

21cm absorption by minihalos

名古屋大 修士2年 島袋隼士

平成24年8月21日

1 Introduction

ハッブル宇宙望遠鏡をはじめとする、様々な波長帯での観測により星、銀河、銀河団の観測は盛んに行われて来た。また、WMAP衛星による宇宙の晴れ上がり時のCMBを観測により、我々は Λ CDM宇宙論モデルを確立した。(図1)

しかし、我々は、晴れ上がり以降の天体が存在しなかった時代と現在の色彩豊かな銀河宇宙の間の時期(暗黒時代、再電離期)については、理論、観測共に未だ発展途上の段階である。

そのような現状であるが、将来的にはSKA(Square Kilometer Array)と呼ばれる大型電波望遠鏡の建築が予定されており、暗黒時代、再電離期の観測に手が届くであろうと期待されている。そこで、この時期の観測をencourageする理論的な仕事をしたいと思ったのが本研究のモチベーションである。

そこで私は、「minihaloによる、中性水素から発せられる21cm線電波の吸収」というテーマで研究を進めている。(図2)

2 Minihalos

halo内で星形成が活発的に起きて、銀河を形成するためには系の効率的な冷却が必要である。しかし、Mminihaloとは、Virial temperatureが $10^4 K$ よりも低く、効率的な分子冷却を行う事ができず、星形成が効果的に起こらない。すなわち、minihaloとは銀河形成まで至らなかったダークマターとガスがcollapseした宇宙初期天体である。

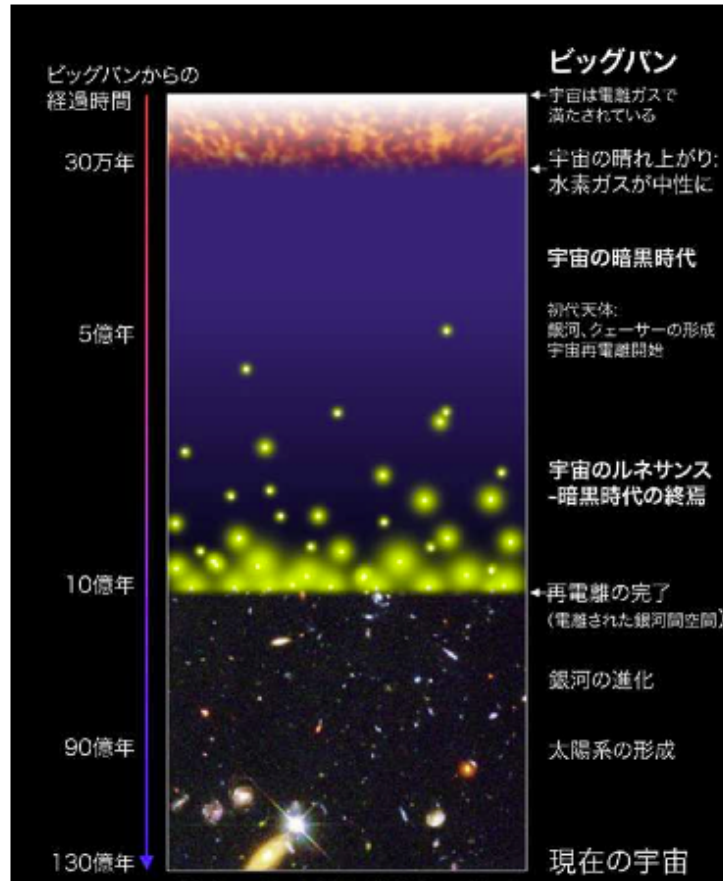


図 1: 宇宙進化の歴史

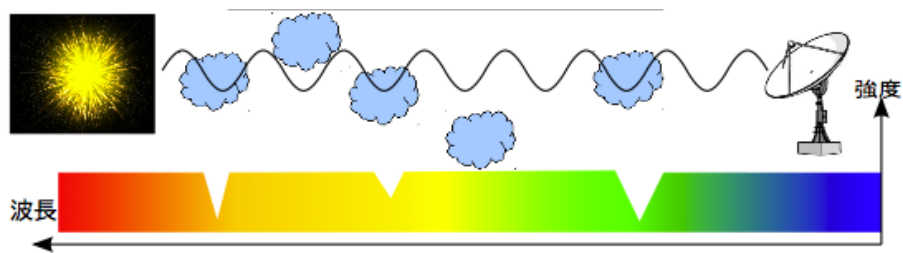


図 2: 光源から出た光が我々に届くまでに、ガス雲や minihalo によって吸収を受ける。その様子を 21cm 線で観測する

その典型的な質量サイズは $10^5 - 10^8 M_{sun}$ であり、大きさは $\sim kpc$ 程度の small size な天体である。

minihalo は、diffuse IGM(銀河間ガス) に比べて高い柱密度を持っているため、吸収が顕著に表れる。これが、minihalo を吸収天体として用いる理由である。

3 21cm line

次に、minihalo によって吸収される 21cm 線電波について述べる。

中性水素を構成する陽子と電子は、スピン状態の違いによってエネルギー差が生じる。そのエネルギー差の電磁波を放射、吸収することができる。そのエネルギー差が波長に換算すると 21cm の電波であることから、21cm 線電波と呼ばれている。

21cm 線電波を特徴付ける量として、以下で定義される Spin temperature がある。

$$\frac{n_1}{n_0} = 3 \exp\left(\frac{-h\nu_{21}}{kT_S}\right) \quad (1)$$

Spin temperature とはすなわち、singlet と triplet の占める割合を温度換算した量であり、次の様に、CMB 温度、星からの紫外線や X 線、水素原子同士衝突の効果を含んだ形になることが知られている。

$$T_S^{-1} = \frac{T_\gamma^{-1} + x_\alpha T_\alpha^{-1} + x_c T_K^{-1}}{1 + x_\alpha + x_c} \quad (2)$$

4 optical depth

minihalo による 21cm 線電波の吸収の度合いを示す量として、optical depth と呼ばれる量があり、次の様な形で表される。この値が大きい程、吸収がより強く起きるため、実際に観測しやすくなる。

$$\tau_\nu = \frac{3hc^3 A_{10}}{32\pi k\nu_0^2} \int_0^{R_{max}} dR \frac{n_{HI}(r)}{T_s(r)b} \exp\left[-\frac{v^2(\nu)}{b^2}\right] \quad (3)$$

optical depth は spin temperature や中性水素の数密度に依存する量である。

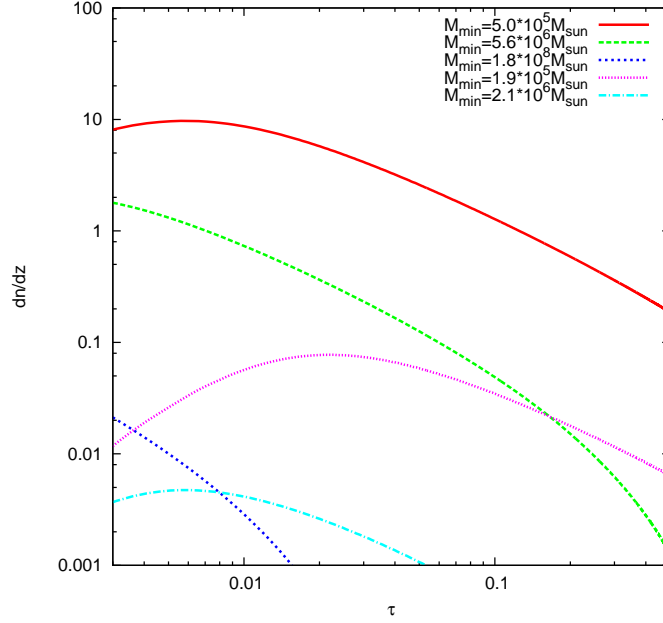


図 3: optical depth - minihalo abundance relation

5 minihalo abundance

ある optical depth 以上の大きさを持った minihalo がいくつ存在するかについては以下の計算によって求める事ができる。

$$\frac{dn(> \tau_{mh})}{dz} = (1+z)^2 \frac{dr}{dz} \int_{m_{min}}^{m_4} dm \frac{dn_h}{dm} \pi r_\tau^2(m, \tau_{mh}) \quad (4)$$

(3) と (4) より、ある optical depth が与えられたとき、その値以上の optical depth を持つ minihalo はいくつ存在するのかを計算する事ができる。その結果が図 3 である。図 3 では minihalo の温度と赤方偏移を変化させた場合の abundance を描いている。

高赤方偏移ほど minihalo abundance は低下する。これは、遠方宇宙に行く程、天体形成が進んでいない事の表れである。また、minihalo の温度が低いほど abundance は低下する。これは、温度が低い程、Jeans mass が大きくなるため、軽い質量の minihalo の形成が進まないためである。

6 Future work

様々な宇宙論パラメータを変化させた場合に、minihalo abundance と optical depth の関係にどのような影響を与えるかを現在、計算している。、small scale の天体である minihalo の観測によって、small scale に影響を与える Neutrino mass や scale dependent running にどの程度制限を与えられるのかを計算中である。