

アブストラクト

ヒッパルコスで観測された 193 ミラの JHKL 測光を行った。内 92 星の輻射等級、振幅を求めた。ヒッパルコス観測対象星が選ばれた経緯を考慮するとこの星達は低質量放出率( $dM/dt < 10^{-7} \text{ Mo/yr}$ )のミラの良いデータベースとなる。

色々な周期・カラー関係を詳細に論じた。与えられた周期において、特に K-L は振幅と相関が良い。モデルとの比較からこれは大気の膨張が原因である。すなわち、大きな振幅の星は小振幅星に比べ、広がった大気を持ち、その結果、K-L, H-K が赤くなり、J-H は青くなるのである。また非常に広がった大気の星は K-[12] が大きく、質量放出率も大きい。この発見は脈動と質量放出の間の因果関係に対する新たな支持材料である。

Hp-K 対 log P 図上には  $\log P < 2.35$  で二つの系列が見える。与えられた P に対して、二つのグループは同じ振幅を持つが、JHKL カラーとスペクトル型は異なる。青い系列の短周期星は球状星団ミラと類似の近赤外カラーを示す。

変光曲線に見られる長期変動についても議論した。

1. イントロ

3 部作

第 1 (これ) 太陽近傍のミラ的な星

第 2 (Whitelock, Feast 2000) Hipparcos parallax と P L R 校正

第 3 (Feast, Whitelock 2000) 運動

2. 選択

Hipparcos ミラ	229	
SR	24	
L(Mira-like)	2	輝線のある天体を選択

そこから、赤外観測のないもの 9 星を引いて、246 星のリストを作った。

ミラは Hipparcos Input Catalogue から取った。その初めは、

<u>Full</u>	<u>HIC</u>	<u>Hp</u>	<u>Vmag</u>	<u>B-V</u>	<u>r</u>	<u>Sp</u>	<u>Plx</u>	<u>e</u>	<u>Vname</u>	<u>Notes</u>	<u>HIP</u>
		<u>mag</u>	<u>mag</u>	<u>mag</u>			<u>mas</u>	<u>mas</u>			

---

<u>1</u>	8	11.10	11.600			<u>V</u> M6:e...			Z Peg		<u>HIP</u>
<u>2</u>	344	11.60	11.900			<u>V</u> M5:e...			SV And		<u>HIP</u>
<u>3</u>	703	11.30	11.700			<u>V</u>			RU Oct		<u>HIP</u>
<u>4</u>	781	11.40	11.800			<u>V</u> M3:e...			SS Cas		<u>HIP</u>
<u>5</u>	1236	10.30	10.800			<u>V</u> M7/M8IIIe			S Scl		<u>HIP</u>
<u>6</u>	1834	10.00	10.600			<u>V</u> M6:e...	26	11	T Cas		<u>HIP</u>
<u>7</u>	1901	11.80	11.700	2.100	<u>V</u>	Se...			R And		<u>HIP</u>
<u>8</u>	2286	11.50	11.500		<u>V</u>	K2III:			T Scl		<u>HIP</u>

上に載っているVは $r(Vのソース) = V(変光星)$ となっているところを見るといい加減な値が入っている。HpもそのVを基に計算したらしい。つまり、Whitelockは論文の表にH I Cのデータは変光星名とP(GCVS)以外は使っていない。

表1の初めは、

Name	HIP	Sp type	Var	$P_{GCVS}$ (day)	$P_{HIP}$	$\Delta Hp$	$H_{p0}$	$\bar{K}_0$ (mag)	[12]	$A_V$	$d$ (kpc)
Z Peg	8	M6e-M8.5e Tc	M	334	327	4.01	9.65	1.08	-0.50	0.07	0.63
SV And	344	M5e-M7e	M	316	315	3.96	10.03	2.59	0.73	0.16	1.21
SW Scl #	516	M1III	SRC	146	146	1.30	8.60	3.72	2.17	0.00	1.20
RU Oct	703		M	373	366	2.23	11.32	2.67	0.97	0.09	1.41
SS Cas *	781	M3e-M8e	M	140	138	3.00	10.41	3.21	1.82	0.35	
S Scl	1236	M7/M8IIIe	M	362	373	4.50	8.34	0.31	-1.17	0.00	0.47
T Cas	1834	M6-M9.0e	M	444	443	2.16	7.96	-1.06	-2.75	0.21	0.29
R And	1901	S6,6ev	M	409	409			0.00	-2.52	0.12	0.44
T Scl #	2286	K2III:	M	202	205	2.88	10.17	3.74	2.34	0.00	1.51
TU And	2546	M5e	M	316	321	3.52	9.75	2.12	0.59	0.07	0.98

Z Pegの場合、Hipparcos Catalogue HIP=8は、 $V=9.06$ ,  $H_p=8.55$ ,  $H_{p,max}=7.15$ ,  $H_{p,min}=11.25$

Vol. 12.のLightCurveを見ると $H_{p,max}$ ,  $H_{p,min}$ は観測値、

一方、Vol. 11.Var. Annexでは、 $H_{p,max}=7.702$ ,  $H_{p,min}=11.715$ ,

こっちの $H_{p,max}$ ,  $H_{p,min}$ はフィットしたカーブの最大、最小のようだ。表1の $H_{p0}$ は多分フィットの定数項なんだろう。

Hipparcosの変光観測データは自体は見つけれなかった。変光のエポックも(たしか紙版では)フィットの表式も不明なまま。どこで探せるか、調査の必要がある。

WEB版ではJ A V Aで変光プロットをするようになっていた。J A V Aを入れる必要がある。

$A_V$ をどう決めたのか、ただ、「estimated visual extinction」とあるだけ。

選び方から、可視で明るいミラ(V<12.4)にバイアスがかかっている。

### 3. 測光

#### 3. 1. ヒッパルコス測光

これまでミラ測光データはジョンソンVで行われてこなかった。ヒッパルコスシステムからの変換はPerryman et al 1997で論じられている。平均 $H_p$ と $\Delta H_p$ は変光カーブの極大と極小の平均と差である。差が大きい時、平均等級と平均光度は異なる。

#### 3. 2. 赤外測光

S A A Oの0.75m+1.9mのS A A Oシステムデータ。サンプルの一部を示す。

Table 2. Near-infrared photometry. This is a sample of the full table, which is presented in its entirety as Supplementary Material in the electronic version of MNRAS.

JD	J	H	K	L	
-2440000		(mag)			
Z Peg		HIP 8			
2627.0	2.47	1.53	1.13	0.59	
2648.0	2.39	1.50	1.08	0.61	
2711.0	2.44	1.48	1.10	0.62	
2740.0	2.15	1.33	0.91	0.46	
2975.0	2.45	1.62	1.24	0.68	
3118.0	2.08	1.19	0.84	0.47	
5567.5	2.89	1.84	1.34	0.83	

Table 2 - continued

JD	J	H	K	L
-2440000		(mag)		
5616.4	1.63	0.77	0.41	-0.14
5924.5	2.10	1.20	0.73	0.08
6644.6	1.82	0.92	0.47	-0.13
6655.6	1.85	0.94	0.49	-0.09
6690.5	1.81	0.94	0.50	-0.10
6694.5	1.83	0.95	0.52	-0.16
6712.4	1.70	0.83	0.43	-0.14
6740.5	1.45	0.55	0.19	-0.30
6750.4	1.42	0.50	0.15	-0.32
6753.4	1.39	0.47	0.13	-0.35
6774.3	1.28	0.35	0.00	-0.45

その結果は、

Table 3. Mean SAAO IR photometry.

Name	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>K</i> (mag)	<i>L</i>	$\delta K$	no.	HIP
Z Peg	2.48	1.51	1.09	0.65	0.50	7	8
SW Scl	4.84	3.95	3.72	3.39	0.15	4	516
RU Oct	4.11	3.08	2.68	2.31	0.30	14	703
S Scl	1.65	0.72	0.31	-0.21	0.84	122	1236
T Scl	4.94	4.04	3.74	3.37	0.47	9	2286
TU And	3.51	2.58	2.17	1.70	0.07	2	2546
W Psc	7.18	6.29	5.90	5.53	0.49	8	4652

Table 3 – continued

Name	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>K</i> (mag)	<i>L</i>	$\delta K$	no.	HIP
S Hya	4.04	3.16	2.85	2.38	0.64	11	43653
T Hya	3.62	2.69	2.36	1.95	0.48	14	43835
W Cnc	2.28	1.49	1.04	0.60	0.44	5	44995
Y Vel	2.99	1.82	1.19	0.44	1.14	73	46502
R Car	-0.01	-0.93	-1.35	-1.81	0.77	74	46806
X Hya	2.17	1.12	0.65	0.10	0.51	13	47066

ここに、 $\delta K$  = 観測値の (最大—最少)

### 3. 3. 星間減光

$A_v = Feast, Whitelock, Caeter 1990$  の銀河系減光式を使用。

### 3. 4. Mbol

$J, H, K, L + BB$  フィット = Mbol (ダストシエルが薄い星なので OK)

BC は観測が複数回の星に求めた (6. 3で)

## 4. 変光

### 4. 1. 周期

$P < \text{---}$  ヒッパルコスチーム

図 1. GCVS とヒッパルコスとの周期比較

M 型星 RT Crt と WW Vel と 2 つの炭素星 W Sex, BH Cru 以外は 10% 以内で一致した。

BH Cru の周期は実際長くなったと考えられる。同時に炭素量も増加した。この変化は He シェルフラッシュによる効果と考えられている。

$P$  は SAAO モニターからもフーリエ変換で求められ、表 4 と、図 2 に載せた。

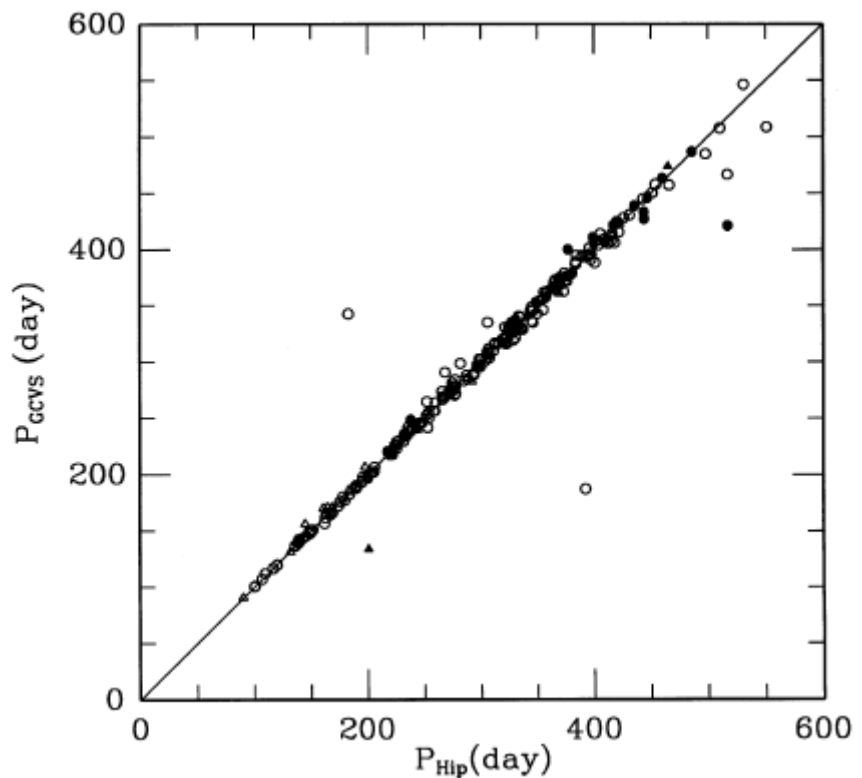


Table 4. Fourier Mean SAAO IR photometry.

Name	$P_K$ (day)	$(J-H)_0$	$(H-K)_0$	$(K-L)_0$ (mag)	$K_0$	$m_{bol}$	$\Delta K$	$\Delta m_{bol}$	HIP
RU Oct	373	1.04	0.41	0.36	2.66	5.78	0.24	0.24	703
S Scl	366	0.95	0.42	0.49	0.27	3.35	0.67	0.75	1236
Y Eri	303	0.99	0.39	0.39	1.73	4.79	0.31	0.27	9767
R Ari		0.84	0.33	0.42	3.89	6.81	0.45	0.58	10576
$\sigma$ Cet	334	0.87	0.46	0.56	-2.54	0.56	0.84	1.01	10826
R Cet	166	0.85	0.47	0.62	2.57	5.68	0.80	0.94	11350
U Cet	236	0.83	0.39	0.51	2.78	5.78	0.71	0.85	11910
R Tri	264	0.90	0.41	0.47	0.91	3.99	0.61	0.77	12193
T Ari	321	0.99	0.36	0.34	0.21	3.26	0.23	0.22	13092
R Hor	402	0.92	0.48	0.58	-0.97	2.17	0.70	0.80	13502

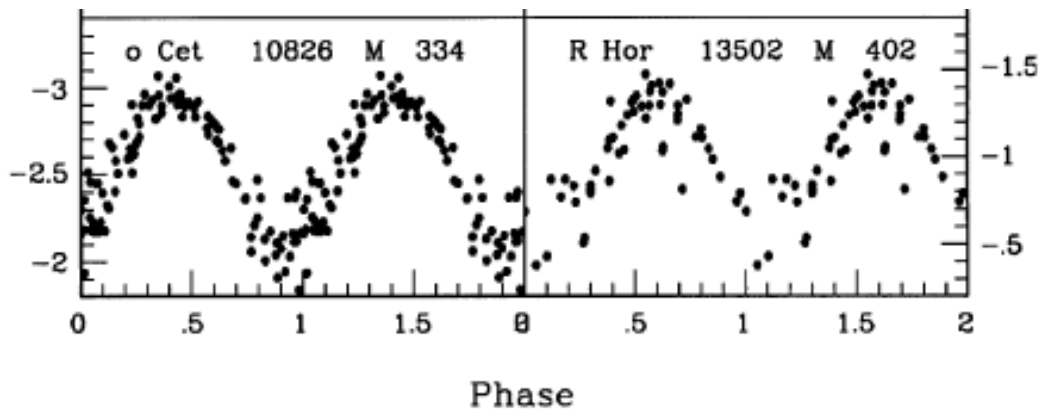


図 2 SAAO 観測のサンプル

#### 4. 2. 振幅

図 3 振幅  $\Delta H_p$  の分布

実線＝ミラ  
 点線＝その他  
 上：炭素星  
 下：M 型星

この図は

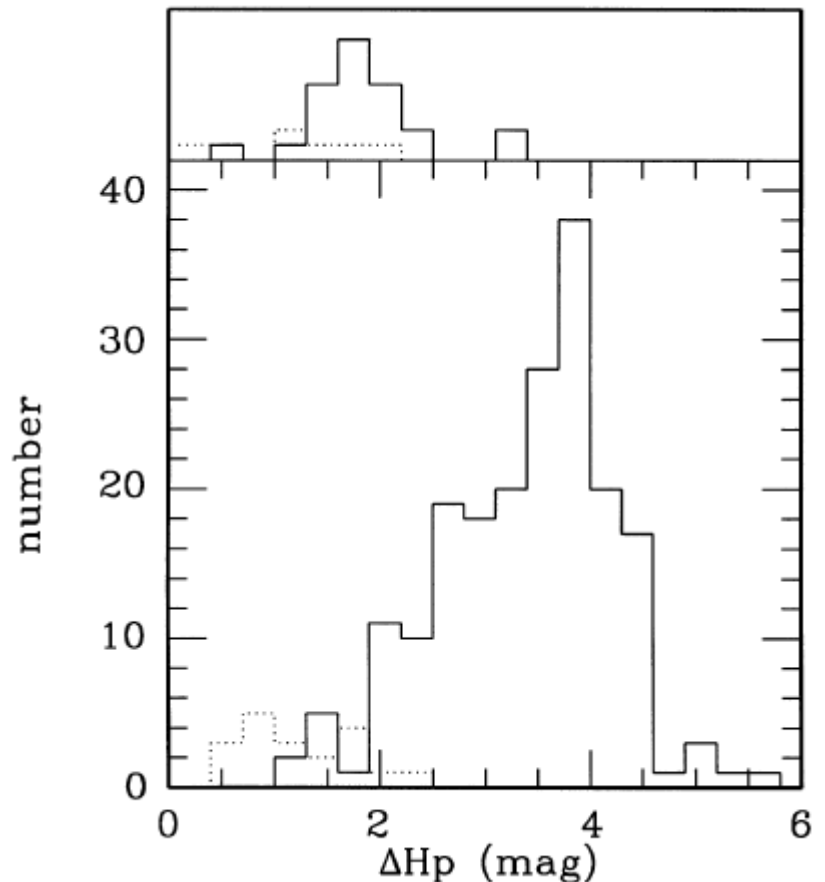
Paine-Gaposhkin 1954,

Whitelock 1997

と比べられるべきもの。

GCVS と比べると  $H_p$  振幅は次の理由で小さい

- (1)  $H_p$  波長巾が広いのでミラでは有効波長が V より長めに出る。
- (2) GCVS では過去の最高と最低で振幅を決める。

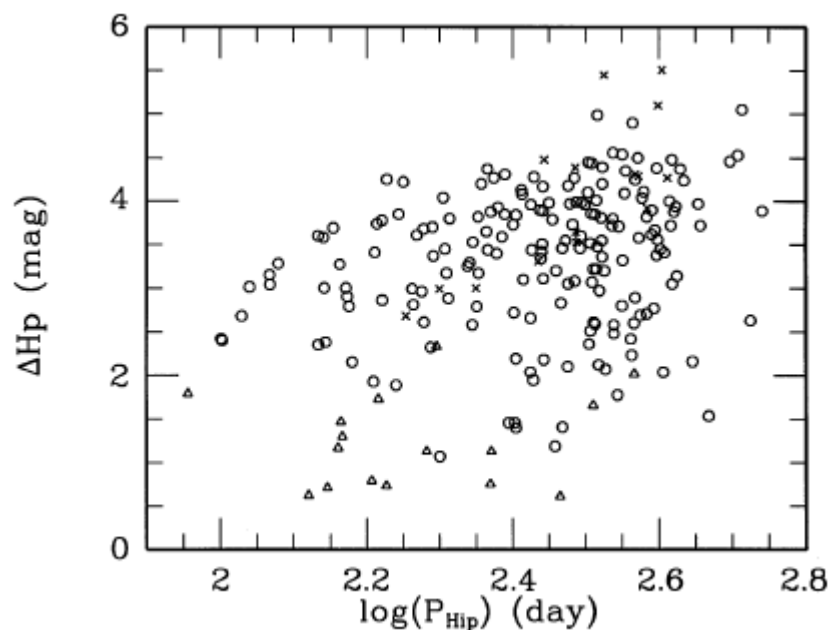


$\Delta H_p < 1.5$  のミラが 6 星ある : S tri, T CVn, RT Cen, BG Cyg, RT Aqr, RW Lup

T Cvn : GCVS でも M に分類。変光曲線は不規則で SR とすべきかも知れない。

つまり、振幅だけでなく変光曲線の不規則さもミラと SR の差なのか？ 分類のクライテリオン？

S Tri : Mattei et al 1997 は SRa



SAAO で 10 以上の観測例があるものについて、サインフィッティングを行った。大部分は 1 次で十分である。

例外は、R Ce, W Hya : 2 次フィット、 R Nor : 3 次フィット

結果は表 4

Table 4. Fourier Mean SAAO IR photometry.

Name	$P_K$ (day)	$(J-H)_0$	$(H-K)_0$	$(K-L)_0$ (mag)	$K_0$	$m_{bol}$	$\Delta K$	$\Delta m_{bol}$	HIP
RU Oct	373	1.04	0.41	0.36	2.66	5.78	0.24	0.24	703
S Scl	366	0.95	0.42	0.49	0.27	3.35	0.67	0.75	1236
Y Eri	303	0.99	0.39	0.39	1.73	4.79	0.31	0.27	9767
R Ari		0.84	0.33	0.42	3.89	6.81	0.45	0.58	10576
<i>o</i> Cet	334	0.87	0.46	0.56	-2.54	0.56	0.84	1.01	10826

図5 K 振幅と Mbol 振幅

$$\Delta m_{bol} = 1.210 \Delta K - 0.009$$

$$SD = 0.049$$

○ = M-ミラ

× = Sミラ 下に位置

△ = M-SR 線に乗ってる

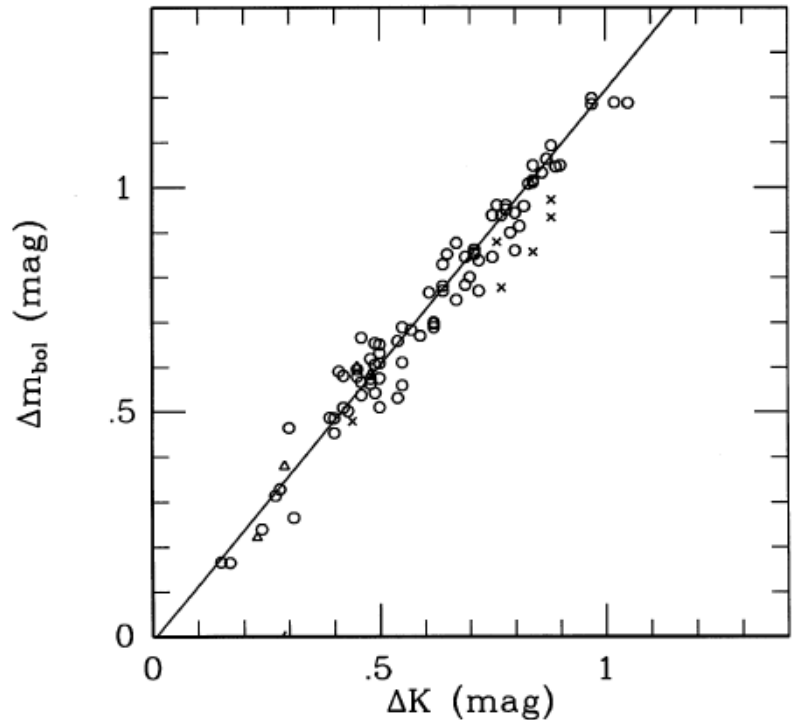


図6 K 振幅と Hp 振幅

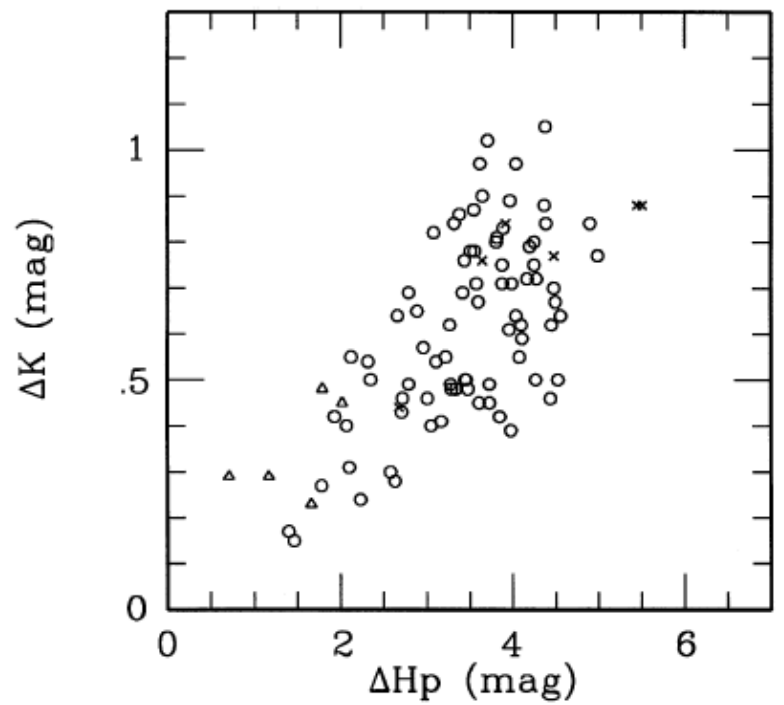
$$\Delta K = 0.16 \Delta H_p + 0.06$$

$$SD = 0.16$$

○ = M-ミラ

× = Sミラ 下に位置

△ = M-SR 線に乗ってる

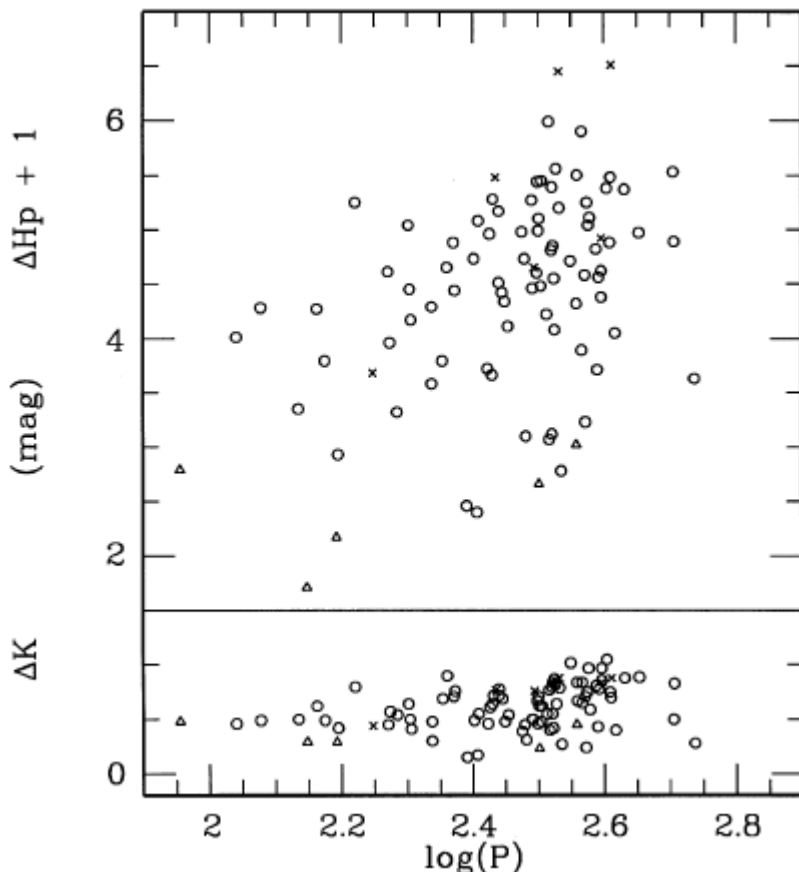


赤外観測は十分ではないがこの分散はリアルである。

図7 K 振幅と Hp 振幅の P 依存性

- =M-ミラ
- ×=Sミラ 下に位置
- △=M-SR 線に乗ってる

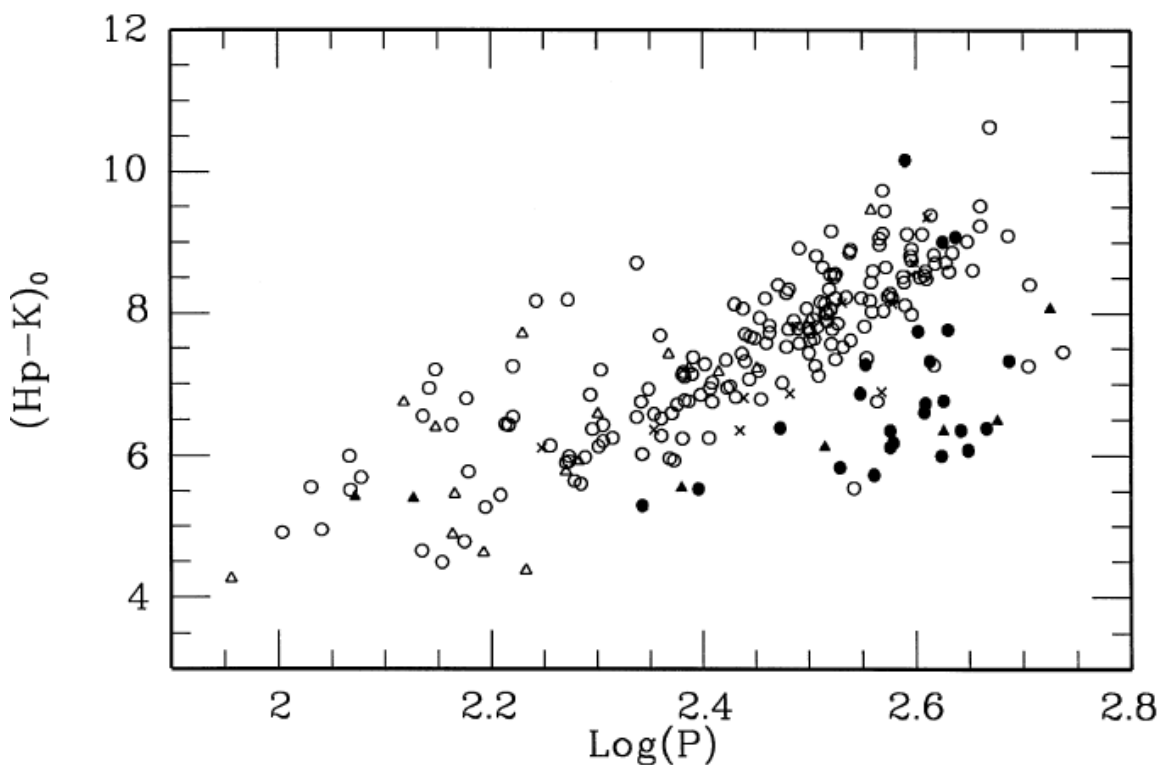
相関は悪い。



### 5. Hp-K カラー

図8 (Hp-K) 対 P

- =M-ミラ
  - =C-ミラ
  - ×=Sミラ
  - △=M-SR
  - ▲=C-SR
- M 型星と炭素星  
が分離して、S 型  
が間に入る。  
同じ関係は(V-R),  
(R-I)でもある。  
(Barnes 1973 )



5つのMミラが炭素星領域にいる : R Cen, R Nor, U CMi, TV Cnc, Z Oph

その中で、R CenとR Nor は2重周期ミラで、その性質の多くは半周期の星と似る。

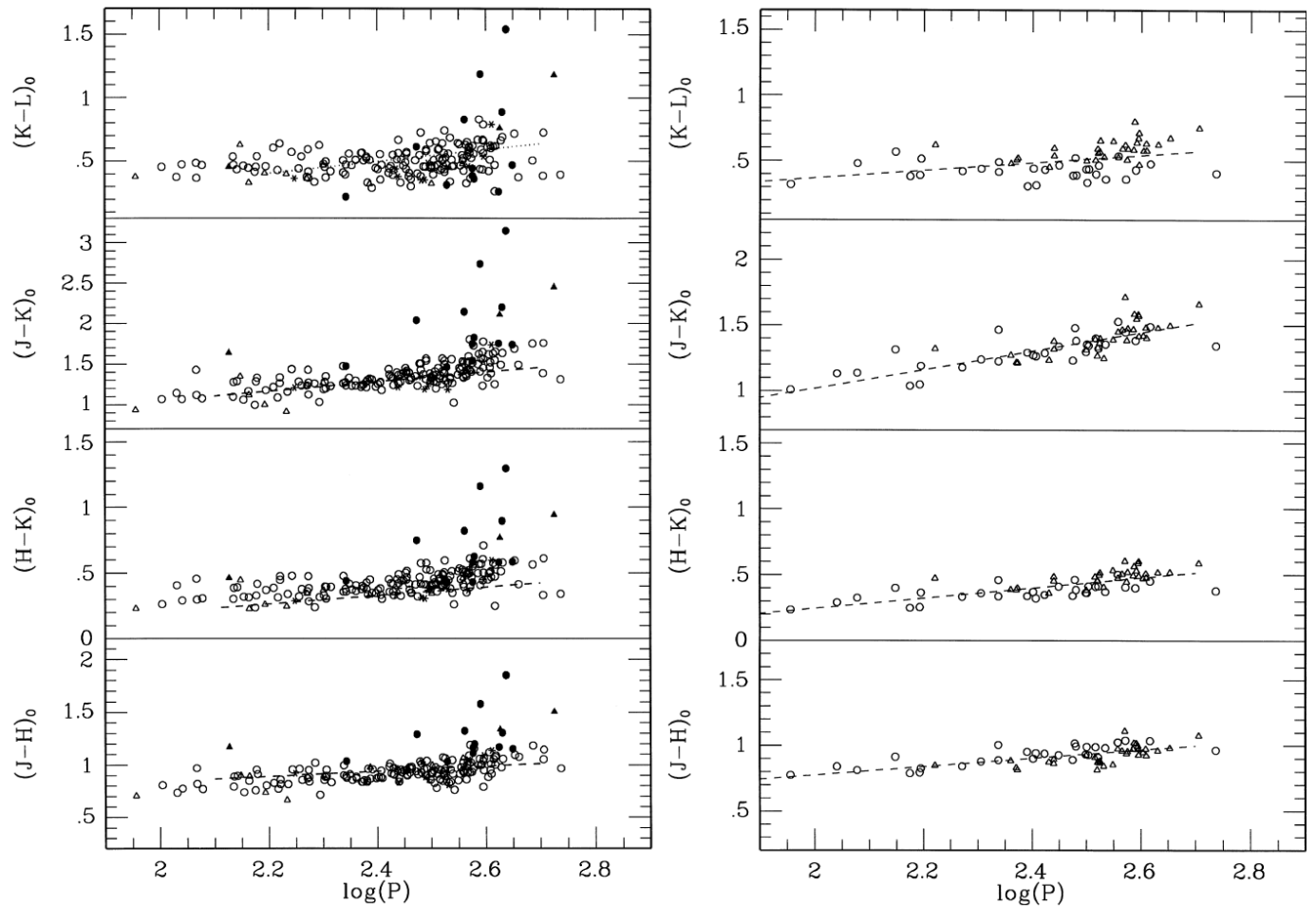
R CMi (U CMiの間違い) とZ Ophは変光曲線の上がる時と下がる時にこぶができ、双ピーク型に似る。

P<225dではMミラが2本の系列に分かれる。ΔHp=2に対応 (どこで分かるか?)

分離境界は、(Hp-K)<sub>0</sub>=11.7log P - 19.3 で、上をSP-red, 下をSP-blue と呼ぶ。

### 6. NIR カラー

## 6. 1. P-カラー関係



左：図9.  $K = (K_{\max} + K_{\min}) / 2$  で決めた平均等級を使った周期—カラー関係。鎖線は LMC ミラ (Feast et al 1989)。

K-L の点線は Sgr I BW (Glasset al 1995)

● = C ミラ型、○ = M ミラ、▲ = C\_SR、△ = M\_SR

右：図10. 10回以上の観測がある星についてフーリエ近似の定数項で決めた平均等級を使った

△ =  $\Delta K > 0.7$  (大振幅), ○ =  $\Delta K < 0.5$  (小振幅) M型のみ。

8図とは逆に、9図の赤外カラーは炭素星の方が赤い。ミラとSRは分離しない。

K-Lの分散が大きいことに注意せよ。

これら近傍ミラのカラーはバルジと LMC の中間に位置する。おそらくメタル量が中間だからだろう。

図9のカラーに使った K は  $K = (K_{\max} + K_{\min}) / 2$  である。より詳しくは表4のサインフィットの定数項

ただ、バンド毎にフェーズシフトがあるので、こうして決めたカラーは実現されない。

周期—カラー関係は以下のようなものである。

$$J - H = +0.14(\pm 0.09) + 0.32(\pm 0.04) \log P;$$

87 stars,  $\sigma = 0.054$  mag.

$$H - K = -0.53(\pm 0.10) + 0.39(\pm 0.04) \log P;$$

87 stars,  $\sigma = 0.061$  mag.

$$K - L = -0.21(\pm 0.16) + 0.29(\pm 0.06) \log P;$$

86 stars,  $\sigma = 0.091$  mag.

$$J - K = -0.39(\pm 0.15) + 0.71(\pm 0.06) \log P;$$

87 stars,  $\sigma = 0.090$  mag.



図5で見たように、 $\Delta K$ は $\Delta M_{bol}$ に比例する。図10の鎖線は前ページの式から求めた。

図10を見ると、(J-H), (H-K), (K-L)が小振幅と大振幅とで異なることがわかる。

J-Kは差が見られない。

説明：大振幅の方が広がっている。Bessell et al 1989によると、大気が広がったとき、

J-Kはあまり影響を受けない。しかし、K-Lは水蒸気吸収の影響を強く受け、広がると

急激に赤くなる。同様に広がった大気では水蒸気とCOの吸収がHを抑え、J-Hを青く、H-Kを赤くする。

こうして、J-Kの周期カラー関係は振幅したがって大気の広がりによって大きな影響を受けないことがわかった。

## 6. 2. SP-red と SP-blue (P<225d)

図11. P<225d 周期・カラー関係

○=SP-red

△=SP-blue

●=球状星団

鎖線=前ページのフーリエカラー

SP-blueは速度分散大で非対称ドリフトを示す。

6. 1. で見たように振幅とカラーとに相関があるのだが、SP-blueとSP-redとは似た振幅を持つ。

例えば、 $\Delta K$ を比べると、

SP-red  $\Delta K=0.49$

SP-blue  $\Delta K=0.48$

したがって、大気の広がりによるカラーの違いは考えない。

それでも僅かなカラー差があることが右の図からわかる。

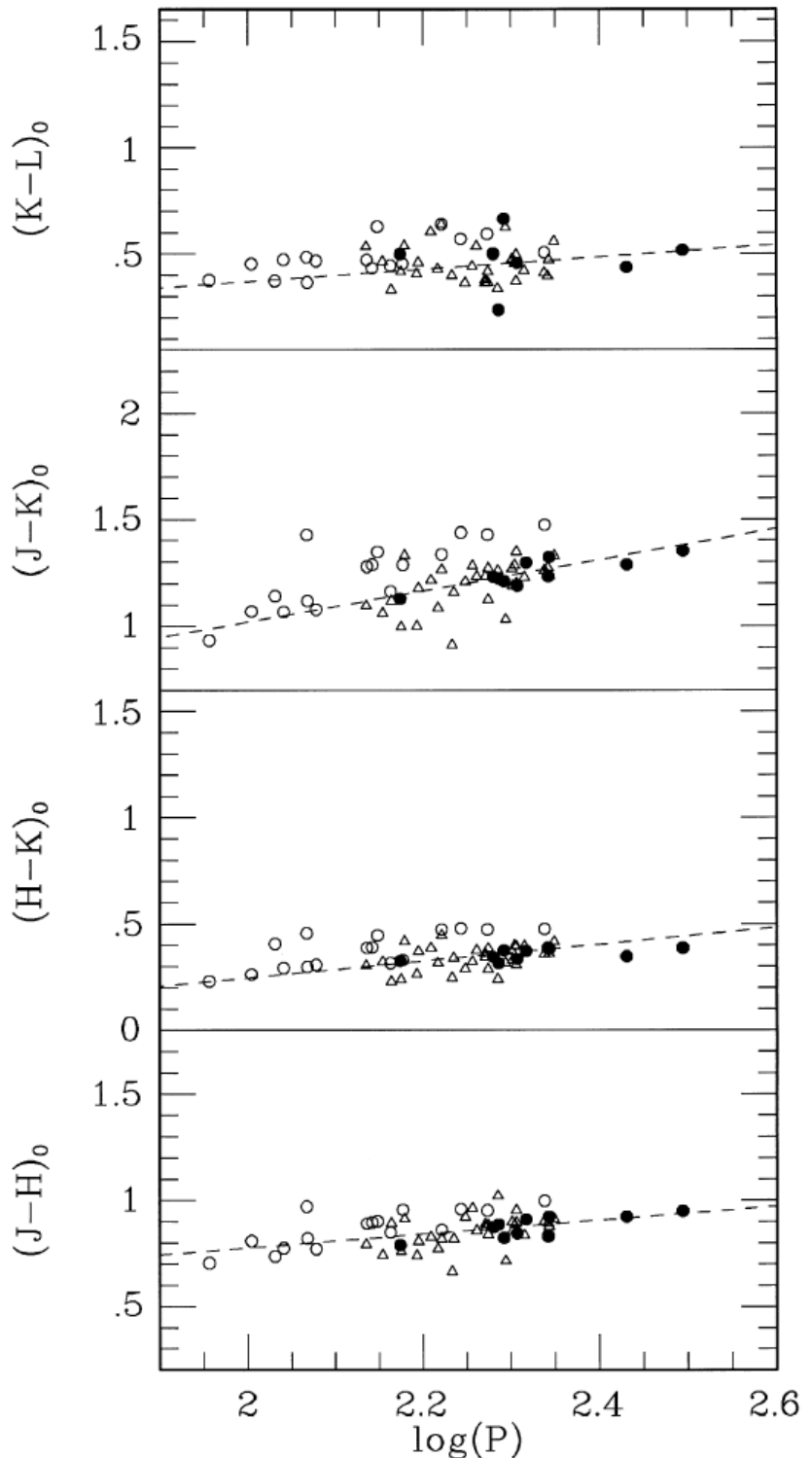
J-Kを見ると、 $\log P=2.25$ で

$\Delta(J-K)=0.2\text{mag}$ で、これは

Feast1996の式(4)によると700Kの差になる。

(J-H)や(H-K)にそのような差がないから、これは単なるメタル効果ではない。

Hron 1991はP=150-200dミラの運動を調べ、(Vmax-Ko)で2グループに分けた。



### 6. 2. 1. 球状星団ミラ

メタルが分かっている唯一のミラなので極めて重要。

$P \propto Z$  (Lloyd-Evans, Menzies 1973, Feast 1980, Feast, Whitelock 2000)

LMC と同じ PLR (Whitelock et al 1994, Feast, Whitelock 1999)

JHKL 測光 Menzies, Whitelock 1985 を色々手直しして SAAO 標準等級に直した結果を示す。

Table 5. Fourier means for globular cluster Miras.

Name	$(J-H)_0$	$(H-K)_0$	$(K-L)_0$ (mag)	$K_0$	$\Delta K$	$P$ (day)
N104V2	0.84	0.34	0.46	6.28	0.52	202
N5139V42	0.79	0.33	0.50	7.38	0.92	149
N5927V3	0.95	0.39	0.52	7.14	0.70	311
N6356V3	0.83	0.39	–	8.95	0.49	219
N6356V4	0.91	0.37	–	8.92	0.65	207
N6356V5	0.92	0.39	–	8.95	0.79	220
N6553V4	0.92	0.35	0.44	6.11	0.56	269
N6637V4	0.82	0.38	–	7.91	0.48	195
N6712V7	0.87	0.34	0.50	7.34	0.70	190
N6838V1	0.89	0.31	0.24	6.22	0.18	193

ただ、観測数は表 4 ほど多くない。

図 1 1 にプロットした星団ミラはフィット線からずれていない。

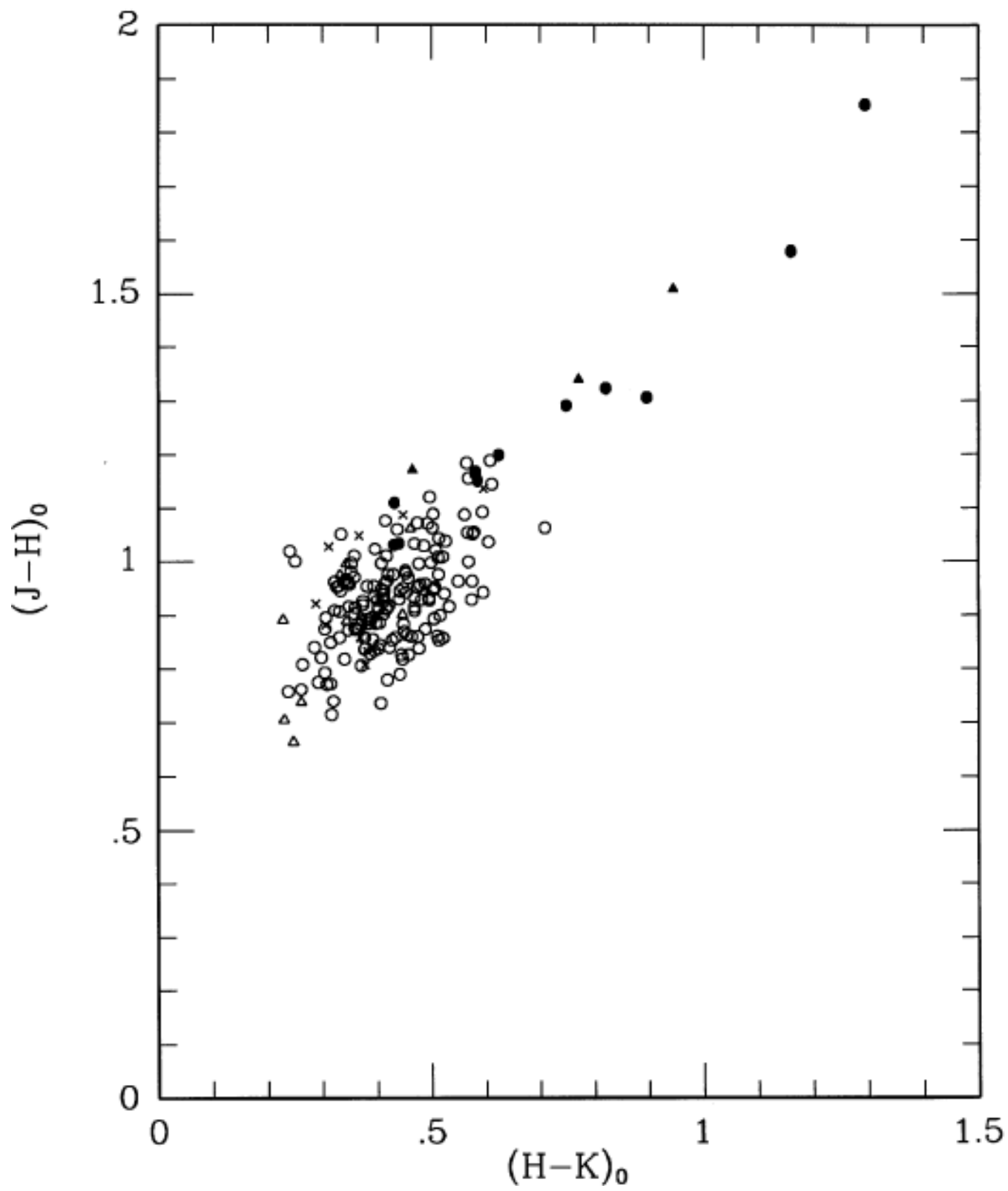
140d < P < 230d で星団ミラのカラーは SP-blue に重なる。

### 6. 3. 2 色図

表 3 に基づき TGD をプロットした。South Galactic Pole の IRAS 天体 (Whitelock et al 1994) と比較 IRAS サンプルでは 1 つ (SS Aqr) だけが  $(H-K) < 0.45$  だった。今回は半分が  $(H-K) < 0.45$

炭素星と M 星はやや別れて分布する。特に図 1 3 ではっきり見える。炭素星領域に入った 4 つの M ミラは RU Her, R LMi, R Peg, BG Ser である。すべて高銀緯 ( $|b| > 40$ ) で吸収は弱い。

BG Ser と RU Her は 3 – 4 観測しかない、R LMi, R Peg は 10 以上の観測全て極大からはずれている。したがって、カラーが平均値よりやや赤く出た可能性はある。



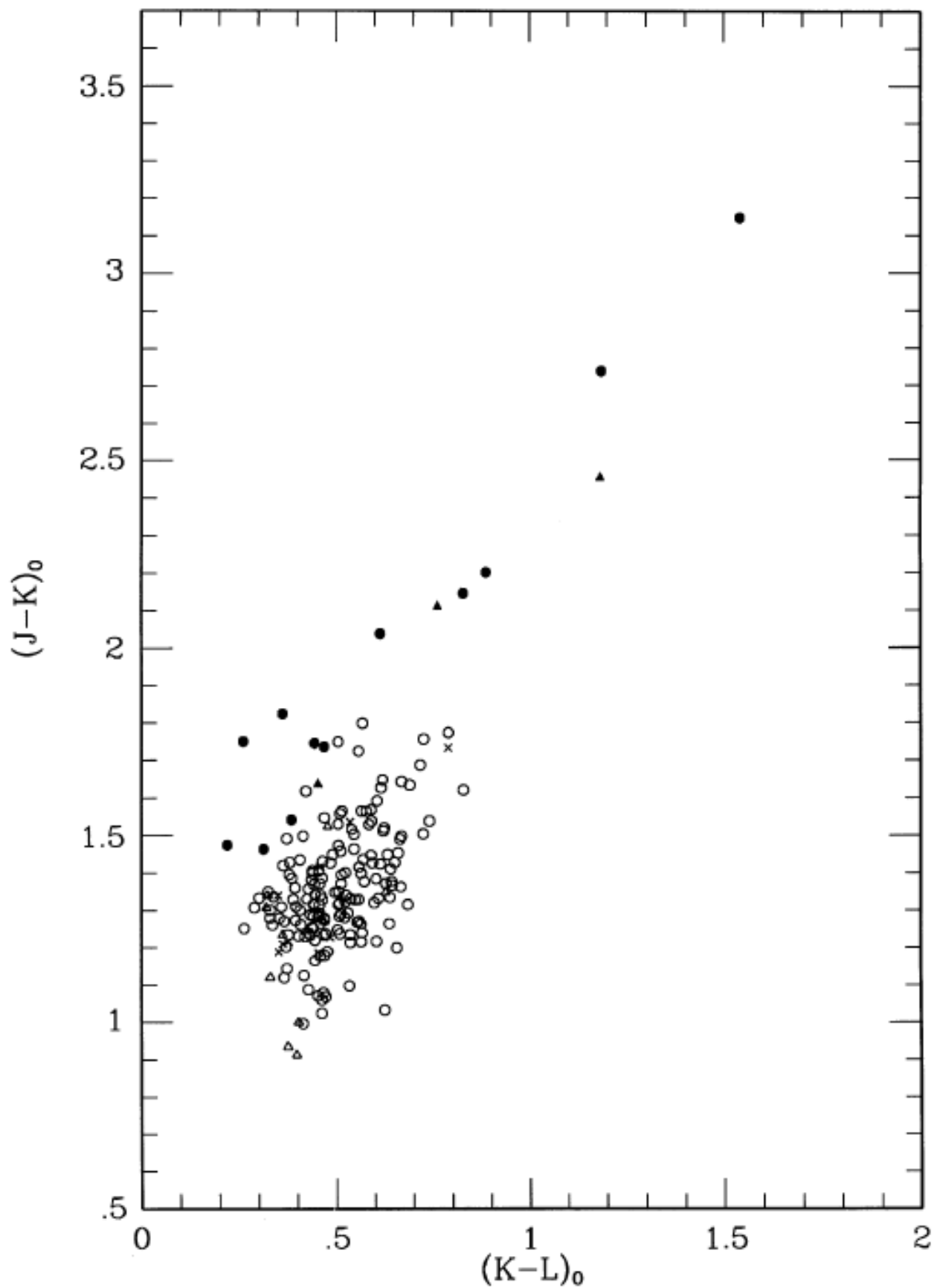


図13 表3に基づく2色図

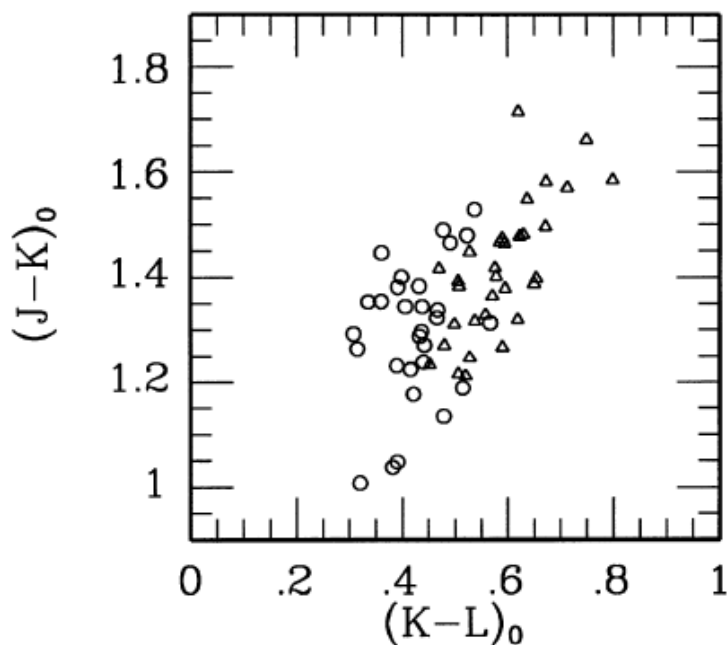
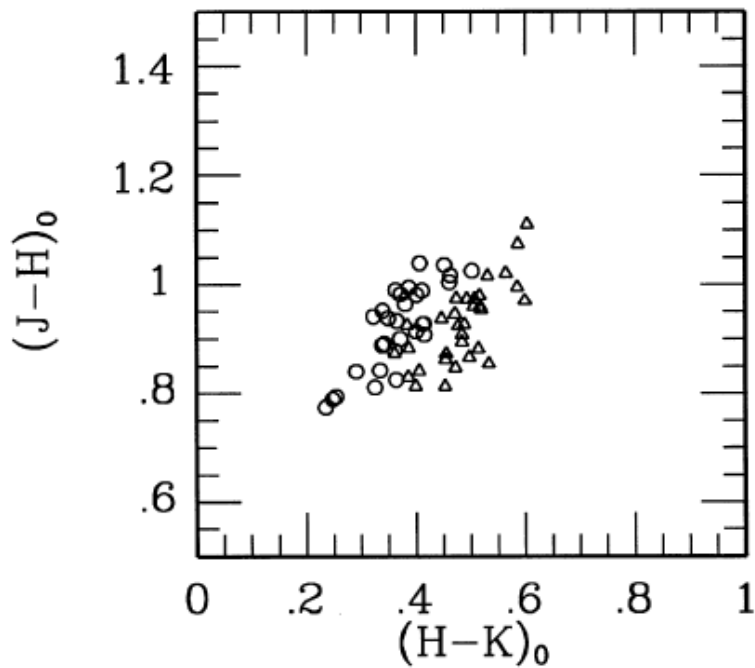
図14 フーリエフィット表4

からの2色図

$\Delta$ :  $\Delta K > 0.7$  大振幅

$\circ$ :  $\Delta K < 0.5$  小振幅

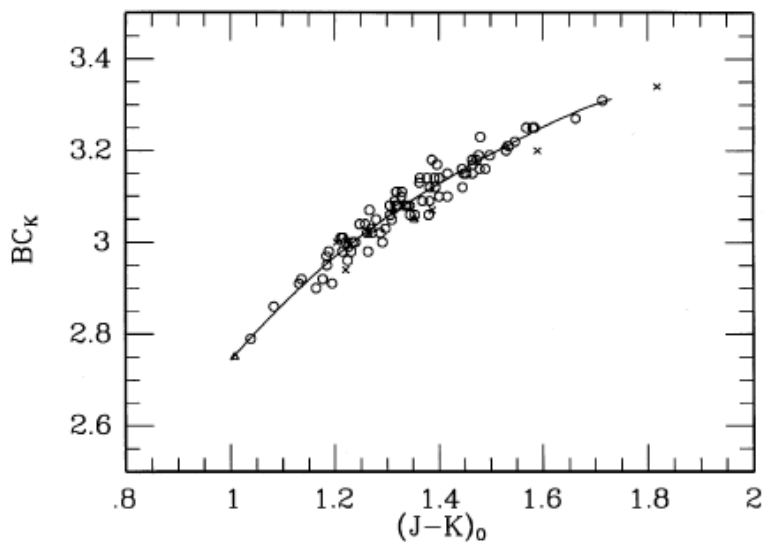
はっきり分かれている。



#### 6. 4. BC

図16 BC(K)対(J-K)0  
フーリエ等級のある天体

カーブは多項式フィット



## 7. IRASカラーとマスロス

大部分は IRAS Faint Source Catalogue (Moshir 1989) か P S C に掲載。

――> [12]算出

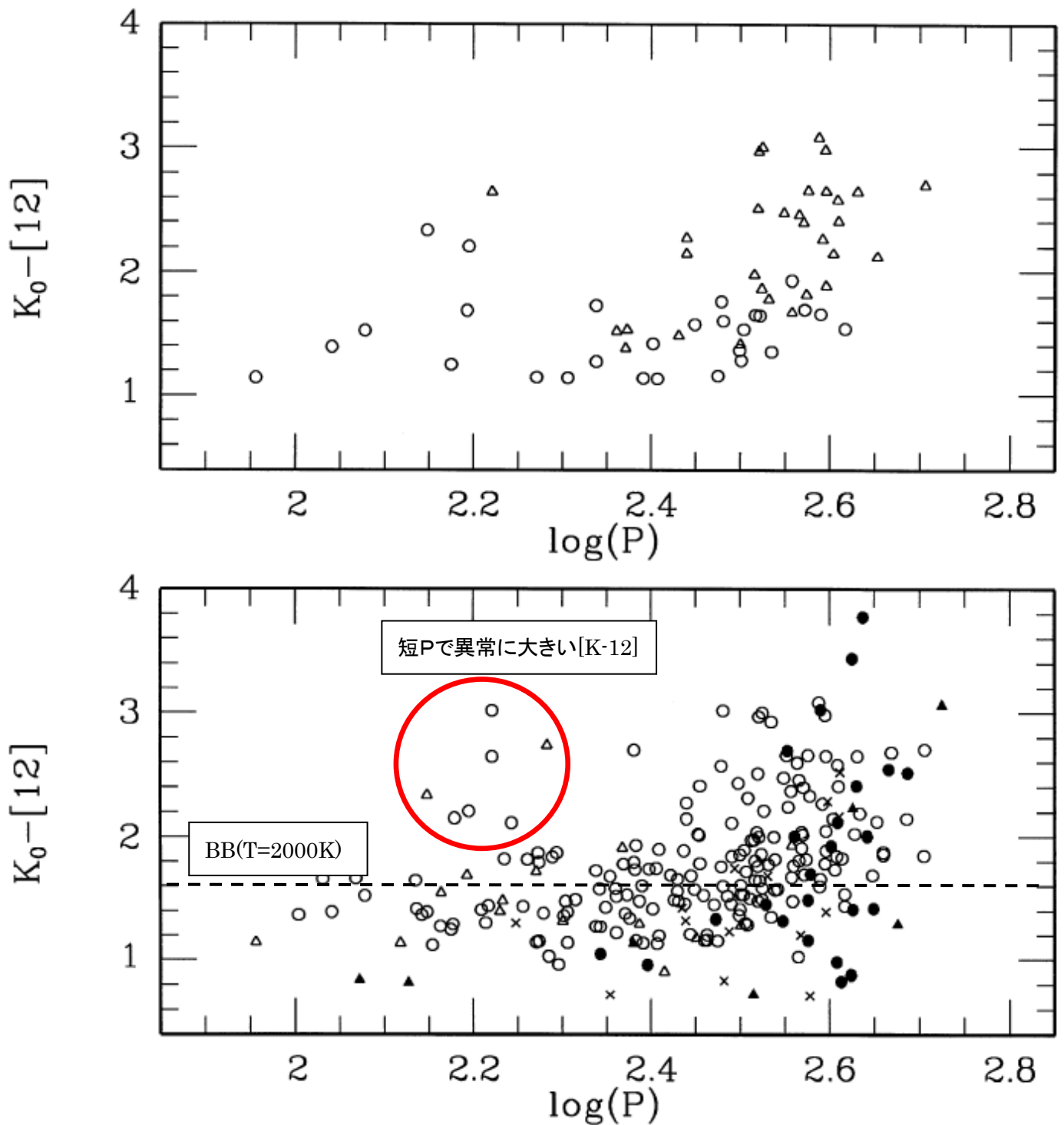


図17  $K_0-[12]$  はマスロスの指標

上:  $\circ$ =小振幅 ( $\Delta K < 0.5$ )  $\triangle$ =大振幅 ( $\Delta K > 0.7$ )

下:  $\circ$ =Mミラ、 $\bullet$ =Cミラ、 $\times$ =Sミラ、 $\triangle$ =MSR、 $\blacktriangle$ =CSR

{K-12} whitelock 1994 マスロス指標

LeBertre, Winters 1998 弱いマスロスへ延長

BB (T=2000-3000K) のカラーは、 $0.9 < K-[12] < 1.6$  で、多くの星はここに入る。

ただ、Whitelock et al 1994 では  $F_{25} > 0.5 * F_{12}$  という制限をかけ、F 2 5 がシェル起源と看做せたが、今回の星では F 6 0 でさえ星本体かもしれない。マスロス を 1994 の方法で決められない。

1994 の図 2 1 と LeBertre, Winters 1998 (IRAS カラー補正なし) の図を見ると、今回の星の大部分は、 $dM/dt < 10^{(-7)} \text{ Mo/yr}$  と推定される。

マスロスの大きい星の大部分は  $P > 300\text{d}$  だが、全ての周期に渡ってマスロスの低い星が存在する。

いくつかの短周期  $130\text{d} < P < 190\text{d}$  で  $[K-12]$  が極めて大きいものがある。内 2 つは SR である。

図 1 7 上を見ると、一般には大振幅の星がマスロスが大きいことが示唆される。例外は短周期、小振幅 S RL2Pup と RZ Sco である。

図18 M星

△:  $0.7 < \Delta K$

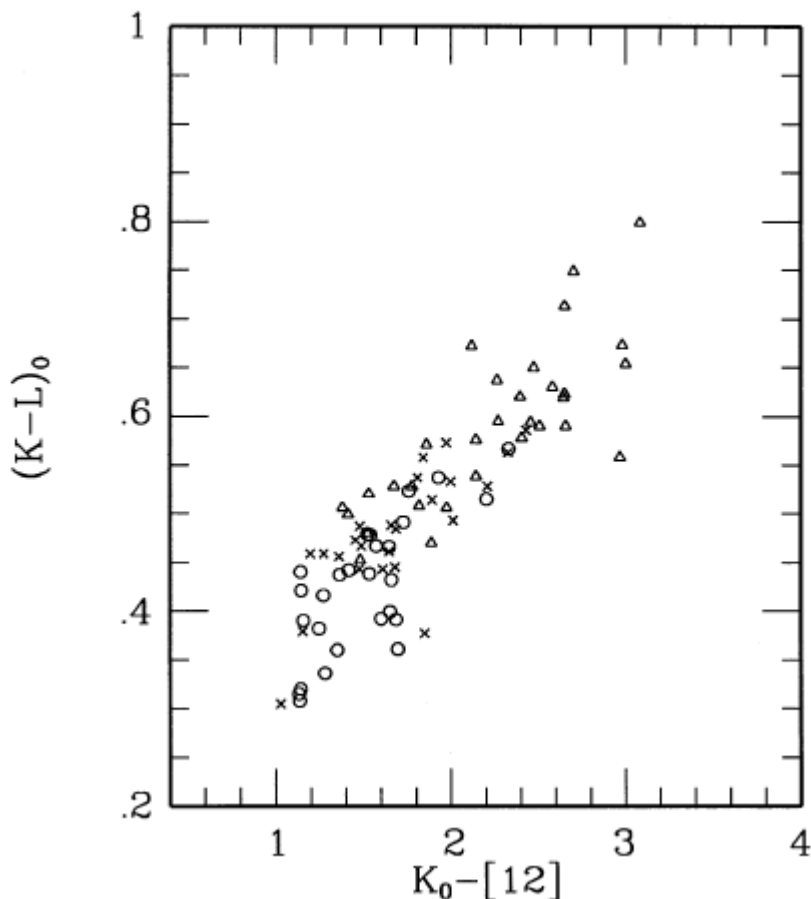
×:  $0.5 < \Delta K < 0.7$

○:  $\Delta K < 0.5$

ただ、この  $K-L$  がシェルの吸収、放射によるのか、大気が広がったためなのかはっきりしたモデルが必要。

Whitelock et al 1987 はマスロスが光度  $L$  と振幅の双方に関係することを示した。これは脈動がマスロスと結びついている直接の証拠である。

今回の結果はこれをやや修正する。



- (1) 大振幅は広がった大気を生み出す。
- (2) その低温、高密度環境でダストが作られる。
- (3) マスロスはそのダストに働く輻射圧で発生する。

## 8. S 星 省略

## 9. 長期変動