

N 体計算を用いた準解析的モデルによる銀河の形成の研究

吉岡 諭 (東京商船大学)

yoshioka@phys.tosho-u.ac.jp

概要

銀河が形成されていく過程でフィードバックが重要な役割を果たす可能性が議論されている。銀河の形成過程におけるフィードバックとしては形成された星や QSO からの UV 放射や超新星爆発が考えられている。初代天体の準解析的モデルを用いてそれらのフィードバック効果がどのような影響を与えるか調べた。merging history を構成するために N 体シミュレーションの結果を用いた。

1. 序

近年銀河形成の研究において準解析的モデルを用いた研究が数多く行われ、多くの実績を挙げて来た。それらは拡張された Press-Schechter 法を用いて dark halo の merging history を求め、そこにガス成分の冷却過程、星形成などの物理過程を単純なモデルを仮定して取り込んだものである。それらは多くの観測と比較が行われ、ある程度の成功を収めている。しかし、一方で小質量の銀河が出来すぎるなどの欠点も明らかになってきた。そこで注目されてきたのは銀河の形成過程におけるフィードバック効果である。形成された OB 星からの UV 放射や超新星爆発などのフィードバックが系の進化に大きな影響を与えることが考えられる。それらのフィードバック効果は必ずしもローカルなものではなく、近傍の天体の活動が系の進化に大きな影響を与えることも考えられる。また、銀河の形態は環境効果によって決定されるという考えがあるが、環境効果は天体がより大きな構造の中でどのような位置にあるのか、などによって変化する。これらの効果を検討するのは拡張された Press-Schechter 法では困難で、銀河の位置を具体的に知る必要がある。そのためにこの研究では N 体シミュレーションの結果を用いて merging history を構成するとともに、銀河の位置を具体的に特定しながら、様々なフィードバック効果、環境効果の影響を調べた。

2. モデルと方法

N 体シミュレーションと準解析的モデルを合体させる。まず、数十 Mpc 程度のスケールで宇宙論的な N 体シミュレーションを行い、典型的な銀河ハロー質量程度の dark halo を同定する。その dark halo の形成の過程をより高解像度の N 体シミュレーションを行って調べる。この結果から sub-galactic な dark halo がマージしてより大きな dark halo を形成していく merging history を構成し、同時に各 sub-galactic halo の位置情報を得る。halo finding algorithm としては FOF (friend of friend) を用いた。

次に、上の情報を用いて様々な物理過程をモデル化して準解析的モデルを構成する。形成された星からの UV 光、QSO からの UV 背景光、超新星爆発などのフィードバック効果を考慮する。

我々の準解析的モデルは基本的には以前の研究と同様のものである。collapse した halo 中のガスは初期には hot である。hot gas は放射冷却により冷却し、星を形成する。大質量星が進化の最後に超新星爆発を起こす。超新星爆発は cold gas を熱し、hot gas にするとともに、ガスの一部分は天体から放出される。

我々は以前の研究では考慮されなかった幾つかの新しい物理過程を導入する。一つは水素分子による冷却であり、低質量の天体の形成に重要な役割を果たす。冷却率を求める際に Nishi & Susa (1999) によって求められた水素分子の fraction を用いた。他の新しい物理過程は主にフィードバックに関係している。天体の中で形成された星、及び近傍の天体からの UV 輻射である。

考慮する最初のフィードバック過程は天体の中で形成された星からの UV 光による星形成の抑制である。

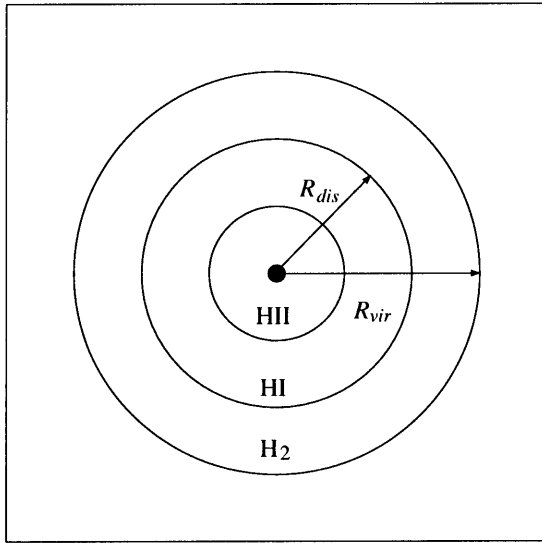


図 1: 天体内での UV フィードバック.

図1は天体の内部の構造を示している。天体の中心で星が形成される。OB 星から放射される UV 光が周りのガスをイオン化し、HII 領域を形成する。さらに星からの Lyman & Werner 光子が水素分子を解離し、解離領域を作る。UV 光による水素分子の解離に関しては Omukai & Nishi (1999) の議論に従った。解離領域の半径 R_{dis} が天体のビリアル半径 R_{vir} よりも大きいとき星形成が抑制されると仮定する。

次に近傍の天体からの UV 光による負のフィードバックを考える (図 2)。銀河 A 中で大質量星が形成され、内部の水素分子を全て解離したとする。LW 光子は銀河 A から出て行く。その UV 光が近傍の銀河 B まで到達し、銀河 B 内での星形成を阻害する可能性を考える。その正確な条件を求めることは簡単ではない。そこで次のような単純な条件を採用する。銀河 A の星が光度 L_{LW} で LW 光子を放出したとき、銀河 B での LW 光子のフラックスは $F_{LW} = L_{LW}/(4\pi R^2)$ で与えられる。ここで R は銀河間の距離である。水素分子の平衡数密度 n_{H_2} は F_{LW} によって与えることができる。H₂ の自己遮蔽の条件は、水素分子の柱密度 $N_{H_2} \sim n_{H_2} r_{vir}$ が 10^{14}cm^{-2} よりも大きい、と仮定する。自己遮蔽が出来ない場合には銀河 B での星形成が阻害されると考えられる。

宇宙モデルとして、 $\Omega = 1$, $\Omega_b = 0.07$, $h = 0.5$, $n = 1$, $\sigma_0 = 0.67$ を採り、宇宙は CDM に支配されているものとした。N 体計算では粒子の質量は $6.9 \times 10^4 M_\odot$ とし、シミュレーション空間の全質量は $1.1 \times 10^{10} M_\odot$ とした。

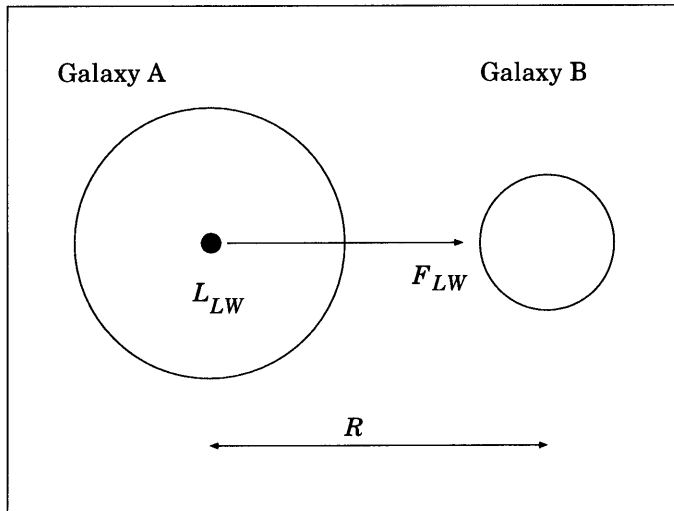


図 2: 近傍の天体からの UV フィードバック.

3. 結果

図 3 は最も質量が大きい天体でのガスの各成分と星の質量の進化を示している。高赤方偏移では星の質量は小さく、これはフィードバックの影響と考えられる。

図 4 は最も質量が大きい天体でのガスの各成分と星の重元素量の進化を示している。かなり早い段階で 10^{-2} 程度の重元素量に到達していることがわかる。

図 5 ではフィードバックの各プロセスの影響を比較するため、 $z = 25$ における天体の星の質量が各プロセスのあるなしによってどの程度変化するかを示している。超新星爆発が初代天体の進化に大きく影響をしていることがわかる。

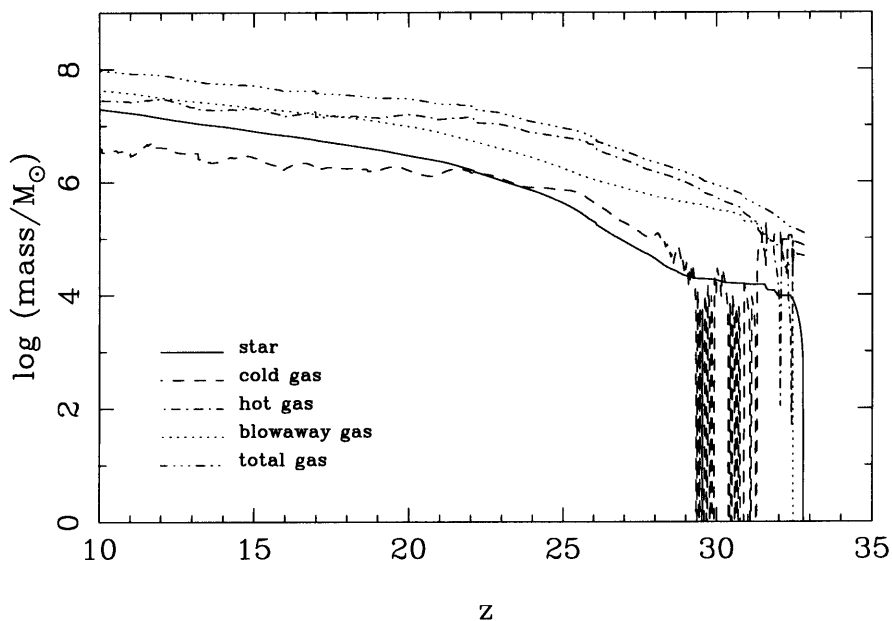


図 3: ガスの各成分と星の質量の進化.

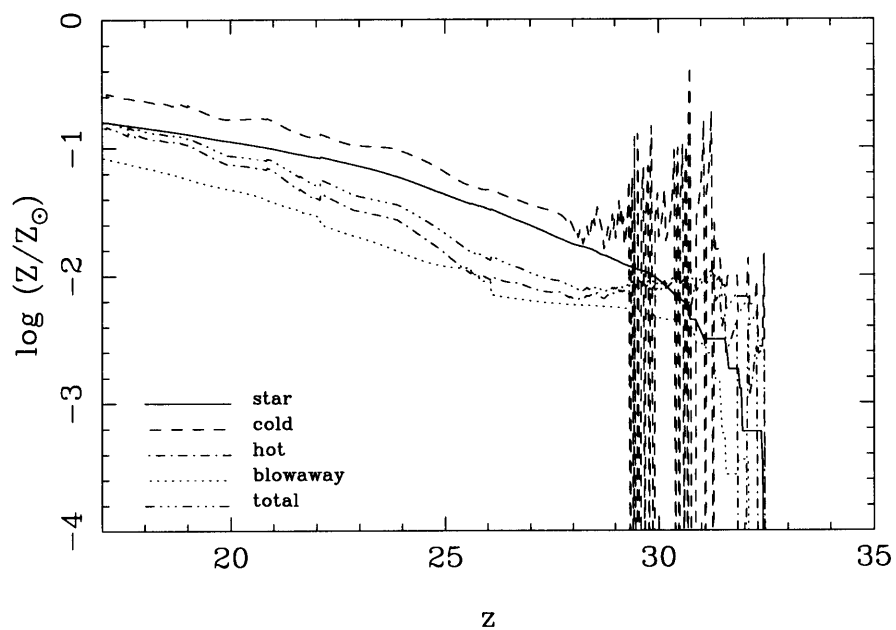


図 4: ガスの各成分と星の重元素量の進化.

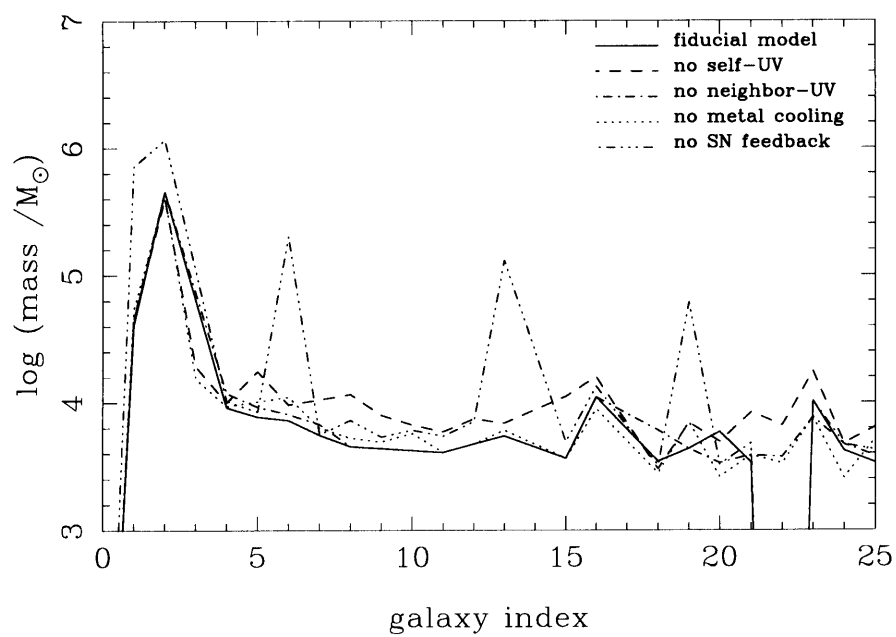


図 5: フィードバックの効果.

4. 議論

我々の UV フィードバックの取り扱いにはかなり粗っぽいところがある。UV フィードバックの正確な影響を知るためには輻射輸送を考慮した数値シミュレーションが必要である。そちらの成果を取り入れることによって我々の UV フィードバックの取り扱いを改善することができるだろう。

超新星爆発の影響は我々のモデルで最も不確かな部分である。超新星爆発によるフィードバックは pregalactic object の進化に大きく影響を与えるであろうから、その影響をもっと詳細に調べる必要がある。

References

- Nishi, R., & Susa, H. 1999, ApJ, 523, L103
Omukai, K., & Nishi, R. 1999, ApJ, 518, 64