

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：62603

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07578

研究課題名（和文）個体群動態モデルの統計数理：情報量規準・観察モデル・近似ベイズ法

研究課題名（英文）Statistical mathematics for population dynamics models: information criterion, observation model, approximate Bayesian computation

研究代表者

島谷 健一郎 (Shimatani, Kenichiro)

統計数理研究所・データ科学研究系・准教授

研究者番号：70332129

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、数学的にはある程度確立された統計手法について、情報量規準、観察モデル、近似ベイズ法を3つのキーワードとし、個体群生態学の数理モデルを状態モデル、野外生物の野外調査過程を観察モデルとする状態空間モデルにより数理生態学と野外生物の観察現場の統合を实践する目標へ向かう1ステップを築くことを目標に置いた。食う食われるの2種系群集動態では、実験系データと野外調査データを統合する状態空間モデルで捕食圧を推定した。地下茎でクローナル繁殖する植物個体群について、推移行列モデルを状態モデルとし、観察モデルを地上部と地下部の情報を統合させられるよう定式化した状態空間モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

異質な情報を一つの統計モデルに統合して定量的に分析する需要は、生態学に限らず様々な場面で強く求められている。本研究のような情報の統合の実例を積み上げることは、特定の分野を超えて統計手法の汎用性を高めていく効果をもたらす。

研究成果の概要（英文）：Setting information criterion, observation model and approximated Bayesian computation as the three keywords, this study developed state space models in which a mathematical model is used for a state model and a statistical model is used for an observation model of field observations. For animals, for example, integrating capture-mark-recapture data under natural conditions and experimental results in a laboratory, two-species community dynamics was examined. For plants, integrating aboveground and belowground information into a state space model, population dynamics of a clonal plant was examined.

研究分野：生態統計学

キーワード：個体群動態 群集動態 状態空間モデル ベイズ推定 クローナル繁殖 標識調査 情報量規準

1. 研究開始当初の背景

野外生物集団はどのようなメカニズムに沿って推移しているか。基礎科学としても、環境問題等への応用科学としても、生態学は、理論とデータに基づく予測を導くことが期待されている。しかし現実には、生物個体は不確実性を伴う挙動を示し、野外で収集できるデータに限界がある。必然的に、統計的推論や統計手法による予測でこうした不足を補わざるを得ない。

そんな中、個体群生態学は、データと数理モデルと両者をつなぐ統計手法において、一步、他分野の先を歩む進展を見せている。数理モデルは、古くロジスティック増殖やゴンペルツモデルに遡る。データ収集も、植物集団では1個体ごとにラベルを付け定期的に観測を続ける、動物では mark-recapture を継続することにより、個体ベースのデータを蓄積するノウハウが確立しつつある。ベイズ統計の普及により、数理生態モデルをシステムモデル、実際の観測を観察モデルとする状態空間モデルという、両者を結ぶ統計手法も骨格は用意されている。

しかし、実際のところ、個体群生態学に応用される統計手法は、数理モデルやデータ収集技術と比べ、著しく遅れている。

2. 研究の目的

個体群生態学に関する仮説を実データで統計的に検証するため、既存の統計手法の有効性を調べ、必要に応じてデータと目的に応じた改良を施す。手法として、情報量規準、観察モデル、近似ベイズ法の3つをキーワードとする。いずれも数理統計学では確立した感を伴う手法であるが、個体群生態学の問題に対応するには、個体群生態学のための固有の精査や特化が不可欠である。本研究では、統計数理の世界で整備された理論を個体群動態の時空間データで実践できる段階へ引き上げる。

3. 研究の方法

情報量規準・近似ベイズ法に関する室内で行う理論及び計算、観察モデルを意識した野外調査、研究協力者との個別及び公開研究集会での議論、この3つを並行して進める。観察モデルでは、共同研究の実績を有する研究協力者と共有するデータ及びその調査地を活用する。とりわけ、個体群動態では推移行列モデルを中心に据え、数理と統計的推論の両面からの教科書を執筆する。並行して、推移行列モデルを状態モデルとし、それと野外観察データをむすぶ観察モデルを構築し、クローナル植物の個体群動態パラメータを定量的に評価する。動物では、捕獲標識調査データと実験データを状態空間モデルの中で統合し、捕食圧パラメータなどを定量的に評価する。

4. 研究成果

(1) 植物個体群動態

地下茎でクローナル繁殖する植物個体群について、クローン単位と、クローン内の株単位の階層に分けて、推移行列モデルの形で定式化することを提唱した。並行して、実データからパラメータを推定する方法も、観察過程を経る形で尤度式を導いた。すなわち、推移行列モデルを状態モデルとし、観察モデルを地上部と地下部の情報を統合させられるよう定式化した状態空間モデルを構築した。これにより、ベイズ事後予測の応用でクローン増殖率を推定したり、生残・成長・クローン繁殖のどれがどのようにクローン増殖率に寄与しているか、統計的な精査が可能となった。

(2) 動物群集動態

食う食われるの2種系群集動態では、実験系データと野外調査データを統合する状態空間モデルで捕食圧を推定した。

(3) 森林樹木

森林樹木の群集動態では、樹高をドローンを用いて正確に測ることにより、従来の方がもたらす測定誤差について概ね標準偏差 30cm 程度の正規分布に従うことがわかった。

(4) 森林樹木の空間配置パターン

非定常クラスター過程におけるパラメータ推定とモデルの相対評価を行う新たな枠組みを、Palm 尤度法を非定常過程に拡張した。これにより、どの非定常性が有効に働き、どの非定常性は定常モデルで代替できるかの判定基準を提供してくれる。さらに、繁殖がくりかえされてクラスターが強まっていく植物個体群の空間配置パターンを説明し、かつ世代を経て収束する点過程モデルを、非定常に拡張した。

(5) 欠損を含むデータからの推移行列成分の推定

個体ベースデータからの推定を原則とする個体群動態行列モデルにおいて、個体情報が欠損したデータを伴う場合に、欠損があっても伴う情報を最大限に生かせる行列成分の推定法を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hoso Masaki and Shimatani Ken Ichiro	4. 巻 196
2. 論文標題 Life-History Modeling Reveals the Ecological and Evolutionary Significance of Autotomy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The American Naturalist	6. 最初と最後の頁 690-703
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 島谷健一郎
2. 発表標題 生物科学における統計モデルの役割：仮説検証でなく推定・分類
3. 学会等名 生物基礎論研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島谷健一郎
2. 発表標題 非正常クラスター過程のパラメータ推定法：PaIm 尤度法の拡張
3. 学会等名 科研費シンポ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島谷健一郎・荒木希和子
2. 発表標題 地上部と地下部のデータを統合させた推移行列モデル
3. 学会等名 科研費シンポ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島谷健一郎
2. 発表標題 生物多様性における統計数理の役割を再考する
3. 学会等名 生物基礎論研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島谷健一郎・田中健太
2. 発表標題 個体群動態の推移行列モデルと欠損データからの成分推定
3. 学会等名 統計数理研究所共同利用研究集会「環境・生態データと統計解析」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島谷健一郎・田中健太
2. 発表標題 不完全と化した個体識別データからの生残率・繁殖数・成長の推定法：ポアソン過程の応用
3. 学会等名 科学研究費・基盤研究S「広汎な観測に対する因果性の導入とその最適統計推測論の革新」シンポジウム（漸近理論、角度または時系列のための統計解析に関する様々な研究）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimatani Kenichiro
2. 発表標題 Estimation for Inhomogeneous Neyman-Scott processes by Bayesian Approach Using Palm Likelihood
3. 学会等名 ISM Symposium on Environmental Statistics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島谷健一郎・荒木希和子
2. 発表標題 多年生草本の地上部 地下部データを用いる動態モデル
3. 学会等名 科研費シンポジウム
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 島谷健一郎	4. 発行年 2017年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 124
3. 書名 現場主義統計学のすすめ - 野外調査のデータ解析	

1. 著者名 島谷健一郎	4. 発行年 2017年
2. 出版社 近代科学社	5. 総ページ数 124
3. 書名 ポアソン分布・ポアソン回帰・ポアソン過程	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------