

## ミクロな世界から生物を考える

高部 馨介

地球上には、クジラのように巨大な生物から、バクテリアのように人間の目では直接確認できないような小さな生物まで、多種多様な生物が存在している。このように多様な生物だが、基本的には細胞やDNA, RNA, 脂質……などといった生体物質から構成されており、それらを突き詰めて見てみると、我々がよく理解しているように、さまざまな生体内の物質は原子を基本単位として、さまざまな組合せによって構成されているという点で共通であるといえる。原子は正の電荷を帯びた原子核、負の電荷を帯びた電子から構成されるが、このようなミクロな世界では、我々が通常観ている世界（粒子の世界と比べると非常に大きなマクロな世界）では、起こりえないような不思議な出来事が当たり前のように起きる。生物内のさまざまな生命現象は粒子レベルで観るとどのようにして起きているのだろうか？生物をそのようなミクロな視点から理解しようとする「量子生物学」という学問が近年注目されている。

20世紀の初めにその基礎が構築された量子力学は、粒子（電子等は粒子的性質と波動的性質の両方を持つ）の動きや状態を記述するための学問である。生体内の化学反応プロセスは電子の移動や原子の共有など、粒子レベルで起きることから、粒子の動きが生命にとって重要であることは言うまでもない。生体内の反応プロセスに量子力学的効果が関わっていることが知られている例はいくつかあるが<sup>1-4)</sup>、ここでは量子の世界でもっとも有名な現象の一つ、トンネル効果を利用するシステムを紹介する。トンネル効果とは、粒子が持つ波動性により通常(古典力学的には)越えられないような高いエネルギー障壁をすり抜けるように、ある確率で壁の向こう側の領域に到達する(ように見える)現象である。この現象は我々の日常で観ている世界では想像しにくい、量子の世界ではごく当たり前のことで、実際に我々は、この現象が利用されているものを多くの場面で目にしている。その一つが酵素反応である。酵素は、よく知られているように反応プロセスにおいて、通常はエネルギー障壁を越えられない反応を引き起こす働き、すなわち触媒の働きをしている。いくつかの酵素反応において、トンネル効果が関わっている証拠が見つかっている<sup>3,4)</sup>。酵素は生命にとって非常に重要な機能を備えていることから、量子効果が生命活動に重要な存在であることが示唆される。

量子力学といえば、理論物理学者である Schrödinger の名を避けては通れない。Schrödinger は 1944 年に「生命とは何か (What is life?)」<sup>5)</sup> という本を出版し、物理学者としての視点から無秩序から秩序を取り出し、秩序から秩序をつなぐ生物らしさについて問いを投げかけ、分子生物学の黎明に大きな影響を及ぼしたといわれている。詳細は著書を読んで頂きたい。それから半世紀以上が経ち、分子生物学の発展もあり、生物の生体内でのさまざまな現象における分子プロセスについての知見が蓄積されてきた。古典物理学(熱力学)では説明ができておらず、謎とされている分子プロセスを、量子力学で説明することができるのだろうか？細胞のがん化を引き起こす遺伝子の突然変異は、量子効果(トンネル効果)によって引き起こされるといわれている。生体内の量子現象は生命活動にどのぐらい重要なもので、我々生命にどのぐらい寄与するのだろうか？近年、謎とされていた生命現象が量子力学的な記述によって理解できる、といった例が多く出てきている。渡り鳥(コマドリ)が地球上での自分の位置を見失わない仕組みや、高効率な光合成の仕組み、動物が匂いをかぎ分ける仕組みなど、さまざまな場所に量子の振る舞いは顔を出す<sup>1-4)</sup>。しかし、一般に量子効果は非常に不安定で、量子効果を維持しやすすい(粒子の熱運動がほとんどない)環境と比べると、生体内のように高温で粒子がひしめいている環境ではすぐに消滅してしまうはずである。どのようにして生物は量子効果を利用しているのだろうか？この仕組みが「生命とは何か？」の答えの一つなのだろうか？いわば、ボトムアップ形式で生命を理解することを目指す量子生物学の発展によって、さらに深く生命について理解できることになるだろうと期待される。

- 1) ジム・アル=カーリーリ, ジョンジョー・マクファデン 著, 水谷 淳 訳: 量子力学で生命の謎を解く, SBクリエイティブ (2015).
- 2) Lambert, N. *et al.*: *Nat. Phys.*, **9**, 10 (2013).
- 3) Brookes, J. C.: *Proc. Math. Phys. Eng. Sci.*, **473**, 20160822 (2017).
- 4) Marais, A. *et al.*: *J. R. Soc. Interface*, **15**, 20180640 (2018).
- 5) Schrödinger, E.: *What is Life?*, Cambridge University Press (1944).