

氏 名	ふじ 藤 田 ゆたか 裕
学位(専攻分野)	博士 (人間・環境学)
学 位 記 番 号	人 博 第 11 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	人 間・環 境 学 研 究 科 人 間・環 境 学 専 攻
学位論文題目	Multiphase Chemical Evolution in Elliptical Galaxies 楕円銀河における多相化学進化
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 田 哲 教 授 小 玉 英 雄 教 授 植 松 恒 夫 助教授 阪 上 雅 昭

論 文 内 容 の 要 旨

観測機器の性能が不十分なため、長年に亘って楕円銀河の X 線ガスの重元素組成量は不明であったが、近年 X 線天文衛星 ASCA によって、楕円銀河の X 線ガスの重元素組成量が星の重元素組成量に比べて非常に低いことが判明した。これは、今までの化学進化モデル(重元素量の進化モデル)の予想とは全く異なる結果である。今までの化学進化モデルでは、簡単化のために、X 線ガスは一様であり、また星から供給されるとき瞬時に周囲のガスと混合したと仮定しているため、両者は同じか、超新星からの重元素放出を考慮すれば、X 線ガスの重元素組成量の方が多くなると予測していた。

一方で、X 線天文衛星 ROSAT の観測は、この矛盾を解明する手がかりを与えた。ROSAT の観測によると、楕円銀河の X 線ガスは非一様であり、表面輝度や温度分布にむらが見られる。また、Mathews (1990) は、理論的に評価した結果、星から供給されたガスは周囲のガスと余り混合しないことを示した。これらの研究結果は、上で述べた今までの化学進化モデルの仮定とは相反するものである。

そこで、本学位論文では、星から供給されたガスは周囲のガスとは混合しないと仮定して、楕円銀河の化学進化モデルを構成した。このモデルでは、星から供給されるガスとして、中程度の質量の星からの mass-loss ガスと、I 型超新星の爆発直後に形成される超新星残骸を考えた。そして、この星から供給されたガス成分は、互いに圧力を及ぼし合いながら別々に進化すると仮定する。銀河が力学平衡に達する時間は銀河の年齢に比べて十分短いので、各ガス成分は静水圧平衡にあると仮定する。この制限の下に、各ガス成分についてエネルギー方程式を解いた。その結果、密度や重元素組成量が大い「重元素組成量の大きい mass-loss ガス成分」と「超新星残骸の外側のシェル部分」は、冷却時間が短いので他の成分より早く冷え、X 線を放出する温度以下になり、X 線では観測出来なくなる(選択的冷却)。従って、温度が高いままでは「重元素組成量が小さい mass-loss ガス成分」のみとなり、X 線で観測される平均の重元素組成量は、選択的冷却を考えない今までの化学進化モデルの予想より小さくなった。この傾向は、

特に mass-loss ガスの重元素組成量分布が幅広いときに、顕著になった。更に、超新星残骸の外側のシェル部分は密度や重元素組成量が大きいのので良く冷え、元々持っていた熱エネルギー（超新星が爆発時に放出したエネルギーの一部と、取り込まれた周囲のガスの熱エネルギーの和）の大部分は、周りのガスに与えられることなく、X線として放出されてしまうことが示された。シェル部分が放射するエネルギーは超新星が爆発時に放出したエネルギーに匹敵する。従って、超新星は爆発時にエネルギーを放出するものの、引き続いてシェル部分がそれに匹敵するエネルギーをX線として宇宙空間に放射するため、正味に超新星が周囲のガスに与えるエネルギーは小さく、結果的に超新星は周囲のガスを有効に加熱出来ないことが分かった。つまり、超新星が銀河の中で多数爆発をしても、必ずしも銀河全体のガスは膨張をしない。これは、今までの研究結果とは全く異なる新しい結果である。

実際の観測では、データ解析にいろいろな複雑な手順を踏むので、このモデルの予想と観測を厳密に比べるには、観測と同じ手順を踏んだシミュレーションが必要である。そこで、このモデル銀河が ASCA でどのように観測されるかのシミュレーションを行って、観測結果との比較を遂行した。その結果、実際の観測結果と一致する傾向が確認された。

なお、本論文で重要となる超新星残骸の進化についての研究結果を、参考論文として添付した。この研究によって、楕円銀河での超新星残骸の進化は、我々の銀河系のような渦巻銀河での超新星残骸の進化と大きく異なっており、超新星残骸の膨脹は、進化の早い段階から大きな減速を受けることが示された。これは、楕円銀河では環境の圧力が渦巻銀河に比べて高いためである。その結果、楕円銀河では、渦巻銀河に比べて超新星残骸の大きさは小さくなる。また、星間物質に非一様性があれば、超新星から放出された金属成分は遠くまで飛ばされる可能性があることを示した。更に、楕円銀河では超新星残骸が重なり合わないことから、超新星から放出された金属は局在化しているはずであることを示した。これは、本論文の仮定を裏付けるものである。

論文審査の結果の要旨

近年 X 線天文衛星 ASCA によって、楕円銀河の X 線ガスの重元素組成量が、星の重元素組成量に比べて非常に低いことが分かった。従来の化学進化モデル（重元素量の進化モデル）では、一様な X 線ガスが星から供給され、瞬時に周囲のガスと混合したと仮定しているので、両者は同じか、超新星からの重元素放出を考慮すれば、X 線ガスの重元素組成量が多くなると予測していた。ASCA の観測結果は、この予想とは全く異なる結果である。

本学位授与申請者は、この矛盾を解明する手がかりとして、次のことに着目した。X 線天文衛星 ROSAT の観測結果によると、楕円銀河の X 線ガスは非一様であり、表面輝度や温度分布にむらが見られた。また、Mathews (1990) が理論的に評価した結果では、星から供給されたガスは周囲のガスと余り混合しないことが示された。これらの研究結果は、上述の化学進化モデルの仮定と相反するものである。

申請者は、本学位論文において、X 線天文衛星 ASCA の観測結果と化学進化モデルの予測との矛盾を解決するため、超新星を含め、星から供給されたガスは周囲のガスと混合しないと仮定して、楕円銀河の化学進化モデルを構成した。特に、二相に限ること無く、多相の化学進化の要素を取り込んだモデルを構

成した点にその特色がある。

「Multiphase Chemical Evolution in Elliptical Galaxies (楕円銀河における多相化学進化)」と題する学位申請論文の第1章では、この研究題目に関わるこれまでの諸研究の成果と問題点に触れ、当該研究の動機付けと目的を述べる。第2章では、モデル構築の基本的仮定を詳述し、X線ガスの重元素組成量の進化を決定する基本方程式を与える。次いで第3章では、いくつかの典型的モデルケースに対してこの方程式を解いてみせる。これらの一般的解析を基礎にして、第4章で、申請者のモデル銀河系のX線スペクトルのシミュレーションを遂行し、その結果を観測データと比較することにより、X線ガスの重元素組成量の観測結果を説明できる可能性を詳細に議論する。第5章で結論が述べられている。なお、本論文の主題と密接に関連し、かつ本論文中で引用されている内容であるところの、超新星残骸の進化を決定する基本方程式を与えること、およびその仮定の詳述、さらに、いくつかの代表的モデルの場合に数値的に方程式を解いて超新星残骸に与える銀河環境の効果について評価すること、そして、これらの一般的解析により超新星から放出された金属成分の進化を議論すること、等の申請者自身のこれまでの研究成果は、参考論文等を含むいくつかの論文として既に公表されている。

申請者が提唱する楕円銀河の化学進化モデルでは、星から供給されたガス成分は互いに圧力を及ぼしながら別々に進化する。「重元素組成量の大きい mass-loss ガス成分」や「超新星残骸の外側のシェル成分」等の、密度や重元素組成量が大きいガス成分は、冷却時間が短いので他の成分より早く冷え、X線を放出する温度以下になり、X線では観測できなくなる（選択的冷却）。従って、温度が高いままでは「重元素組成量の小さい mass-loss ガス成分」のみとなり、X線で観測される平均の重元素組成量は、選択的冷却を考えない従来の化学進化モデルの予想より小さくなる。この傾向は、特に mass-loss ガスの重元素組成量分布が幅広いときに、顕著になる。更に、超新星残骸の外側のシェル部分は、密度や重元素組成量が大きいので良く冷え、元々持っていた熱エネルギー（超新星が爆発時に放出したエネルギーの一部と、取り込まれた周囲のガスの熱エネルギーの和）の大部分は、周りのガスに与えられることなくX線として放射されてしまう。シェル部分が放射するエネルギーは超新星が爆発時に放出したエネルギーに匹敵するので、超新星は爆発時にエネルギーを放出するものの、その大部分はシェル部分からのX線放射として打ち消され、結果的には超新星は周囲のガスを有効に加熱出来ないことが分かった。つまり、超新星が銀河の中で多数爆発をしても、必ずしも銀河全体のガスは膨張しない。これは、今までの研究結果とは全く異なる新しい結果である。

更に、このモデル銀河がASCAでどのように観測されるかを検証するためのシミュレーションを行い、その結果、申請者の主張は実際の観測結果と一致する傾向にあることを示した。これは極めて重要な研究成果である。

よって本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。