

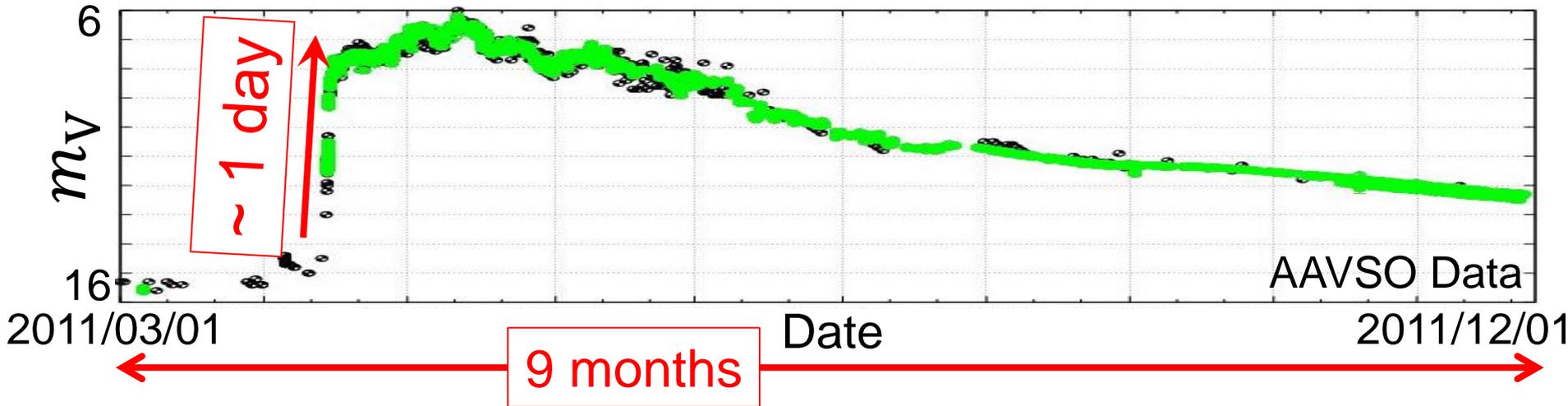
Tomo-e Gozen を用いた サーベイと即時分光による 古典新星の初期段階の研究 の提案

2019.7.9 (木曾シュミットシンポジウム)

田口 健太 (京都大学M2)

共同研究者: 前田啓一、小路口直冬(京都大学)、
前原裕之(国立天文台)、新井彰(京都産業大学)

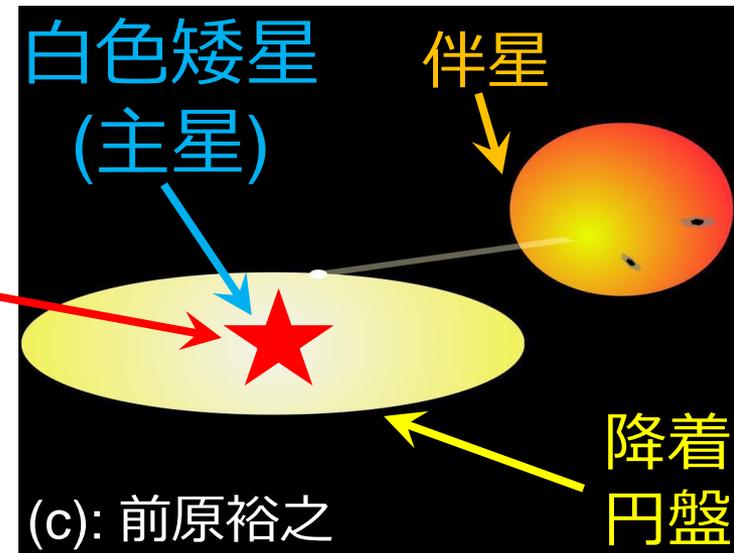
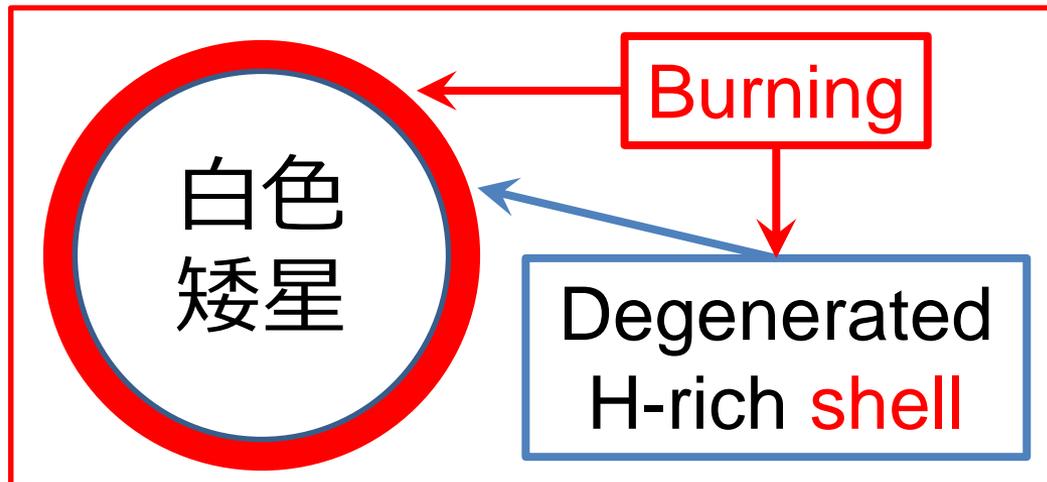
(古典)新星の光度曲線



- 突然 (~ 1 日)、明るくなる (V 等級 m_V で 10 くらい)
 - 夜空に**新**しい**星**が現れたように見える
 - その後は暗くなる (数日から数百年で元に戻る)
- 複数回 (間隔は 10~100 年) 新星を起こした天体も存在
 - **回帰新星**と呼ばれモニター観測されている

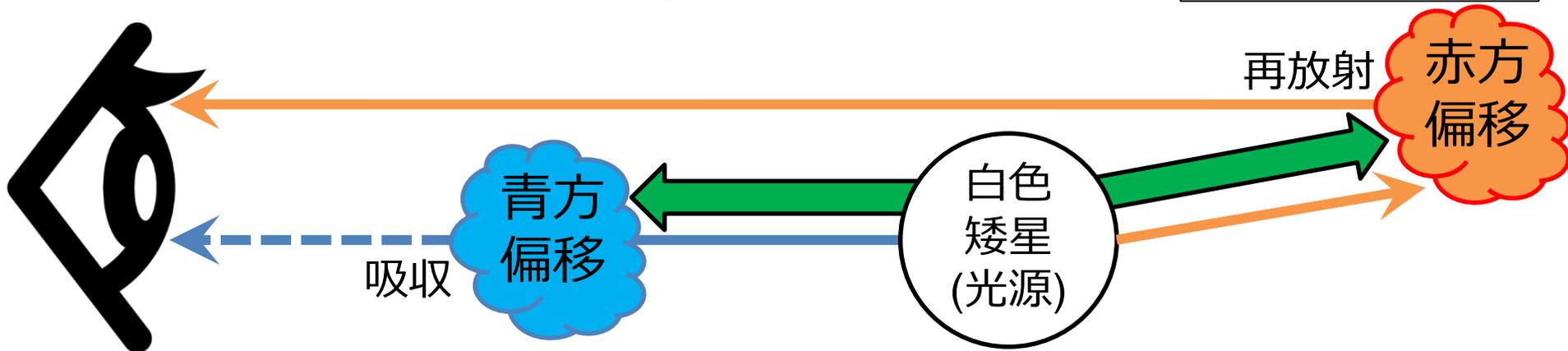
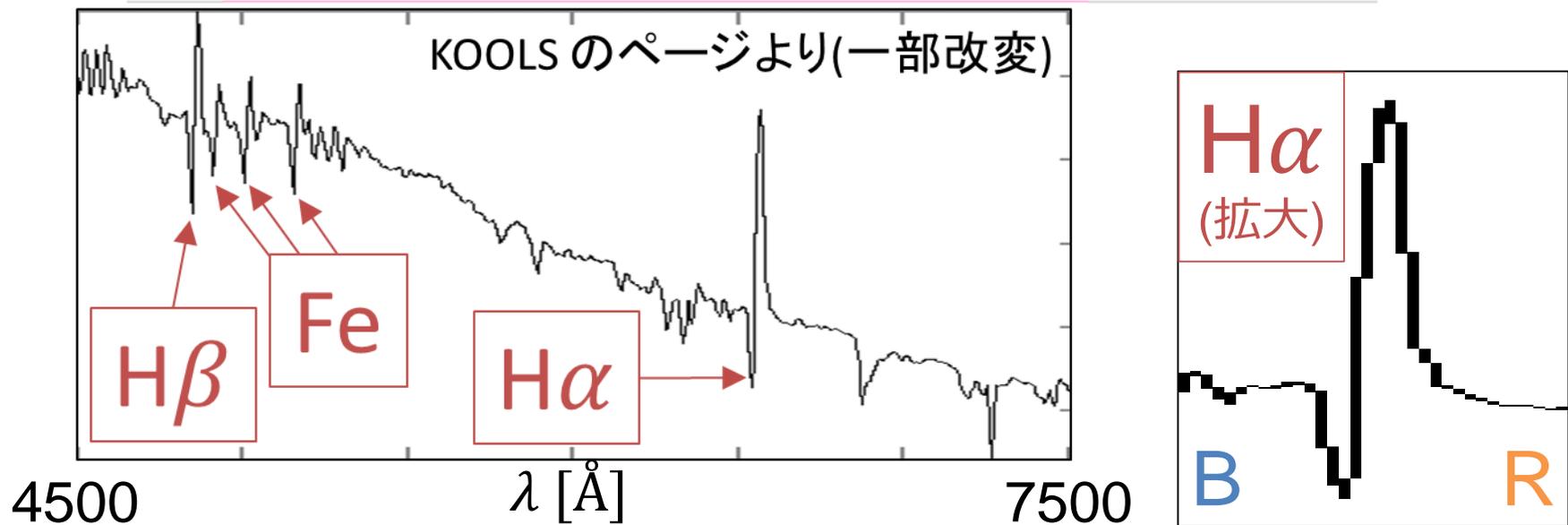
新星の爆発メカニズム

- 白色矮星 (主星) + 伴星 (晩期型) の近接連星系
- 伴星から白色矮星にガスが流入
 - 白色矮星表面に堆積 → H-rich な gas-shell を形成
- ガスが shell に溜まれば溜まるほど shell が高温・高密に
 - ある瞬間に shell のガスに火がつき 一気に燃える = 新星
- その後は降着が再開 → 次の新星へ (再帰新星)



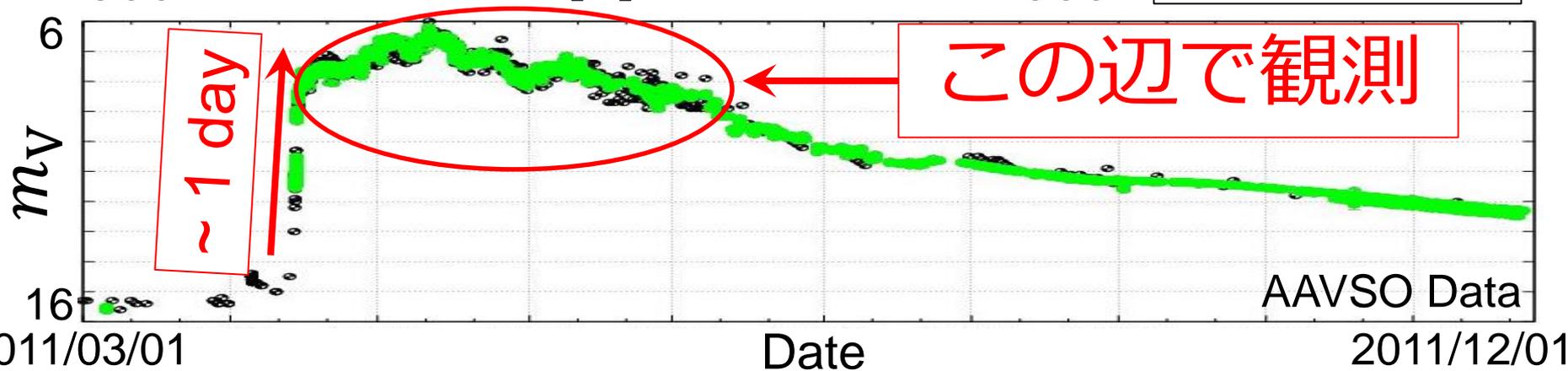
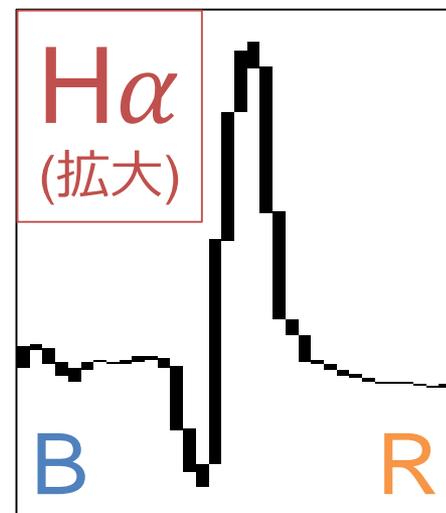
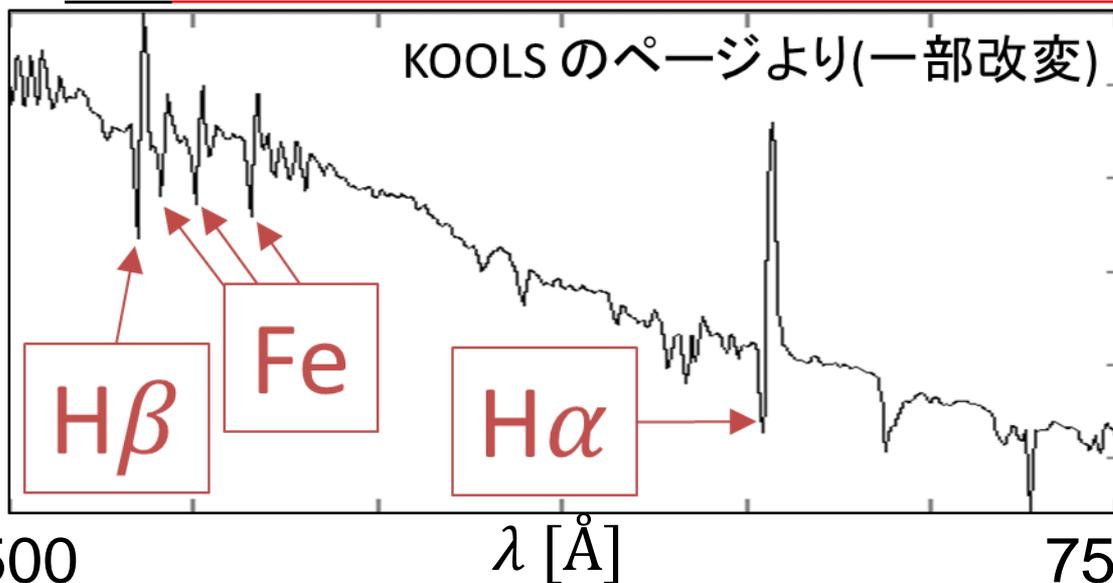
「通常の」 新星の可視スペクトル

- P Cygni 型 (吸収成分+輝線成分) のスペクトル線多数
→ 外向きに広がる新星に伴う質量放出を見ている
 - 但しほとんどの観測は急な増光が終わった後にされている



「通常の」 新星の可視スペクトル

- P Cygni 型 (吸収成分+輝線成分) のスペクトル線多数
→ 外向きに広がる新星に伴う質量放出を見ている
 - 但しほとんどの観測は急な増光が終わった後にされている

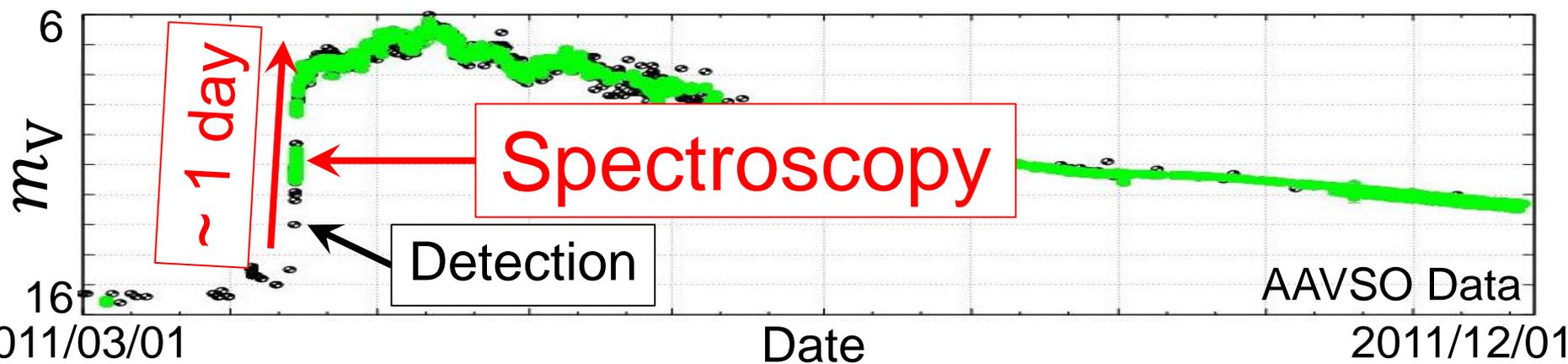
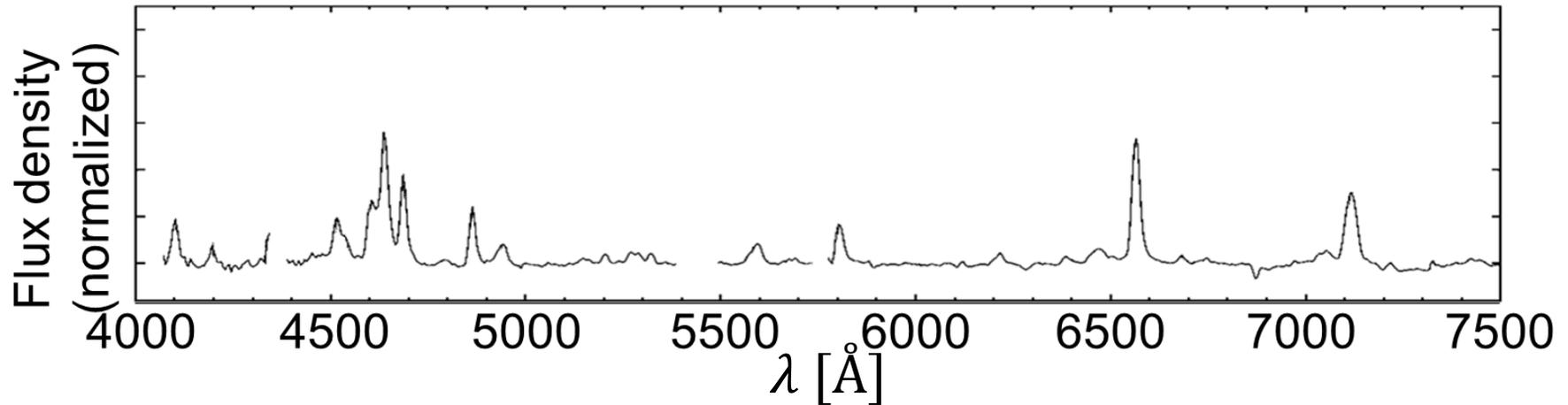


増光初期のスペクトル (まだほとんどない)

- Arai+ (2015): **新星の増光中に分光に成功**

→ **Wolf Rayet like な高階の輝線スペクトル**

- 但し、初期段階の観測は1度のみ (発見から **0.19 日後**)



新星の早期分光観測を行う動機

- 疑問

- T Pyx で初期に見られた Wolf-Rayet 星に似たスペクトルは他の新星にもみられるか?
- もし見られたとして、継続時間は?
- スペクトルの変化の物理的解釈は?

- 観測的アプローチ

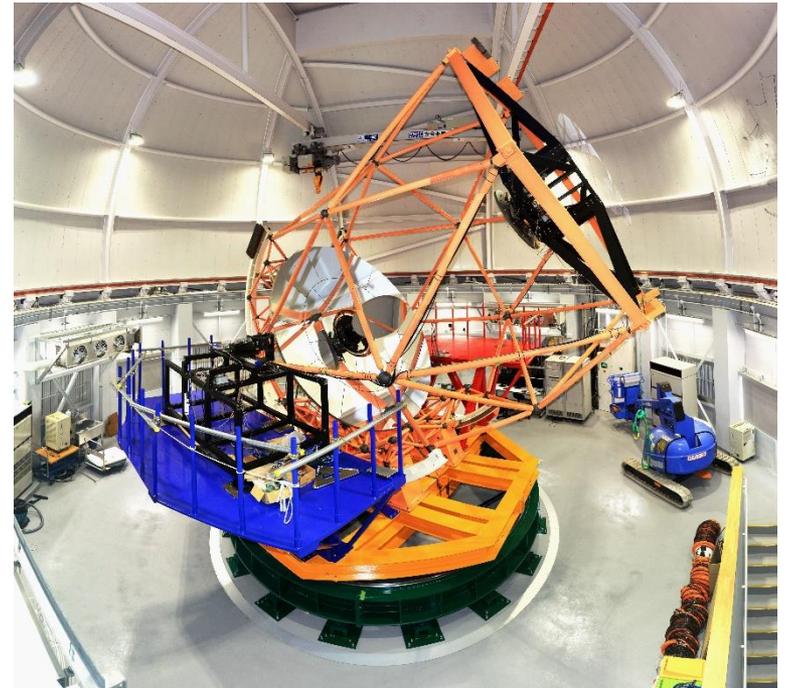
- 新星を爆発開始後に速やかに発見する
- 発見されたらすぐに (その夜の間) 分光する

- 理論的アプローチ

- モデル計算 (輻射輸送計算など)

新星の早期分光観測に向けて

- 観測的アプローチ
 - 新星を爆発開始後に速やかに発見する
 - 発見されたらすぐに (その夜の間) 分光する
- 京大 3.8 M せいめい望遠鏡を用いた即時分光観測を計画中
 - 2019年後期 (下半期)
 - 共同利用観測: 採択
 - 京大時間観測: 審査待ち
 - (参) 2019年前期 (上半期)
 - 京大時間観測: 採択
(新星は不発、観測なし)

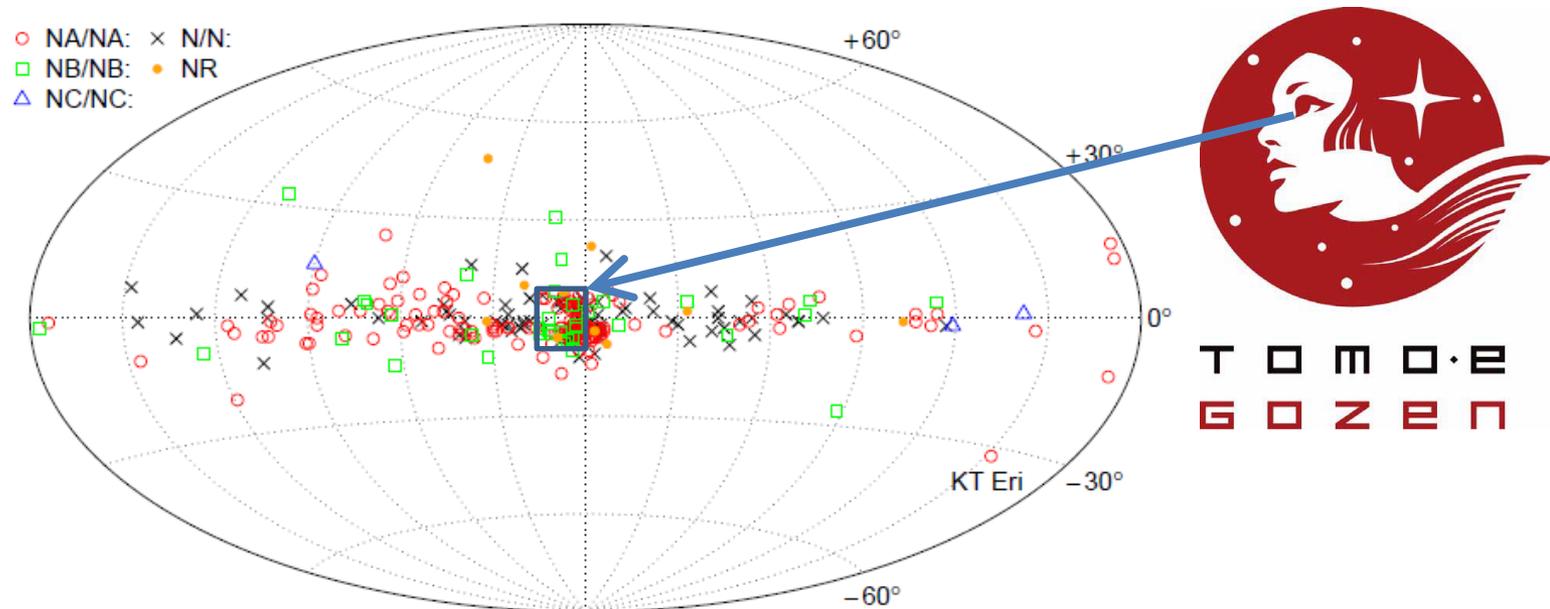


Tomo-e に期待する役割

- 観測的アプローチ
 - 新星を爆発開始後に速やかに発見する
 - 発見されたらすぐに (その夜の間) 分光する
 - 京大せいめい望遠鏡での観測を計画中
- 新星の早期発見のため、Tomo-e を用いてサーベイしてアラートを頂けませんか？
 - 岡山で観測するためには同じ日本での発見が強く望まれる!!
 - Tomo-e で 2 hr-cadence のサーベイを行えば増光中にでも検出が可能
 - 銀河面 (特に銀河中心) 近くをお願いします!!
(パイプラインなどはあるのでしょうか?)

Tomo-e による新星サーベイ

- 銀河面 (特に銀河中心付近) を撮る必要
 - 新星の大部分は銀河面 (特に銀河中心付近) に出現する (超新星サーベイとは異なる天域)
 - 銀緯 $|b| < 10^\circ$ 、銀経 $0^\circ < l < 15$ 辺りか?



Imamura and Tanabe (2012)

Fig. 1. The distribution of classical and recurrent novae in galactic coordinates (an Aitoff projection) depicted by the present author (KI). The data are from CV catalog (Downes et al. 2005) and IAU circulars (2006-2010 CNe). Red circles, green squares, blue triangles, black crosses and orange filled circles mark are fast novae (NA/NA:), slow novae (NB/NB:), extremely slow novae (NC/NC:), uncategorized novae (N/N:) and recurrent novae (NR), respectively.

Event Rate?

- 新星の発生数
 - 地球全体で: 10~15 novae / yr (ほど発見)
 - ~15 novae / yr 発生と仮定 (発見損ないを含む)
 - 大体 ~600 hr-of-obs / nova
 - 銀河中心に限れば ~1000 hr-of-obs / nova (ほど)
 - 「銀河中心の観測@木曾」の条件
 - 銀河中心が夜上がる期間: ~1000 hr / yr
 - 晴天率を考え、銀河中心は ~350 hr-of-obs / yr
- 3年に1回木曾で銀河中心の新星を発見
- 銀河面の他の領域も入れれば2年に1回ほど

再帰新星

- 複数回の新星爆発が報告されている天体
 - 10-100年くらいの間隔
- 今後数年で次の新星を起こしそうな天体
 - U Sco: 1863, 1906, 1917, 1936, 1945, 1969, 1979, 1987, 1999, 2010 に新星爆発
 - T CrB: 1866, 1946 に新星爆発
(など数天体)
- 普通の新星より白色矮星が重い系が多い
 - U Sco の場合 $1.55 \pm 0.24 M_{\odot}$ (Thoroughgood et al. 2001)

再帰新星

- 普通の新星より白色矮星が重い系が多い
 - U Sco の場合 $1.55 \pm 0.24 M_{\odot}$ (Thoroughgood et al. 2001)
 - 初期に分光された T Pyx も再帰新星
- 普通の新星より質量降着率も高い
- 再帰新星ではない新星において、T Pyx で見られたような WR-like なスペクトルは見られるだろうか? (決して自明な問題ではない)
 - 新たな新星をサーベイで早期発見したい

新星の早期分光観測を行う動機

- 疑問

- T Pyx で見られたような輝線は他の新星にもみられるか?
- もし見られたとして、継続時間は?
- **スペクトルの変化の物理的解釈は?**

- 観測的アプローチ

- 新星を爆発開始後に速やかに発見する
- 発見されたらすぐに (その夜の間) 分光する

- 理論的アプローチ

- モデル計算 (**輻射輸送計算**など)

“Nova cycle” in HR diagram

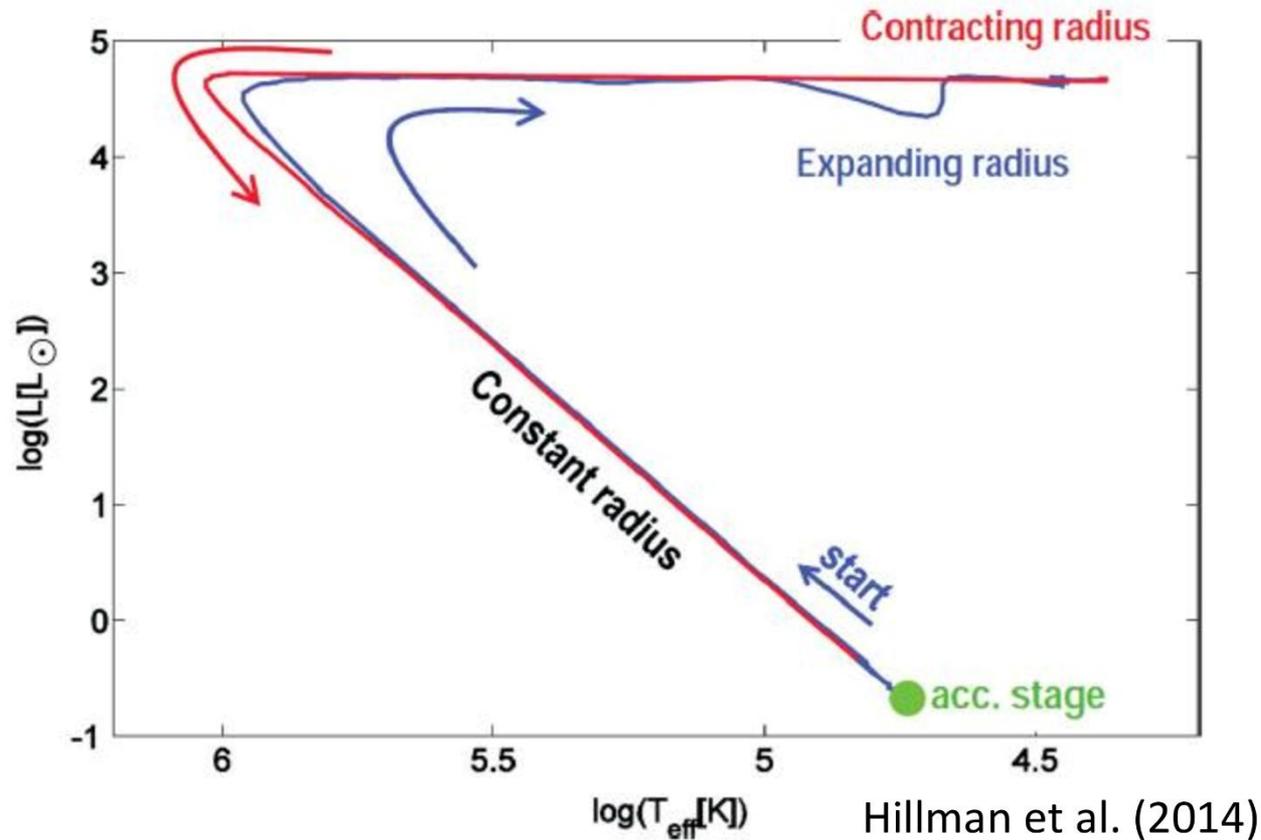
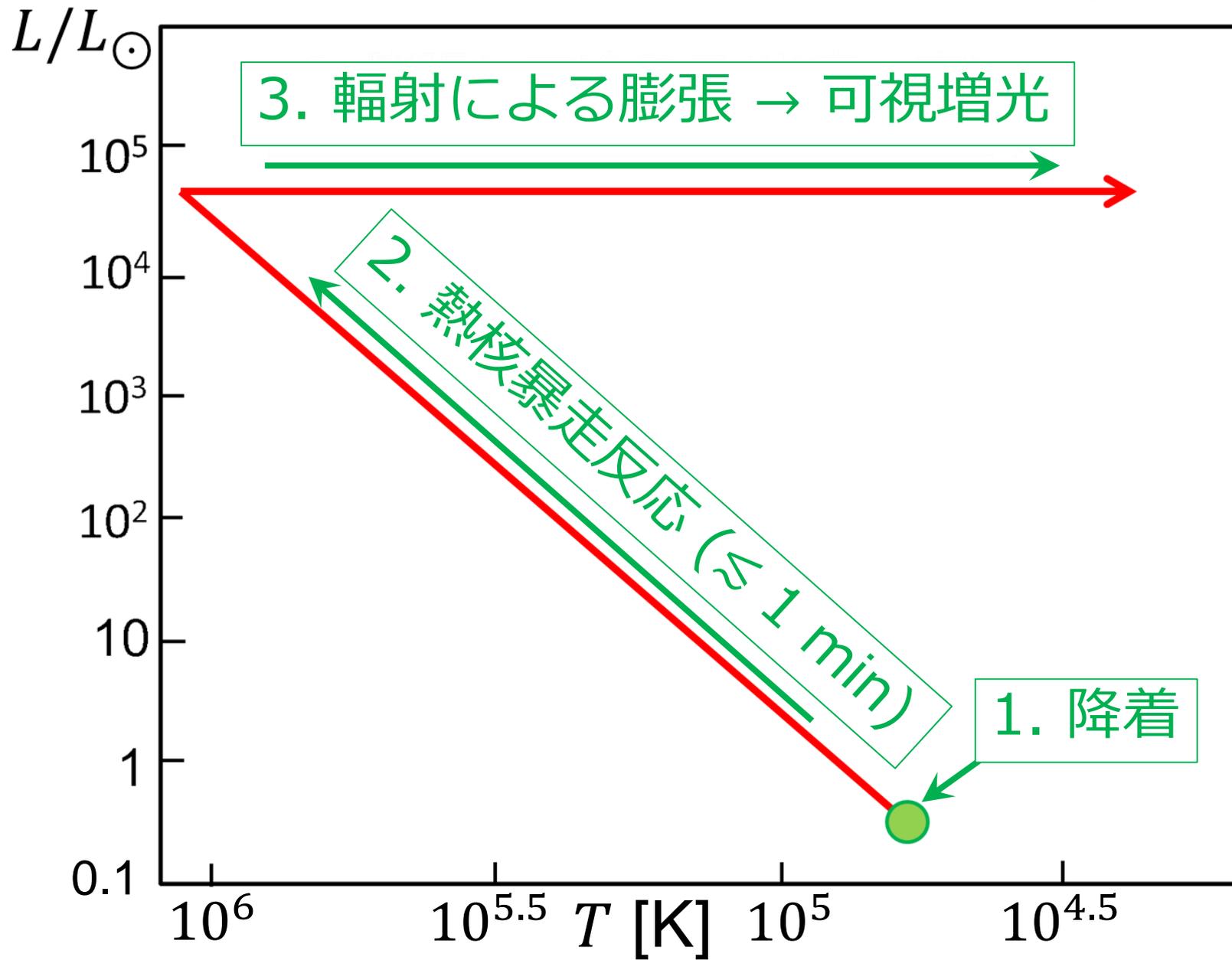


Figure 1. A full, typical nova cycle shown in an HR diagram, for the parameter combination; $M_{\text{WD}} = 1.25 M_{\odot}$, $T_c = 5 \times 10^7 \text{ K}$ and $\dot{M}_{\text{WD}} = 10^{-10} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$.

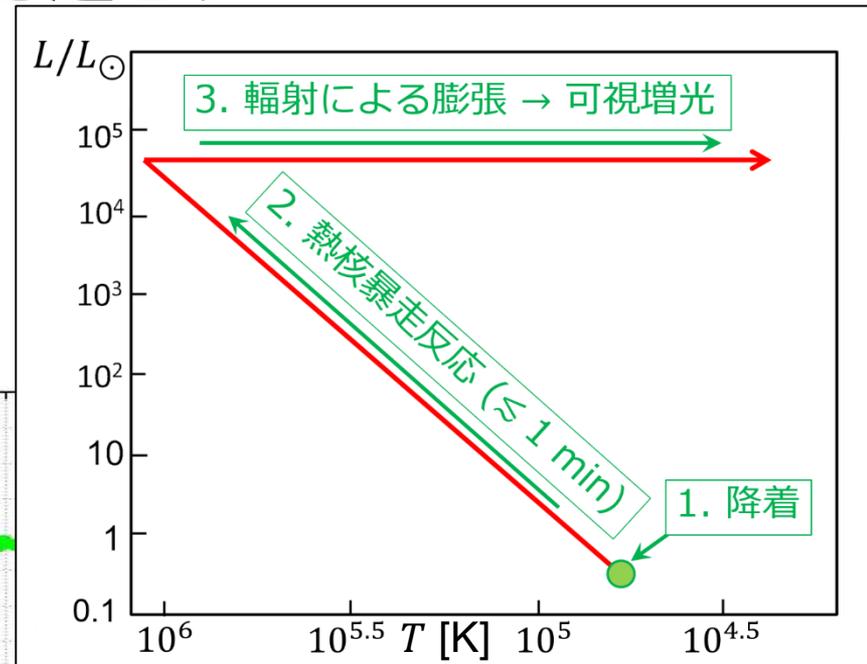
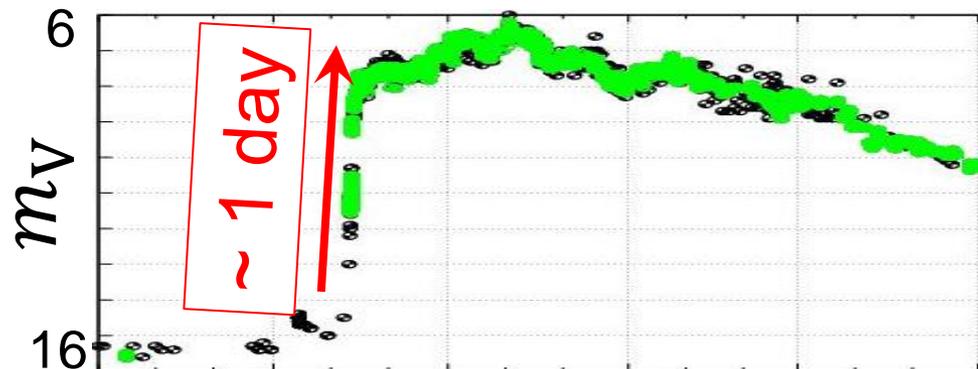
前原さんのスライドより
(KOOLS+Tomo-e 研究会, 2017)

“Nova Cycle” on the HR Diagram



新星の増光は「急激」

- 新星は ~ 1 day で可視増光
 - 新星の光球面は ~ 1 day で大きく膨張
(この間、系の周囲のガスの密度構造なども変化)
→ スペクトルの変化を引き起こす



AAVSO Data

2011/03/01

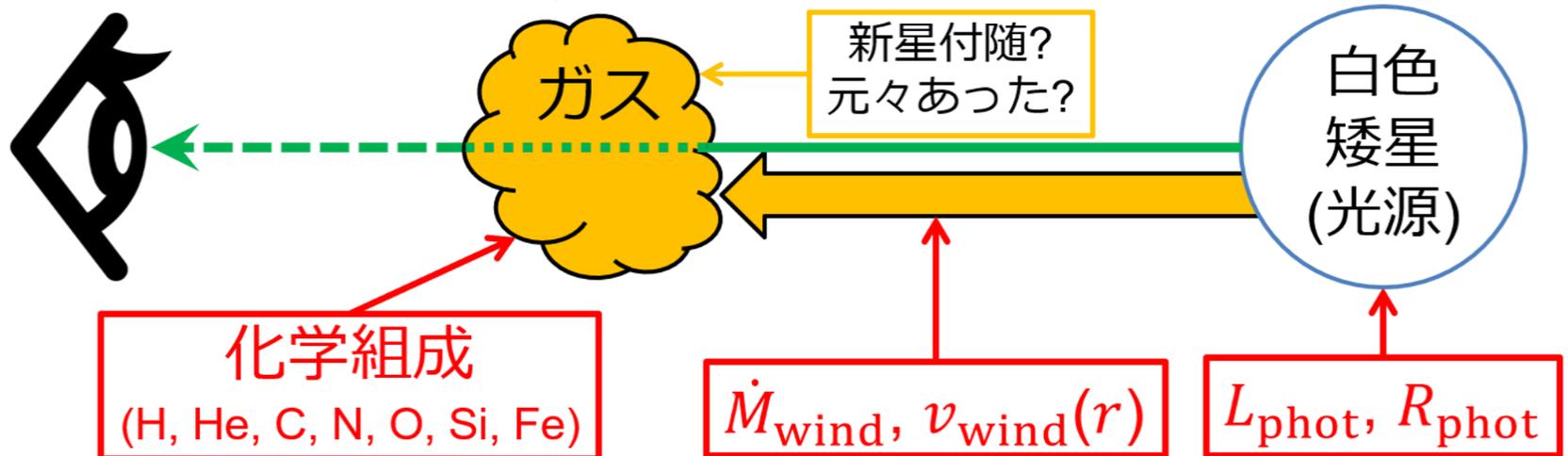
Date

2011/12/01

9 months

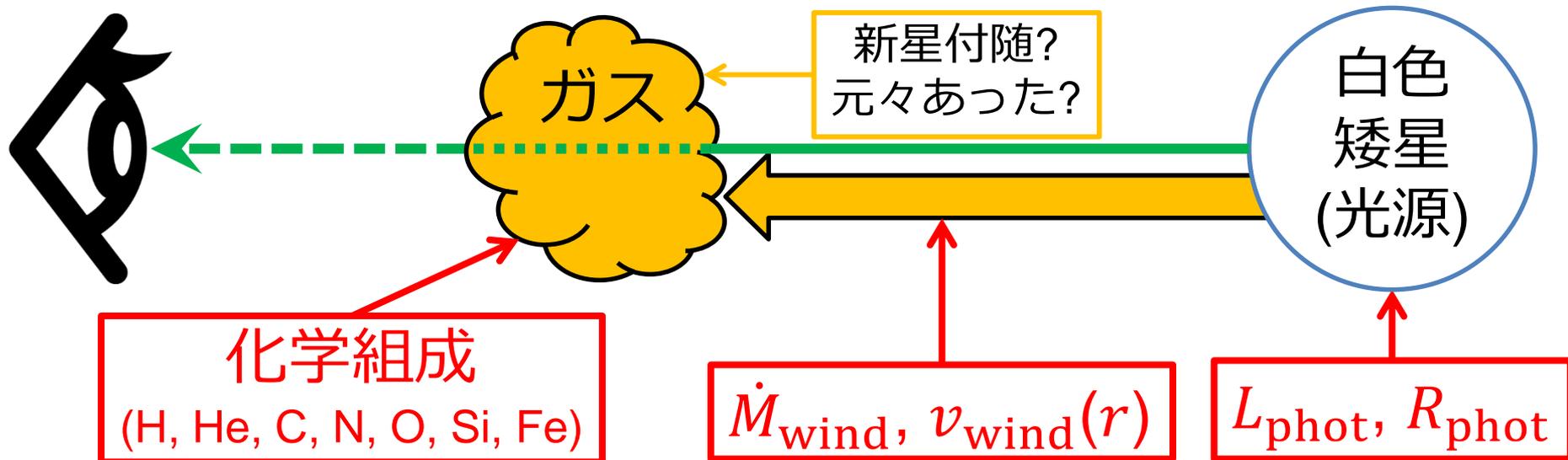
新星の増光は「ゆっくり」

- 新星は ~ 1 day で可視増光
 - 新星の光球面は ~ 1 day で大きく膨張
(この間、系の周囲のガスの密度構造なども変化)
→ スペクトルの変化を引き起こす
 - しかし、この変化は輻射輸送 (光球面を出た光子のエネルギーが脱出 / 再放射 / 吸収などを繰り返して失われる) と比較して遅い
→ 近似的に定常系での輻射輸送計算が適用可能



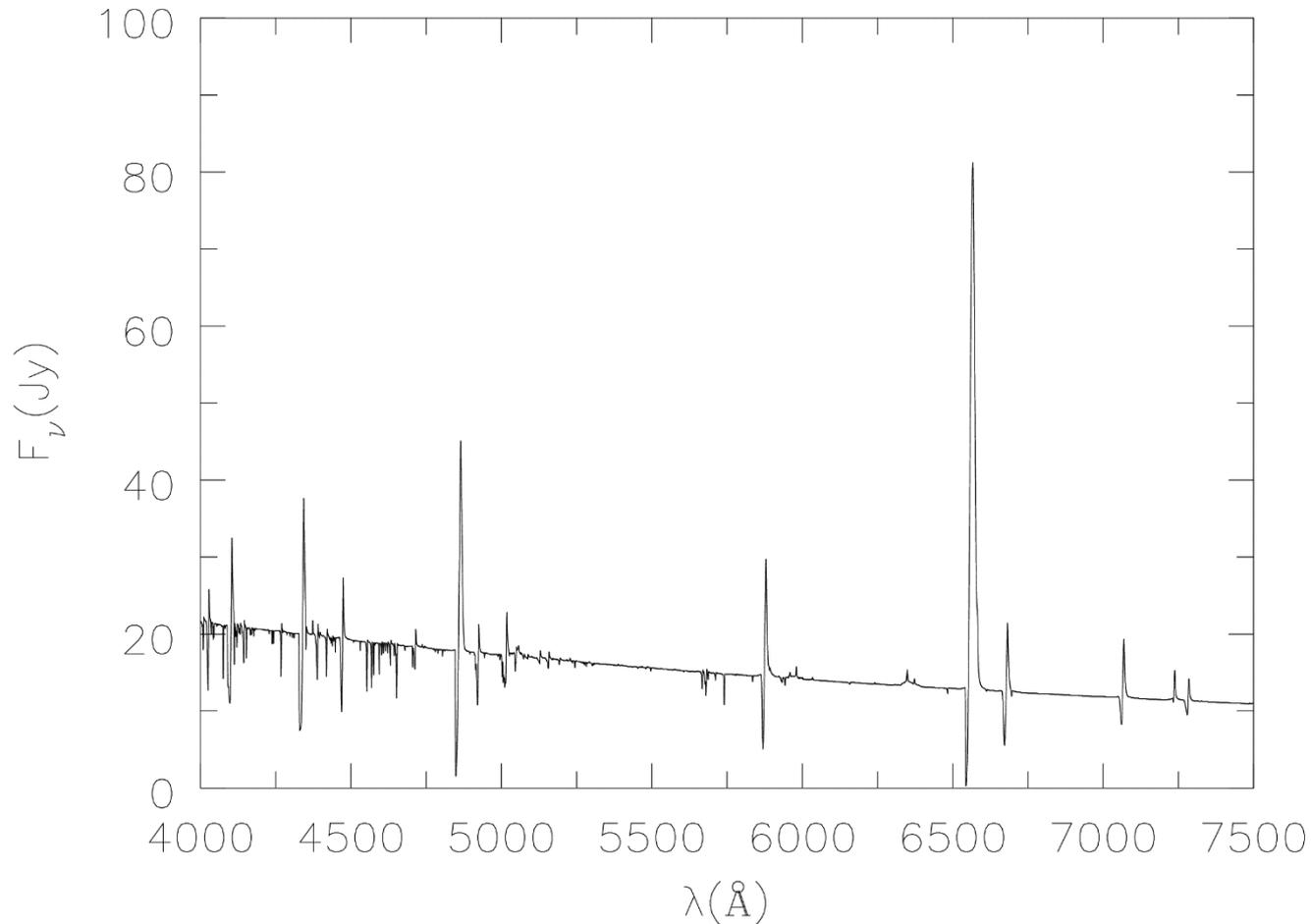
新星を想定した輻射輸送計算

- 系を特徴づける物理量(質量放出の量・組成等)とスペクトルの関係を**輻射輸送計算**を用いて探る
 - コード: **CMFGEN** (Hillier and Miller 1998) を使用
(2017年にアップデートされてるので古いコードではない)
 - 球対称大気、non-LTEな**定常解**をグリッドベースで計算
(系の変化のタイムスケールは輻射輸送よりも十分遅い)



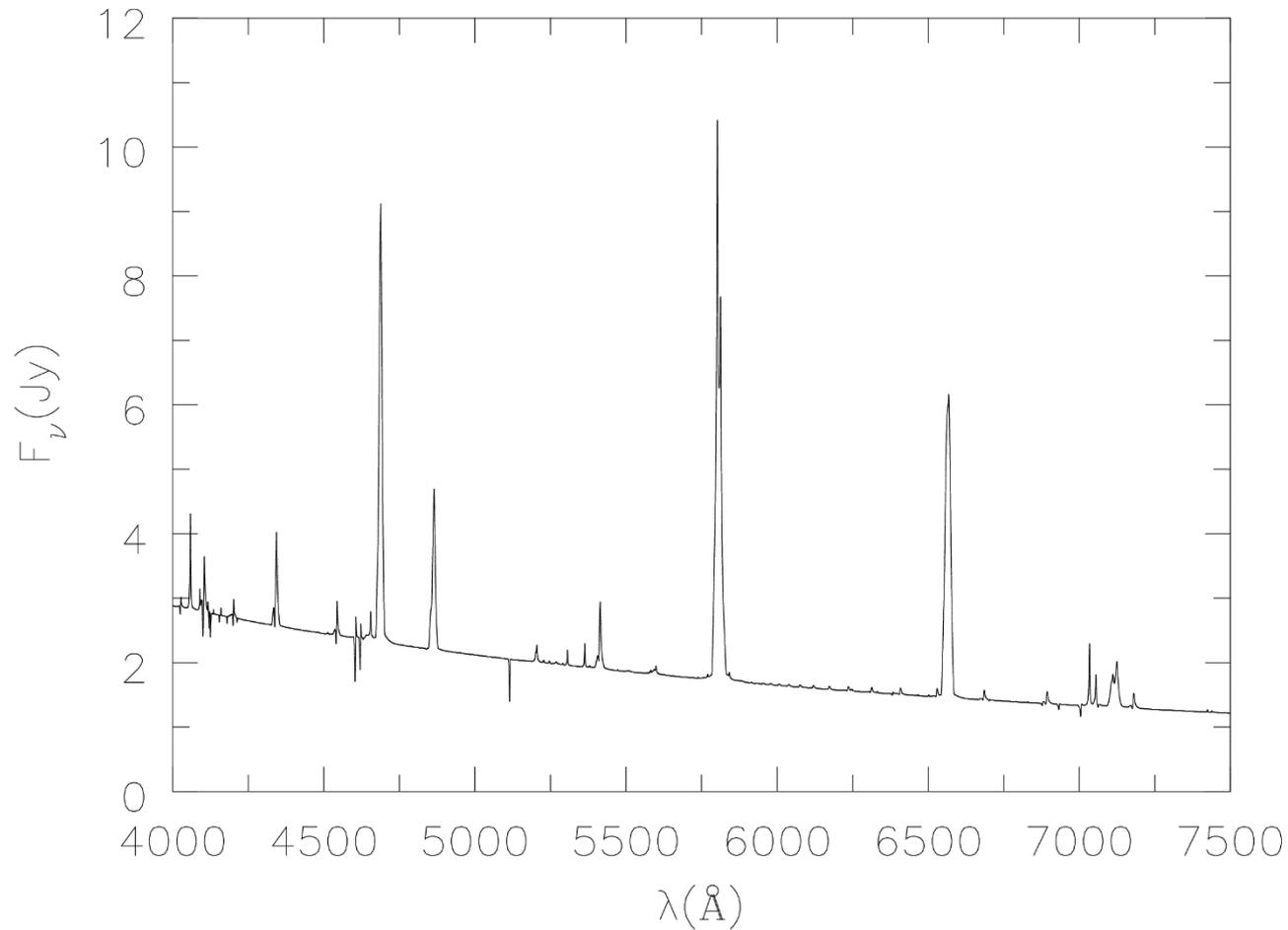
計算例1 (太陽組成ガスを仮定)

$$R_{\text{phot}} = 10R_{\odot}, \dot{M} = 2 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{yr}, L = 3 \times 10^4 L_{\odot}$$



計算例2 (太陽組成ガスを仮定)

$$R_{\text{phot}} = 1R_{\odot}, \dot{M} = 3 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}, L = 3 \times 10^4 L_{\odot}$$



まとめ

- 過去の観測のまとめ:
 - 増光中: 輝線が多いスペクトル (Arai et al. 2015)
 - このような観測例はほとんど存在しない
 - その後: P Cygni 型 (質量放出を示唆) の線
- Tomo-e をサーベイとして使用して頂き、発見された新星はその夜のうちに岡山で分光したい
 - 銀河面 (特に銀河中心) 近くをお願いします!!
(現在の銀河系内サーベイとしての運用はどのようになっているのでしょうか??)
- 輻射輸送計算によるスペクトル計算中
(→ 観測との比較で新星初期における周囲のガスの量・組成を調べたい)

Tomo-e に期待する役割

- 観測的アプローチ
 - 新星を爆発開始後に速やかに発見する
 - 発見されたらすぐに (その夜の間) 分光する
 - 京大せいめい望遠鏡での観測を計画中
- 新星の早期発見のため、Tomo-e を用いてサーベイしてアラートを頂けませんか？
 - 岡山で観測するためには同じ日本での発見が強く望まれる!!
 - Tomo-e で 2 hr-cadence のサーベイを行えば増光中にでも検出が可能
 - 銀河面 (特に銀河中心) 近くをお願いします!!
(パイプラインなどはあるのでしょうか?)