簡易なチェックシートによるエゾシカの天然林への影響評価

明石 信廣^{*1}・藤田 真人²・渡辺 修³・宇野 裕之⁴・荻原 裕^{5,6}

天然林におけるシカの影響を評価するには、森林の種組成や構造の違い、剥皮や枝葉の採食など影響の多様な形態を考慮する必要がある。また、広域の調査には多くの関係者が簡便かつ客観的に評価できる手法が望ましい。そこで、シカの食痕や足跡等に関する簡易なチェックシートを用いた調査を実施した。チェックシートは林野庁北海道森林管理局の森林管理署職員によって記入され、このうち天然林を対象とした1,371件を解析に用いた。シカの食痕等に関する10項目の回答を用いて多重対応分析を行ったところ、各地点のスコアはシカが多い、少ない、わからないという三つの方向を含む平面上にプロットされた。第1主成分は狩猟者によるシカ目撃効率 (SPUE) と有意な相関があった。食痕の有無や不嗜好植物の量は「わからない」とする回答が多く、著者らが同一林小班内で確認した結果と比較したところ、食痕があるとする回答が少なかったことから、森林管理署職員の回答には食痕の見落としの可能性が示唆された。第1主成分のスコアをもとに、クリギング法によって推定された北海道全体の森林における評価結果は、従来の情報と比較して、妥当なものと考えられた。

キーワード: チェックシート, エゾシカ, 天然林, 食痕, 多重対応分析

Nobuhiro Akashi,^{*1} Masato Fujita,² Osamu Watanabe,³ Hiroyuki Uno,⁴ Hiroshi Ogiwara^{5,6} (2013) An Evaluation of the Impact Levels of Sika Deer (*Cervus nippon*) on Natural Forests Using a Simple Check List. J Jpn For Soc 95: 259-266

Evaluation of the impact of deer on natural forests requires a method that considers a variety of damage forms such as bark-stripping and browsing. Many individuals should be involved in the evaluation on a regional scale, and the method should be simple and objective. We conducted a survey using a simple check list of browsing scars and traces of deer. The check lists were completed by foresters of the district forest office, and 1,371 records were used for the analyses. The results of a multiple correspondence analysis (MCA) for 10 items suggested that each site could be plotted on a coordinate with three directions indicating that the impact was high, low, or unknown. The primary factors in the scoring of sites were correlated with sightings per unit effort (SPUE) by hunters. Many answers by foresters included the "Unknown" category for the existence of browsing scars and the abundance of less palatable plants. The number of replies where browsing scars were detected was lower for check lists completed by foresters than for those by the authors at the same sites, suggesting the under-recording by foresters. Estimation of the impact levels of deer on natural forests in Hokkaido by kriging the primary factor of MCA at each site was considered a valid technique, compared with existing information.

Key words: check list, *Cervus nippon yezoensis*, natural forests, browsing, kriging

I. は じ め に

シカ類が森林に及ぼす影響には、剥皮による樹木の枯死、枝葉の採食による稚樹や小径木の減少、角こすりによる材質の劣化など、多様な形態が含まれる (Gill 1992)。また、季節移動によってシカ類の生息状況が変化する。一方、森林の種組成や構造は多様であり、それによってシカ類の影響が異なる。シカ類が森林に及ぼす影響を把握するには、このように多様な条件、複雑な現象を考慮しなければならない。

植栽された樹木が明確な人工林では、調査対象を幼齢造林地、壮齢造林地などに限定すれば被害を評価しやす

く、広域の被害調査事例も報告されている (宮島・草野 2003; 井上ら 2005; 明石 2009)。しかし、天然林では、自然公園内などにおいて詳細に把握されている場合もあるが (例えば, Takatsuki and Gorai 1994; 阪部ら 1998; Akashi and Nakashizuka 1999; Nomiya *et al.* 2003; Tsujino and Yumoto 2004; Itô and Hino 2005; Koda *et al.* 2008; Miyaki and Kaji 2009; Murata *et al.* 2009), 影響が顕著でない森林や自然公園などに指定されていない森林において影響が明らかになっている事例は少ない。

Fujiki *et al.* (2010) と Kishimoto *et al.* (2010) は、低木層の植被率を指標とする下層植生衰退度 (SDR) を用いて兵庫県内の天然林におけるシカの影響を6段階で評価し

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: akashi-nobuhiro@hro.or.jp

¹ 北海道立総合研究機構林業試験場 〒079-0198 北海道美瑛市光珠内町東山 (Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Higashiyama, Koshunai, Bibai, Hokkaido 079-0198, Japan)

² 株式会社セ・プラン 〒004-0051 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目 (Ceplan Co., Ltd., Atsubetsu-chuo 1-5, Atsubetsu-ku, Sapporo 004-0051, Japan)

³ さっぽろ自然調査館 〒004-0051 札幌市厚別区厚別中央1条7丁目1-45 山岸ビル3階 (Sapporo Nature Research Interpretation Office, Yamagishi Building third floor, 1-45 Atsubetsu-chuo 1-7, Atsubetsu-ku, Sapporo 004-0051, Japan)

⁴ 北海道立総合研究機構環境科学研究センター 〒060-0819 札幌市北区北19条西12丁目 (Institute of Environmental Sciences, Hokkaido Research Organization, Nishi 12, Kita 19, Kita-ku, Sapporo 060-0819, Japan)

⁵ 北海道森林管理局 〒064-0953 札幌市中央区宮の森3条7丁目 (Hokkaido Regional Forest Office, Miyanomori 3-7, Chuo-ku, Sapporo 064-0953, Japan)

⁶ 現在: 北海道森林管理局知床森林生態系保全センター 〒099-4355 北海道斜里郡斜里町ウトロ東 (Shiretoko Forest Ecosystem Conservation Center, Hokkaido Regional Forest Office, Utoro-higashi, Shari-cho, Shari-gun, Hokkaido 099-4355, Japan)

(2013年4月3日受付, 2013年8月5日受理)

エゾシカ影響調査・簡易チェックシート(天然林・人工林共通)

場 所	署 名	森林事務所	林 班	小 班	面 積	ha
調 査 日	平 成	年	月	日	林 相	☐ 針広混交林 ☐ 針葉樹林 ☐ 広葉樹林
周辺環境	☐ 天然林と隣接 ☐ 人工林と隣接 ☐ 沢を含む ☐ 沢と隣接 ☐ 畑と隣接 ☐ 牧草地と隣接					

※ 該当する□にチェック ☒ を入れる。チェック漏れのないよう確認すること。
 ※ 針葉樹林・広葉樹林とは、それぞれの針葉樹・広葉樹の材積歩合が75%を指し、それ以外を針広混交林とする。
 ※ 食痕の判断については、意識しないで食痕等が目につくのは「多い」、探さないと食痕等が見つからない場合は「わずかにある」とする。
 ※ 樹皮剥ぎ等の「新しい」は、直近の積雪期の樹皮剥ぎ等とする(暗く変色していないもの)。樹皮剥ぎ等比率は本数比率とし、目測でよい。
 ※ 植栽木の痕跡調査本数は、下刈期のものは50本を目安とするが、それ以上の林齢の箇所は適宜減らしてよい。

<p style="text-align: center;">☐ 「天然林」</p> <p>■A. 胸高直径5cm以上の天然木</p> <p>A1. 樹皮剥ぎ/角こすり</p> <p>☐ 見られる (☐ 新しい / ☐ 古い)</p> <p>(樹種: _____)</p> <p>樹皮剥ぎ等比率(目測): 約 _____ 割</p> <p>☐ 見られない</p> <p>A2. 高さ2m以下の下枝や萌芽</p> <p>☐ 有る</p> <p>☐ ほとんどない(目安: 5本/100㎡以下)</p> <p>☐ ない</p> <p>A3. 下枝の食痕 (注) 下枝は広葉樹のみ対象</p> <p>☐ 多い ☐ わずかにある</p> <p>☐ ない ☐ わからない</p> <div style="text-align: center;"> </div>	<p style="text-align: center;">☐ 「人工林」</p> <p>■A. 植栽樹種の痕跡 植栽樹種名: _____</p> <p>調査本数(約 _____ 本) 植 栽 年: _____ 年</p> <p>A1. 新しい角こすりがみられる (約 _____ 本)</p> <p>A2. 樹皮の食痕が見られる (約 _____ 本)</p> <p>A3. 頂芽の食痕がみられる (約 _____ 本)</p> <p>A4. シカによる幹折れの痕跡がみられる (約 _____ 本)</p> <p>植栽木の平均胸高直径(目測でよい)</p> <p>☐ 10cm未満 ☐ 10~20cm ☐ 20cm以上</p> <p>植栽木の平均樹高(目測でよい)</p> <p>☐ 1m未満 ☐ 1m~2m ☐ 2m以上</p> <p>・ 近年の施業 ☐ なし</p> <p>☐ 今年下刈りを実施(予定)</p> <p>☐ 昨年まで下刈りを実施</p> <p>☐ (_____) 年前に除間伐実施</p> <p>☐ その他(_____)</p> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> 人工林内に胸高直径5cm以上の天然木がある場合、 左表「天然林」A1にもチェックする </div>
「天然林」・「人工林」共通事項	
<p>■B. 胸高直径5cm未満の天然木</p> <p>B1. 胸高直径5cm未満の天然木 ☐ 見られる ☐ 少ない(目安: 5本/100㎡以下) ☐ ない</p> <p>B2. 樹皮剥ぎ/角こすり ☐ 見られる (☐ 新しい / ☐ 古い)</p> <p>(樹種: _____) 樹皮剥ぎ等比率(目測): 約 _____ 割</p> <p>☐ 見られない</p> <p>B3. 高さ2m以下の下枝や萌芽 ☐ ある ☐ ほとんどない(目安: 5本/100㎡以下) ☐ ない</p> <p>B4. 下枝の食痕 ☐ 多い ☐ わずかにある ☐ ない ☐ 分からない</p> <p style="text-align: center;">(注) 天然林の下枝は広葉樹のみ対象とする</p> <div style="text-align: right;"> </div>	
<p>■C. 稚樹(高木になる天然更新木であって樹高20cmから200cm程度のもの)</p> <p>C1. 稚 樹 ☐ 見られる ☐ 少ない(目安: 5本/100㎡以下) ☐ ない</p> <p>C2. 食 痕 ☐ 多い ☐ わずかにある ☐ ない ☐ 分からない</p> <div style="text-align: right;"> </div>	
<p>■D. 林床植生</p> <p>◆ 植 生 ☐ ササ類主体 ☐ 草本類主体 ☐ 低木類主体 ☐ 混在</p> <p style="text-align: center;">(注) 主体とは林床のおおむね75%を占めている状態をいう。</p> <p>D1. ササの現存量 ☐ 密生している ☐ 散在している ☐ ない ・ササの種類(_____)</p> <p>D2. ササの食痕 ☐ 多い ☐ わずかにある ☐ ない ☐ わからない</p> <p>D3. 不嗜好植物の量 ☐ 多い(目安: 30%以上) ☐ 少ない ☐ よくわからない</p> <div style="text-align: right;"> </div>	
<p>■E. シカの痕跡</p> <p>E1. シカの痕跡 次のシカの痕跡等が見られる</p> <p>☐ 痕跡はない ☐ シカ道 ☐ 足跡 ☐ 糞 ☐ 骨・死体 ☐ 角</p> <p>E2. シカの鳴声 ☐ この林班周辺でシカの鳴声を聞いた ☐ 聞いていない</p> <p>E3. シカの目視 ☐ この林班周辺でシカを見た (_____ 頭) ☐ 見ていない</p> <div style="text-align: right;"> </div>	

自由記述欄(シカの被食状況に関すること、気がついた点があれば記述する)

図-1. 今回使用した簡易チェックシート

た。この方法では、対象を落葉広葉樹二次林に限定しているが、さらに広域での評価を行う場合、対象とする森林の種組成や構造が多様になり、それに対応した手法が必要となる。

植生学会企画委員会(2011)は全国を対象にしたアンケート調査に基づき、自然植生への影響を「なし」から「激」までの5段階で評価した。この調査では、食痕などの観察に基づく評価の目安は示されているが、「主観的で構わない」としており、基準は必ずしも明確ではない。統一的な手法によって、全国各地ですでに顕著な影響が生じていることを示したが、調査地点数にも地域的な偏りがあり、データの少ない地域もあった。

このように、広域で天然林への影響を把握するには、多くの関係者がシカの影響を簡便かつ客観的に評価できる手法が望ましいが、適切な手法は確立されていない。これは、シカ類の影響が認識されながら十分な対策が講じられなかった一因になっていると考えられる。

著者らは、林野庁北海道森林管理局による「エゾシカの立木食害等が天然更新等に与える影響調査」において、職員が簡易なチェックシートに記録することにより、エゾシカによる森林への影響を把握することを目的として、チェックシートの内容および解析手法の検討を行った。北海道の森林の55%、307万haを国有林が占めており、広大な森林についての情報が得られている。2009年度に最初のチェックシートを作成して2010年度に調査を実施し、毎年回答者の意見を踏まえてチェックシートの見直しを行っている。本研究では、このうち2011年の調査における天然林のデータを用いて、多くの評価項目から多重対応分析によって各地点でのエゾシカの影響を評価する手法を検討し、この結果をもとに地理情報システム(GIS)によって北海道全体の森林におけるエゾシカの影響を推定した。

II. 方 法

1. チェックシート

北海道の森林では、稚樹等におけるエゾシカの食痕を調査することがエゾシカの影響評価に有効だと考えられている(明石・南野 2007; Akashi *et al.* 2011)。そこで、森林の樹木を胸高直径5 cm以上の樹木、胸高直径5 cm未満の樹木、高さ20~200 cmの稚樹に区分し、対象となる樹木における高さ200 cm以下の下枝の有無と食痕の有無、林床植生の状態、足跡や糞などのシカの痕跡に関するチェックシートを作成した(図-1)。チェックシートには人工林に対応する項目も含んでいる。調査の対象とした高さ200 cmは、エゾシカが採食可能な高さ(Miyaki and Kaji 2004)を考慮したものである。

2011年4月、北海道森林管理局から管内の森林管理署にチェックシートが配布された。調査を行った職員には、チェックシートと合わせて、エゾシカの食痕の写真や野ウサギ、野ネズミの食痕との見分け方が記載された資料が参考として配布された。チェックシートは、森林管理署職員

が他の業務の際に、林道からではなく林内に立ち入って観察し、記入するようにした。調査の対象となる範囲や観察時間について具体的な指示はしていない。離島を除く北海道内のすべての森林事務所(24森林管理署・支署、316事務所)において、少なくとも213名の職員により、9月まで現地におけるチェックシートの記入が行われ、天然林1,677件、人工林3,337件が提出された。

2. 回答内容の確認

チェックシートが記載された林小班のうち4森林管理署28森林事務所に所在する50カ所(天然林26カ所、人工林24カ所)について、同一林小班内で、著者らまたは著者らとともに前年度から「エゾシカの立木食害等が天然更新等に与える影響調査」における詳細なエゾシカの食痕調査に同行して食痕の判定について経験を積んだ技術者1名(以下、技術者とする)がチェックシートの記載を行った。このうち、稚樹や樹木の下枝、萌芽の食痕、シカの痕跡に関する項目について、回答を森林管理署職員によるものと比較した。森林管理署職員による調査は5月9日から8月12日、技術者による調査は6月14日から9月14日に実施された。

3. データの解析

提出されたチェックシートのうち、天然林のみを以下の解析に用いた。同一林小班における複数のチェックシートがある場合、最初の1件のみを解析に用いた。また、不嗜好植物とシカの鳴声、目視以外の項目について、未記載や、一つの選択肢をチェックすべき項目に複数のチェックがあるなど、記載内容に問題のあるチェックシートは解析から除外した。この結果、解析に用いたチェックシートは1,371件であった。

チェックシートには、シカの食痕や痕跡などを記載する項目と、稚樹の有無やササの現存量など森林の状態を記載する項目が含まれている。森林の状態は、シカの影響だけでなく、森林の発達段階などシカ以外の要因にも強く影響されると考えられるため、ここではシカの食痕や痕跡等に関する14項目(表-1)を抽出し、データを整理した。ただし、樹木の下枝や稚樹がない場合には食痕も存在しないため、食痕の有無に関する回答と樹木の下枝や稚樹がないとする回答をあわせて一つの項目とした。これらの項目についてR2.13.0(R Development Core Team 2011)のMASSパッケージに含まれる関数mcaを用いて多重対応分析を行った。ここで得られたカテゴリースコアの第1主成分は、シカの影響が強いと考えられる選択肢で大きい値をとったことから、各地点の第1主成分スコアをエゾシカの影響を示す指標として扱った。

国有林地理情報システムのデータをもとに、各地点の林小班の位置情報を林小班ポリゴンの重心として決定し、多重対応分析による各地点の第1主成分のスコアと狩猟者によるエゾシカ目撃効率(SPUE)の関係を、ピアソンの積率相関係数によって検討した。SPUEは北海道および北海道立総合研究機構環境科学研究センターが標準地域メッ

シュの5倍地域メッシュ(約5×5 km)ごとに集計しているデータを利用し、隣接メッシュを含む9メッシュにおける2008年10月から2011年3月までの狩猟期間における狩猟者の狩猟日数と目撃数を合計して求めたものを各メッシュのSPUEとした。

表-1. 集計した項目と回答件数および多重対応分析におけるカテゴリースコア

対象	項目	回答	件数	第1主成分	第2主成分
胸高直径5 cm 以上の天然木					
A1. 樹皮剥ぎ・角こすり	1. 見られない		1060	-0.00154	-0.00049
	2. 見られる—古い		137	0.00367	-0.00059
	3. 見られる—新しい		174	0.00650	0.00344
A3. 下枝や萌芽の食痕	1. ない		712	-0.00210	0.00183
	2. わからない		233	0.00139	-0.00915
	3. わずかにある		172	0.00719	0.00313
	4. 多い		14	0.00956	0.01164
	5. 下枝や萌芽がない		240	-0.00085	0.00053
胸高直径5 cm 未満の天然木					
B2. 樹皮剥ぎ・角こすり	1. 見られない		1039	-0.00100	-0.00062
	2. 見られる—古い		74	0.00490	0.00010
	3. 見られる—新しい		118	0.00764	0.00485
	4. 胸高直径5 cm 未満の天然木がない		140	-0.00163	0.00049
B4. 下枝や萌芽の食痕	1. ない		718	-0.00215	0.00173
	2. わからない		208	0.00155	-0.01023
	3. わずかにある		168	0.00733	0.00339
	4. 多い		16	0.00984	0.01137
	5. 下枝や萌芽がない		261	-0.00065	0.00051
稚樹(高木になる天然更新木であって樹高20 cm から200 cm 程度のもの)					
C2. 稚樹の食痕	1. ない		730	-0.00205	0.00162
	2. わからない		215	0.00246	-0.00964
	3. わずかにある		164	0.00673	0.00401
	4. 多い		14	0.00804	0.00956
	5. 稚樹がない		248	-0.00100	0.00040
林床植生					
D1. ササの食痕	1. ない		763	-0.00221	0.00163
	2. わからない		231	0.00179	-0.00671
	3. わずかにある		271	0.00386	0.00016
	4. 多い		43	0.00570	0.00547
	5. ササがない		63	-0.00027	0.00050
D3. 不嗜好植物	1. わからない		555		
	2. 少ない		753		
	3. 多い		51		
	4. 未記載・複数記載		12		
シカの痕跡					
E1-1. シカ道	1. ない		888	-0.00159	0.00055
	2. ある		483	0.00292	-0.00100
E1-2. 足跡	1. ない		681	-0.00230	0.00056
	2. ある		690	0.00227	-0.00055
E1-3. 糞	1. ない		892	-0.00186	-0.00018
	2. ある		479	0.00347	0.00034
E1-4. 骨・死体	1. ない		1346		
	2. ある		25		
E1-5. 角	1. ない		1350		
	2. ある		21		
E2. シカの鳴声	1. 聞いていない		1165		
	2. 聞いた		139		
	3. 未記載・複数記載		67		
E3. シカの目視	1. 見ていない		913	-0.00128	-0.00009
	2. 見た		422	0.00242	0.00021
	3. 未記載・複数記載		36	0.00395	-0.00005

項目のアルファベットと数字はチェックシート(図-1)における項目の番号を示す。E1は見られた痕跡をチェックすることになっており、チェックされた項目を「ある」、チェックのない項目を「ない」とした。

4. 評価結果の地図化

多重対応分析によって得られた第1主成分スコアをもとに、R2.13.0とgeoRパッケージ(Ribeiro and Diggle 2001)を用いて通常型クリギングによる空間補間を行った。理論バリオグラムの推定はmaternモデル、重み付き最小二乗法によった。北海道全域を含む2 kmのグリッドを作成し、クリギング結果をもとに各グリッドのスコアを計算して地図化した。本研究では、国有林のみを対象としてデータを得ているため、国有林の範囲を切り抜いて図示した。

III. 結果

1. チェックシートの回答

データを整理した14項目について、回答件数を表-1に示す。樹皮剥ぎや角こすりは、胸高直径5 cm以上の樹木で311件(うち新しいもの174件)、胸高直径5 cm未満の樹木で192件(うち新しいもの118件)確認された。

稚樹や樹木の下枝、萌芽の食痕に関する項目は、「多い」「わずかにある」を合わせた食痕ありの回答が178~186件、「わからない」が208~233件、対象となる稚樹、下枝、萌芽がないという回答が240~261件であった。ササのない調査地は少なく、ササの食痕は稚樹等よりも多い314件で確認されたが、「わからない」が231件あった。

不嗜好植物の量については、「わからない」が555件と多かった。

シカの痕跡で最も多く記録されたのは足跡(690件)、次いでシカ道(483件)、糞(479件)、シカの目視(422件)の順であった。骨・死体、角、シカの鳴声が確認されたという記載はそれぞれ25, 21, 139件にとどまった。

2. 技術者による回答との比較

胸高直径5 cm以上の天然木、胸高直径5 cm未満の天然木、稚樹、ササの食痕について、森林管理署職員と技術者の回答を比較した(表-2)。技術者のチェックシートには「わからない」という回答はなく、食痕が「多い」「わずかにある」という回答の割合が森林管理署職員よりも高かった。例えば、稚樹の食痕では、技術者は50件のうち7件で「多い」、10件で「わずかにある」と回答したのに対し、森林管理署職員はそれぞれ0, 4件であった。シカの痕跡については、森林管理署職員と技術者で一致する回答が比較的多かった(表-3)。

3. 多重対応分析

データを整理した14項目のうち、「わからない」という回答が多かった不嗜好植物の量、確認件数が少なかった骨・死体、角、シカの鳴声を除く10項目について、多重対応分析を行った。カテゴリースコアの第1主成分は、いずれの項目もシカの影響が強いと考えられる選択肢で大きく(表-1)、シカの影響の強さを示すものと考えられた。第2主成分のカテゴリースコアはシカが多い場合に期待される回答で大きく、「わからない」という回答で小さかった(表-1)。これらのカテゴリースコアから求められる各地点のスコアは、シカが多い、少ない、わからないという三つの方

表-2. エゾシカの食痕の有無に関する森林管理署職員と技術者の回答の比較

森林管理署職員の回答	技術者の回答				
	食痕				対象がない*
	ない	わずかにある	多い	わからない	
胸高直径 5 cm 以上の天然木（天然林のみ）					
食痕 ない	12	0	0	0	0
わずかにある	0	1	0	0	0
多い	0	0	0	0	0
わからない	6	4	0	0	0
対象がない*	0	0	1	0	2
胸高直径 5 cm 未満の天然木					
食痕 ない	14	7	2	0	2
わずかにある	0	3	0	0	0
多い	0	0	0	0	0
わからない	7	7	0	0	0
対象がない*	2	4	1	0	1
稚樹（高木になる天然更新木であって樹高 20 cm から 200 cm 程度のもの）					
食痕 ない	17	3	3	0	0
わずかにある	2	1	1	0	0
多い	0	0	0	0	0
わからない・無回答	8	3	1	0	3
対象がない*	1	3	2	0	2
ササ					
食痕 ない	15	8	1	0	2
わずかにある	1	2	2	0	0
多い	0	0	3	0	0
わからない	5	6	0	0	0
対象がない*	2	0	0	0	3

*枝葉のある天然木、稚樹またはササがない。

向を含む平面上にプロットされた（図-2）。データのばらつきは大きく、第1主成分で説明される分散は7.55%、第2主成分を含めても13.39%であった。

SPUEと各地点の第1主成分のスコアには有意な相関が認められたが（ $r=0.376$, $P<0.001$ ），データのばらつきは大きかった（図-3）。

4. 空間補間による地図化

各地点の第1主成分のスコアおよびクリギング法によって空間補間した結果を図-4に示す。エゾシカによる天然林への影響が著しいと評価された地点は日高地方、白糠丘陵から阿寒湖周辺、知床半島、宗谷地方に集中していた。一方、留萌南部から積丹半島にかけての日本海側と渡島半島ではシカの痕跡等の報告は非常に少なかった。その他の多くの地域でシカの影響を受けていると推定された。

IV. 考 察

本研究では、北海道全域の多様な天然林を対象として、森林管理署職員がチェックシートに記載された選択肢を選択することにより、天然林におけるシカの影響を評価することを試みた。多重対応分析において、各項目のカテゴリースコアの第1主成分は、シカが多く生息して影響が強いほど大きな値となった。第2主成分では、食痕の有無がわからないとする回答のスコアが小さい値となった。この結果、各項目の第1主成分と第2主成分のスコアをプロットすると、シカが多いことを示す回答、シカが少ないことを示す回答、食痕等がわからないという回答の三つの方向に分け

表-3. エゾシカの痕跡に関する森林管理署職員と技術者の回答の比較

森林管理署職員の回答	技術者の回答	
	ある	ない
シカ道	17	3
	6	24
足跡	14	5
	10	21
糞	3	10
	7	30
骨・死体	0	1
	1	48
角	1	2
	0	47
シカの鳴声	0	2
	3	45
シカの目視	3	10
	2	35

られた。この結果から、第1主成分スコアがシカの影響を示す指標として有効であると考えられる。

北海道では、エゾシカの生息状況を示す指標として、エゾシカの狩猟努力量当りの捕獲数および目撃数やライトセンサスなどが活用されており（宇野ら2007），2010年度のエゾシカの狩猟努力量当りの捕獲数および目撃数から、高密度地域が釧路、根室、オホーツク、十勝、日高、胆振、上川、宗谷地域にみられたことが報告されている（宇野・玉田2012）。また、森林被害について、明石（2009）は北海道を12区分するエゾシカ保護管理ユニットごとに幼齢人工林のエゾシカ食害を集計し、広葉樹の食痕はすべてのユニットで確認されたが、なかでも日高山系西部や釧路地方、根釧原野で食痕本数率の高い林分が多いことを報告した。多雪地では、積雪がエゾシカの行動を阻害することによって、限られた越冬地周辺の枝や樹皮に依存する期間が長くなり、エゾシカの生息密度が低くても局所的に被害が発生する可能性があると考えられている（明石・南野2008；明石2012）。本研究における多重対応分析による第1主成分スコアが0.0025以上の地点は、日高地域、十勝と釧路にまたがる白糠丘陵、知床半島、宗谷地域に多くなっていた（図-4）。また、比較的積雪の多い上川地域では、スコアの大きい地点と小さい地点が混在し、局所的に強い影響が確認された。このような調査結果は、エゾシカの生息状況や森林被害に関する上述のような既存の情報と比較して、妥当なものと思われる。

植生学会企画委員会（2011）のアンケート調査は多くの項目を含むものの、自然植生への影響は定性的な5段階評価であった。また、Fujiki *et al.*（2010）、Kishimoto *et al.*（2010）のSDRでは、低木層の植被率を指標として6段階評価を行った。これらはほぼ単一の項目による評価であるのに対し、本研究で用いたチェックシートは多くの項目を含み、多重対応分析によってシカの影響を示すスコアを算出することにより、複数の項目から総合的に評価を行った。また、日本の冷温帯天然林の林床でしばしば優占するササ類は、樹木実生との競争によって実生の定着を阻害して

おり (Nakashizuka 1987; Noguchi and Yoshida 2004; Itô and Hino 2005), シカの影響がない状態においても天然林における稚樹の動態が十分に明らかにされていない。そのため、植生学会企画委員会 (2011) が評価の目安の一つと

する草本・低木の減少や、SDRが指標とする低木層の植被率の判定が難しい場合がある。今回のチェックシートにおいて、食痕を観察する対象となる稚樹、下枝、萌芽などがないという回答は、多重対応分析では食痕がないという

図-2. 多重対応分析における各地点のスコアとカテゴリースコア
アルファベットと数字は回答項目 (表-1) を示す。

図-3. 多重対応分析における第1主成分と
SPUEの関係

図-4. 各調査地点における多重対応分析のスコアおよびクリギング法による国有林の範囲への空間補間

回答の近くに位置し（図-2）、これらがシカによる採食のために消失したのではない場合が多いことが示唆された。そのため、低木層の状態をシカの影響の指標とするには、シカ、樹木、ササ類の複雑な相互作用を解明することが求められる。

下層植生の衰退が認識される状態は、植生に対するシカの影響がすでに強くなっていることを示唆する（Akashi 2009；明石 2012）。SDRでは、シカの食痕がない場合をND、食痕がある場合に植被率によって0～4と判定しており（Fujiki *et al.* 2010）、食痕の有無は影響が軽微な段階で認識可能な指標であると考えられる。今回のチェックシートでは、主にシカの食痕の有無を記録することにより、ササ類の有無に関わらず評価が可能であった。図-4に示すように、シカの影響が軽微な地域（緑色）とシカの痕跡がほとんどない地域（青色）が識別されたことは、シカの影響が顕著になる前に先手管理を行う上で、大きな意義がある。

シカの痕跡は、足跡、シカ道、糞、目視の順に確認件数が少なくなった。骨・死体、角、鳴声の確認はわずかであったが、これらの項目は調査の季節によってはシカが生息していても確認できないことも多いため、エゾシカの生息状況を評価するための指標に含むのは難しいと考えられる。調査手法の簡素化のためにも、チェックシートに含む項目についてはさらに精査する必要がある。

シカの食痕に関する項目では、「わからない」という回答が208～233件あった。野ウサギや野ネズミの食痕、虫害等とエゾシカ食痕の違いは明瞭でない場合もあり、「わからない」という回答につながったと考えられる。技術者の回答では「わからない」という回答はなく、食痕が確認された割合も高かった。これらの結果は、森林管理に関わる職員による調査には、食痕の見落としが含まれている可能性を示唆している。多数のデータを得るために、より多くの関係者が調査に関わるほど、調査者の技術レベルのばらつきは大きくなると考えられる。本調査を実施するにあたり、森林管理署職員を対象とする研修や、研究者と森林管理所職員が参加する現地検討が実施されたが、このような機会を通じて、調査者の技術レベルを向上させていく必要がある。しかし、前述のように、北海道全域の評価結果は妥当なものと考えられ、調査者によるばらつきは調査件数が多くなることでカバーされたと考えられる。調査の継続によって、調査者の技術レベルの向上が期待されるとともに、シカの影響についてより多くの関係者の関心が高まれば、より早い段階での対策につながるなどの効果も考えられる。

地理的な広がりを持つ調査結果をわかりやすく示すためには、地図化は有効な手段である。離散的な調査地点のデータから空間補間を行う手法として、近年クリギング法が使われることが多くなり、シカの生息密度についても用いられている（例えば、Kondoh *et al.* 2007）。図-4では、各調査地点が局所的な評価を示すのに対して、クリギング法に

よって周辺の情報を考慮した評価を行うことで、その地域の平均的な評価が示された。一方、調査地点が少ない場合には、信頼性の低い評価になる。また、日高山脈のような高山帯や市街地などによるシカの生息地の分断が考慮されずに、周辺の調査地点の情報によって補間されるなど、この手法の限界も認識する必要がある。

本研究の成果をもとに、調査項目を精査するとともに、各項目に得点を付けることにより、国有林だけでなく、より多くの関係者がシカによる天然林への影響を簡便に把握することが可能になり、広域のシカ対策のための有効性の高い基礎データが得られると期待される。今回のチェックシートの項目は、北海道全域という広い範囲を対象として検討したものであるが、北海道以外の地域や、北海道内でも限られた地域を対象とする場合は、対象地域の植生に応じた評価項目の修正が必要であろう。その場合にも、本研究で示したような多重対応分析やクリギング法による地図化が、森林におけるシカの影響を視覚化する有効な手法になると考えられる。

本研究は、2009年から開始された北海道森林管理局による「エゾシカの立木被害等が天然更新等に与える影響調査」の一部として実施された調査のデータを解析したものである。チェックシートの作成にあたっては、この調査の検討委員であった藤巻裕蔵、小泉 透、富士田裕子、丸山 温、森貞和仁、竹中 健の各氏からの意見が反映された。調査は多数の森林管理署職員によって実施された。ここに記して感謝します。

引用文献

- Akashi N (2009) Simulation of the effects of deer browsing on forest dynamics. *Ecol Res* 24: 247–255
- 明石信廣 (2009) 幼齡人工林におけるエゾシカ食害の発生状況とエゾシカ生息密度指標との関係. *日林誌* 91: 178–183
- 明石信廣 (2012) 北海道の森林に広がるエゾシカの影響. *北海道の自然* 50: 63–69
- 明石信廣・南野一博 (2007) エゾシカの低密度地域における生息密度指標. *日林北支論* 55: 104–106
- 明石信廣・南野一博 (2008) 空知地方におけるエゾシカの生息状況と森林への影響. *光珠内季報* 152: 10–13
- Akashi N, Nakashizuka T (1999) Effects of bark-stripping by sika deer (*Cervus nippon*) on population dynamics of a mixed forest in Japan. *For Ecol Manage* 113: 75–82
- Akashi N, Unno A, Terazawa K (2011) Effects of deer abundance on broad-leaf tree seedling establishment in the understory of *Abies sachalinensis* plantations. *J For Res* 16: 500–508
- Fujiki D, Kishimoto Y, Sakata H (2010) Assessing decline in physical structure of deciduous hardwood forest stands under sika deer grazing using shrub-layer vegetation. *J For Res* 15: 140–144
- Gill RMA (1992) A review of damage by mammals in north temperate forests: 1. Deer. *Forestry* 65: 145–169
- 井上友樹・宮島淳二・村上拓彦・光田 靖・吉田茂二郎 (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. *日林誌* 87: 111–116
- Itô H, Hino T (2005) How do deer affect tree seedlings on a dwarf bamboo-dominated forest floor? *Ecol Res* 20: 121–128
- Kishimoto Y, Fujiki D, Sakata H (2010) Management approach using simple indices of deer density and status of understory vegetation for conserving deciduous hardwood forests on a regional scale. *J For Res* 15: 265–273
- Koda R, Noma N, Tsujino R, Umeki K, Fujita N (2008) Effects of sika deer (*Cervus nippon yakushimae*) population growth on saplings in

- an evergreen broad-leaved forest. *For Ecol Manage* 256: 431–437
- Kondoh H, Ikeda K, Koizumi T (2007) Spatial estimation of sika deer population density distribution. *J For Plann* 13: 1–14
- 宮島淳二・草野静代 (2003) 熊本県におけるシカ被害の実態. *九州森林研究* 56: 222–224
- Miyaki M, Kaji K (2004) Summer forage biomass and the importance of litterfall for a high-density sika deer population. *Ecol Res* 19: 405–409
- Miyaki M, Kaji K (2009) The dynamics of forest stands affected by sika deer on Nakanoshima Island: Change of size structure similar to the thinning effect. In: *Sika deer: Biology and management of native and introduced populations*. McCullough DR, Takatsuki S, Kaji K (eds.) Springer, 181–191
- Murata I, Saruki S, Kubota K, Inoue S, Tashiro N, Enoki T, Utsumi Y, Inoue S (2009) Effects of sika deer (*Cervus nippon*) and dwarf bamboo (*Sasamorpha borealis*) on seedling emergence and survival in cool-temperate mixed forests in the Kyushu Mountains. *J For Res* 14: 296–301
- Nakashizuka T (1987) Regeneration dynamics of beech forests in Japan. *Vegetatio* 69: 169–175
- Noguchi M, Yoshida T (2004) Tree regeneration in partially cut conifer-hardwood mixed forests in northern Japan: roles of establishment substrate and dwarf bamboo. *For Ecol Manage* 190: 335–344
- Nomiya H, Suzuki W, Kanazashi T, Shibata M, Tanaka H, Nakashizuka T (2003) The response of forest floor vegetation and tree regeneration to deer exclusion and disturbance in a riparian deciduous forest, central Japan. *Plant Ecol* 164: 263–276
- R Development Core Team (2011) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Ribeiro Jr PJ, Diggle PJ (2001) geoR: A package for geostatistical analysis. *R-NEWS* 1(2): 15–18
- 阪部智子・矢部恒晶・矢島 崇・渋谷正人・高橋邦秀 (1998) 知床半島岩尾別地区におけるエゾシカ越冬地の樹木被害. *北大演研報* 55: 113–122
- 植生学会企画委員会 (2011) ニホンジカによる日本の植生への影響—シカ影響アンケート調査 (2009–2010) 結果—. *植生情報* 15: 9–96
- Takatsuki S, Gorai T (1994) Effects of sika deer on the regeneration of a *Fagus crenata* forest on Kinkazan Island, northern Japan. *Ecol Res* 9: 115–120
- Tsujino R, Yumoto T (2004) Effects of sika deer on tree seedlings in a warm temperate forest on Yakushima Island, Japan. *Ecol Res* 19: 291–300
- 宇野裕之・玉田克巳 (2012) エゾシカの狩猟努力量当りの捕獲数及び目撃数. *環境科学研究センター所報* 2: 35–40
- 宇野裕之・梶 光一・車田利夫・玉田克巳 (2007) エゾシカ個体群の個体数管理とモニタリング. *哺乳類科学* 47: 133–138