



5バンド同時撮像システムによる 超新星・突発現象の追観測

山中雅之 Masayuki Yamanaka
鹿児島大学 (Kagoshima University)

YITP workshop, Exploring Extreme Transients:

Frontiers in the Early Universe and Time-Domain Astronomy

August 5 - August 8, 2025, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University

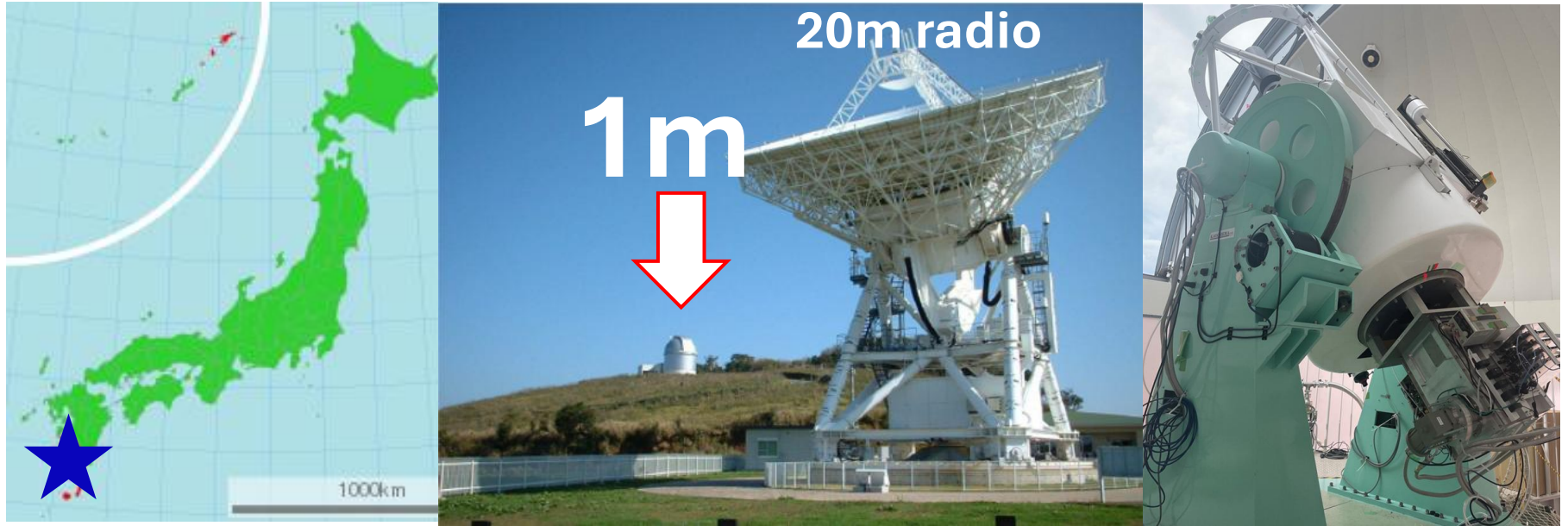
Why NIR?

(1) 赤外超過 NIR excesses:

Circumstellar dust and/or the dust formation

(2) 赤化を受けた天体 Insensitive to the dust extinction: Highly-reddened SNe

KU Iriki Observatory/1m telescope

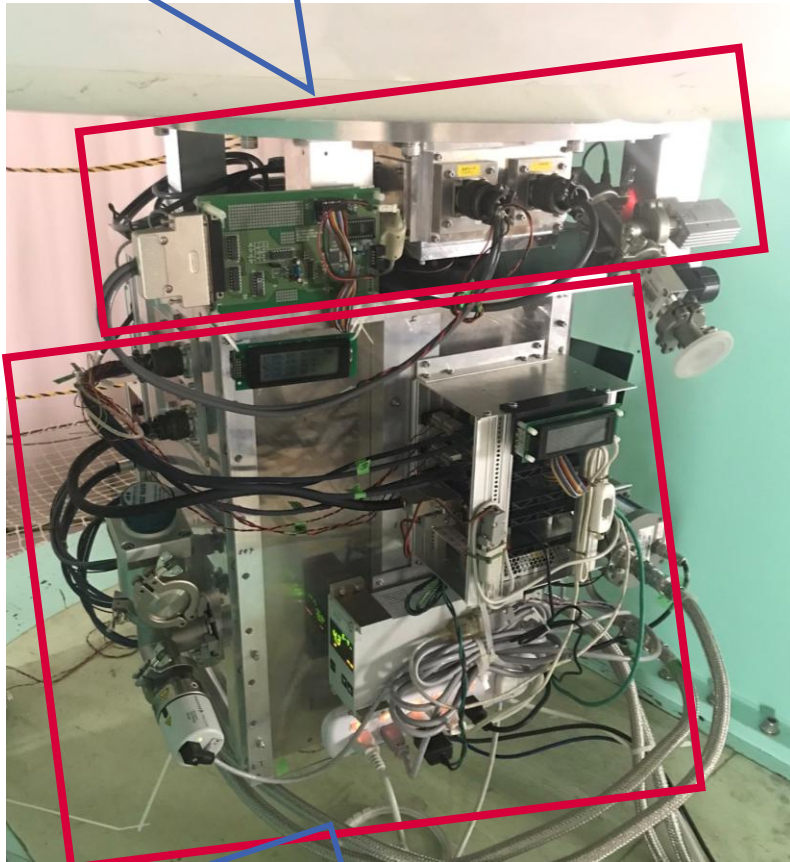


- 1研究室単位で運用(PI: 永山)
- 学生の半分が装置開発、もう半分がサイエンス
- 学生による当番制(梅雨を除きほぼ欠損期間なし)
- 95%以上の望遠鏡時間で超新星・突発現象観測
- **gi camera** + **kSIRIUS** (Nagayama & Nakaya 2024)
で可視・近赤外線5バンド同時撮像を実現: 次ページ詳細
- 限界等級: g, i ~ 20等、J~19等、H~18等、Ks~17等程度

5-band simultaneous observation system

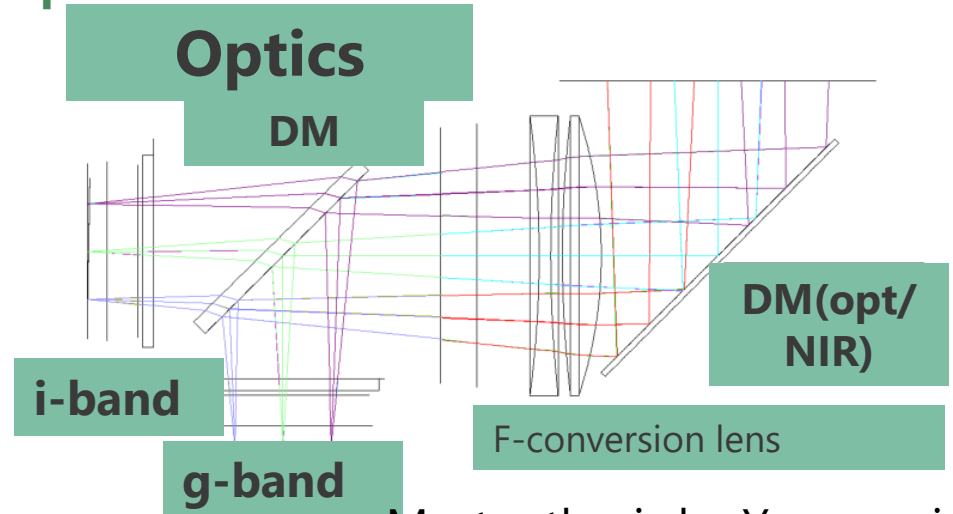
Instrumentation was conducted by
Takahiro Nagayama

Optical 2-band camera

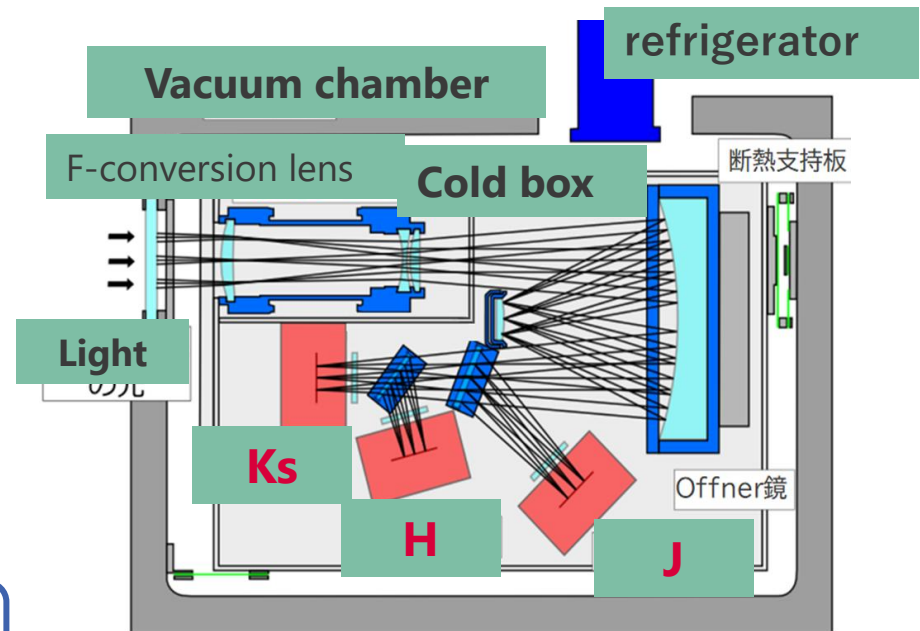


kSIRIUS: NIR 3-band camera

Optical 2-band camera



Master thesis by Yonemori



Master thesis by Akamine

SN+ を多数観測

2023 Jan

kSIRIUS (JHKs)

SN 2023ixf: Bright Type II w/ flash ionized feature
MY, Nagayama, & Fujii (2023) PASJ, Singh+, (2024) ApJ

SN 2023vbg: Type IIn w/ anomalous precursor
Goto, MY+ (2025), accepted to ApJ

SN 2023xgo: Type Ibn/Icn w/ dust emission
MY+ (2025), submitted to ApJL

SN 2023gfo: Highly reddened very luminous Type IIP
Namba, MY+ in prep

他多数

2024 Jan

kSIRIUS+gi camera (giJHKs)

SN 2024iss: shock cooling in Type IIb
MY, Nagayama, & Horikiri (2025), PASJ

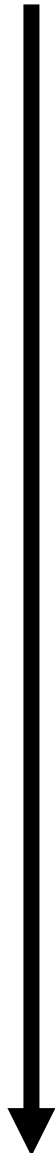
SN 2024dy: Dust growth in long-lived Type IIn
Goto, MY+. in prep

2024 Jun

gi camera (gi)

kSIRIUS is down..

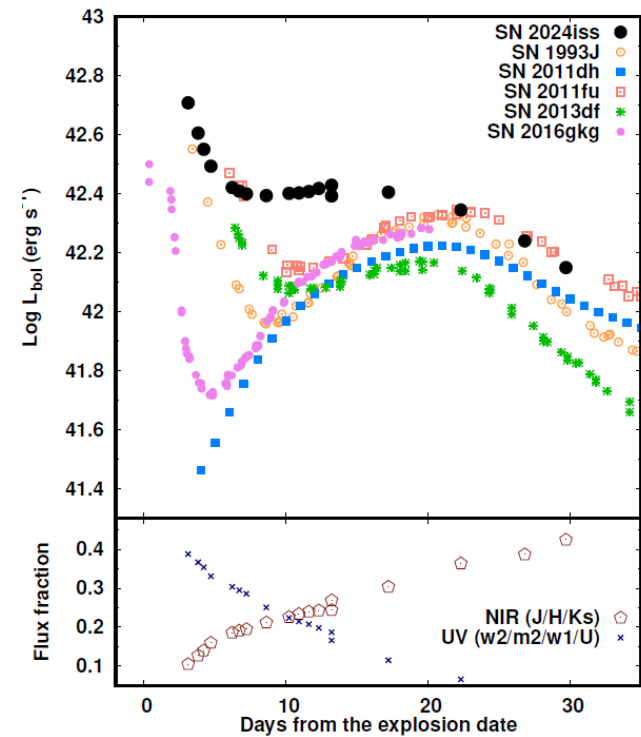
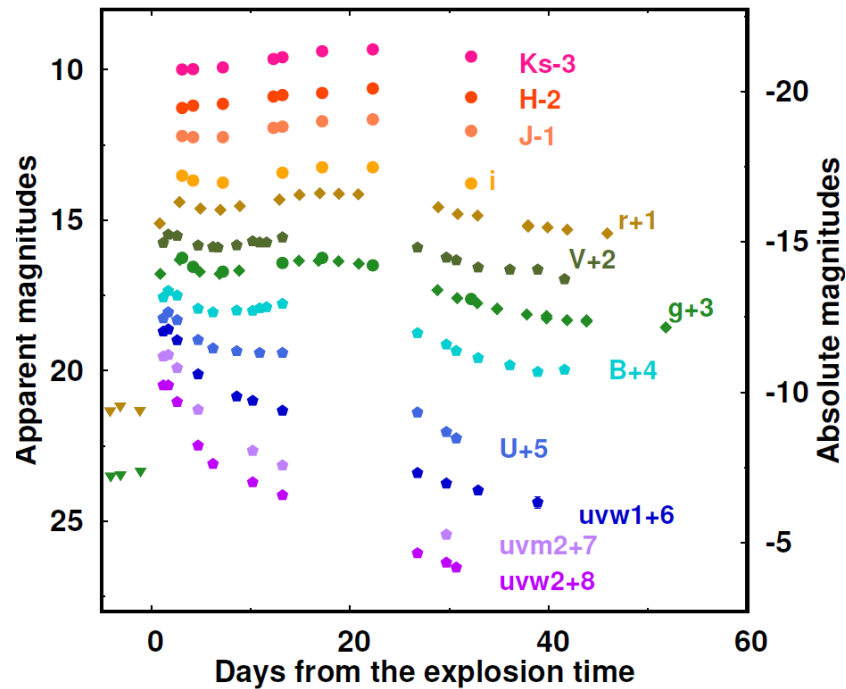
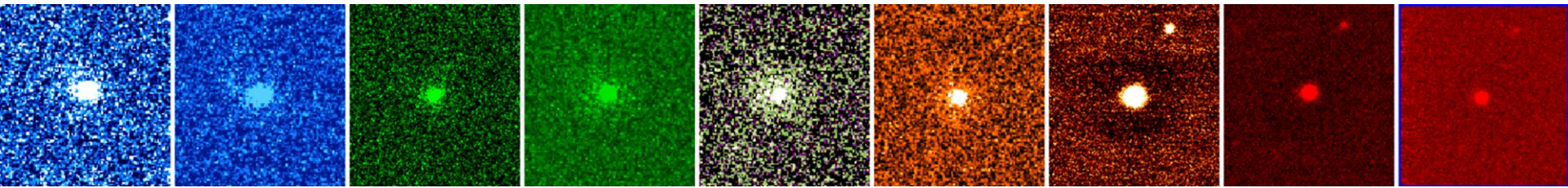
Now



kSIRIUS will reboot in Autumn/Winter

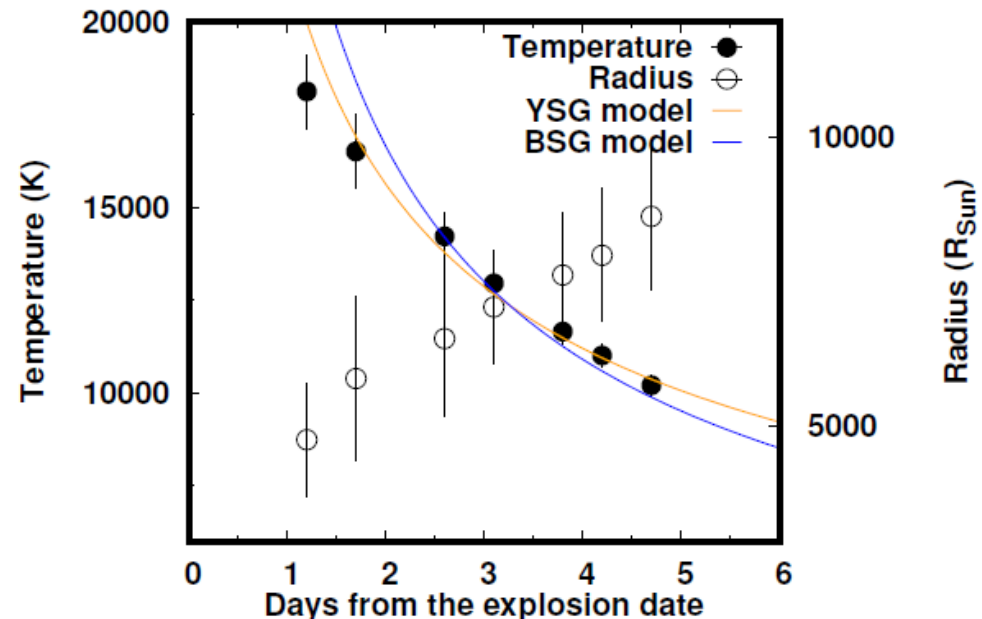
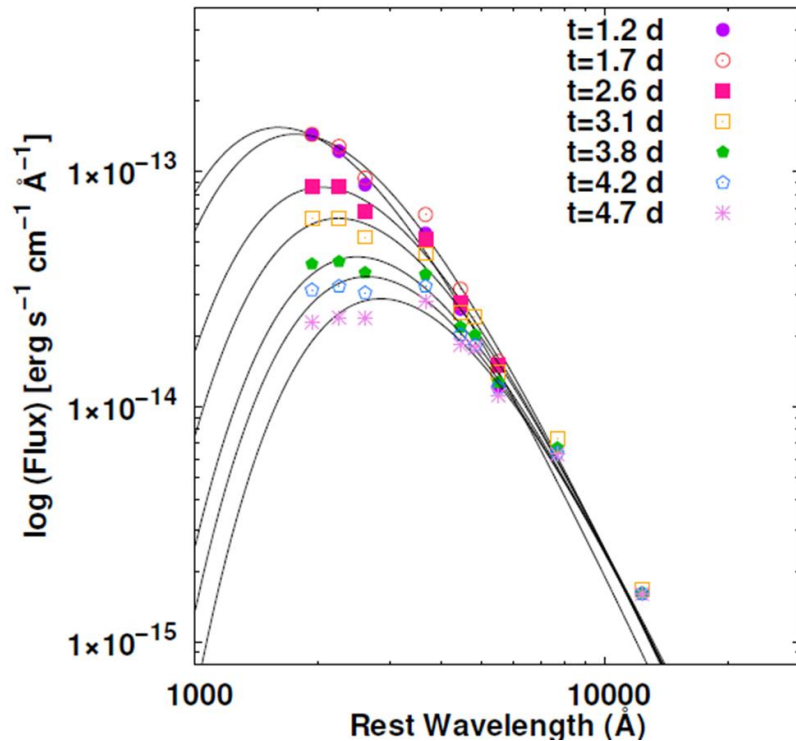
SN 2024iss: Double-peaked LCs in Type IIb

MY, Nagayama, & Horikiri 2025, PASJ



UV-opt-NIR 12-band LCs revealed
the high-luminosity first peak

Cooling emission

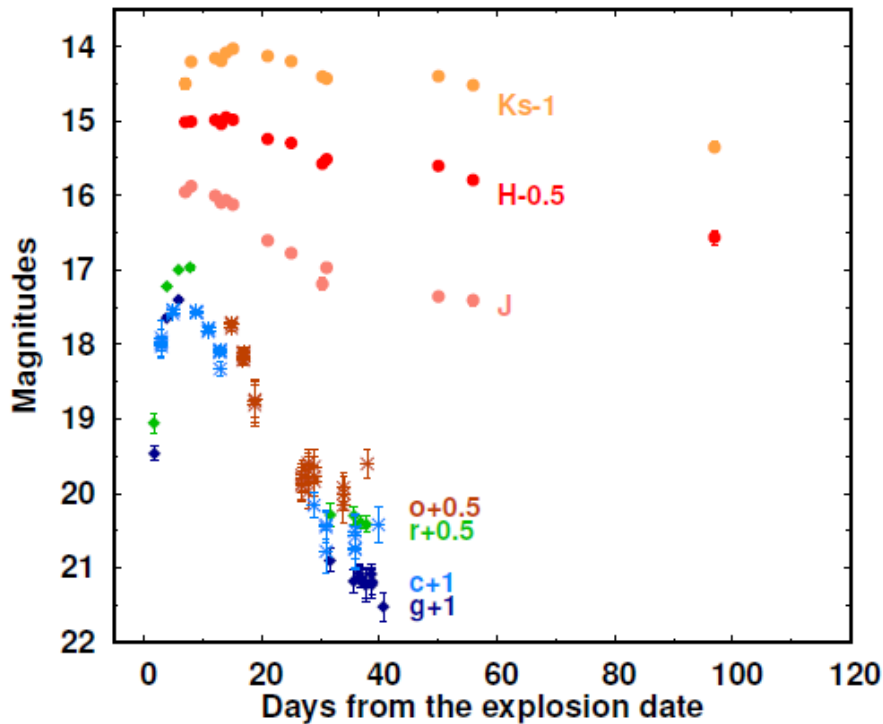


MY, Nagayama, & Horikiri 2025

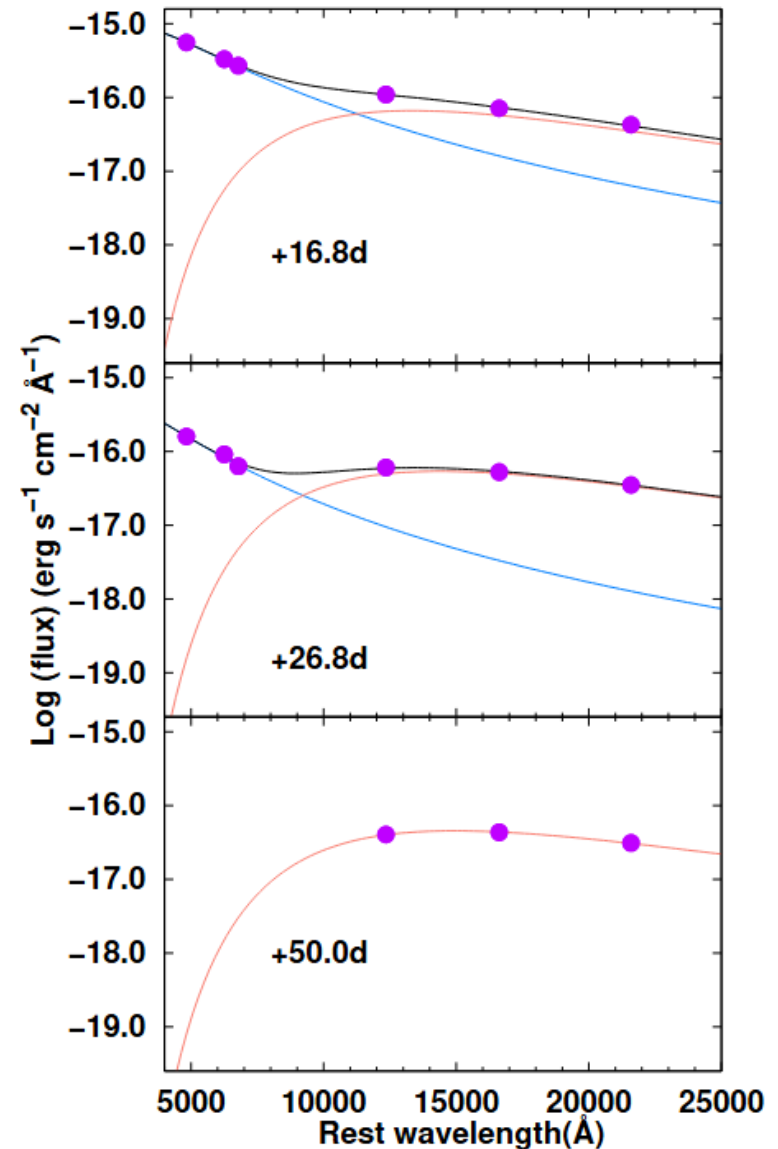
From the comparison of the temperature with the YSG and BSG models, we estimated $R=50$ for YSG and 340 for BSG, consistent with typical SN IIb.

SN 2023xgo : NIR excess

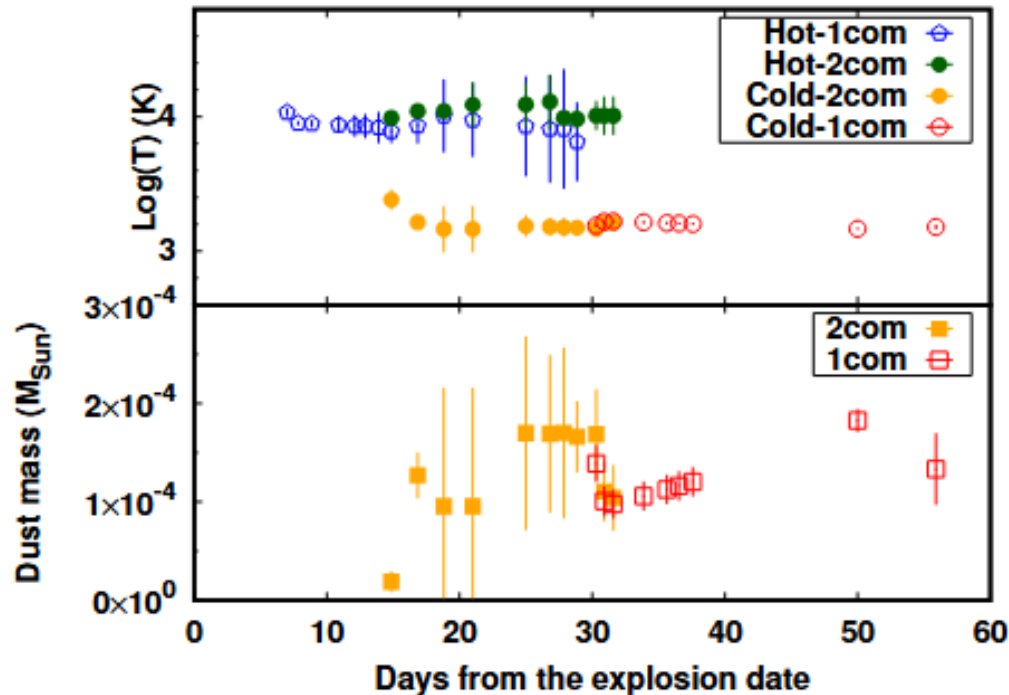
- Transition from **Icn** to **Ibn**
- Carbon-rich CSM



$$F_{\lambda} = B_{\lambda}(T_d) \cdot \frac{M_d \kappa(\lambda)}{D^2}$$



Dust mass and temperature evolution



The dust temperature remained relatively constant at $T = 1600 \pm 100$ K.

The dust mass remained almost constant at $(1.3 \pm 0.3) \times 10^{-4} M_{\odot}$.

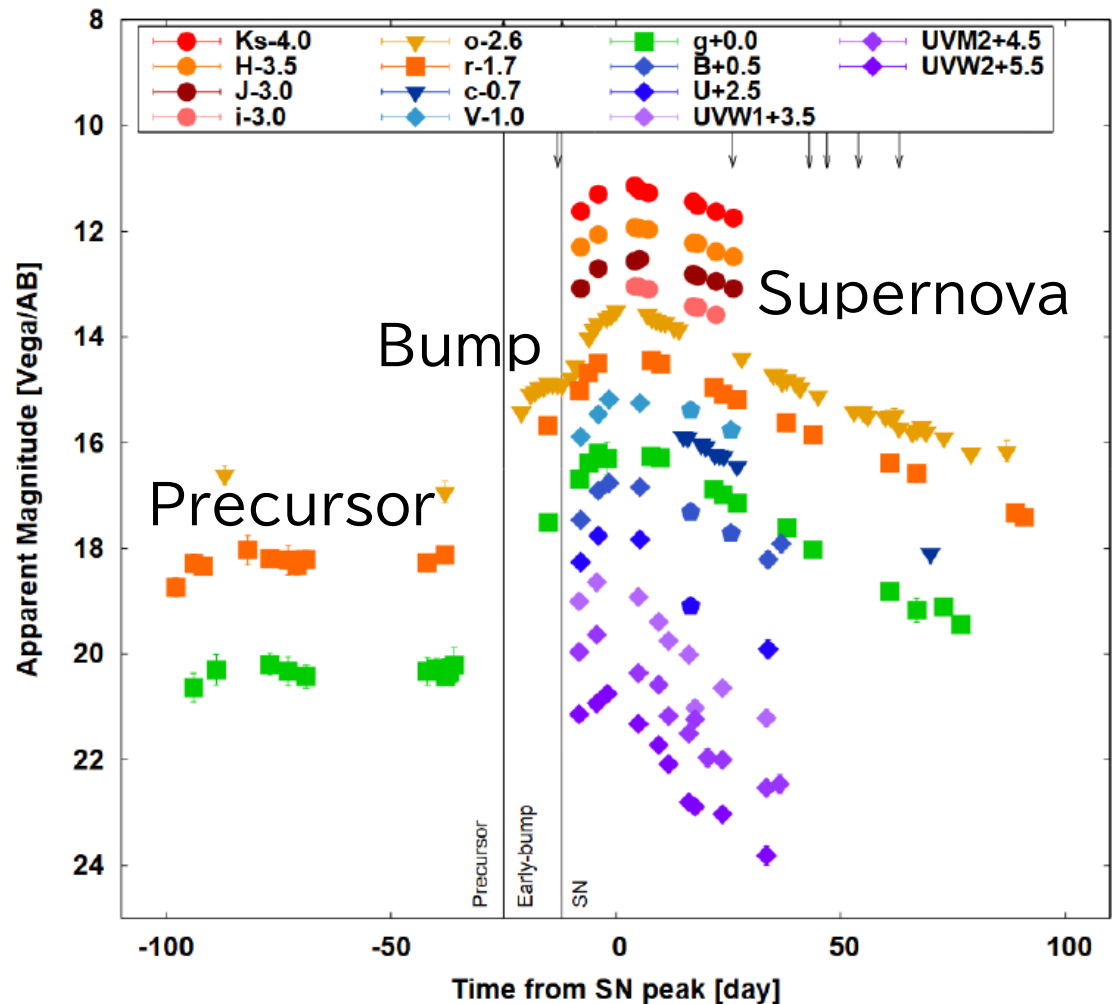
This is indicative of a NIR echo

Assuming the wind velocity gas-dust mass ratio, the gas mass is $10^{-2} M_{\odot}$, indicative of $\dot{M} = 0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$

SN 2023vbg: 特異な2段階前兆現象を持つIIIn

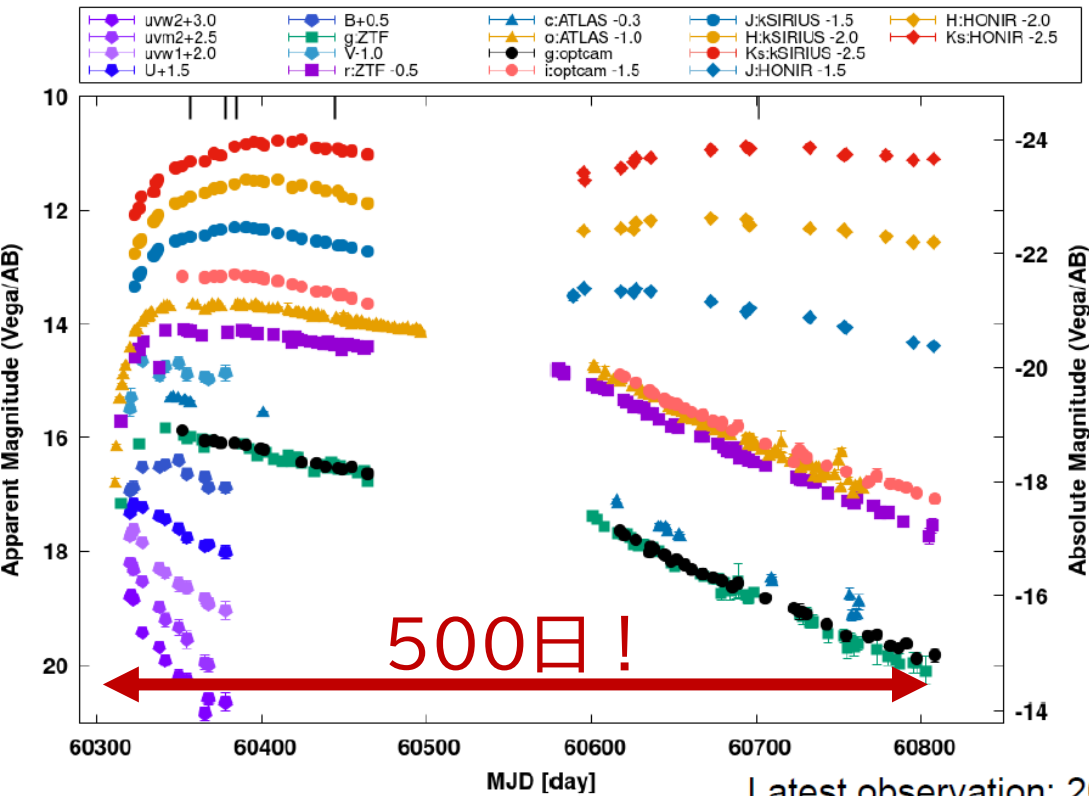
Goto et al. accepted in ApJ

- SN 2009ip-like SN:
LBVアウトバースト後に発
見例があるIIIn型SN
- インドIIA、京都大学と共
同研究
- 超新星爆発前に**100日程**
度、 $M_v \sim -14$ 等の前兆
- その後、急増光し、極大で
-17等程度の超新星へと
進化
- 途中、他の同種の天体に
はない **"bump"**が見ら
れた
- 異なる密度を持つ**2層構**
造の星周物質中を超新星
エジェクタが進行

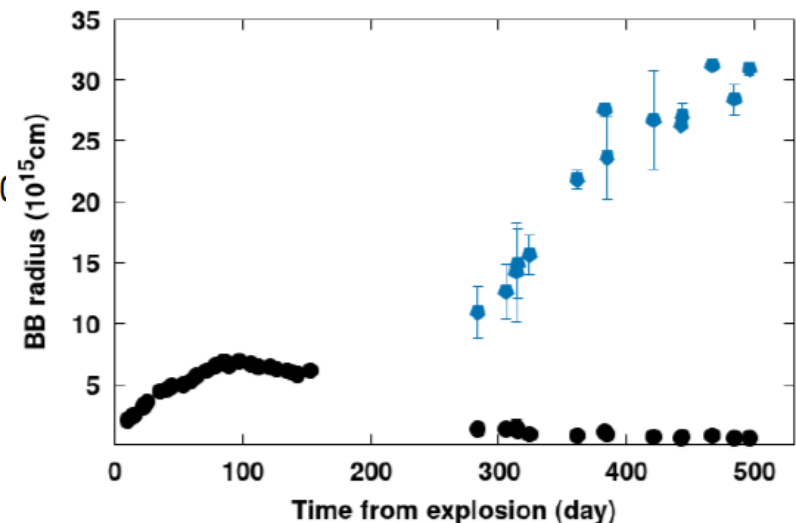
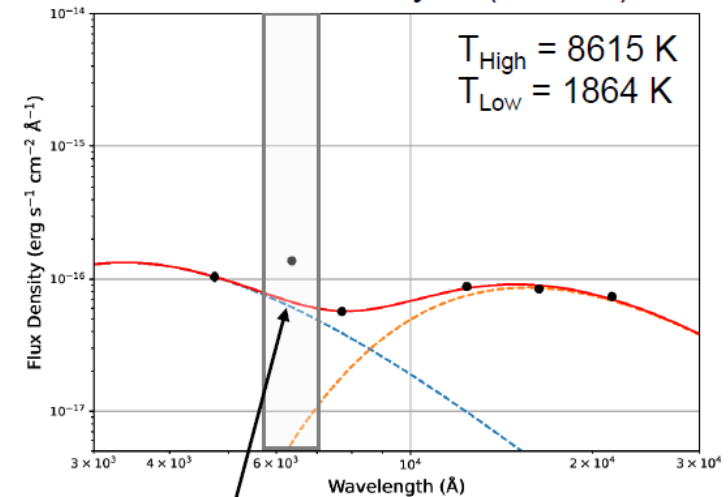


SN 2024dy: Dust growth in long-lived Type IIn

Goto et al. in prep



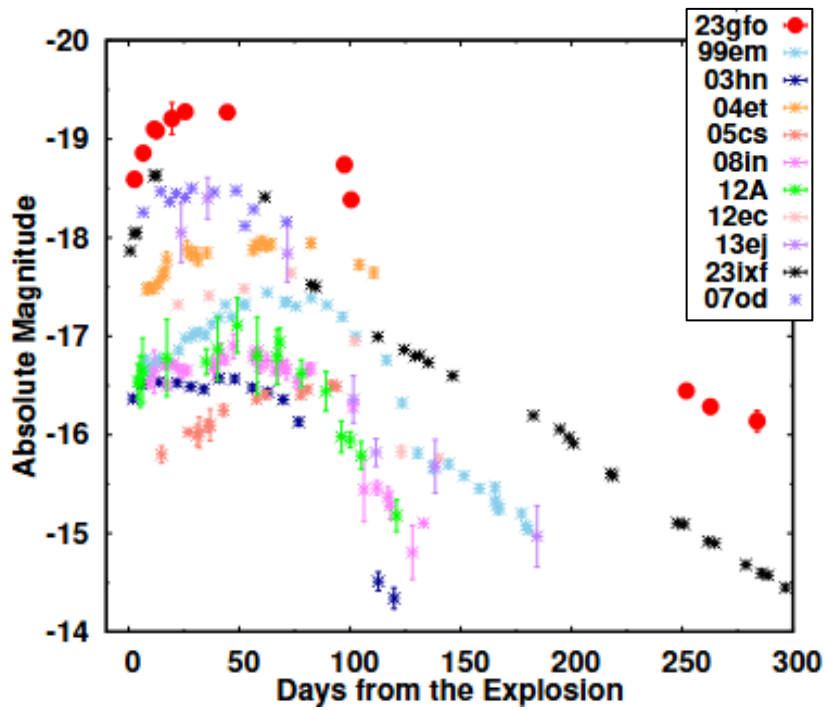
Two blackbody fit ($t=421\text{d}$)



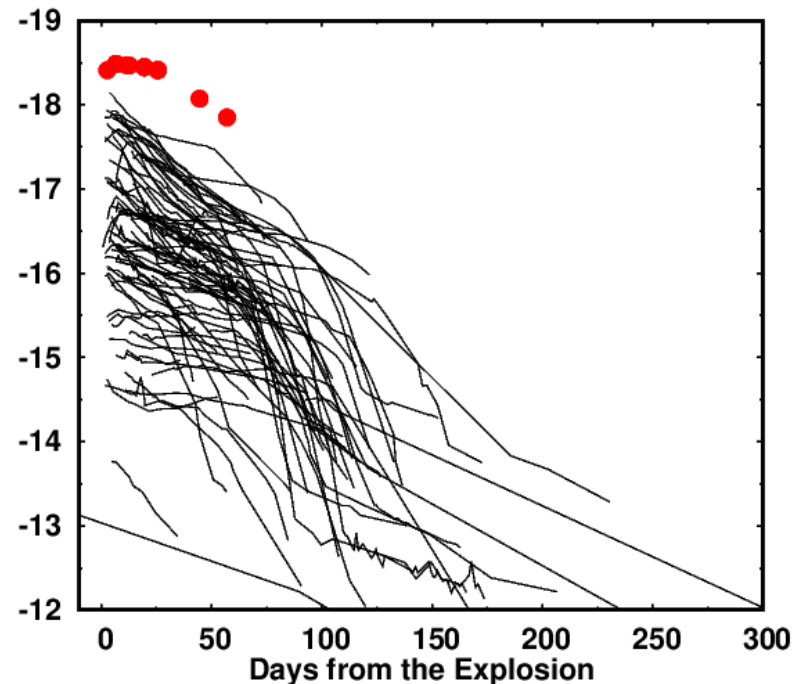
- 広島大学、インドIIA, ARIESとの共同研究
- 絶対光度が明るく ($10^{43} \text{ erg s}^{-1}$)、進化が非常に緩やかなlong-lived Type IIn に分類 (well studied な天体は5例程度)
- ダスト質量が200日の間に $2 \times 10^{-5} M_{\odot} \rightarrow 7 \times 10^{-5} M_{\odot}$ 増加

SN 2023gfo: Very luminous Type IIP SN

- ・ 鹿児島1m, 広島1.5m, インドIIA 76cm による測光観測
- ・ 大きな赤化。赤外観測による赤化量推定 ($A_V=2.0$)
- ・ これまで観測されているもので最も明るいものの1つ
- ・ V bandでもピーク-18.5等と比較天体の中で一番明るい



Ks band

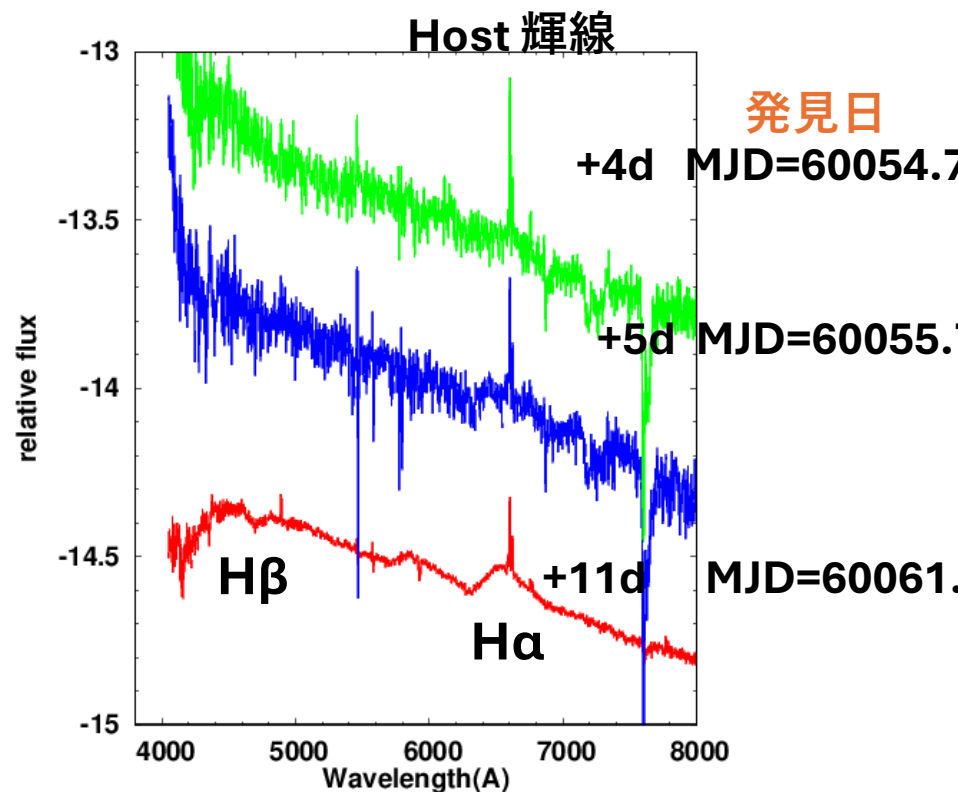
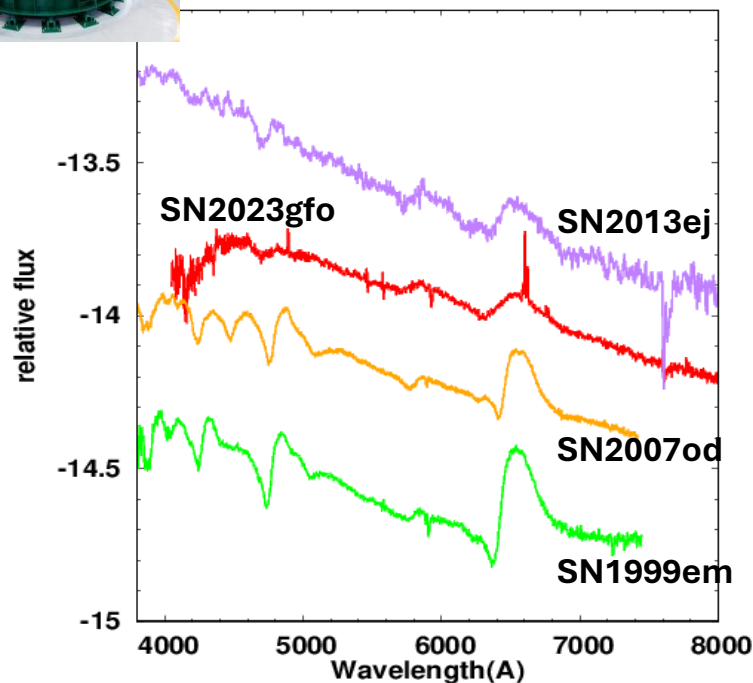


V band

Namba et al. in prep



Spectra



- せいめい望遠鏡で爆発初期のスペクトル3夜取得(右図)
- +11dのスペクトルを先行研究天体と比較(左図)
- H α 吸収線より、+11dの速度 $v_{23gfo}=13800\text{km/s}$

Pre-SN injection?

	$R_{\odot}$	$M_{\odot}$	E (foe)
SN2023gfo	7960	5.8	0.7
SN2009kf	6125	12	2.8
Normal SN IIP	~1500	~10	~1

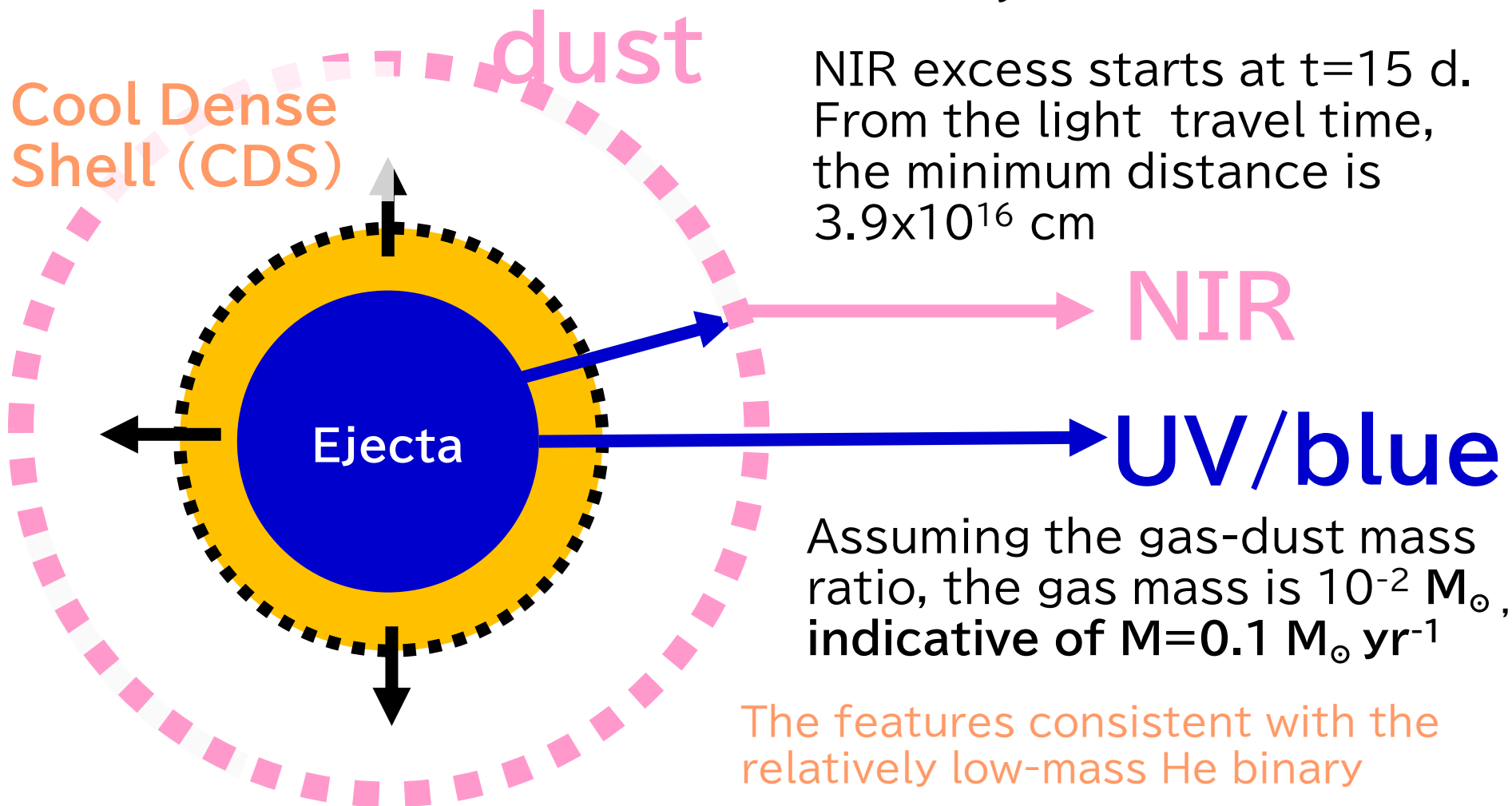
一般的なIIP型超新星の物理量を仮定し、SN2023gfoとスケーリング則を行うと半径が非常に大きい
SN2009kfに類似：Energy injection？

Summary

- We used the KU 1-m telescope with the kSIRIUS (NIR) and gi (optical) cameras for simultaneous five-band photometry of transients.
- About 99% of its time is dedicated to time-domain astronomy.
- My talk covered:
- SN 2024iss: Double-peaked LCs (YSG progenitor candidate)
- SN 2023xgo: Strong NIR excess (circumstellar dust)
- SN 2023vbg: Type IIn w/ anomalous precursor
- SN 2023gfo: Very luminous Type IIP w/ large size
- SN 2024dy: Dust growth in long-lived Type IIn

Circumstellar dust

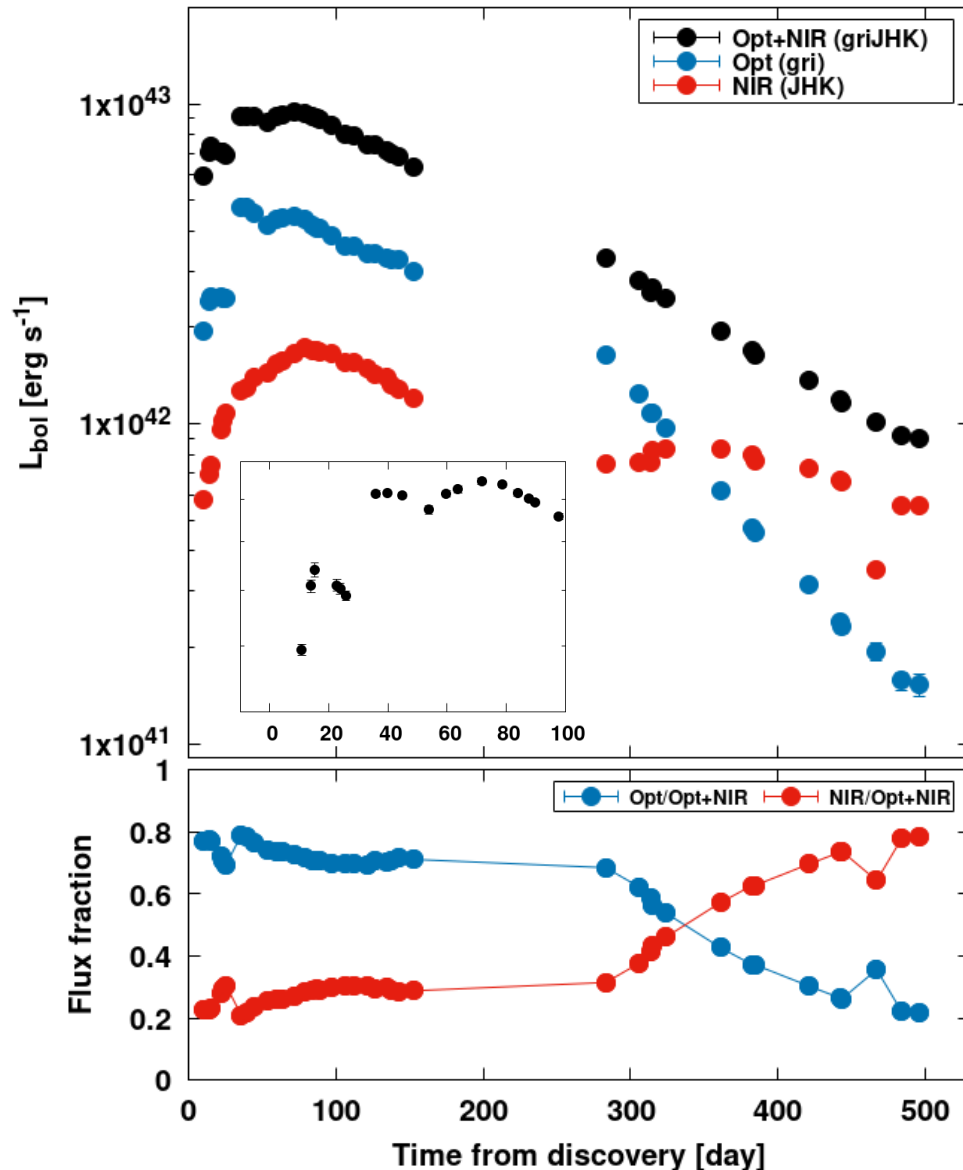
Considering the carbon dust, the evaporation radius is $R \sim 1.2 \times 10^{16}$ cm. It is larger than the outer edge of the ejecta at 10^{15} cm.



NIR excess starts at $t=15$ d. From the light travel time, the minimum distance is 3.9×10^{16} cm

Assuming the gas-dust mass ratio, the gas mass is $10^{-2} M_{\odot}$, indicative of $\dot{M}=0.1 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$

3.6 Bolometric luminosity

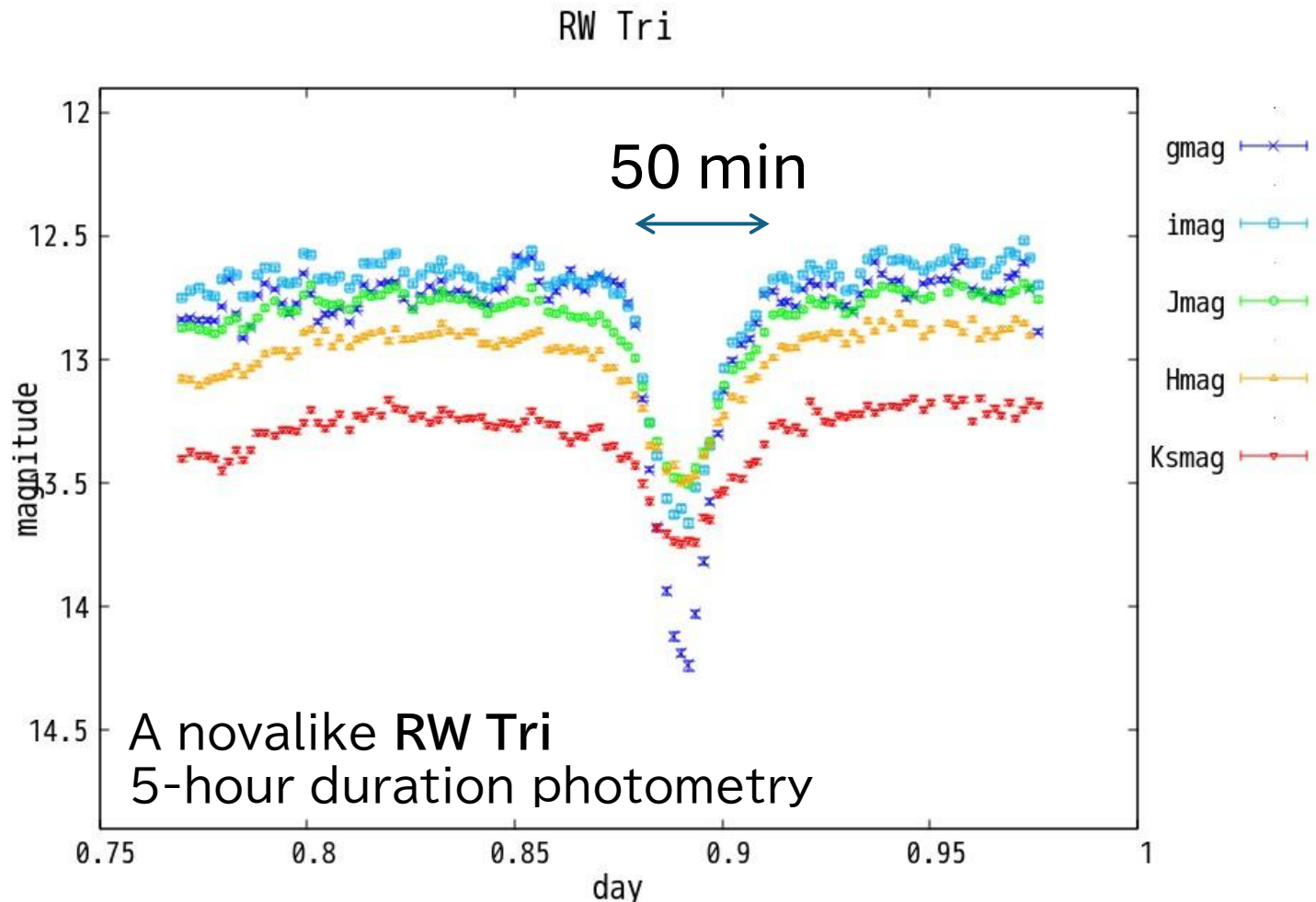


- Rise time ≈ 70 d
- NIR peak is late
 - rise time ≈ 100 d
- After 300 d
 - optical : steeper decline
 - NIR : flat
 ⇒ **NIR fraction is increasing**
- Mass-loss rate
 (Assuming $v_{\text{wind}} \approx 100$ km/s)
 ⇒ **$0.012 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$**
 (using relation of Chugai & Danziger 1994)

For comparison

- 10jl (Fransson+14) : $\geq 0.8 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$

Sample: Time-resolved 5-band light curves



Graduate research by Riko Nagasato

IIP型以外では親星がほぼ不明

	親星	直接検出数
IIP型	赤色超巨星	~20
Ibc型	WR星	1?
Ia型	WD-MS降着? or WD-WD合体?	0
IIn型	LBV星	~5以上 (ただしアウトバースト)

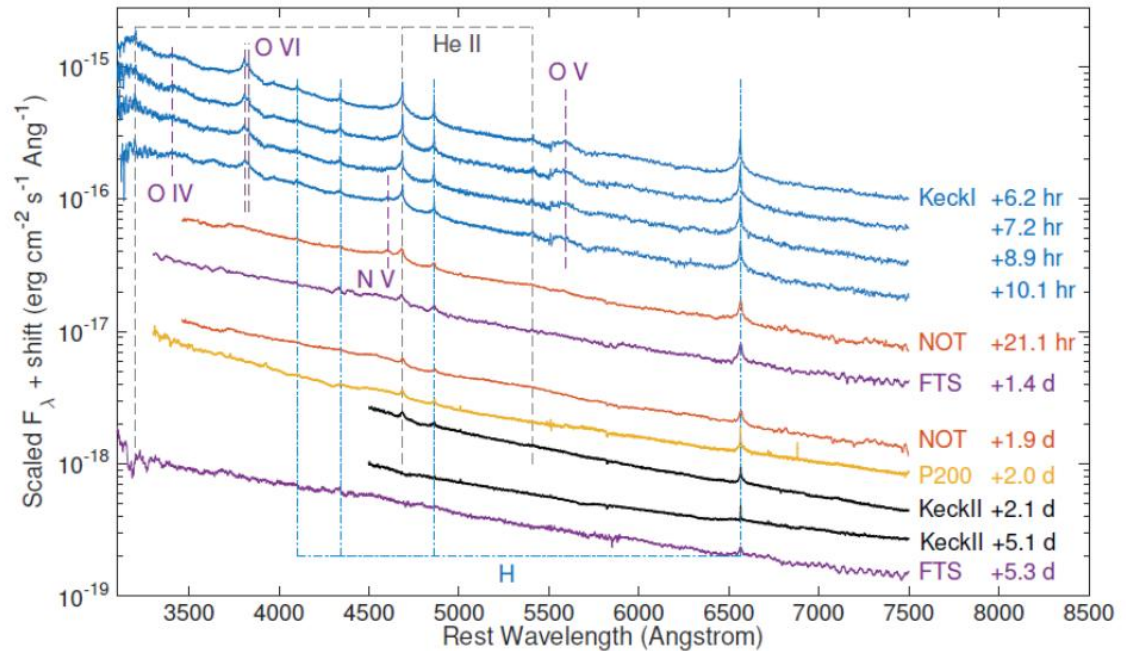
Ibc: 外層が剥ぎ取られコンパクトに
Ia: low-mass binary -> faint

発見されづらい

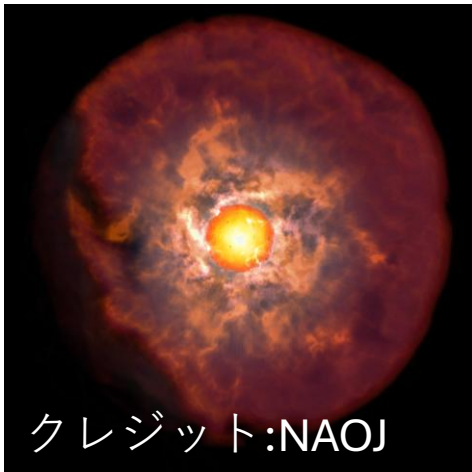
濃い星周物質の存在？

- ・10m Keck 望遠鏡で6.2時間後にスペクトル
- ・高励起の輝線
- ・高密度の星周物質
- ・爆発直前に噴出？

・初期の増光曲線からも90%以上が星周物質を持つ
(Forster, Moriya et al. 2018, Nature Astronomy)



Yaron et al. 2017, Nature



クレジット:NAOJ

- ✓ アイディア: 星周物質を切り口に超新星の起源に迫る
- ✓ 問題点: スペクトル観測は通常大口径望遠鏡クラスのリソースが必要であり時間が限られる。観測例も少ない

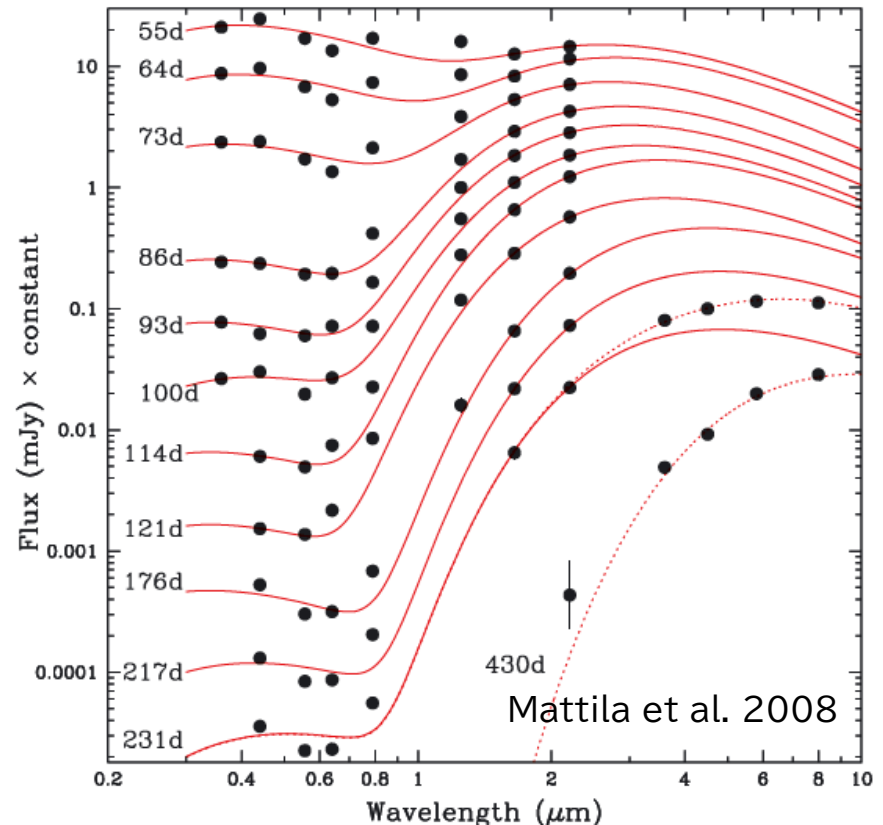
そこで1mによる近赤外線観測

3つの狙い

1. 星間ダスト減光の影響を抑える
2. 超新星に付随するダスト放射
 - 2a. ダスト形成の現場を抑え、その性質を得る
 - 2b. 星周ダストである場合、質量損失率に制限
3. 長期観測でより正確な
総放射エネルギー ->
爆発エネルギー -> 親星の正体

※ 爆発現象は初期は高温(>10000K)の現象。
近赤外線サンプルは限定的で全体的な素性は不明
(特にKsバンド)

・近赤外線によるアプローチは全く
ユニークで、世界にも例は少ない



Ibn型(ヘリウム輝線を示す)
超新星 SN 2006jc
これ程明瞭なダスト放射に伴う
赤外超過はIbn型では他に例が無い

SN 2023bee: A nearby Type Ia

- Standard explosion scenario (e.g., delayed detonation; Khokolov 1991) model expect the double-peaked LCs in NIR bands

- 120 days NIR LC
- Double-peaked in JHKs
- Relatively slow
- Similar to shallow silicon Type Ia SNe

