

アーカイブ画像から探る、超新星の過去の姿

佐藤 匡史、山岡 均(九州大学)

天文・天体物理若手夏の学校 2011

概要

超新星爆発の発生メカニズムを理解する上で、爆発前の星の姿(親星)を知ることは大きな手がかりとなる。しかし、超新星は既に爆発してしまっているために改めて親星を観測することは不可能であり、かといって超新星の出現をあらかじめ予測し継続的に観測することは極めて困難である。そのため、超新星が現れた後に、過去に同じ領域を撮像したアーカイブ画像を世界各地の観測機関から入手し、そこに親星が写っていないかを幾何学的に解析することは、爆発前の情報を直接入手するための有力な手段となり得る。親星が特定されれば、色や等級から質量等が推定され、超新星爆発への理解を深めることができる。近年は観測データの高品質化に加え、莫大な量のアーカイブデータを利用するための仕組みが整いつつあり、親星検出への更なる進展が期待される。今回は近年爆発した近傍銀河の超新星について、これまで親星探索を行ってきたうちの何例かを紹介する。

1 はじめに

超新星とは、恒星がその進化の最終段階に引き起こす大規模な爆発現象である。そのメカニズムは完全には解明されておらず、特に爆発前の親星の姿については、超新星発見時にはもう爆発してしまっているため新たに観測することができず、不明な点が多い。かといって超新星爆発を起こしそうな星を予測し、爆発するまで継続的に観測することは極めて困難である。そこで、親星の姿を捉えるための手段として、超新星が出現したのと同じ領域を爆発前に撮像した画像を世界各地の観測機関から入手し、その画像中に親星が検出されていないかを解析する、という方法が挙げられる。この手法には解像度の高い撮像画像、及びそれらのデータを利用するための仕組みが不可欠であるが、近年は望遠鏡の大型化、高性能化、観測データのデジタル化により質の高い撮像画像が得られるようになってきている。さらに、世界各地の天文台が所有するアーカイブデータへのアクセスは年々容易になりつつあり、過去の撮像画像を用いた親星探索のための環境は着々と整ってきている。アーカイブ画像から親星が特定されれば、解析により見かけの明るさや色が分かり、そこに親星までの距離などの情報を組み合わせることで親星の質量等を推定することができる。また、複数のアーカイブ画像が利用できる場合、親星の時間変化についての考察が可能となる。これらにより超新星についての理解を深めることができる。今回は、2011年に入り親星探索を行った超新星の中から、SN 2011am、SN 2011dh の2例を紹介する。

2 各超新星について

2.1 解析を行う超新星の絞り込み

アーカイブデータへの解析を行うに当たり、年間数百個発見される超新星の中からどれをターゲットにするかを絞り込む必要がある。本研究では、親星が画像中に検出されている可能性が大きいと予想される、Our Galaxy から近い位置に出現した超新星、見かけの等級が明るい超新星を選択している。また、発見された超新星の型も、親星探索を行う上で重要となる。具体的には、Ia型超新星よりも、II、Ib、Ic型の方が親星がアーカイブ画像中に写っている可能性が大きいと考えられる。この違いは、超新星の発生メカニズムによるものである。Ia型は超新星は、近接連星系をなす白色矮星が伴星からのガスの降着により中心密度が大きくなり核反応が暴走して発生する核爆発型である。一方II、Ib、Ic型超新

星は、恒星が進化の最後にその中心で重力崩壊を起こし、星全体が爆発する重力崩壊型である。前者は比較的質量の小さい星で起こるのに対し、後者は大質量星起源であるため、後者の方が過去画像から親星を検出できる可能性が大きいと予想される。上記に加え、超新星が現れた領域を含む、高い空間分解能を持つ爆発前画像の有無も大きな問題となる。これは、各天文台などで保存、公開されているアーカイブ画像は、一般的に他の研究のために撮像されたものであるためである。

今回はこれらの絞り込みを行った超新星の中から、SN 2011am、SN 2011dh についての紹介を行う。

2.2 SN 2011am

SN 2011am は、2011 年 2 月 27.704 日 (UT、以下同様) に Stuart Parker により発見された、極大等級 15.9mag の Ib 型超新星である (Bock et al. 2011)。出現位置の赤道座標は赤経:12 時 16 分 26.00 秒、赤緯: - 43 度 19 分 20.0 秒 (2000 年分点、以下同様)、母銀河は棒渦巻銀河 NGC 4219 であり、母銀河までの距離は約 21Mpc である (Tully et al. 2009)。

2.3 SN 2011dh

SN 2011dh は、2011 年 5 月 31 日から複数の天文家により独立に発見された (Reiland et al. 2011)。極大等級は 12mag で、分類は II 型である (Silverman et al. 2011)。出現位置は赤経:13 時 30 分 05.08 秒、赤緯:+47 度 10 分 11.2 秒、母銀河は子持ち銀河 M51、母銀河までの距離は約 8Mpc である (Baron et al. 2007)。他の超新星と比較して近傍の位置で発見された SN 2011dh には、様々な観測機関から大きな注目が寄せられている。

3 アーカイブ画像

SN 2011am の親星検出には、Hubble Space Telescope (HST) の Wide Field Planetary Camera 2 (WFPC2) により 1996 年 3 月 16 日に撮像された F606 バンドのアーカイブ画像を用いた。画像は Space Telescope Science Institute (STScI) サイト内 Multimission Archive at STScI (MAST) から入手した¹。

SN 2011dh については、すばる望遠鏡の Suprime-Cam により 2000-2003 年に撮像された複数のバンドのアーカイブ画像を用いた。画像は全て Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive (SMOKA) により公開されているものから入手した²。

4 検出方法

アーカイブ画像から親星を幾何学的に検出するための方法として、(i) 画像中の星のピクセル座標とそれに対応する天体位置カタログからの赤道座標を組み合わせる World Coordinate System (WCS) を求め、画像中での超新星出現位置の赤道座標を求める「絶対位置測定法」、(ii) アーカイブ画像に加え超新星が現れた後の撮像画像を準備し、2 枚の画像に共通して写る星を用いて重ね合わせ、過去画像上での超新星の当該位置を求める「相対位置測定法」、が挙げられる。今回紹介する 2 例の超新星については、両者ともに絶対位置測定法を用いて検出を行った。またこの解析には、画像解析ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)³ を用いた。

¹Based on observations made with the NASA/ESA Hubble Space Telescope, and obtained from the Hubble Legacy Archive, which is a collaboration between the Space Telescope Science Institute (STScI/NASA), the Space Telescope European Coordinating Facility (ST-ECF/ESA) and the Canadian Astronomy Data Centre (CAD/C/NRC/CSA).

²Based [in part] on data collected at Subaru Telescope and obtained from the SMOKA, which is operated by the Astronomy Data Center, National Astronomical Observatory of Japan.

³IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatories, which are operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., under cooperative agreement with the National Science Foundation.

絶対位置測定で WCS を撮像画像に与えるための星表には、The United States Naval Observatory (USNO) が作成した USNO-B1.0 を用いた⁴。アーカイブ画像中に写る点源のピクセル座標 (x, y) を調べ、その対応天体をカタログから探して赤道座標 (α, δ) 求め、 (x, y) 、 (α, δ) の対応表を作成した。この対応表をもとに IRAF の ccmmap タスクを用いてピクセル座標から赤道座標への変換パラメータを作成し、ccsetwcs タスクによって画像に WCS を与えた。

5 結果

図 1、2 にそれぞれ SN 2011am、SN 2011dh の解析結果を示す。SN 2011am では検出位置が WFPC2 の CCD チップの対応範囲から僅かに外れていたため、親星の検出には至らなかった。SN 2011dh では該当位置に周囲と比較して微かに明るい領域が見られた。

6 考察

図 2 で示した SN 2011dh の検出位置について、Maund et al. (2011)、Van Dyk et al. (2011) が 2005 年に HST により撮像された M51 のアーカイブ画像から親星を検出した、と報告した。報告された検出位置は本解析結果と一致しており、すばる望遠鏡の過去画像でも親星を検出できた可能性が大きい。また、すばる望遠鏡のアーカイブデータは 2000-2003 年に撮像されたものであるため、HST の過去画像中で検出が報告された親星が変光していた可能性について解析を行うことができる。

7 まとめ

2011 年に出現した超新星のうち近傍の銀河に現れたものなどを中心に、出現前のアーカイブ画像を確認した。その中で高解像度な過去画像が得られた SN 2011am、SN 2011dh について、絶対位置測定を用いて親星の探索を行った。SN 2011am については、HST の過去画像中の該当位置が WFPC2 の CCD チップがカバーする領域から僅かに外れていたため、爆発前の姿を捉えるに至らなかった。一方 SN 2011dh ではすばる望遠鏡のアーカイブ画像での検出位置に僅かに明るい領域が見られ、Maund et al. (2011)、Van Dyk et al. (2011) の報告と照らし合わせると親星を特定できた可能性が大きい。

今回のような解析に用いられるアーカイブ画像は元々は他の研究用途で撮像されたものであるが、その役目を果たした後に再び使用されることは少ない。天体の過去の姿を調べるに当たりこれらのデータは大変貴重なものであり、特に超新星や古典新星などの突発天体の変化前の情報を直接得るための有効な手段である。世界中の高性能な観測装置により日夜蓄積されるデータをアーカイブに埋もれさせることなく有効活用させることで、それらの天体現象についてさらに理解が深まることが期待される。

謝辞

「天文・天体物理若手夏の学校 2011」(研究会番号:YITP-W-11-08)での発表にあたり援助をして頂いた京都大学基礎物理学研究所、同じく援助・寄付を頂いた多くの機関、企業、個人の皆様に深く感謝申し上げます。

⁴This research has made use of the USNOFS Image and Catalogue Archive operated by the United States Naval Observatory, Flagstaff Station (<http://www.nofs.navy.mil/data/fchpix/>).

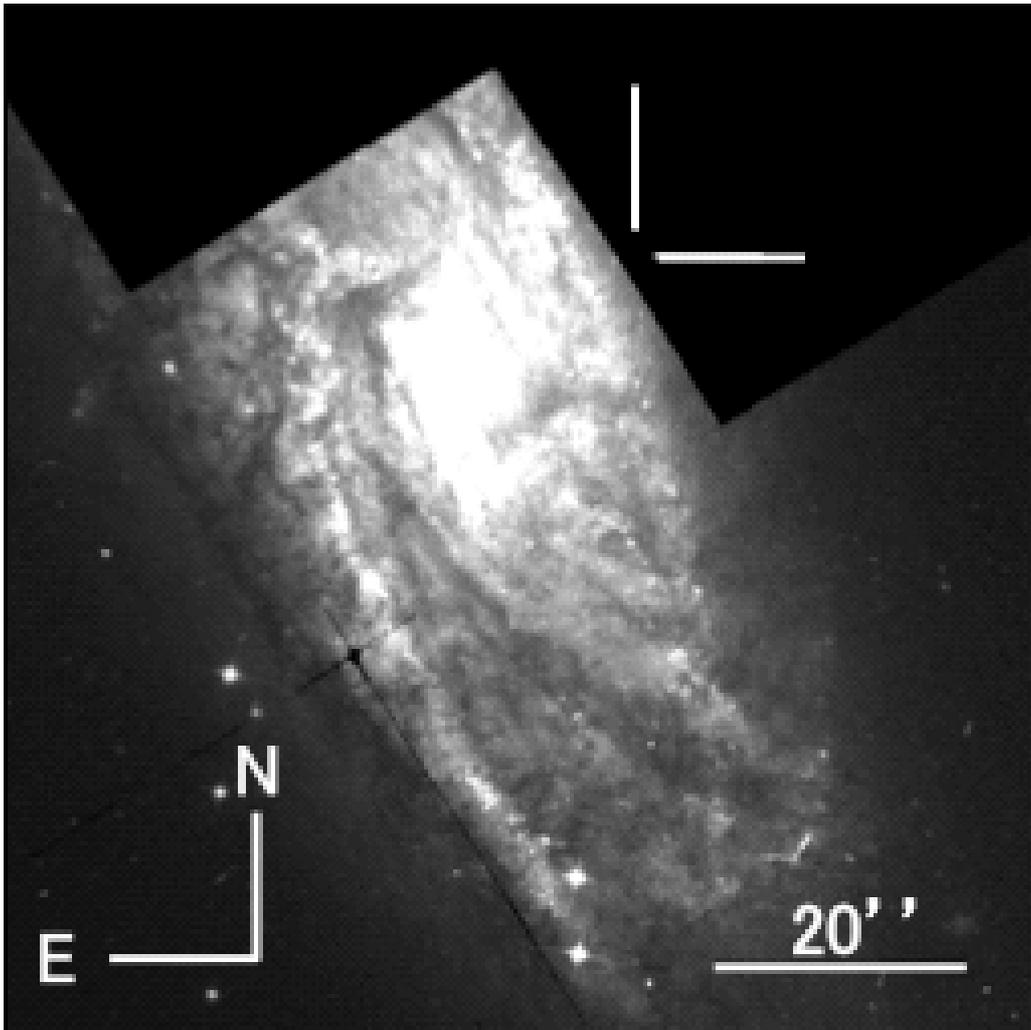


図 1: SN 2011am の HST アーカイブ画像 (F606W)。絶対位置測定により得られた親星の検出位置は 2 本線で示す。

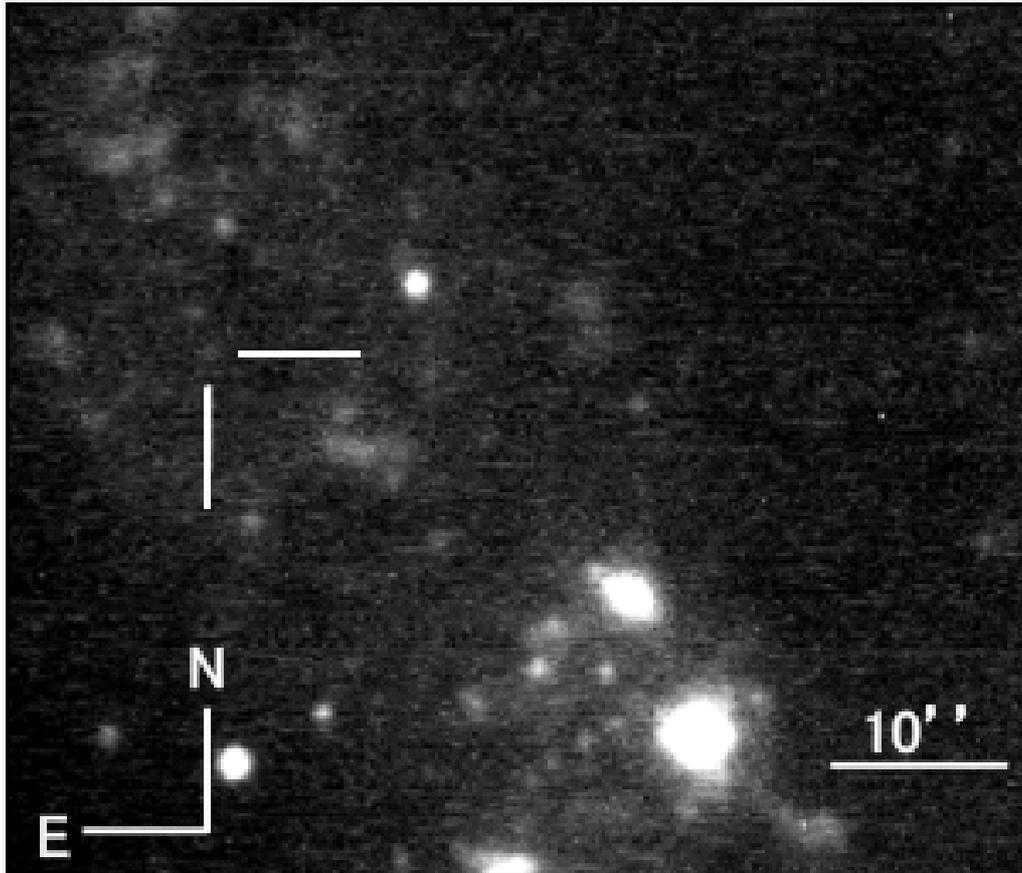


図 2: SN 2011dh のすばる望遠鏡アーカイブ画像 (I-A-L651)。絶対位置測定により得られた親星の検出位置は 2 本線で示す。

参考文献

- [1] Baron, E., Branch, D., Hauschildt, P. H. 2007, ApJ, **662**, 1148
- [2] Bock, G., Brimacombe, J., Morrell, N., Stritzinger, M., Ho, L. 2011, CBET **2667**
- [3] Maund, J. R., Fraser, M., Ergon, M., Pastorello, A., Smartt, S. J., Sollerman, J., Benetti, S., Bottocella, M. -T., Bufano, F., Danziger, I. J., Kotak, R., Magill, L., Stephens, A. W., Valenti, S. 2011, ApJ, **1106**, 2565
- [4] Reiland, T., Griga, T., Riou, A., Bailey, S. L., et al. 2011, CBET **2736**
- [5] Silverman, J. M., Filippenko, A. V., Cenko, S. B. 2011, ATel **3398**
- [6] Tully, R. B., Rizzi, L., Shaya, E. J., Courtois, H. M., Makarov, D. I., Jacobs, B. A. 2009, AJ, **138**, 323
- [7] Van Dyk, S. D., Li, W., Cenko, S. B., Kasliwal, M. M., Horesh, A., Ofek, E. O., Kraus, A. L., Silverman, J. M., Arcavi, I., Filippenko, A. V., Gal-Yam, A., Quimby, R. M., Kulkarni, S. R., Yaron, O., Polishook, D. 2011, ApJ, **1106**, 2897