



2025年12月4日

報道関係者各位

慶應義塾大学

ALMA が観測した 52 分周期のミリ波変動 一天の川中心ブラックホールを『真下』から観測していた－

慶應義塾大学大学院理工学研究科の柳澤 一輝（修士課程 2 年）と同大学理工学部物理学科の岡朋治教授、国立天文台、東京工業高等専門学校からなる研究チームは、ALMA で取得された天の川銀河中心核「Sgr A*」からの 7 年に渡る電波の強さを解析しました。その結果、2021 年 7 月 22 日の観測において、非常に鮮明な 52 分周期の正弦波的な周期変動を見せたことを発見しました。この変動は、400 万太陽質量の超巨大ブラックホールから 0.3 天文単位という極めて近傍を、光速の約 1/3 で回転する「ホットスポット」による相対論的ドップラービーミングに起因するものと解釈できます。その結果、降着円盤の傾斜角は約 172° と制約され、我々はブラックホールを「ほぼ真下から」見ていることが判明しました。これは SgrA* のブラックホール周囲の幾何学構造と相対論的運動を直接的に示した新しい観測的証拠であり、ブラックホール物理の理解に大きな前進をもたらすものです。本研究成果は、12 月 1 日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal』に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・7 年間におよぶ ALMA^{※1} 観測データから、天の川銀河中心のブラックホール「いて座 A* (Sgr A*)」のミリ波^{※2} 光度に、52 分周期の鮮明な変動を発見。
- ・この変動は、光速の約 1/3 でブラックホールのごく近傍を回るホットスポットによる相対論的ドップラービーミング^{※3} によって生じていることが判明。
- ・この周期的光度変動の解析により、降着円盤の傾斜角^{※4} は約 172° となり、地球はブラックホールを「ほぼ真下から」観測していることが判明。
- ・ブラックホール周囲の幾何学構造と相対論的運動を直接的に示した新しい観測的証拠であり、ブラックホール物理の理解に大きな前進をもたらす。

2. 研究背景

本研究は天の川銀河中心核「Sgr A*」における周期的変動がどのように発生するのかという謎の解明を目指したもので、2000 年初頭に Sgr A* では、フレアに伴う準周期的変動 (QPO)^{※5} が初めて報告され、その発生メカニズムとして、ホットスポットモデルを始めとする様々なモデルが提唱されていました。その後、2018 年に赤外線観測中に Sgr A* 周りを回転するホットスポットが実際に観測されたことに加えて、2020 年にミリ波帯における周期的変動が報告されました。これらの報告を受け、ミリ波帯の周期的変動とホットスポットの運動の関係を確かめ、周期的変動メカニズムを解明することを目的としました。

3. 研究内容・成果

本研究チームは、ALMA で観測された天の川銀河中心核「Sgr A*」の公開データを解析し、その結果、約 52 分周期の非常に鮮明な正弦波的変動を検出しました（図 1）。この変動は、超巨大ブラックホールからわずか 0.3 天文単位の距離を、光速の約 1/3 という速さで周回する「ホットスポット」

（加熱されたガスの塊）」による相対論的ドップラービーミングにより生じていると解釈できます。

解析の結果、ホットスポットはブラックホールから約 0.3 天文単位の位置を公転しており、降着円盤の傾斜角は 172° と判明しました（図 2）。これは、私たちがブラックホールの降着円盤を「ほぼ真下から」見ていることを意味します（※「真下から」とは、ブラックホールの回転軸に対する視線方向がほぼ一致している、という幾何学的意味であり、ブラックホールの裏側が見えているわけではない）。この成果は、ブラックホールの周りの構造やそこで起きる相対論的な物質の運動を直接とらえた貴重な観測的証拠であり、ブラックホールの物理の理解するうえで大きな一歩となります。

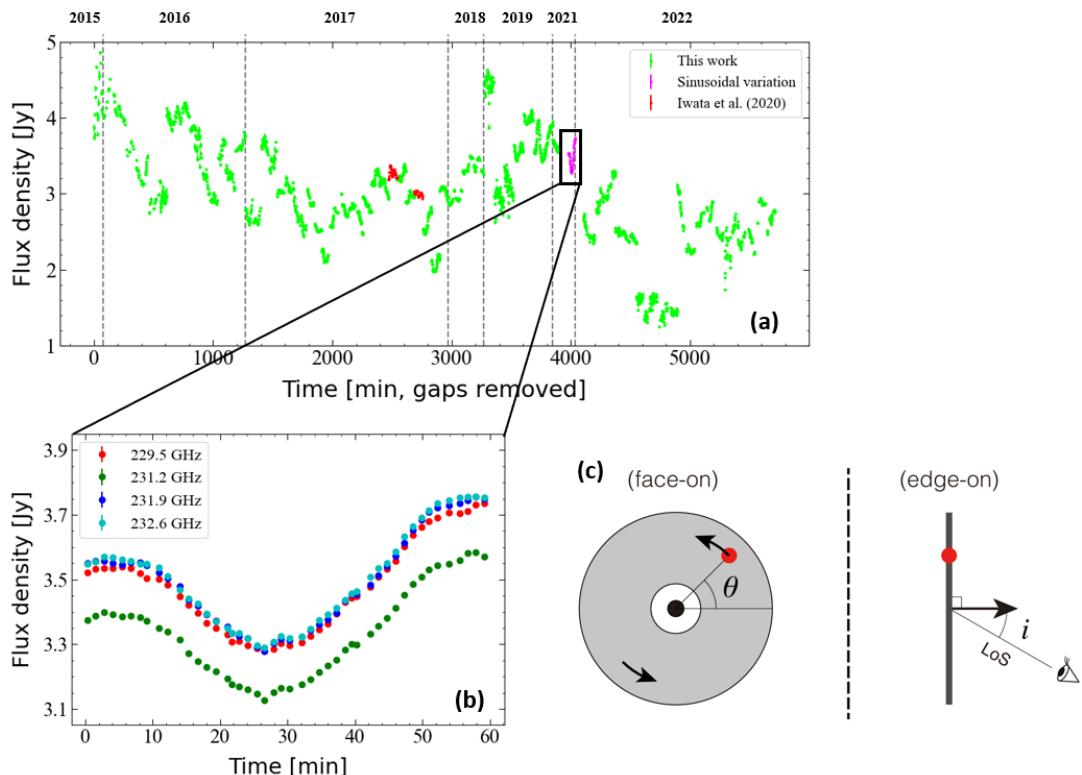


図 1 (a) ALMA によって取得された 2015 年～2022 年の Sgr A* の光度曲線。観測のギャップを取り除き、周期的な変動が検出された部分を色分けしています。 (b) 2021 年 7 月 22 日に得られた非常に鮮明な正弦波振動。色の違いは観測周波数を示し、赤：229.5 GHz、緑：231.2 GHz、青：231.9 GHz、シアン：232.6 GHz。 (c) ホットスポットモデルの模式図。左は降着円盤を真上から、右は横から見たもの。赤い点がホットスポット、LoS は観測者の視線方向を示します。

4. 今後の展開

今回の成果は、Sgr A*における多波長での統一的な光度変動モデルの検証と、幾何学的構造の高精度化の契機になります。本研究で得られた高精度な値を使用することで、一般相対性理論を用いたシミュレーションの精度が向上すると考えられます。今後、本研究チームは、Sgr A*の長時間・高頻度の観測を目指します。この観測が可能になれば、短期的な周期性の発生・進化・消失を捉えることができ、ガスがブラックホールを周回しながら吸い込まれていく様子を観測できることも期待されます。

これらの研究を進めることで、ブラックホールの降着現象の理解に大きく寄与します。

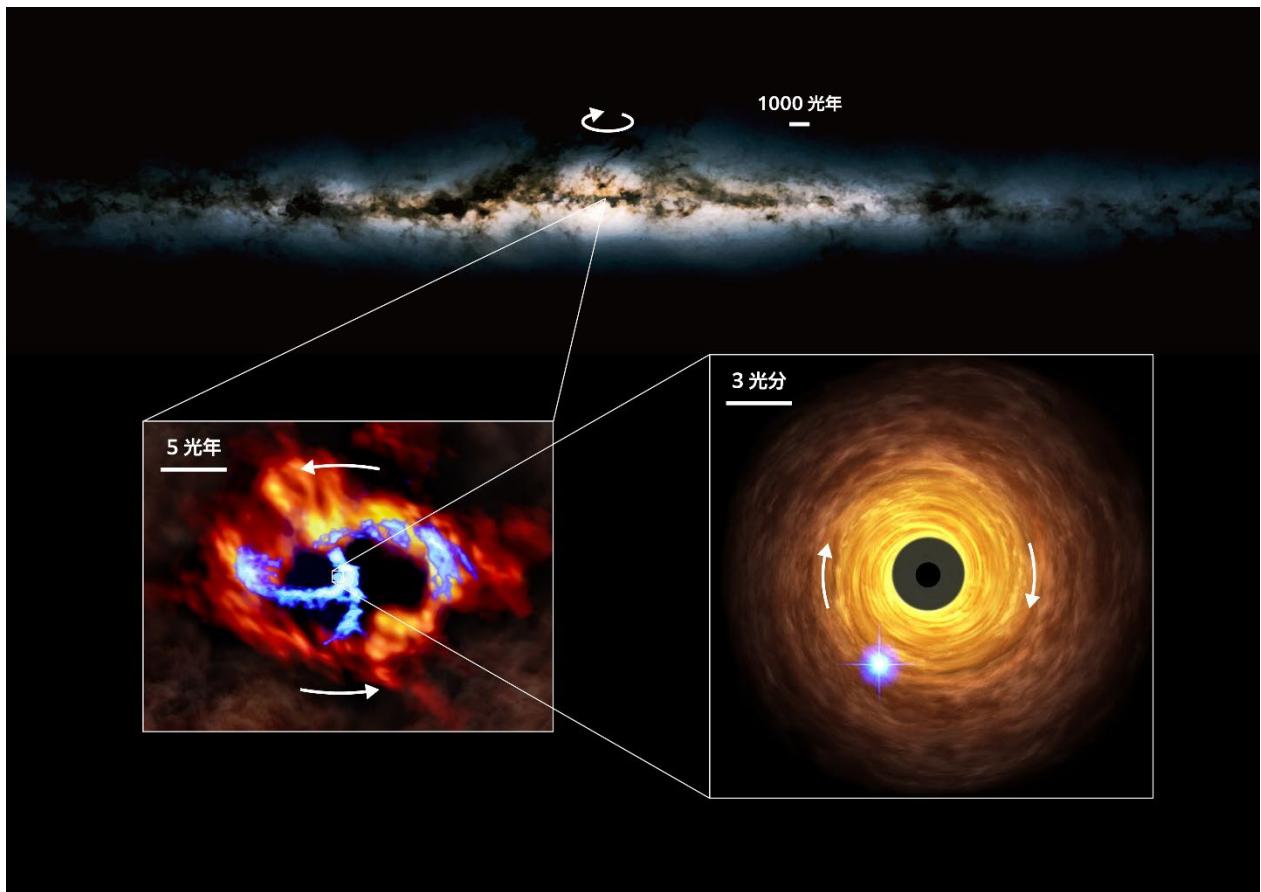


図2 天の川銀河中心に存在する超巨大ブラックホールを周回するホットスポットの模式図。
 (上) 可視光で見た天の川。 (左下) 天の川銀河中心にある分子ガス「核周円盤」と電離ガス「ミニスピrial」。 (右下) 中心核超巨大ブラックホール周囲の降着円盤とホットスポット。すべての図は地球からの視点で描かれており、矢印はそれぞれの回転方向を示している。

<原論文情報>

本研究成果は、12月1日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal』に掲載されました。論文の題目、および著者と所属は以下の通りです。

“A Face-on Accretion Disk Geometry Revealed by Millimeter-wave Periodicity in Sgr A*”
 柳澤 一輝（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2年）
 岡 朋治（慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授）
 有山 諒（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2025年3月修了）
 柳原 一輝（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2023年3月修了）
 岩田 悠平（国立天文台 水沢 VLBI 観測所 助教）
 高橋 幹弥（東京工業高等専門学校 一般教育科 助教）
 『The Astrophysical Journal』, December 1, 2025, vol. 994, Issue 2, id.256 (6pp)
 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ae1a80>
 DOI: 10.3847/1538-4357/ae1a80

<参考>

慶應義塾大学理工学部 岡朋治研究室 <http://aysheiai.phys.keio.ac.jp/index.html>

<用語説明>

- ※1) ALMA (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)：チリのアタカマ砂漠に東アジア、北米、ヨーロッパの国際協力によって建設された巨大電波干渉計。
- ※2) ミリ波：周波数約 30~300 GHz の範囲の電磁波。
- ※3) 相対論的ドップラービーミング：光速に近い速度を持つ放射源が観測者の方向に運動する際に、その放射が明るく観測される効果。
- ※4) 降着円盤の傾斜角：降着円盤の回転軸と観測者の視線が成す角度。
- ※5) 準周期的変動 (QPO)：一般的に X 線連星などで検出される、周期が徐々に変化する周期的変動。

※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

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室（増田）TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>