原著論文 ORIGINAL PAPER

クマタカ *Spizaetus nipalensis* の狩り場環境の推定

名波 義昭¹⁾³⁾・田悟 和巳^{2)*}・鳥居 由季子²⁾・柏原 聡¹⁾⁴⁾

1) 財団法人ダム水源地環境整備センター 〒102-0083 東京都千代田区麹町2-14-2 麹町NKビル

2) 国土環境株式会社環境情報研究所 〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2

Yoshiaki NANAMI¹⁾³⁾, Kazumi TAGO^{2)*}, Yukiko TORII²⁾, and Satoshi KASHIWABARA¹⁾⁴⁾: Estimation of potential hunting area of Mountain Hawk Eagle *Spizaetus nipalensis*. *Ecol. Civil Eng.* 9(1), 21-30, 2006.

1) Japan Water Resources Environment Technology Center, NK Bldg, 2-14-2

Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0083, Japan

2) Metocean Environment Inc., Institute Environmental Informatics, 2-2-2 Hayabuchi, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 224-0025, Japan

Ecology and
Civil Engineering
応用生態工学

Abstract: We developed a method to estimate potential hunting areas of the Mountain Hawk Eagle, using data of seven pairs inhabiting Kyushu Island, Japan. Utilizing environmental data recorded where hunting behaviors were observed, we statistically identified those environmental factors that determined hunting areas. We concluded that estimating the distribution and amount of those environmental factors appropriate for hunting was the most effective method to define potential hunting area. We then, derived a method incorporating logistic regression analysis that allowed us to estimate the suitability for hunting of those areas not examined directly during the field survey. Using this method, we were able to estimate hunting areas of the Mountain Hawk Eagle in eight other regions in Japan quite accurately, thereby confirming the validity and general applicability of the method.

Key words: environment of habitat, hunting area, logistic regression analysis, Mountain Hawk Eagle, raptors

はじめに

クマタカ *Spizaetus nipalensis* (Hodgson, 1836) はアジア南部から東部に分布し、日本国内では北海道、本州、四国、九州の山地に留鳥として分布する(日本鳥学会 2000)。勾配のある山地を生息環境とするため、調査は行いにくく、その生態に関する報告は一般生態に関するもの(森本・飯田 1992)、営巣環境に関するもの(森本・飯田 1994;

西垣外ほか 1971)、餌動物に関するもの(柏原・名波 2005)などわずかである。

一方、平成9年6月の環境影響評価法の公布に伴い、重要種であり森林生態系食物連鎖の上位種でもあるクマタカは多くのダム事業で生態調査が行われるようになった(独立行政法人水機構 2004; 水資源開発公団 2001)。現在、これらのデータを使って行動圏を解析する方法についてはモデルが開発されているが(環境庁自然保護局

2005年7月12日受付, 2006年4月3日受理

* e-mail: tago@ideacon.co.jp

2)4) 現所属: いであ株式会社 〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2

Present Address: IDEA Consultants, Inc., 2-2-2, Hayabuchi, Tsuzuki-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 224-0025, Japan

3) 現所属: 独立行政法人水資源機構経営企画部 〒330-6008 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2 ランド・アクシス・タワー
Present Address: Incorporated Administrative Agency, Japan Water Agency, 11-2 Shintoshin, Chuo-ku, Saitama City, Saitama-pref, Japan

野生生物課編 1996), 狩り場については, 狩りの行われた植生等について整理した報告はあるものの(森本・飯田 1992), 行動圏の中の狩り場の位置を推定する方法についての論文はない. 今後, 環境影響評価の予測精度の向上や保全措置の計画を図るためにも, クマタカの狩り場を推定する方法を確立することには意義があると考えられる. そこで本論文では, ダム事業の環境調査の一環として行われたクマタカ調査のデータを用いて, クマタカの狩り場を推定する方法について検討した.

ダム事業における猛禽類調査は双眼鏡等を用いた目視観察により行われるが, このような目視観察の結果から猛禽類の狩り場を推定する従来の方法としては, 主に次のような方法があった. 一つ目は狩りが確認された場所を狩り場とする方法(江崎ほか 2000, 森本・飯田 1992). 二つ目は時間当たりの狩りに関する行動の確認頻度の高い地域を狩り場とする方法(Bohall-Wood & Collopy 1987). 三つ目は狩りに関する行動の確認頻度を植生別に集計し, その植生の分布状況との対比から統計的に確認頻度が有意に高い植生を狩り場とする方法である(Stoms et al. 1993).

一つ目の方法は調査範囲が平等に調査できるのであれば, 最も確実な方法であるが, クマタカの生息する環境は起伏の激しい山地帯であるため, 調査結果は観察地点からの視野範囲, 観察時間の長短に強く影響を受け, 結果的に観察の容易さにより狩り場の分布を偏って評価してしまう可能性が高い. 二つ目の方法では観察時間の長短による影響は改善されるものの, その他の問題点の一つ目の方法と同様である. 三つ目の方法は環境要因が植生という単一の条件に限定されている問題点がある. このように従来の狩り場の推定方法はいずれも問題点を含んでいる.

そこで本論文では, ダム事業の環境調査の一環として行われたクマタカ調査のデータを用いて, 目視調査で観察可能な範囲内のデータから解析が可能であり, その解析結果は観察できない範囲にも適用できること, 観察時間の長短に影響されないこと, 植生だけでなく様々な環境要因を解析項目として取り入れることを解析の条件として, クマタカの狩り場を推定する方法を検討した.

調査地と方法

調査は九州地方の 12 km×15 km の範囲内に生息する 7 つがいを対象に, 1993 年 3 月から 2003 年 10 月にかけて合計 377 日間行った. クマタカの保護の観点から, 本

論文の図については場所が特定できないように地形情報, 方位を除いて示した. 調査地は標高 160 m~1,450 m の山地帯で, 調査範囲の 98% は森林である. 常緑広葉樹林帯に属し, 主な植生はスギ・ヒノキ植林 *Cryptomeria japonica*-*Chamaecyparis obtusa* (49.2%) と常緑広葉樹林 (33.6%) である.

本論文に用いたデータはダム事業の一環として行われたクマタカ調査の結果を利用したものである. 調査は観察地点からの目視観察によった. 観察地点は広範囲を見渡せる地点や各谷部が観察できる地点を選び設定した. 調査に利用した観察地点数は合計 105 地点であった. 全ての観察地点について, 観察地点からの視野を山肌まで見える範囲(クマタカが樹上等に止まっても観察できる範囲), 上空のみ見える範囲(尾根の裏側などクマタカが高高度を飛翔しなければ見えない範囲)及び見えない範囲に区分し, 2 万 5 千分の 1 の地形図に記録した.

調査は複数地点での同時観察で行い, 1 日の調査地点の平均数は 8.2 地点であった. 各調査地点ごとに 1 名が倍率 7~8 倍の双眼鏡及び倍率 20~60 倍の望遠鏡を用いて 8:00 から 16:00 まで約 8 時間の定点観察を行った. 一部については早朝時間帯にも調査を行った.

各観察地点からの視野図と各観察地点ごとの調査時間から, 全調査期間内でどの範囲を何時間観察したかを整理した(以後, この図を累積観察時間図という). 累積観察時間図はメッシュにより整理した. 国土地理院刊行の「数値地図 50 m メッシュ (標高)」に従い, 調査範囲内を約 50 m 四方にメッシュ化した. ここでいう約 50 m メッシュとは「標準地域メッシュ」の「第 2 次地域区画」を経度方向及び緯度方向に 200 等分し, 格子間隔は南北方向で 1.5 秒, 東西方向で 2.25 秒としたものである. 全メッシュ数 54,523 個に対し累積観察時間が 500 時間未満のメッシュ数は 26,419 個 (48.5%), 500~1,000 時間が 6,421 個 (11.8%), 1,000~1,500 時間が 12,122 個 (22.2%), 1,500~2,000 時間が 8,762 個 (16.1%), 2,000~2,500 時間が 799 個 (1.5%) であった.

クマタカが確認された場合には, その位置を国土地理院の 2 万 5 千分の 1 の地形図に記録するとともに, 観察年月日, 個体数, 行動, 観察時間, 性別, 幼鳥・成鳥の区別, 個体の特徴, 同じ個体を同時に観察した地点の有無, 観察した地点名を記録した. 記録は分単位で行った.

また, 獲物に向かって急降下した行動(以下, ハンティングとする), 木などに止まりながら地表方向の獲物を探している, もしくは一点を凝視する行動(以下, 探餌止まりとする), 及び林への出入り行動(巣への出入りな

ど明らかに狩り行動でない場合を除く)を狩りに関する行動として記録した。なお、林への出入り行動は直接的に狩りを指標する行動ではないが、テレメトリー調査の結果から、林の中での狩りは林に飛び込んだ地点の周辺域で行われることが多いことから(山崎 私信),本論文では林への出入り行動についても狩りに関する行動とした。

解析方法

解析方法の概要

解析はロジスティック回帰分析(Agresti 2002; 浜田 1999; 丹波ほか 1996)により行った。ロジスティック回帰分析は、ある事象が「起こる」または「起こらない」というように、目的変数が二値応答を示す場合に用いられる最も一般的なモデルである。複数の説明変数を同時にモデルに入れることが可能であり、さらに目視調査で観察可能な範囲内のデータを用いて算出された回帰式に、目視調査で観察できない範囲の説明変数を入力すれば、目視調査で観察できない範囲についても狩りに関する行動が確認される確率が求められるという利点がある。

本論文では目的変数を狩りに関する行動の有無、説明変数を環境要素とし、ロジスティック回帰式を作成した。回帰式のモデルは以下の通りである。

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \cdots + \beta_n\chi_n$$

p: あるメッシュにおける狩りに関する行動が確認される確率

χ_n : 説明変数

β_n : 係数

β_0 : 定数

解析に当たっては、まず調査範囲全域の全てのメッシュ(54,523個)について累積観察時間、調査時に観察地点から山肌が見える範囲であったかどうか、説明変数(環境要素)のデータ及び目的変数(狩りに関する行動の有無)を入力した。

次に、回帰式を算出するために利用する範囲を決定し、その範囲内の狩りに関する行動が観察されたメッシュと観察されなかったメッシュの環境要素を比較することにより、回帰式を算出した。

最後に、算出された回帰式を基に調査範囲内の全てのメッシュについて狩りに関する行動が確認される確率を算出し、それを図示した。

説明変数(環境要素)

説明変数は餌動物の生息環境に係わる可能性がある環境要素、もしくはクマタカの狩り場に係わる可能性がある環境要素のうち、地図情報が得られた斜面方向、植生、傾斜角度(度)、最も近いクマタカの巣からの距離(m)、川からの距離(m)、1ha以上の人工構造物もしくは道路からの距離(m)の6項目とした。なお、標高も餌動物の生息環境に係わる可能性のある環境要素で、平面情報も得られたが、川からの距離との間に相関があったため、説明変数には採用しなかった。標高ではなく川からの距離を説明変数に採用した理由は、狩りを行う場所が行動圏の中の高い標高帯(例えば尾根)なのか低い標高帯(例えば谷部)なのかという相対的な位置関係を把握するためである。そのため、川からの距離が離れるほど尾根に近いという一般的な特性をもつ川からの距離の方を説明変数として採用した。

斜面方向及び傾斜角度の算出方法は神谷ほか(1999)に従った。斜面方向は対象メッシュの中心点と隣接するメッシュの中心点との位置関係から求め、8方位に区分し、傾斜角度は対象メッシュの中心点と隣接するメッシュの中心点の距離と標高差から求めた。植生は衛星画像の判読から作成した植生予察図を基に現地を踏査し作成した詳細な植生図を、スギ・ヒノキ植林、常緑広葉樹林・落葉広葉樹林、伐採・崩落裸地及びその他の植生の4つに類型し、各メッシュの中央点の植生をそのメッシュの植生とした。最も近いクマタカの巣からの距離とは、各メッシュの中心点から、つがいに関係なく現地調査により確認された最も近い巣の位置までの水平方向の最短距離を算出した。なお、本地域での隣接つがいとの巣間距離は平均で4,052m(7つがいでの巣の数は15)であることから、最も近いクマタカの巣からの距離とは実際にはほとんど自分の巣からの距離を示している。川からの距離とは、各メッシュの中心点から、国土地理院の2万5千分の1の地図で川の凡例表示がある最も近いメッシュの中心点までの水平方向の最短距離を算出した。1ha以上の人工構造物もしくは道路からの距離とは、各メッシュの中心点から、植生図から抽出した1ha以上の人工構造物もしくは国土地理院の2万5千分の1の地図で道路の凡例表示がある最も近いメッシュの中心点までの水平方向の最短距離とした。

目的変数(狩りに関する行動)

解析に当たっては、狩りに関する行動としてハンティング、探餌止まり及び林への出入りを目的変数とした。1羽1回の観察に対し1番はじめに観察された狩りに関

Table 1. No. of hunting behavior and No. of mesh used for each analysis

No. of hunting behavior	No. of hunting data	14
	No. of perching for seeking prey	247
	No. of going in and out from forest	333
	Total No. of hunting behavior	594
No. of mesh in study area	No. of mesh with hunting data	472
	No. of mesh without hunting data	54,051
	Total No. of mesh in study area	54,523
No. of mesh including surface of ground within 1 km from viewpoint	No. of mesh with hunting data	323
	No. of mesh without hunting data	17,756
	Total No. of mesh including surface of ground within 1 km from viewpoint	18,079
No. of mesh for formulation of regression equation	No. of mesh with hunting data	394
	No. of mesh without hunting data	46,665
	Total no. of mesh for formulation of regression equation	47,059

する行動を1データとして採用した。これにより解析にはハンティング14回(2.4%)、探餌止まり247回(41.6%)、林への出入り333回(56.1%)の合計594個のデータを利用した(Table 1)。狩りに関する行動が確認されたメッシュは472個、観察されなかったメッシュは54,051個であった。

回帰分析の対象範囲

ロジスティック回帰分析を行うためには、クマタカが狩り場として利用したメッシュと利用しなかったメッシュを明確に区分する必要がある。そのためにはまず「狩り場として利用されたかどうかを明確に区分できる精度で調査できた範囲」を抽出し、回帰式はその中のデータを用いて算出する必要がある。

本論文ではこのような精度を保証する観察条件を以下のように設定した。

目的変数であるハンティング、探餌止まり及び林への出入りは、いずれも山肌まで観察できることが条件であることから山肌まで見える範囲のみを観察条件とした。

また、観察地点からの距離が遠くなればなるほどクマタカを発見することは難しくなる。クマタカの狩りに関する行動の中では探餌止まりが最も発見しにくいことから、探餌止まりを十分な精度で発見できる距離であることが観察条件となる。この距離については、調査者の個人差が反映されるが、本論文では観察地点から1 km以内の範囲を観察条件とした。

さらに累積観察時間は便宜上1時間単位で算出したことから、累積観察時間が最低1時間以上の範囲であることを観察条件とした。

以上より、本論文では回帰式を算出するのに利用する範囲は「山肌まで見える範囲のみで、観察地点から1 km以内の範囲で、累積観察時間が1時間以上の範囲」とした(Fig. 1)。この全ての条件に該当するメッシュ数は18,079個であり、この範囲内で狩りに関する行動が確認されたメッシュ数は323個、観察されなかったメッシュは17,756個であった(Table 1)。

回帰分析にあたってのデータ処理

回帰式を算出するにあたり、以下のようなデータの処理を行った。

探餌止まりの場合、探餌止まりが確認された場所の周辺部においてもハンティングが行われることがあった。そこでまず、クマタカが探餌をしている場所と実際に餌を捕獲する場所の距離を整理した。

探餌行動が観察された後にハンティング行動が観察された全国の34の事例のうち、33例が探餌止まりからのハンティングであった。このうち、探餌場所から50 m以下の範囲でハンティング行動を行ったものが46%、50 mから100 m以下までが18%、100 mから200 m以下までが15%、200 mよりも離れていた場合が21%であった(田悟 未発表)。このように、実際のハンティング行動は探餌止まりの場所から200 m以下の範囲で全体の79%が行われており、探餌止まりが確認された場所から200 m以内の範囲は、狩りに関する行動は確認されていなくとも、餌を探している範囲には含まれていると言える。つまり、この範囲は狩り場として利用される可能性が高い範囲である。

一方、ロジスティック回帰分析は目的変数である事象

Fig. 1. Area used for regression analysis and locations of hunting behaviors observed

が「起こる」または「起こらない」というように二値応答を示す場合に用いられるため、全てのメッシュを狩りに関する行動が確認された場所もしくは確認されなかった場所に区分する必要がある。この場合、探餌止まりが確認された場所から 200 m 以内の範囲は餌を探している範囲であるため、本解析の目的からは目的変数である事象が「起こった範囲」に区分したいが、実際には狩りに関する行動は確認されていないため、統計的には目的変数である事象が「起こらなかった範囲」に含まれてしまう。そこで本論文では、探餌止まりが確認された場所から 200 m 以内の範囲にあるメッシュ（実際に探餌止まりのあったメッシュを除く）は、目的変数である事象が「起こった範囲」にも「起こらなかった範囲」にも明確には区分できない範囲（以後、この範囲をグレーゾーンという。）として解析対象から除外した。

同様に林への出入りについても、林への出入り地点の周辺部においても実際にハンティングが行われることがあることから、林への出入りが確認された地点から 200 m 以内の範囲にあるメッシュ（実際に林への出入りがあったメッシュを除く）についてもグレーゾーンとして解析対象から除外した。

以上より、本論文における狩りに関する行動が確認されたメッシュとは、「ハンティングが確認された地点のメッシュ、探餌止まりが確認された地点のメッシュ、林への出入りが確認された地点のメッシュ」とし、狩りに関する行動が確認されなかったメッシュとは「グレーゾーンを除く狩りに関する行動が確認されなかったメッシュ」とした。

さらに次のようなデータの処理も行った。単純に各メッシュを狩りに関する行動の有無のみで区分すると、累

Table 2. No. of hunting behavior and mesh for formulation of regression equation

Contrastive regions		A	B	C	D	E	F	G	H
No. of hunting behavior	No. of hunting data	36	9	28	20	6	25	2	9
	No. of perching for seeking pray	165	111	148	182	56	181	45	24
	No. of going in and out from forest	755	218	532	17	363	320	127	219
	Total no. of hunting behavior	920	338	708	219	425	526	174	252
No. of mesh for formulation of regression equation	No. of mesh with hunting data	730	201	520	134	268	520	56	24
	No. of mesh without hunting data	36,422	70,366	46,985	58,534	17,405	108,160	6,541	18,541
	Total no. of mesh for formulation of regression equation	37,152	70,567	47,505	58,668	17,673	108,680	6,597	18,565

Table 3. Fitness of model in 9 regions

Study region	Contrastive regions								
	A	B	C	D	E	F	G	H	
Ru ²	0.960	0.991	0.998	0.962	0.951	0.992	0.955	0.973	0.970

積観察時間の違いや同一メッシュを繰り返し狩り場として利用している場合についてそのメッシュの狩り場としての利用頻度の違いが反映できないことになる。

そこで、本解析においては各メッシュ毎の累積観察時間を 100 時間単位で区分し、その区分された数だけ同じ環境条件のメッシュが存在するとした。次にそのメッシュで狩りに関する行動が確認された回数分だけ狩りに関する行動が確認されたメッシュとし、残りを狩りに関する行動が確認されなかったメッシュとした。つまりあるメッシュの累積観察時間が 500 時間で狩りに関する行動が確認された回数が 3 回であれば、そこには同じ環境条件のメッシュが 5 個存在し、そのうち狩りに関する行動が確認されたメッシュが 3 個、確認されなかったメッシュが 2 個存在することとした。同様な作業を全てのメッシュで行った。これにより、累積観察時間の違いや同一メッシュを狩り場として繰り返し利用している場合の狩り場としての利用頻度の違いを解析に反映させることができた。

以上のデータ処理により得られた 47,059 個のメッシュを回帰式作成に利用するメッシュとした。このうち狩りに関する行動が確認されたメッシュ数は 394 個、狩りに関する行動が確認されなかったメッシュ数は 46,665 個となった (Table 1)。

他の地域での解析

本解析方法がクマタカの狩り場を解析する方法として汎用性があるかを確認するために、本地域の他に 8 地域で同様な方法による解析を行った。解析は関東 2 地域 (A, B)、中部 2 地域 (C, D)、北陸 1 地域 (E)、近畿 1 地域 (F)、中国 1 地域 (G)、四国 1 地域 (H) で行った (アルファベットは Table 2, Table 3 のそれと一致する)。

解析方法は同じであるが、説明変数の環境要因については地域ごとに入手できたデータ内容が異なるため全てを同じにすることはできなかった。ただし、本論文で用いた環境要因 (斜面方向、植生、傾斜角度、最も近いクマタカの巣からの距離、川からの距離、人工構造物 (もしくは道路) からの距離) については、全ての地域で入力できた。これら 8 地域での狩りに関する行動と回帰式の作成に使用したメッシュ数を Table 2 に示した。

解析結果

ロジスティック回帰式の決定

狩りの行動が確認されたメッシュの利用確率を 1 とし、確認されなかったメッシュの利用確率を 0 とし、統計解析ソフトの SPSS 13.0J (エス・ピー・エス・エス株式会社 2004) を用いてロジスティック回帰式を求めた。変数選択は、AIC (赤池情報量規準) (Akaike 1973) により最適なモデルとなる組み合わせとした。求めた回帰式を以下に示し、回帰式の係数等の一覧を Table 4 に示す。回帰式を算出するに当たって排除された説明変数はなかった。

$$Y = -6.163 + a + b + 0.026\chi_1 - 0.003\chi_2 + 0.002\chi_3 + 0.001\chi_4$$

Y: 狩りに関する行動が確認される確率 (100 時間当たり)

a: 該当する斜面方位の係数

b: 該当する植生の係数

χ_1 : 傾斜角度 (度)

χ_2 : 最も近いクマタカの巣からの距離 (m)

χ_3 : 川からの距離 (m)

Table 4. Coefficients of logistic regression analysis

Variable		Coefficient	Odds ratio
Slope direction	Direction 1 North	-0.189	0.827
	Direction 2 Northwest	-0.540	0.583
	Direction 3 West	0.174	1.190
	Direction 4 Southwest	1.292	3.639
	Direction 5 South	1.101	3.007
	Direction 6 Southeast	0.466	1.593
	Direction 7 East	0.493	1.638
	Direction of standard Northeast		
Vegetation	Cryptomeria japonica and Chamaecyparis obtusa	1.793	6.009
	Evergreen broadleaf/Deciduous broadleaf	1.976	7.217
	Deforestation area/no vegetation	2.065	7.884
	Vegetation of standard Others		
Slope angle		0.026	1.027
Distance from nest		-0.003	0.997
Distance from river		0.002	1.002
Distance from road or artificial structure larger than 1 hectare		0.001	1.001
Constant		-6.163	0.002

χ_4 : 1 ha 以上の人工構造物もしくは道路からの距離 (m) たり)

さらに、この回帰式の適合度を、回帰式により求められた確率と実際に狩りに関する行動が確認される割合の相関係数の2乗値を適合度の指標とする内田 (2004) の方法により算出した。その結果、この回帰式の適合度は $Ru^2=0.96$ であった。

狩り場を決める環境要因と狩り場の推定結果

狩り場として利用される確率は、斜面方向では南西や南が高く、逆に北から北西が低かった。植生では伐採・崩落裸地、常緑広葉樹林・落葉広葉樹林、スギ・ヒノキ植林、その他の順に高かった。傾斜角度は急傾斜なほど高かった。最も近いクマタカの巣からの距離については、距離が短いほど高く、川までの距離や1 ha 以上の人工構造物もしくは道路からの距離については、距離が長いほど高かった。

求められた回帰式を用い、観察地点から見えない範囲までも含めた調査範囲全域の狩り場の利用確率を算出した (Fig. 2)。なお、利用確率については、1日の活動時間を年平均で10時間と仮定し、1年間の活動時間 (約3,600時間) における狩り場の利用確率として算出した。

狩りに関する行動が確認される確率 (3,600時間当たり) $= 1 - (1 - \alpha)^{36}$

α = 狩りに関する行動が確認される確率 (100時間当

この結果、狩りに関する行動が確認される確率 (3,600時間当たり) が80%以上と算出されたメッシュが3,778個 (6.9%)、60~80%が3,022個 (5.5%)、40~60%が3,733個 (6.8%)、20~40%が5,894個 (10.8%)、20%未満が38,096個 (69.9%) であった (Fig. 2 参照)。

他の地域での解析結果

解析方法の検証を目的に行った8地域の解析結果については、求められた係数や回帰式は当然地域ごとに異なっていたが、算出された回帰式の適合度 (内田 2004) はいずれの地域でも高いことが示された (Table 3)。

考 察

クマタカの狩り場を決める環境要因の検討

解析の結果、狩り場環境は斜面方位、植生、傾斜角度、最も近いクマタカの巣からの距離、川からの距離、1 ha 以上の人工構造物もしくは道路からの距離が関係していた。

回帰係数から斜面方向については南西や南が狩り場としての選好性が高く、逆に北から北西の選好性が低かった。斜面方向の違いには植生、積雪量、日射量、風向といった環境の違いが反映されていると考えられる。このうち、植生との関係については後述のとおりである。積雪量については、量だけでなく雪が積もる斜面の順序や雪が解ける斜面の順序もクマタカの狩り場を決める重要

Probability of using
as hunting area

Hunting behaviors

Fig. 2. Distribution of probability of using as hunting area calculated by logistic regression analysis (3,600 hours)

な要因であると考えられるが、本地域における積雪日数は年間で数日程度であり、直接的な影響を想定することはできない。むしろ日射量や風向きといったクマタカ及び餌動物の生存のしやすさに係わる要因として係わっている可能性が考えられる。例えばヘビ類は体温を暖めるため、より日射量の多い南斜面の伐採地等で日光浴をしていることが多く、そのことが斜面方向の選択性に関係しているのであろう。

植生では伐採・崩落裸地、常緑広葉樹林・落葉広葉樹林、スギ・ヒノキ植林、その他の順で選好性が高かった。伐採・崩落裸地はオープンエリアであることから、木に止まり待ち伏せて獲物を襲うことの多いクマタカにとって

は狩りをしやすい環境であると考えられる。しかし一方で、解析に用いたデータが目視観察により得られたデータであることを考慮すると、オープンエリアで調査し易い伐採・崩落裸地を過大評価している可能性がある。また、クマタカの餌動物である鳥類は階層構造の発達した天然林・混交林で多く、若い単純な林、階層構造の発達していない林、暗くうっ閉した林で少ないとされる（藤森ほか 1999）。本地域では前者が常緑広葉樹林や落葉広葉樹林に該当し、後者がスギ・ヒノキ植林に該当する。そのため、常緑広葉樹林・落葉広葉樹林の選好性が、スギ・ヒノキ植林よりも高いことは、餌動物の現存量を考えれば妥当な結果であるといえる。一方、巣へのビデオの設

置により、クマタカはつがい毎に餌とする動物の種に偏りがあることが確認されている（柏原・名波 2005）。つまりクマタカはそこにある様々な環境をうまく利用して狩りをしていることが推測され、本地域における植生の選択性の順位が必ずしも他の地域で同様の傾向を示すとは限らないと考えられる。

斜面角度については、急傾斜ほど選好性が高かった。Broun & Mooney (1997) はオナガイヌワシ (*Aquila audax fleayi*) の営巣環境と斜面角度との関係を考察する中で、緩傾斜なほど伐採が盛んであり、林業活動がオナガイヌワシの営巣環境を限定している可能性について指摘している。緩傾斜なほど林業活動が盛んであるということは本地域にも該当し、林業活動による二次的な結果として急傾斜を選好している可能性がある。一方、クマタカは木に止まり獲物が近づくのを待って狩りをする待ち伏せ方の捕獲方法を行うことが多い種であることから、木に止まって獲物を探すためには、緩斜面よりも急斜面のほうが視野範囲が広がるのが急傾斜を選好する理由であるかもしれない。

最も近いクマタカの巣からの距離については、距離が短いほど選好性が高かった。繁殖期には巣に餌を運ぶ必要があることから、巣に餌を運ぶ効率性を考慮すると妥当な結果であろう。巣からの距離については、巣から 1 m 離れるに従って -0.003 の係数がかかることから (Table 4), 特に巣からの距離が長くなるほどこの影響は強く働いていると考えられる。

川からの距離については、距離が長いほど選好性が高かった。一般的に川からの距離と地形との関係は、川から近いほど谷環境であり、遠いほど尾根環境となる割合が高い。つまり、クマタカは谷部よりもむしろ尾根部を採餌環境として選好していることがうかがわれる。

1 ha 以上の人工構造物もしくは道路からの距離については、距離が長いほど選好性が高かった。この結果は、クマタカが人間の活動範囲を避けていることを示唆している。

本解析方法の汎用性の検証

解析方法の検証を目的に行った 8 地域の解析結果から、算出された回帰式の適合度 (内田 2004) はいずれの地域でも高いことが示された。このことから、本解析手法は汎用性がある解析手法であると考えられる。

この方法を用いれば、ダム事業におけるクマタカ調査で得られるデータから狩り場を推定することが可能となり、この方法で解析した結果は今後の環境影響評価の予測精度の向上や保全措置の検討を図る際に活用できると

期待される。

謝 辞

財団法人山階鳥類研究所の山岸哲所長には論文全体を通して適切なご指導をいただいた。統計数理研究所統計科学情報センターの石黒真木夫センター長及び横浜国立大学大学院の松田裕之教授には統計手法に関し重要な指摘と方法論をご指導いただいた。国土交通省には貴重なデータの使用を了承していただいた。ここに心より御礼申し上げる。

摘 要

九州地方における 7 つがいのクマタカのデータを基に、クマタカの潜在的な狩り場を推定する方法について検討した。狩り場環境を推定する方法としては、クマタカが狩りを行った場所の環境データから、狩り場を決める環境要因を統計的に解析し、同様な環境、つまり狩り場に適した環境が周辺にどの程度分布しているのかを推定する方法が最も有効であると考えられた。そこでロジスティック回帰分析の手法による狩り場の推定方法を検討し、観察地点から見えない範囲までも含めた調査範囲全域の狩り場の利用確率を推定した。さらに、本解析方法の汎用性を確認するために、本解析方法を用いて全国の 8 地域で解析を行った結果、本解析方法は他の地域においても利用可能であることが確認できた。

引用文献

- Akaike H. (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, in "2nd Inter. Symp. On Information Theory" (Petrov, B. N. and Csaki, F. eds.), Akademiai Kiado, Budapest pp. 267-281.
- Alan Agresti (2002) (渡邊裕之・菅波秀規・吉田光宏・角野修司・寒水孝司・松永信人訳, 2003) カテゴリーカルデータ解析入門, pp. 141-200, サイエンス社, 東京.
- Bohall-Wood P. G. & W. Collopy (1987) Foraging behavior of southeastern American kestrels in relation to habitat use. Raptor Research Report 6: 58-65.
- Broun W. E. & N. J. Mooney (1997) Modelling of the Nesting Habitat of the Wedge-tailed Eagle *Aquila audax fleayi* in Tasmania, Report to Tasmanian RFA Environment and Heritage Technical Committee, Commonwealth of Australia and the State of Tasmania 1996: 1-72.
- 独立行政法人水資源機構 (2004) 小石原川ダム建設事業環境影響評価書.
- 江崎保男・橋口大介・金沢正文・今堀るみ子・池田善英 (2000) 京都府南部の孤立林でのオオタカの繁殖と越冬. Jpn. J.

- Ornithol. **48**: 267-279.
- 藤森隆郎・由井正敏・石井信夫 (1999) 森林における野生生物の保護管理—生物多様性の保全に向けて—, pp. 125-128. 日本林業調査会, 東京.
- 浜田知久馬 (1999) 学会・論文発表のための統計学, pp. 136-165, 真興交易医書出版部, 東京.
- 神谷泉・田中耕平・長谷川裕之・黒木貴一・早田靖博・小田切聡子・政春尋志 (1999) 傾斜量図の作成とその応用. 情報地質 **Vol. 10, No. 2**: 76-79.
- 柏原聡・名波義昭 (2005) ビデオモニタリングによるクマタカの繁殖生態解析. ダム技術 **No. 223**: 28-39.
- 環境庁自然保護局野生生物課編 (1996) 猛禽類保護の進め方 (特にイヌワシ, クマタカ, オオタカについて). 日本鳥類保護連盟, 東京.
- 水資源開発公団 (2001) 利根川水系戸倉ダム建設事業環境影響評価書.
- 森本栄・飯田知彦 (1992) クマタカ *Spizaetus nipalensis* の生態と保護について. *Strix* **11**: 59-90.
- 森本栄・飯田知彦 (1994) 広島県西部におけるクマタカ *Spizaetus nipalensis* の営巣環境. *Strix* **13**: 179-190.
- 日本鳥学会 (2000) 日本鳥類目録改訂 6 版, pp. 66-67. 日本鳥学会, 東京.
- 西垣外正行・小海途銀治郎・和田貞夫・奥野一男 (1971) クマタカの営巣習性について. 山階鳥研報第 **6** 巻第 **3** 号 (**No. 35**): 80-93.
- Stoms D. M., F. W. Davis, C. B. Cogan, M. O. Painho, B. W. Duncan, J. Scepan & J. M. Scott (1993) Geographic analysis of California condor sighting data. *Conservation Biology* **7**: 148-159.
- 丹後俊郎・山岡和枝・高木晴良 (1996) ロジスティック回帰分析, 朝倉書店, 東京.
- 内田治 (2004) ロジスティック回帰分析におけるモデルの適合度指数に関する考察と提案, 東京情報大学研究論集 **Vol. 8 No. 1**: 9-14.