

まえがき

進化のダイナミクスは、これまでに生命がどのように進化してきたか、そして今後どのように進化し続けていくのかという疑問に答える数学的法則を提供する。1950年代以来、我々が住むこの世界や我々の構成要素を理解しようとする探究心に突き動かされ、生物学と進化に関する研究は大いに発展してきた。進化は生物学すべてに通じる理論であり、どのような生物系に関する観察結果も、究極的には進化という観点から解釈されるべきである。進化は過去半世紀の著しい発展によって正確な数学的基盤に基づいた学問の一分野となった。進化の過程や機構に関わるすべての構想は、進化のダイナミクスを記述する数理方程式によって研究できるようになってきた。

進化理論が生まれるきっかけを与えたように、進化論誕生以後100年間にわたる膨大な研究では、系統の遺伝的進化や種の適応が研究の対象であった。近年では、生物学すべての分野と生命科学に関わる多くの分野に進化的な考え方が拡大している。情報が再生産される 곳ではいつでも進化が起こっている。突然変異は情報伝達のエラーによって起こり、その結果異なる種類の伝達内容が生じる。いくつかある伝達内容の中でより速く再生産するものがあれば、伝達内容の間で淘汰がはたらく。突然変異と淘汰が進化を引き起こす。突然変異と淘汰は、数理方程式によって正確に記述することが可能である。したがって進化は数学理論なのだ。

生命科学全体、中でも特に生物学はこれまで前例がない勢いで膨張を続ける理論の最前線を牽引している。現在、すべての大学が数理生物学のカリキュラムを組み、数学や分子生物学、言語学や計算機科学にまで及ぶ幅広い分野で学際的な教育を行おうと試みている。このような学際領域で進歩が生まれるのだ。2つの分野の言葉が会い、2つの文化が交錯するときにはいつでも何か新しいことが起こる。

本書では生物学と数学を語るそれぞれの言葉が会い、進化について語り合う。進化のダイナミクスは、一見複雑に思われる生物系の進化を支配する、魅力的で単純明瞭な法則を読者に伝えてくれる。すぐにも最先端の研究課題に到達できるように、不必要な難しさは避けて基本的な事柄から語り始めよう。

本書は、著者が Harvard 大学で 2004 年と 2005 年に行った講義の中で培われたものである。初年度の学生だった Blythe Adler, Natalie Arkus, Michael Baym, Paul Berman, Ilya Bomash, Nathan Burke, Chris Clearfield, Rebecca Dell, Samuel Ganzfried, Michael Gensheimer, Julia Hanover, David Hewitt, Mark Kaganovich, Gregory Lang, Jonathan Leong, Danielle Li, Alex Macalalad, Shien Ong, Ankit Patel, Yannis Paulus, Jura Pintar, Esteban Real, Daniel Rosenbloom, Sabrina Spencer, and Martin Willensdorfer, そして講義の助手をしてくれた Erez Lieberman, Franziska Michor や Christine Taylor から私は多くのことを学んだ。学生諸君の質問は私の動機につながった。本書は君たちのために執筆した。

本書を書くにあたって、多くの人達から力添えをもらった。特に最終原稿と索引の準備を行ってくれた May Huang と Laura Abbott の力添えに感謝したい。2 人の協力無くして本書を完成させることはできなかつたろう。Harvard University Press のすばらしい編集者 Elizabeth Gilbert と Michael Fisher にも感謝の意を表したい。

Ursula, Sebastian と Philipp には、理解できるものはすべてを理解しようとする彼らの熱い志と忍耐力に感謝する。

私の先生である Karl Sigmund と Robert May には感謝の意を述べたいと思う。両先生は、ともに科学者はどうあるべきかを学ぶのに優れたお手本となる人物である。両先生は優れた判断力、洞察力と寛容さをもって幾度となく私に感銘を与えてくれた。

Roy Anderson, Rustom Antia, Ramy Arnaout, Charles Bangham, Barbara Bittner, Baruch Blumberg, Maarten Boerlijst, Sebastian Bonhoeffer, Persephone Borrow, Reinhard Bürger, Michael Doebeli, Peter Doherty, Andreas Dress, Ernst Fehr, Steve Frank, Drew Fudenberg, Beatrice Hahn, Christoph Hauert, Tim Hughes, Lorens Imhof, Yoh Iwasa, Vincent Jansen, Paul Klennerman, Aron Klug, Natalia Komarova, David Krakauer, Christoph Lengauer, Richard Lenski, Bruce Levin, Erez Lieberman, Jeffrey Lifson, Marc Lipsitch, Alun Lloyd, Joanna Masel, Erick Matsen, Oxford の May 卿 (Defender

of Science : 科学の守護者), John Maynard Smith, Angela McLean, Andrew McMichael, Franziska Michor, Garrett Mitchener, Richard Moxon, Partha Niyogi, Hisashi Ohtsuki, Jorge Pacheco, Karen Page, Robert Payne, Rodney Phillips, Joshua Plotkin, Roland Regoes, Ruy Ribeiro, Akira Sasaki, Charles Sawyers, Peter Schuster, Anirvan Sengupta, Neil Shah, George Shaw, Karl Sigmund, Richard Southwood, Ed Stabler, Dov Stekel, Christine Taylor, David Tilman, Peter Trappa, Arne Traulsen, Bert Vogelstein, Lindi Wahl, Martin Willensdorfer, そして Dominik Wodarz といった数多くの人々との共同研究, そして交友をもてたことを誇りに思うとともに感謝の意を表したい. 科学に対する熱意が織り込まれたアイデアあふれる彼らの研究は本書に載せられている.

Jeffrey Epstein には数多くのアイデアと, あらゆる方向に向かう彼の情熱あふれる知の探求のお伴をさせてもらったことに感謝する.

訳者まえがき

生命は、細胞から生態系にまで及ぶスケールで外界とさまざまに相互作用しながら生存している。今日見られるすべての生物システムは進化の結果生じてきた。進化は動的なプロセスであり、そのダイナミクスを生み出す仕組みを知ることには進化を理解することにつながる。数学は関係性を記述し、構造を理解するための視点を提供する。微分方程式や確率過程によって進化の動的なプロセスを表現し、数理解析やシミュレーションを通して現象の本質を理解することが可能となる。本書は Martin A. Nowak 博士の著書 *Evolutionary Dynamics – exploring the equations of life* – の日本語訳本である。Nowak 博士はこれまでに HIV 感染症によるエイズや癌の発症、言語習得などを進化のダイナミクスと捉え、数学的手法を用いて数多くの謎を解き明かしてきた。生物進化を理論的に研究するためによく用いられる進化ゲーム理論も、Nowak 博士とその共同研究者によって新しい研究の方向性が開拓されている。これら研究の最前線にあるトピックが、その第一人者でもある著者によって非常にわかりやすく書かれている。このような刺激的な研究を多くの人々に伝えるよう、翻訳版を出版することとなった。

原著は 2006 年の年末に発売されたが、その前から関係者の間では出版を待ち望む声が聞こえていた。発売間もない 2007 年 1 月、翻訳に関わったメンバーを中心とした原著の輪読会が、静岡大学学長裁量経費による一部援助を受けて静岡大学で開催された。輪読会では参加者それぞれが各章のレクチャーを担当し、2 日間で原著を読み終えるプランで取り組んだ。翻訳作業は 13 名の翻訳担当者と 4 名の監訳者で翻訳チームを編成し、各章のレクチャー担当者がそのまま各章の翻訳を担当している。ただし第 5 章（翻訳者：中丸）については、西南大学（中国・重慶）の劉賢寧（Liu Xianning）准教授にレクチャーを担当してもらった。専門用語の多くは生態学事典（共立出版）と岩波生物学辞典（第 4 版、岩波書店）に基づいて訳語を決定した。第 10 章から第 13 章の翻訳原稿と専門用語を丁寧にチェッ

くしてくれた九州大学理学部生物学科・数理生物学教室の院生 波江野洋君，出版にあたってお世話になった信沢孝一さんと山本藍子さんに感謝します。

本書は進化のダイナミクスに興味がある読者にとっての入門書であるが，進化の研究や生命科学の研究者のみならず感染症や癌など医療の現場で働く人々，言語の研究者やゲーム理論に興味のある人々，自然現象の解明に挑む科学者や数学者など幅広い分野の人々に興味深い話題を提供してくれる．原著は線形代数や微分方程式についてある程度知っていることを前提にしているが，必要な数学的知識をわかりやすく解説してくれている．使われている数学の考え方を感覚的にも理解できれば，これまで数学を使った研究に馴染みのない人々や学部生でも十分に読み進めることができる．前提となる数学をもう少し詳しく知りたい読者のために，とりわけレプリケータ方程式のダイナミクスを理解する上で必要な数学的内容をいくつか付録に追加した．具体的には，微分方程式の安定性理論とシミュレーションによる解の挙動（周期解やカオスなど）を紹介する．内容は厳密に記述せず，なるべく直感的に理解できるように書いたつもりである．本書の理解の助けになれば幸いである．日本語で書かれた参考図書もいくつか紹介しておいたので，さらに勉強を進めるために活用してほしい．

最後に，翻訳メンバーが活動する場について宣伝しておこう．翻訳メンバーは原著者の Nowak 博士と同様に，数理生物学という分野で活動している．数理生物学とは数理的手法を用いて生命の謎を解き明かす分野である．この分野には生物学のみならず，数学や物理学，工学や社会科学に興味をもつ人々も集まっている．日本数理生物学会の HP では学会の活動やニュースレター，メーリングリスト入会方法などが載せられているので，興味のある方はぜひ学会の HP を訪れてほしい．

数理生物学会 HP: <http://bio-math10.biology.kyushu-u.ac.jp/~jsmb/>

この本を通じて，一人でも多くの人に進化する生命のダイナミックな変化，面白さ，そして数学の奥深さを感じてもらえれば幸いである．

2007 年 11 月 翻訳・監訳者一同