

Energy estimation of cosmic-ray particles at the jet terminal region of microquasar SS433 by radio observation

酒見, はる香

<https://hdl.handle.net/2324/4474928>

出版情報 : 九州大学, 2020, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名	酒見 はる香			
論 文 名	Energy estimation of cosmic-ray particles at the jet terminal region of microquasar SS433 by radio observation (電波観測による SS433 ジェット先端領域の宇宙線粒子エネルギー推定)			
論文調査委員	主 査	九州大学	職名	教授 山本一博
	副 査	九州大学	職名	教授 鈴木 博
	副 査	九州大学	職名	准教授 町田正博
	副 査	国立天文台	職名	准教授 町田真美

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

X線連星は、ブラックホールと超巨星の連星系で、電波からガンマ線まで様々なエネルギーを放射する非常に活動的な天体である。X線連星の中でも、銀河系内に存在し、大きなジェットを持つ天体をマイクロクエーサーと呼ぶ。X線連星のエネルギー放出領域は、数十から数百キロメートルと非常に狭いが、噴出するジェットは 100 パーセクまで伝搬する。つまり、X線連星は、ブラックホールなどの強い重力エネルギーを運動エネルギーや磁気エネルギーに転換して外部に放出する変換機の役割を担っており、乱流の駆動、磁場の供給など、銀河進化に様々な影響を与える。また、近年、マイクロクエーサー SS433 を中心に内包する電波星雲 W50 の複数の領域からガンマ線が検出されるなど、宇宙線粒子の加速現場としても注目を集めている。

宇宙線は 10^7 eV \sim 10^{20} eV のエネルギーを持つ粒子であり、 10^9 eV \sim $10^{15.5}$ eV のエネルギーを持つ宇宙線粒子は、超新星残骸などの銀河系内の衝撃波により加速されると考えられている。また 10^{18} eV 以上の宇宙線は、加速源や加速機構について不明な点が残されているが、銀河系外の高エネルギー天体で加速されると考えられている。しかし、 $10^{15.5}$ eV \sim 10^{18} eV の宇宙線粒子の加速源は現在も特定されていない。このエネルギー帯域の宇宙線粒子加速源として銀河系内 X線連星ジェットが寄与する可能性が指摘されている。ジェット内には多数の衝撃波が形成されるため、理論的にはこれらの衝撃波による加速で、宇宙線粒子を 10^{17} eV まで加速できると示唆されている。

酒見氏は、電波観測の手法を用い X線連星が宇宙線加速に果たす役割を明らかにした。加速される宇宙線が到達しうるエネルギーの最大値を推定するためには、粒子加速を起こす衝撃波の磁場強度と進行速度の情報が必要となる。衝撃波の磁場強度は、衝撃波からのシンクロトロン放射を検出することで推定可能である。また進行速度は、経年解析により衝撃波の移動距離を見積もることで導出することができる。酒見氏は、銀河系内で最も活発なジェット天体の 1 つであるマイクロクエーサー SS433 に着目した。近年、別の研究者によって電波星雲 W50 内にある SS433 ジェットの先端領域で衝撃波(ターミナルショック)と思われる構造が確認されている。酒見氏は、SS433 ジェット先端領域の電波観測データを解析することで、加速宇宙線の最高エネルギーの推定を行なった。

酒見氏は、まず W50 東側領域の SS433 ジェット先端領域の磁場強度の推定のために、オーストラリア電波干渉計 ATCA を用いて観測された偏波観測データ解析を行った。その結果、ターミナル

ショックに沿う揃った磁場が分布していることを明らかにした。また、最先端の磁場解析手法であるファラデーモグラフィをいち早く解析に取り入れ、W50に付随する磁場成分の分離に成功している。これにより、ターミナルショックの磁場強度が $50 \mu\text{G}$ 以上であることを確認した。さらに、ターミナルショックの速度情報を得るために、アメリカ Very Large Telescope (VLT)によるアーカイブデータを解析し、30年以上にわたって経年変化が無い事を明らかにした。これらの解析結果を用いて、ターミナルショックで加速される宇宙線粒子の最高エネルギーが 10^{17}eV となる可能性を観測的に示した。これらの観測的な制限から酒見氏は、W50 東端での宇宙線粒子加速の可能性を検証し、起源が不明な 10^{16-17}eV の宇宙線の発生源として、X 線連星ジェットの終端衝撃波が候補となりうることを示した。

次に酒見氏は、SS433 ジェットによる宇宙線と W50 に付随するガンマ線放射との関係について研究を展開した。ジェット先端部近傍に星間ガスが存在すれば、この星間ガスと宇宙線粒子との相互作用によってガンマ線が放射されというシナリオに基づき、ジェット先端領域でガンマ線を放出しうる中性水素ガス (HI ガス) と、HI ガスが圧縮され作られる高密度な分子雲ガスの探査を行なった。まず SS433 ジェット先端と相関のある HI ガス分布を調べるために、アレシボ天文台で観測された HI ガスサーベイデータの解析を行った。その結果、HI ガスが W50 のシェル状構造に沿うように分布している事を発見し、その空間分布から、W50 と相互作用している可能性が高い HI ガスを同定した。

更に、同領域の分子雲探査を野辺山 45 メートル電波望遠鏡とチリの ASTE 望遠鏡を用いて行い、W50 周辺の中性水素(HI)ガス、分子雲の同定を行い、ジェット先端と形状相関の良い小さな分子雲の存在を多数確認した。これをもとに、W50 からの宇宙線が同定した分子雲、HI 雲に侵入した際、これらの星間ガスからガンマ線が放出されるとすると、その放射強度が 10^{32}erg/s 程度と見積もることができること、さらに現在建設中の次世代 TeV ガンマ線望遠鏡群である CTA により将来検出可能であることを明らかにした。尚、これらの観測は、本研究者が PI となって観測提案を行い、野辺山宇宙電波望遠鏡、ASTE の観測時間を獲得している。

以上の結果、この博士論文では、電波星雲 W50 とその中心に位置するマイクロクエーサーSS433 を対象に、センチ波帯の電波連続波観測、中性水素と一酸化炭素の輝線観測の観測提案作成、観測、解析を行い、W50 自身のエネルギー及び W50 に付随する外環境のエネルギーを推定した。これら観測結果を元に、X 線連星が宇宙線加速とガンマ線放射に果たす役割を明確化し、今後の観測可能性に言及している。これらの成果は、当該分野の観測計画に大きなインパクトを与えるものである。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。