ヒグマの
Ursus arctos
HSIモデル ver.1.0

ハビタット
評価モデル
シリーズ 7

(財)日本生態系協会
Ecosystem Conservation Society - Japan

ハビタット評価モデルシリーズ 7

ヒグマの
HSIモデル ver.1.0

(財)日本生態系協会
Ecosystem Conservation Society - Japan

ハビタット評価モデルシリーズの刊行にあたって

自然と共存する美しい日本の再生が、今、求められています。20世紀は、我々と将来世代の重要な財産である自然環境が、国内外を問わず徹底的に損なわれ、失われた、「ネットロス」の時代でした。今世紀に入って、持続可能な社会の構築が世界共通の最重要課題となり、日本においても国土のグランドデザインを描き直し、残された自然環境の総量を確保すること（ノーネットロス）と、失われた自然を再生すること（ネットゲイン）が焦眉（しょうび）の課題となっています。これらの難題に対しては、我が国でも環境アセスメント制度や自然再生事業をはじめ、様々な施策が徐々に制度化されつつあります。しかし、どのような施策にせよ、その実効性を高める上で欠くことのできないツール、それが、適切な環境評価手法です。

現在、日本で最も注目されている環境評価手法に、アメリカ合衆国で約30年の実績をもつ、「ハビタット評価手続き（HEP, ヘップ）」があります。ヘップのコンセプトは、選定した評価種の生息環境（ハビタット）の価値を、ハビタットの質と、ハビタットの量、時間という３軸によって定量化するというものです。

ヘップは、定量スケールであること、シンプルで分かりやすいこと、標準化されていること、柔軟で適用範囲が広いことなど、合意形成ツールとして優れた特長を有し、環境アセスメントや自然再生事業、絶滅危惧種の保護管理といった幅広い分野で成果を上げています。日本においても、今後ヘップの活躍する場面が増えていくことは間違いありません。

本シリーズは、ヘップにおいて使用されるHSIモデルを、主要な日本産野生生物について作成し、冊子として逐次（ちくじ）公表することにより、我が国におけるヘップの普及ならびに適切な環境評価の実現に寄与することを目的として刊行されました。

本シリーズにおいて、各冊子は原則的に３部構成となっています。第１章では、既存文献を基に、対象種の生態やハビタット利用に関する情報が整理されています。第２章では、第１章の情報を踏まえた上で、野生生物とハビタットに関するデータを用いて、モデルの構築が行われます。そして、構築されたモデルは、第３章であらためて整理されます。すなわち、第３章がモデルそのものであり、第１章と第２章はモデルの根拠を述べた部分となります。

従来のHSIモデルでは、根拠が不明確なまま、主観的、感覚的にモデルが構築される場合も少なくありませんでした。本シリーズでは、対象種の生態に詳しい専門家の経験や感覚を尊重しつつも、極力、科学的、客観的なプロセスによりモデルの構築を行うよう努めています。このため、「どのようにモデルを構築したのか」という点を重視した構成となっています。

冊子のタイトルに付されたver.（バージョン）は、これらのモデルが常に改良の途上にあることを示しています。従って、今後もモデルの信頼度や使いやすさを高めるため、適宜、モデルのバージョンアップが検討されることになります。その際には、モデルを利用された皆様からのご意見が欠かせません。対象種の生態やモデルの構築方法、使い勝手等についてお気づきの点があれば、巻末の連絡先までコメントをお寄せください。また、本シリーズでは、今後もモデルの種類を追加していく予定です。新たなモデルに関するご提案も歓迎します。

より良いモデルの構築、科学に基づいた環境評価の実現、ひいては日本の生物多様性の保全と回復のために、今後とも、皆様のご理解とご協力をお願い申し上げる次第です。

最後となりましたが、本シリーズの刊行にあたっては、アメリカ合衆国内務省地質調査所、(財)日本生態系協会専門研究委員諸氏の方々をはじめ、多くの識者のご協力、ご指導をいただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

2004年６月

(財)日本生態系協会 会長　池谷 奉文

CONTENTS

1. ハビタット利用に関する既存文献情報

1 概要 ― 1
2 食物 ― 1
3 水 ― 2
4 カバー ― 2
5 繁殖 ― 2
6 行動圏 ― 2
7 森林連続条件 ― 2

2. ハビタット適性指数モデルの構築

1 方法 ― 3
a 使用データ、パフォーマンス・メジャー、ハビタット変数候補 ― 3
b 各季節における適性モデルの検討 ― 4
c HSIへの統合式の検討 ― 4
d フキ乾燥重量予測モデルの検討 ― 4
2 結果 ― 5
a 各季節における決定木モデル ― 5
b 各季節における適性モデル ― 9
c 天然林に対する適性モデル ― 9
d HSIへの統合式 ― 10
e フキ乾燥重量予測モデル ― 11
3 考察および今後の課題 ― 11

3. ハビタット適性指数モデル

1 モデルの適用範囲 ― 13
a 地理的範囲 ― 13
b 季節 ― 13
c 最小ハビタット面積 ― 13
2 モデルの構造およびハビタット変数の定義 ― 13
3 各季節および天然林に対する適性モデル ― 14
4 HSIへの統合式 ― 15
5 フキ乾燥重量予測モデル ― 15

4. 謝辞 ― 15

5. 引用文献 ― 16

6. 利用規約および利用申請書 ― 17

Ursus arctos

ヒグマ
のHSIモデル ver. 1.0

1 ハビタット利用に関する既存文献情報

1 概要

ヒグマ（*Ursus arctos*）は、世界的には北アメリカおよびユーラシア北部のツンドラ、森林地帯から砂漠まで、広い範囲に生息する（米田 2005, 佐藤 2006）。日本では、そのうち、亜種エゾヒグマ（*U. a. yesoensis*）が北海道のみに分布し、主に温帯林に生息する（間野 1996）。成獣の頭胴長は2～2.3メートル、体重は150～250kg（米田 2005）、オスの最高記録は400kg（仲村 2003）と日本最大の陸上野生動物である。

北海道では、明治以前まではほぼ全域にヒグマが分布していたと考えられるが、平野部の開拓と駆除によりその分布域は縮小し、現在では、渡島半島、積丹・恵庭（石狩西部）、天塩・増毛、道東・宗谷、日高・夕張という大きく5つの地域個体群に分断されている（佐藤 2005）。環境省（2007）のレッドリストでは、石狩西部と天塩・増毛地方の2地域の個体群が絶滅の恐れのある地域個体群（LP）に位置付けられている。

全道の総個体数は数千頭のオーダーと考えられているが、狩猟および有害駆除によって年間200～400頭が捕獲されている（北海道環境科学研究センター 2004）。

本種は、3月下旬から4月下旬頃にかけて冬眠から覚め（佐藤 2006）、その後、7月上旬にかけての期間が交尾期となる（坪田 1998）。交尾期が終わった夏から秋は過食生理期と呼ばれ、次の冬眠に必要な体脂肪を蓄えるために大量の食物を摂取する。11月から12月中旬にかけて本種は再び冬眠に入る。妊娠メスは、冬眠中に出産と授乳を行う（佐藤 2006）。

なお、以下のハビタット利用に関する情報は、主に佐藤（2006）をもとに整理したものである。

2 食物

本種の食性は多様で、これまでに150種ほどの種類の食物が報告されているが（北海道 1992）、糞分析（Sato & Endo 2006）や、駆除または狩猟で得られたヒグマの胃内容物の分析（Sato et al. 2005）によって、北海道におけるヒグマの食性には概ね以下のような季節パタンが存在することが明らかになっている。

春から初夏にかけてはフキ（Sato et al. 2004, 2005, 山崎・南山 2006）をはじめとした草本類の利用が最も多い。草本類は、その後、秋まで割合を減らしながらも利用され続ける。初夏から晩夏にかけては、アリ類を中心とする昆虫類が増加し、晩夏には農作物の利用割合が増える。秋にはヤマブドウやサルナシなどの液果類、ミズナラ等の堅果類がよく利用される。これらの秋の重要資源はいずれも人工林に比べ自然林に多く分布する（嶋崎 2007）ことから、特に秋のヒグマのハビタット利用は、自然林が中心となることが一般的である（Sato et al. 2008）。なお、日高夕張地域では秋に、道東宗谷地域では年間を通じてエゾシカの利用がみられる。

以上より、北海道のヒグマの食性は、植物質を中心とした雑食型であることと、春から秋にかけて草本類～昆虫類～果実類というメインフードの入れ替わりがみられることが、地域を問わず窺える。そして、この基本採食メニューに、利用可能性に応じて農作物や有蹄類が加わることになる。

なお、かつての北海道では、サケ科魚類が晩夏の重要な食物資源であった可能性が高いが、サケ科魚類の自然遡上が限られる現在では、知床の一部など限られた場所を除いて、利用可能な食物とはなっていない。

【本モデルの引用例】
嶋崎暁啓・佐藤善和・(財)日本生態系協会ハビタット評価グループ（2010）ヒグマのHSIモデルver.1.0.(財)日本生態系協会編. ハビタット評価モデルシリーズ 7 .(財)日本生態系協会,東京.

3 水

飲み水として沢の水などを利用することもあるが、一般に北海道のヒグマの生息地は水が豊富であるため、水場がハビタットの制限要因になっているとは考えにくい。アメリカクロクマやグリズリーのHSIモデルにおいても、ハビタットにおける水場の存在は生存必須条件とされていない。

4 カバー

北海道中央部に位置する大雪山では、夏から秋の採食場所として森林限界上部の高山帯が利用されるが、通常は樹林がカバーとして重要と考えられる。また、カナダでは、ヒグマは狩猟期に道路や林縁部を避けることが報告されている（Nielsen et al. 2004）。

5 繁殖

北海道渡島半島の場合、メスの生理的繁殖可能年齢は4歳であるが、5歳以下では子育てに失敗することが多いとされる（Mano & Tsubota 2002）。出産間隔は2.3～3年であり、出産一回あたりの産仔数は、6歳以下で平均1頭、7歳以上で平均1.8頭である（Mano & Tsubota 2002）。

交尾期は4～7月であるが、いわゆる着床遅延によって、受精卵は11下旬～12月上旬頃に着床する。出産は1月下旬～2月上旬に冬眠穴で行われ、出生時の体重はわずか420gである（坪田 2000）。冬眠穴は、雪に覆われた森林内が選択される（羽澄 2000）。北海道の場合、斜面の樹木の根元を自ら掘った土穴が多いが、岩穴や、まれに樹洞なども使われる（羽澄 2000）。出生後の幼獣は1年半ほど母親と行動を共にする。

6 行動圏

親子連れや交尾期のオス・メスペア以外は、ヒグマは基本的に単独で生活する（間野 1996）。北海道における電波発信機を用いた行動圏調査によると、メス成獣の年間行動圏面積は3～40 km^2、オス成獣は25～500 km^{2}である。地域や個体によってばらつきが大きいものの、オスの行動圏はメスよりも広く、多くのメスの行動圏と重複する。行動圏は雌雄とも隣接個体間で重複がみられることから、いわゆるなわばりは存在しないと考えられる。メス成獣の行動圏は安定しており、毎年ほぼ同じ範囲を行動する。なお次章で述べるように、本モデル作成に使用したデータは主に十勝郡浦幌町とその周辺地域で得られたものであるが、同地域におけるヒグマメス成獣の年間行動圏は34～59 km^{2}であった（Sato et al. 2008）。

7 森林連続条件

本種は広大な行動圏をもち、その北海道における分布域は森林の分布とほぼ一致する（間野ほか 2002）ことから、特に森林の分断は本種のハビタット適性に大きな影響を与えている可能性がある。なお、勇払平野では電波発信機を用いた調査により、同平野にかろうじて残された緑地帯をコリドーとして利用する個体の存在が明らかになっている（青井 2005）。

道路等によるハビタット分断効果については不明であるが、フロリダクロクマ（*Ursus americanus floridanus*）の例では、州間高速道路が、クマの移動の障害となっていることが示唆されている（Dixon et al. 2006）。

※1 パフォーマンスメジャー：HSIと対応する、個体群の具体的な指標値。

2 ハビタット適性指数モデルの構築

1 方法

(a)使用データ、パフォーマンス・メジャー、ハビタット変数候補

本モデルは、北海道東部に位置する十勝郡浦幌町およびその周辺の釧路市(旧音別町)・白糠郡白糠町にまたがる十勝森づくりセンター管内の道有林（標高50～700m）において、2005年６月～2006年８月に以下のような方法で取得したデータ（嶋崎 2007）を元に構築した。

ヒグマの生息調査は、エゾシカの肉を誘引餌とし、有刺鉄線によって体毛を採取するヘアトラップ（以下、HT）を用いて行った。調査時期は５季節に分け、５月上旬～６月上旬を晩春、６月中旬～７月中旬を初夏、7月下旬～８月下旬を夏、９月上旬～10月上旬を初秋、10月中旬～11月中旬を晩秋としたが、初夏については、2005年、2006年の2時期分を使用した。調査地内の多様な環境に計60基のHTを設置し、各季節に1回ずつの見回りを実施して、ヒグマの利用の有無を確認した。

ヒグマによるHT利用の判断は、HTに毛が付着していていた場合を「利用」とみなし、HTに毛が付着せず、かつ餌が残存していた場合を「非利用」とみなした。餌が消失していても毛が付着していない場合は、餌をぶら下げた木に残された爪跡などから利用の有無を判断した。利用の有無が分からない場合は「不明」とし、解析対象から除外した。

前節の文献調査の結果より、ヒグマのハビタット適性は、食物条件、カバー条件、繁殖条件、森林連続性条件によって決定されると考えられたが、ハビタット変数の多くは、これらの生存必須条件と一対一で対応するわけではない。このため、本モデルでは、生存必須条件ごとではなく、季節ごとにハビタット適性を検討することとした。すなわち、各季節におけるハビタット変数から各季節の適性指数モデルを直接構築した後、全季節を通した総合的なハビタット適性指数への統合方法の検討を行った。

パフォーマンスメジャー（PM）は、各季節においては、HTの「利用」を1、「非利用」を0とする二値データとした。全季節を通した総合的なハビタット適性指数を検討する際は、HTごとに、「不明」データを除いた全時期数でヒグマに「利用」された時期数を割って求めた0～1の値を「ヒグマ利用指数」として、これをPMとした。

ハビタット変数候補は極力、入手しやすいデータに基づくものを選定することとし、次のようにデータ化した。まず、HTの位置をGISに入力し、各HTについて、傾斜角、河川からの距離、道路からの距離、幅員5.5m以上道路からの距離、フキ乾燥重量の5変数を測定した。次いで、HTを中心に半径の異なる13種類のバッファ（半径50m，100m，150m，200m，250m，300m，500m，750m，1000m，1500m，2000m，2500m，3000m）を設定し、各バッファ内に含まれる幅員5.5m未満の道路長、幅員5.5m以上の道路長、全道路長、全河川長、天然林割合の5変数を計測した。すなわち、合計70変数をハビタット変数候補とした。

なお、傾斜角、河川、道路に関する変数については数値地図25000空間データ基盤より、天然林に関する変数については自然環境保全基礎調査の植生データよりデータを作成した。また、フキ乾燥重量については、2005年８月に各HTで採取したサンプル

を持ち帰り、通風乾燥機で乾燥させて測定した。

(b)各季節における適性モデルの検討

各季節における適性指数モデルは、次のように構築した。まず、決定木によりヒグマの利用の有無（利用あり＝1, 利用なし＝0）を予測する分類モデルを作成した後、GISを用いて道有林とその周辺範囲を50mグリッドで分割し、各グリッドにおける決定木モデルの予測値（以下、SI_grid）を求めた。決定木モデルは、樹木の成長方法をCART、分岐ルールをGini、樹木の最大深さを10、ケースの最小数を親10、子5として、樹木を最大深まで成長させた後、剪定を行った。

次に、季節ごとのヒグマの行動圏面積（Sato et al. 2008）を参考に、各季節における評価範囲を、晩春については半径2km円内、初夏は3km、夏は3.5km、初秋は3km、晩秋は2kmとし、各HT・季節において、これらの範囲内におけるSI_gridの平均値を求め、これをSI_avegとした。そして、ヒグマに実際に利用されたHTにおけるSI_avegの10パーセンタイル点を求め、この値でSI_avegを割ったものを、その季節における適性指数（SI値）とした（ただし、10パーセンタイル点を超えるSI_avegは1）。なお、ハビタット変数としてフキ乾燥重量が採用された季節については、(d)において述べた方法で作成したフキ乾燥重量予測モデルを用いて評価範囲内の変数値を求めた。

(c) HSIへの統合式の検討

全季節を通した総合的なハビタット適性指数への統合方法は、次のように検討した。まず、各季節の適性指数を乗法関数や幾何平均、算術平均、最小関数といった統合式候補によって統合し、HSI候補値を求めた。次に、これらのHSI候補値を説明変数、ヒグマ利用指数を目的変数とする散布図を統合式ごとに作成した上で、切片＝0、傾き＝1となるモデルからの95%分位点偏差が最も小さくなる統合式を採用した。

(d) フキ乾燥重量予測モデルの検討

ヒグマのモデルを適用する場合、通常、広大な範囲におけるハビタット変数の整備が必要となるため、現地でのサンプル採取が求められるフキ乾燥重量というハビタット変数は、そのままでは測定労力が膨大となり実用的ではない。そこで、フキ乾燥重量については、他のハビタット変数と同様に容易に入手できるGISデータから予測するモデルを、以下のとおり作成することとした。

モデル構築に際しては、フキ乾燥重量（g／m^2）を目的変数、標高（m）、傾斜角（度）、河川からの距離（m）を説明変数候補とした。そして、説明変数候補の組み合わせを変えて構成した複数のモデル候補において、最小絶対値回帰を行い、AICcを比較して最適なモデルを選択した。

回帰には、(a)で述べた各HTにおけるデータと、2006年７月にHT以外の任意の30地点において同様の方法で取得したデータを併せて使用した。

2 結果

(a)各季節における決定木モデル

各季節において得られた決定木モデルを以下に示した。なお、図中のカテゴリ1はヒグマの利用あり、0は利用なし（非利用）を示す。

晩春の決定木モデルは、第一段階目に幅員5.5m以上道路からの距離で分岐した後、第二段階目以降の分岐において、半径750m内に河川が少ないか幅員5.5m以上道路に近い方が、ヒグマに利用されるというモデルとなった（図1）。

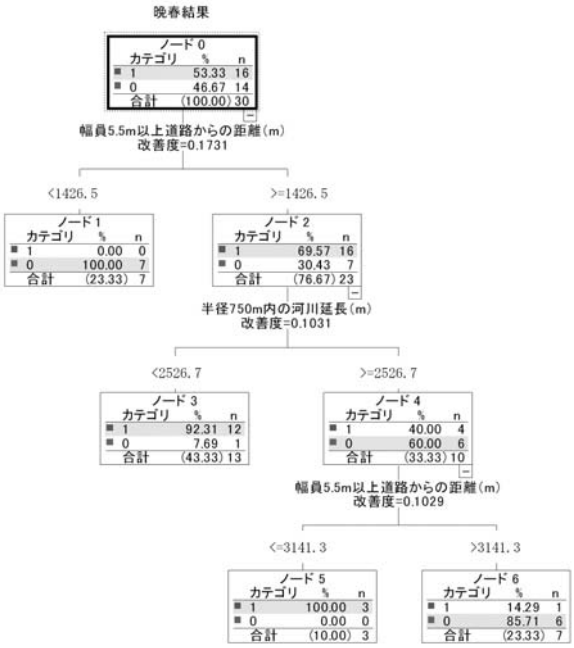

図1. 晩春におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル

しかし、第二段階目以降の分岐については、ヒグマの生態学的な知見から適切な説明ができない。このため、本モデルでは、晩春の第二段階目以降のノードを削除することとした（図2）。

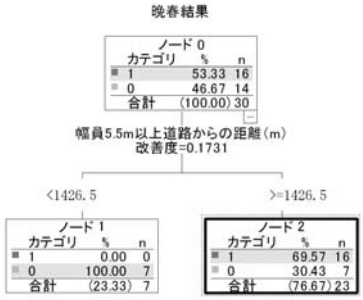

図2. 晩春におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル
（第二段階目以降のノードを削除）

初夏の決定木モデルは、まずフキ乾燥重量で分岐した後、幅員5.5m以上道路から3km以上離れている地点や、半径2500m内の道路延長が短い地点、半径1500m内の河川延長が長い地点がヒグマに利用されるというモデルとなった（図3）。

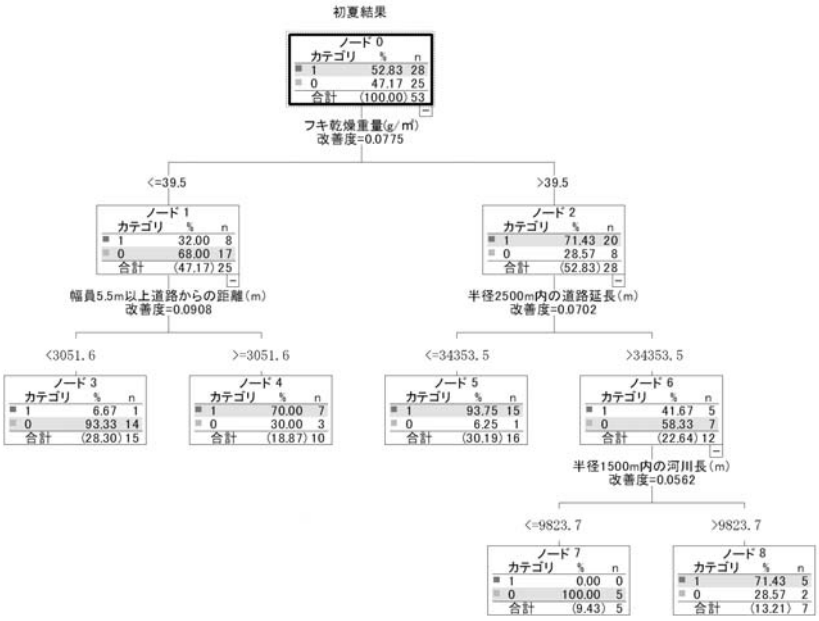

図3. 初夏におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル

夏期の決定木モデルでは、周辺に道路が多いほどヒグマに好まれる傾向が示された（図4）。

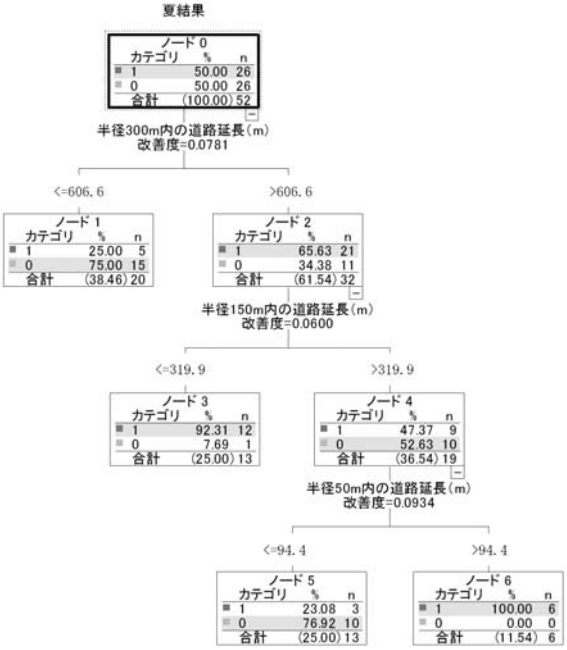

図4. 夏におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル

しかし、これは、夏期には畑作物を求めて人間の活動域に誘引されることを示唆するものと思われる。そこで、第一段階目の分岐において、半径300m内の道路延長に次いで改善度の高い説明変数である「半径2000m内の河川延長」を選択して、樹木の成長と剪定を行ったところ、図5のようなモデルが得られた。

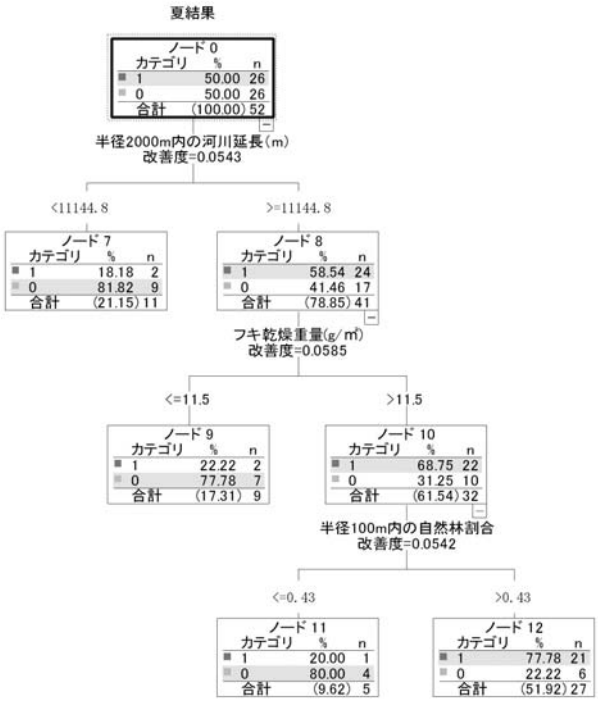

図5. 夏におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル
（第一段階目の分岐で説明変数を変更）

初秋の決定木モデルによると、第一段階目で半径500m内の河川延長で分岐した後、第二段階目の分岐において、半径3000m内に天然林が少ない方がヒグマに利用されるというモデルとなった（図6）。

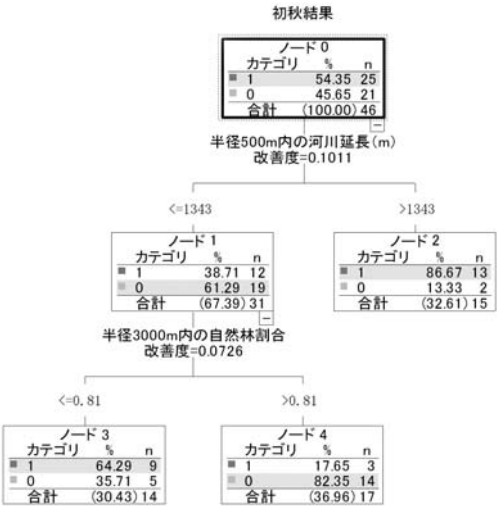

図6. 初秋におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル

しかし、特に秋期においてヒグマは自然林で多く生産される堅果類などを採食することが知られていることから、第二段階目の分岐は適切ではない恐れがある。このため、本モデルでは、初秋の第二段階目以降のノードを削除することとした（図7）。

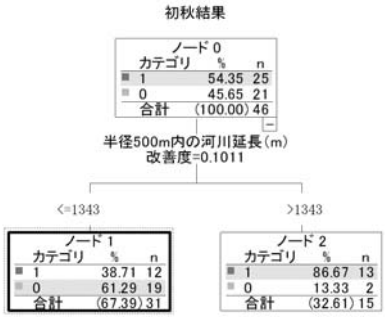

図7. 初秋におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル（第二段階目以降のノードを削除）

晩秋期の決定木モデルでは、周辺の道路が少ないほどヒグマに好まれる傾向が示された（図8）。

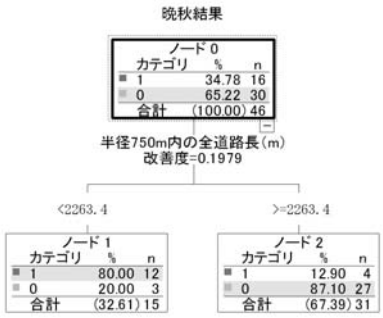

図8. 晩秋におけるヒグマ利用の有無を予測する決定木モデル

(b)各季節における適性モデル

各季節における決定木モデルとGISを用いて、ヒグマに実際に利用されたHTにおけるSI_avegの10パーセンタイル点を求めたところ、晩春、初夏、夏、初秋、晩秋の順に、0.565、0.418、0.46、0.288、0.265という値が得られた。

この値でSI_avegを割ったものを、その季節における適性指数（SI値）とした（ただし、10パーセンタイル点を超えるSI_avegは1）。

(c)天然林に対する適性モデル

自然林はミズナラやサクラ類、サルナシ、ヤマブドウといったヒグマにとっての主要な食物が豊富な環境である（嶋崎 2007）ため、自然林や二次林の割合が増えるほどヒグマの適性度も上がることが予想される。実際、北海道環境科学研究センター（2004）は、全道のヒグマの分布情報を解析し、ヒグマの生息には天然林面積が大きく寄与していることを報告している。しかし、(a)で示した各季節における適性モデルでは、天然林割合の効果は限定的であった。これは、本モデルの構築に使用したデータが、天然林の割合の高い地域で取得されたものであることや、データを取得した2005年がミズナラの不作年に当たってしまったことなどが影響して、天然林と人工林の好適さの差が明瞭に現れなかったものと考えられる。

そこで、道内のヒグマの分布情報（北海道環境科学研究センター 2000）を用いて、天然林に対するヒグマの適性モデルを検討することとした。ヒグマの分布情報は、5km メッシュ（5 万分の1 の地形図を縦横それぞれ4 等分したもの；東西約5.0km_南北約4.6km）単位で整理されたものである。解析に際しては、まず5 万分の1 の地形図の範囲（つまり、5kmメッシュが4メッシュ分）における1991年と1997年調査の両時期で生息情報が得られたメッシュ数の割合を求め、これらをヒグマ生息指数とした。次に、このヒグマ生息指数を目的変数、天然林率（自然度7以上の在来樹林の面積が5 万分の1 の地形図に占める割合）を説明変数として分位点回帰を行ったところ、0.95分位点において有意な回帰式が得られた（p＝0.007）（図9）。

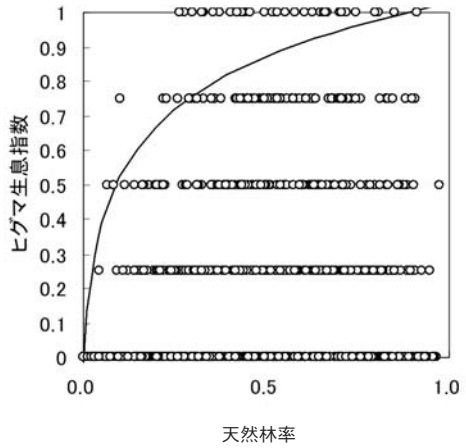

図9. 全道におけるヒグマ生息指数と天然林率の関係

得られた回帰線を天然林率に関するSIカーブとしたが、天然林率≧0.867でSI値を1とした（図10）。

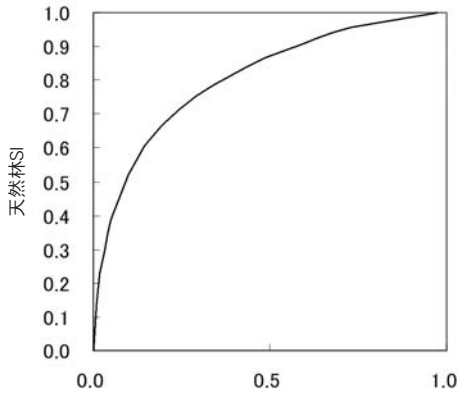

図10. 天然林率に関するSIカーブ

(d) HSIへの統合式

HSIへの統合に際しては、まず各季節の適性値を年間を通した適性値へ統合した後に、この年間SI（以下、SI1）と(c)で求めた天然林SI（以下、SI2）とを乗じてHSIを算出することとした。

年間を通した適性値については、ヒグマにとっては、どの季節における適性条件も欠かせないと考えられることから、制限的に（すなわち、乗法、幾何平均、最小関数によって）統合することとした。各統合式候補により算出された年間SIを説明変数、ヒグマ利用指数を目的変数とする散布図を作成した上で、切片＝0、傾き＝1となるモデルからの95%分位点偏差を求め、AICcを比較したところ、上記3種類の統合式候補の中では幾何平均のAICcが最も小さくなった（図11）。

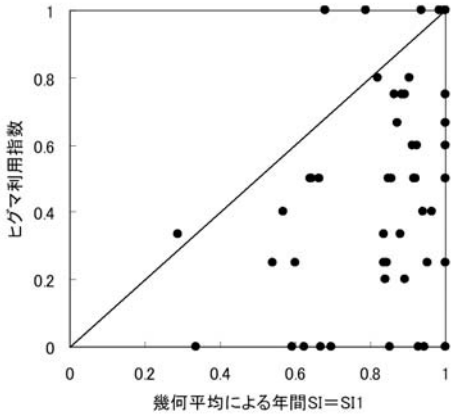

図11. 幾何平均により求められたSIとヒグマ利用指数との関係

従って、ヒグマのHSI統合式は、以下のとおりとした。

$$SI1 = (SI_{lspr} * SI_{esmr} * SI_{smr} * SI_{efall} * SI_{lfall})^{1/5}$$

$$HSI = SI1 * SI2$$

(e) フキ乾燥重量予測モデル

説明変数候補（標高（m），傾斜角（度），河川からの距離（m））と目的変数（フキ乾燥重量（g／m²））との散布図を参考に、モデル候補を14式用意した（表1）。

表1. フキ乾燥重量予測モデルの候補.フキ乾燥重量(g/m²)をBTB,標高(m)をALT,傾斜角(度)をSLP,河川からの距離(m)をRIVとした.

モデルNo.	式
モデル1	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(ALT+1) + \varepsilon$
モデル2	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(SLP+1) + \varepsilon$
モデル3	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(RIV+1) + \varepsilon$
モデル4	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(ALT+1) + \beta_2 \ln(SLP+1) + \varepsilon$
モデル5	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(ALT+1) + \beta_2 \ln(RIV+1) + \varepsilon$
モデル6	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(SLP+1) + \beta_2 \ln(RIV+1) + \varepsilon$
モデル7	$BTB = \beta_0 + \beta_1 \ln(ALT+1) + \beta_2 \ln(SLP+1) + \beta_3 \ln(RIV+1) + \varepsilon$
モデル8	$BTB = e^{\beta_0}(ALT+1)^{\beta_1} \varepsilon - 1$
モデル9	$BTB = e^{\beta_0}(SLP+1)^{\beta_1} \varepsilon - 1$
モデル10	$BTB = e^{\beta_0}(RIV+1)^{\beta_1} \varepsilon - 1$
モデル11	$BTB = e^{\beta_0}(ALT+1)^{\beta_1}(SLP+1)^{\beta_2} \varepsilon - 1$
モデル12	$BTB = e^{\beta_0}(ALT+1)^{\beta_1}(RIV+1)^{\beta_2} \varepsilon - 1$
モデル13	$BTB = e^{\beta_0}(SLP+1)^{\beta_1}(RIV+1)^{\beta_2} \varepsilon - 1$
モデル14	$BTB = e^{\beta_0}(ALT+1)^{\beta_1}(SLP+1)^{\beta_2}(RIV+1)^{\beta_3} \varepsilon - 1$

各モデル候補において、最小絶対値回帰を行い、AICcを比較したところ、モデル12が最適となったため、以下に示したモデル12式をフキ乾燥重量の予測モデルとした。

$$BTB = e^{10.52}(ALT+1)^{-0.986}(RIV+1)^{-0.271} - 1$$

3 考察および今後の課題

ヒグマのハビタット適性と関係するハビタット条件は季節によって様々であったが、大きく分けて、人間活動と採食資源の分布という２つの要因に影響を受けていることが示唆された。

人間活動の程度を表すために、今回、道路に関する条件を指数化したが、これらの条件はヒグマのハビタット適性に強い影響を与えていることが窺えた。例えば、晩春においてヒグマは、国道など幹線道路との距離が約1.4kmよりも近い場所を避ける傾向があった。初夏においても、幹線道路から約3km以内の地点や、半径2.5km内の道路密度が高い地点は忌避され、晩秋も半径0.75km内の道路密度が高い地点は好まれなかった。一般に道路の存在はヒグマにとってネガティブに働く（Kaczensky et al. 2003）とされ、Lyons et al.（2003）も、道路の付近は死亡率が上がることから危険であると述べている。実際、カナダのヒグマは狩猟期に道路や林縁部から離れた場所を利用している（Nielsen et al. 2004）。

当地の場合も、道路とその周辺は狩猟者の入り込み数が多いため、本種に忌避されているものと考えられた。北海道におけるエゾシカの狩猟期は、調査を実施した2005年度の場合は10月25日～1月31日までであることから、晩秋には、道路密度の高いエリアが忌避されたものと考えられる。晩春についても、冬眠明け後の最初の時期であることから、狩猟の影響を受けにくい場所を晩秋期に冬眠場所として選択した結果が、晩春期のハビタット選択に反映された可能性がある。実際、同調査地においてSato et al.（2008）が追跡した個体も、幹線道路から離れた地点で冬眠を行っていた。なお、非狩猟期である初夏については、道路とその周辺に、山菜採りの人間が多数訪れることが影響していた可能性が考えられる。

抽出された要因の内、採食資源に関係すると考えられるものとしては、フキの量や河川の存在が挙げられる。初夏において、フキの量は本種のハビタット選択に最も強く影響する要因となっていたが、これは、フキが初夏の重要な採食資源（Sato et al. 2004）であることを反映したものといえる。また、半径1.5km内の河川長についても、フキの量に関連した変数であったと考えられる。

一方、夏から秋にかけて、河川密度は、河畔林に多く存在するヤマブドウの量を指標する変数となっていた可能性がある。

以上のように、本モデルでは、ヒグマの活動期である晩春から晩秋までの期間について、季節毎に変化するハビタット要求を定量化し、これらを統合することによって、活動期全体を通してのハビタット適性を表現することができた。しかし、以下に示したような課題点も残されており、今後も引き続きモデルの改良を進めていく必要がある。

(1) 生存必須条件について

本モデルでは、繁殖、食物、カバーといった生存必須条件ごとに適性度の検討を行ったわけではないが、天然林割合や河川に関する変数は食物条件と、道路に関する変数はカバー条件と、天然林割合や道路に関する変数は森林連続性条件とそれぞれ関連していたものと考えられる。一方、繁殖や冬眠に関する条件については十分に検討を行うことができなかった。一般に、ヒグマは冬眠明け後しばらくの期間、冬眠穴周辺に留まる（門崎・犬飼 2003）ことが知られているため、晩春の適性モデルが冬眠条件をある程度反映している可能性はあるものの、ハビタット条件と繁殖・冬眠適性との直接的な関係については、今後の検討課題である。

(2) ハビタット変数について

本モデルでは、天然林に関するハビタット変数を、比較的入手が容易な自然環境保全基礎調査の植生図データに基づいて算出したが、同植生図では把握できない森林の下層植生が、ヒグマのハビタット選択に影響している可能性も指摘されている（早稲田 1999, 小林 2004）。また、ヒグマにとっての重要採食資源であるヤマブドウやサルナシ、コクワなどは林縁に多く存在するため、小縮尺の植生図では表現できない林冠ギャップの存在もヒグマのハビタット適性に影響するかもしれない。このため、同植生図上では同じ天然林、あるいは人工林として区分される環境であっても、ヒグマにとっての価値に差が生じている可能性は高い。今後は、LiDARデータの活用や、地形条件等から林床の状態を予測するモデルの構築などにより、下層植生を含む林内構造を把握し、モデルに反映させていく必要があるだろう。

(3) モデルの適用範囲について

今回構築したモデルは、北海道東部の主に標高600m以下の山地・丘陵域におけるデータに基づいて構築されたものであり、例えば高山域や湿原といった環境条件が大きく異なる地域でのモデルの適合性については不明である。このため、今後は、他地域におけるモデルの検証と改良が必要である。

(4) パフォーマンス・メジャーについて

今回、パフォーマンス・メジャーとしては、ヒグマがHTを利用した時期数の割合や5万分の1の地形図の範囲における生息メッシュ数の割合を用いたが、ヒグマの実際の生息密度との関係については不明である。今後は、適切な生息密度の指標に関する検討と検証を進める必要がある。

3 ハビタット適性指数モデル

1 モデルの適用範囲

(a) 地理的範囲

本モデルは、主に十勝森づくりセンター管内の道有林（標高50～700m, 十勝郡浦幌町・釧路市・白糠郡白糠町）における研究データに基づいて作成された。このため、本モデルの適用範囲としては、主に道東南部の丘陵から山地が推奨される。

(b) 季節

本モデルは、ヒグマの周年を通じたハビタット要求を評価するものである。

(c) 最小ハビタット面積

浦幌地域における本種メスの最小年間行動圏面積は34km²であるため、少なくとも、ハビタットの合計が30km²に満たなければヒグマにとってのハビタット適性はない（HSI＝0）ものとする。

2 モデルの構造およびハビタット変数の定義

ヒグマのHSIは、各季節のハビタット条件と、天然林条件によって規定されるものとした。ハビタット変数、生存必須条件、およびヒグマのHSIの関係については、図12に示した。

ハビタット変数の定義は次頁の通りである。

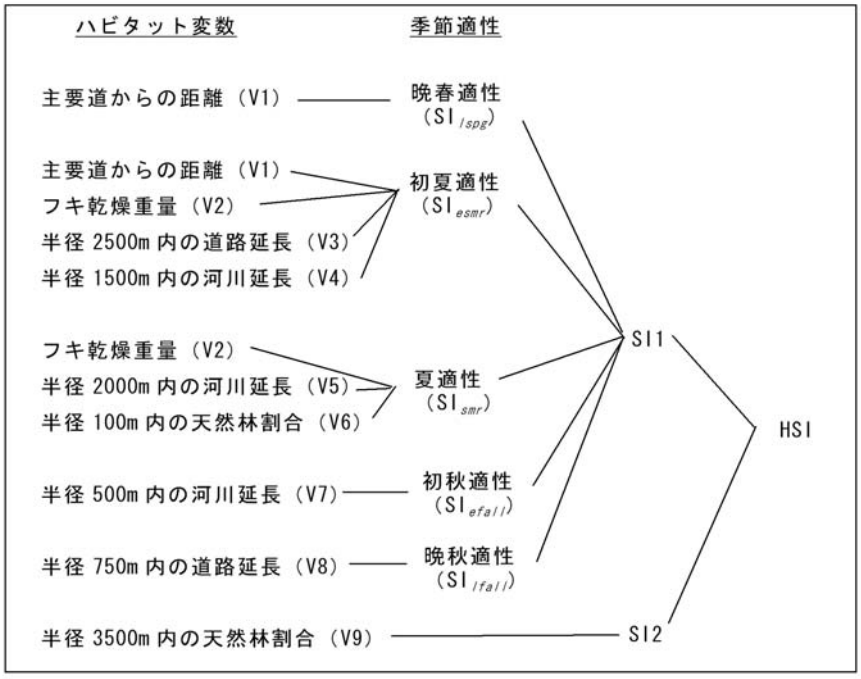

図12. ヒグマのモデルにおける、ハビタット変数、季節適性、HSIの関係.

V1　幅員5.5m以上道路(鉄道は含めず)からの距離（m）
V2　フキ乾燥重量（g／m^2）※1.フキ乾燥重量予測モデルより推定
V3　半径2500m内の全道路長（m）※2. 数値地図25000(空間データ基盤)における道路区間.ただし、自動車の通れない道は除く
V4　半径1500m内の河川延長（m）※3.数値地図25000(空間データ基盤)における河川区間
V5　半径2000m内の河川延長（m）※3と同様
V6　半径100m内の天然林割合 ※4. 自然度7以上の在来樹林率（0.0～1.0）
V7　半径500m内の河川延長（m）※3と同様
V8　半径750m内の全道路長（m）※2と同様
V9　半径3500m内の天然林割合 ※4と同様

3 各季節および天然林に対する適性モデル

SI_{lspr}：晩春期の適性指数

$$SI_{lspg}_grid = \begin{cases} 0.0 & V1 < 1426.5\text{の場合} \\ 1.0 & V1 \geqq 1426.5\text{の場合} \end{cases}$$

SI_{lspg}_aveg＝半径2km内のSI_{lspg}_gridの平均値
SI_{lspg}＝SI_{lspg}_aveg /0.565
ただし、$SI_{lspg} \geqq 1.0$の場合は、SI_{lspg}＝1.0

SI_{esmr}：初夏期の適性指数

$$SI_{esmr}_grid = \begin{cases} 0.0 & V2 \leqq 39.5 \text{ かつ } V1 < 3051.6\text{の場合} \\ & \text{または、} \\ & V2 > 39.5 \text{ かつ } V3 > 34353.5 \\ & \quad \text{かつ } V4 \leqq 9823.7\text{の場合} \\ 1.0 & V2 \leqq 39.5 \text{ かつ } V1 \geqq 3051.6\text{の場合} \\ & \text{または、} \\ & V2 > 39.5 \text{ かつ } V3 \leqq 34353.5\text{の場合} \\ & \text{または、} \\ & V2 > 39.5 \text{ かつ } V3 > 34353.5 \\ & \quad \text{かつ } V4 > 9823.7\text{の場合} \end{cases}$$

SI_{esmr}_aveg＝半径3km内のSI_{esmr}_gridの平均値
SI_{esmr}＝SI_{esmr}_aveg /0.418
ただし、$SI_{esmr} \geqq 1.0$の場合は、SI_{esmr}＝1.0

SI_{smr}：夏期の適性指数

$$SI_{smr}_grid = \begin{cases} 0.0 & V5 < 11144.8 \text{ または } V2 \leqq 11.5 \\ & \quad \text{または } V6 \leqq 0.43\text{の場合} \\ 1.0 & V5 \geqq 11144.8 \text{ かつ } V2 > 11.5 \\ & \quad \text{かつ } V6 > 0.43\text{の場合} \end{cases}$$

SI_{smr}_aveg＝半径3.5km内のSI_{smr}_gridの平均値
SI_{smr}＝SI_{smr}_aveg /0.46
ただし、$SI_{smr} \geqq 1.0$の場合は、SI_{smr}＝1.0

SI_{efall}：初秋期の適性指数

$$SI_{efall}_grid = \begin{cases} 0.0 & V7 \leqq 1343 \text{ の場合} \\ 1.0 & V7 > 1343 \text{ の場合} \end{cases}$$

SI_{efall}_aveg ＝半径 3km 内の SI_{efall}_grid の平均値
SI_{efall} ＝ SI_{efall}_aveg /0.288
ただし、SI_{efall} ≧ 1.0 の場合は、SI_{efall} ＝ 1.0

SI_{lfall}：晩秋期の適性指数

$$SI_{lfall}_grid = \begin{cases} 0.0 & V8 \geqq 2263.4 \text{ の場合} \\ 1.0 & V8 < 2263.4 \text{ の場合} \end{cases}$$

SI_{lfall}_aveg ＝半径 2km 内の SI_{lfall}_grid の平均値
SI_{lfall} ＝ SI_{lfall}_aveg /0.265
ただし、SI_{lfall} ≧ 1.0 の場合は、SI_{lfall} ＝ 1.0

SI2：天然林に関する適性指数

$$SI2 = \begin{cases} 1 & V9 \geqq 0.867 \text{ の場合} \\ 1.03+(2.27*10^{-1})*LN(V9+0.01) & 0.867 > V9 \geqq 0.0008 \text{ の場合} \\ 0 & V9 < 0.0008 \text{ の場合} \end{cases}$$

4 HSI への統合式

$$SI1 = (SI_{lspr}*SI_{esmr}*SI_{smr}*SI_{efall}*SI_{lfall})^{1/5}$$

$$HSI = SI1*SI2$$

5 フキ乾燥重量予測モデル

フキ乾燥重量予測モデルに係るハビタット変数の定義は以下の通りである。

BTB　フキ乾燥重量（g ／ m^2）
ALT　標高（m）
RIV　河川からの距離（m）

モデルは以下の通りである。

$$BTB = e^{10.52}(ALT+1)^{-0.986}(RIV+1)^{-0.271} - 1$$

4 謝辞

本モデルの作成にあたり、茨城県自然博物館首席学芸員の山﨑晃司博士（（財）日本生態系協会専門研究委員）には、ご多忙にも関わらず、モデルの草稿に対する的確なご助言をいただいた。ここに、深く感謝の意を表したい。

5 引用文献

青井俊樹（2005）トラジロウのコリドーとその後. モーリー13号 pp.14-17.

Dixon, J.D., M.K.Oli, M.C.Wooten, T.H.Eason, J.W.McCown, D.Paetkau(2006) Effectiveness of a regional corridor in connecting two florida black bear populations. Conservation Biology 20:155-162.

羽澄俊裕（2000）クマ－生態的側面から. 川道武男・近藤宣昭・森田哲夫（編）冬眠する哺乳類. 東京大学出版会, 東京. pp.187-212.

北海道（1992）野生動物分布実態調査報告書 ヒグマ及びエゾシカの生物学的調査. 北海道保健環境部自然保護課, 札幌. 50+13pp.

北海道環境科学研究センター（2000）ヒグマ・エゾシカ生息実態調査報告書, 野生動物分布等実態調査（ヒグマ: 1991～1998年度). 北海道環境科学研究センター, 札幌, 118+21pp.

北海道環境科学センター（2004）野生動物分布等実態調査報告書（ヒグマ1999～2003年度). 北海道環境科学センター, 札幌.

Kaczensky, P., Knauer, F., Krze, B., Jonozovic, M., Adamic, M. & Gossow, H. (2003) The impact of high speed, high volume traffic axes on brown bears in Slovenia. Biological Conservation 111: 191-204.

門崎允昭・犬飼哲夫（2003）増補改訂版ヒグマ. 北海道新聞社, 札幌, 348+39pp.

環境省（2007）哺乳類レッドリスト.

小林由美（2004）北海道東部の浦幌町におけるメスヒグマの行動圏と環境利用. 帯広畜産大学畜産環境科学科卒業論文. 33+24pp.

Lyons, A.L., Gaines, W.L. & Servheen, C. (2003) Black bear resource selection in the northeast Cascades, Washington. Biological Conservation 113: 55-62.

間野勉（1996）ヒグマ.川道武男（編）日本動物大百科哺乳類Ⅰ,pp.148-152.平凡社,東京.

間野勉・鈴木透・大嶽怜（2002）個体群シンク空間における野生動物の生息地解析と保護管理－日本国北海道におけるヒグマを例に－. 北海道ギャップ分析研究会（編）北海道におけるギャップ分析研究報告書－新たな生物多様性保全戦略にむけて－, pp.120-126.

Mano, T. and T. Tsubota (2002) Reproductive characteristics of brown bears on the Oshima Peninsula, Hokkaido, Japan, Journal of Mammalogy 83: 1026-1034.

仲村昇（2003）斜里町における巨大ヒグマの捕獲記録について. Bears Japan4:17-18.

Nielsen, S.E., Herrero, S., Boyce, M.S., Mace, R.D., Benn, B., Gibeau, M.L. & S. Jevons (2004) Modelling the spatial distribution of human-caused grizzly bear mortalities in the Central Rockies ecosystem of Canada. Biological Conservation 120: 101-113.

Sato, Y., T. Aoi, K. Kaji and T.Seiki (2004) Temporal changes in the population density and diet of brown bears in eastern Hokkaido, Japan. Mammal Study 29: 47-53.

佐藤喜和（2005）北海道のヒグマの分布. モーリー13号 pp.45-47.

佐藤喜和（2006）ヒグマの生態. 天野哲也・増田隆一・間野勉（編）ヒグマ学入門. 北海道大学出版会, pp.3-16.

Sato, Y. and Endo, M. (2006) Relationship

between crop use by brown bears and *Quercus crispula* acorn production in Furano, central Hokkaido, Japan. Mammal Study 31: 93-104.
Sato, Y., T.Mano and S. Takatsuki （2005） Stomach contents of brown bears *Ursus arctos* in Hokkaido, Japan. Wildlife Biology 11: 133-144.
Sato, Y., Y. Kobayashi, T. Urata and S. Takatsuki （2008） Home range and habitat use of female brown bear（*Ursus arctos*）in Urahoro, eastern Hokkaido, Japan. Mammal Study, 33: 99-109.
嶋崎暁啓（2007）北海道東部浦幌周辺地域におけるヒグマの生息地利用解析および生息地評価モデル構築に関する研究．日本大学大学院修士論文．145pp.
坪田敏男（1998）哺乳類の生物③生理．東京大学出版会，東京．
坪田敏男（2000）クマー生理的側面から．川道武男・近藤宣昭・森田哲夫（編）冬眠する哺乳類．東京大学出版会，東京．pp.213-333.
山崎聡子・南山依里（2006）ミズナラ，サルナシ資源量の年次変化がヒグマの食性に与える影響．ひぐま通信，北海道大学ヒグマ研究グループ，札幌，(41): 45-55.
米田政明（2005）ヒグマ．阿部永（監修）日本の哺乳類[改訂版]，pp.77.東海大学出版会．
早稲田宏一（1999）北海道苫小牧地方におけるオスヒグマの行動様式と生息地利用の解析．北海道大学大学院地球環境科学研究科修士論文．15+19pp.

6 利用規約および利用申請書

利用規約

１．本モデルの著作権は(財)日本生態系協会に帰属し、著作権法によって保護されています。当協会の許可なく本モデルをウェブサイトや印刷媒体に転載することはできません。

２．非営利の学術研究または教育を目的として利用する場合は、出典を明記した上でご利用ください。営利目的などその他の目的で利用する場合は、事前に当協会の許可が必要となりますので、申請書に必要事項を記載の上、当協会まで郵送してください。

３．利用者が本モデルの利用や利用不能により被った直接的または間接的損害に対し、(財)日本生態系協会は一切の責任を負いません。

送付先

(財)日本生態系協会 ハビタット評価グループ
住所　〒171-0021
東京都豊島区西池袋2-30-20 音羽ビル
FAX　03-5951-2974

問い合わせ先

TEL　03-5951-0244

ハビタット評価モデル等利用申請書

平成　　年　　月　　日

(財)日本生態系協会会長殿

申請者　団体名
代表者　　㊞

担当者
住　所
ＴＥＬ
E-mail

利用規約および利用条件に同意の上、下記のとおり利用を申請します。

記

利用を希望するモデル	
利用目的 および 事業名・発注者名	
利用期間	

利用条件

１．上記の目的以外に利用しないこと。
２．利用結果を公表した場合は、速やかに当協会へそのコピーを提出するか、公表資料の入手方法を報告すること。

(財)日本生態系協会

(財)日本生態系協会は、国内や海外の情報を広く集め、自然と共存した持続する国づくり、まちづくりを進めるシンクタンクです。自然科学、社会科学の両側面から調査研究を行い、持続可能な発展を目指す国土計画や地域再生プロジェクトを提案しています。また、各種法制度に、自然との共存という視点を加えるための提言を行うとともに、環境教育活動、国際シンポジウムやセミナーの開催、ビオトープ管理士およびこども環境管理士の資格認証、書籍の企画、編集など、さまざまな普及啓発活動や技術指導も行っています。こうした活動は、会員をはじめとする多くのボランティアによって支えられています。

主な著書としては、『日本を救う「最後の選択」』（情報センター出版局）、『ビオトープネットワーク』（ぎょうせい）、『ビオトープネットワークII』（ぎょうせい）、『環境を守る最新知識』（信山社サイテック）、『環境の時代を迎える世界の農業』（(財)日本生態系協会）、『学校ビオトープ』（講談社）、『環境アセスメントはヘップ（HEP）でいきる』（ぎょうせい）、『美しいくにをつくる新知識』（ぎょうせい）などがあります。

連絡先
〒171-0021 東京都豊島区西池袋2-30-20 音羽ビル
TEL　03-5951-0244　　FAX　03-5951-2974
URL　http://www.ecosys.or.jp/eco-japan/

コメントの送付について

本モデルに関するご意見等がございましたら、所属、氏名、連絡先をご記入の上、下記送付先までコメントをお寄せください。貴重な情報として、モデル改訂時の参考とさせていただきますので、どうぞよろしくお願い申し上げます。

【コメント送付先】
(財)日本生態系協会 ハビタット評価グループ
住所　〒171-0021 東京都豊島区西池袋2-30-20 音羽ビル
FAX　03-5951-2974
E-mail　habitat@ecosys.or.jp
※電子メールはテキスト形式にてご送付ください（ファイルの添付、html形式のメールはご遠慮ください）。
※個別のご質問についてはお答え致しかねますので、予めご了承ください。

モデル作成

嶋崎暁啓 *1・佐藤喜和 *2・(財) 日本生態系協会ハビタット評価グループ

*1 NPO 法人 サロベツ・エコ・ネットワーク
*2 日本大学生物資源科学部森林動物学研究室

表紙写真

山元嘉基（NPO 法人サロベツ・エコ・ネットワーク）

ヒグマの HSI モデル ver.1.0

2010 年 2 月 発行

編集　財団法人日本生態系協会
発行　財団法人日本生態系協会
〒 171-0021
東京都豊島区西池袋 2-30-20 音羽ビル

＊禁無断転載・複製
©（財）日本生態系協会 2010

(財)日本生態系協会