

**Q1: 進化の制約や方向性とは？**

A1: 生物は進化的多様化を遂げてきたが、昆虫が常に6本の足を持ちつづけているような、一種の制約が常に伴っている。同様に、短い時間スケールでおこる抗生物質に対する耐性菌の進化においても、変化の範囲が限られる例が知られる。こうした制約や方向性の背景にどのような機構があるのか、現状では明らかになっていない。

Q2: 表現型の揺らぎとは何を指すのか？

A2: 同一の遺伝子型を持つ個体間においても、表現型には違いが生じうる。例えば、大腸菌の個々のタンパク質発現量は、同一ゲノムで同一環境にあっても、数十パーセント以上の個体間変動を示すことがある。「表現型の揺らぎ」とは、一義的にはこのような遺伝的多様性に起因しない表現型の変動を指す。このような変動が生ずる要因として、細胞内の分子がしばしば少数であり、それらの間の反応が不可避免的に確率的になり、結果としてタンパク質の分子数が一定とはならず、個体間変動に至ることが考えられる。また、環境変動によっても表現型は変動し、これも表現型の揺らぎとして検出され、時として離散的な表現型の違いとして検出される場合もある。植物の花弁の数が同一個体内で変動することがあるのもその例であり、環境変動が表現型の揺らぎを生み出すと考えられる。表現型の揺らぎは、基本的には確率的な化学反応や環境の変動、そして発生経路のふらつきなどによって生ずるとされる。

Q3: 表現型の揺らぎと進化にはどのような関係があるのか？

A3: 表現型の揺らぎと、進化における可変性に相関があるという予測がある。それが本領域の背景となる「揺らぎ応答理論」の骨子であり、この考えは、物理学における「揺らぎと応答の関係」を根幹としている。この相関関係が生物進化においても成り立つ可能性は、細胞モデルの進化シミュレーションと理論解析を通じて示唆された。すなわち、確率的な化学反応や環境変動による表現型の変わりやすさと、遺伝子型の変化による表現型の変わりやすさの間に正の相関があるらしい (Kaneko and Furusawa, *J. Theor. Biol.* 240(1), 78, 2006; Kaneko, *PLoS One* 2(5), e434, 2007 など)。蛍光タンパク質を発現させた大腸菌の進化実験により、タンパク質量が大きく揺らぐ遺伝子が、揺らぎの小さい遺伝子と比較して大きな進化速度を示すことも示されている (Sato et al., *PNAS* 100(24), 14086, 2007)。表現型揺らぎという1世代程度の時間スケールにおける変動と、より長い時間スケールで生ずる進化的変動に相関があるということが、「揺らぎ応答理論」における非自明かつ重要な点である。



Q4: 揺らぎと進化の関係を解析するために、どのような表現型に着目するのか？

A4: 本領域では、分子レベルから多細胞生物、さらには生態系まで様々な階層の表現型を対象とする。例として計画班では、遺伝子発現プロファイル、薬剤に対する耐性、筋肉や骨格などの形態、食虫植物の葉の形態、大進化スケールにおける胚発生プロセスの進化、昆虫-微生物の共生関係などを解析する予定である。そうした多様な表現型を対象に、表現型の揺らぎと表現型進化の関係をさまざまな手法を用いて解析し、進化の性質を明らかにすることを目指す。

Q5: 制約進化理論とは何か？

A5: 表現型進化にどのような制約と方向性が出現するのかを説明しようとする、新たな理論体系が制約進化理論であり、それが本領域で構築を目指しているものでもある。ただし、上述した表現型揺らぎと進化的変化の関係はいまのところ理論的な予測にすぎず、表現型の制約と方向性を理解するうえで十分ではない。これまでの実験的検証は、微生物の遺伝子発現量変化に関するものに限られており、多細胞生物の形態や、異なる生物種間の共生関係といった様々な階層の表現型進化についても適用できるかどうかはこれからの課題である。

Q6: この新学術領域の研究から、どのような新たな理解がもたらされるのか？

A6: 本領域では、進化の制約と方向性が生まれる仕組みの解明を目標としている。特に、進化の制約と方向性という長い時間スケールの表現型の変化を、短い時間スケールの表現型揺らぎから推定できるような理論構築に取り組む。究極的には、過去に生じた進化の経緯にフォーカスしてきた進化学から、現在そして未来の生物の表現型進化について「何が起こりやすく、何が起こり得ないか」を推論可能とするような、進化学の地平を拓ける研究展開を目指している。