

爆発後数日で多バンドで観測が行われた IIP 型超新星 2014cx の測光分光観測

中岡 竜也 (広島大学大学院 理学研究科)

Abstract

我々は 2014 年 9 月に発見された IIP 型超新星 SN 2014cx を、主として広島大学 1.5 m かなた望遠鏡を用いて発見から 180 日以上継続して近赤外-可視測光分光観測を行った。この超新星は Swift 衛星でも観測され、UVOT での紫外線・可視光観測も行われている。私はこれら近赤外～紫外線の観測結果から、超新星の膨張速度・光球半径・光球温度の時間変化を求めた。導かれた性質は、典型的な IIP 型超新星で詳細に観測された SN 2012aw とよく似ており、SN 2014cx も典型的な IIP 型超新星であることが伺える。また、光度曲線の立ち上がりを SN 2012aw と比較することで爆発日を推測したところ、この超新星は爆発後 1.6 日で発見され、Swift 衛星の観測が開始されたのは爆発後僅か 2.0 日であることが分かった。これは詳細に観測された IIP 型超新星では最も早く観測されており、IIP 型超新星の爆発直後の光球の物理状態を初めて詳細に知ることができたと言える。

1 Introduction

重力崩壊型超新星爆発とは、初期質量が太陽の約 10 倍以上の星が、星の一生の最期に中心核が重力崩壊を引き起こし爆発する現象のことである。IIP 型超新星とは、親星が爆発する直前に水素外層を豊富に有する状態であった超新星と考えられており、現在発見される超新星の中では最も多い分類である (Li et al. 2011)。IIP 型超新星は、爆発後に光度が一定の期間 (以下、プラトーと記述) を示すのが特徴であり、これは豊富な水素外層を有することが原因と考えられている。超新星においては 1980 年代より地上望遠鏡による可視光での現代的観測が本格化し、観測的性質がまとめられてきている (Filippenko 1997)。ただ爆発直後の超新星は 1 万度以上の高温となっており、その放射ピークは紫外線域となることから、早期観測では紫外線域の観測が重要である (Pritchard et al. 2014)。ただ IIP 型超新星は、超新星の増光が短く急である特徴を持つため、この時期の観測は困難である。現在この帯域では Swift 衛星に搭載されている検出器 UVOT が活躍しており、取得データは自由に閲覧できる。Swift 衛星のデータと、広島大学が所有する口径 1.5m かなた望遠鏡で取得した可視・近赤外の早期、後期データを合わせることで、多波

長に亘る長期観測が可能となる。超新星の近赤外の時間的に密な観測例は未だ少なく、このようにして揃えたデータセットは重要な情報を与えてくれる可能性がある。

2 Observations

SN 2014cx は、2014 年 9 月 2.5 日 (UT) に板垣公一氏によって NGC 337 ($d = 23$ Mpc) で発見され、その後の観測において IIP 型超新星と分類された (Nakano et al. 2014)。§3.1 で述べるように、爆発からわずか 1.6 日後の発見であったことが分かっている。我々は 9 月 8 日より、広島大学所有かなた望遠鏡に搭載された検出器 HOWPol を用いて可視測光分光観測を開始し、可能な限り継続した。また 11 月 14 日にかなた望遠鏡に再搭載された検出器 HONIR を用いて、近赤外測光も行った。またこの超新星は、宇宙望遠鏡 Swift 搭載の検出器 UVOT でも紫外線-可視観測が行われており、Swift のデータは誰でも閲覧できるため、このデータの解析も行った。Swift の観測開始は爆発後 2.0 日となっており、IIP 型超新星としては最も早い。以上の観測により得たデータは、測光観測が 11 バンドと、可視分光観測である。この超新星は

爆発後から減光、テールに至るまで切れ目なく観測できており、そのような IIP 型超新星は数少ない。

またこの超新星の比較のため、光赤外線天文学大学間連携を利用してデータを取得した SN 2012aw を使用した。この超新星は近傍 (~ 10 Mpc) で発生したため密なデータがあり、かつ論文も数多く出されているため、十分な議論がされている (e.g., Bayless et al., 2013; Kumar et al., 2014)。SN 2012aw は、過去に非常に精度よく観測された典型的な IIP 型超新星 SN 1999em, 2004et に似ており、比較対象とても適切である (Subhash et al. 2014)。

3 Results

3.1 Light Curve

測光 11 バンドの光度曲線を図 1 に示す。SN 2014cx の爆発日は、SN 2012aw のライトカーブの立ち上がりと比較することにより、8 月 30 ± 0.8 日とした。SN 2014cx は爆発 8 日後からプラトーとなり、その際の等級は $R \sim 14.6$ mag である。絶対等級に直すと $R \sim -17.1$ mag で、典型的な IIP 型超新星と言われる SN 1999em や SN 2012aw よりも少し明るい、母銀河である NGC 337 の距離の不定性が大きく、有意に明るいとは言えない程度である。

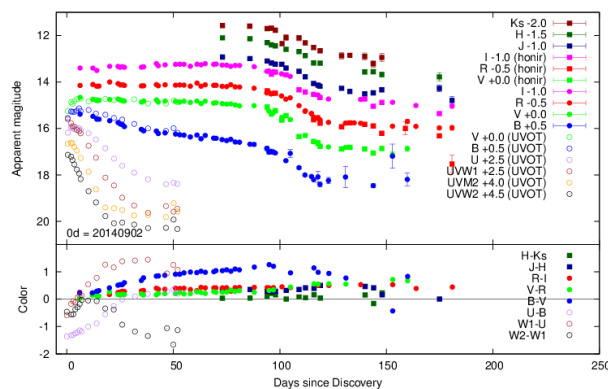


図 1: SN 2014cx の光度曲線

図 2 に、他の IIP 型超新星との光度曲線の比較を示す。この図は IIP 型超新星のプラトー終了時の曲線を揃えて比較している。減光時のライトカーブはどの IIP 型超新星も一致しているが、プラトー期は

傾き、長さ共に個性が強い。この中で SN 2014cx は、プラトーがフラットなタイプに属す。そのグループの中ではプラトー期間が短く、SN 1999em, SN 2012aw よりも約 20 日短い。

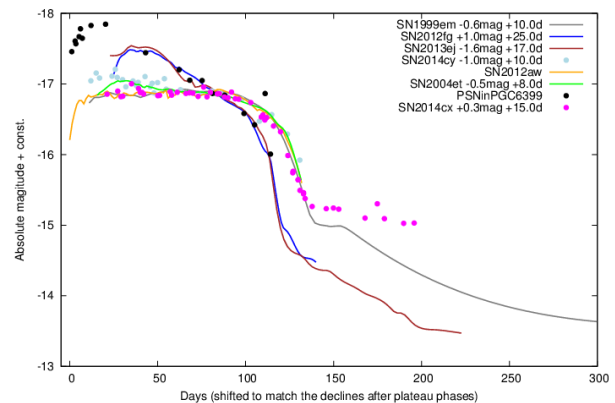


図 2: SN 2014cx と他の IIP 型超新星 (SN 1999em (Leonard et al. 2002), SN 2004et (Sahu et al. 2006), SN 2012aw 他多数) の減光時を揃えた R バンド絶対等級の比較

3.2 Spectra

SN 2014cx のスペクトル進化を図 3 に示す。爆発初期から後期にかけて $H\alpha$ の P-Cygni プロファイルがはっきりと見える II 型超新星の典型的なスペクトルとなっている。その他には $H\beta$, Fe multiplet, He I $\lambda 5876$, Na ID, Ca IR triplet 等がはっきりと見られる。100 日以降のスペクトルには輝線が見られるようになり、例として $H\alpha$, $[Ca II] \lambda\lambda 7291, 7324$, Ca II IR triplet が挙げられる。

他の代表的な IIP 型超新星とのスペクトル比較を図 4 に示す。SN 2014cx の $H\alpha$ の速度は他の超新星と比較して早く、特に早期のフェイズで顕著である。また、 $H\alpha$ の吸収線が他の超新星よりも浅いため、これらの超新星と比較して、爆発前の親星の水素外層の量が少ないことが示唆される。これは、前述のプラトー期間が短いことから同様の推測を得ることができる。

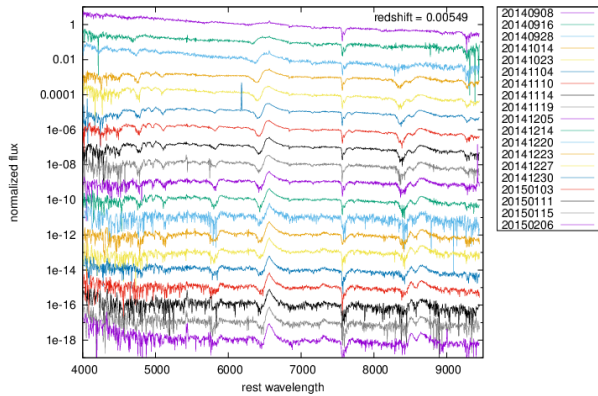


図 3: SN 2014cx のスペクトル進化

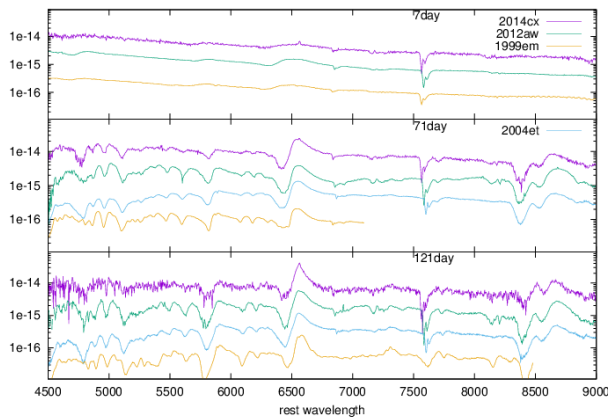


図 4: SN 2014cx と他の IIP 型超新星 (SN 1999em, SN 2004et(archived), SN 2012aw) のスペクトル比較

4 Discussion

4.1 Blackbody Fits

IIP 型超新星は豊富な水素外層を有するため、超新星爆発によって生じたエネルギーの大部分を外層が吸収し、黒体として放射する。よって超新星からの放射を黒体放射と仮定し、測光によって得た結果から SED を作成してフィッティングを行った。フィッティングには ROOT を用いた。黒体放射は以下の式で表される。

$$I'(\lambda, T) = B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1)$$

ここで、 λ は波長、 h はプランク定数、 c は光速、 k はボルツマン定数である。この式から光球の黒体温

度 T を求め、また得られた測光値と比較することによって光球の半径を求めたものが図 5 である。図中の破線は SN 2012aw の値である。まず光球の温度については、爆発直後の 20000 K 近い温度から急激に低下し、30 日付近で ~ 6000 K となり一定となった。IIP 型超新星は水素の電離面付近で光学的厚みが増加するため、超新星が膨張を続けても、この面が光球面のまま変化しない (Popov 1993)。水素が電離するのは 6000 K 付近のため、SN 2014cx においても、水素の電離面が光球面となっていると考えられる。次に光球半径については、爆発直後は $6000 M_\odot$ だったものが膨張し、プラト一期には $18000 M_\odot$ になっている。初期の膨張速度は 8000 km/s と求まった。これらの時間進化を SN 2012aw と比較すると、ほぼ同じ時間発展をしていることが分かる。

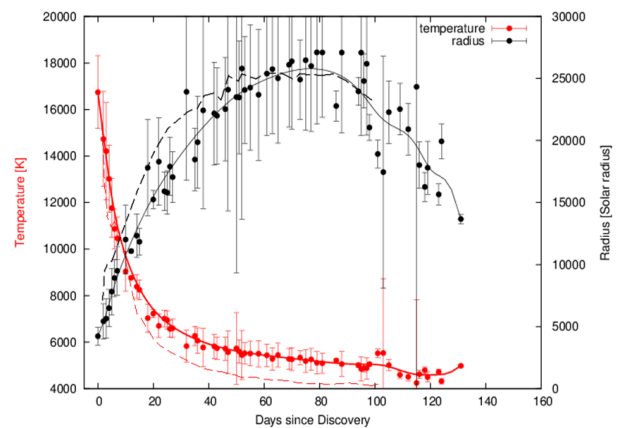


図 5: SN 2014cx の光球温度、半径の時間変化 (誤差付きの実線) と SN 2012aw(Subhash et al. 2014)(破線) との比較

4.2 Line Velocity

$H\alpha, H\beta, Fe II \lambda\lambda 5018, 5169$ から求めた吸収線速度を SN 2012aw と比較したものが図 6 である。 $H\alpha, Fe II$ の速度変化は SN 2012aw と大きな差はないが、 $H\beta$ は有意な差が存在する。図 3 を見ると、 $H\beta$ は爆発後 66 日後のスペクトルのように、幅広の形をしているのが分かる。また、SN 2012aw の高分解なスペクトルには、 $H\beta$ の短波長側に特定できない吸収線が見られる。よって HOWPol で取得したスペクトル

は、 $H\beta$ とこの吸収線が分離できずに重なるため、幅広い構造を持つと考えられる。そのため、実際よりも $H\beta$ の速度が早く見えていると考えられる。

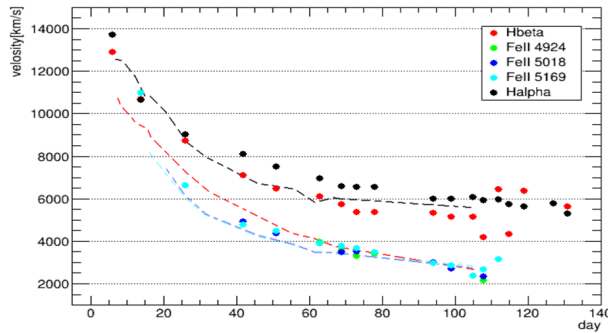


図 6: SN 2014cx の吸収線速度と SN 2012aw(Subhash et al. 2014)(破線)との比較。SN 2014cx の速度の典型的な誤差は 1000 km/s 程度である。

次に $H\alpha$ の輝線の速度について考察を行う。図 3 に爆発後から見えている $\lambda 6500$ 付近の幅の狭い輝線は、幅の狭さは $H\alpha$ の静止波長に非常に近いことから、超新星付近にある HII 領域と考えられる。この HII 領域の速度を 0 km/s と考えたとき、爆発 30 日後の超新星の $H\alpha$ 輝線の速度は 1700 km/s 程度となる。爆発 30 日後の II 型超新星の $H\alpha$ 輝線の速度の平均は 2001 ± 810 km/s となることから (Anderson et al. 2013)、SN 2014cx は典型的な IIP 型超新星であることが示唆される。

5 Conclusion

本研究により、IIP 型超新星 SN 2014cx の初期の測光・分光学的パラメータを導出した。その特徴は、測光、分光、また光球半径や温度、線速度においても、典型的な IIP 型超新星の範囲に収まる。しかし、典型的な IIP 型超新星の爆発直後の光球の状態を初めて知ることができ、かつ同じ天体においてテールまで多バンドで観測できたという点においては、希少なデータセットであり、IIP 型超新星の外層の理解に役立つ結果であろう。我々は爆発から約 1 年後の観測データも得ており、その解析により、より爆発中心に近い内層大気の情報も得られる可能性があり、

内部構造まで含めて典型的であるかどうか等、今後、この超新星の素性をさらに明らかにしていきたい。

Reference

- Anderson et al., 2014, MNRAS, 441, 671
- Bayless et al., 2013, ApJ, 764, 13
- Filippenko, A. V. 1997, ARA&A, 35, 309
- Kumar et al., 2014, MNRAS, 442, 2
- Li, W., et al. 2011, MNRAS, 412, 1441
- Leonard et al. 2002, AJ, 124, 2490
- Nakano et al., 2014, CBET, 3963, 1
- Popov, 1993, ApJ, 414, 712
- Pritchard et al., 2014, ApJ, 787, 157
- Sahu et al., 2006, MNRAS, 372, 1315
- Subhash et al., 2014, MNRAS, 433, 1871