

金属量分布から推定する矮小銀河の化学進化

本間 英智 (東北大学 M2)

Abstract

銀河における星生成の歴史は、含まれる金属量の変化の歴史でもある。星が寿命を迎える際に重元素を放出することで銀河の金属量は増加し、また重元素の組成比は金属量放出に最も寄与した星の組成に依存して変化する。また他の銀河との相互作用や超新星などのフィードバックによって銀河に含まれるガスは流入出していると考えられることから、それによっても銀河の金属量は変化する。すなわち銀河の金属量は銀河における物質循環の歴史を刻んだ化石情報であり、星に含まれる金属量はその星が形成された当時の銀河の金属量を反映していることから、個々の星の金属量を見積もることで銀河の進化過程を類推することができる。

矮小銀河は質量・光度ともに小さい銀河であるが、局所銀河群に30以上見つかっており、宇宙で最も多く存在する系と考えられている。分布している位置が非常に近いことから、HSTや8-10m級地上望遠鏡によって個々の星に分解して観測することが可能であり、いくつかの矮小銀河の星に対しては分光観測も行われている。そのため矮小銀河は、重力的に束縛された系の化学進化を詳細に調べることのできるよい実験場として近年注目されている。

そこで矮小銀河の星の分光観測から得られるもののうち金属量分布に着目し、化学進化モデルから予測される金属量分布と比較することで矮小銀河の化学進化に対して何が言えるか述べる。

1. Introduction

銀河は物質が絶えず循環している巨大な系である。星の中で合成された重元素は星間空間に放出され、その一部は次世代の星に取り込まれていく。そのため時間とともに銀河のもつ金属量は増加し、増え方はその銀河での星生成活動に依存する。このように重元素が銀河内で蓄積されていく過程のことを化学進化と呼び、観測された銀河の金属量からその進化過程を類推することが本研究の目的である。

実際の銀河における化学進化過程は非常に複雑である。銀河系のような巨大な系の場合、バルジやディスクといった複数の構造が存在するためそれぞれでの化学進化を考慮する必要がある。さらにそれら構造は互いに独立な関係ではないため、ガスの移動がどの程度起きているかを正確に把握する必要もある。そこでより単純でモデル化が容易であると期待される、矮小銀河の化学進化についてここでは触れる。矮小銀河は、歴史的におよそ $M_B \geq -18$ とされる小規模な銀河のことを指し、局所銀河群においても30個以上が確認されている。また比較的近傍に分布しているため、星に分解して観測することができる。

複数の星を観測して得られるものの1つに、銀河の金属量分布が挙げられる。これはある金属量の星がどれだけ含まれているかを表したものであり、化学進化モデルから導出されるものと比較することで、銀河におけるガスの流入出量について知見を与える観測量である。

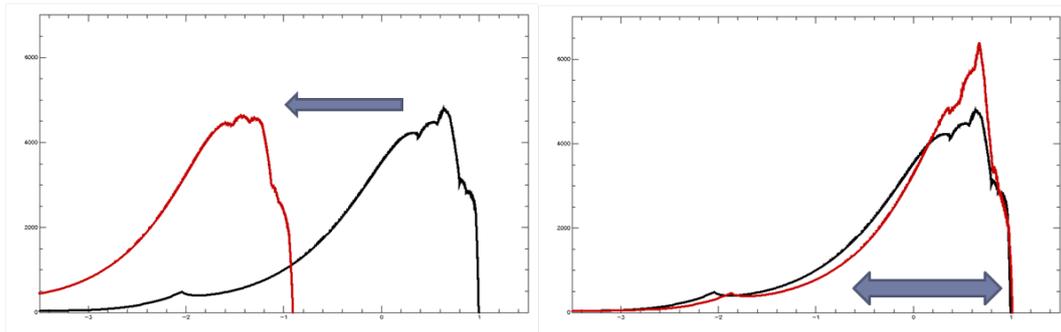


図 1: 単純モデル (黒線) とガスの流入出を考慮したモデル (赤線) との比較。横軸は $[Fe/H]$ 、縦軸は星の数に比例した値である。左図) ガスの流出を考慮したモデルとの比較。ガス流出によって星生成が早く不活発になるため、化学進化が進まず低金属量側にピークがずれる。右図) ガスの流入を考慮したモデルとの比較。ガス流入によって星生成が活発となるため化学進化が早く進み、金属量分布の幅が狭くなる。ピークの値はその銀河における有効イールドに相当する。

矮小銀河の化学進化の代表的な研究の一つとして、Kirby et al.(2011) [3] (以降 K11 と呼ぶ) を取り挙げる。これは Keck/DEIMOS によって得られた矮小銀河の星の大量の分光データに対して、化学進化モデルのフィッティングから星生成史やガスの流入出率を一律に評価した研究であり、中分散分光器を用いることで他の研究に比べて格段にサンプル数が多くなっている。しかしこの研究では矮小銀河の星生成はいずれも 1.5Gyr 以内に終了してしまうという結果が得られ、矮小銀河の測光観測から導かれた星生成史が 5Gyr 以上の期間をもつという結果 (de Boer, et al.(2012a,b) [1] [2]) を説明できない。K11 では論文中で、Ia 型超新星の起き始める時間を 0.1Gyr から 0.3Gyr に伸ばした場合に星生成の期間が 3.5 倍になったことに触れており、パラメータの選択次第で結果が大きく変化する可能性を示唆している。

そこで本研究では、K11 と同じモデルに、別の研究によって得られた矮小銀河の星生成史を取り入れることでパラメータを減らし、K11 で評価された物理量が観測結果との比較によってどの程度決定され得るかを調べる。

2. Chemical Evolution Model

化学進化モデルは K11 と同様のものを用いる。

- ・ 星から放出された重元素は瞬間的に系内に一様に分布する
- ・ ガスの流出量は超新星爆発の頻度に比例する
- ・ ガスの流入量は 2 つのパラメータで表される、時間に依存した関数で仮定する
- ・ Ia 型超新星の発生頻度は Maoz, et al.(2010) [5] で示された確率分布を用いる
- ・ 初期質量関数は Kroupa, et al.(1993) [4] のものを用いる

ただし K11 と異なり、星生成率はガスの質量に依存した関数ではなく、de Boer, et al.(2012a) によって導出された Sculptor dSph の星生成率をモデルを採用する。de Boer, et al.(2012a) では測光観測によって得られた色-等級図から星生成史を導いており、これを予めモデルに与えることで K11 のモデルよりパラメータが 2 つ減っている。

3. Analysis & Results

以上の条件で化学進化モデルを計算し、系の初期質量、ガスの流出係数、ガスの流入係数とタイムスケール、Ia型超新星が起き始めるまでの時間、計5つのパラメータを操作してK11でフィッティングに用いられたデータと同じものをどの程度再現しうるか調べる。各パラメータの性質を簡単に述べると以下のようになる。

- ・ 系の初期質量 → 系全体のガス質量に依存する
- ・ ガスの流出係数 → 金属量分布のピークの位置に依存する
- ・ ガスの流入係数 → 系全体のガス質量に依存する
- ・ ガスの流入のタイムスケール → 金属量分布の幅に依存する
- ・ Ia型超新星が起きる時間 → 元素組成比の振る舞いに依存する

ただしパラメータの選択に当たってはK11のようなフィッティング法ではなく、目視による観測データとの比較に頼っておりパラメータの値の信頼度は高くない。しかし本研究では観測との比較によって得られた結果は一意であるかどうかの主眼を置いているため、パラメータの組み合わせの他の可能性を探るといった目的に則れば今回の方法であっても障りはないと考える。またSculptor dSphには現在ガスがほとんど観測されていないことから、星生成率が0となった際に系全体のガスの質量もほぼ0となるようにすることも、パラメータ選択の際の指標とした。

結果は以下のようになった。

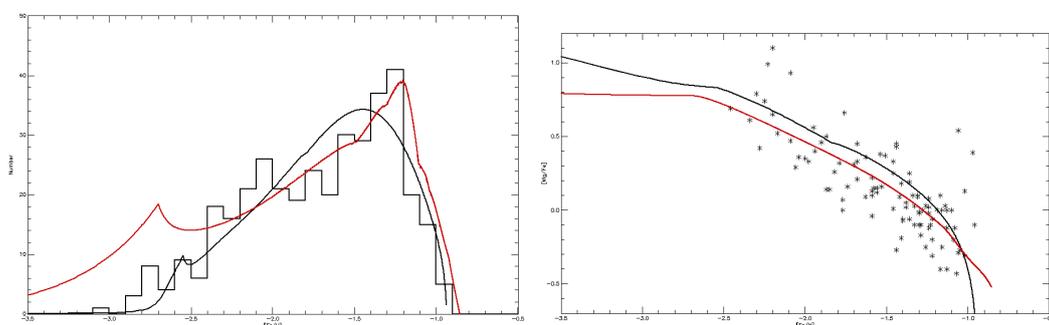


図 2: K11 で比較された Sculptor dSphno 観測データおよび理論曲線 (黒線) と、今回の計算で得られた理論曲線 (赤線)。左図) 金属量分布の観測データと理論曲線。Kirby らの計算 (黒線) に比べて今回の計算結果 (赤線) は高金属量側の再現はできているが、低金属量側の星の数を多く見積もりすぎている。右図) 縦軸に $[Mg/Fe]$ 、横軸に $[Fe/H]$ をとった金属量組成比の振る舞いの観測データと理論曲線。K11 での計算 (黒線) と同等の傾向を今回の計算結果 (赤線) は示している。

パラメータ	Kirby, et al.(2011)	今回の計算
星生成率	ガスの質量に依存	色-等級図から導出されたものを適用
ガスの初期質量	$0.5 \times 10^6 [M_{\odot}]$	$120 \times 10^6 [M_{\odot}]$
ガスの流出係数	$5.36 \times 10^3 [M_{\odot}/\text{SN}]$	$5.36 \times 10^3 [M_{\odot}/\text{SN}]$
ガスの流入係数	$700 \times 10^6 [M_{\odot}/\text{Gyr}]$	$30 \times 10^6 [M_{\odot}/\text{Gyr}]$
ガスの流入タイムスケール	0.27 [Gyr]	2 [Gyr]
Ia 型超新星が出現する時間	0.1 [Gyr]	0.5 [Gyr]
最終的な星質量	$1.2 \times 10^5 [M_{\odot}]$	$6 \times 10^6 [M_{\odot}]$
星生成期間	1 [Gyr]	7 [Gyr]

4. Conclusions

K11 では、矮小銀河の質量に対して約 10 倍のガスが流入出しているという結果になったが、星生成史を予め導入した今回の計算では大量のガスの流入を適用せずに観測量を再現できた。K11 でも星生成期間が伸びた場合にはガスの流入率が減少したことは認められており、金属量分布と $[\text{Mg}/\text{Fe}]$ などの観測量からガスの流入率を決定することは難しいことが分かる。しかし K11 と今回の計算においては、ガスの流出係数はどちらも同じ値となった。これは、ガスの流出率は星生成の期間によらず一意に観測値から決定し得ることを表しており、金属量分布のピークの位置によってガスの流出係数が決まることを示している。

以上のことから、ガスの流出係数を除いて、異なるパラメータの組み合わせで観測量を再現できることが分かった。これは K11 で得られた結果は観測から一意に得られるものではなく、パラメータの組み合わせによって星生成の期間が大きく変わり得ることを意味している。従ってパラメータのもつ不定性を十分に評価した上で、観測と照らし合わせる必要があると思われる。

しかし、K11 と今回の計算で星生成の期間が大きく違うにも関わらずガスの流出係数が等しい値をとったことから、ガスの流出率については金属量分布の観測から決定できる物理量であり、K11 で解析された他 7 つの矮小銀河のガス流出率についても信頼できる値であると考えられる。

参考文献

- [1] de Boer, T. J. L., et al., 2012a, A&A, 539, 103
- [2] de Boer, T. J. L., et al., 2012b, A&A, 544, 73
- [3] Kirby, E. N., et al., 2011, ApJ, 727, 79
- [4] Kroupa, P., et al., 1993, MNRAS, 262, 545
- [5] Maoz, D., et al., 2010, ApJ, 722, 1879