

配付先：大学記者会（東京大学） 文部科学記者会 科学記者会 愛媛県番町記者クラブ

2023年6月27日

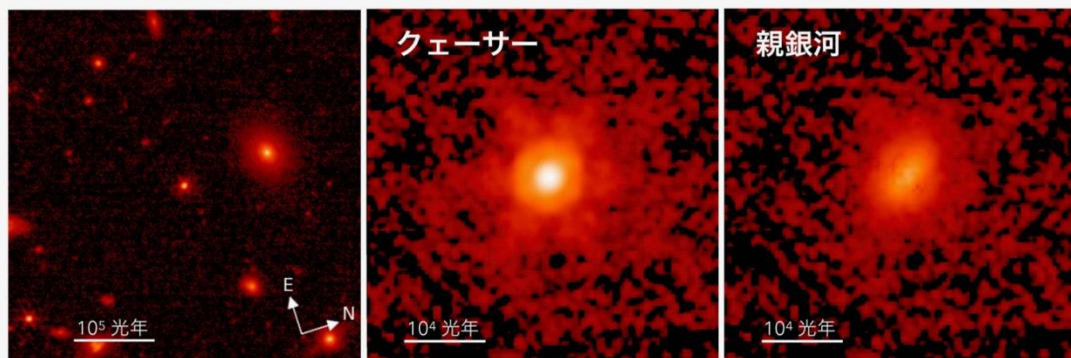
東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）
東京大学大学院理学系研究科
愛媛大学
国立天文台

世界初！129億年前の初期宇宙で巨大ブラックホールの住む 親銀河を検出

——すばる×JWSTで銀河・巨大ブラックホールの黎明期に迫る——

発表のポイント

- ◆最新鋭のジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）を用いて129億年前の宇宙に存在するクェーサーを観測し、明るく輝くブラックホールに隠れた親銀河の星の光を捉えた。遠方クェーサーの親銀河の検出は世界初。
- ◆今回観測した2天体は、すばる望遠鏡によって大量発見された遠方クェーサーの一部。すばるの優れた探査能力とJWSTのシャープな画像の掛け合わせによって得られた成果である。
- ◆今後、現在観測中の別天体の結果と合わせて、銀河とブラックホールという宇宙の2つの重要な構成要素について、どちらが先に生まれて進化したのかという、宇宙スケールの「ニワトリが先か、タマゴが先か」問題の解決に迫ることができると期待される。



JWSTの近赤外線カメラ NIRCam（波長 3.56 マイクロメートル）で観測したクェーサー HSC J2236+0032

発表概要

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）の Xuheng Ding（シューヘン ディン）特任研究員と John Silverman（ジョン シルバーマン）教授、北京大学カブリ天文天体物理研究所（PKU-KIAA）の尾上匡房（おのうえ まさふさ）カブリ天体物理学フェローを中心とし、東京大学大学院理学系研究科、愛媛大学、国立天文台の研究者らが参加する国際共同研究チームは、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST、注1）を用いて129億年前（注2）の宇宙に存在するクェーサー2天体を観測し、中心に活動的な巨大ブラックホールが潜む銀河の姿を初期宇宙で初めて捉えることに成功しました。本成果は近傍宇宙で知られる銀河と巨大ブラックホールとの密接な相関関係の起源を探る上で、非常に重要な進歩と言えます。また、観測されたクェーサーは共にすばる望遠鏡によって発見された初期宇宙で代表的な明るさの天体で、世界有数の広視野探査能力を誇るすばる望遠鏡と世界最先端のJWSTの強力な組み合わせによって実現した成果です。現在も続く研究チームのJWST観測からは今後も更なる

研究の進展が期待されます。本研究成果は、英国の国際学術誌「Nature」のオンライン版に英国夏時間 2023 年 6 月 28 日付で掲載されます。

発表内容

〈研究の背景〉

我々の住む天の川銀河をはじめ、ほとんどの銀河の中心部には太陽の 10 万倍から数 100 億倍の重さを持つ巨大ブラックホールが存在することが知られています。特に、中心のブラックホールにガスや星が落ち込み一部のエネルギーを解放することで非常に明るく輝く天体はクェーサーと呼ばれ、初期宇宙の重要な観測対象になっています。近年ではイベント・ホライズン・テレスコープ (EHT) による「ブラックホール・シャドウ」の検出や、天の川銀河中心の巨大ブラックホール観測研究に対してノーベル物理学賞が授与されるなど、ブラックホール観測は天文学の中でも注目を集める分野になっています。一方で多くの謎も残されており、特に巨大ブラックホールが初期宇宙でどのようにして形成されたのかについては未だ解決されていません。さらに不思議なことに、現在の宇宙では銀河中心のブラックホールとそれを抱える親銀河は、大きさが 10 桁も違うにも関わらず、両者の重さに強い正の相関があることが知られており、どうしてこのような関係があるのかは天文学の大きな謎の一つとなっています。このような銀河と巨大ブラックホールの関係性が宇宙のどの時代から始まり、お互いにどのように影響を与えて成長してきたのかを明らかにする為には、なるべく過去の宇宙に存在するクェーサーの親銀河の観測が不可欠です。しかし初期宇宙ともなると銀河の見かけの大きさは小さく、明るさも暗くなり、さらに明るく輝くクェーサーの光に埋もれてしまうため、親銀河の光を分離して捉えることは極めて困難になります。数十年にわたり様々な天文学の成果を挙げてきたハッブル宇宙望遠鏡 (HST, 注 3) を用いても、こうした観測は宇宙誕生後 30 億年頃 (現在から見て約 100 億年前) までは限界でした。

〈研究の内容〉

今回、本研究チームは、HST の後継として 2021 年 12 月 25 日に打ち上げられた最新鋭の JWST を用いて赤方偏移 $z \sim 6$ を超える 129 億年前の宇宙に存在するクェーサー 2 天体を観測し、それらのクェーサーが属する親銀河の星の光を捉えることに世界で初めて成功しました。JWST は打ち上げの前年にあたる 2020 年初めに世界中の研究者に向けて、科学運用を開始する初めの年となる 2022 年に行う観測計画 (サイクル 1) を募集しました。本研究チームの今回の観測は、尾上匡房氏を主任研究者とするサイクル 1 の観測計画として採択されていたものです。本研究チームは JWST の近赤外線カメラ NIRCам を用いて 2022 年 10 月 26 日にクェーサー HSC J2255+0251 を観測、同年 11 月 6 日にクェーサー HSC J2236+0032 を観測しました。これらのクェーサーは、すばる HSC 戦略枠観測プログラム (HSC-SSP, 注 4) と呼ばれる、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ HSC による大規模撮像探査によって発見されていた天体です (関連のプレスリリースを参照)。HSC-SSP は口径 8.2 メートルと大型のすばる望遠鏡を使っているため、他の同種の撮像探査計画に比べて暗い天体を捉えることに適しています。この HSC-SSP を使うことで本研究チームはこれまでに 160 個を超えるクェーサーを初期宇宙に発見しており、その多くが同じ時代で知られた他のクェーサーと比べて 10 倍ほど暗い、当時の宇宙の代表的な明るさのものです。本研究チームは、これらの暗いクェーサーであればその光に邪魔されることなく親銀河の星の光を捉えられるのではと予想し、今回の JWST 観測のターゲットに選びました。

今回の観測では、JWST の撮像装置 NIRCам を用いて 2 天体を約 1 時間ずつ観測し、波長 1.50 マイクロメートル（注 5）、3.56 マイクロメートルの 2 つの近赤外線画像を取得しました（図 1）。巨大ブラックホールからの光は本来微小な領域から放射されていますが、望遠鏡で得られた画像上では複数の画素にわたって広がって観測されます。この光をキューサーの画像上から差し引くために、研究チームはブラックホールと同様にコンパクトな星を使いました。ターゲットのキューサー周囲に映った星の画像を使って微小領域からの光の広がり方をモデル化し、それを差し引くことで空間的に広がった親銀河の光の成分のみが抽出できるのです。この手法は、以前に HST の低赤方偏移キューサーの画像解析のために Xuheng Ding 特任研究員が中心となって開発したものです。図 1（右）が HSC J2236+0032 で検出された波長 3.56 マイクロメートルでの親銀河の画像を示しています。本研究チームは、2 つの波長での親銀河の明るさの情報から、HSC J2255+0251、HSC J2236+0032 それぞれの銀河の重さが太陽の 340 億倍、1300 億倍と推定しています。これは同時代の銀河の中でも最も重たい部類です。さらに、JWST の近赤外分光装置 NIRSpec でブラックホール周囲を高速で回転する物質の運動を調べたところ、今回の 2 天体のブラックホールは、重さが太陽の 2 億倍、14 億倍と求められました。これらの観測結果は、銀河と巨大ブラックホールの関係が近傍宇宙と初期宇宙で大きく変わらないことを示しています。

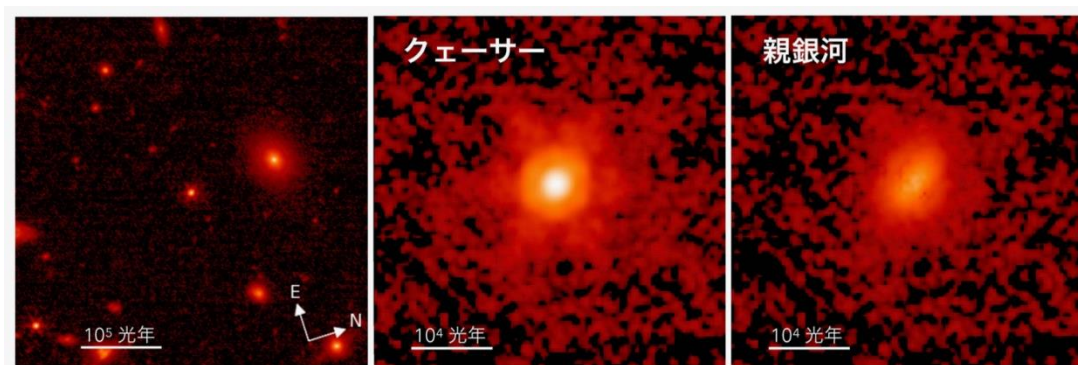


図 1. ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡（JWST）の近赤外線カメラ NIRCам を用いて波長 3.56 マイクロメートルの赤外線観測したキューサー HSC J2236+0032 の画像（Credit: Ding, Onoue, Silverman et al.）。左からズームアウトして小さく表示した画像、キューサー画像、画像からブラックホールの光を差し引いた親銀河の画像。

キューサー画像の雪の結晶のような形状の光は微小な領域から放たれた光が望遠鏡の光学系によって広がって観測されているもので、実際の光の分布とは異なる。また画像の色は天体の明るさを示すもので、実際に肉眼に見える色とは異なる。

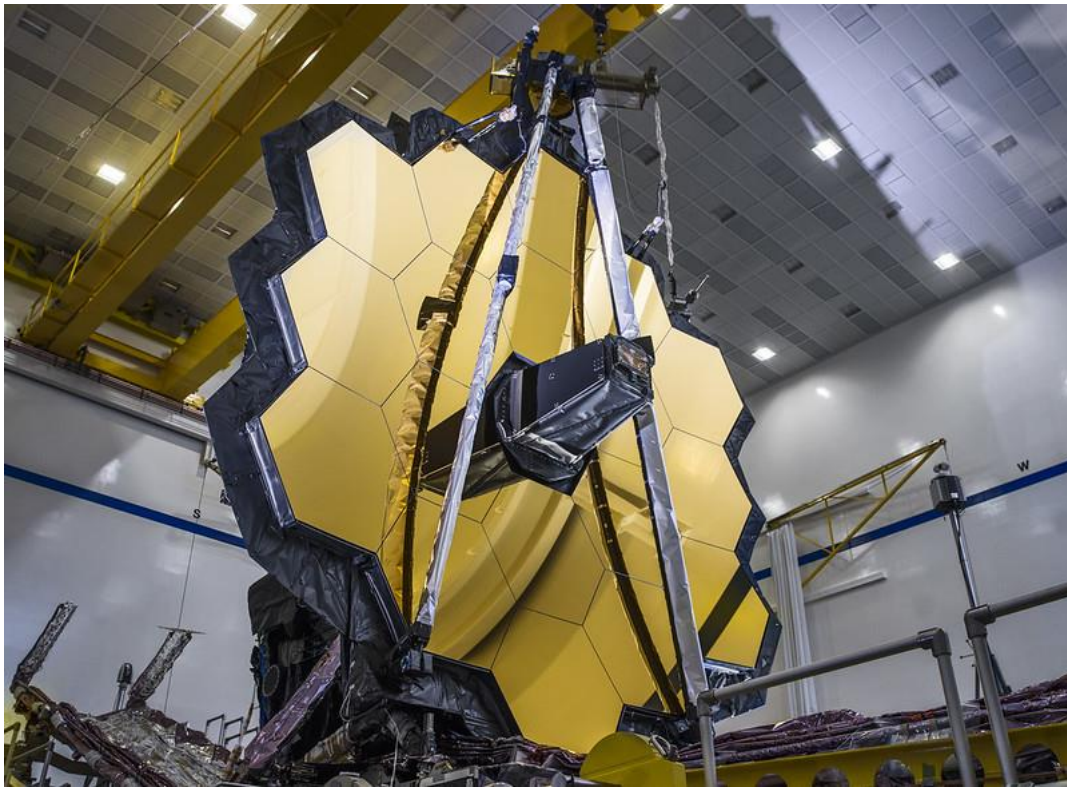


図 2：ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）の画像（Credit: NASA/Chris Gunn）

〈今後の展望〉

本研究結果は、ビッグバンからわずか 10 億年未満の宇宙でクェーサー親銀河の星の光を捉えた世界初の成果です。また、すばる望遠鏡の優れた集光能力と撮像探査能力が大いに活かされた成果でもあります。本研究チームは、今後予定されている JWST のサイクル 1 の観測データを利用して、より多くのクェーサーで今回と同様の研究を継続する予定です。そして、銀河とブラックホールのどちらが先に成長したのか、という宇宙スケールの「ニワトリが先か、タマゴが先か」問題の解決に挑もうとしています。さらに、本研究チームに対しては、クェーサー HSC J2236+0032 の親銀河が、どのような星で構成されているのか、さらにこのクェーサーの周りに銀河がどれくらい群れているのか、といったより詳細な性質を調査するための観測時間が JWST の今年秋開始予定のサイクル 2 で割り当てられることが決まっています。加えて、アルマ望遠鏡を使った親銀河中のガスと塵の観測も現在進行中です。今後の研究の進展により、巨大ブラックホールの形成過程の謎や親銀河との関係性や進化の過程に迫ることが大いに期待されます。

〈関連のプレスリリース〉

「超遠方宇宙に大量の巨大ブラックホールを発見」（2019/3/13 国立天文台ハワイ観測所の記事）

<https://subarutelescope.org/jp/results/2019/03/13/2692.html>

発表者

東京大学

国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU)

John Silverman (ジョン シルバーマン) (教授)

Xuheng Ding (シューヘン ディン) (特任研究員)

Connor Bottrell (コナー ボトレル) (研究当時: 特任研究員)

〈現・西オーストラリア大学 フォレストフェロー〉

大学院理学系研究科

柏川 伸成 (教授)

河野 孝太郎 (教授)

嶋作 一大 (准教授)

北京大学

カブリ天文天体物理研究所 (PKU-KIAA)

尾上 匡房 (カブリ天体物理学フェロー)

愛媛大学

宇宙進化研究センター

長尾 透 (教授)

松岡 良樹 (准教授)

国立天文台

泉 拓磨 (助教)

今西 昌俊 (助教)

鳥羽 儀樹 (特任助教)

ハワイ観測所

青木 賢太郎 (シニアサポートアストロノマー)

論文情報

〈雑誌〉 Nature (2023年6月28日付)

〈題名〉 Detection of stellar light from quasar host galaxies at redshifts above 6

〈著者〉 Xuheng Ding*, Masafusa Onoue*, John D. Silverman, Yoshiki Matsuoka, Takuma Izumi, Michael A. Strauss, Knud Jahnke, Camryn L. Phillips, Junyao Li, Marta Volonteri, Zoltan Haiman, Irham Taufik Andika, Kentaro Aoki, Shunsuke Baba, Rebekka Bieri, Sarah E. I. Bosman, Connor Bottrell, Anna-Christina Eilers, Seiji Fujimoto, Melanie Habouzit, Masatoshi Imanishi, Kohei Inayoshi, Kazushi Iwasawa, Nobunari Kashikawa, Toshihiro Kawaguchi, Kotaro Kohno, Chien-Hsiu Lee, Alessandro Lupi, Jianwei Lyu, Tohru Nagao, Roderik Overzier, Jan-Torge Schindler, Malte Schramm, Kazuhiro Shimasaku, Yoshiki Toba, Benny Trakhtenbrot, Maxime Trebitsch, Tommaso Treu, Hideki

Umehata, Bram P. Venemans, Marianne Vestergaard, Fabian Walter, Feige Wang, and Jinyi Yang

* 共筆頭著者兼責任著者

<DOI> 10.1038/s41586-023-06345-5

<URL> <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06345-5>

注意事項

日本時間 6 月 29 日午前 0 時（英国夏時間：28 日 16 時）以前の公表は禁じられています。

研究助成

本研究は、日本学術振興会・科学研究費助成事業（課題番号：JP22K14071、JP18H01251、JP22H01262、JP17H04830、JP21H04494、JP20K14531、JP17H06130、JP20H01953、JP21H04490、JP21H04496、JP22H01266）などの支援を受け行われました。

用語解説

（注 1）ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）（図 2 を参照）

2021 年 12 月 25 日にハッブル宇宙望遠鏡（HST）の後継として打ち上げられた宇宙望遠鏡。口径 6.5 m の主鏡を持ち、赤外線で観測を行う。観測装置は 4 種類搭載されており、近赤外線撮像を行う NIRCам、近赤外線分光観測を行う NIRSpec と NIRISS、中間赤外線撮像と分光を行う MIRI がある。アメリカ航空宇宙局（NASA）、欧州宇宙機関（ESA）、カナダ宇宙庁（CSA）の協力のもと開発された。

（注 2）129 億年前

天体の年齢はプランク衛星が 2013 年に報告した宇宙論パラメータを仮定。

（参考：国立天文台「遠い天体の距離について」のページ

<https://www.nao.ac.jp/astro/glossary/expressing-distance.html>）

（注 3）ハッブル宇宙望遠鏡（HST）

アメリカ航空宇宙局（NASA）と欧州宇宙機関（ESA）が共同で運用を行う宇宙望遠鏡。口径 2.4m の主鏡を持つ。1990 年に打ち上げられ、紫外線から可視光、JWST よりさらに波長の短い近赤外線での観測を行ってきた。現在は近赤外線の観測装置が休止しているため、主に紫外線から可視光での観測を行なっている。

（注 4）すばる HSC 戦略的観測プログラム（HSC-SSP）

ハワイ島のマウナケア山頂（標高 4,200 m）のすばる望遠鏡に搭載された超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam（HSC）を用いて進められた大規模観測プログラムのこと。東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU）、国立天文台、台湾中央研究院天文及天文物理研究所（ASIAA）、プリンストン大学をはじめとする機関の研究者らが共同で行っている。英語での正式名称が Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program であることから英語略称が HSC-SSP と呼ばれる。すばる望遠鏡の 8.2 m という大口径主鏡による集光力と HSC の持つ広視野撮像性能を生かし、330 夜を投入して約 1100 平方度（満月 5500 個分）の広い天域にわたって深宇宙の画像を取得した。観測自体は 2014 年 3 月に始まり、2021 年 1 月に終了し

たが、観測初期から続々と重要な成果発見が相次いでおり、未解析の膨大なデータから今後も様々な成果が出てくると予想される。

(注5) マイクロメートル

1cmの1万分の1の波長。可視光はおよそ0.4-0.8マイクロメートルで、そこから3マイクロメートルまでの波長を近赤外線と呼ぶ。

問合せ先

〈研究に関する問合せ〉

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構

特任研究員 Xuheng Ding (シューヘン デイン) [英語での対応]

E-mail : xuheng.ding@ipmu.jp

北京大学カブリ天文天体物理研究所 (PKU-KIAA)

カブリ天体物理学フェロー 尾上 匡房 (おのうえ まさふさ)

E-mail : onoue@pku.edu.cn

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構

教授 John Silverman (ジョン シルバーマン) [英語での対応]

E-mail : john.silverman@ipmu.jp

〈報道に関する問合せ〉

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構

広報担当 小森 真里奈

E-mail : press@ipmu.jp

Tel : 080-4056-2930 / 04-7136-5977

東京大学大学院理学系研究科・理学部 広報室

E-mail : media.s@gs.u-tokyo.ac.jp

Tel : 03-5841-0654

愛媛大学 総務部広報課広報チーム

E-mail : koho@stu.ehime-u.ac.jp

Tel : 089-927-9022

〈すばる望遠鏡に関すること〉

国立天文台ハワイ観測所 広報担当 石井 未来

E-mail : ishii.miki@nao.ac.jp