

# Optical observations of neutrino-counterpart analogs in the local universe

A large, irregular, brownish-yellow sphere with a bright white center, set against a dark starry background. The sphere has a textured, almost crystalline surface with various shades of brown and yellow. The background is a deep black space filled with numerous small, distant stars.

**Keiichi Maeda**  
**Dept. Astronomy**  
**Kyoto University**

keiichi.maeda@kusastro.kyoto-u.ac.jp

The third annual conference of  
Transformative Research Areas (A),  
“Multimessenger Astrophysics”

2025.11.19 @ Naruko, Miyagi

# New Time Domain Era

Survey	Depth (mag)	Area (deg <sup>2</sup> )	Cadence
BlackGEM	21.5	10,000	2 weeks
DES	23.5	5,000	1 week
KMTNet	~21	~6,000	1 day
MOA	~21	~1,000	1 day
TNTS	20.0	2,000	?
PTSS	20.5	4,000	1 day
HSC	25	800	1 day
Tomo-e	18/19	7,000	2 hr/1 day
ZTF	21	23,000	3 days
	21	2,000	1 day
	21	6,000	2 hr
ASAS-SN	17	40,000	1 day
DLT40	20	600 gal	1 dat

Catch transients/SNe even in the first day.

Discover rapidly-evolving transients/SNe.

Find unprecedented evolution (w/ monitoring).

©M. Tanaka

Ongoing surveys  
+ Rubin/LSST to come

# SNe = Supernovae

# (Rapid) follow-up observations as a key

- The survey information is very limited (only photometry, 1 or 2 bands in the optical).
- Need multi-bands, spec, multi-frequency, ...  
⇒ Need global collaborations.
- Our effort/contribution (“KASTOR”):
  - Model/interpretation.
  - Communication w/ surveyors: Tomo-e, ZTF, WFST, ...
  - Optical/NIR.
    - Seimei & Kanata telescopes as a “heavy user”.
    - Subaru and Gemini telescopes through open-use slots.
    - Regular collaborations w/ Finnish & Indian groups.
    - Case-by-case collaborations w/ various groups.
  - Radio & X-rays.
    - ALMA, VLA, ATCA, GMRT, JVN, SWIFT, etc.

# Toward Automation

- Developing automatic observing schemes:
  - e.g., v/GW/X counterpart search by TriCCS; Taguchi-san).
- TriCCS imaging data-reduction pipeline:
  - Effort by Kawabata-san/Taguchi-san.
- Test bed for various automation / scheduling / analysis pipelines (ongoing activities):
  - Automatic ToO? (now testing in University time slots)
  - Automatic scheduling?

## GCN Circular 40074

**Subject** EP250404a: Seimei/TriCCS optical counterpart detection  
**Event** [EP250404a](#)  
**Date** 2025-04-05T09:09:53Z (7 months ago)  
**From** Kenta Taguchi <kentagch@kusastro.kyoto-u.ac.jp>  
**Via** Web form

Kenta Taguchi, Keiichi Maeda (Kyoto U.), Masaomi Tanaka (Tohoku U.) report on behalf of a larger collaboration:

We observed the field of EP250404a detected by Einstein Probe (Hu et al., GCN [40051](#)) using the Tricolor CMOS Camera and Spectrograph (TriCCS) on the 3.8-m Seimei telescope. Observations started at 15:27:48 UT on 2025-04-04 (MJD = 60769.64). We detected a counterpart at a position consistent with the source detected by Jiang et al. (GCN [40052](#), also reported by Perez-Garcia et al. GCN [40053](#), Du et al. GCN [40058](#), Konno et al. GCN [40063](#), Odeh et al. GCN [40064](#), He et al. GCN [40069](#), Pérez-Fournon et al. GCN [40071](#), Jelinek et al. GCN [40072](#), Rakotondrainibe et al. GCN [40073](#)).

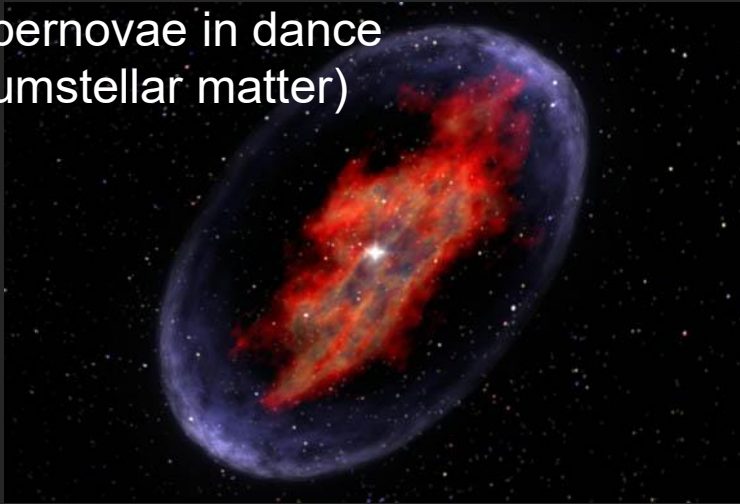
Preliminary analysis gives the following magnitudes of the source:

g = 18.20 ± 0.05  
r = 17.46 ± 0.04  
i = 17.10 ± 0.03

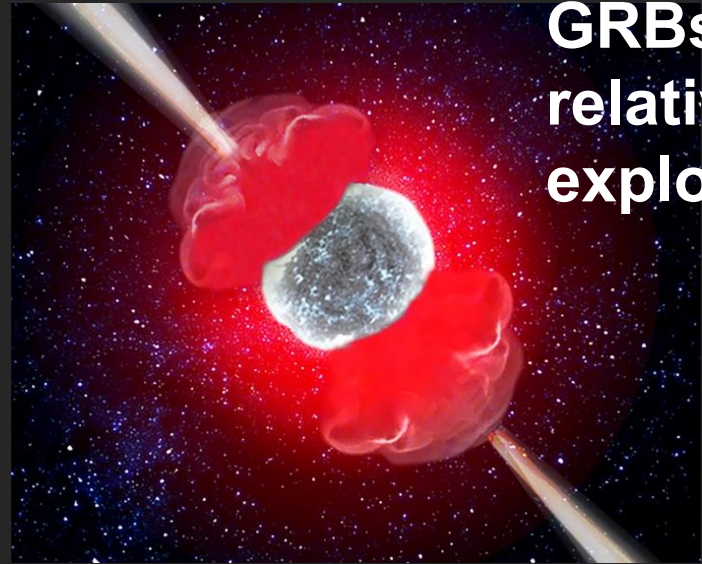
# Possible transient neutrino counterparts

## SN-CSM interaction

(Supernovae in dance  
circumstellar matter)



## GRBs and relativistic explosions



## Tidal Disruption Events (TDEs)



Their observational properties  
are very diverse  
(yet to be fully understood)

Characterizing physical conditions  
⇒ which are strong  $\nu$  emitters?

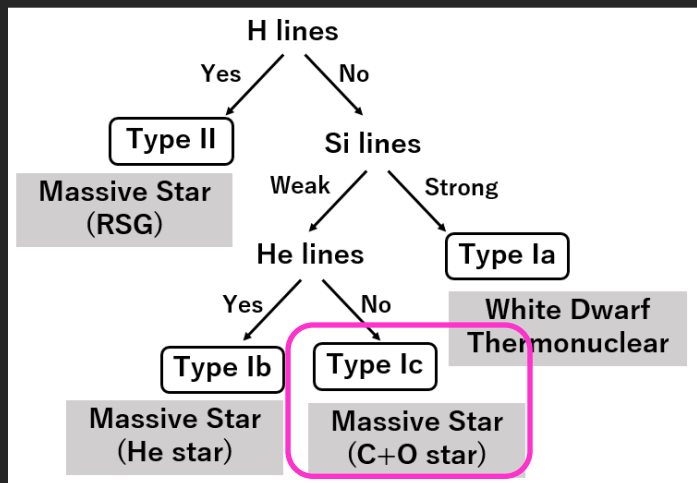
Mapping progenitor systems  
⇒ how many such systems?

# Papers under JP24H01810 in 2025

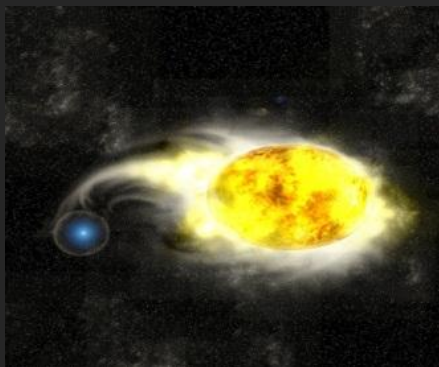
---

- SN-CSM interaction:
    - 14 papers published, 5 papers under review.
  - GRBs and relativistic explosions:
    - 2 papers published, 1 paper under review.
  - TDEs:
    - 1 paper published.
  - Others:
    - 10 papers published.
- + >10 papers in the advanced preparation stage.

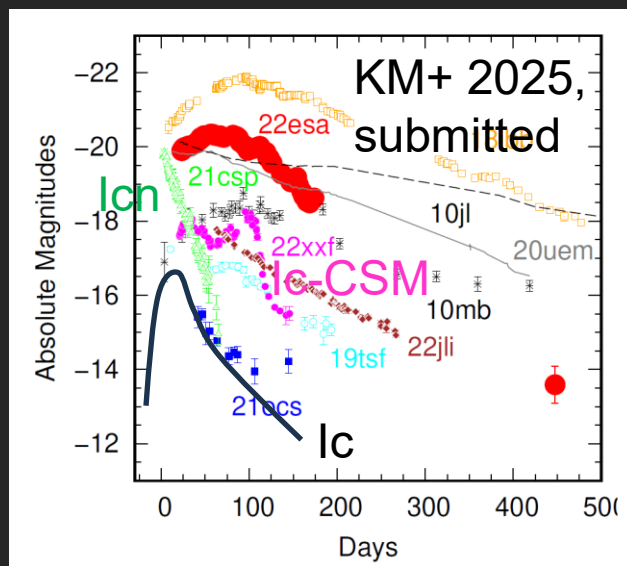
# SNe from highly-stripped (H/He-poor) stars



Classical examples: **SNe Ic**  
Non-interacting (little CSM)  
Binary of stars < 20 Msun?



New populations:  
**SNe Icn** and **SNe Ic-CSM**  
Strongly Interacting (dense CSM)  
More massive (Wolf-Rayet) stars?



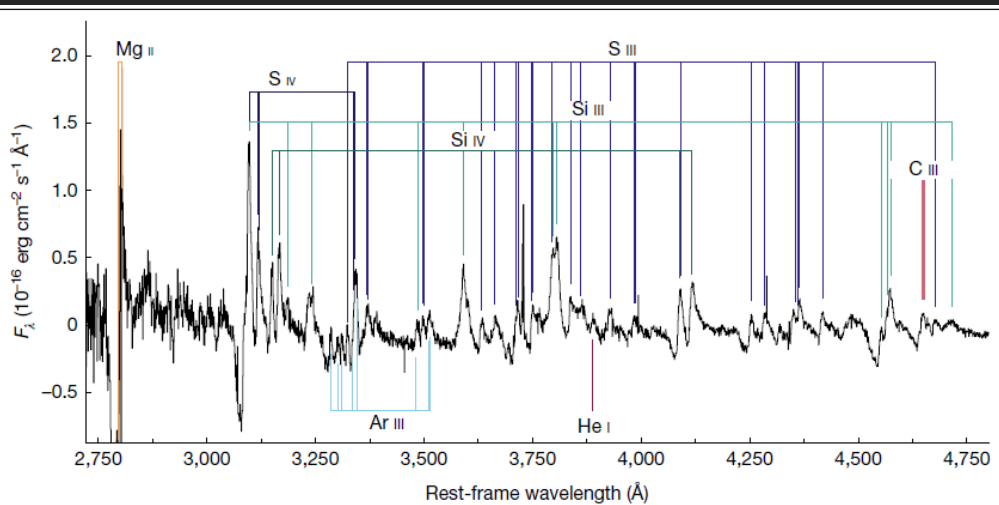
## SNe Ic: “early” interaction

- CSM very close = mass loss just before the SN

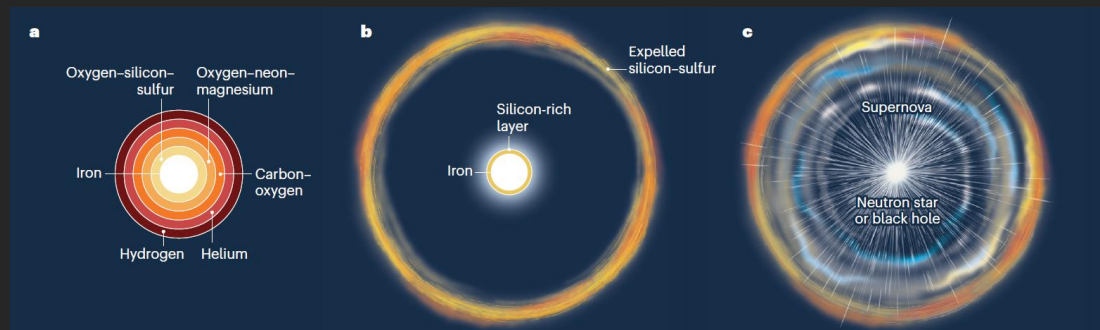
## SNe Ic-CSM: “late” interaction

- CSM at distance = mass loss well before the SN

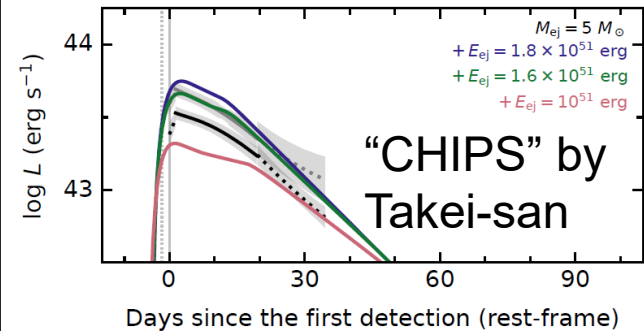
# A highlight for the SN-CSM interaction



The “most-stripped star” (down to the **Si-rich layer**) exploded as SN of a new type (type “len”).



Fit of the bolometric light curve with a CSM model



Major update in stellar evolution:

- **Confirm** that stars produce up to **Si/S** with the “onion-like” structure.
- **New challenge:** how to ejecta such a deep layer **before the SN?**

Schulze+ 2025, Nature (incl. Takai, KM)

# A highlight for the SN-CSM interaction

京都大学



KYOTO UNIVERSITY

イベント アクセス 大学施設案内 刊行物・資料請求 採用情報

受験生 在学生 卒業生 一般・地域 企業・研究者 寄附

京大について 入試・高大連携 教育・学生支援 研究・産官学連携 国際交流 社会連携 学部・大学院等

## 「骨」まで剥き出しになった超新星—宇宙で稀に見る爆発、元素工場の直接的証拠—

### 巨大星 最期の爆発「超新星」で何が

#### 京大などのチーム 深部の構造を直接的に観測

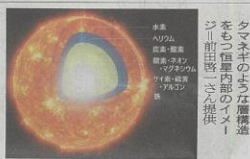
最期を迎えた巨大星が爆発する現象「超新星」で、星の深部構造が明らかになるケースを国際チームが初めて観測した。恒星の誕生から最期を迎えるまでの進化の理論を裏付けるとともに、星の最期に起きたと思われる、まるで骨まであらわになるような激しい現象は何か、新たな謎を投げかける。成果は英科学誌ネイチャーに載った。

恒星の中心部では核融合が起き、軽い元素からより重い元素が合成されていく。結果、恒星の内部は、中心部の重い元素の層を、過去につくられたより軽い元素の層が包み込む「タマネギ」のような層構造になると考えられている。しかし、深部構造を直接的に観測できたことはなかった。

その状況を変えたのが、チームが見つけた超新星「SN 2021yfj」だ。詳しく

い情報を得るため、分光観測を行った結果、驚くべきことが明らかになった。恒星では、核融合エネルギーで、外層のガスが宇宙空間に放出される「恒星風」が起きる。太陽よりも重い星だと水素やヘリウムの外層がはぎ取られることがある。炭素や酸素の層までがむき出しになった巨大星の超新星も観測されていた。

それに対し、SN 2021yfjは、巨大星が爆発直前に、中心の鉄を包むケイ素や硫黄、き取られ部分は分布。残りとして強く、チームが京都

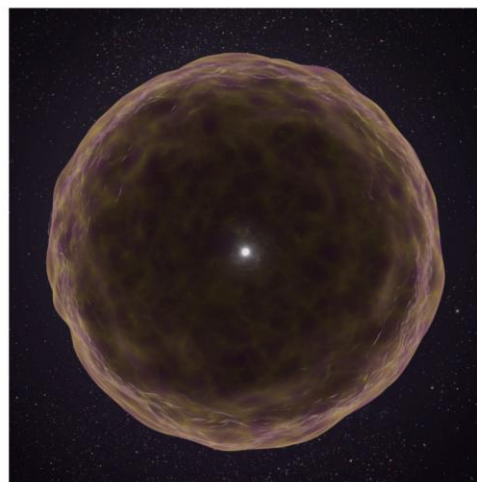


回の成果に大きく二つ意義があると語る。一つは、恒星進化理論の観測的な証拠だ。恒星内部がタマネギ構造ということは多くの研究者が信じてきたが、直接的に観測できたことはなかった。もう一つが、巨大星の終末期の新たな謎だ。

太陽より10倍重い恒星の進化を人生100年に例えると、90歳ぐらいまでは

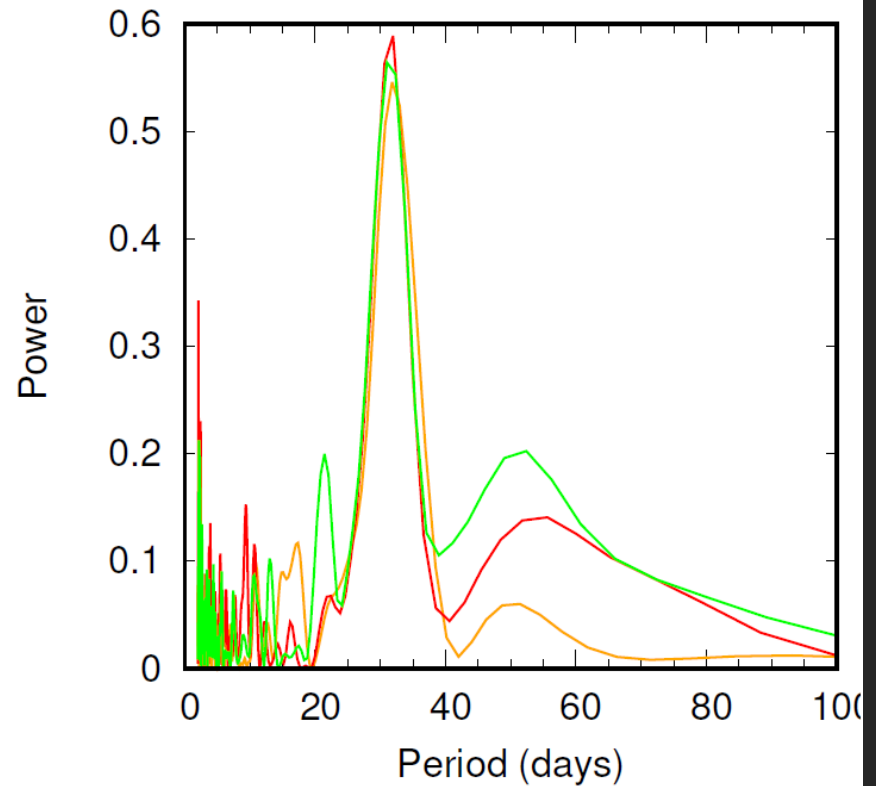
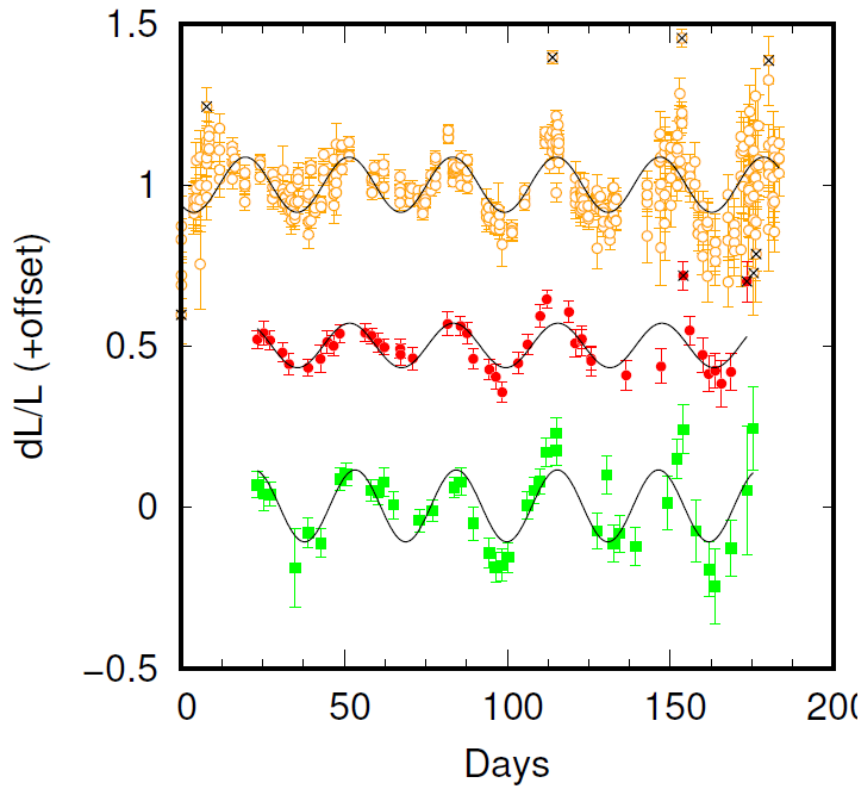
武井勇樹 基礎物理学研究所特定研究員、前田啓一 理学研究科教授らの国際研究グループ（米国ノースウェスタン大学（Northwestern University）、スウェーデン・オスカー・クライン・センター（Oskar Klein Centre）、イスラエル・ワイツマン科学研究所（Weizmann Institute of Science）ほか）は、外層をほとんど失い、最深部がむき出しになった大質量星が爆発したと考えられる超新星を世界で初めて発見しました。大質量星は水素やヘリウムから始まって、中心部でより重い元素を次々と生成することで玉ねぎのような層構造を形成し、最深部には鉄の核を取り囲むシリコン・硫黄を含んだ層ができることが理論的に予言されてきましたが、この構造を直接的にとらえた観測的証拠はこれまで発見されていませんでした。本研究では超新星SN 2021yfjから届いた光を波長（色）に「分解」することで、超新星を起こす前の大質量星が爆発のはる前か軽い元素で構成された外層を失い、爆発時にはシリコンや硫黄に富んだ最深部が露出していたことを発見しました。これは、長年にわたり恒星進化理論の基本とされてきた大質量星の層構造を観測的に明らかにするための、大変重要な一歩です。

25年8月20日に、国際学術誌「Nature」にオンライン掲載され、当該号の表紙に採用されました。



超新星SN 2021yfjの爆発直前の大質量星の様子の想像図。外層の大部分が放出されて、シリコンや硫黄を含む中心部がむき出しになっている。©W. M. Keck Observatory / Adam Makarenko

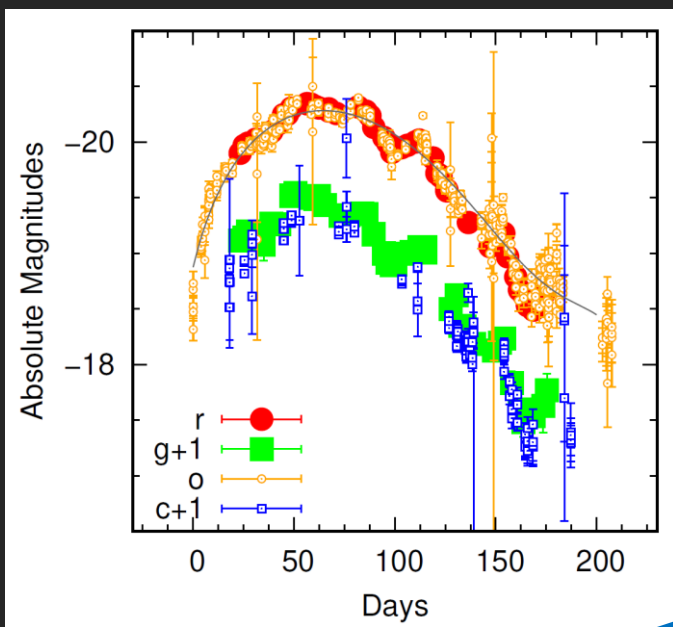
# Another highlight



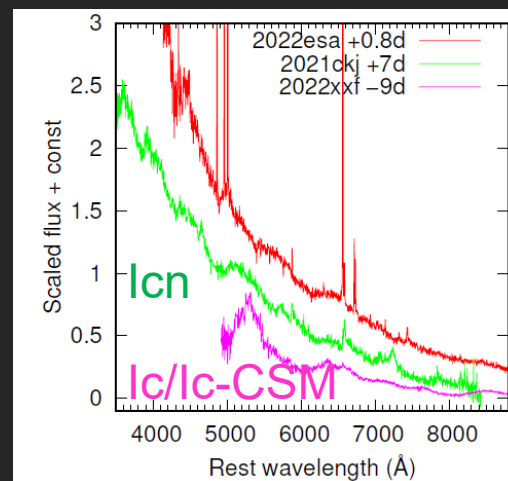
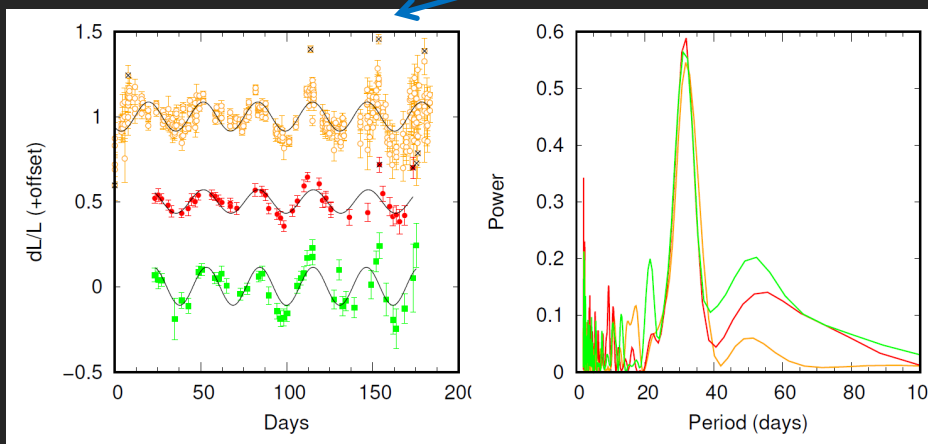
Q to transient specialists: guess what it is?

# It is an SN (Ic-CSM)

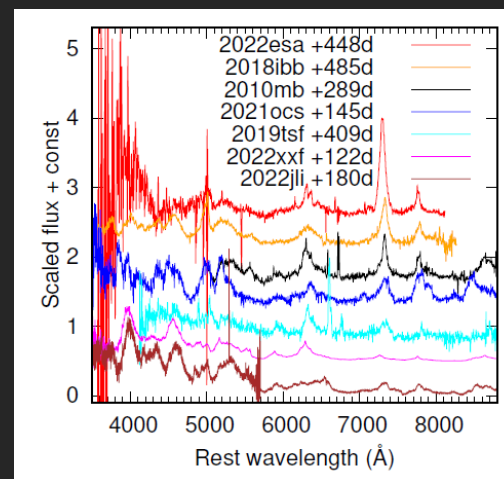
KM+ 2025, submitted



Subtracting  
the “base”  
light curve.



Seimei  
Kools-IFU

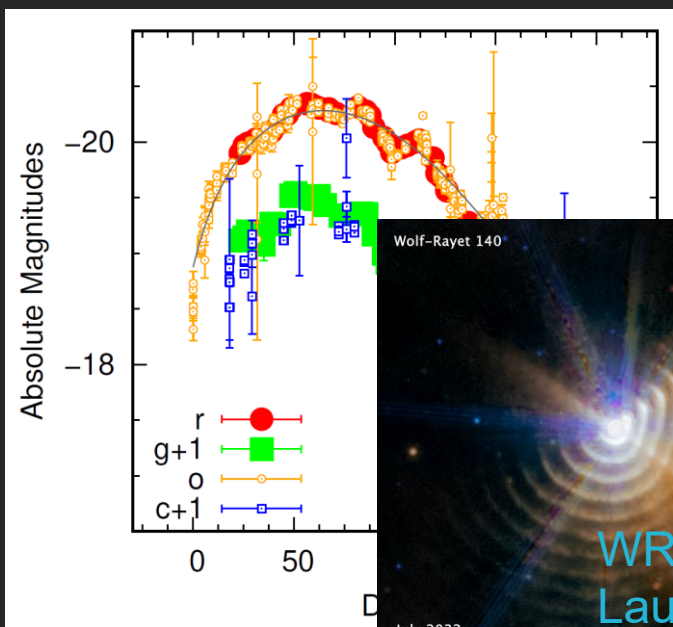


Subaru  
FOCAS  
Comparison to  
SNe Ic-CSM

KM+ 2025, submitted

# WR-WR/BH binary?

Wolf-Rayet (WR):  
C/O star from a massive star  
(initially  $> 25M_{\text{sun}}$  or so)

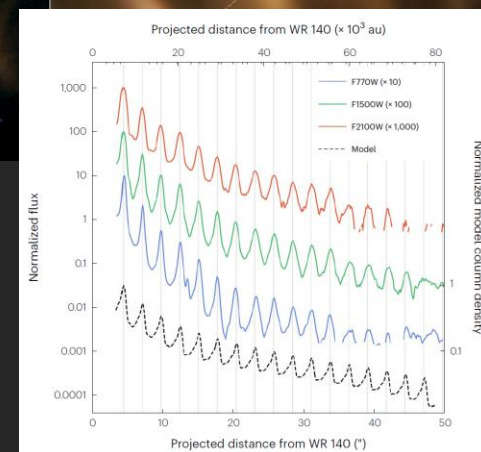
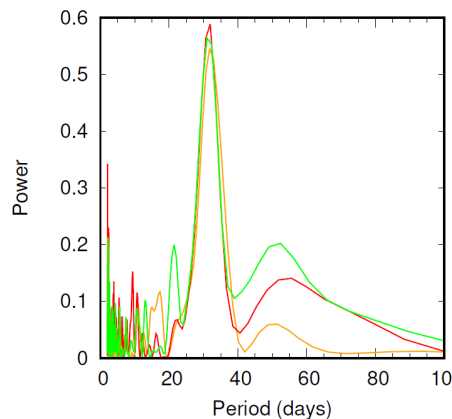
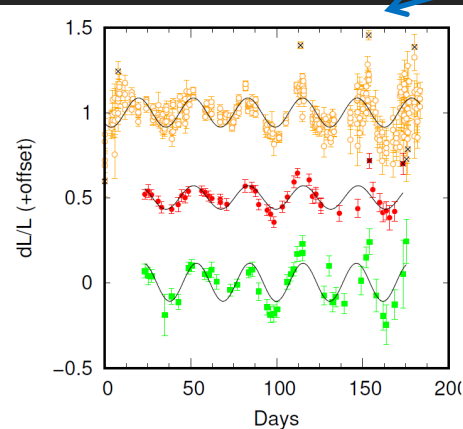


(Eccentric) **WR-WR or WR-BH binary?**

Shell separation  $\sim 10^{15}\text{cm}$   
 $\Rightarrow$  pre-SN binary period  $\sim 1\text{yr}$ .

**Progenitor of a BH-BH binary**

# canonical SNe Ic would not form a BH-BH.



Follow-up work ongoing:  
stellar evolution, light curve modeling,  
multi-wavelength analysis

## Ongoing and coming follow-up activities (opt.)



SNe

Long-term monitoring (KM+): Subaru  
Rapid spec ToO (KM+): Gemini



GRBs/LFBOTs

<1 min time-resolving (KM+): Subaru, Seimei  
Einstein Probe low-luminosity local GRBs:  
Gemini (Tanaka), Seimei (Taguchi)

High-z GRBs (KM, Matsumoto+): Seimei  
⇒ New: Fully Automatic ToO being tested.



TDEs

Polarization (Uno+): Subaru  
Intra-night variability search (KM+): Seimei  
Rapid spec ToO (KM+): Seimei

- + Seimei/Kanata transient follow-up program (KASTOR)
- + Various global collaborations (covering from radio to gamma)

# Summary (of JP24H01810 activities)

---

- Intensive follow-up activities of local transients.
  - Including potential  $\nu$  counterparts.
  - Observing systems continuously updated.
- Under JP24H01810, we aim at
  - Characterizing the nature of SN-CSM interaction, GRBs/LFBOTs, and TDEs.
- A few highlights reported here, including
  - SNe from highly-stripped stars. New classes (Ien, Ic-CSM).
    - Confirmation and challenge of stellar evolution.
  - Ien: first “Si-rich” spectra (+ CSM interaction)
    - Confirmation and challenge of stellar evolution.
  - Ic-CSM: clear periodicity (+ CSM interaction)
    - WR-WR or WR-BH binaries (toward BH-BH binaries).