

## 6つの超新星の撮像観測とスペクトル観測

金井沙織<sup>1</sup>、高妻真次郎<sup>1</sup>、山岡均<sup>1</sup>、森由貴<sup>2</sup>、内藤博之<sup>3</sup>

1) 九州大学理学部

2) 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

3) 兵庫県立西はりま天文台

### Photometric and spectroscopic observations of Six Supernovae

Saori KANAI<sup>1</sup>, Shinjiro KOUZUMA<sup>1</sup>, Hitoshi YAMAOKA<sup>1</sup>, Yuki MORI<sup>2</sup>, Hiroyuki NAITO<sup>3</sup>

1) *Facility of Science, Kyushu University, Chuo-ku, Fukuoka, 810-8560, Japan*

2) *Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Tokyo University, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan*

3) *Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo, Hyogo 679-5313, Japan*

*E-mail: kanai@gemini.rc.kyushu-u.ac.jp*

(Received 2006 April 7)

#### Abstract

We have conducted photometric and spectroscopic observations of six supernovae on 2005 Dec. 7 and 8 (JST) at Nishi-Harima Astronomical Observatory. SNe images and spectra give us useful information about supernovae. The obtained images were aligned and composited, then conducted aperture photometry with standard stars in USNO-A2.0 and SDSS catalogs. With the photometric and spectroscopic results, we discuss about each SN, especially SN Ia 2005ke.

**Key words:** Photometry – Spectroscopy – Supernovae: individual (SN 2005cs, SN 2005ip, SN 2005kd, SN 2005ke, SN 2005kj, SN 2005kl)

#### 1. Introduction

超新星爆発は、恒星が進化の最終段階で銀河の明るさにも匹敵するほどの大規模な爆発を起こし明るく輝いて見える現象である。そのメカニズムは二つに大別され、一つは、連星系の白色矮星に相手の星からガスが降り積もり、チャンドラセカール限界近くで中心部の核反応が暴走し爆発する核爆発型で、もう一つは、誕生時に太陽の8倍以上の質量であった星の中心核がその進化の最後に重力崩壊をおこし、それが爆発に転じた重力崩壊型である。これは星の最期の姿だが、その爆発による衝撃波は周りの星間物質の密度に揺らぎを起こし、新しい星を形成するもとにもなり、次の世代の星の誕生にもつながっている。また Ia 型超新星は極大等級が明るく、爆発後のスペクトルや光度曲線が互いに似通っており、見かけ上の明るさから爆発の起こった宇宙論的距離にある銀河までの距離を求める標準光源として利用でき、宇宙論パラメータを決定することも可能である。他にも爆発の際に起こると考えられる元素合成のメカニズムなど興味深い謎が多く残されており、多くの人々の研究対象となっている。

この超新星爆発の情報を得る方法の一つに測光がある。その光度曲線には超新星のエネルギー流出、放射の流れ、超新星爆発の起こる環境、超新星爆発前の星について、そして星周物質の情報など様々な情報が含まれている。

このような超新星爆発には現在いくつかの観測的分類がなされている。大別するとスペクトルに水素が存在しない I 型と存在する II 型である。I 型の中で Si の吸収線が見られるものが Ia 型、Si の吸収線が見られず He の吸収線があるものを Ib 型、どちらも見られないものを Ic 型としている。II 型の細分類は、H $\alpha$  線に P Cyg 型プロファイルが顕著に見られる典型的な II 型に加え、また初期のスペクトルが II 型で後のスペクトルが Ib、Ic 型に似ている IIb 型、線幅が細く膨張速度が小さい IIc 型という分類がある。また、光度曲線で極大後平坦部が見られるものを IIP 型、直線的に減少していく IIL 型がある。これらの分類にあてはまらないものには pec(peculiar=特異な)の添字が付けられる。極超新星とも呼ばれる Ib/c pec がよく知られている。

測光により超新星の光度を測定し、その超新星の型の光度曲線と照らし合わせるにより、その写真が撮られた時の超新星の状態がわかり、より知識が深められる。

そこで 2005 年 12 月に西はりま天文台で 6 つの超新星について観測を行い、解析を行って考察したことについて今回報告する。

## 2. 観測 log

2005 年 12 月 8 日 (JST) に西はりま天文台 60cm 望遠鏡に冷却 CCD カメラ (ST9) を装着して撮像観測を行った。観測を行った超新星は SN 2005cs、SN 2005ip、SN 2005kd、SN 2005ke、SN 2005kj、SN 2005kl である。すべての超新星はそれぞれ CCD カメラの温度マイナス 15  $^{\circ}$ C、R フィルターをつけ露出時間は 60 秒で行い、オブジェクトフレームを 15 枚ずつ撮像した。視野は 10'  $\times$  10' である。

また 12 月 9 日には、2m 望遠鏡を用いて SN 2005ip と SN 2005kj のスペクトル観測も行った。観測機器は可視分光器、スリット幅は 1".6 スリット、中心波長は 5500  $\text{\AA}$ 、グレーティングは 300gr/mm(低分散モード)である。露出時間はそれぞれ 1800 秒で行った。それぞれの超新星の観測時刻を表 1 にまとめる。

表 1. 6 つの超新星の観測時刻

超新星	撮像開始時刻 (JST)	スペクトル観測開始時刻 (JST)
SN 2005cs	2005 年 12 月 8 日 4:35:34	—
SN 2005ip	2005 年 12 月 8 日 5:08:45	2005 年 12 月 9 日 1:48
SN 2005kd	2005 年 12 月 8 日 2:15:48	—
SN 2005ke	2005 年 12 月 8 日 0:33:46	—
SN 2005kj	2005 年 12 月 8 日 3:22:19	2005 年 12 月 9 日 4:21
SN 2005kl	2005 年 12 月 8 日 4:06:50	—

## 3. 結果

撮影されたそれぞれの画像に画像解析ソフト IRAF(Image Reduction and Analysis Facility) を用いて一次処理を行った後、超新星の周りの比較星を標準星として測光を行った。測光の標準等級には USNO-A2.0 カタログの赤等級を使った (SN 2005ip のみ SDSS カタログの  $r'$  等級を用いた)。標準星と超新星の等級差は daofind を用いて求めた。それらを使って超新星の明るさをそれぞれ測定した。その結果を表 2 にまとめる。図 1~6 に撮像した超新星および比較星を示す。

表 2. 6つの超新星の測光結果

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	rmag(USNO)	SN mag
SN 2005cs	13 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup> .47	+47°10'28".2	—	—	—
星 1	13 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup> .567	+47°07'42".47	+2.340	15.5	17.840
星 2	13 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> .986	+47°09'29".53	+0.056	17.8	17.856
星 3	13 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> .955	+47°10'27".61	+4.384	13.4	17.784
星 4	13 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup> .861	+47°12'04".68	+1.450	15.6	17.050
星 5	13 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup> 06 <sup>s</sup> .745	+47°14'20".05	-0.125	17.0	16.875
平均光度					17.48

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	r'(SDSS)	SN mag
SN 2005ip	9 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 06 <sup>s</sup> .42	+8°26'44".4	—	—	—
星 1	9 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup> .78	+8°23'09".2	+4.966	11.226	16.192
星 2	9 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup> .09	+8°25'58".2	-1.823	17.757	15.934
星 3	9 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> .02	+8°26'12".6	+1.138	14.910	16.048
星 4	9 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> .89	+8°26'35".5	-1.469	17.452	15.983
星 5	9 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup> .50	+8°26'07".4	-0.578	16.463	15.885
星 6	9 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup> .77	+8°28'59".9	-1.221	16.044	14.823
平均光度					15.81

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	rmag(USNO)	SN mag
SN 2005kd	4 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> .88	+71°43'1".9	—	—	—
星 1	4 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 53 <sup>s</sup> .442	+71°43'04".65	-2.866	17.1	14.234
星 2	4 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup> .177	+71°43'39".21	-1.829	16.2	14.371
星 3	4 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 50 <sup>s</sup> .711	+71°43'57".46	+1.289	13.2	14.489
星 4	4 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup> .940	+71°44'18".55	+0.416	13.9	14.016
星 5	4 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 37 <sup>s</sup> .607	+71°44'57".38	-1.377	15.6	14.223
平均光度					14.26

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	rmag(USNO)	SN mag
SN 2005ke	3 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 04 <sup>s</sup> .35	-24°56'38".8	—	—	—
星 1	3 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 22 <sup>s</sup> .959	-24°58'56".06	+1.528	12.7	14.228
星 2	3 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> .889	-24°00'20".84	-0.567	15.1	14.533
星 3	3 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup> .433	-24°00'52".58	-0.901	15.3	14.399
星 4	3 <sup>h</sup> 34 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup> .253	-24°58'47".53	+1.588	12.5	14.088
星 5	3 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup> .358	-24°57'26".78	-0.816	16.3	15.484
星 6	3 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup> 14 <sup>s</sup> .747	-24°54'21".55	+2.395	11.8	14.195
平均光度					14.49

表 2 (続き)

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	rmag(USNO)	SN mag
SN 2005kj	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup> .18	-5°36'02".2	-	-	-
星 1	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 18 <sup>s</sup> .360	-5°37'23".57	+1.179	15.1	16.279
星 2	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 26 <sup>s</sup> .214	-5°36'29".40	+2.076	13.9	15.976
星 3	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 06 <sup>s</sup> .565	-5°37'07".45	+3.753	12.8	16.553
星 4	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 07 <sup>s</sup> .797	-5°36'34".69	-1.347	17.2	15.853
星 5	8 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup> 10 <sup>s</sup> .974	-5°34'14".74	-0.031	16.1	16.069
平均光度					16.15

	赤経 ( $\alpha$ )	赤緯 ( $\delta$ )	SN との差 (mag)	rmag(USNO)	SN mag
SN 2005kl	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 35 <sup>s</sup> .68	+39°23'03".5	-	-	-
星 1	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 51 <sup>s</sup> .722	+39°19'38".90	+2.327	13.6	15.927
星 2	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 42 <sup>s</sup> .786	+39°22'33".37	+3.657	12.6	16.257
星 3	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup> .807	+39°20'33".87	-0.158	16.0	15.842
星 4	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 17 <sup>s</sup> .944	+39°21'22".10	+0.039	15.7	15.739
星 5	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup> .799	+39°21'02".38	+1.258	14.5	15.758
星 6	12 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup> .718	+39°25'01".27	-1.382	16.7	15.318
平均光度					15.81

## 4. 議論

### 4-1. SN 2005cs

この超新星は光度曲線に平坦期があり IIP 型であるということがわかっている (Li *et al.*, 2005)。平坦期での等級はおよそ 14 等級 (赤等級) であった。今回観測された超新星の明るさは 17.48 等級 (赤等級) であることから、発見後約 170 日目である 12 月 8 日 (JST) では、SN 2005cs は平坦期を脱した状態だと言える。

### 4-2. SN 2005ip

この超新星は 2005 年 11 月 5.163 日 (UT) に発見された (Boles *et al.*, 2005)。発見直後に撮影されたスペクトル (Modjaz *et al.*, 2005<sup>1</sup>) では、非常に青い連続光に幅広い輝線および吸収線が見られた。620nm 付近の吸収が H $\alpha$  によるものとされ、爆発後間もない II 型超新星とされた。この同定が正しければ、膨張速度は 15400km/s と大きい。

私たちが得たスペクトルを図 8 に示す。分光標準星の露出が不足だったため、波長校正のみ行った。まず、660nm 付近に幅広い輝線らしき構造があり、それに乗って H $\alpha$  の細い輝線が見られるが、細い部分でも FWZI が 3000 km/s ある。このため、この細い輝線は星間ガス起源であるだけでなく、超新星の膨張を示したものであり、スペクトル分類は IIn 型であろうと考えられる。細い輝線の脚部の幅広い輝線様の構造が real であれば、その線幅は短波長側の HWZI で 15000 km/s にも及び、Modjaz *et al.* (2005) が報告した大きな膨張速度と合致する。

一方、SNWEB2<sup>2</sup> に報告されたこの超新星の R 等級、および私たちの測光結果から描いた光度曲線 (図

<sup>1</sup> <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/oir/Research/supernova/spectra/sn2005ip-20051106.flm.gif>

<sup>2</sup> <http://www.astrosurf.com/snweb2/2005/05ip/05ipHome.htm>

7) から、この超新星は発見後、すなわち爆発後間もなくからほぼ一定の割合で減光したことがわかる。この特徴から、この超新星は IIL 型といえる。

IIn 型のスペクトルは、超新星となった星が放出した星周物質が生み出すものとされている (たとえば Chugai *et al.*, 2004)。また、IIL 型の超新星は、水素外層が薄い星の爆発であると考えられている (たとえば Nomoto *et al.*, 1996)。したがって、この超新星の親星は、水素外層をかなりの部分放出し、星のすぐ近傍に濃い星周物質として存在するようなものであったことが推測される。

なお、この超新星の母銀河 (NGC 2906) は、後退速度が 2140km/s で、これがハッブル流の速度だとすると距離は 30Mpc ( $H_0 = 71\text{km/s/Mpc}$  を仮定) となり、 $m - M \sim 32.4$  であるから、発見時直後 (赤等級が 14.8 等: Boles *et al.*, 2005) の超新星の絶対等級は  $-17.6$  等となる。これは、重力崩壊型の超新星の極大前後として典型的なものである。

### 4-3. SN 2005ke

この超新星は 2005 年 11 月 13.33 日 (UT) に発見された (Puckett *et al.*, 2005)。ESO/VLT で 16.57 日に撮影されたスペクトルからこの超新星は underluminous の Ia 型で、SN 1999by の B バンドでの極大 4 日前の姿に大変よく似ていた (Patet *et al.*, 2005)。このことから極大は 2005 年 11 月 20 日頃と推定される。したがって、われわれの観測は極大 17 日後であるとする。一方、超新星の母銀河である NGC 1371 はエリダヌス座銀河群の一員で、この群までの距離は Surface Brightness Fluctuations (SBF) を用いて 23Mpc 程度と推定されている (Tonry *et al.*, 1997, Jensen *et al.*, 1998)。

Ia 型超新星は、宇宙論的な距離測定に用いるために多くの例で長期の測光観測が行われ、絶対極大等級ごとに、標準的な光度曲線や色の変化のテンプレートが得られている。今回観測した時点での SN 2005ke の測定した明るさを使って以下の 2 つの方法で考察を行った。

#### (a) 光度曲線を用いた考察

Riess *et al.* (1996) の図 2 は、Ia 型超新星の極大絶対等級ごとの光度曲線テンプレートを与えている。パラメータ  $\Delta$  ごとの R バンドでの極大絶対等級  $M_{peak}$  (なし)、および距離  $d$ 、見かけの明るさ  $m$ 、極大絶対等級  $M$  における関係式

$$\log d = \frac{m - M + 5}{5}$$

を使い、星間吸収がないと仮定したときの極大等級  $m_{peak}$  (なし) を求める。その結果は以下の通りである。

$\Delta$	$M_{peak}$ (なし)	$m_{peak}$ (なし)
-0.50	-19.80	12.01
-0.25	-19.60	12.21
0.0	-19.40	12.41
+0.25	-19.15	12.66
+0.50	-18.98	12.83
+0.75	-18.81	13.00
+1.00	-18.60	13.21
+1.25	-18.43	13.38

次に  $\Delta$  ごとの光度曲線から、極大から 17 日間の減光量  $\Delta m$  を読み取り、極大から 17 日後の等級  $m_{17}$  (あり) = 14.48 に足すことにより見かけの極大等級  $m_{peak}$  (あり) を求める。結果は次の通りである。

$\Delta$	$\Delta m$	$m_{17}$ (あり)	$m_{peak}$ (あり)
-0.50	0.47	14.48	14.01
-0.25	0.59	14.48	13.89
-0.0	0.63	14.48	13.85
+0.25	0.71	14.48	13.77
+0.50	0.86	14.48	13.62
+0.75	0.91	14.48	13.57
+1.00	1.00	14.48	13.48
+1.25	1.13	14.48	13.35

上の2つの  $m_{peak}$ (なし) と  $m_{peak}$ (あり) を比較することにより星間吸収量がわかる。

$\Delta$	$m_{peak}$ (なし)	$m_{peak}$ (あり)	$m_{peak}$ (あり) - $m_{peak}$ (なし)
-0.50	12.01	14.01	2.00
-0.25	12.21	13.89	1.68
0.0	12.41	13.85	1.44
+0.25	12.66	13.77	1.11
+0.50	12.83	13.62	0.79
+0.75	13.00	13.57	0.57
+1.00	13.21	13.48	0.27
+1.25	13.38	13.35	-0.03

星間吸収量が負 ( $m_{peak}$ (あり) <  $m_{peak}$ (なし)) となることはないことから  $m_{peak}$ (あり) > 13.35 となることがわかる。またこの超新星は underluminous であるので  $\Delta > 0.0$ 、即ち  $m_{peak}$ (あり) < 13.85 である。よって極大等級は

$$13.35 < m_{peak}(\text{あり}) < 13.85 - (1)$$

と見積もることができる。

(b)  $(B - V)_0$  曲線を用いた考察

Patet et al.(2005) は、Bバンドでの極大等級の4日前の超新星の色を  $(B - V) = +0.33$ 、3日前は  $(B - V) = +0.45$  と報告している。そこで上記と同様、Riess et al.(1996) の図1の  $(B - V)_0$  曲線を使って、極大等級の見積もりを試みた。4日前の  $(B - V) = +0.33$  から分かる星間吸収量を  $A_4$ 、3日前の  $(B - V) = +0.45$  から分かる星間吸収量を  $A_3$  とする。

ここで、バンドを  $\lambda$  と表した時の星間吸収量を  $A(\lambda)$  とすると、

$$A(B) - A(V) = E(B - V)$$

であるから、以下の関係式を使って  $A_4, A_3$  を求める。

$$\frac{A(R)}{A(B) - A(V)} \cong 2.32$$

$$A(R) = \frac{A(R)}{A(B) - A(V)} \cdot E(B - V) \cong 2.32 \cdot E(B - V)$$

4日前  $(B - V) = +0.33$

$\Delta$	光度曲線による $(B - V)_0$	E(B-V)	$A_4$
-0.50	-0.29	0.62	1.44
-0.25	-0.17	0.50	1.16
0.0	-0.05	0.38	0.88
+0.25	+0.07	0.26	0.60
+0.50	+0.20	0.13	0.30
+0.75	+0.30	0.03	0.07
+1.00	+0.38	-0.05	-0.12
+1.25	+0.50	-0.17	-0.39

3日前  $(B - V) = +0.45$

$\Delta$	光度曲線による $(B - V)_0$	E(B-V)	$A_3$
-0.50	-0.26	0.71	1.65
-0.25	-0.15	0.60	1.39
0.0	-0.02	0.47	1.09
+0.25	+0.10	0.35	0.81
+0.50	+0.22	0.23	0.53
+0.75	+0.31	0.14	0.32
+1.00	+0.40	0.05	0.12
+1.25	+0.51	-0.06	-0.14

上の表から  $A_3 > 0, A_4 > 0$  となる値はそれぞれおよそ、 $\Delta < 0.79 - (2), \Delta < 1.01 - (3)$  となり (2),(3) を同時に満たす値は  $\Delta < 0.79$  となる。4.3.1の  $\Delta$  と  $m_{peak}$ (あり) の表から  $m_{peak}$ (あり)  $> 13.5$  となり、(1) との共通部分は  $13.50 < m_{peak}$ (あり)  $< 13.85$  となる。即ち、SN 2005ke の見かけの極大光度はこの範囲にあるということが求められた。

#### 4-4. SN 2005kj

CSPの光度曲線<sup>3</sup> から、11月20日(UT)から12月12日(UT)までの明るさの変化はおよそ0.1等級であり、光度曲線に平坦期が見られることからSN 2005kjはIIP型と推測される。また今回測定した明るさも16.15等級で、発見時の明るさ(11月17.5日(UT)に16.3等、Lee *et al.*, 2005)とほぼ同じで、12月9日(JST)の時点でも平坦期であると考えられる。今回観測されたスペクトル(図9波長・強度較正済み)に幅の広いH $\alpha$ の輝線が見られ、この半値幅から膨張速度はおよそ2470km/sと求められた。

#### 5. まとめ、展望

2005年12月8日と9日(JST)に撮像観測とスペクトル観測を6つの超新星について行った。観測時の超新星の明るさを測定した結果、観測時の状態、爆発後の極大等級の見積もり、明るさやスペクトルから超新星の型の推定を行った。しかし今回の観測は、それぞれの超新星の一時期だけの観測であり、それらがどのような明るさとスペクトルの変化をするのかは分からない。これらを調べることによってそれぞれの性質や超新星全体の解明につながる手がかりにもなりうる。そのことから超新星には長期にわたる観測が必要である。

<sup>3</sup> [http://csp1.lco.cl/cspuser1/images/2005\\_2006\\_opt\\_lightcurves/SN05kj.html](http://csp1.lco.cl/cspuser1/images/2005_2006_opt_lightcurves/SN05kj.html)

2夜にわたる観測実習において、60cm望遠鏡となゆた望遠鏡の使い方をご指導いただきました西はりま天文台のスタッフの皆様には感謝致します。超新星の分光観測も成功し、大変貴重な経験をさせていただきました。ありがとうございました。

### 《参考文献》

- Allen, C. W., & Cox, A. N. 2000, *Allen's Astrophysical Quantities*, Amer. Inst. of Physics
- Boles, T., Nakano, S., & Itagaki, K. 2005, *CBET 275 (IAU Circ. 8628)*
- Chugai, N. N., Blinnikov, S. I., Cumming, R. J., Lundqvist, P., Bragaglia, A., Filippenko, A. V., Leonard, D. C., Matheson, T., & Sollerman, J. 2004, *MNRAS*, **352**, 1213
- Jensen, J. B., Tonry, J.L., & Lappino, G. A. 1998, *ApJ*, **505**, 111
- Lee, E., Ponticello, N. J., & Li, W. 2005, *IAU Circ. 8632*
- Li, W. Van Dyk, S. D., Filippenko, A. V., Cuillandre, J.-C., Jha, S., Bloom, J. S., Riess, A. G., & Livio, M. 2006, *ApJ*, in press (*ArXiv Astrophysics e-prints 0507394*)
- Maud, J. R., Smartt, S. J., & Danziger, I. J. 2005, *MNRAS*, **364**, L33
- Modjaz, M., Kirshner, R., Challis, P., & Calkin, M. 2005, *CBET 276 (IAU Circ. 8628)*
- Nomoto, K., Iwamoto, K., Suzuki, T., Pols, O. R., Yamaoka, H., Hashimoto, M., Höflich, P., & van den Heuvel, E. P. J. 1996, in *IAU Symposium 165, Compact Stars in Binaries*, ed. J. van Paradijs et al. (Kluwer), 119
- Patat, F., Baade, D., Wang, L., Taubenberger, S., & Wheeler, J. C. 2005, *IAU Circ. 8631*
- Puckett, T., & Pelloni, A. 2005, *IAU Circ. 8630*
- Riess, A. G., Press, W. H., & Kirshner, R. P. 1996, *ApJ*, **473**, 88
- Tonry, J. L., Blakeslee, J. P., Ajhar, E. A., & Dressler, A. 1997, *ApJ*, **475**, 399
- Turatto, M. 2003, in *Supernovae and Gamma-Ray Bursters*, ed. K. W. Weiler, 21





Fig. 1. SN 2005cs と比較星。



Fig. 2. SN 2005ip と比較星。



Fig. 3. SN 2005kd と比較星。

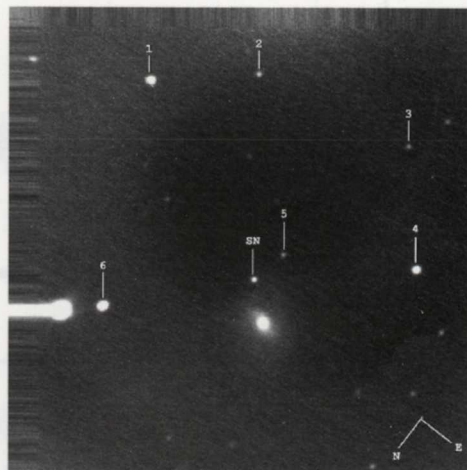


Fig. 4. SN 2005ke と比較星。

2夜にわたる観測実験において、60cm望遠鏡と手持た望遠鏡の使い方を改めて指導いただきました西はりま天文台のスタッフの皆様には感謝致します。超新星の分光観測も成功し、大変貴重な経験をさせていただきました。ありがとうございました。

【参考文献】



Fig. 5. SN 2005kj と比較星。



Fig. 6. SN 2005kl と比較星。

Namoto, I., Iwamoto, K., Suzuki, T., Pois, G. R., Yamaoka, H., H. Hanawa, M., Höflich, P., & van den  
 Hazel, E. P. J. 1996, in IAU Symposium 165, Compact Stars in Hazards, ed. J. van Paradijs et al.  
 (Kluwer), 119  
 Patat, F., Benetti, S., Benvenuto, S., & Wheeler, J. 2005, MNRAS, 361, 1005  
 Puckett, T., & Poloni, A. 2005, AJ, 130, 2620  
 Riess, A. G., Press, W. H., & Kirshner, R. P. 1996, ApJ, 473, 88  
 Tully, J. L., Blakeslee, J. P., Ajhar, E. A., & Dressler, A. 1997, ApJ, 475, 309  
 Quattrone, M. 2005, in Compact Stars and Gamma-ray Bursters, ed. A. Benvenuto et al.

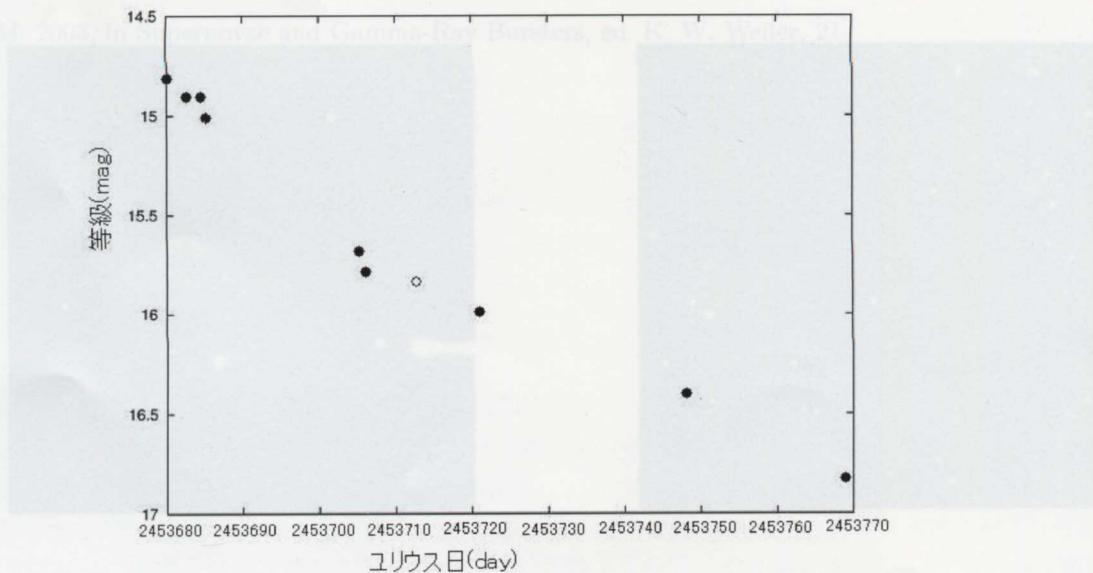


Fig. 7. SN 2005ip の光度曲線。今回の私たちの観測による明るさを白抜き点で、SNWEBによるものを黒い点で表す。

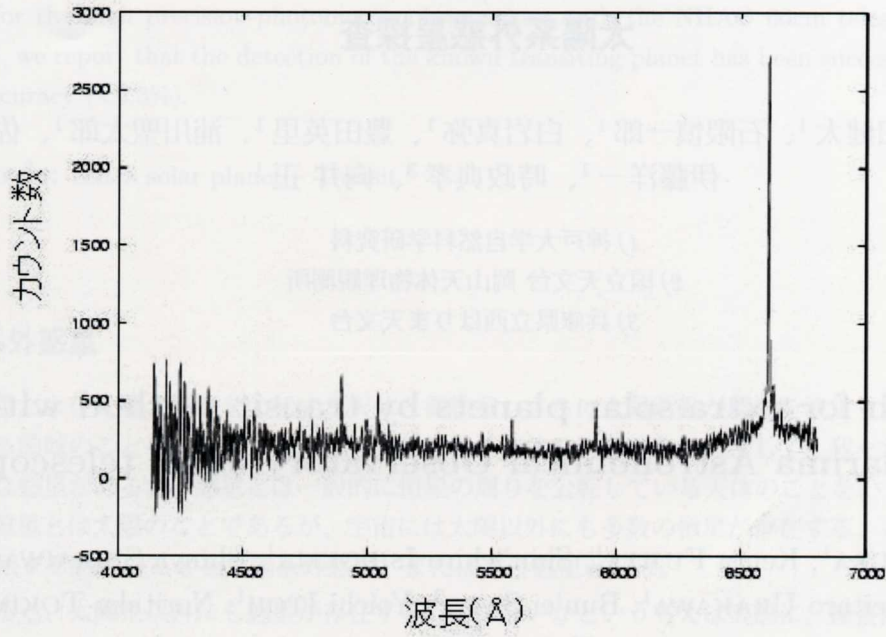


Fig. 8. SN 2005ip のスペクトル。

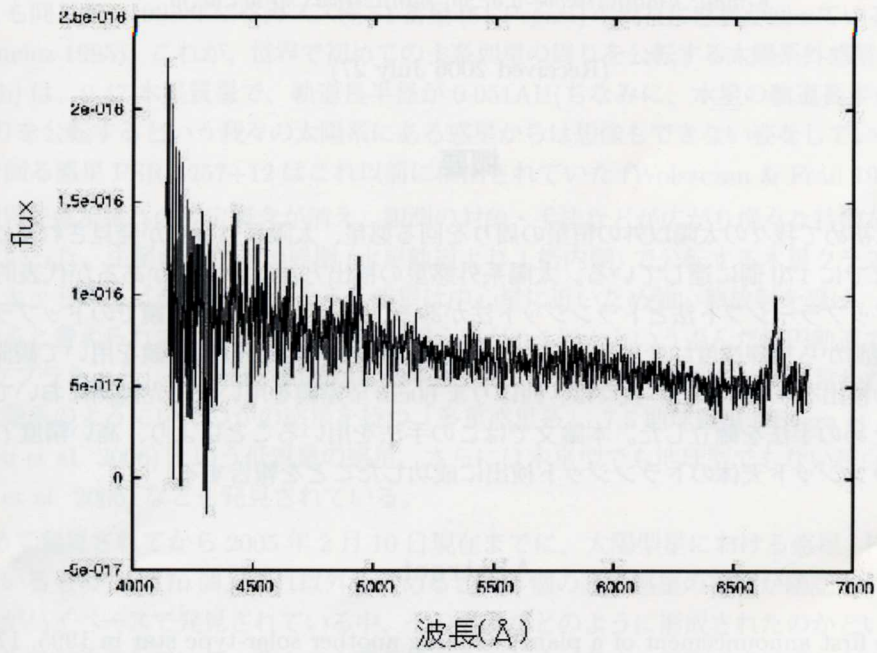


Fig. 9. SN 2005kj のスペクトル。