

4 . 発表内容 :

生命の存在しない宇宙に、どのようにして生命が誕生したのか。自然科学の中でも最大の謎といって、過言ではないでしょう。あまりにも難しすぎる上に、生命科学、化学、物理学、地球科学、そして天文学までの多岐にわたる問題であるために、これに真正面から取り組む研究

者の数も限られているほどです。特に、DNA に保存されている高度な生物遺伝情報が、非生物的な過程から一体どのように生まれてきたのかが、最大の難問と言えるでしょう。

生命の起源で有力な説として、RNA ワールドがあります。現生生物は、主に遺伝情報は DNA が、代謝などの生物的活性はタンパク質が担っていますが、RNA (注2) は一つでその二役の機能を持つため、最初の生命は RNA から始まったとする説です。これは広く支持されている説ですが、そもそも最初に生物的活性を持つ RNA がどのように誕生したかは、謎のままです。

DNA や RNA は、ヌクレオチドと呼ばれる分子が多数つながったものです。4 種のヌクレオチドがどのようにつながるかで、コンピュータのメモリのように複雑な情報を保存できま

す。仮にヌクレオチドが一つずつランダムに結合する化学反応を考えても、生命活動を可能にするだけの高度な情報をもった長い RNA が「たまたま」できあがる確率はあまりにも低く、現実には起こりえないと考えられてきました。例えとして「猿がタイプライターを打って、偶然、シェイクスピアの小説ができあがる」ようなものとも言われます。そのため、長鎖の RNA をランダムにつくるのではなく、何らかの未知の反応や機構により、生物的活性を持った高分子にまで進化するという仮説に基づいた研究も行われてきましたが、実際にうまく働きそうな、具体的な機構やシナリオはまだ見つかっていません。

今回の研究の着眼は、最新の宇宙論に基づく宇宙の広さでした。最先端の天文学は、138 億年前に誕生した宇宙が、我々に観測可能な 138 億光年の半径内で、極めて一様に広がっていることを明らかにしました。この様子を説明する上で不可欠なのが、1980 年代に提唱されたインフレーション宇宙論で、今ではほぼ全ての宇宙論研究者に支持されています。これによれば宇宙の超初期に、宇宙が指数関数的（ねずみ算式、倍々ゲーム）に膨張し、現在の 138 億光年の領域の体積は元の 10^{78} 倍になったとされます。インフレーションの広がりが、ちょうど我々の観測する 138 億光年にぴったり一致すべき理由はありません。むしろ、宇宙は 138 億光年の領域を超え、そのまた 10^{78} 倍の体積以上に広がっているはずで、太陽のような星は我々の住む銀河系内に約一千億 (10^{11}) 個、138 億光年の半径内に約 10^{22} 個（一兆の百億倍）ありますが、インフレーションで広がった宇宙には、実に 10^{100} 個以上の星があることになります。インフレーションはねずみ算式に起きますから、もう一回拡大して、 10^{178} 個の星があるという可能性も十分にありえます。

これだけの星があるなら、そのどこかでは、ランダムな化学反応だけで生命は誕生できるのではないかと。東京大学大学院理学系研究科天文学専攻の戸谷友則教授は、これを確かめるため、原始の地球型惑星においてヌクレオチドがランダムに結合し、生命誕生に必要な長さの情報配列を持つ RNA が生まれる確率と、宇宙の中の星の数を結びつける方程式をつくりました。生命の発生確率に関する方程式と言えば、ドレークの方程式が有名ですが、今回の方程式は、（1）知的生命体ではなく、最初の生命誕生を対象としている、（2）RNA が高分子化する物理的過程を考慮した、より具体的なものになっている、という違いがあります。

生命科学において実験的につくられる RNA の研究から、自己複製などの活性を持つ RNA が生まれるためには、ヌクレオチドが最低でも 40 個、あるいはざっと 100 個程度以上につながらなければならないとされています。逆に言えば、非生物的な過程からそれぐらいの長さの RNA が、正しい情報配列を含んで生まれれば、生命誕生における最大のハードルは越えたとと言えるでしょう。

今回つくられた方程式によれば、40 単位の長さで特定の情報配列を持つ RNA が偶然に生まれるためには、宇宙の星の数は 10^{40} 個ほど必要です（図 1）。100 単位の長さなら、実に 10^{180} 個の星が必要となります。これは、我々が観測可能な星の数（ 10^{22} 個）をはるかに超えますが、上に述べたとおり、インフレーション宇宙の大きさを考えれば十分に可能な数字です。つまり、「インフレーション宇宙のどこかで生命が生まれればよい」と考えるなら、ごく普通の化学反応で生命は誕生するということです。

もちろん、活性を持つ RNA ができればそれで生命の誕生と言えるのか、あるいは原始地球に存在したヌクレオチドの数など、不確定な要因は他にいくつもあります。しかし今回の方程式において、「インフレーションによる宇宙の広がり」と「生命誕生に必要な RNA の長さ」には特に密接な関係があります。数学的にどちらも指数的、つまりねずみ算的な性質を持つからです。その他の不確定要因は、仮に一万倍あるいは一億倍で間違っていたとしても、上記の結論にほとんど影響しません。

このように、生命誕生の確率が想像を絶するほど低いとしても、実は、我々の知る観測や実験事実と何ら矛盾することはありません。我々は、ごく稀に生命が発生した惑星において、知的生命体にまで進化し、生命の起源について考察しているわけです。生物学の研究によれば、地球の全ての生命は、たった一つの単細胞生物から進化したと言われ、地球の歴史上、生命の発生が複数回起きたことを示唆するものではありません。そしてもちろん、我々は地球以外に生命の存在を知りません。

今回の研究成果の第一の意義は、ランダムな化学反応という、十分に起こりうると期待できるプロセスだけで、宇宙の中に自然に生命が発生できることを示したことにあります。「複雑な生命情報の無生物からの誕生」という難問に、初めて、一つの回答を出したと言えるでしょう。

一方でこのシナリオに基づけば、生命を育む惑星は、太陽系や銀河系どころか、我々が観測可能な半径 138 億光年の宇宙の中で、この地球ただ一つということになります。現在、太陽系外の惑星が何千個も見つかり、さらに増え続けています。そうした系外惑星に、生命の兆候を探そうという夢のある天文学プロジェクトも世界で推進されています。しかし残念ながら、地球外生命が見つかる可能性は極めて低いでしょう。ただし、生命そのものが見つからなくても、生命の材料となる物質が見つかるかもしれませんし、それだけでも、生命の起源を考える上では大変重要なことです。

もちろん、今回の研究で考えたようなランダムな化学反応ではなく、もっと効率の良い、未知の RNA の生成プロセスがあり、太陽系の惑星・衛星や系外惑星にも生命が満ちあふれているという可能性は、否定できません。ただし、それを積極的に期待する強い科学的理由もありません...地球外生命を見つけたいという人間の夢を除けば、いずれにせよそれは、将来の観測や探査が明らかにすることでしょう。それが、科学の醍醐味と言えるのです。

5 . 発表雑誌 :

雑誌名 : *Scientific Reports*

論文タイトル : Emergence of life in an inflationary universe

著者 : Tomonori Totani*

DOI 番号 : 10.1038/s41598-020-58060-0

アブストラクト URL : www.nature.com/articles/s41598-020-58060-0

8 . 用語解説 :

注1 : インフレーション宇宙 宇宙の超初期、ビッグバン以前に、宇宙が指数関数的に急激な膨張をしたとする仮説。現在の広大な宇宙が、宇宙初期に因果関係を持つことができた領域のサイズを大きく超えて、一様に広がっている事実をうまく説明できる唯一のシナリオとして、宇宙論の研究分野で広く受け入れられている。近年の宇宙マイクロ波背景放射などの精密観測でも、この理論を支持するデータが蓄積されつつある。

注2 : RNA リボ核酸。遺伝情報を保存する DNA (デオキシリボ核酸) の遺伝情報を RNA としてコピーし、その RNA をもとに、生命活動の基幹となる種々のタンパク質が合成される。

9. 添付資料:

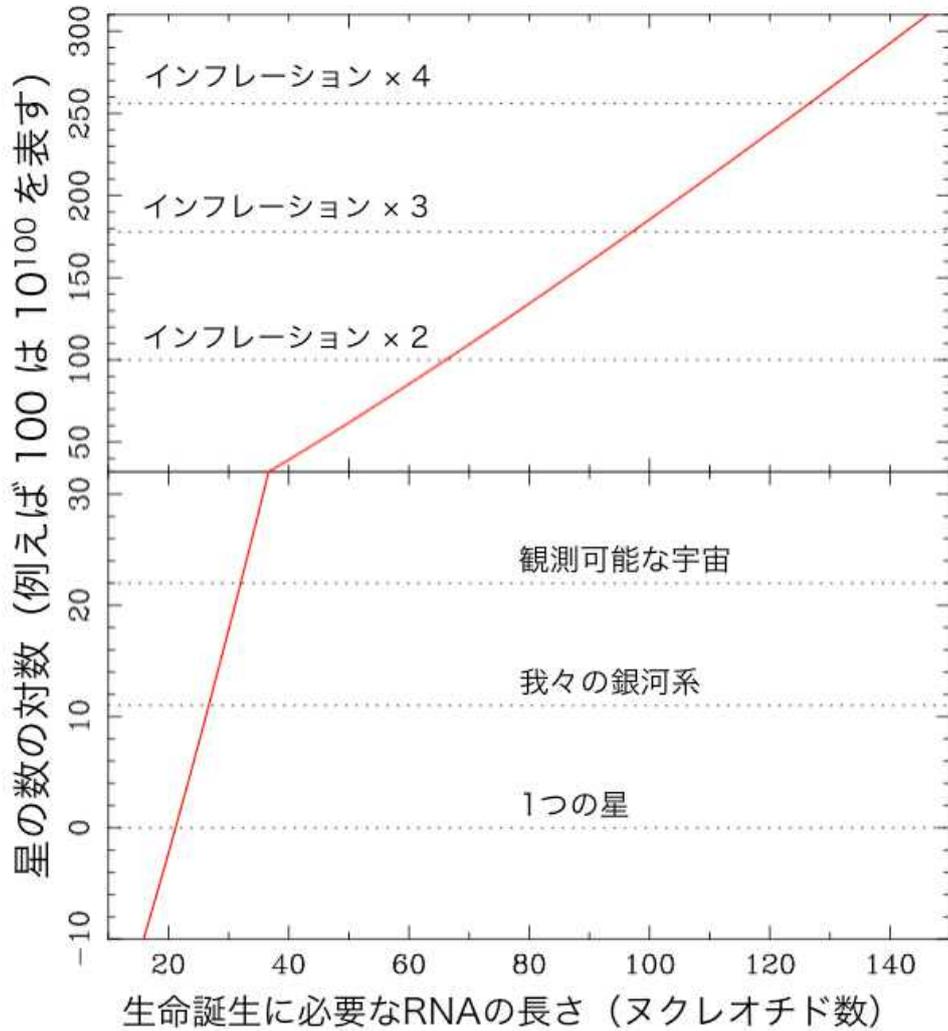


図 1: 生命発生に必要な最小の RNA の長さ、そのような RNA が非生物的に誕生するために必要な宇宙における星の数の関係。上下二つのパネルでは、縦軸のスケールが変わっています。水平な点線は、いくつかの重要な星の数を示しています (一つの星、銀河系、観測可能な宇宙)。また、「インフレーション x 2」は、インフレーションが、現在の観測可能な宇宙を作るために必要な最低限の場合より 2 倍だけ長く続いた場合の、宇宙における星の数 (10^{100} 個) を示しています。RNA が自己複製のような生物的活性を持つためには最低でも 40、あるいはざっと 100 ヌクレオチド以上の長さが必要とされます。