

Environment Research and Technology Development Fund

## 環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

異質環境下におけるシカ・イノシシの個体数推定モデルと  
持続可能な管理システムの開発  
(4-1704)

平成29年度～令和元年度

Development of Sika Deer and Wild Boar Population Estimation Model  
and  
Sustainable Management System under Heterogeneous Environment

〈研究代表機関〉  
兵庫県立大学

〈研究分担機関〉  
東京大学  
国立環境研究所  
広島修道大学  
東京農工大学

〈研究協力機関〉  
日本大学  
東北大学

令和2年5月

## 目次

I. 成果の概要	.....	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発の方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた主な成果		
6. 研究成果の主な発表状況		
7. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 イノシシ密度指標およびリアルタイムデータのクラウド管理システムの開発	.....	13
(兵庫県立大学)		
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-2 空間構造を考慮した個体数推定と最適管理モデルの開発	.....	38
(東京大学)		
要旨		
1. はじめに		
2. 研究開発目的		
3. 研究開発方法		
4. 結果及び考察		
5. 本研究により得られた成果		
6. 国際共同研究等の状況		
7. 研究成果の発表状況		
8. 引用文献		
II-3 効率的な捕獲のための事業効果測定モデルの開発	.....	56
(国立環境研究所)		
要旨		
1. はじめに		

2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

II-4 分布拡大地におけるイノシシの生態特性の解明  
(広島修道大学) . . . . 71

要旨

1. はじめに
2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

II-5 人口減少による野生動物の分布拡大地（福島県）への応用  
(東京農工大学) . . . . 91

要旨

1. はじめに
2. 研究開発目的
3. 研究開発方法
4. 結果及び考察
5. 本研究により得られた成果
6. 国際共同研究等の状況
7. 研究成果の発表状況
8. 引用文献

III. 英文Abstract . . . . 115

## I. 成果の概要

課題名 4-1704 異質環境下におけるシカ・イノシシの個体数推定モデルと持続可能な管理システムの開発

課題代表者名 横山 真弓 (兵庫県立大学自然・環境科学研究所 教授)

研究実施期間 平成29～令和元年度

研究経費 (累計額) 125,605千円  
(平成29年度：42,579千円、平成30年度40,447千円、令和元年度：42,579千円)

本研究のキーワード アプリケーション、捕獲数増加率、密度指標、Open catch-effort method、黄体退縮物、RESTモデル、最適管理モデル、深層学習、状態空間モデル

### 研究体制

- (1) イノシシ密度指標およびリアルタイムデータのクラウド管理システムの開発 (兵庫県立大学)
- (2) 空間構造を考慮した個体数推定と最適管理モデルの開発 (東京大学)
- (3) 効率的な捕獲のための事業効果測定モデルの開発 (国立環境研究所)
- (4) 分布拡大地におけるイノシシの生態特性の解明 (広島修道大学)
- (5) 人口減少による野生動物の分布拡大地 (福島県) への応用 (東京農工大学)

### 研究協力機関

日本大学、東北大学

## 1. はじめに (研究背景等)

全国で被害が深刻化しているニホンジカ *Cervus nippon* (以下、シカ)、イノシシ *Sus scrofa* は、環境省によって階層ベイズモデルを用いた個体数推定が行われている。しかし、現行モデルは、特に都道府県レベルにおいて、多くの問題が指摘されている。主な問題点として、1) 適正な密度指標となるデータが不足し、捕獲数に影響されたモデルである、2) 少ない指標から推定結果を収束させる工夫として、データの二度利用をする、事前分布に多くの仮定を盛りこむ、など統計学的に問題が大きい、3) 推定値を検証することができないモデルである、4) 移出入や景観などの空間情報が考慮されていないため、捕獲が難しい地域 (鳥獣保護区や都市公園、市街地周辺) の個体数は考慮されていないため過小評価の可能性がある、などが挙げられる。

複雑なモデルでは、大前提としてこれに耐えうるデータの質と量の確保が求められる。現状では、データの質量が制限要因となって、頑健性が低いにもかかわらず、個体数管理の現場に活用されており、今後のシカ・イノシシの個体数管理に深刻な悪影響が懸念されている。環境省が示す両種の個体数半減には、実際の捕獲を効果的に進めることに貢献する精度の高い推定値に基づいて空間的な捕獲目標と捕獲体制を構築することが求められる。

## 2. 研究開発目的

本研究では、シカ・イノシシの個体群について、推定精度が高く頑健性のある新たな個体数推定モデルとその検証モデルを開発し、持続的に実行可能な野生動物の個体数管理システムの構築を目的とする。これらを達成するため、モデル開発の基盤となるデータの質量を確保するための新たな指標開発とデータ収集システムを構築し、データの質量の劣化を防ぐことも目的とする。また、環境の異質性や動物種ごとの行動や移出入を組み込んだ新たなモデルや捕獲事業効果を検証するモデル開発を行い、個体数推定モデルの頑健性の確保を目指す。さらに、急激に分布が拡大している地域にもこれらのモデルを

適用するため、分布拡大地に特有の生態特性を把握する。最後に過去に個体数管理に成功した地域の成功要因を分析し、人口縮小による個体数管理の課題を抽出するため、将来の中山間地域の縮図といえる福島県を中心とした東北地域への応用を検討し、全国に応用可能なシステムに発展させることを目指す。

### 3. 研究開発の方法

#### (1) イノシシ密度指標およびリアルタイムデータのクラウド管理システムの開発

個体数管理が強く求められているシカとイノシシを対象に、個体数推定に必要なデータの質と量を確保することを目的として、1) イノシシの新たな密度指標の開発、2) 密度指標の経年変化分析、3) 高密度下におけるシカの繁殖特性の解明、4) 写真画像による体サイズの推定アルゴリズムの開発、5) 個体数推定データ収集アプリケーションの開発、の5項目を実施した。

1) ではRESTモデルをイノシシに適用し、兵庫県と千葉県の複数地域において、2017年と2018年に自動撮影カメラを用いた生息密度推定を実施した。それと同時に、①掘り返し跡、擦り跡および糞塊の3つの生息痕跡に関する調査と、②銃猟SPUE、箱罟CPUEおよびくくり罟CPUEの3つの捕獲関連情報の収集を行った。これらの指標と生息密度の関係を回帰モデルによって比較することで、イノシシの個体数管理において有効な生息密度指標の検討を行った。

2) では、過去から狩猟者アンケート調査の蓄積がある兵庫県を対象に、イノシシとシカの捕獲関連情報をもとにした密度指標（銃猟SPUE、箱罟CPUE、くくり罟CPUE）について5kmメッシュ単位で時系列データを整理し、指標ごとの動態のパターンを動的時間伸縮法（DTW）により分類した。また、これらの密度指標の経年データと捕獲頭数の関係から、イノシシとシカについて市町単位での動態を仮定した個体数推定（Harvest-based estimation）を行った。

3) シカの妊娠率に対する密度依存的な影響を把握するため、2003年から2016年に兵庫県で捕獲されたメスジカ627頭の年齢、胎子の有無、卵巣の黄体退縮物の有無、のデータから年齢別妊娠率を算出した。年齢は、1、2、3歳以上を乳歯と永久歯の萌出交換によって判定した。

4) 兵庫県および愛媛県において、2017年と2018年に有害鳥獣捕獲、狩猟および学術研究捕獲によって捕獲されたイノシシとシカを対象に、体重、体長（愛媛県データは頭胴長）、体高、後足長を計測した。同時に既知のサイズのピンク色の測定テープ（15cmもしくは30cm）を捕獲個体上に配置し、真上から全身が画角内に配置されるように写真を撮影した。これらの画像からイノシシとシカを検出し、体サイズの推定を行うため、Mask R-CNNによる深層学習を実施した。また体サイズによる幼獣と成獣の判別を目的として、体サイズの実測値と齢査定データをもとに、一般化線形モデルを用いて判別閾値の検討を行った。

5) 個体数推定において重要となる捕獲データを効率的に収集することを目的とし、捕獲関連情報をクラウドサーバに格納するデータ構造と、利用者が活用しやすいユーザーインターフェイスを構築し、AndroidおよびiOSに対応したスマートフォンアプリケーションとサーバーアプリケーションを開発した。

#### (2) 空間構造を考慮した個体数推定と最適管理モデルの開発

空間異質性を考慮したシカやイノシシの個体群動態を予測するモデルの開発と、個体数を低減させる最適管理を可能にするモデルの開発を行った。具体的には、1) 異質景観下におけるシカの増殖と分布拡大を同時推定するモデル、2) イノシシの環境選好性と罟捕獲効率の季節動態を評価するモデル、3) 密度効果や景観構造を組み込んだイノシシの個体群動態モデル、4) シカ・イノシシの個体数低減を目的とした駆除努力の空間的な最適配分モデル、の4つを構築した。

1) の対象地は千葉県房総半島である。1970年代から1980年代にかけて個体数が増加し始め、その後分布が拡大した。使用したデータは、①2000～2010年の糞粒法調査、②2000～2008年の区画法調査、③2001年の嗜好性植物損傷調査、④狩猟・有害捕獲数（これらをあわせて以下、捕獲数）、を用いた。シカの個体数の増加と分散プロセスに影響を与える環境要因として、広葉樹林面積、林縁長、総森林面

積（広葉樹林と針葉樹植林面積の両方）、および河川の有無を、GISを使用して抽出した。これらのデータを用いて、人口統計学的確率性を考慮したニホンジカの個体群動態をPFMCMCアルゴリズムを用いてベイズ推論を実装した構築した。

2) の対象地は千葉県南部の南房総市、鋸南町、君津市、富津市の4市町である。有害鳥獣捕獲により2018年度に約12,000個体が捕獲された。イノシシの環境選好性は森林や竹林内に仕掛けた180地点のカメラデータからRESTモデルで推定した局所密度を目的変数に、カメラ周辺の環境省の植生調査の広葉樹林・植林地・耕作地・竹林・放棄地・住宅地の6を主成分分析によって要約し、第1主成分から第4主成分までの主成分得点を代替の環境要因を説明変数にした統計解析を行った。罠による捕獲効率は、行政から得た捕獲データとカメラによる個体数密度推定値を用いて推定した

3) 千葉県をモデル地域として、ビデオカメラによるビデオトラップデータと捕獲データから得られたCPUE(単位努力量あたり捕獲数)という二つの異なるデータを用いることによって、より精度の高い推定が可能なモデルを開発した。開発したモデルは、ベイズ推定による状態空間モデルをベースとしており、プレモデルと個体数推定モデルの2つのサブモデルからなる。プレモデルではビデオトラップにより得られたデータとカメラデータに対応する地域（千葉県の調査ユニット）のCPUEを用いることで、罠の捕獲率に関するパラメータを推定している。個体数推定モデルはこれにより得られた捕獲率に関するパラメータを事前分布として利用することで、CPUEから得られる複数年データを用いて個体数を推定した。

4) 最適努力配分を求めるために、最適化手法の一つである「焼きなまし法」を用いた数理モデルを構築した。千葉県全体の個体数を最小化するように、ある一定の数の箱ワナを各市町村に配分する。対象とする市町村は22あり、それぞれの市町村に設置するワナ数の組み合わせは膨大であるために、すべての組み合わせごとに、総個体数を計算することは現実的ではない。そのような場合には、焼きなまし法は近似的に最適解を求めるために有用であり、保護区の設定等にも利用されている最適化手法である。

### (3) 効率的な捕獲のための事業効果測定モデルの開発

指定管理鳥獣捕獲等事業のように、特定の地域を対象に短期間（通常は1年以内）のうちに繰り返し鳥獣の捕獲を実施して密度低減を図る事業が各地で実施されている。従来、このような事業の効果の評価には除去法(Catch-effort method)が用いられてきたが、一般に開放系で実施される事業においては、移出入が単位努力量当たり捕獲率(捕獲効率)や個体数の推定に対して大きなバイアスをもたらすことが知られていた。そこで、新たに移出入を考慮した除去法(Open catch-effort method, Open-CE)を開発した。このモデルで想定するのは、ある面積をもつ捕獲対象地域で、比較的短い（～1年程度）捕獲実施期間内に鳥獣の捕獲作業を複数回繰り返して実施している系である。捕獲実施期間内の対象鳥獣の繁殖や死亡による個体数変化は無視できるほど小さいが、捕獲対象地域とその外部の動物個体の移出入がランダムに生じると仮定する。また、捕獲開始前には捕獲対象地域内外の個体密度は等しいと仮定し、移出捕獲対象地域外部からの個体流入速度は捕獲実施期間中に一定であると仮定する。捕獲実施期間内は時間単位ごと（一般には1日単位）の捕獲数および捕獲努力量（出猟人日やわな日など）が記録されており、単独の方法または複数の方法（銃猟とわな等）による捕獲が実施されているとする。

移出入が生じる状況でOpen-CEが従来法よりもバイアスの少ない推定ができるか明らかにするため、事前に設定したパラメータの下で移出入を考慮したシミュレーションによりデータを生成し、従来の閉鎖個体群のための除去法で用いられるLeslie法とOpen-CEの推定精度の比較を行った。生成モデルはOpen-CEと同様のプロセスモデルを考え、シミュレーションの日数は50日間、5日捕獲と5日休止を繰り返し、捕獲を実施した日の努力量は1としたシナリオをベースラインの捕獲スケジュールとした。シミュレーションは各500回繰り返した。

実際の捕獲事業データに対してOpen-CEによる推定を行い、事業効果の評価を行った。これまで日本各地で実施された鳥獣捕獲事業（指定管理鳥獣捕獲等事業など）の捕獲作業日誌データを収集し、①対象範囲が明確に定義されていること、②対象範囲内の日別捕獲数と日別努力量がもれなく記録されていることを条件に、銃猟22事例、くくりわな猟26事例を対象とした。対象事例の捕獲作業日誌データから

Open-CEによる捕獲効率の推定を行った。

#### (4) 分布拡大地におけるイノシシの生態特性の解明

イノシシの新規流入が生じた分布拡大地では、個体数や捕獲数の急激な増加が報告される一方で、生態の解明は進んでおらず、個体数管理を講じていく上での基礎情報が蓄積されていない。特に人口減少に伴う土地利用の変化により、生息環境が好適化しているような分布拡大地では、妊娠率や繁殖時期等の繁殖生態が従来からイノシシが生息している地域とは異なる可能性が予想される。

そこで本研究では、近年、イノシシの新規流入が生じた福島県沿岸部の原発避難指示区域とその周辺、および愛媛県今治市の大三島において、捕獲個体から、卵巣、胚、胎子および上顎・下顎骨を採取し、イノシシの基本的な繁殖特性（初回妊娠年齢、妊娠率、胎子数、出生時期）を分析し、イノシシの定着地域の情報と比較した。捕獲個体の収集は、環境省による帰還困難区域等における鳥獣捕獲等緊急対策事業、帰還困難区域内および周辺市町村による有害鳥獣捕獲、および福島県による指定管理鳥獣捕獲等事業によるものである。年齢は、上顎・下顎骨の歯の萌出交換から週齢査定を行った。現場で、胎児もしくは胚が確認されなかった場合は、卵巣の組織学的な分析を行った。卵巣はパラフィン包埋した後、100  $\mu\text{m}$ 間隔で厚さ6  $\mu\text{m}$ に薄切した。薄切した組織切片には、Hematoxylin-Eosin染色およびElastica van Gieson染色を施した。光学顕微鏡で観察し、機能性黄体および妊娠黄体退縮物の有無を判別した。また、原発避難指示区域の捕獲事業の記録情報の性・齢と捕獲時期から妊娠個体や幼獣の捕獲状況を分析し、現行の捕獲がどの程度妊娠メスを捕獲できているか、妊娠個体を捕獲するための適切な時期を分析した。最後に、分布拡大地における繁殖と捕獲の現状から、今後個体数を削減するために必要となる効果的な捕獲時期を明らかにした。

#### (5) 人口減少による野生動物の分布拡大地（福島県）への応用

都道府県の捕獲実施体制について、捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）を指標に用いて評価した。分析に用いたデータは、1990年から2014年までの環境省による鳥獣関係統計であり、シカでは特定計画が2007年以前に作成された33県、イノシシでは特定計画が2013年以前に作成された37県を対象とした。動的時間短縮法Dynamic Time Warping (DTW)およびクラスター分析を用いて、都道府県の捕獲効率の時系列変化を類型化し、分布の時間的变化と対応させた。二つの法制度が捕獲効率に与えた影響を分析するために、各グループの捕獲効率を3つの期間、すなわち鳥獣保護法改正以前(Period 1:1990~1999年)、鳥獣保護法改正後から特措法導入まで(Period 2: 2000~2007年)、特措法導入後から鳥獣保護管理法制定まで(Period 3: 2008~2014年)で比較した。

特定計画に基づく都道府県の捕獲情報収集状況を把握するために、環境省がとりまとめた2017年度および2018年度の都道府県特定鳥獣（獣類）の管理の実施状況に関する報告書ならびに各県が作成した第二種特定計画（ニホンジカ）を参照にした。また、都道府県に対し、捕獲情報の収集状況（様式、収集のフロー、項目）、市町村へのフィードバック、隣接県との連携などについて、13道県に対しヒアリングを行った。得られた課題を踏まえて、都道府県計画、市町村計画、さらには広域計画などの階層性を考慮した制度間の垂直方向について、一方で、対象種の空間分布と管理レベルを含むランドスケープレベルの空間スケールの水平方向の調整を踏まえた統合的な野生動物管理システムの検討を行った。その結果から、持続的で効果的な管理制度についての提言をおこなった。

イノシシの分布拡大地域のモデルとした福島県において、捕獲体制およびデータ収集体制について現状の課題を整理し、現状のデータ蓄積状況の中で、適用可能と考えられる個体数推定モデルを提案した。イノシシの生息密度推定は福島県の事業において試行された。具体的には、捕獲圧が高い地域から3箇所の調査地を選定し、自動撮影カメラによる調査とRESTモデルによる密度推定を実施した。得られた推定密度は、広域で収集可能な5 kmメッシュ単位でのくくり罠CPUE、銃猟SPUEといった密度指標と捕獲数の情報をもとに空間的な外挿を行い、県全域での密度分布図を作成した。なお、本課題についてはサブテーマ3の研究代表者である深澤が、調査デザインや推定方法についてのアドバイスをを行い、自然環境研究センターが実施したものである。福島県での適用事例を踏まえ、統一的なモニタリング体制が

整っていない都道府県に広く適用可能な、データの収集状況に応じた段階的な個体数推定モデルの提案を行った。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) イノシシ密度指標およびリアルタイムデータのクラウド管理システムの開発

1) 自動撮影カメラによるRESTモデルをイノシシに適応し、局所的な生息密度として信頼性のある結果を得た。このRESTモデルの結果とイノシシの生息痕跡および捕獲関連情報の密度を比較した結果、「掘り返し痕跡」と「くくり罠CPUE」において推定生息密度との間に有意な相関関係が認められたことから、イノシシの密度指標として有用であると考えられた。一方でそのほかの4指標については生息密度以外の要因が指標値に及ぼす影響が大きいため、イノシシの密度指標としての有用性は低いと考えられた。

2) データ蓄積のある兵庫県の捕獲関連情報 (SPUE, CPUE) について、経年変化を分析し、密度指標のバイアス等を検討した。イノシシでは、年変動が著しいため、捕獲関連情報のみを指標とすることは難しく、他の密度指標などとの組み合わせが求められること、シカのSPUEは、積雪に影響されることから積雪期以外を利用することが望ましいこと等が明らかとなった。また、これらのデータをもとに Harvest-based estimationを用いて市町スケールの個体群動態の推定を実施したが、イノシシでは捕獲関連情報に基づく密度指標のみでは十分な動態のパターンを把握することが難しく、県全体の粗い精度の推定値しか得られなかった。一方で糞塊密度情報も利用できるシカでは、市町ごとに捕獲強化や分布拡大に応じた個体群動態パターンが得られ、個体数管理に還元可能な結果を得ることができた。

3) 兵庫県における2003年から2016年のシカの妊娠率は、2歳以上の成獣では2004年を除き80%以上と高い値を示しており、密度依存性は認められなかったが、1歳の亜成獣の妊娠率は、高密度が続いていた2000年以降、15%程度と著しく低下していたことが明らかとなり、密度依存的な影響を受けていると考えられた。

4) Mask R-CNNを用いた深層学習により、写真画像からシカとイノシシを自動判別し、バウンディングボックス (BBBox) (人間の顔認証に類する検知枠) を生成することに成功した。また体サイズの実測値とBBBoxのサイズには正の相関関係が認められ、特に体重とBBBoxの面積において、シカ ( $R^2 = 0.73$ ,  $P < 0.01$ )、イノシシ ( $R^2 = 0.93$ ,  $P < 0.01$ ) とともに強い正の相関が認められたことから、BBBoxの面積を用いて高い精度で体重の予測が可能であると考えられた。

体サイズの成長パターンを考慮すると、幼獣と成獣に判別に際しては、シカ、イノシシともに出生後約5カ月齢となる10月までとそれ以降に分けて判別モデルを構築することが望ましいと考えられた。一般化線形モデルによる解析の結果、体重を用いた判別が最も有効であり、判別の閾値はイノシシで6-10月 (オス:25.1kg, メス:53.2kg)、11-5月 (オス:32.7kg, メス:30.7kg)、シカで6-10月 (オス:25.1kg, メス:22.1kg)、11月-5月 (オス:28.1kg, メス:25.1kg) と推定された。

5) 捕獲者が現場で捕獲情報を入力できるアプリケーション「狩ingマップ」を開発し、iOS及びAndroidの両OSの各マーケットプレイスにて無料公開した。また、出猟記録の自動PDF出力および4)で開発した体サイズの自動判別機能を付加した。

以上からイノシシの密度指標の開発、密度指標の変動要因、個体数に影響のある妊娠率、捕獲個体の成獣と幼獣の判別方法、個体数推定に必要な捕獲関連情報のアプリケーションの開発を実施し、シカとイノシシの個体数推定に求められるデータの質と量を確保するための手法と留意点を明らかにした。また、自治体が必要なデータを蓄積していくための支援ツールとして、システム開発と、各種マニュアル、Web上のサポートページを整備した。

##### (2) 空間構造を考慮した個体数推定と最適管理モデルの開発

1) 異質景観下におけるシカの増殖と分布拡大を同時推定するモデル：ニホンジカが分布範囲を拡大し、房総半島南部で2000年の1,506個体から2010年の3,054個体に増加したことが示された。分散における生息地の選好性の不均一な空間構造を検出し、森林面積が分散に正の影響を及ぼしたが、個体群成



長率は調査地のほとんどで一定であった。房総半島のニホンジカの不均一な分布拡大は、個体群成長プロセスではなく、分散プロセスに主に起因すると考えられた。

2) イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態を評価するモデル:カメラデータと行政の捕獲データを組み合わせることで、イノシシの個体数、環境選好性、罠の捕獲効率を同時推定した。いずれのパラメータも顕著な季節変動を示し、イノシシの生活史や餌環境などの変化を反映していることが推察された。特に、農地や耕作放棄地、竹林はイノシシの個体数密度に正の影響を持つことが分かった。これらの景観要素はイノシシの季節的に餌資源を提供していることに加え、冬期の猟期においては、耕作放棄地が退避場所として利用されていた可能性もある。2種類の罠における捕獲効率の平均値の比較では、箱罠の方がくくり罠よりも約1.7倍効率が高いことが分かった。箱罠とくくり罠の捕獲効率の動態で共通していた点として、12月、1月に捕獲効率が上がる様子が見られた。一方、8月から11月にかけては動態が異なっていた。箱罠の捕獲効率は比較的低いままなのに対し、くくり罠の捕獲効率は上昇する傾向が見られた。これらの結果により、捕獲効率が高い冬の時期に捕獲圧をかけることが推奨される。この時期は耕作放棄地を比較的選好していることが分かったため、耕作放棄地の周辺に罠を設置することが重要である。他の時期においても、イノシシの季節的な環境選好に合わせて罠の設置箇所を定めるべきである。

3) 密度効果や景観構造を組み込んだイノシシの個体群動態モデル:カメラデータを用いて罠捕獲率を推定し、それを行政の捕獲データと組み合わせることで個体群動態を予測した。個体数の年次変動や個体数の空間的な粗密が推定でき、さらに環境収容力と捕獲数との対比から管理による個体数の抑制効果も評価できた。また、新しく開発したモデルを評価するため、カメラトラップを用いないCPUEのみのモデルと新しいモデルの比較を行った。CPUEのみの結果では、より個体数が増える傾向があり、モデルの収束はあまりよくなかった。一方で、今回のモデルでは、ほとんどの推定個体数及びのパラメータが収束の目安とされる  $Rhat < 1.1$  を実現していた。つまり、新しく開発したモデルは、従来のモデルよりも顕著に収束しやすく、推定すべきパラメータやデータ数が多い場合や、複雑な仮定が必要な場合の解析に向いているといえる。

4) シカ・イノシシの個体数低減を目的とした駆除努力の空間的な最適配分モデル:シカとイノシシの密度を同時に低減させる最適努力配分を求め、"焼きなまし法"を用いた数理モデルを構築した。上記の1)と3)から得られた個体群パラメータをモデルに適用し、総個体数の目標値を達成するために必要な捕獲努力量を算出することができた。捕獲努力量が現状のままでも、捕獲努力を最適に配置することにより、個体数が約1割低減でき、各市町村で捕獲努力量を2割増加させることとほぼ同じ効果があることが明らかになった。設置可能な箱ワナの総数を増加させた場合でも、各市町村の現状の捕獲努力量を一律に増加させた場合は、個体数の低減効果は限定的である。すべての設置可能な箱ワナを最適に配置することは、実際には難しいことも考えられるが、捕獲努力の増加分のみを最適に配置した場合は、設置可能な箱ワナの総数が大きい場合は、全ての努力量を最適配分した場合とほぼ同程度の効果があることがわかった。

### (3) 効率的な捕獲のための事業効果測定モデルの開発

従来のLeslie法はすべてのパラメータセット・反復において解が収束したのに対し、Open-CEは収束しない例がみられた。これは、移出入率が低すぎると、移出入率の対数値がどこまでも小さくなってしまい解が収束しないこと、逆に移出入率が高すぎると捕獲の効果が移出入にマスクされてしまって推定できなくなってしまうことによるものと思われる。

移出入の程度を変化させたときの個体密度および捕獲効率の推定精度をLeslie法とOpen-CEで比較すると、Leslie法は移出入が大きくなるほど個体密度を過大評価、捕獲効率を過小評価する傾向があったのに対し、Open-CEではそのようなバイアスはわずかであった。一般に、移出入が生じる系では捕獲開始直後に密度の低下が生じるが、内外の密度差が大きくなるほど移出入の差が増大するため密度低下が生じにくくなる。Leslie法ではそのようなパターンを低い捕獲効率の結果とみなすことで捕獲効率の過小評価、個体数の過大評価につながっていたと考えられる。なお、このような傾向は捕獲効率が異なる場合でも同様であったが、捕獲日数をより増やしたスケジュール(8日捕獲、2日休止)では高い移出入率

のときにOpen-CEのバイアスが增大する傾向があった。しかし、それでも平均的にはLeslie法のバイアスよりは少なかった。従来のLeslie法であれば、閉鎖個体群の仮定を満たす限りはより高い捕獲圧をかける方が良い推定が得られるはずである。一方、Open-CEで移出入を同時に推定するには、適度な休止期間を設けることで捕獲と移出入が個体群に与える効果を時間的に分離することができるため、より良好な推定が得られたと考えられる。この結果は、事業効果を評価する上で適度な休止期間を取り入れた捕獲事業デザインが重要であることを示している。

これらの結果から、Open-CEによって移出入率の正確な評価は困難であると考えられたが、個体密度や捕獲効率については移出入が生じる状況においても従来法より正確に推定できると考えられた。ユーザーが簡単にモデルを利用できるように、Open-CEを統計解析環境R上で簡単に推定するための関数、および事業地周辺に捕獲を実施しないモニタリング区を設定する場合の統合解析モデル推定のためのギブスサンプリング用コード(JAGS使用)を公開した。

収集した捕獲事業データにOpen-CEを適用した結果、銃猟7事例、くくりわな11事例で推定結果が得られた。推定結果のメタ分析から、単位努力量当たりの平均的な捕獲効率は、銃猟では3.6%/(1人日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 2.6-5.0)、くくりわなでは0.22%/(1わな日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 0.17-0.29)であった。この結果から、ニホンジカの増殖率を1.21と仮定したときに増殖と捕獲が釣り合うときの捕獲努力量は、銃猟・くくりわなそれぞれで7.1人日/km<sup>2</sup> (95%CI: 5.2-9.8)、115.0わな日/km<sup>2</sup> (95%CI: 87.8-150.5)であると計算された。平均的な捕獲効率の値から、今後の事業設計の際に目標捕獲率に対応する必要努力量を算出することができるが、事業ごとの捕獲効率は大きければつきがあるため、事業から得られたデータで捕獲効率の推定と必要努力量の見積もりをアップデートする順応的管理を実現するためのツールとして用いることが望ましい。

#### (4) 分布拡大地におけるイノシシの生態特性の解明

福島県の原発避難指示区域で捕獲された243個体の妊娠率を調査した結果、年齢ごとの妊娠率は、0歳群は7.4%、1歳群は56.3%、2+歳群は100%であった。2+歳群の胎子数は、原発避難区域では4.22±1.26頭、大三島では5.00±0.71頭であった。定着地である兵庫県では4.26±1.41頭との報告と有意な差は認められなかった。0歳での妊娠も認められたが、1歳以上で妊娠率が急激に高くなるパターンは、従来からイノシシが分布している地域と同様のパターンであり、初回妊娠年齢の早期化や妊娠率の増加は生じていないことが示唆された。

一方、分布拡大地におけるイノシシの繁殖の特徴としては、出生時期の変異幅は大きく、従来分布地域では春季(5~6月)に出生のピークがあるものの、分布拡大地では半数以上の個体が春季以外に出生していることが推定された。これは、分布拡大地において捕獲強化が図られているが、捕獲しやすい幼獣のみを捕獲することにより、メス親の捕り逃がしによる学習化、または、子の消失に伴うメス親の発情回帰などが生じていることが考えられた。こうした捕獲の状況は、野生動物の管理を図る上での体制基盤が整っていないため、戦略的な対策がとられていないことが大きく影響していると示唆された。これらの捕獲と発情回帰の関係が繰り返されることによって、繁殖時期の変異幅が増大し、通年を通して幼獣の捕獲に偏する、非効率的な捕獲対策が講じられている可能性が示唆された。

実際の捕獲記録から、妊娠個体が多い時期を算出した結果、原発避難区域では3~5月大三島では6月に妊娠個体が多くなっていることが推定された。3~5月は、当年度と翌年度の捕獲事業の切り替わり時期を含むことから、原発避難区域では捕獲は未実施または小規模で実施せざるを得ない期間となっており、成獣のメスが全く捕獲できていなかった。そのため、相対妊娠個体数と成獣メスの捕獲個体数との間には負の相関関係がみられた。また、大三島においても、6月は捕獲数が秋季・冬季の1/3程度であることから、原発避難区域および大三島では、妊娠個体が多い時期ほど、成獣メスに対する捕獲圧が弱くなっており、選択的に妊娠個体を捕獲する体制ができていないことから、捕獲が出生数に追いつかない効率の悪い捕獲となっている可能性が示唆された。

以上の結果から分布拡大地において、効率的・効果的なイノシシの個体数管理を実施する上では、繁殖時期の特性を把握し、それに基づいた管理戦略を策定することが必要である。分布拡大地域で緊急

的な捕獲を行う場合においても、幼獣の捕獲に偏らない捕獲方法を選択し、妊娠率の高い1歳以上のメスを効果的に捕獲する必要がある。

#### (5) 人口減少による野生動物の分布拡大地（福島県）への応用

シカの捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）の時系列変化は3グループに分類された。特定計画経過年が最長のグループでの捕獲効率は、二つの法整備ごとに急増し、残りのグループは特措法後に増加したが、計画経過年が最小のグループの伸び率は最小であった。生息数低減が実現した道府県に共通している項目として、大規模個体群では17年以上、小規模個体群では10年余りにわたる順応的管理の実績とそれを支える体制が整備されていることがあげられる。イノシシの捕獲効率の時系列変化は4グループに分かれ、捕獲効率は計画経過年の長い県で大きい傾向がみられたものの、シカのような明確な対応関係は認められなかった。イノシシは繁殖力が高いため、捕獲効率の増加にもかかわらず、個体数低減にはいたっていない。シカの捕獲圧がもっとも高いグループはイノシシの捕獲効率は特措法の施行後も増加は低調であり、複数種の管理を統一的に実施することが重要であることを示唆した。

シカ・イノシシの個体数管理を全国的に俯瞰すると、シカでは一部の自治体で個体数の低減を実現しているが、そのような自治体であっても、管理の進捗は市町村で大きな差が生じている。イノシシでは、捕獲効率・捕獲数は急増しているものの、確実に生息数が減少しているとの報告は皆無である。さらには、生息動態は高密度維持、分布拡大・回復地域、市街地出没等、多様化しており、それぞれの状態と空間スケールに応じた対応が求められている。分布拡大地域における効果的な大型獣の管理のためには、野生動物個体群の空間分布、管理アプローチ（生息地管理、個体数管理、被害防除）の時空間スケール、それぞれの空間スケールに応じた階層的な管理主体の連携による、被害防除・個体数管理・生息地管理・持続的資源管理が整合するよう、統合的な管理を進めるための制度設計が必要と考えられた。野生動物個体群の空間分布と管理制度の階層的なミスマッチを埋めるための具体的アプローチとしては、都道府県の境界をまたぐ広域管理組織の配置や、補完性原則にもとづいて、市町村の有害捕獲を最優先し、都道府県は市町村との連携のもとで個体数調整を広域に実施するなど、複数の空間スケールや行政の階層を考慮するランドスケープ的な視点を取り入れた制度を創設する必要がある。

また、持続的な統合的管理の推進に向けて、多様な捕獲事業から得られるデータの標準化を図り、国や地域レベルで分布と個体数に関するデータベースを構築・利用できる仕組みが必要と考えられた。日本と同様、過増加した有蹄類問題を抱えるヨーロッパでは、研究機関による協働により、各国の地域あるいは大陸レベルでの野生動物の基礎データ、Movement DATA(GPSデータやVHFデータ)の収集共有を行うネットワークが発展しつつある。データの標準化にあたっては、FAIRの原則に基づいたデータ共有と管理を行うこととしている。FAIRの原則は、国際的に研究データの共有・公開の推進される中、2014年に生み出され、2016年に公開された定義であり、①Findable(見つけられる)、②Accessible(アクセスできる)③Interoperable(相互運用できる)④Reusable(再利用できる)、の頭文字からとっている。シカ・イノシシの分布拡大と生息数増加、CSF(豚熱)危機にある日本においても、ヨーロッパ同様、FAIRの原則に基づいた国・地域レベルのデータベース構築と利用の仕組みづくりが急務である。

イノシシの分布拡大地域のモデルとした福島県においては、国、県、市町村による複数の捕獲事業が実施される中、統一的なデータの収集体制がないという課題がみられた。そこで、自動撮影カメラによる調査と捕獲数、捕獲努力量などから得られる広域の密度指標を組み合わせた密度推定を施行（当推進費成果をもとに福島県事業として実施）し、単年度事業の中で県全域での密度分布を得ることができた。この事例を踏まえ、統一的なモニタリング体制が整っていない都道府県に対しては、データの収集状況に応じた段階的な個体数推定モデルの考えが適用可能と考えられた。具体的にはモニタリングデータの収集状況に応じて、1)局所的な密度推定モデル、2)空間的な密度分布推定モデル、3)時空間的な個体群動態推定モデルの3段階の個体数推定モデルが提案できる。1)局所的な密度推定モデルが適用可能な状況としては、指定管理鳥獣捕獲等事業などで、カメラトラップ調査の実施や捕獲作業記録が収集される場合であり、アウトプットとして、事業対象地の局所密度の推定や捕獲効果の評価が可能である。既存のデータが無い中で、緊急的に捕獲事業が実施されるような場合がこれに該当する。2)

空間的な密度分布推定モデルが適用可能な状況としては、特定計画に基づくモニタリングなどで、広域の密度指標が収集される場合であり、アウトプットとして、広域での密度の濃淡の把握や対策が必要な地域の選定が可能である。局所での密度情報と合わせることで、相対的な密度の多い少ないだけでなく、何頭生息しているかの推定も可能となる。福島県の事例はこれに該当する。3) 時空間的な個体群動態推定モデルが適用可能な状況としては、空間的な密度指標と捕獲情報が経年的に収集されている場合であり、アウトプットとして、個体数の動態予測や予測に基づく捕獲戦略の策定が可能である。既存データが不足する状況でも、データの状況に応じて段階的にアウトプットを更新しながらモニタリング体制の充実を図ることで、継続的なデータ収集と個体数管理の体制構築に繋がることが期待された。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

本研究では、シカとイノシシを対象にデータの質を確保し、頑健性のある個体数推定モデルの開発を目標とし、以下の通り当初目標を達成することができた。個体数推定モデルは、野生動物管理の主体である自治体のモニタリング体制とデータの質・量に応じて、1) 局所推定モデル(指定鳥獣捕獲等事業)、2) 空間推定モデル(県域スケール)、3) 時空間動態モデル(県域スケール)の3段階の個体数推定モデルを示すことができ、自治体の実情に対応したモデル開発に成功した。イノシシについては、適切な密度指標が得られていなかったが、「くくり罠CPUE」と「掘り返し痕跡」が適切な指標であることを国内で初めて明らかにし、科学的個体数管理に貢献することができた。また、他の有蹄類で開発された自動撮影カメラによるRESTモデルをシカとイノシシに初めて適用し、両種同時に局所的生息密度推定という概念を確立した。データが充実している地域では、「いつ・どこで」捕獲すべきか、最適な捕獲戦略の推定にも成功した。

そのほか、生態学的情報の不足していたイノシシについては、分布拡大地の繁殖パラメータを分析し、定着地域と大きな差異がないことを確認し、推定モデルの基本となる生態プロセスを把握した。また、全国のシカとイノシシの管理の時系列分析を行い、それを踏まえて上記の3つの段階を設定するなど、データ取得の実態に応じた推定方法を明示した。今後、個体数推定モデルをより発展させていくための方針として、データ収集が律速段階となることから、リアルタイムデータ取得のシステム開発を行い、シカとイノシシの科学的管理を推進する基盤を整備することにも貢献するなど、野生動物管理の科学性について、脆弱な部分を解消し、法定計画の科学的基盤を改善することに成功した。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

本研究の当初目標の一つは、都道府県単位で実行可能な密度指標開発と個体数推定モデルであり、複数の指標と推定モデルの開発に成功したことにより、多様な環境や当初の目標を達成した。行政への採用事例としては、兵庫県のシカ・イノシシの特定鳥獣管理計画の年度別事業計画において、本研究成果である密度指標分析に基づく推定個体数がある。また国内で初めてシカとイノシシへの適応を行ったRESTモデルの成果は、福島県、岐阜県、兵庫県の令和元年、令和2年度の県事業として採用され、調査が実施または計画されている。RESTモデルのイノシシへの適応、およびイノシシの密度指標については、特定鳥獣保護管理計画ガイドライン(イノシシ)を検討する委員会に手法と有用性を報告した。また、福島県の第3期イノシシ特定計画策定における個体数推定に参画し、環境省の福島第一原発事故に伴う帰還困難区域内のイノシシ捕獲事業における捕獲効果の評価について助言を行った。また、日本学術会議「人口縮小社会における野生動物管理のあり方の検討に関する委員会」において、本研究成果であるシカの市町別の個体群動態推定結果を提示し、回答に採用され、行政施策に持続的に導入する仕組みを提案する目標についても達成した。そのほか、環境省「令和元年度捕獲情報収集システムの次期更新に向けた調査検討業務に係る検討委員会」において、本サブテーマで開発したアプリケーションが今後求められる捕獲情報収集システムの事例として検討された(委員会自体の開催は中止されたが報告書に盛り込まれた)。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

本研究課題は行政ニーズ課題であり、行政施策に反映させることが目標の一つであるため、広く普及するための一般・行政向けの冊子を編集・出版・配布した。シカ・イノシシ両種に適用できるRESTモデルについては、マニュアルを掲載した。本研究では、行政のモニタリング状況に都道府県によって、著しい格差があること、捕獲対策についても差があることを分析したうえで、3段階の個体数推定の手法を明示した。モニタリング体制が脆弱な地域では、指定管理捕獲等事業を活用して捕獲作業日誌のデータを取得し、局所の個体数と捕獲効果から着手すべきであることを提案した。また、イノシシでは密度指標がなかったことから、今回開発した密度指標、RESTモデル、くくり罠CPUE、掘り返し痕跡を実態に応じて選択することも可能とした。イノシシが問題となっている地域では、まずは自動撮影カメラによるRESTモデルを小規模から開始し、有害捕獲および狩猟において、捕獲努力量を記録することを義務付け、県域レベルでの空間的な生息密度の概況を把握することが望まれる。毎年データを取得することで信頼性の高い密度推定に移行させることが可能である。シカとイノシシ両種がいる場合は、RESTモデルへ努力量を投資することで、データ取得を効率化させることが可能である。シカについて、長期的データを取得している地域では、3段階目の時空間動態モデルへ発展させることが可能である。今後の捕獲戦略への反映を視野に入れて、データ取得方針を決定することが期待される。いずれの場合でも、持続可能な形で密度指標と捕獲努力量を取得する仕組みが必要であり、モニタリング体制の改善案についても提案している。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

#### <査読付き論文>

- 1) 松金(辻)知香、横山真弓：哺乳類科学、58, 1, 13-21 (2018) 兵庫県における高密度下でのシカの繁殖特性
- 2) 栗山武夫、山端直人、高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10:1-8 (2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向調査の概要
- 3) 栗山武夫、山端直人、高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10:9-31 (2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向 (2006-2016年度)
- 4) 高木俊、栗山武夫、山端直人：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10:32-45 (2018) 景観構造を考慮したシカ・イノシシの農業被害と密度指標の関係分析
- 5) 長田穰、栗山武夫、浅田正彦、横溝裕行、宮下直：保全生態学研究、23, 1, 29-38 (2018) 状態空間モデルへのベイジアンモデル平均の適用：イノシシ個体群の増減要因を探る
- 6) Y. Osada, T. Kuriyama, M. Asada, H. Yokomizo and T. Miyashita: Ecology and Evolution, 9, 318-327 (2019) Estimating range expansion of wildlife in heterogeneous landscapes: a spatially explicit state-space matrix model coupled with an improved numerical integration technique
- 7) 高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、11, 30-57 (2019) 兵庫県におけるシカ個体群動態の推定と地域別の動向
- 8) D.A. Anderson K. Okuda, A. Hess, K. Nanba, T. Johnson, T. Takase and T.G. Hinton: Journal of Environmental Radioactivity, 197, 10-108 (2019) A comparison of methods to derive aggregated transfer factors using wild boar data from the Fukushima Prefecture
- 9) Y. Nakashima: Population Ecology, 62, 151-157 (2020) Potentiality and limitations of N-mixture and Royle-Nichols models to estimate animal abundance based on noninstantaneous point surveys

## (2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 栗山武夫、東出大志、横山真弓、高木俊：日本哺乳類学会2017年度大会（2017）イノシシの密度指標としての痕跡の可能性
- 2) 高木俊、栗山武夫、横山真弓：日本哺乳類学会2017年度大会（2017）時系列クラスタリングに基づくシカの密度指標の動向分析
- 3) 奥田圭：野生生物と社会学会第23回大会（2017）福島における大型獣の分布拡大と管理の展望、シンポジウム「東北地方における大型獣管理の現状，課題，展望」
- 4) H. Yokomizo, Y. Nakashima, Y. Osada, K. Kagawa, T. Kuriyama, M. Kasada, M. Suzuki, G. Yajima, N. Ishizuka, M. Asada, Y. Yokoyama, and T. Miyashita: 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology (2018) Optimal management strategies to control mammal populations incorporating behaviorally mediated indirect effect
- 5) 横山真弓、梶光一：日本哺乳類学会2018年度大会（2018）自由集会「シカとイノシシを同時に科学できるか？」企画運営
- 6) 奥田圭・梶光一：日本哺乳類学会2018年度大会（2018）全国のシカのHarvest-growth rate の類型化とイノシシ捕獲の影響
- 7) 高木俊：日本哺乳類学会2018年度大会（2018）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
- 8) 中島啓裕：日本哺乳類学会2018年度大会（2018）自動撮影カメラを用いたシカとイノシシの同時広域密度推定
- 9) 東出大志：日本哺乳類学会2018年度大会（2018）シカ・イノシシの密度指標としての痕跡データの有用性—自動撮影カメラを用いた比較検討—
- 10) 梶光一：野生生物と社会学会第24回大会（2018）テーマセッション「シカの広域管理システムを考える」
- 11) 横山真弓、宮下直：日本生態学会第66回大会（2019）シンポジウム「データの質と量に応じたシカとイノシシ個体数推定モデルの開発と適用」企画運営
- 12) 高木俊・栗山武夫・東出大志・横山真弓：日本生態学会第66回大会（2019）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？
- 13) 中島啓裕：日本生態学会第66回大会（2019）自動撮影カメラを用いたシカ・イノシシの個体数・密度推定
- 14) 横山雄一、矢島 豪太、中島 啓裕、宮下 直：日本生態学会第66回大会（2019）カメラトラップと捕獲データから推定するイノシシの繁殖期前後の生態特性の変化
- 15) 深澤圭太：日本生態学会第66回大会（2019）移出入を考慮した除去法による捕獲率の推定モデル
- 16) 笠田実、深谷佑紀、宮下直：日本生態学会第66回大会（2019）取得法の異なるデータを利用した個体数推定モデル
- 17) 栗山武夫、高木俊、横山真弓、東出大志、川本朋慶、横溝裕行、鈴木正嗣、武山絵美：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）自由集会「これからのイノシシの個体数管理を考える」企画運営
- 18) 東出大志：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）イノシシにおける生息密度および密度指標の調査手法について
- 19) 笠田実、横溝裕行、宮下直：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）RESTモデル、CPUE、景観構造を統合した個体群モデルの開発
- 20) 梶光一、鈴木正嗣、横山真弓、鷺谷いづみ：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）自由集会「人工縮小社会における野生動物管理のあり方」企画運営
- 21) 矢島豪太、中島啓裕：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）イノシシの生活史パラメータに影響を与える景観構造：自動撮影カメラを用いた新たなアプローチ

## 7. 研究者略歴

### 研究代表者

横山 真弓

北海道大学農学部卒業、兵庫県立人と自然の博物館主任研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所教授

### 研究分担者

1) 高木 俊

東京大学農学部卒業、兵庫県立人と自然の博物館任期付研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所講師

2) 栗山 武夫

東邦大学理学部卒業、東京大学大学院特任研究員、現在、兵庫県立大学自然・環境科学研究所講師

3) 宮下 直

東京大学農学部卒業、現在、東京大学農学生命科学研究科教授

4) 深澤 圭太

横浜国立大学大学院環境情報学府修了、自然環境研究センター研究員、現在、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

5) 横溝 裕行

九州大学大学院理学府修了、日本学術振興会特別研究員、現在、国立環境研究所環境リスク・健康研究センター 主任研究員

6) 奥田 圭

東京農工大学大学院連合農学研究科修了、東京農工大学農学府・農学部産学官連携研究員、現在、広島修道大学人間環境学部助教

7) 梶 光一

北海道大学農学部卒業、北海道環境科学研究所主任研究員、現在、東京農工大学農学部教授





## [キーワード]

アプリケーション、自動撮影カメラ、生息痕跡、生息密度、体サイズ

### 1. はじめに

全国で被害が深刻化しているシカとイノシシの生息数の動向把握は、環境省によって階層ベイズモデルを用いた個体数推定が行われている。しかし、現行モデルは、都道府県レベルの推定プロセスにおいて、多くの問題が指摘されている。主な問題点として、適正な密度指標となるデータが不足し、捕獲数に影響されたモデルである、少ない指標から推定結果を収束させる工夫として、データの二度利用をする、事前分布に多くの仮定を盛りこむ、など統計学的に問題が大きい、推定値を検証することができないモデルである、移出入や景観などの空間情報が考慮されていないため、捕獲が難しい地域（鳥獣保護区や都市公園、市街地周辺）の個体数は考慮されていないことから過小評価の可能性があり、などが挙げられる。階層ベイズ法を用いた複雑なモデルでは、大前提としてこれに耐えうるデータの質と量の確保が求められる。しかし現在実施されている階層ベイズ法は、データの質量が制限要因となっており、頑健性が低いにもかかわらず、個体数管理の現場に活用されている点が大きな問題となっており、今後実際の生息動向と乖離が生じた場合、シカ・イノシシの個体数管理に深刻な悪影響が懸念されている。そこで、本サブテーマでは、個体数推定に必要なデータの質と量について改善していくことを目的とし、以下の5項目（1）イノシシの新たな密度指標の開発、（2）密度指標の経年変化分析、（3）高密度下でのシカの繁殖特性の解明、（4）写真画像による体サイズの推定アルゴリズムの開発、（5）個体数推定データ収集アプリケーションの開発を実施した。

### 2. 研究開発目的

#### （1）イノシシの新たな密度指標の開発

一般的に生息密度推定を目的とした調査は、高い費用や多大な労力を要するため、広域的な調査は難しい現状がある。一方で生息密度の相対的評価に利用される密度指標は、収集に要する費用的、労力的な負担が少ないため、広域的な調査が可能である。また、この密度指標と捕獲数を長期的に把握することで、Harvest based estimationなどを用いた生息密度推定も可能となる。現在、シカにおいては糞塊密度などの生息痕跡や、SPUE（銃猟の出猟人日あたりの目撃数）などの捕獲関連情報が、密度指標として生息状況の把握に利用されているが、イノシシにおいては有効な密度指標が確立されておらず、広域的な生息状況の把握が難しい現状がある。そこで本研究ではイノシシの相対生息密度の把握に有効な密度指標について検討を行った。

#### （2）密度指標の経年変化分析

密度指標と捕獲圧をもとに生息数推定を行うHarvest based estimationでは、指標の経年変化が密度および捕獲数の変動と対応関係にあることが前提となる。一部の密度指標では、積雪など環境変動の影響を受けることも指摘されており、バイアスの少ない密度指標を用いることが個体数推定の精度向上において重要となる。（1）で収集される密度指標のうち、過去からのモニタリングデータが蓄積されている捕獲関連情報（SPUE, CPUE）についてその経年変化を分析することにより、密度の変化に対する指標性について検討を行った。

#### （3）高密度下でのシカの繁殖特性の解明

シカ類では、個体群の増減に影響を与える繁殖特性に密度依存的な影響が現れることが知られている。シカは個体群増加期において、1歳以上で100%近い妊娠率が知られている<sup>1)</sup>。兵庫県のシカは1980年代後半に一部地域で個体数が急増し、生息域が兵庫県全域に広がった。その後2000年代から高密度状態（20～40頭/km<sup>2</sup>）が継続し長期化したことから、シカの妊娠率に密度依存的な影響が想定された。そこで、兵庫県に2000年から蓄積されている繁殖データを活用し、個体群の増減に影響を与える妊娠率の経年変化を明らかにし、西日本におけるシカの密度依存的影響を明らかにした。

#### (4) 写真画像による体サイズの推定アルゴリズムの開発

Harvest based estimationによる生息密度推定では、捕獲に係る情報が必要である。現行の「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律」において、報告義務があるのは、捕獲数と性別のみである。そのため、捕獲地点や捕獲個体の年齢情報等の捕獲の質的な報告は、不足している場合が多い。個体群から取り除かれた個体が、幼獣であるか成獣であるかは、繁殖力の差異から個体数の変動に大きく影響を与えると考えられる。特にイノシシは、産子数が多いため、通常の有害鳥獣捕獲では、幼獣に偏りがちであり、個体数低減に寄与していないことが指摘されている<sup>2)</sup>。捕獲戦略上においても、増加率に大きな影響を与える成獣の捕獲割合を適切に把握し、個体数削減に必要な成獣割合を分析する必要がある。

しかし、正確に幼獣と成獣を判定する場合、歯列の乳歯と永久歯の萌出交換を査定する必要がある。捕獲現場において、歯列を判別する技術や体制はなく、また体サイズからの判定も現場での適切な判断基準がないため、成獣・幼獣記録は困難な現状にある。

そこで、本研究では、シカ・イノシシの捕獲現場において撮影される画像を活用して、幼獣・成獣を体サイズから判別する仕組みを構築することを目的とした。分析は、①深層学習により捕獲個体の写真画像から体重および体サイズを推定する手法の検討、②捕獲個体の体重と体サイズの実測値から成長パターンを明らかにしたうえで、幼獣と成獣を判別する閾値の推定を行った。

#### (5) 個体数推定データ収集アプリケーションの開発

個体数推定の精度を高めるためには、捕獲に係るデータの蓄積が必要である。捕獲効率や捕獲位置情報、成獣・幼獣などを適切に収集し、データベース化することにより、生息状況を反映した個体数推定モデルの構築が可能となる。現状では、捕獲者は紙ベースで行政機関に報告している。行政機関はそれぞれの独自のフォーマットで入力処理しているため、法定義務のある捕獲数と性別以外の情報（位置情報、捕獲効率など）は、多くの市町村、都道府県で蓄積されてこなかった。近年急増している有害鳥獣捕獲は、市町村単位で独自の報告様式を作成しており、デジタル情報の蓄積に大きな課題を抱えている。理想的には、多数の人が記録に介在するのではなく、捕獲現場で捕獲者が入力し、可能な限りリアルタイムでデータ蓄積、一括管理するシステムが必要である。そこで、本研究では、個体数推定に必要な捕獲効率等の詳細情報をリアルタイムで収集するシステムとして、捕獲者用モバイル・アプリケーションと管理者用ウェブ・アプリケーションを開発することを目的とした。

### 3. 研究開発方法

#### (1) イノシシの新たな密度指標の開発

イノシシの密度指標として、掘り返し跡、擦り跡および糞塊の3つの生息痕跡（図3.1.1）と銃猟SPUE、箱罟CPUE（罟設置日数あたりの捕獲個体数）およびくくり罟CPUEの3つの捕獲関連情報を対象とし、生息密度が異なると考えられる複数地域において、これらの密度指標と生息密度の調査を実施し、その関係を比較することで有効性の検討を行った。



図3.1.1 イノシシの生息痕跡

a) 掘り返し跡（点線で囲われた部分が1つの痕跡）、b) 擦り跡、c) 糞塊

#### <生息痕跡のイノシシ密度指標としての有効性の検討>

生息痕跡の検討に関する調査は兵庫県の6地域（H1-H6）と千葉県の本州域の8地域（C1-C8）を対象とし（図3.1.2）、それぞれの地域において生息痕跡のライントランセクト調査と自動撮影カメラを用いた生息密度推定調査を実施した。生息痕跡のライントランセクト調査は2017年10月から12月の間に1回実施し、各地域において尾根筋に設定した約5kmの調査ルートを踏査し、左右1mの範囲に出現したイノシシの掘り返し跡、擦り跡および糞塊の数を計測した。それぞれの痕跡の数を計測する際、掘り返し跡については、土の隆起によって境界が区別できるものを1つの痕跡として扱った。一方で掘り返しが一帯に集中して存在し、個々の判別が困難である場合には面的な痕跡として記録した。擦り跡は樹幹に泥が付着しているか、樹皮が剥がれている樹木を対象にその本数を記録した。糞塊は1個体が1度に排泄した糞の塊として定義し、鮮度や糞粒のサイズを基準に判定を行った。また自動撮影カメラを生息痕跡調査のライントランセクトと同様の地域において、2017年9月から2018年1月の期間内に約1ヵ月間、各地域における生息痕跡調査の実施期間と重複するように設置した。カメラの設置台数はそれぞれの地域におけるイノシシの生息密度を考慮し、兵庫県では1地域あたり30台、千葉県では20台（10台×約2ヵ月）とした。使用した自動撮影カメラの機種は、兵庫県ではBushnell Trophy Cam HD（HD; Bushnell, Overland Park, KS）or Bushnell Trophy Cam Aggressor No Glow（AG; Bushnell）、千葉県ではBrowning Strike Force HD Pro（ST; Browning, Morgan, UT）である。自動撮影カメラ

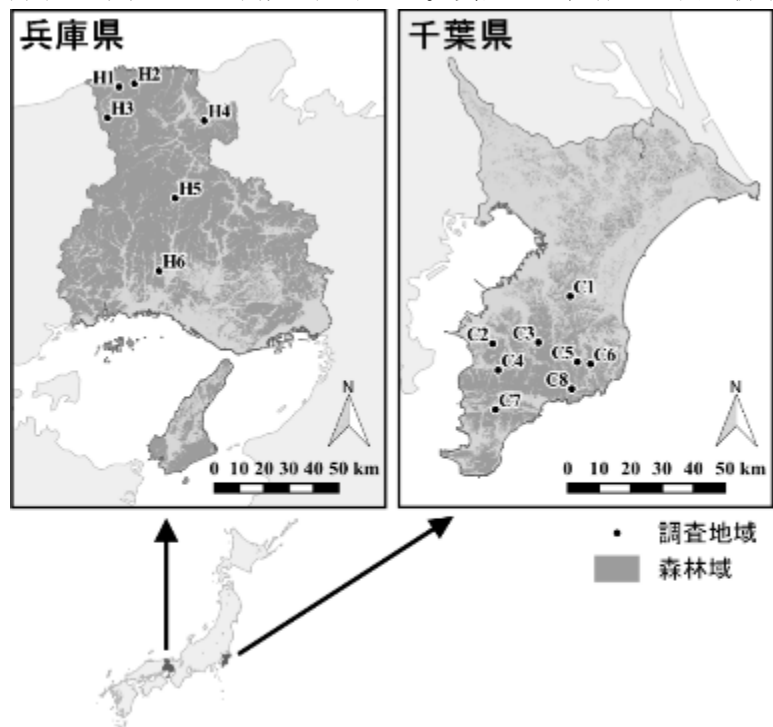


図3.1.2 生息痕跡および自動撮影カメラ調査地域



図3.1.3  
自動撮影カメラの設置状況と  
検出範囲の一例

の設置に際しては、カメラの撮影データからRESTモデル<sup>3)</sup>による生息密度推定を実施するため、あらかじめカメラの機種ごとに対象種がほぼ確実に撮影可能な正三角形の検出範囲を定義し、この範囲が確実に画像に収まるように現地で角度を調整しながら地上高約20cmの樹幹に針金で固定した(図3.1.3)。なお、自動撮影カメラは動画モードに設定(HD:30秒、AG:10秒、ST:20秒)して用いた。自動撮影カメラで得られた動画から、イノシシが撮影された記録を抽出し、検出範囲への侵入回数とその際の滞在時間を計測、これらのデータを基にRESTモデルによる生息密度推定を実施した。推定された各地域の生息密度と生息痕跡の関係について回帰モデルを用いて比較した。

#### <捕獲関連情報のイノシシ密度指標としての有効性の検討>

捕獲関連情報の検討に際しては、兵庫県内の11地域を対象として、2018年の猟期前の10月から11月15日までの期間内に約1ヵ月間、自動撮影カメラを用いた生息密度推定調査を実施し、狩猟カレンダーによって収集された2018年度の狩猟関連情報から算出した当該地域の銃猟SPUE、箱罟CPUEおよびくくり罟CPUEとの関係性を回帰モデルにより比較した。なお、捕獲努力量が少ない記録から得られる情報は不確実性が大きいため、SPUEについては銃猟の出猟日数が10人日以上、CPUEについてはいずれも罟の延べ設置日数が300日以上の努力量で捕獲が実施されている地域の記録のみを対象とした。

#### (2) 密度指標の経年変化分析

過去から狩猟者アンケート調査の蓄積のある兵庫県のデータを用いて、イノシシとシカを対象に捕獲関連情報をもとにした密度指標(銃猟SPUE、箱罟CPUE、くくり罟CPUE)について5kmメッシュ単位での時系列データを整理し、指標ごとの動態のパターンを動的時間伸縮法(DTW)により分類した。また、これらの密度指標の経年データと捕獲頭数の関係から、イノシシとシカについて市町単位での動態を仮定した個体数推定(Harvest-based estimation)を行った。

#### (3) 高密度下でのシカの繁殖特性の解明

密度依存的な妊娠率の影響を把握するため、兵庫県に蓄積されている2003年から2016年のメスジカ627頭の年齢、胎子の有無、卵巣の黄体退縮物の有無<sup>4)</sup>、年齢別妊娠率を算出した。年齢は、1、2、3歳以上を乳歯と永久歯の萌出交換によって判定した<sup>5)</sup>。有意差検定は $\chi^2$ 検定を行い、危険率は5%未満とした。

#### (4) 写真画像による体サイズの推定アルゴリズムの開発

##### <画像の収集>

兵庫県および愛媛県において体サイズ測定と画像撮影を行った。2017年～2018年に有害鳥獣捕獲、狩猟および学術研究捕獲により捕獲された個体について、体重、体長（愛媛県データは頭胴長）、体高、後足長を計測した。写真は、既知のサイズのピンク色の測定テープ（15cmもしくは30cm）を捕獲個体に配置し、真上から全身が画角に配置されるように撮影した（図3.1.4）。撮影および計測は、基本的には調査員が捕獲現場で実施したが、様々な現場の状況に対応するため、愛媛県の捕獲現場と兵庫県の食肉加工施設2か所に画像撮影を依頼した。兵庫県の1か所は体サイズの計測も同時に依頼した。



図3.1.4 画像解析用に利用したシカ、イノシシの写真の例

##### <画像内の対象物の認識と体サイズ推定>

深層学習によるシカとイノシシのオブジェクト検出は、2段階に分けて行った。まず初めに、一般的なオブジェクトを検出する学習済みモデルを利用し、イノシシとシカに類似するオブジェクトとして検出可能性を検証した。学習済みモデルとしては、一般動物（犬・猫・ウマ・ヒツジ）を含む一般オブジェクトデータセット（COCO; Common Objects in Context）をGoogle MobileNet-SSDで学習させたモデル（<https://github.com/chuanqi305/MobileNet-SSD>）を用いた。色調補正など、画像の前処理は行わなかったが、画像サイズはすべて1024 × 768ピクセル、96dpiに統一した。

一般オブジェクトの検出を目的とした既存の学習済みモデルを利用した場合、特殊な測定テープの検出は困難であると考えられたため、測定テープはテープの色特性から画像処理で抽出した。色特性で抽出した画素に対しエッジ検出を行った後、測定テープに該当する検出対象にバウンディングボックス（BBBox）（人間の顔認証に類する検知枠）を生成した。

次に、学習済みモデルを用い、今回の検出対象となる、シカ、イノシシ、及び計測テープを対象に転移学習を行った。転移学習は、大規模なデータで様々な物体を識別できるようになったネットワークをベースとし、ある特定のクラス（今回の場合、イノシシ、シカ、測定テープ）の識別を行うようにできる効率的な方法である。深層学習の可搬性を利用することで、比較的少ない数の画像で目的のクラス

を効率的に識別することができることが知られている<sup>6)</sup>。既存の学習済みのネットワークとして、Microsoft COCOデータセット<sup>7)</sup>を利用してMask Region-based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN) でトレーニングした学習済みモデル、mask\_rcnn\_coco.h5 ([https://github.com/matterport/Mask\\_RCNN/releases](https://github.com/matterport/Mask_RCNN/releases)) を用いた。Mask R-CNNの特徴は、R-CNN、Fast R-CNN、Faster R-CNNと受け継がれる効率的なオブジェクト認識の手法をベースに、ピクセルレベルでのオブジェクト認識を取り入れ、より高精度のオブジェクト認識を実現している点である ([https://d2l.ai/chapter\\_computer-vision/rcnn.html](https://d2l.ai/chapter_computer-vision/rcnn.html))。Mask R-CNNを用いることで、対象物BBBoxに加え、画像内の対象物を塗分けて識別することができるため、今後、体サイズの推定や、撮影角度による体サイズ推定の誤差補正などの技術開発につなげることも可能となると判断し採用した。

いずれの方法においても、オブジェクト検出で生成されたシカ・イノシシのBBBoxと、その長さが既知の測定テープのBBBoxの比から、シカ・イノシシのBBBoxの実測値を推定した。そのためにまず、対象動物と測定テープ両方のBBBoxが得られた画像について、画像1ピクセル当たりの実距離 (PPM) を求めた。厳密なサイズの測定では、撮影の角度や対象物の奥行によりPPMは変化するが、今回の解析では、PPM推定のもととなる測定テープと対象動物の体の向きが並行で、更に測定テープを体の上に配置したため、体長の測定においては、撮影時の角度がPPMに影響しないか、影響が少ないと仮定して解析を行った。BBBoxの実測値は、BBBoxのピクセル数にPPMを掛けて求めた。

### < 幼獣と成獣の判別モデル >

体サイズの分析は、画像撮影時に測定したデータに加えて、兵庫県に蓄積されていた2002年からの体サイズデータも活用した。年齢査定は、シカ、イノシシとも出生のピークが5月下旬であることから<sup>8)9)</sup>、6月1日を出生日と仮定し、3歳までは歯の萌出交換と捕獲月から月齢を査定した<sup>5)10)11)</sup>。3歳以上については、シカは第一切歯、イノシシは第一臼歯を用いて、歯根部のセメント質に形成される層板をカウントし<sup>12)13)</sup>、捕獲月から月齢を査定した。

最初に成長パターンの特徴を明らかにするため、雌雄別に von Bertalanffy equation の成長曲線、 $Y(t) = A\{1 - \exp[-K(t - I)]\}$  (A: 漸近値、K: 成長率 (月齢)、I: 変曲点 (月齢))<sup>14)</sup> の回帰式を用いた。成長曲線の分析には絶対年齢まで査定したイノシシ582個体、シカ758個体を用いた。

また、シカ、イノシシの成獣と幼獣を体サイズから判別するため、目的変数を幼獣 (0歳)、成獣 (1歳以上) とし、説明変数に性別と捕獲時期 (2時期)、体サイズ (体重、体長、体高、後足長のうち1部位) として、リンク関数をlogit、誤差構造に二項分布を仮定した一般化線形モデル (GLM) により解析を行った。成獣・幼獣判別モデルでは、絶対年齢までは査定されていないが、3歳以上と判定されていたデータも加え、イノシシ666個体、シカ1038個体を用いた。

### (5) 個体数推定データ収集アプリケーションの開発

捕獲データを捕獲者から集めていくためには、利用者が活用しやすいアプリケーションを構築する必要がある。そのため、アプリケーションは、スマートフォンやタブレット端末上で動作するものとした。スマートフォンで取得された情報はサーバー上に集約、データベースに保管される仕組みとし、下の機能を有するものとして、システムを構築した。また地図機能には、国土地理院地図を活用し、オフライン (ネットワーク接続がない環境) においても、利用者の位置がわかるものとして構築した。

- イ) わな等の設置記録
- ロ) 罟管理日誌の記録
- ハ) 銃猟の出猟日誌の記録
- ニ) 捕獲個体情報の記録と写真記録機能
- ホ) 罟管理日誌と捕獲個体情報をサーバーに送信する機能
- ヘ) 一度入力した内容は、入力作業効率化のため、次回入力の際リストとして表示する
- ト) お知らせプッシュ通知機能
- チ) データ管理のためのサーバーアプリケーションの開発

- リ) 写真画像から体サイズを推定する機能の搭載
- ヌ) 罾猟・銃猟の出猟データの PDF 出力機能

アプリケーションは、iOS 及び Android の両 OS で稼働するものとして、システム全体が正常動作することを確認するため、単体テスト、結合テスト、総合テスト、セキュリティテストを経て、各マーケットプレイスから無料でダウンロードできるものとし、研究期間中（2020年3月31日まで）は、各 OS のバージョンアップに対応させることとした。システム構築は、Pacific Spatial Solutions（株）に委託した。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) イノシシの新たな密度指標の開発

###### <生息痕跡のイノシシ密度指標としての有効性の検討>

自動撮影カメラのデータからRESTモデルを用いて推定されたイノシシの生息密度と、生息痕跡の密度を比較した結果、イノシシの掘り返し密度は推定生息密度と良く対応しており、回帰モデルの予測値と強い正の相関 ( $R^2=0.85$ ,  $p<0.001$ ) が認められたことから、イノシシの相対的な生息密度の把握において有効な指標となりえる結果が得られた（図4.1.1a）。掘り返し跡はイノシシの探餌行動に由来する痕跡であり、季節や環境によって形成頻度が異なる可能性も考えられるため、引き続き検討を実施している。一方で擦り跡密度と糞塊密度については推定生息密度との関係は認められない結果となった（図4.1.1b, c）。イノシシの擦り跡は泥の付着によるものが多く、このような痕跡はヌタ場の近くで形成されやすい。加えて、各地域における立木の密度や樹種（樹皮の色や堅さ）なども擦り跡の形成や発見率に影響したために、推定生息密度との対応が認められなかったと考えられる。糞塊については、1km踏査して平均1個以下と非常に少ない発見数であった。海外ではイノシシの糞塊を密度指標として用いている事例もあるが、日本では気候による分解速度の違いなどから利用が難しい可能性も考えられる。

###### <捕獲関連情報のイノシシ密度指標としての有効性の検討>

自動撮影カメラのデータからRESTモデルを用いて推定されたイノシシの生息密度と、捕獲関連情報を比較した結果、くくり罾CPUEは推定生息密度と良く対応しており、回帰モデルの予測値と強い正の相関 ( $R^2=0.90$ ,  $p<0.001$ ) が認められたことから、イノシシの相対的な生息密度の把握において有効な指標となりえる結果が得られた（図4.1.2c）。一方で銃猟SPUEと箱罾CPUEについては推定生息密度との関

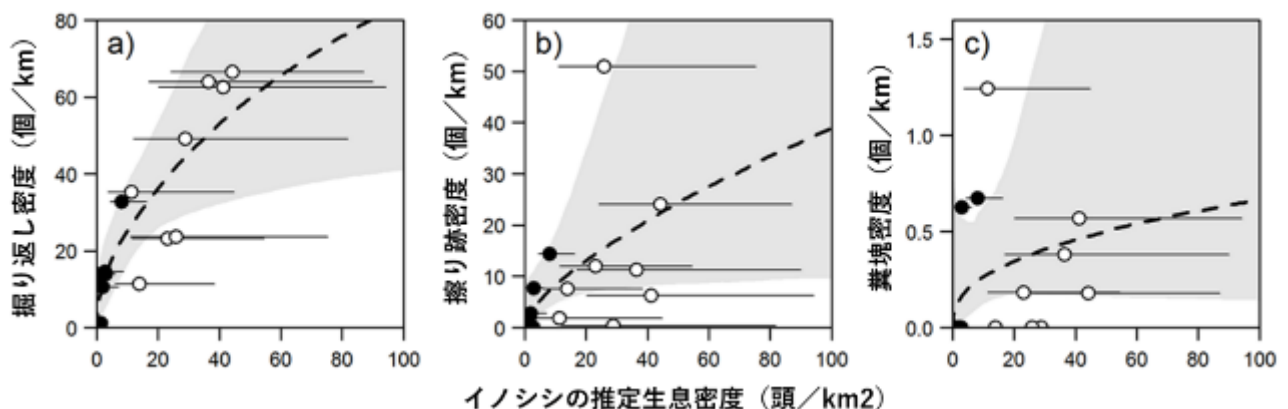


図4.1.1 イノシシのa)掘り返し密度、b)擦り跡密度、c)糞塊密度と推定生息密度の比較。破線は回帰モデルによる予測結果を灰色部は95%信頼区間を示す。図中の黒丸は兵庫県調査地域を白丸は千葉県調査地域。

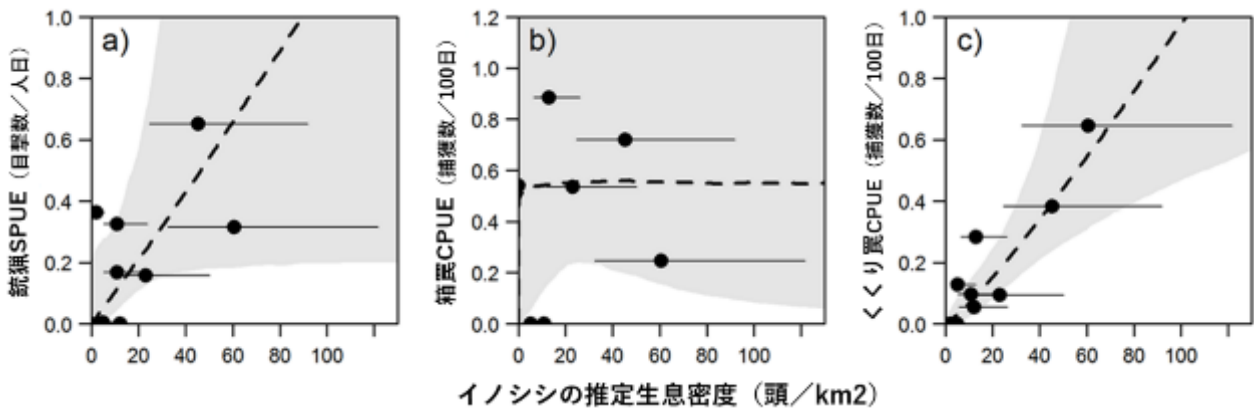


図4.1.2 イノシシのa)銃猟SPUE、b)箱罟CPUE、c)くくり罟CPUEと推定生息密度の比較。破線は回帰モデルによる予測結果を灰色部は95%信頼区間を示す。

係は認められない結果となった（図4.1.2a, b）。銃猟SPUEは、シカにおいては密度指標として有効であることが示唆されている。しかしイノシシはシカよりも体高が低く、体色も地味であり、逃避の際に警戒音も発さず、警戒心も強いため、イノシシとの遭遇は正確な目撃記録として反映されにくい可能性が考えられる。箱罟はくくり罟とは異なり、誘因餌の有無や餌付け期間における罟の非稼働状態など、努力量として利用した設置日数が必ずしも稼働日数を反映していないため、推定密度との関係が認められなかった可能性がある。また、比較的ランダムに設置されるくくり罟とは違い、箱罟は集落付近の平坦な地形に設置されることが多く、このような設置場所の違いも要因の一つと考えられる。

## （2）密度指標の経年変化分析

### ＜密度指標の経年変化パターン＞

イノシシでは、箱罟によるCPUEで年変動が大きく、県内の広域で同調して高くなる年があった。また、箱罟CPUEとSPUEには変動の同調性が見られたが、その変化率は異なっていた。この変動の不確実性の大きさにはイノシシの産子数の多さに伴う変動に加えて、環境変動や行動変化に伴う指標ごとの観測されやすさ（捕獲されやすさ）の影響が考えられた。イノシシの密度の経年変化の把握には、捕獲関連情報単独ではなく、（1）で有効性が認められた痕跡密度指標やカメラトラップ情報など捕獲と独立な指標の収集の必要性が示された。シカでは分布拡大における増加傾向や捕獲強化に伴う減少傾向がいずれの密度指標でも検出され、捕獲関連情報に基づく密度指標の有効性が確認された。シカのSPUEは積雪によって大きく年変動したが、このバイアスは積雪の影響の少ない猟期前半の情報を用いることで軽減された。

### ＜密度指標の経年データに基づく市町スケールの推定＞

市町別のイノシシとシカの個体群動態を推定するため、SPUE、CPUEを用いたHarvest-based estimationを行った。SPUEについては、積雪によるバイアスを考慮して猟期前半（11-12月）のデータを用い、シカについては糞塊密度も密度指標として用いた。イノシシでは、前述の経年変化パターン分析で示した結果と同様、捕獲関連情報に基づく密度指標のみでは十分な動態のパターンを把握することが難しく、県全体の粗い精度の推定（95%信用区間で、26,000-51,000頭）しか得られなかった。糞塊密度情報も用いることのできるシカでは県全体での推定に加え、市町ごとに捕獲強化や分布拡大に応じた個体群動態パターンが得られ、個体数管理に還元可能な結果を得ることができた（図4.1.3）。SPUE、箱罟CPUE、くくり罟CPUEはいずれも密度との関係性は見られたものの、SPUEについては集計方法を変更した2006年以前と2007年以降で密度との関係性が変化したほか、罟CPUEについては観測誤差が大きかった。SPUEやCPUEの変動が大きいイノシシの密度推定をシカと同程度に改善するには、独立の観測誤差をもつ密度指標（CPUEと痕跡情報など）を経年的に収集する体制を整えることに加え、カメラデー



タに基づく推定を組み合わせる（これについてはサブテーマ2で検討）ことが有効と考えられた。

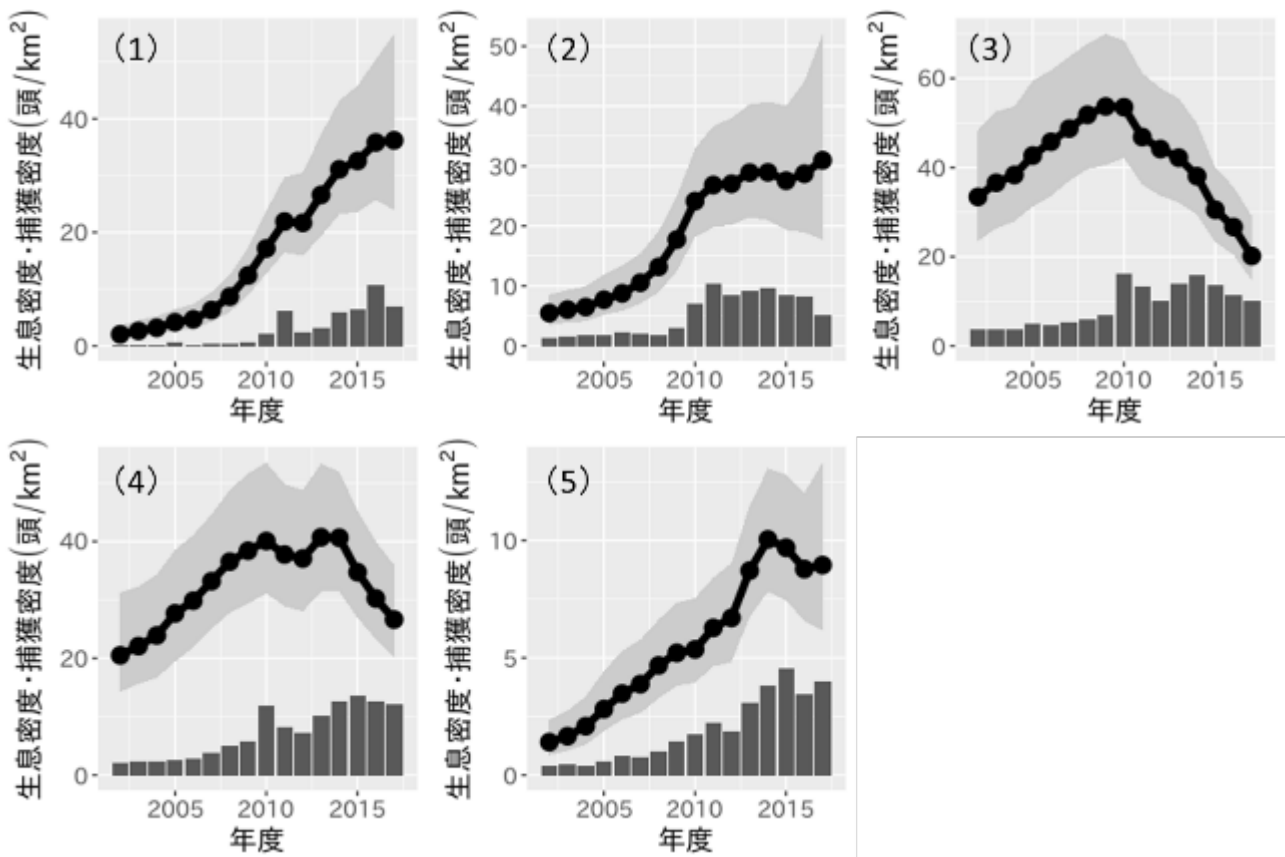


図4.1.3 市町ごとのシカの個体群動態推定結果。それぞれの点は各年度の生息密度の事後分布の中央値、灰色の範囲は95%信用区間を表す。棒グラフは各年度の捕獲密度（森林面積1 km<sup>2</sup>あたり捕獲頭数）を示す。（1）期間を通じて増加傾向、（2）2005～2010年にかけて増加し以後横ばい、（3）2005～2010年にかけて増加し以後減少傾向、（4）2005～2010年にかけて増加し以後横ばいの期間を経て2017年には減少傾向、（5）2005～2015年にかけて増加し以後横ばいまたは減少。

### （3）高密度下でのシカの繁殖特性の解明

2歳以上の成獣の妊娠率は、2004年を除いて80%以上を示した（表4.1.1）。一方、1歳の妊娠率は15.6%であり、本地域における過去の報告の69.0-78.9%と比較すると著しく低かった<sup>8)15)</sup>（表4.1.2）。1歳と2歳（ $\chi^2=68.89$ ,  $P<0.05$ ）および1歳と3歳以上（ $\chi^2=209.60$ ,  $P<0.05$ ）の間において有意な差があったが、2歳と3歳以上の間には差がなかった（ $\chi^2=1.80$ ,  $P>0.05$ ）。調査期間中のシカ生息密度は20～40頭/km<sup>2</sup>であり<sup>16)</sup>、シカの採食による深刻な森林下層植生の衰退が続くほどの高密度状態であった<sup>17)</sup>。成長過程にある1歳の妊娠率は密度依存的な影響、特に高密度状態の長期化の影響を受けたと考えられた。一方、1988年度から2015年度までの27年間、成獣の妊娠率は基本的に高い状態で維持されていたことになる。つまり、兵庫県において、推定生息密度20頭～40頭/km<sup>2</sup>の状況では、成獣の妊娠率には密度依存的影響がみられないことが示唆された。

表4.1.1 兵庫県におけるシカの妊娠年齢ごとの妊娠率

妊娠時年齢	N	妊娠あり	妊娠なし	妊娠率 (%)
0歳	90	0	90	0.0
1歳	64	10	54	15.6
2歳	67	59	8	88.1
3歳以上	350	327	23	93.4

表4.1.2 兵庫県における1歳のシカの妊娠率の経年変化

調査年度および引用元	N	妊娠率 (%)
1988～1992 (Koizumi et al. 2009)	128	76.6
1989～1991 (尾崎ら2001)	88	75.0
1992～1993 (尾崎ら2001)	123	78.9
1996～1998 (尾崎ら2001)	29	69.0
2003～2006 (本研究)	12	33.3
2007～2010 (本研究)	20	10.0
2011～2015 (本研究)	32	12.5

#### (4) 写真画像による体サイズの推定アルゴリズムの開発

##### <画像による対象物の判別と体サイズの推定>

収集された画像は、指示通りに撮影されていたもののほか、複数頭が撮影されている、斜めからの撮影、光が反射し不明瞭となった画像など様々な画像が撮影されていた。イノシシとシカの識別精度は、捕獲現場での多様な条件が発生すると想定されたため、用意されたすべての画像に対して識別を行った。イノシシは、346画像中、265画像 (76.6%) でイノシシと検出された (表4.1.3)。63画像 (18.2%) では、イノシシもシカも検出されず、18画像 (5.2%) では、イノシシがシカとして検出された。

表4.1.3 イノシシとシカの検出件数

画像	検出クラス			合計画像数
	イノシシ	シカ	非検出	
イノシシ	265	18	63	346
シカ	10	174	9	193

イノシシもシカも検出されなかった画像を目視で検査したところ、44画像 (69.8%) が、イノシシがプラスチックのコンテナに置かれた状態で撮影されていた (表4.1.4)。複数のイノシシが撮影されていた12画像 (19.0%)、複数の人間が写っていた1画像でもイノシシが識別されなかった。条件が比較的良いにもかかわらずイノシシが検出できなかったのは合計6画像 (1.7%) であった。イノシシが撮影されているにもかかわらず、シカとして検出された17ケースでは、複数のイノシシが撮影されて行場合が8画像 (47.1%) で、条件が比較的良いにもかかわらずシカとして検出された場合が5画像 (29.4%) であった (表4.1.5)。以上の結果から、イノシシの検出に関しては、青いコンテナに入れた状態での撮影を避けるか、学習過程にコンテナ入りの画像を追加する、複数個体の撮影を避ける、等の処置を行えば、検出精度の向上が実現できる可能性があると考えられる。

シカは、193画像中174画像 (90.2%) でシカとして検出されていた (表4.1.3)。シカが撮影されているにもかかわらず、シカが検出されない、イノシシとして識別された、などの例を目視で確認したところ、8画像では、ブルーシートの上に個体を配置して撮影しており、撮影時にブルーシートを利用しないか、ブルーシートをトレーニングに追加することで、検出精度はさらに上がると考えられた (表

4.1.5)。

画像色特性を利用した測定テープの抽出 (図4.1.4) とMask R-CNNにより認識された測定テープのBBBox (図4.1.5) の抽出はどちらも成功した。Mask R-CNNでは、測定テープと同時にシカ・イノシシのBBBoxの生成にも成功した。

次に、測定テープのPPMから算出したシカとイノシシを検出したBBBoxの辺長 (XY) と体サイズの実測値との関係を示す。イノシシでは、有意な相関関係が認められた (図4.1.6)。それぞれBBBoxの辺 (X) と体長 ( $R^2 = 0.81$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの長 (Y) と体高 ( $R^2 = 0.83$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの辺 (X) と体重 ( $R^2 = 0.81$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの面積と体重 ( $R^2 = 0.93$ ,  $P < 0.01$ ) であった。最も相関が高かったのは、BBBoxの面積と体重実測値であり、イノシシの場合、画像からの体重推定精度が高いと考えられた。シカでは、測定テープのPPMから算出したBBBoxの辺長 (XY) と体サイズの実測値の関係は、それぞれBBBoxの辺 (X) と体長 ( $R^2 = 0.51$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの長 (Y) と体高 ( $R^2 = 0.59$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの辺 (X) と体重 ( $R^2 = 0.57$ ,  $P < 0.01$ )、BBBoxの面積と体重 ( $R^2 = 0.73$ ,  $P < 0.01$ ) となり、イノシシより低い相関関係であったが、いずれも有意であった (図4.1.7)。シカは四肢と首が長い為、捕獲時の状況や撮影方法によって大きく変動することが多くなるため、推定精度が低い、画像からの推定精度を上げるための撮影のルールを設けることで、推定精度を上げることが可能となると考えられた。

表4.1.4 イノシシとシカが検出されなかったケース

推定要因	イノシシ	シカ	合計	割合
個体を納めたコンテナが影響	44	0	44	44.9
複数のイノシシ	12	0	38	38.8
背景のブルーシートが影響	0	8	8	8.2
背景の枯葉との識別が困難	4	0	4	4.1
撮影角度の問題	2	0	2	2.0
施設内で人など複数オブジェクト	1	0	1	1.0
日向と日影のコントラストが強い	0	1	1	1.0
合計	63	9	98	100.0

表4.1.5 イノシシがシカ、シカがイノシシとして検出されたケース

推定要因	イノシシ	シカ	合計	割合
複数の個体を撮影	8	0	8	29.6
検出されてもよさそうな画像	5	3	8	29.6
背景の種類	0	5	5	18.5
撮影角度の問題	2	2	4	14.8
撮影個体全体が写っていない	1	0	1	3.7
日向と日影のコントラストが強い	1	0	1	3.7
合計	17	10	27	100.0

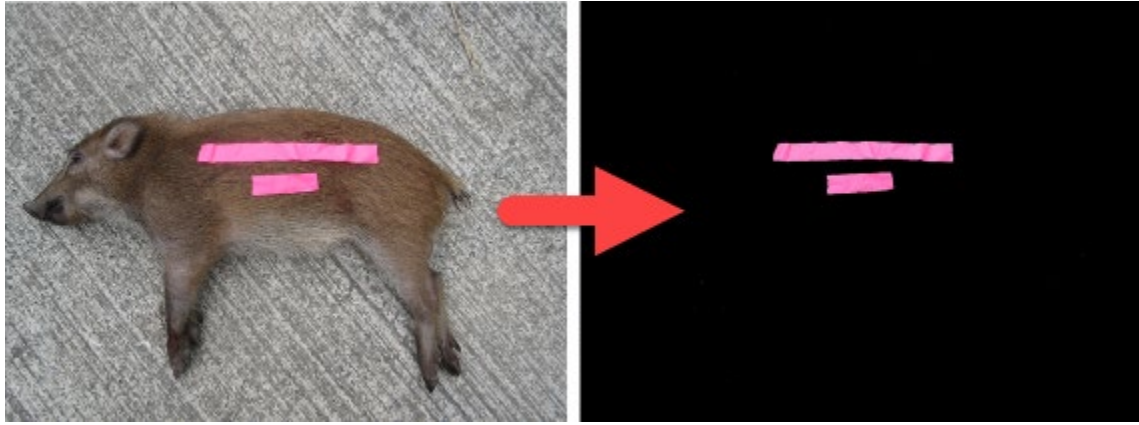


図4.1.4 画像色特性を利用した測定テープの抽出の例



図4.1.5 Mask R-CNNにより識別された測定テープのBBox（赤線枠）の抽出と動物のBBoxの生成例

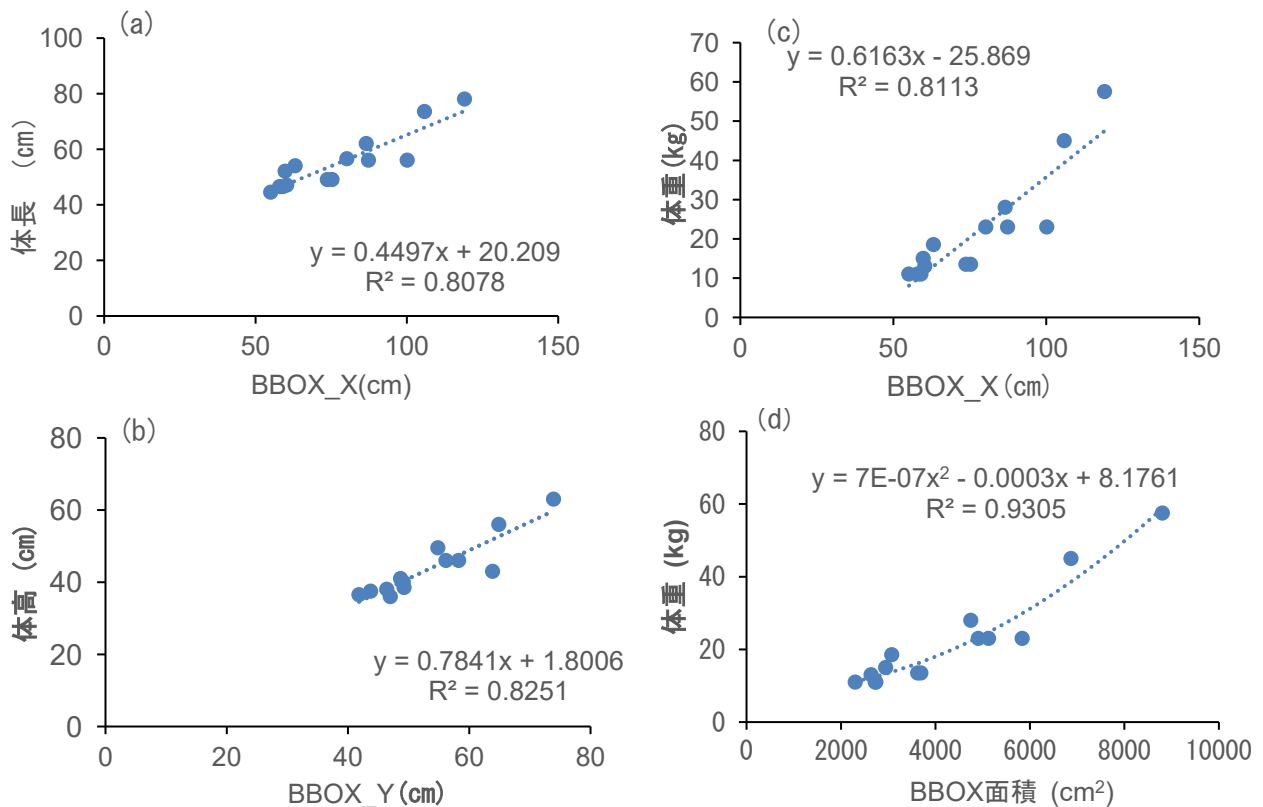


図4.1.6 測定テープのPPMから算出したイノシシのBBoxの辺長 (XY) と体サイズの実測値の関係。(a) BBoxの辺 (X) と体長、(b) BBoxの辺 (Y) と体高、(c) BBoxの辺 (X) と体重、(d) BBoxの面積と体重

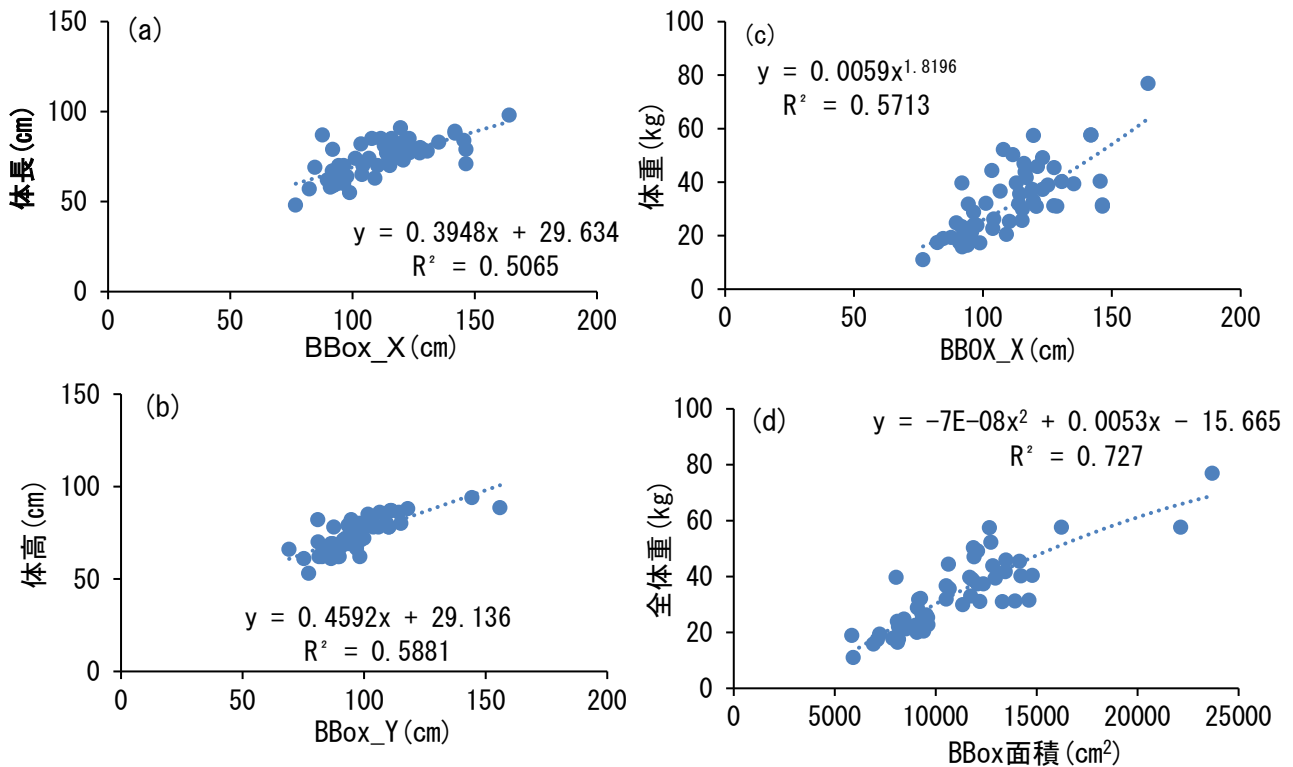


図4.1.7 測定テープのPPMから算出したシカのBBoxの辺長 (XY) と体サイズの実測値の関係。(a) BBoxの辺 (X) と体長、(b) BBoxの辺 (Y) と体高、(c) BBoxの辺 (X) と体重、(d) BBoxの面積と体重

### <幼獣と成獣の判別モデル>

#### イノシシの成長パターン

幼獣と成獣を判別する際の基本情報として、それぞれの体サイズを表す部位について成長パターンを分析した。雌雄別に体重、体長、体高、後足長について、有意な成長曲線が得られた(表4.1.6)(図4.1.8)。繁殖活動に参加する1歳(12か月齢)以上において雌雄とも、体重が20kg以下であったのは435頭中3個体(0.0006%)とごくわずかであったことから、20kg以下を0歳獣と判定することが可能と考えられた。同様に体長と体高では40cm、後足長では20cmが判別点と考えられた。しかし、イノシシは初期成長が早く、6か月以上になると体重20kg、体長・体高40cm、後足長20cmに達するものが約50%認められた。そのため6か月齢となる11月以降は20kg以上を成獣と判定することは難しかった。

表4.1.6 イノシシの成長曲線の推定されたパラメータ (A=漸近値、K=成長率、I=変曲点)、および決定係数と有意水準

	N	Sex	A	K	I	R <sup>2</sup>	P
体重	259	♂	86.84	0.03	31.84	0.72	<0.01
	275	♀	60.35	0.04	23.59	0.73	<0.01
体長	273	♂	83.82	0.09	7.35	0.77	<0.01
	307	♀	78.49	0.09	6.92	0.78	<0.01
体高	275	♂	59.91	0.10	6.54	0.70	<0.01
	305	♀	56.77	0.10	6.60	0.71	<0.01
後足長	274	♂	25.69	0.15	3.96	0.77	<0.01
	303	♀	24.76	0.14	4.30	0.77	<0.01

以上から、4月から10月に実施される有害鳥獣捕獲の期間では、20kg以下をすべて6か月以下の幼獣と判断することが可能と判断された。しかし、11月以降の狩猟期間においては、0歳獣でも20kgを超える個体が増えるため、狩猟期間中の捕獲個体の判別基準をさらに検討する必要があると考えられた。

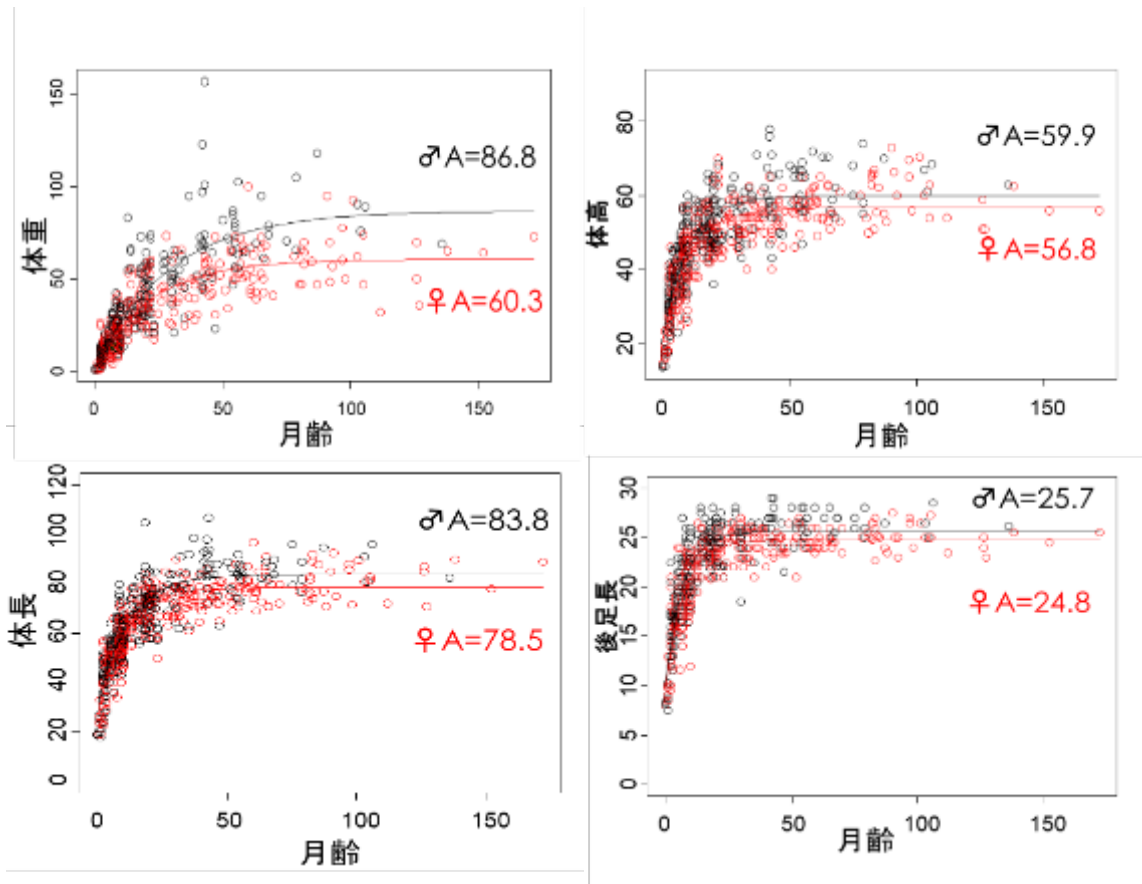


図4.1.8 イノシシの体重、体長、体高、後足長の雌雄別成長曲線と漸近値（成長停止線）

#### シカの成長パターン

幼獣と成獣を判別する際の基本情報として、それぞれの計測部位について成長パターンを分析した。雌雄別に体重、体長、体高、後足長について、有意な成長曲線が得られた（表4.1.7）（図4.1.9）。シカはイノシシに比べると成長曲線への当てはまりは低かった。シカの体重は、季節変化に対応して、内因的要因によって主に蓄積脂肪量の変動することが知られている<sup>18)19)</sup>。成獣であっても冬期に体重を減らし、夏または秋に増加させる季節変動があり、成長曲線への当てはまりが低かったと考えられた。また、近年1歳の妊娠率が著しく低下していることが本研究（3）<sup>20)</sup>で示されており、高密度期の1歳の体サイズは縮小していた可能性が考えられた。さらに、シカの場合、首、四肢が長いいため、捕獲後の計測誤差が大きくなっている可能性があり、変動幅に影響したと考えられた。以上から、シカでは、成長曲線のみから0歳獣と成獣（1歳以上）の閾値を判別するのは困難であった。

表4.1.7 シカの成長曲線において、推定されたパラメータ（A=漸近値、K=成長率、I=変曲点）、および決定係数と有意水準

	N	Sex	A	K	I	R <sup>2</sup>	P
体重	294	♂	61.04	0.032	28.21	0.66	<0.01
	458	♀	43.11	0.045	18.23	0.65	<0.01
体長	299	♂	88.30	0.048	3.39	0.58	<0.01
	459	♀	81.62	0.052	1.72	0.61	<0.01
体高	247	♂	80.76	0.081	1.82	0.60	<0.05
	425	♀	76.30	0.059	-2.19	0.55	<0.05
後足長	288	♂	40.86	0.11	-0.99	0.45	<0.01
	455	♀	38.82	0.08	-5.59	0.43	<0.01

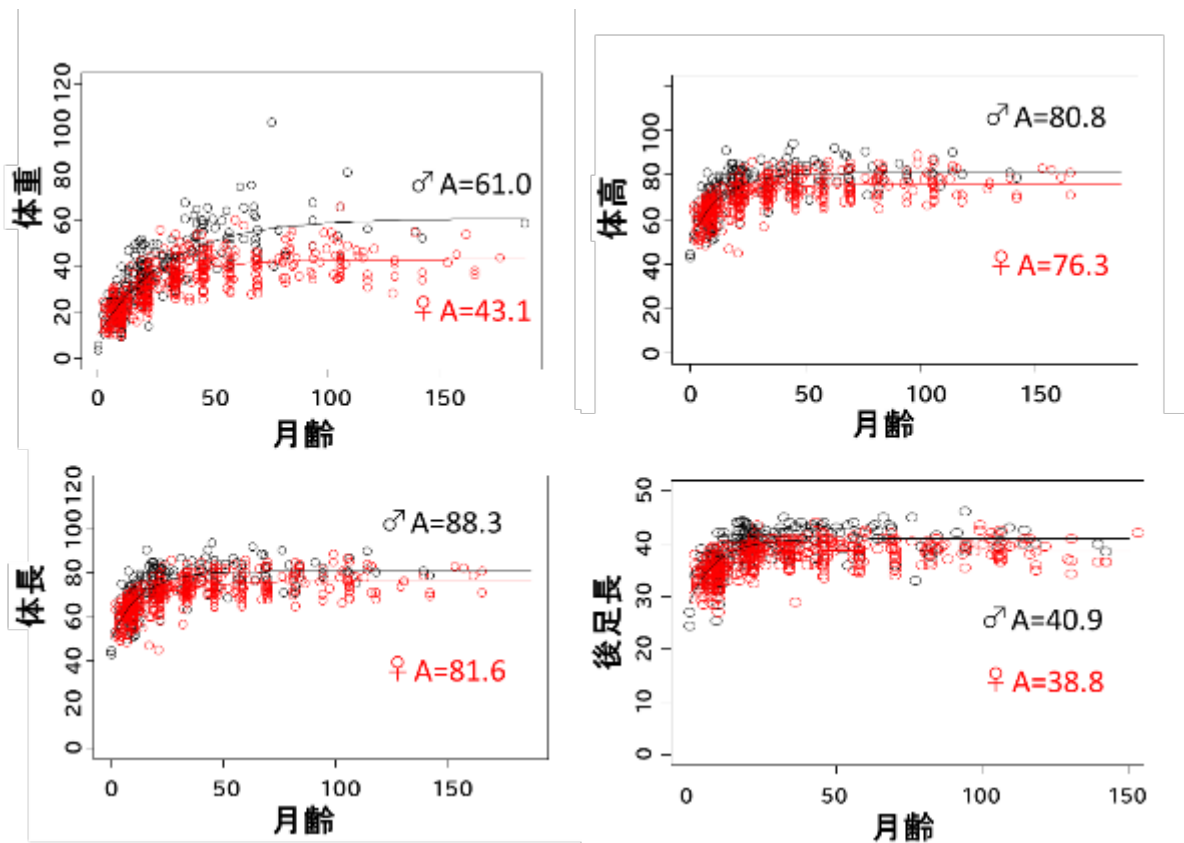


図4.1.9 シカの体重、体長、体高、後足長の雌雄別成長曲線と漸近値（成長停止線）

#### 成獣と幼獣の判別モデル

上記の成長パターンの分析の結果を受けて、シカ、イノシシとも出生後約5カ月齢となる10月までと11月以降に分けて判別モデルを構築することが望ましいと判断した。一般化線形モデルにおける時期は、6月-10月と11月-翌5月の2時期とした。その結果、体重、体長、体高のいずれのモデルでも有意な結果が得られた。ベストモデルとなったのはシカ、イノシシとも体重を用いたモデルであった（表4.1.8）（図4.1.10）。体重のモデルから算出された成獣と幼獣の判別点となる閾値を表4.1.9に示した。捕獲の体制が変化する時期に合わせて判定する閾値を変えることで、より精度の高い成獣幼獣の判別が可能になると考えられた。これらのモデルと画像から推定される体重の判別手法を組み合わせるこ

とで、画像による成獣幼獣の判定が可能になると考えられた。シカについては予測精度が70%程度となるため、引き続き、体サイズデータと画像の収集を行いながら、体重や体サイズに影響する要因を明らかにし、精度を高めていく必要がある。食肉処理加工所などが全国に配置されてきているため、これらの拠点をネットワーク化し、画像データと体重データを収集する仕組みを構築できれば、より精度が向上すると考えられた。

表4.1.8 イノシシとシカの成獣・幼獣判別モデルの推定値とAIC。a) イノシシ666頭、b)シカ1038頭のデータを用いた結果

a) イノシシ

体長		体高		体重		性別		期間		AIC
推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	
0.35	0.03					-0.65	0.33	-2.20	0.41	264.12
		0.31	0.02			-0.57	0.25	-0.93	0.28	438.27
				0.28	0.02	-0.54	0.33	-2.10	0.41	254.00

b)シカ

体長		体高		体重		性別		期間		AIC
推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	
0.27	0.02					-0.85	0.22	-1.07	0.30	573.08
		0.30	0.02			-1.36	0.23	-0.70	0.32	593.44
				0.34	0.02	-1.03	0.26	-1.03	0.33	431.16

表4.1.9. イノシシとシカの成獣・幼獣判別モデルから推定された0歳と1歳以上の体重の閾値

体重 (kg)	6-10月		11月-5月	
	オス	メス	オス	メス
イノシシ				
	オス	25.1	32.7	
	メス	23.2	30.7	
シカ				
	オス	25.1	28.1	
	メス	22.1	25.1	



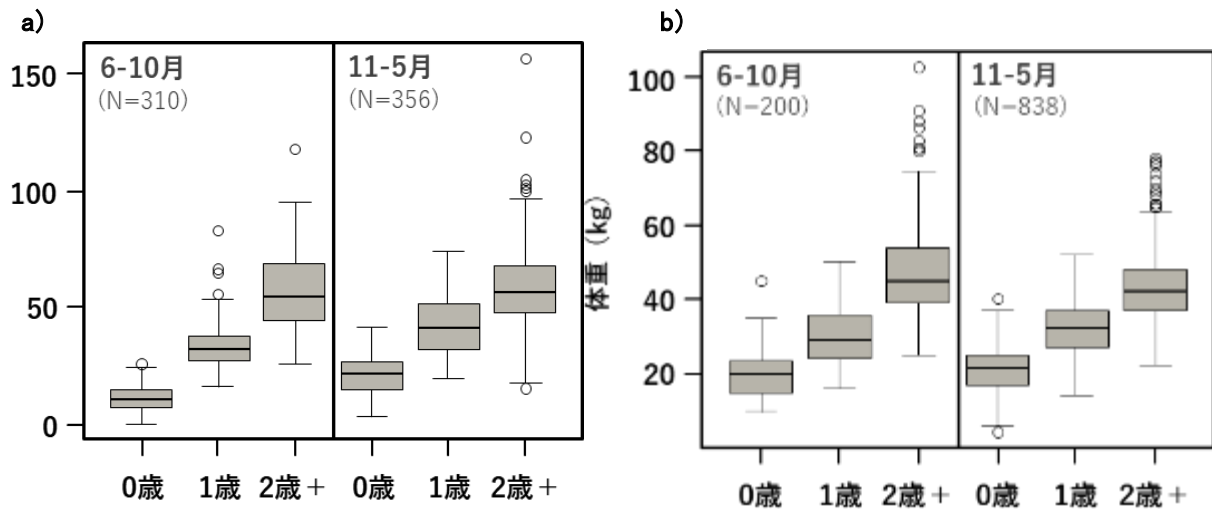


図4.1.10 イノシシ(a)とシカ(b)の2時期ごとの年齢カテゴリー別体重の平均値、標準偏差

#### (5) 個体数推定データ収集アプリケーションの開発

アプリケーションの開発は、各年度に段階別に分けて3年間で実施した。1年目に全体のシステム構築と罾猟日誌に係るものを開発した。2年目には、銃猟日誌を開発し、3年目には、試験運用と出猟カレンダーへのPDF出力、体サイズのAIによる推定に係るシステム構築などを行った。公開用アプリケーション名は、「狩ingマップ」とした。全体のシステム概要を図4.1.11に示す。また主な機能を図4.1.12から図4.1.14に示した。

アプリケーションの公開に当たっては、ユーザー向けマニュアルを作成するとともに、サポートページ (<https://support.pacificspatial.com/494-pss-knowledge-base-site/1338-ing>) を開設した

また、本サブテーマ(4)で実施した体サイズの画像分析と成獣・幼獣の判別モデルをサーバー側で自動判定する仕組みを組み込んだ。イノシシは画像が鮮明であれば、約90%の確率で、幼獣・成獣判別が可能となったが、シカは現状では70%程度であるため、撮影のルール of 明確化と画像と実測値のデータを収集し、判別精度を上げていく必要がある。モニターによる試験を実施したが、罾の設置や移設など複雑な記録を要求される点などに煩雑さを感じているなどの意見があり、よりスリム化した入力方法を検討する必要がある。しかし、50代以下の狩猟者の多くがすでにスマートフォン等の地図アプリを活用していると想定されているため、個体数推定に必要な情報を捕獲者から直接得る仕組みとして、本システムによって、データ収集のデジタル化、リアルタイム化を進めていくことが期待された。

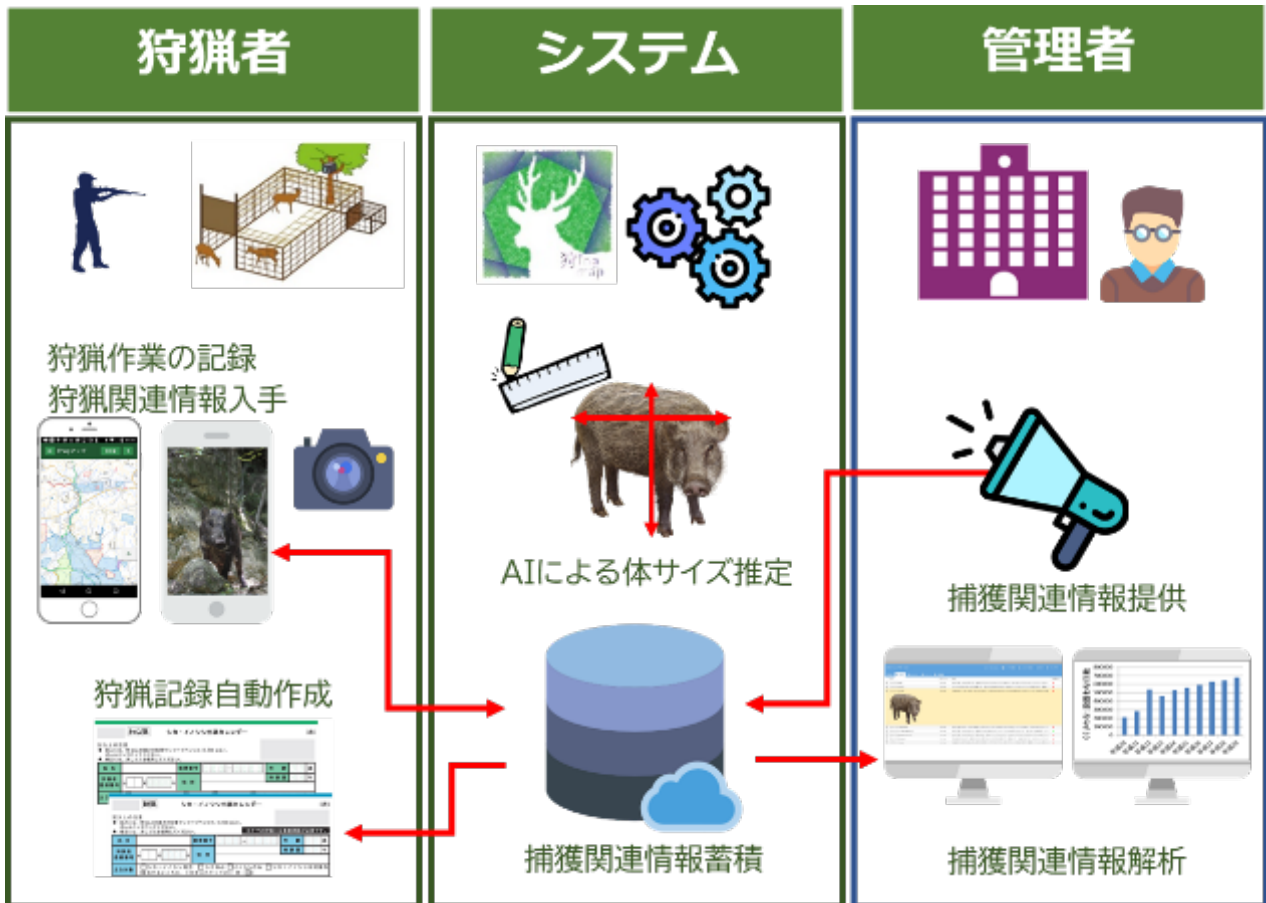


図 4.1.11 捕獲記録アプリケーション「狩 ing マップ」に関連するシステムの構成概要。

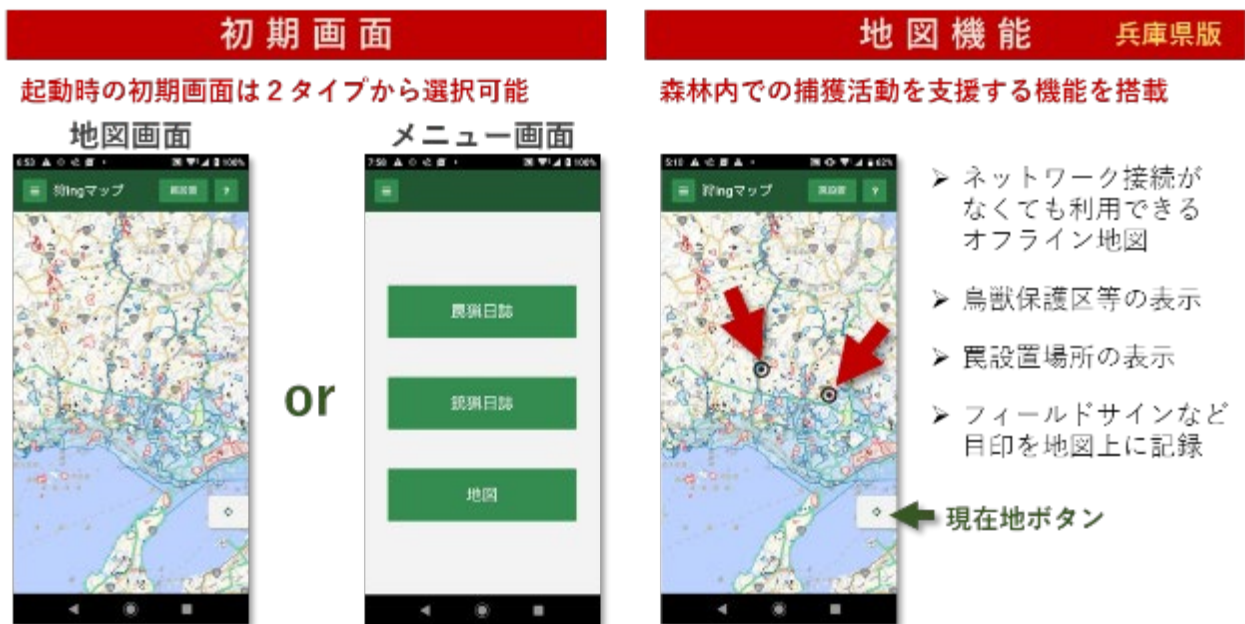


図 4.1.12 捕獲記録アプリケーション「狩 ing マップ」の主な機能の概要（初期画面と地図機能）



図 4.1.13 捕獲記録アプリケーション「狩 ing マップ」の主な機能の概要（罾猟と銃猟の記録概要）



図 4.1.14 捕獲記録アプリケーション「狩 ing マップ」の主な機能の概要（捕獲記録とデータ出力の概要）

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

局所密度を得るためのRESTモデルを初めて国内で実施し、日本の環境においてシカとイノシシにおいても有効な手法であることを確認した。また、RESTモデルの結果との関係性からイノシシの相対密度指標としての「掘り返し跡」と「くくり罠CPUE」が有効であることを示すことに成功した。国内ではイノシシの密度指標が得られていなかったため、今後のイノシシの生息動向を探るうえで重要な知見となった。

従来から検討されていたシカとイノシシの捕獲関連の密度指標は、精度が荒いが、広域的に個体数を推定するために必要となるため、指標にあたる影響や経年変化、バイアス等を指標の特徴を明らかにしておく必要がある。長期間データ蓄積のある兵庫県のデータを用いた結果から、積雪の影響など指標に及ぼす影響が明らかとなり、推定モデルに導入する際、考慮すべき指標の特性を明らかにすることができた。同じく長期的データがある兵庫県のシカの妊娠率が1歳において密度依存的な影響を受けることを国内のシカで初めて明らかにした。またシカとイノシシの捕獲個体から成獣と幼獣を判別する閾値を明らかにし、捕獲現場で撮影される画像の深層学習と連動させることに成功した。これにより画像のみから成獣と幼獣を70 - 90%程度予測することが可能となったことから、今後捕獲の質的な分析に貢献することが期待される。

さらに、スマートフォンアプリを開発したことで、多数の行政間でデータ整理が必要となっていた現状を改善する方法をしめし、リアルタイムな解析に貢献することが期待される。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

兵庫県のシカ・イノシシの特定鳥獣管理計画の年度別事業計画（平成30年度、31年度、令和2年度）において、本研究成果である密度指標分析に基づく推定個体数が採用された。RESTモデルのイノシシへの適応の成果は、福島県、岐阜県、兵庫県において、令和元年、令和2年度の県事業として採用され、調査が実施、または計画されている。また、RESTモデルおよびイノシシの密度指標については、特定鳥獣保護管理計画ガイドライン（イノシシ）を検討する委員会において、手法と有用性を報告した。

日本学術会議「人口縮小社会における野生動物管理のあり方の検討に関する委員会」（第4回、平成30年11月15日）において、本研究成果であるシカの市町別の個体群動態推定結果を提示し、答申作成に貢献した（回答p9の「都道府県における地域スケールの個体数推定とその課題」に本成果の内容が採用されている）。

さらに、環境省「令和元年度捕獲情報収集システムの次期更新に向けた調査検討業務に係る検討委員会」において、本サブテーマで開発したアプリケーションが今後求められる捕獲情報収集システムの事例として検討された（委員会自体の開催は中止されたが、ヒアリングを受け、報告書に盛り込まれた）。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

これまでにイノシシの相対的な生息密度を把握するための密度指標について検討を行った事例は少なく、特に日本においてはその手法が確立されていなかった。本研究で有用性が高いと考えられた掘り返し跡は比較的容易に取得可能な指標であり、イノシシの相対密度指標としての活用が期待される。

また、本研究において用いた自動撮影カメラの撮影データから生息密度を推定するRESTモデル（Nakashima et al. 2018）は、シカやイノシシなど有蹄類の局所的な生息密度を推定する手法として有用性が高く、サブテーマ2でも活用されているように、広域的に収集可能な相対密度指標と組み合わせることで、県全域の生息密度分布を推定することも可能となる。しかし本手法は近年開発された手法であり、現地調査やデータ整理に際して留意すべき点も多く、一般には普及していないため、本研究の成果の一部としてその調査手法をわかりやすく取りまとめ、報告集の中に調査マニュアル（図5.1.1）として掲載した。現在シカ、イノシシの局所的な生息密度推定においてRESTモデルの利用が検討される

機会が増えており、本研究において開発された密度指標とともに、RESTモデルの調査手法について解説した本マニュアルは行政に活用されることが期待される。

さらに、イノシシと家畜豚との獣畜共通感染症CSF（豚熱）の広がりから、対策強化地域の選定において、イノシシの生息密度情報の収集方法及び効率的な捕獲方法の検討の必要性が高まり、生息密度推定の基礎となるデータ収集方法や捕獲個体の成獣幼獣判別方法についての問い合わせが急増している。RESTモデルや体サイズ分析に関する情報提供を実施するとともに環境省の「特定鳥獣保護管理計画策定のためのガイドライン（イノシシ）」に本サブテーマの成果を掲載する予定である（令和2年度末発行予定）。イノシシの画像による体サイズ推定、および捕獲データ収集アプリケーションは、次世代型のデータ収集方法として、行政システムに組み込むことが期待されるため、今後コスト面や運用面、実装に向けた社会的な検討に移ることが期待される。



図5.1.1 本推進費の一般向け報告集の表紙、およびRESTモデルに関する解説の掲載箇所

6. 国際共同研究等の状況  
特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 松金(辻)知香、横山真弓：哺乳類科学、58, 1, 13-21 (2018) 兵庫県における高密度下でのシカの繁殖特性
- 2) 栗山武夫、山端直人、高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10, 1-8 (2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向調査の概要
- 3) 栗山武夫、山端直人、高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10, 9-31 (2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向(2006-2016年度)
- 4) 高木俊、栗山武夫、山端直人：兵庫ワイルドライフモノグラフ、10, 32-45 (2018) 景観構造を考慮したシカ・イノシシの農業被害と密度指標の関係分析
- 5) 長田穰、栗山武夫、浅田正彦、横溝裕行、宮下直：保全生態学研究、23, 1, 29-38 (2018) 状態空間モデルへのベイジアンモデル平均の適用：イノシシ個体群の増減要因を探る
- 6) Y. Osada, T. Kuriyama, M. Asada, H. Yokomizo and T. Miyashita: Ecology and Evolution, 9, 318-327 (2019) Estimating range expansion of wildlife in heterogeneous landscapes: a spatially explicit state-space matrix model coupled with an improved numerical integration technique
- 7) 高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、11, 30-57 (2019) 兵庫県におけるシカ個体群動態の推定と地域別の動向
- 8) Y. Nakashima: Population Ecology, 62, 151-157 (2020) Potentiality and limitations of N-mixture and Royle-Nichols models to estimate animal abundance based on noninstantaneous point surveys

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 横山真弓：森林技術、907, 8-11 (2017) 地方自治体における野生動物管理体制とリーダー育成について。特集「持続可能なシカ管理その体制と人材育成」
- 2) 横山真弓、梶光一：グリーンパワー、2018, 1, 8-9 (2018) 東アジアのモデルとなる野生動物管理を。特集「現代の「シシ垣」を築け！～野生動物対策の次なるステップへ～」

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 栗山武夫、東出大志、横山真弓、高木俊：日本哺乳類学会2017年度大会(2017) イノシシの密度指標としての痕跡の可能性
- 2) 高木俊、栗山武夫、横山真弓：日本哺乳類学会2017年度大会(2017) 時系列クラスタリングに基づくシカの密度指標の動向分析
- 3) 横山真弓、梶光一：日本哺乳類学会2018年度大会(2018) 自由集会「シカとイノシシを同時に科学できるか？」企画運営
- 4) 高木俊：日本哺乳類学会2018年度大会(2018) 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
- 5) 中島啓裕：日本哺乳類学会2018年度大会(2018) 自動撮影カメラを用いたシカとイノシシの同時広域密度推定
- 6) 東出大志：日本哺乳類学会2018年度大会(2018) シカ・イノシシの密度指標としての痕跡データの有用性ー自動撮影カメラを用いた比較検討ー
- 7) 横山真弓、宮下直：日本生態学会第66回大会(2019) シンポジウム「データの質と量に応じたシカとイノシシ個体数推定モデルの開発と適用」企画運営
- 8) 高木俊・栗山武夫・東出大志・横山真弓：日本生態学会第66回大会(2019) 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？

- 9) 中島啓裕：日本生態学会第66回大会（2019）自動撮影カメラを用いたシカ・イノシシの個体数・密度推定
- 10) 栗山武夫、高木俊、横山真弓、東出大志、川本朋慶、横溝裕行、鈴木正嗣、武山絵美：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）自由集会「これからのイノシシの個体数管理を考える」企画運営
- 11) 東出大志：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）イノシシにおける生息密度および密度指標の調査手法について
- 12) 矢島豪太、中島啓裕：日本哺乳類学会2019年度大会（2019）イノシシの生活史パラメータに影響を与える景観構造：自動撮影カメラを用いた新たなアプローチ

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 高木俊：兵庫県立大学自然・環境科学研究所（兵庫県森林動物研究センター）一般公開（2017）「個体数と分布はどう変化したか？」
- 2) 高木俊：一般公開シンポジウム「兵庫のシカ管理の成果とこれからの挑戦—科学的データに基づいた適正管理—」神戸芸術センター・プロコフィエフホール（2018）「個体数・分布の変化と保護管理の歴史」
- 3) 横山真弓：一般公開シンポジウム「兵庫のシカ管理の成果とこれからの挑戦—科学的データに基づいた適正管理—」神戸芸術センター・プロコフィエフホール（2018）「地域を支えるシカ管理の体制づくり一次のステップに向けて」
- 4) 高木俊：野生動物管理全国協議会2018年公開シンポジウム『人口減少社会に向けた野生動物管理を考える』 東京大学農学部（2018）地域スケールの個体数推定から対策を考える
- 5) 横山真弓：日本学術会議・兵庫県森林動物研究センターシンポジウム「持続可能な野生動物管理システムの構築と人材育成」兵庫県公館（2019）「兵庫県における野生動物管理システム」
- 6) 横山真弓：日本学術会議公開シンポジウム「持続可能な野生動物管理システムの構築をめざして〜」日本学術会議（2019）「兵庫県における野生動物管理システム」
- 7) 東出大志：一般公開シンポジウム「モニタリング調査によってわかってきた野生動物の生態」兵庫県立美術館（2020）「カメラを使ってシカとイノシシの個体数を調べる」
- 8) 横山真弓：一般公開シンポジウム「モニタリング調査によってわかってきた野生動物の生態」兵庫県立美術館（2020）「体の内部から野生動物の今を知る」

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 神戸新聞（2019年11月13日掲載）「鳥獣捕獲、アプリでデータ集約簡単に 県立大開発」  
<https://www.kobe-np.co.jp/news/sougou/201911/0012872853.shtml> (2020/3/26 閲覧)

### (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) M. Suzuki and N. Ohtaishi: Journal of Veterinary Medical, 55, 5, 833-836 (1993)  
Reproduction of female sika deer (*Cervus nippon yezoensis* Heude, 1884) in Japan Ashoro district, Hokkaido
- 2) 環境省自然環境局野生生物課鳥獣保護業務室：平成 25 年度 イノシシの保護管理に関するレポート(2014) [https://www.env.go.jp/nature/choju/plan/plan3-report/h25report\\_inoshishi.pdf](https://www.env.go.jp/nature/choju/plan/plan3-report/h25report_inoshishi.pdf) (2020/3/26 閲覧)

- 3) Y. Nakashima, K. Fukasawa, and H. Samejima: Journal of Applied Ecology, 55, 2, 735-744 (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps
- 4) I. Kita, M. Eguchi, S. Takatsuki, T. Koizumi and T. Tsubota: Journal of Veterinary Medical Science, 57, 1029-1033 (1995) Validity of retrograde corpora lutea of pregnancy as an index of past gestation in Sika deer, *Cervus nippon*
- 5) 八谷昇、大泰司紀之：北海道大学図書刊行会（1994）骨格標本作製法
- 6) F. Chollet: MITP-Verlags GmbH & Co. KG (2018) Deep Learning mit Python and Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek
- 7) L. Tsung-Yi, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár and C. L. Zitnick: Springer, Cham. In European conference on computer vision, 740-755 (2014) Microsoft coco: Common objects in context
- 8) T. Koizumi, S. Hamazaki, M. Kishimoto, M. Yokoyama, M. Kobayashi and A. Yasutake: Springer, In Sika deer, 327-343, Eds, D. R. McCullough, S. Takatsuki, and K. Kaji (2008) Reproduction of female Sika deer in western Japan
- 9) T. Tsuji, M. Yokoyama, M. Asano and M. Suzuki: Acta Theriologica, 58, 3, 315-323 (2013) Estimation of the fertility rates of Japanese wild boars (*Sus scrofa leucomystax*) using fetuses and corpora albicans
- 10) 林良博、西田隆雄、望月公子、瀬田季茂：日本獣医学雑誌、39, 2, 165-174 (1977) 日本産イノシシの歯牙による年令と性の判定
- 11) L. Boitani and L. Mattei: Toulouse-Paris, In Ongules/ Ungulates, 91, 419-421, Eds F. Spitz, G. Janeau, G. Gonzales, S. Aulagnier (1992) Aging wild boar (*Sus scrofa*) by tooth eruption
- 12) H. Koike and N. Ohtaishi: Journal of Archaeological Science, 12, 443-456 (1985) Prehistoric hunting pressure estimated by the age composition of excavated sika deer (*Cervus nippon*) using the annual layer of tooth cement
- 13) A. Bridault and L. Mattei: Toulouse-Paris, In Ongules/ Ungulates 91, 419-421, Eds, F. Spitz, G. Janeau, G. Gonzales, S. Aulagnier, (2000) Aging wild boar (*Sus scrofa*) by tooth eruption
- 14) E. M. Zullinger, R. E. Ricklefs, K. H. Redford and G. M. Mace: Journal of Mammalogy 65, 4, 607-63 (1984) Fitting sigmoidal equations to mammalian growth curves
- 15) 尾崎真也、塩見晋一、上山泰代：森林応用研究、10, 105-109 (2001) 兵庫県南但馬地方におけるシカの個体群動態（Ⅱ）—メスジカの狩猟が個体群に及ぼす影響—
- 16) 高木俊：兵庫ワイルドライフモノグラフ、11, 30-57 (2019) 兵庫県におけるシカ個体群動態の推定と地域別の動向
- 17) 藤木大介：兵庫ワイルドライフモノグラフ、9, 1-16 (2017) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるシカの影響による下層植生衰退度の変動と捕獲の効果（2010年～2014年）
- 18) M. Yokoyama, M. Onuma, M. Suzuki and K. Kaji: Acta Theriologica, 46, 4, 419-128 (2001) Seasonal fluctuations of body condition in northern sika deer on Hokkaido Island, Japan
- 19) M Yokoyama: Springer. In Sika deer, 193-205, Eds, D. R. McCullough, S. Takatsuki and K. Kaji (2008) Biology of sika deer in Hyogo: Characteristics of reproduction, food habits, Growth, and condition
- 20) 松金（辻）知香、横山真弓：哺乳類科学、58, 13 - 21 (2018) 兵庫県における高密度下でのシカの繁殖特性



## II-2 空間構造を考慮した個体数推定と最適管理モデルの開発

東京大学 宮下 直

<研究協力者>

東京大学 深谷佑紀・横山雄一・筒井 優  
 東北大学 笠田 実・長田 穰

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：20,453千円（研究経費は間接経費を含む）  
 （平成29年度：7,410千円、平成30年度：6,903千円、令和元年度：7,251千円）

### [要旨]

本サブテーマでは、空間異質性を考慮したシカやイノシシの個体群動態を予測するモデルの開発と、個体数を低減させる最適管理を可能にするモデルの開発をおこなった。具体的には、1) 異質景観下におけるシカの増殖と分布拡大を同時推定するモデル、2) イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態を評価するモデル、3) 密度効果や景観構造を組み込んだイノシシの個体群動態モデル、4) シカ・イノシシの個体数低減を目的とした捕獲努力の空間的な最適配分モデル、の4つのパートからなっている。1) シカの分布拡大については、状態空間モデルにおける方向分散透過性とそれに対する環境の影響を明示的に組み込んだモデルを開発した。シカの増殖率には空間異質性は見られなかったが、分散は景観構造による異方性が存在することがわかった。2) カメラデータと行政の捕獲データを組み合わせることで、イノシシの個体数、環境選好性、罠の捕獲効率を同時推定した。いずれのパラメータも顕著な季節変動を示し、イノシシの生活史や餌環境などの変化を反映していることが推察された。3) 密度効果や景観構造を組み込んだイノシシの個体群動態を予測するモデルを開発した。カメラデータを用いて罠捕獲率を推定し、それを行政の捕獲データと組み合わせて個体群動態を予測するモデルである。個体数の年次変動や個体数の空間的な粗密が推定でき、さらに環境収容力と捕獲数との対比から管理による個体数の抑制効果も評価できた。4) シカとイノシシの密度を同時に低減させる最適努力配分を求めするため、「焼きなまし法」を用いた数理モデルを構築した。上記の1)と3)から得られた個体群パラメータをモデルに適用し、総個体数の目標値を達成するために必要な捕獲努力量を算出することができた。

### [キーワード]

個体群動態、状態空間モデル、景観構造、捕獲効率、RESTモデル

### 1. はじめに

シカやイノシシの分布拡大や個体数の増加、それに伴う生態系や農作物へのインパクトが懸念されている。人口減少に転じたわが国では、今後ますます野生動物の適切な管理が社会的に重要課題になるに違いない。ところが、野生動物がどこにどれだけいるのか、そして今後どのように増えるのか、個体数を抑制するための管理努力量や空間配分をどうすればよいかについては手探りの状態である。近年のベイズ統計学の発展により、野生動物の個体数推定の技術や精度は上がってきている。しかし、空間構造を組み込んだ動的モデルを開発しない限り、的確な将来予測や費用対効果の高い管理手法を構築することは原理的に困難である。一方で、精緻なモデルを構築するだけでは現状に対処できるとは限らない。現場で取得可能なデータは、社会的・自然的条件により強く制約されるからである。そうした制約下で、可能な限り正確で汎用性のあるモデル開発が望まれる。

そうしたなか、近年比較的安価な自動撮影カメラが普及しており、行政が蓄積している狩猟や有害捕獲のデータと組み合わせることで、広域かつ精度の高いモデルの開発が期待される。カメラと捕獲記

録は、それぞれ長所と短所を持ち合わせている。カメラデータを使ったRESTモデルなどによる推定は精度が高い反面、広域には展開できない。一方、捕獲データは広域をカバーできる反面、精度は高くない。両者の強みを組み合わせることで、従来にない頑強かつ汎用性が高いモデル開発と予測が可能になるはずである。また、時空間的に大量かつ不確実性を含むデータを解析するには、効率的なアルゴリズムの利用や開発も必要になる。その実現には、哺乳類や野生動物管理に携わってきた研究者だけでなく、生態学や生物統計学の理論に精通した研究者と連携することが必須である。こうした背景から、本サブテーマでは、先端的な統計モデルに精通している研究者を取り込み、シカとイノシシの時間・空間動態と管理を明示的に扱えるモデル開発に挑んだ。

## 2. 研究開発目的

本サブテーマでは、空間異質性を考慮したシカやイノシシの個体群動態を予測するモデルの開発と、個体数を低減させる最適管理を可能にするモデルの開発をおこなった。具体的には、1) 異質景観下におけるシカの増殖と分布拡大を同時推定するモデル、2) イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態を評価するモデル、3) 密度効果や景観構造を組み込んだイノシシの個体群動態モデル、4) シカ・イノシシの個体数低減を目的とした捕獲努力の空間的な最適配分モデル、の4つのパートからなっている。

## 3. 研究開発方法

### 【シカの増殖と分布拡大を同時推定するモデルの開発】

#### (1) 調査地

本研究の対象地は千葉県房総半島である。気候は温暖湿潤な気候で、調査地の60%は森林であり、堅果をスダジイやカシ類が多くを占める照葉樹林と、スギやヒノキから成る植林地で構成されている。その他の土地利用は、16%が水田、4%が畑で占められている。この地域のニホンジカの個体群は、かつては都市開発と乱獲により激減し、ごく限られた地域に隔離されていたが、1970年代から1980年代にかけて個体数が増加し始め、その後分布が拡大した。1990年代以降は、シカの高密度化による食害から、森林の下層植生が減退している。千葉県は、1996年以来、ニホンジカの個体数を監視するための実施計画を施行していた<sup>1)</sup>。イノシシについては、千葉県においては一度絶滅したが、南東部において1980年の再導入以降、イノシシの個体群が拡大し、甚大な農作物被害を引き起こしている。

#### (2) データ

千葉県の公表報告書と未公表記録から、2000年から2009年のニホンジカの個体数の代理変数として、①2000～2010年の糞粒法調査、②2000～2008年の区画法調査、③2001年の嗜好性植物損傷調査、④狩猟・有害捕獲数（これらをあわせて以下、捕獲数）、を用いた。ニホンジカの個体数の増加と分散プロセスに影響を与える環境要因として、広葉樹林面積、林縁長、総森林面積（広葉樹林と針葉樹林面積の両方）、および河川の有無を、GISを使用して抽出した。

#### (3) 解析

##### a. プロセスモデル

このモデルでは、人口統計学的確率性を考慮したニホンジカの個体群動態を扱う。本調査地でニホンジカの個体群動態は、個体群成長（春と夏の出生と自然死亡）、捕獲による死亡（秋と冬）、および分散（冬）の3つの主要なプロセスの影響を受けている（図3.2.1）。

$N_{i,t}^r$ 、 $N_{i,t}^h$ 、および $N_{i,t}^d$  は、それぞれ  $t$  年のグリッド  $i$  での個体群成長前、捕獲による死亡前、および分散プロセス前のシカの個体数とする。ポアソン分布と多項分布を使用し、それぞれ個体群成長と分散に関連する人口統計学的確率性をモデル化した。

グリッド  $i$  での個体群成長率 ( $r_i$ ) とグリッド  $i$  から  $j$  への分散確率 ( $M_{ij}$ ) を使用し、プロセスモデルを次のように指定した。

##### (i) 個体群成長プロセス

$$N_{i,t}^h \sim \text{Poisson}(r_i N_{i,t}^r)$$

(ii) 捕獲による死亡プロセス

$$N_{i,t}^d = N_{i,t}^h - H_{i,t}$$

ここで、 $H_{i,t}$  は  $t$  年のグリッド  $i$  で捕獲された個体数である。

(iii) 分散プロセス

$$N_{i,t+1}^r = \sum_{j=1}^{578} N_{j,i,t}^m$$

ここで、 $N_{j,i,t}^m$  は、 $t$  年にグリッド  $j$  から  $i$  に分散した個体数である。比較的小さなグリッドサイズの場合、新しい場所への分布拡大は偶然の影響が強いため、分散関連の人口統計学的確率性（多項分布で表される）をプロセスモデルに組み込んだ。

2000年のシカの分布範囲は、以前の歴史的分布拡大を反映していると考えられるので、ポアソン分布を使用して初期分布範囲の空間的自己相関をモデル化した。

$$N_{i,2000}^r \sim \text{Poisson} \left( A_i \frac{\sum_{j \in n_i} N_{j,2000}^r}{\sum_{j \in n_i} A_j} \right)$$

ここで、 $A_i$  はグリッド  $i$  のシカ生息地（広葉樹林と針葉樹の植林地）であり、 $n_i$  はグリッド  $i$  に隣接するグリッドの集合である。嗜好性植物アオキの摂食損傷はニホンジカの在/不在の信頼できる代理変数であるため、2001年にグリッド  $i$  で摂食損傷が見られなかった場合は2000年の  $N_{i,2000}^r$  をゼロとした。

#### b. パラメータモデル

パラメータモデルは、ニホンジカの人口統計学的パラメータ（個体群成長率と分散確率）と環境共変量の関係を説明するものである。

最初に、標準化された広葉樹林面積（ $BLF_i$ ）と標準化された林縁長（ $EDGE_i$ ）によって個体群成長率を表現した。これらは、既存研究でシカにとって好適な環境であることが知られている。

$$\log(r_i) = \alpha_0 + \alpha_1 BLF_i + \alpha_2 EDGE_i$$

ニホンジカの雌は最大で毎年1頭の仔鹿を出産するため、 $r_i$  がく1.5になるようにした。

つぎに、標準化された総森林面積と河川の有無によって分散確率（ $M_{i,j}$ ）を表現した。この目的のために、 $M_{i,j}^\Delta$  を1年未満の短期間  $\Delta t$  の間の移動確率として定義する。短期間の移動確率（十分に短い  $\Delta t$ ）を考慮すると、離れたグリッド間の分散を無視し、隣接するグリッド間の分散距離（ $DIST_{i,j}$ ）と環境共変量（森林率： $FRT_j$ 、河川の有無： $RIV_j$ ）によってこの確率を説明できる。

$$h_{ij} = \beta_0 DIST_{i,j} + \beta_1 FRT_j + \beta_2 RIV_j$$

$$M_{i,j}^\Delta = \frac{e^{h_{i,j}}}{\sum_{k \in \{i,n_i\}} e^{h_{k,j}}}$$

生息地の選好性（ $h_{i,i}$ ）が正の場合、ニホンジカは偶然から期待されるよりも頻繁にグリッド  $i$  で滞在する。一方、生息地の選好性が負の場合、ニホンジカは偶然から期待されるよりも頻繁にグリッド  $i$  から移動する。分散率の距離減衰のため、このモデルでは  $\beta_0$  が負でなければならないと仮定する。年

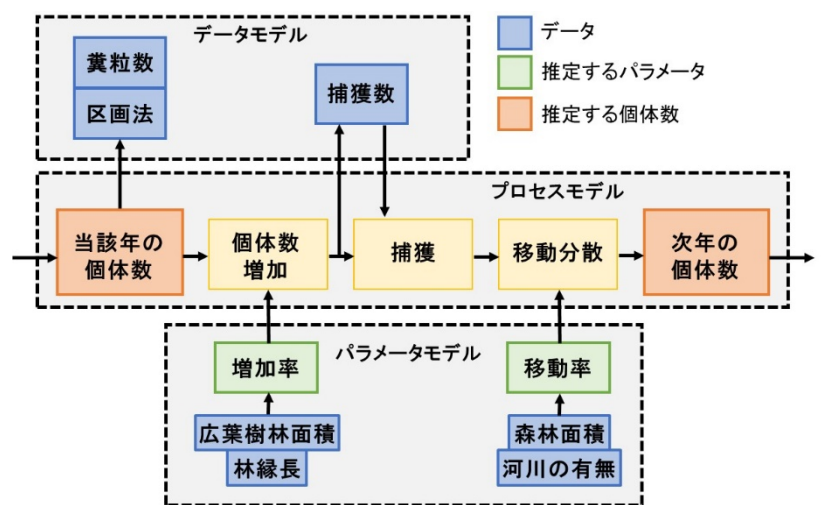


図3.2.1 シカの増殖と分散をモデルの概要

間分散確率は、短期間の反復運動として表すことができる。

解析では $\Delta t = 1/16$ 年（つまり、22.8日）を使用した。これは、観察されたニホンジカの分布拡大速度と比較して、十分に短い期間として設定した。短期移動確率のほとんどの要素はゼロであるため、疎行列の実装により、年間分散確率を効率的に計算できる。調査地の端を越えた分散確率を考慮するために、反射境界条件を選択した<sup>2),3)</sup>。

### c. データモデル

データモデルは、糞粒法調査 ( $F_{i,t}$ ) と区画法調査 ( $B_{i,t}$ ) からの代理変数と個体群成長前のニホンジカの個体数 ( $N_{i,t}^t$ ) の関係を示している。各調査に関連する検出の不確実性として、負の二項分布またはポアソン分布をモデル化した。ニホンジカ密度と糞粒数の間の比例定数 ( $\gamma > 0$ ) および糞粒数の分散パラメータ ( $\theta > 0$ ) を使用して、個体数の代理変数のデータモデルを次のように設定した。

$$F_{i,t} \sim \text{Negbin} \left( \theta, \frac{\theta A_i}{\gamma N_{i,t}^r} \right) (i \in f_t)$$

$$B_{i,t} \sim \text{Poisson} \left( A_i^B \frac{N_{i,t}^r}{A_i} \right) (i \in b_t)$$

ここで、 $A_i^B$  は区画法調査の単位面積 (0.95~2.21 km<sup>2</sup>) であり、 $f_t$  と  $b_t$  はそれぞれ、 $t$  年に糞粒法調査と区画法調査が行われたグリッドの集合である。

捕獲されたニホンジカの記録は、自治体によって66の管理ユニット (4.22~109.92 km<sup>2</sup>) で記録されている。そのため、各グリッドでの捕獲個体数 ( $H_{i,t}$ ) に関連するデータの不確実性をさらにモデル化した。

管理ユニット内の各グリッドで捕獲率が一定である（つまり、捕獲個体数はグリッドでの個体数に比例する）と仮定して、このデータの不確実性を多項分布で次のように表現した。

$$p_{i,t} = \frac{N_{i,t}^h}{\sum_{i \in m_k} N_{i,t}^h} (i \in m_k)$$

$$H_{i \in m_k, t} \sim \text{Multin} (H_{k,t}^u; p_{i \in m_k, t})$$

ここで、 $H_{k,t}^u$  は  $t$  年における管理ユニット  $k$  での捕獲個体数であり、 $m_k$  は管理ユニット  $k$  に含まれるグリッドの集合である。

### d. モデル同化

推定値の事前確率として、均一または曖昧な正規分布を設定した。事後確率の積分の複数の分散経路と分散関連の人口統計学的確率性のモデリングは、計算コストが高いため、PFMCMCアルゴリズムを用いてベイズ推論を実装した<sup>4)</sup>。Vrugtら (2009)<sup>5)</sup>に従い、適応段階の終了後、10,000回の反復で8つのMCMCチェーンを実行した。事後分布の要約を取得するために、50回の反復ごとにMCMCシミュレーションをサンプリングし、信用区間を算出した。パラメータの収束は、Gelman-Rubin収束診断  $R_{hat} < 1.1$  を用いた。モデルの適合度は、Freeman-Tukey統計量によって測定された事後予測p値（またはベイズp値）に基づいて評価した。

## 【イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態の評価】

### (1) 調査地

調査地は千葉県南部の南房総市、鋸南町、君津市、富津市の4市町で、合計面積は799.6 km<sup>2</sup>、千葉県全体の15.5%にあたる（図3.2.2）。個体数管理のために、県や市が中心となって有害鳥獣捕獲を積極的に進めており、調査地においては2018年度に約12,000個体が捕獲されている。11月15日から2月15日は猟期であるが、その捕獲個体数全体の3%程度に過ぎない。

本研究では、ウリ模様を持つ個体をカメラの映像から識別し、幼獣と定義した。この模様は出生後4か月間に渡って残ると言われ、体重が15 kgを超える時期に消えるとされている。

## (2) データ

カメラトラップのデータは森林や竹林内に仕掛けた180地点のカメラ（Strike Force HD Pro; Browning Trail Cameras, Morgan, UT）による観測データを用いた。カメラの密度は1台/4.4 km<sup>2</sup>程度であり、2018年の6月から2019年の5月のデータを今回は利用した。1回の撮影で20秒間のビデオを撮影し、連続したビデオの撮影の間は1秒間で設定した。

環境要因のデータは、環境省の植生調査のデータを用いた。カメラ周辺500 mの範囲の景観データを抽出した。抽出した景観は対象地域で主な景観要素である広葉樹林・植林地・耕地・竹林・放棄地・住宅地の6つである。ArcGIS10.6を用い、それぞれのカメラ地点を中心として500 mの大きさのバッファ内のそれぞれの景観の割合を計算した。多重共線性を回避するために6つの変数を主成分分析によって要約し、第1主成分から第4主成分までの主成分得点を代替の環境要因の変数として利用した。

イノシシの罠による捕獲データは、捕獲個体の情報が記された捕獲個体データと、箱罠とくくり罠の貸し出し状況を記録した罠設置状況データに分かれる。それぞれ千葉県、富津市、南房総市の協力を得て取得した。千葉県からは2018年6月～2019年4月の捕獲データと罠の設置状況のデータを、南房総市と富津市から2019年4月から2019年5月の分の捕獲データを取得した。捕獲個体のデータは捕獲された個体の捕獲日時、性別、体重、捕獲方法が記されている。罠設置状況のデータは県が定めた管理ユニットごとに、何基の罠が貸し出されているかが記されたデータである。調査地では箱罠とくくり罠の二種類の罠が用いられてきた。本研究では体重が15 kg以下の個体は幼獣と区別し、生まれて4か月程度までのウリ模様のある個体と判別した。それ以外の個体は成獣と判別した。調査地における箱罠による捕獲の割合は72%、くくり罠による捕獲の割合が25%であり、この二つの方法が捕獲のほとんどを占めている。

## (3) 解析

解析において個体数密度、環境選好性、捕獲効率の3つを一つのベイズモデルで推定した。解析のフローチャートは図3.2.2の通りである。

### a. 局所個体数密度と環境選好性

RESTモデルを用いて、カメラトラップのデータから個体数密度を推定した。RESTモデルでは、事前に決めた1辺1.9 mの正三角形を通過した個体数のみを用い、滞在時間の推定値と共に、下記の式によって各カメラで撮影した中心範囲内の個体数密度を推定する。

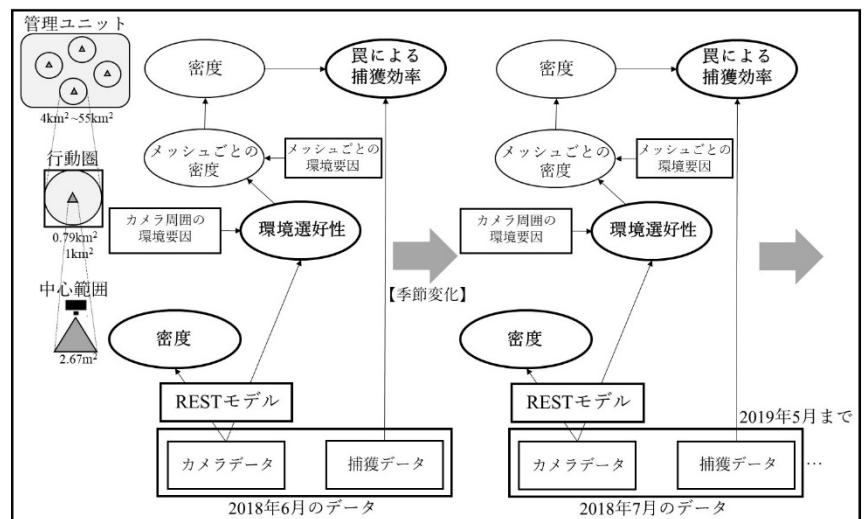


図3.2.2 イノシシの個体数密度、環境選好性、捕獲効率を推定するモデルの概要

$$[\text{密度}]_{i,m} = \frac{[\text{中心範囲内の通過回数}]_{i,m}}{[\text{中心範囲の面積}]} \times \frac{[\text{滞在時間の推定値}]_m}{[\text{撮影期間の活動時間}]_m}, \text{式(1)}$$

式(1)において、 $i$ はカメラのIDを示し、1から180を取り得る。 $m$ は期間を表し、1か月を1つの時間単位として1年間調査期間を設けているので、1から12まで取り得る。滞在時間の推定に関しては、各月でイノシシの移動速度は違うと想定されたため、それぞれの月で50本のビデオを抽出し、滞在時間を実験室でストップウォッチを用いて測定することでデータを得て、その時間が対数正規分布に従うことを想定して、各月における平均の滞在時間を推定した。成獣と幼獣を分けて滞在時間は推定したが、一部の月では幼獣が中心範囲内に入る撮影頻度が低く、滞在時間を推定するに足るサンプルが得られなかったため、個体数密度を推定することが出来なかった。よって、幼獣に関しては2018年6月～10月、2019年5月の計6か月分の個体数密度を推定した。撮影期間の間の活動時間はカメラのデータから推定できる活動時間割合<sup>6)</sup>に、カメラが作動していた時間をかけることによって算出した。活動時間割合は成獣と幼獣で、各月で異なることを想定し、月ごとに推定した。RESTモデルにおいては、活動のピーク時

に全ての個体が活動していることを前提としている<sup>7)</sup>。撮影頻度はNakashima et al. (2018)と同様、負の二項分布に従うことを想定して個体数密度を推定した。

イノシシの環境選好の季節変化は、上記のRESTモデルで推定した局所密度を、周囲500 mの環境を説明変数としてモデルに導入し、回帰係数  $\alpha$  の推定値の変化により評価した。式は下記の通りである。

$$[\text{密度}]_{i,m} = \exp\left(\alpha_{0,m} + \sum_{e=1}^4 \alpha_{e,m} \times [\text{主成分得点}]_{e,i}\right), \text{ 式(2)}$$

主成分得点は第1主成分から第4主成分を利用しているため、 $e$  は1から4まで取る。 $m$  は期間を示しており、1から12まで取る。 $\alpha_0$  は平均個体数密度を示す切片であり、 $\alpha_1$  から  $\alpha_4$  の季節動態を見ることで、利用環境の季節的变化を評価した。

#### b. 管理ユニット単位の個体群密度の推定

1 km<sup>2</sup>のメッシュの密度を下記の式(3)を用いて推定した。

$$[\text{密度}]_{c,m} = \exp\left(\alpha_{0,m} + \sum_{e=1}^4 \alpha_{e,m} \times [\text{主成分得点}]_{e,c}\right), \text{ 式(3)}$$

$c$  は1 km<sup>2</sup>のメッシュを表し、1から897まで取り得る。 $e$  と  $m$  は式(2)と同じである。主成分得点は式(2)で用いた主成分の軸を基に、それぞれのメッシュで計算して用いた。次に、それぞれの管理ユニットに含まれるメッシュごとの個体数密度をメッシュ内の森林面積によって重みづけして平均を計算することで、管理ユニットごとの個体数密度を算出した。

#### c. 捕獲効率

罾による捕獲効率は、行政から得た捕獲データとカメラによる個体数密度推定値を用いて推定した。捕獲効率は、下記のように定義した(Osada et al. 2015)<sup>8)</sup>。

$$[\text{捕獲個体数}]_{u,m,t} | [\text{平均捕獲個体数}]_{u,m,t} \sim \text{Poisson}([\text{平均捕獲個体数}]_{u,m,t})$$

$$[\text{捕獲効率}]_{u,m,t} = \frac{[\text{平均捕獲個体数}]_{u,m,t}}{[\text{罾設置数}]_{u,m} \times [\text{密度}]_{u,m}}, \text{ 式(4)}$$

$u$  は推定密度の空間単位で、県が定めた管理ユニットとなっている。計33個あるため、 $u$  は1から33を取り得る。 $t$  は捕獲手法を示し、ここでは箱罾とくくり罾の捕獲効率を分けて推定するため、 $t$  は1と2を取り、 $t = 1$  が箱罾による捕獲、 $t = 2$  がくくり罾による捕獲とした。ここでの捕獲個体数と罾設置数が行政から得た捕獲データであり、個体数密度はRESTモデルによる推定値である。

全ての解析がベイズ解析のフレームワークを用いて行い、パラメータの事後分布はMCMCサンプルによって得られた。事前分布は、 $\alpha$  に対しては一様分布(-3, 3)を用い、捕獲効率のパラメーターに対しては一様分布(0, 1)を用いた。MCMC法による計算は50,000回行い、当初の10,000回を切り捨て、以後の20回ごとに結果を抽出する計算を初期値の異なる3本の連鎖について行った。解析はJAGSソフトウェア(Plummer 2003)<sup>9)</sup> とR (version 3.5.0, R Core Team, 2018)<sup>10)</sup> を用いた。パラメータの推定値の収束は、Rhatの値が1.1を下回っていることを確認した。

#### 【イノシシの個体群動態モデルの開発】

本研究では、捕獲データが充実している千葉県をモデル地域として、ビデオカメラによるビデオトラップデータと捕獲データから得られたCPUE(単位努力量あたり捕獲数)という二つの異なるデータを用いることによって、より精度の高い推定が可能なモデルを開発した。開発したモデルは、ベイズ推定による状態空間モデルをベースとしており、プレモデルと個体数推定モデルの2つのサブモデルからなる(図3.2.3)。プレモデルではビデオトラップにより得られたデータとカメラデータに対応する地域(千葉県の調査ユニット)のCPUEを用いることで、罾の捕獲率に関するパラメータ  $r_{capt}$  を推定している。この  $r_{capt}$  から生息地を  $s$ 、調査年を  $t$  として、

$$\text{捕獲率} = 1 - \exp\left(-\exp(r_{capt}) \times \frac{\text{努力量}_{s,t}}{\text{生息地}_s}\right),$$

のように捕獲率が計算される。個体数推定モデルはこれにより得られた捕獲率に関するパラメータを事前分布として利用することで、CPUEから得られる複数年データを用いて個体数を推定する(図

3.2.3)。

カメラによるデータを得るために、千葉県内の11箇所に、1ライン1 kmのサンプリングラインを設定し、50 mおきに20台のカメラを設置した。カメラはビデオ撮影が可能であり、赤外線センサーが動物を感知すると、最大20秒間動物の撮影を行う。カメラの撮影範囲にはあらかじめ三角形の測定範囲が設定されており、その測定範囲内にイノシシが滞在した時間、及び撮影回数をカメラのデータとした。このようにしてカメラから得られたデータに対して、RESTモデルを用いることでカメラデータからの個体数推定が可能である。本研究では、プレモデルにおいて、カメラデータと対応する地域の捕獲ユニットのCPUEデータの両方のデータから同時推定を行うことで、罾の捕獲率に関するパラメータを推定した。また、ビデオ撮影は20秒間が上限であるため、20秒以上の滞在も考慮した平均滞在時間を推定する行動予測モデルをプレモデルの中に組み込んだ。

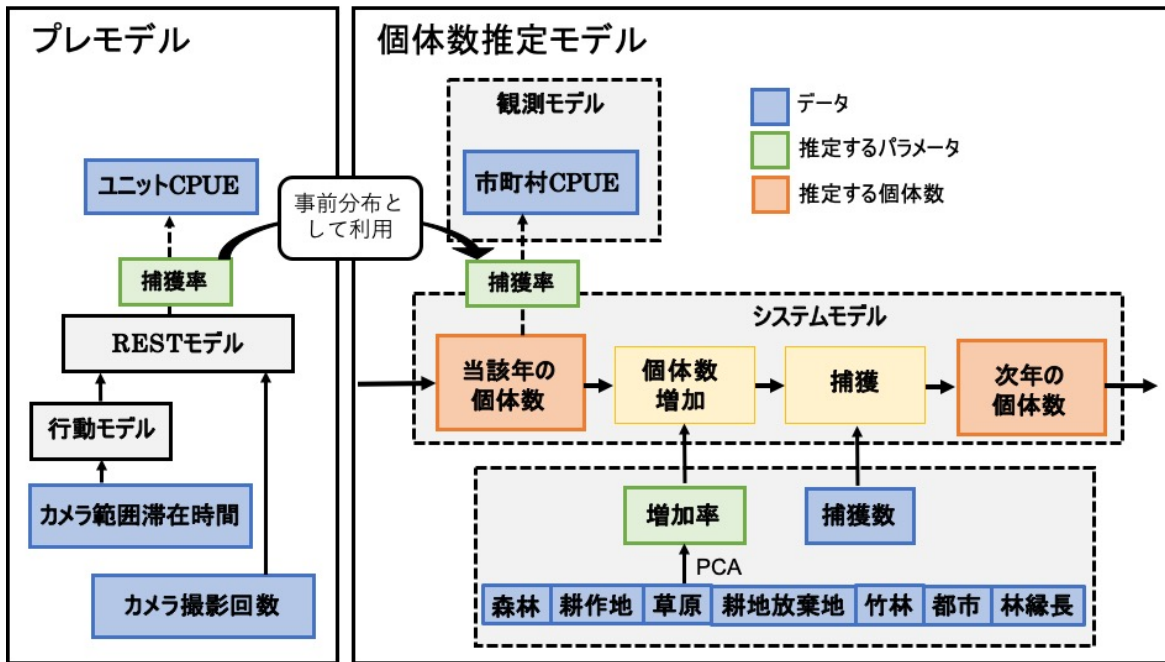


図3.2.3 イノシシの個体群動態モデルの概要

次にプレモデルで得られた罾の捕獲率に関するパラメータをもとに、千葉県全域の市町村の個体数推定を行った。個体数推定モデルでは、プレモデルで得られたパラメータを事前分布として利用し、CPUEデータは千葉県の各市町村の2013年から2018年までの6年分のデータを用いた。モデルは個体群動態を記述する状態モデルと密度指標の観測過程を記述する観測モデルからなる、状態空間モデルとした。状態モデルは個体数増加と捕獲のプロセスからなり、増加率は、捕獲数は各市町村の捕獲データを適用した。つまり、生息地 $s$ における $t$ 年のイノシシ密度を $D_{s,t}$ とおくと、次年の増加後の密度は $D_{s,t+1}$ は、

$$D_{s,t+1} = \frac{r_s \times D_{s,t}}{1 + \frac{D_{s,t}}{K}}$$

$$r_s = \exp(b_0 + b_1 \times \text{PCA1} + b_2 \times \text{PCA2}),$$

のように表される。ここで $r_s$ は生息地 $s$ におけるイノシシの増加率で、各市町村の森林、耕作地、草原、耕作放棄地、竹林、都市の広さ、及び林縁長のパラメータに依存して決まると仮定している。これらのパラメータはPCAを用いて次元を下げ、2つの変数に変換して用いた。また、増殖には環境収容力を考慮し、このパラメータを $K$ とした。このようにして増加した後、同じ年の個体数は密度と生息地の大きさ、実際に捕獲されて個体数によって、

$$N'_{s,t} \sim \text{Poisson}(D_{s,t} \times \text{生息地面積}_s)$$

$N_{s,t} = N'_{s,t} - \text{捕獲数}_{s,t}$  のように、ポアソン分布を用いて決定される。観測モデルについては、プレモデルで得られた捕獲率パラメータの平均と分散を事前分布として与え、捕獲率と個体数の二項分布によってCPUEが決まるという仮定をおいた。

### 【最適管理モデルの構築】

#### (1) 簡易モデルによるパラメータ推定

シカのパラメータ推定は、Osada et al. (2019)<sup>11)</sup> のモデルをもとにモデルを構築した。しかし、移動分散に関しては、環境要因に対する移動のしやすさを推定することにより移動分散を推定するのではなく、年間の移動率をユニットごとに仮定し、それを推定することで、移動分散をモデル化するという方法をとった。そのためにシカの移動分散を表現するマトリックス  $M$  を考えた。これはデータのある生息サイトの数（ここでは管理ユニット数）をサイズとする正方行列で、移動元のサイトを  $i$  移動先のサイトを  $j$  とおくと、移動後の個体数  $N_j$  は、

$$N_j = \sum_i M_{i,j} N_i,$$

と表される。マトリックス  $M$  のそれぞれの要素はユニット  $i$  と  $j$  間の距離の2乗行列  $D_{i,j}$  と都市率に関わるパラメータで、

$$\exp\left(-D_{i,j}/(\exp(c_0 + c_1 \times \text{都市率}_i))\right)$$

とした。つまり、サイト間の距離が離れているほど移動は起こりにくくなり、移動元の都市率によって移動率が補正される。このようにして求められた要素は、列の合計が1になるように規格化されて、分散行列  $M$  として用いられた。その他の部分はシカの個体数推定として開発したモデルと同じ方法を用いた。データは2000年から2017年までのデータを利用して最適管理モデルの計算に用いた。

イノシシのパラメータ推定は、上記の推定のように6年分のデータではなく、比較短期間である2015年から2017年までの3年分のデータを用いて推定結果を求め、それを最適管理モデルの計算に利用した。その他の部分はイノシシの個体数推定用に開発したモデルと同じである。

#### (2) 最適努力配分を導出するための数理モデル

最適努力配分を求めるために、最適化手法の一つである「焼きなまし法」を用いた数理モデルを構築した。千葉県全体の個体数を最小化するように、ある一定の数の箱ワナを各市町村に配分する。対象とする市町村は22あり、それぞれの市町村に設置するワナ数の組み合わせは膨大であるために、すべての組み合わせごとに、総個体数を計算することは現実的ではない。そのような場合には、焼きなまし法は近似的に最適解を求めるために有用であり、保護区の設定等にも利用されている最適化手法である（例えば、Ball and Possingham 2000<sup>12)</sup>）。

焼きなまし法の概略は次のとおりである（図3.2.4）。まず、設置可能な箱ワナの総数を  $R$  とする。初期値として、 $R$  を任意の割合で各市町村に配分する。その配分割合を少し変えた場合に、全体の個体数が減少した場合はその配分割合を採用する。個体数が増加する場合でも、ある確率  $S$  でその配分割合を採用する。確率  $S$  は、配分割合を変えることにより増加する個体数が大きいほど、または計算のステップ数が増えるに従って小さくなるように設定する。この計算を繰り返すことにより、最適な捕獲努力量を求めることができる。

上記の簡易モデルで求められた個体数・個体群増加率・捕獲効率・移動率の推定値に基づいて、最適な捕獲努力量を求める。捕獲対策の強化により、設置可能な箱ワナの総数  $R$  を増加させた場合や、現状維持の場合など、さまざまなシナリオに応じた、最適な捕獲努力配分と将来の個体数を求めることができる。



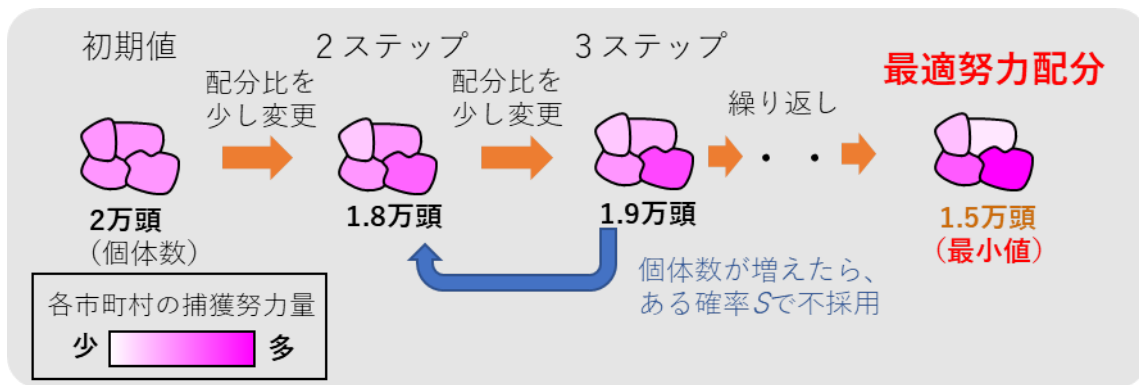


図3.2.4 焼きなまし法による総個体数が最小となる捕獲努力配分の探索の模式図

#### 4. 結果及び考察

##### 【シカの増殖と分布拡大を同時推定するモデルの開発】

解析の結果、ニホンジカが分布範囲を拡大し、房総半島南部で2000年の1,506個体から2010年の3,054個体に増加したことが示された(図4.2.1)。図より、明らかに不均一な分布拡大をしたことがわかる。

事後予測 $p$ 値によって推定された適合度は0.306であり、モデルの適合は悪くないことを示唆している。また、区画法調査から得られた観測値と推定値の比較により、モデルの適合性を確認した。

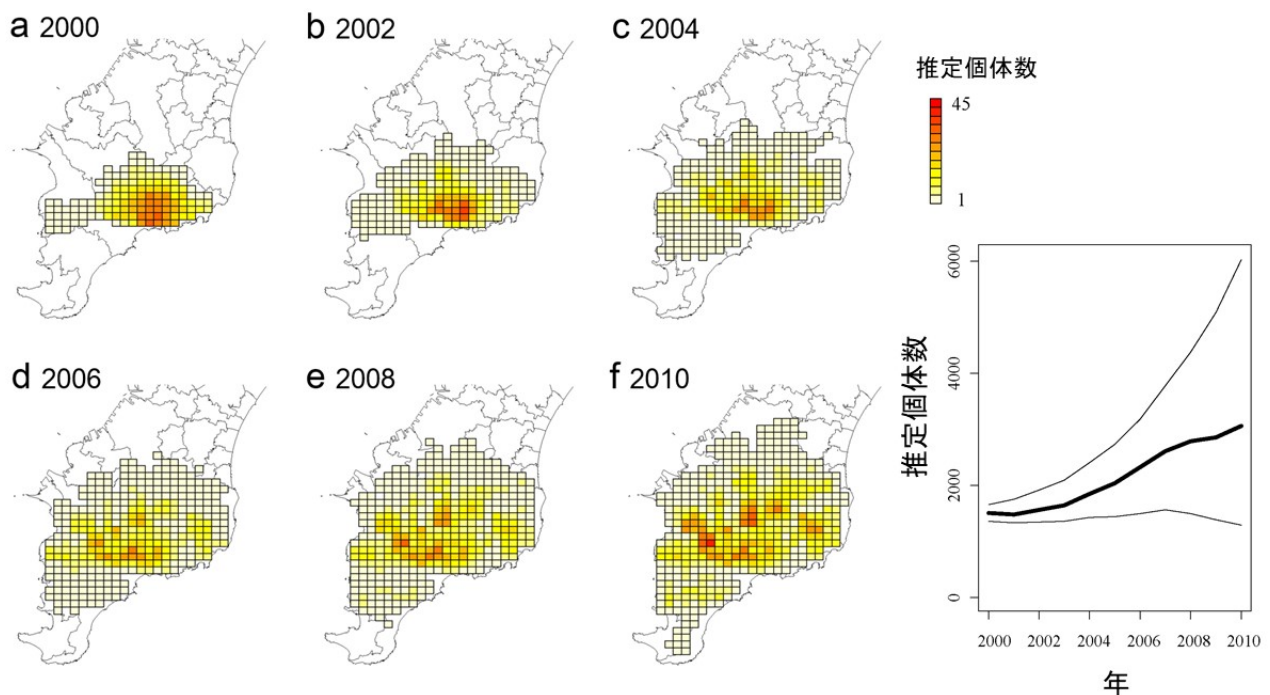


図4.2.1 房総半島におけるシカの分布拡大と個体数増加

その結果、ほとんどの推定値は観測データによく適合していたが、非常に高密度の調査ユニット(異なる年)の1つでは、観測データと推定値の間に大きな違いがあり、適合があまり良くなかった。糞粒法調査では、36.4個の糞粒が平均してニホンジカ1個体に対応しており、分散パラメータ(検出の不確実性)は0.368であった。

ニホンジカの人口統計学的パラメータに対して、95%CIがゼロと重複している環境共変量は見つからなかった。広葉樹林面積と林縁長がシカの個体群成長率に与える影響は0.008と-0.004であり、総森林面積と川の有無が分散における生息地の選好性に及ぼす影響は0.247と-0.18であった。分散における生息地の選好性の不均一な空間構造を検出し、森林面積が分散に正の影響を及ぼしたが、個体群成長率は調査地のほとんどで一定であった ( $r_i \approx 1.39$ ; 図4.2.2a)。

移動の選好性への距離の影響は-1.852と推定され、景観が均一であれば、ニホンジカの平均分散距離は年間約6.5 kmであることを示している。

私たちの結果の最も重要な発見は、森林面積が分散に正の影響を及ぼし、不均一な空間構造をもたらしていることである(図4.2.2b)。有意水準は限界(0.090)だったが、効果の大きさは比較的大きかった。また、ニホンジカは分布範囲で一様に高い個体群成長を示した。分散プロセスの顕著な空間構造を考えると、房総半島のニホンジカの不均一な分布拡大は、個体群成長プロセスではなく、分散プロセスに主に起因するといえる。

ニホンジカの推定総個体数は、高い不確実性を示した(図4.2.1)。この不確実性は、個体数指標の強い過大分散と空間的なまばらさを反映していると思われる。この研究では、糞粒がカウントされたグリッドは全面積の14.3%を占めているが、観測されていないエリアの個体数密度は高い推定誤差を示し、総個体群サイズと人口統計学的パラメータ(個体群成長と分散に対する環境要因の影響)の高い不確実性につながったと思われる。

### 【イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態の評価】

主成分分析の結果、第1主成分の寄与率は36%で、森林とそれ以外を分ける成分、第2主成分の寄与率は23%で、広葉樹林と植林地を分ける成分、第3主成分の寄与率は17%で、耕作放棄地の割合が高い成分、第4主成分の寄与率は13%で、竹林の割合が高い成分となった。

2018年6月から2019年5月の調査期間において、計42,664日分のカメラによる観測を行い、RESTモデルで利用する中心範囲の中を通過したデータは成獣において2,191回、幼獣は1,306回得られた。

#### (1) 個体数密度推定

イノシシの個体群動態は激しい季節変動を示した(図4.2.3)。数が最大となる11月の密度は、既存研究で得られた同じ地域の捕獲前の密度である26頭/km<sup>2</sup>(Osada et al., 2015<sup>11)</sup>)と近い値を示した。また成獣と幼獣で、個体数密度の季節動態は異なっていた。成獣の個体数密度は11月にかけて上がり、その後下がる様子が見られたが、幼獣の個体数密度は5月に上がり、その後10月頃にかけて下がる様子が見られた。この対照的な推移は、日本におけるイノシシの出産期と、幼獣の高い自然死亡率、幼獣が成獣として加入する様子を反映していると考えられる。さらに、成獣の冬季の減少は、捕獲数がこの時期に増えることと一致している。

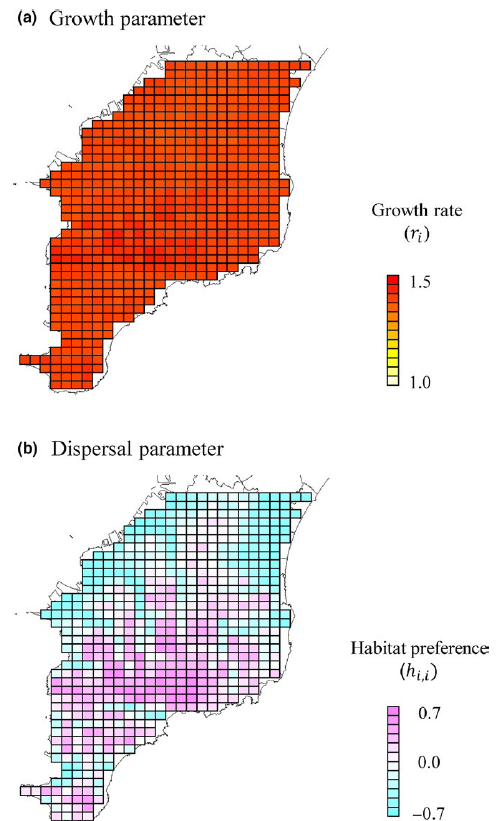


図4.2.2 房総半島におけるシカの増殖率と分散しやすさの推定値

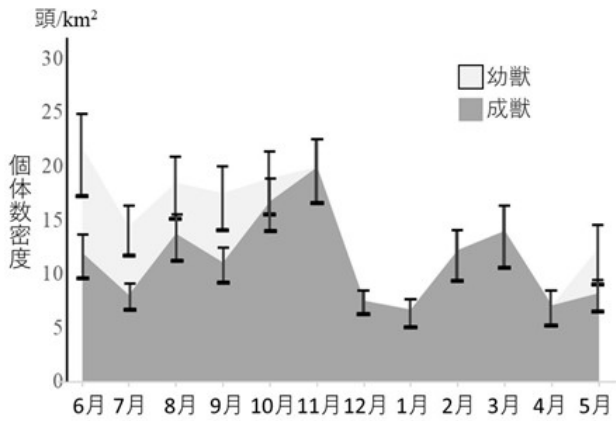


図4.2.3 イノシシの推定個体数の季節変化

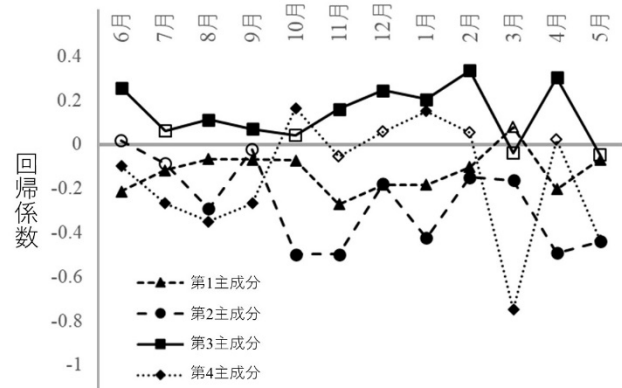


図4.2.4 イノシシの環境選好性の季節変化。回帰係数は正負の選好性を示す。

## (2) 環境選好性の推定

環境選好性の変化は、主成分分析で要約した環境要因に対応する回帰係数の変化により評価した（図4.2.4）。第1主成分の得点は大半の月において負であり、森林の周囲に農地や竹林などの環境が周囲にある景観を選好していることを示していた。第2主成分の得点も概ね負の値を取り、植林地よりも広葉樹林地を選好していた。この選好は10、11月と4、5月に強まることが分かった。第3主成分の得点は概ね正の値をとり、一年を通して耕作放棄地を選好しており、特に冬期に選好性が強まることが分かった。第4主成分の得点は竹林の利用を反映しており、正の値をとることが多かったが、他の軸と比べると影響は大きくなかった。

以上のように、本研究では森林内の局所的な密度に影響する周囲の環境を季節ごとに明らかにすることが出来た。特に、農地や耕作放棄地、竹林はイノシシの個体数密度に正の影響を持つことが分かった。これらの景観要素はイノシシの季節的に餌資源を提供していることに加え、冬期の猟期においては、耕作放棄地が退避場所として利用されていた可能性もある。

## (3) 捕獲効率の推定

2種類の罠における捕獲効率の平均値の比較では、箱罠の方がくくり罠よりも約1.7倍効率が高いことが分かった（図4.2.5）。箱罠とくくり罠の捕獲効率の動態で共通していた点として、12、1月に捕獲効率が上がる様子が見られた。一方、8月から11月にかけては動態が異なっていた。箱罠の捕獲効率は比較的低いままなのに対し、くくり罠の捕獲効率は上昇する傾向が見られた。

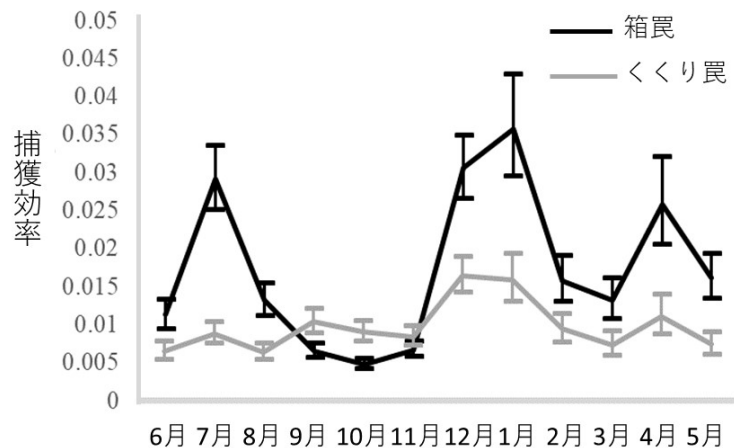


図4.2.5 イノシシの罠による捕獲効率の季節変化

冬に2種類の罠で捕獲効率が上がるのは、乏しい餌環境が背景にあると考えられる。餌の不足により、餌を探し回るイノシシは行動域を広げ、罠にかかりやすくなったこと、さらに箱罠においては、餌不足によって撒き餌に誘引されやすくなり、捕獲効率が上がった可能性もある。一方、8月から11月の動態は2種類の罠で異なっていた。箱罠においては7月の捕獲効率は高いが、その後の8月から11月まで比較的lowかった。これは8月から11月に餌資源が豊富だったためであると考えられる。特に秋に存在する堅果はイノシシにとって重要な餌資源であることが知られおり、他の餌資源の利用を減らすことが分かっている。このため、撒き餌に誘引されにくくなった可能性がある。くくり罠の捕獲効率は該当期に徐々に上昇したが、その理由は定かではない。

冬に2種類の罠で捕獲効率が上がるのは、乏しい餌環境が背景にあると考えられる。

餌の不足により、餌を探し回るイノシシは行動域を広げ、罠にかかりやすくなったこと、さらに箱罠においては、餌不足によって撒き餌に誘引されやすくなり、捕獲効率が上がった可能性もある。一方、8月から11月の動態は2種類の罠で異なっていた。箱罠においては7月の捕獲効率は高いが、その後の8月から11月まで比較的lowかった。これは8月から11月に餌資源が豊富だったためであると考えられる。特に秋に存在する堅果はイノシシにとって重要な餌資源であることが知られおり、他の餌資源の利用を減らすことが分かっている。このため、撒き餌に誘引されにくくなった可能性がある。くくり罠の捕獲効率は該当期に徐々に上昇したが、その理由は定かではない。

本研究の結果はイノシシの効率的な個体数管理に活かすことが出来る。具体的には、捕獲効率が高

い冬の時期に捕獲圧をかけるべきである。この時期は耕作放棄地を比較的選好していることが分かったため、耕作放棄地の周辺に罠を設置し、定期的に見回りをすることが重要である。他の時期においても、イノシシの季節的な環境選好に合わせて罠の設置箇所を定めるべきである。例えば、9月から10月にかけては耕作放棄地から広葉樹林へ、主に利用する環境が変化し、11月から12月はその逆の変化が見られた。これらの変化に合わせて設置箇所を変えることが捕獲効率の上昇につながると考えられる。

### 【イノシシの個体群動態モデルの開発】

#### (i) ビデオトラップから得られたイノシシの行動

ビデオトラップから得られたイノシシの滞在時間の分布に関して20秒以上の滞在分布も含めて平均滞在時間を推定するため、分布データを元に行動モデルによる解析を行った。行動モデルは、「指数分布モデル」、「対数正規分布モデル」、「2タイプの行動パターンを仮定した指数分布モデル」の3つのモデルを比較した結果、「2タイプの行動パターンを仮定したモデル」が最もデータと適合し、イノシシの行動分布をよく説明していた。また、短い滞在時間グループの平均滞在時間は1.10秒で全体の2割ほどであり、長い滞在時間グループの平均滞在時間は8.64秒で、こちらは全体の8割を占めていた。短い滞在時間の方はカメラの前を横切っただけと考えられる一方で、長い滞在時間は、観測エリア上を警戒や探索のためにゆっくり立ち止まる等行いながら移動していると考えられる。これらの警戒行動がイノシシの行動パターンの8割近くで見られたことは、一般的に言われているイノシシが臆病で警戒心が強いという言説と一致している。また別の解釈として、臆病で警戒心が強く、よく動いてカメラ内滞在時間が短くなる傾向のイノシシと、大胆にゆっくりと行動し、カメラ内滞在時間が長くなる傾向があるイノシシの2タイプがいるという可能性も否定できない。

#### (ii) 個体数に影響を与える環境要因

解析に用いた環境要因のPCAの結果を見ると、PCA1は都市や農地に正に相関し、森林と負に相関していた(図4.2.6)。よって、PCA1は、主に人間が利用しているところと正に相関していると考えられる。PCA1の回帰係数は-0.122とイノシシの増加に負に影響していた。また、PCA2は竹林や草原など森林以外のイノシシの生息地と負に相関しており、また、イノシシの生息に重要だとされている林縁長とも負に相関していた。PCA2の回帰係数は-0.041と、イノシシに負に影響していた。すなわち適切な生息地があるということが、イノシシの増加に正に影響するということである。PCA1とPCA2の回帰係数の絶対値を比較すると、PCA1の方が強く影響しており、このことから、人間活動の大きさが生息地の広さよりもイノシシの増加率に強く影響していると考えられる。増加率の平均値は2.82個体となった。現在のところ、イノシシの個体数は抑えられている(後述)が、各地域での捕獲努力を怠れば、潜在的には爆発的な増加が再び起こる可能性がある。

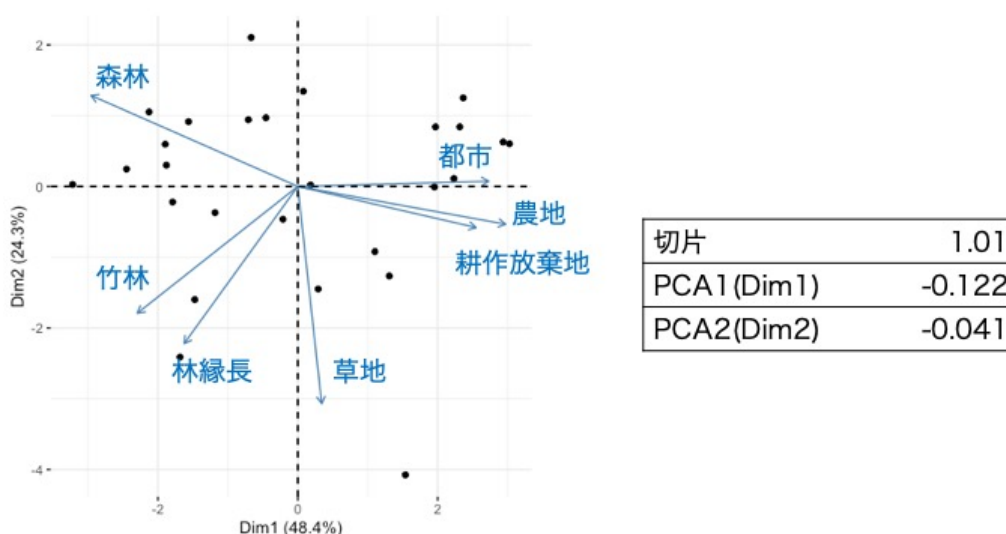


図4.2.6 PCAの結果と回帰係数

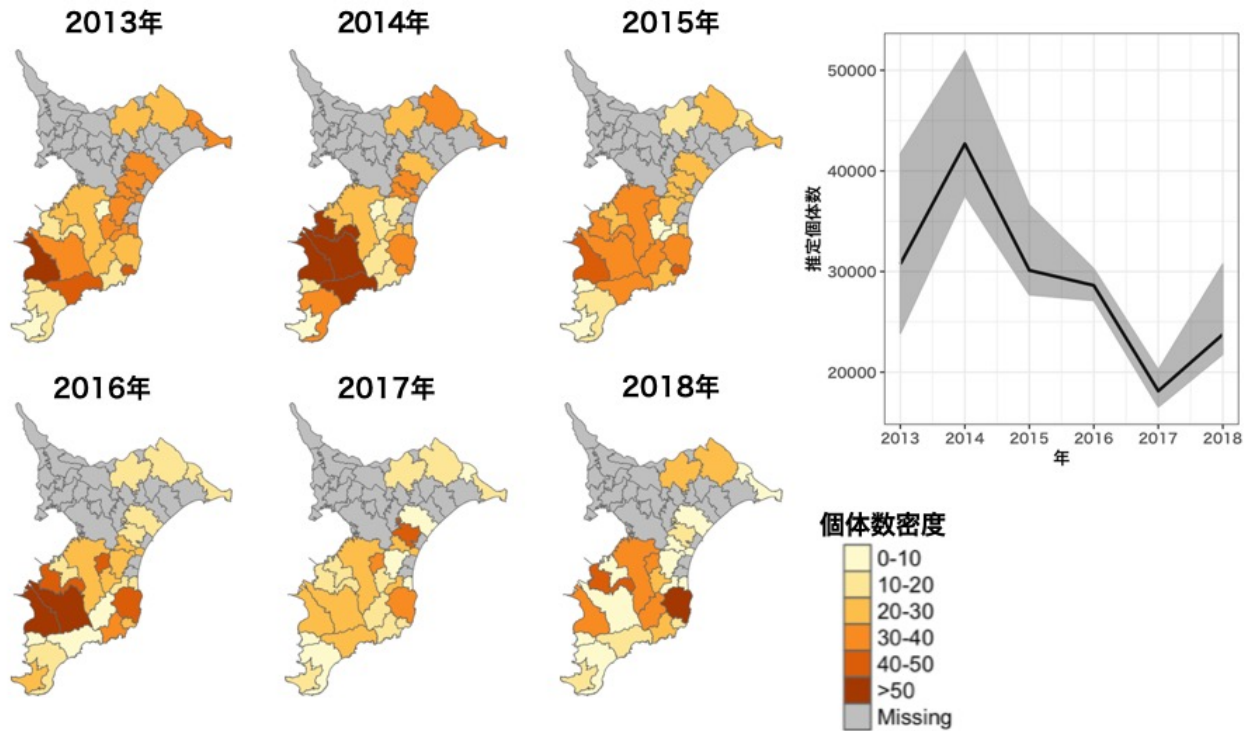


図4.2.7 房総半島におけるイノシシの推定個体数

### (iii) 推定個体数分布

千葉県全体の推定個体数の変化と分布の変化は図4.2.7のようになった。千葉県全体の個体数は2014年をピークに近年は落ち着いており、やや減少傾向にあることがわかる。ただし、年変動にはかなり大きなばらつきが見られる。分布は特に2014年に千葉県の南西部で大きく増えた後、拡散し、再び南西部で増えつつあるという傾向が見られた。生息域における平均的な個体数密度は最も多い2014年で33.6個体/km<sup>2</sup>で最も少ない2017年で17.9個体/km<sup>2</sup>であった。Osada et al. (2015)<sup>11)</sup>によると2008-2009年の推定個体数密度が26.8個体/km<sup>2</sup>で、生息域が当時よりも広がっていることを考えると、イノシシの個体数は2014年までの数年間で少しずつ増加していたと考えられる。この結果と捕獲数が2016年まで大きく増加し、その後あまり変化がないことを併せて考えると、イノシシの個体数増加の歯止めに、近年の捕獲強化の影響があると予想される。2018年の傾向を見るとこれまでより全体的に東側にイノシシの分布が広がっていることがわかる(図4.2.7)。

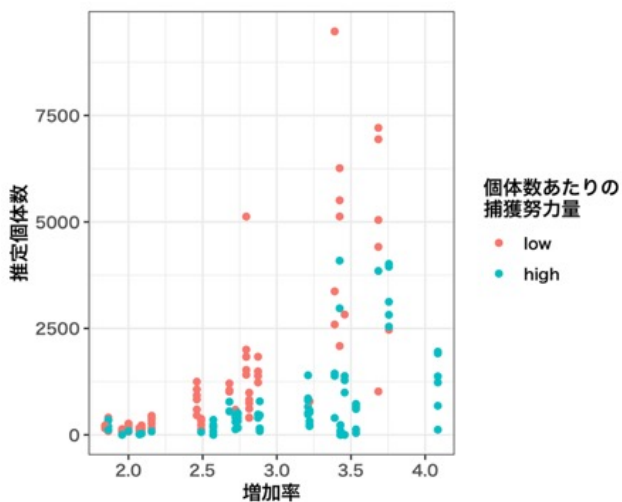


図4.2.8 増加率、個体数、捕獲努力量の関係

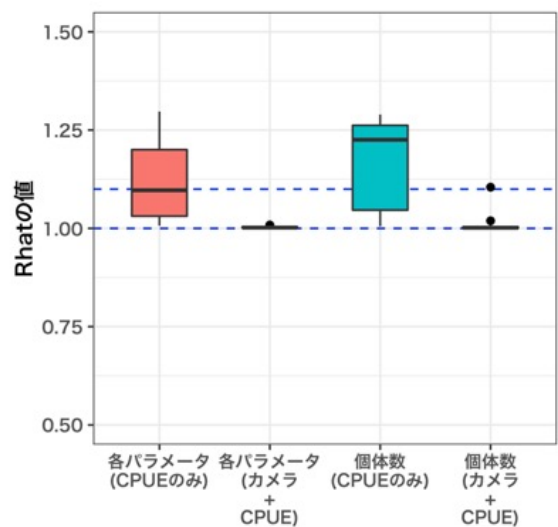


図4.2.9 モデルパラメータの収束

#### (iv) 捕獲の効果

さらに、6年分のデータを併せて各市町村で増加率と個体数の関係を見ると、正の相関があることがわかった（図4.2.8;  $R = 0.49$ ,  $P < 0.001$ ）。つまり、イノシシが増えやすい環境で、個体数は大きくなりやすいということである。これに対して、推定個体数あたりの捕獲努力量を算出し、中央値より高いグループ（図4.2.8中のhigh）と低いグループ（図4.2.8中のlow）に分類し色分けすると、捕獲努力量が全体として高いグループでは個体数が増加率に対して低く抑えられることがわかった（図4.2.11）。推定個体数あたりの捕獲数でも同様の傾向が見られたが、捕獲努力量の方がより顕著であった。これは、たとえイノシシが増え易い環境であっても、捕獲努力量を上げることで個体数の抑制が可能であることを示唆している。また、イノシシの環境収容力を計算したところ、最も環境収容力が高くなる地域で1 km<sup>2</sup>あたり100個体以上のイノシシが潜在的に生息可能でありそうだとことがわかった。

#### (v) カメラを利用しないモデルとの比較

本研究により、新しく開発したモデルを評価するため、カメラトラップを用いないCPUEのみのモデルと新しいモデルの比較を行った。CPUEのみの結果では、より個体数が多くなる傾向があり、モデルの収束はあまりよくなかった（図4.2.9）。一方で、今回のモデルでは、ほとんどの推定個体数及びのパラメータが収束の目安とされる $R_{hat} < 1.1$ を実現していた（図4.2.9）。つまり、新しく開発したモデルは、従来のモデルよりも顕著に収束しやすく、推定すべきパラメータやデータ数が多い場合や、複雑な仮定が必要な場合の解析に向いている。

### 【最適管理モデルの構築】

#### (2) 最適捕獲努力配分

下記の計算結果は、設置可能な箱ワナの総数 $R$ が2017年度の対象地域の箱ワナ設置基数（約120万ワナ日）と同じであり、2018年度の推定個体数に基づいて、その1年後の個体数を最小化するように計算したものである。

##### (i) イノシシ

図4.2.10aは2017年度の捕獲努力量、図4.2.10bは最適な捕獲努力量を示している。2つの図を比較すると、特に君津市、富津市、鴨川市への配分を増やすことにより総個体数の低減が期待できることがわかった。しかし、2017年度の捕獲努力配分は最適な捕獲努力配分と比べて、大きな差はなかった。これは個体数が多く農業被害が大きい地域において多くの捕獲が実施されており、その地域での捕獲が総個体数の低減のために重要であると考えられた。

##### (ii) シカ

図4.2.10cはシカの個体数を最小化するための最適な捕獲努力量を示している。最適な捕獲努力量は限られた市町村に配分することが最適であることがわかった。

##### (iii) イノシシとシカの統合管理

図4.2.10dはイノシシとシカの合計個体数が最小になる捕獲努力量を示している。

図4.2.11は、捕獲努力の配分方法（最適化または現状）と設置可能な箱ワナの総数 $R$ （現状、1割または2割増）についての複数の捕獲シナリオに対する1年後の個体数を示している。捕獲努力量が現状のままでも、捕獲努力を最適に配置することにより、個体数が約1割低減でき、各市町村で捕獲努力量を2割増加させることとほぼ同じ効果があることが明らかになった。設置可能な箱ワナの総数を増加させた場合でも、各市町村の現状の捕獲努力量を一律に増加させた場合は、個体数の低減効果は限定的である。すべての設置可能な箱ワナを最適に配置することは、実際には難しいことも考えられるが、捕獲努力の増加分のみを最適に配置した場合は、設置可能な箱ワナの総数 $R$ が大きい場合は、全ての努力量を最適配分した場合とほぼ同程度の効果があることがわかった。

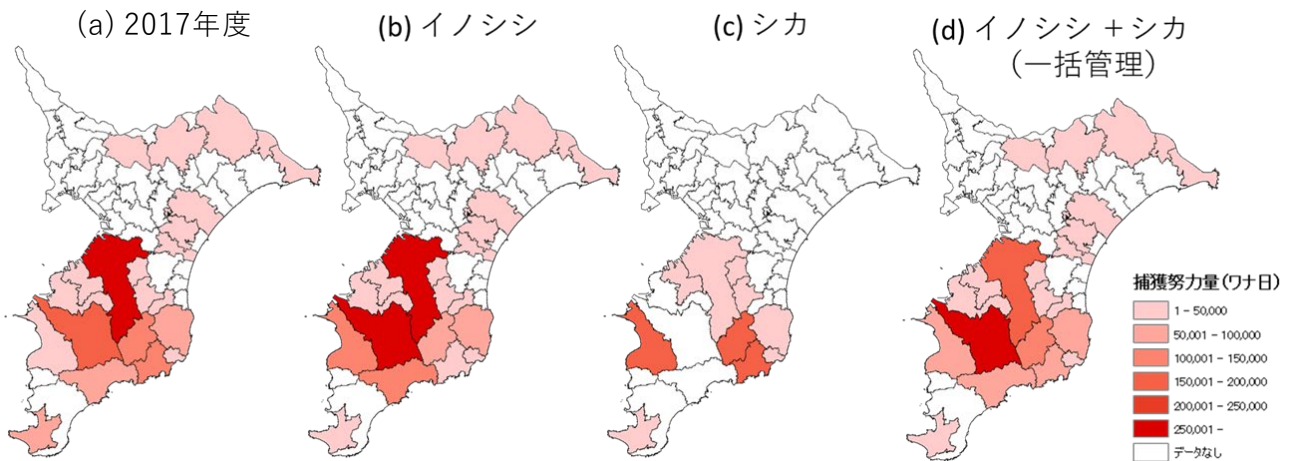


図4.2.10 市町村ごとの捕獲努力量

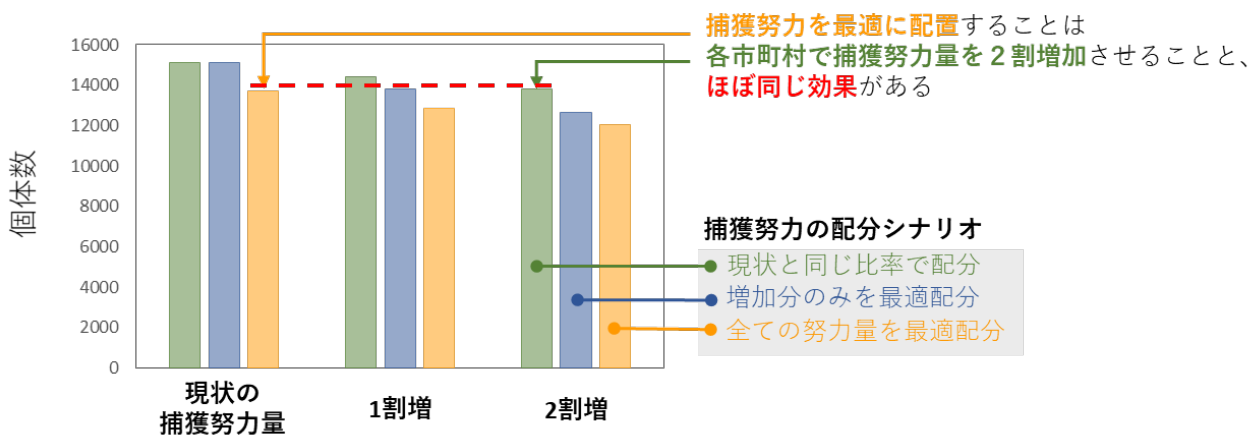


図4.2.11 シナリオ別の捕獲後の個体数

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

#### 【シカの増殖と分布拡大モデル】

本研究は、野生生物の個体群動態の状態空間モデルにおける方向分散透過性（すなわち移流）に対する環境共変量の影響を明示的に説明する世界初のものである。このアプローチでは事後確率の数値計算が困難なため、計算の改善が不可欠である。本研究では、粒子フィルタリングの数値積分手法の改善により、PFMCMCアルゴリズムを野生動物の個体群動態にうまく適用することができた。

#### 【イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態の評価】

カメラデータと行政の捕獲記録という異なるデータを用いて、イノシシの環境選好性、個体数、罠捕獲効率の3つを同時推定する手法を新たに開発できた。また、箱罠とくくり罠による捕獲効率とその季節変化を推定することができた。

#### 【イノシシの個体群動態モデル】

本研究により、カメラデータと行政の捕獲記録という異なるデータを用いて、新たな個体群動態モデルを開発できた。これは、すべての動物を含めても世界初である。このモデルは従来モデルよりもパラメータが収束しやすく、複数の手法の長所をうまく組み合わせたモデルであるため、より精度の高い推定が可能となった。また、これまでよりも、時空間的に詳細な個体数分布の変化を追うことが可能となった。さらに、密度効果と環境収容力を組み込んでいるため、従来のモデルでは実現が困難であった、捕獲の効果の分析が可能になった。

### 【最適管理モデルの構築】

複数の哺乳類への捕獲努力量はトレードオフ関係にあると考えられるが、構築したモデルにより、総個体数の目標値を達成するために必要な捕獲努力量を算出することが可能になった。空間構造を組み込み、かつ複数種を同時に効率的に管理するモデルは、過去に類をみない。さらに、地形などによるワナ設置場所の制約も組み込むことができる。大型哺乳類の管理にとどまらずに、外来生物の管理などへの応用も可能である。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

#### 【イノシシの環境選好性と罠捕獲効率の季節動態モデル】

本モデルを活用すれば、イノシシの環境選好性、および箱罠とくくり罠それぞれの捕獲効率の季節変動が推定できる。これに基づいて、いつ・どこに・どのわなを仕掛ければ、効果的にイノシシを管理できるかが予測でき、自治体の管理指針として活用できるはずである。

#### 【イノシシの個体群動態モデル】

本モデルは、イノシシの時空間パターンの詳細を推定可能なため、各市町村での具体的な予測や対策に活用することができる。この際重要なのは、自治体の捕獲データがその要になることである。より積極的に精度の高いデータを集める体制づくりが必要である。また、自動撮影カメラと組み合わせることでイノシシの動態予測の精度が高まることが示されたため、自治体レベルでカメラを活用したモニタリングを行うことが望まれる。

また、本研究により、小スケールでの環境収容力と増殖率が推定ができたため、捕獲量を増やすなどの重点的に対策を強化すべき場所の特定に活用できる。

#### 【最適管理モデル】

自治体は、一定の予算や人的資源の範囲内で複数種を管理する必要に迫られている。個々の種を別々に扱うのではなく、複数種を同時に扱うことで管理上の最適解を得ることができるはずである。こうした認識は従来からあったが、方法論的な枠組みが確立されていないために、管理の実践では生かされてこなかった。本研究により、複数種の一括管理の普及に貢献することが期待される。

本研究により、捕獲努力の増加や最適配置による個体数の低減効果を具体的な数値で示すことができた。いつ、どこで、どの種を、どの程度管理すれば、どのような成果があがるのかを、具体的かつ定量的に予測できるという利点があり、合意形成を行ううえでの強力なツールになるはずである。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 長田穰、栗山武夫、浅田正彦、横溝裕行、宮下直：保全生態学研究、23, 1, 29-38 (2018) 状態空間モデルへのベイジアンモデル平均の適用：イノシシ個体群の増減要因を探る
- 2) Y. Osada, T. Kuriyama, M. Asada, H. Yokomizo and T. Miyashita: Ecology and Evolution, 9, 318-327 (2019) Estimating range expansion of wildlife in heterogeneous landscapes: a spatially explicit state-space matrix model coupled with an improved numerical integration technique



**<その他誌上発表（査読なし）>**

特に記載すべき事項はない

**(2) 口頭発表（学会等）**

- 1) 笠田実、横溝裕行、中島啓裕、矢島豪太、横山雄一、宮下直：日本生態学会第 65 回大会（2018）カメラトラップと罠捕獲を利用したイノシシの個体数推定法の開発
- 2) H. Yokomizo, Y. Nakashima, Y. Osada, K. Kagawa, T. Kuriyama, M. Kasada, M. Suzuki, G. Yajima, N. Ishizuka, M. Asada, Y. Yokoyama and T. Miyashita: 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology (2018) Optimal management strategies to control mammal populations incorporating behaviorally mediated indirect effect
- 3) 横山雄一、矢島 豪太、中島 啓裕、宮下 直：日本生態学会第 66 回大会（2019）カメラトラップと捕獲データから推定するイノシシの繁殖期前後の生態特性の変化
- 4) 笠田実、深谷佑紀、宮下直：日本生態学会第 66 回大会（2019）取得法の異なるデータを利用した個体数推定モデル
- 5) 笠田実、横溝裕行、宮下直：日本哺乳類学会 2019 年度大会（2019）REST モデル、CPUE、景観構造を統合した個体群モデルの開発

**(3) 知的財産権**

特に記載すべき事項はない

**(4) 「国民との科学・技術対話」の実施**

特に記載すべき事項はない

**(5) マスコミ等への公表・報道等**

特に記載すべき事項はない

**(6) その他**

特に記載すべき事項はない

**8. 引用文献**

- 1) 千葉県：第 3 次千葉県第二種特定鳥獣管理計画（ニホンジカ）（2015）
- 2) P.B. Conn, D.S. Johnson, J.M. Ver Hoef, M.B. Hooten, J.M. London and P.L. Boveng: Ecological Monographs, 85, 235-252 (2015). Using spatiotemporal statistical models to estimate animal abundance and infer ecological dynamics from survey counts
- 3) P.J. Williams, M.B. Hooten, J.N. Womble, G.G. Esslinger, M.R. Bower and T.J. Hefley: Ecology, 98, 328-336 (2017) An integrated data model to estimate spatiotemporal occupancy, abundance, and colonization dynamics
- 4) J. Knappe and P. de Valpine: Molecular Ecology, 93, 256-263 (2012) Fitting complex population models by combining particle filters with Markov chain Monte Carlo
- 5) J.A. Vrugt, C.J.F. ter Braak, C.G.H. Diks, B.A. Robinson, J.M. Hyman and D. Higdon: International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 10, 271-288 (2009) Accelerating Markov chain Monte Carlo simulation by differential evolution with self-adaptive randomized subspace sampling
- 6) J.M. Rowcliffe, J. Field, S.T. Turvey and C. Carbone: Journal of Applied Ecology, 45, 4, 1228-1236 (2008) Estimating animal density using camera traps without the need for

individual recognition

- 7) Y. Nakashima, K. Fukasawa and H. Samejima: *Journal of Applied Ecology*, 55, 2, 735-744 (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps
- 8) Y. Osada, T. Kuriyama, M. Asada, H. Yokomizo and T. Miyashita: *Population Ecology*, 57, 485-493 (2015) Exploring the drivers of wildlife population dynamics from insufficient data by Bayesian model averaging
- 9) M. Plummer: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing*, 20-22 Mar 2003, Vienna. (2003) JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling
- 10) R Core Team: *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna (2018) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*
- 11) Y. Osada, T. Kuriyama, M. Asada, H. Yokomizo and T. Miyashita: *Ecology and Evolution*, 9, 318-327 (2019) Estimating range expansion of wildlife from spatial-temporal data in heterogeneous landscapes: a spatially explicit state-space matrix model coupled with an improved numerical integration technique
- 12) I.R. Ball and H.P. Possingham: *Marxan (v. 1.8.6), Marine Reserve Design Using Spatially Explicit Annealing*. (2000) User Manual, <http://www.uq.edu.au/marxan>

## II-3 効率的な捕獲のための事業効果測定モデルの開発

国立環境研究所 深澤圭太  
横溝裕行

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：17,049千円（研究経費は間接経費を含む）  
（平成29年度：5,720千円、平成30年度：5,384千円、令和元年度：5,945千円）

### 【要旨】

近年、指定管理鳥獣捕獲等事業のように、特定の地域を対象に短期間(通常は1年以内)のうちに繰り返し鳥獣の捕獲を実施して密度低減を図る事業が各地で実施されるようになった。従来、このような事業の効果の評価には除去法(Catch-effort method)が用いられてきたが、一般に開放系で実施される事業においては、移出入が単位努力量当たり捕獲率(捕獲効率)や個体数の推定に対して大きなバイアスをもたらすことが知られていた。本研究では、新たに移出入を考慮した除去法(Open catch-effort method, Open-CE)を開発し、コンピューターシミュレーションにより生成したデータに対して繰り返し推定を行うことで、バイアスの評価を行った。その結果、真の捕獲効率と個体数をバイアスなく推定できることが明らかとなった。さらに、これまで日本各地で実施された鳥獣捕獲事業(指定管理鳥獣捕獲等事業など)の出猟日誌データ48事例分を収集してデータベース化し、銃猟22事例、くくりわな猟26事例に対しOpen-CEによる捕獲効率の推定を行った。推定結果が得られた銃猟7事例、くくりわな猟11事例をメタ分析により統合し、標準的な単位努力量当たり捕獲率を算出した。その結果、銃猟では3.6%/(1人日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 2.6-5.0)、くくりわなでは0.22%/(1わな日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 0.17-0.29)であった。Open-CEを統計解析環境R上で簡便に推定するための関数、および事業地周辺に捕獲を実施しないモニタリング区を設定する場合の統合解析モデル推定のためのギブスサンプリング用コード(JAGS使用)を公開した。

### 【キーワード】

個体群管理、除去法、移出入、捕獲効率、事業評価

### 1. はじめに

近年、各地で野生動物の過剰な増加に伴う人間社会との軋轢の増加や生態系へのダメージが社会における問題となっており、その対策が必要とされている。捕獲等による個体群管理はそのための主要な方法のひとつである。個体群管理を成功に導くための要素には、適切な事業デザインや予算、成果をその後の管理戦略にフィードバックするための意思決定の仕組みなど多様なものがある。それらはいずれも正確な管理効果の評価に立脚するものであるため、そのための手法の整備がとても重要である。

除去法<sup>Catch-effort method, 1), 2)</sup>は、繰り返しの捕獲データに基づく生息数と捕獲効果の評価手法としては古典的かつ標準的なものである。この手法は、閉鎖個体群の前提のもと、捕獲に対する個体群指数(主にCPUE)の反応を背後にある個体数変動と関連付けてモデル化したものである。しかしながら、実際の野外における個体群管理は、島などの特殊なケースを除けば一般に開放系で実施されていることがほとんどである。開放系においては、捕獲実施範囲における個体の除去によって内外の個体密度差が拡大し、移出よりも移入が卓越するようになり、見かけの捕獲効果が低下すると考えられる。このような密度勾配に伴う拡散は野外でも一般的に観察されるプロセスである<sup>e.g., 3), 4)</sup>が、近年提案されている開放個体群の除去法でもこのようなメカニズムは考慮されていない<sup>5), 6)</sup>。このような状況で従来の手法を用いると捕獲の効果を過小評価することになると考えられるが、拡散を考慮した開放個体群除去法を用いることでそれを補正することが可能になると考えられる。

## 2. 研究開発目的

捕獲を実施すると同時に外部からの移出入が生じ、捕獲対象地域内外の密度勾配に伴い移入が増加するという現実的な仮定に基づいた開放個体群除去法 (Open catch-effort method, Open-CE) の統計モデルを構築するとともに、推定計算のためのプログラムを開発し、以下の目的で研究を行った。1) 移出入を考慮したコンピューターシミュレーションにより生成したデータに対してOpen-CEを適用し、真の値に対してバイアスのない推定が可能か検証した。2) これまで各地で実施された捕獲事業 (指定管理鳥獣捕獲等事業等) で得られた捕獲作業日誌データ (日別捕獲数, 捕獲努力量) を用いてOpen-CEによる捕獲効率の推定を行い、事業設計の参考になる標準的な捕獲努力量あたり捕獲率 (捕獲効率) を明らかにした。

## 3. 研究開発方法

### (1) モデル構造の検討

本研究で想定する対象は、ある面積をもつ捕獲対象地域で、比較的短い (~1年程度) 捕獲実施期間内に鳥獣の捕獲作業を複数回繰り返して実施している系である。捕獲実施期間内の対象鳥獣の繁殖や死亡による個体数変化は無視できるほど小さいが、捕獲対象地域とその外部の動物個体の移出入がランダムに生じるとする。また、捕獲開始前には捕獲対象地域内外の個体密度は等しいと仮定し、移出捕獲対象地域外部からの個体流入速度は捕獲実施期間中に一定であると仮定する。捕獲実施期間内は時間単位ごと (一般には1日単位) の捕獲数および捕獲努力量 (出猟人日やわな日など) が記録されており、単独の方法または複数の方法 (銃猟とわな等) による捕獲が実施されているとする。なお、複数の方法が用いられている場合は少なくとも1つの手法で繰り返し捕獲が実施されていることとする。

従来の閉鎖個体群のための除去法で用いられるLeslieモデル<sup>1)</sup>は、初期個体数 $N_1$ から捕獲により除去を繰り返すことで個体数が減少していくことを想定しており、それ以外の要因による個体数増減は生じないと仮定する。したがって、時間単位 $t$ における個体数を $N_t$ 、捕獲数を $C_t$ とすると、下記の式が成り立つ。

$$N_{t+1} = N_t - C_t$$

捕獲数 $C_t$ は、個体数 $N_t$ を捕獲率 $p_t$ でサンプリングすることにより決まり、これは二項分布に従う。

$$C_t \sim \text{Bin}(p_t, N_t)$$

捕獲率 $p_t$ はその時の捕獲努力量 $E_t$ に比例すると仮定している。

$$p_t = cE_t$$

比例係数 $c$ は捕獲効率であり、単位努力量あたりの捕獲率である。ただし、このモデルは努力量が大ききときには捕獲率が1を上回ってしまうため、その点を改善したPoisson catchability model

$$p_t = 1 - \exp(-cE_t)$$

が実用上都合が良い。なお、Poisson catchability modelを $cE_t = 0$ の周りでテイラー展開すれば、Leslie法のモデルに一致する。Leslie法では、上記生成モデルから導出されるCPUEと累積捕獲数の線形関係に基づいて $N_1$ と $c$ を求める。ほかにも、総捕獲数 $\sum C_t$ のうち時点 $t$ で捕獲される頻度が確率 $\pi_t / \sum \pi_t$  (ただし $\pi_t = \prod_{\tau < t} (1 - p_\tau) p_t$ ) の多項分布に従うことに基づいて総捕獲数に条件づけられた尤度を計算し、それを最大化する $c$ を求める条件付尤度最大化法などが使われる<sup>2)</sup>。

本研究で開発したOpen-CEモデルは、上記Leslieモデルに確率的な移出入を導入した自然な拡張である。Leslieモデルでは、ある時間単位 $t$ において捕獲と除去が行われるが、Open-CEモデルでは、時間単位内で移出入、捕獲、除去が行われると考える。時間単位 $t$ の最初の個体数を $N_t$ とすると、移出個体数 $\varepsilon_t$ は移出入率 $\phi$ の二項分布に従う。

$$\varepsilon_t \sim \text{Bin}(\phi, N_t)$$

また、初期移入個体数は初期移出個体数と釣り合っており、その後一定であると仮定しているため、移入個体数 $\iota_t$ は平均 $\phi N_1$ のポアソン分布に従うとする。

$$\iota_t \sim \text{Pois}(\phi N_1)$$

Leslieモデルとの整合性を考えると、捕獲は移出入後個体数 $M_t = N_t - \varepsilon_t + \iota_t$ 、捕獲率 $p_t$ の二項分布

に従うとするのが自然であるが、予備解析において捕獲数の過分散を無視すると推定に大きなバイアスがかかることが明らかとなったため、実際の応用においては二項分布の代わりにベータ二項分布を用いることを推奨する。

$$C_t \sim \text{BetaBin}(p_t, M_t, \beta)$$

ここで、 $\beta$ は過分散パラメータである。また、同じ努力量でも対象面積が異なれば個体群に与える影響は大きく変わるため、捕獲対象面積 $A$ を考慮した捕獲率のモデルを用いる。

$$p_t = 1 - \exp(-cE_t/A) \quad (\text{式1})$$

もし捕獲対象地域において自動撮影カメラ等の密度指標のモニタリングデータを考慮する場合、モニタリング努力量 $H_t$ のもとでの撮影数 $Y_t$ は期待値 $sM_tH_t/A$ の負の二項分布に従うとした。

$$Y_t \sim \text{NegBin}(sM_tH_t/A, \phi)$$

$s$ は単位努力量あたり1個体あたりの平均検出回数、 $\phi$ は過分散パラメータであり、 $E[Y_t] = sM_tH_t/A$ 、 $\text{Var}[Y_t] = sM_tH_t/A + (sM_tH_t/\phi A)^2$ である。

このモデルは個体数変化プロセスに観測できない潜在変数 $\varepsilon_t$ 、 $\iota_t$ を含むため、非ガウス状態空間モデルの一種であると考えられる。非ガウス状態空間モデルのパラメータ推定には、主にMCMC法や数値積分フィルタによる最尤推定法が用いられるが、本研究では識別可能性の評価が容易な数値積分フィルタによる周辺尤度最大化法を採用した。数値積分フィルタは、「1期前までのデータが与えられた条件のもとでの時間単位 $t$ の状態変数の分布(予測分布)」 $p(M_t|C_{1:t-1})$ と「時間単位 $t$ までのデータが与えられた条件のもとでの時間単位 $t$ の状態変数の分布(フィルタ分布)」 $p(M_t|C_{1:t})$ を $t = 1$ から順に交互に計算する計算手順であり、それぞれシミュレーションによる一期先予測と、データによる予測の絞り込みに相当する。その過程で条件付周辺尤度 $p(C_t|C_{t-1})$ が得られ、それをすべての $t$ について積算した周辺尤度を最大化することでパラメータの推定値が得られる(図3.3.1)。

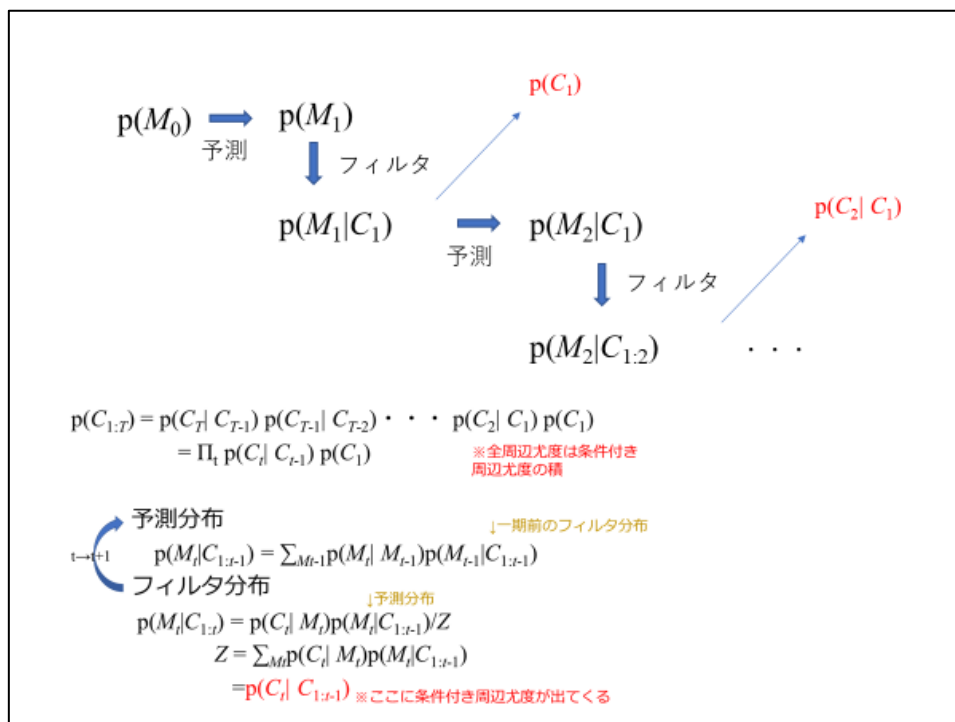


図3.3.1 数値積分フィルタによる周辺尤度の計算

## (2) シミュレーションによる推定精度の評価

移出入が生じる状況でOpen-CEが従来法よりもバイアスの少ない推定ができるか明らかにするため、事前に設定したパラメータの下で移出入を考慮したシミュレーションによりデータを生成し、Leslie法とOpen-CEの推定精度の比較を行った。生成モデルはOpen-CEと同様のプロセスモデルを考え、単純化の

ために捕獲数の確率分布は過大分散のない二項分布とした。データ生成の際の真のパラメータは $N_1 = 500$ とし、 $c = (0.01, 0.1, 0.3)$ ,  $\phi = (0.001, 0.01, 0.03)$ の計9通りの組合せを試行した。シミュレーションの日数は50日間、5日捕獲と5日休止を繰り返し、捕獲を実施した日の努力量は1としたシナリオをベースラインの捕獲スケジュールとした。捕獲スケジュールのシナリオについては、2日捕獲8日休止、8日捕獲2日休止についても評価した。シミュレーションは各500回繰り返した。

Open-CEの周辺尤度計算のプログラムはC++で記述したものをRパッケージRcppによりR関数に変換し、関数nlm()による準ニュートン法で最尤推定値を求めた。Leslie法の推定には、RパッケージFSAの関数depletion()を用いた。得られた結果はヘッセ行列の正定値性によって収束判定を行い、収束した結果について真値とのずれを比較した。

### (3) 実際の捕獲事業データへの適用

日本各地で実施されたニホンジカの捕獲事業（主に指定管理鳥獣捕獲等事業）の捕獲作業日誌データを収集し、①対象範囲が明確に定義されていること、②対象範囲内の日別捕獲数と日別努力量がもれなく記録されていることを条件に48事例を解析の対象とした。そのうち、銃猟が実施されていた事業は22事例、くくりわな猟が実施されていた事業は26事例であった。対象事業の位置図を図3.3.2に示した。

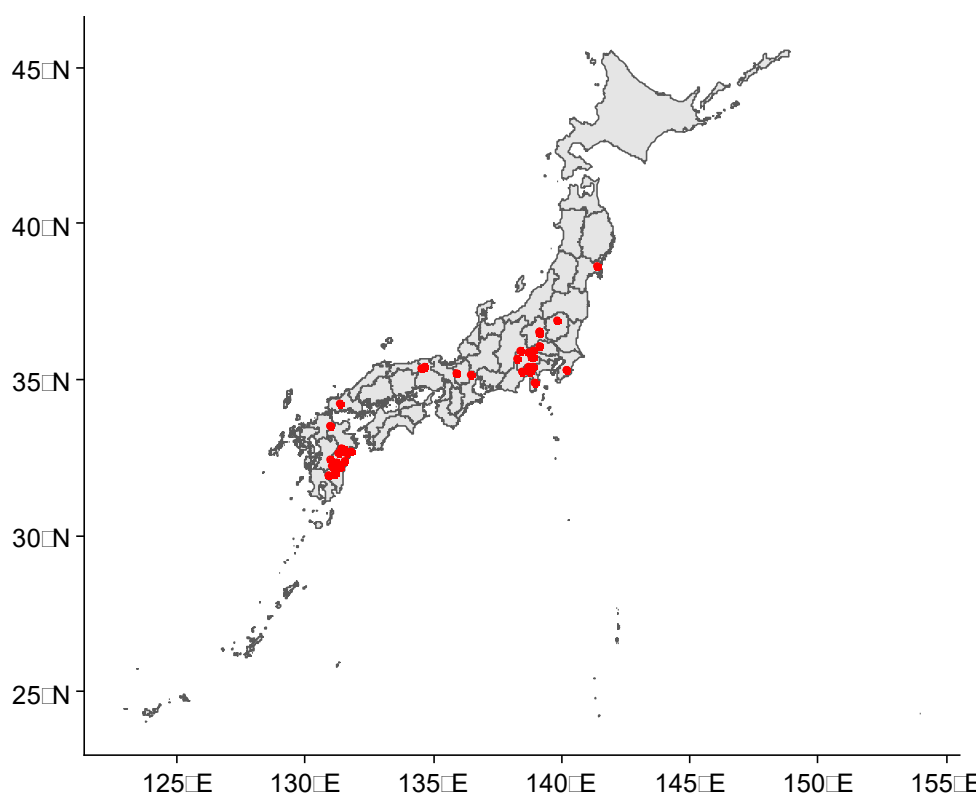


図3.3.2 対象事例の位置図

各事業の捕獲効率をOpen-CEにより推定し、ヘッセ行列の正定値性によって収束判定を行った。収束した事例について、推定された捕獲効率をメタ解析により統合し、平均的な捕獲効率を算出した。

### (4) Open-CE推定用関数の作成と公開

Rを使用できるユーザーが簡単にモデルを利用できるように、Open-CE推定用関数を作成し、下記Webサイトで公開した。

<https://github.com/kfukasawa37/open-ce>

また、捕獲実施区の外部でカメラトラップ等によるモニタリングデータが利用可能である場合にその情報を考慮した推定のためのコード例も下記で公開している。

[https://github.com/kfukasawa37/Open-CE/blob/master/control-treatment\\_design\\_CE.r](https://github.com/kfukasawa37/Open-CE/blob/master/control-treatment_design_CE.r)

#### 4. 結果及び考察

##### (1) シミュレーションによる推定精度の評価

ベースラインの捕獲スケジュールにおいて推定値が収束した頻度をLeslie法、Open-CEそれぞれ表4.3.1, 表4.3.2に示した。

表4.3.1 Leslie法の解が収束した頻度(500反復中)。捕獲のスケジュールはベースライン。

		真の移出入率 $\phi$		
		0.001	0.01	0.03
真の $c$	0.1	500	500	500
	0.2	500	500	500
	0.3	500	500	500

表4.3.2 Open-CEの解が収束した頻度(500反復中)。捕獲のスケジュールはベースライン。

		真の移出入率 $\phi$		
		0.001	0.01	0.03
真の $c$	0.1	401	438	430
	0.2	329	425	341
	0.3	326	412	307

Leslie法はすべてのパラメータセット・反復において解が収束したのに対し、Open-CEは収束しない例がみられた。移出入率が中程度(0.01)の時に収束する頻度が高いという結果が得られた。これは、移出入率が低すぎると、移出入率の対数値がどこまでも小さくなってしまい解が収束しないこと、逆に移出入率が高すぎると捕獲の効果が移出入にマスクされてしまっていて推定できなくなってしまうことによるものと思われる。

移出入の程度を変化させたときの個体密度および捕獲効率の推定精度をLeslie法とOpen-CEで比較すると、Leslie法は移出入が大きくなるほど個体密度を過大評価、捕獲効率を過小評価する傾向があったのに対し、Open-CEではそのようなバイアスはわずかであった。捕獲スケジュールはベースライン、 $c = 0.2$ のときの個体数推定結果と捕獲効率推定結果をそれぞれ図4.3.1と図4.3.2に示した。一般に、移出入が生じる系では捕獲開始直後に密度の低下が生じるが、内外の密度差が大きくなるほど移出入の差が増大するため密度低下が生じにくくなる。Leslie法ではそのようなパターンを低い捕獲効率の結果とみなすことで捕獲効率の過小評価、個体数の過大評価につながっていたと考えられる。

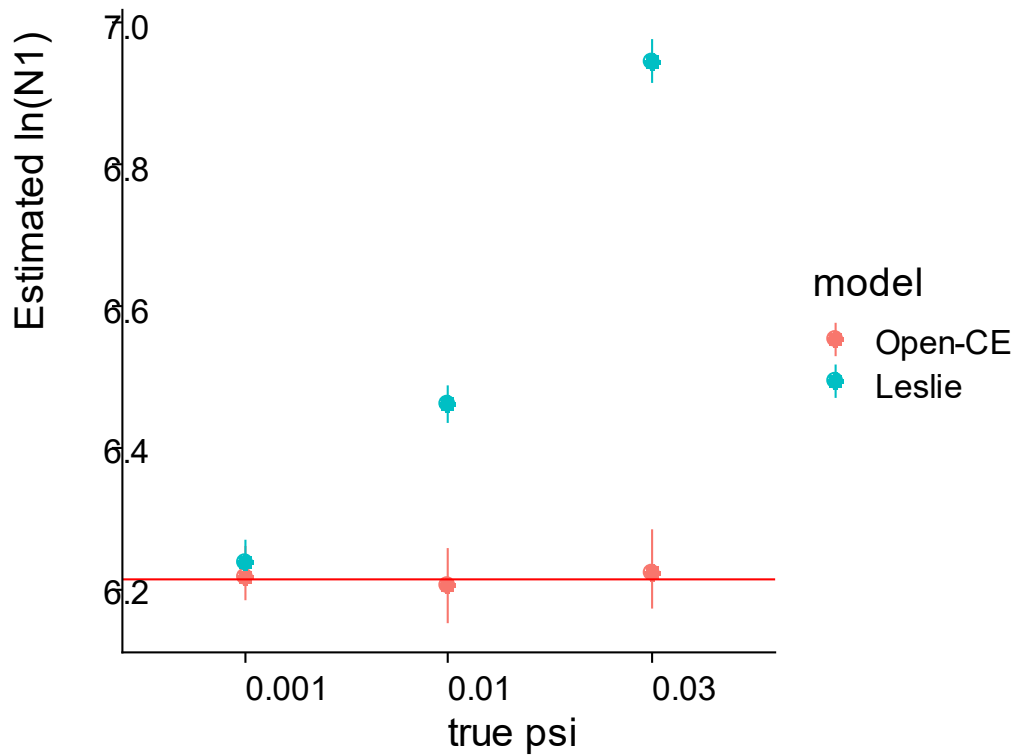


図 4.3.1  $c = 0.2$ 、ベースライン捕獲スケジュールにおける真の移出入率 ( $\psi$ ) と個体数の推定精度の関係。ドットは中央値、エラーバーは 50% 区間を表す。赤い水平線は真値 ( $\ln(500) = 6.21$ ) を示す。

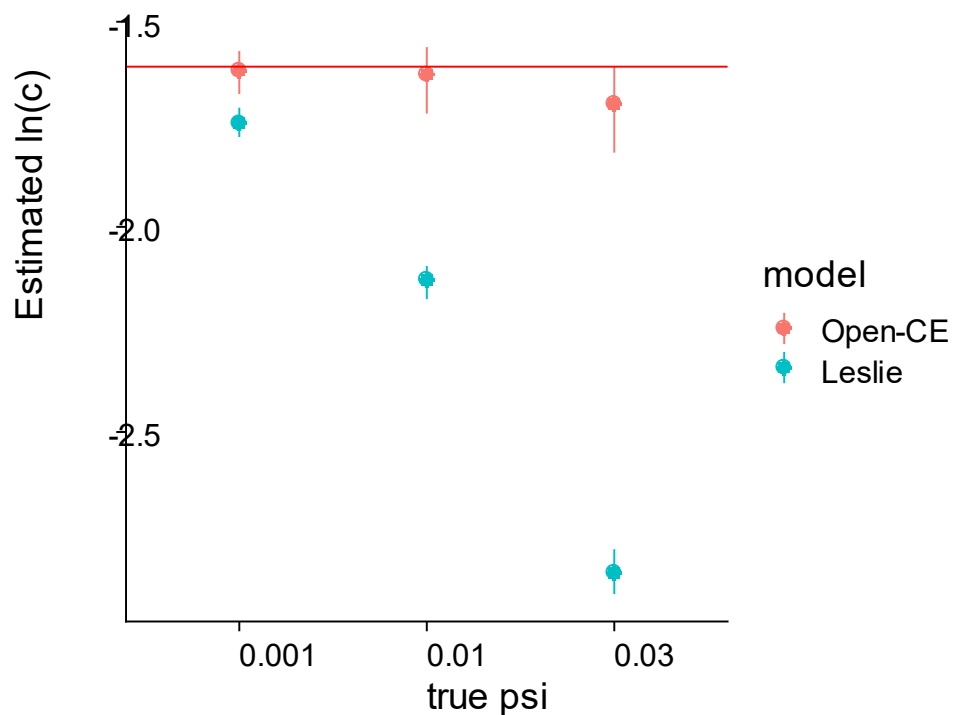


図 4.3.2  $c = 0.2$ 、ベースライン捕獲スケジュールにおける真の移出入率 ( $\psi$ ) と捕獲効率の推定精度の関係。ドットは中央値、エラーバーは 50% 区間を表す。赤い水平線は真値 ( $\ln(0.2) = -1.61$ ) を示す。

なお、このような傾向は捕獲効率が異なる場合でも同様であったが(図4.3.3, 図4.3.4)、捕獲日数をより増やしたスケジュール(8日捕獲、2日休止)では高い移出入率のときにOpen-CEのバイアスが増大する



傾向があった(図4.3.5)が、それでも平均的にはLeslie法のバイアスよりは少なかった。従来のLeslie法であれば、閉鎖個体群の仮定を満たす限りはより高い捕獲圧をかける方が良い推定が得られるはずである。一方、Open-CEで移出入を同時に推定するには、適度な休止期間を設けることで捕獲と移出入が個体群に与える効果を時間的に分離することができるため、より良好な推定が得られたと考えられる。この結果は、事業効果を評価する上で適度な休止期間を取り入れた捕獲事業デザインが重要であることを示している。それが困難な場合、対象地域外のモニタリング結果を考慮した推定(3(4)参照)を実施することが望ましい。

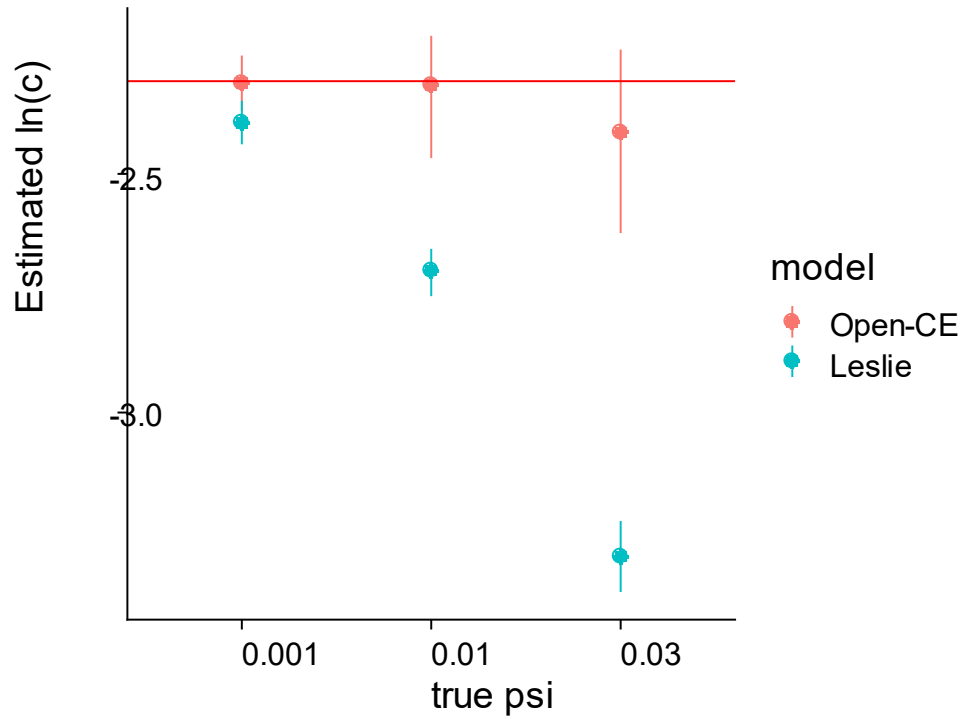


図4.3.3  $c = 0.1$ 、ベースライン捕獲スケジュールにおける真の移出入率( $\psi$ )と捕獲効率の推定精度の関係。ドットは中央値、エラーバーは50%区間を表す。赤い水平線は真値( $\ln(0.1)=-2.30$ )を示す。

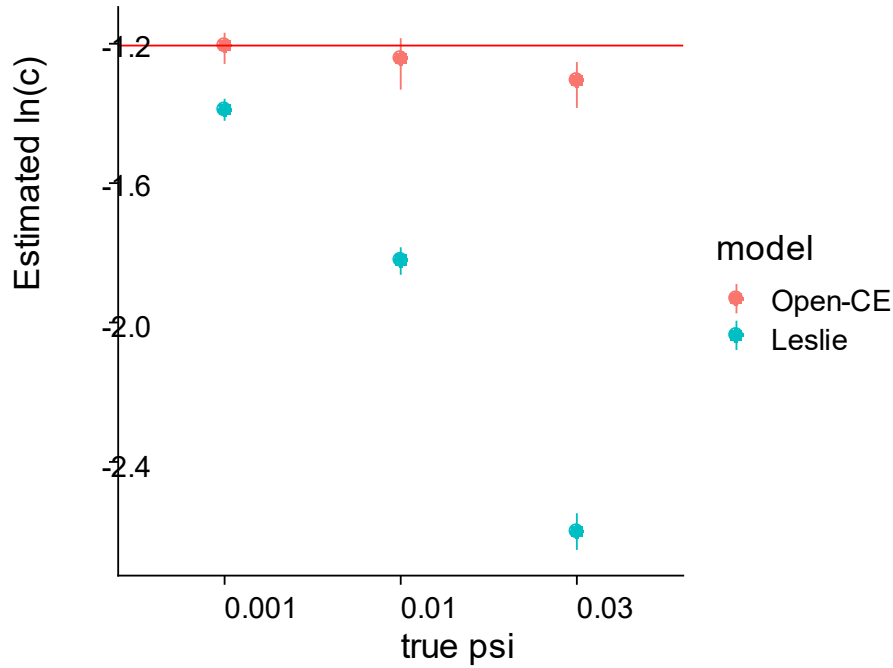


図4.3.4  $c = 0.3$ 、ベースライン捕獲スケジュールにおける真の移出入率( $\phi$ )と捕獲効率の推定精度の関係。ドットは中央値、エラーバーは50%区間を表す。赤い水平線は真値( $\ln(0.3)=-1.20$ )を示す。

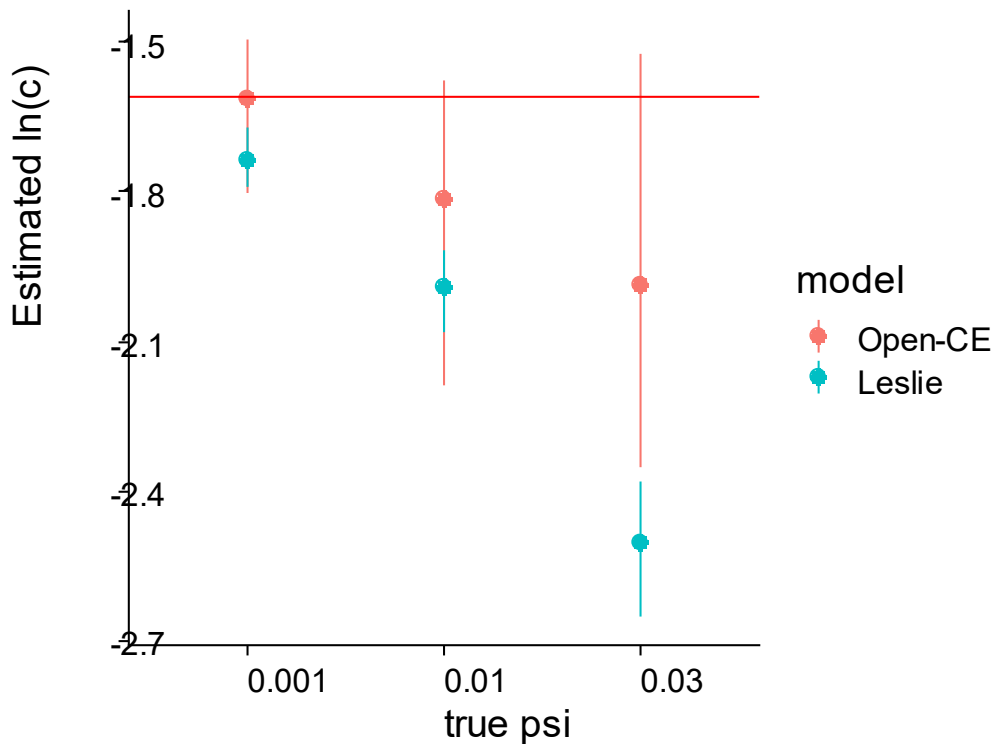


図4.3.5  $c = 0.2$ 、8日捕獲、2日休止スケジュールにおける真の移出入率( $\phi$ )と捕獲効率の推定精度の関係。ドットは中央値、エラーバーは50%区間を表す。赤い水平線は真値( $\ln(0.2)=-1.61$ )を示す。

Open-CEは個体数や捕獲効率の推定ではLeslie法よりも総じて良好な結果であった。一方、Open-CEを用いても移出入率の正確な推定は困難であることが明らかとなった。移出入率が高い場合、移出入率を総じて過小評価する傾向が見られた(図4.3.6)。一般に、状態空間モデルは個体数変動のばらつきに

相当する過程誤差を縮小推定する傾向がある<sup>7)</sup>。Open-CEにおいて個体数変動のばらつきは移出入率によってコントロールされるため、それが縮小されたものと考えられる。

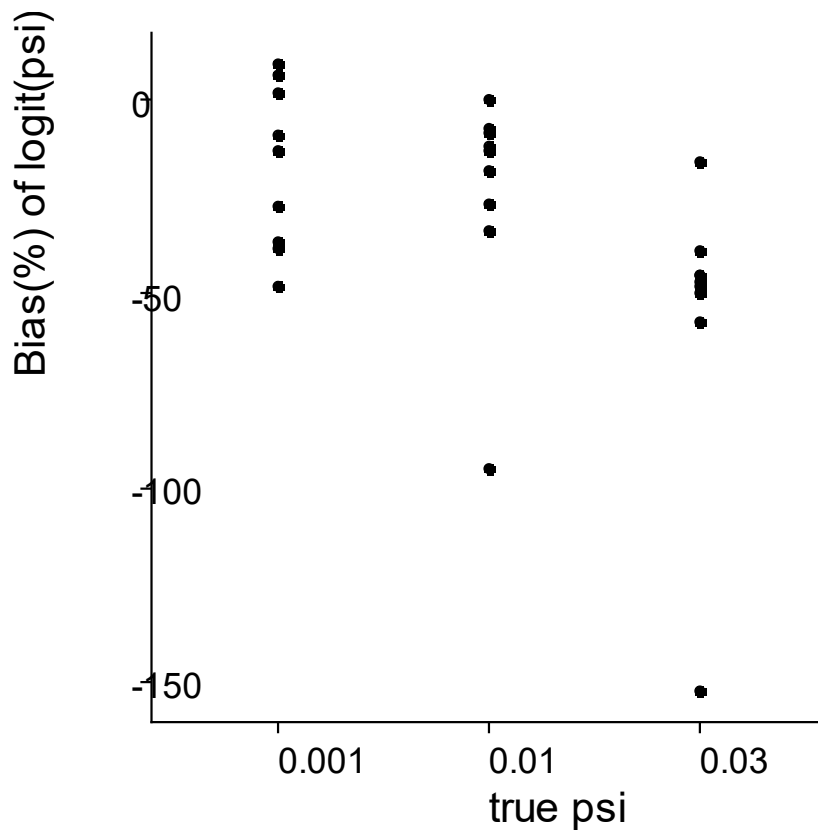


図4.3.6 真の $\psi$ の値とOpen-CEによる推定のバイアスの関係

これらの結果から、Open-CEによって移出入率の正確な評価は困難であると考えられたが、個体密度や捕獲効率については移出入が生じる状況においても従来法より正確に推定できると考えられた。

## (2) 実際の捕獲事業データへの適用

収集した事例にOpen-CEを適用した結果、銃猟7事例、くくりわな11事例で推定結果が得られた。銃猟の捕獲効率を図4.3.7, くくりわなの捕獲効率を図4.3.8に示した。平均的な捕獲効率は、銃猟では3.6%/(1人日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 2.6-5.0)、くくりわなでは0.22%/(1わな日/km<sup>2</sup>) (95%CI: 0.17-0.29)であった。これをもとに、面積当たり捕獲努力量と捕獲率の関係を算出したものを図4.3.9, 図4.3.10に示した。この曲線から、ニホンジカの増殖率を1.21<sup>8)</sup>と仮定したときに増殖と捕獲が釣り合うときの捕獲努力量は銃猟・くくりわな猟それぞれで7.1人日/km<sup>2</sup> (95%CI: 5.2-9.8)、115.0わな日/km<sup>2</sup> (95%CI: 87.8-150.5)であると計算された。現時点では事例数が限られるため、この推定結果は今後の捕獲事業の実施結果によってアップデートする必要があると考えられるが、結果に応じて必要努力量を見直していく順応的管理を行うことで、目標達成に向けた事業の改善が可能になると考えられる。

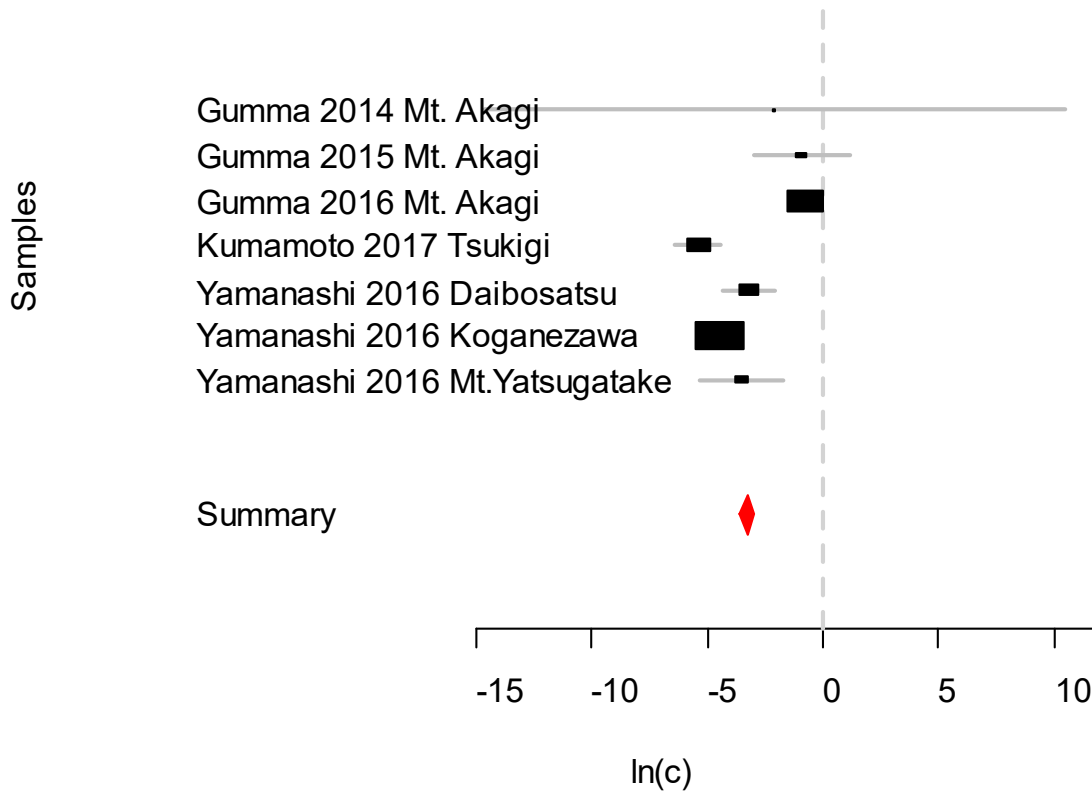


図4.3.7 シカ銃猟捕獲効率のフォレストプロット。各事例の推定値を黒四角、±1SEをエラーバーで示した。黒四角の大きさは事例ごとの情報の重みを示す。赤色のひし形は、全体の平均±1SEを表している。

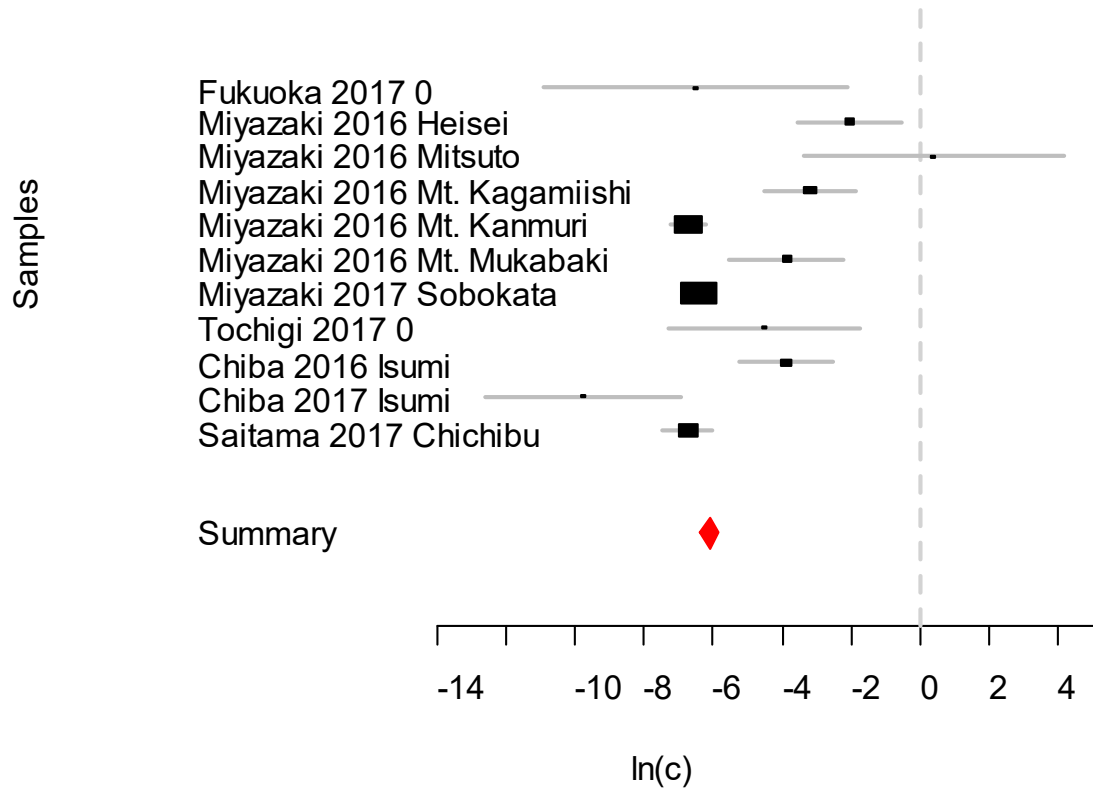


図4.3.8 シカくくりわな捕獲効率のフォレストプロット。各事例の推定値を黒四角、±1SEをエラーバーで示した。黒四角の大きさは事例ごとの情報の重みを示す。赤色のひし形は、全体の平均±1SEを表している。

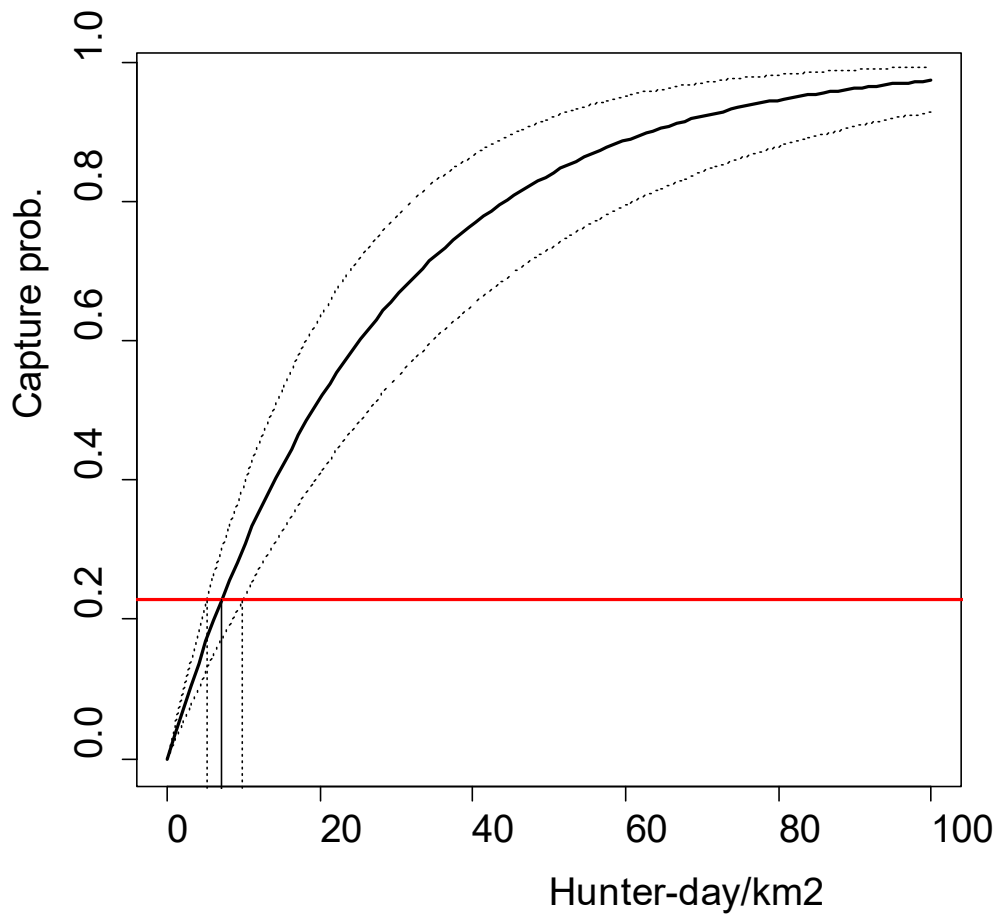


図4.3.9 シカ銃猟の平均的な捕獲努力量と捕獲率の関係。点線は95%信頼区間、赤い水平線はシカの個体群増加率を1.21とした時に捕獲圧と増殖率が釣り合う点。

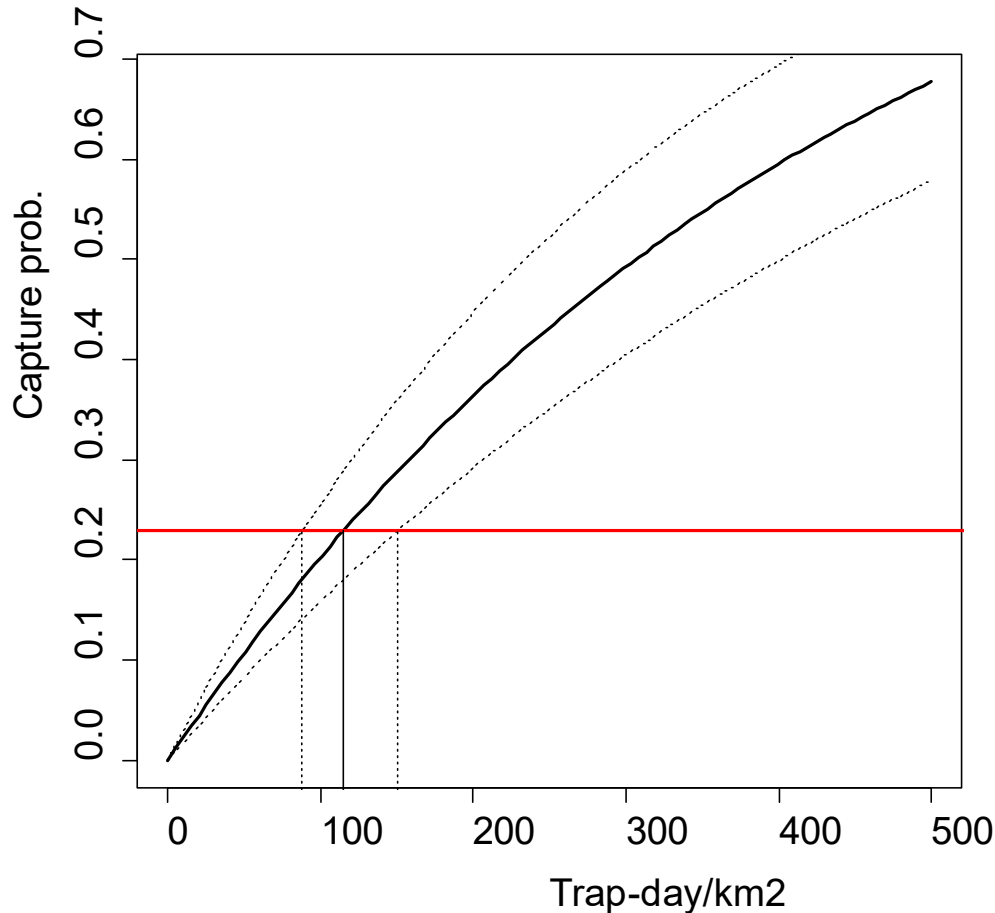


図4.3.10 シカくりわな猟の平均的な捕獲努力量と捕獲率の関係。点線は95%信頼区間、赤い水平線はシカの個体群増加率を1.21とした時に捕獲圧と増殖率が釣り合う点。

### (3) まとめ

本サブテーマにおいては、捕獲に伴い密度勾配に従う移出入が生じる開放系における除去法Open-CEを新たに開発した。この手法の適用には、日別猟法別捕獲努力量および捕獲数の情報が必要であり、オプションとしてカメラトラップ等による日別モニタリング努力量と検出数の情報も推定に用いることが可能である。シミュレーションの結果、従来の手法に比べてパラメータの識別可能性が低かったものの、従来の閉鎖個体群除去法で生じる推定のバイアスが緩和されることが分かった。また、捕獲作業の実施と中断をバランスよく組み合わせることで推定精度が向上することが明らかとなった。この手法を日本各地で実施された捕獲事業データに適用し、銃猟およびくりわな猟それぞれについて標準的な努力量と捕獲率の関係を明らかにした。この値から今後の事業設計の際に目標捕獲率に対応する必要努力量を算出することができるが、事業ごとの捕獲効率は大きなばらつきがあるため、事業から得られたデータで捕獲効率の推定と必要努力量の見積もりをアップデートする順応的管理を実現するためのツールとして用いることが望ましい。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

繰り返しの捕獲による個体数と捕獲効率の評価のアイデアははるか昔にさかのぼるものの、開放系におけるバイアスのない推定はこれまで大きな課題であった。本研究で開発した手法はそれに対する1つの解決策を示したものである点で意義があると考えられる。シミュレーションにおいて異なるパラメータセットに対する推定値のふるまいを明らかにしたことも、手法の有用性を理解するうえで重要な

ポイントである。本手法は鳥獣管理のみならず、漁業資源評価や絶滅危惧種の域外保全などさまざまな場面での応用がそのまま可能であり、鳥獣管理にとどまらない一般性も併せ持つ。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

福島県の第3期イノシシ特定計画策定における個体数推定にサブテーマ代表者が参画した。また、環境省の福島第一原発事故に伴う帰還困難区域内のイノシシ捕獲事業における捕獲効果の評価について、評価のためのデザインに助言を行った。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で開発した手法は多くの鳥獣捕獲事業で事業効果の測定に適用可能であり、今後活用されることが見込まれる。また、本研究で示した「成果を評価しやすい事業デザイン」についても、今後の事業設計において重要な情報であると考えられる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない。

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) H. Yokomizo, Y. Nakashima, Y. Osada, K. Kagawa, T. Kuriyama, M. Kasada, M. Suzuki, G. Yajima, N. Ishizuka, M. Asada, Y. Yokoyama and T. Miyashita: 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology (2018) Optimal management strategies to control mammal populations incorporating behaviorally mediated indirect effect
- 2) 深澤圭太: 日本生態学会第66回大会(2019) 移出入を考慮した除去法による捕獲率の推定モデル
- 3) 横溝裕行: 日本生態学会第66回大会(2019) 「データの質と量に応じたニホンジカとイノシシ個体数推定モデルの開発と適用」のコメント
- 4) 栗山武夫、高木俊、横山真弓、東出大志、川本朋慶、横溝裕行、鈴木正嗣、武山絵美: 日本哺乳類学会2019年度大会(2019) 自由集会「これからのイノシシの個体数管理を考える」企画運営
- 5) 笠田実、横溝裕行、宮下直: 日本哺乳類学会2019年度大会(2019) RESTモデル、CPUE、景観構造を統合した個体群モデルの開発

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等



特に記載すべき事項はない。

## (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) P.H. Leslie and D.H.S. Davis: Journal of Animal Ecology, 8, 94-113 (1939) An Attempt to Determine the Absolute Number of Rats on a Given Area
- 2) W.R. Gould and K.H. Pollock: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54, 890-897 (1997) Catch-effort maximum likelihood estimation of important population parameters
- 3) C.K. Wikle: Ecology, 84, 1382-1394 (2003) Hierarchical Bayesian models for predicting the spread of ecological processes
- 4) O. Ovaskainen: Ecology, 85, 242-257 (2004) Habitat-specific movement parameters estimated using mark-recapture data and a diffusion model
- 5) E. Matechou, R.S. McCrea, B.J.T. Morgan, D.J. Nash and R.A. Griffiths: Annals of Applied Statistics, 10, 1572-1589 (2016) Open models for removal data
- 6) M. Zhou, R.S. McCrea, E. Matechou, D.J. Cole and R.A. Griffiths: Biometrics, 75, 1, 24-35 (2019) Removal models accounting for temporary emigration
- 7) M. Auger-Méthé, C. Field, C.M. Albertsen, A.E. Derocher, M.A. Lewis, I.D. Jonsen and J.M. Flemming: Scientific Reports, 6, 26677 (2016) State-space models' dirty little secrets: even simple linear Gaussian models can have estimation problems
- 8) K. Kaji, H. Okada, M. Yamanaka, H. Matsuda and T. Yabe: Journal of Wildlife Management, 68, 889-899 (2004) Irruption of a Colonizing Sika Deer Population

## II-4 分布拡大地におけるイノシシの生態特性の解明

広島修道大学 奥田 圭

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：15,758千円（研究経費は間接経費を含む）  
（平成29年度：5,003千円、平成30年度：5,290千円、令和元年度：5,465千円）

### 【要旨】

近年、日本ではイノシシの分布拡大が進行しており、それに伴い捕獲数も増加している。その一方で、野生動物管理を担う狩猟者は減少および高齢化の一途を辿っており、捕獲圧の強化を図る上での課題となっている。また、人間が移出し、放棄された環境下では、イノシシが顕著に増加することが報告されており、今後、人口減少・超高齢社会を迎える日本では、これまで以上にイノシシ個体群の新規流入および個体数増加が生じることが推察される。しかしながら、このようなイノシシの新規流入が生じた分布拡大地では、生態特性の解明は進んでおらず、個体数管理を講じていく上での基礎情報が蓄積されていない。

そこで本研究では、近年、イノシシの新規流入が生じた福島県沿岸部の原発避難指示区域とその周辺、および愛媛県今治市の大三島において、イノシシの基本的な繁殖特性（初回妊娠年齢、妊娠率、胎子数、繁殖時期）を調査し、従来からイノシシが分布していた地域（従来分布地域）の情報と比較することで、イノシシの分布拡大地における繁殖特性を明らかにすることを目的とした。また、本研究によって得られた繁殖情報に基づき、両地域における現行の対策手法の課題点を抽出し、分布拡大地において効率的・効果的な管理を図る上での基礎情報を得ることを目的とした。

分布拡大地におけるイノシシの繁殖特性を調査した結果、高い捕獲圧がかかっている分布拡大地域ではあるが、イノシシの初回妊娠年齢、妊娠率、胎子数は従来分布地域と同等であり、性成熟の早期化や妊娠率の向上、胎子数の増加は生じておらず、イノシシの基本的な繁殖パラメータは、定着地との差異はないことが示唆された。一方、分布拡大地におけるイノシシの繁殖の特徴としては、出生時期の変異幅は大きく、従来分布地域では春季（5～6月）に出生のピークがあるものの、分布拡大地では半数以上の個体が春季以外に出生していることが推定された。これは、分布拡大地において捕獲強化が図られているが、捕獲しやすい幼獣のみを捕獲することにより、メス親の捕り逃がしによる学習化、または、子の消失に伴うメス親の発情回帰などが生じていることが考えられた。こうした捕獲の状況は、野生動物の管理を図る上での体制基盤が整っていないため、戦略的な対策がとられていないことが大きく影響していると示唆された。そして、その結果、繁殖時期の変異幅が増大し、通年を通して幼獣の捕獲に偏する、非効率的な捕獲対策が講じられている可能性がある。分布拡大地において、効率的・効果的なイノシシの個体数管理を実施する上では、繁殖時期の特性を把握し、それに基づいた管理戦略を策定することが必要である。

### 【キーワード】

捕獲強化、妊娠率、妊娠黄体退縮物、出生時期

### 1. はじめに

近年、日本ではイノシシの分布拡大が進行しており、それに伴い捕獲数も増加している<sup>1)</sup>。その一方で、野生動物管理を担う狩猟者は減少および高齢化の一途をたどっており、捕獲圧の強化を図る上での障壁となっている<sup>2)</sup>。また、人間が移出し、放棄された環境下では、多くの野生哺乳類、特にイノシシが顕著に増加することが報告されており<sup>3) 4)</sup>、今後、人口減少・超高齢社会を迎える日本では、各地においてイノシシ個体群の新規流入および個体数増加が生じることが推察される。しかしながら、このようなイノシシの新規流入が生じた分布拡大地では、急激な個体数増加が生じることが明らかになっている一

方、生態特性の解明は進んでおらず、個体数管理を講じていく上での基礎情報が蓄積されていない。そのため、効率的・効果的な管理戦略を策定する上での基盤がなく、対症療法的な対策を講じざるを得ない状況にある。

野生動物の持続的な個体数管理を図る上では、個体群動態を推定することが重要であり<sup>5)6)</sup>、なかでも、個体数の増減に直接的に関わる妊娠率、初回妊娠年齢および胎子数は、その基礎情報となる<sup>7)8)9)</sup>。また、効果的な個体数管理を図る上では、繁殖時期を把握し、適切な捕獲時期を決定する必要性や<sup>10)11)</sup>、メスの繁殖ステージを基準とした選択的な捕獲を実施する必要性が指摘されている<sup>12)13)</sup>。さらに、これら4つの繁殖特性は、個体群の健全性を評価する上でも重要な指標となる<sup>14)</sup>。しかし、このようなイノシシの繁殖情報は、分布拡大地に限らず乏しく<sup>15)</sup>、妊娠率については、胎子・胚および妊娠黄体退縮物の有無をもとに適切に算出された事例は1例<sup>16)</sup>のみである。繁殖時期については、春季に出生ピークが存在することが報告されている一方で<sup>15)17)</sup>、通年を通して出生している可能性も指摘されているなど<sup>18)</sup>、地域的に大きな差異が報告されている。そのため、イノシシの新規流入が生じた分布拡大地における本種の繁殖特性を明らかにし、その特性を考慮した効率的・効果的な捕獲を計画することが必要である。

2011年における福島第一原子力発電所事故に伴う人間の移出により、原発避難指示区域では、イノシシの食物資源となるカキやクリ<sup>19)</sup>などの果樹が多数放任された。また、イノシシの餌場や休息場所となる耕作放棄地<sup>20)</sup>も広範囲に創出する結果となり、これらの人為的環境において、イノシシの新規流入および個体数増加し、人のいない状況下でのイノシシによる人為的環境への被害という新たな被害形態が発生した。これらの被害へ対応するため、2013年から、環境省、復興省、福島県による箱罟を用いた大規模な捕獲対策事業が開始された。

一方、愛媛県今治市大三島は、柑橘類を主とした農業が基幹産業であり、昭和50年代には島の8割以上が柑橘栽培の農地として利用されていた<sup>21)</sup>が、2000年代から高齢化に伴う柑橘畑の耕作放棄が急激に進んだ<sup>22)</sup>。このような状況下で、2014年頃から大三島においてイノシシの生息確認や捕獲が報告されるようになった<sup>23)</sup>。被害の急増を受け、箱罟を用いた有害鳥獣捕獲が本格化し、捕獲数が年々増加している<sup>24)</sup>。このように、両地域では、社会的な要因は異なるが、どちらも人口減少または高齢化に伴う土地利用の変化が端緒となり、イノシシの生息環境の好適化が生じ、イノシシの新規流入とその後の急激な個体数増加と被害増加が大きな社会問題となった。特に、両地域には放任果樹が豊富に存在することから、秋季の食物資源量が多いことが予想される。イノシシにおいて秋季の食物資源量は、初期成長期における体重増加に影響を与えることが指摘されている<sup>25)26)</sup>。また、初期成長期における体重増加は、性成熟時期に変化に及ぼす要因であることから<sup>27)</sup>、両地域におけるイノシシは、従来からイノシシが分布している地域とは異なり、特異的な繁殖特性を有している可能性がある。また、両地域では、イノシシの新規流入および、その後の急激な個体数増加が短期間に生じたことから、野生動物の管理を講じる上での体制基盤は未整備の状況である。そのため、戦略的な捕獲対策は実施されておらず、生息数の減少につながっていない。

## 2. 研究開発目的

そこで本研究では、近年、イノシシの新規流入が生じた福島県沿岸部の原発避難指示区域とその周辺、および愛媛県今治市の大三島を分布拡大地のモデルとして、イノシシの個体数変動を規定する繁殖に焦点を当て、明らかにすることを目的とする。分布拡大地の妊娠率および繁殖時期が定着地域の繁殖パラメータと比較することで、イノシシ個体群の新規流入が生じた分布拡大地における繁殖特性を明らかにする。また、本研究によって得られた繁殖情報に基づき、両地域における現行の対策手法の課題点を抽出し、分布拡大地において効率的・効果的な捕獲戦略を計画するための提言を行う。

## 3. 研究開発方法

### (1) 調査対象地

調査は、捕獲が実施されている福島県沿岸部の原発避難指示区域（浪江町、大熊町、双葉町、富岡町、葛尾村）とその周辺（二本松市）（以下、原発避難区域）、および愛媛県今治市の大三島（以下、

大三島)を対象地とした。原発避難区域では、2017年4月～2020年1月にかけて、環境省による帰還困難区域等における鳥獣捕獲等緊急対策事業、帰還困難区域内および周辺市町村による有害鳥獣捕獲、および福島県による指定管理鳥獣捕獲等事業によって捕獲された個体から試料採取を行った。また、原発避難区域において実施された、環境省による「2019年度帰還困難区域等における鳥獣捕獲等緊急対策事業」捕獲記録について提供を受け、捕獲時期などの分析に用いた。大三島では、2018年9月～2019年6月にかけて、今治市による有害鳥獣捕獲によって捕獲された個体から試料採取を行った。なお、すべての試料は、箱罾によって捕獲された個体から採取した。

## (2) 初回妊娠齢・妊娠率・胎子数の検討

福島県の原発避難区域において捕獲された70個体のメスのイノシシから、卵巣、胚、胎子および上顎・下顎を採取した。妊娠率を査定するため、胎子および胚の有無を肉眼により確認した。胎子および胚が肉眼で確認されなかった場合は、卵巣を採取した(図3.4.1)。採取した卵巣は、組織染色用固定液(Histochoice tissue fixative MB; Amresco, Solon, Ohio)を用いて固定した。固定後の卵巣をトリミングし、矢状断面で分割し、目視により観察と写真撮影を行った。その後、組織標本を以下の手順で作製した。固定された卵巣を約4 mm間隔にスライスし、脱水透徹した。そして、その標本をパラフィン包埋した後、100  $\mu$ m間隔で厚さ6  $\mu$ mに薄切した。薄切した組織切片には、Hematoxylin-Eosin染色およびElastica van Gieson染色を施した。光学顕微鏡で観察し、機能性黄体および妊娠黄体退縮物を表3-4-1<sup>16)</sup>の判定基準により各種黄体のタイプを判別した。判別は、ブタ(*Sus scrofa domesticus*)の卵巣所見<sup>28)29)30)31)</sup>を参考に作成されたものである。ブタにおいては退行段階に応じてType IからIVに4区分されており、最長残存期間は3年である。この中で最初の退行段階Type Iが確認されるのは、出産後約1年間と考えられている。そのため本研究では、過去1年以内の妊娠の有無が判別可能なType Iおよび、それ以前の妊娠歴を示すType II以上に分けて黄体退縮物の有無を確認した。

対象個体の年齢を把握するため、上顎・下顎における歯牙の萌出状態から、小寺ら<sup>17)</sup>の33の週齢区分に基づき週齢査定を行い、0歳群、1歳群、2+歳群(2歳以上)の3つの群に分類した。そして、胎子、胚、機能性黄体および妊娠黄体退縮物の有無に基づき、各群の妊娠率を算出した。

以上のデータを用い、原発避難区域における各年齢群間の妊娠率を、Fisherの正確確率検定およびRyan法を用いて比較した。また、イノシシの定着地である兵庫県<sup>15)</sup>と原発避難区域における同年齢群間の妊娠率を、Fisherの正確確率検定を用いて比較した。さらに、イノシシが従来から分布している群馬県において、4～10月に捕獲された個体から胎子および胚を有する個体の割合(以下、胎子保有率)を算出した姉崎ら<sup>32)</sup>の報告と、同方法に従って原発避難区域および大三島において胎子保有率<sup>32)</sup>を算出し、Fisherの正確確率検定を用いて同年齢群間で比較した。

次に、原発避難区域および大三島における胎子数を、兵庫県を対照群としてDunnett検定を用いて比較した。なお、年齢を区別せずに胎子数を算出した場合、分析個体の年齢の偏りの程度で全体の平均値が変動する<sup>33)</sup>。そのため、より正確にイノシシの繁殖特性を反映した平均胎子数を求める上では、初産個体が多い0～1歳群と2+歳群を区別して算出する必要性が指摘されている<sup>15)</sup>。そこで本研究では、2+歳群の胎子数を対象に比較を行った。

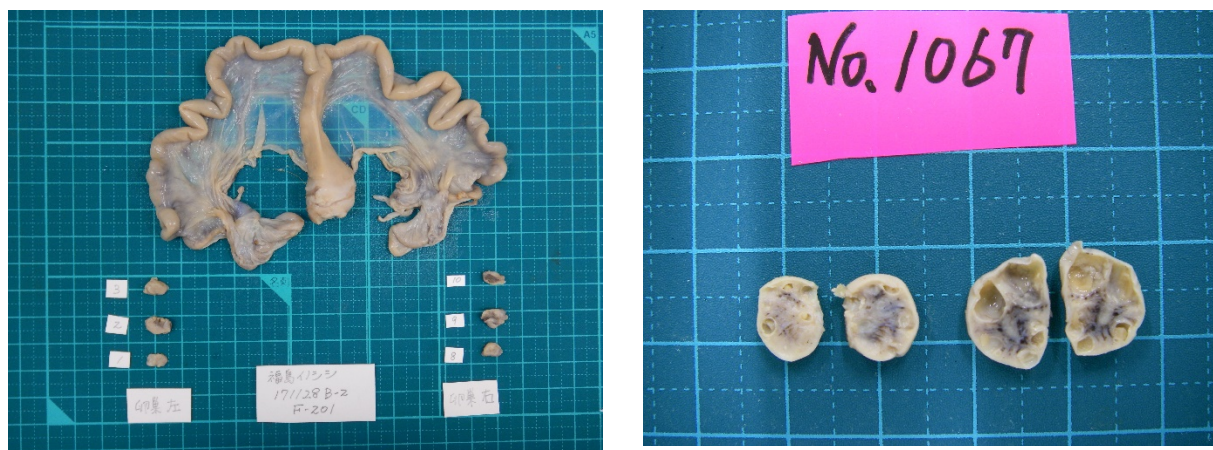


図3.4.1 採取した子宮と卵巣の例。(a)子宮と卵巣、子宮から卵巣を切り離し、卵巣を矢状面で三分割したもの。(b)卵巣を矢状面で二分割したもの。

表3.4.1. 卵巣に見られる黄体タイプと判定基準 (辻・横山, 2014)<sup>15)</sup>

基準は、ブタ (*Sus scrofa domesticus*) の卵巣所見<sup>28)29)30)31)</sup>を参考に作成されたものである

黄体タイプ	基準
機能性黄体 (CL)	壁が肥厚した血管が多く見られる
妊娠黄体退縮物 (CA)    Type I	1. 血管が大きく多い 2. 周囲や内部の血管壁に弾性繊維が集積する 3. 退行黄体細胞が存在する
Type $\geq$ II (II~IV)	1. 内部の血管が大きく多い 2. 周囲や内部の血管壁に弾性繊維の集積がある 3. 退行黄体細胞が見られない
発情黄体退縮物	1. 退行物の周囲や内部の血管壁に弾性繊維の集積は無い 2. 退行物内部はヒアリン物質で占められる

### (3) 出生時期の検討

イノシシの出生時期を明らかにするため、捕獲個体の上顎・下顎における歯牙の萌出状態から、33の週齢区分に基づき週齢査定<sup>18)</sup>を行った。これにより得られた結果を捕獲年月日と照合し、出生日を推定した。その後、分布拡大地におけるイノシシの出生時期の特性を検討するため、原発避難区域、大三島および兵庫県<sup>15)</sup>の3地域間における出生個体数の経月変動を、Fisherの正確確率検定およびRyan法を用いて比較した。なお、兵庫県におけるデータ<sup>15)</sup>は、本調査の週齢査定方法とは異なり、胎子の体重から出生日を推定する方法<sup>35)</sup>を用いた。

### (4) 分布拡大地におけるイノシシ管理の課題抽出

管理捕獲において、理想的には出産する前の妊娠したメスを捕獲することが効率的と考えられるため、妊娠個体がいる期間に捕獲を実施するためには、捕獲期間をいつに設定するかを検討する必要がある。そこで、各捕獲個体の推定誕生日とイノシシの妊娠期間 (117日)<sup>34)</sup>の情報から、各捕獲個体が母体内にいた時期を推定し、妊娠期間を求め、1年間の各日ごとに全対象個体に対する妊娠個体の割合

(以下、相対妊娠個体数)を算出した。また、原発避難区域において実施された、環境省による「2019年度帰還困難区域等における鳥獣捕獲等緊急対策事業」において捕獲された全1974個体の情報から、1年間の各日ごとに、成獣メスの捕獲数を算出し、相対妊娠個体数との関係性を、Spearmanの順位相関係数を用いて検討した。

メス親が子を消失した場合、発情が回帰することが報告されている<sup>26)35)</sup>。仲谷<sup>36)</sup>は、イノシシの子は、1年程度母親と生活をともにするが、母親が新しい子を出産すると、昨年の子は独立することを報告している。そこで、0歳の個体を子、1歳以上のメス個体を親と仮定し、原発避難区域および大三島において、子が単独または複数で捕獲された件数、子と親が同じ箱罠で捕獲された件数、親が単独または複数で捕獲された件数の割合を季節別に算出し、メス親の捕り逃がし程度を検討した。

メス親の発情回帰は、哺乳期間中に子を強制離乳させることにより生じることから<sup>36)</sup>、哺乳期間中に子(乳獣)のみの捕獲が多発した場合、発情回帰が生じるメス親が多くなる恐れがある。そのため、効率的な箱罠を用いた捕獲対策を図る上では、哺乳個体が多い時期に乳獣のみの捕獲を抑え、メス親の発情回帰が生じるリスクを低減させる必要がある。そこで、原発避難区域および大三島においてメス親の発情回帰が生じるリスクを検討するため、各捕獲個体の推定誕生日とイノシシの哺乳日数(100日)<sup>37)</sup>から、各捕獲個体のメス親の哺乳期間を推定した。さらに、1年間の各日ごとに、全対象個体に対する哺乳個体の割合(以下、相対哺乳個体数)を算出し、哺乳個体が多い時期を検討した。また、原発避難区域における捕獲個体の週齢査定の結果から、15週齢(約100日)のイノシシの平均体重を算出し

(10.1 kg)、その体重未満の個体を乳獣と仮定した。そして、原発避難区域において実施された「2019年度帰還困難区域等における鳥獣捕獲等緊急対策事業」における全捕獲個体の情報(環境省 未発表)から、1年間の各日ごとに、乳獣(10.1 kg未満の個体)のみで捕獲された個体数(以下、乳獣捕獲数)を算出し、原発避難区域における相対哺乳個体数との関係性を、Spearmanの順位相関係数を用いて検討した。

## 4. 結果及び考察

### (1) 分布拡大地における妊娠率の特性

原発避難区域において捕獲された雌のイノシシ243個体の内、24個体において胎子および胚が確認された。また、48個体の卵巣の組織検査を行った結果、2個体から機能性黄体、1個体から機能性黄体およびType Iの妊娠黄体退縮物、1個体から機能性黄体およびType IとType II以上の妊娠黄体退縮物、1個体から機能性黄体およびType II以上の妊娠黄体退縮物、7個体からType Iの妊娠黄体退縮物、2個体からType IとType II以上の妊娠黄体退縮物が確認された。その他の34個体からは機能性黄体および妊娠黄体退縮物は確認されなかった(表4.4.1)。観察された機能性黄体、Type IおよびType II以上の妊娠黄体退縮物を図4.4.1~4.4.4に示す。Type IIは1年以上前の出産を示唆しており、イノシシにおいて過去の出産履歴が残存することが明らかになった。また、機能性黄体、Type IおよびType IIが同時に観察された個体が存在していたことから、過去2回の出産と現在の妊娠もしくは妊娠可能な状態であることが示唆され、過去3年間毎年繁殖に成功していることが卵巣から判定できることが示唆された。

表4.4.1 原発避難区域のイノシシから採取した卵巣の組織検査の結果

	確認数	%
CL	2	4.2
CL+CA (Type I)	1	2.1
CL+CA (Type I + Type $\geq$ II)	1	2.1
CL+CA (Type $\geq$ II)	1	2.1
CA (Type I)	7	14.6
CA (Type I + Type $\geq$ II)	2	4.2
確認なし	34	70.8

CL (corpus luteum) は機能性黄体、CA (corpus albicans) は妊娠黄体退縮物を示す。

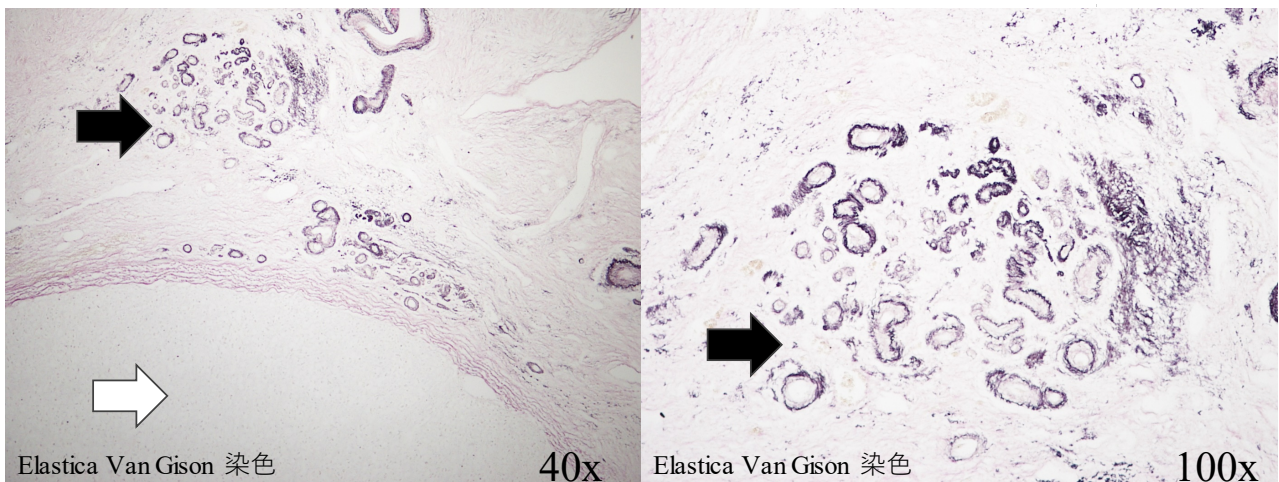


図4.4.1 組織検査によって確認された機能性黄体（白矢印）およびType I 妊娠黄体退縮物（黒矢印）

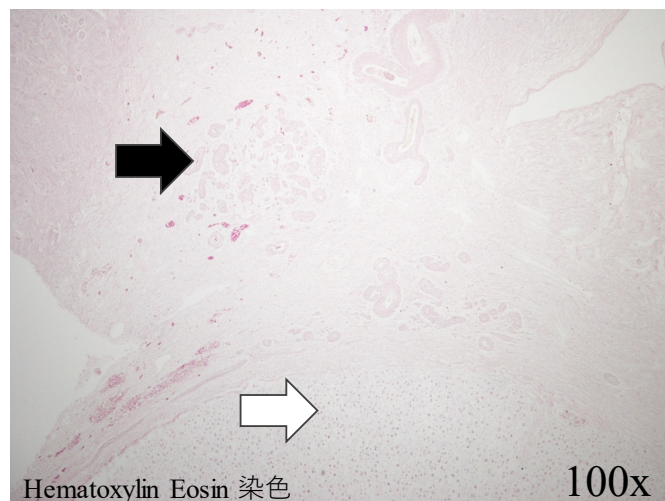


図4.4.2 組織検査によって確認された機能性黄体（白矢印）およびType I 妊娠黄体退縮物（黒矢印）

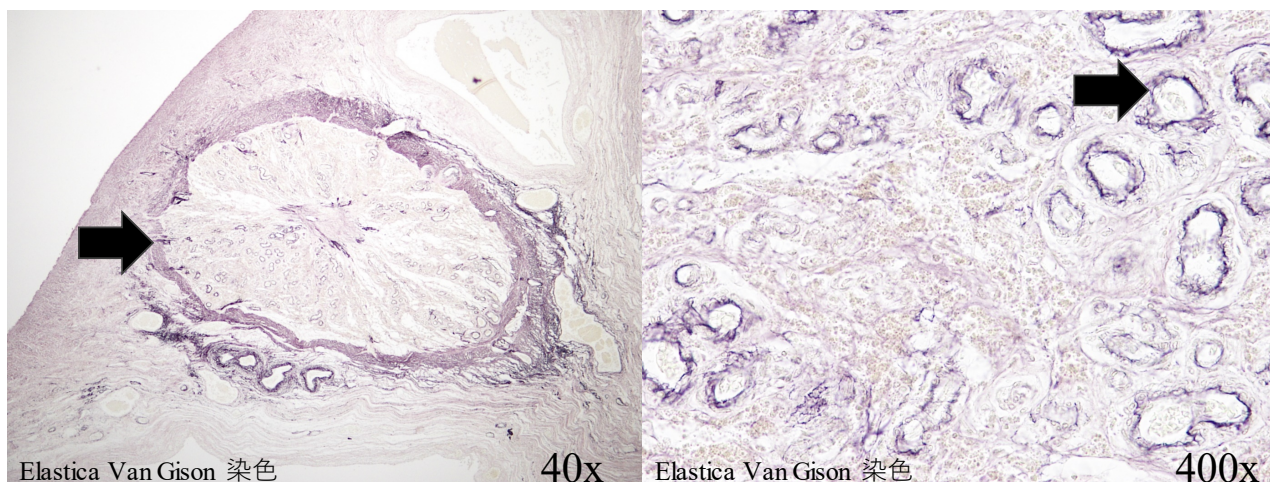


図4.4.3 組織検査によって確認されたType I 妊娠黄体退縮物（黒矢印）

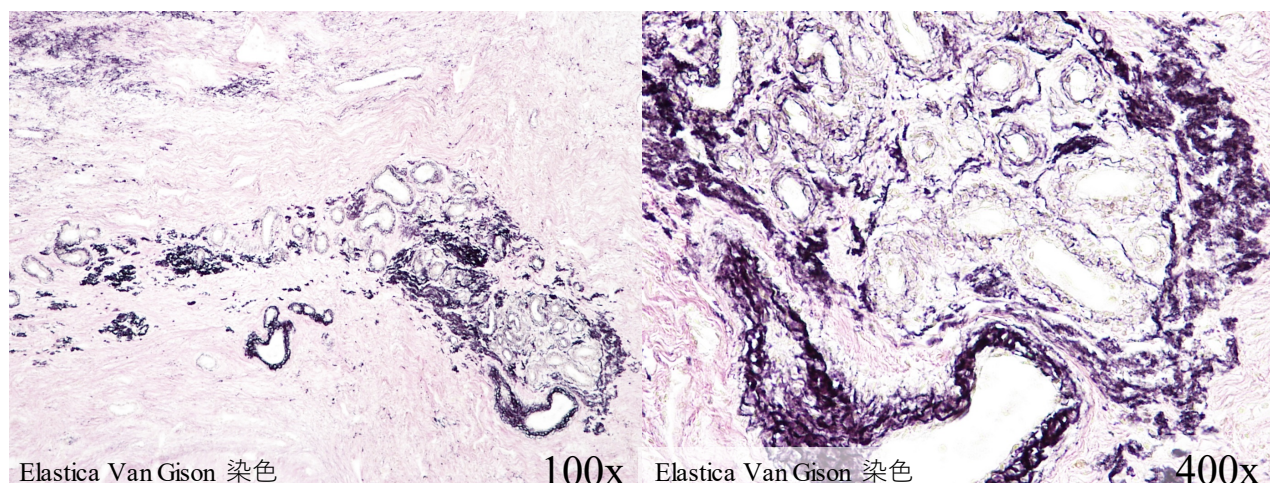


図4.4.4 組織検査によって確認されたType II以上の妊娠黄体退縮物

年齢ごとの妊娠率は、0歳群は7.4%、1歳群は56.3%、2+歳群は100%であった（図4.4.5a）。このことから、原発避難区域では、割合は低いものの、0歳の個体においても妊娠する個体がいることが明らかになった。イノシシの0歳妊娠の事例は、兵庫県<sup>16)</sup>やヨーロッパ<sup>11)38)</sup>においても確認されているが、いずれの事例も割合は低く、個体群に及ぼす影響は低いと考えられている。海外におけるイノシシでは、初期成長期における体重増加の違いに伴い、性成熟時期が変化することや<sup>27)</sup>、性成熟に至るには一定の体重に達する必要性があることが指摘されている<sup>38)</sup>。兵庫県での0歳妊娠の個体も40kgほどの体重に達しており、良好な栄養状態であったことが示唆されている<sup>16)</sup>。本研究において妊娠が認められた0歳群の個体は、1歳群および2+群の妊娠個体と同等の体重であったことから、妊娠が認められた0歳群の個体は、通常の初期成長よりも良好であり、0歳で性成熟に達し、繁殖に参加可能な状況になったと考えられた。Matschke<sup>25)</sup>は、初期成長時の体重増加に寄与する要因として、秋季における食物利用可能量を挙げている。原発避難区域では、原発事故後の人間の避難に伴い、クリやカキ、柑橘類等のイノシシの秋季の食物資源となる放任果樹が豊富に存在していることから、初期成長時に十分に食物が獲得可能な生息環境が整っており、0歳における妊娠が他地域より高い割合で発生したと考えられた。

原発避難区域における0歳群、1歳群、2+歳群の各群間の妊娠率には、有意差が認められ、0歳群<1歳群<2+歳群の順に妊娠率が顕著に高くなることが示された（図4.4.5a; Fisher's exact test and Ryan's method,  $p < 0.01$ ）。0歳群から1歳群において妊娠率が急激に高くなっていることから、基本



的には、既存の報告<sup>16)</sup>と同様に1歳において初回妊娠を迎えることが示唆された。

原発避難区域とイノシシの定着地域である兵庫県<sup>15)</sup>における0歳群、1歳群、2+歳群の各群間の妊娠率を比較した結果、有意差は認められず（図4.4.1a,b; Fisher's exact test,  $p > 0.05$ ）、原発避難区域と兵庫県におけるイノシシの妊娠率には顕著な差異がないことが示された。また、原発避難区域における妊娠率は、ヨーロッパにおける報告（63~100%）<sup>8)11)38)</sup>と同等であった。これらのことから、原発避難区域では、人間の避難に伴い放任果樹が豊富に存在しており、0歳妊娠も可能なイノシシにとって好適な生息環境が整っていることが推察されるものの、妊娠率は他地域と同等であり、特異的な妊娠率は認められなかった。

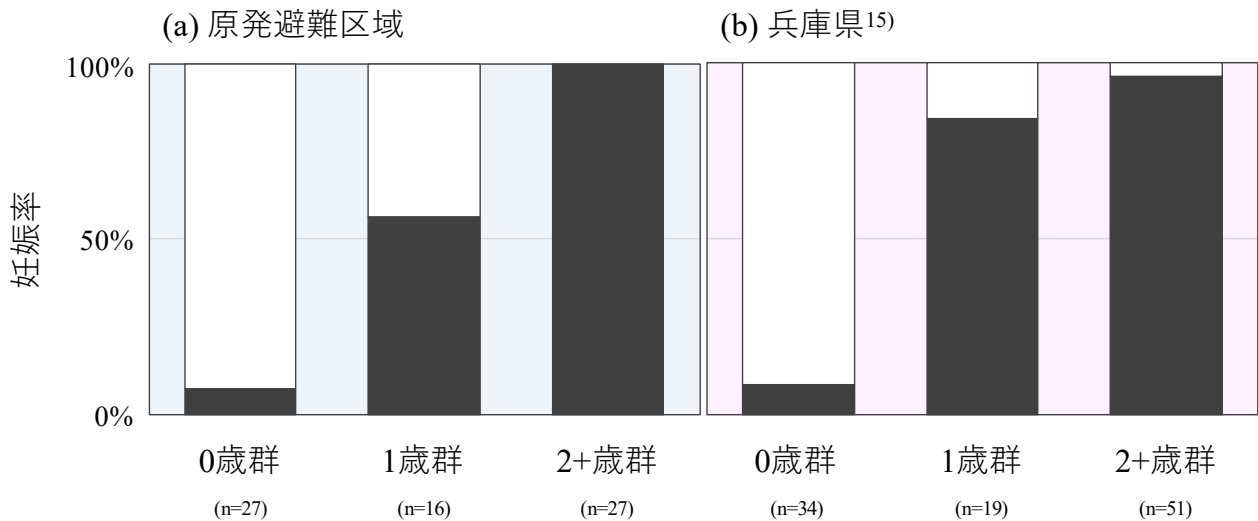


図4.4.5 原発避難区域および兵庫県<sup>15)</sup>における各年齢群のイノシシの妊娠率  
妊娠あり（■）、妊娠なし（□）で示した。

原発避難区域、大三島およびイノシシが従来から分布している群馬県<sup>32)</sup>における各年齢群の胎児保有率を算出した結果、原発避難区域では0.76%（0歳群）、7.14%（1歳群）、36.9%（2+歳群）、大三島では0%（0歳群）、44.4%（1歳群）、50.0%（2+歳群）、群馬県では0%（1歳群）、33.3%（2+歳群）であり、妊娠率と同様に、年齢とともに増加していた（図4.4.2）。これら3地域における1歳群および2+歳群の同年齢群間、原発避難区域および大三島の0歳群間の胎児保有率を比較した結果、いずれの群間にも有意差は認められなかった（図4.4.2; Fisher's exact test,  $p > 0.05$ ）。また、大三島における胎児保有率は、ヨーロッパのイノシシにおける1歳以上を対象にした報告や（33.4%）、1歳群を対象にした報告（65%）とも大きく乖離していなかった。これらのことから、大三島においても、柑橘畑の耕作放棄が進み<sup>22)</sup>、原発避難区域と同様に、イノシシの生息環境が整っていることが推察されるものの、胎児保有率は他地域と同等であり、特異的な妊娠率は認められなかった。

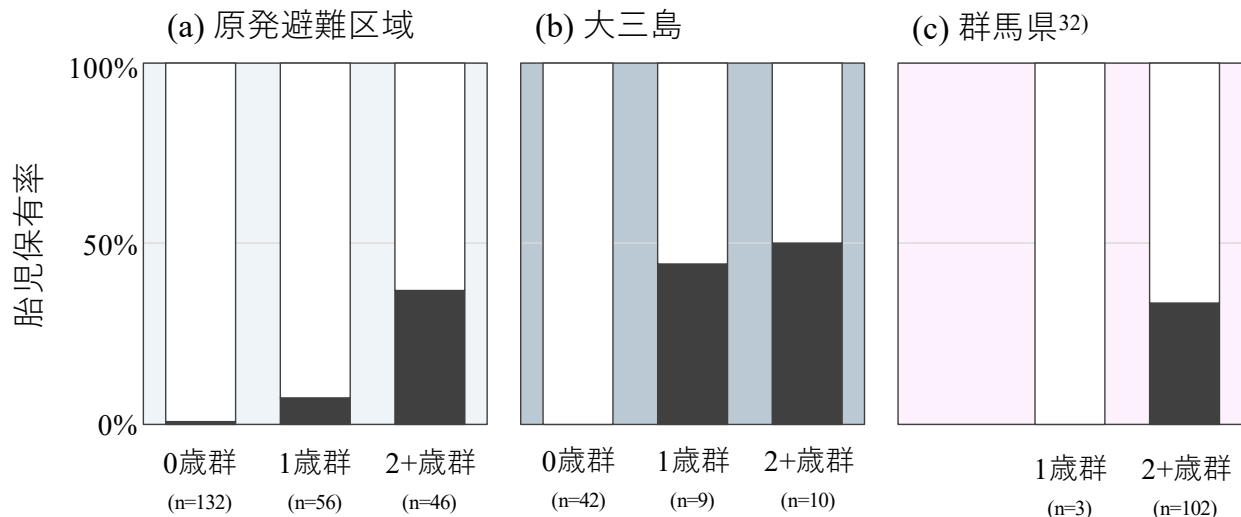


図4.4.2 原発避難区域、大三島および群馬県<sup>32)</sup>における各年齢群のイノシシの胎児保有率  
胎児あり (■)、胎児なし (□) で示した。

原発避難区域、大三島および兵庫県における2+歳群の胎子数を算出した結果、原発避難区域では  $4.22 \pm 1.26$  頭、大三島では  $5.00 \pm 0.71$  頭であった (図4.4.7)。兵庫県では  $4.26 \pm 1.41$  頭であり、分布拡大地においても、これまでの報告における範囲 (4~5個体) に収まった。また、兵庫県を対照群として、原発避難区域および大三島との間の2+歳群の胎子数を比較した結果、両地域ともに兵庫県との間に有意差は認められなかった (Dunnett test,  $p > 0.05$ )。さらに、胎子数の最大は、原発避難区域では7頭、大三島では6頭であり、兵庫県 (7頭) と同等であったとともに、国内における胎子数の最大頭数 (9頭)<sup>32)</sup> 未満であった。これらのことから、原発避難区域および大三島では、胎子数においても妊娠率同様、他地域と同等であり、特異的な胎子数を有しているわけではないことが示唆された。

江口ら<sup>39)</sup>は、飼育下のイノシシを高栄養な食物を与えて管理した場合においても、受胎率および産子数は野生個体と差異がなかったことを報告している。このことを考慮すると、人間が放棄した環境下に新規流入したイノシシ個体群は、爆発的な個体数増加を起こすものの<sup>3)4)</sup>、イノシシの初回妊娠年齢、妊娠率および胎子数は普遍的であり (図4.4.5; 図4.4.6; 図4.4.7)、分布拡大地において性成熟の早期化や妊娠率の増加、胎子数の増加等の顕在化は生じていなかった。そのため、分布拡大地の個体数の急増は、繁殖パラメータの違いではなく、生存率の違い、つまり捕獲が出生を下回っていることによるものであることが強く示唆された。

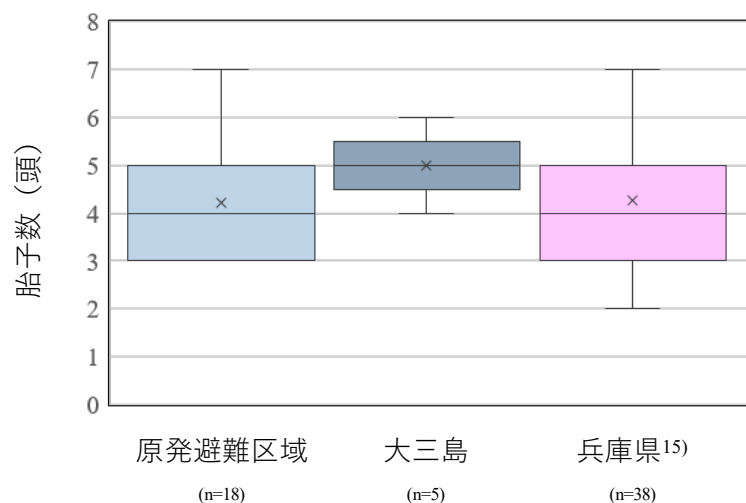


図4.4.7 原発避難区域、大三島および兵庫県<sup>15)</sup>における2+歳群のイノシシの胎子数

## (2) 分布拡大地における繁殖時期の特性

原発避難区域において捕獲された 445 個体、大三島において捕獲された 159 個体における上顎・下顎の歯牙の萌出状況から週齢査定を行い（図 4.4.8）、出生時期を推定した。そして、原発避難区域、大三島および兵庫県<sup>15)</sup>における出生個体数の経月変動を地域間で比較した結果、いずれの地域間においても有意差が認められた（Ryan's method,  $p < 0.01$ ）。原発避難区域では、5月および6月に出生ピークがあるものの、通年を通して出生しており、約半数の個体が5月および6月以外に出生していることが示された（図 4.4.9）。また、大三島においては、原発避難区域と同様に通年を通して出生しているものの、5月および6月にピークはなく、10月が最も多い結果となった（図 4.4.9）。一方、イノシシが従来から分布している兵庫県では、5月および6月の春季に出生ピークがあり、それ以外の季節にはほとんど出生していなかった（図 4.4.9）。また、ヨーロッパにおけるイノシシの研究事例においても、出産時期には明瞭なピークがあり、ばらつきは5ヶ月程度であることが報告されている<sup>11)26)</sup>。さらに、秋季における出産の割合が低いことや<sup>15)</sup>、季節繁殖性であるイノシシは<sup>40)</sup>、春季から夏季にかけて日長が長くなるに従って発情回帰の発生割合が低下することから、夏季の受胎率が低くなることが報告されている<sup>27)</sup>。そのため、イノシシが年中繁殖するという事象は、本来のイノシシの繁殖生理を逸脱しており、自然には起こりえない<sup>16)</sup>。これらのことから、原発避難区域および大三島における出生月のばらつきは特異的であることが示唆された。

既存報告では、妊娠年齢が低いほど、発情が遅れることにより出産時期が遅くなることや、秋季の食物利用可能量が少ない、あるいは生息場所の緯度が低い地域ほど繁殖時期のばらつきが大きくなることが報告されている<sup>8)25)26)</sup>。Mauget<sup>26)</sup>は、メス親が春季に出産した子を消失した場合、発情が回帰し、秋季にも出産する可能性を指摘している。また、兼光ら<sup>35)</sup>は、飼育下におけるイノシシにおいて、出産1ヶ月後に子を強制離乳させると、メスの発情が回帰し、再度出産に至ることを報告している。原発避難区域および大三島では、成獣の捕獲に不適な箱罠による捕獲<sup>41)</sup>が大規模に実施されており、子（0歳個体）のみで捕獲される割合が高い（図 4.4.8b）。そのため、子の消失に伴うメス親の発情回帰の発生程度が兵庫県よりも高い可能性が推察される。また、原発避難区域では、秋季（2018年10月）に捕獲されたメスが、前年の春季（2017年3月）生まれと推定されたが、卵巣内からは機能性黄体および Type I の妊娠黄体退縮物が確認された。このことから、この個体は、2018年春季に出産した後、短期間内に発情回帰したことが考えられた。これらのことから、原発避難区域および大三島では、他地域よりもメス親の発情回帰を生じさせやすい捕獲が執られており、その結果、出生月のばらつきが大きくなっている可能性が示唆された。

以上のように出生のばらつきの要因は複数考えられるが、春の出生ピークから遅れて出生すると、通常では0歳獣の成長には不利となり生存率は低いことが考えられ、個体群に及ぼす影響は低いと考えられる。しかし、分布拡大地では、栄養条件が良好であることから発情回帰に成功するケースや秋に出生した個体の成長が遅れ、それに伴い発情も遅れるなど、初回妊娠のサイクルが遅れ気味になることなどが発生しやすく、出生のピークにばらつきが大きかったことが示唆された。すなわち、出生月のばらつきは、分布拡大地における自然条件に起因しているものではなく、人為的な要因によって生じている可能性が示唆された。

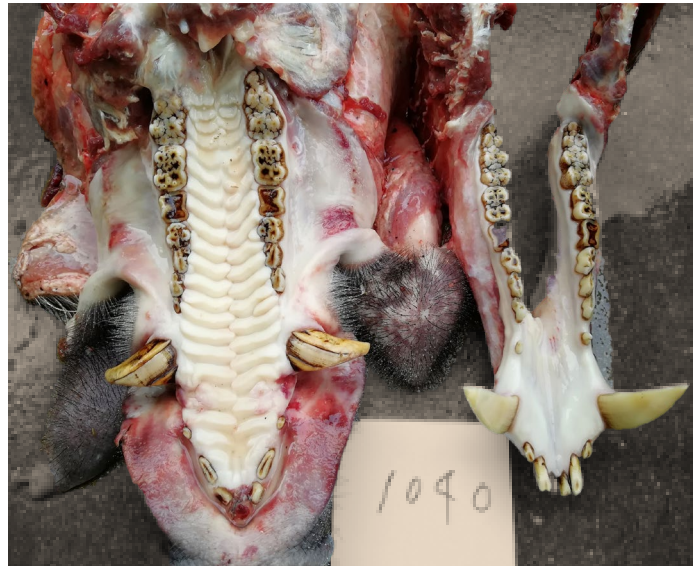


図 4.4.8 週齢査定のために採取した上顎・下顎（大三島において捕獲された推定 145 週齢のオス）

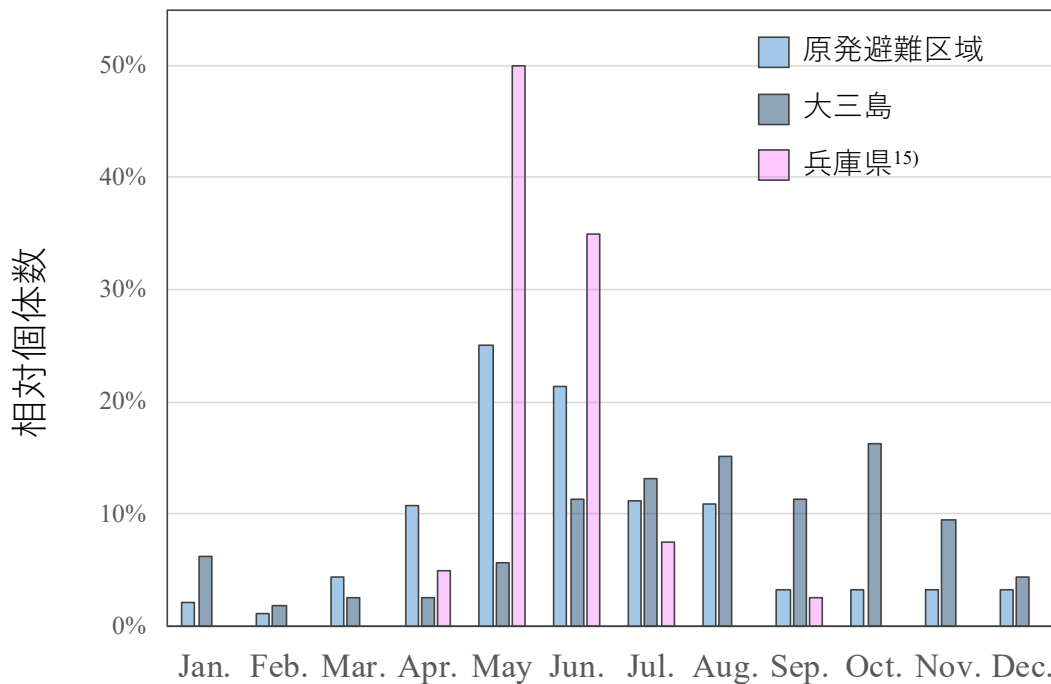


図 4.4.9 原発避難区域、大三島および兵庫県<sup>15)</sup>におけるイノシシの各月の推定出生数

### (3) 分布拡大地におけるイノシシ管理の課題

原発避難区域および大三島において効率的な捕獲、すなわち妊娠個体捕獲されているか検討するため、妊娠個体が多い時期を算出した結果、原発避難区域では3～5月（図 4.4.10a）、大三島では6月に妊娠個体が多くなっていることが推定された（図 4.4.11）。3～5月は、当年度と翌年度の捕獲事業の切り替わり時期を含むことから、原発避難区域では捕獲が未実施または小規模で実施せざるを得ない期間となっており、成獣のメスが全く捕獲できていない（図 4.4.10b）。そのため、相対妊娠個体数と成獣メスの捕獲個体数との間には負の相関関係がみられた（図 4.4.12；Spearman's rank

correlation coefficient;  $r_s = -0.44$ ,  $n = 365$ ,  $p < 0.01$ )。また、大三島においても、6月は捕獲数が秋季・冬季の1/3程度であることから<sup>42)</sup>、原発避難区域および大三島では、妊娠個体が多い時期ほど成獣メスに対する捕獲圧が弱くなっており、選択的に妊娠個体を捕獲できておらず、捕獲が出生数に追いつかない効率の悪い捕獲となっている可能性が示唆された。

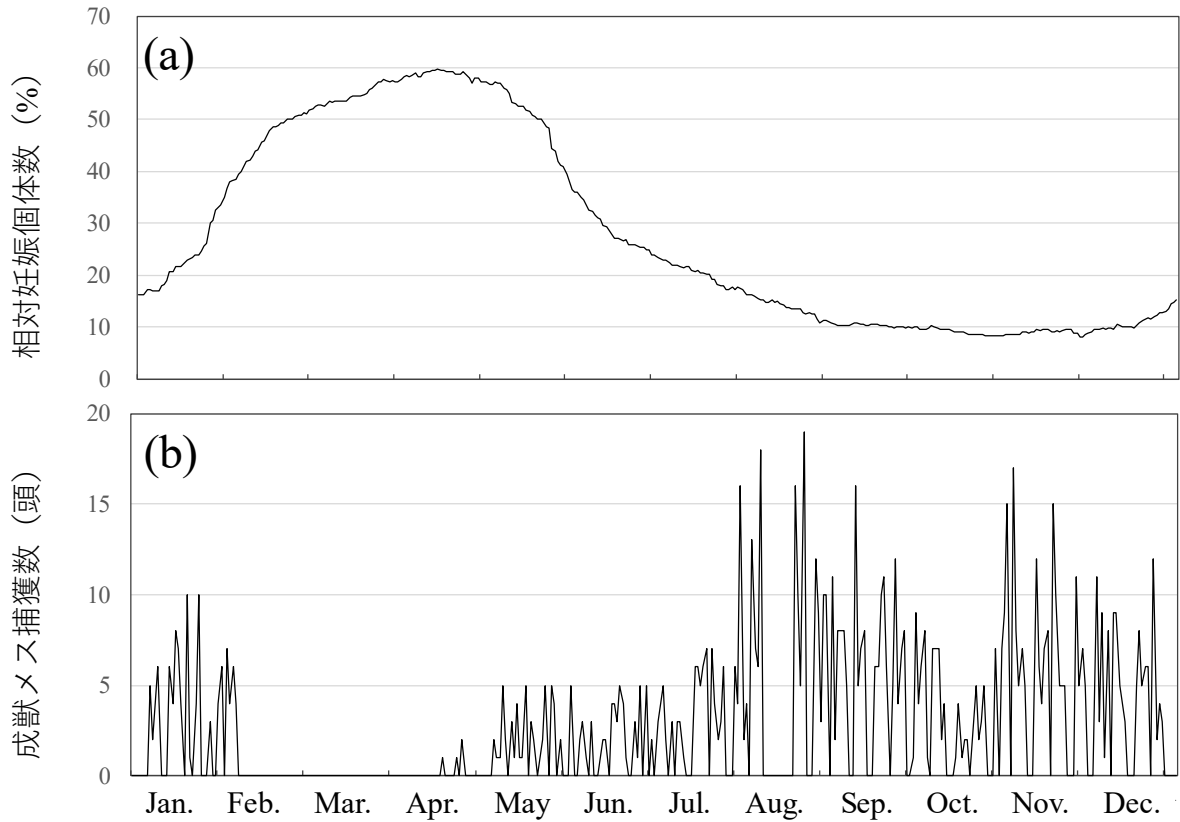


図 4.4.10 原発避難区域における相対妊娠個体数 (a) と成獣メスの捕獲数 (b) の経日変動

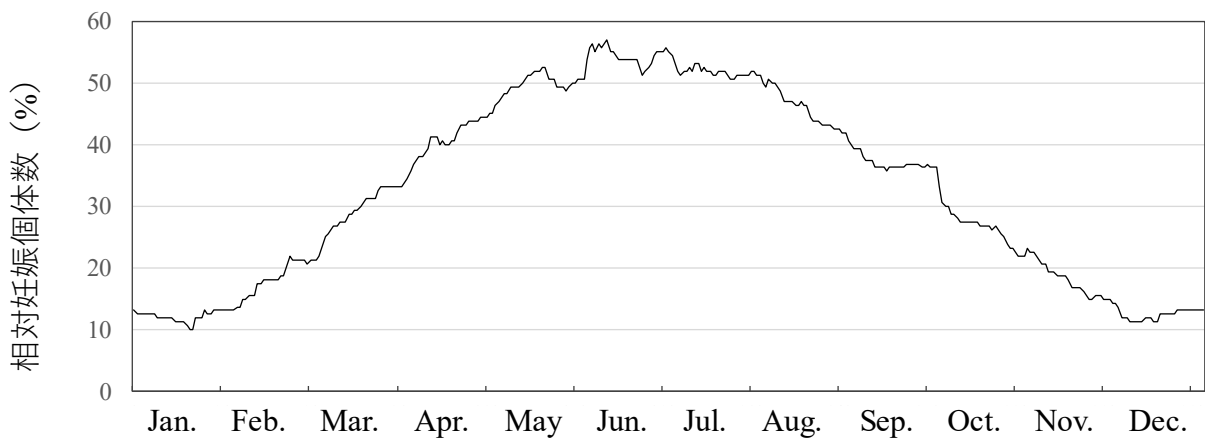


図 4.4.11 大三島における相対妊娠個体数の経日変動

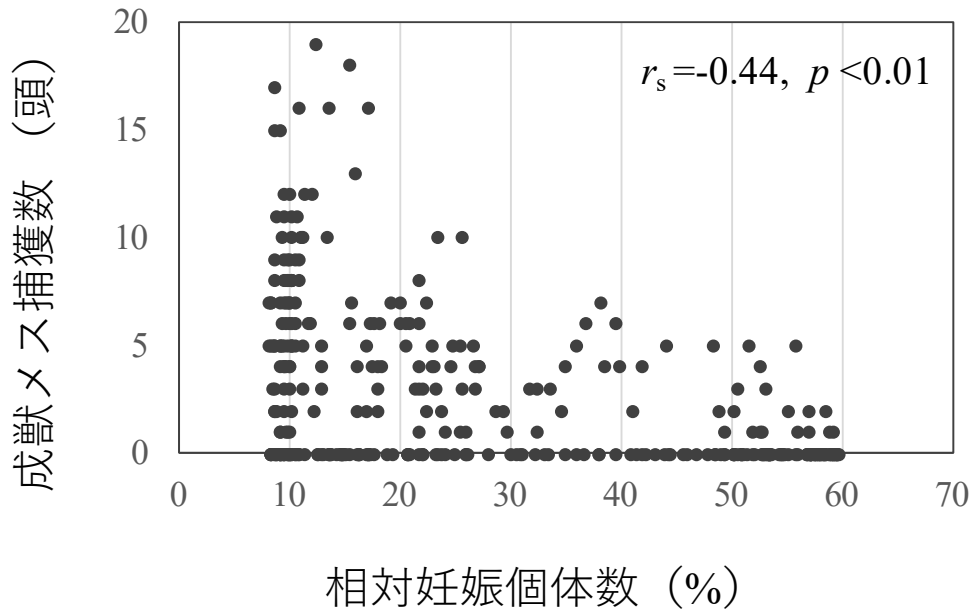


図 4.4.12 原発避難区域における1年間各日の相対妊娠個体数と成獣メスの捕獲数の関係

また、原発避難区域および大三島において、メス親の捕り逃し程度を検討した結果、両地域ともに、年間を通じて、子（0歳個体）のみが捕獲される件数が5～8割を占めていた（図4.4.8）。イノシシの子は、1年程度母親と生活をともにし、母親の出産に伴い独立することが報告されている<sup>36)</sup>。本調査においても、1歳以上の個体同士が同時に捕獲されたケースは両地域ともなかった。これらのことから、0歳個体のみが捕獲された場合、メス親の捕り逃がしが生じていることが予想され、両地域ともに、5～8割程度のメス親の捕り逃がしが生じている可能性が示唆された。江口<sup>17)</sup>は、箱罠の捕獲において捕り逃しが多発した場合、警戒心が昂進した個体（学習個体）が増加し、捕獲効率が低下する可能性を指摘している。また、本研究の結果、1歳以上のメス個体は高い妊娠率を有していたことから（図4.4.5）、原発避難区域および大三島では、捕獲対策の実施に伴い、妊娠率が高い個体の捕り逃がし、すなわち、学習化が進んでおり、捕獲効率の低下および個体数の増加を招く要因を創出してしまっていることが懸念される。

さらに、原発避難区域におけるメス親の発情回帰が生じるリスクを検討するため、哺乳個体が多い時期を推定した結果、原発避難区域では8月に（図4.4.9a）、大三島では3月～4月および9月～11月の2つにピークがあることが示された（図4.4.10）。また、原発避難区域において、乳獣（体重10.1kg未満）のみで捕獲された個体数も8月にピークがあり（図4.4.9b）、年間を通じて147個体が捕獲されていた。原発避難区域における相対哺乳個体数と乳獣捕獲数の間には正の相関関係が認められた（図4.4.11; Spearman's rank correlation coefficient;  $r_s = 0.36$ ,  $n = 365$ ,  $p < 0.01$ ）。また、大三島においても、哺乳個体が多くなる春季、秋季ともに、0歳個体のみが捕獲される割合は高い（図4.4.8b）。また、分析数が少ないため、実態を把握はできていないものの、週齢査定を行った個体の中に、15週齢未満の個体のみでの群れの捕獲事例もあった。原発避難区域では哺乳個体が多い時期ほど乳獣に対する捕獲圧が高くなっており、メスの発情回帰を多発させている可能性が示唆された。

また、相対哺乳個体数の経日変動は、原発避難区域と大三島で異なっており、大三島では2山のピークがみられた。このことから、大三島では子の消失に伴うメスの発情回帰が原発避難区域以上に生じており、その結果、原発避難区域との間に哺乳時期の違いおよび出生時期の違い（図4.4.9）がみられる可能性が示唆された。

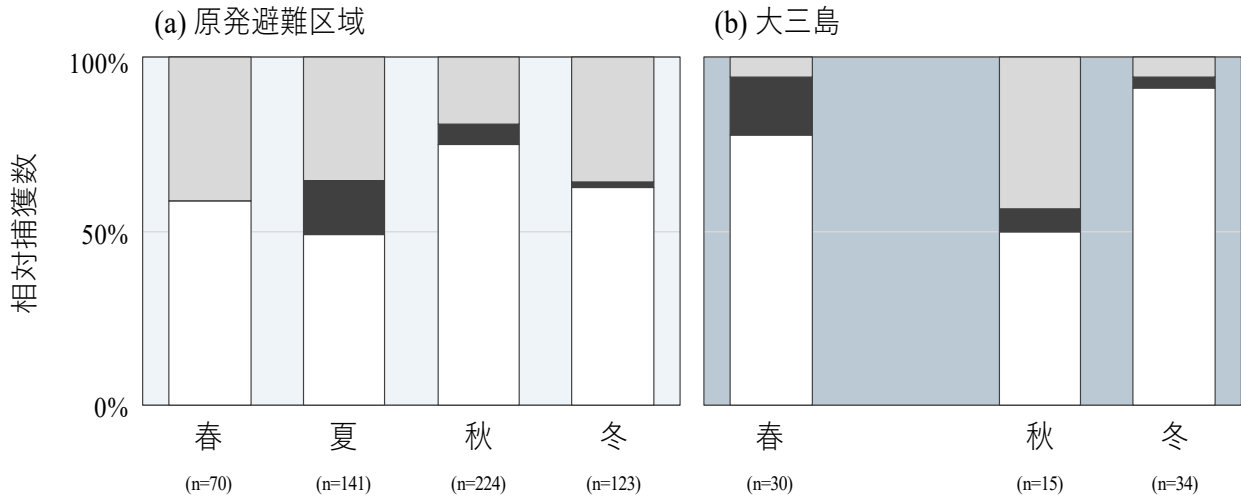


図 4.4.8 原発避難区域および大三島における箱罾において、0歳のみが捕獲された件数（□）、子と親が同じ箱罾で捕獲された件数（■）、親のみが捕獲された件数（□）の割合

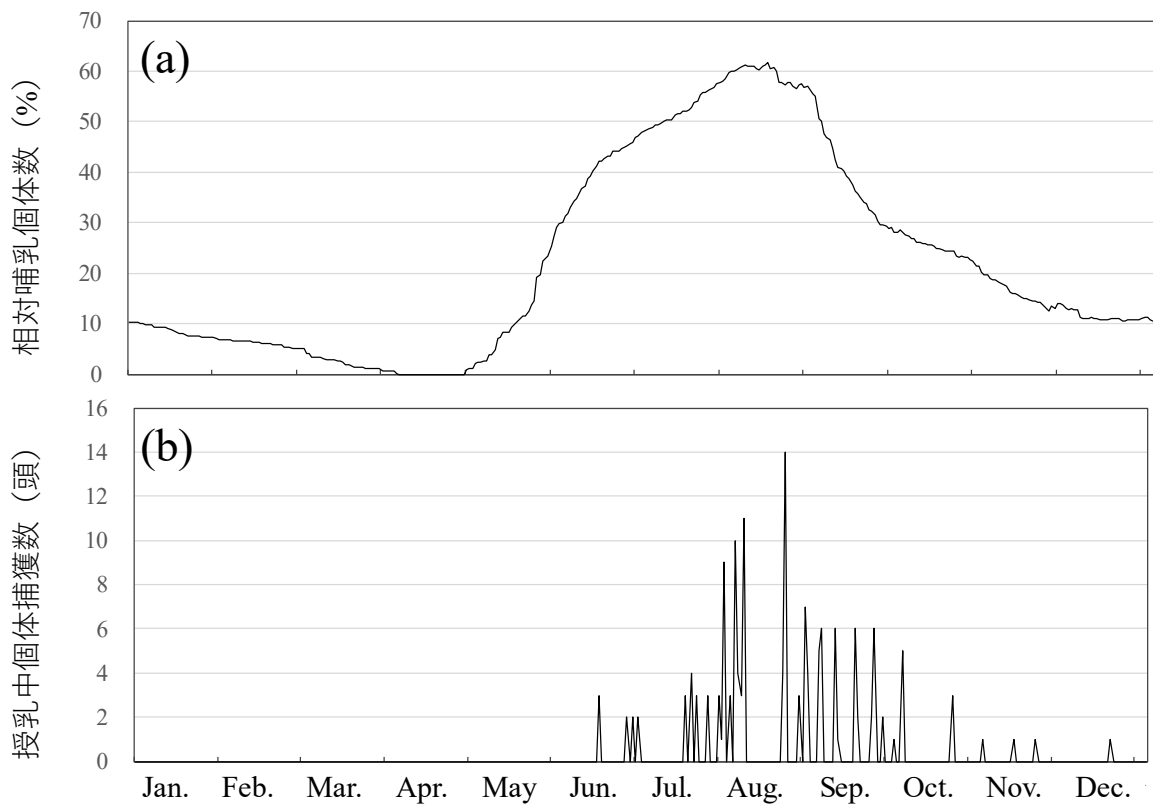


図 4.4.9 原発避難区域におけるイノシシの相対哺乳個体数 (a) と乳獣捕獲数 (b) の経日変動

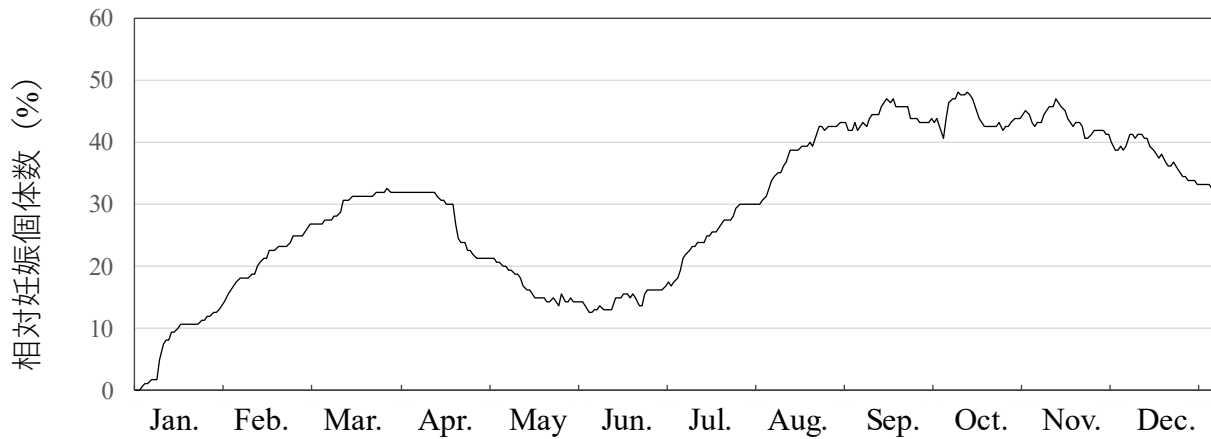


図 4.4.10 大三島におけるイノシシの相対哺乳個体数の経日変動

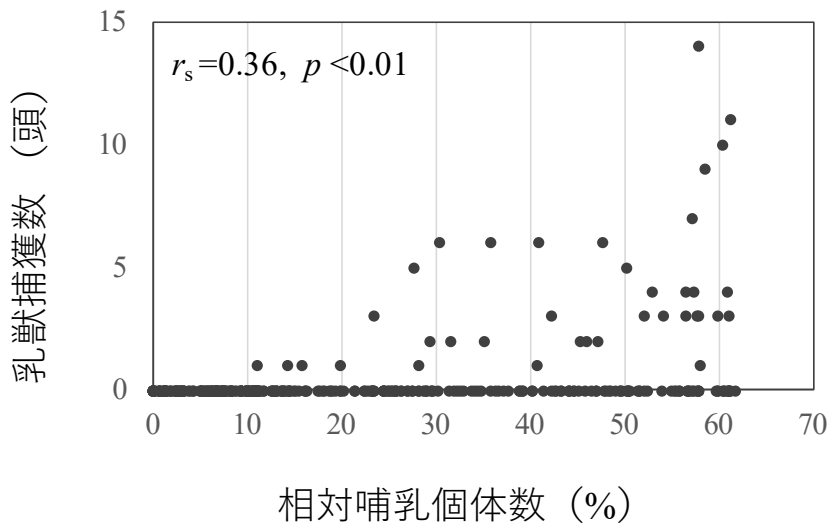


図 4.4.11 原発避難区域におけるイノシシの相対哺乳個体数と乳獣捕獲数の関係

### (3) 分布拡大地における効果的・効率的なイノシシ管理の展開に向けて

本研究の結果、イノシシの分布拡大地である原発避難区域および大三島では、捕獲個体数の増加が顕著ではあるものの、イノシシの初回妊娠年齢、妊娠率、胎子数は他地域と同等であり（図 4.4.1；図 4.4.6；図 4.4.7）、性成熟の早期化や妊娠率の向上、胎子数の増加は生じておらず、基本的な繁殖特性は普遍的であることが示唆された。これらのことから、イノシシの個体数増加は、江口<sup>43)</sup>が指摘するように、本来は自発的に個体数が減少する冬季における死亡率が、人間の作る環境によって低下している可能性がある。特に、人口減少や高齢化に起因してイノシシの新規流入が生じた分布拡大地には、放任果樹などの食物資源が豊富に存在する。それは、非効率的な餌探索を行うイノシシにとって<sup>43)</sup>、確実に餌を獲得できる好適な環境であることが推察される。その一方で、人間側にとっての分布拡大地は、野生動物管理の担い手自体が不在であり、管理を講じる上での体制基盤がそもそも整備されていない。そのため、対症的な対策を展開せざるを得ないのが実態である。その結果、対策上の課題は多く存在しており、原発避難区域および大三島では、①妊娠個体を選択的に捕獲できていない可能性（図 4.4.5；図 4.4.6；図 4.4.7）、②通年を通して 0 歳個体のみを捕獲が主であり（図 4.4.8）、メス親の捕り逃がしが多発している可能性、③哺乳個体が多い時期に乳獣を捕獲しており（図 4.4.9；図



4.4.11)、メス親の発情回帰の多発を招いている可能性、さらに、それに付随して、出生月のばらつきが生じ、年間を通じた0歳個体の産出をもたらし、①②③の問題を生み出す、悪循環な構造を創出している可能性が示唆された。

両地域において効率的・効果的なイノシシの個体数管理を講じていく上では、①の課題に対しは、妊娠個体が多い時期、すなわち、原発避難区域では3～5月、大三島では6～7月に、成獣メスを選択的に捕獲することが重要である。②および③の課題に対しは、親子を群れごと捕獲する、餌付け期間を十分に設けた捕獲方法<sup>44)</sup>に切り替え、学習個体の創出を防ぐ必要がある。特に、哺乳個体が多い時期、すなわち、原発避難区域では8月、大三島では3～4月・9～11月においては、当方法による捕獲に重点を置き、授乳個体の捕獲に伴うメス親の発情回帰が生じないようにする必要がある。また、後藤ら<sup>44)</sup>は、狩猟者の捕獲経験が浅いイノシシの分布初期段階における地域において成獣を一定数捕獲する上では、箱罠や銃よりも、くくり罠を用いた方が有効であることを指摘しており、くくり罠による捕獲に切り替えることも検討すべきであろう。

以上のことから、イノシシの分布拡大地においては、野生動物管理を講じる上での体制基盤が脆弱であるため、イノシシの顕著な個体数増加が生じた際、無戦略的に捕獲圧を高める対策が講じられる恐れがある。その場合、原発避難区域や大三島で生じている、幼獣主体の捕獲に伴うメス親の学習化や発情回帰、それに付随して出生時期のばらつきが増大などが生じ、悪循環化することが示唆された。イノシシの分布拡大において効率的・効果的な個体数管理を図る上では、繁殖時期の特性を把握し、その特性に応じた管理戦略を策定した上で実行することが望まれる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまで、イノシシの繁殖特性については分布拡大地に限らず、蓄積されてこなかった。本研究はイノシシの基本的な繁殖特性を明らかにし、本種の特性に応じた個体群動態の推定および個体数管理の実施を図る上での基盤となる情報を得ることができた。分布拡大地においても定着地と繁殖パラメータは有意な差はないと考えられた。しかし、捕獲促進により、幼獣の捕獲に偏ることで、発情回帰などを生起させ、出生時期の遅れや秋に子供が生まれる減少などが見られた。このような状況な繰り返されることにより通年で出生個体が見られる現象につながっていることが示唆され、繁殖と捕獲との関係が明らかとなった。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

本研究において提案した、原発避難区域におけるイノシシの繁殖特性に基づいた、年度の切り替え時期(3～5月)における成獣メスの集中的な捕獲を実施する管理戦略は、実際に令和2年度の当区域における環境省の捕獲事業に反映された。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

イノシシの捕獲対策が強化されているにもかかわらず、被害軽減や個体数削減が進まない地域が多いことから、出生数以上の捕獲数を確保できていないことが強く示唆されてきた。本研究により分布拡大地の繁殖特性のデータからこれらのことが科学的に明らかになった。イノシシの分布拡大は日本国内において、各地で現在も進行していることから、本研究において取得されたイノシシの繁殖特性に関する基礎情報を基礎とした個体数推定および、その情報に基づいて提案した分布拡大におけるイノシシの捕獲管理戦略は、今後のイノシシ捕獲対策で重要な考え方として、特定鳥獣管理計画などに反映されることが見込まれる。

## 6. 国際共同研究等の状況

本研究では、米国のジョージア大学およびコロラド州立大学からの要請により、繁殖パラメータと

なるデータや標本の採取について、協力して収集した。ジョージア大学は、放射能汚染がイノシシの繁殖に及ぼす影響を分析し、コロラド州立大学は、低線量被ばくに伴うイノシシの生物学的影響に関する研究を実施した。本研究によって取得した妊娠率や胎子数、出生期間などデータは、これらの大学と現在も共有化を図っており、多方面の研究分野の発展に寄与する貴重な基礎データとなっている。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) D.A. Anderson, K. Okuda, A.M. Hess, K. Nanba, T.E. Johnson, T. Takase and T.G. Hinton: Journal of Environmental Radioactivity, 197, 10-108 (2019) A comparison of methods to derive aggregated transfer factors using wild boar data from the Fukushima Prefecture
- 2) D.A. Anderson, R. Toma, Y. Negishi, K. Okuda, H. Ishiniwa, T.G. Hinton, K. Nanba, H.B. Tamate and S. Kaneko: Scientific Reports, 9, 11537 (2019) Mating of escaped domestic pig with wild boar and possibility of their offspring migration after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident
- 3) S.L. Pederson, M.C. Li Puma, J.M. Hayes, K. Okuda, C.M. Reilly, J.C. Beasley, L.C. Li Puma, T.G. Hinton, T.E. Johnson and K.S. Freeman: Scientific Reports, 10, 4055 (2020) Effects of chronic low-dose radiation on cataract prevalence and characterization in wild boar (*Sus scrofa*) from Fukushima, Japan

#### <その他誌上発表(査読なし)>

特に記載すべき事項はない

### (2) 口頭発表(学会等)

- 1) 奥田圭: 野生生物と社会学会第23回大会(2017)福島における大型獣の分布拡大と管理の展望、シンポジウム「東北地方における大型獣管理の現状、課題、展望」
- 2) 奥田圭・梶光一: 日本哺乳類学会2018年度大会(2018)全国のニホンジカのHarvest-growth rateの類型化とイノシシ捕獲の影響

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 奥田圭: 「第4回東北野生動物管理研究交流会」山形大学農学部(2017)「原発事故・津波被災に伴う人間の移出が野生哺乳類群集に与える影響」

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) 環境省: 捕獲数及び被害等の状況等(2018)  
<https://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs4/hokakusuu.pdf> (2020/5/12閲覧)
- 2) 梶光一、伊吾田宏正、鈴木正嗣: 朝倉出版(2013)野生動物管理のための狩猟学

- 3) T.G. Deryabina, S.V. Kuchmel, L.L. Nagorskaya, T.G. Hinton, J.C. Beasley, A. Lerebours, and J.T. Smith: *Current Biology*, 29, 19, 824-826 (2015) Long-term census data reveal abundant wildlife populations at Chernobyl
- 4) P.C. Lyons, K. Okuda, M.T. Hamilton, T.G. Hinton, and J.C. Beasley: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18, 3, 127-134 (2020) Rewilding of Fukushima's human evacuation zone
- 5) O.N. Bjørnstad and B.T. Grenfell: *Science*, 293, 5530, 638-643 (2001) Noisy clockwork: Time series analysis of population fluctuations in animal
- 6) K.F. Smith, A.P. Dobson, F.E. McKenzie, L.A. Real, D.L. Smith, and M. L. Wilson: *Frontiers in Ecology and Environment*, 3, 29-37 (2005) Ecological theory to enhance infection disease control and public health policy
- 7) J.A. Bailey: John Wiley & Sons, *In Principles of wildlife management* (1984) Wildlife reproduction
- 8) C. Fonseca, P. Santos, A. Monzón, P. Bento, S. Alves, J. Alves, A. Silvério, A.M.V.M. Soares, and F. Petrucci-Fonseca: *Galemys*, 16, 53-65 (2004) Reproduction in the wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758) populations of Portugal
- 9) A. Read: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47, 3, 561-565 (2011) Age at sexual maturity and pregnancy rates of harbour porpoises *Phocoena phocoena* from the Bay of Fundy
- 10) M. Apollonio, R. Putman, S. Grignolio, and L. Bartoš: Cambridge University Press, *In Ungulate management in Europe: problems and practices* (2011) Hunting seasons in relation to biological breeding seasons and the implications for the control or regulation of ungulate populations
- 11) C. Fonseca, A. Alves, J. Alves, J. Vingada, and A.M.V.M. Soares: *European Journal of Wildlife Research*, 57, 2, 363-371 (2011) Reproductive performance of wild boar females in Portugal
- 12) C. Bieber and T. Ruf: *Journal of Applied Ecology*, 42, 6, 1203-1213 (2005) Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: Ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resource consumers
- 13) M. Gamelon, J.-M. Gaillard, S. Servanty, O. Gimenez, C. Toïgo, E. Baubet, F. Klein, and J.-D. Lebreton: *Journal of Applied Ecology*, 49, 4, 833-841 (2012) Making use of harvest information to examine alternative management scenarios: a body weight-structured model for wild boar
- 14) K. Kaji: *Acta Theriologica*, 33, 13, 187-208 (1988) Effects of resource limitation on the physical and reproductive condition of sika deer on Nakanoshima Island, Hokkaido
- 15) 辻知香、横山真弓: 兵庫ワイルドライフモノグラフ、6, 71-83 (2014) ニホンイノシシの妊娠率算出方法の開発
- 16) T. Tsuji, M. Yokoyama, M. Asano and M. Suzuki: *Acta Theriologica*, 58, 315-323 (2013) Estimation of the fertility rates of Japanese wild boars (*Sus scrofa leucomystax*) using fetuses and corpora albicans
- 17) 江口祐輔: 誠文堂新光社 (2013) 最新の動物行動学に基づいた動物による農作物被害の総合対策
- 18) 小寺祐二、竹田努、都丸成示、杉田昭栄: 哺乳類科学、52, 2, 185-191 (2012) 週齢査定によるイノシシ *Sus scrofa* の出生時期の推定
- 19) 小寺祐二、神崎伸夫、石川尚人、皆川晶子: 哺乳類科学、53, 2, 279-287 (2013) 島根県石見地方におけるイノシシ (*Sus scrofa*) の食性
- 20) 小寺祐二、神崎伸夫、金子雄司、常田邦彦: 野生生物保護、6, 2, 119-129 (2001) 島根県石見

## 地方におけるニホンイノシシの環境選

- 21) 愛媛県史編さん委員会：愛媛県（1986）愛媛県史，地誌Ⅱ（東予西部）
- 22) 今治市農水港湾部農林振興課地産地消推進室：今治市（2013）今治市農林水産業振興計画－食と農のまちづくりをめざして－
- 23) 愛媛県：愛媛県（2017）第二種特定鳥獣管理計画「第4次愛媛県イノシシ適正管理計画」
- 24) 今治市農林振興課：今治市（2018）有害鳥獣対策の取り組み
- 25) G.H. Matschke: Proceedings Annual Conference Southeast Association of Game and Fish Commission, 18, 35-39 (1964) The influence of oak mast on European wild hog reproduction
- 26) R. Mauget: Butterworth-Heinemann, Control of Pig reproduction (1982) Seasonality of reproduction in the wild boar
- 27) J.M. Gaillard, D. Pontier, S. Brandt, J.M. Jullien, and D. Allaine: Folia zoologica, 42, 3, 204-212 (1992) Body weight effect on reproduction of young wild boar (*Sus scrofa*) females: a comparative analysis
- 28) T. Yamashita: Japanese Journal of Veterinary Research, 7, 4, 177-202 (1959) Histological studies on the ovaries of sows I. Histological observations on the five groups of structures found on ovarian surfaces with special reference to Hematoxylin-Eosin section-preparations
- 29) T. Yamashita: Japanese Journal of Veterinary Research, 8, 2, 107-125 (1960) Histological studies on the ovaries of sows II. On the behavior of argyrophil fibers in the various structures of ovaries
- 30) T. Yamashita: Japanese Journal of Veterinary Research, 8, 3, 221-236 (1960) Histological studies on the ovaries of sows III. On the elastic fibers of the wall of blood vessels in various historical structures
- 31) T. Yamashita: Japanese Journal of Veterinary Research, 10, 1, 1-18 (1962) Histological studies on the ovaries of sows V. Histological observations of the various corpora lutea in the ovaries of sows which have definite histories of parturition
- 32) 姉崎智子、坂庭浩之、小野里光、戸塚正幸、中嶋薫、竹内忠義、富田公則、木滑大介：群馬県立自然史博物館研究報告、13, 119-128 (2009) 群馬県におけるイノシシの分布拡大と繁殖状況
- 33) P. Fernandez-Llario, and P. Mateos-Quesada: Acta Theriologica, 43, 4, 439-444 (1998) Body size and reproductive parameters in the wild boar *Sus scrofa*
- 34) J.R. Vericad: Acta del XV. Congreso Internacional Fauna Cinegética y Silvestre 1981, 811-820 Eds. J. Castroviejo and J.M. Blanc (1983) Estimación de la edad fetal y períodos de concepción y parto del jabalí (*Sus scrofa* L.) en los Pirineos occidentales (In Spanish with an English summary)
- 35) 兼光秀泰、藤井勉、河南有希子：動物園水族館雑誌、30, 6-8 (1988) 飼育下におけるニホンイノシシの出産期、妊娠期間、産子数
- 36) 仲谷淳：古今書院、イノシシと人間、高橋春樹編（2001）知られざるイノシシの生態と社会
- 37) 楠本華織、鈴木信彦、仲谷淳：佐賀大学農学部彙報、99, 21-31 (2014) ニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*) の仔にみられる行動解析（第1報）授乳行動
- 38) F. Gethöffer, G. Sodeikat, and K. Pohlmeier: European Journal of Wildlife Research, 53, 4, 287-297 (2007) Reproductive parameters of wild boar (*Sus scrofa*) in three different parts of Germany
- 39) 江口祐輔、田中智夫、吉本正：日本畜産学会報、72: 49-54 (2001) 飼育下のニホンイノシシにおける分娩行動および分娩成績
- 40) I. Delcroix, R. Mauget, and J.P. Signoret: Journal of Reproduction and Fertility, 89,

- 613-617 (1990) Existence of synchronization of reproduction at the level of the social group of the European wild boar (*Sus scrofa*)
- 41) 後藤直子、竹下和貴、丸山哲也、梶光一：野生生物と社会、4, 2, 11-18 (2017) 猟法の違いがイノシシ捕獲個体の齢比と成獣の性比に与える影響
  - 42) 平成29年度今治市有害鳥獣捕獲数. [https://www.city.imabari.ehime.jp/nourin/yugai-tyozyu/H29\\_hokaku.pdf](https://www.city.imabari.ehime.jp/nourin/yugai-tyozyu/H29_hokaku.pdf) (2020/4/5 閲覧)
  - 43) 江口祐輔：哺乳類科学、53, 1, 141-143 (2013) イノシシの行動研究にもとづく被害対策
  - 44) 小寺祐二：農山漁村文化協会 (2011) イノシシを獲る

## Ⅱ－５ 人口減少による野生動物の分布拡大地（福島県）への応用

東京農工大学 梶 光一

<研究協力者>

東京農工大学 林 好美

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：15,742千円（研究経費は間接経費を含む）  
（平成29年度：4,940千円、平成30年度：4,952千円、令和元年度：5,850千円）

### [要旨]

近年、ニホンジカやイノシシなど大型獣の急速な分布拡大と生息数の増加により、農林業被害や生態系への悪影響が生じている。そのため、国は改正鳥獣保護管理法のもとで、2023年までの10年間でシカ・イノシシの個体数を半減すると宣言した。効果的な個体数管理を実施するためには、適切な制度設計が必要である。そこで、本研究では、捕獲統計（1990～2014年）を用いて都道府県による特定計画制度にもとづく個体数調整（1999年施行）、市町村による特措法に基づく有害駆除（2007年施行）が捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）に与えた影響を都道府県単位で評価し、持続的で効果的な管理制度についての提言を行うことを目的としている。シカの捕獲効率の時系列変化は3グループに分かれ、捕獲効率は、計画経過年が最長のグループでは二つの法整備ごとに急増し、残りの二つのグループは特措法後に増加したが、計画経過年が最小のグループの伸び率は最小であった。生息数低減が実現した道府県に共通している項目として、大規模個体群では17年以上、小規模個体群では10年余りにわたる順応的管理の実績とそれを支える体制が整備されていることがあげられる。イノシシの捕獲効率の時系列変化は4グループに分かれ、捕獲効率は計画経過年の長い県で大きい傾向がみられたものの、シカのような明確な対応関係は認められなかった。イノシシは繁殖力が高いため、捕獲効率の増加にもかかわらず、個体数低減にはいたっていない。シカの捕獲圧がもっとも高いグループはイノシシの捕獲効率は特措法の施行後も増加は低調であり、複数種の管理を統一的に実施することが重要であることを示唆している。分布拡大地域における効果的な大型獣の管理のためには、野生動物個体群の空間分布、管理アプローチ（生息地管理、個体数管理、被害防除）の時空間スケール、それぞれの空間スケールに応じた階層的な管理主体の連携による、被害防除・個体数管理・生息地管理・持続的資源管理が整合するよう、統合的な管理を進めるための制度設計が必要である。また、持続的な統合的管理の推進に向けて、多様な捕獲事業から得られるデータの標準化を図り、国や地域レベルで分布と個体数に関するデータベースを構築・利用できる仕組みが必要である。イノシシの分布拡大地域のモデルとした福島県においても、国、県、市町村による複数の捕獲事業が実施される中、統一的なデータの収集体制がないという課題がみられた。そこで、自動撮影カメラによる調査と捕獲数、捕獲努力量などから得られる広域の密度指標を組み合わせた密度推定を試行（当推進費成果をもとに福島県事業として実施）し、単年度事業の中で県全域での密度分布を得ることができた。データ量に応じた段階的なアウトプットを事業へフィードバックすることで、継続的なデータ収集と個体数管理の体制構築に繋がることが期待された。

### [キーワード]

捕獲効率、狩猟者、特定鳥獣保護管理計画制度、鳥獣害防止特措法、統合的な野生動物管理システム

### 1. はじめに

近年、ニホンジカやイノシシなどの大型獣の急速な分布拡大と生息数の増加によって、農林業被害や生態系への悪影響が生じている。そのため、国は、2013年に改正鳥獣保護管理法のもとで、2023年度

までの10年間で個体数を半減させる目標を掲げて新たな捕獲制度を創設した。効果的な個体数管理を実行するためには、適切な管理を実行するための制度設計が必要である。これまで、国は1999年に鳥獣保護法改正により、都道府県による特定鳥獣保護管理計画制度（特定計画）に基づく個体数調整、2007年には鳥獣被害防止特措法（特措法）の導入により、市町村による被害防除計画に基づく有害捕獲（駆除）を行う仕組みを整備し、捕獲体制を強化してきた。また、メスジカは狩猟獣から除かれていたが、1994年からは任意計画を策定した場合に、2000年からは特定計画を策定した場合に狩猟が許可され、2008年からはメスジカは狩猟獣となり、特定計画なしでも狩猟で捕獲が可能となった。そこで、本研究は、1999年および2007年に施行された二つの法制度が捕獲実績に与えた影響を評価すること、新たにシカ・イノシシの分布拡大地（福島県を含む）で、本プロジェクトで開発した技術を応用するうえでの課題を整理し、個体数管理を成功に導くための持続的な捕獲実施体制を検討することを目的としている。

日本と同様の有蹄類の過増加問題を抱えるヨーロッパにおける個体群管理に関する近年の研究者の取り組みは、本プロジェクトのリファレンスとして有益である。ヨーロッパの有蹄類の個体群管理の主要な失敗要因として、空間スケールと捕獲数割り当て、モニタリングシステム、制度があげられており<sup>1)</sup>、これらは日本のシカ・イノシシの個体群管理の課題とみごとにまで一致しているからである。

これらの課題を克服するために、ヨーロッパの研究者たちは、異なった生息地と管理体制におけるヨーロッパ各国の野生動物の生態と行動のデータを共有することによって、より大きな空間スケールで、科学に基づいた持続可能な野生動物の管理と保全に向けて新たな努力を始めた<sup>2)</sup>。2008年から、種別の協働科学的プロジェクトが開始され、2018年にはその包括的組織EUROMAMMALSが組織化され、野生動物の基礎データやMovement DATA (GPSデータやVHFデータ)の収集と共有を行う科学的ネットワークへと発展した<sup>2)3)</sup>。さらに、2017年12月に、EFSA (European Food Safety Authority: 欧州食品安全機関)からの資金提供のもとで、研究者組織ENETWILDコンソーシアムが立ち上げられ、ヨーロッパに広がるASF (アフリカ豚熱) 対策としてイノシシに焦点をあて<sup>4)</sup>、個体数や密度について、FAIRの原則に基づいて標準化したデータ収集を実施している。FAIRとは、①Findable(見つけられる)、②Accessible (アクセスできる) ③Interoperable (相互運用できる) ④Reusable (再利用できる) を意味する。ENETWILDにおいても、この原則に基づいて、データ共有と管理を行うこととしている<sup>5) 6) 7)</sup>。これらのデータベースを補完する上で、市民科学アプローチの重要性が認識され、2019年10月、IREC (Institute for Game and Wildlife Research: スペイン野生動物研究所)が先導して設立された研究者と市民が協力しあう「MammalNet」プロジェクトとの協力体制が組まれた<sup>8)</sup>。

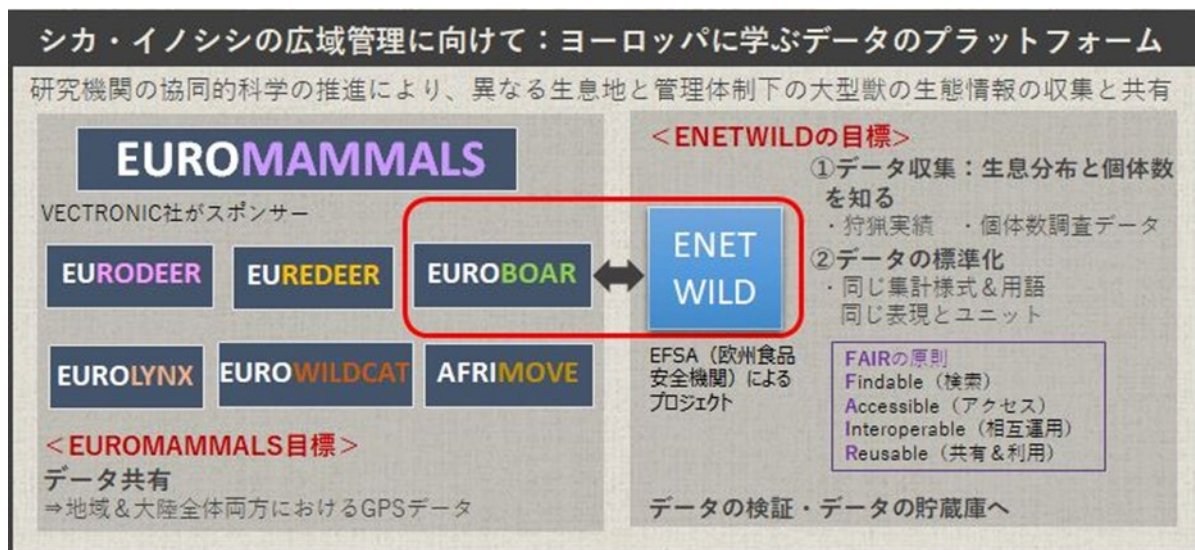


図1.5.1 ヨーロッパにおける野生動物管理の協同的科学的の進展

こうしたヨーロッパにおける野生動物管理の協同的科学的の進展は、個体群管理を成功に導くためには、データ共有と利用の仕組み、それを実現するための制度が極めて重要であることを示しており、我

が国の野生動物管理の道標とも言える。したがって、本課題における捕獲実施体制とは個体群管理を成功に導くための持続可能な野生動物管理制度と位置づけて分析を行った。

## 2. 研究開発目的

シカとイノシシの全国規模の分布の時間的変化をみると、1978年から2003年までの25年間にシカは1.8倍、イノシシは1.4倍に拡大し、その後2003年から2014年までの11年間でシカは北海道（西部）・東北地方や北陸地方を中心に1.4倍に拡大し、イノシシは東北地方や北陸地方を中心に1.3倍に分布を拡大し、2014年度時点でさらに分布が拡大し、シカは全国の6割、イノシシは全国の5割に分布している（図2.5.1、環境省資料<sup>9)</sup>）。すなわち、シカとイノシシとも西日本では早くから安定的に生息している一方、東日本では近年になって急速に分布を拡大し定着している。

シカとイノシシの総捕獲数は右上がりに増加し、シカでは1990年の41,949頭から2014年の588,064頭へと年平均11%、イノシシでは1990年の69,792頭から2014年の520,519頭へと年平均9%と指数関数的に増加し、狩猟による捕獲は特措法導入後に著しく減少し、市町村による有害捕獲が急増した（図2.5.2ab、環境省資料<sup>10)</sup>）。一方、狩猟登録者数は1990年当初は256,000人であったが、1999年には20万人を下回り、その後も大きな減少はないものの20万人を下回る水準で維持されている（図2.5.2c）。

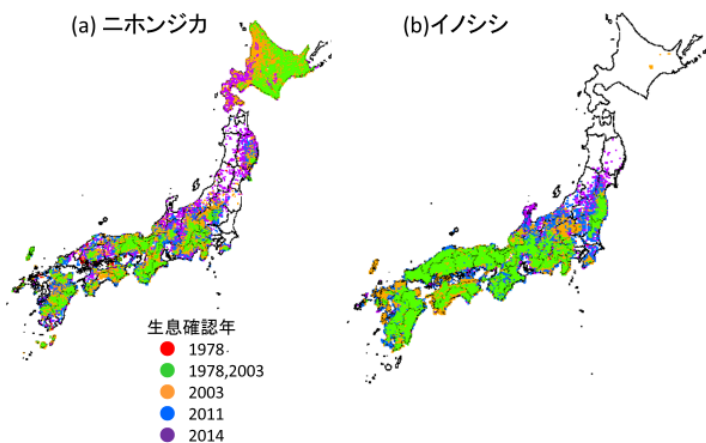


図2.5.1 シカ・イノシシの分布の時間的変化<sup>9)</sup>

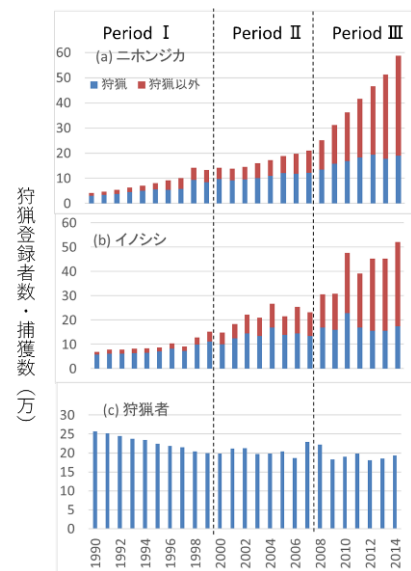


図2.5.2 (a)シカ・(b)イノシシの捕獲数と(c)狩猟登録者数の推移<sup>10)</sup>

以上のように、シカ・イノシシの総捕獲数は二つの法制度によって、狩猟者の減少にも関わらず増加を続けているが、個体数の低減を実現している都道府県は限られており、地域によって、分布の状況や捕獲実施体制や捕獲効率が大きく異なることが想定される。そこで、本研究では、個体数管理の成否をもたらす要因を明らかにし、福島県など分布拡大地においても実行可能な鳥獣行政上の制度設計について提言することを目的とした。

具体的には、個体数管理が先行して実施されてきた都道府県を対象に、(1)シカ・イノシシの分布と捕獲情報の類型化を行い、特定計画（2000年開始）に基づく県による個体数調整、ならびに特措法（2008年開始）に基づく市町村による有害捕獲が、どのような捕獲効率の変化をもたらせたのか、その要因は何か、課題は何かを県レベルで分析した。次に、科学的な管理の実行状況を明らかにするために(2)捕獲情報の収集状況ならびに市町村および広域連携の状況を調べ、行政の境界をまたがって分布・季節移動し、管理レベル（生息地管理、個体数管理、被害管理）のスケールが異なり、二つの法制度にもとづいて、都道府県と市町村が関わる複雑な捕獲制度を調整し統合するための(3)空間スケール



ルを考慮した統合的な野生動物管理システムを検討する。また、(4)イノシシの分布拡大地域のモデルとした福島県において、密度推定を試行し、データの収集状況に応じた適切なアウトプットについて検討した。

### 3. 研究開発方法

#### (1) シカ・イノシシの分布と捕獲情報の類型化

都道府県の捕獲実施体制について、捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）を指標に用いて評価した。分析に用いたデータは、1990年から2014年までの環境省による鳥獣関係統計<sup>10)</sup>であり、シカでは特定計画が2007年以前に作成された33県、イノシシでは特定計画が2013年以前に作成された37県を対象とした。動的時間短縮法Dynamic Time Warping (DTW)およびクラスター分析を用いて、都道府県の捕獲効率の時系列変化を類型化し、分布の時間的変化と対応させた。二つの法制度が捕獲効率に与えた影響を分析するために、各グループの捕獲効率を3つの期間、すなわち鳥獣保護法改正以前(Period 1:1990～1999年)、鳥獣保護法改正後から特措法導入まで(Period 2:2000～2007年)、特措法導入後から鳥獣保護管理法制定まで(Period 3:2008～2014年)で比較した。二つの法制度を活用して捕獲効率を上昇させるためには、行政の対応能力が求められる。そこで、個体数管理計画の実施期間が長い都道府県は、順応的管理によって捕獲効率を上昇させるとの仮説を設定した。また、シカとイノシシの地域での捕獲は、同一の捕獲が実施されている場合がほとんどであるため、シカとイノシシの捕獲の関係についても考慮して捕獲効率の評価を行った。

シカの個体数管理によって生息数の低減を凶れた都道府県の管理体制を調べるために、環境省がとりまとめた、11次および12次鳥獣保護管理計画等から読み取った都道府県別の生息状況<sup>11)</sup>を参考に、生息数が明確に減少している道府県を抽出し、その要因を解析した。

#### (2) 捕獲情報の収集状況ならびに市町村および広域連携の状況

特定計画に基づく都道府県の捕獲情報収集状況を把握するために、環境省がとりまとめた2017年度および2018年度の都道府県特定鳥獣（獣類）の管理の実施状況に関する報告書<sup>11) 12)</sup>ならびに各県が作成した第二種特定計画（ニホンジカ）を参照にした。また、都道府県に対し、捕獲情報の収集状況（様式、収集のフロー、項目）、市町村へのフィードバック、隣接県との連携などについて、13道県に対しヒアリングを行った。ヒアリングを実施した県は、北海道、栃木県、千葉県、神奈川県、石川県、静岡県、兵庫県、島根県、山口県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県の13県である（表4.5.4）。

シカ・イノシシの分布拡大地域である東北地方での野生動物管理の実態を把握するために、2017年度「野生動物と社会」学会大会（帯広畜産大学 2017年11月4日）において、企画集会「東北地方における大型獣管理の現状、課題、展望」を開催した。また、隣接県にまたがる広域管理制度を検討するために、2018年度同大会（九州大学 2018年11月24日）において、企画集会「ニホンジカの広域管理システムを考える」を開催した。

#### (3) 制度と空間スケールを考慮した統合的な野生動物管理システム

(1) (2) で得られた課題を踏まえて、都道府県計画、市町村計画、さらには広域計画などの階層性を考慮した制度間の垂直方向について、一方で、対象種の空間分布と管理レベルを含むランドスケープレベルにおける空間スケールの水平方向の調整を踏まえた統合的な野生動物管理システムの検討を行った。

#### (4) 分布拡大地（福島県）におけるイノシシ生息密度推定の試行

福島県では、2012年以降にイノシシの分布域の拡大、生息数の増加を反映して捕獲数が急増している。まず、捕獲体制およびデータ収集体制について現状の課題を整理し、現状のデータ蓄積状況の中で、適用可能と考えられる個体数推定モデルを提案した。イノシシの生息密度推定は福島県の事業において試行された。具体的には、捕獲圧が高い地域から3箇所を調査地を選定し、自動撮影カメラによる

調査とRESTモデルによる密度推定を実施した。得られた推定密度は、広域で収集可能な5 kmメッシュ単位でのくくり罠CPUE、銃猟SPUEといった密度指標と捕獲数の情報をもとに空間的な外挿を行い、県全域での密度分布図を作成した。なお、本課題についてはサブテーマ3の研究代表者である深澤が、調査デザインや推定方法についてのアドバイスをし、自然環境研究センターが実施したものである。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) シカの分布と捕獲情報の類型化

##### 1) シカの捕獲効率（狩猟者一人当たりの捕獲数）の時系列変化の類型化

2007年以前に特定計画を策定した都道府県（33県）を対象にシカの捕獲効率の時系列変化について、動的時間短縮法(DTW)およびクラスター分析を用いて類型化を行ったところ、3つのグループに分かれた（図4.5.1、表4.5.1）。東北地方では岩手県を除いて空白となっているが、これらの地域にはシカが近年になって定着したために特定計画が未整備あるいは2008年以降（特措法以降）に策定されたために解析対象から除外したためである。3グループとも捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）は右肩上がりに増加した（図4.5.2）。

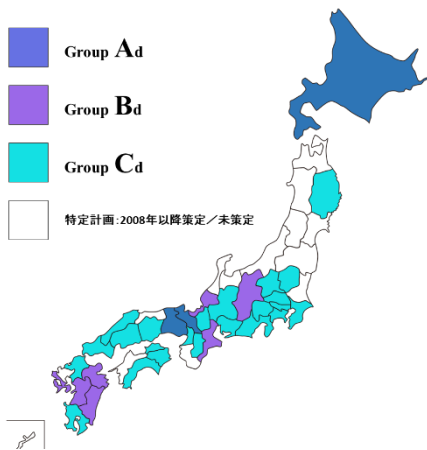


図4.5.1. 2007年以前に特定計画を策定した県におけるシカの捕獲効率（狩猟者1人当たりの捕獲数）の時系列変化の類型化(1990-2014)

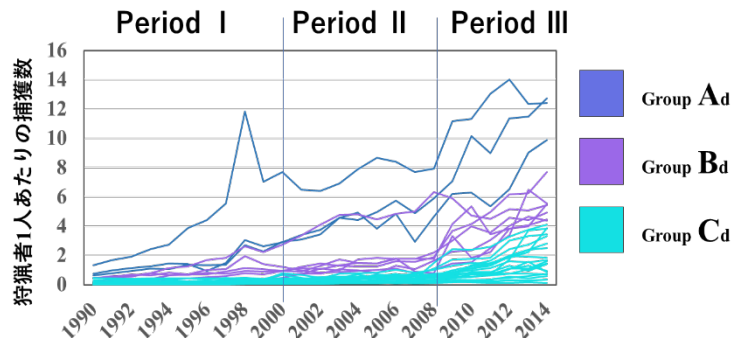


図4.5.2. シカの捕獲効率（狩猟者1人当たりの捕獲数）の時系列変化(1990-2014)

Period I：任意計画（1990-1999）

Period II：特定計画（2000-2007）

Period III：特定計画・鳥獣被害防止特措法（2008-2014）

捕獲効率（捕獲数/狩猟登録者数）は3グループともPeriod I < II < IIIであり（Steel-Dwass test,  $p < 0.05$ ）、特定計画および特措法の効果が認められる（図4.5.3）。また、グループ間での比較では、いずれの期間ともGroup Ad > Bd > Cdである（Steel-Dwass test,  $p < 0.05$ ；図4.5.3）。

2014年までの特定計画経過年が最長のGroup Ad（平均19年）では、特定計画（Period II）および特措法（Period III）の導入により捕獲効率が増加したのに対し、Group Bd（平均14年）とGroup Cd（平均11年）では、特定計画によって捕獲効率は増加したもののわずかであり、特措法によりBdでは増加したがCdでは伸び率が最小であった。計画経過年は、Adが最も長く、次いでBd、Cdであり、AdとCdとの間に有意差が認められた（Bonferroni's multiple comparison test,  $p < 0.01$ ；表4.5.1）。

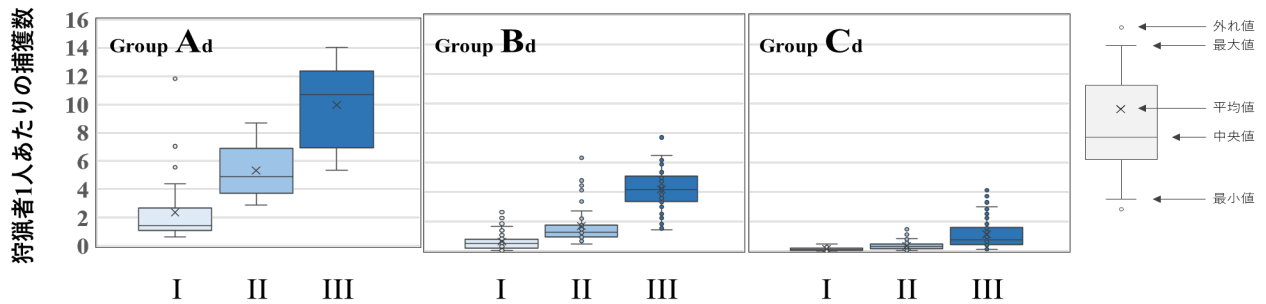


図4.5.3 グループ別、期間別のシカの狩猟者1人当たりの捕獲数の推移

表4.5.1. 2007年以前にシカの特定計画を策定した都道府県（33）のグループ区分。都道府県の（）内の数字は20014年までの計画策定経過年を示す。太字は第12次計画期間の第二種特定鳥獣管理計画において、2014年度までに生息数の減少が広域スケールで報告された道県。

グループ	計画経過年(平均±SD, (n))	都道府県
Ad	19.3±1.2 (3)	<b>北海道(20)、京都(18)、兵庫(20)</b>
Bd	14.3±3.3 (7)	福井(10)、長野(13)、三重(12)、長崎(20)、熊本(14)、大分(17)、宮崎(14)
Cd	11.4±3.5 (23)	岩手(17)、栃木(20)、群馬(14)、埼玉(8)、千葉(9)、東京(9)、 <b>神奈川(11)、山梨(9)、岐阜(3)、静岡(10)、愛知(9)、滋賀(9)、大阪(12)、奈良(14)、島根(11)、岡山(11)、広島(11)、山口(15)、徳島(13)、香川(12)、高知(9)、福岡(13)、鹿児島(14)</b>

## 2) シカの順応的管理による生息数低減の実例と課題

Group Adに属する北海道、兵庫、京都はいずれもシカの推定生息数(2012年度)が10万頭以上の大規模個体群を有している<sup>13)</sup>。北海道(東部地域と西部地域)<sup>14)</sup>および兵庫<sup>15)</sup>では生息数の減少が確認され、京都<sup>16)</sup>では2013年度をピークに減少傾向が示唆されている。このグループに属する道府県に共通する点は、計画経過年が18~20年と他のグループよりも長いことと、メスジカの捕獲強化が任意計画(Period I)で開始され(北海道と兵庫:1994、京都:1997年)、捕獲数の増加とともに角なし(メスと子)の比率が特定計画(Period II)には50%に達し、その後(Period III)も増加を続けたこと(図4.5.5)、捕獲促進に道府県の補助金が投入されたことなどがあげられる。また、モニタリングに基づく順応的管理が実践されてきたことも共通している。その実例を紹介する。

北海道では1991年に北海道環境科学研究センターが設立された。1998年に主要な生息地であった東部地域を対象とした道東計画を策定し、1993年度の個体数を100%とし、個体数を相対的な指数(個体数指数)として捉え、その増減動向に応じて捕獲圧を調整する順応的管理手法を導入した。1994-1997年の年間捕獲数は、推定個体数の年増加率(20%)を上回っているにもかかわらず個体数指数が増加を続けたことから、1993年の推定個体数は過小評価である疑いが生じた。そのため、捕獲数が個体数指数に与える影響を計算して個体数を導きだすharvest based estimationにより、基数となる1993年の推定生息数を修正し、メスジカの捕獲目標数を変更した<sup>17)</sup>。緊急減少措置としてメスジカの捕獲頭数制限緩和と市町村の有害捕獲への助成(1998~2002年)を行った結果、個体数は1998年をピークとしてその後減少した<sup>18)</sup>。しかし、2002年度に有害捕獲補助金が廃止されてメスジカ捕獲頭数が減少したうえ、これまで用いた最尤法による指数推定はバラつきが大きく、生息動向が不明確だった。状態空間モデルに階層ベイズ推定を活用(階層ベイズ法)することにより、個体数推定モデルが改善し精度が向上した

め、2001年以降に東部および西部地区で個体数増加が明確になり<sup>11)</sup>、緊急対策期間（2010-2014年）の対策、エゾシカ緊急対策交付金（2010-2014年）、特措法による予算措置等により、捕獲数の増加と生息数低減が実現した<sup>18)</sup>。

兵庫では2007年に森林動物研究センターが設立される。2000年度（最初のシカ特定計画の策定）から2009年度までの期間中に、シカの生息密度・農業被害・森林生態系被害に関するモニタリングデータの収集体制が整備され、個体数の推定には、第2期までは区画法から得られた生息密度と糞塊密度の関係式に基づき、第3期（2007～2011年度）にはharvest based estimation<sup>17)</sup>により実施したが、この期間を通して推定生息頭数は過小評価であり、計画の目的とするシカの生息頭数の低減には至らなかった。第4期（2012～2016年度）には、階層ベイズ法により生息数推定と将来予測を行い、銃猟の出猟人日当たりの目撃数（目撃効率）1.0未満までシカの生息頭数を減少させるためには少なくとも継続的に30,000頭以上の捕獲を実施していく必要であることを明らかにした<sup>20)</sup>。年間の捕獲目標頭数を達成するための方策として、狩猟期間中の報奨金制度の新設や、有害鳥獣捕獲報奨金の単価の引き上げ、シカ捕獲専任班の編成などの施策がとられた。その結果、県本州部におけるシカの推定生息頭数は2014年度以降、減少に転じ、第4期では増加傾向の市町は3に減少し、13の市町で明確な減少傾向が検出されたが、管理の進捗は市町間で大きな格差があるという新たな課題も浮き彫りとなった<sup>21)</sup>。

Group Bdに属する県では年々捕獲効率は上昇しているものの分布が拡大しているため、個体数を抑制できている県は限られ、地域的に生息数低減を実現した県として大分があげられる<sup>22)</sup>。

大分は農林水産研究指導センター林業研究部が糞粒法などの広域モニタリングを担当し、解析は森林総合研究所九州支所などと連携して実施し、評価は特定計画の検討会で行っている<sup>22)</sup>。2012年度時点で10万頭規模の大規模個体群を有し<sup>13)</sup>、計画策定経過年も17年と長崎に次いで長い。1997年度に任意計画を作成し、シカの密度が高く被害が多い県南地区でメスジカの狩猟獣化などの対策を開始し、2009年度から狩猟期間中の有害捕獲を捕獲報償金支払いの対象としたこと、森林総合研究所の協力を得て、捕獲位置情報と生息密度マップをマッチングさせて見える化を推進し、高密度地域の捕獲によって、県南部地域で生息数が減少しつつある<sup>23)</sup>。県南部でいち早く個体数管理が進んだのは、国内でも有数の林業先進地である佐伯市が2008年度に独自に捕獲報奨金制度を作ったのに対し、県が報奨金の上乗せをし、その後、国の特措法の予算も利用するなど、現場からの動きに呼応するように、佐伯市、県が連携し、有害捕獲を「市内一円」として猟友会の縄張りも無くすことができ、捕獲圧強化につながったことがあげられる<sup>24)</sup>。一方、生息密度調査が明らかに不十分であり精度・頻度を高めることが喫緊の課題とされ、5年に1回の密度調査地点が固定的で生息分布域の変化に対応していないこと、県境域での捕獲圧強化も課題とされている<sup>25)</sup>。

Group Cdで個体数の低減が確認された県は神奈川<sup>26)</sup>と島根<sup>27)</sup>の2県であり、それぞれの2012年時点の推定生息数はそれぞれ5000頭、3000頭と比較的小規模な個体群を有している<sup>13)</sup>。

神奈川では2000年に神奈川県自然環境保全センターが設立され、シカの管理捕獲、柵の設置、森林施業などの事業と、その効果検証を行うモニタリングを担っている。第1次管理計画（2003～2006年度）から順応的管理に着手し、メスジカ猟の解禁、個体数調整の開始、管理ユニット毎の管理方針を設定した。第2次管理計画（2007～2011年度）では、管理ユニット毎のモニタリングと進捗管理、ユニット毎の計画的個体数調整、保護管理区域での捕獲目標頭数（1,000頭）の設定、保護管理区域でのメスジカ解禁（上限有）を図った。その結果、2007年から角なしの割合は50%に達している（図4.5.4）。第3次管理計画（2012～2016年度）2015年名称改定では、保護管理区域を3区分にゾーニング（自然植生回復、生息環境管理、被害防除対策）し、それぞれの重点目標を置き、メスジカ捕獲強化（猟期規制解除）、専従ハンター（ワイルドライフレンジャー）3名を配置するとともに、モニタリング調査の強化を実施した。2015年からは階層ベイズ法により個体数の推計を開始したことにより、過去に遡って個体数を推定した結果、減少傾向を確認することができた。神奈川県のシカ管理の取り組みの特徴として、シカ管理計画において、生物多様性の保全を目標に掲げて植生モニタリングが実施されていること、県自然環境保全センターがシカの管理捕獲、柵の設置、森林施業、モニタリングなどの各部門を有して統合的に進めていること、それらの対策の予算に水源環境保全税を活用して実施していることがあげられ

る<sup>28)</sup>。

島根では、2003年に島根県中山間地域研究センターが、中山間地域を総合的・専門的に研究する全国唯一の機関として設立された。1950年代半ばには、県内に唯一、島根半島出雲北山山地に数百頭の個体群が残存しており、島根県林業技術センター（現中山間地域研究センター）が1985年度から糞塊法を用いたセンサスを実施し、推定頭数を200頭程度としていた。しかし、過小評価が危惧されたため、2000年度から区画法も導入して個体数管理を進めたが、捕獲数が推定生息数を上回るなどの齟齬が生じた。そこで、当該地域の10年以上にわたる複数のモニタリング調査データをもとに、階層ベイズ法により個体数を推定したところ、2015年度の結果によると、出雲北山地域における生息数は、2003年をピークとしてその後減少したことが明らかになった。新たに分布が拡大した出雲湖北山地域では2008年から出雲市により区画法が実施されているが、出雲北山地域と同様に推定生息頭数と捕獲実績に齟齬が生じたため、階層ベイズ法を用いて個体数を2013年と2015年に推定したところ、2010年をピークとしてその後減少していることが明らかになった<sup>27)</sup>。

順応的管理とは、自然資源の管理システムで、順応的学習（為して学ぶ）とフィードバック管理の二つの方法を用いて継続的に管理方針と実践を改善していく方法であり、不十分で不確実なデータしか得られない野生動物個体群や自然資源の管理の実行に適しているとされている<sup>29)</sup>。上述した生息数低減が実現した道府県に共通している項目として、大規模個体群では17年以上、小規模個体群では10年余りにわたるモニタリングをもとにした推定生息数に基づいて捕獲目標頭数を設定し、管理の実行後の評価を行い、捕獲頭数と推定個体数の齟齬や過小評価などが明らかになった場合、生息数推定手法を改善して、捕獲目標頭数を新たに設定し、捕獲圧を強化するなどの、順応的学習とフィードバックを実施していること、捕獲強化のために予算が投入されたこと、などがあげられる。いずれの事例においても、シカ特定計画にかかる調査分析から策定にかかる役割を集約した研究拠点<sup>20)</sup>の存在が、順応的管理を進めるうえで極めて重要であることを示している。

一方、共通課題として、全県レベルにおいて、目標とする個体数水準の密度には達成していないことがあげられる。また、同じ道府県であっても地域によって個体群動向に大きな差異が生じており、精度の高いローカルスケールの個体数推定が必要とされるとともに、隣接県との境界で個体数が増加しているため、広域管理の取り組みが必要とされている。

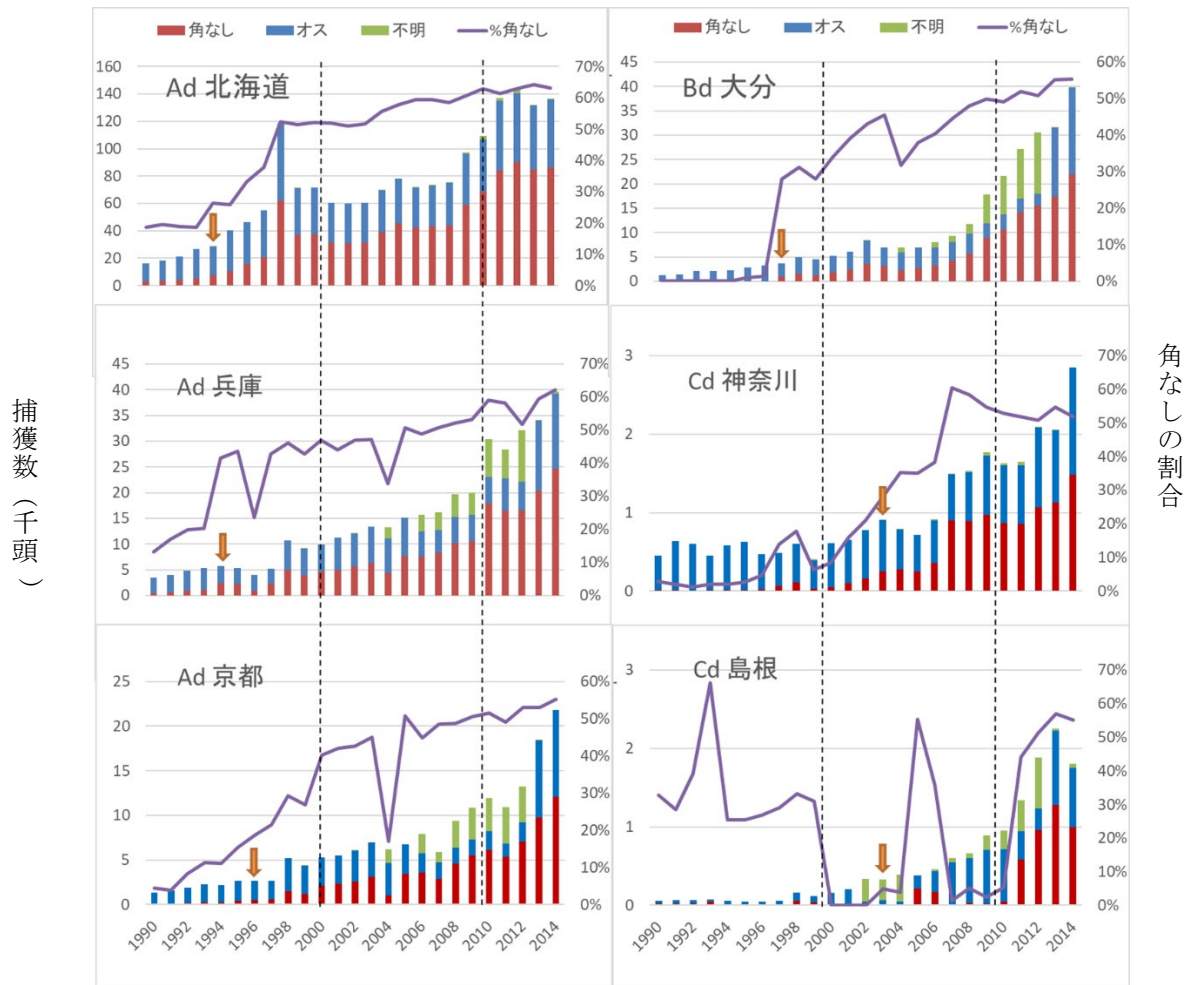


図4.5.4 個体数管理によって生息数が減少した道県の捕獲数、捕獲内訳の推移（1990-2014）。  
橙色の矢印は計画策定年を示す。

## (2) イノシシの分布と捕獲情報の類型化

### 1) イノシシの捕獲効率（狩猟者1人当たりの捕獲数）の時系列変化の類型化

2013年以前（特措法以前）に特定計画を策定した都道府県（37県）を対象にイノシシの捕獲効率（捕獲数/狩猟者登録数）の時系列変化について、動的時間短縮法DTWおよびクラスター分析を用いて類型化を行ったところ、4つのグループに分かれた（図4.5.5）。東日本では多くの県で空白となっているが、これらの地域にはイノシシが近年になって定着したために特定計画が未整備あるいは2014年以降（特措法以降）に策定されたために解析対象から除外したためである。イノシシが安定的に分布している西日本（図2.5.1）ではGroup Aw、Bw、Cwが占め、2011年以降にイノシシが定着した東日本には、Group Dwに属する県が多い（図4.5.5）。4つのすべてのグループとも捕獲効率は右肩上がりに有意に増加し（Steel-Dwass test,  $p < 0.05$ ）、とりわけGroup Awの長崎が2006年から急増した一方、新たにイノシシが定着した県を多く含むGroup Dwの伸び率が最も小さい（図4.5.6）。

捕獲効率の期間ごとの増加は、2014年までの特定計画経過年が長い（平均9年）Group Aw（長崎）とBwで大きく、短い（平均7年）Group CwとDwで小さい傾向があり、捕獲数の伸び率の最小のDwは分布拡大地を多く含んでいる（図4.5.7、表5.4.2）。しかし、管理の経過年と捕獲数の推移には、シカのような明確な対応関係がみられない。その理由として、イノシシでは、シカと異なり特定計画以前の任意計画が存在しないこと、環境省によるイノシシ管理のガイドライン（マニュアル）の公表が2001年、特定計画の策定が2002年から開始されたことにより、管理の経過年が短くて捕獲実績が乏しいこと、当初の特定計画制度は狩猟規制の緩和が主な目的であり、イノシシについては個体数管理よりも被害防除が重要

と考えられていたこと、イノシシの生息数調査手法が限られていたため、科学的な個体数管理に結びつかなかったことなどがあげられる。長崎県は、他県に比較して捕獲効率が突出して増加し、2010年以降の捕獲数は年間35000～40000頭で推移するなど、高い捕獲圧をかけてきたが、個体数の抑制や被害の低減にはいたっていない<sup>30)</sup>。その理由として、イノシシは初産齢が1歳で、2歳以上のメスでは毎年平均4頭の子を出産するなど繁殖力が高い<sup>31)</sup> ため自然増加率も高いこと、個体数管理のためには成獣メスの捕獲（群れごと捕獲）が重要であり、捕獲方法によって捕獲個体の性・年齢構成が異なる<sup>32)</sup> ものの、捕獲方法別の性・年齢構成データの収集や解析が行われておらず、捕獲数は増加しても、個体群の質的な管理がなされていないことがあげられる。

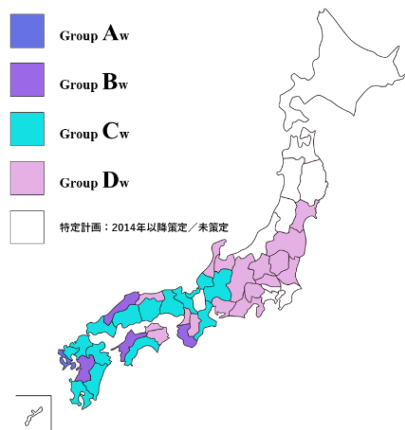


図4.5.5. 2013年以前に特定計画を策定した県におけるイノシシの捕獲効率（狩猟者1人当たりの捕獲数）の時系列変化の類型化(1990-2014)

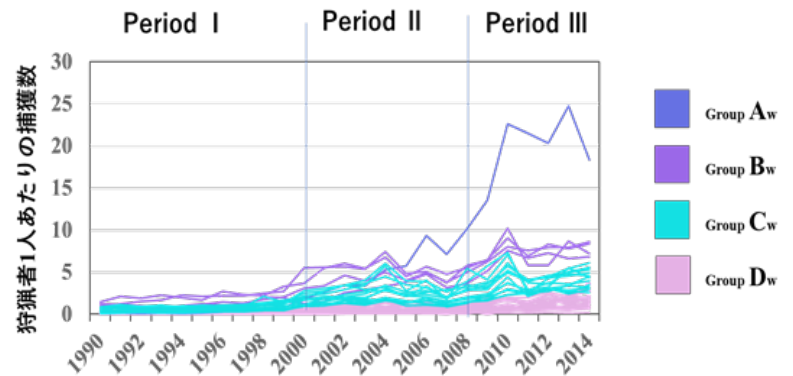


図4.5.6. イノシシの捕獲効率（狩猟者1人当たりの捕獲数）の時系列変化(1990-2014).

Period I：1990-1999 \*シカと異なり任意計画不在

Period II：特定計画（2000-2007）

Period III：特定計画・鳥獣被害防止特措法（2008-2014）

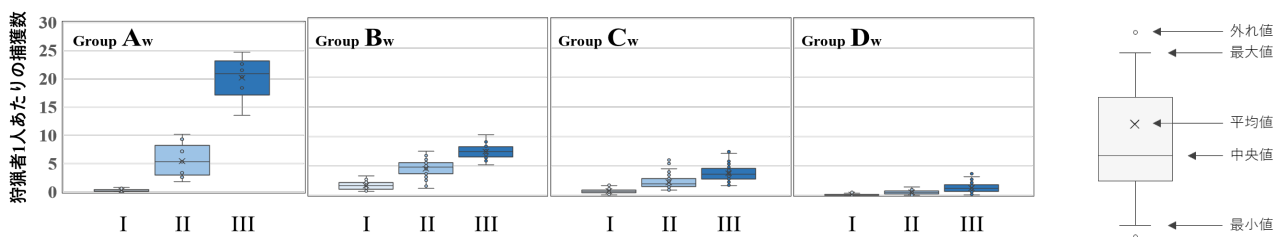


図4.5.7 グループ別、期間別のイノシシの狩猟者1人当たりの捕獲数の推移

表4.5.2. 2013年以前にイノシシの特定計画を策定した都道府県（37）のグループ区分。（）内の数字は20014年までの計画策定経過年を示す。

グループ	計画経過年(平均±SD, (n))	都道府県
Aw	9 (1)	長崎(9)
Bw	8.8±2.8(4)	和歌山(7)、島根(12)、愛媛(10)、熊本(6)
Cw	7.0±3.4(16)	福井(4)、岐阜(4)、静岡(4)、三重(4)、滋賀(2)、京都(3)、兵庫(5)、岡山(8)、広島(11)、山口(10)、高知(12)、福岡(9)、佐賀(11)、大分(12)、宮崎(6)、鹿児島(7)
Dw	6.8±2.5 (16)	宮城(6)、福島(4)、茨城(9)、栃木(8)、群馬(4)、埼玉(8)、富山(2)、石川(5)、山梨(7)、長野(5)、愛知(10)、大阪(7)、奈良(6)、鳥取(12)、徳島(9)、香川(7)

## 2) シカの類型グループに対応したイノシシの捕獲効率の関係

シカとイノシシの管理は、それぞれ個別の特定計画が都道府県によって作られるが、両種の捕獲のほとんどは地元猟友会員が担っているため、シカとイノシシの捕獲効率の関係を検討した。

シカの捕獲効率の類型化（Ad, Bd, Cd）に対応するイノシシの捕獲効率の類型化をみると（図4.5.8）、Ad-w、Bd-w、Cd-wの3グループともⅠ<Ⅱ<Ⅲであり（Steel-Dwass test,  $p < 0.05$ ）、特定計画、特措法の法整備によっても捕獲効率が増加していた。一方、シカの捕獲圧がもっとも高いグループAd-wではイノシシの捕獲効率は特措法の施行後も増加は低調であった。以上のことは、複数種の管理を統一的に実施することが重要であることを示唆している。

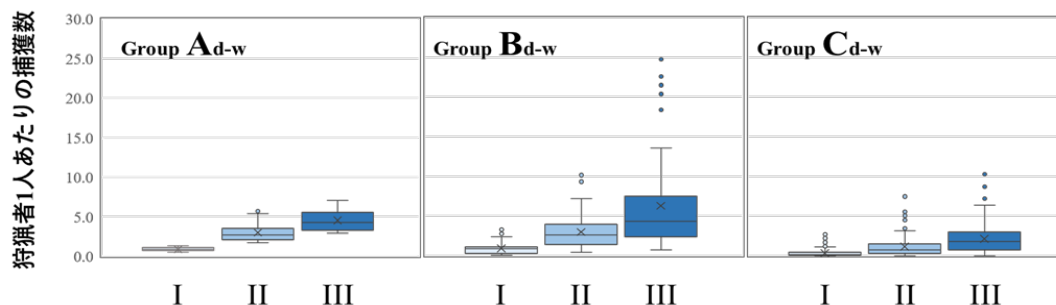


図4.5.8. シカの類型グループに対応したイノシシの狩猟者一人当たりの捕獲数の時系列変化

## (3) 捕獲情報の収集状況ならびに市町村および広域連携の状況

### 1) 捕獲情報の収集状況

捕獲情報の収集について、環境省の2017年度調査<sup>11)</sup>によると、都道府県の80%以上（39/47）で市町村と連携がとられているとしているが、データの共有は40%（18/47）にとどまっている。捕獲情報の内容については、法的に報告義務がある捕獲数と捕獲場所についての収集状況（26都道府県から回答、表4.5.3）は、シカ、イノシシとも狩猟では90%前後であるが、許可捕獲では60~70%と低い。またシカでは成獣と幼獣の区別がなされておらず、幼獣はメスに含まれて報告されているので「角なし」に区分せざるを得ない。狩猟カレンダー（CPUEとSPUE）に関しては、狩猟では60%であるが、許可捕獲では20%未満にとどまっている。また、許可捕獲について、都道府県と統一した報告様式を使用しているのは、イノシシ53%（24/45）、シカ59%（24/59）である。



表 4.5.3 シカ・イノシシの捕獲情報の収集状況（回答 26 都道府県、（%））（環境省 2018）<sup>11)</sup>

種類	捕獲区分	捕獲位置	捕獲頭数	性別	幼獣比	CPUE	SPUE
シカ	狩猟	85	92	88	-	58	62
	許可捕獲	70	70	83	-	18	12
イノシシ	狩猟	85	97	73	23	58	62
	許可捕獲	64	64	53	17	19	14

ヒアリングによって得られた許可捕獲情報の収集フロー課題について、表 4.5.4 に示した。県と市町村で統一した報告様式を用いている事例（北海道、千葉、静岡、神奈川、栃木、香川、高知）はあるが、データのフォーマットが統一されていない、データの精度のほか、猟法による捕獲、有害捕獲の性別や位置情報など、管理に必要な情報が収集されていない実態がある。

公開シンポジウム「野生動物と共に生きる未来—持続可能な野生動物管理システムの構築をめざして」（日本学術会議課題別委員会「人口縮小社会における野生動物管理のあり方の検討に関する委員会」主催、2019 年 2 月 9 日、兵庫県公館）のおりになされたアンケート<sup>33)</sup>では、市町村と都道府県で、捕獲情報（捕獲数、捕獲場所、捕獲効率、なわの位置など）等を共有しているかの問いに対し、30%（11/34）の行政関係者が共有していないと答えている。その理由として、データのフォーマットが統一していないことのほか、市町村の人手不足を挙げている例が多い。シカ・イノシシの捕獲総数のうち、市町村が扱う許可捕獲の割合が最近では 7 割にも達し、作業量の増大が捕獲情報の共有をさまたげている。

表 4.5.4 ヒアリングによる許可捕獲の捕獲情報等の収集事例

都道府県	許可捕獲情報収集フロー	メッシュ	備考
北海道	市町村→振興局→本庁（集計） →道環境研（解析）	5km	オープンソース GIS 活用の「エゾシカ現況マップ」を市町村にシステムと情報を提供 SPUE・CPUE を 2017 年から収集
千葉県	市町村→本庁（解析）		補助金の報告様式を用いる。市町村の事務量増加、補助金を活用しない新規分布拡大地の情報欠落
静岡県	市町村→出先事務所（集計）→ 本庁	5km	管理捕獲（特にくくりわなでの）の SPUE や CPUE 値が必要（未実施）。5km メッシュでは、（本県の）シカの（密度）管理には不適
神奈川県	市町村→出先事務所→自然環境 保全センター（集計・解析）		5x4km を 9 分割
栃木県	市町村→林業センター（入力と解 析）	5km	様式は兵庫県のものを援用。市町村は県の様式と統一している。
兵庫県	市町村（入力）→県民局（収 集）→本庁（集計）→森林動物 研究センター（解析）	5km	データの精度の問題。特に捕獲数の多い市町では一か所（役場住所）での捕獲扱いとなっている。市町村で報告様式が統一されていない。
島根県	市町村→地域事務所→県庁 市町村からイノシシとシカにつ いては、3 ヶ月に 1 回、捕獲 数、捕獲方法、捕獲月、シカに ついては雌雄を収集 1 年に 1 回イノシシ・シカは捕 獲数、捕獲方法、捕獲場所（1km メッシュ）で報告	1km	データのフォーマットがばらばらの場合があり、地域事務所の担当者が代行し、二度手間になっている。鳥獣会議を中山間地域研究センター→地域事務所担当者（4 月）→市町担当者会議（5 月）に開催し、情報共有。

山口県	県には捕獲位置のメッシュ情報が報告されていない。	5km	有害捕獲の性別や位置のデータが集約されておらず、検討会で十分な議論ができていない。
徳島県	3ヶ月ごとに市町村から市町村独自様式により、県出先機関へ報告		猟法による捕獲は把握できない⇒捕獲効率に影響・目撃数の把握ができていない⇒SPUEに影響
香川県	4半期毎に市町から県に対して、捕獲鳥獣ごとの情報捕獲場所（5kmメッシュ）、捕獲数を報告	5km	
愛媛県	捕獲記録の内容は、鳥獣保護管理法施行規則第7条第6項に示される許可証の報告欄に準じている。 ①捕獲した場所（5kmメッシュ）、②鳥獣の種類、③捕獲した数量、④捕獲年月日を毎年度、環境省が実施する鳥獣統計調査の時期に、県の出先機関である地方局が管内の市町から収集したうえ、本庁が集計している。 このほか、市町が独自に ⑤捕獲方法（銃猟、わな猟の別）、⑥目撃情報を集計している場合がある。	5km	①から④の記録を十分に回収できていない市町があり、数値やメッシュ表示ができないという問題があるほか、鳥獣統計で必須とされない⑤や⑥などの記録について、その有無を県が十分に把握していない
高知県	・県に提出する様式には、捕獲位置（メッシュ番号）・獣種・頭数・雌雄別（雌雄別はシカのみ）が必須であり、それ以外の情報は市町村ごとに異なる。有害捕獲の捕獲個体では、市町村が捕獲報償金を幼獣成獣で区別している場合には、幼獣成獣の区別の記入がある。	5km	・狩猟によるシカ捕獲実績については、翌年度高知県狩猟者必携で、市町村ごとに5kmメッシュ図に図化して記載している（10月上旬ごろ提供）。 ・特定鳥獣（シカ・イノシシ）管理計画において、シカとイノシシの捕獲（有害+狩猟）数を5kmメッシュ図に図化して記載している（ただし、代表年度分のみ）。 ・上記以外は、県計のみ公表し、市町村ごとの捕獲数や5kmメッシュは提供していない。

## 2) 分布拡大地域（東北地方）の野生動物管理の課題（2017年度「野生生物と社会」学会企画集会「東北地方における大型獣管理の現状、課題、展望」のまとめ

企画集会では、趣旨説明に続いて、「全国の大型獣の分布拡大の現状と管理の理想型」羽澄俊裕（東京農工大学）、「獣害対策からみた大型獣管理の展望」竹内正彦（農研機構中央農研鳥獣害グループ）、「人口減少を踏まえた大型獣管理の展望」江成広斗（山形大学）、「民間事業者から見た大型獣管理の展望」宇野壮春（東北野生動物保護管理センター）、「福島における大型獣の分布拡大と管理の展望」奥田圭（東京農工大学）の5つ話題提供があり、その後総合討論を実施した。なお、所属は当時のもの。講演および総合討論の概要については以下のとおりである。

趣旨説明（梶） 東北地方の理想的な野生動物管理システムのあり方を探るため、当地域の野生動物管理に関わりのある、研究者、民間事業者、行政研究機関の関係者に、それぞれの立場から課題の整理とこれからの展望について話題提供していただき、総合的に議論することを目的とする。

### 講演の要点

羽澄：山の上のシカは環境省、コンパクトシティとなつてからの小さい拠点は自治体が防衛する。しかし、県（長崎、島根、兵庫、神奈川）、市町村（猪苗代町）で、専門員の常勤雇用が実施されているが、事例が限られている。

宇野：東北地域では、北から青森県と秋田県にまたがる白神山地、岩手県五葉山、宮城県牡鹿半島、尾瀬国立公園の福島県側の4地域がシカの分布の中心で、最近、白神山地の中心部の世界自然遺産地域に侵入。国レベルの役割では、環境省は白神山地、林野庁は国有林、農林水産省は農地においてシカの被害防止対策や調査を実施。しかし、県と市の人員不足で、計画段階で躓いているのが現状。鳥獣管理の専門家を公務員として雇用する制度が必要だが、その動きは見られないので民間として関与している。低密度での個体数管理が必要であるが、その手法は研究の余地あり。東北では罠捕獲の誘引に用いる餌にクマが餌付くため、錯誤や餌付けの問題がある。シカの季節移動があり、密度の濃淡があるため、統一手法での捕獲やモニタリングが困難。イノシシのモニタリング手法が欠如。冬期の捕獲や藪の存在が課題。

竹内：イノシシ対策は、被害防除対策と加害個体の除去が要点。個体数を削減することを管理目標とすることは問題。農地撤退技術の開発が必要。

江成：東北地方では人口減少がもたらす空洞化によって自助・互助・共助機能が崩壊し、公助のみがある。しかし、公助による野生動物管理も目標が不明確なため、地域住民を疲弊させている。広域連携と集約化は、専門員や目的の明確化など期待できる面と、人手不足によるシカの個体数管理に対する困難性、アクセス、農林業被害の過小評価、周辺域の問題、アーバンワイルドライフの出現などの懸念がある。短期、福祉政策としての野生動物管理、中長期、誇りの再建、国土再編と跡地管理が課題。

奥田：東北地方では人口減少が野生動物増加をもたらしている。無居住家屋にイノシシやハクビシンが生息し、近くの放任果樹を食べて生活している。南会津の事例では、獣害の実務対策よりもマネジメント能力が求められている。被害対策の体系化やパッケージ化が求められ、現場対応の専門員の技術向上が必要。

以上の講演を踏まえ、総合討論では、以下の課題について共通認識を得た。

分布前線・拡大期・人口減少期における管理目標をどのように設定するか、また、地域特性に合致した被害対策技術の開発が必要であるが、シカの低密度管理の技術と体制が未整備である。管理体制として、異なる空間スケールの管理の単位（東北ブロック、県、市町村スケール）において、国・県・市町村、大学、公設研究機関、民間事業者の役割分担と連携が重要である。土地利用再編も視野に入れる必要がある。

### 3) 広域管理の現状と課題（2018年度「野生生物と社会」学会企画集会「ニホンジカの広域管理システムを考える」のまとめ

企画集会では、趣旨説明に続いて、「関東山地ニホンジカ広域保護管理指針と今後の広域管理戦略」鎌田憲太郎（環境省鳥獣保護管理室）、「国立公園における広域的なニホンジカ管理の取り組みと課題」奥村忠誠（野生動物保護管理事務所）、「個体数管理を進めるうえでのGPSデータの共有化」大場孝裕（静岡県農林技術研究所）・立木靖之（酪農学園大学）の3つの話題提供および、コメント：横山真弓（兵庫県立大学／兵庫県森林動物研究センター）ののちに、総合討論を実施した。なお、所属は当時のもの。

趣旨説明（梶） 関東山地における広域管理の取り組みをモデルとして、他地域に広域管理の取り組みを展開するうえでの制度設計を展望するため、広域管理指針、国立公園におけるシカ管理の取り組み、GPSデータを中心とする科学的情報の共有について総合的に議論する。

鎌田：県境をまたがって広域に生息し、県境を越えて季節移動するシカでは、個別の都道府県の特定計画では、分布域と管理対象地域にギャップが生じる。また、隣接する都道府県で管理目標やモニタリング手法が異なるため、効率的かつ効果的な個体数管理が困難となっている。環境省が実施した調査によると、32%（14/44）の都道府県の行政界での捕獲を課題とし、29 都道府県（66%）で行政界での捕獲対応は進んでいない<sup>11)</sup>。新たな広域管理の取り組みとして、2017 年度に、半減目標に対して、「ブロック別捕獲強化方策」の検討を行い、ブロック別に体制面、制度面、技術導入・調整等の実行面等での方策のとりまとめを行った。広域連携に向けて必要なこと（2018 年以降の取り組み）として、1)位置モニタリングデータの共有、2)モニタリングデザインの最適化、3)連携捕獲があげられる。

奥村：シカの広域管理組織の事例として「関東山地ニホンジカ広域協議会」があり、国（環境省、林野庁、農林水産省）および自治体（埼玉県、群馬県、長野県、山梨県、東京都）および科学的評価等のサポートをする専門家会議で構成され、関東山地ニホンジカ広域指針および中期実施計画（5 年計画）を策定している。中期実施計画をもとに、各機関は年次実施計画を作成する。成果としては、共通したモニタリング手法をもとに広域での生息数推定の実現化、モニタリング情報の共有、捕獲データ記録の標準化、連携捕獲があげられる。一方、課題としては、中期計画と年次計画との齟齬、捕獲困難地域（山岳地域）での捕獲の強化が残されている。

大場：GPS 装着したシカの季節移動の把握は越冬地での捕獲と広域連携への展開に有効であり、前述した関東山地ニホンジカ広域協議会のほか、富士山シカ情報交換会（山梨県、静岡県、宇都宮市、国有林）、南アルプス（環境省、山梨県、静岡県）で情報の共有化が図られている。GPS データの共有化と管理への実装が求められている。GPS 首輪のデータのデータベース化はヨーロッパでは「EUROUNGULATES（現 EUROMAMMALS）」、アメリカ「MOVEBANK」などのプロジェクトで進んでおり、全世界的な情勢である。日本では首輪の装着業務を請け負っている民間会社中心に SikaBase 研究会を立ち上げ、体制案の構想を練っている段階である。

横山（コメント）：行政は現在立ち上がっているものを継続する傾向が強く、広域管理を進めるのには積極的ではない。法律、制度など予算を獲得できる制度設計が必要。2018 年度に「近畿北部東中国ツキノワグマ広域保護管理協議会」が（兵庫、京都、鳥取、岡山、オブザーバー：大阪、近畿地方環境事務所）を構成メンバーとして設立され、各地域個体群での広域保護管理の基盤ができた。これまでは、個体群が県境に分布にあったにもかかわらず、特定計画しかなく、それをつなぎ合わせて個体数を推定していた。一方で、対策は、都道府県、市町村単位が実施するので、広域協議会ができて、市町村が取り残されないか？と疑問がある。広域化のメリット、現場でのメリットが見えるといいが、現状では見えてこない。

以上の講演を踏まえ、総合討論では以下の議論がなされた。

広域管理を進めるうえでの具体的な方策と実行体制の構築については、特定計画制度の流れにのると進むので、次期 2022 年度に基本方針も含めて作成されるように準備を進める必要がある。広域管理は、シカだけの問題ではないので、研究者の創意として国の基本戦略を作るべき。捕獲困難地での捕獲では、捕獲個体の後始末、シカの密度、絶滅危惧種、希少植生、地域などを総合的に考慮して、優先順位の高さを判断する必要がある。東北地方など分布拡大地では、シカの生息密度が低いため、情報共有のための広域管理への展開と、捕獲戦略立案のため基礎情報の取得が必要である。

#### （４）制度と空間スケールを考慮した統合的な野生動物管理システム

##### 1)生息動向の多様化（高密度維持、分布拡大 or 回復地域、市街地出没等）に応じた目標設定や対応

シカ・イノシシの個体数管理を全国的に俯瞰すると、ニホンジカでは一部の自治体で個体数の低減を実現しているが、そのような自治体であっても、管理の進捗は市町村で大きな差が生じている。イノシシでは、捕獲効率・捕獲数は急増しているものの、確実に生息数が減少しているとの報告は皆無である。さらには、生息動態は高密度維持、分布拡大・回復地域、市街地出没等、多様化しており、それぞ

れの状態と空間スケールに応じた対応が求められている。ニホンジカでは、このような多様な生息状況を類型化し、それに応じた対策を示した新たなガイドラインが公表された<sup>34)</sup>。

## 2) 都道府県の行政界にまたがる地域個体群への対応

行政界をまたがって分布あるいは季節移動する個体群の効果的管理の実施には各県の特定計画を束ねる広域管理組織（広域協議会）の設置が必要である。「関東山地ニホンジカ広域協議会」ならびに専門家委員会に相当する、広域科学委員会（仮称、国公設試験研究機関・大学研究者等が参加）を設置し、圏域ごとの広域管理組織（環境省地方環境事務所・地方農政局・森林管理局、関係都道府県等）と緊密に連携して、広域管理指針の策定に寄与することが望まれる<sup>33)</sup>。とりわけ、シカ・イノシシの分布拡大の途上にある東北地方では、これらを対象とした鳥獣行政の蓄積や専門家が乏しいので、早期に広域管理組織を設置することが望まれる。

## 3) 捕獲区分（狩猟・許可捕獲・指定管理事業）ごとの実施目的や実施主体が多様化し運用が複雑

目的の異なるさまざまな捕獲区分（狩猟・許可捕獲・指定管理事業）が、環境省所管の鳥獣保護管理理法に基づく「狩猟」ならびに同法に基づく第二種特定鳥獣管理計画などによる「個体数調整」及び「指定管理鳥獣捕獲等事業」、農林水産省所管の措置法に基づく市町村被害防止計画による「有害捕獲」、「捕獲鳥獣の利活用」が十分な連携がとられずに、おおむね地元猟友会会員に委ねる形で実施されている（図 4.5.9）。

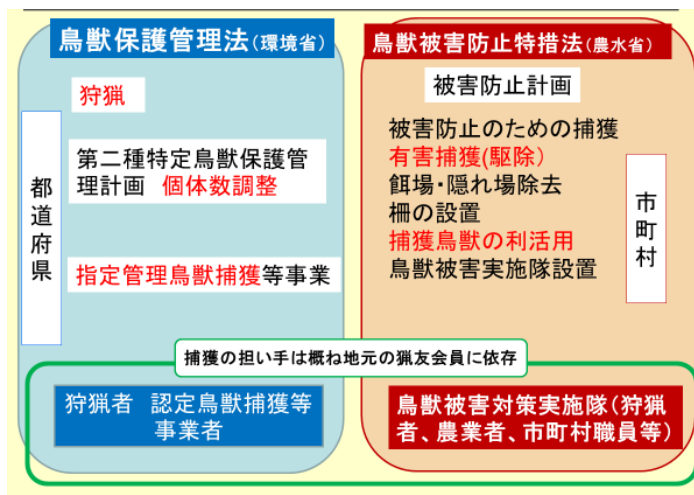


図 4.5.9 鳥獣保護管理法と鳥獣被害防止特措法の整合性と捕獲の担い手

## 4) 野生動物個体群の空間スケールに応じた管理主体の連携（広域管理組織、県、市町村等）

1)～3)で示したように、野生動物個体群の空間分布、管理アプローチ（生息地管理・個体数管理・被害防除・持続的資源利用）の空間スケール、ならびに制度や管理主体（国家レベル、複数の隣接県、都道府県、市町村）の階層性を考慮して、効果的で持続的な管理制度を構築する必要がある。農林業被害を低減するための獣害対策では、地域が主体となって、①地域に寄せ付けない「自助」、②柵を設置する「共助」、③加害個体を捕獲する「公助」の3つを実施することが基本とされる<sup>27)</sup>。しかし、大型獣は市町村の境界を越えて生息しており、周辺地域が高密度であれば、田畑に侵入しつづけるシカ・イノシシを捕獲し続けなければならない<sup>35)</sup>。社会が許容できる水準まで密度を低減して個体数を維持するためには、都道府県の特定計画と市町村の被害防止計画の調整と連携が必要となる。

野生動物個体群の空間分布と管理制度の階層的なミスマッチを埋めるために、都道府県の境界をまたぐ広域管理組織の配置や、補完性原則にもとづいて、市町村の有害捕獲を最優先し、都道府県は市町村との連携のもとで個体数調整を広域に実施するなど、複数の空間スケールや行政の階層を考慮するラ

ンドスケープ的な視点を取り入れた制度を創設する必要がある（図 4.5.10）<sup>36)</sup>。また、持続的な統合的管理の推進に向けて、多様な捕獲事業から得られるデータの標準化を図り国や地域レベルで分布と個体数に関するデータベースを構築・利用できる仕組みが必要である。

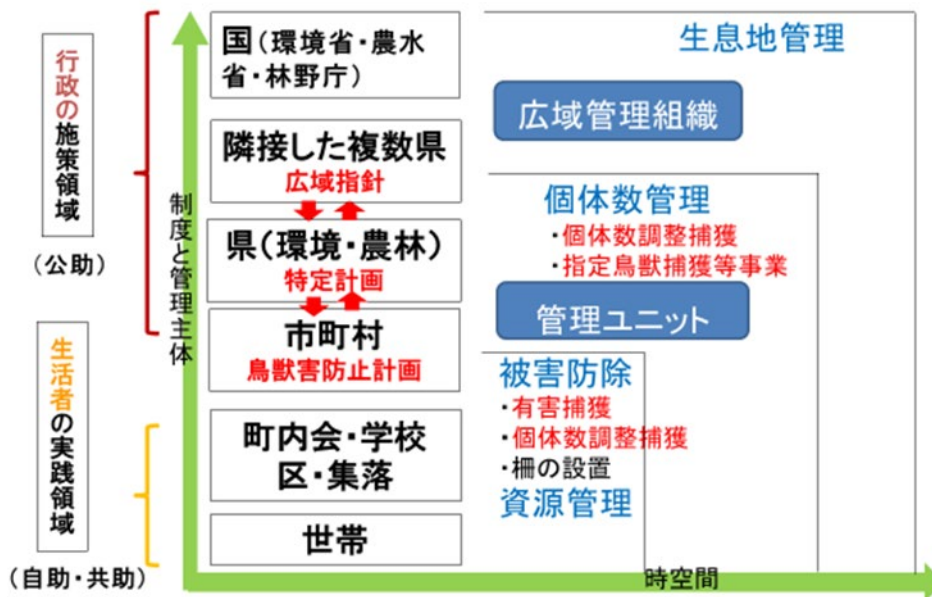


図 4.5.10 統合的な野生動物管理システムの組織モデル

日本と同様、過増加した有蹄類問題を抱えるヨーロッパでは、近年になって大きな野生動物管理方針の大きな転換が起こっている。すなわち、増えすぎた有蹄類の個体群管理アプローチとして、従来の部門（セクター）および単一種の管理に替わって、生態系管理やランドスケープ管理などのより統合的なアプローチとして欧州景観条約(ELC)および生物多様性条約(CBD)が管理アプローチとして提案されている。しかし、これらの統合的なアプローチは、現行制度（主に小規模な民間所有ユニットあるいは大規模な国家規模の規制など伝統的なガバナンスと法的伝統）とは明確に逸脱し、多層にわたり、複数当事者間の意思決定手順に関連して多くの課題があり、管理ユニットと管理レベル間の調整に対処するための新しい制度的解決が必要とされている<sup>37)</sup>。

日本においても、シカ・イノシシの効果的な個体数管理のためには、同様なアプローチ、すなわち、1種から複数種管理、複数の管理アプローチの統合、市町村と都道府県間の調整と連携などによって、持続的な統合的なアプローチが求められる（図 4.5.10）が、その実現のためには、広域管理を生物多様性国家戦略や鳥獣保護管理法に位置づけることが必要である。

一方、ヨーロッパでは、ASF（アフリカ豚熱）の大きな脅威は、EU を突き動かす、科学的根拠に基づいた管理を発展させる好機であると認識されている<sup>38)</sup>。シカ・イノシシの分布拡大と生息数増加、CSF（豚熱）危機にある日本においても、ヨーロッパ同様、FAIR の原則に基づいた国・地域レベルのデータベース構築と利用の仕組みづくりが急務である。また、本プロジェクトでも、鳥獣の目撃情報や捕獲状況をスマートフォンで手軽に記録できる携帯端末のアプリを開発しているが、狩猟者をはじめとする市民による、スマートフォンやタブレットを使って簡単にデータの入力そして提供できるシステム利用の体制づくりも合わせて必要である。

#### （４）分布拡大地（福島県）におけるイノシシ生息密度推定の試行

福島県では、福島第一原発事故後の2012年以降にイノシシの分布域の拡大、生息数の増加傾向が見られた（図4.5.11）。捕獲体制としては、市町村権限での有害鳥獣捕獲、県が市町村に権限を移譲している個体数調整捕獲に加えて、狩猟に対しても市町村が狩猟者に対して助成を行う場合には県が補助を行

っている。また、県の事業として2015年度から、猟友会に委託する形での指定管理鳥獣捕獲等事業が実施されている。さらに帰還困難地区については、環境省により捕獲事業が実施されており、急速な分布拡大への対応として、複数の捕獲事業が実施されている。捕獲数は増加傾向にあるものの、捕獲個体情報や捕獲努力量についての統一的なモニタリングが行われておらず、順応的な個体数管理体制を構築する上での課題が明らかになった。

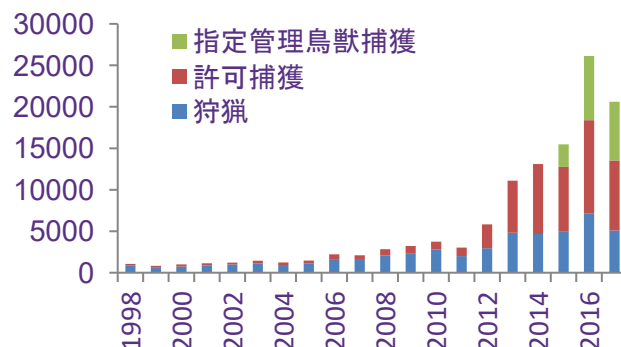


図4.5.11 福島県におけるイノシシの捕獲状況の推移

既存データの蓄積が不十分であったことから、新たに自動撮影カメラによる調査を行うとともに、一部地域で収集されている狩猟における密度指標（銃猟SPUE、くくり罠CPUE）を組み合わせることで、単年度データから広域の密度推定を行うことが、現状の体制で適用可能な個体数推定モデルと判断された。福島県事業により、捕獲圧が高い3地域において自動撮影カメラ調査と、RESTモデルを適用した局所での密度推定が実施され、5 kmメッシュ単位での銃猟SPUE、くくり罠CPUE、捕獲数の情報をもとに空間外挿した県全域での生息密度分布が推定された（図4.5.12）。限られたデータからの推定のため精度の検証が必要だが、密度指標データと自動撮影カメラによる推定を組み合わせることで、分布拡大地における密度分布が推定できる可能性が示された。今後、複数の事業における捕獲数や捕獲努力量のデータを統一的に収集する体制が構築できれば、経年的な個体数の推定と捕獲事業へのフィードバックが見込まれる。

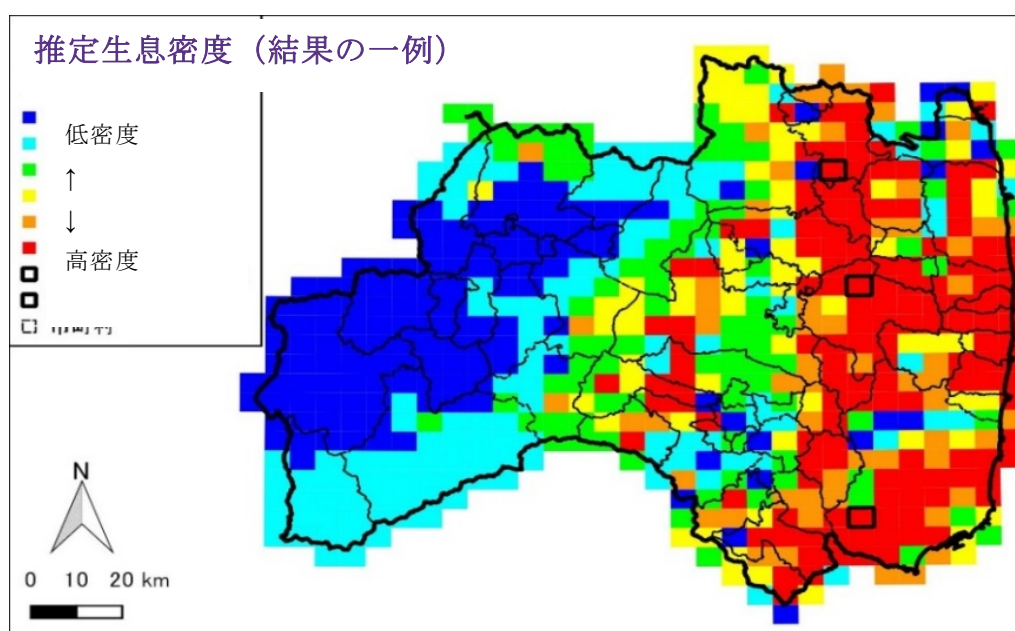


図4.5.12 福島県におけるイノシシの推定生息密度分布（福島県・自然環境研究センター実施事業）。モデルの条件によって推定結果は異なり、図は結果の一例である。

### ① 局所推定モデル

既存のモニタリングデータの活用が難しい状況では、調査対象地における新規データ収集に基づき密度を推定可能

#### 【適用事例】

- 指定管理鳥獣等捕獲事業データからの個体数と捕獲効果の推定（サブ3）

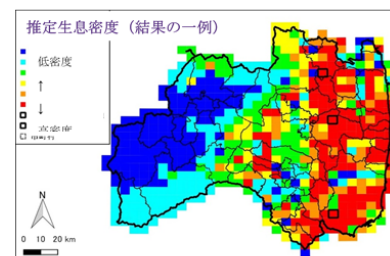


### ② 空間推定モデル

空間的な密度指標がモニタリングされているあるいは新たに広域調査が可能な場合、①の局所推定モデルと統合することで、空間的な密度分布を単年度で推定可能

#### 【適用事例】

- イノシシの空間密度分布推定（サブ5）



### ③ 時空間動態モデル

空間的な密度指標と捕獲状況が経年でモニタリングされている場合、捕獲と密度指標変動のパターンから動態予測や分布拡大過程の推定が可能

#### 【適用事例】

- シカの分布拡大推定（サブ2）
- イノシシの個体群動態推定（サブ2）
- シカ、イノシシの最適管理モデル（サブ2）

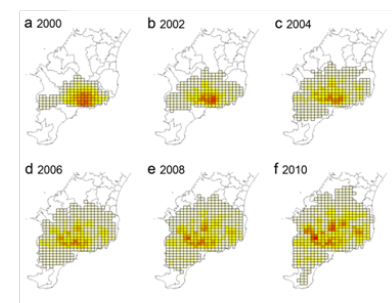


図4.5.13 データの収集状況に応じた3段階の個体数推定モデル

福島県での事例から、統一的なモニタリング体制が整っていない都道府県に対して、データの収集状況に応じた段階的な個体数推定モデルの提案が有効と考えられた（図4.5.13）。まず、モニタリング



体制が整っておらず、既存データの活用が見込めない状況においては、事業対象地における新規のデータ収集に基づいて密度推定を行うことが提案できる（図4.5.13：①局所推定モデル）。推定モデルとしては、自動撮影カメラを用いたRESTモデル（サブテーマ1を参照）や、日別捕獲数と捕獲努力量を用いたOpen-CEモデル（サブテーマ3を参照）が適用可能である。次の段階として、広域での密度指標が収集可能な状況であれば、密度指標の空間分布と局所推定モデルによる結果を組み合わせることで空間的な密度分布を単年度で推定可能である（図4.5.13：②空間推定モデル）。密度指標としては、福島県の推定事例で使用したCPUEのほか、掘り返し跡（サブテーマ1を参照）が適用可能な指標と想定される。モニタリング体制が整った段階では、空間的な捕獲数や捕獲努力量の時系列変化のパターンから時空間動態の推定を行うことが可能になる（図4.5.13：③時空間推定モデル）。時空間推定モデルでは、密度分布に加えて増加率や捕獲効率の推定（サブテーマ2を参照）、動態予測に基づく捕獲シナリオの分析（サブテーマ2を参照）が可能となる。利用可能なデータに応じて段階的にアウトプットを更新しながら、モニタリング体制の充実を図ることで、効果的・効率的な個体数管理体制の構築につながることを期待される。

## 5. 本研究により得られた成果

### （1）科学的意義

これまで、大型獣（シカ・イノシシ）の捕獲数の変動にあたる要因解析はなされていなかったが、捕獲を促進するための二つの法制度が捕獲効率に与えた影響を分析することにより、個体数管理の成否を決定する要因を抽出することに成功した。

### （環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で提案した、科学に基づく統合的な野生動物管理システムの構築やデータベースの構築は、日本学術会議課題別委員会「人口縮小社会における野生動物管理のあり方」に反映されており、環境省の次期生物多様性国家戦略、鳥獣保護管理法の改正で検討される予定である。

## 6. 国際共同研究等の状況

### （1）本の出版

「Sika Deer: Life History Plasticity and Management」（Springer）の出版企画（2021年度中の出版を予定）。ニホンジカの生活史と管理研究の集大成の本の出版を梶光一が主編集者（本プロジェクトメンバーでは、横山・高木が参加）として企画した。全44章のうち、4章は海外に導入されたニホンジカに充てており、Vladimir Aramilev（ロシア：Pacific Institute of Geography, Far-Eastern Branch, Russian Academy of Science）、R Putman（英国：Manchester Metropolitan University）、JL Bowman（米国：University of Delaware）、Graham Nugent（ニュージーランド：Manaaki Whenua-Landcare Research）が執筆陣に加わることによって、導入されたニホンジカと在来のシカの生態が比較可能となり、ニホンジカの生態的可塑性について明確になることが期待される。

### （2）国際ワークショップ

「日本・台湾合同野生動物管理学術交流会議」（台北、2018年12月5～6日、後援：台湾行政院農業委員会林務省および日本哺乳類学会）での講演。台湾林務局が林良恭教授（台湾東海大学）を通じて、日本哺乳類学会への協力要請により、台湾林局職員ならびに大学関係者を対象とした日本側7名、台湾側4名の発表をもとに意見交換会を実施した。台湾の現状は30年前の日本の状況と似ているため、今後も情報交換が重要との共通認識を得た。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 梶光一：保全生態学研究、<https://doi.org/10.18960/hozen.1917> (2020) 野生生物管理の空間スケールに対応した管理主体と役割(意見)

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 梶光一：地域づくり、2018年6月号、2-5 (2018) 基調論文「統合的な野生動物管理システムの構築に向けて：特集生き物対策と地域づくり」
- 2) 梶光一：哺乳類科学、58, 125-134 (2018) 「科学的な野生動物管理を目指して：シカの爆発的増加と個体群管理」

### (2) 口頭発表(学会等)

#### <口頭発表>

- 1) 梶光一、江成広斗：「野生生物と社会学会」第23回大会(2017) テーマセッション「東北地方における大型獣管理の現状、課題、展望」企画運営
- 2) 梶光一：「野生生物と社会」学会第24回大会(2018) テーマセッション「ニホンジカの広域管理システムを考える」
- 3) 梶光一、鈴木正嗣、横山真弓、鷲谷いづみ：日本哺乳類学会2019年度大会(2019) 自由集会「人口縮小社会における野生動物管理のあり方」企画運営

#### <ポスター発表>

- 1) 林好美、梶光一：「第25回「野生生物と社会」学会」金沢星稜大学(2019) 「野生動物の広域管理に向けて：ヨーロッパの事例に学ぶ」

### (3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 梶光一：一般公開シンポジウム「兵庫のシカ管理の成果とこれからの挑戦—科学的データに基づいた適正管理—」神戸芸術センター・プロコフィエフホール(2018) 「ヨーロッパと日本のシカ管理の課題と展望」
- 2) 梶光一、林好美：「第5回東北野生動物管理研究交流会」アイーナいわて県民情報交流センター(2018) 「ニホンジカの広域管理システムを考える」
- 3) 梶光一：日本学術会議・兵庫県森林動物研究センターシンポジウム「野生動物と共に生きる未来～持続可能な野生動物管理システムの構築をめざして～」兵庫県公館(2019) 「野生動物管理学からみた現状と課題：日本型管理システムの構築に向けて」
- 4) 林好美、梶光一：「第6回東北野生動物管理研究交流会」山形テルサ アプローチ(2019) 「ヨーロッパにおける科学的根拠に基づくイノシシ管理への取り組み」
- 5) 梶光一：東京女子大学2019年度夏季特別講座 東京女子大学(2019) 「日本の野生動物管理：現状とこれから」
- 6) 梶光一：一般公開シンポジウム「モニタリング調査によってわかってきた野生動物の生態」兵庫県立美術館(2020) 「エゾシカのフィードバック管理とモニタリング」

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

## (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) M. Apollonio, R. Andersen, and R. Putman (Eds.) : Cambridge, Cambridge University Press(2010) European Ungulates and their Management in the 21st Century
- 2) EURODEER  
<https://eurodeer.org/what-is-eurodeer/>
- 3) EUROBOAR  
<http://euroboar.org>
- 4) ENETWILD Consortium, J. Vicente, R.C.S. Escofet and J.A. Blanco - Aguiar: EFSA supporting publications, 15, 3, 1400E (2018) Report of the 1<sup>st</sup> Annual General Meeting of ENETWILD Parma, 16-18 January 2018 <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2018.EN-1400>
- 5) B. Guillaume: (2017) Standards for data collection on wildlife distribution and abundance  
[https://enetwild.com/wp-content/uploads/2018/02/Body\\_1AGM18\\_ENETWILD.pdf](https://enetwild.com/wp-content/uploads/2018/02/Body_1AGM18_ENETWILD.pdf)
- 6) バイオサイエンスデータベースセンター (NBDC) 研究チーム: (2018) データ共有としてのFAIRの原則 DOI:10.18908/a.2018041901  
<https://biosciencedbc.jp/about-us/report/fair-principle/>
- 7) GO FAIR. Fair Principles  
<https://www.go-fair.org/fair-principles/>
- 8) IREC: (2019) The European MammalNet Project is born, researchers and citizens collaborate to improve the knowledge of mammals in Europe
- 9) 環境省: 報道発表資料、全国のニホンジカ及びイノシシの生息分布拡大状況調査  
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/26915.pdf> (2020/3/12 閲覧)
- 10) 環境省: 鳥獣関係統計 <http://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs2.html> (2020/3/12 閲覧)
- 11) 環境省: 平成29年度特定鳥獣(獣類)に係る保護管理検討調査業務報告書(2018) 528pp
- 12) 環境省: 平成30年度特定鳥獣(獣類)に係る保護管理検討調査業務報告書(2019) 301pp
- 13) 環境省: 報道発表資料、都府県単位 ニホンジカの個体数推定及び将来予測の結果  
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/26912.pdf> (2020/3/26 閲覧)
- 14) 北海道: 北海道エゾシカ管理計画(第5期)(平成29年3月策定)北海道  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/est/ezosikakannrikeikaku/kannrikeikakuH29.3honnbnunn.pdf> (2020/3/26 閲覧)
- 15) 兵庫県: 第2期ニホンジカ管理計画(平成29年3月策定)  
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk27/documents/shika-kanri.pdf> (2020/3/26 閲覧)
- 16) 京都府: 第二種特定鳥獣管理計画ーニホンジカ(平成29年3月策定) 京都府  
[www.pref.kyoto.jp/choujyu/documents/shikakanrikeikaku.pdf](http://www.pref.kyoto.jp/choujyu/documents/shikakanrikeikaku.pdf) (2020/3/26 閲覧)
- 17) H. Matsuda, H. Uno, K. Tamada, K. Kaji, T. Saitoh, H. Hirakawa, T. Kurumada and T. Fujimoto: Wildlife Society Bulletin, 30, 1160-1171 (2002) Harvest-based estimation of population size for sika deer on Hokkaido Island, Japan
- 18) 宇野裕之: 日本のシカ増えすぎた個体群の科学と管理、東京大学出版会(2017) 北海道のエゾシカ個体群の順応的管理
- 19) K. Yamamura, H. Matsuda, H. Yokomizo, K. Kaji, H. Uno, K. Tamada, T. Kurumada, T. Saitoh, and H. Hirakawa: Population Ecology, 50, 131-144 (2008) Harvest-based Bayesian

- estimation of sika deer populations using a state-space model
- 20) 藤木大介、高木俊： 兵庫ワイルドライフモノグラフ、11, 14-29 (2019) 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
  - 21) 高木俊： 兵庫ワイルドライフモノグラフ、11, 30-57 (2019) 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
  - 22) 大分県：第二種特定鳥獣管理計画（ニホンジカ）第2期 （平成29年3月策定）  
<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/1044178.pdf> （2020/3/26 閲覧）
  - 23) 近藤洋史、小泉透： 森林防疫、62, 6-11 (2013) 広域空間スケールにおけるシカ密度分布とその動態
  - 24) 大分県：大分県農林水産部審議監（林政担当）大迫常德氏からの聞き取り（2020年1月20日）
  - 25) 大分県農林水産部森との共生推進室：大分県の鳥獣保護管理の現状  
<http://www.env.go.jp/council/12nature/y124-02/mat04.pdf> （2020年3月30日確認）
  - 26) 神奈川県：第4次神奈川県ニホンジカ管理計画（平成29年3月策定）  
<https://www.pref.kanagawa.jp/documents/40200/871733.pdf> （2020年3月26日 閲覧）
  - 27) 島根県：第二種特定鳥獣（ニホンジカ）管理計画（2020年3月26日閲覧）  
[https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/choujyu\\_taisaku/chojuhogo.data/sika.pdf](https://www.pref.shimane.lg.jp/industry/norin/choujyu_taisaku/chojuhogo.data/sika.pdf)
  - 28) 田村淳：日本のシカー増えすぎた個体群の科学と管理、東京大学出版会（2017）丹沢のシカ総合管理
  - 29) C. Walters: Macmillian Publishing Company, New York (1986) Adaptive management of renewable resources
  - 30) 長崎県：第二種特定鳥獣（イノシシ）管理計画（2017年3月策定）  
<https://www.pref.nagasaki.jp/shared/uploads/2017/04/1493342056.pdf>
  - 31) 辻知香、横山真弓： 兵庫ワイルドライフモノグラフ、6, 84-92 (2014) 兵庫県におけるニホンジカの基本的繁殖特性
  - 32) 後藤直子、竹下和貴、丸山哲也、梶光一：野生生物と社会、4, 11-18 (2016) 猟法の違いがイノシシ捕獲個体の齢比と成獣の性比に与える影響
  - 33) 日本学術会議：回答 人口縮小社会における野生動物管理のあり方（2019）  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-k280.pdf>
  - 34) 環境省：令和元年度特定鳥獣（獣類）に係る保護管理検討調査業務報告書（2020）301pp
  - 35) 山端 直人：グリーンパワー、2018, 3, 8-9 (2018) 現代の「シシ垣」を築け！ 地域社会で取り組む獣害対策
  - 36) 梶光一：保全生態学研究、<https://doi.org/10.18960/hozen.1917> (2020) 野生生物管理の空間スケールに対応した管理主体と役割(意見)
  - 37) C. Sandström: Human Dimensions of Wildlife, 17, 320-332 (2012) Managing Large Ungulates in Europe: The Need to Address Institutional Challenges of Wildlife Management

## III. 英文Abstract

**Development of Sika Deer and Wild Boar Population Estimation Model and Sustainable Management System under Heterogeneous Environment**

Principal Investigator: Mayumi YOKOYAMA

Institution: University of Hyogo

940 Sawano, Aogakicho, Tamba-City, Hyogo 669-3842, JAPAN

Tel: +81-795-80-5500 / Fax: +81-795-80-5506

E-mail: yokoyama@wmi-hyogo.jp

Cooperated by: University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, Hiroshima Shudo University, Tokyo University of Agriculture and Technology

[Abstract]

Key Words: *Corpus albicans*, Deep learning, Density indices, Harvest growth rate, Open catch-effort model, Optimal management model, REST model, State-space model, Web application

Over the last few decades, the ranges of sika deer and wild boar in Japan have expanded and their populations have grown rapidly. To manage these populations, a population estimation survey was conducted by the Ministry of the Environment. However, the current estimation method has high uncertainty in the model assumption and lacks sufficient monitoring data. To promote more effective population management, it is necessary to set quantitative targets based on statistical models with high precision and robustness. Therefore, in this study, we developed novel statistical models for estimating the spatio-temporal status of animal populations and assessing the effectiveness of management practices. In addition, we propose a sustainable system for managing wildlife populations by applying these models to the range expansion areas.

To acquire the data necessary for estimating population density, we examined hunting records to determine the catch per unit effort (CPUE) and conducted field observations for signs of wild boar such as digging. Snare-trap CPUE and digging counts were selected as candidates for indices of wild boar density because both are correlated with population density, as estimated from camera-trap data using the REST model. To collect precise records from hunters, we developed a web application that allows hunters to input their own hunting records and upload game photographs. The body size and developmental stage of animals can be estimated from these photographs. To explain the range expansion pattern of sika deer, we developed a state-space model that accounts for the dispersion process. To estimate the seasonal and yearly population dynamics of wild boar, we developed a novel statistical model that incorporates camera-trap information. Based on these

sika deer and wild boar population models, we constructed an optimal management model for the optimal allocation of trapping efforts. To assess the effectiveness of management practices, we developed the Open Catch-effort Model, which uses daily hunting records to estimate population density and catching efficiency. From the assessment results, we proposed the three steps for applying the developed population estimation models based on what monitoring data are available.

To explore the reproductive ecology of wild boar in their range expansion area, we examined the reproductive status of females captured in Fukushima prefecture by checking for the presence of a fetus and/or corpus albicans. To clarify issues related to wildlife management in Japan, we analyzed the current population management system of each prefecture. We found some typical patterns in the harvest growth rate of sika deer and wild boar. The concept of multi-scale adaptive management is important for achieving sustainable management in a heterogeneous socio-ecological environment.