

アマチュア研究家に薦めたいクモの行動生態学へのガイド

コーディネーター 辻 和希

著者の中田さんは、日本を代表する行動生態学者の1人である。そして本書は行動生態学の本だ。行動生態学とはどんな学問だろうか。日本におけるこの分野の草分けである岸由二博士は、行動生態学のことを「ナチュラリストのスタンダードな方法論」といったが、よく言い当てている。行動生態学は大学などの研究機関にいるプロの研究者だけができる学問分野ではなく、一般の自然愛好家にも開かれている。あとがきで著者の中田さんが書いているように、行動生態学の研究には高価な機材や薬品、あるいは研究チームを必ずしも必要とはしない。動物好きの方々が、たとえば著者が扱ったクモのような身近に見られる生き物で何か科学的な研究をしてみたいと素朴に思ったとき、たった1人で紙と鉛筆を手で観察するだけで、現代科学で十分通用する行動生態学的研究ができる可能性があるのだ。

行動生態学の目的を端的にいえば、野生の生き物の多様な特徴（日本で俗にいわれるところの「生態」）が、すべて自然選択の産物であるという考えでどこまで理解できるのか挑戦すること、となる。動物の「生態」、すなわち、行動や形態、生活様式がすべて自然選択の産物であるというこの考えは、厳密にはあくまで作業仮説である。しかし、自然選択と遺伝浮動を軸にした生物進化学理論は、現代科学が発展すればするほど、生物学全体を包括する基盤概念としての地位をますます固めつつある。このしっかりした考えを、現

象を切りとるメスとして使えば、マウスやショウジョウバエのようなく制御された実験室で研究される一部の「モデル生物」を使わなくても、自然愛好家が出会うさまざまな野生生物を対象に研究して、うまくいけば今まで誰も気づかなかったパターンを発見し、さらにそれに科学的解釈を与えることができる。

さて、本書の紹介役をつとめるにあたって、解説しなければならぬ専門知識がある。第2章で書かれたコストと利益、そして第6章で触れられている最適採餌仮説についてだ。これを解説するには、まずその前に基本中の基本である自然選択説について説明せねばならない。

生物は実によくできている。ミドリシジミ類の幼虫は、食べ物である樹木の新芽が芽吹く季節にぴったり合わせて冬眠から目覚め、孵化する。コウモリは自ら出した超音波の反響で餌の位置を知り、暗闇でも獲物を捕らえることができる。ミツバチはダンスで餌のありかや価値を巣仲間伝える。これらは生きていくのに都合のよい性質で、まるで意識ある存在（神）が計画的に設計したのではないかと思えるばかりの精緻さだ。しかし自然選択説の提唱者であるダーウィンは、「自然のふるいわけ」といういわば物理的な仕組みが長い時間をかけ作用することで、これら生物の驚くべき適応的性質のすべてが自然発生してきたのだと考えた。

自然選択はこんなふうにと考えられる。生物の性質（以後、形質と呼ぶ）をコードするDNAに刻まれた情報は、子どもに遺伝する。このDNAの分子配列は、時々突然変異を起こし変化する。突然変異には、表現形質に影響しない中立的変化も多くある。しかし表現形質に突然変異が現れる場合は、突然変異はデタラメな方向に形質を変え、それは生物個体にとって有害なものがほとんどである。ところがごくまれに、与えられた環境で生活していく上で以前

示していた形質よりも有利な形質をもたらすことがある。そのような有利な形質をもつ個体は、生き残って子どもを残す可能性が同種の他個体より高いため、突然変異タイプの形質は種内で広がっていく。長い年月をかけこのプロセス（自然選択）を無数に繰り返すうちに、生物は環境にどんどん適応していく。このように、自然選択は生物の進化による環境適応の原動力であり、それは主として同種の生物の個体間競争（種内競争）を通して作用する、というのが行動生態学の主流となる考え方だ。

行動生態学者はこの考え方をさらに現代的にアレンジし、具体的な予測を導くようになった。大胆な予測を立てることが行動生態学のアプローチの大きな特徴である。読者の皆さんは、過去に起こった出来事（普通はそうだ）である生物進化に対し、自然選択理論から予測を導くとは一体どういうことなのかと思うかもしれない。予測は普通、未来に対して行うものだからだ。行動生態学の予測の立て方を大ざっぱにいうと「もし自然選択理論が正しければ、生物にはこんな形質が進化しているはずである」というアプローチをとる。つまり、過去に起こったであろう自然選択（作業仮説）から、現在のパターンを予測するのである。もし実際の現存生物に見られるパターンがこの予測とよく一致していたら、「過去に起こったであろう自然選択」という作業仮説は支持できる。ここで予測は定量的で詳細あればあるほど、その予測が支持されたとき、他の仮説でも現象を説明できる余地が通常は少なくなる。言い換えるなら、自然選択説の信憑性が増すというわけだ。

では、詳細な定量的予測はどう導くのだろう。先にも述べたように、突然変異は、生物にとって必ずしも都合のよいものではないデータラメな方向に形質を変化させる。現存する野生生物が、皆過去に経験してきた自然選択という種内競争における勝者の子孫であると

仮定すると、祖先の世代で生じ得た突然変異の中で、生息環境で生き残り子どもを多く残すことに最も長けた形質をコードする遺伝子(型)だけが、現在残っているだろうと予測される。

この考え方を突き詰めると、工学などで広く使われている最適制御という考えに結びつけることができる。工学は基本的に応用分野の学問であるため、ヒトが目指す任意の目的変数を最大にするには人工物をどう設計すべきかと問う。行動生態学者は逆に、過去に働いた自然選択の結果、現存している生物の目的変数は最大化されているのではないかと考える。ここで生物が最大化する目的変数とは「生き残ってより多くの子どもを残すこと」であり、これを適応度と呼ぶ。人工物の設計の言い回しに合わせて「目的」変数と表現したが、適応度最大化は自然選択というふるいの中で自然に生じてしまう結果的な現象で、意図された目的とは違う。ともあれ、自然選択の結果現存する野生生物個体は、過去に突然変異で改変可能であった範囲内で適応度を最大化させる形質を示すはずであるという、適応度最大化の原理は、行動生態学の軸になる考え方だ。

しかし、突然変異による個体形質の変化には、適応度向上のために好ましい側面と、好ましくない側面の両方が通常伴う。行動生態学者は前者を適応度上の利益と呼び、後者を適応度上のコストと呼ぶ¹⁾。第2章で書かれた、より大きな網を張ればクモは餌をより多く捕獲できる(利益)が、より大きな網を作るには体内に蓄えている資源がもっと必要になる(コスト)が、その具体例である。最適

¹⁾ 利益やコストは、個体が生涯残すであろう子どもの数(これはいわば適応度そのもの)への影響で測るのが理想的だが、実際の研究では資源獲得量などの別の尺度で議論されることも多い。その場合は、もし他の条件がすべて一定なら、栄養などの資源をより多く獲得した個体が、平均すればより多くの子孫を残すことになるだろうという仮定を置くことになる。

制御という考えを導入すれば、この二律背反（トレード・オフ）を「合理的」に解決する解を求めることができる。解を導くため最適制御理論では高度な数式を使うことがしばしばあるが、本書の図 2.2 や Box.1 のように、図で直感的に理解できるケースもよく見られる。図 2.2 のようなケースでは最適なやり方とは、大ざっぱにいて利益とコストの差が最大になるやり方といえる。

まとめると、行動生態学者は大胆な予測を立てて、野生生物を色めがねで観察する。生物においては過去の自然選択の結果、最適戦略²⁾が進化しているはずだと、この予測が実際の生物のパターンとよく一致したときの驚きは、とりわけ予測が意外なものだった場合には、行動生態学の研究アプローチをととても魅力的なものにする。

専門家でない読者を想定し、大胆な予測を立てる行動生態学のアプローチをこれまで紹介してきた。しかし実際のところは、最適化理論の定量的な予測は、観察だけでなく実験的な方法を使って、生物を詳細に調べることでしか検証できない場面も多い（本書でも第 2 章に具体例が紹介されている）。また科学技術の発展に伴い、行動生態学でもたとえば次世代 DNA シーケンサーなどの最新の高価な分析機器を使って予測をテストするような場面が次第に多くなってきた。これはアマチュアには敷居が高いだろう。

一方、予測を立てるのが行動生態学の特徴とはいえ、定量的な予測だけが唯一のアプローチではない。定性的な予測もよく立てられる。たとえば、第 4 章の「餌の獲れ方に地域差があるとき、それに適応して同種のクモでも巣の特徴に地域差があるのではないか」というのはその例である。与えられた制約と環境の中で、自らの身体

²⁾ 行動生態学者は、生物の形質を戦略や戦術という言葉でしばしば抽象的に表現することがあるが、それは最適化理論や進化ゲーム理論が発展してきた経済学や工学などで使われてきた言い回しだからである。

能力の技術革新に自然選択を通して邁進しているのが生物であると
考え（作業仮説）、それがいかなる精緻なデザインをもたらしたか
考えることは、それ自体が挑戦的な研究テーマだ。これは自然愛好
家が行うアマチュア研究にも採用できるアプローチだと思う。

しかし率直に言って、アマチュア研究者が現代科学の世界で通用
する行動生態学的研究を行うための本当のハードルはアイデアだ。
科学の最前線で通用する研究を行うには、アイデアすなわち学問に
おけるこれまでの到達点をしっかり学び、それを超える新たな発想
が必要だということは、素人でも想像できるかと思う。正直にいえ
ば、私自身はアイデアは必要どころか最重要と考える。プロの研究
者の世界では、研究アイデアが本当に独創的か、二番煎じでないか
どうかは死活問題である。それゆえ研究を始めるにあたっては、過
去に世界のどこかで似たような発想で研究がされていないかしま
り調べる。なぜなら、職業研究者の間では1番手の研究以外あまり
評価されない³⁾傾向があるからだ。これが災いし、研究の追試や、
同じ予測を少し違った系（たとえば近縁種）で検証するというよう
なことは、行動生態学者の間でもあまりなされない傾向がある。こ
んなことでは世の中に蓄積される事実に関する情報が薄っぺらくな
ってしまうという弊害が生まれるが、競争の激しいプロの研究者の
社会では仕方ない面もある。

そこにアマチュア研究者の出番と、本書や同じ共立スマートセレ
クションシリーズの他書の意義がある。自然愛好家がもし研究を始
めたいと思ったとき、本書はアイデアを研鑽するためのガイドとな
るだろう。アマチュアの研究には1番じゃないといけないというし

³⁾ この場合の2番手の研究の評価の低さとは、成果が著名な雑誌に掲載されにくくな
ることに端的に表れる。誰かに「2番じゃ駄目なんですか」と問われたら、「駄目
なんです」と、絶えず競争にさらされている職業研究者ならそう答えるだろう。

がらみはない。むしろ2番手の研究でもOKというところに、アマチュアの研究の最大の強みと、活躍する余地がある。プロの世界では集まりにくい追試データをとることもできるし、追試のつもりでやった研究が予想外の新発見をもたらす可能性もある。「やってみるまで結果はわからない」というのは経験主義の発想であるが、これを裏づけるようなことが、さまざまな野生生物を扱う行動生態学的研究では割とよくあるように思う。

小中高校の理科の先生には、本書をぜひ読んでもらいたい。クモのようなそこかしこにいる小さな生き物を、ホームセンターで買える程度の簡単な道具を使い、知恵を絞って実験や観察をすることで先端科学的な研究ができるというのは、教育現場において魅力的でないだろうか。本書は、小中高校の教育現場で、たとえば夏休みの自由研究やスーパーサイエンスハイスクールでの生徒の研究などのよい参考教材になると思う。

もちろん、純粋に一読者として、クモという不思議な生物を深く知りたいという方々にも本書をお薦めする。クモにはセアカゴケグモのような毒グモもいて、アレクノフォビア（クモ恐怖症）などという言葉があるほど嫌われやすい存在だが、実は害虫の天敵として農業に大きく貢献し、糸の産業利用も真面目に検討されている、愛されるべき存在でもあるのだ。

末筆になるが著者の中田さんのエピソードを少し書いておこう。先ほど1番手、2番手という話をしたが、奇しくも著者の中田さんは、ギンメッキゴミグモという日本のクモで、オスが交尾相手であるメスの生殖器の一部を破壊し、二度と交尾できなくするという大発見をした（本書でも少し触れられている）。ところが残念ながら「鼻の差」で、外国の研究グループが他種のクモで同じような内容を先に発表し、中田さんの発見は2番手になってしまったのだ。し

かし、2番であっても中田さんの研究の科学的価値が高いことに議論の余地はない。別種のクモでも極めてよく似た行動が見られたという事実は、このような現象が多くのクモで一般的である可能性と、その裏に同じメカニズム（自然選択）が働いていたことを暗示するからだ。ライバルグループの研究成果が掲載された科学誌に中田さんの原稿は却下されることとなったものの、ほぼ同時発見だったということもあり、権威ある英国王立協会が発行する別の有名誌に中田さんの研究成果は掲載された。

中田さんは、生物学の教科書を書き換えるような大きな発見をしてやろうという野心を元々持ち合わせてはいない旨をあとがきで述べている。私は中田さんとは彼が大学院生時代からの知り合いで、アリを使って共著研究もしたことがあるので、中田さんの気持ちは当時と変わらずそうなのだと思う。「人と同じことはやらない」が信条なのは私も同じだ。中田さんのこの研究姿勢に対し私は評論する立場にないが、中田さんの変な野心のない自然体の研究からさらなる大発見が生まれることを願っている。そして、そのような自然体の研究姿勢は、自然愛好家がアマチュア研究をするときの模範になるだろうと思う。