



研究領域名 進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～

理化学研究所・倉谷形態進化研究室・主任研究員

くらたに しげる
倉谷 滋

研究課題番号：17H06384 研究者番号：00178089

【本領域の目的】

生物は決してランダムに多様化しているのではない。発生プログラムの変更や形態進化の変更には、不均一さや変わりにくい部分が認められる。しかし従来、生物進化のこのような側面へのアプローチは容易でなく、まともに扱われてこなかった。本研究では、この制約と揺らぎをさまざまなレベルで検出し、個体間差や環境変化による表現型変化など短期的な時間スケールで観察される表現型揺らぎと、長期的な時間スケールで起こる表現型進化の制約や方向性がどのように相関するのかを実験的に解明する。その結果に基づいて制約進化理論の適用範囲の検証と修正を行い、どのような要因が表現型進化に制約と方向性をもたらすのかを明らかにし、最終的には、自然淘汰理論、中立進化理論を包含し、生物進化をより包括的に説明できる理論の構築を目指す。

進化的な制約・方向性



表現型ゆらぎ

図1：研究目的の概略

【本領域の内容】

[1] 表現型の揺らぎ、そして擾乱や環境摂動に対する表現型の応答を定量的に測定し、揺らぎ・応答関係を基盤とした遺伝子発現変動と表現型変動の関係について実証データを集積する。具体的には、遺伝子発現と表現型の揺らぎ、摂動に対する遺伝子発現と表現型変動の応答、胚形態の揺らぎと解剖学的パターンの揺らぎなどを記述、定量する。遺伝子発現に影響するエピジェネティック制御もこの解析対象となりうる。

[2] 異種間での表現型比較により、進化過程でどの表現型形成過程に制約が存在したかを推定する。それら表現型に関わる制御遺伝子や発生パターンを明らかにし、表現型創出プロセスがどのように揺らぎ・応答するかを解析する。また、可能な系については進化実験を行い、表現型進化の方向にかかる制約を定量的に解析し、さらにはそのような制約を生み出す遺伝子ネットワークを明らかにすることにより、遺伝子発現の揺らぎ・応答を解析する。

[3] [1&2] の結果と進化シミュレーションの統合により、生物進化における制約と方向性を説明する新たな進化理論を構築する。遺伝子、細胞、個体といった多数の要素が相互作用する多階層のシステムの進化シミュレーションを行い、表現型の揺らぎと

進化可能性の関係を求めることで、発生過程の進化可能性や共生可能性を理論的に表現し、実験データ解析の基礎を構築する。さらに、制約を生み出す分子的基盤や細胞ネットワークの理解を取り入れ、様々な階層において揺らぎ・応答関係が成り立つ条件を明らかにする。

【期待される成果と意義】

本領域の大きな特徴は、統計物理学を背景とした理論生物学研究（揺らぎ応答進化理論）を取り込むことにより、これまで各論の域を超えることが困難であった表現型の制約や方向性に関する進化を、統一的な視点から理解しようとする点にある。すでに、計画班代表である金子と古澤による理論研究から、遺伝子発現揺らぎや環境応答などの表現型可塑性が、進化可能性と制約の出現に深く関与することが示唆されており、計画班の間での共同研究が大きな発展をもたらすと期待される。かつては、素粒子物理学も、宇宙全体の運命や全体像と直接関係するとは考えられていなかったが、理論と観測の統合が極微と巨大にまたがる2つの世界を結びつけた。本課題においても、階層を超えた統合を理論研究が担うことが極めて重要な柱となる。このように生物学や物理学、そしてそれらの融合領域を先導する研究者が一丸となり、革新的な進化理論の構築をめざすのが本プロジェクトであり、分野融合研究の創成につなげることにより、進化学全般の地平を大きく広げるであろう。

【キーワード】

進化生物学、進化発生学、進化形態学、実験進化学、理論生物学

【研究期間と研究経費】

平成 29 年度－33 年度

1,230,800 千円

【Grant - in - Aid for Scientific Research on Innovative Areas(Research in a proposed research area)】
Biological Sciences



Title of Project : Evolutionary theory for constrained and directional diversities

Shigeru Kuratani (RIKEN, Chief Scientist)

Research Project Number : 17H06384 Researcher Number : 00178089

【Purpose of the Research Project】

Living organisms do not evolve perfectly in random directions, but we recognize unevenness and directionalities in phenotypic variations and evolutionary changes. Thus far, however, these directionality or evolutionary constraints have never been dealt with scientifically. In this project, we aim at detecting them at various hierarchical levels, to understand the relationships or correlations between phenotypic changes observed in a short time scale (like adaptive responses) and those observed in a longer scale as evolution, to look for mechanistic and causal logics linking between the two, and finally to establish a theoretical framework to deal with the patterns of evolution, involving classical natural selection and neutral theories.

【Content of the Research Project】

1. To quantify the phenotypic response towards environmental and developmental perturbations, and to speculate the mode of correlation between the responsive gene expression levels and the responding phenotypic variations based on the fluctuation-response theory already developed in the field of physics. Thus, we will describe and measure the correlation between responses of gene regulation and phenotypes, and fluctuating embryonic morphological patterns and resultant phenotypic variations. Variations in epigenetic regulation will also be the target of the analyses.
2. To speculate the existence of constraints in the process of phenotypic generation during evolution, by means of comparison of phenotypes among various species, and to analyse, behind the fluctuating phenotypes, how the responsible genes' expressions and developmental patterns can fluctuate. Using simple models, we aim at performing experimental evolutionary analyses (*E. coli*), to identify and quantify genetic factors (structure of gene expression networks) behind the constrained phenotypes.
3. Based on the results obtained in 1 and 2, and by integrating the simulation analyses using simple models as well, we aim at exploiting methodologies to analyse the relationship between phenotypic variations and evolutionary

changes, as the bases for applying to multiple systems at different hierarchical levels including complicated body plans and host-parasite symbiosis. Eventually, we will try to establish a new theoretical framework to deal with evolutionary directionality and constraints.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

One major aspect of this project is the fact that it involves concepts of statistic physics to deal with so far untouchable questions in the evolutionary biology, namely, the causal and mechanistic nature of evolutionary directionalities and constraints. We also aim at establishing an integrative theory that can deal with evolutionary phenomena at various, multiple hierarchical levels like, from molecules and cell to the complex anatomical traits or ecological level evolution. The hint is already given from the field of physics and theoretical biology (fluctuation-response evolutionary theory; Kaneko and Furusawa, 2006). Not a while ago, even the quantum physics could never imagine that the field would ever be related by itself directly to the evolution of the entire universe, but now it does. Integration of the theory and observation has connected the two different worlds, which used to look so distantly related from each other. In the present project also, it is aimed at jumping over different hierarchical levels of phenomena, to show how a simple and integrative rule governs the entire world of organismal evolution and perplexing diversity surrounding us.

【Key Words】

Evolutionary biology, Evo-Devo, Evolutionary morphology, Experimental evolutionary biology, Ecology, Physics, Theoretical biology.

【Term of Project】 FY2017-2021

【Budget Allocation】

1,230,800 千円 Thousand Yen