

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)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

X線連星は、ブラックホールや中性子星など高密度な天体と通常の恒星とが重力的に束縛された系である。X線連星の一部の天体では、降着したガスが高密度天体に到達した際にその重力エネルギーを解放し、細く絞られたプラズマガス（宇宙ジェット）を噴出している。X線連星ジェットは光速の数十%程度の速度で進行し、噴出領域のスケールの $10^{11}\sim 10^{12}$ 倍の距離を伝搬して周辺環境に影響を及ぼす。X線連星ジェットに関する重要な現象として、宇宙線粒子加速が挙げられる。宇宙線は $10^7\text{-}10^{20}$ eV のエネルギーを持つ粒子であり、 $10^9\text{-}10^{15.5}$ 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。しかしながら、 $10^{15.5}\text{-}10^{18}$ eV の宇宙線粒子の加速源は現在も特定されていない。我々は、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線連星ジェットに着目している。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（須藤ら 2020; Cooper ら 2020）。そこで X線連星ジェットが $10^{15.5}$ eV 以上まで宇宙線粒子を加速するという観測的証拠を得ることが重要となる。

加速された宇宙線が到達す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。我々は、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、SS433 ジェット周辺からのガンマ線検出が報告された（Sun ら 2019; Li ら 2020）。このガンマ線は、加速された宇宙線が周辺に分布する星間ガス内の水素原子と相互作用することで放出されたと考えられている。この観測により SS433 ジェットで宇宙線粒子加速が起こっていることが直接的に確認された。また SS433 ジェットは、そ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。我々は、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試みた。

まず SS433 ジェット先端領域の磁場強度の推定のために、オーストラリアの電波干渉計 ATCA を用いて観測された偏波観測データ解析を行った（酒見ら 2018a）。その結果、ターミナルショックに沿った磁場が分布していることを明らかにした。また、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。ターミナルショックの速度情報を得るために、アメリカの電波干渉計 VLA による 33 年間の観測データを用いて経年解析を行った。これにより、ターミナルショ

ックの速度上限を光速の 0.023 倍と見積もった (酒見ら投稿中)。以上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^{16} eV となることを明らかにした。これにより我々は、これまで加速源が説明されていなかった宇宙線の起源として、X 線連星ジェットが非常に有力な候補となることを観測的に初めて明らかにした。

SS433 ジェット周辺のガンマ線放射は、ジェット先端領域から離れた領域で観測されている。これは、ジェット先端領域ではない場所で加速された宇宙線粒子と星間ガスとの相互作用によるガンマ線放射である可能性が高い。しかしながら、ジェット先端領域の近傍に星間ガスが存在すれば、その星間ガスからのガンマ線検出が期待される。そこで我々は、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試みた。まず SS433 ジェット先端と関連のある 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 SS433 ジェット先端領域の縁に沿うように分布しており、両者が相互作用している可能性が高いことを明らかにした。また、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 望遠鏡を用いて行ったところ、ジェット先端と形状相関の良い小さな分子雲が多数観測された。これらの星間ガスからガンマ線が放出されるとすると、放射強度を 10^{32} erg s⁻¹ 程度と見積もることができ、現在建設中の次世代 TeV ガンマ線望遠鏡群である CTA により検出可能であることを明らかにした。