

遺伝子の運動を支配する物理法則… 物理学の視点から生命現象を研究する

理工学部物理科学科教授 坂上 貴洋

遺伝子の発現とゆらぎ

ニュースや新聞でよく耳にする遺伝子という言葉。それは、私たち生物が体を作るために必要な設計図といえましょう。より正確には、遺伝情報は塩基配列という形でDNAにコードされています。ある遺伝子塩基配列) からRNAが合成され(転写)、そのRNAからタンパク質が合成される(翻訳)ことを遺伝子の発現といいます。遺伝子発現の制御は、発生、分化、老化、病気などあらゆる生命現象に関係します。生物の教科書やテレビの特集番組などで、DNAからRNAが転写される様子を表した模式図や動画を見て、その精巧な仕組みに感嘆した人もいることでしょう。これらの図や動画は、これまで明らかにされた分子生物学的な知見を、一般の読者、視聴者にもわかりやすく表現したのですが、ともすると、生命現象の素過程について「機械的」な印象を与え

がちです。実際、遺伝子発現の過程において転写装置がRNAを合成するのは、ある意味では、我々の身の回りにある機械が仕事をすることと同じと考えられます。ところが、後者が文字通り機械仕掛けであり、ゆらぎや誤作動を抑えて正確に仕事を実行するのに対して、遺伝子発現の過程は大きなゆらぎの中で進行します。細胞の中では遺伝子の位置も固定されておらず、ふらふらと動き回っているのです。遺伝子発現を理解し制御するには、まだまだ多くのことを知る必要がありますが、その一つとして、細胞の中で遺伝子がどのように動いているのかを理解することが不可欠です。

遺伝子の運動と高分子物理学

さて、冒頭にも書きましたが、遺伝子の実体はDNAであり、真核生物では細胞核の中に収納されています。このDNAはとても長い高分子

です。したがって、遺伝子の運動という問題に対し、高分子のダイナミクスという視点からの研究が可能だと考えられます。今回、国立遺伝学研究所のグループと共同で、細胞核内のDNA(より正確には染色体)の運動を記述する理論の構築に挑みました。まず、モデル動物の線虫の初期発生胚において、2細胞期、4細胞期、と細胞分裂が進むにつれて、染色体の動きが顕著に低下すること(図1A)。染色体の動きは確率的にふらふらとしたものですが、統計的な解析により定量化することができ、胚発生の過程において細胞核のサイズが小さくなることに注目し、細胞核のサイズ毎に染色体の運動性をプロットしたものが図1Bです。つまり胚発生の進行とともに、細胞核のサイズが小さくなり、それとともに染色体の運動性も低下するので

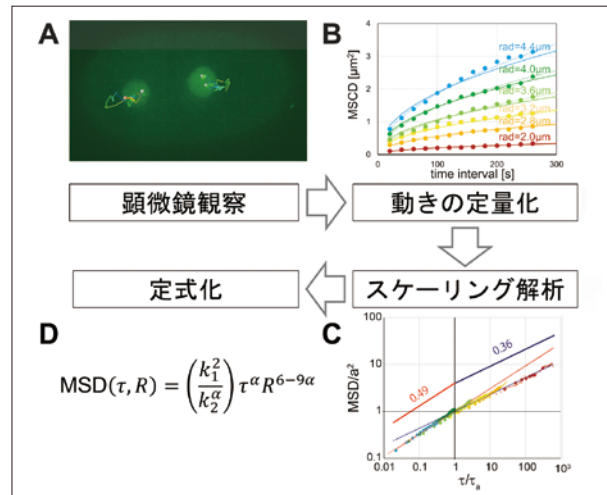


図1

礎物理学が通常対象とするような現象に比べ、生命現象はとても複雑です。そのため、生の生物を対象とした研究には、興味こそあれ、なかなか取り組めないのですが、ここ数年、共同研究者にも恵まれ、生物の問題を議論したり考えたりする機会が増えてきました。今回の成果は、このような状況下で論文としてまとめることができた最初の記念すべき成果です。

物理学の視点から生物を研究するということ

これに関連して、私の心に刻み込まれている恩師たちの言葉があります。その中の一つに、「自然科学の中で、物理学は、研究の対象が限定されない唯一の学問である」という言葉があります。自然科学の中には色々な学問分野があり、それらの分類にはいくつかの考え方がありますが、例えば、化学であれば基本的に原子や分子を対象とし、地学は地球を対象とし、生物はその名の通り、生物を対象とします。それに対し、物理学は、そういった意味での研究対象は決まっています。遠い

宇宙での出来事を研究対象としている人もいますし、物質の中の原子や電子を対象としている人もいます。「物理は漢字では「物もの」の「理(ことわり)」と書きますが、物は何んでもよいのです。例えば、たくさん車が車道を走ることによる交通流の問題や、人や企業が織りなす経済現象、社会現象なども物理の研究対象となり得ます。通常、こういった複雑な現象は、多数の要素が相互作用することにより形成されますが、物理学では、その背後にある普遍的な側面に注目します。例えば、それを再現する単純なモデルを構築し、その解析から現象の定性的、定量的な記述を目指します。生命現象に対しても、このようなアプローチは有効であると期待されます。

前述の話は、私が大学生の頃、専攻を物理学に決めた時のことを思い出させます。私が所属していたのは旧教養部が母体となった学部であり、専攻科目としては、文系科目から理系科目まで何でもありでした。高校生の頃、宇宙や素粒子などの啓蒙書を見た影響もあり、漠然と物理学を専攻したいと思いついて大学に入

のですが、大学には、高校までには触れることのなかった心理学、社会学、人類学、情報学などの様々な学問があり、目移りしました。ある時期、脳科学に(やはり、漠然とした)興味をもったのですが、脳科学といっているのか、そもそもどのように研究するのか、脳科学を専攻するにはどういった勉強をしたらいいのかさっぱりわかりません。そこで、大学2年生の時だっと思いましたが、ある日、脳科学を研究されている助手の先生のところへ相談に行きました。すると、その先生は、私が当時、とりあえず物理学を専攻として、大学ではそのまま物理学を専攻することを勧めるよ。もし将来、君が脳科学の研究をやりたいと思つた時に、物理学の知見がきつと役に立つよ」とアドバイスしてくれました。その時は、「そんなものかな?」という程度でしたが、物理学の学問としての性質を見抜いた的確なアドバイスであつたと今になって思うのです。また別の恩師の言葉で心に残っているものとして「We should be

す。一見すると、染色体は細胞期毎に異なった運動をしているかのようにですが、私たちは、高分子物理学の考え方を基に、これらの運動が一つの共通の法則として定量的に記述されることを示しました(図1C、D)。
私自身は、理工学部の物理科学科に所属し、これまで高分子物理学をはじめとするソフトマター物理学の基礎的な研究を行ってきました。ソフトマターというと、比較的生物学に近い分野になりますが、それでも基

modest. (謙虚であれ)」という言葉があります。当時の私の拙い英語力でどの程度正確に話の内容を理解できたのか不安はあるのですが、この言葉は話の中で2回繰り返されたこともあり、強く印象に残りました。端的に言えば、物理学の立場から生命現象を研究する時の心構えを述べたものです。我々は生物を物理法則から理解しようとしています。しかし、そもそも深遠な生命現象の全てを物理学の言葉で記述できると期待すること自体、我々の過信からくる幻想なのではないか? ここではこの難しい問題について議論しませんが、一つだけ確かなことは、生の現象を謙虚に見ることが大切だということです。そして幅広い視点から考察することが拓けてきます。それには分野間の垣根を超えた交流が欠かせません。このような姿勢は、生物物理に限らず、科学研究一般において大切であろうと思われま

ここで紹介した遺伝子の運動についての研究は、国立遺伝学研究所の木村暁教授のグループとの共同研究で、2022年4月26日付でPhysical Review Lettersに掲載されました。