

# ミッシングサテライト問題の再定義と 矮小銀河の星形成抑制過程から見た問題解決について

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

林 航平

第40回天文・天体物理若手 夏の学校@愛知県豊橋市

8月2日～8月5日

## 1 Abstract

Cold Dark Matter(CDM)に基づく銀河形成理論は、1Mpc以下の小スケールにおいて、観測と矛盾が生じている。ミッシングサテライト問題はその一つであり、銀河系サイズの銀河ハローには、数百～数千のサブハローが存在しているという理論結果に対し、銀河系やアンドロメダ銀河にはせいぜい数十個程度しか発見されていない。

この問題の解決には、様々な候補が挙げられている。観測にかからない暗い銀河の存在や、Warm Dark Matter(WDM)によってサブハロー数に制限をかける等、サブハローの数が一致するような研究がなされている。しかし、ある固定した半径(600pc)内でのmass functionで考えると、個数だけでなく関数の傾き自体が全く合っていないことが分かった。これは、そもそもの銀河形成論の解釈が間違っている可能性がある。

そこで、矮小銀河の星形成に着目して銀河形成について考察していく。すると、矮小銀河の星形成を抑制するメカニズムは、今まで考えられてきたUV heatingやSN feedbackとは異なる、質量依存したメカニズムが考えられることを示唆した。本発表は、A.Kravtsov(2010)のレビューである。

## 2 Defining the Missing Satellites Problem

銀河系やアンドロメダ銀河のハローには、矮小銀河や球状星団などのサテライト銀河が分布している。それらのtotal massを観測から同定するには、様々な不確実性が存在する。例えば、矮小銀河は星の数が少なく、中心集中度が小さい為広がりを持っている。その際、その銀河の中心を同定するのは難しく不確実性が現れる。また、ダークマターの存在を考慮すると、輝いている範囲までが「銀河」とは限らない。よって、銀河半径のとり方によってtotal massは変化してくる。

そこで、銀河の星軌道が等方的であると仮定して、maximum circular velocity  $V_{max} = \max\left(\frac{GM}{r}\right)^{1/2}$  と星の視線方向の速度分散  $\sigma_r$  に

$$V_{max} = \sqrt{3}\sigma_r$$

という関係式があるのを利用して、銀河のtotal massを推測する(図1)。しかし、現実の銀河は球対称や軌道が等方的である確率は極めて小さいので、この仮定には、多くの不確実性が存在する。

この不確定性を解消するために、circular velocity を用いず、ある固定した半径 (600pc) 内の質量のみで議論する (図2) 600pc は、観測で知られている質量の範囲、言い換えれば、星が分布している範囲であるが、SDSS で発見された ultra faint dwarf galaxies は 600pc まで分布していないので、半径をさらに小さくすれば、さらに強い制限をかけることも出来る。

図2を見てみると、従来の累積個数関数 (図1) と同様に数が異なってるのは勿論だが、図1と決定的に異なるのは、関数の傾き自体も異なっていることである。このことから、銀河形成の解釈が間違っている可能性が示唆される。

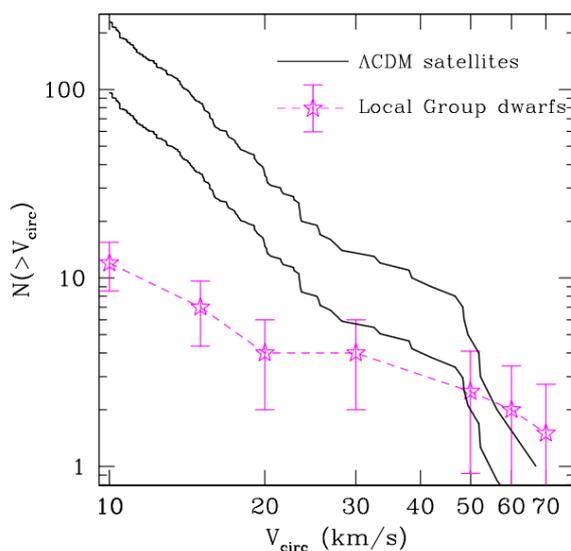


図1 従来の累積個数関数

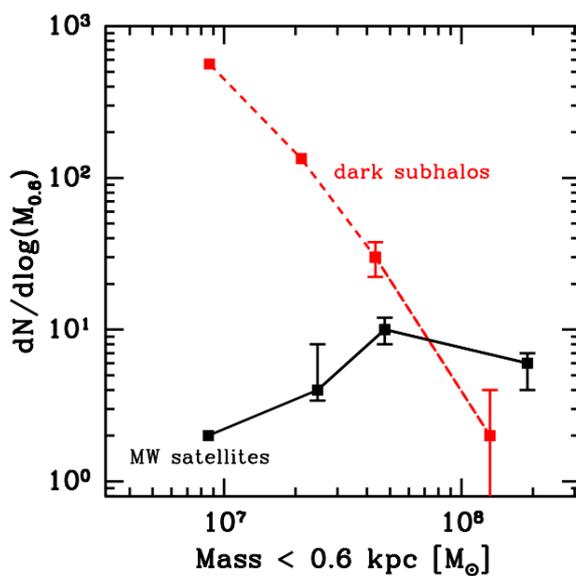


図2 再定義した累積個数関数

### 3 Possible solution

ミッシングサテライト問題を解決するために、矮小銀河の星形成に着目して銀河形成について考察していく。図1や図2は、シミュレーションで得た subhalo と「現在の」質量を持つサテライト銀河を比較している。「現在の」という意味は、outer halo にあった銀河が host halo に降着する際に mass loss を受けるので、降着する前と後では質量が異なるという事である。

そこで、現在の矮小銀河の光度が降着前の sub halo の質量に依存すると仮定すると

$$L_V = 5 \times 10^3 \left( \frac{M_{vir,acc}}{10^9 M_\odot} \right)^2$$

という、簡単な関係式で書くことができる。

この関係式と、様々な観測結果を比較してみると、観測結果を再現できていることが分かる (図3 ~ 図5)

- 図3 : 300pc 内の質量と光度の相関関係を表している。関係式 (青) が観測 (赤) を良く再現しているのが分かる。
- 図4 : 600pc 内質量での累積個数関数を表している。破線が関係式だが、 $L > 2.6 \times 10^5 L_\odot$  と 270kpc 内での累積個数関数を表している。すなわち、降着前の outer halo を考慮しているのである。すると、観測量 (実線) とだいたい一致しているのが分かる。
- 図5 : 270kpc 内のサテライト銀河の動径分布を表している。この観測量とも良く合っているのが分かる。

また、これらの結果から  $M_{vir,acc} = 10^8 \sim 10^{10} M_\odot$  と推定できる。下限値から推測される事は、質量が小さい為星形成が行われることは無いが、超新星爆発 (SN) によって吹き飛ばされる程軽くもない。したがって、high-z であれば HI 吸収線や重元素吸収線が観測されるはずであり、low-z なら、High velocity clouds (HVCs) の形成を明らかにする可能性がある。

しかし、上限値を考えると、ある新たなメカニズムの存在を示唆していることが明らかになった (図6)。赤い破線が UV heating の星抑制メカニズムから考えられる星形成率であり、ピンクの破線が SN feedback、四角や丸が関係式から考えられるモデルでのそれである。この図から、今まで考えられてきた UV heating や SN feedback による星形成抑制メカニズムとは異なる、質量依存したメカニズムがあることが考えられる。しかし、このメカニズムの物理的な解釈はまだわかっていない。

### 4 Summary

本発表では、ミッシングサテライト問題を、不確定性の小さい固定した半径内の質量で考え、従来のミッシングサテライト問題との違いを明確にした。

この再定義したミッシングサテライト問題を解決する為、観測された矮小銀河の光度が降着前の質量と相関があると仮定した。すると、様々な観測量と一致することが明らかになった。

しかし、銀河の星形成抑制メカニズムの点から考えると、今まで考えられてきたものとは異なる、別の抑制メカニズムが示唆されることが分かった。

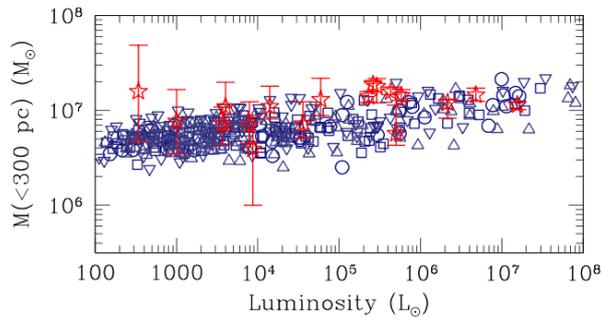


図3 300pc 内の質量と光度の相関関係

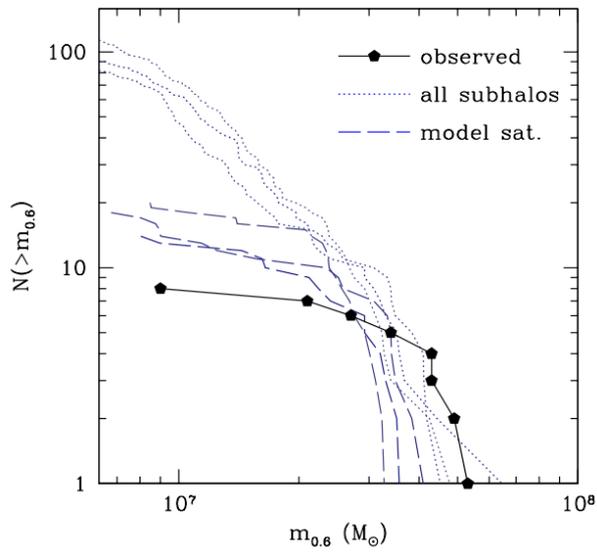


図4 600pc 内の累積個数関数

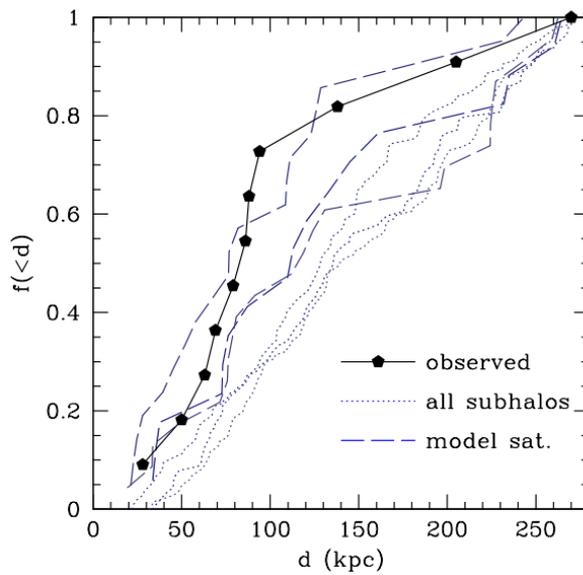


図5 270kpc 内の MW の衛星銀河の動径分布

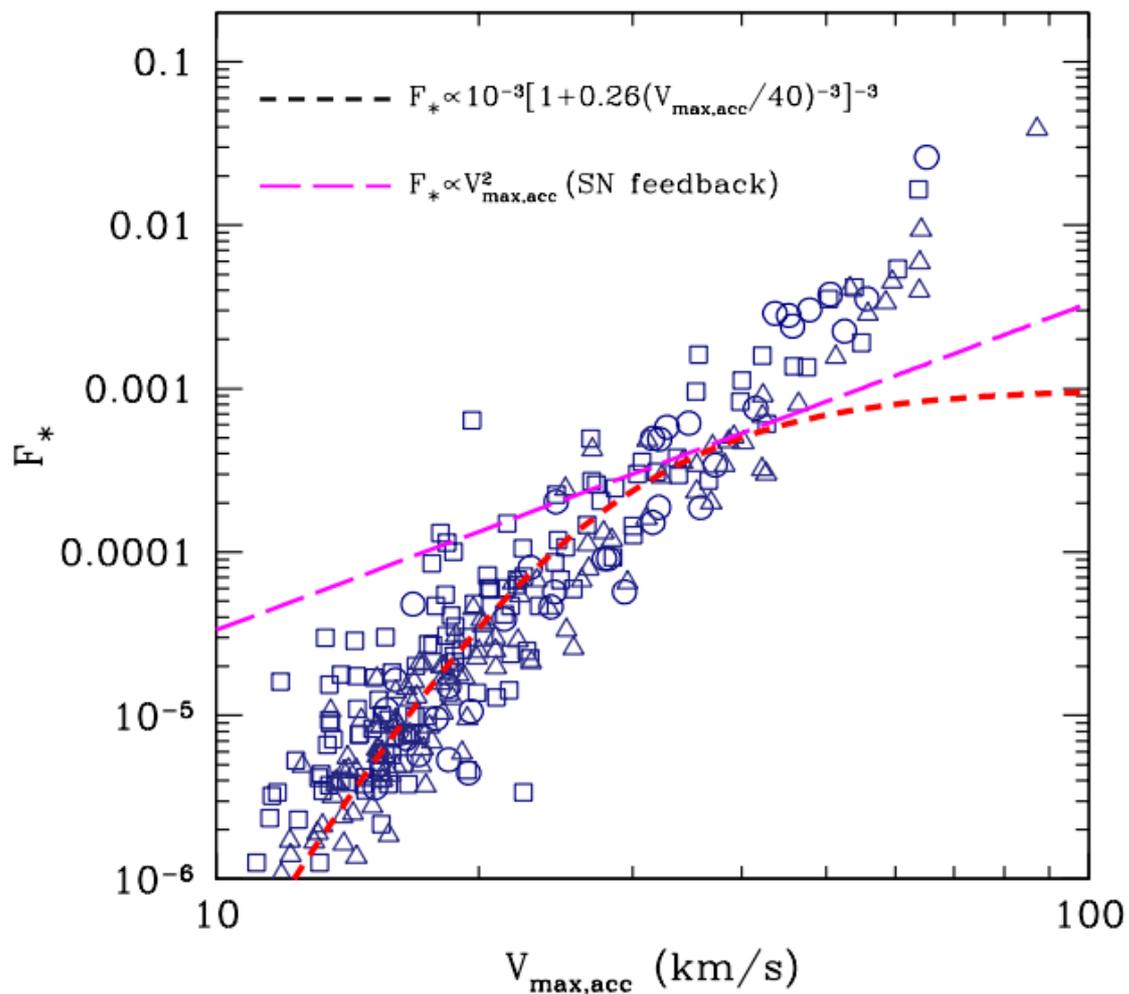


図6 270kpc内のMWのサテライト銀河の動径分布