

XMM 衛星データを用いたcontour binning 方法で MCXC J0157.4-0550 の2次元温度密度構造の解析

楊沖、深沢泰司、岡部信広(広大理)

1. イントロ

銀河団は宇宙最大の重力束縛システムで、数百から数千個の銀河を含む天体である。



宇宙の大規模構造の進化を理解するため、銀河団の衝突や合体を考察する必要がある。

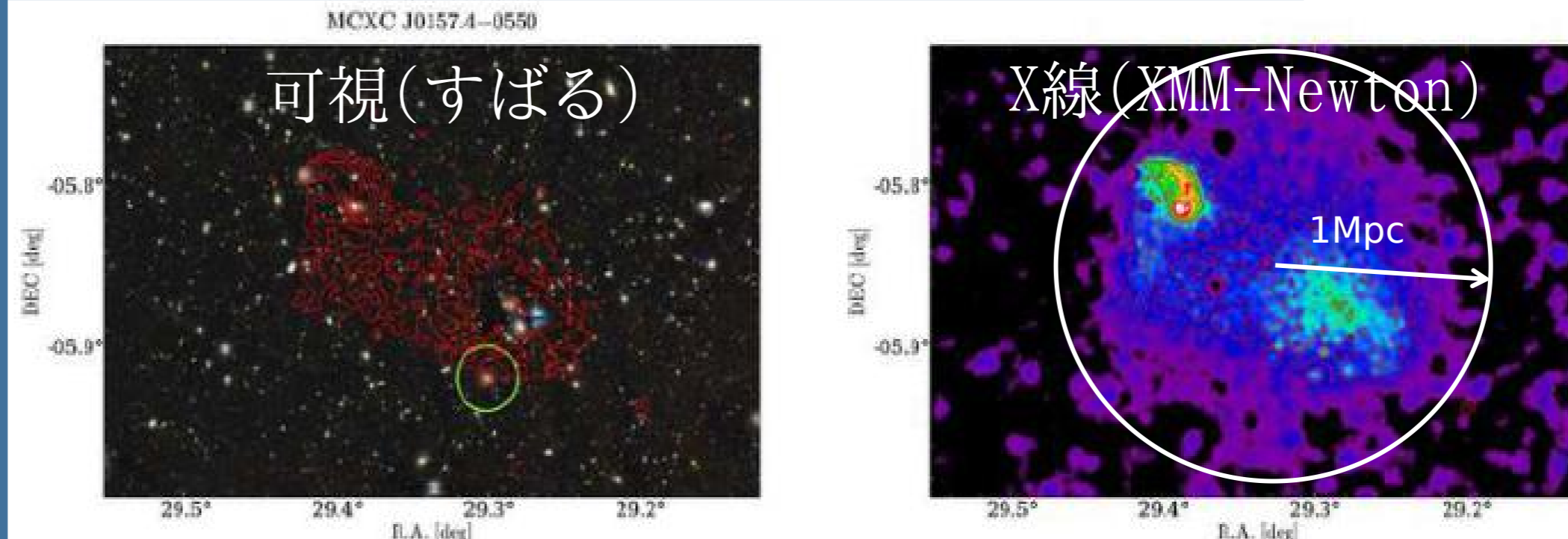


衝突銀河団の研究

衝突銀河団は、宇宙最大の天体が成長をしている現場を捉えたユニークな実験場であり、その詳細な物理過程の解明は、構造形成を理解する1つのアプローチである。銀河団衝突を統一的に理解するためには、銀河、銀河団ガス、暗黒物質を直接観測する可視光、X線、弱い重力レンズ効果によるデータを組み合わせる多波長研究が必要不可欠である。また、相対論的電子をみるシンクロトロン電波放射のデータとの比較を行うと粒子加速の詳細を明らかにすることができると期待される。

規模 数百万パーセク
銀河団の組成：
高温ガス 約 13%
星 約 2%
暗黒物質 約 85%
星からの可視光放射：
黒体放射
高温ガスからの
熱的制動放射、輝線放射

2. MCXCJ0157.4-0550について



今までの衝突銀河団の研究
・X線で発見された衝突銀河団はまさに衝突している銀河団にバイアスがかかっている。
・HSCで発見される衝突銀河団は衝突段階に対して無バイアス

MCXCJ0157.4-0550の紹介

- 赤方偏移 0.1289
- 西の方はメイン銀河団、北の方は銀河群
- 可視バンドで銀河団の銀河は西の領域で集中している
- X線バンドで勾玉状の形の特徴があり、衝突を示唆している

MCXCJ0157.4-0550を選ぶ理由

- HSCサーベイおよびXMMのデータが両方あり、X線、銀河、重力レンズの情報が見える
- 勾玉状の形状は、動圧を受けている現場を示しており、衝突の初期段階と考えられる。

3. 解析方法

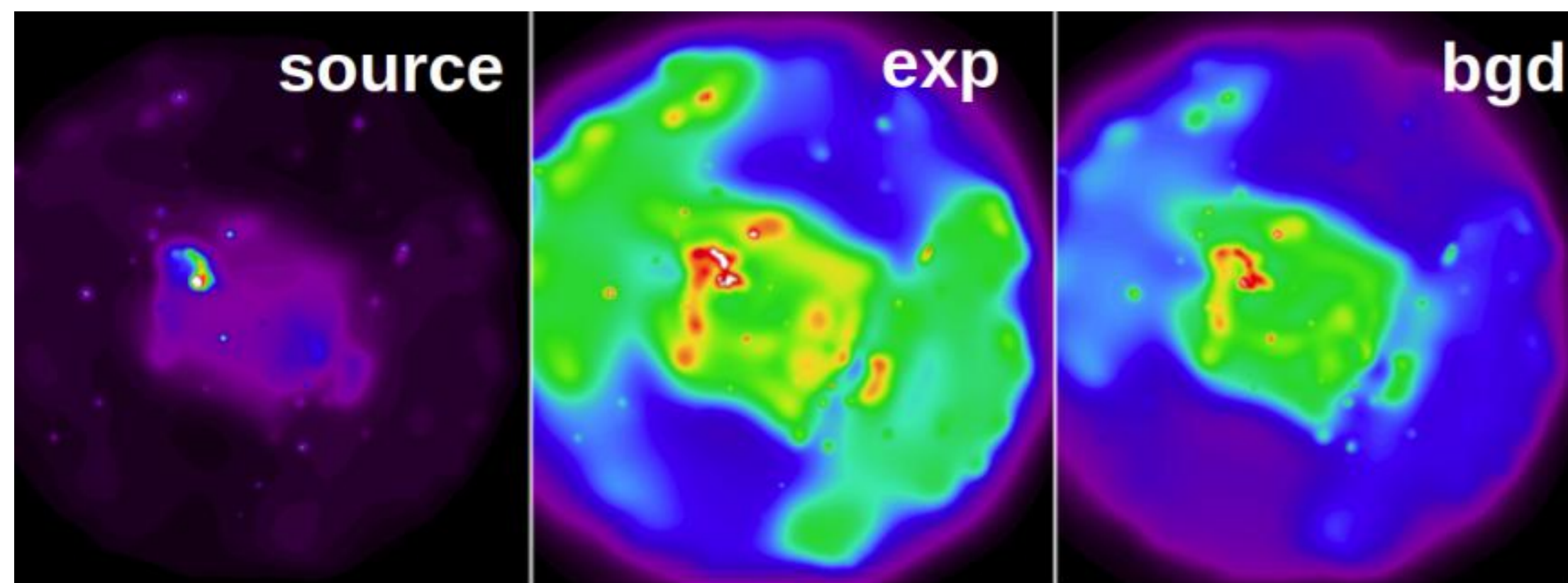
目標：衝突の様子を推論するため、高温ガスの2次元温度、密度、圧力、エントロピーマップを作成する必要がある。作成した結果をシミュレーションと比較して、衝突段階の様子を議論する。

解析の手順

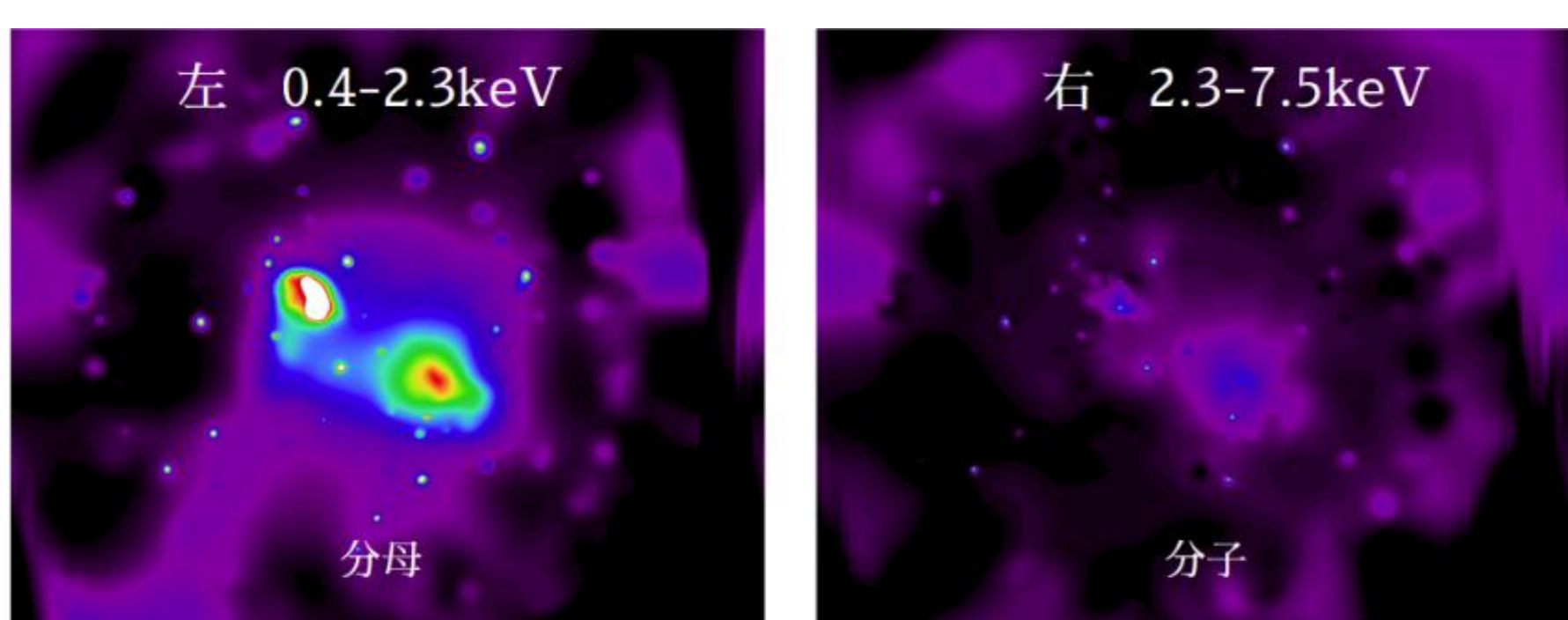
- hardness ratioで0.4 ~ 2.3keV と 2.3 ~ 7.5keVを分ける。XSPECにより、hardness ratio と温度の対応の関係を求めて、2次元マップを作成する。
- ソフトウェアaccumulate smoothで0.4keV ~ 7.5keV のバンドでイメージを作成して、各領域を分割する。xspectにより、分割した領域をスペクトルフィットを行って、2次元マップを作成する。
- hardness ratio 方法とcontour binning分割方法の比較

hardness ratio方法の解析

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。

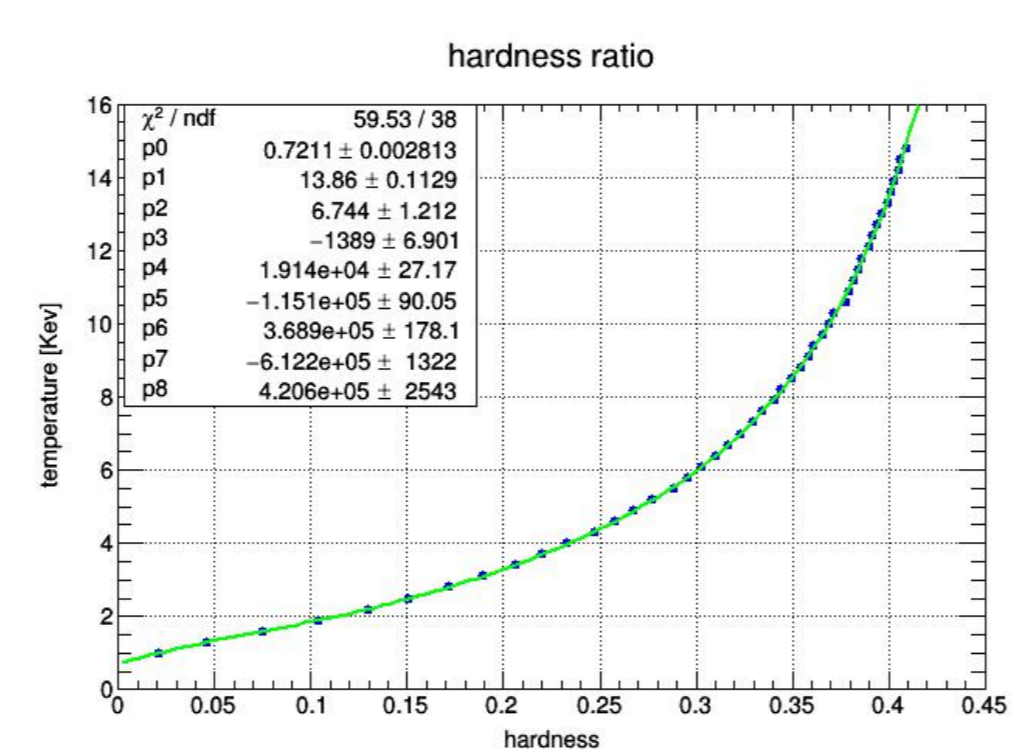
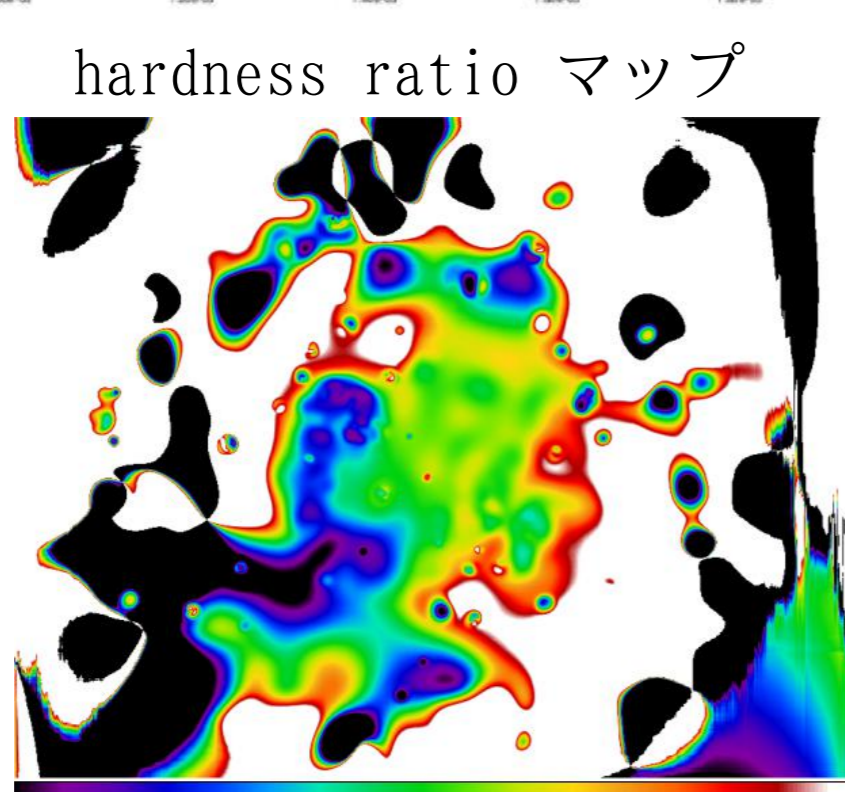


0.4 ~ 2.3keV と 2.3 ~ 7.5keVのソース、露光時間のマップとバックグラウンドをスムージングする。同じスケールでやる必要がある。



まずbkgを引いて、expで割る。次に二つバンドを割る

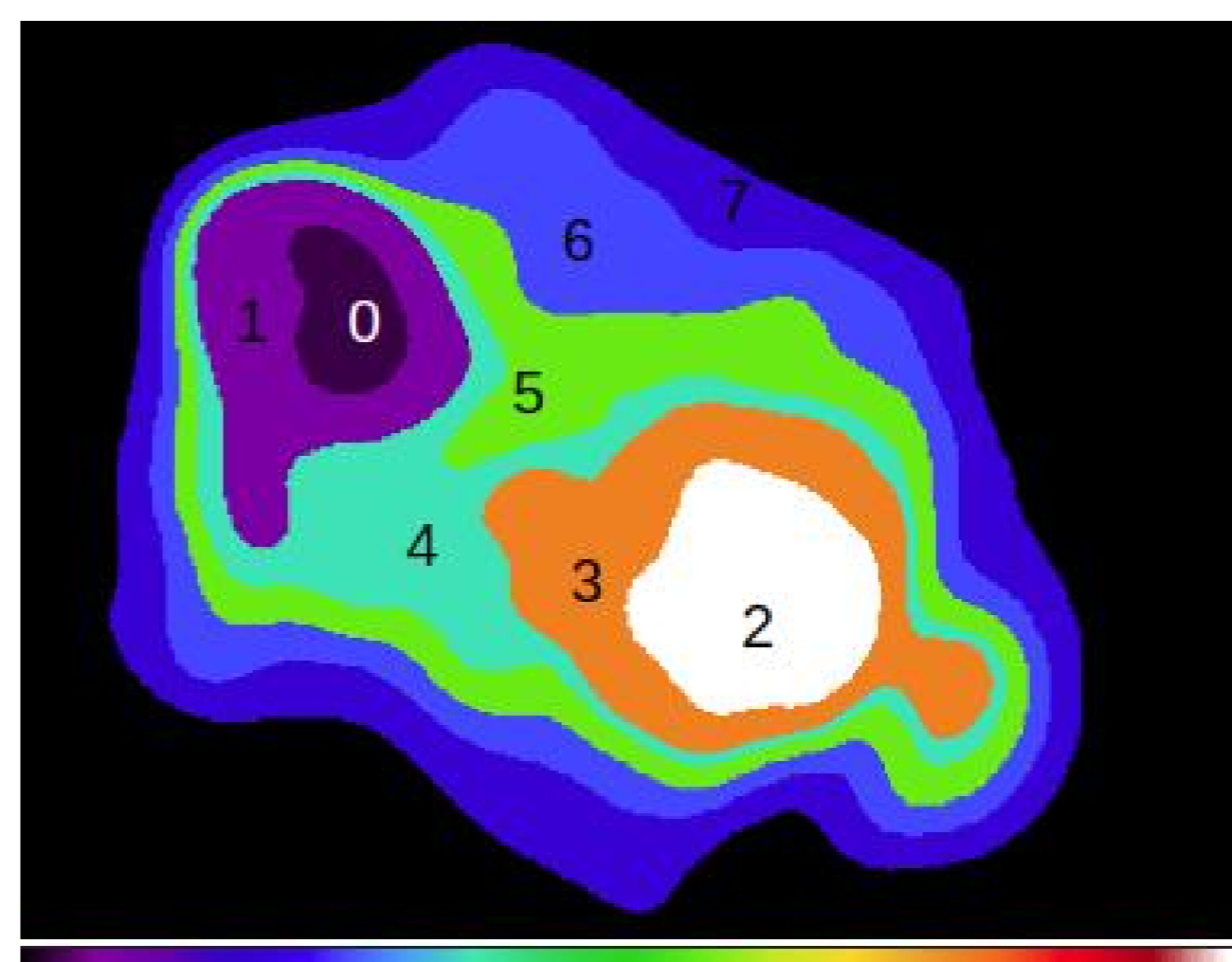
$$HR = \frac{\frac{source_H - bkg_H}{exp_H}}{\frac{source_S - bkg_S}{exp_S}}$$



- xspectのapeckモデルにおいてスペクトルシミュレーションを行なう。各温度のカウンtrateを求める。
- 0.4~2.3keVと2.3~7.5keVのカウンtrateを求める

Contour binning 方法の解析

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。



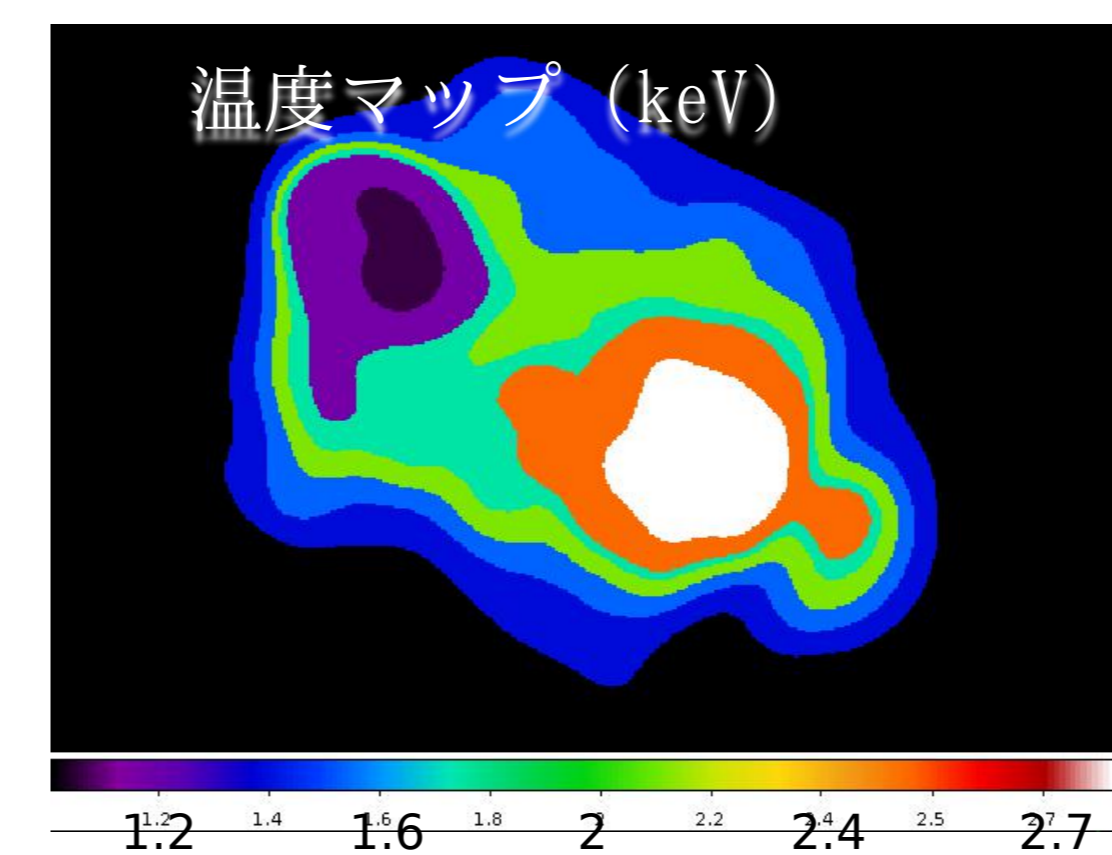
衝突中の銀河団は対称の形ではない。衝突銀河団の形は様々であるので、新しい手法が必要である。

contour binning 法では、accumulative 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ピンとめする。SN 比の閾値を超えるまで繰り返す。その後、新しいピンが作成される。このアルゴリズムは自然に表面輝度に従う。

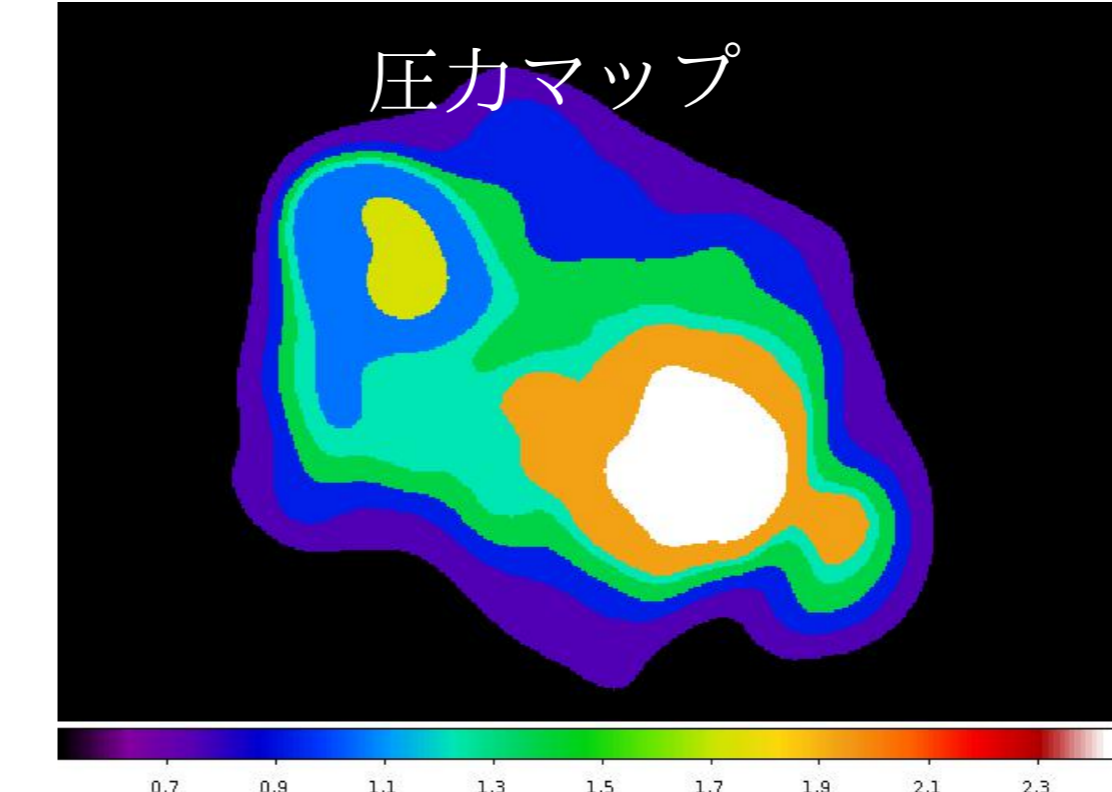
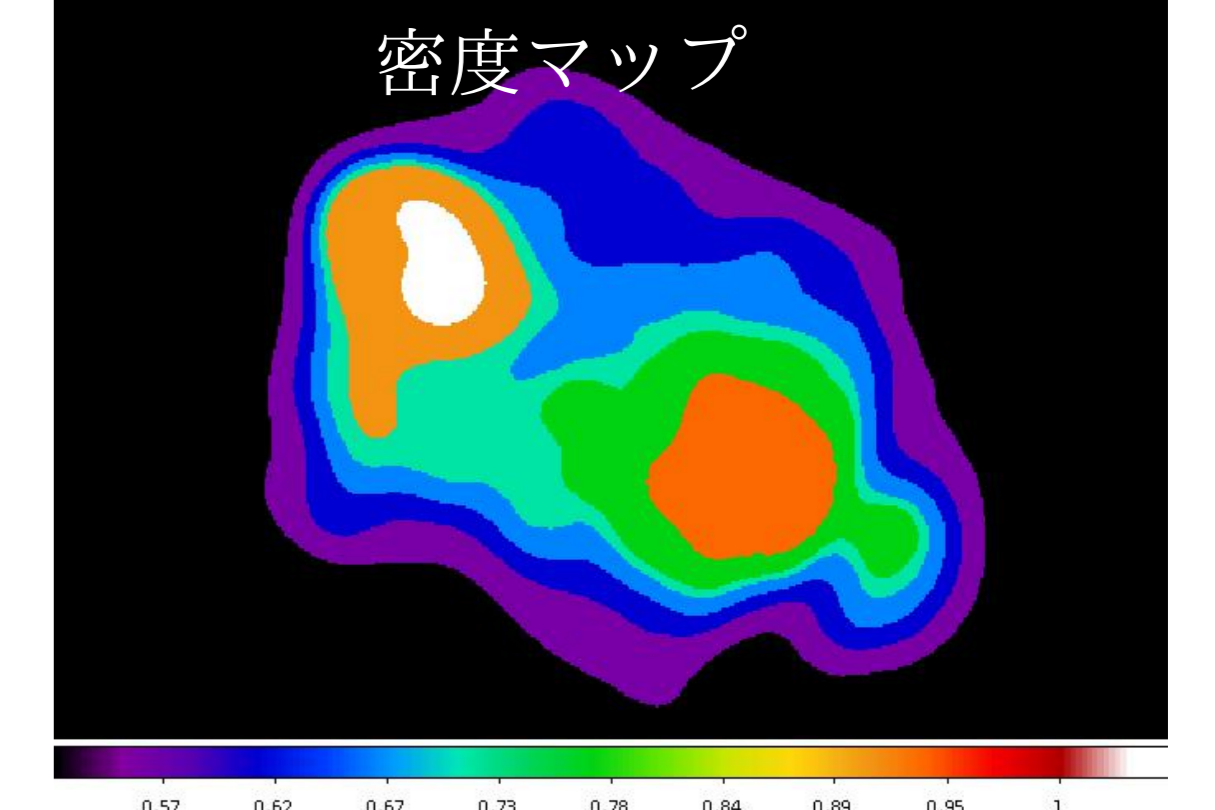
PN内のギャップが銀河群とオーバーラップしていたため、mos1とmos2だけ足し算して、分割する。分割するSN比の閾値は62である。右の図のように0~7までのサブ領域を分割した。

領域	温度(keV)	領域	温度
0	1.055 +/- 0.011	4	1.718 +/- 0.116
1	1.157 +/- 0.040	5	2.081 +/- 0.246
2	2.931 +/- 0.196	6	1.518 +/- 0.269
3	2.502 +/- 0.208	7	1.370 +/- 0.407

8 個の領域同時にフィットして、温度を求める。

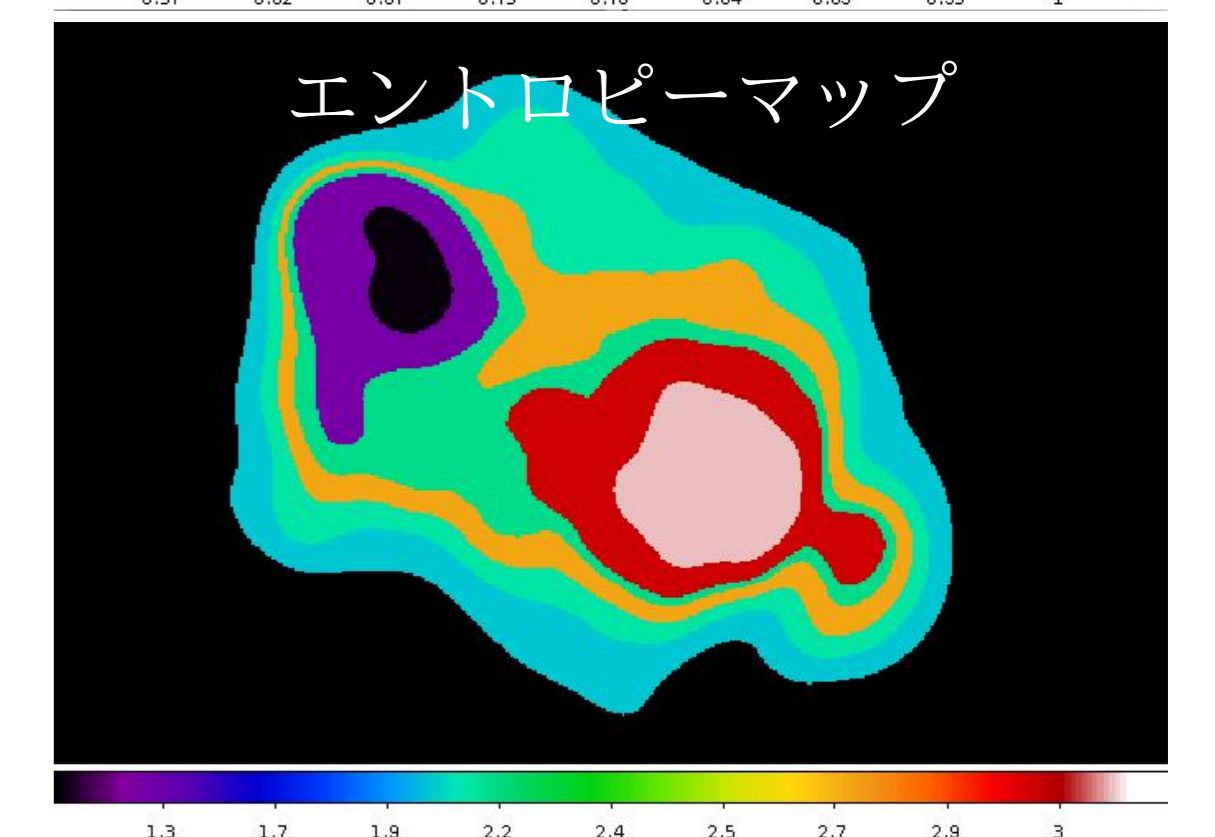


$$n \propto I^{1/2}$$



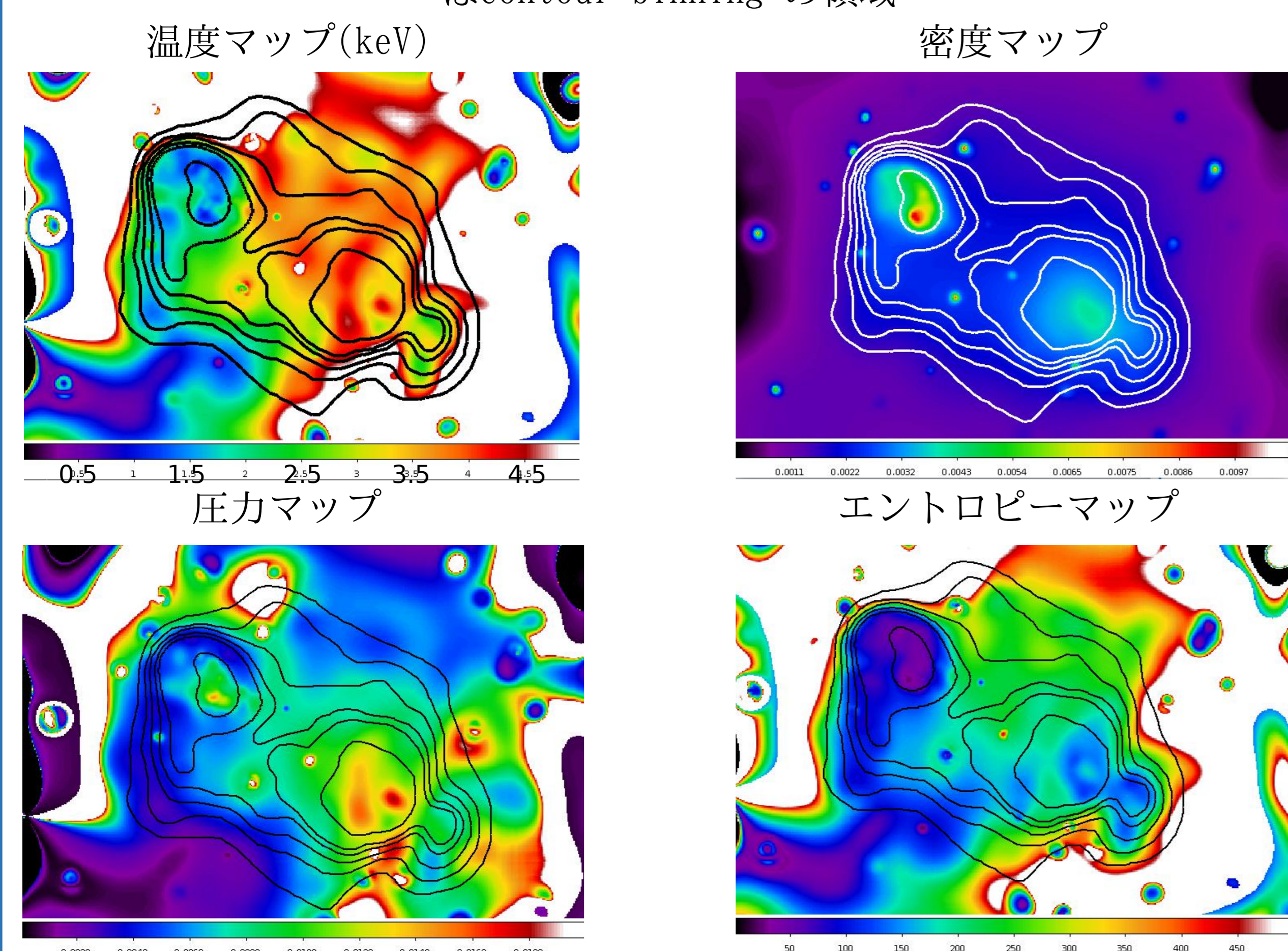
$$P \propto I^{1/2} \times T$$

$$S \propto I^{-1/3} \times T$$



4. 結果の比較

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



5. 考察

- 温度マップ：銀河群はクーリングコアを持っているのは共通に見える。領域 4 は右側の銀河団周辺部の中で温度低い。
- 密度マップ：銀河群の方が密度が最も高い。領域 2、領域 3、領域 4 順番に下降していく。そして、領域 6、領域 7 より密度が高い。
- 圧力マップ：圧力マップを見ると、領域 1 で圧力が周辺の領域より低いことが分かる。領域4、領域 5、領域 6 の銀河群の周り部分は領域 1 より圧力強い理由は、4、5、6 は銀河団と銀河群のハロー両方がある。そして、領域 4、領域 5、領域 6 の圧力は似ているので、圧力平衡状態になると考えられる。また領域 1 と領域 0 のところでは動圧受けている構造が見える。
- エントロピーマップを見ると領域 0、1 とほかの部分の数値は 2 倍の差がある。残った部分は銀河団ハローである。そして、領域 1 は領域 0 より高いので、銀河群と銀河団を衝突してから、銀河群のハローより圧縮されていることが考えられる。外側に行くと、エントロピーが高くなる。
- 2つの解析結果は同じような結果を示した。hardness ratio 法の方は領域分割していないため、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ため、銀河団の衝突過程が判断しやすい。contour binning は細かい構造を確認できたと言える。contour binning 分割法はフィットして、2次元温度を作成した。つまり、結果はhardness ratio 法より正しいと思われる。しかし、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という欠点がある。

6. 今後

スペクトル解析のnormを利用して、おくゆきも考えて、密度を最終結果を求める。