

ぐんま天文台 65 cm 望遠鏡における超新星の 最早期分光観測

衣 笠 健 三, 浜 根 寿 彦

〈ぐんま天文台 〒377-0702 群馬県吾妻郡高山村中山 6860-86〉

e-mail: kinugasa@astron.pref.gunma.jp

e-mail: hamane@astron.pref.gunma.jp

河 北 秀 世

〈京都産業大学 〒603-8555 京都市北区上賀茂本山〉

e-mail: kawakthd@cc.nao.ac.jp

ぐんま天文台では 65 cm 望遠鏡と小型低分散分光器を使って比較的明るい超新星の早期分光観測を行っています。超新星の発見報を受けてすぐに分光観測を行い、そのタイプ判別をすることにより、極超新星などの重要な天体を早期に発見することを目的としています。これまでに 9 件の観測結果について IAU サーキュラーにより早期通報を行いました。特に、2002 年 1 月に観測した SN 2002ap は近傍の極超新星であったため、筆者らの報告を受けて世界の多くの望遠鏡が観測を行うこととなりました。本稿では、観測結果の一例として SN 2004gt の観測結果を紹介し、さらには、SN 2002ap における一連の観測の結果について紹介したいと思います。

1. はじめに

2002 年 1 月 31 日の昼頃、九州大学の山岡 均氏よりメールを受け取りました。内容は「国際天文学連合回報 7810 号¹⁾によると、13 等台の超新星が M74 に出現したらしいので、分光観測はできませんか」というものでした。天候は晴れてきていて観測が可能であったので、65 cm 望遠鏡に小型低分散分光器 (Gunma Compact Spectrograph; 以下、GCS) を取り付けて準備をしました。その後、夕方暗くなってすぐに観測を始めました。実は、当日小学校の団体予約が入っていたのですが、他の望遠鏡にて対応できそうでしたので了解をいただき、観測することができたのです。「思ったより明るいけど、これがそうかな?」と言いながら、超新星と思われる天体をスリット

に入れて最初のデータを撮りました。最初のデータを見たとき「のっぺりしていてあまり超新星らしくないな。本当にこれで間違っていない?」と疑ったのですが、何度確認しても位置は大丈夫そうでした。「他の星だとしても星らしくもないし、とりあえず山岡さんに連絡してみよう。」ということになり、データが出そろった時点で山岡氏に連絡をとりました。すると、「これは特異 Ic 型、極超新星ではないか」と言われたのです。これは SN 2002ap を最初に分光してタイプ判別したときのエピソードです。

本稿ではこのようにして行っている超新星の早期分光観測について紹介します。次の章では本観測に使用している 65 cm 望遠鏡と GCS について、第 3 章では超新星の早期分光の目的やこれまでの成果について、第 4 章では特に重要な発見と

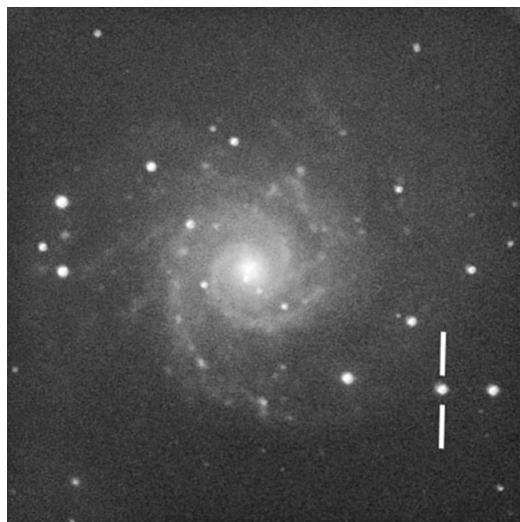
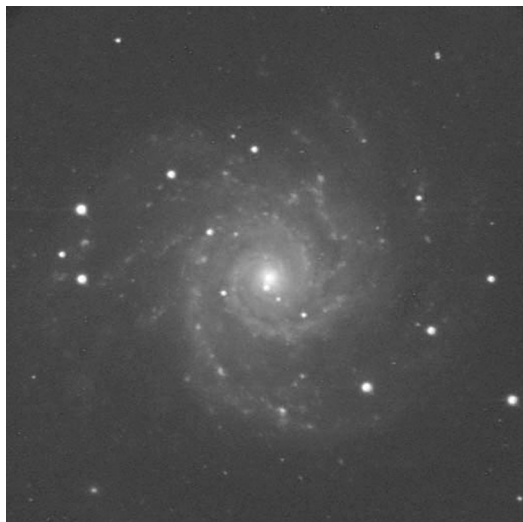


図1 ぐんま天文台 150 cm 望遠鏡と可視カメラで得られた極超新星 SN2002ap の出現前の M74 の画像 (左) と出現後の画像 (右)²⁾.

なった極超新星の SN 2002ap の観測とその意義について紹介したいと思います。

2. ぐんま天文台 65 cm 望遠鏡と GCS³⁾

ぐんま天文台は公開天文台であるため、65 cm 望遠鏡は、午後9時または10時までは一般観望、週末はアマチュアに対する夜間占有利用などがあり、台内であってもその利用時間は限られています。しかしながら、一般の利用が入っていない場合もありますし、やはり共同利用の望遠鏡と比べるとその時間的な自由度は大きいといえます。これは特に突発天体の場合にはたいへん有効です。これまで65 cm 望遠鏡と GCS を使って、超新星、変光星や彗星などの観測を主に行っています。

ぐんま天文台には、150 cm 望遠鏡に高分散分光器、太陽望遠鏡分光器、また、150 cm/65 cm 望遠鏡共用の中低分散分光器といった分光器を用意、または準備中です。これらの分光器は科学的な要求に十分耐えうる性能を有するものですが、反面、操作が複雑であるとか、データ整約が困難であるといった点もあります。これに対して、

GCS はアマチュアに対しての分光入門機として使うことも想定して開発されました。そのため、分光器の操作が簡単であること (観測中は天体と波長校正光源との切り替えのみ)、データ整約が簡単であること、といった特徴をもっています。また、機械的にも光学素子の個々の調整が必要のないような構造となっています。そのためか、ぐんま天文台の分光器の中でも比較的早く立ち上がった分光器であり、2000 年から突発天体を中心にさまざまな観測が行われています。これまでにこの装置で得られたデータを使ってまとめられた査読付き論文数は9本になります⁴⁾ (なお、65 cm 望遠鏡の撮像装置では合計3本の査読付き論文が出ています)。

3. ぐんま天文台における超新星の初期分光観測

ぐんま天文台では65 cm 望遠鏡と GCS による観測を2000年から行っていますが、九州大学の山岡氏とともに2001年から行っている観測プログラムの一つが超新星の初期分光観測です。超新星の発見報を受けて分光観測を行い、そのタイプ

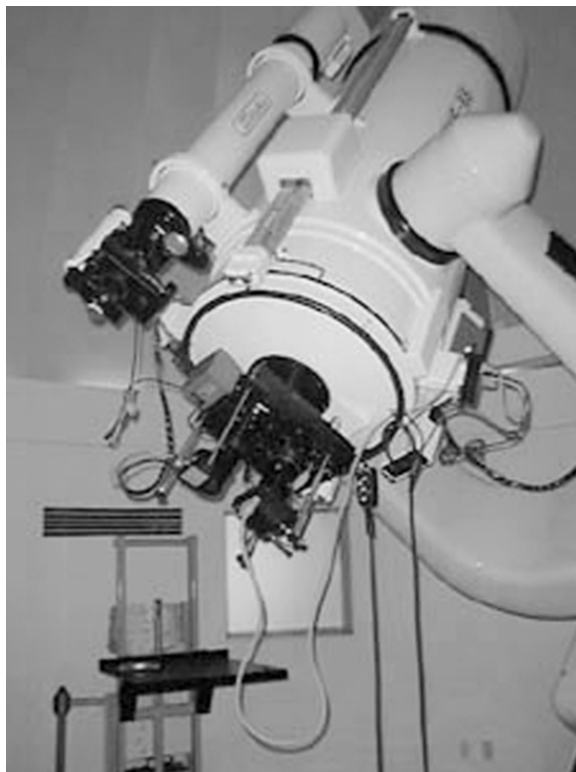


図2 ぐんま天文台 65 cm 望遠鏡と GCS.

判別によって極超新星などのような重要な天体を早期に発見することを目的として行っています。

超新星の発見は、アマチュアの方々だけでな

く、最近では自動望遠鏡などの活躍や大望遠鏡における遠方銀河での搜索などもあり、年間 200-300 個程度になっています。近傍銀河で発見され

表1 65 cm 望遠鏡+GCS の仕様・性能

望遠鏡	口径 $D=65$ cm, 焦点距離 $f=7800$ mm, $F12$, カセグレン
コリメータ	レンズ ($f=240$ mm)
カメラ	レンズ ($f=200$ mm)
分散素子	反射型平面回折格子 (300 本/mm ^{*1})
検出器	Apogee 社製 水冷 CCD カメラ AP-8 (SiTe 1 K×1 K)
スリットビューア	1 倍レンズ系+SBIG 社製 空冷 CCD カメラ ST-8
スリット長さ/幅	10 分角/2 秒角
波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$)	500@500 nm ^{*1}
観測波長域	380-760 nm, あるいは 500-900 nm (いずれも $R=500$ のとき)
波長較正光源	ホロカソードチューブ (電極 Fe, 封入ガス Ne+Ar)

*1 回折格子を 1200 本/mm とし, $R=2000@500$ nm で利用することも可能です。ただし, 本稿での観測はすべて $R=500$ での観測結果です。

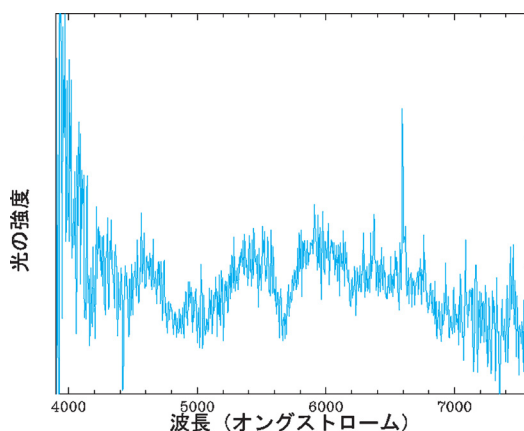
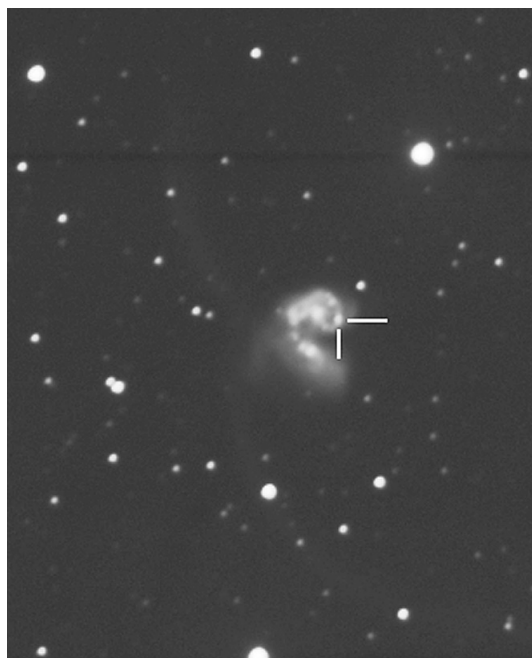


図3 ぐんま天文台 25 cm 自動望遠鏡にて得られた SN 2004gt の画像 (左) と GCS による初期スペクトル (右). 570 nm 付近に HeI, 500 nm 付近に鉄の吸収線が見えます. 660 nm 付近の水素輝線は銀河成分と考えられます.

表2 IAU サーキュラによって報じられた 65 cm 望遠鏡+GCS による分光観測結果

IAUC. No.	観測年月	超新星名	母銀河	タイプ
7622	2001 年 5 月	SN 2001bg	NGC 2608	Ia
7625	2001 年 5 月	SN 2001bf	MCG +04-42-22	Ia
7811	2002 年 1 月	SN 2002ap	M74	Ic 極超新星
7815	2002 年 2 月	SN 2002ao	UGC 9299	Ic
7844	2002 年 3 月	SN 2002bj	NGC 1821	II
7848	2002 年 3 月	SN 2002bo	NGC 3190	Ia
8266	2004 年 1 月	SN 2004A	NGC 6207	II
8317	2004 年 4 月	SN 2004bd	NGC 3786	Ia
8456	2004 年 12 月	SN 2004gt	NGC 4038	Ib

る超新星だけでも数十個程度になります。一方、超新星のタイプ判別を行い、その重要性を評価するためにはそれぞれの超新星の分光観測を行う必要があります。また、超新星の数カ月程度の寿命を考えると、超新星の発見からできるだけ早期の分光観測が必要となります。しかし、重要な天体

かどうかかわからない超新星の観測を、望遠鏡時間の限られた大口径の望遠鏡で行うのはなかなか難しいのが現状でしょう。

そこで、ぐんま天文台では比較的自由な運用であることを活かし、このような超新星の早期分光観測を行い、IAU サーキュラーなどによる早期通

報を行っています。しかし、65 cm 望遠鏡+GCS では15等までの超新星になりますので、近傍銀河に出現した比較的明るい超新星に限られます。そのため、観測可能なターゲットは年間10個程度になります。また、天候や時間的な制約もあり、実際に観測ができるのはさらに限られます。その中で実際に2001年よりIAUサーキュラーに掲載された速報の数は9件となります。表2にこれまでの結果を列挙します。これ以外にも早期分光を行ったがタイプ判別ができなかったものもありますし、重要だと思われるものについてフォローアップ観測を行うこともあります。

最近の例を一つ紹介しましょう。SN 2004gt は、アンテナ銀河 NGC 4038 に2004年12月に出現した超新星です。12月12日に14.9等にて発見、16日に14.6等にて確認されました⁵⁾。この報告を受けて、日本時間18日未明に観測した結果が図3です。570 nm 付近の吸収線は青方変移した HeI 587.6 nm であり、さらに500 nm 付近には鉄の吸収線が見られます。HeI の青方変移から推定される膨張速度は約12000 km/s となります。水素やケイ素 (Si) の吸収線が見られないことから、極大等級に近い Ib 型超新星であると判断できます。このように SN 2004gt は重力崩壊型の超新星であることがわかりました。また、NGC 4038/39 についてはハッブル宇宙望遠鏡により詳細な画像が撮られていますので、出現後の詳細な撮像観測により、爆発した星の情報が得られる可能性があります。今後の観測や解析が期待される超新星となりそうです。

4. 極超新星 SN 2002ap の早期分光観測

さて、話は少しさかのぼります。筆者らがこのような超新星の早期分光観測を行い始めて1年にも満たないころに、SN 2002ap の発見がありました。日本時間2002年1月29日午後7時ころに神奈川県の大瀬洋治氏により発見された SN 2002ap

は、最初に紹介したように、1月31日午後7時頃にぐんま天文台で、その直後に美星天文台でも観測され、どちらの結果からも極超新星に特徴的な幅の広い吸収線が確認されました(図4)。そして、その夜午前2時頃に山岡氏から IAU Center Bureau for Astronomical Telegram (CBAT) に報告されました。数時間後に出された IAU サーキュラーによると、私たちのグループのほかに、ヨーロッパとイスラエルの二つのグループも観測しており、ともに極超新星であることを示唆した結果でした。

ここで、極超新星についての当時の状況について簡単に説明しましょう。通常の超新星の爆発エネルギーは、超新星によらず、 10^{51} erg 程度とほぼ同じであるのに対して、その5-10倍程度以上といった極端に大きな爆発エネルギーをもつものを極超新星⁶⁾と呼んでいます。観測的には、Ia 型の超新星と同等の明るさを持ち、膨張速度が約30000 km/s 程度に相当する幅の広い吸収線がスペクトルに見られるのが特徴です。これらは大質量星の重力崩壊による爆発と考えられています⁷⁾。特筆すべきは SN 1998bw で極超新星の名の由来となった超新星です。この超新星は、 γ 線バースト (GRB)980425 とほぼ同時刻、同一方向で起こったため、GRB 対応天体候補として発見されました^{8),9)}。この天体から得られたスペクトルは、非常に幅の広い吸収線をもつ超新星のスペクトルを示しており、通常の超新星に比べ30倍といったエネルギーをもつことが示唆されました⁶⁾。通常の超新星と区別するため極超新星という名が作られ、さらに、これらのことから極超新星は GRB と関連しているとも考えられました。しかしながら、GRB 980425 は通常の GRB とはかなり異なった性質をもつもの⁸⁾でしたので、その関連は一般的なものとは思われていませんでした。

そのような状況で近傍の極超新星の出現といった報告を行ったのです。一躍注目を集めた SN

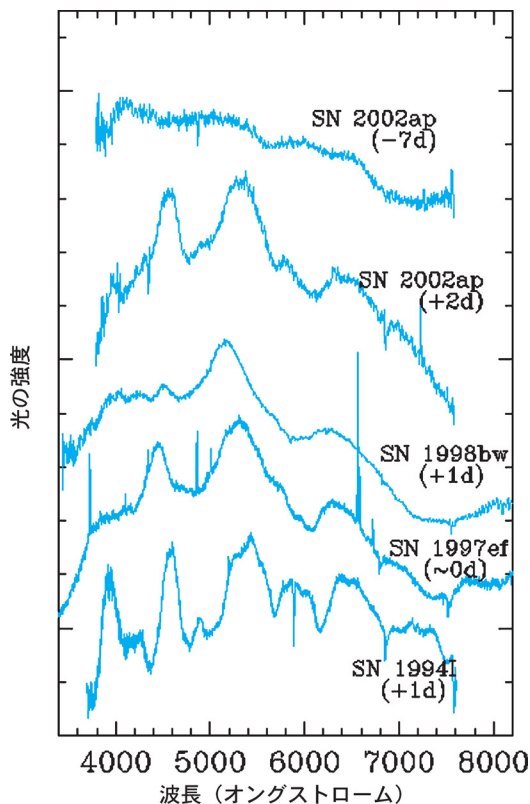


図4 Ic型超新星のスペクトルの比較. 極超新星のスペクトルには普通のIc型超新星1994iに比べて吸収線が幅広くなっているのがわかります. カッコ内の数字は明るさの極大からの日数.

2002ap に電波から X 線に至る多波長にわたった世界のあらゆる望遠鏡が向けられ, さまざまな観測が行われました¹⁰⁾. すばる望遠鏡も例に漏れずこの超新星を観測しています¹¹⁾. また, この時期に GRB の出現があったかどうか調べられましたが, 出現の可能性のあった時期において GRB の出現は確認されませんでした¹²⁾. そのため, SN 1998bw とは何が異なるのかを調べるという意味でも SN 2002ap は注目されたわけです.

ぐんま天文台でも小口径ながら分光観測を続けて, スペクトルが短期間に変化していく様子をとらえました¹³⁾. ちょうど季節もよかったこともあり, 1月31日の観測から, 観測ができなくなる3

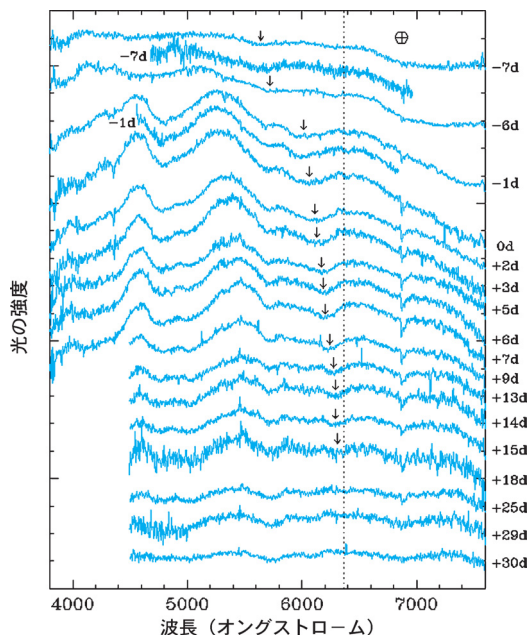


図5 ぐんま天文台と美星天文台で得られた SN 2002ap のスペクトルの変化. 矢印は SiII 635.5 nm 吸収線の極小を, 点線はその吸収線の静止波長を表しています.

月9日までの38日の間に計17回の観測を行うことができました. SN 2002ap の分光観測において, 日ごとにスペクトルが変わる最早期にこれだけ稠密に行ったのは, 今までに発表されているものの中ではぐんま天文台だけです. 早期の超新星のスペクトルでは, 光球からの熱輻射と爆発によって放出された物質の吸収線が観測されます. 最早期では外側の膨張速度の速い物質の吸収線が観測されるのですが, 時間が経過するにつれて膨張速度の遅い内側の物質の吸収線が見えてきます. さらに時間がたつと, 周辺に広がった物質の輝線が観測されるようになります (星雲期). 図5ではぐんま天文台と美星天文台で得られたスペクトルの全データを示しています. 矢印で示したところは SiII 635.5 nm の吸収線の極小にあたる部分ですが, 時間がたつにつれて青方変移が小さくなりより内側の物質が見えてきていることがわかります. 最後では吸収線があまり目立たなくなっ

てきており、星雲期に近づいていることがわかります。これらのデータをそれまでによく観測された他の極超新星 SN 1998bw, SN 1997ef のスペクトルと比較しながら、その変化の様子をまとめました。これらの結果、SN 2002ap のスペクトルは、SN 1998bw よりも SN 1997ef のスペクトルに似ていること、また、その SN 1997ef に比べてもスペクトルの変化の度合いが 1.5 倍程度速いことなどがわかりました。SiII の吸収線の青方変移から見積もった光球の速度の変化も同様の結果となりました。この結果は MAGNUM 望遠鏡で行った、より長期の測光観測の結果と一致しています¹⁴⁾。このことは、SN 1998bw や SN 1997ef と比べて放出された物質が少なかったことを示唆しています。爆発エネルギーも約 5×10^{51} erg と見積もられ、他の極超新星に比べると小さいこともわかってきました。さらに、すばる望遠鏡 FOCAS での分光偏光観測の結果¹¹⁾やその後の長期にわたる光度曲線の解析結果¹⁵⁾などにより、SN 2002ap は非等方な爆発であったことがわかってきました。ジェットのような高速膨張成分は視線方向から外れた方向であったようです¹⁶⁾。

その後の極超新星と GRB の研究について少し触れておきましょう。2003 年 3 月 29 日に発生した GRB 030329 は近く ($z=0.168^{17)$) であったため、非常に明るい残光が観測されました¹⁸⁾。この GRB の発生 10 日ほどたった残光のスペクトルからは SN 1998bw のそれによく似た極超新星成分 (SN 2003dh) が発見されたのです¹⁹⁾。これは、GRB と極超新星が同一起源であることを示す初めての直接証拠となりました。GRB が発見されていること、すばる望遠鏡 FOCAS の結果などから偏光が小さいことなどがわかり、このイベントはジェット成分が視線方向に向かっていると解釈できそうです²⁰⁾。このように、GRB を伴う極超新星と伴わない極超新星の相次ぐ出現によって、この分野の研究は大きく進展したのです^{18), 21)}。ちなみに、ぐんま天文台の 65 cm 望遠鏡もこの GRB

の発生当日にやはり分光観測を行いました。観測条件は悪く、低い S/N 比のスペクトルではありませんでしたが、最早期の GRB の残光成分をとらえることに成功しました。

5. 最後 に

65 cm 望遠鏡と小型の簡易的な分光器である GCS とを使って進めている観測プログラムの一つについて紹介しました。これらの観測を行っていくにつれ、大望遠鏡であっても小望遠鏡であっても時間が平等であることと、突発天体の鮮度の大切さを改めて思い知らされています。超新星の早期分光観測は地味であるかもしれませんが、SN2002ap のように対象によっては非常に重要な観測となってきます。しかし、SN 2002ap もそうですが分光観測を行う前はただの超新星ですが、観測を行って初めて重要な天体であることがわかるのです。また、その重要性を訴えるためにはすぐに報告をすることが大切です。いつくるかわからないこのような観測こそ大望遠鏡ではできない重要な観測であると思いつつ、このような観測を続けていこうと思っております。

謝 辞

共同研究者として山岡氏 (九州大学) は、超新星の発見報告を受けて観測可能性のあるものについての情報を送ったり、超新星のタイプ判別をしたり、IAU サーキュラーに対する報告文を作成するなど観測以外の全般を見ていただいています。また、これらの観測を支えていただいたぐんま天文台のスタッフ、さらには、群馬県民の皆様にお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Nakano S., et al., 2002, IAU Circ. 7810
- 2) <http://www.astron.pref.gunma.jp/etc/oldtop1.html#a7>
- 3) <http://www.astron.pref.gunma.jp/instruments/telescope-65cm.html>
- 4) たとえば、Kawakita H., Watanabe J., 2002, ApJ 574,

183

- 5) Monard L. A. G., et al., 2004, IAU Circ. 8454
- 6) Iwamoto K., et al., 1998, Nature 395, 672
- 7) たとえば, Maeda K., et al., 2002, ApJ 565, 405
- 8) Galama T. J., et al., 1998, Nature 395, 670
- 9) Kulkarni S. R., et al., 1998, Nature 395, 663
- 10) たとえば, Mazzali P. A., et al., 2002, ApJ 572, L61
- 11) Kawabata K. S., et al., 2002, ApJ 580, L39
- 12) Hurley K., et al., 2002, GCN Circ. 1252
- 13) Kinugasa K., et al., 2002, ApJ 577, L97
- 14) Yoshii Y., et al., 2003, ApJ 592, 467
- 15) Maeda K., et al., 2003, ApJ 593, 931
- 16) Totani T., 2003, ApJ 598, 1151
- 17) Greiner J., et al., 2003, GCN Circ. 2020
- 18) 植村 誠ほか, 2004, 天文月報 97, 169
- 19) Matheson T., et al., 2003, GCN Circ. 2107
- 20) Kawabata K. S., et al., 2003, ApJ 593, L19
- 21) 川端弘治ほか, 2004, 天文月報 97, 176

Earliest Spectroscopy of Supernovae with 65 cm Telescope at Gunma Astronomical Observatory

Kenzo KINUGASA and Toshihiko HAMANE

Gunma Astronomical Observatory, 6860-86 Nakayama, Takayama, Agatsuma, Gunma 377-0702, Japan

Hideyo KAWAKITA

Department of Physics, Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, Japan

Abstract: We have performed an earliest spectroscopy program of relatively bright supernovae with the 65 cm telescope and the Gunma Compact Spectrograph at Gunma Astronomical Observatory. An objective of the program is to discover the important events such as “hypernovae” by the earliest spectroscopy and the type determination according to the supernova discovery reports. We have reported 9 earliest observation results in the IAU circulars. Because SN 2002ap, observed in January 2002, is especially a nearby hypernova, our report was a trigger of much observations of SN 2002ap in the world. In this paper, we described the results of SN 2004gt as a sample of the program and that of a sequence of observations of SN 2002ap.