

「特集 生態学における統計モデリング」について

久保 拓弥[†] (オーガナイザー)

この特集は「統計数理」の読者のみなさんに、生態学の統計モデリングなどにも興味をもってもらえれば—といった意図で編まれたものです。生態学は生物個体の行動や生物集団の構造・動態ならびに生物たちをとりまく環境との相互作用を明らかにする、生物学の一分野です。生物集団の動態と物質循環の組み合わせが生態系(ecosystem)であり、ヒトという生物集団とその活動もそのシステムの一部です。「人類による介入」が地球生態系に与える長期的な帰結は予測困難ですが、たとえば局所的な生態系を保護してみたり破壊してみた場合の短期的な挙動ならば—「それほどまとはずれではない」見とおしが得られないかな—ぐらいのことを頭の片すみにおきつつ、調査・実験・解析を試行錯誤してみるのが生態学研究である、と言えなくもありません。

近年の統計モデリング環境とそれをデータに対応づける手段の発展は、生態学の研究にも影響をおよぼしています。昨年出版されたアメリカ生態学会(ESA)の学会誌“Ecology”百周年記念号に掲載された、この分野を俯瞰する論文“Some directions in ecological theory”(Kendall 2015)では生態学の理論検証における統計モデリングの役割が強調されています。すなわち、かつては観察されたパターンと定性的な性質の関連づけに終始していた理論的な研究は、実測されたデータにもとづいて生態学的過程を説明する仮説を定量的に検証できるようになった—これは統計モデルを使って現象を理解するという方法論が、今後ますます重要になるという指摘にほかなりません。

この「生態学における統計モデリング」特集は、統計モデリングの重要性が高まりつつある時代の流れの中で、生態学の研究を進めている若手の執筆者たちによるデータ解析の解説記事を集成しました。以下に各論文について簡単に紹介します。

最初の二篇は、生物集団動態と物質循環という生態学の基盤となる過程を、状態空間モデルを利用して解析する研究です。深谷論文は動的サイト占有モデルの解説で、これはいろいろな種(species)からなる局所的な生物集団と、その局所集団ネットワークの時間変化を解明する研究です。このような研究においては、調査者の分類誤差(例：本当はA種なのに誤ってB種と記録)などさまざまな「誤測定」の効果を考慮した統計モデルづくりが重要であり、ネットワークの動態を左右するパラメーターの推定に影響があると指摘されています。調査したいことの動機・調査デザイン・モデリングをいかに対応づけるべきか議論されています。次の仁科論文では森林生態系のリターの分解過程の統計モデルの改善にとりくんでいます。リターとは森林の地表に堆積する枯葉など「植物の死骸」であり、地球生態系の炭素循環の重要なコンポーネントです。従来の研究ではリター分解速度一定の単純な過程モデルが使われてきたのですが、仁科論文では柔軟なモデル作りが可能となるベイズ統計モデルの特性をいかして、多数の調査地におけるリター分解の過程を統一的に説明する手法を説明しています。

次の二篇は水産資源解析に関するものです。生態学の特集で漁業の維持・発展についての研究が登場する理由は、岡村・市野川論文に書かれているとおり、魚という動物集団の時間変化をモデル化する過程は個体群動態(population dynamics)の研究であり、いわば「応用生態学」と

[†]北海道大学 地球環境科学研究院：〒060-0810 札幌市北区北10西5

しての側面ももつからです。ここではバイアスのある漁業データをうまく利用しながら、経済学的・社会的視点も考慮した予測による資源評価のさまざまな方法が説明されます。つづく市野川・岡村論文ではマサバの資源量と漁獲努力との関係を明らかにするべく、状態空間モデルを使って長期データを解析し、シミュレーションによって最適な漁業管理の方策を模索するわぐみを提案しています。

「食う-食われる関係の食物ピラミッド」として中等教育の教科書にも登場する概念を、現実に観察される生態系に適合するように一般化した食物網(food web)は「いかにも生態学」らしい概念であり、これをあつかう統計モデルについて検討するのが角谷・長田・瀧本論文です。ある食物網をモデル化する有向グラフを仮定したときに、生物種ごとに異なる安定同位体比をうまく説明できるような「食べられるものの貢献」の大きさを推定します。これによって水中生態系における食う-食われるネットワークの詳細が明らかになります。

機械学習の発展の成果は、生態学のデータ解析にも徐々に恩恵をもたらしつつあります。望月・村上論文では衛星リモートセンシングで得られた画像データにもとづいて、地表の植物の地図—植生図を作るための機械学習の利用法が紹介されます。生態学では、ドローンなどによって取得される高精度リモートセンシングデータの活用が重要になりつつあり—これまで「ビッグデータ」とはあまり縁のなかった—この分野においても大規模データの機械学習活用の発展を予感させる内容です。

最後の中川・久保論文は医療統計学・社会科学の分野で発展してきたメタ解析の手法を、生態学研究に活用するための総説です。どの学問分野においても、メタ解析の動機は多数の一次研究を統合することによる「効果」の把握です。ただし、生態学・進化生物学のメタ解析が独特であるのは、歴史性すなわち種分化時刻に依存する相関を考慮するところです。解析対象となる生物種たちは共通祖先から分岐したものであり、たがいに独立ではないので、その系統関係も考慮して統計モデルを作ります。

生態学の研究対象はまったく多彩なものであり、今回とりあげた内容はそのごく一部にすぎません。生物の個体・集団・生態系のさまざまな研究を深めるにあたって、統計モデリングや機械学習には大きなポテンシャルがあると期待されています。この特集で示されている生態学研究者の統計モデリングのさまざまな工夫、そこに何かおもしろさを発見していただければ、たいへんうれしく思います。

最後に、この特集「生態学における統計モデリング」の編集・査読には多くのかたに尽力していただきました。記して感謝します。

参 考 文 献

Kendall, B. E. (2015). Some directions in ecological theory, *Ecology*, **96**(12), 3117–3125.