

Observational Approach to Evolution II.

Sandage, A.

1957, ApJ 125, 435-444

アブストラクト

星の進化モデルが正しいと言えるためにはクラス III の光度関数が正しく再現されなければならない。この問題はK型星光度関数が双頭型になること、つまり一つは主系列、もう一つはクラス III に対応するあたりでピークを形成すること、の説明と類似する。基礎方程式は光度関数 $\phi_g(\text{SP}, M_v)$ で与えられる。進化の観測的行路は10星団の色等級図から与えられた。方程式は K0 - K2 星に対して数値的に解かれた。そして、自然に双頭型の光度関数を導く事が示された。まとめると、

- (1) サルピータの初期光度関数から、太陽近傍の主系列光度関数に変換し、
- (2) 10星団の解析から主系列等級をK型巨星等級に対応させ、
- (3) $R=$ 一定の仮定で、初期光度関数をK型巨星光度関数に変換し、
- (4) 観測光度関数と比較した。

1. イントロ

$\phi(\text{Sp}, M_v)$: スペクトル型 = Sp の星の光度関数。(太陽近傍を想定しているらしい)

Hertzsprung 1905 の最初のHR図以来、G0より晩期の星では光度関数が2重ピークになることが知られていた。

第1ピーク = 主系列、第2ピーク = 光度クラス III --> 説明が求められている。

——> この論文では、巨星は主系列星が進化したものであるという最近の理論的成果を使い、 $\phi(\text{Sp}, M_v)$ 解釈
対象を K0 - K2, $M_v = +5 \sim -4.5$

II. 11星団からの合成CMD

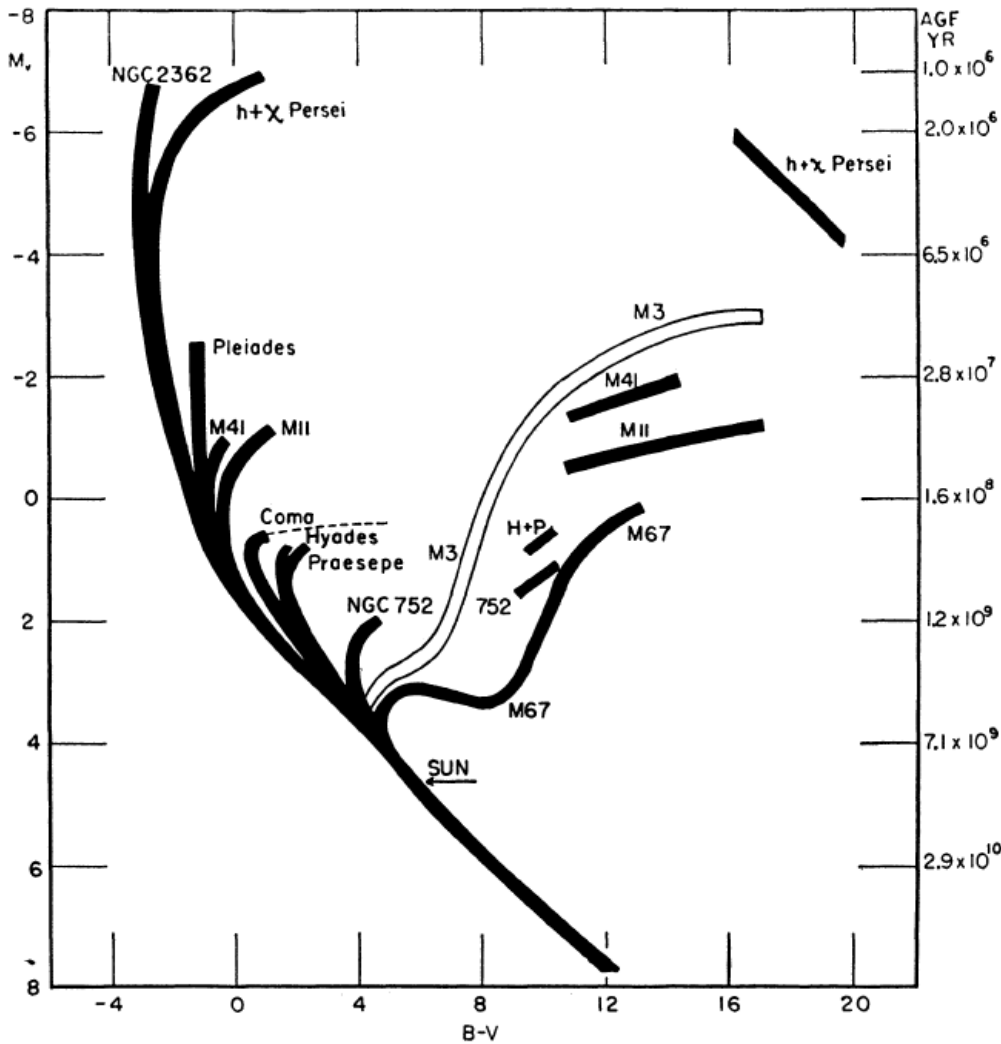


図 1 Mtoに対応する年齢は右軸に記す。

Johnson, Sandage 1955との違いは新しい距離。

新しい距離: TO付近での主系列星の進化の効果を考慮して距離指数を出す。

TOの3等下までは進化効果が効く。--> 下の部分をつなぎ合わせる。

化学組成の違いが主系列に影響しないと仮定している。

(1) Hyades (CMDはV<10.5)

DM=3.03、Vto=3.5 --> V=6.5~10.5(観測限界)が未進化主系列 Mv=3.5~7.5

(2) Pleiades(CMDはV<10.5)

絶対等級では1.5等分未進化主系列が重なる。--> (m-M)=5.55 --> Mv=0.5~7.5

(3) NGC2362

Mv=0.5-1.5の未進化領域がPleiadesに重なる。--> Mv=-2.0~7.5

M_v	$(B-V)_0$	M_v	$(B-V)_0$	M_v	$(B-V)_0$	M_v	$(B-V)_0$
-2.0	-0.24	+0.5	-0.11	+3.0	+0.28	+5.5	+0.72
-1.5	-0.22	+1.0	-0.06	+3.5	+0.39	+6.0	+0.82
-1.0	-0.19	+1.5	0.00	+4.0	+0.47	+6.5	+0.93
-0.5	-0.16	+2.0	+0.08	+4.5	+0.55	+7.0	+1.04
0.0	-0.14	+2.5	+0.17	+5.0	+0.63	+7.5	+1.16

表 1 標準ZAMS. 絶対等級の基準はHyadesの距離指数のみにかかっている。

この標準主系列をフィットして下の11星団の距離指数を再決定した。

Cluster	$m-M$ Apparent	E_v	Cluster	$m-M$ Apparent	E_v
NGC 2362.	11 20	0 116	Hyades	3 03	0 00
h+χ Persei	13 50	.567	Praesepe.	5.90	.00
Pleiades	5.55	.035	NGC 752 .	7.8	.024
M41	9 20	.06	M67 .	9 50	.060
M11. . . .	12 40	42	M3	15 68	0 00
Coma Ber. . .	4 45	0.00			

最後に重要なポイントを。M67の終端光度はM3より暗い。M3の距離は通常のRRLyrrはMv=0.0から出した。

M3のTO光度をM67と同じにするためにはRRLyrrをMv=+0.4にする必要がある。

III. $\phi(Sp, M_v)$ の理論

Mv, g=巨星の絶対実視等級、 Mv, d=矮星の絶対実視等級、

$\phi(Sp, M_v, g)$ = 観測 Sp 型巨星の光度関数、 $\phi(M_v, d)$ = 観測主系列光度関数

$R(Sp, M_v, g)$ = 滞在時間 $t(Sp, M_v, g)$ /滞在時間 $t(M_v, d)$

もし、太陽近傍で星形成率が一定であったら、

$$\frac{\phi_g(Sp, M_{v, g}) dM_{v, g}}{\phi_d(M_{v, d}) dM_{v, d}} = R(Sp, M_{v, g}) \quad (2)$$

2016_06_10 すっきりわからないので、再考する。

巨星スペクトル型が Sp の時の Mv,g は主系列での Mv,d の関数である。巨星進化をある Sp で $t(Sp, M_v, g)$ だけ留まって、次のSpへ移って行くと看做す。だから、主系列を第一系列、巨星スペクトル型一定の列を Sp1, Sp2, ... と第二、第三の系列として、星の進化を列の集合を移って行くと看做すのである。

すると、進化フローの保存則は、星形成率が一定な期間が寿命を越えていると、次のように表される。

$$\phi(M_v, d) dM_v, d / t(M_v, d) = \phi(Sp, M_v(M_v, d), g) dM_v, g / t(Sp, M_v, g)$$

だから、(2)式の dM_v, g は dM_v, d の主系列星がスペクトル型 Sp の巨星になった時の等級巾である。

ここに、 dM_v, d =巨星の等級区間 dM_v, g に対応する主系列等級の対応区間(と書いてあるが意味、定義があいまい)

2016_06_17 コメント

星団に関して、CMD上の分布は進化時間とどう関係するのだろうか？

$M=M(M_0, t)$ 進化。 $\tau = \tau(M_0)$ ターンオフ, $dN = \phi_0(M_0) dM_0 = \phi(M, t) dM$ 光度関数

$$dM = (\partial M / \partial t) |_{M_0} dt = (\partial M / \partial t) |_{M_0} (d\tau / dM_0) dM_0$$

$$= (\partial M / \partial t) |_{M_0} (d\tau / dM_0) (d\tau / dM_0) [dN / \phi_0(M_0)]$$

$$(\partial M / \partial t) |_{M_0} = [\phi_0(M_0) / (dN/dM)] / (d\tau / dM_0) = [\phi_0(M_0) / \phi(M)] [1 / (d\tau / dM_0)]$$

$$\phi(M) / \phi_0(M_0) = [(\partial t / \partial M) |_{M_0}] / (d\tau / dM_0)$$

$$= \text{巨星枝での等級変化タイムスケール/ターンオフ等級変化タイムスケール}$$

コメント終わり。

上式を書き換えて(星形成率一定と仮定して)、あるスペクトル型での

$$\phi_g(Sp, M_{v, g}) \Delta M_{v, g} = \int_{M_{d, u}}^{M_{d, l}} \phi_d(M_{v, d}) R(Sp, M_{v, d}) dM_{v, d} \quad (3)$$

Sapleter の初期光度関数 $\psi(M_v)$ で $\phi(M_v)$ を置き換える(?) と、 $L = \text{const} \cdot M^{3.5}$ として、

$$\phi_g(\text{Sp}, M_{v,g}) \Delta M_{v,g} = \int_{M_{d,u}}^{M_{d,l}} \psi_d(M_{v,d}) R(\text{Sp}, M_{v,d}) 10^{2.75 M_{v,d}} dM_{v,d}. \quad (4)$$

2016_06_16 コメント:(3)、(4)式は過去の星形成率一定の集団に適用され、星形成パルスの星団には不適當。

IV 応用

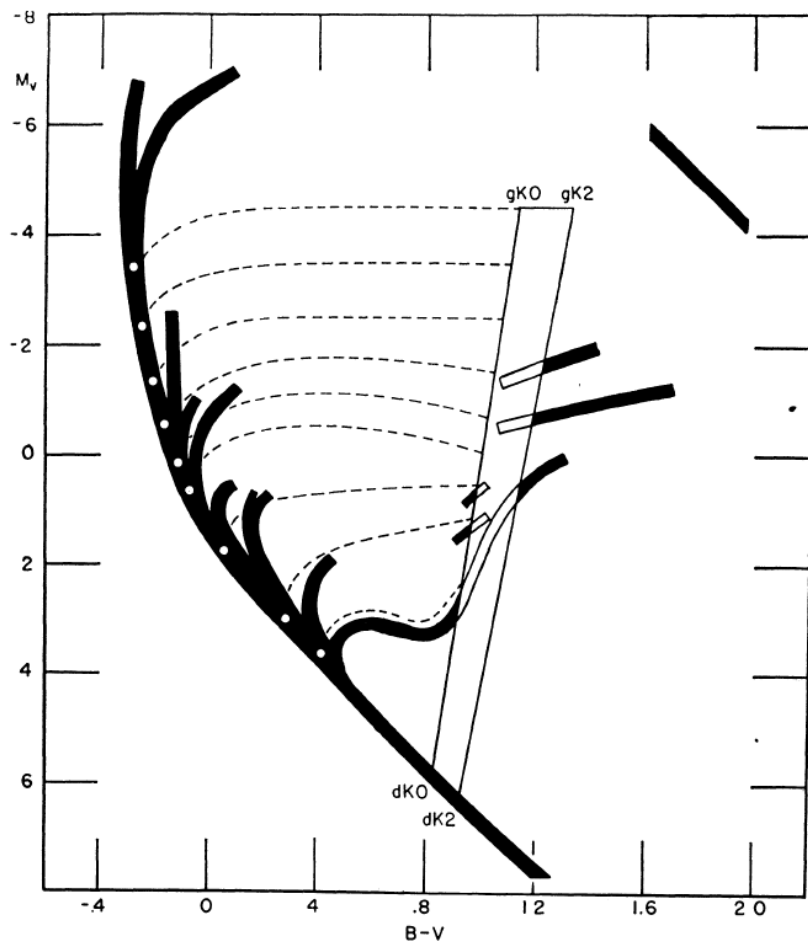


図2 破線=異なる K1 型での巨星絶対等級 $M_{v,g}(K1)$ に対する進化経路。フリーハンドで描いてある。太実線は星団。

(4)式を評価するために左辺の巨星等級範囲 $\Delta M_{v,g}$ を右辺の矮星等級範囲 $M_{d,l}$ と $M_{d,u}$ に関連付ける。関連付けは進化経路を用いる。

図2では K1 での等級 $-4.5, -3.5, \dots, 0.5, 1.0, 2.0$ に対する経路と出発主系列位置が示されている。下の表3はそのまとめである。

$M_{v, d}$	(Sp Class) $_d$	Corresponding $M_{v, g}$	ϕ_g
-3.35 to -2.85...	B1 V	-4.5 to -4.0	0.2
-2.85 to -2.35 .	B1 V	-4.0 to -3.5	0.5
-2.35 to -1.85.	B2 V	-3.5 to -3.0	0.8
-1.85 to -1.35..	B2 V	-3.0 to -2.5	1.4
-1.35 to -0.90	B3 V	-2.5 to -2.0	2.1
-0.90 to -0.55	B4 V	-2.0 to -1.5	2.6
-0.55 to -0.25.	B5 V	-1.5 to -1.0	2.8
-0.25 to +0.15.	B7 V	-1.0 to -0.5	5.3
+0.15 to +0.65	B8 V	-0.5 to 0.0	10.2
+0.65 to +1.85	A0 V	0.0 to +0.5	55.0
+1.85 to +3.05	A5 V	+0.5 to +1.0	156
+3.05 to +3.75.	F2 V	+1.0 to +1.5	200
+3.75 to +4.05 .	F6 V	+1.5 to +2.0	130
+4.05 to +4.15 .	F7 V	+2.0 to +2.5	51.4
+4.15 to +4.20. . .	F7 V	+2.5 to +3.0	28.0

表3 主系列と巨星枝の対応。その結果の ϕ_g も示した。

これでR以外はすべて求まった。Rは星団から決める。

巨星の数と主系列先端1等級分の数を比べると、Rは巨星 $M_v = -2$ (M41)から $+0.5$ (Hyades)まで不変。

——> R=一定として解析を進める。

$\psi(M_v)$ = Salpeterの初期光度関数を Sandage57aの表2から取り、表3の積分範囲を使って $\phi_g(\text{Sp}, M_v, g)$ を求めて表3に示した。 ϕ の数字は相対的である。

やったことは、

- (1) サルピータの初期光度関数から、太陽近傍の主系列光度関数に変換し、
- (2) 星団の解析から主系列等級をK型巨星等級に対応させ、
- (3) R=一定の仮定で、初期光度関数をK型巨星光度関数に変換し、
- (4) 観測光度関数と比較した。

ϕ の観測的決定

Oort(1932)とHalliday(1955)がK型星の $\phi(\text{Sp}, M_v)$ を与えた。

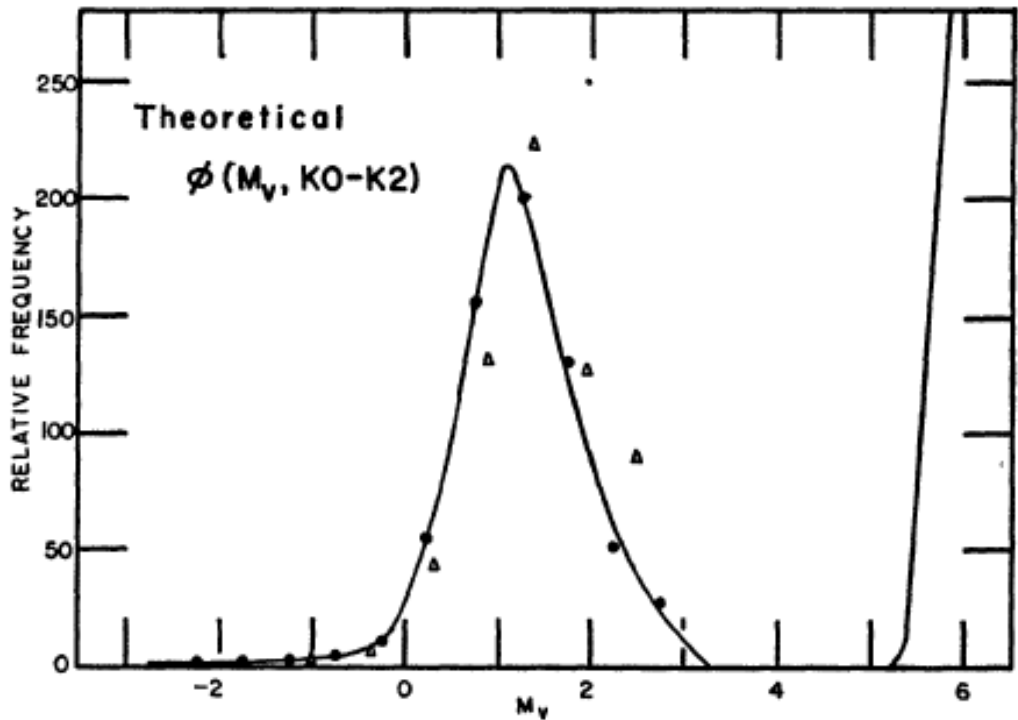


図4 光度関数 ϕ ●=計算値、 Δ =Hallidayの観測値

$M_v=+1$ 付近の大きなピークは進化の際に $M_v>0$ の星が集まってくる効果を表す。

表3を見ると、K0-K2 巨星の70%は F2-F7 矮星から来ていることが分かる。

のこり30%は A0-A5 星。

すると、巨星の70%は1.5 M_{\odot} くらいである。また2/3は F2-5 矮星と運動が同じはず。1/3は A 型運動。

確かに、gK の運動はdF と似ている。

TABLE 4

VELOCITY DISPERSIONS OF GIANT AND DWARF STARS

Spectral Interval	σ_1 (km/sec)	σ_2 (km/sec)	σ_3 (km/sec)	$\epsilon(\sigma)$ (km/sec)
B7- A2	5.5	10.5	16.2	1.4
A3- A8	7.9	9.3	19.1	0.7
A9- F1	9.5	12.8	23.9	0.6
dF2-dF4	11.7	17.0	26.8	0.8
dF5-dF7	16.7	21.4	31.8	0.9
dF8-dG2	22.6	27.5	46.0	2.1
gG9-gK1	15.7	20.5	30.5	0.7
gK2-gK5	17.3	20.5	30.6	0.7
gM	16.3	22.5	31.2	0.7

おしまい