初期銀河の形成過程 についての観測的研究 ^{安田知明 松本卓也 中根美七海 青梨竜也 服部竜大 手良脇大誠}

イントロダクション (安田)

宇宙進化における銀河形成





宇宙進化における銀河形成

未観測 現在の望遠鏡では 感度が足りない



極金属欠乏銀河(EMPG)

金属:ビッグバン元素合成でできない重元素(酸素を含む)



金属量:酸素の個数存在比(太陽: Zo) EMPG: <0.1 Zoの銀河と定義

金属が少ない →星による化学合成が進んでない →宇宙初期の形成初期銀河と似た性質



研究の目標

EMPGの詳細観測データを用いて ACDMモデルの銀河形成を検証



ターゲット選択と観測(青梨)

観測ターゲットの選択(例) すばる望遠鏡の撮像データ⇔機械学習⇔低金属量銀河



ニューラルネットワーク





6つのEMPG

ID2, ID14, ID17, ID36, ID50, ID51

(赤方偏移: 0.001-0.01程度)



観測装置:すばる望遠鏡、FOCAS IFU(3次元分光装置:x,y,波長)

→可視域での3次元分光データを取得

観測日時:2021年:6/17,7/12,8/13,11/24,12/13

データ解析(質量推定)(松本)

FOCAS IFUの3次元データとフィッティング

QFitsViewでの解析画面



ID02の銀河中心 (X,Y)=(36pix,27pix)におけるfitting結果

速度の空間分布



Hαピークが2つ→左右で区別



ID14,36に関して補足

速度分散が大きい場所は定常状態にない → ID14,36の力学質量は求めない

力学質量(=ガス質量+星質量+暗黒物質質量)

"重力=遠心力+圧力勾配"の関係から以下のように見積れる

中心速度の空間分布→回転速度Vrot [km/s]、速度分散の空間分布→速度分散o[km/s]



ガス質量

星形成率sfrとガス質量の関係としての経験則(KS則; Kennicutt 1998)が知られる 物理的な理由:ガスがあると星形成が進む

$$\sum sfr = 2.5 \times 10^{-4} (\sum gas/1M_{\odot}pc^{-2})^{-1.4} (M_{\odot}yr^{-1}kpc^{-2})$$

Kennicutt 98b

星形成率sfrは、Hαの光度L(luminosity)から求まる 物理的な理由:星形成領域は若い星が多く明るい

$$\sum sfr = 7.9 \times 10^{-42} L(H\alpha) (ergs/s)$$
 Kennicutt 98a

光度は、fluxから求まる

 $L(H\alpha) = 4\pi r^2 (1 + z)^2 F(H\alpha)$ (r:銀河までの距離、z:赤方偏移)



17

星質量

星質量M*(total)は、銀河の全光度L(total)、EMPG内の平均の星の質量-光度比 (M*/L)を用いて、 <u>M*(total) = L(total)×(M*/L)</u>



見かけの等級mと絶対等級Mの関係

 $m - M = 5 \log_{10} r - 5$ (r: 銀河までの距離) \leftarrow 見かけの等級mはSDSS望遠鏡のデータから取得

i-bandの見かけの等級から星質量が求まる

暗黒物質質量

力学質量のうち、ガス質量、星質量で説明できないものを暗黒物質質量と定義する



結果(質量推定) (中根)

各質量

- ・銀河中心からの距離R(pc)以内の各質量をプロット
- ・中心ほど多くの質量が集まっている

銀河の各質量[10⁸Mo]

銀河	力学質量	星質量	ガス質量	暗黒物質質量
ID2	2.12(100%)	0.00478(0.23%)	0.124(5.85%)	1.99(93.93%)
ID17	3.40(100%)	0.00400(0.12%)	0.0182(0.54%)	3.38(99.35%)
ID50	1.53(100%)	0.110(7.19%)	1.16(75.82%)	0.26(16.99%)
ID51(右)	0.29(100%)	0.00130(0.45%)	0.0230(7.93%)	0.266(91.62%)
ID51(左)	0.41(100%)	0.00360(0.88%)	0.0320(7.80%)	0.374(91.32%)

ID51(左)の質量の動径プロファイル



ガス質量と星質量の比較

・力学質量を見積もった半径Rまでの質量で比較

・銀河の力学質量に依らず、ガス質量が星質量より大きい

→いずれも星形成の段階にあると考えられる

星質量に対するガス質量の比



力学質量と暗黒物質質量の比較

・4つの銀河の暗黒物質の割合は宇宙

平均(80%)以上である

→銀河形成の初期段階

・ID50の暗黒物質が宇宙平均より

少ない(15%)?



本当にID50の暗黒物質-力学質量比は小さいのか?



仮説1:他の銀河と衝突最中で定常状態ではない?→**衝突最中ではなさそう**

仮説2:速度分散の強い領域が力学質量に影響?→修正後も宇宙平均を大きく下回ったまま

結論:ID50は暗黒物質欠乏銀河と考えられる

データ解析(金属量推定)(青梨)

金属量の推定方法

$$\int \left[I([O III]5007) = n_e n(O^{2+})k_{03}(T_e)E_{32}A_{32}/(A_{31} + A_{32})$$
(式)
 $K y B w$
 $I([O III]4363) = n_e n(O^{2+})k_{04}(T_e)E_{43}A_{43}/(A_{41} + A_{43})$ (式2)
 $K y B w$
 $I(H\beta) = n_e n(H^+)\alpha_{H\beta}(T_e)E_{H\beta}$ (式3)
 $M^* \mathbb{R}^{2} \mathbb{R}^{2}$







対象銀河はEMPGであることが確かめられ、金属量は一意に定まる

結果(金属量推定)(服部)

金属量とガス質量/星質量比の関係



30

金属量の空間分布

Hα輝線強度(灰色線)と金属量の空間分布

ID2は解像度が悪く金属量を広範囲で推定できなかった

ID17,50は唯一のHα輝線ピークと金属量極大が一致



金属量の空間分布

Hα輝線強度(灰色線)と金属量の空間分布(カラーマップ)

ID14,36,51は金属量の少ないHα輝線ピークが見られた。



考察とまとめ (手良脇)

力学質量に対する暗黒物質質量比

銀河中の暗黒物質量

- ・ID50以外の天体
- →ACDMモデルから予測される

暗黒物質量と一致

・ID50→暗黒物質欠乏銀河



なぜ暗黒物質が少なくなったのか?

ID50の暗黒物質損失過程

- ・銀河合体で、暗黒物質同士のすり
 抜けが起きうる
- ・ID50について、かつての衝突の名残と みられる天体を発見

→銀河の典型的な速度(数百km/s)を踏ま えると、50Myr程度昔に銀河合体を起こ して現在の姿になったと考えられる



Lee et al. (2021) 35

t=-100Myr



/星皙量

銀河のガス質量と金属量の関係

解釈:

結果:金属量が高い銀河ほどガス質量が少ない



金属量 Zo



理論的にも金属が多い銀河は、星形成にガスを消費している →観測結果とACDMの描像は一致



- →ガスの多い領域で星形成が進んでいる→ACDMモデルと一致
- ・金属量とHα輝線の極大位置にズレ→星形成の活発な位置が移動している



ガスの多い領域

まとめ

- ・近傍(赤方偏移:0.001-0.01程度)のEMPG6天体
- ・すばる望遠鏡FOCAS IFU観測
- ・質量マップと金属量マップを取得



結論

- EMPGについても、ACDMモデルに基づく銀河形成の描像と一致している
 - 銀河合体による暗黒物質欠乏銀河の候補天体を発見
 - 星形成の活発な位置は、時間と共に移ろっていく

ご清聴ありがとうございました