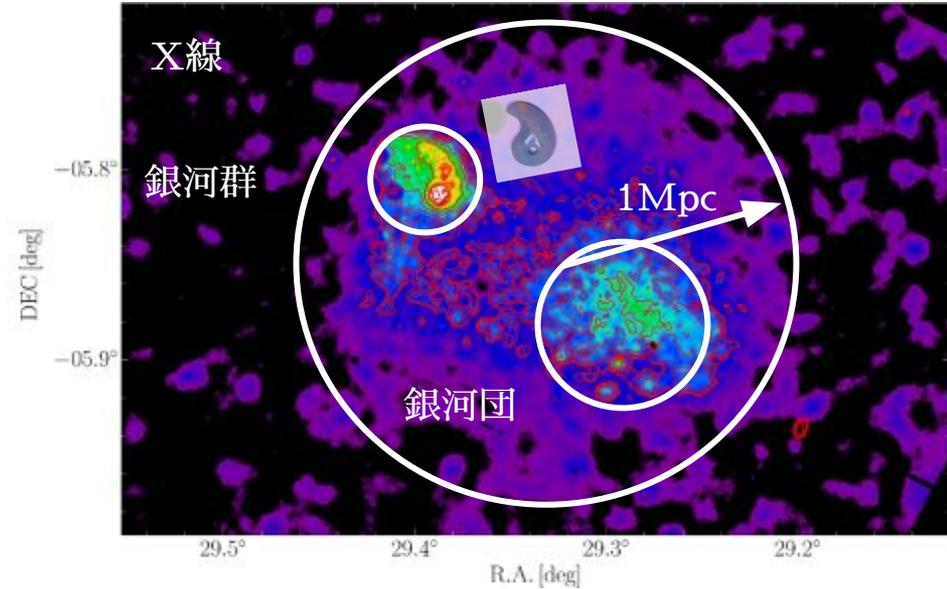
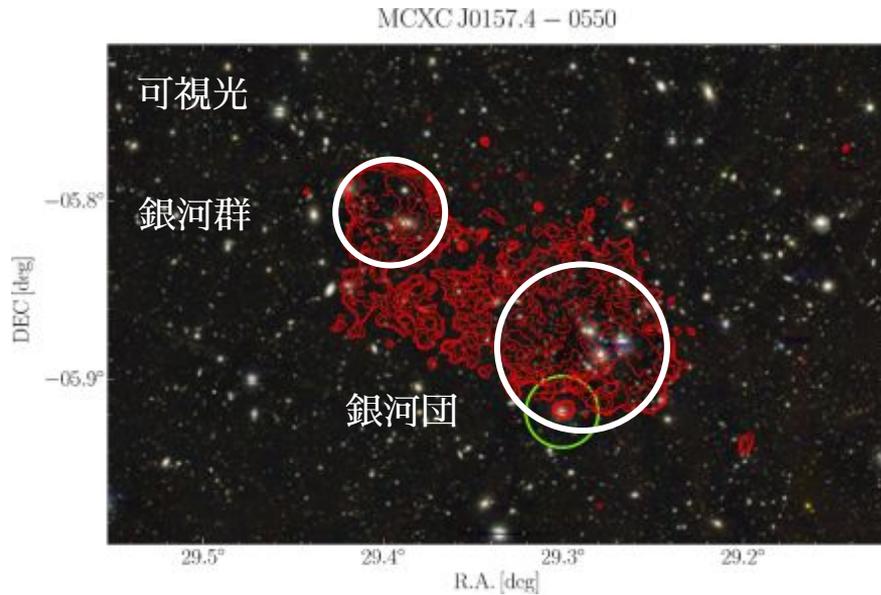


XMM衛星データを用いた MCXCJ0157.4-0550の2次元温度 密度構造の解析3

広島大学 理学研究科

楊 冲、深沢泰司、岡部信広、Poon Helen

衝突銀河団MCXC J0157.4-0550



可視光(すばる望遠鏡)および
XMM のデータが両方がある。

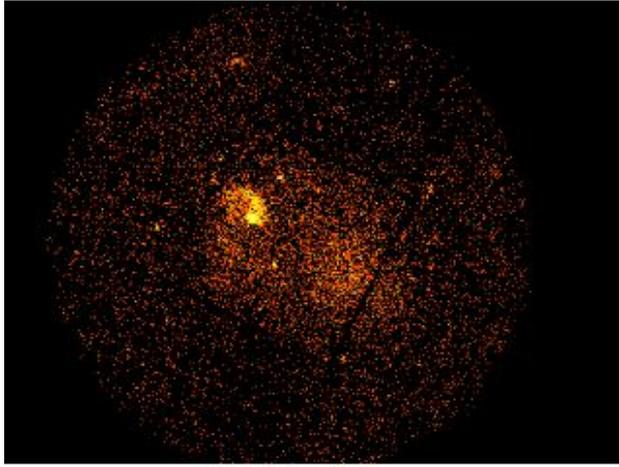
可視光サーベイで見つかる銀河団
はX線で明るくない衝突初
期段階が調べられる。

z	0.1289
特徴	勾玉状(動圧?)
衝突段階	初期?

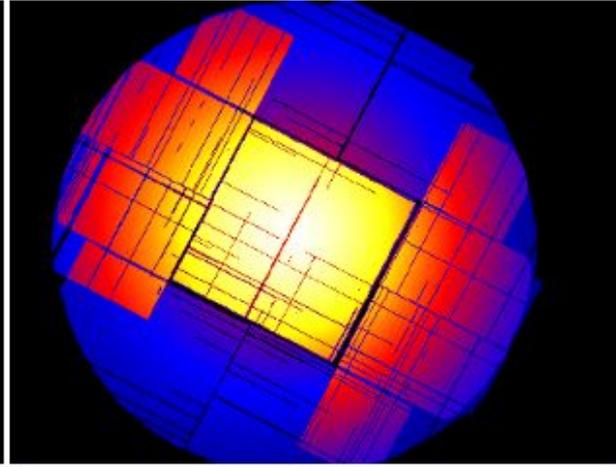
hardness ratio による イメージ解析

2つのエネルギーバンド (0.4-2.3keVと
2.3-7.5keV) で以下のイメージを作成する

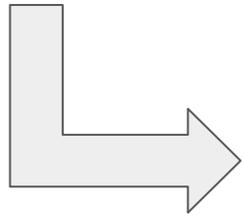
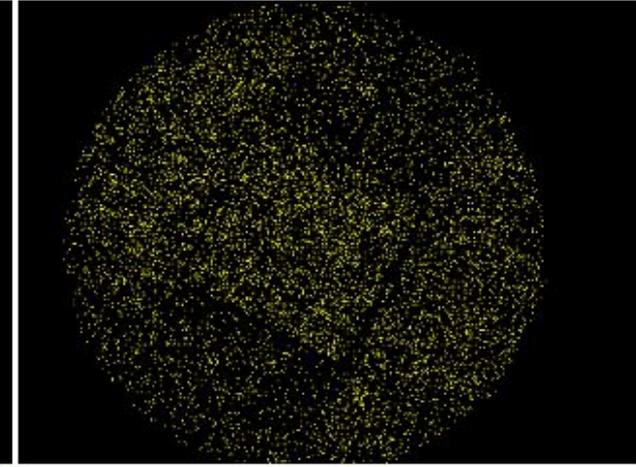
観測されたX線画像



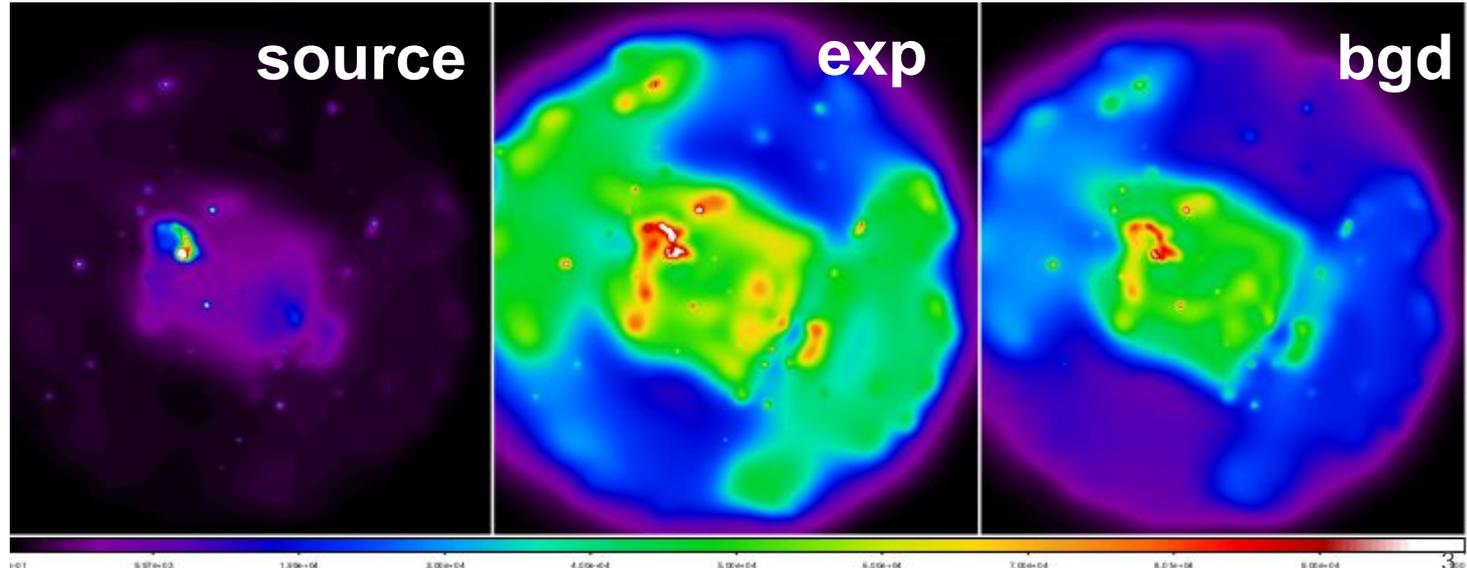
露光時間のマップ



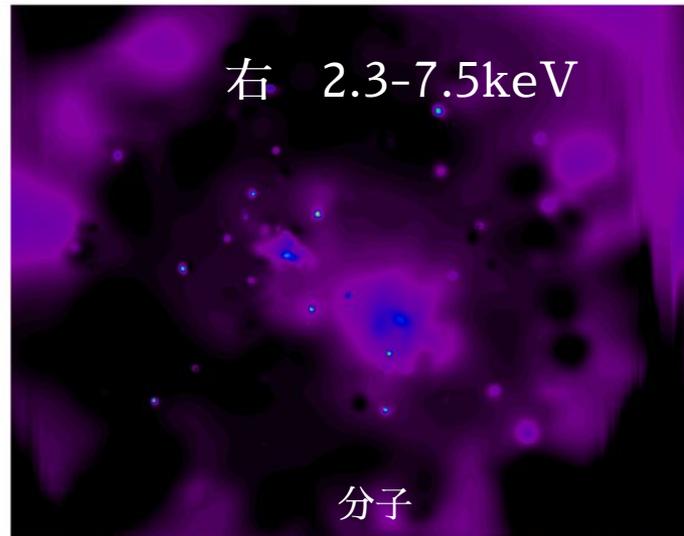
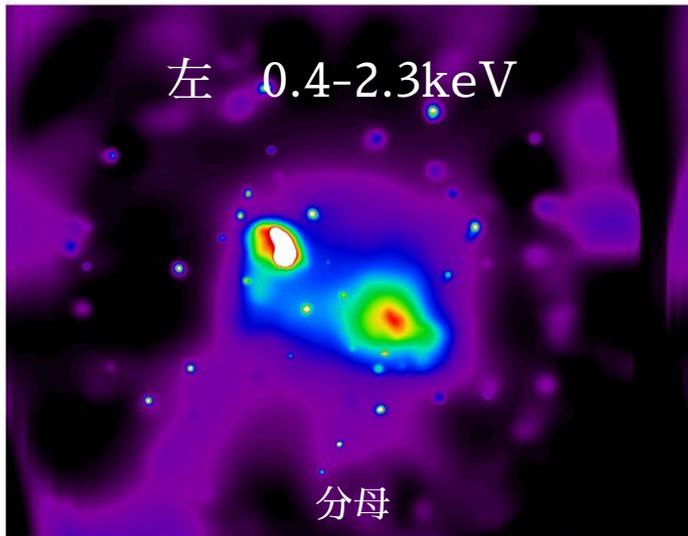
バックグラウンドのマップ



スムージングする



hardness ratio によるイメージ解析

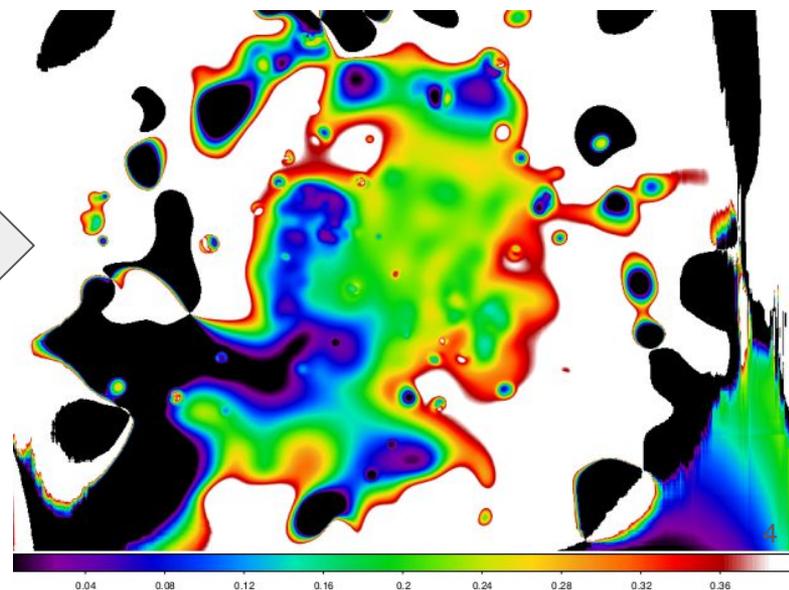


長所
細かい構造が見える

短所
バックグラウンドの引き差しの影響を受けやすい

hardness ratio map

$$\frac{\text{source}_H - \text{bgd}_H}{\text{exp}_H} = HR = \frac{\text{source}_S - \text{bgd}_S}{\text{exp}_S}$$



バックグラウンドを引いて、露出時間のマップで割る.次に二つバンドを割る

contour binningによる解析

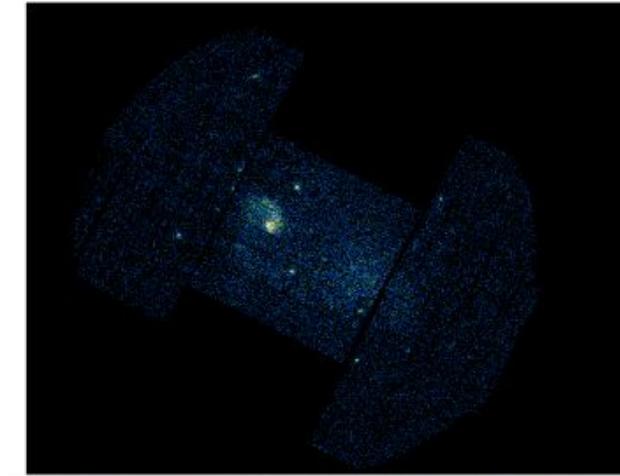
contour binning 法では、smoothingされたイメージの**最も高い輝度のピクセルから、最も近い隣接のピクセルをビンまとめする**。SN比の**閾値を超えるまで繰り返す**。その後、新しいビンが作成される。

分割した領域をスペクトル解析フィットして、温度を出す。

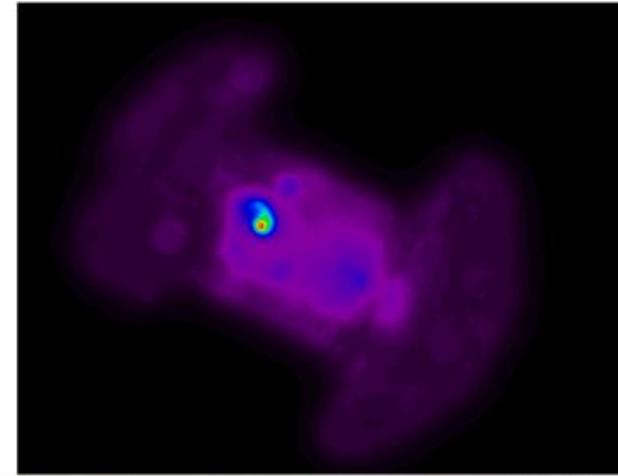
長所
正しい温度を得られる

短所
細かい構造がわからない

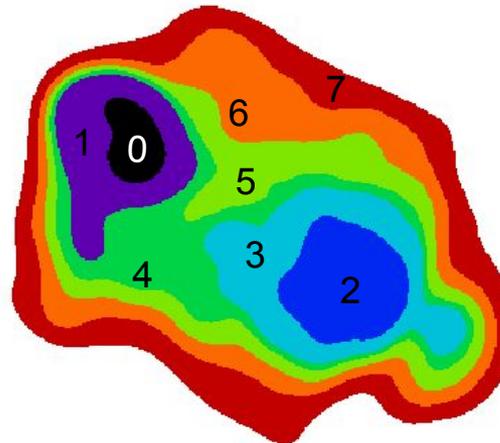
バンド0.4~7.5keVのイメージ



スムージングしたイメージ



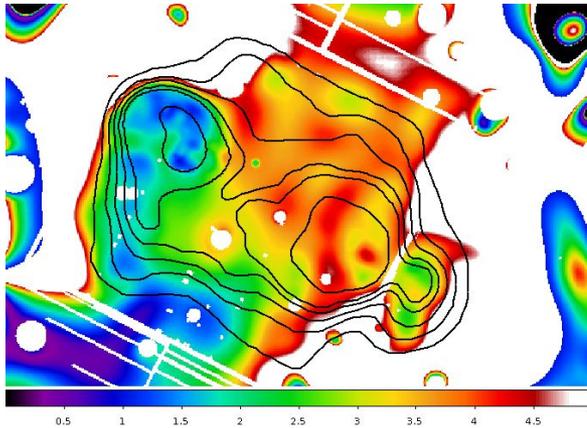
8個の領域に分割



分割した領域は左の図(binmap)、外側ほぼバックグラウンドなので、スムージングイメージ中心だけ領域分割する。

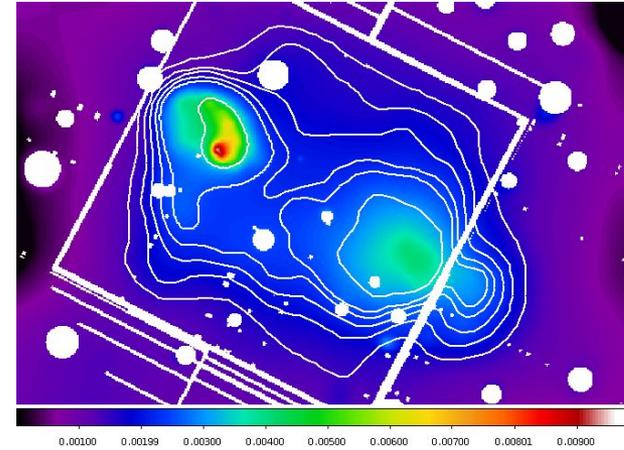
hardness ratio で作成した2次元マップ、等高線は contour binning の領域

温度マップ



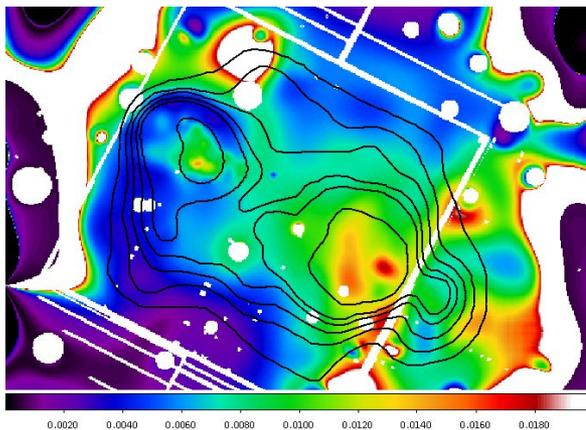
銀河群はクーリングコアを持っていることと銀河団の温度が高いことは共通に見える。

密度マップ



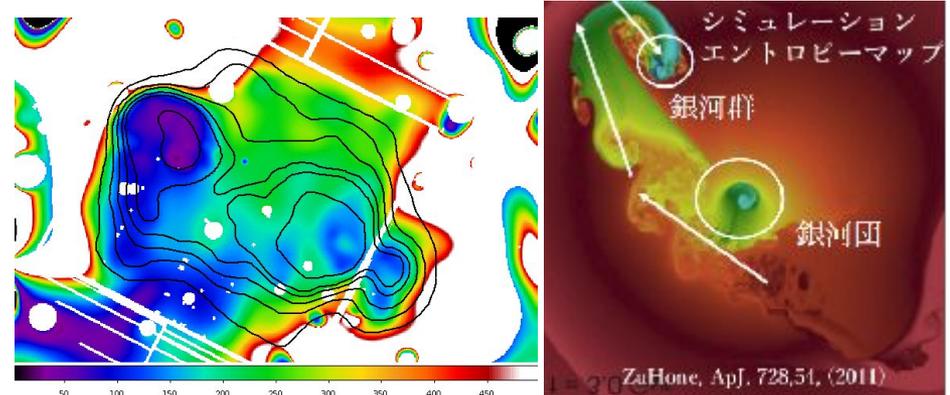
密度マップの等高線から、銀河群は右下方向に移動していると思われる。

圧力マップ



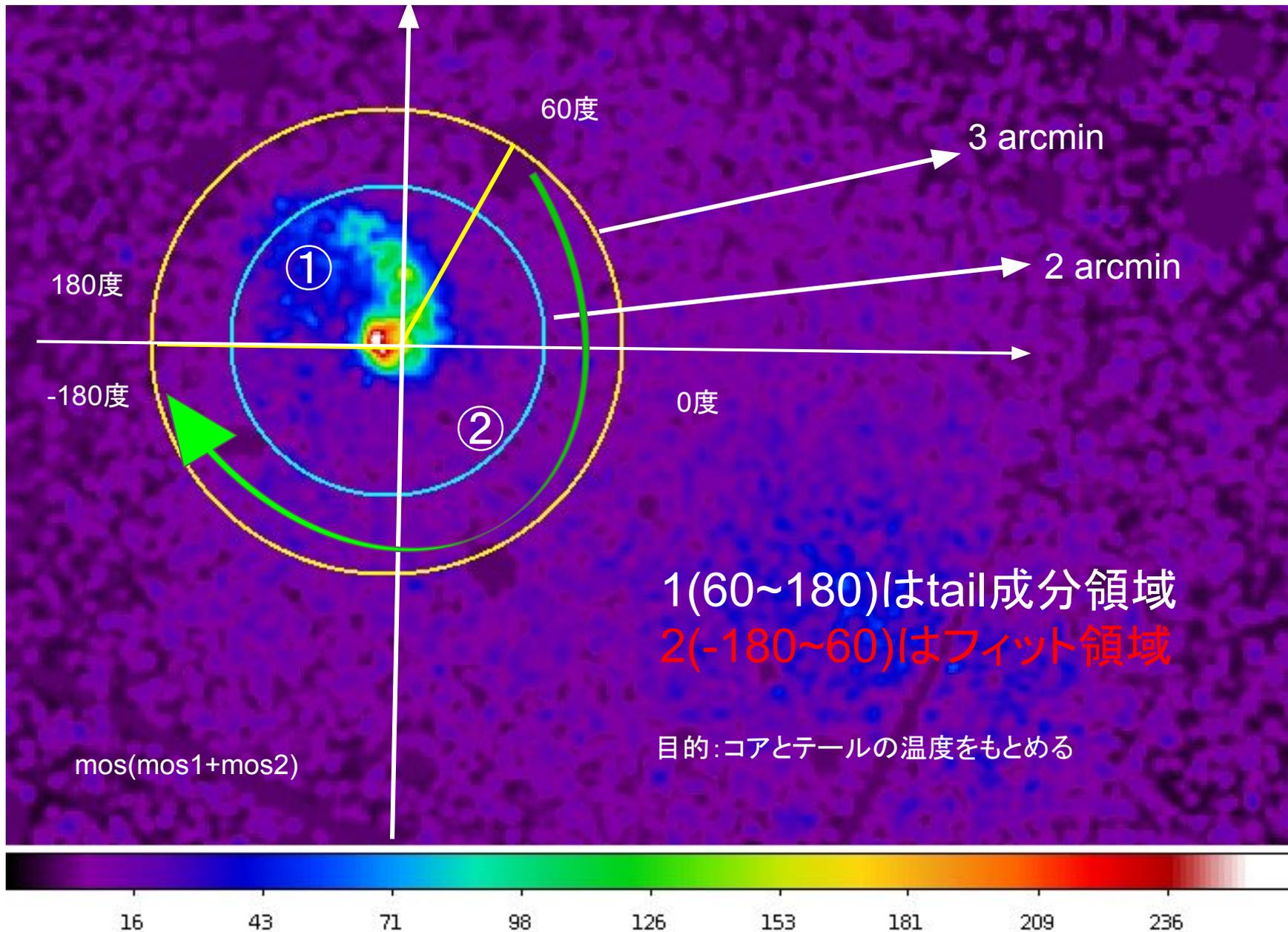
勾玉状の構造は動圧によって作られたことを示唆される。

エントロピーマップ



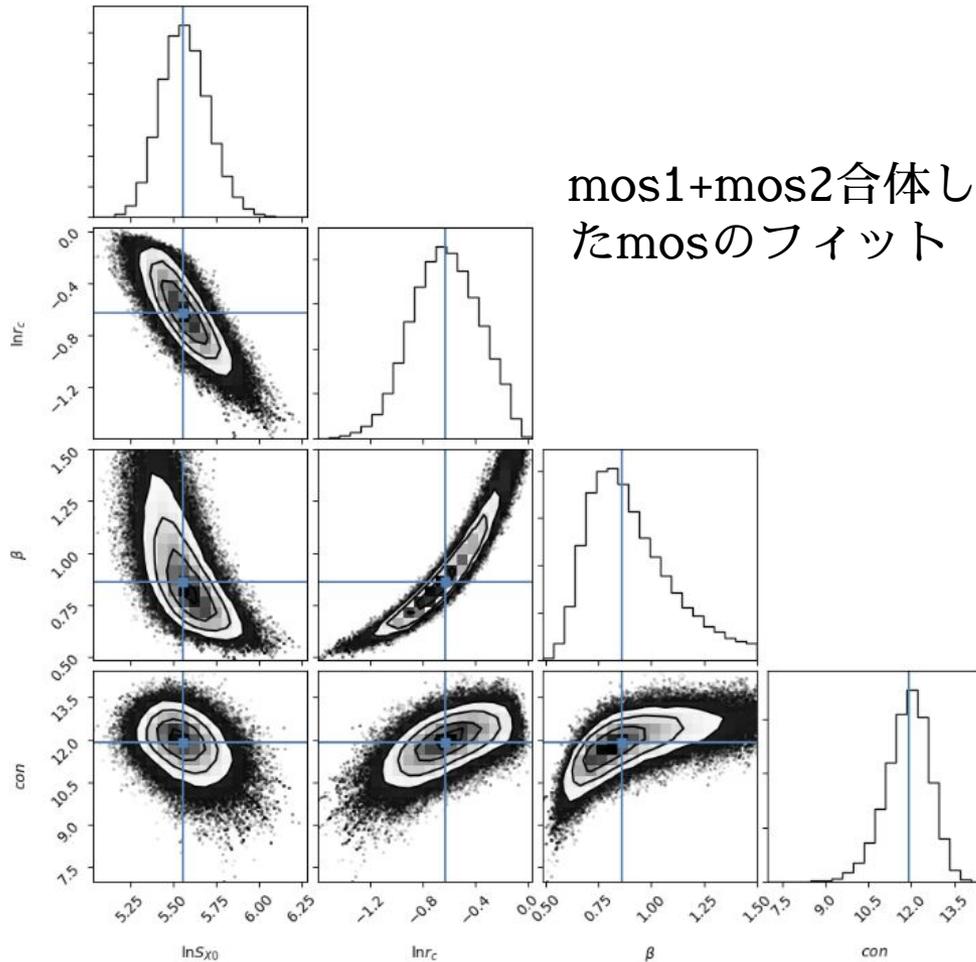
衝突開始から 30 億年後の様子である。エントロピーマップに同様な勾玉状の構造が見られる。

輝度分布の残差の作成-扇形領域の範囲

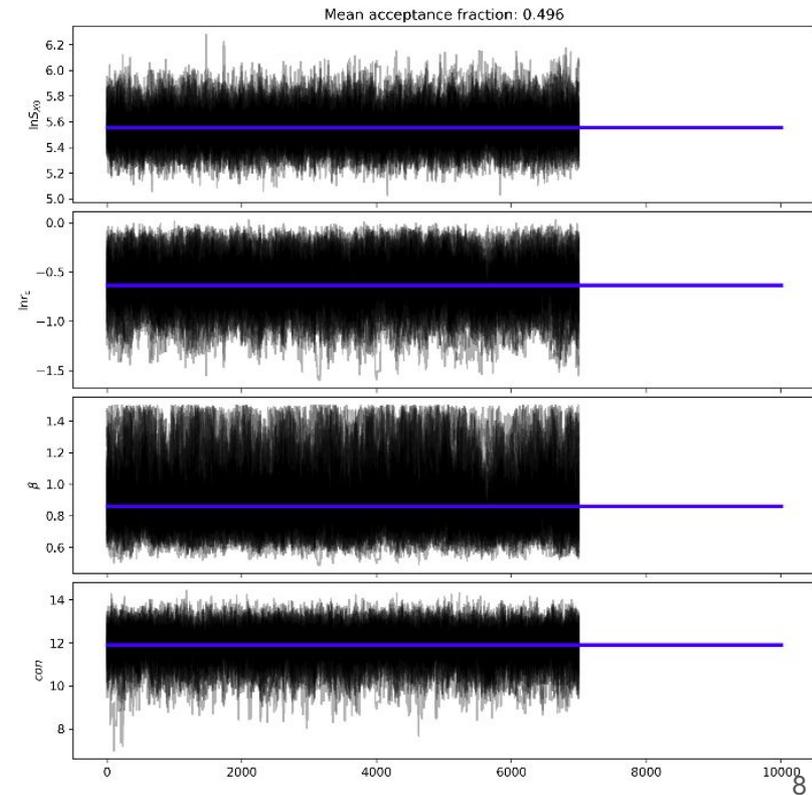


フィット結果

MCMCでフィットしたポステリアと
チェーンは下図の左と右
各ベストフィットのパラメータは右

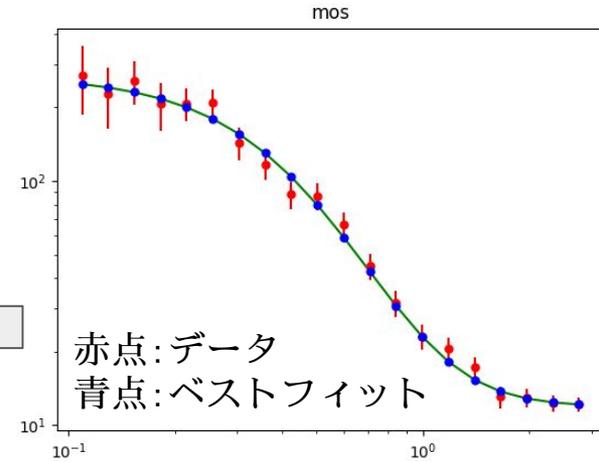
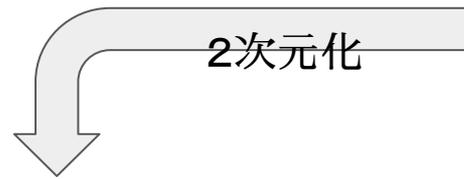


Sx0	$258.317 \text{ ergs}^{-1} \text{ cm}^{-4}$
rc	0.532 arcmin
beta	0.862
constant	11.923



残差

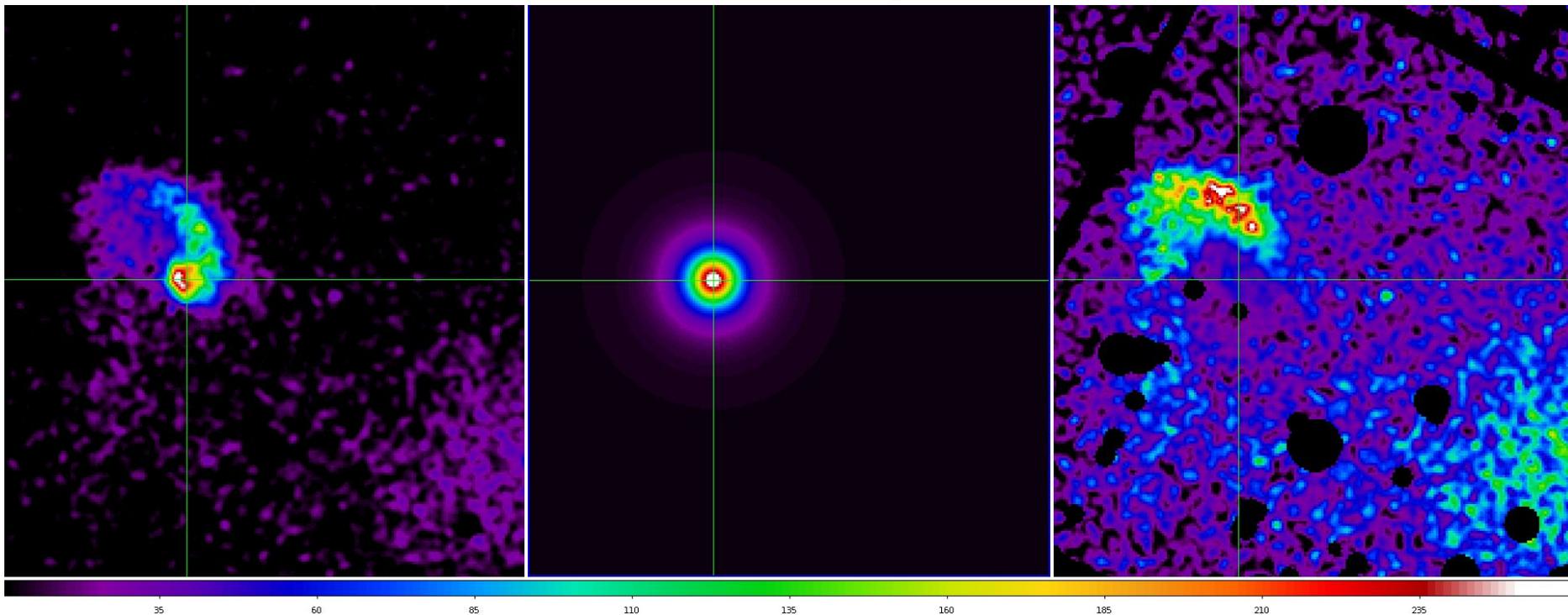
$$Residual = \left(\frac{S_x}{S_{x model}} - 1 \right) \times Mask$$



Rate Image

Model Image

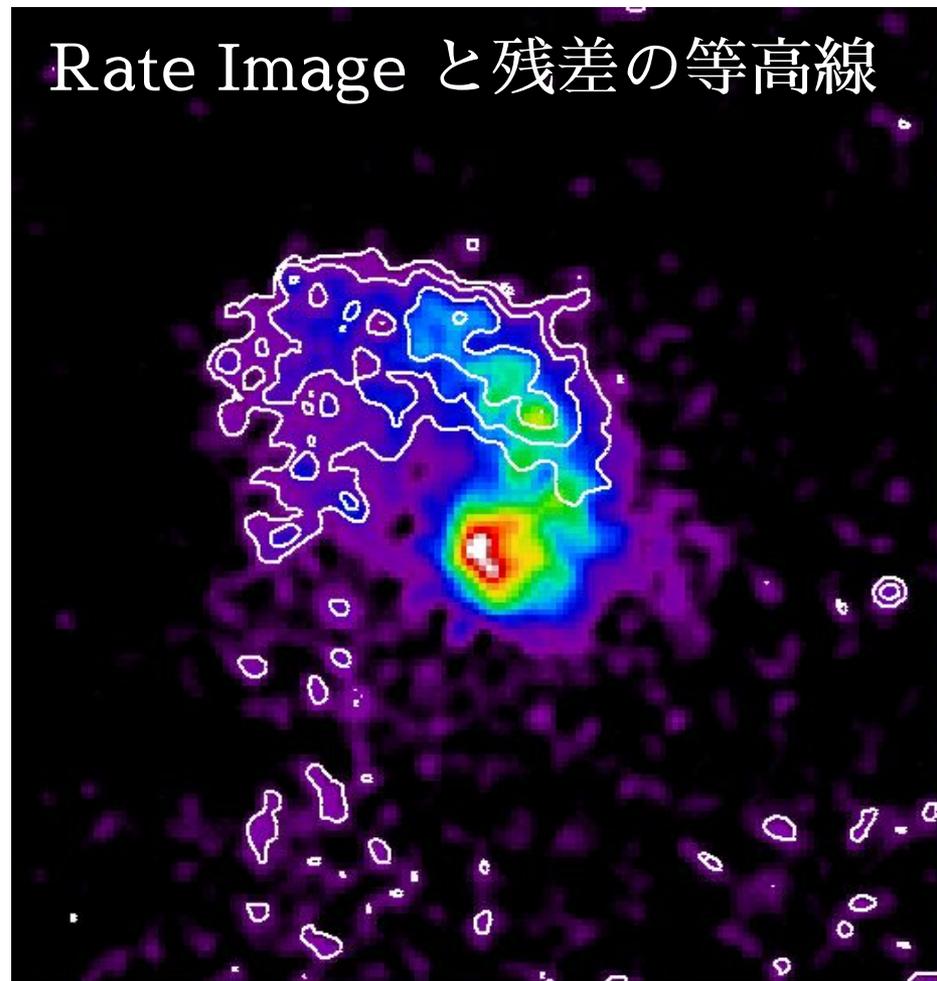
Residual



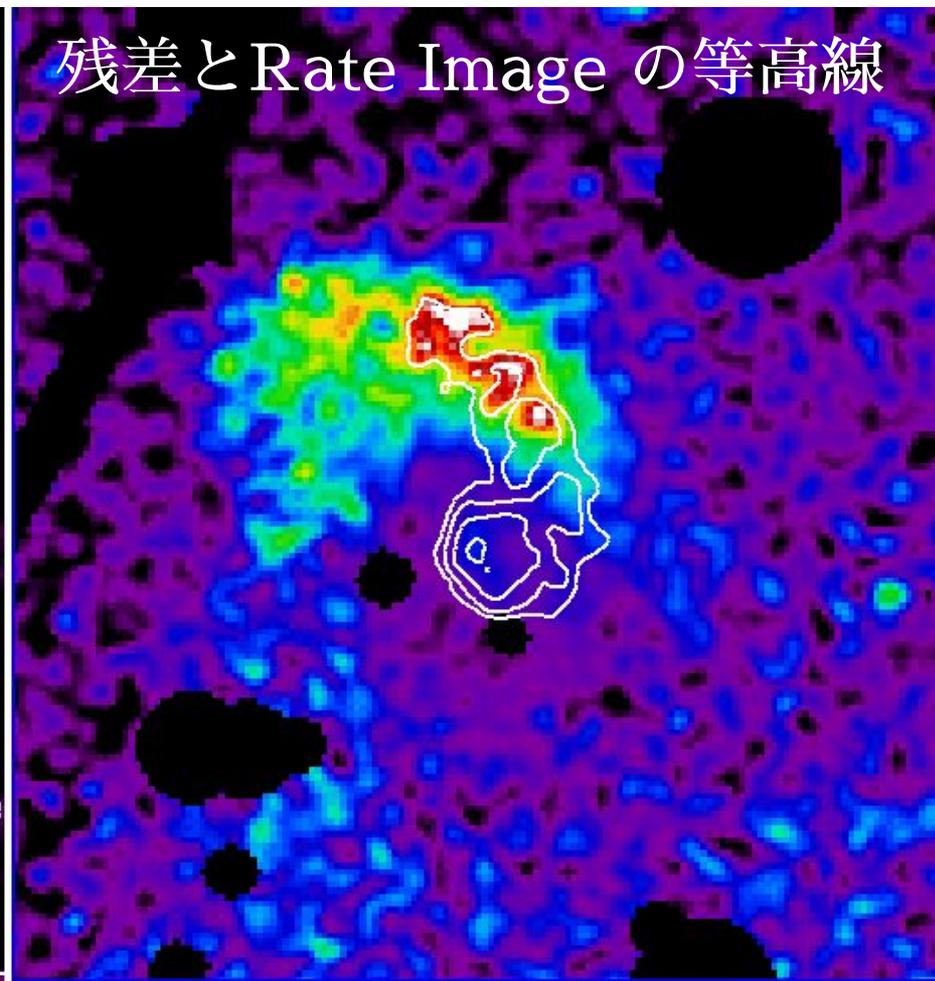
残差とS_xの比較

中心のコアの部分は見えなくなっていて、逆に、テールの左の成分が見えるようにした

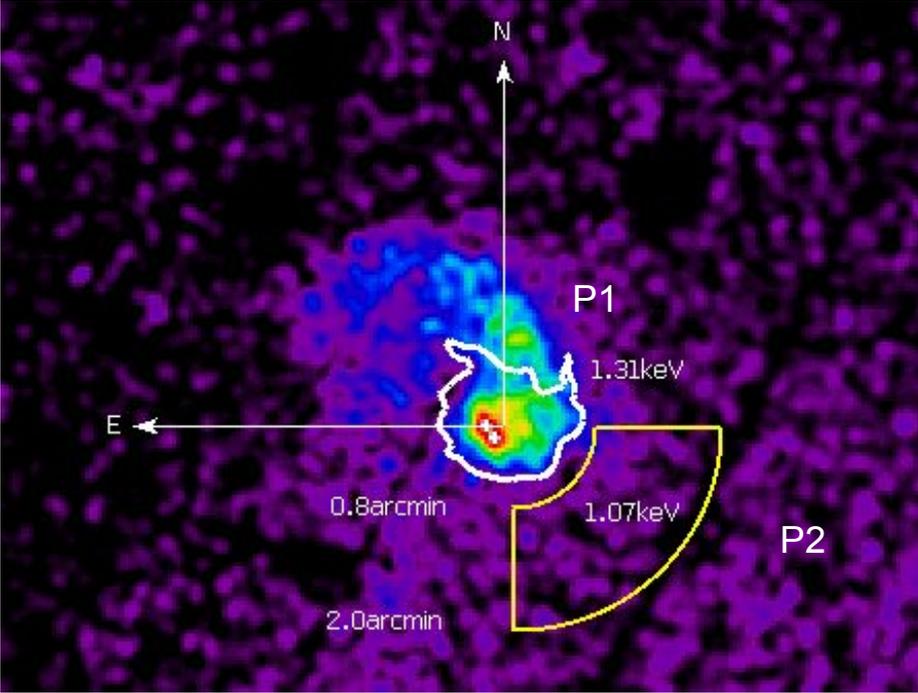
Rate Image と残差の等高線



残差とRate Image の等高線



衝突速度



$$n_e = 2.18 \times 10^{-5} h_{70}^{-1/2} \text{cm}^{-3} \sqrt{\frac{K}{V(\text{Mpc}^3)}} D_A(\text{Mpc})(1+z)$$

$$P = n_e kT$$

ne (10^{-3}cm^{-3})	Pe ($10^{-11} \text{ergscm}^{-3}$)	
3.56	1.437	P1
0.52	0.172	P2

$$velocity = \left(\frac{2(P_1 - P_2)}{n_e \times 1.92 \times \mu \times m_p} \right)^{0.5}$$



速度 1593km/s

音速 535.8km/s

マッハ数 M = 2.97

サブハローの現在の位置 (R ~ 1Mpc) で、衝突の折り返し時期にあるとすると、大雑把に (2R+R)/v で衝突時間が計算でき、約20億年。数値シミュレーションと同程度。

まとめ

すばる望遠鏡サーベイで見つかった衝突銀河団のX線データを解析した。2つの解析手法によって、温度、密度、圧力、エントロピーマップを作成した。扇形で残差マップを作成した。

- 2つ手法は同じような結果を示した。
- 銀河群はクーリングコアを持っている。右の銀河団の温度が高い。
- 勾玉構造は動圧によるできた構造であることを確認できた。移動方向は右下である。
- 観測されたガスの形態と数値シミュレーションから得られた結果を比較すると、ガスのサブハローは一度銀河団の中心近くを通り現在は折り返して再び中心部に向かうフェイズと考えられる。数値シミュレーションの衝突タイムスケールは30億年で、観測から得られた値は20億年程度で、おおよそ一致している。
- 残差マップから、動圧で剥ぎ取られる様子がはっきり確認できた。

終わり

hardness ratio 法:

低エネルギー X 線と高エネルギー X 線それぞれでイメージを作り、その比率 (hardness ratio) を求めて、簡易 2 次元マップを作成し、全体の様子をつかむ。

contour binning分割法:

2 次元 contour binning 分割法を用いて、銀河団ガスの各領域の温度、密度、圧力、エントロピーを測定する。

- 全体的に銀河団の衝突の移動軌跡と細かい構造が見える。欠点はバックグラウンドの引き差しの影響を受けやすい。
- スペクトルフィットにより温度を求めるので、hardness ratio 法より正しい温度を得られると思われる。欠点は、領域を分けて解析しているため、細かい構造がわからない。

フィットしたパラメータから以下のマップを作成

kT は温度、 K はnorm、 DA は角径距離、 h_{70} はハッブル定数の70分の1、 V は体積

密度
$$n_e = 2.18 \times 10^{-5} h_{70}^{-1/2} \text{cm}^{-3} \sqrt{\frac{K}{V(\text{Mpc}^3)}} D_A(\text{Mpc})(1+z)$$

圧力
$$P = n_e kT$$

エントロピー
$$S = kT n_e^{-2/3}$$

温度マップと輝度マップから以下のマップを作成

T **I**

密度

輝度 $I \propto n^2$ \longrightarrow $n \propto I^{1/2}$

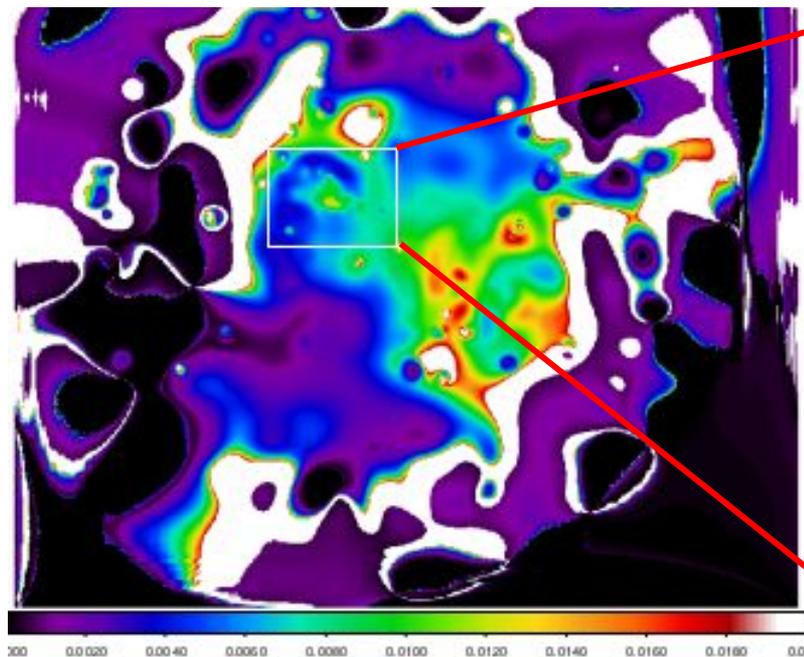
圧力 $P = nkT$ \longrightarrow $P \propto I^{1/2} \times T$

一粒子あたりのエントロピー $S \propto \frac{T}{n^{2/3}}$ \longrightarrow $S \propto I^{-1/3} \times T$

動圧

- 密度マップの等高線から、小銀河団は下方向または右下方向に移動していると思われる。
- 圧力マップで下の図のように領域を選択すると、勾玉状の構造は動圧によって作られたことを示唆される。

大 小



圧力マップ

