

# 論文審査の結果の要旨

氏名 服部公平

本論文は、銀河系ハローに属する星の運動情報と金属量の観測データを解析することにより、銀河系形成史に関する新たな知見を得ることを目的としている。

本論文は、4章からなる。第1章は、序章であり、銀河形成や銀河系構造のレビュー、銀河系を研究する意義等が記述されている。特に、本論文の主題となる銀河系ハローに関して、ハロー星は古くから存在し、さらに無衝突系と近似できるため、現在のハロー星の軌道は、銀河系形成時期の軌道情報を反映しており、ハロー星の運動情報が銀河形成史の重要な情報を与えることが述べられている。さらに、ハローの構造は運動学的特徴や金属量が異なる2成分から成り立っているらしいと近傍の観測データからは示唆されていること等がレビューされている。そして本論文で取り扱う2つの具体的テーマについての研究目的が記述されている。

第2章は、主系列星への金属降着の検証についての解析結果とその結果に伴う従来の研究結果への影響が記述されている。従来、ハロー星の運動情報と金属量をもとに銀河系形成史を解析する際に用いている仮定の1つとして、ハロー星の現在の金属量（ここでは、特に鉄の存在量を扱う）は、それらが形成された時点での progenitor 系（現在の銀河系ハローを構成するもととなったと考えられる形成初期に存在していたサブシステム）のガスの元素組成を反映している、という仮定がある。つまり、ハロー星の表面の鉄と水素の組成比（組成比の太陽との比の対数値を  $[\text{Fe}/\text{H}]$  と定義する）については、時間的に変化しないと従来は考えられている。しかし、この仮定は完全に検証されておらず、鉄が星の表面へ降着し、 $[\text{Fe}/\text{H}]$  が変化している可能性がある。そこで、本論文ではこの仮定の検証のために既存の新しい観測データに基づき解析を行った。具体的には、寿命が宇宙年齢程度かそれより長く同じような力学進化をしているはずの G 型および K 型主系列星を用いる。上記仮定が正しければ、力学的特徴とともに、同じ progenitor 系の元素組成を反映して  $[\text{Fe}/\text{H}]$  に関しても同じ特徴をもつはずである。そこで、これらの星の銀河系中心まわりの回転速度の大きさと星表面の  $[\text{Fe}/\text{H}]$  との相関を比べ、G 型と K 型で違いがあるかどうかを比較した。もし仮定が正しければ相関に違いはないと推測される。なお、観測データは SDSS(Sloan Digital Sky Survey)の DR8 を基にした。解析の結果、ある回転速度に対して G 型の  $[\text{Fe}/\text{H}]$  は、K 型のそれよりも有意に大きいことが分かった。この傾向は、銀河面に垂直な方向に沿ってより高い距離まで軌道が伸びている星の場合に顕著であることも示された。なお、この傾向は、観測誤差には影響されていないことが模擬カタログを使った統計的な検証によって確認されている。

この解析結果は、より濃度の高い金属を含むガスの降着によって同じような金属量濃度増加の効果を受けているにも関わらず、K 型星は星表面へ降着してきた金属が表面对流層内での対流によって混ぜられて薄められるため増加効果が弱まる。一方、表面对流層が浅く濃度を薄める効果が弱い G 型星の方は金属量濃度増加の効果をより受けることで説明できると結論されている。この結論が正しいとすると、

従来の仮定は正しくなく、星の初期の金属分布の見直しが必要であること、また現在、第二世代星（種族 II）と考えている星が第一世代星（種族 III）の可能性がある等の影響を与える結果であることが記述されている。

第 3 章は、遠方ハローの水平分枝（Blue Horizontal-Branch(BHB)）星の運動とその〔Fe/H〕への依存性に関する解析結果、さらにそれに伴う銀河系形成史への新たな示唆が記述されている。固有運動が得られておらず、視線速度のみが測られている遠方の BHB 星に対して、力学モデルに頼らず、ハローが球対称であるという仮定や速度分散の特徴等に対するいくつかの仮定だけに基づいて統計処理をすることによって平均回転速度や速度分散の空間分布を得るという工夫を行っている。結果として、金属量が少ない場合の方が多い場合に比べて（境界は〔Fe/H〕 $\sim -2$ ）、平均回転速度が、銀河系中心からの距離にあまり関わらず、小さくなっていることが示された。さらに、金属量が少ない星は、離心率が小さい楕円軌道を取る場合が多く、逆に金属量が多い場合は、離心率が大きい軌道を取る場合が多いことが新たに分かった。従来、ハロー星は金属量にかかわらず動径方向の運動が卓越した離心率の大きい軌道が多いと考えられていた。この結果は、金属量の小さい星が生まれた progenitor 系がガス成分の多い系であれば物理的説明が可能であろうと推察されている。以上、本研究によって、ハローには 2 つの成分があることが遠方の観測データでも確認され、ガス成分が多い progenitor 系の存在が示唆される等、銀河系形成史に関して得られた知見が記されている。

第 4 章は、結果のまとめ、および今後の研究の展望が記述されている。

以上の結果は、銀河系ハローの星々の運動情報および金属量をもとに銀河系形成史に対して新しい知見を与えるものである。特に、金属降着の実証として G 型および K 型主系列星の回転速度と〔Fe/H〕の相関を用いるという新しい着眼点による解析手法とこの 2 つの型の星が違う相関を持つことを明らかにした結果は高く評価できる。さらに、BHB 星の 3 次元的な運動情報を力学モデルに依らずに視線速度情報のみから推測する方法を工夫し、運動情報と金属量の関係からハローの 2 成分構造を導き出していることも評価に値する。以上より、銀河系形成史の研究に対して重要な結果を得ていると評価する。

なお、本論文第 2 章と第 3 章の一部は、吉井讓氏、Timothy C. Beers 氏、Daniela Carollo 氏、Young Sun Lee 氏との共同研究であるが、論文提出者が主体的にデータ解析や科学的成果の導出を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。