

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12843

研究課題名（和文）野生動物による生態系変化のEcological memoryの定量評価と応答予測

研究課題名（英文）Quantifying ecological memory for the ecological impact of wildlife

研究代表者

高木 俊（Takagi, Shun）

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・講師

研究者番号：10637424

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、モニタリングデータをもとにしたシカの動態推定と、シカの生態系への影響のEcological memoryの推定を行った。シカの個体群動態は状態空間モデルにより推定し、別途カメラトラップ調査に基づく推定との比較から精度検証を行った。推定結果から、地域ごとに異なる動態のパターンを検出することができた。Ecological memory推定モデルでは、過去のシカ密度の動態履歴が、森林の下層植生や落葉層に与える影響を評価した。その結果、シカが下層植生の衰退に与える影響に強い履歴効果が検出され、モデルの有効性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

野生動物による影響は食痕の有無など直ちに検出されるものもあるが、群集への波及効果や土壌環境の改変などは過去からの累積的な影響として徐々に顕在化するものも多い。本研究では、野生動物のモニタリングデータと、生態系指標の広域調査データを用いて、シカの生態系への影響のEcological memoryの推定を行うことができた。本研究のアプローチは、シカの生態系への影響評価だけでなく、農林業被害や外来種の生態系への影響評価にも適用可能であるといえる。また、成果の一部は県の特定鳥獣管理計画に反映され、累積的な影響を考慮した長期的な視点に基づくシカ個体数管理の目標設定がなされている。

研究成果の概要（英文）：I conducted estimating of the population dynamics of sika deer from monitoring data, and quantifying the ecological memory for impact of deer overabundance on forest ecosystems. The current and past population status of deer in Hyogo Prefecture was estimated by using state-space model and camera-trapping data. As a result, various population trends have been observed. We modeled the cumulative impact of deer population dynamics on forest ecosystems including understory vegetation and litter layer. As a result, current and past deer density affected on the shrub layer decline link. The statistical model presented in this study can quantify the degree of ecological memory for the ecological impact of wildlife.

研究分野：野生動物管理学

キーワード：下層植生 個体群動態 シカ 生態系管理 モニタリングデータ 履歴効果

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

シカやイノシシなどの野生動物の分布拡大・高密度化は日本を含む世界各地で報告されており、高密度化に伴う下層植生の衰退など生態系改変の現状が明らかになってきた。野生動物による影響は食痕の有無など直ちに検出されるものもあるが、群集への波及効果や土壌環境の改変などは過去からの累積的な影響として徐々に顕在化するものも多い。これまで、スナップショット的な調査で顕在化しつつある影響を検出できたとしても、時間的変化の予測は困難であった。このような生態プロセスを介した履歴効果は Ecological memory と呼ばれ、野生動物管理における生態系の応答予測にも不可欠な視点であるものの、どの程度過去からの履歴が、現在の生態系の状態に影響しているかを、定量的に評価したものは少ない。理論的な予測は可能であっても、データからその評価を行うための一般的な手法は確立していない。本研究では、野生動物のモニタリングデータと、生態系指標の広域調査データを用いて、Ecological memory を考慮した生態系の応答予測モデルを構築することを目的とする。

Ecological memory を明示的に組み込んだ統計モデルとして Stochastic antecedent modelling (確率論的先行状態モデル: SAM; Ogle et al. 2015) が提唱されている。SAM では現在の生態系の状態に対して、現在から過去までの環境要因が累積的に影響していると仮定し、過去の環境要因がどの程度影響するかを、時系列データから推定する。SAM は気候変動や物質循環のモデルで用いられるが、研究代表者らは同様の枠組みのモデルを、過去から現在までのシカ採食が、ある植物の密度と形質に与える累積的影響を説明するモデルに用い、新たに野生動物の影響評価モデルへの応用可能性を示した。過去に構築したモデルでは、相互作用強度の変化に主眼をおいたものであり、モデルの応用性評価や予測精度の検証には至らなかったが、野生動物の過去から現在の密度情報と生態系の応答に関する広域調査データがあれば、SAM の枠組みで Ecological memory を考慮した野生動物による生態系改変の説明モデルが構築でき、生物・非生物的要因に対して広範に及ぶ影響の予測にも適用できるだろう。

2. 研究の目的

本研究では野生動物による生態系改変の評価・応答予測に広く適用可能なモデルを構築することを目的とする。具体的には兵庫県におけるモニタリングデータと広域調査によって、シカの密度推定および Ecological memory を考慮した影響評価を行うことで、野生動物管理に広く適用可能なモデルの構築を目指す。まず、過去のシカ密度を、既存モニタリングデータから推定するモデルを構築する。次に推定されたシカ密度動態と兵庫県が4年に一度広域で実施する下層植生衰退度調査のデータを用いて、Ecological memory を考慮した生態系に対するシカ影響評価モデルを構築する。

3. 研究の方法

(1) シカの個体群動態推定モデルの構築

シカの Ecological memory を定量評価する上で、過去から現在までのシカの密度動態を把握する必要がある。そこで、兵庫県におけるシカのモニタリングデータ(銃猟における努力量あたり目撃数 SPUE、わな猟における努力量あたり捕獲数 CPUE、糞塊密度、捕獲数)をもとに、状態空間モデルによる個体群動態モデルを構築した。SPUE および CPUE は、毎年の出猟者を対象とした出猟カレンダー調査に基づき、5km メッシュ単位での出猟努力量および、目撃数、捕獲数を集計し、算出した。糞塊密度は、兵庫県内約100地点で実施し、各地点およそ5kmの尾根上のルートを踏査し、左右1m以内に出現したシカの糞塊数をカウントした。捕獲数は、前述の出猟カレンダー調査で得られる狩猟期の捕獲数および市町が実施する有害鳥獣捕獲報告の数を合計して算出した。動態モデルは有害鳥獣捕獲データの基本単位である市町レベルの動態を仮定し、毎年の個体数は見かけの増加と捕獲による減少による変動を想定した(Harvest-based Model)。個体数(個体密度)を反映して SPUE、CPUE、糞塊密度の各密度指標が観測される。密度指標の観測は、5km メッシュ単位とすることで、2002~2018年におけるメッシュ単位での密度を推定した。

推定精度の検証を目的として、2018年にカメラトラップ調査に基づくスナップショットでの密度推定値との比較を行った。カメラトラップ調査は2018年に9地点で実施し、尾根上3~4kmのルートから20mのバッファを発生させ、その中に100m以上の間隔を開けて、ランダムにカメラの設置地点候補を1調査地あたり20台設定した。カメラはBushnell Trophy Cam HG Aggressorを用い、カメラのおよそ1.5m前方に1辺1.91mの正三角形の有効撮影領域を設定した有効撮影領域への侵入回数および滞在時間から、Random Encounter and Resting Timeモデル(Nakashima et al. 2018)を適用して密度の推定を行った。調査地で得られた推定密度と他のメッシュでの密度指標から、条件付き自己回帰(CAR)モデルにより空間補完を行い、調査メッシュ以外での密度を推定した。前述の動態モデルから得られた2018年の推定密度とカメラ調査による推定密度を比較し、推定の妥当性を評価した。推定にはJAGSを用い、マルコフ連鎖モンテカルロ法により事後分布を推定した。

(2) シカの Ecological memory 推定モデルの構築

シカによる生態系への影響評価には、下層植生衰退度(SDR; 藤木 2012)を用いた。兵庫県では、4年に一度(2006、2010、2014、2018年度) SDRの調査を実施しており、県内約300地点の落葉広葉樹林を対象に、20m四方の調査区が設定されている。SDRは、シカの食痕の有無、低

木層における木本類の被度、低木層におけるササ類の被度から算出され、6段階（無被害：シカの食痕が全く確認されなかった林分、衰退度0：シカの採食を受けている林分のうち、低木層の植被率が75.5%以上の林分、衰退度1：植被率75.5%未満38%以上の採食あり林分、衰退度2：植被率38%未満18%以上の採食あり林分、衰退度3：植被率18%未満6%以上の採食あり林分、衰退度4：植被率6%未満の採食あり林分）に区分される。2018年度および2014年度に調査されたSDRに対して、調査年度以前のシカ密度（2018年度調査の場合、2017～2002年のシカ密度）が累積的に影響するモデルを仮定した。過去のシカ密度の影響は、毎年一定の割合で影響が減衰することを仮定し、過去から現在までの履歴を含んだシカの累積的影響は、次の式で表した。

$$\times (\text{シカ密度}_t \times \tau^t) / (1 - \tau)$$

ここで、 τ は単位密度あたりのシカの影響を表し、 τ^t はシカの影響の翌年への繰越割合を表す。

τ が大きい（1に近い）ほど、履歴効果が強く長期的にシカの影響が残ることを意味し、 τ が小さい（0に近い）ほど、短期的にシカの影響が現れることを意味する。SDRを目的変数とした順序ロジスティックモデルにより、 τ と β を推定し、シカの影響の強さとその履歴効果を評価した。また、植生衰退の間接的な影響についても検討した。2017年に100地点で草本層および落葉層の調査を行い、草本層被度、草本層高さ、落葉層深さの3項目について、SDRと同様にEcological memoryを推定するモデルを適用した。推定にはJAGSを用い、マルコフ連鎖モンテカルロ法により事後分布を推定した。

4. 研究成果

(1) シカの個体群動態推定

兵庫県におけるシカの個体数は、県全域で見ると2002～2010年にかけて増加傾向にあり、その後捕獲強化により頭打ちを経て2014年以降減少傾向が見られた。地域により個体数動態の傾向は異なり、1)2002～2018年の期間を通じて増加傾向、2)2002～2010年にかけて増加し以後横ばい、3)2002～2010年にかけて増加し以後減少傾向といったパターンが見られた。2010年以前の密度分布と2018年の密度分布を見ると、密度の高い地域が異なり、かつて高密度の地域では捕獲が進んで密度が低下したのに対し、その周辺の分布拡大地では捕獲が進まず高密度化していると推測された。動態モデルで推定した2018年度の個体密度と、カメラトラップ調査で推定した個体密度の間には、ほぼ1:1の相関関係が見られ($R^2=0.69$ 、メッシュごとの対数密度の中央値に基づく)、概ね妥当な推定結果が得られていると評価できた(図1)。

(a) 動態モデルによる推定

(b) カメラトラップ調査に基づく推定

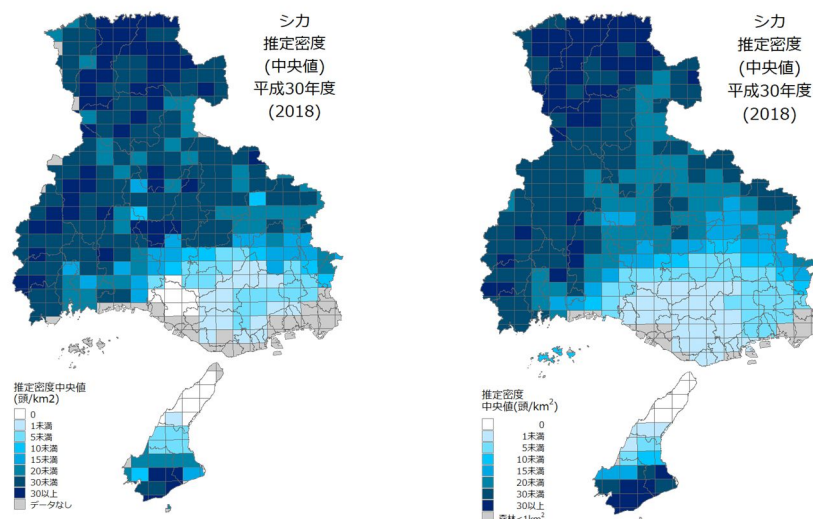


図1 2つの手法に基づくシカの生息密度の推定結果

(2) シカのEcological memory推定モデル

シカがSDRに与える影響は累積的に影響し、履歴効果が検出された。履歴効果の程度を表すパラメータ τ の値は、0.86 (95%CI: 0.69-0.98) となり、前年度のシカの影響の70%以上が次年度に繰り越されるとい推定結果となった。このことから、捕獲強化によりシカの密度低減を行った場合でも、植生の回復は直ちに観測されないことを意味する。SDRとシカの累積密度の関係を見ると、シカ密度が高いほど衰退が進行する関係性が見られた(図2)。シカによるSDRへの累積的影響は、2014年度のSDRに対する推定でも同様に検出された(τ の95%CI: 0.61-0.97)。

草本層被度、草本層高さ、落葉層深さに対する影響についても、履歴効果が見られたが、その程度は若干異なっていた(図3)。履歴効果の程度は、草本層被度、草本層高さ、落葉層深さの順に強くなった。シカの継続的な採食によって、草本層の被度の減少や高さの低下が生じた結果、落葉層の流出が引き続いて起こる、あるいはシカ密度低減後に草本層が回復したとしても落葉

層の蓄積には時間がかかると解釈できる。

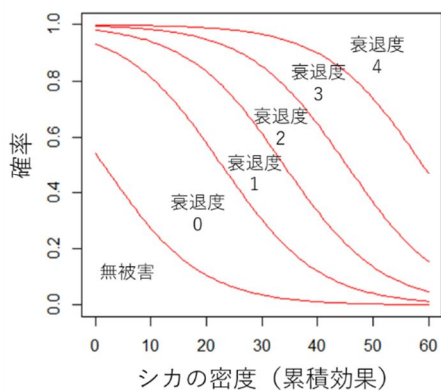


図2 シカがSDRに与える累積的影響

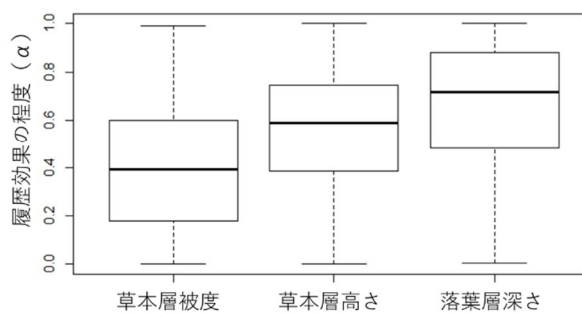


図3 シカが生態系に与える履歴効果の程度

本研究では、野生動物のモニタリングデータと、生態系指標の広域調査データを用いて、シカの生態系への影響の Ecological memory の推定を行うことができた。本研究のアプローチは、シカの生態系への影響評価だけでなく、農林業被害や外来種の生態系への影響評価にも適用可能であるといえる。また、成果の一部は県の特定鳥獣管理計画に反映され、累積的な影響を考慮した長期的な視点に基づくシカ個体数管理の目標設定がなされている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 高木俊	4. 巻 11
2. 論文標題 兵庫県におけるニホンジカ個体群動態の推定と地域別の動向	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 兵庫ワイルドライフモノグラフ	6. 最初と最後の頁 30-57
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 -

1. 著者名 藤木大介, 高木俊	4. 巻 11
2. 論文標題 兵庫県におけるニホンジカの科学的モニタリングに基づく順応的管理の評価と展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 兵庫ワイルドライフモノグラフ	6. 最初と最後の頁 14-29
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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高木俊
2. 発表標題 シカ・イノシシの目撃効率と捕獲効率は密度変動を指標するか
3. 学会等名 日本哺乳類学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木俊
2. 発表標題 兵庫県におけるニホンジカの市町別個体群動態の推定
3. 学会等名 第34回個体群生態学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木俊, 栗山武夫, 東出大志, 横山真弓
2. 発表標題 行政施策から得られるデータでどこまで個体数推定は可能か?
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木俊, 栗山武夫, 東出大志, 横山真弓
2. 発表標題 シカ・イノシシの狩猟データからみた密度指標の経年変化分析
3. 学会等名 日本生態学会第65回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤木大介, 高木 俊
2. 発表標題 シカ減少期における下層植生衰退度と稚樹食害率の応答
3. 学会等名 日本生態学会第65回全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木俊, 東出大志, 栗山武夫, 中島啓裕, 深澤圭太, 横山真弓
2. 発表標題 自動撮影カメラ・痕跡情報・狩猟報告に基づくシカ・イノシシの空間密度分布推定
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高木俊 (分担執筆)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 272
3. 書名 梶光一・飯島勇人(編) 日本のシカ 増えすぎた個体群の科学と管理	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----