

特集：分布拡大するイノシシの管理に向けた 研究手法の開発と豚熱対策の現状

Development of research methods for managing the expanding distribution
of wild boars and the current status of countermeasures against classical
swine fever in Hyogo Prefecture



兵庫県森林動物研究センター
兵庫 ワイルドライフモノグラフ 15 号
2023 年 3 月

はじめに

兵庫県森林動物センター（以下、研究センター）は、ワイルドライフマネジメントに係わる研究成果を、野生動物の保全と管理に関わる業務を行っている行政担当者や実務者、技術者、研究者などへ実務に有益な知見を提供することを目的として、平成 20 年度から「兵庫ワイルドライフモノグラフ」を刊行してまいりました。今回、第 15 号として特集：「分布拡大するイノシシの管理に向けた研究手法の開発と豚熱対策の現状」9 編を収録しました。

イノシシの分布域は日本全域で近年の 40 年間で約 2 倍に拡大し、生息数も増加しています。兵庫県でも、2010 年以降にイノシシの分布域が拡大し、被害も増加したことから、被害管理と個体数管理に努めてきました（第 1 章）。そのさなかに、豚熱が 2018 年に岐阜県で発生し、2021 年には兵庫県でも確認され、その後も拡大を続けています。イノシシの生息密度の高いところでは感染拡大速度が早い傾向が認めれており（第 6 章）、対策として、現在進められている経口ワクチン散布効果の検証（第 7 章）のほか、低密度化や疫学動向の把握が必要です。これらの個体数管理や感染症対策の基礎となる情報が生息数ですが、これまでイノシシの有効な生息数推定手法が確立していませんでした。

この突破口となったのが、第 2 章と 3 章で紹介されている REST モデルと称される、自動撮影カメラの動画情報に基づく確度の高い個体数推定手法（Nakashima et al. 2018）の確立です。この手法は局所スケールでは有効ですが、コストと労力がかかるので、広域で実行するには困難が伴います。そこで、当センターでは、REST モデルで推定された局所の生息密度と広域のモニタリングで得られた生息密度指標と組み合わせて、県全体のイノシシの個体数推定を目指しました。

当センターでは、REST モデルによる推定生息密度を出猟カレンダー調査から得られた 3 種類の捕獲に基づく密度指標（第 2 章）および 3 つの活動痕跡（掘り返し跡、擦り跡、糞塊）密度（第 3 章）と比較し、これらの中で、掘り返し跡が有効であることを明らかにしました。そこで、掘り返し痕跡モニタリングの適切な調査デザイン立案のために、掘返し痕跡の消失過程も調べました（第 4 章）。適切な密度指標を用いるためには、このモノグラフで紹介されているように、確度の高い生息密度との比較による実証的な研究が必要ですが、多くの場合は検証されないで慣習的に利用されてきました。

個体数推定技術に加えて、被害管理でも大きな進展がありました。地域主体の防護柵管理と併せた加害個体捕獲が被害低減に効果があることが実証されました（第 5 章）。

分布管理に関連して、島嶼部にも侵出したイノシシによる島嶼生態系へ与える影響が懸念され、その基礎情報として食性分析が実施された（第 8 章）ほか、神戸市に定着したイノシシの出没状況や、餌付けがもたらす健康状態などが明らかにされました（第 9 章）。

イノシシの個体数推定技術の進展により、効果的な個体数管理や分布管理、感染症対策が進展することが期待されます。

兵庫県森林動物研究センター所長 梶 光一

特集：分布拡大するイノシシの管理に向けた研究手法の開発と豚熱対策の現状

目次

第 1 章：兵庫県におけるイノシシ管理計画の概要・・・・・・・・・・・・・・・・	1
大田 康之・河野 賢治・栗山 武夫・高木 俊	
第 2 章：イノシシの生息状況把握における	
出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性・・・・・・・・・・・・・・・・	15
高木 俊・栗山 武夫・杉本 太郎・横山 真弓・東出 大志	
第 3 章：イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての活動痕跡の有効性・・・・・・・・	28
東出 大志	
第 4 章：イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査・・・・・・・・	39
杉本 太郎・高木 俊・栗山 武夫・鴻村 創・横山 真弓	
第 5 章：地域主体の防護柵管理と併せた加害個体捕獲による	
イノシシの集落内への侵入抑制効果・・・・・・・・・・・・・・・・	51
山端 直人	
第 6 章：兵庫県における 2022 年末までの豚熱の拡大の概要・・・・・・・・	60
栗山 武夫・大田 康之	
第 7 章：兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と	
摂食率に影響する要因の解明・・・・・・・・・・・・・・・・	72
栗山 武夫・大田 康之・高木 俊・杉本 太郎・横山 真弓	
第 8 章：兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容物・・・・・・・・	84
吉村 真由・横山 真弓・栗山 武夫	
第 9 章：市街地河川に定着したイノシシの	
生息モニタリングと個体の身体的特徴・・・・・・・・・・・・・・・・	94
横山 真弓・松金 知香・池谷 直哉	

第 1 章

兵庫県におけるイノシシ管理計画の概要

大田 康之^{1*}・河野 賢治¹・栗山 武夫^{1,2}・高木 俊^{1,2}

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

要 点

- ・兵庫県におけるイノシシの保護管理政策について解説した。
- ・イノシシは 1970 年代には兵庫県の本州部と淡路島に広く分布していたが、2011 年以降は本州部の西・中・東播磨や阪神・神戸の南部地域にも出没程度が高くなった。2010 年ごろには姫路市家島諸島、南あわじ市沼島などの島嶼部にも分布が拡大した。
- ・農業被害は 2010 年度以降減少傾向であったが、近年では横ばいで推移している。
- ・捕獲状況は 2015 年以降、2 万頭前後で推移している。有害捕獲頭数は 2012 年度より総捕獲数の 50%を超え、2015 年度以降は 1 万頭以上が有害捕獲で捕獲されている。
- ・2022 年度から第 3 期イノシシ管理計画では、農業被害の半減と生息密度の低減、人身被害や生活被害の解消を目標としている。
- ・既存の鳥獣害アンケート・出猟カレンダーの継続に加え、自動撮影カメラや痕跡を用いた精度の高い密度調査や、市街地出没のための対応マニュアル策定、豚熱への対応など新たな課題への対応が必要である。

Keywords: イノシシ、順応的管理、特定鳥獣保護管理計画

Management plan for wild boar in Hyogo Prefecture

Yasuyuki Ohta¹, Kenji Kouno¹, Takeo Kuriyama^{1,2}, Shun Takagi^{1,2}

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: In this study, the management plan for wild boar (*Sus scrofa*) in Hyogo Prefecture, Japan was reviewed. In the 1970s, wild boars were widely distributed in Hyogo Prefecture, including Awaji Island. However, since 2011, the distribution of wild boars has expanded to western, central, and eastern Harima as well as the southern parts of Hanshin and Kobe region. In addition, around 2010, newly established populations were detected in island areas, including the Ieshima Islands in Himeji and Nushima Island in Minamiawaji. Agricultural damage has been on the decline since FY2010, although the change has been minimal. Estimates of hunted and culled boars have remained at around 20,000 since 2015.

受付日：2023 年 1 月 22 日、受理日：2023 年 2 月 11 日

*責任著者：大田 康之 ✉ Yasuyuki_Oota@pref.hyogo.lg.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

The culling number has exceeded 50% of total catches since 2012. From FY2022, the 3rd management plan for wild boars aims to halve agricultural damage, reduce population density, and eliminate human injury. In addition to the continuation of the questionnaire survey, high-precision density estimation based on camera-trap and track-index, guideline for urban wild boar and the eradication of classical swine fever are required.

Keywords: adaptive management, management plan, wild boar

1. はじめに

兵庫県では、イノシシ *Sus scrofa* による被害が古くからあり、捕獲圧が高く、トタン板を利用した防護柵などの農業者や住民による被害対策が定着していた（横山 2014）。このため、1999 年に「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律」（当時は「鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律」）において特定鳥獣保護管理計画（以下、特定計画）制度が開始された際に、計画を改めて策定する必要性が低く、制度発足後もしばらくは特定計画が策定されていなかった（横山 2014）。しかし、2001 年度から 2008 年度までのイノシシによる農業被害が全体の 3 割以上となり、ニホンジカ（以下、シカ）とともにイノシシの被害は、農山村地域の農業振興を図る上で大きな障害となった。また、六甲山地に隣接する都市部では餌付けにより人馴れしたイノシシによる生活環境被害や人身被害が収まらず、市街地出没エリアも拡大していたことから対策の強化が必要となってきた（兵庫県 2009）。そのため、2009 年度に兵庫県森林動物研究センターの調査研究の結果を踏まえ、兵庫県は、第 1 期イノシシ保護管理計画（兵庫県 2009）を策定し、第 2 期イノシシ保護管理計画（計画期間 2012 年 4 月 1 日–2017 年 3 月 31 日、兵庫県 2012）を経て、現在は第 3 期イノシシ管理計画（兵庫県 2022a）による管理を実施している。

本稿では兵庫県におけるイノシシの生息状況や被害状況の推移を整理し、順応的管理のために策定した現行の第 3 期イノシシ管理計画（兵庫県 2022a）の概要を示す。最後に今後の課題についても考察する。

2. 兵庫県のイノシシ現状

イノシシの分布域と生息状況

兵庫県内でのイノシシの分布は、現在では瀬戸内海沿岸の一部を除くほぼ全県域である（図 1）。1970 年代において、イノシシは本州部・淡路島にすでに広く分布していた（朝日 1973）。鳥獣害アンケートの集落周辺で出没頻度は、2006 年度から 2016 年度までに一貫して但馬・丹波・北播磨・阪神・神戸地域で高かったが、2011 年度以降は西・中・東播磨や阪神・神戸の南部地域でも高くなっている（栗山ほか 2018）。2010 年ごろには姫路市家島諸島、南あわじ市沼島といった島嶼部にも分布が拡大した（栗山・吉村 未発表）。また、イノシシが高密度で生息する六甲山系に隣接する神戸・阪神地域では、1965 年頃から餌付けによる人馴れ

や市街地出没が問題となっていた（辻・横山 2014a）。近年では、中播磨地域等の市町においても、市街地周辺での目撃が続いており、市町は、被害防除計画を立てている（姫路市 2022）。

イノシシの個体数管理において、管理の目標設定が必要である。兵庫県では、毎年の狩猟期における出猟・捕獲状況を、出猟カレンダー（栗山ほか 2018）により収集しており、銃猟において 1 人日当たりの目撃頭数である SPUE を、シカ管理計画（兵庫県 2000）における個体数管理の目標値としても用いられた指標であることから、イノシシにおいても基準として採用した。第 2 期イノシシ管理計画では県内の標準的な数値として県内の平均 SPUE を 0.2 以下とすることを個体数管理の目標としていた（兵庫県 2012）。

2021 年度の SPUE は、兵庫県本州部の広い範囲で 0.2 を下回っていた。但馬、丹波地域などの、過去から生息密度が高いと考えられてきた地域や、本州部の一部、淡路地域では、0.2 以上の高い値を示した（図 1）。

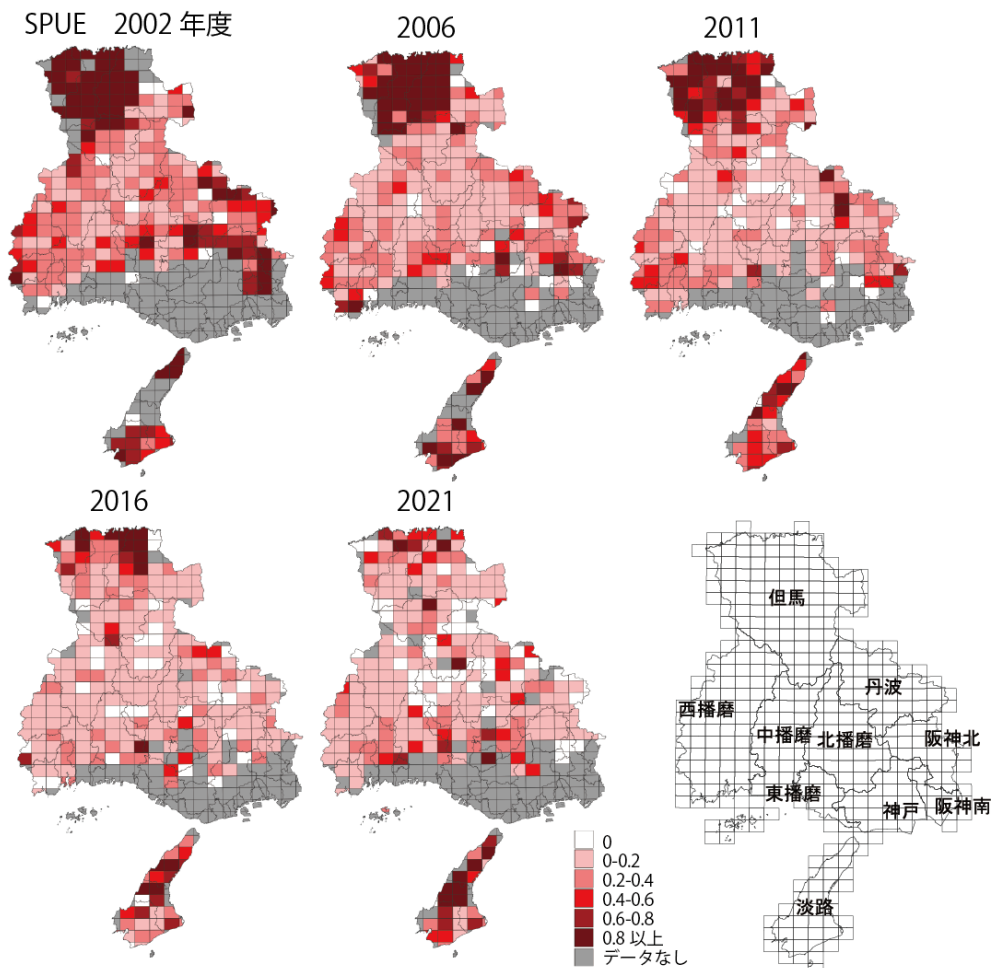


図 1. イノシシの SPUE の推移。右下図は兵庫県の県民局・県民センターに基づく地域区分と、5 倍地域メッシュを示す。

SPUE は銃猟の実施に伴い収集される数値であるため、銃猟が禁止されている市街地付近や禁猟区では生息状況を評価できないといった課題があった。そこで、第3期イノシシ管理計画では、くくりわな CPUE を基準とした個体数管理の目標設定に変更している（兵庫県 2022a）。くくりわな CPUE は、1 基のくくりわなを 100 日間で捕獲したイノシシの頭数の平均で示され、SPUE に比べてデータが得られる地域も多く（栗山ほか 2018）、推定生息密度の相関があることが確認されている（第2章 高木ほか 2023）。2021 年度のくくりわな CPUE は、神戸地域や播磨地域、淡路地域では 0.4 以上の高い値を示す地域が多かった（図 2）。また、2016 年度から 2020 年度までのくくりわな CPUE の推移を見ると、本州地域では減少傾向、淡路地域において、増加傾向が認められており、地域による差が増大していた（図 2）ことが判る。

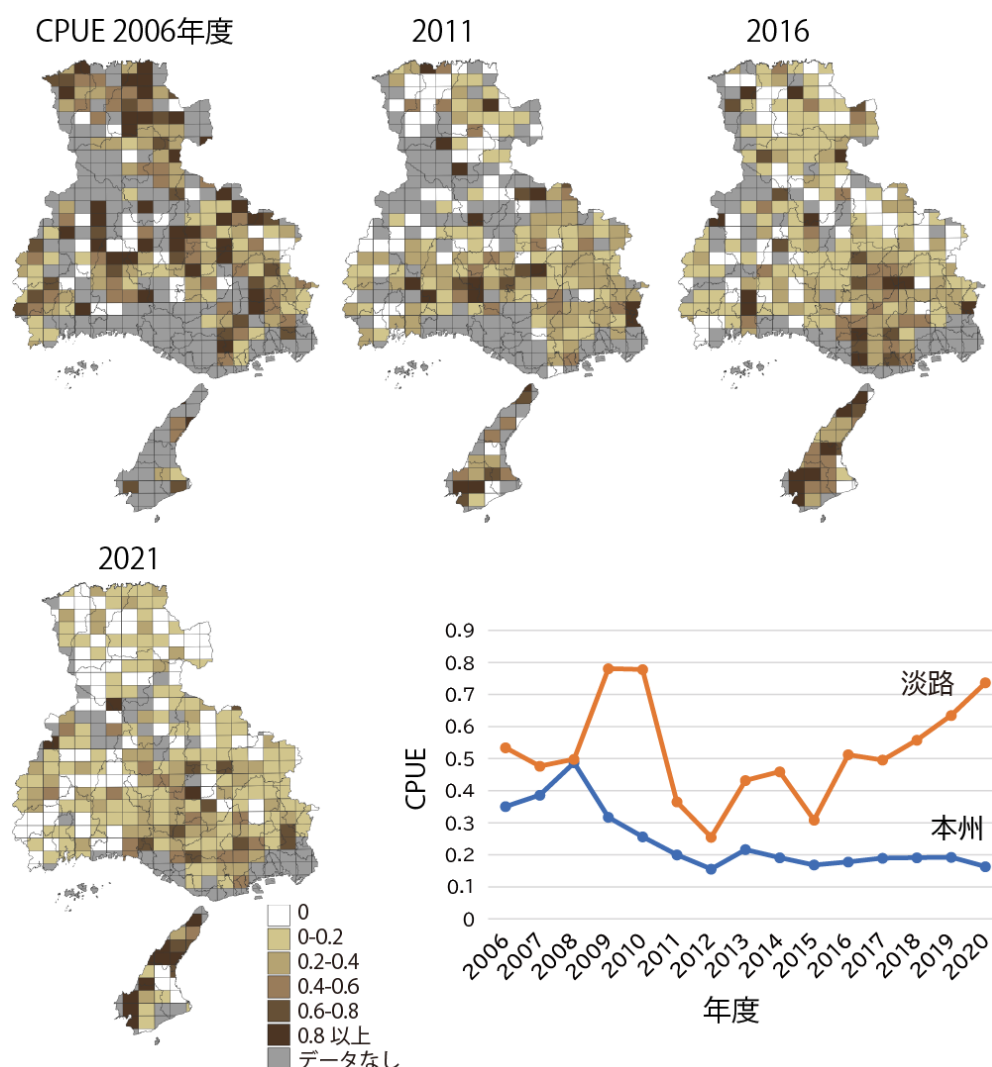


図 2. イノシシの生息密度の代替指標としての CPUE の空間分布と年推移。右下の図は、本州部と淡路島のそれぞれの平均値の推移を示す。

イノシシによる被害の状況

兵庫県における農業被害額は、2010 年度以降減少傾向であったが、近年では横ばいで推移している。2021 年度の被害金額は 2 億 1 千 8 百万円と、依然として大きな被害が続いている（図 3）。農業被害に比べてイノシシの林業被害はわずかであり、現在では林業被害は報告されていない。2005 年度から 2016 年度の被害作物別に見てみると、被害金額の約 6 割が稲、約 1 割がイモ類と野菜であった（図 4）。

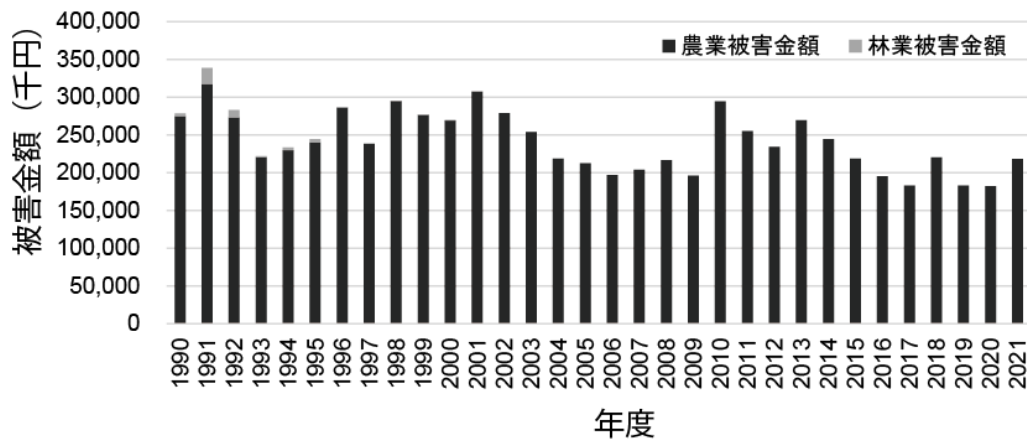


図 3. 兵庫県におけるイノシシの 1990 年度から 2021 年度の農林業被害金額の推移

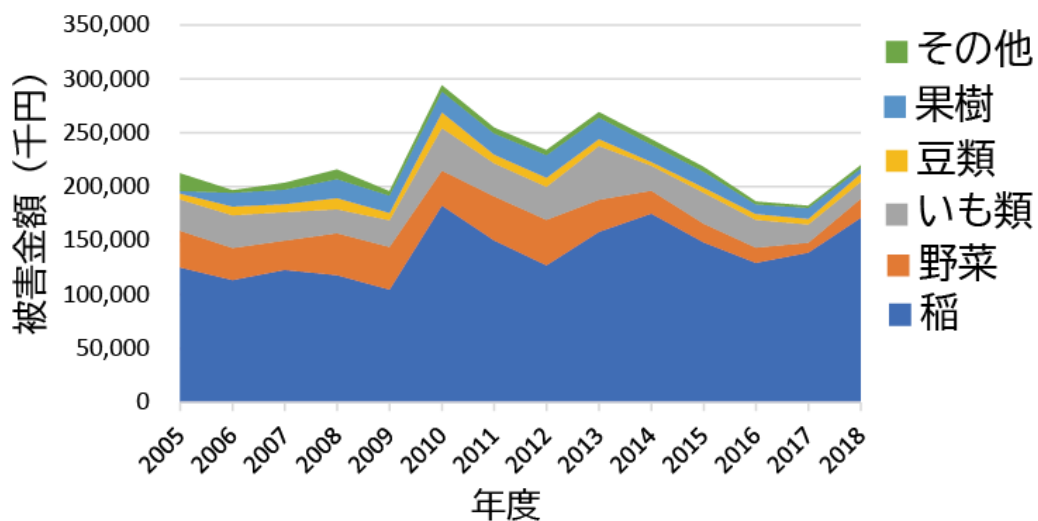


図 4. 兵庫県における 2005 年度から 2018 年度の作物別の被害金額 (千円)

農業集落における被害状況、対策状況やその効果を把握するために、農業センサスを基本とした県内の全農業集落（約 4,200）を対象に、毎年、アンケート調査を実施している（栗山ほか 2018、以下、鳥獣害アンケート）。鳥獣害アンケートでは、集落代表者が集落における

イノシシの分布を「いる」「いない」のいずれかで回答し、イノシシが「いる」場合は、その年の農業被害の程度を「ほとんどない」「軽微」「大きい」「深刻」の4段階で回答する様式となっている。イノシシが「いる」集落のうち、2021年度では「深刻」または「大きい」と回答した集落の割合は、合計で39.0%であり、2015年度の同割合51.8%と比較して顕著に減少している（図5）。ただし、イノシシが分布拡大した地域では、新たに被害の発生した集落もみられる。

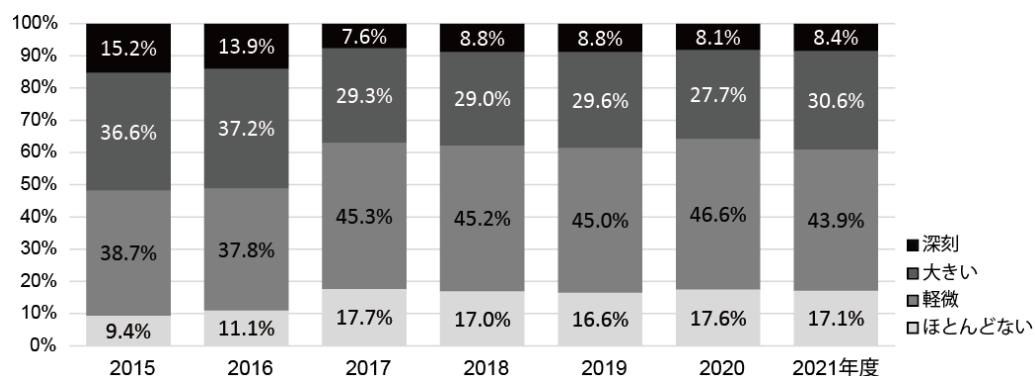


図5. 鳥獣害アンケートによる2015年度から2021年度までのイノシシの農業被害程度の推移

鳥獣害アンケートの集落周辺でのイノシシの出没頻度は、但馬・丹波・北播磨・阪神・神戸地域において2006年度から2016年度まで継続的に高かった（栗山ほか2018）。西・中・東播磨や阪神・神戸の南部地域でも2011年度以降は高い地域が増加した（栗山ほか2018）。出没頻度の年推移と同調して2011年度以降は西・中・東播磨や阪神・神戸の南部地域での農業被害程度が「大きい」「深刻」の集落割合が増加している（図6）。被害は、生産物の損失だけでなく、営農意欲の減退や耕作放棄地の増加につながる事が懸念されることから、被害の大きい集落では、地域での実情に応じた被害対策の推進が必要である。

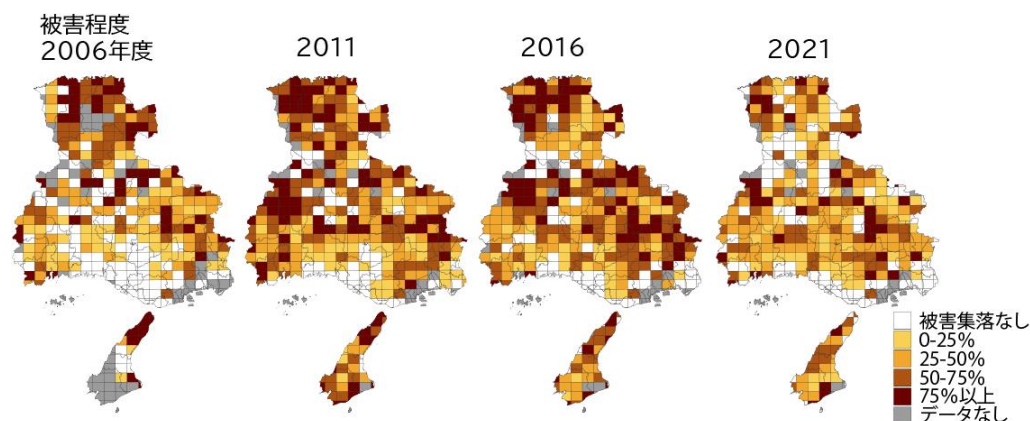


図6. 兵庫県の2006年度から2021年度の鳥獣害アンケートに基づくイノシシによる農業被害状況。5倍地域メッシュ内の集落で「大きい」「深刻」と回答した割合を示す。

被害対策の状況（捕獲）

有害鳥獣捕獲と狩猟による捕獲をあわせた捕獲頭数は2018年度には2万頭を超え、2021年度は20,086頭となった。特に、有害捕獲頭数は2012年度より総捕獲数の50%を超え、2015年度以降は1万頭以上が有害捕獲で捕獲されている（図7）。

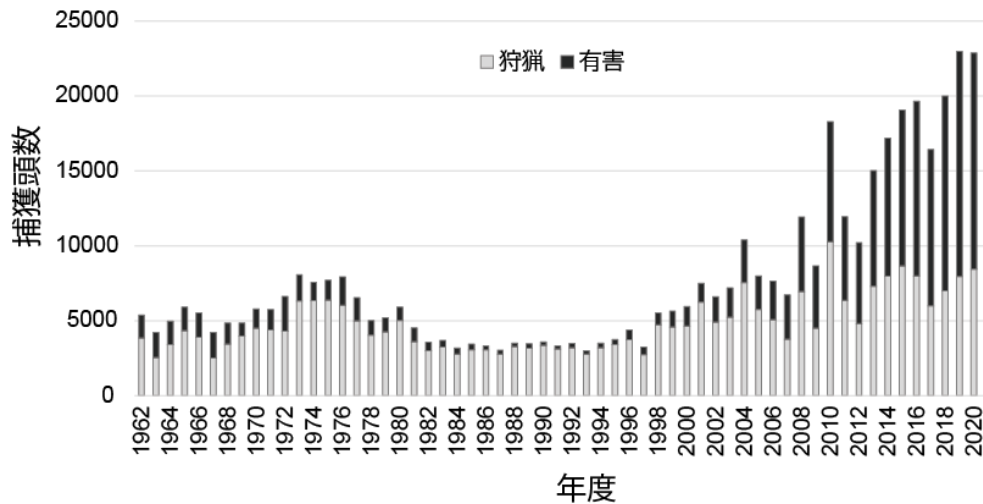


図7. 1962年度から2020年度までのイノシシの捕獲頭数の推移

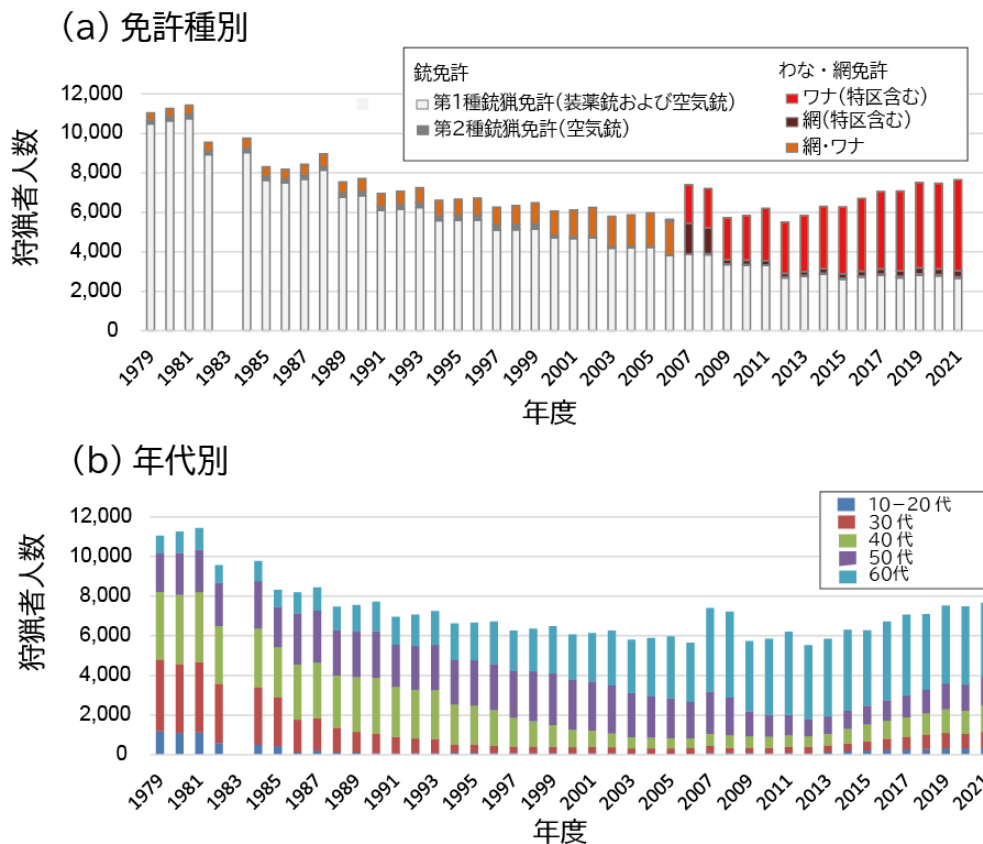


図8. 兵庫県における1979年度から2021年度までの狩猟免許所持者の免許種別(a)と年代別(b)の推移

1979年度から2021年度までの狩猟免許所持者数の推移をみると、ピーク時の1981年には1万1千人以上であったものが年々減少し、2012年度には半分の約5,500人まで落ち込んだ（図8）。その後も銃猟免許の保持者は減少したが、被害農家自らが狩猟免許を取得し、地域主体で捕獲を進める体制づくりが進んだことなど（例えばストップ・ザ・獣害事業、加藤ほか 2015）により、わな免許を中心に増加傾向に転じ、2017年度以降、7千人台まで回復した（図8a）。狩猟者の年齢構成では、近年、50代以下が増加傾向にあるが、60代以上が半数を占め高齢化率が高く、継続的な捕獲の担い手確保が課題になっている（図8b）。

被害対策の状況（防護柵）

集落へのイノシシの侵入防止の手法は、防護柵の設置・管理が基本となる。国の鳥獣被害防止総合対策交付金などを活用した支援により、市町を中心に、毎年防護柵の設置が進められ、県内における総延長は2021年度末10,590kmである（表1）。しかし、防護柵は設置後の経年劣化、倒木などによる破損イノシシによる損耗などがあるため、日ごろからの集落住民による維持、点検が必要である。毎年、兵庫県森林動物研究センターが開催する研修などを通じて、行政職員等への技術普及と意識向上を図っている。

表1. 兵庫県における地域別・予算別の防護柵の設置状況。※自治振：県単独の自治振興事業で設置、その他：中山間直接支払い、県民局事業で設置。数字の単位はkm、四捨五入のため、内訳数字の計と合計数字が一致しない場合がある。

県民局名	国庫	県単独	自治振※	市町単	その他※	小計※
神戸	324	0	0	37	0	380
阪神南	0	0	0	12	0	12
阪神北	266	0	6	138	3	413
東播磨	34	2	0	26	16	78
北播磨	431	112	68	632	0	1,243
中播磨	300	191	113	52	13	669
西播磨	301	503	253	707	135	1,900
但馬	1,010	269	430	868	4	2,580
丹波	572	136	30	369	84	1,192
淡路	1,245	172	145	555	6	2,123
県計	4,503	1,386	1,045	3,396	261	10,590

人身被害の発生状況と専用ダイヤルへの相談件数

兵庫県では六甲山とその周辺の市街地にイノシシが出没あるいは長期間河川などの森林外に定着することが問題となっている（辻・横山 2014a; 第9章 横山ほか 2023）。イノシシの市街地への出没の原因の一つとして、餌付け行為があげられ、餌付けにより人工物に執着した個体が、ゴミステーションを荒らしたり、人を襲うなどの人身事故を含む生活環境被害を発生させている（図10、辻・横山 2014a）。また出没した個体が交通事故や列車事故も発生させている（辻・横山 2014a）。六甲山系のイノシシにおける生活環境被害に関する相談

に対して、餌付け行為の防止や生ゴミの適正処理など、出没を誘引する状況を回避するための普及啓発に継続して取り組むとともに、2016年度からは都市部出没イノシシの捕獲に対し経費を支援し、有害捕獲の強化や餌付け禁止などの対策を推進したことで、人身被害は大きく減少した（図 10）。さらに、神戸市では、土日や夜間でも迅速な対応ができるように専用の「鳥獣相談ダイヤル」を 2015 年に設置した。六甲山近隣に位置する市町において、イノシシに関する相談件数を調べると増加していることから、神戸市のような速やかな対応の取り組みを強化し、市街地出没対策を行うことが必要である。

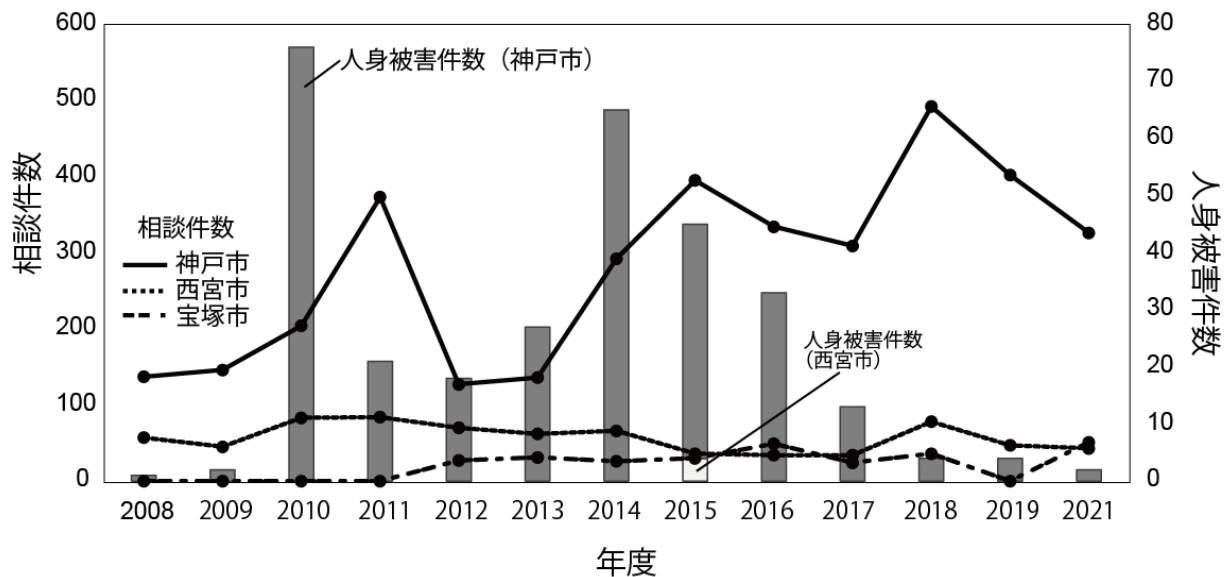


図 10. 神戸市・西宮市・宝塚市の 2008 年度から 2021 年度までのイノシシの市街地の出没による市ごとの住民からの相談件数と人身被害件数。市街地の定義は各市が定める。人身被害はイノシシに追いかけて転倒したなどの二次的な被害も含む。

兵庫県における豚熱の発生状況と対応

2018 年度には岐阜県で国内では 26 年ぶりに豚熱（以下、CSF）が発生した。CSF は、感染力と高い致死率から、養豚業における最も甚大な被害を与える家畜伝染病の一つである（迫田 2020）。日本は、発生時の摘発淘汰、効果的なワクチンの使用によって、国際獣疫事務局（OIE）から 2020 年 9 月まで清浄国として認定されていた。しかし、2018 年 9 月に岐阜県内で CSF に感染したブタが再確認され、2022 年 11 月 21 日までに 159 農場・5 と畜場で約 354,557 頭に防疫処置がとられた（農林水産省 2022, <https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-38.pdf>）。野生イノシシでも CSF の感染拡大が起こり、2022 年 12 月 14 日までにイノシシ 73,117 個体が検査され、その内 5,432 個体の CSF 陽性が確認されている（農林水産省 2022, https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/wildboar_map-170.pdf）。

2020 年 4 月に兵庫県と隣接する京都府での野生イノシシでの CSF ウイルス感染個体が見つかった。兵庫県内への CSF の侵入防除のため、2020 年度から兵庫県本州部の京都府との

県境域で CSF 経口ワクチンの散布などの対応を開始した（第 6 章 栗山・大田 2023; 第 7 章 栗山ほか 2023）。発生予防対策の結果、県内の養豚農家での発生はないが、野生イノシシでは 2021 年 3 月に初めて丹波地域で感染個体が確認された後、東部から西部に感染地域が拡大し、淡路地域でも 2021 年 7 月に感染個体が発見された。県内での CSF の拡大を受け、2022 年から県内大型養豚農家を中心に、施設周辺に CSF 経口ワクチンを散布し野生イノシシに摂取させることで、免疫学的な障壁をつくり感染防止に取り組んでいる。

3. イノシシ管理計画における目標達成のための方策

管理計画の基本的な考え方

イノシシの管理計画では、農業被害の半減と生息密度の低減、人身被害や生活被害の解消を目標としている（兵庫県 2022a）。農業被害の半減では、県内集落で実施する鳥獣害アンケートにおける市町ごとの農業被害程度「深刻」または「大きい」と回答した集落割合の半減を目標としている。生息密度の低減では、生息密度指標であるくくりわな CPUE が県平均よりも高い地域や鳥獣害アンケートでの農業被害が大きい地域が認められることから、くくりわな CPUE が 0.2 を目安とした個体数管理を行うこととする。具体的には、捕獲数等のモニタリングによって現状を把握しながら、毎年、年度別事業実施計画を策定し、個体数管理や被害対策に取り組む順応的管理をすることとしている（2022 年度、兵庫県 2022b）。また、市街地周辺等に生息するイノシシによる人身被害や生活被害の解消についても目標として定めている。

農業被害の半減を目指した被害対策

イノシシによる農業被害等の低減は、加害個体の捕獲および被害防除によって進める。イノシシは 1 回の妊娠で 4 頭程度を娩出する（辻・横山 2014b）ことなどから、集落周辺の個体数の低下だけでは被害軽減が図れない種である。そのため、地域の状況に応じた防護柵の整備や加害個体の捕獲などの総合的な対策を実施する必要がある。そこで県は各市町と協力し、各地域での住民が主体となった被害対策を推進している。

・地域住民が主体となった体制づくりの推進

集落における獣害被害がイノシシであることを確認した上で、各地域の住民が被害対策に主体的に取り組める体制づくりを指導する。県は、独自に創設したストップ・ザ・獣害事業（2022 年度からは、拡充した後継事業にあたる鳥獣被害集落自立サポート事業）などを実施することで、捕獲技術をはじめとした獣害対策の実践を支援する。

・防護柵の設置・点検・改善

各種事業を活用し、周辺集落との連携なども考慮した効率的な防護柵の設置を支援するとともに、設置した防護柵の定期的な保守点検並びに地際強化などの防護柵機能の維持や改善を支援する。

捕獲にかかる担い手確保・育成と体制整備

イノシシの継続的かつ効果的な捕獲を推進するため、多様な捕獲者を確保・育成し、適切な捕獲体制を整備する。捕獲の担い手の確保・育成では、① 農家や民間事業者など多様な捕獲の担い手の確保育成、② 地域ぐるみの捕獲を進めるリーダー（集落住民、狩猟団体等）の育成、③ 安全かつ高度な捕獲技術を有する認定鳥獣捕獲等事業者の育成、④ 狩猟免許新規取得者の捕獲技術及びコンプライアンスの向上、⑤ 狩猟の魅力を伝えることによる若手狩猟者の確保、といった5つの対策に努める。この対策により、担い手が、いわゆる個人利用を目的とした狩猟に取り組むだけでなく、被害管理・個体数管理を実施する捕獲従事者となることを目指している。あらたに整備を進めている兵庫県立総合射撃場（仮称）の活用や捕獲者を対象とした認証制度を設立することで、行政と地域が連携して捕獲に取り組むことができる人材を育成する。

また、捕獲体制については、既存の捕獲従事者に加えて、ストップ・ザ・獣害事業等により、住民が主体となった集落ぐるみの捕獲体制を整備するとともに、人里から離れた森林エリアでの林業事業者等による捕獲体制を整備する。また、捕獲体制が脆弱な離島などの島嶼部や分布拡大地域では、生息状況の把握とあわせて捕獲を推進する。

生息密度の低減に向けた取組

生息密度の高い地域では、くくりわな CPUE を指標として、その低減を目指した生息密度管理を行うこととしている。イノシシは、1年で約4頭を出産するため、個体数変動の幅が大きく、生息数動態の予測には大きな不確実性を伴う。そのため、長期的な捕獲目標は設定せず、くくりわな CPUE0.2 以上の市町を捕獲重点化市町とし、前述した捕獲にかかる担い手確保・育成と体制整備をすることで捕獲の強化を推進する。

なお、①防護柵を十分に設置するなど被害対策が適切に実施されている、②農林業被害又は生活環境被害が重大である、③市町が可能な限り有害捕獲を実施している、④市町からの要望がある、④地元猟友会との調整が図られている、などの要件を満たしている場合は、都道府県又は国が捕獲等を行う事業である指定管理鳥獣捕獲等事業の実施に向け検討を進め、実施の適否は年度別事業実施計画の策定において判断することとしている。

生息環境管理

広葉樹林の保全・復元や、針葉樹人工林の広葉樹林・針広混交への誘導など、イノシシをはじめとした野生鳥獣の生息環境に必要な多様な森林整備を実施することとしている。野生動物と住民との軋轢が生じている地域において、伐採などによって、お互いに棲み分けるバッファゾーンを整備すると同時に、森林の奥地に共生林を整備する「野生動物共生林整備」や、手入れ不足の老齢人工林の部分伐採や、伐採跡地への広葉樹植栽などによる多様な森林へ誘導する「針葉樹林と広葉樹林の混交整備」を進める。また、獣害対策にも繋げることをねらいとして、地域住民やボランティアなどによって自発的に「災害に強い森づくり」を整備する「住民参画型森林整備」を支援することとしている。

また、イノシシは食物を得たり、身を隠したり、子育てをするのに十分な下層植生を必要とする。しかしシカの生息密度の高い地域では、広葉樹林帯においてシカの食害による下層植生の衰退が著しく（藤木・高木 2019）、イノシシの生息に適さない環境となっている可能性がある。このため、シカの捕獲による生息密度の軽減を通じて、下層植生を回復させイノシシの生息環境を整えることとしている。

人身被害や生活環境被害の解消

イノシシの人馴れを防ぐため、餌付防止や生ゴミの適正処理などの啓発活動について、地域住民と関係行政機関の連携した取り組みを支援する。また、人の居住エリアをイノシシが徘徊することに起因した人身被害など、危険事案発生時の対応方法と関係機関の役割等を明確化した対応マニュアルの策定を検討している。

CSF 等感染症対策の実施

CSF ウイルスの拡散を防止するため、捕獲個体の適切で確実な処理の実施と、捕獲従事者や狩猟者の防疫措置の徹底を図る。また、野生イノシシでの CSF 感染個体が見つかった場合は、その獣肉を介してウイルスの拡散をする恐れがあることから、自家消費のみが許容されている。今後、県内の野生イノシシにおける感染拡大が続けば、ジビエ料理に向けたイノシシ肉の利用制限が懸念されることから、国の指針（農林水産省 2021）に基づく対応を基盤として兵庫県における対策を検討し、岐阜県など、CSF 発生県での先進事例を参考に、利活用に向けた体制整備を目指すことにしている。

4. 今後の課題

兵庫県がこれまで取り組んできたイノシシの順応的管理によって、農林業被害金額や人身事故件数は減少傾向で推移しているが、地域によっては農業被害や生活環境被害が発生しているため、今後も継続して対策していく必要がある。現在、対策の基礎データとして活用している鳥獣害アンケート、出猟カレンダーの継続的な取得に加え、精度の高いイノシシの生息密度の把握、生息データなどが不十分な地域でのモニタリング体制の構築が重要となる。

兵庫県におけるイノシシの生息密度は、代替指標である SPUE（第 1・2 期管理計画）とくくりわな CPUE（第 3 期管理計画）を使用してきた。2022 年からの第 3 期イノシシ管理計画において、生息状況を把握するために、2002 年から継続している出猟カレンダー調査に加えて、自動撮影カメラによる調査、痕跡調査を実施することとしている（兵庫県 2022a,b）。地域ごとの増減傾向や高密度地域が把握できれば、捕獲を優先すべき地域の特定につながり、より効果的な対策となりうる。カメラ調査や痕跡調査は、保護区、捕獲禁止区域や市街地、新規の分布拡大地域など、十分な出猟カレンダーデータがない地域での生息状況の把握にも適していると言える。

市街地周辺でのイノシシの出没は神戸市以外の市町でも確認されており（例えば、姫路市

2022)、人身被害対策に向けた体制整備が急務となっている。県では体制整備の支援や緊急対応マニュアルの整備を念頭に、各市町での市街地などでの情報収集の方法を検討・実施することが今後必要である。市街地へのイノシシの出没は、人身被害の危険性だけでなく、人獣共通感染症を媒介するダニ類などの衛生動物と人との接点をつくる危険性がある。人獣共通感染症の防除は、多くは家畜伝染病予防法やと畜場法をはじめ、狂犬病予防法等の関係法令によって措置されているが、野生動物についての対策は確立されていない(丸山 2005)。また、豚熱の感染地域は 2022 年 11 月 17 日現在、ほぼ全県に拡大し、経口ワクチン散布などの終息に向けた対策が行われている(栗山ほか 2023)。今後は豚熱終息に向けた経口ワクチン散布のほか、養豚場周辺や高密度地域での捕獲強化、感染動向把握のためにより多くの個体の検査を実施していく必要がある。

兵庫県として、引き続き、被害対策を中心にしながら、市街地への出没対応、感染症対策など、これまでなかった課題に対応する必要があるため、今後も、関係者が一体となり、課題に取り組むことが重要である。

引用文献

- 朝日 稔(1973) 兵庫県の動物界の現状. (兵庫県自然保護協会 編) 兵庫県の自然の現状―自然保護対策の基本資料報告―, 75–87. 兵庫県生活部自然課, 神戸
- 藤木 大介, 高木 俊(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. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 11: 14–29
- 姫路市(2022) 姫路市鳥獣被害防止計画,
<https://www.city.himeji.lg.jp/bousai/cmsfiles/contents/0000008/8007/higaibousiR4.pdf>,
2023 年 2 月 2 日確認
- 兵庫県(2000) 第 1 期シカ保護管理計画. 兵庫県、神戸
- 兵庫県(2009) 第 1 期イノシシ保護管理計画. 兵庫県、神戸
- 兵庫県(2012) 第 2 期イノシシ保護管理計画. 兵庫県、神戸
- 兵庫県(2022a) 第 3 期イノシシ管理計画. 兵庫県、神戸
- 兵庫県(2022b) 第 3 期イノシシ管理計画 令和 4 年度別実施計画. 兵庫県、神戸
- 加藤 栄里奈, 阿部 豪, 松本 崇, 西住 真則, 坂田 宏志(2015) 集落が管理するわなの捕獲効率向上へのとりくみ. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 7: 49–61
- 環境省・農林水産省(2020) CSF・ASF 対策としての野生イノシシの捕獲等に関する防疫措置の手引き <https://www.env.go.jp/content/900489626.pdf>
- 栗山 武夫, 山端 直人, 高木 俊(2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向(2006-2016 年度). 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 9–31
- 栗山 武夫, 大田 康之(2023) 兵庫県における 2022 年末までの豚熱の拡大の概要. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 60–71
- 栗山 武夫, 大田 康之, 高木 俊, 杉本 太郎, 横山 真弓(2023) 兵庫県における経口ワクチ

ン散布による豚熱対策の効果検証と摂食率に影響する要因の解明. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 72–83

丸山 務 (2005) 獣医公衆衛生学 第2版. 文永堂, 東京

農林水産省 (2022) 豚熱の防疫措置対応 (概要) 令和4年11月21日 17時00分現在

<https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-38.pdf>, 2023年1月20日確認

農林水産省 (2022) 豚熱感染野生イノシシ発見地点 (直近1ヵ月: 令和4年12月14日時点) https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/wildboar_map-170.pdf, 2023年1月20日確認

迫田 義博 (2020) 豚熱 (Classical Swine Fever : CSF) のすべて. 北海道獣医師会雑誌, 64: 285–293

高木 俊, 栗山 武夫, 杉本 太郎, 横山 真弓, 東出 大志 (2023) イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 15–27

辻 知香, 横山 真弓 (2014a) 六甲山イノシシの問題の現状と課題. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 121–134

辻 知香, 横山 真弓 (2014b) 兵庫県における妊娠率算出方法の開発. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 84–92

横山 真弓 (2014) 兵庫県におけるニホンイノシシの保護管理の現状と課題. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 1–8

横山 真弓, 松金 知香, 池谷 直哉 (2023) 市街地河川に定着したイノシシの生息モニタリングと個体の身体的特徴. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 94–111

第 2 章

イノシシの生息状況把握における

出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性

高木 俊^{1,2*}・栗山 武夫^{1,2}・杉本 太郎²・横山 真弓^{1,2}・東出 大志^{2,3,4}

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

³岐阜大学応用生物科学部野生動物管理学研究センター

⁴岐阜県野生動物管理推進センター

要 点

- ・兵庫県における出猟カレンダー調査に基づくイノシシの SPUE、くくりわな CPUE、箱わな CPUE の 3 種類の捕獲に基づく密度指標について、生息密度指標としての有効性および農業被害程度との関係性を分析した。
- ・自動撮影カメラに基づく推定生息密度が高い地域では、いずれの指標も高い値が観測されやすい傾向が見られたが、大きな観測誤差も見られた。
- ・密度指標値が高いほど農業被害が深刻化する傾向が見られたが、その関係性は強くはなく、密度以外の要因も被害に影響することが示唆された。
- ・捕獲に基づく密度指標を用いて、個体数管理を行う際には、その精度を理解した上で相対的な生息状況を評価する基準の一つとして活用すべきと考えられる。

Keywords: 個体数管理、CPUE、生息密度推定、REST モデル

Effectiveness of hunting records as population density indices for wild boar

Shun Takagi^{1,2*}, Takeo Kuriyama^{1,2}, Taro Sugimoto², Mayumi Yokoyama^{1,2},

Daishi Higashide^{2,3,4}

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

³ Research Center for Wildlife Management, Gifu University

⁴ Gifu Wildlife Management Promotion Center

Abstract: The Hyogo Prefectural government monitors three hunting indices (SPUE, snare trap CPUE, and box trap CPUE) annually for the purpose of assessing trends in wild boar (*Sus scrofa*) populations. The effectiveness of these parameters, calculated

受付日：2023 年 1 月 10 日、受理日：2023 年 2 月 2 日

*責任著者：高木 俊 ✉takagi@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

based on hunting records, as indirect measures of population density was evaluated by comparison with the boar density estimated by camera trap data. In addition, the relationships between these indices and levels of agricultural damage were analyzed. In areas with a high boar density as estimated by camera trap data, the three hunting indices also showed relatively high values with large observation errors. Hunting indices and levels of agricultural damage were found to be weakly correlated, and the damage explained by the indices was not large. In conclusion, hunting indices were effective indicators of the population status of wild boar; however, the precision or accuracy of these indices should be considered.

Keywords: CPUE, density estimation, population management, REST model

1. はじめに

兵庫県ではイノシシ (*Sus scrofa*) による農業被害の軽減、生活環境被害、人身被害の解消、地域個体群の健全な維持を目的としたイノシシの管理を、特定鳥獣管理計画（以下、特定計画）にもとづき実施している（兵庫県 2022）。管理を実施する際の地域ごとの方針決定を行う上で、県内のイノシシの生息状況の把握が必要となる。兵庫県では 2022 年からの第 3 期イノシシ管理計画において、生息状況を把握するために、2002 年から継続している出猟カレンダー調査に加えて、自動撮影カメラによる調査、痕跡調査を実施することとしている（兵庫県 2022）。出猟カレンダーは、兵庫県で狩猟登録を行った狩猟者全員を対象に、猟期におけるニホンジカ (*Cervus nippon* 以下、シカ) とイノシシの目撃頭数・捕獲頭数および出猟状況と罾の稼働状況を決められたフォーマットに基づいて報告を求めるものであり、この報告に基づいて SPUE（銃猟出猟人日あたりの目撃頭数）、くくりわなおよび箱わなにおける CPUE（わな 100 台日あたりの捕獲頭数）（以下、これらを捕獲に基づく密度指標と総称）が集計されている（栗山ほか 2018; 図 1）。兵庫県のシカの生息状況把握においては、捕獲に基づく密度指標を用いた個体数動態の推定が行われており、これらの指標は生息密度との相関はあるものの観測誤差が大きいことも指摘されている（高木 2019）が、地域ごとのイノシシの生息密度と捕獲に基づく密度指標の関係性については十分に分析されていない。

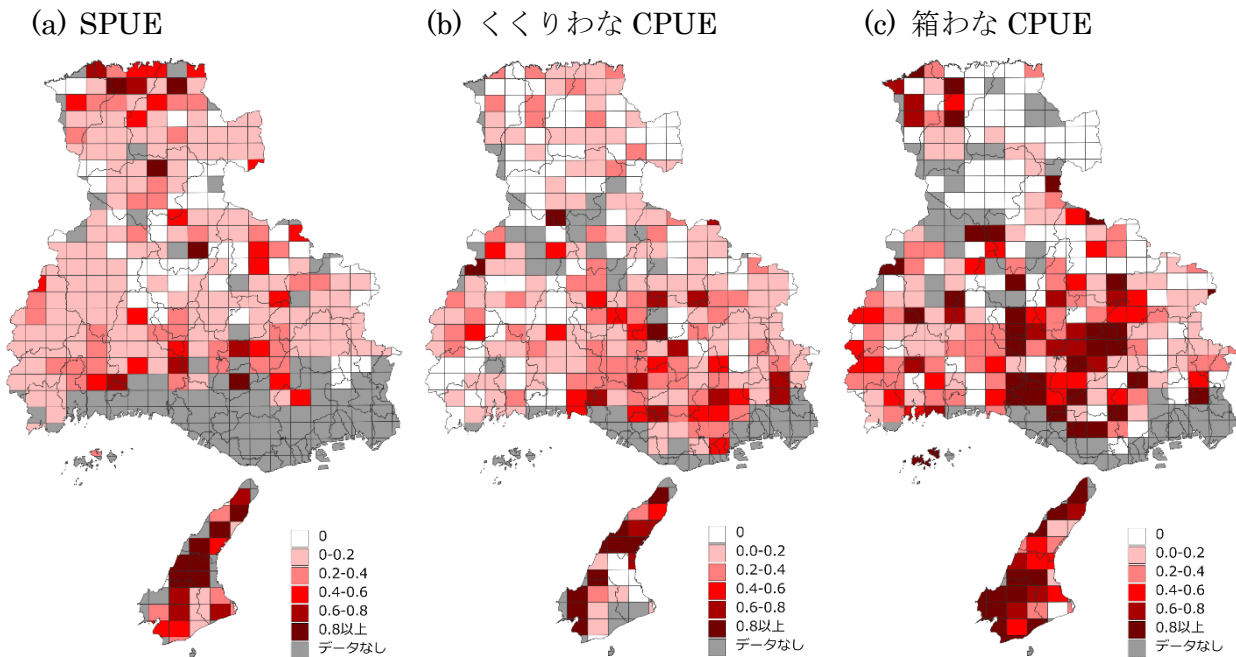


図 1. 出猟カレンダー調査に基づく兵庫県におけるイノシシの SPUE (a)、くりわな CPUE (b)、箱わな CPUE (c)。2021 年度狩猟期（2021 年 11 月 15 日～2022 年 3 月 15 日）の集計値を約 5km の狩猟メッシュ単位で示した。努力量の少ないメッシュ（銃猟では 5 人日未満、わな猟では 100 台日未満）は、値のばらつきが大きいいためデータなし（灰色）で示している。

イノシシのように個体識別の難しい野生動物の生息密度推定に有効な手法として、自動撮影カメラの動画情報に基づく推定（e.g., Random Encounter and Staying Time Model; Nakashima et al. 2018; 以下、REST モデル）が近年注目されており、兵庫県を含む日本国内でイノシシの生息密度推定に適用された事例がある（Yokoyama et al. 2020; Higashide et al. 2021; Kasada et al. 2022）。Higashide et al. (2021) では、自動撮影カメラの動画情報に基づき、REST モデルを適用して得られた推定生息密度と、複数の手法で得られた痕跡密度の関係性から、掘り返し密度が生息密度の大小を反映する指標として有効であることを示している（詳しくは本誌第 3 章を参照；東出 2023）。

本研究では、イノシシの生息密度の把握における SPUE および CPUE の有効性を検討することを目的として、SPUE、くりわな CPUE、箱わな CPUE の 3 つの指標について、REST モデルによって推定された生息密度との関係性を明らかにする。また、これらの捕獲に基づく密度指標と農業被害の関係性についても明らかにする。なお、捕獲に基づく密度指標と農業被害との関係性については、過去に 2015～2016 年度のデータをもとに、SPUE および箱わな CPUE と農業被害程度の分析を行っており（高木ほか 2018）、今回はくりわな CPUE のデータを加えて、2020～2021 年度のデータで再解析を行うものである。

2. 方法

自動撮影カメラ調査と生息密度推定

自動撮影カメラによるイノシシの生息状況調査は 2020 年および 2021 年に実施した。調査は後の解析で捕獲に基づく密度指標との対応関係を見るため、5km メッシュ単位で調査地を設定した。2020 年は 30 メッシュ、2021 年は 32 メッシュを対象とし、1 メッシュあたり 15 台（2021 年実施の 1 メッシュでは 25 台、2 メッシュでは 30 台）のカメラを、事前に GIS 上で設定した 3～5km の調査ルート沿いでランダムに配置した。兵庫県では毎年シカ・イノシシの生息状況調査（シカの糞塊密度やイノシシの掘返し痕跡）を猟期開始直前の時期（10 月下旬から 11 月中旬）に実施しており、カメラによる調査もその時期の密度を推定できるよう、各年とも 9 月～10 月にカメラを設置し、11 月～12 月に回収した。推定にあたってはメッシュごとに十分な数の撮影イベントが必要であり、なおかつ調査期間中に大きな密度の変動がないことを推定モデルでは仮定している。これらの条件を満たすために、原則として 30～60 日程度稼働（平均 49 日）させることとしているが、調査日の都合や途中でカメラに不具合が発生したため、実際の稼働日数は 3～83 日とばらつきがある。全 970 台のうち 21 台については、カメラの不調や設置時のミスにより、推定に必要なデータが得られなかったため、解析から除外している。無効データを除いた場合でも、各年各メッシュで 13 台以上のカメラから有効データが得られ、密度推定には十分なデータが得られたと判断した。

調査には、自動撮影カメラ Bushnell Trophy Cam HG Aggressor (Model 119876C) および Bushnell Core No Glow (Model 119938C) を用いた。これらの機種は事前の予備調査において十分に広い画角と速い反応速度であり、不可視タイプの赤外線 LED を採用していることから、密度推定のための動画情報取得に必要な条件を備えている。設置の際には、カメラの前方 1.77 m が頂点、3.50 m が底辺となるような一辺 2.00 m の正三角形がカメラの検知範囲に入るように設定した。動画の撮影時間は 20 秒に設定し、動画間の間隔は 0.6 または 1 秒に設定した。

生息密度の推定には、REST モデル (Nakashima et al. 2018) に基づいた。設置時に撮影した杭の位置を基準に 1.73 m² の正三角形の有効撮影範囲を定義した (本誌第 3 章を参照; 東出 2023)。この正三角形内に進入した動物は、100% の確率で撮影できていると仮定した。調査期間内における、有効撮影範囲内に両後脚が進入した回数（進入頻度）および、進入イベントごとの有効撮影範囲内における滞在時間（両脚とも範囲内に進入した時間を起点とし、両脚ともが範囲外に退出するまでの時間）を、撮影された動画から抽出した。REST モデルでは動物の個体識別を仮定しない方法であるため、同一個体の複数回の進入や同一動画における複数等の侵入については、別イベントとして扱った。進入、あるいは退出のタイミングが動画で撮影できていないものについては、確認できた滞在時間を記録するとともに、滞在時間を打ち切り観測として扱った。

生息密度 D と進入頻度の期待値 $E(Y)$ 、滞在時間の期待値 $E(T)$ の関係は次の式で表される。

$$D = E(Y) \cdot E(T) / (asH)$$

ここで α は活動時間割合、 s は有効撮影範囲、 H は調査期間にあたる。各調査地におけるカメラごとの進入頻度は負の二項分布、進入イベントごとの滞在時間は打ち切り観測のある指数分布に従うと仮定した。推定にあたって、メッシュごとの生息密度 D_i および指数分布の母数 λ_i (滞在時間の期待値の逆数に相当) には以下の関係式を想定し、対数変換した値が地域的な平均 (μ_{dens} および μ_{lambda}) と分散 (σ_{dens}^2 および σ_{lambda}^2) をもつ正規分布に従うとした。

$$\begin{aligned}\log(D_i) &\sim \text{Normal}(\mu_{\text{dens}}, \sigma_{\text{dens}}^2) \\ \log(\lambda_i) &\sim \text{Normal}(\mu_{\text{lambda}}, \sigma_{\text{lambda}}^2)\end{aligned}$$

解析に用いるデータの処理は R 4.2.2 で行い、イノシシの活動時間割合の推定には `activity` パッケージ、滞在時間の外れ値の除去は `extremevalues` パッケージを用いた。マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) による事後分布の推定は JAGS 4.3.0 で行った。MCMC の計算は 3 つの並列鎖でそれぞれ 45,000 回の計算を実行し、初期値の影響を除くために最初の 20,000 回分の計算を切り捨てた (burn-in) 後、あとの 25,000 回分の計算から、時間相関の影響を除くために 500 サンプルを抽出し (thinning)、事後分布の推定を行った。パラメータの事前分布は漠然事前分布とし、 μ_{dens} および μ_{lambda} は平均 0、分散 100 の正規分布、 σ_{dens} および σ_{lambda} は平均 0、分散 100 の半正規分布を設定した。事後分布の収束判定は R-hat (Brooks and Gelman 1998) により行い、十分に収束 (R-hat<1.1) していると判断された。

捕獲に基づく密度指標

2020 年度および 2021 年度の狩猟期における出猟カレンダー調査のデータを用い、約 5km の狩猟メッシュ (5 倍地域メッシュに相当) ごとに捕獲に基づく密度指標を集計した。このうち、努力量の少ないメッシュでは、捕獲に基づく密度指標の集計値に、大きな観測誤差が含まれる可能性があるため、銃猟の努力量が 10 人日以上、くくりわな、箱わなの努力量については 100 台日以上 of メッシュのデータを解析対象とした。2 年で、のべ 406 メッシュ分のデータが解析対象となった。

農業被害程度

2020 年度および 2021 年度の鳥獣害アンケート調査のデータを用いた。イノシシによる農業被害程度は 4 段階 (ほとんどない・軽微・大きい・深刻) で記録され、農業集落単位で農会長などの集落代表者が記入する形となっている。過去の解析 (高木ほか 2018) と同様に農業被害に景観構造が与える影響を考慮するため、集落周辺の景観構造として農業集落から 100 m バッファの範囲における森林率を算出した (詳細は高木ほか 2018 を参照)。

統計解析

自動撮影カメラに基づくイノシシの推定生息密度と捕獲に基づく密度指標の関係は、一般化線形モデルにより解析した。2 年で推定生息密度が得られたのべ 62 メッシュのうち、十分な努力量での捕獲に基づく密度指標が得られた 43 メッシュを解析の対象とした。メッシュの

生息密度として、推定生息密度の中央値を代表値として採用した。目的変数をイノシシの目撃数または捕獲数、説明変数は「対数変換した生息密度」、「地域」（本州部もしくは淡路島）、「調査年」（2020 年・2021 年）、「対数変換した生息密度」と「地域」の交互作用、「対数変換した生息密度」と「調査年」の交互作用とした。目的変数を努力量で基準化し、密度指標に換算するため、オフセット項として $\log(\text{出猟努力量})$ を加えた。リンク関数を $\log$ 、目的変数の誤差構造には負の二項分布を仮定した。説明変数の総当りでモデルを作成し（主効果なしのモデルを除く 13 通り）、AICc 基準でのモデル選択を行った。 ΔAICc が 4 未満の上位モデルおよびベストモデルに選ばれた説明変数をもとに、各指標と生息密度の関係性を評価した。

農業被害程度と捕獲に基づく密度指標の関係は、順序ロジスティックモデルにより解析した。被害の回答と集落が位置するメッシュにおける捕獲に基づく密度指標が得られた、のべ 3482 集落での集落を解析の対象とした。目的変数は 4 段階の被害程度とし、説明変数は 3 種類の捕獲に基づく密度指標のいずれかおよび集落周辺 100m バッファにおける森林率とした。各指標によるモデルの AIC を比較し、指標による被害程度の予測力を評価した。

統計解析は R のパッケージである MASS 及び MuMIn を用いた。

3. 結果

生息密度推定

自動撮影カメラによるイノシシの推定生息密度は地域により大きく異なった（図 2）。2020 年、2021 年ともに淡路島（メッシュ番号 369 以降）で生息密度が高く、中央値で 50 頭/km² を超えるメッシュも確認された。一方、本州部では低い傾向が見られ、半数以上の調査メッシュでは中央値で 5 頭/km² 以下だった。本州部においても一部のメッシュ（269：小野市；328、329：神戸市）では中央値で 20 頭/km² 以上と生息密度の高いメッシュが見られた。

生息密度と捕獲に基づく密度指標の関係

いずれの指標も推定生息密度が高い地点ほど指標値が高くなる関係性が見られた（図 3）。SPUE を説明するモデルにおけるモデル選択の結果（表 1a）、ベストモデルには「地域」、「生息密度の対数値」およびそれらの交互作用を含むモデルが選ばれた。すべての上位モデルではいずれも「生息密度の対数値」が含まれた。くくりわな CPUE を説明するモデルにおけるモデル選択の結果（表 1b）、ベストモデルには「生息密度の対数値」のみを含むモデルが選ばれた。上位モデルでは「生息密度の対数値」を含むモデルのほか、「地域」のみを含むモデルも選択された。箱わな CPUE を説明するモデルにおけるモデル選択の結果（表 1c）、ベストモデルには「生息密度の対数値」および「地域」を含むモデルが選ばれた。上位モデルでは「生息密度の対数値」および「地域」を含むモデルが選択され、「地域」のみを含むモデルは「生息密度の対数値」のみを含むモデルより AIC が低かった。いずれの指標に対しても「調査年」のみを含むモデルは選択されなかった。

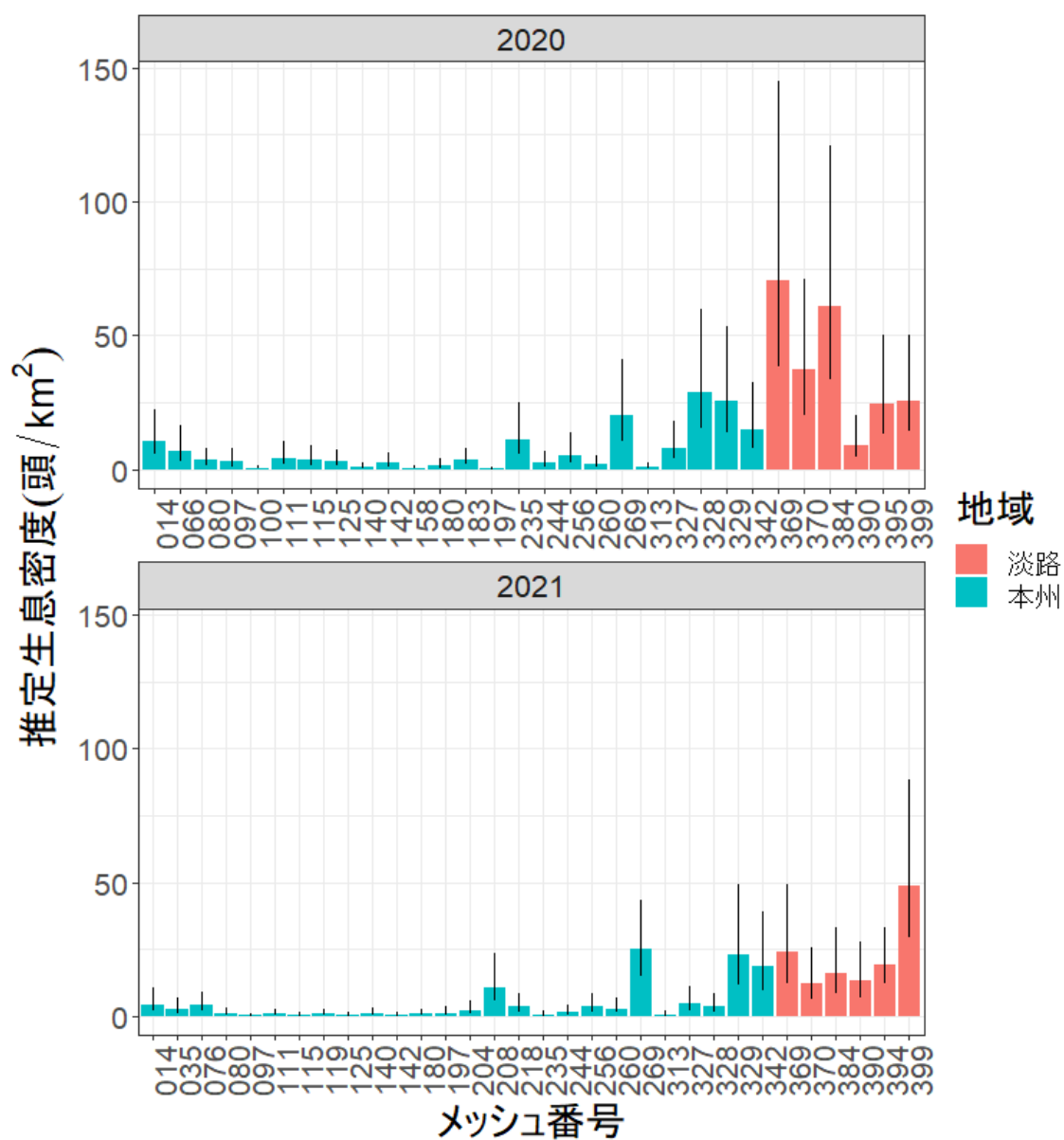


図 2. 自動撮影カメラに基づくイノシシの推定生息密度（上段：2020 年、下段：2021 年）。棒グラフは中央値およびエラーバーは 95%信用区間を表す。

表 1. 捕獲に基づく密度指標 (SPUE、くくりわな CPUE、箱わな CPUE) を目的変数とした一般化線形モデルにおけるモデル選択の結果。選択された各説明変数の標準化係数、標準誤差 (SE) およびモデルの AICc、 Δ AICc を示した。「地域」の係数は淡路島に対する本州部の効果、「調査年」は 2020 年に対する 2021 年の効果を表す。

(a) SPUE

	生息密度の 対数値		地域 [本州]		調査年 [2021]		生息密度：地域 (交互作用)		生息密度：年 (交互作用)		AICc	Δ AICc
	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE		
1	-0.099	0.058	-0.067	0.026			0.118	0.045			275.7	0
2	0.002	0.023			-0.011	0.010			0.055	0.023	276.0	0.30
3	0.055	0.008									276.3	0.58
4	0.055	0.008			0.007	0.007					277.8	2.03
5	-0.089	0.058	-0.062	0.027	0.004	0.007	0.112	0.045			278.1	2.37
6	0.053	0.011	-0.002	0.010							278.7	2.95
7	0.001	0.023	0.000	0.009	-0.011	0.010			0.055	0.023	278.7	3.01
8	-0.087	0.056	-0.045	0.027	-0.008	0.011	0.082	0.045	0.037	0.024	278.9	3.19

(b) くくりわなCPUE

	生息密度の 対数値		地域 [本州]		調査年 [2021]		生息密度：地域 (交互作用)		生息密度：年 (交互作用)		AICc	Δ AICc
	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE		
1	0.056	0.021									214.3	0
2			-0.050	0.021							215.8	1.53
3	0.041	0.028	-0.022	0.028							216.1	1.86
4	0.057	0.022			0.006	0.021					216.6	2.36
5	0.269	0.195	0.084	0.094			-0.174	0.147			217.3	3.02
6			-0.051	0.021	-0.007	0.021					218.1	3.85

(c) 箱わなCPUE

	生息密度の 対数値		地域 [本州]		調査年 [2021]		生息密度：地域 (交互作用)		生息密度：年 (交互作用)		AICc	Δ AICc
	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE		
1	0.013	0.005	-0.012	0.005							283.9	0
2	0.010	0.030	-0.013	0.014			0.002	0.023			286.5	2.56
3	0.013	0.005	-0.012	0.005	0.000	0.004					286.5	2.57
4			-0.020	0.004							286.7	2.84
5	0.022	0.004									287.1	3.20

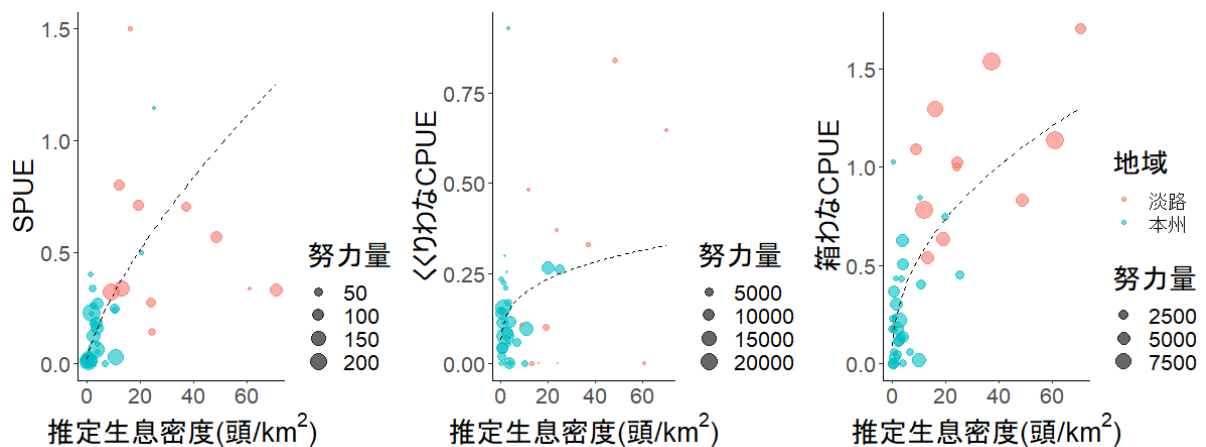


図 3. 推定生息密度と捕獲に基づく密度指標の関係性。出猟努力量（SPUE については出猟人日・CPUE については罟日）に応じてプロットのサイズを変えている。回帰曲線は説明変数に生息密度の対数値のみを用いた一般化線形モデルによるもの。

農業被害程度と捕獲に基づく密度指標の関係

各指標および周囲の森林率で農業被害程度を説明するモデルはいずれも、捕獲に基づく密度指標が高くなるほど被害程度も深刻化する関係性が見られた（表 2）。説明変数に SPUE、くくりわな CPUE、箱わな CPUE のそれぞれを含むモデル間での AIC の比較の結果、くくりわな CPUE を用いたモデルが他の指標に比べて AIC が低く、予測力が高いと評価された（くくりわな CPUE : AIC = 8493.9、箱わな CPUE : AIC = 8495.7、SPUE : AIC = 8497.5）。くくりわな CPUE と集落周辺の森林率が農業被害程度に与える影響をみると、森林率が極めて低い（10%以下）場合は CPUE によらず被害程度が小さい傾向が見られ、森林率が 10%より大きい地域では、森林率が高いほど、また CPUE が高いほど、被害も深刻化する傾向が見られた（図 4）。ただし、CPUE が低い（0.1 以下）場合でも 30%程度の割合で被害が大きい・深刻であると回答する集落が見られることや、CPUE が高い（0.8 以上）場合でも 50%程度の割合で被害が軽微・ほとんどないと回答する集落が見られたことから、集落間の被害程度の差を生み出す要因として CPUE で説明できる割合は小さかった。

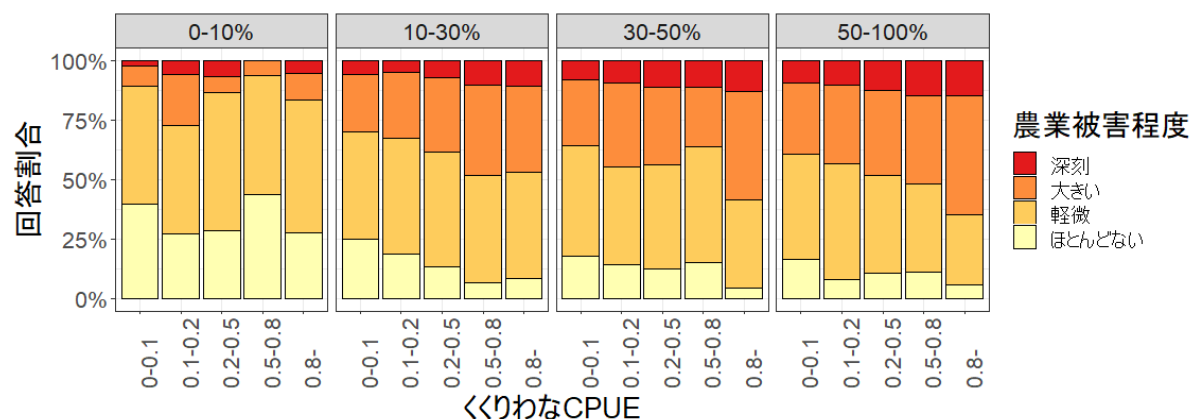


図 4. イノシシによる農業被害程度とくくりわな CPUE の関係性。集落周辺の森林率別（森林率極低 0-10%、森林率低 10-30%、森林率中 30-50%、森林率高 50-100%）に示した。

表 2. 捕獲に基づく密度指標および周囲の森林率により農業被害程度を説明モデルの推定結果。各説明変数の係数、標準誤差（SE）を示す。「ほとんどない|軽微」、「軽微|大きい」、「大きい|深刻」はそれぞれ被害程度の境界となる切片に関わる係数の値を表す。

(a) SPUE

SPUE		森林率		農業被害程度					
				ほとんどない 軽微		軽微 大きい		大きい 深刻	
係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE
0.435	0.087	1.678	0.185	-0.874	0.085	1.251	0.086	3.133	0.102

(b) くくりわなCPUE

CPUE		森林率		農業被害程度					
				ほとんどない 軽微		軽微 大きい		大きい 深刻	
係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE
0.518	0.098	1.647	0.184	-0.885	0.083	1.239	0.084	3.122	0.100

(c) 箱わなCPUE

CPUE		森林率		農業被害程度					
				ほとんどない 軽微		軽微 大きい		大きい 深刻	
係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE	係数	SE
0.292	0.057	1.673	0.184	-0.870	0.085	1.254	0.086	3.135	0.102

4. 考察

生息状況把握における捕獲に基づく密度指標の有効性

自動撮影カメラに基づく推定生息密度との関係性の分析結果から、捕獲に基づく密度指標の収集は生息状況を把握する上で一つの有効な手段であると言える。ただし、いずれの指標においても、生息密度との回帰曲線からのずれが大きい観測値が見られており、密度を指標する精度は高いとはいえないため、SPUE や CPUE の観測値がそのまま生息密度に換算でき

る性質のものではないことには注意を要する。指標の算出に用いた出猟カレンダーは、捕獲場所や努力量の誤記入を含むアンケートベースの報告であることに加えて、シカ・イノシシ共通でデータを収集しているため、地域や狩猟者によって主な対象とする獣種が異なることが考えられる。特に努力量が相対的に少なく、少数の狩猟者による特定の地域での出猟記録から算出された指標値では、誤差が大きくなることが考えられる。

捕獲に基づく密度指標の種類ごとの傾向を見ると、SPUE は生息密度の高い淡路島での値にばらつきが見られるとともに、極めて高密度の地域 ($60\sim$ 頭/ km^2) と低～中程度の密度の地域 ($15\sim 20$ 頭/ km^2) の間でも同程度の SPUE になる場合が見られた。警戒心が強く直接観察しにくいイノシシは、地形や植生の状態によっても発見率が左右されることが想定され、目視での観察に基づく SPUE と生息密度との間に、一定の関係性が検出しにくかった可能性がある。生息密度と SPUE の関係性解析のベストモデルには「生息密度の対数値」と「地域」との交互作用が含まれるモデルが選択された。今回分析したデータにおいて、淡路島における中～高密度地域で SPUE と密度の関係性が明確でなかったことが影響した可能性がある。くくりわな CPUE については、ベストモデルは「生息密度の対数値」のみを説明変数とするものであり、密度との関係性は地域によらず一定であると仮定できた。ただし、淡路島ではくくりわなの努力量が小さいメッシュが多く、地域的な傾向の差については十分に評価できていない可能性がある。また、観測誤差も大きく、今回説明変数に用いた生息密度、地域、年以外の要因によるばらつきも大きいと考えられる。箱わな CPUE については、ベストモデルは「生息密度の対数値」に加え「地域」の違いが選択された。 20 頭/ km^2 程度の生息密度の地点に着目すると、本州部では CPUE が相対的に低く淡路島では CPUE が高い傾向が見られた。箱わなの CPUE は生息密度だけでなく、わなの餌による誘引されやすさからも影響を受ける指標であり、堅果類などの森林内資源の利用可能性や、柵で防御されていない農作物や農業残さなどの森林外資源の利用可能性によっても、CPUE は変化することが想定される。今回の分析では、これらの地域的な傾向について十分な評価ができていないが、環境が大きく異なる地域間での値の比較には注意が必要である。いずれの指標も、密度指標の高いメッシュが多く観測される地域（例えば淡路島）では、密度指標の低いメッシュが多い地域（例えば本州部の中部付近）に比べて、生息密度も高いといった、大まかに相対的な生息状況を把握する上では有効であるが、地域ごとの傾向や観測誤差を含むものであることに留意し、特定の指標のみに依拠して生息状況の判断をする際には注意が必要である。

各指標は捕獲に付随して収集される指標であるため、データが得られる地域にも偏りが見られる。銃猟の禁止区域が多い本州の南部では SPUE のデータが得にくく、本州部の中央付近に位置する山間部ではわな猟による CPUE が得られにくい（図 1 の灰色部：努力量の少ないメッシュ）。自動撮影カメラ調査の結果から、神戸市や小野市含む本州南部では比較的生息密度が高いことが明らかになったことから、これらの地域での生息状況を把握する上では SPUE よりも箱わなやくくりわななどわな猟の CPUE が適当と言えるだろう。

農業被害程度と捕獲に基づく密度指標の関係性

過去の分析結果（高木ほか 2018）と同様に農業被害程度と捕獲に基づく密度指標の間には関係性が見られたが、その関係性は弱いものであった。過去の分析でも指摘しているが、シカの被害程度の分析で示唆されている集落防護柵の設置管理や加害個体捕獲などの被害対策程度の違い（山端ほか 2018）が、イノシシの被害程度にも影響していると考えられる。3種類の捕獲に基づく密度指標の中では、くくりわな CPUE を用いたモデルが最も被害程度への当てはまりが高かったが、AIC の差は小さく、いずれの指標も同程度に地域的なイノシシの生息状況の差を反映していたと考えられる。

イノシシ管理における捕獲に基づく密度指標の有効性

兵庫県ではイノシシ管理において捕獲に基づく密度指標であるくくりわな CPUE を、生息状況の把握や生息密度の低減の目標設定に採用しており、くくりわな CPUE が 0.2 以上の市町については捕獲重点化市町として設定している（兵庫県 2022）。この方針はくくりわな CPUE が高い市町では、生息密度が高いことを前提としているが、今回行った狩猟メッシュ単位での分析から、これを支持する結果が示された。ただし、生息密度との関係性は強いわけではなく、特定の市町間での CPUE の大小関係、あるいは同一市町における年度間の CPUE の増減傾向が、生息密度の大小や増減傾向と一致しない可能性も想定される。この場合は、くくりわな CPUE 以外の捕獲に基づく密度指標あるいは掘り返しによる痕跡密度指標（東出 2023）と合わせた判断や、特に詳細な生息状況を把握したい場合には自動撮影カメラに基づく生息密度推定と組み合わせることが有効だろう。

農業被害の軽減に対しては、CPUE の低減が達成できたとしても、被害の軽減の効果は大きくないことが示された。兵庫県の管理計画で設定された、くくりわな CPUE が 0.2 を目安とした目標設定は、2020 年度の県平均値に基づいたものであり、あくまでも個体数の増加を抑制するために設定した、個体数管理のための判断基準である。この目標を達成したとしても、大幅な農業被害の軽減が期待できるものではないため、より被害防除に直結する、防護柵の管理体制や、集落での加害個体の捕獲体制の整備状況など、別の基準に基づく対策の推進が必要であると言える。

謝辞

本研究の一部は環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20204G01)および農林水産省委託プロジェクト研究「20319390 安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンスのうち課題解決型プロジェクト研究（CSF の新たな総合的防除技術の開発）」の助成を受け実施した。

引用文献

- Brooks SP, Gelman A (1998) General methods for monitoring convergence of iterative simulations. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 7: 434–455
- 東出 大志 (2023) イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての活動痕跡の有効性. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 28–38
- Higashide D, Kuriyama T, Takagi S, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Kasada M, Yokoyama M (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar. *Wildlife Biology*, 2021: wlb.00869
- 兵庫県 (2022) 第3期イノシシ管理計画. 兵庫県, 神戸
- Kasada M, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Yokomizo H, Miyashita T (2022) State–space model combining local camera data and regional administration data reveals population dynamics of wild boar. *Population Ecology*, 65: 80–92
- 栗山 武夫, 山端 直人, 高木 俊 (2018) 兵庫県の野生動物の生息と被害の動向調査の概要. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 1–8
- Nakashima Y, Fukasawa K, Samejima H (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps. *Journal of Applied Ecology*, 55: 735–744
- 高木 俊 (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. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 11: 30–57
- 高木 俊, 栗山 武夫, 山端 直人 (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. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 32–45
- 山端 直人, 栗山 武夫, 高木 俊 (2018) 鳥獣害アンケートから見たシカによる農業被害と対策の関係性. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 46–55
- Yokoyama Y, Nakashima Y, Yajima G, Miyashita T (2020). Simultaneous estimation of seasonal population density, habitat preference and catchability of wild boars based on camera data and harvest records. *Royal Society Open Science*, 7(8), 200579.

第 3 章

イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての

活動痕跡の有効性

東出 大志^{1,2,3}

¹岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター

²岐阜県野生動物管理推進センター

³兵庫県立大学自然・環境科学研究所

要 点

- ・ 野生動物の順応的な管理を進めていく上で、生息数や個体群動態に関する信頼性の高い情報が重要となる。
- ・ イノシシは他の有蹄類とは異なる生態的な特徴を有しており、これまで一般的に利用されてきた手法では、生息密度指標を得ることが困難な動物であった。
- ・ 一方で、イノシシは特徴的な活動痕跡を有しており、これが新たな生息密度指標として利用できる可能性がある。
- ・ REST モデルによる推定生息密度と、3つの活動痕跡（掘り返し跡、擦り跡、糞塊）密度の比較から、掘り返し跡がイノシシの有効な生息密度指標として利用できる可能性が見えてきた。
- ・ しかし、天候や季節の影響、労力的負担、調査者による判定のばらつきなど、効果的な運用に際しては注意点と課題もある。

Keywords: 自動撮影カメラ、掘り返し、REST モデル

Ecological characteristics and the effectiveness of activity signs as relative abundance indices in wild boar

Daishi Higashide^{1,2,3}

¹ Research Center for Wildlife Management, Gifu University

² Gifu Wildlife Management Promotion Center

³ Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: Reliable estimates of population abundance and trends are important for adaptive wildlife management. However, ecological characteristics of wild boars differ from those of other ungulates, making it difficult to estimate relative abundance indices using conventional methods. Wild boars have specific signs of activity, and these could be used as

受付日：2023 年 1 月 5 日、受理日：2023 年 1 月 18 日

*責任著者：東出 大志 ✉ dhigashide@gmail.com

〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学応用生物科学部附属野生動物管理学研究センター

new abundance indices. In a recent study, a comparison of densities estimated by the REST model and three activity signs revealed that digging marks may be an effective abundance index for wild boar. Nevertheless, various issues need to be addressed to improve the practical application of this index for population assessments, including issues related to the effects of weather and season, labor, and variation in judgements by surveyors.

Keywords: infrared-triggered camera, digging, rooting, REST model

1. はじめに

イノシシ (*Sus scrofa*) はユーラシア大陸原産の有蹄類であるが、現在では人為的な導入によって、南極大陸を除くすべての大陸と多くの島嶼に生息しており、世界的に最も広く分布する陸生哺乳類の1種である (Barrios-Garcia and Ballari 2012)。また、イノシシの生息数は過去数十年間で世界的に増加傾向にあると言われている (例えばヨーロッパ: Massei et al. 2015, アメリカ: Snow et al. 2017)。このようなイノシシの分布拡大や生息数増加は、生態系や経済に様々な影響を与える可能性があり (Barrios-Garcia and Ballari 2012)、農作物被害 (Schley et al. 2008) や感染症の拡大 (Gortázar et al. 2007)、植物や動物群集の改変 (Massei and Genov 2004) などの影響が報告されている。

日本においても、1978年から2018年の40年間で、イノシシの分布域は約1.9倍に拡大、生息数も急速に増加したと考えられている (環境省 2021)。農林水産省 (2021) によれば、2020年度の野生動物による農作物被害額は、全国で161億円となっており、そのうち46億円はイノシシによるものである。さらに2018年9月、日本では26年ぶりに岐阜県においてCSF (豚熱) が発生し、全国的に被害が拡大している。CSFは豚とイノシシに感染する強い伝染力を特徴とした伝染病であり、いくつかの病態が知られているが、急性型では高い致死率を示すことが知られている (青木 2019)。2022年11月21日時点では、18都府県の159農場において感染が確認され、これまでに35万頭以上の豚が殺処分される事態となっている (農林水産省 2022)。イノシシにおいても、2022年12月14日時点で32都府県での感染が確認されており (農林水産省 2022)、CSF感染拡大におけるイノシシの関与が示唆されている (Hayama et al. 2020)。

このようなイノシシによる被害の増加に対し、順応的な個体数管理を進めていくためには、生息数や個体群動態に関する信頼性の高い情報が重要となる (Nichols and Williams 2006)。しかし、一般的に野生動物の絶対的な生息密度の推定には多くのコスト (労力や費用) をともなうため、広域 (例えば都道府県全域など) を対象としたモニタリングの実施は極めて困難である。このような場合、比較的低コストで収集可能な生息密度指標が利用されることが多い。生息密度指標は相対的な値であり、直接的に生息密度を把握することはできないが、局所的な生息密度推定調査との組み合わせや (Kasada et al. 2022)、密度指標と捕獲数の時系列変化の関係性から (飯島 2016)、広域の生息密度を推定することが可能となる。ただし、ここで重要なのは「生息密度指標が対象とする動物の密度と関連している」ということであ

る。さらに、イノシシにおいては、その生態的な特徴から、他の有蹄類で利用可能な密度指標が適用できないこともある（後述）。そこで本章では、イノシシの生態的特徴と生息密度指標の現状を整理し、新たな密度指標としての活動痕跡の有効性と今後の課題について、Higashide et al. (2021) の成果を基に解説する。

2. イノシシの生態的特徴と生息密度指標の現状

一般的に、森林内で人目を避けて活動する野生動物を発見することは難しく、我々は個体群の断片的な情報しか得ることはできない（すべての個体を発見することは不可能）。ただし、野外における対象種の発見率が一定であると仮定できれば、単位時間・距離あたりの対象種の目撃回数（SPUE: sighting per unit effort）を算出し、相対的な生息密度指標とすることができる。そのため、SPUE は様々な野生動物において利用されているが、これが必ずしも密度指標として適切とは限らない場合もある。ニホンジカ（*Cervus nippon*, 以下シカ）においては、SPUE が生息密度を反映した指標であることが示唆されているが（濱崎ほか 2007）、果たしてイノシシでも同じように有効な指標となりえるだろうか。イノシシと比較して、シカは体高が高く、体色が明るい。加えて、シカは人と遭遇した際、白い尻毛を逆立て、警戒音を発しながら逃げるが多いため、その存在に気付きやすい（図 1a）。また、ニホンカモシカ（*Capricornis crispus*）であれば、警戒心があまり強くないため、人と遭遇しても一定距離を取って、こちらを観察していることが多い（図 1b）。一方でイノシシは、体高が低く、色も地味で、警戒心が強く、音を発することも少ないため、その姿を直接観察することは難しい。SPUE を含め、イノシシにおける狩猟・捕獲情報の密度指標としての妥当性については本誌第 2 章において詳しく検討されている（高木ほか 2023）。

シカにおいては、スポットライトカウントもよく知られた調査手法である（羽山ほか 2016）。夜間に強い光を照射することで目が光るため、日中に個体を探すよりも容易に発見が可能となる。目が光るのは、網膜の下あるタペタム（輝板）と呼ばれる層が反射板のような役割を果たすことによるものであるが、イノシシではこれが欠如していることが知られている

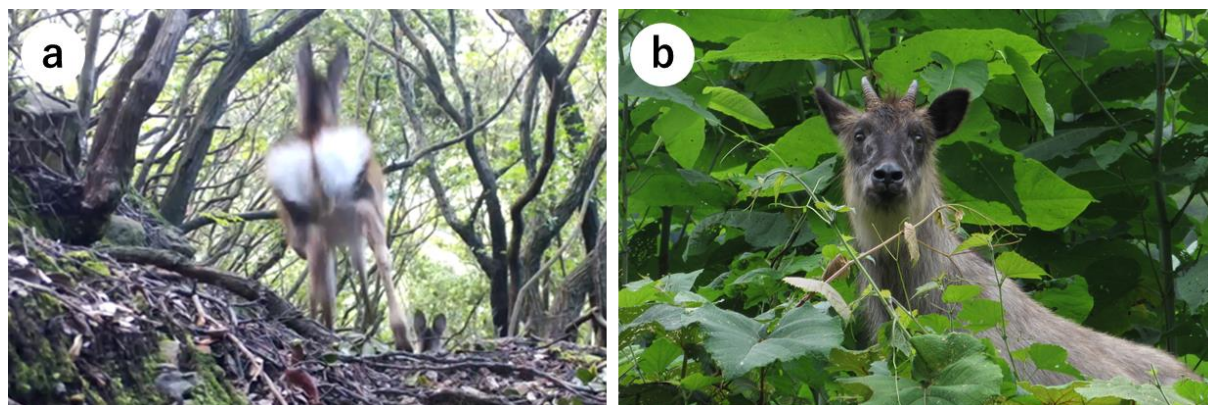


図 1. a) 尻毛を逆立て逃げるニホンジカと、b) 藪の中から首を伸ばして様子を伺うニホンカモシカ

(Walls 1942)。そのため、スポットライトカウントをイノシシに適用することも困難である。Focardi et al. (2001) は複数の動物種に対して、サーモグラフィによる検出の有効性を検討しており、イノシシではスポットライトカウントと比較して、発見数が約 12 倍となったことを報告している。その一方で、下層植生が密生した地域ではこの手法も有効ではなかったとする報告もある (Enetwild Consortium et al. 2018)。

有蹄類における一般的な生息密度指標としては、糞粒法や糞塊法も知られている (Neff 1968)。これは、一定範囲または距離あたりの糞の数を密度指標として利用する手法であり、排糞率 (1 日に何回、糞を排泄するか) や糞の消失率 (排泄された糞はどのくらいの期間野外で残存するか) を考慮することで密度推定にも利用される (Marques et al. 2001)。海外では、イノシシにおいても生息密度指標として、糞粒法 (Hone and Martin 1998) や糞塊法 (Plhal et al. 2014, Ferretti et al. 2016) が適用されている。ただし、イノシシは他の有蹄類よりも排糞率が低いと考えられており (Briedermann 2009)、調査地域内で低密度のアカシカと比較して、イノシシの糞は 1/3–1/4 程度しか発見されなかったとする報告もある (Ebert et al. 2012)。日本においても糞塊数をイノシシの密度指標として利用した事例があるが (上田ほか 2008)、イノシシの生息密度が高い地域であっても、ほとんど糞が発見されないことも多く、密度指標としての妥当性についても検討はなされていない。

以上のように、イノシシはその生態的な特徴から、これまで有蹄類において用いられてきた生息密度指標を必ずしも適用できないため、新たな密度指標の探索を含め、生息密度と関連する指標の検討が求められている。

3. 活動痕跡の密度指標としての有効性

他の有蹄類と比較して、イノシシには密度指標を得にくい生態的な特徴があると述べたが、一方で、その生息を判断できる特徴的な活動痕跡を持つことが知られている。例えば、泥浴びに利用するヌタ場や (図 2a)、繁殖期に作られる出産巣の跡 (図 2b)、探餌行動によって形

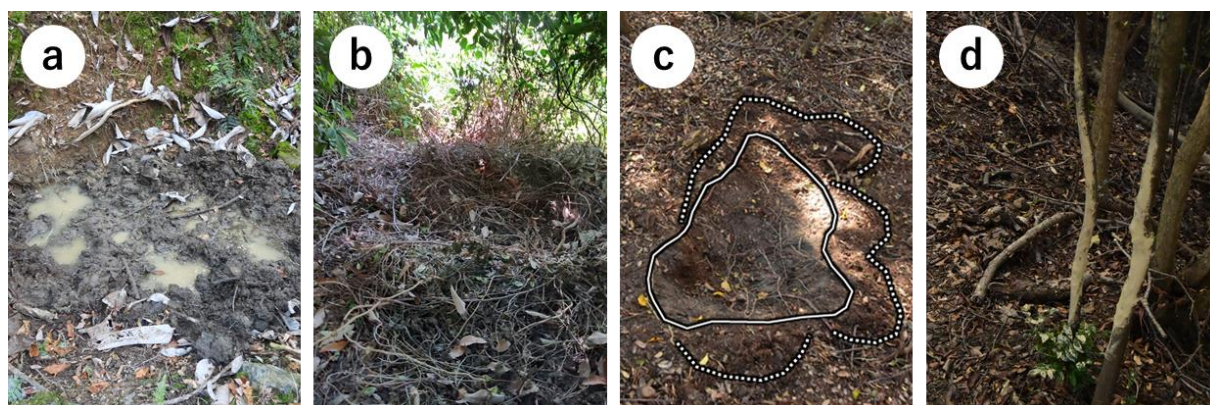


図 2. a) ヌタ場、b) 崩れたイノシシ出産巣、c) 掘り返し跡、d) 泥が付着した擦り跡
掘り返し跡は写真から確認することが難しいが、白実線内が掘り返された窪みで、白破線部が窪みの周囲に盛られた土を示している

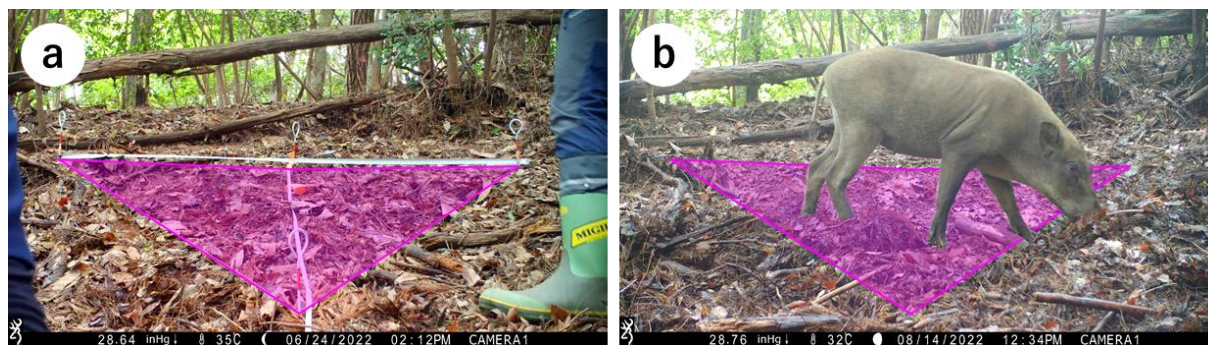


図 3. a) 自動撮影カメラ設置時の撮影範囲明示画像、b) 範囲内で撮影されたイノシシ

成される掘り返し（図 2c）、樹木などに体を擦りつけた跡（図 2d）などである。そこで、Higashide et al. (2021)では、野外で観察する機会の比較的多い「掘り返し跡」と「擦り跡」、さらに海外では密度指標として利用されることの多い「糞塊」、これら 3 つの活動痕跡に着目し、自動撮影カメラのデータに基づく個体識別を伴わない生息密度推定手法である、REST モデル（random encounter and staying time model, Nakashima et al. 2018）による推定生息密度との比較から、密度指標としての有効性を検討した。ここではその概要について解説する。

調査方法

調査は兵庫県の 6 地域と千葉県 の 8 地域において、2017 年の 10 月から 12 月に、痕跡調査とカメラトラップ調査を実施した。痕跡調査は各地域において、期間内に 1 回、尾根筋に沿った 5km 以上のルートを踏査し、ルートの左右 1m 以内にある痕跡（掘り返し跡、擦り跡、糞塊）の個数を約 100m の区間ごとに記録した。カメラトラップ調査は、兵庫県の各地域にそれぞれ 30 台、千葉県の各地域にそれぞれ 20 台の自動撮影カメラを約 1 か月間設置して行った。なお、REST モデルは動物の分布に対してカメラの分布がランダムであることを前提としているため（Nakashima et al. 2018）、カメラの設置点については、踏査ルートから左右 20m のエリアを設定し、事前にそのエリア内から GIS 上でランダムに選定した。また、カメラの設置に際しては、REST モデルを適用する上で重要となる正三角形の有効撮影範囲を明示化するため、正三角形の各頂点にピンポール等を配置し、その範囲が画角に収まるように角度を調整しながら、自動撮影カメラを木の幹に固定した。その後、設置時の映像を自動撮影カメラで記録し（図 3a）、目印として配置したピンポール等は動物への影響に配慮して撤去した。

データ整理と解析

自動撮影カメラで撮影された映像はカメラ設置点ごとに整理し、設置時に撮影した目印を基にモニタ上で有効撮影範囲を図示することで、イノシシの範囲内での検出回数と、範囲内における滞在時間を計測した（図 3）。自動撮影カメラによって得られたデータを基に、REST モデルを用いて、各地域のイノシシの生息密度を推定した。モデルにおいて、生息密度 D と

自動撮影カメラから得られたデータの関係は、以下の式で記述される (Nakashima et al. 2018)。

$$D = E(Y) \times E(T) / (s \times H \times a)$$

このとき、 s は正三角形の有効撮影範囲の面積、 H は調査期間 (カメラの有効稼働日数)、 a はイノシシが 1 日に活動する時間の割合、 $E(Y)$ はイノシシの範囲内での検出回数の期待値、 $E(T)$ は 1 回の検出あたりの滞在時間の期待値を示す。また、 a は休息中の個体が自動撮影カメラで極めて検出され難いことを補正するためのパラメータであり、その推定には R のパッケージ `activity` (Rowcliffe et al. 2014) を用いた。生息密度推定に際しては、地域 i で観測された j 回の滞在時間 t_{ij} をガンマ分布に従う非負の連続確率変数、地域 i のカメラ k における範囲内への進入回数 y_{ik} をゼロ過剰負の二項分布に従う非負の離散確率変数とみなし、それぞれの確率分布のパラメータ、および各地域の生息密度 D_i の事後分布を、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を用いたシミュレーションによって推定した。なお、これらの確率分布のパラメータおよび生息密度の事前分布として、形状パラメータ (0.001)、尺度パラメータ (0.001) のガンマ分布を用いた。

イノシシの活動痕跡については、地域 i の踏査ルートの区間 m で観測された、それぞれの活動痕跡 (掘り返し跡、擦り跡、糞塊) の個数を AS_{im} とし、地域 i の生息密度 D_i との関係階層的な枠組みで次式のようにモデル化した。

$$\log(\mu_{im}) = \alpha + \beta \times \log(D_i) + \log(TL_{im})$$

$$p_{im} = r / (r + \mu_{im})$$

$$AS_{im} \sim \text{NegativeBinomial}(p_{im}, r)$$

ここで、 p_{im} は負の二項分布の確率パラメータ、 r は形状パラメータである。 TL_{im} は地域 i の踏査ルート、区間 m の距離であり、オフセット項 (つまり観測努力量) として用いた。なお、 D_i は REST モデルと関連する潜在変数として扱った。係数である α と β の事前分布は -100 から 100 の一様分布、 r の事前分布は 0 から 100 の一様分布とし、MCMC 法により推定した。MCMC の計算には JAGS (ver 4.3.0) を用い、R (ver 3.3.2) のパッケージ `runjags` (Denwood 2016) から実行した。MCMC は 3 つの並列鎖でそれぞれ 40,000 回の計算を実行し、最初の 20,000 回をバーンイン期間として切り捨てた後、20 回おきに 1000 サンプルを抽出し、事後分布の推定を行った。事後分布の収束判定は PSRF (Gelman and Rubin 1992) によって行い、十分に収束していることを確認した。

結果と考察

検討に用いたイノシシの 3 つの活動痕跡のうち、REST モデルによる推定生息密度と相関が認められたのは、掘り返し跡のみであった (図 4a)。なお、Higashide et al. (2021) では自動撮影カメラのデータから別の個体数指標も算出し、活動痕跡と比較しているが、こちらも相関が認められたのは掘り返し跡だけであった。したがって掘り返し跡は、有効なイノシシの密度指標となりえると考えられる。ただし、そのばらつきには留意する必要がある。例えば推定生息密度の中央値が 11.4 および 11.6 頭/km² と同程度の 2 地域であっても、掘り返し

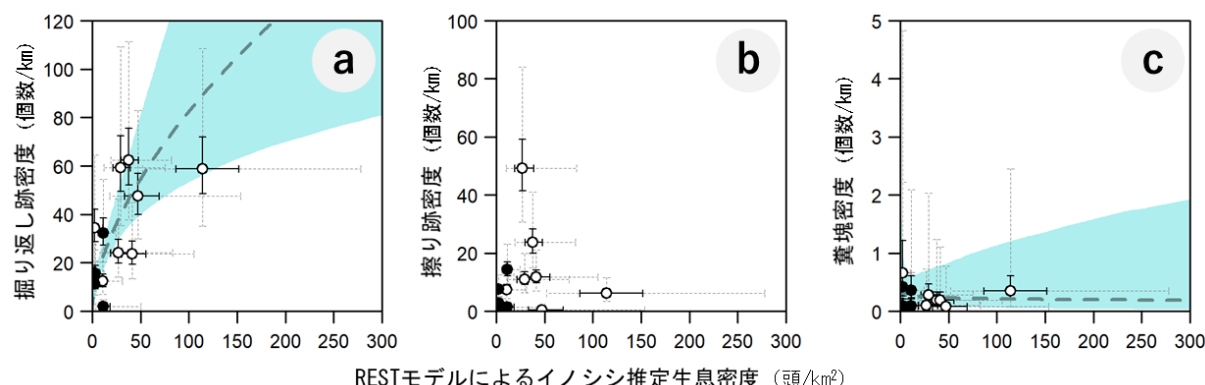


図 4. REST モデルによるイノシシ推定生息密度と a) 掘り返し密度、b) 擦り跡密度、c) 糞塊密度の関係。図中の黒丸 (●) は兵庫県、白丸 (○) は千葉県の各調査地域を示す (黒線:50%、灰色破線:95%信用区間)。階層モデルによる予測式の中央値を濃い青の破線、95%信用区間を薄い青色のエリアで示した。

跡密度の中央値は 32.7 と 1.2 個/km と大きく異なった (図 4a)。イノシシの掘り返し跡の形成は年、季節、生息地の環境、土壌の種類、地上および地中の食料資源の利用可能性など、様々な要因に影響を受けることが知られている (Welandar 2000)。つまり、掘り返し跡の数は、イノシシの生息密度以外の要因によっても大きく変動する可能性がある。なお、REST モデルによる推定生息密度が真の値である保証はないが、シミュレーション (Nakashima et al. 2018; Santini et al. 2022) や実証実験 (Garland et al. 2020) においては、比較的不偏な推定値が得られることが報告されている。以上を考慮すると、イノシシの生息密度が 2 桁 (10 頭/km²) 以上のオーダーで異なるような場合には、掘り返し跡によってその変動を捉えることができるが、密度の変動がより小さい場合には困難であるかもしれない。

擦り跡と糞塊も、イノシシの密度に伴って変動しそうな痕跡だが、どちらも推定生息密度との相関は認められず (図 4b,c)、密度指標としては有効でないと考えられた。本調査で確認された擦り跡の多くは、木の幹に付着した泥によるものであった。おそらく一旦付着した泥は長期間 (本研究でカメラトラップ調査を実施した 1-2 ヶ月の期間以上) 残存するため、年間の密度変動が大きいイノシシの、調査時点での生息密度を反映しなかった可能性がある。また、イノシシの体表に付着した泥は、多くの場合ヌタ場に由来すると考えられるため、擦り跡もヌタ場が形成されやすい環境 (例えば、水分が蓄積されやすい地形や土壌) に偏って分布していた可能性もある。加えて、立木密度の違いや、同じ幹の重複利用、泥と幹の色のコントラストによる発見率の違いも影響したかもしれない。糞塊については、いずれの地域においてもほとんど発見することができなかった。例えば、200m²あたりの糞塊数の平均は、チェコで 4.5-16.3 個 (Plhal et al. 2014)、オーストラリアで 18 個 (Hone and Martin 1998) と報告されているが、今回の我々の結果では 0.03 個であり、100 倍以上もの差があった。これほどイノシシの生息密度が異なるとは考えられないため、おそらく調査地の気候や環境、

糞虫相と関連した分解（消失）の早さなどが関係しているものと思われる。



図 5. 地表一面に形成されたイノシシの掘り返し跡

4. 掘り返し密度指標における注意点と今後の課題

掘り返し跡は生息密度指標としてある程度有効であることが分かったが、いくつか注意点もある。まず、掘り返し跡はイノシシの探餌行動によるものであり、季節や年、環境によって、その形成されやすさが異なる可能性がある。加えて、繁殖能力の高いイノシシでは、生息密度が季節によって大きく変動することも考慮しなくてはならない。したがって、年度間の比較を目的とする場合には、毎年同じ時期に調査を実施し、地域間の比較を目的とする場合には、それぞれの地域において様々な環境を含むように踏査ルートを選定する必要がある。さらに、年度間の比較に際しては、痕跡調査だけではなく、基準となる生息密度のデータをいくつかの地域で収集（例えば前述したカメラトラップ調査など）することで、より信頼性の高い結果を得ることに繋がるだろう。なお、イノシシの生息密度が高いと、極めて多くの掘り返し跡が連続して形成され、複数の痕跡が重複してしまう（図 5）。そのため、図 2c のように痕跡の境界を判断して個別にカウントすることが困難となり、労力の負担の増加や調査者による判定の差異に繋がってしまう恐れがある。さらに、このような連続する掘り返しは、ある個体（または群れ）の 1 度の探餌行動によって形成される可能性もある。このような場合には、それぞれを独立した痕跡として扱うことは避けたほうが賢明である。そこで現在、これらの課題を解消するために、よりシンプルで簡便な調査手法の確立へ向けた検討が進められている（杉本ら 未発表）。

謝辞

本研究は、環境研究総合研究費（JPMEERF20174004, JPMEERF20204G01）の支援を受けて実施した研究成果の一部である。また、上記研究プロジェクトの共同研究者の皆様には、日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 青木 博史 (2019) 日本における豚コレラ: 過去と現在. 獣医疫学雑誌, 23: 91–93
- Barrios-Garcia MN, Ballari SA (2012) Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: a review. Biological Invasions, 14: 2283–2300
- Briedermann L (2009) Schwarzwild: Neuausgabe bearbeitet von Burkhard Stöcker, Kosmos, Stuttgart
- Denwood MJ (2016) runjags: An R package providing interface utilities, model templates, parallel computing methods and additional distributions for MCMC models in JAGS. Journal of statistical software, 71: 1–25
- Ebert C, Knauer F, Spielberger B, Thiele B, Hohmann U (2012) Estimating wild boar *Sus scrofa* population size using faecal DNA and capture - recapture modelling. Wildlife Biology, 18: 142–152
- Enetwild Consortium, Keuling O, Sange M, Acevedo P, Podgorski T, Smith G, Scandura M, Apollonio M, Ferroglio E, Vicente J (2018) Guidance on estimation of wild boar population abundance and density: methods, challenges, possibilities. EFSA Supporting Publications, 15: 1449E
- Ferretti F, Fattorini L, Sforzi A, Pisani C (2016) The use of faeces counts to estimate relative densities of wild boar in a Mediterranean area. Population Ecology, 58: 329–334
- Focardi S, De Marinis AM, Rizzotto M, Pucci A (2001) Comparative evaluation of thermal infrared imaging and spotlighting to survey wildlife. Wildlife Society Bulletin, 133–139
- Garland L, Neilson E, Avgar T, Bayne E, Boutin S (2020) Random encounter and staying time model testing with human volunteers. The Journal of Wildlife Management, 84: 1179–1184
- Gelman A, Rubin DB (1992) Inference from iterative simulation using multiple sequences. Statistical science, 7: 457–472
- Gortázar C, Ferroglio E, Höfle U, Frölich K, Vicente J (2007) Diseases shared between wildlife and livestock: a European perspective. European Journal of Wildlife Research, 53: 241–256
- 濱崎 伸一郎, 岸本 真弓, 坂田 宏志 (2007) ニホンジカの個体数管理にむけた密度指標 (区画法, 糞塊密度および目撃効率) の評価. 哺乳類科学, 47: 65–71.
- 羽山 伸一, 三浦 慎悟, 梶 光一, 鈴木 正嗣 (2016) 増補版 野生動物管理—理論と技術—. 文英堂出版, 東京
- Hayama Y, Shimizu Y, Murato Y, Sawai K, Yamamoto T (2020) Estimation of infection risk on pig farms in infected wild boar areas—Epidemiological analysis for the

- reemergence of classical swine fever in Japan in 2018. *Preventive veterinary medicine*, 175: 104873
- Higashide D, Kuriyama T, Takagi S, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Kasada M, Yokoyama M (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar. *Wildlife Biology*, 2021: wlb.00869
- Hone J, Martin W (1998) A study of dung decay and plot size for surveying feral pigs using dung counts. *Wildlife Research*, 25: 255–260
- 飯島 勇人 (2016) シカ類の個体群動態の推定における状態空間モデルの有用性. *日本生態学会誌*, 66: 351–359
- 環境省 (2021) 「全国のニホンジカ及びイノシシの個体数推定及び生息分布調査の結果について (令和2年度)」 <https://www.env.go.jp/press/109239.html>, 2022 年 12 月 21 日確認
- Kasada M, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Yokomizo H, Miyashita T (2022) State–space model combining local camera data and regional administration data reveals population dynamics of wild boar. *Population Ecology*, 65: 80–92
- Marques FF, Buckland ST, Goffin D, Dixon CE, Borchers DL, Mayle BA, Peace AJ (2001) Estimating deer abundance from line transect surveys of dung: sika deer in southern Scotland. *Journal of Applied Ecology*, 38: 349–363
- Massei G, Genov PV (2004) The environmental impact of wild boar. *Galemys*, 16: 135–145
- Massei G, Kindberg J, Licoppe A, Gačić D, Šprem N, Kamler J, Baubet E, Hohmann U, Monaco A, Ozoliņš J, Cellina S (2015) Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest management science*, 71: 492–500
- Nakashima Y, Fukasawa K, Samejima H (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps. *Journal of Applied Ecology*, 55: 735–744
- Neff DJ (1968) The pellet-group count technique for big game trend, census, and distribution: a review. *The Journal of Wildlife Management*, 32: 597–614
- Nichols JD, Williams BK (2006) Monitoring for conservation. *Trends in ecology & evolution*, 21: 668–673
- 農林水産省 (2021) 「全国の野生鳥獣による農作物被害状況について (令和2年度)」 <https://www.maff.go.jp/j/press/nousin/tyozyu/211126.html>, 2022 年 12 月 21 日確認
- 農林水産省 (2022) 「国内における豚熱の発生状況について」 <https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/domestic.html>, 2022 年 12 月 21 日確認
- Plhal R, Kamler J, Homolka M, Drimaj J (2014) An assessment of the applicability of dung count to estimate the wild boar population density in a forest environment. *Journal of forest science*, 60: 174–180

- Rowcliffe JM, Kays R, Kranstauber B, Carbone C, Jansen PA (2014) Quantifying levels of animal activity using camera trap data. *Methods in ecology and evolution*, 5: 1170–1179
- Santini G, Abolaffio M, Ossi F, Franzetti B, Cagnacci F, Focardi S (2022) Population assessment without individual identification using camera-traps: A comparison of four methods. *Basic and Applied Ecology*, 61: 68–81
- Schley L, Dufrêne M, Krier A, Frantz AC (2008) Patterns of crop damage by wild boar (*Sus scrofa*) in Luxembourg over a 10-year period. *European Journal of Wildlife Research*, 54: 589–599
- Snow NP, Jarzyna MA, VerCauteren KC (2017) Interpreting and predicting the spread of invasive wild pigs. *Journal of Applied Ecology*, 54: 2022–2032
- 上田 弘則, 高橋 佳孝, 井上 雅央 (2008) 冬期の寒地型牧草地はイノシシ (*Sus scrofa* L.) の餌場となる. *日本草地学会誌*, 54: 244–248
- 高木 俊, 栗山 武夫, 杉本 太郎, 横山 真弓, 東出 大志 (2023) イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性. *兵庫ワイルドライフモノグラフ*, 15: 15–27
- Walls GL (1942) *The vertebrate eye and its adaptive radiation*. Cranbrook Institute of Science, Michigan
- Welandar J (2000) Spatial and temporal dynamics of wild boar *Sus scrofa* rooting in a mosaic landscape. *Journal of Zoology*, 252: 263–271

第 4 章

イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査

杉本 太郎^{1*}・高木 俊^{1,2}・栗山 武夫^{1,2}・鴻村 創¹・横山 真弓^{1,2}

¹兵庫県立大学自然・環境科学研究所

²兵庫県森林動物研究センター

要 点

- ・本研究の調査地である兵庫県小野市の森林環境では、掘返し痕跡は平均して約 3.3 週間で消失していた。
- ・イノシシの掘返し痕跡は、掘返した部分に徐々に落ち葉や枝などが堆積したり、掘返しで盛り上がった部分が徐々に崩れることによって、全体の形状が不明瞭になり、消失に至っていた。
- ・台風などの強風を伴う気象現象があった直後の痕跡調査は、イノシシの生息状況を過小評価するリスクがある。

Keywords: イノシシ、密度指標、掘返し痕跡

Periodic observational survey of digging marks formed by wild boars

Taro Sugimoto^{1*}, Shun Takagi^{1,2}, Takeo Kuriyama^{1,2},

Hajime Komura¹, Mayumi Yokoyama^{1,2}

¹ Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

² Wildlife Management Research Center, Hyogo

Abstract: Digging marks, a typical sign of activity of wild boars resulting from foraging behavior, are an effective relative abundance index for the species. However, the mechanisms by which digging marks disappear and how long they persist in the wild are not clearly established. It is essential to determine these basic characteristics of digging marks in order to properly implement sign surveys for monitoring wild boar populations. Therefore, we conducted a weekly observational survey of digging marks to investigate their disappearance and duration in Hyogo Prefecture, Japan. We found that digging marks gradually disappeared during the accumulation of fallen leaves and twigs in a pit and/or the collapse of a mound. We observed 29 digging marks from 30th May to 9th December 2022, with an average duration of about 3.3 weeks (range, 1–8 weeks). These results suggest that it is unlikely for digging marks to persist well beyond the season,

受付日：2022 年 1 月 18 日、受理日：2022 年 2 月 10 日

* 責任著者：杉本 太郎 ✉ taro.sgmt@gmail.com

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

bolstering the necessity of seasonal sign surveys for wild boar monitoring. We also found a case of new multiple digging marks that disappeared during a typhoon, which disturbed the ground surface and caused leaves and twigs to detach from branches. Thus, to avoid underestimating the relative abundance of wild boars, sign surveys should not be conducted immediately after strong winds.

Keywords: digging, relative abundance index, wild boar

1. はじめに

イノシシの生息密度を反映する指標として、掘返し痕跡が有用であることが知られている (Higashide et al. 2021; 第3章 東出 2023)。掘返しは、イノシシが地中の植物や土壌動物を食べるために行う行動で (井出ほか 2005; 石川 2017)、この掘返しの数と生息密度との間には正の相関関係が報告されている (Higashide et al. 2021; 第3章 東出 2023)。実際の調査では不定形である掘返し痕跡の数を精度良く記録することは難しく、安定したデータ収集が課題であった。そこで痕跡の有無だけを記録する簡便な調査方法の開発が進んでいる (環境省推進費 4G-2001 研究成果報告集

<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001>)。調査者の能力に依存しない簡便な調査方法を用いることで、安定した密度指標データの収集が期待できる。

ニホンジカの密度推定で用いられている糞塊密度調査法 (濱崎ほか 2007; 環境省 2015) では、糞の分解率や排糞率が一定であるという仮定を置いている。一方、イノシシで有効な密度指標とされる掘返し痕跡の消失過程や、生成から消失までの期間などについてはよく分かっていない。掘返し痕跡をイノシシの密度指標として用いるためには、生成及び消失についての理解は不可欠である。掘返し痕跡の消失過程を知ること、痕跡に影響を与える可能性のある要因を把握し、痕跡調査のタイミングや調査間隔の設定など、適切な調査デザインの立案が可能になる。

そこで本研究では、イノシシによる掘返し痕跡を定期的に観察し、消失が進行する過程や、生成から消失までの時間スケールを明らかにすることを目的として調査を行った。

2. 方法

調査地域

本調査は兵庫県小野市 (N34.85197、E135.00018) の標高 150m 前後の段丘斜面に位置する 3 つの小規模な森林において実施した (図 1)。小野市の東隣に位置する三木市の年平均気温は 15.1℃、年降水量は 1220.7mm である (1991-2020 年の平年値、<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>)。森林はアベマキ (*Quercus variabilis*) やコナラ (*Quercus serrata*) が優占し、クリ (*Castanea crenata*) などの落葉広葉樹二次林、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) やスギ (*Cryptomeria japonica*) などの針葉樹人工林で主に

構成されている。基盤岩は第四紀更新世の段丘堆積物であり、土壌型は主に赤黄色土である。

本調査地はイノシシの生息が多く確認されている地域であり、中・大型哺乳類ではイノシシのほか、ニホンジカ、タヌキ、アカギツネ、アナグマ、イタチ科、テン、ニホンノウサギ、アライグマ、ハクビシン、イエネコの生息が自動撮影カメラから確認されている。

掘返し痕跡の密度と撮影頻度との関係

調査地において、掘返し痕跡の密度とイノシシの撮影頻度との関係を明らかにするため、自動撮影カメラと痕跡調査を実施した。2021年9月から2022年7月にかけて、自動撮影カメラ（Bushnell 製 CoreS-4K model 及び HD Aggressor model）を25台設置した（図1）。カメラ前の検知範囲に動物が進入した場合、20秒の動画を記録するように設定した。2か月ごとにSDカードと電池の交換を行った。カメラごとに稼働日数を集計し、動画から目視による判別で撮影された動物を特定した。カメラ前の一度の滞在で、同一の動物が複数の動画に連続して撮影されることがあるため、動物種ごとに30分以上間隔の空いた撮影イベントを独立な撮影と定義し（O'Brien et al. 2003）、100日あたりの独立な撮影枚数を、撮影頻度指数（RAI）として1か月単位で集計した。群れで撮影される場合など、1度の撮影イベントに複数の個体が記録された場合も1つのイベントとして扱った。

掘返し痕跡調査は、2か月毎の自動撮影カメラのデータ収集時に実施した。カメラの設置地点は主に尾根上を通るルート沿いに設定しているため、痕跡調査も主に尾根沿いにおける痕跡の有無を記録した。カメラの設置ルート沿いに設定した100m四方のグリッドの中心付近において、10m×2mの痕跡調査区画を設置し、20個の1m四方区画ごとに痕跡の有無を記録した（図2）。掘返し痕跡は、落葉層の攪乱や植物の地下部の裸出など土壌の侵食状態から判断した。掘返しの新しさについては特に考慮しなかったが、落葉の堆積や風雨による侵食により、イノシシの掘返しかどうか明確な判断が難しいほど風化の進んだものについては、対象としなかった。痕跡は長径50cm以上で深さが5cm以上の場合を「掘返し大」とし、それ未満を「掘返し小」として記録した。掘返し痕跡の密度は、イノシシによって形成された可能性が高い「掘返し大」のデータをもとに、10m×2mの区画内に一つでも掘返し大があった場合の区画の割合として算出した（総グリッド数=44）。

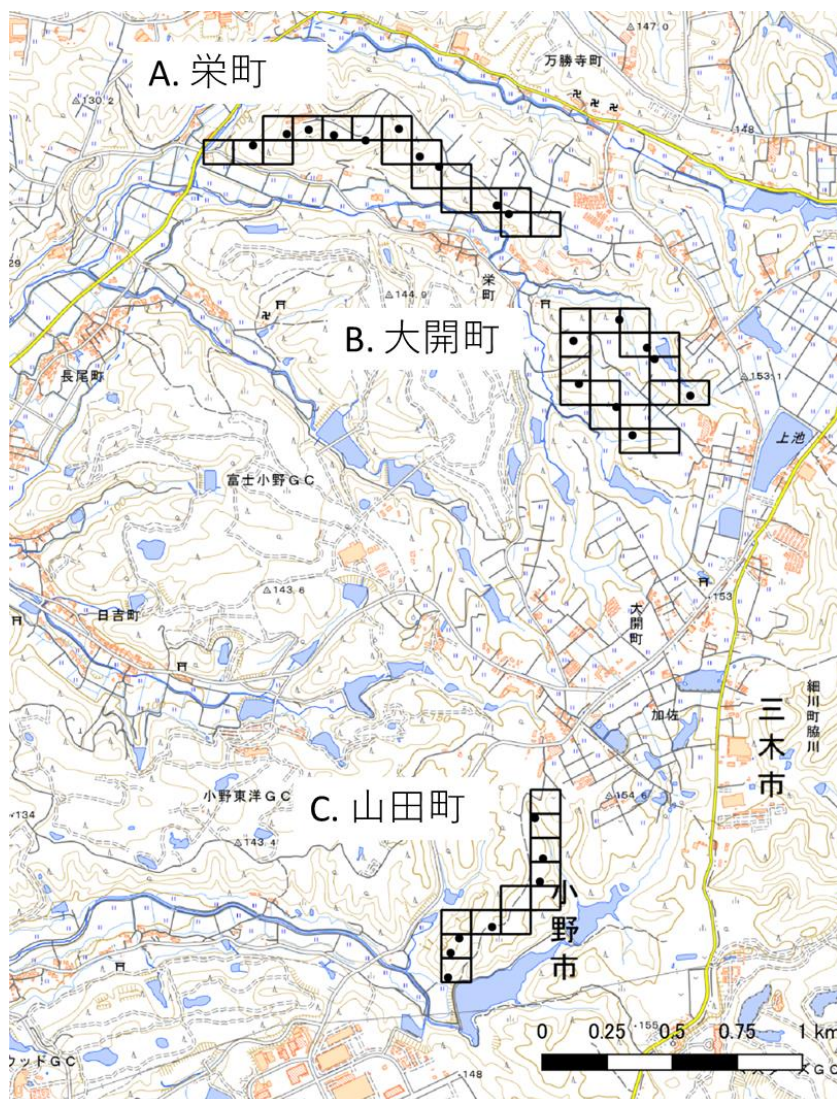


図 1. 本研究の調査対象地域（兵庫県小野市）。黒丸は自動撮影カメラ設置場所を表す。格子は 100m 四方のグリッドで、その中心付近で掘返し痕跡調査区画を設定し実施した。

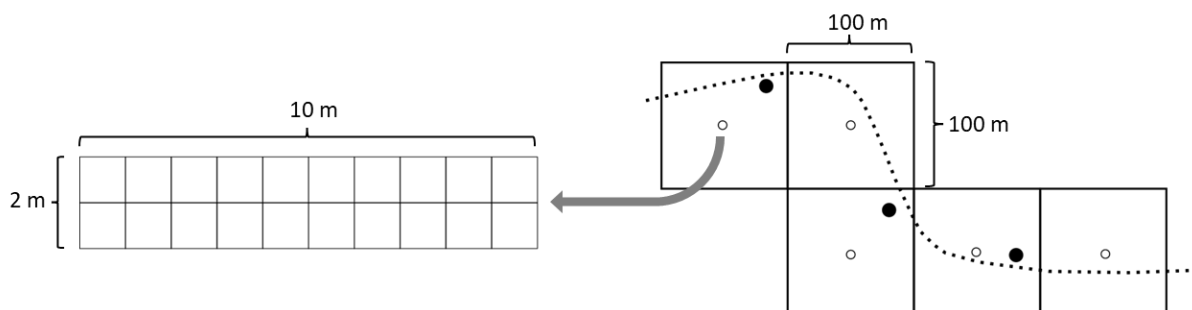


図 2. 100m 四方のグリッドと 10m×2m の痕跡調査区画の模式図。点線は尾根上の調査ルート、黒丸はカメラ設置場所、白丸がグリッドの中心点を表す。グリッドの中心付近に 10m×2m の痕跡調査区画を設置し、20 個の 1m 四方区画ごとに痕跡の有無を記録した。

掘返しの消失追跡調査

2022年5月30日から12月9日までの期間に、調査地域のA.栄町とC.山田町の森林内で調査を行った(図1)。谷沿いや斜面、平地を含むように調査ルートを設定した(A:約150m、C:約400m)(図3)。ルート上の下層植生は低木、幼木、草本がみられるが、繁茂する環境ではなかった。調査ルートを週1回踏査し、目視可能な範囲で新しい痕跡を発見した場合は、その位置を目印テープでマーキングし、野帳に記録した。掘り返しはその長径と深さを計測し、サイズに応じて掘返し大と小に分類した。痕跡の変化を観察し、消失に至るまで毎週定位置から写真で記録した。消失の判断は、落葉の堆積や風雨による地表の侵食により、周囲の地表面との境界が不明瞭になり、調査員が掘返し痕跡と明確に認識できない程度に風化が進んだ場合とした。観察途中の痕跡が再び掘返され改変した場合は追跡調査から除外した。また、2022年9月19日に台風の接近により、調査地全域で落葉や落枝が増加し地表の大幅な攪乱が生じたため、その直後の観察(2022年9月22日)で影響を受けているとみられた痕跡については、通常の消失イベントとは別に扱った。

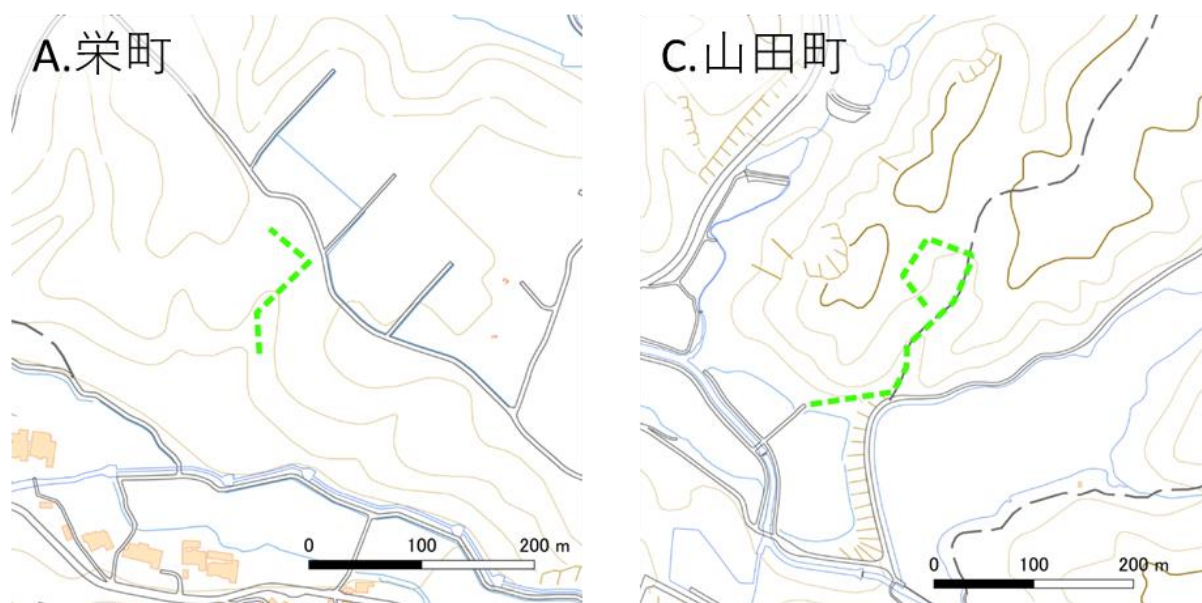


図3. 掘返しの追跡調査地(栄町と山田町)の拡大図。緑色の点線は調査ルートを示す。

3. 結果

2 か月おきの掘返し大の痕跡密度と、その月のカメラの情報から集計したイノシシの RAI を比較したところ、類似した変動パターンを示し(図 4a)、正の相関関係がみられた(図 4b)。

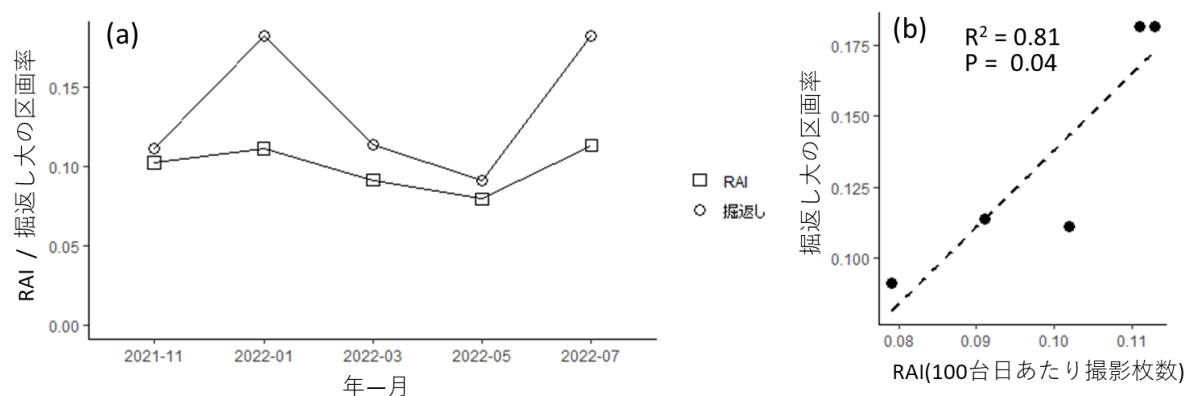


図 4. (a) 2021 年 11 月から 2022 年 7 月までの RAI および掘返し痕跡が観察された区画率の変動、(b) RAI と掘返し痕跡が観察された区画率との関係

掘返し痕跡の生成から消失までの過程を観察したところ、掘返した部分に徐々に落ち葉や枝などが堆積したり、掘返しで盛り上がった部分が徐々に崩れることによって、全体の形状が不明瞭になり、痕跡が消失していた(図 5)。

調査期間中に生成から消失まで追跡できた痕跡は、合計 29 個であった(掘返し小=17 個、掘返し大=12 個)(表 1)。生成時の掘返し痕跡の平均サイズは、掘返し小で長径 22cm・深さ 10cm、掘返し大で長径 76cm・深さ 15cm で、消失までの時間は、掘返し小で平均 2.9 週間(最小 1 週間、最大 6 週間)、掘返し大で平均 3.9 週間(最小 1 週間、最大 8 週間)であった(表 2)。大小を区別しない全掘返し痕跡の平均サイズは、長径 47cm・深さ 12cm で、消失までの時間は平均 3.3 週間であった(表 2)。

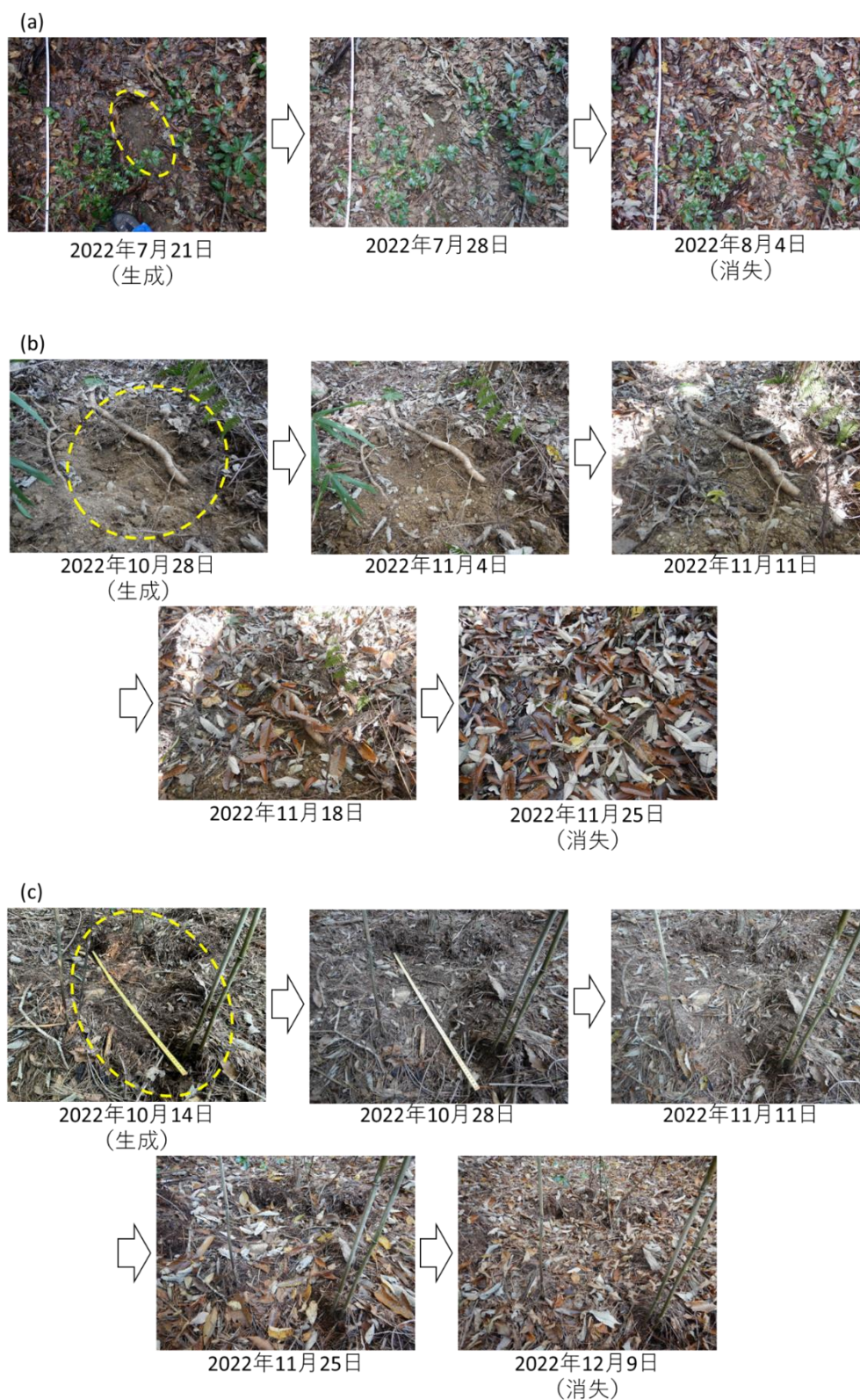


図 5. 掘返し痕跡の生成から消失までの変化の様子。(a) 掘返し大 (長径 54 cm・深さ 10 cm) が約 2 週間で消失した例、(b) 掘返し大 (長径 75 cm・深さ 20 cm) が約 4 週間で消失した例、(c) 掘返し大 (長径 87 cm・深さ 19 cm) が約 8 週間で消失した例

表 1. 掘返し痕跡の追跡調査結果。白丸は生成、ダッシュは存続、バツは消失を表す。アスタリスクは、2022 年 9 月 19 日の台風の影響を受けた痕跡を示す。

痕跡ID	痕跡 小／大	長さ／ 深さ	調査日																消失までの存続 週数								
			6/7	6/15	6/22	6/30	7/7	7/13	7/21	7/28	8/4	8/18	8/24	9/1	9/8	9/15	9/22	9/29		10/14	10/28	11/4	11/11	11/18	11/25	12/2	12/9
1	小	15／10	○	—	×	—																					2
2	小	32／10	○	—	—		×																				4
3	小	13／8	○	×																							1
4	小	15／8	○	×																							1
5	小	32／7	○	×																							3
6	小	18／6					○	—	—		×																1
7	小	25／8										×															3
8	小	9／8										×															1
9	小	25／6										×															2
10	小	16／8											×														1
11*	小	30／7															×	×									
12*	小	40／14																×									6
13*	小	56／3																×									3
14*	小	26／7																×									6
15*	小	32／8																×									4
16*	小	29／7																×									6
17	小	30／30																	×								3
18	小	25／12																	×								6
19	小	28／8																	×								6
20	小	26／13																		×							4
21	小	未計測																		×							3
22	小	未計測																			×						3
23	小	未計測																				×					3
24	大	54／10																					×				2
25*	大	50／12																									
26*	大	90／10																									
27*	大	75／10																									
28*	大	54／9																									
29*	大	50／11																									
30	大	72／18																									6
31	大	87／19																									8
32	大	54／12																									3
33	大	52／15																									5
34	大	57／14																									4
35	大	95／14																									4
36	大	75／20																									4
37	大	130／10																									4
38	大	97／18																									3
39	大	63／17																									2
40	大	81／15																									2

表 2. 痕跡の平均存続週数と生成時の平均サイズ

痕跡の種類	平均存続週数±SD	平均サイズ（長径／深さ）±SD	
掘返し小（n=17）	2.9 週±1.8	22cm±7.6	／ 10cm±6.1
掘返し大（n=12）	3.9 週±1.8	76cm±23.3	／ 15cm±3.4
全掘返し（n=29）	3.3 週±1.8	47cm±32.1	／ 12cm±5.5

生成時のサイズと消失までの存続期間を比較したところ、掘返し小において長径と深さの両方で正の相関関係がみられた（図 6a）。一方で、掘返し大では相関関係は見られなかった（図 6b）。

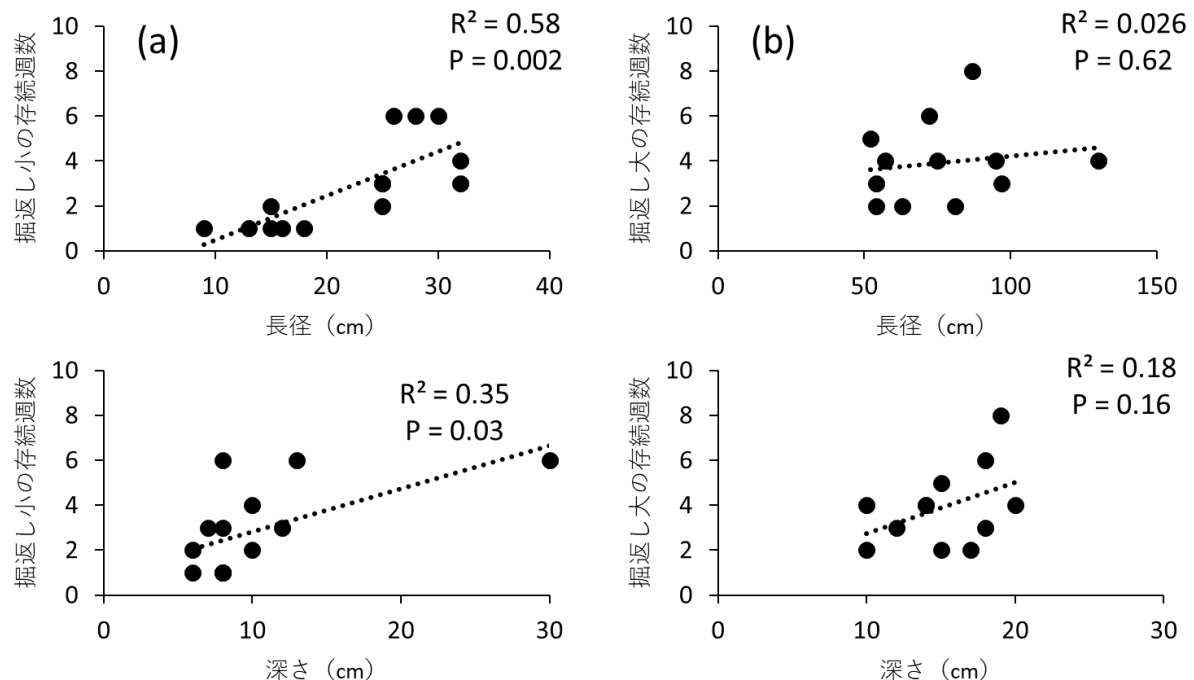


図 6. (a) 生成時のサイズ（長径・深さ）と掘返し小の消失までの存続期間との関係、(b) 生成時のサイズと掘返し大の消失までの存続期間との関係

痕跡の追跡調査では、台風による負の影響がみられた。9月19日に大型の台風14号が兵庫県に接近したが、この台風の暴風雨より、9月15日に確認した新しい痕跡11個（掘返し小=5個、掘返し大=6個）のうち、掘返し大の1個を除く10個が9月22日には消失していた（表1、図7）。



図 7. 9 月 19 日の台風の影響を受け、新しい掘返し大（長径 54 cm・深さ 9 cm）が消失した例。

3. 考察

本研究を実施した兵庫県小野市の森林において、掘返し大の痕跡の密度と RAI との間には正の関係が見られ、また掘返し痕跡と RAI は類似した変動を示していた。RAI はカメラ前でのイノシシの生息密度が高く活動が活発であるほど高くなると考えられるため、森林内におけるイノシシの季節的な生息状況を反映する指標として、RAI と同様に掘返し痕跡が有用であることが示唆された。

掘返し痕跡の消失は、落葉や枝の堆積によって引き起こされていた。掘返し小ではサイズと消失時間との間に正の相関関係が見られており、小さい痕跡ではわずかな落葉や枝の侵入によって消失が起りやすいからではないかと考えられる。掘返し大では、わずかな経時的变化では消失しにくいため、周囲の環境がより強く作用している可能性がある。本研究では各痕跡の周囲の環境データを収集していないため、消失のスピードに関わる要因を分析することはできないが、周囲の樹種、落ち葉の量、地形などは主要な要因として考えられる。例えば森林を構成する樹種の落葉が多く供給される季節においては、痕跡の消失のスピードはより速いと考えられる。11 月 25 日の調査では、前の週に比べて落葉の量が大幅に増えており、この影響で複数の痕跡の消失が同時に起きていた（表 1）。また平地より、くぼ地や谷地形のほうが、周囲から落葉や落枝が供給されやすいため、消失のスピードは速い可能性がある。現地の観察では、落ち葉の堆積量は、僅か 10m 移動するだけで全く異なる場所も多く、狭いスケールでの環境の影響を受けていると考えられる。一方、本調査地と異なり、ヒノキの人工林では、落葉がすぐ分解して地表に堆積しないため、痕跡が長く残ることも考えられる。またニホンジカの食害で下層植生が消失しているような場合、落葉層の流出や土壌の流亡により、痕跡の消失の動態が異なる可能性がある。

掘返し痕跡の消失時間は、全ての掘返し痕跡の平均が約 3.3 週間となり、生成から消失まで 1 か月以内という結果であった。掘返し大と小の比較では、掘返し大が約 1 週間長いとい

う結果であった。大きな差が生まれなかった要因は、掘返し小の中でも大きめの痕跡は消失まで時間がかかったことが要因として考えられる。掘返し小を長径 20cm 未満とした場合は、平均約 1.2 週間 (n=6) で消失しており、掘返し大との差はより顕著になった。小規模な掘返しはサイズにより消失スピードが異なることに加えて、アナグマなど他の動物による掘返しを誤判別する可能性があるため、イノシシによる掘返しを明確に判断可能な掘返し大を用いるほうが有用であると考えられる。

本研究の調査から、イノシシの掘返しは約 1 か月以内に消失に至ることが分かり、最大でも約 8 週間であったことから、季節を超えて痕跡が残ることは考えにくい。したがって季節ごとに痕跡のデータをまとめて経時的变化を調べるといった調査デザインは有効である。一方で調査のタイミングに関しては、台風などの強風を伴う気象現象があった場合、地域一帯の痕跡が消失する可能性が示唆され、注意が必要である。大きい掘返しであっても 1 週間で消失しており、台風直後の痕跡調査はイノシシの生息状況を過小評価するリスクがある。1 週間から 3 週間ほど時間を空けて調査を実施することが必要である。

本研究ではサンプル数が少ないため季節ごとの痕跡の消失についてはまとめていないが、秋の落葉シーズンはそれ以外の時期に比べて消失のスピードは速いと考えられる。季節毎に消失の時間が大きく異なるのかどうかについては今後検討が必要である。また本研究の結果は、兵庫県小野市の落葉層が発達した落葉広葉樹二次林で得られたものであるため、そもそも落葉層が発達しないヒノキ人工林やニホンジカの食害で落葉層が消失している広葉樹林、あるいは土壌の硬さが異なる森林褐色土壌や黒ボク土では、本研究の結果とは異なる可能性がある点は注意が必要である。

謝辞

本研究の調査は、小野市役所、小野市栄町・大開町・山田町自治会の協力のもと実施されたものである。本研究の一部は環境研究総合推進費 (4G-2001) 「イノシシの個体数密度および CSF 感染状況の簡易モニタリング手法の開発」(JPMEERF20204G01) および農林水産省委託プロジェクト研究「20319390 安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンスのうち課題解決型プロジェクト研究 (CSF の新たな総合的防除技術の開発)」の助成を受け実施した。

引用文献

- 濱崎 伸一郎, 岸本 真弓, 坂田 宏志 (2007) ニホンジカの個体数管理にむけた密度指標 (区画法、糞塊密度および目撃効率) の評価, 哺乳類科学, 47: 65-71
- Higashide D, Kuriyama T, Takagi S, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Kasada M, Yokoyama M (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar. Wildlife Biology, 2021:wlb.00869

- 東出 大志 (2023) イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての活動痕跡の有効性. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 28–38
- 井出 保行, 小山 信明, 高橋 佳孝, 小林 英和 (2005) 耕作放棄地での肉用牛放牧がイノシシの掘り返し行動に及ぼす影響. 近畿中国四国農業研究センター研究報告, 4: 173–181
- 石川 圭介 (2017) イノシシによる茶園の掘り返し被害と土壌動物の関係に関する予備的調査. 静岡県農林技術研究所研究報告, 10: 73–77
- 環境省 (2015) 改正鳥獣法に基づく指定管理鳥獣捕獲等事業の推進に向けた全国のニホンジカの密度分布図の作成について (お知らせ) . <https://www.env.go.jp/press/101522.html>
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT (2003) Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6:131–139

第 5 章

地域主体の防護柵管理と併せた加害個体捕獲による

イノシシの集落内への侵入抑制効果

山端 直人^{1,2}

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

要 点

- ・集落防護柵の維持管理がなされているが、開口部からの侵入によりイノシシの農業被害が深刻な集落を対象に、防護柵の開口部での捕獲を実施した。
- ・集落柵の開口部での捕獲は集落の住民が主体的に実施した。初年度は2頭、次年度は7頭、3年目には8頭の捕獲に成功した。
- ・開口部からの侵入路である河川に設置したカメラによるイノシシの撮影頭数は、捕獲がなかった場合を想定した推定値に対し有意に減少した。
- ・地域主体の防護柵管理と併せ、開口部での捕獲を進めることで、イノシシの侵入を減少させ、結果的に被害を軽減させることが可能であることが示唆された。
- ・これらの結果は、集落住民が主体的にイノシシ、シカの加害個体捕獲を進めるための意欲喚起にもつながるとともに、獣害対策推進のための指標となり得る。

Keywords: イノシシ、開口部、捕獲、防護柵

Mitigation of wild boar invasion by capturing nuisance wildlife in combination with community-based guard fence maintenance

Naoto Yamabata^{1,2}

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: Evidence that capturing wildlife at fence openings and entry roads, in addition to defensive fences, will reduce wildlife entry into communities is expected to motivate residents to actively capture wild boars and deer. This should help to promote the implementation of community-based countermeasures against damage caused by wild animals. We have demonstrated that the invasion of wild boars in a community can be suppressed by capturing animals at fence openings, in addition to fence maintenance. In this study, residents of a village took the initiative in capturing wild boars at fence

受付日：2023年1月7日、受理日：2023年2月11日

*責任著者：山端 直人 ✉yamabata@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

openings. Two boars were successfully captured in the first year, followed by seven boars in the second year and eight boars in the third year. The number of wild boars captured by cameras installed by the river, the entry route of wild boars coming through the opening, was significantly lower than the estimated value assuming that no capture had taken place. These results suggest that the number of wild boars captured at the entrance of the river can be reduced by promoting the capture of wild boars at the opening, in addition to the management of protective fences by the local community, thus reducing damage.

Keywords: capturing, fence openings, guard fence, wild boars

1. はじめに

野生鳥獣による農作物被害額は全国で 155 億円（令和 3 年度）であり、イノシシによる被害額はその 2 割強となる 39 億円を占めている（農林水産省、農作物被害状況、鳥獣対策コーナー、https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hogai_zyoukyou/index.html ; 2023 年 12 月確認）。これらの農業被害は営農意欲の低下による耕作放棄地増加の要因にもなっており、農業農村の存続上の大きな課題ともなっている（神崎ほか 2003; 山端 2010）。

イノシシによる農業被害軽減のためには、野生動物の農地への誘引要因となるエサ資源の低減、農地周辺の藪や放棄地の伐採などの集落環境管理に加え、適切な防護柵の設置・管理と加害個体の捕獲が重要であるとされる（農林水産省 2018）。そのためには地域住民が主体的にそれらに取り組む「地域主体の獣害対策」が重要であり、地域主体の獣害対策の実践や効果の検証例は増加している。農林水産省は集落や地域で主体的に獣害対策に取り組むことを奨励するため、表彰事業を実施している（農林水産省 2021）。山本ほか（2004）、木下ほか（2008）はイノシシやシカの防護柵管理について集団的な取組を行う地域への調査を実施し、山端（2011, 2022）はニホンザルに対する集落の組織的な追い払いの効果やイノシシ、シカの加害個体捕獲に関する被害軽減効果についても実証結果を報告している。

農林水産省（2018）は被害軽減につながる捕獲として、防護柵と併せ被害の原因となっている個体（以下、加害個体）を捕獲する必要性を紹介しているが、防護柵と併せ、柵の開口部等の侵入路で捕獲をすることで集落内への加害獣の侵入を減少させ得ることを示すことは、集落住民が主体的にイノシシ、シカの加害個体捕獲を進めるための意欲喚起にもつながり、地域主体の獣害対策を進める一助となると考えられる。阿部ら（2015）は集落柵の開口部で狩猟者がくくり罠等を使用し、集中的な捕獲を実施することで、集落内で撮影されるシカの頭数が減少したことを報告している。しかしこれらをイノシシで定量的に実証した例はない。主要な農作物である水稻ではイノシシによる被害金額は全獣種の約 70%を占めることや、畦畔や水路の破壊などの生産物以外の被害も多発するなど、農業集落におけるイノシシによる被害の負担感はシカよりも大きいと考えられ、これらを地域住民が主体的に実践することで達成できることを実証することは、住民主体の獣害対策を進める上でも有意義なこと

と考えられる。

そこで本研究では、集落防護柵の維持管理がなされていても開口部からの侵入によりイノシシの農業被害が深刻な集落を対象とし、地域住民が主体となった加害個体の捕獲活動を防護柵の開口部で実施することで、集落内へのイノシシの侵入を抑制し得ることを実証する。

2. 方法

実証地の獣害対策や捕獲の状況

本研究は兵庫県相生市の北西に位置し、人口 240 人、戸数 75 戸の中山間農業集落である集落 A を対象に実施した。農地面積は約 25ha、主な作物は水稻、大豆で、南北に長い集落の中心を小規模な河川が通っており、東西は全て山に挟まれ南側は国道に向けて開けた地形である（図 1）。1998 年ごろからイノシシ、シカによる被害が深刻化し、2002 年から集落全体を囲う様にワイヤーメッシュ防護柵（以下、防護柵）が設置され、集落を 4 班に分けて月 2 回の頻度で点検と補修が続けられていた。この防護柵の点検と補修は本実証期間も継続して実施され、設置状況に大きな変化はなかった。

図 1 に示す通り、集落の北端では防護柵が設置されているものの、河川により柵が分断され開口部となっており、結果として河川が侵入路となり集落内にイノシシが侵入し易い状況だった。

実証を開始した 2018 年以前は集落には狩猟免許所持者が存在せず、他地域から集落周辺で有害捕獲活動をする者は存在しなかった。実証期間である 2018 年から 2021 年にかけて、集落が位置する 5km メッシュ内のイノシシの SPUE は 0.18~0.26 頭/人日、狩猟による捕獲数は 20 頭~30 頭であり、これらの数値は実証期間前と大きな年次差はなかった。

地域主体の捕獲の実施

集落 A では 2017 年に 1 名が狩猟免許を取得し、有害捕獲許可を得て同年度から集落住民が主体となった加害個体捕獲を開始した。捕獲には箱わなを用い、設置や移設、餌付けは集落の役員が中心となり、捕獲後の止め刺しや処理は 1 名の狩猟免許取得者と集落外の有害捕獲班員も加えた共同作業により実施した。兵庫県で進めるストップ・ザ・獣害事業という地域主体の捕獲支援事業（兵庫県 2015）を活用しつつ、2017 年 6 月から 2 回/月の頻度で箱わなの餌付けの状況を中心にわな管理の指導を行った。指導にあたっては、箱わなによる捕獲技術を有する兵庫県森林動物研究センターの職員、調査員、事業の指導員等が、集落役員を中心とした管理者と共に箱わな巡回し、動物の侵入状況の判断やエサの配置状況の改善を中心とする現地指導を行った。

加害個体の捕獲とイノシシの侵入状況調査

加害個体の捕獲がイノシシの集落内への侵入状況に与える影響を分析した。実証に先立ち、まず 2018 年 7 月に開口部のイノシシの侵入路と考えられる位置に箱わなを 1 基設置した（図 1）。箱わな設置にあたっては、イノシシが河川に降りていると推察される痕跡が多数確認さ

れた河川沿いの休耕農地を設置場所を選定した。設置した箱わなを用いた住民による捕獲作業は同年 7 月から開始した。次に 2018 年 8 月よりイノシシの集落内への侵入状況を自動撮影カメラの撮影回数により評価した。開口部からの侵入路と考えられる河川内を実証区とし、対照区として捕獲の影響を受けないと推察される防護柵近くの森林内部に自動撮影カメラをそれぞれ 1 台設置し（図 1）、捕獲の進展に伴うイノシシの撮影頭数を比較した。なお、対照区を設定する際には実証区での捕獲の影響を可能な限り排除するため、イノシシに GPS を装着し調査した行動圏の平均が約 3km²、1～2 km 四方であった（横山ほか 2014）ことを考慮に入れ、実証区から 2km 程度離れ、他の捕獲活動がなされていない場所を選定した。使用した自動撮影カメラは TREL20J（GISupply）で、動画 30 秒、インターバル 5 分の設定とした。イノシシが連続して撮影された場合、撮影の間隔が 30 分以上の記録を独立な撮影と定義し（O'Brien et al. 2003）撮影頭数は月ごとに集計し実証区と対照区を比較した。また、実証区の撮影頭数を変数、対照区の撮影頭数を共変量として時系列分析（CausalImpact）を行った。CausalImpact はベイズ構造時系列モデルにより、介入前の目的変数と介入後も含めた共変量から、介入が行われなかった場合の目的変数の推移を予測し、予測値と観測値の比較により介入効果を定量化する手法である。分析は R（4.1.3）CausalImpact パッケージにより行い、開口部での連続した捕獲があった 2019 年 6 月を介入点として設定した。

3. 結果

捕獲の結果

防護柵開口部に箱わなが設置されたのは 2018 年 7 月からだったが、2018 年度は設置が遅かったこともあり、イノシシ捕獲数は 2 頭にとどまった。2019 年度から捕獲数は増加し 7 頭が捕獲され、2020 年度には 8 頭が捕獲された。月別の捕獲数を図 2 に記す。特に 2019 年 6 月ごろから捕獲に成功する機会が増え、2020 年まで継続した捕獲ができた。

自動撮影カメラの撮影回数の変化

自動撮影カメラでの撮影頭数を図 2 に示した。撮影頭数は実証区では 2018 年 8 月が約 70 頭、9 月が約 60 頭と撮影頭数が多く、連続した捕獲があった 2019 年 6 月は 48 頭、7 月は 25 頭と次第に減少し始め、2019 年 10 月から 2020 年 2 月までは 10 頭前後、その後は 0～3 頭程度の撮影頭数にまで漸減した。

山端：防護柵と捕獲による集落内侵入抑制効果

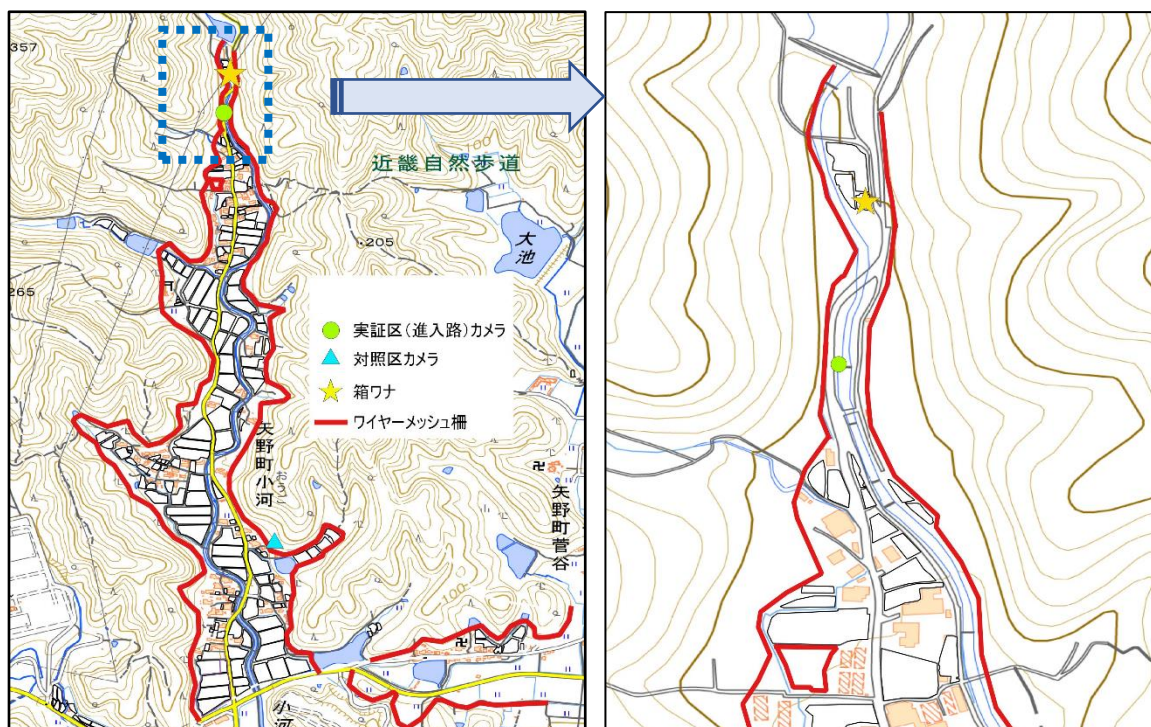


図 1. 集落の防護柵と箱わなとカメラの配置状況。左図の点線枠内の拡大図が右図。

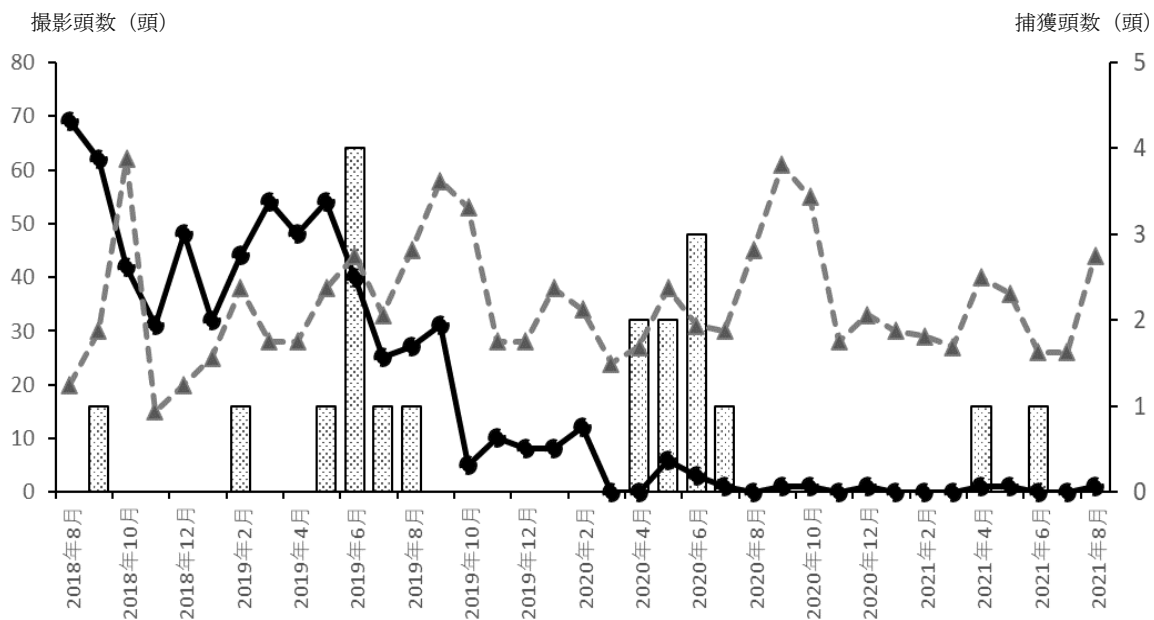


図 2. 進入路におけるイノシシの撮影頭数と捕獲頭数の推移。実証区と対照区ごとの撮影頭数と捕獲頭数を月単位で示した。

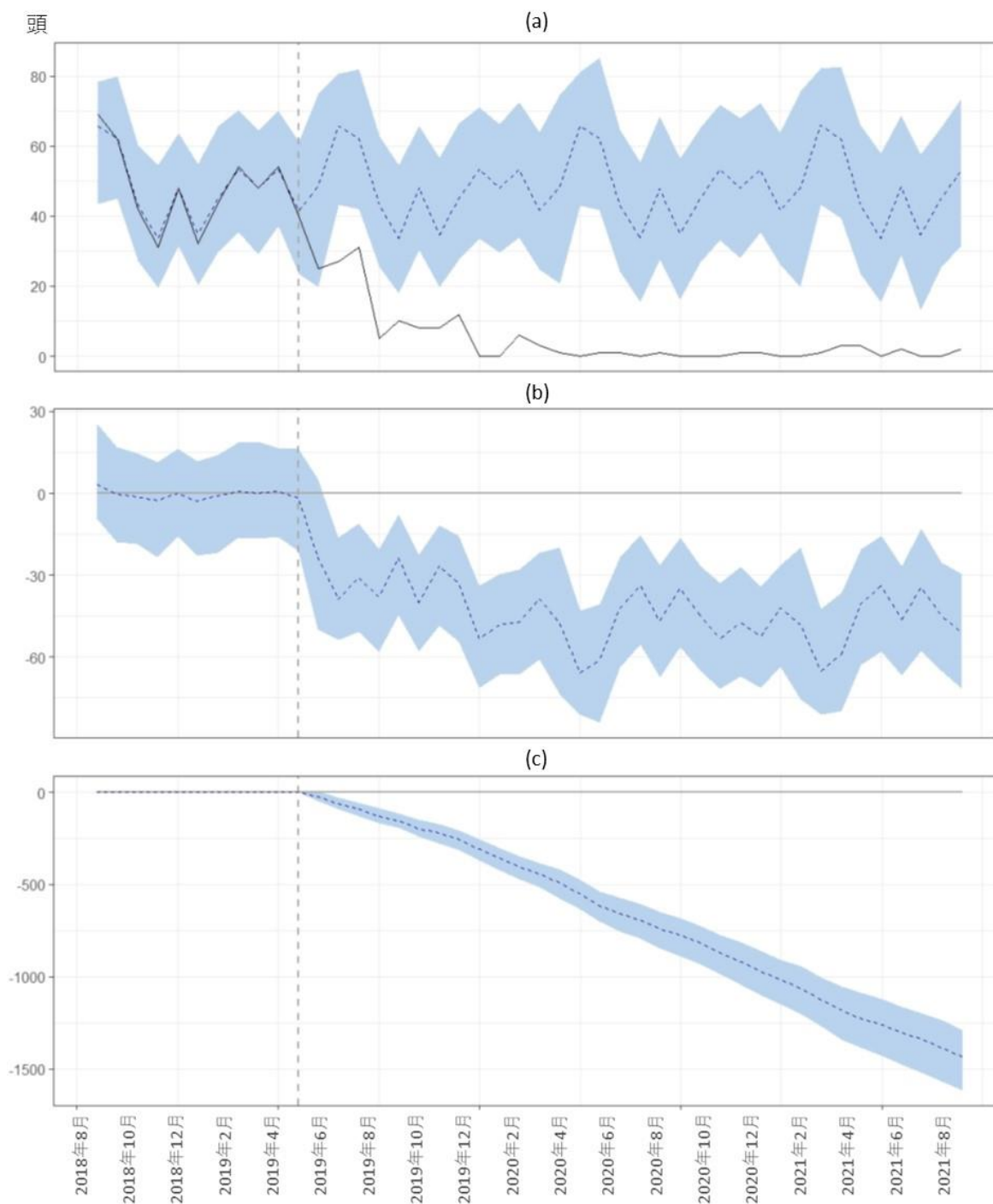


図 3. 捕獲によるイノシシ撮影頭数の時系列分析 (CausalImpact) の結果。(a)の実線は実証区の観測値、折れ線グラフの点線は予測値の中央値を示す。予測による因果関係の推測と、捕獲という介入がなかったら何が起こっていたかという予測を示した。(b)の点線は実測値と予測値との差を示す。(c) はその時点までの影響の総和を示す。2019年5月と6月の間の点線は捕獲による介入点、青色の範囲は95%信用区間を表す。

表 1. 捕獲によるイノシシ撮影頭数の時系列分析 (CausalImpact) の結果

	実測値	予測値(SD)	効果(SD)	効果の95%信用区間		P値
平均	4.6	47 (2.5)	-43 (2.5)	-48	-38	0.00103
累積	152	1559 (81.1)	-1407 (81.1)	-1570	-1251	

注：効果の95%信用区間が0をまたがないことは、介入の効果があることを示す

一方、対照区のカメラでの撮影頭数は2018年10月にのべ62頭、2019年9月に58頭と、毎年9月～10月に撮影頭数のピークがあり、実証期間を通じて約20頭～60頭/月の範囲で増減を繰り返す傾向が続き、撮影頭数が減少する傾向はみられなかった。

時系列分析 (CausalImpact) の結果

分析の結果を図3、表1に示した。介入後の実証区における平均撮影頭数は4.6頭/月、累積撮影頭数は152頭であった。予測値の平均撮影頭数は47頭/月、累積撮影頭数は1,559頭であった。効果は平均が-43頭/月、累積が-1,407頭となり、効果の95%信用区間は平均が-48～-38、累積が-1,570～-1,251となった。この分析では効果の信用区間に0を含まなければ効果の信頼性が高いことを表す。介入と効果の因果関係の可能性は有意な結果であった ($P<0.01$)。

4. 考察

本研究の実証対象とした集落Aの防護柵は、北部と南部の開口部を除きほぼ完全に集落の林縁を囲うように設置されており、北部には図1右図で示す部分以外に開口部は見られない。また、集落の防護柵は実証期間中、月2回の点検と補修が継続され、実証区周辺に防護柵の破損による大規模なイノシシ進入路は発見されていない。さらに2018年8月から2019年5月までは実証区に設定した河川で毎月のべ40～60頭のイノシシが撮影されていた。これらのことから、図1右図に示す部分が集落の開口部であり、侵入した大部分のイノシシはそこから河川を通過して集落内部に侵入していたと考えられる。したがって、本実証における箱わなの配置は、集落の開口部から侵入する加害個体を対象とした捕獲に資していると考えられる。また、実証に使用した箱わなは1基であり、この結果は集落を集落防護柵で可能な限り完全に囲い、物理的に柵の設置が不可能な河川などのわずかな開口部で加害個体を捕獲することで、少ない捕獲努力で加害個体の侵入を低減可能であることを示す結果でもある。今回の実証における捕獲数は2019年6月ごろから向上し、2021年まで継続した捕獲ができていく。その転機となったのは、箱わなへのセンサーカメラ配備や定期的な餌付指導の体制整備など、主に餌付けや巡回などの檻の管理技術や体制改善によるものが大きい。そして、そ

の時期を境に河川でのイノシシ撮影頭数は漸減傾向となり 2020 年 8 月以降は 0～1 頭程度の撮影頭数の月が継続している。これらは地域主体の捕獲を指導・支援するストップ・ザ・獣害事業の効果であると考えられる。

一方で、対照区としたカメラには月による増減はあるものの、20～60 頭の幅で継続してイノシシが撮影されている。このカメラ周辺の柵外部では箱わなをはじめとした捕獲は実施されていない。このことから、当集落の捕獲の影響を受けていない防護柵外周部のイノシシ出没は大きな変化がなかったと推察される。

時系列分析 (CausalImpact) の結果では、効果の 95%信用区間は平均が-48～-38、累積が-1,570～-1,251 となった。信用区間に 0 を含まないことから効果の信頼性は高いことが示された。介入と効果の因果関係の可能性を示す p 値も約 0.001 と低い値を示しており、開口部での捕獲が侵入路のイノシシ頭数低下に影響を与えたと言える。

これらのことから、集落柵開口部での捕獲はイノシシの侵入頭数を低減させることに寄与することが定量的に示された。そして、これらの捕獲を地域住民が主体的に実践可能であること、住民への技術的な支援により地域主体の捕獲を促進することが可能であることも実証できたと考えられる。

防護柵により完全にイノシシの侵入を防御できる集落は非常に少なく、多くの集落で防護柵開口部からの侵入個体による被害が課題となっている。今回の実証結果は、それらの集落でも防護柵による防御と進入路での加害個体捕獲により、集落内への侵入個体を減らし、結果的に農作物の被害を低減できるという指標になり得る。

謝辞

本研究は、令和 2 年度農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究、現場ニーズ対応型プロジェクト「省力的かつ経済的效果の高い野生鳥獣侵入防止技術の開発」、JSPS 科研費 (JP18H02289) による研究成果の一部である。また、実証には兵庫県のストップ・ザ・獣害事業 (兵庫県 2015) という地域主体の捕獲を支援する事業も活用した。協力いただいた兵庫県、相生市の方々と集落 A の住民の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

阿部 豪, 坂田 宏志, 豊田 鮎 (2015) 集落開口部からのシカ侵入対策としての捕獲の効果. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 7: 39-48

兵庫県 (2015) 兵庫県農政環境部重要施策 (環境関係) .

https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/application/files/4914/5344/3722/130805_zentaika_i_sankou_01.pdf, 2022 年 2 月 10 日確認

神崎 伸夫, 見宮 歩, 丸山 直樹 (2003) 山梨県におけるイノシシ, サルによる農作物被害の実態と農家の意識. 野生生物保護, 8: 1-9

- 木下 大輔, 九鬼 康彰, 星野 敏, 武山 絵美 (2008) 水稻地域における集団的な獣害対策の現状と非農家の協力の可能性. 農村計画学会誌, 27: 227–232
- 農林水産省 (2018) 野生鳥獣被害防止マニュアルー総合対策編ー. https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/manyuaru/sogo_taisaku/manual_common.pdf, 2022年2月10日確認
- 農林水産省 (2022) 優良表彰・優良事例. 鳥獣被害対策コーナー, https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hyousyou_zirei/hyosyo_jirei.html, 2022年7月確認
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT (2003) Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6: 131–139
- 山端 直人 (2010) 獣害対策の進展が農家の農地管理意識に及ぼす効果ー三重県における集落の調査事例ー. 農村計画学会誌, 29: 245–250
- 山端 直人 (2011) 集落ぐるみの追い払いがサル群の行動域や出没に与える効果ー三重県内7集落での検証ー. 農村計画学会誌, 30: 381–386
- 山端 直人, 池田 恭介, 飯場 聡子 (2022) 地域主体の防護柵管理と併せた加害個体捕獲によるイノシシ, シカの被害軽減効果ーアクションリサーチによる被害・意識の改善の定量・定性的な評価ー. 哺乳類科学, 62: 203–214
- 山本 晃一, 安岡 平夫, 宮本 誠 (2004) 集落ぐるみの獣害防護柵設置に対する農家の意識. 近畿中国四国農業研究, 4: 47–53
- 横山 真弓, 江藤 公俊, 木下 由美子 (2014) 農地に隣接して生息する日本イノシシの加害行動の解析. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 43–58

第 6 章

兵庫県における 2022 年末までの豚熱の拡大の概要

栗山 武夫^{1,2*}・大田 康之¹

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

要 点

- ・ 2018 年 9 月に岐阜県で 26 年ぶりに再確認された豚熱は、野生イノシシで感染拡大が起こり、兵庫県では 2021 年 3 月 14 日に丹波市で（再確認後の）初確認された。
- ・ 淡路島では北部で 2021 年 7 月 28 日に豚熱陽性の野生イノシシが確認され、2021 年 12 月末までに淡路島全島に感染が拡大した。
- ・ 生息密度と感染拡大速度を比較したところ、密度が高い淡路島では、低い本州部よりも約 4 倍速かった。
- ・ アフリカ豚熱と合わせて、今後豚熱の疫学的な検査体制、野生イノシシの生息密度を把握する体制の整備が望まれる。

Keywords: イノシシ、拡散速度、豚熱

Classical swine fever outbreak in wild boar in Hyogo Prefecture, Japan

Takeo Kuriyama^{1,2*}, Yasuyuki Ohta¹

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: Classical swine fever (CSF) is a viral infection in pigs and wild boar. In September 2018, CSF emerged for the first time in 26 years in Gifu Prefecture, central Japan. After the infection spread in the wild boar population around Gifu Prefecture, an infected wild boar was found in Tamba, Hyogo Prefecture on March 14, 2021. On Awaji Island, CSF was confirmed on July 28, 2021 in the northern area, with subsequent expansion across the entire island by the end of December 2021. The population density on Awaji Island was high, and the rate of spread was about four times faster than that in the relatively low-density areas of mainland Hyogo Prefecture. Similar to African swine fever, it is imperative to immediately establish a robust system for population surveillance and a method for eradication.

Keywords: classical swine fever, relative density, spread speed

受付日：2023 年 1 月 8 日、受理日：2023 年 2 月 2 日

*責任著者：栗山 武夫 ✉kuriyama@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

1. 豚熱と日本における再確認

豚熱(CSF: Classical swine fever)は 2020 年の家畜伝染予防法改正まで豚コレラと呼ばれ、ブタとイノシシの致死性の感染症である(津田 2021)。2018 年 9 月の岐阜県における再確認以前は、1992 年以降国内では 26 年間確認されていなかった。以前に国内で発生した豚熱は、1887 年に米国から導入した種豚が初確認と考えられ、1900 年代には全国に拡大、1969 年に日本で開発された組織培養生ワクチンにより 1980 年代には発生はほぼなくなり、1992 年に終息した(津田 2021)。

豚熱ウイルスは一本鎖の RNA のゲノムをもつウイルスで、口や鼻から体内に侵入し、喉にあるリンパ組織である扁桃で増殖後、リンパ組織、骨髄、血管内皮細胞へと移行し、さらに増殖した後、血流を介して全身に移動しウイルス血症を起こす(迫田 2020)。病原性の強さは株により異なり、最も致死性の高い急性型から中程度の慢性型、不顕性(無毒)のものまで存在し、現在国内で流行しているウイルス株は急性型と慢性型の中間と考えられている(Kameyama 2019; 迫田 2020)。豚熱がヒトに感染するリスクはない(WOAH, <https://www.woah.org/en/disease/classical-swine-fever/>)。

2018 年に日本で再確認された豚熱の拡大を改めて整理してみたい。2018 年 9 月 9 日に岐阜県岐阜市の農場で豚熱に感染したブタが確認された(農林水産省 2022, <https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-38.pdf>)。2022 年 11 月 21 日までに 159 農場・5 と畜場で約 354,557 頭に防疫処置がとられた。農場での感染とともに、野外でのイノシシの感染拡大も起こっている。豚熱に感染した野生イノシシの初確認は 2018 年 9 月 13 日に岐阜県南部の岐阜市打越の死亡個体であった。この野生イノシシの感染確認から 2022 年 12 月 14 日までにイノシシ 73,117 個体が検査され、その内 5,432 個体の豚熱陽性が確認されている(農林水産省 2022 https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/wildboar_map-170.pdf)。感染地域は、本州において千葉県・岡山県・鳥取県・青森県以外の 30 都府県、四国では徳島県と高知県である。九州 7 県と、農場でのみ感染が確認されている沖縄県では野生イノシシの感染は確認されていない(2022 年 12 月 14 日時点, 農林水産省 2022 https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/wildboar_map-170.pdf)。

2. 兵庫県における豚熱の感染状況

2018 年の日本国内での豚熱再確認後の兵庫県におけるイノシシの豚熱陽性個体の(再確認後の)初確認は 2021 年 3 月 14 日であった(図 1)。場所は京都府との県境に近い丹波市春日町である。のちに陽性と判定された個体は成獣 2 個体で、いずれも死亡した状態で発見された(兵庫県 2021 <https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk13/csf/documents/210316csf.pdf>)。本州部では、2021 年 3 月の丹波市での初確認後、2021 年 4 月の阪神地域、2021 年 10 月の神戸地域、2022 年 3 月の豊岡地域、2022 年 4 月の朝来・加東・光都・姫路地域と西側に陽性

個体の発見場所が拡大した(図 1)。およそ 3 カ月ごとに期間を区切り陽性個体の発見場所を示すと、2022 年 4－6 月の間では、それ以前に陽性個体が見られていた丹波・阪神・神戸では数カ所にとどまり、2022 年 7－9 月では丹波・阪神・神戸地域での陽性個体の発見は認められなかった。本州部で陽性個体の確認がない地域は 2022 年 11 月 17 日時点で加古川地域のみである。

淡路島での陽性個体の初確認は、2021 年 7 月 28 日に淡路市内で死亡した状態で発見された成獣個体であった。淡路島では 2021 年 12 月末までに南端部でも陽性個体を確認されたことから、約 5 か月間で島内全域に感染が拡大したことが示唆された。全ゲノム情報が得られた感染イノシシ由来ウイルスの分子系統解析では、本州部は京都府・大阪府北部で確認されたタイプと同一であったが、淡路島で初確認された陽性イノシシから得られたものは大阪府南部・和歌山県と同一タイプであったため（農林水産省 2022 <https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-534.pdf>）、兵庫県本州部から淡路島へ感染拡大が起こったのではなく、紀伊半島から淡路島に何らかの理由で感染拡大したことが示唆されている。

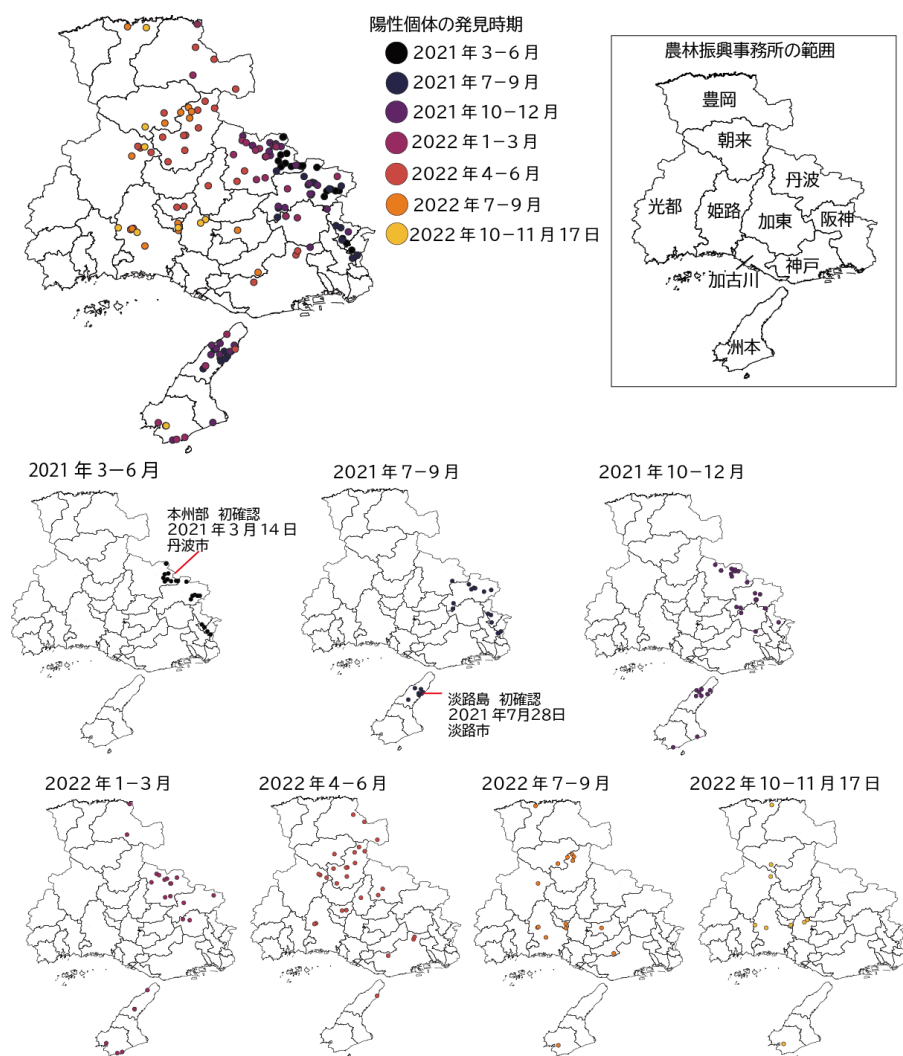


図 1. 兵庫県における野生イノシシで約 3 か月ごとの豚熱陽性個体の確認場所

地域別の豚熱感染動向

イノシシ（飼養・野生、および飼養豚）の豚熱に関する検査は、豚熱ウイルス（抗原）を検出する手法と、ウイルスなどの抗原が体内に入った時に排除する免疫システムの産物である抗体を検出する手法に分けられる。RNA を持つ豚熱ウイルス（抗原）を検出する手法は、DNA に逆転写し、DNA を Polymerase chain reaction（PCR）で増幅し、感染を確認する。従来の手法では PCR で増幅した後に豚熱ウイルスの存在を確認していたが、最近では多くの検体を短時間で検出するために、PCR 増幅過程でリアルタイムに確認する手法や、アフリカ豚熱と同時に検出可能な手法も開発されている（農林水産省 2020）。本稿では抗原検査で陽性の場合を PCR(+)、陰性の場合を PCR(-)として説明する。なお、野生イノシシについては、死亡した状態で発見された個体（以下、死亡個体）のうち腐敗がすすんでいないものと、捕獲された個体（以下、捕獲個体）の両方が検査対象となる。一般的に死亡個体の感染個体率が捕獲個体の感染個体率よりも高い（Shimizu et al. 2021）。

抗体検査は過去の豚熱感染の有無やワクチンによる免疫状態を把握するために実施され、スクリーニング検査として酵素結合免疫吸着測定法（Enzyme linked immune-solvent assay; ELISA 法、抗原抗体反応を利用した抗体を測定する方法）、確定検査として中和試験（Neutralization test; NT 法、ウイルスの感染、増殖を阻害する血清中の抗体を検出する方法）が行われている。中和試験はほとんどのイノシシで実施されていないため、本稿では ELISA 法の結果を扱う（ELISA(+), ELISA(-)）。ただし ELISA は簡便に行えるが感度が比較的低いため、陰性になった場合でも抗体を保有している場合もある。

抗原検査と抗体検査の結果から、個体の感染・免疫獲得状況は 3 分類できる（図 2）。つまり、PCR(+)の場合は陽性個体、PCR(-) ELISA(+)の場合は免疫獲得個体、PCR(-) ELISA(-)の場合は感受個体（免疫機能がなく感染し得る個体）となる。

	PCR+	PCR-
ELISA+	陽性	免疫獲得
ELISA-	陽性	感受個体

図 2. 抗原（PCR）・抗体（ELISA）検査と個体の感染・免疫獲得状況の整理図

上記の感染・免疫獲得状況 3 区分を兵庫県の地域別に、初確認された 2021 年 3 月以前の 2020 年 11 月から 2022 年 11 月 17 日時点で 1 か月ごとに推移を見てみた。図 3 は全県を統合したもの、図 4 は地域（各農林振興事務所単位）で統合したものである。全県で見ると、2021 年 3 月の丹波市での初確認から PCR(+)の感染個体率が上昇し、2022 年から緑色の免疫獲得個体の割合が上昇しているが、感染個体率は 4 割程度をピークとして時期ごとに上下動を繰り返す（図 3）。地域ごとで見ると、初確認の丹波地域と隣接した阪神・神戸地域では

2021 年 3 月後に感染個体率が上昇した後、免疫獲得個体の割合が上昇した（図 4）。丹波地域では 2022 年 5 月に、阪神神戸地域では 2022 年 6 月に感染個体率が 0 となり、約 15 か月間で感染が終息した。同様の傾向は 2021 年 7 月に初確認された淡路島（洲本）でも見られる。ただし、丹波地域では 2022 年 11 月にも陽性個体が確認されている。3 地域だけではあるが、地域での初確認からおおよそ 1 年半で一旦終息する可能性が考えられる。終息には感染個体の死亡や免疫獲得個体割合の上昇が考えられ、免疫獲得個体割合の上昇には経口ワクチンか感染個体の回復のどちらが寄与する。兵庫県での分析は第 7 章栗山ほか 2023 で詳細を示す。

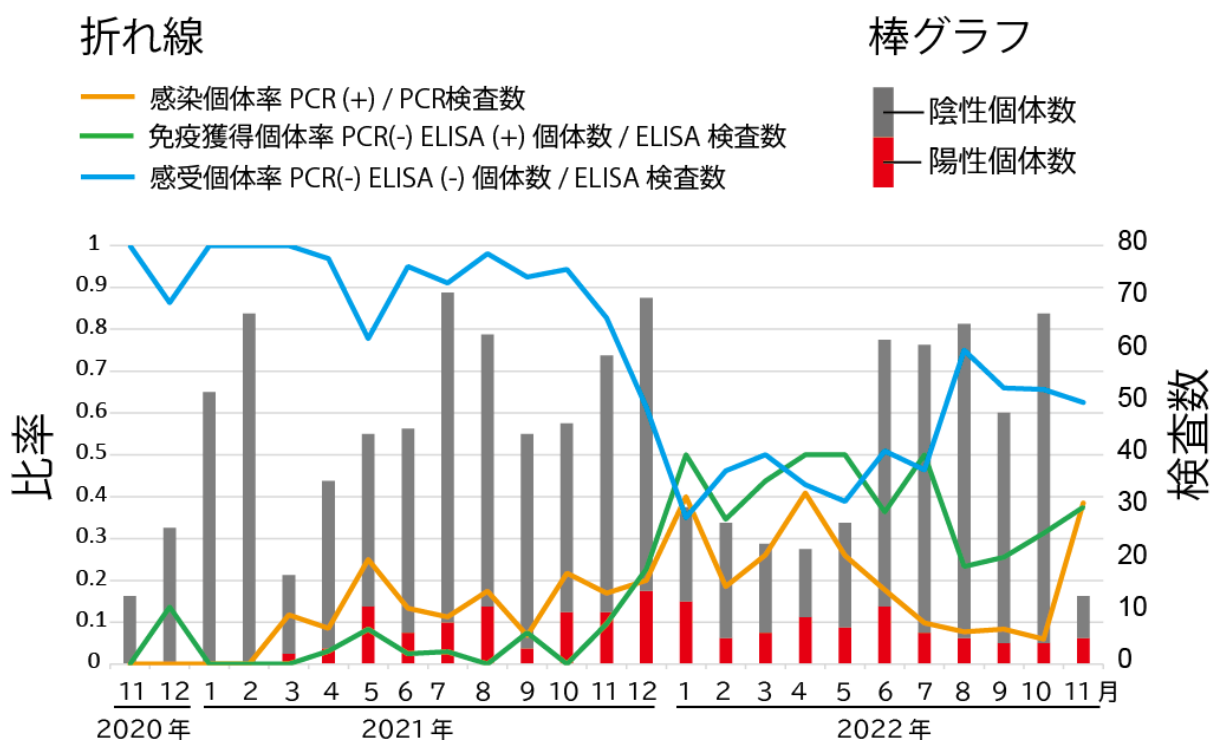
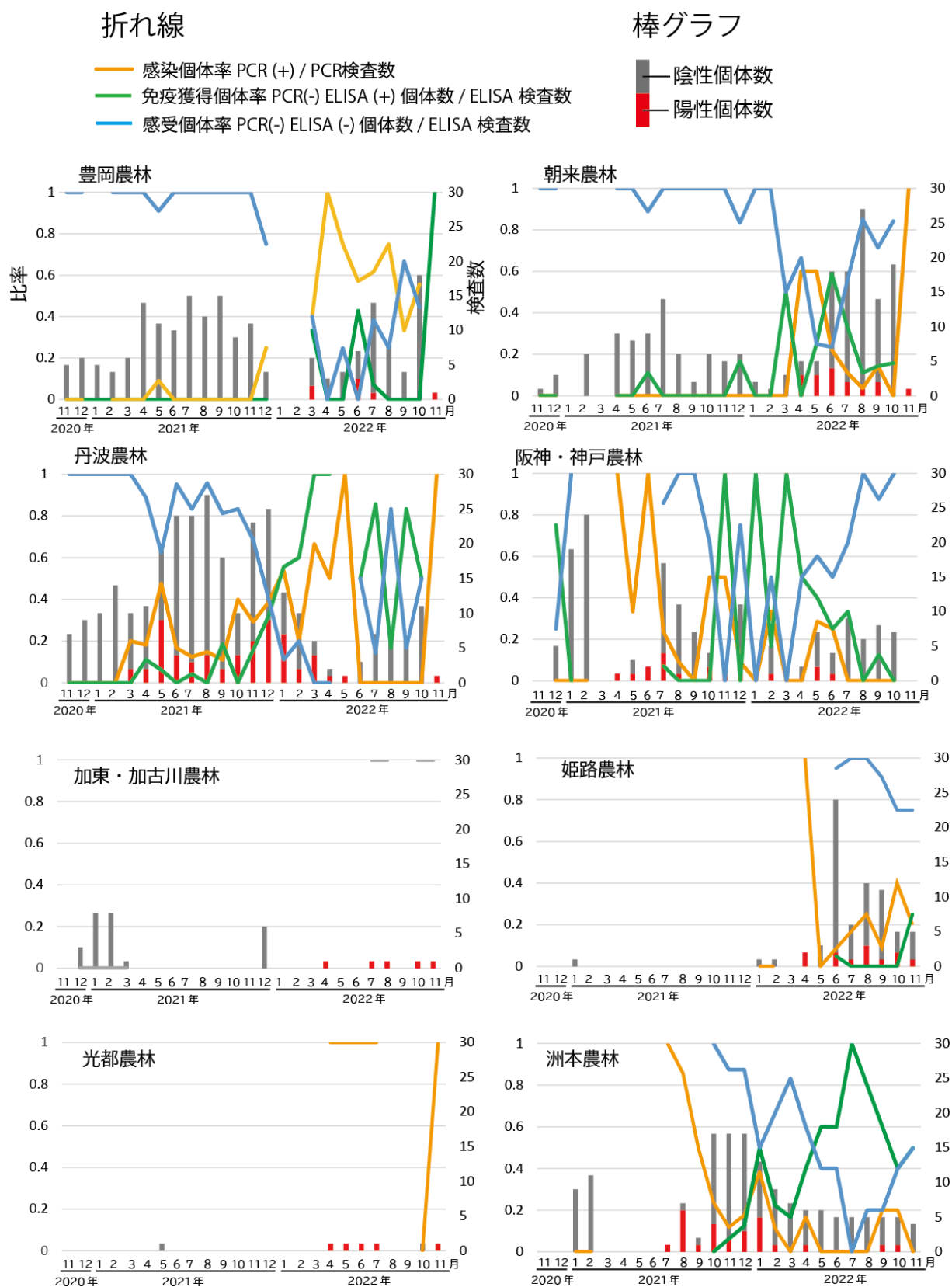


図 3. 2020 年 11 月から 2022 年 11 月 17 日までの検査データを基にした兵庫県内の豚熱の動向。棒グラフは PCR 検査での陽性個体数と陰性個体数を示す。折れ線グラフの感染個体率は PCR 検査での陽性個体数を PCR 検査数で除したものの、免疫獲得個体率は PCR 陰性かつ ELISA 陽性個体数を PCR・ELISA 両方の検査を実施した数で除したものの、感受個体率は PCR 陰性かつ ELISA 陰性個体数を PCR・ELISA 両方の検査を実施した数で除したものである。



3. 豚熱の感染拡大と生息密度の関係

野生イノシシにおける豚熱の感染動態は、イノシシの生活史や密度と関わっている。豚熱に感染した地域では個体の死亡により個体群のサイズが減少することが岐阜県で自動撮影カメラを用いた感染前後の観察 (Ikeda et al. 2020) や検査データを用いた感染症数理モデルで推測されている (Matsuyama et al. 2021)。イノシシは季節繁殖を示す種で、基本的には年 1 回繁殖を行い、交尾 (11-2 月ごろ)、出産 (4-7 月ごろ)、夏季～秋季に授乳と離乳する (江口 2008; 辻・横山 2014)。豚熱に感染したメス個体が回復し免疫獲得した場合、繁殖出産した場合、母個体からの初乳を介した移行抗体の効果が期待できるが、1-2 カ月程度でなくなり、出生子は感染し得る感受個体となる。これにより地域で一旦は豚熱が終息したと見えても、長期的に見れば持続的に感染が継続する要因の一つと考えられている。高い生息密度が感染終息までの期間を長期化させた例 (フランス Rossi et al. 2005) や小規模な個体群では自然に終息した事例も知られている (Moenning 2015)。兵庫県には地域ごとに細かい時期で感受個体、感染個体、免疫獲得個体の割合といった生息密度と感染動態に関する分析に耐えるデータはないが、感染拡大速度が生息密度と関係しているのか調査した。

比較したのは、生息密度の代替指標である狩猟期での 100 くり罠日当たりの捕獲数 (以下、くり罠 CPUE、栗山ほか 2018) が異なる兵庫県の本州部と淡路島での陽性個体の広がり度合いである。対象とした本州部 (丹波市、丹波篠山市、猪名川町、川西市、宝塚市、神戸市北区) の 2020 年度出猟カレンダーによる市区町単位で集約したくり罠 CPUE の平均値は 0.23 (最小 - 最大、0.10-0.44) であるが、淡路島 (淡路市、洲本市、南あわじ市の平均値は 0.65(0.33-1.0) と約 2.8 倍高い (図 5)。使用した野生イノシシにおける豚熱陽性個体のデータは、本州部で初めて確認された 2021 年 3 月 14 日から 2022 年 1 月 13 日、淡路島で初めて確認された 2021 年 7 月 28 日から島の南端に達した 2022 年 1 月 13 日までである。本州部と淡路島でそれぞれ初めて確認された場所を起点として、各陽性確認地点までの距離を QGIS (ver. 3.22.8) により算出し、それぞれの初確認日からの日数との関係を比較した。この時、すでに陽性個体が発見された距離の地域では、あとからも陽性個体が確認されるため、すべての陽性個体を含めて初確認地点からの距離と日数を回帰した場合、感染拡大速度を過少に推定する可能性が考えられた。そのため、分位点回帰法を用いて、同じ日数中の上位 10% のみを使用した回帰を行い、感染拡大速度の推定を行った (パッケージ `quantreg`, R ver.4.2.2)。

回帰の結果、感染拡大速度 (初確認地点からの距離/初確認日からの日数) は、本州部では約 0.05km/日 (約 1.5km/月)、淡路島は約 0.2km/日 (約 6.6km/月) となった (図 5)。つまりくり罠 CPUE が約 2.8 倍高い淡路島では、約 4 倍感染拡大の速度が速いことが明らかになった。岐阜県のデータでは方位毎に感染拡大速度が算出されているが (北 10.9km、東 10.9km、南 4.8km、西 5.0km/月、 Shimizu et al. 2021)、兵庫県の本州部の速度は岐阜県のいずれの方位の速度よりも低く、淡路島では同程度の値であった。兵庫県本州部では隣接する京都府と大阪府でも豚熱陽性イノシシが確認されており、今回本州部で起点とした丹波市以外からも豚熱の感染拡大が起こった可能性はある。今後は考慮した解析をする必要が

あるが、仮に、より隣接した他府の地点から算出した場合であっても、距離・日数は短くなると考えられるため、今回の結果が大幅に変わることはないと思われる。ただし、人為的な感染個体やウイルスで汚染された物の移動による感染分布拡大や、イノシシの移動分散を制限する景観構造の違いの可能性は排除できない。特に、人為的な感染個体やウイルスで汚染された物の移動による感染分布拡大については、前述した全ゲノム情報の解析から、大阪府南部・和歌山県でのウイルスグループと、地理的に離れた淡路島や山口県が同じであったため、人為的な伝播である可能性が示唆されている（農林水産省 2022

<https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-534.pdf>）が、そのほかの地域での野生イノシシの個体間接触以外の要因による感染拡大についてはよくわかっていない。

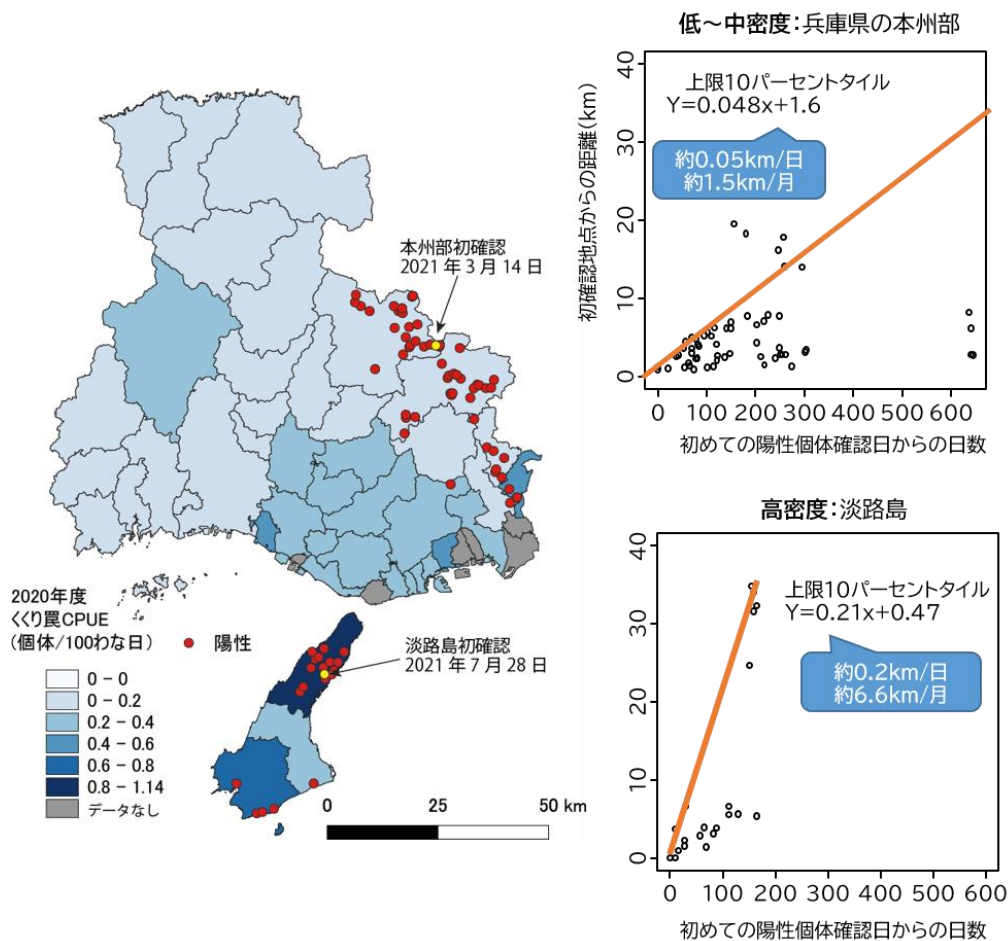


図 5. 生息密度指標（ぐり罟 CPUE）と兵庫県本州部と淡路島における豚熱感染拡大速度の違い

4. まとめと今後の対策

本稿では兵庫県における豚熱の感染状況の概要を示した。2021 年 3 月に本州部に感染イノシシ個体が発見され、同年 2021 年 7 月に淡路島、2022 年末時点では本州部の岡山県と鳥取県に隣接する市町でも発見されている状況である。最初に発見された市町では 1 年半程度の期間を経て一旦終息しているように見えるがその後、散発的に陽性個体が出現する。依然として飼養施設などへの感染リスクが低下しているわけではない。また、生息密度が高い淡路島ほど感染拡大速度が高いことも示唆され、生息密度の把握や、密度に応じた対策の強弱をする必要性もあると言える。以下では Moenning (2015) で述べられている欧州での感染終息に向けて行われた対策を列記し、日本で実施すべきことを整理してみたい。

野生イノシシにおける豚熱感染を終息させるための対策は、いまだ一部の国に発生が認められる欧州での研究が参考になる。Moenning (2015) は対策を 4 つに大別した。①移動阻害のための給餌、②柵の設置、③低密度化のための捕獲、④免疫獲得のための経口ワクチンの散布である。①の給餌については、給餌場所に個体をとどめる効果を期待して実施したが、個体群の増加率を上昇させるというデメリットも指摘されている。日本では実施されていない。②の移動阻害のための柵の設置は、2018 年に再確認された岐阜県において大規模な柵が設置された。しかし、柵の外側へ感染個体が確認されていることから効果は十分ではなかったと言わざるを得ない。またメンテナンスに関わるコスト面や、他の動物種の移動阻害による健全な集団間交流などへの生態学的な影響も考えられる。③の捕獲については、密度が高いほど感染拡大速度が速い可能性や（本稿）、感染終息までの期間がかかる可能性がある（Rossi et al. 2005）ため、低密度にした方が良いことは間違いない。ただし、どの程度の密度にすべきかは、疫学的に 1 感染個体は何個体に感染させうるかという基本再生産数を推定し目標とすべきだが（Lloyd-Smith et al. 2005）、日本ではイノシシの密度推定が明らかにされている地域がほぼ皆無であるため、今後の課題であろう。④経口ワクチンによる免疫付与は欧州では最も有効な手段の一つとして考えられている。数理モデルを用いた研究により、岐阜県における経口ワクチンで野生イノシシ集団へ免疫付与の効果が示唆されている（Matsuyama et al. 2022）。兵庫県における経口ワクチンの効果検証については栗山ほか 2023 で議論している。加えて Moenning (2015) ではイノシシの生息密度の状況と、疫学的検査による感染動向の把握が重要であることも指摘している。地域ごとの生息密度の推定手法については、自動撮影カメラによる推定手法と、捕獲情報・痕跡密度による代替指標について見通しが立ちつつある（第 2 章 高木ほか 2023; 第 3 章 東出 2023; 第 4 章 杉本ほか 2023）。疫学的な検査については、兵庫県では地域や時期により偏りが大きいと言わざるを得ないため、より組織的な検査体制が強く望まれる。

最後に、現在流行している豚熱と名称が類似したアフリカ豚熱についても警戒が必要である。アフリカを起源とする DNA のゲノムをもつウイルスであり、現在隣国の韓国やフィリピンで感染拡大が起きている（國保 2021）。有効なワクチンが開発されておらず、豚が感染すると数日～1 週間以内にほぼ 100% 死亡する（國保 2021）。空港などで水際対策がされてい

るが、2021年4月末までに95件（601件のPCR検査）からアフリカ豚熱ウイルス遺伝子の検出があった（川田 2021）ため、いつ飼養施設や野生イノシシでの感染個体が見つかってもおかしくない状態であると言える。豚熱検査とともにアフリカ豚熱検査も実施されている状況ではあるが、アフリカ豚熱の感染を見越して飼養施設の感染防止、野生イノシシの検査、生息状況の把握体制を整える必要がある。

謝辞

本研究で使用した検査データは兵庫県・市町の関係部署、猟友会のご協力のもと収集・整理されたものである。本研究の一部は環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20204G01）および農林水産省委託プロジェクト研究「20319390 安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンスのうち課題解決型プロジェクト研究（CSFの新たな総合的防除技術の開発）」の助成を受け実施した。

引用文献

- 江口 祐輔（2008）農作物被害対策—イノシシの被害管理—．高槻 成紀・山極 寿一編「日本の哺乳類 中大型哺乳類・霊長類」 東京大学出版会, p401–426
- 東出 大志（2023）イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての活動痕跡の有効性．兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 28–38
- 兵庫県（2021）本県における野生イノシシでの豚熱感染初確認について
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk13/csf/documents/210316csf.pdf>, 2023年1月8日確認
- Ikeda T, Asano M, Kuninaga N, Suzuki M (2020) Monitoring relative abundance index and age ratios of wild boar (*Sus scrofa*) in small scale. The Journal of Veterinary Medical Science, 82: 861–865
- Kameyama KI, Nishi T, Yamada M, Masujin K, Morioka K., Kokuho T, Fukai K (2019) Experimental infection of pigs with a classical swine fever virus isolated in Japan for the first time in 26 years. Journal of Veterinary Medical Science, 81:1277–1284
- 川田 良浩（2021）アフリカ豚熱(ASF)の水際対策．日本豚病研究会報, 78: 24–27
- 國保 建浩（2021）アフリカ豚熱(ASF)の感染状況について．日本豚病研究会報, 78: 10–16
- 栗山 武夫, 山端 直人, 高木 俊（2018）兵庫県の野生動物の生息と被害の動向（2006-2016年度）．兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 9–31
- 栗山 武夫, 大田 康之, 高木 俊, 杉本 太郎, 横山 真弓（2023）兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と摂食率に影響する要因の解明．兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15:72–83
- Lloyd-Smith JO, Cross PC, Briggs CJ, Daugherty M, Getz WM, Latta J, Sanchez MS, Smith AB, Swei A (2005) Should we expect population thresholds for wildlife disease?

- Trends in Ecology and Evolution, 20:511–519
- Matsuyama R, Yamamoto T, Hayama Y, Omori R (2021) Estimation of the lethality rate, recovery rate, and case fatality ratio of classical swine fever in Japanese wild boar: An analysis of the epidemics from September 2018 to March 2019. *Frontiers in Veterinary Science*, <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.772995>
- Matsuyama R, Yamamoto T, Hayama Y, Omori R (2022) Measuring impact of vaccination among wildlife: The case of bait vaccine campaigns for classical swine fever epidemic among wild boar in Japan. *PLOS Computational Biology*, 18: e1010510
- Moennig V (2015) The control of classical swine fever in wild boar. *Frontier in Microbiology*, 6: 1211
- 農林水産省 (2020) 豚熱に関する特定家畜伝染病防疫指針(令和 4 年 12 月 23 日一部変更) https://www.aff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_bousi/attach/pdf/index-8.pdf, 2023 年 1 月 8 日確認
- 農林水産省 (2022) 国内で分離された豚熱ウイルスの全ゲノム情報を用いた遺伝子解析 (69、70、72 例目及び 75～81 例目) <https://www.aff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-534.pdf>, 2023 年 1 月 8 日確認
- 農林水産省 (2022) 豚熱の防疫措置対応 (概要) 令和 4 年 11 月 21 日 17 時 00 分現在 <https://www.aff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/domestic-38.pdf>, 2023 年 1 月 8 日確認
- 農林水産省 (2022) 豚熱感染野生イノシシ発見地点 (直近 1 ヶ月: 令和 4 年 12 月 14 日時点) https://www.aff.go.jp/j/syouan/douei/csf/attach/pdf/wildboar_map-170.pdf, 2023 年 1 月 8 日確認
- Rossi S, Fromont E, Pontier D, Cruci re C, Hars J, Barrat J, Pacholek X, Artois M (2005) Incidence and persistence of classical swine fever in free-ranging wild boar (*Sus scrofa*). *Epidemiology and Infection*, 133: 559–568
- 迫田 義博 (2020) 豚熱 (Classical Swine Fever : CSF) のすべて. 北海道獣医師会雑誌, 64: 285–293
- Shimizu Y, Hayama Y, Murato Y, Sawai K, Yamaguchi E, Yamamoto T (2021) Epidemiological analysis of classical swine fever in wild boars in Japan. *BMC Veterinary Research*, 17, 188 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02891>
- 杉本 太郎, 高木 俊, 栗山 武夫, 横山 真弓 (2023) イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 39–59
- 高木 俊, 栗山 武夫, 杉本 太郎, 横山 真弓, 東出 大志 (2023) イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 15: 15–27
- 津田 智之 (2021) 豚熱とアフリカ豚熱—豚とイノシシの最強の家畜伝染病—. モダンメディ

ア, 67: 193–199

辻 知香, 横山 真弓 (2014) 兵庫県における妊娠率算出方法の開発. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 84–92

第 7 章

兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と 摂食率に影響する要因の解明

栗山 武夫^{1,2*}・大田 康之¹・高木 俊^{1,2}・杉本 太郎²・横山 真弓^{1,2}

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

要 点

- ・ 兵庫県では 2021 年 3 月に野生イノシシでの豚熱感染が確認された。
- ・ 豚熱の感染拡大防止のため 2020 年 10 月、2021 年 3 月、5 月、10 月、12 月、2022 年 5 月、6 月の計 7 回経口ワクチンの散布が実施された。
- ・ 豚熱の免疫獲得個体の割合は、前の月の陽性個体の割合が高いほど上昇し、経口ワクチンの散布の効果は明確にはならなかった。
- ・ 経口ワクチンのイノシシの摂食率は、散布時にイノシシの痕跡がある場所と 500m 同心円状の林縁長率が高い場所ほど上昇した。

Keywords:イノシシ、経口ワクチン、免疫付与、豚熱

Efficiency of oral immunization and factors affecting the bait vaccine feeding rate for the control of classical swine fever in Hyogo Prefecture, Japan

Takeo Kuriyama^{1,2*}, Yasuyuki Ohta¹, Shun Takagi^{1,2},
Taro Sugimoto², Mayumi Yokoyama^{1,2}

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: Immunization is one of the most important methods for the eradication of classical swine fever in wild boars. Oral immunization by vaccine baits is an effective method for controlling classical swine fever. In Hyogo Prefecture, to prevent the spread of swine fever, seven oral vaccines were administered in November 2022, October 2020, March 2021, and in May, October, December, May, and June 2022. To evaluate the efficiency of bait vaccination in the wild boar population, we evaluated the proportions of immunized and infected wild boars. The percentage of immune individuals increased

受付日：2023 年 1 月 8 日、受理日：2023 年 2 月 2 日

*責任著者：栗山 武夫 ✉kuriyama@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

with the percentage of infected individuals in the previous month and was not affected by oral vaccination. We also constructed a statistical model to identify the factors contributing to the feeding rate for efficient oral vaccination. Analyses of environmental factors, population density, and timing as explanatory variables revealed that the oral vaccine feeding rate increased in places with field signs (rooting) of wild boars and in areas with long forest edges.

Keywords: bait vaccination, CSF, immunization, wild boar

1. はじめに

豚熱(Classical swine fever: CSF)は RNA ウイルスのフラビウイルス科ペスチウイルス属のペスチウイルス C を抗原とする、ブタとイノシシの致死性の感染症である（津田 2021）。2018 年 9 月に岐阜県において、日本で再確認がされた。その後、再確認地点の周辺部の豚飼養施設のブタと野外のイノシシでの感染確認が相次いだ。本稿で対象とした兵庫県では、2021 年 3 月 14 日に京都府との県境の丹波市内で死亡した野生イノシシが陽性個体の（再確認後の）初確認であった（第 6 章 栗山・大田 2023）。兵庫県ではその後、丹波市の初確認地点の周辺部や淡路島で陽性個体が発見され、2022 年 11 月時点では本州部の鳥取県と岡山県の県境に近い市町でも陽性個体が確認され、感染拡大が収束する様子は見られない（栗山・大田 2023）。

野生イノシシにおける豚熱感染を収束させるための主な対策は、以下の 4 つである

（Moenning 2015）。①移動阻害のための給餌、②柵の設置、③低密度化のための捕獲、④免疫獲得のための経口ワクチンの散布である（日本での対策の詳細は栗山・大田 2023 を参照）。特に④経口ワクチンによる免疫付与は欧州では最も有効な手段の一つとして考えられている。現在日本で散布されている野生イノシシ用の経口ワクチンは、ドイツで製造されたもの（ベイト型ワクチン：製品名 Pestiporc Oral, IDT Biologika GmbH 社, ドイツ）である（菊池 2020）。大きさは縦 4 cm、横 4 cm、厚さ 1.5 cm、弱毒化した CSF ウイルス（C 株）が入ったアルミニウム包を、トウモロコシ、パラフィン、ミルクパウダー、アーモンド、ココナッツ油等から成る基質で包むような形をしている（菊池 2020）。散布は「手作業による散布」と「空中散布」がある（農林水産省 2022 豚熱経口ワクチンの野外散布実施に係る指針 <https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/wildboar/attach/pdf/inositaisaku-1.pdf>）。手作業の散布は、最大 20 個の経口ワクチンを 1 地点のセットとして、深さ 10 cm 程度の穴を 10 個掘り、2 個ずつ埋設する。埋設した上部に、よりイノシシが気づきやすいように土にトウモロコシ粒や米ぬか等を混入させることにしている。散布は 2020 年 3 月に岐阜県と愛知県で開始され、その後感染拡大とともに九州と北海道を除く地域で実施されている。経口ワクチンの散布場所や陽性・陰性個体の確認地点は農林水産省の HP で確認できる（農林水産省、野生イノシシに対する豚熱の検査情報

https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/wildboar_map.html）。経口ワクチンによるイノ

シシへの免疫付与効果は、岐阜県を対象に行われた数理モデルを用いた研究により効果が示唆されている (Matsuyama et al. 2022)。また、農林水産省での経口ワクチン対策検討会 (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/wildboar/inosisitaisaku.html>) で情報が公開されている。また、経口ワクチンの摂食率に影響する時期や周辺の環境要因については岐阜県で実施されたデータで分析がされている (Ikeda et al. 2022)。夏に市街地からの距離が摂食率を下げた以外に、解析に含めた竹林・広葉樹林・傾斜の効果は明確ではなかったという結果が示されている。

兵庫県において野生イノシシの豚熱感染拡大防止のために経口ワクチンが初めて散布されたのは 2020 年 10 月である。2020 年 10 月の散布場所は大阪府と京都府の本州部県境部にベルト状に散布された (図 1)。これらは豚熱の感染地域の拡大阻止を目的とした、重点的に経口ワクチンを散布する防疫帯「ワクチンベルト」(菊池 2020) である。その後、2021 年 3 月、5 月、10 月、12 月、2022 年 5 月、6 月にかけて同様の地域に経口ワクチンが散布された。2021 年 3 月にワクチン散布地域である丹波市内で豚熱陽性個体が発見され、その後ベルト状の散布地域の西側に感染個体が発見されたため、本州部では感染個体が発見された場所より西側と三田市内の養豚施設の周辺部に散布場所が設定された。淡路島では 2021 年 7 月末に北部の淡路市内で初めて陽性個体が確認され、2021 年 12 月に島の中央部にワクチン散布地域が設定された。散布期間である 2021 年 12 月末にはすでに淡路島の南端で陽性個体が発見された。2022 年 6 月に淡路島の中央部の養豚施設周辺に散布地域が設定され経口ワクチン散布が実施された。

本稿では兵庫県において豚熱経口ワクチン散布により、イノシシへの免疫付与に効果があったかどうかを、抗原・抗体検査結果 (栗山・大田 2023) を用いて統計解析を行った。また、経口ワクチンの摂食率に影響する要因として環境・生息密度・時期を考慮し統計モデルを構築した。

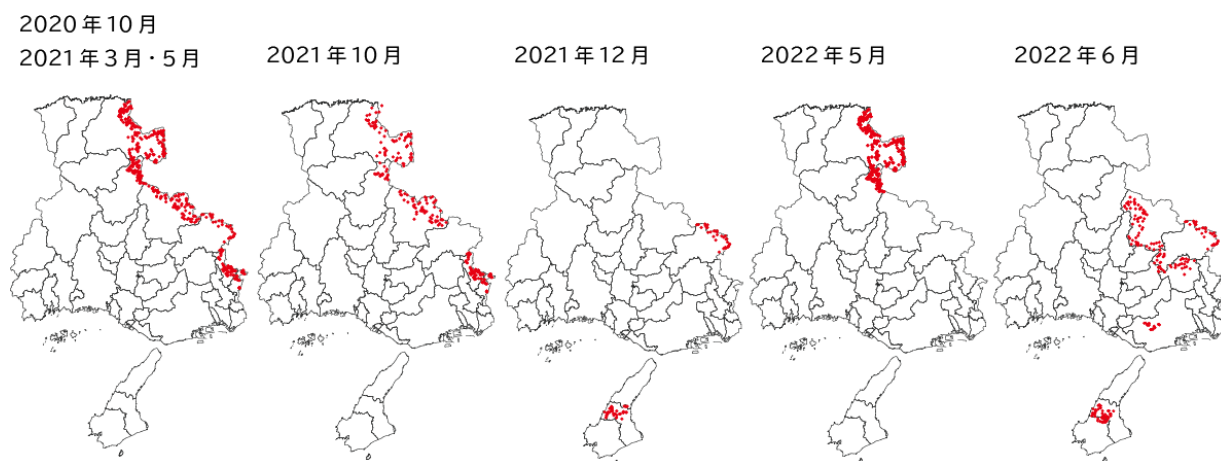


図 1. 豚熱の感染拡大を防止するために経口ワクチンが散布された地点。赤点が 1 つの散布地点を示し、1 地点に 20 個の経口ワクチンが埋設された。

表 1. 市町別の経口ワクチン散布個数と散布期間。上段の地域名は農林振興事務所（図 2）を示す。

散布時期	豊岡市	朝来市	丹波市	丹波篠山市	猪名川町	川西市	三田市	神戸市	洲本市	南あわじ市	散布地点数	散布から回収までの日数
2021/5	182	82	80	30	59	29					462	20-25日間
2021/10	67	21	55		57	29					229	5-7日間
2021/12				32					39		71	6, 7, 16日間
2022/5	364	164									528	4-6日間
2022/6			120	104			42	40	82	40	428	5日間

2. 方法

経口ワクチン散布と陽性個体が免疫付与に与える影響

経口ワクチンの散布がイノシシへの免疫付与効果の有無は、捕獲個体の血清を用いた抗原検査（Polymerase chain reaction: PCR）と抗体検査（Enzyme-linked immuno-sorbent assay: ELISA）の組み合わせで検証できる（図 2）。PCR(+)は豚熱ウイルスを体内に保持している個体（陽性）を、PCR(-)は豚熱ウイルスを体内に保持していない個体（陰性）を示す。ELISA 検査は豚熱ウイルス抗体の保持の有無を示し、PCR(-)ELISA(+)個体が豚熱ウイルスに対する抗体を獲得したとみなせる。ただし、ELISA 検査で(+)になった場合でも、野外ウイルスか経口ワクチンのどちらで抗体が産生される状態になったのかは判別ができない。豚熱ウイルス感染地域や経口ワクチン散布地域になる前の地域では、すべてのイノシシ個体は PCR(-)ELISA(-)と感受性（豚熱ウイルスに感染する可能性がある状態）を示す。仮に豚熱の感染が認められていない地域で経口ワクチンを散布した後に PCR(-)ELISA(+)の豚熱ウイルス抗体を持つ免疫獲得個体の割合が増加していれば、経口ワクチンの効果があったとみなせる（図 2 左上）。一方、経口ワクチンの散布時期とは関係なく、陽性個体が確認されたのちに PCR(-)ELISA(+)の割合が増加した場合は、感染からの「回復」によるものである可能性が高い。

豚熱ウイルスに対する野生イノシシの免疫付与効果に経口ワクチン散布と陽性個体が与える影響を兵庫県が実施した捕獲個体と死亡個体の検査結果の内、2021 年 12 月から 2022 年 11 月 17 日までの検査個体のデータを用いて統計モデルを構築し評価した。使用したデータは抗原検査（PCR）と抗体検査（ELISA）の両方が実施されたものである（N=1,025）。1 ヶ月間ごとに兵庫県全体で集計したものと、市町別に集計したものを使用し、一般化線形モデルと一般化線形混合モデルをそれぞれ構築した。目的変数には 1 か月ごとに集計した免疫獲得個体率(PCR(-)ELISA(+))の個体数/検査個体数)を、説明変数には目的変数の 1 か月前の同一市町内の経口ワクチン散布有無（散布 = 1、散布なし = 0）と陽性個体率(PCR(+))ELISA(-)/検査個体数)。市町別で解析したモデルではランダム効果に市町を入れた。ロジスティック回帰分析を行い、赤池情報量基準（以下、AIC）を基準とした説明変数総当りでのモデル選択を行い、最も AIC が低いものをベストモデルとした（パッケージ lme4、R ver.4.2.2）。

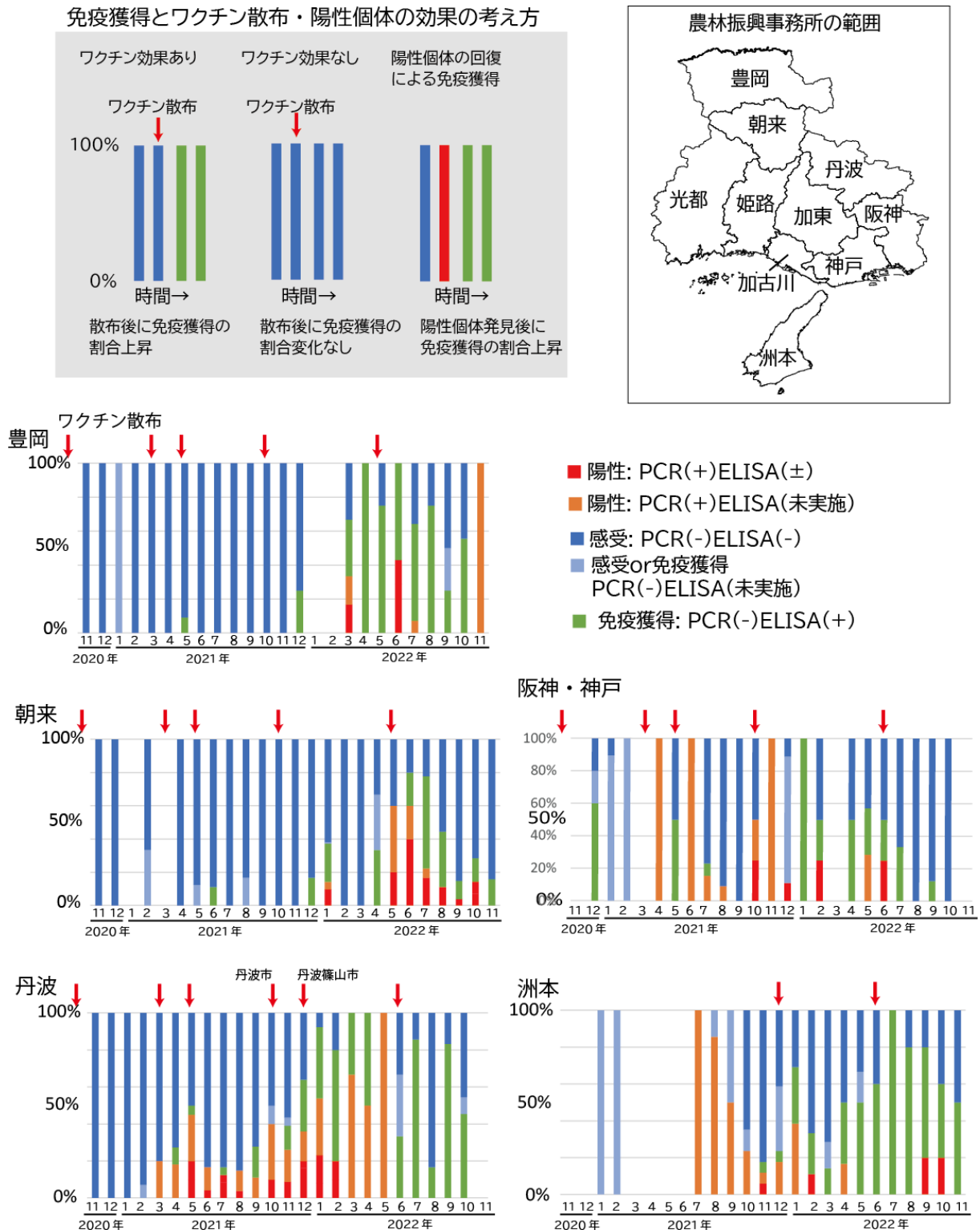


図 2. 兵庫県における月ごと、地域ごとの経口ワクチン散布時期と抗原 (PCR)・抗体(ELISA) 検査結果。赤矢印は経口ワクチン散布時期を示す。地域名は農林振興事務所の所管単位とし (右上)、免疫獲得とワクチン散布・陽性個体の効果の考え方を左上に整理した。

散布した経口ワクチンの摂食に影響する要因解析

野生イノシシの豚熱の感染拡大防止を目的として散布された経口ワクチンのイノシシの摂食率に影響する要因を解明するため、散布場所周辺の環境要因、イノシシの痕跡の有無、散布時期を考慮した一般化線形混合モデルを構築した。使用した経口ワクチン散布データは2021年10月・12月、2022年5月・6月のものである（図1、表1）。2020年10月・2021年3月・5月は散布個数のデータはあるものの、回収された経口ワクチンの内イノシシの摂食痕があったワクチン数の記載がなかったため除外した。事前の餌付けは兵庫県では実施されていない。事前の餌付けは、できるだけ経口ワクチンの形状に近い固形物（例えば、キューブ状の豚用配合飼料等）を土中に埋め、その周囲に少量の豚用配合飼料等を土中に埋め、その周囲に少量のトウモロコシ粒（ペレットトウモロコシ粒（ペレット））、米、米ぬか等を撒くなどして行う（農林水産省 2022 豚熱経口ワクチンの野外散布実施に係る指針）。餌付けを行わなくても十分な経口ワクチンの摂取が期待される場合や、経口ワクチンの未散布地域において豚熱陽性野生イノシシが確認され、速やかな経口ワクチン散布が必要な場合や、これまでに散布実績のある経口ワクチン散布地点において、過去の散布実績等から、餌付けを行わなくても十分な経口ワクチンの摂取が期待される場合、餌付けを省略できる（農林水産省 2022 豚熱経口ワクチンの野外散布実施に係る指針）としており、兵庫県では事前の餌付けを現在までに実施していない。経口ワクチンは1地点20個散布され、回収の際に、イノシシの食痕があるワクチン数（a）、イノシシの食痕がないワクチン数（b）、消失したワクチン数が記録される。目的変数は、経口ワクチンのイノシシ摂食率としたため、 $a/(a+b)$ とした。説明変数は散布時のイノシシの掘返しなどの痕跡有無、環境要因、散布した月、生息密度とした（表2）。広葉樹林率、林縁長率、放棄水田率、市街地率、竹林率、耕作地率は自然環境保全基礎調査第6・7回（環境省、

http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_f.html, 2022年12月27日確認）を使用し ArcMap10.7.1(ESRI社)を用いて、散布地点から半径500mの同心円を作成し、その中に含まれた各環境要素の面積割合・林縁は面積に対する長さの比を算出した（図3）。イノシシ生息密度が推定された地域外の散布地点については、5km以内に生息密度調査メッシュがある場合はその数値を使用し、それ以上の距離があった場合は解析から除外した（図4）。この時2022年5月の散布地域はいずれも密度推定調査が実際されなかったため除外された。一般化線形混合モデルに実装する前にVIFによる多重共線性を回避するための確認を行ったところ（パッケージDAAG）、10以上の数値は見られなかった。

一般化線形混合モデル（二項分布）のランダム変数を5倍地域メッシュとし、散布期間が長いほど摂食される割合が高まると想定されたため、1日あたりの摂食率に換算するために、リンク関数をcloglogとし、オフセット項にlog(散布日数)を設定した（パッケージlme4、R.4.2.2）。説明変数の効果はWald検定により行い、設置時期の効果は10月を基準にして他の時期の効果を検定した。AICによる説明変数総当たりのモデル選択を実施し、説明変数の選択を行った（パッケージMuMIn）。モデル選択の結果AICが最も低いモデルから2以内のモデルの推定値平均を算出した。

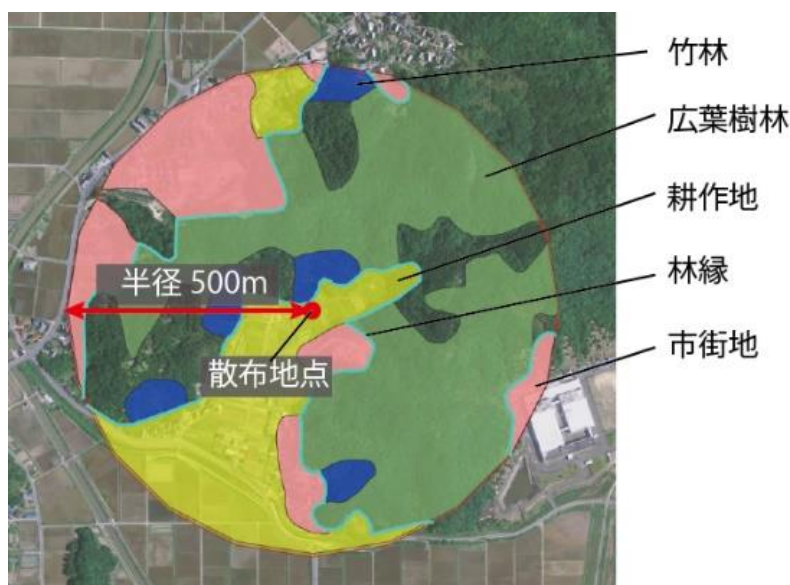


図 3. イノシシの経口ワクチン摂食率分析に使用した環境要因のイメージ図。散布地点から半径 500m 同心円を発生させ、その内側の環境要因の面積割合と林縁の長さの比率を算出した。背景は国土地理院ウェブサイト

<https://cyberjapandata.gsi.go.jp/xyz/seamlessphoto/{z}/{x}/{y}.jpg>

表 2. イノシシの経口ワクチン摂食率分析に使用した変数一覧

項目	説明
目的変数 摂食率	イノシシの食痕があるワクチン数÷ (イノシシの食痕があるワクチン数+イノシシの食痕がないワクチン数)
説明変数 痕跡有無	散布時の周辺にイノシシの痕跡があったかどうか(ある=1、なし=0)
林縁長さ	散布地点から500mの同心円内にある林縁の長さ。自然環境保全基礎調査第6・7回大区分(なだれ地自然低木群落、河辺林、海岸風衝低木群落、岩角地・海岸断崖地針葉樹林、岩角地・風衝地低木群落、岩角地針葉樹林、溪畔林、自然低木群落、沼沢林、常緑広葉樹二次林、常緑広葉樹林、常緑針葉樹二次林、植林地、暖温帯針葉樹林、竹林、低木群落、落葉広葉樹二次林、落葉広葉樹林、落葉広葉樹林(太平洋型)、落葉広葉樹林(日本海型、落葉広葉低木群落、冷温帯針葉樹林)を統合したものを森林と定義し、その縁の長さ。
散布時期	2021年12月、2022年6月を2021年10月と比較した
竹林率	散布地点から500mの同心円内の竹林の面積割合。自然環境保全基礎調査第6・7回大区分(竹林)を竹林と定義。
放棄水田率	散布地点から500mの同心円内の放棄水田の面積割合。自然環境保全基礎調査第6・7回大区分(耕作地)中区分(放棄水田雑草群落)を放棄水田と定義。
広葉樹林率	散布地点から500mの同心円内の広葉樹林の面積割合。自然環境保全基礎調査第6・7回大区分(常緑広葉樹、落葉広葉樹、常緑広葉二次林、落葉広葉二次林、落葉広葉樹(太平洋型)、落葉広葉樹(日本海型))を統合したものを広葉樹林と定義。
市街地率	散布地点から500mの同心円内の市街地の面積割合。自然環境保全基礎調査第6・7回植生図大区分(市街地等)を市街地と定義。
地形湿潤指数	10mメッシュ数値標高モデル(国土地理院)QGISを用いて作成
耕作地率	散布地点から500mの同心円内の耕作地の面積割合。自然環境保全基礎調査第6・7回大区分(耕作地)を耕作地と定義。
イノシシ生息密度	2020年9～11月に県内30地域(約5km四方の5倍地域メッシュ)で自動撮影カメラの動画データからREST法(Random Encounter and Staying Time model, Nakashima et al. 2018; Higashide et al. 2021)により推定された中央値を用いた(兵庫県2022)

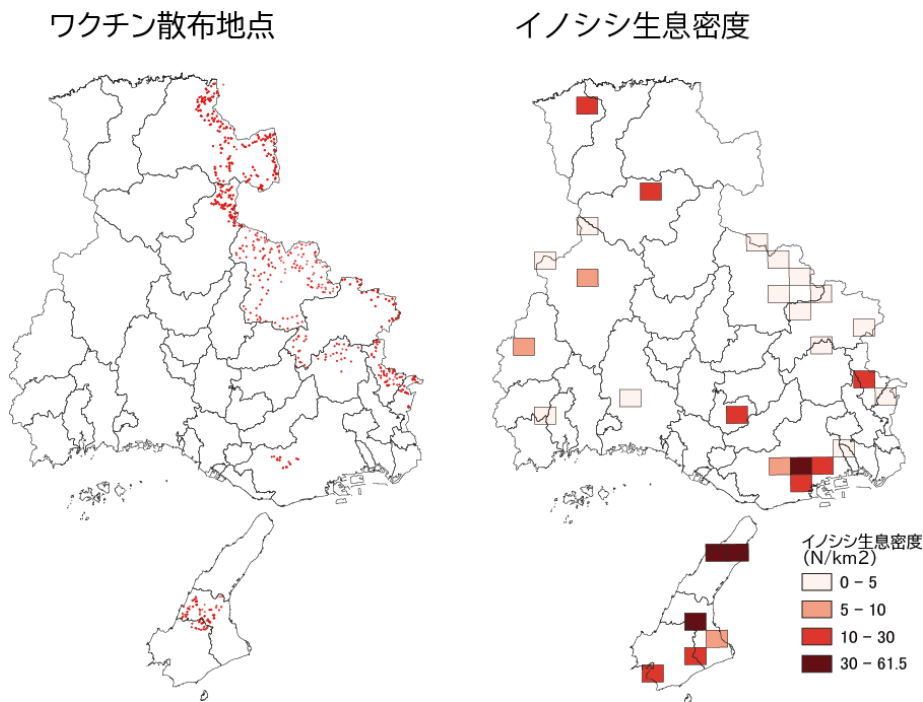


図 4. 2020 年 9－11 月のイノシシ生息密度と経口ワクチンの散布地点。イノシシの生息密度は令和 4 年度イノシシ管理計画事業実施計画資料編（兵庫県 2021）のものを改編した。

3. 結果

兵庫県における豚熱感染拡大防止のための経口ワクチンは 2020 年 10 月から 2022 年 11 月までに計 7 回散布された（図 1）。散布された経口ワクチンのイノシシによる摂食率は、時期ごとに集計すると平均 2% から 22% であった（表 3）。2021 年 10 月に朝来市に散布された経口ワクチンは 1 個も摂食痕が見られなかったが、そのほかの市町・時期はばらつきがあるもののイノシシの摂食痕が見られた。

表 3. 経口ワクチンのイノシシの摂食率。1 地点に 20 個散布されたワクチンで、回収された個数の内、イノシシの摂食痕があったワクチン個数率の平均と最小－最大値を示す。上段の地域名は農林水産事務所を示す。

散布時期	豊岡		朝来		丹波				阪神				神戸				洲本				全体	
	豊岡市		朝来市		丹波市		丹波篠山市		猪名川町		川西市		三田市		神戸市		洲本市		南あわじ市			
	平均	最小-最大																				
2021-10	0.13	(0-1.0)	0.00	(0-0)	0.12	(0-1.0)	-	-	0.29	(0-1.0)	0.30	(0-1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	(0-1.0)
2021-12	-	-	-	-	-	-	0.09	(0-1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	(0-1.0)	-	-	0.12	(0-1.0)
2022-05	0.02	(0-1.0)	0.02	(0-0.67)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	(0-1.0)
2022-06	-	-	-	-	0.14	(0-1.0)	0.28	(0-1.0)	-	-	-	-	0.03	(0-0.36)	0.10	(0-1.0)	0.31	(0-1.0)	0.49	(0-1.0)	0.22	(0-1.0)

経口ワクチン散布と陽性個体が免疫付与に与える影響

地域ごとの経口ワクチン散布と抗原検査（PCR）・抗体検査（ELISA）による月毎の割合を図 2 に示した。豊岡や朝来では 3 回目の散布と同時か 1 か月後に免疫獲得個体が確認されたが、豚熱陽性個体の確認後に免疫獲得個体の割合が増加した。他の地域でも経口ワクチンの散布後に免疫獲得個体の割合が上昇せず、陽性個体の割合増加した後、免疫獲得個体の割合が増加するという傾向であった（図 2）。

免疫獲得個体の比率に、一つ前の月の経口ワクチンの散布と陽性個体率が影響するかどうかを統計解析したところ、兵庫県全体のデータを使用した解析ではどちらの要因も有意に効いていたとは言えなかった（表 4）。市町別の解析では、最も AIC が低いベストモデルに、前月陽性率のみが選択され、正の効果が見られた（表 5）。

表 4. 兵庫県における免疫獲得個体の比率に前月の陽性個体率とワクチン散布有無が与える影響（全県）。

AIC	Δ AIC	前月陽性率		前月ワクチン散布		切片	
		推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE
67.8		-0.25	0.49			-0.21	0.17
69.4	1.6			0.07	0.21	-0.30	0.13
69.9	2.1					-0.27	0.10

表 5. 兵庫県における免疫獲得個体の比率に前月の陽性個体率とワクチン散布有無が与える影響（市町別）。

AIC	Δ AIC	前月陽性率		前月ワクチン散布		切片	
		推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE
360.0		2.71	0.61			-1.87	0.18
422.2	62.2			0.20	0.22	-1.68	0.13
437.3	77.3					-1.66	0.13

散布した経口ワクチンの摂食率に影響する要因

散布した経口ワクチンの摂食率に影響する、環境要因、生息密度、痕跡、時期の解析の結果、環境要因では林縁長率と散布時のイノシシの痕跡有が正に、10 月と比較して、12 月が負に効くことが明らかになった（図 5）。広葉樹林率、市街地率、放棄水田率、地形湿潤指数といった環境要因、イノシシ生息密度、10 月と比較した 6 月は摂食率との明確な関係は見られなかった。

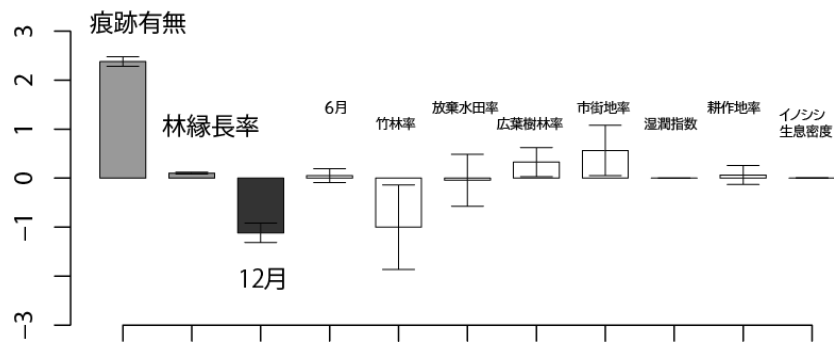


図 5. 経口ワクチンのイノシン摂取率に影響を与える要因のモデル平均推定値。Wald 検定で P 値が 0.05 未満のうち、灰色は正に、黒色は負に影響していることを示す。白抜きは正負のいずれの効果も見られなかったことを示す。

4. 考察

経口ワクチン散布と陽性個体が免疫付与に与える影響

兵庫県において豚熱の免疫獲得個体の割合の増加は、経口ワクチンの散布有無ではなく豚熱に既に感染した陽性個体の割合の増加によってもたらされたものであることが統計解析から示唆された。岐阜県のデータを用いた研究では、免疫獲得個体の割合が経口ワクチン散布の回数に応じて上昇することが数理モデルから示唆されている (Matsuyama et al. 2022)。この研究では、感染し得る感受個体と感染率、感染後の回復率等を明示的に扱った感染症数理モデル (SEIR モデル、Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) で豚熱感染動態に関するパラメーターを推定したものである。感染からの回復率は 0.002/週と推定され、ほとんどの感染個体が死亡することを意味している。実際の感染地域でのイノシン集団の個体群動向は現在調査中であり結果を待たなくてはならないが、兵庫県の感染動向のデータを見る限りでは、陽性個体割合が上昇した後に免疫獲得個体の上昇がみられるため、回復率が岐阜県よりも高い可能性がある。ただし、兵庫県では検査数が少ないため岐阜県のような動態モデルの構築は難しい困難と考えられ、今後は検査数を増やし、より詳細な解析と他地域との比較が望まれる。

散布した経口ワクチンの摂取率に影響する要因

散布された経口ワクチンのイノシンによる摂取率は、散布時のイノシン痕跡有・500m 同心円内の林縁長が長いと高く、12 月は 10 月と比較して低い、という結果になった。散布時に掘返しなどの痕跡がある場合は、一定期間中にイノシンが採餌のために地表面を掘返ししたことを意味する。つまり採餌場所として利用するため、実際の経口ワクチンの摂取率を上昇させる要因として理解しやすい。500m 同心円状の林縁長率が高い場所は、森林と耕作地や市街地などが入り組んだいわゆる谷津地形であると言える (図 3 参照)。イノシシの行動解析が

ら林縁を境に耕作地と森林内を行き来すること（本田ほか 2008; 横山ほか 2014）、が分かっているため、周囲に林縁長率が高い環境では採餌場所や複数の個体の利用があると考えられる。摂食率に 12 月が負に効いていた要因としては、地表面の凍結（や積雪）により埋設した経口ワクチンが接触できない可能性が指摘されているため（Ikeda et al. 2022）、兵庫県でも同様であることが示唆された。

岐阜県で実施されたワクチン散布の摂食率に影響する要因分析の結果では、夏に市街地からの距離が摂食率を下げた以外に、解析に含めた竹林・広葉樹林・傾斜の効果は明確ではなかった（Ikeda et al. 2022）。事前の餌付けについては、春と夏で摂食率を高める要因であることが明らかにされている（Ikeda et al. 2022）。事前の餌付けは、現在兵庫県内では行われていないため、今後事前の餌付けなど摂食率を高める手法を検討する必要がある。岐阜県の事例では、生息密度は春季に摂食率への正の効果が見られたが、夏と冬には見られず、岐阜県内では全体的に低密度であることを可能性として挙げている（Ikeda et al. 2022）。本研究で対象にした兵庫県では岐阜県よりも生息密度の高低差があるにも関わらず生息密度の効果は明確ではなかった。ただし、豚熱の感染拡大の速度と生息密度の関係分析では、生息密度の高い淡路島において、低い本州部よりも感染拡大の速度が高い（第 6 章 栗山・大田 2023）。

4. おわりに

本稿では兵庫県での豚熱感染動態と経口ワクチン摂食率について分析を行った。野生イノシシの免疫獲得率は豚熱感染による陽性個体の増加によるものだった。経口ワクチン摂食率はイノシシ痕跡と林縁長が正に効く要因であることを明らかにした。

免疫獲得個体の上昇に経口ワクチンが明確に寄与しているという結果が出なかったが、岐阜県をはじめとした地域では経口ワクチンによる効果は報告されている（Matsuyama et al. 2022）。本研究で対象とした兵庫県では、抗原（PCR）・抗体（ELISA）検査が実施されたイノシシの個体数は感染動態を分析するには少なすぎるため、今後は地域ごとに細かい時期で感受個体、感染個体、免疫獲得個体の割合を把握し、再解析することが望ましい。これにより、現在より詳細な感染動態の推定が可能となり、豚熱対策に寄与できると考えられるため、検査数の増加が望まれる。

現在、兵庫県では京都府・大阪府との境に設置したワクチンベルトの西側で陽性個体が見つかっている状況であることから、2022 年度からは、養豚施設の周辺での経口ワクチン散布に切り替わっている。本稿で明らかにした経口ワクチンの摂食率が高い環境（イノシシの痕跡があり、林縁長率が高い場所）で集中的に散布を行い、免疫獲得個体の増加と豚熱の収束を期待したい。

謝辞

本研究で使用した検査データは兵庫県・市町の関係部署、猟友会のご協力のもと収集・整理

されたものである。本研究の一部は環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20204G01）および農林水産省委託プロジェクト研究「20319390 安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンスのうち課題解決型プロジェクト研究（CSFの新たな総合的防除技術の開発）」の助成を受け実施した。

引用文献

- Higashide D, Kuriyama T, Takagi S, Nakashima Y, Fukasawa K, Yajima G, Kasada M, Yokoyama M (2021) Effectiveness of signs of activity as relative abundance indices for wild boar. *Wildlife Biology*, 2021:wlb.00869
- 本田 剛, 林 雄一, 佐藤 喜和 (2008) 林縁周辺で捕獲されたイノシシの環境選択. *哺乳類科学*, 48:11–16
- 兵庫県 (2022) 第3期イノシシ管理計画及び令和4年度事業実施計画資料編. 兵庫県, 神戸
- Ikeda T, Higashide D, Suzuki T, Asano M (2022) Efficient oral vaccination program against classical swine fever in wild boar population. *Preventive Veterinary Medicine*, 205: 105700
- 菊池 栄作 (2020) 野生イノシシの豚熱（CSF）対策. *日本豚病研究会報*, 76: 8–14
- 栗山 武夫, 大田 康之 (2023) 兵庫県における 2022 年末までの豚熱の拡大の概要. *兵庫ワイルドライフモノグラフ*, 15: 60–71
- Matsuyama R, Yamamoto T, Hayama Y, Omori R (2022) Measuring impact of vaccination among wildlife: The case of bait vaccine campaigns for classical swine fever epidemic among wild boar in Japan. *PLOS Computational Biology*, 18: e1010510
- Moennig V (2015) The control of classical swine fever in wild boar. *Frontier in Microbiology*, 6:1211
- Nakashima Y, Fukasawa K, Samejima H (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps. *Journal of Applied Ecology*, 55: 735–744
- 農林水産省 (2022) 豚熱経口ワクチンの野外散布実施に係る指針
<https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/csf/wildboar/attach/pdf/inosisitaisaku-1.pdf>,
2023 年 1 月 8 日確認
- Rossi S, Staubach C, Blome S, Guberti V, Thulke HH, Vos A, Koenen, F, Le Potier MF (2015) Controlling of CSFV in European wild boar using oral vaccination: a review. *Frontier in Microbiology*, 6:1141
- 津田 智之 (2021) 豚熱とアフリカ豚熱—豚とイノシシの最強の家畜伝染病—. *モダンメディア*, 67: 193–199
- 横山 真弓, 江藤 公俊, 木下 裕美子 (2014) 農地に隣接して生息する日本イノシシの加害行動の解析. *兵庫ワイルドライフモノグラフ*, 6: 59–70

第 8 章

兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容物

吉村 真由^{1,2}・横山 真弓^{3,4}・栗山 武夫^{3,4*}

¹兵庫県立大学大学院環境人間学研究科

²株式会社島嶼生物研究所

³兵庫県立大学自然・環境科学研究所

⁴兵庫県森林動物研究センター

要 点

- ・ 2010 年代に新たに分布が確認された兵庫県の島嶼部において、イノシシの捕獲 10 個体を用いて胃内容物の調査を行った。
- ・ 植物質と動物質のどちらの出現率も高かった。動物質の出現率が過去の他地域の事例より高かった理由として耕作地が周囲になく森林性の餌資源により強く依存している可能性が考えられた。
- ・ 植物質の内、ブナ科堅果は秋に捕獲された 5 個体中 3 個体で確認された。
- ・ 動物質の内、ムカデ類は 7 割の出現率となり、5 割のミミズ類よりも高かった。

Keywords: 胃内容、イノシシ、島嶼、ムカデ類

Diet of wild boar (*Sus scrofa*) in a newly established island population in Hyogo Prefecture, Japan: a stomach content analysis

Mayu Yoshimura^{1,2}, Mayumi Yokoyama^{3,4}, Takeo Kuriyama^{3,4*}

¹ Islands Wildlife Laboratory Co., Ltd.

² Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo

³ Wildlife Management Research Center, Hyogo

⁴ Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

Abstract: We investigated the stomach contents of ten captured wild boars from a new population (i.e., established in the 2010s) on islands in Hyogo Prefecture. The frequencies of both vegetative and animal matter were high throughout the season. The higher frequency of animal matter on the islands compared with other regions in previous studies could be explained by the lack of cultivated land in the surrounding area and the increased dependence on forest-based food resources. Acorns were found in the diets of 4 of the 5 individuals caught in the autumn. Among animals, centipedes accounted for 70% and

受付日：2023 年 1 月 8 日、受理日：2023 年 2 月 2 日

*責任著者：栗山 武夫 ✉kuriyama@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

earthworms accounted for 50%

Keywords: centipedes, island, stomach content, wild boar

1. はじめに

イノシシ *Sus scrofa* はユーラシア大陸原産である(Keuling et al. 2017)。南極を除く各大陸に分布している。しかし、これらの分布は狩猟目的で世界中に導入された地域も含まれている (Barrios-Garcia and Ballari 2012)。原産地と導入地ともに世界中で個体数は増加傾向にあり、分布は拡大し続けている。農業被害のほか、人や車・鉄道との接触や、出没への恐怖という精神面への影響、捕食や攪乱・踏圧などによる生態系へ影響、家畜や人への共通感染症の媒介といった様々な問題を起こす (Barrios-Garcia and Ballari 2012)。このような広範囲に分布を拡大することができたのは、世代交代が早く、個体群動態に可塑性があり、捕食や狩猟に直面しても繁殖能力が高いため回復力があり、雑食性で様々な餌資源を利用できるという、本種の特殊な生活史特性に関連していると考えられている (Massei and Genov 2004; Senior et al. 2016)。

日本でも記録のある 1978 年以降の分布域は拡大傾向であり、1978 年には約 5 km 四方の 5 倍地域メッシュ単位で全国の総メッシュ数 17,376 個のうちイノシシが分布しているのは 5,188 個であったが、2018 年には 9,641 個と約 1.9 倍に分布が拡大した (環境省 2021, <https://www.env.go.jp/content/900517069.pdf>)。分布拡大は島嶼域にまで及んでいる (高橋 2017)。これまで多くの島嶼でイノシシの侵入が確認されており (高橋 2017)、そのうちのいくつかでは生息に関する調査が行われてきた (平田 2014; 中本・遠藤 2016; 武山 2016; 高橋 2017)。

イノシシが分布拡大した地域や、個体数の増加した地域では生態系への影響が懸念されている。捕食による直接的な影響と、採餌の際に地面を掘り返す行動が他種の生息地を改変する間接的な影響がある (Bueno et al. 2009; Howe et al. 1981; Massei and Genov 2004; Mori et al. 2020)。イノシシは雑食性かつ日和見主義的な捕食者 (Stegeman 1938; Sweeney et al. 2003) で様々な餌資源を利用する。食性を調べた研究では 9 割以上が植物質のものである事例が多い (総説 Keuling et al. 2017; Gray et al. 2020)。動物質の餌がイノシシの餌メニュー全体に占める割合は、体積比で表すと 2~11%と比較的小さいが、出現頻度で表すと分析した胃内容物の 94%に動物質の餌が含まれていた事例もある (Howe et al. 1981)。実際に日本における島嶼でのイノシシの胃内容物を調査した研究においても季節を通じて植物質の出現頻度は 9 割以上であるが、ミミズなどの動物質も 78% (秋) と季節によっては高い出現頻度を示す事例もある (広島県上蒲刈島, 木場ほか 2009)。ただし島嶼域でのイノシシの食性分析事例はほとんどないため、生態系への影響評価のためにはさらなる研究が望まれているところである。

そこで本稿では、2010 年代に新たに分布拡大した兵庫県の島嶼部において、イノシシの胃内容物を調査し、島嶼域で生態系へどのような影響があるのかを評価するための基礎的な資

料とした。

2. 方法

本研究は、近年新たにイノシシの侵入が確認された兵庫県姫路市の家島諸島の家島(面積 5.4km^2)と西島(同 6.6km^2)、南あわじ市の沼島(同 2.7km^2)を調査対象とした(図 1)。住民等への聞き取り調査では、2010 年代からイノシシの目撃情報がある(吉村・栗山 未発表)。家島と沼島は面積の 73.3%、86.6%が森林で占められているが、西島は森林が 47%、造成地(採石場)が 45.5%を占めている(表 1)。いずれの島も森林のうち、広葉樹林がほとんどの面積を占めている。広葉樹林では、ウバメガシやスダジイが優占する常緑広葉樹二次林が優占しているが、一部にコナラが優占する落葉広葉樹二次林も存在する。スギなどの植林地はほとんどない。耕作地や果樹園は、西島と沼島にはほぼ存在していない(表 1)。家島には 1%存在するが、家庭菜園かすでに耕作を放棄した場所である可能性が高い。また、家島・西島(家島観測所)の 2018-2022 年の平均気温は 15.9°C 、平均降水量合計は $1,097\text{mm}$ 、沼島(南淡観測所)の平均気温は 16.2°C 、平均降水量合計は $1,417\text{mm}$ である(気象庁,過去の気象データ,家島,南淡観測所)。人口は家島 2,693 人、西島 2 人、沼島 430 人である(平成 27 年度国勢調査)。西島は人口は少ないが野外活動施設である兵庫県立いえしま自然体験センターがある。

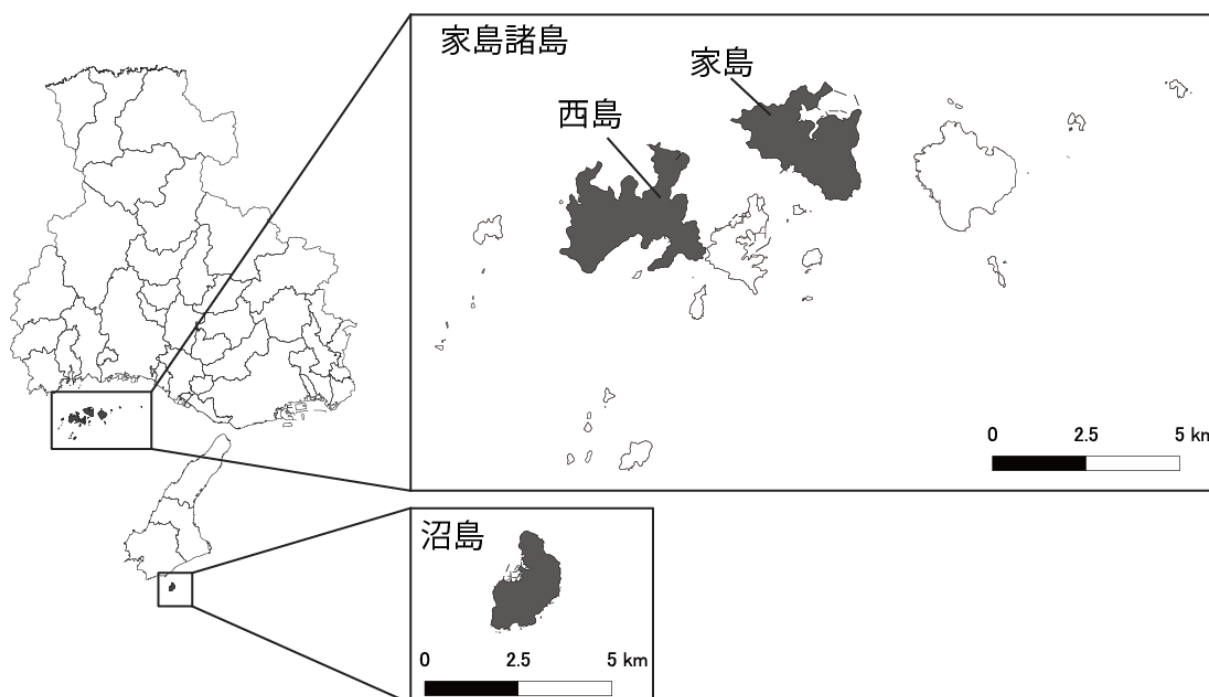


図 1. 調査対象とした兵庫県の家島諸島(西島・家島)と沼島

表 1. 調査対象とした島嶼の面積と主な土地利用割合

市町名	島嶼	総面積(km ²)	非森林域				森林域	
			耕作地(%)	果樹園(%)	市街地(%)	造成地(%)	広葉樹林(%)	その他森林(%)
姫路市	家島	5.4	1.0	0.0	13.5	5.8	60.3	13.0
	西島	6.6	0.0	0.0	1.3	45.5	45.2	1.8
南あわじ市	沼島	2.7	0.0	0.0	3.4	0.0	68.9	17.7

自然環境保全基礎調査第 6・7 回（環境省、http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_f.html, 2022 年 12 月 27 日確認）を基に面積を算出。市街地は大区分市街地・中区分市街地、広葉樹林は常緑広葉樹林・常緑広葉樹二次林・落葉広葉樹林・落葉広葉樹二次林、その他森林は森林として大区分（なだれ地自然低木群落、河辺林、海岸風衝低木群落、岩角地・海岸断崖地針葉樹林、岩角地・風衝地低木群落、岩角地針葉樹林、溪畔林、自然低木群落、沼沢林、常緑広葉樹二次林、常緑広葉樹林、常緑針葉樹二次林、植林地、暖温帯針葉樹林、竹林、低木群落、落葉広葉樹二次林、落葉広葉樹林、落葉広葉樹林（太平洋型）、落葉広葉樹林（日本海型、落葉広葉低木群落、冷温帯針葉樹林）を作成後、広葉樹林を引いたもの。果樹園は大区分耕作地・中区分果樹園、耕作地は大区分耕作地・中区分水田雑草群落と畑雑草群落は大区分耕作地・中区分畑雑草群落、造成地は大区分市街地・中区分造成地を ArcGIS(10.7.1)上で抽出したものである。

使用したサンプルは、3 島で 2020 年 6 月から 2021 年 2 月に有害鳥獣駆除捕獲または狩猟捕獲により捕獲されたイノシシの胃内容物である（表 2）。調査した個体数はそれぞれ、家島（N=5）、西島（N=3）、沼島（N=2）である。個体ごとに、雌雄判別、体重測定、齢査定、胃重量を測定した。下顎骨を回収できたものについては、歯の萌出と交換状況（林ほか 1977; 辻・横山 2014a）から 0 歳から 3 歳までの年齢を査定し、3 歳以上は 3+として査定した。

捕獲された個体を解剖し、胃を摘出後、胃内容物を 70%エタノールに保存した。保存した胃内容物から約 300ml 抽出し、1mm メッシュの篩にかけ、流水洗浄を行った。その後、内容物を、植物質（繊維質・葉・茎・種子・堅果）・動物質（後述する 8 グループ）・人工物に分類した（小寺・神崎 2001; 木場ほか 2009）。なお、箱罫で使用した米ぬか等の誘引物は除外した。

島嶼間や捕獲時期で胃内容物に類似性があるかを明らかにするため、個体間の胃内容物組成の類似度を Jaccard 指数を用いて算出し比較した。類似度の算出にはグループが確認できれば 1、確認できなければ 0 として計算した。捕獲時期は、3-5 月を春、6-8 月を夏、9-11 月を秋、12-2 月を冬として扱った。Jaccard 指数を基に、非計量多次元尺度（NMDS）により空間配置を行った（土居・岡村 2001）。また、階層クラスタリング（ウォード D2 法）によりデンドログラムによる比較も行った。同定できなかったものは不明として解析から除いた。類似度の解析には R（ver.4.2.2）、パッケージ **vegan** を使用した。

表 2. 胃内容物調査の試料としたイノシシの情報

ID	島嶼名	市町名	性別	捕獲年月日	推定年齢	捕獲方法	推定個体 体重(kg)	胃重量(g)	胃内容重量(g)
i-01	家島	姫路市	オス	2020/6/21	1	銃	約50	-	1727
i-03	家島	姫路市	メス	2020/9/18	2	<<リ罠	約55-60	921	480
i-04	家島	姫路市	オス	2020/10/25	-	箱罠	-	1099	745
i-05	家島	姫路市	オス	2020/10/25	1.5	銃	約80	2534	1808
i-06	家島	姫路市	オス	2020/10/25	-	銃	-	1029	705
ni-07	西島	姫路市	メス	2020/10/5	1.5	箱罠	-	1114	409
ni-13	西島	姫路市	メス	2020/12/10	0	箱罠	8.88	802	179
ni-21	西島	姫路市	オス	2021/1/10	3+	箱罠	-	802	179
nu-03	沼島	南あわじ市	メス	2021/2/6	1	箱罠	-	921	480
nu-04	沼島	南あわじ市	オス	2021/5/2	3+	箱罠	-	450	302

3. 結果

姫路市家島（N=5）、西島（N=3）、南あわじ市沼島（N=2）で捕獲されたイノシシの胃内容物からは植物質（繊維質・葉・茎・種子・ブナ科堅果）と動物質 8 グループ、人工物が同定された（表 3、図 2）。すべてのイノシシで植物質の器官と動物質のグループの両方が出現した。動物質のものは、軟体動物、環形動物、節足動物、脊椎動物が確認された。動物質の出現頻度はグループ毎にばらつきがみられ、最小値は 1 個体のみで確認された脊椎動物の魚類(10%)、最大値は 7 割の個体で確認された節足動物のムカデ類であった。人工物は 2 割の個体に含まれ、発泡スチロール（i-05）と金属片（i-06）が確認された。

表 3. イノシシ個体ごとの胃内容物の組成。1 は確認されたもの、0 は確認されなかったもの。10 個体中でのグループごとの出現率を示す。

ID	島嶼名	捕獲月	植物質					動物質								人工物 不明	
			繊維質	葉	茎	種子		軟体動物	環形動物	節足動物				脊椎動物			
						堅果	その他			ムカデ類	アリ類	甲虫類 (成虫)	甲虫類 (幼虫)	魚	鳥(羽)		
i-01	家島	6	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
i-03	家島	9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1
i-04	家島	10	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
i-05	家島	10	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
i-06	家島	10	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
ni-07	西島	10	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
ni-13	西島	12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
ni-21	西島	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
nu-03	沼島	2	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
nu-04	沼島	5	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
出現率			0.9	0.8	0.2	0.5	0.4	0.3	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4	0.1	0.3	0.2	0.8

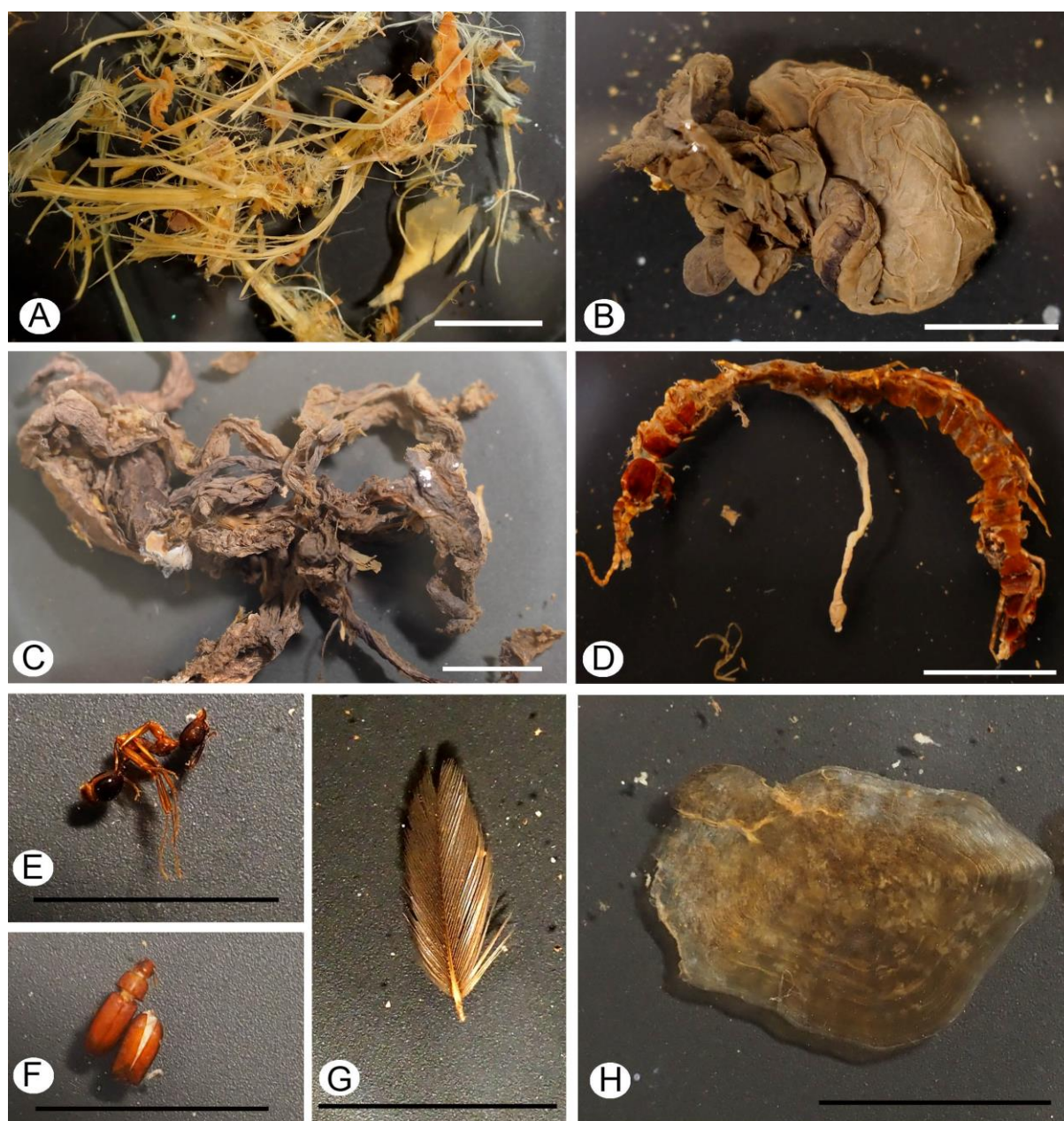


図 2. 兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容物。A：植物質。B：軟体動物・ナメクジ類。C：環形動物・ミミズ類。D：節足動物・ムカデ類、E：アリ類。F：甲虫類。G：脊椎動物鳥類。H：魚類。スケールは 1cm。

胃内容物のグループごとの在・不在に基づいて（表 3）、Jaccard 類似度指数（数値は非類似度）と非計量多次元尺度（NMDS）、階層クラスタリングを行った（表 4、図 3）。Jaccard 類似度指数の平均は 0.62 で、最も低かったものは 0.30 (i-03 と i-04) で、最も高かったものは 1.0 (i-01 と ni-13、i-01 と ni-21) であった。NMDS 図とデンドログラムでは、島ごと季節ごとに若干の集合が見られた（図 3）。

表 4. 兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの個体ごとの胃内容物の Jaccard 類似度指数。値は非類似度を表し、1 が完全に異なっていること、0 が完全に同じこと意味する。

id	家島					西島			沼島
	i-01	i-03	i-04	i-05	i-06	ni-07	ni-13	ni-21	nu-03
家島 i-03	0.73								
i-04	0.90	0.30							
i-05	0.71	0.64	0.67						
i-06	0.67	0.36	0.64	0.38					
西島 ni-07	0.89	0.67	0.70	0.78	0.73				
ni-13	1.00	0.60	0.63	0.88	0.80	0.75			
ni-21	1.00	0.82	0.75	0.67	0.78	0.50	0.83		
沼島 nu-03	0.43	0.58	0.73	0.50	0.50	0.56	0.90	0.57	
nu-04	0.86	0.60	0.43	0.50	0.67	0.75	0.67	0.60	0.63

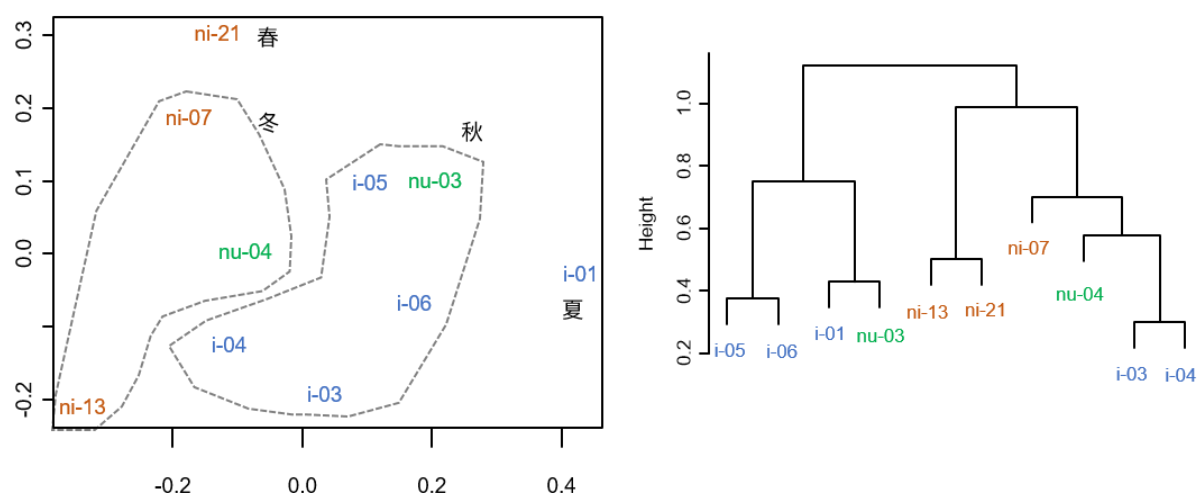


図 3. 兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの個体ごとの胃内容物の類似度。非計量多次元尺度 (NMDS) による空間配置 (左図) と階層クラスタリングによるデンドログラム (右図)。同じ島のものは同色とした。

4. 考察

本稿で調査したサンプル数は少ないが、植物質と動物質の両方の出現率が高かった。類似度を島嶼ごとに比較してみると、西島、沼島&家島グループとなる傾向がみられ、季節でも類似度が分類できる可能性が示唆された。類似度の計算のもととなったイノシシ個体ごとのグループの出現の有無を見ると (表 3)、沼島と家島で見られた植物質のブナ科堅果類と動物質のムカデ類が西島で確認できなかったことに起因している可能性がある。ただし、島と季節のセットが少ないため、今後よりサンプルサイズを増やして吟味していく必要がある。

植物質のうち繊維質は 1 個体を除きすべての個体で確認された。繊維質のものは植物の葉・

茎・根・塊茎等の様々な器官が消化過程により繊維状になったものと考えられるため、出現率が高かったと思われる（小寺・神崎 2001）。ブナ科堅果類は秋季に捕獲した 5 個体中 3 個体で観察され、過去の研究での堅果類の出現ピークとも一致した（木場ほか 2009）。夏季で捕獲したイノシシ 1 個体からもブナ科堅果類が観察されたのは、前年度に落下し地中に残されたものを掘返して摂食した可能性がある（木場ほか 2009）。

全個体の動物質の出現率に注目すると過去の研究事例よりも高い。例えば広島県呉市上蒲刈島での事例では、夏と秋の出現率が 70%前後であるが（木場ほか 2009）、本件でのサンプルではすべての個体でいずれかの動物質の餌が確認できた。ミミズ類の出現率は 5 割で春以外の季節で胃内容物から確認された。特にムカデ類は西島以外の家島と沼島で、夏・秋・冬に捕獲した個体から観察でき、ミミズ類より出現率が高かった。広島県呉市上蒲刈島での事例では、ミミズ類とムカデ類の最も高かった季節の出現率は、ミミズ類 19.9%（秋）、ムカデ類 26.5%（秋）であった（木場ほか 2009）。そのため家島と沼島では、イノシシの採食によるムカデ類への負の影響が他地域（西島や広島県上蒲刈島）に比べて大きい可能性があるが、サンプル数を今後増やして検証する必要がある。過去の研究で対象とされた地域は山間部の周辺に耕作地や耕作放棄地が存在し、食性も耕作地・耕作放棄地由来の植物質のものが大半であることが報告されている（朝日 1975; 木場ほか 2009; 小寺・神崎 2001; 角田ほか 2014; 林ほか 2021）。本研究ではグループごとの量的な評価は行っていないが、動物質のものが通年高い出現率であることが、調査対象地周辺に耕作地がほとんどなく、森林内での採餌にほぼ限定されていたことが原因の可能性がある。本研究で対象とした西島・家島・沼島のような耕作地がほとんどない閉鎖生態系である島嶼部では、森林内の土壌動物へのイノシシの採食によるインパクトが高くなりやすい可能性がある。今後、サンプル数を増やすとともに、量的な評価を行っていく必要がある。また、箱罌捕獲による胃内容物は誘引餌の影響や数時間罌内で過ごしていることにより、消化が進んでいるなどの影響が想定されるため、捕獲方法を統一した比較も必要である。

また、近年では消化され同定困難な場合でも DNA を抽出し配列から餌メニューを明らかにする DNA バーコーディングによる研究事例も増加している（奥ほか 2020; 斎藤ほか 2020; Shin et al. 2020）。この手法を併用すれば、数日分の採食物を反映している糞中から餌生物を特定でき、より詳細なグループの把握と生態系への影響評価につながる可能性がある。

謝辞

本研究で使用了イノシシのサンプルは、姫路市、兵庫県立いえしま自然体験センター、飾磨猟友会、南あわじ市、南あわじ市猟友会灘支部の皆様から提供いただいた。本研究は環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20204G01）および農林水産省委託プロジェクト研究「20319390 安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンスのうち課題解決型プロジェクト研究（CSF の新たな総合的防除技術の開発）」、科学研究費（19H03307）の助成を受け実施した。

引用文献

- 朝日 稔 (1975) 狩猟期におけるイノシシの胃内容. 哺乳動物学雑誌, 6: 115–120
- Barrios-Garcia MN, Ballari SA (2012) Impact of wild boar (*Sus scrofa*) in its introduced and native range: A review. Biological Invasions, 14: 2283–2300
- Bueno CG, Alados CL, Gómez-García D, Barrio IC, García-González R (2009) Understanding the main factors in the extent and distribution of wild boar rooting on alpine grass-lands. Journal of Zoology, 279: 195–202
- 土居 秀幸, 岡村 寛 (2011) 生物群集解析のための類似度とその応用 : R を使った類似度の算出、グラフ化、検定. 日本生態学会誌, 61: 3–20
- Gray SM, Roloff GJ, Montgomery RA, Beasley JC, Pepin KM (2020) Wild pig spatial ecology and behavior, in VerCauteren KC, Beasley JC, Ditchkoff SS, Mayer JJ, Roloff GJ, Strickland BK eds, Invasive wild pigs in North America, pp33–56. CRC press, NW
- 林 典子, 高山 夏鈴, 吉永 秀一郎, 小泉 透 (2021) 市街地周辺林地に生息するイノシシ (*Sus scrofa*) における採食場所の土壌特性. 森林総合研究所研究報告, 20: 263–275
- 林 良博, 西田 隆雄, 望月 公子, 瀬田 季茂 (1977) 日本産イノシシの歯牙による年令と性の判定. 日本獣医学雑誌, 39: 165–174
- 平田 滋樹 (2014) 長崎県の島嶼におけるイノシシ管理の現状. 野生動物と社会, 1: 79–83
- Howe T, Singer FJ, Ackerman BB (1981) Forage relationships of European wild boar invading northern hardwood forest. Journal of Wildlife Management, 45: 748–754
- 環境省 (2021) 全国のニホンジカ及びイノシシの個体数推定及び生息分布調査の結果について (令和 2 年度) . env.go.jp/content/900517069.pdf, 2023 年 1 月 6 日確認
- Keuling O, Podgórski T, Monaco A, Melletti M, Merta D, Albrycht M, Genov PV, Gethöffer F, Vetter SG, Jori F, Scalera R, Gongora J (2017) Eurasian wild boar *Sus scrofa* (Linnaeus, 1758). In M. Melletti & E. Meijaard (Eds.), Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries (pp. 202–233). Cambridge: Cambridge University Press
- 木場 有紀, 坂口 実香, 村岡 里香, 小櫃 剛人, 谷田 創 (2009) 広島県呉市蒲刈島におけるイノシシの食性. 哺乳類科学, 49: 207–215
- 気象庁, 過去の気象データ (家島)
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/annually_a.php?prec_no=63&block_no=0624&year=&month=&day=&view= 2023 年 1 月 27 日確認
- 気象庁, 過去の気象データ (南淡), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/annually_a.php?prec_no=63&block_no=1337&year=&month=&day=&view=, 2023 年 1 月 27 日確認
- 小寺 祐二, 神崎 伸夫 (2001) 島根県石見地方におけるニホンイノシシの食性および栄養状態の季節的变化. 野生生物保護, 6: 109–117

- Massei G, Genov PV (2004) The environmental impact of wild boar. In Galemys: Boletín informativo de la Sociedad Española para la conservación y estudio de los mamíferos, 16: 135–145
- Mori E, Ferretti F, Lagrotteria A, La Greca L, Solano E, Fattorini N (2020) Impact of wild boar on small forest-dwelling rodents. *Ecological Research*, 35: 675–681
- 中本 敦, 遠藤 晃 (2016) 長崎県五島列島野崎島へのイノシシの侵入とその後の分布拡大について. *哺乳類科学*, 56: 207–213
- 奥 浩之, 山路 稔, 片山 豪 (2020) 群馬県太田市八王子丘陵・金山丘陵に生息するニホンイノシシ(*Sus scrofa leucomystax*) の腸内容物を用いた DNA メタバーコーディングによる食性解析. 群馬県立自然誌博物館研究報告, 24: 71–80
- 斎藤 梨絵, 石井 弓美子, 根本 唯, 熊田 礼子, 中村 匡聡, 相馬 理央, 大町 仁志, 玉置 雅紀 (2020) メタバーコーディングに基づくイノシシの食性解析: 植物性食物の推定における再現性と動物性食物の推定における効果的な解析対象種 DNA の抑制方法の検討. *日本生態学会誌*, 70: 163–176
- Senior AM, Grueber CE, Machovsky-Capuska G, Simpson SJ, Raubenheimer D (2016) Macronutritional consequences of food generalism in an invasive mammal, the wild boar. *Mammalian Biology*, 81: 523–526
- Shin HM, Kim J, Jin SD, Won H, Park S (2020) Diet composition of the Korean wild boar *Sus scrofa coreanus* (Suidae) at Mt. Jeombongsan, Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 44:17 <https://doi.org/10.1186/s41610-020-00160-z>
- Stegeman LC (1938) The European wild boar in the Cherokee National Forest, Tennessee. *Journal of Mammalogy*, 19: 279–290
- Sweeny JR, Sweeny JM, Sweeny SW (2003) Feral hog (*Sus Scrofa*). p1164–1179. in George A. Feldhamer, Bruce C. Thompson, Joseph A. Chapman eds. *Wild Mammals of North America: Biology, Management, and Conservation*. The Johns Hopkind University Press, Baltimore
- 高橋 春成 (2017) 泳ぐイノシシの時代—なぜ、イノシシは周辺の島に渡るのか?—。琵琶湖の森の生き物 6. サンライズ出版, 彦根市, pp.169
- 武山 絵美 (2016) 瀬戸内海における海を越えたイノシシの生息拡大プロセス: 愛媛県松山市全有人島を対象とした聞き取り調査に基づく考察. *農村計画学会誌*, 35: 33–42
- 辻 知香, 横山 真弓 (2014) ニホンイノシシの年齢査定方法. *兵庫ワイルドライフモノグラフ*, 6: 59–70
- 角田 裕志, 大橋 春香, 齊藤 正恵, 堀江 玲子, 野場 啓, 小池 伸介, 星野 義延, 戸田 浩人, 梶 光一 (2013) 栃木県佐野市新合地区および氷室地区におけるイノシシの採餌環境. *野生生物と社会*, 1: 61–70

第 9 章

市街地河川に定着したイノシシの生息モニタリングと

個体の身体的特徴

横山 真弓^{1,2*}・松金 知香^{1,3}・池谷 直哉^{2,4}

¹兵庫県森林動物研究センター

²兵庫県立大学自然・環境科学研究所

³株式会社野生鳥獣対策連携センター

⁴一般社団法人里山いきもの研究所

要 点

- ・神戸市においてイノシシによる人身事故等が多発した 2014 年度に、市街地を流れる天上川に定着したイノシシの出没状況調査を行った結果、のべ 89 頭、1 調査日あたり最大 14 頭を確認した。そのうち 8 割が河床で休息をとっていた。
- ・2015 年度に有害捕獲で殺処分された河川に定着した 15 頭について解剖調査を行った。オス 3 歳で 123kg、メス 2 歳で 73kg と若い個体でも大型の個体が多く確認された。
- ・11 頭に脾臓肥大、1 頭にヘルニア、1 頭に蹄の異常を確認した。脾臓肥大は細菌感染などほかの臓器に疾病がある場合に認められることから、栄養状態は良いものの、何らかの疾病を抱えていた可能性が示唆された。

Keywords: 餌付け、解剖、市街地出没、有害捕獲

Monitoring of the number, behavior and physical characteristics of wild boar encroachment in urban rivers in Hyogo Prefecture

Mayumi Yokoyama^{1,2*}, Tomoka Matsukane^{1,3}, Naoya Iketani^{2,4}

¹ Wildlife Management Research Center, Hyogo

² Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

³ Wildlife Research & Consulting Services Ltd.

⁴ Satoyama Wildlife Station

Abstract: We conducted a survey of the population of wild boars in the Tenjo River in Kobe in 2014. In total, 89 wild boars were identified, with a maximum of 14 per visit. Of these, 80% were resting on the riverbed. An autopsy survey was conducted in 2015 on 15 animals that settled in the river and were killed by trapping. Many of the young

受付日：2023 年 1 月 13 日、受理日：2023 年 2 月 11 日

*責任著者：横山 真弓 ✉yokoyama@wmi-hyogo.jp

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

individuals were large, weighing 123 kg at 3 years of age for males and 73 kg at 2 years of age for females. Body and internal organ abnormalities were identified, including 11 animals with an enlarged spleen and one with a hernia and hoof abnormalities. An enlarged spleen indicates the possibility of disease in other organs, including bacterial infection, suggesting that the wild boars had a good nutritional status but may have had some type of disease.

Keywords: culling, dissection, encroachment in urban, feeding

1. はじめに

兵庫県神戸市では、六甲山の山麓付近において、1960年代からニホンイノシシ (*Sus scrofa leucomystax*; 以下、イノシシ) に対して餌付けが行われていた(神戸市 2002; 辻・横山 2014b)。その後、餌付けが継続された結果、イノシシの人馴れが進み、1970年代には、六甲山の登山道や市街地で目撃されるようになった(三谷 2001; 辻・横山 2014c)。1960 - 1970年代は、餌付けは人とイノシシの交流と認識されていたことから(三谷 2001)、市街地においても餌付けが広がっていた(辻・横山 2014c)。1980年代になると、生ごみを目当てにごみステーションに出没する、買い物袋を持った住民が襲われるなど被害が多発し、行動がエスカレートする個体が増加した(神戸市イノシシ問題検討会 2001; 三谷 2001; 辻・横山 2014c)。

2002年には「神戸市いのししの出没及びいのししからの危害の防止に関する条例」(以下、餌付け禁止条例)が施行され、神戸市は東灘区・灘区を餌付け規制区域とした(2012年からは中央区の一部を追加)(神戸市 2022)。しかし、一部では餌付け禁止条例を無視して、餌付けが続いていた(辻・横山 2014b)。特に、東灘区を流れる2級河川である天上川では、河床に侵入したイノシシに対して餌付けが繰り返され、複数のイノシシが定着するようになった。天上川は底浚い(河床に堆積した土砂を撤去して川の高さを下げる工事)が施され、川の側壁と川底はコンクリートで塗り固められたいわゆるコンクリート三面張りに整備された河川である。

天上川のイノシシが定着する至った経緯について、当時の関係者からの聞き取りを行った。1990年代から河川内にイノシシが侵入することがあり、有害捕獲が許可されることもあった。しかし、2000年代初めに管理の方針をめぐって、複数の関係者や関係機関で十分な議論や役割分担などが行われず、現場での混乱が続いた。保護を要請する住民や保護団体からの苦情も増加し、有害捕獲活動が困難になったということであった。2014年ごろから河川内での有害捕獲は中止され、河川内に定着するイノシシは徐々に増えていった。この間、市民による河川内のイノシシへの餌付けが加速していったということであった。

こうした状況の中、一部のイノシシは河床から住宅地に侵入し、人との遭遇や道路での交通事故の発生など被害は深刻化していった(辻・横山 2014c)。2009年頃からは大型の個体が10頭以上河床で目撃されるようになり、交尾や出産、授乳などの繁殖活動も目撃されてい

た(池谷、私信)。神戸市や兵庫県、森林動物研究センターによる餌付け禁止の普及啓発やごみステーション管理の徹底(兵庫県 2022)などにより、市街地でイノシシがごみを荒らすような行動は減り、場所によっては出沒被害が減るなどの効果があったが(松金(辻)ほか 2016)、餌付けがなくなることにはなかった。2014 年度には、天上川周辺で 65 件の人身事故が発生する状況となった(神戸市行政資料より)。そのため、周辺住民から捕獲を望む声上がり、住民団体から兵庫県や神戸市に要望が出されるようになった(表 1)。

表 1. 神戸市の住民団体等から兵庫県及び神戸市への要望事例(2014 年)

	開催日	主催者	参加者	要望内容
県政懇話会	9月18日	兵庫県 県民局長	東灘区住民団体 神戸市市民協働推進課	河川のイノシシが増え、人獣共通感染症への懸念があり駆除を要望する。
知事 フォーラム	11月6日	兵庫県知事	神戸市自治会関係者 神戸市東灘区役所	河川にイノシシがいることで、人身事故の懸念のほか、河川管理、災害復旧等へ影響が及ぶ可能性がある。

また、複数頭の大型のイノシシが天上川に定着する状況は河川管理上も問題となり、兵庫県の河川管理を行う神戸土木事務所から神戸市に対して被害届と捕獲の要望が提出された。こうした状況を受け、2014 年 9 月に関係者による捕獲に向けた協議が開始された。

市街地におけるイノシシ捕獲は、大きく 2 点の問題がありきわめて難しい状況であった。

1 つ目は技術的な問題である。2014 年時点で住宅集合地での銃器の使用が法律で禁止されており、罠を設置できる場所も限られていた。ただし、2015 年に改正「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律」が施行されることとなり、住宅集合地での麻醉銃の使用が安全確保と適正な手続きの下で可能となり、天上川においても麻醉銃を用いた捕獲が検討された。2 つ目は、社会的な問

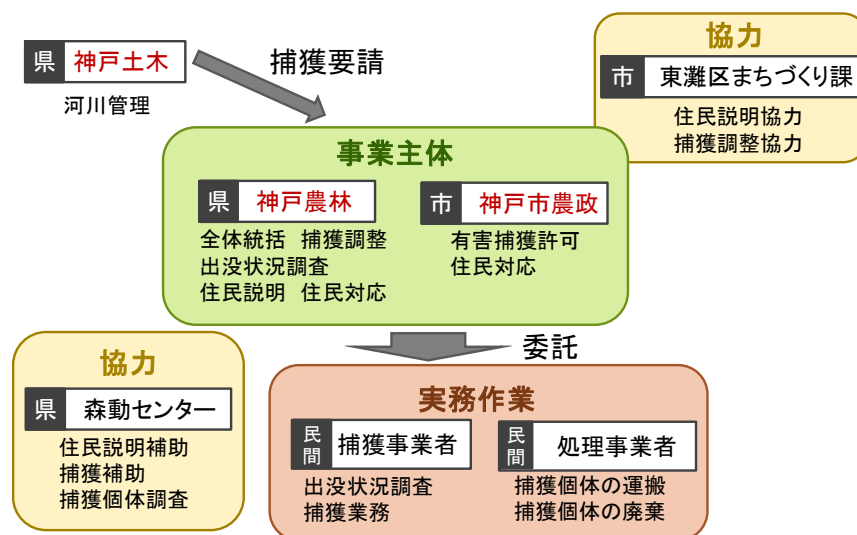


図 1. 市街地に定着したイノシシの捕獲体制(2015 年)。約 1 年間にわたる協議や調査、合意形成などを経て関係機関で構築した市街地での捕獲体制。

題である。人口集合地では多くの人に捕獲現場を目撃されることは避けられず、捕獲に関する多様な反響、とくに餌付け者や動物愛護派の住民からの捕獲への抗議が予想されることが挙げられた。これらの課題を解決するために、県と市の関係機関は約1年間の協議を重ね、地域活動などを行う住民団体等への説明を繰り返し、合意と協力を得てきた。また、河川内のイノシシについて生息・出没状況のモニタリングを行い、捕獲体制の検討を行った。これらの対応により、関係機関で役割分担が整い、捕獲体制を構築した（図1）。許可関係が出そろった2015年8月より捕獲が開始された。さらに、捕獲後は、個体の体サイズや繁殖状況、疾病の有無等を確認するため、解剖調査が行われた。

本論では、上記の捕獲までの一連の作業のうち、餌付けにより市街地の河川に定着したイノシシが、どのような状況に至るのかを明らかにすることを目的に、市街地河川における捕獲前のイノシシの出没状況と行動の特徴の調査、および捕獲後の個体の解剖結果について報告する。

2. 調査地と方法

調査地

捕獲前の出没状況調査は神戸市東灘区にある天上川で実施した（図2）。河川に定着したイノシシの捕獲は、天上川のほか、東灘区高橋川、中央区宇治川で実施された（図2）。

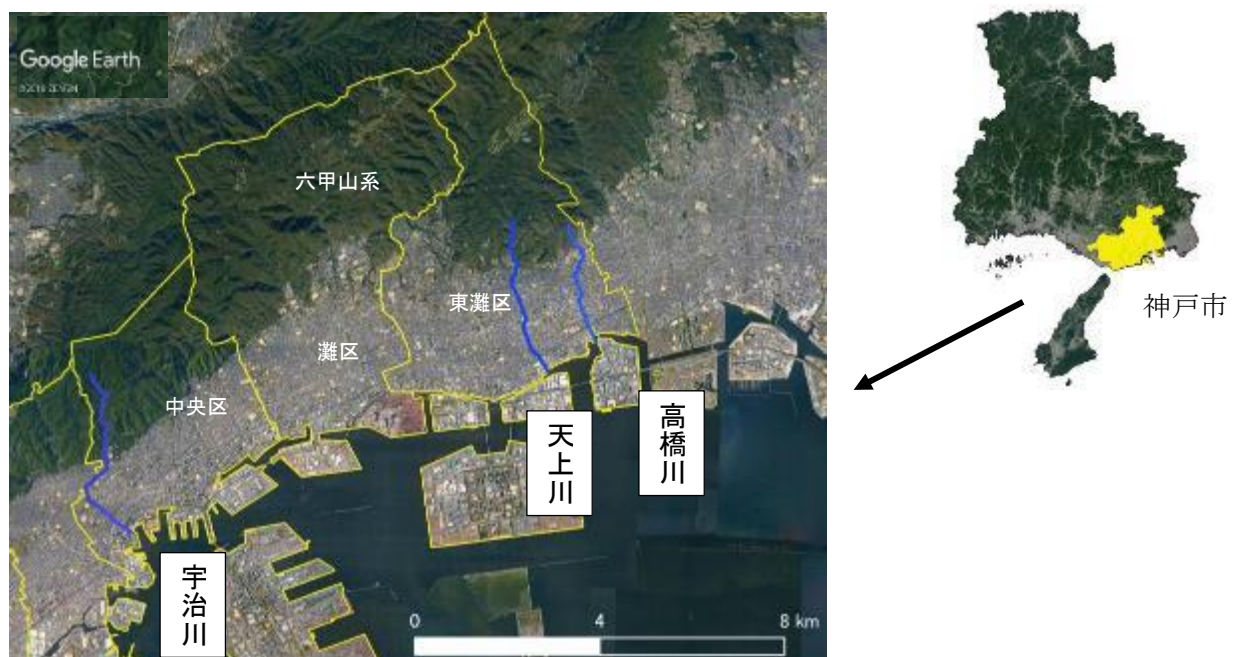


図2. 神戸市における調査対象となった河川の位置図

捕獲前の出没状況調査

天上川におけるイノシシの出没状況調査は、2014年5月23日から9月27日までの間に17回実施した。調査範囲は、天上川の上流にある天上川公園から、最下流の瀬戸内海河口までの2,470mを対象とし、すべての調査日において同一ルート歩いた。川沿いの舗装道路を歩きながら河川内のイノシシを目視で確認した（図3）。3回は午後、14回は午前調査を行った。イノシシを目撃した場合、目視での個体の特徴（性別・幼獣・成獣、およその体重）を推定し、行動（休息・探索・採餌・その他）を記録した。調査中に餌付け行為や餌付けの痕跡を確認した場合は、状況を記録した。



図3. 天上川における捕獲前の出没状況調査ルート。川沿いの道路を徒歩で調査した。

捕獲個体の外部形態および解剖

捕獲は2015年8月17日から2016年3月10日までの間に、天上川で4回、高橋川で1回、宇治川で1回の合計6回実施された。捕獲数は、合計15頭であった。捕獲後は外部計測を行ったのち、解剖を行い内臓計測、繁殖状況（発情・妊娠・泌乳）の確認、内臓等の異常の有無を目視で確認できるものについて記録した。

栄養状態は、内臓脂肪量として一般的な腎脂肪指数（KFI：腎臓周囲脂肪重量×100/腎臓重量）（Riney 1955）を測定・計算した。発情については、メス個体の卵巣を採取後、長軸方向に二分割し、成熟卵胞の形成の有無を目視で確認した。オスについては、精巣上体を切開し精子が含まれる白い液体の有無で確認した。妊娠は子宮内の胎子の有無を確認し、泌乳の有無は、解剖前に乳汁分泌の有無を確認するとともに、乳頭の伸長の有無で過去に泌乳歴があるかどうかを判定した。経産履歴については、卵巣・子宮・乳頭の状態から判断した。

内部寄生虫は、消化管内を中心に目視で確認されたものに限定した。胃内容物は、0.5mmメッシュの篩で洗浄し、メッシュ上に残ったものを目視で同定した。年齢は、下顎骨の歯を用いた萌出と交換および、第一後臼歯のセメント質層板数のカウント（林ほか 1977; Boitani and Mattei 1992; 辻・横山 2014a）にて査定した。

3. 結果

天上川での出没状況モニタリング

17回の調査で確認されたイノシシは、のべ89頭となった(表2)。成獣オスが最も多く確認され、次いで成獣メス、0歳獣であった。調査日により確認される個体数は、1から14頭までばらついた。また餌付け行為の目撃は1回、餌付け後の痕跡を確認したのは7回であった。調査期間中に確認されたイノシシの行動は、休息と探索の2つのみであり(図4)、休息の場合、多くが目を閉じて横臥位もしくは腹臥位をとっていた。

目撃地点と餌付け確認地点を図5に示した。天上川上流部では17回中、11-12回イノシシが目撃された。また、餌付けの目撃または痕跡が確認されたのは、目撃回数が多かった場所と一致した。

最も多く個体数が確認された5月23日の個体の確認場所とイノシシの行動写真を付図1に示した。

捕獲個体の外部形態と解剖結果

2015年に捕獲された個体の属性と解剖結果を表2にまとめた。天上川で12頭、高橋川で2頭、宇治川で1頭が捕獲された(図6)。幼獣1頭、亜成獣3頭、成獣オス6頭、成獣メス5頭であった。成獣の年齢には特別の傾向はなかったが、最高齢は14歳であった。全体重が100kgを超えたオスが2頭、90kg代のメスが2頭いた(図7)。また、1歳オスで72.0kg(個体⑮)、2歳メスで73.3kg(個体⑥)と若齢で大型の個体を確認された。

内臓脂肪量の指標となるKFIは、8、9月の平均が49%、10月~12月までの平均が110.0%であった。

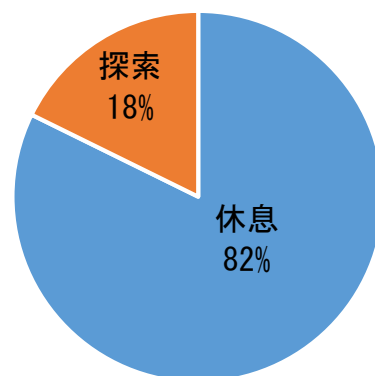


図4. 天上川におけるイノシシ出没調査中のイノシシの行動内訳



図5. 天上川におけるイノシシ出没調査における目撃および餌付け地点。複数回目撃された地点では、17回の調査のうち、目撃された回数を示した。

表 2. 兵庫県神戸市東灘区の天上川におけるイノシシの確認個体数

月日	調査時刻	総数	内訳				餌付け行為の目撃と痕跡
			オス	メス	不明	0歳	
1 5月23日	AM9:45～AM11:30	14	5	3	4	2	
2 5月30日	AM9:45～AM11:00	4	3	1	0	0	
3 5月31日	AM8:00～AM9:30	6	5	1	0	0	
4 6月6日	AM7:00～AM8:10	8	7	1	0	0	
5 6月17日	AM9:00～AM10:00	5	4	1	0	0	目撃（食パン）、痕跡（みかんの皮）
6 6月20日	AM9:00～AM10:00	1	1	0	0	0	痕跡（レタス）
7 6月27日	PM3:00～PM4:00	7	3	1	3	0	痕跡（レタス）
8 7月4日	PM3:40～PM4:40	8	3	3	0	2	痕跡（レタス）
9 7月12日	AM9:00～AM10:01	4	2	1	0	1	痕跡（菓子パン、レタス）
9 7月19日	AM9:40～AM10:30	4	2	1	0	1	痕跡（パン）
10 7月26日	AM9:50～AM10:45	3	2	0	0	1	
11 8月20日	AM7:50～AM9:00	3	2	0	0	1	痕跡（ゴーヤ）
12 8月28日	AM8:10～AM9:10	10	2	3	3	2	
13 9月3日	AM11:00～AM12:00	2	2	0	0	0	
14 9月14日	AM9:30～AM10:30	5	4	1	0	0	
15 9月20日	AM8:30～AM9:30	2	1	1	0	0	
16 9月27日	AM8:30～AM9:20	4	3	1	0	0	
17 9月27日	PM1:00～PM2:00	3	3	0	0	0	

寄生虫は1頭のみに豚腎虫 *Stephanurus dentatus* が腎周囲脂肪内に確認された。体と内臓の異常は、1頭にヘルニア（図 7a）個体②）、1頭に蹄の変形（図 7d）個体⑦）、11頭に脾臓肥大が確認された。

繁殖状況は、発情の兆候を確認できたのが1歳（個体⑮）と3歳（個体⑬）のオス、2歳のメス（個体⑭）であった（表 3）。2頭のオスは通常の繁殖期11月～3月に捕獲されたものであった。12月に捕獲された成獣メスでは発情は確認されなかった。通常の繁殖期外である9月に捕獲された2歳のメス（個体⑥）は、成熟卵胞が確認できたため、発情していると判断された。この個体は、子宮の形状からは、過去に出産をしていない未経産と判断された。泌乳が確認されたのは1頭、泌乳履歴を確認できたのは3頭であった。14歳のメス（個体⑦）では、泌乳履歴が確認されず、子宮のサイズからも経産歴はないと推定された。

胃内容物から人工物が確認されたのは、13頭であった（表 3）。1頭は消化が進んでおり、同定できなかった。1頭は胃内容物がなかった。確認された胃内容の人工物はすべてを付図 2 に示した。



図 6. 河川に定着したイノシシ 15 頭の捕獲場所。a)天上川と高橋川における捕獲場所、b) 宇治川における捕獲場所



図 7. 天上川と高橋川において捕獲された個体の事例

- a) 個体② (8/17 捕獲、オス、6 歳、70.7kg) b) 個体⑬ (11/18 捕獲、オス、3 歳、123.0kg)
c) 個体⑭ (12/9 捕獲、メス、7 歳、95.0kg) d) 個体⑦ (9/16 捕獲、メス、72.6kg)
(前肢と後肢に見られた蹄の異常)

表 3. 2014 年度神戸市内河川において捕獲された個体の属性と解剖結果

番号	性別	年齢	捕獲年月日	捕獲場所 (河川名)	全体重 (kg)	体長 (cm)	体高 (cm)	胸囲 (cm)	KFI	繁殖状況			寄生虫	異常部位と状態	胃内容物から検出さ れた人工物
										発情	妊娠	泌乳 泌乳歴			
①	オス	5	2015/8/17	天上川	69.2	82.5	70.5	105.2	21.6	無	-	-	なし	脾臓腫大	キャベツ
②	オス	6	2015/8/17	天上川	70.7	79.5	68.0	101.6	33.0	無	-	-	なし	膈ヘルニア、 脾臓腫大	ニンジン
③	オス	2	2015/8/17	天上川	58.5	77.0	61.5	99.4	39.0	無	-	-	なし	脾臓腫大	サツマイモ
④	オス	2	2015/8/17	天上川	55.2	79.5	62.0	92.5	37.8	無	-	-	なし	脾臓腫大	サツマイモ
⑤	オス	7	2015/8/17	天上川	118.1	95.0	70.0	123.0	87.6	無	-	-	なし	脾臓腫大	-
⑥	メス	2	2015/9/16	高橋川	73.3	84.0	59.0	108.0	65.0	有	無	無	なし	なし	うどん、米粒、ニン ジン、ジャガイモ、 堅果類の皮
⑦	メス	14	2015/9/16	高橋川	72.6	89.0	56.0	108.5	58.7	無	無	無	豚腎虫	脾臓腫大、 膵の変形	ニンジン、梨、堅果 類の皮と実
⑧	メス	8	2015/10/7	天上川	92.7	89.8	70.5	116.2	80.4	無	無	有	なし	脾臓腫大	パン
⑨	メス	5	2015/10/7	天上川	66.6	87.5	62.5	99.7	143.2	無	無	有	なし	なし	ニンジン、堅果類の 皮
⑩	メス	2	2015/10/7	天上川	54.0	79.5	58.0	88.6	143.4	無	無	無	なし	脾臓腫大	パン、堅果類の皮
⑪	メス	1	2015/10/7	天上川	52.5	77.0	57.7	89.8	99.3	無	無	無	なし	脾臓腫大	パン、堅果類の皮、 ニンジン、梨の皮
⑫	オス	0	2015/10/7	天上川	13.7	49.2	35.5	54.6	41.4	-	-	-	なし	なし	パン、堅果類の皮、 ニンジン、サツマイ モ
⑬	オス	3	2015/11/18	天上川	123.0	98.0	78.0	128.5	104.3	有	-	-	なし	なし	サツマイモ、堅果類 の皮
⑭	メス	7	2015/12/9	天上川	95.0	92.5	66.3	112.6	164.3	無	無	有	なし	脾臓腫大	サツマイモ、堅果類 の皮
⑮	オス	1	2016/3/10	宇治川	72.0	85.0	68.5	114.5		有	-	-	なし	脾臓腫大	ゆで卵、サツマイモ

4. 考察

天上川における出没の変動について

2014 年度における天上川の出没は、調査日ごとに 1–14 頭までばらついた（表 2）。天上川には雨水トンネル（図 8）が 3 か所あり、一部のイノシシが出入りしていることが確認されていた（神戸農林水産振興事務所、私信）。イノシシがこれらのトンネルをどの程度利用していたかは不明だが、河川と地上の市街地との往来情報はわずかであったことから、天上川で目撃されない場合のイノシシの居場所の一つとして、これらのトンネルの利用が考えられた。天上川には、開けた環境と身を隠せる雨水トンネルという 2 タイプの環境があることで、イノシシが定着しやすい環境であったことが示唆された。

出没状況調査では、餌付けの目撃と痕跡を 7 地点で確認しており、イノシシの確認回数が多かった場所と一致または隣接していた（図 6）。確認されたイノシシは開けた河川環境で警戒心なく、横たわるなどして休息していた。このような行動は、国内の野性イノシシでは六甲山系以外での報告例がなく、特に複数頭数が日中に同時に横たわっている状況を目撃できるのは天上川での特徴であったといえる。

小寺ほか（2010）はイノシシの行動圏内で給餌を行うと活動中心は給餌地点に近づき、行動圏は縮小したことを報告している。また、イノシシは本来警戒心が高い動物であるが、場所や物に対する警戒心を一度でも解くと大胆な行動を示す動物である（江口 2003）ことが知られている。これらのことから、同一場所でイノシシが繰り返し確認されている要因として、餌付けにより定着したことが強く示唆された。



図 8. 天井川上流部と雨水トンネル（矢印）

捕獲個体の状態からみた餌付けの影響について

捕獲後の個体調査の結果から、2 歳以上のすべての個体で、平均的な成獣の体重（オスで 60–80kg、メスで 40–60kg, 辻・横山 2014c）より重いことが確認された。特に若い 2, 3 歳の段階で 70–130kg と野生下では見られない体重に達していた。また、腎脂肪指数（KFI）は、有蹄類において、良好な栄養状態を示すとされる 80%以上（Hanks 1981）を超える個体が測定した 14 個体中 7 個体において確認された。10 月～12 月までの平均が 110.0%であったことから、十分な栄養蓄積をしていたと考えられた。胃内容物からは、15 個体中 13 個体で人為的な食物が確認でき、餌付けが個体の栄養状態を支えている要因の一つであると考えられた。今回の胃内容物では、堅果類が確認された。河川内には樹木はないが、胃内容物で認められた堅果類は、上流の森林から堆積物とともに堅果類が流れてきたものを利用、ある

いは隣接する森林に移動し採食したなどの可能性も考えられるが、7 個体から検出されていること、近隣で堅果類を撒く行為が確認されている（池谷、私信）ことから、餌付けによる可能性も考えられた。

繁殖について特徴的だったのは、高橋川で捕獲された 2 頭のメスであった。2 歳のメス (⑥) は、繁殖期外にもかかわらず発情していた。さらに、同時に捕獲された 14 歳のメス (⑦) では出産履歴がないと判断された。これらの 2 頭は六甲山系から離れた住宅地の中の高橋川で捕獲されており、捕獲時の住民からの聞き取りによると 10 年以上毎日餌付けをしてきたとのことであった。この 2 頭は繁殖に参加できる環境で生活していなかった可能性がある。餌付けによる行動変容は、繁殖行動にまで影響を与えた可能性を示した個体であった。

今回捕獲された個体の栄養状態は、体重と脂肪蓄積の点からは良好であったと判断されたが、脾臓の肥大 (11/15 個体) や異常な形状の蹄 (1/15)、ヘルニア (1/15) などが確認された。ヘルニアには、出生時に発生する臍ヘルニアと外傷性ヘルニアがあるが、今回の個体は解剖時の状況から外傷性ヘルニアであると考えられた。また、通常、脾臓の肥大は、細菌感染や血液・他の臓器の疾病により発生するものである（猪熊ほか 2014）ことから、細菌感染など何らかの内臓疾病などがあった可能性が示唆された。今回の結果のみでは、直接的な因果関係を示すことはできないが、人為的な食物やコンクリート三面張りの環境に定着して生活することは、イノシシの健康状態や繁殖に悪影響を及ぼした可能性がある。

市街地における捕獲活動について

今回実施したイノシシの河川内での出没状況調査の手法や結果は、2015 年度の捕獲の事業主体の一部となった兵庫県神戸農林水産振興事務所に引き継がれ、捕獲直前まで繰り返しモニタリングが行われた。市街地の河川内での捕獲は行政機関が主導して行うものとしては、国内初めての試みであり、1 年ほどの準備期間と 8 か月間の捕獲期間を要した。市街地の野生動物の出没対応や有害捕獲では、一般的な農業地帯や森林地帯で行われる有害捕獲とは安全確保や情報共有などで異なる点が多い。成功した要因としては、図 1 に示したように、複数の関係機関が役割分担を行い、体制を構築することができたことであろう。ただし、1 回あたり 20 名ほどの関係者が対応するなど労力や経費は膨大なものとなった。捕獲個体の結果が示すように餌付け地域では、野生のイノシシより大型化するため、捕獲後の処分には、クレーン車などの準備が必要であったことも特筆する点である。

2016 年度からは、河川内に侵入したイノシシが確認された場合、速やかに神戸市と兵庫県神戸農林水産振興事務所が連携して捕獲する体制が維持された。次に河川内のイノシシの有害捕獲が行われたのは約 3 年後の 2019 年 1 月 31 日の生田川での捕獲であった。これらの体制によって、野生のイノシシが長期間河川内で定着するような状況は解消することができている。

市街地対応で、同時に重要なのは、被害住民を含めた地域への普及啓発である。本調査と同時期に実施された住民の意識調査において、イノシシの出没要因は「餌付け」であると回答したのは半数以上の住民であったが、同時に「山に餌がない」という回答も多かったこと

から、出沒要因を正しく伝えることの重要性が示されている（松金（辻）ほか 2016）。引き続き、森林内には食物が十分であるが、餌のある場所にイノシシは誘引されてしまうこと、餌付けにより駆除以外の方法がなくなること、長期間の餌付けによりイノシシの体に悪影響があることなどを伝えていくことが、市街地におけるイノシシの管理に重要な点である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、神戸市農政計画課、兵庫県神戸農林水産振興事務所、（株）野生動物保護管理事務所、藤定運輸の皆様にご協力をいただきました。深く御礼申し上げます。本研究は、平成 25～27 年度 JSPS 科研費（25350478）「都市環境に侵入するイノシシのリスク分析とリスク回避手法の検討」により実施しました。

参考文献

- Boitani L, Mattei L (1992) Aging wild boar (*Sus scrofa*) by tooth eruption. In: Spitz F, Janeau G, Gonzales G, Aulagnier S. editors. pp.419–421. Ongules/ Ungulates 91, Toulouse-Paris
- 江口 祐輔（2003）イノシシから田畑を守る－おもしろ生態とかしこい防ぎ方．農山漁村文化協会
- Hanks J (1981) Characterization of population condition. pp. 47-73. In: Dynamics of large mammal populations. (Fowler CW, Smith TD eds.). John Wiley & Sons, New York
- 林 良博, 西田 隆雄, 望月 公子, 瀬田 季茂（1977）日本産イノシシの歯牙による年令と性の判定．日本獣医学雑誌, 39: 165–174
- 兵庫県（2022）第 3 期イノシシ管理計画．兵庫県, 神戸
- 猪熊 壽, 北川 均, 内藤 善久, 岩崎 利郎, 滝口 満喜, 辻本 元（2014）獣医内科学第 2 版．文永堂出版
- 神戸市（2002）神戸市いのししの出沒及びいのししからの危害の防止に関する条例．神戸市
<https://www.city.kobe.lg.jp/a99375/shise/kekaku/kezaikankokyoku/yugaichoju/boar/jor-eihonbun.html>, 2023 年 1 月 12 日確認
- 神戸市（2022）神戸市鳥獣被害防止計画．神戸市
<https://www.city.kobe.lg.jp/a99375/shise/kekaku/kezaikankokyoku/yugaichoju/yugaibousi.html>, 2023 年 1 月 12 日確認
- 神戸市イノシシ問題検討会（2001）提言書．神戸市
- 小寺 祐二, 長妻 武広, 澤田 誠吾, 藤原 悟, 金森 弘樹（2010）森林内での給餌はイノシシ (*Sus scrofa*) の活動にどのような影響を及ぼすのか．哺乳類科学, 50: 137–144

松金（辻） 知香, 江藤 公俊, 横山 真弓（2016）都市部住民のイノシシに対する意識調査および普及啓発の取り組み. 兵庫ワイルドライフモノグラフ 8 : 66–89

三谷 雅純（2001）六甲山の哺乳類. 自然環境ウォッチング「六甲山」. 神戸新聞総合出版センター, 神戸

Riney T (1955) Evaluating condition of free ranging red deer (*Cervus elaphus*), with special reference to New Zealand. New Zealand Journal of Science and Technology (Sec. B) , 36: 429–463

辻 知香, 横山 真弓（2014a）ニホンイノシシの年齢査定方法. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 59–70

辻 知香, 横山 真弓（2014b）六甲山イノシシの問題の現状と課題. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 121–134

辻 知香, 横山 真弓（2014c）六甲山イノシシの問題個体の特徴. 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 6: 135–142

付図1．天上川におけるイノシシのカウント事例

2014年5月23日(天候, 雨のち曇り, 平均気温:18.8℃、最高気温:23.2℃、最低気温:16.2℃)
調査時刻 AM9:45～AM11:30



図：イノシシの目撃地点 (No1～No14)、イノシシの痕跡、天上川の様子 (*時間は目撃や撮影した時間)

No1. 成獣オス、行動：休息、時間：AM9:49



No2. 成獣オス、行動：休息、時間：AM9:49



No3. 成獣オス、行動：休息、時間：AM9:53



No4. 成獣メス、行動：休息、時間：AM9:53



No5. 成獣オス、行動：探索、時間：AM9:56



No6. 成獣オス、行動：休息、時間：AM9:59



No7～No 10. 亜成獣のため 4 頭とも性別不明
行動：2 頭→休息、2 頭→探索
時間：AM10:03



No11～No 14. 成獣メス 2 頭、幼獣 2 頭（性別不明）
行動：3 頭→休息、幼獣 1 頭→授乳を要求する行動
時間：AM10:03



付図 2.市街地河川に定着したイノシシの胃内容物から確認された人工物



個体①から検出された胃内容物
(左：葉、茎 右：キャベツ)



個体②から検出された胃内容物
(左：葉、茎 右：ニンジン等)



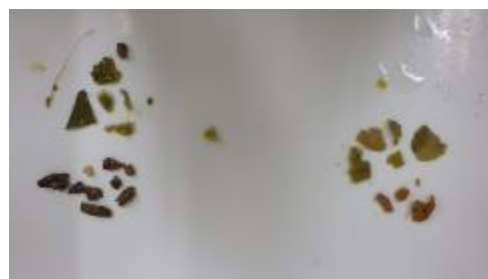
個体③から検出された胃内容物
(左：葉、茎、枯葉 右：サツマイモ)



個体④から検出された胃内容物
(左：葉、茎 右：サツマイモ)



個体⑥から検出された胃内容物
(左：葉、堅果類の皮
右：ジャガイモ、米粒、ニンジン、うどん)



個体⑦から検出された胃内容物
(左：葉、茎、堅果類の皮と実
右：梨、ニンジン)



個体⑧から検出された胃内容物
(パン)



個体⑨から検出された胃内容物
(左：堅果類の皮、右：ニンジン)



個体⑩から検出された胃内容物
(左：パン、右：葉、茎、堅果類の皮)



個体⑪から検出された胃内容物
(左からパン、葉、堅果類の皮、
ニンジン、梨の皮)



個体⑫から検出された胃内容物
(左からパン、堅果類の皮、葉、
ニンジン、さつまいも)



個体⑭から検出された胃内容物
(左上：葉、茎、左下：堅果類の皮、
中央：サツマイモ、
右：消化途中のサツマイモ)

おわりに

兵庫ワイルドライフモノグラフ 15 号では「分布拡大するイノシシの管理に向けた研究手法の開発と豚熱対策の現状」をテーマに、これまでの行政施策と研究成果の振り返りを行いました。イノシシを章として取り上げた過去のモノグラフはいくつかありますが、特集としては 6 号（2014 年）「兵庫県におけるニホンイノシシの管理の現状と課題」、8 号（2016 年）「国際シンポジウム報告書なぜイノシシは都市に出没するのか？」となり、そこから 7 年ぶりのイノシシの特集となります。過去のモノグラフでは、イノシシの基礎的な生態である年齢・産し数・行動などの分析（6 号）や、国際シンポジウム記録として国内外の都市部のイノシシ問題について（8 号）を取り上げ、雑食性かつ高い繁殖力を持つことで、まとまった森林以外にも生息できるイノシシの管理について紹介しました。

本 15 号では、イノシシの農業被害（5 章）や都市出没への対応（9 章）といった以前から問題であった事例を取り上げつつ、今まで手法が限られていた個体数推定法（2, 3, 4 章）や、2018 年に日本で再確認された豚熱について（6, 7 章）、島嶼の分布拡大（8 章）といったここ数年で顕在化した問題や発展した技術の紹介を盛り込みました。これまでは農業被害の軽減のための対策論に主眼が置かれる傾向にあったイノシシですが、都市部や島嶼への分布拡大、豚熱の感染拡大などに対応するために広域なスケールでの個体数密度の把握や、それに基づく管理が今後重要になります。今回紹介した推定手法はまだ発展途上ですが、捕獲・痕跡指標による相対値やカメラによる絶対値の推定は、兵庫県以外でも適用可能な手法が多く是非参考にしていただきたいと思います。なお、個体数推定手法については、兵庫県立大学が主導した環境研究総合推進費（4G・2001 イノシシの個体数密度および CSF 感染状況の簡易モニタリング手法の開発）の成果報告集と詳細な調査マニュアルも公開していますので合わせて参考にしてください。

(<https://sites.google.com/view/hyogowildlife/suishin4g2001>)

最後になりましたが、査読責任者の森光主任研究員をはじめ論文査読に協力いただいた方々、調査や分析の基盤となった過去からのデータの蓄積にご尽力いただいた方々、兵庫県のイノシシの保護管理に尽力くださった全ての方々にこの場を借りて感謝したいと思います。

兵庫ワイルドライフモノグラフ 編集委員会

責任編集者 栗山 武夫

兵庫ワイルドライフモノグラフ 15 号

分布拡大するイノシシの管理に向けた研究手法の開発と
豚熱対策の現状

2023 年 3 月 31 日 印刷

2023 年 3 月 31 日 発行

編集・発行 兵庫県森林動物研究センター

〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940

印刷 きくもとグラフィックス株式会社

特集：分布拡大するイノシシの管理に向けた研究手法の開発と豚熱対策の現状

兵庫ワイルドライフモノグラフ 15号 2023年3月

目次

第1章：兵庫県におけるイノシシ管理計画の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
大田康之・河野賢治・栗山武夫・高木 俊	
第2章：イノシシの生息状況把握における出猟カレンダーに基づく密度指標の有効性・・・	15
高木 俊・栗山武夫・杉本太郎・横山真弓・東出大志	
第3章：イノシシの生態的特徴と生息密度指標としての活動痕跡の有効性・・・・・・・・・・	28
東出 大志	
第4章：イノシシ掘返し痕跡の生成から消失までの追跡調査・・・・・・・・・・・・・・	39
杉本太郎・高木 俊・栗山武夫・鴻村 創・横山真弓	
第5章：地域主体の防護柵管理と併せた加害個体捕獲による イノシシの集落内への侵入抑制効果・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51
山端直人	
第6章：兵庫県における2022年末までの豚熱の拡大の概要・・・・・・・・・・・・・・	60
栗山武夫・大田康之	
第7章：兵庫県における経口ワクチン散布による豚熱対策の効果検証と 摂食率に影響する要因の解明・・・・・・・・・・・・・・・・・・	72
栗山武夫・大田康之・高木 俊・杉本太郎・横山真弓	
第8章：兵庫県の島嶼部で捕獲されたイノシシの胃内容物・・・・・・・・・・・・・・	84
吉村真由・横山真弓・栗山武夫	
第9章：市街地河川に定着したイノシシの生息モニタリングと個体の身体的特徴・・・・・・・・	94
横山真弓・松金知香・池谷直哉	



兵庫県
森林動物研究センター

〒669-3842 丹波市青垣町沢野 940
TEL 0795-80-5500 FAX 0795-80-5506
940 Sawano, Aogaki, Tamba, Hyogo, Japan 669-3842

Wildlife Management Research Center, Hyogo
Wildlife Monograph of Hyogo, No.15

Development of research methods for managing the expanding distribution of wild boars
and the current status of countermeasures against classical swine fever in Hyogo Prefecture