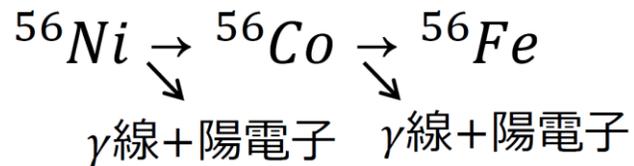


近傍超新星のフォローアップ観測

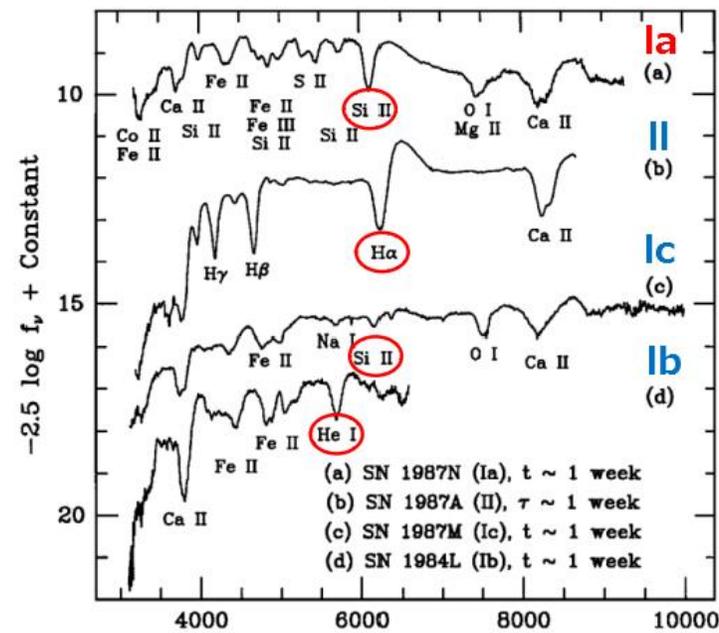
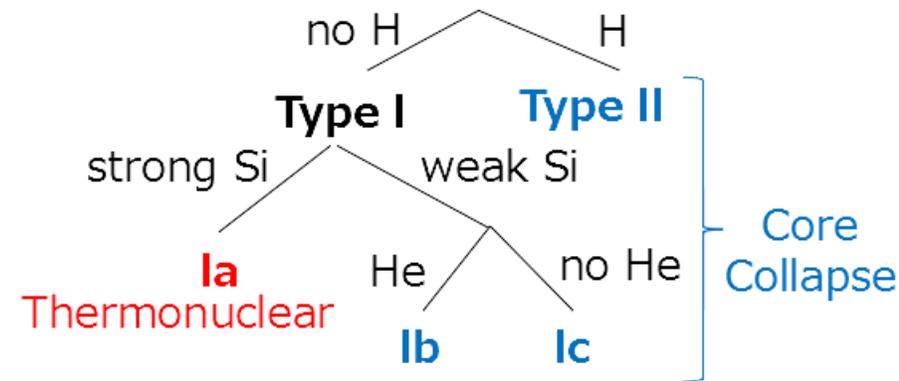
京都大学 川端美穂

超新星

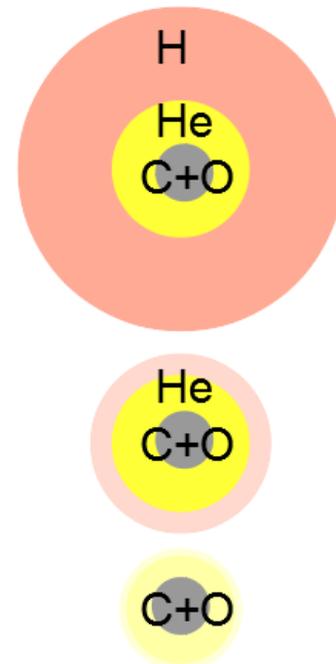


- 分類

→ 極大頃のスペクトル

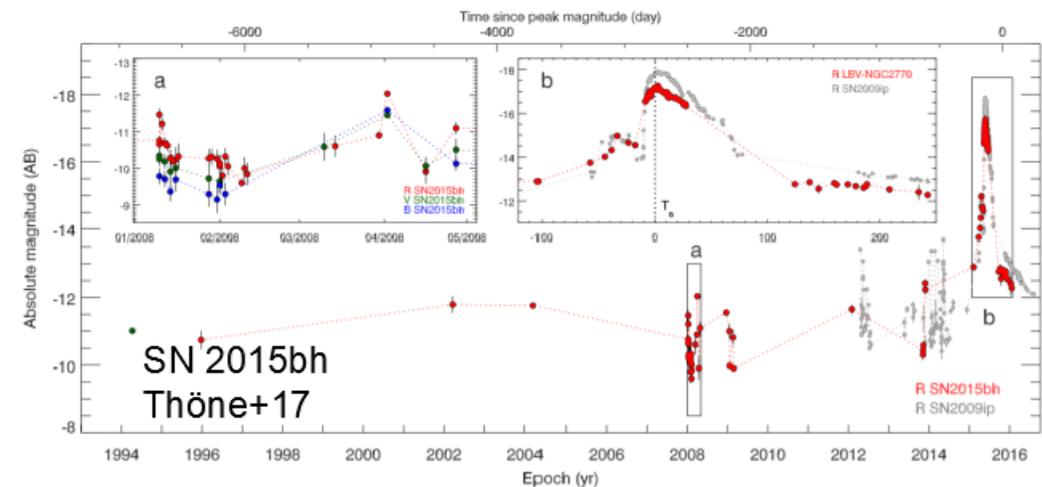
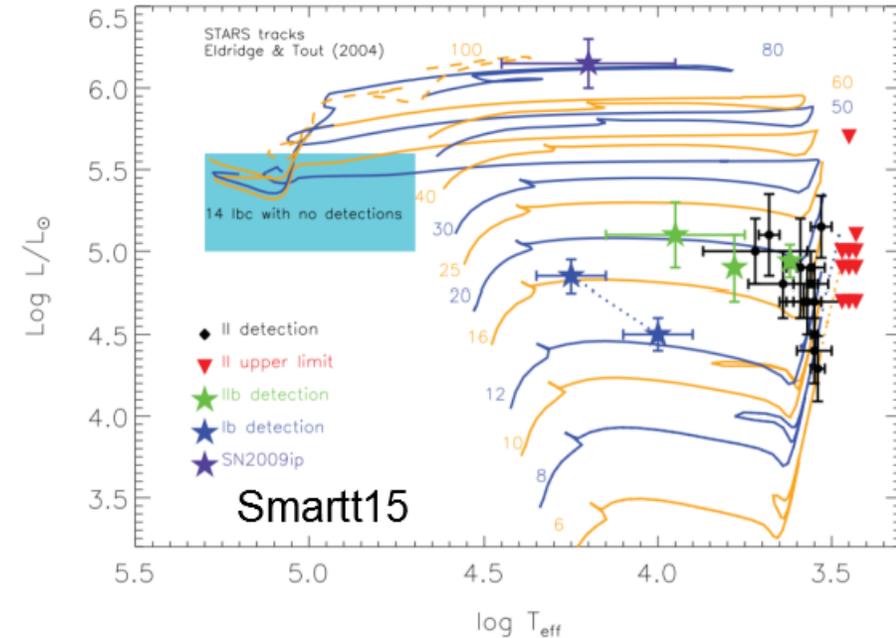


Filippenko 1997 Rest Wavelength (Å)



未解決問題：重力崩壊型

- 爆発メカニズム
- 大質量星の最終進化
 - 単独星？連星系？
 - 爆発前の質量放出

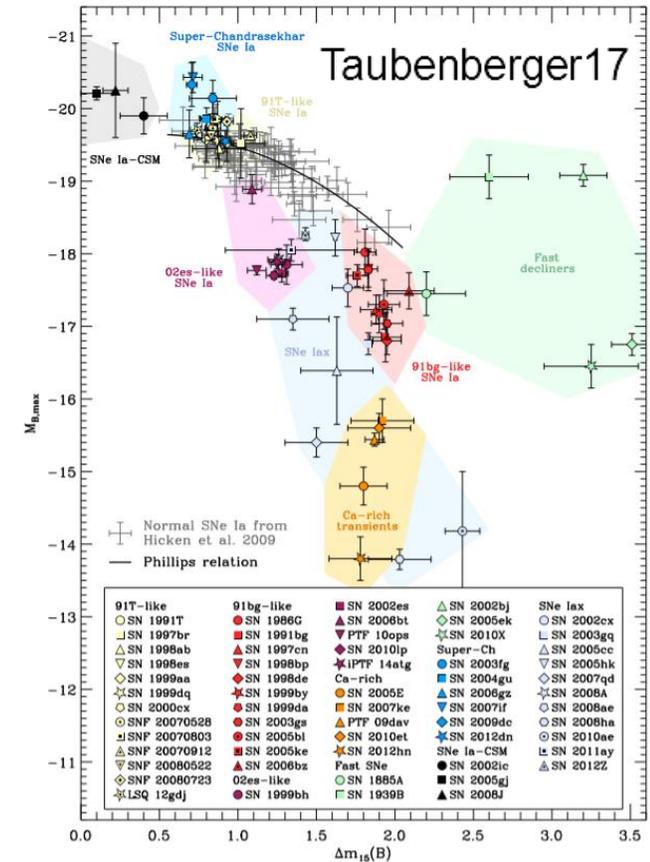
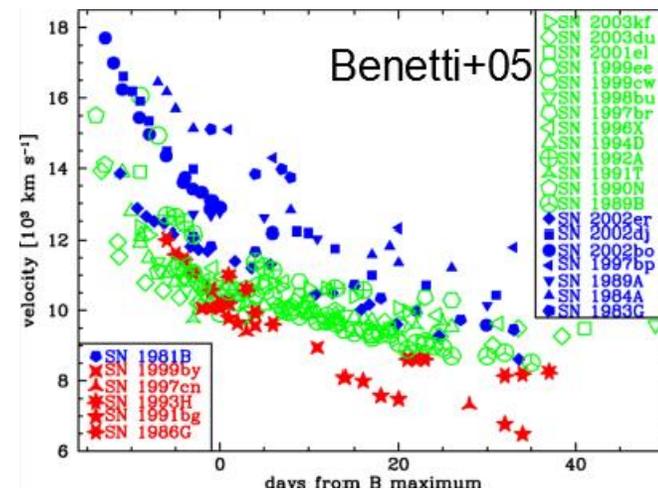


未解決問題：Ia型

- 親星
 - Single Degenerate
 - Double Degenerate

- 爆発メカニズム
 - 爆燃波
 - 爆轟波

- 多様性



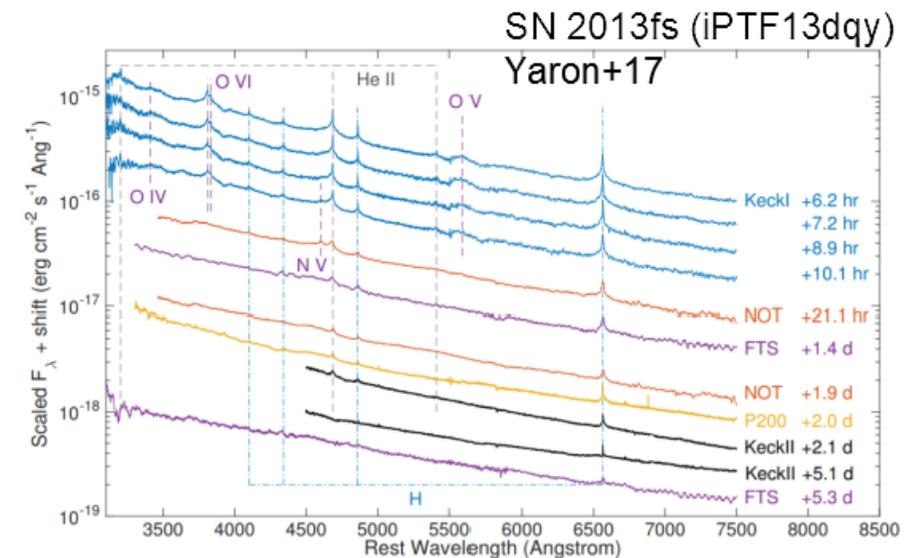
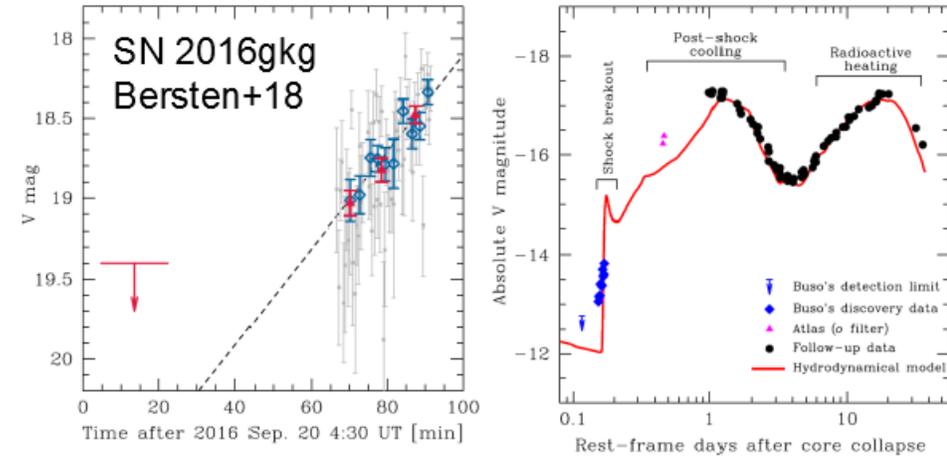
爆発直後の観測：重力崩壊型

- ショックブレイクアウト

- 星周物質由来の輝線

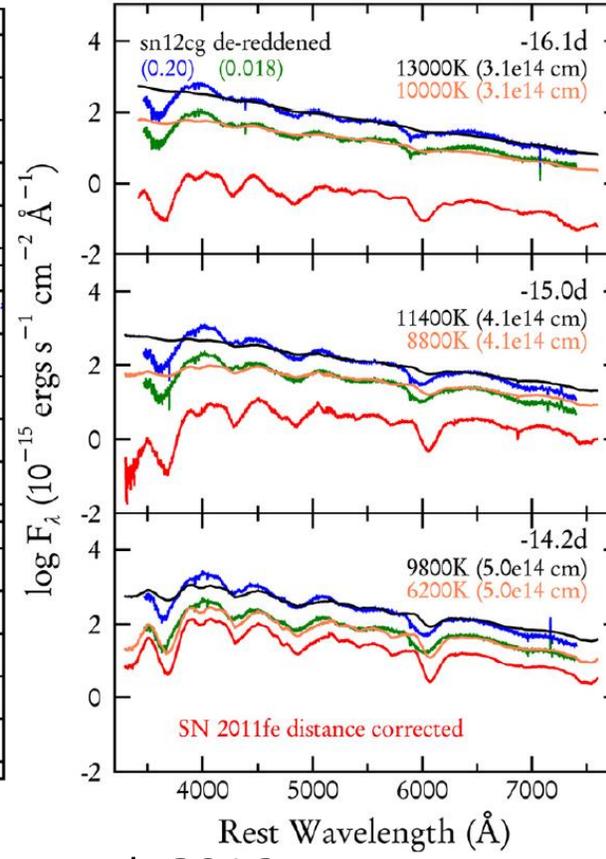
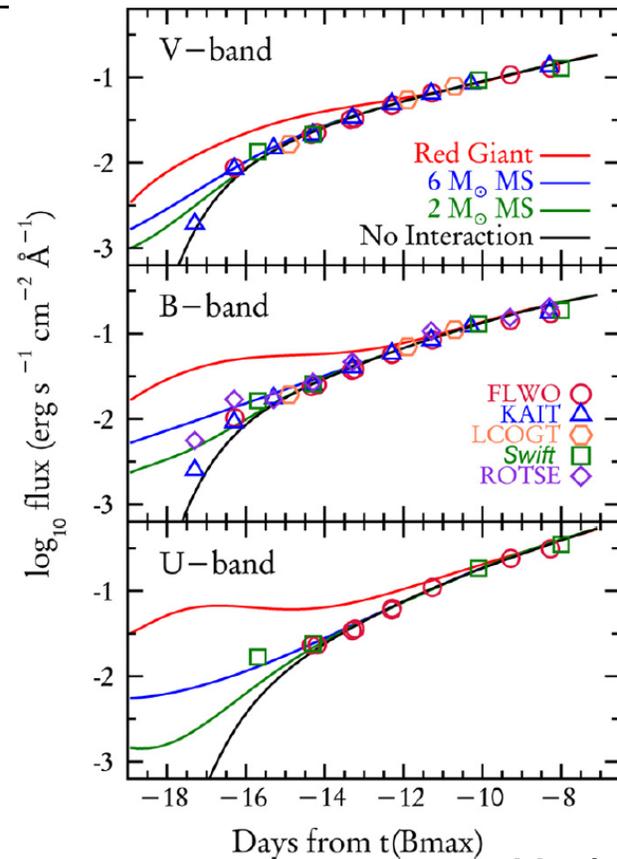
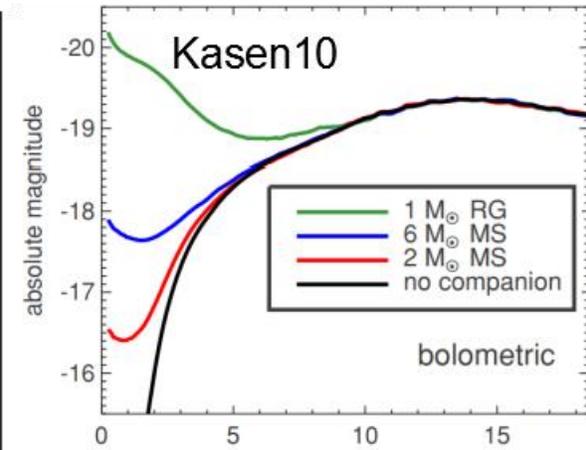
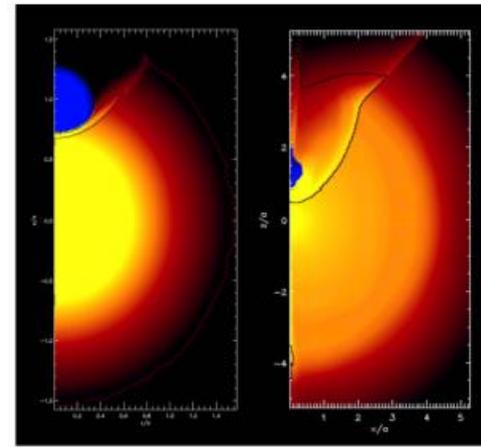
爆発から約1年前に質量放出 ($10^{-3} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$)

- 親星や恒星進化の最終段階への制限



爆発直後の観測：Ia型

- 初期光度変化での超過成分
 - 伴星(もしくは星周物質)との相互作用
 - ^{56}Ni 分布
- 親星、爆発メカニズム解明の鍵
- 分光観測、多バンド観測が必要



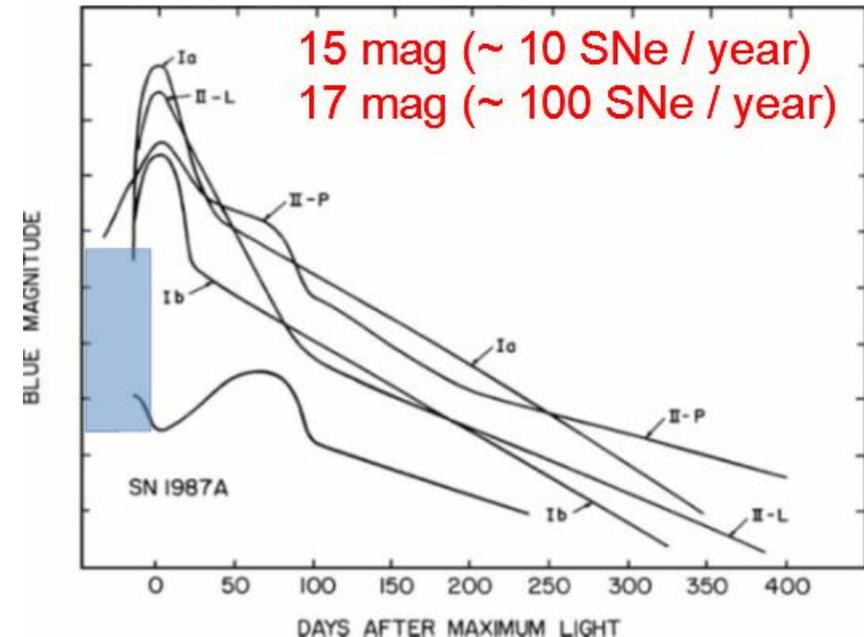
フォローアップ観測

特に面白い天体についてOISTERでToO観測

- 時間的に密なデータの取得
- 悪天候によるデータの欠損をできる限り減らす
- 広い波長域・多モードでの観測

	Tomo-e SN Survey
instrument	Tomo-e Gozen
sensor	CMOS
readout time	~0 sec
period	2018/9-
survey area [deg ²]	10,000
cadence	2 hours / 1 day
exposure time / visit	3 sec
depth	18 mag / 19 mag
filter	no (~g+r)
#(SBOs), #(SNe) / yr	5, 1000
data storage	daily-stacked image SN cutout images
reference	-

© Morokuma



フォローアップ観測

特に面白い天体についてOISTERでToO観測

- 川端美穂(京都大)

“近傍銀河に出現する特異な Ia 型超新星の可視・近赤外線観測”

- 中岡竜也 (広島大)

“星周物質と相互作用を起こす超新星の観測”

- 山中雅之 (京都大)

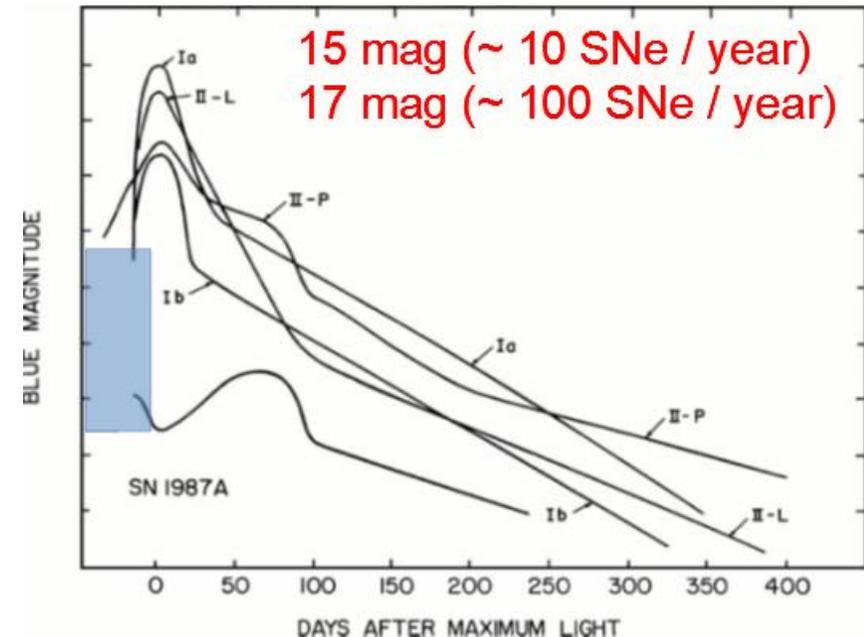
“即応及び長期可視近赤外線観測に基づく

IIP 型超新星の観測的研究”

“特異な性質を持つ外層剥ぎ取り型超新星のToO観測”

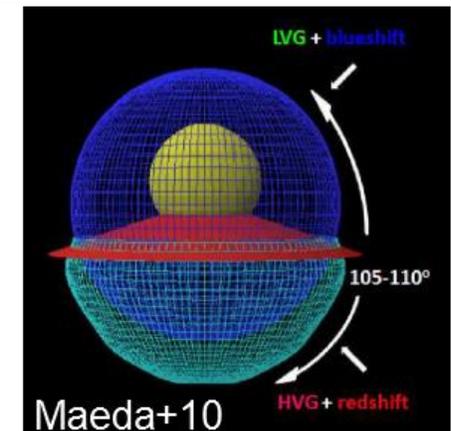
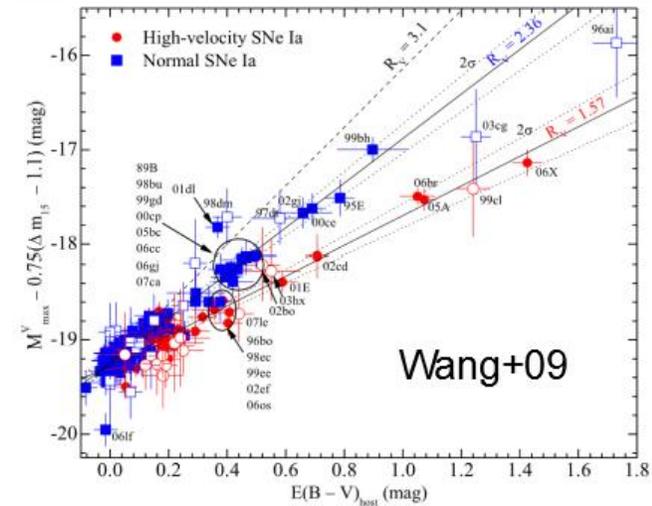
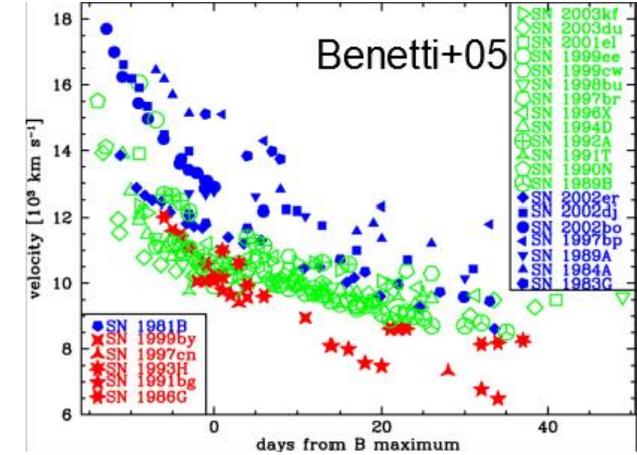
	Tomo-e SN Survey
instrument	Tomo-e Gozen
sensor	CMOS
readout time	~0 sec
period	2018/9-
survey area [deg2]	10,000
cadence	2 hours / 1 day
exposure time / visit	3 sec
depth	18 mag / 19 mag
filter	no (~g+r)
#(SBOs), #(SNe) / yr	5, 1000
data storage	daily-stacked image SN cutout images
reference	-

© Morokuma



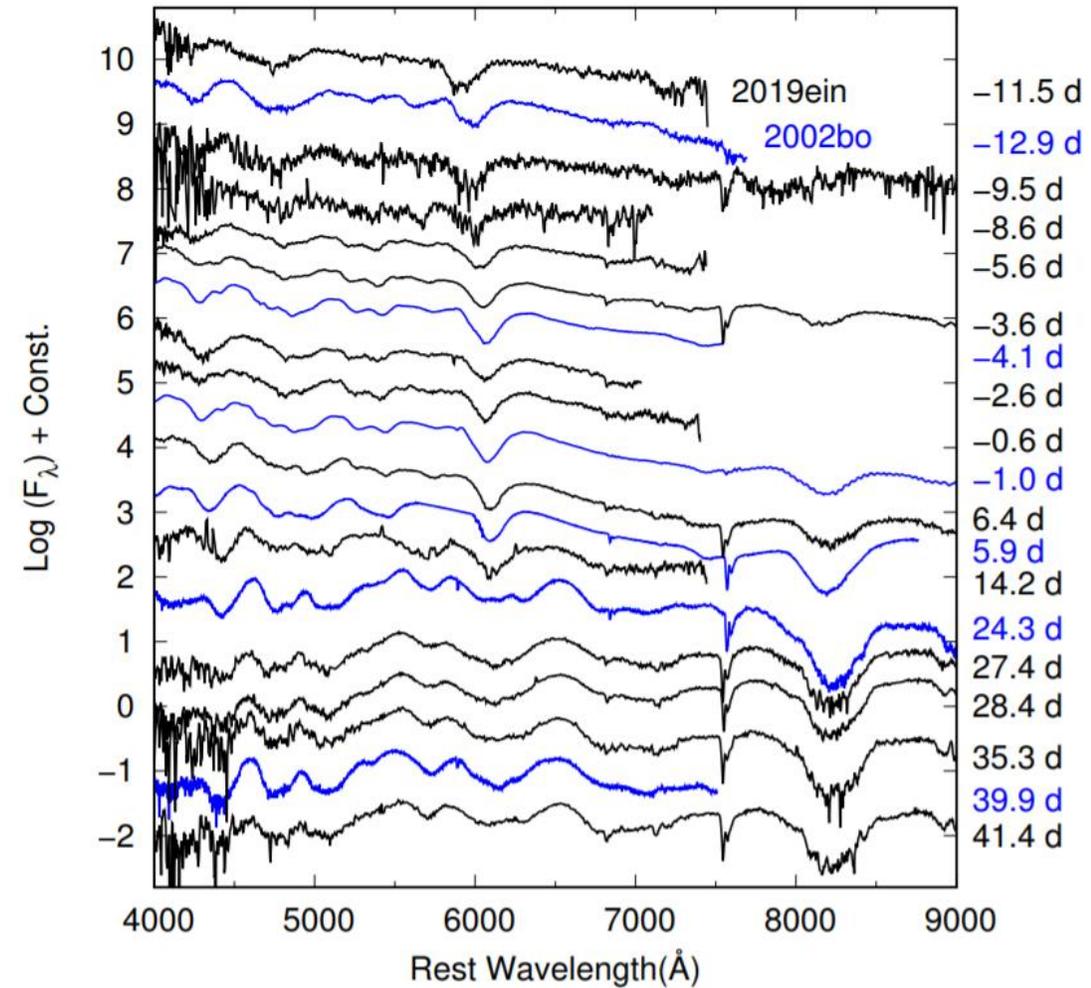
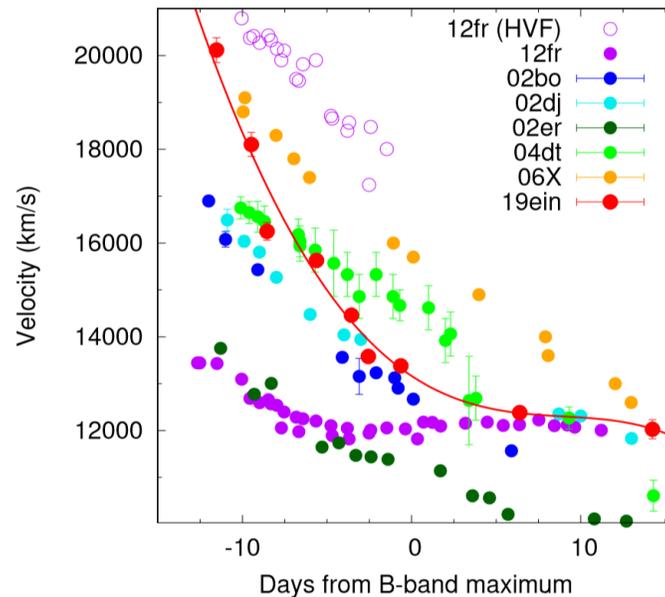
速い膨張速度を持つIa型

- 速度進化の違い
High-Velocity SNe Ia
Si II 6355 : $> \sim 12,000$ km/s @極大
- 赤い
- 小さい星間吸収 ($R_v \sim 1.6$; Wang+09)
- 後期スペクトルでの輝線のシフト
→ 非対称爆発 + 視線方向
- ただし爆発直後からの密な観測はない



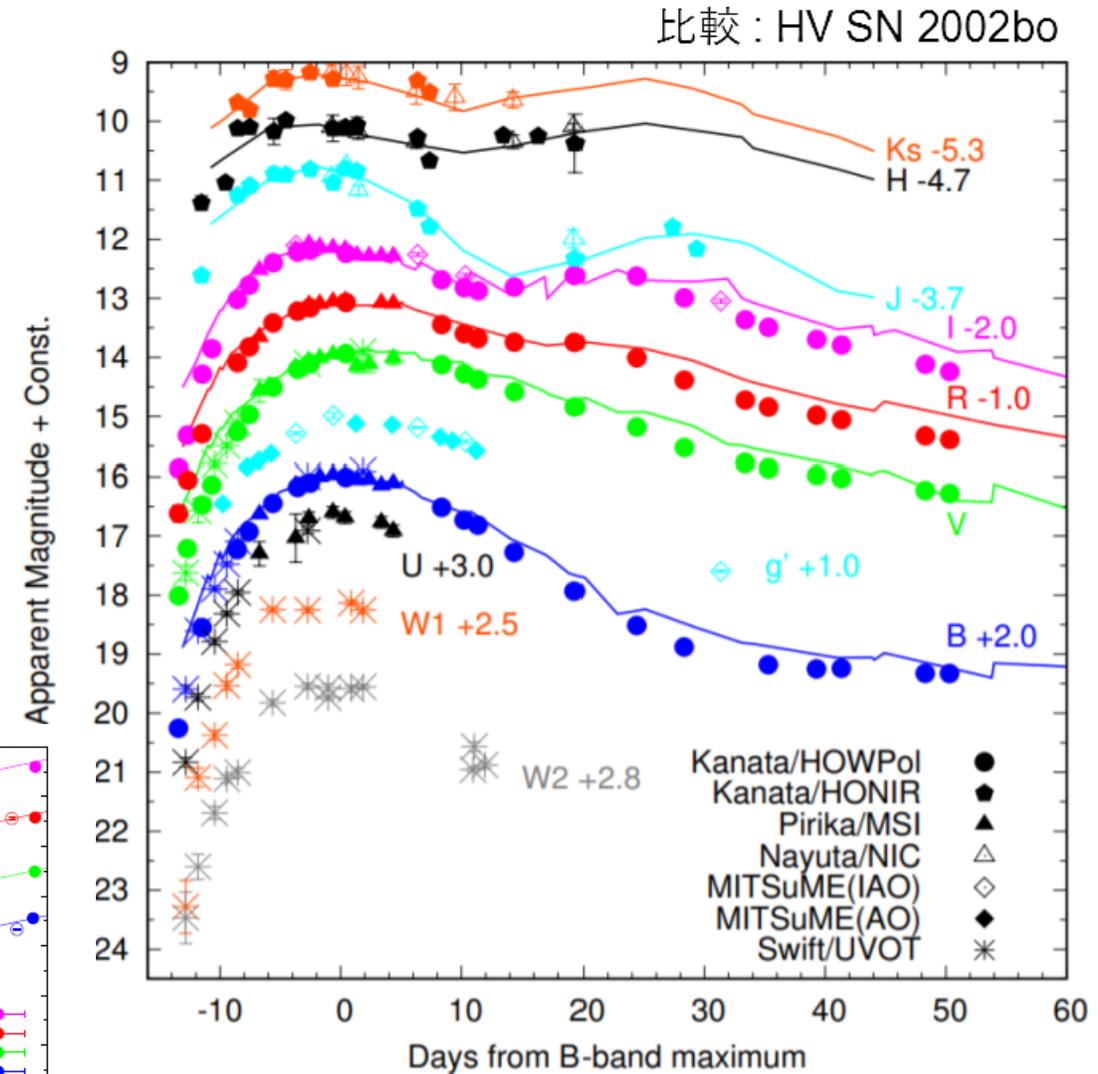
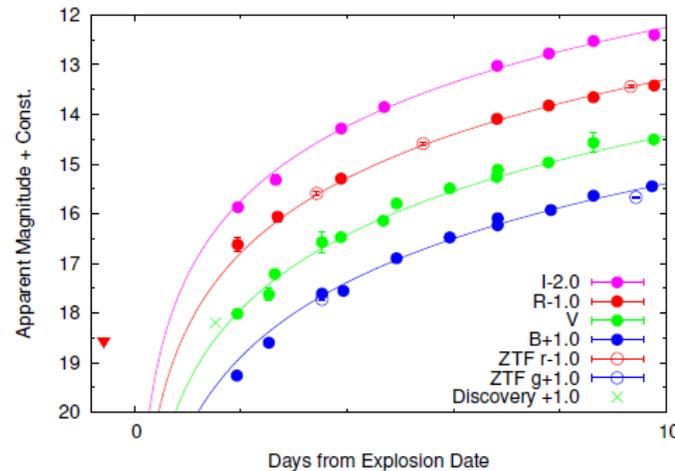
SN 2019ein

- 初期には非常に速い膨張速度
 - $\sim 20,000$ km/s @ -12 days
 - $\sim 14,000$ km/s @ -0.6 days
- HV SN 2002boとよく似たスペクトル



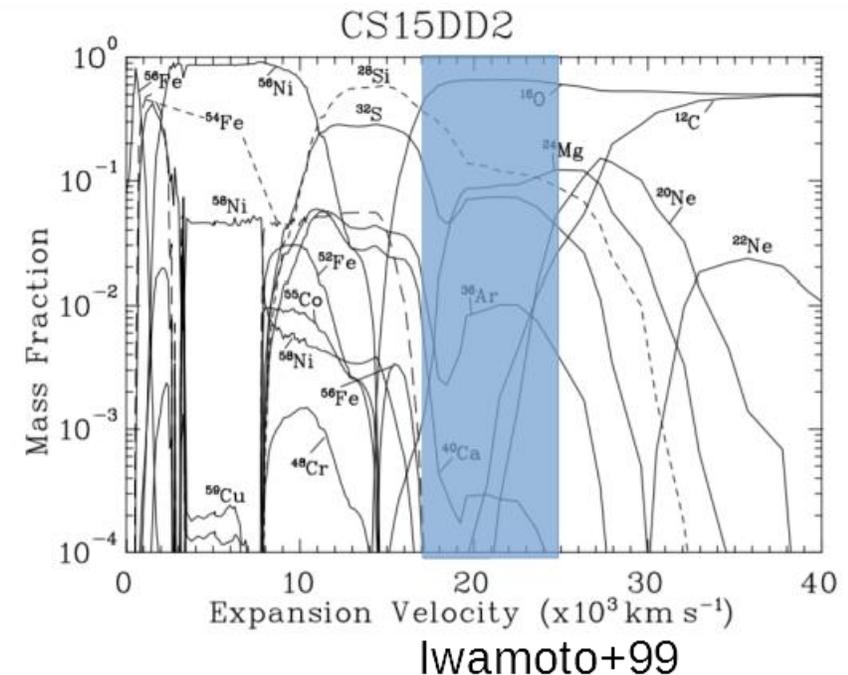
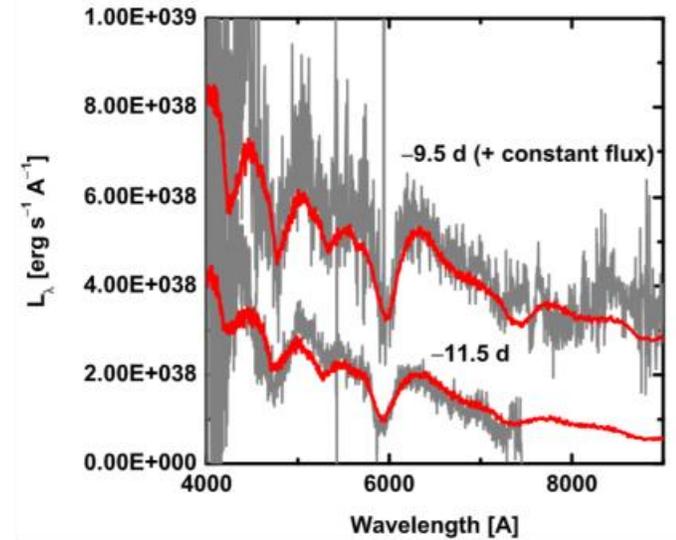
SN 2019ein

- 増光期からの多バンド観測
- 増光、減光ともに速い
- 爆発直後には超過は見られない
伴星の半径を制限
 $4.3 \pm 7.6 R_{\odot}$



SN 2019ein

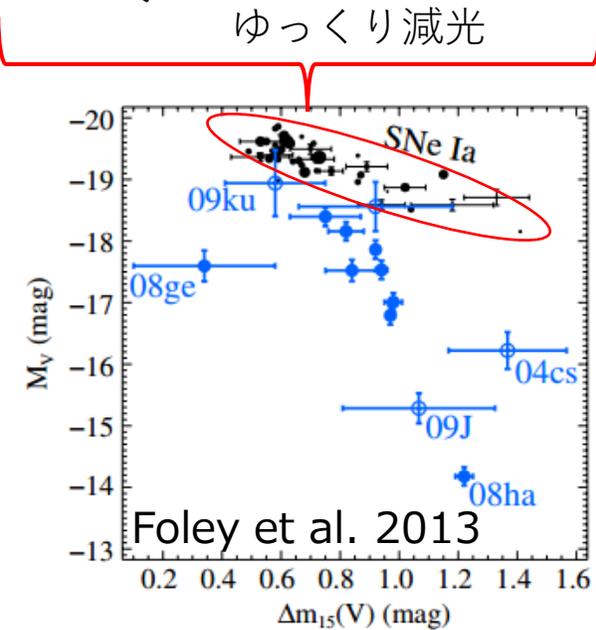
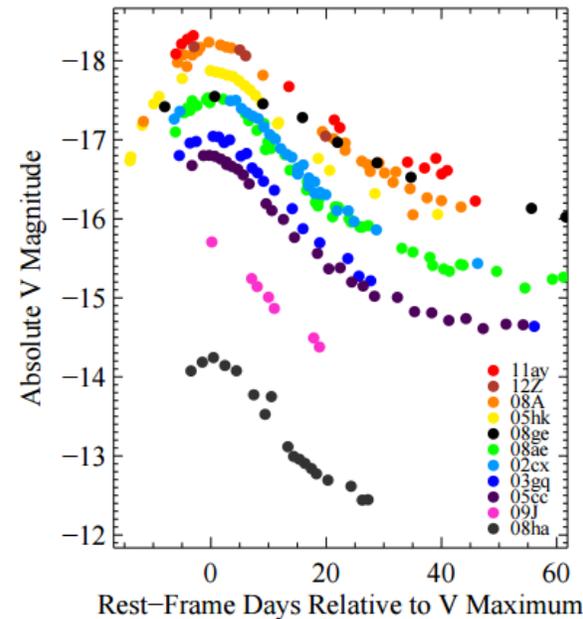
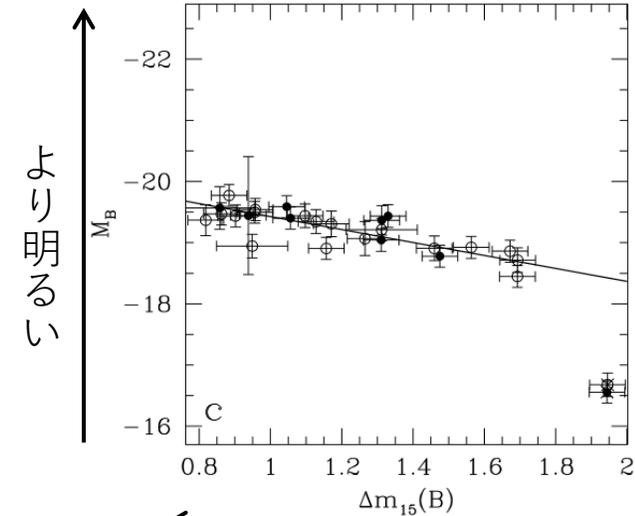
- 1Dスペクトル計算 (TARDIS; Kerzendorf & Sim 14)
密度分布: single power law
O-Ne-C 燃焼層 + CO 不燃焼層
- O-Ne-C 燃焼層 + CO外層
燃焼波は $\sim 30,000\text{km/s}$ で高速膨張し、
最外層に及ぶ
→ 遅延爆燃波モデルと一致
- HV SN 2002boと似た構造
今回、より外側まで制限をつけることができた



非常に暗いIa型

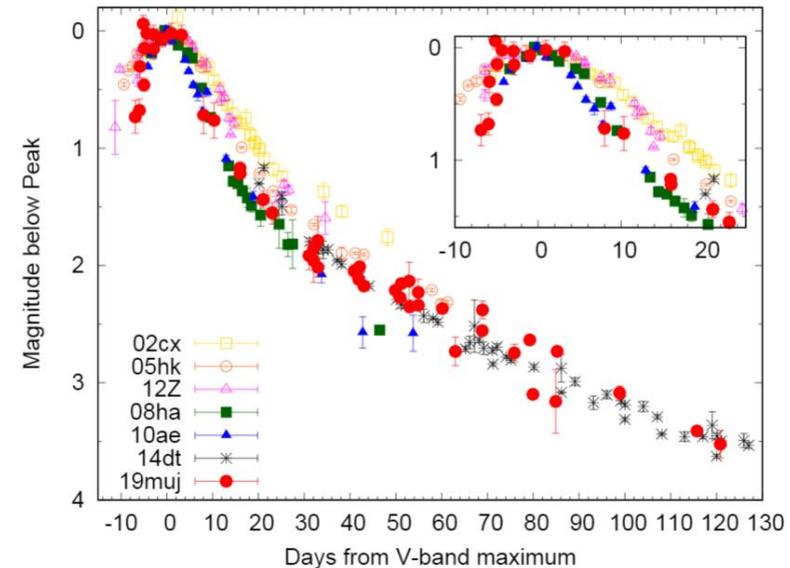
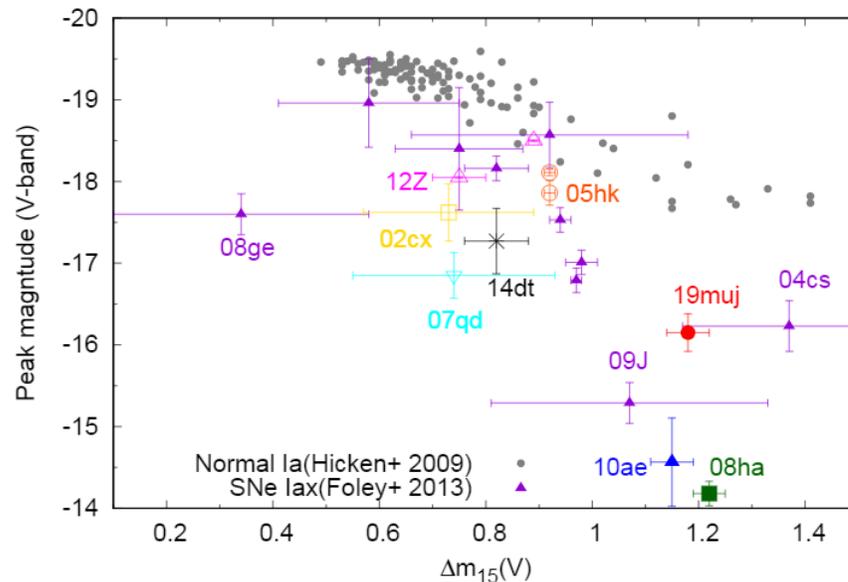
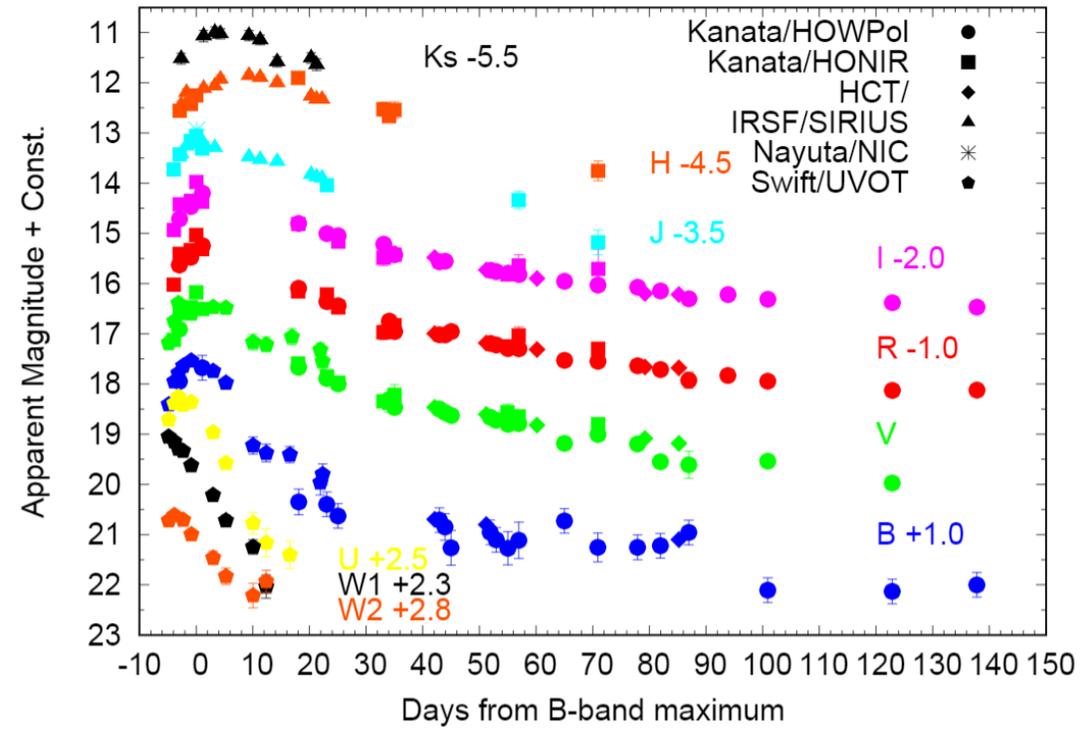
- 明るさと光度変化のタイムスケールの相関関係に乗らない特異なIa型
→ Iax型超新星
- 明るさに多様性
- 不完全な爆発？重力崩壊型？
- 特に初期や、長期観測のデータは数が限られる

Altavilla et al. 2004

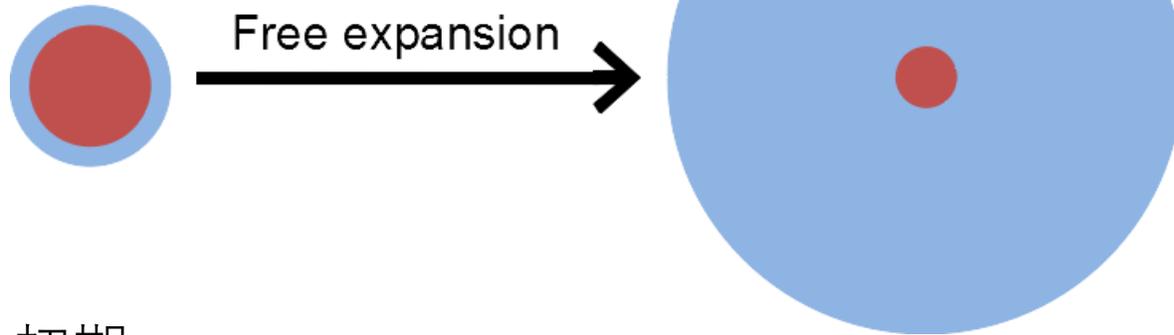


SN 2019muj

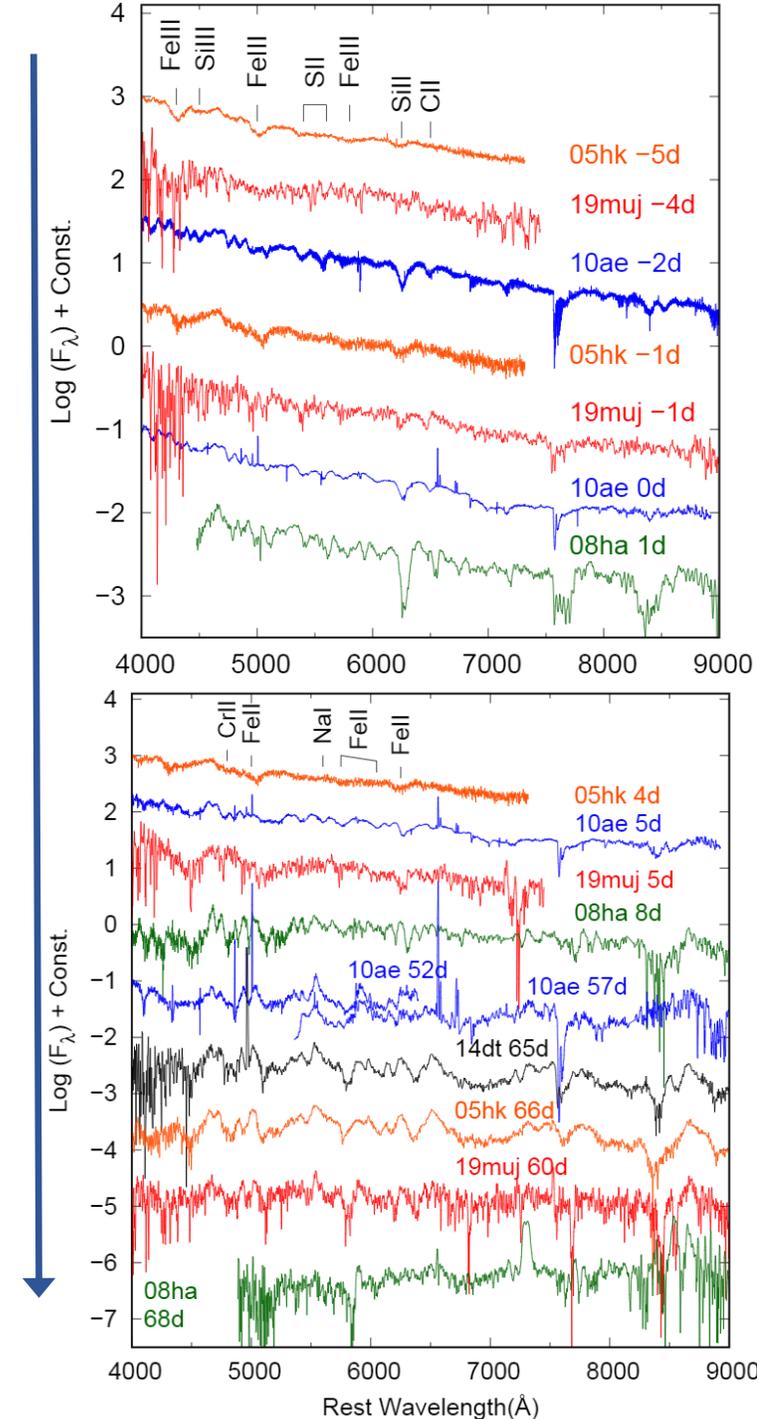
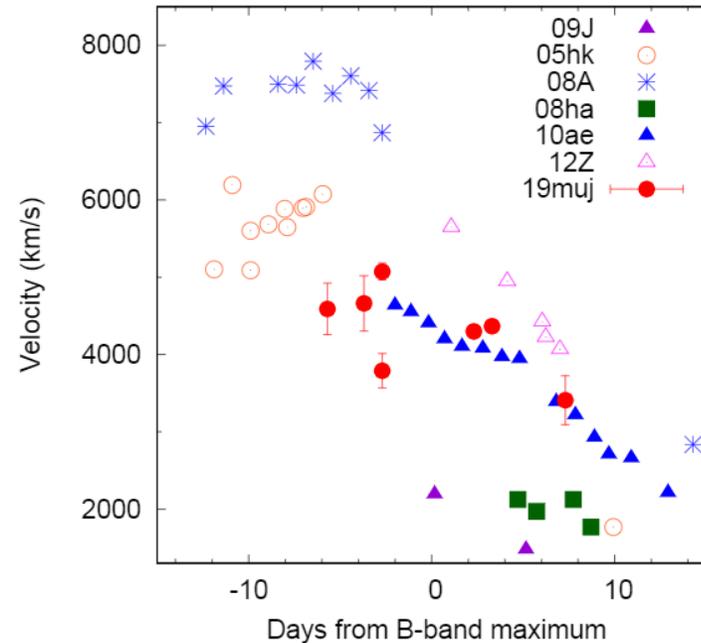
- 長期に亘るデータを得ることができた
後期ではゆるやかに減光
- 明るさと光度変化のタイムスケール
中間的な明るさのIax型



SN 2019muj



- 初期
Si II, S II, Fe II, Ca II IR triplet
- 中期
Na I D, Fe II, Fe III, Co II,
Ca II IR triplet
- 中間的な明るさのIax型に
似たスペクトル



SN 2019muj

- 残骸を残す弱い爆燃波モデル (e.g., Fink et al. 2014) と比較
- ~60日以降、合わなくなる
残骸からの ^{56}Ni の寄与を考慮

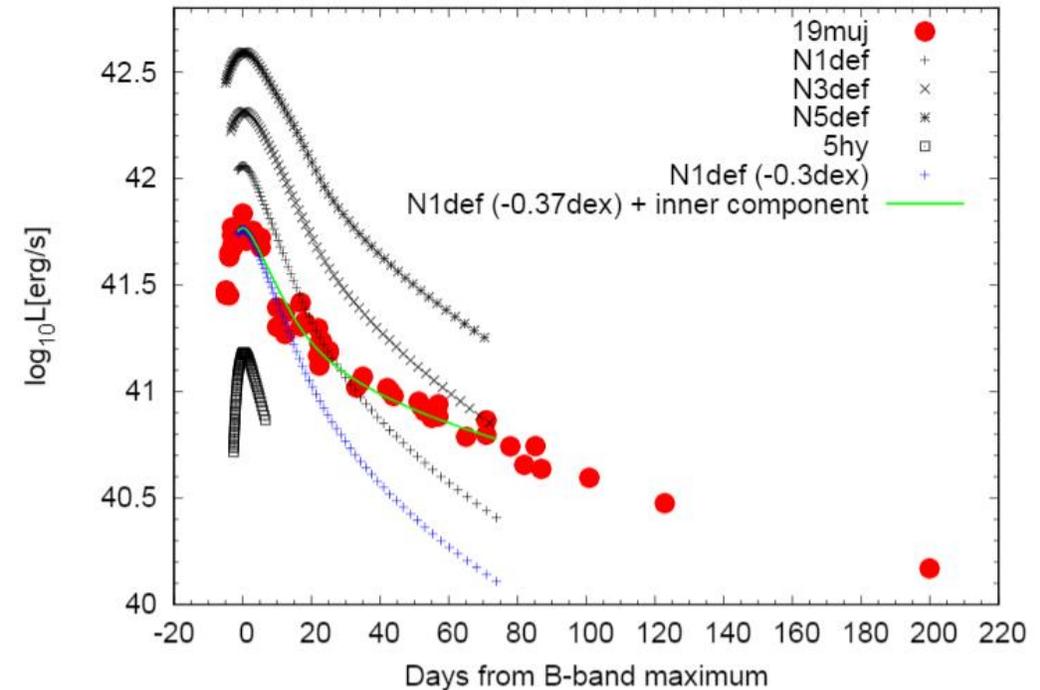
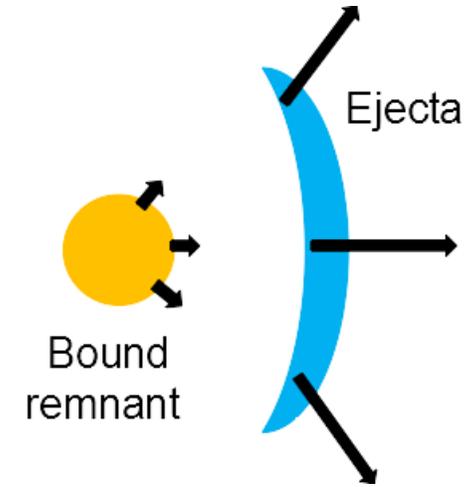
$$L = M(^{56}\text{Ni})e^{(-t_d/113\text{d})}[\epsilon_\gamma(1 - e^{-\tau}) + \epsilon_{e+}]$$

$$\tau = 1000 \times \frac{(M_{ej}/M_\odot)^2}{E_{51}} t_d^{-2}$$

- M_{Ni} : $\sim 0.02 M_\odot$

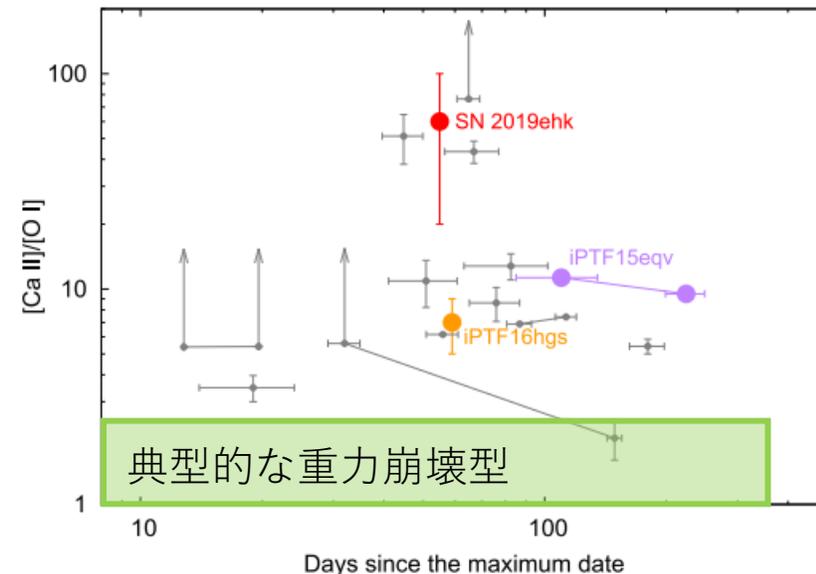
- E_{kin} : $0.2 - 0.12 * 10^{50}$ erg

- M_{ej} : $0.2 - 0.62 M_\odot$

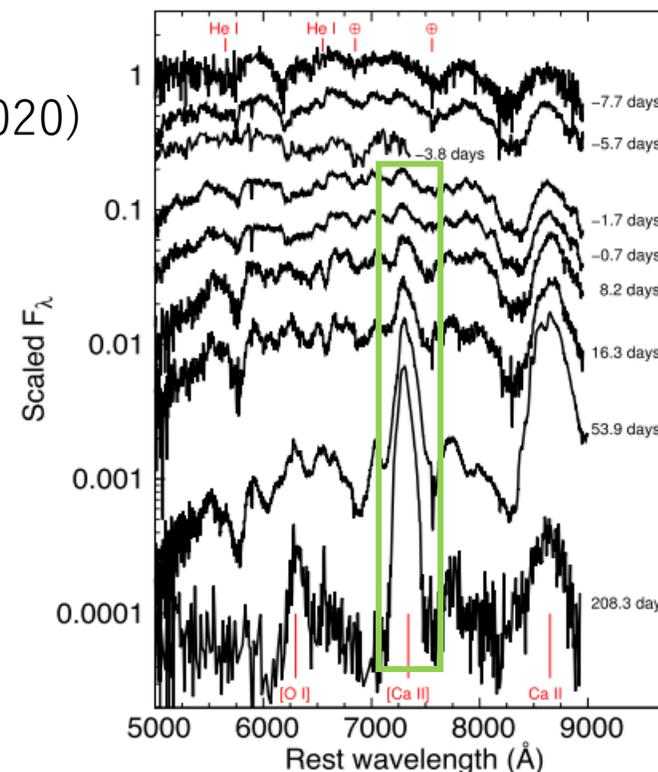
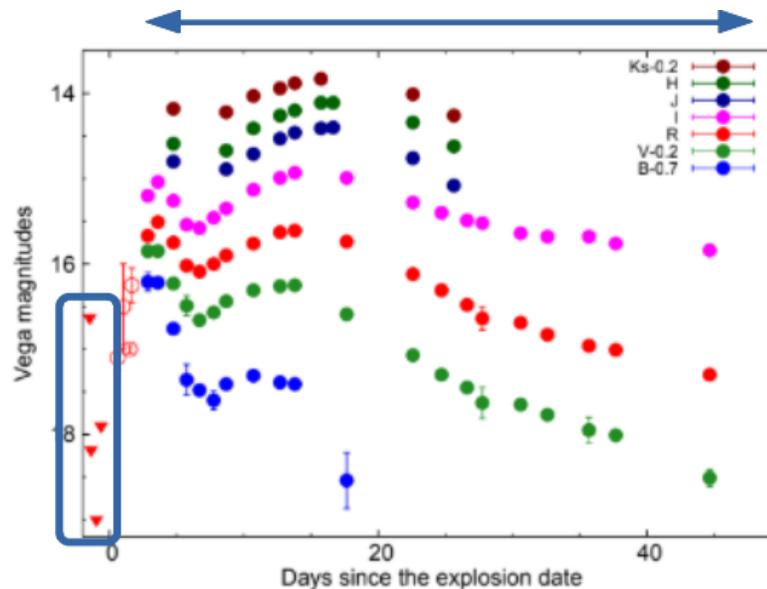


カルシウム超過型超新星

- スペクトルの時間進化が速い
 - 中期でCa禁制線
- 特殊なIa型？
- 軽いヘリウム星の重力崩壊？
- 初期に短時間の増光
 - 親星の大きさに制限
 - 連星系を成す低質量のヘリウム星による爆発



SN 2019ehk
(Nakaoka et al. 2020)



まとめ

- これまでOISTERでのToO観測によって、
さまざまな種類の近傍超新星の観測を行ってきた
- これまでの予想を超えるような多様性が見えてきた
- ToO観測に対応いただきありがとうございます
順次、論文化へ…
- 一つの超新星で論文化を行っているが、
今後はデータが増えて、統計的な解析もできるようになる
→ 引き続き、よろしくお願いします。