

回帰新星 T Pyx の2011年 爆発時におけるスペクトルの進化

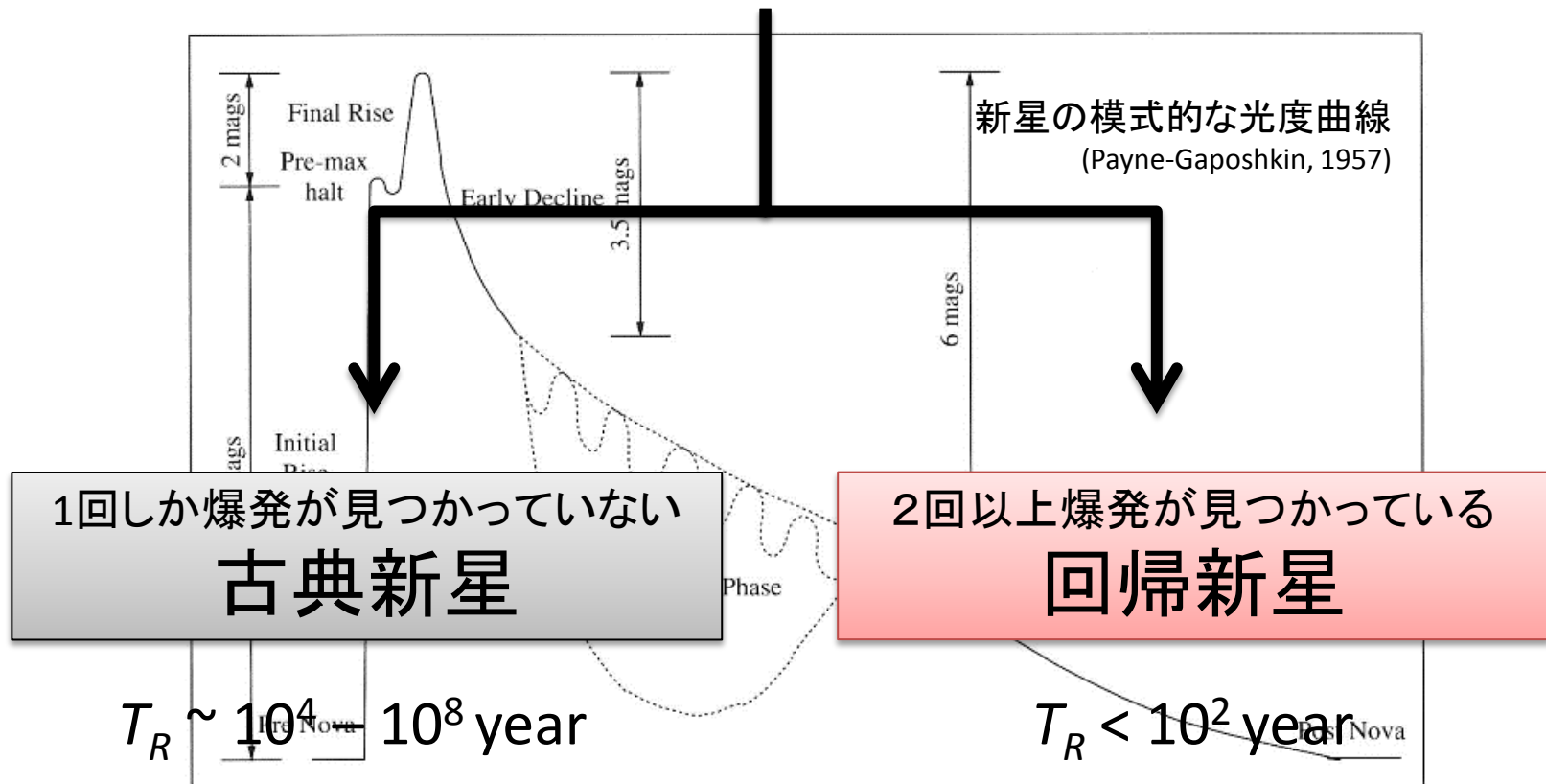
The Spectral Evolution of Recurrent Nova T Pyx in 2011 outburst

今村和義, 田邊健茲, 高木良輔
岡山理科大学



1. Introduction -Novae-

- 白色矮星(WD)と赤色星からなる**激変星**
- WD表面上での**熱核暴走反応**によって急激に増光



Galactic Recurrent Novae

現在確認されている銀河系の回帰新星 (Schaefer, 2010)

Star	Outburst	P_{orb}	t_3	Sp.(2)
CI Aql	1917, 2000	0.6183 d	36 d	?
T CrB	1866, 1946	227.57 d	6 d	M3III
V394 CrA	1949, 1987	0.76 d	6 d	K
IM Nor	1920, 2002	0.1025 d	80 d	?
RS Oph	1898, 1933, 1958, 1967, 1985, 2006	455.72 d	14 d	M0-2III
V2487 Oph	1900, 1998	~1 d	8 d	?
T Pyx	1890, 1902, 1920, 1944, 1966, 2011	0.0762 d	62 d	?
V3890 Sgr	1962, 1990	519.7 d	17 d	M5III
U Sco	1863, 1906, 1917, 1936, 1945, 1969, 1979, 1987, 1999, 2010	1.2304 d	3 d	F8
V745 Sco	1937, 1989	510 d	15 d	M4III

Classification of Recurrent Novae

三つのサブクラス

Warner (1995) より

T Pyx subclass

T Pyx

P_{orb} が1日以下
 t_3 が長い

U Sco subclass

U Sco,
V394 CrA

P_{orb} が1日程度
 t_3 が短い
輝線幅が広い
(FWHM > 5000 km/s)

T CrB subclass

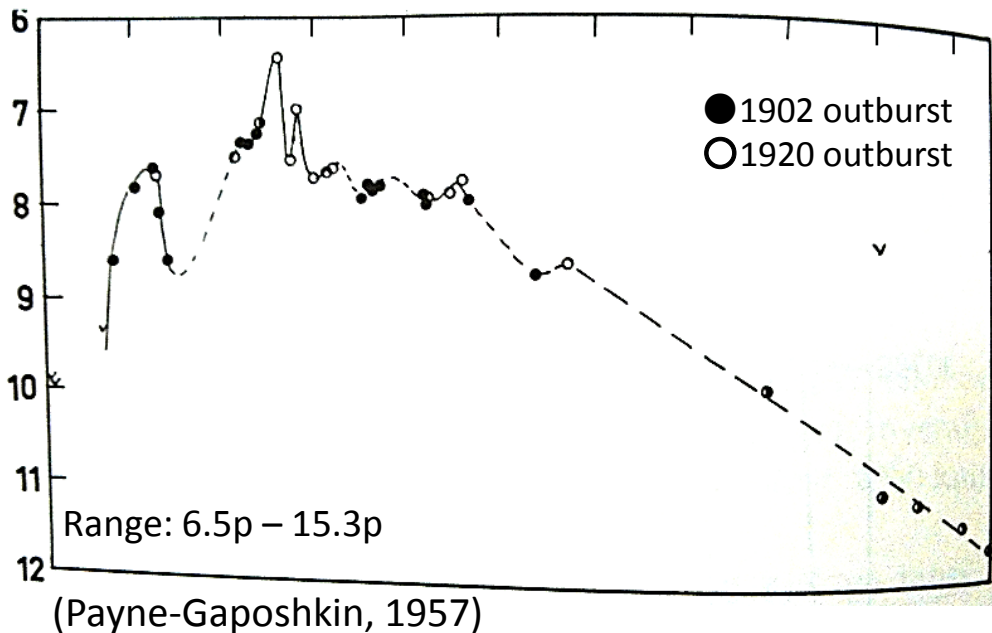
T CrB, RS Oph,
V3890 Sgr,
V745 Sco

P_{orb} が数100日
伴星が赤色巨星

IM Nor, CI Aql, V2487 Oph のサブクラスは?

T Pyx: 1890 - 1944 Outburst

Outburst	Coment	Reference
1890	Leavitt の追跡調査で発見される (7.9:等).	Leavitt (1920)
1902	H. Leavitt によってHarvardの写真乾板から初めてoutburstが発見(7.3等).	Leavitt & Pickering (1913)
1920	Leavitt によって発見 (6.6等).	Leavitt (1920)
1944	7.1等にまで明るくなっているのを発見.	Campbell (1945)

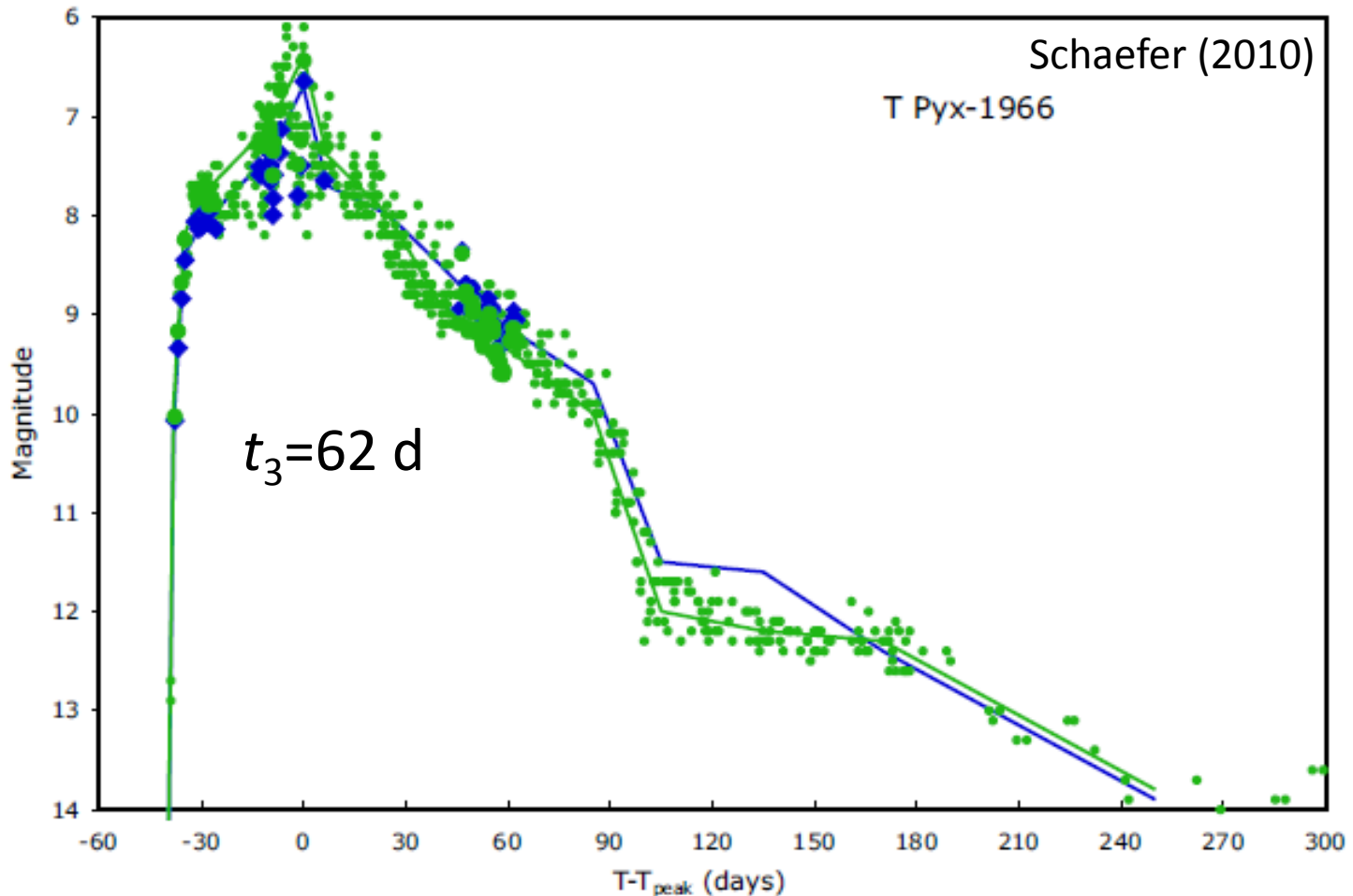


1902年と1920年の爆発で光度変化の様子は確認されている。

しかしこれら4回の爆発において分光観測がなされたのは1920年(+24 d)と1944年(+130 d)の二回のみ。

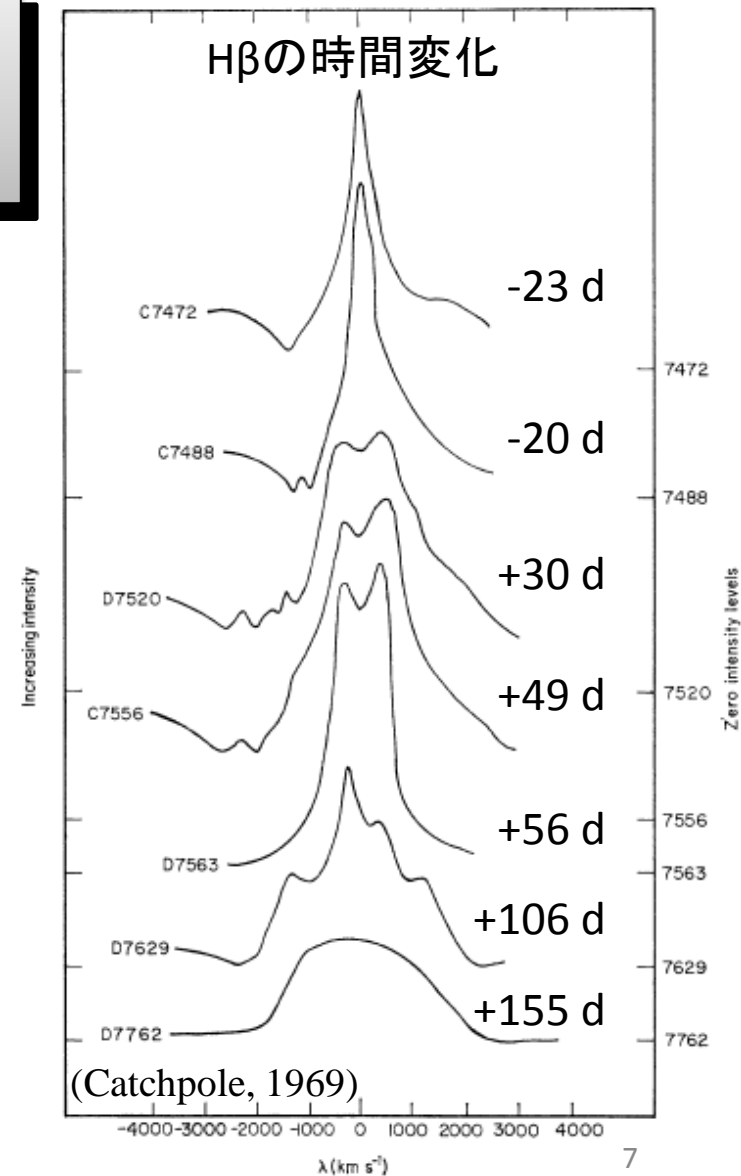
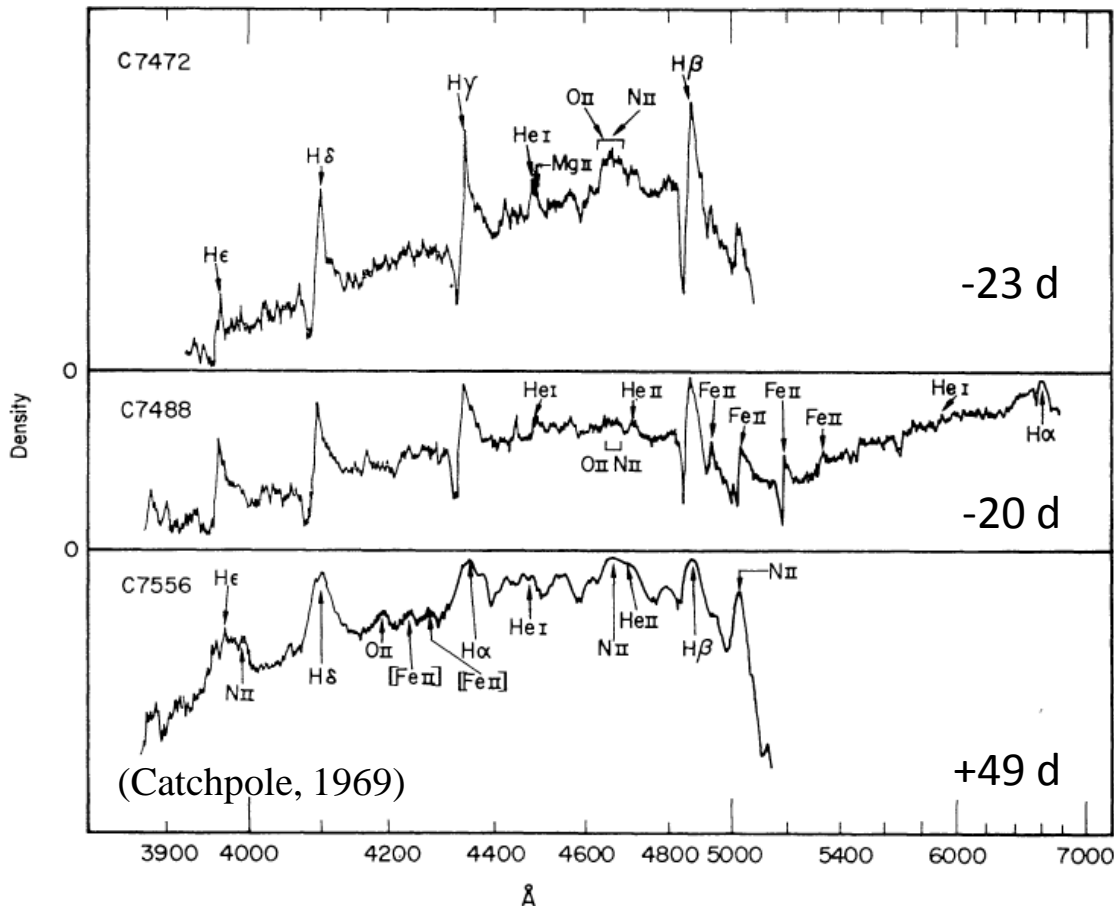
Outburst in 1966

1967年の爆発で多くの観測（主に眼視）が行われ、光度変化がより明瞭になる。



Spectra in 1966

- 極大の23日前から分光観測(写真)が行われた
- He I, N II, Fe IIなどの輝線やP-Cyg profile
- H β 輪郭の変化



Motivation

- T Pyxは1966年まで約20年ごとに爆発が見られてきた。
- 以後40年以上に渡って爆発が見られなかった（見逃しの可能性もあるか?!）。
- 質量降着率が下がって休眠期に入り数千～数百万年は爆発しない、とも言われた（Schaefer et al., 2010）。

- 1966年の分光観測は写真観測で長波長側の詳細不明。
- 極大前(1966年)のスペクトルは二晩しかない。
- 極大前後の観測例も無い。

問題点

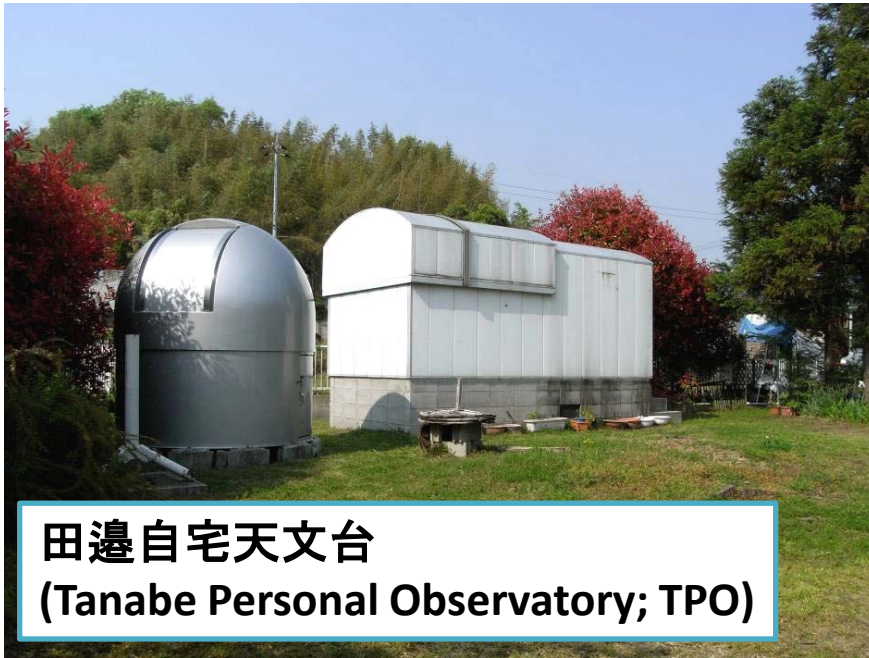
T Pyx は40年以上に渡って次の爆発が期待され続けてきた。

2011 Outburst!

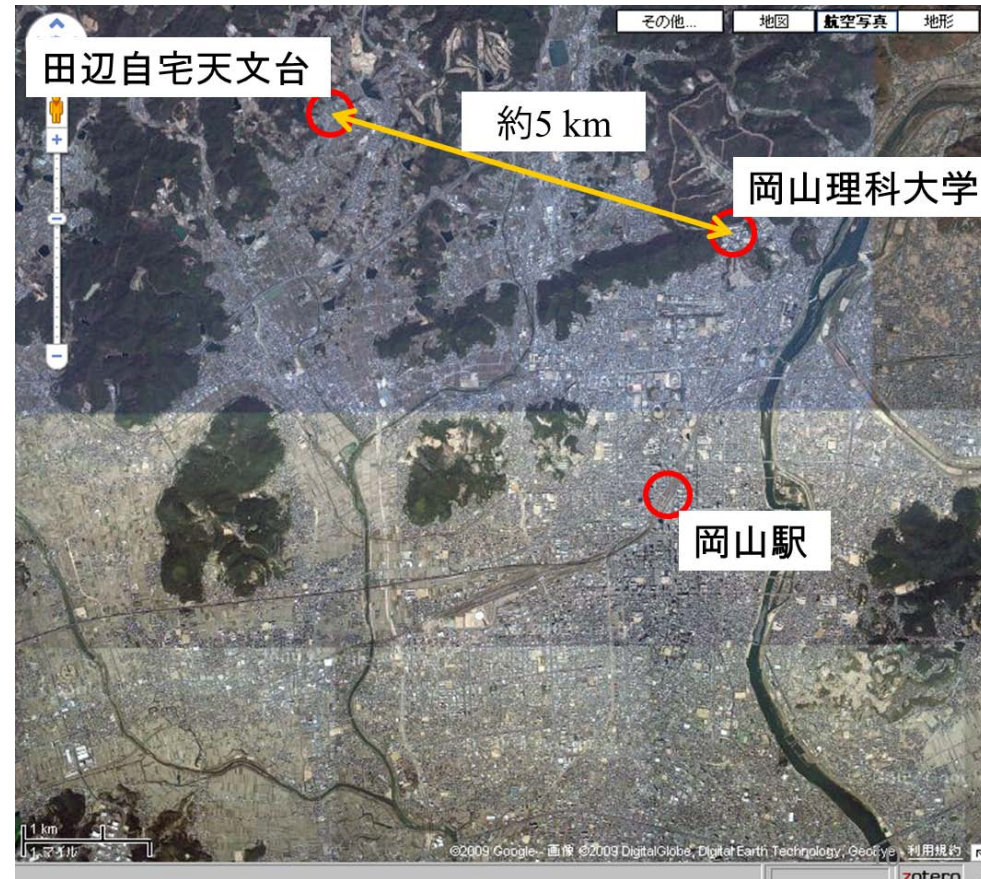
2011年4月14日にアメリカの M. Linnolt 氏によって13等にまで増光していることが発見される！およそ**45年ぶりの爆発**。

- 発見のアラート (vsnet-alert 13154など) を受け、田邊自宅天文台において4月16日から5月14日まで分光観測を行った。
- その後、2012年2月4日に美星天文台(公募観測)でも分光観測を行った。

2. Observations



- 大学屋上では観測が行えなかった。
- TPOは西低空の観測に適している。
- 観測の大部分は田邊 (教授) による。



望遠鏡: セレストロン(C11)

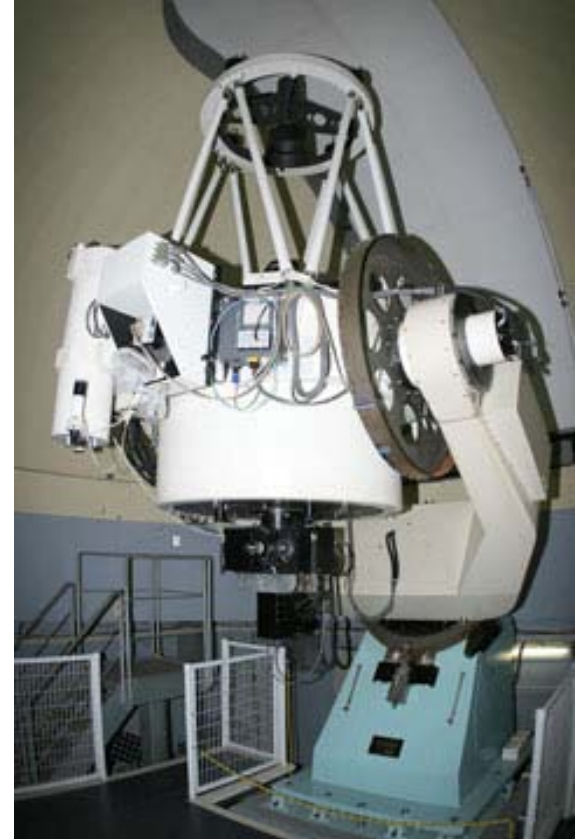
D=28 cm, F10

赤道儀: 高橋 NJP

分光器: SBIG DSS-7 (R~400)

CCD: SBIG ST-402

Bisei Astronomical Observatory



望遠鏡 : $D=101\text{cm}$

分光器 : $R\sim 1000$ (300 lines/mm)

CCD : ANDOR DU-440BV

3. Results

3-1. Early Phase

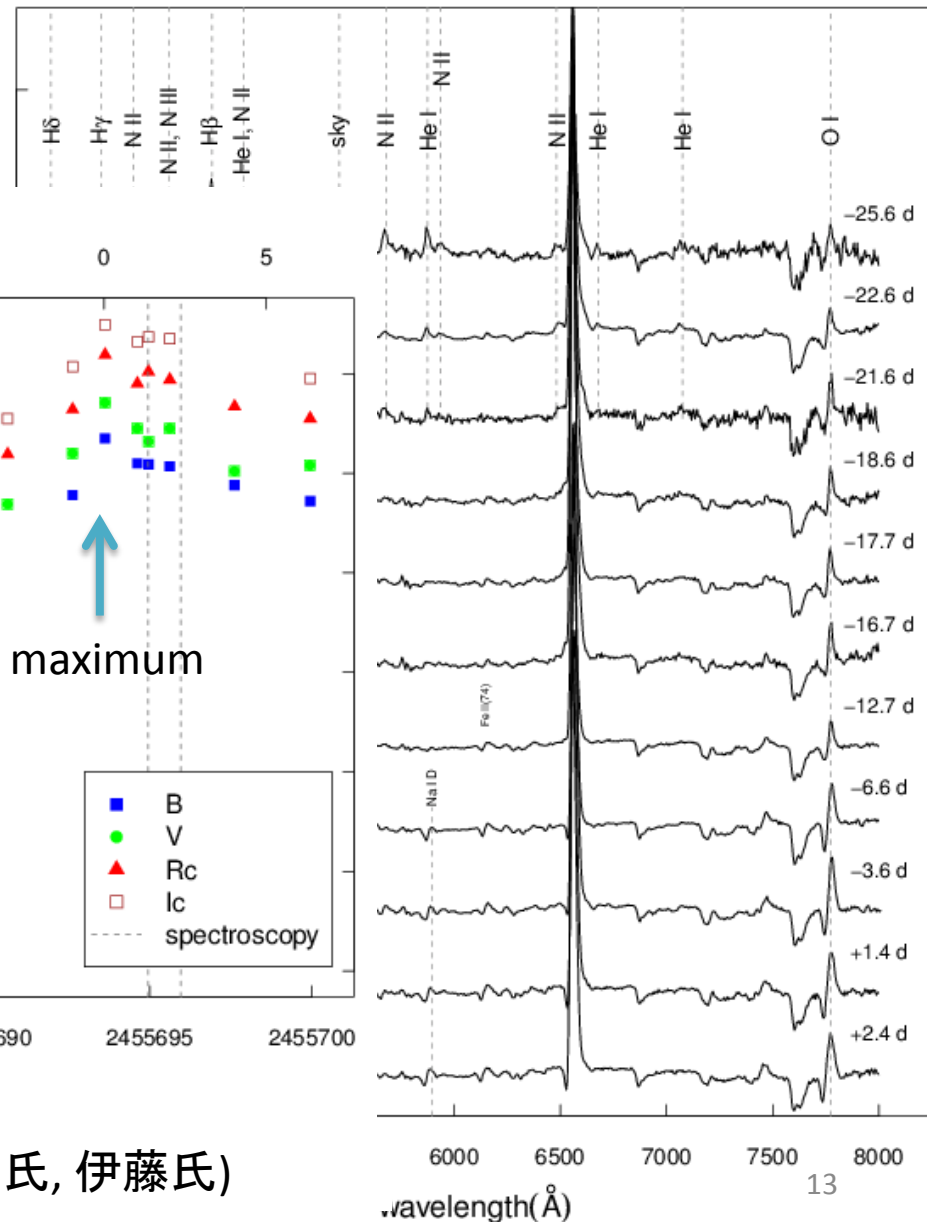
田邊自宅天文台で得た結果について

3-2. Late Phase

美星天文台で得た結果について

3-1. Early Phase

極大の25日前から極大周辺に渡って計11夜の分光観測に成功。



(光度曲線のデータはVSOLJより; 前原氏, 清田氏, 伊藤氏)

-25 to -21 days from maximum

同定した輝線

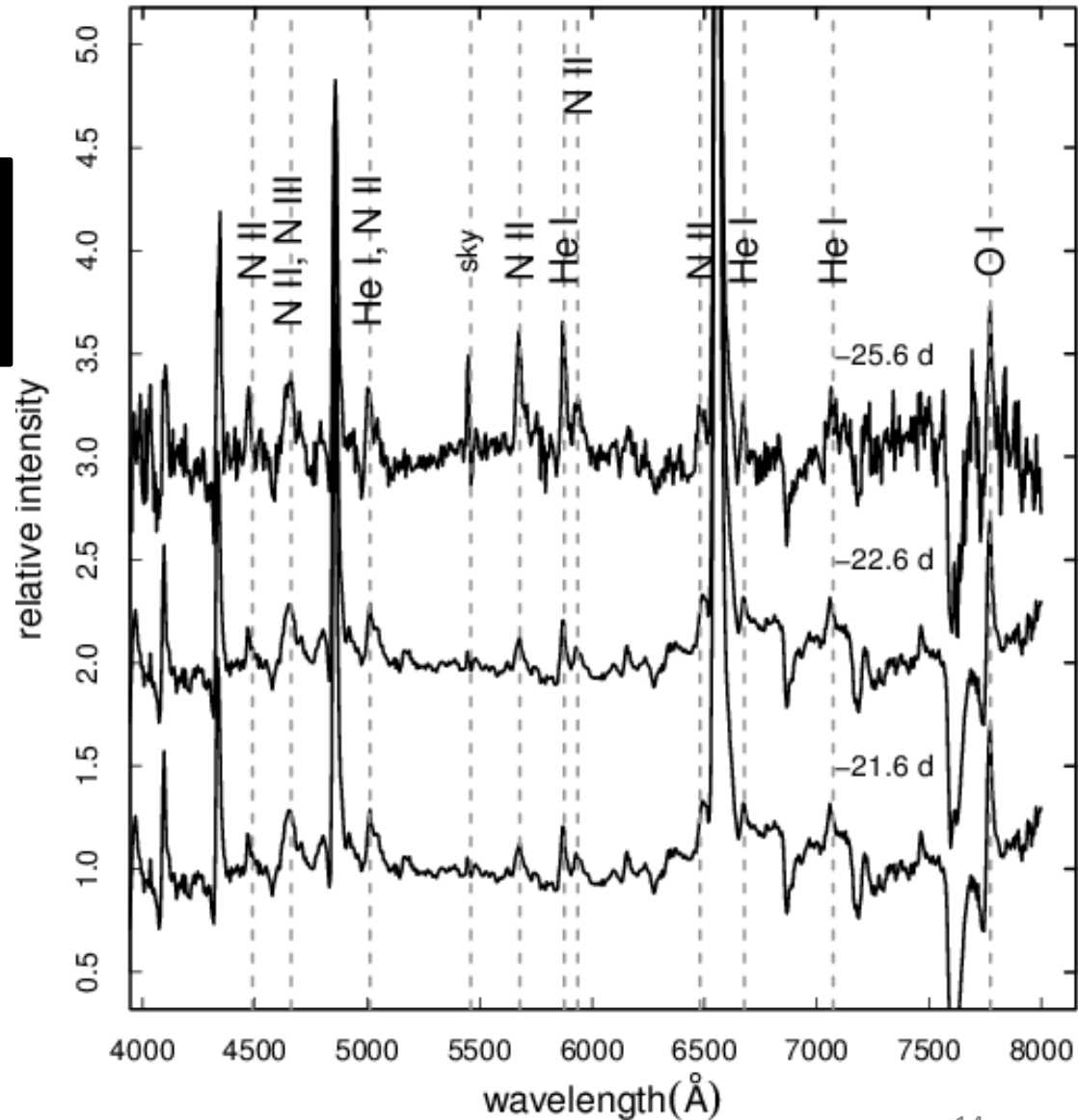
$H\alpha$, β , γ , δ
 $He I$, $N II$, $N III$, $O I$

主に高励起な輝線



He/N type

Williams (1992)



-18 to +2 days from maximum

同定した輝線

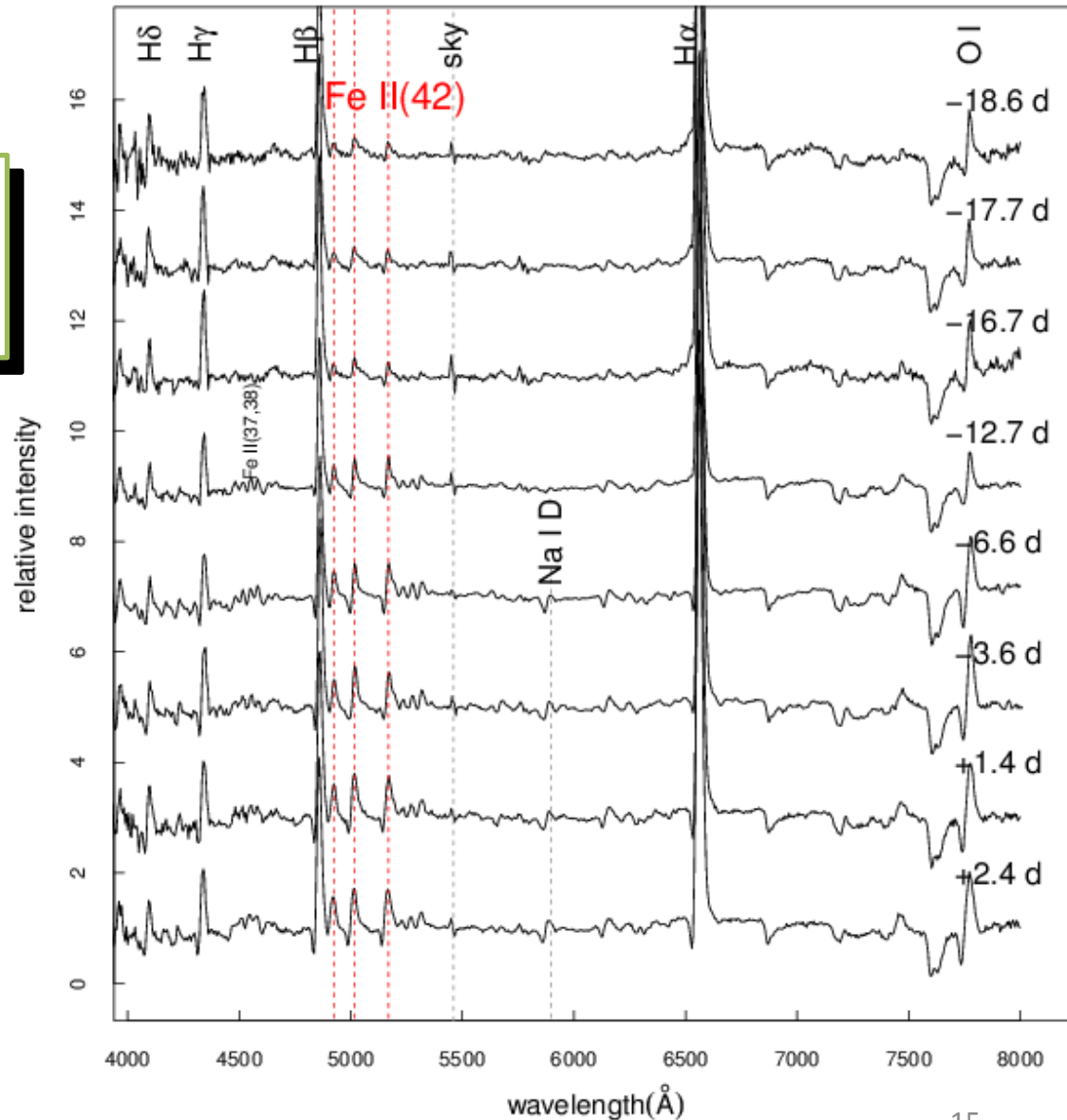
$H\alpha$, β , γ , δ
 $Fe\ II$, $Na\ I$, $O\ I$

主に低励起な輝線

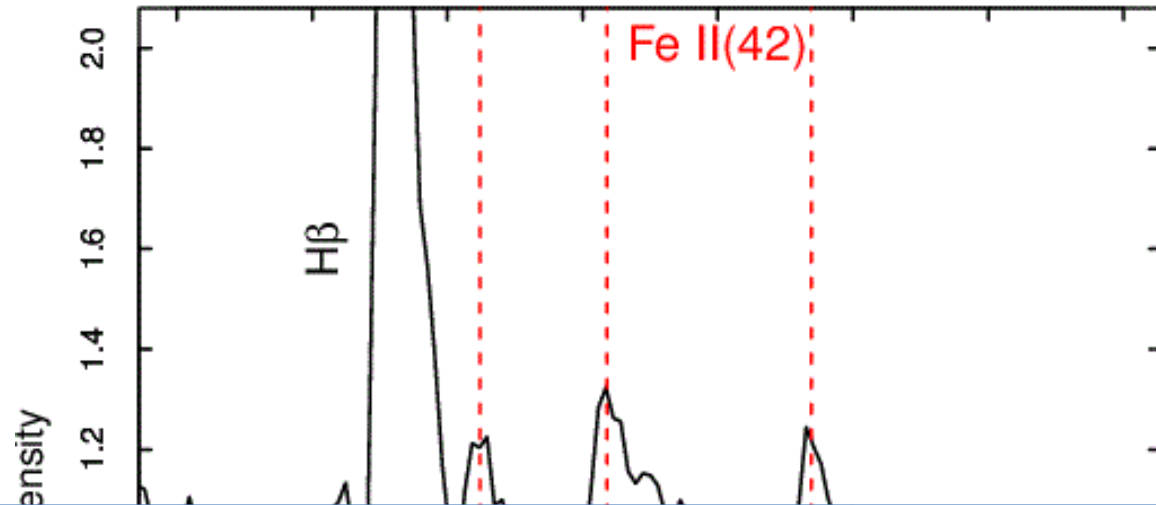


Fe II type

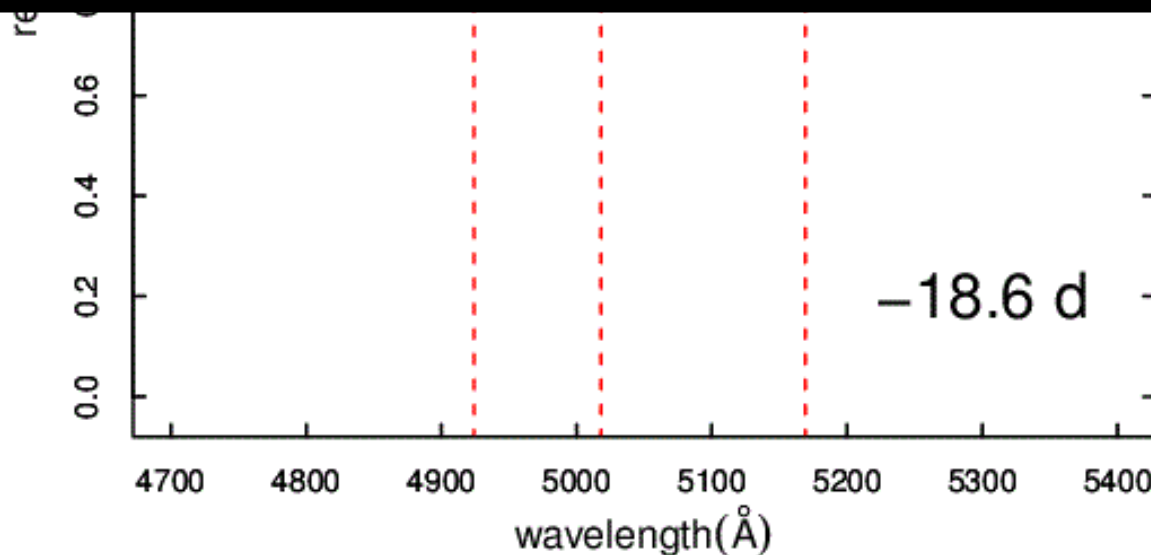
Williams (1992)



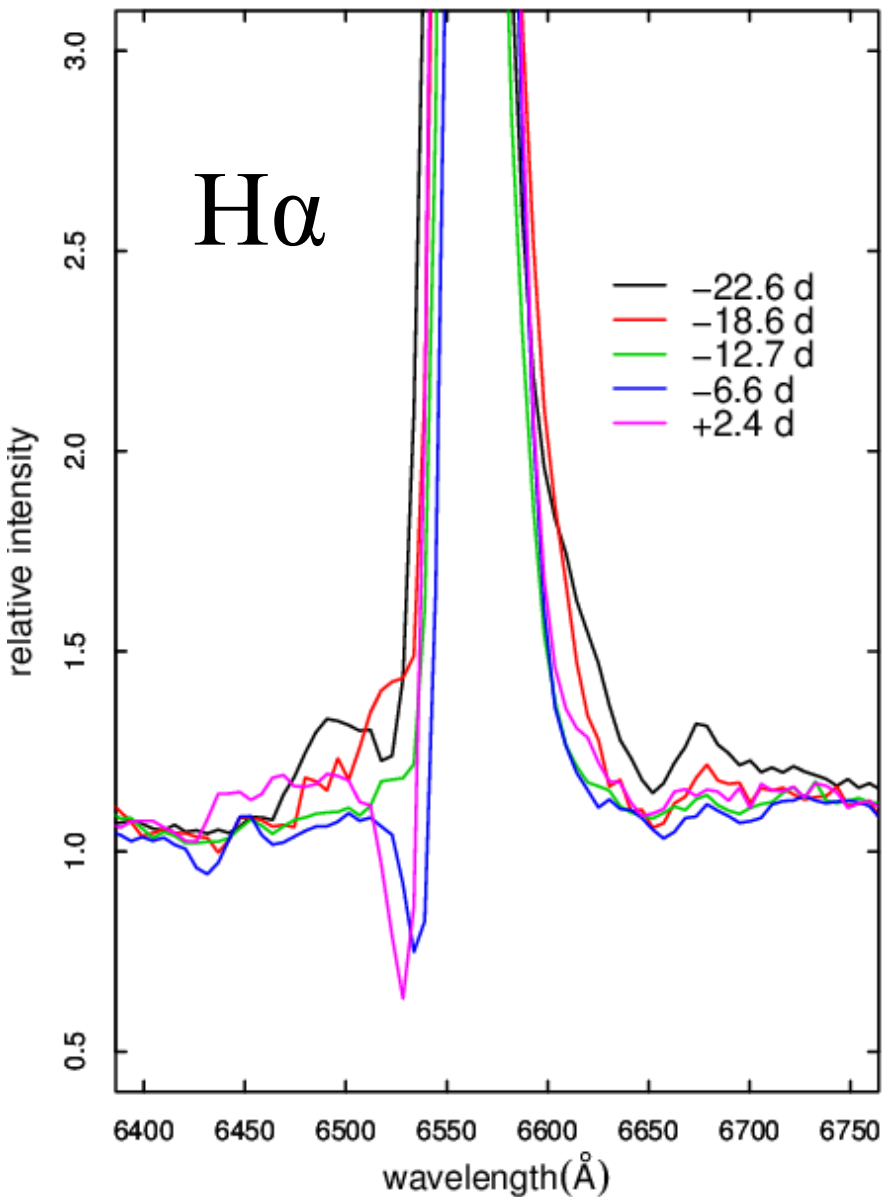
Variation of Fe II Lines



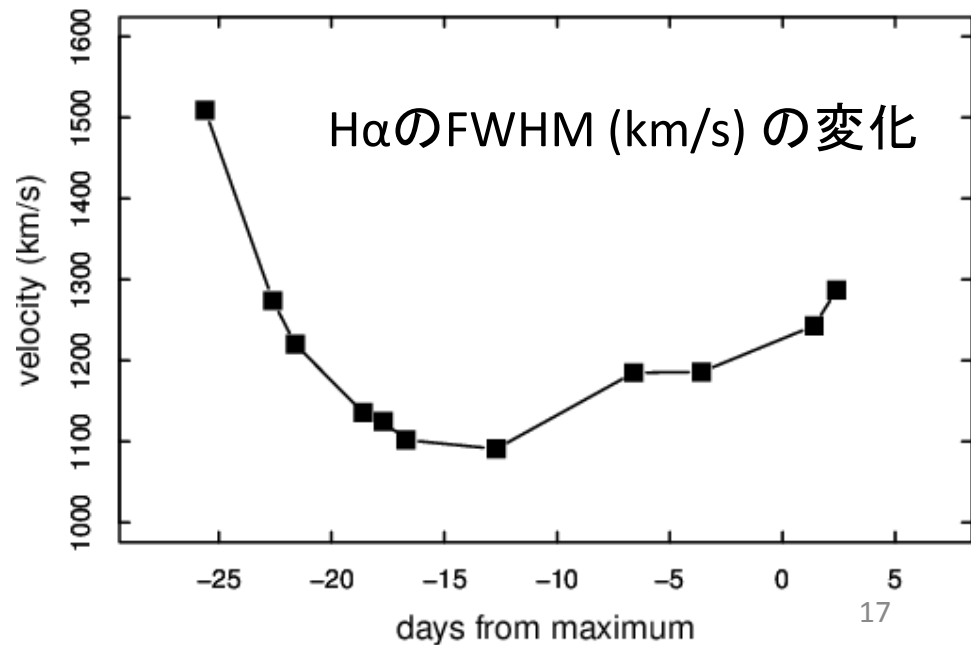
Fe II 線の変化の様子をコマ送りで紹介



Variation of H α line



- ✓ 極大へ向かうにつれて P-Cyg profile が発達した。
- ✓ FWHM (km/s) は減少傾向を示した後、少しずつ上昇傾向を示した。



3-1. Early Phase

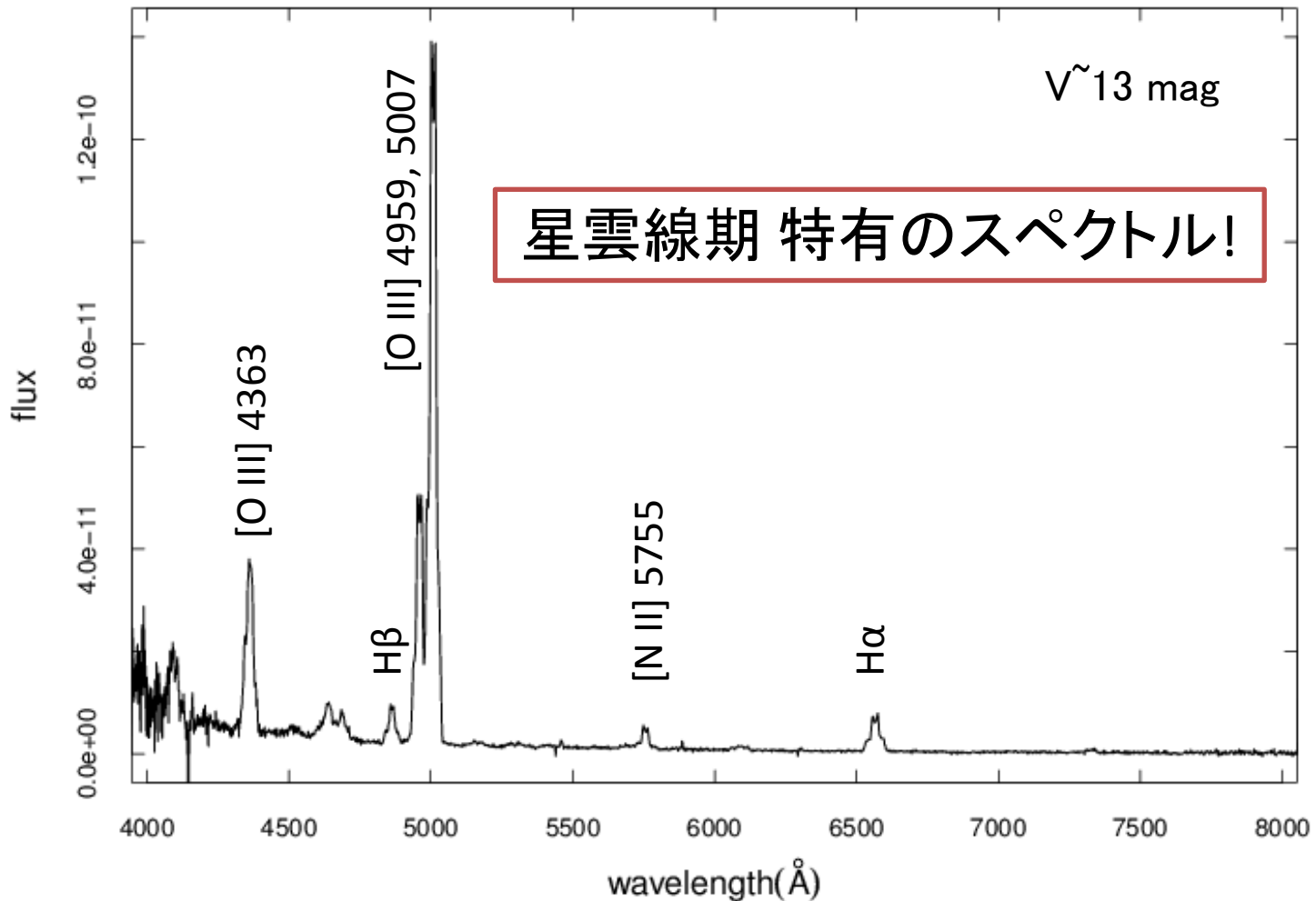
田邊自宅天文台で得た結果について

3-2. Late Phase

美星天文台で得た結果について

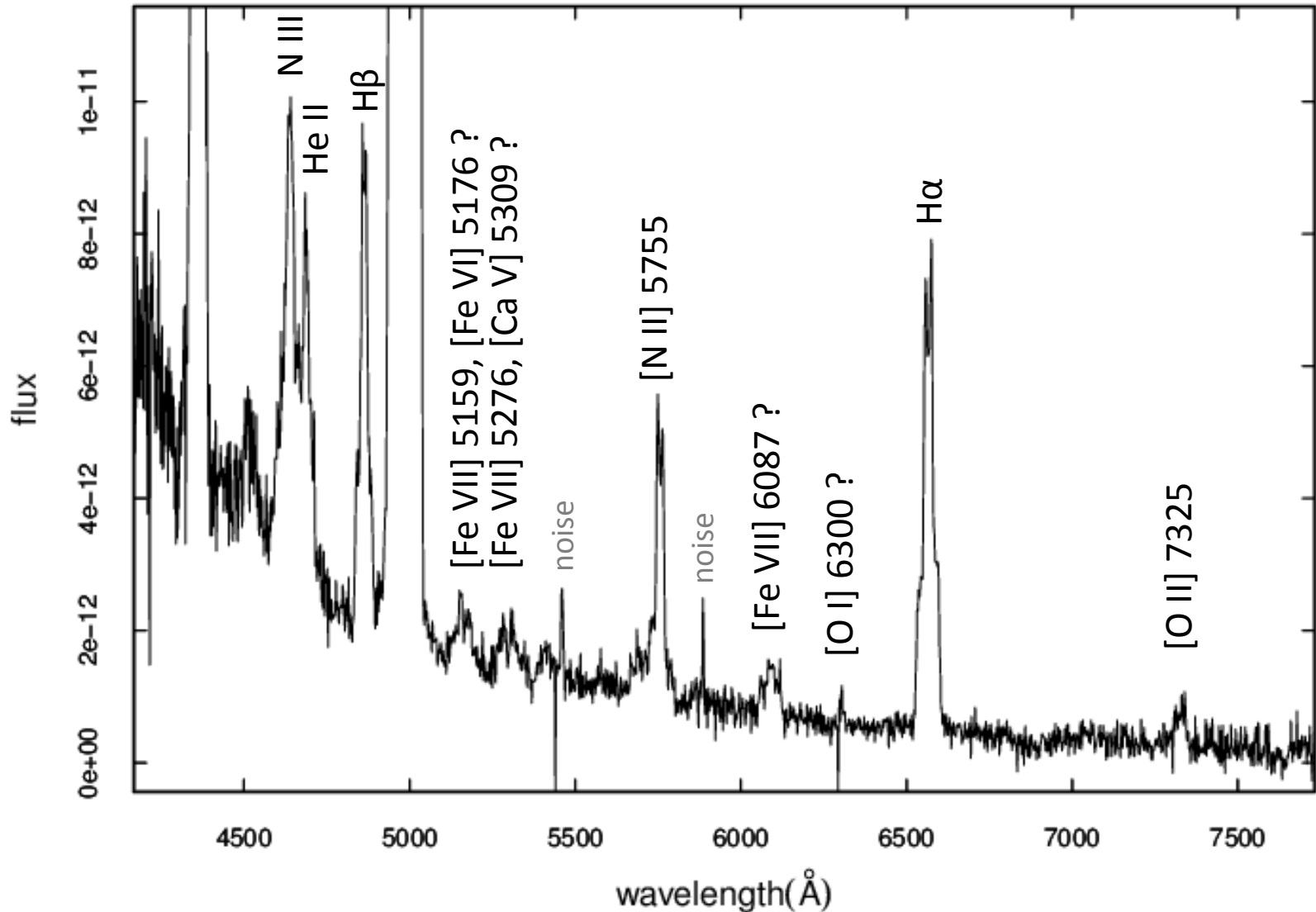
3-2. Late phase

極大から268.5日後 (2012年2月4日) のスペクトル
観測は美星天文台にて ($R \sim 1000$)

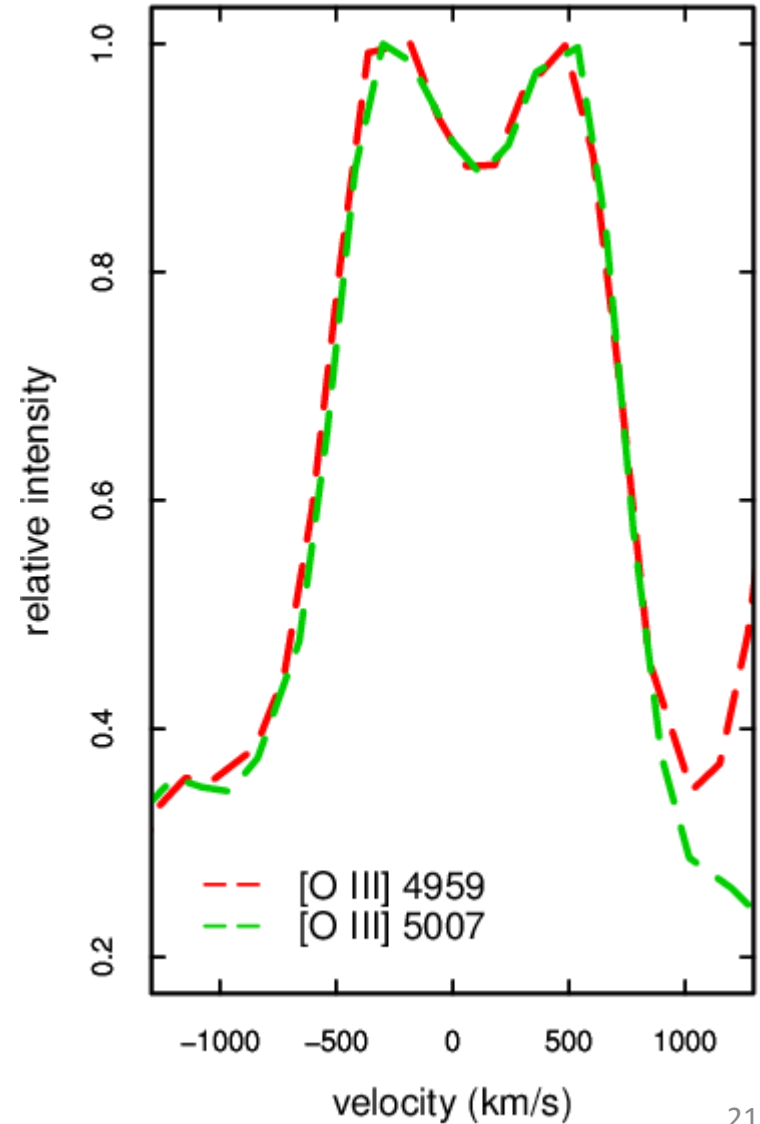
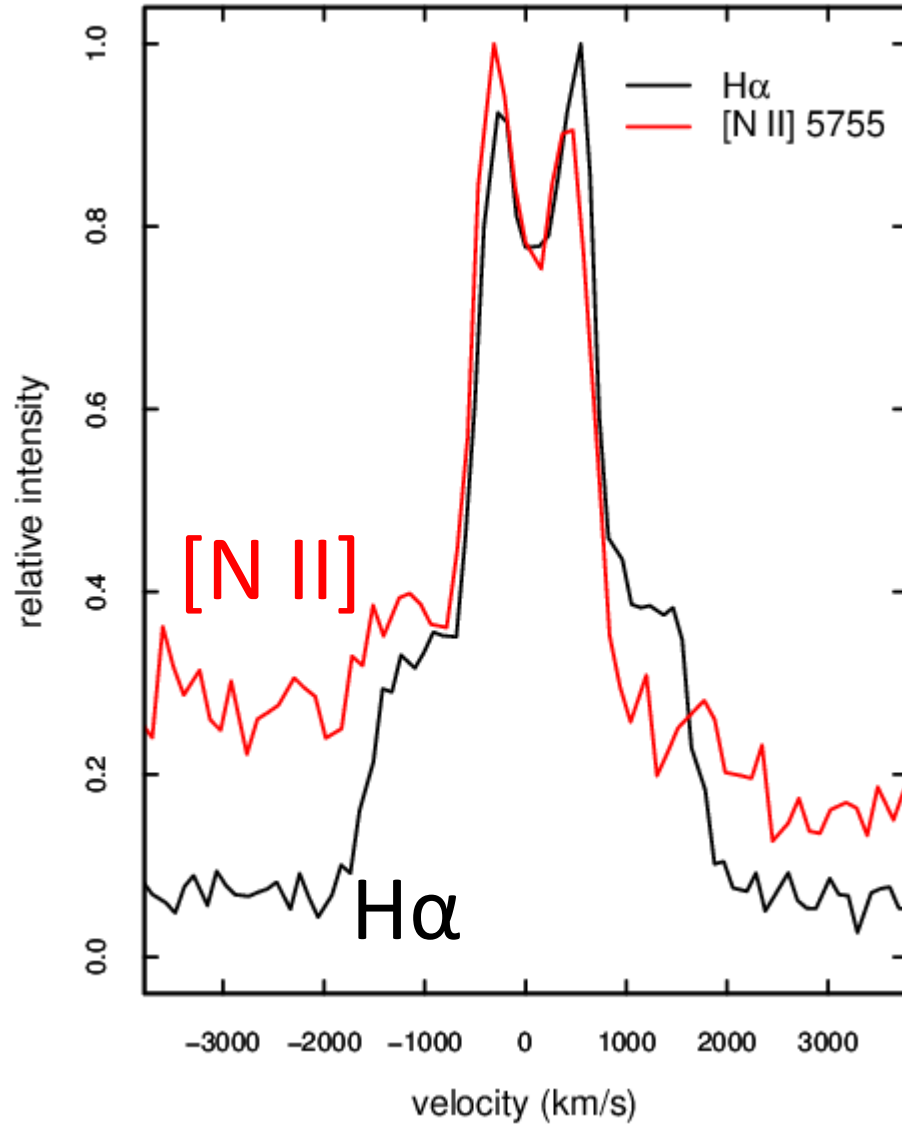


Line Identification

高励起な酸素や鉄などの禁制線が見られた

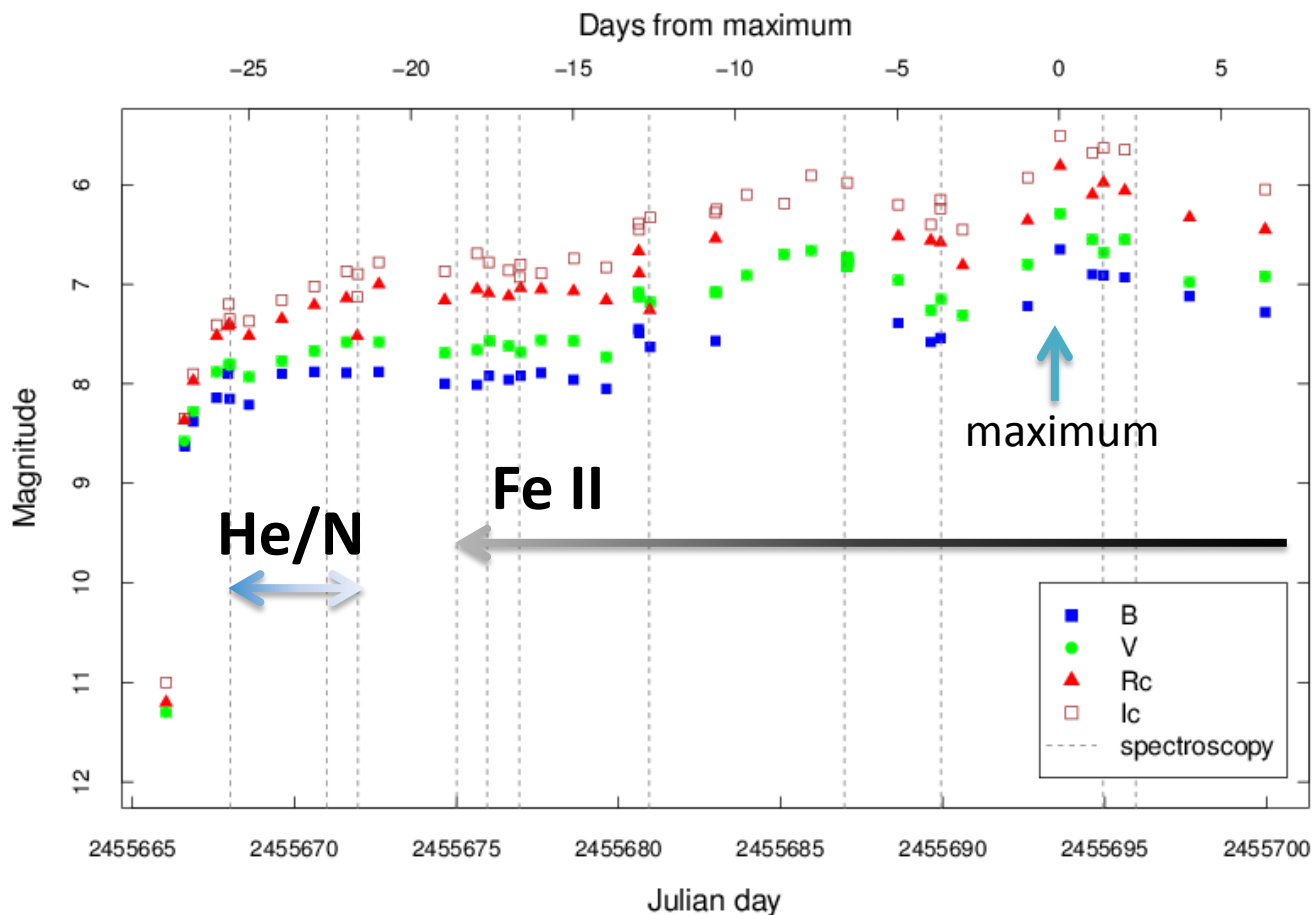


Double Peaks



4. Discussion

pre-max stage で **He/N type** から **Fe II type** へと変化



(光度曲線データはVSOLJより; 前原氏, 清田氏, 伊藤氏)

➤ 一般に新星の極大前の光度変化は1日～数日と大変速いため、その増光初期の分光観測の例は少なく、断片的。

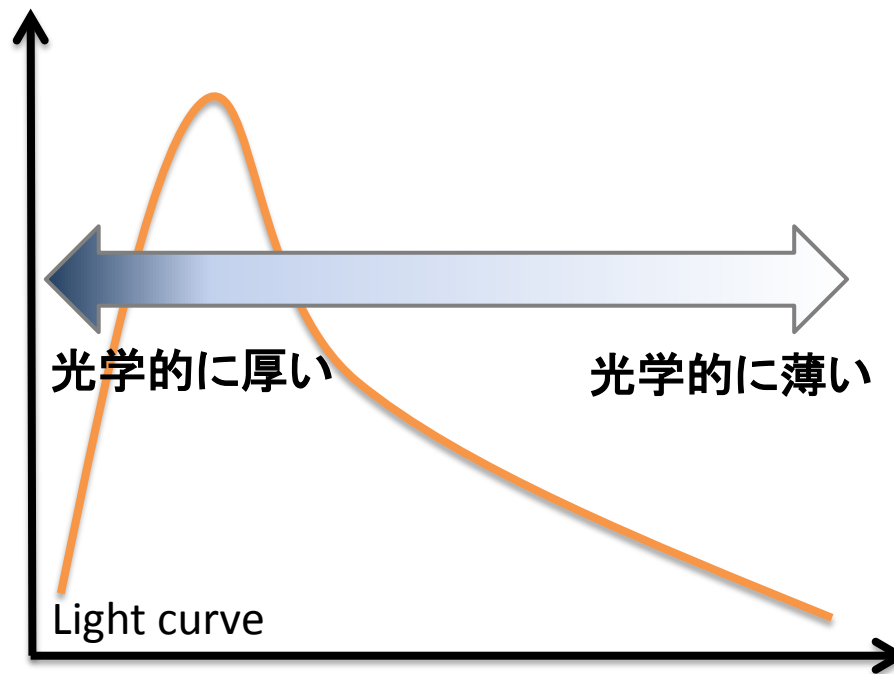
➤ *very slow nova* の V5558 Sgr で、**極大前に He/N type から Fe II type へ変化**することが初めて観測されている(Tanaka et al. 2011)。



今回 T Pyx でも He/N type から Fe II type への進化を捉えた(2例目)。

- 極大前は**光学的に厚い (optically thick)** エンベロープが膨張している (Warner, 1995 & 2008)。

- 極大後は膨張によってガスが薄くなり、光球半径が縮む (Hachisu & Kato, 2006)。故に**光学的に薄い (optically thin)** 領域がより広がる。

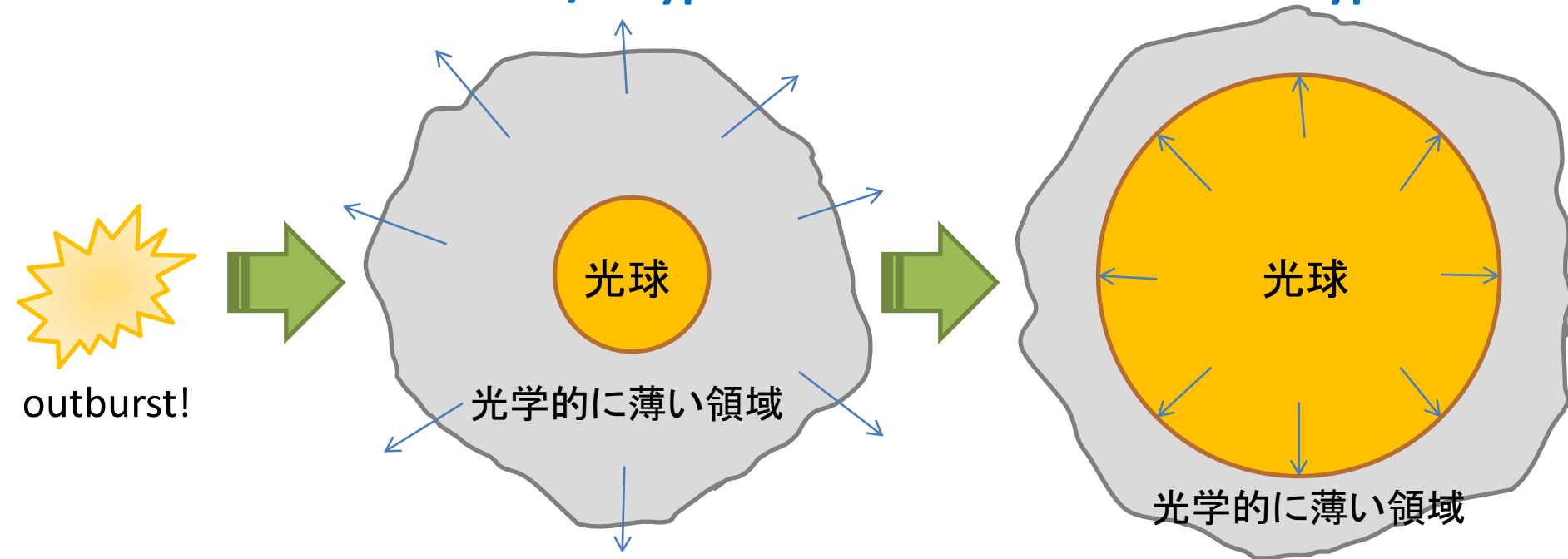


T Pyx や V5558 Sgr の極大前の進化はどう解釈すべきか？
He/N type (高励起輝線) → Fe II type (低励起輝線)

Evolution of Pre-max Stage

増光初期
He/N type

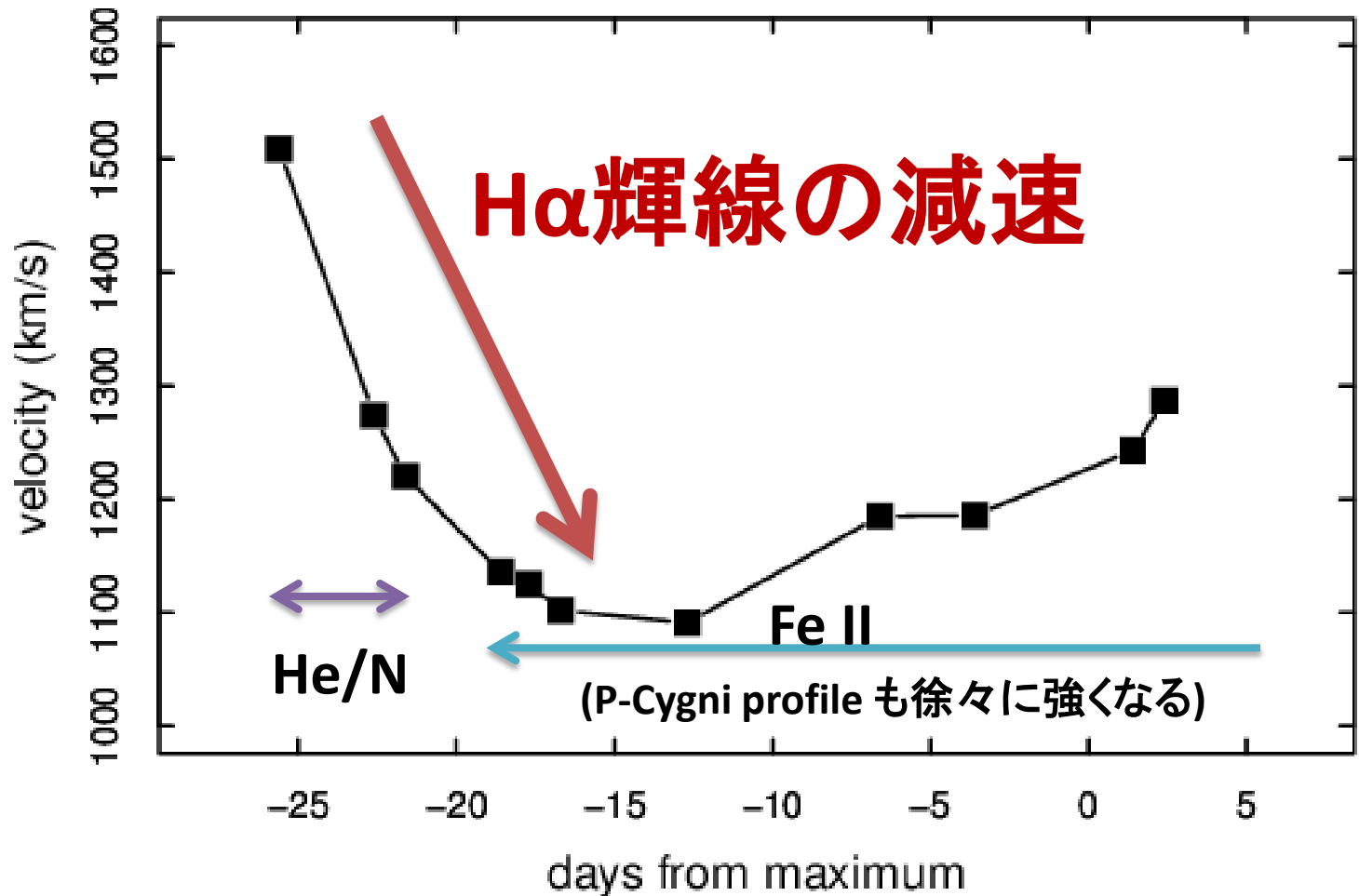
極大直前
Fe II type



- 爆発で**先に**一気にガスが広がる
- 光球が占める割合はエンベロープに比べて小さい

- **ガスの膨張速度が減速**
- 光球が成長がしてくる (光学的に厚い領域が増える)

増光途中で膨張ガスが減速する様子を捉えている



膨張速度の減速とHe/N type から Fe II type への進化の時期が合うと考えられる。

5. Summary

- T Pyx (2011 outburst) の極大25日前から極大周辺に渡って継続的に分光観測することができた。
- 極大前のスペクトルはHe/N type から Fe II type へと進化した。V5558 Sgr に次いで二例目。
- 極大へ向かうにつれ、輝線幅の減速、P-Cygni profile の成長が見られた。
- nebular phase のスペクトルにおいて、[O III], [N II], バルマー線はダブルピークを示していた。
- 爆発初期では光学的に薄い領域が支配的で、極大に向うにつれ光学的に厚い領域が支配的になると考えられる。

References

- Campbell, L., 1945, Harv. Obs. Repr. 277
- Catchpole, R. M., 1969, MNRAS, **142**, 119
- Hachisu, I. & Kato, M., 2006, ApJS, **167**, 59
- Leavitt, H. S., 1920, H. A., **84**, 121
- Leavitt, H. S. & Pickering, E. C., 1913, *Harvard College Obs. Circ.*, **179**, 1-4
- Payne-Gaposchkin, C., 1957, *The Galactic Novae* (North-Holland P.C.)
- Schaefer, B. E., 2010, ApJS, **187**, 275
- Schaefer, B. E., Pagnotta, A. & Shara, M. M., 2010, ApJ, **708**, 381
- Tanaka, J. et al., 2011, PASJ, **63**, 911
- Warner, B., 1995, *Cataclysmic Variable Stars* (Cambridge)
- Warner, B., ed. Bode, M. F. & Evans, A., 2008, *Classical Novae* (Cambridge)
- Williams, R. E. , 1992, AJ, **104**, 725