

♪猛烈宇宙交響曲・第七楽章「無限の愛」

ももいろクローバーZ あーりん

♪猛烈宇宙交響曲・第七楽章「無限の愛」



幾多のアンドロメダ銀河よ

もしもHSCのNB515フィルターを使って
アンドロメダ銀河ハローを（幾多も）観測したら。。。。

東北大学 ポスドク助教 田中幹人@絶賛就職活動中

9月28日(金)@国立天文台

田中幹人の現在の仕事

天文学（銀河考古学，観測天文学）

アウトリーチ

田中幹人の現在の仕事

天文学（銀河考古学，観測天文学）

教育工学（FD，学部授業改善・開発，PBL，キャリア開発）

アウトリーチ

今日のゴール

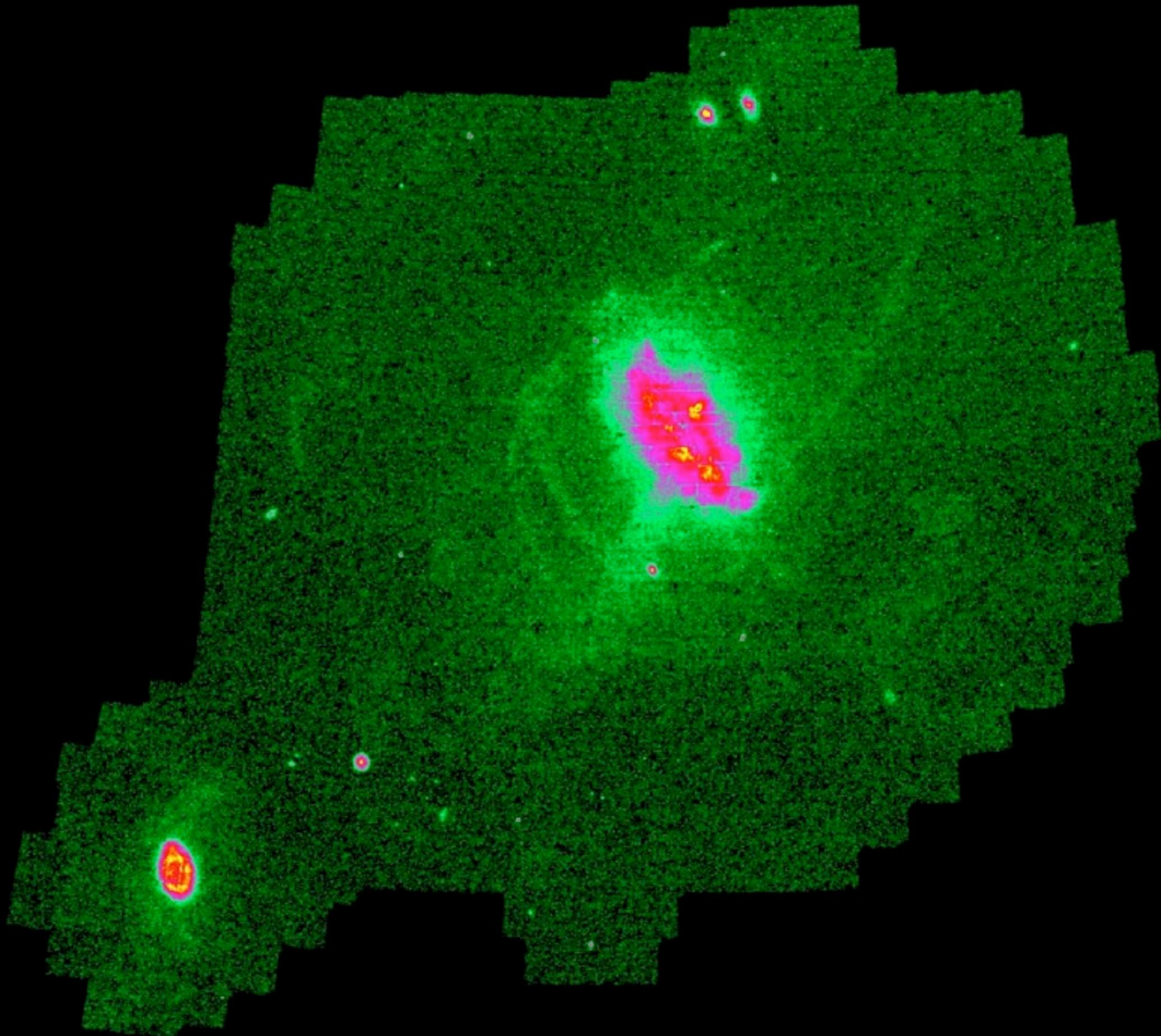
- ❖ HSCによるアンドロメダ銀河ハローのサーベイ観測に向けて、
NB515フィルター（狭帯域フィルター）の有効性を共有する。

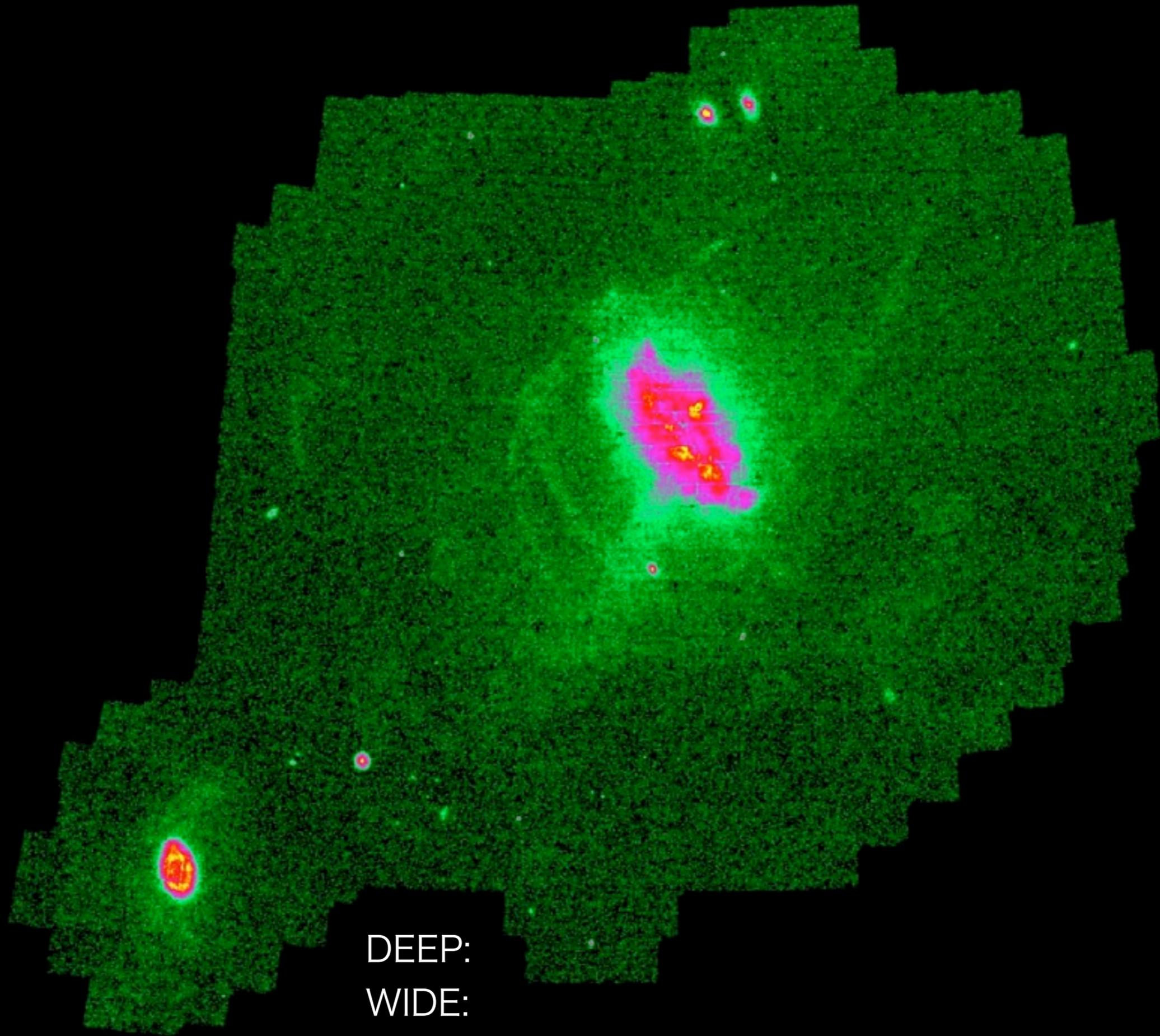
アジェンダ

- ❖ イントロ
- ❖ NB515フィルターの復習
- ❖ NB515フィルターを使ったアンドロメダの試験観測
- ❖ まとめ

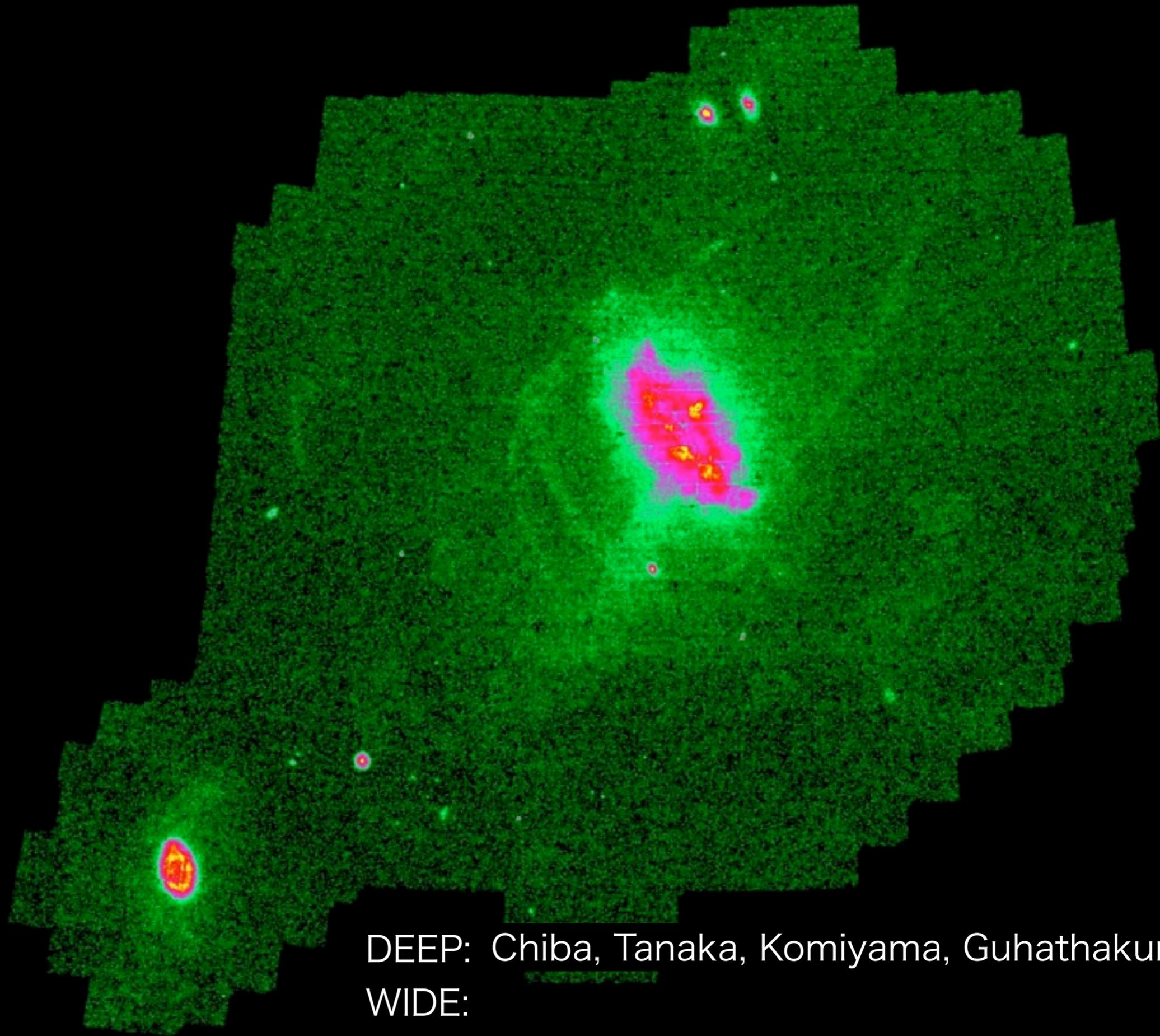




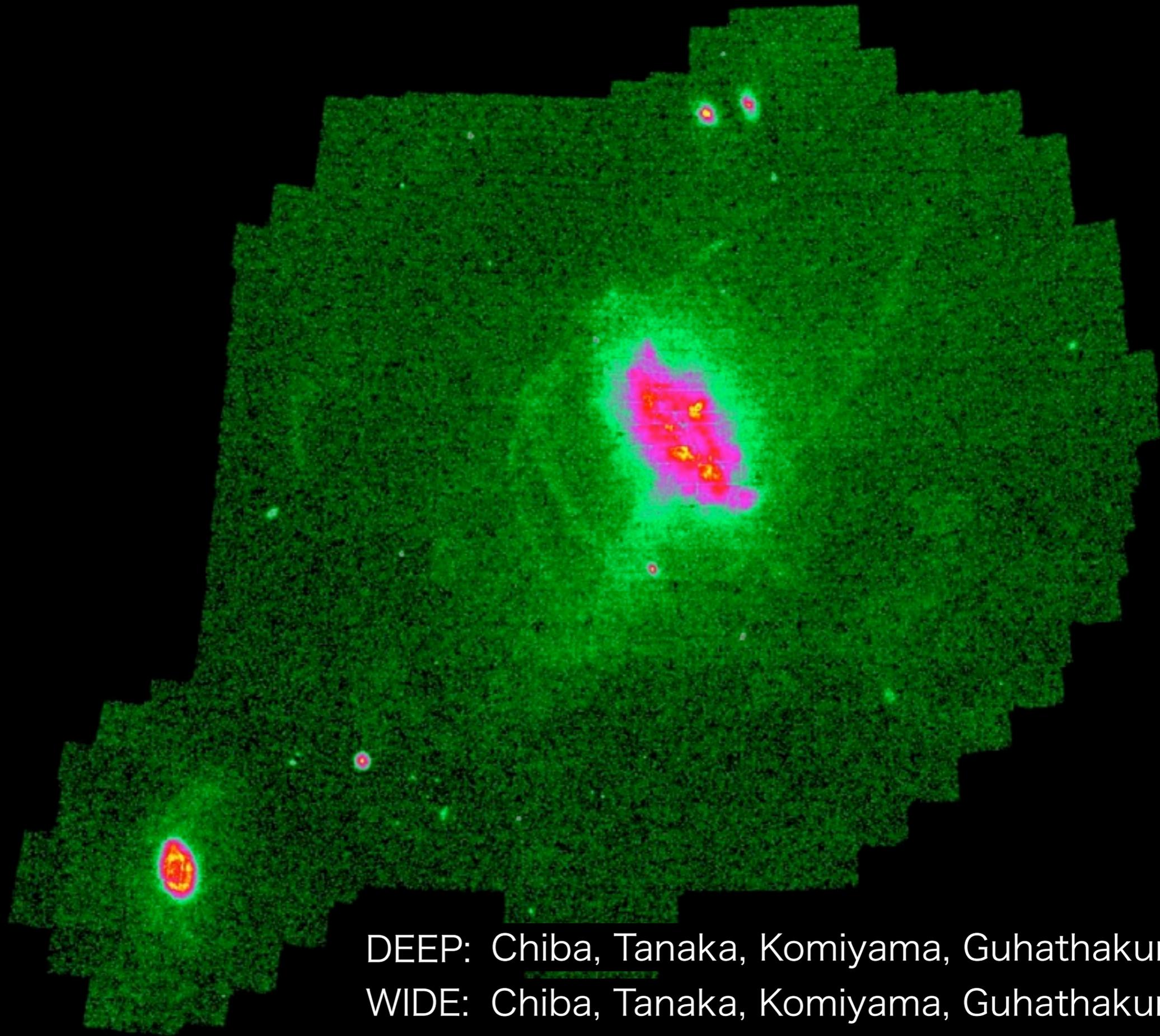




DEEP:
WIDE:



DEEP: Chiba, Tanaka, Komiyama, Guhathakurta. et al.
WIDE:

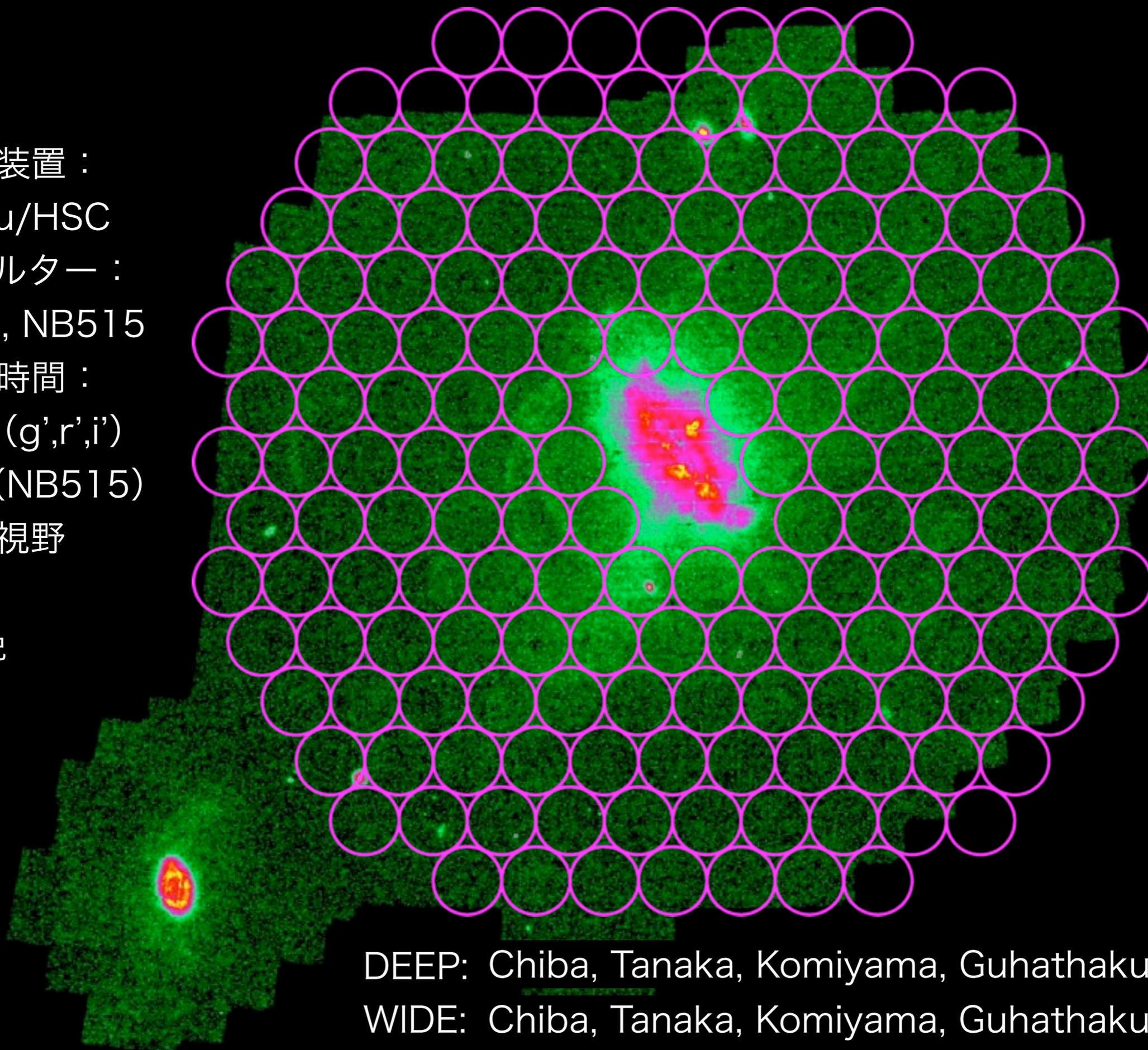


DEEP: Chiba, Tanaka, Komiyama, Guhathakurta. et al.
WIDE: Chiba, Tanaka, Komiyama, Guhathakurta. et al.

WIDE:

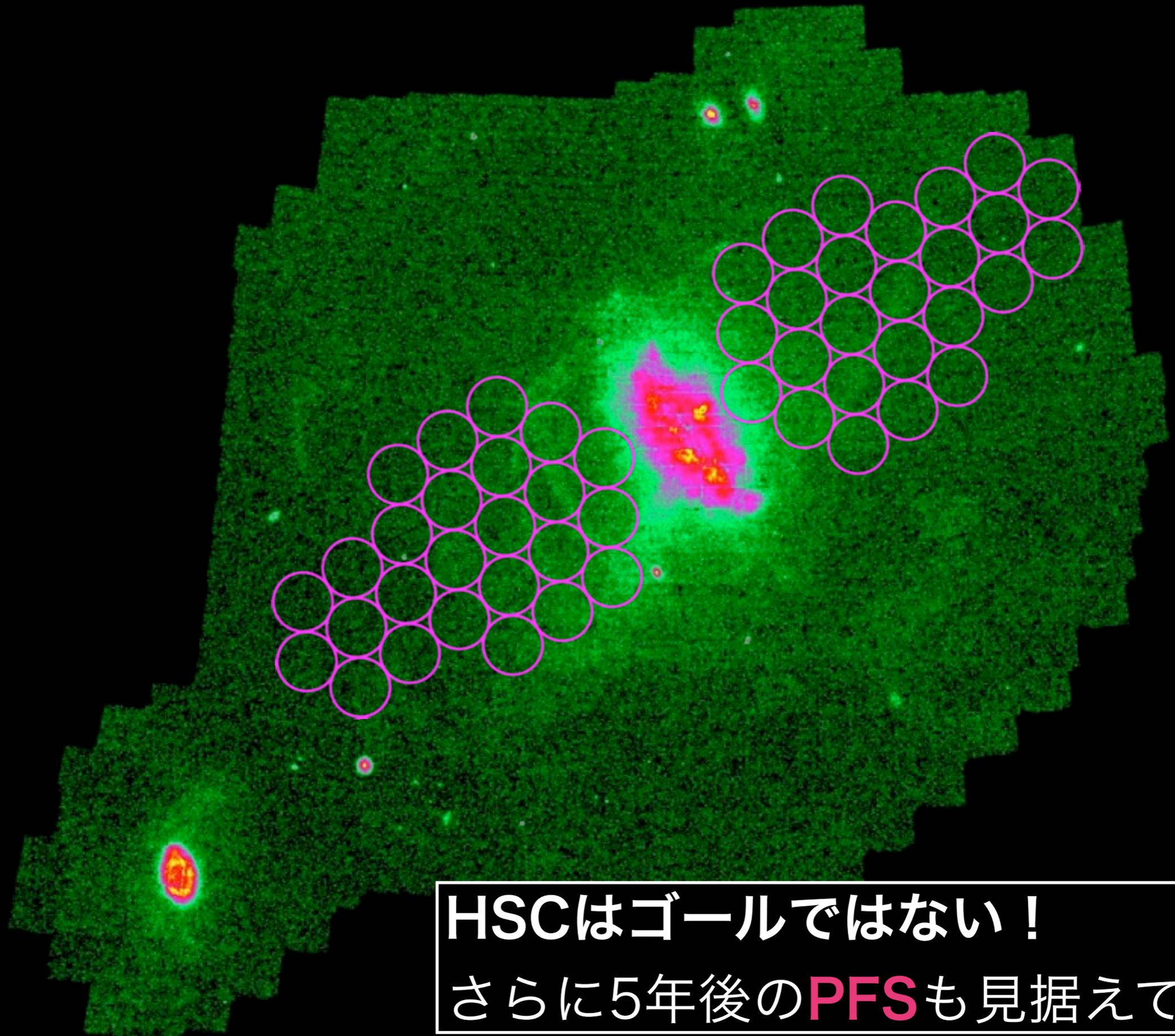
- ・ 観測装置：
Subaru/HSC
- ・ フィルター：
g', r', i', NB515
- ・ 積分時間：
各3分 (g',r',i')
15分 (NB515)
- ・ 172視野

→10晩

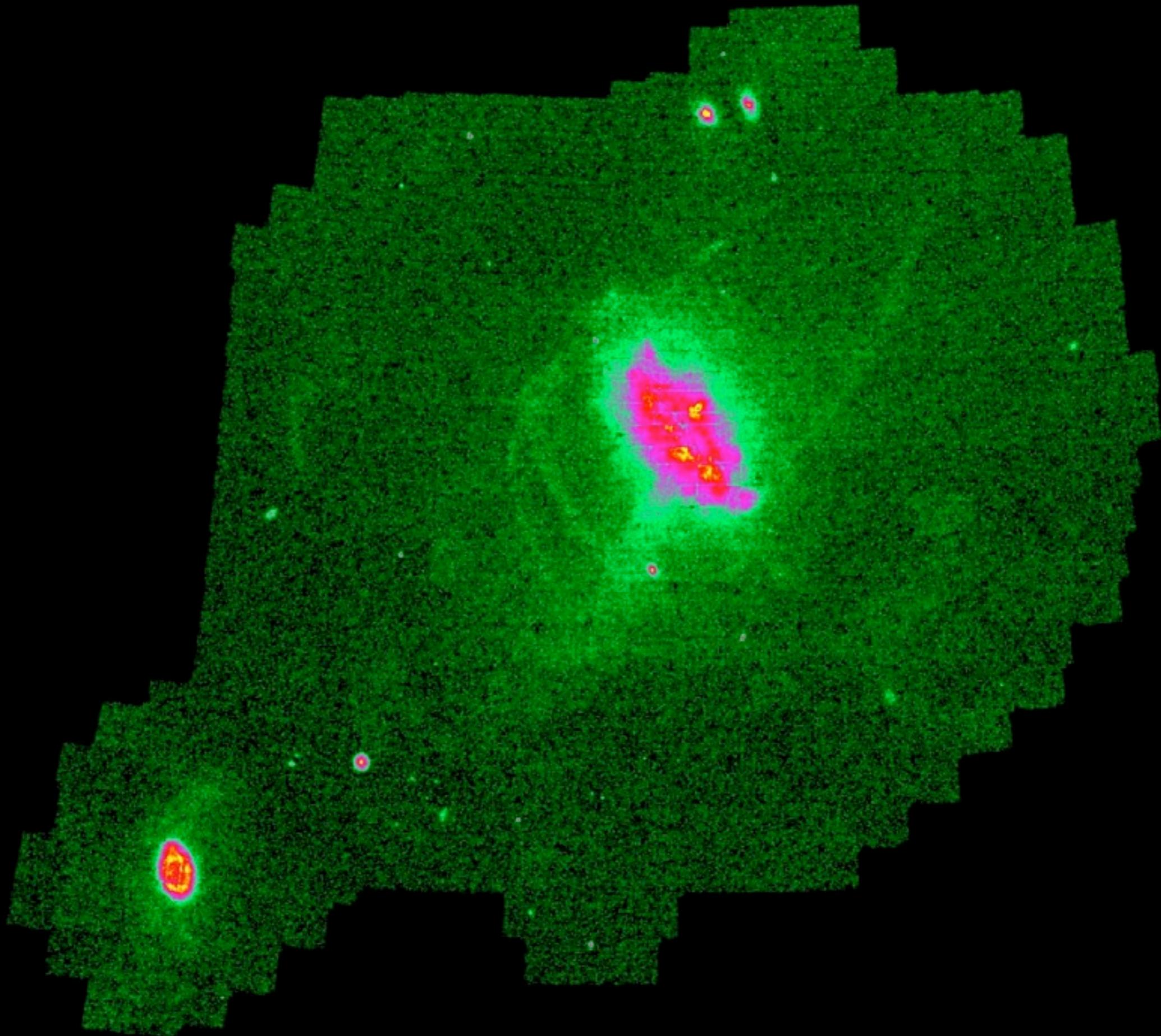


DEEP: Chiba, Tanaka, Komiyama, Guhathakurta. et al.

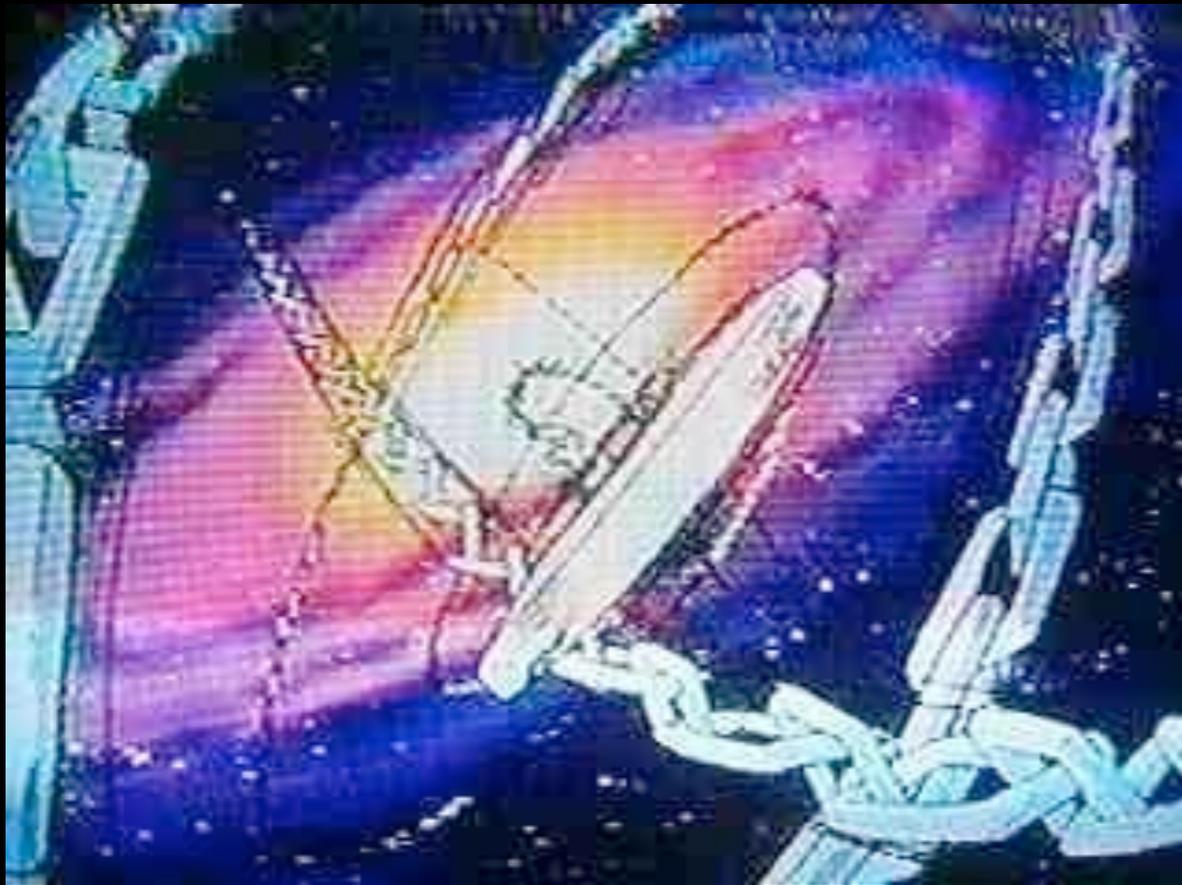
WIDE: Chiba, Tanaka, Komiyama, Guhathakurta. et al.



HSCはゴールではない！
さらに5年後のPFSも見据えている



1980年代に既に言及されていた、
アンドロメダ瞬のネビュラストリーム



Ibata+00より早い？

(c) 車田正美@聖闘士星矢

アンドロメダ銀河ハローの観測が進むにつれて生まれてくる新たな問い

- ❖ 銀河系に比べて金属量が2倍以上高いのはなんで？ (Ferguson+02, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ 年齢が若い恒星種族 (~8Gyr) がいるのはなんで？ (Brown+03, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ 20kpcまでde Vaucouleurs 則($r^{1/4}$)のバルジみたいな密度分布をしてるのはなんで？ (Irwin+05, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ metalはthick disk, 回転はthin diskの未知の円盤が70kpcほど広がっている, なにそれ？ (Ibata+05)
- ❖ ハローはいったいどれほど広がっているのか？ (Guhathakurta+05, Tanaka+10, Gilbert+12, 他多数, 現在180kpc)
- ❖ 金属量勾配があったりなかったり (Kalirai+06, Chapman+06, Tanaka+10)
- ❖ 複雑すぎるサブストラクチャー (Ibata+07, Gilbert+07, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ 広がった球状星団の新発見 ($R_h \sim 30\text{pc}$, 普通は1~7pcくらい, Huxor+05)
- ❖ いったい矮小銀河はいくつあるのか？ (McConnachie+08, 他多数, And29+NGC系あわせて30個以上, $M_v \sim -6.3$ が最低)
- ❖ ($M_v \sim -4$ とか5程度の) Ultra Faint Dwarf Galaxies はあるのか？
- ❖ あれ？ところで銀河系にあるInner HaloとかOuter Haloはあるのか？
- ❖ そもそも, metal-poorでsmoothに広がるような, ザ・ハローはあるのか？

アンドロメダ銀河ハローの観測が進むにつれて生まれてくる新たな問い

- ❖ 銀河系に比べて金属量が2倍以上高いのはなんで？ (Ferguson+02, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ 年齢が若い恒星種族 (~8Gyr) がいるのはなんで？ (Brown+03, Tanaka+10, 他多数)
- ❖ 20kpcまでde Vaucouleurs 則($r^{1/4}$)のバルジみたいな密度分布をしてるのはなんで？ (Irwin+05, Tanaka+10, 他多数)

アンドロメダ銀河は、

銀河形成の仮説を検証する現場であるのと同時に、

既存の銀河形成シナリオに対して新たな問いを生成する現場

- ❖ 広がった球状星団の新発見 ($R_h \sim 30\text{pc}$, 普通は1~7pcくらい, Huxor+05)
- ❖ いったい矮小銀河はいくつあるのか？ (McConnachie+08, 他多数, And29+NGC系あわせて30個以上, $M_v \sim -6.3$ が最低)
- ❖ ($M_v \sim -4$ とか5程度の) Ultra Faint Dwarf Galaxies はあるのか？
- ❖ あれ？ところで銀河系にある Inner Halo とか Outer Halo はあるのか？
- ❖ そもそも, metal-poor で smooth に広がるような, ザ・ハローはあるのか？

Galactic Ethnography (質的研究)

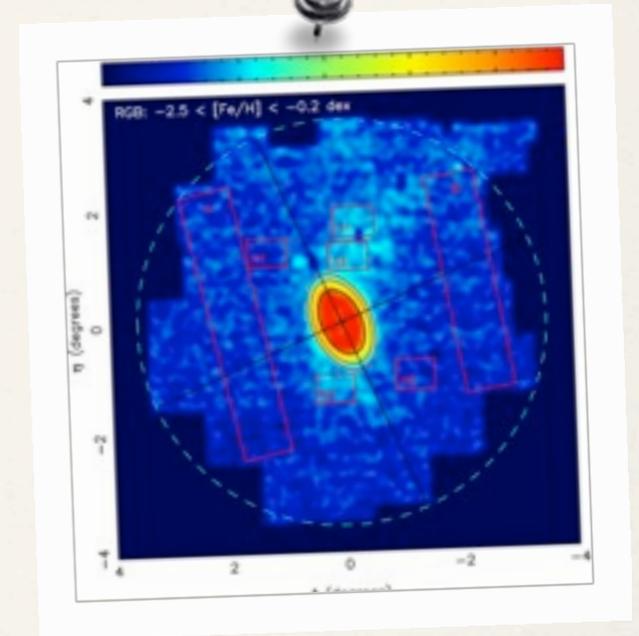
Galactic Ethnography (質的研究)



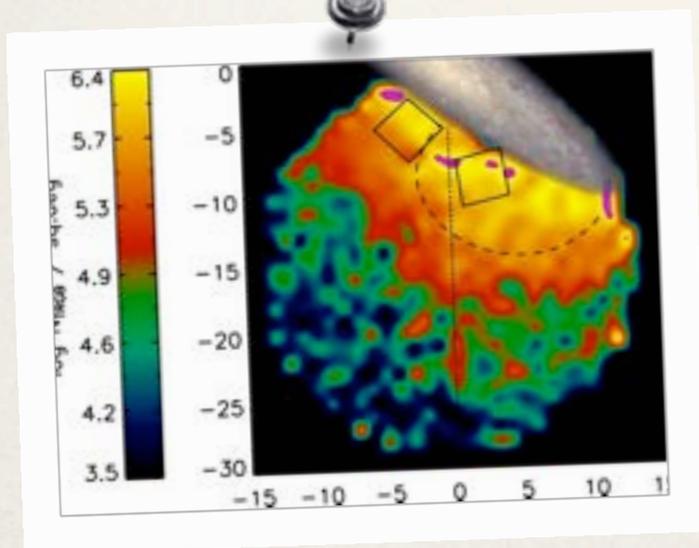
Martínez-Delgado+12



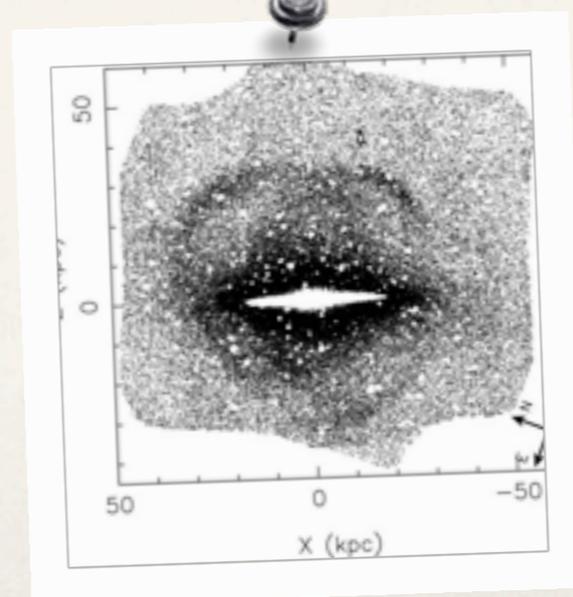
Peng+02



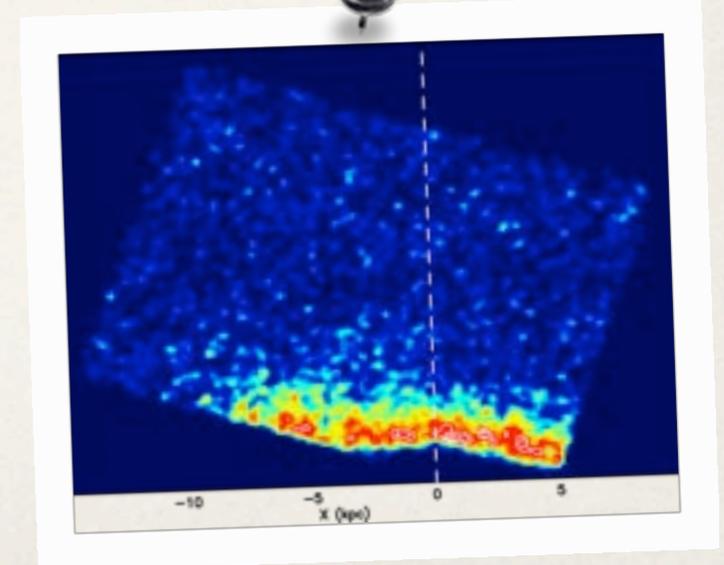
McConnachie+10



Bailin+11



Mouhcine+10



Tanaka, 幹+11

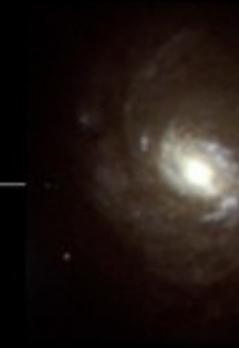
Hubble tuning fork diagram

渦巻銀河

Normal spirals



Sa



Sb



Sc

Ellipticals



E0



E2



E5



SO

楕円銀河

不規則銀河



Irr

SBa



SBb



SBc



Barred spirals

棒渦巻銀河

ハッブルの音叉図

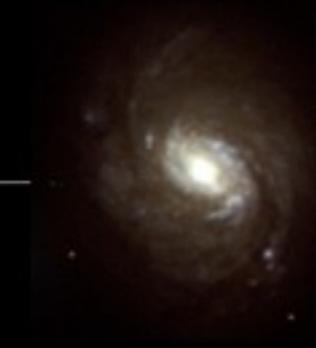
Hubble tuning fork diagram

渦巻銀河

Normal spirals



Sa



Sb



Sc

Ellipticals

21世紀のハッブルの音叉図
バルジ+ディスク+ハロー

則銀河



Irr

E0

E2

E5

楕円銀河

SBa

SBb

SBc



Barred spirals

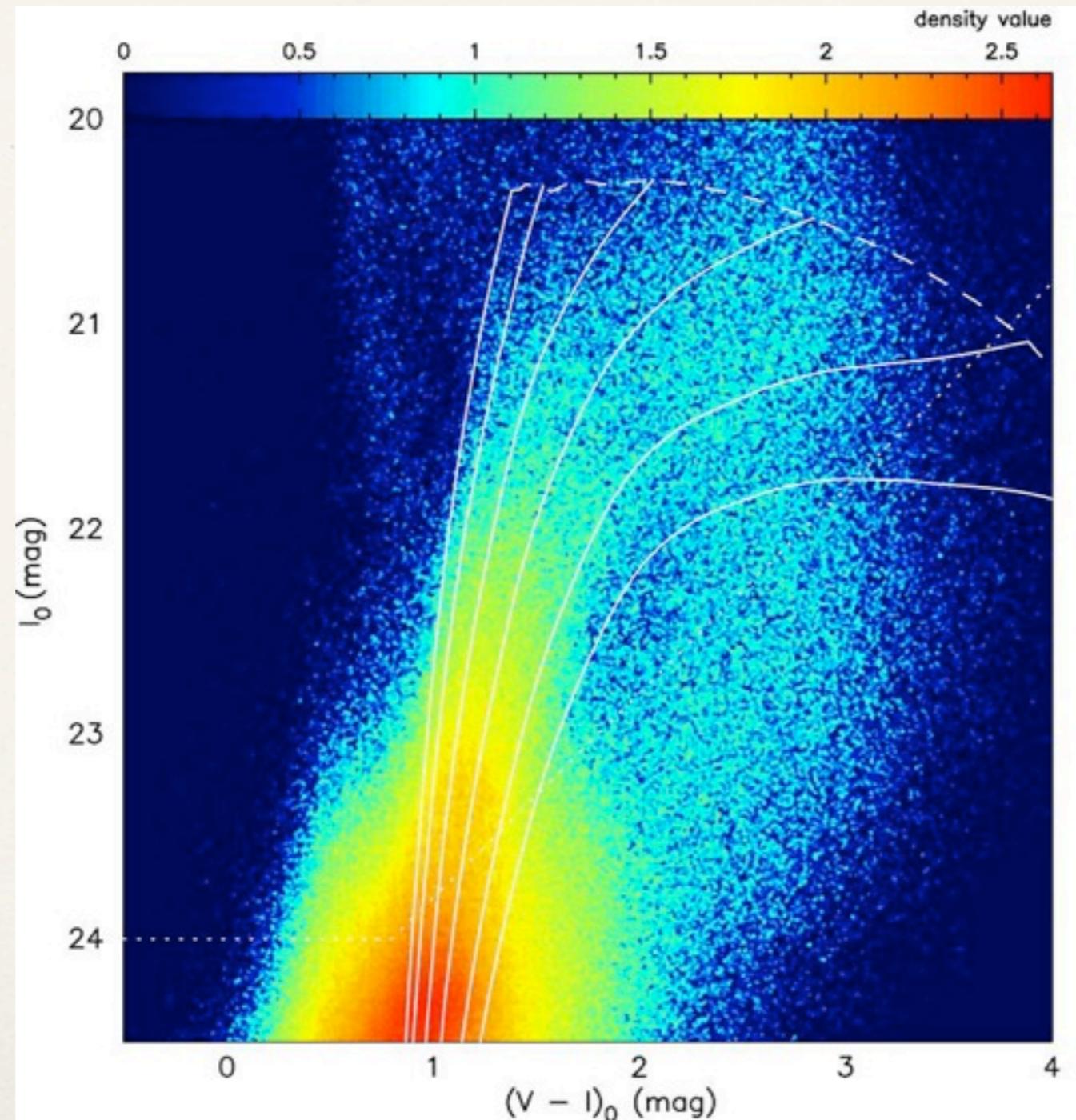
棒渦巻銀河

ハッブルの音叉図

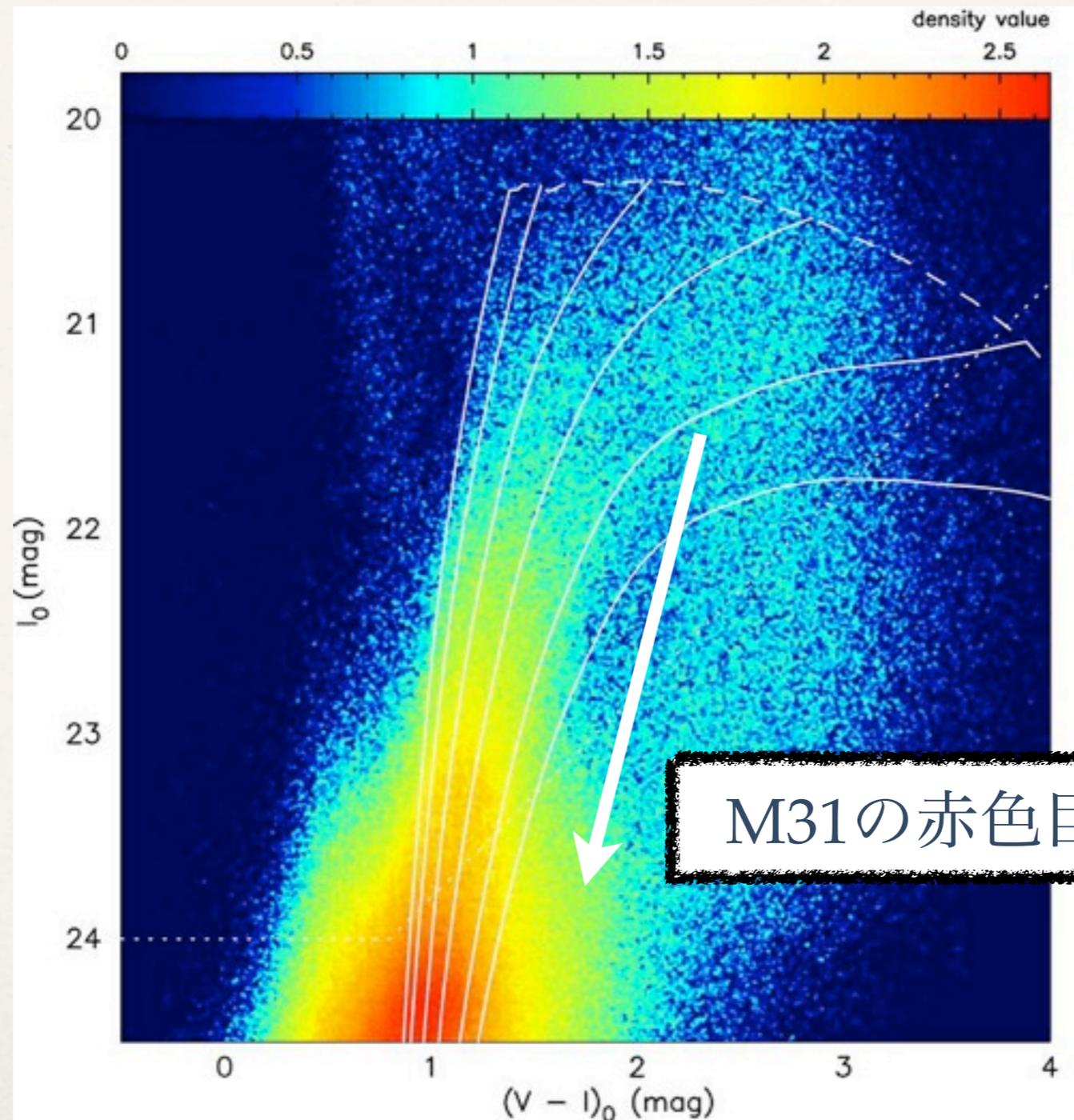
銀河面に近いアンドロメダ銀河



M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。

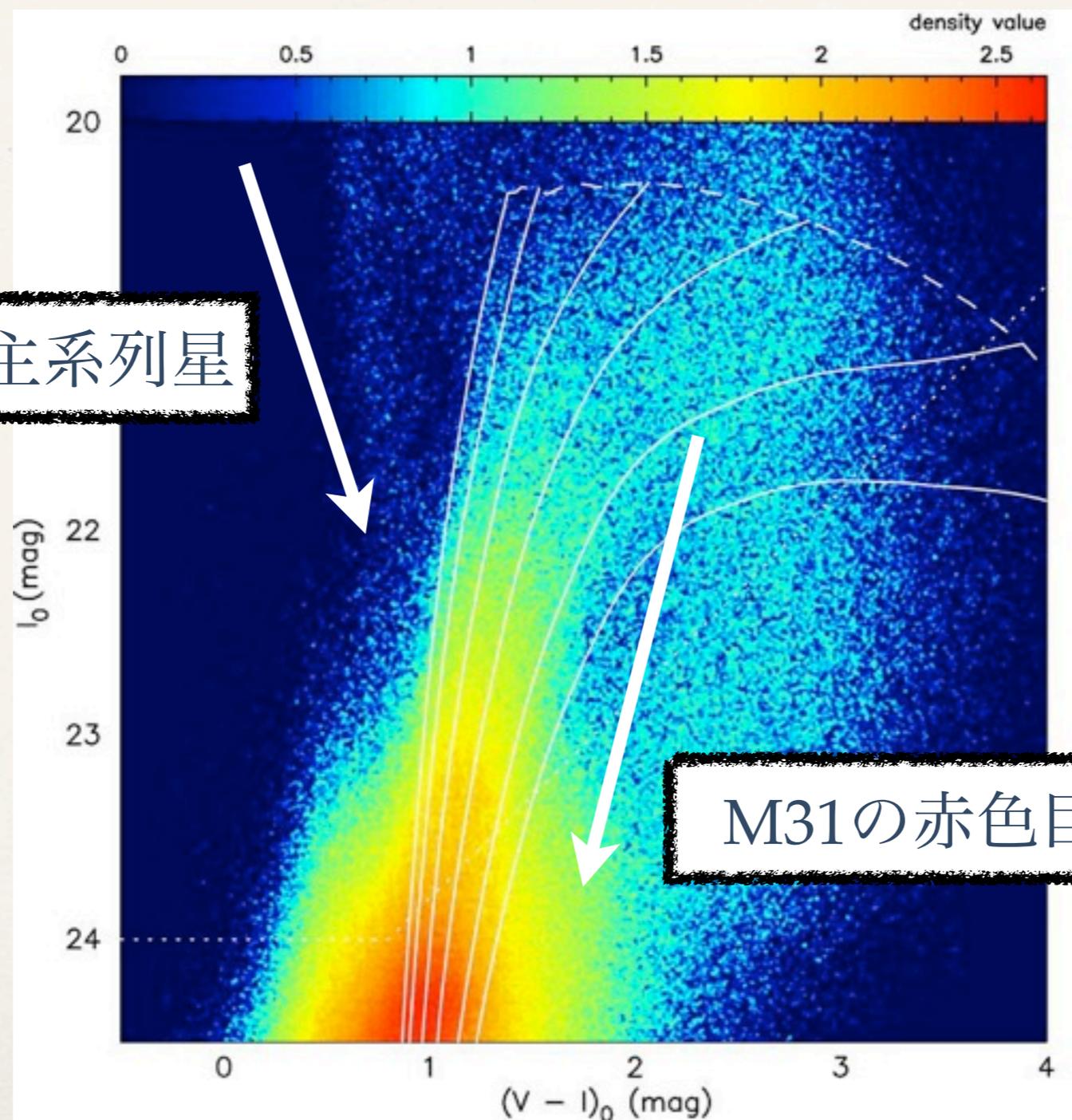


M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。



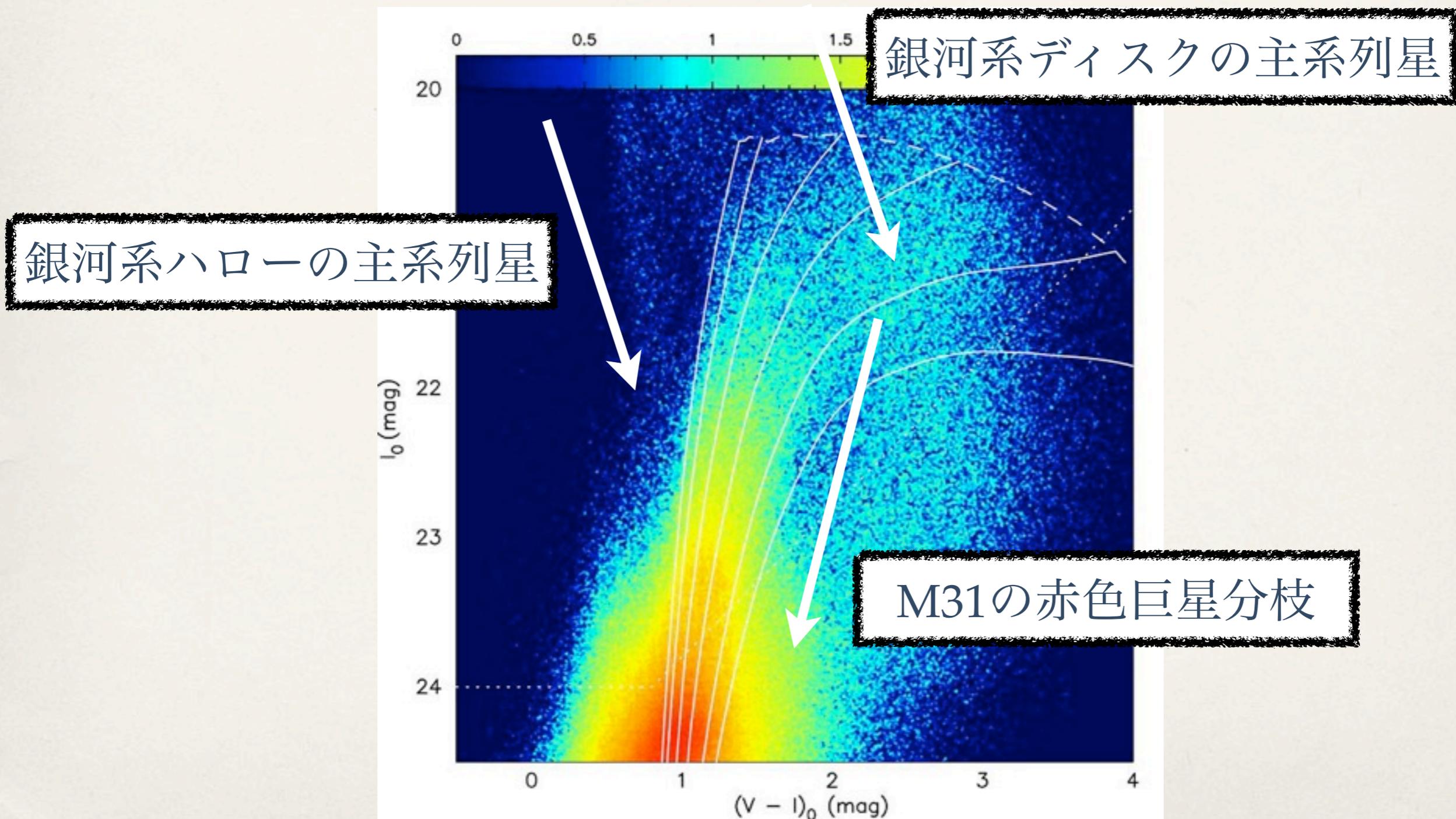
M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。

銀河系ハローの主系列星

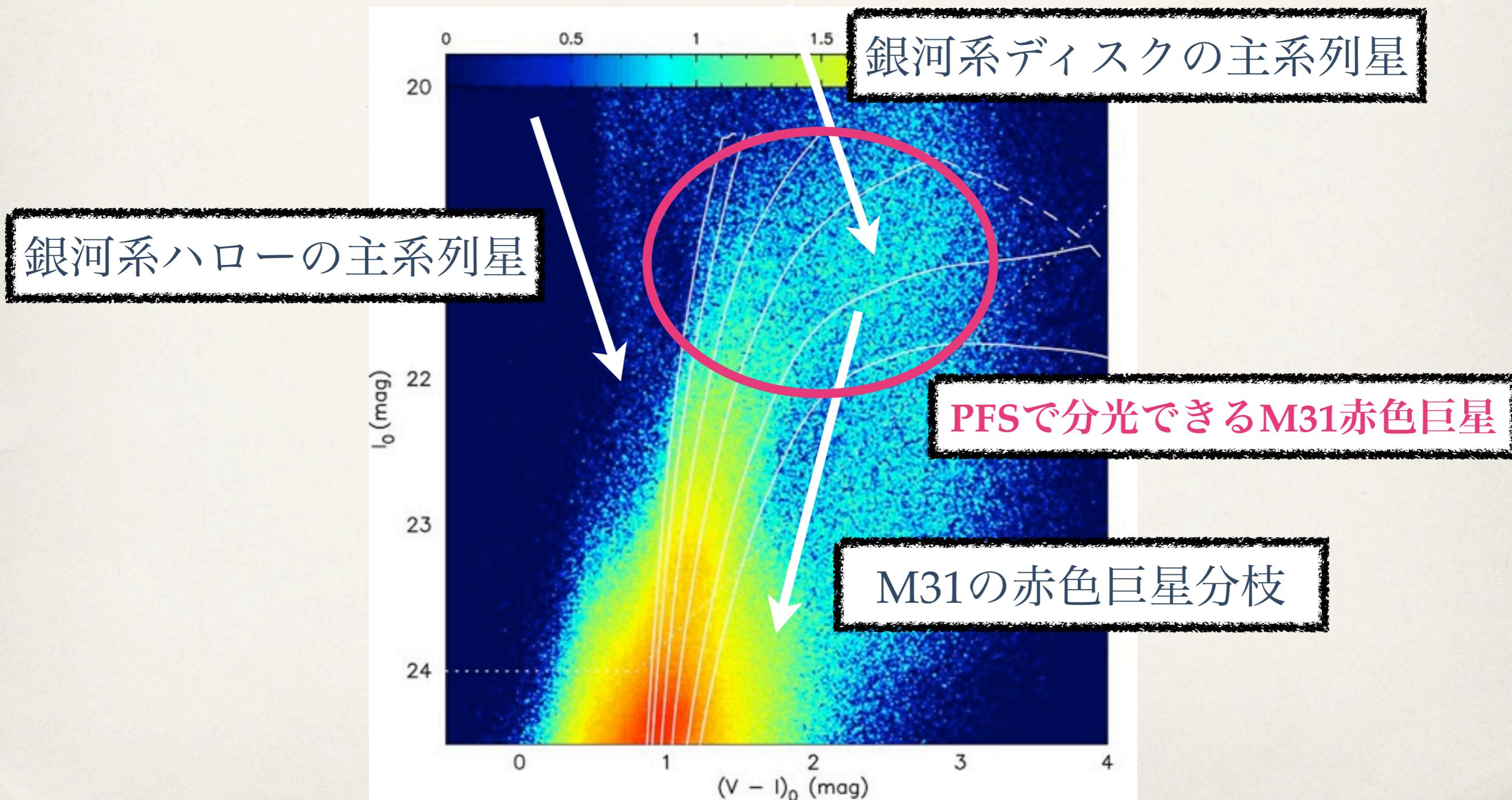


M31の赤色巨星分枝

M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。

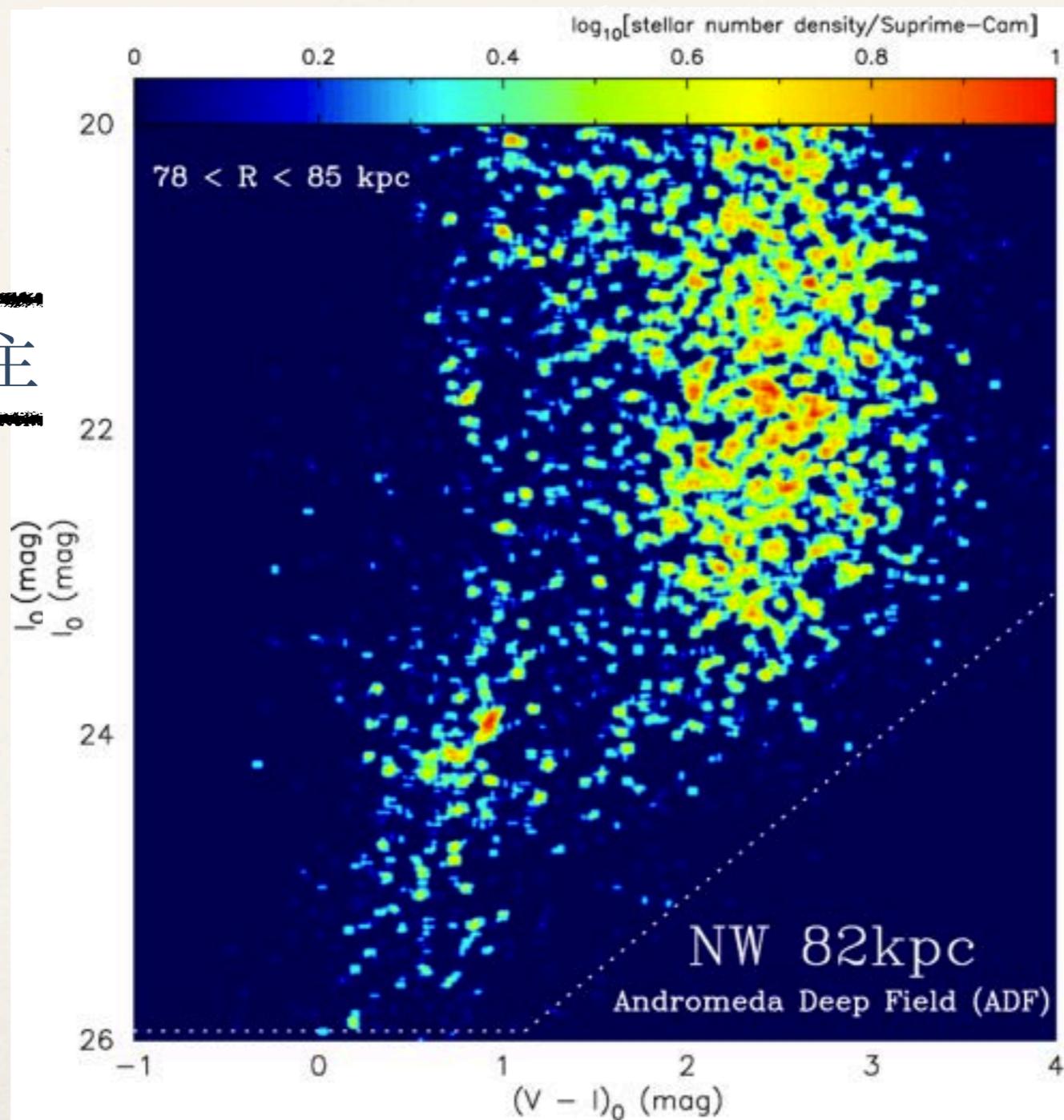


M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。



M31の赤色巨星分枝がコンタミに埋もれてしまっている。

銀河系ハローの主



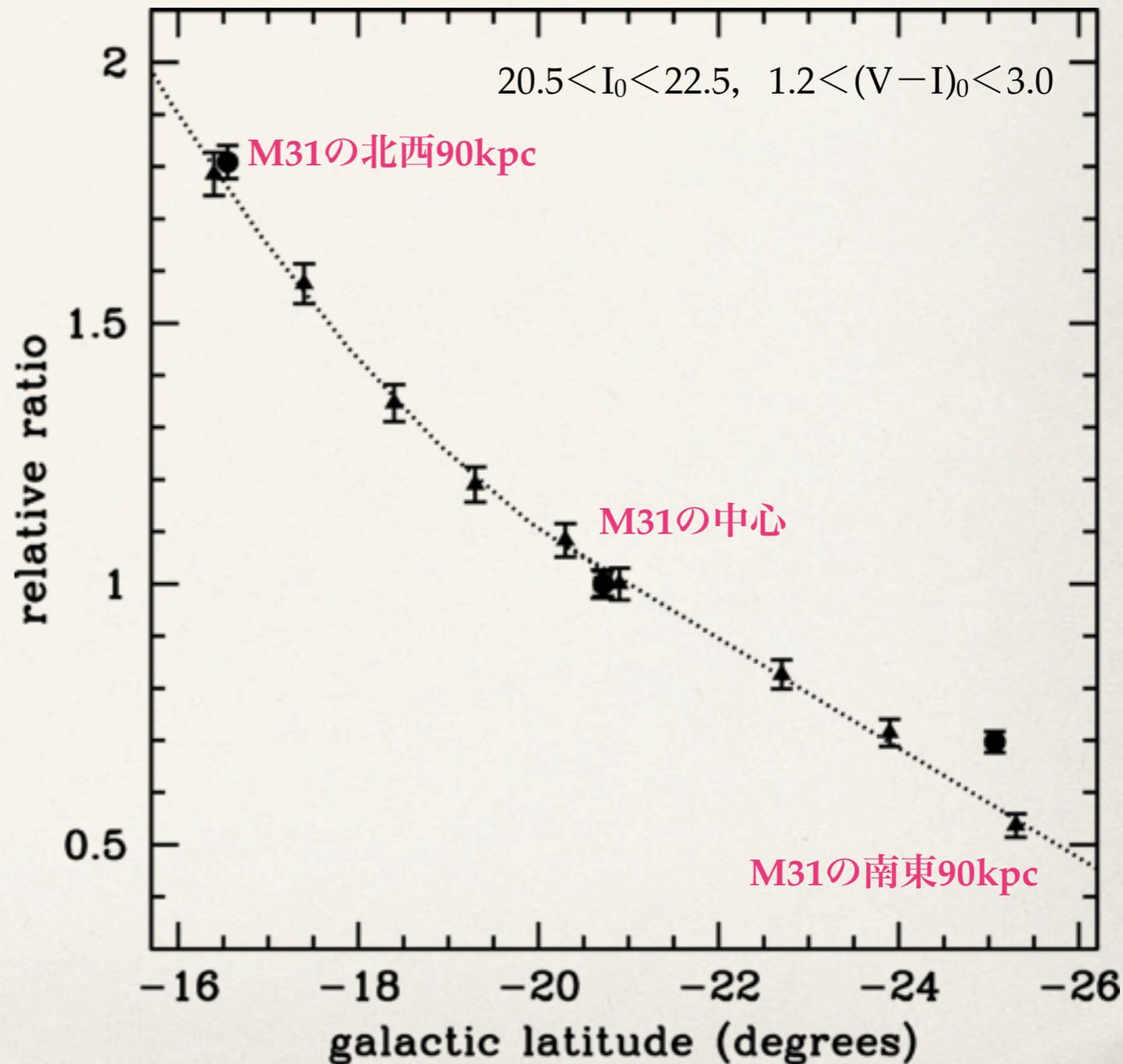
クの主系列星

とできるM31赤色巨星

三星分枝

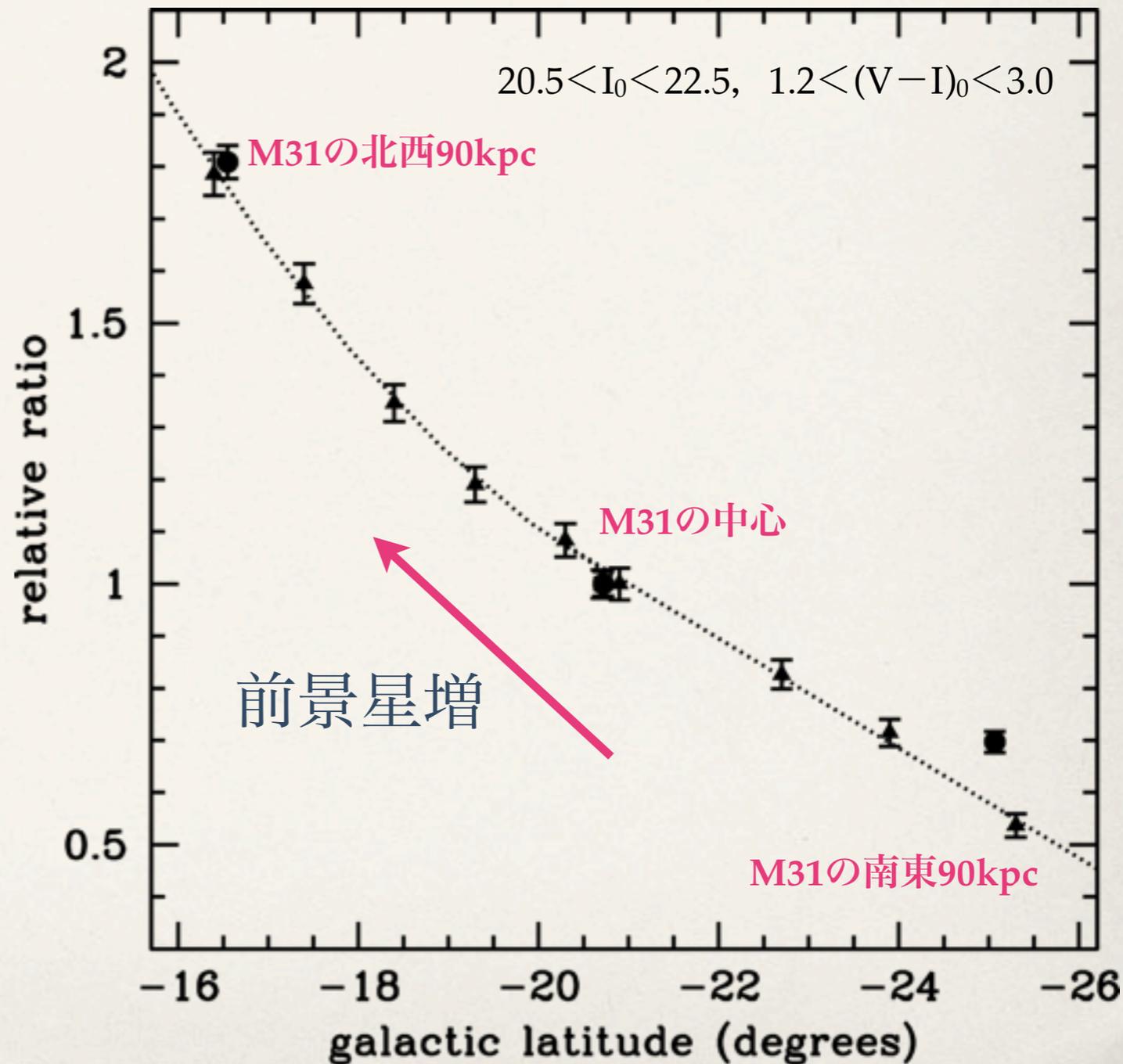
量で見えるコンタミの変化

- * 南東90kpcから北西90kpcにかけて、約4倍、前景星が増える。
→北西150kpc, 200kpcを狙う困難さ。



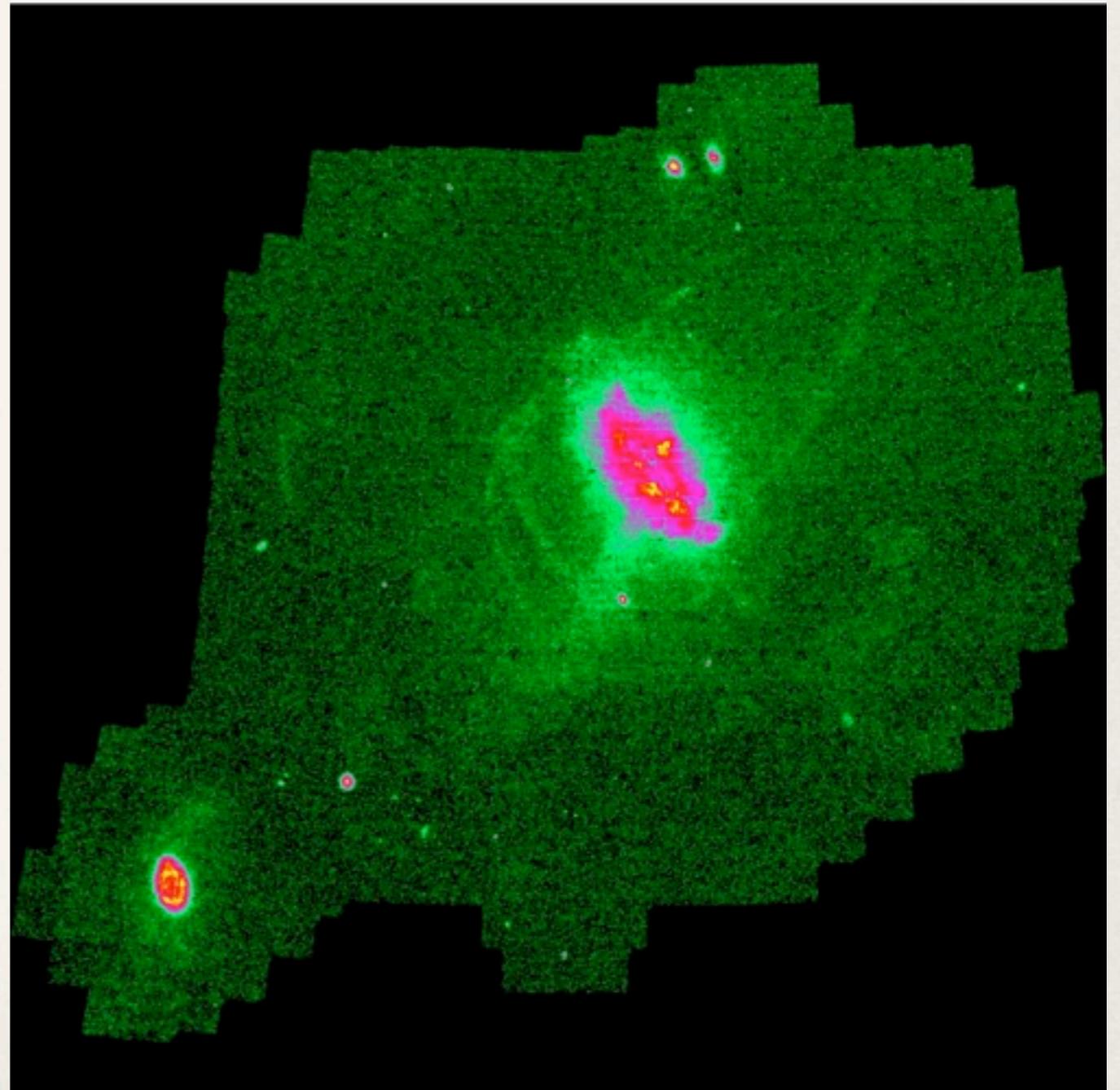
量で見るコンタミの変化

- ❖ 南東90kpcから北西90kpcにかけて、約4倍、前景星が増える。
→北西150kpc, 200kpcを狙う困難さ。



実はグレーなCFHT/MegaCamサーベイ

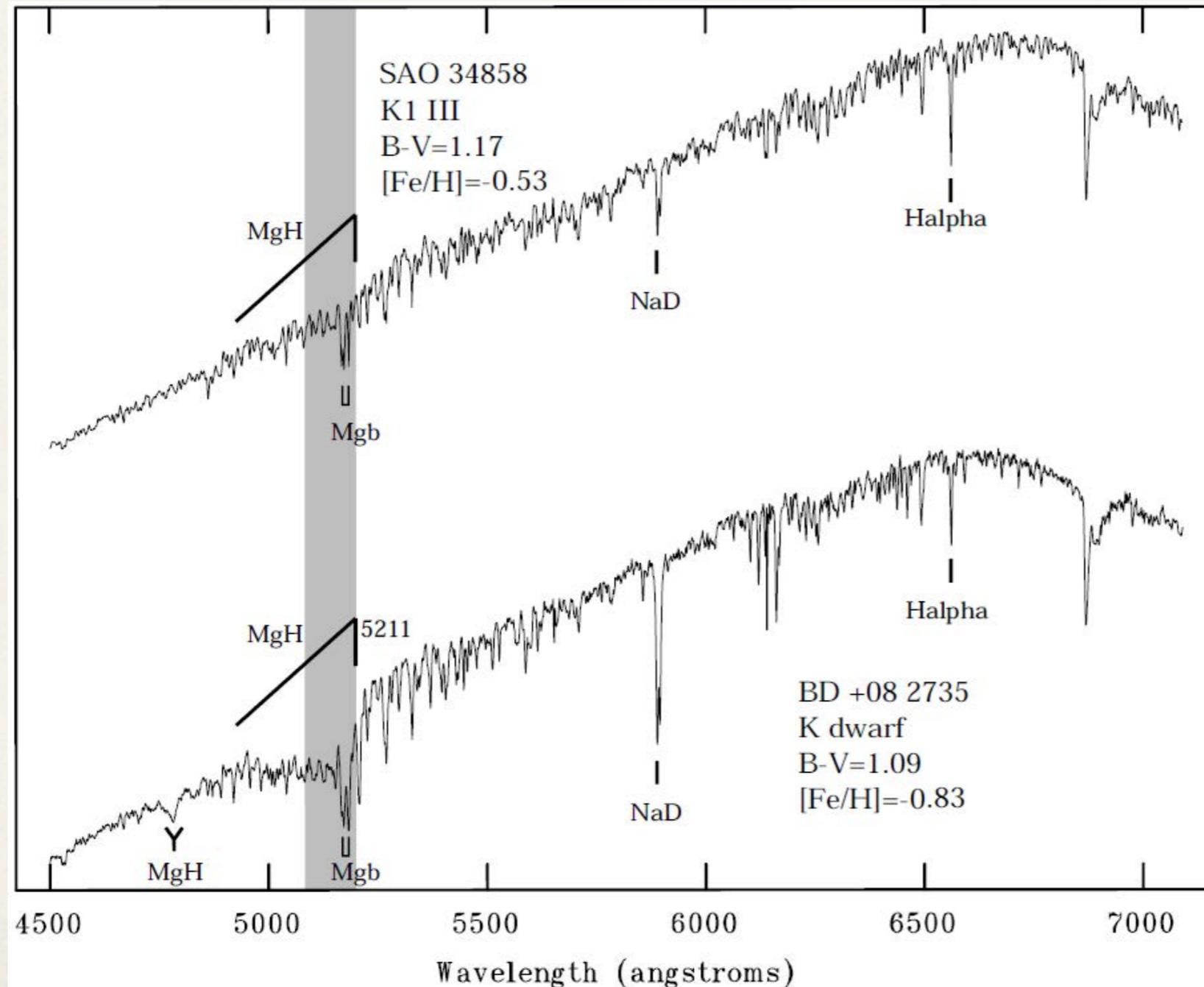
- ❖ 論文でもコンタミの評価を正当化していないし，関係者に聞いても「ちゃんとやったから大丈夫だ」としか言わない。



Mgの吸収のあるなしを手掛かりにして、
赤色巨星と主系列星を区別する。

じゃあどうやってコンタミを取り除くのか？

Mgの吸収のあるなしを手掛かりにして、
赤色巨星と主系列星を区別する。



赤色巨星

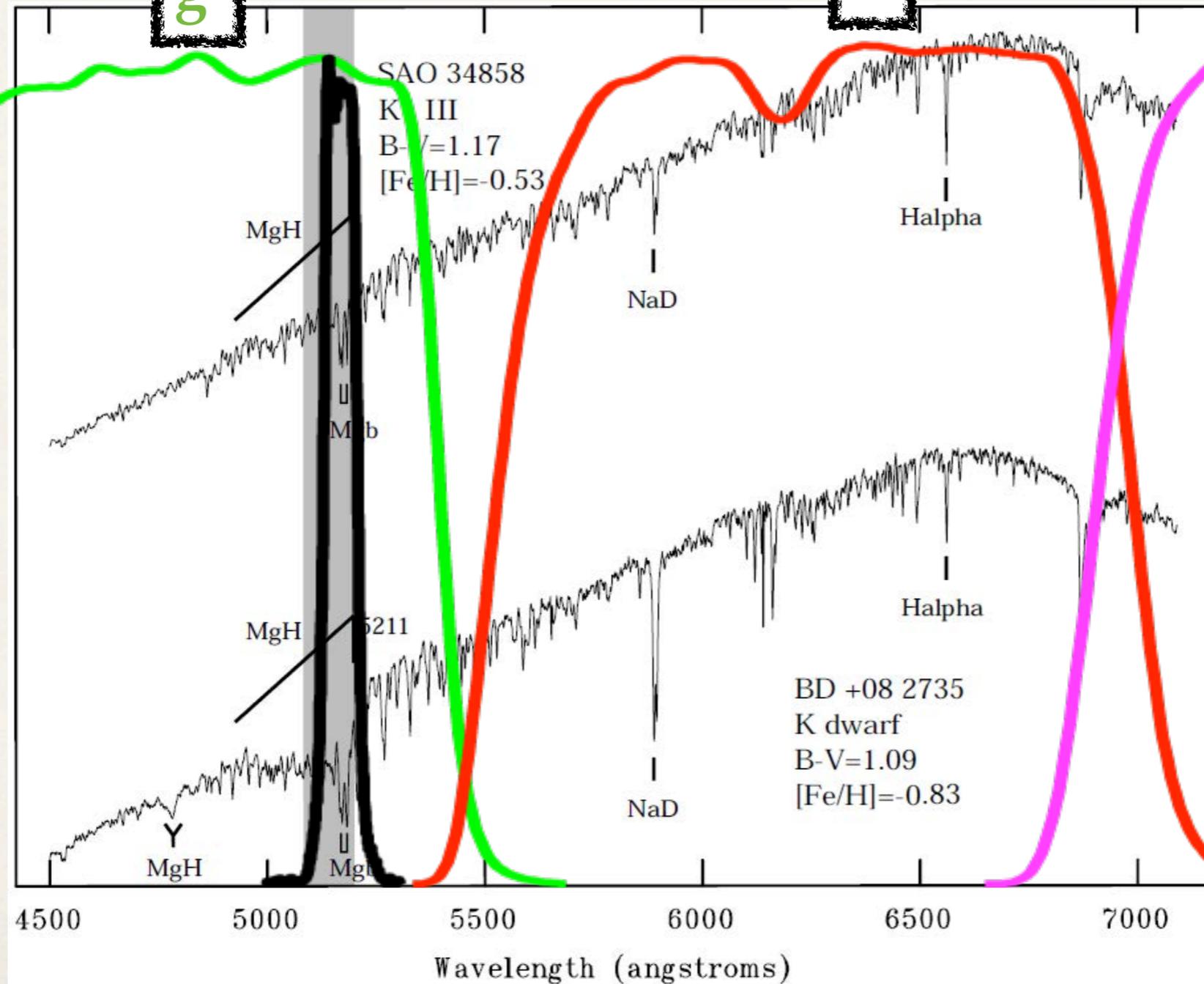
主系列星

Mgの吸収のあるなしを手掛かりにして、
赤色巨星と主系列星を区別する。

g'

r'

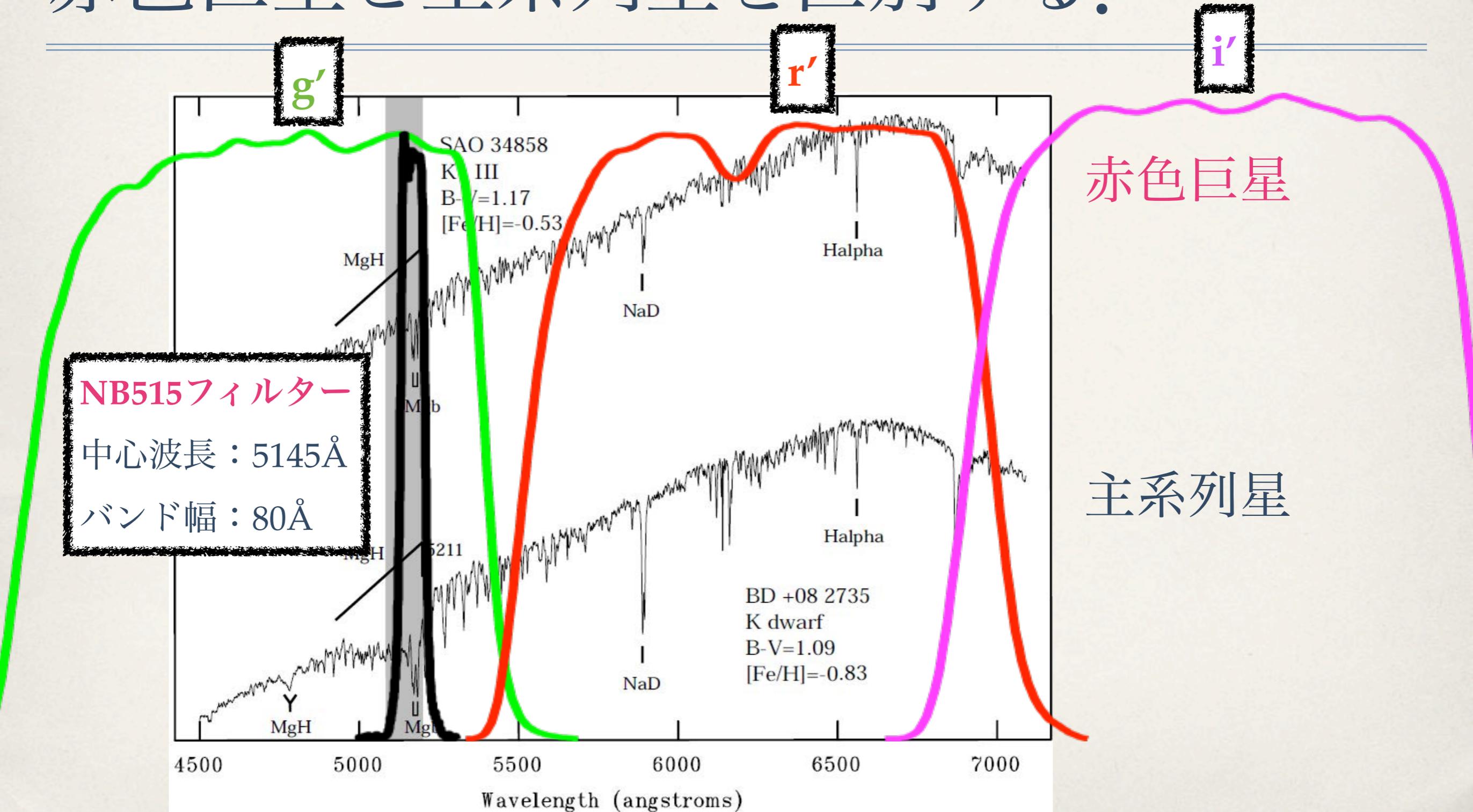
i'



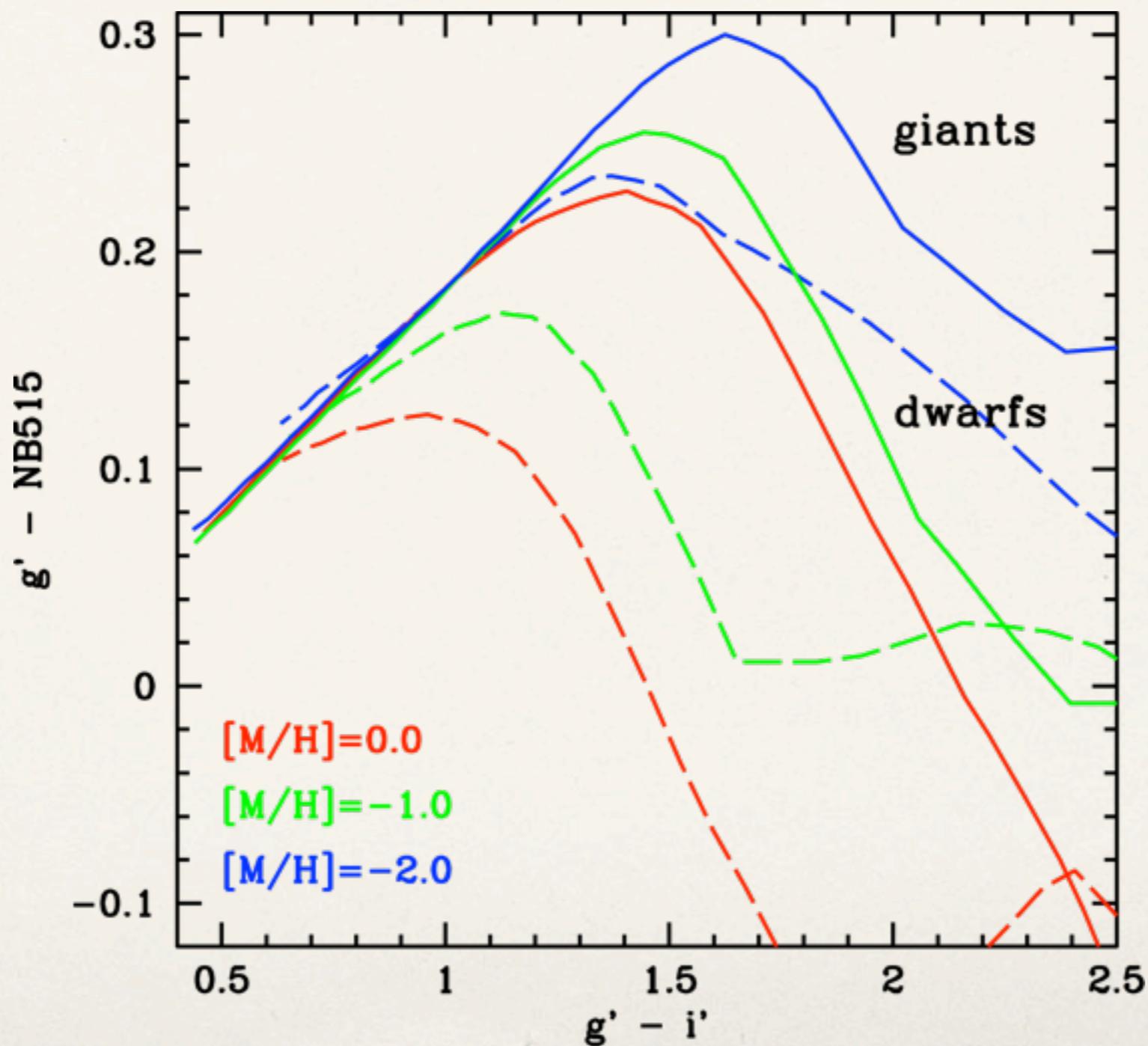
赤色巨星

主系列星

Mgの吸収のあるなしを手掛かりにして、
赤色巨星と主系列星を区別する。



具体的には二色図上で分離する



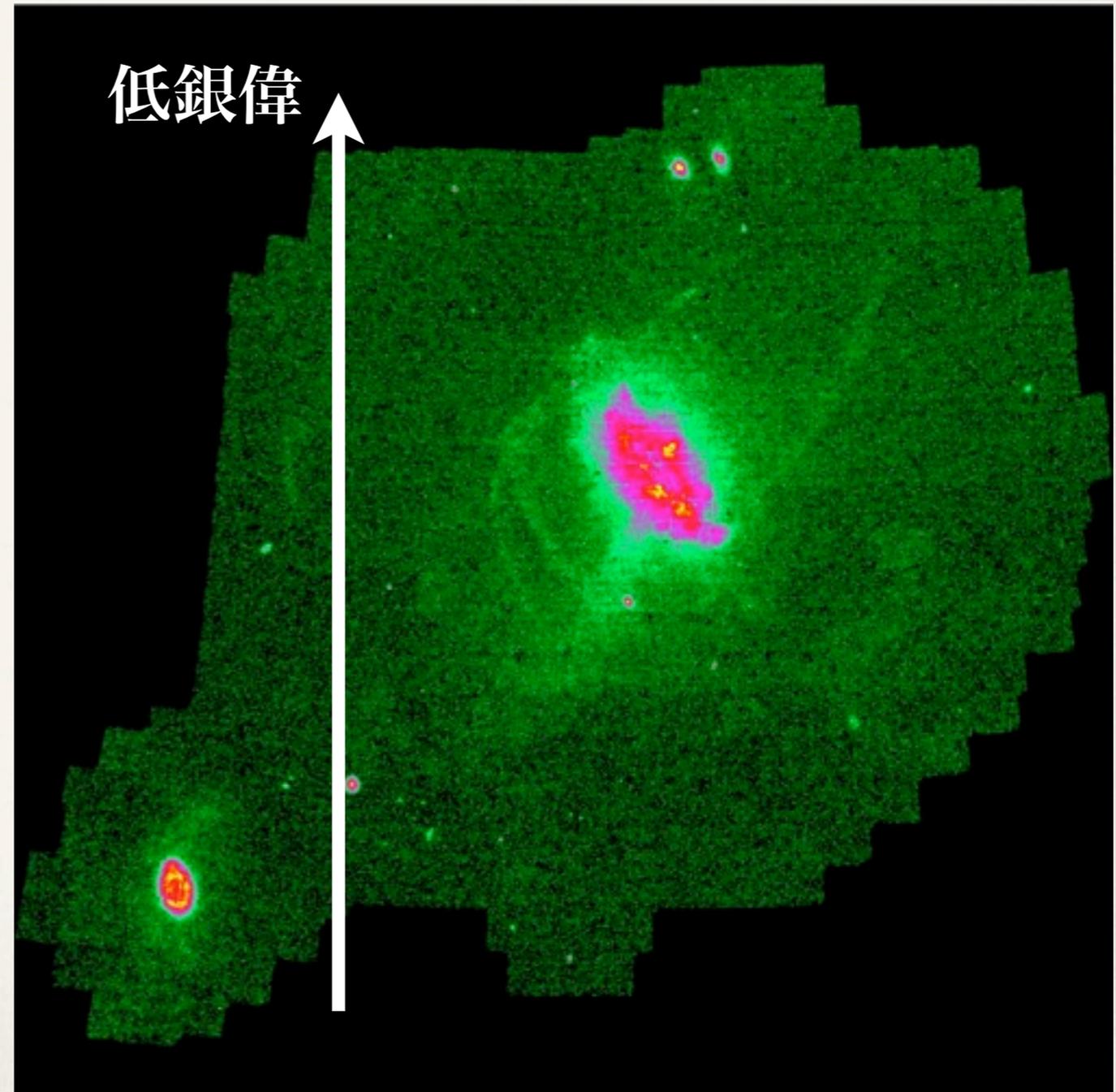
赤色巨星

主系列星

ちゃんとできるか検証しておきましょう。

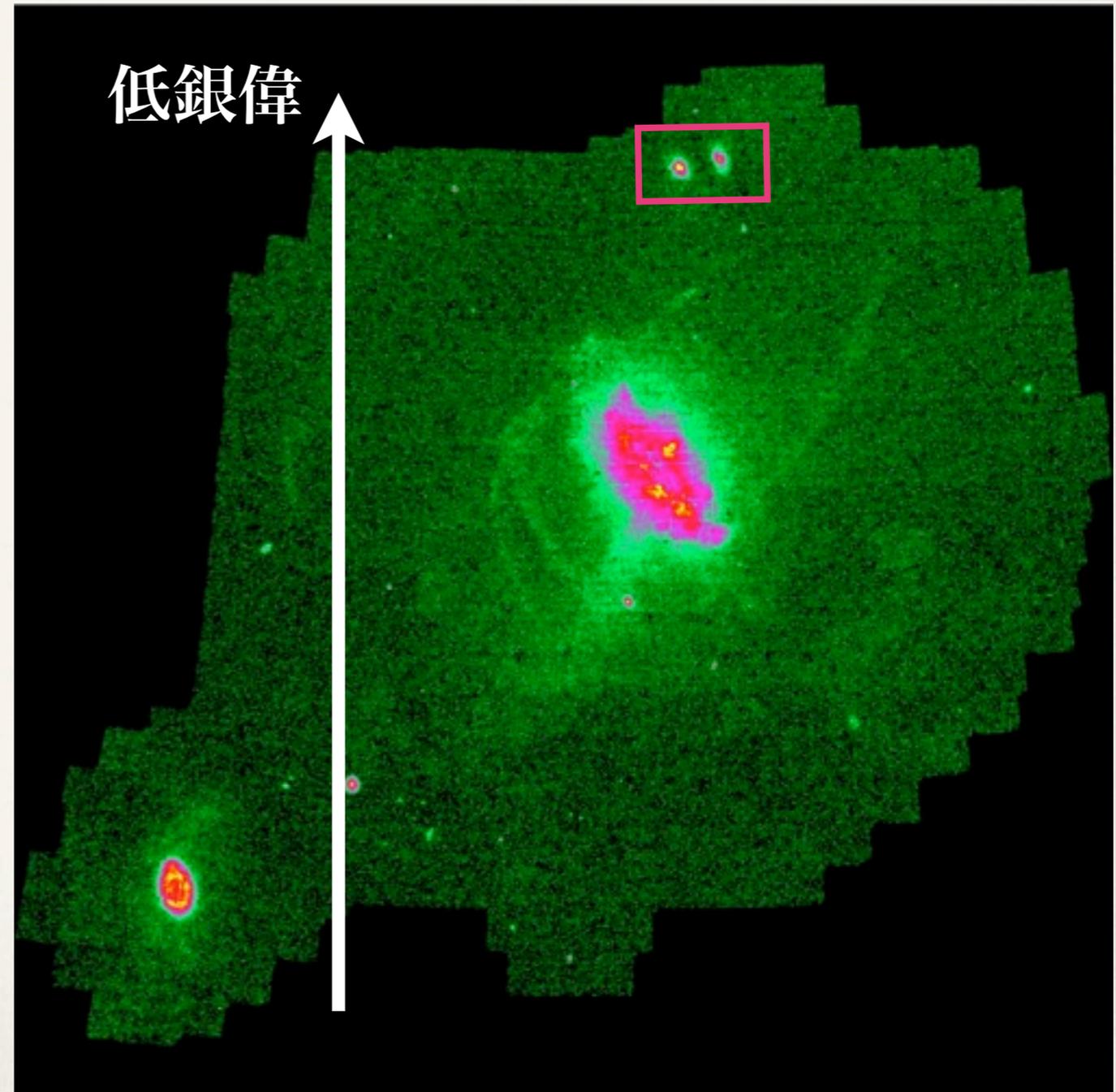
NB515フィルター試験観測 (仮想HSC)

- ❖ 2012年7月18日,19日(Suprime-Cam復帰戦)
→ 約5時間のダウンタイムを使用
- ❖ ターゲット：
 - ・ M31中心から北へ約150kpc ($b \sim -15^\circ$)
 - ・ NGC185, 147を囲むSuprime-Cam 8視野
- ❖ フィルター： g' , r' , i' , NB515
- ❖ 積分時間：→HSCだと30分で終わる
 - ・ g' , r' , i' → 各3分/視野/フィルター
 - ・ NB515 → 13.5~15分/視野
- ❖ 天気：良好, Seeing $\sim 0.6''$ 弱



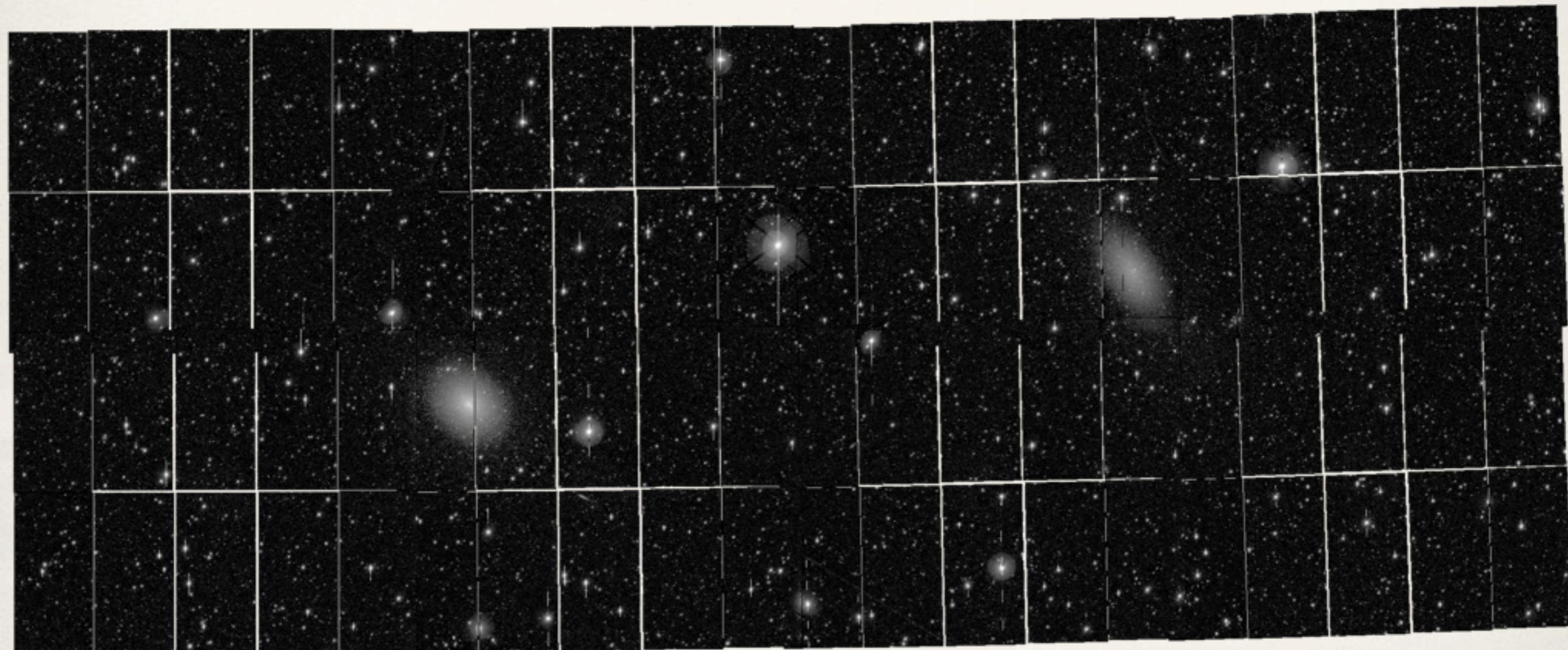
NB515フィルター試験観測 (仮想HSC)

- ❖ 2012年7月18日,19日(Suprime-Cam復帰戦)
→ 約5時間のダウンタイムを使用
- ❖ ターゲット：
 - ・ M31中心から北へ約150kpc ($b \sim -15^\circ$)
 - ・ NGC185, 147を囲むSuprime-Cam 8視野
- ❖ フィルター： g' , r' , i' , NB515
- ❖ 積分時間：→HSCだと30分で終わる
 - ・ g' , r' , i' → 各3分/視野/フィルター
 - ・ NB515 → 13.5~15分/視野
- ❖ 天気：良好, Seeing $\sim 0.6''$ 弱



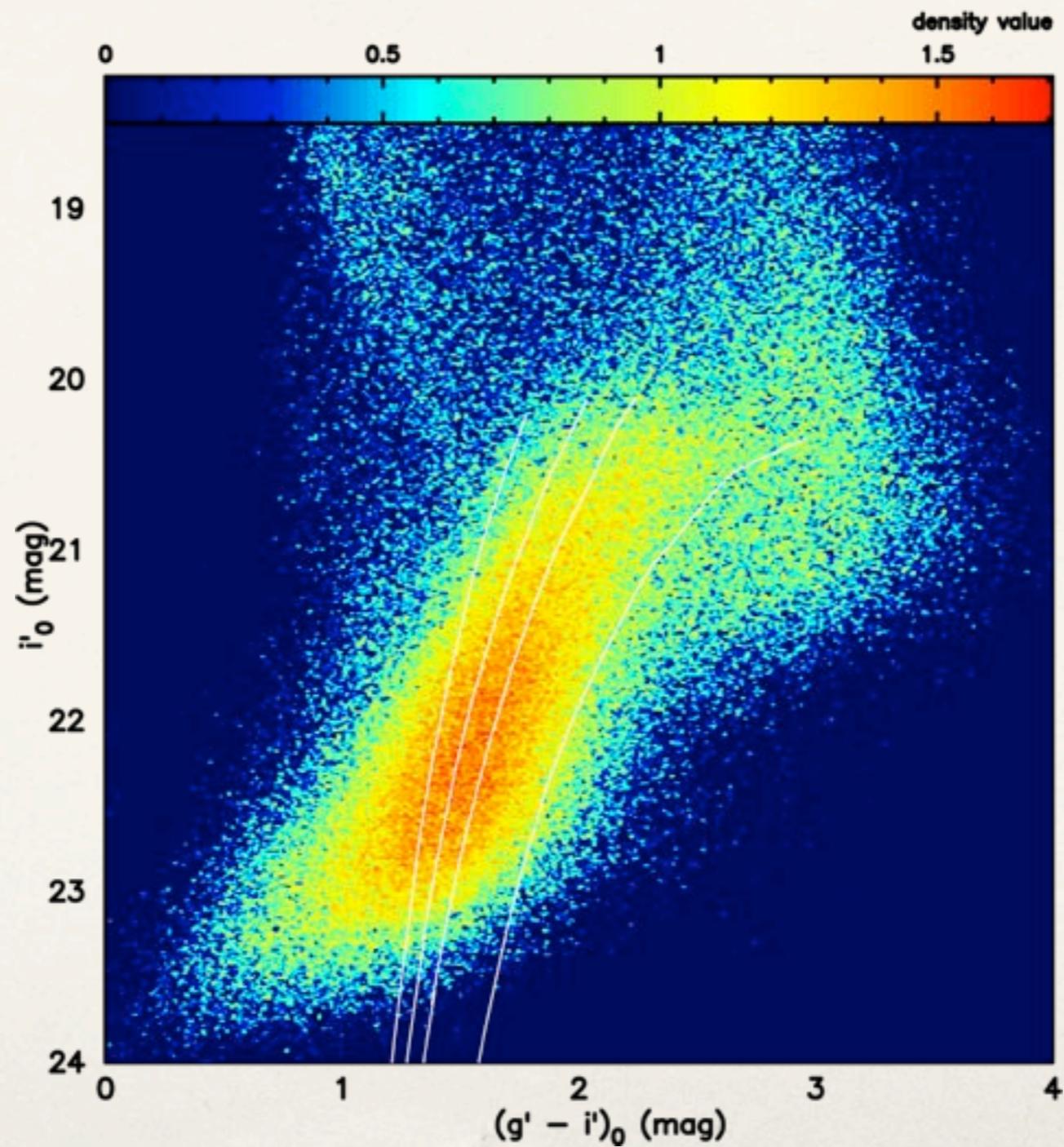
ターゲットフィールド

ターゲットフィールド

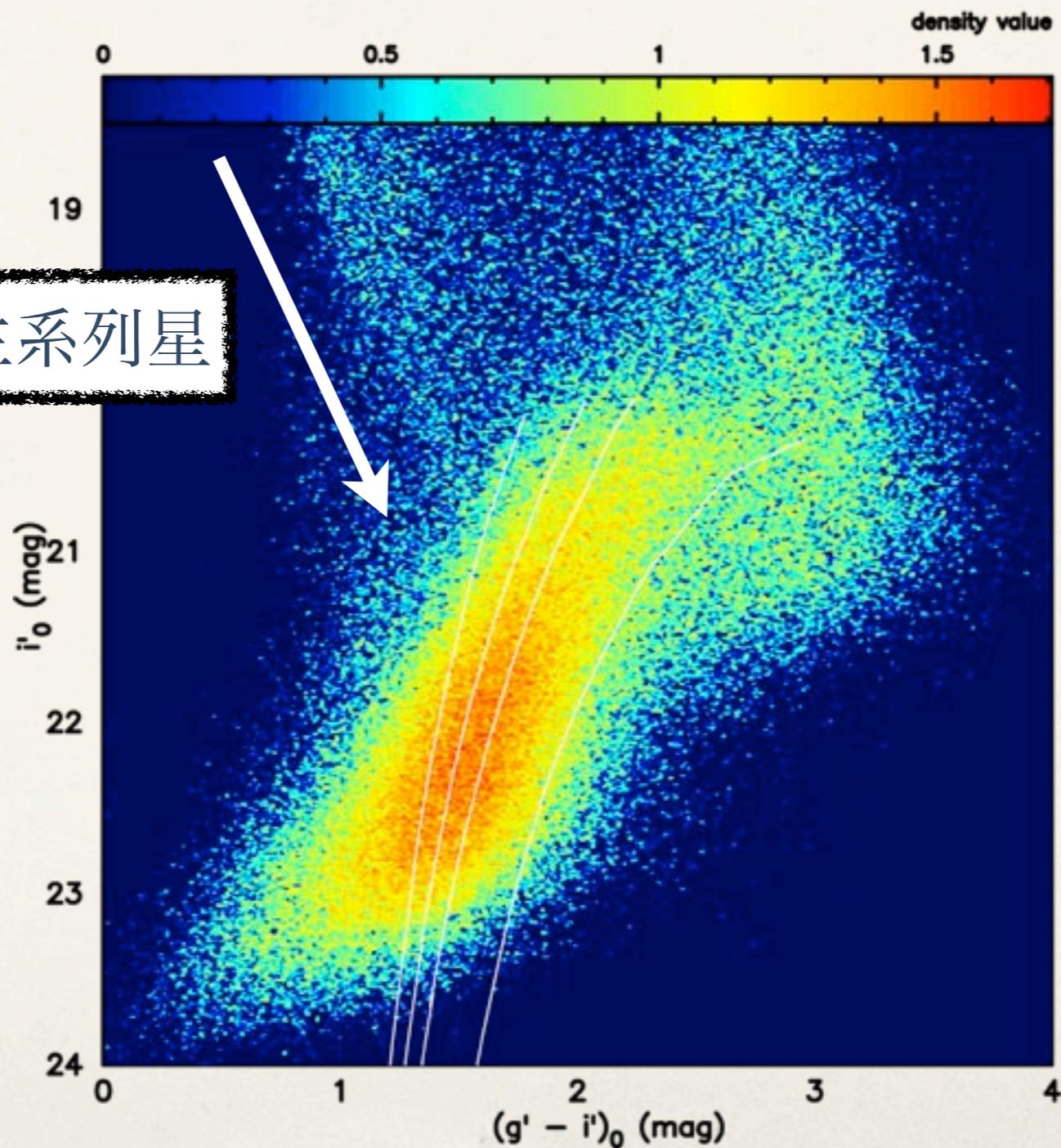


約 2 平方度

色等級図 (視野内の全天体)

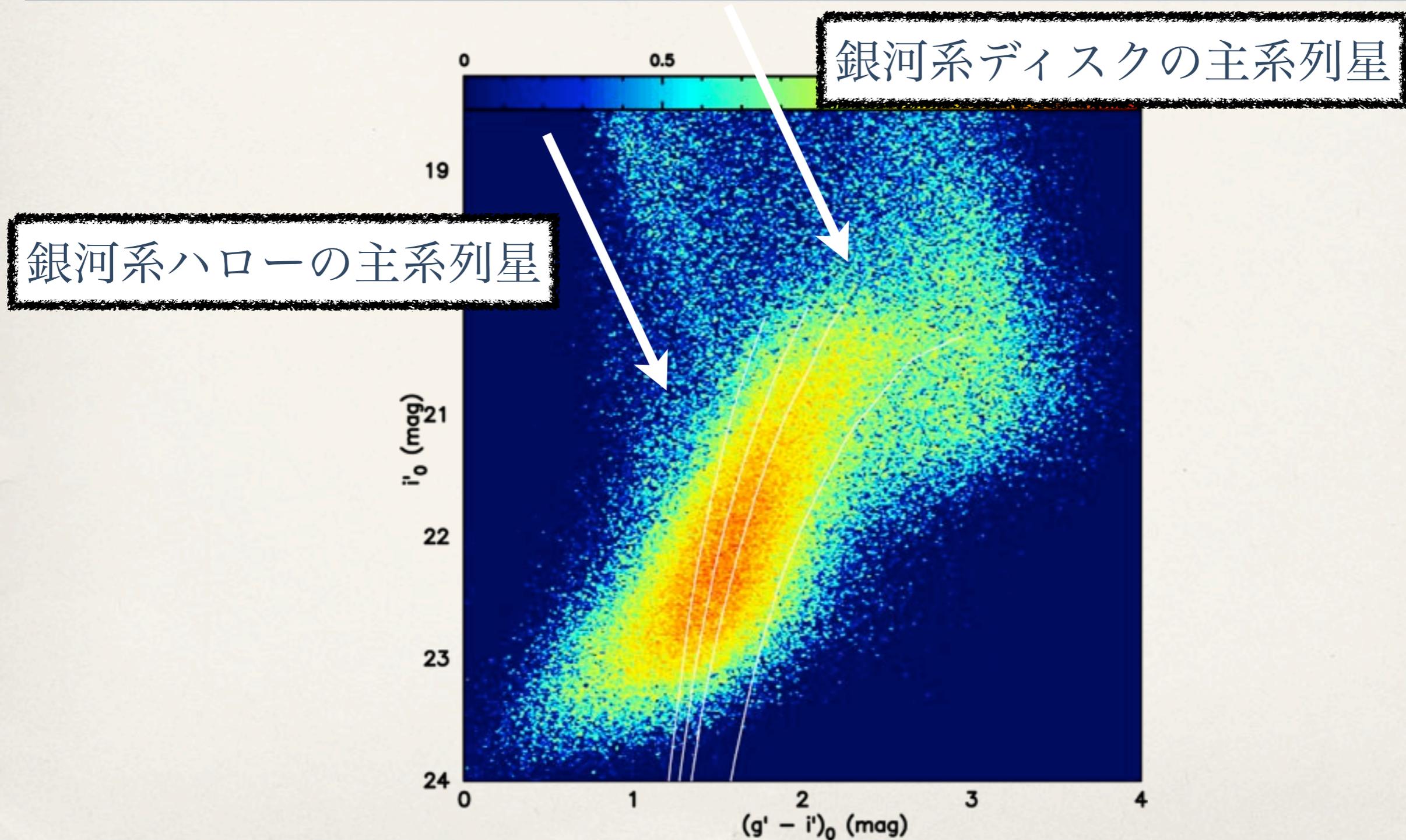


色等級図 (視野内の全天体)

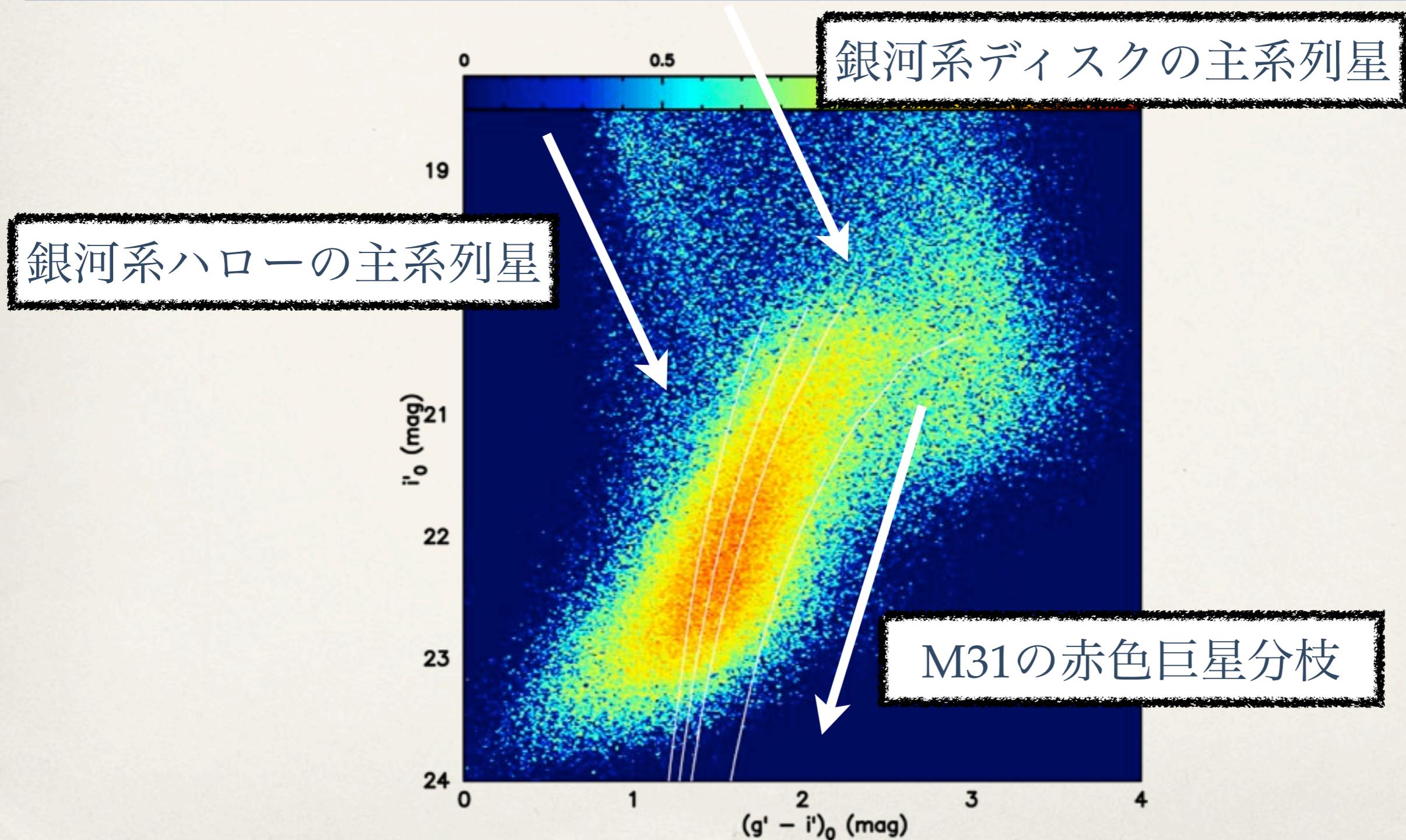


銀河系ハローの主系列星

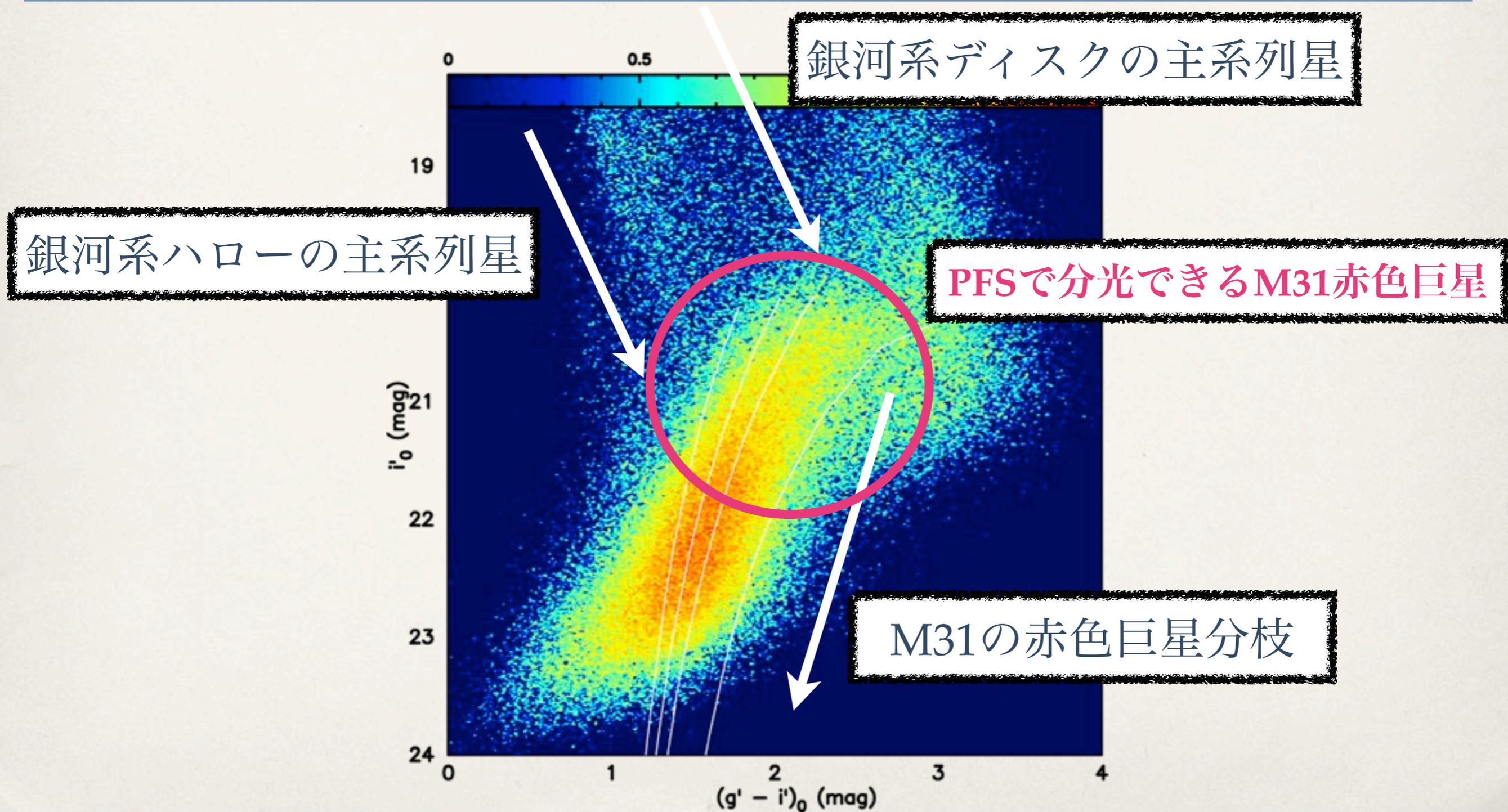
色等級図 (視野内の全天体)



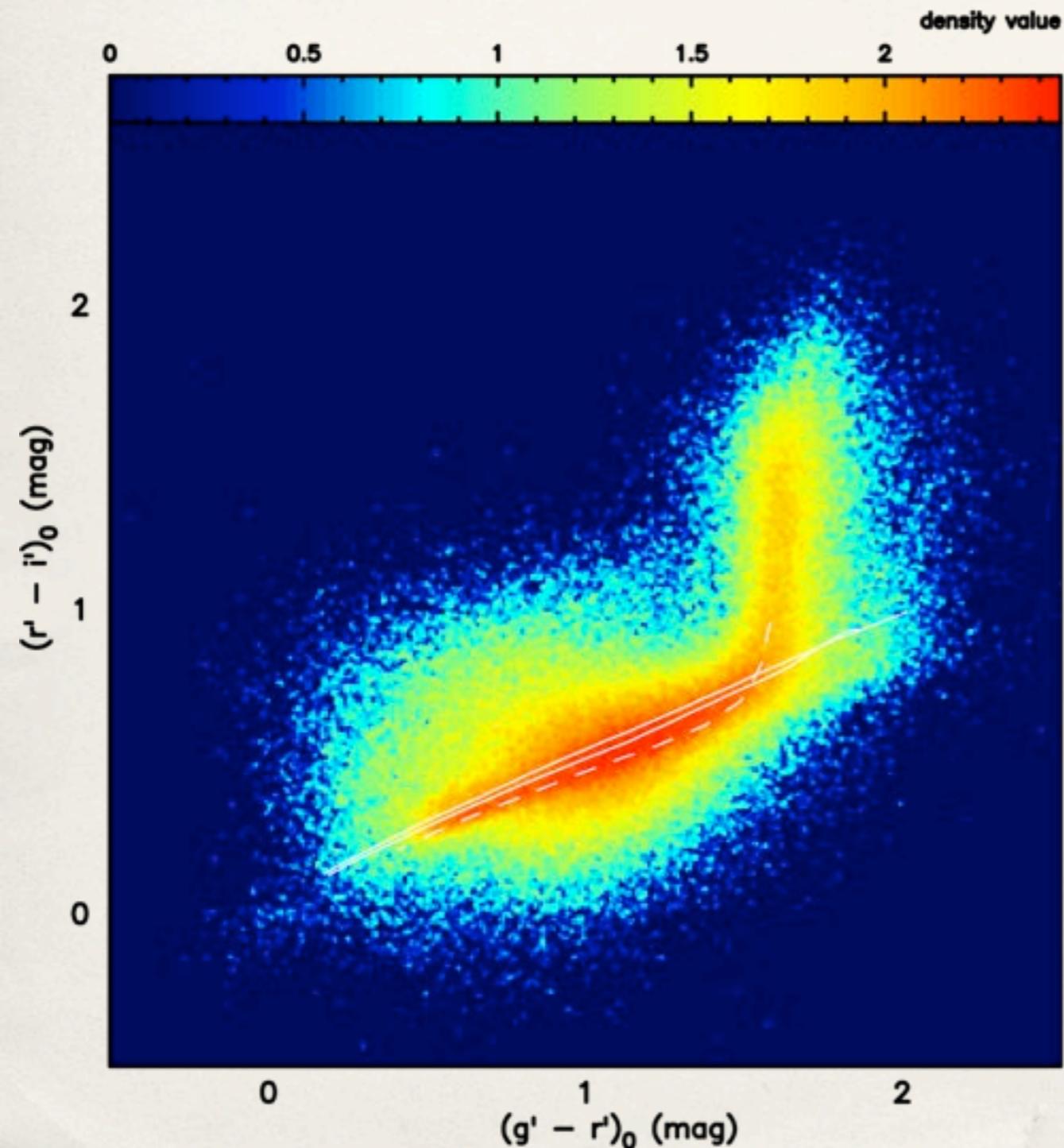
色等級図 (視野内の全天体)



色等級図 (視野内の全天体)



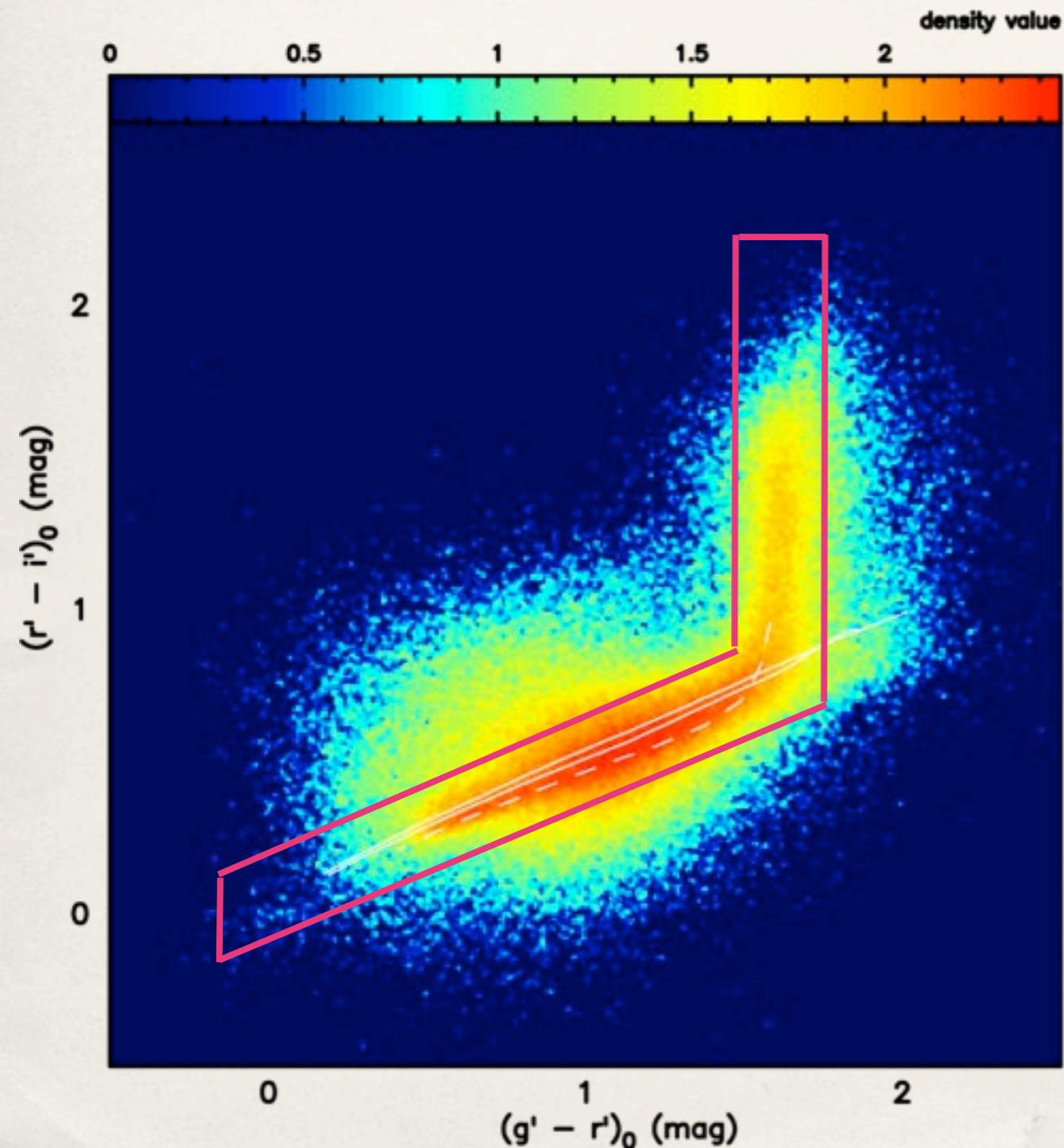
背景銀河の影響を減らす二色図 ($g-r$ vs $r-i$)



分光サンプルを得るための明るい赤色巨星を拾うだけならあまり関係ないですが、

水平分枝星などM31の暗い星をターゲットにすると重要になる。

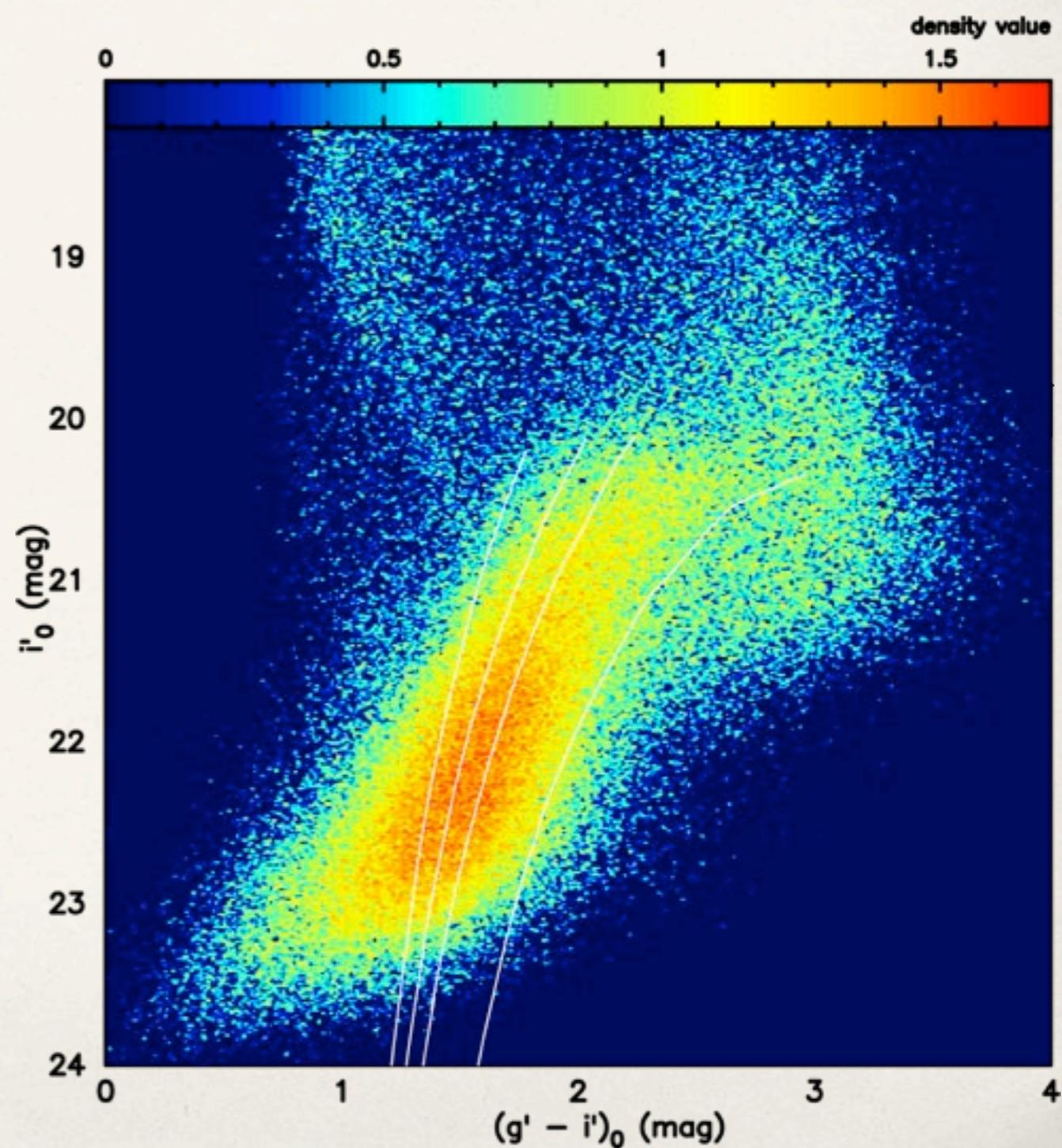
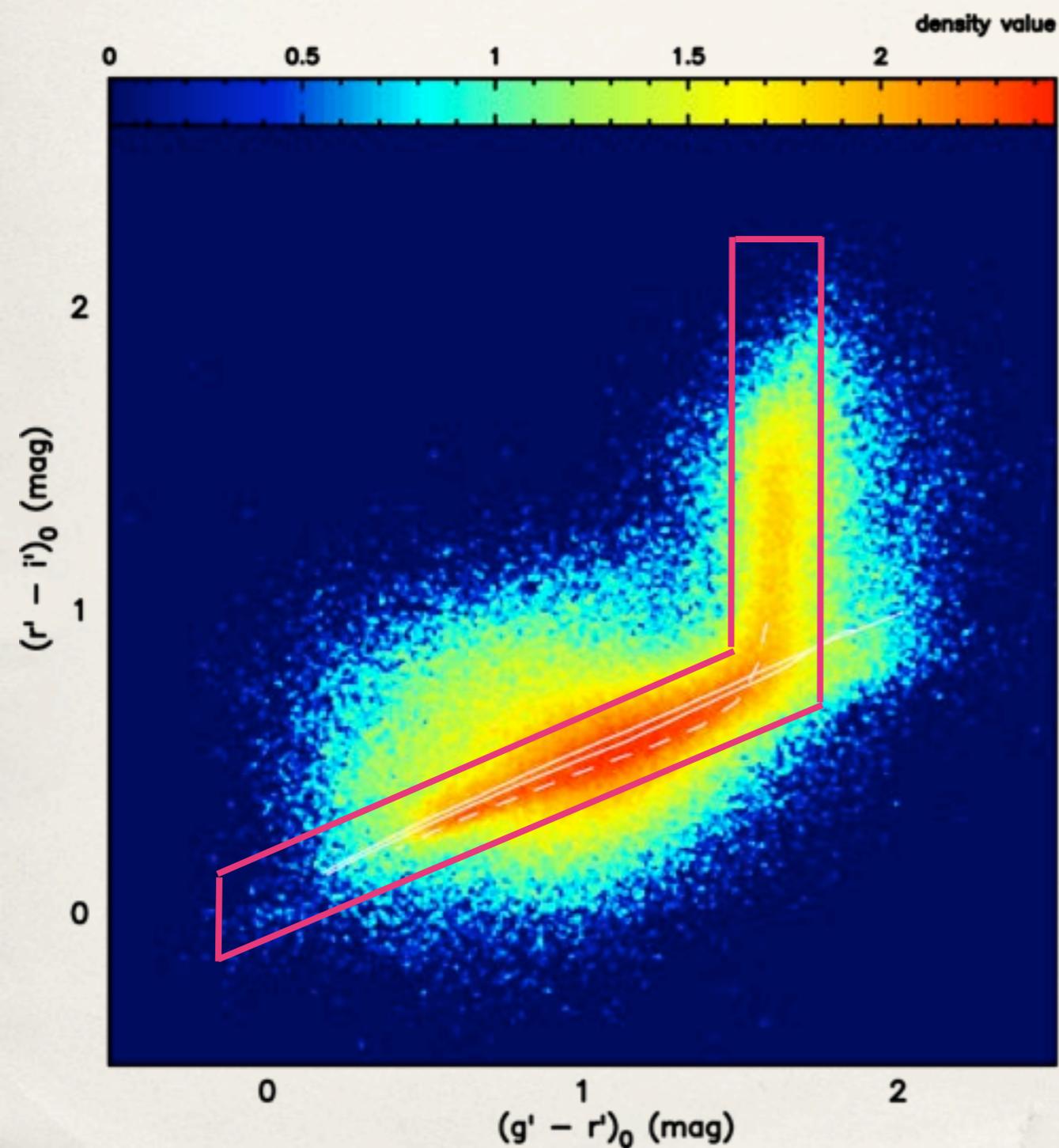
背景銀河の影響を減らす二色図 ($g-r$ vs $r-i$)



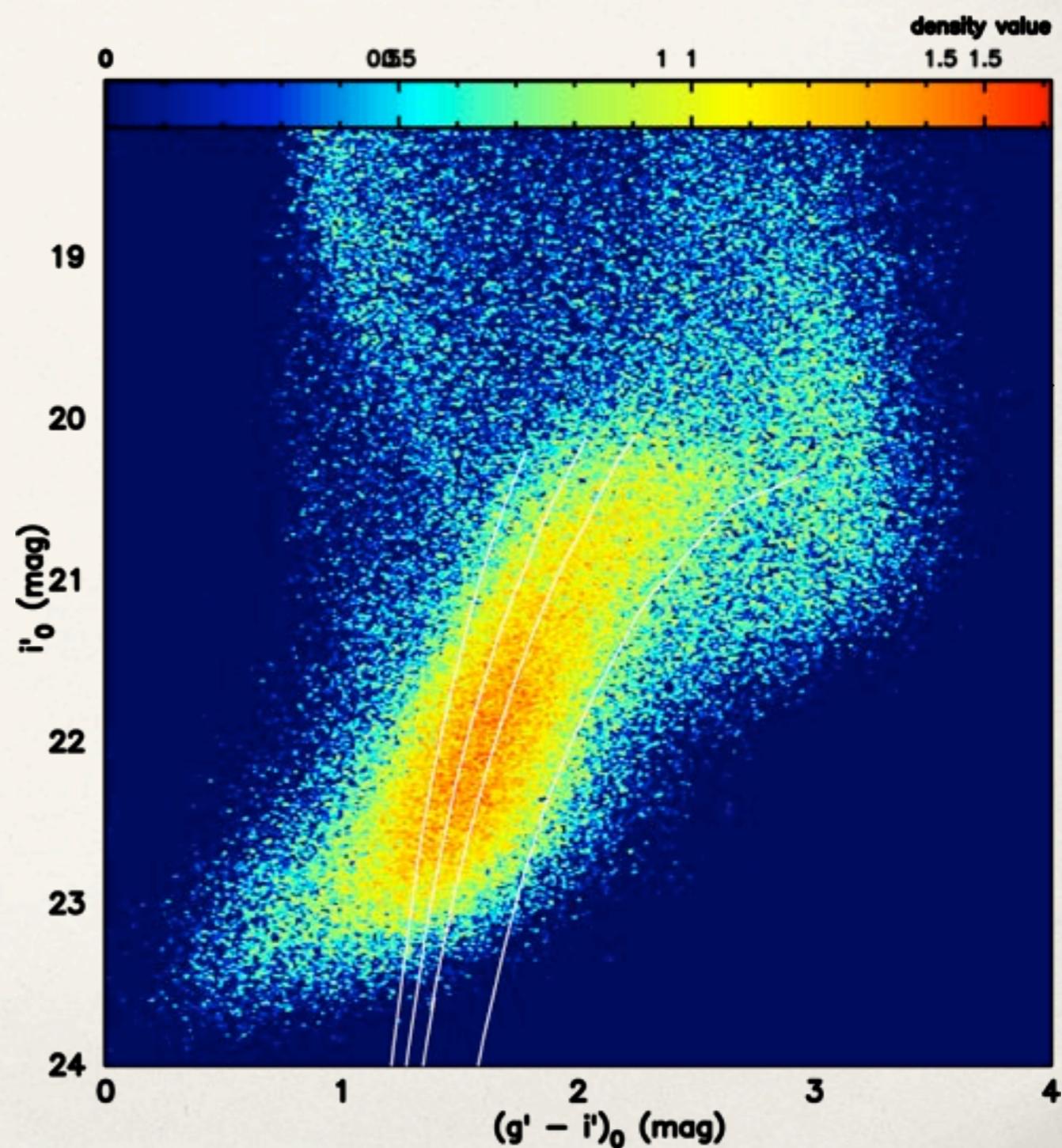
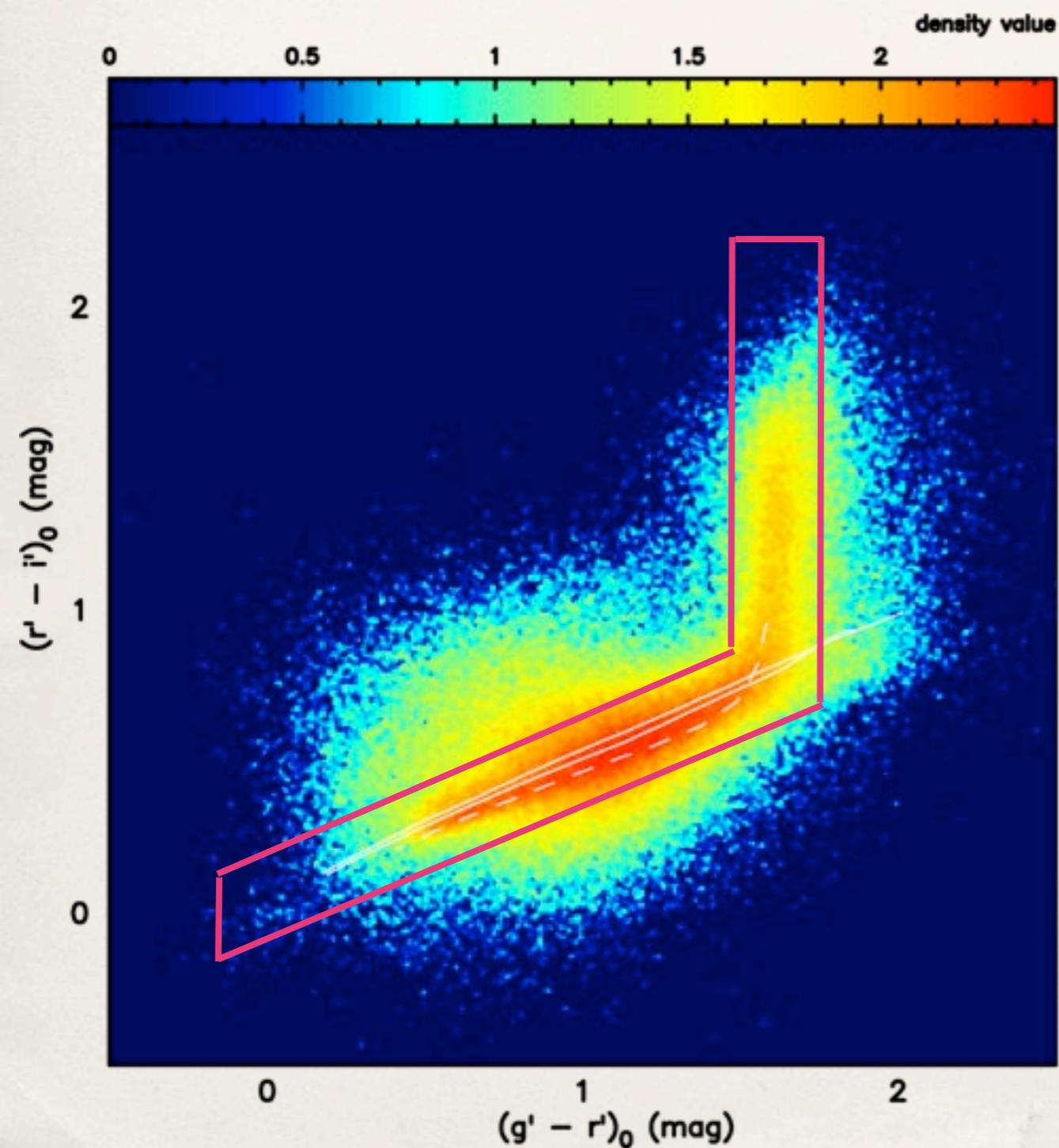
分光サンプルを得るための明るい赤色巨星を拾うだけならあまり関係ないですが、

水平分枝星などM31の暗い星をターゲットにすると重要になる。

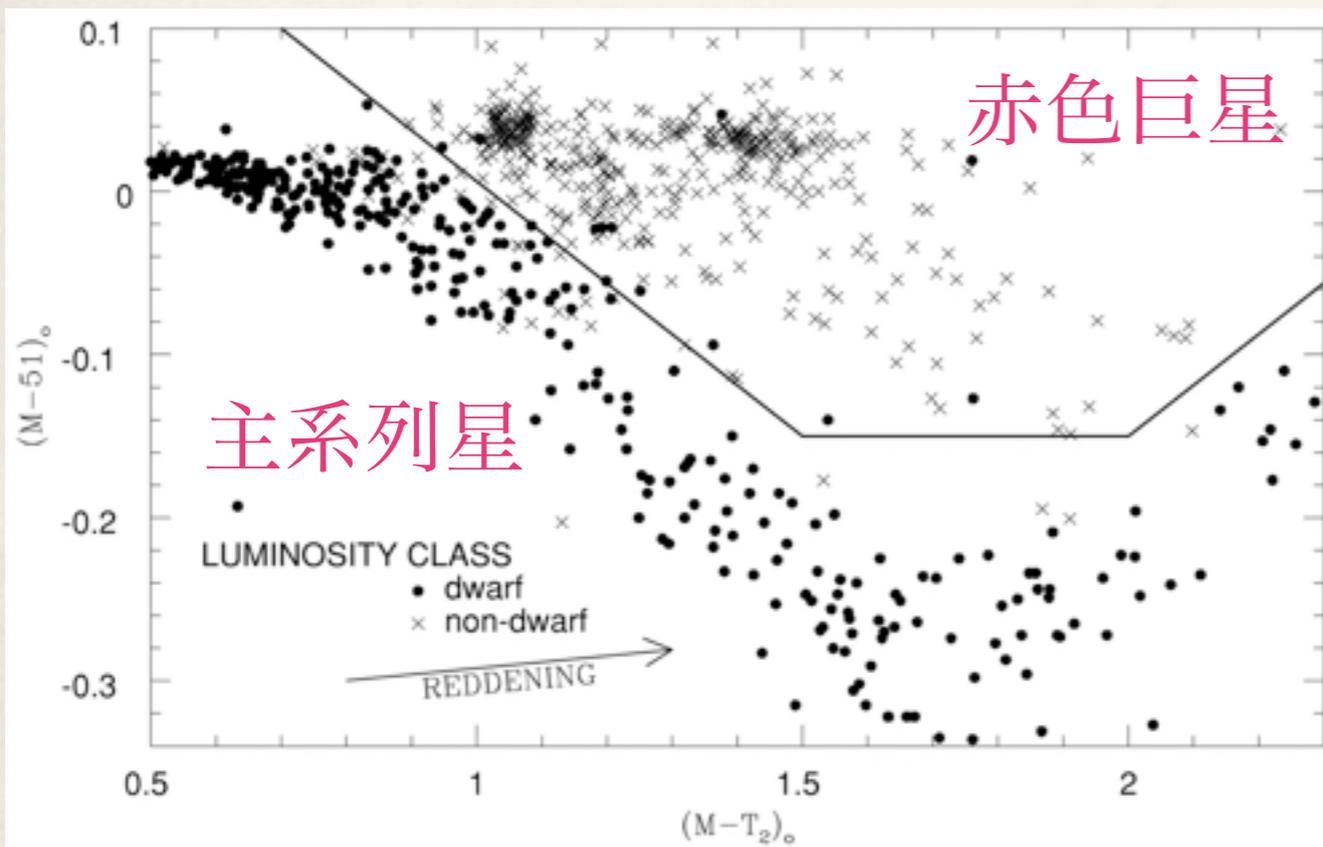
背景銀河の影響を減らす二色図 ($g-r$ vs $r-i$)



背景銀河の影響を減らす二色図 ($g-r$ vs $r-i$)



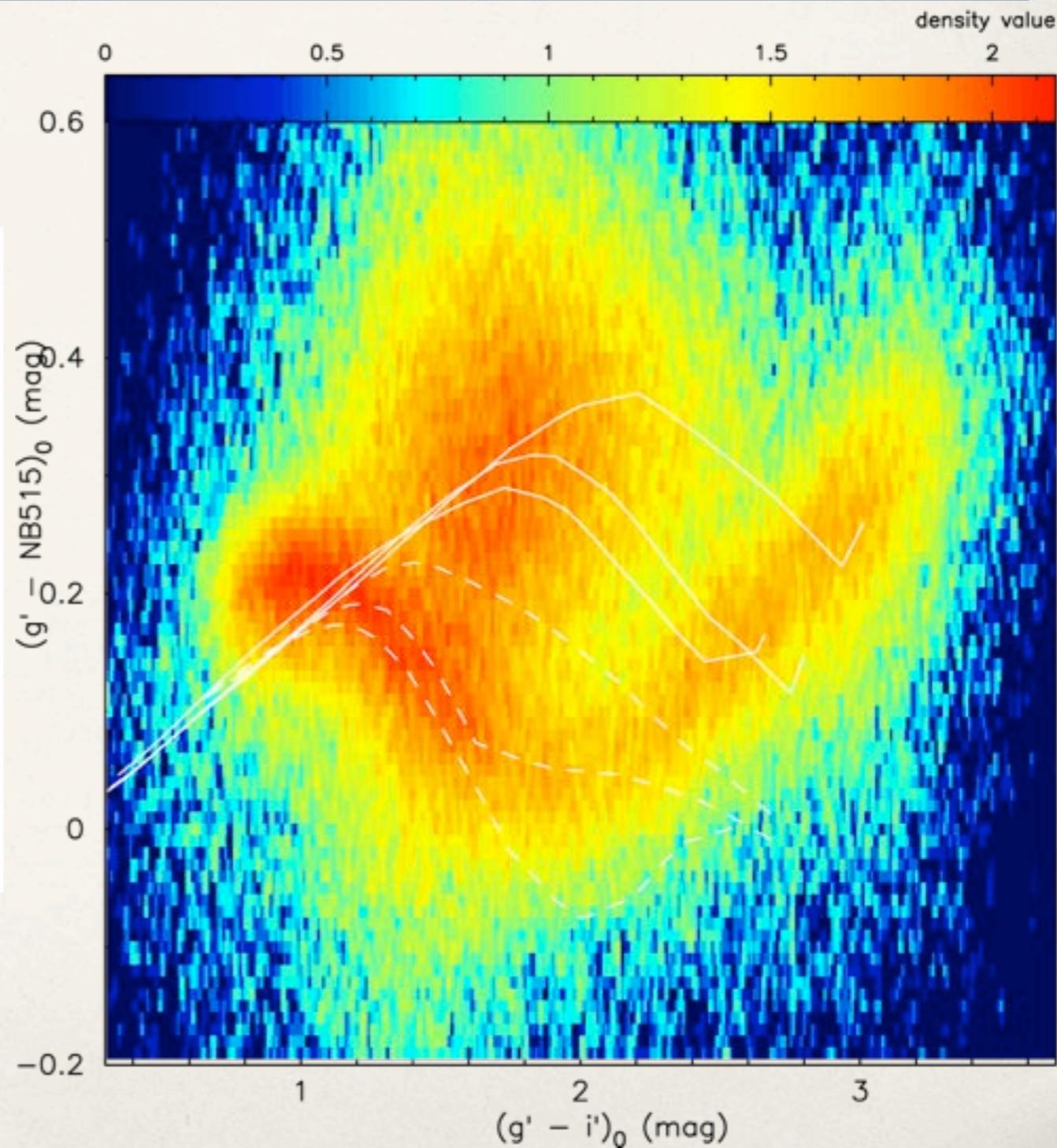
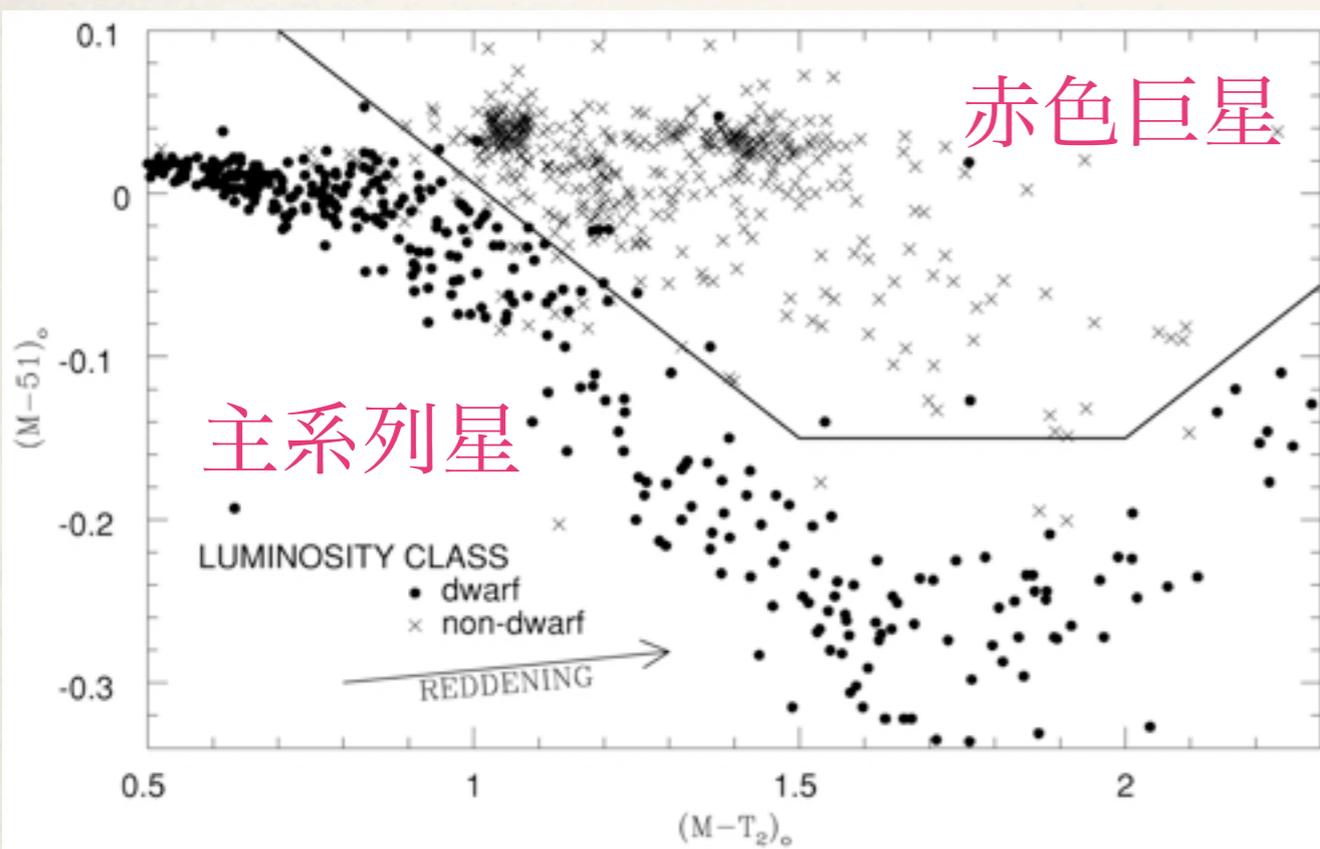
前景星の影響を減らす二色図 ($g-i$ vs $g-NB515$)



M- T_2 vs M-DDO51
(Majewski+00)

from 色んな銀河系球状星団&散開星団

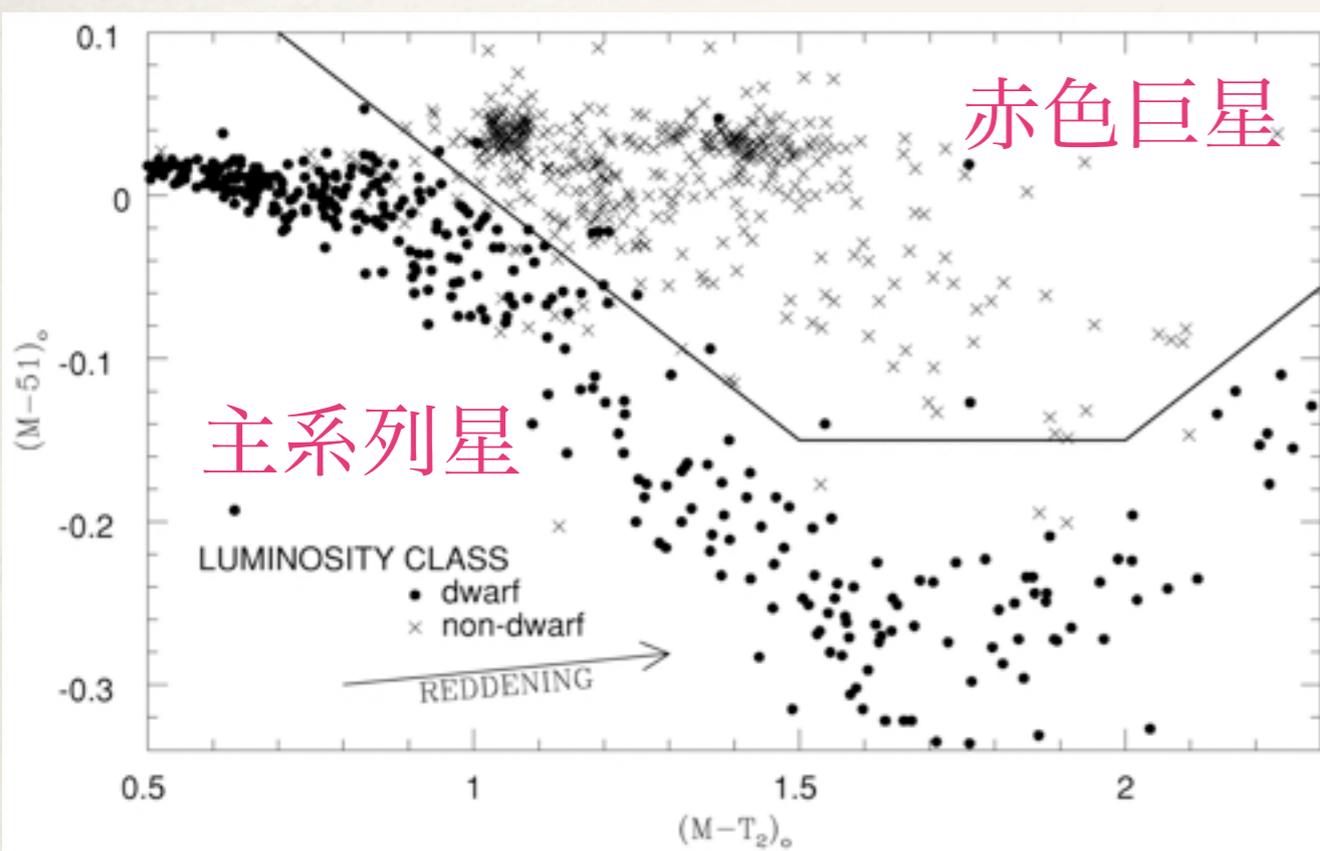
前景星の影響を減らす二色図 ($g-i$ vs $g-NB515$)



M- T_2 vs M-DDO51
(Majewski+00)

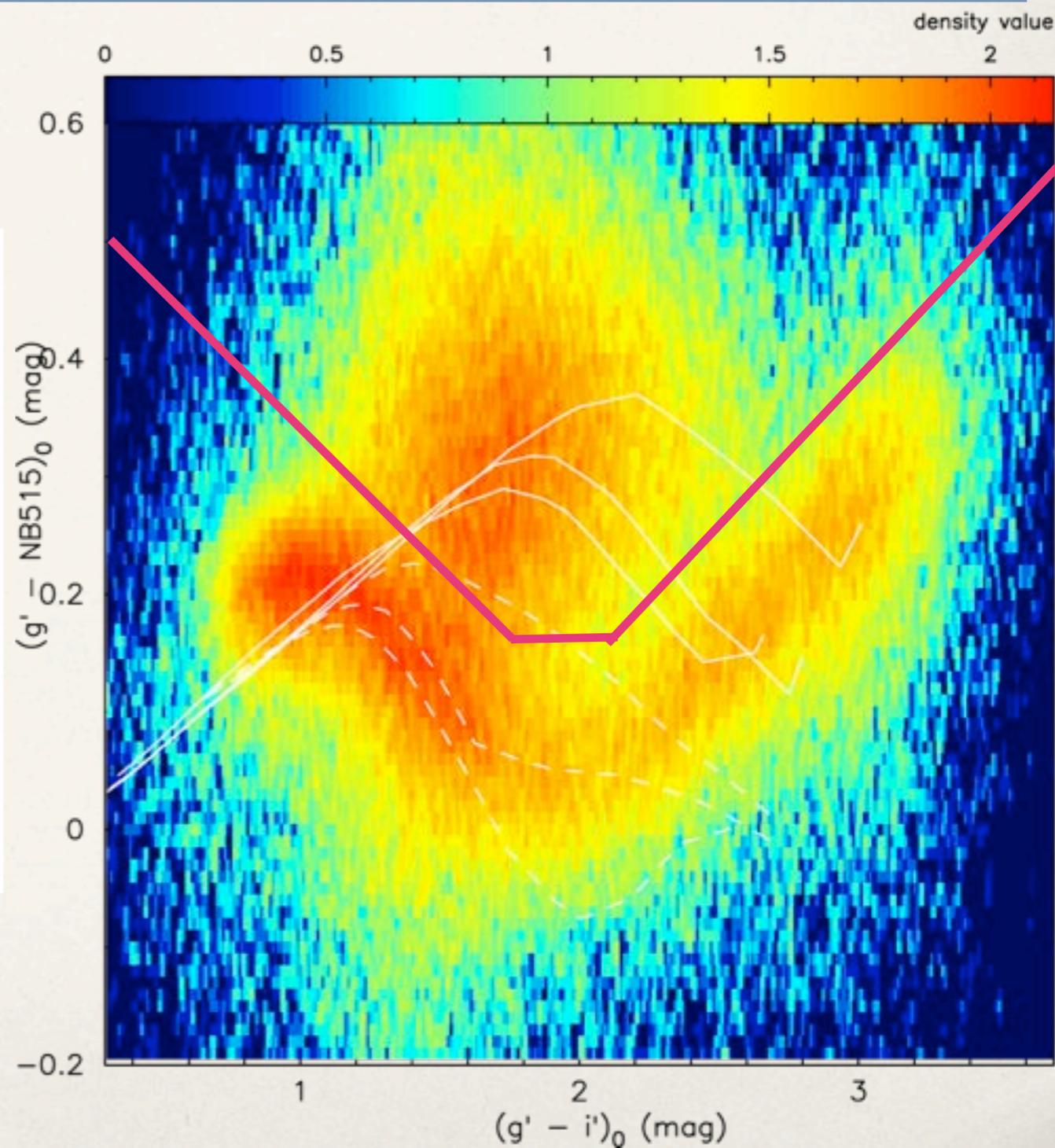
from 色んな銀河系球状星団&散開星団

前景星の影響を減らす二色図 ($g-i$ vs $g-NB515$)

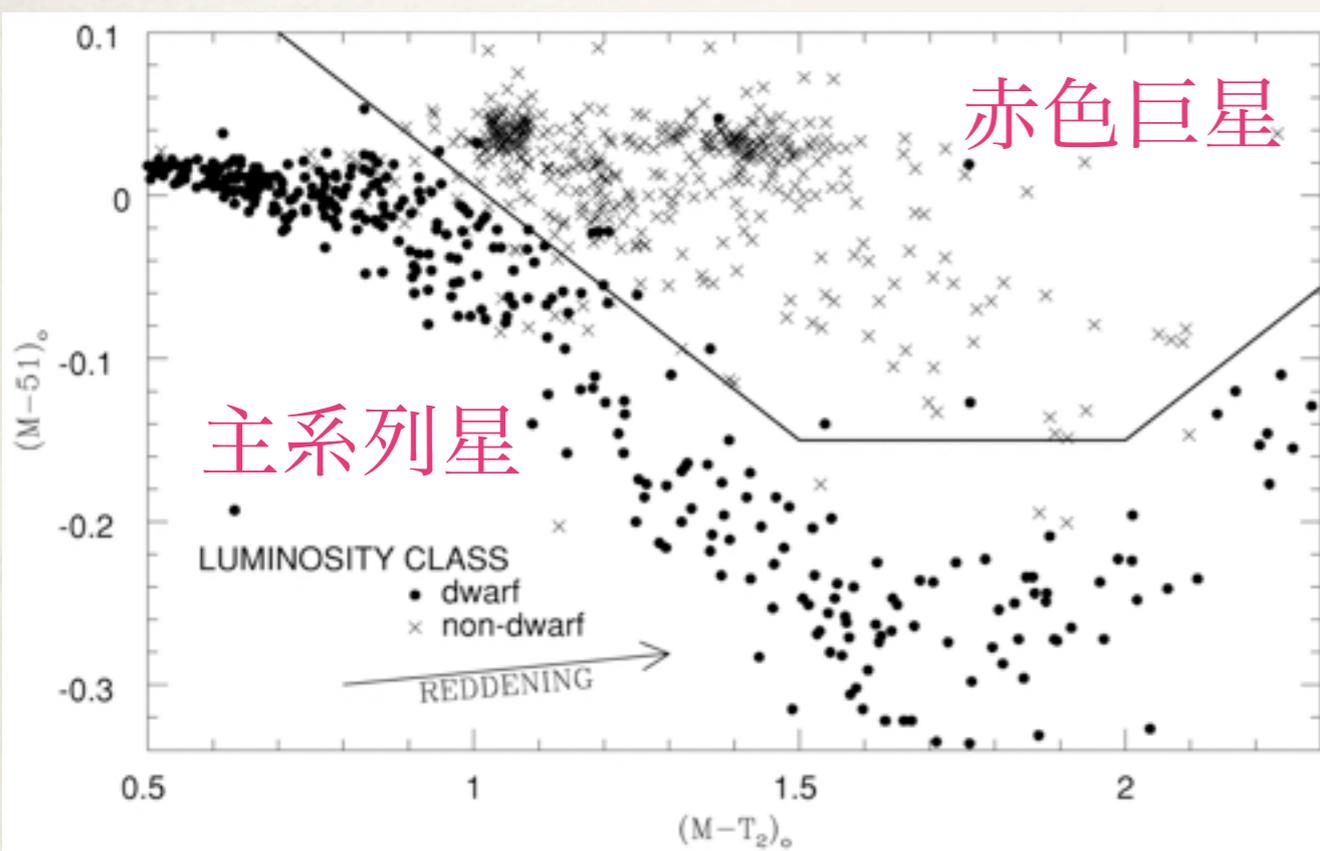


M- T_2 vs M-DDO51
(Majewski+00)

from 色んな銀河系球状星団&散開星団

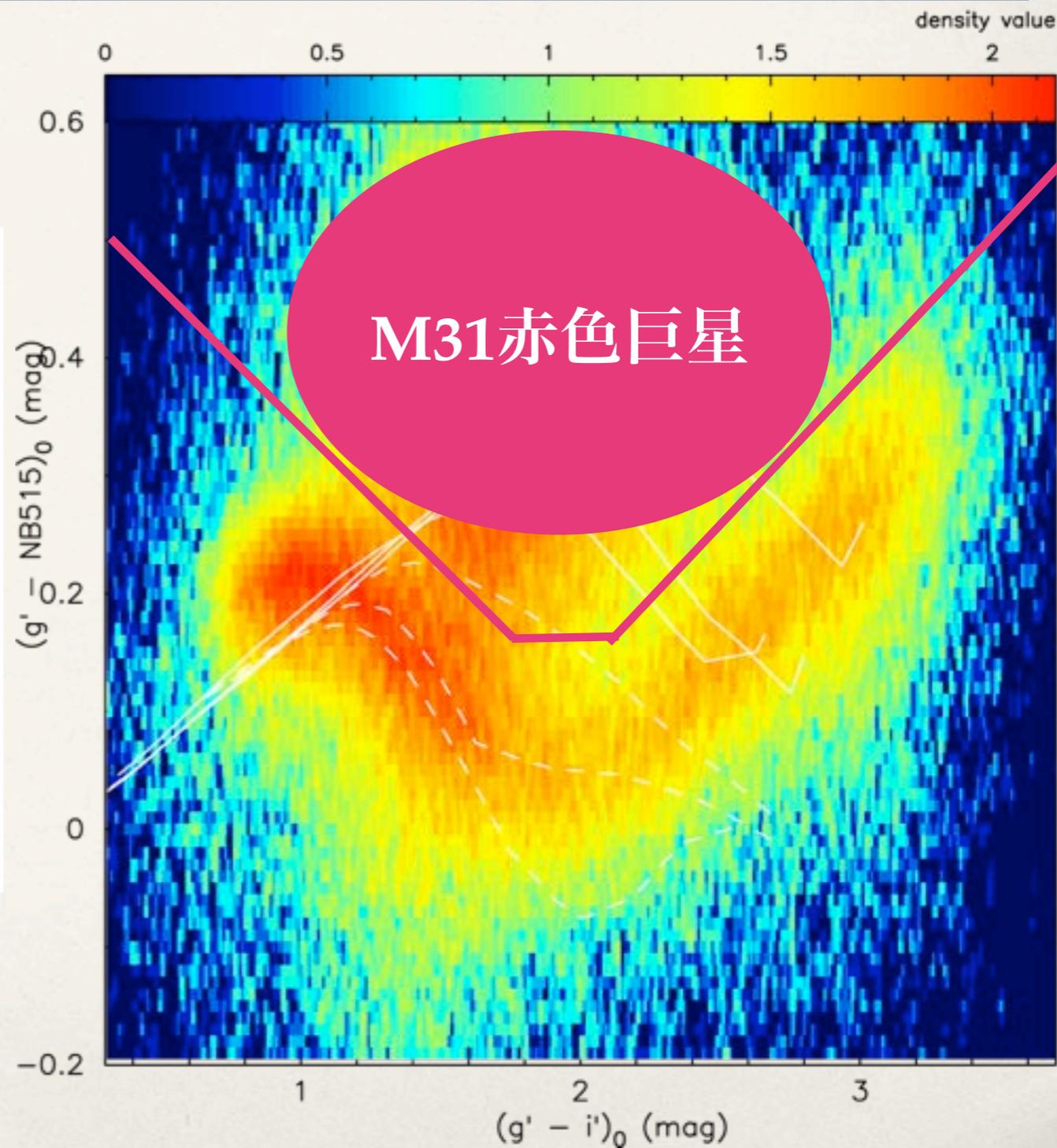


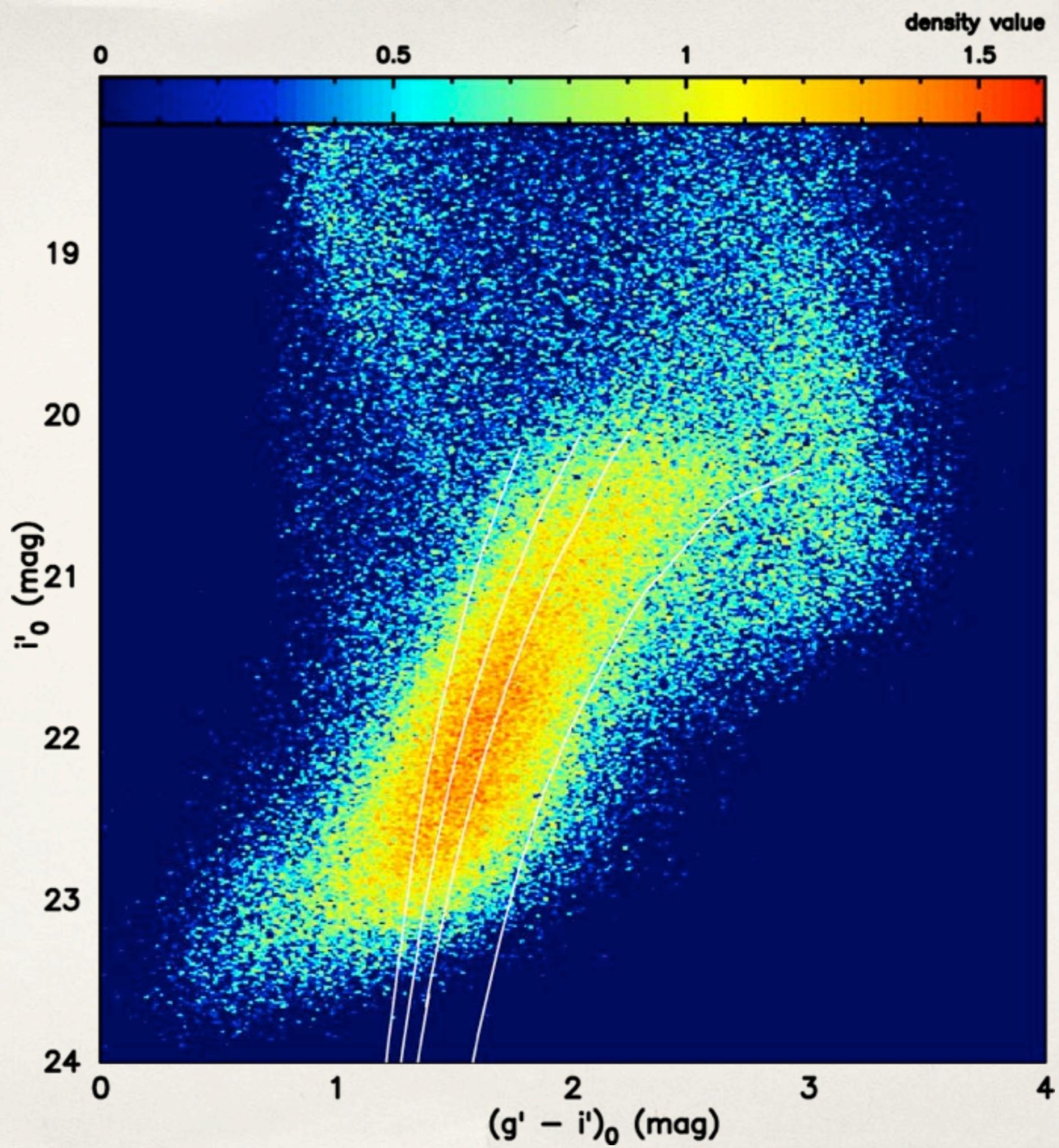
前景星の影響を減らす二色図 ($g-i$ vs $g-NB515$)

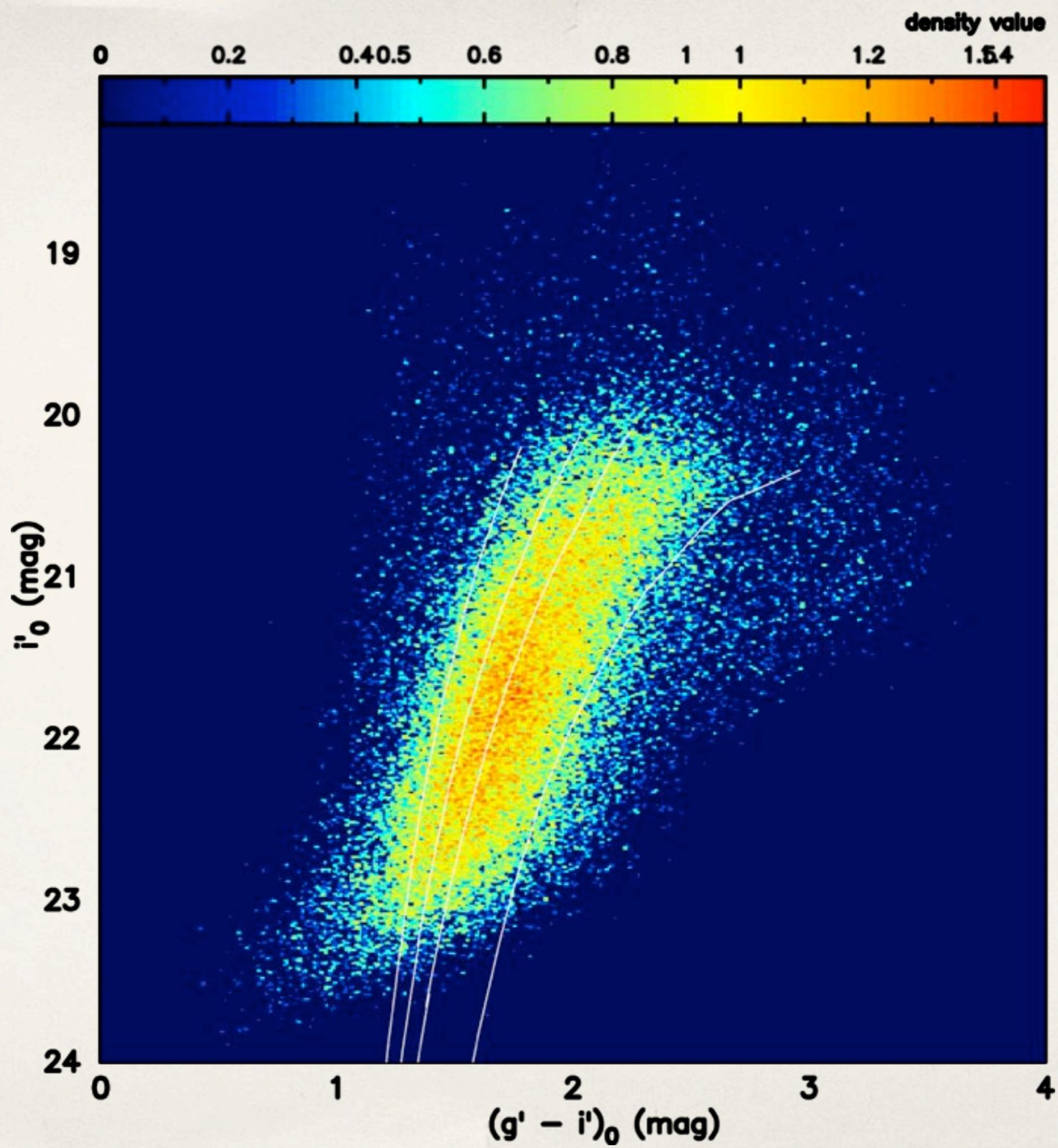


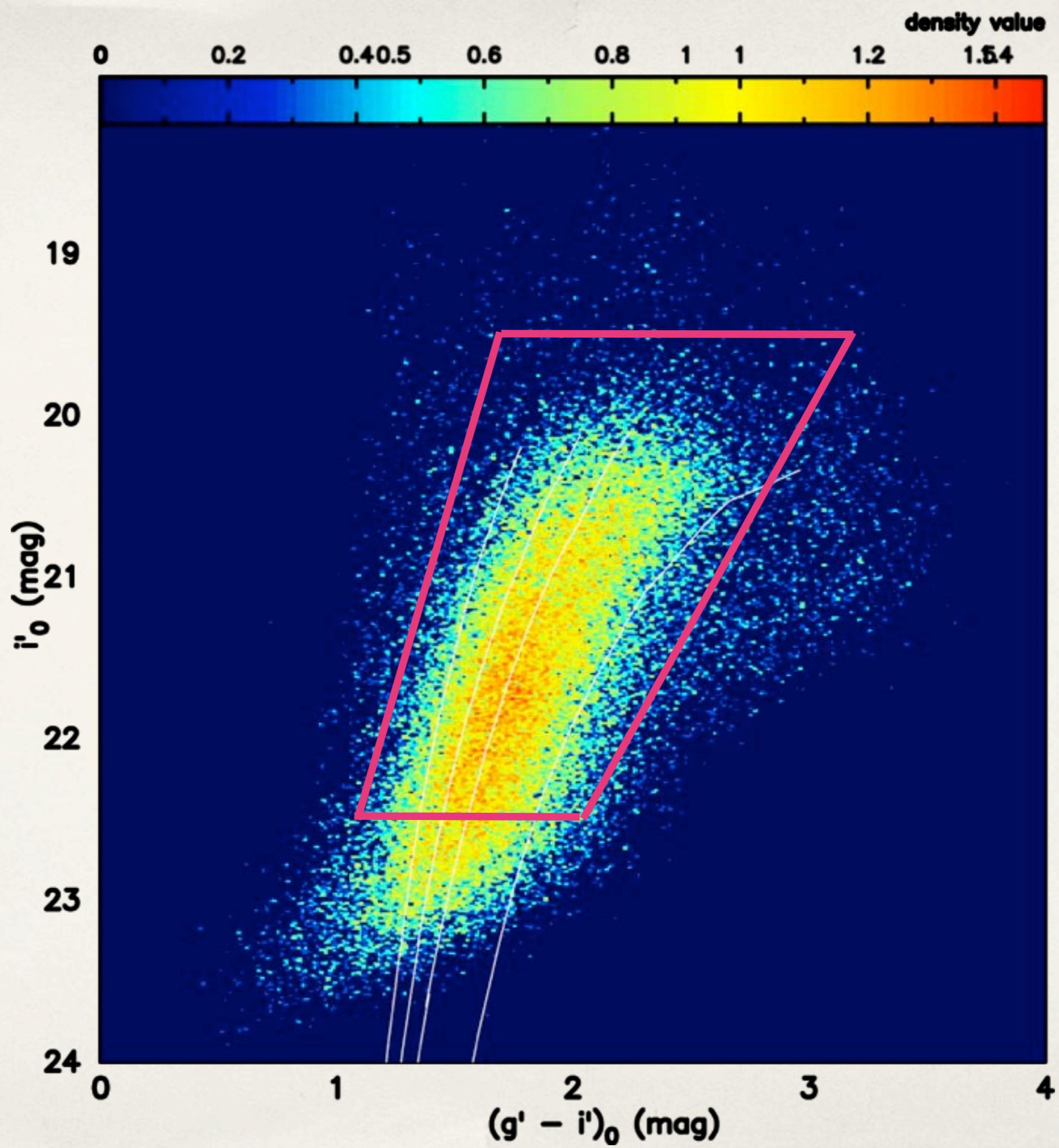
M- T_2 vs M-DDO51
(Majewski+00)

from 色んな銀河系球状星団&散開星団



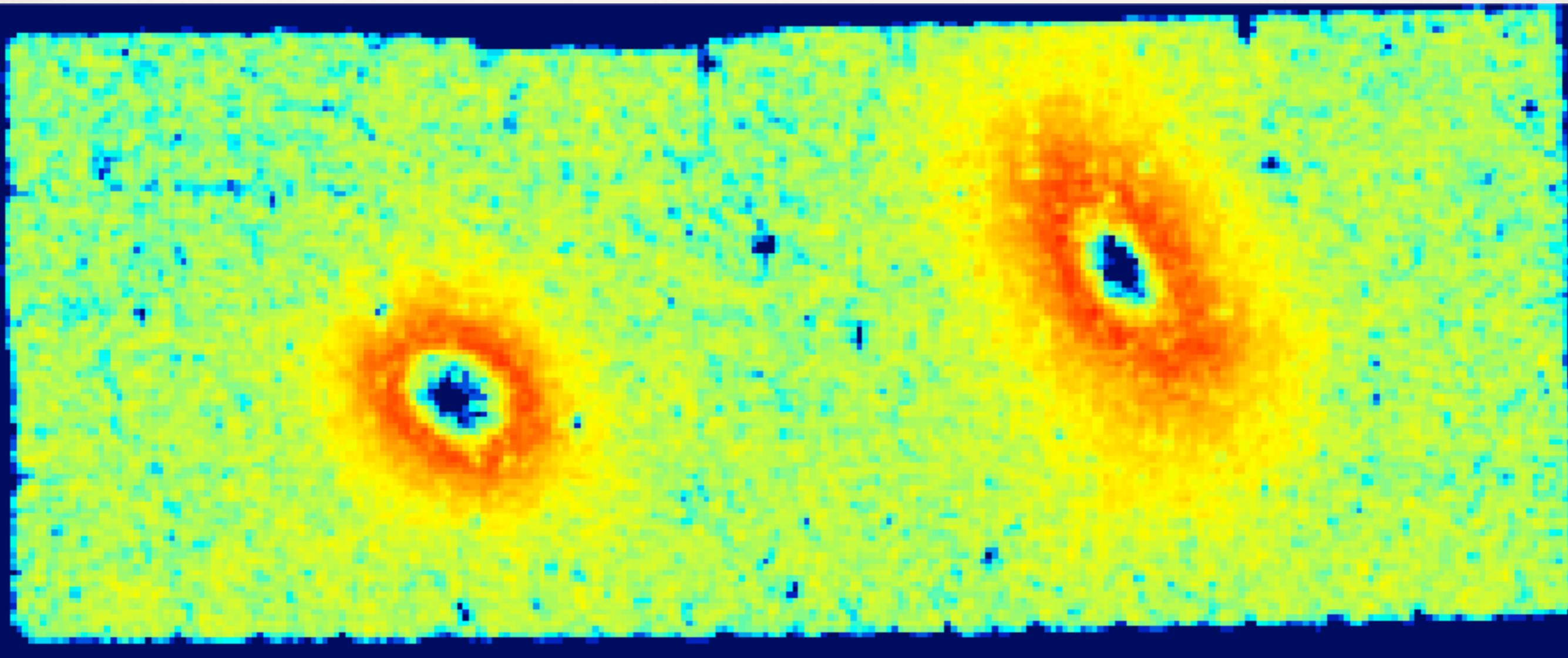






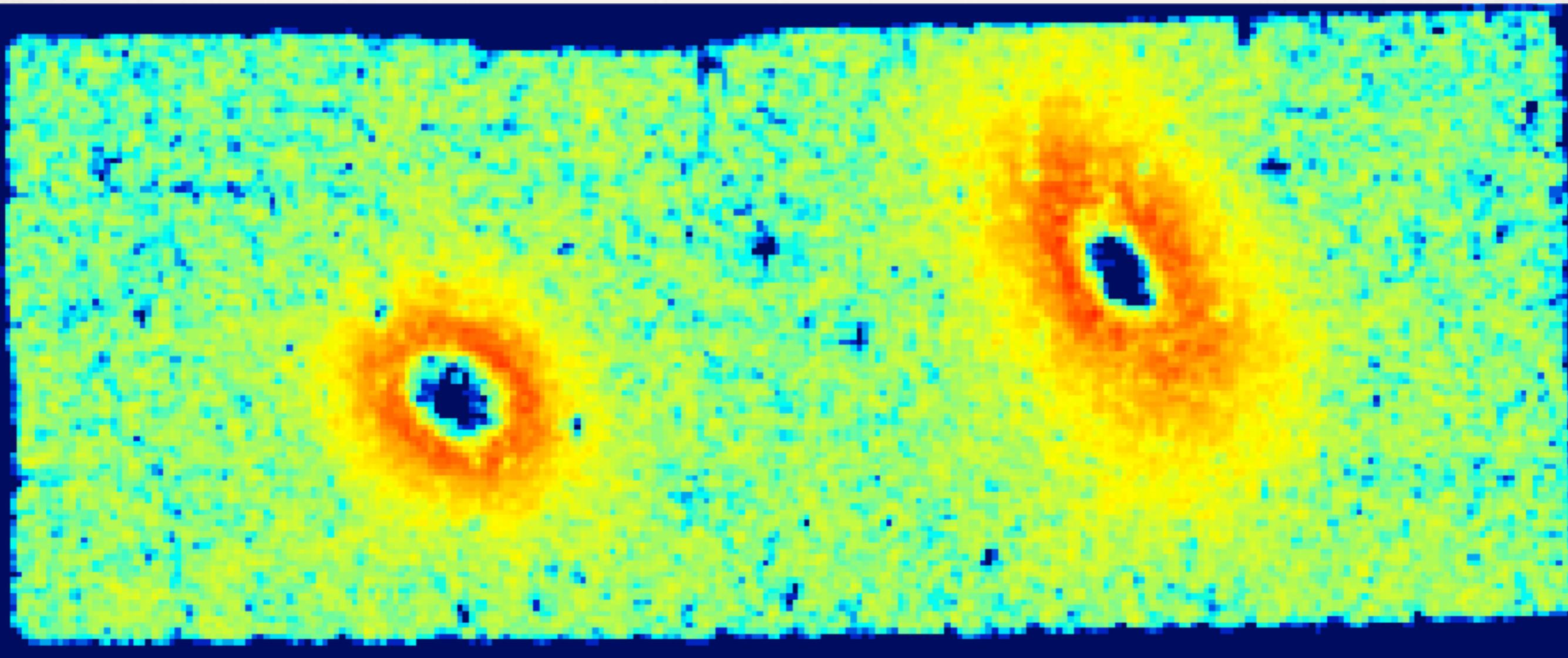
密度マップ

密度マップ



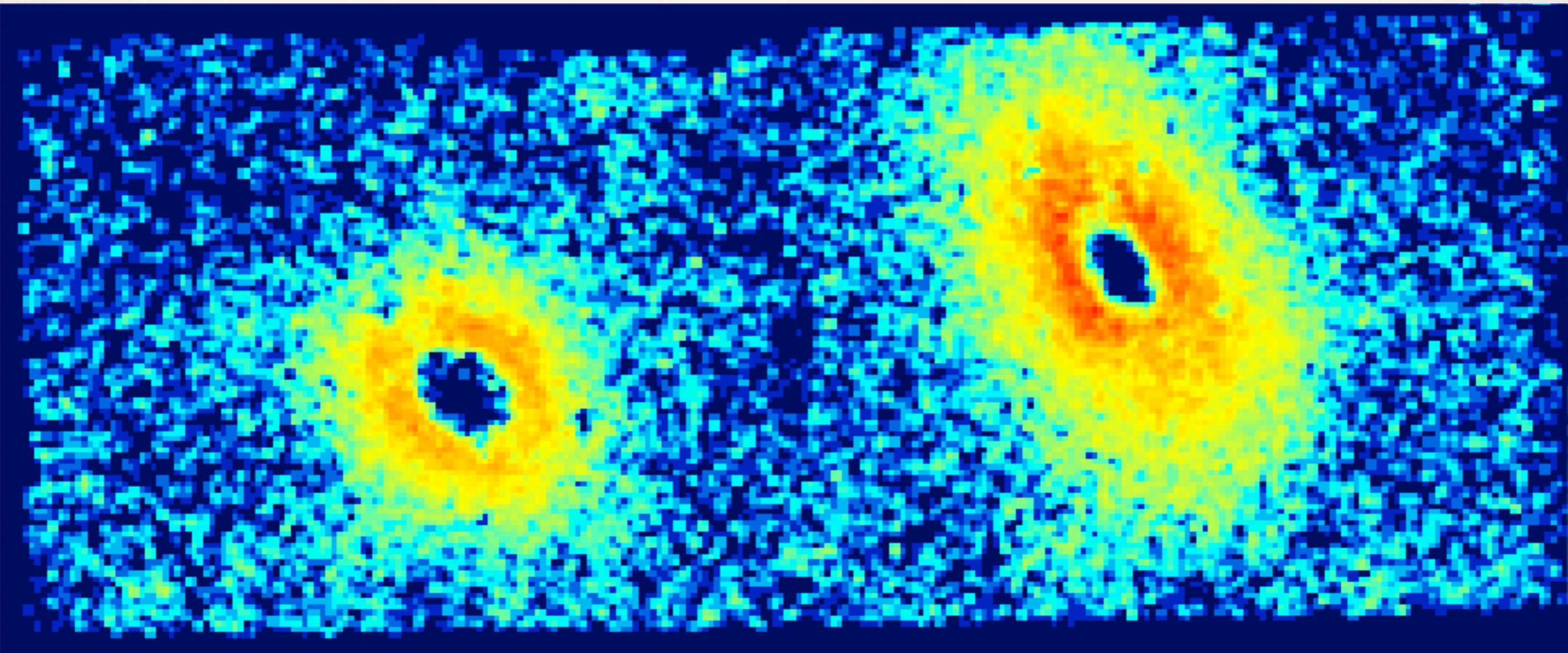
ほぼ生

密度マップ



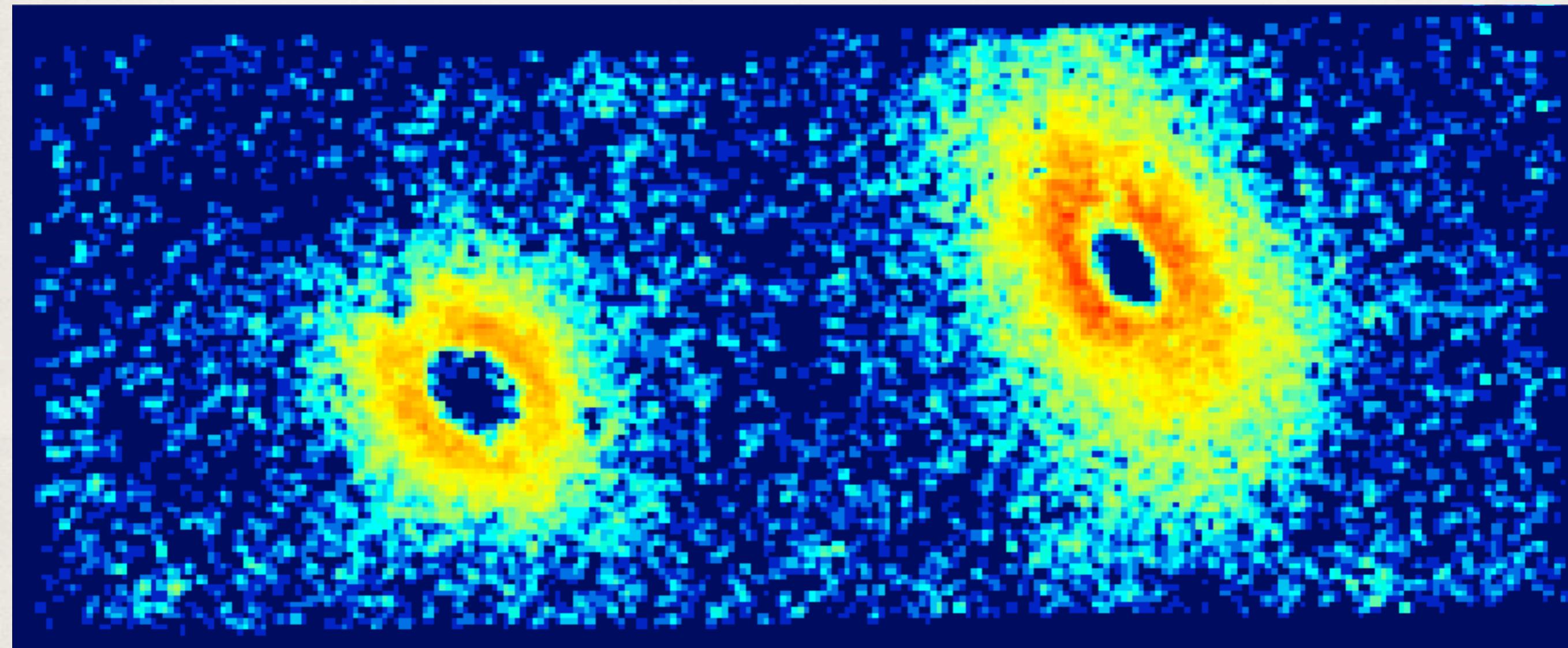
ほぼ生 + r-band

密度マップ



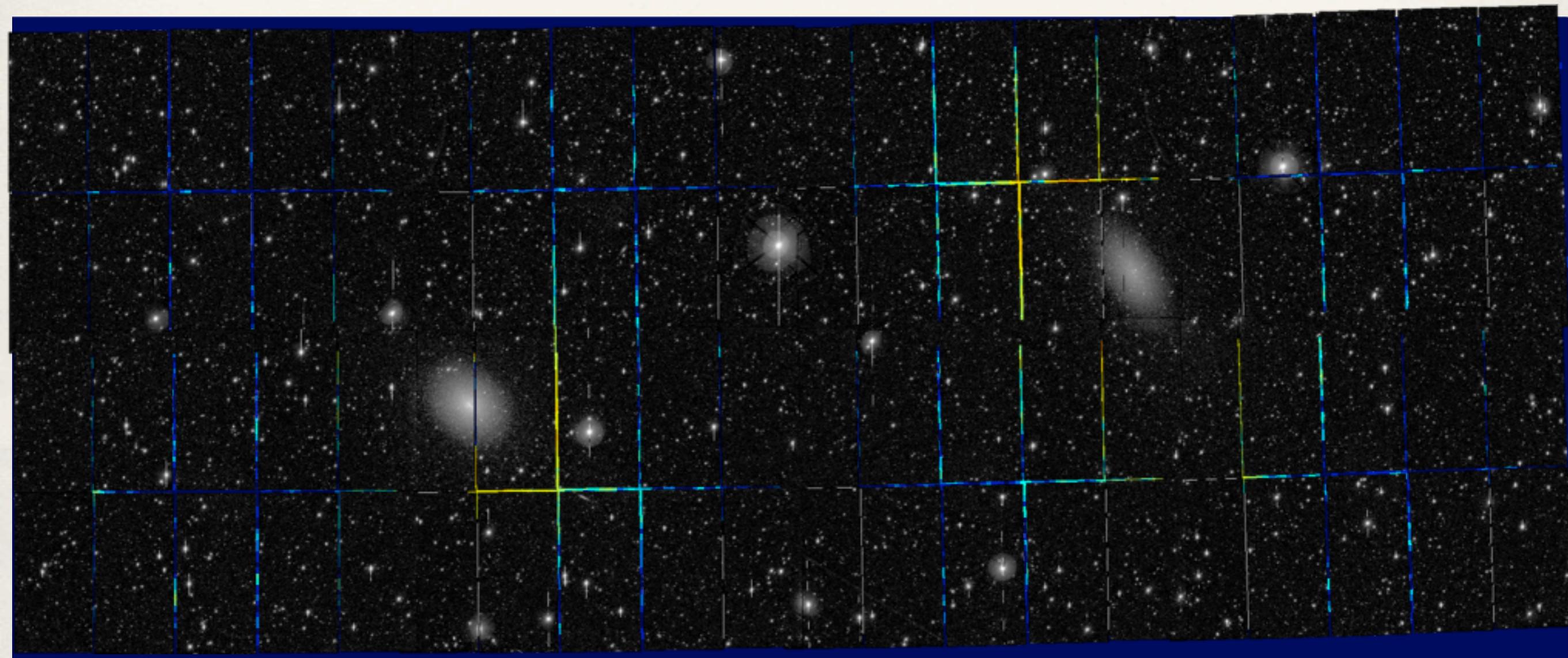
ほぼ生 + r-band + NB515

密度マップ



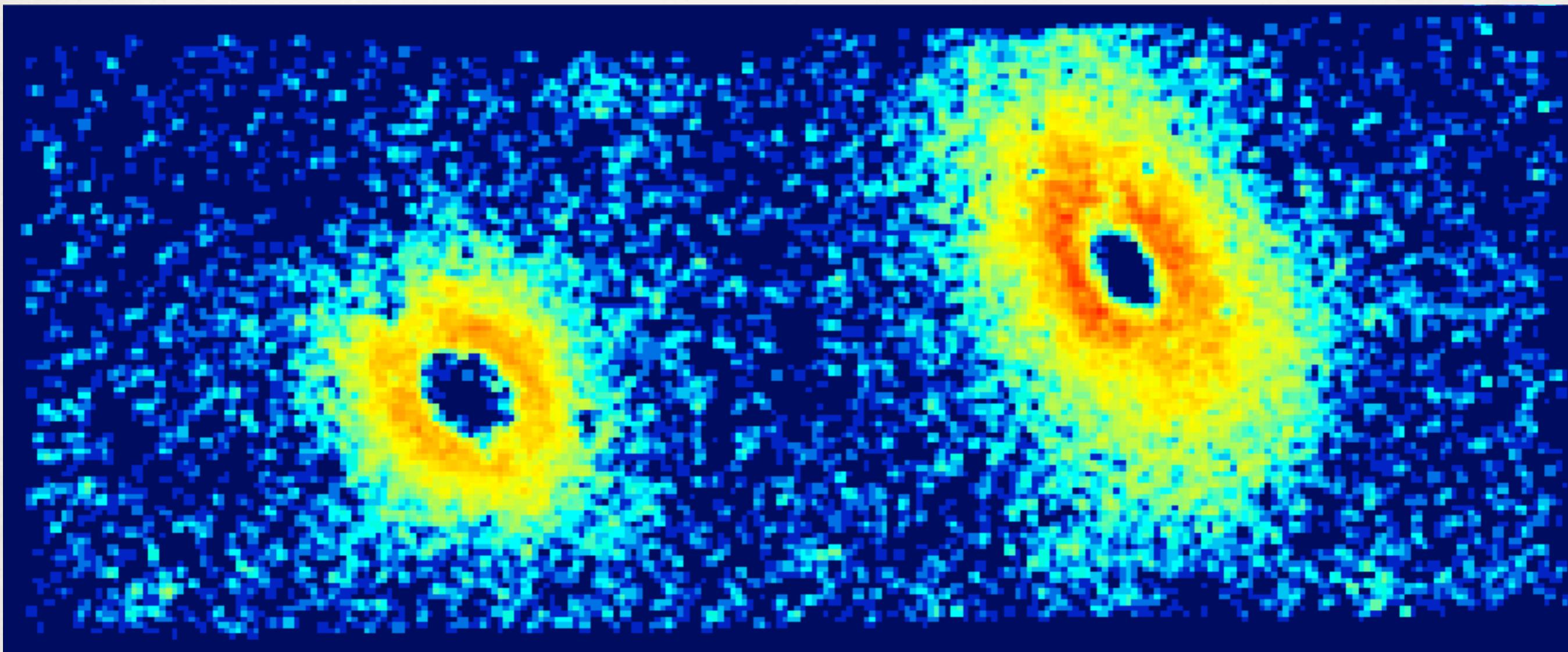
ほぼ生 + r-band + NB515 + RGB on 色等級図

密度マップ



ほぼ生 + r-band + NB515 + RGB on 色等級図

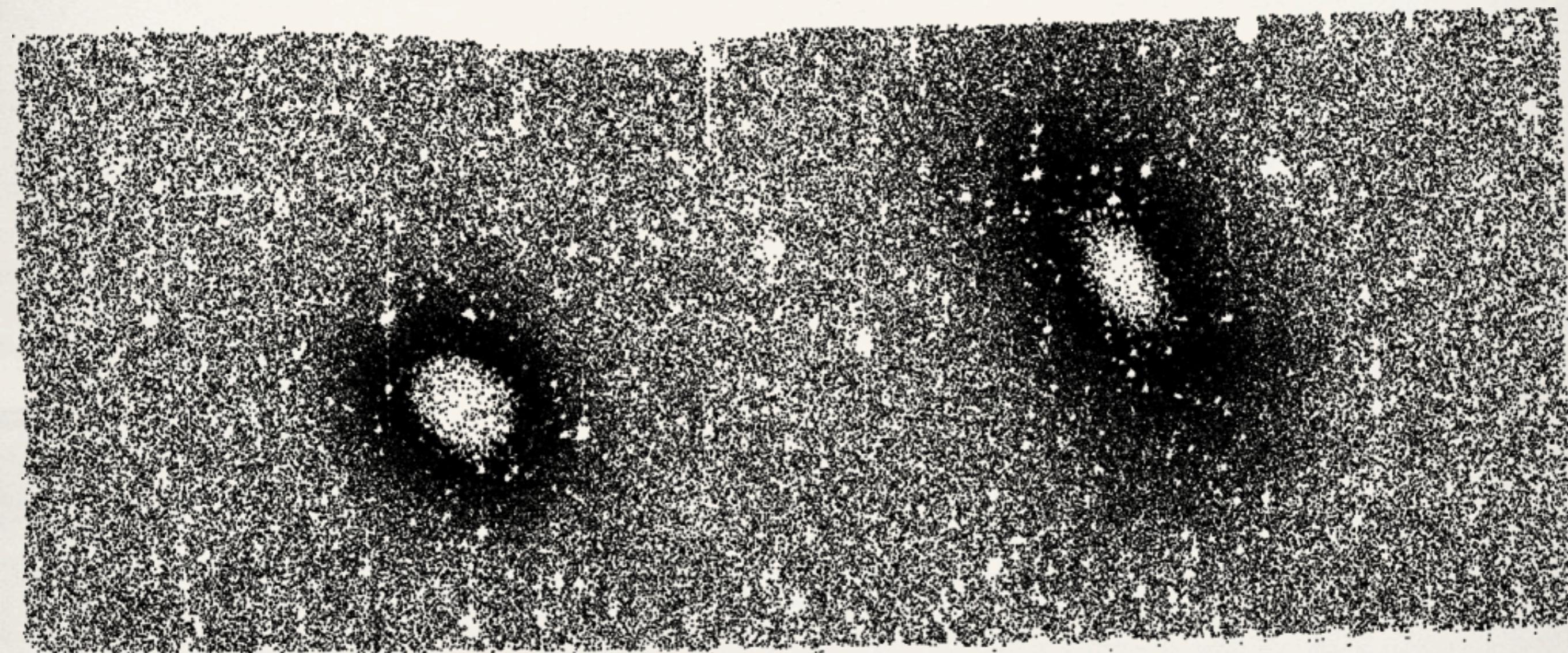
密度マップ



ほぼ生 + r-band + NB515 + RGB on 色等級図

Keck/DEIMOSでconfirmされたM31RGB星との比較

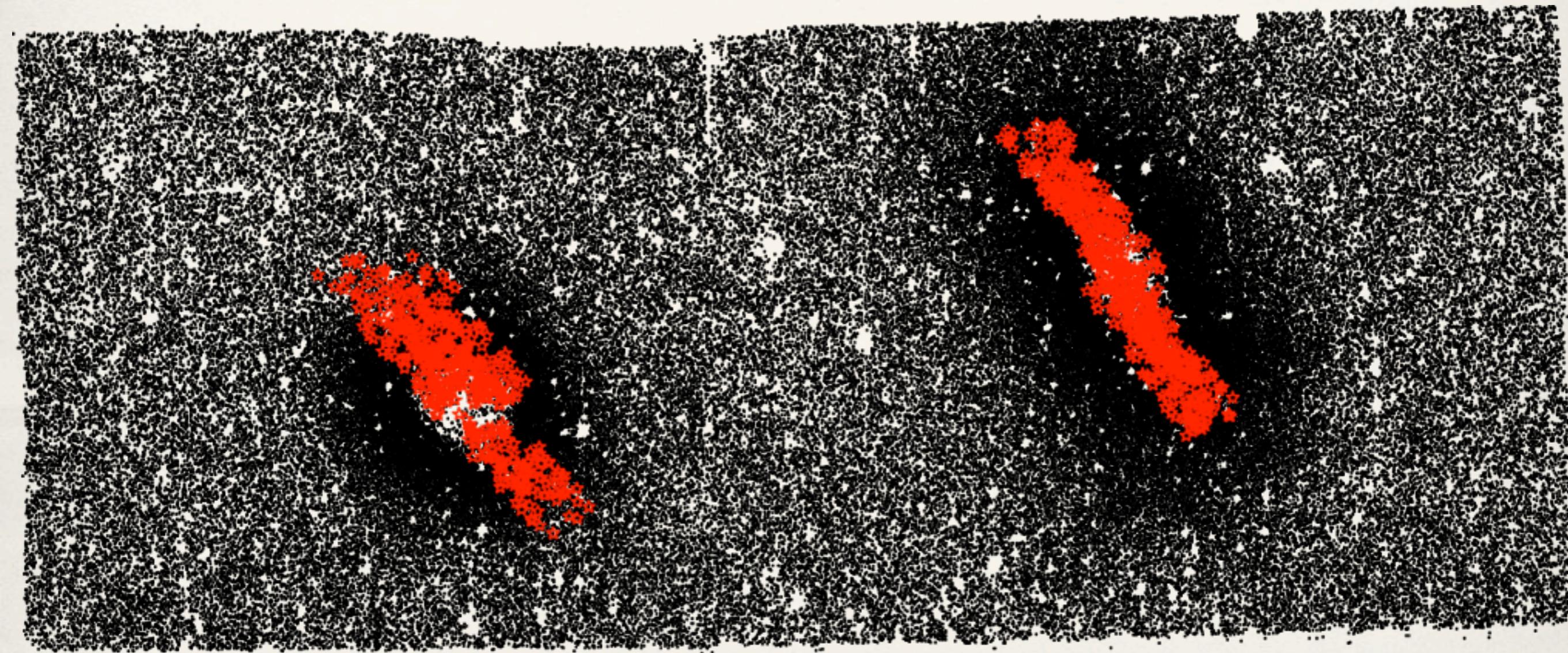
Geha+10より



Keck/DEIMOSでconfirmされたM31RGB星との比較

Geha+10より

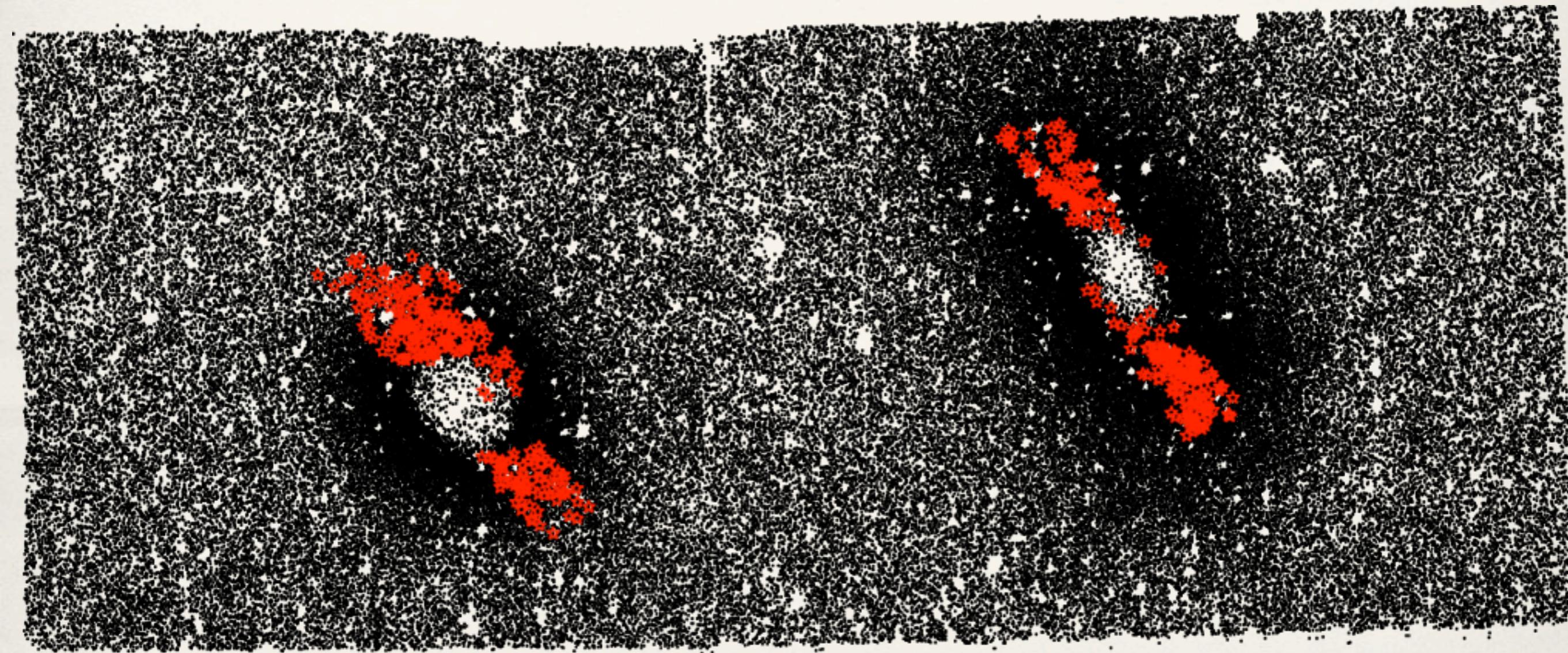
赤が分光RGB星で、青がNB515をパスしたRGB星



Keck/DEIMOSでconfirmされたM31RGB星との比較

Geha+10より

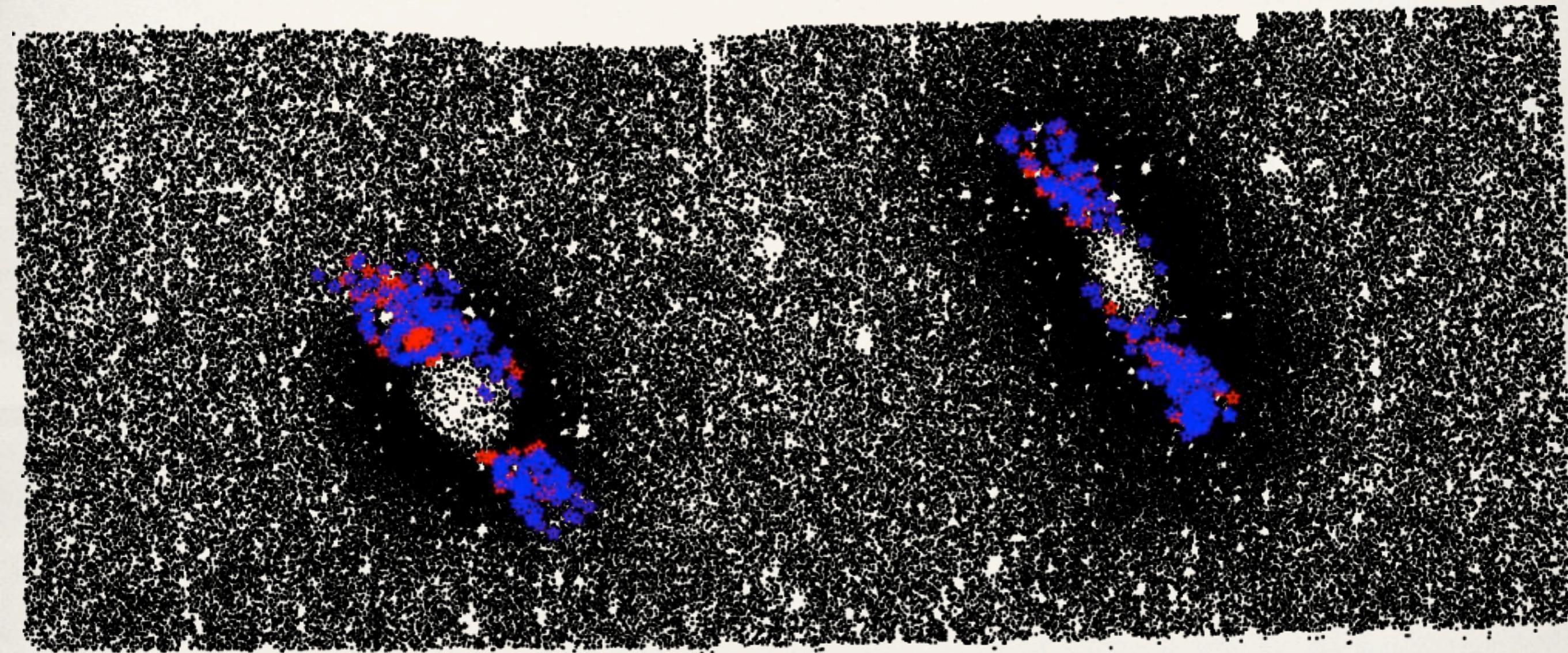
赤が分光RGB星で、青がNB515をパスしたRGB星



Keck/DEIMOSでconfirmされたM31RGB星との比較

Geha+10より

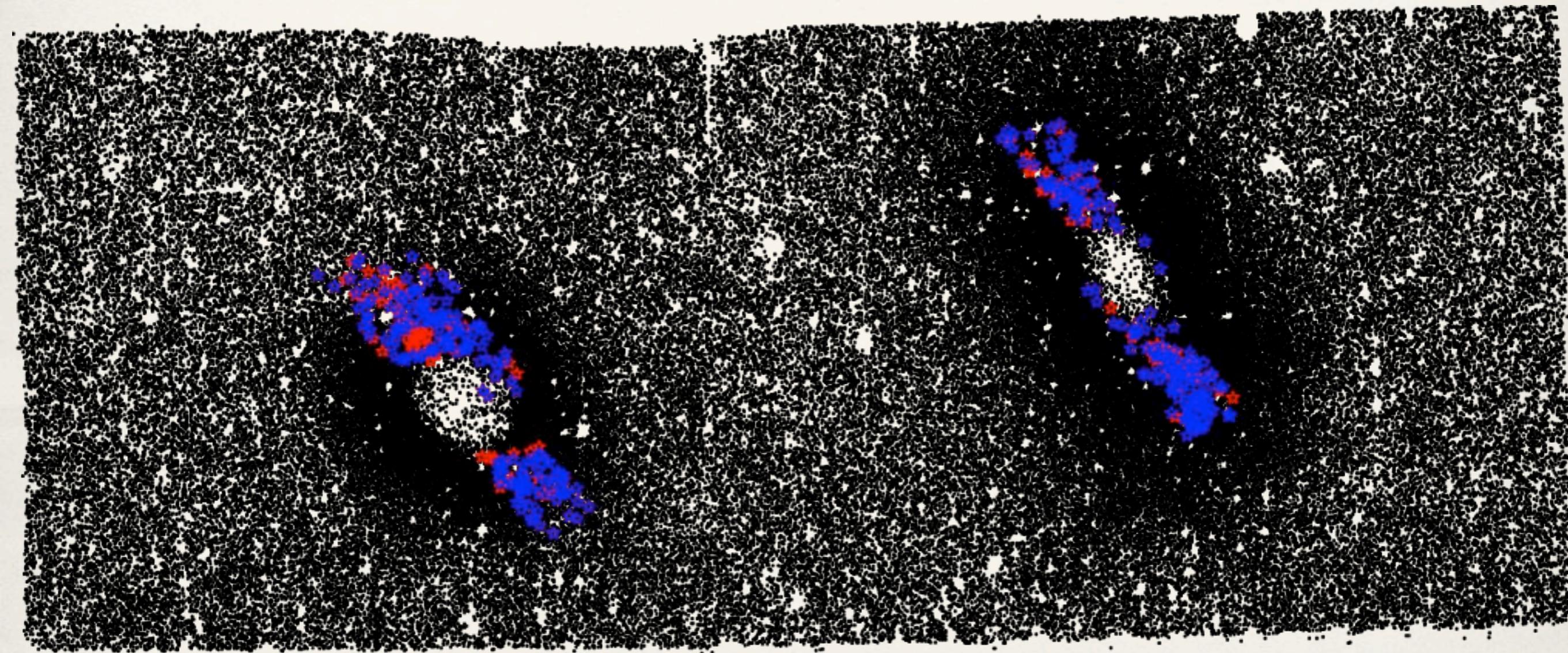
赤が分光RGB星で、青がNB515をパスしたRGB星



Keck/DEIMOSでconfirmされたM31RGB星との比較

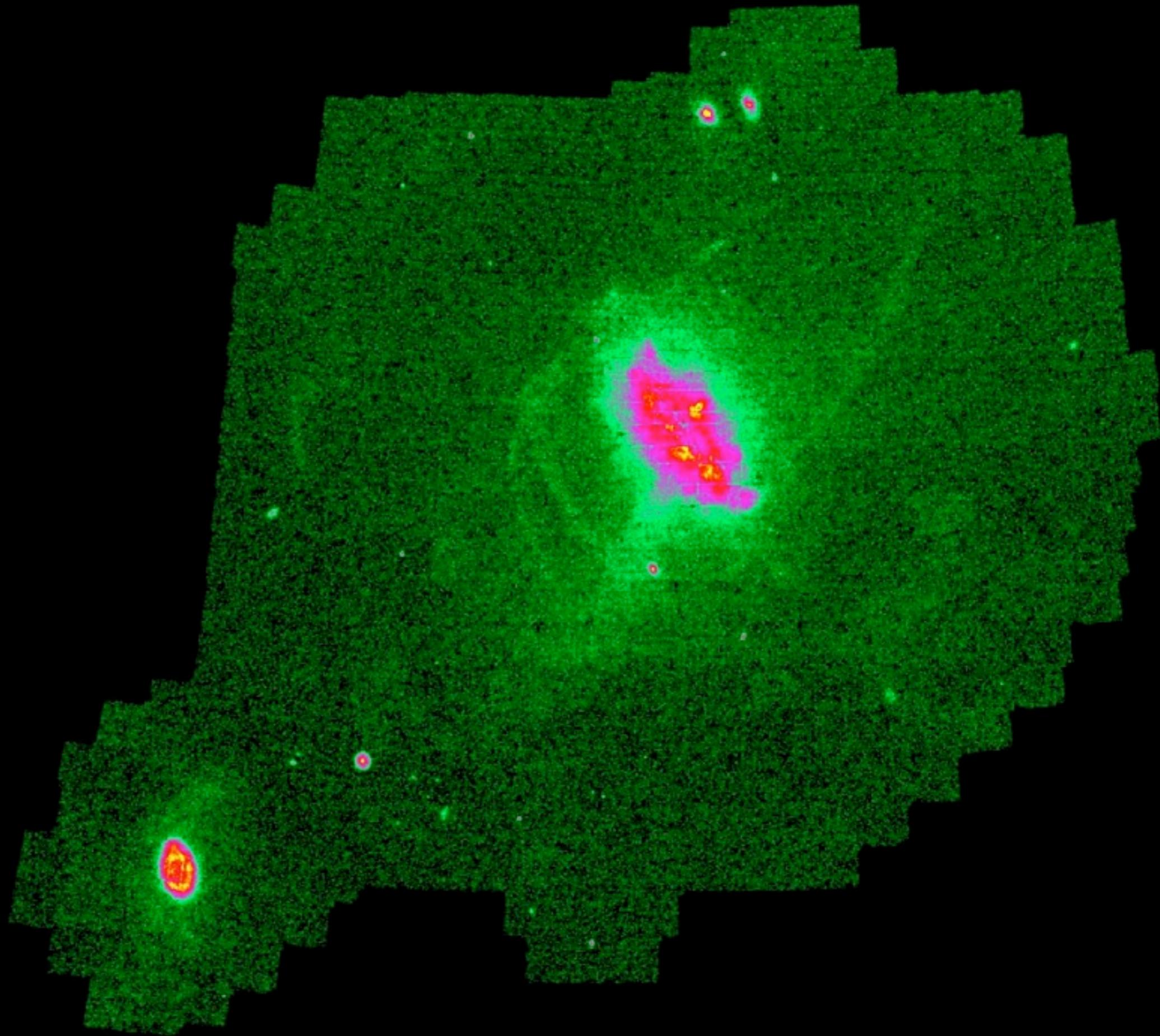
Geha+10より

赤が分光RGB星で、青がNB515をパスしたRGB星



ラフな結果でも7,8割の回収率

criteriaの定量化と測光をSExtractorからPFS測光にすればもうちょっと改善

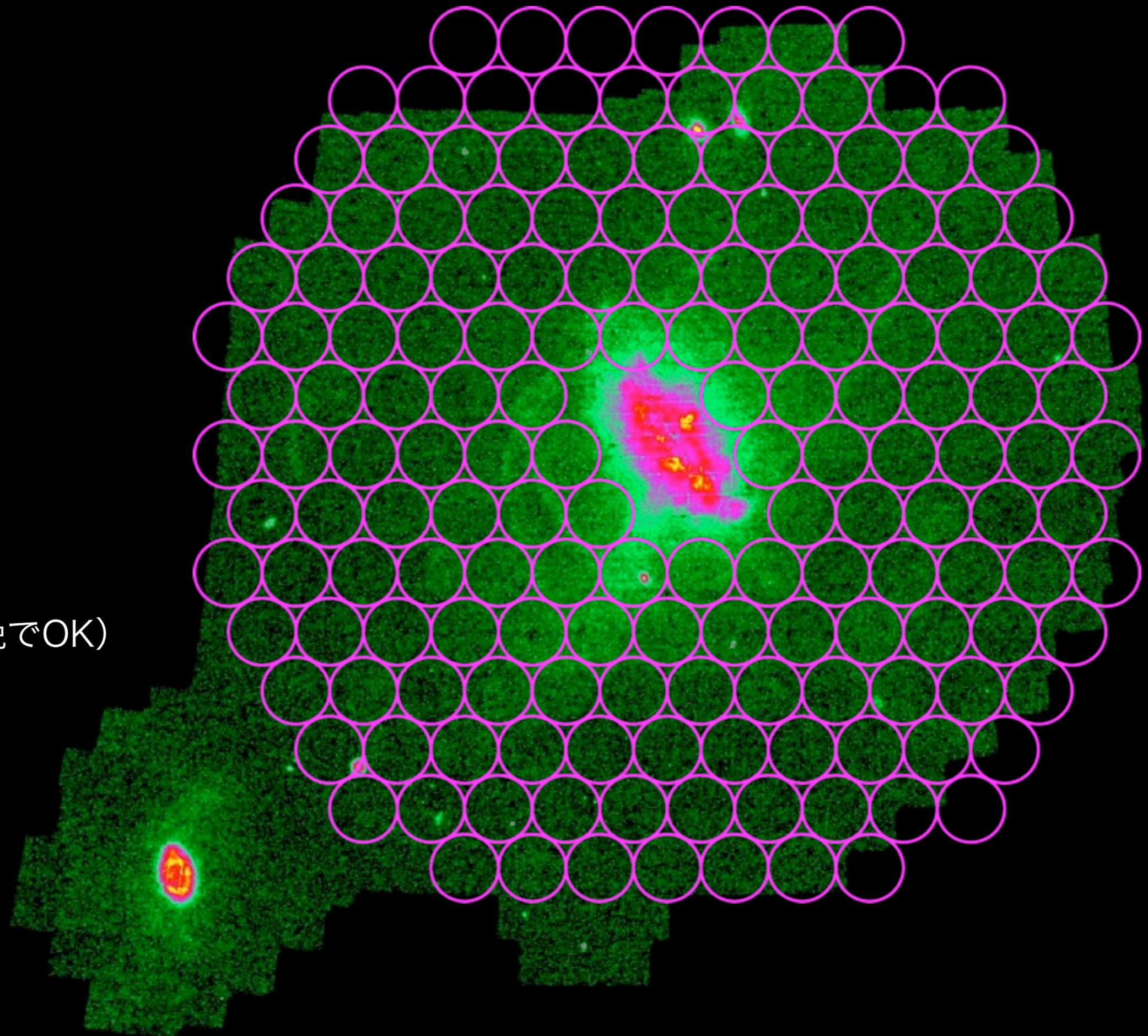


WIDE:

- ・ 観測装置：
Subaru/HSC
- ・ フィルター：
g', r', i', NB515
- ・ 積分時間：
各3分 (g', r', i')
15分 (NB515)
- ・ 172視野

→10晩

(r'を削れば9晩でOK)



WIDE:

・観測装置:

Subaru/HSC

・フィルター:

g' , r' , i' , NB515

・積分時間:

各3分 (g' , r' , i')

15分 (NB515)

・172視野

→10晩

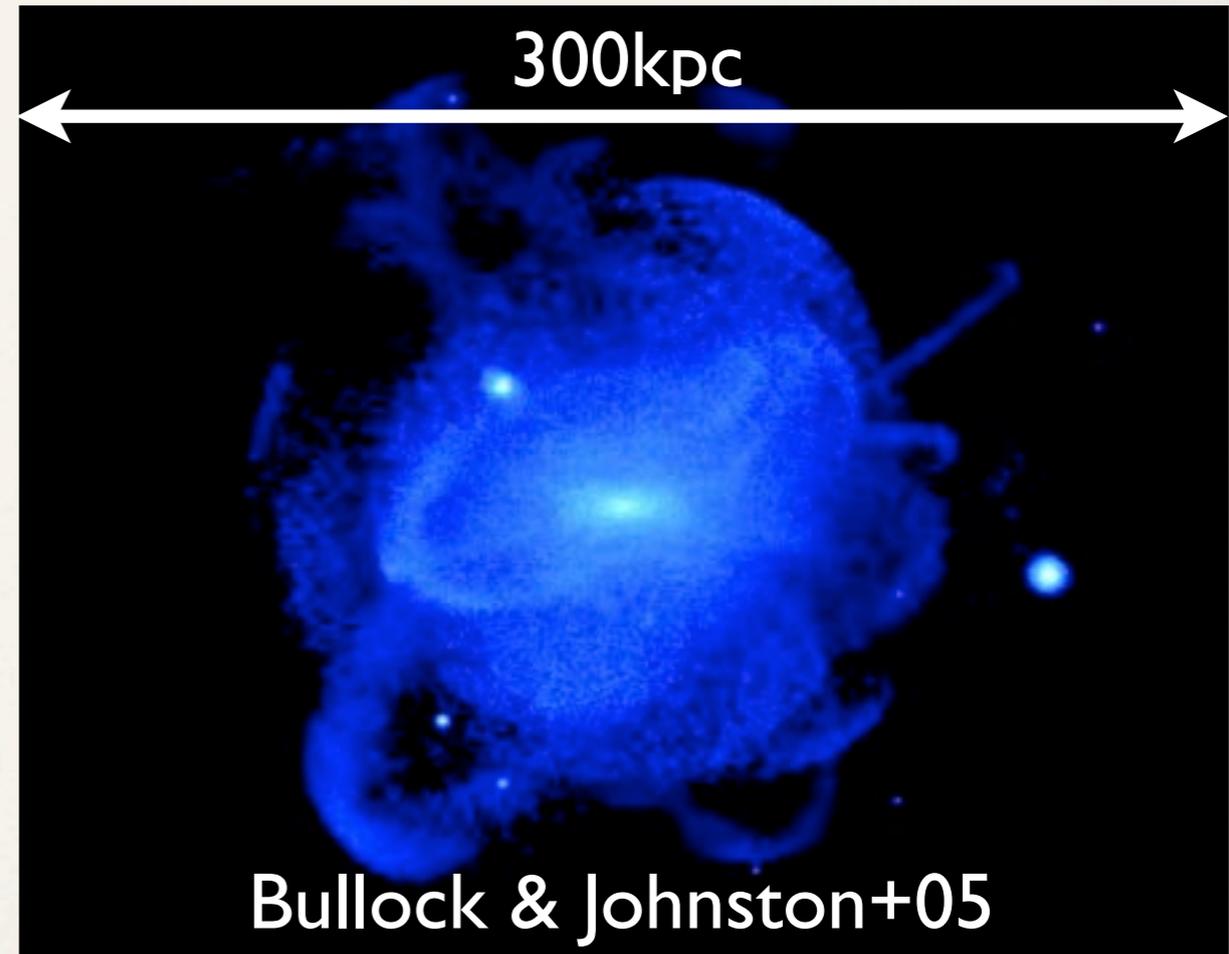
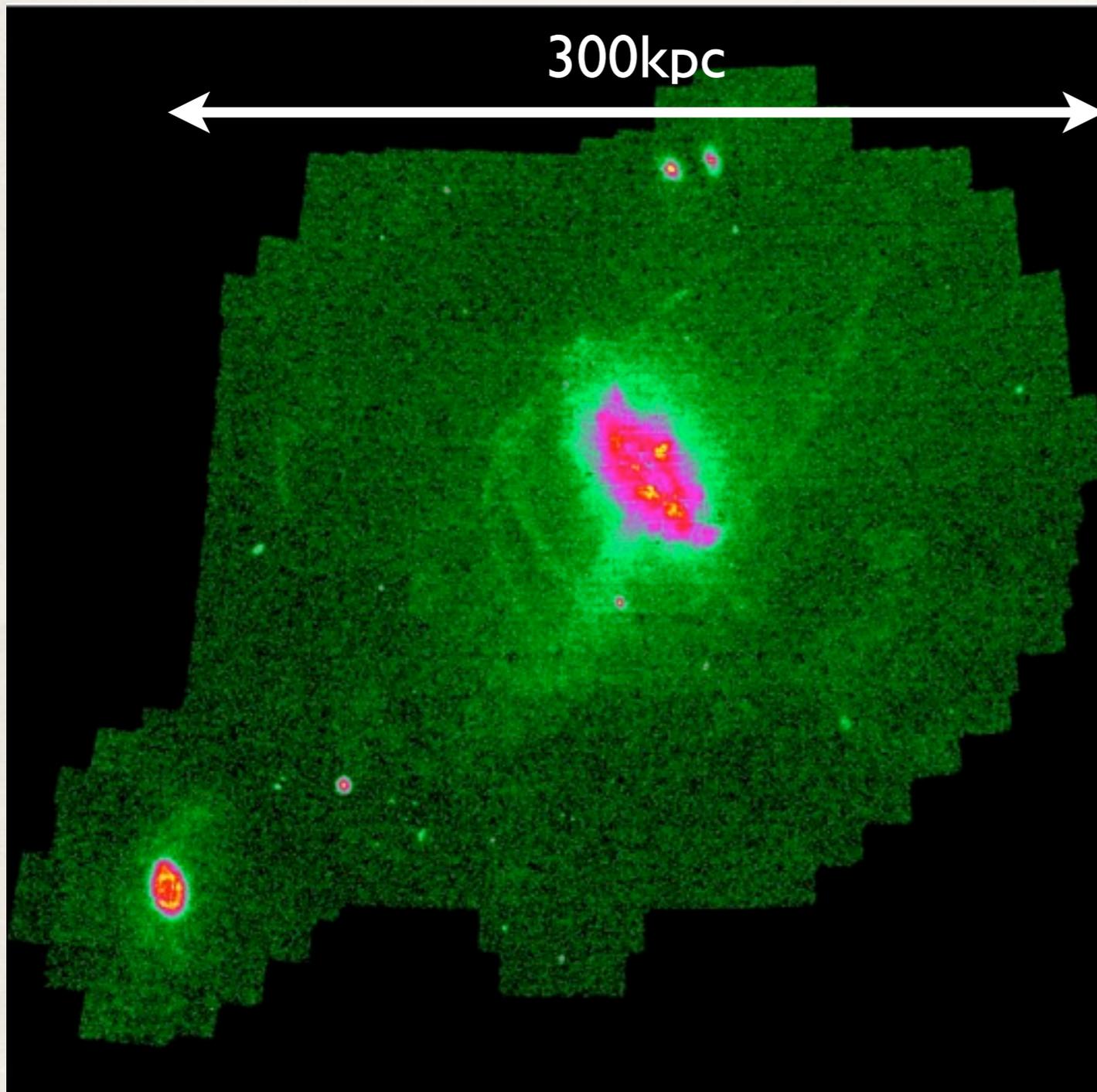
！アンドロメダマニフェスト！

CFHT/MegaCamスタンダードから
Subaru/HSCスタンダードへ

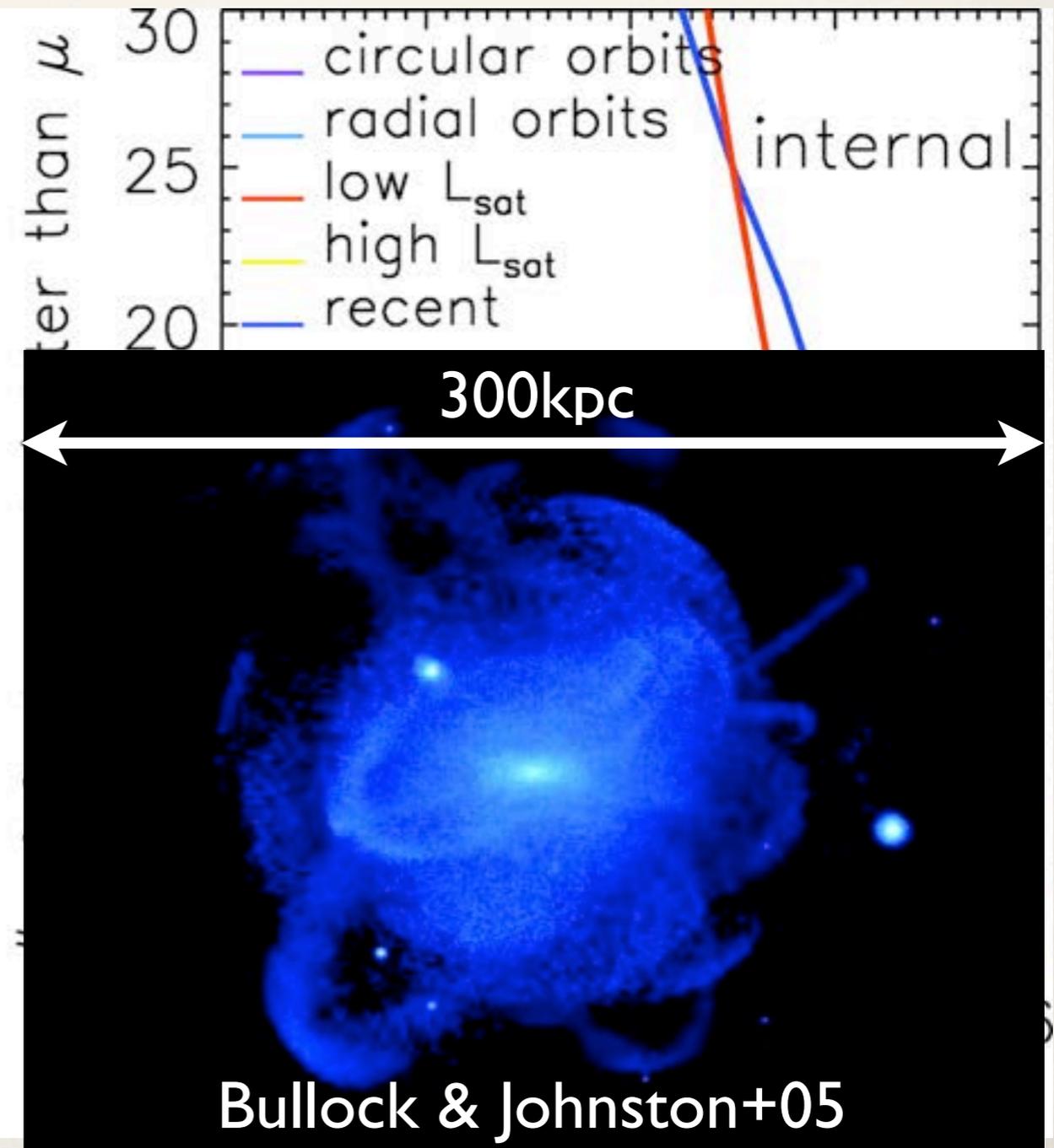
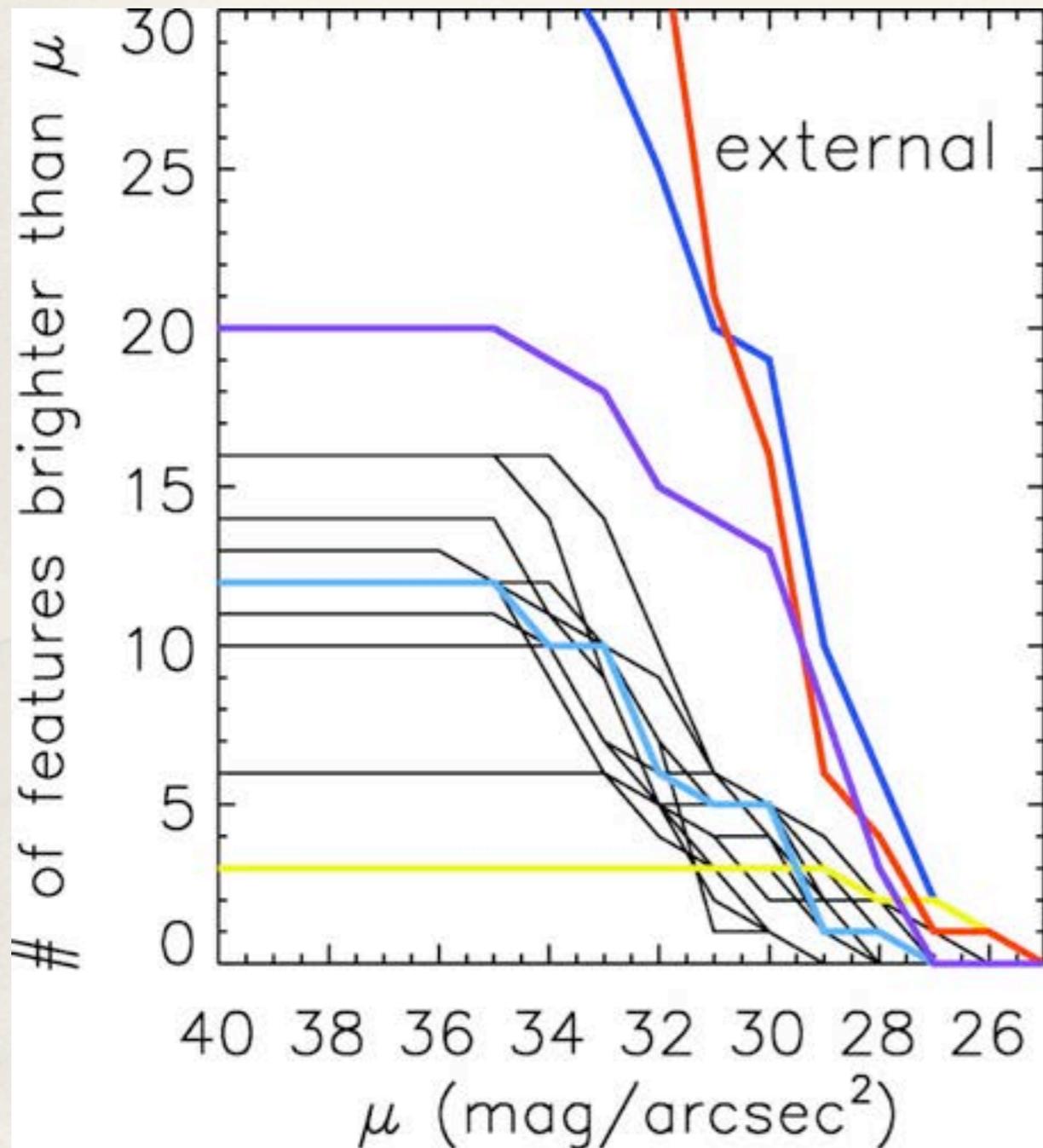
私たちは**HSC**でM31マップを完全に描き換えます。

そして、5年後、**PFS**との連携し、現在のハローの未解決問題を解決すると同時に、銀河形成に対する新たな問いを発見します。

観測で見つかるストリームの数は、シミュレーションで見つかるストリームの数より2倍以上少ない。

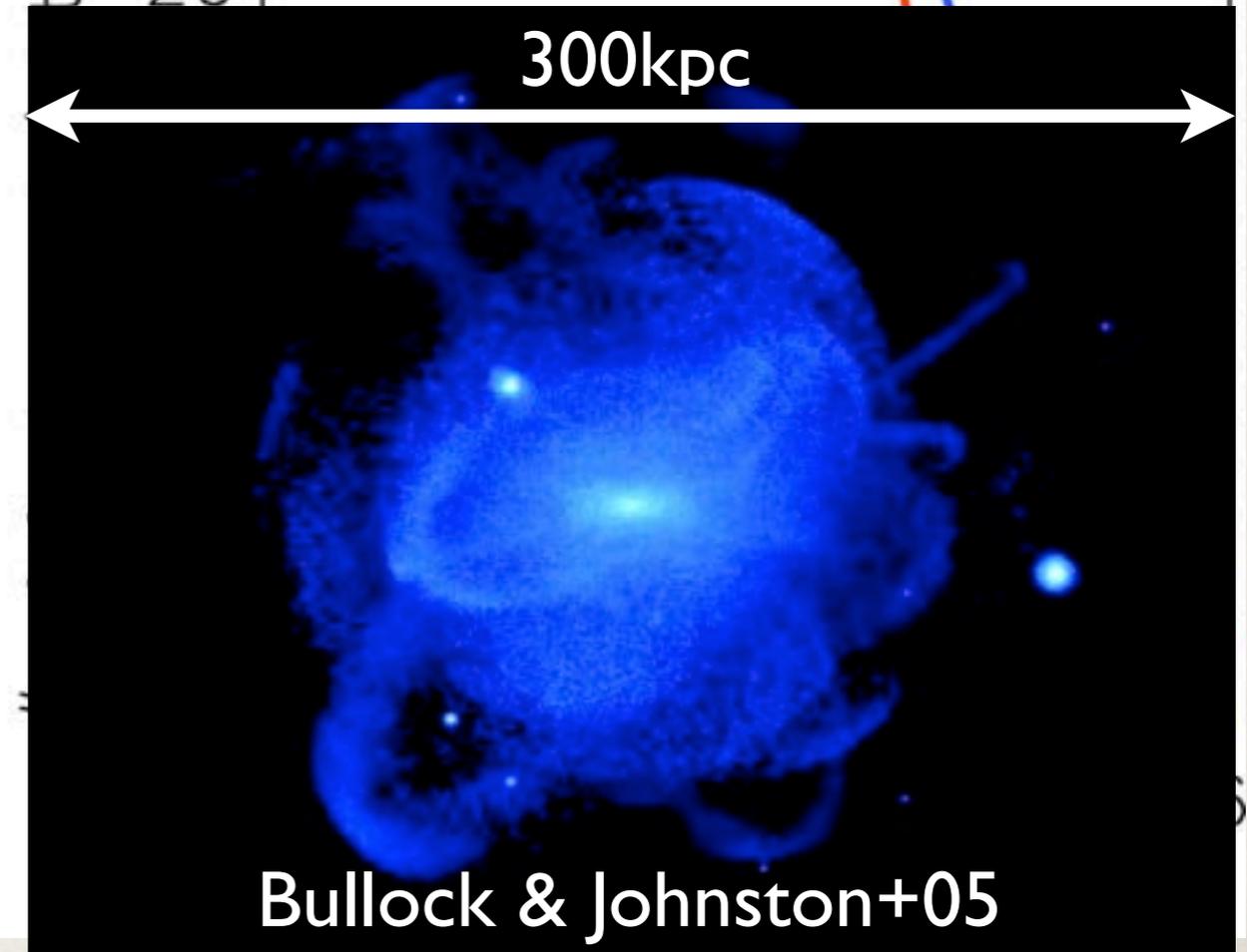
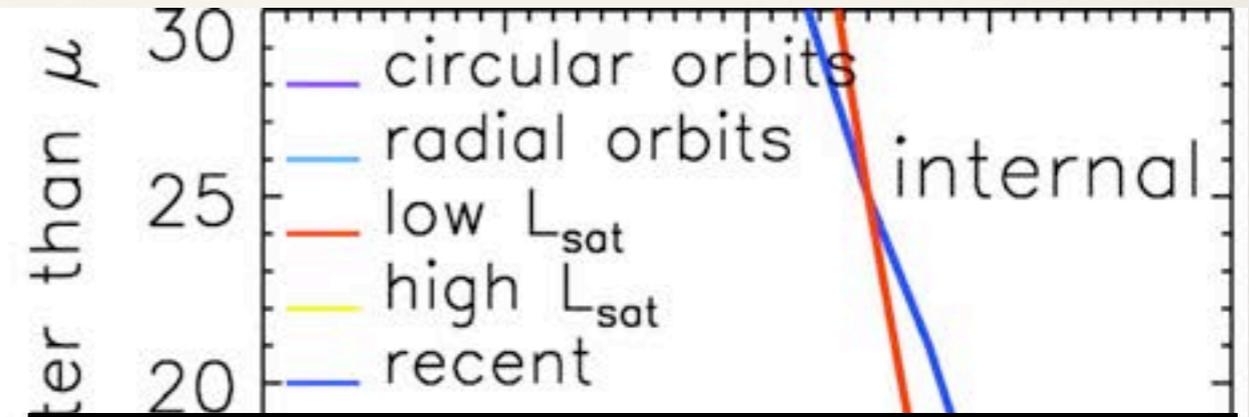
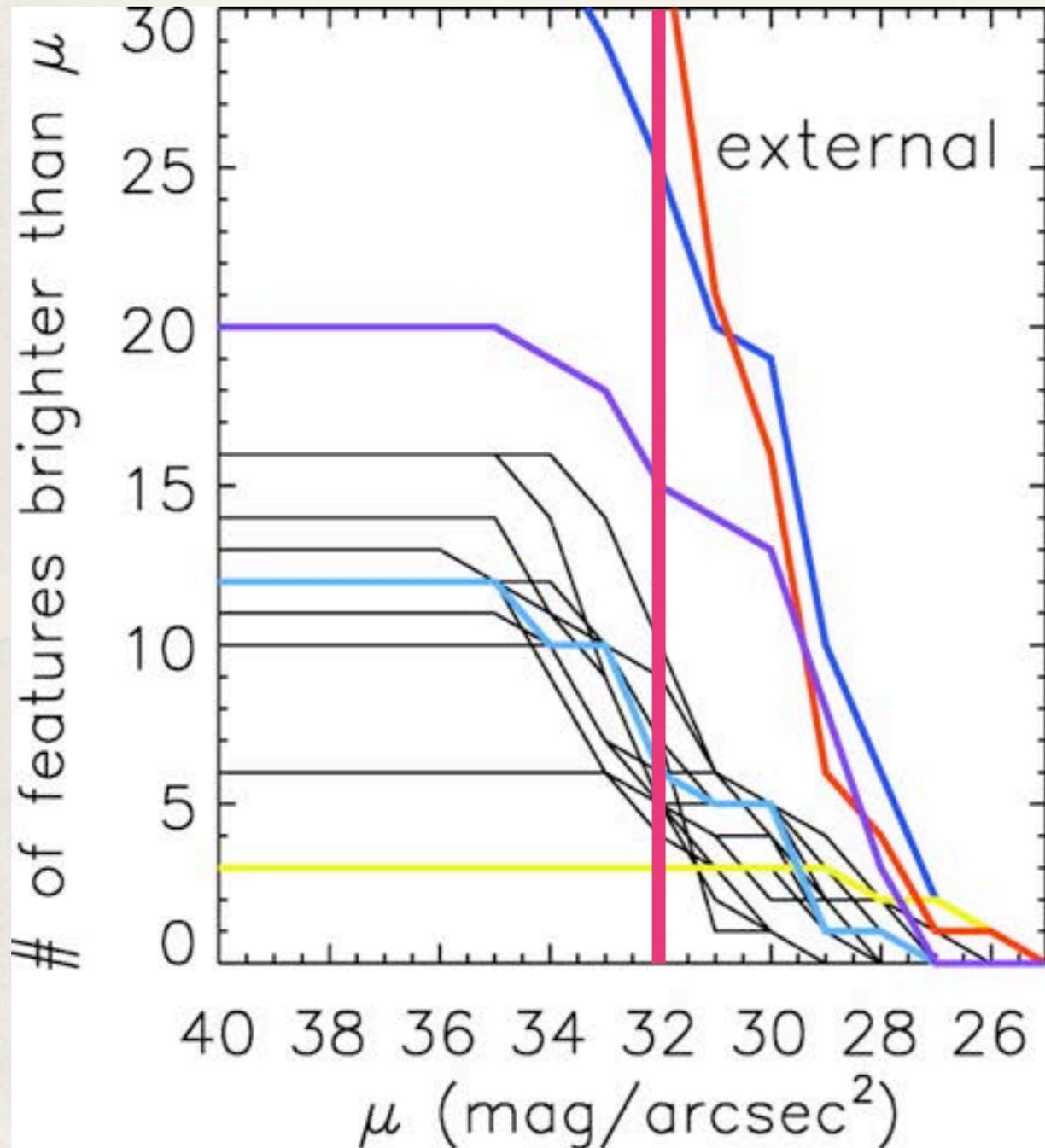


NB515によって、バックグラウンドの表面輝度を約1.5等抑えられる
ストリームの累積光度関数 (シミュレーション, Johnston+08)



NB515によって、バックグラウンドの表面輝度を約1.5等抑えられる

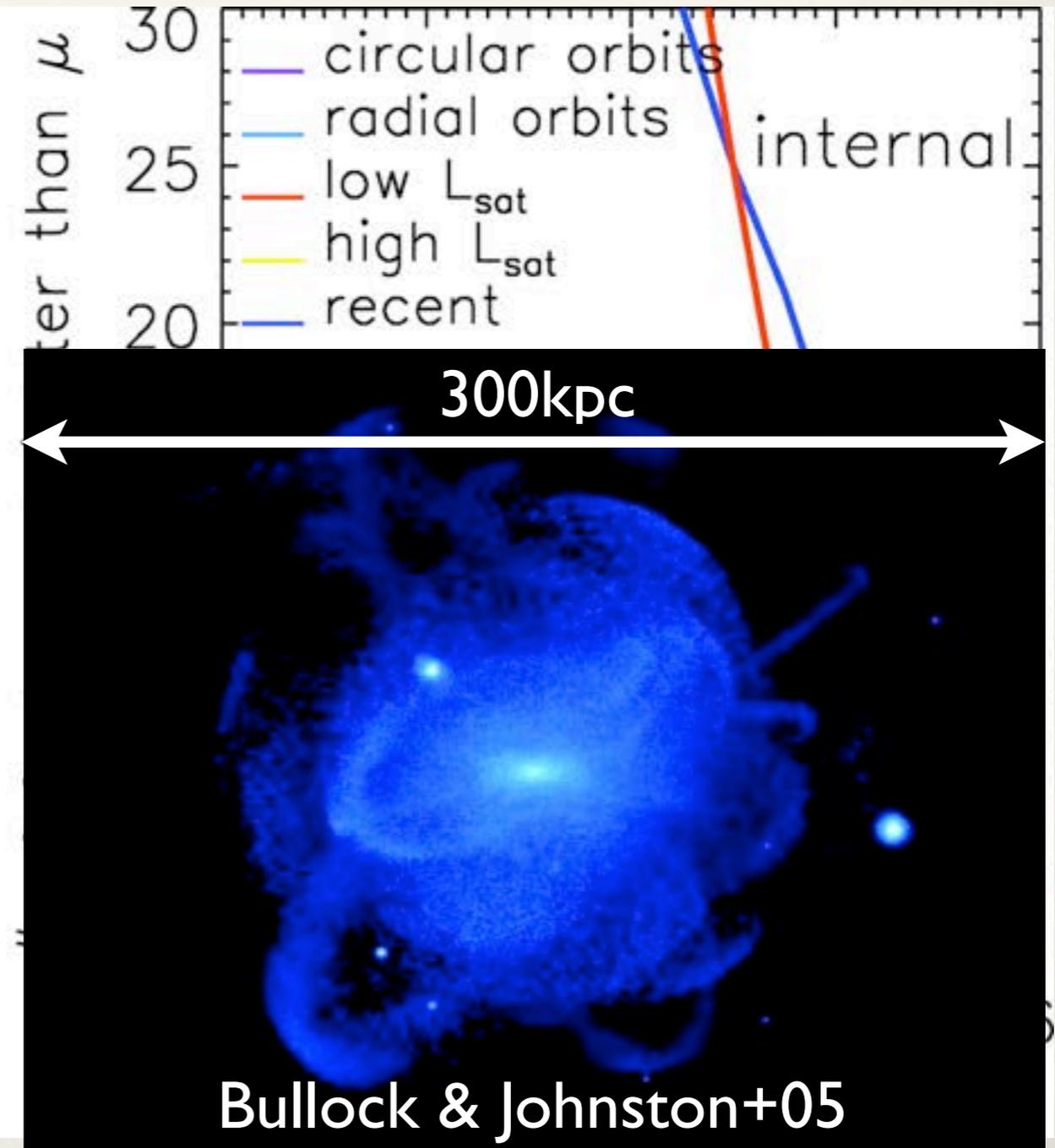
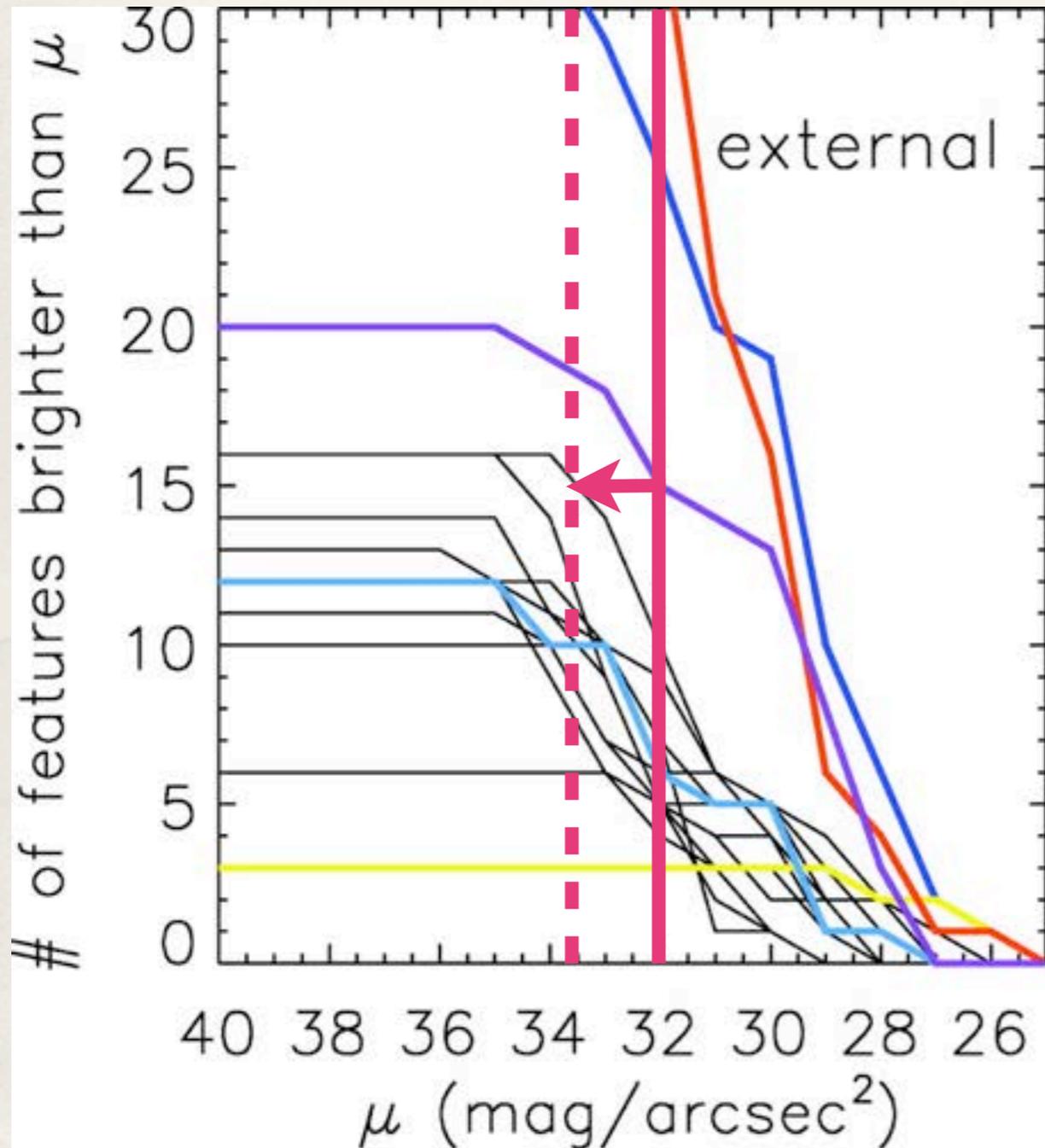
ストリームの累積光度関数 (シミュレーション, Johnston+08)



Bullock & Johnston+05

NB515によって、バックグラウンドの表面輝度を約1.5等抑えられる

ストリームの累積光度関数 (シミュレーション, Johnston+08)



5W1Hでまとめ

5W1Hでまとめ

- * **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が

5W1Hでまとめ

- ❖ **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が
- ❖ **Where** 北半球のマウナケアで

5W1Hでまとめ

- ❖ **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が
- ❖ **Where** 北半球のマウナケアで
- ❖ **How** すばる望遠鏡 / HSC+NB515 フィルターを使って

5W1Hでまとめ

- ❖ **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が
- ❖ **Where** 北半球のマウナケアで
- ❖ **How** すばる望遠鏡 / HSC+NB515 フィルターを使って
- ❖ **What** アンドロメダ銀河ハローの全面マッピングを

5W1Hでまとめ

- ❖ **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が
- ❖ **Where** 北半球のマウナケアで
- ❖ **How** すばる望遠鏡 / HSC+NB515 フィルターを使って
- ❖ **What** アンドロメダ銀河ハローの全面マッピングを
- ❖ **Why** 銀河の構造・形成史解明に向けて (新たな問いを発見するために)

5W1Hでまとめ

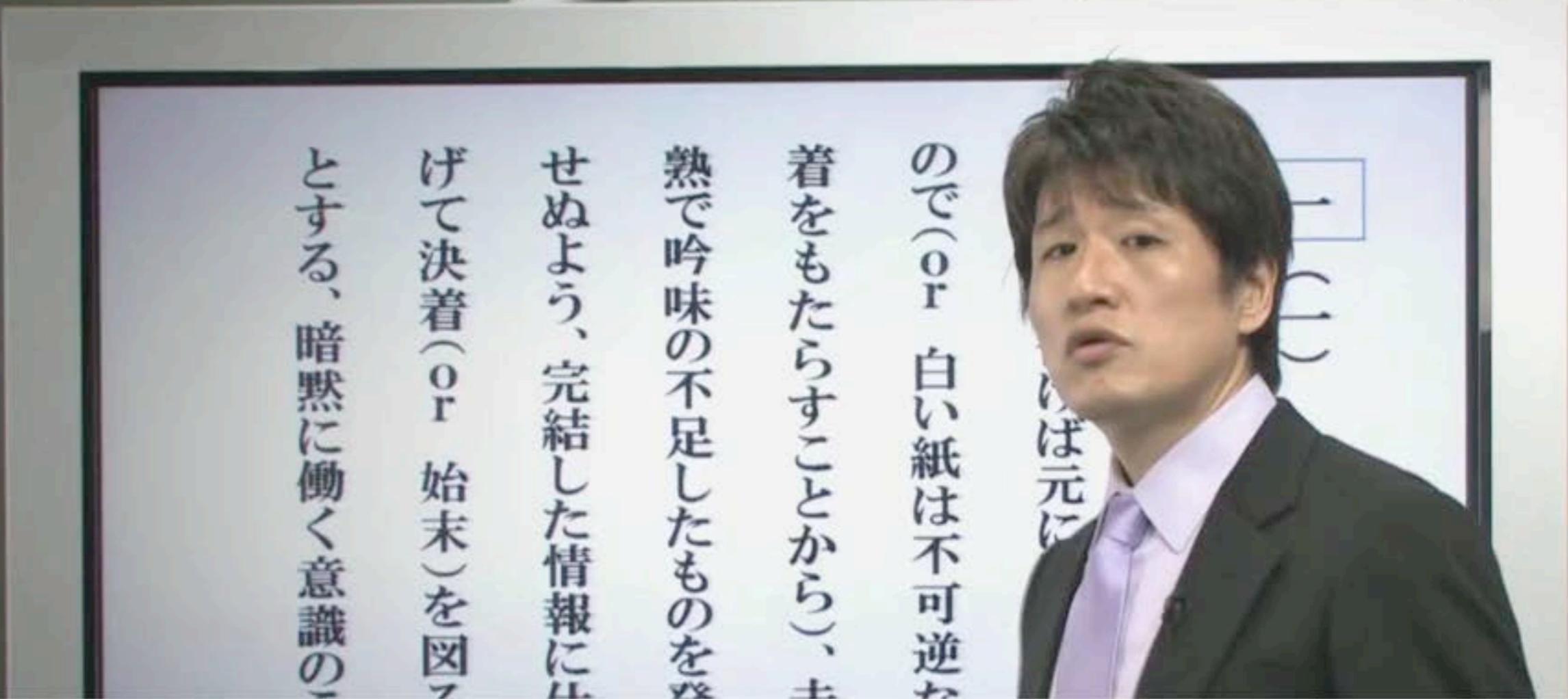
- ❖ **Who** 恒星ハローの広視野撮像観測 & データ解析に精通した我々が
- ❖ **Where** 北半球のマウナケアで
- ❖ **How** すばる望遠鏡 / HSC+NB515 フィルターを使って
- ❖ **What** アンドロメダ銀河ハローの全面マッピングを
- ❖ **Why** 銀河の構造・形成史解明に向けて (新たな問いを発見するために)
- ❖ **When**

一(一)
いば元に
ので(OR 白い紙は不可逆な
着をもたらすことから)、未
熟で吟味の不足したものを発露
せぬよう、完結した情報に仕
げて決着(OR 始末)を図ろ
とする、暗黙に働く意識のこと。

東大・京大の記述問題を突破せよ。

林 修 先生 (現代文)

じゃ、いつやるか？



二(一)
いば元に
ので(OR 白い紙は不可逆な
着をもたらすことから)、ま
熟で吟味の不足したものを
せぬよう、完結した情報に
げて決着(OR 始末)を図
とする、暗黙に働く意識の

HSCでアンドロメダ銀河ハローを観測せよ。

田中 幹人 先生 (天文学)

今でしょ！