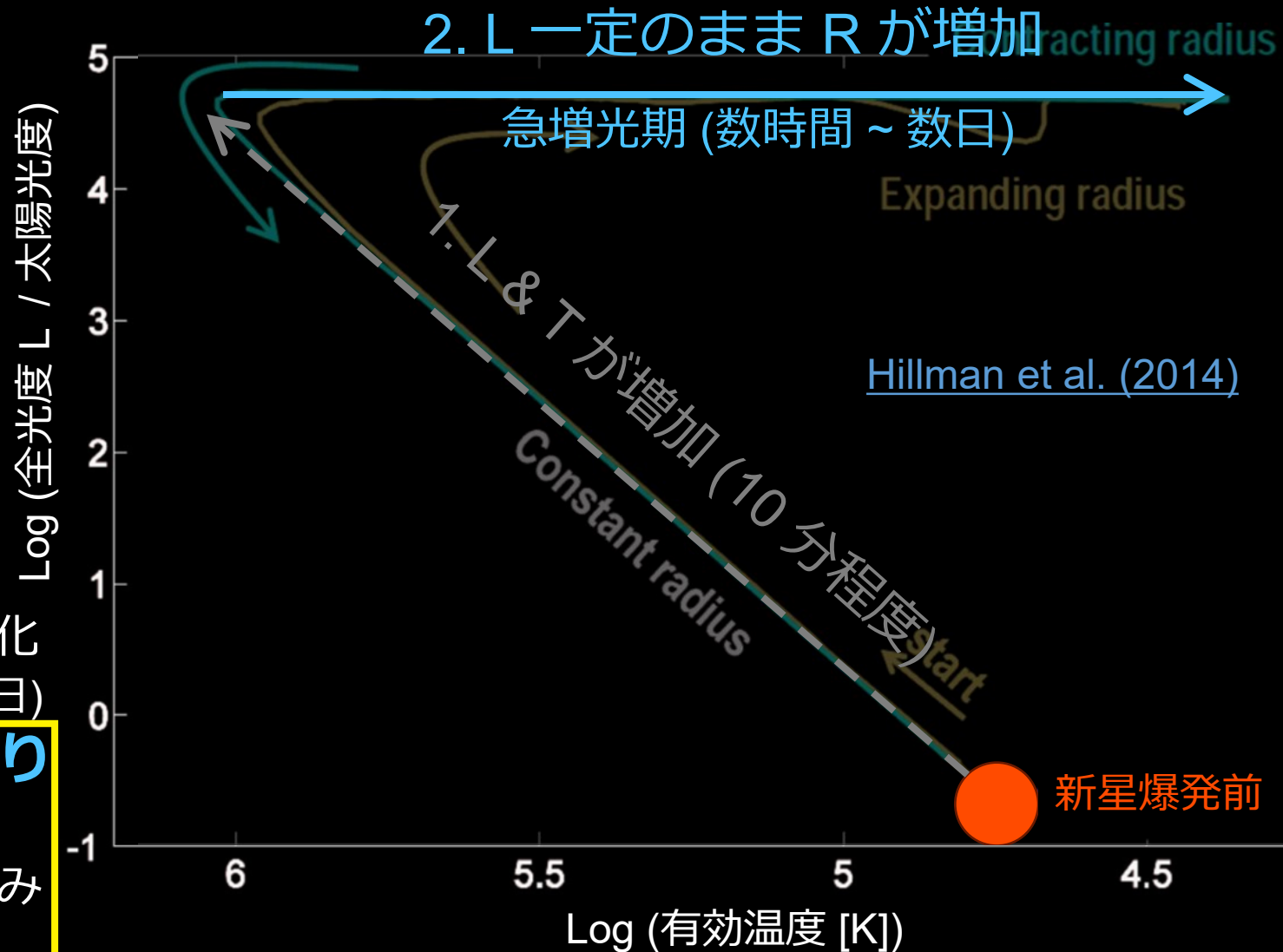
- 光度 L と温度 T が一気に増加
 - 10 分くらいなので観測困難
 - この間、半径は変化なし

2. 光度 L が $\sim 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$ に

- 輻射圧で白色矮星外層が膨張
- 全光度を保ったまま半径が増加
- 温度が低下する ($L \propto R^2 T^4$)
- 軟 X、UV、可視、と SED が変化
= 可視光の急増光期 (数時間 ~ 数日)

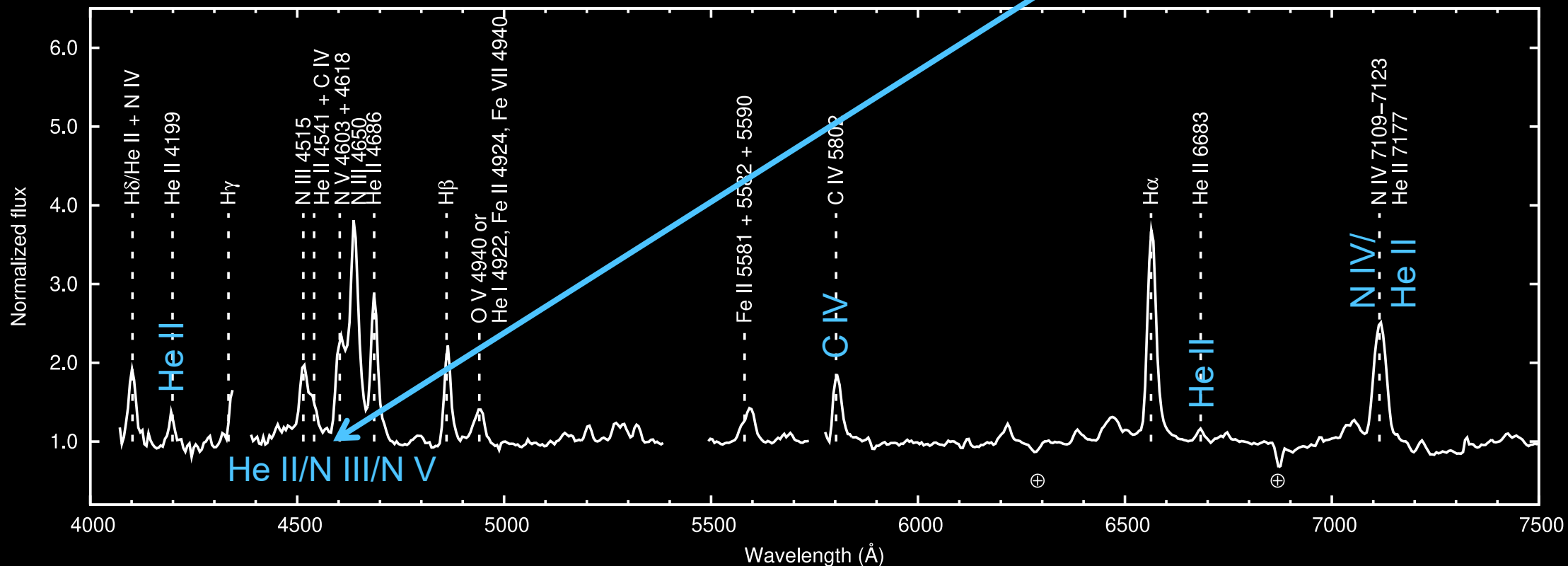
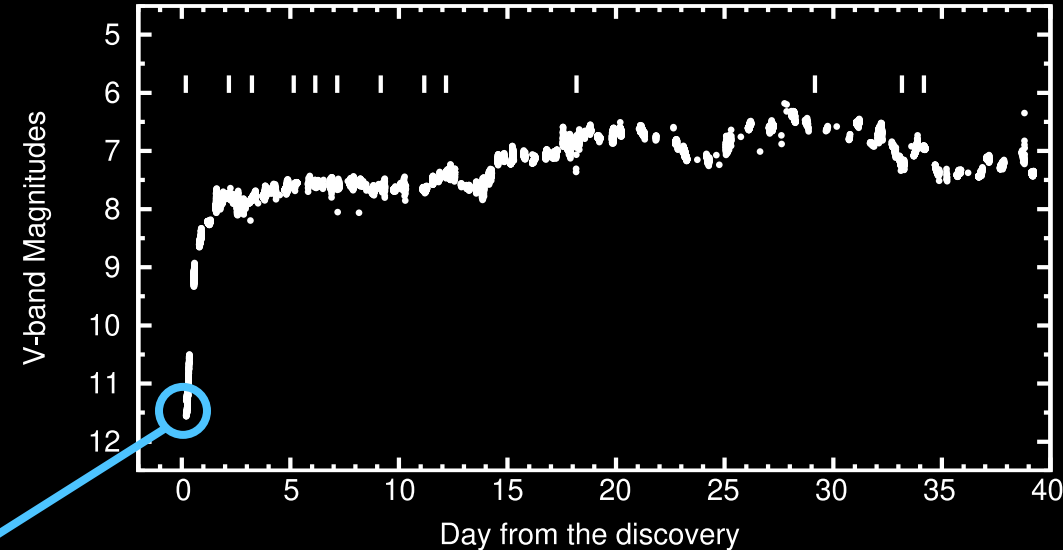
→ **急増光期中の新星は極大期より小さく高温の火の玉**

- 周囲に存在する物質を爆発に飲み込まれる前に分光するチャンス



観測例 1: T Pyx ([Arai et al. 2015](#))

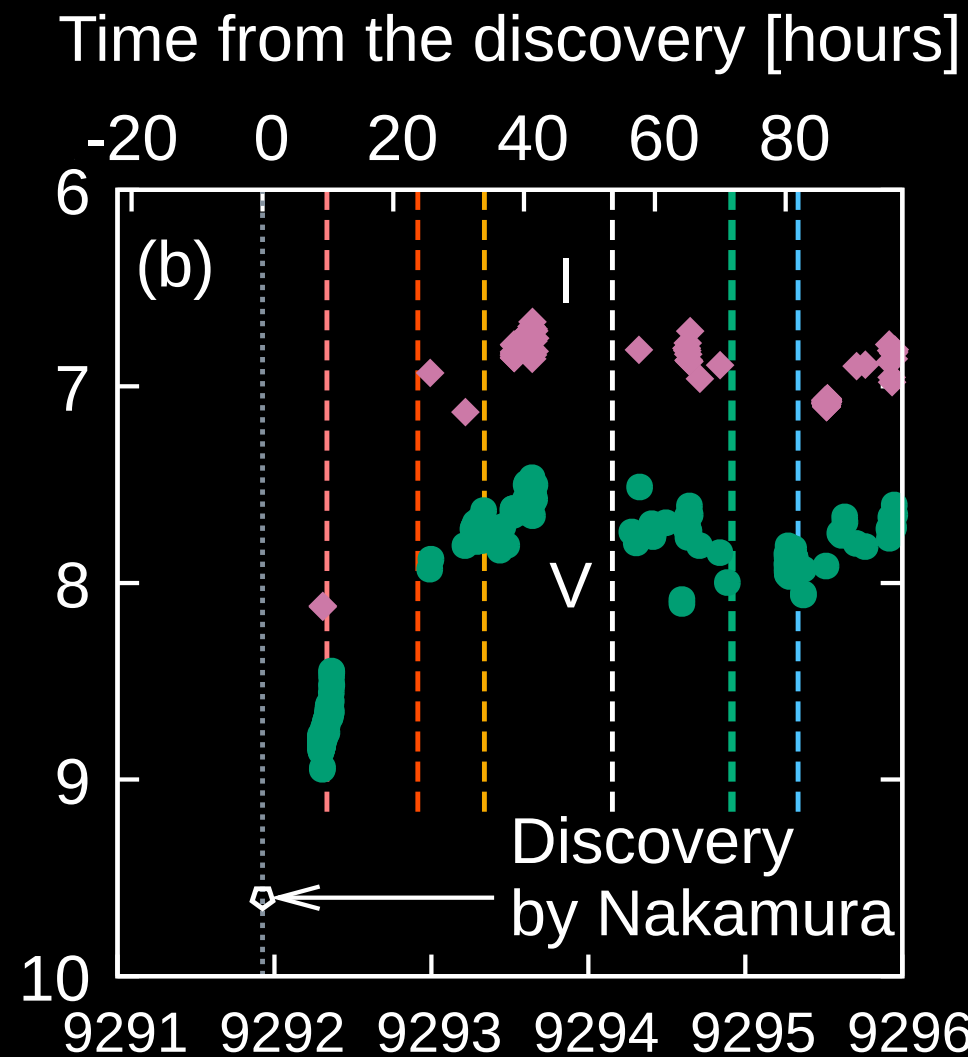
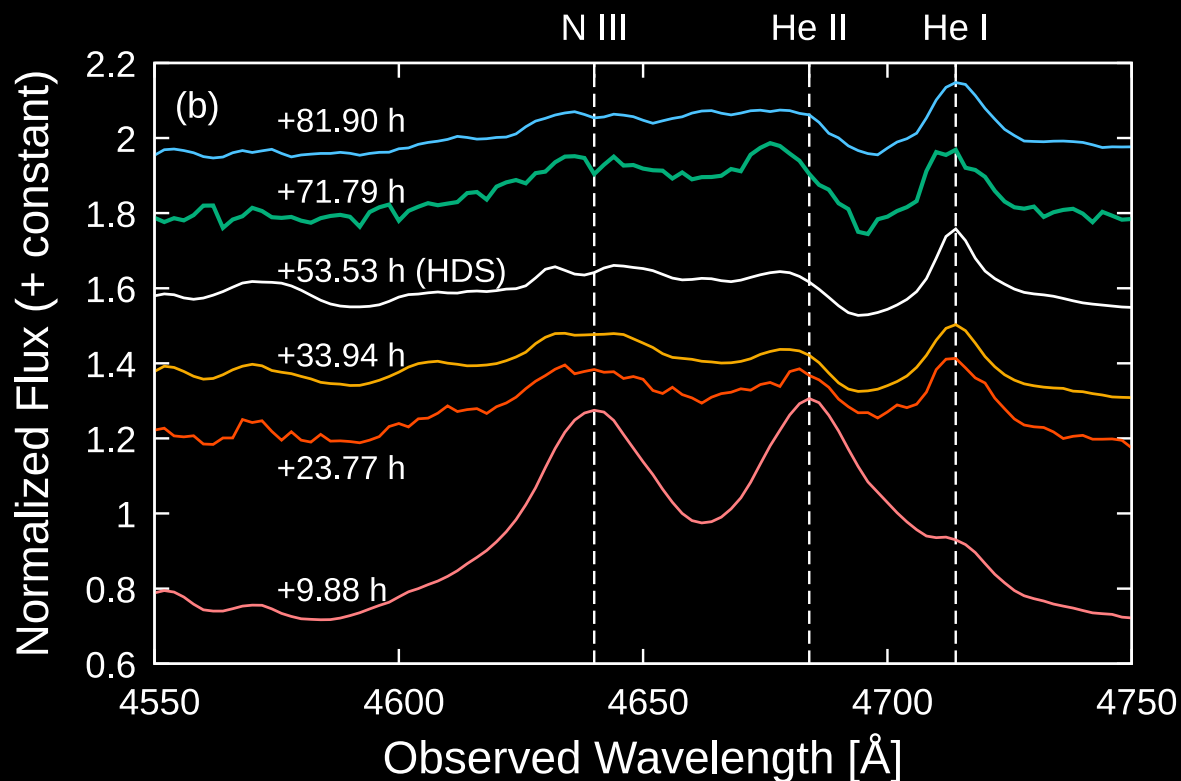
- 高い電離度の輝線が検出
 - 最初のスペクトルでのみ見られた特徴



観測例 2: V1405 Cas ([Taguchi et al. 2023](#))

• 高い電離度の輝線が検出

- 最初のスペクトルでのみ見られた特徴
- せいめいで急増光期中の分光に成功

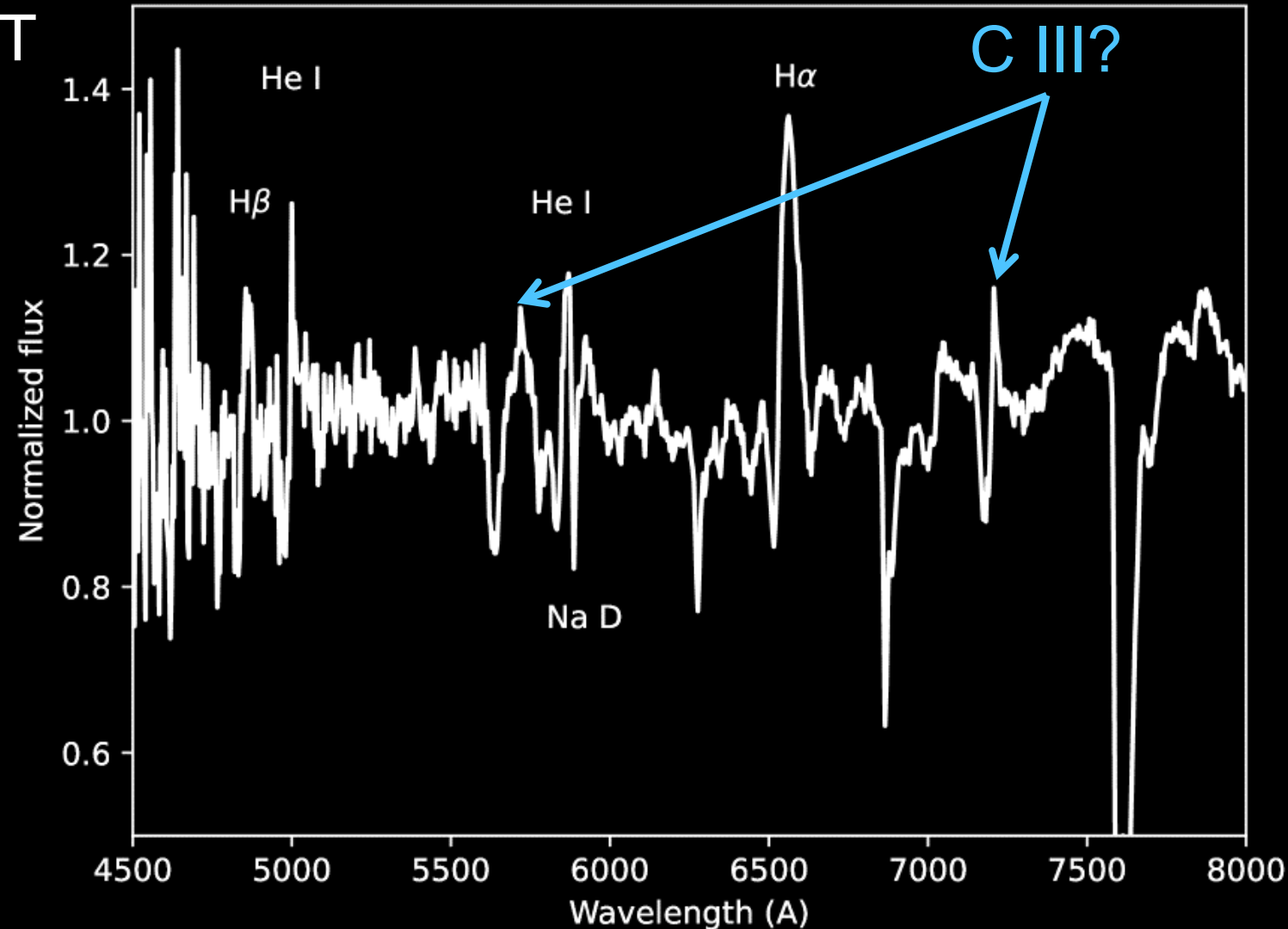


観測例3: V4370 Oph

([Uemura, ..., Taguchi et al. 2025](#))

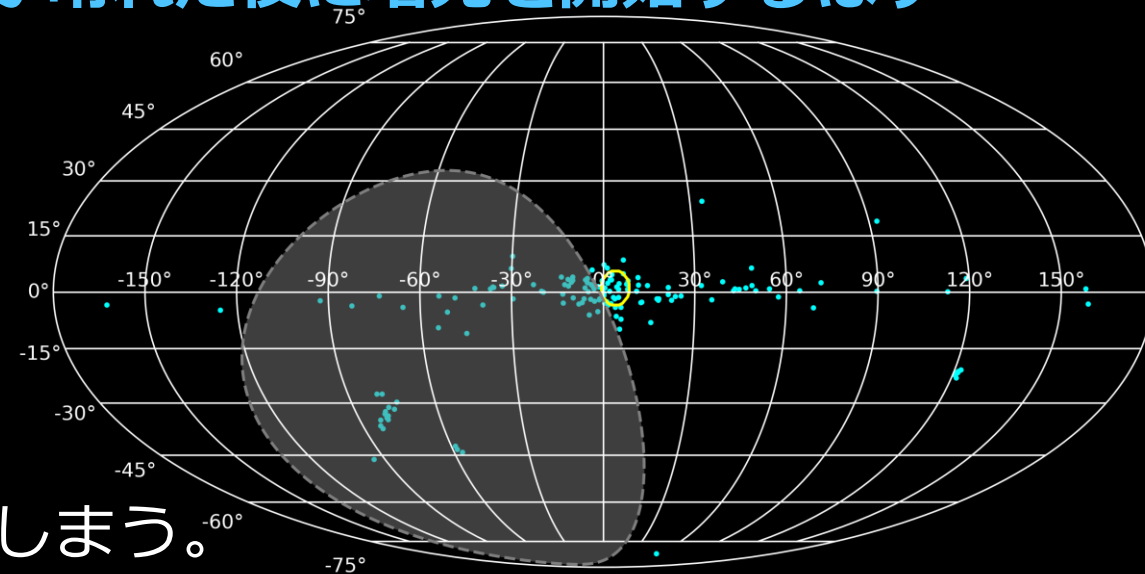
- 発見: 2024-03-10 27:36:35 JST
- 報告: 2024-03-10 29 時過ぎ
- 分光: 2024-03-10 29:10 頃
 - By かなた望遠鏡 (広島大)
 - **独自 AI で「たぶん新星だ」と判断しての追観測実施。**

- **どれも素早く行う:**
 1. 爆発開始直後に観測
 2. 検出
 3. **新星の可能性が高いと判定**
 4. 分光観測実施



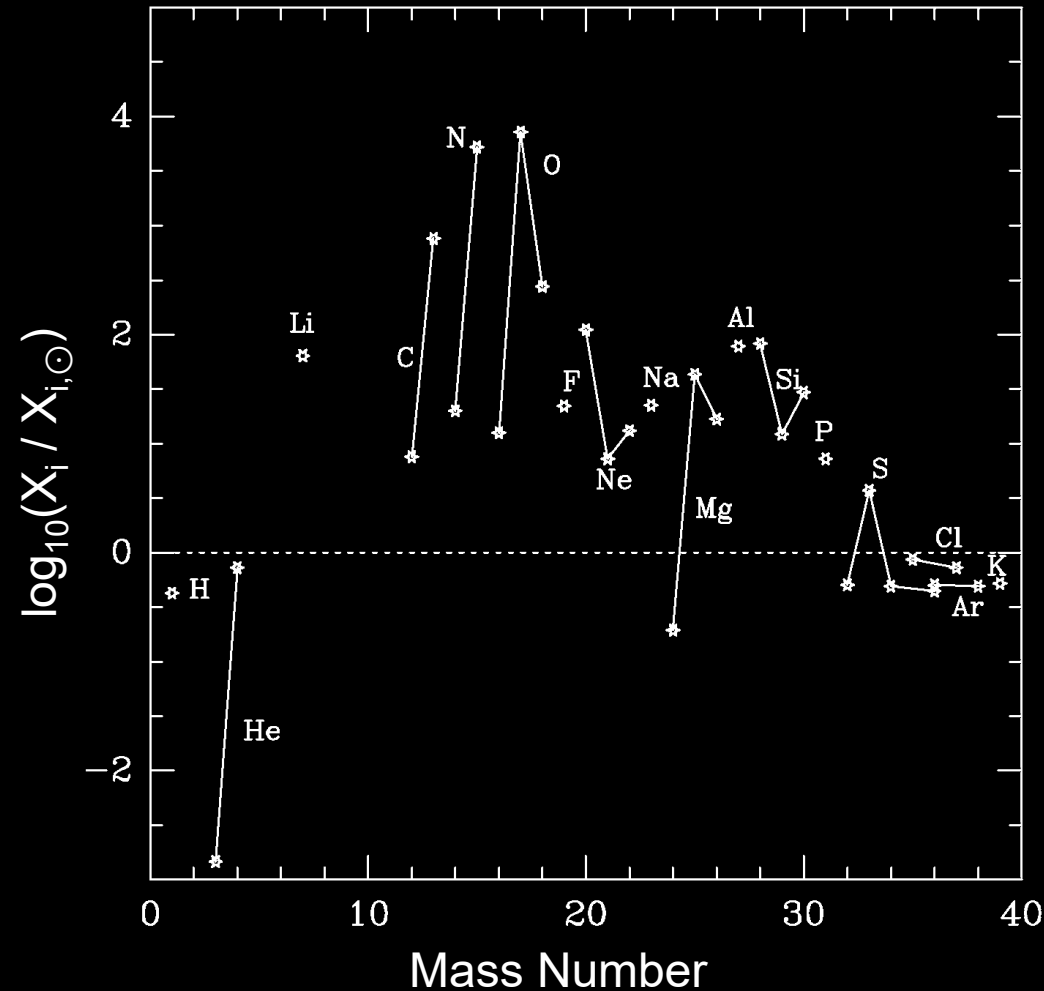
新星初期を狙った ToO 観測 (since 2019A)

- 新星「候補」が報告 → 速やかに ToO を発動して分光
 - **3 年に 1 回くらい、銀河系内の新星が岡山が晴れた夜に増光を開始するはず**
 - 年間 ~ 10 新星が発生。
 - 以下を突破する必要がある:
 - 北半球に出る確率
 - 日本が夜間に新星爆発を開始する確率
 - 日本が夜間に地平線より上である確率
(・首尾よく発見される確率)
 - 岡山が晴れてる確率
 - その他、明るい矮新星などが contami してしまう。
 - 我々は賢くなっているので、以前よりそういう天体への ToO は減っている。
 - M31 など近傍銀河の新星が年間 ~ 30 天体くらい発見される
 - 有望そうなものに対して ToO を行うことも。



新星爆発での元素合成

1.15 $M_{\odot}$ 'ONe nova' model ([José et al. 2006](#))



• 新星核燃焼の特徴

- 水素が燃える。白色矮星由来の重元素もある。
- 主系列星よりも密度が高い
- Proton-rich な原子核が作られやすい
- β^+ -崩壊して安定な原子核に

- ${}^7\text{Be}$ ([Tajitsu+2015](#)) $\rightarrow$ ${}^7\text{Li}$ (~ 50 days)
- ${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C}$ (~ 10 mins)
- ${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N}$ (~ 2 mins)
- ${}^{17}\text{F} \rightarrow {}^{17}\text{O}$ (~ 1 min)
- ${}^{22}\text{Na} \rightarrow {}^{22}\text{Ne}$ (~ 3 years)
- **${}^{26}\text{Al}$: 「安定」** ($\rightarrow {}^{26}\text{Mg}$; $t_{1/2} \sim 0.7 \times 10^6$ years)

• 宇宙における ${}^{26}\text{Al}$ の起源は?

- LMC の ${}^{26}\text{Al}$ の 1/3 が新星? ([Vasini+2023](#))

^{26}Al を検出するには?

~ Luminous Red Nova V4332 Sgr ([Banerjee+2004](#)) の場合 ~

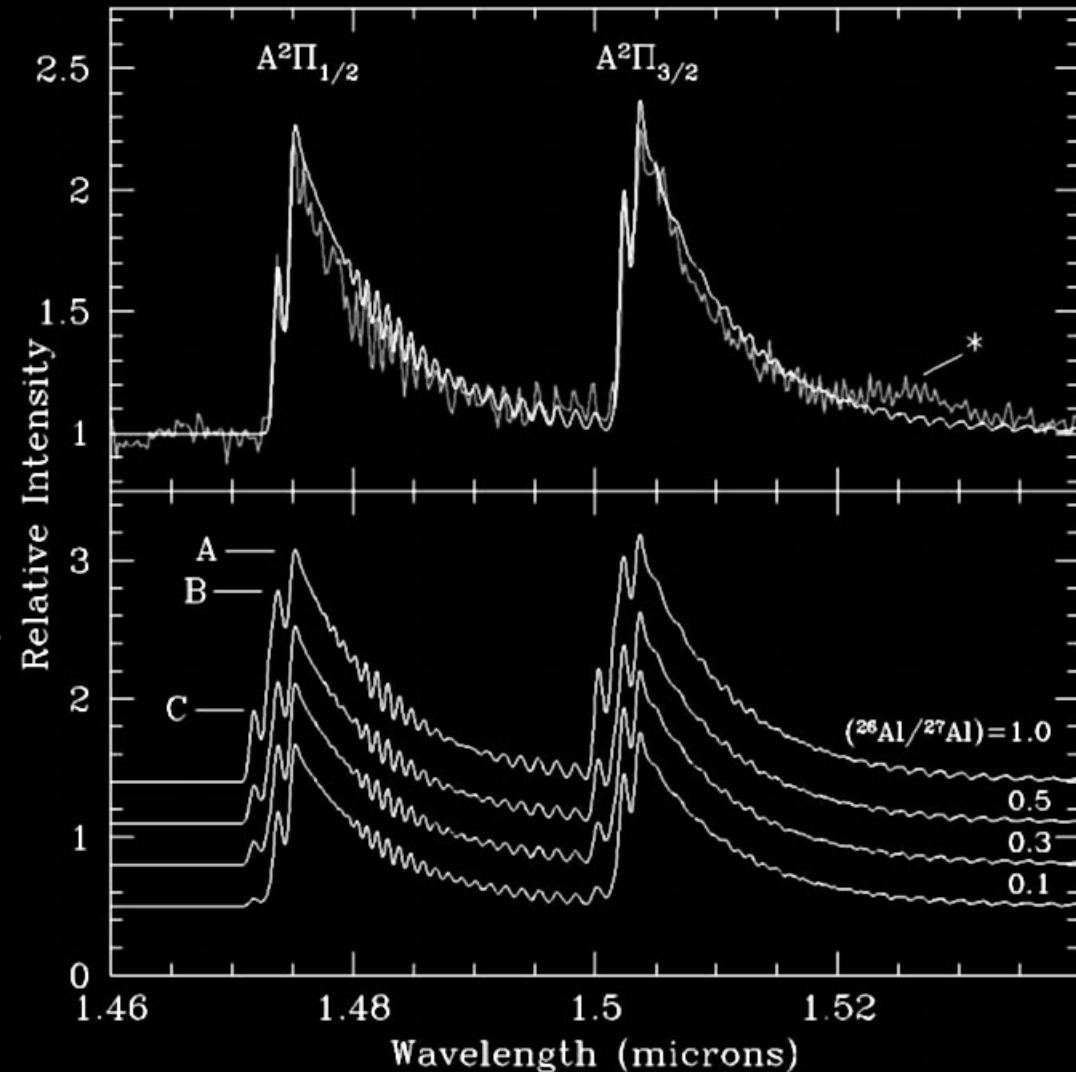
• 近赤外での AIO 輝線の中分散分光

- ^{26}AIO ($1.47325\ \mu\text{m}$) & ^{27}AIO ($1.47492\ \mu\text{m}$)
- ^{26}AIO ($1.50155\ \mu\text{m}$) & ^{27}AIO ($1.50351\ \mu\text{m}$)

→ upper limit $^{26}\text{AIO} / ^{27}\text{AIO} < 0.10$ を得た。

• 注: luminous red nova $\neq$ nova (新星)

- Luminous red nova: common envelope 天体における合体現象



GK Per (Nova Persei 1901)

• 特徴

- $d \sim 0.5$ kpc (とても近い!)
- 1901 年に新星爆発
- 1948 年以来、矮新星アウトバーストを、約 3 年間隔 (前回: 2022~23) で繰り返す
- **1975 年の矮新星時に AIO 4843 Å (?) を検出** ([Hack et al. 1993](#) の section 8)
- もし AIO が存在するのなら、 ^{26}AIO と ^{27}AIO を分ける観測の対象になるのでは?

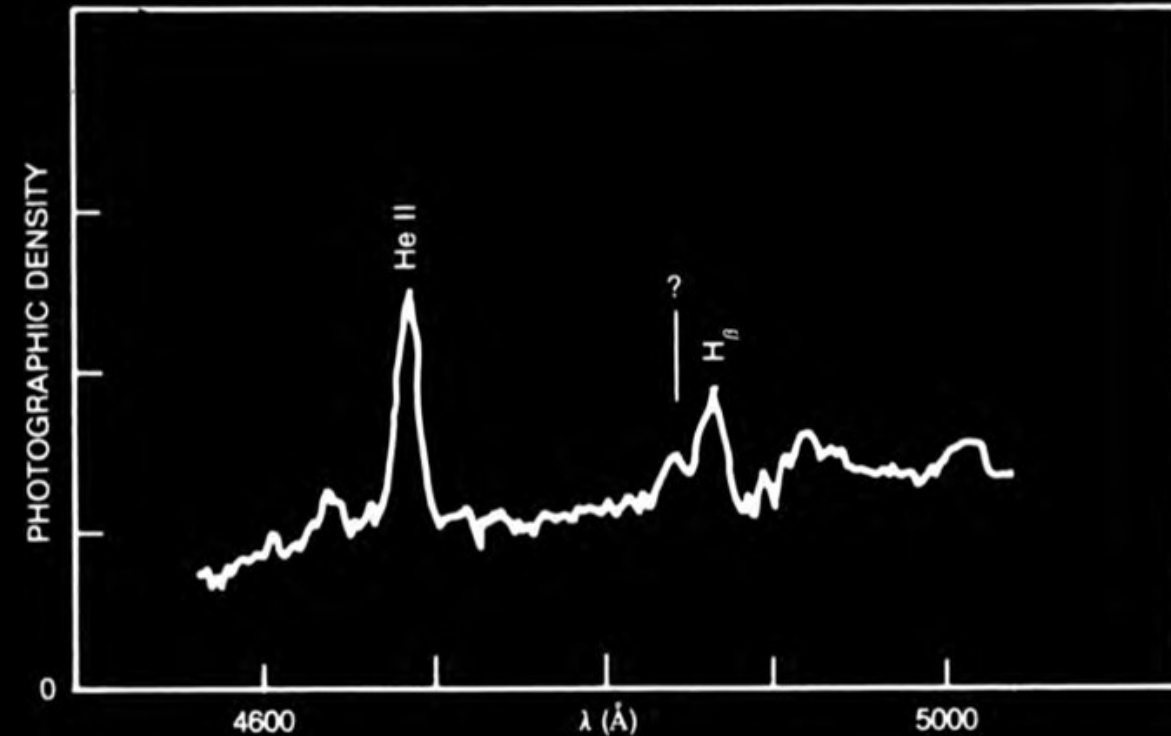


Figure 8-46. Portion of the plate spectrum taken with the 182-cm reflector of the Asiago Observatory during the light peak of 1975. The unusual emission at $\lambda 4842$ is shown.

GK Per (Nova Persei 1901)

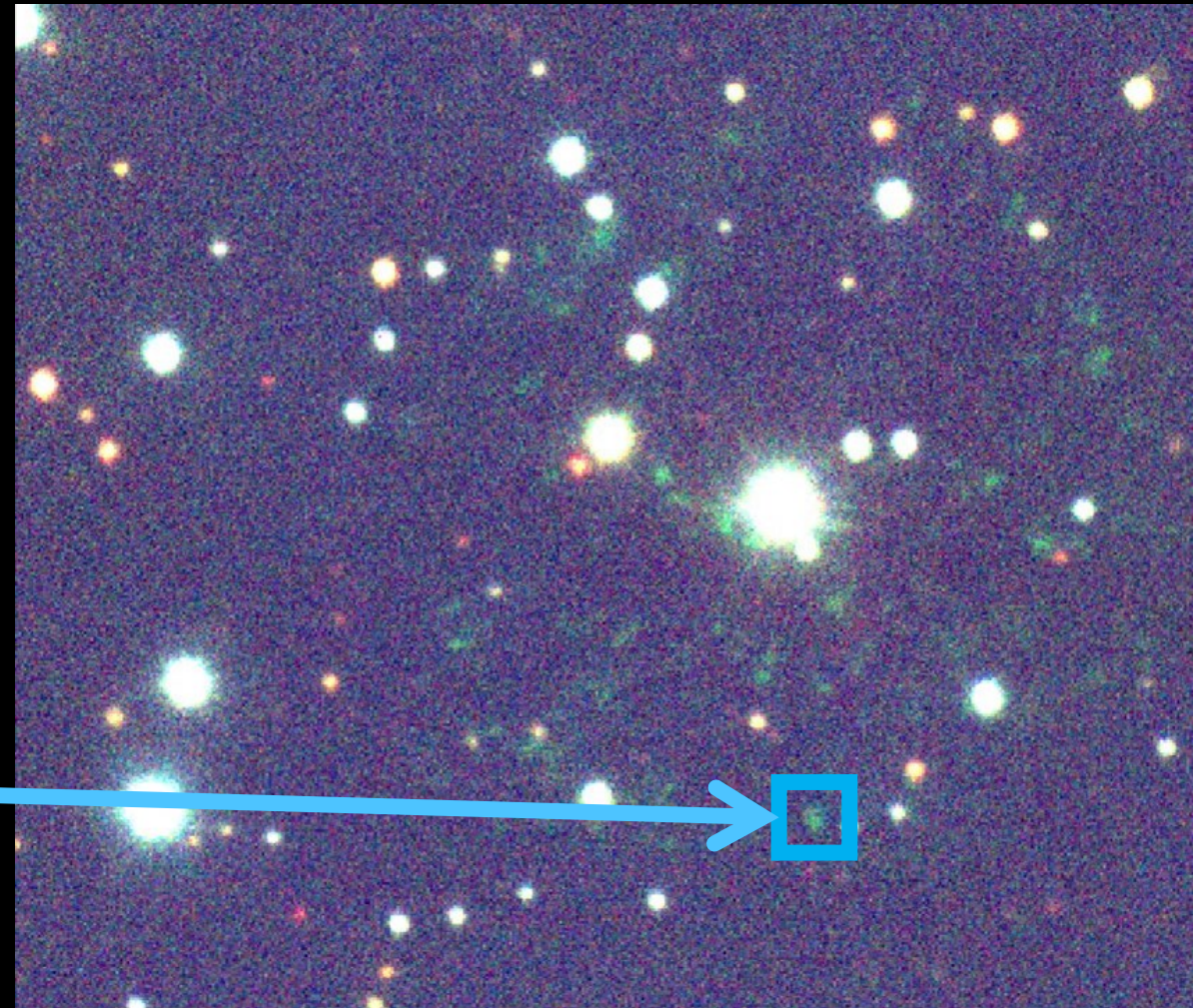
• 特徴

- $d \sim 0.5$ kpc (とても近い!)
- 1901 年に新星爆発
- 1948 年以来、矮新星アウトバーストを、約 3 年間隔 (前回: 2022~23) で繰り返す
- **1975 年の矮新星時に AIO 4843 Å (?) を検出** ([Hack et al. 1993](#) の section 8)

• せいめいでやったこと (解析中)

- 静穏期 (矮新星中じゃない) の分光観測
 - GK Per 連星系本体
 - 1901 年の新星爆発の残骸
- 静穏期には AIO (4843 Å) は受からず
(特に残骸は低温で AIO を励起できなさそう)

TriCCS g2/r (I_B filter)/i2



GK Per (Nova Persei 1901)

- 特徴
 - $d \sim 0.5$ kpc (とても近い!)
 - 1901 年に新星爆発
 - 1948 年以来、矮新星アウトバーストを、約 3 年間隔 (前回: 2022~23) で繰り返す
 - **1975 年の矮新星時に AIO 4843 Å (?) を検出** ([Hack et al. 1993](#) の section 8)
- せいめいでやったこと (解析中)
 - 静穏期 (矮新星中じゃない) の分光観測
 - GK Per 連星系本体
 - 1901 年の新星爆発の残骸
 - 静穏期には AIO (4843 Å) は受からず (特に残骸は低温で AIO を励起できなさそう)
- 今後やりたいこと
 1. 矮新星中の可視分光 (せいめい)
 - AIO (4843 Å) 輝線は見えるのか?
 - 矮新星中は GK Per の連星系本体が UV を放射するので加熱されるのか?
 2. かなた/HONIR で近赤外分光?
 - 静穏期・アウトバースト時の両方で、AIO (1.47、1.50 μm) が見えるか。

(1 or 2 で AIO を確認できた場合)

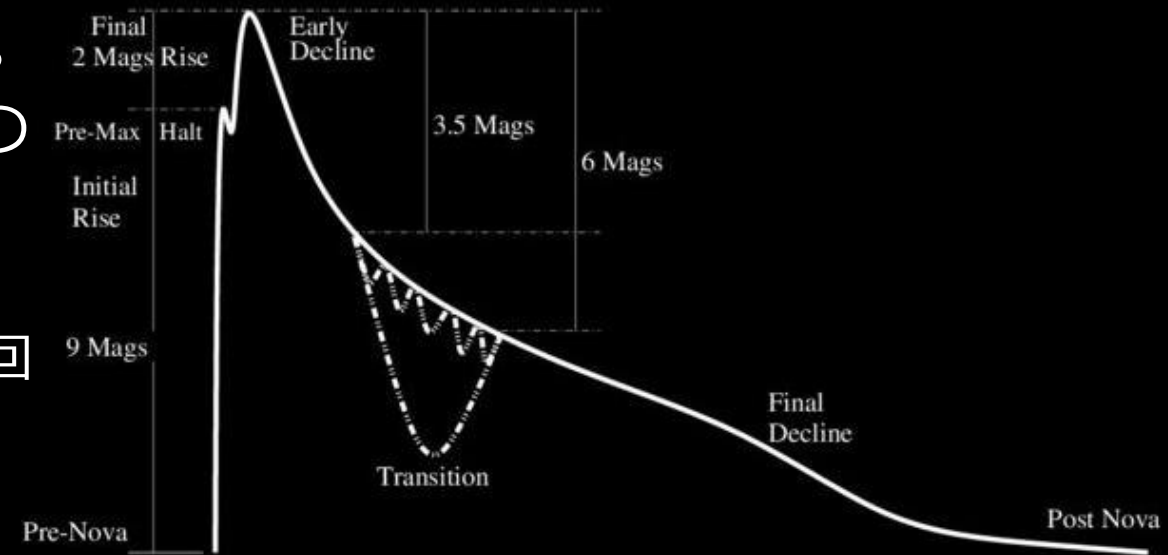
 3. Subaru/IRCS で分光し ^{26}AIO と ^{27}AIO の比率の測定

まとめ

- 新星は数時間 ~ 1 日で急増光する現象。
 - せいめい望遠鏡で 2 例目となる急増光中の新星 V1405 Cas の分光に成功。
 - **今後も急増光期の ToO を行わせて下さい**
 - 日本が夜の中に急増光する新星は約 3 年に 1 回

- GK Per (1901 年の新星) の観測を開始

- 1975 年の**矮新星**時に AIO 輝線が報告
([Hack et al. 1993](#) の section 8)
→ 我々も AIO の輝線を受けたい
→ ^{26}AIO と ^{27}AIO の切り分け観測に持っていきたい
- 現状は、**静穏期**に KOOLS で観測した
 - AIO は検出されず。





京都大学
KYOTO UNIVERSITY

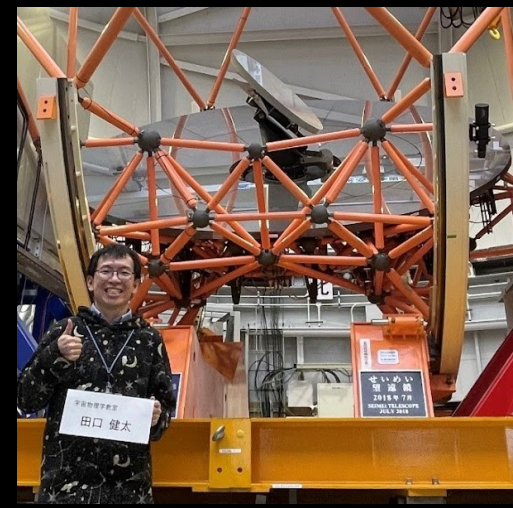


Okayama Observatory
Kyoto University

Observations of Novae Using Seimei Telescope

2025-09-04 Kenta Taguchi

(Department of Astronomy & Okayama Observatory, Kyoto University)



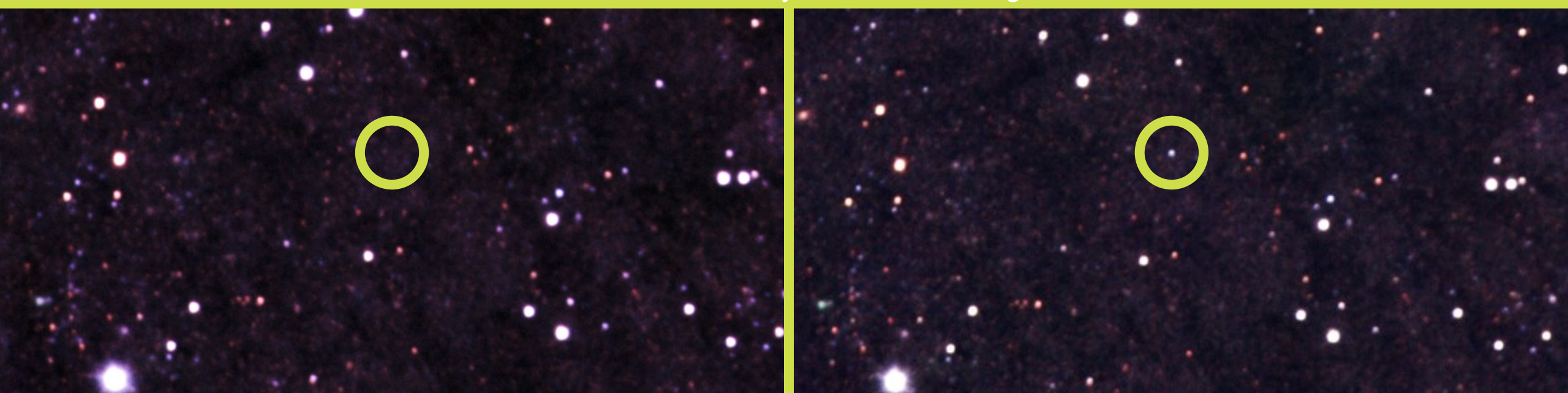
(Classical) Nova/Novae: (古典) 新星、新星爆発

- A “Nova” = a “new star” in Latin.
- **A “new star” appears suddenly (in most cases, within ~ 1 day).**
 - After that, it fades slowly (weeks – years).
- In astrophysics, this is a transient phenomenon on a white dwarf.

2023-11-04

M31N2008-12a by Seimei/TriCCS g/r/i

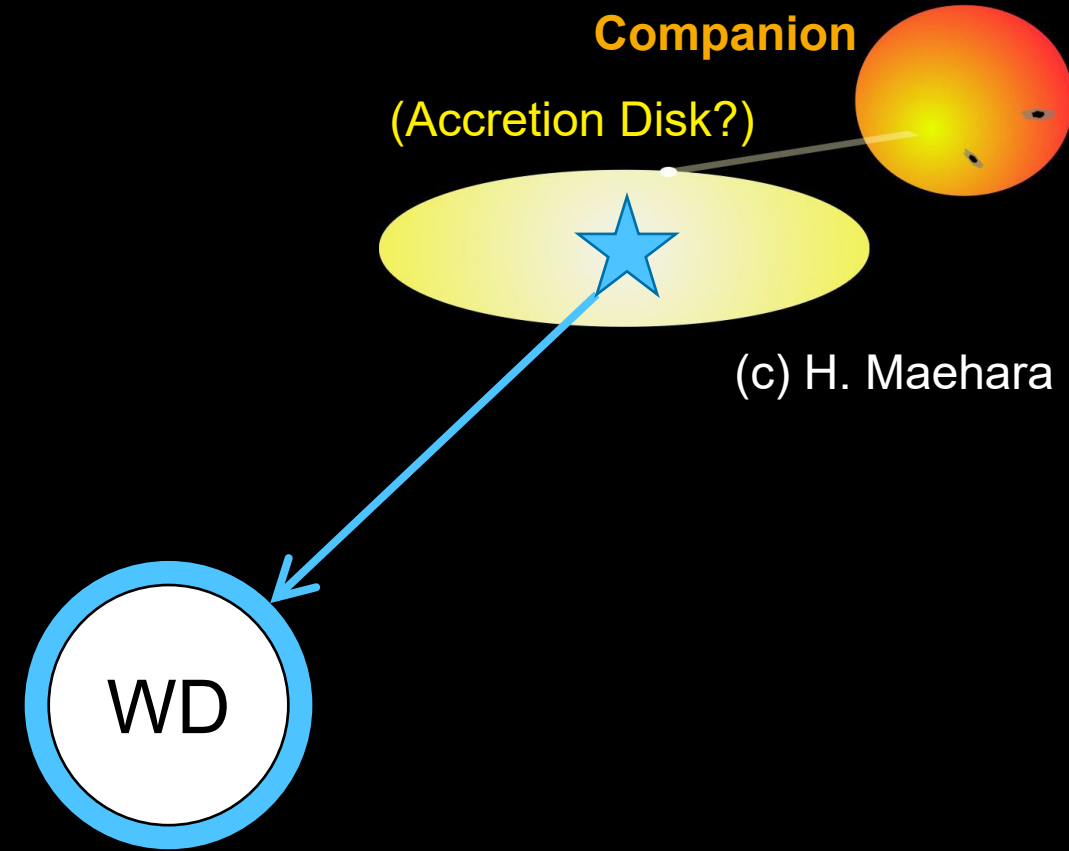
2023-11-14



1.2 Novae and Recurrent Novae

Mechanism of Novae: Thermonuclear Runaway

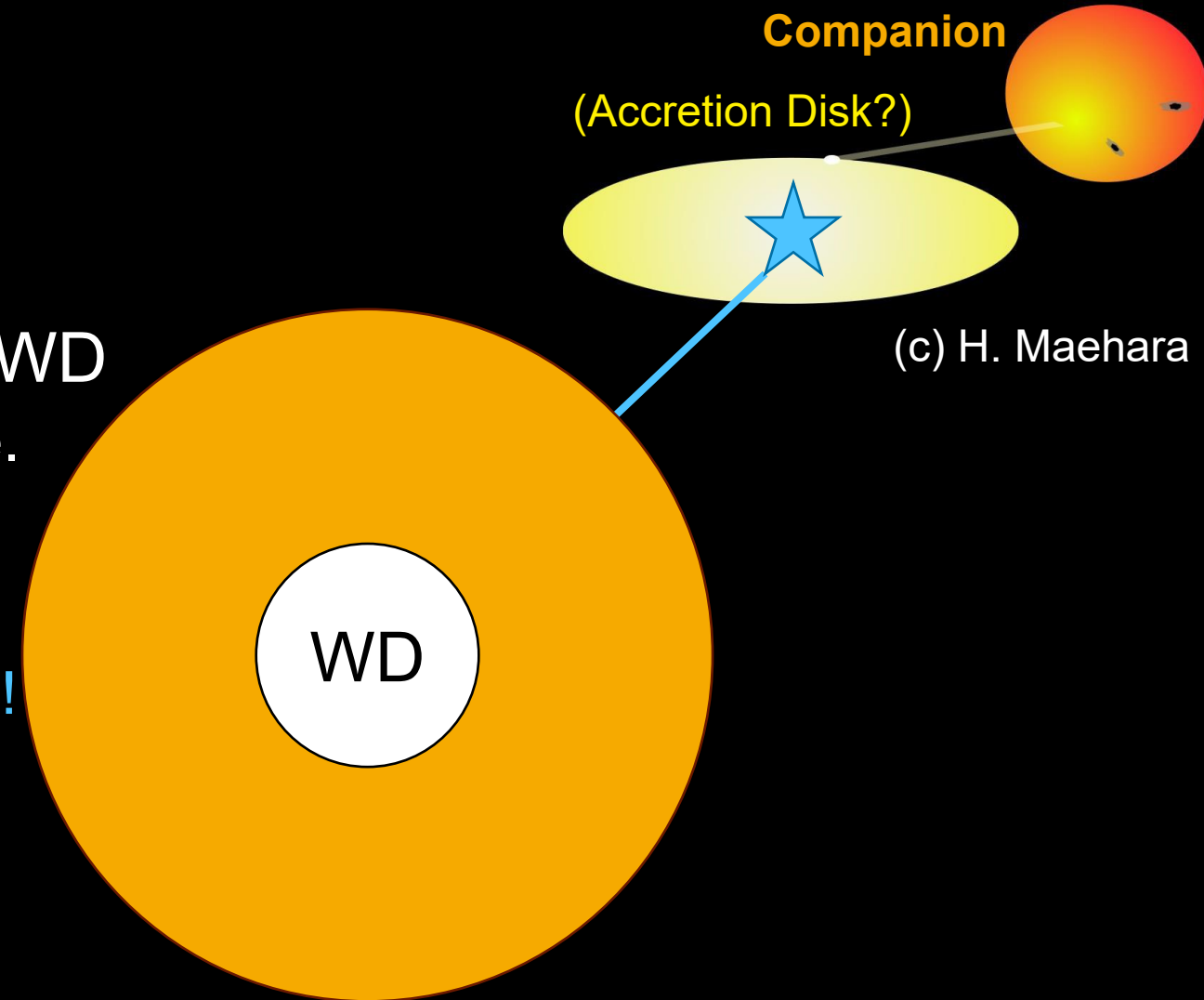
- Binary system of:
 - **White dwarf (WD, primary star)**
 - Run out H $\rightarrow$ no nuclear reactions
 - A **late (companion) star**
- H gas from companion accretes on WD
 - Forms an envelope on the WD surface.
- More and more gas accretes
 - $\rightarrow$ **finally start nuclear reaction “again”!**
 - $\rightarrow$ leads to a nova outburst.



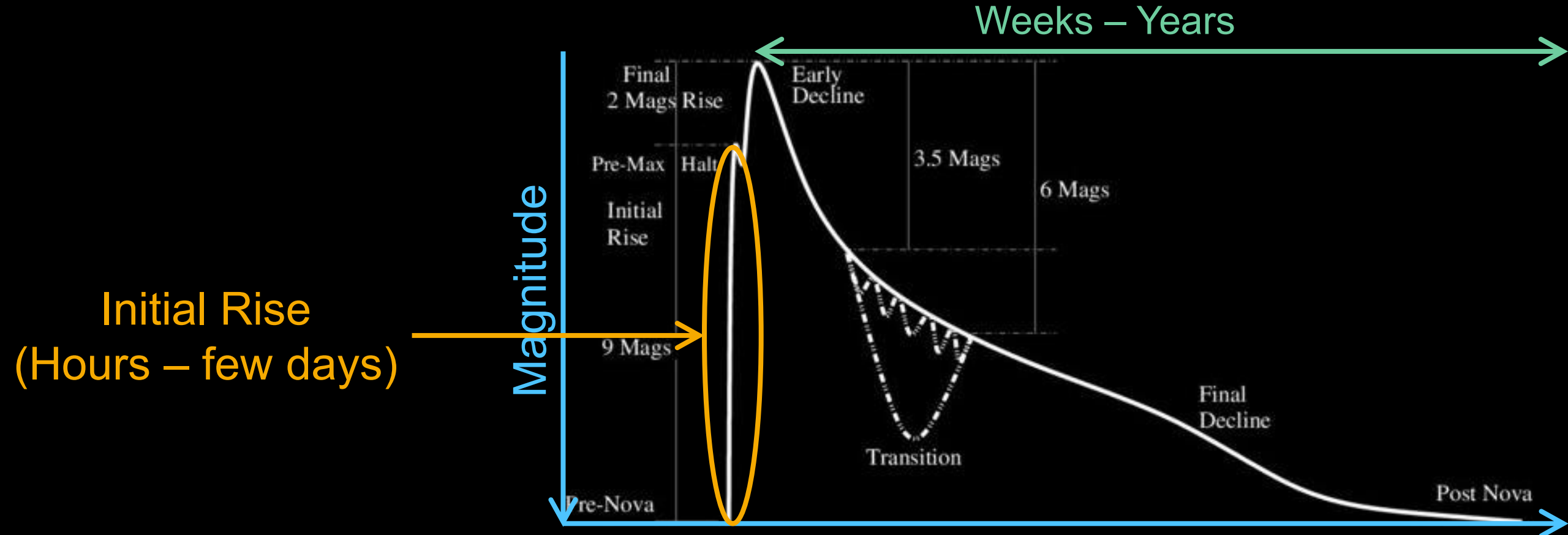
1.2 Novae and Recurrent Novae

Mechanism of Novae: Thermonuclear Runaway

- Binary system of:
 - **White dwarf (WD, primary star)**
 - Run out H $\rightarrow$ no nuclear reactions
 - A **late (companion) star**
- H gas from companion accretes on WD
 - Forms an envelope on the WD surface.
- More and more gas accretes
 - $\rightarrow$ **finally start nuclear reaction “again”!**
 - $\rightarrow$ leads to a nova outburst.



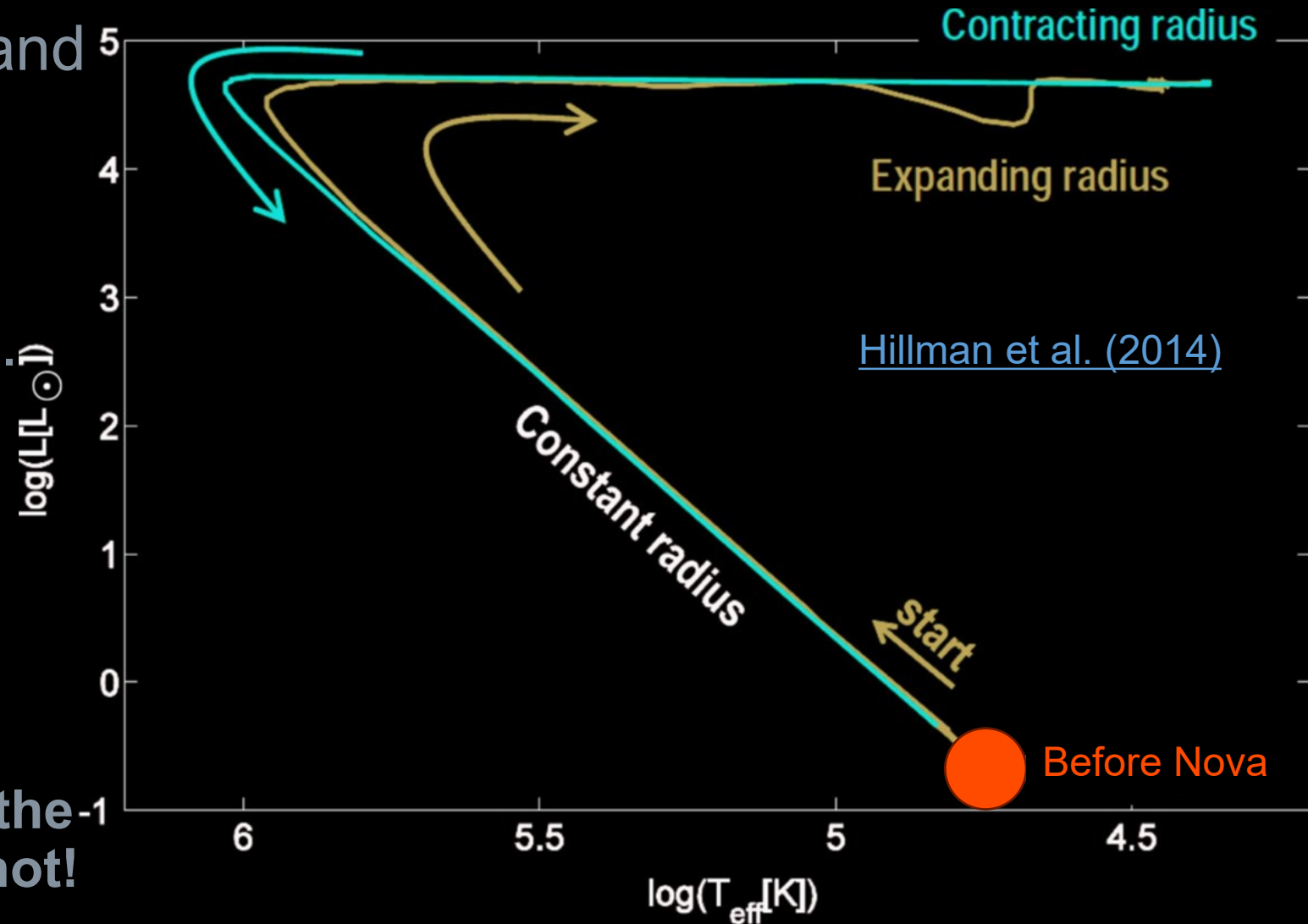
“Typical” Light Curve of Nova (Bode & Evans 2008)



- Fast (slow) novae evolve fast (slow) and have high (low) mass WDs. Time
- Some “extremely” slow novae ($\lesssim 3\%$) take $\gtrsim$ years in the initial rise.

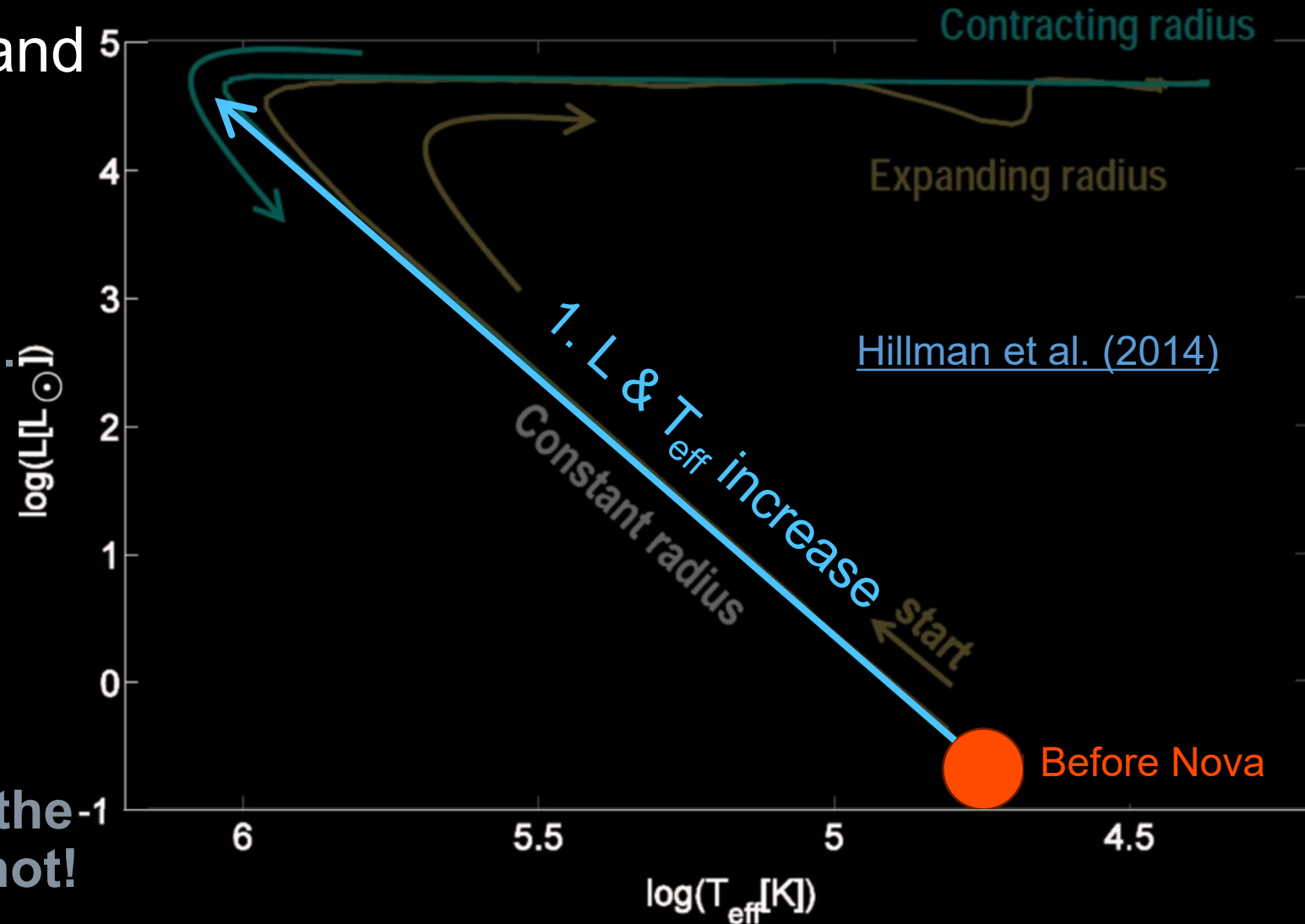
Nova in the Hertzsprung-Russell Diagram

1. Once a nova ignites, its L and T increase so rapidly.
 2. After L reaches Eddington luminosity (L_{Edd}), the nova starts ejecting its envelope.
→ $R_{\text{phot}} \nearrow \rightarrow T_{\text{eff}} \searrow$
→ brightens in the optical.
- According to the theory,
 - Initial rise = decreasing T_{eff} .
 - **Before the initial rise ends, the photosphere should be so hot!**



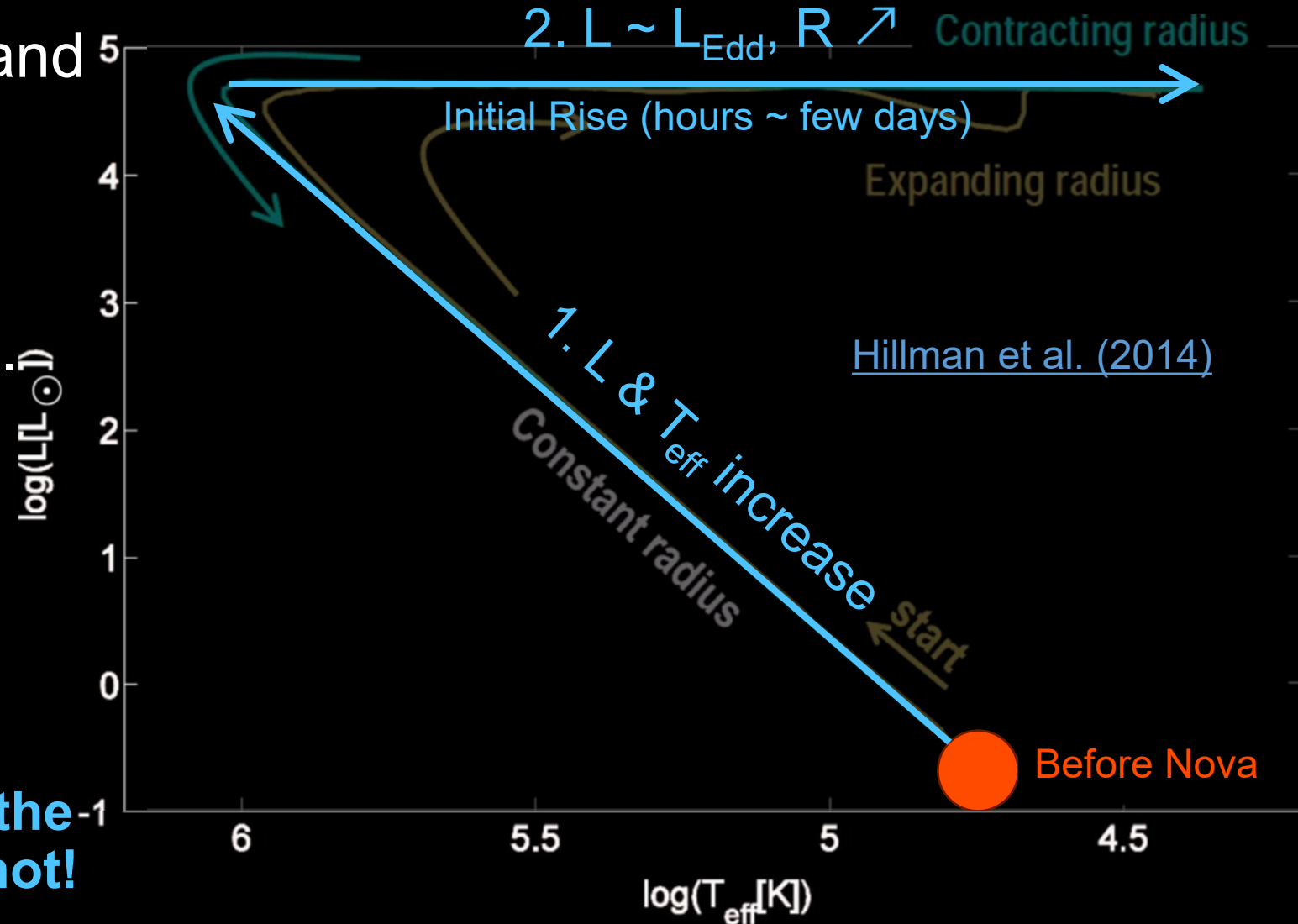
Nova in the Hertzsprung-Russell Diagram

1. Once a nova ignites, its L and T increase so rapidly.
 2. After L reaches Eddington luminosity (L_{Edd}), the nova starts ejecting its envelope.
 - $\rightarrow R_{\text{phot}} \nearrow \rightarrow T_{\text{eff}} \searrow$
 - $\rightarrow$ brightens in the optical.
- According to the theory,
 - Initial rise = decreasing T_{eff} .
 - **Before the initial rise ends, the photosphere should be so hot!**



Nova in the Hertzsprung-Russell Diagram

1. Once a nova ignites, its L and T increase so rapidly.
 2. After L reaches Eddington luminosity (L_{Edd}), the nova starts ejecting its envelope.
 - $R_{\text{phot}} \nearrow \rightarrow T_{\text{eff}} \searrow$
 - brightens in the optical.
- According to the theory,
 - Initial rise = decreasing T_{eff} .
 - **Before the initial rise ends, the photosphere should be so hot!**

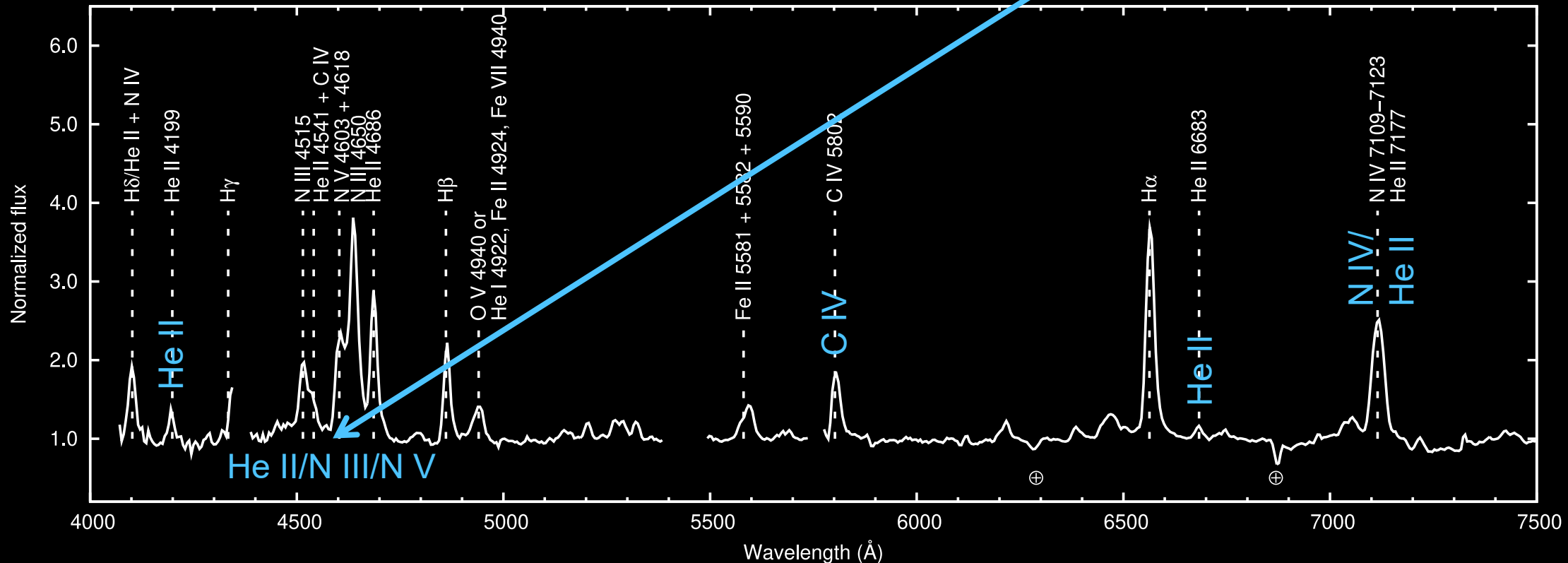
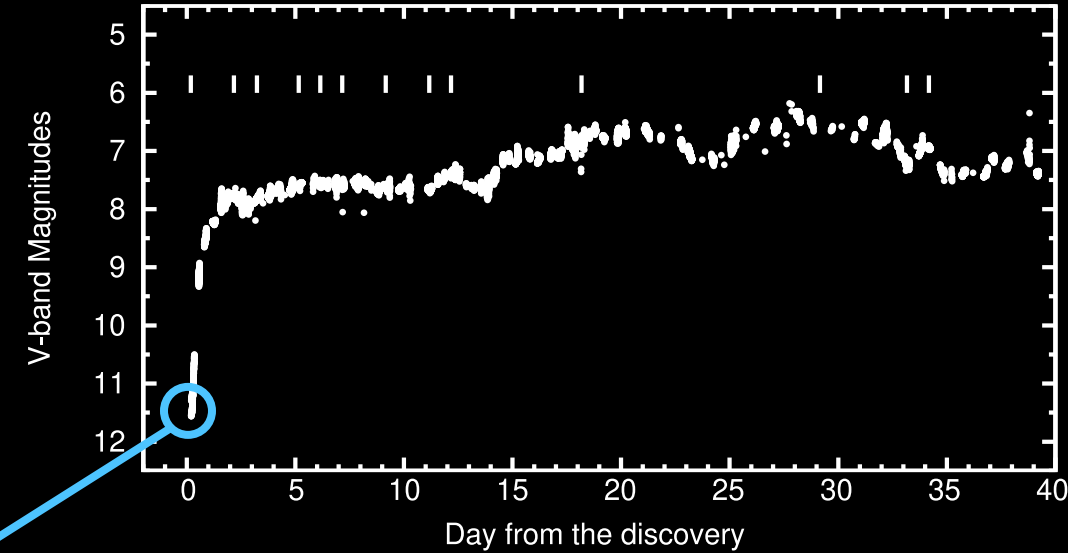


Example 1: T Pyx

([Arai et al. 2015](#))

- **Highly-ionized Emission Lines.**

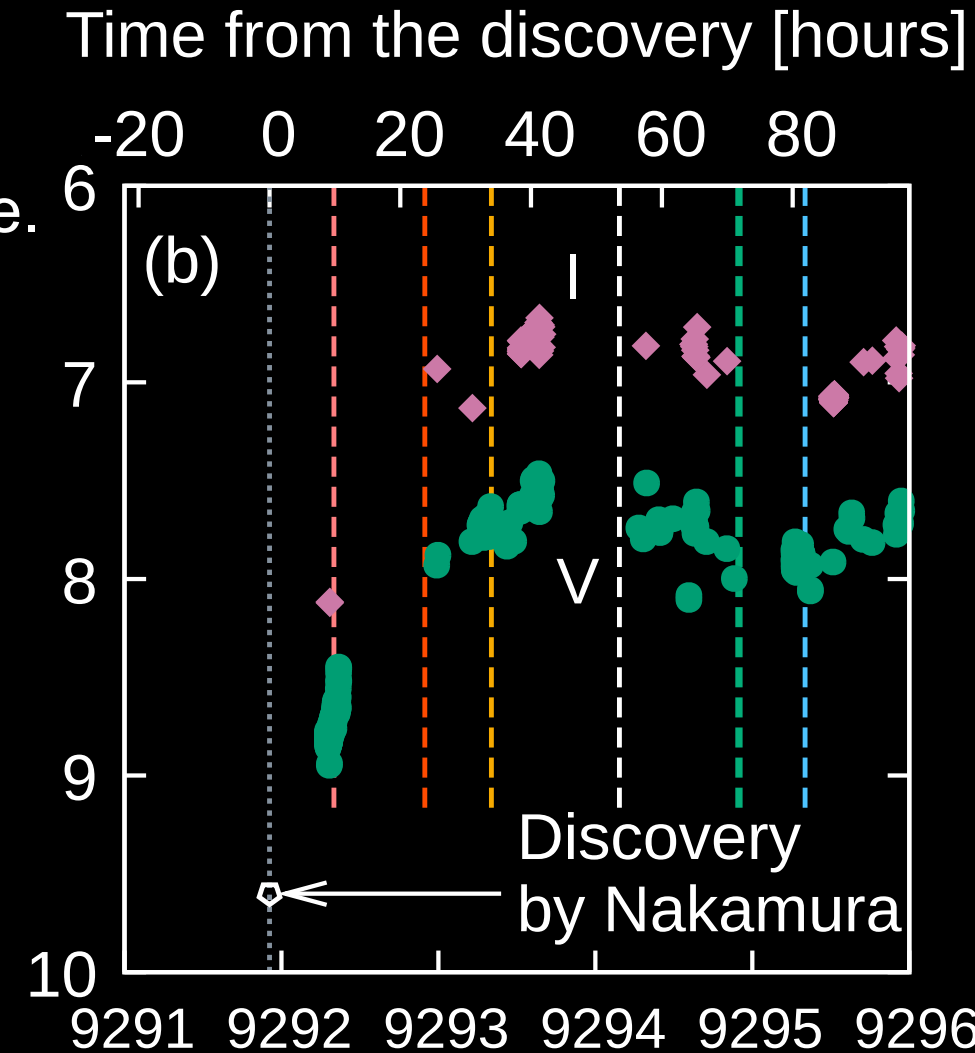
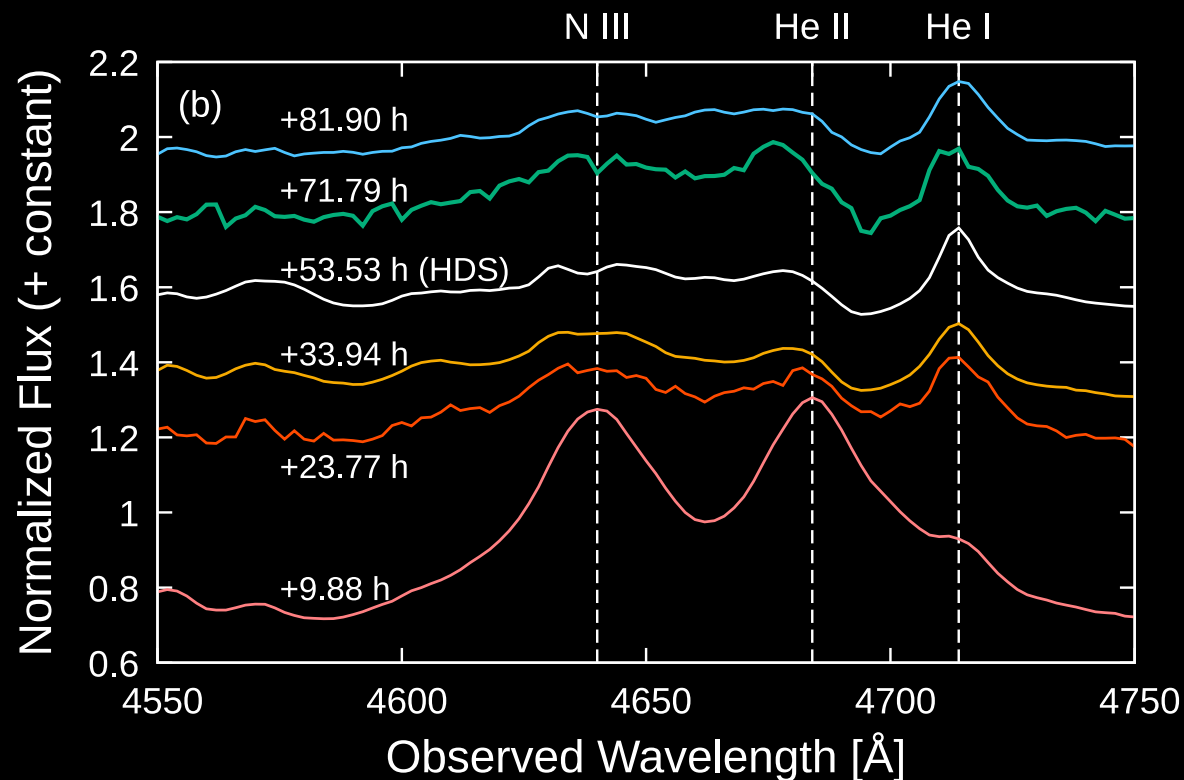
- Only in the earliest spectrum.



Example 2: V1405 Cas ([Taguchi et al. 2023](#))

- **Highly-ionized Emission Lines.**

- Only in the earliest spectrum.
- Seimei observed the nova on its initial rising phase.

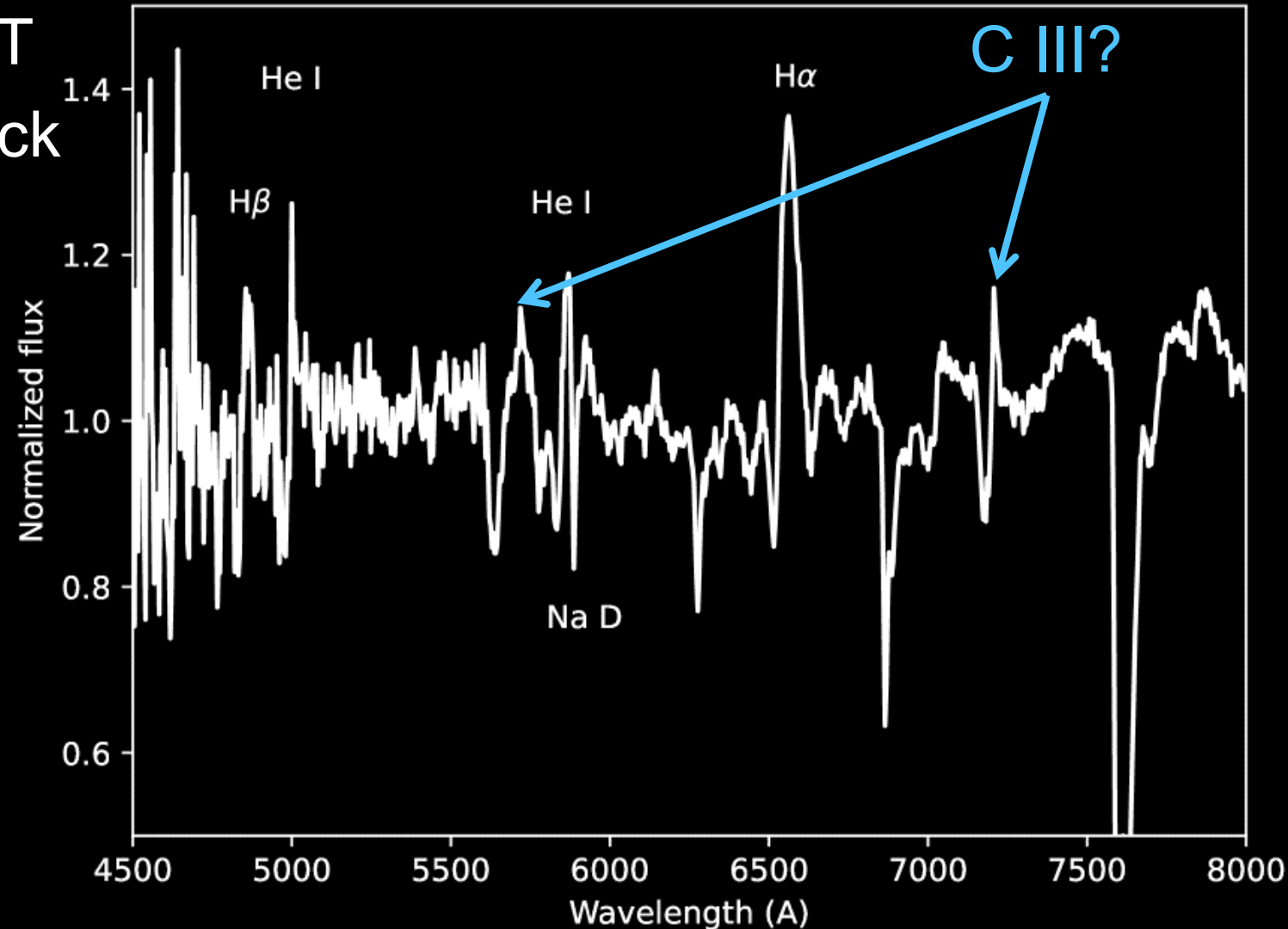


Example 3: V4370 Oph

([Uemura, ..., Taguchi et al. 2025](#))

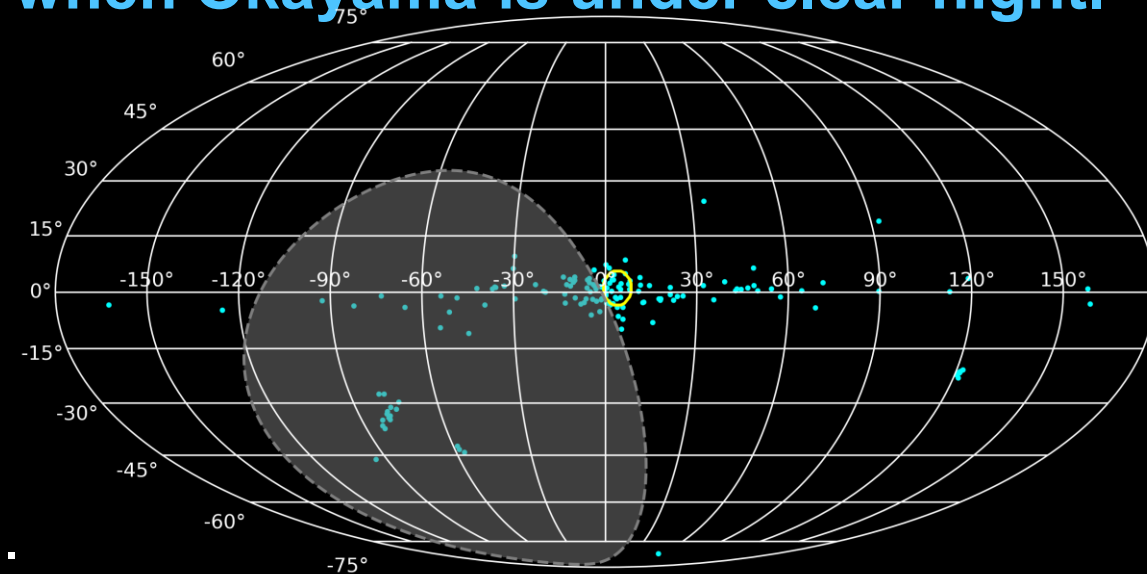
- Disc: 2024-03-10 27:36:35 JST
- Report: 2024-03-10 ~ 29 o'clock
- Spec: 2024-03-10 ~ 29:10
 - By Smart Kanata Telescope)
 - **Using specified AI**

- All done quickly:
 1. Imaging soon after ignition
 2. Detection
 3. **Classify 'likely a nova'**
 4. Spectroscopy



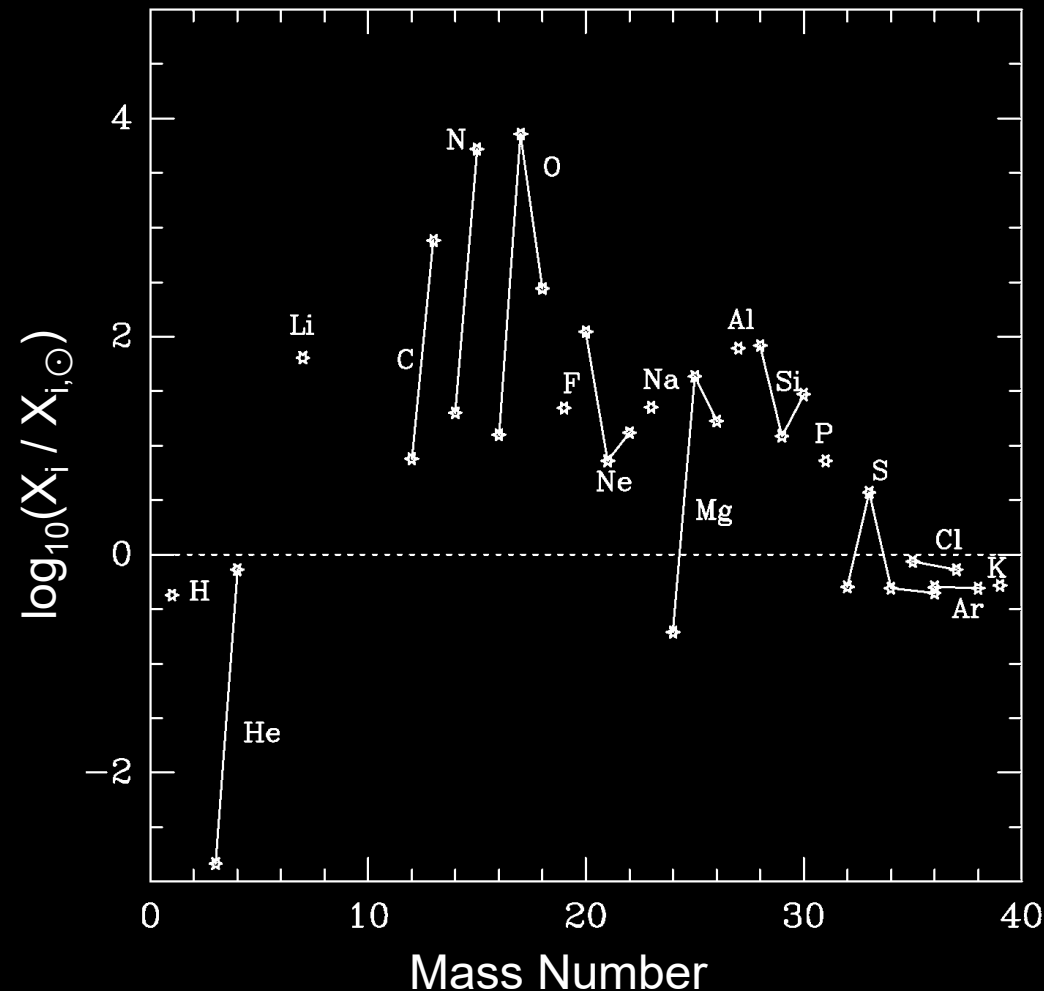
ToO Observation Aiming Nova (since 2019A)

- Once nova candidate discovered → immediately trigger ToO
 - **Once in ~ 3 years, a Galactic nova starts when Okayama is under clear night.**
 - ~ 10 novae are discovered per year.
 - All the following conditions:
 - Northern hemisphere.
 - Ignition when Okayama is at night.
 - The object is visible.
(• Luckily the object is discovered.)
 - Okayama sky is clear.
 - Bright dwarf novae may contaminate novae.
 - We are getting smart → the number of false ToO is decreasing.
 - ~ 30 novae in nearby galaxies (e.g., M31) are discovered per year.
 - We may trigger ToO for prospects.



Composition of Nova Ejecta: Daughter Nuclei

1.15 $M_{\odot}$ 'ONe nova' model ([José et al. 2006](#))



• Important aspects:

- Hydrogen burning.
- Denser compared to main-sequence stars.

→ Proton-rich nuclei are first produced.

→ β^+ -decays to stable nuclei.

- ${}^7\text{Be}$ (detected by [Tajitsu+2015](#)) $\rightarrow {}^7\text{Li}$ (~ 50 days)
- ${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C}$ (~ 10 mins)
- ${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N}$ (~ 2 mins)
- ${}^{17}\text{F} \rightarrow {}^{17}\text{O}$ (~ 1 min)
- ${}^{22}\text{Na} \rightarrow {}^{22}\text{Ne}$ (~ 3 years)
- **${}^{26}\text{Al}$: 'stable'** ($\rightarrow {}^{26}\text{Mg}$; $t_{1/2} \sim 0.7 \times 10^6$ years)

• Where are ${}^{26}\text{Al}$ nuclei from?

- 1/3 of ${}^{26}\text{Al}$ in LMC from novae? ([Vasini+2023](#))

How to detect ^{26}Al ?

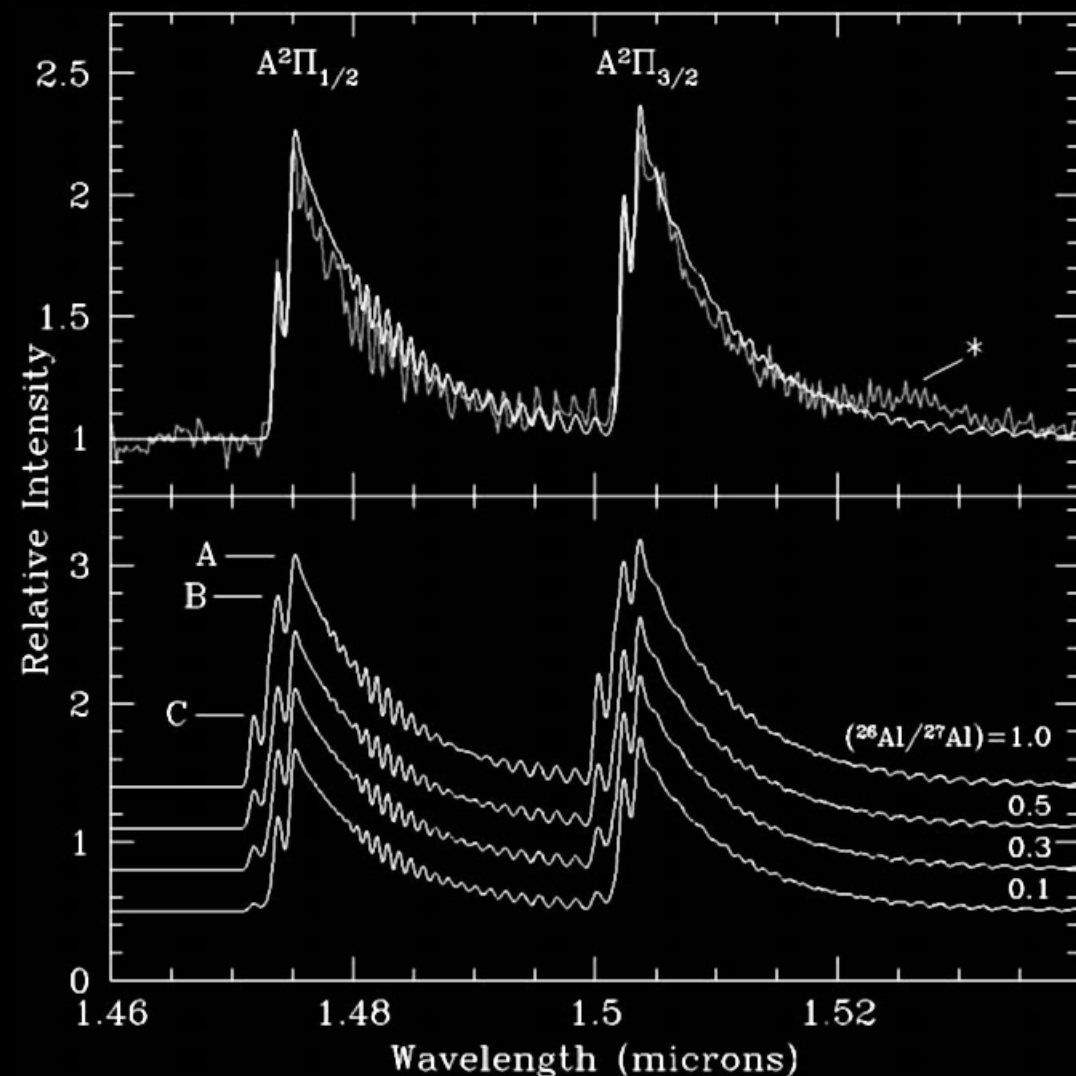
~ Case of Luminous Red Nova V4332 Sgr ([Banerjee+2004](#)) ~

- **NIR spectroscopy of AlO lines.**

- ^{26}AlO ($1.47325\ \mu\text{m}$) & ^{27}AlO ($1.47492\ \mu\text{m}$)
- ^{26}AlO ($1.50155\ \mu\text{m}$) & ^{27}AlO ($1.50351\ \mu\text{m}$)

→ upper limit of $^{26}\text{AlO} / ^{27}\text{AlO} < 0.10$.

- Note: luminous red nova is not a nova.
 - A merger event of a common envelope object.



GK Per (Nova Persei 1901)

- Characteristics
 - $d \sim 0.5$ kpc (very close!)
 - Nova in 1901.
 - From 1948, dwarf nova outbursts once in ~ 3 years (last time: 2022~23)
 - **AIO 4843 Å (?) detected in 1975 dwarf nova** (see section 8 of [Hack et al. 1993](#))
 - If AIO exists, we may be able to separate ^{26}AIO & ^{27}AIO .

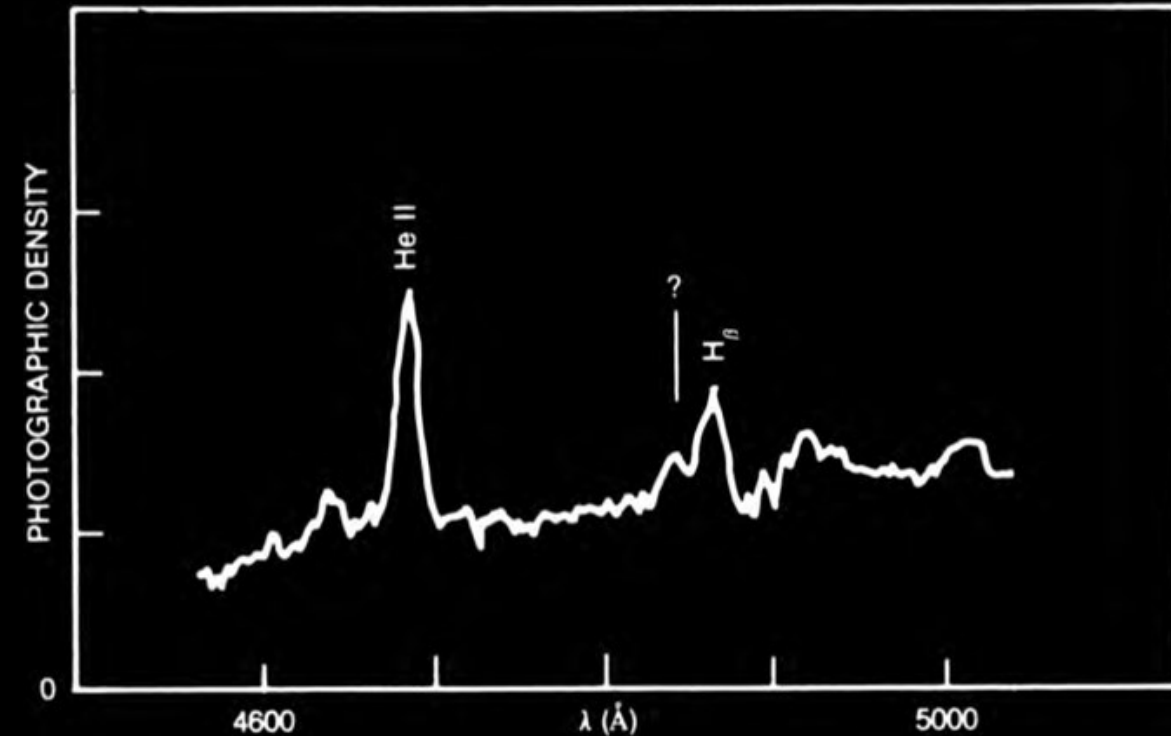
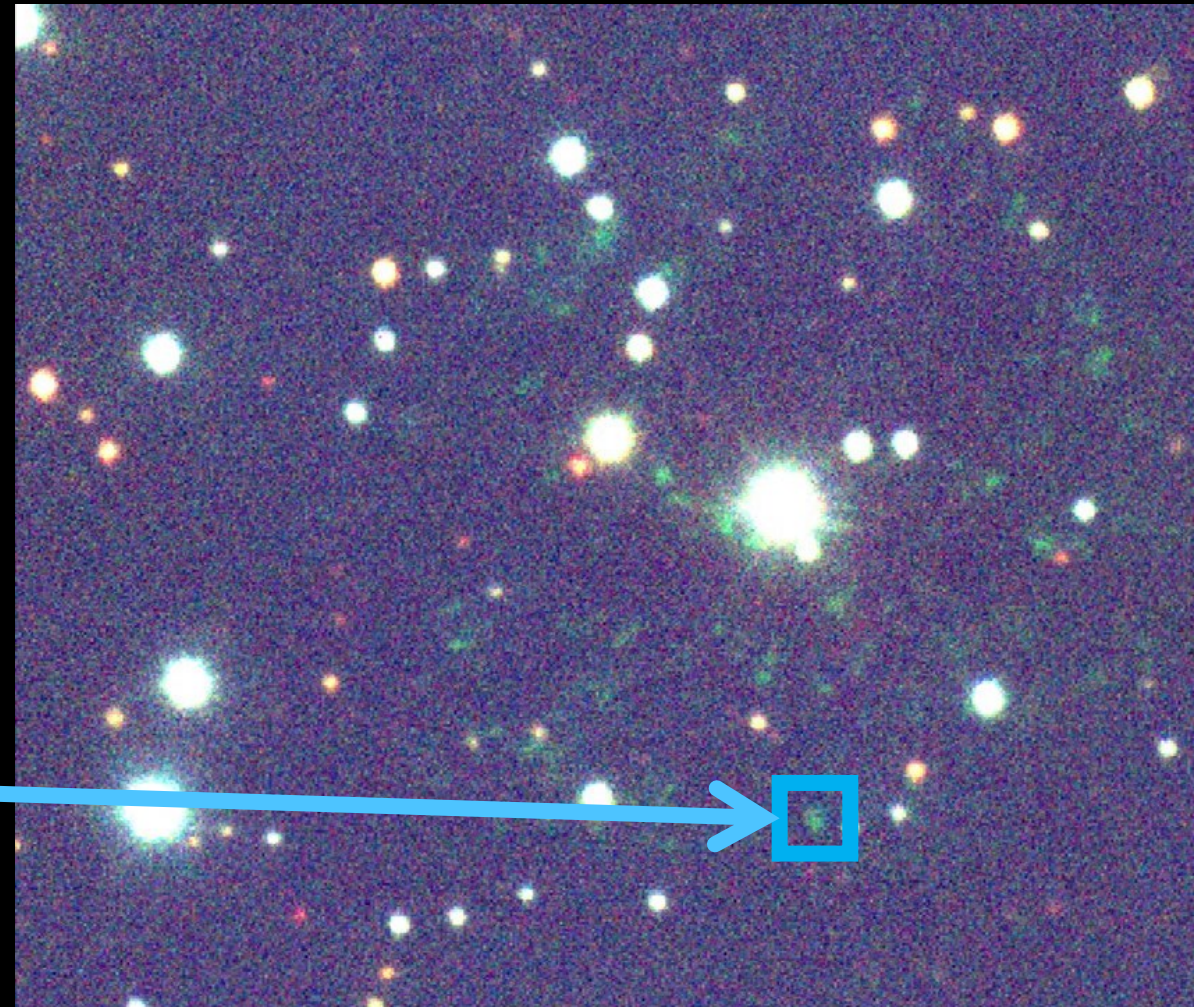


Figure 8-46. Portion of the plate spectrum taken with the 182-cm reflector of the Asiago Observatory during the light peak of 1975. The unusual emission at $\lambda 4842$ is shown.

GK Per (Nova Persei 1901)

- Characteristics
 - $d \sim 0.5$ kpc (very close!)
 - Nova in 1901.
 - From 1948, dwarf nova outbursts once in ~ 3 years (last time: 2022~23)
 - **AIO 4843 Å (?) detected in 1975 dwarf nova** (see section 8 of [Hack et al. 1993](#))
 - What we did with Seimei.
 - Spectroscopy during quiescent
 - GK Per binary itself
 - Remnant of 1901 nova eruption
- No AIO (4843 Å) detected.
(Remnant is too cool to excite AIO)

TriCCS g2/r (old filter)/i2



GK Per (Nova Persei 1901)

- Characteristics
 - $d \sim 0.5$ kpc (very close!)
 - Nova in 1901.
 - From 1948, dwarf nova outbursts once in ~ 3 years (last time: 2022~23)
 - **AIO 4843 Å (?) detected in 1975 dwarf nova** (see section 8 of [Hack et al. 1993](#))
- What we did with Seimei.
 - Spectroscopy during quiescent
 - GK Per binary itself
 - Remnant of 1901 nova eruption
 - No AIO (4843 Å) detected.
(Remnant is too cool to excite AIO)
- What we want to do
 1. Spectroscopy in DN outburst
 - Check AIO (4843 Å)
 - In DN, the GK Per binary emits UV
→ excite AIO?
 2. NIR spec by Kanata/HONIR?
 - AIO (1.47、1.50 μm) is observable in quiescent/outburst?

(if AIO is confirmed in 1 or 2)

 3. Spectroscopy using Subaru/IRCS to separate ^{26}AIO and ^{27}AIO

Summary

- Novae brighten quickly!
 - Seimei gets 2nd example of nova spectra during the initial rising.
 - **Please allow us to trigger ToOs.**
 - Success rate: 1 nova in ~ 3 years.
- GK Per (nova in 1901) project started
 - During the 1975 **dwarf nova**, AIO reported.
([Hack et al. 1993](#)'s section 8)
 - We also want to catch AIO.
 - We want to separate ^{26}AIO and ^{27}AIO .
 - By now, we observe in the **quiescent phase**
 - No AIO detected.

