

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450220

研究課題名(和文) 行動意思決定の個体差が、ツキノワグマ個体群の時空間パターンに与える影響の解明

研究課題名(英文) Effect of individual heterogeneity in behavioral decision-making on spatio-temporal pattern of population of Asiatic black bear

研究代表者

東出 大志 (Higashide, Daishi)

早稲田大学・人間科学学術院・その他(招聘研究員)

研究者番号：60634871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ツキノワグマ(以下クマ)の人里への大量出没は大量捕獲につながるため、出没個体が個体群中に占める割合を評価することがクマの存続可能性を評価する上で重要となる。そこで本研究では、カメラトラップによる個体識別調査で得られた情報を基に、現状の管理が個体群の存続可能性に与える影響を評価することを主な目的とした。凶作年には秋季の里山におけるクマ生息密度が非常に高くなることと、繁殖行動にも負の影響を与えることが明らかとなった。行動プロセスに関しては、凶作年の移動速度は遅かったが、ホームレンジ中心への引力が小さく、行動圏サイズが大きくなることなどが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Because infestation on urban areas by Asiatic black bear (following bear) leads to a large amount capture, the grasp of the ratio of such bear is important for evaluating the population viability. In this study, we carried out the individual identification by using camera traps for bear population in Toyama prefecture, Japan. Our main purpose is to evaluate the influence that the present bear management gives to the population viability of the bear. In the poor hard most production year, the bear frequently use urban area in fall. About the bear reproduction, the birthrate is high in the next year of bumper production and it is low in the next year of poor production. We estimated behavioral process by using a continuous-time spatial capture-recapture model based on the two-dimensional Ornstein-Uhlenbeck process. In poor production year, bear home-range size became large because gravitation to the home-range center is small but movement speed is slow.

研究分野：個体群生態学

キーワード：ツキノワグマ カメラトラップ 個体識別 個体群 時空間パターン 行動意思決定モデル 堅果類豊凶 保護管理

1. 研究開始当初の背景

ツキノワグマは人為的な環境の改変に対して脆弱であることが知られており、現在その生息地であるアジアの全域において個体群は縮小傾向にあることから、IUCNのレッドリストでは絶滅危惧類に指定されている。日本においても生息地の分断化などによって絶滅の恐れのある地域個体群が存在するが、その一方で近年、ツキノワグマが堅果の凶作年に人里へ大量出没しており、それに伴う人身被害や農林業被害が深刻な社会問題となっている。現在、その対策として出没個体の有害鳥獣駆除が各地で行われており、2006年の大量出没の際には、全国で約5千頭もの個体が捕殺される事態となった。このような駆除による管理が、ツキノワグマ個体群の存続可能性に与える影響を明らかにすることは、研究者だけでなく野生鳥獣保護管理の実務者や市民にとっても関心の高いテーマである。

しかしながら、クマの密度パターンは奥山から人里にかけて時空間的に大きく変化するため、捕獲圧と個体群動態を関連付けることは非常に困難である。まず、従来の資源管理モデルでは、捕獲数は個体群サイズと捕獲圧に比例することを前提としているが、クマにおいてはそのようなモデルが適用できない。また、奥山から人里にかけて空間的に不均一に分布するが明確な境界を持たないクマ個体群を、従来のメタ個体群の理論(例えば、ソース・シンク構造)で扱うことも困難である。クマの密度パターン変化の主な駆動因は連続的に変化するハビタットにおける個体の移動である。異なる行動ルールをもつ個体の集合として個体群の時空間パターンの変化を記述する個体ベースのアプローチを用いることで、そのようなプロセスを直接的に表現することが可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、奥山から人里に連続的に分布するツキノワグマの個体群全体を対象として、自動撮影カメラを用いた3年間の個体識別調査を実施することで、個体群全体における利用環境の時空間的変動を明らかにする。また調査によって得られた個体レベルの情報をを用いて繁殖行動や行動軌跡の違いを明らかにする。さらに、移動距離とその方向を堅果の豊凶、奥山から人里の環境傾度、局所的な個体密度、性別、齢段階について比較し、それぞれの要因により行動意思決定の状況依存性がどの程度説明できるかを明らかにする。そして、これらの観測から推定された景観スケールでの行動意思決定予測モデルを用いて、行動軌跡の個体ベースシミュレーションを行うことで、クマ個体の人里への出没、およびその駆除が個体群に与えるインパクトを予測する。

3. 研究の方法

(1) 現地調査

富山県東部の4市町(富山市・魚津市・上市町・立山町)に跨る約800km²の範囲を調査地とし、2013年から2015年までの3年間、カメラトラップ法を用いたツキノワグマの個体識別調査を実施した。カメラトラップは奥山から人里の様々な森林環境において最大85地点に設置、毎年6月下旬から10月下旬の約4ヶ月の期間調査を実施した。カメラの動作不良や動物による破損等を除くトラップの有効動作期間は3年間で延べ24,666 Trap Night(2013:7,362TN、2014:9,411TN、2015:7,893TN)となった。なお各トラップは8月下旬に1度、動作確認等の点検を実施した。カメラトラップはHigashide et al. 2013において考案されたデザインを基に(図1)長期間の調査に耐えうるよう、塩ビパイプ等を用いて誘引餌を強固に防護するなどの対策を行った。

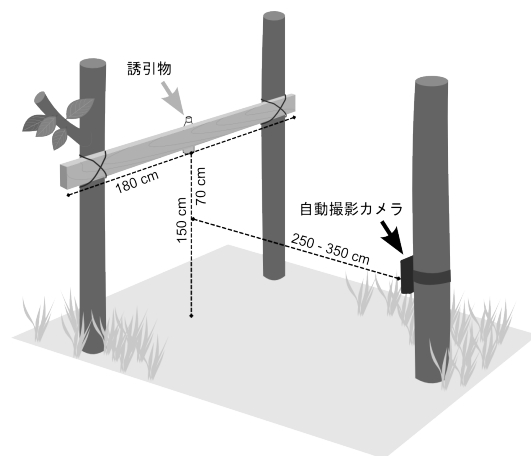


図1：カメラトラップ設置デザイン

また、8月下旬のトラップ点検時に堅果類4種(ブナ・ミズナラ・コナラ・クリ)の豊凶度を測定した。豊凶度の判定は、各地点それぞれの樹種に対して最大3本を対象に、目視でだまかに樹1本あたりの堅果数をカウントし、6段階(0:堅果なし、1:1-10個、2:11-30、3:31-100、4:101-300、5:301以上)で評価を行った。

(2) 個体情報の抽出

調査によって得られた動画データからクマが撮影された動画を抽出し、個体識別、性別および例階級区分を行った。個体識別に際してはツキノワグマの胸部斑紋および下顎紋等の自然標識を利用した(Higashide et al. 2012)。性別は陰茎や陰囊の有無および乳腺の発達具合を基準に実施し、外見の大きさの特徴から例階級を3区分(成獣・亜成獣・幼獣)した。3年間の調査によって得られたツキノワグマの動画は1830本となり、109個体(成獣オス:37、成獣メス:39、成獣不明:19、亜成獣:4、幼獣:10)が識別された。

(3) 行動プロセスモデルの作成

標識再捕獲調査で得られた移動パターンから、背後にある行動メカニズムを明らかにするために、Ornstein-Uhlenbeck 過程を組み込んだ連続時間型標識再捕獲モデルを構築した。Ornstein-Uhlenbeck 過程は、行動圏を持つ動物の行動プロセスを表現するのに適した確率過程であり、中心への引力とランダムウォークの和として表される次の確率微分方程式として表される。

$$d\mathbf{r}_t = a(\boldsymbol{\mu} - \mathbf{r}_t)dt + \sigma d\mathbf{W}_t$$

ここで、 t は時間、 \mathbf{r}_t は時点 t における個体の座標、 \mathbf{W}_t はウィーナー過程、 $\boldsymbol{\mu}$ は個体の行動圏の中心座標である。 a と σ はそれぞれ行動圏中心への引力の強さ、移動速度を表すパラメータである。この解はある時間 t における個体の存在位置に関する確率分布となり、次のような 2 次元正規分布で表される。

$$P(\mathbf{r}_t | t, \mathbf{r}_0, a, \boldsymbol{\mu}, \sigma)$$

$$= \text{MVN}(\exp(-a t)[\mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\mu}(\exp(a t) - 1)], \sigma^2[(1 - \exp(-2a t))/(2a)\mathbf{I}])$$

\mathbf{r}_0 は $t = 0$ における個体の位置である。この正規分布は、 $t \rightarrow +\infty$ において平均 $\boldsymbol{\mu}$ 、分散 $\sigma^2/2a$ の定常な 2 変量正規分布となり、これを行動圏の分布とみなすことができる点で、行動圏を持つ動物の行動のモデルとして便利である。

カメラトラップは連続的にセンサーが稼働しているため、そこから得られたデータは、「個体が検出されない時間区間」と「検出の瞬間」の組み合わせである。センサーが稼働している条件の下で、位置 \mathbf{r}_k にあるカメラがある瞬間 t に個体を検出する確率(ハザード)は発見率を p とすると次のようになる。

$$h(\mathbf{r}_t | t, \mathbf{r}_0, a, \boldsymbol{\mu}, \sigma) = pP(\mathbf{r}_t | t, \mathbf{r}_0, a, \boldsymbol{\mu}, \sigma)$$

これは、「検出の瞬間」の尤度に相当する。ハザード h を t に関してセンサー稼働期間で積分した値は、その期間に個体が観測されない確率である。これは「個体が検出されない時間区間」の尤度に相当する。これらの尤度の積を全個体で取れば、調査データ全体の尤度となる。

しかしながら、この時点では $\boldsymbol{\mu}$ が検出個体数 $\times 2$ の次元をもつ未知数であるため、最尤推定が困難である。そこで、 $\boldsymbol{\mu}$ を周辺化した周辺尤度の最大化を考えた。 $\boldsymbol{\mu}$ はカメラトラップ設置地点から遠くない範囲のどこかに存在することが明らかであるため、カメラトラップ設置地点を含む十分広い範囲の一樣事前分布を仮定した。そして、尤度 \times 事前確率を $\boldsymbol{\mu}$ について積分消去し、周辺尤度最大化法でパラメータを推定した。

本研究では、性別判別できた 76 個体を対象に、検出率 p 、中心への引力 a 、移動速度それぞれに性別と堅果の豊凶年の効果を考慮したモデルを推定した。それぞれの係数の信頼区間は、フィッシャー情報行列に基づき計算した。

4. 研究成果

(1) 堅果豊凶とツキノワグマの撮影状況

3 年間の調査期間のうち、2013 年および 2015 年は堅果類が豊作であったのに対し、2014 年は特にブナとミズナラにほとんど結実が認められず大凶作であった(図 2)。一方ツキノワグマの撮影頻度(100TN あたりのクマ撮影イベントの数)は堅果凶作の 2014 年に最も高い値となった。撮影頻度は移動が活発であるほど高くなるため、堅果凶作年においてはツキノワグマが餌資源を求めて、頻繁に移動していたことが影響しているものと考えられる。

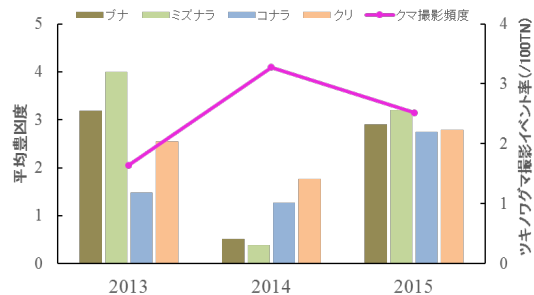


図 2 : 堅果豊凶とクマの撮影頻度

(2) 利用環境の時空間的変動

ツキノワグマの環境利用には様々な要因が影響を及ぼすと予想されるが、本研究においては有害鳥獣駆除による対策がツキノワグマの個体群存続に及ぼす影響を検討するため、人間が頻繁に利用する環境の指標として耕作地からの距離を用い、各トラップ設置点を里山(耕作地から 1500m 以内)と奥山(耕作地から 1500m 以上)の 2 区分に分類し、それぞれの区分におけるツキノワグマの撮影頻度を時系列で比較した。

その結果、堅果類が豊作であった 2013 年と 2015 年においては調査期間中ほぼ全ての期間で奥山における撮影頻度が高かったが、ブナとミズナラが凶作であった 2014 年には、8 月下旬以降に里山におけるツキノワグマの撮影頻度が急増し、9 月下旬のピーク時には奥山の約 7 倍もの撮影頻度となった(図 3)。その一方で奥山におけるツキノワグマの撮影頻度は各年ともほぼ同じような傾向と値を示しており、凶作年においても一定数の個体が奥山を利用していることが明らかとなった。加えて、調査期間中に複数回観察された個体の撮影地点情報から、堅果類の豊凶に関わらず、常に同じトラップを利用する動かない個体(特にメス)が存在することも明らかとなった。

(3) 餌資源量の変動と繁殖行動

ツキノワグマは夏季に交尾を行い、その後秋季の餌資源量によって着床の可否を選択し(着床遅延)冬眠中に出産を行うことが知られている。本研究において個体識別(および観察時期と地点を考慮して別個体と判定できた個体)されたメス個体のうち当歳子

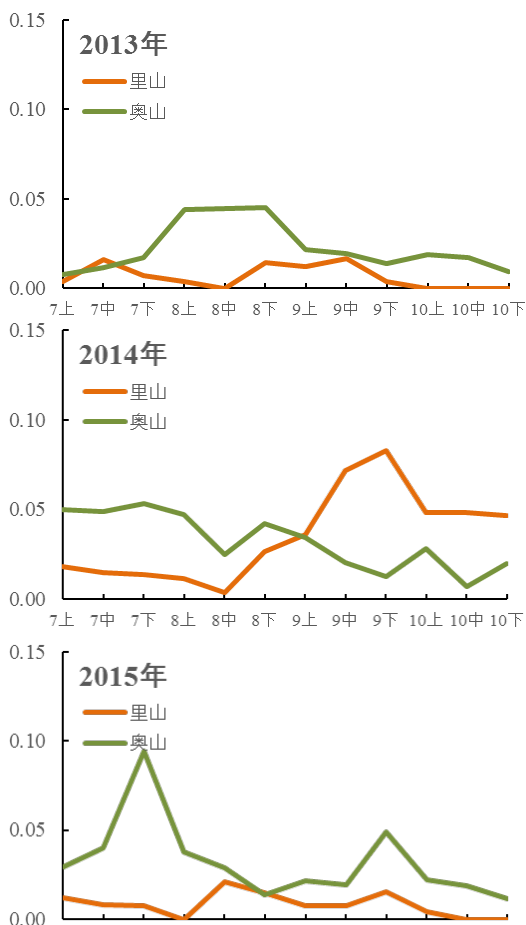


図3：里山と奥山における
クマ撮影頻度の季節・年次変動

を連れていた個体の割合を算出したところ、堅果凶作翌年にあたる2013年と2015年はそれぞれ12%と10%であったのに対し、豊作翌年の2014年は38%と、凶作翌年と比較して出産率が4倍近く高い値となることが明らかとなった。ツキノワグマの繁殖行動に関しては直接観察が困難であるため、未知の部分が多いが、本研究において、繁殖期には一定期間オスとメスが共に行動する様子が観察された。またこのような行動は豊作翌年（凶作年）には確認されなかったため、堅果類の豊凶は出産率だけでなく、ツキノワグマの繁殖活動にも何かしらの影響を及ぼしている可能性が示唆される。

(4) 行動プロセスモデル

Ornstein-Uhlenbeck 過程を組み込んだ標識再捕獲モデルを推定した結果、中心への引力についてはオスおよび凶作年の負の効果が発見された。また、移動速度についてはオスの正の効果、および凶作年の負の効果が発見された。オスの弱い中心への引力、早い移動速度はいずれも大きな行動圏を持つ要因である。

これらのパラメータをもとにシミュレーションを行った結果、堅果の豊作年には狭い行動圏を密に利用し、凶作年には広い行動圏を疎に利用することが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

深澤圭太・東出大志、連続時間型標識再捕獲モデルによる行動パラメータの推定とシミュレーション、第64回日本生態学会大会、2017年3月16日「早稲田大学(東京都)」

深澤圭太・東出大志、中心回帰的な行動プロセスを組み込んだ標識再捕獲モデル、第63回日本生態学会大会、2016年3月24日「仙台市国際センター(宮城県)」

東出大志・深澤圭太、ツキノワグマ個体群における空間分布と行動パターンの変化、第62回日本生態学会大会、2015年3月21日「鹿児島大学(鹿児島県)」

東出大志、カメラトラップで見えること：データの特性と使い方を考える、日本哺乳類学会2014年度大会、2014年9月5日「京都大学(京都府)」

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東出 大志 (HIGASHIDE, Daishi)

早稲田大学・人間科学学術院・招聘研究員
研究者番号：60634871

(2) 研究分担者

深澤 圭太 (FUKASAWA, Keita)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物生態系環境研究センター・主任研究員
研究者番号：90617101

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし