

## 超新星

## 新型の超新星を巡る謎

## New explosions of old stars?

DAVID BRANCH 2010年5月20日号 Vol. 465 (303-304)

従来の分類におさまらないタイプの超新星爆発が見つかった。

しかし、爆発を起こす星の正体と、爆発のメカニズムはまだほとんどわかっていない。

星が爆発を起こす仕組みはいくつあるのだろうか。最も基本的な分類でいえば、多分2種類だ。1つは大質量星の中心核が重力崩壊し、物質を放出するケース。もう1つは白色矮星の核融合反応による爆発だ。この2つのメカニズムははっきりと異なっているので、超新星を観測すれば、どちらの仕組みで爆発したかがわかるはずだ、と思うかもしれない。大半の超新星については、それはほぼ正しい。しかし、*Nature* 2010年5月20日号に発表された2本の論文では、同じ特徴をもつ新種の超新星に対して、全く異なるメカニズムが提唱されている。

広島大学宇宙科学センター准教授の川端弘治らは、同号326ページに掲載された論文で、「2005年に見つかった異常な超新星は、中心核崩壊で起こった」と主張している<sup>1</sup>。一方、ワイツマン科学研究所（イスラエル・レホヴォト）素粒子物理・宇宙物理学科のPeretsらは、

同号322ページに掲載された論文で、「最近認知された超新星グループは、白色矮星が部分的に爆発して起こった」という仮説を支持している<sup>2</sup>。この新しい超新星グループには、川端らが調べた超新星も含まれる。

太陽質量の約8倍以上の質量をもって生まれた大質量星は、重い元素（多くの場合は鉄）のできた中心核を作る。この中心核はやがて壊滅的な重力崩壊を起こし、通常は中性子星かブラックホールになる。その一方で、星の外層は爆発的に放出される。中心核崩壊のために起こったという確実な証拠がある唯一の超新星がII型超新星SN 1987Aであり、崩壊に付随して発生すると考えられるニュートリノのバーストが検出された<sup>3</sup>。

II型（スペクトルに強い水素の吸収線がみられる）、Ib型（ヘリウムの吸収線がみられる）、Ic型（水素の吸収線もヘリウムの吸収線もみられない）など、超

新星の主なタイプは、中心核崩壊の結果起こるという見方で大方の宇宙物理学者の意見は一致している<sup>4</sup>。大質量星は、その核燃料を急速に消費するので寿命は短く（3000万年よりも短い）、生まれた場所に近いところで死に、新しい星形成の徴候がみられる領域で爆発することが多い。

一方、Ia型超新星（一価電離したケイ素と硫黄の吸収線が特徴）は、新しい星形成の徴候がみられない銀河で現れるなどの理由から、白色矮星タイプの爆発メカニズムによると考えられている。太陽質量の約0.5～8倍の初期質量をもつ星は、爆発によらずに外層を徐々に失い、炭素と酸素からなる白色矮星になる。この白色矮星は、電子の縮退圧（パウリの排他原理で許されるだけ詰め込まれた電子による圧力）によって重力を支えている。

孤立した白色矮星は爆発しないが、連星系で生まれた白色矮星の場合、膨張する相手の恒星からガスが流れ込んで白色矮星に降り積もることがある。ガスが降り積もった白色矮星は縮み、密度が上がり、温度も上昇する。Ia型超新星の標準的なモデルでは、質量が太陽質量の1.4倍（縮退した電子が支えることのできる最大質量）に近づくと、炭素と酸素の核融合が起こり、核融合不安定性が生じて、白色矮星全体を爆発させるに至る<sup>5</sup>。

川端らは、SN 2005cz という名の超



すばる望遠鏡による超新星 SN 2005cz の画像。

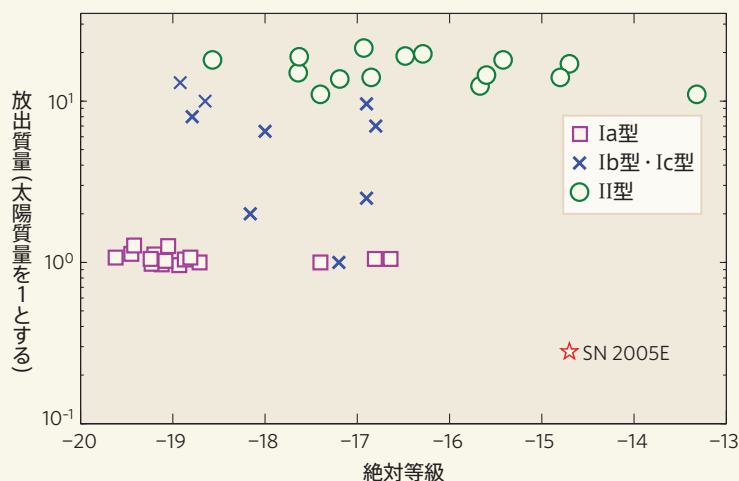


図 1. 超新星の放出質量と絶対等級。Perets らが調べた超新星 SN 2005E はこの図では右下にあり、従来のタイプの超新星 (Ia 型、Ib 型、Ic 型、II 型) の位置とは異なっている。ほかの SN 2005E 類似超新星の値はさらに不確かだが、それらも右下の領域にある。絶対等級は天体の光度の対数をとったもので、この図では明るい天体は左に、暗い天体は右に位置する (図は Perets らの補足情報<sup>2</sup> の図 S3 をもとに作成した)。

新星を研究した。その最大輝度のすぐ後のスペクトルが Ib 型超新星のスペクトルとよく似ていて、中心核が崩壊したことを示唆していた。しかし、通常の Ib 型超新星と比べると、この超新星は暗く、また、輝度が減少する速さはより速く、発見から 6 か月後に観測したスペクトルでは、カルシウムの輝線が極端に強かった。

川端らは理論モデルによる検討に基づき、太陽質量の 10 ~ 12 倍の初期質量をもつ星の中心核崩壊を考えれば、SN 2005cz の放出質量が少ないこと、暗いこと、ヘリウムとカルシウムに富んだ組成を説明できると提案している。この星は、伴星と相互作用することによってその水素外層を失い、残りは太陽質量の 1.5 倍の鉄の中心核を作り、それが太陽質量の 1 倍にすぎない質量放出を伴って中性子星へ崩壊した、と川端准教授らは推測する。

残る問題は SN 2005cz が楕円銀河で起こったことだ。楕円銀河は星形成のほとんどを数十億年前に終えているので、一般的には、中心核が崩壊するタイプの超新星は起こらない。しかし、この楕円銀河は例外的で、「比較的最近、かなりの量の星形成が起こっている」という研究結果を川端らは引用している。

Perets らが検討したのは別の超新星 SN 2005E で、これも暗くて急速に減光した<sup>2</sup>。SN 2005E の付近では、新しい星形成の証拠は皆無であり、中心核崩壊によるとは考えられない。Perets らは、SN 2005cz を含め、最近報告された「SN 2005E 類似超新星」は、Ia 型超新星を含めたどんなタイプの超新星よりも、「古い星が多い銀河で起こる傾向」が強く、少なくともグループ全体としては、「中心核崩壊が原因とする仮説が正しい可能性は低い」ことを示した。

しかし、SN 2005E 類似超新星の特徴は Ia 型超新星とも異なっている。Perets らは、SN 2005E は太陽質量の約 0.3 倍分の質量 (主にヘリウムとカルシウムからなる) だけを放出したと推測し (図 1)、ガスが降着する白色矮星が、不安定な核燃焼と表面近くの薄いヘリウム層を爆発的に放出し、部分的な崩壊を起こしたものが SN 2005E だとする解釈を支持している。ガスが降着する白色矮星の部分的な崩壊を説明する理論モデルは、既に存在する。しかし、SN 2005E 類似超新星のすべての特徴を説明するものはまだない。

川端らと Perets らが提案した 2 つの解釈が非常に異なっている事実は、こうした超新星爆発の原因に関する私たち

の知識が、現時点では限られていることを物語る。彼らが主張しているように、SN 2005E 類似超新星の放出物の組成が異常であることは、宇宙物理学のいくつかの領域で重要な意味をもつだろう<sup>1,2</sup>。

こうした暗い超新星のサンプルは今のところ少ないが、これまでの超新星探索は、もっと明るい超新星に著しく偏っていた。明るい超新星に偏らない探索計画が最近いくつか開始し<sup>6-9</sup>、これから始まるものもある。SN 2005E 類似超新星をさらに詳しく観測した研究や、別の種類の標準的でない超新星の発見例が、今後増えていくことは間違いない。そうなれば、そうした超新星爆発のこれまで以上に詳細な数値シミュレーションの進展と合わせ、星が爆発する多様なメカニズムの解明が、より一層進むはずだ。

(翻訳：新庄直樹)

David Branch、オクラホマ大学ホームー・L・ドッジ記念物理・天文学科 (米国)。

1. Kawabata, K. S. et al. *Nature* **465**, 326–328 (2010).
2. Perets, H. B. et al. *Nature* **465**, 322–325 (2010).
3. Hasan, Y. & Beacom, J. F. *Phys. Rev. D* **76**, 083007 (2007).
4. Smartt, S. J. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **47**, 63–106 (2009).
5. Kasen, D., Röpke, F. K. & Woosley, S. E. *Nature* **460**, 869–872 (2009).
6. Law, N. M. et al. *Publ. Astron. Soc. Pacif.* **121**, 1395–1408 (2009).
7. Drake, A. J. et al. *Astrophys. J.* **696**, 870–884 (2009).
8. Young, D. R. et al. *Astron. Astrophys.* **489**, 359–375 (2008).
9. Lien, A. & Fields, B. D. *J. Cosmol. Astroparticle Phys.* **1**, 047 (2009).