

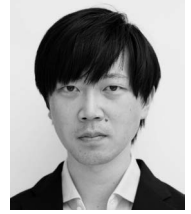
JWSTを用いた遠方活動銀河核観測

尾上 匡房^{1,2}

〈¹ 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) 〒277-8582 千葉県柏市柏の葉 5-1-5〉

〈² 北京大学カブリ天文天体物理研究所 〒100871 北京市海淀区頤和園路 5 中華人民共和国〉

e-mail: masafusa.onoue@ipmu.jp



JWSTが実現した赤外線波長における優れた感度と空間分解能によって、遠方銀河・活動銀河核 (AGN) 観測の分野は目まぐるしい速度で発展している。特に遠方AGN観測の分野では、近傍セイファート銀河クラスの低光度AGNの大量発見や母銀河の直接検出の面で数多くの初期成果が生まれている。この中には、JWST打ち上げ以前には予想されていなかった新たな天体種族の発見も含まれる。本稿では筆者がJWSTに振り回されながら過ごしたこの2年間の研究ハイライトを紹介させていただく。ほかの方が書かれた記事と並んで、新たな望遠鏡のデータで試行錯誤している様子を楽しんでいただけると幸いである。

1. はじめに

JWSTからの観測データが2022年7月12日に初めて公開されてから約2年。この「史上最強」とも言える宇宙望遠鏡の登場によってあまりにも多くのブレイクスルーが遠方銀河・AGN観測の分野にもたらされ、凄まじい速度で天文学が進歩している様子を日々目の当たりにしている。また、整備されたパイプラインによる生データ処理が可能なことや一部の観測データが即時公開されることで、遠方天体の発見競争が加熱しており天文学のデータサイエンス化が加速しているようにも感じられる。自身が大学院で研究を始めた10年前は、望遠鏡に自分で出向いて天気と格闘しながら苦労してデータを取り、天気が悪ければ半年または一年後再チャレンジという、その大らかともいえる側面を天文学の魅力の1つとして感じていた。大袈裟かもしれないが、JWSTの登場以降は光赤外天文学のあり方さえも変わってしまったような印象さえある。

2. 遠方AGN

そもそもJWSTは遠方AGN観測にとって、何をもたらすのであろうか。超巨大ブラックホール の存在は数十年来知られているが、その起源や現在に至るまでの成長の様子はよくわかっていないことが多い。そのため遠方宇宙でも観測可能な明るいクェーサー・AGNが有用な観測手段となる。宇宙年齢10億年未満(赤方偏移 $z > 6$)の時代に存在するクェーサーの探査は2000年代のSloan Digital Sky Survey (SDSS) に代表される大型サーベイ観測を軸に行われてきた。現在まで報告されている発見数は300を超えており、現状の最遠方記録はアリゾナ大学のグループが発見した $z=7.6$ のクェーサーとなっている [1]。多くの遠方ブラックホールは $>10^9 M_{\odot}$ の最大級の質量を持っていることが知られており、種ブラックホールが形成後に間欠的な超エディントン降着を起こして急成長したか、あるいはそもそも $10^{5-6} M_{\odot}$ 程度と重たかった可能性が議論されている [2]。

遠方クェーサーはそのほかの様々なサイエンスにとっても重宝されている。例えば、これらの紫外スペクトルに見られる減衰Ly α 輝線プロファイルを使って遠方における銀河間物質の中性度（宇宙再電離の進行具合）が測定されている。Bosman et al. (2022) [3] では、Very Large Telescope (VLT) /XSHOOTERで取得した高S/Nの $z > 5.5$ クェーサースペクトル67個を用いて、宇宙再電離が従来考えられていたよりも遅い $z = 5.3$ まで継続していることを突き止めた。そのほかにも、静止系紫外のFeII, MgII輝線の観測から、クェーサーの広輝線領域においてFeII/MgIIフラックス比が $z = 1$ から $z = 7.5$ （宇宙年齢7億年）に至るまで全く進がないことが知られている [4]。このフラックス比は広輝線領域における電離ガスのFe vs α 元素組成比の一次的な指標と考えられており、初期宇宙に十分に鉄を供給するためにはIa型超新星以外にも対不安定型超新星の寄与があった可能性が指摘されている [5]。

このような状況の中、打ち上げ以前からJWSTに期待されていた役割としては、主に

- ・地上観測では発見できない成長途上の若いクェーサーの発見、およびブラックホール質量関数等の統計量の制限
- ・クェーサー母銀河の星成分の検出、および近傍観測で知られた超巨大ブラックホールvs母銀河共進化関係の起源の解明
- ・ダストに隠されたII型のクェーサーの発見

の3つが挙げられるだろう。二番目の共進化関係についてはJWST以前の時代にもアルマを用いた星間物質観測により母銀河質量が推定されてきた。しかし、そこから得られる力学的質量が真に中心母銀河の星質量の代わりとして使えるかは不明でない。三番目のダストに隠されたクェーサーについては、ガスが豊富な遠方宇宙ほど母銀河スケールの星間物質による減光が起りやすいことが推測されるため、従来の紫外観測では多くの超巨大ブラックホールを逃していた可能性がある。

3. JWSTサイクル1観測に向けて

ここで、筆者のサイクル1観測に向けての準備について、少しご紹介したい。初めてJWST観測の準備を始めたのは2017年に遡る。当時総合研究大学院大学の大学院生だった筆者は、国立天文台ですばる望遠鏡Hyper Suprime-Camすばる戦略枠プログラム（HSC-SSP）を軸に遠方クェーサー観測に携わっていた。博士課程2年というタイミングもあり、将来自分が研究を続けるにあたって、同分野の研究者と差別化を図るにはどうしたらよいかと考えていた。そんな折、スペイン・マドリッドの欧州宇宙天文学センター（ESAC）にて、“Mastering the science instruments and observing modes of JWST”というワークショップが開催されることを知った。当時、JWSTについて具体的な知識は皆無であったが、このワークショップをきっかけに将来的に遠方クェーサーのJWST観測を推進できれば、飛躍するよいきっかけになるかもしれない、と思い遠方での開催ではあったものの即座に参加を申し込んだ。

結果的に、このワークショップへの参加が大正解だった。JWSTの観測提案は地上望遠鏡観測におけるPhase 1とPhase 2が合わさったようなものであり、サイエンス目的だけでなく、観測設定の詳細まで求められる。JWSTの観測装置の設定は何をするにしても選択肢が多く、例えば比較的シンプルなNIRCam撮像観測であっても広帯域、中帯域、狭帯域の撮像フィルタが合計29個もある。これに加えて、検出器間のギャップを埋めるためのディザリングや読み出しパターンなども複数用意されており、それらを説明したドキュメントを通読するだけでも骨が折れる。ESACでのワークショップでは3日間集中的にこれらの情報を一通り学ぶことができ、具体的な観測準備のシミュレーションをすることでJWST観測へのモチベーションも上がった。もしこの経験がなければ

ば、おそらく自分のサイクル1の準備は遅れるか、見逃して次サイクルまで持ち越すかになっていたであろう。

幾度かの延期を経てサイクル1観測提案が締め切られたのは2020年11月末。当時所属していたドイツ、マックス・プランク天文学研究所(MPIA)では提案準備のための集中合宿を行ったり、締め切り2週間前に所長のHans-Walter Rixさんから直接提案書のコメントをもらえたりと、大変恵まれた状況の中、観測提案の準備を進めることができた。その結果、天文月報2022年3月号でも紹介させていただいたように、HSC-SSPで発見された $z=6$ クエーサーの追観測プログラム(ID: 1967)を無事に採択していただくに至った(5章参照)。HSC-SSPチーム内で早期から準備に取り組んでいたこと、そして恵まれた環境の中で集中的に観測提案を準備できたことでJWSTサイクル1での観測時間獲得に繋がったと考えている。この経験は将来望遠鏡の準備や次世代の教育の際にも活かしていきたい。

4. 遠方AGN探査

4.1 CEERSを用いた $z=5.24$ 低光度AGNの発見

2022年7月12日に初めてのJWSTの深宇宙画像データ(Early Release Observations; ERO)が公開されたとき、そのあまりにも圧倒的な画像の美しさに驚嘆したのを覚えている。また同時に、早く自分もJWSTの画像を触ってみたい、という気持ちにもなった。自身のHSC-SSPクエーサー観測プログラムは同年の10月開始の予定だったため、数ヵ月余裕があった。そこで「何かできないものか」と考え、当時所属していた北京大学カブリ天文天体物理研究所(KIAA)の稲吉恒平さんとの度重なる雑談を経た結果、観測初期5ヵ月間に実行されるEarly Release Science(ERS)プロジェクトの一つ、The Cosmic Evolution Early Science Survey(CEERS; PI: Steven Finkelstein)に注目した。ERS観測は、観測後すぐにデータが

公開されるプログラムであり、装置の性能評価と同時に観測者がJWSTデータに慣れるための「練習台」としての役割も持つ。

このCEERSから得られる 100 arcmin^2 NIRCam赤外線画像の中に、遠方AGNはいないものか。これまでのすばる望遠鏡による遠方クエーサーの観測から予測すると、銀河全体に占めるAGNの割合はJWSTが感度のある光度範囲で高々1%程度である。これは決して大きな割合ではないが、JWSTが観測する深宇宙には数多くの銀河が写っているため、逆に考えれば数百個の銀河を集めてしまえばAGNが紛れていてもおかしくない、ということになる。また、CEERSが観測するExtended Groth Stripと呼ばれる観測領域はハッブル宇宙望遠鏡やスピッツァー宇宙望遠鏡の豊富なデータが揃っており、これらのデータを使った遠方ライマンブレイク銀河カタログが存在する。というわけで、10月に控えたPI観測までのスケジュールも考慮して、我々はCEERS領域の既存の銀河カタログの中から効率的にAGN候補天体を探すことにした。

早速Mikulski Archive for Space TelescopesからCEERSのNIRCam画像をダウンロードしてみると、自動でパイプライン処理された画像には装置読み出しノイズによる縞模様が見えていたり、フィルタごとにアストロメトリがずれていたりといくつかの問題点があることがわかった。画像処理については事前に宇宙望遠鏡科学研究所(STScI)が開催していたパイプライン処理のウェビナーの資料を使って、ある程度予習が済んでいた。また、データ公開早期に出ていた遠方銀河論文も参考にしながらサイエンス画像の再構築に取り組んだ。この作業は地道なものであったが、当時所属していた北京大学KIAAで集中データ解析のためのハッカソンを企画するなど、周りを巻き込みながら初めて触る本物のJWSTデータと格闘したことを覚えている。

CEERSで取得されるF115W, F150W, F200W,

F277W, F356W, F410M, F444Wの7つのバンドに対して、事前に知られていた遠方銀河数百天体を目視で一つ一つ調べたところ、優れた空間分解能($\text{FWHM}_{\text{F115W}} \approx 0.04 \text{ arcsec}^2$)のおかげで、大半の銀河は空間的によく分解されており、合体銀河や多数のクランプで構成された銀河など、バリエーションに富んだ形態をしていた。一方で、どの波長の画像を見ても点源として写っている銀河も存在することに気づいた。図1は、そのうちの一天体の画像と可視光から赤外までのスペクトルエネルギー分布図(SED)を示す。このSEDは、遠方天体の証拠となるライマンブレイクが $0.7 \mu\text{m}$ に見えているだけでなく、連続光の傾きが比較的赤い。これらの特徴はコンパクトな遠方ブラックホールからの放射で説明がつく。また、 $2.7 \mu\text{m}$, $4.1 \mu\text{m}$ には、それぞれ $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$, $\text{H}\alpha$ 輝線によるフラックス超過も見えており、静止系等価幅で 1000 \AA を超える高い値であることが推測された。CEERS 2782と名づけられたこの天体は絶対UV等級 $M_{\text{UV}} = -19.5 \pm 0.3$ 等であり、既存の遠方クェーサーと比べて光度が2-3桁暗い。ま

さにJWSTで期待されていた低光度AGNの優れた候補天体であった。

このCEERS 2782を論文[6]で報告した後、CEERSチームとも協力して2022年末に行われたNIRSpec多天体分光観測のターゲットの1つとして分光データを取得することができた。その結果、 $\text{H}\alpha$ 輝線の裾野にブラックホール周囲を高速回転する広輝線領域由来の幅広い線分($\text{FWHM} = 2060 \pm 290 \text{ km s}^{-1}$)が検出されたことを確認した。図2は遠方AGNのブラックホール質量、全光度分布を示す。近傍AGNで較正された、輝線幅と連続光光度から間接的にブラックホール周囲を回転するガスの速度と中心からの距離を推定しブラックホール質量を測定する手法を用いると、CEERS 2782のブラックホール質量は $(1.3 \pm 0.4) \times 10^7 M_{\odot}$ と推定される。これは同時代で知られた明るい遠方クェーサーより2桁低く、近傍AGNの典型値に近い。幸いなことに、この天体の発見はJWSTのデータの中から遠方AGNの候補天体を報告した論文としては初めての成果となった[7]。なお、この分光追観測については、

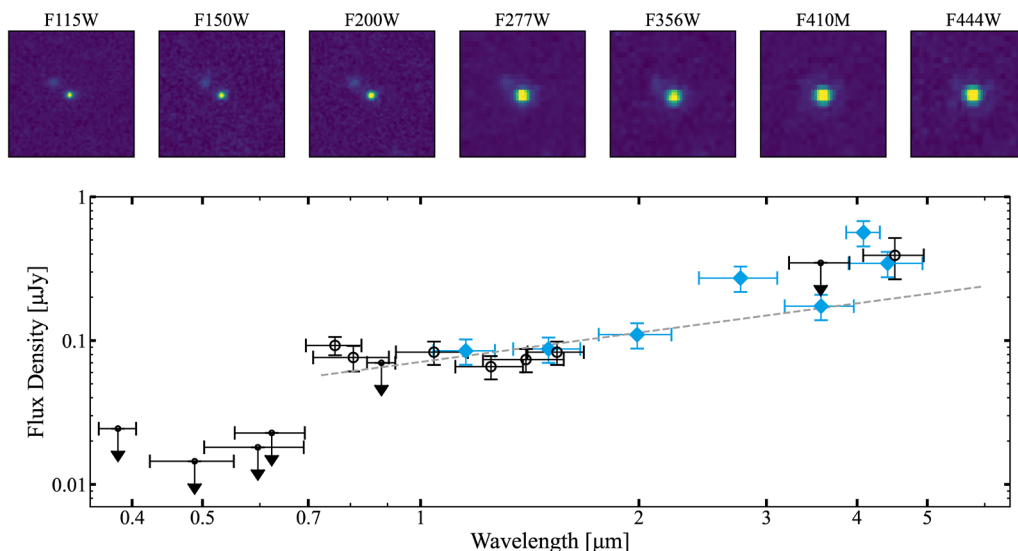


図1 CEERS 2782 ($z=5.24$) のNIRCам画像(上)とSED(下)。下図ではNIRCамから得られた測光データを青、その他の望遠鏡から得られたデータを黒で示す。2.8 μm , 4.1 μm にそれぞれ $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$, $\text{H}\alpha$ 輝線によるフラックス超過が見えてとれる。黒鎖線は連続光に対してフィットしたべき関数($\alpha_1 = -1.32 \pm 0.30$; $F_{\lambda} \propto \lambda^{\alpha_1}$)。

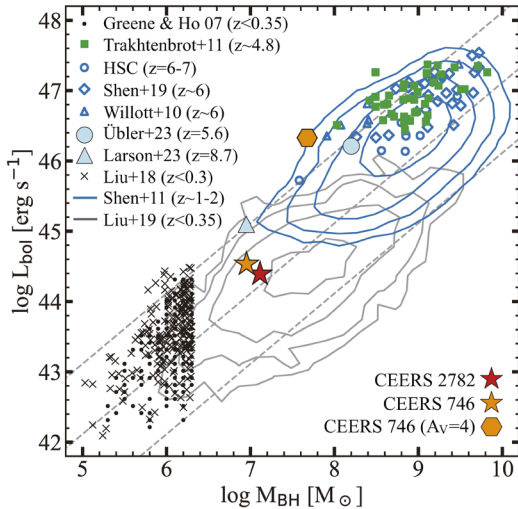


図2 遠方AGNのブラックホール質量-全光度分布。

準備段階でテキサス大オースティン校所属の藤本征史さんに助けていただいたことを記しておく。

4.2 次々に見つかる遠方低光度AGN

そしてその後どうなったか。CEERS 2782の発見を皮切りに、現在JWSTを用いた遠方低光度AGNの発見が相次いでいる。例えば、Harikane et al. (2023) [8] では、ERSおよびEROプログラムから得られた $z=4-7$ 銀河185個のNIRSpec多天体分光データ解析から、AGNの兆候となる線幅の広い($>1000 \text{ km s}^{-1}$) $\text{H}\alpha$ 輝線を示す天体を合計10天体発見した。Matthee et al. (2024) [9] では、EIGER, FRESCOという2つのNIRCam wide field slitless spectroscopy (WFSS) 観測プログラムのデータを用いて、合計20個のbroad $\text{H}\alpha$ 輝線天体が報告されている。WFSS観測は原理上視野内のすべての天体が分光されるため、事前にターゲットの選択が必要なスリット分光観測に比べてバイアスが少なく、というメリットがある。これらの観測から発見されたAGNは、どれも地上赤外観測からは発見できないほど暗いものばかりだ($2 \mu\text{m}$ 帯での明るさ26-28等)。さらに、JWST以前より最遠方銀河として知られていたGN-z11を含む $z>10$ の最遠方銀河のいくつかが、

実はAGNである可能性も出始めている [10, 11]。

なお、現在CEERSを使った遠方AGN探査は北京大学の学生によって引き継がれている。我々はサイクル3において20時間のNIRSpec分光観測時間を獲得しており(プログラムID: GO 5718), CEERS 2782と同様 $\text{H}\beta + [\text{OIII}]$, $\text{H}\alpha$ 輝線によるフラックス超過が見られる天体、およびダスト減光の兆候が見られるAGN候補天体を合計60天体ほど追観測する予定となっている。

JWSTの比較的狭い視野を考えれば、これほどまでに数多くの遠方AGNが初年度観測から発見されることは全く予想外であった。前述したように、すばる望遠鏡HSC-SSPの観測から得られていた $z\sim 6$ でのAGNの割合は、絶対UV等級 $M_{\text{UV}} \sim -22$ 等で1%程度で、さらに暗い領域では相対的に銀河の数が劇増するために0.1%程度の予想であった。一方でJWST初期観測から得られたAGNの割合は $-21 < M_{\text{UV}} < -19$ 等級の範囲で0.5-10%ほどであり、これは当初の予想より1-2桁大きい。文献によって差異があるのは、観測されたサンプルが事前にハッブルなど可視光で選ばれた銀河か、あるいはWFSSのようにJWSTで無バイアスに発見されたサンプルであるかなどの影響によるものだと考えられる。また、この低光度領域では推定されたUV等級に母銀河の寄与が無視できない影響もあるだろう。

このJWSTによる遠方AGNの大量発見は、我々のHSC-SSPを用いたキューサー探査にどのような示唆を与えるだろうか。両者は、それぞれ異なる波長範囲と光度範囲でAGNを選択しているので、単純な比較は難しいかもしれない。しかし、我々のHSC-SSPによる遠方キューサー探査では遠方超巨大ブラックホールの大部分を見逃していた可能性がある。例えば、キューサー母銀河がキューサーと同程度かそれ以上のUV光度で光っているような天体は点源選択から漏れてしまう。SDSSなどの従来サーベイ探査では、母銀河の寄与が無視できる明るいキューサーにのみ感

度があるために、このようなことは問題にならなかったが、それらよりも低光度のクェーサーを狙うHSC-SSPにとっては重要な問題となりうる。また選択手法による取りこぼし以前に、視線方向でダストによる減光を受けたAGNの割合が高い可能性が考えられる。この場合、ダスト減光に比較的強いJWSTの静止系可視光観測で大量にAGNが発見されていることを自然に説明できるだろう。実際、Matthee et al. (2024) [9] ではH α 光度関数で見ると、UV光度関数で見ると既存の観測とJWST観測との矛盾は見られないことが議論されている。また、本稿では詳細は触れないことにするが、“Little Red Dots”と呼ばれる、連続光が紫外から可視光にかけて青→赤と変化する特徴的なSEDを持つAGNが $z>4$ で次々に報告されている。これらの可視光放射は、どうやらダストに隠されたI型AGN (Vバンド減光量 $A_V \approx 4$ 等) で説明可能とされている。こういった遠方クェーサーの数密度問題を再評価する一つの策としては、すばる望遠鏡の次世代分光器Prime Focus Spectrograph (PFS) の活用が挙げられる。PFSで予定されている戦略枠プログラムを用いて遠方ライマンブレイク銀河を具に分光し、その中のクェーサーの割合を評価すれば、母銀河に埋もれたクェーサーがどの程度いるのかの検証に使えるであろう。

5. 遠方クェーサー母銀河の初検出

超巨大ブラックホールの起源を探るうえで、遠方宇宙におけるブラックホールと母銀河の共進化関係の解明は必須である。一方で中心核からの明るい放射に隠れた母銀河を検出することは困難であり、ハッブル望遠鏡を使った研究では空間的に広がった母銀河を検出できる限界はおおよそ $z=1.5-2$ 程度であった。

これを解決するのがJWSTである。実際にサイクル1では $z>6$ のクェーサー母銀河の撮像観測を狙う数多くのプログラムが採択されており、我々のHSC-SSPのグループもその1つであった。我々のプログラムでは、HSC-SSPより発見された $z=6$ 付近のクェーサーの中で、最も光度が暗い12個をターゲットに選んだ(絶対UV等級 $-24 < M_{UV} < -22$ 等)。NIRCam, NIRSpecの2つの装置でこれらを観測することで、それぞれ母銀河の画像検出と分光データを用いた超巨大ブラックホール質量の測定を行うことが目的だ。ほかの同種のプログラムと比較して光度が低い遠方クェーサーを狙うことで、相対的に母銀河がブラックホールに対して明るいことが期待され、NIRCamでの検出可能性が高いと期待できることが最大の長所である。

図3は最初に観測されたターゲットの1つ、J2236+0032のNIRCam F356W画像だ。左図は

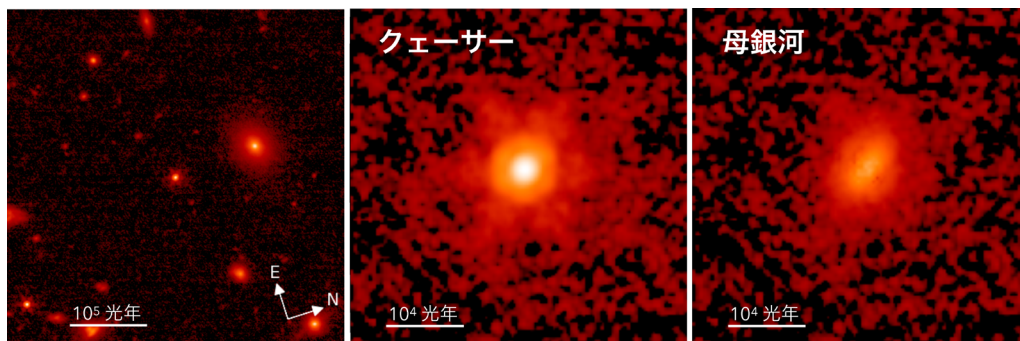


図3 HSC J2236+00032 ($z=6.4$) のNIRCam F356W画像 (Kavli IPMUプレスリリースより引用)。左から、周辺領域、ターゲット画像、クェーサー成分を差し引いた後の母銀河画像。

ターゲット周囲，中央図はターゲットの拡大図を示す．この画像に対して，キューサー由来の点源成分と母銀河由来の空間的に広がった成分の切り分けを行った．この切り分け作業には，共同研究者である Xuheng Ding さん（当時 Kavli IPMU，現武漢大学）が開発した Galight と呼ばれるソフトウェアを使用した．Galight では視野内に写った明るい星を頼りにして Point spread function の形状を推定し，銀河の表面輝度プロファイル（セルシック則を仮定）との組み合わせで画像を最もよく再現するモデルを探査する．図3の右図は，J2236+0032 でベストフィットの点源成分を差し引いた母銀河画像である．この画像では全体の25.5%が母銀河由来であることがわかった．同様の解析をもう一方の F150W 画像に対しても行い母銀河成分の SED フィットを行ったところ，星質量が $\log M^*/M_\odot = 11.12^{+0.40}_{-0.27}$ と遠方宇宙の中では最大級に重いことがわかった．もう一天体と合わせて論文 [12] で本成果を報告し，これが $z > 6$ の遠方宇宙における世界初の母銀河検出の成果となった．また NIRSpec 観測から得られるブラックホール質量（J2236+0032: $1.4 \times 10^9 M_\odot$ ）と合わせると，少なくとも最初に観測した2天体に関

しては，近傍の星質量-ブラックホール質量関係と矛盾しないことを確認している．現在，サイクル1のすべてのターゲットの観測が完了しており，同様の解析が進行中だ．さらに今後のサイクルで50個程度にサンプル数を増やすことができれば，「ブラックホールの成長が先か，銀河の成長が先か」問題に対して統計的な検証ができるだろう．4章で紹介した低光度 AGN についても母銀河質量の推定が進んでおり，多くのブラックホールが近傍の共進化関係に比べて重いことが知られている．これらについては，そもそもの母銀河質量推定の信頼性やサンプル選択におけるバイアスの理解がまだ不十分であると考えられるが，今後 HSC-SSP の結果と合わせて包括的なブラックホール-銀河共進化の描像を得たいと思っている．

さらに，J2236+0032 についてはもう一つ重要な発見がある．J2236+0032 の NIRSpec スペクトル（図4）を見ると，キューサーに典型的な幅の広い $H\alpha$, $H\beta$ 輝線とは対照的に， $H\gamma$, $H\delta$, $H\epsilon$ が吸収線として検出されているのがわかる．同じ波長帯の NIRCам F356W 画像での明るい母銀河検出を考えれば，この吸収線は母銀河の成分を反映し

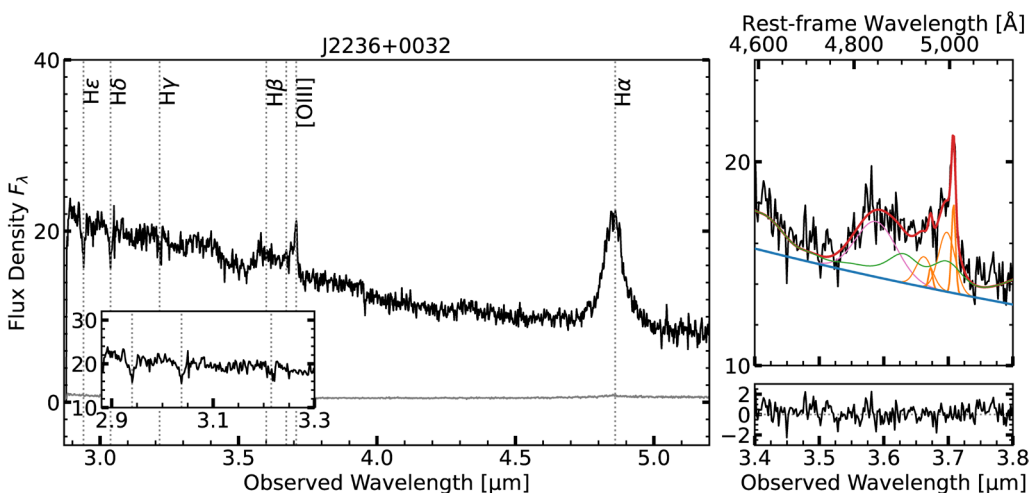


図4 HSC J2236+0032 ($z=6.4$) の NIRSpec スペクトル [12]．左図は取得したデータ全体と吸収線領域の拡大図．右図は $H\beta + [\text{O III}]$ 輝線に対するモデルフィットの様子を示す．

ているものとするのが自然であろう。すると J2236+0032 の母銀河は直近で星形成をしておらず、A型、F型星で占められた、いわゆるポスト・スターバースト銀河のような星種族を持っていることになる。これまでのアルマによる観測では、多くの明るい遠方クェーサーの母銀河が $100\text{--}1000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 程度の非常に活動的な星形成を示していることが知られている。J2236+0032 はこれらとは対照的であり、スペクトルデータの解析から数億年前 ($z \sim 8$) に星形成のピークが起こってから星形成活動が抑制されている天体とわかった (論文投稿中)。 $10^{11} M_{\odot}$ 近くある星質量の大部分をこの時代までに作る必要があるため、初期大質量銀河の形成という意味でもこの天体の発見は重要な意味を持つであろう。なお、サイクル2 (ID: GO 3859) で追加で取得した新たな NIR-Cam 他波長画像の解析からも、このシナリオは支持されている。こちらの結果についても、今後機会があればご紹介させていただきたい。

謝 辞

この原稿を作るにあたっては、2024-2025年度の天文月報編集委員の方々に大変お世話になりました。ここでお礼を申し上げます。また日頃よりお世話になっている HSC-SSP の遠方クェーサー

(SHELLQs) チームの皆さまにも、この場を借りて深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Wang, F., et al., 2021, ApJ, 907, L1
- [2] Inayoshi, K., et al., 2020, ARA&A, 58, 27
- [3] Bosman, S. E. I., et al., 2022, MNRAS, 514, 55
- [4] Onoue, M., et al., 2020, ApJ, 898, 105
- [5] Yoshii, Y., et al., 2022, ApJ, 937, 61
- [6] Onoue, M., et al., 2023, ApJ, 942, L17
- [7] Kocevski, D. D., et al., 2023, ApJ, 954, L4
- [8] Harikane, Y., et al., 2023, ApJ, 959, 39
- [9] Matthee, J., et al., 2024, ApJ, 963, 129
- [10] Goulding, A. D., et al., 2023, ApJ, 955, L24
- [11] Maiolino, R., et al., 2024, Nature, 627, 59
- [12] Ding, X., et al., 2023, Nature, 621, 51

The First JWST Results on Distant Active Galactic Nuclei

Masafusa ONOUE

¹*Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (Kavli IPMU), 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8583, Japan*

²*Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics Peking University, 5 Yiheyuan Road, Haidian District, Beijing, 100871, P. R. China*

Abstract: The first year of the JWST observations has seen great progress in the understanding of the early formation of galaxies and supermassive black holes. Here, I describe some of the highlights of the high-redshift AGN observations that I have been involved in during the past two years.