

## 第 3 章

# 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

高木 俊<sup>1\*,2</sup>・栗山 武夫<sup>1,2</sup>・山端 直人<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 兵庫県森林動物研究センター

<sup>2</sup> 兵庫県立大学自然・環境科学研究所

### 要 点

- ・鳥獣害アンケートにおけるシカ・イノシシによる農業被害の程度と、集落周辺の森林面積割合、密度指標の関係性の分析を行った。
- ・シカ・イノシシの密度指標として、出猟カレンダーから集計した銃猟時の目撃効率、箱わなの捕獲効率を用い、農業被害との関係性を比較した。
- ・シカ・イノシシいずれも密度指標と森林面積割合を組み合わせることで、より被害程度が説明され、シカによる被害は、周辺 1000 m 以内での森林面積割合が高い集落で、イノシシによる被害は周辺 100 m の森林面積割合が高い集落で深刻化しやすい傾向がみられた。
- ・景観構造の違いを考慮した場合、森林内の銃猟時の目撃効率よりも、集落周辺で設置されることの多い箱わなでの捕獲効率の方が、被害程度との関係性が強かった。
- ・目撃効率と被害程度の関係性は、兵庫県全体での個体数管理の目標設定の基準として使われてきたが、集落単位で被害分析や対策の評価を行う場合には、景観構造の違いを考慮し、箱わなでの捕獲効率を指標とすることが有効である。

**Keywords:** アンケート調査、空間スケール、決定木分析、捕獲効率

### Relationships between agricultural damage by sika deer and wild boar and their density indices in a landscape context

Shun Takagi<sup>1\*,2</sup>, Takeo Kuriyama<sup>1,2</sup>, and Naoto Yamabata<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Wildlife Management Research Center, Hyogo

<sup>2</sup> Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo

**Abstract:** The relationships between agricultural damage by sika deer and wild boar, forest area surrounding agricultural fields, and density indices were analyzed.

Sightings per unit effort (SPUE) by gun hunting and catch per unit effort (CPUE) by box trap hunting were calculated based on hunting records and were used as density

受付日：2018年1月25日、受理日：2018年2月23日

責任著者：高木俊\*

〒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 ✉takagi@wmi-hyogo.jp

indices. Damage by both animals was well-explained by the combination of forest area and box-trap CPUE; severe impacts of deer were observed at agricultural settlements with a high percentage of forest cover within a 1000-m buffer, and severe impacts of boar were observed at agricultural settlements with a high percentage of forest cover within a 100-m buffer. These results suggest that it is important to account for both the surrounding forest area and box-trap CPUE for effective implementation, planning, and evaluations of the management of agricultural damage caused by these animals.

Keywords: catch per unit effort, decision tree analysis, questionnaire, spatial scale

### 3-1. はじめに

兵庫県では、農業被害の軽減を目的として、シカの個体数管理を行っており、第2期ニホンジカ管理計画では2021年度までに目撃効率を1.0以下、2026年度までに0.5以下に抑えることで、農業被害を半減させることを目標としている（兵庫県2017）。この目標設定は、農業被害程度と目撃効率との関係性の分析に基づいており（図3-1）、岸本（2010）は、シカ・イノシシの2004年および2008年の農業被害データについて、目撃効率との関係性の解析を行い、両種において農業被害程度の割合が目撃効率と相関することを示している。ただし、岸本（2010）は被害程度と目撃効率の関係性は年度ごとに変化する可能性も指摘しており、データの蓄積状況や分布状況の変化した現在においては、既存の方法での目撃効率と農業被害の関係性の分析が妥当であるかは再検討の余地がある。特に、以下にあげる点で、現状の分析は改善の余地があると考えられる。

第一に、現状の目標設定における農業被害程度の分析では、シカ・イノシシの分布していない地域（「被害なし」として回答を集計）を含んでおり、これらを含んだ被害程度割合の分析は、分布域における密度低減を目的とした個体数管理の方針と合致しない。「分布なし」「分布あり」の違いは過去の分布域からの連続性や生息適地の有無といった地理的な要因が強く影響を与えると想定され、密度や出没しやすさといった分布域における被害程度の大小を区別する要因とは異なるプロセスが想定される。すでに農業被害が報告されている地域において「大きい」「深刻」と回答した集落を「軽微」「ほとんどない」の状態にすることを目標とする上では、現状で分布している集落のみに限った関係性の分析が妥当であると考えられる。

第二に、密度の指標である目撃効率が同程度であれば、被害も同程度に起きやすいことを仮定しているが、森林に生息するシカ・イノシシの集落への出没程度は景観構造によって大きく異なることが考えられる。例えば、高田ほか（2010）では千葉県におけるシカによる水稲被害発生リスクは水田周辺の森林率および林縁長率が高いほど高くなることを示している。同様の関係性は、坂田ほか（2001）が兵庫県内で行った市町レベルでのシカによる農業被害の分析においても示されており、鳥獣害アンケートで得られる農業集落単位での分析においても景観構造の違いは考慮する必要があるだろう。

第三に、目撃効率以外の密度指標の有効性の検討が不十分であることが挙げられる。岸本

(2010) による分析が行われた 2004 年および 2008 年の農業被害データに対しては、広域での分析が可能な密度指標としては、目撃効率以外の選択肢が乏しかったが、現在では、箱わなやくくりわなの捕獲効率データも十分に蓄積されている。特に箱わなは農地周辺に設置されることも多く、農地周辺に出没し、被害をもたらす個体の密度指標としては、森林内の目撃効率よりも適している可能性が考えられる。

以上を踏まえて本章では、シカ・イノシシによる農業被害程度と密度指標の関係を明らかにすることを目的として、以下の点に着目した解析を行った。1) 集落周辺の森林率を考慮した場合としない場合の、農業被害程度と密度指標の関係性を比較する。2) 密度指標として目撃効率と箱わな捕獲効率を用いた場合の、農業被害程度と密度指標の関係性を比較する。これらの解析結果をもとに、農業被害の低減にむけた目標設定を行う上で、今後検討すべき点について議論する。

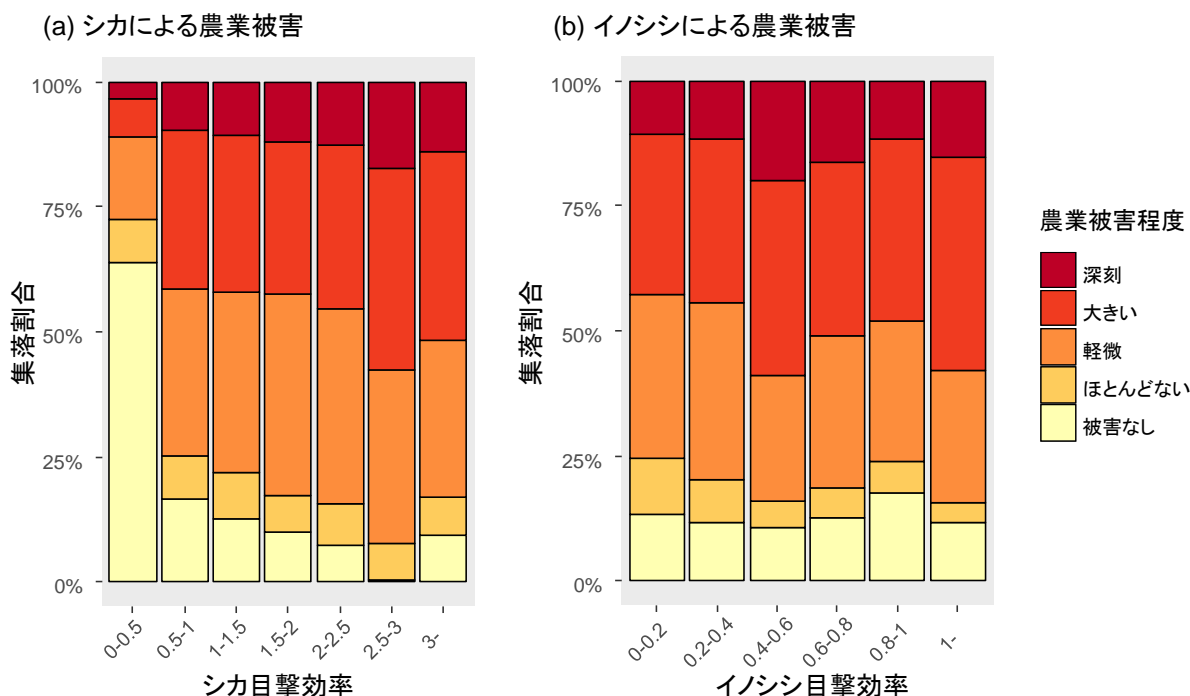


図 3-1. 2015～2016 年度の鳥獣害アンケートにおけるシカ (a) およびイノシシ (b) による農業被害割合と、出猟カレンダーより集計した目撃効率の関係。第 2 期ニホンジカ管理計画 (兵庫県 2017) では、シカの個体数管理目標を「深刻」「大きい」の割合が大きく減少する閾値である、目撃効率 0.5 以下を長期目標として設定している。

## 3-2. 方法

### データの収集

農業被害程度は 2015 年度および 2016 年度に行った鳥獣害アンケートの結果を用いた。アンケートは兵庫県内に約 4200 存在する農業集落を対象としており、農業集落の代表者による回答をもとに毎年の農業被害程度や被害対策の実施状況についての調査を行っている。

(栗山ほか 2018)。農業被害程度については、まず対象動物の生息状況(「いる」または「いない」)を回答した上で、「いる」場合には4段階で被害程度(「ほとんどない」「軽微」「大きい」「深刻」)で回答する形式となっている。「いない」と回答したアンケートについては「被害なし」として集計した。農業 集落周辺の景観構造として、集落周辺の森林面積の集計を地理情報システム(GIS)上で行った。森林は自然環境保全基礎調査第6・7回の植生調査データをもとに整備された1/2.5万植生図(環境省生物多様性センター)における大区分のうち、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、冷温帯針葉樹林に属するものを森林として定義した。農業集落は1/2.5万植生図の大区分のうち耕作地、市街地等、牧草地・ゴルフ場・芝池から開放水域を除いたものとし、これらの植生区分を農業集落界(農林業センサス2015)によって各農業集落を定義した。各農業集落から、100 m、500 m、1000 mのバッファを発生させ、バッファ内の森林面積割合を集計した。GIS上での面積計算には、ArcGIS 10.4.1(ESRI)を用いた。

シカおよびイノシシの密度指標としては2015年度および2016年度に兵庫県内の狩猟登録者から収集した出猟カレンダーの結果を用いた。出猟カレンダーでは、狩猟メッシュ(約5km四方で、日本測地系5倍地域メッシュの区画に対応)単位で、銃猟における出猟・目撃・捕獲記録、わな猟におけるわな種ごとの設置・捕獲記録が記録されている。密度指標として、銃猟における目撃効率(1出猟人日あたりの目撃数)、箱わなにおける捕獲効率(100わな日あたりの捕獲数)をメッシュごとに計算した。努力量の少ないメッシュで極端な値が計算されることを防ぐために、目撃効率については努力量5人日未満、箱わな捕獲効率については努力量100わな日未満のものは解析から除いた。各集落における密度指標は、その集落の中心座標が位置するメッシュの値を用いた。

## 統計解析

解析は密度指標が得られたメッシュ内で、シカ・イノシシの分布があり、被害程度についての回答が得られた集落(シカ:1638集落、イノシシ:1790集落)に対して行った。2015年のシカ・イノシシ被害程度を目的変数、集落周辺の森林率および密度指標を説明変数とした累積ロジットモデルによる解析を行った。目的変数とする被害程度は「分布あり」と回答した集落における、「ほとんどない」「軽微」「大きい」「深刻」の4段階の被害とした。累積ロジットモデルでは、以下のモデルへの当てはめを行っている。

$$\text{logit}(P(Y_i \leq j)) = \theta_j - (\beta_{\text{森林}} \times \text{森林率}_i + \beta_{\text{密度指標}} \times \text{密度指標}_i)$$

左辺は集落*i*の被害程度が被害ランク*j*以下である確率をロジット変換したものであり、切片項 $\theta_j$ と集落周辺の森林率 $i$ および集落の位置するメッシュの密度指標 $i$ の線形モデルの形で記述される。説明変数として用いる密度指標の種類(目撃効率または箱わな捕獲効率)と集落周辺の森林率のスケール(100 m、500 m、1000 m)の最適な組み合わせは、AIC(赤

池情報量基準) によるモデル選択により行った。AIC はモデルの予測力の指標であり、少ない変数の組み合わせでデータとの適合度が高いモデルほど低い値を示す。また、閾值的反応や交互作用などの非線形的な関係性の検討を、決定木分析の一つである **Conditional Inference Trees** (条件付き推測木) により行った (Hothorn et al. 2006)。決定木分析は、データを説明変数の値や範囲で分割させて目的変数 (本章の解析では被害程度) の予測や判別を行う学習アルゴリズムであり、結果は階層的なツリー構造で可視化される。過学習の回避と解釈を容易にするため、決定木の深さの最大値は 3 とした。累積ロジットモデルおよび決定木によるモデルの予測精度は、2016 年度の被害程度の正答率から評価した。統計解析は R3.4.0 (R Core Team 2017) を用い、累積ロジットモデルには **ordinal** パッケージ、モデル選択には **MuMIn** パッケージ、決定木分析には **party** パッケージを用いた。

### 3-3. 結果

#### シカの農業被害程度に影響する要因

シカの分布域における被害程度は、集落周辺 1000 m 以内の森林率および箱わな捕獲効率を説明変数とするモデルが選択された (表 3-1)。目撃効率のみを説明変数としたモデルは AIC が高く、予測精度は帰無モデルよりも低かった (表 3-1、3-2)。決定木分析と累積ロジットモデルの予測精度は、同程度であった (表 3-2)。

表 3-1. シカによる分布域での被害程度を目的変数とした累積ロジットモデルにおいて選択された説明変数の組み合わせ。

バッファサイズ	説明変数	AIC
1000 m	森林率、目撃効率	3907
	森林率、箱わな捕獲効率	3895 <sup>※</sup>
	森林率	3925
500 m	森林率、目撃効率	3909
	森林率、箱わな捕獲効率	3897
	森林率	3928
100 m	森林率、目撃効率	3941
	森林率、箱わな捕獲効率	3932
	森林率	3965
景観非考慮	目撃効率	4048
	箱わな捕獲効率	4056
	帰無モデル	4086

※AIC が最も低いモデル。係数の推定値および標準偏差： $\theta_{\text{ほとんどない}} = -0.22 \pm 0.17$ ;  $\theta_{\text{軽微}} = 2.25 \pm 0.18$ ;  $\theta_{\text{大きい}} = 4.12 \pm 0.19$ ;  $\beta_{\text{森林}} = 3.10 \pm 0.25$ ;  $\beta_{\text{密度指標}} = 0.258 \pm 0.046$

表 3-2. 2016 年度のシカによる分布域での被害程度に対する予測精度。森林率は集落周辺 1000 m 以内の森林率とした。

説明変数	累積ロジットモデルでの予測精度	決定木分析での予測精度
森林率、目撃効率	45.5%	44.5%
森林率、箱わな捕獲効率	46.2%	45.3%
森林率	44.8%	45.3%
目撃効率	40.7%	40.0%
箱わな捕獲効率	42.6%	43.7%
帰無モデル	41.6%	-

AIC が最も低くなった説明変数の組み合わせである、捕獲効率と森林率を用いた決定木分析の結果を以下に示す (図 3-2)。森林率が低い (30.9%以下) の領域では捕獲効率によらず被害レベルが低かったが、森林率がそれより大きい領域では捕獲効率の強さによって被害レベルが識別された。森林率が 30.9~53.4%の領域では、捕獲効率が 0.520 を超えると、被害程度「ほとんど無い」が減少した。森林率が 53.4~76.7%の領域では、捕獲効率が 0.340 を超えると被害程度「軽微」以下の割合が減少し、「大きい」以上の割合が増加した。森林率が 76.7%より大きい領域では被害レベルが高く、特に捕獲効率が 1.289 を超えると被害程度「深刻」の割合が増加した。

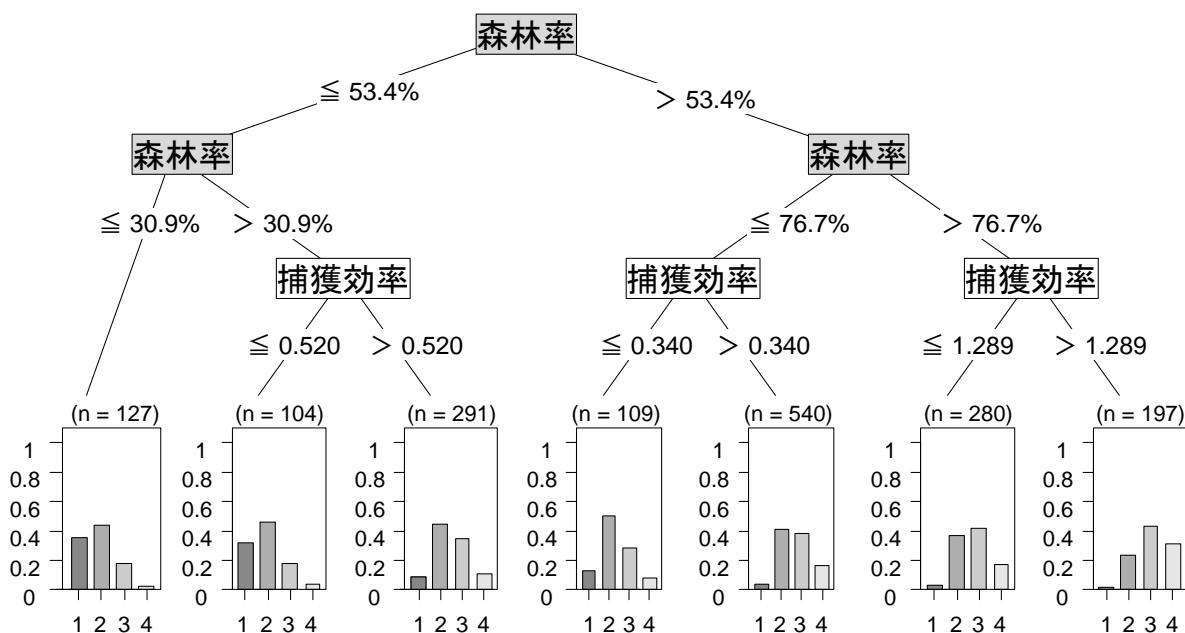


図 3-2. シカの分布域での被害程度 (1: ほとんどない、2: 軽微、3: 大きい、4: 深刻) を目的変数とし、周辺 1000 m 以内の森林率と箱わな捕獲効率を説明変数とした決定木分析の結果。各集落の回答は、決定木の各ノードで選択された変数の閾値に応じて、各枝に分類される。末端ノードには、各ノードに分類された回答数および被害程度の割合分布を示した。決定木分析の結果の見方については Box (図 3-8) を参照。

### イノシシの農業被害程度に影響する要因

イノシシの分布域における被害程度は、集落周辺 100 m 以内の森林率および箱わな捕獲効率を説明変数とするモデルが選択された（表 3-3）。目撃効率を密度指標としたモデルは AIC が高く、予測精度も捕獲効率を密度指標にしたモデルに比べて低かった（表 3-3、3-4）。決定木分析と累積ロジットモデルの予測精度は、同程度であった（表 3-4）。

表 3-3. イノシシによる分布域で農業被害程度（被害なしを除いた 4 段階）を目的変数とした累積ロジットモデルにおいて選択された説明変数の組み合わせ。

バッファサイズ	説明変数	AIC
1000 m	森林率、目撃効率	4369
	森林率、箱わな捕獲効率	4341
	森林率	4402
500 m	森林率、目撃効率	4339
	森林率、箱わな捕獲効率	4313
	森林率	4371
100 m	森林率、目撃効率	4329
	森林率、箱わな捕獲効率	4305*
	森林率	4353
景観非考慮	目撃効率	4431
	箱わな捕獲効率	4404
	帰無モデル	4451

※AIC が最も低いモデル。係数の推定値および標準偏差： $\theta_{\text{ほとんどない}} = -1.04 \pm 0.13$ ;  $\theta_{\text{軽微}} = 1.18 \pm 0.12$ ;  $\theta_{\text{大きい}} = 3.24 \pm 0.14$ ;  $\beta_{\text{森林}} = 2.66 \pm 0.27$ ;  $\beta_{\text{密度指標}} = 0.436 \pm 0.062$

表 3-4. 2016 年度のイノシシによる分布域での農業被害程度に対する予測精度。森林率は集落周辺 100 m 以内の森林率とした。

説明変数	累積ロジットモデルでの予測精度	決定木での予測精度
森林率、目撃効率	42.4%	43.4%
森林率、箱わな捕獲効率	43.0%	43.4%
森林率	42.4%	41.7%
目撃効率	40.0%	39.3%
箱わな捕獲効率	40.7%	41.0%
帰無モデル	37.9%	—

AIC が最も低くなった説明変数の組み合わせである、捕獲効率と森林率を用いた決定木分析の結果を以下に示す (図 3-3)。森林率が低い (24.3%以下) の領域では捕獲効率によらず被害レベルが相対的に低かったが、森林率がそれより大きい領域では捕獲効率の強さによって被害レベルが識別された。森林率が 24.3~45.0%の領域においては、捕獲効率が 1.185 を超えると「軽微」以下の被害より「大きい」以上の被害割合が高くなった。森林率が 45.0%より大きい領域においては、低い捕獲効率の閾値 (0.276) を超えた段階で、「軽微」以下の被害を「大きい」以上の被害が上回り、さらに捕獲効率が 1.118 を超えると「深刻」の被害割合が高くなった。

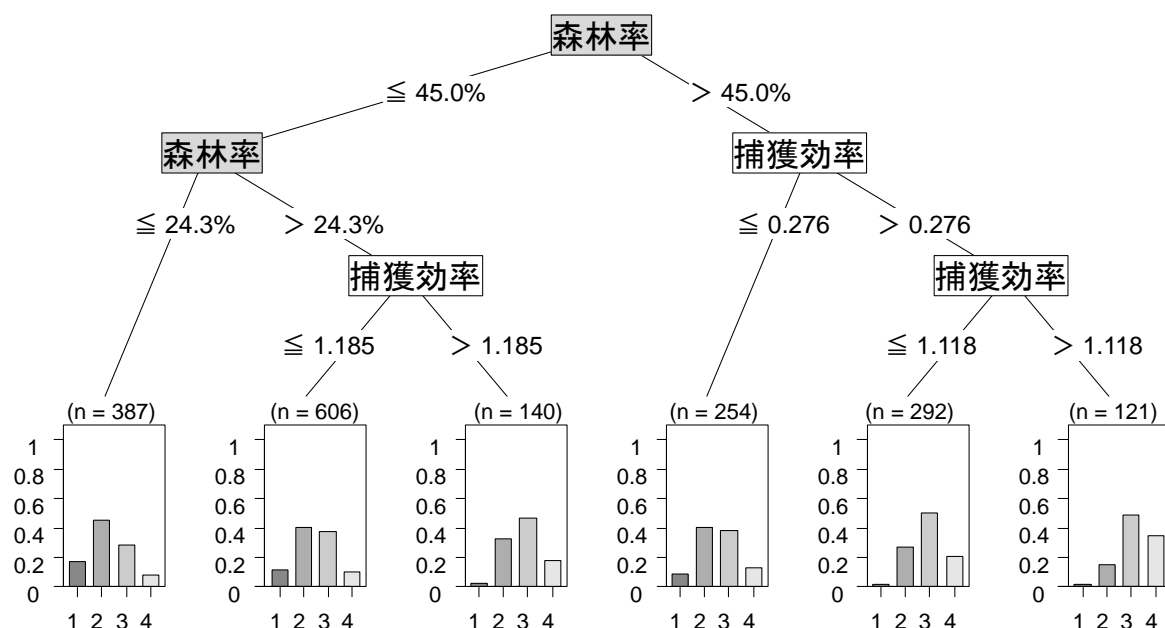


図 3-3. イノシシの分布域での被害程度 (1: ほとんどない、2: 軽微、3: 大きい、4: 深刻) を目的変数とし、周辺 100 m 以内の森林率と箱わな捕獲効率を説明変数とした決定木分析の結果。各集落の回答は、決定木の各ノードで選択された変数の閾値に応じて、各枝に分類される。末端ノードには、各ノードに分類された回答数および被害程度の割合分布を示した。決定木分析の結果の見方については Box (図 3-8) を参照。

### 3-4. 考察

シカ・イノシシいずれも密度指標単独より、密度指標と森林率を組み合わせることで、より被害程度を説明できることが明らかになった (表 3-1、3-3)。これは、シカ・イノシシが森林を主な生息域としているため、周辺に森林の少ない集落では、森林から農耕地への動物の侵入が起これにくかったためと考えられる。シカでは周辺 1000 m 以内の森林率が高い景観で、より被害が生じやすい関係性が示され (表 3-1)、大規模にまとまった森林に接する集落では、特に被害リスクが高いといえる。一方、イノシシでは 100 m 以内の森林率が高い景観で被害が起これやすく (表 3-3)、シカに比べるとより小規模の森林 (河畔林や分断された森



林など)に接する集落でも被害が生じやすいといえる。実際に兵庫県において農地に出没するイノシシの行動を調べた研究でも、行動圏サイズが平均  $3.39 \text{ km}^2$  と大型草食獣としては比較的狭く、農地への出没も森林に接した地域に限定されていた(横山ほか 2014)。また、森林に囲まれた集落ほどすべての農地を防護柵で囲うことが困難になると想定され、これが周辺の森林率が高い集落で被害程度が高くみられたことの一因となっている可能性もある。

兵庫県ではシカによる農業被害程度について目撃効率との関係性をもとに個体数管理の目標を定めてきた(兵庫県 2017)が、分布域における被害程度と目撃効率の関係性は弱いことが明らかになった(表 3-1、3-2、図 3-4a)。目撃効率と被害程度の関係性が弱かったことにはいくつかの原因が考えられる。まず、目撃効率と箱わな捕獲効率のどちらについてもいえることであるが、シカによる被害が発生している集落の多くにおいて、すでに何らかの被害対策が行われているため、密度指標と被害の関係性が明確でなかった可能性がある。兵庫県ではシカの個体数増加に伴う被害対策の一環として、防護柵の設置や捕獲を実施してきた。捕獲頭数に関しては、2010年以降は年間3万頭を超える捕獲圧を維持しており、防護柵は2015年度までに累計7478kmを設置している(兵庫県 2017)。シカによる被害が発生している中程度以上の目撃効率の領域においては、被害対策の実施程度の差が、地域の森林内に生息するシカ密度の差より重要になっている可能性がある。

次に、箱わな捕獲効率に比べて目撃効率で被害程度との関係性が弱かった理由としては、集落周辺に出没するシカ密度に対して、目撃効率の指標性が低い可能性が挙げられる。目撃効率は狩猟期の銃猟時における1人日あたりの目撃個体数によって計算され、集落内の農耕地に出没するシカ密度とどの程度強い比例関係にあるかは不明である。下層植生の衰退の分析(岸本ほか 2012)など森林内におけるシカの密度指標としては、目撃効率が有効かもしれないが、集落における農業被害分析においては、より集落に近い場所で行われる箱わなでの捕獲効率を密度指標としたほうが有効と考えられる(表 3-1、3-2、図 3-4b)。現在、全県的なデータが未整備だが、実際に農業被害が生じる時期での有害捕獲にともなう捕獲効率を得られれば、さらに被害との関係性が強くみられる可能性がある。また、目撃効率は積雪による変動が大きいことが指摘されており(濱崎ほか 2007)、今回のような多雪地と小雪地を含む県全体での被害状況の分析においては、注意を要する密度指標でもある。しかしながら、集落周辺の森林率を考慮すれば被害と一定の関係性はみられること、県内の広域で収集可能な密度指標であることから、個体数管理の目標設定の判断材料として使うことは可能だろう。

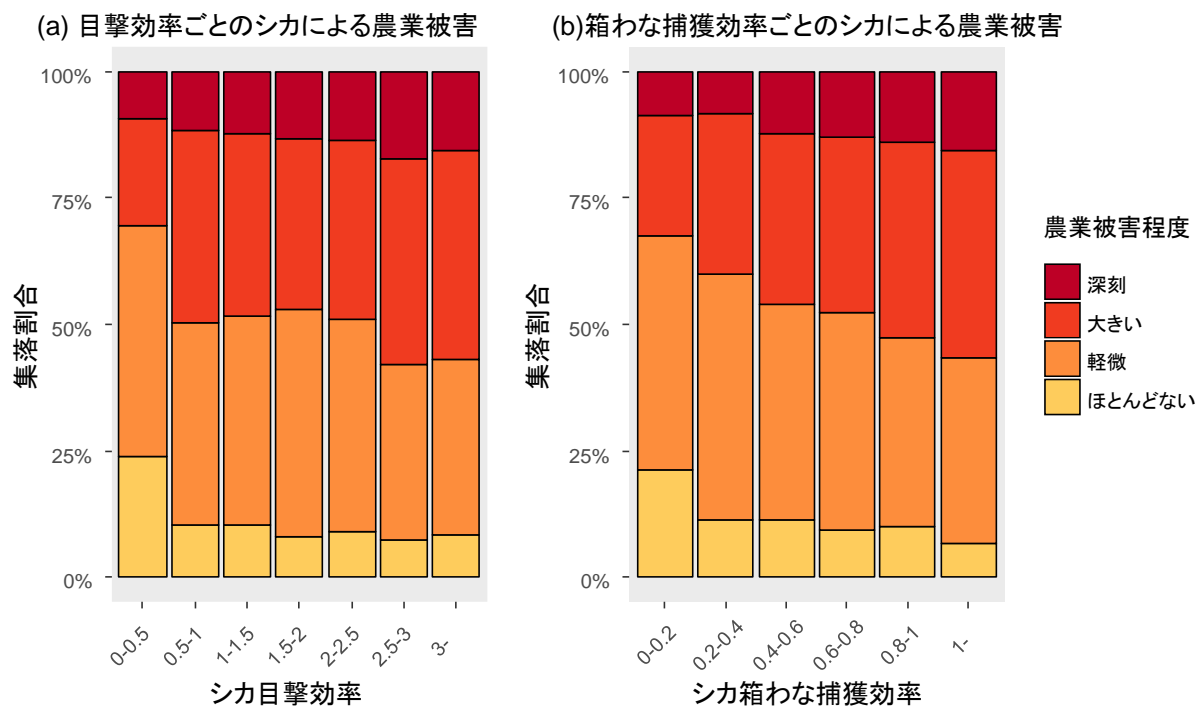


図 3-4. 2015～2016 年度の鳥獣害アンケートにおけるシカ分布域での農業被害割合と、出猟カレンダーより集計した目撃効率 (a) および箱わな捕獲効率 (b) の関係。

イノシシについては、シカに比べて被害程度と目撃効率の関係性が明確に見られないことが指摘されており (坂田ほか 2008)、今回の結果でも分布域における被害程度との関係性は弱かったが、シカに比べてイノシシで特に関係性が弱いわけではなかった (表 3-3、3-4)。既存の解析でシカとイノシシで傾向が異なるとされていた (坂田ほか 2008) のは、両種で「分布なし」の集落の割合が大きく異なっていたためであり (図 3-1)、分布域における被害程度と目撃効率の関係性の強さに大きな差はないといえるだろう (図 3-4a、3-5a)。シカと同様に、集落周辺の森林率を考慮した上で、箱わなの捕獲効率を密度指標とした場合には、被害程度との関係性がみられた (表 3-3、3-4)。シカによる被害と異なる点としては、捕獲効率が低いメッシュの集落においても、被害程度が「ほとんどない」と回答する集落よりも被害程度が「大きい」と回答している集落の割合が高く、低密度下においても大きな農業被害が発生しやすいことが挙げられる (図 3-3、3-5b)。また、集落周辺 100 m といった比較的小スケールでの森林率が被害程度に影響していたことから、約 5 km 四方の狩猟メッシュレベルでの集計値をもとにした密度指標では集落周辺での局所的なスケールでの加害個体の密度を十分に反映できていない可能性がある。

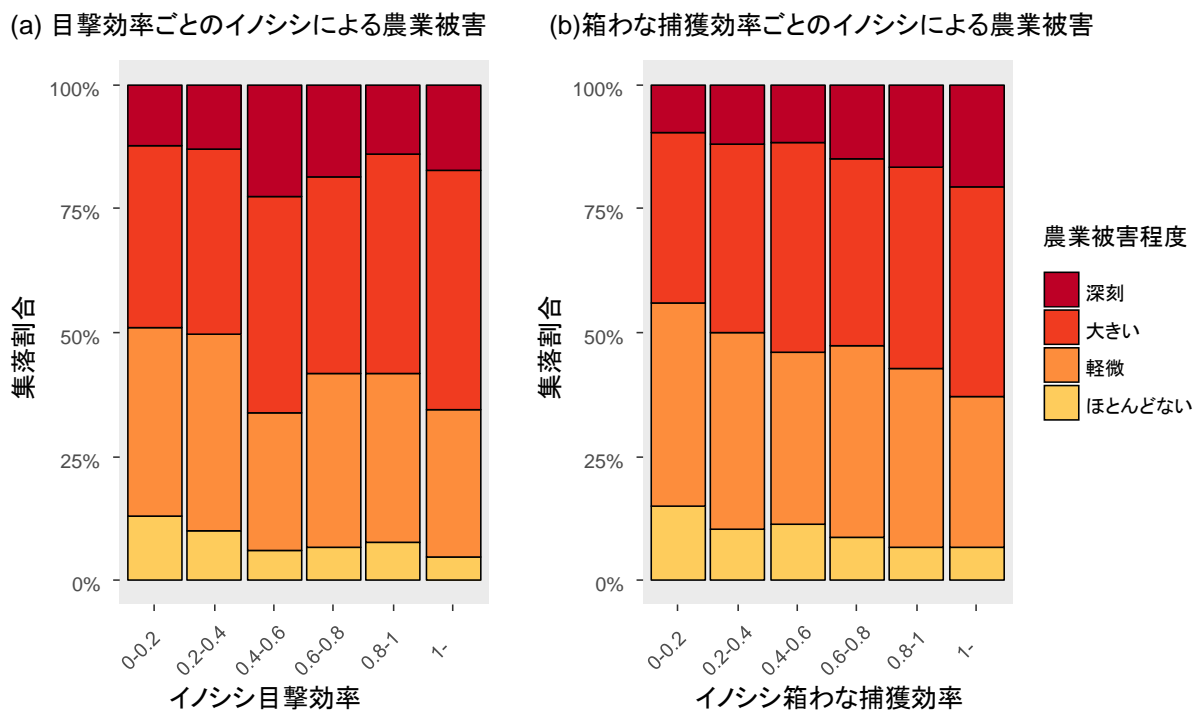


図 3-5. 2015～2016 年度の鳥獣害アンケートにおけるイノシシ分布域での農業被害割合と、出猟カレンダーより集計した目撃効率 (a) および箱わな捕獲効率 (b) の関係。

### 3-5. 結論

本章の結果から、シカ・イノシシの農業被害程度は集落周辺の森林率を考慮することで、密度指標との関係性がより明確になった。本章の結果を踏まえた、被害低減に向けた目標設定のあり方について指針を示す。

まず、集落周辺の森林率が被害程度に大きく影響していたことから、周辺の景観構造の違いによる被害リスクの違いに応じた目標設定が望ましい (図 3-6、3-7)。シカの農業被害程度については、大規模な森林から離れた集落では、シカの被害発生リスクが低いため、省力的な被害対策でもある程度対応可能といえる (図 3-6: 森林率低)。森林率が中程度の集落では、特にシカの被害程度と密度指標との関係性が強いため、捕獲を通じた密度低減が有効といえる (図 3-6: 森林率中)。一方、周辺を森林に囲まれた集落では、密度低減のみでは被害を十分に軽減することは難しく、集落レベルでの防護柵設置などとの複合的な対策が求められる (図 3-6: 森林率高)。イノシシの農業被害程度については、密度指標が低い集落においても被害の発生リスクが比較的高く、捕獲だけでなく集落柵の整備や藪の刈り払いといった複合的な対策が必要といえる (図 3-7)。密度指標と被害程度との関係性は、集落周辺 100m 以内の森林率が高い集落ほど顕著であり、森林に囲まれた集落では、集落に出没する個体密度を捕獲によってある程度減少させた上での被害対策が必要といえる (図 3-7: 森林率高)。

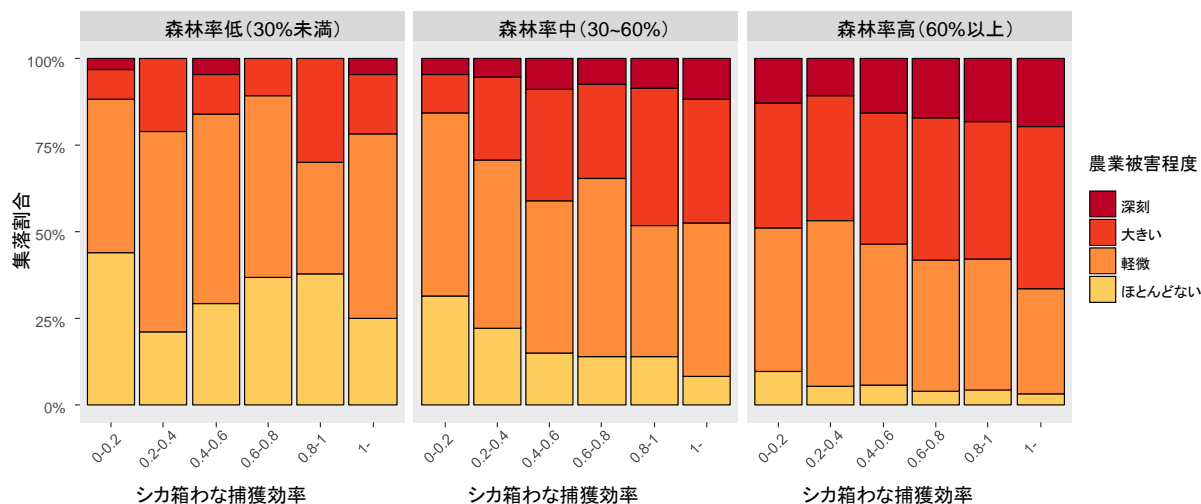


図 3-6. 集落周辺の森林率に応じたシカ農業被害割合。森林率は集落周辺 1000m 以内における面積割合を 3 段階（森林率低：30%未満、森林率低：30%以上 60%未満、森林率低：60%以上）に分類した。2015～2016 年度の鳥獣害アンケートにおける農業被害程度 4 段階と、出猟カレンダーより集計した箱わな捕獲効率のランクに応じた集落割合を示した。

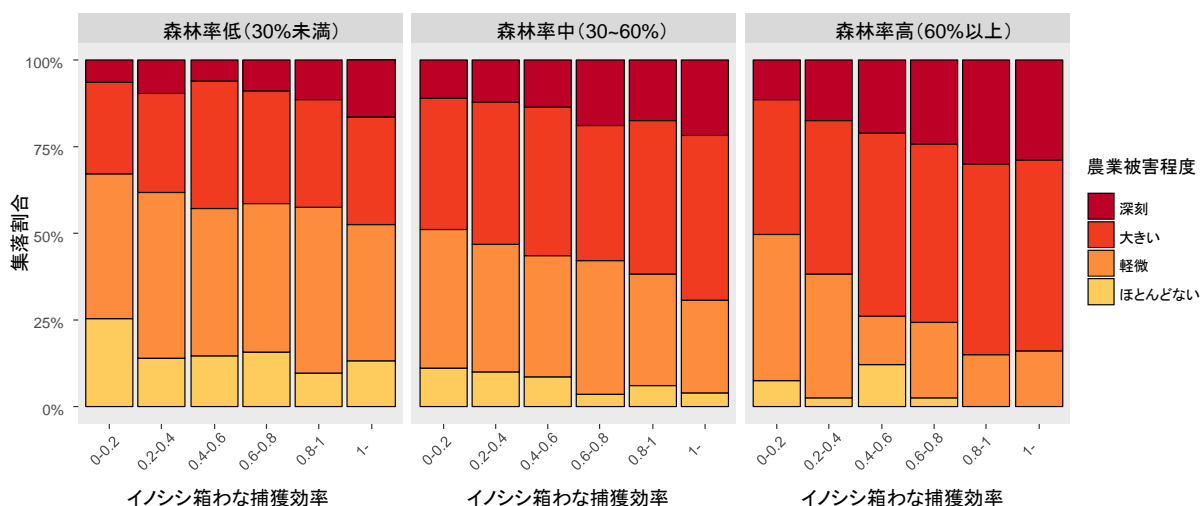


図 3-7. 集落周辺の森林率に応じたイノシシ農業被害割合。森林率は集落周辺 100m 以内における面積割合を 3 段階（森林率低：30%未満、森林率低：30%以上 60%未満、森林率低：60%以上）に分類した。2015～2016 年度の鳥獣害アンケートにおける農業被害程度 4 段階と、出猟カレンダーより集計した箱わな捕獲効率のランクに応じた集落割合を示した。

次に、密度指標と被害の間には一定の関係性はみられるものの、密度指標の低下を数値目標とした対策の評価には限界があることを認識し、防護柵の設置などの他の被害対策の効果検証を進める必要がある。特に周辺を森林に囲まれた集落では、密度指標が低くても被害集落の割合が大きく、捕獲とあわせて他の被害対策をどの程度行っているかが、被害の軽減に重要と考えられる。例えば、山端ほか（2018）において防護柵の設置率の高い集落では、経年的な被害の減少傾向が示唆されている。被害対策状況を加味した上で密度指標と被害程度

の関係性を明らかにすることで、動物の生息状況や景観構造に応じた、個体数管理と被害管理の最適な配分を議論することが可能になるだろう。

## 謝辞

本研究の一部は環境研究総合推進費「異質環境下におけるシカ・イノシシの個体数推定モデルと持続可能な管理システムの開発」（課題番号：4-1704）によって行われた。

## 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
- Hothorn T, Hornik K, Zeileis A (2006) Unbiased recursive partitioning: A conditional inference framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15: 651-674
- 兵庫県 (2017) 「第2期ニホンジカ管理計画」  
<https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk27/12jityojyuhogokanrikeikaku.html>, 2018年2月7日確認
- 環境省生物多様性センター「自然環境保全基礎調査植生調査第6回・第7回植生調査」  
[http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd\\_f.html](http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_f.html), 2018年1月20日確認
- 岸本康誉 (2010) シカ・イノシシによる被害の状況. 「農業集落アンケートからみるニホンジカ・イノシシの被害と対策の現状」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 2: 5-15
- 岸本康誉, 藤木大介, 坂田宏志 (2012) 森林生態系保全を目的とした広域モニタリングによるニホンジカの密度管理手法の提案. 「兵庫県におけるニホンジカによる森林生態系被害の把握と保全技術」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 4: 92-104
- 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. 「兵庫県の大型・中型野生動物の生息状況と農業被害の現状と対策～鳥獣害アンケートの集計～」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 1-8
- 坂田宏志, 濱崎伸一郎, 岸本真弓, 三橋弘宗, 三橋亜紀, 横山真弓, 三谷雅純 (2001) 兵庫県におけるニホンジカの生息密度指標と捕獲圧, 農業被害の関連. 人と自然, 12: 63-72
- 坂田宏志, 鮫島弘光, 横山真弓 (2008) 目撃効率からみたイノシシの生息状況と積雪, 植生, ニホンジカ, 狩猟, 農業被害との関係. 哺乳類科学, 48: 245-253
- 高田まゆら, 鈴木牧, 落合啓二, 浅田正彦, 宮下直 (2010) 景観構造を考慮したニホンジカによる水稻被害発生機構の解明とリスクマップの作成. 保全生態学的研究, 15: 203-210
- 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. 「兵庫県の大型・中型野生動物の生息状況と農業被害の現状と対策～鳥獣害アンケートの集計～」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ, 10: 46-55
- 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ニホンイノシシの加害行動の解析. 「兵庫県におけるニホンイノシシの管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフ

モノグラフ, 6: 43-58

**Box****決定木を用いた被害分析**

決定木分析は、データを説明変数の値や範囲で分割させて、目的変数（本章では被害程度）の予測や判別を行う解析手法（学習アルゴリズム）である。決定木の分割アルゴリズムには様々なものがあるが、基本的に不均質なデータの集合がより均質なデータのグループに別れるように、均質性の評価と分割が行われる。結果は家系図のような階層的なツリー構造で可視化できるため、分類ルールと分類結果が直感的に理解しやすいという利点がある（図 3-8）。累積ロジットモデルのような一般化線形モデルの枠組みとの違いとして、（1）決定木モデルでは密度指標がある値を超えると被害程度が大きく異なるといった閾值的反応を想定するのに対し、線形モデルでは密度指標が大きくなるにつれて、大きな被害の確率が比例的に大きくなるといった線形性を想定する、（2）決定木モデルでは、森林率が高い条件と低い条件では、密度指標と被害程度の関係性が異なるといった、複数の説明変数間での非相加的な効果を記述しやすいのに対し、線形モデルでは説明変数の効果は基本的には相加的であり、非相加効果は交互作用として考慮できるが、説明変数が多くなると解釈が困難になる、といった特徴が挙げられる。

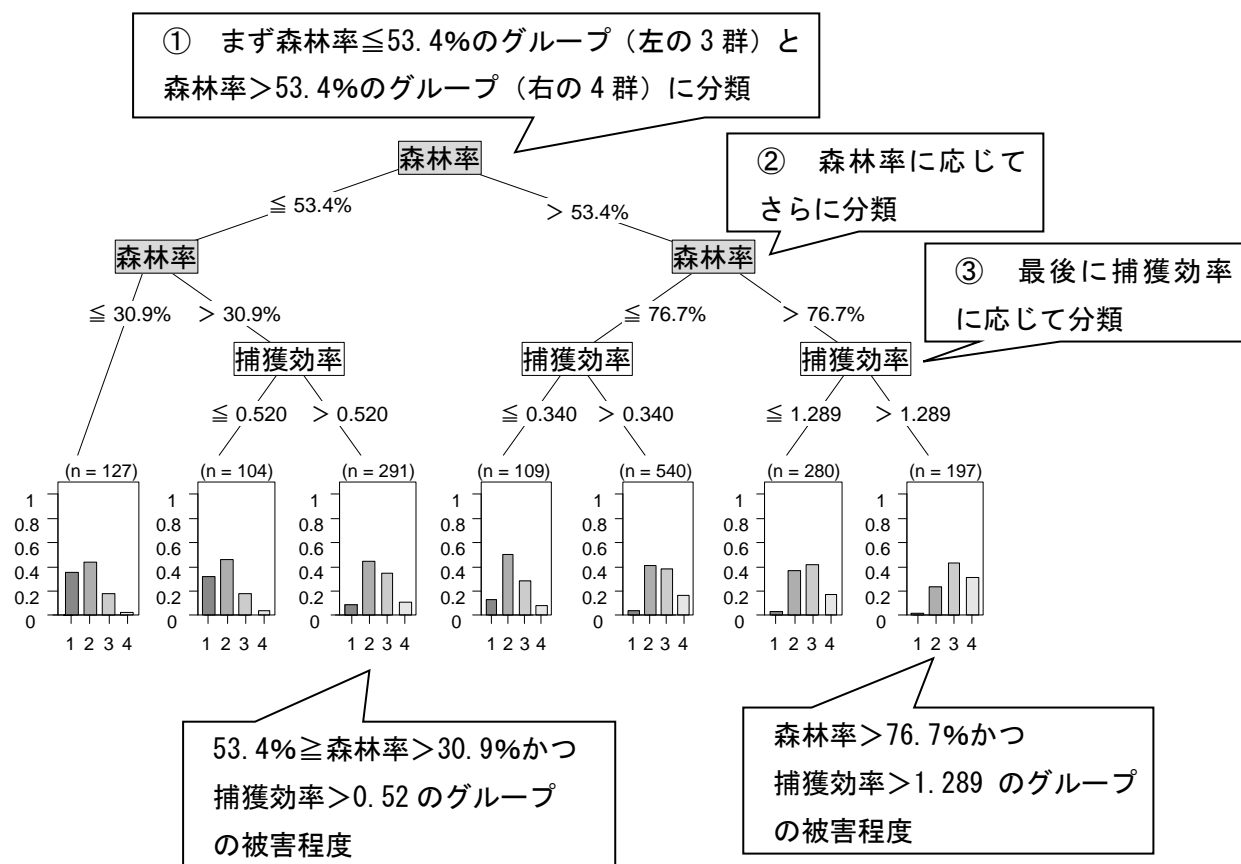


図 3-8. 決定木分析の見方（図 3-2 の結果と同じ）。決定木の上方から順に、説明変数の値に基づき、データが二分される。