

サブゼミ生物物理

世話人 東大工 物理工学 永長研

修士2年 田中謙二

1日目 講義

講師

東京大学 理学系研究学科 安永卓生

テーマ 「動く」ことから考える生物学

皆さん、生物物理のサブゼミにようこそ。物性物理が無機物質の大部分を調べ上げて、次の標的として有機物質、高分子へと進んでいくなかで、生物を物理するということは究極の目的と言って良いでしょう。当学校に参加している人の中に生物物理を専攻している人は少ないかも知れないが、生物物理に興味を持っている人は多いと思います。

でも、生物物理は専門じゃないしなあと言う人もいるでしょう。しかし、あなた達は当学校に何を得にやってきたのですか。専門分野を広めるだけなら、その分野の研究会に参加すれば良いのです。当学校に参加するからには、専門分野以外で興味を持っている分野のトピックを知って帰って欲しいのです。

日頃から生物物理に興味を持っているけれど、忙しくて…なんて人を当サブゼミは待っています。

というわけで、生物物理サブゼミは、生物物理を専攻していない人を対象にディスカッション形式で楽しく知識を深められるよう、講師の先生にもお願いしています。そういう私も専攻は磁性の理論ですが、今回のサブゼミで生物の面白い話が聞けることを楽しみにしている一人なのです。

「動く」事から考える生物学 — 筋収縮の分子機構からみた生物学 —

安永卓生

東京大学理学系研究科

「動く」という作用（「輸送」を呼ばれる現象も含めて）は、動物に限らず、最も生物らしい特徴の一つです。単細胞の生物においても、その細胞内では、様々な「動き」によって、生物としての機能を発現しています。また、生物はある「動き」が有効であると感じた（有利であった）場合、進化を通して、その「動き」を能動的な作用として取り込んできました。今回は、これらの「動き」を生み出している機構を解明する事によって生物のもつ「多様性」に迫ろうとする試みについてお話したいと思います。

ところで、生物の最も生物らしいところとして、その「多様性」が挙げられます。それら生物の「多様性」を担っている高分子として、タンパク質、糖タンパク質、リン脂質、DNA（デオキシリボ核酸）、RNA（リボ核酸）などを挙げることができます。これらの生体高分子がもつ多様な性質（特にタンパク質、糖タンパク質）こそが生物の持つ多様性を生み出している事は確かなのですが、ただ、存在するだけでは、ただの雑音に過ぎません。これらの高分子を如何に「制御」するかによって、如何様にもハーモニーを生み出す事ができるのです。「制御」の一つの方法として能動的な「動き」という作用（動き自身も制御されています）が生体内で使われている場合をかなり見かけることができます。

私自身は、筋収縮の分子機構を研究していますが、前述したようなことを含めて、研究していく上で常に意識していることとして、「システム・反応場」と「エネルギー変換」という2点があります。それぞれについて以下に簡単に述べたいと思います。

生体内での各種の「反応場」（ここでは、化学反応が行われている空間的配置のこととして用います）について考えてみますと、低次元である場合が多い事に気がきます。ここで、生体内である有益な化学反応を行う場合に、いくつかのキーワード（「制御」、「効率」、「多様性」など、「制御」と「多様性」は、相反する概念であるかも知れません）がありますが、生物はそれぞれの状況（前述のキーワードのうちどれに重きをおくか）に応じて、異なる反応場を持つような「システム」を作り出していると考えられる場合があります。例えば、今、タンパク質を生体内で作り出す事を考えると、DNA上にかかれた一次元の情報を、正確に読み取ってタンパク質を生合成します。こうした時には、「多様性」よりも正しい情報を取り出せる事が大切ですので、「一次元」に反応を束縛して読み出しています。つまり、本来、三次元空間であるこの世界での反応を、「一次元」での反応に束縛する事によって、「多様性」を減少させ、行うべき反応を「制御」しているようなシステムを使っていると考えられます。筋肉の反応においても、「収縮」というただ一点（一次元のしか

も一方向性の動きのみ；ちなみに筋肉は自分自信で伸びることはできません）に重きをおいて、システムが構築されている器官です。こうした、「反応場」を作り出しているシステムについての研究は、まだまだ、生物学においては、中心的な話題となっていないと思います。

次に、生体内の反応は制御されているが故に「自由エネルギー」を必要とします。自由エネルギーという立場からは、力学エネルギーも化学エネルギーも同じもののなのですが、実際、どの様に変換しているのかは、非常に興味があります。私が研究対象としている筋肉は「化学エネルギーを力学エネルギーに変換する機関」として捉える事ができます。ATPという物質の持つ高エネルギー結合（20 k T程度）の「化学エネルギー」をどの様にして「力学的なエネルギー」に変換していくのかが、最近の最大の問題の一つになっています。その中で特に問題となっているのは、化学反応（ATP一分子を分解する反応）と力学反応（実際にどのような事がミクロには起こっているのかはまだ議論が残っていますが、例えば、船漕ぎのように分子が大きく変形する反応）とが1：1に結合しているのか（Tight Coupling）（例えば、エンジンは一回の爆発（化学反応）とピストンが回るという反応が決まった比（1：1）です）、それとも、1：多（負荷に応じて任意）なのか（Loose Coupling）という点にあります。前者であるなら、割と直感的に分かりやすいのですが、後者の場合、具体的なモデルをイメージするのが難しいため、なかなか受け入れられてはいません。例えば、熱浴から得られた揺らぎのエネルギー（それ自身は方向性を持たない）を、ATPのエネルギーを使って制御しているだけだとのモデルがありますが、実際的にどの様に制御しているかの具体的なイメージを持つのがやはり難しいと思われます。（このように化学反応と力学反応を別々に考えることすら、Tight Couplingといえるのかも知れません!!!）

私自身が生物学全般にわたってお話する事は、時間的にも、知識としても（年齢的にも）不可能であるので、自分自身の専門分野である「筋収縮の分子機構」の研究を主として取り上げ、生物の作りだした重要な機能の一つである「動き」のメカニズムについて考える事によって、生物のおもしろさにふれる事ができたらと思います。私自身は、今回、話題を提供して、物性に携わる皆さんの意見をきくことができ、自分自身の研究活動に生かせたらなどと講師にあるまじきことを考えています。

以下に実際に話していく内容について列記します。

● 生物学のための物理化学の知識

－ 生物が使っている力

* ミクロな立場から

- ・ 静電的相互作用
- ・ ファンデルワールス力
- ・ 水素結合 など

* マクロな立場から

- ・ 疎水的、親水的相互作用
- ・ 摩擦力
- ・ バネ（調和振動子）

－ 化学反応論について

● 筋肉研究の歴史

- － 筋収縮を司るタンパク質達
- － 筋収縮を引き起こす分子ATP（アデノシン三リン酸）
- － 筋収縮の力学的特性
- － 滑り運動
- － 筋収縮タンパク質の持つ化学反応特性
- － ケモメカニカルカップリング（強結合）

● 筋肉研究の最近の動向

- － 筋収縮タンパク質を分子レベルでみる手段
（光学顕微鏡法と電子顕微鏡法）
- － 力学反応を分子レベルでみる手段
- － 化学反応を分子レベルでみる手段の試み

● 「反応場」として捉えた筋収縮のシステム論

- － 筋肉としての系と分子レベルでの系の持つ特性の分離の試み

● 「エネルギー変換」の機関として捉えた筋収縮

- － 化学反応と力学反応は、強い結合か？ それとも、弱い結合か？

以下に参考書、参考文献を挙げて置きます。興味のある方は読んでみて下さい。

● 生物学のための物理化学の教科書として適当なもの

- － 「生命科学のための物理化学」 D. アイゼンバーグ・D. クロサーズ 西本吉助・梶本彰弘共訳 培風館
- － 「分子間力と表面力」 J. N. イスラエルアチヴィリ著 近藤保・大島広行訳 マグロウヒル

● 筋肉の日本語の教科書として適当なもの

- － BSシリーズ 「筋肉」 丸山工作、山本啓一 化学同人

● 筋肉の英語の教科書として適当なもの

- － Outline Studies in Biology : Muscle Contraction, Bagshaw, C.R., Chapman and Hall

● 筋収縮の分子機構を考える上でバイブル的な存在の論文

- － A.F.Huxley, Prog. Biophys., 7, 255-318 (1957)