

# 論文審査の結果の要旨

氏名 飯塚 亮

銀河団の広大な空間に、X線を放射する大量の高温ガス（銀河団プラズマ）が閉じ込められ、星をしのぐ質量を担っているという発見は、X線天文学がもたらした大きな驚きであった。さらに驚くべきことに、銀河団プラズマは鉄などの重元素を大量に含んでいる。重元素は星で合成され、まずメンバー銀河の星間空間に、ついで銀河間空間に運ばれたと考えられるが、銀河団プラズマの中に含まれる重元素の総質量は、星の内部に存在する重元素の総量に匹敵する。この大量の重元素がいかにして星から、13桁も大きなスケールの銀河間空間に輸送されたかは、謎のままである。

この謎を説明する仮説の1つは、「銀河団プラズマ中をメンバー銀河が運動する際、プラズマの動圧により銀河の星間空間から重元素に富むガスが剥ぎ取られた」とするものである。申請者はこの仮説を検証するため、アメリカのX線天文衛星チャンドラの大量の公開データを用いて観測的な研究を進めた。第1章と第2章では、こうした研究の背景が論じられ、第3章では、用いたチャンドラ衛星の搭載装置が記述されている。第4章では、公開データの中から対象とすべき銀河団や銀河を選別するさいの基準や、選別の結果、また基礎的なデータ解析の手続きなどが述べられている。

第5章では研究の第1段階として、おとめ座銀河団に属する渦巻き銀河 NGC 4388 に焦点が当てられた。申請者はX線画像データの解析により、銀河自身に付随するX線放射ガスが、北東方向に30キロパーセクにまで延伸した構造をもつこと、また逆に南西方向ではX線の表面輝度が急峻な勾配をもつことを発見した。延伸部のガス質量は太陽の $10^8$ 倍に達し、その温度は0.5 keVで、おとめ座銀河団のプラズマの温度（約2 keV）より低温である。したがって NGC 4388 は銀河団プラズマ中を南西方向に運動しており、その運動に伴い銀河団プラズマから動圧を受けるため、運動方向では銀河ガスが圧縮されるとともに、反対方向では重元素に富む銀河ガスが剥ぎとられ、尾を引いた延伸構造を作るものと解釈できる。

研究の第2段階として、申請者は第6章では、おとめ座銀河団に属する27個の銀河のX線公開データを解析した。その結果、NGC 4388以外の9個の銀河からも、同様に延伸と圧縮を伴うX線の構造を発見した。したがってメンバー銀河が銀河団プラズマ中を運動するさい、その動圧により銀河からガスが剥ぎ取られる現象は、かなり普遍的に起きている可能性が示された。同様な現象は、同じくチャンドラの公開データを用いて諸外国の研究者により、散発的に報告され始めてはいるものの、申請者のように多数の銀河を系統的に研究した結果は、初めてである。

以上の結果をより一般化するため、申請者は第7章では研究の第3段階として、近

傍にある 12 個の銀河団を選び、それらに属する約 200 個のメンバー銀河の X 線画像をサーベイし、銀河自身に付随するディフューズ X 線が明瞭に検出されている 25 個の銀河を選んだ。それら 25 天体に対し、銀河に付随する X 線放射の光度、その空間的な広がり、および X 線放射を担う銀河ガスの質量を見積もった結果、銀河団プラズマに起因する環境の外圧が高いほど、銀河自身の X 線放射ガスは、広がりも質量も小さいことを見出した。これは第 5 章と第 6 章の結果を考えると、銀河団プラズマから受ける動圧が高いほど、銀河ガスがより圧縮されるとともに、より強く剥ぎ取りを受ける結果として説明できる。こうした環境効果を、銀河ガスの質量について導いた研究は、やはり初めてである。

第 8 章では以上の観測結果を踏まえ、重元素、とくに鉄の輸送問題が議論される。第 7 章の環境効果から、外圧が高くなるほど銀河自身のガスが減少し、従ってそこに含まれる鉄の質量も減るので、この目減り分が動圧による剥ぎ取り効果の結果であると考えられる。申請者は、おとめ座銀河団に属する約 2000 個のメンバー銀河に対し、この目減り分を推定したところ、それらの総計は、おとめ座銀河団のプラズマ中に含まれる鉄の数十パーセントに達することを見出した。これは動圧による剥ぎ取りが、重元素輸送の重要な機構の 1 つであることを検証した結果として評価できる。残りの鉄は動圧によらない過程、たとえば銀河風などで輸送されたと考えられる。

以上のように申請者は、星で作られた重元素が、銀河間空間へ輸送される過程について新しい知見を導き、銀河間に存在する大量の重元素の謎に、解決の糸口を示した。よって本研究は博士（理学）の学位を授与するに値することを、審査員の全員一致により確認した。本研究の一部は、國枝秀世氏および前田良知氏との共同研究であるが、その中で申請者は、データ解析や結果の解釈などにおいて主導的役割を果たしており、共同研究者からの同意承諾書も完備している。