

生命とは何か

齋藤駿一

2022 年 3 月 8 日

1 はじめに

現在、「生命とは何か」という問いが真剣に検討されている。

この問いはまず、文字通りに生命の定義を問うていると捉えることができる。これまでの研究の中で生命には様々な定義がなされてきた。たとえば生命科学の教科書では、生命の定義として、(1) 細胞を持ち、(2) 自己増殖し、(3) 代謝を行い、(4) 恒常性を有し、(5) 親から子へと遺伝が起こる、といったことを挙げている。しかし、これらの多くは生命の定義というよりも現存する地球上の生物が概ね共通して持つと考えられる特徴の列挙にすぎない。またこのような定義を多少書き換えて、ウイルスを生命に含まないようにすることもあるし、含むようにすることもある。一方で、地球外生命体の探査に乗り出した NASA では、生命を「ダーウィン進化を行いうる、自己維持できる化学システム」と定義している。この一般化された生命の定義からは、地球上の生命とはまるで違っている地球外の「何か」をも生命に含めようという意思を感じる。このような点で、生命の定義は究極的には、我々が生命をどう定義したいか、あるいはどう定義するのが自然に感じられるか、という問題に帰着する。

一方で、「生命とは何か」という問いは、生命の仕組みを問うているとも捉えられる。もし生命の本質と思えるような仕組みがあれば、それを生命の定義にできるからである。本稿ではこの立場に立って、生命の仕組みを極力一般的な立場から俯瞰する。ただし、未だ見つかっていない地球外生命体には言及せず、地球上の生命について論じる。また、必要に応じて地球上の生物の具体例や数値を持ち出すことで、一般論の妥当性を保証する。もちろん、例外を恐れていては深い議論ができないので、ある程度普遍的に見られる機構にも踏み込んで説明する。

2 思考実験

ここでは、生命の本質を理解するためにいくつかの思考実験を行う。これらの思考実験は、一度生命の複雑な機構を忘れさせ、それが生まれる以前、つまり生命の起源を考えさせるものである。ここで考えたいのは、何が生命を生命たらしめているのかということである。これを探るために、現存する生命の持つ重要な特徴をそぎ落とした仮想的な生命を考える。しかし、その仮想的な生命

を極力生命らしくするように努める。それを通して、この仮想的生命は果たして生命と呼べるかを考えていきたい。

2.1 複製しない生命

まず、生命から複製能を取り除こう。そうすると、その生命は細胞を分裂させることができない。つまり、自分のクローンも子供もつくることができないため、遺伝どころか親や子といった概念すら失うことになる。つまり、この生命は一世代きりのものであり、自己維持に失敗すればそれで絶滅する。

しかし、まだ諦めるには早い。絶滅後には、再び同じような生命が誕生するまで空白の期間があり、そしてまた一世代で絶滅し、というサイクルが繰り返されるとしよう。こうすれば断絶した一世代同士を結ぶことで、「世代」の概念が新しい形で復活する。これを改めてこの生命の「世代」と考えれば、もはやこの生命は一世代きりのものではなくなる。

この段階では、まだこの生命は周期的に組織化とその崩壊を繰り返すだけである。そこで、進化能を何とか獲得させてみよう。たとえば、絶滅後に崩壊した生命の断片が配置を変え、次の世代の生命を構築すると考えよう。このとき、断片に次世代の配置を制限する情報を蓄積できたとする。たとえば、その生命の寿命が短いほど強く「この配置を避けよ」という情報を断片に刻み込めば、次世代はこれとは違う配置になる。それによって寿命が短くなればまた次の世代でそれを避け、寿命が長くなれば同じような変化を次の世代に与えていく。つまり、断片としてメモリを考え、そこに記憶を蓄積するのである。そのプロセスの収束先は、そこそこの寿命を持った生命となるはずであり、これはある種の（本来の意味とは異なるが）進化といえる。

しかし現実的には、断片に刻める情報にも限界があるだろう。そのため、どこかで配置が元に戻り（進化がリセットし）、再び同じことの繰り返しになる可能性がある。その場合、結局長期的に見れば進化能は失われてしまう。

また、このようなプロセスは自然界ではほとんど起こらないと言って良い。断片はメモリである以前に物質なので、ある確率で分解し、情報はどこかに消えてしまう。さらに死んだ生命が崩壊する際に断片が拡散したとすれば、断片はどんどん散らばっていき、再び凝集して生命を形成する確率は極めて小さい。そのため、結局次の世代が誕生することはないだろう。

まとめると、生命は複製能を失ったとしても世代や進化を定義し直すことは不可能ではない。しかしながら、有限の物質に刻み込める情報が有限であることを考えれば、進化は不完全である。また、物質の分解や拡散を考えれば、結局一世代きりになりそうである。

個人的には、これは生命とは呼べないと思う。というのも、世代や進化はうまくいっていない以上、これは単なる「一時的に凝集して再び自然に返った」だけの存在だからである。生命と言うからには、数世代にわたって持続可能な、ロバストな機構が必要だと考える。

2.2 代謝しない生物

生命から代謝を取り除こう。その結果、

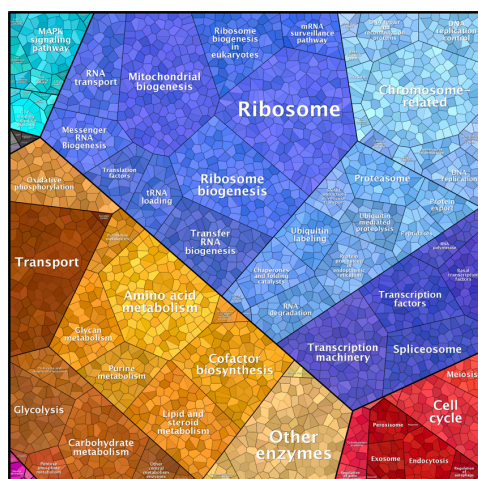
3 進化

生命には基本的に親が存在する。親に対して、その生命を子と呼ぶ。生命の場合、この親と子の間には密接な関係がある。具体的には、子は親から遺伝子を継承する。遺伝子は DNA 上に存在し、転写・翻訳を通してタンパク質として発現する。タンパク質は生命の代謝や輸送などの役割を担っている。

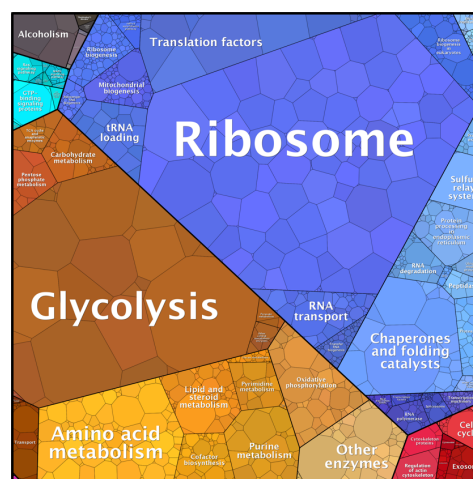
しかし、遺伝子が正しく継承されない場合もある。つまり、子の遺伝子の中に親のものから変異することがある。ある個体の遺伝子に変異が起こると、形質転換が起こり、その結果、他の個体と比べてその個体が残せる子の数が変わることがある。こうして自然選択が起こる。

4 遺伝子発現

DNA は細胞分裂とともに複製される。またプロモーターと呼ばれる部位に RNAp が結合することで、転写が開始される。転写の結果 mRNA ができる。ただし、この転写は転写因子（タンパク質）による制御を受ける。最後に、mRNA はリボソームでタンパク質に翻訳される。こうして、遺伝子はタンパク質を発現する。



(a) 発現する遺伝子



(b) タンパク質の発現量

図 1: プロテオーム (酵母)

ここで、酵母について遺伝子ごとに発現するタンパク質の機能を対応させると、図 1a のようになる。これより、タンパク質には DNA の複製、転写、翻訳に関わるものと代謝や輸送に関わるも

のが同じくらいの種類あることが分かる。ただし、この図では各遺伝子が同じ重みで表示されているため、遺伝子ごとに発現するタンパク質の量は反映されていない。それを反映すると、図 1b のようになる。これより、発現するタンパク質の多くは翻訳（リボソーム）または解糖系に関わるといえる。しかし、そのほかにも細胞周期やシグナル伝達に関わるものもいくつか存在している。このように、発現量に偏りはあるものの、タンパク質の役割は様々である。

また、各タンパク質を発現量順に並べると、発現量の分布は順位の逆数に比例する（Zipf 則に従う）ことが知られる。これは Hurusawa-Kaneko モデル (2003) によって説明されている。

5 代謝

生命はエネルギーを外界から取り入れ、自分で自分の体を作り出す。基本的には外界から取り入れた物質を化学反応により別の物質に変換し、それによって生まれる自由エネルギーを利用する。この過程を異化という。こうして取り出したエネルギーを用いて、異化の途中で得られた中間体を、化学反応により自分の体に必要な物質に変換する。この過程を同化という。異化と同化を総称して代謝と呼ぶ。生命はこの代謝を続けることで生存し続ける。