

星の測光・分光観測で見えてきた 矮小銀河の化学進化



本 間 英 智

〈自然科学研究機構 国立天文台 天文データセンター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: hidetomo.homma@nao.ac.jp

近年の大型望遠鏡による測光および分光観測によって、矮小銀河の星の色等級図や金属量が明らかになってきている。しかし矮小銀河で観測された星の色等級図と金属量を十分に説明できる進化シナリオは確立しておらず、観測データを再現できるモデルが求められている。そこで私たちの研究グループでは、新しい化学進化モデルを独自に作成し、矮小銀河の観測データとの比較を行った。そして、矮小銀河の色等級図から推定された星生成史と、観測された金属量分布を同時に説明することに成功した。私たちのモデルの結果から矮小銀河では、Ia型超新星の最小遅延時間が過去の研究値よりもずっと長く、また合成された金属の80-99%が失われていることがわかった。本稿では私たちの研究で明らかになった、矮小銀河の化学進化について紹介する。

1. 元素に刻まれた銀河の記憶

宇宙が誕生してから現在までに、銀河で起きてきたことを明らかにすることは、天文学において最も重要なテーマの一つである。銀河とは無数の星やガスが集合した天体のことであるが、そのような天体は約138億年前には存在しなかった。その後、宇宙に漂うガスが重力で集合し、そこで星を形成しながらさまざまな過程を経て、現在の銀河の姿に進化してきたと考えられている。銀河の中では星が形成され、星の中では炭素や酸素、鉄などの重い元素が合成され、やがて銀河内に放出される。そのため銀河は時間とともに金属（以降、ヘリウムよりも重い元素を「金属」と呼ぶ）を増やしていくことになる。これは銀河の化学進化と呼ばれている。したがって銀河の進化と金属の増え方には密接な関係があり、金属の量や元素の組成を詳しく調べることで、銀河の進化を明らかにすることができる。

私たちは、銀河でも特に質量が小さい矮小銀河

における化学進化に焦点を当てて、銀河の進化について調べてきた。以下では、これまでの観測でわかってきた矮小銀河の化学的性質と、観測データのモデル解析から見えてきた矮小銀河の進化について紹介する。

1.1 矮小銀河の観測

われわれが住む天の川銀河は、局所銀河群という比較的小規模な銀河の集団に属しており、天の川銀河とアンドロメダ銀河の二つの渦巻銀河が、局所銀河群の質量の大部分を占めている。それに対して、天の川銀河の質量の100分の1にも満たない矮小銀河が、現在までに約60天体以上も局所銀河群で見つかってきており¹⁾、今後の観測によってさらに発見されると期待されている。このような矮小銀河には、天の川銀河に付随してわれわれの近くに分布しているものもあり、すばる望遠鏡をはじめとする大型望遠鏡によって、近年活発に観測が行われている。矮小銀河を観測する利点は多くあるが、本研究では特に (i) 個々の星を分離して観測できる、(ii) 銀河内の比較的暗

い星まで観測できる，という点に着目している。これらの利点によって矮小銀河では，これまでの遠くの銀河の観測からはわからなかった，主に二つの情報が得られてきている。

一つは，個々の星の分光観測によって星の元素組成が測定できることである。星は誕生するときに周囲にあるガスを取り込むため，その元素組成は昔の銀河の元素組成を反映している。例えば1億年前に生まれた星の元素組成は，銀河の1億年前の元素組成であると考えることができる。このような化石情報をさまざまな星に対して測定することで，銀河の化学進化がより詳しく見えてくることになる。これまでの観測から矮小銀河の星の元素組成は，天の川銀河の星とは異なる組成を示し，含んでいる金属量も平均的に少ないことがわかって²⁾。

もう一つは，星の測光観測によって色等級図を取得できることである。色等級図とは，横軸に星の色，縦軸に星の明るさをとってプロットした図のことである。星の色と明るさは，主にその年齢と質量（と金属量）によって決まるため，色等級図を解析することで星の年齢分布，ひいては銀河の各時刻における星の形成量（星生成史）が推定できる。この解析で得られる星生成史は，より暗い星が観測できるほど精度が高くなる。これまでの観測から，矮小銀河はさまざまな星生成史をもち，100億年以上前から星生成を続けているものもあることがわかってきた¹⁾。

1.2 化学進化モデルによる解析

観測された星の元素組成を，化学進化モデルを用いて説明する研究が行われている。2010年にKirbyらは，ハワイのケック望遠鏡を用いて八つの矮小銀河を観測し，これまでになく多数の星について元素組成を測定した³⁾。そして2011年にKirbyらは，その観測データに対して化学進化モデルを適用し，矮小銀河の進化を調べた⁴⁾。彼らの研究で特筆すべきは，多数の観測サンプルによって各矮小銀河の星の金属量分布を取得し，モ

デルによって金属量分布と星の元素組成を再現したことである。金属量分布とは，各金属量の星の個数を示した分布図のことである。彼らの研究によって，矮小銀河では超新星爆発によって過去に大量のガスが流出しており，またその星生成活動は10億年程度しか続かなかったという結果が得られた。

しかし彼らが示した星生成史は，矮小銀河の色等級図から推定された星生成史とは矛盾していた。すなわち，星の色等級図から推定される星生成史は100億年程度の星生成活動を示しているのに対し，星の金属量から推定される星生成史は10億年程度とずっと短いのである。そこで私たちの研究グループは，星の色等級図と金属量を同時に説明できる進化シナリオを調べるため，新しい化学進化モデルを作成して観測データの解析を行った⁵⁾。次の2章では作成した化学進化モデルについて説明し，3章でモデルの結果について報告する。4章ではモデルの結果から見えてきた矮小銀河の進化過程について議論し，5章では本研究のまとめと，今後の銀河進化研究の展望について述べる。

2. 星生成史に基づくモデル

銀河ではガスから星が形成され，星は内部で金属を合成し，一生を終える際に金属を含むガスを銀河内に放出する。そしてそのガスから再び星が形成されるというサイクルを繰り返すことで，銀河では化学進化が進んでいく。したがって銀河の星生成史が，化学進化を調べるうえで重要な要素の一つとなるが，先に述べたように矮小銀河では色等級図の観測・解析によって，星生成史が推定されている。そこで私たちは，色等級図から推定された星生成史に従って化学進化を計算し，矮小銀河で観測された金属量分布を再現する新しいモデルを構築した。

化学進化モデルの具体的な計算に当たっては，次のような仮定を用いている；(1) ガス質量は星

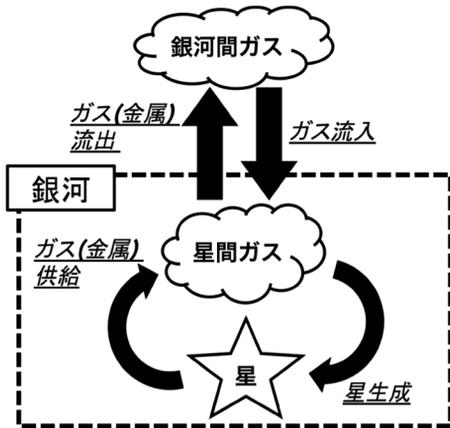


図1 銀河の化学進化の概念図。銀河内のガス（星間ガス）から星が生成され、星の内部で合成された金属は星間ガスへ放出される。また銀河からはガスとともに金属が流出し、かつ銀河の外からガスが銀河内へ流入する。

生成率に比例する、(2) 星は質量によって異なる寿命をもち、死ぬ際に放出する金属量も異なる、(3) 重い星（太陽質量の10倍以上）は死ぬときに超新星爆発を起こし、その数に比例して銀河からはガスが抜けていく、(4) 超新星にはIa型とII型の2種類が存在し、Ia型はII型よりも遅れて発生し始める（II型超新星は重い星が死ぬときに起こす超新星爆発であるのに対し、Ia型超新星は白色矮星に質量が降着して起こる超新星爆発である。白色矮星は、重い星よりも寿命の長い星が進化した姿であるため、Ia型超新星が発生し始めるには時間がかかる。）、(5) 銀河の外からは金属を含まないガスが流入する。これらは、銀河の化学進化の研究ではよく用いられている仮定である^{4), 6), 7)}。しかし私たちの研究では、観測によって推定された星生成史をあらかじめ化学進化モデルに取り入れている点で、大きな特色の一つとなっている。

化学進化モデルに星生成史といくつかのモデルパラメータを与えると、計算によって銀河の金属量分布が得られる。今回はモデルのフリーパラメータとして、(a) 単位ガス質量当たりの星生成

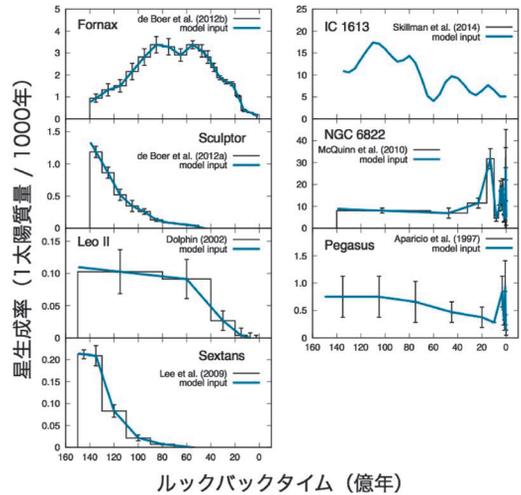


図2 各矮小銀河の星生成史。横軸はルックバックタイムであり、現在を0にとっている。ヒストグラムおよび実線は過去の研究^{8) -14)}による星生成史を示し、点線は本モデルで計算に用いた外挿値である。矮小銀河ごとで星生成史は大きく異なり、100億年以上前から星生成している矮小銀河もある。

率、(b) 超新星1回当たりのガス流出量、(c) Ia型超新星が発生し始めるまでの時間（最小遅延時間）、の三つを設定した。これらのフリーパラメータを変化させながら、モデルと実際に観測された金属量分布とを比較し、観測データを最もよく説明できる最適モデルを探した。Ia型超新星の最小遅延時間については、1億年と5億年の場合でそれぞれ計算を行った。過去の研究では、最小遅延時間を1億年程度と仮定して計算しているが、今回は最小遅延時間の違いによる化学進化への影響を調べるため、より長い5億年の場合についても計算した。最適モデルを探す際には、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて、モデルのフリーパラメータを変化させた。マルコフ連鎖モンテカルロ法は、パラメータ空間において最適モデルを調べるための方法の一つで、パラメータ空間全体を調べるよりも短時間で効率的に探せるという長所がある。

本研究で化学進化を調べた矮小銀河は全部で7

天体 (Fornax, Sculptor, Leo II, Sextans, IC 1613, NGC 6822, Pegasus) である. 図2に, 各矮小銀河で推定された星生成史を示す. 矮小銀河によって, さまざまな星生成史をもっていることがわかる. 本研究では, これらの星生成史を用いて各矮小銀河の化学進化を計算した.

3. モデルの結果

私たちは, 色等級図と金属量分布を同時に説明することを目的として, 色等級図から推定された星生成史に従って化学進化を計算するモデルを構築した. ここではわれわれのモデルから得られた結果について述べていく.

3.1 金属量分布の再現

図3に, 各矮小銀河で観測された金属量分布と, 私たちのモデルによる再現結果を示す. 横軸に金属量 ($[Fe/H]^*$), 縦軸に星の数を示しており, 横軸の数字が大きいかほど星の金属量は大きい. 図のヒストグラムは, 各矮小銀河において観測された星の個数分布を示しており, 曲線は化学進化モデルによるフィッティング結果を示している. この図から, 今回扱った矮小銀河に対して金属量分布を再現できており, 特に分布のピークと広がりをよく再現できていることが見て取れる. ただし NGC 6822 の金属量分布についてはモデルによる再現性が悪くなっており, モデルは金属量の低い星 ($[Fe/H] \sim -1.5$) の数を過小評価しているのに対し, 金属量の高い星 ($[Fe/H] \sim -0.6$) の数を過大評価してしまっている. これは私たちのモデルでは, NGC 6822 において実際よりも短時間で金属量が増えること見積もっていることが原因と考えられ, 解消するためにはモデルの改良が必要である.

NGC 6822 以外の矮小銀河については, 観測された金属量分布を再現することができた. これら

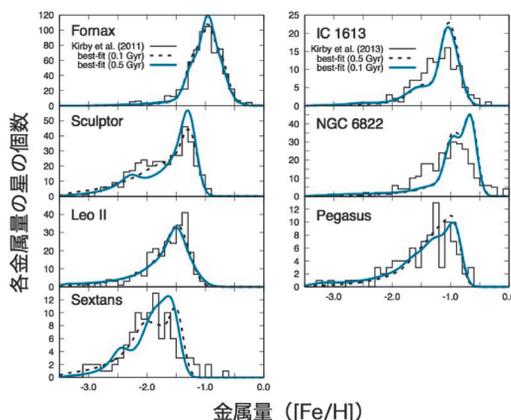


図3 各矮小銀河で観測された金属量分布 (ヒストグラム^{3), 15}) と, モデルを用いて再現した結果 (曲線). モデル曲線の違いは Ia 型超新星の最小遅延時間の違いを表し, それぞれ 10 億年 (0.1 Gyr) と 50 億年 (0.5 Gyr) で計算した.

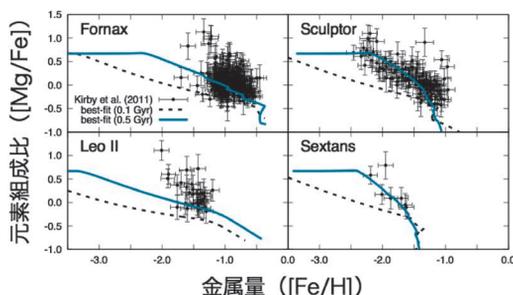


図4 各矮小銀河で観測された星の元素組成 (黒点³) と, モデルの結果 (曲線) を比較した図. モデル曲線の意味は図3と同じである.

のモデルは, 色等級図から推定された星生成史にしたがって計算されているため, 私たちのモデルは色等級図と金属量分布を同時に説明できる化学進化を, 各矮小銀河に対して見つけたと言える. 次に, 金属量分布以外のモデル結果からわかったことについて述べていく.

3.2 Ia 型超新星の最小遅延時間

図4は, 四つの矮小銀河で測定された星の元素組成比と, モデルの計算結果を示している. 横軸

*1 $[Fe/H]$ は, 鉄原子 (Fe) と水素原子 (H) の個数比が, 太陽の値に比べて何倍であるかを, 対数で表したものである.

は星の金属量、縦軸は星に含まれるマグネシウム (Mg) と鉄 (Fe) の個数比を表している。モデルによる2種類の曲線は図3と同じ条件で計算されているが、図3では両者の違いは小さかったのに対し、図4では大きく異なっていることが見て取れる。二つのモデル曲線の違いは、Ia型超新星の最小遅延時間の違いを反映している。Ia型超新星はII型超新星より遅れて発生し始めるのに加えて、放出する鉄の量もII型超新星よりずっと多い。そのため、Ia型超新星が発生し始めると鉄の比率が大きくなり、 $[Fe/H]$ が大きくなるに従って $[Mg/Fe]$ が小さくなっていく。最小遅延時間が長い場合は、Ia型超新星が発生する前にII型超新星からの金属放出がより長く続くため、金属量 ($[Fe/H]$) がより大きくなってから $[Mg/Fe]$ が小さくなり始め、図4のモデルのような違いが現れる。

図4から、最小遅延時間が1億年のモデルよりも、5億年のモデルのほうが観測データをよく再現していることがわかる。この結果は、最小遅延時間が1億年程度としていた過去の研究とは大きく異なっている。このことについて、4.1節で詳しく議論する。

3.3 矮小銀河には金属がほとんど残っていない

私たちのモデルでは、矮小銀河から流出するガスの質量についても計算を行っている。その結果、モデルでは現在観測されるガスや星の、3-100倍の質量のガスが矮小銀河から流出していることがわかった。またガスの流出に伴って、星が合成した金属のうち80-99%が矮小銀河から流出したこともわかった。

矮小銀河は天の川銀河に比べて金属量が少ないことがこれまでの観測からわかっている。その原因については大きく分けて、金属の流出と、金属が大量のガスで薄められたこと、が考えられている。本研究の結果は二つの原因のうち、合成した金属の大半を捨てたために、矮小銀河は金属量が低いということを示している。このような激しい

表1 モデルから導かれたIa型超新星の最小遅延時間.

矮小銀河	最小遅延時間
Fornax	約8億年
Sculptor	約5億年
Leo II	約9億年
Sextans	約6億年

金属の流出過程が実際に矮小銀河で起こりうるかどうかについて、4.2節で詳しく議論する。

4. 矮小銀河の化学進化

観測から得られた星生成史、金属量分布、元素組成比を同時に解析することで、これまでになく新しい矮小銀河の化学進化の様子が明らかになってきた。ここでは、本研究で得られた結果について、ほかの研究による結果を交えて議論し、矮小銀河の化学進化について考察する。

4.1 矮小銀河におけるIa型超新星の影響

3.2節で見たように、矮小銀河で観測される元素組成比 ($[Mg/Fe]$) を説明するためには、Ia型超新星の最小遅延時間を過去の研究結果 (1億年程度) よりも長くする必要がある。どれだけ長くする必要があるかを調べるため、私たちは金属量分布だけでなく、元素組成比のモデルフィッティングも行って、最小遅延時間を導くことにした。2章で述べた化学進化モデルを用いて、各矮小銀河で観測された金属量分布のほかに、3種類の元素組成比 ($[Mg/Fe]$, $[Si/Fe]$, $[Ca/Fe]$) のフィッティングも同時に行って、最適モデルを探した。その結果、各矮小銀河の金属量分布と元素組成比を説明するために必要なIa型超新星の最小遅延時間は、表1のようになった。いずれの矮小銀河でも、1億年より長い時間が必要であることがわかる。

Ia型超新星は、太陽質量の約8倍以下の星が進化して白色矮星となり、何らかの理由で白色矮星が質量を獲得したことで爆発する現象である。白色矮星になるまでの時間は最短で3,000万年程度であるため、1億年程度経てば相当数のIa型超新

星が発生していると期待できる。実際に遠方銀河の観測において、1億年程度でIa型超新星が発生していることが報告されている^{16), 17)}。

しかし本研究の結果(表1)は、矮小銀河で星生成が始まっても5億年程度は、Ia型超新星が発生しない、あるいは発生しても超新星のガスが星生成に使われない、ということを示している。この矛盾を説明するシナリオの一つとして、銀河の金属量の違いが挙げられる。Ia型超新星を観測した遠方の銀河の金属量は、矮小銀河の金属量よりもずっと大きい。そして理論的な研究では、金属量が低い環境ではIa型超新星が発生するまでの時間が長くなるということが言われている¹⁸⁾。つまり矮小銀河は金属量が低いために、Ia型超新星の発生に5億年以上の時間が必要であったと考えられる。しかし一方で、金属量が低い銀河ほどIa型超新星が早い時間で発生しているという観測結果も報告されており¹⁹⁾、金属量が低い環境下におけるIa型超新星の振る舞いについてはまだよくわかっていない。

Ia型超新星は銀河に鉄を大量に供給し、そして元素組成比を変えてしまうほど、銀河の化学進化に大きな影響を与える存在である。しかしその発生の頻度や最小遅延時間について、特に化学進化初期のような金属量が低い環境においては、明らかでないところが多い。そのため矮小銀河の化学進化を詳しく研究することで、金属量が低い環境下においてIa型超新星がどのように発生するのか、調べていくことができる。

4.2 矮小銀河における金属の流出過程

本研究の結果は、矮小銀河から多量のガスが流出し、ほとんどの金属が失われたことを示している。矮小銀河のように軽い銀河でガスが流出しやすいという結果は、十分に期待できることである。質量の小さな銀河では重力が弱いために、超新星爆発などのエネルギーに抗って物質を銀河内にとどめておくことは難しいからである。実際に、軽い銀河ほど金属量が低いという性質が、こ

れまでの観測によって確認されている^{15), 20)}。では本研究の結果のように、ほとんどのガスを失うような激しいガス流出が実際に矮小銀河で起きているのだろうか。

矮小銀河におけるガス流出を観測的に調べる研究は多く行われているが、実際にどれくらいのガスが流出しているか測定できた例は多くない。流出するガス質量を推定した観測結果を見ても、本研究が示すようなほとんどのガスを捨てるような激しいものではなく、もっと小規模なガス流出である²¹⁾。このような観測から、矮小銀河ではそこまで激しいガスの流出は起きていないように思われる。つまり、矮小銀河で観測された金属量を説明するためには激しいガス流出が必要であるが、そのように激しいガス流出は実際の矮小銀河で観測されていないということになる。では矮小銀河では、どのようにして金属が流出しているのだろうか。

矮小銀河の流体シミュレーション計算を行った理論的な研究では、本研究のモデルとは異なったガス流出過程が考えられている。本研究では、超新星から出たガスは銀河内で混ざり合ってから流出すると仮定している。一方で流体シミュレーションでは、矮小銀河のような軽い銀河の場合、超新星から出たガスはエネルギーが大きすぎるために、銀河内で混ざる前に流出するという結果を示している^{22), 23)}。この場合、金属を大量に含んだ超新星ガスは、銀河内で混ざって薄まる前に流出するため、少ないガスの流出で多くの金属が流出することになる。このようなガス流出過程は、流出するガスのほうが銀河内のガスよりも金属量が大きくなるため、“metal-enhanced outflow”と呼ばれている。

このガス流出過程を取り入れて化学進化を計算した場合、流出するガス質量を抑えつつ、観測された金属量を説明することができる。したがって、矮小銀河で観測される星生成史、金属量分布、ガス流出の様子をすべて説明するためには、

metal-enhanced outflowが有力な過程であると言える。しかし、どんなmetal-enhanced outflowでも良いというわけではない。

先述した流体シミュレーションの結果のように、超新星ガスを主に流出させた場合は、超新星ガスに多く含まれている酸素などが、銀河内で少なくなる。一方で窒素などの、超新星爆発を起こさない軽い星から主に放出される元素は銀河内にとどまるため、結果として酸素に対する窒素の割合が銀河内で大きくなる。そのため超新星ガスが主に抜けるようなモデルでは、実際の矮小銀河で観測されている酸素に対する窒素の割合を、過大評価してしまう。

矮小銀河から金属が流出する過程は、矮小銀河の金属量を決定する重要な過程の一つである。また、軽い銀河ほど金属量が低いという観測的な性質が、なぜ生じるのかをひもとく手がかりの一つでもある。矮小銀河の星やガスの観測は進んでおり、より多くの種類の元素について組成を測定したデータが集まるようになってきている。星やガスといったさまざまな状態の元素を詳しく調べていくことで、矮小銀河で起きている金属の流出過程が今後明らかになることが期待される。

5. まとめと今後の展望

本稿では、矮小銀河で観測された星の色等級図と金属量分布を同時に説明することを目的として、色等級図から推定された星生成史を用いて化学進化を計算し、金属量分布を再現する新しい化学進化モデルを紹介した。そして七つの矮小銀河で取得された観測データについて、それぞれ解析した結果を報告した。私たちのモデルから、矮小銀河で観測された星生成史、金属量分布、元素組成比を同時に説明するためには、Ia型超新星の最小遅延時間は5-9億年程度であり、また銀河内の金属の80-99%を捨てる必要があることがわかった。

従来の研究では、Ia型超新星の最小遅延時間は

1億年程度と見積もられていたが、本研究ではそれより有意に長い時間が必要であることがわかった。Ia型超新星は銀河に大量に鉄を放出するため、銀河の化学進化に大きな影響を与える重要な現象である。その発生時期がどのように決まっているか調べることは、Ia型超新星そのものの性質を理解するとともに、銀河全般での化学進化を理解することにもつながる、本質的な研究テーマである。矮小銀河は、銀河の中でも特に金属量の低い銀河であり、かつ個々の星を観測することができる銀河でもある。矮小銀河の星の元素組成についてより詳しく観測、解析していくことで、金属量の低い環境におけるIa型超新星の性質を明らかにし、銀河の化学進化をより詳しく理解できるようになるだろう。

また矮小銀河から、どのような過程で80-99%の金属が流出しているのであろうか。軽い銀河ほど金属量が低いことが観測からわかっているため、いずれの銀河でもその質量に応じて金属が流出していることが予想できる。そのような銀河の普遍的な物理過程を調べることは、銀河全般の進化を明らかにするうえで本質的に重要である。さらに、流出した金属はどこへ行ってしまったのだろうか。矮小銀河の周りに希薄なガスとして漂っているか、より広い空間に拡散して宇宙全体の化学進化に寄与していることが予想される。矮小銀河の周りに漂っているであろうガスの金属量については、背景光源を用いた観測によって測定する研究が行われているが、いまだ検出例は報告されていない。矮小銀河からの金属の流出過程と流出した金属の行方について、今後も観測と理論の両面から研究を行っていくことが重要である。

謝辞

本稿の主な内容は、村山卓氏、小林正和氏、谷口義明氏との共同研究および、筆者の博士論文に基づいています。指導教官として研究内容に対し指導、議論していただいた村山卓氏、ならびに

共同研究者として研究内容に対し多くのコメント、議論をしていただいた小林正和氏と谷口義明氏に、深く感謝いたします。また、今回執筆の機会を与えてくださった青木和光氏に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Weisz D., et al., 2014, ApJ 789, 147
- 2) Tolstoy E., et al., 2009, ARA&A 47, 371
- 3) Kirby E., et al., 2010, ApJ 191, 352
- 4) Kirby E., et al., 2011, ApJ 727, 79
- 5) Homma H., et al., 2015, ApJ 799, 230
- 6) Matteucci G., 2012, Chemical Evolution of Galaxies (Springer, Berlin)
- 7) Pagel B., 2009, Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies (Cambridge Univ. Press, Cambridge)
- 8) de Boer T., et al., 2012a, A&A 539, 103
- 9) de Boer T., et al., 2012b, A&A 544, 73
- 10) Dolphin A., 2002, MNRAS 332, 91
- 11) Lee M., et al., 2009, ApJ 703, 692
- 12) Skillman E., et al., 2014, ApJ 786, 44
- 13) McQuinn K., et al., 2010, ApJ 721, 297
- 14) Aparicio A., et al., 1997, AJ 114, 669
- 15) Kirby E., et al., 2013, ApJ 779, 102
- 16) Maoz D., et al., 2010, ApJ 722, 1879
- 17) Totani T., et al., 2008, PASJ 60, 1327
- 18) Kobayashi C., Nomoto K., 2009, ApJ 707, 1466
- 19) Kistler M., et al., 2013, ApJ 770, 88
- 20) Tremonti C., et al., 2004, ApJ 613, 898
- 21) Martin C., et al., 2002, ApJ 574, 663
- 22) Mac Low M., Ferrara A., 1999, ApJ 513, 142
- 23) Recchi S., Hensler G., 2013, A&A 551, 41

The Chemical Evolution of Dwarf Galaxies Estimated from Both Stellar Photometric and Spectroscopic Observations

Hidetomo HOMMA

National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: The recent photometric and spectroscopic observations reveal the stellar color-magnitude diagrams and metallicities of the dwarf galaxies in the Local Group. However, the theoretical scenario for galaxy evolution that reproduces both the observed color-magnitude diagram and metallicities of the dwarf galaxies simultaneously has not established. Therefore, we construct a new chemical evolution model to reproduce the observed data of the dwarf galaxies. We find that our model reproduce both the star formation histories that are estimated from the color-magnitude diagrams and the metallicity distribution functions of the dwarf galaxies simultaneously. Our results show that an onset time of Type-Ia supernovae is much longer than that suggested in previous studies to reproduce the observed $[\alpha/\text{Fe}]$ - $[\text{Fe}/\text{H}]$ relation of the dwarf galaxies. Moreover, we find that a large fraction of metals (i.e., 80–99%) produced in the system is expelled from the dwarf galaxy. We here introduce our model and present the chemical evolution of the dwarf galaxies.