



2017年9月5日

報道関係者各位

慶應義塾大学

天の川銀河で中質量ブラックホール候補の実体を初めて確認

慶應義塾大学工学部物理学科の岡 朋治 教授らの研究チームは、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA: アルマ望遠鏡) を使用して、天の川銀河の中心部分に発見された特異分子雲 CO-0.40-0.22 の詳細な電波観測を行いました。この特異分子雲は、天の川銀河中心核「いて座 A* (エー・スター)」から約 200 光年離れた位置にあり、その異常に広い速度幅から内部に太陽の 10 万倍の質量をもつブラックホールが潜んでいる可能性が指摘されていました。観測の結果、特異分子雲 CO-0.40-0.22 の中心近くに、コンパクトな高密度分子雲と点状電波源 CO-0.40-0.22* (スター) を検出しました。検出された点状電波源は、いて座 A* の 1/500 の明るさを持ち、プラズマまたは星間塵からの熱的放射とは明らかに異なるスペクトルを示しています。この CO-0.40-0.22* の位置に 10 万太陽質量の点状重力源を置いた重力多体シミュレーションを行った結果、周囲のガスの分布と運動が非常に良く再現できることが分かりました。これらのことから点状電波源 CO-0.40-0.22* は、特異分子雲 CO-0.40-0.22 中に存在が示唆されていたブラックホール本体であると考えられます。これは、我々が住むこの天の川銀河において「中質量ブラックホール」候補の実体を確認した初めての例になります。本研究成果は、9 月 4 日発行の英国の科学専門誌『Nature Astronomy』に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- 天の川銀河の中心部に発見された特異分子雲 CO-0.40-0.22 について、アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA: アルマ望遠鏡) を使用した詳細な電波観測を行った。
- 特異分子雲 CO-0.40-0.22 の中心近くに、コンパクトな高密度分子雲と点状電波源 CO-0.40-0.22* を検出した。
- 点状電波源 CO-0.40-0.22* の異常なスペクトルと重力多体シミュレーションの結果から、これがかねてより存在を示唆されていた中質量ブラックホール本体であると結論。

2. 研究背景

天の川銀河を含む多くの銀河の中心には、数百万太陽質量 (注 1) を超える質量をもつ巨大ブラックホールがあると考えられています。しかしながら、これらの中心核巨大ブラックホールの起源は未だ解明されていません。一つの説として、恒星同士の暴走的合体によって形成された「中質量ブラックホール」(注 2) がさらに合体を繰り返し、銀河の中心に巨大なブラックホールを形成するというものがあります。このシナリオを確認するためには、実際にこの中質量ブラックホールの存在を確認する必要があります。そしてこれまでに数多くの中質量ブラックホール候補天体の検出が報告されてきましたが、いずれも確定的なものではありませんでした。

一方で、研究チームは、国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡および国立天文台 ASTE 10m 望遠鏡を用いた観測結果から、天の川銀河の中心領域に 1 つの特異分子雲 CO-0.40-0.22 を発見しました。この CO-0.40-0.22 は毎秒 90 キロメートルもの極めて広い速度幅と、直径 10 光年程度の楕円状の空間構造をしています。一方で、同分子雲方向には明瞭な対応天体が見られず、爆発などの局所的なエネルギー

ギー供給が行われたことは考えられません。これらの観測事実と重力多体シミュレーションの結果から、研究チームは特異分子雲 CO-0.40-0.22 の中心に約 10 万太陽質量の中質量ブラックホールが潜んでいる可能性を指摘しました（2016 年 1 月 15 日 慶應義塾大学プレスリリース）。

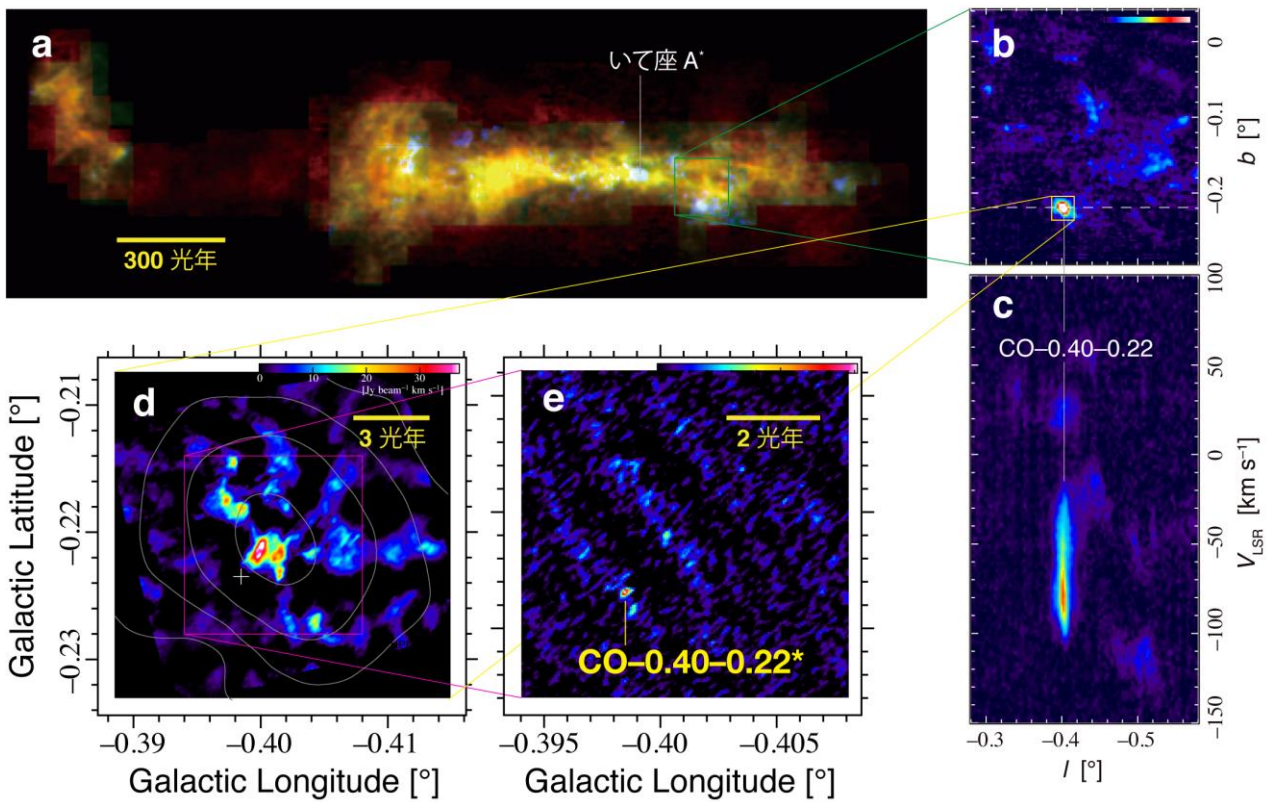


図 1) (a) 国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡および国立天文台 ASTE 10m 望遠鏡で得られた一酸化炭素(CO) 115 GHz/346 GHz 回転スペクトル線強度の広域合成図。(b) ASTE 望遠鏡で得られたシアン化水素 (HCN) 355 GHz 回転スペクトル線の積分強度分布と (c) 銀経-速度分布。(d) アルマ望遠鏡によるシアン化水素(HCN) 266 GHz 回転スペクトル線の積分強度分布と (e) 266 GHz 連続波の強度分布。

3. 研究成果

今回、研究チームは、南米チリに設置されたアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計（ALMA：アルマ望遠鏡;注 3, 4）を使用して、特異分子雲 CO-0.40-0.22 の詳細な電波分光観測を行いました。観測は、一酸化炭素分子およびシアン化水素分子が放つスペクトル線と当該周波数 230/265 GHz 帯の連続波放射について行われました。その結果、CO-0.40-0.22 の中心付近に、1.5 光年程度の大きさをもつコンパクトな高密度分子雲と、それに隣接する点状の連続波電波源 CO-0.40-0.22*を検出しました。検出されたコンパクトな高密度分子雲は、毎秒 100 キロメートルを超える速度幅があり、点状電波源 CO-0.40-0.22*の位置に近づくにしたがって急激に大きな速度を持ちます。一方で、点状電波源 CO-0.40-0.22*は、天の川銀河の中心核「いて座 A*」の 1/500 の明るさを持ち、プラズマまたは星間塵からの熱的放射とは明らかに異なるスペクトルを示しています。

これらの結果を受けて、研究チームはさらに詳細な重力多体シミュレーションを行い、特異分子雲 CO-0.40-0.22 内におけるガスの分布・運動の再現を試みました。点状電波源 CO-0.40-0.22*の位置に 10 万太陽質量の点状重力源を置き、約 30 光年離れた位置から雲を模した多数の粒子を投入したところ、CO-0.40-0.22*の近くを通り過ぎた直後の粒子の分布・運動が観測で得られたガスの分布・運動を非常に良く再現できることを見出しました。このことは、CO-0.40-0.22*が太陽の 10 万倍もの質量をもつ未知の天体で説明できることを意味しています。

今回使用したアルマ望遠鏡の解像度から、CO-0.40-0.22*の半径が 0.07 光年よりも十分に小さいことが分かります。ここに 10 万太陽質量が集中しているとすると、天の川銀河内で最も密度が高い球状星団 M15 の中心部分よりも 100 倍以上高い質量密度になります。スペクトルの特徴が通常の高密度ガス雲や星の集合体で説明できないことを考えあわせると、この点状電波源 CO-0.40-0.22*は、特異分子雲 CO-0.40-0.22 中に存在が示唆されていた中質量ブラックホール本体である可能性が非常に高いと考えられます。

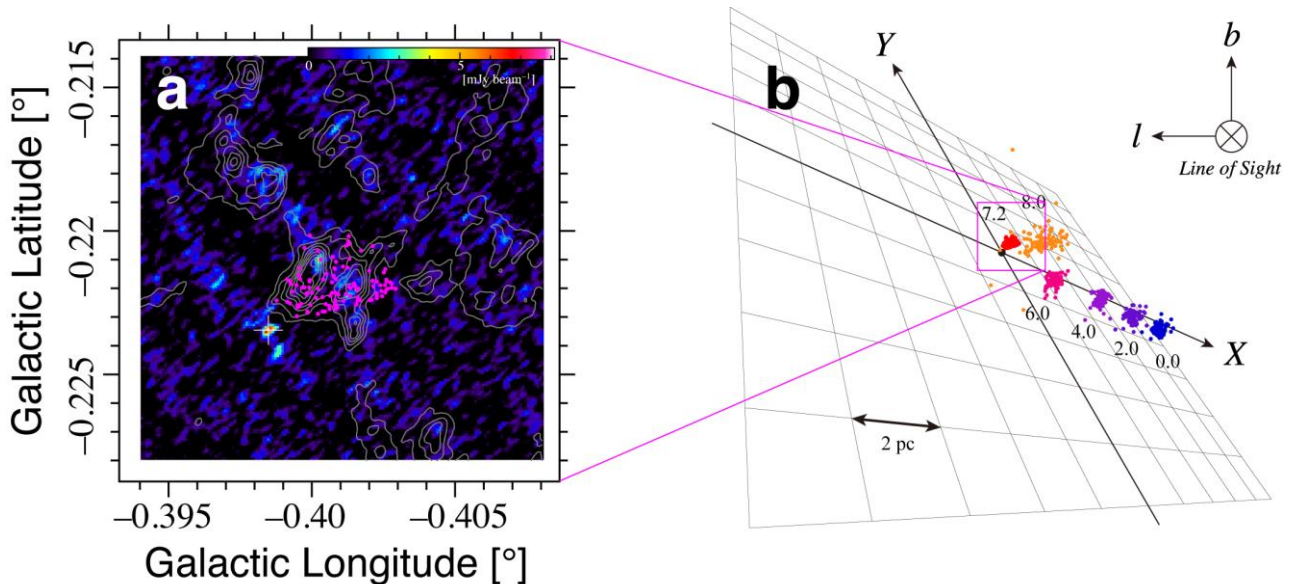


図 2) (a) アルマ望遠鏡によるシアン化水素(HCN) 266 GHz 回転スペクトル線の積分強度分布に、重力多体シミュレーションの結果(ピンクの点)を重ねたもの。等高線は、シアン化水素(HCN) 266 GHz 回転スペクトル線強度を表す。(b) 重力多体シミュレーションの結果。奥行き方向が視線方向に対応する。(X,Y)=(0,0)の位置に 10 万太陽質量の点状重力源を置き、雲の重心の初期位置と初速度ベクトルは図に示された平面上にある。各時間ステップにおける粒子分布を色分けして表示あり、時間の単位は 10 万年。

4. 本研究成果の意義

本研究により、特異分子雲 CO-0.40-0.22 中に存在する可能性が指摘されていた、10 万太陽質量のブラックホール候補天体の正確な位置が明らかにされました。これは、天の川銀河の中において、中質量ブラックホール候補天体の実体を捉えた初めての例になります。このような中質量ブラックホールの存在が、中心核から 200 光年という比較的近い距離において確認されたことにより、前述の中質量ブラックホール合体による中心核巨大ブラックホール形成シナリオを支持する強力な観測的事実が得られたこととなります。つまり、今回確認された中質量ブラックホールは中心核巨大ブラックホールの形成・成長に寄与する存在と考えられるのです。

それに加えて、今回の研究により、従来の方法では見つけることが困難であった暗く孤立した「野良ブラックホール」の存在を、分子ガスのスペクトル線観測により確認する手法が有効であることがあらためて示されました。当研究チームは、天の川銀河中心部のみならず円盤部においても、CO-0.40-0.22 と同様な高速度ガス成分を検出しており、これらの多くは野良ブラックホールに駆動されたものと考えられます (2017 年 1 月 16 日、2017 年 7 月 18 日 慶應義塾大学プレスリリース)。天の川銀河内には、1 億~10 億個ものブラックホールが浮遊しているという理論予測もあり、本研究と同様の研究手法を用いることで、ブラックホール候補天体の数が飛躍的に増えることが期待されます。ブラックホール候補天体を詳細に研究し、一般相対論の検証をはじめとする重要な知見を得ることで、今後の現代物理学の発展に大きく資することが期待されます。

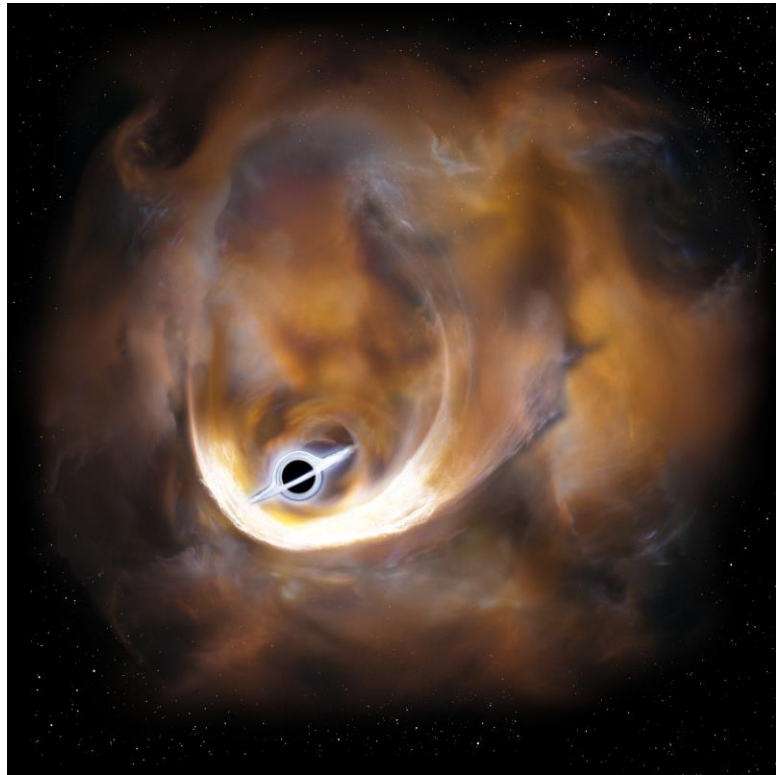


図 3) 中質量ブラックホールによる重力散乱で雲が加速される様子。

5. 研究論文について

本研究成果は、9月4日発行の英国の科学専門誌『Nature Astronomy』に掲載されました。論文の題目、および著者と研究当時の所属は以下の通りです。

“Millimeter-wave Emission from an Intermediate-Mass Black Hole Candidate in the Milky Way”

岡 朋治 (慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授)

辻本志保 (慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程2年)

岩田悠平 (慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程2年)

野村真理子 (慶應義塾大学 理工学部 物理学科 研究員)

竹川俊也 (慶應義塾大学 大学院理工学研究科 博士課程3年、日本学術振興会 特別研究員)

『Nature Astronomy』, September 4, 2017

電子版 URL : <http://dx.doi.org/10.1038/s41550-017-0224-z>

プレプリント URL : <https://arxiv.org/abs/1707.07603>

DOI : 10.1038/s41550-017-0224-z

※この研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業 (科研費)、基盤研究(B) No.15H03643 の補助を受けて行われました。

<参考>

アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)

<https://alma-telescope.jp>

慶應義塾大学理工学部 岡朋治研究室

<http://aysheaia.phys.keio.ac.jp/index.html>

<関連する研究発表>

- ・ 慶應義塾大学プレスリリース (2016年1月15日)

「天の川銀河の中で二番目に大きなブラックホールを発見」

https://www.keio.ac.jp/ja/press_release/2015/osa3qr000001bq8l.html

- ・ 慶應義塾大学プレスリリース (2017年1月16日)
「天の川を撃ち抜く超音速の『弾丸』を発見ー正体は『野良ブラックホール』か?ー」
<https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2017/1/16/28-19413/>
- ・ 慶應義塾大学プレスリリース (2017年7月18日)
「天の川銀河中心部で新たに2つの『野良ブラックホール』候補を発見」
<https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2017/7/18/28-21984/>

<用語説明>

注1) 太陽質量 : 天文学で使われる質量の単位。1 太陽質量 = 1.99×10^{30} kg。

注2) 中質量ブラックホール : 大質量星の残骸である「恒星質量ブラックホール」(質量は太陽の数
十倍程度)と銀河中心核の「巨大ブラックホール」(質量は太陽の数百万倍以上)との間にある、中
間的な質量のブラックホールのこと。

注3) 干渉計: 複数の電波望遠鏡を離して配置し、得られた信号を合成することで高い解像度を実現
する観測装置。

注4) アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA: アルマ望遠鏡): 南米のチリ共和国北部にある、
アタカマ砂漠の標高約 5000 メートルの高原に建設された巨大電波望遠鏡。国立天文台を代表とす
る東アジア、米国国立電波天文台を代表とする北米連合、欧州南天天文台を代表とするヨーロッパ
などの国際共同プロジェクトとして進められている。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

- ・ 研究内容についてのお問い合わせ先
慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授 岡 朋治 (おか ともはる)
TEL: 045-566-1833 E-mail: tomo@phys.keio.ac.jp
<http://aysheaia.phys.keio.ac.jp/index.html>
- ・ 本リリースの発信元
慶應義塾広報室 (竹内)
TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640
Email : m-koho@adst.keio.ac.jp <http://www.keio.ac.jp/>