

原著論文

淡路島におけるニホンジカの影響を受けた 広葉樹林の地理的分布域の推定

藤木大介^{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

Estimation of geographic distribution of broad-leaved forests that declined by sika deer in
Awaji Island, Hyogo Prefecture

Daisuke Fujiki¹

¹Institute of Natural and Environmental Science, University of Hyogo / Wildlife Management
Research Center, Hyogo

要 点

- ・ 広域多地点で実施した簡易な植生調査に基づき、淡路島におけるニホンジカの影響を受けた広葉樹林の地理的分布域を推定した。
- ・ 各調査林分におけるシカの影響度は、シカの生息痕跡の有無と胸高（地上高 130cm）以上の樹木の個体密度に応じて、「影響なし」、「軽微」、「顕著」の3段階評価した。
- ・ 広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域については、調査データを地理情報システム上に取り込んだ上で、空間内挿処理を施すことにより推定した。また、精度検証の結果、十分な精度で推定できていることを確認した。
- ・ 空間推定の結果から、島内において、シカの強い影響を受けている広葉樹林の分布域は、2012年時点では諭鶴羽山地にほぼ限定されることが明らかとなった。
- ・ 先山山地と西淡山地では、諭鶴羽山地に近接した一部山域において、シカの影響が及んでいる広葉樹林が分布することが推定された。この結果は、諭鶴羽山地からこの山域を經由して両山地へシカの影響が拡大するリスクを示唆しているものと考えられる。

Abstract

We estimated the geographic distribution of broad-leaved forests that declined by sika deer in Awaji Island, Hyogo Prefecture, based on the field data that sampled from a number of study site, using a special interpolation method in Geographic Information Systems. This estimation showed that the broad-leaved forests that seriously declined by sika deer almost distribute in the Yuzuruha Mountains. It also showed that a part of the declined forests by sika deer distributes in the area adjacent to Yuzuruha Mountains in Senzan Mountains and Seitan Mountains. These results suggest that it is needed to manage the risk that the population of sika deer with high density in Yuzuruha Mountains may invade to Senzan Mountains and Seitan Mountains.

key words : 影響度 地理情報システム 空間推定 IDW Leave-one-out 交差検定法

*連絡先 : 〒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

e-mail: fujiki@wmi-hyogo.jp

1. はじめに

近年、全国的に過密度化したニホンジカ *Cervus nippon*（以下、シカ）の影響による広葉樹林植生の衰退が問題になっており、被害対策を検討するうえで、まずは被害の実態把握が急務となっている。シカの食害による広葉樹林植生の衰退は兵庫県でも 2000 年代後半に入ってから報告されるようになり（吉野ほか 2005; 藤木ほか 2006; 尾崎 2006; 石田ほか 2010; 服部ほか 2010; 藤木ほか 2012）、2006 年には県本州部全域を対象に被害の実態把握のために広域多地点調査が実施されている（Fujiki et al. 2010）。この調査では落葉広葉樹林のシカによる衰退程度を簡便評価する手法として低木層の被度を用いた指標（下層植生衰退度）を用いることが有効であることを明らかにしたうえで（藤木 2012a）、広域多地点で収集したデータを地理情報システム上に取り込み空間内挿処理を施すことで、落葉広葉樹林の下層植生衰退度別の地理的分布に定量評価した。また、2010 年には再調査を実施することで 4 年間の被害の変化についても把握することができた（藤木 2012b）。

一方、淡路島については、南部の諭鶴羽山地にシカが高密度で分布しており（藤木ほか 2007）、山地内の広葉樹林がシカの影響を強く受けていることは以前から把握はされていたが（諭鶴羽山系総合プラン策定委員会・兵庫県淡路県民局 2005）、島内全域におけるシカの影響を受けた広葉樹林の地理的分布状況の定量評価はされてこなかった。この理由としては、淡路島の広葉樹林では林の中層や上層に照葉樹が優占しているため、林床が暗く、シカの生息の有無に関わらず低木層が未発達なことが挙げられる。このため目視で容易にシカの影響による低木層の被度の変化を判断することが困難であり、その結果、本州部の落葉広葉樹林域で実施したような下層植生衰退度を用いた評価手法を適用することができなかった。

以上のことから、広葉樹林内に照葉樹が優占する地域では、下層植生衰退度に代わる被害指標を検討する必要がある。一般に広葉樹林における樹木の個体群構造は、サイズの小さな樹木ほど個体密度が高くなることが知られている（山中ほか 1993; 後藤ほか 2004）。また、森林内においてシカは採食可能な高さの樹木を中心に採食するため、サイズの小さな樹木ほど影響を受けやすい。この結果として、シカの採食の影響が強くなるにつれ、林分当たりの樹木の個体密度は大きく減少することが確認されている（藤木ほか 2006）。これらを考え合わせると、広葉樹林植生へのシカの影響の強さを簡便評価する手法として、樹木の個体密度を指標として用いることも有効であろうと考えられる。

本研究では、淡路島におけるシカの影響を受けた広葉樹林の地理的分布状況を明らかにすることを目的に、淡路島の広葉樹林を対象に広域多地点で簡易な植生調査を実施した。得られたデータを用いて、樹木の個体密度を用いた被害評価手法の妥当性を検討したうえで、地理情報システムを用いて島内におけるシカの影響を受けた広葉樹林の地理的分布域を推定した。推定結果に基づき、2012 年時点の島内におけるシカの影響を受けた広葉樹林の分布概況を述べるとともに、シカによる被害の拡大防止策を推進するうえでの注意点について地理的な観点から考察した。

2. 調査地域

調査地域は、兵庫県の淡路島である。1981年～2010年の期間の気象庁の気象統計によると、北部の郡家および南東部の洲本市における年平均気温はそれぞれ15.9℃および15.5℃、年平均降水量はそれぞれ1093.1mm および1406.6mm となっている(気象庁ホームページ、<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>、2012年12月7日確認)。気候帯および気候区としては、ほぼ全域が暖温帯に属するうえ、比較的雨の少ない瀬戸内気候区に区分される。

淡路島における原植生は照葉樹林であると考えられるが、現在では大部分がウバメガシ萌芽林、シイ・カシ林、コナラやノグルミが優占する落葉広葉樹林などの二次林になっている。また、これらの二次林は放置状態に置かれているため、現在は遷移が進んでおり、大半が外観は落葉広葉樹林であっても林内では照葉樹が優占する林分となっている。

淡路島の地勢は、北部の北淡山地、中部の先山山地とそれを取りまく津名丘陵にまず分けられる。さらに南部は、東部の諭鶴羽山地と西部の西淡山地に分けられる(図1)。このうち諭鶴羽山地ではシカの生息密度が高いことが確認されている(藤木ほか 2007)。岸本ほか(2012)がマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて実施した推定結果によると、島内のシカの個体数は2010年時点で中央値 5130.0 頭(90%の信頼区間では 2,544.6～11,486.2 頭)となっている。また、2001年から2010年の期間中、その個体数は増加傾向にあると推定されている。

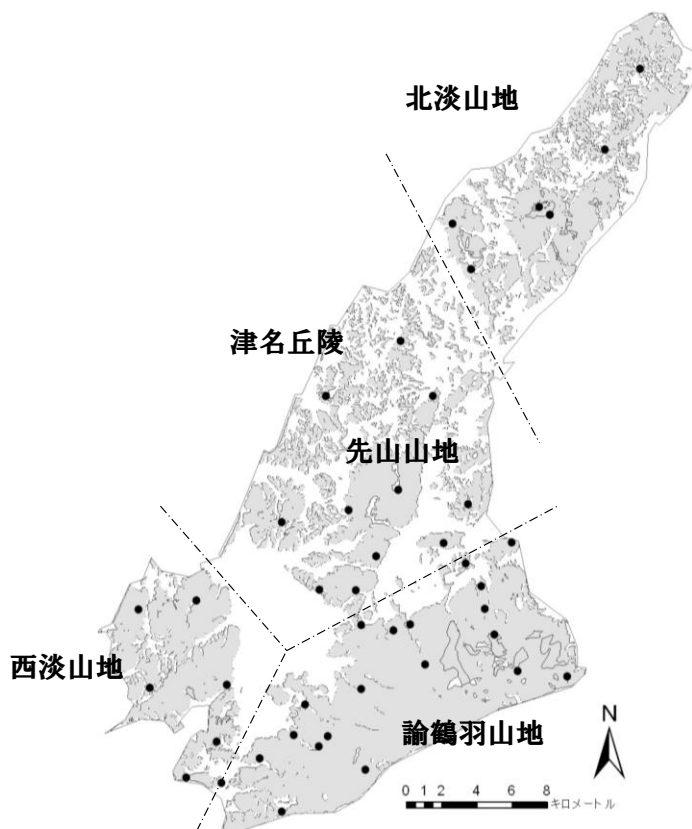


図1 淡路島の地勢の概略と調査林分の位置(黒丸)
灰色部は森林域を、破線は各山地の境界を表す。

3. 調査方法

調査は島内の広葉樹林を対象に、2011年11月16日～17日、2012年8月1日～31日の期間に実施した。調査林分は、林内の光条件や人為的攪乱の影響の程度をできるだけ揃えるため、以下の基準で選定を行った。1) 林冠の高さが5m以上であること、2) 林冠が閉鎖していること、3) 伐採痕など人為的な攪乱痕跡がないこと、4) 林縁部からの光が入らない程度、林縁から離れていること。このような基準の下、43地点を調査対象林分として選定した(図1)。

各調査林分では、主に以下の四項目について調査した。

- 1) シカの生息痕跡の有無
- 2) 面積50m²当たりの胸高(地上高130cm)以上の樹木の個体密度
- 3) 面積20m²当たりの維管束植物の出現種数
- 4) 平均土壌硬度

1) については、おおよそ20m四方当たりの面積を目安に、過去2～3年のシカの生息痕跡の有無について調査した。2) については、林分内の4箇所では長さ2mの赤白ポールを調査者が中心軸になる形で一回転させることで、半径2mの円を描き、ポールと接触した胸高以上の樹木の個体数をカウントした。なお、樹木個体とは地際で同一の根株をもつものとした。また、ツル性木本植物は樹木に含めなかった。3) については、メジャーで延長10mのトランセクトを設置し、その両側1mの範囲内に出現する全ての維管束植物を記録した。4) については、林分内でランダムに5か所調査地点を選定し、山中式土壌硬度計を用いて測定した。その他、植生タイプ、林の高さ(m)、斜面傾斜、斜面方位などの基本的な林分属性についても調査した。

4. 解析方法

影響度の評価

ポワソン分布を仮定した予備解析から、胸高以上の樹木の個体密度が30本/50m²未満の場合は、シカの生息痕跡が確認されなかった林分における胸高以上の樹木の個体密度より有意に($p < 0.05$)に低い値であることが明らかとなった。そこでシカの各調査林分における広葉樹林植生へのシカの影響度は、シカの生息痕跡の有無と胸高以上の樹木の個体密度に応じて以下の三段階に区分した。

「影響なし」：シカの生息痕跡が確認されなかった林分

「軽微」：シカの生息痕跡が確認され、胸高以上の樹木の個体密度が30本/50m²以上であった林分。

「顕著」：シカの生息痕跡が確認され、胸高以上の樹木の個体密度が30本/50m²未満であった林分。

「微弱」や「顕著」と区分された林分において、胸高以上の樹木の個体密度、維管束植物の出現種数、平均土壌硬度の値のそれぞれが、「影響なし」の林分と比べて有意に異なるかに

ついて一般化線形モデル (GLM) を用いて解析した。なお、この際、胸高以上の樹木の個体密度と維管束植物の出現種数を応答変数に用いたモデルではポワソン分布を、平均土壌硬度を応答変数に用いたモデルではガンマ分布を仮定した。これらの統計解析には、統計パッケージ R version 2.15.0 を用いた。

広葉樹林の影響度別の地理的分布域の推定

島内における広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域を推定するため、IDW 法 Inverse distance weighting (Fortin and Dale 2005) による空間内挿処理を実施した。内挿にあたっては、各調査林分の影響度を 0~2 の整数値に変換したうえで、調査地域を 100 m 四方の格子メッシュに区切り、それぞれのメッシュから近隣 6 か所の調査地点データを用いて、該当メッシュから調査地点までの距離の 2 乗の逆数で重みづけした平均値を算出した。算出された値は小数点以下を四捨五入して整数値に戻すことで影響度に変換した。

影響度の空間推定結果の精度検証には、Leave-one-out 交差検定法 (Wckernagel 1995) を用いた。手順としては、まずデータ・セットから、任意の調査地点を一地点抜き出したうえで残りの調査地点を用いて空間内挿を行い、抜き出した地点の影響度を推定し、実測値とのランク差を確認した。次にこの作業を、残り全地点で繰り返すことにより推定精度を評価した。

以上の解析は、地理情報システムソフトウェア (ESRI 社 ArcGIS10.0 Spatial Analysis Extension) を用いて実施した。

5. 結果

影響度別の個体密度、種数、土壌硬度

胸高以上の樹木の個体密度は、「影響なし」が 40.8 ± 3.3 本/50 m² (Mean±SE) で最も高く、「軽微」の 31.0 ± 0.7 本/50 m²、「顕著」の 18.9 ± 1.7 本/100m² の順に低くなった (図 2-a)。「軽微」と「顕著」における胸高以上の樹木の個体密度は、「影響なし」に比べて有意に低かった (GLM, $n=43$, $p<0.01$)。

維管束植物の出現種数は、「影響なし」が 10.6 ± 0.8 種/20 m² (Mean±SE)、「軽微」が 10.5 ± 2.0 種/20m²、「顕著」が 5.0 ± 0.5 種/20 m² であった (図 2-b)。「軽微」と「影響なし」の間に出現種数の違いは認められなかったが、「顕著」は「影響なし」に比べて出現種数が有意に少なかった (GLM, $n=43$, $p<0.001$)。

平均土壌硬度は、「影響なし」が 8.1 ± 0.6 mm (Mean±SE) で最も低く、「軽微」の 12.0 ± 1.2 mm、「顕著」の 15.3 ± 0.7 mm の順に高くなった (図 2-c)。「軽微」と「顕著」における平均土壌硬度は、「影響なし」に比べて有意に高かった (GLM, $n=43$, $p<0.01$)。

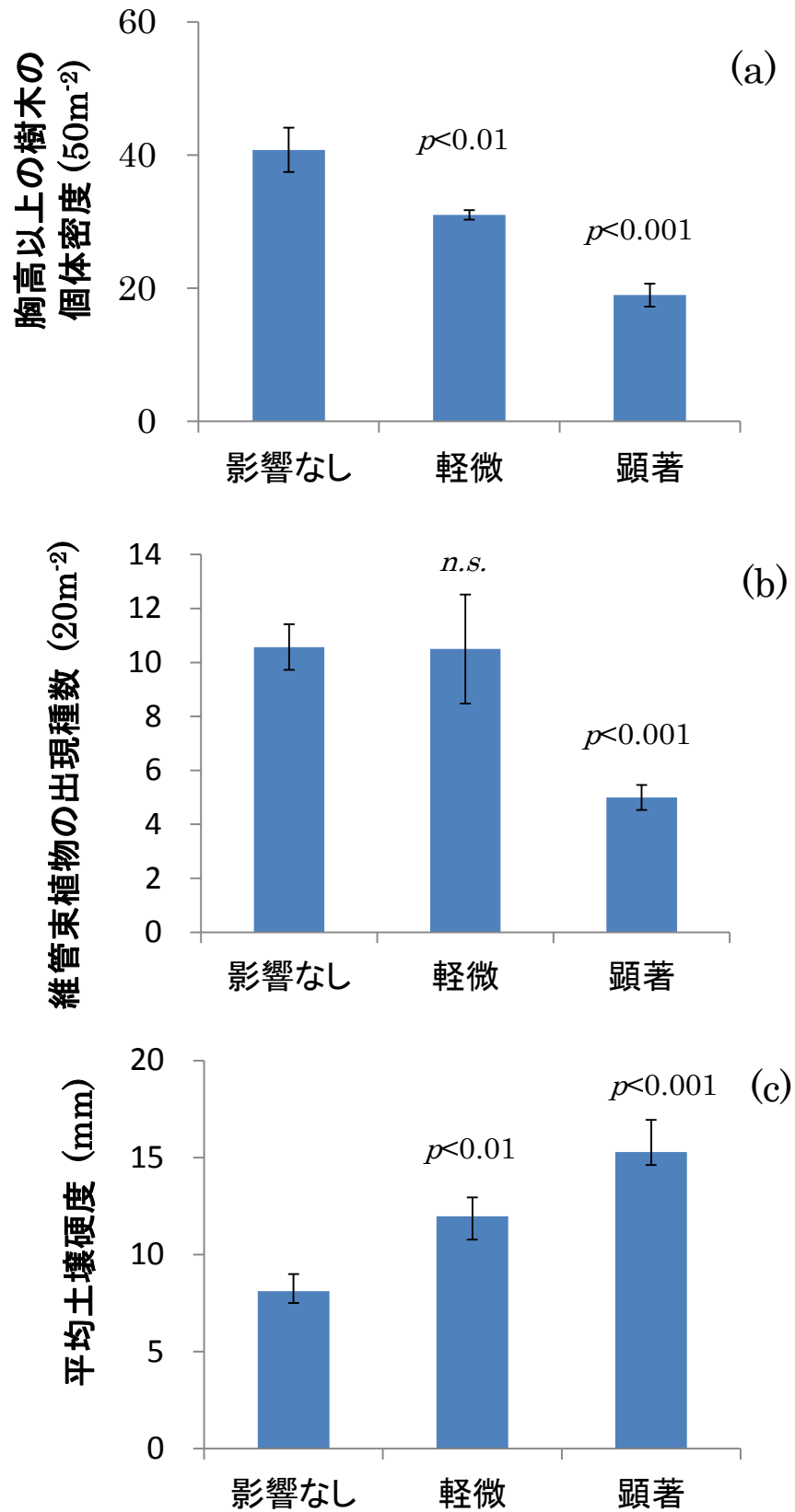


図 2 影響度別の林分間における (a) 胸高以上の樹木の個体密度, (b) 維管束植物の出現種数、(c) 平均土壌硬度の比較
エラーバーは標準誤差を示し、統計解析は GLM を用いた

広葉樹林の影響度別の地理的分布域の推定

島内における広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域の推定結果を図 3 に示す。推定の結果、論鶴羽山地のほぼ全域がシカの影響度が「顕著」な山域であることが示された。論鶴羽山地以外の山域では大半の山域が、「影響なし」に該当した。ただし、先山山地と西淡山地のうち、論鶴羽山地と近接している山域では、「軽微」或いは「顕著」な山域が存在することが推定された。

空間推定結果の精度を、Leave-one-out 交差検定法で評価したところ、67.4%の調査地点で推定値と実測値が一致し、97.7%の地点で推定値と実測値の誤差が一ランク差以内に収まっていた (図 4)。誤差の平均値は 0.12 であり、二乗平均平方根誤差は、0.63 であった。

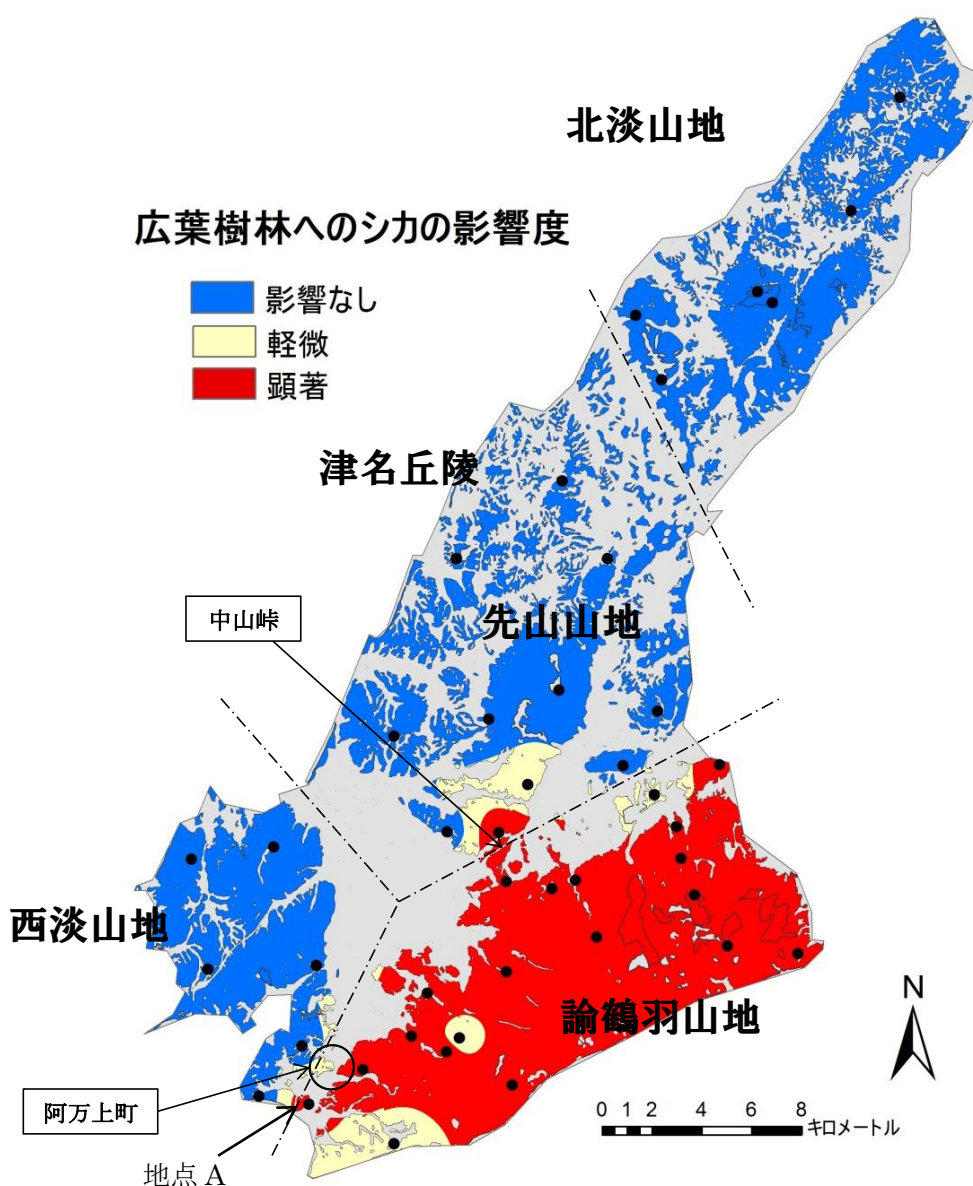


図 3 IDW 法によって推定された広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域
黒丸は調査地点を示す。

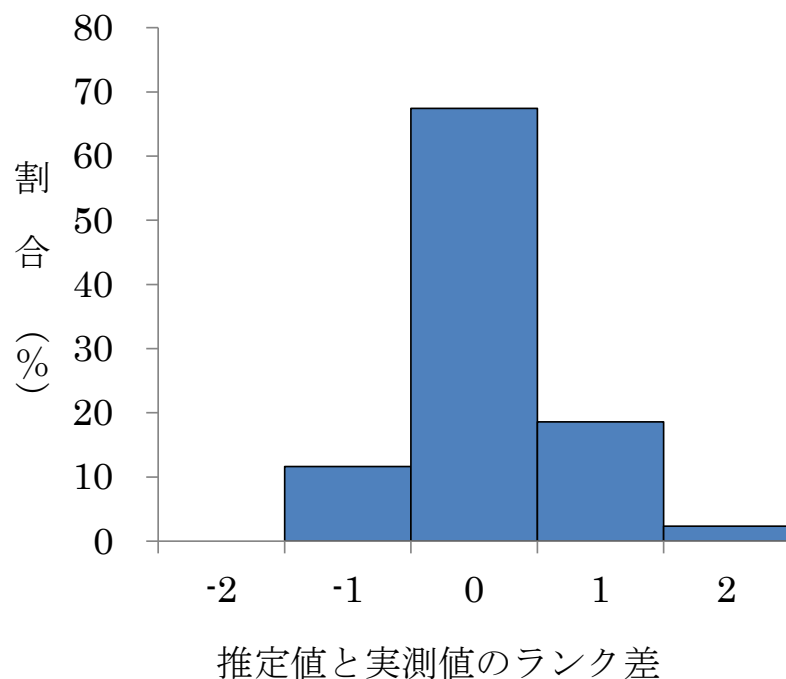


図 4 各調査地点の影響度の推定値と実測値の誤差の頻度分布

6. 考察

広葉樹林へのシカの影響は、広葉樹林を構成する樹木の枝葉や樹皮をシカが採食の末、枯死させることによって顕在化する。シカが過密度化した多くの地域において、シカが広葉樹林の構成木を強度に採食し、枯死させた結果として、広葉樹林内の樹木の個体密度が顕著に低くなっていることが報告されている（藤木ほか 2006）。シカが過密度化した場合に、広葉樹林内の樹木の個体密度が大きく低下する理由としては、広葉樹林を構成する樹木の個体群構造に求められる。一般的に広葉樹林内では、サイズの小さな樹木ほど個体密度が高いことが知られている（山中ほか 1993; 後藤ほか 2004）。一方、シカは採食可能な高さの樹木を主に採食するため、採食による枯死木はサイズの小さな樹木を中心に発生することになる（Takatsuki and Gorai 1994; Akashi and Nakashizuka 1999）。この結果、シカの採食の影響が強まるにつれ、樹木の個体密度は劇的に減少していくことになる。また、シカが広葉樹林に及ぼす影響は、下層植生の被度や樹木の個体密度の減少だけに留まらない。植物多様性の減少や（服部ほか 2010; 石田ほか 2010; 福島ほか 2011; 梅田ほか 2012）、表面土壌の硬化（柳ほか 2008）、土壌侵食の発生（Fujiki et al. 2010）なども生ずることが報告されている。本研究では、広葉樹林へのシカの影響度を、シカの生息痕跡の有無と胸高以上の樹木の個体密度に応じて三段階区分した。その結果、影響度が高いほど、胸高以上の樹木の個体密度が低く（図 2-a）、維管束植物の出現種数が少なく（図 2-b）、平均土壌硬度が高くなる（図 2-c）という明瞭な結果を得られた。

以上の結果は、既存の研究で得られているシカの影響の高まりに伴う広葉樹林の変化と合

致しており、本評価区分によって調査林分間における広葉樹林へのシカの影響の程度の相対的な差を概ね評価できているものと考えられる。

次に、広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域の推定結果であるが、Leave-one-out 交差検定法による精度検証の結果から、推定値は9割以上の地点で実測値と誤差一ランク差以内に収まっていた（図 4）。また、誤差平均は 0 にほぼ等しかったことから、推定結果は、精度が高いうえ、全体として過大にも過小にも偏っていない。したがって、推定結果は、島内における広葉樹林のシカによる影響度別の地理的分布域を十分な精度で推定できていると判断できる。

地理的分布域の推定結果から、島内の広葉樹林のうち、シカの強い影響を受けているのは、2012 年時点では諭鶴羽山地にほぼ限定されることが明らかとなった（図 3）。このように現時点までシカの影響が諭鶴羽山地にほぼ限定されてきた理由としては、島内の各山地が、農耕地等の平地によって分断され、孤立的に存在していることが大きいであろう。このことは淡路島内においては、全島的なシカの分布拡大が比較的起こりにくいことを示している。一方で、先山山地と西淡山地のうち、諭鶴羽山地に近接している山域では、広葉樹林にシカの影響が及んでいることが示された。このうち先山山地については、諭鶴羽山地との最近接地である南あわじ市中条広田の中山峠付近の国道 28 号線において、シカが道路を横断して先山山地側に移動していることが地元住民によって頻繁に目撃されている（藤木 未発表）。さらに、先山山地側の調査地点でもシカの影響が確認されているうえ、森林動物研究センターが実施している農会アンケートでもこの付近の先山山地側の比較的広範囲にわたって、シカによる農業被害が発生していることが回答されている（兵庫県森林動物研究センターホームページ「鳥獣による農業被害調査－ニホンジカ」、<http://www.wmi-hyogo.jp/higai/zukan/sika.htm>、2012 年 12 月 7 日確認）。したがって、シカはこの経路伝いに既に諭鶴羽山地から先山山地側へ分布拡大しているものと推測できる。西淡山地については、南あわじ市阿万付近において、影響度が「軽微」の山域が存在していることが示された。ただし、実際の調査ではシカの生息痕跡を確認できたのは、西淡山地と諭鶴羽山地の間の孤立した小山（図 5 の地点 A）までであり、西淡山地本体においてシカの生息痕跡を確認することはできなかった。また、地点 A から西淡山地本体へと続く帯状の森林域は、実際は農地開発によって断片化したクロマツ林であり、このルートからシカが西淡山地に侵入することは困難であると考えられた。しかし、西淡山地と諭鶴羽山地が最も近接している地点（南あわじ市阿万上町付近）では、農耕地や住宅地を挟んで両山地は約 150m 程度しか離れていない。これはシカにとっては十分に移動可能な距離であることから、このエリアから西淡山地側に実際にシカが侵入している可能性も十分ありえる。

以上のことから、先山山地と西淡山地については、諭鶴羽山地と近接した山域伝いに諭鶴羽山地の高密度化したシカ個体群が両山地へ侵入する地理的脆弱性が存在している。両山地へのシカの影響拡大リスクを軽減するためには、諭鶴羽山地と近接した山域を対象に、諭鶴羽山系からのシカの侵入防止策を検討する必要があるだろう。既に両山系内に侵入してしまったシカについては許容可能な生息密度水準で推移するように個体数管理する必要があるだろう。

謝辞

本研究の一部は、平成 23～24 年度林野庁「野生鳥獣による森林生態系への被害対策技術開発事業」の助成を受けて実施しました。ここにお礼申し上げます。

引用文献

- Akashi N and Nakashizuka T. (1999) Effect of bark-stripping by Sika deer (*Cervus nippon*) on population dynamics of a mixed forest in Japan. *Forest Ecology and Management* 113: 75-82.
- Fortin M-J, Dale M (2005) Spatial Analysis. A Guide for Ecologists. Cambridge University Press, Cambridge, 365pp.
- 藤木大介 (2012a) ニホンジカによる森林生態系被害の広域評価手法マニュアル. 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4: 2-16.
- 藤木大介 (2012b) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる下層植生の衰退状況—2006 年から 2010 年にかけての変化. 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4: 17-31.
- Fujiki D, Kishimoto Y and Sakata H (2010) Assessing decline in physical structure of deciduous hardwood forest stands under sika deer grazing using shrub-layer vegetation cover. *Journal of Forest Research* 15: 140-144.
- 藤木大介・岸本康誉・坂田宏志 (2011) 兵庫県氷ノ山山系におけるニホンジカ (*Cervus nippon*) の動向と植生の状況. 保全生態学研究 16: 55-68.
- 藤木大介・鮫島弘光・坂田宏志 (2007) 兵庫県における大・中型野生動物の生息状況と人との軋轢の現状. 兵庫県立人と自然の博物館 自然環境モノグラフ 3 号, 三田
- 藤木大介・鈴木牧・後藤成子・横山真弓・坂田宏志 (2006) : ニホンジカ (*Cervus nippon*) の採食下にある旧薪炭林の樹木群集の構造について. 保全生態学研究 11: 21-34.
- 後藤義明・玉井幸治・深山貴文・小南裕志 (2004) 京都府南部における広葉樹林二次林の構造と 5 年間の林分動態. 日本生態学会誌 54: 71-84.
- 服部保・黒田有寿茂・石田弘明・南山典子 (2010) 兵庫県たつの市鶏籠山の照葉半自然林におけるニホンジカの採食の影響. 人と自然 21: 137-144.
- 石田弘明・黒田有寿茂・橋本佳延・澤田佳宏・江間薫・服部保 (2010) ニホンジカが暖温帯夏緑二次林の種多様性と種組成に与える影響. 保全生態学研究 15: 219-229.
- 岸本康誉・関香菜子・坂田宏志 (2012) ニホンジカの個体群動態の推定と将来予測 (淡路島 2011 年). 兵庫ワイルドライフレポート 1: 17-31.
- 尾崎真也 (2005) 兵庫県大河内町砥峰の天然林におけるニホンジカが及ぼす植生被害の実態. 森林応用研究 15: 41-46.
- Takatsuki S and Gorai T (1994) Effects of Sika deer on the regeneration of a *Fagus crenata* forest on Kinkazan Island, northern Japan. *Ecological Research* 9: 115-120
- Wackernagel H (1995) Multivariate geostatistics. Springer-Verlag, Berlin

- 山中典和・松本淳・大島有子・川那部三郎 (1993) 京都大学芦生演習林モンドリ谷集水域の林分構造. 京都大学農学部演習林報告 65: 63-76.
- 柳洋介・高田まゆら・宮下直 (2008) ニホンジカによる森林土壌の物理環境の改変: 房総半島における広域調査と野外実験. 保全生態学研究 13: 65-74.
- 吉野豊・前田雅量・山瀬敬太郎・上山泰代 (2005) 絶滅危惧種「サラサドウダン」の保全に関する研究 (I) 一県内自生地における生育実態. 兵庫県農業技術総合センター研究報告 (森林林業) 52: 1-6.
- 諭鶴羽山系総合プラン策定委員会・兵庫県淡路県民局 (2005) 諭鶴羽山系総合プラン.

(2012年12月10日受付/2013年8月6日受理)