

# すばる望遠鏡データと 深層学習を用いた深宇宙の探索

観測的宇宙論グループ

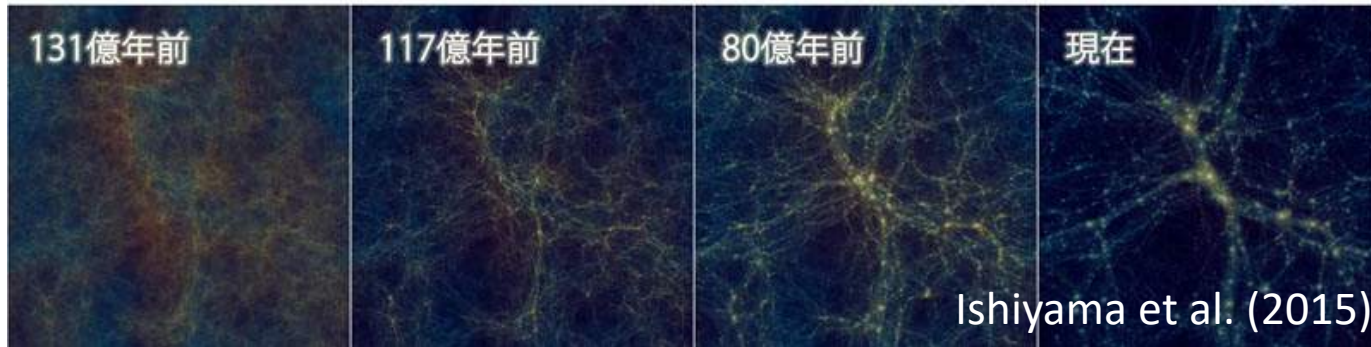
Introduction : Yuki Isobe

Data & Analysis : Shinsuke Uno, Tomohito Nakano

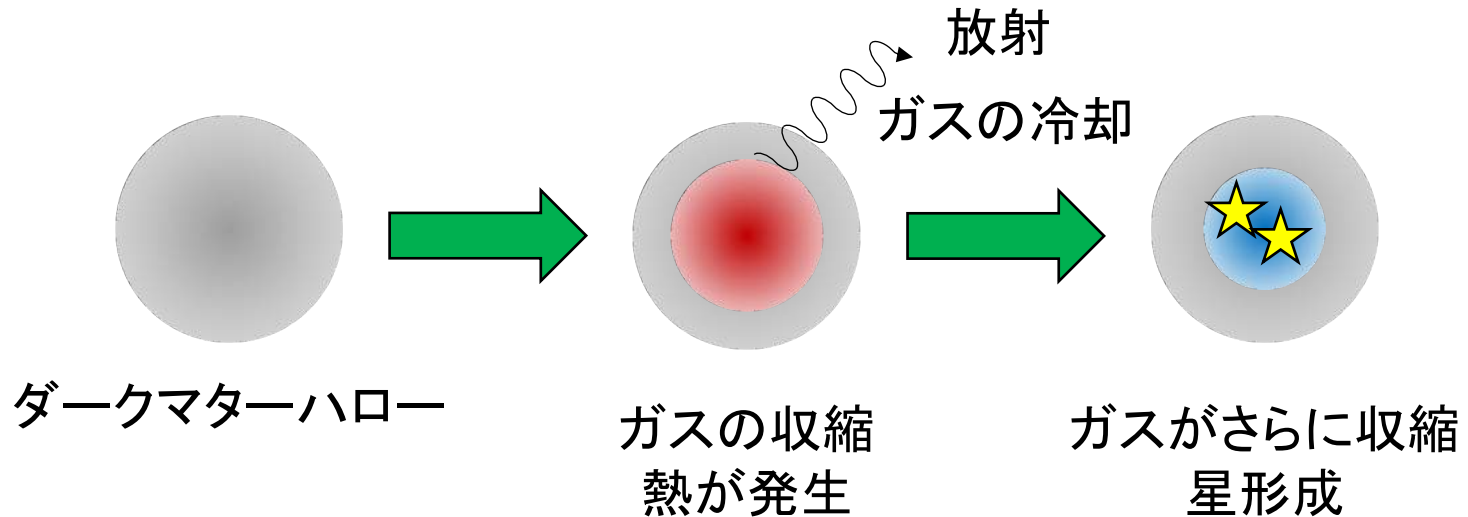
Results & Discussion : Shotaro Ohkawa, Nao Sakai

# Introduction

# ガス収縮と星形成



過去 → 現在



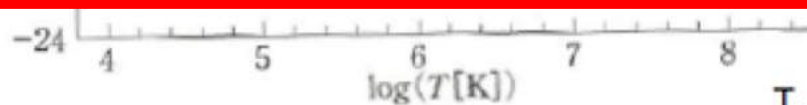
星の形成理解にはガスの冷却機構を知ることが重要！

# 冷却効率と金属量



定義:

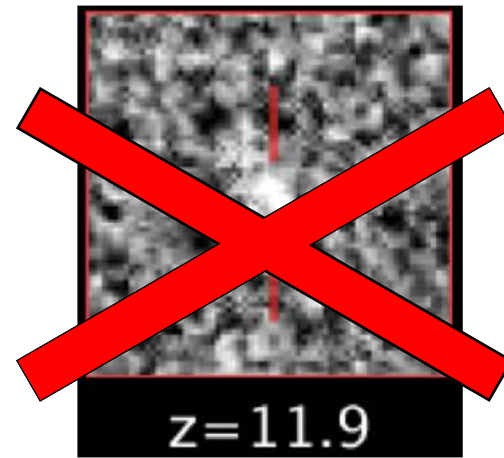
極金属欠乏銀河 = 金属量が極めて少ない銀河  
以後、**EMPG** と呼ぶ



T. Matsubara

宇宙初期の星形成プロセスは未解明！  
→ 金属の欠乏した銀河の調査

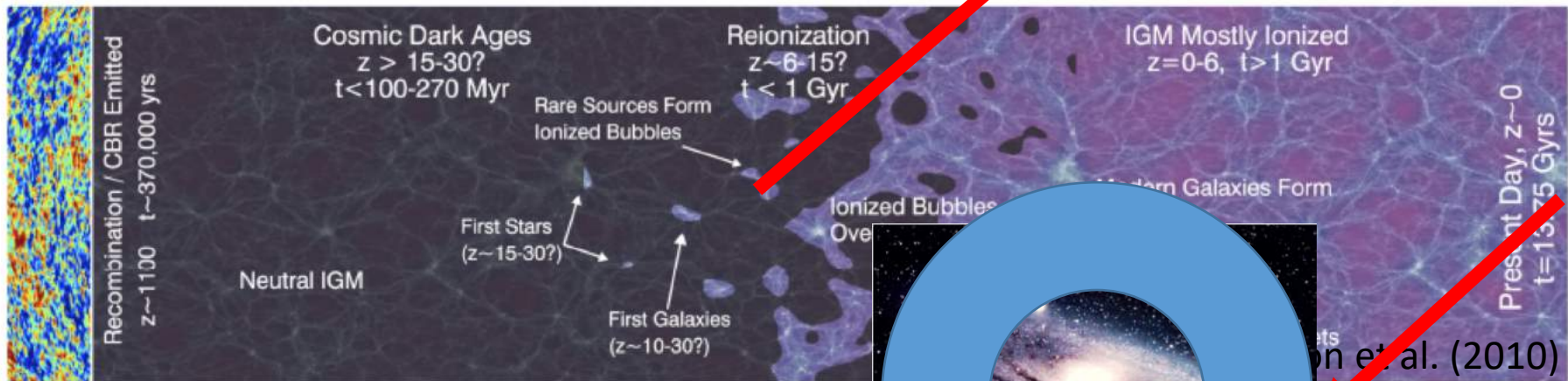
# EMPG の観測方法



Hubble Ultra Deep Field 2012

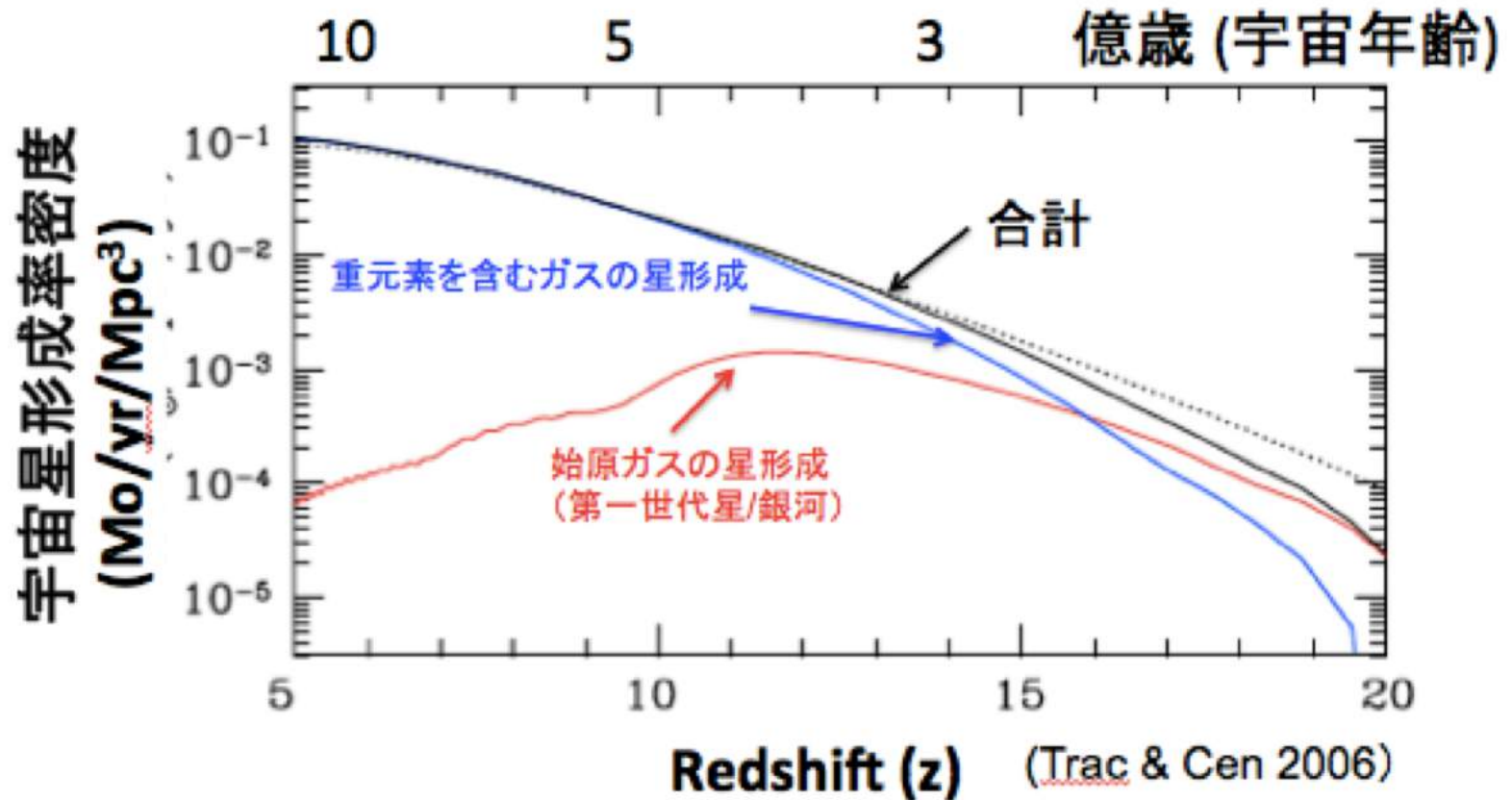
過去 → 現在

↑ビッグバン↑



現在 EMPG は存在するのか？

# EMPG の形成率 (理論予想)

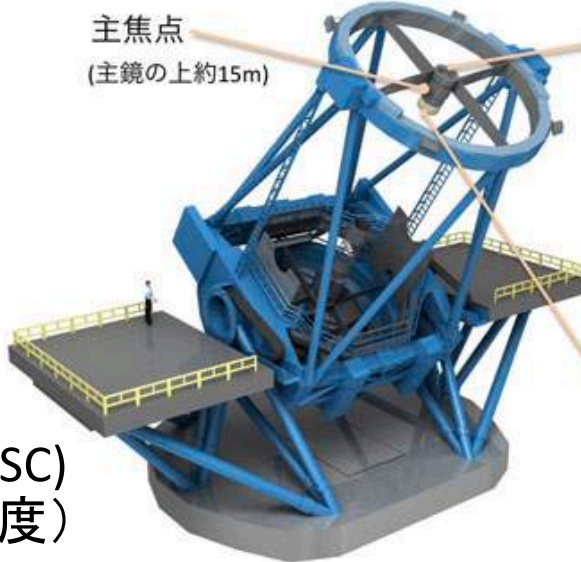


現在も EMPG が存在？  
存在したとしてもまれ  
→ 広い範囲で暗い EMPG の探索

# Data & Analysis

# すばるデータ

- 広い探査  
→ すばる Hyper Suprime-Cam (HSC)  
可視光撮像探査(～100平方度)



すばる望遠鏡

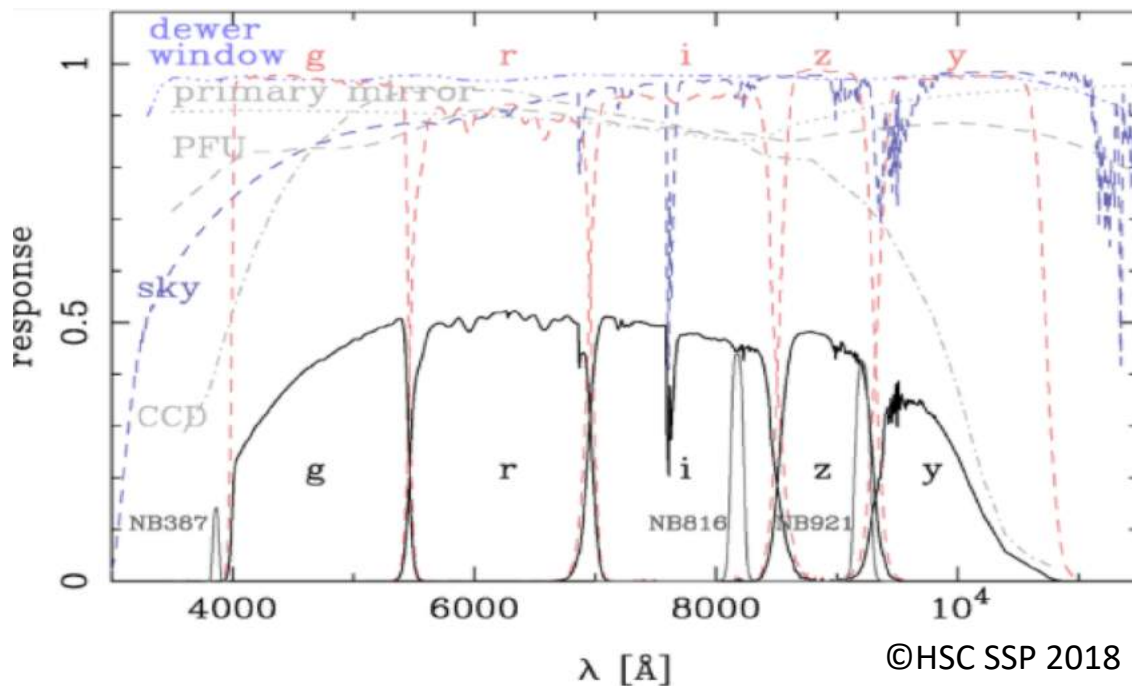


Hyper Suprime-Cam  
(高さ約3m、重さ約3トン)

©国立天文台

- EMPGは成長していない銀河  
→ 極めて暗い  
すばるデータ  
(限界等級:26等級)

- g, r, i, z, yの5つのフィルター

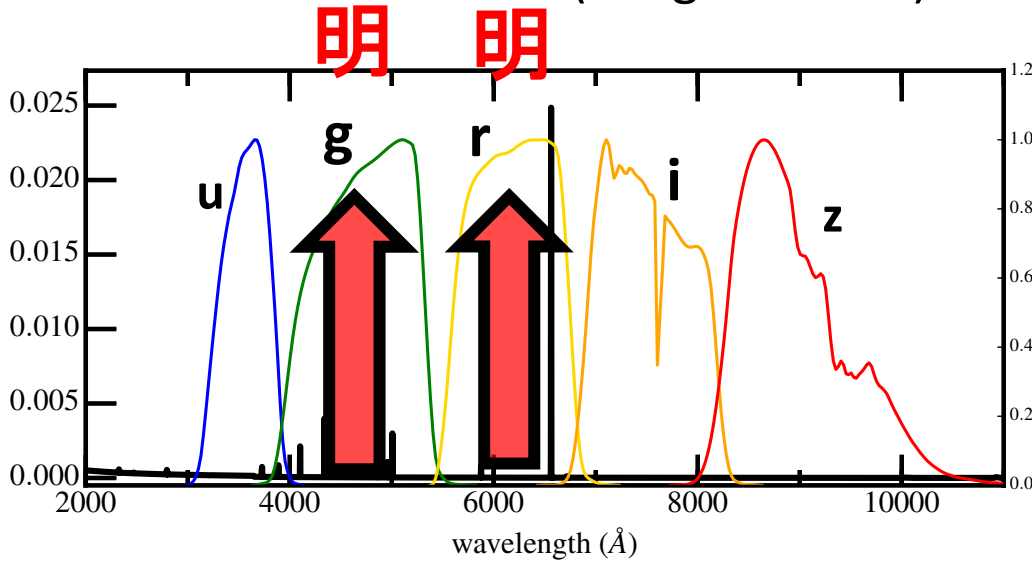


©HSC SSP 2018

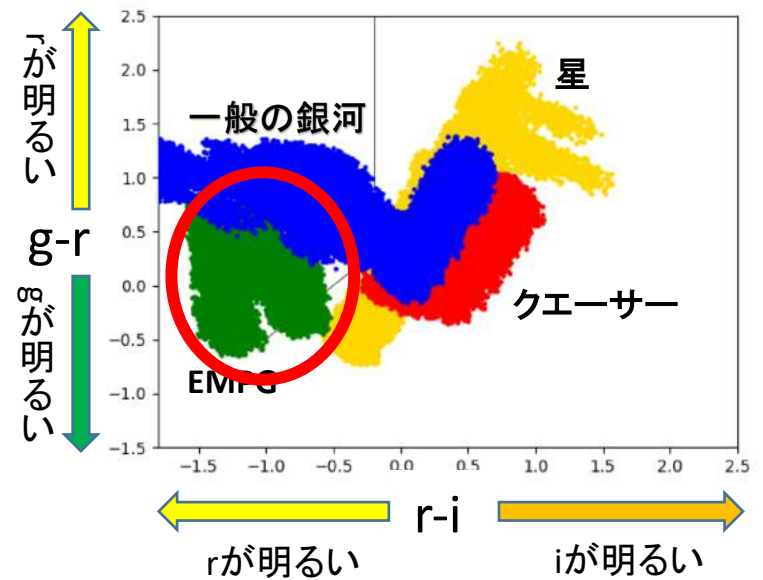


# EMPGの色の予想

EMPGのスペクトル (Beagle モデル)



2色図 (Beagle モデル)



# EMPGを見分ける上での問題点

Problem 1

天体の色は5つのバンドによって決定



g, r, i, z, y の5次元の問題

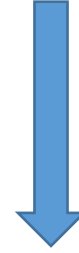


複雑すぎる



Problem 2

すばる大規模データ(120万天体)使用



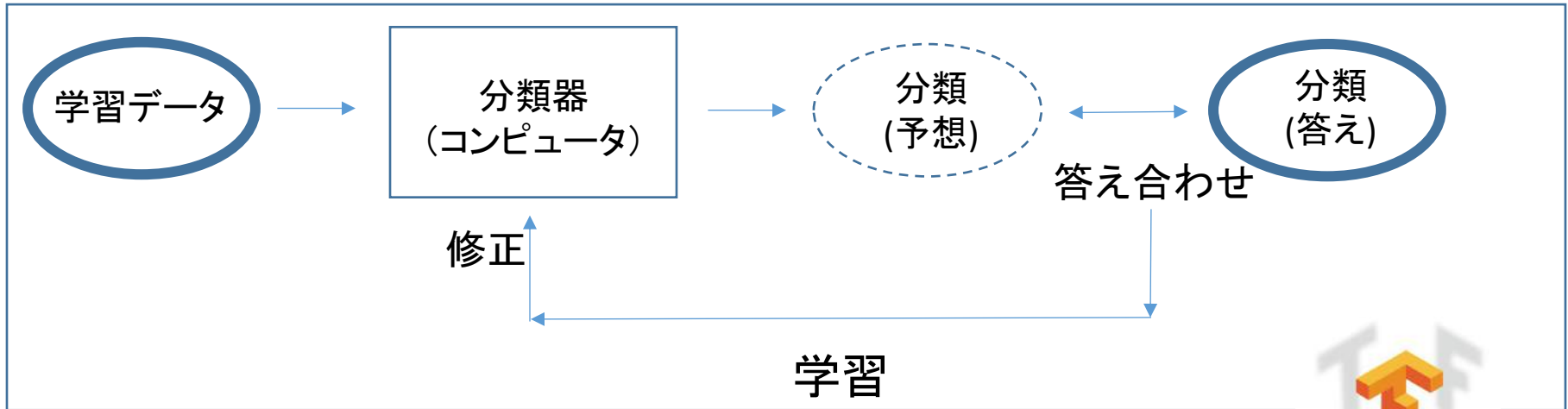
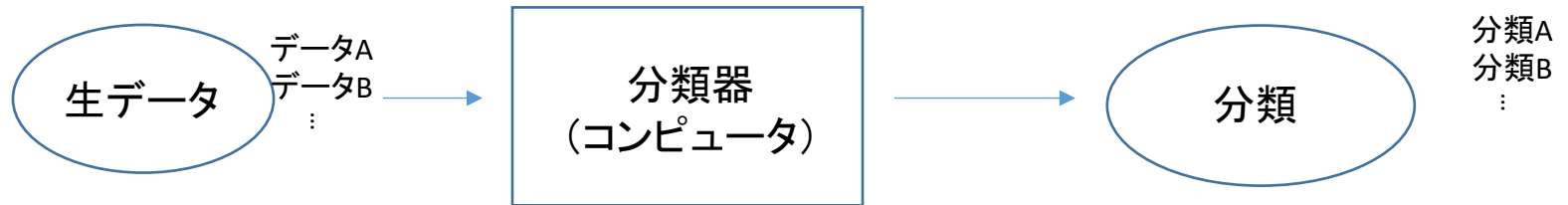
データが膨大すぎる



深層学習

# 深層学習とは？ 分類器の例

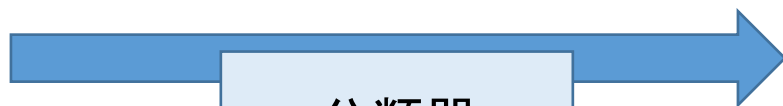
目標



# 深層学習を用いた分類方法(本研究)

インプット  
(観測データ)

g  
r  
i  
z  
y



分類器



学習

アウトプット  
(4種類に分類)

確率

$P(\text{EMPG})$

$P(\text{一般の銀河})$

$P(\text{星})$

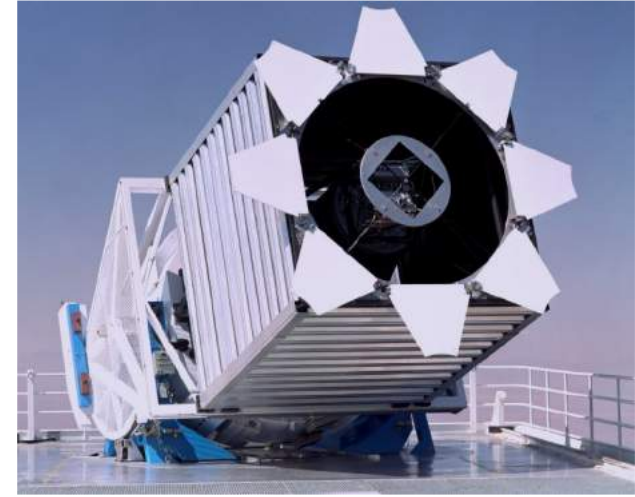
$P(\text{クエーサー})$

学習データ:  
3万×4  
(Beagleモデル)

8割を使って学習  
(残り2割は正答率チェックに使用)

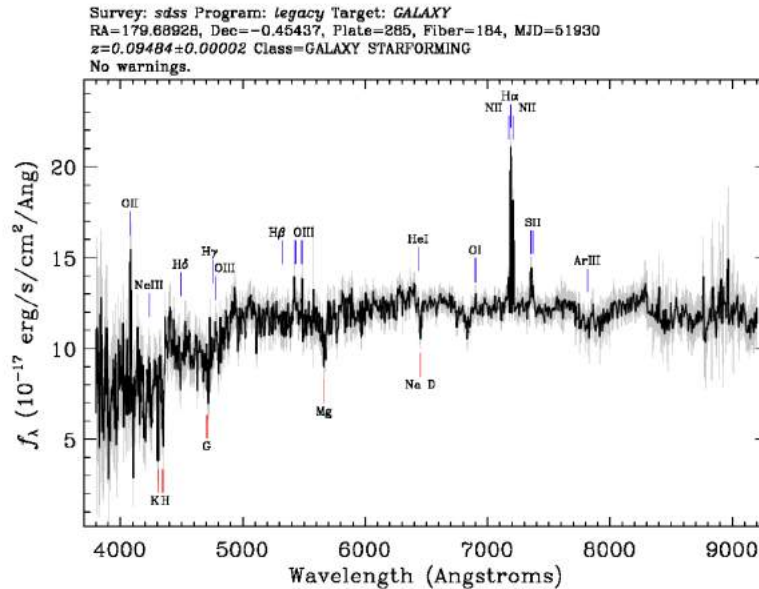
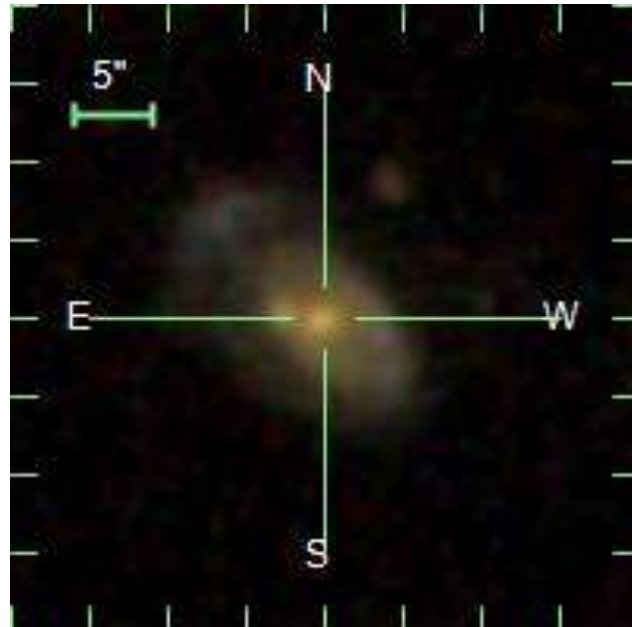
# 分類器のテスト (SDSSデータ)

- Sloan Digital Sky Survey (SDSS) : 可視光の撮像、**分光** (全天の1/4をカバー)
- 天体の総数: **100万個** (限界等級 $r \sim 21$ )
- 真のEMPG探査は難しい



撮像データ

分光データ





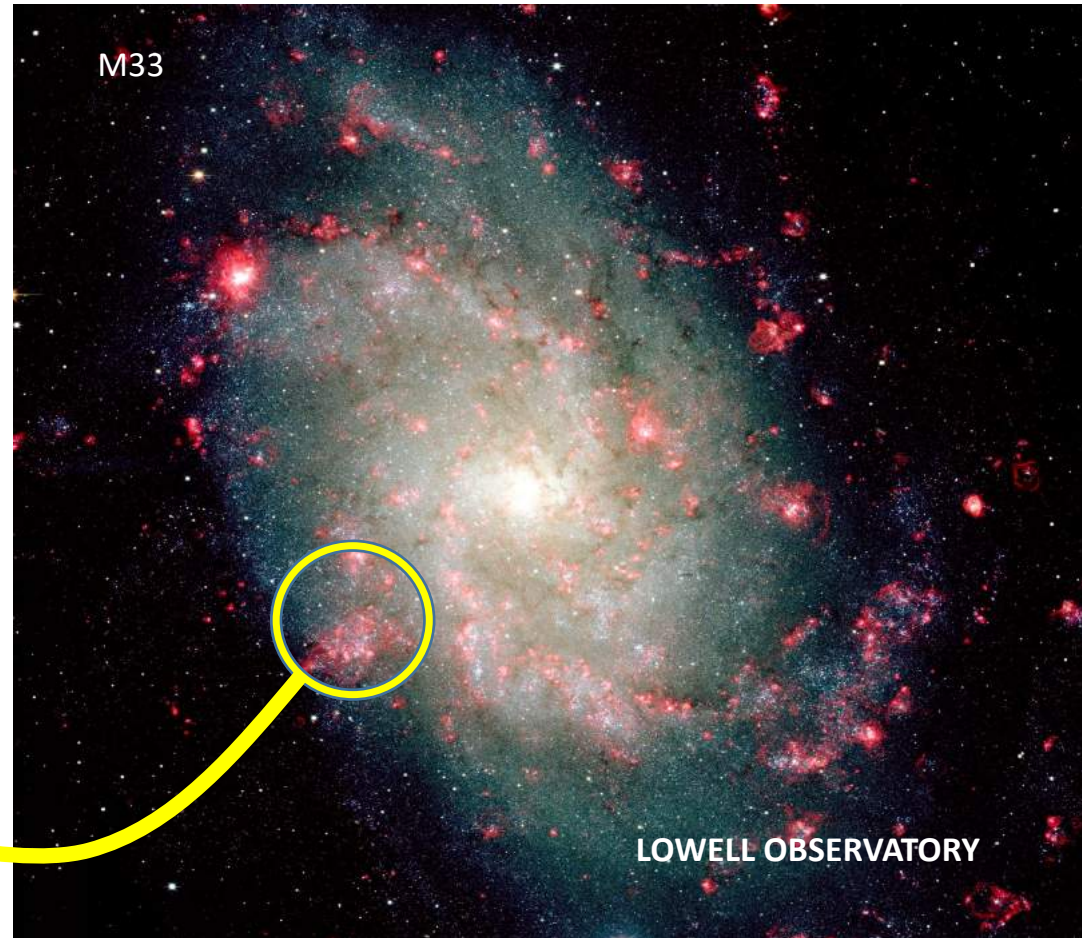
# 銀河からの輝線

- ・電子が軌道を遷移する際に輝線を放出

- ・輝線の波長は原子に固有

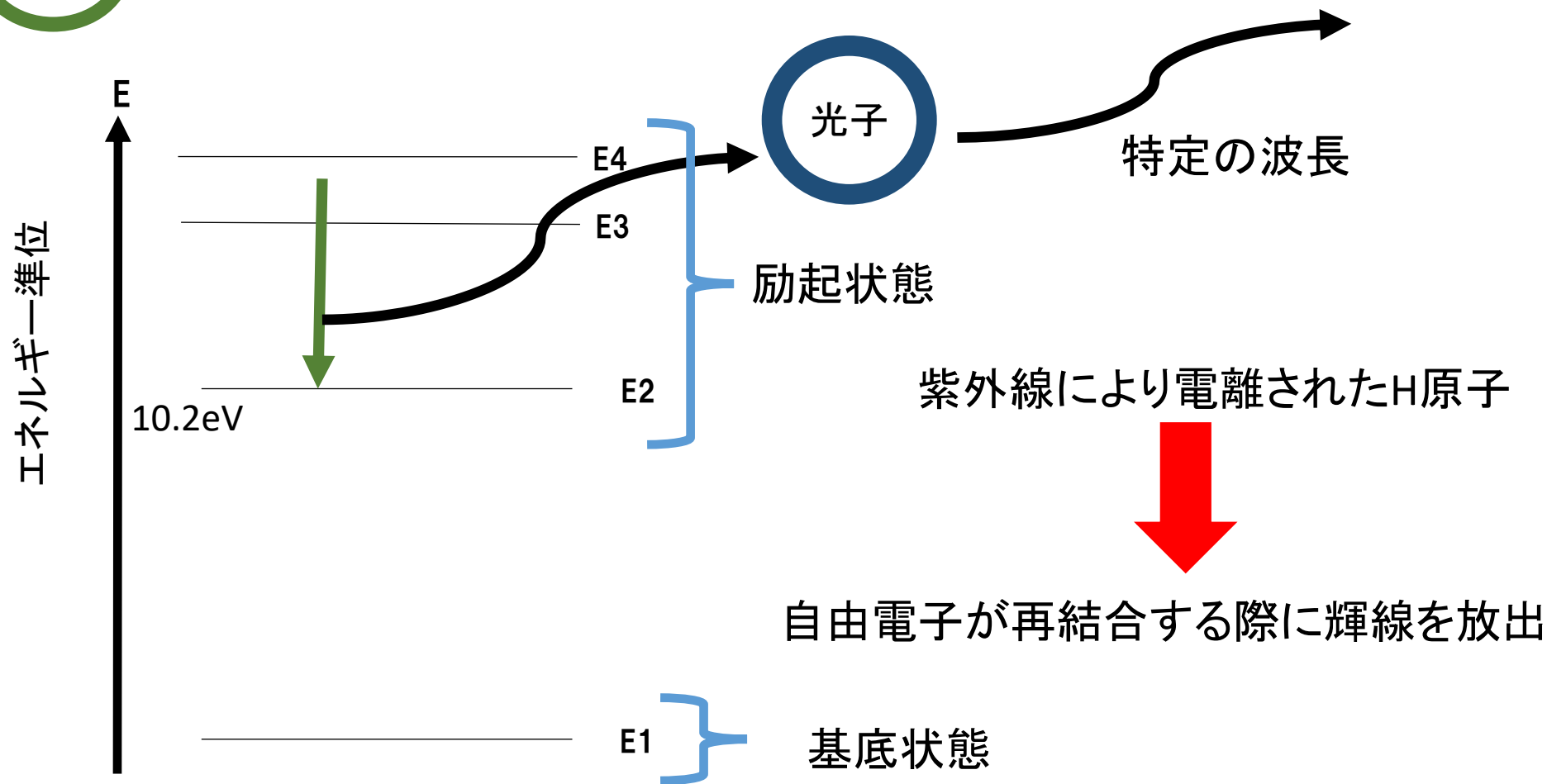
輝線

星形成が活発な場所！



# H $\beta$ 輝線 (再結合線の例)

e<sup>-</sup>





# 金属量の推定

Hに対するOの量(金属量)を見積もる

$$\frac{\text{(O原子の量)}}{\text{(H原子の量)}} = \frac{F([\text{OIII}]5007\text{\AA})}{F(\text{H}\beta)} \times C(T_e)$$

金属量 = 輝線比 × 電子温度( $T_e$ )の関数

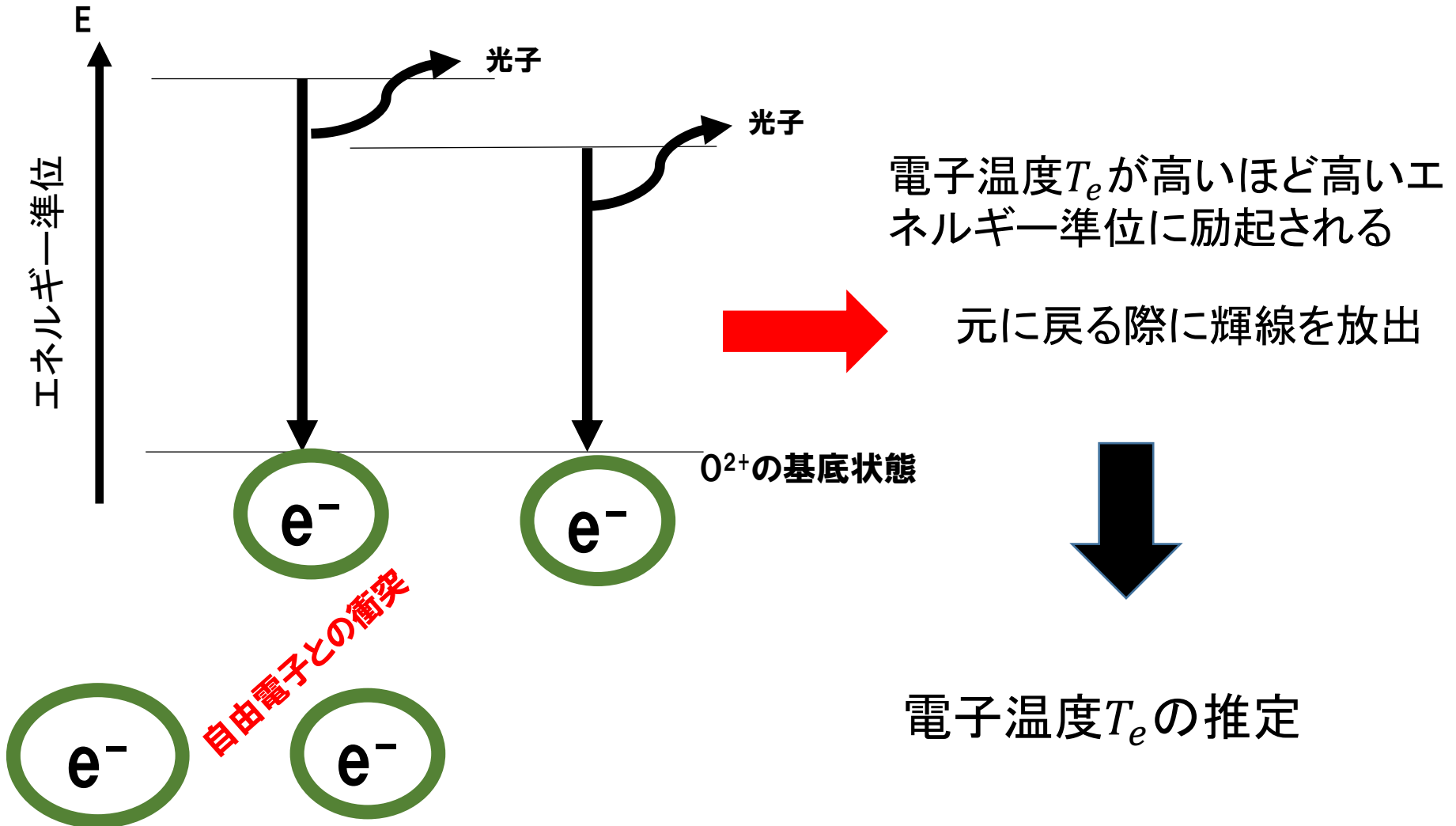


フラックス、電子温度を求める

フラックス $F$ : 単位時間、立体角、面積、波長あたりに放射されるエネルギー

電子温度: 電子の運動エネルギーを温度に変換した量


# [OIII]輝線（衝突励起と自然放射）



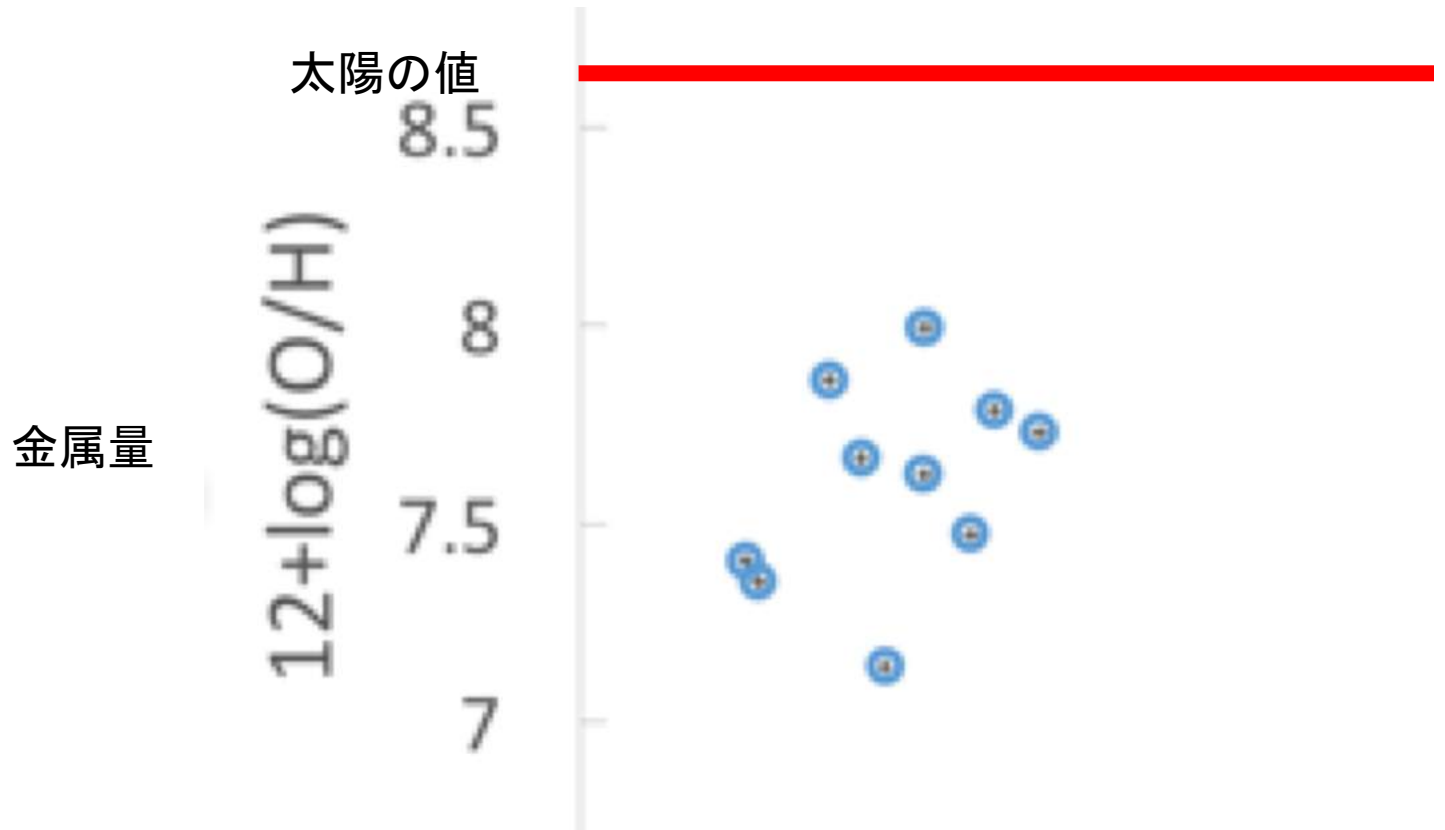
# 金属量の導出

$$\frac{\text{(O原子の量)}}{\text{(H原子の量)}} = \frac{F([\text{OIII}]5007\text{\AA})}{F(\text{H}\beta)} \times C(T_e)$$

金属量 (求める量)      輝線比 (観測量)      電子温度 ( $T_e$ ) の関数

 金属量 (定義)  $12 + \log(\text{O}/\text{H})$  が求まる

# 求めた金属量 (SDSS)



求めたデータは太陽の金属量の1~10%の程度→EMPG

分類器作成に成功！

# 星質量の推定

星質量  $M_*$  : 銀河内の星の総質量

連続光... 銀河内の星が発する光に起因

→ 連続光(u-バンド)の明るさ  $\propto$  星質量

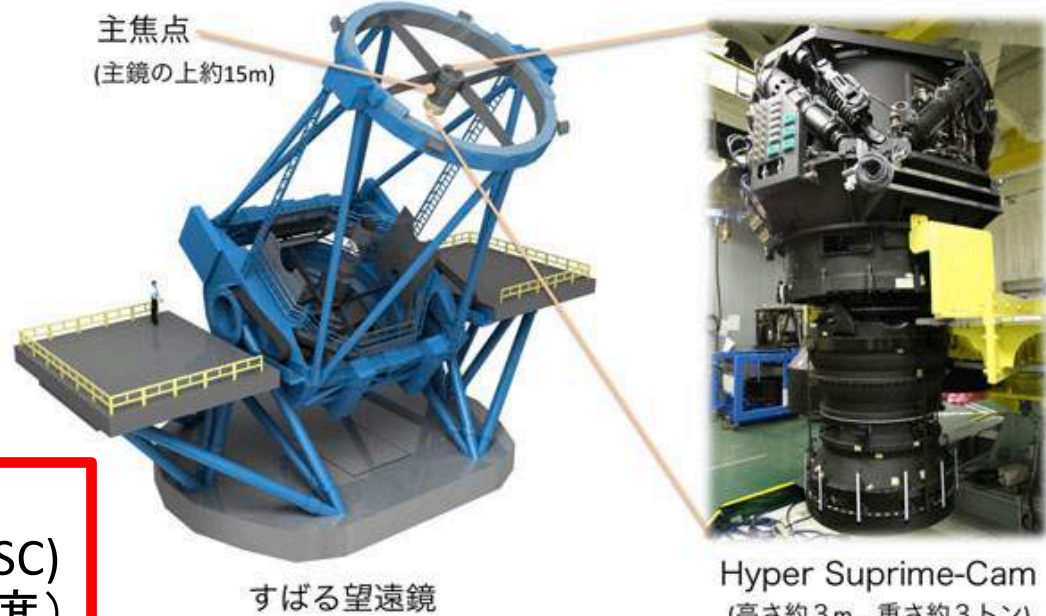
絶対等級と星質量の関係が存在

$$\log(M_*/M_\odot) = -0.4M_{uv} + 0.8 \quad (\text{Bouwens et al. 2017})$$

u-バンド絶対等級

→ 連続光の等級から星質量を導出

# すばるデータ

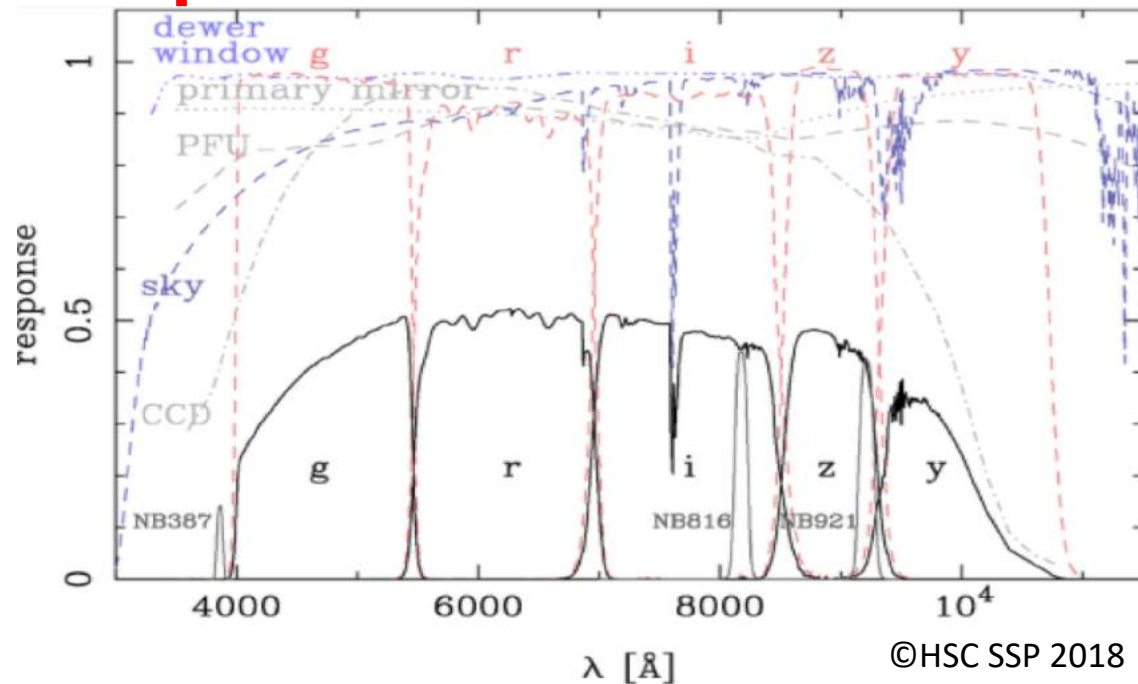


©国立天文台

- 広い探査  
→ すばる Hyper Suprime-Cam (HSC)  
可視光撮像探査(～100平方度)

- EMPGは成長していない銀河  
→ 極めて暗い  
すばるデータ  
(限界等級:26等級)

- g, r, i, z, yの5つのフィルター



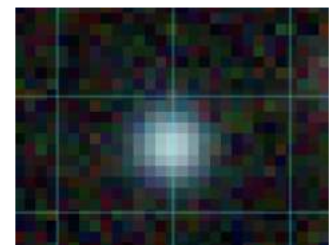
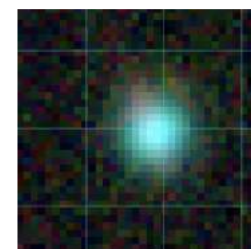
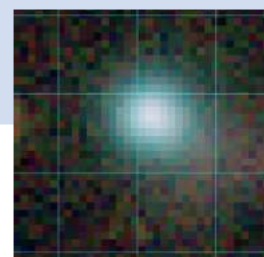
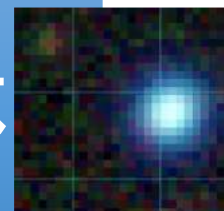
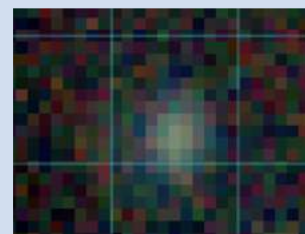
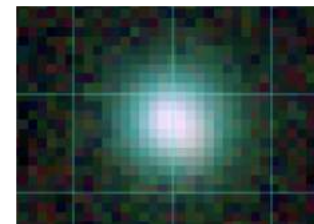
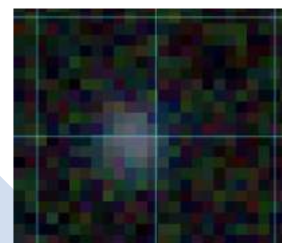
©HSC SSP 2018

# 候補天体

- すばるデータの候補天体

元のデータ  
約2000天体

7天体



# Result & Discussion

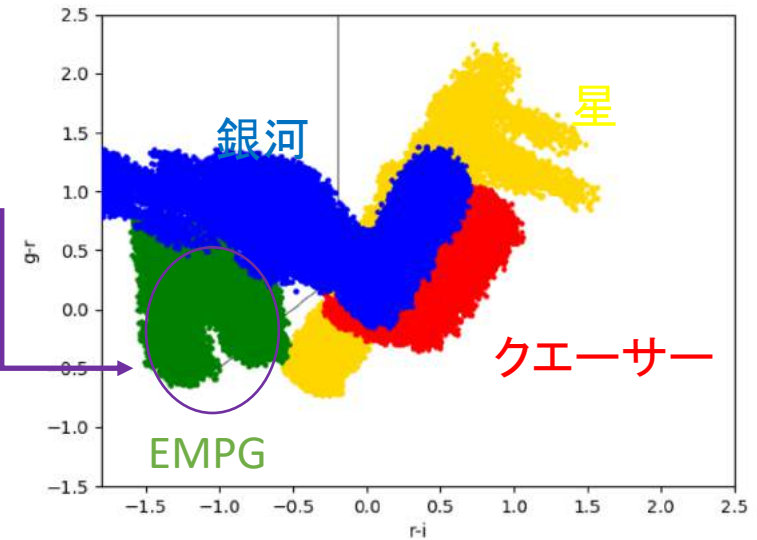
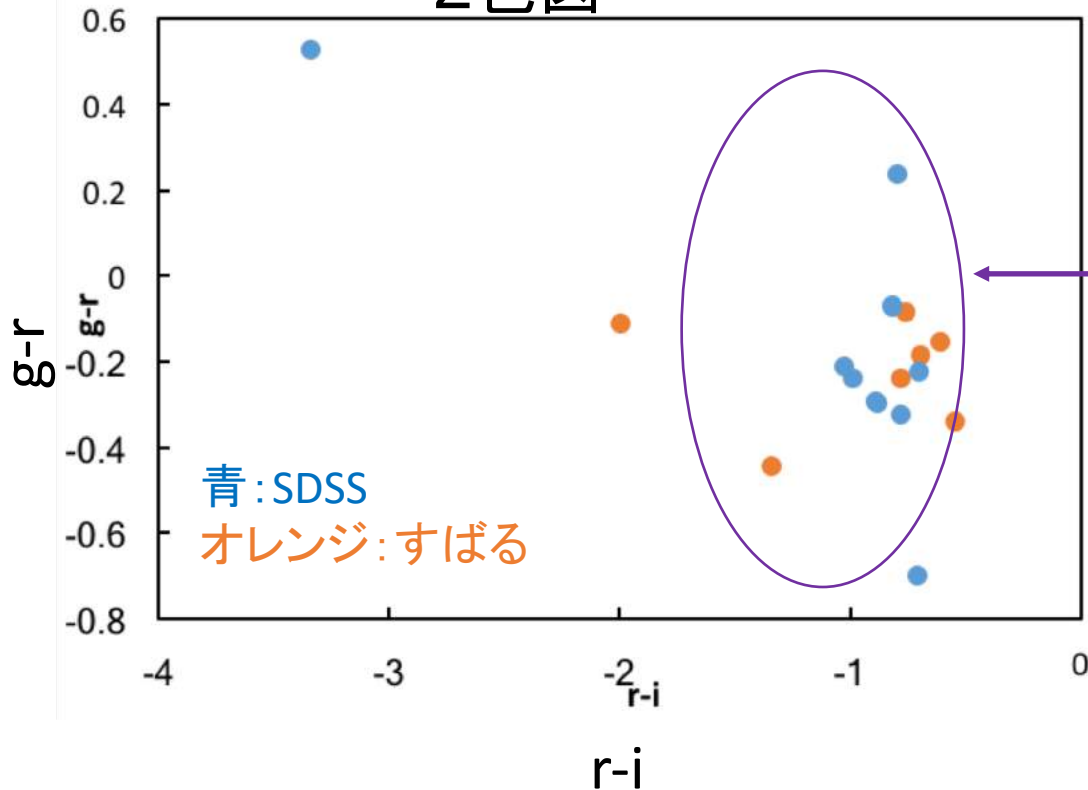


# SDSSのEMPG候補に外れ値を発見

今回のサンプル

モデル

2色図



予想されるEMPGとほぼ同じ天体を選べた。  
ただモデルに存在しない色のソースを発見。

# SDSSのEMPG候補の外れ値天体の確認

SDSSにて外れ値が見つかった。



これは本当にEMPG？

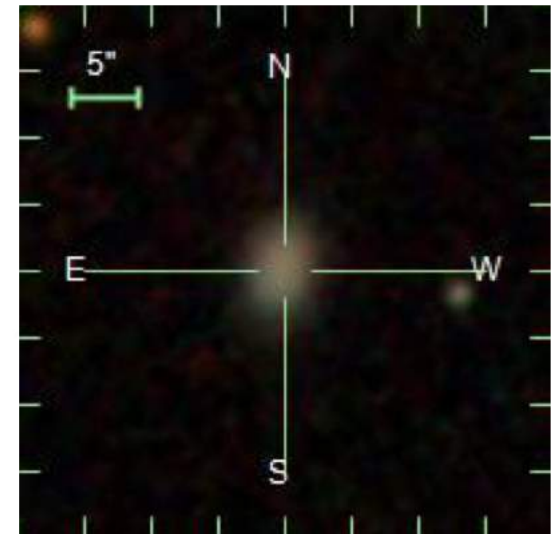
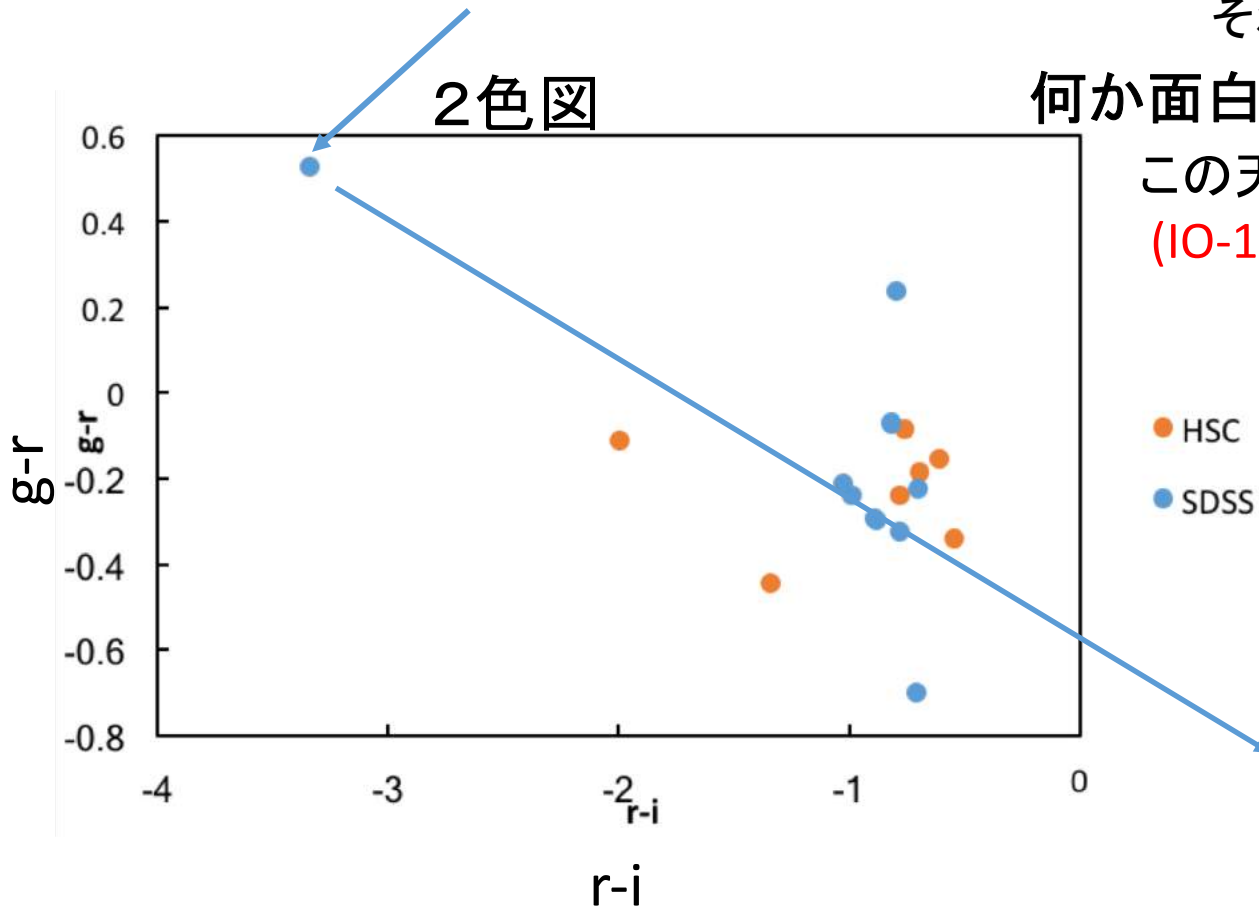
それとも

何か面白い天体かもしれない！

この天体を **Isobe object 1 (IO-1)** と呼ぶ。

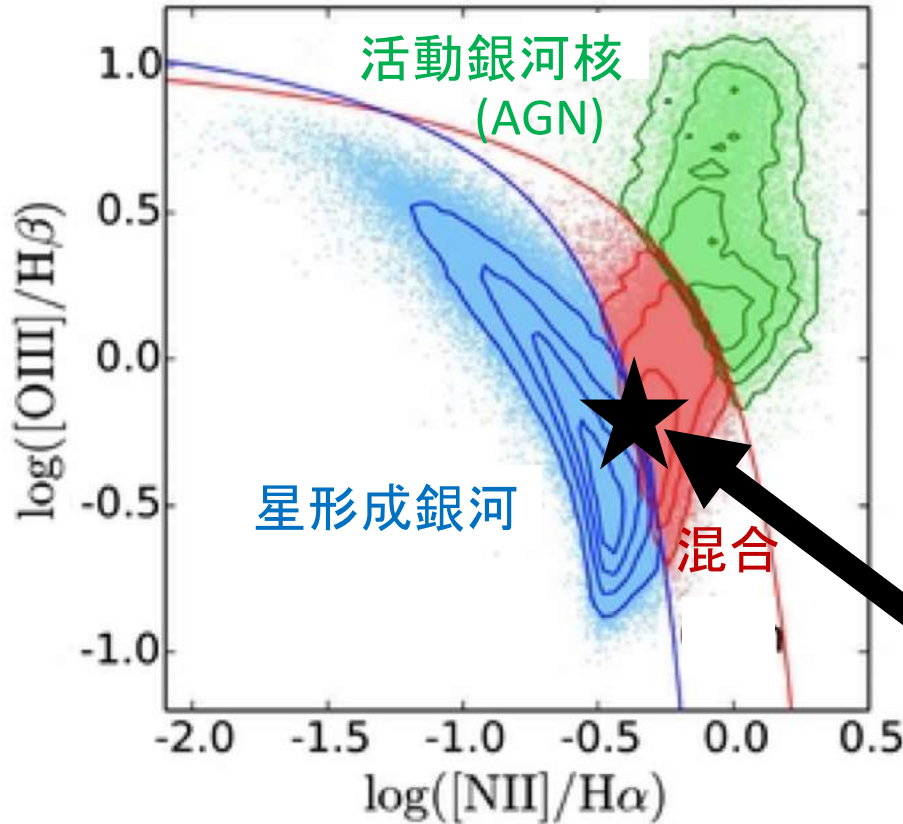


正体を調べる。

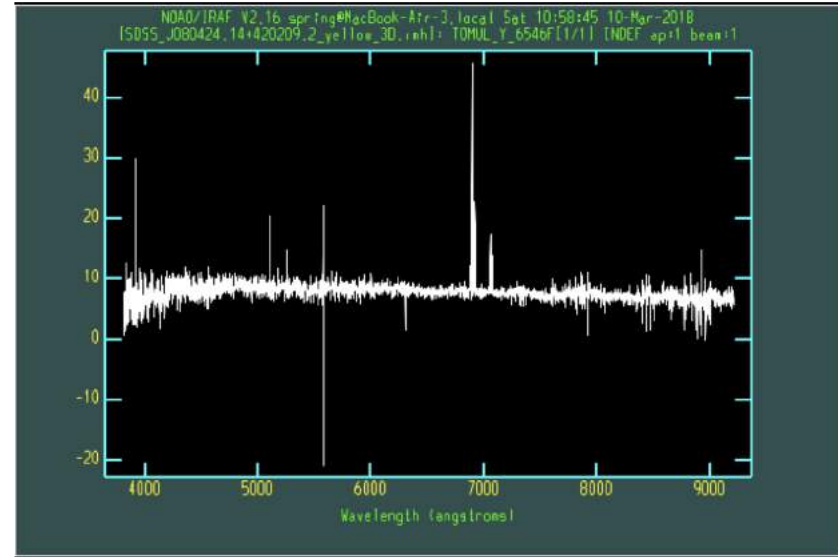


# IO-1の正体

輝線比診断図(星形成銀河/活動銀河核)



IO-1の分光データ



星形成銀河と活動銀河核が合わさったものと判断

Harikane\_et\_al\_2014

[NII]/H_alpha	-0.46
[OIII]/H_beta	-0.22

面白い天体ではあったが、既に知られている種類のものがあった。



# SO-1の正体

すばるは分光データがない -> SDSSと同じ手法が使えない

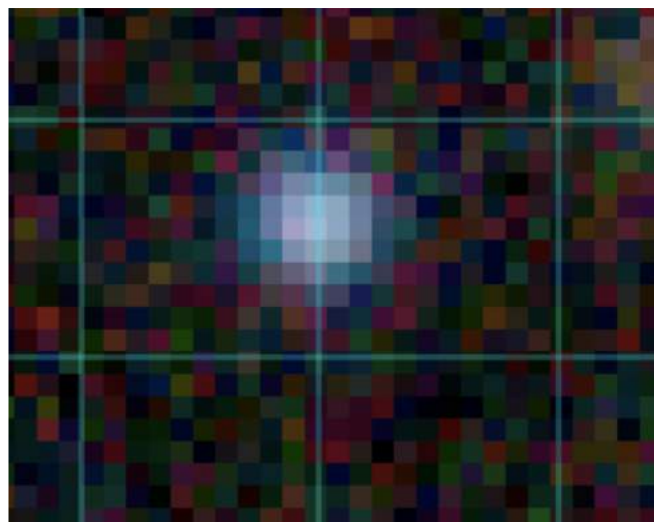
$$M(\text{真}) = M(\text{psf})$$

天体全体の  
真の等級

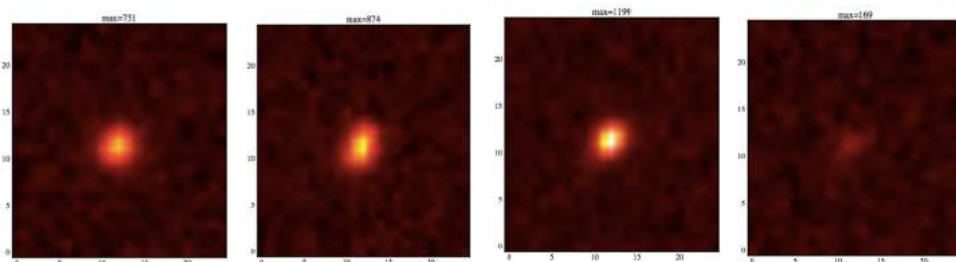
22.78 ± 0.01

点源を仮定し  
て求めた等級

22.78 ± 0.01



点源 (星か活動銀河核か)



光の強さ 751

874

1199

169

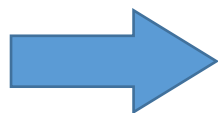
星または活動銀河核が変光したものと判明

面白い天体ではあったが、既に知られている種類のものではなかった。

# SO-2の正体

$M(\text{真}) \neq M(\text{psf})$   
天体全体の  
真の等級

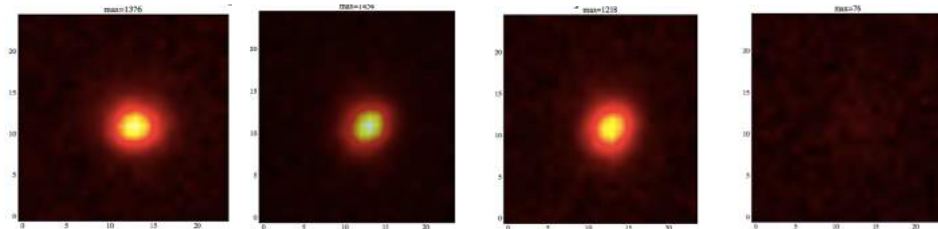
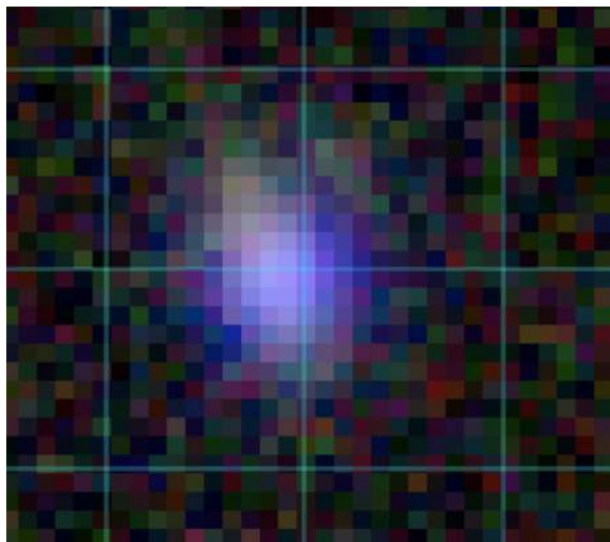
点源を仮定し  
て求めた等級



広がりを持つことがわかる。  
銀河の可能性が高い。  
もしかして新しい種類の銀  
河を発見した！？

$22.89 \pm 0.02$

$23.62 \pm 0.02$



光の強さ 1376

1454

1218

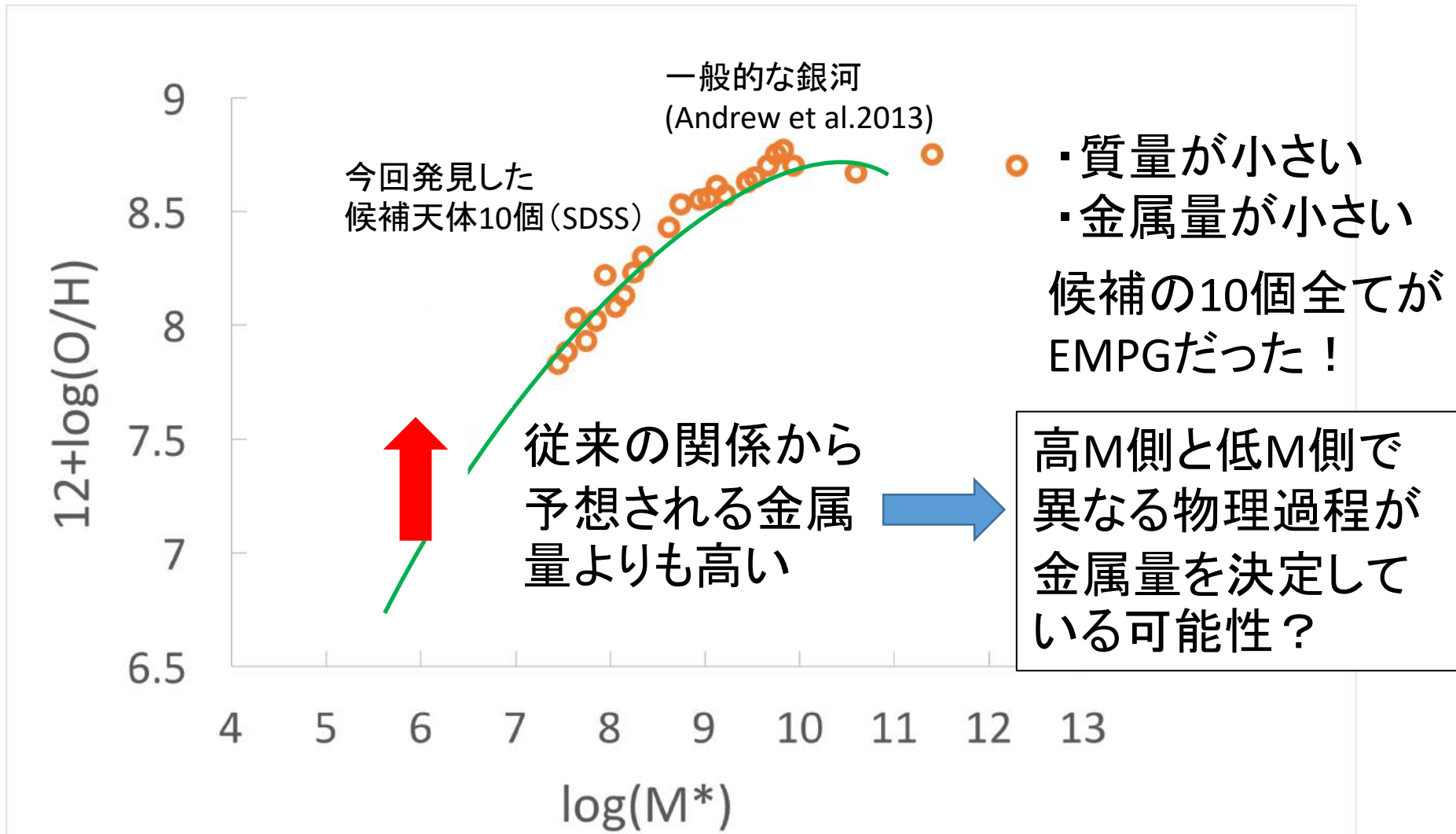
76



銀河の中心にあった活動銀河核が  
変光していた可能性が高い。

面白い天体ではあったが、既に知られている種類のものではなかった。

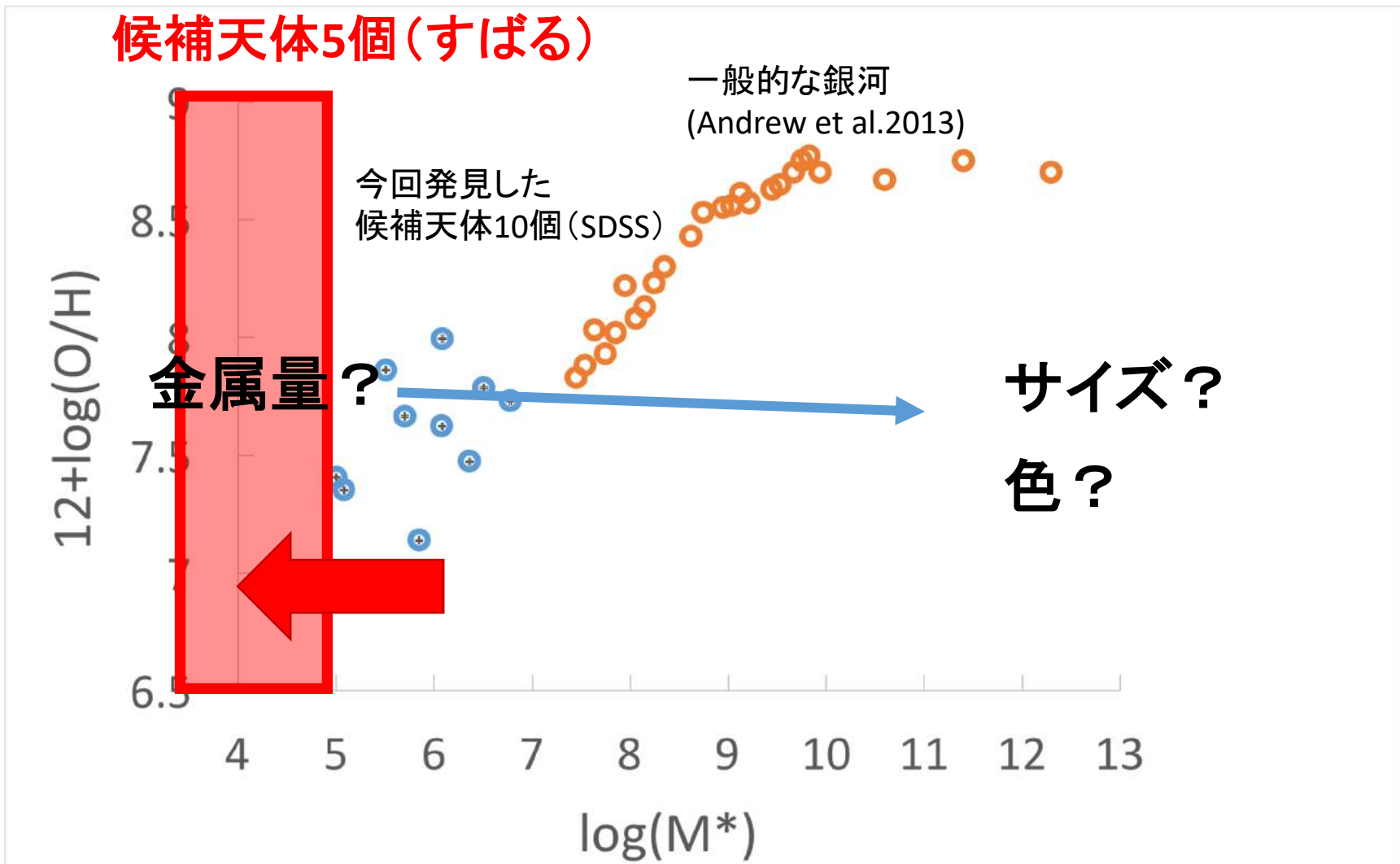
# [SDSS] 星質量-金属量関係



# [すばる] 星質量-金属量関係

今回発見した

候補天体5個(すばる)



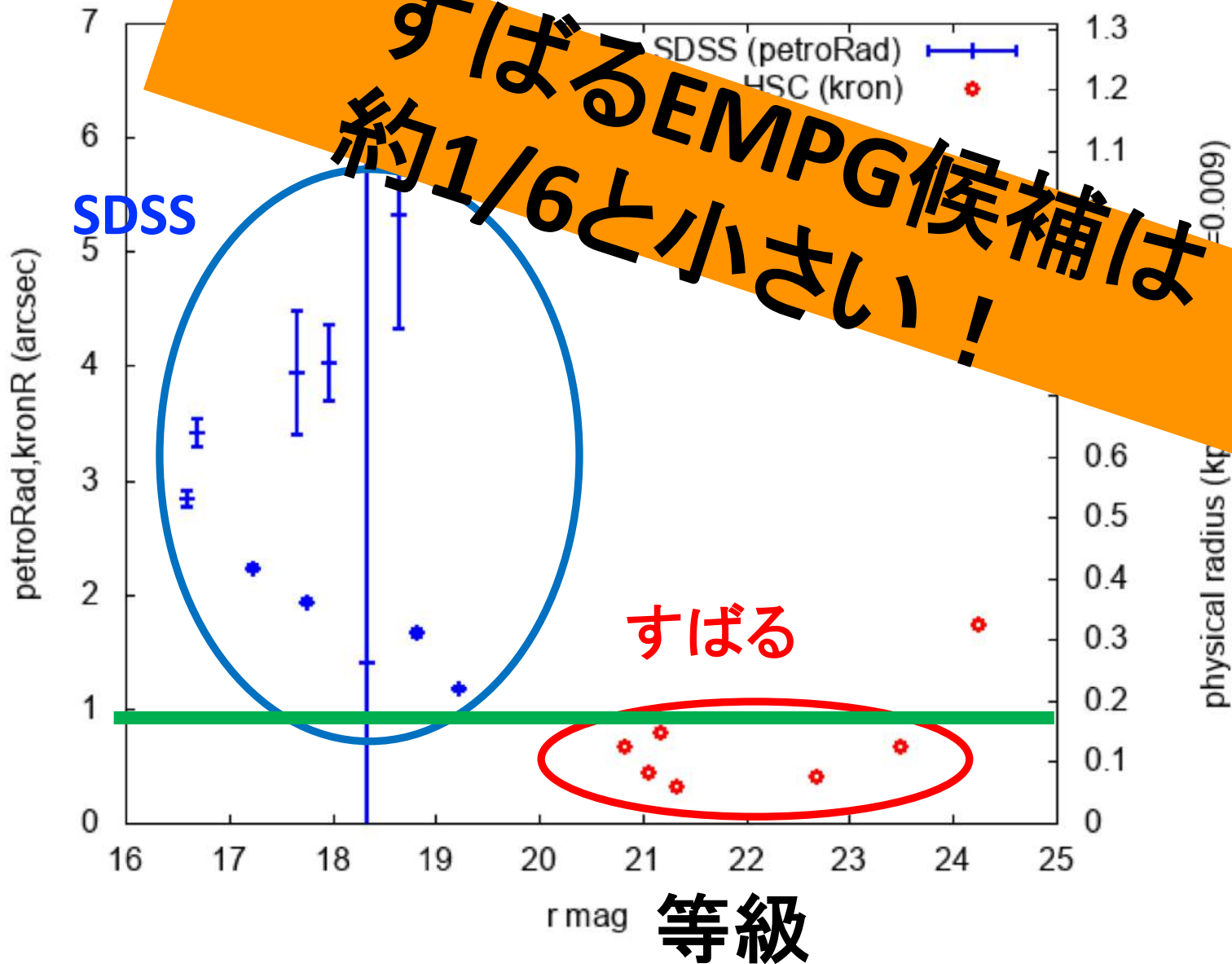
SDSSよりも小質量(1/100)の銀河を発見した可能性



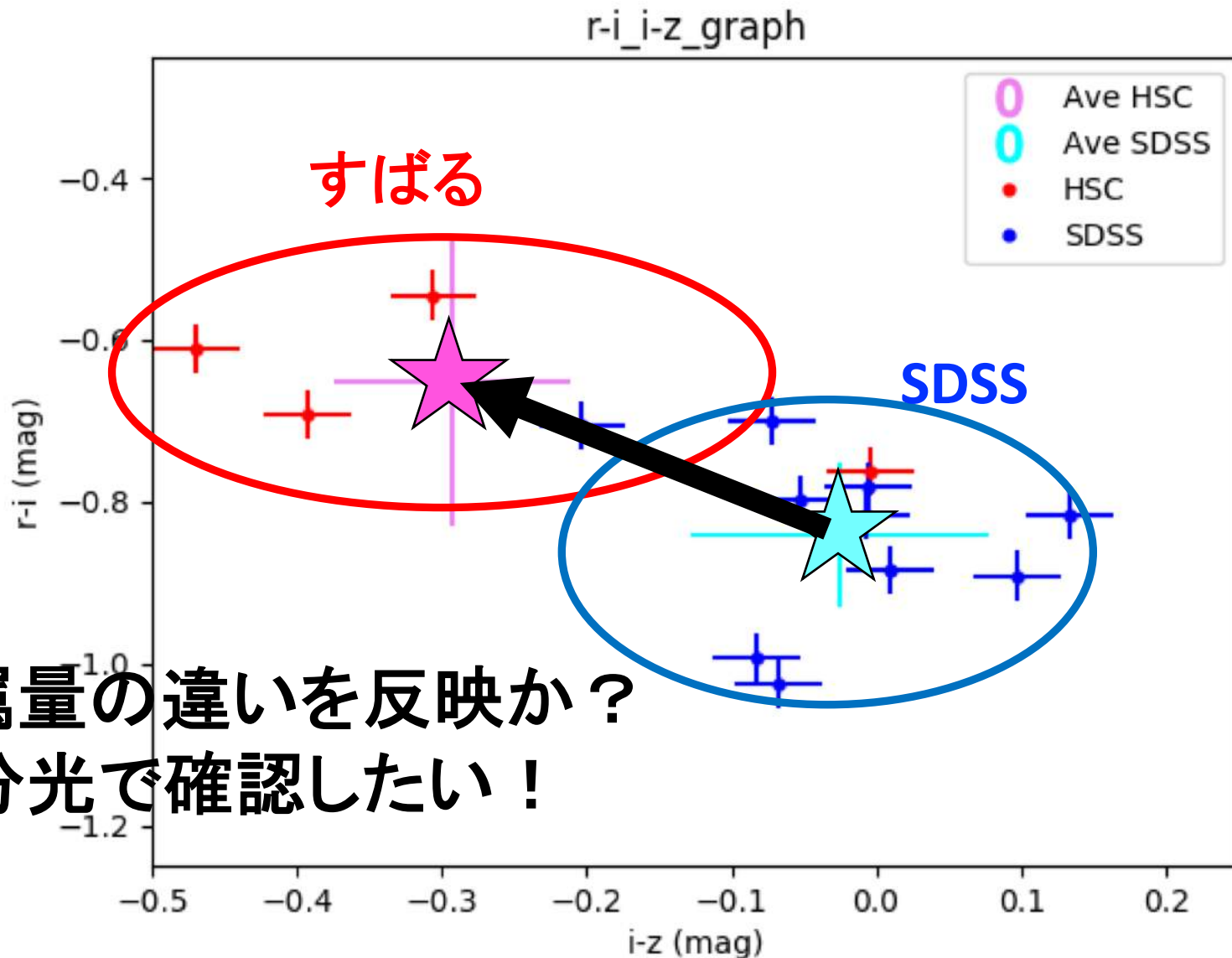
# サイズの比較

すばるEMPWG候補は約1/6と小さい！

銀河半径



# すばる EMPG候補とSDSS EMPGは違う



金属量の違いを反映か？  
分光で確認したい！

# 結論

- 目的: EMPGの探索
- データ: すばる探査可視光撮像  
SDSS可視光撮像＋分光
- 手法: モデルスペクトルと深層学習→分類器
- 結果1: すばるデータ→7個のEMPG候補天体  
SDSSデータ→10個のEMPG天体(分類器の成功を確認)
- 結果2: 特異な天体を検出IO-1,SO-1,SO-2  
→活動銀河核もしくは変光天体
- 結果3: すばるEMPG候補天体  
SDSS EMPGと異なる(小さい、色の違い)  
すばるEMPG候補天体は有望→将来の分光観測