

極めて明るいIa型超新星 2009dcの可視近赤外観

測

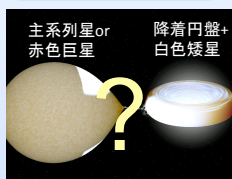
山中雅之^{1,2}, 川端弘治², 衣笠健三³, 田中雅臣⁴, 今田明⁵, 前田啓一⁶, 野本憲一⁶, 新井彰¹, 千代延真吾¹, 深沢泰司¹, 橋本修³, 本田敏志³, 池尻祐輝¹, 伊藤亮介¹, 鎌田有紀子⁷, 河合誠之⁸, 小松智之¹, 黒田大介⁵, 宮本久嗣¹, 宮崎駿⁷, 永江修¹, 中屋秀彦⁷, 大杉節⁹, 面高俊宏⁹, 坂井伸行⁹, 笹田真人¹⁰, 鈴木麻里子¹⁰, 田口光², 高橋英則⁵, 田中裕行¹, 植村誠², 山下卓也², 柳澤顕史⁵, 吉田道利⁵

¹ 広島大学 理学研究科 ² 広島大学 宇宙科学センター ³ 県立ぐんま天文台 ⁴ 東京大学 理学系研究科 ⁵ 国立天文台 岡山天体物理観測所
⁶ 東京大学 数物宇宙連携機構 ⁷ 国立天文台 ⁸ 東京工業大学 ⁹ 鹿児島大学 理工学研究科 ¹⁰ トヨタテクニカルディベロップメント

ABSTRACT

Ia型超新星は、その観測的一様性から宇宙論的な距離指標に用いられる重要な天体である。その親星と考えられる白色矮星がチャンドラセカール限界質量近くに到達するときの爆発であるため、**観測的に一様**であると考えられている。しかしながら、近年いくつかの**Ia型超新星でチャンドラセカール限界質量を越えた**と考えられるものが確認されている。今回、報告する**SN 2009dc**もそのようなチャンドラセカール限界質量を越えたIa型超新星である。母銀河の赤化を考慮した場合($E(B-V)=0.15$, $R_V=2.1$)の極大絶対等級は $M_V=-20.19 \pm 0.19$ と**極めて明るい**。また、近赤外光度においてもSN 2009dcは、**最も明るいIa型超新星**であることが確かめられた。絶対的な明るさの指標となる $\Delta m_{15}(B)=0.65 \pm 0.03$ とこれまで観測されているIa型超新星の中でも**最も小さい値**を示しており、SN 2009dcが最も明るいIa型超新星の一つであることに一致する。スペクトルにおいても、**極大6日後までCII6580**による吸収が明確に見えており、白色矮星起源の炭素の層が非常に豊富であったことが示唆される。以上のことから我々は、SN 2009dcが限界を超えた**超チャンドラセカール質量のIa型超新星爆発**であると結論付けた。

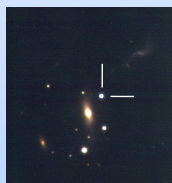
1. Introduction



典型的なIa型超新星の親星 (想像図)

SN 2009dcはS0銀河UGC 10064にて4月9日(UT)に発見された(CBET 1762)。その後炭素の見られるスペクトルが得られ、極めて明るいSN 2006gzに似ていることが確認された(CBET 1768)。これらの報告を受け、我々は4月17日から多くの国内の望遠鏡を用いた**大規模な可視近赤外観測**を開始した。さらに4月30日にはすばる望遠鏡でのToO観測を行った(Tanaka et al. 2009)。

多くのIa型超新星は観測的性質がよく似ていることから、**宇宙における距離指標**として用いられる。それにもかかわらず、その親星と爆発メカニズムは決着がつかない。これらの決着には早期観測による多様性の研究が求められる。



SN 2009dc in S0 type galaxy UGC 10064 Compositd by R. Itoh

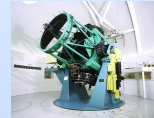
2. Observation



かなた望遠鏡/HOWPol B,V,Rc,Icバンド測光



OAO/MITSuME望遠鏡 g', Rc, Icバンド測光



ぐんま天文台/1.5m望遠鏡 低分散分光 R=330



すばる望遠鏡/FOCAS 低分散分光観測

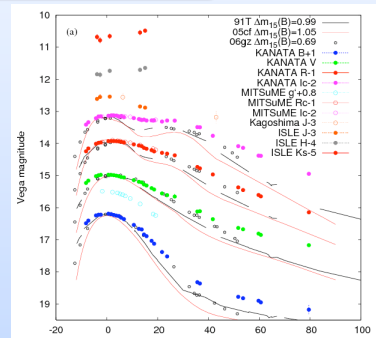


OAO/1.88望遠鏡/ISLE J,H,Ks バンド測光



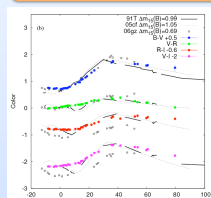
鹿児島1m望遠鏡 J バンド測光

3.1. Light Curve



観測開始以降、SN 2009dcは非常にゆるやかに増光し、ゆるやかに減光していった。絶対的な明るさの指標となるBバンドの極大から15日後の減光量は $\Delta m_{15}(B)=0.65 \pm 0.03$ と**非常に小さく**、SN 2006gzの $\Delta m_{15}(B)=0.69$ に比べわずかに小さい。近赤外においては、H,Ksバンドで**最初の極大より増光したことが確認された**。Ia型超新星においてこのような例は極めて珍しい。

3.2. Host Extinction



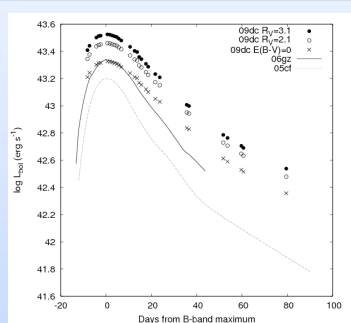
一般に、超新星の光度を決定するためには我々の銀河に加えて母銀河による赤化の補正を加えなければならない。SN 2009dcの場合、**色変化が特異**であるため色を使った典型的な補正はできない。今回はNaID線の等価幅から求める。

SN 2009dcはすばる望遠鏡およびFOCASによって極大から5日後にスペクトルが得られている。NaID線によって見積もられた $E(B-V)=0.15$ であった。さらに、我々はIa型超新星の赤化におけるダスト吸収係数が $R_V=3.1$ より低いことがよく知られていることから $R_V=3.1$ と2.1の場合を考慮した。SN 2009dcの赤化量および絶対等級は以下の通りである

$E(B-V)$ (mag)	R_V	Total A_V (mag)	$M_{V,max}$ (mag)	L_{max} (erg s ⁻¹)	⁵⁶ Ni mass (M _⊙)
Galactic host					
0.07	0	3.1	—	$(2.1 \pm 0.5) \times 10^{43}$ erg s ⁻¹	1.2 ± 0.3 M _⊙
0.07	0.14	2.1	0.29	$(2.9 \pm 0.8) \times 10^{43}$ erg s ⁻¹	1.6 ± 0.4 M _⊙
0.07	0.14	3.1	0.43	$(3.3 \pm 0.9) \times 10^{43}$ erg s ⁻¹	1.8 ± 0.5 M _⊙

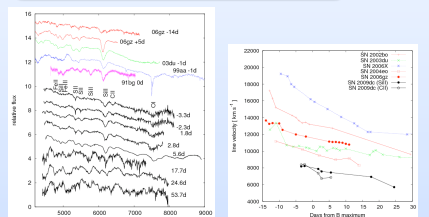
表の通り、SN 2009dcは母銀河の赤化を無視しても、**最も明るいIa型超新星**であることが示された。また、近赤外においても $M_B=-19.2$ 等、 $M_R=-19.0$ 等、 $M_{Ks}=-19.19$ 等と**規格外に明るい**ことがわかった。

3.3. Bolometric Light Curve



Ia型超新星の総放射光度曲線はニッケルの質量にダイレクトに依存する(Amett et al. 1982)。我々が得た極大総放射光度は母銀河の赤化を $E(B-V)=0.15$, $R_V=2.1$ と仮定した場合、典型的なIa型超新星のおよそ**2.2倍もの光度**(3.3×10^{43} erg/s)であることがわかった。この結果、SN 2009dcのエジェクタ中の**ニッケルの質量は1.6+/-0.4太陽質量**であることがわかった。これは、Ia型超新星としては極めて大きい。

3.4. Spectral Evolution



我々はぐんま天文台およびすばる望遠鏡を用いて計8夜の分光観測に成功した。得られたスペクトルはSiII, SiI, CaIIなどのIa型超新星のプロファイルが確認された。しかしながら、**CII6580**による吸収が確認された。通常、Ia型超新星には炭素の吸収はほとんど見られない。極めて明るいSN 2006gzに極大10日前まで炭素は見られたが、SN 2009dcにおいては極大6日後まで炭素が確認された。これは、**この超新星のエジェクタ全体が非常に豊富な質量を持っていた**ことを示唆し、外層まで熱核暴走による元素合成が届いていなかったことが考えられる。これはSN 2009dcが**超チャンドラセカール限界質量の親星の爆発**であったことを強く支持する結果である。

4. Discussion and Conclusion

我々は非常に特異なIa型超新星 SN 2009dcの早期可視近赤外観測に成功した。以下に、本研究において最も重要な観測結果を挙げる。

- (1)最も光度変化が“遅い”Ia型超新星の一つであった。(Δm15(B)=0.65+/-0.03)
 - (2)最も明るいIa型超新星の一つであった(M_V=-19.90+/-0.15等; E(B-V)=0であったと仮定した場合)
 - (3)スペクトルにおいて強い炭素の吸収が見られた。(4)非常に遅い膨張速度を持っていた。
- 極大の6日後にもまだ強い炭素の吸収が残っていたことは、非常に大規模な燃え残りの炭素の層を残していたことを意味する。ニッケルの質量もE(B-V)=0だとしても1.2太陽質量あり、E(B-V)=0.15, R_V=2.1だと1.6太陽質量であったことが確認された。以上のことから、我々はSN 2009dcは明らかに超チャンドラセカール限界質量の白色矮星の爆発であったと提案する。

謝辞と今後について

本研究は、迅速かつ柔軟な対応をいただいた多くの天文台、観測所の方たちの協力の元に成立した研究です。まずは、共同研究者の方たちとご協力下さった方たちに山中よりお礼と感謝の気持ちを述べたいと思います。ありがとうございました。

超新星を含めた突発天体の観測では今後も、可視だけでなく近赤外、分光観測と多様な観測が求められていくことは間違いありません。また興味深い天体が出たら、是非とも多くの協同観測の機会が得られるように願っております。