

宇宙初期の構造形成における化学組成の変化

渡辺 拓 (京都大学大学院 理学研究科)

Abstract

微小な宇宙の初期ゆらぎは徐々に成長して宇宙に構造を形成する。ゆらぎははじめ線形摂動として扱えるが、ゆらぎが大きくなると非線形成長を始める。非線形成長において、十分大きく成長したゆらぎは、自らの重力により崩壊し、いずれビリアル平衡に達する。ビリアル平衡に達したガスが輻射冷却により重力による自由落下時間よりも早く冷えることができれば、さらに重力崩壊が進み、構造を形成することができる。

ここでは輻射冷却の冷却率の計算に必要なビリアル化後のガスの化学組成の変化を、様々な反応経路を考慮して計算する。

1 Introduction

現在、宇宙には様々な構造が存在する。宇宙背景放射の観測により、光子の脱結合の時点では宇宙は一様であることがわかっているため、これらの構造はその後生じた微小なゆらぎが成長して形成されたと考えられている。はじめゆらぎは線形摂動として成長し、次第に大きくなり非線形成長へと移行する。現在の宇宙においてほぼ Mpc 以下のスケールは非線形領域にあり、これより小さな天体や構造の形成は線形理論で取り扱うことはできず、星や銀河の形成は完全に非線形成長領域でおこる。

2 ゆらぎの成長

構造形成のモデルとして、Friedmann 宇宙における一様球対称な由来の非線形成長を考えると、宇宙の平均密度 $\rho = 1/(6\pi Gt)^2$ の $(3\pi/2)^2$ 倍の密度を持ったゆらぎは膨張から自己重力による収縮に転じる。自己重力により収縮したガスはいずれ収縮を止め、ビリアル平衡に達する (ビリアル化)。

3 ビリアル平衡

ビリアル平衡においてガスはジーンズ質量 M_J 、ビリアル温度 T_{vir} を持っていると考えられる。

$$M_J \approx (\pi k/Gm_p\mu)^{3/2} T^{3/2} \rho^{-1/2}$$

$$T_{vir} \approx (GMm_p/kr)$$

ビリアル化したガスの運命は重力による自由落下時間 t_{grav} と、放射冷却にかかる時間 t_{cool} の比較によって決まる。 $t_{grav} < t_{cool}$ (図 1 領域 B) の場合、ガスはビリアル平衡を保ちながら収縮する、準静的収縮を行う。 $t_{grav} > t_{cool}$ (図 1 領域 C) の場合、ガスは十分早く冷えることができ、重力崩壊を起こし、宇宙の構造が形成される。

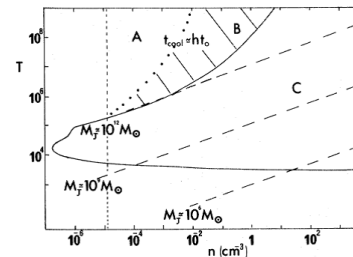


図 1: ガスの密度と温度の関係。領域 C にあるガスは収縮し構造を形成することができる (Rees & Ostriker 1977)

4 計算と結果

今回は放射冷却の冷却率の計算に必要なガス内の化学組成の進化を様々な化学反応経路を考慮するこ

とで計算した。その結果, Tegmark et al. 1997 による水素分子の組成の変化を再現することができた。

5 これから

今後の研究としては, 今回得られた結果に重元素の組成の変化を追加することを考えている。そしてその結果を用いて, low-metallicity 環境下における構造形成について研究し, 矮小銀河形成の起原を解き明かしたい。

Reference

Rees and Ostriker 1977. 1977MNRAS.179..541R

Tegmark et al. 1997. 1997ApJ...474....1T