

訳者まえがき

生物の分布を記載し、種および生物群集や生態系の分布を地図化するものは、生物地理学の基本的な課題であり、19世紀のダーウィンやフンボルトの自然史に関する研究以来、長年にわたって取り組まれてきた (Lomolino et al., 2017)^{*1}。そして、1980年代になると、マクロ生態学の研究アプローチが発案された (Brown et al., 1989)。これにより、ナチュラリストが集積してきた膨大な記載情報が、生物多様性ビッグデータとして稼働化され、生物分布を広域的に定量化する研究が飛躍的に進んでいる。本書で解説されている生物の生息適地モデリングは、進化生態学の基本的な概念である環境ニッチに基づいて、野生生物の空間分布を分析する手法である。実際、生息適地モデルは、近年のマクロ生態学において重要な役割を果たしている。生息適地モデルによる分析は、生物多様性科学の発展を推進する二つの側面に光を当てることになる。一つは、生物分布の進化的あるいは生態学的なメカニズムに関するわれわれの理解度、すなわち *intelligence* (インテリジェンス) を定量化してくれることであり、もう一つは、生物分布のメカニズムを分析するために不可欠なデータの不完全性、つまりわれわれの無知さ、*ignorance* (イグノランス) を統計学的に定量化してくれることである。前者のインテリジェンスについては、生息適地モデルの有効性や可能性という観点から、本書で詳細に解説される。おそらく、読者の多くは、自らが研究対象としている生物分布を予測したいという動機から、この点に強い関心があるだろう。一方、後者のイグノランスは、生物多様性情報のショートフォールとも呼ばれ、特に、生物分布データの不完全性は、生物地理学者ウォレスに関連づけてウォレシアンショートフォール (Wallacean shortfall) と呼ばれる (Hortal et al., 2015)。生息適地モデルのような統計モデリングの利点は、作業仮説を立証するのに加え、データ収集を含めた研究の不足点を明確化することで、データ分析を通して自身の研究を進展させられることにある。これについては、生息適地モデリングの結果の妥当性を統計学的に検証する観点から、本書でも丁寧に解説される。実際、大規模な生物分布

*1 参考文献は、巻末の「訳者あとがき」を参照。

データを活用した生息適地モデルをもってしても、どこに、どのような生物種が分布しているかを高精度に予測し、将来的に生物分布がどのように変化していくのかを投影することは、いまだに難しい。このような課題を解決するには、統計学的な工夫だけでなく、生物分布データの完全性を高めることが必須になる。特にフィールド研究者の場合、限られた予算と時間で、生物分布データを効率的に充足しなくてはならない。したがって、生息適地モデルの分析で明らかになるかもしれない“生物分布をうまく予測できない事実やその要因”（例えば、データバイアスの問題）を認識できることにも、大きな意義がある。実際、生息適地モデルの分析結果をもとにして、ウォレシアンショートフォールを効率的に充足させるような戦略的な調査計画を立案することも可能である。

また、生息適地モデルは基礎研究のみならず、生物多様性の保全科学や生物資源管理などの応用面でも極めて重要な役割を果たす。実際、生物多様性条約の愛知目標（COP10）では、生物多様性の損失に歯止めをかけて、状況を改善するためのさまざまな戦略が掲げられている。中でも、陸域の17%あるいは海域の10%を保護区ネットワークでカバーする戦略目標を達成するためには、保全上の重要地域を特定して、既存の保護区をどのように拡大させるべきか、あるいはどこに新たな保護区を設置すべきかを科学的に明らかにする必要がある。さらに、生物多様性国家戦略や地域戦略で、貴重な生態系や固有種および希少種を生息域内で保全するためのアクションプランを策定する場合、生物の分布情報に基づいて、保全努力量の最適な空間配分を考えることになる。海洋保護区の空間デザインを検討する場合にも、さまざまな海洋生物種の空間分布を把握することが基盤になる。社会経済的なりリスクをもたらす外来種の対策では、海外からの侵入や国内での分布拡大を把握するために、外来種の侵入適地を予測することが欠かせない。さらに、地球温暖化に関係した気候変動適応を考える場合、農林水産業に関わるさまざまな資源生物の持続的利用を担保する必要がある。そのためには、さまざまなサービスをもたらす農業資源（作物・果樹など）の栽培適地を予測し、魚介類など水産資源の空間分布の将来的変化を予測することが、分析の第一歩になる。

これらの事例からわかるように、生息適地モデルは、野生生物のみならず栽培・資源生物にも適用可能であり、さまざまな分野においてニーズがある。生息適地モデルのユーザーは、理学系の生物学（生態学・系統分類学・生物地理学・進化学）分野、農学系の森林科学や作物学分野、野生生物管理学分野、水産系の漁業資源管理分野、環境科学系（環境影響評価やリモートセンシング分野）の大学学部生や大学院生、さらには、環境アセスメント実務者、自然環境行政関係者にまで及ぶだろう。しかしながら、生息適地分布モデリングの理論から実際の利用までを体

系的に解説した日本語の教科書は、今まで存在しなかった。初学者が生息適地モデルを学ぶ際、学術雑誌の総説に頼るほかなかった（角谷, 2010; 石濱, 2017）。

本書は、基本概念の解説と R プログラムによる多くの実践例を示している。一部のコードやデータがすでに利用できないため、本書の例題をすべて実行することはできないものの、本書の内容は、生物分布に関わる基礎・応用科学分野の潜在的な分析ニーズに応えることになるだろう。

2020 年 1 月

久保田康裕

刊行に寄せて

われわれの社会は、人口成長や気候変化による生物多様性の損失や種の絶滅のような差し迫った脅威に直面している。生態学は、このような問題に関する社会的な対策を議論する主要な学問分野になりつつある。

生態学者に重く課せられた任務は、環境問題の解決策の策定を支援することだろう。生態学者、自然保護活動家、土地利用計画者、政治家には、問題解決のために、より活発な共同、アイデア、目的の統合が要求されるだろう。特に現在の環境危機に直接的に関係する現場の実務者の間でも、同種の必要性があるだろう。

生息適地モデリングは環境問題に関係する。この研究分野の主要な課題は、種の分布を決定する変数を理解し、気候変化や攪乱に対して、地球上の生物相がどのように応答するのかを予測することである。種の分布を理解し予測するための概念的な枠組みや分析手法は、過去 20 年の間で驚くほど発展し、本書の 3 人の著者はその進歩に寄与してきた。

今後の生息適地モデリングの発展は、基礎生物学や生態学的知見に加えて、さまざまな分野を横断した幅広い知見やスキルを有する研究者の活躍にかかっている。すなわち以下の項目が重要になるだろう。

- 生態学的理論の概念的枠組み
- データ収集とサンプリング
- 統計学的分析
- リレーショナルデータベース
- 地理情報システム (GIS)
- コンピューティングスキル

以上を統合して生態学的な問題に取り組むことが、今日的なデジタル環境において重要であることは明らかである。しかし、これらのアプローチを用いた経験に代わるものはない。本書の内容は、生息適地モデリングにおいて利用可能な技術的オプションや、さまざまな生態学的仮定が関係する一連の分析プロセスにお

ける各ステップを評価する必要性を示す。さらに、さまざまなモデリング手法を実行し、それらの挙動（予測力など）を比較するためには、Rコードによる詳細な分析手順の提供も重要である。本書は、生息適地モデリングの先駆者である3人の著者の経験に基づいており、この分野に興味のあるすべての生態学者に、貴重な学習の機会を提供するだろう。

Mike Austin
CSIRO Land & Water Flagship, Canberra, Australia

序文

本書の目的と読み方

本書は、種の生態的ニッチを定量化し、種の分布を予測するために、生態学における生息適地モデル (HSM) を実際のデータに当てはめる方法について解説している。また、この分野を習熟したい読者にとっては、R による分析手法を含んだ教科書である。本書は、生息適地モデルの分野全体をレビューすることは考えていない。実際、この分野はとても急速に発展しているので、むしろ事例を単純に示す方法で、モデルの構築から評価や適用に至る主要なステップを説明することを意図している。したがって、修士課程や博士課程の大学院生の研究、あるいは種の分布に着目したワークショップで役立つ、自身のデータを分析するのに慣れていない研究者の手助けとなるだろう。われわれ著者は、読者が第 1 章から本書を読み進めることを勧める。第 1 章は、本書の内容の詳細を解説している。

謝辞

本書の執筆において、例示する素材や技術的な貢献をしてくれた Valeria Di Cola, Damien Georges, Achilleas Psomas の多大なる尽力に、心から感謝している。特に Valeria Di Cola は、本書の編集において中心的役割を果たしてくれた。Mike Austin は第 I 部と序文の執筆で、入念な査読をしてくれた。Joana Vicente, Olivier Broennimann, Manuela D'Amen, Rui Fernandes も、第 I 部の内容について付加的なコメントをしてくれた。Brody Sandel は第 II 部を査読してくれた。Jane Elith と Manuela D'Amen は第 III 部を、Tom Edwards と Luigi Maiorano は第 IV 部を、Laura Pollock は第 V 部を査読してくれた。Daniel Scherrer はいくつかのプログラムコードに関して入念な検証をしてくれた。Joana Vicente には巻末の用語集についても確認をしてもらった。Hamid Taleshi には原稿全体を読んでもらい、Lidong Mo には本書のすべてのコードとその内容を検証してもらった。彼らにも感謝している。さらに、本書を執筆している間、私的な時間に

作業することが少なくなかったわれわれを忍耐強く支えてくれた家族や友人に感謝したい。そして、われわれ著者それぞれの研究グループと同僚たちに感謝したい。彼らの支援と熱意の上に成り立つ素晴らしい研究環境がなければ、本書は実現しなかっただろう。最後に、われわれ著者は Valeria Di Cola にさらなる謝意を述べたい。彼女は、本書を完成させるまでの2年間、粘り強く支援してくれた。

著者の貢献

Antoine Guisan, Wilfried Thuiller, Niklaus E. Zimmermann が本書の内容を構想し、共同して全文を執筆した。Antoine Guisan は、Valeria Di Cola の多大なる支援のもとに、本書の取りまとめを4年間にわたり推進した。Valeria Di Cola は、3人の著者の文案を調整して本書の編集を担った。Antoine Guisan は第I部と第IV部、Niklaus E. Zimmermann は第II部、Wilfried Thuiller は第III部と第VI部の執筆を主導した。著者全員で第V部を執筆した。プログラムコードの開発は、Achilleas Psomas と Niklaus E. Zimmermann が第II部を、Damien Georges と Wilfried Thuiller が第III部と第VI部を、Valeria Di Cola と Antoine Guisan が第IV部を、Damien Georges, Valeria Di Col, Achilleas Psomas, Niklaus E. Zimmermann, Wilfried Thuiller, Antoine Guisan が第V部を担当した。