

アーカイブ画像から探る、M51に出現したSN 2011dhの 親星の明るさの時間変化の可能性

佐藤 匡史・山岡 均¹⁾・綾仁 一哉²⁾

¹⁾九州大学 ²⁾美星天文台

A possibility of time-variable magnitude of the progenitor of Supernova 2011dh in M51,
with analysis of archival data

Tadafumi SATO, Hitoshi YAMAOKA¹⁾ and Kazuya AYANI²⁾

Abstract

There is a chance of getting information on progenitors of supernovae(SNe), by searching pre-explosion stars from archival data.

From 2011 May 31(UT), SN 2011dh was discovered by many astronomers independently. This supernova, appeared in neighborhood galaxy M51, is attracting a lot of SN researchers.

We searched the progenitor from SUBARU Suprime-cam images taken in 2003, by means of geometical method. As a result, a somewhat brighter source was found under the SN position. Compared with reports of progenitor detection in 2005 HST images by Maund et al. (2011) and Van Dyk et al. (2011), this light source seems to have much the same magnitude. We discussed a possibility of variation with time of the progenitor magnitude through other archival data.

Key Words: Supernova, Progenitor, Archival data

1 はじめに

1.1 超新星とは

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。その分類は大まかには、観測されたスペクトルにH線が明らかに見られないI型と、特徴的なII型に分けられる。さらにI型のうち、スペクトルにSiの吸収線が最も目立つものはIa型、Siは弱くHe吸収線が強いものはIb型、SiもHeも弱いものはIc型に分類される。また、超新星爆発の仕組みは大きく2種類あると考えられている。近接連星系をなす白色矮星に伴星からのガスが降着し、中心密度が大きくなることで核反応が暴走して爆発する核爆発型と、恒星の進化の最後に星の中心が重力崩壊を起こし、星全体が爆発する重力崩壊型である。先ほどのスペクトルによる分類と組み合わせると、前者はIa型超新星、後者はII型、Ib型、Ic型として出現するとされている。

1.2 超新星の親星探索の意義

超新星爆発のメカニズムは完全には解明されておらず、特に爆発前の星の姿(親星)については不明な点が多い。これは、超新星発見時には親星は既に爆発しており、その後の観測が不可能なためである。かといって超新星爆発を起こしそうな星を前もって予測し、実際に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、親星の情報を観測的に直接得るための手段として、超新星が出現した同じ領域を過去に

撮像した、世界各地の観測機関保存、公開している画像(アーカイブデータ)入手し、その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。この手法を用いるため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、観測データのデジタル化など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、世界中に存在するアーカイブデータへのアクセスは年々行いやすくなっており、これらの要因から、過去の撮像画像を用いて親星探索をするための環境は徐々に整いつつある。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などが分かり、親星の姿を推定することができる。また、ある超新星について、様々な年代のアーカイブ画像から親星を検出できるような場合、親星の時間変化についての考察が可能となる。これらの解析により親星の観測的な情報を過去の画像から直接入手することで、超新星のメカニズムについての理解を深めることができるであろう。

2 研究対象

2.1 SN 2011dh

2011年5月31日(UT、以下同様)から複数の天文家達により独立に発見、報告されたSN 2011dhは¹⁾、我々から近傍の距離にある銀河M51に現れ、多くの超新星研究者の注目を集めている。この超新星について、主

要な観測的情報を表1 に記す。

表1. SN 2011dh の主な観測的情報

R.A. (J2000)	13 ^h 30 ^m 05 ^s .08 ¹⁾
Decl. (J2000)	+47° 10' 11".2 ¹⁾
Type	II ²⁾
Magnitude	12
Discovery Date	2011/5/31
Host Galaxy	M51
Distance (Mpc)	7.1 ± 1.2 ³⁾

Maund et al. (2011)及びVan Dyk et al. (2011)は、2005 年 1 月20-21 日にHubble Space Telescope(HST) ACS/WFC で撮像されたM51 のアーカイブ画像から、この超新星の親星を検出したと報告している^{4,5)}。我々はSN 2011dhについて、SUBARU 望遠鏡のアーカイブ画像を用いて親星の有無を解析し、その明るさの時間変動の可能性について考察した。親星探索に用いた過去画像については第3 章、解析結果は第6 章にて述べる。

2.2 SN 2011dh を選んだ理由

超新星は年間数百個発見されているが、その中でもアーカイブ画像を用いて親星を探索できるものはごく僅かである。これは、遠くに出現したり明るさが暗かったりする超新星が研究対象として向いていないことによるが、それと同時にアーカイブ画像の有無も大きく関係している。各天文台に保存されている過去の撮像画像は、基本的には他の研究のために得られたものである。そのため、日々新たに出現する超新星と同じ領域を、その爆発前に捉えた画像が常に存在する訳ではない。一方、SN 2011dh が現れたM51 は、過去に2 個の超新星SN 1994I、SN 2005cs が出現しており、異なる年代のアーカイブ画像が比較的豊富である。これにより、親星の明るさの時間変化についての考察が可能となっている。このようなケースは他の超新星と比べて珍しいため、今回この超新星を研究対象に選んだ。また、SN 2011dh はOur Galaxy から近傍の位置に出現した明るい超新星であるため(表1 参照)、現在世界中で観測、研究が行われている。よってその親星の性質を調査することで、将来的に超新星のメカニズムの解明に繋がる可能性が大いにある。

3 アーカイブ画像

3.1 SUBARU Suprime-cam

Maund et al. (2011), Van Dyk et al. (2011)の報告との比較には、国立天文台のSUBARU 望遠鏡のSuprime-cam で2003 年3 月9 日に撮像された3 枚のアーカイブ画像を用いた。各画像はSubaru Mitaka Okayama Kiso Archive(SMOKA)から入手した¹⁾。撮像フ

ィルターはB, R, i' band で、露光時間は順番に600, 360, 240 秒である。

4 検出の方法

4.1 相対位置整約

超新星出現前後の撮像画像について、両方の画像に共通して写る星を用いて幾何学的に重ね合わせることができる。その後、超新星が写っている画像での超新星の該当位置を出現前の画像に当てはめることで、その画像中で爆発前の星の姿を探索することができる。このような解析法を相対位置整約と呼ぶ。この手法に対し、超新星が現れる前の画像のみを用いて、画像中の点光源の赤道座標を天体位置カタログから求め、ピクセル座標と対応させることにより撮像画像にWorld Coordinate System(WCS)を与え、報告された超新星の赤道座標の当該位置を調べる方法を絶対位置整約と呼ぶ。相対位置整約は絶対位置整約に対し、カタログそのものの誤差を含まないため、より精密な位置の特定が可能である。

4.2 比較画像

今回は相対位置整約法を用いて、第3 章で紹介したアーカイブ画像からSN 2011dh の親星の探索を行った。Maund et al. (2011), Van Dyk et al. (2011)は2005 年に撮像されたHST の過去画像の解析からこの超新星の親星を検出したと報告している。そのため、超新星出現後の画像の代わりに、親星が写るこの画像をSUBARU アーカイブ画像との比較画像として用いた。これらの解析には、天体画像解析用ソフトImage Reduction and Analysis Facility(IRAF)³⁾及び天体画像表示ソフトDS9 を使用した⁴⁾。

5 測光

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、その見かけの明るさを求めることができる。あるカメラシステムにおいて、1 秒間の露出で光子1 カウントの信号を生じさせる天体の等級を等級原点(m_{zp})とする。この時、露光時間 t 秒の撮像画像で光子カウント数が X である天体の見かけの等級 $m(\text{mag})$ は

$$m = m_{zp} - 2.5 \log(X/t)$$

で与えられる。ここで等級原点は、既に等級が分かっている星(標準星)を用いて計算ができる。撮像画像と同じ波長における、天体カタログに記された標準星の等級を $m_{sta}(\text{mag})$ 、その星の画像中での光子カウント数を X_{sta} とすると、 m_{zp} は

$$m_{zp} = m_{sta} + 2.5 \log(X_{sta}/t)$$

と導出できる。

5.2 標準星

ここでは、SUBARU Suprime-cam で撮像された過去画像の測光に用いた標準星について述べる。B, R band の撮像画像については、Pastorello et al. (2009)がM51 に出現したSN 2005cs を測光する際に用いた標準星を使用した¹⁾。ただし、今回使用したSUBARU 画像では、観測された標準星は光子カウント数が飽和、つまり saturation を起こしており、そのままでは正確な測光を行うことができなかった。そのため、別の観測装置により撮像された同じフィルターの画像を入手し、その等級原点をSUBARU 画像に対応させた。具体的には、SUBARU 過去画像においてsaturation を起こしていない点光源の見かけの等級を同じバンドの別の装置による撮像画像で求め、その値を新たなカタログ等級と見なしてSUBARU アーカイブ画像での等級原点を求めた。この解析に用いた画像は、B band のものはSMOKA を通して木曾観測所から入手し¹⁾、R bandについては美星天文台から提供して頂いた画像を使用した⁵⁾。i' band のSUBARU 過去画像についてはsaturationを起こしておらず、そのまま等級原点を導出することができた。標準星はSolán Digital Sky Survey(SDSS)カタログに収録されているものを用いた⁶⁾。

6 結果と考察

6.1 結果

図1 にそれぞれSUBARU Suprime-cam のアーカイブ画像の解析結果を載せる。B, R, i' bandのいずれの画像でもSN 2011dh の該当位置に周囲と比較して明るい領域が見出されている。このことから、超新星の親星が検出された可能性が高い。この光源の等級は、B, R, i' bandの順にそれぞれ 22.73 ± 0.07 、 22.30 ± 0.05 、 21.25 ± 0.03 (mag)である。次の6.2 節で、この光源の明るさの時間変化の可能性について考察する。

6.2 考察

表2 は、Maund et al. (2011)及びVan Dyk et al.(2011)の報告による2005 年1 月20-21 日に撮像された画像からのSN2011dh の親星の等級を、我々の解析結果と比較したものである。V, R band では画像の有無の問題から明るさを比べることができなかったが、B, I band において比較を行うことができた。今回解析を行った限りでは、親星の明るさに有意な変動は見られなかった。しかしこれは、あくまで2003 年3 月9 日と2005 年 1 月20-21 日の2 点を比較して出した結論である。親星の等級の時間変動の可能性を検証する他の様々な年代におけるM51 のアーカイブ画像から

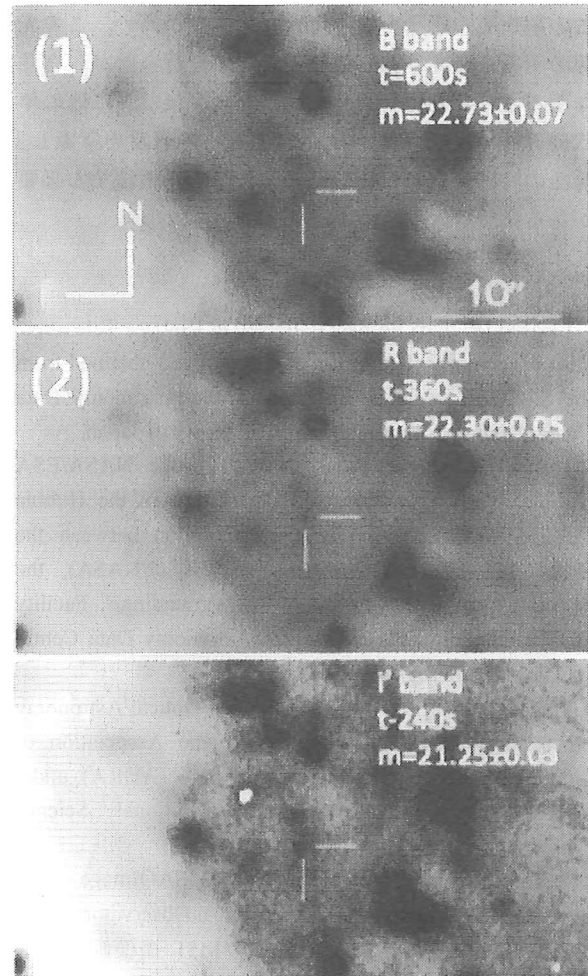


図1. 2003/3/9 撮像のSUBARU Suprime-cam 画像でのSN 2011dh の該当位置の拡大図。(1), (2), (3) から順にB, R, i' bandである。画像中心の2 本線で示した光源がSN 2011dh の親星である考えられる。それぞれの画像においてのこの光源の等級は各図右上に示す。

表2. SN 2011dh の親星の等級について、我々の解析結果とMaund et al. (2011)、Van Dyk et al. (2011)の報告と比較したもの

	Epoch	Detector	Magnitude			
			B band	V band	R band	I band
Maund et al.	2005/1/20-21	HST (ACS/WFC)	22.36 ± 0.02	21.83 ± 0.04	—	21.20 ± 0.03
Van Dyk et al.	"	"	22.45 ± 0.01	21.86 ± 0.01	—	21.22 ± 0.01
This work	2003/3/9	SUBARU (Suprime-cam)	22.73 ± 0.07	—	22.30 ± 0.05	21.25 ± 0.04

SN 2011dh の親星を検出する必要がある。

6 結果と考察

SN 2011dh について、SUBARU Suprime-camにより2011 年3 月9 日に撮像されたアーカイブ画像に対して相対位置制約を行い、親星の有無を調べた。該当位置には周囲と比較して明るい領域が見られ、Maund et al. (2011)、Van Dyk et al. (2011)の報告と合わせると、

この超新星の親星を検出できた可能性が高い。この光源の明るさを測り彼らの報告と比較を行ったが、有意な明るさの変動は受からなかった。今後は更に他の年代のアーカイブ画像からSN 2011dh の親星を探索し、等級の時間変化の可能性についてさらに検証する必要がある。

謝辞

[1] Based [in part] on data collected at [Subaru Telescope] Kiso observatory (University of Tokyo) and obtained from the SMOKA, which is operated by the Astronomy Data Center, National Astronomical Observatory of Japan.

[2] Based 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 (CADC/NRC/CSA).

[3] IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) under cooperative agreement with the National Science Foundation.

[4] This research has made use of SAOImage DS9, developed by Smithsonian Astrophysical Observatory.

[5] 綾仁一哉様(美星天文台)よりM51 撮像画像を提供して頂きましたことを、深く感謝申し上げます。

[6] Funding for the SDSS and SDSS-II has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Science Foundation, the U.S. Department of Energy, the National Aeronautics and Space Administration, the Japanese Monbukagakusho, the Max Planck Society, and the Higher Education Funding Council for England. The SDSS Web Site is <http://www.sdss.org/>.

The SDSS is managed by the Astrophysical Research Consortium for the Participating Institutions. The Participating Institutions are the American Museum of Natural History, Astrophysical Institute Potsdam, University of Basel, University of Cambridge, Case Western Reserve University, University of Chicago, Drexel University, Fermilab, the Institute for Advanced Study, the Japan Participation Group, Johns Hopkins University, the Joint Institute for Nuclear Astrophysics, the Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, the Korean Scientist Group, the Chinese Academy of Sciences (LAMOST), Los Alamos National Laboratory, the Max-Planck-Institute for Astronomy (MPIA), the Max-Planck-Institute for Astrophysics (MPA), New Mexico State University, Ohio State University, University of Pittsburgh, University of Portsmouth, Princeton University, the United States Naval Observatory, and the University of Washington.

参考文献

- 1) Reiland, T., et al. 2011, *CBET* 2736
- 2) Silverman, J. M., et al. 2011, *ATel* 3398
- 3) Takáts, K., & Vinko, J. 2006, *MNRAS*, 372, 1735
- 4) Maund, J. R., et al. 2011, *ApJ*, 1106, 2565
- 5) Van Dyk, S. D., et al. 2011, *ApJ*, 1106, 2897

(2011年12月17日受付, 2012年3月1日受理)