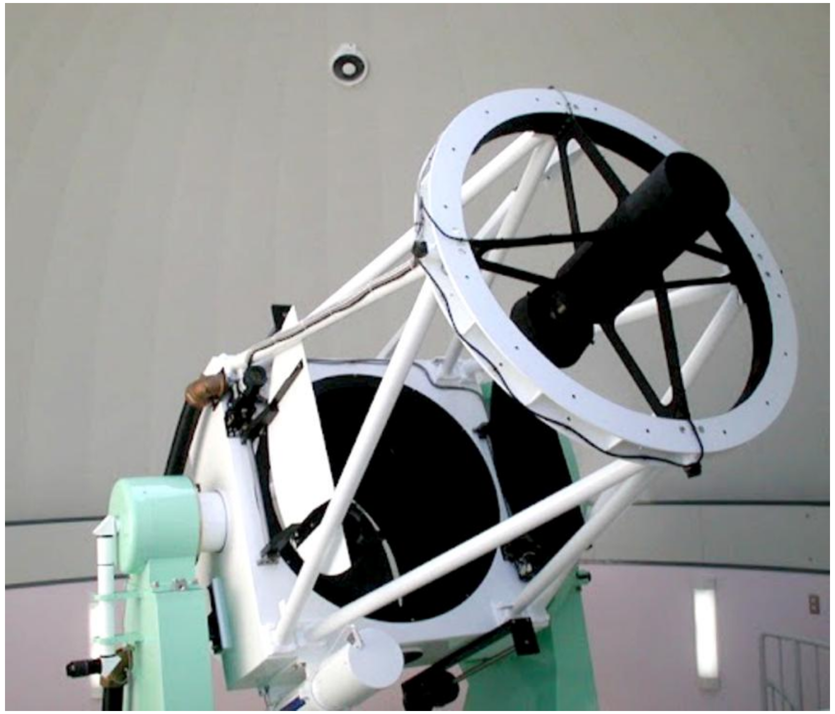
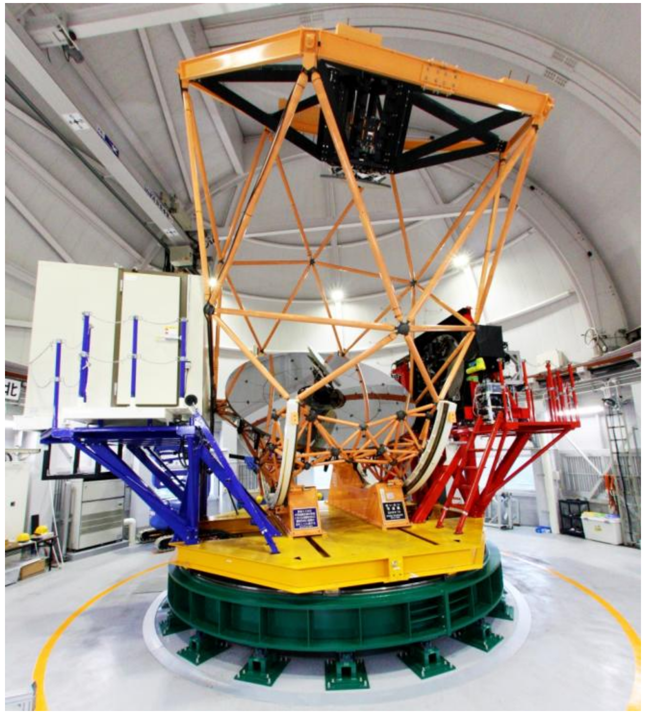
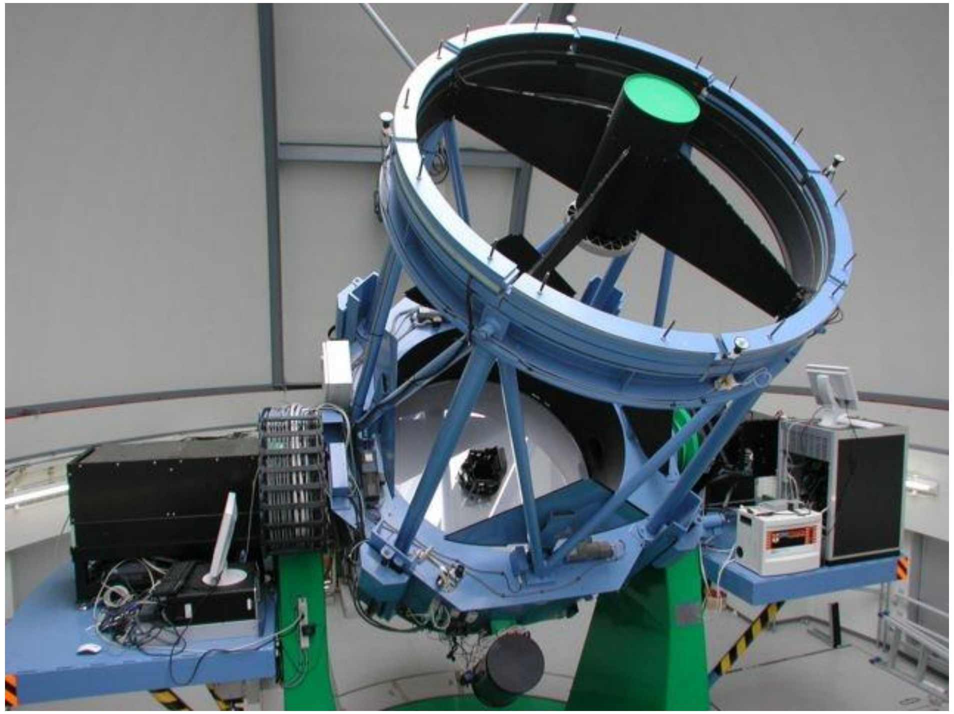






可視光近赤外線を用いたIIn型超新星の研究

後藤颯太 （鹿児島大学 修士2年）

Outline of today

- 鹿児島大学の超新星グループについて
- 大学間連携内の望遠鏡で観測したIIn型超新星の研究について
  ① **SN 2023vbg (Goto+ 2025)**
  鹿児島大学 1m望遠鏡 + 京都大学 せいめい望遠鏡
  ② **SN 2024dy (Goto+ in prep)**
  鹿児島大学 1m望遠鏡 + 広島大学 かなた望遠鏡
- まとめ

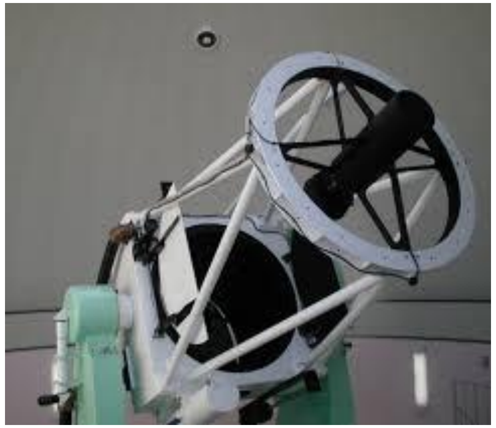
鹿児島大学　超新星グループ

大学間の連携を用いたフォローアップ体制

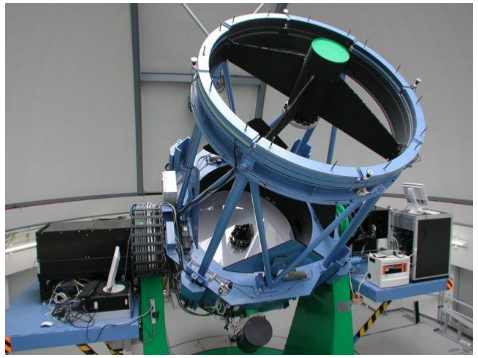
鹿児島1mでの即時フォローアップ

- 発見・分類報告 (TNS等)

- 近傍の超新星について NIRフォローアップ



OISTER含め他機関との共同観測

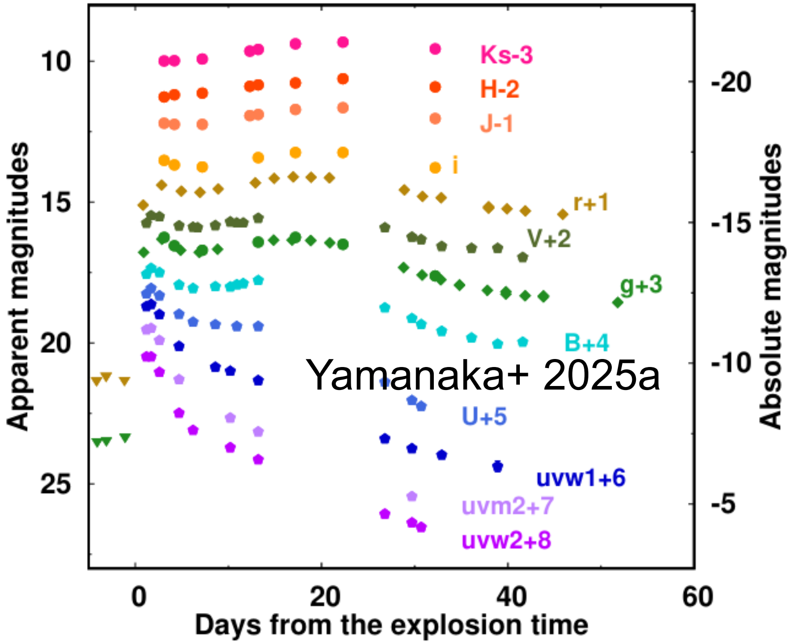


kSIRIUSを用いた成果が続々と上がっている！

- Yamanaka+ 2023, PASJL (SN 2023ixf)
- Yamanaka, Nagayama ＆ Horikiri 2025, PASJL (SN 2024iss)
- Yamanaka, Nagayama 2025, ApJL (SN 2023xgo)
- Goto+ 2025, ApJ (SN 2023vbg, 京都大と共同研究)

その他準備中

- Goto+ in prep (SN2024dy, 広島大と共同研究)
- Namba+ in prep (広島大・京都大と共同研究) →**O02講演　この後！**
- Sugiyama+ in prep →**P04講演**

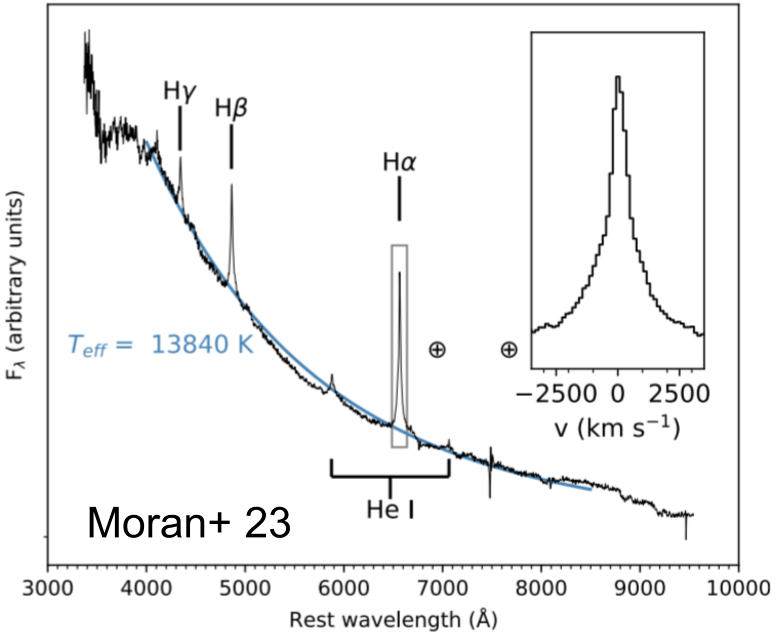


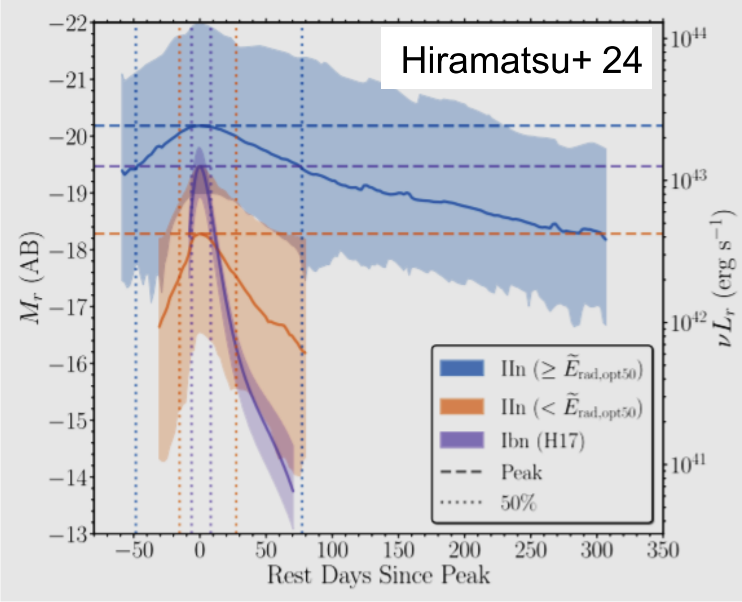
Introduction for SN IIn

- H-richな星周物質 (CSM)との相互作用
  - blue continuum + narrow Hα emission
- 光度曲線の多様性
  - <u>luminous-slow</u> and <u>faint-fast</u>
    (e.g., Hiramatsu+ 2024)

- **観測的多様性 SN2023vbg**
  - CSMの起源であるpre-supernova activity
- **超新星とその親星の起源**
  - 複数の親星チャンネルが提案
- **ダスト形成サイト SN 2024dy**
  - 超新星に付随するダストの性質

- **<u>UV-Opt-IRに渡る多波長観測</u>**
- **<u>Pre-supernovaから後期までのフォローアップ</u>**





Outline of today

- 鹿児島大学の超新星グループについて
- 大学間連携内の望遠鏡で観測したIIn型超新星の研究について

① **SN 2023vbg (Goto+ 2025)**

鹿児島大学 1m望遠鏡 + 京都大学 せいめい望遠鏡

② SN 2024dy (Goto+ in prep)

鹿児島大学 1m望遠鏡 + 広島大学 かなた望遠鏡

- まとめ

① SN 2023vbg 鹿児島大学 1m望遠鏡 + 京都大学 せいめい望遠鏡

The Astrophysical Journal, 990:167 (10pp), 2025 September 10 https://doi.org/10.3847/1538-4357/adf4d4

OPEN ACCESS

CrossMark

SN 2023vbg: A Type IIn Supernova Resembling SN 2009ip, with a Long-duration Precursor and Early-time Bump

Sota Goto[1], Masayuki Yamanaka[2], Takahiro Nagayama[1], Keiichi Maeda[3], Miho Kawabata[3], D. K. Sahu[4], Avinash Singh[5], Anjasha Gangopadhyay[5], Naveen Dukiya[6], Kuntal Misra[6], Monalisa Dubey[6], and Bhavya Ailawadhi[6]

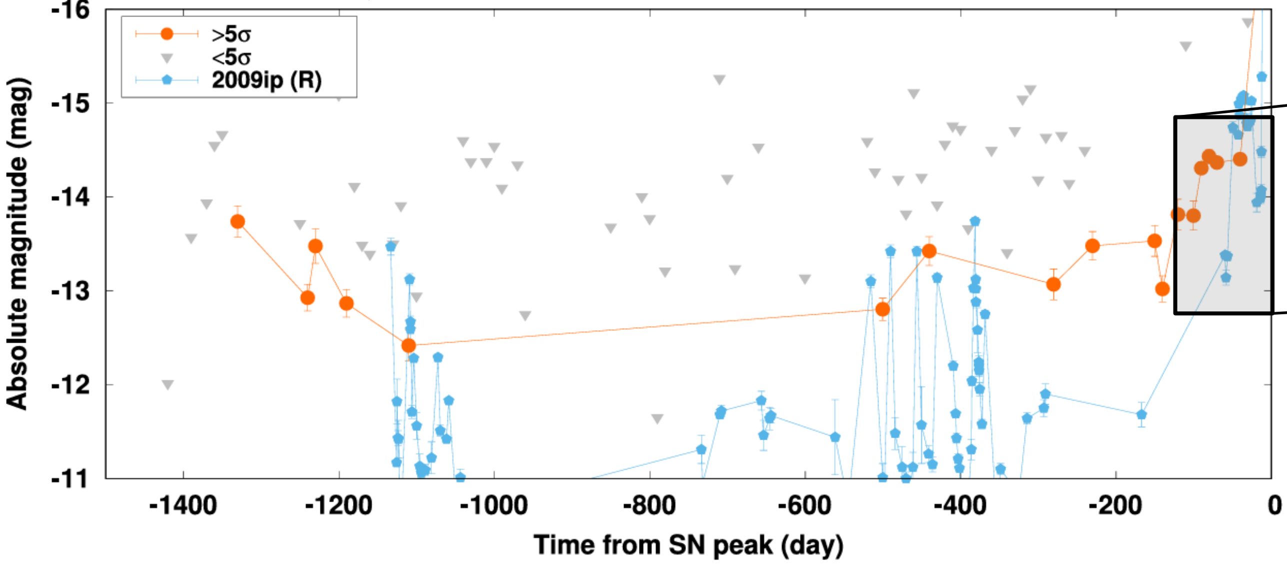
[1] Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890-0065, Japan
[2] Amanogawa Galaxy Astronomy Research Center (AGARC), Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima, Kagoshima 890-0065, Japan
[3] Department of Astronomy, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan
[4] Indian Institute of Astrophysics, Koramangala 2nd Block, Bangalore 560034, India
[5] Oskar Klein Centre, Department of Astronomy, Stockholm University, AlbaNova, SE-106 91 Stockholm, Sweden
[6] Aryabhatta Research Institute of observational sciencES, Manora Peak, Nainital 263 001, India

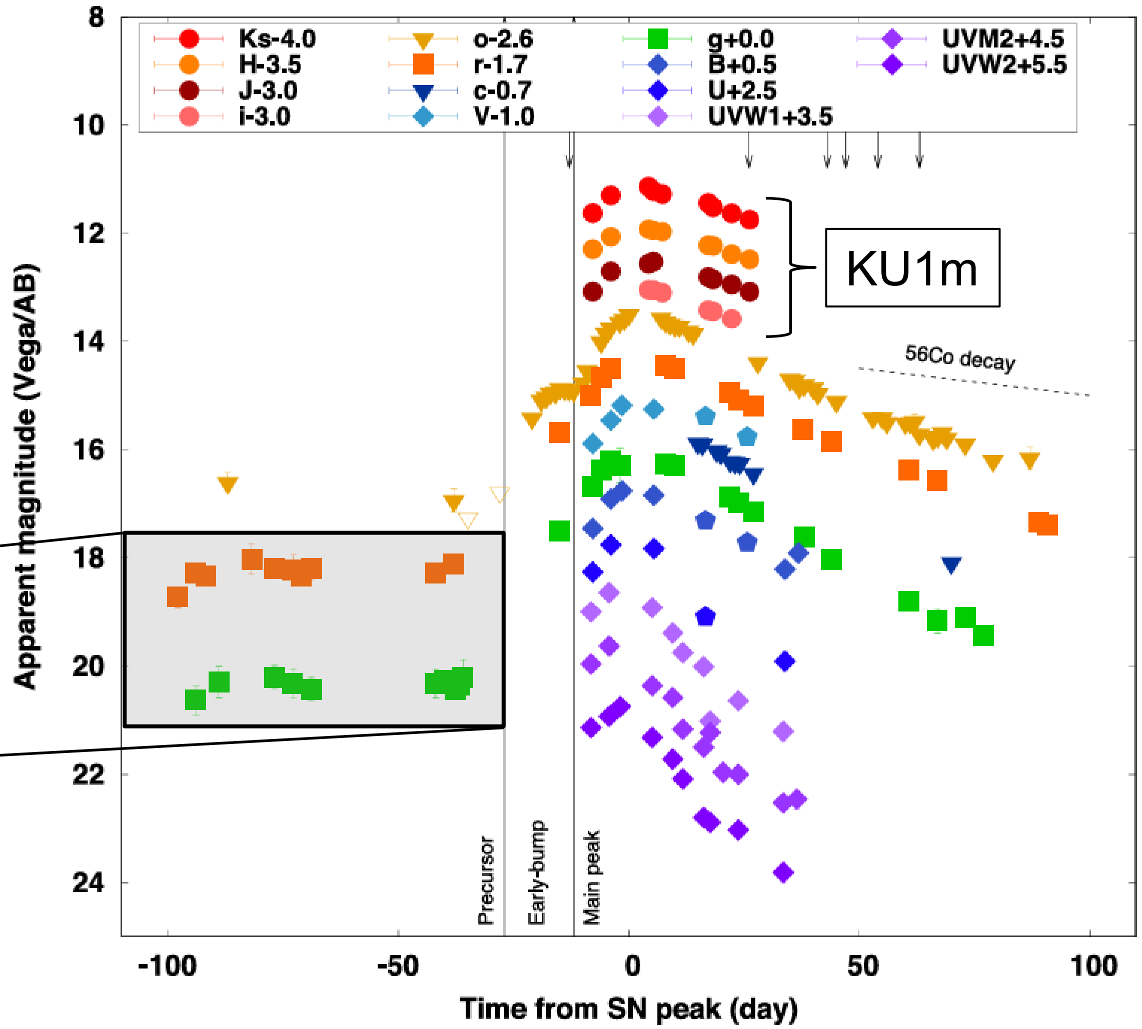
Received 2025 April 22; revised 2025 July 24; accepted 2025 July 24; published 2025 September 5

1-1 Light curves of SN 2023vbg

- 発見から**約100日間のprecursor activity**
- 可視光で**bump構造**を伴うrise
- 極大 (~−18等)到達後、滑らかに減光

↓Pre-supernova phaseの光度曲線





SN 2009ip:
Precursor activityを持つIIn型の代表例
2年間のprecursorの後、SN explosion?

- 光度曲線の形状から3つのフェーズを定義

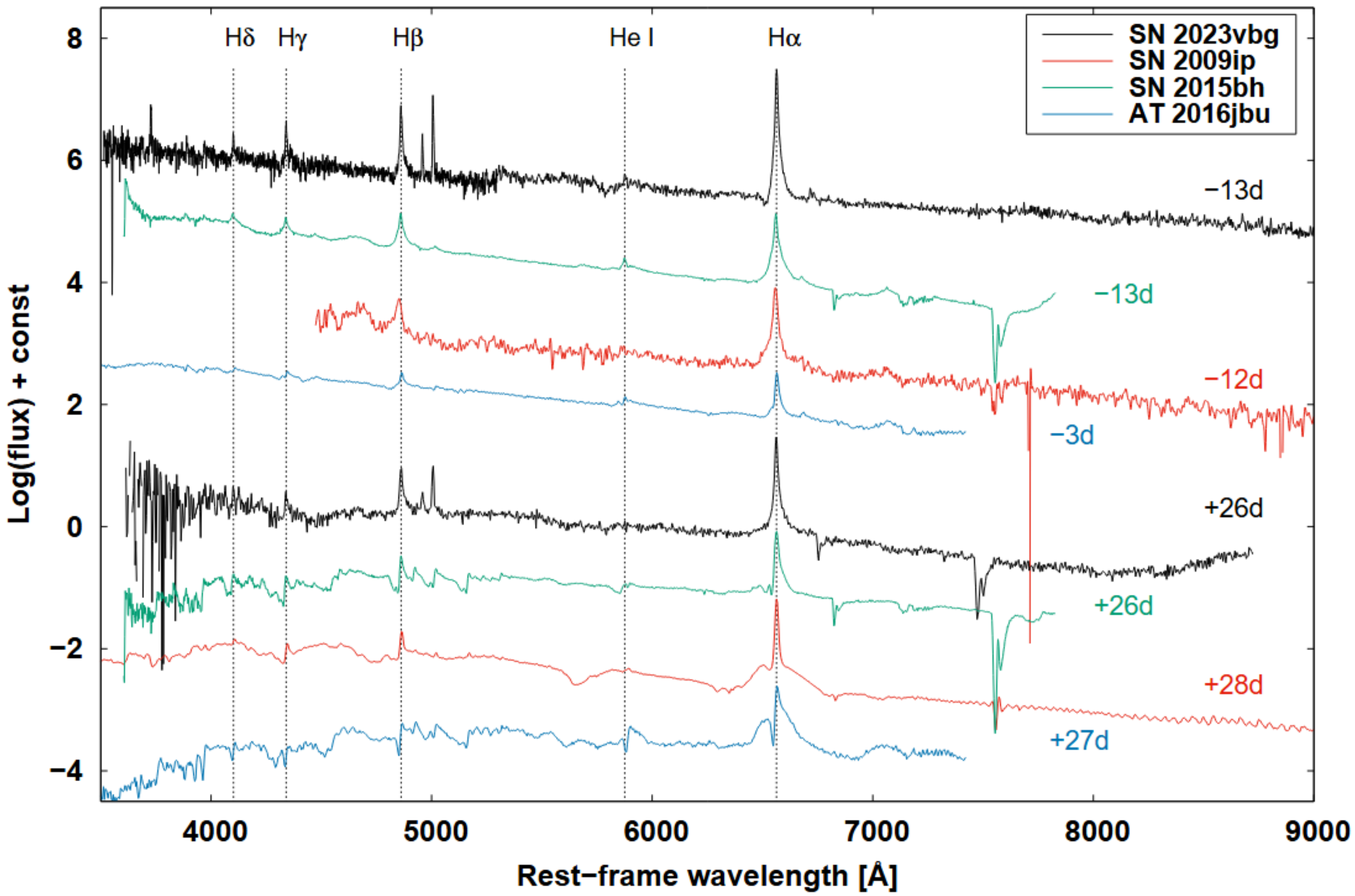
Precursor ： ~ 27 d
Early-bump： 27 d~ 12 d
Main event ：12 d~

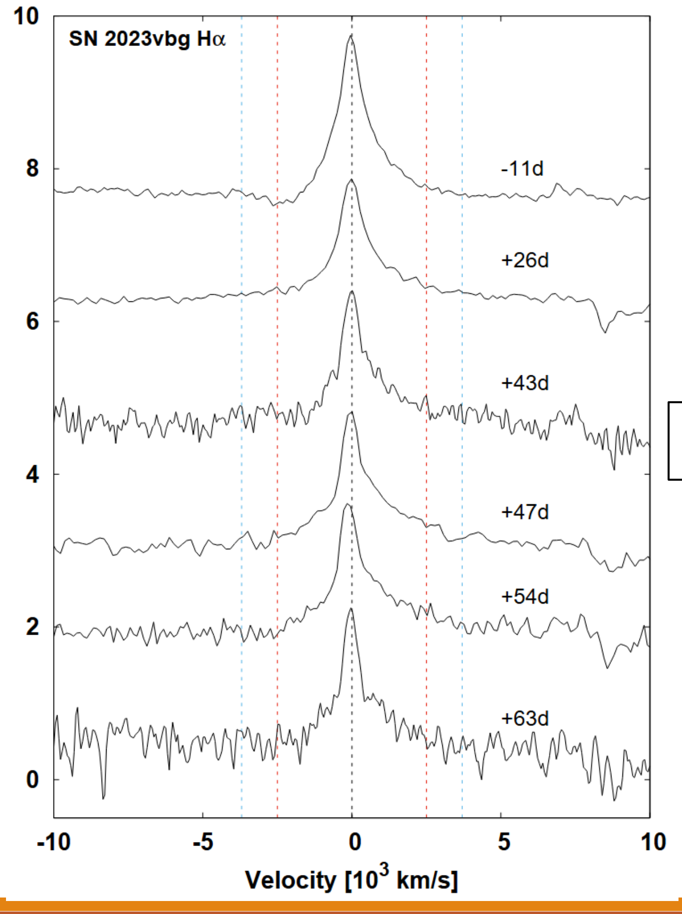
1-2 spectral evolution

- Balmer seriesの輝線と緩やかな進化
- その他目立った特徴はなし

Hα輝線：**Narrow成分** + **Intermediate成分**
~ 500 km/s　　~ 3000 km/s

2009ip-likeな他天体とは異なり，
broadな輝線成分は見られなかった

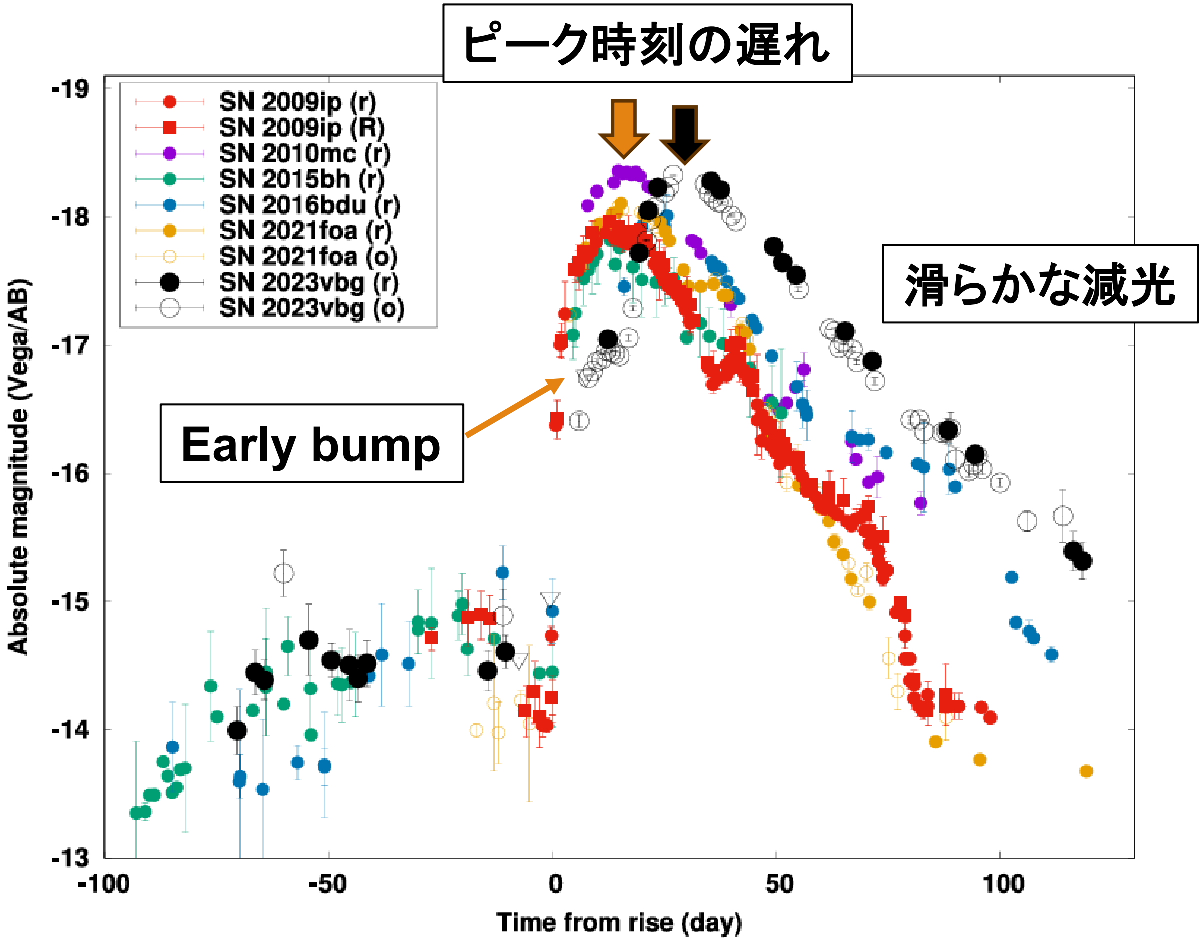




せいめい

1-3 Diversity of light curve shape

- 光度曲線の違いは何を意味するのか？
  ⇒ **CSMが他とは異なる性質を持つ** （密度構造、空間的広がり、etc）



↓超新星近傍のCSM構造↓

・2009ip, その他類似天体

・2023vbg : より高密度・広がった・一様なCSM

内側に存在すると考えられる
高密度CSMの起源を調べることが重要である

Outline of today

- 鹿児島大学の超新星グループについて
- 大学間連携内の望遠鏡で観測したIIn型超新星の研究について

① SN 2023vbg (Goto+ 2025)

鹿児島大学 1m望遠鏡 + 京都大学 せいめい望遠鏡

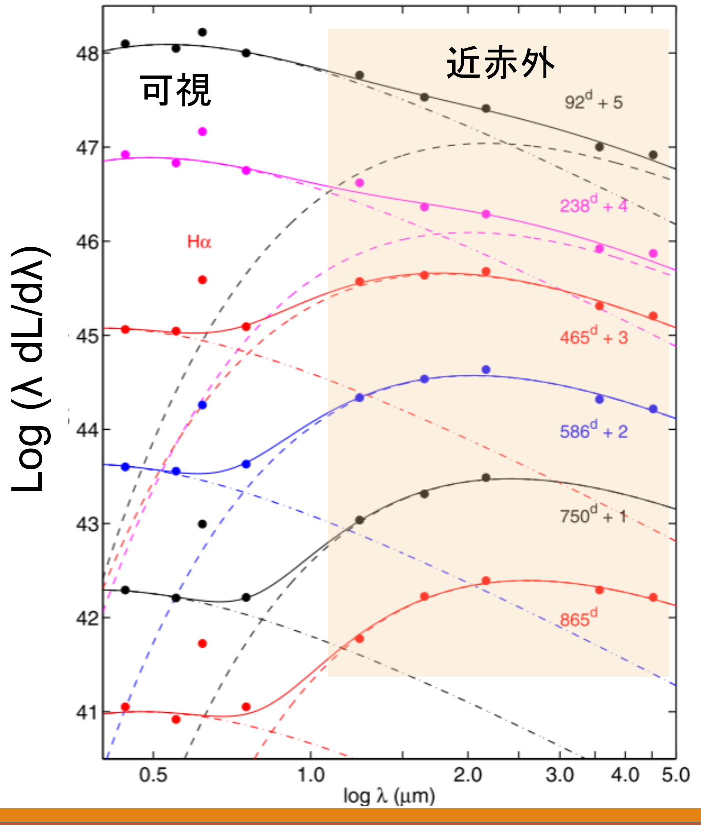
② **SN 2024dy (Goto+ in prep)**

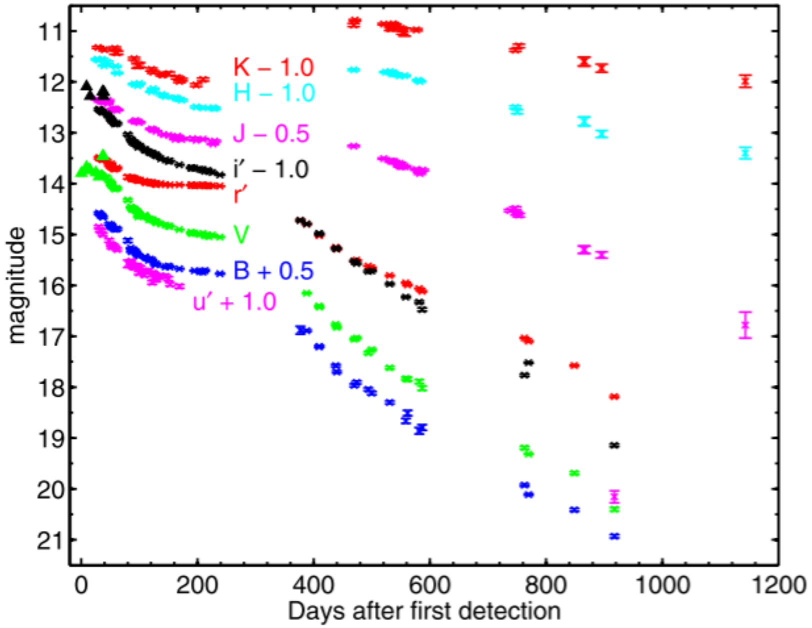
鹿児島大学 1m望遠鏡 + 広島大学 かなた望遠鏡

- まとめ

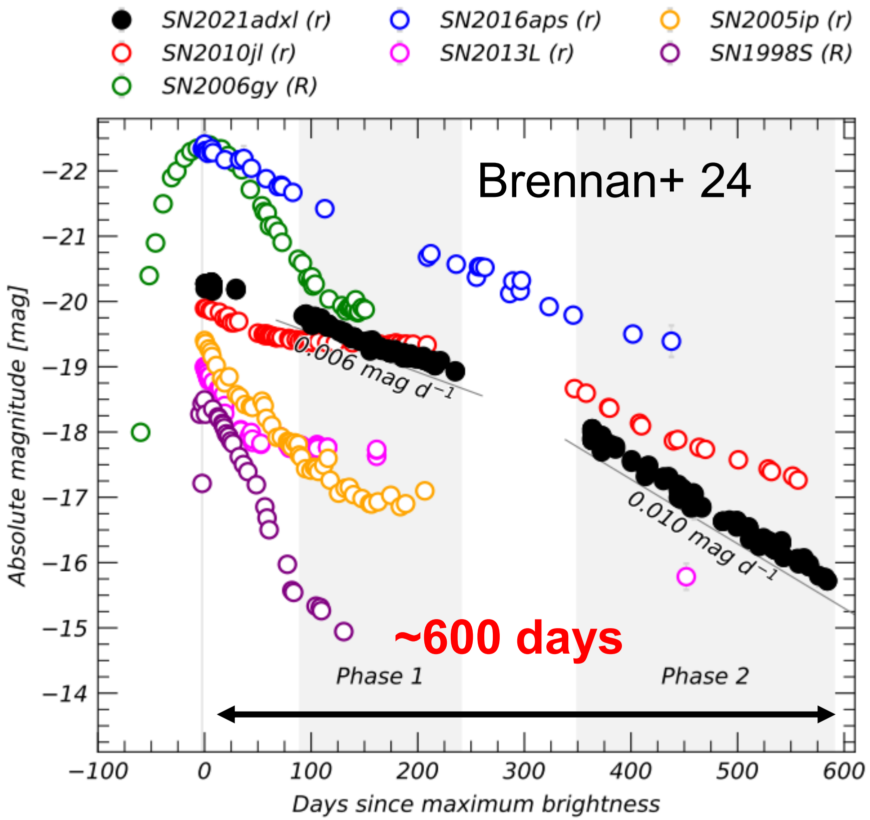
2-1 Next topic, SN 2024dy

- **long-lived type IIn SNe**
  - ピーク絶対等級 : -18 ~ -23 等 (IInの中でも明るい)
  - 緩やかな光度曲線 (≧ 300 days)
  - 強い星周物質(CSM)相互作用
  - **早期のダスト形成** (e.g., SN 2010jl)





Fransson+ 14



- **観測例の増加**
- **放射エネルギー源**
  - **CSMの性質, 質量放出履歴**
- **観測されるダストの性質**
  - **ダスト組成, サイズ, etc.**

2-2 Light curves of SN 2024dy

- 極大後の緩やかな減光　⇒　可視光の減光が加速 (0.0036 → 0.013 mag/day)
- **<u>第2シーズンから近赤外線で再増光</u>**

- 過去観測された類似天体と同様の光度、タイムスケールを示す

KU1m

かなた

～500 days

第1シーズン

第2シーズン

<u>Long-lived IInに類似</u>

2-3 NIR excess and dust emission

- 低温成分をダスト放射モデルで置換
  ー 粒径0.01 μ mのカーボンダストを仮定

t = 306d

Dust

$$F_\nu = \frac{M_d B_\nu(T_d)\kappa_\nu(a)}{d^2},$$

M_d : dust mass

ダストの温度 (上)と質量 (下)

t = 496d

- CarbonとSilicateのモデル比較
  - ー Silicateの蒸発温度 ~1400 Kを超えた温度を示唆 ⇒ Silicateを棄却
  - ー Carbonモデルでは蒸発温度未満、質量は10^{-5} – 10^{-4}の範囲

Carbon, 0.01μm

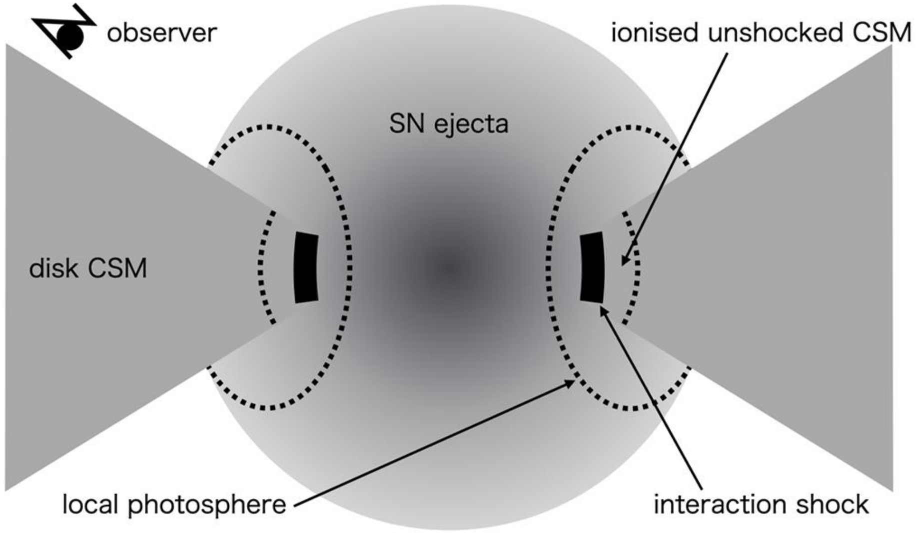
Silicate, 0.01μm

T_{evap}

2-4 Observational effects caused by dust

- ダストの存在を示唆する観測的特徴
  - 可視光LCの減光率増加
  - Hαの非対称化
    - ⇒ **ダストによる放射源の遮蔽**
  - Hα/Hβ比の増加
    - ⇒ **減光の波長依存性**

Reynolds+ 25b



これらの観測的特徴と赤外超過がほぼ同時に見られた

⬇

新たなダストの形成を示唆

まとめ

- SN 2023vbg
  - 2009ip-likeな超新星といくつかの観測的特徴を共有
  - 特徴的な「Early-bump」を示す
  - CSMの多様性により、ほかの2009ip-likeなSNとは異なる特徴
  - IIn型超新星の親星シナリオを探る上で重要な例である
- SN 2024dy
  - スペクトルの特徴とLight curveからlong-lived type IInと分類
  - 極大以降Hαは複雑なプロファイルと非対称性を示した
  - 後期観測で近赤外線の再増光が見られ、SEDは明確な赤外超過を示した
  - ダストモデルによる解析で、ダスト質量の増加を確認
  - 可視光の減光率増加と近赤外再増光、Hαの時間進化から相互作用領域でのダスト形成が示唆された

- kSIRIUSによるフォローアップ観測は来年以降再始動の予定