



2017年7月18日

報道関係者各位

慶應義塾大学

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

慶應義塾大学大学院理工学研究科の竹川俊也（博士課程3年、日本学術振興会 特別研究員）と同理工学部物理学の岡 朋治 教授らの研究チームは、天の川銀河の中心核「いて座 A*（エー・スター）」周辺の分子ガスについて詳細な電波分光観測を行いました。その結果、いて座 A* から約 20 光年離れた位置に異常な速度をもつ小さな分子雲を 2 つ発見しました。これらの特異分子雲は、膨大な運動エネルギーを持つ一方で、エネルギー源となる天体が全く見当たりません。このことから、これらの特異分子雲は、近接する伴星*1 を持たない単独のブラックホール*2 が巨大分子雲に高速で飛び込むことで生じたものと考えられます。このことは、多数の「野良ブラックホール」が中心核巨大ブラックホールの周りを飛び交っていることを示唆する重要な結果です。

本研究成果は、7月1日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal Letters』に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・ 天の川銀河中心核「いて座 A*」の近傍に、局所的に不自然に大きく加速された特異分子雲を 2 つ発見し、それぞれの運動と物理状態を明らかにした。
- ・ これら特異分子雲の起源は、超新星爆発との相互作用や原始星からの双極流では説明がつかないため、既知の天体現象ではないと考えられる。
- ・ 同分子雲が膨大な運動エネルギーを持つことと、エネルギー源となる天体が見当たらないことを考え合わせると、その駆動源は巨大分子雲に高速突入したブラックホールである可能性が高い。

2. 研究背景

私たちの住む天の川銀河の中心核「いて座 A*」は、太陽系から約 2 万 6 千光年の距離に位置し、そこには太陽の 400 万倍もの質量を持つ巨大なブラックホールが潜んでいると考えられています。この巨大ブラックホールの起源は未だ解明されていません。一方で、太陽の数倍から十数倍の質量を持つ軽いブラックホール（恒星質量ブラックホール）については、太陽の 30 倍よりも重い恒星が燃え尽きて自重を支えきれなくなり、超新星爆発を起こして最期を迎える時に形成されると考えられています。このような恒星質量ブラックホールは、天の川銀河内に数億個存在することが理論的に予言されています。

しかしながら、天の川銀河内に発見されているブラックホール候補天体の数は、現在のところ 60 個ほどに過ぎません。一般に、ブラックホールに引き寄せられたガスや塵は即座に飲み込まれるのではなく、ブラックホールを中心に回転しながら円盤状に降り積もります（これを「降着円盤」という）。物質が十分に降り積もり、降着円盤が高温になると、それは強烈な電磁波を放出します。天の川銀河内の恒星質量ブラックホールはこれまで、いずれも降着円盤からの X 線放射を検出することで発見されてきました。降着円盤を継続的に輝かせるためには、ブラックホールのすぐ近傍に物質供給源、すなわち伴星が必要です。しかし、このように近接した伴星を持つブラックホールは極少数派で、多くのブラックホールは孤立していると考えられます。つまり、天の川銀河内には、こうした「野良

ブラックホール」が無数に浮遊していると考えられるのです。

3. 研究成果

研究チームは、天の川銀河の中心核「いて座 A*」周辺の分子ガスの運動および物理状態を調べる目的で、東アジア天文台の James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) を用いて、中心核 いて座 A* から約 30 光年以内の領域のサブミリ波帯スペクトル線観測を実施しました。その過程で同領域内に、直径約 3 光年程度と小型かつ秒速 40 km 以上もの極端に広い速度幅^{*3}を持つ 2 つの分子雲 (HCN-0.009-0.044 および HCN-0.085-0.094) を発見しました (図 1(b))。これらの特異分子雲はそれぞれ位置-速度図^{*4}上で、より大きな分子雲から速度負方向に突き出すような形をしており、中心核周りの既知の分子雲とは明らかに異質な運動を示します (図 1(a),(c))。

詳細な解析の結果、これら特異分子雲はそれぞれが太陽の十数倍の質量を持ち、 10^{47} erg^{*5} 以上もの膨大な運動エネルギーを有することがわかりました。このような膨大な運動エネルギーの起源として、超新星爆発との相互作用や重い原始星からの双極流などが挙げられます。しかしながら、HCN-0.009-0.044 および HCN-0.085-0.094 方向にはこれらの痕跡は見当たらず、既知の天体現象以外の“何か”が特異分子雲の駆動源になっていることが考えられます。

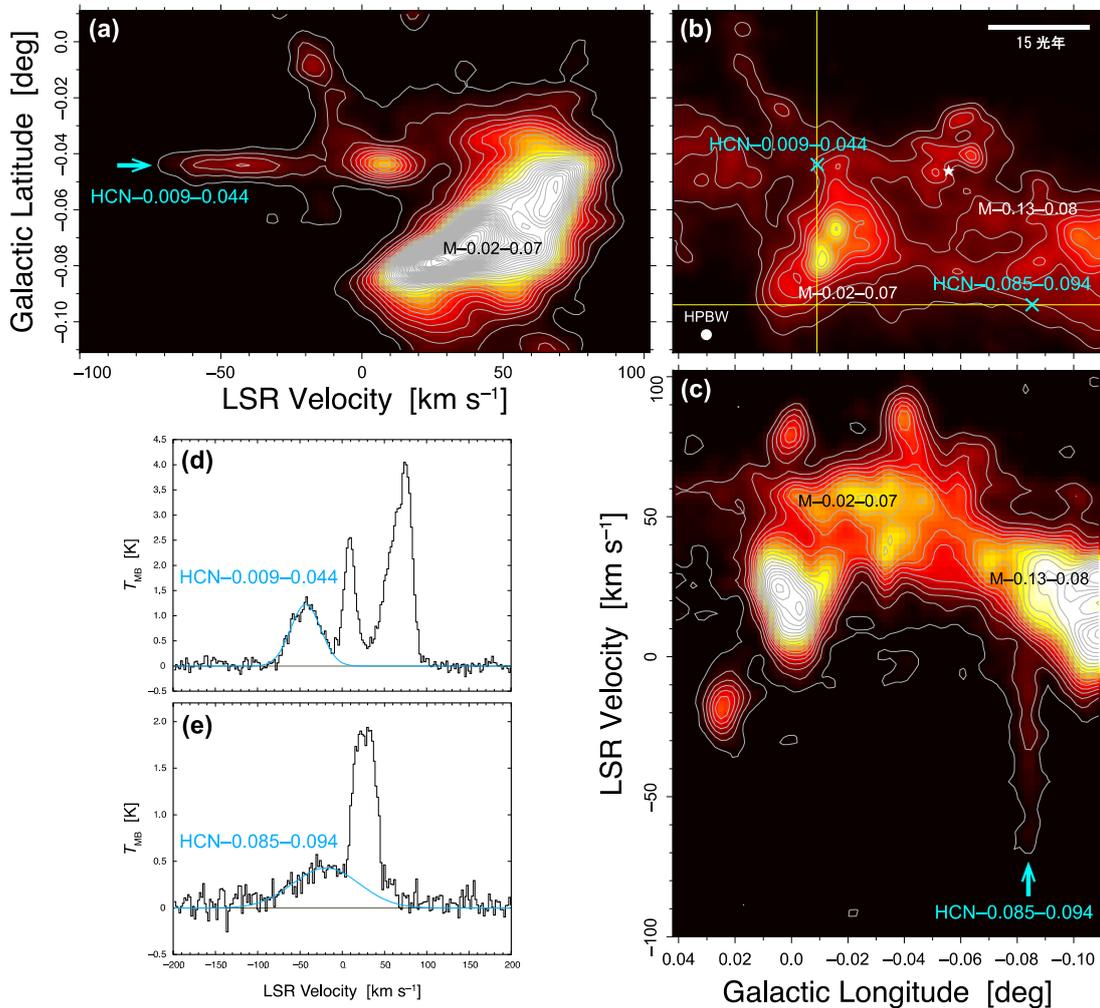


図 1 (a) 図(b)中の黄色の水平線に沿って作成した位置-速度図。(b) 天の川銀河中心核 いて座 A* (白星) 周りのシアン化水素 (HCN) 354.6 GHz スペクトル線強度図。水色の×印は今回発見された小型特異分子雲 (HCN-0.009-0.044 および HCN-0.085-0.094) の位置を示す。(c) 図(b)中の黄色の垂直線に沿って作成した位置-速度図。(d, e) それぞれの小型特異分子雲方向に検出されたスペクトル線。

以上の観測事実から、研究チームは当該分子雲の駆動メカニズムとして、「点状重力源が巨大分子雲へ高速で突入し、重力で引き寄せられた部分が局所的に加速されることで生じる」というシナリオを提示しました。この「突入モデル」によれば、以下のいずれかの場合に、発見されたような特異分子雲が生じます。

- 1) 太陽の十倍程度以上の質量を持つ天体が、秒速約 100 km の高速で分子雲に突入。
- 2) 太陽と同程度の質量を持つ天体が、秒速約 1000 km の超高速で分子雲に突入。

突入天体の候補としては、1)の場合は大質量星かブラックホール、2)の場合は天の川銀河の重力を振り切るほどの超高速度で運動する軽い恒星（超高速度星）が挙げられます。しかし、超高速度星はこれまで天の川銀河中心部には発見されておらず、また大質量星やブラックホールの数に比べて極めて少ないことが理論的に予言されています。したがって、今回発見された小型特異分子雲の駆動源は、重い恒星かブラックホールであることが自然です。さらに、同分子雲方向にはいずれも大質量星のような強力な放射源の存在は確認されていません。すなわち、今回発見された2つの特異分子雲の駆動源は、中心核巨大ブラックホール周りを飛び交う野良ブラックホールである可能性が高いと考えられます。

4. 本研究成果の意義

本研究により、天の川銀河中心核巨大ブラックホール近傍を複数個の「野良ブラックホール」が飛び交っている可能性が、初めて観測的に示されました。中心核から 30 光年以内の領域には、1 万個以上ものブラックホールが潜んでいるという理論予測もあり、今回の発見はその一端を捉えたという点で非常に有意義な成果です。

研究チームは、天の川銀河の円盤部においても、野良ブラックホールによって駆動されたと考えられる特異分子雲「Bullet（弾丸）」を発見しています（2017年1月16日 慶應義塾大学プレスリリース）。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事があらためて示されました。また、このような野良ブラックホールが天の川銀河内に普遍的に存在することが実際に見えてきたのです。

今後、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。最近になって複数の重力波*6が検出されたことで、ブラックホール同士が合体して成長することが確かめられました。また研究チームは、太陽の十万倍もの質量を持つ中質量ブラックホール候補天体を、中心核から約 200 光年の位置に発見しています（2016年1月15日 慶應義塾大学プレスリリース）。この中質量ブラックホールや、今回発見されたブラックホールは、将来的には中心核巨大ブラックホールに飲み込まれ、その成長に寄与するのかもしれませんが。

5. 研究論文について

本研究成果は、7月1日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal Letters』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。

“Discovery of Two Small High-Velocity Compact Clouds in the Central 10 Parsecs of Our Galaxy”

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）

岡 朋治（慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授）

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）

徳山碩斗（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）

『The Astrophysical Journal Letters』, July 1, 2017, vol. 843, Number 1, L11 (5pp)

電子版 URL : <http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aa79ee>

（プレプリント）URL : <https://arxiv.org/abs/1706.04810>

doi: 10.3847/2041-8213/aa79ee

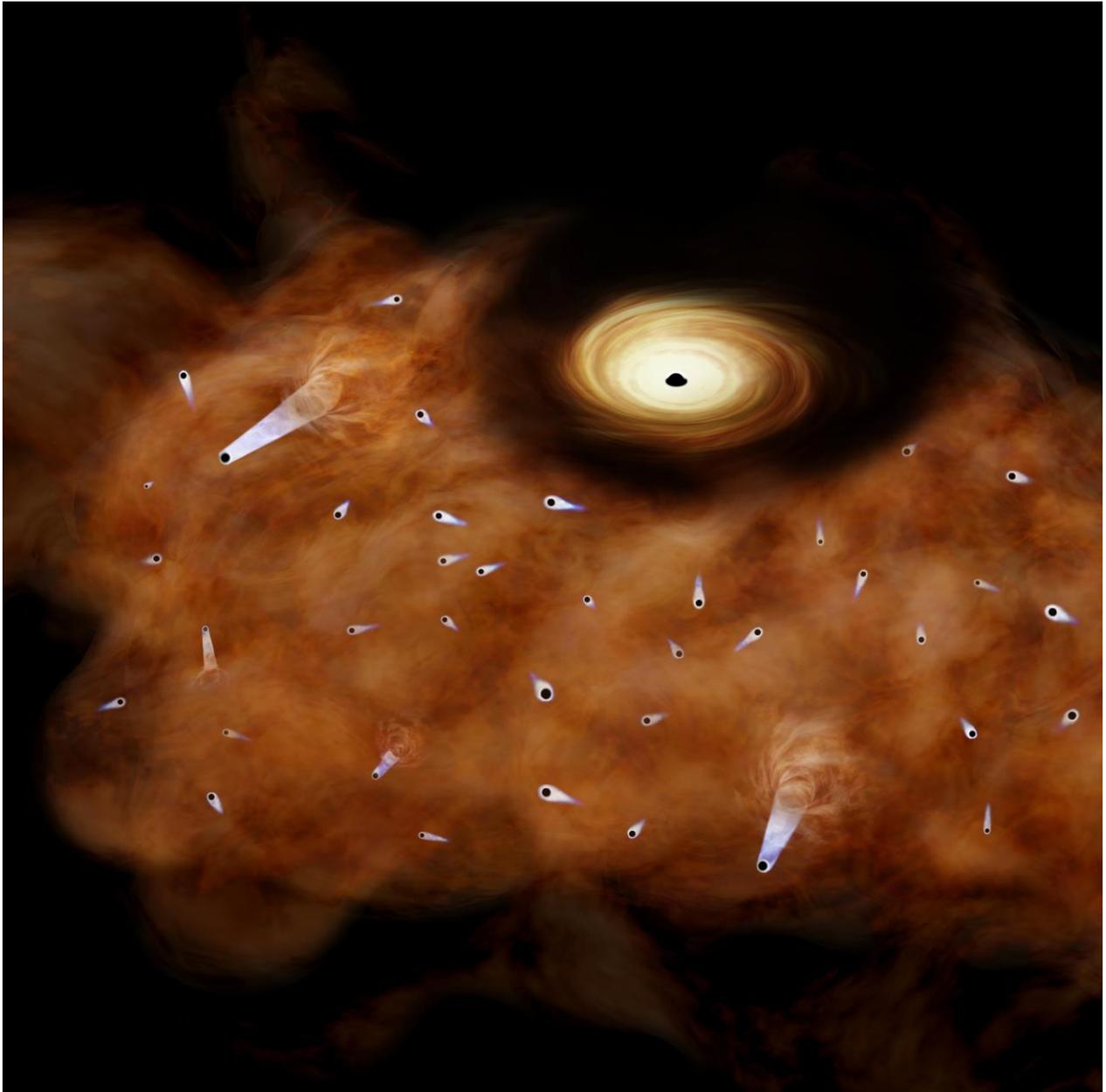


図 2 天の川銀河中心部を飛び交う野良ブラックホールの想像図

※この研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（科研費）、特別研究員奨励費「JSPS KAKENHI Grant Number JP 15J04405」の補助を受けて行われました。

<参考>

東アジア天文台

<http://www.eaobservatory.org>

James Clerk Maxwell Telescope

<http://www.eaobservatory.org/jcmt/>

慶應義塾大学工学部 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（2017年1月16日）
「天の川を撃ち抜く超音速の『弾丸』を発見—正体は「野良ブラックホール」か？—」
<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 (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

<用語説明>

- ※ 1 伴星：二つの恒星が互いの重力で引き合い、両者の重心周りを軌道回転運動している天体を「連星」といい、一般に明るい方の星を「主星」、暗い方の星を「伴星」という。連星のパートナーとしては恒星だけではなく、中性子星やブラックホールの場合もある。
- ※ 2 ブラックホール：極端に強い重力を持ち、光すらも抜け出せないほど周囲の時空を歪める暗黒天体。アインシュタインの一般相対性理論によりその存在が予言された。ブラックホールの境界（事象の地平面）の内側に一度入った物質は、二度と外に出ることはない。ブラックホールが持つ質量により、それぞれ恒星質量ブラックホール（3～100太陽質量）、中間質量ブラックホール（100～数10万太陽質量）、超巨大質量ブラックホール（100万～100億太陽質量）に分類される。
- ※ 3 速度幅：観測されるスペクトル線は、ドップラー効果により観測者との視線方向の相対速度（視線速度）に応じて周波数が変化する。この周波数の変化量を測定することで、天体の視線速度を知ることができる。周波数で表されたスペクトル線幅を視線速度に換算したものを「速度幅」という。
- ※ 4 位置-速度図：横軸（縦軸）に天球面上の座標 P 、縦軸（横軸）に視線速度 V をとり、点 (P, V) におけるスペクトル線強度を色や等高線により視覚化したもの。観測天体の運動状態を調べるためによく用いられる。
- ※ 5 erg（エルグ）：エネルギーの単位。1 erg = 10^{-7} J（ジュール）。太陽が1秒間に放出するエネルギーは、約 4×10^{33} erg。
- ※ 6 重力波：非軸対象の物体が動くことで、時空の歪みが光速で波として伝搬する現象。ブラックホールの存在と同じく、アインシュタインの一般相対性理論により予言され、その検出は「アインシュタインの最後の宿題」といわれていた。一般相対性理論が完成したちょうど100年後の2016年に初検出が公表され、その発生源がブラックホール同士の合体であることが突き止められた。

※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)
慶應義塾大学 理工学部 岡朋治研究室 竹川俊也 (たけかわ しゅんや)
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/>