

集塊性・連結性分析に基づくイノシシ生息地孤立化手法の 広域スケールへの適用

西原 杏華*・武山 絵美**

Kyoka NISHIHARA, Emi TAKEYAMA

Application of the Wild Boar Habitat Isolation Method Based on the Agglomeration
and Connectivity Analysis to a Wide Area Scale

Abstract

In this study, the wild boar habitat isolation method based on the agglomeration and connectivity analysis, which was developed for a narrow area scale, was applied to a wide scale. The research field was Nakajima Island, Matsuyama City, Ehime Prefecture. The results showed that the habitats on Nakajima Island were highly agglomerate and connective and suitable for the habitation of wild boar. It was also found that the invasion of wild boar occurred later in the area where the habitat was isolated from other habitats. By applying this method to a wide area scale, the civil engineering structures such as roads and existing fences could be used effectively to make habitats isolated with additional fences.

Key words: Agglomeration, connectivity, wild boar, habitat fragmentation, graph theory, habitat management

1. 背景と目的

令和 2 年度のイノシシ (*Sus scrofa*) 捕獲頭数は年間 64 万頭 (環境省, 2022) にも達するが, 同年度のイノシシによる農作物被害額は 45 億 5,300 万円に及び, 被害は軽減されていない. 捕獲以外の対策として, 耕作放棄地等, 農地周辺の野生動物の生息地を解消することも重要であるが, 耕作放棄地が労働力不足や土地条件の不利性を背景に生じていることを鑑みれば, 解消は容易ではない. これに対し, 生息地の集塊性・連結性を分析し, これに基づき柵の設置位置を検出して生息地を孤立化させる獣害対策手法も武山ら (2015)・武山ら (2021) (以下, 先行研究) により開発されているが, 先行研究は愛媛県松山市の中島本島 (以下, 中島) の 1 集落のみを対象とした実証研究に留まっており, 広域スケールに適用した研究はない.

そこで本研究では, イノシシ生息地の集塊性・連結性分析と, これに基づき効果的な柵の設置位置を検出して生息地を孤立化させる獣害対策手法を 11 集落からなる中島に適用し, 広域スケールでイノシシ生息地の分断箇所を検出するとともに, 広域スケールに適用する際の技術的課題を検討する.

2. 調査対象の概要

中島は, 瀬戸内海の忽那諸島に属する面積約 21.1km², 人口 2,672 人 (平成 29 年 1 月 1 日付け) の島であり, 傾斜地での柑橘栽培が盛んである. 水田はなく, 植林地も存在しない (2005 年農林業センサス). 2015 年農林業センサスによれば, 総農家数 340 戸のうち 310 戸が販売農家, 経営耕地面積 432 ha のうち樹園地が 429 ha (残りは一般畑 3 ha) である.

武山 (2016) によれば, 中島にはかつてはイノシシの生息がみられなかったが, 平成 12 年 9 月に初めて柑橘が食害を受けた. 中島には, タヌキやイタチ等の野生哺乳類が生息していないことから, この食害はイノシシによるものと推察された. これに引き続き, 平成 13 年 1~3 月の間に島内で初めて 1 頭 (推定体重 130

2022 年 9 月 22 日受領

2022 年 12 月 5 日採択

*愛媛県南予地方局八幡浜支局農村整備第一課

**愛媛大学農学研究科農村計画学教育分野 (責任著者)

kg・オス)が捕獲され、イノシシの生息が確実となった。中島では、島内でイノシシが飼育された経緯がないこと等から、武山(2016)はこれらのイノシシが海を越えて広島県方面から侵入したと推察している。その後、イノシシの生息および被害は拡大し、平成25年度には中島全域でイノシシ被害が見られるようになった。令和2年度には774頭(捕獲密度;36.7頭/km²/年)、令和3年度には483頭(同;22.9頭/km²/年)のイノシシが中島で捕獲されているものの、島全域で生息数を減少させるには至っていない。

3. 研究の方法

3.1 土地利用図の作成

3.1.1 ベースマップの作成

土地区画1筆が判別できる集成図(令和3年1月26日、松山市役所提供)をArcGIS(ver.10.8.1)に取り込み、筆単位の白地図を作成した。次に、平成12年度時点のオルソ補正済み航空写真(愛媛県農地整備課提供)から、各筆の「宅地」「道・水路」「ため池」「耕作畑」を目視で判別した。この際、宅地周辺の資材置き場、空き地、広場は「宅地」に含むこととした。また、「耕作畑」の判別にあたり、農用地区域内農地が記載された地図(令和3年7月29日、松山市役所中島支所提供)を補助的に用いた。

最後に、これら以外の土地を「生息地(雑木林および放棄畑)」とした。なお、先行研究では、地目図を用いて地目上の「山林」と「畑」を判別し、前者を「雑木林」、後者のうち耕作放棄された区画を「放棄畑」と判別していた。しかし、これらの作業は極めて多くの労力を必要とする上、個人情報に当たる土地の地目情報は容易に得られにくい。今後、先行研究が開発した手法を広く社会に実装するためには、分析手法の簡便化を図ることも重要な視点である。そこで、本研究では、広域への適用性・社会実装性の向上を目的として、分析プロセスを簡素化するため、「生息地」を「雑木林」と「放棄畑」を区分しないこととした。

3.1.2 土地利用状況の確認

上記で作成したベースマップをもとに、「耕作畑」をさらに「柵あり畑」と「柵なし畑」に区分するとともに、「耕作畑」に放棄された畑が含まれていないかどうかの確認作業を行った。なお、先行研究では、研究者自身が現場に出向いて1筆ごとに土地利用状況を確認し、上記の区分および確認を行っていた。しかし、本研究では広域への適用性を高める観点から、イノシシ

対策を行う地域組織に、これらの区分および確認作業を依頼した。具体的には、中島にてイノシシ対策を担う地域組織「中島地区イノシシ被害対策連絡協議会・中島本島支部」を通じて、その下部組織である11集落の集落組織に白地図を配布し、「柵あり畑」と「放棄畑」とを塗り分けていただいた(令和3年3月依頼、令和3年7月29日入手)。この際、先行研究に倣い、電気柵とワイヤーメッシュ柵のみを「柵あり」とした。また、白地図は、2015年農林業センサスの農業集落境界を用いて11地区に分けた。

上記の結果を用いて、ベースマップにおける「耕作畑」を「柵あり畑」と「柵なし畑」に区分したほか、ベースマップでは「耕作畑」と判別したものの現地確認で「放棄畑」とされた区画の修正作業を行った。なお、ベースマップでは「生息地」と判別したものの現地確認で「柵あり畑」とされた区画や、「耕作畑」と判別したものの現地確認で「生息地」とされた区画も合わせて修正した。

上記により完成した地図を、再度11集落に最終確認いただき(令和3年11月8日依頼、同11月25日入手)、その結果を用いて土地利用図を確定した。

3.2 分析方法

以下、先行研究である武山ら(2015)を引用し、集塊性・連結性の分析方法を説明する。

3.2.1 土地利用区分別パッチの作成

土地利用図において、同じ土地利用区分の複数の筆が隣接する場合は、これらを合成して1パッチとした。なお、パッチとは、景観生態学における景観分析において、内部の環境はほぼ均質な小空間を指す。また、ここで、「隣接する」とは、点で結束されるケース、および幅員4m未満の道路(ただし集落内道路を除く)をはさんで辺が隣り合う場合を含む。前者の場合は、オルソ補正済み航空写真で結束点の有無を確認した。また後者の場合の道路幅員はArcGISの距離判別ツールを用いて、オルソ補正済み航空写真より判読した。

3.2.2 集塊性分析

次に、土地利用区分の集塊性を表すパラメータとして、土地利用区分の最大パッチの相対サイズであるRS(ターナーら、2004)を用いる。RSは以下の式で表される。

$$RS = LC/(p \times A) \quad (1)$$

このとき、 LC は土地利用区分の最大パッチサイズ (ha), A は対象となる空間全体の面積 (ha), 占有率 p は対象空間全体に占める土地利用区分の最大パッチサイズ面積の割合を表す。

3.2.3 連結性分析

「柵なし畑」をコリドー (corridor) として利用できる場合を想定し、グラフ理論を援用してイノシシの生息地の連結性を分析する。グラフ理論では、ネットワークが点 (ノード, v_i) と線 (エッジ, $\overline{v_i v_j}$) により抽象化され、ノードとエッジで構成された図 (グラフ) で表現される。生息地パッチの任意の点をノードに置き換え、パッチ間が「柵なし畑」で直接つながる場合に当該ノード間をエッジで結び、グラフを作成した。なお、本論では、ノードはパッチ内の任意の点であるため、エッジの長さおよび角度は意味を持たない。各ノードの次数 $d(v)$ (ノード v に接続するエッジの数) 等に注目し、連結性を評価した。

3.2.4 生息地を孤立化させるための柵の設置位置の検出

柵により生息地の集塊性を低下させ、最大パッチサイズの生息地を効率的に分断できる位置を検討するため、生息地パッチの形状が細くくびれ、短距離で柵による分断が可能な位置を抽出した。その後、これらのうち、柵で分断した場合に集塊性 RS の低下率が大きくなる位置を3カ所抽出した。

また、生息地の連結性を低下させる柵の設置位置を検出するため、最大クラスターに着目し、最大クラスターに連結するノード数の減少率が大きく、かつ柵の設置延長が短くなる位置を検出した。

4. 結果

4.1 集塊性

土地利用図を Fig. 1, 集塊性分析結果を Table 1 に示す。「耕作畑」の集塊性は、 $RS=0.05$ ($LC=35.8$ ha) となり、小規模に分散していた。このうち、「柵あり畑」に限定すると集塊性は $RS=0.03$ ($LC=6.9$ ha) に低下した。また、「柵あり畑」は南西部に多く分布していた (Fig. 1)。

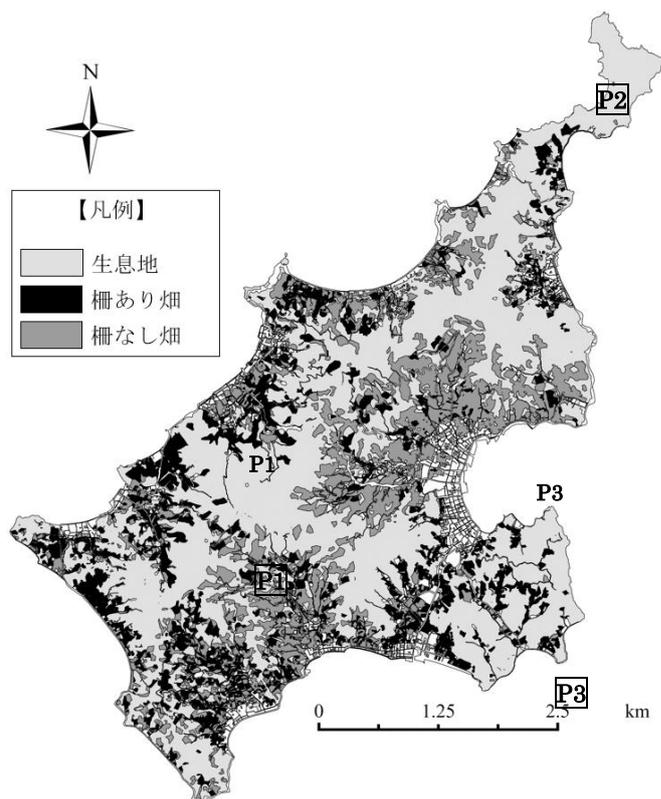


Fig. 1 土地利用区分図
Land use classification map

一方、「生息地」の集塊性は $RS=0.62$ ($LC=704.2$ ha) と高かった。「生息地」では、最大パッチ (704.2 ha, 以下 P1 と表記) のほかに、これに次いで面積が大きく、県道 41 号線 (中島環状線) を境界に最大パッチと分断されたものとして、北部に立地するパッチ (78.1 ha, 以下 P2 と表記), 南東部に立地するパッチ (70.4ha, 以下 P3 と表記) が存在した (Fig. 1)。このうち P2 を分断する県道は、以前より存在していたものの、幅員 5.5 m 以上への拡幅や法面整備等の改良工事が令和 2 年度に完了していた。

次に、柵による分断箇所を抽出した。抽出した分断箇所 (D1, D2, D3) を Fig. 2 に、分断後の集塊性を Table 2 に示す。このうち、D1 を柵で分断した場合、生息地の集塊性 $RS=0.62$ を $RS=0.40$ まで低下させられるが、柵長が 320.0 m と長く、かつ山間部の尾根を跨いで設置することが必要となる。これに対し、

Table 1 集塊性分析結果
Result of land agglomeration analysis

	全体面積 A (ha)	占有率 p_i	パッチ数 n	平均パッチサイズ (ha)	最大パッチサイズ LC_i (ha)	RS_i
耕作地	688.4	0.33	1,089	0.63	35.8	0.05
うち柵あり畑	266.3	0.13	846	0.32	6.9	0.03
うち柵なし畑	421.1	0.20	1,313	0.32	30.5	0.07
生息地	1,136.8	0.55	836	1.36	704.2	0.62

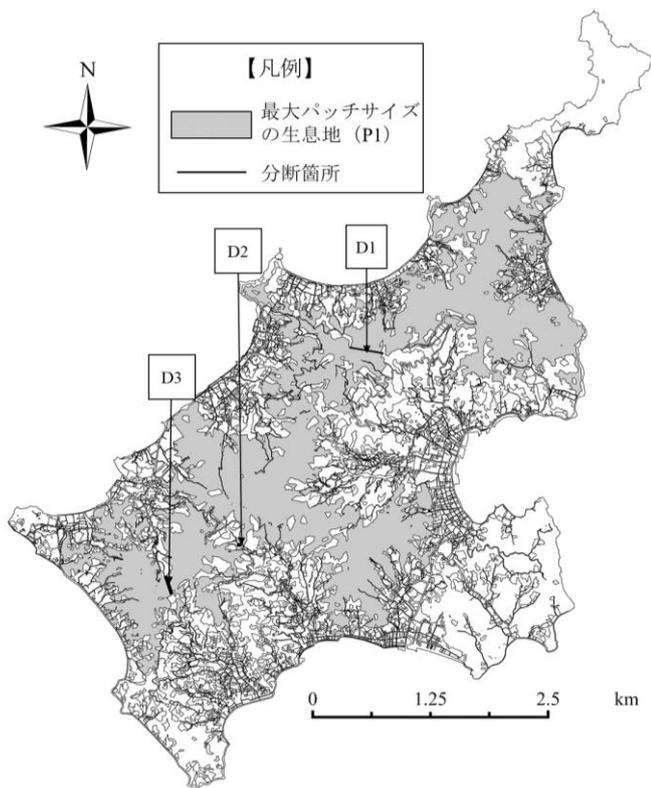


Fig. 2 柵による生息地パッチの分断箇所
Fragmentation of habitat patches by fences

Table 2 柵による分断箇所の特徴
Characteristics of habitat fragmentation location by fences

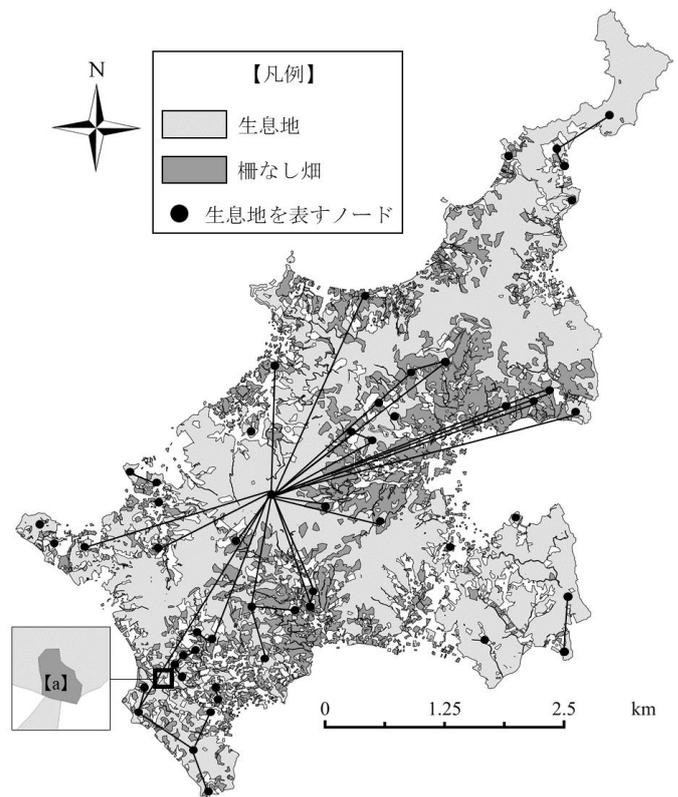
分断箇所	柵の長さ (m)	生息地 RS
D1	320.0	0.40
D2	12.8	0.50
D3	188.3	0.54

D2 は、柵長が 12.8 m と短く、道路沿いに設置することができる。また、D3 は、「柵あり畑」の間をつなぐように柵を設置できるという特徴がある。

4.2 連結性

Fig. 1 に示す「生息地」パッチ $n = 836$ をノードに置き換え（ノード $n = 836$ ）、「柵なし畑」を介して隣接するノード間をエッジで結び、生息地グラフを作成した。結果を Fig. 3 に示す。隣接するノードと連結されるノードは $n = 557$ となり、51 クラスターを形成した。各クラスターのノード数は $n = 367$ ⁽¹⁾, 23 ⁽¹⁾, 13 ⁽¹⁾, 11 ⁽¹⁾, 9 ⁽¹⁾, 8 ⁽¹⁾, 7 ⁽²⁾, 5 ⁽²⁾, 4 ⁽⁴⁾, 3 ⁽¹²⁾, 2 ⁽²⁵⁾（下付括弧内の数値；クラスター数）となった。また、残りの $n = 279$ は、いずれのノードにも連結されない孤立点となった。

ノード数 $n = 367$ の最大クラスターには、最大生息地



注：0.5 ha 以上の生息地パッチのみをノードで表示。

Fig. 3 柵なし畑で連結される生息地のグラフ
Graph of habitats connected in unfenced fields

パッチ P1 が含まれた。 $n = 367$ のうち、P1 の次数（P1 に連結されるノード＝パッチ数）は $d(P1) = 191$ となり、これが最大次数となった。また、北部に立地する P2（78.1 ha, Fig. 1 参照）、南東部に立地する P3（70.4 ha, 同参照）は、県道で P1 から分断されているため、最大クラスターには連結されなかった。最大クラスターに含まれる生息地パッチの総面積は 834.8 ha となり、中島の全生息地パッチ面積 73% を占めた。

次に、最大クラスターに着目し、 $d(P1) = 191$ との連結性を低下させる方法を検討した。その結果、Fig. 3 の【a】の「柵なし畑」に柵を設置した場合、柵長は 105.1m となり、最大クラスター $n = 367$ を P1 を含む $n = 345$ と南部の $n = 22$ に分断できることがわかった。

5. 考察

5.1 イノシシ生息地の集塊性・連結性の評価

集塊性分析の結果、「柵あり畑」は小規模に分散する一方、イノシシ「生息地」はその 62%（704.2 ha）が 1 パッチ集約され、集塊性が極めて高い状況にあることがわかった。また、この最大パッチに、「柵なし畑」を介して 191 パッチが連結し、さらにこれらのパッチに周辺パッチが連結した結果、生息地の 73%（834.8 ha）が連結された。小寺ら（2006）は、イノシシ 1 頭を対象とした夏期 5 日間のラジオテレメトリー調査から、

その行動圏面積が 137 ha であったことを報告している。また、イノシシ 3 頭を対象とした同調査でも、平均行動圏面積は 81.4~132.4 ha であった（小寺ら、2010）。イノシシの行動圏面積は調査期間や環境により異なるものの、上記の報告を参照すると、中島における生息地の集塊・連結状況は、イノシシが日常的な生息地として利用するのに十分であったと考えられる。その結果、捕獲密度が 36.7 頭/km²/年（令和 2 年度）に至ってもなお、生息頭数が維持されていると推察される。

一方、武山ら（2022）は、中島におけるイノシシの生息拡大が最も遅かったのは東南部（Fig. 1 の P3）のエリアであり、すでに周辺地域で被害が深刻となっていた平成 21~22 年頃でも、これらのエリアでは被害がない場所が存在していたことを明らかにしている。これに対し、本研究は、P3 が、最大パッチサイズの生息地 P1 から県道で分断されており、生息地の最大クラスターとも連結しないことを明らかにした。以上により、道路等の土木構造物が生息地の分断に寄与し、生息拡大を制御することにつながる可能性が見いだされた。このことを鑑みれば、平成 2 年度に実施された島の北部での県道 41 号線の改修工事は、P2 を最大パッチサイズの生息地 P1 および最大クラスターから分断することに寄与し、島の北部エリアにおいて捕獲による効果が発現しやすい状況が形成されると期待される。

5.2 生息地の集塊性・連結性を低下させる柵設置位置の評価

本研究では、生息地の集塊性・連結性を低下させる柵の設置位置を検出した。柵は、設置に係る費用の面から、できるだけ短い距離であることが望ましい。また、道路や水路と同様に、整備後の維持管理が必要不可欠となることから、損傷の確認や確認後の補修作業が行いやすい場所に設置することも重要である。このような観点から、本研究で検出された柵の設置位置を評価すると、集塊性の減少率は D1 にわずかに劣るものの、道路沿いに短距離で設置できる D2 の有効性が高いと判断できる。また、D3 も、既設柵の間をつなぐことで設置できることから、既設柵が設置された農地の所有者により「ついでに」管理や補修が行われやすく、効果が持続的に発現すると期待される。

また、連結性を低下させる Fig. 3 の【a】は、「柵あり畑」が多く、地域の農家によってすでに多くの柵が設置されている島の南西部で検出されている。すなわち、まず各農家が各所有農地に柵を設置することが基本であり、そこにプラスして既存柵を効果的に連結する柵を地域ぐるみで設置することにより、地域全体のイノシシの生息地の連結性を下げるような柵の設置が

可能になると言える。

上記のように、土地利用調査結果に基づいて地域内のイノシシ生息地の集塊性・連結性を分析し、効果的な柵の設置位置を客観的に検出することは、各自治体の野生動物対策立案に資すると期待される。具体的には、イノシシ対策を農家個人や集落に任せるのではなく、地域全体で優先的に柵を設置すべき場所を特定し、公が柵を設置・管理し、その整備計画に対し農家や集落間で合意形成を行うことが可能になると考えられる。

5.3 社会実装を可能にするための改善点

本研究では、武山ら（2015）が開発した手法を広域的に社会実装する観点から、調査手順を簡略化し、①「放棄畑」と「雑木林」を区別しない土地利用区分、②地元による土地利用データ収集、の 2 点を新たに導入した。その結果、簡略化した方法でも、武山ら（2015）と同様に、イノシシ生息地の集塊性・連結性を評価できることを示した。

一方、②は、土地利用が時系列で変化する動的性質を持つため、一定期間ごとに継続的にデータ収集を行う必要がある。また、地域コミュニティが希薄な地域や、農家が少ない地域等では、②の調査を地域が担えない可能性もある。そこで、今後は、農林水産省が提供している農地区画情報（筆ポリゴン）や、全国農業会議所が提供する「全国農地ナビ」等のデータの活用を検討する必要がある。また、イノシシによる被害が発生している自治体は、各農家の柵の設置に対し補助金の支給を行っている。そこで、補助金を活用して設置された柵のデータベースの整理も、生息地の集塊性・連結分析に用いるデータの整備に大きく寄与すると考えられる。

6. 結論

本研究では、1 集落を対象に開発されたイノシシ生息地の集塊性・連結性分析と、これに基づき効果的な柵の設置位置を検出して生息地を孤立化させる獣害対策手法を 11 集落からなる中島に適用し、広域スケールでイノシシ生息地の分断箇所を検出するとともに、広域スケールに適用する際の技術的課題を検討した。

その結果、中島ではイノシシ生息地の集塊性・連結性が高く、生息に適した条件を備える一方、イノシシの生息拡大が遅れた地域では生息地が分断されていたことも確認されるなど、生息状況と生息地の集塊性・連結性の関連性が見いだされた。すなわち、本手法を適用することにより、野生動物対策を捕獲のみに頼るのではなく、生息地の分断・孤立化による生息数の減少や、これに伴う被害の軽減が期待できると言える。

また、道路や既設柵などの土木構造物を活用し、追加的に柵を設置することにより、生息地の分断・孤立化が可能となることを示した。

イノシシ生息地の集塊性・連結性分析に基づく適切な柵の設置位置検出手法が社会実装されることにより、自治体による公的柵設置の優先順位の決定等が可能になり、地域全体での戦略的な被害対策や合意形成が可能になると考えられる。この際、本研究では、簡略化した土地利用調査方法でも、イノシシ生息地の集塊性・連結性を評価できることを示した。しかし、定期的に土地利用データを更新したり、地域コミュニティが希薄な地域等でも土地利用データを取得できるようにするため、行政等により整備された既存の土地利用データベースの利用を検討する必要があることを示した。

謝辞

本研究の遂行にあたり、中島地区イノシシ被害防止対策連絡協議会の皆様、および、愛媛県松山市役所中島支所の皆様より、多大なるご協力を賜った。ここに記して深謝申し上げます。

引用文献

環境省（参照 2022.1.13）ニホンジカ・イノシシ捕獲数速報値(令和2年度), <[https:// www.env.go.jp/ nature](https://www.env.go.jp/nature)

/choju/docs/docs4/sokuhou.pdf>.

小寺祐二, 長妻武宏, 藤原悟. (2006) 被害発生時期のイノシシ (*Sus scrofa*) の行動圏と計画的給餌の影響—島根県における予備的調査の結果報告. 哺乳類科学. 46 (1) : 67–68.

小寺祐二, 長妻武宏, 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 (2) : 137–144.

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 (1) : 33–42.

武山絵美, 金脇慶郎, 吉元淳記. (2022) 野生動物の新規分布拡大地域において地域主体の捕獲体制はどのように構築できるのか—海を越えてイノシシが移入した愛媛県中島本島に着目して—. 農村計画学会論文集. 2 (1) : 17–26.

武山絵美, 政本泰幸, 濱野博幸, 笹山新生, 吉元淳記. (2021) 生息地の分断・孤立化による野生動物被害対策効果—コリドー分断柵によるイノシシ被害対策の実証研究—. 農業農村工学会論文集. 89 (2) : I_299–I_307.

武山絵美, 笹山新生, 野中仁智, 九鬼康彰. (2015) 樹園地周辺における耕作放棄地および防護柵がイノシシ生息地の集塊性・連結性に及ぼす影響—瀬戸内島嶼部の柑橘栽培地域を対象として—. 農業農村工学会論文集. 83 (2) : I_25–I_31.

ターナー MG, ガードナー RH, オニール RV. (2004) 景観生態学. 文一総合出版. 東京. 118–124.