

距離標本法によるニホンジカの密度推定<sup>\*1</sup>小泉 透<sup>\*2</sup> ・ 矢部恒晶<sup>\*2</sup> ・ 椎葉康喜<sup>\*3</sup> ・ 井上 晋<sup>\*4</sup>

小泉 透・矢部恒晶・椎葉安喜・井上 晋：距離標本法によるニホンジカの密度推定 九州森林研究 57：131-134, 2004 探照灯を用いて夜間にシカを調査する方法はスポットライトカウント法と呼ばれ、シカの個体数をモニタリングする手法の一つとして広く用いられている。ここでは、スポットライトカウント法に距離標本法 (distance sampling method) を適用し、実際の発見数に発見確率 (見落とし確率) を考慮して密度を推定した。距離は発見個体と調査路との間の垂線距離の代わりに最短距離を用いた。解析には専用の解析ソフト DISTANCE 4.0を用いた。九州大学宮崎演習林では1999～2002年にかけて6.4kmの林道を用いて21回のスポットライトカウントが行われている。この内1999年10月と2000年11月、2001年10月のデータを用いた。推定密度は13.3～28.8/km<sup>2</sup>となった。

キーワード：ニホンジカ, 密度, 距離標本法

Koizumi, T., Yabe, T., Shiiba, Y. and Inoue, S.: Estimating sika deer density from distance sampling methods Kyushu J. For. Res. 57: 131-134, 2004 Spotlight counts are widely used to monitor the status of sika deer *Cervus nippon*. We applied distance sampling methods to spotlight counts of sika deer. The nearest distance of each deer observed from the road was used instead of the perpendicular distance. Density was estimated with the software DISTANCE 4.0 supplied from the Research Unit for Wildlife Population Assessment, University of St. Andrews, UK. 21 spotlight counts have been carried out along a road (6.4km) in Miyazaki Experiment Forest of Kyushu University since 1999. Autumn counts between 1999 and 2001 were used for analysis. Density ranged 13.3-28.8 deer/km<sup>2</sup>.

Key words: sika deer, density, distance sampling method

## I. はじめに

ニホンジカ (以下, シカとする) は網膜外側の脈絡膜中にタペタム (輝板) と呼ばれる膜状物を持つ (大泰司, 1998)。タペタムは網膜で吸収されずに透過した光を反射し、視細胞を再度刺激して光を増幅する機能を行っている。このため、夜間に強い光を当てるとシカの目が白色または青色に光り、双眼鏡を併用することによって遠距離からでも識別が可能となる。探照灯を用いてシカを調査する方法は、スポットライトカウント法と呼ばれ、シカの個体数をモニタリングする手法の一つとして頻繁に用いられる。しかしながら、発見頭数は調査地の環境や調査時の条件などの影響を受け、調査結果を単純に比較できない欠点を持つ。

距離標本法 (distance sampling methods) はライントランセクト法を拡張した方法で (Lancia *et al.*, 1994), 野生動物の調査に広く用いられている (Buckland *et al.*, 1993)。ベルト (またはストリップ) トランセクト法と異なり、あらかじめ調査幅を設定する必要はなく、調査区内の動物の見落とし確率を 0 と仮定する必要もない。距離標本法は調査ラインから遠く離れる程動物の発見確率が低くすると仮定する。発見確率は、調査ラインと動物までの垂線距離の頻度分布に関数をあてはめて推定する。この関数は発見関数 (detection function) と呼ばれ、調査が行われた

ときの動物の発見されやすさを表している。発見関数を用いた推定密度には動物の発見されやすさに作用するさまざまな要因の影響が含まれないため、異なる調査地や調査年の結果を比較することが可能となる (Buckland *et al.*, 1993, 2001)。

本報告では、同一地域でスポットライトカウントを繰り返し行い、距離標本法を用いてシカの密度を推定し、本法適用の有用性と限界について検討した。

## II. 方法

## 1. 調査地概要

調査は九州大学宮崎演習林 (以下, 宮崎演習林とする) で行った。宮崎演習林は宮崎県椎葉村大河内にあり、面積は2,917haである。九州山地のほぼ中央、標高650～1,600mに位置し、年降水量は3,500mmに達する。森林の80%を天然林が占め、スギ、ヒノキの人工林が18%を占める。天然林は3つの植生帯よりなり、暖温帯上部にはアカガシ、シラカシなどの常緑広葉樹林が分布し、中間温帯ではモミ、ツガ、アカマツなどの常緑針葉樹林が出現し、冷温帯ではミズナラ、カエデ類、シデ類、ヒメシャラ、カツラが見られる。また、植物区系のソハヤキ区にあたり、ツクシアケボノ、コウヤマキが出現する (井上ほか, 2002)。

<sup>\*1</sup> Koizumi, T., Yabe, T., Shiiba, Y. and Inoue, S.: Estimating sika deer density from distance sampling methods

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

<sup>\*3</sup> 九州大学農学部附属宮崎演習林 Miyazaki Exp. For., Kyushu Univ., Shiiba, Miyazaki 883-0402

<sup>\*4</sup> 九州大学大学院農学研究院 Fac., Agric. Grad. Sch. Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

林床はかつては大型のスズタケに被われていた（汰木ほか、1977；汰木・荒上、1984）が、シカの採食の影響を受け多くの森林でスズタケが後退しつつある（井上・小泉、1996）。

2. スポットライトカウント

宮崎演習林三方岳団地内の6.4kmの林道を調査路としてスポットライトカウントを行った（図-1）。1999年から2002年にかけてこの調査路を用いて合計21回のスポットライトカウントが実施されており（矢部・小泉、2003）、ここでは1999年10月、2000年11月、2001年10月に行われた連続3日間のデータを使用した。

自動車は四輪駆動の軽トラックを使用し、林道を時速10km前後で走行した。2名の調査員は20,000キャンドルパワーの携帯用スポットライト（BRINKMANN社、Q-beam SPOT/FLOOD）を用いて車の両側を探照した。調査路上のシカの見落としを最小にするために、運転手は車のヘッドライトをハイビームにして前方に注意を払い、調査者も頻繁に前方を照らすようにした。調査はいずれも18時から21時の間に行った。

シカを発見した時には自動車を止め、発見時刻、発見場所、発見頭数、発見したシカの方位角、シカまで（群れを発見した場合には群れの中心まで）の距離、雌雄と成幼の別を記録した。発見場所は携帯型GPSレシーバ（GARMIN社、GPS III Plus）を用いて緯度、経度を単位として記録した。方位角は簡易コンパス

（SILVA社、SILVA COMPASS No.2およびNo.15）を用いた。距離は1999年、2000年は目測によって、2001年は携帯型レーザー距離計（ニコン社、Nikon Laser 400）を用いて測定した。これらのデータを用いて数値地図上にシカの位置を定めた。

距離標本法では動物から調査ラインまでの垂線距離を用いるが、この調査では林道を用いたために調査路は必ずしも直線にはならなかった。このため、シカの位置から林道までの最短距離（以下、最短距離とする）を解析に用いた。

3. 距離標本法による密度推定

距離標本法による密度推定方法はBuckland *et al.* (1993, 2001) にしたがった。解析にはセントアンドリュース大学野生動物個体群アセスメント研究室が提供しているDISTANCE 4.0を用いた。

距離標本法では、群れをつくる動物の密度を推定する場合には「群れ」を単位として集計するよう求めており、単独で発見された場合にも1つの「群れ」として処理した。次に、すべての群れの最短距離をもとに頻度分布を求め、発見確率が一定の水準に満たない距離階を削除する作業（truncation）を行った。truncationは一定の精度を確保するために行うもので、頻度分布にhalf-normal関数をあてはめ発見確率が0.15以上の距離階のみを抽出した。さらに、抽出された頻度分布に発見関数をあてはめ、「真の群れ数」と「有効調査面積」を推定した。真の群れ数は、それぞれの距離階における観察群れ数を発見関数から求められる発見確率で補正した値の総計である。また、有効調査面積は発見関数から計算される「有効調査幅（Effective Strip Width）」に調査距離を乗じて求めた。真の群れ数を有効調査面積で除すことにより、群れ密度を推定した。

DISTANCE 4.0にはいくつかの発見関数が用意されており、ここでは代表的なhalf-normal, uniform, hazard-rateをあてはめた。まず、それぞれの関数についてAIC（Akaike's Information Criterion）を求め、AICの最も小さい関数を選択した。さらに、観察データと選択された発見関数による期待値との間のカイ2乗値を求め適合度を検定した。

シカ密度は群れ密度に1群れの構成頭数（群れサイズ）を乗じて求めた。群れサイズが最短距離と相関をもつ場合には回帰式に最短距離を代入して推定群れサイズを求め、相関を持たない場合には平均群れサイズを用いた。

データはRuettle *et al.* (2003) にしたがって、3日間のデータを込みにして1つのデータセットとした。

Ⅲ. 結 果

1999年10月には34群50頭、2000年11月には37群57頭、2001年11月には24群32頭が発見された。（表-1）。

表-1. 各調査年における発見個体数と群れ数

調査年月日	繰り返し数	発見個体数	発見群れ数
1999.10.26-28	3	50	34
2000.11.7-9	3	57	37
2001.10.29-31	3	32	24

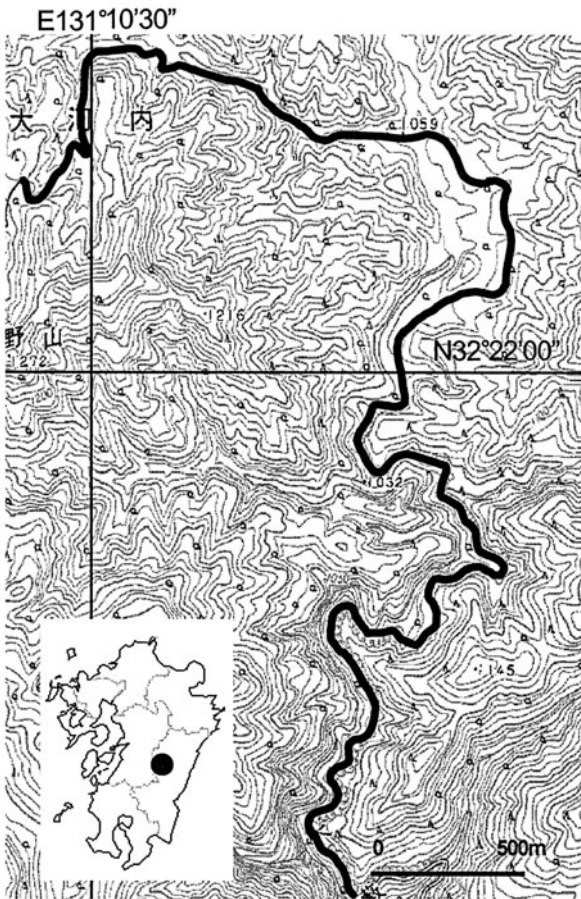


図-1. 調査地位置図  
太線は調査ルートを示す

1999～2001年の最短距離の最大値は138mとなったが、100m以上で発見された群れは全体の4.1%に過ぎず、40m以下で発見された群れが58.8%を占めた。このため、最短距離の平均は37.92mとなった。また、距離階を10mとしtruncationを行った結果、1999年と2001年では90m以上の距離階で、2000年では100m以上の距離階で発見確率が0.15を下回ったため、これらの距離階に含まれるデータを削除した(図-2)。

発見関数のAICは、1999年ではhalf-normal関数で、2000年、2001年ではuniform関数で最も小さくなった。また、カイ2乗検定はいずれの関数も観察データに適合することを示していた(表-2)。

表-2. 発見関数に対するAICとカイ2乗値

調査年	発見関数	AIC	カイ2乗値(df, P値)
1999	half-normal	119.36	7.87 (7, 0.34)
2000	uniform	155.28	8.52 (8, 0.38)
2001	uniform	97.64	2.96 (7, 0.89)

各調査年における片側有効調査幅は1999年41.23m, 2000年68.32m, 2001年60.00mとなった。また、各調査年における推定群れ密度と平均群れサイズを表-3に示した。

表-3. 推定群れ密度

調査年	推定群れ密度	標準偏差	平均群れサイズ*
1999	19.58	4.44	1.47
2000	13.34	2.51	1.54
2001	9.98	2.22	1.33

\*: 発見個体数/発見群れ数

群れサイズと最短距離の相関係数は、1999年0.03, 2000年0.24, 2001年0.13となり、いずれの年も10%水準で有意な相関関係は認められなかった。このため、群れ密度の推定値に平均群れサイズを乗じてシカ密度を推定した。推定密度(±標準偏差)は1999年 $28.78 \pm 6.54$ 頭/km<sup>2</sup>, 2000年 $20.54 \pm 3.86$ 頭/km<sup>2</sup>, 2001年 $13.27 \pm 2.95$ 頭/km<sup>2</sup>となった。

#### Ⅳ. 考 察

単位距離あたりの発見頭数を「出会い率」とすると、1999年の出会い率は2.60頭/km, 2000年は2.97頭/km, 2001年は1.67頭/kmとなり、2000年が最も高い値を示した。これに対して、距離標本法による推定密度は1999年に最も高かった。この違いは最短距離別のシカ発見頻度が調査年によって異なっていたことによる。1999年は発見群の83%が調査路から50m未満に位置していたため、発見確率は50m以上で急激に低下し、この区分における見落としが高かったことを示している。一方、2000年、2001年では30%の群れが調査路から50m以上に位置しており、遠距離区分における見落としが低かったことを示している(図-2)。スポットライトカウントでは、シカを「発見する」ことに調査地の環境や天候、調査者の技術などさまざまなバイアスがかかっている。これらのバイアスが一定であれば、出会い率を密度指標として用いることができる。しかしながら、今回得られた結果は、同一の調査路で同一の季節に調査を行った場合でも、シカの発見に関わるバイアスのかかり方が一様ではないことを示していた。発見したシカの位置と最短距離を求める作業は時間と労力がかかる

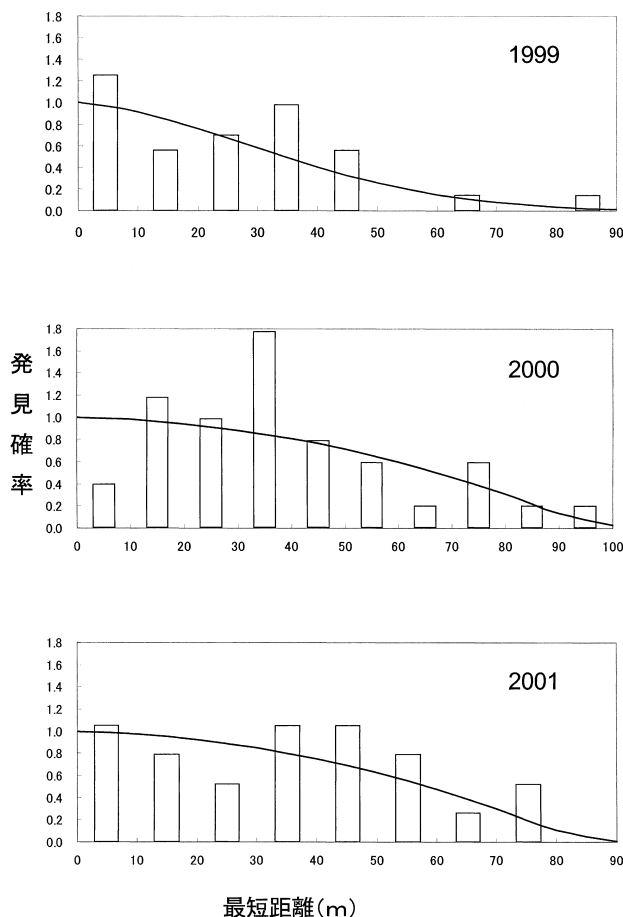


図-2. 最短距離別のシカの発見頻度と発見確率  
棒グラフは発見頻度を、折れ線グラフは発見関数による発見確率を示す。

が、見落としを定量化し補正することはモニタリングには重要であると考えられる。

矢部・小泉(2003)は、本論文と同じデータを用いて、各調査年の平均密度を21.94～37.82頭/km<sup>2</sup>と推定している。推定値はいずれの年も本論文で得られた値とは1.3～2.0倍の違いが生じていた。この違いは調査面積の推定方法の違いによるところが大きかった。矢部・小泉(2003)は、調査路沿いに100mごとに探照幅を測定し調査面積を0.293km<sup>2</sup>としている。これに対して、距離標本法では調査路沿いに一定幅の有効調査幅を想定して調査面積を求めており、有効調査面積は1999年0.528km<sup>2</sup>, 2000年0.874km<sup>2</sup>, 2001年0.768km<sup>2</sup>となった。地形や植生による視界遮断の程度が高かったことを示しており、推定密度は過小に推定されている可能性が高い。

距離標本法は理論的に優れているとは言うものの、万能な調査方法というわけではない。特に、山地森林で行われたスポットライトカウントに適用する場合にはいくつかの問題が未解決である(Ruette *et al.*, 2003)。第一に、スポットライトカウントは調査路として直線ではない道路を利用しなければならない。垂線距離の代わりに最短距離を使うことの妥当性は評価されていない。第二に、本来調査路上で最も高い頻度でシカが発見されなければならないにもかかわらず、逆に頻度が低くなってしまうことがある。



人間が発見する前にシカが逃避してしまうことの影響も評価する必要がある。第三に地形や植生によって視界が遮断された部分をどのように扱うかについても検討する必要がある。これらの問題点のため、現時点ではスポットライトカウントに対する距離標本法の適用には限界があり、今後具体的な改良方法を示していくことが求められている。

### 引用文献

- Buckland, S. *et al.* (1993) Distance sampling. Estimating Abundance of Biological Populations. 446pp, Chapman and Hall, London.
- Buckland, S. *et al.* (2001) Introduction to Distance sampling. Estimating abundance of biological populations. 432pp, Oxford University Press, Oxford.
- 井上晋・小泉透 (1996) 日林九支研論 49 : 105-106.
- 井上晋ほか (2002) 九州大学の森と樹木, 159pp 政府刊行物普及株式会社, 福岡, 66-67.
- Lancia, R. *et al.* (1994) Estimating the number of animals in wildlife populations. (*In* Research and management techniques for wildlife and habitats. Bookhout, T. A.(ed.), 740pp, The Wildlife Society, Bethesda), 215-253.
- 大泰司紀之 (1998) 哺乳類の生物学②形態, p.141, 東京大学出版会, 東京.
- Ruettle, S. *et al.* (2003) J. Appl. Ecol. 40 : 32-43.
- 矢部恒晶・小泉透 (2003) 九州森林研究 56 : 218-219.
- 汰木達郎ほか (1977) 九大演報 50 : 83-12.
- 汰木達郎・荒上和利 (1984) 九大演報 54 : 105-123.  
(2003年11月9日 受付 ; 2003年12月24日 受理)