

この世界に多様性をあたえるモノゴト



齋藤 成也

本稿は、最初宇宙全体から議論をはじめめる予定だった。対称性が厳密であれば物質と反物質の対消滅により、宇宙はエネルギーだけが存在することになるはずだが、対称性の破れによって、ごくわずか物質が生き残り、それがモノのはじまりだと。このように、物質の世界に生きているわれわれからは、遠い存在だと思っていた反物質が、最近の論文によれば、なんと身近なカミナリによってひんぱんに生成されているというではないか！（文献1）この日本の研究者による発見は、二〇一七年の物理学の最大のヒットではなかるうか？カミナリは、ギリシャ神話の主神ゼウスが使う武器でもある。やまとことばでも、おそらくカミナリとは「神が鳴る」から来たことばだろう。そもそも、カミナリの発生メカニズムは、まだ完全には解明されていないようだが、日常の経験からすると、巨大な雲の内部に発生する電位差が原因であろう。カミナリから発生する反物質は、すぐに周辺の物質と衝突して対消滅してしまうようだが、では反物質の世界があれば、その世界で生じるカミナリからは物質が生じてまわりの反物質とぶつかり、やはり消えてゆくのだろうか？

このように、物質と反物質の対消滅はたしかに生じるようだが、対称性の破れがなければ、この宇宙に物質がすこしだけ残っていることは説明できないだろう。すると、物質は、宇宙のなかでは、残りカスとみなすことができるだろう。物理学の理論は、一般的には対称性を重んじるようだが、逆に対称性に乱れがあつてはじめて物質が存在しえるというのは、対称性からは程遠い多様性がふつうに存在する生物学からみると、興味深い。この観点から、以下の論考を進めることにする。

生物というモノを構成する原子には、宇宙にひろく存在する水素、酸素、炭素、窒素、リン、イオウがあるが、ほかにも、塩素、ナトリウム、カリウム、カルシウム、鉄といった、もつと原子番号が大きな重い原子が存在する。これらの原子は、恒星内の核融合反応によって微量ながら発生するので、見方によってはやはりカスみたいなものだ。これらのカス原子は、超新星爆発によって宇宙に散らばり、生物を構成する原子のもとになった。物質がそもそも宇宙の残りカスならば、これらの多様な原子もまたカスのようなものだ。

そして生物、イキモノである。われわれは地球上の生命しか知らない。地球外に生命が存在する可能性もあり、天文学者の多くはそう信じているようだ。最近そのような議論を天文学者と交わしたことがある（文献2）。生物の定義にも左右されるが、おそらく原始的な生命体は、きつとどこかの恒星系の惑星

さいとう・なるや。

一九五七年生まれ。東京大学大学院理学系研究科博士課程、テキサス大学ヒューストン校生物医科学大学院修了（Ph.D.）、東京大学理学部助手、国立遺伝学研究所助教を経て、現在、国立遺伝学研究所教授、総合研究大学院大学教授（兼任）、東京大学理学系研究科生物科学専攻教授（兼任）。理学博士（東京大学）。専門は人類進化学・ゲノム進化学。主な著書に、『核DNA解析でたどる日本人の源流』『ダーウィン入門』『ゲノム進化学入門』などがある。

（文献1）Enoto T. et al. (2017) Photoneuclear reactions triggered by lightning discharge. *Nature*. 551: 481-484.

（文献2） 観山正見・齋藤成也（二〇一七）地球外に生物は存在するのかわ？、川口淳一郎監修『科学技術のフロンティア』がいま挑戦していること、秀和システム、二〇五―二二頁。

にはいるだろう。しかし現在のところはなにもわかっていないので、地球上の生命に限定して話をすすめる。

地球は直径一三〇〇〇km弱の惑星であり、生命はその表面のせいぜい数kmに存在しているにすぎない。地球全体の質量からすると、ゴミみたいなものだ。生命は、そもそもゴミである、というのが、わたしの見解である。ゴミと言っても悪ければ、地球表面の物質界に多様性をあたえている存在である。その多様性の根源は、RNAおよびDNAという核酸分子の非周期的結晶構造である。相補的塩基対が生じたことにより、塩基配列の情報を親分子から子分子に伝えることが可能になった。

ここで結晶について、すこし考えてみよう。筆者は、文献3の第一章冒頭の「生命という結晶」で、生命における結晶的な性質を議論している。それをもとに、さらに考察をひろげてみたい。塩化ナトリウムの結晶は立方体であり、あのような巨視的な姿になるには、塩素原子とナトリウム原子が規則正しく、対称的に並んでいる必要がある。しかし、原子の世界は常に量子力学的ゆらぎが存在する。このため、結晶には、実は若干の乱れがあるのでないかと、昔から考えていた。この考えの発端は、半導体に存在する正孔である。結晶中の原子において、原子核のまわりをまわっている電子がなんらかの理由で数が不足すると、それが正孔となる。正孔の存在によって、電場がかかると半導体は

電流をつたえることができるようになる。このような乱れは、おそらく結晶一般において普遍的だろうと思っていたのである。ネット検索したところ、実際に「格子欠損」という現象が存在することがわかった。中村祐三の講義資料(文献4)によれば、結晶の格子点すべてが原子で埋められているという完全結晶は実際には存在しない。現実世界には不完全結晶しか存在せず、点欠陥、線欠陥、面欠陥、体積欠陥など、いろいろな種類の格子欠陥がある。

非生命の結晶がこのような状態である。そこで、つぎに非周期的結晶とも呼ばれる、DNAを考えてみよう。DNAの二重らせん構造は、一種の結晶だが、この結晶はDNA複製酵素の助けを借りて、同じ塩基配列を持つ2個の子分子を生じる。同じ情報を持つ分子が倍増するので、一般的に自己複製とよばれる。しかし、この分子コピー機は万能ではない。低い頻度ではあるが、時々複製にエラーが生じる。塩基置換、挿入欠失、組換え、遺伝子変換、遺伝子重複など、いろいろな種類があるが、これらは突然変異と総称される(文献5)。生物が多様性を持つ根源は、これら突然変異の蓄積である。遺伝の法則もDNAも知らなかったダーウィンだが、彼は進化を「変更をともなう継承」と喝破していた(文献6)。変更とは突然変異であり、継承はDNA二重らせん構造に由来する親分子から子分子への複製だ。

このように、生物多様性の根本である突然変異なのだが、DNA複製の観

(文献3) 斎藤成也
(二〇〇四)『ゲノムと進化—ゲノムから立ち昇る生命—』新曜社。

(文献4) 中村祐三
(二〇〇二) 格子欠陥の熱力学: 点欠陥(講義資料、www.mech.kagoshima-u.ac.jp/~nakamura/busse/thermo-point-defect03.pdf)

(文献5) Saitou N.
(2013) Chapter 2. Mutation. In *Introduction to Evolutionary Genomics*, pp. 27-54, Springer.

(文献6) 斎藤成也
(二〇一一)『ダーウィン入門』ちくま新書。

点からみると、基本的には複製時の間違いだとみなされる。この状況は、結晶格子の「欠損」と似ているのではなからうか？ 規則性や対称性を重視するという、人間一般の認識の傾向が、そこにはあるように思われる。しかし、厳密な対称性がなりたっていたとしたら、この宇宙に物質は存在せず、すべてが反物質との対消滅でエネルギーになってしまっていたではないか。DNA複製の時に突然変異という名のエラーが生じなければ、生物の多様性はまったく生じないではないか。結晶に格子欠損がない完全結晶であれば、どのような状態になるのだろうか？ この考察は結晶物理学の専門家にゆだねることにする。いずれにせよ、規則正しく相補性にしたがって子供のDNA分子が生じているだけであれば、まったく同一の塩基配列になるだけであり、進化はありえない。この意味で、突然変異というDNA複製の「欠陥」は、生物の多様性獲得にとっては、本質的なものである。

人間社会にも、似たような状況がみられる。天才と何とかは紙一重というが、現代のわれわれが文明の果実を享受できているのは、多くの天才の発明によるものではないか。かつてフランス・ガルトンは、天才は百万人に一人ぐらゐの割合で人間社会に誕生すると考えたが、この低い発生頻度は、あたかも彼らが突然変異であるようなものだ。しかし、これらきわめて少数の人々が、人間の知をおおきく切り開いてきたのだ。

以上の考察をまとめてみよう。現在宇宙に存在する物質は、対称性の破れによって、ごくわずかだけ物質のほうが反物質よりも多かったので、対消滅をのがれて生き残ったカスである。しかしそのカスが恒星を形成していった。恒星内での核融合反応のカスともいえる、元素番号の大きな原子は、超新星爆発によって宇宙にひろまっていった。これらのカスがつぎの世代の恒星系を生み出し、その多くは惑星をしがえた。地球という惑星の表面には、このため多様な原子が共存するようになり、そこから生命が誕生していった。生命は、その根源から多様な分子の集合体であり、やがてそのなかに、塩基の相補性によってほとんど同じ分子を作り出す一群の核酸が誕生した。当初、この複製の正確さは低く、多様な塩基配列がつきつぎに誕生した。しかしやがて塩基配列とアミノ酸配列（ペプチド）の対応が生じると、生存に有害なペプチドを生み出す塩基配列は除外されてゆき、一方で複製の正確さも徐々に高まっていった。しかし、複製時のエラーがゼロになることはなく、これら突然変異がすこしずつ蓄積してゆくことによって、生命の多様性が生まれていった（文献7）。このように、まれに生じる現象が、むしろ全体の流れを決定しているかのようにみえる。このパターンは、人間社会でもみてとれる。ある言語の文法も、特定の石器の作成法も、土器型式も、穀物を栽培するアイデアも、文字もみな、名も知れぬ天才によって突然あるときに生じたのである。



(文献7) Nei M. (2013)
Mutation-driven evolution
Oxford University
Press.