

アブストラクト

星の進化計算の予言と古い散開星団中の赤色巨星の観測結果を詳しく比較した。固有運動から非メンバーを除去した散開星団色等級図を示す。その目立つ特徴は $M_V=+1$, $B-V=1.0$ を中心とした赤い星の固まり(「クランプ」)である。これは球状星団の水平枝に対応する。Iben, Faulkner らの計算結果との比較はその対応を支持し、それらの星はヘリウム燃焼核を持っている事を示す。

この「クランプ」の絶対等級が一定であるのは低質量赤色巨星の核が縮退している事を示す観測的証拠である。この「クランプ」は星団距離の粗い見積もりと赤化評価に使える。

1. イントロ

球状星団(低質量、低メタル)——>散開星団(1-3 M_{\odot} 、高メタル) 固有運動によるメンバー確定が重要

2. 星団年齢

ターンオフ(=最も青い主系列星)の赤化補正($B-V$)から年齢。ただし、メタル効果があるので、1次推定値。

散開星団のメタル:ノーマル(Eggen,Sandage 1969), 低い(Arp 1962), スーパー(Spinrad,Taylor 1969)

ここではノーマルを仮定

高齢 $0.4 < (B-V)_{to}$ 、

中間年齢 $0 < (B-V)_{to} < 0.4$

モデル $t=3-10\text{Gyr}$ $M_{to}=1-1.5M_{\odot}$

$t=0.3-3\text{Gyr}$ $M_{to}=1.5-2.5M_{\odot}$

個々の星団の年齢の決め方

(1)赤化は2色図から決める。組成はヒアデス仮定。

(2)Iben進化モデルから、年齢—($B-V$) $_{to}$ 関係——>Sandage, Eggen 1969と非常に近い結果

3. 星団選択

4. 中間年齢星団

図1 NGC752 の色等級図

- : Cannon による固有運動でメンバー確定
 - : Ebbighausen 1939によるもっと広い領域からの明るいメンバー
- $E(B-V)=0.07$ (Eggen,Sandage 1963)

$(m-M)=7.9$ <—— 主系列

固有運動測定リミットは $B=17$ だが、 $B=15-17$ にメンバーが少ない。

——> 力学的に軽い星ほど抜けやすい?
軽い星ができなかった?

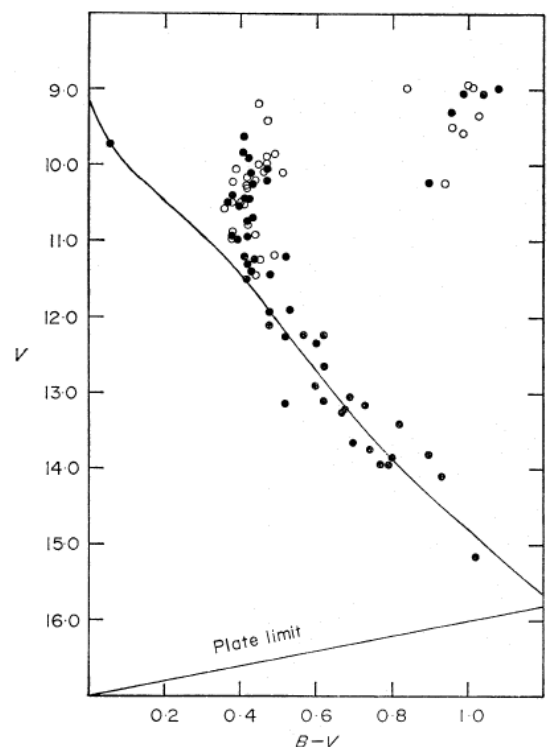
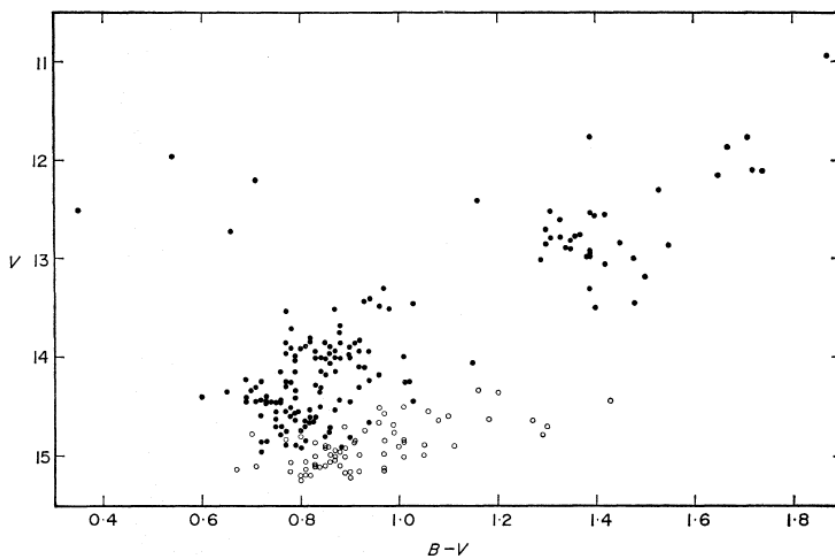
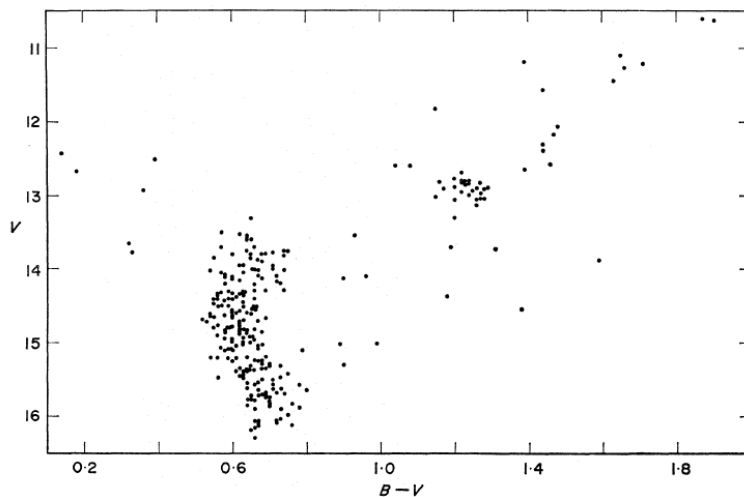


図2 NGC7789 の色等級図

NGC752 よりリッチ

$E(B-V) = 0.28$



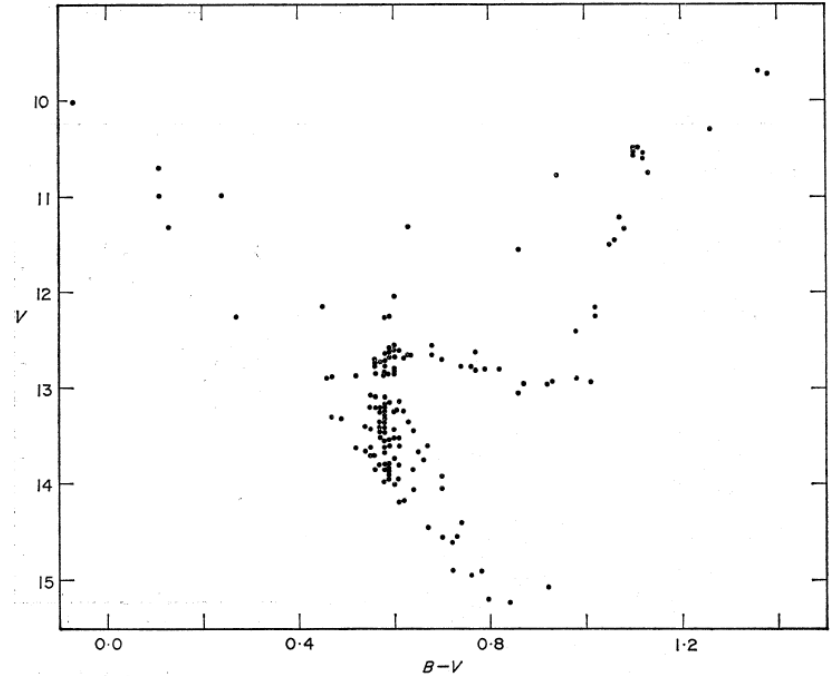
上の3星団は

- (1) 赤化補正すると、 $(B-V)_0 = 0.3$
- (2) 似たRGBを有する。
- (3) $(B-V)_0 = 1.0$ 付近に塊。
- (4) “blue straggler” 星の存在
- (5) 主系列端末付近のギャップがリアルか？

NGC752 では $V=10.5$ (Eggen 1963) サンプルが少ないので？ NGC7789にはない。NGC6939 $V=14.1$

図4 NGC 67の色等級図
 老齢星団の代表
 $E(B-V)=0.06$

前の中間年齢3星団との差は、
 MS端末から連続する準巨星列
 Hertzsprung ギャップがない。
 しかし、同様に
 $V=10.5$ に塊。
 $V=13$ にギャップ
 blue stragglers



6.他の星団 $(B-V)_0, t_{0>0.0}$ を文献から探した。

NGC	Name	$E(B-V)$	$(m-M)_0$	$(B-V)_{0,t}$	Age (10^8 years)	\overline{M}_V	$\overline{(B-V)}_0$	ΔV	$\Delta(B-V)$	References
188		0.09	10.85	0.59	80	1.1	1.1	2.7	0.5	Eggen & Sandage 1969
559		0.45	11.1	0.20	7	1.4	1.05	—	0.85	Lindoff 1968a
752		0.04	7.9	0.33	12	1.1	1.0	0.8	0.6	Fig. 1, this paper
1245		0.28	11.8	0.16	6	1.4	0.9	0.0	0.8	Hoag et al. 1961
1342		0.28	8.7	0.05	4	—	—	—	—	Hoag et al. 1961
—	Hyades	0.00	3.0	0.12	5	0.7	1.0	0.5	0.9	Johnson & Knuckles 1955
1817*		—	—	—	—	—	—	—	—	Cuffey 1938
1907		0.38	10.7	0.07	4	0.7	0.9	0.0	0.9	Hoag et al. 1961; Lavdovskii 1965
2158		0.43	13.4	0.27	9	0.4	0.9	1.3	0.6	Arp & Cuffey 1962
NGC	Name	$E(B-V)$	$(m-M)_0$	$(B-V)_{0,t}$	Age (10^8 years)	\overline{M}_V	$\overline{(B-V)}_0$	ΔV	$\Delta(B-V)$	References
2194*		—	—	—	—	—	—	—	—	Cuffey 1943
2215		0.10	10.0	0.10	4	—	—	—	—	Becker 1960
2266*		—	—	—	—	—	—	—	—	Cuffey 1938
2324		0.11	12.4	0.15	5	0.7	1.0	0.0	0.8	Hoag et al. 1961
2360		0.07	10.3	0.30	9	0.7	0.9	0.4	0.6	Eggen 1968
2420		0.01	11.9	0.39	20	0.7	1.0	1.8	0.6	West 1967b; Cannon 1970
2423		0.13	9.7	0.2	7	0.9	0.9	0.0	0.7	Smyth & Nandy 1962
2477		0.25	10.0	0.25	8	1.6	1.0	0.0	0.7	Eggen & Stoy 1961
2506		0.10	11.7	0.40	20	1.1	0.9	1.3	0.5	Purgathofer 1964
2632	Praesepe	0.00	6.0	0.15	5	0.5	1.0	0.0	0.8	Johnson 1952
2682	M67	0.06	9.6	0.51	50	0.8	1.0	2.0	0.5	Eggen & Sandage 1964
3496		0.5	10.3	0.1	4	1.2	1.1	0.0	1.0	Sher 1965
3680		0.04	9.5	0.44	30	1.3	1.1	1.0	0.7	Eggen 1969a
—	Coma	0.00	4.5	0.05	4	—	—	—	—	Johnson & Knuckles 1955
5822		0.19	9.3	0.00	4	0.7	0.8	0.4	0.7	Brück et al. 1968
5823		0.18	9.2	0.4	20	—	—	—	—	Brück et al. 1968
IC4651†		—	—	—	—	—	—	—	—	Eggen 1969b
6633		0.17	7.5	0.05	4	0.5	0.9	0.0	0.9	Hiltner et al. 1958
6791		0.22	13.5	0.58	70	0.6	1.1	2.5	0.5	Kinman 1965
6811*		—	—	—	—	—	—	—	—	Becker 1947
6819*		—	—	—	—	—	—	—	—	Barkhatova et al. 1963
6866		0.14	10.4	0.06	4	—	—	—	—	Hoag et al. 1961
6882/5		0.08	8.9	0.36	16	—	—	—	—	Hoag et al. 1961; Lavdovskii 1965
6939		0.5	10.5	0.25	8	0.8	0.8	1.0	0.6	Fig. 3, this paper
6940		0.3	9.5	0.15	5	0.5	0.8	0.0	0.7	Larsson-Leander 1964
7062*		—	—	—	—	—	—	—	—	Fenkart 1965
7142		0.46	11.4	0.39	20	0.9	1.0	—	0.7	van den Bergh 1962
7789		0.28	11.4	0.32	11	0.7	1.0	0.8	0.7	Fig. 2, this paper

この他に古い運動星群を下に挙げる。

TABLE II
Old stellar groups

Name	$(B-V)_{o,t}$	Age (10^8 years)	\overline{M}_v	$\overline{(B-V)}_o$	ΔV	$\Delta(B-V)$	References
Wolf 630	0.5	50	1.0:	1.1	2.0:	0.6	Eggen 1969c
ζ Her	0.5	50	1.2	1.0	1.8	0.5	Eggen 1958
γ Leo	0.55	60	—	—	—	—	Eggen 1959
61 Cyg	0.5	50	0.8	1.1	2.0	0.6	Eggen 1969c
η Cep	0.55	60	0.2	1.1:	2.8	0.50:	Eggen 1964a
σ Pup	0.52	50	1.0	1.0:	3.4	0.4:	Eggen 1964b
ϵ Indi	0.5	50	—	—	—	—	Eggen 1958

比較のため若い星団も載せた。

Some clusters with turn-off colour $(B-V)_o \leq 0.0$

NGC	Name	$E(B-V)$	$(m-M)_o$	$(B-V)_{o,t}$	Age (10^8 years)	\overline{M}_v	$\overline{(B-V)}_o$	References
869+884	$h + \chi$ Persei	0.56	11.8	-0.30	~ 0.1	-5.0	1.9	Wildey 1964
6664		0.60	10.8	-0.20	0.3:	-2.2	1.3:	Arp 1958
3114		0.04	9.7	-0.10	1.5:	-1.7	1.2:	Lynge 1962
6494		0.38	9.1	-0.06	2	-0.6	1.0	Hoag <i>et al.</i> 1961
2287	M41	0.00	9.1	-0.05	2	-1.3	1.1:	Hoag <i>et al.</i> 1961
6705	M11	0.40	11.2	-0.05	2	-0.7	1.1:	Johnson <i>et al.</i> 1956
2099	M37	0.27	10.8	0.00	3	-0.3	1.0	West 1967a

7. Red Giant Clump の性質

クランプの位置と形は47Tucの赤くて短い水平枝と似ている。

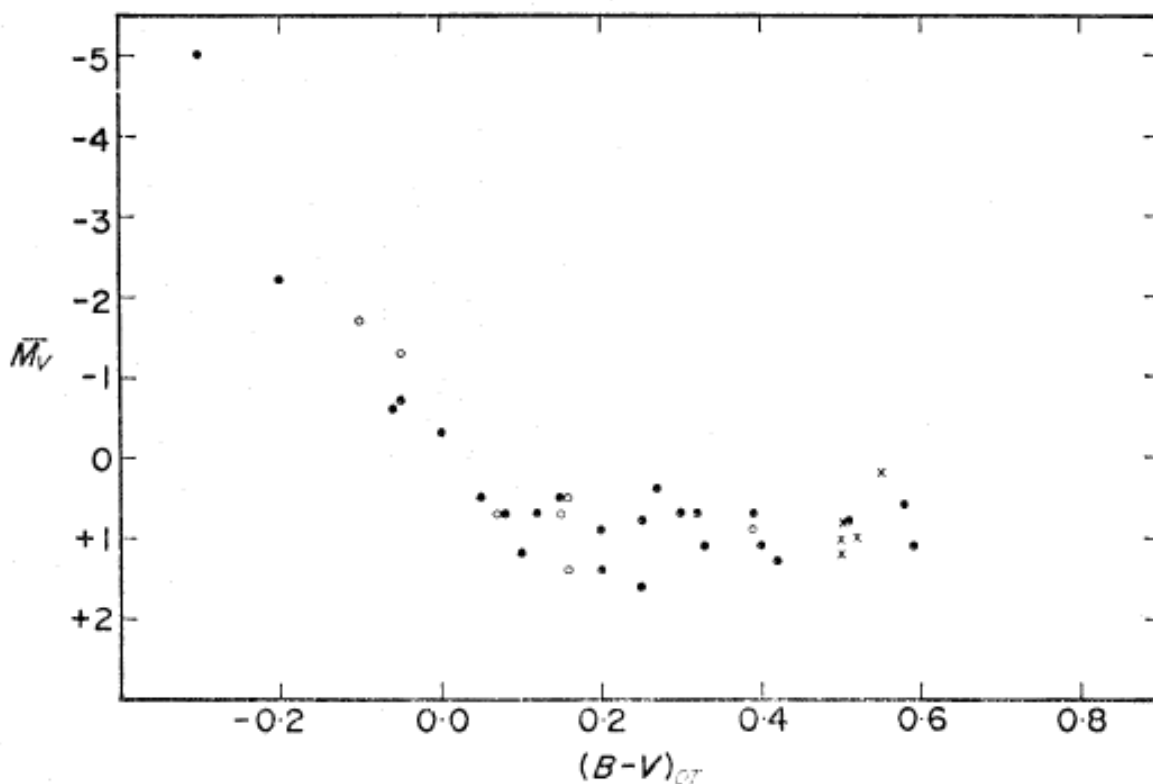


図5 ターンオフカラー $(B-V)_{to}$ 対 クランプ絶対等級 M_v

○: やや不確かなクランプ ●: 確かなクランプ

—> $(B-V)_t < 0.05$ ($t=0.4\text{Gyr}$, $M_t=2.3M_\odot$) では M_V が変化するが、その先は幅1等で一定値。

クランプカラーも $(B-V)_{rc}=1.0$ に集中。

もし、ターンオフの等級とカラーはZAMSと平行に下がっていくから、レッドクランプの等級とカラーが一定なら、レッドクランプに対するターンオフの位置は、距離、赤化に関係なくZAMSと平行に変化するはず。

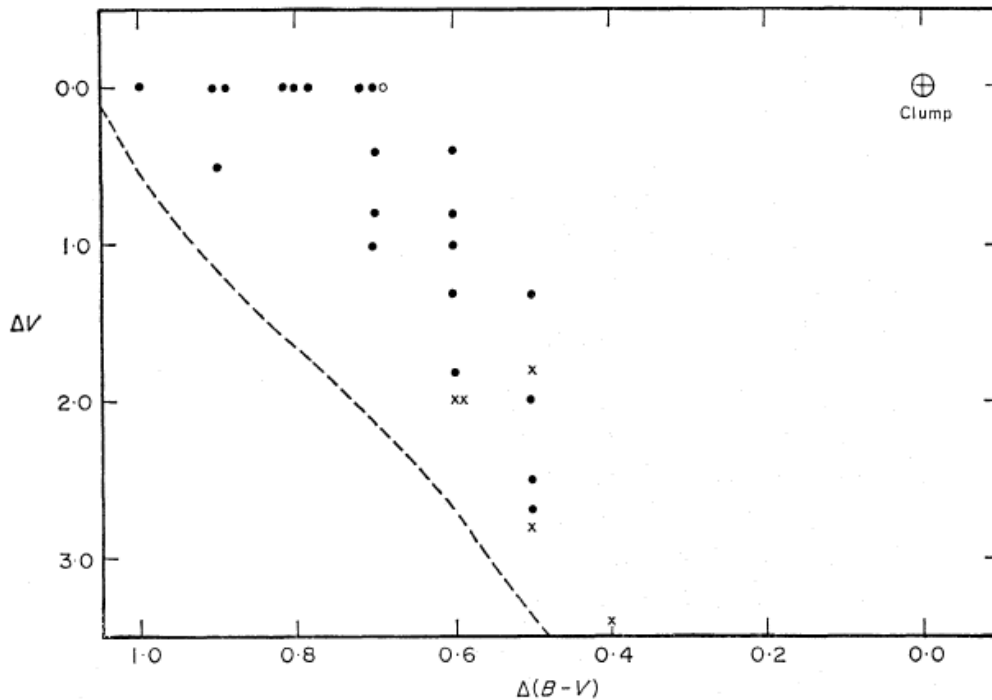


図6 RCに相対的なMS末端のCMD上位置。点線はZAMS。

9. 観測から決める恒星進化の速度

Sandage1957 に習ってクラスターの星数えを行う。

TABLE IV

Star counts in some clusters

	NGC 752		NGC 6939		NGC 7789		M67			
	obs	norm	obs	norm	obs	norm	obs	norm		
Main sequence	1st 1/2 mag.		7	47	38	44	35	30	35	29
	2nd 1/2 mag.		7	47	42	48	57	49	59	50
	3rd 1/2 mag.		8	53	45	52	59	51	60	50
	4th 1/2 mag.		2	13	—	—	55	47	59	50
Hertzsprung Gap		0	0	≤3	≤3	≤3	≤3	15	13	
Red giant sequence		1?	7	15	17	19	16	19	16	
Red giant clump		4	27	20	23	41	35	5	4	

上の規格化された表を見ると主系列部分がフラットである。

星団内のある進化ステージ(寿命= Δt)に N 星あるとする。それらは主系列(N_0 星/mag)起源とする。

主系列での平均等級= m 、幅を $\Delta m=N/N_0$ とする。(N と N_0 は定義が違うことに注意)

$M=1.25-2.0M_\odot$ では、 $L \propto M^5$ なので、寿命 $t \propto M/L=L^{-0.8}$ 。 $\Delta t/t = -0.8 \Delta L/L = 0.74 \Delta m = 0.74 N/N_0$

—> $\Delta t = 0.74 \cdot t \cdot (N/N_0)$ に表 IV の値を入れて、下の表 V の Δt を得る。

例えば、NGC6939 の場合、 $t=1\text{Gyr}$, $N_0=(47+53)=100$

Hertzsprung の $N < 3$ なので、 $\Delta t = 0.74\text{Gyr} \cdot (3/100) = 0.02\text{Gyr}$

TABLE V

Empirical lifetimes (years)

	NGC 6939	NGC 7789	M67
Assumed age of cluster	10^9	10^9	$5 \cdot 10^9$
Hertzsprung Gap	$2 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^8$
Red giant sequence	$1 \cdot 3 \cdot 10^8$	$1 \cdot 2 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$
Red giant clump	$1 \cdot 7 \cdot 10^8$	$2 \cdot 6 \cdot 10^8$	$1 \cdot 5 \cdot 10^8$

後は、He コア燃焼期が RC に対応するであろうという予想を Iben の計算などを基に述べている。

すると、Sandage1957 が発見した“funnel effect”は RC のことと考えられる。