

生物物理学と細胞生物学における理想化の比較分析

森田 紘平 (Kohei Morita) ・ 吉田善哉 (Yoshinari Yoshida)

神戸大学 ・ エクセター大学

生物学と物理学はその手法において大きな相違があるということを否定することは難しいだろう。例えば、現象をどう表現するかということに着目すると、物理学ではある程度、形式的に表現することが求められ、理論を背景とした何らかの方程式・数式が主たる道具である。一方で、生物学はこのような形式的な道具に訴える必要は必ずしもない。例えば分子生物学や細胞生物学では、様々な因子間の因果関係を定性的に記述している。科学哲学においてこうした違いは主に説明のスタイルや知識構造の違いの観点から分析されてきた。

本発表では「理想化」(idealization)の観点から生物学と物理学の違いについて考えていく。モデルに関する科学哲学の議論において、理想化とは偽である前提を意図的にモデルに導入する操作を指し、複雑な現象を扱いやすくするために重要な役割を担っているとされる。生物学と物理学における理想化にどのような違いがあるのかを分析するために、扱う現象を共有している生物学と生物物理学の比較を行う。生物物理学は生命現象を物理学の手法を応用することで分析しようとする分野であり、物理学の手法を利用する以上は、物理学と同様の理想化を行っていると考えられる。生命現象という対象を共有しつつもそれをどのように表現・分析するかという点において異なる両分野を比較することで物理学的な理想化と生物学的な理想化の相違を明らかにすることができる。

この発表では、特に集団細胞移動の研究に着目する。集団細胞移動とは細胞の集団が相互作用しながら協調的に移動していく現象を指し、器官形成、がんの浸潤・転移、創傷の治癒などさまざまな生物学的過程において重要な役割を果たしている。集団細胞移動は、生物物理学の観点からは、個々の細胞の形状を考慮しつつ細胞内部の構造は無視する手法や、細胞集団全体を連続体として捉える手法が存在する。それに対して細胞生物学では、細胞の移動性の促進・抑制や細胞-細胞間、および細胞-細胞外基質間の相互作用における詳細な分子メカニズムを記述するというアプローチが一般的である。

両者のアプローチにおける理想化の方法を比較すると、生物物理学では細胞内部の詳細を捨象することで集団全体の振る舞いを捉えようとするのに対し、細胞生物学では集団全体の振る舞いを単一の細胞の挙動や少数の細胞間の相互作用から類推している。つまり、一般的なイメージとは逆に生物学は還元的に、物理学は全体論的に現象を捉えているということを示す。

以上の分析結果をもとにして、今後の研究方針についても検討したい。

- 生物物理学の全体像の探求
 - 生物物理学の理想化の手法を検討することで、生物物理学という分野の特徴を明らかにできる可能性がある。生物物理学自体が非常に広範なテーマを対象とするため全体像を把握することは難しい。そこで、集団細胞

胞移動の事例を軸に、そのほかの事例を分類することで、生物物理学の鳥瞰図を得るという方針である。

- 生物学における数理モデルと生物物理学のモデルの比較
 - 物理学に訴えずとも生物学では数学的な表現を用いて現象を説明することはある。例えば、ロトカ=ヴォルテラモデルや、チューリングパターンのような事例は、少なくとも陽には物理学の知見を反映していないだろう。これらを比較することで、生物学における形式的な表現の特性を検討する。とりわけ、数理的なモデリングと物理学的なモデリングの間の違いとは何かについて考察する。
- 離散から連続への記述を与えるという意味での、流体力学の分析との比較
 - また、内部の構造を重視せずに対象を記述するという点では、生物物理学の議論は、連続体力学や流体力学に関する哲学的分析と比較することができるだろう。近年、指摘されているように、連続的な記述と離散的な記述を結びつける際には、両者を取り持つような中間的な手法が用いられている。生物物理学についても、同様に評価することができるのかという点を分析する。
- 科学的統合（異なる理想化の方法をどうまとめて統合的な説明を生むか）
 - 集団細胞移動の事例では細胞生物学的な研究と生物物理学的研究は比較的独立して進められているが、両者をまとめてより統合的なアプローチを生むことは可能なのか、可能だとすればいかなる統合の形が望ましいのか等を検討する。