

# ダークバリオン探索の進展

銀河・銀河団26a 2012.8.3 発表

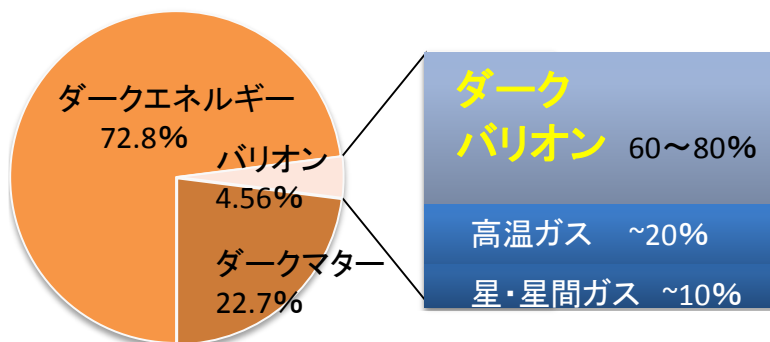
筑波大学大学院 数理物質科学研究科  
物理学専攻 宇宙理論研究室  
博士前期課程 一年次 渡邊 歩

私は、数値計算によるダークバリオンに関する研究を行おうと思っており、今年の四月から関連する先行研究について調べたので、これを総括して研究の進展と現状を簡単に紹介したい。

ダークバリオンについて：

WMAPによるCMBの温度揺らぎの観測により宇宙の晴れ上がりの時代におけるエネルギー密度の内訳が明らかになった(図1左)。それによると、バリオンの占める割合は約4.5%程度である。一方で、近傍宇宙の観測によると、恒星・分子雲・原子雲と銀河団内に存在する高温プラズマガスなどのバリオンをすべて足し合わせてもこの約半分ほどにしか満たないという結果が得られている(図1右)。宇宙の晴れ上がり以降に物質の消滅が起きていないとすれば、バリオンのエネルギー密度は変化しないはずであり、未だ観測にかかっていないバリオンが何らかの形で存在すると考えられている。これをダークバリオンまたはミッシングバリオンと呼び、この未発見のバリオンが存在するとする問題をダークバリオン問題と呼ぶ。

当初ダークバリオンの候補として、ブラックホール・白色矮星・褐色矮星・中性子などの暗い天体(MACHOs)が挙げられたが、マイクロレンズ効果を用いた観測によると、これらの天体のエネルギー密度は全バリオンの数%程度であり、ダークバリオンを説明するには十分でないことが分かった。



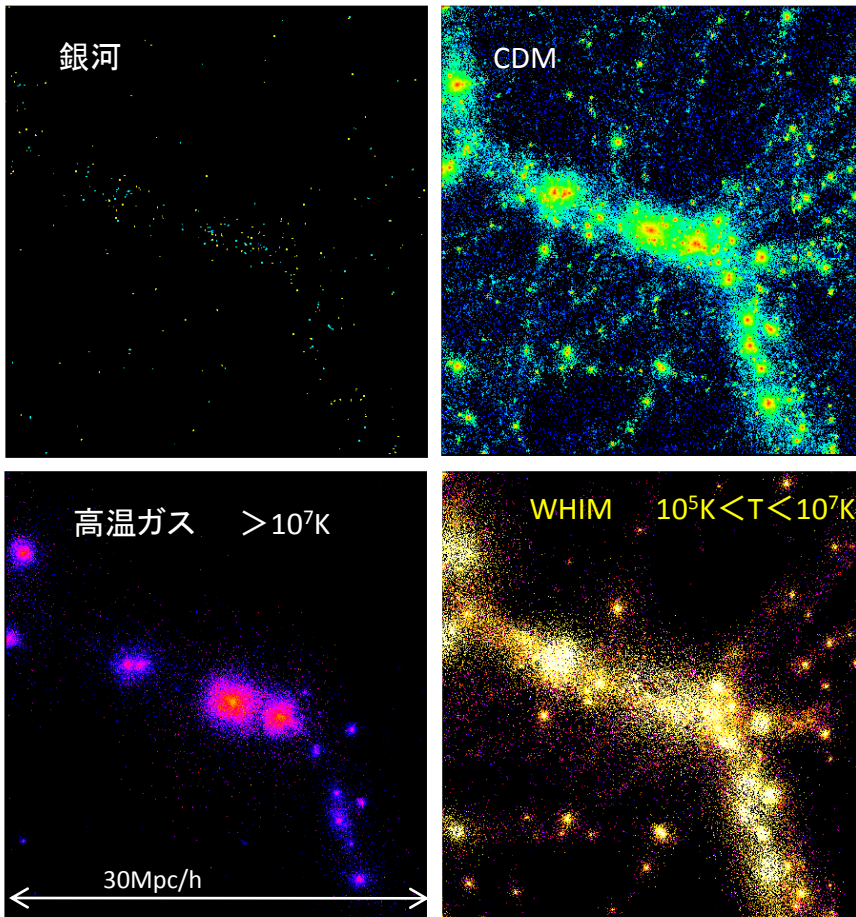
Komatsu et al, ApJ, 192(2011)

Fukugita et al, ApJ, 503(1997),518

図1

現在注目されているのは銀河間の空間に存在すると言われている希薄なガスである。ΛCDMモデルに基づく宇宙論的な構造形成のシミュレーションによれば近傍宇宙では、既に観測されている高温ガス( $T > 10^7\text{K}$ )に加えて、 $10^5\text{K} < T < 10^7\text{K}$ の温度を持つ希薄な( $10 < \delta < 100$ )ガスの存在が示唆されている(図2)。この温度は水素が電離するには十分な温度であるが、熱制動放射によるX線を出すには低い温度であることから、中高温銀河間物質(WHIM: Warm Hot Intergalactic Medium)と呼ばれる。密度が希薄なために放射が弱く、これまで観測されなかったことにも説明がつく。このWHIMが現在ダークバリオンの候補として有力だと考えられている。

WHIMを観測で捉えようとする研究が多数行われてきたが、その存在が肯定または否定されるような決定的な成果は未だない。行われた観測方法には大別すると、吸収線と輝線の2つがある。吸収線を用いた観測では、WHIMの温度域では水素は完全に電離しているので重元素の吸収線を使用する。Savage et al. 1998, Shull et al. 1998, Tripp et al. 2000, Richter et al, ApJS 153(2004),165など、HSTとFUSEを使ったクエーサーのスペクトルの観測では、紫外線領域にOVIの吸収線( $\lambda = 1037.6, 1031.9 \text{ \AA}$ )が発見された(図3)。



Yoshikawa et al, ApJ, 558(2001),520

図2

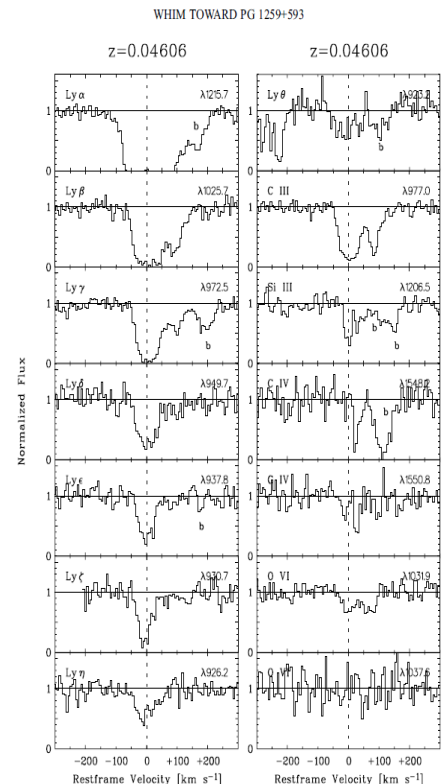


Fig. 3b

図3 紫外線吸収線のスペクトル観測例

酸素のイオン化率の温度依存性(図4)から、この吸収体はOVIを含み $10^4 \sim 5 \times 10^5$  Kの温度を持つガスであると考えられる。ガスに対する酸素の存在比(金属量)を仮定するとバリオンのエネルギー密度の10%程度を説明できる(Danforth et al.2005)。これによって、WHIMのうち低温領域は存在する証拠をつかむことができたと考えられている。

これより高温域のWHIMの吸収線を観測するためには、紫外線領域ではなくX線領域での観測を行わなくてはならない。しかし、XMM-NewtonやChandraなどのX線観測衛星は紫外線衛星よりもエネルギー分解能が低く、観測は困難なものとなっている。そのため、より明るい背景天体(QSO,GRB,AGN)のスペクトルを用いたり、吸収体の視線方向の厚みが大きいと予想される領域を観測するといった努力がなされている。現在最も有意な観測例としてはSculptorWallの背後のblazarからOVII吸収線を発見(4.0 $\sigma$ ,  $T \sim 3 \times 10^5$  K,  $\delta \sim 150$ , Fang et al, ApJ 714(2010),1715)や、ComaClusterの背後のAGNからOVIII, NeIXの吸収線を発見(3.4 $\sigma$ ,  $2.0 \times 10^6$  K  $< T < 5.8 \times 10^6$  K,  $10 < \delta < 400$ , Takei et al, ApJ, 680(2007),1049)などがある。しかし、これらはまだ確実のものとはいえないと考えられている。

輝線を用いた観測はさらに困難なものとなっており、現在最も有意な観測は酸素の輝線の観測(2 $\sigma$ )とどまっている。その理由としては紫外・X線の宇宙背景放射や銀河系からのバックグラウンドが大きく、分離が困難であることが挙げられえ。しかし輝線はWHIMの温度が高いほど強度が増加するため高温領域の観測に向いている。さらに、背景天体がなくても観測が可能のため、WHIMの空間分布を調べることも手段となりうるという特徴を持つため、将来、観測機器の精度が向上してゆけば、よい成果が得られると期待される。

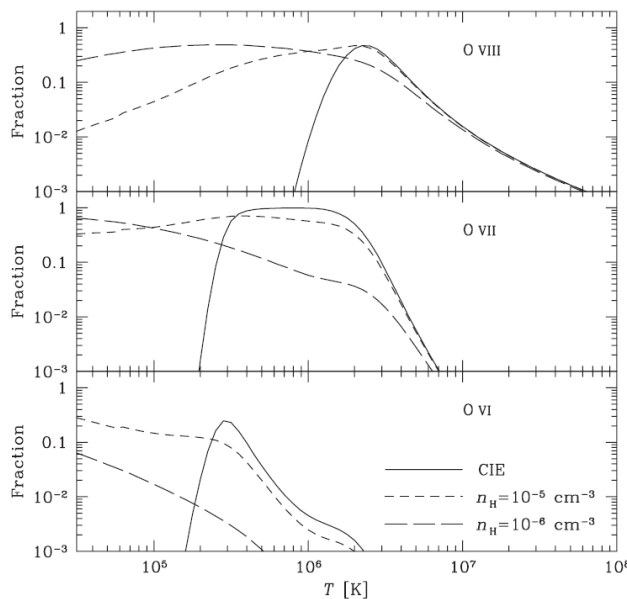


Fig. 2. Ionization fractions of OVI, OVII, and OVIII in ionization equilibrium as a function of the temperature for a low-density plasma with  $n_H = 10^{-5}$  and  $10^{-6} \text{ cm}^{-3}$  under the presence of photoionizing background radiation at a redshift of  $z = 0$ . The ionization fractions in collisional ionization equilibrium are also shown for a comparison.

図4 酸素のイオン化率