

A Sample of Long-Period Variables in the Bar of the LMC and Evidence for a Recent Burst of Star Formation

Wood, P.R., Bessell, M.S., Paltoglou, G.

1985, ApJ 290, 477-486

アブストラクト

LMCバーとその北における長周期変光星の幾つかに対し、JHK等級とスペクトル型を求めた。炭素星とM型星とでは異なる周期光度関係に従う事が判った。LMCバー内の長周期変光星に対する周期光度関係から、

(1)この領域の星の大多数は主系列質量で 1.6 Mo 以下、年齢 1 Gyr 以上である。

(2)しかし、主系列質量 5 - 6 Mo、年齢 $\sim 6 \times 10^7$ 年のグループが存在する。

セファイドの周期、光度分布もやはり 6×10^7 年前に星形成期があった事を示す。

短周期(250日以下)M型星ミラ銀河系の種族 II ミラと類似していて恐らく非常に古い、多分100億年以上、で比較的低メタルの種族に属するようだ。これらの短周期ミラを 47 Tuc 内に見つかった3つの類似ミラと比べると、47 Tuc 距離指標=13.34 を使って LMC距離指標=18.6 \pm 0.25 となる。

1. イントロ

種族の研究

SMC Hawkins, Bruck 1982, Hardy, Durand 1984

LMC Butcher 1977, Hardy et al. 1984

——> $t=1\sim 5$ Gyr, $M=1.0\sim 1.6$ Mo が主成分

明るい LPV = $M_{bol} < -6$, $M > 2.5$ Mo 暗い LMP = 中間年齢種族。ここではそれらの赤外モニターの結果

2. 変光星探査

(05h28m50.7s, $-69^\circ 37' 56''$) 1950 中心の $28' \times 56'$ を UK シュミット+I 乾板で11回撮影

——> $\Delta I_c > 0.82$ 等 が62星 $I_c < 12$ は飽和で観測していない。= 既知変光星のいくつかは落ちた。

内33星は周期決定

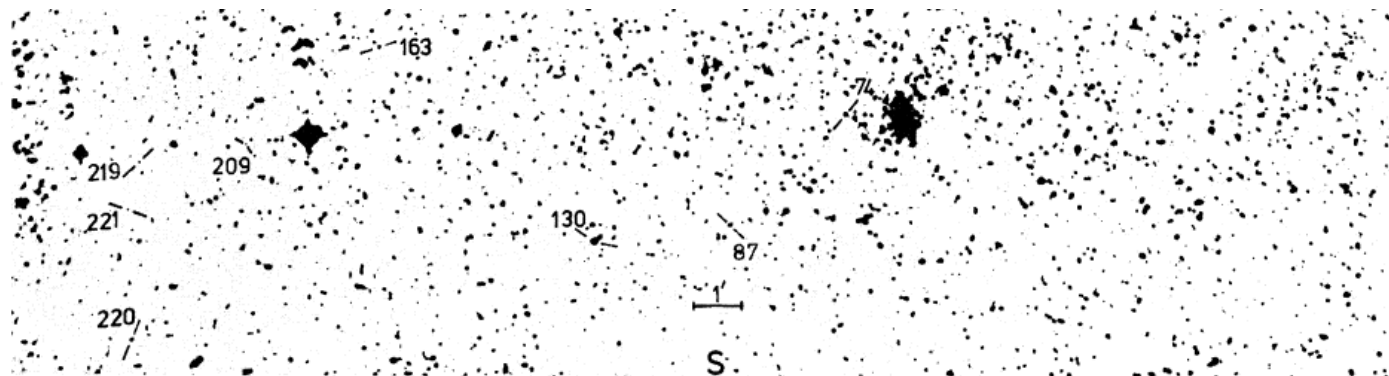


図1 チャートの一部

Star	$\alpha(1950)$	$\delta(1950)$	$P(\text{days})$	JD_{max}^a	I_{max}	ΔI	Sp. ^b	K	$H-K$	$J-K$	M_k	M_{bol}	$\langle M_{\text{bol}} \rangle$
132.....	5 ^h 29 ^m 19 ^s .3	-69°42'30"	155	5400	13.4	0.9	M4	11.51	0.22	1.08	-7.11	-4.39	-4.13
151.....	5 29 52.9	-69 35 06	172	5210	13.4	1.7	M6	11.81	0.28	1.03	-6.81	-4.15	-3.86
148.....	5 29 48.3	-69 29 07	185	5413	13.8	2.6	(M)	11.98	0.36	1.22	-6.64	-3.76	-3.92
158.....	5 29 54.8	-64 26 09	185	5300	13.6	1.7	(M)	11.43	0.29	1.20	-7.19	-4.33	-4.41
19.....	5 26 47.8	-69 36 26	189	5509	13.4	1.0	M4	11.44	0.23	1.13	-7.18	-4.40	-4.19
116.....	5 28 56.8	-69 32 10	200	5420	13.4	2.2	S	11.58	0.39	1.24	-7.04	-4.13	-4.54
77.....	5 28 30.1	-69 34 47	217	5205	13.6	0.9	S	11.34	0.31	1.36	-7.28	-4.26	-4.55
94.....	5 28 42.7	-69 20 58	220	5503	13.4	1.4	M5	11.29	0.25	1.16	-7.33	-4.51	-4.22
21.....	5 26 48.6	-69 29 12	222	5235	13.8	1.0	C	11.48	0.29	1.23	-7.14	-4.39	-4.28
53.....	5 27 45.3	-69 47 04	222	5258	13.6	1.0	M4.5	11.28	0.27	1.21	-7.34	-4.47	-4.22
74.....	5 28 19.1	-70 00 29	227	5340	13.8	2.0	M7	11.55	0.30	1.13	-7.07	-4.29	-4.43
1.....	5 26 15.0	-69 47 04	233	5300	13.6	3.1	M8	11.90	0.46	1.18	-6.72	-3.88	-3.75
140.....	5 29 42.4	-69 45 48	244	5413	13.4	2.2	(M)	11.23	0.35	1.37	-7.39	-4.36	-4.40
104.....	5 28 47.3	-69 17 00	245	5373	13.4	0.9	S	11.17	0.29	1.27	-7.45	-4.51	-4.87
29.....	5 27 02.7	-69 25 36	250	5513	13.4	0.9	C	10.92	0.34	1.20	-7.70	-4.98	-4.81
35.....	5 27 17.4	-69 46 26	263	5505	13.4	1.7	(C)	11.02	0.52	1.56	-7.60	-4.57	-4.42
56.....	5 27 44.3	-69 20 27	278	5360	13.2	1.4	C	10.93	0.74	2.03	-7.69	-4.52	-4.64
48.....	5 27 33.5	-69 30 50	279	5133	13.2	2.9	(M)	10.72	0.30	1.28	-7.90	-4.95	-4.73
46.....	5 27 34.6	-69 44 20	286	5378	13.8	0.9	C	10.80	0.63	1.85	-7.82	-4.67	-4.58
220.....	5 31 12.0	-70 04 46	286	5232	13.6	1.7	C	11.16	0.74	1.96	-7.46	-4.29	-4.36
219.....	5 31 09.3	-70 01 10	294	5395	13.8	1.9	C	10.84	0.96	2.34	-7.78	-4.61	-4.38
17.....	5 26 44.6	-69 44 05	308	5424	13.3	1.0	C	10.99	0.64	1.76	-7.63	-4.50	-4.22
232.....	5 31 21.3	-69 20 05	313	5152	13.6	1.4	C	10.84	0.58	1.71	-7.78	-4.67	-4.53
87.....	5 28 47.1	-70 02 43	317	5199	13.5	1.5	C	10.83	0.54	1.63	-7.79	-4.72	-4.93
126.....	5 29 08.4	-69 53 31	323	5274	13.0	2.9	K?	10.89	0.48	1.38	-7.73	-4.69	-4.99
14.....	5 26 37.3	-69 10 33	325	5314	13.9	2.0	C	10.78	1.15	2.78	-7.84	-4.67	-4.69
103.....	5 28 53.9	-69 51 20	351	5318	14.6	1.9	C	10.35	1.17	2.66	-8.27	-5.10	-4.92
52.....	5 27 40.0	-69 13 55	385	5055	13.9	1.0	(C)	10.72	0.70	1.99	-7.90	-4.73	-4.76
137.....	5 29 39.6	-69 52 57	385	5161	13.8	0.9	(C)	10.51	0.88	2.26	-8.11	-4.94	-5.33
30.....	5 27 05.1	-69 26 33	400	5602	13.6	1.4	C	10.64	0.69	1.97	-7.98	-4.81	-4.93
42.....	5 27 29.0	-69 40 40	408	5615	13.4	1.5	C	10.27	0.92	2.35	-8.35	-5.18	-5.21
51.....	5 27 42.4	-69 38 47	417	5205	13.6	0.9	C	10.18	0.71	1.99	-8.44	-5.27	-5.25
47.....	5 27 34.3	-69 38 51	526	5576	12.2	2.9	M7	9.04	0.37	1.30	-9.58	-6.61	-6.68

表1 LPV の性質 C,S,M 分類が括弧内はカラー使用

3. 赤外測光と分光

分光 AAT+CCD で $\lambda = 0.51-1.01 \mu\text{m}$ を 9A/pixel 24変光星スペクトル=14C+8M+3S

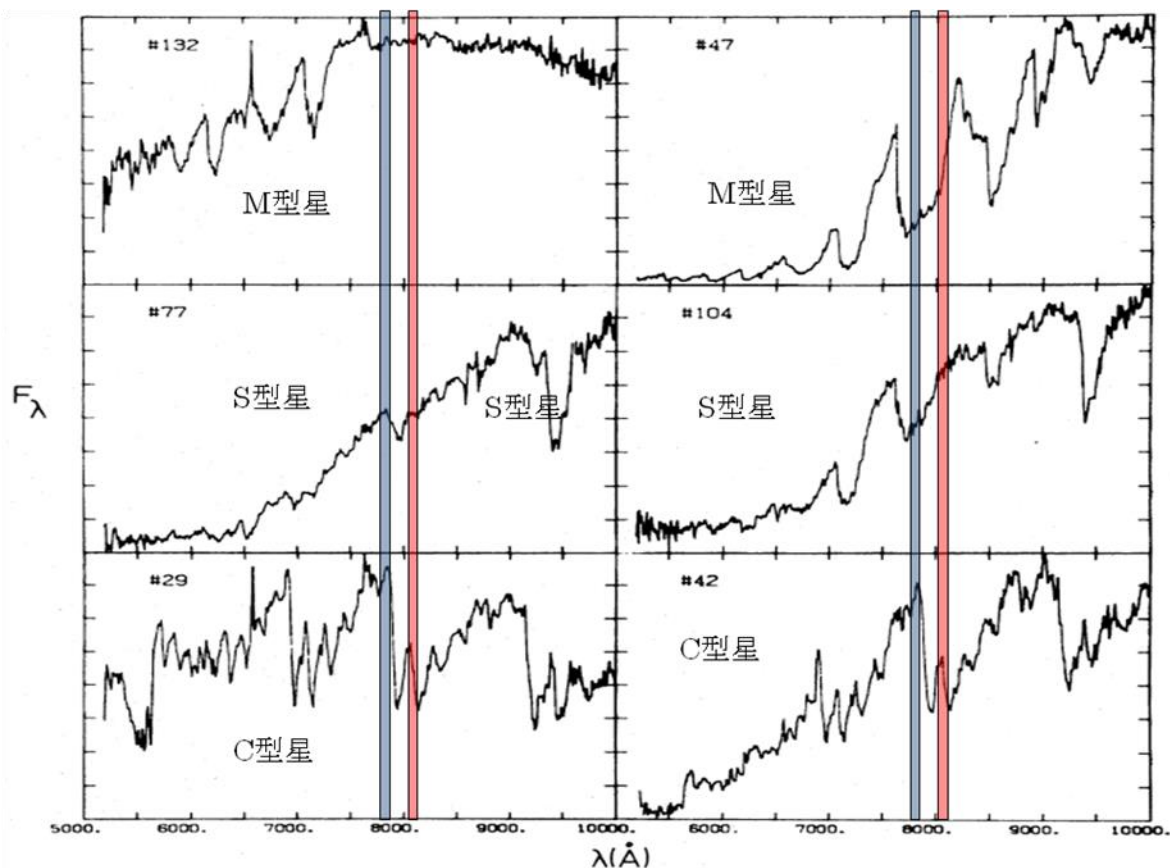


図2 スペクトル例

減光補正には $E(B-V)=0.06$, $A_k=0.02$ を仮定し、 $DM_{I_{mc}}=18.6$ 、Wood, Bessell, Fox(1983)の $(BC_K, J-K)$ 関係から M_{bol} を定めた。

IV. 変光曲線

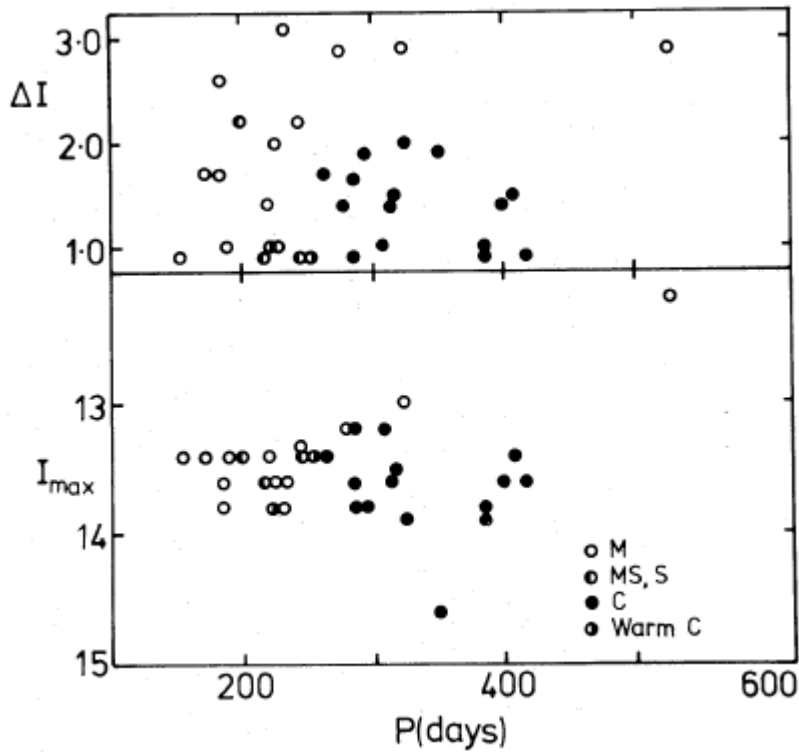


図3 I_c (極大)と ΔI_c を示す。

このあとゴチャゴチャ書いてるが無意味。

4. JHK

4. a. カラー

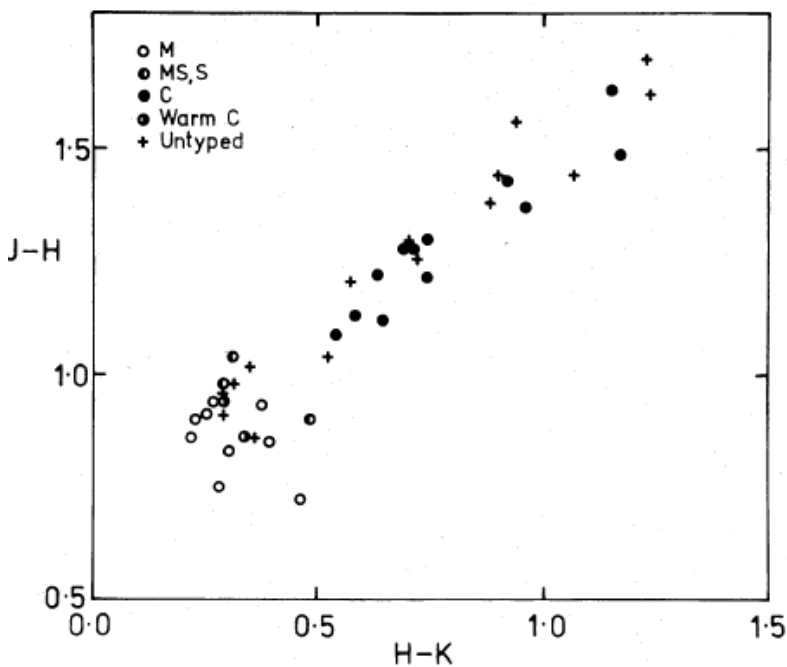


図5 2色図上のLPV

M,Sミラは $(J-H)<1.1$, $(H-K)<0.5$ でCミラと離れている。

4. b. Mbol-P 関係

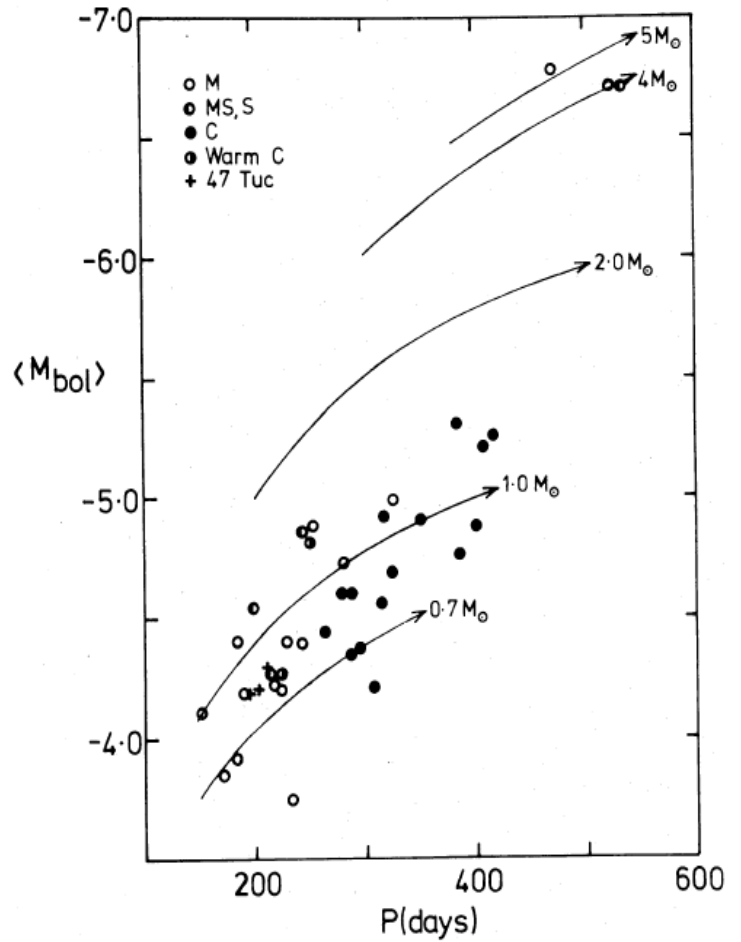
図6 ○ M型星
● C型星

実線は M 型星の 1st overtone 振動質量

1: $(M_{bol}, P) = (-3.8, 150d) \sim (-5.5, 420d)$
の間に LPV はいる。1. $3M_{\odot} > M$ だが、質量放出を考えると、1. $6M_{\odot} > M$ が妥当だろう。星形成の大部分が 1. 0Gyr 以前に起きた。Hardy et al 1984 が LMC バーの NW 端で同じころ星形成終了としているのと合致する。

2: $M = 4 - 5M_{\odot}$ のグループが存在する。MS 質量で 5. $5 - 6. 5M_{\odot}$ で年齢 50Myr。超巨星 ($M > 9M_{\odot}$) HV2604, HV2532 が存在するが、円盤に属するのだろう。

3: 同じ M_{bol} に対し C 星は M 星より周期大。したがって、別の $M_{bol} - P$ 関係。



$M_{bol} - P$ 関係が分かれる原因としては、

(A) 上の図で C 星は M 星より進化の先にある。(振動質量ラインは M 型星のみのはずだが?)

このため 2 系列は単に C 星が M 星より進化が進んでいることの反映であろう。

(B) $M \rightarrow C$ で $(J - K)$ が増加する。もし $(J - K)$ が T_e の表式だとすると T_e が大きく下がることになる。

これは R の増加に起因する。 $P \propto R^{3/2} \propto T_e^{-3}$

もし、C 星と M 星が同じ $(J - K) - T_e$ 関係が成立すると非常に大きな P 変化が期待される。そうでない。

6. セファイド

Gaposhkin (1970), Payne-Gaposhkin (1971) のセファイドリストには今回の領域に 53 セファイドが登録されている。しかし、44 個は南半分のバー本体に集中しているので議論はその 44 バーセファイドに限る。

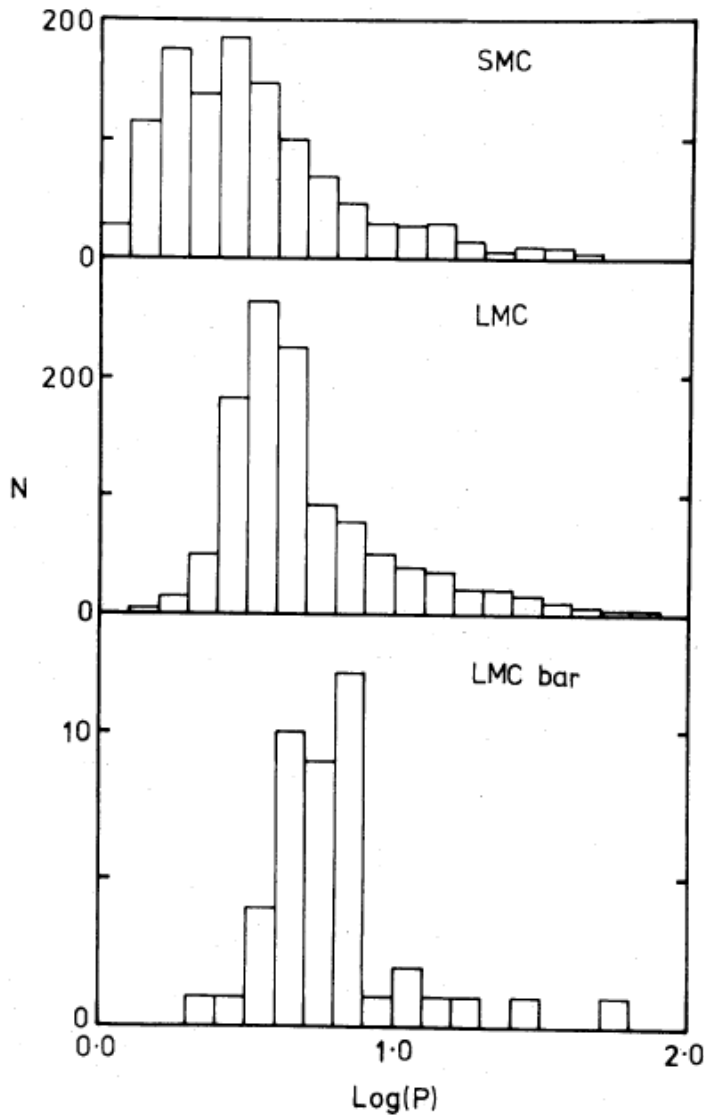


図7 SMC, LMC, 南半分の周期分布。

バーセファイドは $0.6 < \log P < 0.9$ に集中して、 $\langle P \rangle_{\text{bar}}$ は LMC 全体の $\langle P \rangle_{\text{lmc}}$ より長い。特に $\log P = 0.9$ のカットがシャープである。

最近のセファイドサーベイは高星密度を嫌いこの観測のようなバーを避けている。そこで、等級は古い Payne-Gaposhkin (1971) の mpg を $B = 0.86 \text{ mpg} + 2.03$ で変換した。カラーは $(B-V)_0 = 0.6$ 、銀河系減光のみを考慮して $E(B-V) = 0.06$ を採用した。 $DM_{\text{lmc}} = 18.6$ とした。

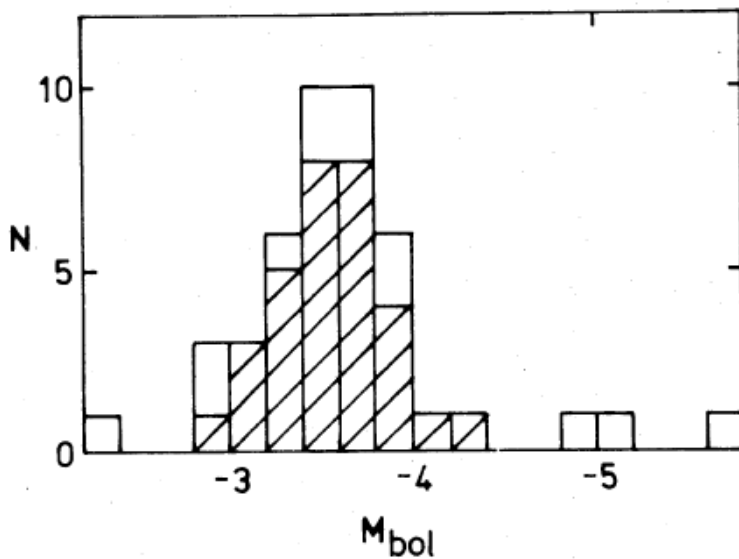


図8 南半分の絶対等級分布。

ハッチは $0.6 < \log P < 0.9$ s ファイド
 $P \rightarrow M_{\text{bol}}$ は一意でない？

$Y = 0.25$,
 $Z = 0.008$ (HIIR Dufour 1983)
 と、 $Z = 0.014$ (Cepheids Feast 1983)
 の中間で $Z = 0.012$ を仮定し、
 Becker, Iben, Tuggle 1977 の式から、
 $M_{\text{bol}} = -3$ と -4 の質量を 4.9 と $6.3 M_{\odot}$ 、年齢を 48 と 83 Myr とした。

図の幅はほとんど誤差が原因と思われる。

結論: 60 Myr 以前に 25 Myr 以下の期間の星形成バースト。LPV からの結論とも合う。おしまい。