

## M67 と NGC7790 の CCD 測光観測

中野仁<sup>1</sup>、小野智子<sup>2</sup>、志岐成友<sup>3</sup>、佐藤公彦<sup>4</sup>、石田俊人<sup>2</sup>、山岡均<sup>1</sup>

- 1) 九州大学理学部
- 2) 兵庫県立西はりま天文台
- 3) 東京大学理学系研究科
- 4) 九州大学大学院総合理工学研究科

## CCD Photometric Observations of the Clusters M67 and NGC7790

Masashi NAKANO<sup>1</sup>, Tomoko ONO<sup>2</sup>, Shigetomo SHIKI<sup>3</sup>, Kimihiko SATOH<sup>4</sup>,  
Toshihito ISHIDA<sup>2</sup>, Hitoshi YAMAOKA<sup>1</sup>

- 1) Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka 810, Japan
- 2) Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo, Hyogo 679-53, Japan
- 3) School of Science, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan
- 4) Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, Kasuga 816, Japan

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

(Received 1995 June 28)

### Abstract

*BVR* CCD photometry of the open clusters M67 and NGC7790 has been performed using 60-cm reflector at Nishi-Harima Astronomical Observatory(NHAO) on Oct.2 and Dec.15, 1994. Color equations are obtained for each observation, and compared with those which are obtained by Iyeshima *et al.*(1994). For M67 the residuals of *V* magnitudes with the standard stars provided by Gilliland *et al.*(1991) are also discussed. Moreover the color-magnitude diagram(CMD) for 49 stars in M67 is drawn up with the obtained color equations.

**Key words:** CCD Photometry – Open Clusters: indivisual(NGC7790, M67)

### 1. はじめに

CCDシステムの導入、つまりディテクターの大幅な高性能化によって観測能力、効率が向上し、以前には大口径でなければ不可能だった暗い天体の観測が、現在では中口径でも可能となってきた。西はりま天文台にあるような60cmクラスの望遠鏡の活躍の場も広がっており、それは測光観測の分野においても例外ではない。大望遠鏡でなくとも、小望遠鏡とCCDで高水準の観測が行なえることの意義は大きい。

測光観測は、星の等級の決定に加え、多色測光によって得られる色指数をもとに、星団の2色図や色-等級図(CMD)を作成し、星間吸収や星団の物理的性質を研究するなどのさまざまな目的で行なわれるものであ

Table 1. 観測の概要

UT	Object	Frame NO.	Filter	Observers	
02/10/94	15:06	NGC7790	nh121025-nh121028	V	Ono
	15:54	NGC7790	nh121042-nh121045	B	Ono
	16:51	NGC7790	nh121059-nh121060	R	Ono
	18:01	NGC7790	nh121065-nh121067	R	Ono
15/12/94	18:08	M67	nh110374-nh110377	B	Ym, St, Sk, Nk
	18:56	M67	nh110394-nh110398	V	Ym, St, Sk, Nk
	20:00	M67	nh110411-nh110415	R	Ym, St, Sk, Nk

Ono=Ono, Ym=Yamaoka, St=Satoh, Sk=Shiki, Nk=Nakano

る。ただし、目的のいかんを問わず、観測結果を他の観測結果または理論値と比較し議論する必要性が生じてくる。その際、それぞれのデータが統一された基準に基づいたものでなければ意味がない。しかし、一般に観測で得られる機械等級は、使用した光学系、ディテクターやフィルターの特性、あるいは観測条件などに依存するため、各観測ごとに異なる。そこで観測結果を、その基準ともいえる標準測光システムへと変換する必要がある。したがって、機械等級を標準等級に変換する方法を知らねばならない。我々は、西はりま天文台の測光システムにおける変換式を求め、同システムを用いた以前の観測と比較を行なったので報告する。

観測対象として選んだのは散開星団M67とNGC7790である。これらの星団については、光電測光、CCD測光における「標準星野」として既に多くの観測結果が報告されており、比較する上で好都合だからである。また、M67の色-等級図を作成したが、これと理論的等時曲線との比較によって星団の距離、年齢などの情報を得ることができる。観測と理論の重要な接点であるから、星団測光の観測のまとめとして色-等級図を作成することは有意義であると考えられる。

## 2. 観測

観測は、西はりま天文台の60cm反射望遠鏡のカセグレン焦点に、窒素冷却型のCCDカメラをとりつけ、B,V,Rの各バンドのフィルターを通してイメージの撮影を行なった。その内容等を表1に示す。使用したカメラシステムはアストロメッド社のCCD3200システムで、CCDチップはEEV社製のP8603/sである。チップサイズは12.7×8.5mmで、視野は6.1×4.1分角に相当する。イメージは各バンド毎にオブジェクト、スカイフラット、ドームフラットを各4フレームずつ以上、バイアスは8フレームずつ以上撮った。複数枚撮ったのは後に合成してS/N比を向上させるためである。スカイフラットは星の少ない領域をガイド望遠鏡で探して撮影した。ドームフラットはライトを当てた天文台のドームの内壁を撮影したものである。

10月の観測時には、月はなく、ほぼ快晴の暗夜であったが、観測終了前には一時的に薄雲に覆われた。

12月の観測時には、月はほぼ満月で雲が若干出ており、また、CCDの前面に露が付着してイメージの中心付近が歪められていることが確認されたなど、条件としては良くなかった。

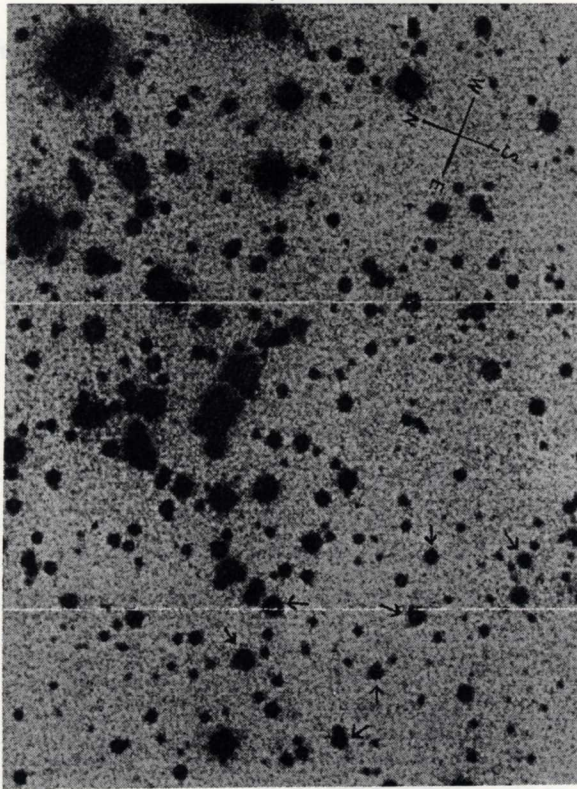


Fig. 1. A CDD V-band image of the NGC7790. The standard stars listed in Table 3 are indicated by arrows.

### 3. データ解析と測光

観測後、データを処理して測光した。データ処理にはIRAF<sup>†</sup>を使った。データ処理の手順としては、全フレームのトリミングを済ませた後、まず各フレームから合成したバイアスフレームを差し引いてバイアス成分を除去した。次にフラットフレームを合成してオブジェクトにフラット補正を施した。そして、各オブジェクトフレームは視野が若干ずれているので位置を合わせ、それからフラックスと半値幅(FWHM)を合わせて合成した。これらの処理過程は家嶋(1994)を参考にして行なった。図1に処理の結果得られたNGC7790のVバンドのイメージを示す。

以上の過程を経て測光にはいった。IRAFには測光用としてAPPHOTとDAOPHOTの2つのパッケージがあるが、M67はAPPHOTで、NGC7790はDAOPHOTで測光を行なった。APPHOTにおいてアパーチャーとスカイを設定する際には、いくつかの組合せで測光して、標準星のV等級の平均値がGililand *et al.*(1991)の値と一致するようにシフトさせた後、各々の標準星の残差をとり、差の最も小さい組合せを選んだ。その結果、アパーチャーを5ピクセル、スカイの内径を10ピクセル、外径を15ピクセルに設定した。DAOPHOTではポイント・スプレッド・ファンクション(PSF)に基づいて各々の星の測光を行なうが、この方法は星が密集している場合の測光に有効であり、NGC7790はその傾向があったのでDAOPHOTによって測光を行なった。表2, 3に標準星の測光結果を示す。

<sup>†</sup>IRAFは、アメリカ国立光学天文台によって提供されている。

Table 2. Results of the photometry for standard stars in M67

ID No.	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>r</i>
2	13.25	12.80	12.51	0.45	0.29	12.61	12.82	—
4	13.24	12.65	12.31	0.59	0.34	12.57	12.51	12.65
5	16.88	15.80	15.19	1.08	0.61	16.23	15.64	15.47
6	15.10	14.42	14.05	0.68	0.37	14.40	14.52	14.91
8	15.48	14.76	14.34	0.72	0.42	14.78	14.89	15.25
9	13.28	12.72	12.39	0.56	0.33	12.59	12.73	—
10	14.76	14.14	13.80	0.62	0.34	—	13.99	14.00
11	17.38	16.20	15.52	1.18	0.68	16.35	16.07	15.70
12	14.55	13.96	13.62	0.59	0.34	13.85	14.13	14.21
13	14.98	14.32	13.95	0.66	0.37	14.24	14.52	14.29
14	13.88	13.02	12.49	0.86	0.53	13.14	12.98	12.78

Each ID No. corresponds to Sanbuichi *et al.*(1991).

Table 3. Results of the photometry for standard stars in NGC7790

ID No.	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>r</i>
10	16.745	16.027	15.617	0.718	0.410	16.717	15.591	14.691
16	15.947	15.330	14.971	0.617	0.359	16.005	14.969	14.155
17	16.570	16.017	15.694	0.553	0.323	16.575	15.559	14.784
21	16.688	15.977	15.537	0.711	0.440	16.820	15.569	14.669
25	16.125	15.444	15.008	0.681	0.436	16.190	15.139	14.238
100	14.834	14.391	14.139	0.443	0.252	14.889	14.001	13.312
s	14.796	14.252	13.910	0.544	0.342	14.819	13.824	13.064

Each ID No. corresponds to Iyeshima *et al.*(1994) and Christian *et al.*(1985).

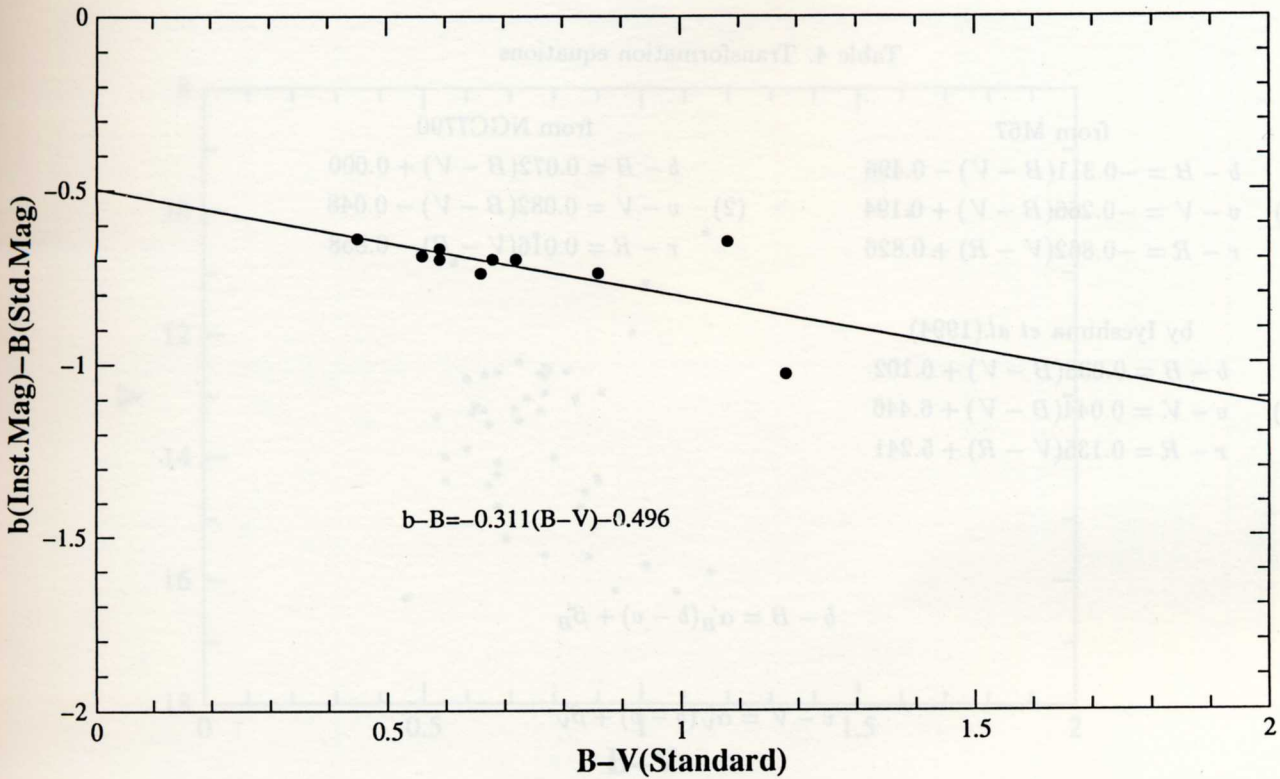


Fig. 2. The transformation relation for the B-band from the analysis of 10 stars in M67.

#### 4. 変換式と色-等級図

我々の得た機械等級 ( $b, v, r$ ) から標準等級 ( $B, V, R$ ) への変換式を求めるに当たって、M67の観測データによるものとNGC7790の観測データによるものの2種類の変換式を得た。M67からは11個の標準星を用いて求めた。その際に標準等級として Gilliland *et al.* (1991) による値を用いた。NGC7790からは7個の標準星を用いて求めた。これには Christian *et al.* (1985) による値を標準等級として使った。以前の同システムでの観測による変換式と比較するために、両星団について

$$b - B = \alpha_B(B - V) + \beta_B$$

$$v - V = \alpha_V(B - V) + \beta_V$$

$$r - R = \alpha_R(V - R) + \beta_R$$

の形を仮定し、最小二乗法によって係数を決定した。

その結果、表4にまとめたような係数を得た。このうち(1)のBバンドの変換式を図示したものが図2である。比較のため、家嶋 *et al.* (1994) による値も表4に掲げる。

M67の色-等級図をデータの得られた49星について作成した。標準等級に変換する際には、機械等級のみから標準等級を得るために、先述の11個の標準星を用いて

Table 4. Transformation equations

	from M67		from NGC7790
	$b - B = -0.311(B - V) - 0.496$		$b - B = 0.072(B - V) + 0.000$
(1)	$v - V = -0.266(B - V) + 0.194$	(2)	$v - V = 0.082(B - V) - 0.048$
	$r - R = -0.862(V - R) + 0.826$		$r - R = 0.016(V - R) - 0.858$
	by Iyeshima <i>et al.</i> (1994)		
	$b - B = 0.038(B - V) + 6.102$		
(3)	$v - V = 0.044(B - V) + 6.446$		
	$r - R = 0.135(V - R) + 5.241$		

$$b - B = \alpha'_B(b - v) + \beta'_B$$

$$v - V = \alpha'_V(b - v) + \beta'_V$$

$$r - R = \alpha'_R(v - r) + \beta'_R$$

の形の変換式を求めた。その変換式を標準星に適用して得られた結果を表5に示す。また、得られた色-等級図が図3である。変換式を以下に示す。

$$b - B = -0.102(b - v) - 0.727$$

$$v - V = -0.399(b - v) + 0.014$$

$$r - R = -0.891(v - r) + 0.442$$

## 5. 考察

まず、我々がM67のデータから作成した変換式(1)、NGC7790のデータから作成した変換式(2)、そして家嶋 *et al.*(1994)による変換式(3)、の3種類の変換式ををそれぞれ比較した。表4を見れば分かるように、変換式(1)だけが他の2つと全く異なっている。変換式(1)は係数の値が大きく、しかもその符号が他とは逆、つまり色指数に対する依存性が完全に逆となっている。変換式(2)と(3)は似た特性を示しているが、(2)式は10個の標準星のうち7個についてしかデータを得られなかったので、色指数の広い範囲をカバーできておらず、やや信頼性に欠ける。そのことが若干の係数の違いの一因であると思われる。ちなみに各変換式の右辺の定数項は設定したスカイの等級に依存するものなので、比較の対象とはならない。変換式(1)の特性(すなわちM67の観測データの特性)の明らかな差異に関しては、先に観測のところで述べたCCDの前面の結露をその原因と考える。フラット補正によってある程度は像の歪みを取り除くことができたが、完全に除くのは難しく、その

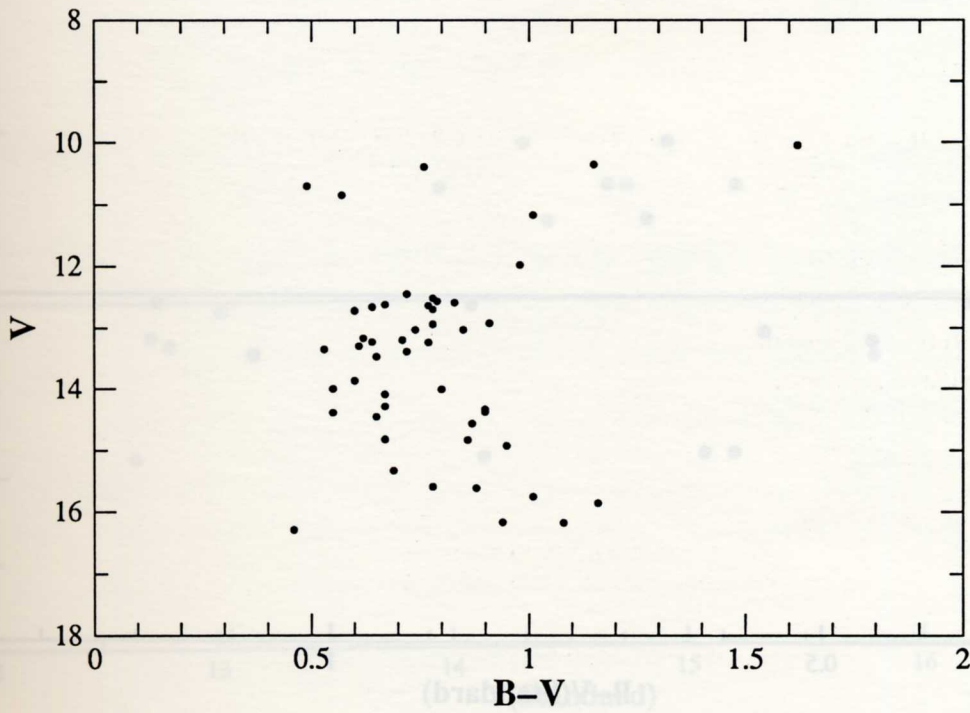


Fig. 3. The Color-Magnitude Diagram for 49 stars in M67.

Table 5. Results of the transformation of standard stars in M67

ID No.	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>r</i>
2	13.32	12.72	—	0.60	—	12.61	12.82	—
4	13.30	12.52	12.08	0.78	0.44	12.57	12.51	12.65
5	17.02	15.86	15.18	1.16	0.68	16.23	15.64	15.47
6	15.11	14.46	14.12	0.65	0.34	14.40	14.52	14.91
8	15.50	14.83	14.49	0.67	0.34	14.78	14.89	15.25
9	13.30	12.66	—	0.64	—	12.59	12.73	—
10	—	—	13.54	—	—	—	13.99	14.00
11	17.11	16.17	15.59	0.94	0.58	16.35	16.07	15.70
12	14.55	14.00	13.70	0.55	0.30	13.85	14.13	14.21
13	14.94	14.39	14.05	0.55	0.34	14.24	14.52	14.29
14	13.88	13.03	12.52	0.85	0.51	13.14	12.98	12.78

Each ID No. corresponds to Sanbuichi *et al.*(1991) [4].

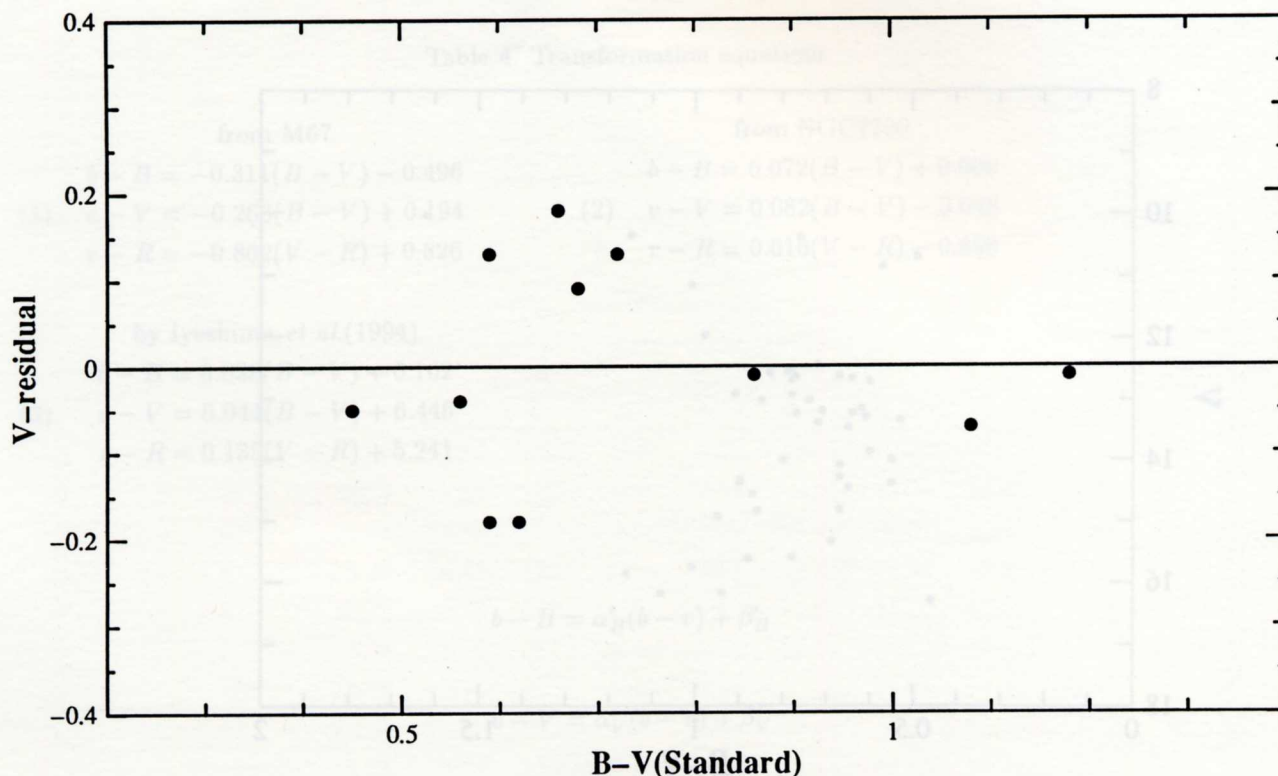


Fig. 4. The residuals of  $v - V$  for 10 stars in M67 with respect to Eq. (1). Plotted against the color index ( $B - V$ ).

ために測光結果に影響がでたと思われる。このように、観測対象によっては条件の悪いデータも使用することが必要になる場合もあるが、その際には今回明らかになったように、単に精度が悪くなるだけでなく、データの特性が変化してしまうことを十分に考慮する必要がある。

次にM67のデータに関して、Gilliland *et al.*(1991)とのV等級での残差の色指数や等級に対する依存性について三分一 *et al.*(1991)と比べてみたが、やはり彼らよりも残差のばらつきが大きく、 $\pm 0.1$ 等前後あることが分かった。これについても、上述したようなことが原因と考えられる。また、三分一 *et al.*(1991)によると、残差の色指数や等級に対する依存性は見られないとなっているが、我々のデータにも色指数に対する依存性はなく、等級に対する依存性も顕著には見られない。これらは図4, 5である。

さらにM67の色-等級図についてであるが、変換式の係数も大きく信頼性に欠けるにもかかわらず、主系列や巨星分枝、水平分枝などが見てとれる。また、転向点のおおよその位置もGilliland *et al.*(1991)によるものとほぼ一致しているようである。ただし、49個と星の数が少ないので細かいところまでは分かりにくいというのが難点である。

これまで触れなかったが、Gilliland *et al.*(1991)によると、M67の標準星には変光幅が0.05等のW UMa型の変光星(ID No. = 2)が含まれている。この変光星の変換式に与える影響を評価するに当たって、まず先に示したこの星を含めて求めたVバンドの変換式を、誤差を考慮した形でもう一度示す。

$$v - V = -(0.266 \pm 0.126)(B - V) + (0.194 \pm 0.095)$$

逆にこの変光星を除いて求めてみると



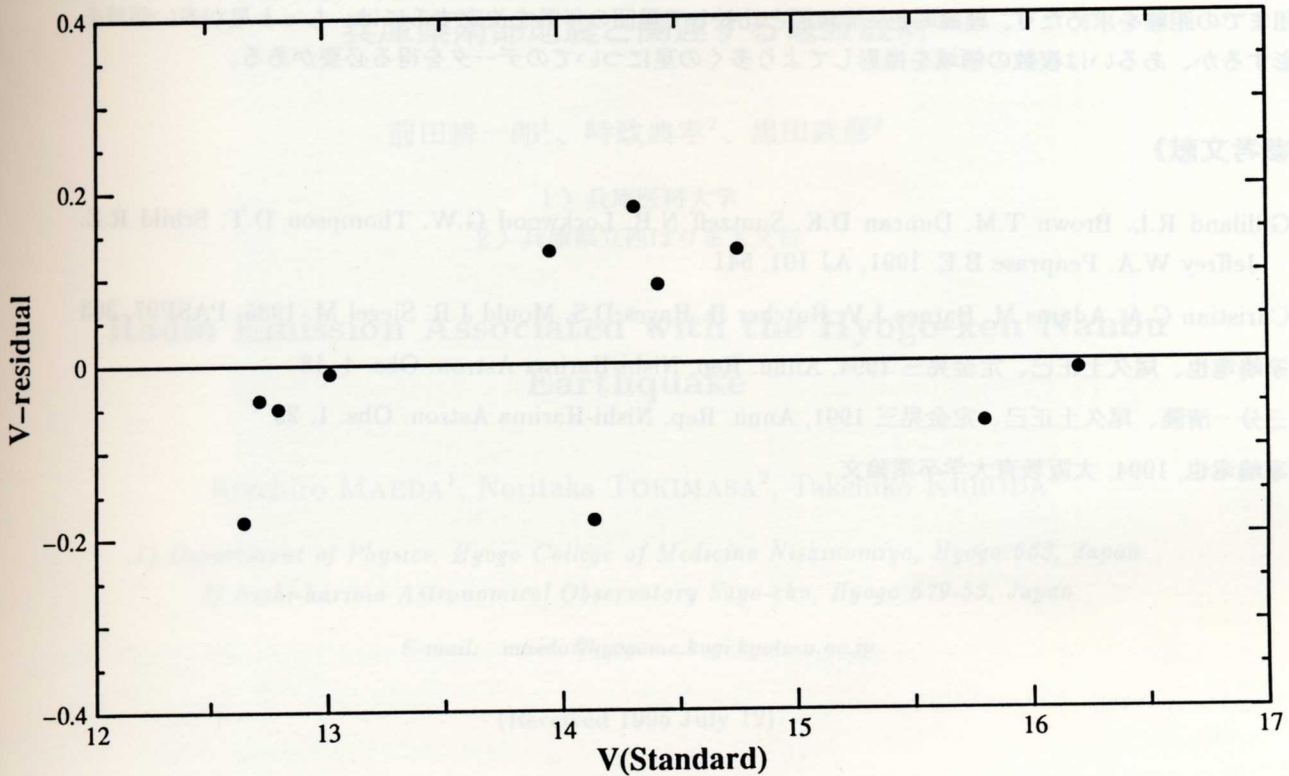


Fig. 5. Same as Fig. 4, but plotted against the V magnitude.

$$b - B = -(0.314 \pm 0.102)(B - V) - (0.494 \pm 0.081)$$

$$v - V = -(0.305 \pm 0.144)(B - V) + (0.229 \pm 0.112)$$

$$r - R = -(0.862 \pm 0.527)(V - R) + (0.826 \pm 0.243)$$

となった。これを見るとわかるように、この星を除くことによって、誤差が小さくなるわけでもなく、むしろ大きくなっている。変換式の差自体も誤差の範囲内にあり、いずれの場合も誤差の方が変光幅よりも大きくなっている。ゆえに、ここに限って言えば、変光幅が0.05等とあまり大きくないためか、この変光星を除くことにはそれほど意味があるとは思われない。よってそのことよりも、計算に使う星の数を一つ増やすことによって変換式の精度を上げることの方がより重要と考え、この変光星を含めて求めたものを変換式とした。なお、変光星の検出を考えると、上に示した変換式の誤差からもわかるように、標準等級に変換してからでは0.05等程度の変光を確認するのは難しいと言わざるを得ない。ゆえにもっと精度の良い変換式が必要となる。ただし機械等級のままであれば、観測が主極小を含む時間をカバーしている場合、充分検出の可能性はあると思われる。しかし今回の観測では、観測時間が1時間程度と、変光周期(10.59 hr)に比べて短く、変光は確認できなかった。

以上の議論から、西はりま天文台の観測システムに対する変換式を決定するのであれば、もっと条件の良い時に再度、多数にわたって標準星団を観測する必要があると思われる。また、観測的色-等級図を作成して

星団までの距離を求めたり、理論的色-等級図と比較して星団の年齢を決定するには、もっと星が多い領域を撮影するか、あるいは複数の領域を撮影してより多くの星についてのデータを得る必要がある。

《参考文献》

Gilliland R.L. Brown T.M. Duncan D.K. Suntzeff N.B. Lockwood G.W. Thompson D.T. Schild R.E. Jeffrey W.A. Penprase B.E. 1991, AJ 101, 541

Christian C.A. Adams M. Barnes J.V. Butcher H. Hayes D.S. Mould J.R. Siegel M. 1985, PASP97, 363

家嶋竜也、尾久土正己、定金晃三 1994, Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs. 4, 18

三分一清隆、尾久土正己、定金晃三 1991, Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs. 1, 23

家嶋竜也, 1994, 大阪教育大学卒業論文



Fig. 4. The magnitude of  $V - (B - V)$  versus the color index  $(B - V)$ .

この結果から星団の年齢を推定するために、理論的色-等級図と比較して星団の年齢を決定するには、もっと星が多い領域を撮影するか、あるいは複数の領域を撮影してより多くの星についてのデータを得る必要がある。

次にM17のデータに関して、(B-V)とVの関係を色-等級図の形で表し、理論的色-等級図と比較してみたが、やはり後者よりも前者のばらつきが大きく、±0.1等級程度のことが分かった。これについても、上述したようなことが原因と考えられる。また、三分一清隆(1991)によると、星団の色-等級図に対する理論的色-等級図のずれは、±0.1等級程度である。

また、M17のデータに関して、(B-V)とVの関係を色-等級図の形で表し、理論的色-等級図と比較してみたが、やはり後者よりも前者のばらつきが大きく、±0.1等級程度のことが分かった。これについても、上述したようなことが原因と考えられる。また、三分一清隆(1991)によると、星団の色-等級図に対する理論的色-等級図のずれは、±0.1等級程度である。