名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　岐阜大学 GIFU UNIVERSITY

配布先：文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会、岐阜県政記者クラブ

2026年11月18日

報道機関 各位

分子雲に刻まれたジェット活動の「化石」を多数発見
～新手法でブラックホール起源の強力な宇宙線加速を提案～

【本研究のポイント】

・大型電波望遠鏡アルマ（アルマ望遠鏡）でガンマ線源 HESS J1023−575を高い分解能で観測し、過去のジェット[注1)]活動の足跡である「直線状分子雲」を多数発見した。
・数値計算によって、ジェットが水素ガスに足跡を刻む過程を再現した。分子雲に残るジェット活動の足跡を「宇宙の化石」として調べることは、ブラックホール天体を探す新手法。
・「宇宙の化石」の分析から HESS J1023−575が、銀河系円盤で最も強力な宇宙線加速源の一つである可能性を示した。

【研究概要】

名古屋大学大学院理学研究科の福井 康雄 名誉教授、岐阜大学高等研究院の柘植 紀節 特任助教、同大学大学院自然科学技術研究科の佐野 栄俊 准教授、同大学高等研究院のブヴァナ・ガディケレ・ラジェンドラ研究員らの研究チームは、H.E.S.S.チーム、数値計算チームと共同で、銀河系内のガンマ線源 HESS J1023−575 周辺の分子雲をアルマ望遠鏡で観測しました。その結果、幅約 1.5 光年、長さ約 30～60 光年の細長い分子雲（フィラメント）が多数並ぶ構造を捉えました。フィラメントの間隔はジェットの直径に対応し、その形状は磁気流体シミュレーションで再現された構造ともよく一致します。

研究チームは、ジェットが周囲の水素原子ガスを圧縮して分子雲を形成したと考えています。アルマ望遠鏡の高い分解能によって、ジェット活動が分子雲に残した「宇宙の化石」を初めて捉えた成果です。さらに、H.E.S.S. チームのガンマ線観測と分子雲の分布から宇宙線のエネルギーを見積もった結果、HESS J1023−575 は銀河系円盤で最も強力な宇宙線加速源の一つである可能性が示されました。

本研究は 2026年11月13日午前9時（日本時間）に日本天文学会が発行する天文学分野の国際学術誌 PASJ Letters オンライン版で早期公開（PASJ 12月号掲載予定）されました。

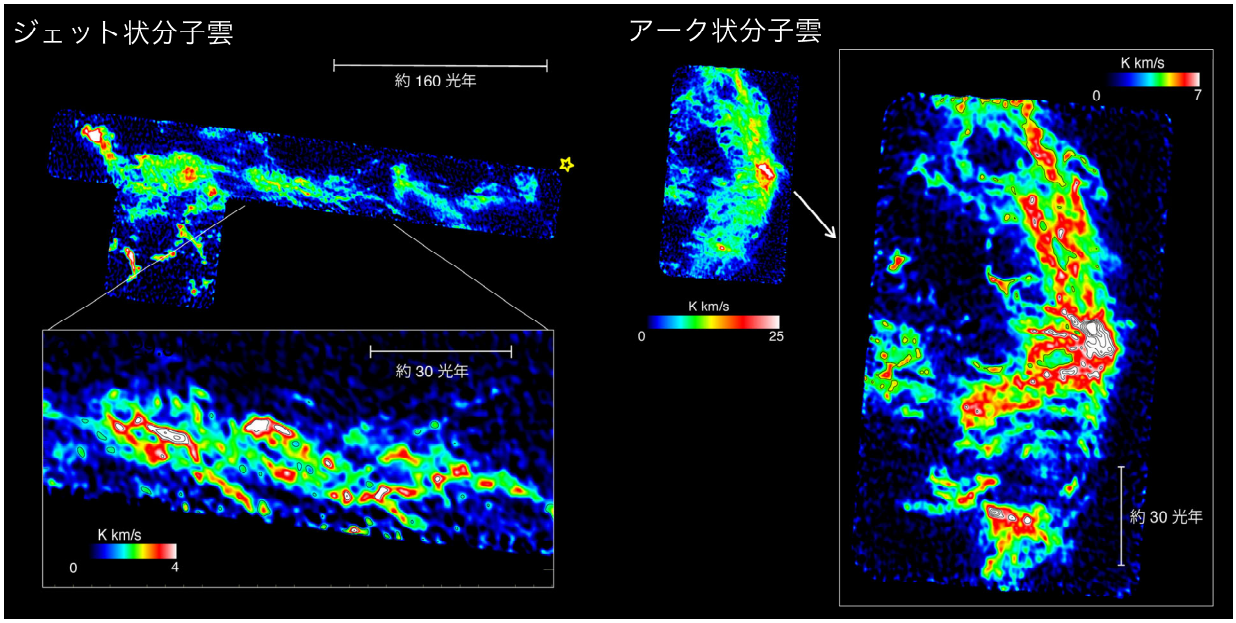

図1. ガンマ線源 HESS J1023−575周辺のジェット状分子雲とアーク状分子雲
ジェット状分子雲とアーク状分子雲の全体像、およびアルマ望遠鏡による拡大図。左下はジェット状分子雲、右はアーク状分子雲の拡大画像。アルマ望遠鏡の観測によって、内部に多数の細長いフィラメントが検出された。これらの構造は、過去のジェット活動が周囲の水素ガスに刻んだ「足跡」と考えられる。

【研究背景】

宇宙線がどのように加速されるのかは、宇宙物理学における最重要課題の一つです。マイクロクェーサー[注2)]は、PeV（ペタ電子ボルト）帯の高エネルギー宇宙線を生み出す有力候補ですが、これまでに見つかった数は約 20 個にとどまり、検出の難しさが研究を進める上での大きな壁となっていました。

福井名誉教授率いる研究チームは、星の材料となる星間分子雲の分布を、名古屋大学がチリで運用する広視野の電波望遠鏡 NANTEN などを使って調べてきました。その中で2009 年、ガンマ線源 HESS J1023−575（以後 HESS J1023と呼ぶ）を挟んで、ジェット状とアーク状の分子雲が直線状に並ぶ特異な構造を発見しました。チームは「この分子雲は高エネルギージェットを持つ天体によって形成されたのではないか」との仮説を立て、それを検証するために 2014～2017年に磁気流体力学（MHD）数値シミュレーションを実行し、ジェットが周囲の原子ガスから分子雲を形成し得ることを確かめました。

さらに、H.E.S.S.望遠鏡による追観測を行って TeV ガンマ線データの感度を向上させ、ジェット状分子雲に沿うガンマ線放射を確認しました。分子雲とガンマ線放射が同じ方向に伸びることは、ジェット活動と高エネルギー現象との関連を示す貴重な手がかりです。さらに MHD シミュレーションが予測する分子雲の微細構造を検証するため、研究チームは2024年以降、アルマ望遠鏡による高分解能観測を実行しました。

【研究成果】

研究チームはアルマ望遠鏡を用いて、HESS J1023 の分子雲全体を従来よりも10倍高い分解能で観測しました。観測には星間一酸化炭素 CO の波長 1.3 mm の電波を用いました。その結果、同分子雲が幅約 1.5 光年、長さ約 30～60 光年の直線状をな

す多数のフィラメントからなることを、初めて捉えました。フィラメントの間隔はジェットの直径に対応する幅を示し、ジェット活動が分子雲に残した「宇宙の化石」を初めて詳しく分解して解明しました。

また、数値計算チームによる磁気流体シミュレーションでは、ジェットが水素原子ガスを圧縮して分子雲を形成し、ジェット幅に対応する構造が形成される過程を詳細に再現しました。ALMA で観測したフィラメントの形状や間隔は、シミュレーションの結果とよく一致しています。

さらに、H.E.S.S. チームとの共同解析で、宇宙線陽子のエネルギーを約 7×10^{48} erg（エルグ）と見積もりました。これは若い超新星残骸の同エネルギーの約 10 倍にあたります。さらに、上のシミュレーションは、ジェットの活動期間が超新星残骸よりも1000 倍以上長い1000 万年程度であることを示します。従来の研究では、超新星残骸が宇宙線加速源として最有力と見られていました。以上の成果によって、HESS J1023 は超新星残骸を大きく上回る銀河系円盤で最も強力な宇宙線加速源である可能性が示されました。

【今後の展開】

今後は、分子雲に刻まれた細長いフィラメントやアーク状の構造を手がかりに、従来の観測では見つけにくかったマイクロクェーサー候補を、銀河系内で広く探査します。ジェットそのものが現在は暗くなっていても、その活動によって形成された分子雲が「宇宙の化石」として残っていれば、過去に活動したブラックホール天体が発見できる可能性があります。NANTEN2などを用いた広い範囲の分子雲観測で候補を探し、ALMA の高分解能観測でフィラメントの幅や間隔、ガスの温度や運動を詳しく調べる計画です。

今後の ALMA 観測では、ジェットが周囲のガスを加熱した痕跡や、ガスの速度の広がりを光年以下のスケールで調べ、観測結果を磁気流体シミュレーションと比較します。これにより、ジェットの直径や強さ、活動期間、分子雲が形成される過程を、より詳しく制約できると期待されます。さらに、H.E.S.S.などのガンマ線観測との連携を進め、マイクロクェーサーが宇宙線をどれほど加速し、銀河系の宇宙線の起源にどの程度寄与するのかを明らかにしていきます。

【用語説明】

注1）ジェット：
天体に周囲から降着するガスの一部が細く絞られて一方向または双方向に噴出するもの。

注2）マイクロクェーサー：
ブラックホールや中性子星が伴星から奪ったガスを飲み込み、その一部を光速に近いジェットとして噴き出す天体。クェーサー（銀河の中心にある超巨大ブラックホールが周囲のガスを飲み込みジェットとして吹き出す天体）との類似性から、そのミニチュア版という意味でマイクロクェーサーと呼ばれる。

【論文情報】

雑誌名：Publications of the Astronomical Society of Japan（PASJ） Letters
論文タイトル：An ALMA view of the jet–arc CO clouds toward the TeV γ-ray source HESS J1023-575 and Westerlund 2: Evidence for the footprints of microquasar jets, the very powerful cosmic ray accelerator in the Galactic disk
著者：福井 康雄（名古屋大学）, 柘植紀節（岐阜大学,名古屋大学,国立天文台）, 佐野 栄俊（岐阜大学,名古屋大学）, Bhuvana Gadikere Rajendra（岐阜大学）, 山田麟（国立天文台, 岐阜大学）, 松元亮治（千葉大学）, 朝比奈雄太（筑波大学）, 井上剛志（甲南大学）, Tim Lukas Holch, Emma de Oña Wilhelmi（Deutsches Elektronen-Synchrotron Standort Zeuthen）
DOI: 10.1093/pasj/psag136