

令和2年6月2日

報道機関 各位

東北大学大学院理学研究科  
大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台

## 巨大ブラックホールの種になる星たち 大規模シミュレーションが描く新しい形成メカニズム

### 【発表のポイント】

- ほぼ全ての銀河の中心には普遍的に巨大ブラックホール<sup>(注1)</sup>が存在するが、その起源は現代天文学の大きな謎であり、従来の説では、巨大ブラックホールのうち一部の特殊なものの起源しか説明できていなかった。
- 今回、炭素、酸素等のより重い元素を含んだ物質を材料とした場合にも巨大星の形成が可能となることを、国立天文台のスーパーコンピュータ「アテルイⅡ」を用いたシミュレーションにより明らかにした。
- 従来の説に比べ、はるかに多くの巨大ブラックホールの起源を説明することが可能となり、銀河中心に存在するブラックホールを単一の起源で説明できる可能性を拓いた。

### 【概要】

東北大学大学院理学研究科の鄭昇明研究員（日本学術振興会特別研究員）と大向一行教授は、国立天文台のスーパーコンピュータ「アテルイⅡ」を用いた数値シミュレーションにより、銀河中心に存在する巨大ブラックホールの起源に対する新説を提唱しました。従来の説では、水素とヘリウムからなる始原ガス<sup>(注2)</sup>からのブラックホールの種の形成が考えられていました。この説では、宇宙初期に存在する一部の巨大ブラックホールの起源は説明できるものの、銀河中心に位置するような巨大ブラックホールの数を説明することができませんでした。しかし、今回のシミュレーションは、重元素を少量含んだガスからの星形成<sup>(注3)</sup>時でも、小さい星が大きい星へ合体することで、巨大ブラックホールの種となる巨大星の形成も可能であることを示しました。これにより巨大ブラックホールの起源を統一的に説明できる可能性が開けました。本成果は、2020年5月出版の『*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*』に掲載されました。

## 【詳細な説明】

我々の住む銀河系をはじめとして、ほとんどの銀河の中心には巨大ブラックホールが存在すると考えられています。その質量は非常に大きく、時に太陽の100億倍にも達することもあります。このような天体がいつ、どのようにして形成されたのかは未だわかっておらず、天文学における大きな謎です。巨大ブラックホールの起源の一つとして注目されているのが、巨大ガス雲が一気に収縮して太陽の10万倍から100万倍の質量を持つ巨大な星を作る過程です。このような重い星は進化の末にブラックホールへと姿を変えます。その後、強大な重力により周囲のガスを吸い込むことで、巨大ブラックホールに成長することが期待されています。

従来の理論では、ビッグバン直後のわずか数億年という限られた時期にのみ存在する、水素とヘリウムからなる始原ガスでこのような巨大星が生まれると考えられていました。このようなガス雲が周囲で形成された他の星々や銀河から放たれる非常に強い紫外線にさらされた場合には、ガス雲は自らの重力で一気に潰れることで単一の重い星が生まれることが知られていました。この理論は、宇宙の初期に稀に存在する巨大ブラックホールの起源を説明することができます。しかし、このような特殊な環境でしか起こらない星形成だけでは、観測されているすべての巨大ブラックホールの起源を説明することはできませんでした。これより後の時代には、宇宙に存在するガスは超新星爆発により撒き散らされた炭素や酸素などの重元素に汚染されてしまいます。重元素が含まれるガスは効率よくエネルギーを失い激しく分裂することが予測されるため、単一の重い星を形成することは困難と考えられてきました。さらに、このように激しく分裂するガスからの星の誕生を調べるには詳細なコンピュータ・シミュレーションが必要ですが、これまでのコンピュータの性能では十分な計算を行うことが難しく、ガスが分裂した後の進化はよくわかっていませんでした。

しかし鄭氏らは、重元素を少量含んだガス雲からの巨大ブラックホールの種となる巨大星が形成される可能性を確かめる必要があると考えました。「分裂したガス同士がその後の進化で合体し、巨大星を形成するかもしれないと予想しました」と鄭氏は述べます。研究チームは、国立天文台のスーパーコンピュータ「アテルイⅡ」を用い、大規模な数値シミュレーションを行いました。アテルイⅡの性能によって、分裂するガス雲を高解像度の3次元空間で計算し、長時間の変化を観察することができるようになったのです。この計算の結果、従来の予想に反して重元素が存在する環境下においても巨大星が形成されることがわかりました。これは重元素の存在によってガス雲は激しく分裂するものの、依然としてガス雲の中心への激しいガスの流れが存在するためです(図1、動画)。さらに、分裂により小さい星は多数形成されるものの、それらの多くはガス雲の中心へ向かう激しいガスの流れに引きずられることで、中心付近に形成された重い星と衝突・合体してしまいます。このようにして重い星が効率よく成長し、太

陽の1万倍という質量の巨大星が形成可能であることを発見しました(図2)。

「重元素を含むガス雲からこれほど大きいブラックホールの種の形成を示したのは、本研究が初めてです。この巨大星はさらに成長を続けることで、巨大ブラックホールに進化すると考えています」と鄭氏は語ります。

このように本研究で提唱された巨大ブラックホールの形成モデルは、従来の宇宙初期に限ったモデルに比べてより一般的な環境下で実現可能です。大向氏は「我々が発見したモデルは、すでに重元素がまき散らされた宇宙初期の銀河においても巨大ブラックホールを形成することができ、従来モデルに比べてはるかに多い数のブラックホールの起源を説明することが可能です。銀河系中心のブラックホールを含む巨大ブラックホールの普遍的な起源の解明に近づいたと考えています」と研究の意義を述べています。

### 【論文情報】

雑誌名：*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*

論文タイトル：Supermassive star formation via super competitive accretion in slightly metal-enriched clouds

著者：Sunmyon Chon & Kazuyuki Omukai

DOI 番号：10.1093/mnras/staa863

URL：<https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/494/2/2851/5815796?redirectedFrom=fulltext>

### 【用語説明】

#### (注1) 巨大ブラックホール

宇宙に数多く存在するブラックホールのうち、太陽の100万から100億倍の質量を持つ重いブラックホールの総称。我々の銀河系を含む、ほぼ全ての銀河の中心に存在すると考えられている。近年、地球規模の電波干渉計である Event Horizon Telescope (EHT) による直接撮像が成功したことで、その存在が注目を集めている。

#### (注2) 始原ガス

宇宙の始まりであるビッグバン直後に存在する元素からなる物質の総称。水素・ヘリウムとわずかな量のリチウムから構成される。我々の身近に存在する酸素や炭素などをはじめとする多様な元素は主に星の内部で生成され、重い星が死後起こす超新星爆発などによって宇宙空間に撒き散らされる。

#### (注3) 星形成

ガスの集まりであるガス雲が自らの重力により収縮し、中心に「星」を形成する過程。誕生直後の星は原始星と呼ばれ、質量は太陽の100分の1程度と非

常に小さい。この原始星が周囲のガスを集めることで、太陽をはじめとする恒星に成長する。この一連の星を作る過程のことを星形成と呼ぶ。原始星が周囲のガスをどれだけ集められるかが、巨大星を作る鍵である。

【参考図】

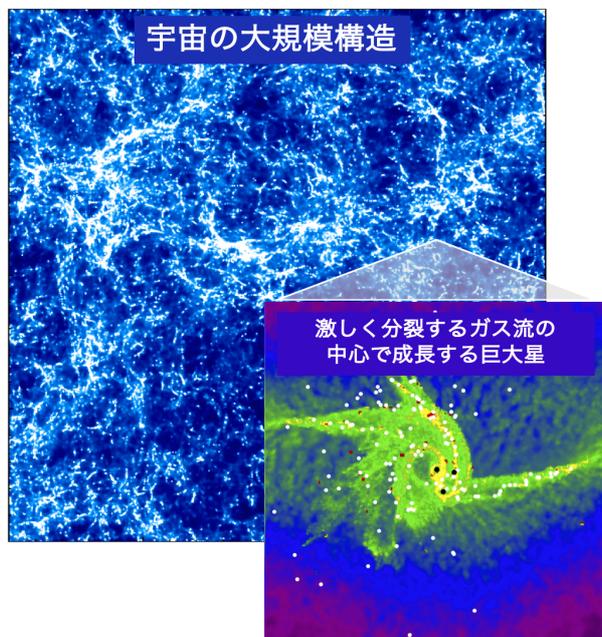


図1：ブラックホール形成時における宇宙における物質分布(上図)とブラックホールを生み出すガス雲の密度分布(下図)のシミュレーション結果。下図において中心付近にある黒い点は巨大星を表しており、やがてブラックホールに進化すると考えられる。白い点は小さい星を表しており、ガス雲の激しい分裂により形成された。小さい星の多くは中心の巨大星と合体し、それによって巨大星の質量は効率よく成長できる。(クレジット：Sunmyon Chon)

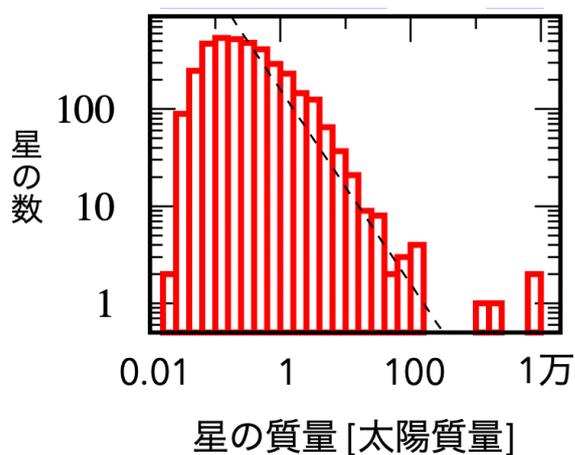


図2：重い元素を含むガス雲で形成される星の質量分布。今回は最初に星が形成されてから、およそ1万年間の進化を計算した。炭素や酸素などの重元素の存在によりガス雲が激しく分裂することで、太陽質量付近にピークを持つ分布が存在する。一方で、太陽の1万倍の質量を持つ巨大星も同時に形成される。この巨大星はさらに質量成長し、最終的に重いブラックホールに進化すると考えられる。(クレジット：Sunmyon Chon)

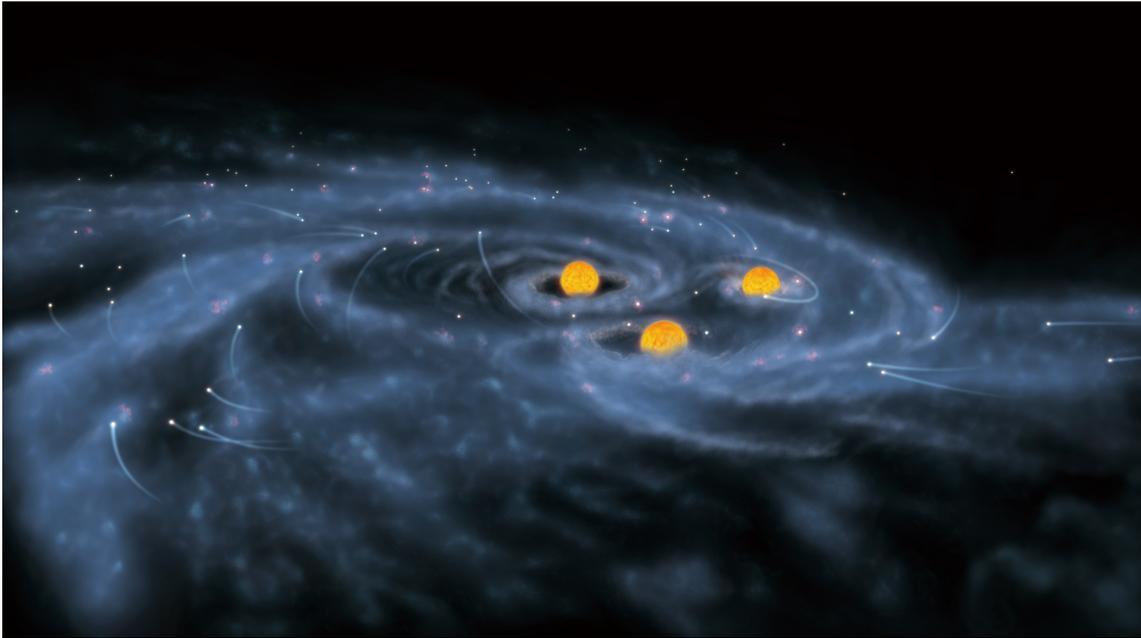


図3：本研究が明らかにしたブラックホールの種となる巨大星形成の想像図。（クレジット：国立天文台）

<https://youtu.be/jaRrDLTzBVo>

動画：図1の下図のシミュレーションの動画。図1と同様に、黒い点は巨大星を、白い点は質量の小さい星を表している。ガス雲の中心で巨大星が形成される一方、周囲の激しく分裂するガスから多くの小さい星が誕生し、その多くがガスの流れにのって小さい星が巨大星に衝突・合体する様子が見て取れる。（クレジット：Sunmyon Chon）

**【問い合わせ先】**

<研究に関すること>

東北大学大学院理学研究科天文学専攻

研究員 鄭 昇明（ちょん すんみよん）

E-mail：[sunmyon.chon@astr.tohoku.ac.jp](mailto:sunmyon.chon@astr.tohoku.ac.jp)

<報道に関すること>

東北大学大学院理学研究科

広報・アウトリーチ支援室

E-mail：[sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp](mailto:sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp)