

銀河団内でのサブストラクチャーの運動による乱流の発生

滝沢元和

山形大学理学部物理学科

(Abstract)

我々は、銀河団内でのサブストラクチャーの運動にともなうガスの進化をRoe TVD法を用いた三次元流体シミュレーションを行って調べた。サブストラクチャーと周囲のガスとの境界に Kelvin-Helmholtz 不安定により渦状の構造が発生し、冷たいガスクラウドが後方へとんでいくのがわかる。視線方向に積分した場合、この構造はX線表面輝度分布よりもガスの大局的な速度分散でのほうが特徴がつかみやすい。またサブストラクチャーの前後に視線方向のガスの速度分散の大きい領域があらわれる。これらの構造はASTRO-E2での良いターゲットとなるであろう。

Introduction

銀河団はより小さな銀河団や銀河群などを飲み込みながら、今なお成長しつつある天体であると考えられている。実際にChandra衛星の観測によって、銀河団内を運動しているサブストラクチャーによる構造(いわゆるコールドフロントなど)も見つかっている。さて、サブストラクチャーの運動は周囲の銀河団プラズマに乱流を引き起こすことが予想される。このような乱流は重元素やガスのエネルギーの混合、輸送過程に寄与したり、磁気乱流のエネルギー源となって粒子加速を引き起こすであろう。また、2005年打ち上げ予定のAstro-E2衛星ではひろがった輝線として検出されるかもしれない。以上述べたような種々の問題を解明するためにも銀河団プラズマでの乱流の発生メカニズムや性質を明らかにすることが重要である。

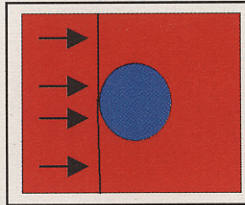
今回我々は、サブストラクチャーの運動にともなうガスの進化をRoe TVD法を用いた三次元流体シミュレーションを行って調べた。

Models

計算方法 Roe TVD法(空間、時間二次精度)

初期条件

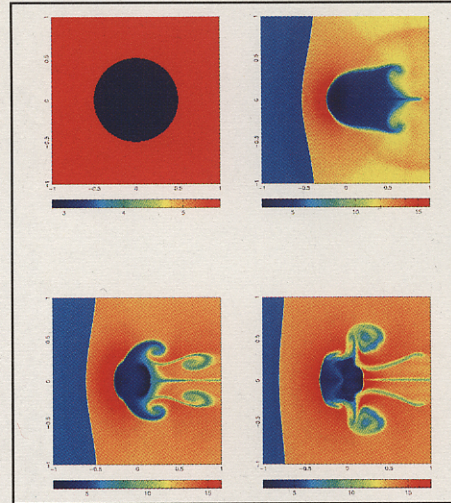
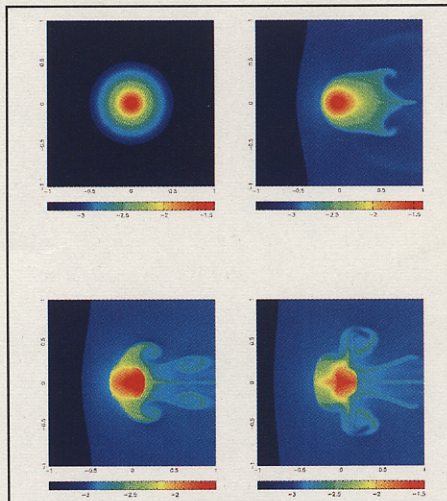
- 計算領域: 2Mpc立方(200×200×200)
- 重力ポテンシャル:
 $r_c = 100 \text{ kpc}$, $M = 10^{14} \text{ solarmass}$ の
 King model
- $r < 500 \text{ kpc}$: subcluster領域
 $\beta_{\text{spec}} = 0.8$ で等温、静水圧平衡
- $r > 500 \text{ kpc}$: 背景領域
 密度: subcluster境界の1/2
 圧力: subcluster境界と同じ
 u_x subcluster 前面で音速の2倍



Results

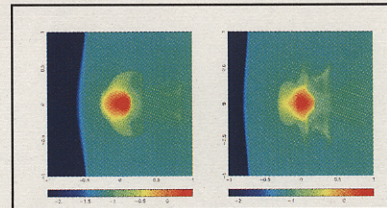
サブストラクチャー前面にはバウショックが生じ前方へ伝播していく。ガスのラムプレッシャーにより外側のガスがはぎ取られ、さらに境界面でKelvin-Helmholtz(K-H)不安定により渦状の構造が発達する。

z=0面での密度の進化
(t=0,1,2,3 Gyr でのsnapshots)

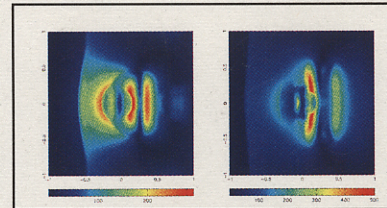


z=0面での温度の進化
(t=0,1,2,3 Gyr でのsnapshots)

視線方向に積分したX線表面輝度分布だとサブストラクチャー周囲の構造は薄まるが一応見える。ガスの視線方向の速度成分の標準偏差をとってみると、サブストラクチャーのコアを囲む部分と、サブストラクチャー後方で大きく異なる。前者はコアを回り込む流れの成分と、K-H不安定で生じた渦によるものである。一方、後者はサブストラクチャー後方で引き起こされるより空間スケールの小さな速度構造によるものである(乱流の発生現場をみている?)。



X線表面輝度分布
(t=2,3 Gyr でのsnapshots)



視線方向の速度成分の標準偏差
(注: $\rho^2 T^{1/2}$ で重み付けをしている。t=2,3 Gyr でのsnapshots)

Summary

- ◆Roe TVD法の三次元流体コードでサブストラクチャー周囲のガスの運動を調べた。
- ◆サブストラクチャー外側のガスがラムプレッシャーで剥ぎ取られた後、境界面でK-H不安定性により渦状の構造が発生し、後方へ冷たいガスクラウドがとんでいく。
- ◆ガスの視線方向の速度場は、残ったサブクラスターのコアの周囲と後方で大きく異なる。その速度分散は300-500km/sになり、Astro-E2での検出が充分期待される。