

特異なIa型超新星の観測的特徴と理論モデルとの比較

川端美穂、川端弘治、山中雅之、高木勝俊、中岡竜也、河原直貴 (広島大)、前田啓一 (京都大)

概要

近年になり、減光速度は典型的なIa型超新星と違いがないのにも拘らず、極大光度は1等以上暗いものが複数見つかった。この特異な超新星"Iax型超新星"の親星と爆発機構はよく判っておらず、精力的に研究が進められている。Iax型超新星のサンプル内には、Ia型超新星と異なる極大光度と減光速度の相関があるのではないかと指摘されている (Foley et al. 2013 など)。しかし、データ点分布は離散的であり、全てを単一の群として扱って良いのかさえ判っていない。本講演ではIax型超新星の長期に亘って観測された例として新たにSN 2014dtを追加し(詳細な観測については昨年度に発表済み)、Iax型超新星の後期の観測的特徴まで含んだ相関関係を議論を行う。Iax型超新星においていくつか提唱されている爆発モデルのうち、白色矮星が残骸として残る弱い爆燃波モデル(Fink et al. 2014, Kromer et al. 2015)を取り上げ、Iax型超新星で示されている極大光度と減光速度の相関など一部の例を除いて良く再現できることがわかった。Iax型超新星は後期(>100日)になると、初期よりも多様性が顕著になる傾向が見られた。これは超新星の内部構造の違いを表している可能性がある。

特異なIa型超新星 (Iax型超新星)

近接連星系を成す白色矮星(WD)がチャンドラセカール限界質量に到達し、熱核暴走反応

→ Ia型超新星

極大光度と減光速度に強い相関、宇宙の標準光源

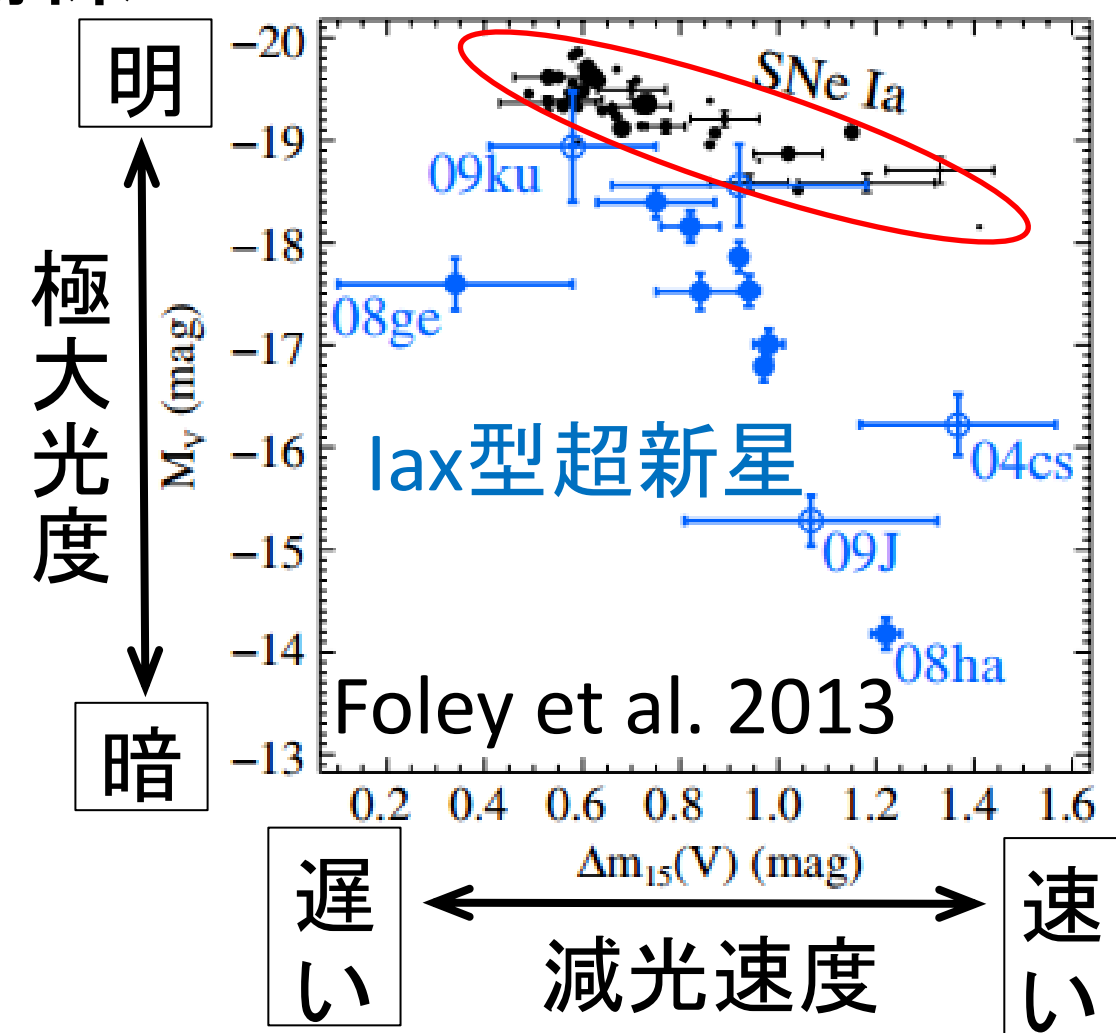
最近になり、極大光度-減光速度の相関関係に乗らないIa型超新星が見つかった

→ Iax型超新星

(Li et al. 2003, Foley et al. 2013)

その他のIax型超新星の特徴...

- ・膨張速度が遅い
(2,000 ~ 8,000 km/s @ 極大)
- ・初期には高温のスペクトル



観測例は少なく(60日以上に亘る測光観測では10数例程度)、爆発モデルは未解決

Iax型超新星においても極大光度と減光率との相関があるのでは (Foley et al. 2013)

→ データ点は離散的で例外も報告されている

すべて単一の群? Iax型の中でもサブグループがある?

白色矮星の残骸を残す弱い爆燃波モデル

理論モデルで示されている爆発パラメータにおける相関関係を調べる

→ Iax型超新星全体で見られる観測的な特徴を説明できるか?

WD内を熱伝導によって亜音速で伝わりながら燃える

爆発エネルギーが小さく、残骸が残される ($M_{\text{bound}} \sim 1.0 M_{\odot}$)

・ Fink et al. 2014

CO WDでの発火点の数を変え、広いパラメータ範囲での計算
 ^{56}Ni 質量: 0.09 – 1.32 $M_{\odot}$

・ Kromer et al. 2015

CONe WDの爆発

Iax型超新星の中でも暗い天体(SN 2008ha)を説明するモデル

これらの14つの理論計算の結果を使用

精度の良い観測が行われているIax型超新星SN 2008haと

SN 2014dtデータからスケーリング則を用いる

理論計算

観測量

放出物質

M_{ej} : 放出物質の質量

M_{Ni} : ^{56}Ni 質量

E_{kin} : 運動エネルギー

残骸

M_{b_Ni} : ^{56}Ni 質量

初期観測

τ_{peak} : 光度曲線の幅

L_{peak} : 極大等級

v_{peak} : 膨張速度

後期観測

L_{tail} : 光度@200-250day

$$\begin{aligned} L_{peak} &\propto M_{Ni} \\ v_{peak} &\propto \sqrt{E_{kin}/M_{ej}} \\ \tau_{peak} &\propto M_{ej}^{3/4} / E_{kin}^{1/4} \end{aligned}$$

	M_{Ni} ($M_{\odot}$)	M_{ej} ($M_{\odot}$)	E_{kin} (10^{50} erg)	L_{peak} (10^{42} erg/s)	v_{peak} (km/s)	τ_{peak} ($\tau_{Normal Ia}=1.0$)
14dt	0.02-0.09	0.05-0.19	0.05-0.23	0.6-2.9	3500-4200	1.0-1.6
05hk	0.17 ± 0.02	0.21-0.42	0.42-0.88	~4.0	5200	2.2-4.3

結果

極大光度と光度曲線の幅

明るい

→ 幅が広い

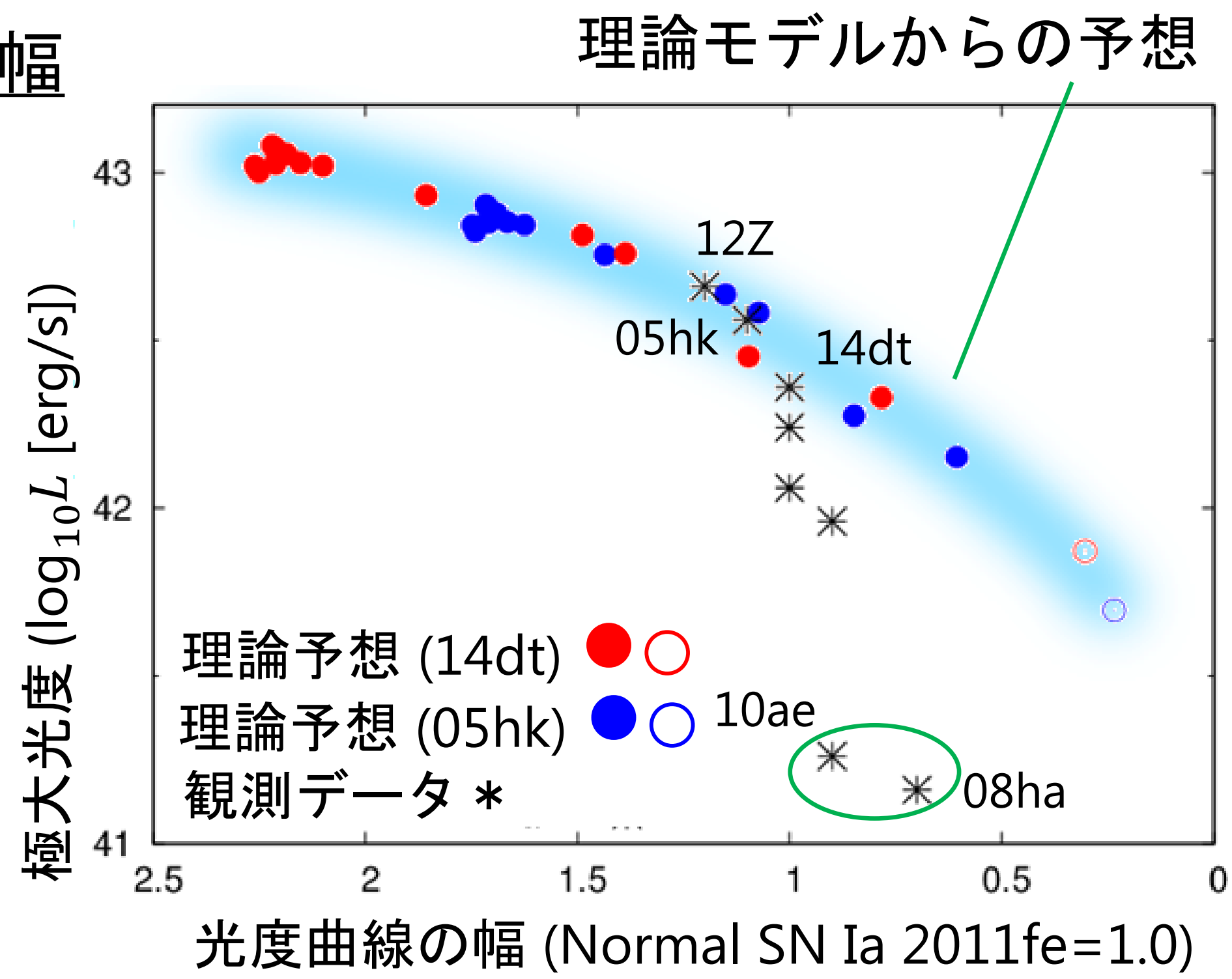
ゆっくり減光

暗い

→ 幅が狭い

早く減光

08ha、10aeを除いて、
モデルは良く再現



極大光度と速度

明るい

→ 速い

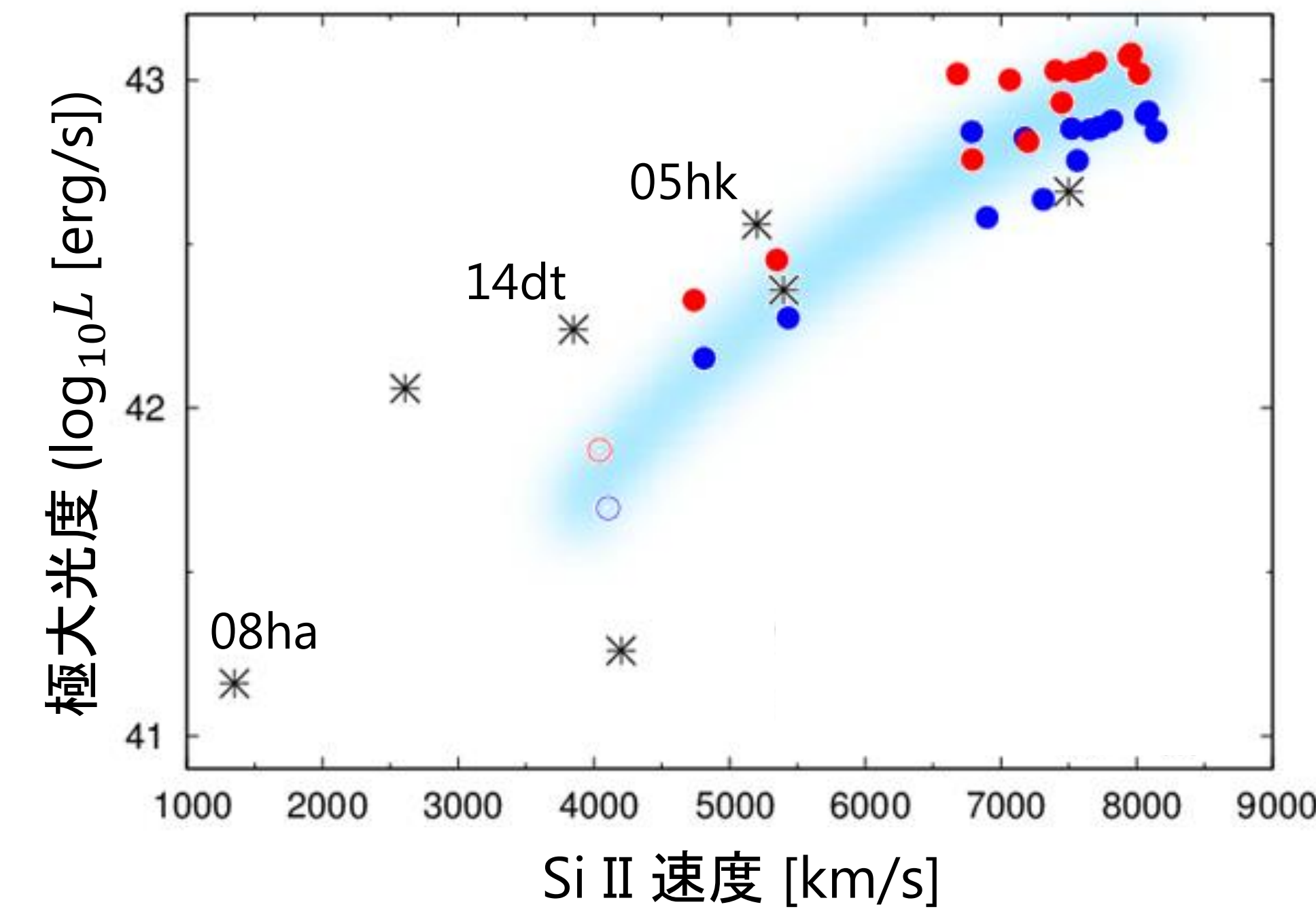
暗い

→ 遅い

モデルと同じような傾向
を示す

速度は~2000km/sと

若干のずれが見られる



極大光度と光度@200-250days

極大時の光度と、後期(200-250 日)での光度差

→爆発時に生成する ^{56}Ni 質量とWD残骸に残る ^{56}Ni 質量に関連

明るい

→ 減光が速い

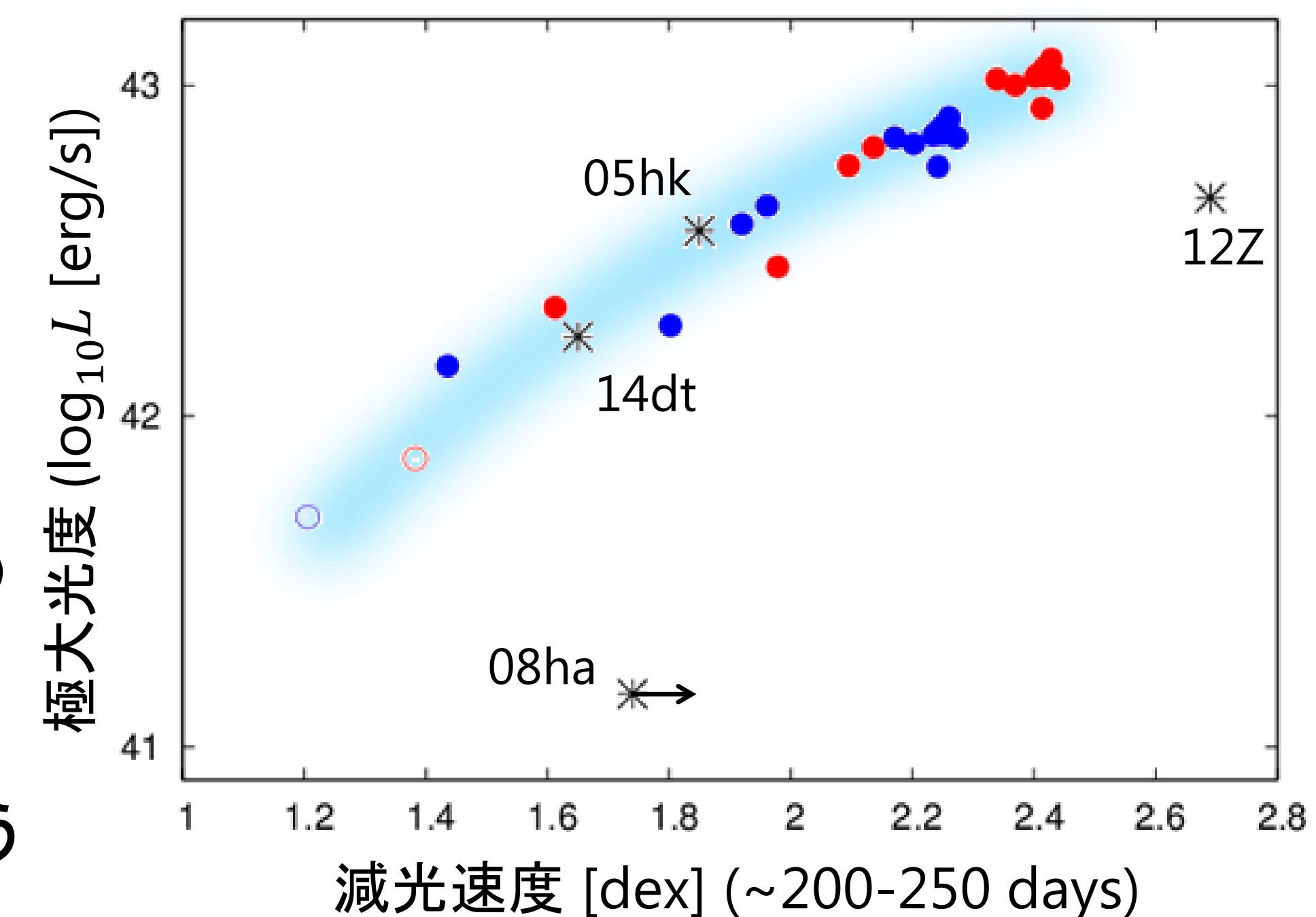
暗い

→ 減光が遅い

12Z、08haはモデルとの
ずれが大きい

→後期の減光は速く、

full trap ではなさそう



まとめ

- ・極大光度、光度曲線の幅、速度の関係は白色矮星の残骸を残す弱い爆燃波モデルで良く再現できる
- ・速度はモデルとのズレがやや大きい
→ 吸収線のブレンド、Si IIの速度 ≠ 光球速度 などの影響か

- ・爆発エネルギーが小さいモデルとしてKromer et al. (2015)も用いたが、SN 2008haはうまく説明できなかった

- ・後期の光度変化はモデル(+full trapを仮定)で説明できるものと、そうでないものがある
→ 後期にはより多様性が顕著に見られる
 ^{56}Ni の分布などの内部構造の違いか
今後、長期に亘る観測サンプルの増加が求められる