

京都大学	博士（理学）	氏名	真喜屋 龍
論文題目	Cosmic-Ray Acceleration in Galaxies and Galaxy Clusters		
（論文内容の要旨） いま我々が目にしている銀河や銀河団、超銀河団といった宇宙の構造が、宇宙初期から現在に至るまでにどのように形成・進化してきたのかを解き明かすことは宇宙物理学のもっとも基本的な課題の一つである。銀河や銀河団は、用いる波長や観測手段によって様々な顔を見せる。そのため、宇宙の構造形成史を正しく理解するためには多波長観測と精細な理論モデルを用いて多様な側面からアプローチすることが非常に重要である。本論文では、銀河や銀河団形成に伴う宇宙線粒子加速と、加速された宇宙線に由来する高エネルギー放射に特に着目し、宇宙論的構造形成史の理論的・観測的検証を行った。 現在の標準的な構造形成理論によれば、いま我々が目にしている宇宙の構造は、まず小スケールの構造が形成され、それらが衝突・合体を繰り返しより大きな構造へと成長することで形成される。特に銀河団や超銀河団スケールの構造形成時には、開放される重力エネルギーが衝撃波を介して宇宙線粒子を相対論的エネルギーにまで加速することが期待される。その高エネルギー粒子と CMB 光子との逆コンプトン散乱によって、X 線からガンマ線の領域で構造形成に伴う非熱的放射が見られる可能性がある。この非熱的放射は構造形成初期の情報を反映しているため、これを観測することで大規模構造形の現場を直接検証することができる。しかしながら、この非熱的放射は銀河団スケールに広がっているため表面輝度が低く、また通常の熱的成分に比べて急速に冷えてしまうことが予想されるためその観測は困難を極める。実際に、現在に至るまでこの大規模構造形成に由来する非熱的放射を確実に検出した例は存在しない。我々は今回、二つの銀河団 Abell 1555 と Abell 1558 を含む超銀河団領域を X 線衛星すざくを用いて観測し、大規模構造形成に伴う非熱的放射の探査を行った。この領域では二つの銀河団を繋ぐフィラメント状の構造が見つかっており、現在まさに大規模構造形成が進行している可能性があり非常に興味深い。 観測の結果、まず Abell 1555 と Abell 1558 の X 線での初検出に成功した。我々はこの二つの銀河団を詳細に解析し、質量・温度・光度といった種々の物理量を導出した。さらに、Abell 1555 のスペクトルを詳細に解析した結果、通常の熱的放射成分に加えて非熱的放射成分の存在を考えた場合にスペクトルフィットの結果が有意に改善することを見出した。この結果は大規模構造形成に由来する非熱的放射が存在することを示唆するものである。しかしそれ以外にも、銀河団近傍の活動銀河核からの放射を見ている可能性なども棄却できないため構造形成に由来する非熱的放射を確実に検出したとは言えないものの、今後のより詳細な観測の必要性を示唆する興味深い結果を得られたと言える。 また銀河スケールでは、超新星爆発によって加速された宇宙線粒子が銀河内を伝播する過程で、星間ガスや輻射場、磁場と相互作用しガンマ線を放射することが知られている。本研究では、星形成銀河からのガンマ線放射が宇宙ガンマ線背景放射にどの程度寄与するのかを詳細に計算した。宇宙ガンマ線背景放射とは、天球面上で等方的			

に観測されるガンマ線放射である。その起源としては活動銀河核や星形成銀河、さらには銀河団やダークマター対消滅からのガンマ線放射の重ねあわせと考えられているが、未だ完全には理解されておらず、宇宙物理学上の重要問題となっている。この起源を詳細に理解することは、銀河や活動銀河核の進化形成史、さらには背景放射に埋もれた未知の天体や新しい物理に迫る上で非常に重要である。近年、Fermi 衛星の活躍により、活動銀河核は非常に暗いものまで分解され宇宙ガンマ線背景放射への寄与も観測から詳細に見積もることができるようになってきている。一方で星形成銀河に関しては、最近になってようやくガンマ線領域で観測できるようになってきたところで、その宇宙ガンマ線背景放射への寄与もいままで詳しい計算がなされてこなかった。そこで我々は、現実的な宇宙論的銀河形成モデルを用いて星形成銀河の宇宙ガンマ線背景放射への寄与を計算する仕事を行った。星形成銀河からのガンマ線放射は、上述の通り超新星残骸で加速された宇宙線粒子と主に星間ガスの相互作用によるものと考えられている。よって、星形成銀河のガンマ線光度はその銀河の星形成率とガス質量に依存すると考えられるが、それらを正確に計算するには宇宙論的な銀河形成史の中で個々の銀河の進化を扱わなくてはならない。これまでのこの分野の研究では、個々の銀河の星形成率やガス質量の進化まで解いたものではなく、非常に大雑把な計算しかなされていなかった。

我々はまず、近傍銀河の最新のガンマ線観測の結果から、星形成銀河のガンマ線光度とその銀河の星形成率およびガス質量との間にある相関関係を導出した。さらに、我々のグループが持つ最新の宇宙論的銀河形成モデル (Nagashima & Yoshii 2004) を用いて擬似的な銀河カタログを作成し、そこから上述の相関関係を用いて星形成銀河のガンマ線光度関数を構築することで、星形成銀河の宇宙ガンマ線背景放射への寄与を見積もった。このように個々の銀河の進化史まで考慮した計算は我々のモデルのみである。結果として、星形成銀河の宇宙ガンマ線背景放射への寄与は 10% 程度と見積もられた。また我々のモデルは、宇宙ガンマ線背景放射のスペクトルや、ガンマ線で観測されうる星形成銀河の個数なども実際の観測結果とよく一致した。

宇宙ガンマ線背景放射への活動銀河核からの寄与は 60 % 程度と見積もられており、我々の結果と合わせるとガンマ線背景放射全体の 70% 程度を既知の天体で自然に説明することができたと言える。残りの 30% に関しては銀河団やダークマター対消滅などで説明される可能性もあるが、活動銀河核や星形成銀河からの寄与についても理論や観測の不定性がまだ残っており、今後のより詳細な検討が必要である。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、申請者が博士課程在学中に行ってきた二つの研究をまとめたものである。どちらも、銀河スケール以上での宇宙での高エネルギー粒子加速現象に関するものであるが、前半は銀河団での宇宙の構造形成に起因する衝撃波による加速、後半は銀河内での宇宙線生成とそれによる宇宙ガンマ線背景放射への寄与を見積もったものである。

銀河団の研究では、期待された非熱放射を明確に検出するまでには到らなかったものの、超銀河団構造がみられる興味深い領域での初めての深い X 線観測を実現し、実際に幾つかの銀河団から始めて X 線を検出した。さらに、非熱放射成分をいれたほうがスペクトルフィットが有意に良くなる結果が得られ、今後のより高精度な観測に期待を持たせる結果となった。

宇宙ガンマ線背景放射の研究では、フェルミガンマ線観測衛星の打ち上げにより、世界的な注目が高まっている中、星形成銀河の宇宙線起源による成分がどれだけ期待されるかをなるべく高精度に見積もったものである。従来の研究に比べ、格段に現実的で精巧で、種々の銀河観測に良く合っている銀河形成モデルを用いて、ひとつひとつの銀河の特性まで分解した上で計算を行ったという意味で、科学的に重要かつ有用な結果である。

これらの成果は、世界的にも十分な水準にある研究成果と言える。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。また、平成 25 年 1 月 18 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降