

# ストリームを用いたミッシングサテライトの検出

東北大学理学研究科天文学専攻 古川 俊久

## Abstract

これは論文(Yoon et al,2011)のレビューである。冷たいダークマターを用いた構造形成理論( $\Lambda$ CDM)は、1Mpc以上のスケールにおける構造形成に関しては観測と大体一致している。一方、銀河程度のスケールにおいては、銀河のダークマターハロー内に、数百個以上の矮小銀河サイズの構造体(サブハロー)が存在するという結果をもたらす。これは、銀河系内で確認されている衛星銀河の数に比べ遥かに大きな値となっている。このような、理論と観測の矛盾(ミッシングサテライト問題)を考える際、矮小銀河や球状星団がホスト銀河からの潮汐力を受けることで形成されるストリームを用いたアプローチがある。本論文では、数値実験から、ストリームとサブハローの相互作用により、ストリームのエネルギーや表面密度などがどのような分布になるかを調べている。その結果、 $\Lambda$ CDMモデルから予測されるだけのサブハローが存在するなら、ストリームの表面密度に観測から予測されるものと同程度の勾配が生じることを示し、その勾配は $10^5 \sim 10^7 M_{\odot}$ 程の比較的質量の低いサブハローによって形成されることを示唆した。

## Model

### ・ダークマターハローのモデル

ホスト銀河のダークマターの密度分布はNFW profileで与える。また、ハローの形状は球対称であると仮定する。

$$\text{NFW profile} \quad \frac{\rho(r)}{\rho_{\text{crit}}} = \frac{\delta_c}{(r/r_s)(1+r/r_s)^2}$$

### ・サブハローのモデル

サブハローの物理的な特性(質量、潮汐半径など)はVia Lactea II (VL II)シミュレーション(図1)から得られるものを用いる。シミュレーションの解像度が有限なため質量の低いサブハロー( $10^7 M_{\odot}$ 以下)においては質量のオーダーが1下がると数は10倍になるように補正する。また、サブハロー間での相互作用はないものとする。

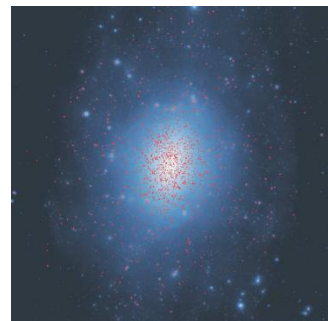


図1 (Madau et al 2008)

### ・ストリームのモデル

球状星団Palomar5のストリームの観測データをもとにモデルを作る。また、ストリームの自己重力は無視している。

以上を用いて、数値実験からストリームの空間分布や表面密度の分布を表し、ミッシングサテライトによる影響を検証していく。

# Result

1.

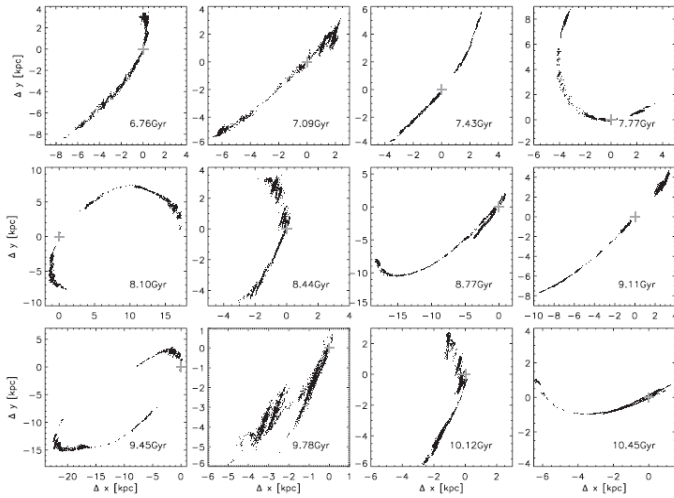


図 2

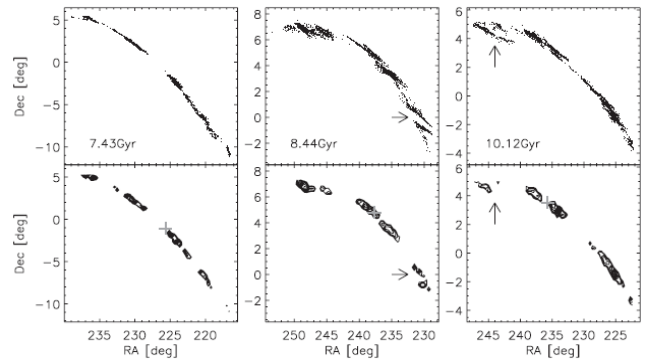


図 3

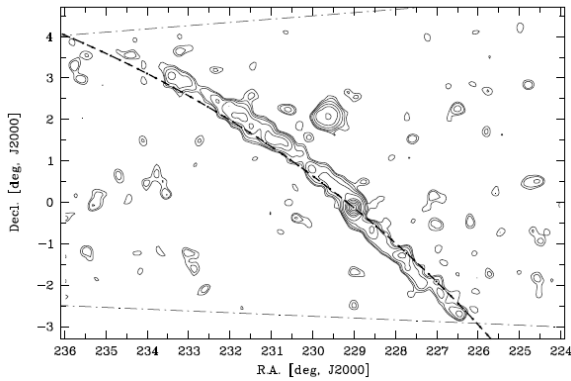


図 4 (Odenkirchen et al 2003)

図2： $\Lambda$ CDMモデルから予測される全てのサブハローを考慮したときのストリームの空間分布。

図3：図2の7.43Gyr、8.44Gyr、10.12Gyrにおける粒子の分布（上）と等密度線（下）。

図4：観測結果から予測される球状星団Palmor5における等密度線。

$\Lambda$ CDMモデルで予測されるだけのサブハローが存在すれば、ストリームの分布に揺らぎが生じる。また、観測結果(図4)においてストリームの表面密度分布には図3と同程度の勾配があると予測される。以上からストリームの表面密度の勾配はサブハローとの相互作用によって形成されたと考えられる。

## 2.

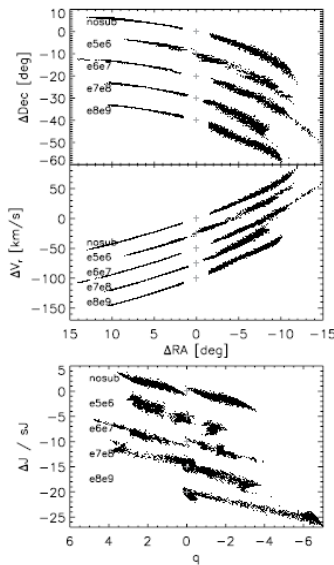


図5

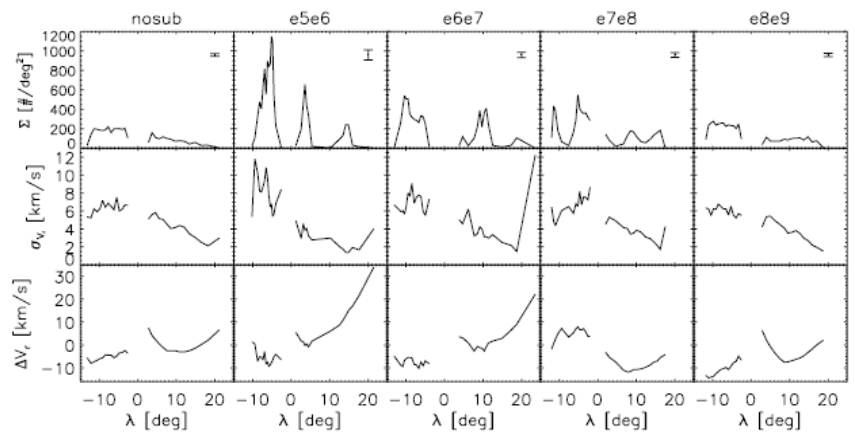


図6

質量の大きいサブハロー( $10^8 \sim 10^9 M_\odot$ )は星を含む”visible”な構造体である可能性が高い。よって、上記の密度勾配が質量の大きいサブハローによって形成されるなら、問題となっている”missing”な構造体を検出したことにはならない。そのため、どの質量のサブハローがストリームの密度勾配を形成しているかを調べる。

図5：上から順にストリームの粒子、動径速度、エネルギー/角運動量の分布。

図6：上から図7の各ストリームの表面密度、速度分散、動径速度の分布。

以上の結果から、サブハローがない場合ストリームの分布はほぼ一様だが、サブハローがある場合は分布に揺らぎが生じる。また、質量の大きいサブハローだけでは小さなスケールでの変化を作ることができず、ストリームの分布に揺らぎを作ることができない。よって、上記の密度勾配は質量の小さいサブハローによって形成されると考えられる。

## Summary

### 結論

- ・サブハローとの相互作用によりストリームの表面密度やエネルギーの分布などに揺らぎが生じる。
- ・ $\Lambda$ CDMから予測されるだけのサブハローが存在すればストリームの表面密度は観測と同程度の勾配を持つと予測される。
- ・ストリームの密度勾配は比較的に質量が小さい”missing”な構造体による影響が大きい。

### 課題

- ・球状星団から形成されるストリームのサンプルが少ないという観測的な問題。
- ・今回のシミュレーションで考慮しなかった現象(ストリームの自己重力による不安定性やディスクなどの他の重力源からの作用)によるストリームの分布への影響。

検証が必要な点はあるがストリームの運動からミッシングサテライトの存在を示唆できると考えられる。

## Reference

Joo Heon Yoon et al 2011 ApJ,731 58

Odenkirchen, M. et al. 2003, AJ, 126, 2385

Madau, P., et al. 2008, ApJ, 689, L41