

論文審査の結果の要旨

氏名 磯部 直樹

本論文は8章からなり、第1章は宇宙ジェットが、物理学としていかに重要な対象であるか、第2章は、これまでの理論的、観測的な取り組みのまとめ、第3章は本研究に用いた科学衛星と観測装置、第4章は観測のまとめ、第5章は ASCA 衛星による観測および解析の詳細と結果、第6章は Chandra 衛星による観測および解析の詳細と結果についてまとめ、第7章に得られた結果からどのような宇宙物理的な描像が得られるかの議論が、第8章において本論文の結論が述べられている。

宇宙に存在する天体の中心からは、細く絞られたプラズマ流がひじょうに高速で噴出していることがあり、「宇宙ジェット」と呼ばれている。ジェットは、銀河系内の原始星やブラックホール連星から活動銀河中心核まで、様々なスケールで観測されている現象である。しかし、ジェットはそもそもどのようにして駆動されるのか、ジェット中の正電荷は陽子かそれとも陽電子かなどは現代の宇宙物理学において未解決のままとなっている。

電波銀河は、ジェットを持つ活動銀河を横から観測している天体と考えられており、ジェットを直接観測できるため、ジェットの研究に最適な実験室の一つと考えられる。特に、ジェットの終端衝撃波と考えられるホットスポットやその周囲に広大に広がるローブからは、ジェットによって供給された相対論的な電子と磁場による強力なシンクロトロン放射 (SR) が検出されており、これまで電波観測による研究がさかんに行われてきた。しかし、SR 電波の強度は電子のエネルギー密度 (u_e) と磁場のエネルギー密度 (u_m) との積に比例しているため、SR 電波の観測だけではこれらを独立に求めることはできない。

本論文では「あすか」衛星や Chandra 衛星を用いた観測を行い、X線による4つの電波銀河の研究を行った。特に、0.5秒角というかつてない高い角度分解能を持つ Chandra 衛星では、電波銀河 3C 452 に対し 80 ksec というプロポーザル観測を行った。このような長期観測は、異例であり、本論文の大きな特徴ともなっている。

観測した4つの電波銀河のローブから検出した広がったX線のスペクトルは5 keV 以上までのびるハード成分と熱的なプラズマによるソフト成分の和であらわすことができる。ことがわかった。特に、ハード成分のスペクトル指数がSR電波のスペクトル指数と非常に良く一致していることから、このハード成分が宇宙背景放射の光子を逆コンプトン散乱でたたきあげたX線 (IC X線) であると結論した。

これらすべてのローブについて、求められたSR電波とIC X線の強度の比較から u_e と u_m を計算した。その結果、エネルギー等分配則はまったく成立しておらず、多くのローブで u_e は u_m の10倍以上にもなっているという知見が得られた。これは従来の電波観測だ

けを用いた方法では、 u_e を少なくとも数倍は過小評価しており、X線をいなければ正しいエネルギー評価は行なえないことを示唆して極めて重要な結果である。またほとんどすべてのローブで磁場のエネルギー密度は、宇宙背景放射のエネルギー密度よりも小さく、ローブ中の電子は主にIC散乱でエネルギーを放出していることが明らかになった。

ローブに存在する電子や磁場はもともとジェットによって中心核から供給されたと考えられる。本論文では、中心核のX線ルミノシティ L_x とローブの u_e, u_m の関係を調べた。その結果、ローブ全体の体積 V で積分した電子と磁場の全エネルギーは L_x ときれいに相関していることを発見した。この比例関係は、中心核が質量降着によって輝いていると考えれば、ジェットのエネルギー源も中心核への質量降着であることを示した重要な観測事実であると考えられる。

さらに、ローブの電子のエネルギーから推定した L_{kin} を、ブレイザー天体というジェットを正面から観測していると考えられている天体の多波長観測から計算されるジェットのエネルギーと、比較することで、ジェットは電子陽電子対が、主たる構成要素であるという興味深い結果が示唆される。

もっとも質の良いIC X線のデータが得られた3C 452のローブについて、またSR電波とIC X線の分布の比から、磁場の空間分布を計算した。その結果、電子はローブを比較的一様に満たしているのに対して磁場はローブの周辺に向かって強まっていることがわかった。なぜこのようないわば電子と磁場の住み分けが生じるのかは、今後の課題である。

本論文は、相対論的な電子が宇宙マイクロ波背景放射(CMB)のソフト光子を逆コンプトン(IC)散乱することで生成する広がったX線を系統的に観測することで、電子と磁場のエネルギー密度を求め、こうした相対論的な電子のエネルギー収支を求めると共に、中心の活動銀河核との活動性との関係を探ったもので、これまでにない知見を多く含み、博士論文としてふさわしいものである。

なお、本論文は、牧島、田代、金田、伊予本らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、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。