

大規模シミュレーションプロジェクト成果報告書

ndk02：楕円銀河の金属量分布

河田 大介 (東北大 天文)

1. 導入

楕円銀河の金属吸収線の観測は、我々が楕円銀河の形成史を探る上での貴重な情報を提供している。特に、MgとFeの比(Mg/Fe)は、それぞれの元素の主な起源となるII型とIa型の超新星爆発の発生のタイムスケールが異なることから、楕円銀河の星形成史を考える上で非常に重要な指標となっている。また、近年の観測により、楕円銀河の中心部でのMg/Feは、明るい銀河ほど大きいという相関があることが明らかになってきた。この結果は古典的な銀河風シナリオでは説明できないことから、現在、非常に注目されている。銀河風シナリオは、質量の大きな銀河ほど重力ポテンシャルが大きいいため、銀河風が起こるのが遅れ、星形成が長く続くことを予言する。そのため、発生のタイムスケールが長いIa型超新星からの寄与を多く受け、質量の大きな銀河ほどMg/Feが小さくなることが予想される。しかし、これらの銀河風シナリオに対する考察は、銀河形成期の複雑な力学進化を単純化したモデルによるものであった。Kawata (2000) は、化学進化と力学進化を統合的に計算した数値シミュレーションの結果、大きな銀河はその大きなポテンシャルが激しい星形成を導くため、星形成の期間が短く、逆に小さな楕円銀河では、超新星爆発によるフィードバックが反映されやすいため、星形成が抑制され、大きな楕円銀河に比べて星形成の期間が伸ばされることを示した。そして、この結果により単純化されたモデルの予言と逆の星形成期間と銀河質量の相関が導かれることから、Mg/Feの質量依存性を自然に説明できる可能性があることを指摘した。しかし、この数値シミュレーションでは、Ia型超新星を考慮しておらず、MgとFeそれぞれの元素の進化も

計算していなかったため、観測データとの直接比較によりこの仮説を検証することができなかった。そこで、本研究では、独自に作成したIa型超新星を考慮し、力学進化と同時にC,O,Ne,Mg,Si,Feのそれぞれの重元素の進化も計算するコードを用い、この仮説を定量的に検証した。なお、この結果は、Kawata (2001) にまとめられている。

2. モデルと結果

銀河形成モデルとして小さな角運動量で剛体回転しコールドダークマターモデルで予測される密度揺らぎ (Bertschinger 1995) を含む原始銀河球が、宇宙膨張から切り離され、重力収縮することにより銀河が形成するというもの (Kawata 1999) を考えた。ダークマターと星の力学進化は、N体法で計算し、ガス成分は、SPH法によりモデル化した。このコードには、ガスの輻射冷却、星形成やそのフィードバック、そして重元素汚染の過程が含まれている。また、II型とIa型の超新星爆発とC,O,Ne,Mg,Si,Feのそれぞれの重元素量の進化も考慮した。

特に、星の超新星爆発によるフィードバックでは、熱エネルギー(E_{th})と運動エネルギー(E_{kin})の2つの成分に分けて周囲のガスに放出した。この2つの成分の比は $f_v = E_{kin}/(E_{th} + E_{kin})$ とパラメータ化した。最終的に、1つの超新星爆発の放出するエネルギーを 4×10^{51} erg、 $f_v = 0.9$ と仮定し、質量の異なる4つのモデルの進化を計算した結果、このモデルは、観測される色等級関係を非常によく再現することが分かった(図1)。ここで、色や等級などの光学的性質を導く際、Kodama & Arimoto (1997) のSSPs(Single Stellar Populations)を利用した。以下では、このモ

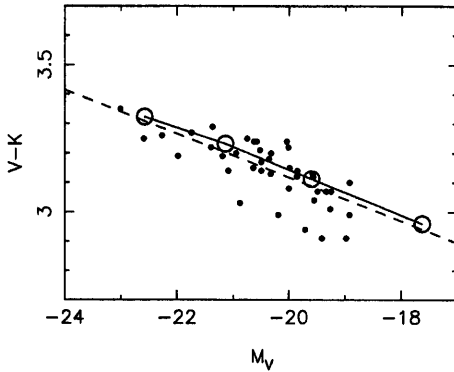


図 1: かみのけ座銀河団の色等級関係 (●, Bower et al. 1992) とシミュレーション結果 (実線で結ばれた○) の比較。

デルの結果について紹介する。

図 2 に、それぞれのモデルにおける II 型 (実線) と Ia 型 (太線) 超新星爆発の発生頻度の時間進化を示した。我々のモデルでは、すべての II 型の超新星爆発は、星形成と同時に起こる (瞬間循環近似) と仮定したので、この時間進化は、星形成史に対応する。これをみると系の質量によらず、 $t = 2.5 \sim 3$ Gyr ($z = 2 \sim 1.7$) あたりで、急に星形成が止まっていることがわかる。そこで、実際にガス粒子の進化を見てみた結果、このとき残っていたすべてのガス粒子が、系外に放出されている、すなわち銀河風が起きていることがわかった。また、その銀河風で系外に放出されるガスの割合は、小さな質量の系ほど多く、結果として、小さな質量の系ほど、化学進化が抑制され、金属量が低くなり色-等級関係が再現されていることがわかった。また、銀河風が起こる直前の II 型と Ia 型の発生頻度をくらべると、Ia 型の方が多いことがわかる。さらに、II 型超新星爆発は、星形成と同時に起こるので、星が形成されるような密度の高い領域では、その影響は、すぐに輻射冷却によって消されてしまう。一方、Ia 型超新星爆発は、発生時間に遅れがあるため、それが起こるころには、星形成によりガスが消費され、回りのガスの密度はさがり、その影響は、非常に大きくなる。最終的に、我々の数値シミュレーションによる力学進化の結果は、銀河風を引き起こす主要因は、II 型

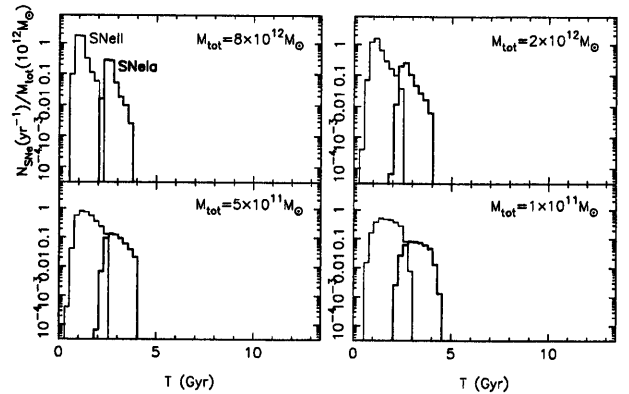


図 2: II 型 (実線) と Ia 型 (太線) 超新星爆発の発生頻度の時間進化。

よりむしろ Ia 型超新星爆発であり、Ia 型超新星爆発は楕円銀河の進化に非常に重要であることを示唆している。

さらに、図 2 で、ピークの星形成率をみると、小さな質量の系ほど星形成の効率が悪いことがわかる。これは、小さな質量の系ほど、超新星爆発の影響が大きく、星形成が抑制されているためである。結果として、大きな質量の系ほど、大きな割合のガスを星に変えたにもかかわらず、銀河風の起こる時期は、ほぼ系の質量によらず同じになっている。この効果は、[Mg/Fe]-等級図上で、[Mg/Fe] が系の明るさによらず一定という結果を導いた (図 3)。この結果は、明るい銀河ほど [Mg/Fe] が大きいという観測事実は完全には説明できないが、解析的に予言されていた [Mg/Fe]-等級図での関係 (明るい銀河ほど、[Mg/Fe] が小さい) と比べると、観測事実に近い結果である。したがって、Kawata(2000) で予言されていた星形成効率の銀河質量依存性は、[Mg/Fe]-等級関係での銀河風シナリオの問題を改善することはわかったが、観測される関係を完全には再現できなかった。我々は、現在、この関係を再現するために必要な物理過程の候補として、UV 背景放射の効果に期待している。UV 背景放射は、小さな質量の銀河で、輻射冷却を抑え、星形成率を下げる効果があることが知られているからである。今後、UV 背景放射の効果を検討したシミュレーションを行い、観測される [Mg/Fe]-等級関係を再現できるか調べたい。

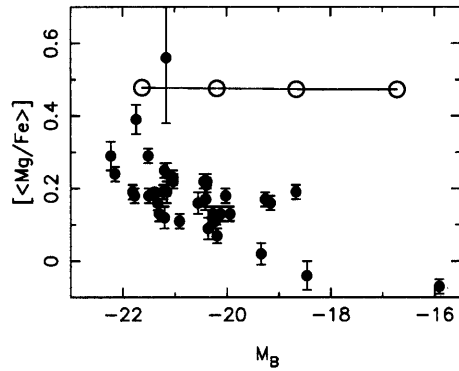


図 3: 近傍楕円銀河で観測された $[Mg/Fe]$ と等級の関係 (●、Trager et al. 2000a) とシミュレーション結果 (実線で結ばれた○) との比較。

参考文献

- Bertschinger, E. 1995, preprint (astro-ph/950607)
 Bower, R.G., Lucey, J.R. & Ellis, R.S. 1992, MNRAS 254, 601
 Kawata, D. 1999, PASJ, 51, 931
 Kawata, D. 2000, ASP Conference Series, 197, 257
 Kawata, D. 2001, ApJ submitted
 Kodama, T. & Arimoto, N. 1997, A&A 320, 41
 Trager, S.C., Faber, S.M., Worthey, G., & González, J.J. 2000, AJ, 119, 1645