Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs. 9, 1–12 (1999)

散開星団 NGC7790 の BVR 測光観測

石岡涼子[1]、木全理恵[1]、松田健太郎[1]、前田豊[1]、太田耕司[1]、鳴沢真也[2]、石田俊人[2]

1) 京都大学 理学部
2) 兵庫県立西はりま天文台

BVR Photometry of the Open Cluster NGC 7790

Ryoko Ishioka[1], Rie Kimata[1], Kentaro Matsuda[1], Yutaka Maeda[1], Koji Ohta[1], Shin-ya Narusawa[2], Toshihito Ishida[2]

1) Department of Astronomy, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto , Japan
2) Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo-cho, Hyogo 679-53, Japan

E-mail: ohta@kusastro.kyoto-u.ac.jp

(Received 1999, July 30)

概要

散開星団 NGC 7790 の BVR バンドでの CCD 観測を西はりま天文台６０ cm 望遠鏡を用いて行った。V=18 等級程度より明るい星 166 個について測光を行い、色等級図を作成した。星間吸収補正を行った色等級図からこの散開星団に対する距離指数 $(m-M)_0 = 12.5$ 等を得た。また、太陽程度の金属量の星の進化モデルと比較する事によって、NGC7790 の年齢として 7.9×10^7年を得た。

Abstract

BVR band observations of the open cluster NGC 7790 were made with a CCD attached to the 60cm telescope at Nishiharima Astronomical Observatory. Photometric data were obtained for stars brighter than $V \sim 18$ mag. Constructing a color-magnitude diagram of the cluter, we obtained a distance modulus of $(m-M)_0 = 12.5$ mag, after correcting for interstellar absorption. An age of the cluster was estimated to be 7.9×10^7 yrs by comparing with stellar evolutionary models with the solar abundance.

Key words: CCD Photometry — Open Cluster : Indivisual(NGC7790)

1. はじめに

散開星団は、数十個ないし数千個の恒星の集団で、その中での星の分布は比較的不規則である。散開星団のほとんどは銀河面及びその近くに存在している。現在発見されている散開星団は約千個であるが、銀河系内のダストによって見えていないものも多く存在するため、実際にはこれよりもっと沢山存在していると考えられて

いる。ヒヤデス星団のようにほぼ等しく平行に固有運動する星団 (特に運動星団と呼ばれる) はその固有運動、収束点と視線速度を測れば距離が求められる。しかし、多くは収束点が不明確なので、明るい恒星を含む散開星団においては分光視差が測定される。ところが、この測定のできる星団も多くない。散開星団の年齢、距離を求める方法で、最もよく使われるのが、星団中の星のスペクトル型 (色指数) と光度を利用する方法である。散開星団は、ほぼ同時期に生まれた星の集団であるため、HR 図上で比較的はっきりと年齢を推定することができる。これによって、散開星団の進化を知ることができるし、ひいては銀河系の構造や進化に対しても知見が得られる。また、観測で得られた色等級図を理論的なモデルと比較することによって、星の進化の理論の観測的検証を行うことも可能であろう。ここでは、NGC7790 という散開星団を選んで、その BVR 測光観測を実際に行い、その距離と年齢を推定することを目標とする。

2. データ

2–1. 観測の概要

観測は、1998 年 11 月 10 日から 12 日の 3 夜、兵庫県西はりま天文台で行った。11 日、12 日は天候不順のため、11 月 10 日に観測されたデータのみを用いた。但し、10 日の夜間における天候も測光夜ではなかった。(ドーム内の湿度は 70 %、気温は 12 度であった。) 観測対象は、散開星団 NGC7790 で、その位置は RA$=23^{\rm h}55.^{\rm m}9$、Dec.$=60°56'$ (1950 年分点) ($l=116.°6, b=-1.°0$) である。用いた望遠鏡は、クラシカルカセグレンの６０ cm 反射望遠鏡、フォークタイプの赤道儀、口径比 12 である。検出器は液体窒素冷却 CCD、画素数は 578×385pixel であり、視野は 6×4 分角である。(1 ピクセルは約 0.6 秒角。) 広帯域の BVR 干渉フィルターを用いた。観測時の seeing サイズは FWHM=4.3 秒角であった。Object フレームは、B,V,R バンドでそれぞれ、6,5,5 フレーム取得し、各露出時間は 180 秒である。Flat は、ドームフラットを B,V,R 各バンド毎に 3 フレーム取得した。Bias は、6 フレームをとった。

2–2. データ処理と解析

Bias 6 フレームのうち、最初と最後の image にはそれぞれ右横に筋や右下に明点があったので捨て、これら以外を平均して bias とした。Flat フレームは、bias を引いてから、各バンド毎に 3 フレームの平均をとり、最後に規格化して作成した。次に、各 object フレームから bias を引き、flat で割り、位置合わせをして、足し合わせた。これにより cosmic ray event の除去も同時に行えた。

星像検出と測光は IRAF を用いて行った。IRAFpackage の中の photometry のためのソフトとしては、APPHOT および DAOPHOT がある。ここでは、後者の DAOFIND で星の検出を行い、APPHOT を使って測光を行った。空のカウントは、星から半径 15pixel 離れた、幅 5pixel 分の環状部で決めて測光を行った。

上記の処理によって求められた instrumental な等級を標準星を用いて実際の等級に直す。観測では測光標準星を観測できなかったので (測光夜ではなかった)、既に明るさの知られている星で、視野内にうつっているものを使う必要がある。そこで、NGC7790 の観測視野の中から、広い等級の幅がとれる、色指数の出来るだけ広い範囲をカバーする、星の密集度が低い、という条件を考慮して Romeo et al. (1989) "CCD photometry of galactic open clusters-I.NGC7790" にある NGC7790 の星から標準星を採用した。(このカタログは我々のデータより深い。) 表 1に我々のデータと Romeo et al. (1989) のデータの star number を示す。

その結果、以下の換算式を得た。

$$b-B=0.0420(b-v)-1.516$$

Romeo(no.)	Our data(no.)	Romeo(no.)	Our data(no.)
34	57	233	213
59	82	234	198
68	95	266	229
79	111	269	230
99	115	336	274
115	123	339	272

Table 1. Standard stars

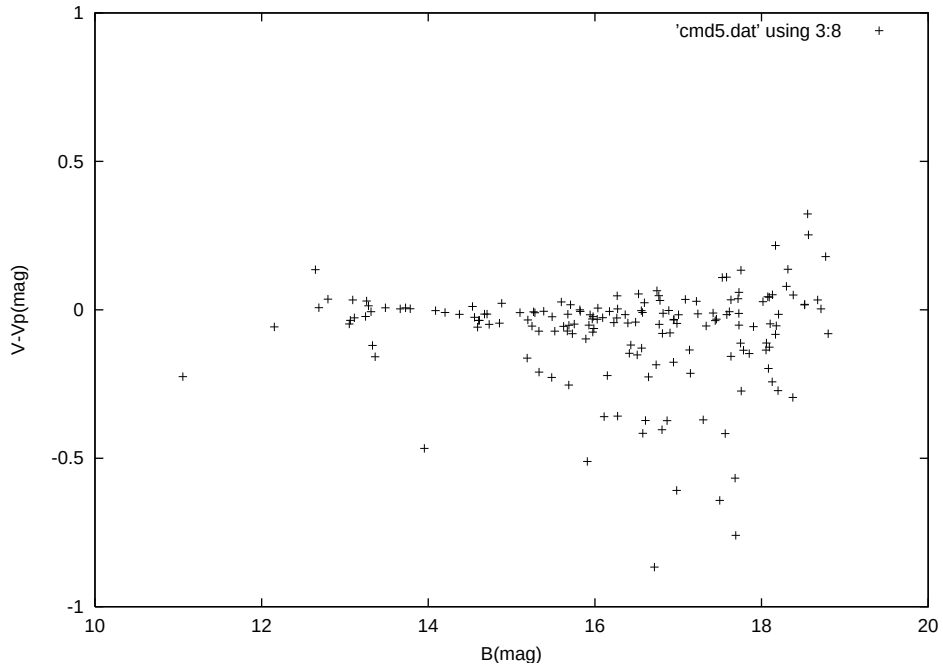

Fig. 1. Romeo et al. との等級差 (B バンド)

$$v - V = -0.0469(b - v) - 0.751$$

$$r - R = -0.0515(b - v) - 0.167$$

ここに、b,v,r は instrumental な等級、B,V,R は等級である。

こうして得られた B,V,R バンドそれぞれの等級を Romeo et al.(1989) のデータと比較したのが図 1, 図 2, 図 3である。横軸は今回の観測データから得た等級で、縦軸は Romeo et al. との等級差である (p の添字があるのが Romeo et al. のデータ)。また、後述されている main sequence 以外の星は除いてある。傾向として、我々のデータの方が少し明るく計測されているように見える。これは、星が密集しているため、シーングのあまりよくなかった我々のデータの方では周辺の星と混ざって測光されてしまった可能性も考えられる。また、図 4に、横軸に B バンド等級、縦軸に (B-V) の Romeo et al. (1989) のデータとの差を示す。

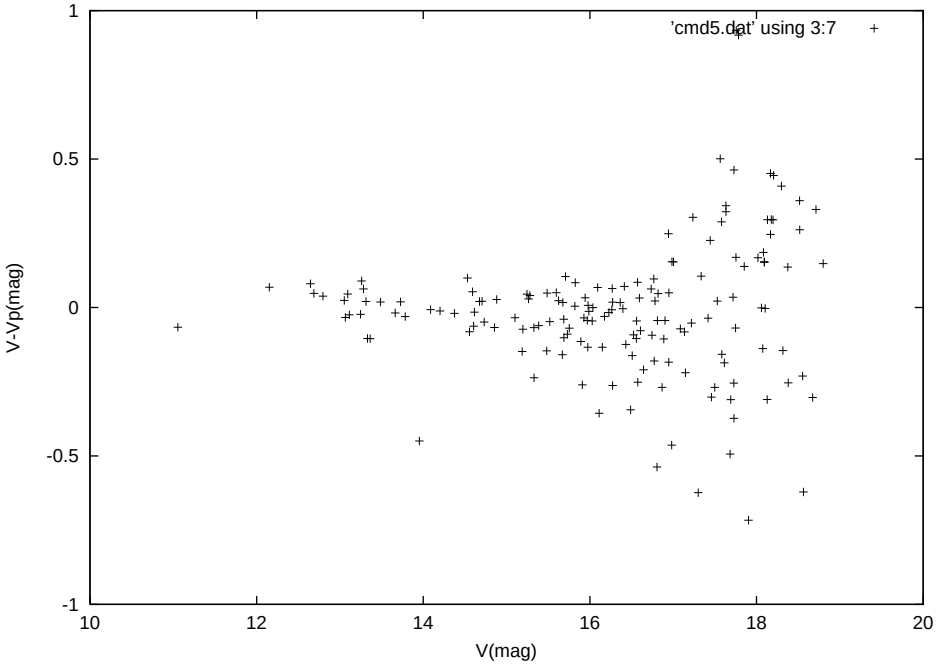

Fig. 2. Romeo et al. との等級差 (V バンド)

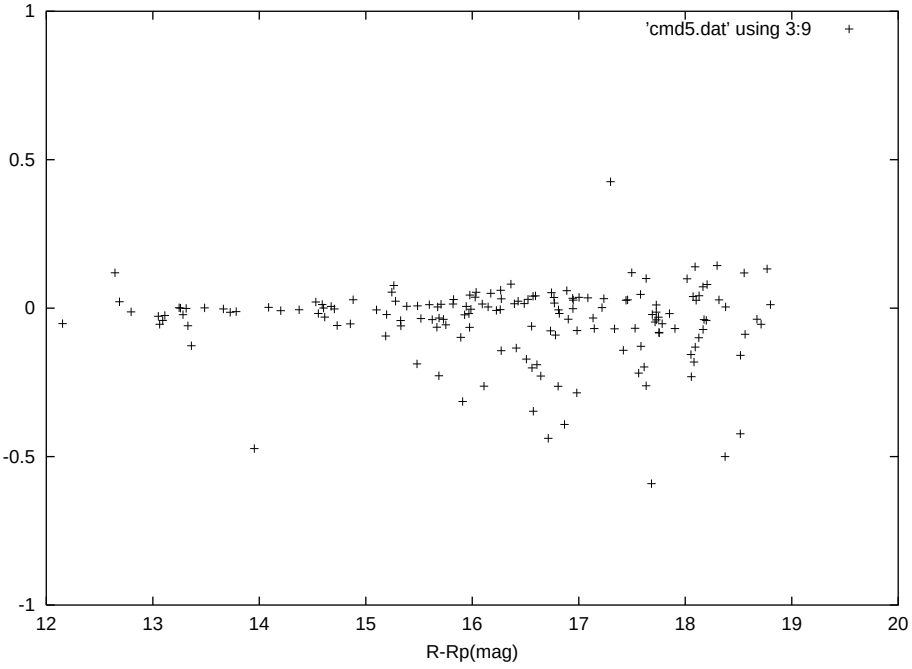

Fig. 3. Romeo et al. との等級差 (R バンド)

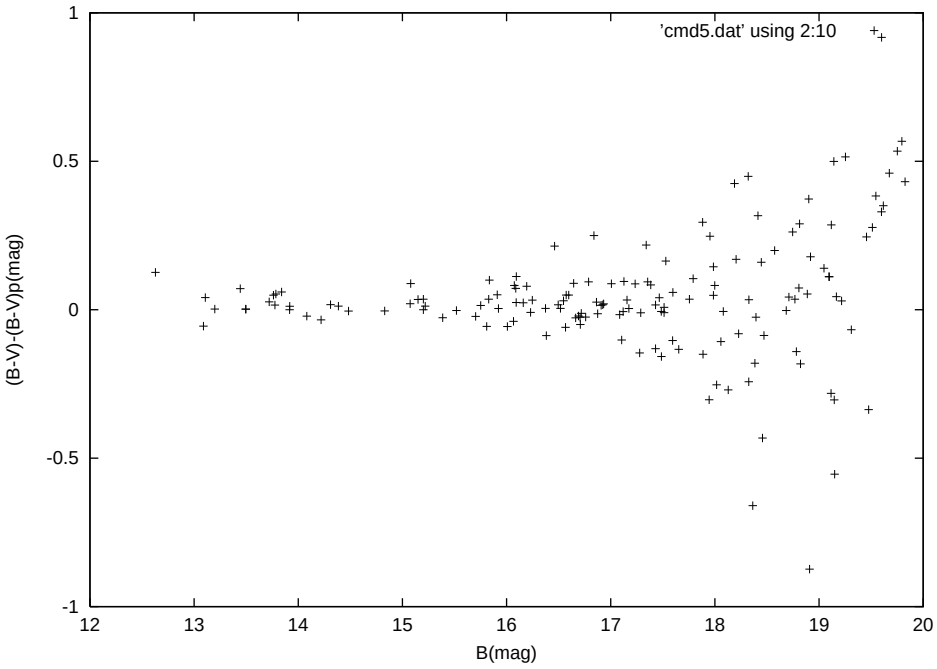

Fig. 4. Romeo et al. との色 (B − V) の違い

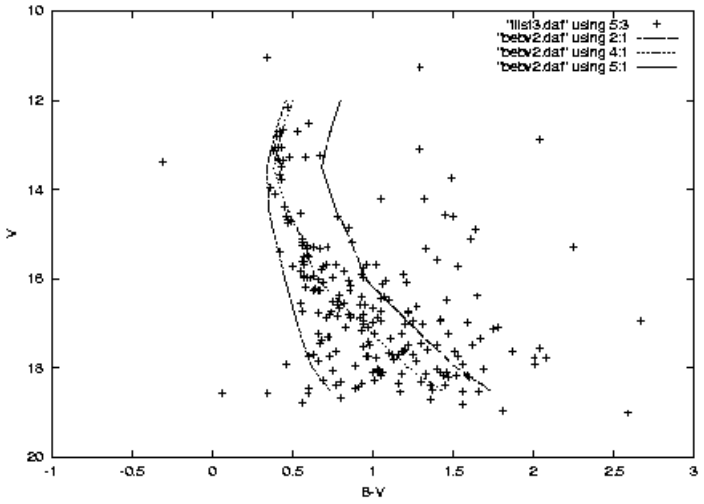

Fig. 5. 色–等級図 (V バンド)

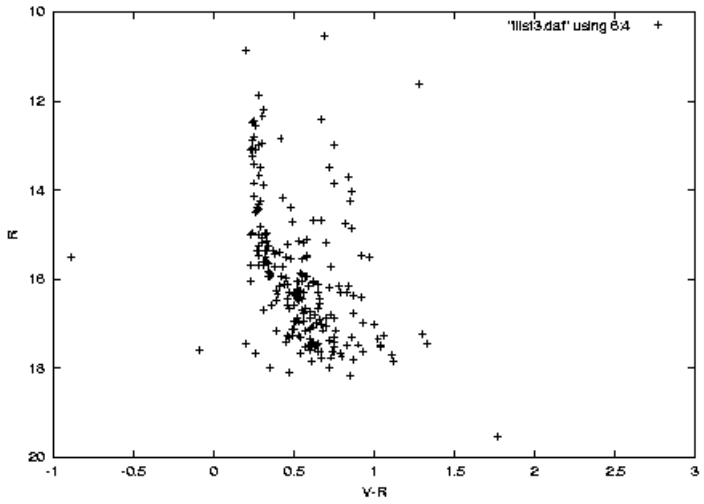

Fig. 6. 色–等級図 R バンド

3. 色等級図

我々の観測で得られたデータによる色–等級図の例を図 5と図 6に示す。観測した星には、星団の星だけでなくフィールド星もかなり含まれているので、これを除く必要がある。視線速度がわからないので、個々の星のデータだけからそれが星団に属するかどうかを判断することはできない。Romeo et al. (1989) は、なるべくフィールド星の少ないサンプルを得るため、色–等級図で主系列にある星を星団の星としている。ただし、転回点より明るい星は主系列から進化していると考えられるので、$(B-V) < 0.6$ mag の星を星団の星としている。この結果、観測した 343 の星のうち 153 個が星団の星とされている。

我々も Romeo et al. (1989) の方法でフィールド星を除くことにした。まず、図 5で主系列の blue envelope を決め、それぞれの等級における色のエラーを考慮し、その位置より$\Delta(B-V)$ が 0.3 mag より大きい星はフィールド星とした。この結果残った 166 個の星のデータで作った色–等級図が図 7である。Blue envelope から計ってエラーの値が半分のところを'obserbed ZAMS' とする。主系列がエラーの幅より拡がっており、その中央を'obserbed ZAMS' としないのは、連星のためである。

Dabrowski & Beardsley(1977) によると色ー等級図で ZAMS を単星の位置としてそれより上にある星は連星とするのが有効な見分け方である。連星は、2 つの星を 1 つの星と見ているために、伴星の分だけ明るくプロットされるからである。

Romeo et al. (1989) は単星と連星の分布がどちらも測光誤差で決まるガウス分布であるとして、2 つのガウス分布から両者を区別しようと試みている。しかし、彼らの十分小さな測光誤差でも、ZAMS と binary ridge のまわりのガウス分布は全ての等級で重なっていて、個々の星が連星か単星かを区別することはできなかった。従って、我々のデータで連星か単星かを判別することは全くできないが、binary ridge に近い星は、ZAMS に近い星より連星である可能性が高いと思われる。

4. 星間減光及び NGC7790 までの距離について

ここでは BVR の 3 バンドで測光したために、二色図を作っても、色超過 $E(B-V)$ の値を求めることは困難である。そこで、いくつかの文献の値を調べ、それを参考にして値を採用することにする。表 2より、

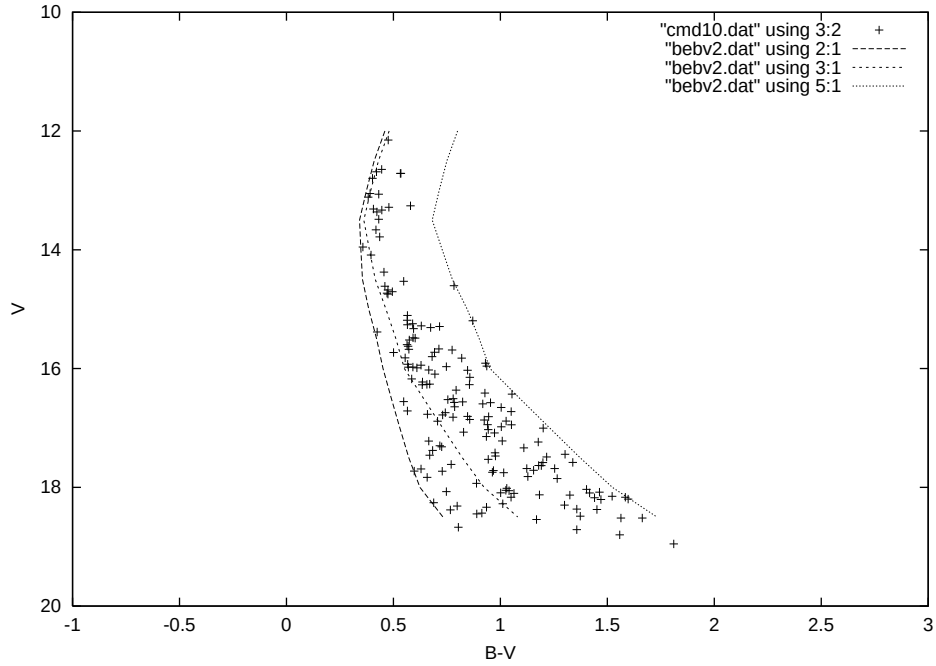

Fig. 7. 補正後の色−等級図

E(B−V)=0.54 mag を採用する。

あとは、$\mathcal{R}$ の値が決まれば A_B、A_V、A_Rが求まる。これは、A_B、A_V、A_R、が $E(B-V)$、$\mathcal{R}$ を用いて

$$\begin{aligned} A_V &= \mathcal{R}E(B-V) \\ A_B &= A_V + E(B-V) \\ A_R &= A_V - E(V-R) \\ &= A_V - \frac{E(V-R)}{E(B-V)}E(B-V) \end{aligned}$$

と表されるからである。

参考文献	測定方法	$E(B-V)$
Sandage	Q-method	0.522 ± 0.040
Kraft	spectroscopy	0.49 ± 0.024
Sandage&Tammann	from Kraft(1961)	0.555
Janes&Adler	from Hagen(1970)	0.52
Cester&Marsi	Q-method	0.52
Pedoreros,Madore&Freedman(以後 PMF)	dereddening	0.64 ± 0.05
Mateo&Madore	UBV 二色図	0.56

Table 2. 各文献による $E(B-V)$ の値

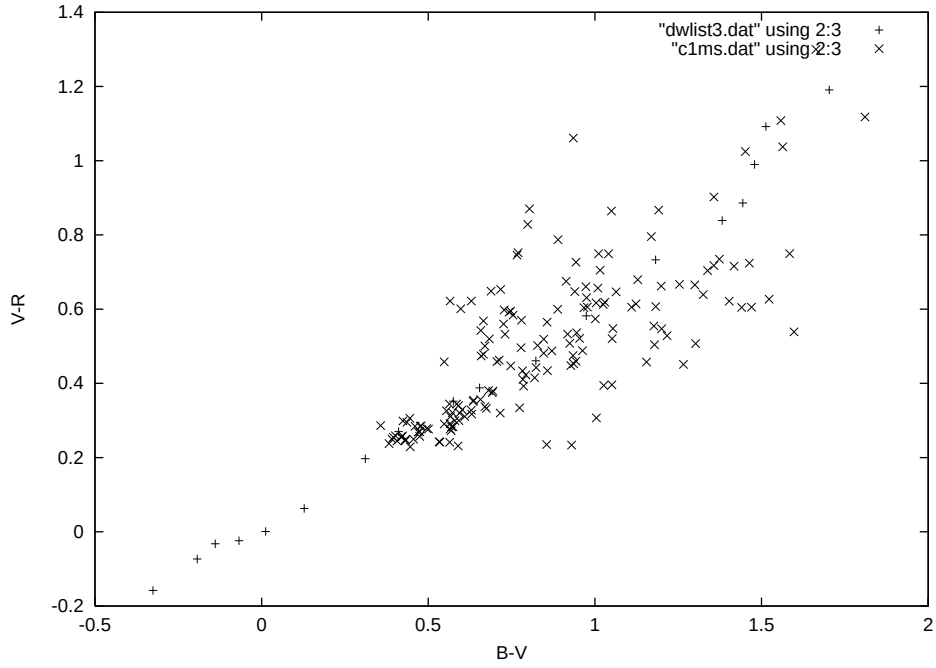

Fig. 8. 重ね合わせた二色図 (+ :主系列星、× :NGC7790)

ここで、$\frac{E(V-R)}{E(B-V)}$は二色図より求められる。観測した NGC7790 の星の二色図と、文献からとった赤化していない主系列星から作った二色図を比較すると (図 8)、どちらも直線を示し、それが重なっている。従って dereddening ができなかったわけであるが、その直線の傾きを$\frac{E(V-R)}{E(B-V)}$とすることができる。図 8から、$\frac{E(V-R)}{E(B-V)} = 0.62$ mag であることがわかる。

以上から、$\mathcal{R}$ 及び $E(B-V)$ の値を用いて A_B、A_V、A_Rを求めると、$A_B = 2.2$ mag, $A_V = 1.7$ mag, $A_R = 1.3$ mag となる。こうして減光量 A_B、A_V、A_Rがわかれば、観測によって求めた見かけの等級から、減光を受けない見かけの等級を求めることができる。この減光を受けない見かけの等級を用いて色等級図を作ると、図 9のようになる。この色等級図を併って、星団までの距離、年齢を求める。

星団までの距離指数を求めるのに ZAMSfitting を行う。減光補正を行った星団の星の見かけの等級を用いて作った色等級図 (図 9) と、文献によって得た ZAMS の絶対等級ー色関係図を作り (図 10)、その等級

参考文献	R
Hiltner&Johnson	3.15
Johnson&Borgman	3.1 ∼ 3.2
Turner (1976b)	3.08 ± 0.02
Janes&Adler	3.0
Cester&Marsi	3.15
PMF	3.28
Janes,Tilley&Lyngå	3.2

Table 3. 各文献による $\mathcal{R}$ の値

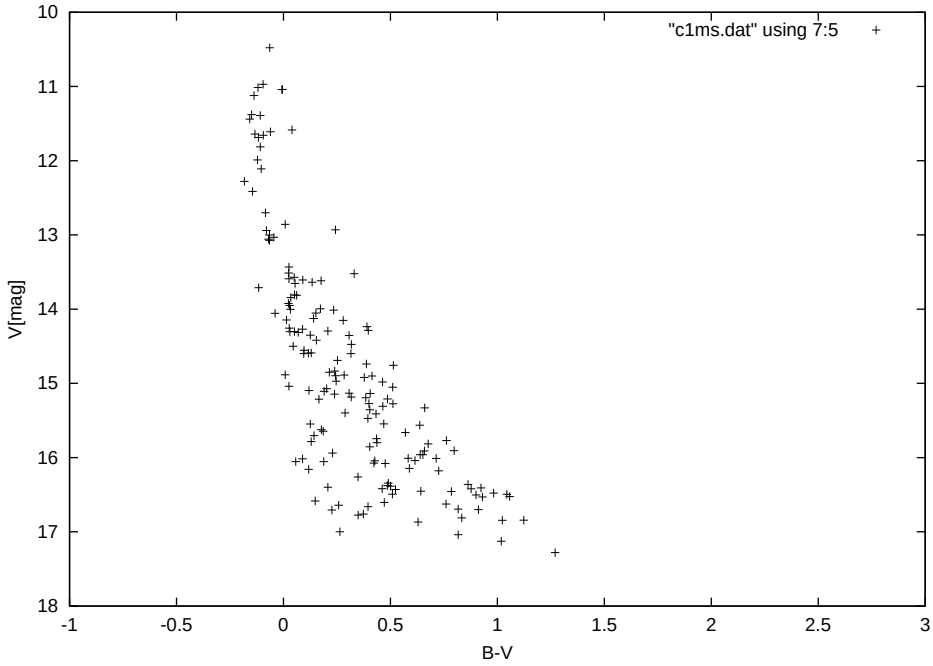

Fig. 9. NGC7790 の色等級図

参考文献	$m_0 - M$
Sandage	12.80 ± 0.15
Caldwell	12.69
PMF	12.3 ± 0.2
Mateo&Madore	12.34 ± 0.14

Table 4. 各文献の $m_0 - M$ の値

差を求める。その差が距離指数となる。ここでは ZAMS として Tuner(1976a,1979) の値を用いた。

図から距離指数 $m_0 - M$ を求めると、$m_0 - M = 12.5$ mag となる。表 4に他の研究による結果を示すが、今回の結果は悪くない値であると考えられる。星団までの距離は、$d = 3.2 \times 10^3$ pc となる。ここで用いた Truner のデータの他にも、Blaauw(1963)、Mermilliod(1981)、Vandenberg&Bridges(1984)、Galactic Astronomy (1998) に掲載されている ZAMS での絶対等級ー色関係等があり、それぞれ微妙に異なっている。これらの ZAMS も用いて距離指数を考えた場合、$m_0 - M$ の値は 12.3 ～ 12.7 mag の範囲にあると言える。

5. 年齢の決定

NGC7790 の年齢の決定には、得られた色等級図を等時曲線と比較する方法をとる。ここでは、 Bertelli et al. (1994) の理論等時曲線を用いる。

まず、色等級図から転回点での色指数を求める。Galactic Astronomy (1998) にのっている主系列の絶対等級と色の関係 (図 10とほぼ同じ) と比較すると、転回点では $B - V = -0.15 \sim -0.16$ mag である。次に、図 11 は Bertelli et al. の理論等時曲線データ Table7 において、観測による色等級図の転回点付近の $B - V$

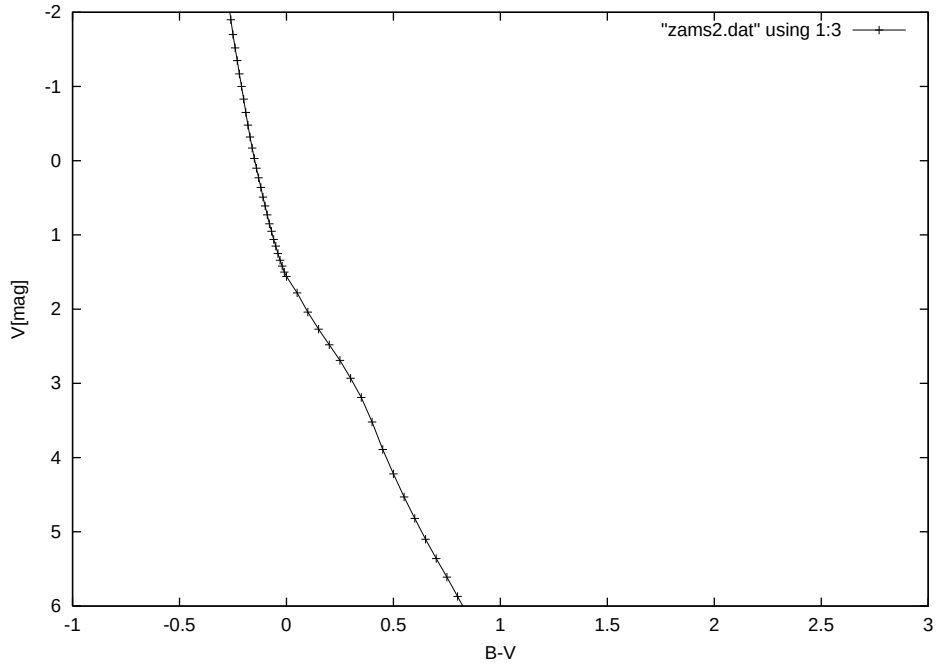

Fig. 10. ZAMS by Turner

と年齢との関係を 2 つの金属量についてプロットしたものである。実線が $\mathrm{Z} = 0.02$ (太陽の化学組成) を表し、点線が $\mathrm{Z} = 0.008$ を表す。転回点を目で見て決めることによる不定性はとりあえず無視し、転回点付近での $B - V$ の誤差を 0.03 mag として等時曲線から年齢を見積もると、$\mathrm{Z} = 0.02$ の時 $(8.1 \pm 1.5) \times 10^7$ yr、$\mathrm{Z} = 0.008$ の時 $(9.9 \pm 2.2) \times 10^7$ yr という結果を得た。20% 前後のふれ幅というのは、この年齢決定の手法の曖昧さから許容範囲として良いと思われる。観測データのバンドは B、V、R の 3 色で、 Bertelli et al. のデータには R バンドは含まれていない為、色指数としては $B - V$ の値しか用いることが出来なかった。しかし、観測データは CCD の性質上、B バンドより R バンドの方が誤差が小さいので、 $V - R$ を用いた方がより信頼のおける結果が得られたであろう。

他のグループが出した NGC7790 の年齢を見てみる。Romeo et al. は、対流核からの overshooting を考慮した星の理論モデルと考慮しないモデルとの両方について我々と同様な方法で求めている。Overshooting を考慮した場合、 $\mathrm{Age} = (1.0 \pm 0.2) \times 10^8$ yr、考慮しないモデルを用いた場合は $\mathrm{Age} = (5.0 \pm 1.5) \times 10^7$ yr である。 Romeo et al. (1989) は後者のモデルによる等時線の方が観測データにより良く合っている為、その方が良い値だ、としている。一方で、セファイドを用いて求めた結果とより近い値は前者のほうとなっている。また、Matthews et al.(1995) がセファイドを用いて求めた年齢は、$10^{8.0-8.1}$ (yr) である。ここでは金属量は $\mathrm{Z} = 0.008$ としている。以上、 2 つのグループにより出された値と比べると、我々は全体として少し若めの結果を出したといえる。

この観測は、京都大学理学部 3 回生向け課題演習として、西はりま天文台において行ったものである。本報告は提出された課題演習のレポートをもとに作成したものである。末尾ながら、観測にあたっていろいろ便宜をはかって下さった西はりま天文台の皆様に深く感謝する次第です。

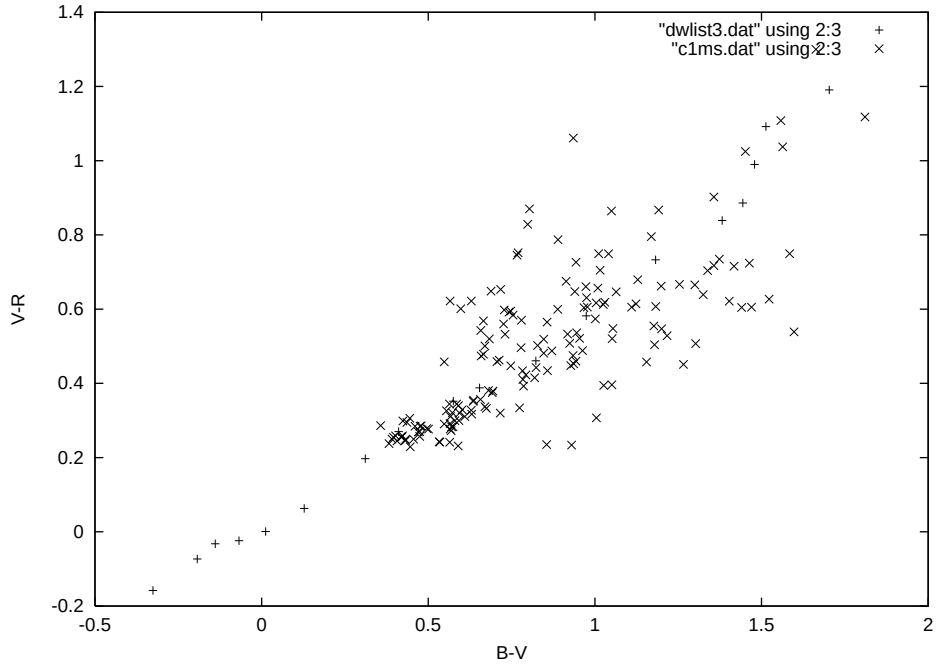

Fig. 11. 転回点における色と年齢 (実線 ：Z=0.02, 点線 ：Z = 0.008)

参考文献》

Binney J. Merrifield M. 1998, Galactic Astronomy (Princeton University Press)

Bertelli G. Bressan A. Chiosi C. Fagotto F. Nasi E. 1994, A&AS 106, 275

Blaauw A. 1963, Basic Astronomical Data, p.383

Bressan A. Fagotto F. Bertelli G. Chiosi C. 1993, A&AS 100, 647

Caldwell J.A.R. 1983, Observatory 103, 244

Cester B. Marsi C. 1984, A&SS 107, 167

Dabrowski J.P. Beardsley W.R. 1977, PASP 89, 225

Hagen G.L. 1970, Publ. David Dunlap Obs. 4, 1

Hiltner W.A. Johnson H.L. 1956, ApJ 124, 367

Janes K.A. Adler D. 1982, ApJS 49, 425

Janes K.A. Tilley C. LyngåG. 1988, AJ 95, 771

Johnson H.L. Borgman J. 1963, Bull. Astron. inst. Netherlands 17, 115

Kraft R.P. 1958, ApJ 128, 161

Mermilliod J.C. 1981, A&A 97, 235

Mateo M. Madore B.F. 1989, The Extragalactic Distance Scale p.174

Matthews J.M. Gieren W.P. Mermilliod J.C. Welch P.L. 1995, AJ 110, 2280

Pedreos M.H. Madore B.F. Freedman W.L. 1984, ApJ 286, 563

Romeo G. Fusi P. Bonifazi A. Tosi M. 1989, MNRAS 240, 459

Sandage A.R. 1958, ApJ 128, 150

Sandage A.R. Tammann G.A. 1969, ApJ 157, 683

Turner D.G. 1976a, AJ 81, 97

Turner D.G. 1976b, AJ 81, 1125

Turner D.G. 1979, PASP 91, 642

VandenBerg D.A. Bridges T.J. 1984, AJ 278, 679