

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡： 宇宙のはじまりを探る冒険

東京大学・播金優一

1. ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡

2021年の年末に打ち上げられたジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(図1)は、人類がこれまでに作った中で最も大きく、性能の高い宇宙望遠鏡です。2022年の夏に観測を始めてから、わずか3年で3,000本以上の研究論文が書かれ、世界中の天文学者たちを夢中にさせています。多くの研究者が「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が登場して、天文学の世界は変わってしまった」と語るほどです。

なぜそこまで盛り上がっているのでしょうか？理由はシンプルです。

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡はあまりにも高性能で、これまで見たくとも見えなかった宇宙の姿をどんどん見せてくれるからです。

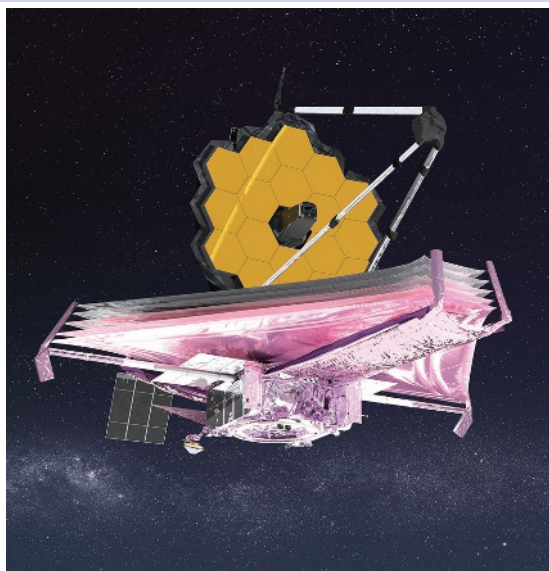


図1. ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の想像図。上部が18枚の六角形の小さな鏡で構成された主鏡で金メッキでコーティングされている、下部は5枚の遮光板。©NASA GSFC, CIL, Adriana Manrique Gutierrez

2. 宇宙の夜明けを見たい！

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の最大の目標の一つは、宇宙で最初に生まれた星や銀河を探すことです。宇宙は138億年前に誕生しましたが、最初は真っ暗で、星や銀河はなく、水素やヘリウムといったガスがただ広がっただけでした。その後、重力の働きでダークマターやガスが集まり、最初の星や銀河ができました。宇宙が初めて明るく輝き始めたこの時代は「宇宙の夜明け」と呼ばれています(図2)。

この宇宙の夜明けがいつ、どのように起こったのかは、まだよく分かっておらず、天

文学の大きな謎のひとつです。なぜなら、昔の宇宙にある星や銀河はとても遠くて暗いうえ、宇宙膨張による赤方偏移の効果で光が赤外線になってしまうからです。そのため地上のすばる望遠鏡やハubble宇宙望遠鏡では、それらを十分に観測することができませんでした。

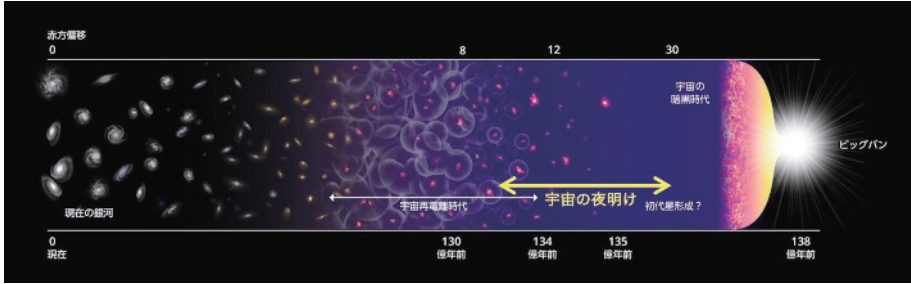


図2. 宇宙の歴史の概略図。左端が現在で右端が宇宙初期。黄色の矢印の時代が、宇宙で最初の天体ができ宇宙の夜明けの時代。©Harikane et al.

そこで力を発揮するのが、直径6.5メートルもの大きな鏡を持つジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡です。赤外線にとっても敏感で、例えば、以前のスピッツァー宇宙望遠鏡と比べると感度は10倍以上です。この高感度の赤外線観測により、これまで見えなかった、宇宙誕生からわずか数億年後にできた銀河まで観測できると期待されていました。

3. データ公開と激しい競争

2022年7月、ついに最初の観測データが公開されました（図3）。天文学者たちは待ちきれず、初期データが公開されるやいなや連日徹夜で解析を始めました。私もその一人です。実際に134億年前の銀河をいくつも見つけましたが、世界中の研究者が皆だれよりも早く論文を書こうと大競争が始まり、毎日のように新しい論文が発表されました。

その中でも驚いたのは、非常に明るい134億年前の銀河を見つけたときです。徹夜で解析を進めていた深夜4時にこの銀河を発見したのですが、「こんなに明るい銀河があるなんて！」と鳥肌が立ち、目が覚めるほどの驚きの発見でした。しかし、競争は予想以上に過酷でした。後からわかったことで



図3. 最初に公開されたデータの一つ、SMACS0723銀河団の画像。多くの銀河の姿が鮮明に捉えられている。©NASA, ESA, CSA, STScI

すが、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の初期データを使って昔の銀河を探しているグループは、私のところも含めて世界に合計10もありました。深夜4時に明るい134億年前の銀河を発見した後も、数時間後にはアメリカとヨーロッパのグループが同じ天体をすでに論文として発表していたのです。熾烈な競争が繰り広げられていました。

4. 予想を超える数の銀河

こうした解析の結果、私たちのグループは134億年以前というとても初期の宇宙に、合計20個以上の銀河を見つけました（図4）。見つかった銀河の数は、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の打ち上げまでに理論研究で予想していたよりもずっと多く、宇宙の初期には天文学者が予想していた以上にたくさんの銀河が存在していたことが分かってきました。このような理論研究はハッブル宇宙望遠鏡などの多くの観測結果を見事に再現していたため、それらがジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の新たな結果を再現できないのは大きな驚きでした。なぜ、理論予測よりも多くの銀河が宇宙初期で見ついているのでしょうか？これに関しては初期データをもとにした結果が報告された2022年夏から様々な可能性が検討され、活発な議論が天文学者の間で巻き起こっていますが、いまだに結論はついていません。ここでは可能性を3つ紹介します。

1. 銀河の中で星がとても活発に生まれている：銀河の明るさは中の星の量に



図4. ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で見つかった134億年前の銀河の一つ、CEERS2_588（拡大図の中心の赤い天体）。©NASA, ESA, CSA, Harikane et al.

関係します。もし初期の銀河で星の誕生がとても活発だったなら、銀河は明るく輝き、多く見つかることになります。

2. 太陽より何百倍も大きい特別な星(初代星)がたくさんある: 宇宙最初の星(初代星)は太陽の何十倍、何百倍もの質量を持ち、強烈に輝いたと考えられています。そのような星が銀河にたくさんあれば、遠くからでも明るく観測しやすくなります。
3. 巨大ブラックホールが銀河を明るくしている: 銀河の中心にある巨大ブラックホールは、周囲のガスを飲み込みながら強い光を放ちます。その光が銀河をさらに明るく見せ、数多く発見される理由になっているかもしれません。

どれが正しいのかを調べるため、さらなる観測が進められていますが、いずれにしても昔の銀河は天文学者の常識からは外れた天体のようです。

5. 巨大ブラックホールの大量発見

さらにジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡は、予想外の発見もしました。それは120億～130億年前の「巨大ブラックホールの大量発見」です。ブラックホールとは光さえ逃げられない天体ですが、周りのガスを飲み込むときに強い光を出すため、観測することができます。

ブラックホールが成長するには時間がかかるため、この昔の時代の巨大ブラックホールはとても珍しく従来は考えられていました。実際にこれまですばる望遠鏡などによる観測が行われてきましたが、巨大ブラックホールの数は同じ時代の銀河に比べると1000分の1以下と見積もられていました。そのため、視野の狭いジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡では1個も見つからないだろうと考えられていました。



図5. ジェームズ・ウェブ宇宙望遠鏡により発見された120億-130億年前の巨大ブラックホールの存在する10個の銀河。多様な銀河の色や形は、巨大ブラックホールが様々な種類の銀河に普遍的に存在することを示しているのかもしれない。©NASA, ESA, CSA, Harikane et al.

ところがデータを詳しく調べたところ、なんと10個も見つかったのです（図5）。これは予想の50倍以上で、ブラックホールが想像以上に早く成長していた可能性を示しています。これらのブラックホールは、現在の宇宙の同じような銀河にあるブラックホールと比べると10～100倍も重く、銀河と比べて早いスピードで成長したことが示されています。つまり「巨大ブラックホールは昔の宇宙では珍しい」という従来の常識が、大きく揺らいだのです。

さらに、これらのブラックホールが存在する銀河も、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の高い性能によって直接観測できました（図5）。画像には、ブラックホールからの光だけでなく、周囲の銀河の光も写っており、その色や形はさまざまです。これは、巨大ブラックホールが特別な銀河に限らず、いろいろな種類の昔の銀河に普遍的に存在していた可能性を示しています。

6. 元素の起源を探る

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の活躍は銀河やブラックホールだけではありません。昔の銀河の中にある酸素や窒素、炭素といった「重い元素」の量を調べることに成功しています。

このような昔の銀河の元素量の研究は、天文学の分野において非常に注目されています。なぜならば銀河の元素量の測定を通じて、宇宙の中でどのように元素が増えてきたのかを知ることができるからです。宇宙が誕生した直後には水素やヘリウムしかありませんでした。酸素や炭素などは星の内部で核融合によって作られ、超新星爆発で宇宙にまき散らされていきます。

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は昔の銀河の光を分解することで分光スペクトルを取得し、その中に含まれる多くの元素の輝線をこれまでになくはっきりと捉えました（図6）。ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の登場以前はアルマ望遠鏡で5時間観測することで、酸素の輝線をようやく1本検出する程度でした。しかしジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡は同じ5時間の観測で、水素・酸素・ネオンの輝線を合計10本も検出することに成功しており、これにより131億年前という昔の宇宙で、銀河の酸素の量を精度良く測定することが初めて可能になりました。このデータは発表当時天文学者に衝撃を与え、しばらくは皆この話題で持ちきりでした。また、一部の銀河では窒素が異常に多く含まれていることもわかりました。これは従来の理論では説明できず、もしかしたら太陽の1万倍もの重さを持つ特別な星が関係しているのかもしれない。

7. これからの展望

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡のおかげで、人類はこれまで不可能だった「宇宙の夜明け」をのぞき見るできるようになりました。最初の銀河や星がどのように生まれたのか、ブラックホールがどうやって大きくなったのか、宇宙の中で元素はどう増

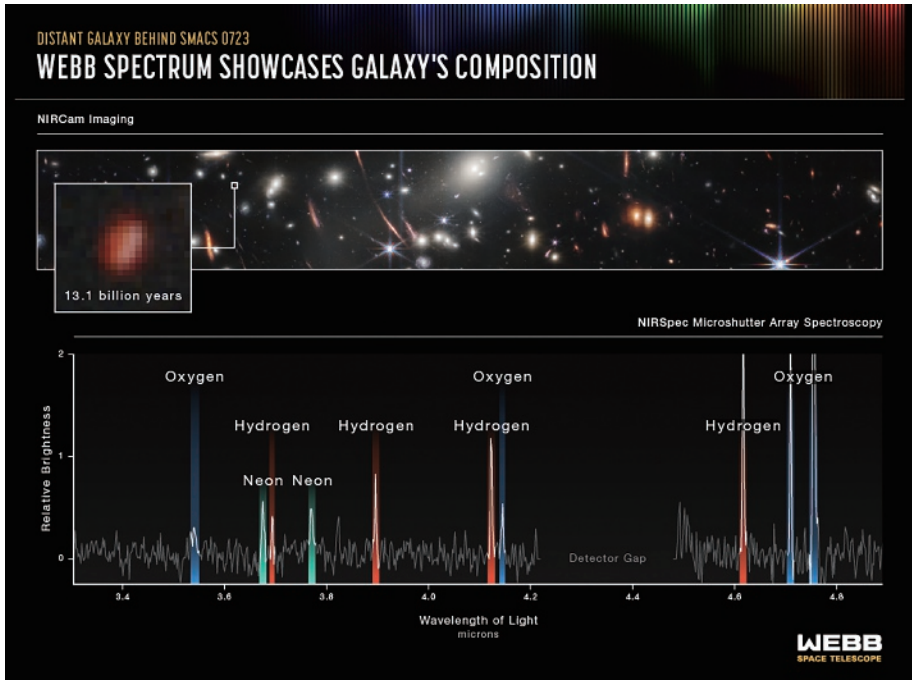


図6. ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡によって取られた131億年前の銀河の分光スペクトル(下図)と、その銀河の画像(上図)。下のスペクトルの中には水素(赤色)、酸素(青色)、ネオン(緑色)など、元素の輝線が多く見られ、これらの輝線の強さから、元素の存在比を調べることができる。©NASA, ESA, CSA, STScI

えていったのか。まだ謎はたくさん残っていますが、ジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡はその答えに一步一步近づいています。宇宙138億年の歴史の中で、今まさに最後のフロンティアが開かれつつあるのです。



著者紹介 播金 優一(はりかね ゆういち)

1991年生まれ。東京大学理学部卒、東京大学大学院理学系研究科修了。博士(理学)。国立天文台、英国ユニヴァーシティ・カレッジ・ロンドンの研究員を経て、2020年より東京大学宇宙線研究所・助教。専門は銀河観測でジェイムズ・ウェブ宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡、アルマ望遠鏡を使って宇宙史を通した銀河の形成を研究している。令和5年度文部科学大臣表彰若手科学者賞、2023年度日本天文学会研究奨励賞。