

銀河団を撮像する

～近傍銀河団と球状星団～

田村 直之
(ハワイ観測所)

Wish upon ...

- 1. Diffuse light in nearby galaxy clusters*
- 2. Globular cluster systems in luminous Es*
- 3. Morphology & structures of distant ($z > 1$) galaxies*

スペース望遠鏡でできること ＝地球大気を通さない観測



より暗い天体、より薄い天体・成分、より細かい構造
+

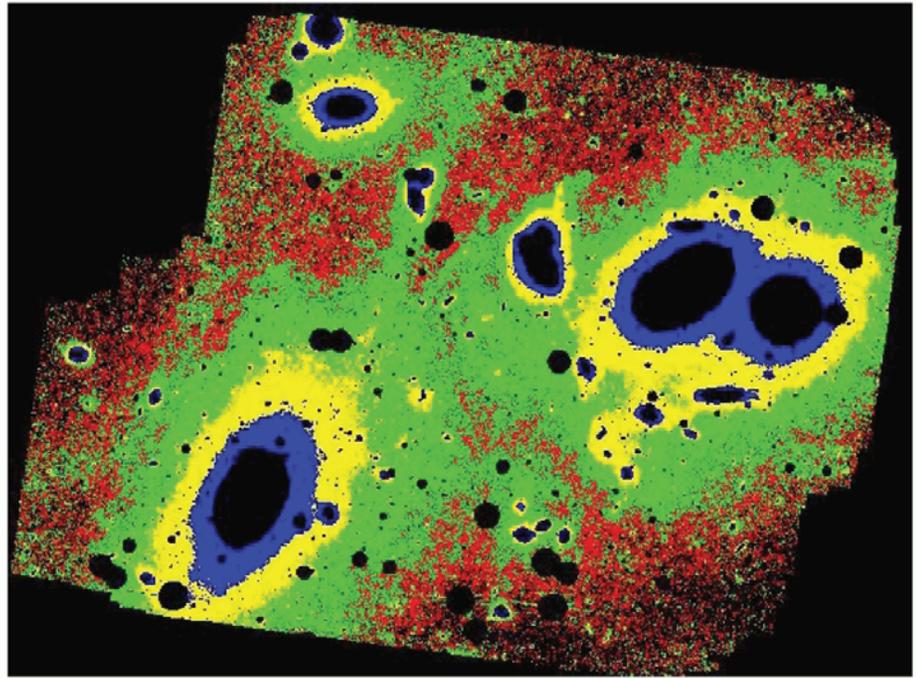
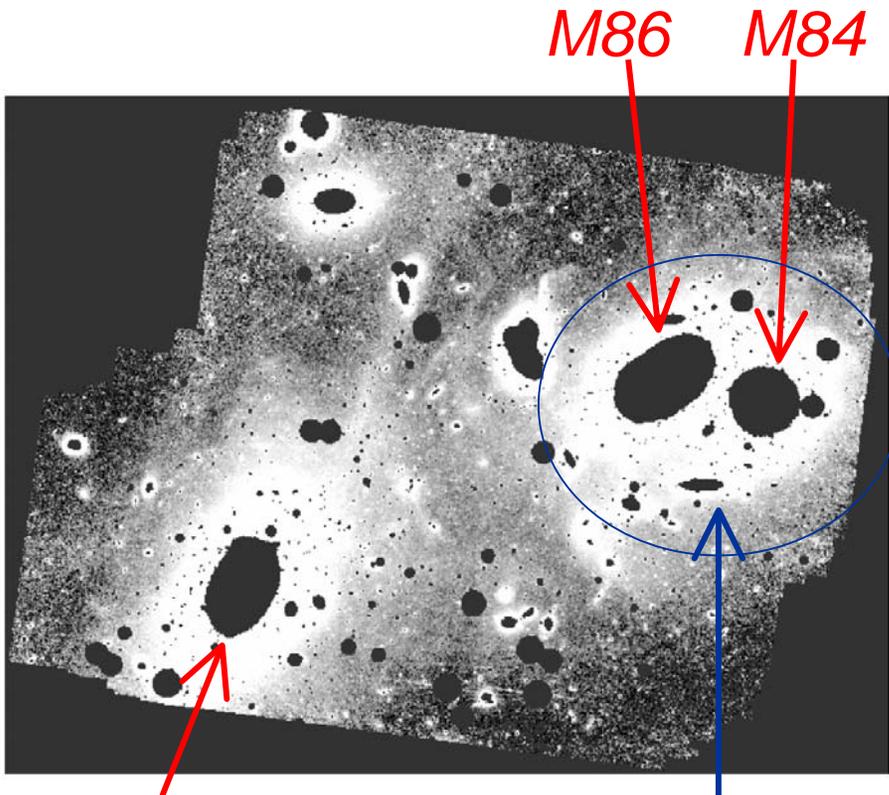
WISH: 広視野、近赤外

近傍銀河団が相手でも広範囲をカバーしうる
星質量や星種族への重要な手がかり

地上からの撮像、分光サーベイはある(e.g. WINGS)が、近赤外での背景光レベルや空間分解能はスペースが圧倒的に有利。

IntraCluster Light (ICL) Diffuse Stellar Component (DSC)

銀河団領域に薄くひろがって見える光



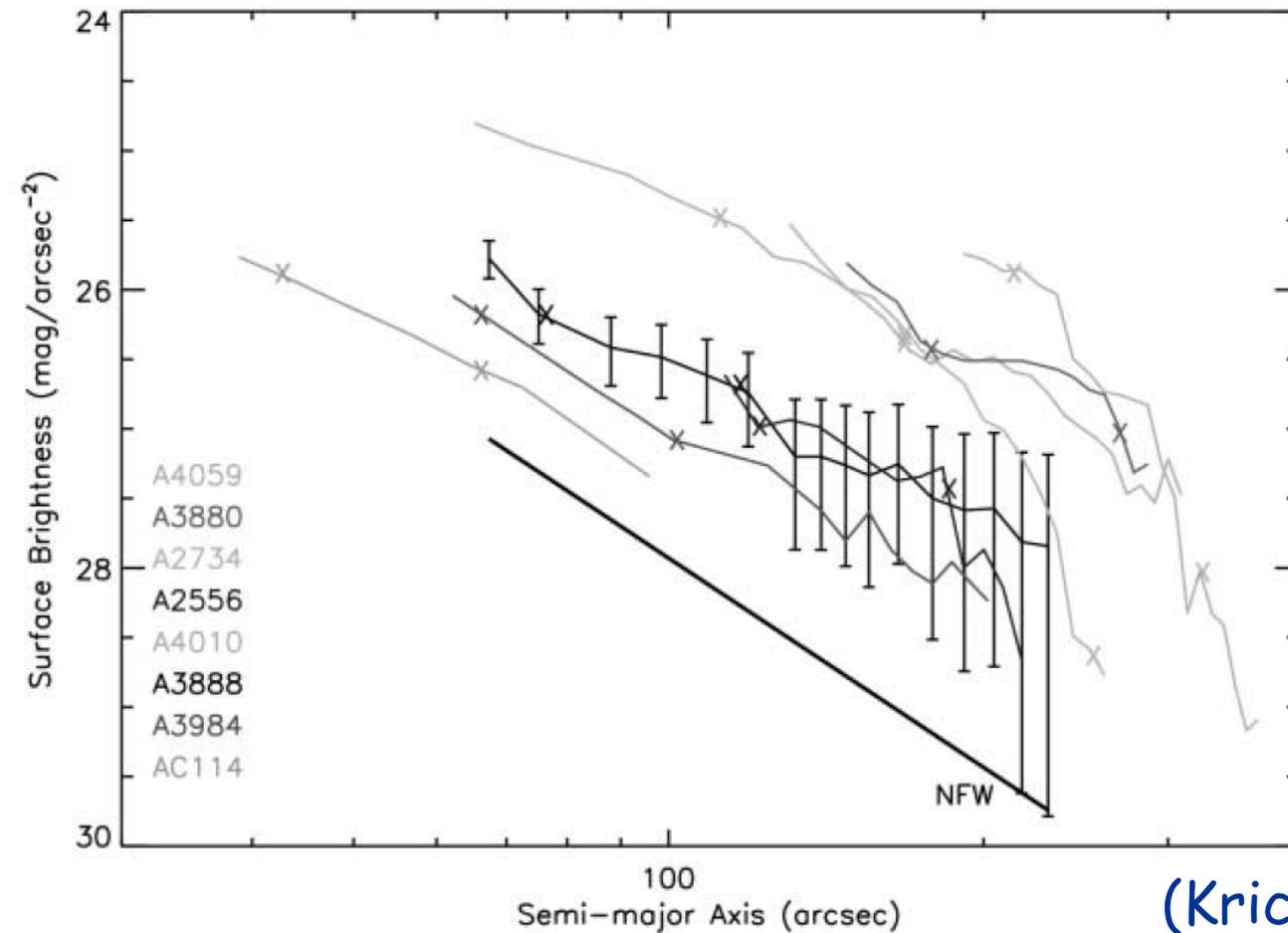
M87

いわゆる「人面銀河団」!?

(Mihos et al. 2005)

IntraCluster Light (ICL) Diffuse Stellar Component (DSC)

銀河団領域に薄くひろがって見える光

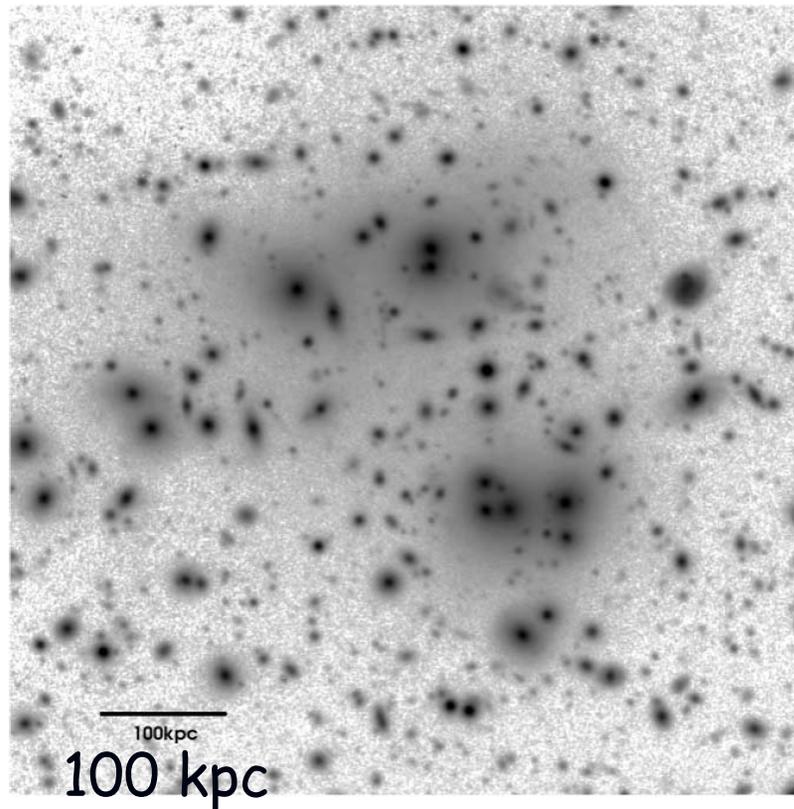


8つの銀河団について、ICLの表面輝度を銀河団「中心」からの距離の関数としてプロット。

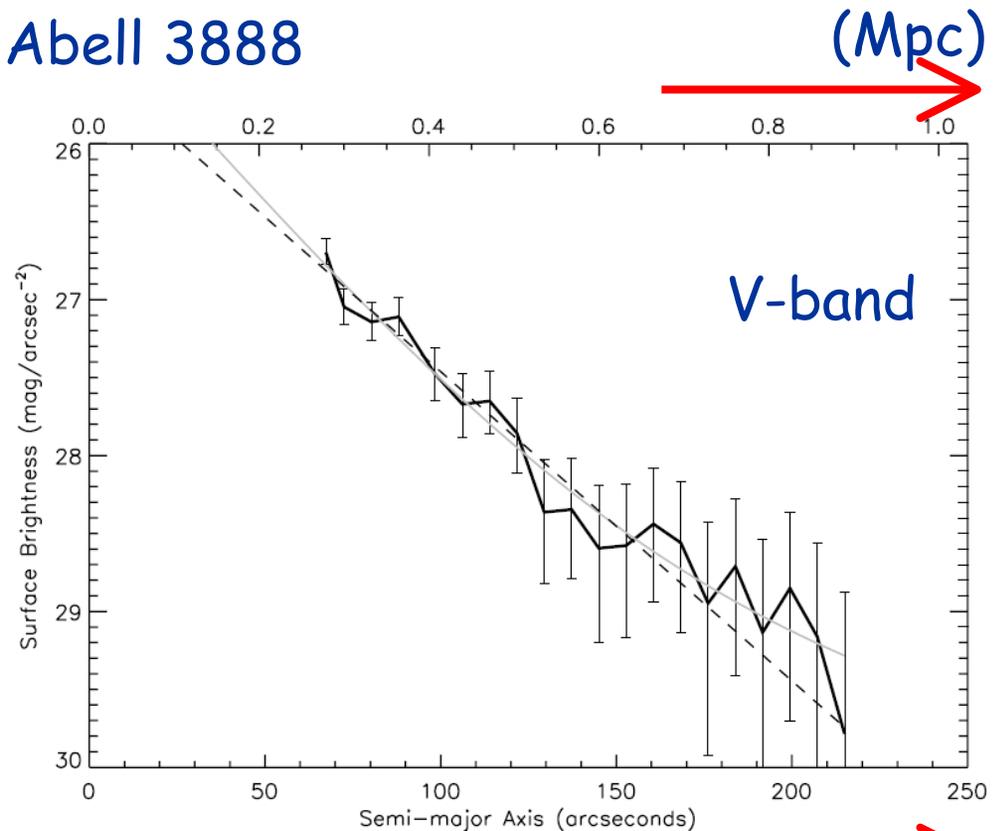
(Krick & Bernstein 2007)

IntraCluster Light (ICL) Diffuse Stellar Component (DSC)

cD 銀河の有無に強く依存するわけではなさそう



Abell 3888

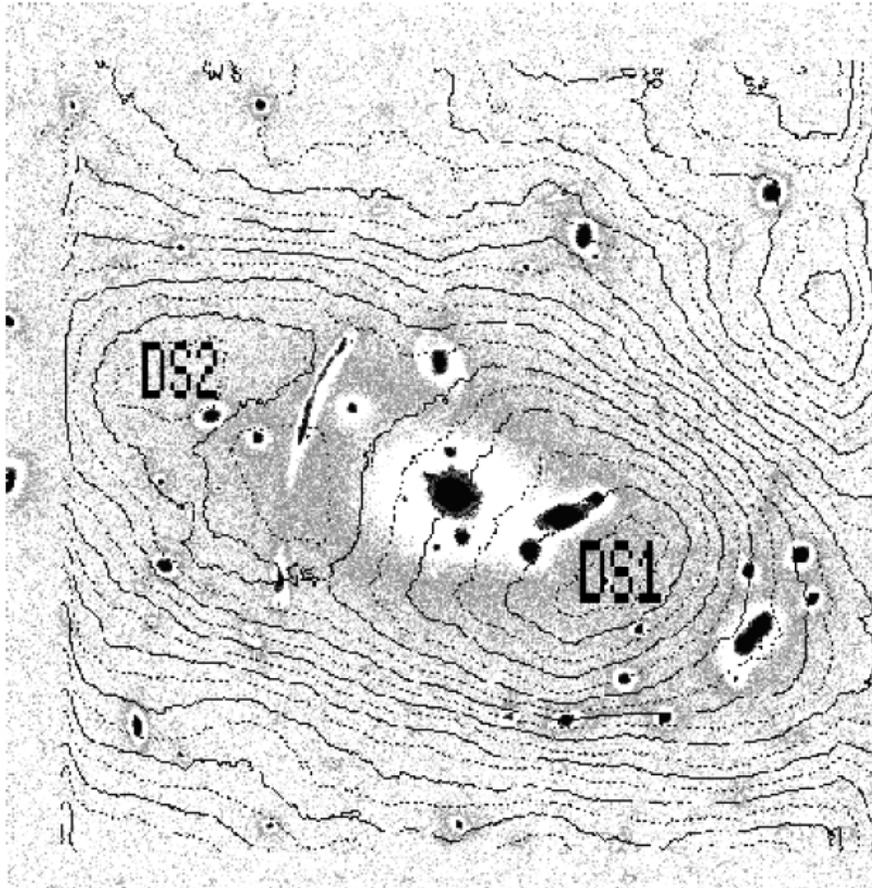


(Krick & Bernstein 2006)

(arcsec)

IntraCluster Light (ICL) Diffuse Stellar Component (DSC)

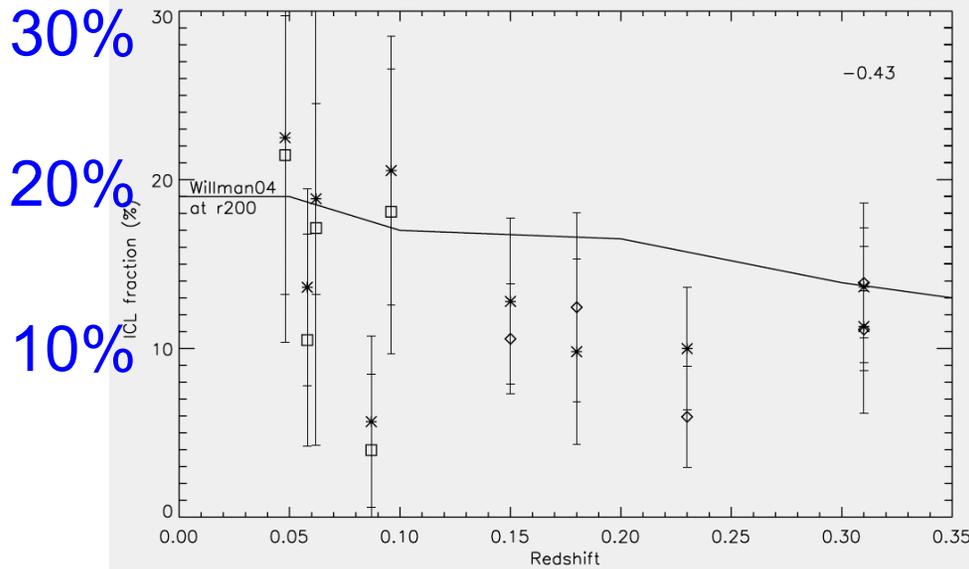
cD 銀河の有無に強く依存するわけではなさそう



Abell 2667 の HST/WFPC2
による観測。銀河団中心か
ら少し外れたところに ICL の
ピークがありそう (Covone et
al. 2006)

その他にも、Feldmeier et al.
(2006): cD 銀河のない銀河団
を特に選んで調べ、ICL を
検出、など。

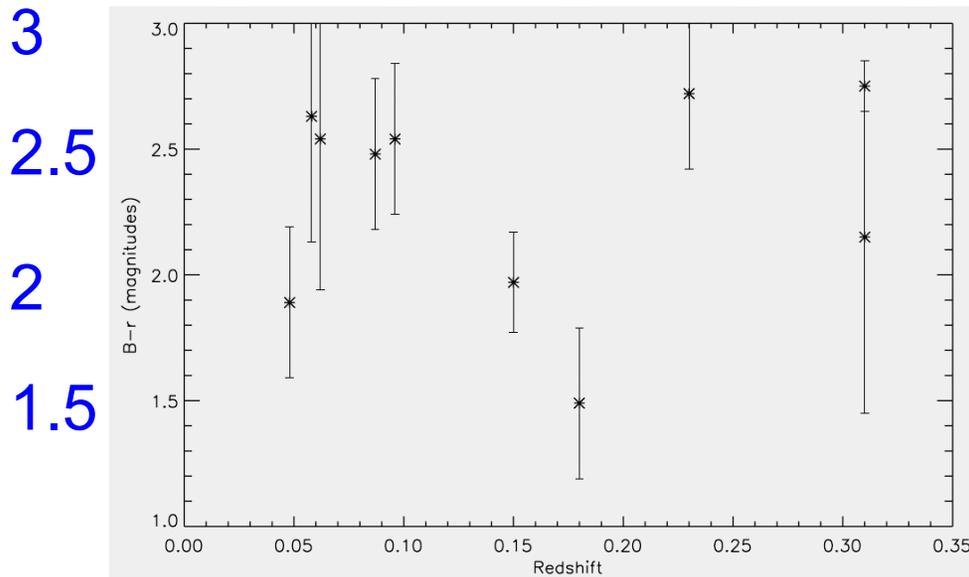
ICL の観測的性質 (1)



横軸: 銀河団の赤方偏移
縦軸: ICLの割合

*銀河団内の全光度のうち、
~10-20% を占める。*

銀河団ごとのばらつき大。
不定性も小さない。



横軸: 銀河団の赤方偏移
縦軸: ICLの色(B-r)

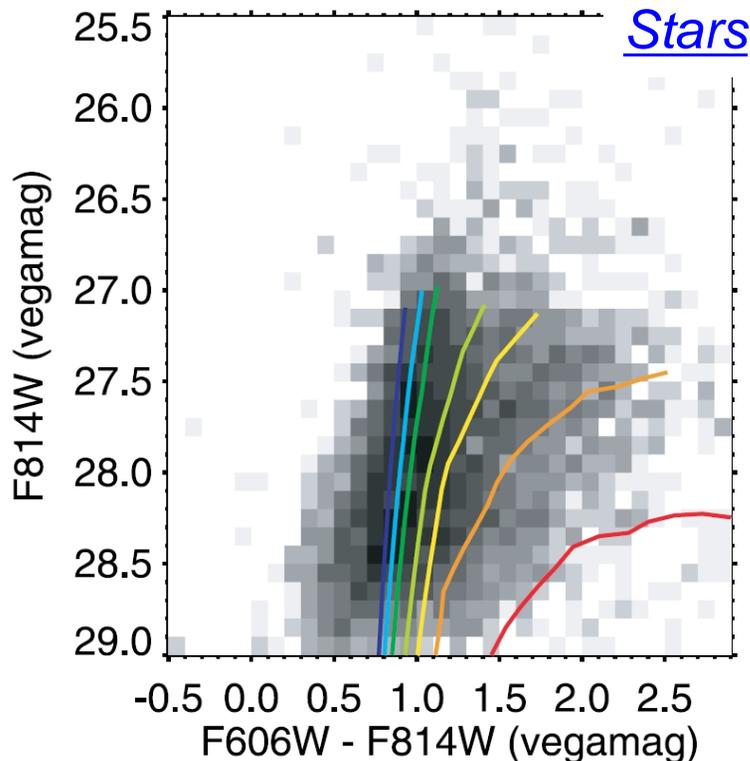
*けっこう赤い (早期型銀河
並みのも多い)*

(Krick & Bernstein 2007)

ICL の観測的性質 (2)

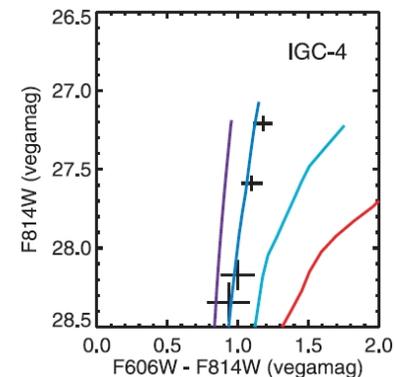
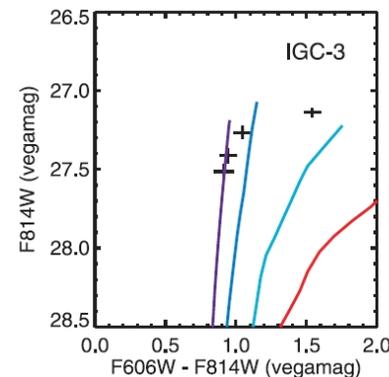
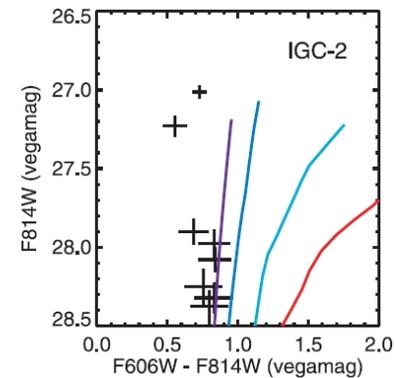
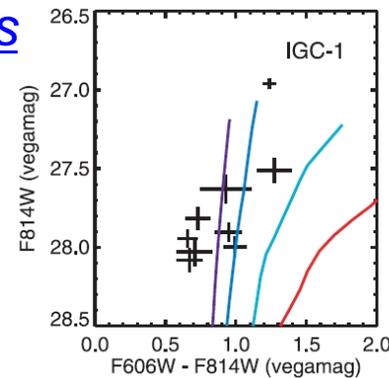
ICL の一部は *intracluster objects* として分解されている。

- ✓ Virgo や Coma における intracluster PNe (Arnaboldi+ 04, 07)
- ✓ Virgo の intracluster objects は大半が old (~ 10 Gyr) & metal poor ($[M/H] < -1$) ? (Williams+ 07a, b)



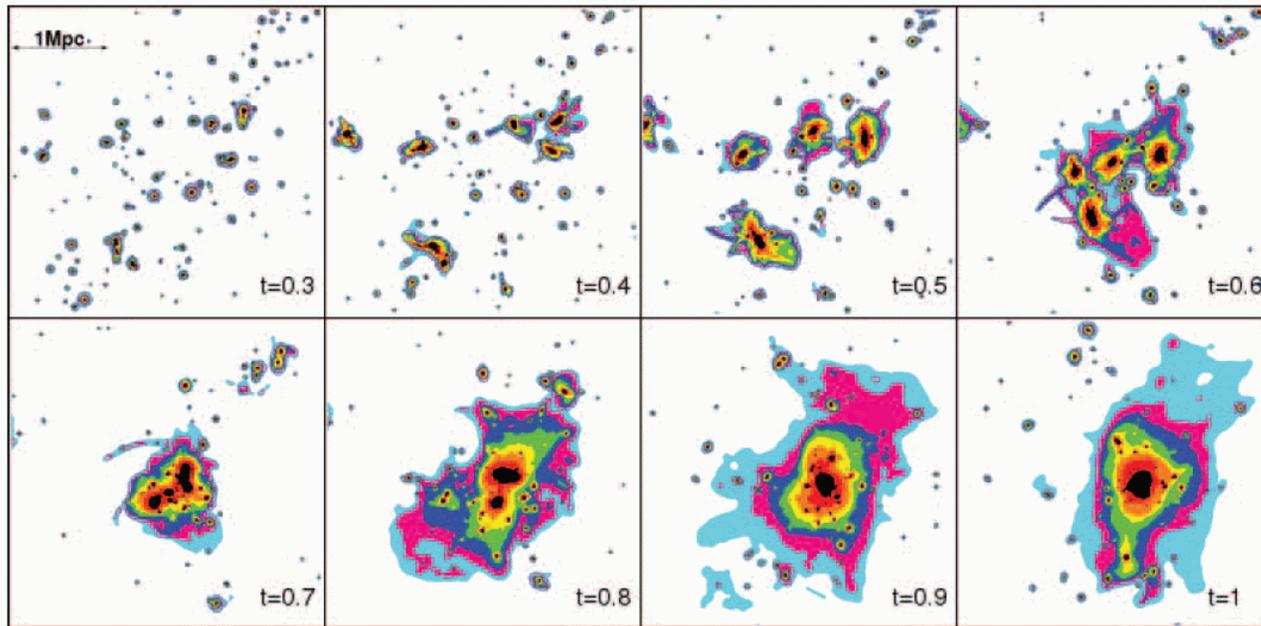
Virgo stars
& GCs by
HST/ACS
(Williams+
07a,b)

GCs



DSC の起源についての示唆(1)

銀河同士の合体、相互作用の際に撒き散らされた星か。



銀河および銀河団の進化に伴い DSC が成長していく様子(Rudick+ 06)

- ✓ 観測されている DSC の光度は理論予測とコンシステント (e.g. Willman et al. 2004)
- ✓ 大銀河の形成・進化に付随して生まれる DSC が支配的 (Murante et al. 2007)

銀河進化史の研究

ICL = 銀河同士の合体、相互作用の際に撒き散らされた星？

DSC が銀河相互作用の副産物(?)なら、逆にその観測的性質は相互作用起源の銀河進化を理解する手がかりになるのでは？

たとえば・・・

近赤外のデータ → 星質量、星種族の評価



✓ DSC の質量 ⇔ Merger の頻度

✓ 大銀河の成長に merger の寄与大 → metal rich DSC

✓ 矮小銀河の disruption

✓ 高速衝突によるはぎとり

(spiral → S0,

blue cloud → red sequence)

} → metal poor DSC

銀河進化史の研究

銀河はどのようにして、今日近傍宇宙で見られるような姿に進化したのか？

ICL (DSC) を定性的定量的に説明することは重要

銀河同士の衝突合体

星形成



銀河の成長

- (星)質量増加
- 形態・構造の変化

衝突合体による集積と星形成による成長の切り分けは簡単ではない。

Drory & Alvarez (2008): CSFH + SMF → Merging の寄与

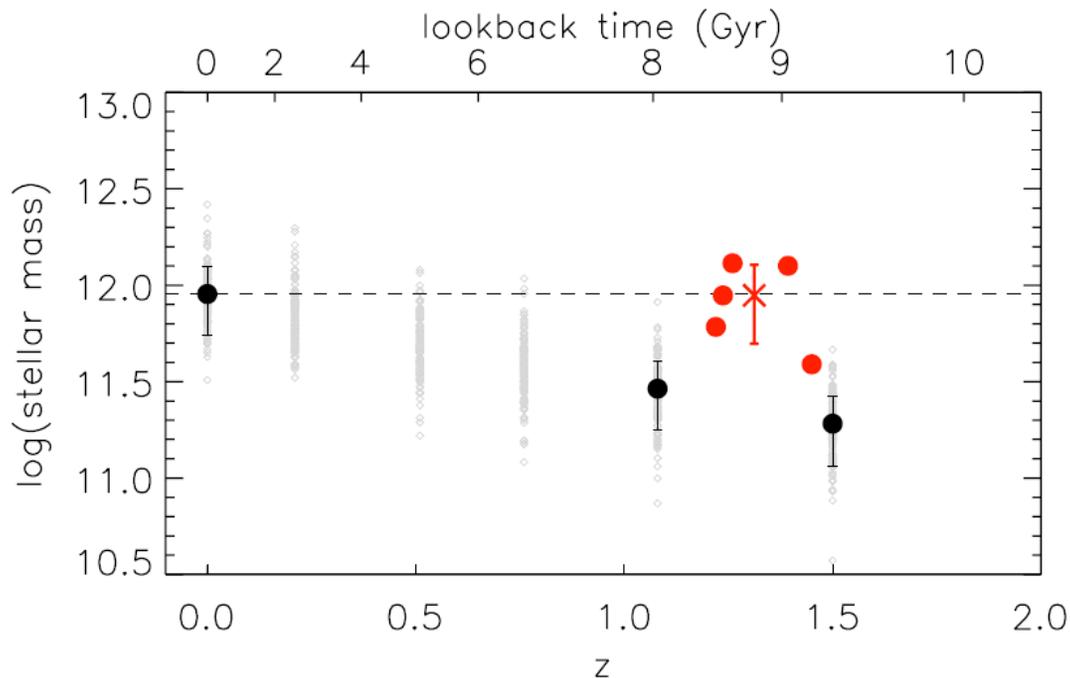
Bundy+ (2009) 他: Pair fraction 解析 → Merger rate

ICL (DSC) による制限？

階層的構造形成シナリオ再検証？

セミアナでも、銀河の衝突合体により、ある割合で星質量が銀河に行かず DSC に逃げることを考慮する必要があるのではないか (e.g. Somerville+ 2008)。

例えば、BCG の星質量が $z=0-1$ でほぼ不変である(e.g. Brough+ 02)とか、星質量関数の大質量側の進化がこの間ゆるやかである(e.g. Borch+ 06)という観測事実は、このプロセスを考慮すれば階層的構造形成シナリオで説明しやすくなるセンス(Monaco+ 06; Fontanot+ 07)。



赤: 観測されたBCG

黒: 理論予測

不整合①: $z > 1$ で予想を超える大質量

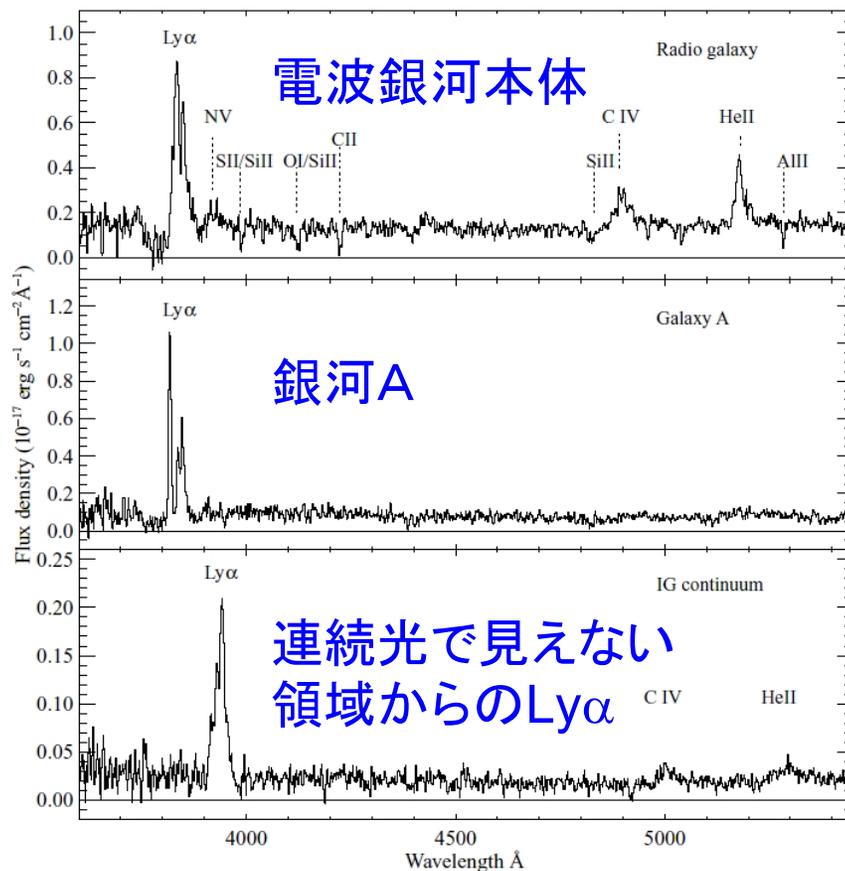
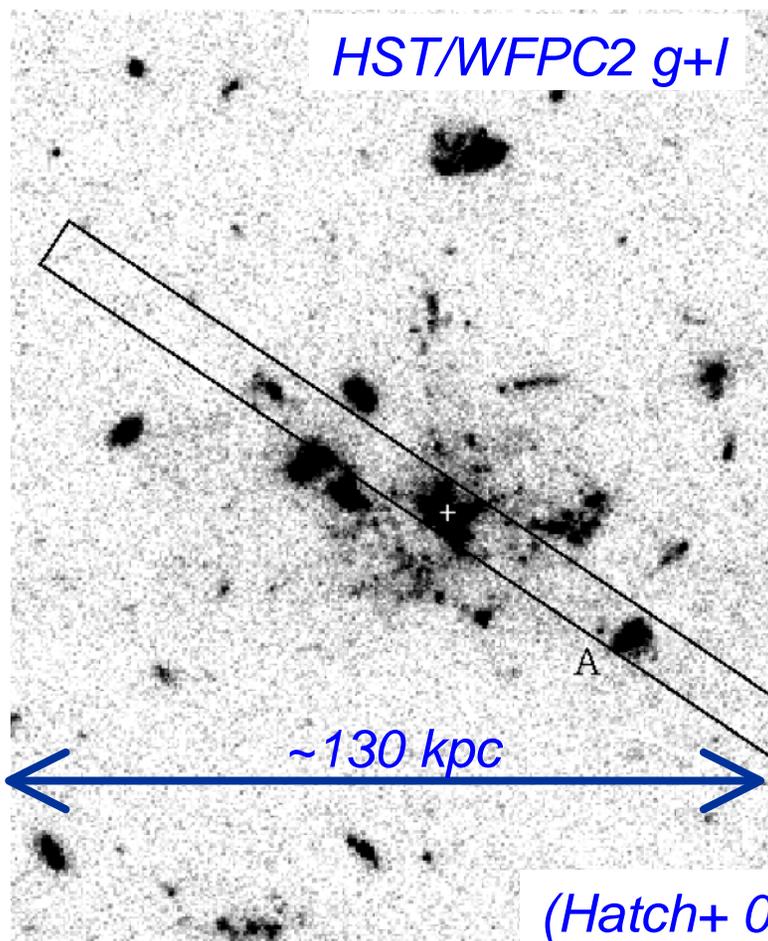
不整合②: $z < 1$ で質量の増加が見られない。

(Stott+? 09)

DSC の起源についての示唆 (2)

あるいはもともとそこで出来たのか？

On-going(?) assembly @z=2
around a radio galaxy (MRC1138-262)



銀河団/BCG の形成現場？
(ハローにおける?) diffuse な星形成？

Globular Cluster (GC) systems in luminous early-type galaxies

スペース望遠鏡でできること
＝地球大気を通さない観測



より暗い天体、より淡い天体・成分、より細かい構造



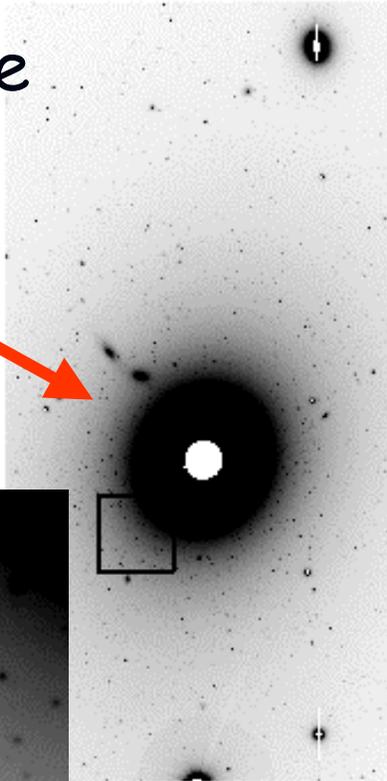
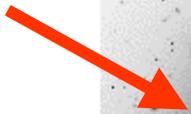
WISH の広い視野を活かした
近赤外域での観測が重要

Globular Cluster (GC) systems in luminous early-type galaxies

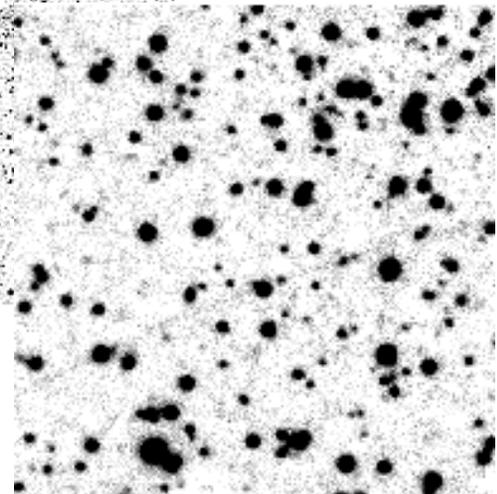
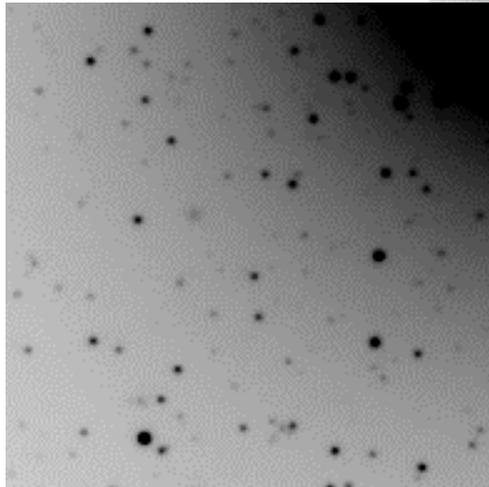
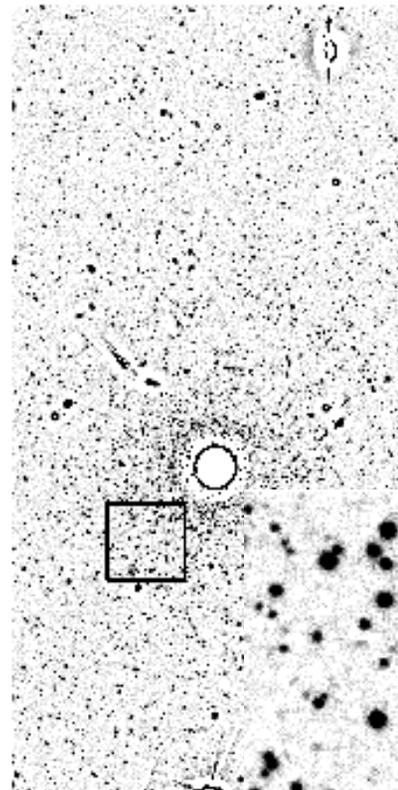
数千～1万個の球状星団に囲まれている大光度早期型銀河

Reduced image

M87



After galaxy
subtraction



(Tamura+ 06)

Globular Cluster (GC) systems in luminous early-type galaxies

球状星団系の質量は銀河本体の $\lesssim 1\%$ 程度。
しかしながら...

✓ 星形成 \supset 球状星団形成。球状星団系は銀河の星形成史のプローブであるだろう。

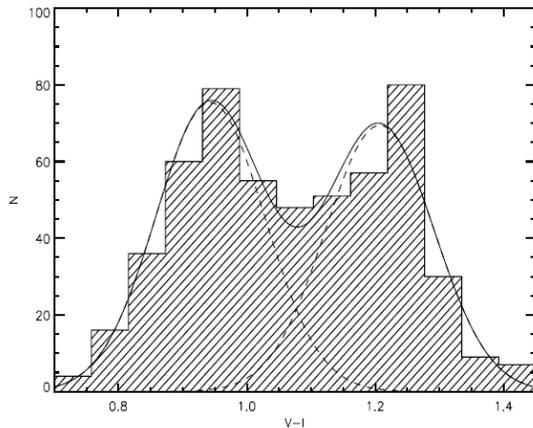
ただし、銀河の中で球状星団形成がどのように行われるか理解されているわけではなく、これ自体が研究テーマ。

✓ 球状星団は単一世代の星からなる Simple Stellar Population (SSP) なので、銀河本体の星(複数種族の重ね合わせ)を観測するより原理的には解釈が単純なはずである。

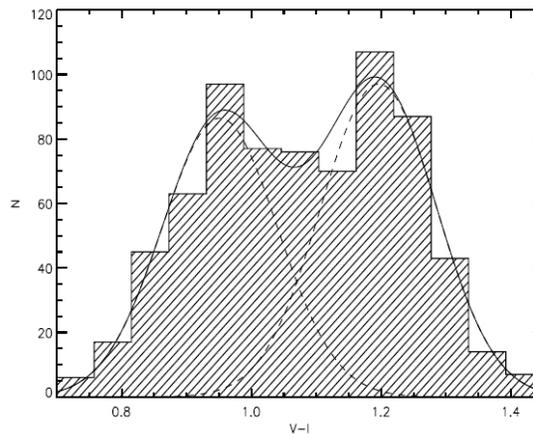
球状星団の色分布@可視

Luminous early-type galaxies の大半が、*bimodal* な球状星団の色分布を持つ。

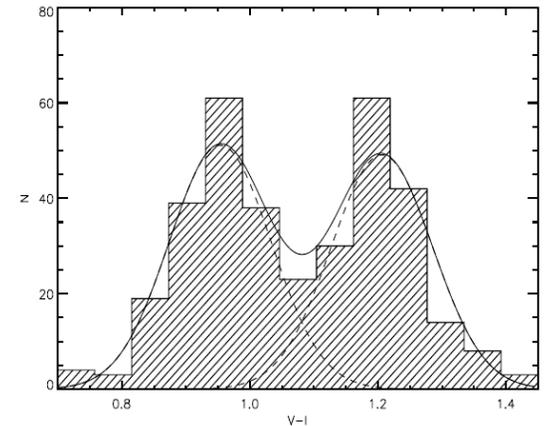
NGC 4472



NGC 4486



NGC 4649



(Larsen 2001)

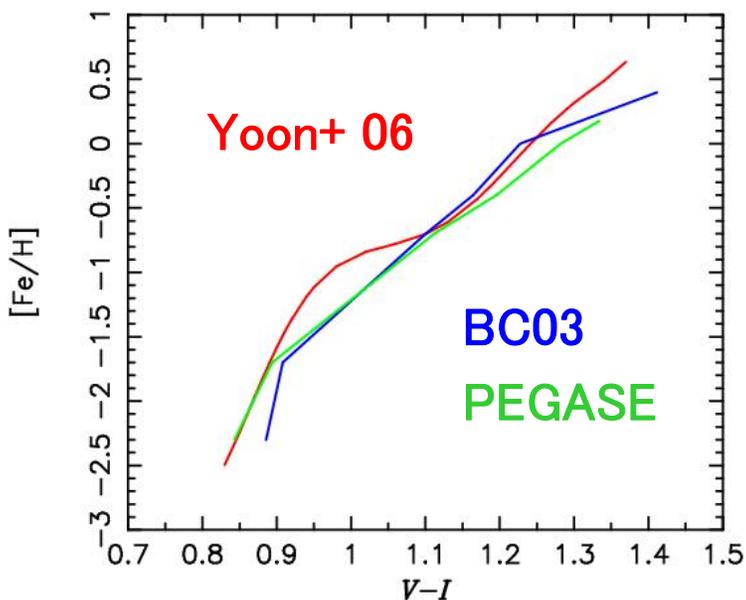
V-I (~ 金属量?)

✓ Monolithic collapse シナリオでは大半の星は単一のエピソードで形成されるはず。なぜ、bimodal か？

✓ 階層的構造形成シナリオでは星形成史はもっと複雑になりうるが、なぜ multi ではなく bimodal か？

球状星団の色分布

✓可視の色 → 金属量の変換には注意が必要。モデルによっては、金属量分布が unimodal でも、可視の色分布では bimodal に見えてしまうことがある(Yoon+06)。近赤外のバンドを使えば問題を軽減できる (Spitler+08; Yoon, priv. comm)。



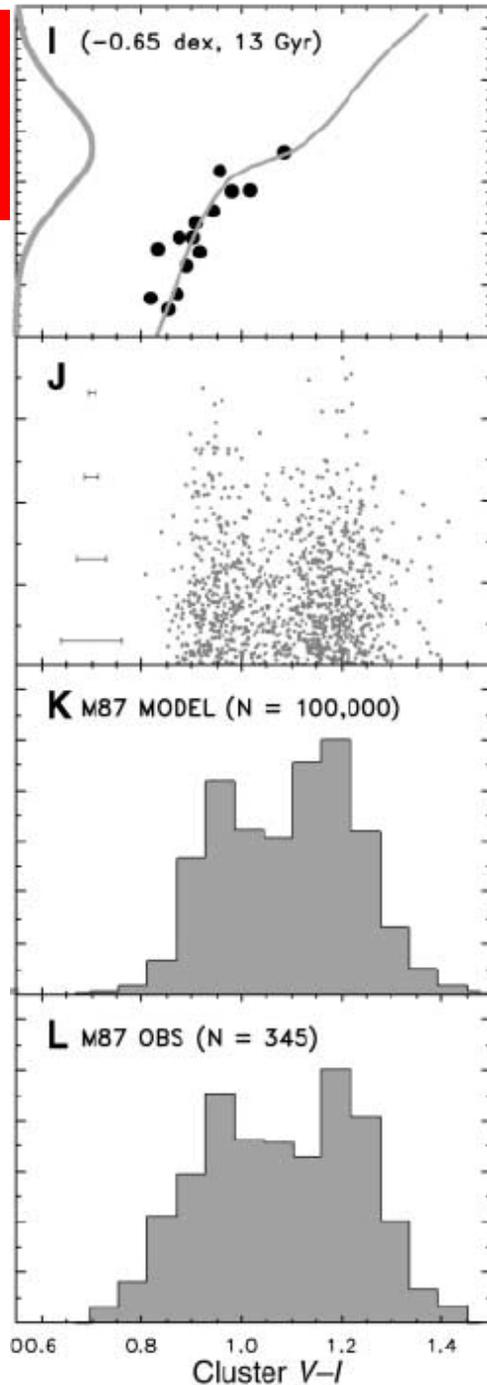
✓もちろん分光観測をして評価するのが理想。ただし、データの質と統計の両方をケアするには時間がかかる...

[Fe/H]

mag

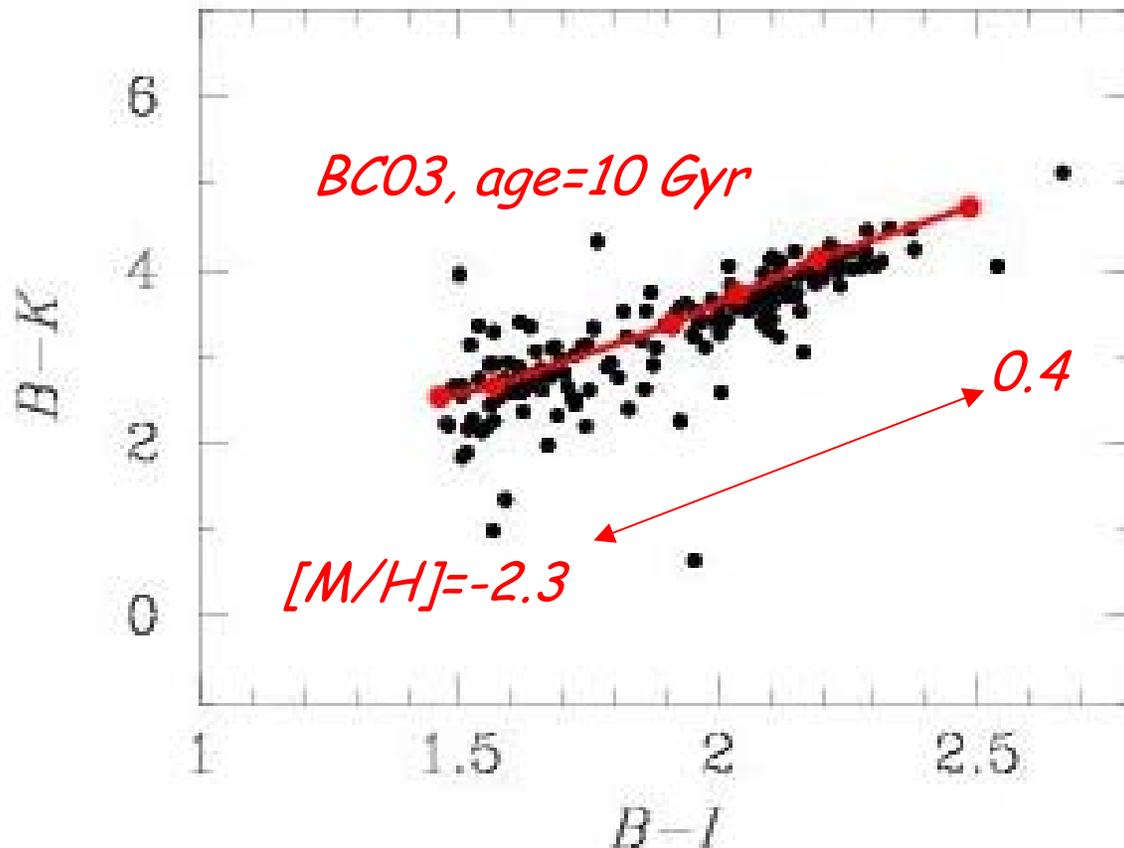
N

N



NGC 1407 (Tamura+, in prep)

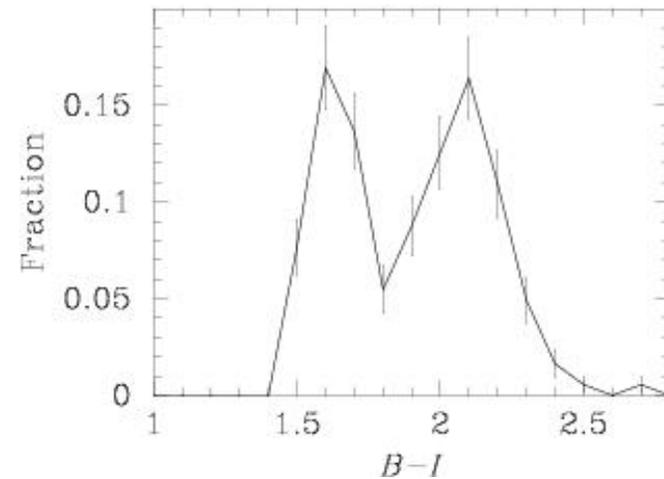
HST/ACS (archive) + Suprime-Cam + MOIRCS



✓ Outer region
(SpCam + MOIRCS)

✓ $21 < I < 23$

✓ $1.2 < B-I < 2.8$

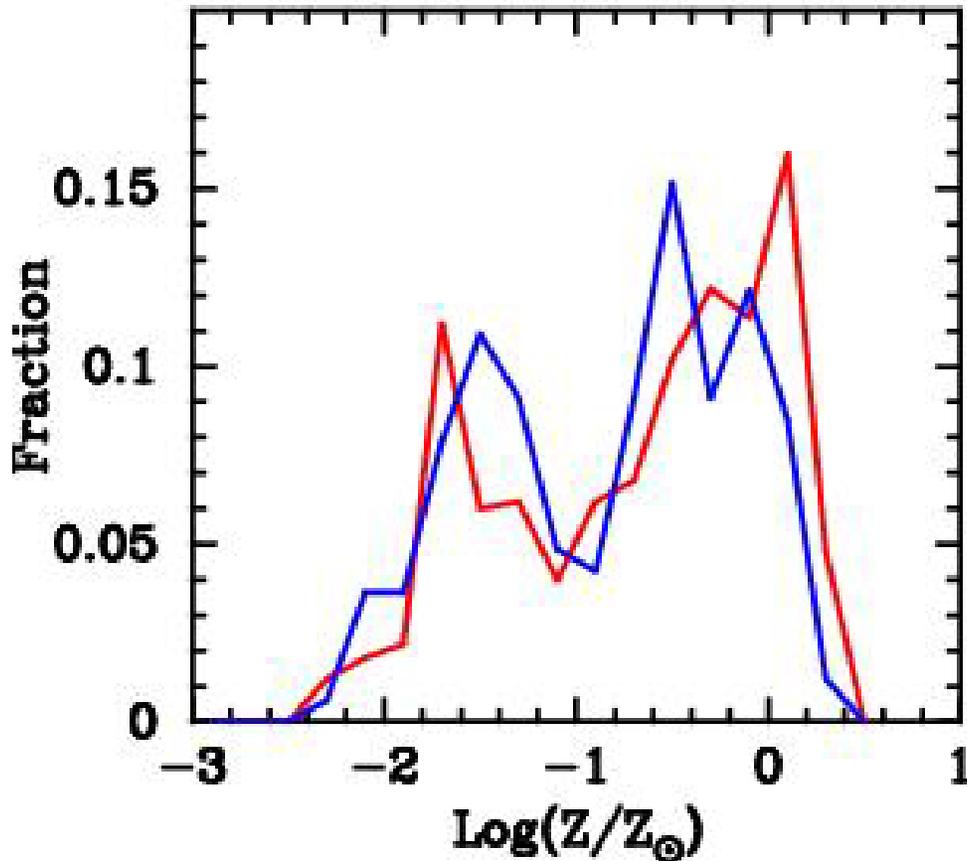


CAUTION: Preliminary!

NGC 1407 (Tamura+, in prep)

HST/ACS (archive) + Suprime-Cam + MOIRCS

From B-I & B-K



Red: Inner region
(ACS+MOIRCS)

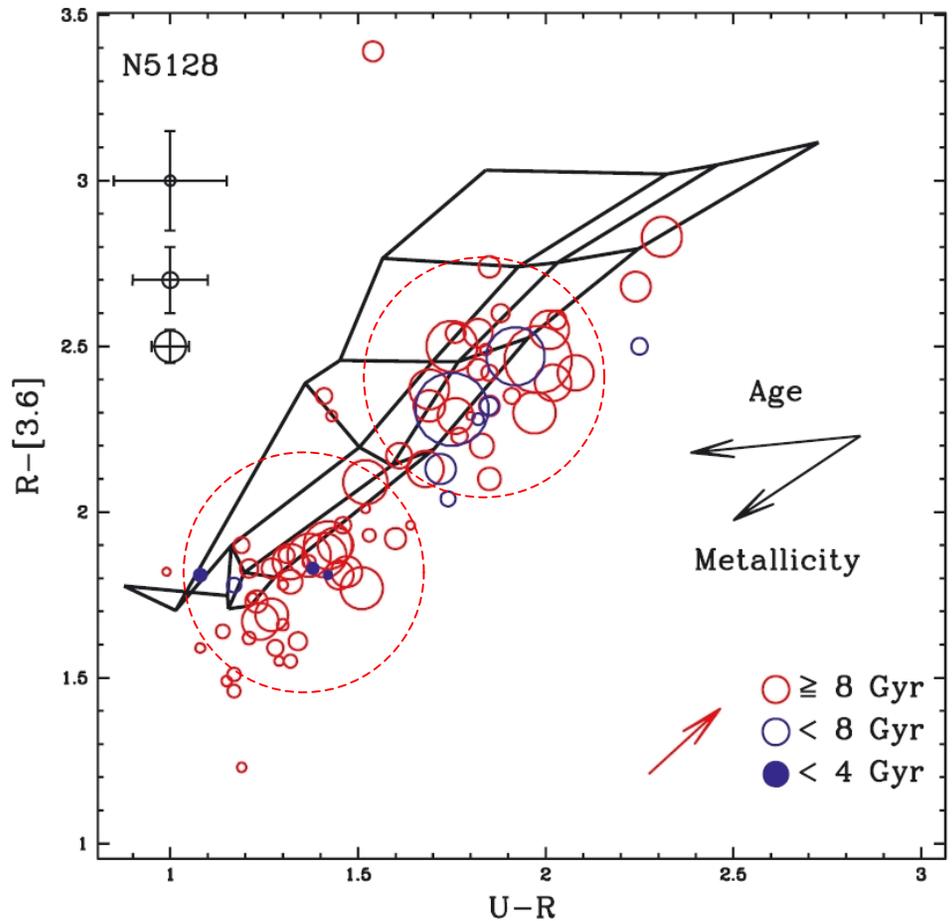
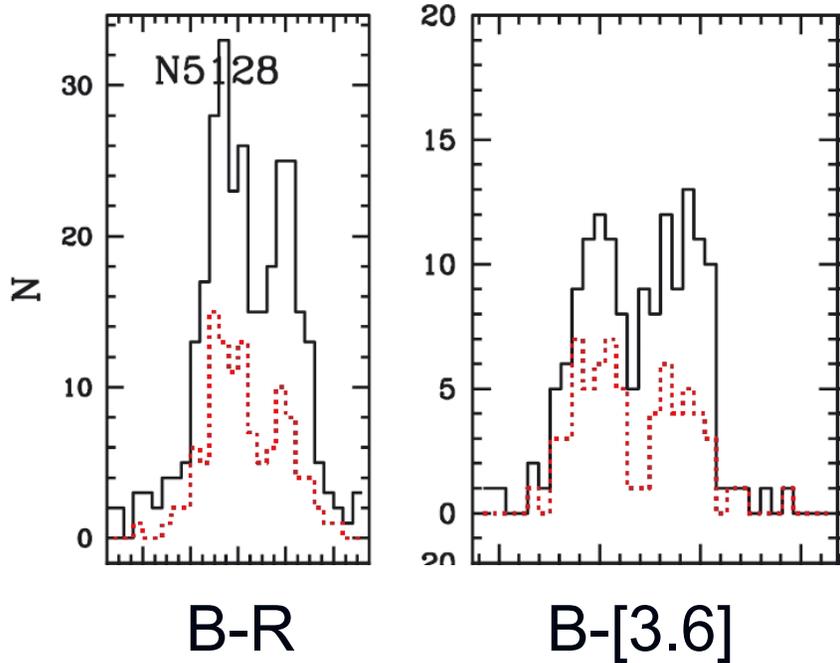
Blue: outer region
(SpCam+MOIRCS)

BC03 を使用。
Yoon+06 かどうか？

CAUTION: Very preliminary! Possibly model dependent!!

NGC 5128 (Spitler+ 08)

Ground-based optical & Spitzer IRAC photometry



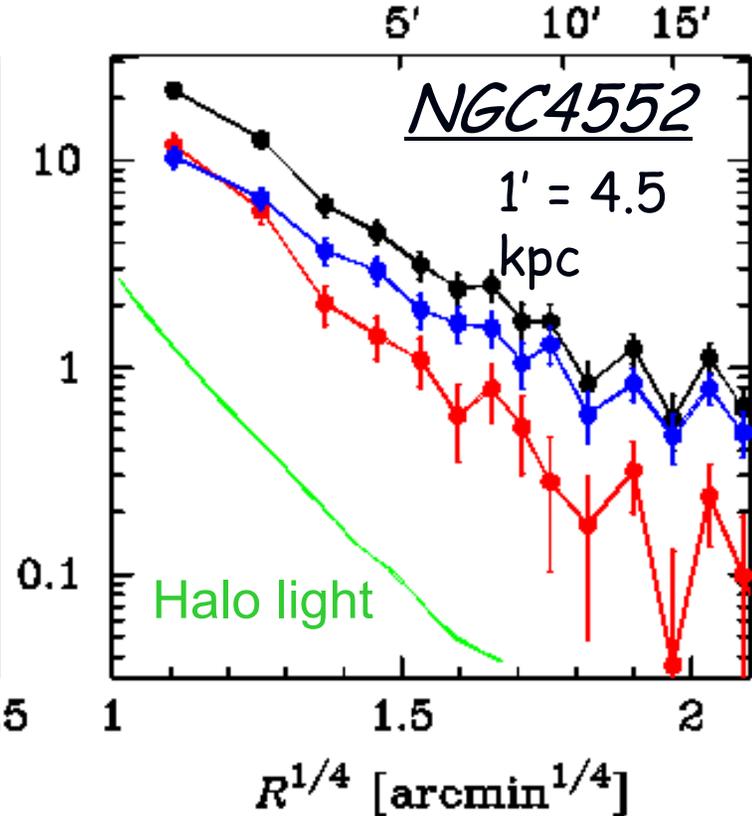
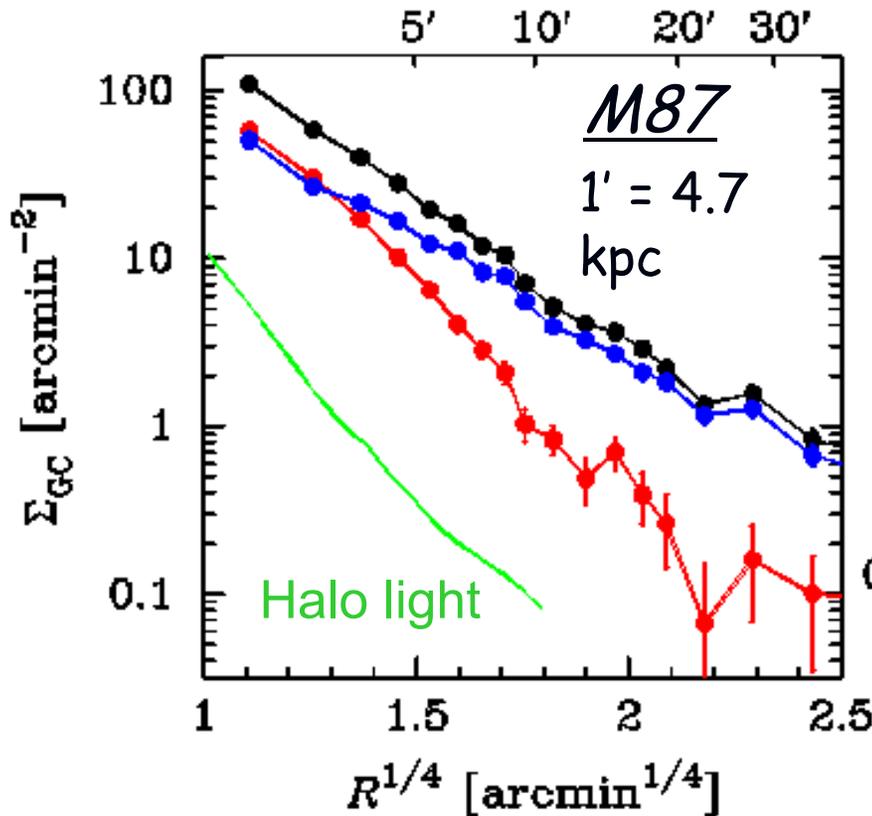
球状星団の空間分布

Red GCs ($V-I \geq 1.1$)

Blue GCs ($V-I \leq 1.1$)

Red + blue

Host galaxy



(Tamura+06)

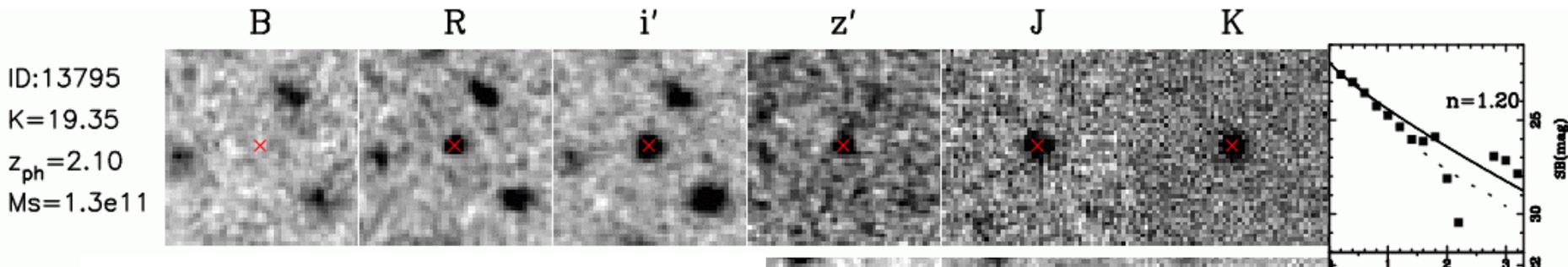
球状星団は銀河本体よりも広がっており、特に青い種族は銀河中心から ~50-100 kpc の距離にまで広がって存在している
→ 星団系全体を網羅した上で研究を行うには広視野観測が必須

遠方($z > 1$)銀河の形態、構造

- ✓ ハッブル系列 ($z=0-1$)
- ✓ Compact spheroid の存在 @ $z \sim 2$ (e.g. van Dokkum+ 2008)
- ✓ 星形成銀河 @ $z=2-3$ の rest UV morphology (Law+ 2007)
- ✓ Rest V morphology of LBG @ $z \sim 3$ (Akiyama+ 2008)

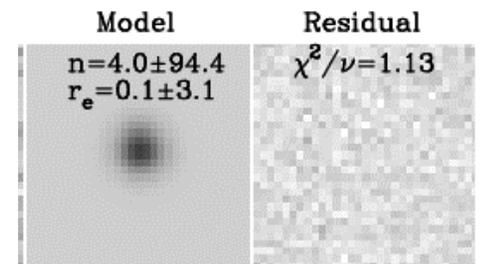
静止系可視近赤外の高空間分解能のデータは貴重

FWHM on WISH = $0''.17 \times (\lambda[\mu\text{m}]/1[\mu\text{m}])$: \sim a few kpc @ $z > 1$



A pBzK from UKIDSS/DXS
(PSF on K: FWHM $\sim 1''$)

GALFIT on K



まとめ

1. Diffuse light in nearby galaxy clusters

銀河の衝突合体・相互作用の痕跡が蓄積したもの？

近赤外観測 → 質量、星種族(ダストの影響を最小限にできる)

→ 合体や相互作用による進化に制限

面輝度: $\mu V \sim 27 \text{ mag}/\square$ (cf. $\mu V_{\text{sky}} \sim 21$)

$\mu K \sim 25 \text{ mag}/\square$ (cf. $\mu K_{\text{sky}} \sim 14$, $\mu K_{\text{wish}} \sim 21$) (Vega)

Virgo や Fornax など近い銀河団なら ICL の「分解」も可能かも。

2. Globular Cluster Systems in luminous early-type galaxies

金属量分布を知るために、近赤外で観測することが重要。

分光には精度で劣るが、広範囲にわたって多数のGCをサンプルできる。

銀河本体より広がった星団の分布($\sim 50\text{-}100 \text{ kpc}$) → 広視野観測が必要。

GC の典型的光度: $M(V) \sim -7$, $M(K) \sim -10$

$K \sim 21$ @ Virgo, ~ 26 @ Coma (Vega)

ここまでの深さで光度関数の明るい側約半分のGCが網羅できる。

3. Morphology & structures of distant galaxies

WISH のシャープな画像データは重宝されるはず。