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

IIb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 IIb型… 見られる

I型、IIb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



IIb型超新星のスペクトル

Ha

He I

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 ⁵⁶Niが崩壊し、その間に放出される γ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



SN 2013df in NGC 4414 非常に初期の近傍IIb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 \Rightarrow 545±65 R_{\odot} (Mv=-6.89±0.10等)



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 ⇒93」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



ショッククーリングからの親星半径の制限

ショック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 \cdots

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 (860R_①)は爆発前の画像(1999年)から求められ た半径(545 R_①)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? 疑似総輻射光度曲線 BVRIバンドの波長域を 全放射の60%が透過と仮定 ● SN 1993J ● SN 2013df

42.6



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[OI]6300,6363が弱く、[CaI]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[Ca II] 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~0.48 SN 2005cz(10~12M_☉; Kawabata et al. 2010)と同程度

SN 2013dfの親星質量は10~12M_☉か ⇒この質量で単独星であるとすると、 水素外層を剥ぎ取ることはできない

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_☉
SN 2013dfの直接的な親星の同定より、545±65 R_☉ (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10~12M_☉
⇒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