

WIYN Open Cluster Study X.

The K-Band Magnitude of the Red Clump as a Distance Indicator

Grocholski, A.J., Sarajedini, A.

2002 AJ 123, 1603-1612

アブストラクト

レッドクランプの光度を距離指標として改良するため、そのKバンド絶対等級 $M_K(RC)$ がメタル量と年齢にどう反応するかを調べた。散開星団14個、球状星団2個の2MASSデータを用いてJ, K 等級を得た。散開星団の距離、メタル量、年齢は全て内部無矛盾なシステムから得られている。一方 $K(RC)$ は2MASSから得た。

2Gyrより若い星団では $M_K(RC)$ はメタル量の影響は小さいが年齢依存度が大きい。反対に、2Gyrより古い星団では $M_K(RC)$ は主にメタル量に影響され、年齢とは殆ど関係ない。Girardi et al の恒星モデルはこの結果とよく合う。

1. イントロ

$M_I(RC) = \text{一定}$

Paczynski, Stanek(1998), Stanek, Garnavich(1998)

Hipparcos データ。 $M_I(RC)$ がカラーで変化しないのはメタル依存がないためだろう。

Alves(2000)

Hipparcos の分光あり238星。 $M_K(RC)$ がカラー(メタルを表わすとして)によらない。年齢効果は？

$M_I(RC) = \text{変化}$ Cole(1998), Sarajedini(1999)

Girardi, Salaris(2001), Seidel, Demarque, Weinberg(1987)

モデル計算では、 $M_I(RC)$ はメタル量、年齢が増すと暗くなる。

Sarajedini(1999)

散開星団8個の観測から $M_V(RC)$ はメタル、年齢効果が大。 $M_I(RC)$ はメタル効果やや鈍い。年齢効果ある。

——> 年齢とメタルの分かっている散開星団で $M_K(RC)$ を調べてみよう。

2. 1. 散開星団データ

距離、減光、年齢、メタル量が同じ方法で決められている20星団を選ぶ。

Twarog et al 1997

76散開星団のリストを集めた。減光、距離、メタル量が載る。ここでは MS フィット距離のあるものを選択
NGC6819 だけは減光値がおかしかったので別扱い。

WEBDA (<http://obs.www.unique.ch/webda/webda.html>) : 様々なソースからの星団データ

この年齢を Sarajedini(1999, Bertelli1994 等時線フィット)と比較すると。

WEBDA の年齢に $\Delta t = 0.191$ 足して、S99 システムの年齢と考えて使用する。(変なやり方だけどね)

赤外測光

2MASS を使用し、測光方法が同じになるよう data retrieval に気を付けた。フィールドサイズは当初30' だったが後に5' に変更し、星団中の星が隔離されるようにした。(” の間違い? 大体何のこっちゃ)

大部分の星の read flag が2 (PSF 測光)だが、近い星団ではアパーチャー測光を採用した。

2MASS の K_s は Bessell, Brett(1988)システムの K に変換し、Girardi et al(2000), Girardi, Salaris”2001) と比較可能にした。

赤外減光は Cardelli et al 1989 から $R_v = 3.1$, $A_k = 0.11A_v$, $A_j = 0.28A_v$ を採用した。

$M_K(RC)$

同じ大きさの RC ボックス内の星の M_K の中間値(メディアン)をとる。ボックスの位置の決め方は？

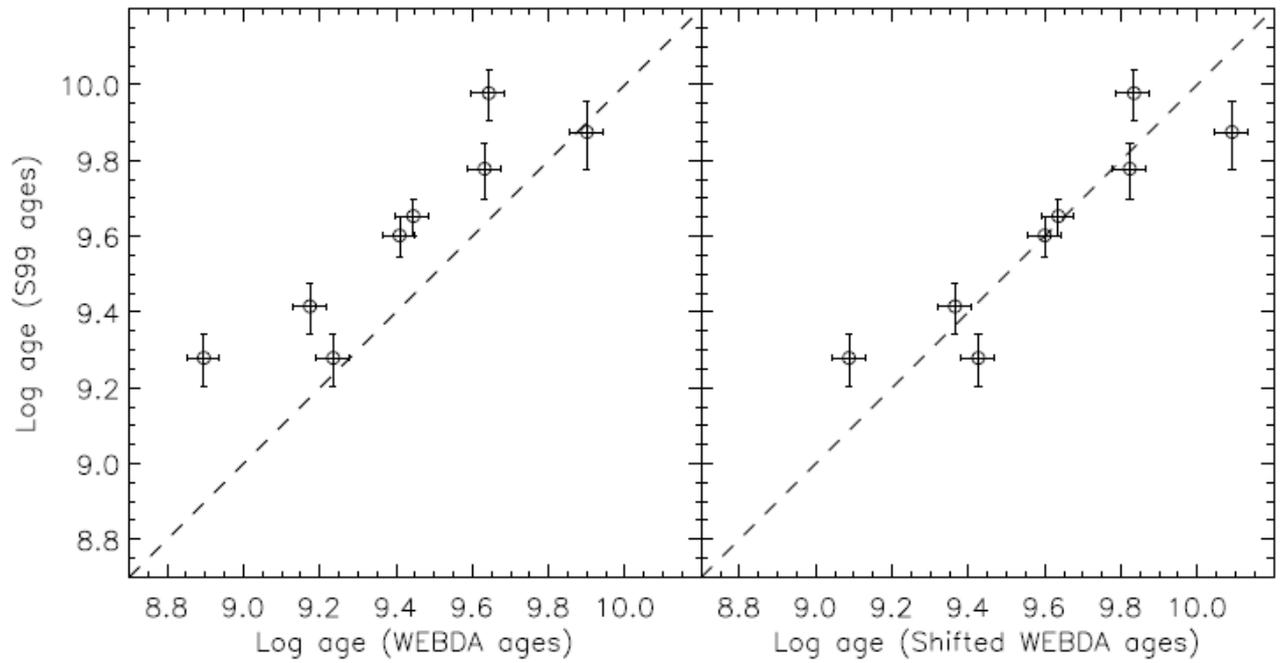
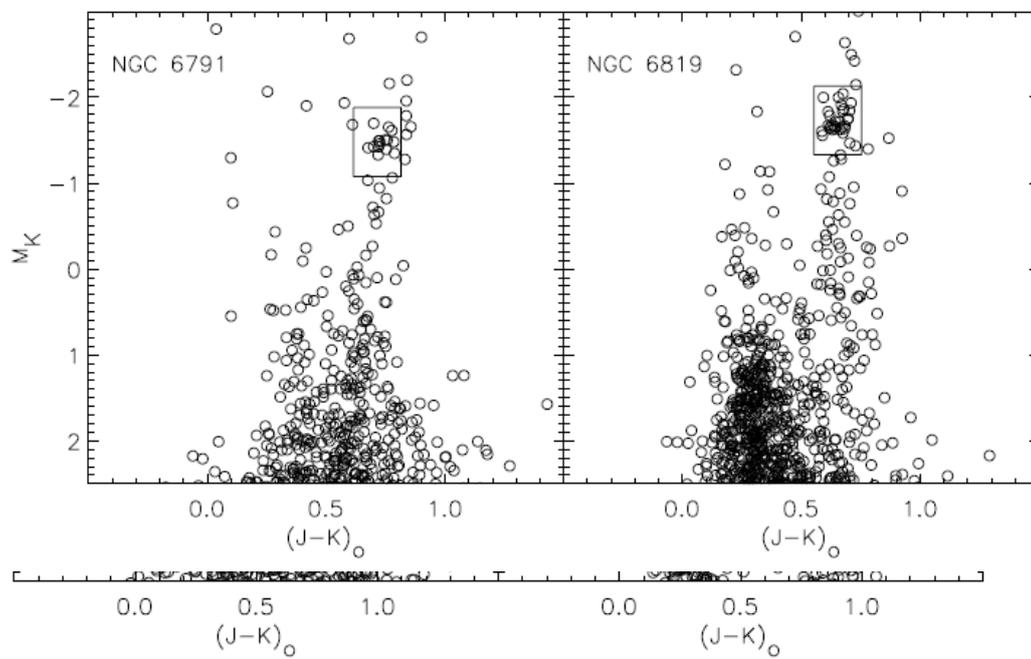
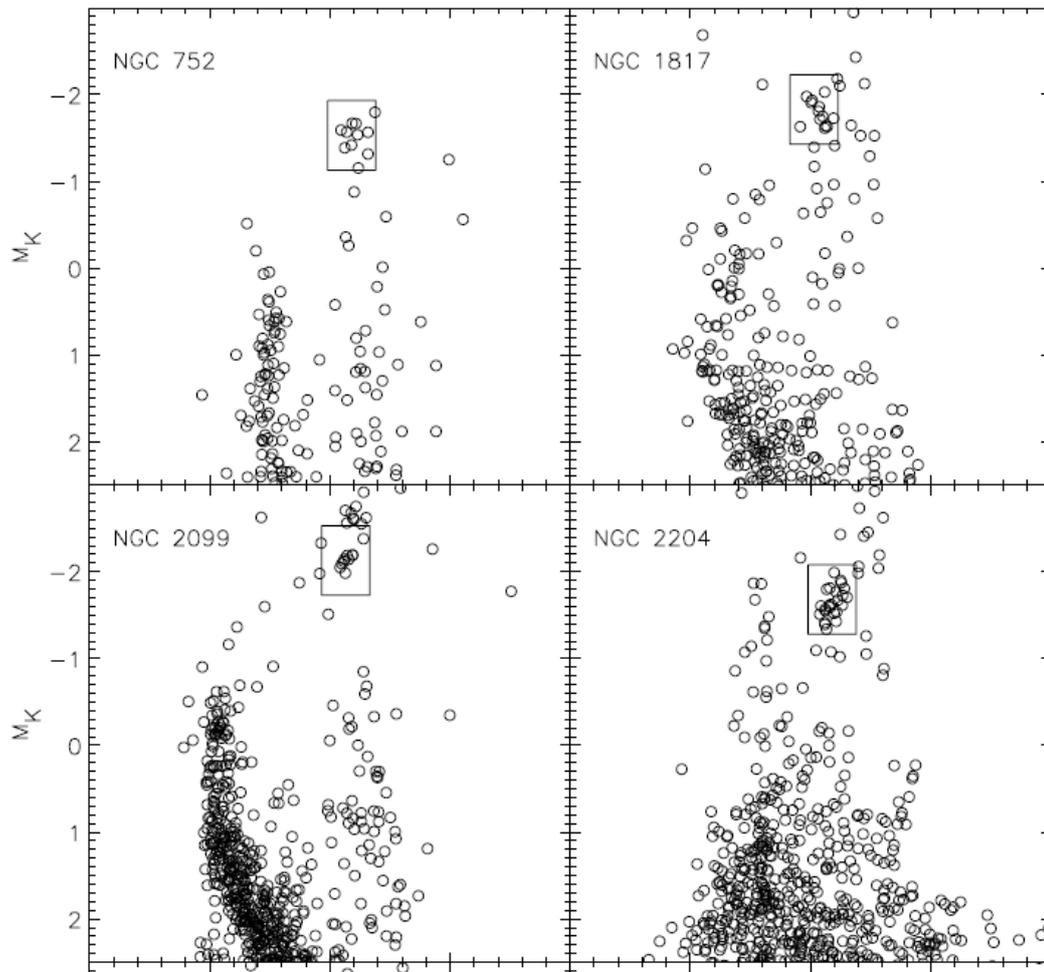
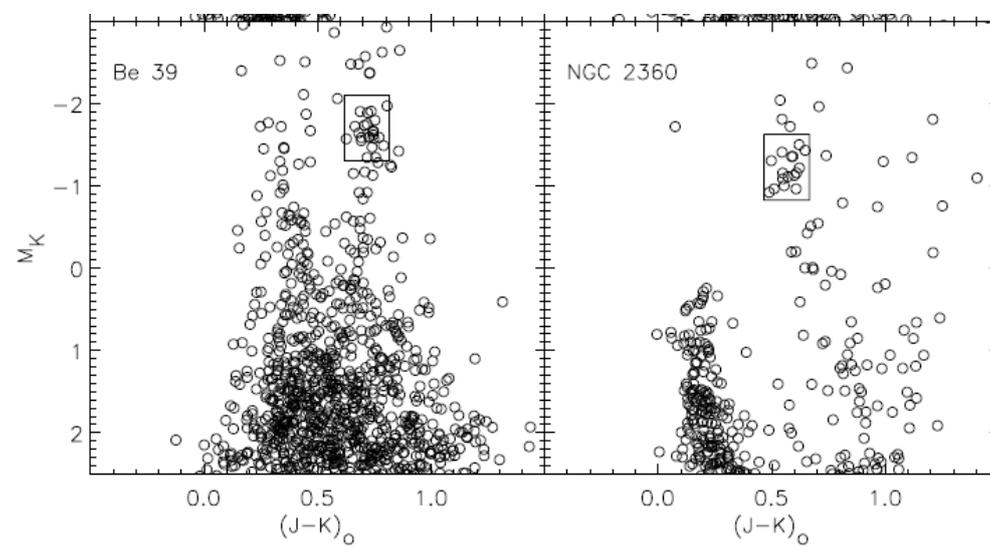
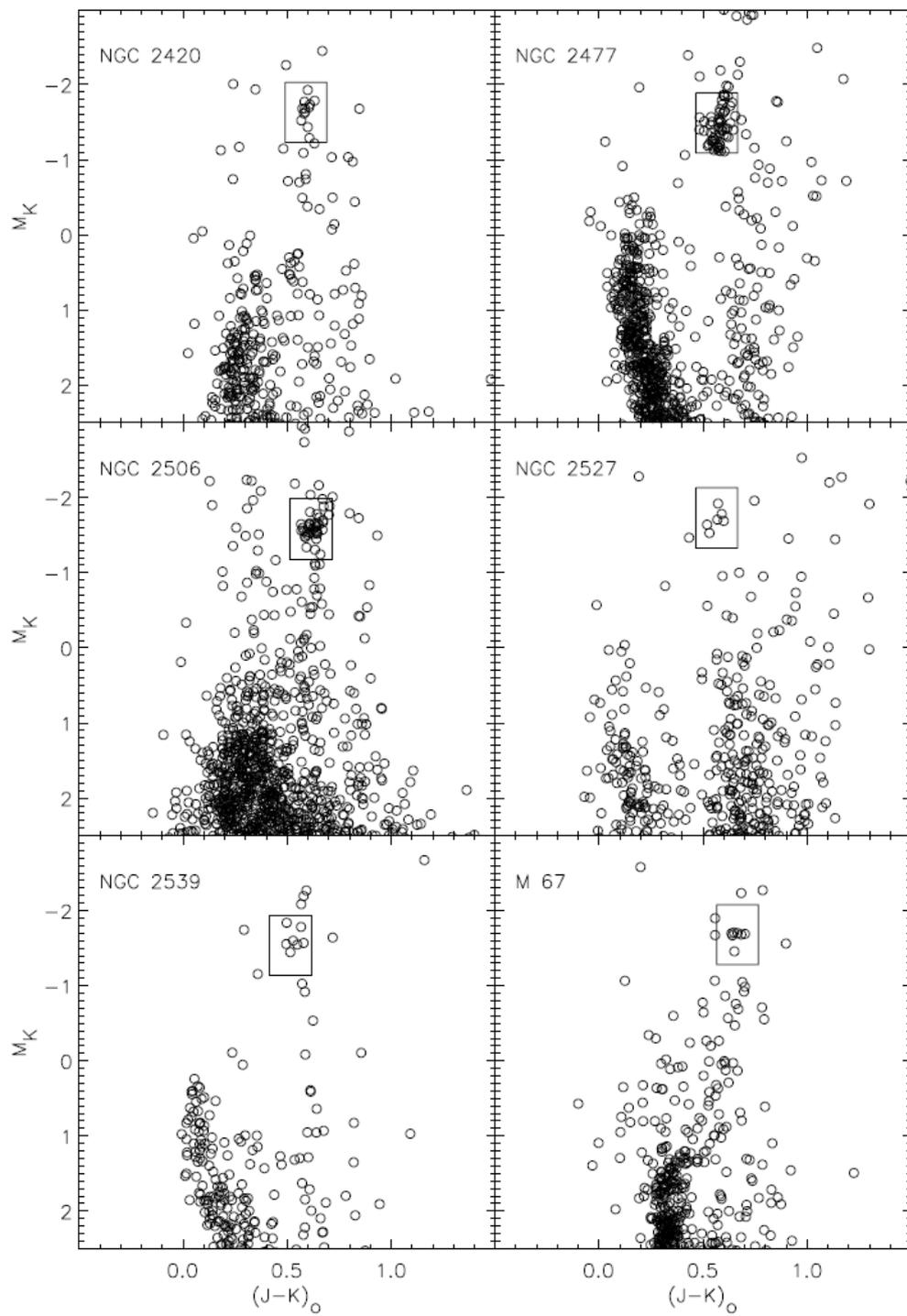


図1 左:WEBDAとSa99の星団年齢の比較

右:WEBDATAを $\Delta t=0.191$ 増した。

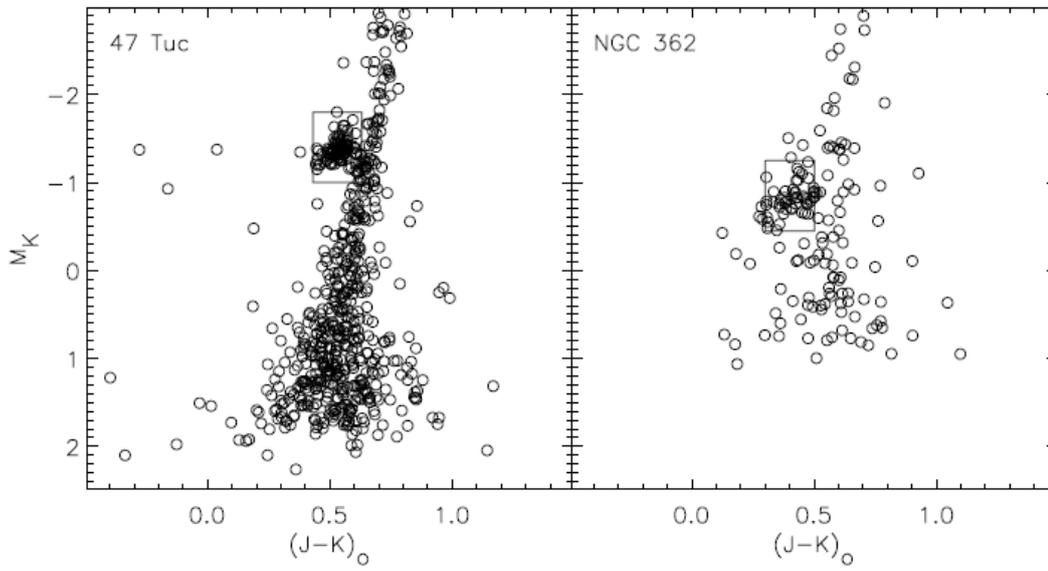
Name	Log Age	$(m - M)_V^a$	$E(B - V)^a$	[Fe/H] ^a	$\sigma([\text{Fe}/\text{H}])^a$	M_K	$\sigma(M_K)$	$(J - K)_0$	$\sigma(J - K)_0$
NGC 752	9.24	8.35	0.04	-0.088	0.018	-1.566	0.116	0.608	0.014
NGC 1817	8.80	12.15	0.26	-0.268	0.023	-1.749	0.180	0.551	0.029
NGC 2099	8.73	11.55	0.27	0.089	0.073	-2.143	0.182	0.571	0.030
NGC 2204	9.28 ^b	13.30	0.08	-0.338	0.120	-1.608	0.115	0.597	0.011
Be 39	9.88 ^b	13.50	0.11	-0.177	0.032	-1.623	0.121	0.727	0.014
NGC 2360	8.94	10.35	0.09	-0.150	0.026	-1.159	0.121	0.587	0.015
NGC 2420	9.24	12.10	0.05	-0.266	0.017	-1.681	0.115	0.598	0.007
NGC 2477	9.04	11.55	0.23	0.019	0.047	-1.401	0.164	0.580	0.024
NGC 2506	9.24	12.60	0.05	-0.376	0.029	-1.596	0.106	0.631	0.008
NGC 2527	8.84	9.30	0.09	-0.080	0.090	-1.690	0.124	0.571	0.016
NGC 2539	8.76	10.75	0.09	0.137	0.028	-1.570	0.123	0.528	0.016
M67	9.60 ^b	9.80	0.04	0.000	0.092	-1.690	0.108	0.650	0.010
NGC 6791	9.98 ^b	13.40	0.15	0.150	0.041	-1.482	0.132	0.724	0.018
NGC 6819	9.42 ^b	12.44 ^b	0.16 ^b	0.074	0.035	-1.671	0.136	0.663	0.018
47 Tuc	10.08	13.45 ^c	0.044 ^c	-0.70 ^d	0.07 ^d	-1.344	0.211	0.543	0.016
NGC 362	10.08	14.70 ^c	0.048 ^c	-1.15 ^d	0.06 ^d	-0.807	0.241	0.419	0.035





2. 2. 球状星団

比較のため2つの球状星団 ($t=12\text{Gyr}$) 47Tuc ($[\text{Fe}/\text{H}]=-0.7$) と NGC362 ($[\text{Fe}/\text{H}]=-1.15$) を取る。



3. 結果

3. 1. 星団データ

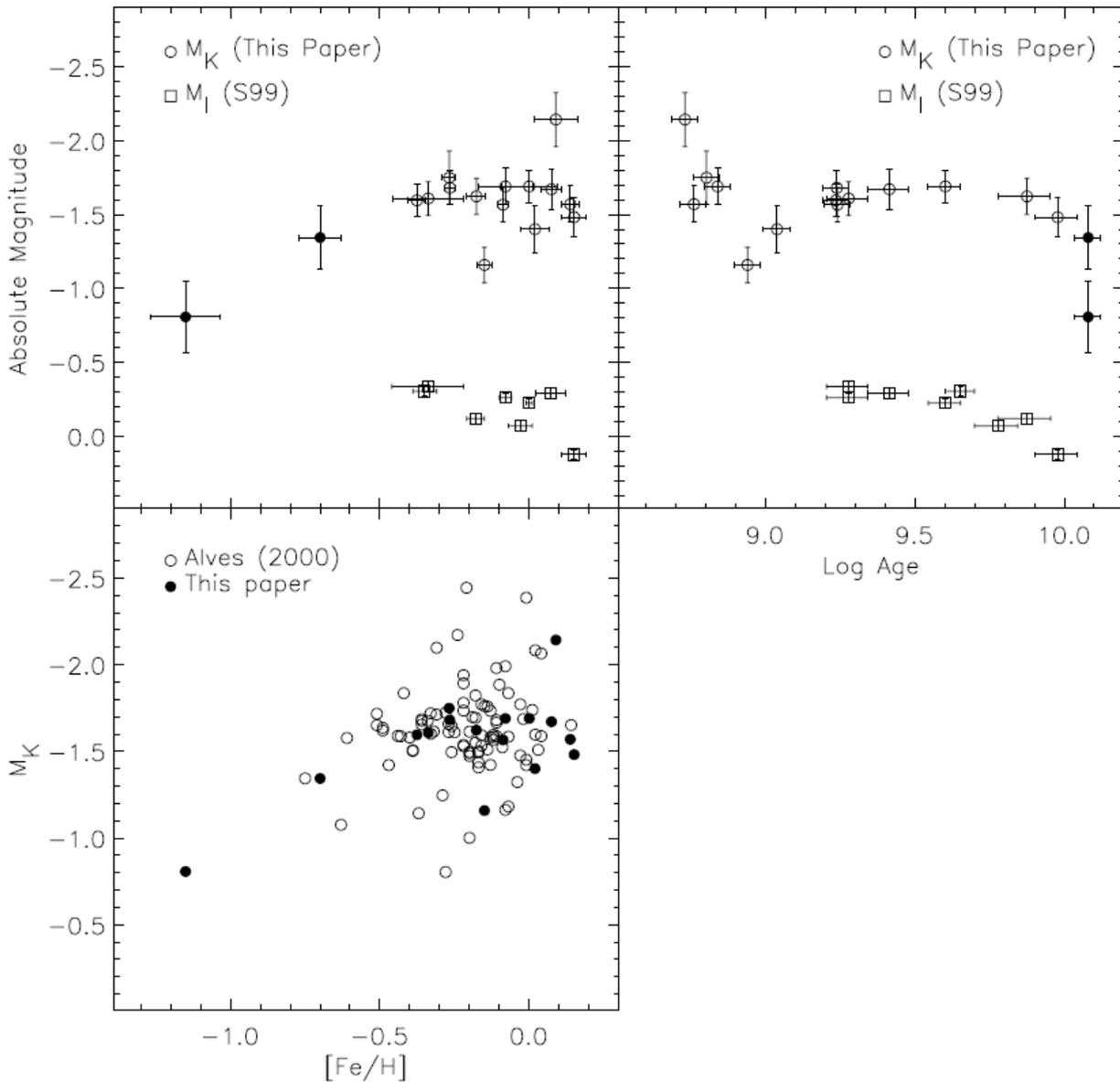


図4 上: ○=散開星団、●=球状星団、□=Sa99からのIc等級。

下: ○=AlvesのHipparcosRC、●=星団

図4を見ると、RCは初め($t=0.5\text{Gyr}$)かなり明るく $M_K(\text{RC})=-2.1$ であるが、年齢と共に急に暗くなり $t=1\text{Gyr}$ 付近では -1.1 くらいまで落ちる。その後 0.5 等上がり、 $t=2-5\text{Gyr}$ では -1.6 で安定する。

その後はやや暗くなり、球状星団では暗い。

K等級の方がI等級より安定している。

3. 2. フィールド星データ

図4の下を見ると、太陽近傍の星の分布が星団の平均等級の分布とよく重なっていることが分かる。

特に双方の平均値が $K=-1.6$ で一致し、メタル依存がどちらも無いのは驚きである

3. 3. モデルとの比較

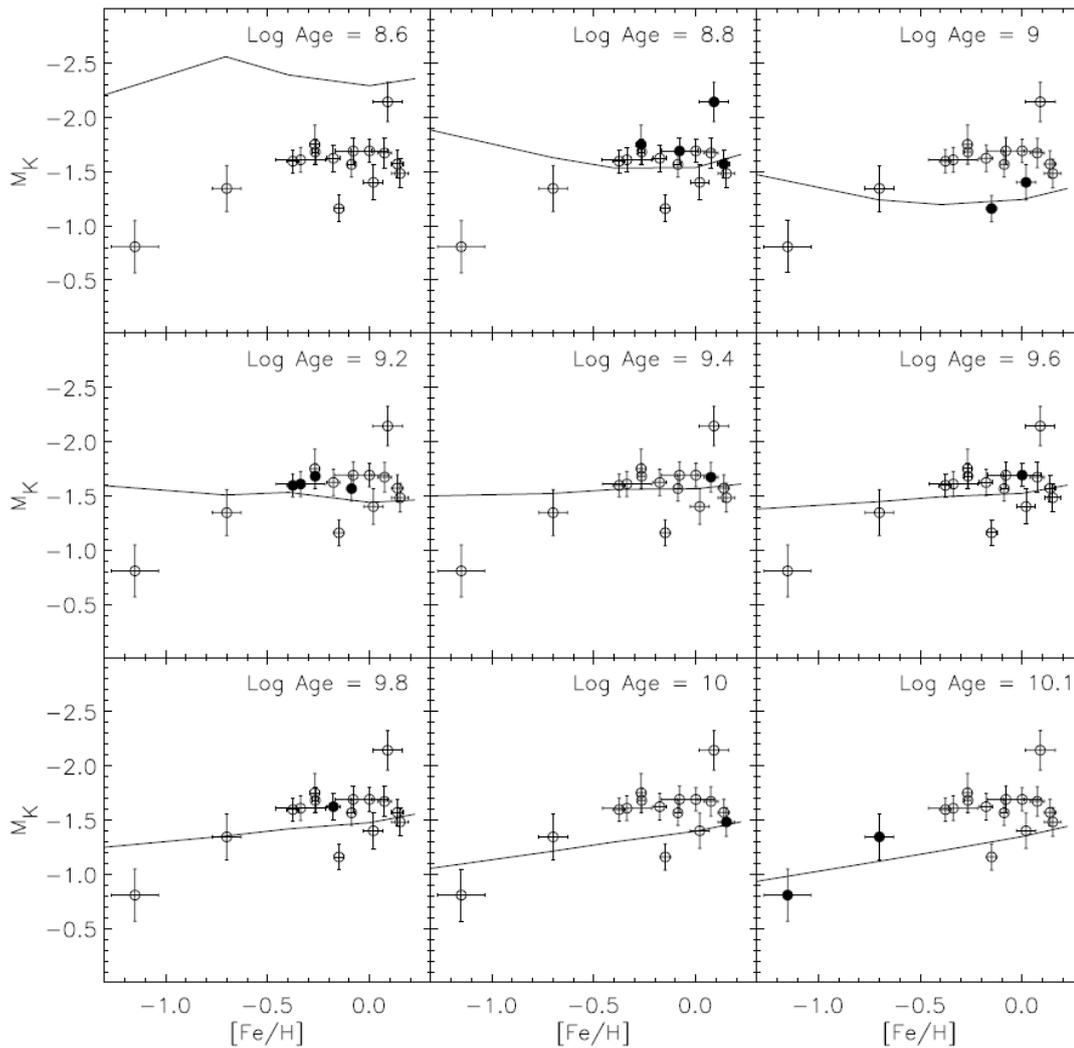


図5 Girardi et al 2000 のモデル RC 等級と星団観測値との比較。年齢毎にメタル量による変化のグラフ。

○=星団、●=年齢がモデルの $\Delta \log t=0.1$ 以内の星団

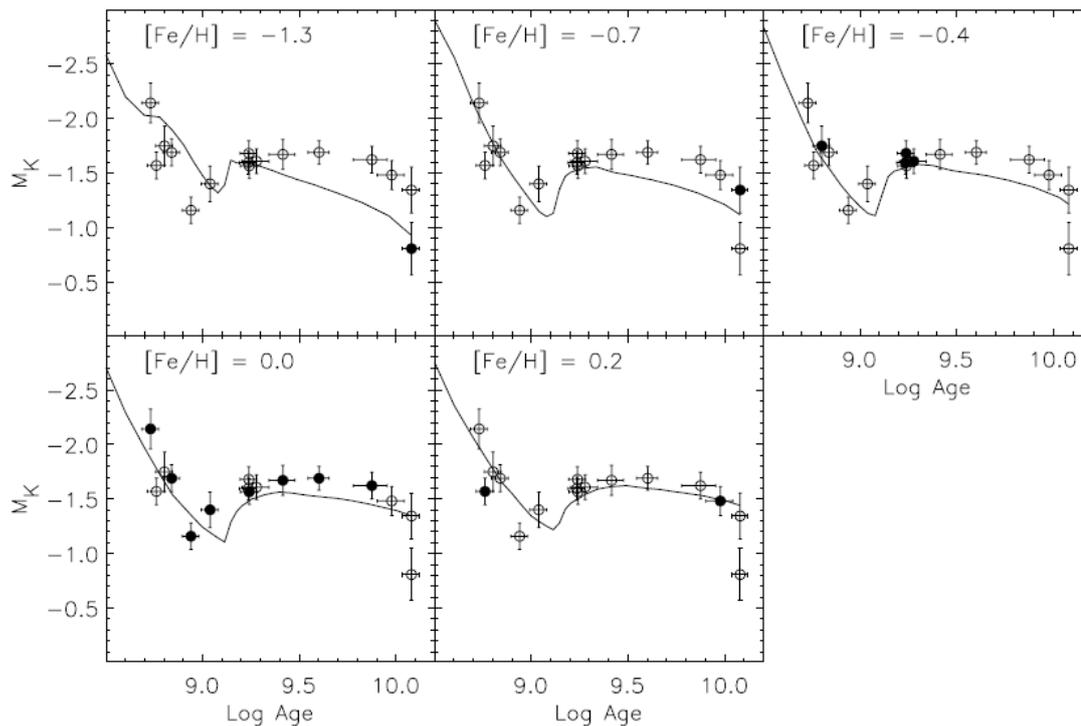


図6 Girardi et al 2000 のモデル RC 等級と星団観測値との比較。メタル量毎に年齢による変化のグラフ。

モデル:

$t < 2\text{Gyr}$ では年齢に大きく影響される。メタル効果は小さい。

$t > 2\text{Gyr}$ は年齢効果は殆どなく、メタルの影響がある。

モデルと観測との差の $\text{RMS} = 0.16$ 等で、差には特に年齢、メタル量依存は見られない。

星団の $M_K(\text{RC})$ 決定エラー = 0.13 等(どこにあった?) を考えると、ほぼモデルと合っているとと言える。

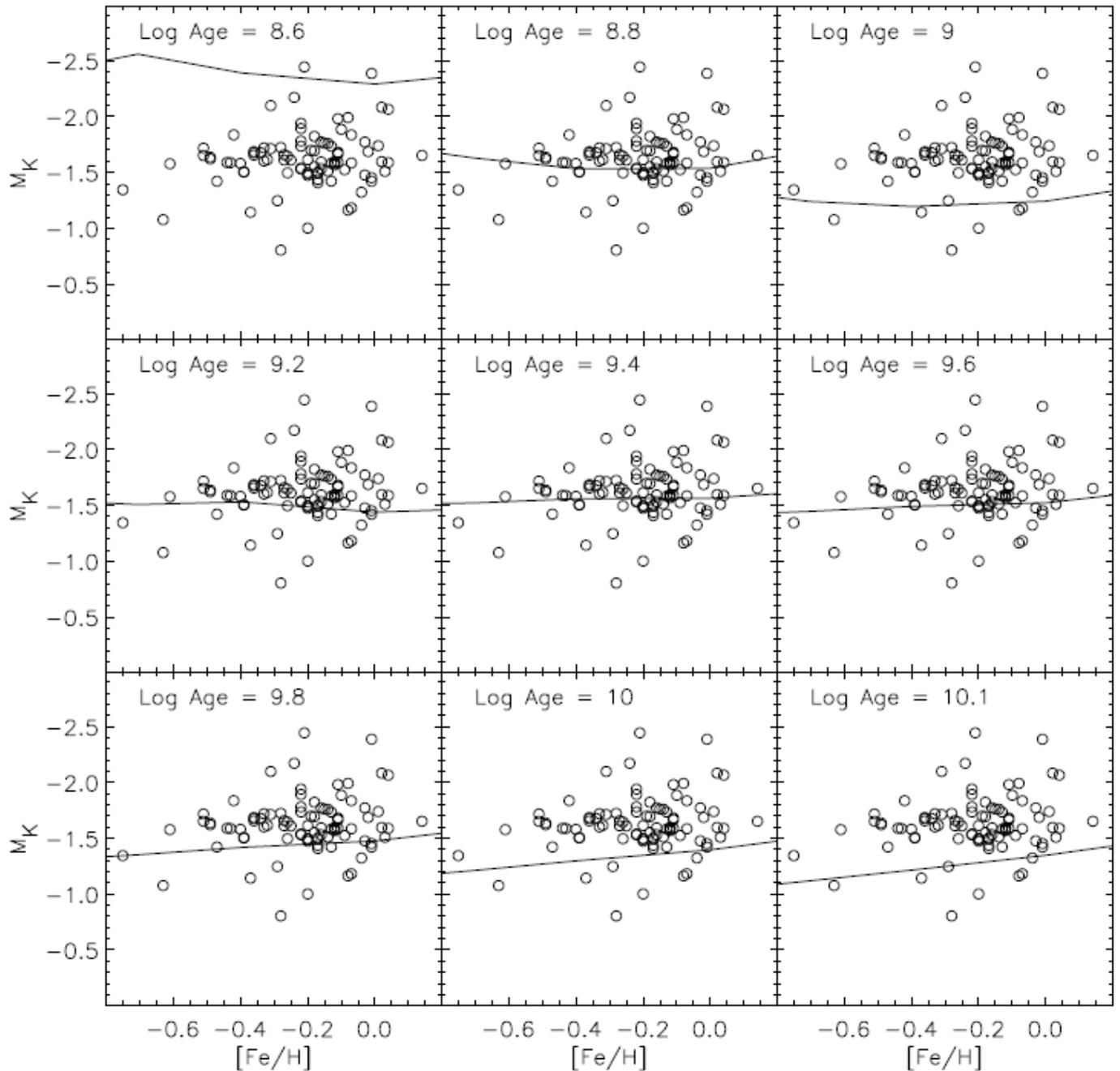


図7 ヒッパルコス RC とモデル RC の比較。ヒッパルコスの縦の広がり年齢の広がりに対応か？

4. 距離指標の応用

$M_K(RC)$ が安定しているメタル、年齢を探すと、 $2\text{Gyr} < t < 6\text{Gyr}$ 、 $-0.5 < [Fe/H] < 0.0$ がよい。

——> NGC2158(散開星団)が適当。 $t = 1.6 \pm 0.2\text{Gyr}$, $[Fe/H] = -0.24 \pm 0.06$

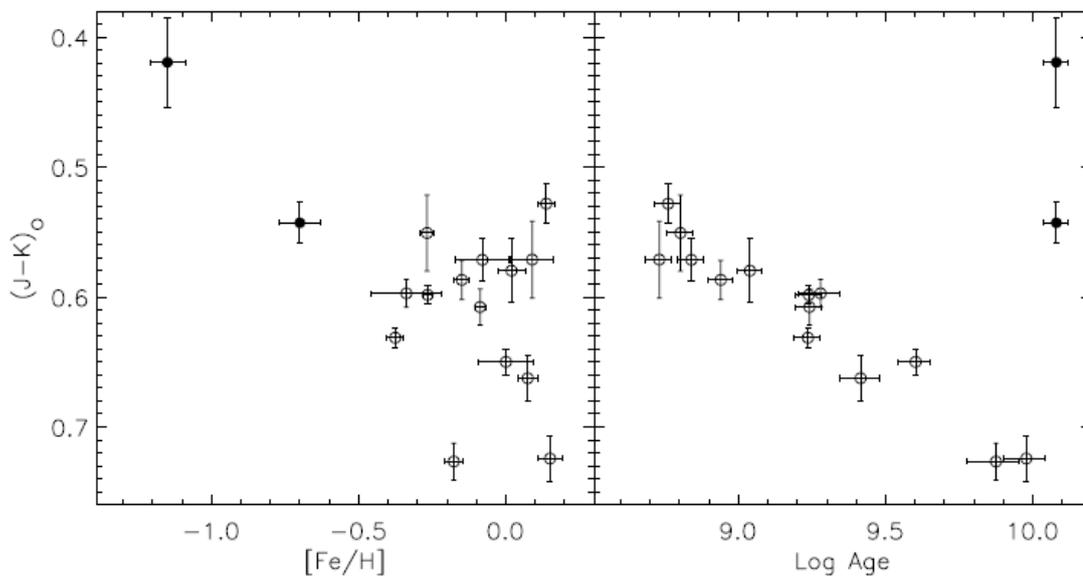


図8 散開星団と球状星団の RC(J-K)のメタル量と年齢による変化。

年齢—メタル関係があるからそれぞれが1次元に並ぶのだろう。

モデルの内挿式からこの星団の $RC(J-K)_0 = 0.597$ 、観測された $RC(J-K)_0 = 0.821$ より $E(J-K) = 0.221$

これは $E(B-V) = 0.43$ 、 $M_K = -1.64$ と観測された $K(RC) = 11.555$ から $(m-M) = 14.4$ が得られる。

5. 結論

- (1) 星団の $M_K(RC)$ の決定エラー = 0.13等だが、14星団の $\langle M_K(RC) \rangle = -1.62$ 、 $\sigma(M_K(RC)) = 0.21$
- (2) $t < 2\text{Gyr}$ 星団の $M_K(RC)$ はメタルに鈍感だが、年齢には鋭敏に変化する。
 $t > 2\text{Gyr}$ 星団では主にメタル量で決まる。
- (3) 一般に $M_K(RC)$ は $M_I(RC)$ より年齢、メタル効果が小さい。
- (4) 星団の平均 $M_K(RC)$ は Alves2000 がヒッパルコスから求めた太陽近傍の平均 $M_K(RC)$ と近い。
Alves の M_K データの分散が大きかったのは年齢 = 1.6–4Gyr で M_K 変化が大きかったためだろう。
- (5) Girardi et al2000 のモデルは観測とよく合う。若い星団では年齢の影響が大きく、老齢になるとメタルが効くことが確認された。
- (6) NGC2158 の年齢とメタル量を用いて、距離を決定した。
- (7) $-0.5 < [Fe/H] < 0$ 、 $9.2 < \log t < 9.9$ では、 $\langle M_K(RC) \rangle = -1.61$ を使ってよい。