

連載

「星々の終末の姿【4】」の補遺

Ia 型超新星爆発のシナリオは？

内藤博之（兵庫県立西はりま天文台公園）

Ia 型超新星は超新星のなかでも、極大付近のスペクトルに水素線がなく、ケイ素の強い吸収線がある超新星として、観測的に分類されています。Ia 型超新星は太陽の 100 億倍ほど明るく輝き、その明るさもほぼ一緒ということから、宇宙膨張の歴史を調べる道具となっています。Ia 型超新星を標準光源として利用すれば、宇宙の遙か遠方、100 億年前の宇宙を調べることができるのです。現在の宇宙は加速膨張している、というびっくりする 1990 年代の大発見も Ia 型超新星の観測によるものでした[1][2]。しかし、標準光源としての Ia 型超新星の活躍は目を見張りますが、そもそもどのような星が爆発したのかは、論争的になっています。ひとつの有力な説は、（現在はこの考えが広く受け入れられています）連星系を作っている白色矮星が伴星から質量をもらって、臨界質量まで増やし、中心部で核燃焼を起こして大爆発をするという考えです[3][4]。もうひとつは、2つの白色矮星が合体して爆発するという考えです。

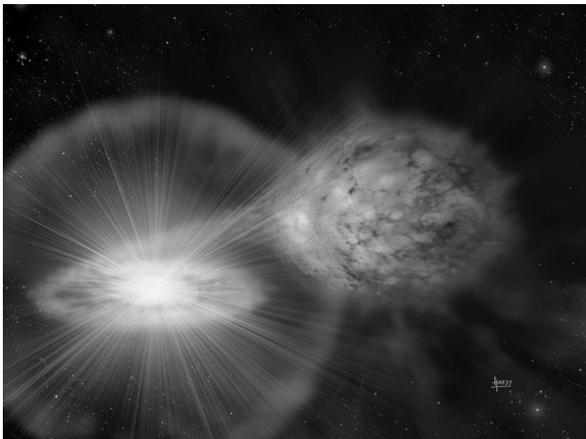


図 1 白色矮星と赤色巨星の連星系 (NASA/CXC/M. Weiss)

どちらも、白色矮星が爆発するという一方で一致していますが、その違いは伴星からガスの供給を受けているかどうかにあります。もし前者の考えが正しければ、図 1 のように白色矮星が伴星からガス(主に水素)を受け取っていて、まわりには星周物質が存在してい

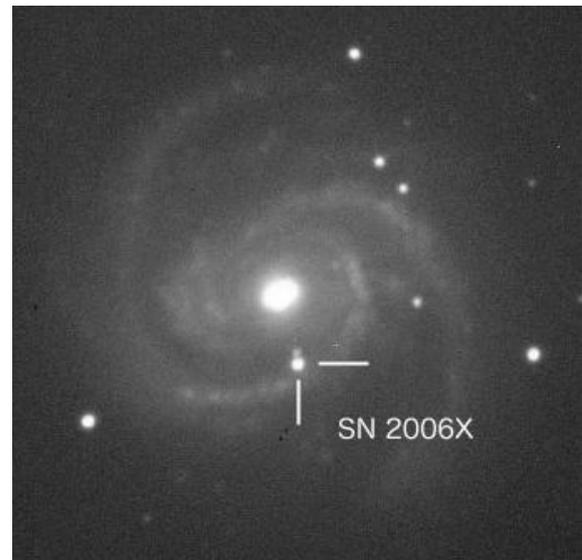
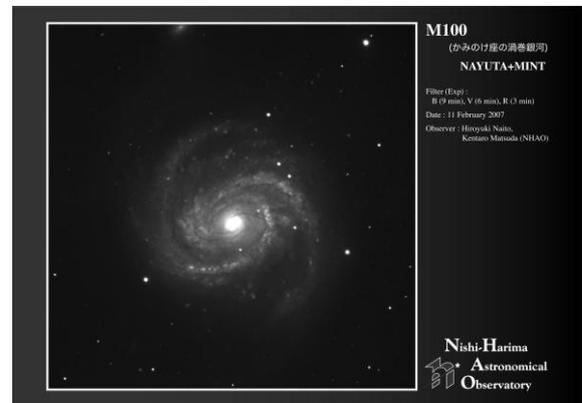


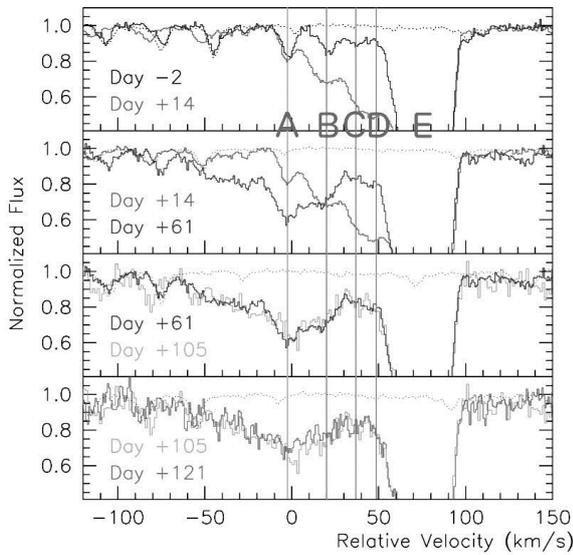
図 2 上：なゆた望遠鏡で撮影した M100
下：西はりま天文台 60cm 望遠鏡で撮影した超新星 2006X

るはずですが。後者の場合は、星周物質は期待できません。この星周物質を直接検出することが、Ia型超新星の爆発メカニズムの決め手となるのです。そしてついに、Ia型超新星としてはスタンダードな超新星 2006X に星周物質が存在する証拠が初めて見つかったのです[5][6] (星周物質が多く存在すれば、超新星爆発時に放出物質が星周物質と激しくぶつかり、水素の輝線や電波、X-rayなどで間接的に

に検出できると期待されます)。

超新星 2006X は 2006 年 2 月 4 日 (世界時) に千葉県鈴木章司さんによっておとめ座銀河団の渦巻銀河 M100 に発見されました (図 2) [7]。メシエ天体に出現したことから注目を集め、即時の分光観測から極大 1-2 週前の Ia 型超新星と分類されました [8]。ヨーロッパ南天天文台の 8.2 メートル望遠鏡 (VLT) では、極大 2 日前から極大後 4 ヶ月までの高分散スペクトルが撮られ、また 10 メートルのケック望遠鏡でも補足的に極大 105 日後に分光観測が行なわれました。詳しく調べられた超新星 2006X のスペクトル (図 3) に、その星周物質の証拠が隠されていたのです。

図 3 は D 線 (D2) でおなじみの中性ナトリウムによる吸収線付近を拡大したものです。横軸は太陽を静止系としたときの速度、縦軸は連続光成分で規格化した強度となっていて、上から極大 2 日前、14 日後、61 日後、105 日後、121 日後のスペクトルをずらして表しています。時間の経過とともにスペクトルが複雑に変化している様子がわかります。わかりやすくするため、5 つの主要的なラインに A、B、C、D、E の記号を付けました。E は吸収が深く、時間的に変化がないことから母銀河 (M100) の星間吸収によるものだと考えられます。一方、A~D は短い時間にいろいろと変化をしていることから、爆発の影響が及ぶ超新星近傍の物質による吸収だと考えられます。極大 2 日前と 14 日後を比べると、A に変化は見られませんが、B、C、D の吸収は深くなっています。61 日後はさらに複雑で、A は深くなっていますが、B はほとんど変化がなく、C と D は逆に浅くなっています。その後は 121 日後までは全てのラインで特に変化は見られません。何か吸収するものが動いて地球からの視線方向の間に入りし、ナトリウムの吸収線を時間変化させたのでは？と考えられそうですが、比較のために同じ期間



Evolution of SN 2006X

ESO Press Photo 31a/07 (12 July 2007)

図 3 ナトリウム D 線の変化 (星周物質による吸収の変化)。[5] を一部改変。

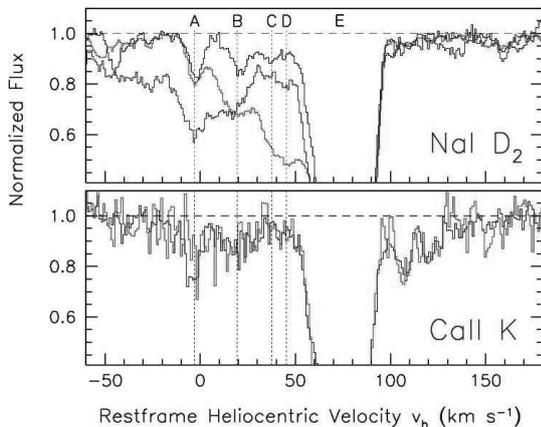
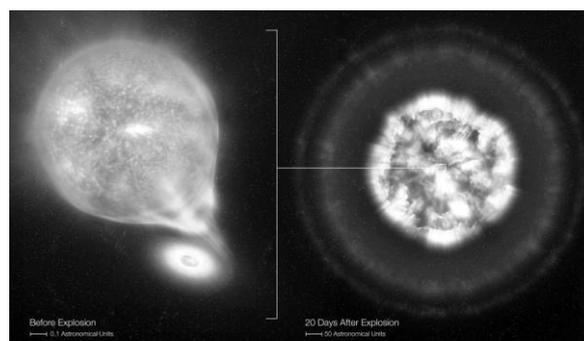


図 4 ナトリウム D 線とカルシウム K 線の比較 [5]

の一階電離したカルシウムによる K 線(図 4) を見てみます。こちらはほとんど変化が見られませんので、どうやら、その可能性は低そうです。

この解釈には、ナトリウムの第 1 イオン化エネルギー(5.1eV)とカルシウムの第 2 イオン化エネルギー(11.9eV)の違いがヒントとなっています。つまり、超新星爆発時に放たれる紫外線によって星周物質、特にナトリウムの電離状態が大きく影響を受け、複雑な吸収線の変化が作り出されたと考えられるのです。極大時の超新星の放射によっておよそ 10^5 AU の距離までのナトリウムが十分に電離されます。その後 10 日ほどでイオン化されていたナトリウムが再結合し、B~D の吸収を深いものとし(極大 14 日後)。これらの B~D は(水素などの電離によって)電子が十分存在し、再結合ができる範囲(10^3 AU)の星周物質によるものと推察されます。極大から 61 日後までには、(吸収が深くなった)A の領域で再結合が見られ、(変化のない)B の領域は再結合が完了していたこととなります。C と D の領域は浅くなっていて、再び電離されたことを意味します。これは、超新星の放出物が C と D の領域にある星周物質にぶつかって、ナトリウムを再び電離させてのではないかと考えられています。C と D の領域は超新星の膨張速度(~ 10000 km/s)で 2 ヶ月かかって到達できる距離にあると見積もることができそうです。

こうして、超新星 2006X の(爆発前の)親星のまわりにはいく層かのシェル(数十 km/s の速度をもつ)からなる星周物質が広がっていた様子がわかってきました(図 5)。赤色巨星の伴星があったと結論できるのです。このシナリオが普通の Ia 型超新星に当てはまるのか、それとも超新星 2006X が特殊なのかは、今後のたくさんの Ia 型超新星の詳細な観測で明らかにされると期待されます。



SN 2006X, before and after the Type Ia Supernova Explosion (Artist Impression)

ESO Press Photo 31b/07 (12 July 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



図 5 超新星 2006X の爆発の想像図(左:爆発前と右:爆発後) [6]

参考文献

- [1] Perlmutter, S. et al. 1999, ApJ, 517, 565
- [2] Riess, A. G. et al. 1998, AJ, 116, 1009
- [3] Nomoto, K. 1982, ApJ, 253, 798
- [4] Whelan, J. & Iben, I. 1973, ApJ, 186, 1007
- [5] Patat, F. et al. 2007, Science, 317, 924 (arXiv:0707.2793)
- [6] ESO 31/17 - Science Release (<http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2007/pr-31-07.html>)
- [7] Suzuki, S. & Migliardi, M. 2006, IAU Circ. 8667
- [8] Quimby, R., Brown, P. & Gerardy, C. 2006, CBET 421

内藤博之