

暗い Ic 型超新星SN2023cptの可視近赤外線観測

熊野朱里, 中岡竜也, 川端弘治(広島大学),

宇野孔起, 川端美穂, 田口健太, 前田啓一(京都大学), 清田朋和(総合研究大学院大学/国立天文台)

太陽の約8倍以上の質量を持つ恒星は重力崩壊型超新星となって一生を終えると考えられている。超新星の中には、外層を失って爆発すると考えられているものがあり、進化の最終段階における自身の放射圧や、連星相互作用により外層を失うことが原因と考えられている。しかし、このような大質量星の進化過程は、どのような超新星となるかも含め、いまだよく判っていないことが多い。我々は、2023年2月27日に発見された超新星SN2023cptについて、広島大学 1.5m かなた望遠鏡、および京都大学3.8m せいめい望遠鏡を用いて、2023年3月2日から同年8月4日の期間において、可視近赤外域の継続的観測を行った。SN2023cptの発見2日後に観測されたスペクトルは、水素やヘリウムの吸収線が見られず、鉄やカルシウムの吸収線が見られる事からIc型超新星であると考えられる。SN2023cptは、V-bandの極大絶対等級-16.49等で、他のIc型超新星と比較して暗いという特徴を持つが、減光率や吸収線速度は典型的なIc型超新星と比べて同程度であった。観測されたスペクトルからHost galaxyの吸収の影響を調べたが、影響は小さく、SN2023cptはintrinsicに暗いと考えられる。得られたライトカーブから総輻射光度を求め、Ni生成質量を推定したところ $0.05 M_{\odot}$ 以下であり、Ic型超新星の平均値 $0.16 \pm 0.02 M_{\odot}$ (C. Barbarino et al, 2021)と比べて少ないことがわかった。Ni質量がIc型超新星の中でも特に小さいため、SN2023cptの親星は単独星ではなく、連星相互作用によって外層が剥ぎ取られた可能性が高い。

1. Introduction

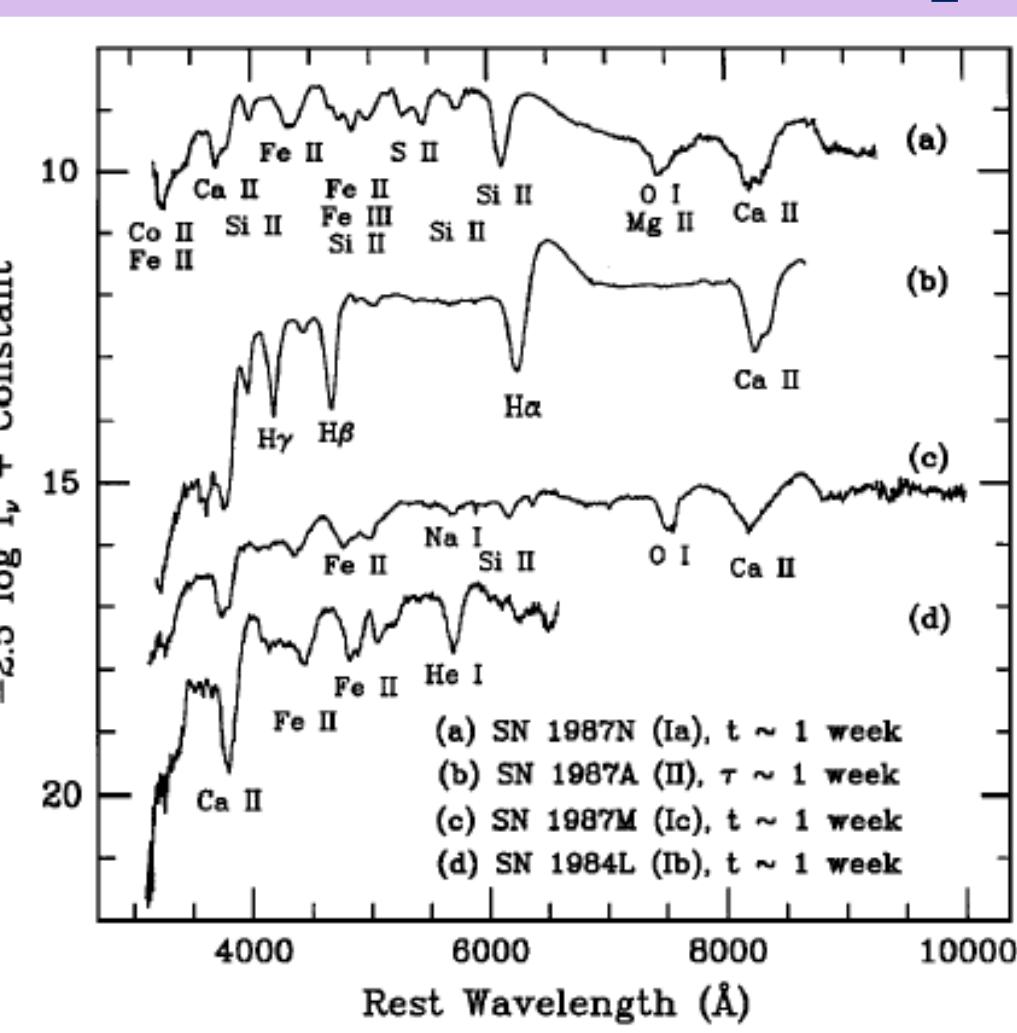
超新星爆発

初期質量が $8-10 M_{\odot}$ 以上の質量を持つ恒星
が一生の最後に起こす爆発現象

超新星の分類

スペクトルに水素の吸収線 × I型
ケイ素の吸収線 弱
ヘリウムの吸収線 × Ic型

超新星の種類とスペクトル[1]



Ic型超新星の親星と超新星爆発の関係性
について観測結果をもとに推定する

2. Observation and Object: SN2023cpt

かなた望遠鏡



HOWPol

(Hiroshima One-shot Wide-field Polarimeter)
・可視 撮像、偏光、分光・GRB自動観測

HONIR

(Hiroshima Optical and Near-Infrared camera)
様々な撮像モード + 可視・近赤外同時取得
・撮像・分光・偏光・偏光分光

KOOLS-IFU

(Kyoto-Okayama Optical Low-dispersion Spectrograph - Integral Field Unit)
・可視光低中分散面分光 (Matubayashi et al 2025)

photometry

Kanata 25 night

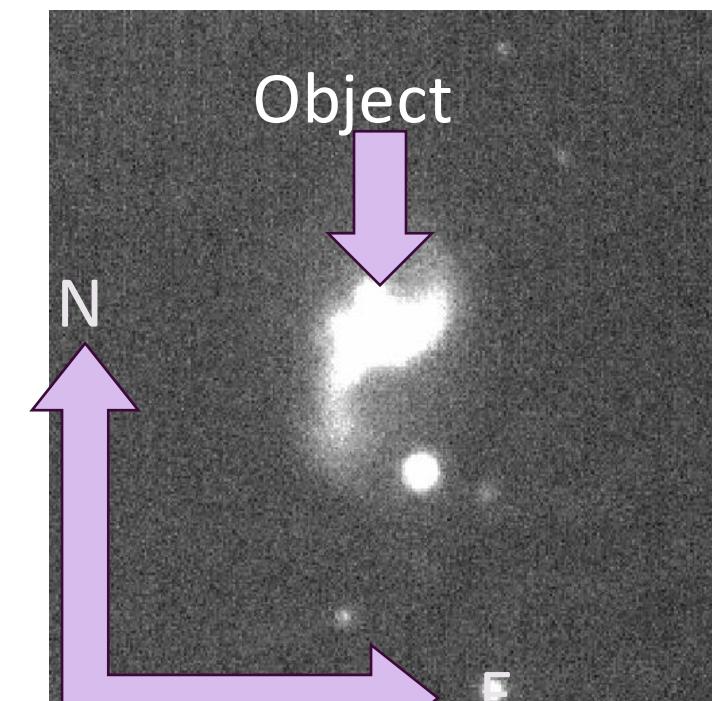
spectroscopy

Kanata 4 night

Seimei 3 night

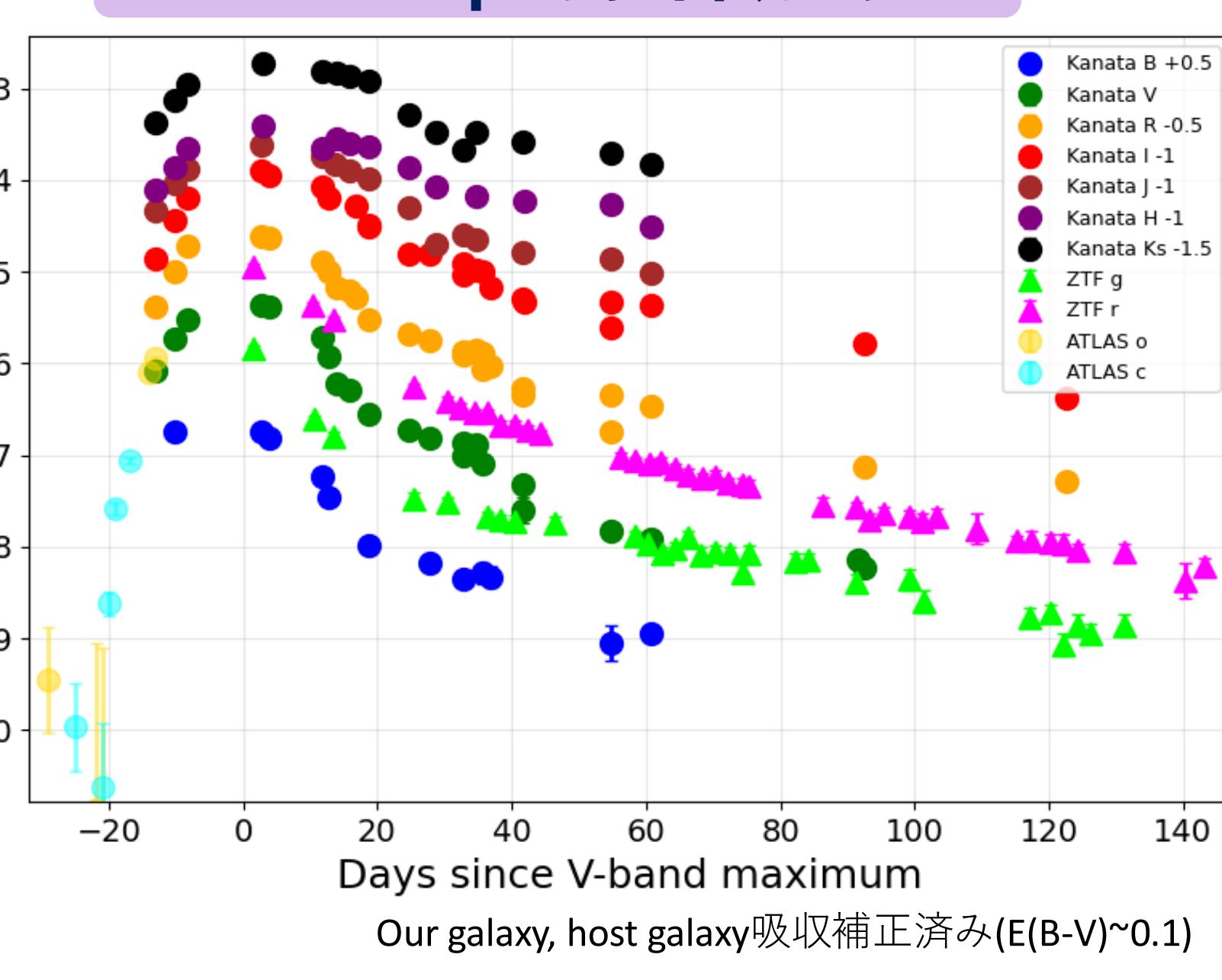
極大付近のHOWPol V-bandの画像

Host galaxy	NGC5915
Distance (NED)	21.41 ± 6.184 Mpc
Redshift	0.00758
Discovery date	2023-2-27.86 (UT)
Explosion date	2023-2-23.3 ± 0.5 (UT)



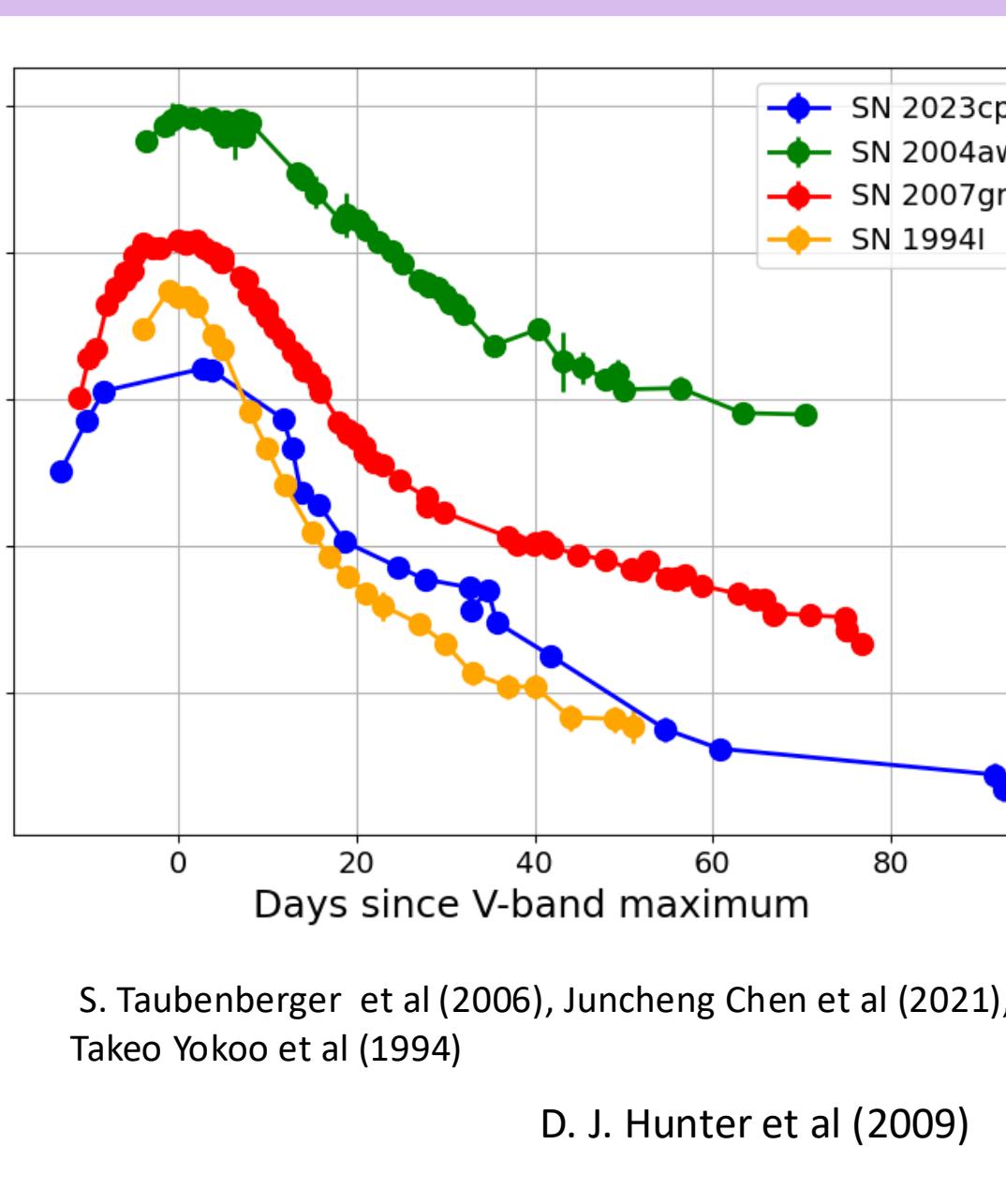
3. Light Curve

SN 2023cptのライトカーブ



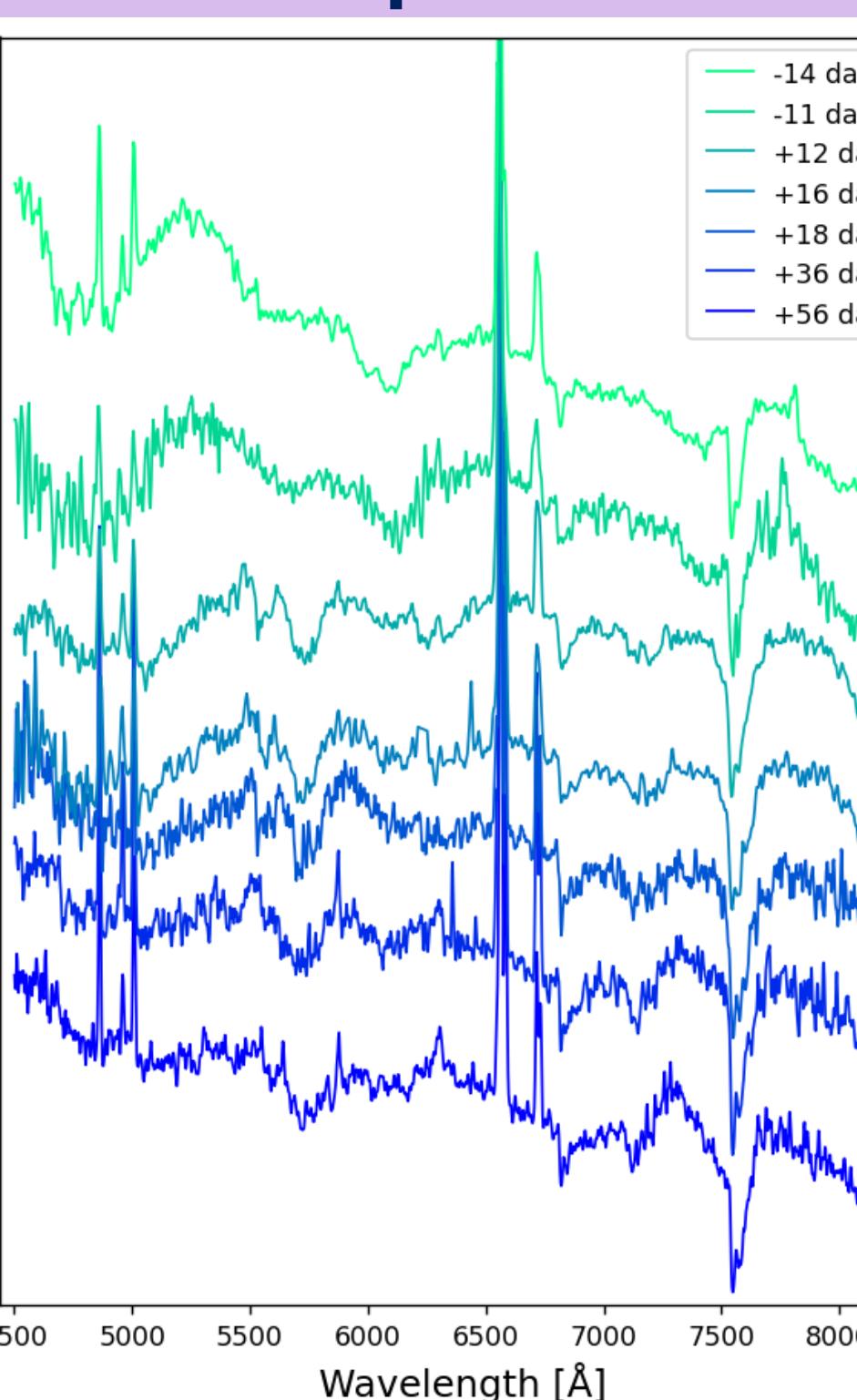
他のIc型超新星と比較して絶対等級が暗い

Ic型超新星のV-bandの比較

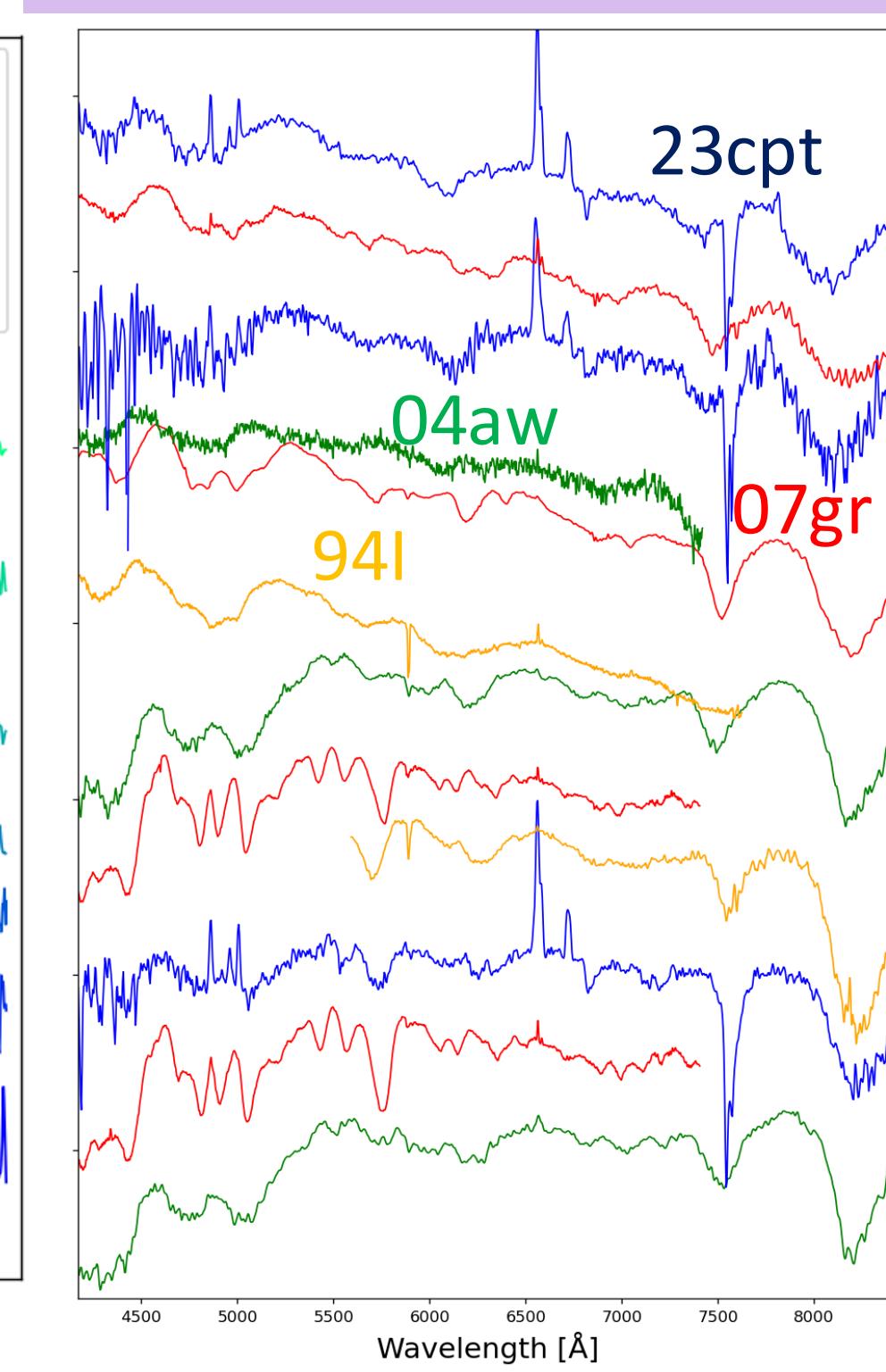


4. Spectral Evolution

SN2023cptのスペクトル



Ic型超新星のスペクトルと比較



増光時のSi[II]の吸収線速度

天体名	Vバンド極大からの日付	吸収線速度(km/s)
SN2023cpt	-14 day	12800
	-11 day	10900
SN2007gr	-13 day	9340
SN2004aw	-9.7 day	13900
SN1994I	-6.6 day	10500

SN2023cptのスペクトルの特徴

- Ic型超新星の特徴と一致
- Ca II, Si IIの吸収線が浅い
- 吸収線の進化が緩やか

5. Reddening Estimate from Na I D Absorption Lines

Na I Dの等価幅(EW)とE(B-V)の関係式

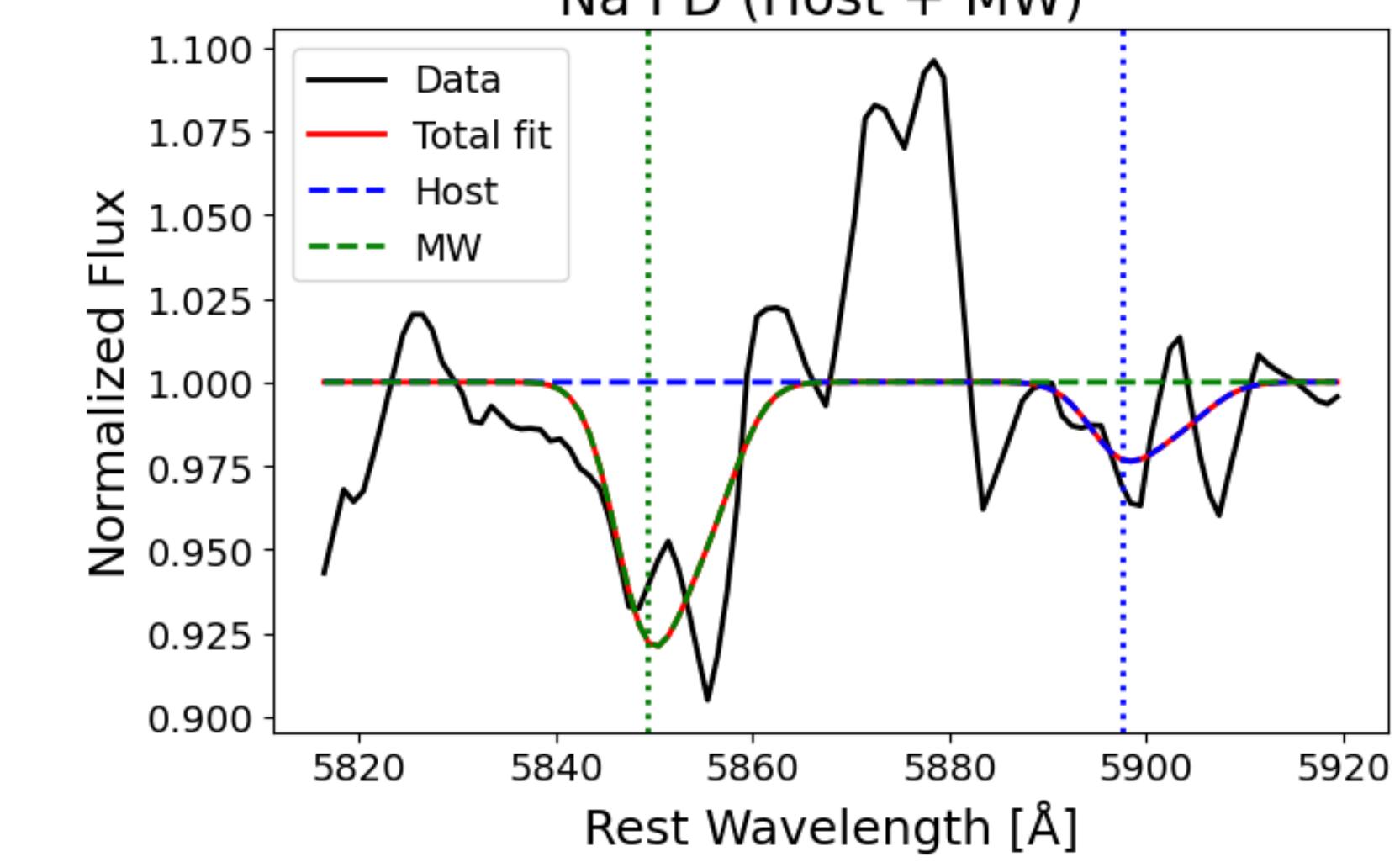
$$\log_{10}(E(B-V)) = 1.17 \times EW(D_1 + D_2) - 1.85 \pm 0.08.$$

Na I D₂: 5889.95Å, Na I D₁: 5895.92Å
(Poznanski et al. 2012)

Na I D doublet吸収フィット

得られたSN2023cptのスペクトルのうち6日分を平均したスペクトルから、Na I Dの吸収線をガウシアンでフィットし、等価幅を求めた

galaxy	E(B-V) (mag)
MW	0.157 ± 0.025
Host	0.029 ± 0.005
MW(S&F 2011)	0.1223 ± 0.0006



Host galaxyによる吸収の影響は小さく、SN2023cptはIntrinsicに暗い

6. Power Source and Progenitor Model

パラメータの推定

スペクトル進化が近い時期のSN2007grとSN2004awの膨張速度と推定されているパラメータを用いて、Arnett modelの式からSN2023cptのejecta massと爆発エネルギーをそれぞれ推定

Arnett modelの式

Arnett model (Arnett 1982)

$$t_r \propto M_{ej}^{3/4} E_k^{-1/4} \text{ and } v \propto E_k^{1/2} M_{ej}^{-1/2}$$

t_r : タイムスケール, E_k : 爆発エネルギー, M_{ej} : ejecta mass, v : 膨張速度

比較に用いたIc型超新星

	Ejecta mass (M_{\odot})	Explosion energy (10^{51} erg)
07gr	2.0-3.5	1-4
04aw	3.5-8.0	3.5-9.0
94I	0.88	1

D. J. Hunter et al (2009)

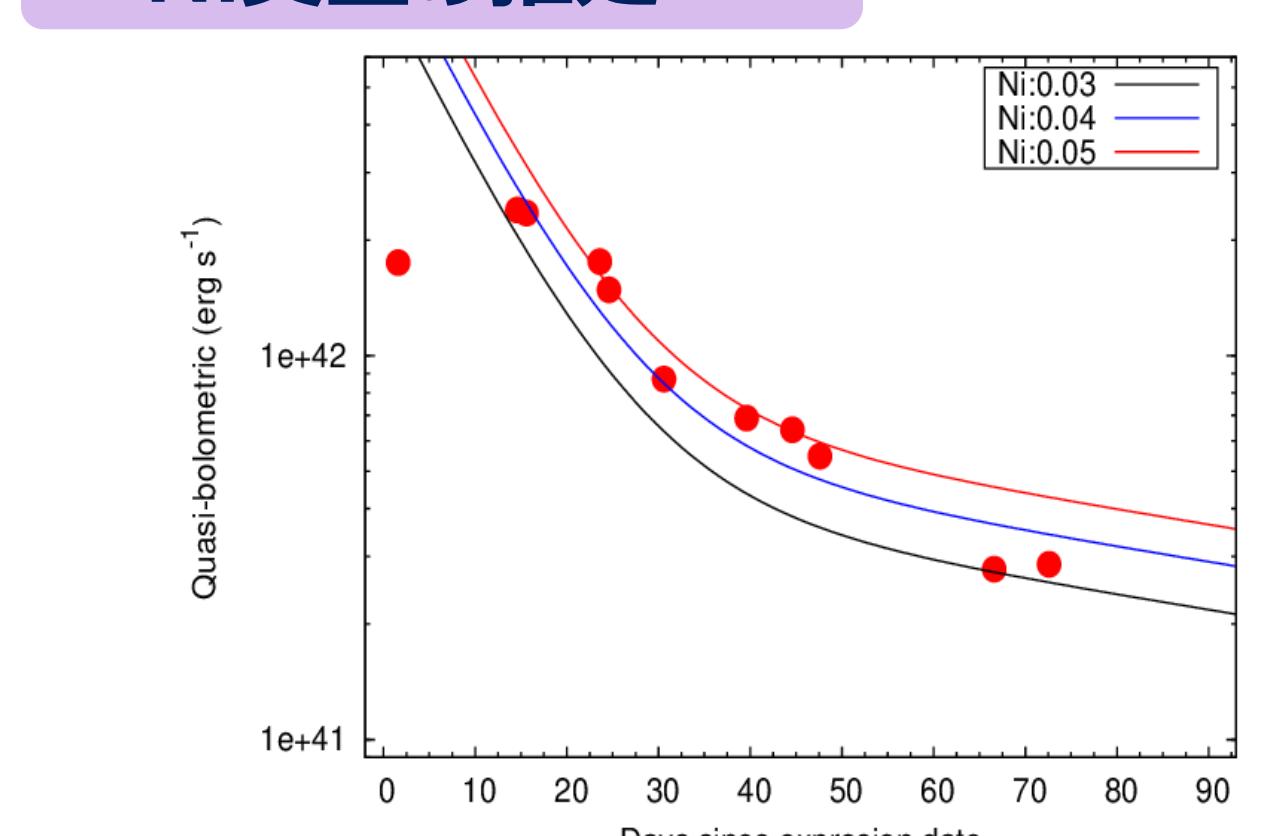
SN2023cptの推定パラメータ

normalizationに用いた天体	Ejecta mass (M_{\odot})	Explosion energy (10^{51} erg)
07gr	5.0-8.7	4.7-19
04aw	1.6-3.7	1.0-2.6
94I	4.0	4.9

^{56}Ni full trapの式

$$\left(6.5 \times 10^{43} \exp\left(-\frac{x}{8.8}\right) + 1.45 \times 10^{43} \exp\left(-\frac{x}{111.3}\right) \right) \times \frac{M(^{56}\text{Ni})}{M_{\odot}}$$

^{56}Ni 質量の推定



	^{56}Ni mass (M_{\odot})
23cpt	$0.05 >$
07gr	0.07 ± 0.02
04aw	0.30 ± 0.05
94I	0.07

D. J. Hunter et al (2009)

- Ni質量は典型的なIc型超新星と比べて小さい
- ejecta massと爆発エネルギーは典型的なIc型超新星と同程度かそれ以上。

Ni質量が小さいため、SN2023cptは連星相互作用により外層が剥ぎ取られた可能性が高い

Summary

- Ic型超新星SN2023cptの可視近赤外のデータから、爆発のパラメータを推定した
- Ic型超新星の中でも絶対等級が暗く、 ^{56}Ni 質量が小さい超新星
- SN2023cptの親星の外層は連星相互作用による可能性が高い

Reference

C. Barbarino et al. (2021) arXiv:2010.08392v1 [astro-ph.SR] [1]Filippenko, Alexei V. Annual Astronomy and Astrophysics, Volume 35, 1997, pp. 309-355., Maria R. Drout et al 2011 ApJ 741 97, Hu, Lei, et al 2022 The Astrophysical Journal, Volume 936, Issue 2, id.157, 19 pp., Arnett, W. D. et al 2012 ApJ...253..785A, D. J. Hunter et al A&A, 508 1 (2009) 371-389 , S. Taubenberger et al Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1-22 (2006), Juncheng Chen et al 2021 arXiv:1406.2828, Takeo Yokoo et al Publications of the Astronomical Society of Japan, v.46, p.L191-L193. Poznanski et al 2012 ApJ...753..785A, MNRAS, 426, 1465