

Hipparcos Parallaxes for Mira-like Long Period Variables

Whitelock, Feast

2000, MN 319, 759-770

アブストラクト

ヒッパルコス視差を用いて、ミラの K バンド 周期光度関係の較正を考察する。ヒッパルコスで観測されたミラのうち 255 星の K 等級が観測された。それらを色々なグループに分けて周期光度関係のゼロ点を求めた。酸素過多ミラ型星のうち、周期光度関係を 180 星から求めた。省かれた一つのグループは短周期で青いミラ型星で、短周期で赤いミラ型星と異なる運動学的特徴を有している。もう一つの省かれたグループは小振幅変光星である。得られたゼロ点は 0.84 ± 0.14 mag で、LMC 距離指数 18.64 ± 0.14 を与える。もしメタル量補正が必要であるならもう少し大きいかも知れない。この値はセファイドからの値と良い一致を示す。炭素星のゼロ点についても少し述べた。

角直径と視差から赤い変光星の直径を導き、脈動モデルの検証を行った。大部分が同じモードで振動している証拠が示された。現在の大気モデルが正しいなら、それは第1倍音振動である。周期光度関係と周期カラー関係の系列に関し少し検討し、脈動モデルへの意味を考察した。

1. イントロ

PLRのゼロ点を議論する。

2. ヒッパルコス視差とPLゼロ点

R Leoと χ Cygは地上からの視差があった。ヒッパルコスとほぼ一致。

K等級はメタル量に鈍感 (Wood1990, Feast 1996) なのでMbolより距離指標としてPL関係によい。

勾配は FEast(1989)を採用し、ゼロ点= β として、

$$M_k = -3.47 \log P + \beta \quad 10^{0.2\beta} = 0.01 \pi 10^{0.2(3.47 \log P + K_0)}$$

この後、フィットに使う重みについて書いてある。略

2.1. ヒッパルコスフラッグ 略

2.2. 恒星円盤の問題

視差は星の円盤直径角度より小さい

2.3. M型星のPLゼロ点

様々なサブグループに対してフィットした結果の β を表1に載せた。

重要なのは、重みの大部分は少数の星 (表2: 34M, 7C) に集中している。

特に、W Cyg=26%, L2Pup=13%, W Hya=11%である。すべてSRでさらにW CygとL2PupはSP-redの小振幅星である。これらは1, 1a, 12のフィット以外では除外されている。

Soln. No.	No. stars	weight	β (mag)	σ_β	stars included in the analysis
Oxygen-rich stars					
1	213	307	0.70	0.12	all
1a	212	250	0.89	0.12	all but W Cyg
1b	211	214	0.81	0.13	all but W Cyg, L ₂ Pup
1c	210	181	0.88	0.13	all but W Cyg, L ₂ Pup, W Hya
2	195	201	0.82	0.13	$\Delta Hp > 1.5$ mag
3	196	162	0.87	0.15	Mira variables
4	195	207	0.84	0.13	all but SP-red stars
5	188	176	0.66	0.15	not SP-red stars; H29 < 10
6	178	141	0.86	0.16	not SP-red stars; H30 < 3.0; H59 \neq X
7	125	84	0.70	0.20	not SP-red stars; H59 \neq V, X
8	108	130	0.90	0.18	not SP-red stars; H61 \neq S
9	180	195	0.84	0.14	not SP-red stars; $\Delta Hp > 1.5$ mag
10	27	166	0.96	0.17	not SP-red stars; $\Delta Hp > 1.5$ mag; weight > 1
11	37	16	0.93	0.46	SP-blue stars
12	18	99	0.40	0.24	SP-red stars
12a	16	7	0.06	0.47	SP-red stars not W Cyg, L ₂ Pup
13	158	191	0.83	0.14	P > 224 d
14	157	158	0.76	0.16	P < 400; not SP-red stars; $\Delta Hp > 1.5$ mag
15	23	37	1.17	0.32	P \geq 400;
16	20	29	0.93	0.39	P \geq 400; H30 < 3.0; H59 \neq X
17	13	10	0.06	0.65	P \geq 400; H59 \neq X, V;
Carbon-rich stars					
18	40	36	0.62	0.32	all
19	39	32	0.41	0.36	all but R Lep
20	24	14	1.53	0.28	Miras only
21	32	19	1.22	0.32	$\Delta Hp > 1.0$ mag
22	36	31	0.47	0.37	H30 < 3.0; H59 \neq X
23	22	20	0.44	0.48	H59 \neq X, V
24	22	21	-0.02	0.50	P < 400
25	18	15	1.29	0.39	P \geq 400
26	37	35	0.58	0.34	$Hp - K < 8.5$
27	16	22	-0.21	0.63	non Miras
Carbon-rich stars omitting WZ Cas and WX Cyg					
28	38	29	0.90	0.31	all
29	37	25	0.69	0.35	all but R Lep
30	23	13	1.56	0.27	Miras only
31	31	19	1.25	0.32	$\Delta Hp > 1.0$ mag
32	34	23	0.78	0.36	H30 < 3.0; H59 \neq X
33	20	13	0.96	0.46	H59 \neq X, V
34	21	14	0.33	0.52	P < 400
35	17	15	1.31	0.38	P \geq 400
36	35	28	0.86	0.33	$Hp - K < 8.5$
37	15	15	0.06	0.69	non Miras

表 1 β の決定

Table 2. Stars with highest weight in PL zero-point solutions.

Name	K_0 (mag)	π (mas)	σ_π	P (day)	wght	X	no.	H29 (%)	H30	H59	H61	Var	ΔH_p (mag)
Oxygen-rich stars													
W Cyg*	-1.39	5.28	0.63	131.1	56.47	0.82	3	0	1.11		S	SRB	0.62
L ₂ Pup*	-2.24	16.46	1.27	140.6	36.50	1.82	71	0		X	S	SRB	0.71
W Hya	-3.16	8.73	1.09	361.0	32.40	1.21	25	4	5.15	V		SRA	2.02
<i>o</i> Cet	-2.46	7.79	1.07	332.0	21.91	1.41	104	0	1.80		S	M	4.39
T Cep	-1.71	4.76	0.75	388.1	16.35	1.36	2	3	4.08	V		M	3.45
R Car	-1.36	7.84	0.83	308.7	15.56	2.24	74	11	1.67	V		M	4.27
R Cas	-1.80	9.37	1.10	430.5	8.79	2.75	13	0	2.53	V		M	4.24
R Leo	-2.56	9.87	2.07	309.9	8.01	1.63	53	14	2.39	V		M	3.46
χ Cyg	-1.93	9.43	1.36	408.1	6.99	2.52	11	10	3.25	V		M	5.51
R Aql	-0.78	4.73	1.19	284.2	5.45	1.66	45	0	3.03	V		M	3.11
T Cas	-1.06	0.59	1.07	444.8	4.69	0.25	8	2	2.75	V		M	2.16
R Hor	-0.93	3.25	1.08	407.6	4.62	1.37	52	2	1.99	V		M	4.48
S Car [#]	1.84	2.47	0.63	149.5	4.29	1.86	34	0	0.83		S	M	2.79
R Cen	-0.74	1.56	0.84	546.2	4.28	0.88	66	2	0.70		S	M	2.63
R Hya	-2.48	1.62	2.43	388.9	4.08	0.32	53	6	1.21	V		M	2.71
S UMi	0.19	1.63	0.82	331.0	3.77	1.00	2	0	-0.81		S	M	2.61
RU Cyg	-0.04	4.05	1.33	233.4	2.96	1.75	2	0	-2.46		S	SRA	0.75
RR Sco	-0.25	2.84	1.30	281.4	2.90	1.27	54	0	1.01	V		M	3.34
V CVn [#]	1.22	2.67	0.89	191.9	2.72	1.80	5	0	2.36		S	SRA	1.13
T Cen*	2.49	1.58	0.85	90.4	2.63	1.13	28	0	0.90		S	SRA	1.79
X Oct [#]	1.75	2.25	0.71	199.8	2.53	1.99	2	0	-0.34		S	SRA	2.33
AS Pup	0.23	3.95	1.02	324.6	2.47	2.43	6	1	3.62		S	M	2.59
T Ari	0.16	3.11	1.16	316.6	2.12	1.82	23	0	1.75		S	SRA	1.66
V Aqr	0.58	0.90	1.19	244.0	2.00	0.53	3	0	-0.47		S	SRA	1.13
U UMi	0.84	3.51	0.87	330.9	1.88	2.89	1	1	-0.07		S	M	2.51
R Aur	-0.96	2.42	1.60	457.5	1.83	1.09	1	0	1.01		S	M	3.72
U Ori	-0.64	1.52	1.65	368.3	1.79	0.68	56	4	0.25		S	M	4.90
U Her	-0.29	1.64	1.31	406.1	1.79	0.93	20	0	2.24		S	M	3.88
V Cas	0.88	3.10	1.19	228.8	1.63	2.02	3	0	2.27		S	M	3.17
W Peg	-0.03	3.46	1.38	345.5	1.59	1.97	6	0	1.52	V		M	2.58
U Per	0.89	3.72	0.99	320.3	1.47	3.07	2	0	1.33	G		M	2.36
RS Lib*	-0.08	1.74	2.06	217.7	1.43	0.70	35	0	1.09	V		M	2.58
T Col	1.95	0.52	0.85	225.8	1.23	0.55	14	0	3.18		S	M	2.79
S CrB	0.32	1.90	1.36	360.3	1.13	1.31	22	2	2.31	V		M	4.09
Carbon-rich stars													
WZ Cas	0.69	1.27	0.70	186.0	7.20	0.66	7	0	0.52		S	SRB	0.44
S Cep	-0.05	2.41	0.61	486.8	5.03	1.72	5	8	3.63	V		M	1.79
RV Cyg	0.34	0.41	0.84	263.0	4.37	0.23	4	2	0.33	C	B	SRB	0.25
TT Cyg	1.83	1.96	0.80	118.0	3.74	1.25	4	0	1.55	V		SRB	0.38
R Lep	-0.11	3.99	0.85	427.1	3.32	2.54	19	6	1.25		S	M	1.65
V Hya	-0.72	0.16	1.29	530.7	1.90	0.09	30	3	2.05	V		L	2.15
RS Cyg	0.84	1.81	0.84	417.4	1.48	1.76	5	2	2.32	V		SRA	1.40

* short-period red (SP-red) star; # short period blue (SP-blue) star.

表 1 で解 1 は M 型星全部の解。1a, b, c は順にウェイトの高い星を順に削っていった時の解。

解 2 = 小振幅を、3 = 非ミラを、4 = SP-red を削った効果。

解 1 a-4 と解 1 はだいぶ違う。W Cyg の影響。

SP-red と SP-blue は β でも違う。解 11, 12, 12a を見ると SP-red が明るいことが分かる。

SP-blue は解 1 3 の長周期ミラと同じ β を有する。

LMC の P L R は当初、低振幅で不規則変光の星を除いて定めた。

ここで全く同じ処置は取れないが、低振幅を除くのは合理的である。

——> 解 9 (180 星) は $\Delta H p > 1.5$ で SP-red を省いている。 $\beta = 0.84$

この値は Leeuwen et al 1997 が 11 ミラから決めた $\beta = 0.88$ と一致する。

また、47 Tuc からの $\beta = 0.68$ と合う。

2. 4. C 星のゼロ点

以下ではペーパー 1 で落としたミラ的 (輝線) な S R も入れる。

解 20 ($\beta = 1.53$), 30 ($\beta = 1.56$) の C ミラだけの β は他より大きい。

LMC では M ミラと C ミラは同じだった。すべて $P < 420 d$

M giant population and Galactic structure

Feast, M., Whitelock, P. A.

1990 MN 247, 227-236

1. イントロ

バルジのM巨星のメタルとマス

Lloyd Evans 1976 3つのバーデの窓でミラ周期に幅——>母星マスとメタルに幅?

Feast 1985, Glass 1986, バルジ IRAS の近赤外——>再確認

Blanco, McCarthy, Blanco 1984 非変光M巨星の objective-prism

Frogel, Whitford 1987 NIR 測光 ——>低振幅変光星の研究

スーパーメタルリッチ?

Blanco 型の M 巨星はバルジ特有なのか? 似たような星が近傍にもいるのか?

様々な議論(Feast1985, Whitelock, Feast, Catchpole1986, Whitelock et al1990)から同じ周期ではバルジと近傍星が似ていることが明らかである。しかし、

運動学から近傍の明るいM型巨星はミラの母星ではないことが言える。

銀河面から離れた暗い晩期M型星(Stephenson 1986)が母星であろう(Feast1989)。

2. 観測

Table 1. Solar neighbourhood M giants.

(a)

Name HR	J	H	K	L	N	Sp.T.	E(B-V)	Notes
45	1.708	0.816	0.624	0.504	2	M2+III	.01	4
46	1.624	0.700	0.494	0.340	2	M3III	.00	3
48	1.298	0.369	0.191	0.065	3	M3III	0	1
105	1.249	0.293	0.086	-0.059	3	M4III	0	1
117	2.901	2.052	1.895	1.729	-	M0III	0	5

Table 2. Late-M-type stars from Stephenson Catalogue.

Running No.	RA (1900)	Dec	J	H	K	L	No	E(B-V)	Notes
1	00 ^h 07 ^m 38 ^s .9	-11° 34' 26"	3.700	2.721	2.390	2.108	2	0	
3	00 27 20.2	-19 12 15	5.272	4.260	3.964	3.734	2	0	
12	01 34 36.0	-08 24 46	4.502	3.524	3.194	2.905	2	0	
15	02 27 19.5	-19 57 26	5.070	4.048	3.635	3.217	2	0	
16	02 30 06.9	-21 20 05	5.274	4.293	3.988	3.715	2	0	
17	02 32 12.4	-03 19 06	5.037	4.060	3.722	3.390	2	0	9

Table 3. M giants in the South Galactic Cap.

(a) Constant stars or small amplitude variables.

HD	b	pg	Sp	J	H	K	L	No	Notes
66	-72	9.1	M3III	3.379	2.420	2.186	1.991	2	1,2
178	-79	10.4V	M5/6III	2.943	1.958	1.668	1.433	3	1,2
180	-76	11.6V	M3/4III	4.234	4.248	2.974	2.797	3	1,2

Table 4. Semi-regular variables of spectral type M.

Name	J	H	K	L	No	E(B-V)	Notes
TV Psc	1.04	0.05	-0.15	-0.30	3	.02	
ST For	2.88	1.94	1.63	1.34	1	0	1, 4
X For	4.21	3.25	3.02	2.81	4	0	
Z Eri	1.61	0.61	0.34	0.14	6	0	
X Hor	1.91	0.96	0.59	0.29	3	0	1

表1 近傍63M型巨星

(1)MK分類でM型(2) Eggen1973 リストで古い円盤種族候補(3)同じく若い円盤種族候補(4) Eggen1972 がヒヤデスグループ(5)少数のCarter 標準星 大部分はBright Star Catalogueにある。

表2 Stephenson1986(|b| > 10°)にある108晩期M型星。

|b| > 20° で δ < 0 のものを選択した。75星は2回以上、33星は1回のJHKL

表3 SGP

b < -59° のM型巨星をMichigan分光カタログから87星

表4近傍のSRでM型

多くは Catchpole の1979からだが、Carter システムに直した。

Frogel, Whitford1987の結果はCarter1990に従い、CTIO → Carterシステムに直して使う

表1, 2, 4, では |b| > 10° の星には Burstein, Heiles1982 の減光式を用いた。

|b| < 10° の星は Neckel, Klare 1980 のE(B-V)か

Tammann, Sandage, Yahil1979の式を適用。

3. 近傍M巨星 (表1)

Bessell1989 モデルから、(J-H)-(H-K) プロットは表面重力、大気の広がり、組成に鋭敏である。

図1 近傍M型 (>M5を除く)

>M5は図5のSRと似ているのでそこで扱う。

● = 古い円盤種族(Eggen)

× = 若い円盤候補

○ = ヒヤデスグループ候補

△ = MK標準星その他

分離しているようには見えない。

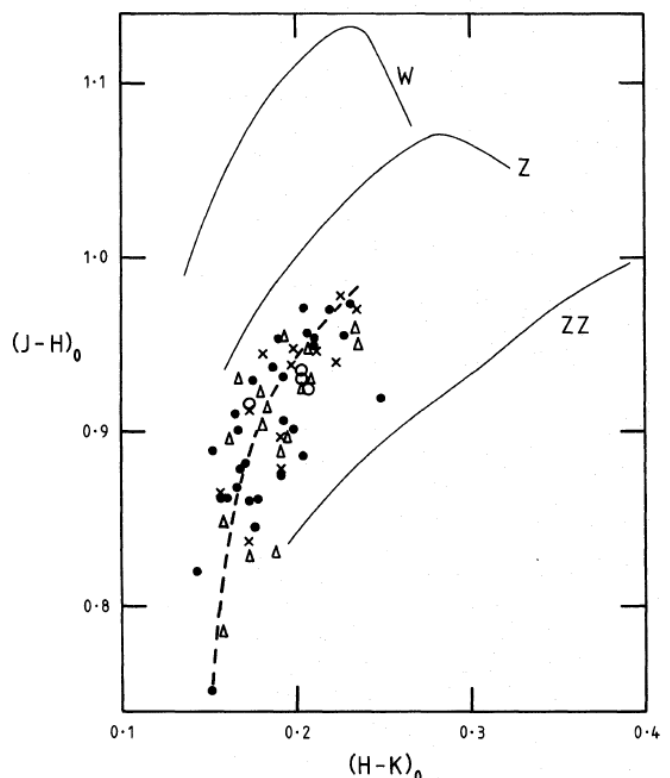
点線 = 系列を目で引いた

HR5192 はずれ過ぎているのではずす。

実線 = Bessell モデル (Mbol = -3.5, M = 1Mo)

[Z/Zo] = -0.5(W), = 0.0(Z), = +0.5(ZZ)

モデルの上の方は怪しい。



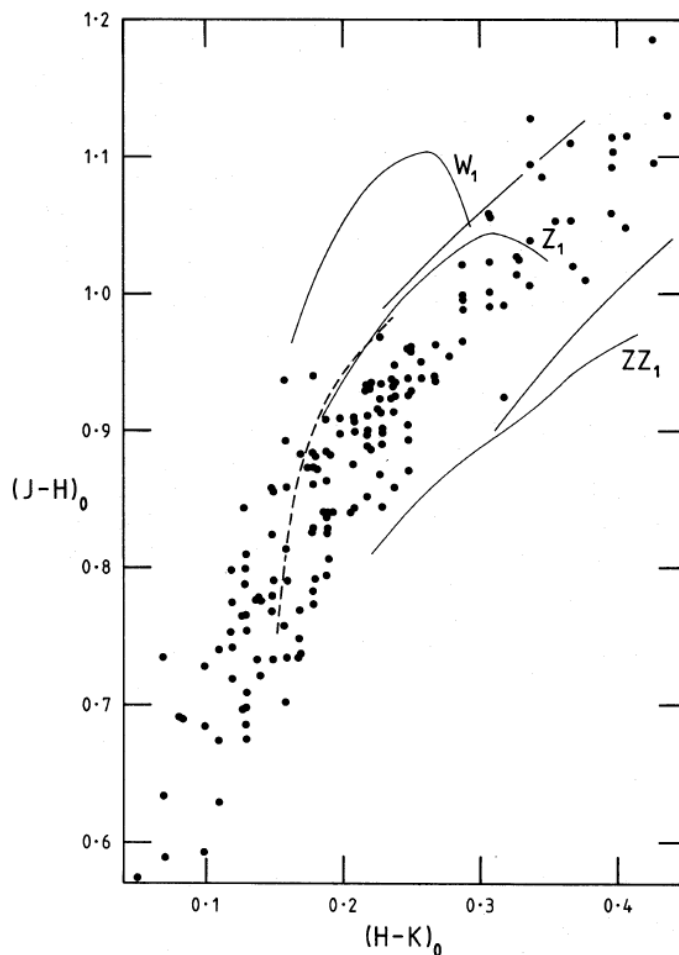
近傍星に $[Z/Z_0]=0$ が妥当とすると、観測とモデルの間にずれがある。

$\Delta (H-K) = -\Delta (J-H) = +0.026$ で一致する。

観測点の分散は小さくフィットカーブに垂直な方向で0.013magである。モデル間のずれを利用して分散を求めると

$\sigma ([Z/Z_0]) = 0.08$

4. バルジ巨星



メタル量効果は TiO対(J-K)プロットにも現われる。

Sharples, Walker, Cropper 1990

8415 TiO バンドヘッド指数 + Bessell 1989 モデル ==> NGC6522 フィールドで $[Z/Z_0] = +0.5$

改善: 表1にある HR45,211,585,587,4035,4267,9064 の(J-K)をCartet 1990でCTIOに変換して、それら近傍星が $[Z/Z_0] = 0.0$ と仮定すると、 $[Z/Z_0] = +0.2$ となる。

Terndrup, Frogel, Whitford 1990

7890 TiO を使って、754-781 指数からメタルを出した。Bessell et al は信頼度に疑問とした。

NGC6522フィールドで、 $[Z/Z_0] = +0.4$ (近傍星による規格化), $= +0.2$ (近傍星による規格化なし)

$b = -10, -12^\circ$ で、 $[Z/Z_0] = -0.2$ (近傍星による規格化なし) 規格化を行うとわずかにプラスになるだろう。

Rich(1988), Geisler, Friel(1990)

NGC6522フィールドK巨星のメタル

図3 図2をスペクトル型で表現

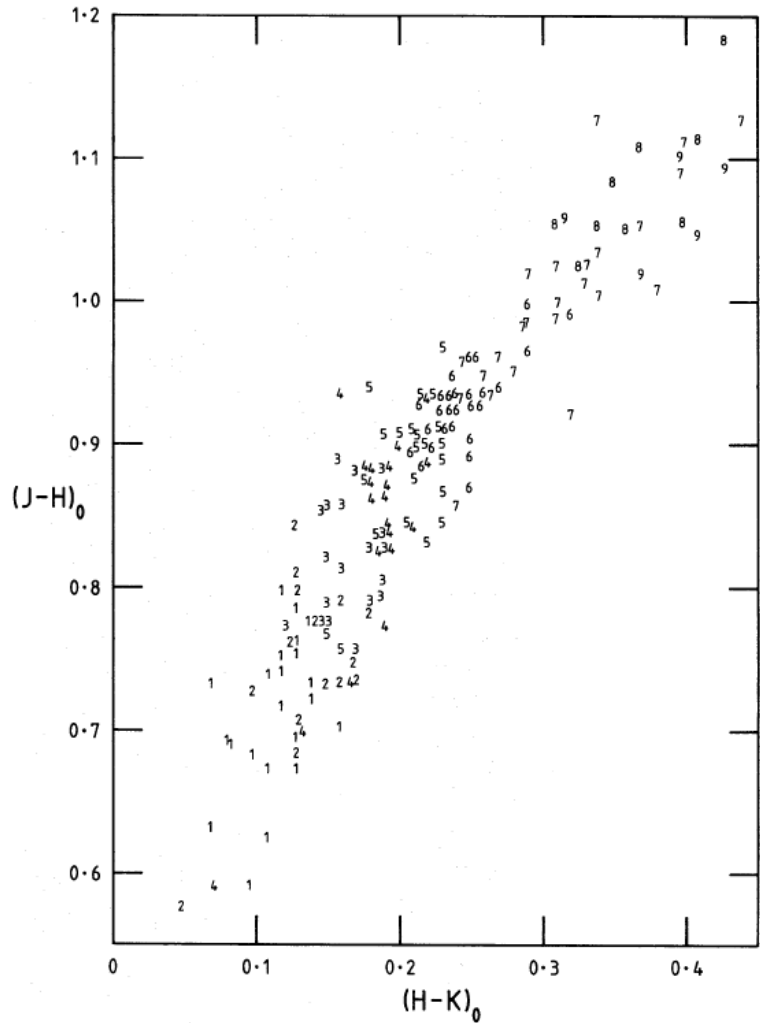
同じ(J-H)で見ると早期ほど左に偏っている。

したがって、分散はリアルでメタル量のばらつきを示すものだろう。

しかし、同じH-Kで比べると訳が分かん。

ただ、気を付けなくてはいけないのは、Frogel, Whitford は晩期Mにバイアスがかかっている。M8, M9星の83%が観測されているが、M6では10%、M2の4%しか観測されていない。メタルが多くなると赤くなるから、F-Wの平均メタルは無バイアスの時より高メタルになっている。

Sharples et al も同様。



5. 銀河面から離れたM型星とSR

表5
恒星グループ
の運動学的、分
布特徴。

Table 5.

Freeman 1977
の種族特性も
比較に挙げた。

拡大太陽近傍
のSRは通常の
M巨星と比べ、
はっきりした非
対称ドリフトと速
度分散を有す。

	V	σ_R	σ_θ	σ_Z	σ_T	h_Z	
	km s ⁻¹	km s ⁻¹	km s ⁻¹	km s ⁻¹	km s ⁻¹	pc	
Old (Thin) Disc	15	40	25	20	51	300	Freeman 1987
Thick Disc	30-40	70	50	40	95	1000	Freeman 1987
Local M Giants	5	31	23	16	42		Delhaye 1965
SR Variables	14±4	42±6	42±6	34±9	68		Feast et al. 1972
Stephenson M Giants						900	Stephenson 1986
Table 3 M Giants						(~500)*	See text
Disc Globular Clusters						1100	Armandroff 1989
Miras							
<140d		20±13			81		Feast et al 1972
145d-200d		98±22			180		
200d-250d		48±9			101		
250d-300d		20±10			88		
300d-350d		19±6			69		
350d-410d		10±8			58		
>410d		2±8			50		

これらのデータはParenago 1951から取った。非常によく似た結果が三上(1978)により得られている。

三上はSRと非変光M型星との間に運動学的にはっきりした差を見出した。

ミラの値(Feast 1972)は比較用。

Stephenson

$|b| > 10^\circ$ の晩期M型星のスケールハイト $H_z = 900 \text{ kpc} (M_v = 0)$, $1.8 \text{ kpc} (M_v = -0.9)$

thick disc の厚さと同程度

SGPのM巨星

$\text{mph} = 10.2$, $B - V = 1.5$, $M_v = 0 \longrightarrow D = 500 \text{ pc}$

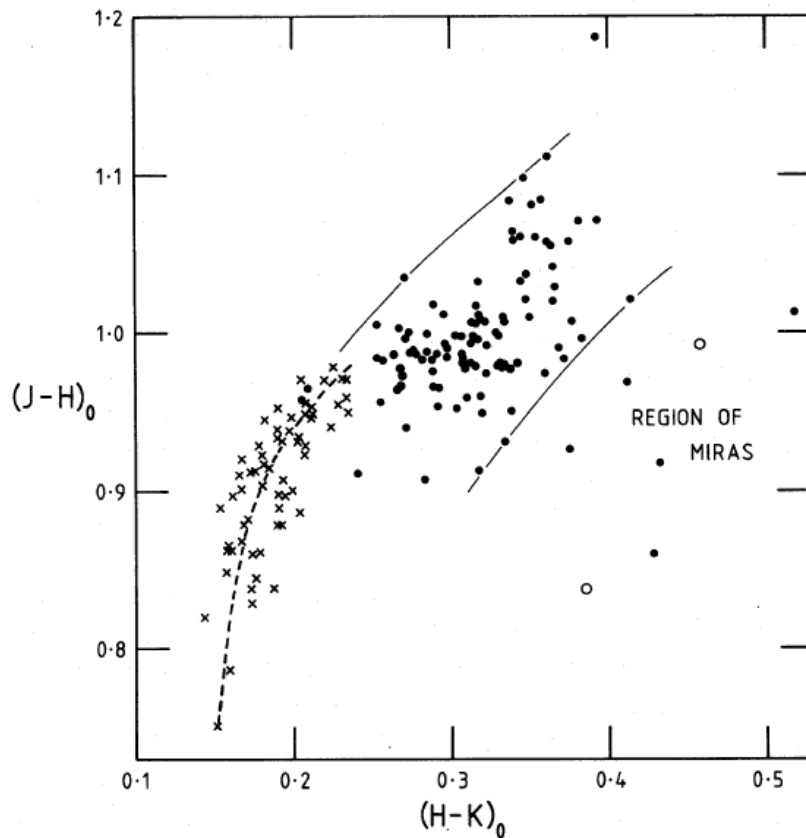
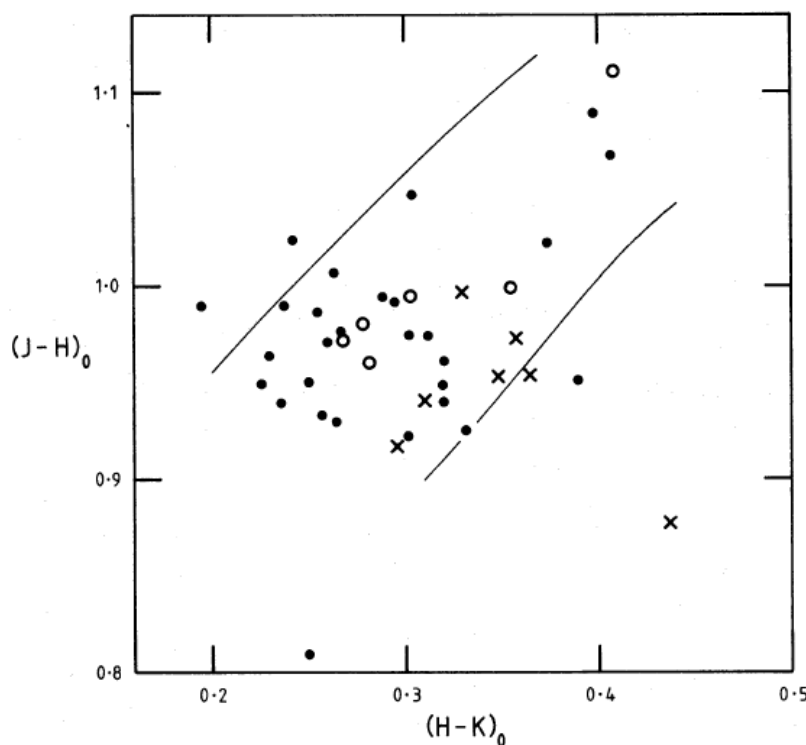


図4. SR

○ 表1から

● 表4

× 表4(弱いバルマー輝線)



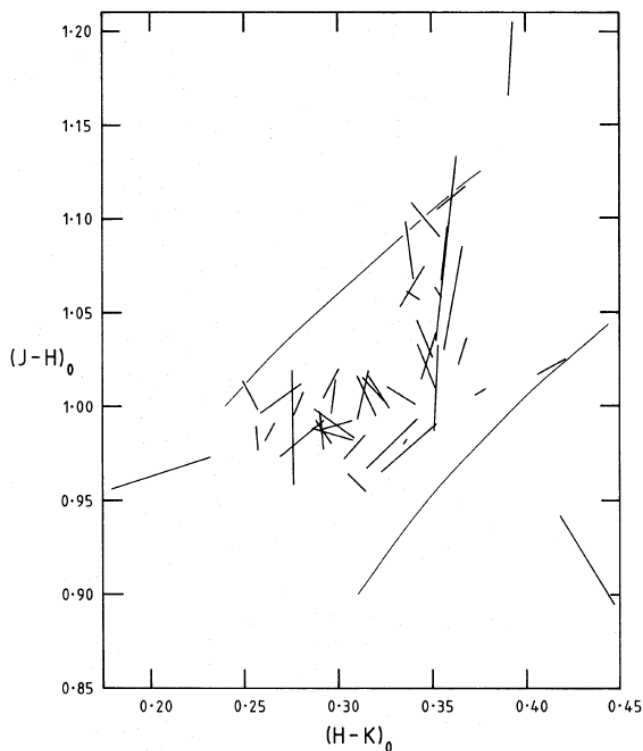


図6. SRの変光による移動
その他

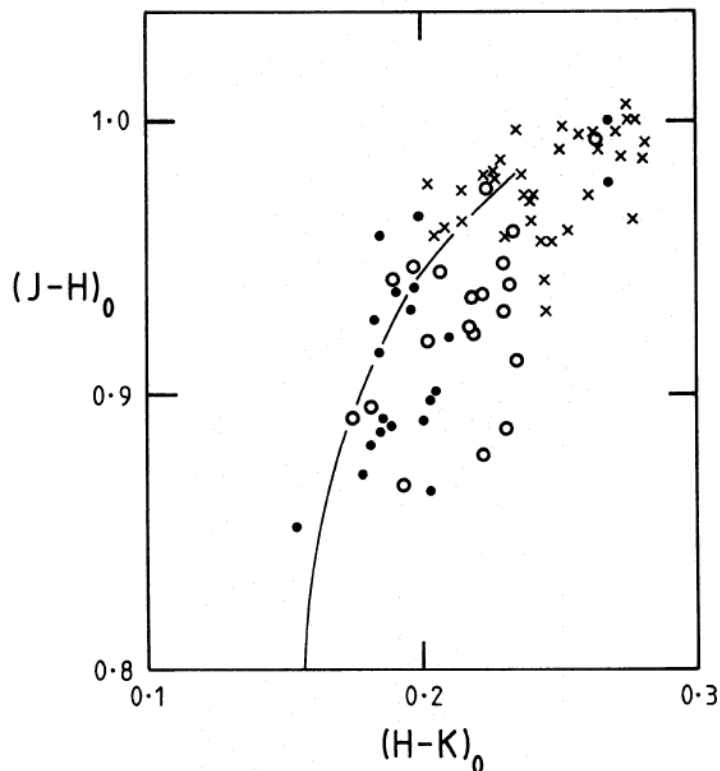


図7SGPのM巨星 ○=非変光、×=変光星、●=

Stephensonの星 ($|b| > 10^\circ$) にある108晩期M型星、SR(表4 Catchpole), 低温バルジ星は $(J-H) - (H-K)$ 2色図の同じ領域を占めている。それらの星は似た天体であることを示唆する。

もし、Stephensonの晩期型変光星がバルジの晩期型星と似ているなら、もっと早期のM型星が銀河面から離れて存在するだろう。

そのため図7でSGP星を調べた。×の変光星が冷たい(赤い)領域にある。

明らかに、SGP星は近傍星の右側に寄っており、図2のバルジ領域に広がっている。

——>

円盤から高い所にバルジと似た種族がいる。

これは、Wing1989:SGP星の狭帯域測光観測でTiOバンドが強い。

高メタル?

と合う。

6. 結論

- (1) 近傍M型星は $(J-H) - (H-K)$ で狭い系列 $\sigma ([Z/Z_0]) = 0.08$
- (2) NGC6522 では $[Z/Z_0] = +0.2$
- (3) 銀河面から500pcくらい離れたところにバルジと似たメタルのM巨星が存在する。
- (4) それらは多分 thick disc か innerhalo に属する。
- (5) バルジはこの種族の中心部分であろう。

1. イントロ

ミラの運動学

Vr Feast 1963, Smak, Preston 1965, Feast, Woolley, Yilmaz 1972

非対称ドリフトと速度分散が周期と相関する。

短周期 (P < 145d) ミラは特異。

Vr+μ Clayton, Feast 1969, Robertson, Feast 1981

145d < P < 200d ミラは銀河の外向きに動いている。——> 軌道が非対称?

2. 解析

距離と空間運動が分かる星に限る。= K測光、μ、Vrデータが揃っている星。

距離

Mk = -3.47 log P + 0.84 大部分のミラに適用 (DM8LMC)=18.64

Mk = -3.47 log P + 0.40 SP-red

固有運動

μ をミリ秒角/年、r をkpcで表わすと、速度 = κ μ r km/s κ = 4.74047

空間速度

u = GC方向

v = 銀河面内で u と直角、銀河回転の方向。

w = 銀河面と垂直。北銀極方向

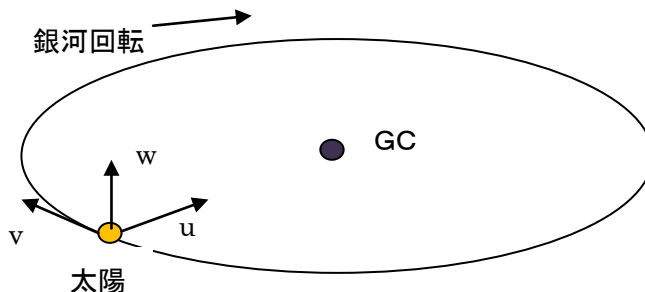
銀河中心円筒座標では

V_R = 面内中心から外側に

V_θ = 面内回転成分

w

太陽位置では V_R = -u



局所太陽運動は、u₀=+9.3, v₀=+11.2, w₀=+7.6 km/s

銀河回転 = 231 km/s, R₀ = 8.5 kpc

表 1 周期で7グループに分けた

Table 1. Individual space velocities (km s⁻¹). (a) SP-reds omitted.

Name	u	v	w	V _R	V _θ	σ _u	σ _v	σ _w	σ _{V_R}	σ _{V_θ}
<i>Group 1</i>										
CI Vel	-38.5	-32.8	22.1	-54.0	194.6	37.4	13.1	41.2	28.6	8.8
T Gru	207.1	-147.9	108.3	-205.9	86.0	16.3	10.9	10.8	16.2	8.8
<i>Group 2</i>										
SW Scl	-57.5	5.4	-38.4	57.5	236.4	5.7	1.0	5.0	5.7	1.0
R Ari	-162.8	-126.7	-80.3	170.2	91.8	8.0	8.2	8.6	8.1	7.8
X Cet	-76.8	-119.3	16.4	76.1	112.2	41.3	39.5	40.0	41.3	26.7

(b) Individual space velocities (km s^{-1}) for SP-red stars.

Name	u	v	w	V_R	V_θ	σ_u	σ_v	σ_w	σ_{V_R}	σ_{V_θ}
<i>Group 1</i>										
SS Cas	4.7	-23.2	-25.8	18.1	207.1	8.9	6.3	10.7	9.2	6.9
W Pup	-76.6	7.6	59.1	46.0	246.3	7.1	5.0	4.5	7.2	5.2
SS Her	9.3	-72.3	-25.6	7.0	158.8	12.4	15.9	16.7	12.2	13.3
SY Her	154.3	-20.7	-59.4	-126.8	227.9	7.8	7.2	8.1	7.5	7.8
R Mic	57.1	13.7	61.9	-47.3	246.8	11.9	9.0	14.6	11.8	9.3
R Vul	5.1	-0.6	14.8	23.4	229.3	5.1	4.9	4.5	5.1	4.9
L ₂ Pup	-113.7	-36.9	89.5	111.7	195.2	1.3	4.7	1.4	1.2	4.7
T Cen	-27.9	-44.2	44.6	19.2	187.9	3.4	3.4	2.7	3.5	3.4
W Cyg	-20.2	-12.4	-16.2	23.5	218.3	0.3	5.0	0.6	0.3	5.0
<i>Group 2</i>										
R Cet	-55.7	1.9	0.6	58.8	232.2	9.3	6.1	7.3	9.3	4.1
R Vir	-26.6	4.9	-19.1	20.6	236.5	2.1	3.5	4.8	2.2	2.9
X Ara	-27.7	-29.7	-31.5	16.5	202.5	26.0	24.3	29.8	23.3	49.7
RY Oph	-91.1	45.3	31.0	110.5	269.1	5.9	7.9	9.4	5.8	6.9
RU Per	34.1	-33.8	2.8	-27.4	198.3	7.0	9.4	9.6	7.2	9.3
<i>Group 3</i>										
RS Lib	27.7	10.0	-22.3	-30.3	240.6	4.8	3.5	4.0	4.8	3.5

表1の各グループ(SP-redを除く)の平均速度と分散を下にまとめた。

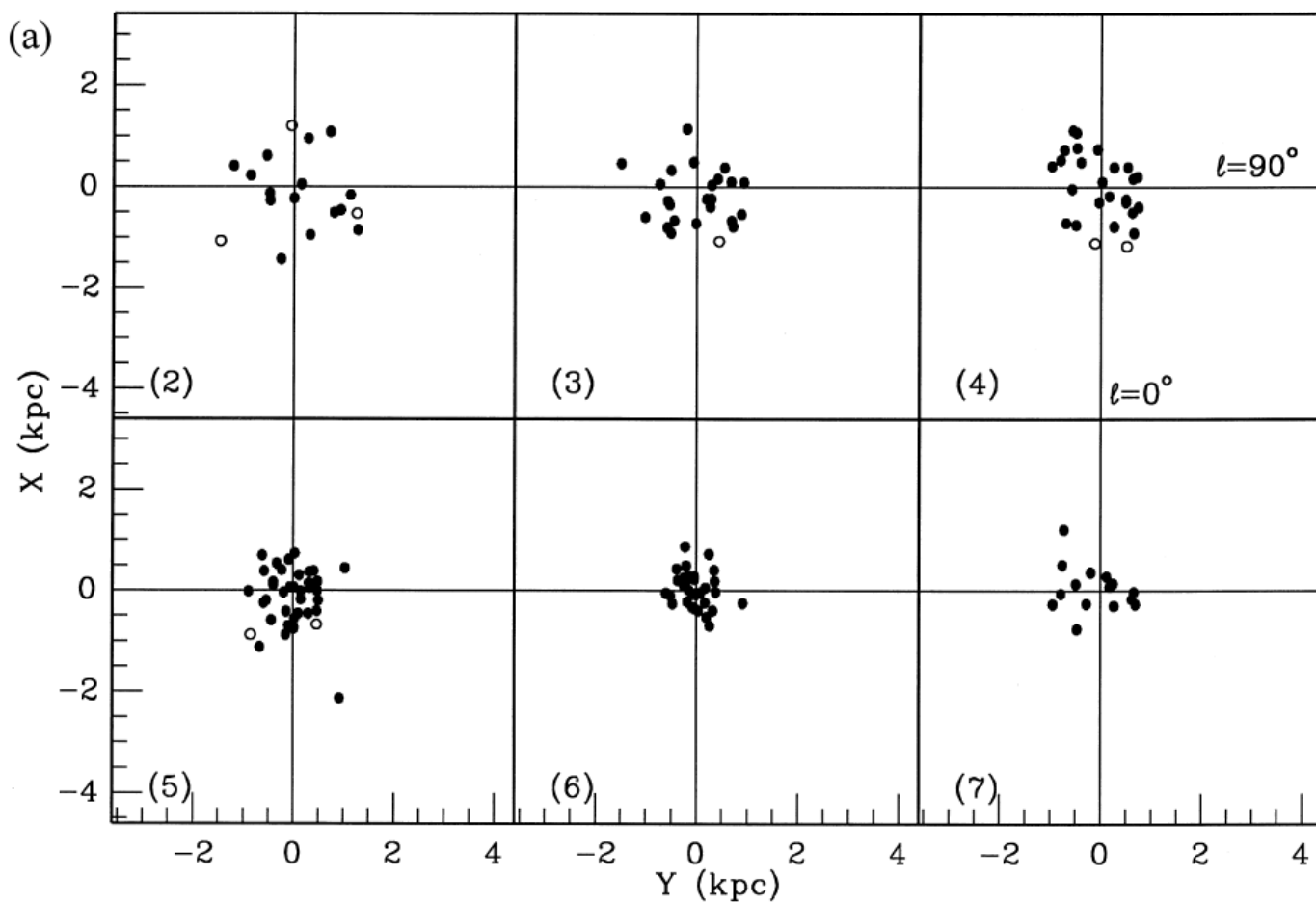
Table 2. Group motions (km s^{-1}) (SP-red stars omitted).

Group	No.	\bar{P} (d)	u	v	w	V_R	V_θ
2	18	173	-73 ± 17	-97 ± 20	-11 ± 11	$+75 \pm 18$	133 ± 19
3	24	228	-12 ± 10	-47 ± 11	$+21 \pm 9$	$+12 \pm 11$	184 ± 11
4	26	272	-8 ± 8	-27 ± 6	-5 ± 7	$+8 \pm 8$	204 ± 6
5	40	324	-3 ± 8	-22 ± 5	-12 ± 6	$+4 \pm 8$	209 ± 5
6	32	383	0 ± 7	-14 ± 6	0 ± 3	-1 ± 7	217 ± 6
7	15	453	-14 ± 8	-8 ± 4	$+3 \pm 4$	$+11 \pm 8$	223 ± 4
2 (-S Car)	17	175	-65 ± 16	-83 ± 14	-12 ± 12	$+67 \pm 17$	147 ± 14

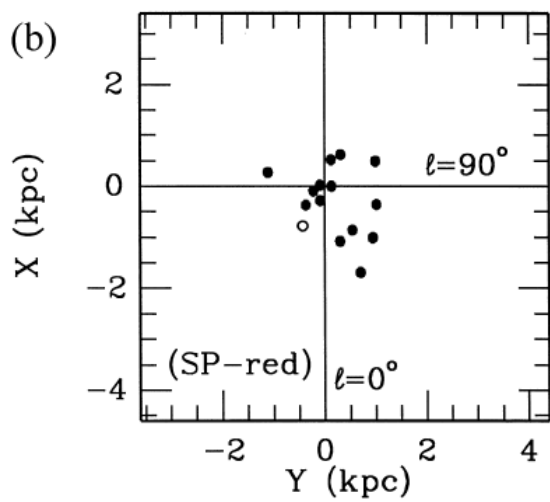
Table 3. Dispersions (km s^{-1}) (SP-red stars omitted).

Group	No.	\bar{P} (d)	Σ_w	Σ_{V_R}	Σ_{V_θ}	$\Sigma_{V_\theta}/\Sigma_{V_R}$	Σ_w/Σ_{V_R}
2	18	173	44 ± 8	73 ± 12	77 ± 13	1.06 ± 0.25	0.60 ± 0.15
3	24	228	44 ± 6	54 ± 8	53 ± 8	0.98 ± 0.21	0.82 ± 0.16
4	26	272	36 ± 5	42 ± 6	32 ± 4	0.76 ± 0.14	0.86 ± 0.17
5	40	324	35 ± 4	49 ± 5	32 ± 4	0.65 ± 0.10	0.71 ± 0.11
6	32	383	18 ± 2	39 ± 5	32 ± 4	0.82 ± 0.15	0.46 ± 0.08
7	15	453	13 ± 3	30 ± 5	16 ± 3	0.53 ± 0.13	0.43 ± 0.12
2 (-S Car)	17	175	46 ± 8	67 ± 12	54 ± 9	0.81 ± 0.20	0.69 ± 0.17

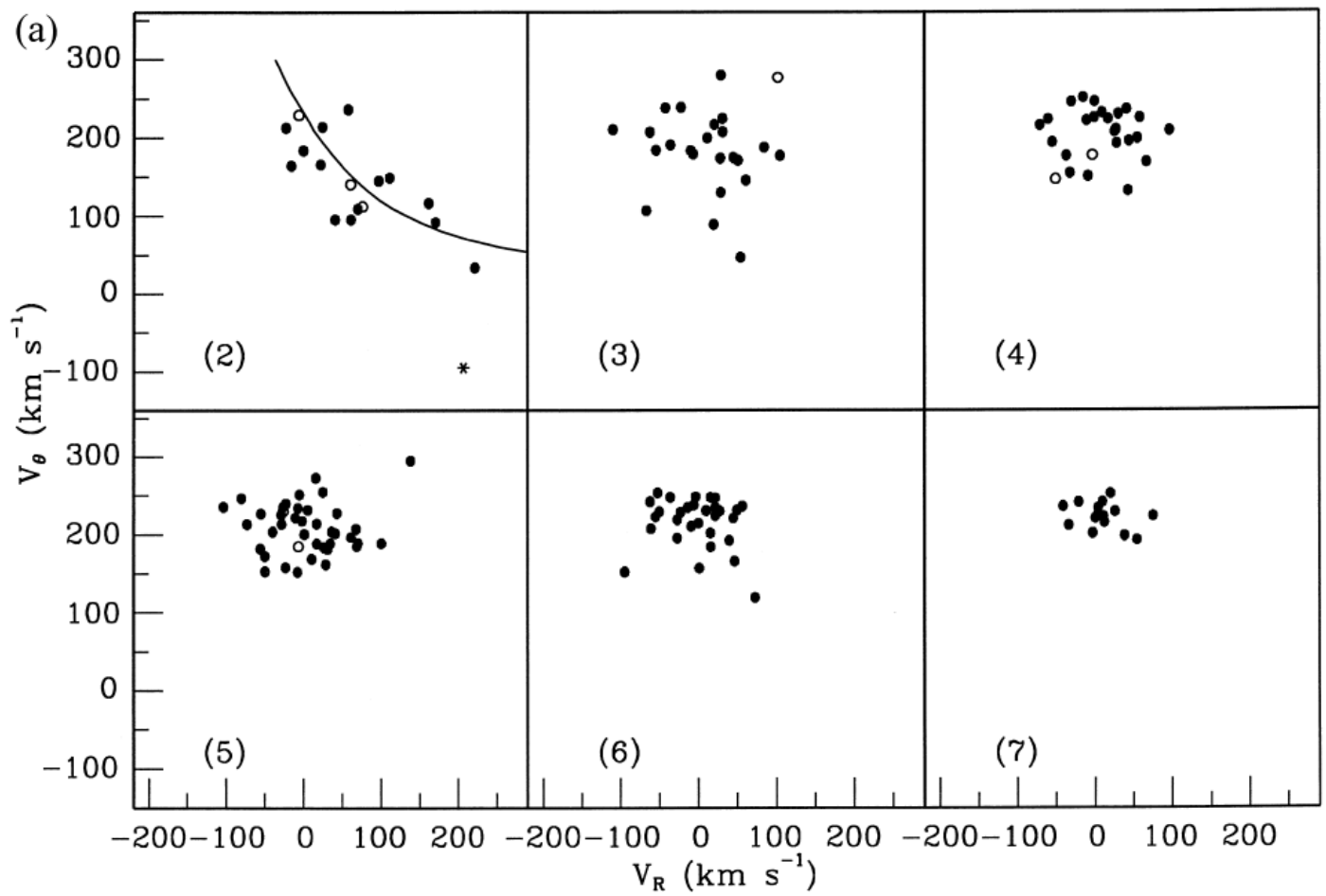
各グループの星の分布を図1に示す。



SP-red の分布は、



速度の分布は、



SP-red については、

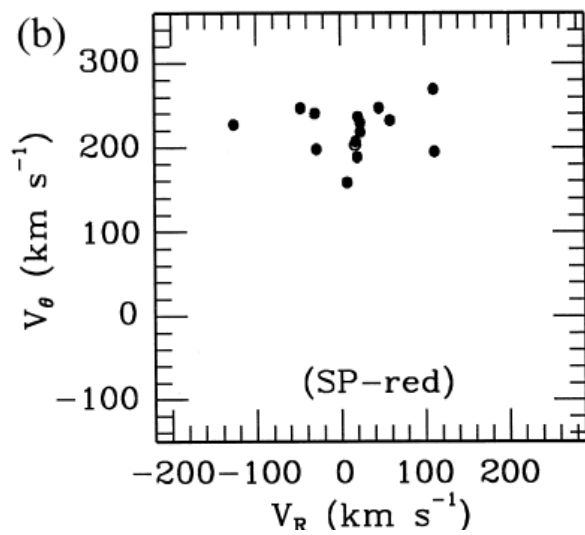


図2

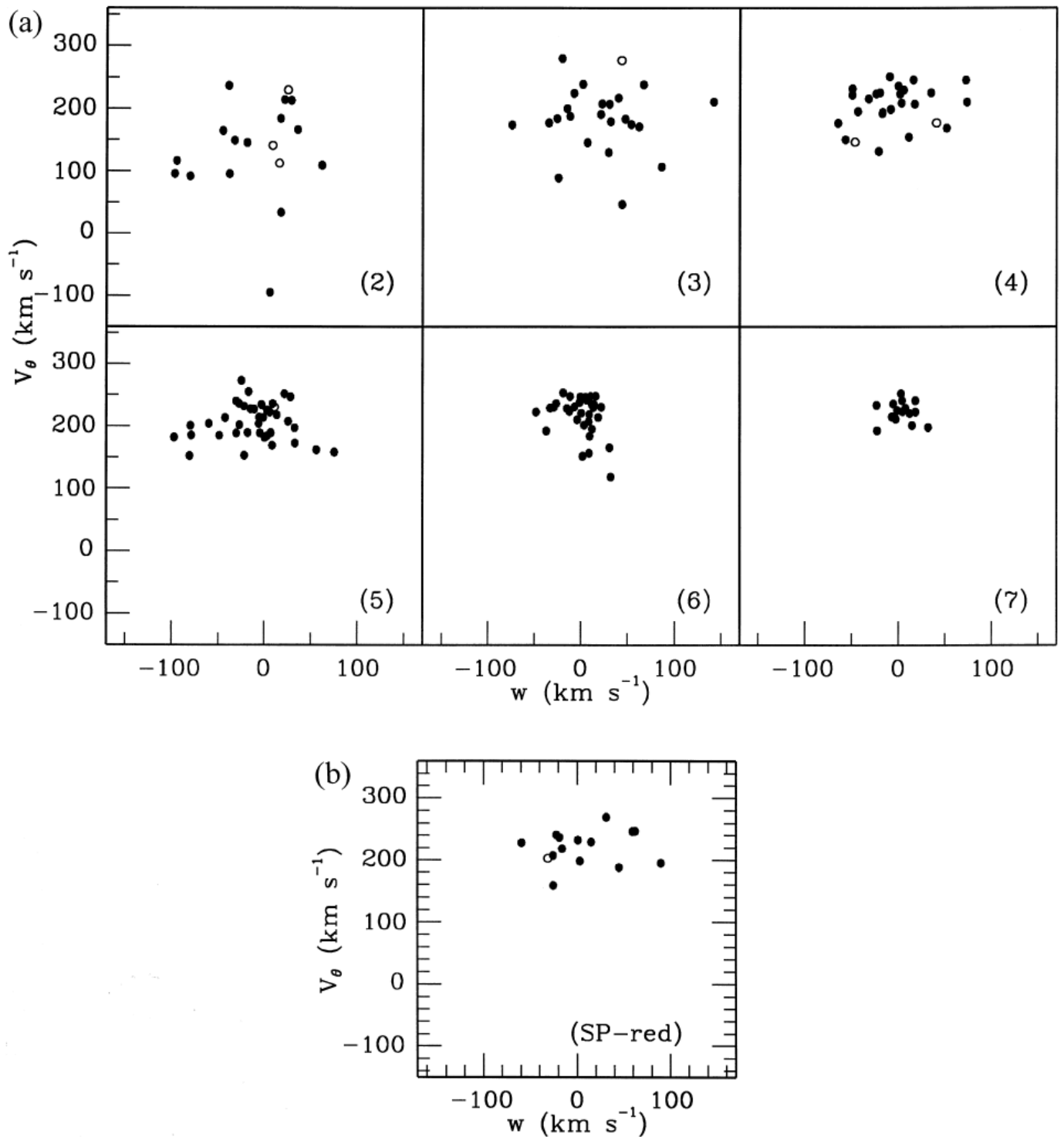


図3 w と V_θ

3. ミラの運動学的系列

V_r のみからも出た結論: 周期が小さくなると、 V_θ が小さくなり、分散が大きくなる。

——>ミラが属する種族は周期の関数である。

ミラの周期系列はメタルと年齢の系列であろう。

今回の新しい結果: $P < 145\text{d}$

このグループは以前からおかしかった。これだけ、突然もっと長周期グループと似る。

論文I, IIから、光度、カラーの点で SP-red が新しいグループであることが分かった。

4. 非軸対称な銀河系の証拠

下の図4で V_R が常に正であることに注意。

特にグループ2 ($145d < P < 200d$)では、

$V_R = 75 \text{ km/s}$

図2を見ると、 V_R が負の4星の $|V_R|$ は小さい。

——> 軌道が非対称！

しかも、回転速度は小さいから、軌道の主軸は第1象限の方向で銀河回転向き

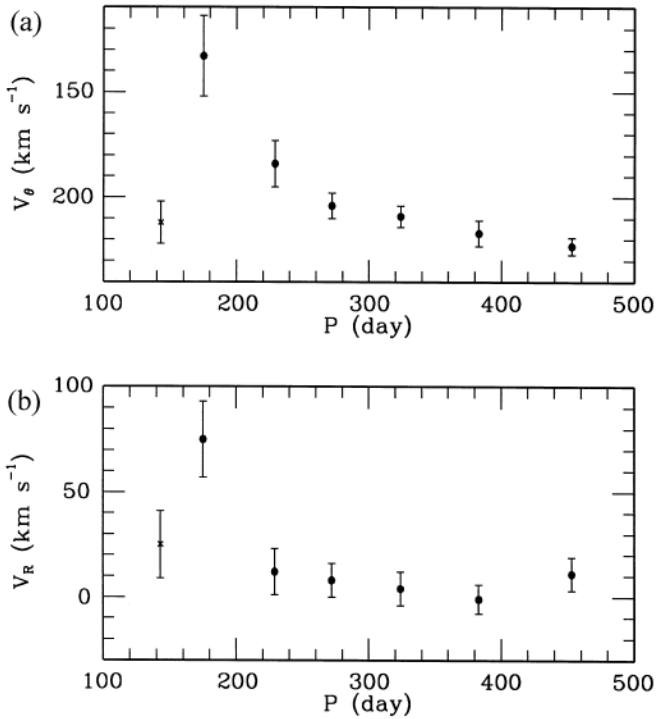


図4 (a) V_θ と (b) V_R の周期による変化

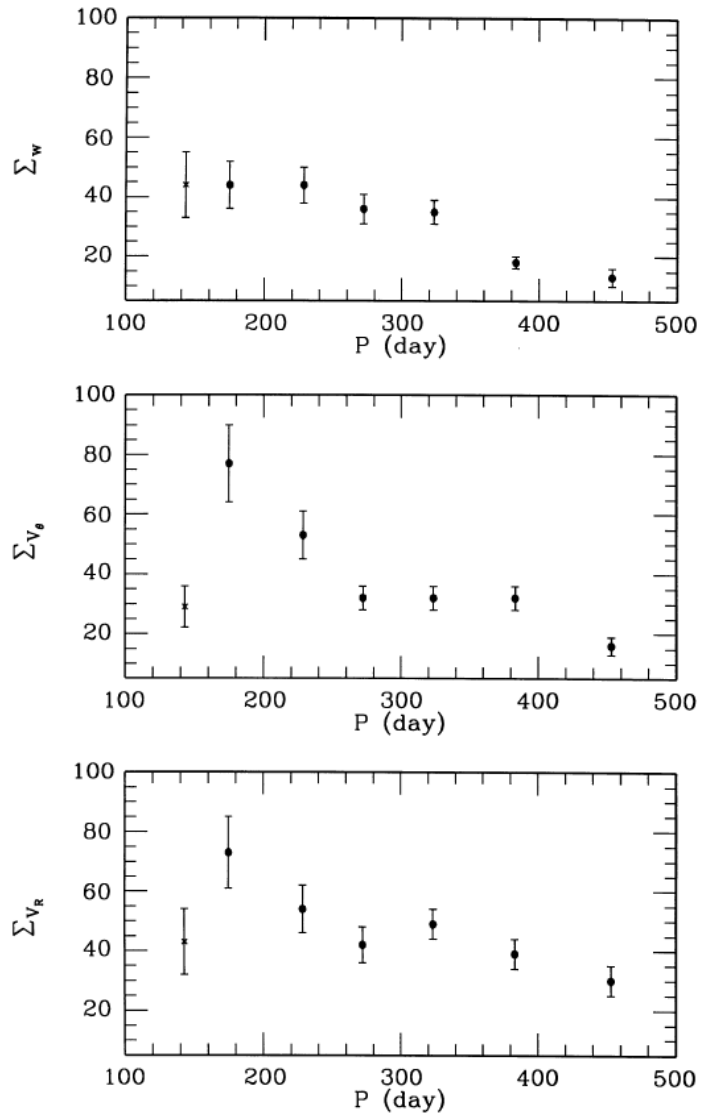
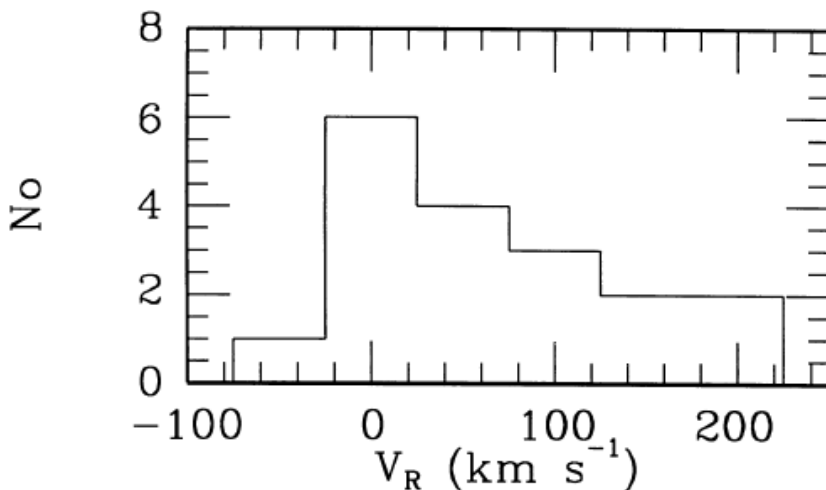


図5 平均分散の変化 分散の分散？



中心質点の重力場という単純化で軌道の軸方向 ϕ と離心率 e を決めると、

$$\cot\phi = (V_c^2 - V_\theta^2) / V_\theta V_R$$

$$e \cdot \cos\phi = 1 - (V_\theta / V_c)^2$$

より、

グループ2は、 $\phi = 16^\circ$ 、 $e = 0.69$ ——> パー的な分布が太陽軌道付近まで伸びている。

2009年1月25日(日) - 2月3日(火)

Structure and Population of the Andromeda Stellar Halo from a SUBARU/Suprime-Cam Survey

Tanaka, M.

2009 Thesis

I. イントロ

1. 1. 銀河考古学の概念

銀河形成シナリオ

(1) Eggen, Lynden-Bell, Sandage 1962 **メタル量と軌道の相関**

——> 急速な全体的なハローの収縮中にハロー星誕生

(2) Searle, Zinn 1978

外部ハローの球状星団にメタル勾配なし。

——> 最後にはハローとなる多数の原始銀河($10^8 M_{\odot}$)降着中で球状星団

——> CDM説と合う。White, Rees 1978

ELS説は否定されたが、近傍の古い星の研究から原始期の銀河系を探るという方法論は重要である。

1. 2. 銀河考古学の発展

Hipparcos Chiba, Yoshii 1998 **メタル量—離心率関係(ELS描像で期待)がない。**

Chiba, Beers 2000, 2001 **内側ハローは断熱収縮で形成?**

星流 CDM宇宙論からは小さな銀河が衝突して飲み込まれる際の星流が現在のハローにも期待される。

Ibata et al. 1994, 1995 **矮小銀河の分解とハロー内の星流(Sagittarius stream)の発見。**

Helmi et al. 1999 **太陽付近にも別の星流**

SDSS Yanny et al. 2003 **Monoceros ring の発見**

Juric et al 2008 **SDSS DR5カタログの4千8百万個の星に対し測光距離を求め、銀河系各成分のモデルを作る。**

——> $l=270^{\circ}$ 、 $b=60^{\circ}$ (Virgo 方向)に巨大な密度超過

シミュレーション Bekki, Chiba 2001, Bullock, Johnston 2005, Abadi et al 2006

外部ハローは力学的タイムスケール=数Gyrなので多数の弱いアークが残る。

Bell et al 2008はSDSSから定性的に支持。

降着の基本的性質(密度分布、メタル、年齢) <——> 降着シナリオ (Helmi et al 2008)

Star Counts Harris 1976 **ハローは $\rho(r) \propto r^{-\gamma}$ ($\gamma = 3.5$) が de Vaucouleurs $R^{1/4}$ 則より合う。**

最近の研究(Morrison et al 2000, Yanny et al 2000, Siegel et al 2002, Vivas, Zinn 2006,

Juric et al 2008, Bell et al 2008)は $\gamma = 3.55$ (Chiba, Beers 2000)と $= 2.5$ (Chen et al 2001)

の間で、大体=3あたり。

ダークハロー 星のハローをダークハローのトレーサーに使う。ただし、今やダークハローは星ハローよりずっと広がり

NFWプロファイルかも知れない(Navarro et al 1996)

メタル Ryan, Norris 1991, Carney et al 1996 **ハローのメタル分布は $[Fe/H] = -1.6$ ピーク**

Chiba, Beers 2000 **内側ハローは $[Fe/H] = -1.6$ ピーク、外側ハローは $[Fe/H] = -2.2$ ピーク**

Carollo et al 2007 **SDSSの20000個スペクトル==>上を確認**

1. 3. 銀河考古学のアンドロメダ銀河への応用

銀河系との類似 Sb, **ピーナッツバルジ、薄いバー(Beaton et al 2007)**

$M(\text{Baryonic} + \text{dark mass}) = 10^{12} M_{\odot}$ (Evans et al 2000)

銀河系との差 MWより少し明るい。角運動量は2.5倍。バルジの速度分散が大きい。

単位明るさ当たりの球状星団数 $S_N = N_{GC} \cdot 10^{0.4(M_V + 15)}$ が少し大きい。

$$S_N(M31)=1.3 \text{ 対 } S_N(MW)=0.7$$

円盤は広がっている。Scale Length=5.8kpc(M31)、=2.3kpc(MW)

—> Hammer et al 2007 MWは大きなマージャーがない例外的に静かな星形成史だった。M31普通。

これらは、M31は dwarf elliptical M32, NGC205, NGC147, NGC185 しかし、不規則銀河がない。

MWは dwarf elliptical はないが、不規則銀河が2つあることと関係するのかもしれない。

—> ハローの比較が重要。

M31ハローの星流

巨大星流

Ibata et al 2001

高メタル星からなる。(Ibata et al 2001)

M31の後方、視線方向に延びている(McConnachie et al 2003)

Ferguson et al 2002 RGB 星マップから中心核から南へ伸びている

M32, NGC205からの潮汐力によるデブリ?

Choi et al 2002 同じ

しかし、Ibata et al 2004 Keck/DEIMOS から星流の V_r はM32, NGC205と違う

McConnachie et al 2004, Guhathakurta et al 2006, Kalirai et al 2006

Font et al 2006, Fardal et al 2007

シミュレーションから、星流の母銀河は $10^8-10^9 M_\odot$ でエッジオン軌道

Brown et al 2006 HST/ACSから星流中($R=20\text{kpc}$)の主系列星は中間年齢

でも結局、星流母銀河の基本的性質は何なのか?

星流は衛星矮小銀河の潮汐デブリなのか、厚い円盤の一成分に過ぎないのか?

巨大星流と他のNEシェルやWシェルとの関係はあるのか?

星流の星種族の解明が極めて重要。ハローの他の場所ではやられている(Bellazzini et al 2003)

ハローの表面輝度 Morrison 1993 銀河系で $\mu_v(R_0)=27.7 \text{ mag/arcsec}^2$

M31のハローの観測は困難であろう。

内側ハローで $[M/H]=-0.6$ 高メタル星の発見—>ハローはバルジの延長?

(Mould, Kristian 1986, Couture et al 1995, Holland et al 1996 Reitzel et al 1998)

Pritchett, van den Bergh 1994 $R<20\text{kpc}$ で de Vaucouleurs $R^{1/4}$ 則: MWと違う!

(高メタル星+de Vaucouleurs $R^{1/4}$ 則)=ハロー形成の時に活発なマージャーがあった?

ハローの高メタル星

Durrell et al 2001

核からSE副軸沿いに20kpcでは $[M/H]=-0.5$ が支配的(CFHTモザイクCCD)

30-40%の星は低メタル

30kpc離れても似たような高メタル種族が分布してる。

外部ハローはメタル量勾配=0

Bellazzini et al

HST/WFPC2で $R=4.5-35\text{kpc}$ の16箇所の $V. I=27$ 等まで。

2003

球状星団のRGBを参照して全ての場所で $[Fe/H]=-0.6$ 勾配なし

Ferguson et al 2005

Richardson et al 2008

HST/ACS によって、 $R=11.5-45\text{kpc}$ でRCのちよつと下まで到達

内側ハローはM31円盤と巨大星流からの高メタルで中間年齢種族に汚染

Brown 2003-2008

HST/ACSの超長時間観測—>最も高齢のターンオフまで到達

副軸投影11kpcで indisputable(?) 年齢6-10Gyr, $[Fe/H]>-0.5$

tidal stream, outer disk, spheroid 成分

$R=21\text{kpc}$ では内側ハローより少し古く低メタル

R(kpc)	11	21	35
t(Gyr)	9.7	11.0	10.5
[Fe/H]	-0.65	-0.87	-0.98

Irwin et al 2005 副軸に沿ってR=20-55kpc で表面輝度= $R^{-2.3}$ またはスケール=14kpc指数型
 スペクトル情報

Guhathakurta et al 2005, Gilbert et al 2006 副軸に沿って分光からRGBを選びR>20kpc で輝度= $R^{-2.6}$
 ハローはR=165kpcまで広がっている

Reitzel, Guhathakurta 2002 R=19kpcで29星の分光—>[Fe/H]mean=-1.9:測光結果より低い

Kalirai et al 2006, Chapman et al 2006 R=165までMWと似た低メタルハロー

2. データ

2. 1. SupCam観測

2. 2. リダクション

2. 3. 測光

2. 4. 標準星の較正

2. 5. 相対較正

2. 6. 人工星実験

2. 7. 過去のデータとの比較

3. アンドロメダ巨大星流の基本的性質

3. 1. CMD形態学

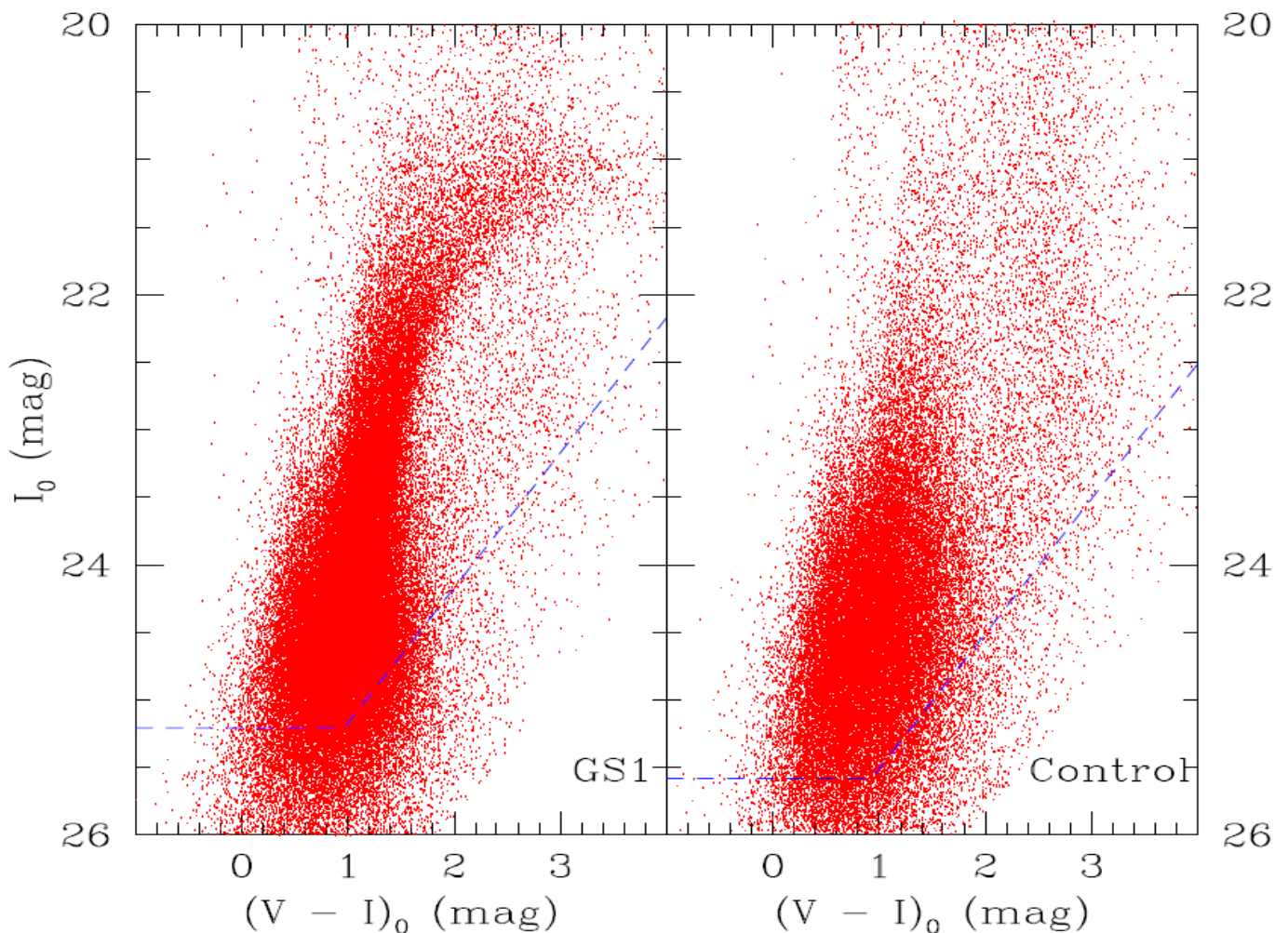


図27 左:GS1フィールド 右:コントロールフィールド

図を見るとGSフィールドでは低質量Hシェルバーニング星による太いRGBが目立つ。

——> GSはメタル分布と **to some extent .opacity (?)**

コントロールフィールドも太いRGBを示すが、GSと比べ薄い。

GSだけを抜き出すためにDurrell et al 2004の手法にならって統計的引き算を行う。——> 図28

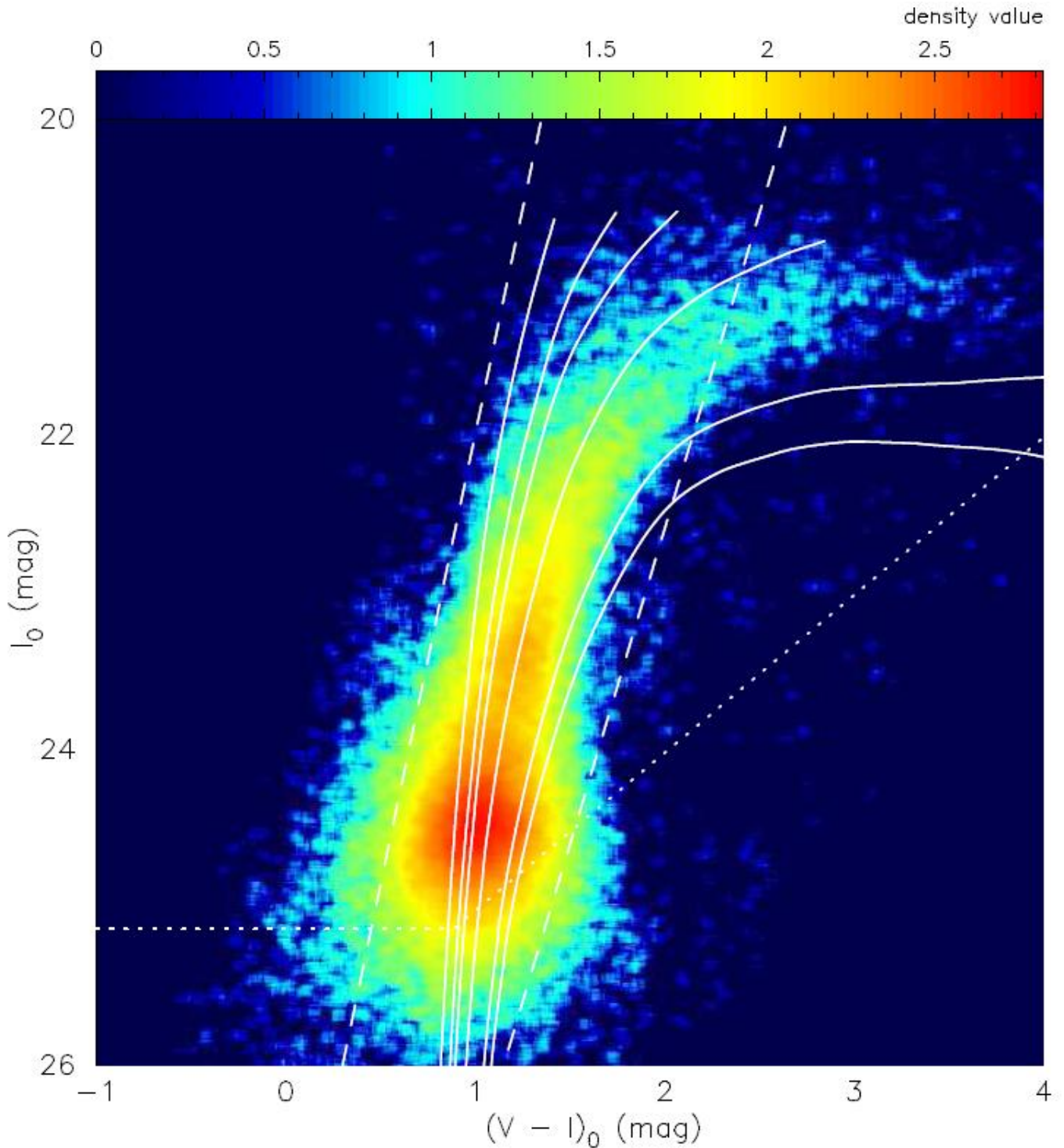


図28 GS1の差し引き後CMD。ピーク値はRCで657、AGB分布で224/0.07x0.07mag box

TRGB $I_0=20.5$, **by reddest peaks of high stellar density(?)** AGBbump $I_0=23.5$, **RC $I_0=24.5$**
実線: VandenBerg et al 2006 $t=12\text{Gyr}$ $[\text{Fe}/\text{H}]=-2.14, -1.41, -0.71, -0.20, 0.00$ 点線=50%完全
鎖線の間をLF作成に使った。 $I=19.5$ サチュレーション

RCでは40%を未検出。補正が必要。

3. 2. GSまでの距離

TRGB=LFのカット Sobel フィルター Madore,Freedman 1995, Salaris,Cassisi 2005

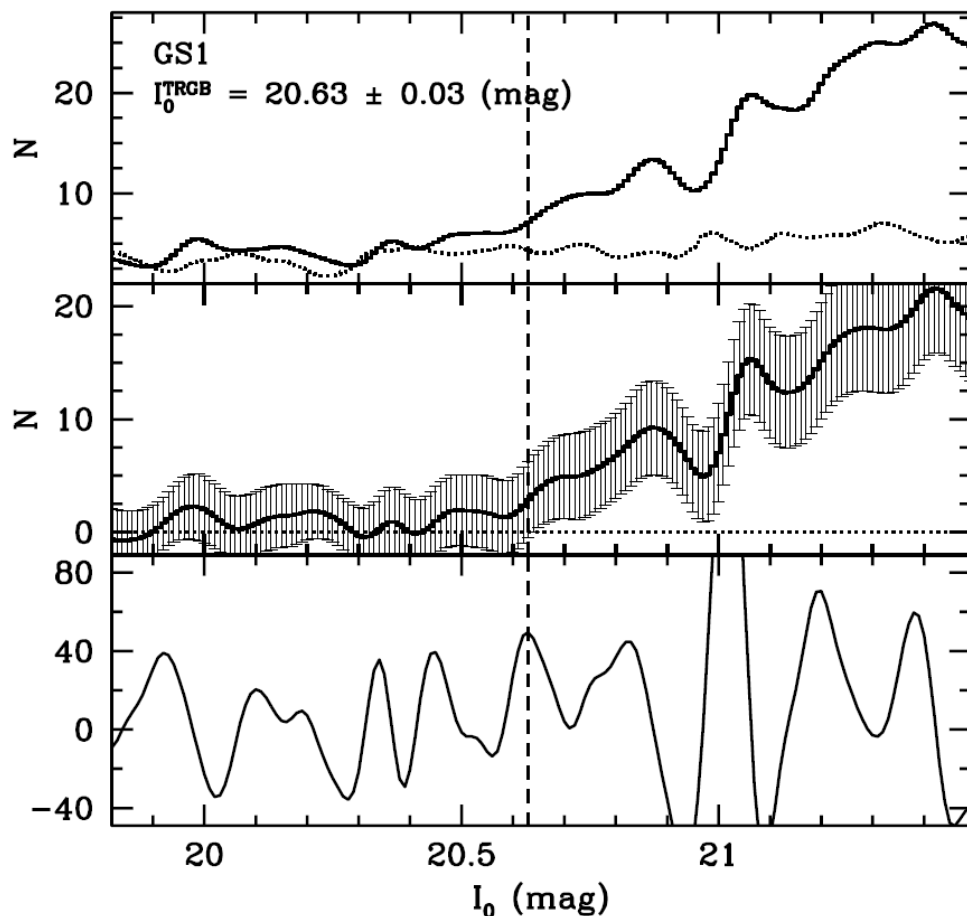


図30 上:平滑化LF 実線=引き算前 点線=背景SE3フィールド 中:引き算後 下:Sobel フィルター応答
 縦の鎖線=TRGB 縦軸定義は? Poisson Noise定義?ビンサイズ?

Lee et al 1993 によると、 $-2.2 < [Fe/H] < -0.7$ ではTRGBは0.1等以下しか変動しない。

$I = 20.63 \pm 0.05$ 、 $M_i(\text{TRGB}) = -4.1 \pm 0.1$ ($[Fe/H] = -1.3$ 相当)から 深さ効果は?

Table 5. Distance to the stream by analysis of the TRGB

Name	$I_{0,\text{TRGB}}$	Distance Modulus	Distance (kpc)
GS1	20.63 ± 0.05	24.73 ± 0.11	883 ± 45

3. 3. メタル分布

球状星団のRGBと比較してメタル分布を出す。

Brown et al 2006 GSの半分以上が中間年齢($t < 10\text{Gyr}$)

しかし、6-14Gyrでは年齢による赤化は小さく、メタルによる赤化は大きい。(Girardi 2002)

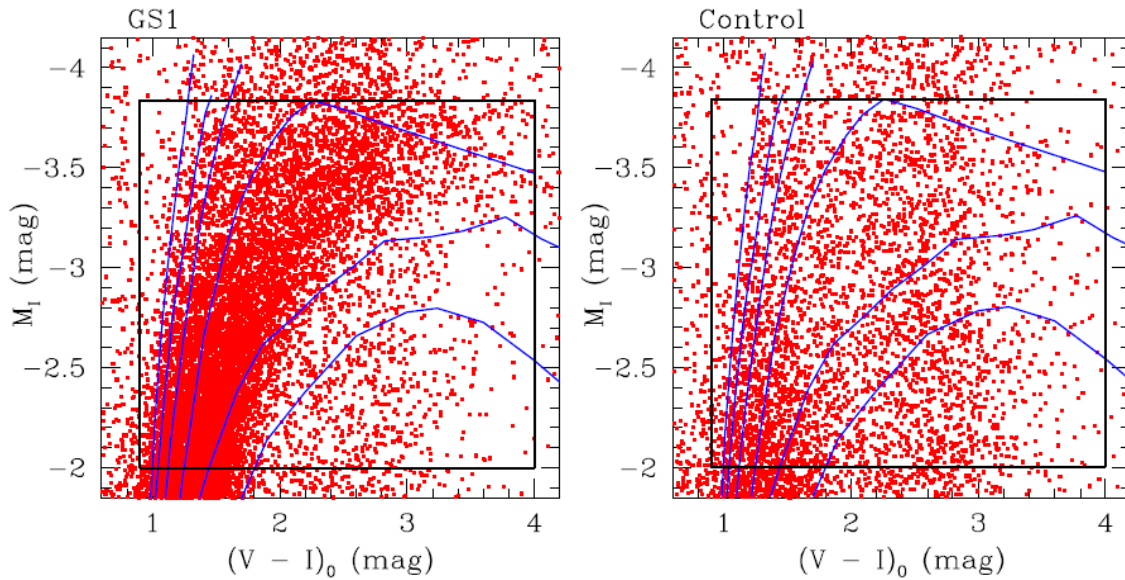


図31 2つのフィールドでのRGB。青線＝球状星団

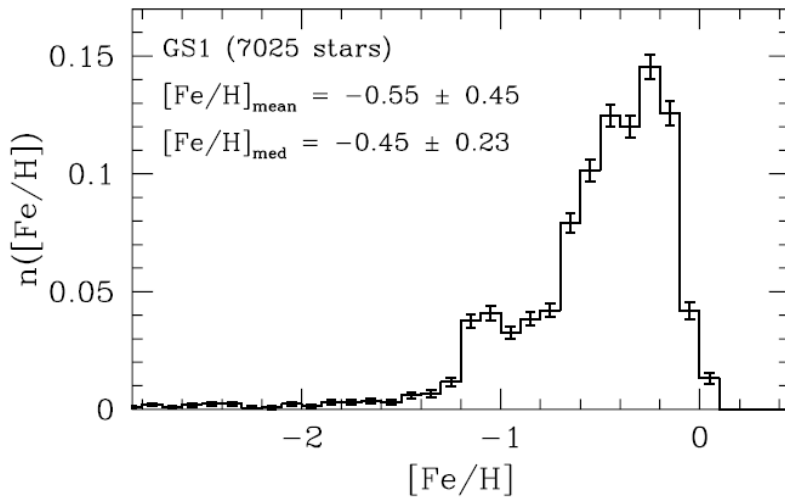


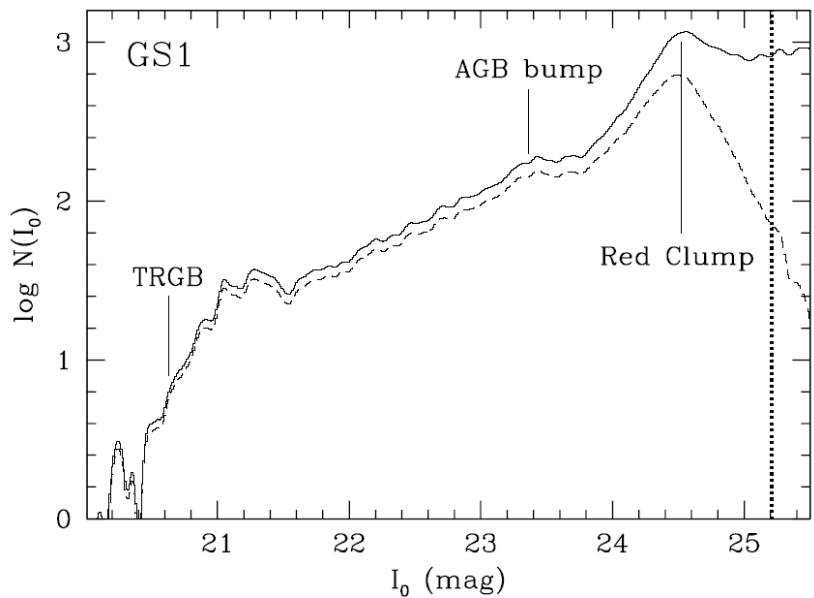
図32 メタル分布 $-3 < [Fe/H] < 0$ でピークが -0.3 、平均は -0.55 である

3. 3. 1. メタル決定での仮定の影響

3. 4. AGB bump と RC から推察される星種族

図35 GS1フィールドのLF
 鎖線: 減光のみ補正
 実線: 不完全度も補正
 縦点線: 50%検出率

 $I(\text{AGB bump})$
 $= 23.37$



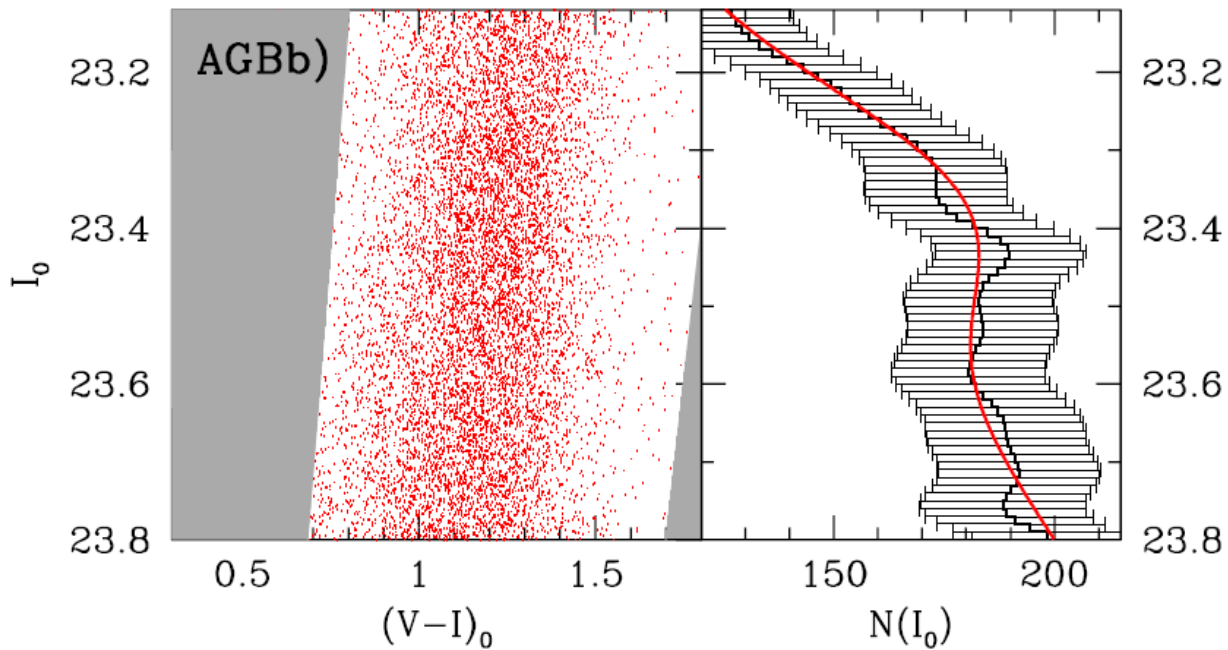


図36a AGB bump 付近の拡大図

3. 4. 2. RC

RC=高メタル and/or 中間年齢

Brown et al 2006 HST/ACS 中心近くの星流ではHB中にRHB=RC(?)が支配的

今回も $I=24.5$ 、 $(V-I)=1.0$ にRC検出

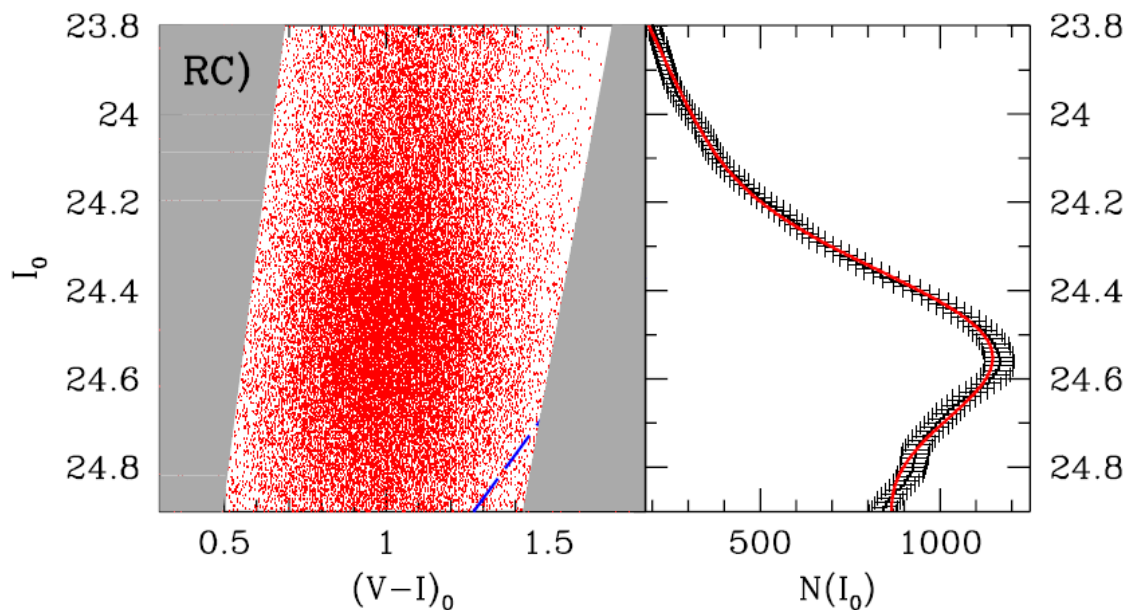


図36b RC拡大図 左 黒実線=観測、赤実線=直線+ガウシアンフィット

$$I(\text{RC}) = 24.52 \pm 0.22 \rightarrow M_i(\text{RC}) = -0.21$$

3. 4. 3. 年齢

Rejkuba et al 2005 進化経路(Pietrinferni et al 2004)を用いてRCの較正——>NGC5128 ハロ一年齢

図37 AGB bump と RC の
絶対等級と年齢・メタルの関係
(Rejkubaによる)
点線GS1フィールド観測値

もし、MWハローと同じく、
[α /H]=+0.3 なら、[M/H]=-0.25
t=8Gyr
となる。

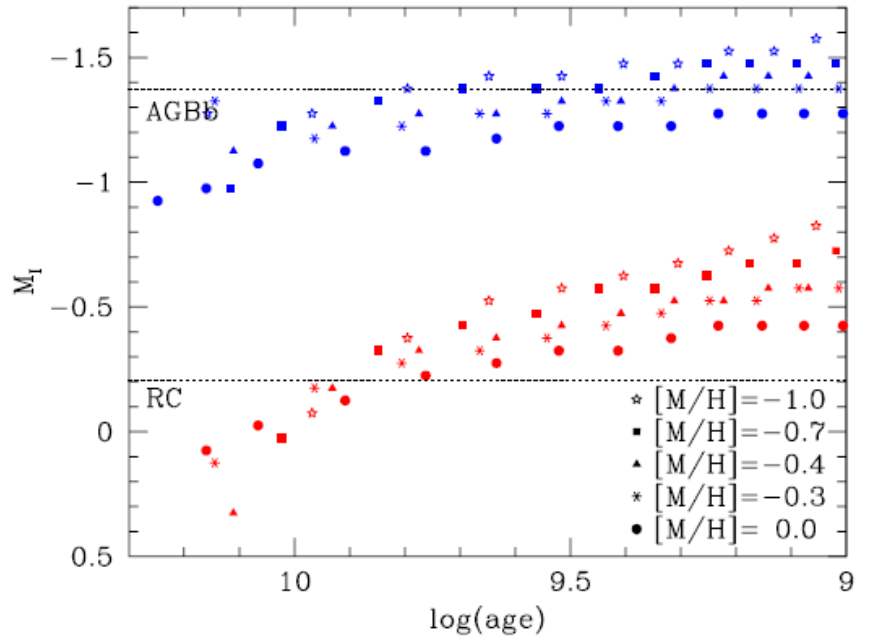
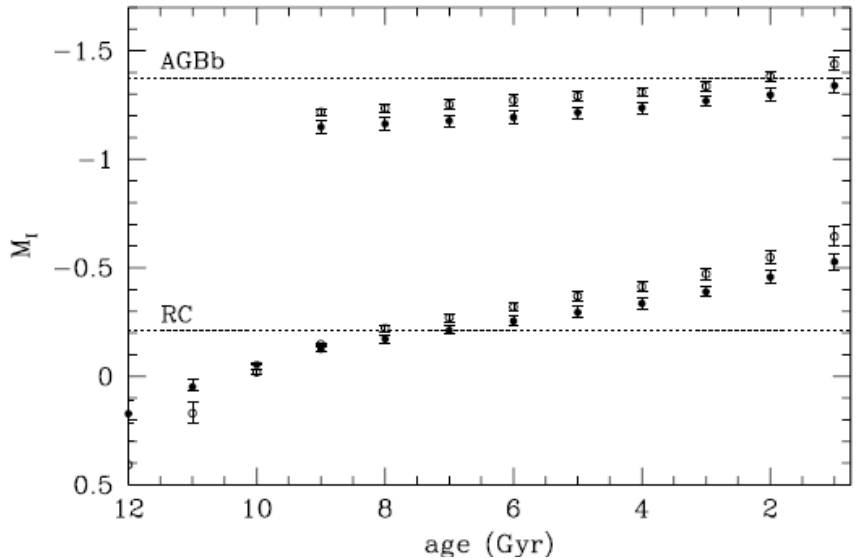


図38 RGB位置から決めたメタル
分布を使って、AGB bump
と RC 平均値の年齢による
変化を見た。
RCからは7.1Gyrだが、
AGB Bump からは若い年齢
しかし、AGBBumpのモデルの傾き
はRCより緩いので少しシステムア
ティックエラーが入ると大きく変わる。
だから、RCの方をとる。Teramo
モデルと Padova モデルの差を考え
ると1Gyr の追加誤差。



3. 5. まとめ

4. アンドロメダハローの眺望

南北副軸に沿って、

- (1) ハローフィールドとコントロールフィールドのCMDを提示。
- (2) コントロールフィールドを用いてコンタミの除去。
- (3) メタル量で分かれる内部ハローと外部ハローの密度マップ。
- (4) 副構造の検出
- (5) ハローの基本構造

4. 1. CMD

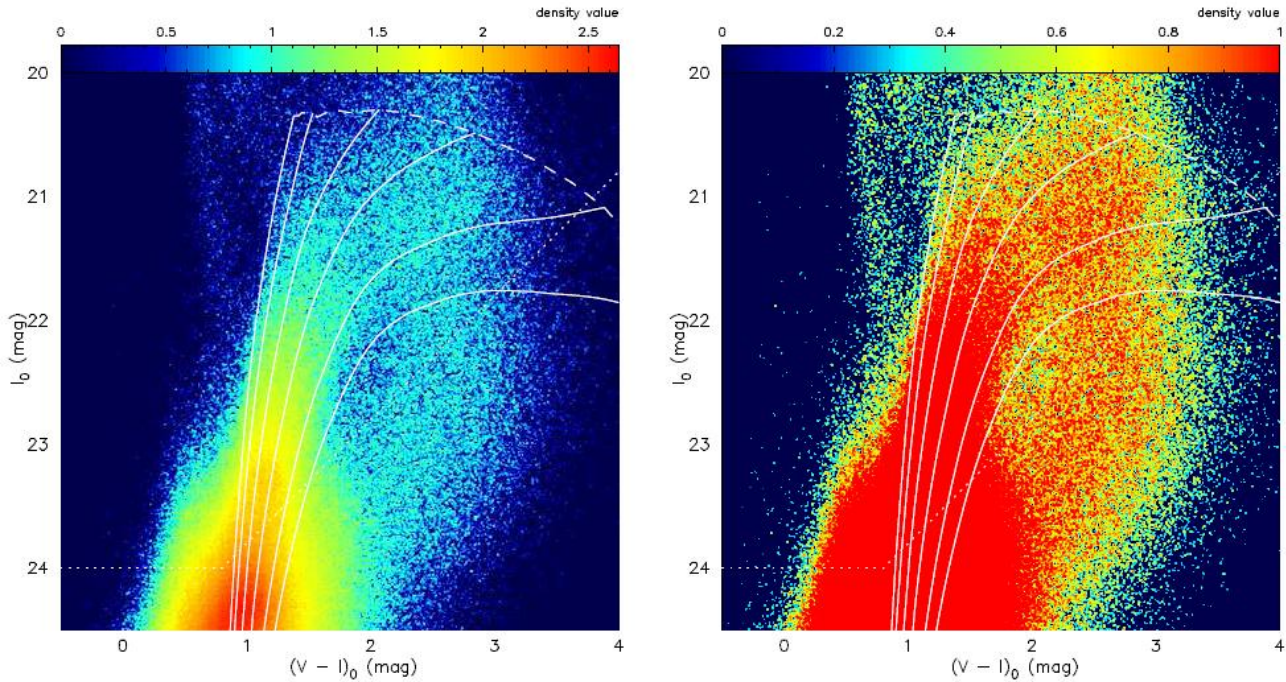


図39 観測全領域のCMD. 実線=1VandenBerg2006の12Gyr、 $[\alpha/H]=+0.3$ $[Fe/H]=-2.31$ 、から0.00
 左:高密度、 右:低密度を強調。

$I_0 > 24$ で青い方はHBであろう。

銀河系円盤主系列星=disk dwarfs at $V-I > 2$ having the broad RGB って何？

銀河系ハロー星は縦に $(V-I) \leq 0.8$, $I_0 < 23$

ハローのターンオフ Martin et al 2007, Ibata et al 2007

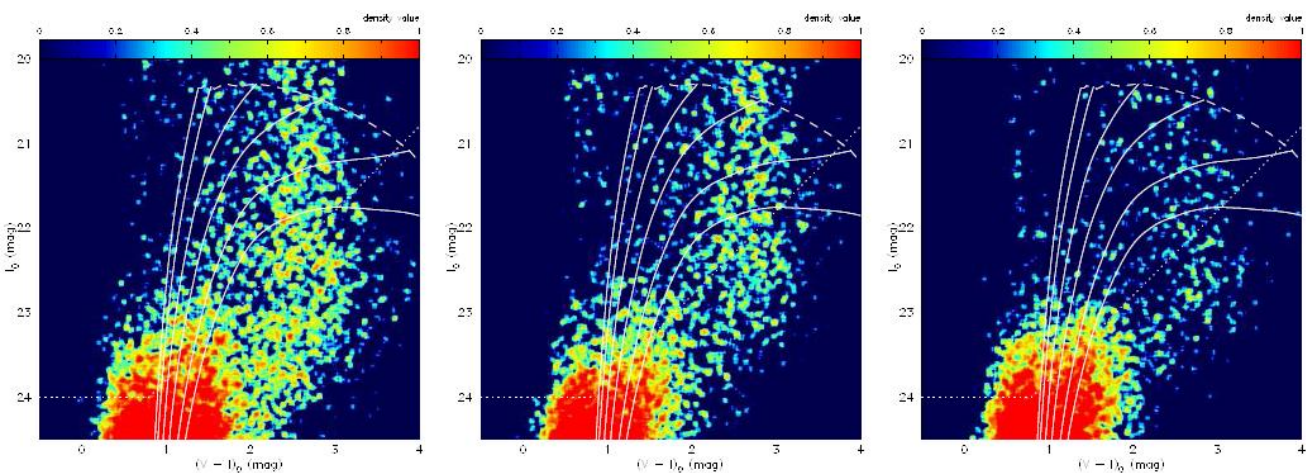
4.1.1. コントロールフィールドの較正

M31 = (121, -21) 下図のコントロールは、

(l, b) = (103, -16.5)

(103, -20.7)

(103, -25.1)



最終的な matched filter weight map は図43

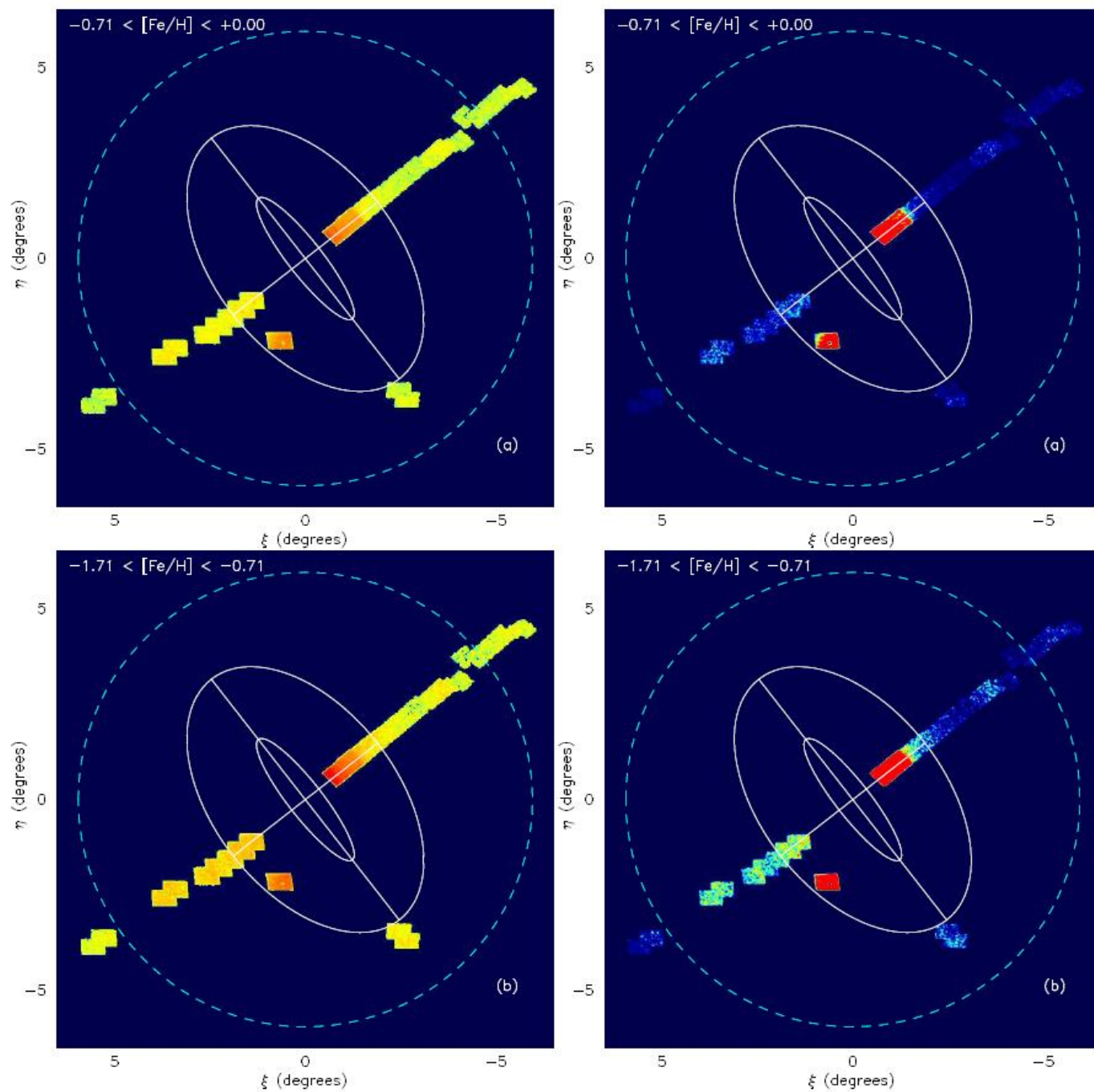


図44 Matched filter map 左 log スケール

右 リニアスケール

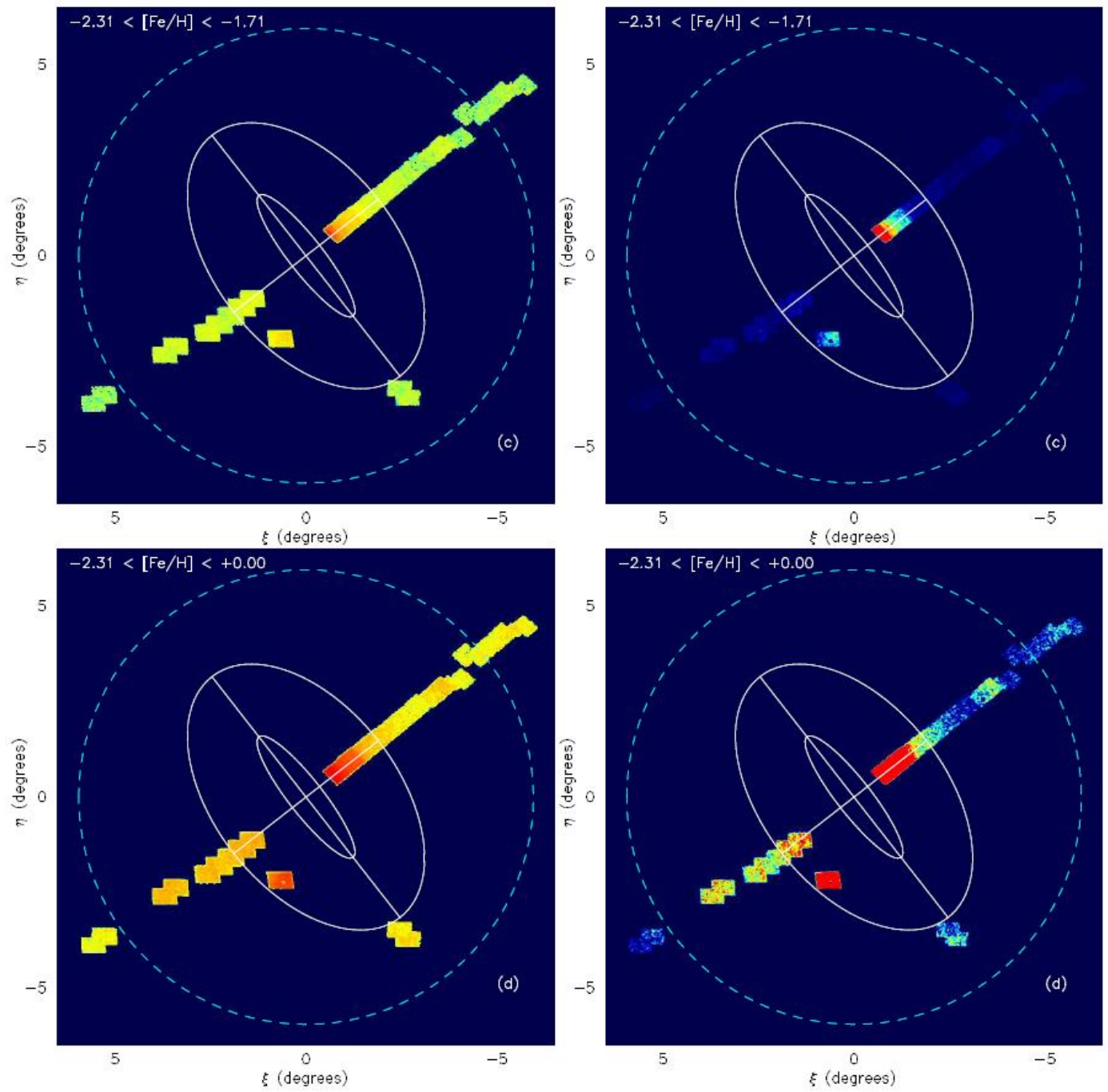


図44 続き

南側

- 1. 巨大星流
- 2. 星流C ($\xi = 3.5, \eta = -2.5$) Ibata et al 2007 がMegaCamで発見 高メタルに見える(???)
- 3. 星流D ($\xi = 2.5, \eta = -1.8$) Ibata et al 2007 がMegaCamで発見
- 4. 主軸弱い構造($\xi = -2.5, \eta = -4$) Ibata et al 2007 が注意

北側

- 1. W shelf
- 2. 新しい星流の発見($\xi = -3.5, \eta = 3$)
- 3. 新しい弱い星流の発見($\xi = -5.3, \eta = 4.3$)
- 4. 何?

4. 3. 空間的副構造

4. 3. 1. Western Shelf

Ferguson et al 2002, Ibata et al 2007
 Fardal et al 2007, Mori, Rich 2008
 ——> SupCamのGSの結果から性質を比較したい。

RGB星の超過領域

N体計算——>GSの前方の一部?

図45 Western ShelfのCMD

GSと似ているが、 $[Fe/H] = -0.3$ 成分少し少ない。
 GSより測光精度がよいためか、古くて低メタルの特徴であるBlue HBが見える。
 RGB パンプの明るい部分も見える。
 しかし、AGBパンプは見えない。多分、GSより低密度なためではないか? **ほんと?**
 TRGBの距離 = 798kpcでGSより85kpc手前。
 この距離を用いて、 $[\alpha/H] = +0.3$ と
 $t = 10\text{Gyr}$ を仮定し、VandenBerg の等時線からメタル分布を調べる。

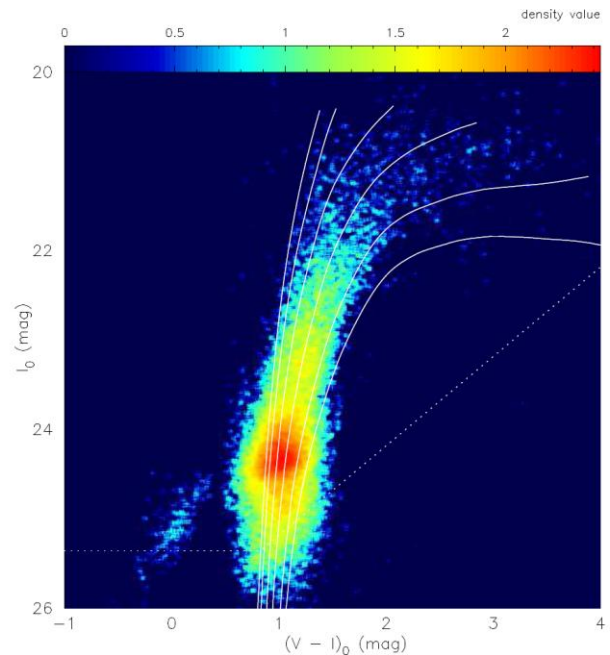
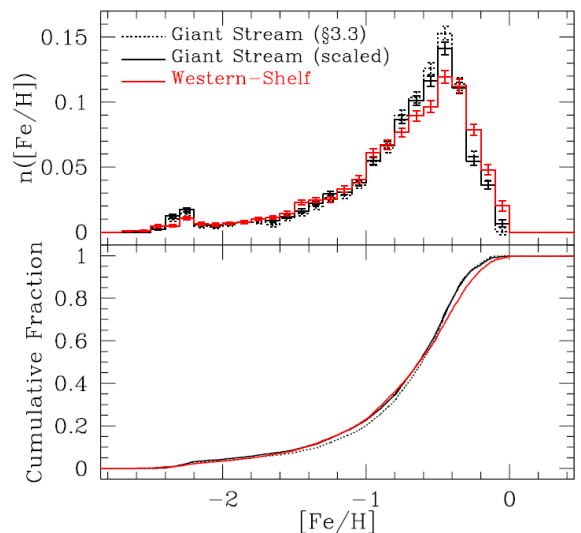


図46 W-shelfのメタル量分布

黒:GS(スケール) 赤:W-shelf

$[Fe/H]$ の平均値、中間値、ピークはGSと一致するが、GSとW-shelfの母体が同じとする仮説はSmirnov-Kolmogorff検定ではねられる。高メタル部分で少し異なっている。
 $M_i(RC) = -2.0$ から年齢を出すと8.2Gyrでこれも少し違う。
 モデル計算ではW-shelfは3回目の衝突後の破片と考えられていることと上の違いは関係するかも知れない。また、Ibata et al 2007がGSで種族勾配を発見したように、GSとW-shelf間に種族勾配があることが原因?



4. 3. 2. 南西のC-, D-星流

Ibata et al 2007が発見した。GSの1/10の輝度。コントロールフィールドの引き算は困難なので、

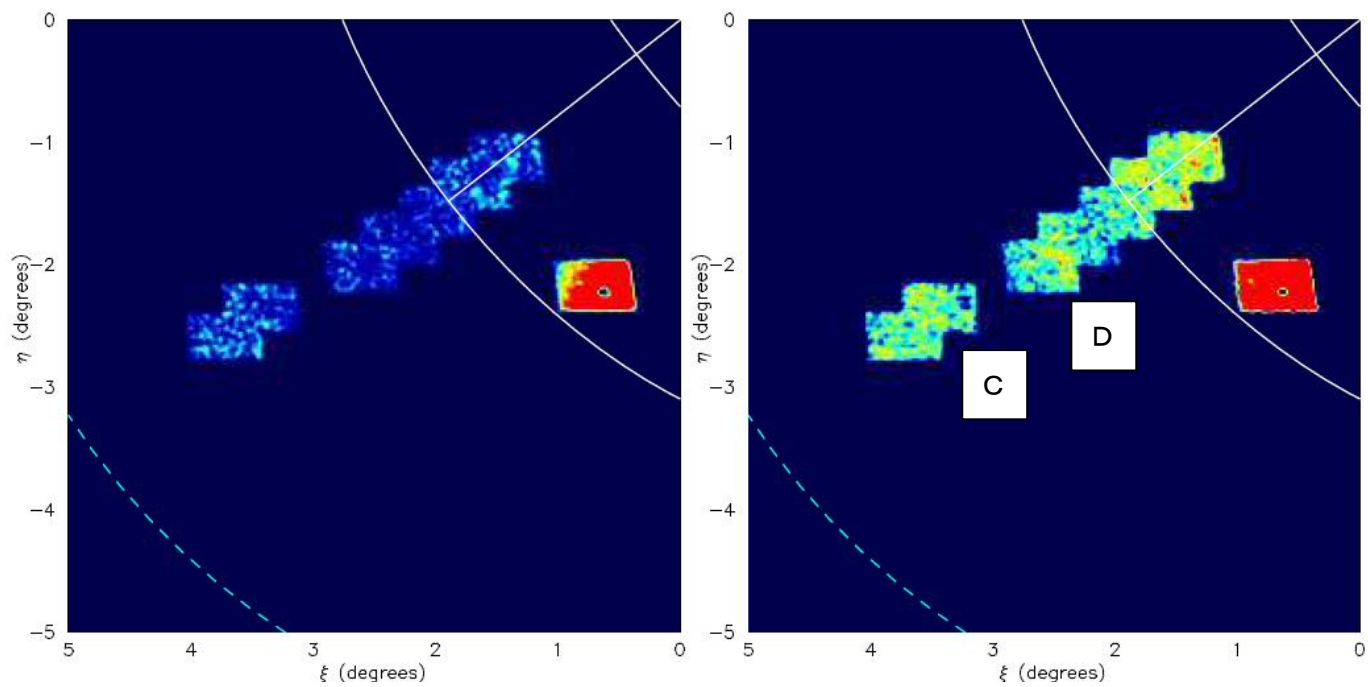


図47 $-0.71 < [Fe/H] < +0.0$

$-1.71 < [Fe/H] < -0.71$

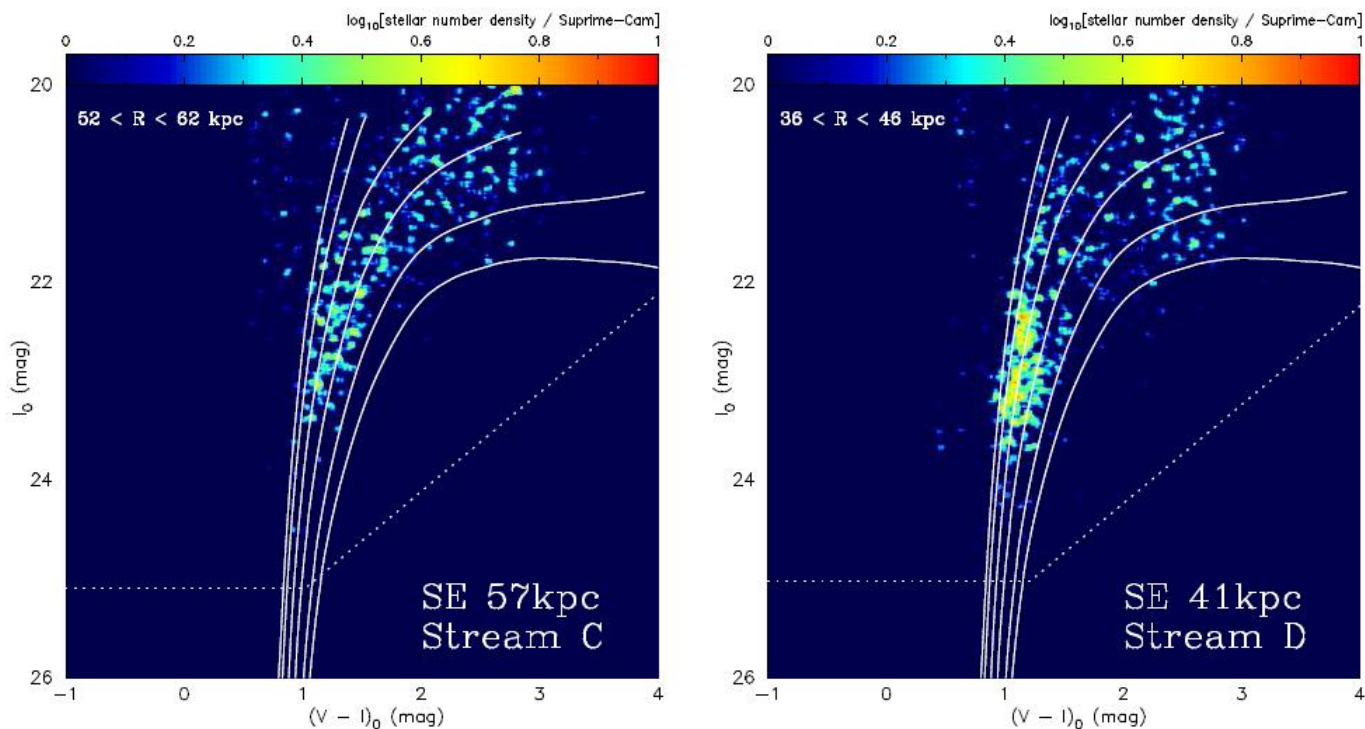


図48 引き算なしのCMD。Kashikawa et al 2004で銀河を除き、3ピクセルカーネルのガウス平滑化

はっきりしたRGB、しかもCは高メタルで $-1.14 < [Fe/H] < -0.30$ 、Dは低メタル $-1.71 < [Fe/H] < -0.71$ に集中している。Ibata et al 2007でも述べられている。

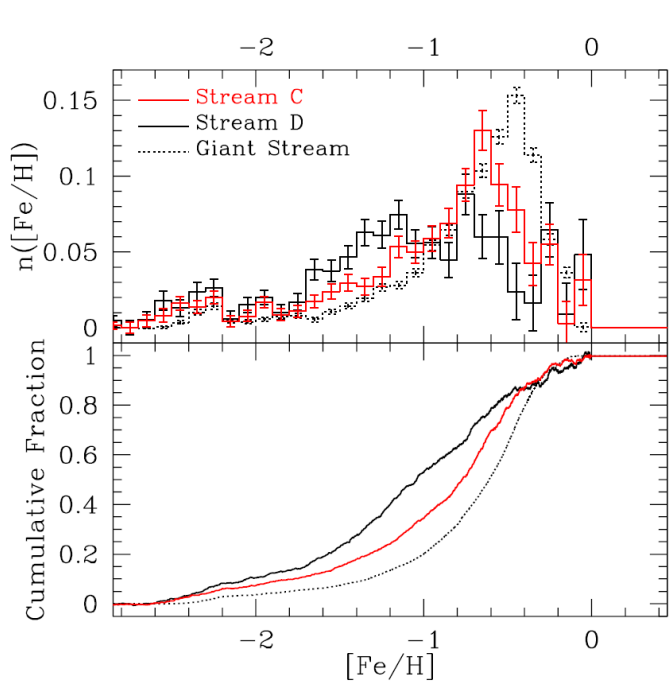


図49 C, D星流のメタル分布。GSも比較のため。

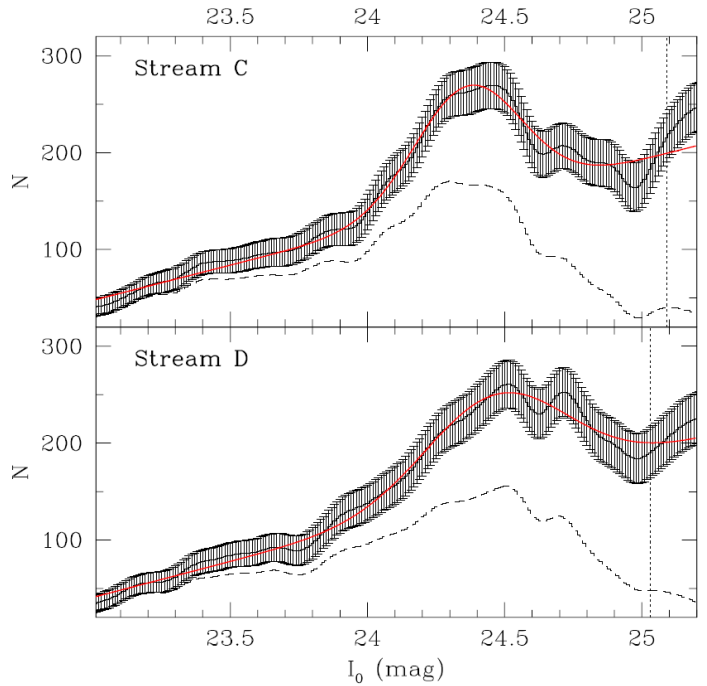


図50 C, D星流の光度関数。実線=完全度補正、点線=前

4. 3. 3. 主軸上での構造

Ibata et al 2007 主軸上に微かな構造がある。

場所は少し異なるが、この観測CMDは明らかに低メタル星($-2.31 < [Fe/H] < -1.14$)に占められている。

Ibata et al ではこの構造はGSとつながって見える。しかし、低メタルなため彼らは無関係とした。

しかし、数値実験では円盤銀河的な降着天体の場合GSから主軸にかけてメタル量勾配が生じる。またMDにはピークらしきものも見え、それから年齢を出すと8.6GyrとGSと近い年齢となる。

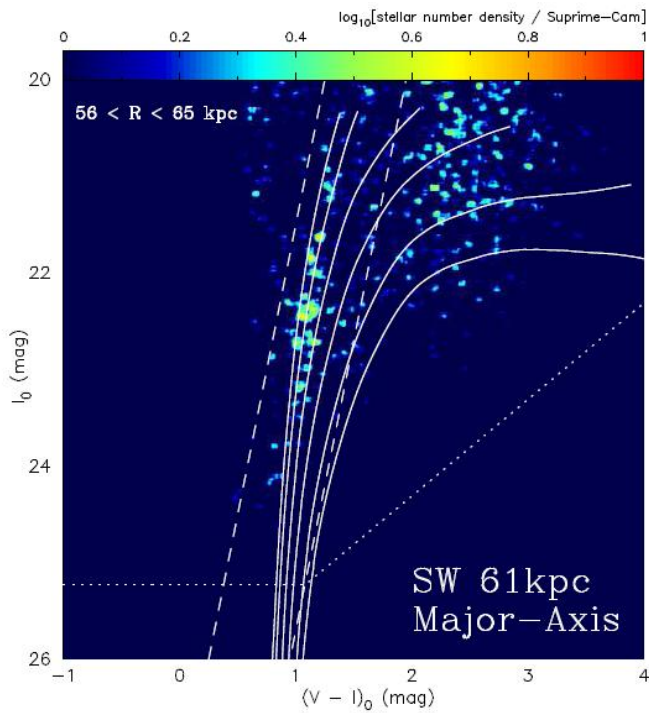


図51 コンタミ無補正の主軸構造上CMD

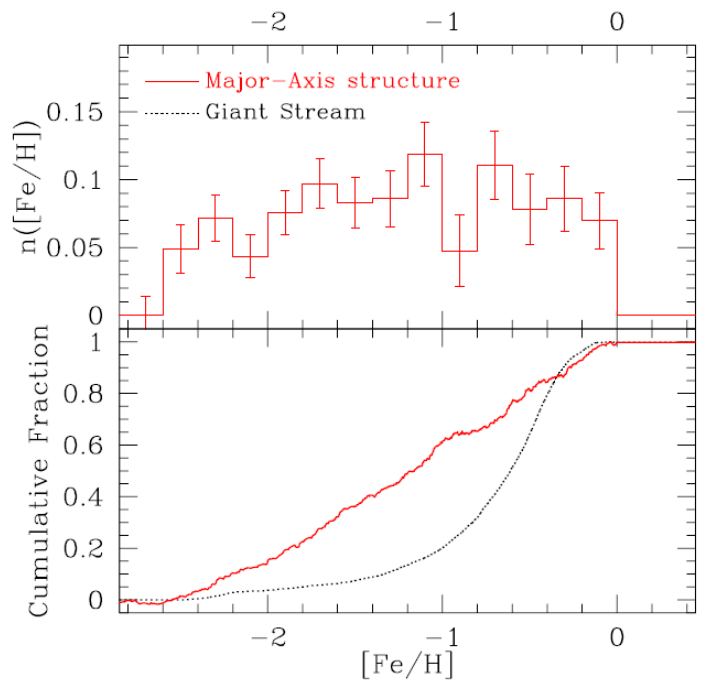


図52 主軸構造のメタル分布

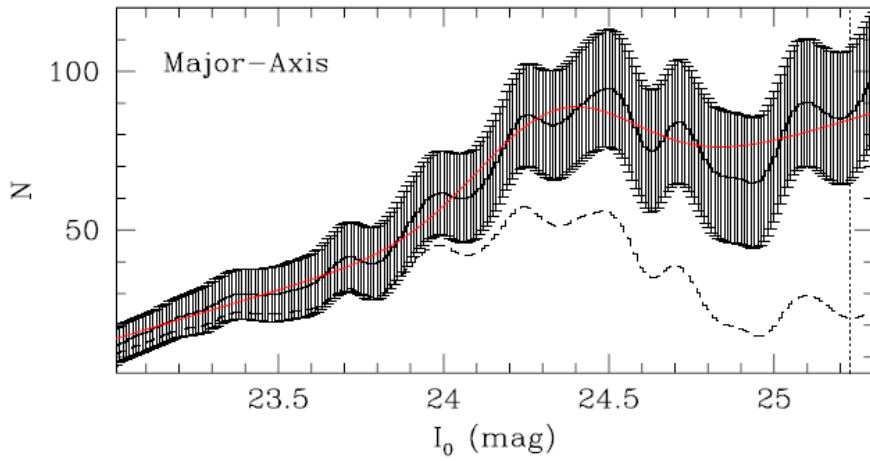


図53 LF

4. 3. 4. 未知の北西構造 E、F

図54を見るとR=60,100kpc に構造がある。

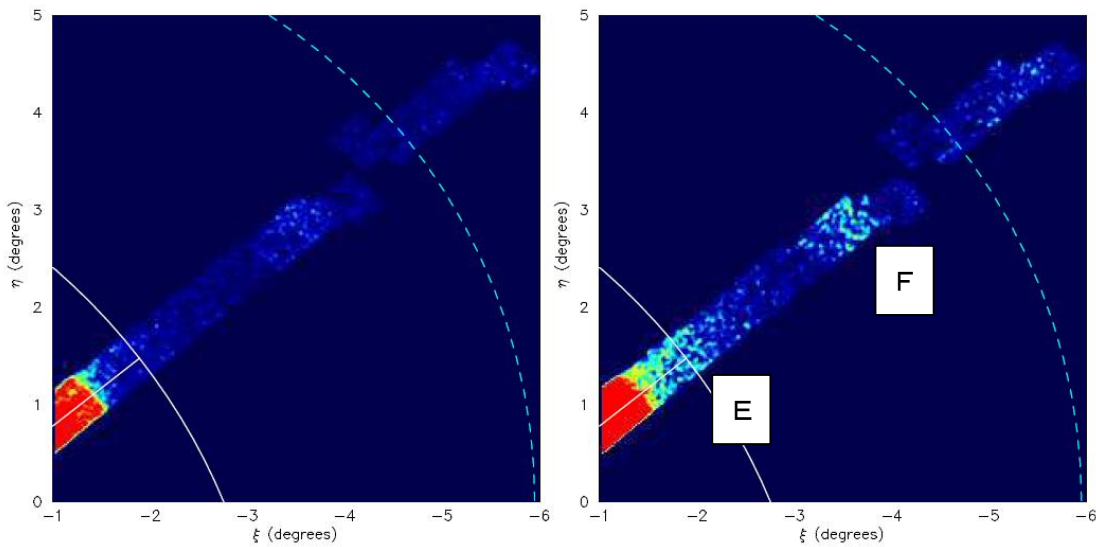


図54 Matched Filter Map

$-0.71 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0$

$-1.71 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.71$

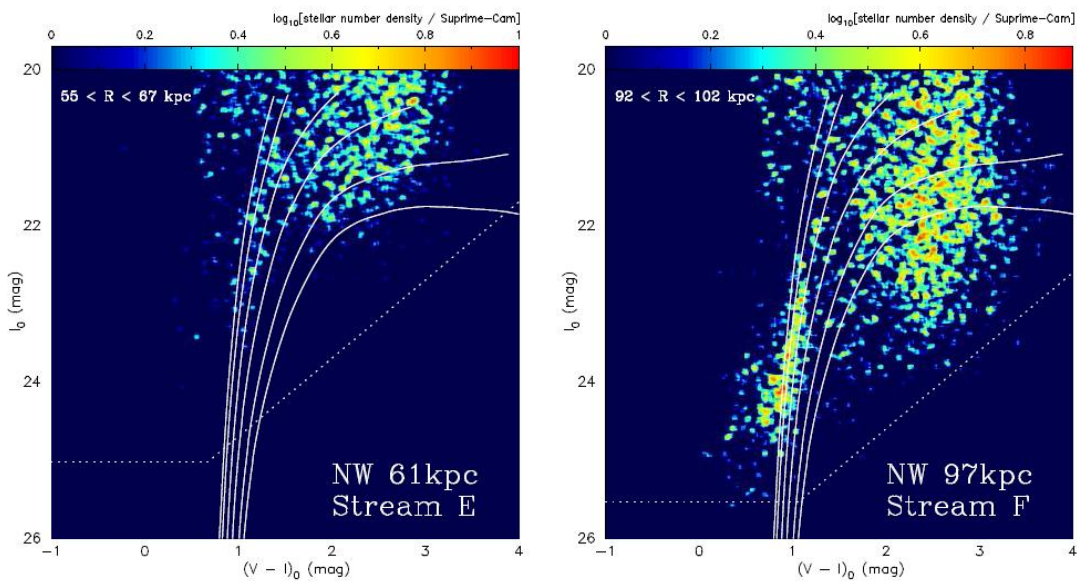


図55 構造E RGB先端に低メタル

構造F 低メタルRGB 構造Aと似る 変な？

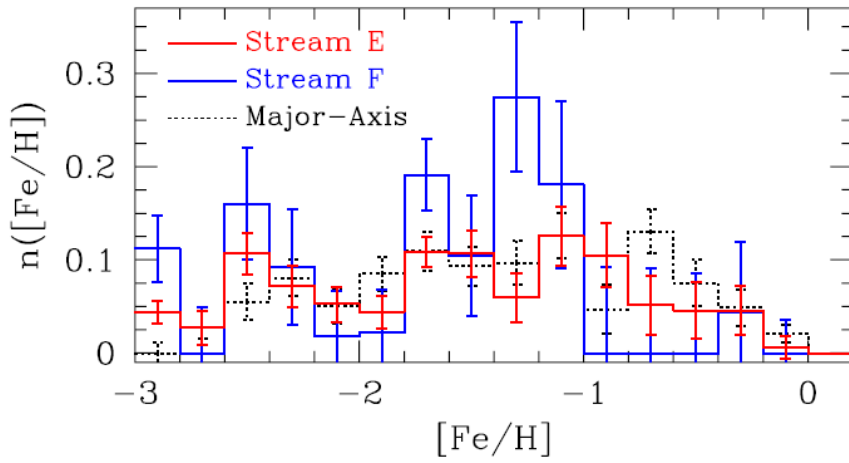


図56 メタル分布

LF? 距離、年齢?

4. 4. 副軸に沿ったハローの性質

4. 4. 1. 種族変化

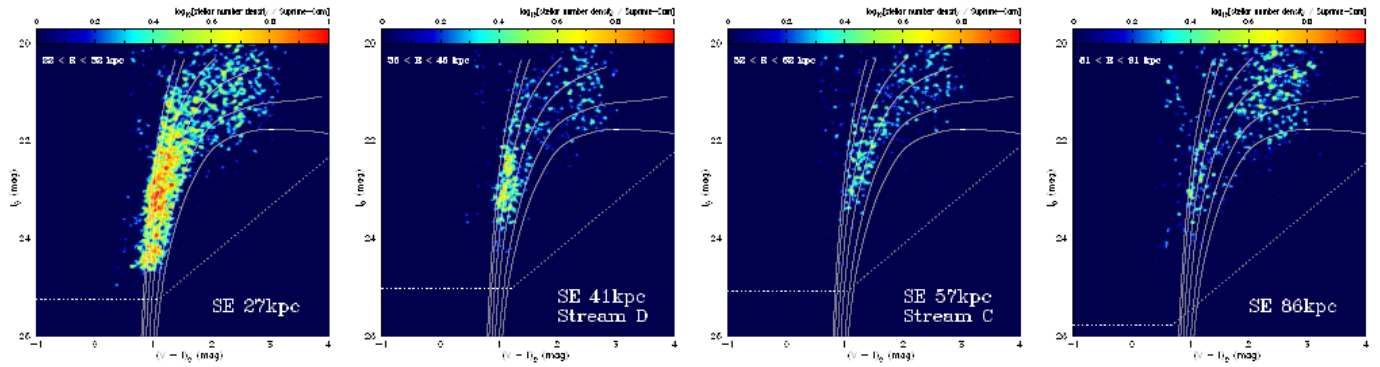


図57 南東副軸沿い。白線は $[\alpha / H]=0.3$ で $[Fe/H]= -2.31, -1.71, -1.14, -0.71, -0.30, 0.0$

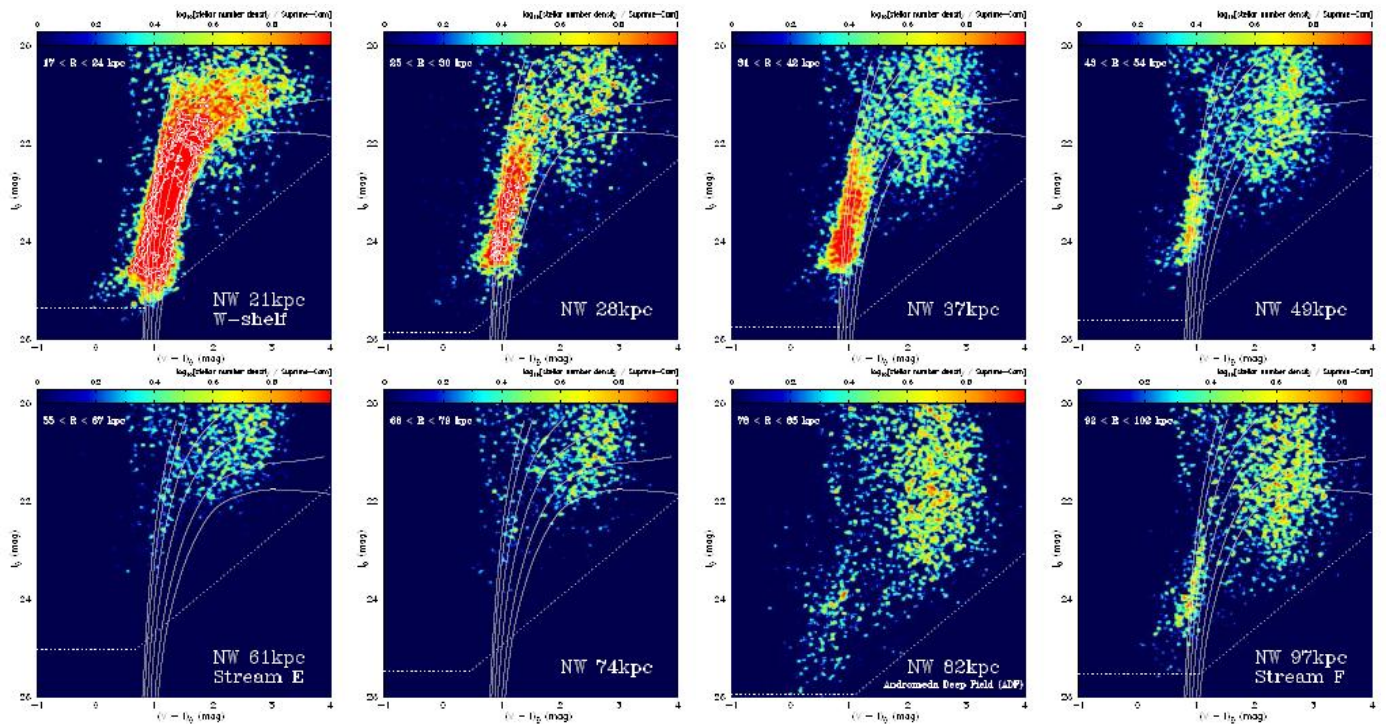


図58 北西副軸沿い。

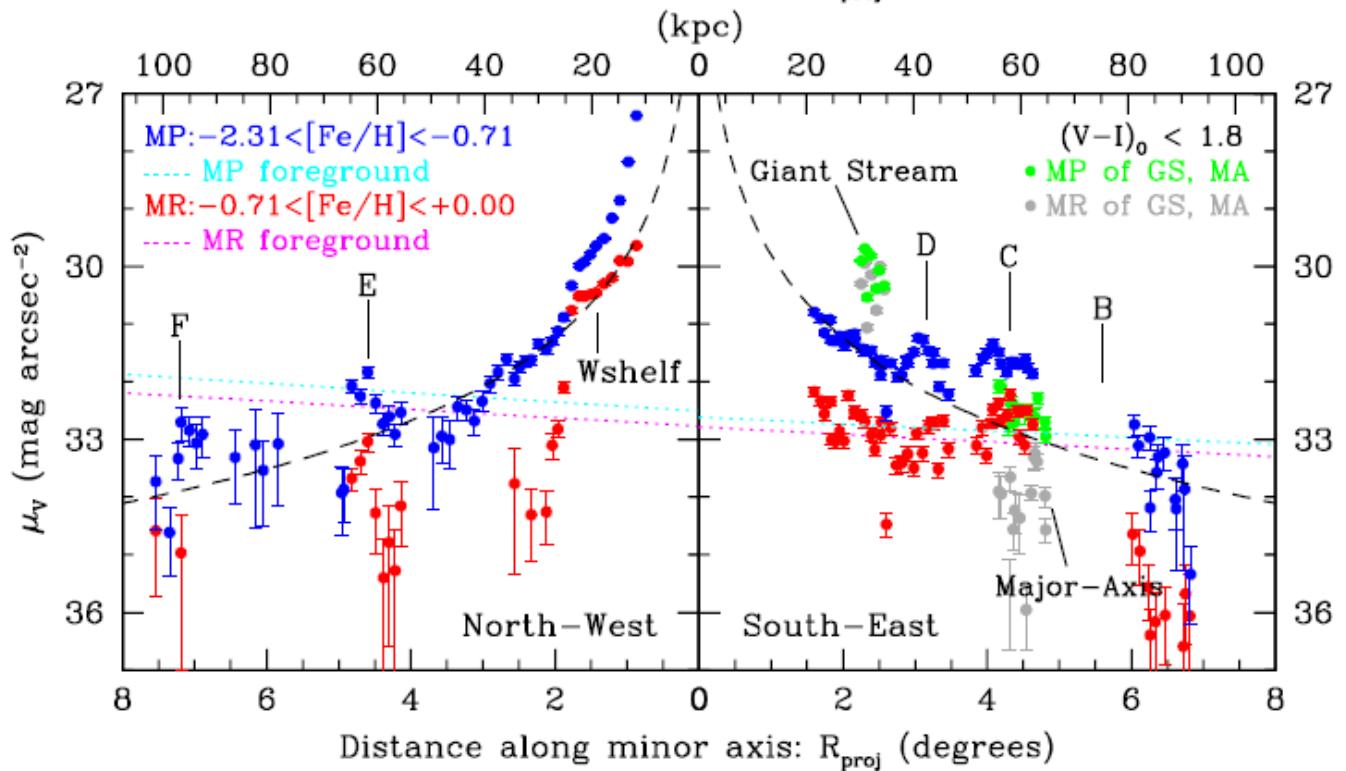
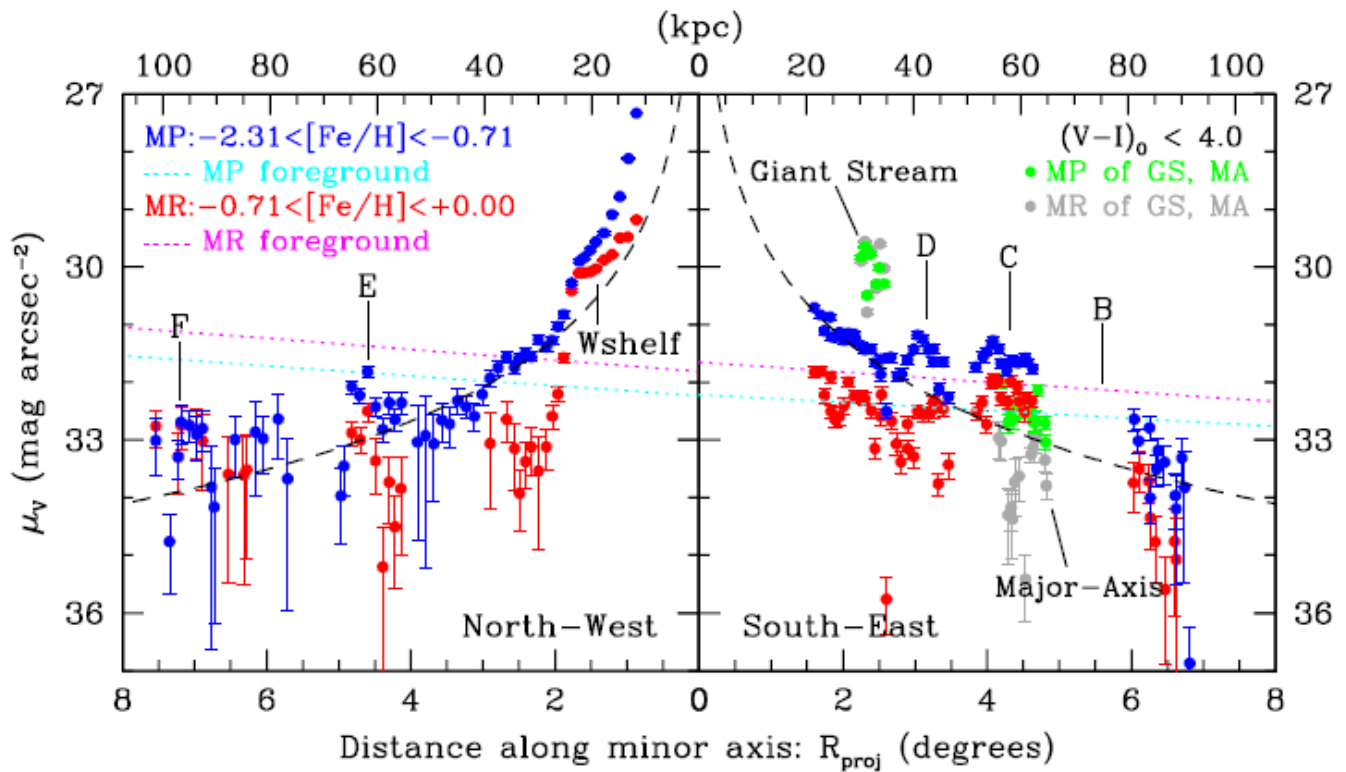
ここは新観測領域。低メタルと高メタルで $R=50\text{kpc}$ を境に分布が

4. 4. 2. 表面輝度分布

Pritchett, van den Berg 1994 内部ハローの表面輝度分布

Durrell et al 2004, Irwin et al 2005, Ibata et al 2007 SE 副軸プロファイル

以前より深いカウント可能 → $[Fe/H] = -0.71$ で高メタルと低メタルに分け、RGTB/AGB星の総フラックスコントロールフィールドの分を引いて、上 $(V-I) < 4$, 下 $(V-I) < 1.8$ 。赤が高メタル、青が低メタル。左がNW、右がSE



何言ってるか？

モデルフィット4種類を調べる

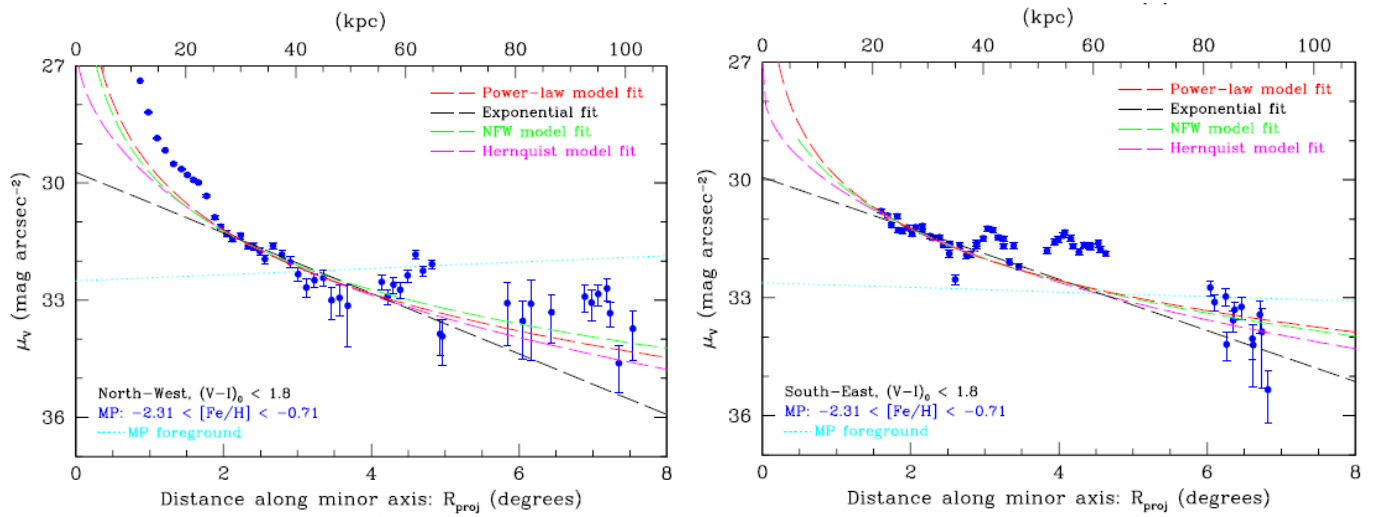


図60 NW軸 低メタル

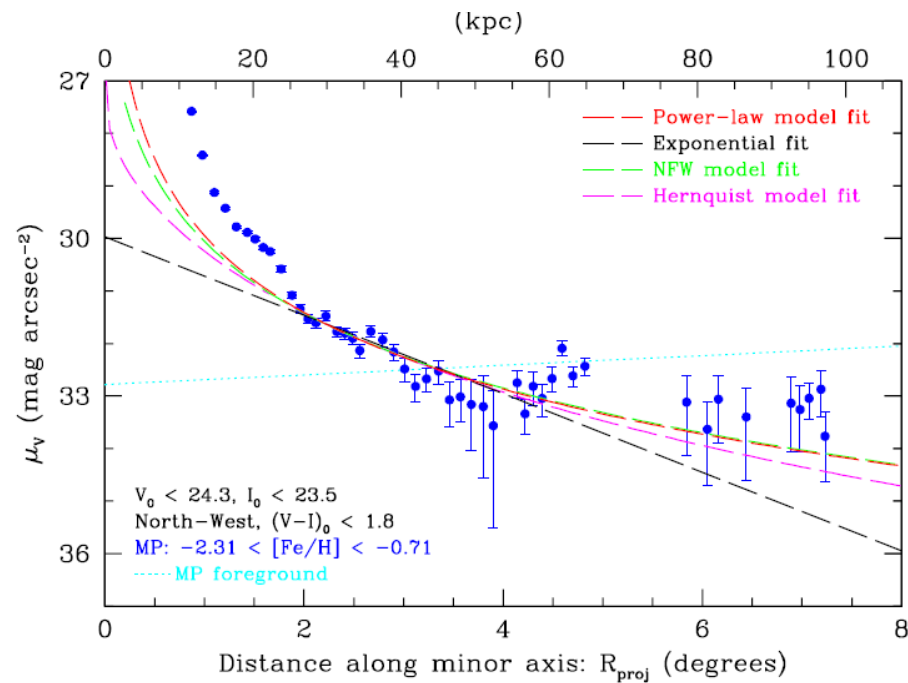


図61 NW副軸沿いの輝度分布。制限を0.5等明るい星にした。Bullock, Johnston 2005計算とあうスムーズな減少プロファイルが得られた。

4. 4. 3. メタル量分布

CMD+VandenBerg2006の12Gyr等時線——>メタル量分布

6-14Gyrでは年齢効果は無視できる。

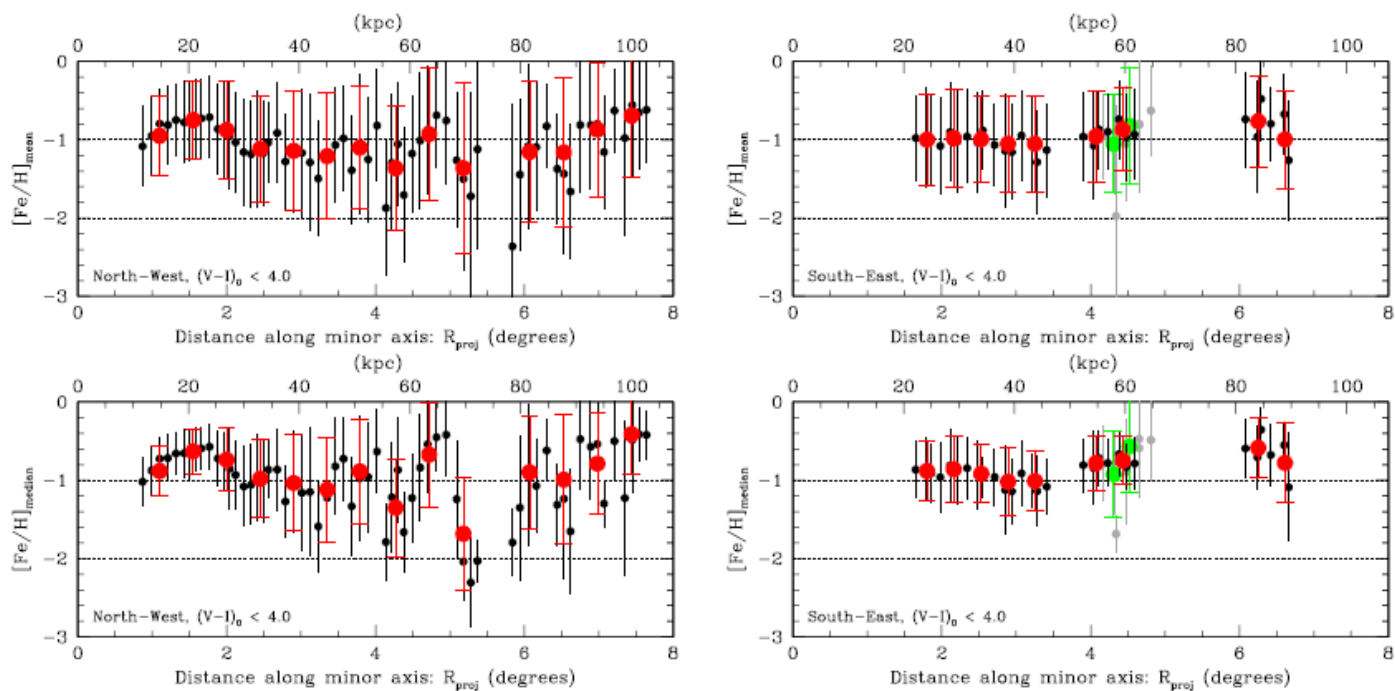


図62 上が平均、下が中間値。左がNW、右がSE

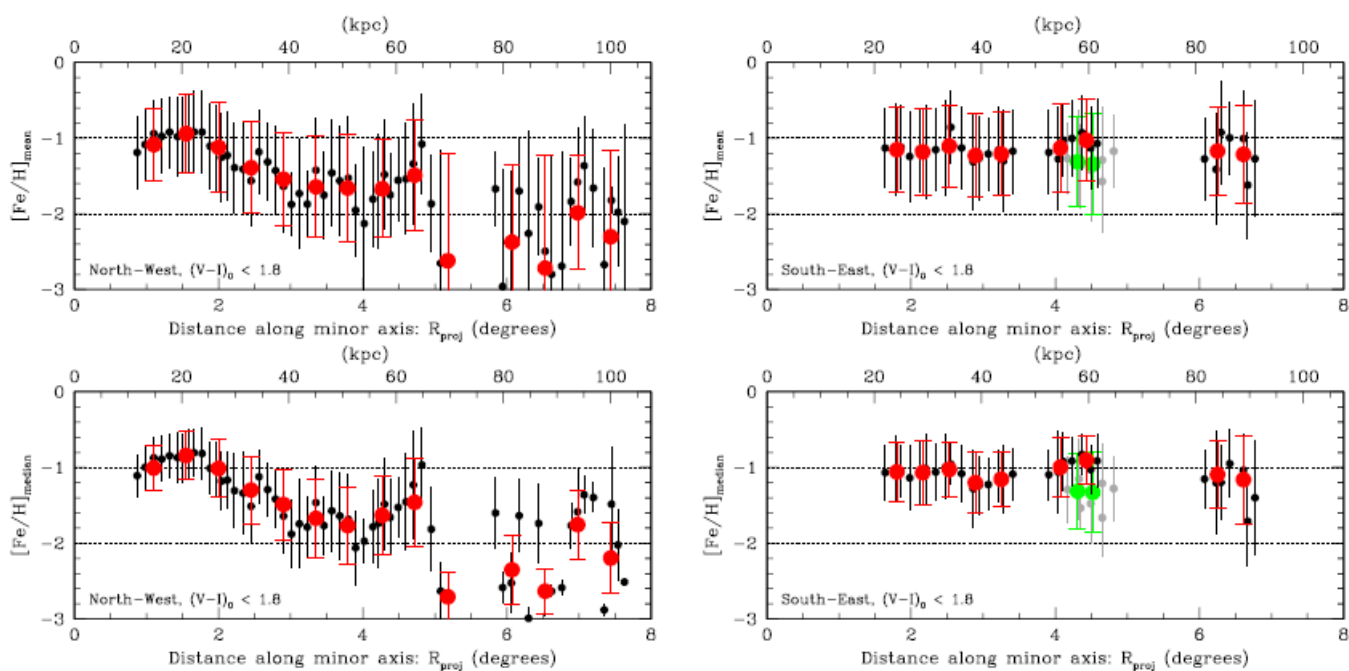


図63 制限を強め、 $0.9 < (V-I) < 1.8$

NWはメタル勾配あり、SEはなし。

4. 5. ディスカッション

4. 5. 1. 副構造の下のハロー

MW

SDSS $\rho \propto r^{-2.8}$ (Juric et al 2008), r^{-3} (Bell et al 2008) $R < 40\text{kpc}$

M31

$r^{-3.2}$ (今回 NW) $R < 100\text{kpc}$

$r^{-2.9}$ (Ibata et al) $R < 140\text{kpc}$ 銀河の除去がない。

$r^{-3.6}$ (Guhathakurta et al 2005) $R < 165\text{kpc}$ 分光選択で数少ない

モデル計算

ハローの大部分は8Gyr 前に降着。 $R < 30-60\text{kpc}$ を支配。

なんか結論がはっきりしない。

4. 5. 2. 副構造の起源

SE メタルが一定=軸上に高メタルのD, C, B 星流が並んだため

NW 勾配あり。Kalirai et al 2006b, Koch et al 2007 のSE軸の結果とあう。

しかし、シミュレーションが数十kpcでフラットになるのとは合わない。

——>

説明(1) 落ちた直後で平衡化途中

5. 結論

5. 1. 結論

5. 1. 1. GS

I(TRGB) \rightarrow DM=24.73 M31より100kpc遠くにある。

球状星団のRGBと比べて、 $[Fe/H]_{\text{mean}} = -0.6$

RCピーク \rightarrow $t = 8\text{Gyr}$

stellar mass/luminosity-metallicity 関係 \rightarrow $10^7 - 10^9 M_{\odot}$ 銀河の衝突

5. 1. 2. 星ハロー

(1) $R_{\text{pro}} > 30\text{kpc}$ に密度超過

星流C, D (Ibata et al 2007) 確認

星流E, FをNWハローに発見

(2) 星流とW-Shelfの性質を測った。

表面輝度が高いデブリは高メタル

(3) その他の領域

NW軸では低メタル星が $R_{\text{pro}} < 100\text{kpc}$ でスムーズな分布。

ダークマターの計算と比べると中央集中が高い。バリオンのエネルギー散逸効果？

(4) メタルの分布勾配をNW軸に検出。SEじくでは平坦。

勾配は平衡化過程途中のため。

外部ハローは15回以上の降着で形成された。