

## Chandra 衛星による HCG16 銀河群からの X 線放射の探査

金 美伶 (奈良女子大学大学院 人間文化研究科)

### Abstract

過去の ROSAT 衛星による研究結果では、メンバー銀河のうち渦巻銀河の割合 (Spiral fraction) が 1 に近い銀河群は、その銀河群内の高温ガス (IGM) からの X 線放射を持たないことが報告された。しかしその理由は未だ解明されていない。本講演では HCG16 の IGM からの X 線放射について、Chandra 衛星を用いて解析を行った結果を報告する。HCG16 ( $z = 0.0131$ ) は 2 つの渦巻銀河、S0 銀河、そして不規則 (スターバースト) 銀河の主に 4 つの銀河からなるコンパクト銀河群である。また Spiral fraction=0.86 であり、過去の XMM-Newton 衛星による研究結果では、IGM からの X 線放射は弱いことが報告された。これは、Spiral fraction が 1 に近い銀河群は X 線放射を持たない、もしくは非常に暗いという傾向に従っているといえる。しかし XMM-Newton 衛星の空間分解能は約 10 秒角で、銀河からの放射と広がった放射の区別の問題があるかもしれない。今回の解析では 0.5 秒角とより高い空間分解能をもつ Chandra 衛星を用いることで、IGM からの X 線放射についてより強い制限が得られた。X 線光度は  $L_X = (4.4 \pm 0.9) \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$  となり、典型的な銀河群の光度温度関係と比べて、温度のわりに光度が低めであることがわかった。また Spiral fraction の高い銀河群において、スターバーストが高温ガスの供給源になっているのではないかという仮説を立て、その検証を進めている。

## 1 背景

されているという解釈がある [1]。

### 1.1 銀河群とは

銀河群とは 3 個から数 10 個程度の銀河が重力的に結びついた銀河集団のことで、典型的な広がり は 500 kpc 程度である。その中でも局所的な銀河数密度が銀河団中心部に準ずるほど高いものはコンパクト銀河群と呼ばれ、頻繁に銀河衝突が起きていると考えられる [1]。

銀河群は重力ポテンシャル内に高温のプラズマ (IGM; IntraGroup Medium) を閉じ込めており、この IGM から主に熱制動放射による X 線が放射されている。しかし、IGM を保持し X 線を放射するには、銀河群中の銀河の重力だけでは足りない。このことから、銀河群内に見えない質量 (ダークマター) があるのではないかと推測できる。また、銀河群中の銀河は比較的短い時間で合体して楕円銀河になるという性質があるが、現在の宇宙には多数のコンパクト銀河群が存在する。この矛盾に対して、銀河群内のダークマターが影響し、宇宙初期に形成されたコンパクト銀河群の銀河合体までの時間が引き延ば

### 1.2 銀河群の広がった X 線放射と Spiral fraction

銀河群から放射される X 線にはメンバー銀河由来のものとは別に、銀河間にある高温ガス (IGM) からのものがある。この IGM からの X 線放射のメカニズムは、熱制動放射と輝線放射によって成り立っている。熱制動放射とは、プラズマ中で陽イオンの周りを電子が高速で通過するとき、加速された電子から電磁波がでる現象のことをいう。また輝線放射は主に衝突励起によって起こり、自由電子が原子に衝突しエネルギーを受け取って高いエネルギー準位に遷移することで、輝線が放射される。

また、銀河群に含まれる渦巻銀河の割合 (Spiral fraction) と IGM からの X 線放射には次の様な関係がある。図 1 は、ROSAT 衛星で観測された 109 個の銀河群について Spiral fraction に対する銀河群の個数を表したグラフである。実線は全てのサンプルについて示され、そのうち IGM からの X 線が検

出されたものについては斜線で表される。この図からもわかるように、Spiral fraction が 1 付近の天体は IGM からの X 線放射が検出されているものの割合が少なく、Spiral fraction が 1 のものからは検出されていない。この結果から、なぜ Spiral fraction が 1 付近のものは X 線放射を持たないもしくは暗いのか、逆になぜ 1 つ以上楕円銀河が含まれていると X 線放射があるのかという疑問がわく。

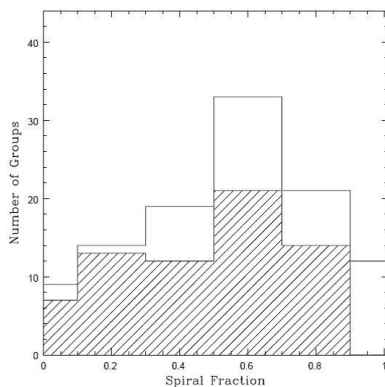


図 1: ROSAT 衛星による全銀河群サンプルと Spiral fraction のヒストグラム（実線）。そのうち IGM の X 線が検出されたもの（斜線）。[9]

## 2 目的

今回の解析ではより高い空間分解能をもつ Chandra 衛星を用いることで、HCG16 の IGM からの X 線放射の光度についてより強い制限を得ることが目的である。

## 3 観測

### 3.1 検出器

今回用いた検出器は、Chandra 衛星に搭載されている X 線望遠鏡 HRMA 及び X 線 CCD カメラ ACIS である。

HRMA は 10 keV までの X 線エネルギーに対して、0.5 秒角の空間分解能を達成している。

ACIS の光軸上での位置分解能は CCD のピクセルサイズにのみ依存し、 $\sim 0.492$  arcsec となっている。

また ACIS-S の有効なエネルギー範囲は 0.5–7.0 keV、視野の大きさは、1CCD チップあたり  $8' \times 8'$  である [12]。

### 3.2 観測データ

HCG16 は HCG16a~d の、主に 4 つの銀河からなるコンパクト銀河群である。HCG16a,b は渦巻銀河、HCG16d は S0 銀河もしくは不規則銀河に分類され、どれもライナーもしくはセイファート銀河の特徴を示す。一方 HCG16c は、不規則銀河でスターバースト銀河とされている。

解析には Chandra 衛星による HCG16 の X 線データ (Obs ID=923) を使用した。これは、2000/11/16 21:46:23 から 12.7 ksec 間観測されたものである。主要な 4 つのメンバー銀河がすべて ACIS-S3 チップの視野内にあるので、解析にはこのチップのみを用いた。エネルギー範囲 0.5–7.0 keV で ACIS-S3 についてライトカーブを作成したところ、バックグラウンドフレアは見られず、有効時間は 12.6 ksec となった。

## 4 解析

### 4.1 解析方法

解析は IGM からの X 線光度と温度を求めるべく、以下の手順で行った。

(1) ACIS-S3 の視界全体の領域から点源を除き、スペクトルをつくる。バックグラウンドは明るい X 線源を含まないブランクスカイのデータを用いる。

(2) スペクトルフィットを行い、X 線光度と温度を求める。用いるスペクトルモデルは、phabs\*apec である。ここで phabs モデルは銀河系による吸収を再現するモデルであり、apec モデルは銀河群からの X 線放射の主な機構である熱制動放射と重元素からの輝線放射を考慮したモデルとなっている。

### 4.2 イメージ解析

ACIS-S3 のイメージをもとに 24 個の点源をピックアップし、各点源からの放射が収まるように領域 A を決めた。HCG16 はチップ全体に広がっているの

で、図 2 のような、ACIS-S3 の視界全体から領域 A を除く領域をソース領域とした。

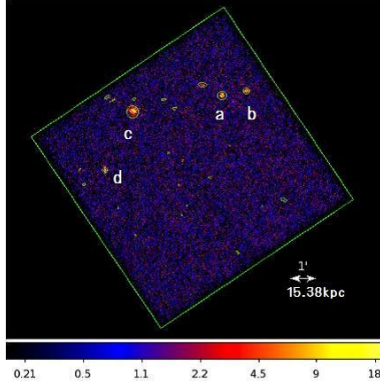


図 2: HCG16 の Chandra による X 線イメージ。ACIS-S3 のチップ全体を囲む四角形から領域 A を引き、IGM 放射のソース領域としている。

### 4.3 スペクトル解析

ソース領域からスペクトルを抽出した。このとき用いたバックグラウンドは、ブランクスカイデータから検出器上でソースと同じ領域から抽出した。これを HCG16 の観測データと比較すると、10.0–12.0 keV において 1% 以内で一致したため、バックグラウンド推定は妥当であるといえる。スペクトルは前述のように、銀河系からの吸収と銀河群の放射を考慮したモデルでフィットした。用いたエネルギー範囲は 0.5–7.0 keV である。1 ビンに 40 カウント以上含まれるようにグルーピングした。スペクトルパラメータは、水素柱密度  $N_H$  [ $10^{22} \text{ cm}^{-2}$ ]、温度  $kT$  [keV]、太陽系との重元素アバundance比  $Z$  [solar]、赤方偏移  $z$ 、normalization [ $\text{cm}^{-5}$ ] で、 $N_H, Z, z$  を表 1 の値に固定した。

## 5 結果

得られたパラメータを表 1、スペクトルを図 3 に示す。IGM の温度は  $0.69 \pm 0.10$  keV と求められた。また、最適モデルから X 線光度を見積もると  $L_X = 4.41^{+0.92}_{-0.88} \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$  となり、先行研究 [2] の値  $L_X^{XMM} = 4.48 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$  とほぼ一致した（ハッ

ブル定数は  $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  を用いた）。

表 1: 得られた apec モデルのパラメータ

	今回の結果	XMM-Newton 衛星の結果 [2]
$nH [10^{22} \text{ cm}^{-3}]$	0.0256 (固定)	0.0256 (固定)
$kT [\text{keV}]$	$0.69 \pm 0.10$	$0.53^{+0.11}_{-0.13}$
$Z [\text{solar}]$	0.1 (固定)	$0.09^{+0.12}_{-0.04}$
$z$	0.0131 (固定)	0.0131 (固定)
norm [ $\text{cm}^{-5}$ ]	$1.72 \pm 0.23 \times 10^{-4}$	—

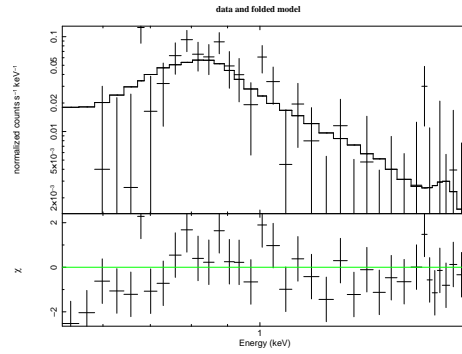


図 3: HCG16 の IGM からの X 線放射スペクトル。0.5–2.0 keV のスペクトルを示す。横軸はエネルギー [keV]、上のパネルの縦軸は X 線の強度 [ $\text{counts s}^{-1} \text{ keV}^{-1}$ ] を表し、下のパネルの縦軸はデータとモデルの残差を表す。十字はデータ点、黒い実線はベストフィットモデルである。

## 6 議論

この章では、図 3~6 から得られた結果をもとに、IGM からの X 線放射の機構について議論する。

図 3 のスペクトル図をみると、0.8–1.0 keV 周辺にだけ X 線が検出されており、 $kT \simeq 0.7$  keV の apec model によく合っていることがわかる。一方で他のエネルギー範囲では統計誤差が大きく、非常に暗いことがわかる。

得られた X 線光度と Spiral fraction の関係を図 4 に示した。この図からは、HCG16 が他の Spiral fraction の値をもつ銀河群に比べて暗いことがわかった。

図 5 には、X 線光度と温度の関係を示す。この図より HCG16 は典型的な銀河群の傾向と比較して、温度のわりに X 線光度が低めであることがわかった。また、XMM-Newton 衛星による先行研究の結果と

は、誤差の範囲内で一致している。

図 6 はメンバー銀河について、X 線光度  $L_X$  と B バンド光度  $L_B$  の関係をプロットしたものである。ここで  $L_X$  は Jeltima *et al*(2008)[7]、 $L_B$  は Helsdon *et al*(2001)[6] を参考にしている。また直線は、渦巻銀河の  $L_X-L_B$  関係の best fit である [6]。この図からは、HCG16 のメンバー銀河の B バンド光度が Spiral fraction が 1 である HCG80 に比べ高いことがいえる。また、HCG16a,b の値は直線付近に、HCG16c の X 線光度は直線のとりうる値を大きく上回っていることから、前述したように HCG16a,b は渦巻銀河であり、HCG16c スターバーストを持つ銀河と考えられる。

以上の結果を踏まえ、スターバーストをもつ HCG16c から銀河群へとガスが供給されているのではないかと推測する。今後はこの仮説を検証するべく、メンバー銀河周囲の高温ガスの分布を調査する必要がある。

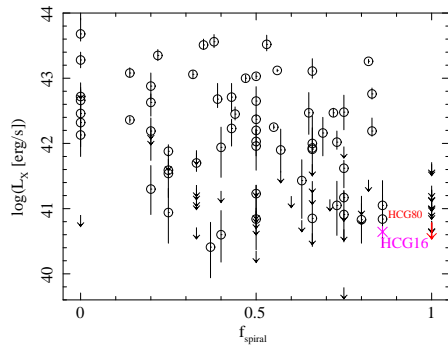


図 4: X 線光度と Spiral fraction の関係 [10]。ROSAT PSPC での研究 [9] のデータを参考にプロットされている。丸印はデータ点、矢印は上限値を示す。

## Reference

- [1] シリーズ現代の天文学 銀河 [編] 谷口義明 他
- [2] Belsole, E., *et al*, 2003, A&A
- [3] Data Analysis Threads  
<http://cxc.harvard.edu/ciao/threads/>
- [4] Davis, John S., *et al*, 2003, ApJS
- [5] Exploring the X-ray Universe [編] Frederick D. Seward 他

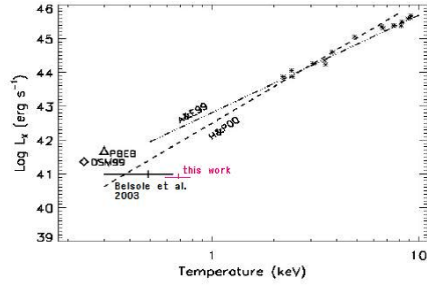


図 5: X 線光度と温度の関係 (L-T 関係) [2]。Arnaud&Evrard(1999)(A&E99) は銀河団、Helsdon&Ponman(2000)(H&P00) は銀河群の値だけを考慮した直線である。黒い十字 (Belsole, *et al*, 2003) は XMM-Newton 衛星による過去の研究結果を示す。この図ではハッブル定数  $H_0=50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$  を用いている。

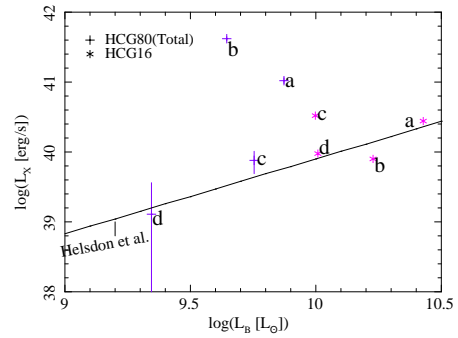


図 6: X 線光度と B バンド光度の関係 [10]。HCG16a,b,c,d を \*, HCG80a,b,c,d を + で表す。また直線は、渦巻銀河の  $L_X-L_B$  関係の best fit である [6]。

[6] Helsdon, Stephen F., *et al*, 2001, MNRAS

[7] Jeltima, Tesla E., *et al*, 2008, AJ

[8] Leon, S., *et al*, 1998, A&A

[9] Mulchaey, John S., *et al*, 2003, ApJS

[10] Ota, N., *et al*, 2004, PASJ

[11] Ribeiro, Andre L. B., *et al*, 1996, ApJ

[12] The Chandra Proposers' Observatory Guide  
(Version 15.0 December 2012)  
<http://cxc.harvard.edu/proposer/POG/>