

CASE 1

最新のシミュレーションが解き明かす星団形成

宇宙や天体が「進化」する時間スケールは、数百万年から数十億年と人間の時間スケールを遥かに超えている。そのため、数値シミュレーションは、宇宙の時間進化を直接観測することのできる重要なツールである。コンピュータの発達と共に、天文学の数値シミュレーションはより天体の細部まで再現できるようになってきた。最新のシミュレーションは、有名なオリオン大星雲が現在の姿になるまでの過程を描き出した。

天文学では、銀河や星などの天体が時間と共に形成したり成長したりする様を「進化」と呼ぶ。天体の進化の時間スケールは人類の歴史より遥かに長いので、私たちの見ている天体の姿は、ある一瞬の静止画像に過ぎない。そのため、さまざまな異なる進化段階の天体を観測し、天体の形成・進化過程について理解をしている。

数値シミュレーションは、コンピュータの中に天体を再現し、天体の進化を直接「観測」する手法である。シミュレーションはコンピュータの発展と共に発達し、その精度は年々向上してきた。星団（数十から数百万個の星が互いの重力で束縛されて集まっている天体）であれば、星一つ一つを再現したシミュレーションができるようになった。

星団は、分子雲と呼ばれる低温の（主に水素からなる）星間ガスの中で生まれる。分子雲の中の特に密度の高い場所では星間ガスが自己重力によって収縮し、星となる。星が密集して生まれると、星同士が互いの重力によって束縛され、星団となる。星団の星の運動は重力によって支配され、星同士が近づくことによって起こる強い重力相互作用によって、星が高速で星団外へと弾き出されることが知られている。

星一つ一つが再現できるようになると、次に気になるのは、星のこのような運動をどれだけ正確に再現できるかである。星同士が近づくほど、星の運動は高速になり、シミュレーションも難しくなる。これまでの研究では、重力をあえて弱めることでシ

ミュレーションを簡単にしてきた。しかし、近年開発されたアルゴリズムによって、重力を弱める近似なしに計算を行うことができるようになった。

星の運動を近似なしに解くシミュレーションを行った結果、星団が形成する過程で、星団の中心付近の分子雲で生まれた新しい星が、周りの星との重力相互作用によって星団の外側へと弾き出される様子が見えてきた。実際のオリオン大星雲では、シミュレーションとは違い、星が動いていく様子を見ることはできないが、星の速度は測ることができる。最新の星の速度データとシミュレーション結果を比較することで、オリオン大星雲でも重力による星の散乱が起こっていることがわかった。

今まで考えられていたよりもダイナミックな星の運動は星団の形成過程にどのような影響を及ぼしているのだろうか。シミュレーションから見えてきたのは、星団中心から弾き出された星が周囲のガスを電離することによって、オリオン大星雲で見られるような電離領域（図参照）を作り出す様子だ。今後は、他の形成途中の星団でも同じことが起こっているのか確かめていく必要がある。また、より多くの星が集まってできている星団の形成過程を同様のシミュレーションで再現していくことで、未だ謎の多い大質量星団の形成過程の解明が期待される。

本研究は M. S. Fujii *et al.*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 43, 514 (2022) に掲載された。

(2022年6月8日プレスリリース)

図：左：数値シミュレーションで形成された星団とその周りの星間ガス。青白い点は星を、赤～緑色の領域は星間ガスを表している。低温のガス（分子雲）を赤色に、高温のガス（電離領域の端）を緑色に色付けしている（画像クレジット：藤井通子、武田隆顕、国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト）

右：ハッブル宇宙望遠鏡が撮影したオリオン大星雲（画像クレジット：NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team)



CASE 2

岩の隙間に潜む始原生命から生命誕生の謎に迫る

われわれを含む生命はどのように誕生したのだろうか？

誰もが考える問いに答えるのは不可能かもしれない。

ただ、地球上の全ての生命を知った上で、この問いに向かい合うことはできる。

地球上で未知の生命として注目されている、岩石内部に生息する始原的な微生物。

そんな岩石内部の微生物が、地球上で最大級の生態系を形成すると試算されている。

その謎のバールをはがすことで、地球生命の新常識や生命誕生の新仮説が生まれつつある。

生命の起源の探求は、地球を飛び出し地球外にその答えを求める時代に突入している。特に、生命を構成する高分子（核酸やアミノ酸等）の生成過程に関しては、最先端の合成技術を駆使した実験に加えて、地球外物質に含まれる高分子の研究が進められている。地球外生命体の探査も、その発見により生命の起源に大きな制約を与えるため、火星や氷衛星の生命探査が計画も含めて進行している。地球で生命が誕生する上で、ある特定の物質が高分子の合成、細胞内と外界との仕切り、さらには細胞内における代謝と遺伝において、重要な役割を果たしたと考えられている。その物質とは岩石と水が反応して形成される粘土や金属硫化物であり、地球外物質からの生命探知においても主要なターゲットである。

地球の生命誕生当時に類似した環境に、粘土と金属硫化物に代表される生命誕生駆動物質が存在する場を「生命誕生場」と定義する。生命誕生当時は、光合成生物が誕生する前の時代で、光合成生物やその代謝産物である有機物や酸素の届かない現在の地球環境を想定する。これまで光合成由来の有機物や酸素の届かない地底に注目して研究を行っており、その成果として、粘土で充填された岩石亀裂中に、人間の腸内と変

わらない程の高密度で生息する微生物の発見につながった（理学部ニュース2020年52巻2号「研究最前線」で紹介）。一方、金属硫化物は深海底熱水噴出孔で普遍的に形成し、金属硫化物から成る煙突状の構造物を成す。その構造物は金属硫化物チムニーと呼ばれ、その内部で生命が誕生した仮説が、教科書レベルで有力視される。

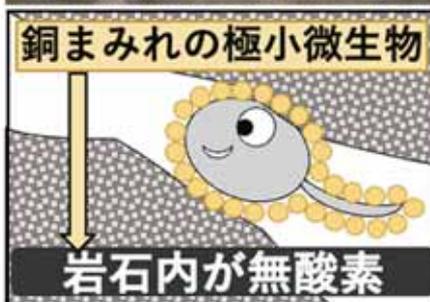
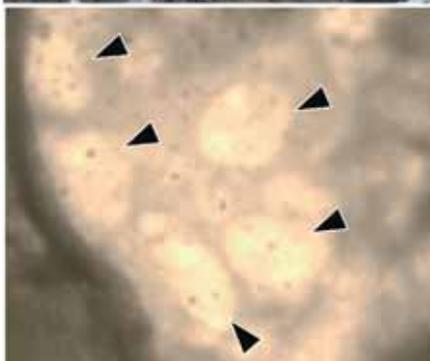
現在の地球では酸素に富む深層海水が浸透するため、形成直後は無酸素であった金属硫化物チムニー内部において、「生命誕生場」の条件が満たされていない懸念があった。深海は光合成生物由来の有機物に欠乏するが、チムニー内部が無酸素状態に保たれているかを証明するのが、技術的課題であった。南部マリアナトラフの深海底熱水噴出孔から、無人潜水艇を用いて金属硫化物チムニーを採取し（図上）、チムニー内部で微生物でも入り込めるかギリギリの狭い隙間を電子顕微鏡で観察した。その結果、銅まみれの極小微生物（細胞の大きさが100 nm = 1 mmの1万分の1）が密集する姿をとらえることに成功した（図中）。細胞周りの銅は結晶構造を持ち、その構造は酸素により速やかに溶ける性質があるため、隙間は無酸素状態で維持されていることを証明できた（図下）。DNA配列に基づきチムニー内部に生息する微生物を系統分類した結果、粒界に生息する極小微生物は、普遍系統樹の根本で分岐するため、生命進化最初期に誕生した生命の直系子孫（理学部ニュース2021年52巻5号「理学の謎」で紹介）であることも判明した。

現在、ゲノム解読による詳細な生物情報の収集を進めており、始原的な微生物が語る「生命誕生場」の環境や初期生命進化の話に耳を傾けている。

本研究成果は、H. Takamiya *et al.*, *Frontiers Microbiology* (2022) に掲載された。

※ DOI : 10.3389/fmicb.2022.864205

(2022年6月7日プレスリリース)



図：深海底熱水噴出孔で形成する金属硫化物チムニーの写真（上）と、その内部で発見された極小微生物の電子顕微鏡写真（中）、チムニー内部に極小微生物が生息する様子のイラスト（下）