

超新星出現前後の 撮像画像の重ね合わせによる親星探索

佐藤 匡史 (九州大学)

天文・天体物理若手夏の学校 2010

概要

兵庫県立西はりま天文台の2メートルなゆた望遠鏡を用いて、棒渦巻銀河 NGC 1832 に出現した超新星 2009kr の撮像観測を行った。その撮像画像と、超新星出現より前にハubble宇宙望遠鏡により撮像されたアーカイブ画像を比較することで、超新星 2009kr の爆発前の姿(親星)をアーカイブ画像上から探索した。その結果、親星を特定することはできなかったが、やや広がった光源らしきものが見られた。点光源と比べて広がりを持つこの光源は星団あるいは HII 領域である可能性が高い。

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いないため、爆発前の親星の検出は超新星になる前の星の情報を直接得るための重要な手段である。親星の検出法として、超新星の爆発前後の画像を比較することで、爆発前の画像から親星を発見する相対位置測定法が挙げられる。近年は望遠鏡の大型化、高性能化により高解像度な撮像画像が得られるようになり、それらの観測データのデジタル化により解析も行いやすくなっている。さらに世界各地の天文台が保存、公開し、年々膨大な量が蓄えられているアーカイブデータへのアクセスを容易にするバーチャル天文台 (VO) の開発が進められており、親星探索のための環境が整いつつある¹。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、距離などと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、親星が検出限界以下であっても、質量等の上限が得られる。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。

今回観測を行った超新星 2009kr は、2009 年 11 月 6.73 日 (以下 UT) に板垣公一氏により発見された (CBET 2006)。同氏による発見時の等級は

¹例えば日本では Japanese Virtual Observatory (JVO) が稼働している。

16.0 等で、その位置は、赤経: 5 時 12 分 3.30 秒、赤緯: -15 度 41 分 52.2 秒 (2000 年分点)、母銀河はうさぎ座にある棒渦巻銀河 NGC 1832 である。また同年 11 月 12 日に、分光観測の結果この超新星のタイプが II_n 型であることが CBET 2011 で報告された。

2 撮像観測

兵庫県立西はりま天文台の 2 メートルなゆた望遠鏡を用いて、2009 年 12 月 6 日に撮像観測を行った。可視光撮像装置 (MINT) を用いて Ic フィルター露光時間 60 秒でオブジェクトフレーム 1 枚を撮像した。撮像画像のピクセルスケールは 0.28arcsec/pix であった。

3 アーカイブ画像

なゆた望遠鏡により得られた撮像画像との比較には、NASA のハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の WFPC2 (Wide Field Planetary Camera 2) で 2008 年 1 月 11 日に撮像されたアーカイブ画像 2 枚を用いた。各画像は STScI (Space Telescope Science Institute) サイト内の MAST (Multimission Archive at STScI)² から入手した。波長帯はそれぞれ F555W (中心波長 5439 nm)、F814W (中心波長 8012 nm) で、露光時間は 230 秒 (F555W)、350 秒 (F814W)、ピクセルスケールは共に 0.1arcsec/pix であった。

4 検出の方法

4.1 相対位置測定

画像解析ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)³ を用いてなゆた望遠鏡での撮像画像に bias、flat の一次処理を施し、アーカイブ画像と比較した。両画像を重ね合わせるための方法として、画像間に共通して写る星を手がかりに片方の画像を回転、拡大縮小し、新天体の位置におけるアーカイブ画像上の像を調べる相対位置測定という手法を採用した。星の位置の検出法としては他にも、天体位置カタログから画像中の星

²Based on observations made with the NASA/ESA Hubble Space Telescope, obtained from the data archive at the Space Telescope Science Institute. STScI is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. under NASA contract NAS 5-26555.

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.

の赤道座標座標を調べ、画像内の星のピクセル座標 (x,y) と組み合わせて画像の WCS(World Coordinate System) を求め、撮像画像での超新星の赤道座標を測定した上でアーカイブ画像での当該位置を求める絶対位置測定法がある。相対位置測定は絶対位置測定と比べ、画像同士を比較するのにカタログを媒介する必要が無いので、カタログ自体が持つ天体位置誤差を排除することができ、より正確な検出が期待できる。

作業には IRAF の測光・PSF(Point Spread Function) 調整用パッケージ DAOPHOT を用いた。具体的には画像上の光子分布の測定および PSF のフィッティングによる (x,y) の特定を行う imexam タスク、2 枚の画像に共通して写る天体の (x,y) から回転などの変換式を求める geomap タスク、その変換式を画像に対して実行する geotran タスクを実行した。

相対位置測定を行う上で考慮すべき誤差として、 (x,y) の測定における誤差、変換式の残差などが考えられる。これを推定するには、座標変換の関数を geomap タスクで求める際に同時に計算される、撮像画像の (x,y) それぞれの二乗平均平方根 (RMS) を用いる。これは (x,y) そのものの誤差に相当し、今回は RMS に撮像画像のピクセルスケール ($0.28\text{arcsec}/\text{pix}$) をかけて、重ね合わせの誤差とした。

4.2 親星の検出

絶対位置測定、相対位置測定によってアーカイブ画像上での超新星の位置を求めた後、IRAF の imexam タスクを用いて親星探索を行った。親星の位置での光子カウント数の分布を imexam タスクで求め、そこに点源からのものと有意に認められるようなガウス分布があるかどうかを、ピクセルの広がり、FWHMなどを他の点源のものと比較して考察した。

5 親星から得られる情報

5.1 明るさ

アーカイブ画像から超新星の親星が検出された場合、画像での光子カウント数から見かけの明るさを求めることができる。この解析には IRAF の APPHOT パッケージから phot タスクを用いた。このタスクは対象とする光源だけでなく、その周囲 (スカイ領域) のカウント数も読み取ることができる。それを光源から差し引いた値を計算することで、光源からの純粋な光子カウント数に近い数値が求められるので、より正確な等級を計算することができる。あるカメラシステムで 1 秒間の露出で 1 カウントの信号を生じさせるような天体の等級のを等級原点 (m_{zp}) とすると、露光時間

$T(s)$ の画像において、光子カウントが X である観測天体の見かけの等級 m と m_{zp} は

$$m_{zp} = m + 2.5 \log \frac{X}{T} \quad (1)$$

の関係式で与えられる。ここで m_{zp} は、画像中に写る星の中から、既に等級が分かっておりカタログに載っている恒星 (標準星) を用いて求められる。アーカイブ画像に写る標準星の光子カウント数と、同じバンドでの天体カタログ中での標準星の見かけの等級をそれぞれ上式の m 、 X に代入することでその標準星についての m_{zp} が計算できる。今回は比較のための天体カタログとして、アメリカ海軍天文台 (USNO) が作成した USNO-B1.0⁴ を用いた。さらに観測天体までの距離が $d(\text{pc})$ のときの絶対等級 M は、減光量 A_λ を考慮して

$$m - M = -5 \log d + 5 + A_\lambda \quad (2)$$

となる。 A_λ を求める際、V および B バンドでの減光量をそれぞれ $A(V)$ 、 $A(B)$ としたとき

$$E(B - V) = A(V) - A(B) \quad (3)$$

$$R_V = \frac{A(V)}{A(V) - A(B)} = \frac{A(V)}{E(B - V)} \quad (4)$$

で定義される $E(B - V)$ を用いる。 R_V は 2.6 ~ 5.5 までの幅をとるが、平均的には $R_V = 3.1$ が採用されており (Cardelli et al. 1989)、そのときの A_λ と $E(B - V)$ の比が Schlegel et al. (1998) により推定されている。超新星の母銀河方向の $E(B - V)$ は NED (NASA-IPAC Extragalactic Database)⁵ から入手することができる。

5.2 色

複数のバンドで撮像されたアーカイブ画像から親星が検出されると、その天体の色について情報が得られる。今回は F555W、F814W の二種類のバンドのアーカイブ画像が存在し、色の指標となる色指数は

$$E(F555W - F814W) = m_{F555W} - m_{F814W} \quad (5)$$

で与えられる。短い波長での等級から長い波長でのものを引いているため、色指数が小さい天体は青く、大きくなるにつれ赤くなるのが分かる。

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/>).

⁵The NASA/IPAC Extragalactic Database (NED) is operated by the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under contract with the National Aeronautics and Space Administration.

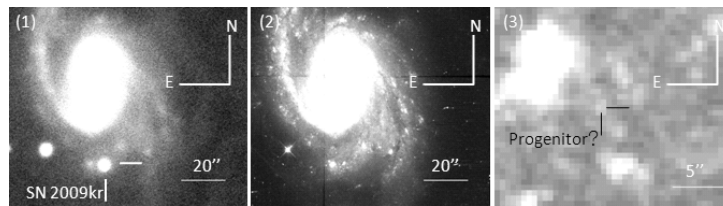


図 1: (1) なゆた望遠鏡撮像画像 (Ic フィルター) 中の SN 2009kr (2)HST アーカイブ画像 (F814W) (3) アーカイブ画像での SN 2009kr の位置の拡大図。

6 結果

図 1 に相対位置測定での解析結果を示す。(1) から順に撮像画像、アーカイブ画像 (F814W)、アーカイブ画像での検出位置の拡大図である。検出精度は N 方向に $0''.04$ 、E 方向に $0''.003$ である。解析の結果、爆発前の超新星の姿を確定的に検出することはできなかった。詳細は以下の考察で論じる。

7 考察

7.1 推定位置付近のピクセル値の高まりについて

図 1(c) の相対位置測定による検出位置からは、親星付近のピクセルが周囲よりやや大きいピクセル値を示していることを画像から読み取ることができる。これが天体であるかどうかを考察する。図 2 は図 1(c) の範囲を光子カウント数の分布で表したものである (imexam タスクを用いた)。また図 3(1)、(2) はこれを x 方向、y 方向から見た断面図である。それぞれのガウス分布の、FWHM は順番に (a) で 2.83、6.66pixel、(b) で 1.08、2.54pixel である。よって、FWHM の平均をとるとそれぞれ 2.14、5.04pixel となり、これは検出位置での光子カウント分布が約 10pixel の範囲にまたがって広がっていることを意味する。また、アーカイブ画像上の光子カウント数が飽和していない点状の星の FWHM の平均である 3.34pixel と比較して、約 1.51 倍大きな値となっている。よってこの像は点光源、つまり親星から成るものではなく、拡がりを持つ星団もしくは HII 領域である可能性が高い。

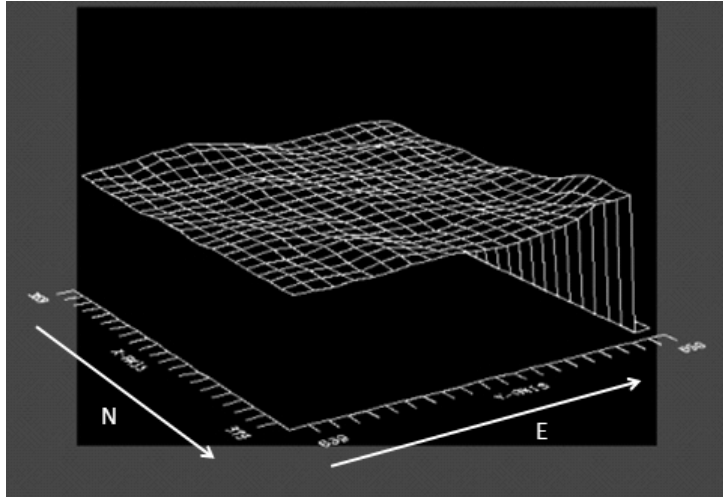


図 2: 相対位置測定によるアーカイブ画像上での検出位置周辺の光子分布。中心が親星があると予想される位置。1 目盛が 0.1arcsec。

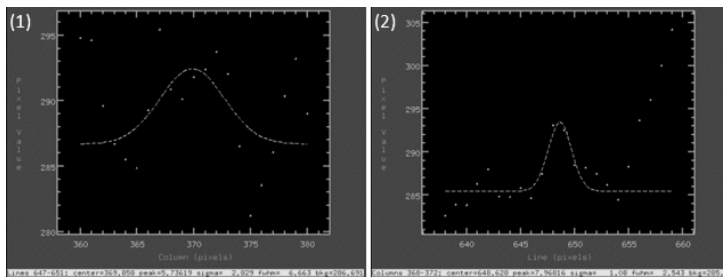


図 3: (1) 図 2 を検出位置を通るように x 方向に切断した光子分布。 $\sigma=2.83$ 、FWHM=6.66。(2) 図 2 を検出位置を通るように y 方向に切断した光子分布 $\sigma=1.08$ 、FWHM=2.54。(a)(b) 共に 1 目盛が 0.1arcsec。

7.2 等級、色指数

上記の親星推定位置付近の光源の見かけの等級は、画像での光子カウント数の誤差、USNO-B1.0の誤差を考慮すると F555W: 23.3 ± 0.6 (mag)、F814W: 21.9 ± 0.3 (mag) となる。NEDによると超新星の母銀河までの距離は 26.2×10^6 (pc) で、距離の誤差は 11 パーセント (Wendy L.Freedman et al. 2001)、また $E(B - V)=0.073$ であり、絶対等級は F555W: -9.0 ± 1.1 (mag)、F814W: -10.3 ± 0.9 (mag) と求められる。よって色指数は $E(F555W - F814W)=1.4 \pm 0.5$ であり、この拡がりを持つ領域は赤みがかかっていると考えられる。

8 まとめ

西はりま天文台での撮像観測の結果から、超新星 2009kr について相対位置測定を用いて爆発前の姿の探索を行った。親星の特定には至らなかったが、それが含まれていたであろう星団あるいは HII 領域を検出することができた。超新星は年間数百個発見されており様々な研究の対象となっているが、本研究のような親星探索では、我々からの距離や爆発前の高解像度なアーカイブ画像の有無などの要因により、検出が期待できるような研究対象となりえるものは僅かである。超新星のメカニズムにはまだ未知の部分が多いため、これから先、爆発後の姿を観測することと同様に、各天文台で日々蓄えられ続けているアーカイブデータを利用しやすくし、そのデータの第一利用者とは異なる視点からアプローチできるような環境造りが、その解明のための重要な要素となっていくであろう。

謝辞

なゆた望遠鏡を用いての観測、解析などで大変お世話になりました兵庫県立西はりま天文台の鳴沢 真也氏、圓谷 文明氏、石田 俊人氏を始めスタッフの皆様、「天文・天体物理若手夏の学校 2010」(研究会番号: YITP-W-10-03)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。

参考文献

- [1] Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S., 1989, ApJ, 345, 245
- [2] Schlegel, D. J., Finkbeiner, D., Davis, M., 1998, ApJ, 500, 525

- [3] Freedman, W. L., Madore, B. F., Gibson, B. K., Ferrarese, L., Kelson, D. D., Sakai, S., Mould, J. R., Kennicutt, R. C., Jr., Ford, H. C., Graham, J. A., Huchra, J. P., Hughes, S. M. G., Illingworth, G. D., Macri, L. M., Stetson, P. B., 2001, *ApJ*, 553, 47
- [4] Nakano, S., 2009, CBET 2006
- [5] Steele, T., N., Cobb, B., Filippenko, A., V., 2009, CBET 2011