

散開星団NGC7790のBVR測光観測及び解析

田邊和孝¹、眞銅雅子¹、小野智子²、鳴澤真也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

BVR CCD Photometric Observation and the Analysis of the Open Cluster NGC7790

Kazutaka TANABE¹, Masako SHINDO¹, Tomoko ONO², Shinya NARUSAWA²,
and Hitoshi YAMAOKA¹

1) Faculty of Science, Kyushu University, Chuo-ku, Fukuoka 810, Japan
2) Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo-cho, Hyogo 679-53, Japan

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

(Received 1996 July 7)

Abstract

We performed the photometric observation of the open cluster NGC7790 with a CCD camera at Nishi-Harima Astronomical Observatory. The Color equations which convert the instrumental magnitudes using Nishi-Harima system to the standard magnitudes by Johnson-Cousin system are presented. The color-magnitude diagrams are shown and the distance and the age of the cluster are derived from it.

Key words: CCD Photometry – Open Cluster : individual(NGC7790)

1. はじめに

観測システムが異なると、B、V、Rのフィルターの波長特性や受光器の感度特性も異なる。したがって同じ星を観測しても、各バンドにおける等級(機械等級)に違いが生じてしまう。このままでは他の観測結果との比較ができないため、ある特定の標準システムに変換する必要がある。今回は、Johnson-Cousinの観測システムを標準システムとして採用し、西はりま天文台の観測システムの較正係数を求めることを目的とする(4-1、2節)。過去の観測との比較によって、較正係数の時間変化等についても議論する(4-3節)。さらに、観測対象とした散開星団の色-等級図から、この散開星団の物理的特性について解析を行なった(6、7節)。

2. 観測

本研究において対象となるのは、カシオペア座にある散開星団NGC7790(赤経 $23^{\text{h}}59^{\text{m}}$ 、赤緯 $+61^{\circ}11'$:2000年分点)である。観測は、1995年11月28日(世界時)に、兵庫県の西はりま天文台において行なった。CCDカ

メラで B 、 V 、 R の 3 色フィルターを使用して撮像した。NGC7790 は散開星団であるため、直径 $8'$ 程度のか
なり広い範囲にわたって分布している。西はりま天文台の CCD カメラの写野は約 6 分角 \times 4 分角で、全体を
カバーできないため、今回は、過去に光電測光が行なわれた星 (Christian et al. 1985) を含むようなひとつの
視野を選んで撮像した (図 1)。バンドごとにバイアス、オブジェクト、スカイ、ドームフラットの各フレーム
を 4 枚ずつ撮像した (表 1)。

Table 1. The parameters of the observation

Filter	Frame type	Exposure time	No of frames	Filter	Frame type	Exposure time	No of frames
B	bias	0 sec	4 frames	B	sky	90 sec	5 frames
B	object	90 sec	4 frames	V	sky	90 sec	4 frames
B	bias	0 sec	5 frames	R	sky	90 sec	4 frames
V	object	90 sec	4 frames	R	bias	0 sec	4 frames
V	bias	0 sec	4 frames	B	dome	60 sec	4 frames
R	object	90 sec	5 frames	V	dome	60 sec	4 frames
R	bias	0 sec	4 frames	R	dome	60 sec	4 frames

3. データの解析

観測後のデータ処理および解析は、九州大学理学部において Sun Microsystems 社のワークステーションを用
い、IRAF[†] を使って行なった。手順の概略は以下のとおりである。

最初に合成バイアスを作成し、ドームフラット、スカイ、オブジェクトの各フレームから合成バイアスを
引く。次に各々のスカイフレームから星を取り除きメジアン平均をとり正規化した合成スカイ、ドームフラッ
トの各フレームを合成、正規化した合成ドームフラットを作成する。この合成スカイを合成ドームフラットで
割り、メジアンフィルター (50×50) を通してから合成ドームフラットを再び掛け、正規化して最終的なフラッ
トを作成した。

オブジェクトフレームをこのフラットで割る。次にオブジェクトフレームの重ねあわせを行うが、星像の
大きさは一般にフレームごとに違うため、最も星像が大きなものに合わせるよう処理し、また、それぞれのフ
レームの星の明るさも均一化する。以上の処理が終わったら 4 枚のオブジェクトを足し合わせて合成し、バン
ドごとに 1 つの完成版オブジェクトを作成する。得られたオブジェクトの一例を図 1 に示す。

次に測光を行なう。ここでは daophot というソフトを使用した。これは、何個かの星から標準的な星の形
を作り、この形をすべての星に適応して測光を行なうソフトである。これによって、最終的な等級 (機械等級)
が書かれたファイルができあがる。

[†]IRAF は、アメリカ国立光学天文台によって提供されている。

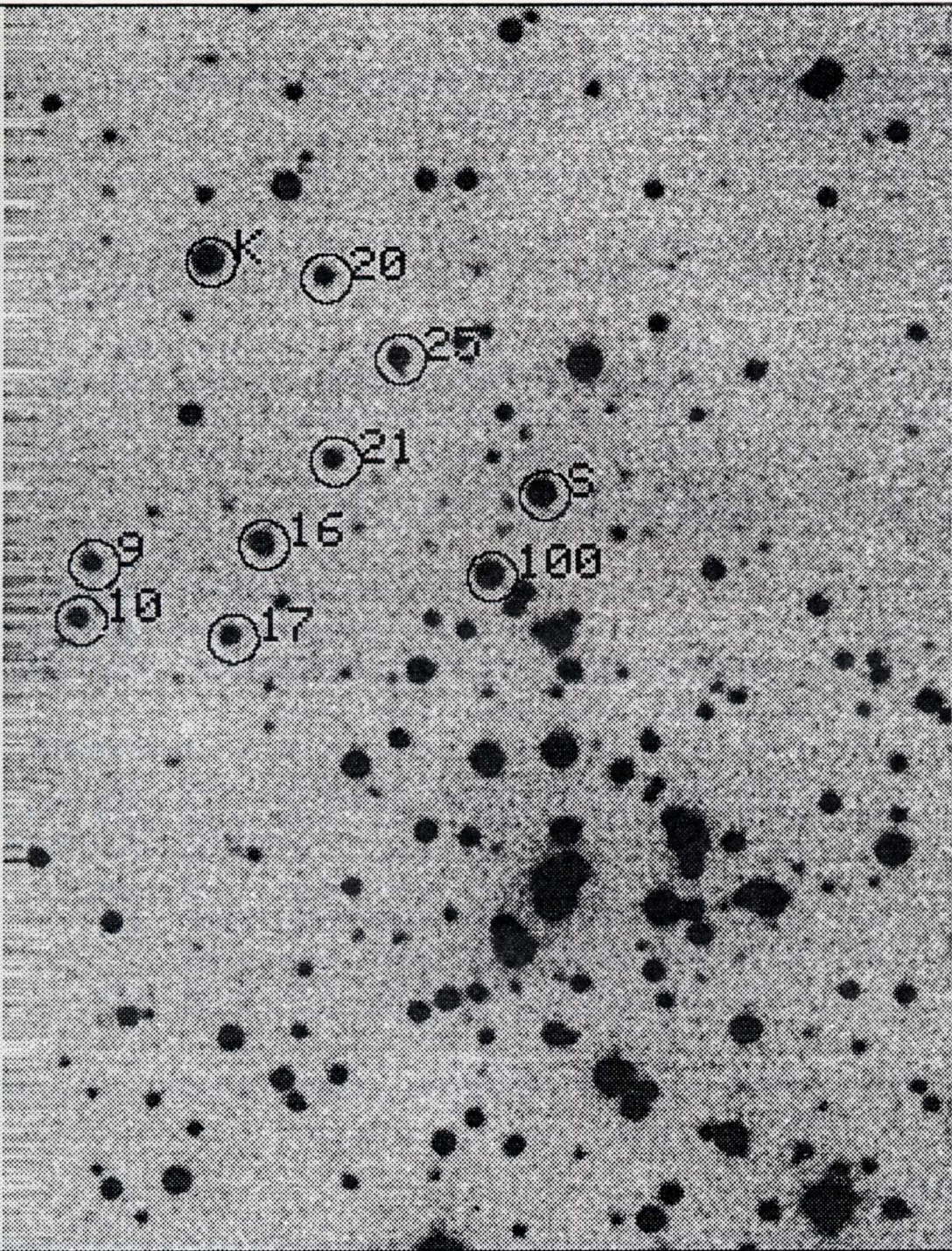


Fig. 1. The *B*-band CCD image of the open cluster NGC7790 analyzed in the present study. The standard stars listed in Table 2 are indicated by circles.

4. 機械等級から標準等級への変換

4-1. 変換(1)

星団の物理的特性などの議論を行なうためには、得られた機械等級(b, v, r)から標準等級(B, V, R)への変換が必要となる。その変換式は、次式に従うものとして考える。

$$B - \alpha b = \beta(B - V) + C \quad (1)$$

ここで、 $\alpha = 1$ と置くと、この式は傾きが β 、切片が C の直線と考えられる。標準等級として、表1の数値を使用し、各バンドについて最小二乗法で計算を行なうと以下の3つの式を得る。

$$\begin{aligned} B &= b + 0.232(B - V) - 0.484 \\ V &= v - 0.002(B - V) - 0.058 \\ R &= r - 0.054(V - R) + 1.025 \end{aligned} \quad (2)$$

この3式が、各バンドにおける機械等級から標準等級への変換式である。

Table 2. Results for the photometry of the standard stars given in Christian et al.(1985)

IDNo.	B	V	R	$B - V$	$V - R$	b	v	r
9	17.072	15.414	14.440	1.658	0.974	17.188		
10	16.745	16.027	15.617	0.718	0.410	17.066		
16	15.947	15.330	14.971	0.617	0.359	16.290	15.416	13.980
17	16.570	16.017	15.694	0.553	0.323	16.918	16.056	14.611
20	16.770	15.773	15.210	0.997	0.563	16.959	15.794	14.193
21	16.688	15.977	15.537	0.711	0.440	17.042	15.998	14.505
25	16.125	15.444	15.008	0.681	0.436	16.493	15.568	14.090
100	14.834	14.391	14.139	0.443	0.252	15.204	14.451	13.145
K	14.712	13.212	12.386	1.500	0.826	14.843	13.288	
S	14.796	14.252	13.910	0.544	0.342	15.137	14.304	12.916

表1の標準等級と、変換式により算出された標準等級を各バンドにおいてそれぞれグラフ化したものが、図2(A)、(B)、(C)である。

4-2. 変換(2)

次に、観測によって得られた機械等級の値のみを使用して、標準等級を算出する変換式を求める。その方法として、次のような式を導入する。

$$B - \alpha b = \beta(b - v) + C \quad (3)$$

$\alpha = 1$ と置き、標準星について先の場合と同様の計算を行なう。その結果、以下の3つの式を得た。

$$\begin{aligned}
 B &= b + 0.324(b - v) - 0.630 \\
 V &= v + 0.007(b - v) - 0.067 \\
 R &= r + 0.052(v - r) + 0.929
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

また表1に示された標準等級と(4)式により計算された標準等級をグラフ化したものが、図2(D)、(E)、(F)である。

4-3. 変換式の評価

(2)式と(4)式の信頼度を評価してみる。各バンドについて見てみると、両者ともばらつきは非常に小さい。よって、変換式自体は、信用できるものであるといえる。しかし、傾きを見てみると、Vバンドにおいては非常に小さいが、BとRバンドではそれほど小さくない。特にBバンドにおいては非常に大きく、色依存性が強い。この原因としては、標準システムのフィルターおよび受光素子との波長特性の相違が考えられる。

同じ西はりま天文台のシステムで変換式を求める研究は、これまで数回にわたって行なわれている(Sanbuichi et al.(1991)、Ieshima et al.(1994)、Nakano et al.(1995))。これらの結果と我々の(2)式を比較してみると、V、Rバンドに関しては大きな変化はなく、差異は誤差によるものであろうと推測される。しかし、Bバンドの変換式を見ると、傾きの符号が逆転し、その絶対値も非常に大きい。Bバンド観測は他のバンドに先だって行なったため、CCDカメラや読み出し部などに問題があったとは考えにくい。Bフィルターに異常があると推察されるため、調査が必要であるといえる。ただし、以降の解析、議論は、式(4)を用いて行なう。

4-4. 変換式の適用

変換式(4)を、視野内のすべての星に適用して、標準等級を算出する。標準等級を算出することができた各バンドの星の数は、以下の通りである。

Table 3. The numbers of the observed stars in each band.

B	: 297 個
V	: 305 個
R	: 371 個
BとVに共通する星	: 218 個
VとRに共通する星	: 238 個
BとVとRに共通する星	: 188 個

5. 星間吸収による補正

散開星団NGC7790はカシオペア座にあり、天の川に近い場所に位置している。そのため星間物質による光の吸収量が比較的大きいと考えられるので、等級値を補正する必要がある。その手段として、横軸に色指数(B-V)、縦軸に色指数(V-R)をとったグラフ(2色図)を使用する。ここでは、補正值が既知のかに座の散

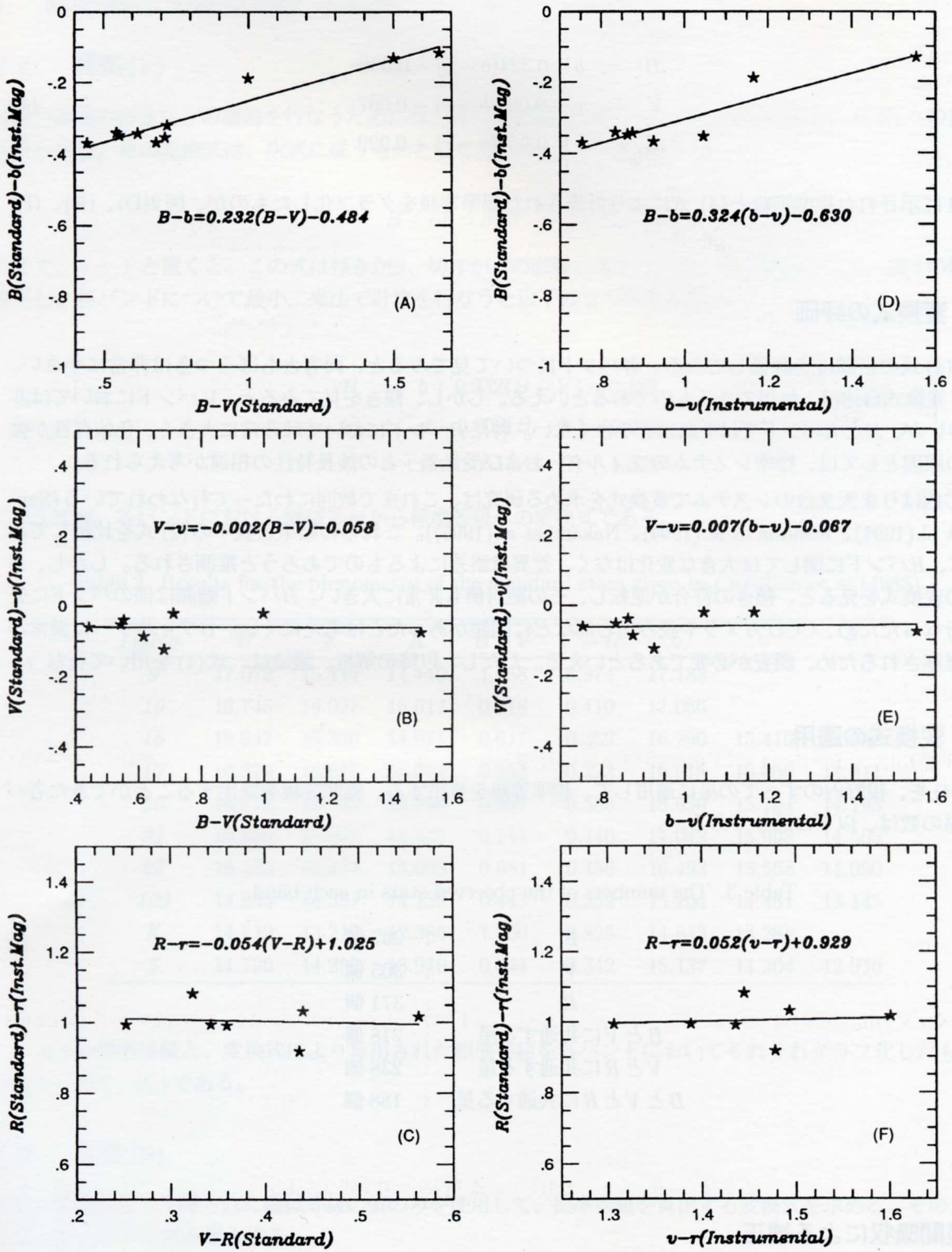


Fig. 2. Transformation relation for the B , V and R band. Differences between instrumental and standard magnitudes are plotted against the standard color indices (A,B,C) and the instrumental indices (D,E,F).

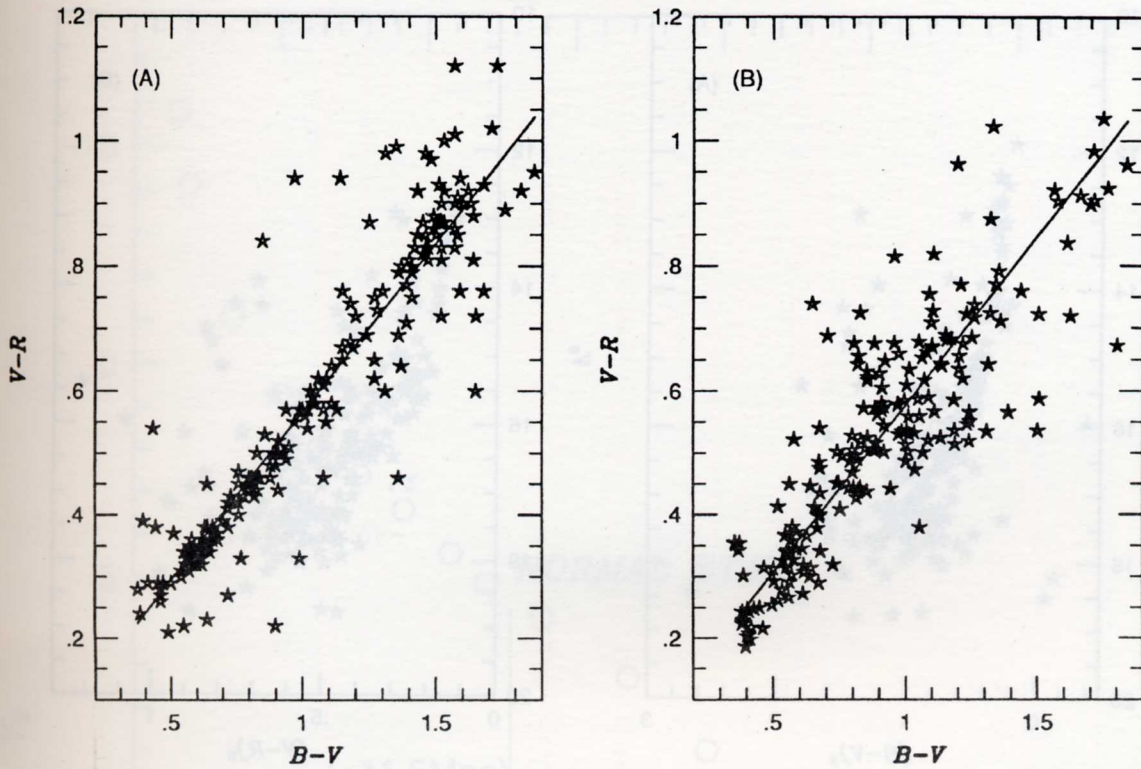


Fig. 3. Color-color diagrams of the open cluster M67(A) and NGC7790(B).

開星団M67と比較することにより、星間吸収の補正値を算出することにする。なお、M67の2色図の作成にあたっては、後述の参考文献に記された数値を使用した(Gilliand et al. 1991)。

まず最初に、M67の2色図上の主系列部分を直線と考え、傾きと切片の値を算出する。次に、M67の直線と同じ傾きを持つ直線をNGC7790の主系列に適応させ、その切片を求める。結果は以下の通りである。

〈傾き〉	NGC7790、M67	: 0.542
〈切片〉	NGC7790	: 0.035
	M67	: 0.024

この結果をグラフ化したものが図3(A) および(B)である。

各バンドの星間吸収量 $A(\lambda)$ の間には、 $A(B)/A(V) = 1.337$ 、 $A(R)/A(V) = 0.75$ の関係がある(Cardelli et al. 1989)から、両星団の空間赤化の差は、

$$\begin{aligned} \Delta E(B-V) &= \Delta A(B) - \Delta A(V) = 0.337\Delta A(V) \\ \Delta E(V-R) &= \Delta A(V) - \Delta A(R) = 0.249\Delta A(V) \\ &= 0.739\Delta E(B-V) \end{aligned}$$

である。上で求めた切片の差は、 $\Delta E(V-R) + (\text{傾き}) \times \Delta E(B-V)$ に等しいから、結局、

$$\Delta E(B-V) = 0.060 \tag{5}$$

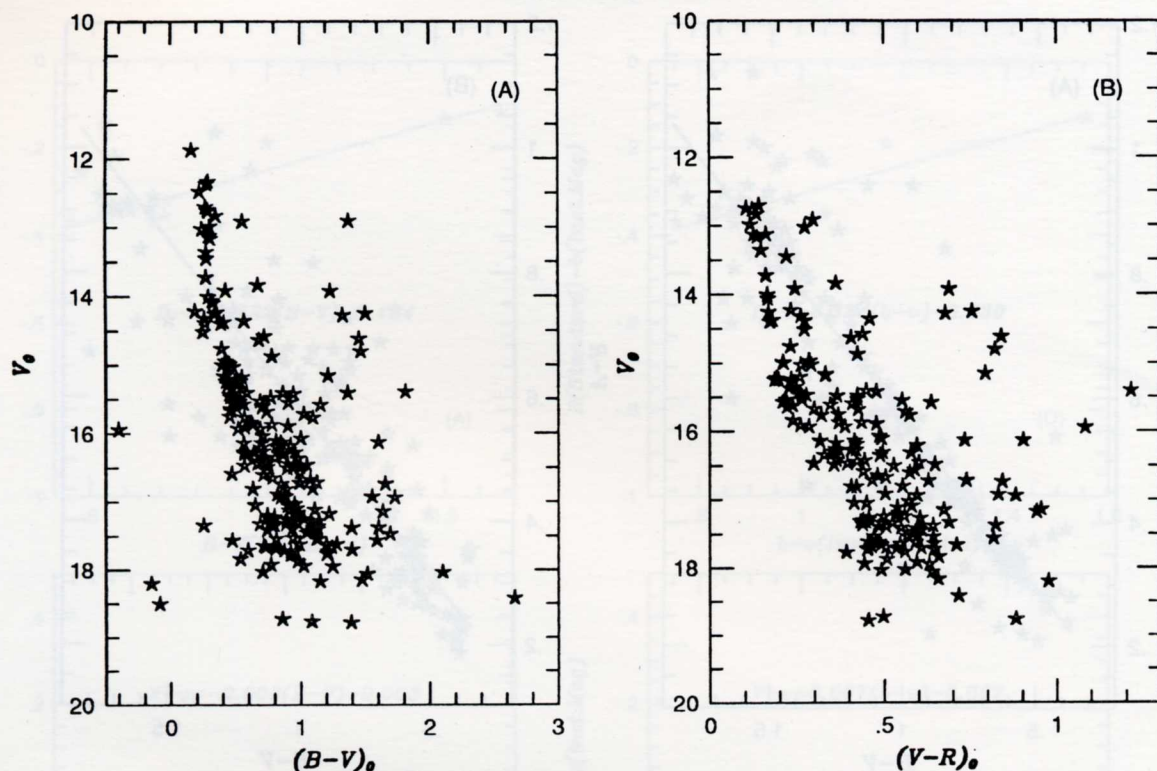


Fig. 4. Color-magnitude diagrams for NGC7790. Corrected magnitudes V_0 are plotted against the color indices $(B-V)_0$ (A) and $(V-R)_0$ (B).

また、M67 自体も星間吸収を受けている。その量は $E_{M67}(B-V) = 0.050$ である (Montgomery et al. 1993)。以上より、NGC7790 の星間吸収によるシフト量は、以下ようになる。

$$E(B-V) = 0.110$$

$$A(V) = 0.33$$

$$A(B) = 0.44$$

$$A(R) = 0.25$$

この値を用いて、各バンドの標準等級を補正した。補正後の値は $(B-V)_0$ のように表現する。

この補正後の等級からの色-等級図を作成する。色指数として $(B-V)_0$ を横軸にとったものが図4(A)であり、 $(V-R)_0$ を横軸にとったものが図4(B)である。双方の図において、主系列と推測される星の並びを見ることができる。

6. 星団までの距離の算出

主系列星の絶対等級と色指数で作成した色-等級図と、図4を比較すると、NGC7790 までの距離が得られる。比較を容易にするために、同一のグラフ上に表示したものが、図5である。主系列部分の等級差はほぼ 11.5 等級であるので、

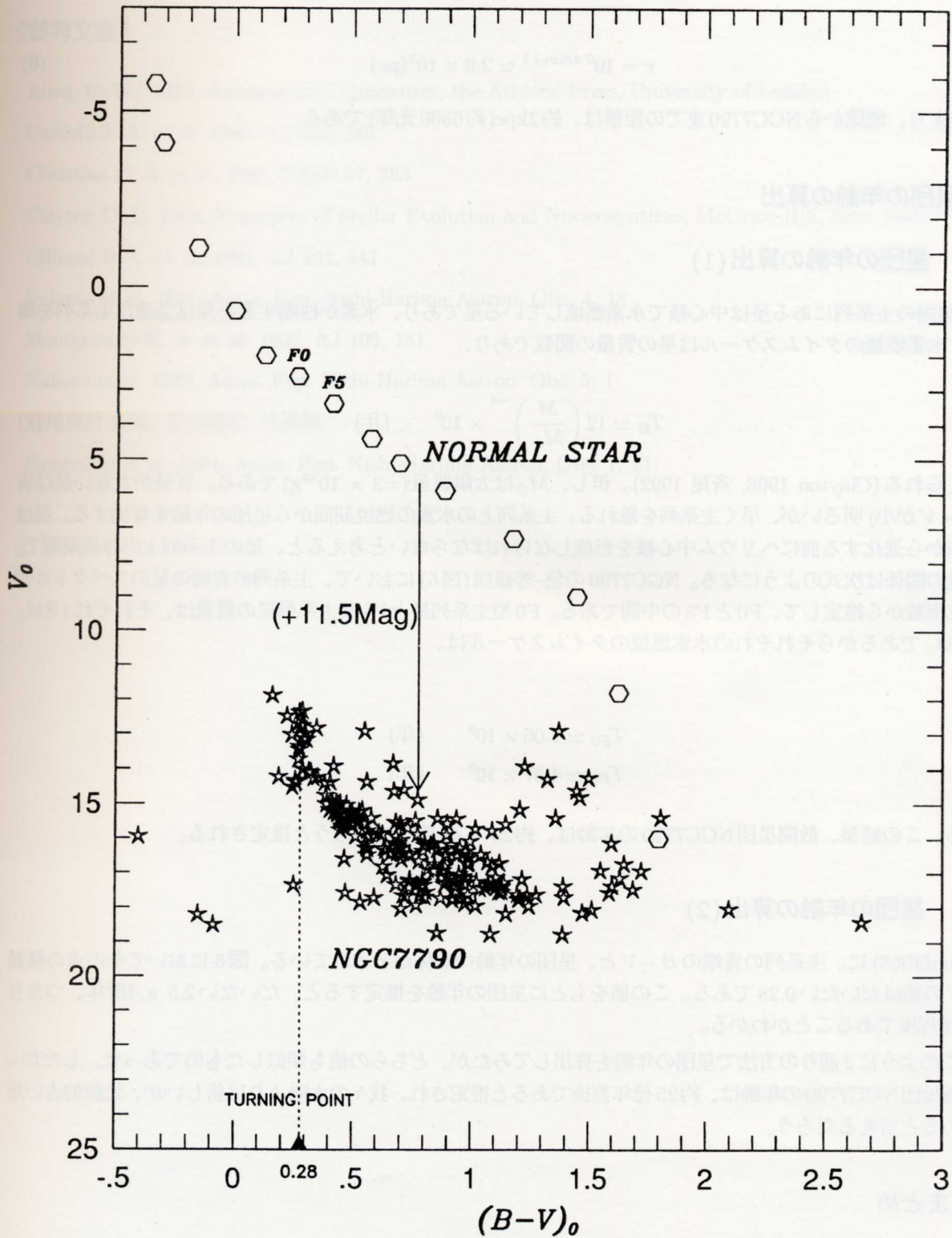


Fig. 5. The analysis of the distance and the age of the open cluster NGC7790. The data of "NORMAL STAR" ,i.e. the absolute magnitudes and $B-V$ for the main sequence stars are taken from the table in Allen(1973), p206.

$$r = 10^{0.4\Delta m + 1} \simeq 2.0 \times 10^3 (\text{pc}) \quad (6)$$

つまり、地球からNGC7790までの距離は、約2kpc(約6500光年)である。

7. 星団の年齢の算出

7-1. 星団の年齢の算出(1)

色等級図の主系列にある星は中心核で水素燃焼している星であり、水素が枯渇すると星は急速に主系列を離れる。水素燃焼のタイムスケールは星の質量の関数であり、

$$T_E \simeq 12 \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{-3} \times 10^9 \quad (\text{年}) \quad (7)$$

で与えられる (Clayton 1968, 斉尾 1992)。但し、 M_\odot は太陽質量(=2 × 10³³g)である。質量が大きい星は青く($B-V$ が小)明るい、早く主系列を離れる。主系列上の水素の燃焼期間から星団の年齢を算出する。星は主系列から進化する前にヘリウム中心核を形成しなければならないと考えると、星の主系列上の存続期間 T_E と質量の関係は次式のようなになる。NGC7790の色等級図(図5)において、主系列の青端の星のスペクトル型は、色指数から推定して、F0とF5の間である。F0型主系列星とF5型主系列星の質量は、それぞれ1.8 M_\odot と1.4 M_\odot であるからそれぞれの水素燃焼のタイムスケールは、

$$T_{F0} \simeq 2.06 \times 10^9 \quad (\text{年})$$

$$T_{F5} \simeq 4.37 \times 10^9 \quad (\text{年})$$

である。この結果、散開星団NGC7790の年齢は、約20～40億年であろうと推定される。

7-2. 星団の年齢の算出(2)

Clayton(1968)に、主系列の青端の $B-V$ と、星団の年齢の関係が示されている。図5においてその点の横軸 $B-V$ の値はだいたい0.28である。この値をもとに星団の年齢を推定すると、だいたい2.5 × 10⁹年、つまり25億年程度であることがわかる。

このように2通りの方法で星団の年齢を算出してみたが、どちらの値も類似したものであった。したがって散開星団NGC7790の年齢は、約25億年前後であると推定され、我々の太陽よりは新しいが、比較的古い星団であると言えるだろう。

8. まとめ

変換式の算出において、得られた変換式は、参考となる標準等級とのずれも小さく比較的信用できるものであった。そのため、以後の解析においても大きな問題は生じず、順調に行うことができた。例えば、色等級図において、主系列と思われる星の並びを見ることができる。そのようなことから判断して、今回の観測とそれに基づく解析結果は、比較的満足のできるものであったと思われる。

《参考文献》

- Allen, C. W. 1973, *Astrophysical Quantities*, the Athlone Press, University of London
- Cardelli J. A. et al. 1989, *AJ* 345, 245
- Christian C. A. et al. 1985, *PASP* 97, 363
- Clayton D. D. 1968, *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*, McGraw-Hill, New York
- Gilliand R. L. et al. 1991, *AJ* 101, 541
- Ieshima et al. 1994, *Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs.* 4, 18
- Montgomery K. A. et al. 1993, *AJ* 106, 181
- Nakano et al. 1995, *Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs.* 5, 1
- 斉尾英行 1992, *星の進化*, 培風館
- Sambuichi et al. 1991, *Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs.* 1, 23