生命とは何か？

ー複雑系生命科学によるアプローチー

金子邦彦
東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻

生命科学では、生体内の各分子過程を求め、そして遺伝子発現や代謝のこみいったネットワークをできるだけ正確に求め、それにあったモデル化を行うという立場がしばしば行われている。結果としては、生命現象の各過程がうまく物理を使っていることが確認されたのであるが、しかしその一方で、生きている状態とはどういうものか、生命とはどのようなシステムなのか、という理解にはいまだつながっていない。生命現象に新しい物理を求めた、生物物理第一世代の方たちの夢は、未だ実現途上なのだろう。では、いかにしたら、生きている状態を表現できる物理学は可能なのだろうか。これまで、ミクロな分子過程の詳細の理解がなかなかマクロな、生きている状態の実体につながらなかった。それでは、熱力学が平衡状態という切り口によりマクロな普遍理論の構築に成功したように、生きている状態へのシステムレベルでの普遍的な現象論はできないだろうか？

これは大きな目標であるが、もう少し具体化させないと研究は進展しない。そこで生きている状態の基本的特徴として代謝（非平衡状態の維持はいかに可能か）、複製（多成分で揺らぎの多い化学成分の集まりがいかに再帰的生産を維持するか）、適応（ホメオスタシスにみられるように、外部環境によらず、代謝—複製を維持できるのはなぜか）細胞分化（細胞状態がいかに多種化し、一方でその発生過程の安定性と分化の不可逆性はいかに生じるのか）、進化（進化のしやすさとは何か、遺伝子が表現型をどこまで変えられるかと、もともと表現型が発生過程で変化しうることには関係があるのか）をとりあげて、その基本的問いに答えることで、生命システムに普遍的な法則を見出そうとしている。

では、こうした「一般的な問い」はいかにして答えたらよいであろうか。上で挙げた性質は個々の分子で決まるものではなく、おそらく生命システムが安定して継続していく際の普遍的性質なのであろう。そこで、そのための論理を、実験、モデル計算、（力学系や統計物理をふまえた）理論によって、構築しようとするのが、複雑系（Complex Systems）生命科学の立場である。特に、生命システムが分子—細胞—多細胞生物—生態系といった異なる階層にまたがって存在することに着目して、その階層間の整合性（consistency）がダイナミクスの中から形成されるかを指導原理として、一方で、近年急速に進歩した、細胞状態のゆらぎやダイナミクスの測定を駆使して研究を進めている。

人工細胞の複製、細胞の適応、多細胞生物の発生過程、実験室内進化などの最近の実験

結果を紹介しながら、抽象的にならないように留意しつつ、こうした研究の一端を紹介したい。以下を予定しているが、時間の都合により一部は割愛せざるをえないかと思う。

１章 複雑系生命科学の考え方　（構成的生物学、力学系や確率過程理論の簡単な紹介、階層性と整合性の見方）

２章　細胞状態の現象論と適応過程（遺伝子発現のゆらぎ、細胞成長の発現へのフィードバック、遺伝子発現のゆらぎの中で細胞が増殖することから導かれる、（シグナル伝達系を要しない）一般的適応のしくみ、細胞の状態の「相変化」をいかに捉えるか）

３章　細胞分化と発生過程の安定性、不可逆分化過程、形態形成（細胞増殖と多細胞状態の整合性のもたらす、発生の安定性と分化の不可逆性）

４章　表現型の可塑性と進化（進化における揺動応答関係、同一遺伝子個体間のノイズによる表現型ゆらぎと遺伝子変異によるゆらぎとの間の一般法則、システムの頑健性の進化、進化と発生の関係）

５章　まとめと展望：　生物学的現象論の可能性

参考文献

Life; An Introduction to Complex Systems Biology (Springer, 2006)
生命とは何か（第２版）~複雑系生命科学へ（東大出版会 2009）
システムバイオロジー（岩波 2009）、第３章