

令和 5 年 6 月 3 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12256

研究課題名（和文）政策支援のためのツキノワグマによる人身事故リスクモデルの開発と社会実装

研究課題名（英文）Modeling human injury risk by Asiatic black bear to support building a wildlife management policy

研究代表者

町村 尚（Machimura, Takashi）

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30190383

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：日本におけるツキノワグマによる人的被害はこの数10年間増加傾向にあり、特に東北で深刻である。本研究は人身事故リスク低減施策に寄与するため、リスク評価と個体群管理の数値モデルを開発した。第1に、MaxENTを適用した人身事故リスク評価モデルである。ブナの作況によってモデルを分離し、良好な再現性を得た。人身事故リスクと要因は、ブナの作況で異なっていた。第2に、クマ個体の自律的行動を再現した空間明示的エージェントベース個体群動態モデルである。食物条件と狩猟ルールの複数のケースで、クマの生息地の拡大を再現できた。食物条件の個体群サイズへの強い影響と、狩猟による個体群サイズの安定化効果が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は負の生態系サービスである野生動物による被害、特に日本の一部地域では深刻なクマ類による人身事故リスクを対象とした研究である。野生動物被害対策は、被害軽減とともに動物個体群の保護を考慮する必要がある。具体的な施策立案実行において個体群管理方法（ゾーニング、頭数調整、駆除、奥山放獣など）の効果的な選択が困難である。本研究は数理的モデルを応用することで、人身事故リスク評価とその要因分析、要因変化・介入によるリスク変化予測、個体群管理による生息域と個体数の変化を定量的に示すことで、科学的な意思決定支援の可能性を示したものである。

研究成果の概要（英文）：Human injuries by Asiatic black bears have been increasing over a few decades in Japan, especially in Tohoku. This study attempted to develop numerical models for use in human injury risk assessment and bear population management supporting the policy to reduce the risk. The first approach was the geographical human injury risk assessment applying the MaxENT model. Separated models by beech mast production levels achieved the better model predictivities. Predicted human injury risk was different between the rich- and poor-beech years. The second approach was the dynamic and spatially implicit bear population simulation using an agent-based model which simulates the autonomous behavior of agents. All experiment cases of food conditions and hunting rules reproduced the bear habitat expansion as observed. The cases showed the strong influence of the food condition change on population size and demonstrated the stabilization effect of population size by hunting.

研究分野：環境工学

キーワード：ツキノワグマ 人身事故リスク MaxENT 生息域変化 エージェントベースモデル 個体群動態 個体群管理 将来予測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 地方における人口減少、産業構造の変化などを背景として、わが国では野生動物と人間社会の軋轢が増している。ニホンジカ、イノシシなどによる農作物、森林被害は増加傾向にあるが、防護柵など対症的対策だけでなく、動物の生息域・個体群管理などの抜本的対策が必要である。このような野生動物との軋轢を「負の生態系サービス」と理解し、ミレニアム生態系アセスメント(MA)やIPBESの枠組みを適用して問題の構造とその変化を理解し、地域社会の問題として対策を策定することが求められる。

(2) 第一次産業への野生動物被害と並び、野生動物による人身被害も増加している。中でもツキノワグマなどクマ類による人身事故が増している[1]。全国のツキノワグマによる人身被害数は2000年頃から急増し、年間100人を超える年もある。人口当たり被害数が最も高い秋田県を含む東北地方では、ツキノワグマの生息域拡大が主要な原因と考えられるが、前述のような人間社会の変化も影響している可能性がある。一方でツキノワグマは中・四国、紀伊山地など、地域によっては絶滅危惧種であり、地域個体群保護が必要である。住民の安全と野生動物の保全のバランスの取れた野生動物管理施策の策定実施のためには、人身事故のリスクと対策の効果を科学的根拠に基づいて評価することが必要である。

2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究は主として東北地方におけるツキノワグマによる人身事故リスクとその要因を分析し、自然的要因(個体群動態とその変動要因)、社会的要因(人口、耕作放棄など土地管理)の変化によるリスク変化を予測するモデルの開発を目的とする。またその知見の社会実装を可能にするため、結果の政策支援ツール化を目標とする。

3. 研究の方法

目的達成のため、本研究は2つの項目を実施した。第1にMaxEntを用いた人身事故リスク評価である。MaxEnt[2]は最大エントロピー法に基づく野生生物種の地理的分布域推定モデルであり、多様な生物種の生息域研究に幅広く利用されている。モデル構築のための教師データとして生息個体の発見情報のみを使用し、不確実性が大きい不在情報を使用しない「在のみ」教師を採用したことが特徴である。このモデルはもっぱら生息域推定に使用されているが、本研究は人身事故発生情報も典型的な「在のみ」教師データであることに着目し、人身事故リスクの統計的推定にMaxEntを使用した。第2に空間明示的個体群動態モデルによる生息域拡大予測と個体群管理施策の評価である。このモデルはツキノワグマ個体の生活史(繁殖、移動、死亡)を記述する空間明示的エージェントモデルであり、個体群変化をもたらす要因として堅果類作況と個体群管理(個体数調整および狩猟)を考慮した。

(1) MaxEntによる人身事故リスク評価の研究対象地域として、秋田県および東北6県(青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島)の2つを設定した。秋田県では比較的小領域における予測精度とリスク要因の変化や管理によるリスク分布変化の評価を目的とし、東北6県では生態的・社会的に不均質な比較的広域における予測可能性の評価を目的とした。

教師データとして、各県の行政資料から2001~2020年に発生した人身事故の位置を収集した。各県のデータ収集可能な期間が異なったため、東北6県の分析では分析期間を2007~2020年とした。また全教師データを使用するケース、ブナの作況(森林総合研究所東北支所)によって分類したブナ豊作年ケース・凶作年ケースの3ケースで予測をおこなった。説明変数として、多様な自然要因、社会要因の分布データを収集し、1kmメッシュに編集した。ここでツキノワグマ生息域を除く変数の5kmメッシュ空間移動平均値も、独立した説明変数に加え、合計31変数を候補とした。説明変数の多重共線性を回避するため、 $VIF < 10$ を条件として説明変数をスクリーニングした。

MaxEntによる予測計算では、まずハイパーパラメータbeta mutation(β)を決定するため、ストAUCが最大となる β を決定した。次にスクリーニング後の全変数から重要度が低い変数を除外して、初期説明変数群を作成した。ここでMaxEntはpercent contributionとpermutation importanceの2種の変数重要度を出力するが、これらの大きい方の値を変数重要度とした。最後に小さいサンプルサイズを補正した赤池情報量基準(AICc)を指標として説明変数を選択し、ケースごとに最適モデルを決定した。ここで変数選択には、初期説明変数群から重要度が最低の変数を順次除外し、AICcが最大となったモデルを最適モデルとした。

ケースごとの最適モデルを用いて、要因の変化による人身事故リスクの変化を予測し、政策的介入の可能性を検討した。ここでメッシュごとのMaxEntによる事故発生確率と人口の積の空間合計を潜在リスク人口(PRP)と定義し、ツキノワグマによる人身事故リスクの指標とした。

(2) 空間明示的個体群動態モデルによる生息域拡大予測と個体群管理施策の評価について、対象地域は秋田県全域とした。このモデルはツキノワグマ個体をエージェントとするマルチエージェントモデルで、各エージェントは雌雄、年齢、帯同する幼獣の数(メスのみ)、存在セルの属性を持つ。エージェントの行動空間は秋田県全域で、自然環境保全基礎調査動物調査と同じ5

km メッシュの解像度である。行動空間の各セルは、ツキノワグマ HIS モデルの要素指数である食物供給指数 (SIFD)、ブナおよびナラの被覆率、人口の属性を持つ。エージェントの行動としてツキノワグマの1年間の生活史(繁殖、独立、移動、加齢)を再現し(図1)、それぞれの段階の繁殖率と産仔数と雌雄、幼獣の独立齢(1または2歳)、生残率を確率的に決定する。この内、繁殖率、産仔数、生残率は存在セルのSIFD、年による堅果類(ブナとナラ)作況(3段階)、個体密度によって変動する。これらの影響を変数 cell quality に統合した後、青森県下北半島の個体群で決定された年齢・性別繁殖率、産仔数、生残率[3]を再現するように定式化した。また堅果類作況の年々変動はマルコフ連鎖によって確率的に生成したが、その遷移行列は2001~2020年の秋田県のブナ・ナラの作況(森林総合研究所東北支所)から求めた。堅果類作況による cell quality の変動幅は、セルのブナ・ナラ被覆率に比例するように設定した。個体は採餌のために現在のセルから最大移動距離内の最も cell quality が高いセルに移動するが、若齢およびオスほど移動しやすい傾向を再現するため、高齢およびメス個体の優先度を高くすることで移動性の差を与えた。

シミュレーションでは自然環境保全基礎調査動物調査による1978年の生息域にランダムに初期個体群を生成し、100年間の助走期間によって初期条件を生成した。計算条件として堅果類作況を固定し個体群管理を行わないケースをコントロールとし、堅果類作況を変動させるケース、さらにランダムなセルで狩猟を行うケース、人口1000人以上のセルで有害獣駆除を行うケースを比較した。計算期間は40年とし、各計算ケースについて100回の試行をおこなってアンサンブル平均を求めた。

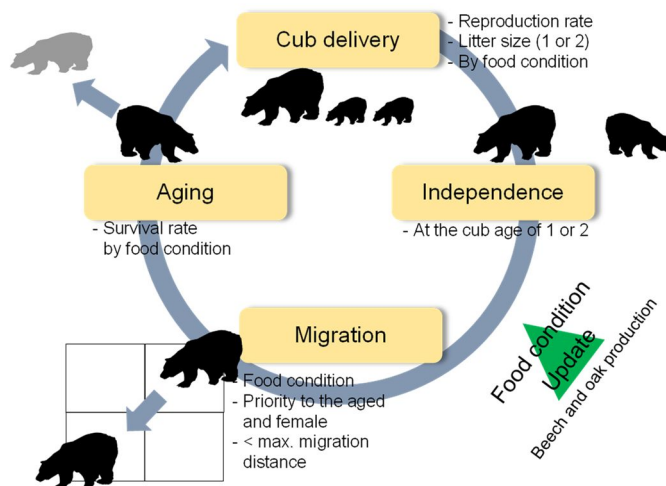


図1 モデル化したツキノワグマの生活史

4. 研究成果

(1) 秋田県における MaxENT による人身事故リスクモデルの再現性は、テスト AUC 平均値が全期間で 0.77、ブナ豊作年で 0.73、凶作年で 0.75 であった。説明変数として、自然要因では生息域 HIS 要素指数、社会要因では道路延長、都市面積率、耕作放棄面積率の選択が多かった。各ケースの最適モデルにおける採択説明変数を、表 1 に示す。ブナ豊作と凶作のケースでは採択された変数が異なり、大量出沒によって人身事故リスク要因が変化することが示された。リスク分布においてもブナ作況による差異が認められ、大量出沒によって居住域のリスクが高まること示された。潜在リスク人口 (PRP) はブナ豊作年が 32.2 万人、凶作年が 35.5 万人であった。

リスクモデルで採択された重要変数のうち、ブナ豊作年の生息域と凶作年の耕作放棄面積率は過去と将来に変化するとともに、管理による介入の可能性がある。これらの変数の変化によるリスク変化は独立であると仮定し、1978 年の生息域および耕作放棄が進行したケースで、人身事故リスクを予測した。1978 年の生息域では、ブナ豊作年の PRP は 20.5 万人であった。また耕作放棄率 20% のケースでは、ブナ凶作年の PRP は 36.1 万人であった。これより、生息域拡大によって豊作年の人身事故リスクが上昇したこと、耕作放棄の進行によって凶作年のリスクが上昇することが示唆された。

東北 6 県における MaxENT による人身事故リスクモデルの再現性は、テスト AUC 平均値は全期間で 0.72、ブナ凶作年で 0.72、ブナ豊作年は有効なモデルを得られなかった。全域の潜在リスク人口 (PRP) は全期間が 369 万人、ブナ凶作年が 444 万人であった。全期間に対するブナ凶作年の PRP の比率は県ごとに 0.91~1.41 で、山形県を除いてブナ凶作年の PRP が高かった。山形県は面積と事故件数が最小であったため、6 県全体の推定モデルが必ずしも各県の最適モデルとは言えない。

(2) 秋田県における空間明示的個体群動態モデルによる生息域拡大予測について、コントロールケースでは計算開始後急速な個体数増加および生息域拡大を示し、その後飽和する変化が見られた。このような初期の急拡大と飽和は、1978 年から 2018 年の調査まで生息域が拡大している観測事実をよく反映していない。次に堅果類作況の変動を導入したケースでは、初期の拡大速度が抑制されたが、飽和は同様であった。また個体数変動幅は、コントロールケースより大きかった。これより堅果類の作況変動はツキノワグマ個体群の成長に強く影響することと、生息調査のように餌資源が無い地域への拡大を再現するためには、SIFD のように恒久的な餌資源による生息域の制約に加えて一時的な行動圏拡大を含むモデル化を必要とすることがわかった。

次にランダム狩猟および有害獣駆除ケースでは、ともに飽和後の個体数が、堅果類作況変動ケースよりも大幅に減少するとともに、変動幅が縮小した。これより、狩猟または有害獣駆除による個体群管理は、個体数の抑制とともに安定させる効果も持つことが示唆された。有害獣駆除は

居住域付近の個体数を減少させるが、一方で移動性が高い若齢個体が駆除されやすく、個体群成長率に負の影響があることも示された。

表1 秋田県における MaxENT による人身事故予測モデルで選択された説明変数

ケース	全期間	ブナ豊作年	ブナ凶作年
選択された説明変数	都市面積率、森林被覆 SI、耕作放棄面積率、ブナ被覆率、生息域 2003、食物条件 SI、道路延長 M	道路延長 M、生息域 2003、道路延長 L、森林被覆 SI、ブナ被覆率	ブナ被覆率、森林被覆 SI、耕作放棄面積率、食物条件 SI

(3) 本研究は人間と野生生物の軋轢 (human-wildlife conflict) 緩和への政策的対応を支援するため、数理的モデルの応用を提案するものである。本研究はこれを野生生物による被害リスクと定義することで、新しいアプローチを示した。環境汚染や自然災害の分野では定量的モデルによるリスク分析が進んでいるが、野生生物リスクはハザード・曝露の経路やメカニズムの特定が難しく、またこれらの項と連関の確率的評価もされていない。このような研究は国内外でも事例が少なく、特にリスク科学的に人間と野生生物の軋轢を理解する試みは新しい。一方で、野生生物被害対策の策定に本研究の成果を適用するためには、施策によるリスク軽減効果の評価が必要である。研究発表をおこなった国際会議 (IWHBC) においても、具体的な被害低減施策の開発と評価は重要な論点であった。現状の施策の内、個体数管理はハザードの低減、ゾーニングは曝露の低減に当たるため、本研究の知見を適用できる。しかし防護柵や安全教育など脆弱性の低減を主眼とした施策は未考慮であり、総合的なリスク管理施策の評価のためには研究の射程を拡大、よりミクロな対策の効果をモデルに取り入れる必要である。

<引用文献>

1. 環境省自然環境局, 2021. クマ類出没対応マニュアル - 改訂版 - .
2. Phillips, S.J., 2017. A Brief Tutorial on Maxent.
3. Horino, S., Miura, S., 2000. Population viability analysis of a Japanese black bear population. Population Ecology 42, 37-44.
<https://doi.org/10.1007/s101440050007>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Machimura and Y. Endo
2. 発表標題 Numerical Model Approaches to Assess and Manage Human Injury Risk by Asiatic Black Bears
3. 学会等名 The 6th International Human-Bear Conflicts Workshop (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 町村尚、遠藤由己、Xianzhe TANG
2. 発表標題 エージェントベースモデルによるツキノワグマ個体群・生息域の動態シミュレーション
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 遠藤由己、町村尚
2. 発表標題 Maxentを用いた東北6県のツキノワグマ人身事故要因分析及びリスク評価と将来予測
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------