

広島県宮島の常緑広葉樹林におけるシカの角研ぎ

山田 俊弘¹⁾・奥田 敏統¹⁾・山根 明香²⁾

¹⁾ 広島大学大学院総合科学研究科

²⁾ 広島大学総合科学部

Fraying by Sika Deer (*Cervus nippon*) in an Evergreen Broadleaf Forest in Miyajima Island, Hiroshima, Japan

Toshihiro YAMADA¹⁾, Toshinori OKUDA¹⁾ and Asuka YAMANE²⁾

¹⁾ Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

²⁾ School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

Abstract

The fraying by sika deer (*Cervus nippon*) in an evergreen broadleaf forest in Miyajima Island, Hiroshima, Japan, was studied. The proportion of trees frayed by deer to the total trees sampled (N = 1209) was 8.1%. Our data suggest that sika deer performed fraying on trees irrespective of diameter at breast height. We found that of the 29 tree species examined, 16 were frayed. *Cleyera japonica* had a significantly higher proportion of trees frayed by sika deer than the average overall proportion, suggesting that the species attracts sika deer for fraying. By contrast, sika deer significantly avoided *Pinus densiflora*, *Lyonia ovalifolia* var. *elliptica*, and *Eurya japonica* for fraying. Trees frayed were significantly spatially distributed aggregately. The fraying by deer occurred randomly, regardless of slope angles; sika deer can perform fraying even on very steep slopes. Trees on ridges avoided being frayed by deer, however. This may be explained by the presence of the trees that were less favored for sika-fraying performance (*Pinus densiflora*, *Lyonia ovalifolia* var. *elliptica*, and *Eurya japonica*), which were mainly distributed on ridge sites.

1 はじめに

森林生態系に大きな影響を与えるニホンジカ (*Cervus nippon*) の個体数は近年増加傾向にあり (Li et al. 1996; 湯本 2011)。高密度化したシカによる森林生態系への悪影響が日本各地で問題となっている (高槻 1989; 三浦 1998, 2000; 前迫 2002; Tsujino et al. 2004; 矢原 2006)。シカは樹木の実生

や稚樹、および萌芽などの採食や樹皮の剥離・採食、角研ぎを通して森林植生に大きな影響を与える (高槻 1989; Gill 1992; 安藤・柴田 2006)。このうち、採食 (飯村 1984; Okuda 1984; 高槻 1989; 田村ら 2005) や樹皮剥皮 (神埼ら 1998; 安藤・柴田 2006; Ando et al. 2004; 井上ら 2005; 前迫ら 2006; 釜田ら 2008; 井上ら 2009) による被害については日本各地から報告され、よく調べられて

いるが、角研ぎは樹木の生長・生残への影響の程度が採食や樹皮剥皮に比べ小さいため、研究例が極めて少ない(前迫 2001)。

シカの角は毎年生え替わる。春に前年の角が抜け落ちると、角座と呼ばれる頭骨の突起物から新しい角が生えてくる(高槻 1989)。生え始めのこの角を袋角というが、袋角は柔らかく、内部には血管や神経が走っているためシカは大切に扱い、この時期に角を木にこすることはない(高槻 2006)。しかし角の生長が終わり、皮が剥げ落ちる夏季や、その後硬化した角を磨くために、シカは木に向かって角を激しくこすりつける。この行動を角研ぎという(高槻 1989)。

シカは角研ぎを行う樹木の選択性があると言われ、例えば角研ぎは樹木の直径と関係していることが報告されている(高槻 1989); 直径 30 cm 以上の木は角の先端を磨くために用いられ、直径 5 cm 程度の木は主に角の分岐部分を磨くために使われる。後者の角研ぎは、場合によっては形成層に甚大な損傷を与え、それにより樹木が枯死に至ることもある(高槻 1989)。また、採食(飯村 1984; Okuda 1984; 高槻 1989)や樹皮の剥離(関根・佐藤 1992; 神埼ら 1998; 前迫・鳥居 2000; 釜田ら 2008)と同様に角研ぎにも樹種選択性があると言われ、例えば樹脂(精油)成分を含む樹種が角研ぎを受けやすいことが報告されている(前迫 2001)。

本研究では、研究例が極めて乏しいシカの角研ぎについて、シカが高密度で生息する広島県、宮島の常緑広葉樹林における事例を報告する。樹木に悪影響を与える角研ぎが宮島の常緑広葉樹林でどの程度発生し、それがどの樹種で、どのような場所で起こりやすいか明らかにすることは、シカによる宮島の常緑広葉樹森林生態系への影響評価に留まらず、その保護に役立てることができるだろう。また、この研究で得られるシカの角研ぎの知見は、宮島の常緑広葉樹林のみでなく他の森林生態系の影響評価や保全にも貢献できるだろう。

本研究ではまず、宮島の常緑広葉樹におけるシカの角研ぎの発生率を明らかにする。次に、先行研究で認められた角研ぎと木の直径の関係、および精油成分の有無との関係が宮島の常緑広葉樹林

にも当てはまるのか確認する。さらに角研ぎが発生しやすい場所について考える。シカは足場の良いならかな地形で角研ぎを行い、険しい地形での角研ぎを避けるかもしれない。この仮説の下、シカの角研ぎと地形、とくに斜面傾斜角度との関係について解析を行う。

2 方法

(1) 調査地と野外調査

調査は2014年4月に宮島の北東部分、標高約 100 m の地点に設置された 100 m × 60 m (0.6 ha) の調査区(北緯34度18分3秒、東経132度19分44秒)で行った(山田・奥田 2014)。調査区の年平均気温は 15.4 °C、年平均降水量は 1689 mm であった(山田・奥田 2014)。調査区は 60 個の 10 m × 10 m の小区画に分割され、トランジットコンパス(レベルトラコン S-25、牛方商会、横浜市)を用いて小区画の四隅の標高が測定されている。調査区内の胸高周囲(GBH) 15.0 cm 以上の全ての木は、プラスチックナンバーテープが付けられ、種の同定、GBH の測定、小区画内の位置が記録されている(山田・奥田 2014)。2014年4月にこれら全ての木に対して角研ぎがされているかどうか目視で確認を行った。

(2) 解析方法

調査区に出現した全ての個体に対する角研ぎをされた木の割合を角研ぎ率と定義し、これを算出した。角研ぎの樹種選択については、先行研究(Ando et al. 2004; 前迫ら 2006; 釜田ら 2008)に倣い、式1に示される Ivlev の選択指数(E)(Ivlev 1965)を用い評価した。

$$E = (r_i - P_i) / (r_i + P_i) \cdot \dots \cdot (1)$$

ここで r_i は、角研ぎをされた全樹木の本数に対する角研ぎをされた任意の樹種 i の本数の割合を、 P_i は、調査対象全樹木の本数に対する樹種 i の本数の割合を表す。 E は -1 から 1 の間の値をとり、 $E = 0$ の時、シカはその樹種には嗜好性も不嗜好性もなく角研ぎを行っていることを、 $E > 0$ の時、

シカはその樹種への角研ぎの嗜好性があり、 $E < 0$ の時、シカはその樹種への不嗜好性があることを示す。 E が0から統計学的に有意に外れているかどうかを二群の比率の差の検定を用いて検定した。この分析には調査区内に出現した個体数が10を超えた種のみに対して行った。

また、シカの角研ぎと樹木の精油成分の有無との関係もIvlevの E を用いて定量した。出現した各樹種の精油成分の有無については、平尾(1949、1954、1956)を用いて判定し、全樹種を精油成分を持つグループ(カヤ、イヌガシ、シロダモ、シキミ、ソヨゴ、アカマツ、カクレミノ、クスノキ、ネズ、ヤブニッケイ)と持たないグループ(アカメガシワ、アセビ、アラカシ、ウリハダカエド、カナメモチ、クロキ、サカキ、シャシャンボ、シリブカガシ、ネジキ、ネズミモチ、ヒサカキ、ミミズバイ、ヤブツバキ、ヤマウルシ、ヤマザクラ、ヤマモモ、ワタゲカマツカ)に二分し、それぞれに対して E を求めた。なお調査区には全29種が出現したが、平尾(1949、1954、1956)に記載がなかったクロバイ(2本)についてはこの解析からは除外した。 E が0より統計学的に有意に外れているかどうかは二群の比率の差の検定を用いて検定された。

小区画は目視により尾根、斜面、谷に分類されている(山田・奥田 2014)。10 m × 10 mの小区画ごとに角研ぎ率を算出し、尾根、斜面、谷の角研ぎ率を一元配置分散分析を用いて比較した。統計学的に有意な差が見られた場合、テーキューのHDS検定による多重比較を行った。また、小区画の四隅の3次元空間座標を用いてYamakura et al.(1995)の方法に倣い、平面の幾何学モデルを用いて小区画の斜面傾斜角度を決定した。こうして求めた小区画の斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係をピアソンの相関係数を用いて解析した。また、尾根、斜面、谷の間の斜面傾斜角度は一元配置分散分析を用いて比較され、統計学的に有意な差が見られた場合、テーキューのHDS検定による多重比較を行った。

角研ぎをされた木の空間分布パターンをRipley(1977)の $K(t)$ を改変した $L(t)$ を用いて分析した(Besag 1977)。関数 $\lambda K(t)$ ($\lambda = \text{intensity}$)は、ある角

研ぎを受けた個体から距離 x の半径の円の中に存在する他の角研ぎを受けた個体の数の期待値として定義される。 $K(t)$ は次のようにあらわされる。

$$K(t) = n^{-2} |A| \sum \sum W_{ij} I_t(u_{ij}) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 n は調査区内の植物の数、 $|A|$ は調査区の面積、 u_{ij} は調査区に出現した i 番目の個体と j 番目の個体の組み合わせ、 u は i 番目の個体と j 番目の個体の距離、 $I_t(u)$ は $u < t$ の時1、 $u > t$ の時0をとる関数である。 W_{ij} は、調査区の境界線近くで半径 x の円が調査区からはみ出すことを考慮し、補正するための係数である。この研究では t を0 mから15 mまで変化させた時の $K(t)$ を算出した。

Besag(1977)が $K(t)$ の汎用性を高めるために平方根変換したものが $L(t)$ であり、式3のようにあらわされる。

$$L(t) = [K(t)/\pi]^{1/2} - t \dots \dots \dots (3)$$

ここで $L(t) = 0$ の時、距離 t において角研ぎを受けた木の空間分布がランダムであること、 $L(t) > 0$ の時、距離 t において角研ぎを受けた木の空間分布が集中分布であること、 $L(t) < 0$ の時、距離 t において角研ぎを受けた木の空間分布が規則分布であることを表している。 $L(t)$ の有意性は、モンテカルロシミュレーションにより決定した(Besag & Diggle 1977; Besag 1977; Marriott 1979)。この時の帰無仮説をランダム分布とした。モンテカルロシミュレーションでは、観察された角研ぎを受けた木と同数(98本)を調査区に出現した全ての木(1209本)からランダムに抽出し、そのランダム多点について $L(t)$ を計算した。これを1回の試行とし、この試行を5000回反復して行うことで95%の信頼区間を求めた。

以上の解析は全てR version 3.1.0 (R Development Core Team 2013)を用いて行われた。

3 結果

2014年4月に調査区に出現したGBH15.0 cm以上の木の本数は1209本であり、その内角研ぎによる傷があったのは98本であった。よって調査区の角研ぎ率は8.1%となった。調査区には29種が出現したが、そのうち16種に角研ぎが見られた。調査区に出現した29種の内16種が10本以上出現し、この10種に対してIvlevの E を求めると、 E の範囲は最小値-1(ワタゲカマツカ、アカマツ、クスノキ)から最大値0.57(サカキ)に亘った(表1)。 E の0からの隔たりを二群の比率の差の検定を用いて調べると、サカキに有意な嗜好性があり($P<0.001$)、アカマツ、ヒサカキ、ネジキに有意な不嗜好性があった($P<0.05$ 、表1)。

角研ぎと精油成分の関係を見ると、精油成分を持つグループと持たないグループの E の値はそれぞれ0.012と-0.0043であり、両者の間に統計的に有意な差はなかった(二群の比率の差の検定、 $P=0.976$)。以上より宮島の常緑広葉樹林では、角

研ぎの受けやすさと精油成分の有無とは関係しないことが明らかとなった。

胸高周囲から胸高直径を求め、調査対象全樹木と角研ぎをされた木の胸高直径階相対頻度分布を示した(図1A)。両者は非常によく似た形をしていた。直径階級毎に E を算出すると、直径30cm~35cmの階級で-0.26という小さな値を示したが、直径階に伴う明確なパターンは見いだせなかった(図1B)。さらに、二群の比率の差の検定を用いてそれぞれの直径階の E が0から有意に外れているか調べると、どの階級も有意に外れていないことが分かった。以上から、角研ぎと角研ぎをされる木の直径の間には関係がないことも分かった。

角研ぎを受けた木の空間分布をみると調査区東側に偏って分布しているように見える(図2)。この空間分布パターンを $L(t)$ 関数を用いて調べると、角研ぎを受けた木はどの距離においても有意な集中分布をすることが分かった(図3)。斜面傾斜角度や谷や尾根と言った地形条件が集中分布の成因となっているかもしれない。この考えを確

表1 広島県宮島に設置した0.6 ha調査区に10個体以上出現した種の角研ぎの樹種選択。角研ぎの樹種選択は、Ivlevの選択指数(E)を用い評価した。有意水準; *, $P<0.05$; ***, $P<0.001$ (二群の比率の差の検定)。

和名	学名	個体数 (/0.6 ha)	選択指数
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	70	-1 *
クスノキ	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl	37	-1
ワタゲカマツカ	<i>Pourthiaea villosa</i> (Thumb.) Decaisne var. <i>villosa</i>	11	-1
ネジキ	<i>Lyonia ovalifolia</i> (Wall) Drude var. <i>elliptica</i>	188	-0.877 ***
ヒサカキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	88	-0.754 *
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	49	-0.598
ヤブツバキ	<i>Camellia japonica</i> L.	67	0.126
ミミズバイ	<i>Symplocos glauca</i> (Thunb.) Koidz.	309	0.137
イヌガシ	<i>Neolitsea aciculate</i> (Bl.) Koidz.	18	0.156
シキミ	<i>Illicium anisatum</i> L.	71	0.164
シリブカガシ	<i>Lithocarpus glabra</i> (Thunberg) Oersted	79	0.169
ソヨゴ	<i>Ilex pedunculosa</i> Miq.	82	0.287
シロダモ	<i>Neolitsea sericea</i> (Bl.) Koidz.	20	0.298
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	24	0.346
ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i> Miquel	16	0.396
サカキ	<i>Cleyera japonica</i> Thunb.	37	0.572 ***

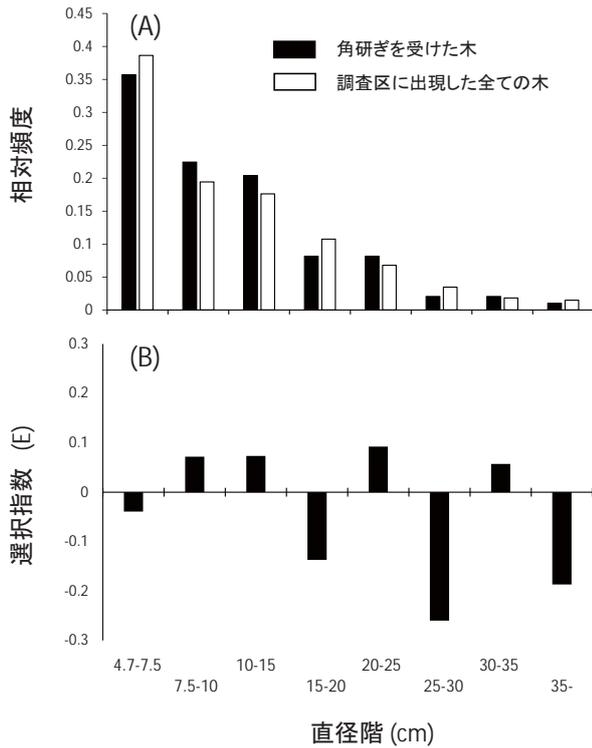


図1 A:調査区における胸高周囲15 cm以上の角研ぎを受けた木(n = 98)と全ての木(n= 1209)の胸高直径階相対頻度分布図。B:直径階級ごとの選択指数 (E) の値。すべての階級でEは0から有意に外れなかった(二群の比率の差の検定、 $P>0.05$)。

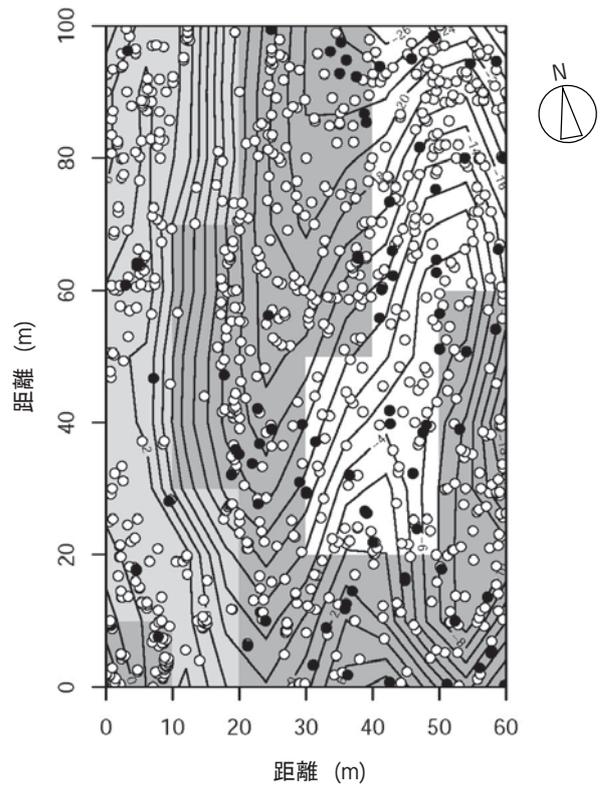


図2 調査区における全ての木 (○) と角研ぎを受けた木 (●) の分布図。目視により分類された地形特性により小区画(10 m × 10 m)は色分けした; 尾根 (薄いグレー) 斜面 (濃いグレー) 谷 (白)。縦軸と横軸の数値は距離(m)を示す。等高線は2 m 間隔。

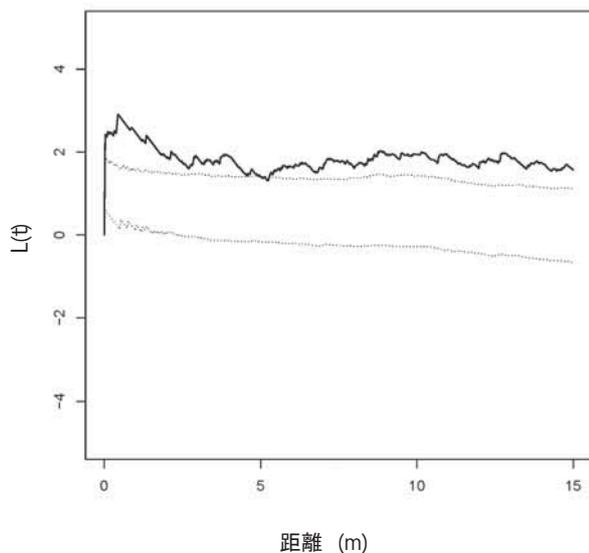


図3 角研ぎを受けた木の空間構造を示す関数 $L(t)$ 。実線が観察された $L(t)$ 値を示し、点線がランダム分布を仮定した時得られる $L(t)$ の95%信頼区間を示している。信頼区間の外に実測値がある場合、ランダム分布から有意に外れていることを示す。

かめるため、地形と角研ぎの関係について調べた。地形ごとの斜面傾斜角度を見ると斜面の斜面傾斜角度が尾根や谷に比べて有意に高いことが分かった(分散分析とテークューのHSD検定による多重比較、 $P<0.05$ 、図4)。次に尾根と斜面、谷の間でEを比べると、斜面と谷のEの値は0以上であったが調査区全体のそれと変わらず、尾根は0以下で調査区全体より有意に低いEを持つことが分かった(図5)。斜面は傾斜角度が尾根や谷より高いにもかかわらず、谷と同程度、そして尾根より大きなEを持つことが明らかとなった。次に小区画の斜面傾斜角度と角研ぎの間を見ると、両者間には有意な相関は見られなかった($r = 0.04$, $n = 60$, $P = 0.755$, 図6A)。したがって斜面傾斜角度は角研ぎに影響を与えていないと考えられる。ただしこの相関分析には斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係だけでなく、実際には谷、尾根、斜面と言った地形要素も影響している(図5)。こ

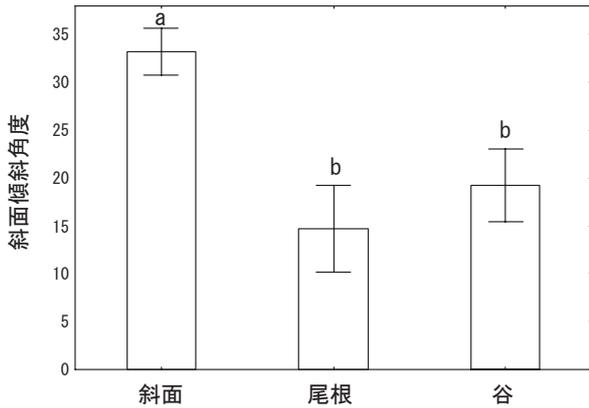


図4 目視により尾根、斜面、谷に分類された小区画の斜面傾斜角度。棒は平均値を、誤差線は平均の95%信頼区間を示す。アルファベットが同じ地形は有意差がないことを示す(テーキューのHSD検定による多重比較、 $P > 0.05$)。尾根、谷に比べて斜面は斜面傾斜角度が有意に大きかった($P < 0.05$)。

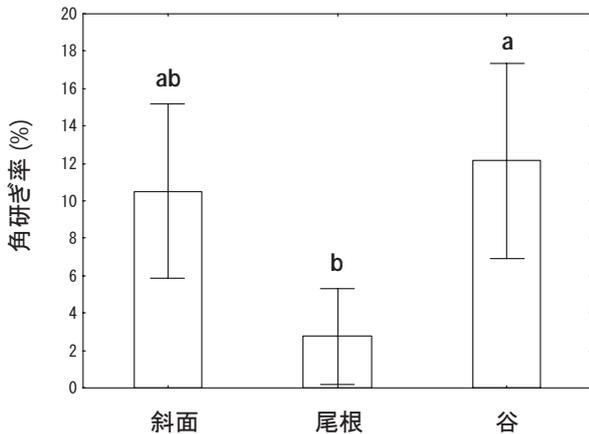


図5 目視により尾根、斜面、谷に分類された小区画の角研ぎ率。棒は平均値を、誤差線は平均の95%信頼区間を示す。アルファベットが同じ地形は有意差がないことを示す(テーキューのHSD検定による多重比較、 $P > 0.05$)。斜面と谷の E の値は調査区全体のそれと有意に異ならなかったが、尾根の E の値は調査区全体のそれより有意に低くかった($P < 0.01$)。

の影響を小さくするため、斜面のみにおける両者の関係も解析した(図6B)。すると両者の間には負の相関がみられたものの、それは統計学的には有意ではなかった($n = 30, r = -0.34, P = 0.064$)。

4 考察

本研究により明らかとなった宮島の常緑広葉樹林の角研ぎ率は8.1%であった。奈良県春日山の常緑広葉樹林の角研ぎ率は2.6%(68本/2351本)

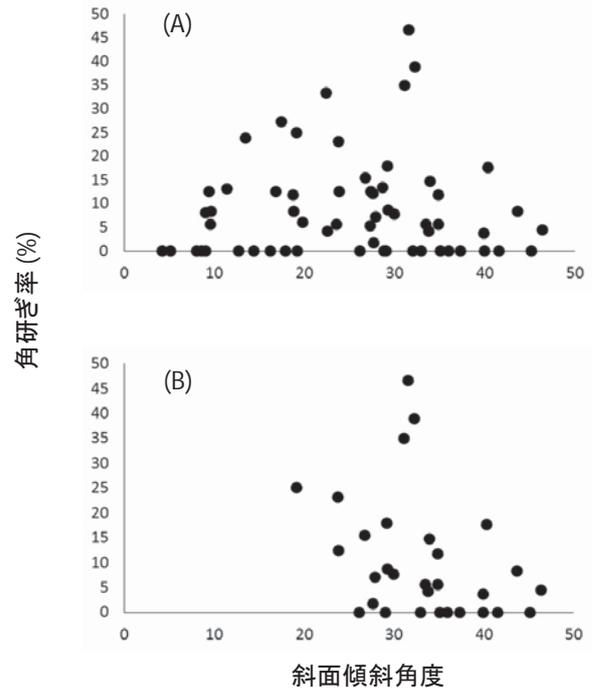


図6 A: 調査区における10 m × 10 m の60個の小区画の斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係。両者の間には有意な相関はなかった($r = 0.04, n = 60, P = 0.755$)。B: 斜面に分類された30個の小区画の斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係。両者の間にも有意な相関はなかった($r = -0.34, n = 30, P = 0.064$)。

であり(前迫 2001)。これと比べると宮島の角研ぎ率はとても高い。宮島と春日山の常緑広葉樹林の角研ぎ率を二群の差の検定で比べると、両者の角研ぎ率は有意($P < 0.001$)に異なっていた。春日山でのシカの密度は正確にはわかっていないが、奈良公園平坦部のそれは35頭/ km^2 と推定されている(前迫 2002)。これに対して調査地周辺のシカ密度はおおよそ250頭/ km^2 と考えられる(廿日市市未発表データ)。このシカ密度の差が両森林間の角研ぎ率の差に表れているのかもしれない。

本研究ではシカによる角研ぎの有意な嗜好性が見られたのはサカキだけであった。有意ではないが大きな正の E を持った種は、ヤマウルシやシロダモ、ネズミモチ、ソヨゴであった。同様にシカによる角研ぎの樹種選択性を調べた前迫(2001)によれば、奈良県春日山でもサカキは高い角研ぎ率を持っていた。サカキはシカによる角研ぎを受けやすいと樹種なのであろう。一方、両森林の植物相の違いによると考えられるが、前迫(2001)の報告にヤマウルシやシロダモ、ネズミモチ、ソヨゴ

の角研ぎ率の記載はなかった。奈良県春日山ではサカキ以外にシキミとイヌガシの角研ぎ率が高かったが、両樹種は今回の調査でも E の値が正となっていた。

角研ぎの有意な不嗜好性はヒサカキやネジキ、アカマツに見られた。このうちヒサカキは奈良県春日山でも見られ、その角研ぎ率はやはり低かった(前迫 2001)。ネジキとアカマツの記載は前迫(2001)になかったが、これも両森林の植物相の違いと考えられる。先行研究には樹幹のなめらかな木が選択的に角研ぎを受けるとあったが(Benner & Bowyer 1988)、アカマツやネジキのなめらかな樹幹がシカの不嗜好性と関係しているのかもしれない。また、宮島の常緑広葉樹林ではワタゲカマツカヤクスノキ、ウリハダカエデで -0.5 より小さい E が見られたが、有意な判定はできなかった。これは検出力の低さが関係している。検出力分析によれば、帰無比率が 8.1% の時、有意確率 5% で 80% の検出力を確保するためには、 92 以上の標本数が必要となる。今回の調査でこの条件を満たしているのはネジキとミミズバイだけであり、それ以外の樹種に対しての有意判定は第二種の過誤が排除されていない点に注意しなければならない。

先行研究では幹に精油成分を含む樹種が角研ぎを受けやすい結果となっていたが(前迫 2001)、宮島の常緑広葉樹林ではこうした傾向はみられなかった。また同じく奈良県春日山では直径 8cm から 16cm までの個体が角研ぎを受けやすいと報告されていたが、調査を行った宮島の常緑樹林では角研ぎと樹木の直径の関係は見いだせなかった。シカの樹皮剥離や採食の樹種選択性には地域間変異が存在することが知られているので(安藤・柴田 2006)、森林間のこれらの違いはそこに生息するシカ個体群の嗜好性の違いを反映しているのかもしれない。いずれにせよ調査地点数を増やし、シカの角研ぎと角研ぎを受ける樹木の精油成分の有無の関係や直径との関係を精査していく必要がある。

シカの角研ぎを受けた木は集中して分布していた。そしてこの集中分布の成因には地形が強く関係していることが示唆された。シカは角研

ぎを尾根ではあまり行わず、斜面や谷地形で行っていた。こうした地形は空間的に連続して分布するため(山田・奥田 2014)、角研ぎを受けた木の集中分布が形成されるようである。ただし、最初に予想した斜面傾斜角度と角研ぎの間には関係がなく、斜面傾斜が急な地形ではシカは角研ぎを避けていることを積極的に支持する結果は得られなかった。なお、斜面地形のみで斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係をみると有意ではないが弱い負の相関が観察された。検出力分析によれば、母相関係数が -0.34 の時、有意確率 5% で 80% の検出力を確保するためには、 85 以上の標本数が必要となる。今回の標本数は 30 しかないので、この分析にも第二種の過誤が排除されていない。斜面傾斜角度と角研ぎ率の関係についても、今後標本数を増やし、精査する必要がある。

ただしシカが尾根地形を避けて角研ぎを行っているという考えには注意が必要である。地形的な側面からは、シカが尾根を避ける理由が見つからないからである。山田・奥田(2014)は調査区の地形と樹種分布に強い関係があることを示している。たまたま尾根にシカが角研ぎの不嗜好性を示したネジキやヒサカキ、アカマツが集中して生えているため(山田・奥田 2014)、尾根を避けて角研ぎを行っている様に見えるだけかもしれない。この考えを確かめるためには、地形と樹種の分布を分離することができる設定でシカの角研ぎの調査をしなければならない。

宮島の常緑樹林では角研ぎを受けた樹木は多く確認されたが、樹皮剥離を見ることはなかった。樹皮剥離とは下顎の門歯を用いて樹皮をかじって採食する行動をさす(安藤・柴田 2006)。樹皮剥離の場合、その傷が形成層まで達し樹木が枯死してしまうことも多く、森林の樹種構成を変えてしまう可能性もある(Ando et al. 2004)。宮島の常緑広葉樹林で樹木への影響が大きい樹皮剥離が見られなかったのは幸いであるが、今後ともこれが発生しないか注視していく必要がある。

今回の調査で宮島の常緑広葉樹林における高い角研ぎの発生と選択性を明らかにすることができた。次の課題として、角研ぎの樹体への影響評価がある。今後は調査区の長期観察データを用いて、

角研ぎを受けた樹木の成長速度が低下しているのか、もしくは死亡速度が上昇するのかを明らかにしていく必要がある。

謝辞

調査区の設置にあたり、環境省、財務省、文化庁、林野庁、広島県に調査許可を頂きました。これらの手続きに際して、環境省中国四国地方環境事務所、中国財務局、廿日市市教育委員会、広島森林管理署、広島県西部農林水産事務所の皆さまに大変お世話になりました。高原輝彦博士をはじめ広島大学総合科学部、広島大学大学院総合科学研究科に在籍した多くの学部学生、大学院生に調査の補助のご協力を賜りました。厚く御礼申し上げます。本研究は環境省モニタリング1000の事業（森林・草原調査）の一環として実施されたもので、（財）自然環境センターより資金の援助を受けました。

引用文献

- 安藤正規・柴田叡弑 (2006) なぜシカは樹木を剥皮するのか? 日本林学会誌 88: 131-136.
- Ando M, Yokota H, Shibata E (2004) Why do sika deer, *Cervus nippon*, debark trees in summer on Mt. Ohdaigahara, central Japan? Mammal Study 83: 29-73.
- Besag J. (1977) Contribution to the discussion on Dr Ripley's paper. Journal of Royal Statistical Society B 39: 193-195.
- Besag J, Diggle PL (1977) Simple Monte Carlo tests for spatial pattern. Applied Statistics 26: 327-333.
- Benner JM, Bowyer RT (1988) Selection of trees for rubs by white-tailed deer in Maine. J. Mammal. 69: 624-627.
- Gill RMA (1992) A review of damage by mammals in north temperate forests: 3 Impacts on trees and forests. Forestry 65: 363-388.
- 平尾子之吉 (1949) 日本植物成分総覧 佐々木図書出版株式会社
- 平尾子之吉 (1954) 日本植物成分総覧 植物成分総覧刊行会
- 平尾子之吉 (1956) 日本植物成分総覧 佐々木図書出

版株式会社

- 飯村武 (1984) シカによる森林被害とその防除 (1) シカとその被害 森林防除 33: 132-135.
- 井上友樹・光田靖・村上拓彦・宮島淳二・溝上展也・吉田茂二郎 (2009) 広域空間レベルおよび林分レベルで捉えたニホンジカによる人工林剥離被害の発生要因 森林計画誌 42: 69-79.
- 井上友樹・宮島淳二・村上拓彦・光田靖・吉田茂二郎・今田盛生 (2005) 熊本県におけるニホンジカによる人工林剥皮害の発生確率予測モデル 日本林学会誌 87: 111-116.
- Ivlev VS (1965) Exponential ecology of the feeding of fishes. Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- 釜田敦志・安藤正規・柴田叡弑 (2008) 樹種選択、選好性樹木の分布および土地利用頻度からみた大台ヶ原におけるニホンジカによる樹木剥皮の発生 日本林学会誌 90: 174-181.
- 神崎伸夫・丸山直樹・小金澤正昭・谷口美洋子 (1998) 栃木県日光のニホンジカによる樹皮剥皮 野生生物保護 3: 107-117
- Li Y, Maruyama N, Koganezawa M, Kanzaki N (1996) Wintering range expansion and increase of sika deer in Nikko in relation to global warming. Wildlife Conservation Japan 2: 23-35.
- 前迫ゆり (2001) 春日山照葉樹林におけるシカの角研ぎと樹種選択 奈良佐保短期大学紀要 9: 9-15.
- 前迫ゆり (2002) 春日山原始林と草食保護獣ニホンジカの共存を探る 植生学会誌 19: 61-67.
- 前迫ゆり・鳥居春己 (2000) 特別天然記念物春日山原始林におけるニホンジカ *Cervus nippon* の樹皮剥ぎ 関西自然保護機構会誌 22: 3-11.
- 前迫ゆり・和田恵次・松村みちる (2006) 奈良公園におけるニホンジカの樹皮剥ぎ 植生学会誌 23: 69-78.
- Marriott FHC (1979) Barnard's Monte Carlo tests: how many simulations? Applied Statistics 28: 75-77.
- 三浦慎吾 (1998) シカ問題の動向と個体群管理のポイント 林業技術 680: 31-34.
- 三浦慎吾 (2000) 鳥獣法の改正とわたしたちの課題 森林防除 575: 31-34.
- Okuda T (1984) Food habits of sika deer (*Cervus nippon*) and their ecological influence on the vegetation of Miyajima Island. Hikobia 9: 93-102.

- R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ripley BD (1977) Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society B* 39: 172-212.
- 関根達郎・佐藤治雄 (1992) 大台ヶ原山におけるニホンジカによる樹木の剥皮 *日本生態学会誌* 42: 241-248.
- 高槻成紀 (1989) 植物および群落に及ぼすシカの影響 *日本生態学会誌* 39: 67-80.
- 高槻成紀 (2006) シカの生態誌 財団法人 東京大学出版会.
- 田村淳・入野彰夫・山根正伸・勝山輝男 (2005) 丹沢山地における植生保護策による貴重植物のシカ採食からの防御効果 *保全生態学研究* 10: 11-17.
- Tsujino R, Noma N, Yumoto T (2004) Growth of the sika deer (*Cervus nippon yakushimae*) population in the western lowland forests of Yakushima Island, Japan. *Mammal Study* 29: 105-111.
- 矢原徹一 (2006) シカの増加と野生植物の絶滅リスク 「世界遺産をシカが食う - シカと森の生態学 - 」 湯本貴和・松田裕之編 pp. 168-187. 文一総合出版 東京
- 山田俊弘・奥田敏統 (2014) 広島県宮島の常緑広葉樹林における植物の分布と地形 *広島大学大学院総合科学研究科紀要 II* 9: 19-28 .
- Yamakura T, Kanzaki M, Ohkubo T, Ogino K, Chai EOK, Lee HS, Ashton PS (1995) Topography of a large-scale research plot established within a tropical rain forest at Lambir, Sarawak. *Tropics* 5: 41-56.
- 湯本貴和 (2011) 生物多様性の持続的利用と破綻の歴史 . 「生物多様性をどう生かすか」 山村則男編 pp. 104-135. 昭和堂 .