Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs. **10**, 11–20 (2000)

SN 1999gh の位置測定とその特性

内藤博之[1]、佐伯圭一[1]、重畠裕也[1]、鳴沢真也[2]、時政典孝[2]、山岡均[1]

1) 九州大学理学部
2) 兵庫県立西はりま天文台

Astrometry of SN 1999gh and its property

Hiroyuki NAITO[1], Keiichi SAEKI[1], Yuya SHIGEHATAKE[1], Shinya NARUSAWA[2], Noritaka TOKIMASA[2], and Hitoshi YAMAOKA[1]

1)Faculty of Science, Kyushu Univercity, Chuo-ku, Fukuoka, 810-8560, Japan
2)Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo-cho, Hyogo, 679-5313, Japan

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

(Received 2000 February 13)

Abstract

The position of the celestial object is the only information for the identification. The precise position of the transient object cannot be obtained later, and is needed for the follow-up observations.

We have done astrometry of SN 1999gh using the images taken with NHAO 0.60-m telescope. The property of SNe Ia with respect to their distance from the nucleus of the host galaxy is discussed.

Key words: Astrometry – Supernovae: Indivisual(SN 1999gh)

1. はじめに

近年、写真乾板をベースに多数の恒星の位置を測定した星表である GSC や USNO カタログが、ACT カタログを用いて位置を較正し、新しいバージョンとしてリリースされた (GSC-ACT, Lasker et al. 1996-99, USNO-A2.0, Monet et al. 1998)。これらのカタログに載っている星を標準星にすることによって、視野数平方分という狭い写野の CCD 画像からでも正確に天体の位置を測定することができるようになった。

正確な位置を知ることは、天体同定をする際に、誤認を避け、簡単に同定できるということで大変重要である。天体の位置は、天体同定のほとんど唯一といってよい情報であり、独立したフォローアップ観測や追跡観測にとって欠かすことのできないものである。また、天体の種類によっては位置とその性質に相関が指摘されるものもあり、この種の研究には正確な位置測定が必須なものとなる。

そこで今回、我々は 1999 年 12 月に西はりま CCD カメラで SN 1999gh の撮像観測を行い、その位置を GSC-ACT カタログ星を基準として測定した。2 章では対象天体と観測の諸元、3 章では位置整約の方法と誤差について述べる。4 章では、その結果を用いて議論する。

2. SN 1999gh と我々の観測

2–1. SN 1999gh について

SN 1999gh は 12 月 3.806 日世界時に、高見澤今朝雄によって発見された (Nakano et al. 1999)。発見時の等級は 14.6 等 (写真等級) と、比較的明るい超新星である。うみへび座の方角にあり、NGC 2986 を母銀河としている。スペクトル観測により、この超新星は Ia 型であることが判明しており (Filippenko and Garnavich 1999)、白色矮星が爆発したと考えられる。

2–2. 観測

1999 年 12 月 7 日に西はりま天文台 60 cm 望遠鏡に冷却 CCD カメラ (ST7) を装着して SN 1999gh の撮像観測を行った。CCD カメラの温度は $-30°$ C、フィルター無し、露出時間は 60 秒で撮影した。撮影した画像は図 1 に載せた。

3. SN 1999gh の位置測定

SN 1999gh の画像 (図 1) のような小さな領域では、画像の座標 (x, y) から 1 次変換によって近似的に赤経、赤緯 (α, δ) を求めることができる。しかし、画像 (図 1) には暗い星ばかりで、母銀河を除いて GSC-ACT に載る星は 1 個しかないため、直接この画像から位置 (α, δ) を求めることができない。そのため、西はりまの画像 (図 1) をそれより少し大きな領域の DSS2 (Digitized Sky Survey 2nd generation) の画像 (図 2) へ変換させ、さらに DSS2 画像を赤道座標 (α, δ) へ変換させるという間接的に座標変換させる方法で位置を測定した (図 3)。

Fig. 1. The image of SN 1999gh (pointed) taken with NHAO 0.60-m telescope.

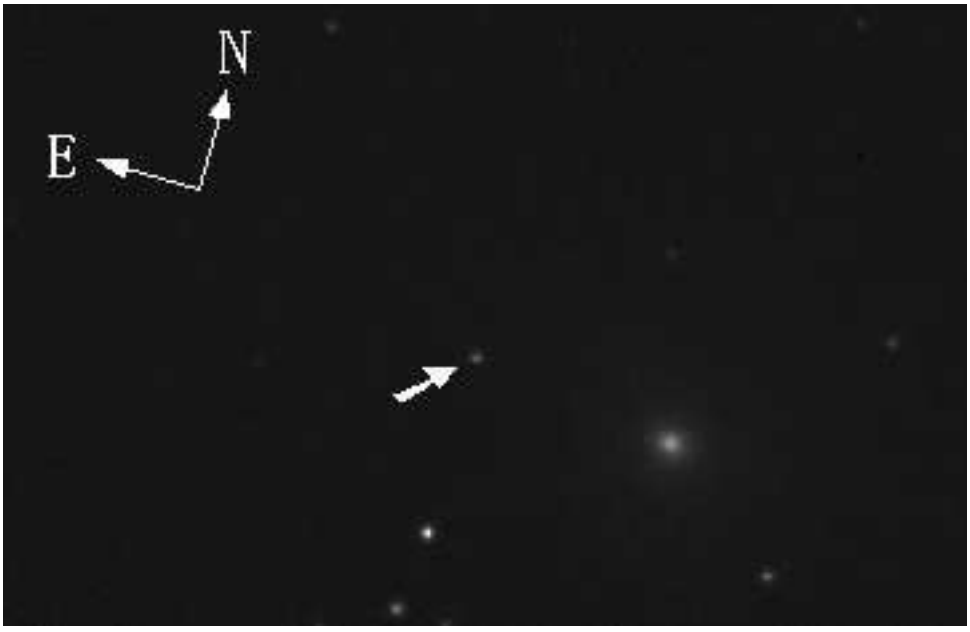
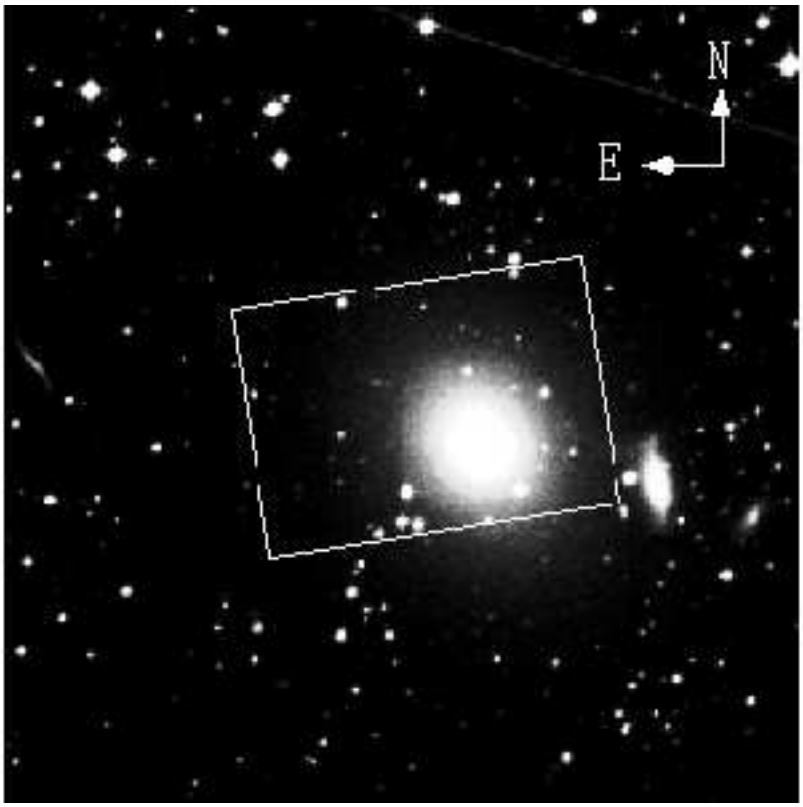


Fig. 2. The DSS2 iamge of the elliptical galaxy NGC 2986.



3–1. 西はりま画像から DSS2 画像への座標変換

西はりま画像の座標を (x, y)、DSS2 画像 (1pixel$\simeq 1''.0$) の座標を (X, Y) とする。なお、西はりま画像では IRAF の imexam タスクの a コマンドを、DSS2 画像では ESO SKYCAT の"Pick Object" ツールを使ってその星の座標を求めた。前者は 0.01 pixel、後者は 0.1 pixel まで求めた。

$(x, y) \rightarrow (X, Y)$ は一次変換なので、

$$X_i = ax_i + by_i + c$$

$$Y_i = dx_i + ey_i + f$$

と表せる。SN 1999gh に一番近い星 (x_0, y_0) を基準にすることで c、f が消去できて、

$$X_0 = ax_0 + by_0 + c$$

$$Y_0 = dx_0 + ey_0 + f$$

$$X_i - X_0 = a(x_i - x_0) + b(y_i - y_0)$$

$$Y_i - Y_0 = d(x_i - x_0) + e(y_i - y_0)$$

となり、$(X_i - X_0) = X_i'$、$(Y_i - Y_0) = Y_i'$、$(x_i - x_0) = x_i'$、$(y_i - y_0) = y_i'$ とおくと、

$$X_i' = ax_i' + by_i'$$

$$Y_i' = dx_i' + ey_i'$$

となる。(x', y') は西はりま画像で (x_0, y_0) を、(X', Y') は DSS2 画像で (X_0, Y_0) を原点としたときの座標である。

DSS2 画像上に実際にある星の座標 (X'_t, Y'_t) と変換して求めた座標 (X', Y') では、ずれが生じるため、そのずれを ΔX、ΔY とすると (図 4)、

$$\Delta X_i = X'_i - X'_{ti}$$

$$\Delta Y_i = Y'_i - Y'_{ti}$$

となり、最小二乗法を用いるため、これらの二乗の和をとると、

Fig. 3. Coordinate transformation.

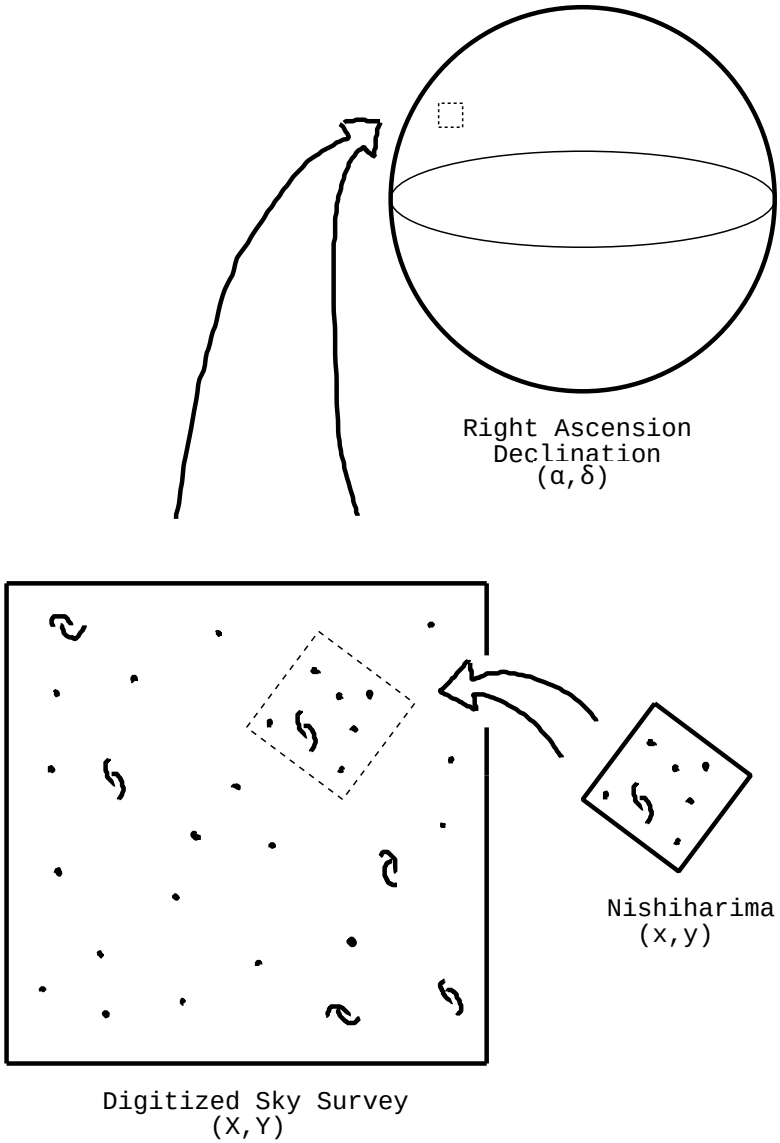
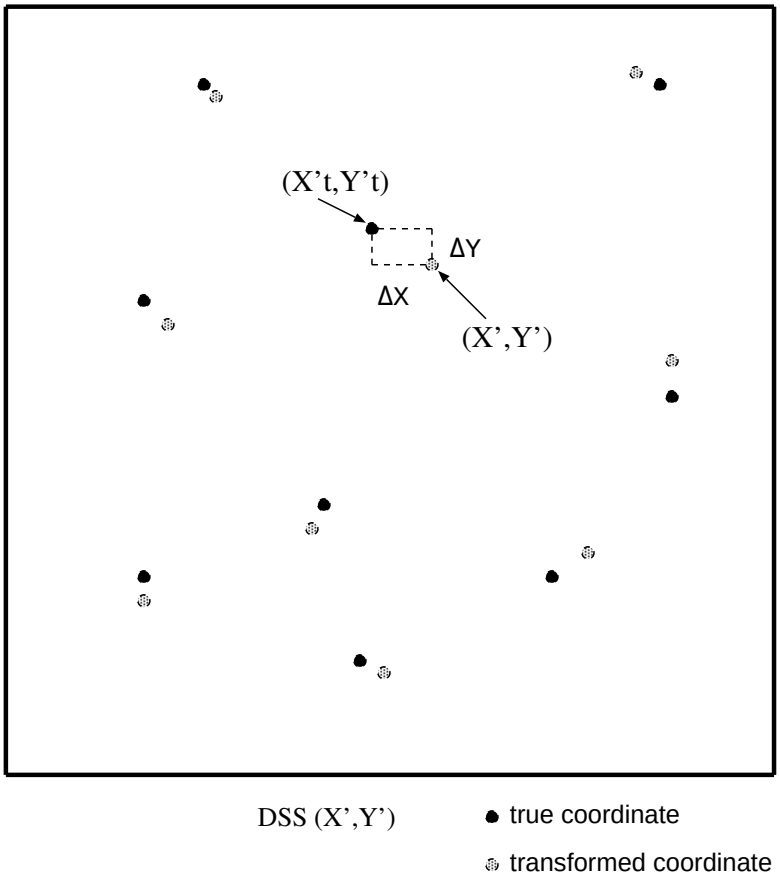


Fig. 4. The difference between the true coordinate and the transformed coordinate.



$$
\begin{aligned}
f(a,b) &= \sum_{i=1}^{n} \Delta X_i^2 \\
&= \sum_{i=1}^{n} \{(ax'_i + by'_i) - X'_{ti}\}^2 \\
&= \sum_{i=1}^{n} \{a^2 x'^2_i + 2abx'_i y'_i + b^2 y'^2_i - 2(ax'_i + by'_i)X'_{ti} + X'^2_{ti}\} \\
&= a^2 \sum_{i=1}^{n} x'^2_i + 2ab \sum_{i=1}^{n} x'_i y'_i + b^2 \sum_{i=1}^{n} y'^2_i - 2a \sum_{i=1}^{n} x'_i X'_{ti} \\
&\quad -2b \sum_{i=1}^{n} y'_i X'_{ti} + \sum_{i=1}^{n} X'^2_{ti}
\end{aligned}
$$

$$
g(d,e) = \sum_{i=1}^{n} \Delta Y_i^2
$$

$$
\begin{aligned}
&= \sum_{i=1}^{n}\{(dx'_i + ey'_i) - Y'_{ti}\}^2 \\
&= \sum_{i=1}^{n}\{d^2x'^2_i + 2dex'_iy'_i + e^2y'^2_i - 2(dx'_i + ey'_i)Y'_{ti} + Y'^2_{ti}\} \\
&= d^2\sum_{i=1}^{n}x'^2_i + 2de\sum_{i=1}^{n}x'_iy'_i + e^2\sum_{i=1}^{n}y'^2_i - 2d\sum_{i=1}^{n}x'_iY'_{ti} \\
&\quad -2e\sum_{i=1}^{n}y'_iY'_{ti} + \sum_{i=1}^{n}Y'^2_{ti}
\end{aligned}
$$

となる。$f(a,b)$、$g(d,e)$ を最小にするので、

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 2a\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'^2_i}_{p_1} + 2b\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iy'_i}_{q_1} - 2\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iX'_{ti}}_{r_1} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = 2a\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iy'_i}_{p_2} + 2b\underbrace{\sum_{i=1}^{n}y'^2_i}_{q_2} - 2\underbrace{\sum_{i=1}^{n}y'_iX'_{ti}}_{r_2} = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial d} = 2d\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'^2_i}_{s_1} + 2e\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iy'_i}_{t_1} - 2\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iY'_{ti}}_{u_1} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial g}{\partial e} = 2d\underbrace{\sum_{i=1}^{n}x'_iy'_i}_{s_2} + 2e\underbrace{\sum_{i=1}^{n}y'^2_i}_{t_2} - 2\underbrace{\sum_{i=1}^{n}y'_iY'_{ti}}_{u_2} = 0 \tag{4}$$

の 4 式が得られ、(1) と (2)、(3) と (4) の式を解くと、

$$a = \frac{r_1q_2 - r_2q_1}{p_1q_2 - p_2q_1}$$

$$b = \frac{r_1p_2 - r_2p_1}{q_1p_2 - q_2p_1}$$

$$d = \frac{u_1t_2 - u_2t_1}{s_1t_2 - s_2t_1}$$

$$e = \frac{u_1s_2 - u_2s_1}{t_1s_2 - t_2s_1}$$

となる。よって、SN 1999gh の DSS2 画像での座標 (X_{SN}, Y_{SN}) は

$$X_{SN} = ax'_{SN} + by'_{SN} + X_0$$

$$Y_{SN} = dx'_{SN} + ey'_{SN} + Y_0$$

へと変換できる。表 1 の座標を入れて計算すると、

$$X_{SN} = 898.1667$$

$$Y_{SN} = 882.4744$$

となった。

i	x_i	x'_i	y_i	y'_i	X_i	X'_i	Y_i	Y'_i
0	254.21	0	92.67	0	940.2	0	920.2	0
1	117.55	−136.66	237.79	145.12	873.5	−66.7	798.8	−121.4
2	147.48	−106.73	230.71	138.04	890.8	−49.4	807.2	−113.0
3	166.75	−87.46	236.82	144.15	904.2	−36.0	805.2	−115.0
4	159.42	−94.79	201.22	108.55	895.2	−45.0	830.5	−89.7
5	291.30	37.09	217.98	125.31	979.5	39.3	832.2	−88.0
6	93.71	−160.50	135.02	42.35	845.5	−94.7	871.8	−48.4
7	122.00	−132.21	4.54	−88.13	846.5	−93.7	970.5	50.3
8	328.02	73.81	3.18	−89.49	974.8	34.6	993.8	73.6
9	340.32	86.11	126.77	34.10	998.3	58.0	904.5	−15.7
SN	178.40	−75.81	132.94	40.27	?	?	?	?

Table 1. $(x, y) \rightarrow (X, Y)$ data.

3–2. DSS2 画像から赤経、赤緯を求める

DSS2 画像の座標を (X, Y)、赤経赤緯を (α, δ) とする。小さな領域では (α, δ) は (X, Y) の一次変換で表すことができ、

$$\alpha_i = a'X_i + b'Y_i + c'$$

$$\delta_i = d'X_i + e'Y_i + f'$$

となる。3−1. と同様の手順を行うと、SN 1999gh の赤経、赤緯は

$$\alpha_{SN} = a'X'_{SN} + b'Y'_{SN} + \alpha_0$$

$$\delta_{SN} = d'X'_{SN} + e'Y'_{SN} + \delta_0$$

となる。表 2 の数値を入れて計算すると、

$$\alpha_{SN} : 09^{\mathrm{h}}\ 44^{\mathrm{m}}\ 19^{\mathrm{s}}.75$$

$$\delta_{SN} : -21^{\circ}\ 16'\ 25''.2$$

となった。表 2 での α、δ は GSC-ACT カタログ (J2000) に載っている標準星の赤経、赤緯である。また α'、δ' の単位は共に角度の秒である。

3–3. 誤差の見積もり

西はりまの画像から DSS2 画像への変換に起因する誤差は

$$\Delta X_{SN} : \pm 0.202\ [\mathrm{pixel}]$$

$$\Delta Y_{SN} : \pm 0.163\ [\mathrm{pixel}]$$

i	X_i	X_i'	Y_i	Y_i'	α_i [h:m:s]	α_i' [″]	δ_i [°:′:″]	δ_i' [″]
0	929.2	0	1049.5	0	09 44 17.63	0	−21 13 36.6	0
1	890.8	−38.4	807.2	−242.3	09 44 20.21	38.70	−21 17 40.9	−244.30
2	1062.8	133.6	840.8	−208.7	09 44 07.82	−147.15	-21 17 04.8	−208.20
3	800.5	−128.7	1077.5	28.0	09 44 26.93	139.50	−21 13 09.3	27.30
4	795.2	−134.0	1115.8	66.3	09 44 27.34	145.65	−21 12 31.3	65.30
5	1154.2	225.0	810.5	−239.0	09 44 01.19	−246.60	-21 17 33.5	−236.90
6	909.2	−20.0	1177.5	128.0	09 44 19.14	22.65	−21 11 27.6	129.00
7	677.2	−252.0	1080.8	31.3	09 44 35.77	272.10	−21 13 07.0	29.60
8	1030.8	101.6	1184.8	135.3	09 44 10.38	−108.75	−21 11 18.4	138.20
9	583.2	−346.0	995.8	−53.7	09 44 42.53	373.50	−21 14 34.4	−57.80
10	657.2	−272.0	1129.5	80.0	09 44 37.27	294.60	−21 12 18.7	77.90
11	582.5	−346.7	747.5	−302.0	09 44 42.40	371.55	−21 18 44.2	−307.60
12	939.5	10.3	523.5	−526.0	09 44 16.52	−16.65	−21 22 26.6	−530.00
13	938.8	9.6	510.8	−538.7	09 44 16.51	−16.80	−21 22 38.9	−542.30
14	1181.8	252.6	1149.5	100.0	09 43 59.49	−272.10	−21 11 52.6	104.00
15	505.2	−424.0	895.5	−154.0	09 44 48.12	457.35	−21 16 15.8	−159.20

Table 2. $(X,Y) \rightarrow (\alpha,\delta)$ data.

であり、この誤差を赤経、赤緯に変換すると

$$\Delta\alpha_1 : \pm 0''.205$$

$$\Delta\delta_1 : \pm 0''.17$$

となる。一方、DSS2 画像から赤経、赤緯への変換に起因する誤差は

$$\Delta\alpha_2 : \pm 0''.359$$

$$\Delta\delta_2 : \pm 0''.56$$

であるから、トータルの誤差としては

$$\Delta\alpha_{SN} : \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2 \simeq \pm 0''.56 \rightarrow \simeq \pm 0^s.04$$

$$\Delta\delta_{SN} : \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 \simeq \pm 0''.7$$

となる。これから座標変換を二度行ったことによる誤差の寄与は小さく、DSS2 画像から赤経、赤緯に変換するときの誤差が大きいことがわかる。

4. 結果、考察

4–1. 他の観測者の位置との比較

SN 1999gh は、串田嘉男による精測位置が、

赤経 9 時 44 分 19.75 秒

赤緯 −21 度 16 分 25.0 秒 (2000 分点)

と公表されている (Nakano et al. 1999)。今回、我々が測定した位置

赤経 9 時 44 分 19.75±0.04 秒

赤緯 −21 度 16 分 25.2±0.7 秒 (2000 分点)

と比較すると、赤緯で 0.2 秒の違いがある。誤差の要因としては、一次変換によって近似的に座標を求めたことや、二度も座標変換させたことなどが考えられるが、前述したように二度、座標変換したことによる誤差の寄与は小さく、また差は十分誤差の範囲内にあることから、精度よく位置を求めることができたといえる。

したがって、今回のような方法を用いることで、CCD 画像から簡単にしかも精度良く位置を測定することができる。

4–2. 母銀河と Ia 型超新星の位置の関係

Wang et al. (1997, 以下 W97) では、母銀河と Ia 型超新星の位置の関係が報告されていて、渦巻銀河では中心から 1 kpc 以内に SNe Ia は見つかっていないことからバルジとディスク内、渦巻銀河と楕円銀河内の超新星の progenitor の進化の違いを問題視している。また、母銀河から 7.5 kpc 以上離れたところの Ia 型超新星の最大光度は、ほぼ一定であるという観測結果から母銀河から遠く離れた Ia 型超新星は距離を測る indicator となりえることを指摘している。これらの観点から SN 1999gh の特性を調べてみることにする。

(a) NGC 2986 の位置

NED によれば NGC 2986 の位置を与えている文献は 3 つあり、また GSC-ACT にも銀河に対応するエントリがある。これらを表 3 にまとめる。

Equatorial J2000		
Right Ascension	Declination	Reference
$09^{h}44^{m}15^{s}.94$	$-21°16'41''.1$	GSC-ACT (1996-99)
$09^{h}44^{m}16^{s}.19$	$-21°16'42''.8$	ESO (1982)
$09^{h}44^{m}15^{s}.99$	$-21°16'41''.8$	Gallouet et al. (1975)
$09^{h}44^{m}19^{s}$	$-21°16'.8$	UGCA (1974)

Table 3. The positions of NGC 2986 in some catalogs.

銀河中心の位置を西はりま画像から SN 1999gh と同様に求めると、

赤経 9 時 44 分 16.02±0.04 秒

赤緯 −21 度 16 分 41.3±0.7 秒 (2000 分点)

となった。カタログの値と比較すると少なくても数秒角の違いがあり、またカタログ間においても値にばらつきがある。一般的に、カタログに載っている銀河の位置は正確でないことが多いことが改めて分かった。最近

では NED でも、超新星からの offset を逆に利用して銀河中心の位置を求めている。

(b) NGC 2986 までの距離

NGC 2986 と SN 1999gh の位置が分かったので、その離角を求めることができる。offset は東に $56''.0$、北に $16''.1$ ほどである。また離角にすると $58''.22$ であり、北から東回りの位置角はおよそ $74°$ である。Nearby Galaxies Catalogue (Tully 1988) から NGC 2986 の赤方偏移は $2400\,\mathrm{km\,s^{-1}}$ なので、ハッブル定数を $H_0{=}65\,\mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$ と仮定すると NGC 2986 までの距離はおよそ 37 Mpc と推測できる。

(c) NGC 2986 と SN 1999gh の位置の関係

離角が $58''.22$ で、NGC 2986 までの距離が 37 Mpc であることから、NGC 2986 と SN 1999gh は視線方向に垂直におよそ

$$37\,\mathrm{Mpc} \times \sin 58''.22 \simeq 10\,\mathrm{kpc}$$

離れている。これを W97 の Fig.1 にあるグラフにプロットすると、楕円銀河 NGC 2986 を母銀河とする SN 1999gh は典型的な Ia 型超新星しか観測されていない領域にプロットされるため、典型的な Ia 型超新星であると推定される。また銀河中心から 7.5 kpc 以上離れているので、極大光度の一様性が期待され、距離を測る indicator に適していると言える。

5. 結論

SN 1999gh の位置は

赤経 9 時 44 分 19.75±0.04 秒

赤緯 −21 度 16 分 25.2±0.7 秒 (2000 分点)

で母銀河 NGC 2986 の中心から東に $56''.0$、北に $16''.1$ のところにある。NGC 2986 は楕円銀河であり、SN 1999gh はその中心から視線方向に垂直におよそ 10 kpc 離れているため、W97 より、SN 1999gh は典型的な Ia 型超新星であり、距離を測る indicator となりうることがわかる。

参考文献》

Lasker, B. M. et al. 1996-99, "The HST Guide Star Catalog, 1.1-ACT (GSC-ACT)", The Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. ([c] 1989, 1992, 1996)

Monet, D. et al. 1998, "The USNO-A2.0 Catalogue", U. S. Naval Obs. Flagstaff Station

Nakano, S., Takamizawa, K., Kushida, Y., Kushida, R. 1999, IAU Circ No.7328

Filippenko, A. V., Garnavich, P. 1999, IAU Circ No.7328

Wang, L. et al. 1997, ApJ, 483, L29

Lauberts, A. 1982, "The ESO/Uppsala Survey of the ESO (B) Atlas (ESO)", European Southern Obs.

Gallouet, L. et al. 1975, A&AS, 19, 1

Nilson, P. 1974, "Catalogue of Selected Non-UGC Galaxies (UGCA)", Uppsala Obs. Rep.5

Tully ,R. B. 1988, "Nearby Galaxies Catalogue (NBG)", Cambridge University Press