

# Chandra衛星による銀河群における重力ポテンシャル構造の測定

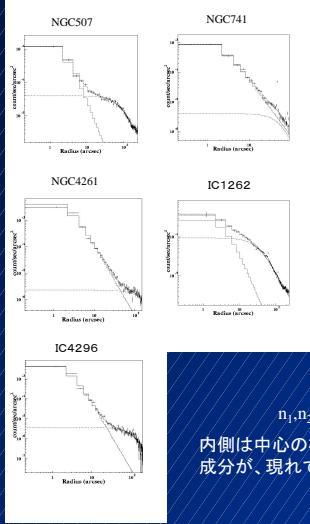
○夫 才修、松浦 大介、河嶋 健吾、川埜 直美、深沢 泰司 (広大理)

## Introduction

X線衛星ASCA/ROSATIによる観測によって、多くの銀河群、銀河団は二重のポテンシャル構造を持っている事がわかった。それらの中心は楕円銀河の重力ポテンシャルにより、星間ガス(ISM)が束縛され、外には銀河群、銀河団スケールのポテンシャルが広がり、高温ガスがそれに束縛され存在すると示唆される。今回はASCAよりも位置分解能が優れたChandra衛星による観測データを用いて解析を行った。特にこの二重構造は銀河群に著しく見られるため、5つの銀河群をターゲットとした。銀河群は星、ガスとダークマターがその構成要素となっており、銀河群の重力ポテンシャルの分布を求め、ダークマターを探る大きな手がかりが得られる。ガスの密度分布から銀河群の全重力質量の分布を求め、それらの特徴を調べた。

今回のターゲット  
NGC507  
NGC741  
NGC4261  
IC1262  
IC4296

## 1. 表面輝度分布のベータモデルによるフィッティング



二つのベータモデルを重ね合わせたダブルベータモデルで表示。左の図はベータモデルでフィッティングした表面X線輝度分布。輝度分布より密度分布を求める。

ベータモデルによるガス密度の式

$$n_{gas}(R) = n_0 \left[ 1 + \left( \frac{R}{r_c} \right) \right]^{-2/\beta}$$

二つのベータモデルの成分を足し合わせたガス密度は以下ようになる。

$$n_{gas}(R) = \sqrt{n_1(R)^2 + n_2(R)^2}$$

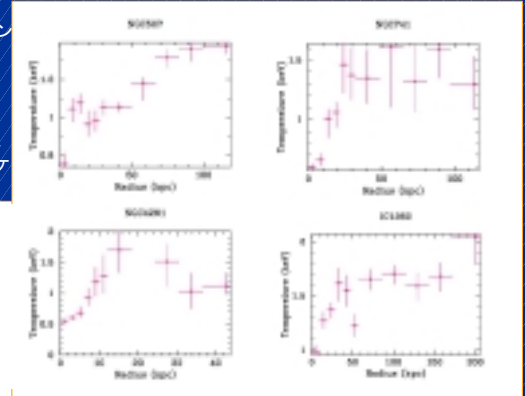
$n_1, n_2$  は内側、外側のベータモデルでの密度  
内側は中心の楕円銀河、外側は銀河群のそれぞれの成分が、現れているものと思われる。



可視光とX線のイメージ図  
今回調べた5つの銀河群は、上図のように中心に巨大楕円銀河を含む。

## 2. 温度の半径分布

半径が異なった同心円リングのスペクトルを、それぞれフィッティングして温度を求めた。内側は大体0.5-0.7keVの範囲で分布しているのに対し、外側は1.0-1.5keVの範囲で分布している。この温度差は中心の楕円銀河スケール成分と、外側の銀河群スケール成分によるものと思われる。

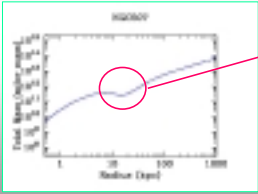


## 3. ベータモデルによる全重力質量

温度分布 $T(R)$ とガスの密度分布 $n(R)$ を用いて、銀河群の全質量を求めた。銀河群内のガスは熱平衡、静水圧平衡と仮定し、重力と圧力勾配の釣り合いから

$$\nabla P_{gas} = -\mu m_p n_{gas} \nabla \phi \longrightarrow \frac{dP_{gas}}{dR} = -\mu m_p n_{gas} \frac{GM_{total}(R)}{R^2}$$

ガスが球対称であると仮定



1温度フィットの結果を用いると、くぼみが生じ、質量が減少する。温度勾配と密度分布の関係において、熱平衡がうまく表せてないためと思われる。この他、NGC4261, IC4296, IC1262に関して同様の現象が見られた。質量の減少をなくするため、2つの温度が共存するモデルを考える

## 4. 2温度フィット

Ikebe et al. 1999; Makishima et al. 2001  
銀河団中心のASCAの観測により示唆された低温ガスと高温ガスの共存説を考えた。低温、高温の値を固定し、同心円リングのスペクトルをフィッティングした。その結果、1温度フィットの時とchi-squaredはほとんど変わらなかった。

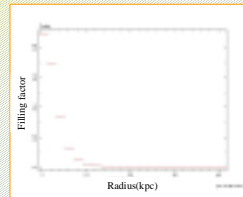
低温、高温は1温度フィットで得た半径分布での中心温度と外側半径の温度を用いた。  
$$n_c k T_c = n_h k T_h \dots \textcircled{1} \quad n, T, n, T \text{ は低温、高温それぞれの密度と温度圧力平衡}$$

低温、高温ガスそれぞれが占める体積がわからないため、低温ガスが単位体積の何割を占めるかを表すfilling factorを用いる。  
2温度フィットから得られた格半径ごとの輝度normを、リング面積で割り、視線方向のprojection効果を取りのぞくと、単位体積あたりのnormが得られ以下の式が成り立つ。

$$Y_c = n_c^2 f \dots \textcircled{2} \quad Y_c, Y_h \text{ は単位体積あたりのnorm}$$

$$Y_h = n_h^2 (1-f) \quad f \text{ はfilling factor}$$

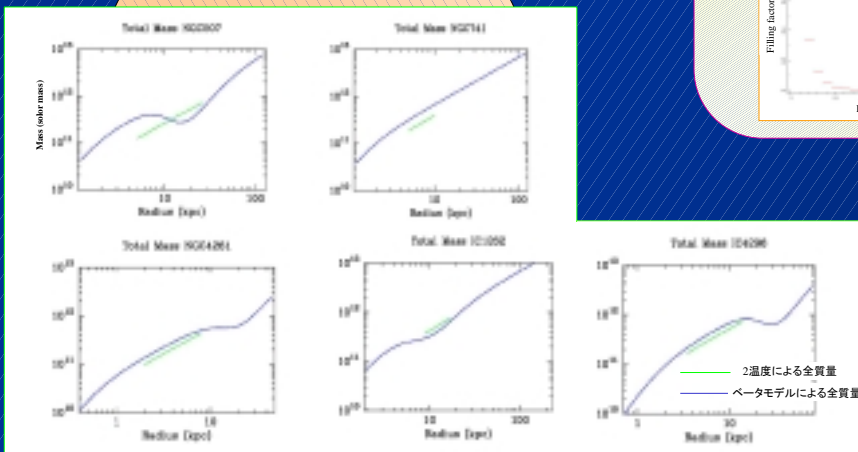
①、②式から  $n_c, n_h, f$  が求められる。



左の図は、NGC4261のfilling factor  
中心は低温成分が占め外側半径に行くにつれ、少なくなる事がわかる。従って、中心付近では低温ガスの質量が高温ガスの質量より高いが、徐々に高温ガスの質量が高くなり、低温ガス質量を追い抜く。

## 5. 2温度フィットによる全重力質量

ベータモデルの時と同じ重力と圧力勾配の釣り合いの式を用いた。低温ガスと高温ガスは圧力平衡にあるため、高温成分の密度分布だけを考慮全質量を求めた。その結果、くぼみが改善されるものも出た。



ベータモデルによる全質量は、Chandraの視野範囲である4 arcminで区切っている。  
2温度フィットによる全質量は、内側はスペクトルフィッティングでの最小半径リング、外側は低温成分が存在する半径までで区切っている。右の表はそれぞれの天体の低温成分が存在する半径と、その全質量を記している。

天体	半径(kpc)	質量(太陽質量)
NGC507	25	$6.992 \times 10^{11}$
NGC741	9.8	$3.937 \times 10^{11}$
NGC4261	7.8	$4.336 \times 10^{11}$
IC1262	17	$7.559 \times 10^{11}$
IC4296	14.5	$7.298 \times 10^{11}$

## Discussion

1温度フィットのベータモデルから得られた全質量分布には、くぼみが見られた。これは非物理的であり、1温度静水圧平衡の仮定がおかしいことを意味する。

銀河群中心では2温度のガスが共存すると考えて、ガス質量と全質量を求め、1温度フィットと比較したところ、上のくぼみが消えるものがあり、2温度共存説を示唆する。

上のくぼみは、銀河群スケールと中心銀河の重力ポテンシャルの境目と考えられる。低温成分は、すべての銀河群で、このくぼみ半径よりも内側に存在することから、低温成分は、中心銀河に付随したものであることが示唆される。

NGC507, IC1262に関しては低温成分の存在がなくなる半径で、くぼみが出てくる。しかし、NGC4261, IC4296は、低温成分がなくなり高温ガスだけが占める半径でくぼみが見られている。このことから重力ポテンシャルの二重構造と低温ガスの相関は一概には説明できないようである。

今回の解析で得た、低温ガスが分布する半径内の全重力質量は $10^{11}$ 太陽質量程度で、それらはcD銀河の星の質量で説明できる値となり、低温成分の存在する領域は星の質量がdominantであるようだ。