

1 章 Introduction

Regis Ferriere, Ulf Dieckmann, and Denis Couvet

近年、人間活動による生物相への影響は空前の時空間スケールに及んでいる(Box 1.1)。この問題を解決して生物多様性を長期的に維持するためには、生態プロセスと進化プロセス、そしてそれらの相互作用を理解することが欠かせない。本書の目的は、こうしたプロセスを取り入れることで保全生物学の統合的アプローチの確立に向けたお膳立てをすることである。まず始めに、これまで別個に発展してきた保全生物学の諸分野を単一のフレームワークにまとめる。

Box 1.1 地球温暖化と生物への影響

- ・カリフォルニアサンゴ礁の魚類群集では、過去 20 年間で低温性種の個体数が 50%から 33% に減少した一方、高温性種は 25%から 35%に増加した
- ・海洋温暖化は陸上種にも影響する。熱帯地方の雲霧林では、雲の高さが上がることで霧の日が少なくなり、鳥類、爬虫類や両生類が減少した
- ・極端に乾燥した年には、両生類の産卵場所の水深が低下してしまう。すると胚が紫外線によるダメージを受け、病原菌に感染しやすくなる

1.1 Demography, Genetics, and Ecology in Conservation Biology

過去 20 年以上、保全生物学は 3 つの分野を独立に発展させてきた。保全人口学、保全遺伝学、そして保全生態学である。まず保全人口学は、絶滅の危機に瀕した個体群の動態を予測し、短期間で維持していくことに焦点を当てる。そのため、ある状況下で個体群がどれだけ存続できるか予測するための確率モデルをつくる。

次に保全遺伝学は、遺伝的多様性を保持することに焦点を当てる。保全遺伝学の実用的価値は激しい論争にもなったが、現在では遺伝的多様性が消失すると(近交弱勢等を通じて)短期間のうちに個体群の絶滅リスクが高まりうることが分かってきた。

最後に保全生態学は、生態系管理のために群集及び生態系生態学者らが発展させてきた広範な知識を用いる。最大の課題の 1 つは、相互作用の多様性及び複雑さが生態系のかく乱に対する回復力にどのように影響するか解明することである。

しかしこれら 3 つのプロセスを、進化的プロセスを取り入れて統合するためのアプローチは確立されていない(Fig 1.1)。本書ではこうした統合の必要性を示したうえで、理論的及び実証的発展のための手段を提供する。

1.2 Toward an Evolutionary Conservation Biology

私たちが観察する生物多様性のパターンは、長い進化の歴史を反映したものである。この時、私たちは全ての種を守るべきなのか？それとも、生物多様性を維持する生態及び進化プロセスそのものを維持すべきなのか？この問題に答えるためには、環境変動に対する生物の進化を理解する必要がある。

Box 1.2 環境変動に対する早い進化的反応

- ・カドミウム耐性のない果実バエを、カドミウムを含む・含まない果実の環境下に置いた。この時、種内競争が激しい場合ではカドミウム果実に対してたった4世代で適応した
 - ・大きい島に生息するトカゲを小島に導入すると、十数年のうちに形態が変化した
 - ・人間に過剰利用されるタラは、過去50年で成熟時期が急速に早くなった
- 急速な小進化は、環境変動にさらされている個体群では普遍的に生じている可能性がある

こうした実証研究によって、生態及び進化プロセスの相互作用が生物多様性を形成していることが明らかになってきた。そして、さらなる課題が生じた。

- ・環境かく乱に対する適応的反応はどのように個体群を安定させるか？
- ・適応のための種の進化ポテンシャルを決める人口学的、遺伝的及び生態的要因は何か？
- ・環境変動のどの性質が、個体群の適応を促進または阻害するのか？
- ・生物群集の進化的歴史をどのように管理方策に考慮すべきか？
- ・人間活動が生態系に大規模で与える影響を抑えるため、様々な保安全管理策の優先順位をどのようにつけるべきか？

これらの問いに答えるためには、既存の理論的枠組に基づいた様々な相補的アプローチが必要だろう。環境フィードバックループの概念は、生態プロセスと進化プロセスを組み合わせることでこれらの問題を解決するツールとなる(Box 1.3)。

Box 1.3 環境フィードバックループ

環境は個体群密度を規定するまたは選択圧をかけることで、個体群に影響を与える。一方、個体群そのものも環境を改変する。この作用-反作用を環境フィードバックループと呼ぶ。これらは単なる自明の相互作用ではなく、多様な変数が関係しうる。

- ・個体群特性：表現型、豊富さ、子の数、空間的集中度、性比等
- ・環境変数：資源密度、種内競争頻度、捕食者密度等
- ・人口学的特性：成長率、繁殖率、死亡率、分散傾向等

このループにおいて個体群特性は環境変数に、そして環境変数は人口学的特性に影響する。従って全ての密度もしくは頻度依存的メカニズムと、ある個体群に働く選択圧を記述できる。

人口学的特性を決定するのに十分かつ最小数の環境変数または個体群特性を、環境フィードバックループの次元(dimension)と呼ぶ(11章参照)。これは2つの重要な性質を持つ。まず、これは個体群が安定共存できる表現型の数の上限となる。次に1次元の時のみ、適応進化によって遺伝的制約を受けた下で個体群の存続性が最大化されることができる。

1.3 Environmental Challenges and Evolutionary Responses

表現型形質に対する選択圧は、集団の局所環境との相互作用から生じる。表現型形質は生物の遺伝構造に制約されながら選択圧に反応する。そして、この反応によって集団が局所環境をどのように形成するか決まる。こうしたフィードバックループがどのように起こるかによって、形質の適応が種や群集の存続性に与える影響は異なり、以下の三通りが考えられる(Box 1.4)。またその実例は(Box 1.5)にある。

Box 1.4 進化的救助、畏、及び自殺

(左図,進化的救助)環境悪化に応じて形質が進化することで、個体群絶滅を免れた状態

(中央図,進化的畏)安定化選択のために環境悪化に応じた形質進化ができず、絶滅へ向かう状態
(右図,進化的自殺)環境変動によって方向的選択が起こり、絶滅へ向かう状態

Box 1.5 進化的畏、自殺及び救助の実証例

- *Centaurea corymbosa*(キク科)は、ある生活史形質がもとで広範囲分散を殆どせず生息範囲を拡大できないため、最終的には絶滅すると予測される
- *Drosophila*(ショウジョウバエ科)の室内実験では、乾燥状況に代謝を下げて対応した結果、繁殖率が低下したため個体群密度が低下した
- 野外の *Melitaea cinxia*(タテハチョウ科)は、生息地悪化に応じて分散戦略を変化させ、メタ個体群として存続可能となった

→保全計画の実行における進化的プロセスを考慮することの重要性が示している。

1.4 Evolutionary Conservation Biology in Practice

例 1：フロリダヒョウ

最大の脅威が近交弱勢と判明し、遺伝的多様性を回復させることが目的となった。唯一の道は、亜種であるテキサスヒョウとの交雑と考えられた。しかし、彼らは生態的にも進化的にも“交換不可能”であった。つまり彼らは異なる環境に適応し、遺伝的にも離れていた。そこで数理モデルを立て(1)近交弱勢をなくす、(2)局所環境に適応するための遺伝子と亜種間を区別する中立遺伝子の両方を保持する、ことのできるテキサスヒョウ個体数割合を予測した。

例 2：南アフリカのケープ植物地域(Box 1.6)

90000km²に 9000 種以上の植物種が存在し、うち 69%が固有種となっている。系統自体は少なく、様々な多様化プロセスによって劇的に適応放散したと考えられている。そこで保全計画の目的は、鍵となる進化プロセスを特定し保全することとなった。気候帯のグラディエントや植物-送粉者の共進化システム等、7つの進化プロセスが特定され、それによって各地域の“交換不可能性”が算出された。これにより、現行の保全地域は重要地域をカバーできていないことも明らかにされた。

こうした保全計画の最終目標は、人為的かく乱に頑健な多様性システムを創ることである。この時、各希少種に着目したアプローチよりも生態-進化プロセスに着目した保全管理策の方が効率の良い場合が多いだろう。

1.5 Structure of this Book

本書は 5 パートからなる。

- A：個体群の絶滅リスクに関する基本的レビュー
- B：環境変動に対する急速な進化の実証研究
- C：個体群存続性モデルにおいて人口学的、遺伝的、生態的要因をどう統合するか
→生活史形質の適応が絶滅リスクに与える影響の定量的評価
- D：上記の統合が、空間的異質性を持つ個体群にどう拡張できるか
- E：群集動態との橋渡し

また横断的テーマとして、以下のようにもまとめることができる。

- 構造を持たないまたは生理的構造を持つ個体群の絶滅動態(2,3 章)
- メタ個体群動態と分散の進化(4,14,15 章)

- 気候変動等に対する自然界での適応的反応(5,12,15 章)
- 環境変動に対する生活史進化の実証研究(6,7,8 章)
- 減少及びメタ個体群を対象とした個体群遺伝学及び定量遺伝学(9,10,12,13,15 章)
- 適応動態理論とその応用(11,14,16,17 章)
- 人口学的及び遺伝的要因の探索(5,9,14,15,18 章)
- 種内関係による進化を通じた群集動態(16,17,18 章)