

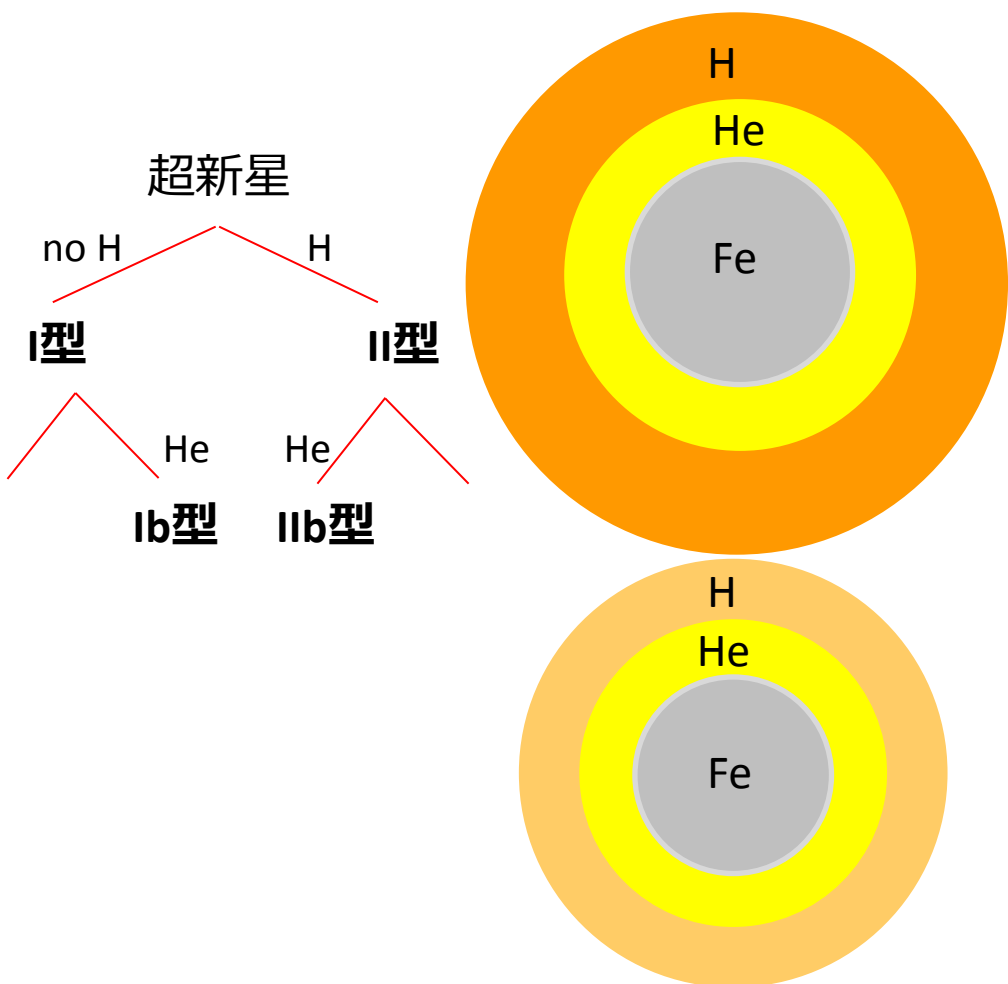
明るいショックブレイクアウトが見られた  
IIb型超新星SN 2013dfの測光分光観測

2014/08/12 岡山UM  
広島大学 川端美穂

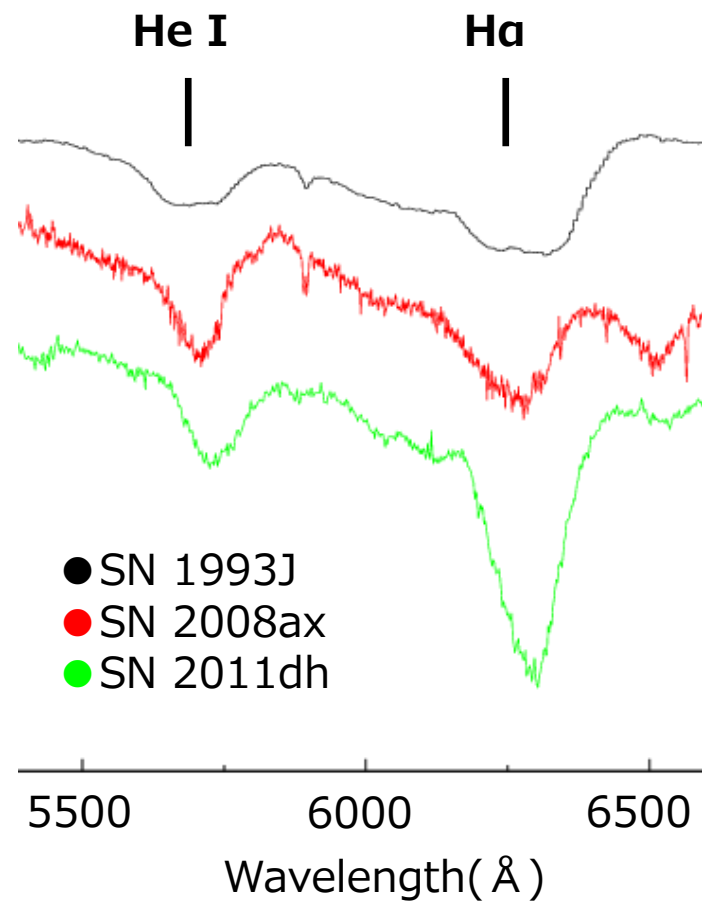
# I Ib型超新星とは

Ib型…スペクトルで水素の吸収線が見られない  
I Ib型… 見られる

I型、I Ib型超新星の光度曲線が似ている  
⇒爆発前の星の表面に水素の層があるかどうか



I Ib型超新星のスペクトル

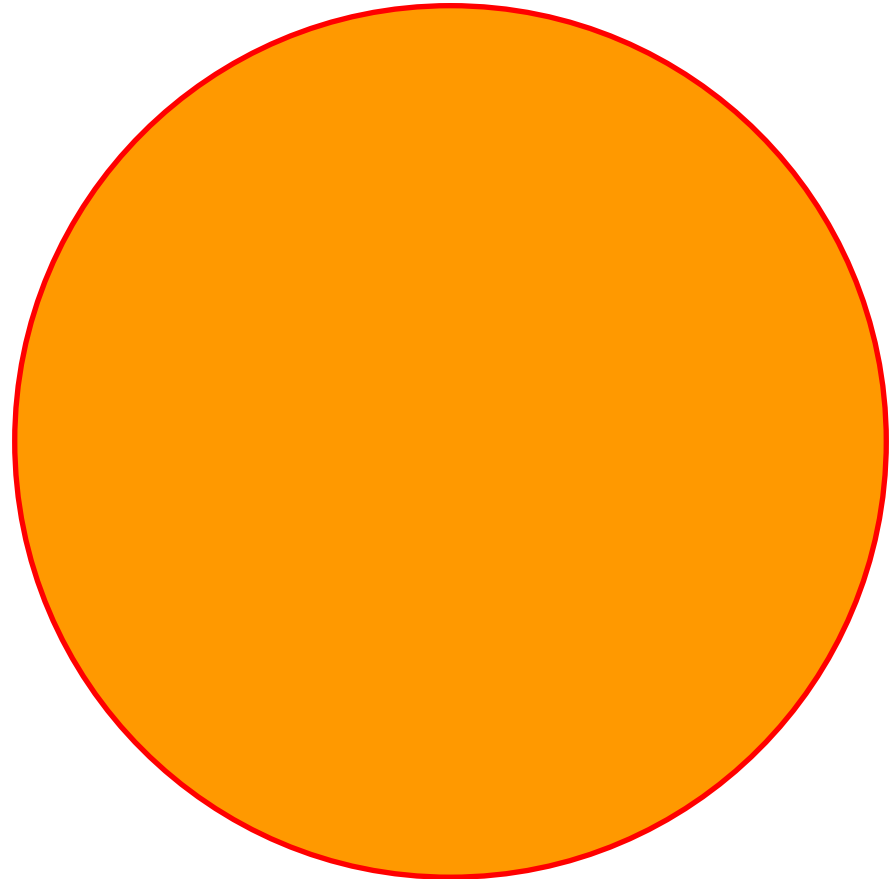
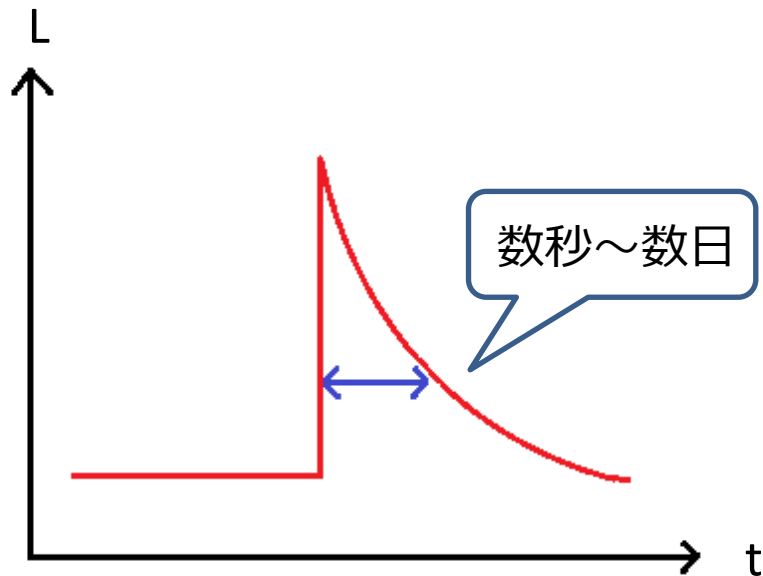


# Shock breakout

超新星爆発によって星内部で発生した衝撃波が、  
星の表面を通過する時に、急激にX線や紫外線で明るく輝く  
⇒ショックブレイクアウト

次第に星全体が膨張し、温度が低下  
⇒光度が急激に下がる  
ショッククーリング

この後は、超新星爆発によって生成された  
 $^{56}\text{Ni}$ が崩壊し、その間に放出される  
 $\gamma$ 線と陽電子によって加熱、明るく輝く



# IIb型超新星におけるショック成分と親星の多様性

光度曲線では、ショッククーリングを示す天体と示さない天体がいる

先行研究ではショックブレイクアウトが親星の半径に依存することが指摘されている (Rabinak & Waxman 2011)

⇒観測例が稀で、関連性は自明ではない

IIb型では爆発前に3例、親星が受かっている

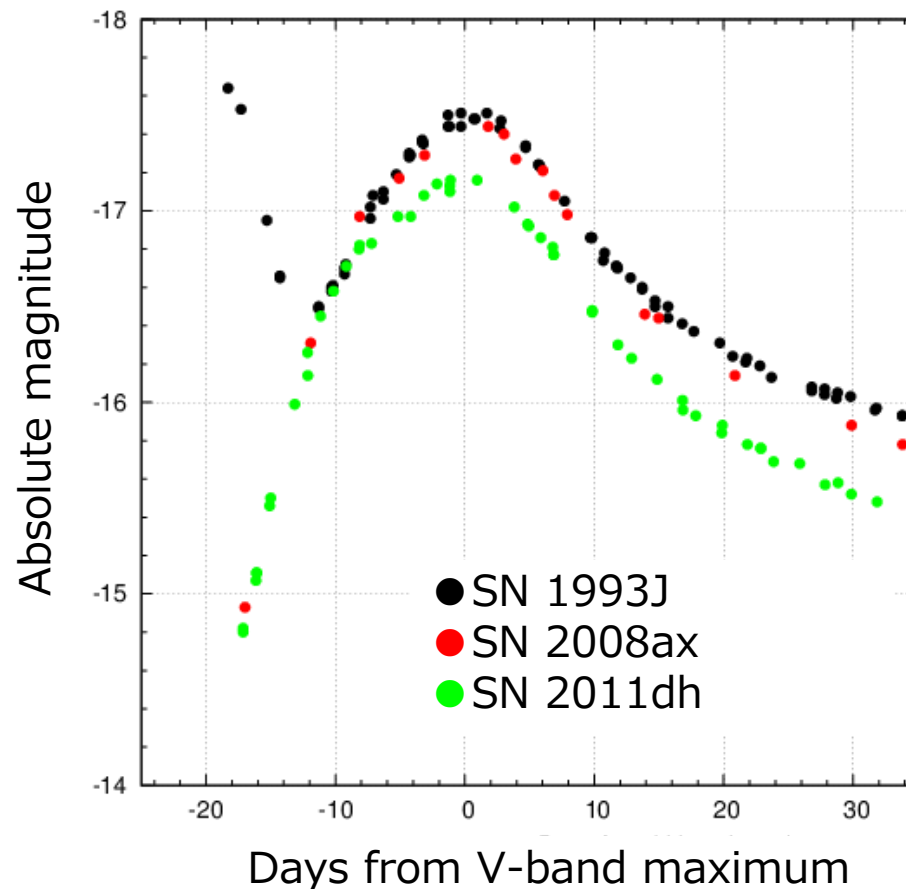
93J 連星系を成す赤色巨星

08ax 単独の大質量星

もしくは連星系を成す星

11dh 連星系を成す黄色巨星

⇒多様性の起源は??



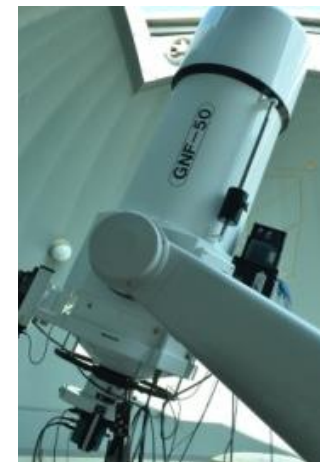
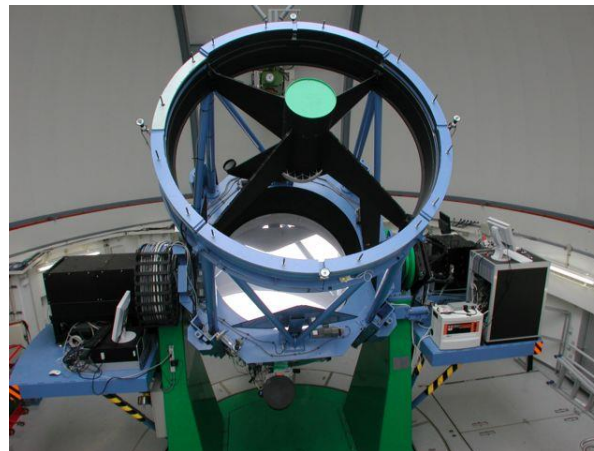
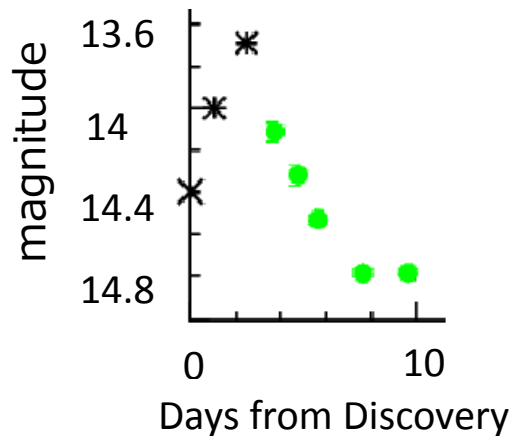
# SN 2013df in NGC 4414 非常に初期の近傍I Ib型SN

⇒2013年6月7.8日に発見

発見後、非常に速いtime scaleでの増減光が確認された

93Jで初期に見られたような変化。ショッククーリング？

⇒2013年6月11日よりfollow-up観測開始(梅雨のため観測がやや遅れる)

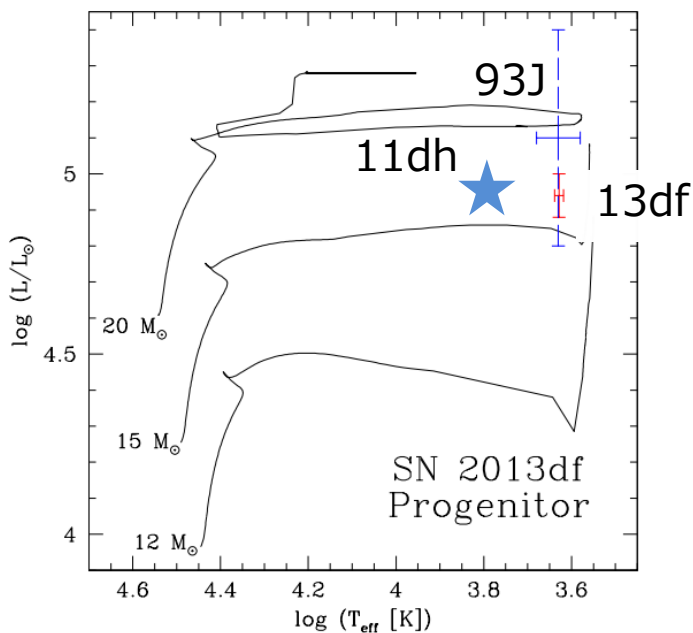


かなた望遠鏡+HOWPol  
BVRI撮像 31夜  
分光 13夜

大阪教育大学51cm  
反射望遠鏡  
BVRI撮像 21夜

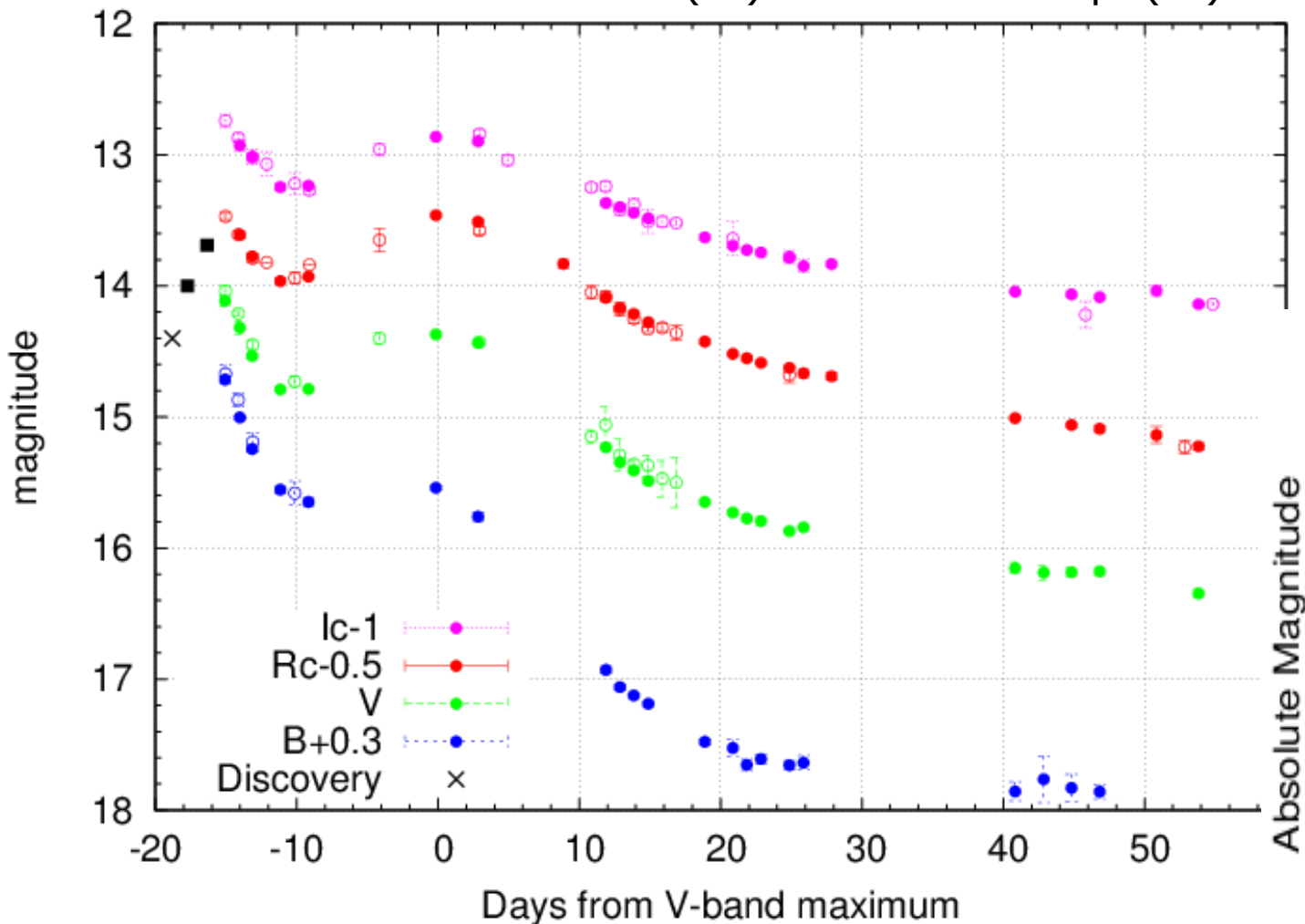
PSF測光、color termの補正済  
後期観測にすばる望遠鏡で分光観測が1夜

先行研究として親星検出の報告 (Van Dyk+ 2014)  
1999年に取得されたHSTの画像に親星が受かっていた  
⇒ $545 \pm 65 R_{\odot}$  ( $M_v = -6.89 \pm 0.10$ 等)



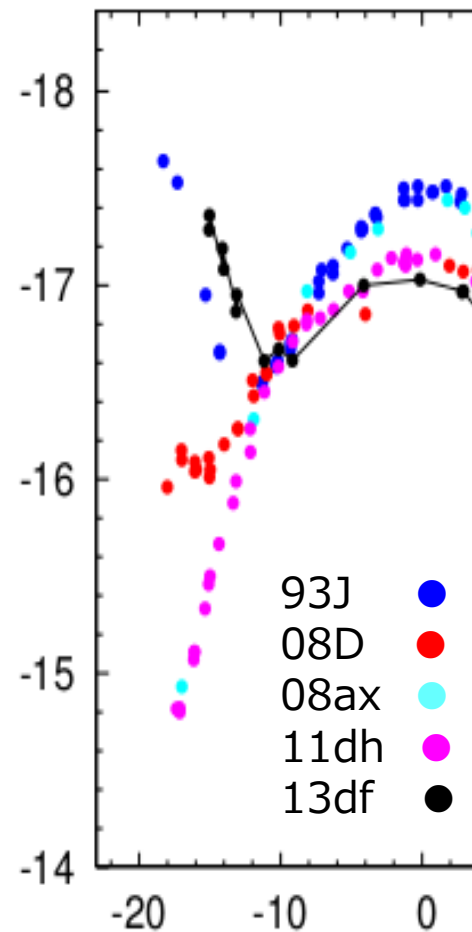
# 初期光度曲線

Kanata(●)、51cm telescope(○)



-15day~-11dayまで急減光を示した  
 第二極大はVバンドで~14.29等@6/26.6 UT  
 ショッククーリングと見られる成分は明るい

Vバンドでの  
 絶対等級の比較



# 初期スペクトル

初期から中期まで、  
水素とヘリウムの両方  
が見られる

⇒93Jとの類似性

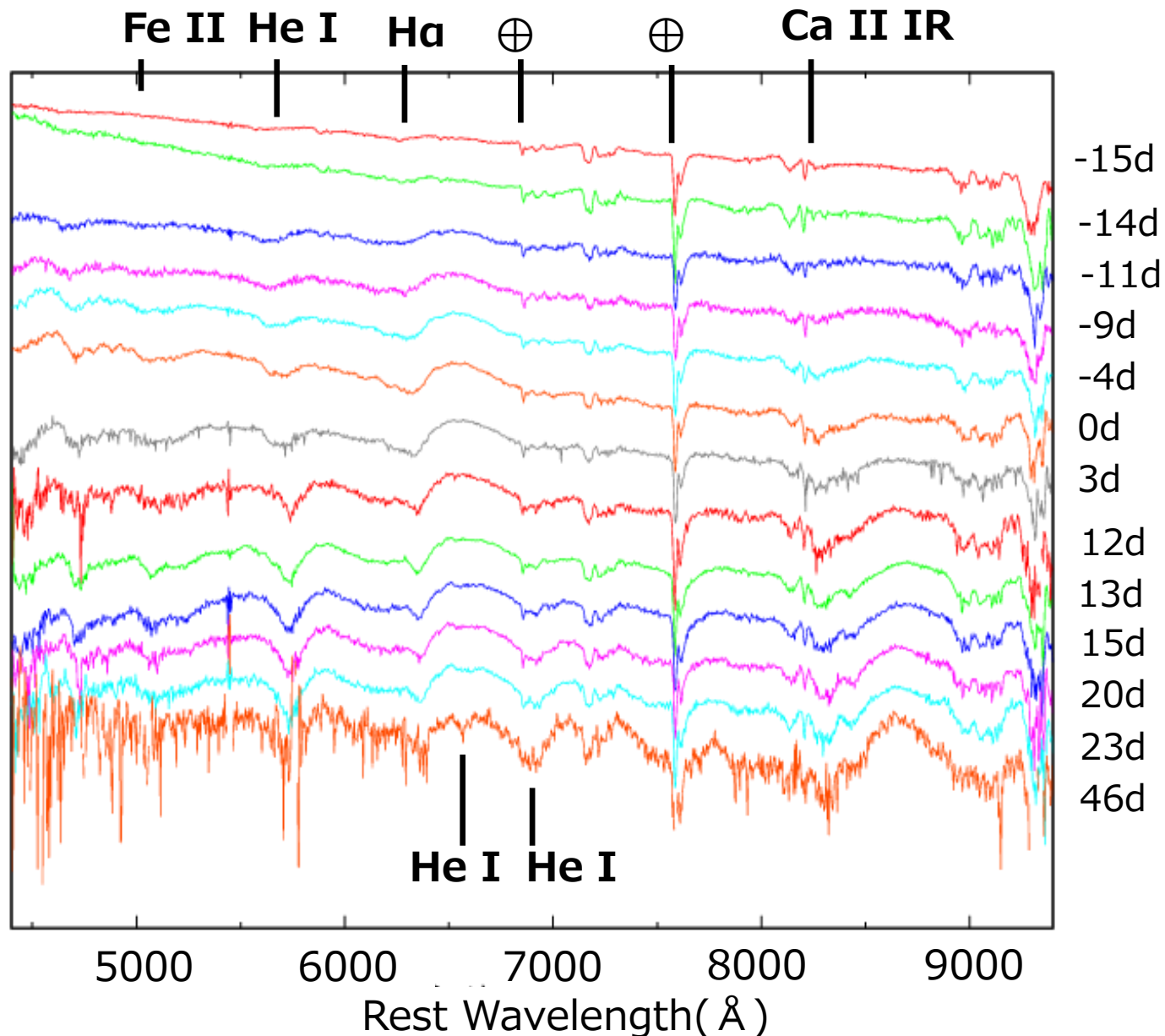
一方で08ax、11dhで  
は初期においては  
水素が卓越

⇒種族の多様性？

He I 5876は12dで狭  
くなる

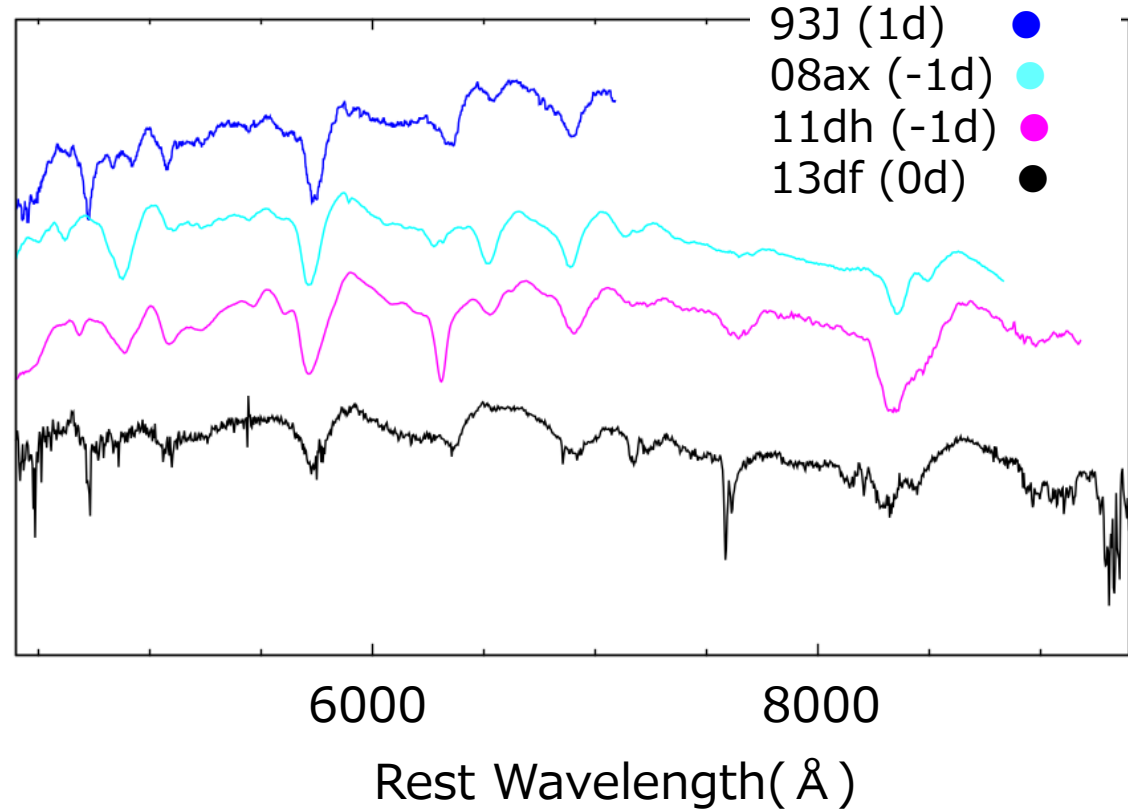
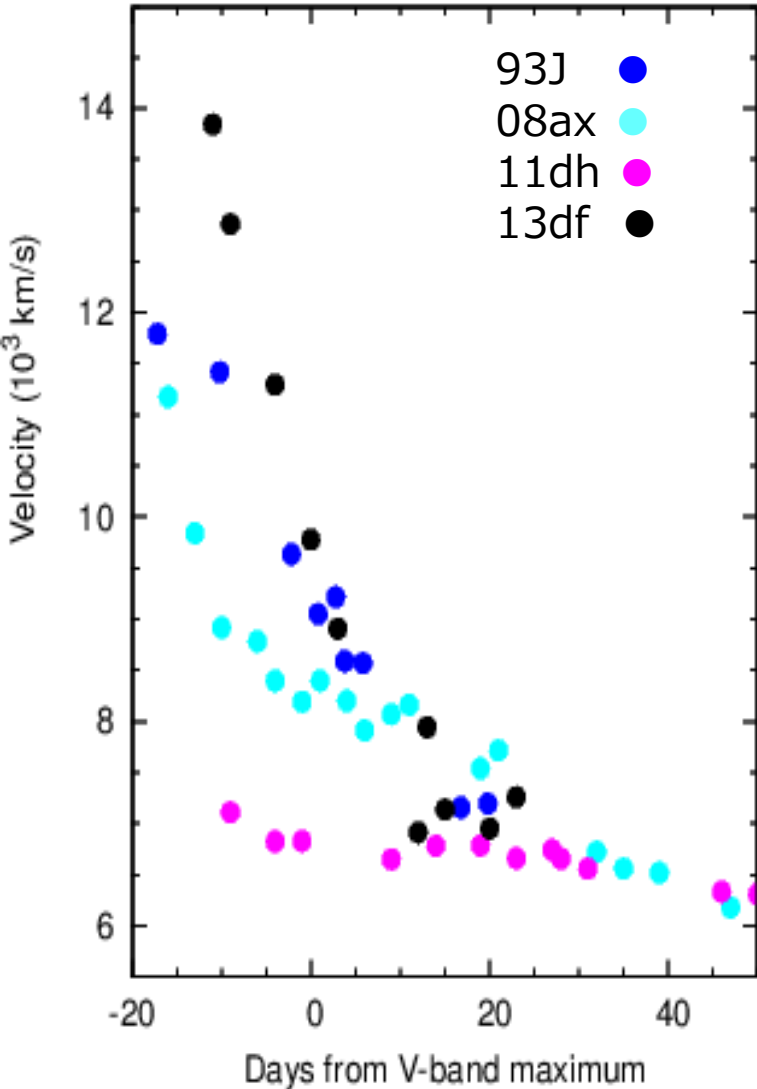
⇒速度の変化

46dにおいて  
He I 6678が弱いなが  
らも見られる



# スペクトルの比較

line velocity (HeI 5876)



He I 5876の速度変化は、93Jと非常に類似しているにも関わらず、吸収線FWHMは大きい。  
⇒爆発エネルギーは同程度であるが、外層構造の違いを反映していると解釈されるかもしれない

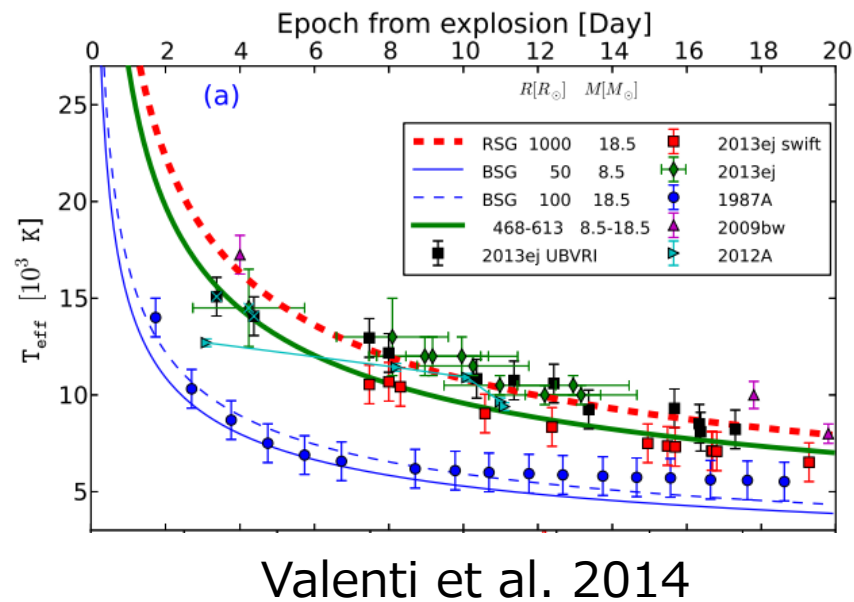
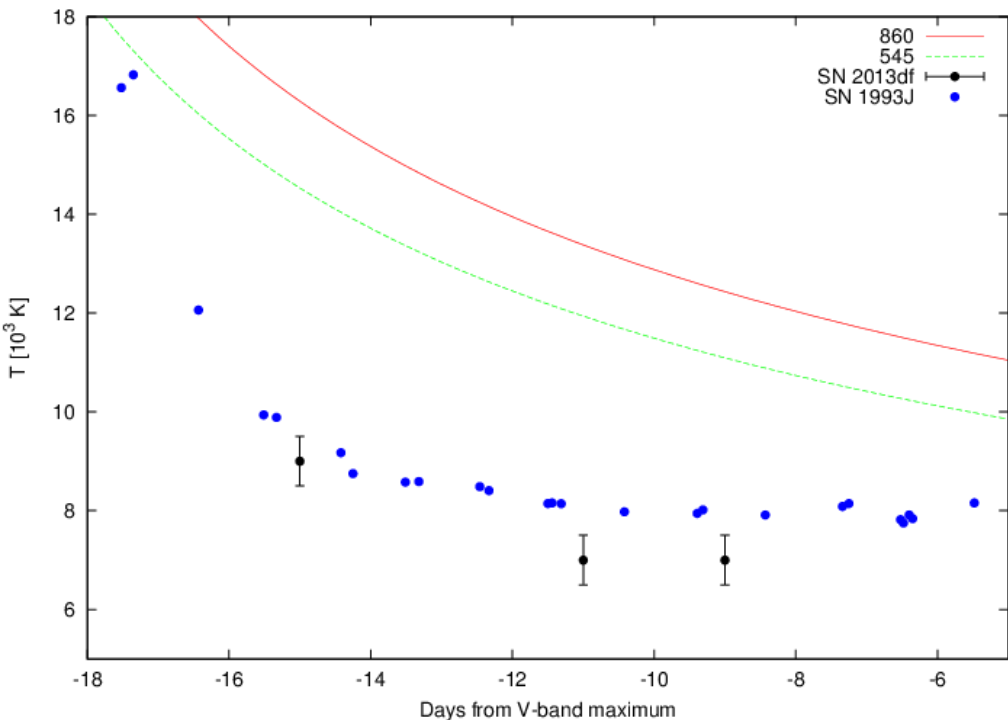


# ショックーリングからの親星半径の制限

ショックーリングからの減光による光度や温度変化から、親星半径を制限することができる(Rabinak & Waxman 2011)

SN 1993J(Lewis et al. 1994)とSN 2013dfの温度変化は理論モデルと一致せず。

他の超新星(IIP型)ではよく合っている(Valenti et al. 2014)



# ショッククーリングからの親星半径の制限

パラメータの不定性をキャンセルするため、  
SN 1993JとスケールしてSN 2013dfの親星半径の推定

$$L = 8.5 \times 10^{42} \frac{E_{51}^{0.92} R_{*,13}}{f_{\rho}^{0.27} (M/M_{\odot})^{0.84} \kappa_{0.34}^{0.92}} t_5^{-0.16} \text{ erg s}^{-1}$$

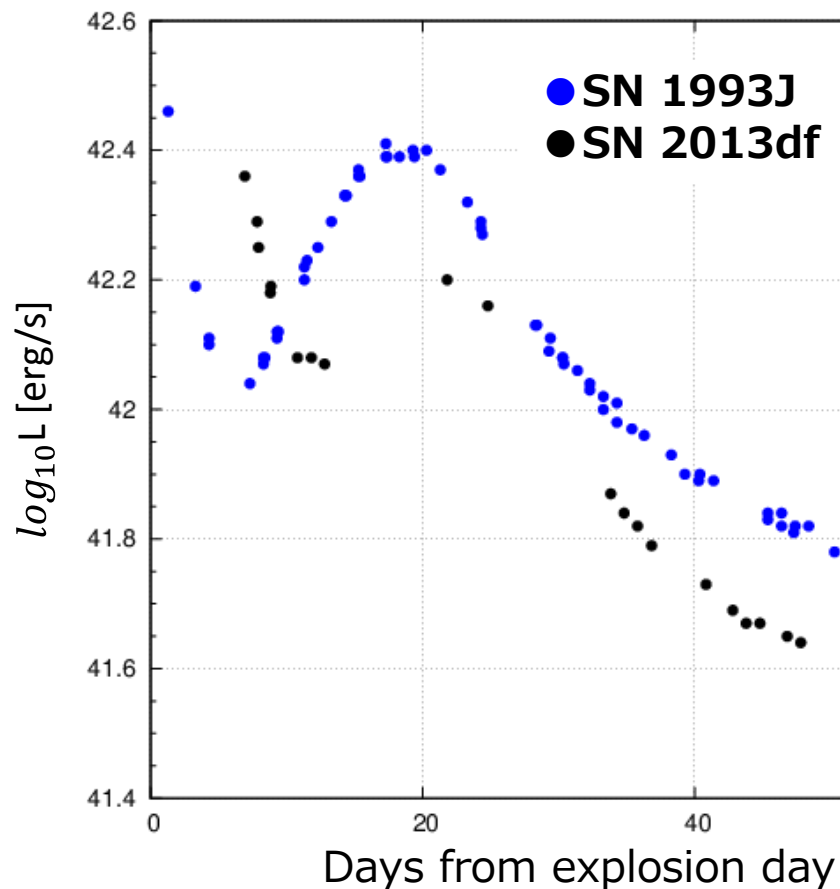
$$L_{13df} = L_{93J} \frac{R_{13df}}{R_{93J}} \left( \frac{t_{13df}}{t_{93J}} \right)^{-0.16}$$
$$= 530 \sim 1200 R_{\odot}$$

絶対光度のsystematics、爆発日の不定性込み  
ショッククーリングから求めた半径の中央値  
( $860 R_{\odot}$ )は爆発前の画像(1999年)から求められ  
た半径( $545 R_{\odot}$ )よりやや大きい

親星の外層の密度構造の違い？  
もしくは爆発前に短期間で質量放出？

疑似総放射光度曲線

BVRIバンドの波長域を  
全放射の60%が透過と仮定

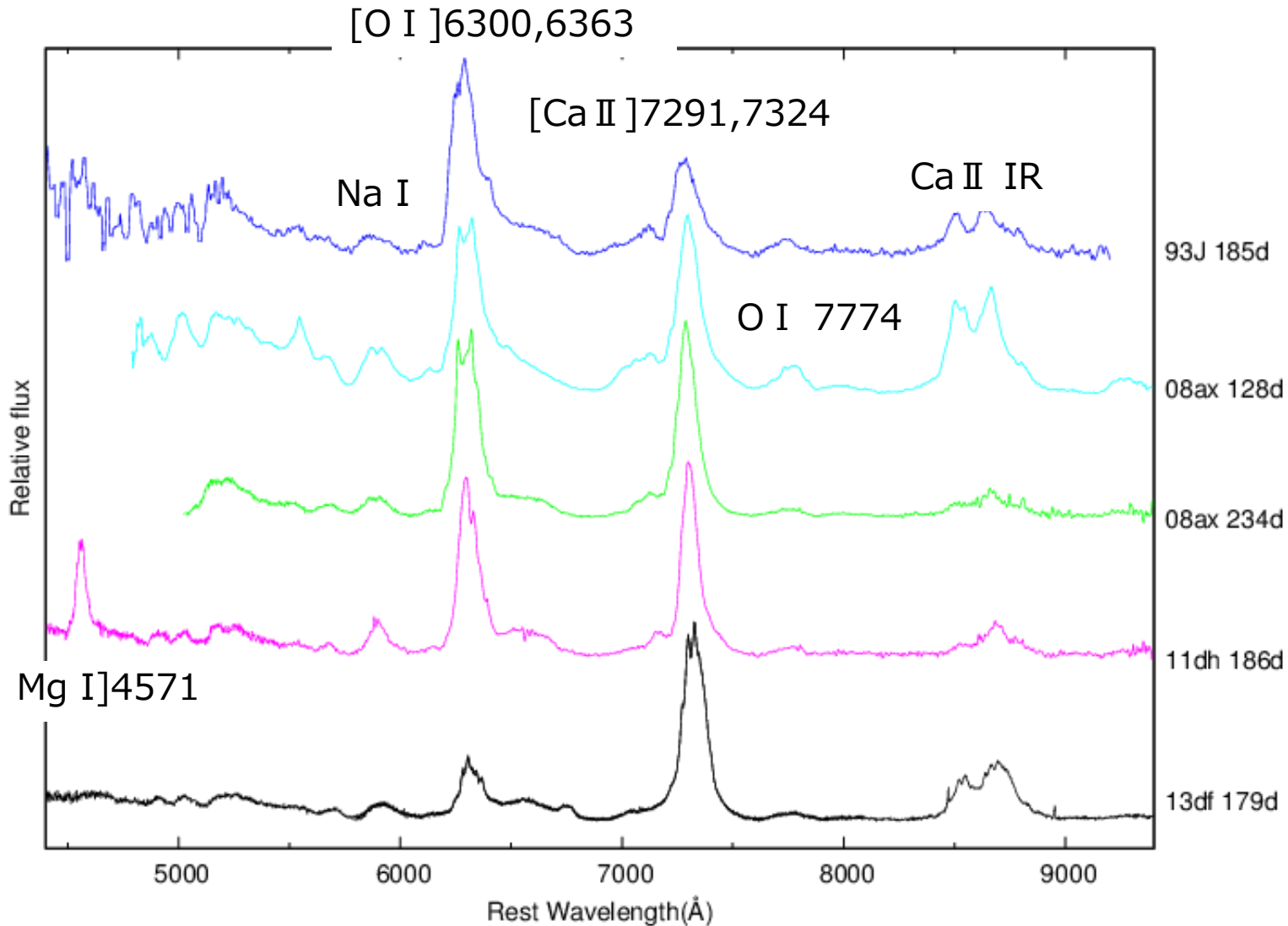


# 後期スペクトル

初期とは異なり、輝線が卓越

⇒外層が希薄になり、コアからの輝線が見えている

13dfでは[O I]6300,6363が弱く、[Ca II]7291,7324が強い



# 親星質量の見積もり

酸素は親星の不燃物質。酸素の質量がコアの質量に依存  
一方で、カルシウムは比較的、コア質量の依存性は小さい。

強度比  $\frac{[\text{Ca II}]}{[\text{O I}]}$  から親星の質量を推定することができる (Fransson & Chevalier 1989)

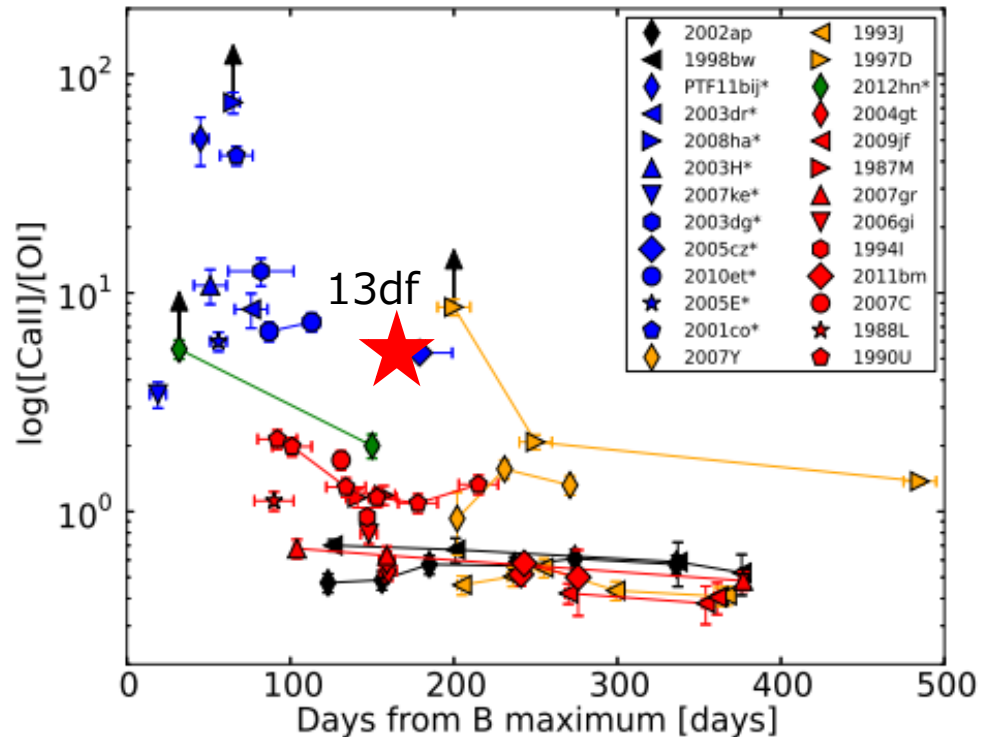
⇒ SN 2013df では 179d では  $\sim 0.48$

SN 2005cz ( $10 \sim 12 M_{\odot}$ ; Kawabata et al. 2010) と同程度

SN 2013df の親星質量は  $10 \sim 12 M_{\odot}$  か

⇒ この質量で単独星であるとする、  
水素外層を剥ぎ取ることにはできない

SN 2013df は連星系を成していて、  
その相互作用によって外層が剥ぎ取られたのではないか



# まとめ

- II b型超新星SN 2013dfの測光分光観測を行った。  
爆発初期にはとても明るいショッククーリングを示す
- SN 2013df (とSN 1993J)とショッククーリングが見えているフェーズでの温度変化は、理論的なショッククーリングの研究と一致せず。

ショッククーリングの光度より、SN 2013dfの親星の半径の推定を行った。

⇒SN 2013dfの親星の半径は530~1200  $R_{\odot}$

SN 2013dfの直接的な親星の同定より、 $545 \pm 65 R_{\odot}$  (Van Dyk et al. 2014)

中央値は一致しているが、13dfの親星半径はやや大きめ

親星の外層の密度構造の違い？

爆発直前に急激な質量放出？

⇒より詳細なショッククーリングの研究が必要

- 後期スペクトルでは酸素輝線が弱く、カルシウム輝線が強い

SN 2013dfの親星の質量は10~12  $M_{\odot}$

⇒単独星では水素外層を剥ぎ取るには軽い。

連星系を成しており、その相互作用によって外層を剥ぎ取られたものか