ランドスケープレベルにおける潜在的なハビタットを予測するためのモデリングの手法：北海道に生息するクマタカ (*Spizaetus nipalensis*) によるケーススタディー

鈴木 透¹・金子 正美²・前川光司³

¹北海道大学農学研究科 060-8589 札幌市北 8 条西 5 丁目

²北海道環境科学研究センター 060-0819 札幌市北 19 条西 12 丁目

³北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 060-0809 札幌市北 9 条西 9 丁目

A GIS modelling method applied to predicted landscape-level habitat preference: A case study of Japanese mountain hawk-eagle (*Spizaetus nipalensis*) in Hokkaido, Japan

Toru SUZUKI¹, Masami KANEKO² and Maekawa KOUJI³

¹Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, N8W5, Sapporo, 060-8589 Japan

²Hokkaido Institute of Environmental Sciences, N19W12, Sapporo, 060-0819 Japan

³Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, N9W9, Sapporo, 060-0809 Japan

研究の背景と目的

土地の人為的改変や林業により、自然のランドスケープのダイナミクスや構造は変化してきた。結果として、生物にとっての重要なハビタットの空間構造の変化や資源量は増減している。このように、生物は、ランドスケープレベルのハビタットの空間構造や資源量に影響をうけている(Livingston *et al.*, 1990; Boone and Krohn, 2000; Howell *et al.*, 2000)。近年、ランドスケープレベルにおける空間的に説明されたハビタットモデルや生息予測マップは、GIS 技術の進歩や環境情報のデータベース化に伴い一般的になってきている(Scott *et al.*, 1993 など)。作成されたハビタットモデルや生息予測マップは、莫大なエリアや多様な種を扱わなければならない保護区の設定に有効であり、環境変化に対する空間的な予測などが可能である(Schulz and Joyce, 1992; Scott *et al.*, 1993; Flather and Sauer, 1996)。このようなランドスケープレベルにおける空間的に説明されたハビタットモデルや生息予測マップの作成は、現在ある野生生物の保全計画を補完するための有用なアプローチであると考えられる。

そこで本研究では、クマタカを対象として、ランドスケープレベルのハビタットの空間構造(森林の分断化、植生タイプ、地形など)や資源量が生物の生息分布に与える影響を検証した。具体的には、1) ハビタットの空間構造・資源量とクマタカの生息分布の関係を示すハビタットモデルの構築、2) 構築されたハビタットモデルから北海道全域におけるクマタカの潜在的な生息地のマップ化とモデルの検証をおこなった。

今回対象としたクマタカは、種クマタカの日本の亜種であり、北海道から九州にかけて広く分布している。クマタカは山地の森林に生息し、針葉樹・広葉樹の高木に営巣し、ウサギなどの中型の哺乳類、キジ・ヒヨドリなどの中型以上の鳥類を主として小型哺乳類なども捕食している。このように、クマタカの生息には、営巣できるような高木や餌となる動物が豊富であるなど多様性に富んだ森林生態系が必要である。また、クマタカの行動圏は4~25km²と移動性が高く、個体数を維持するためにはランドスケープレベルにおける保護管理も地域個体群の保護管理と並行しておこなう必要がある種と考えられる。

調査対象地

北海道全域を対象とした。北海道を5kmメッシュに分割し、解析単位(N=3,588)とした。ただし、メッシュに含まれる土地面積が1km²以下の場合、そのメッシュは除外した。

方法

1. 環境情報データ

本研究では、50mDEM・土地利用図(以上国土数値情報)・植生図・河川データを用いて解析をおこなった。植生図は、2万5千分の1地形図と環境省自然環境GISから作成した。河川データは2万5千分の1地形図より作成した。

2. 生物データ

クマタカを含む猛禽類の生息分布を把握するために、聞き取り調査をおこなった。聞き取りは、各

表1. クマタカのハビタット利用を評価するための指数

	変量名	単位 (範囲)	説明
地形	平均標高	m	メッシュ内の平均標高
	平均傾斜	度	メッシュ内の平均傾斜
	比高	m	メッシュ内の最大標高と最小標高の差
	30度以上の傾斜地	km ²	メッシュ内の30度以上ある傾斜地の面積
資源量	広葉樹	km ²	メッシュ内の広葉樹林の面積
	針葉樹	km ²	メッシュ内の針葉樹林の面積
	針広混交林	km ²	メッシュ内の針広混交林の面積
	河川	m	メッシュ内の河川の長さの合計
人為改変	人為改変地	km ²	メッシュ内の人為改変地（市街地・農地など）の面積
	植林割合	%	メッシュ内の森林の植林割合
森林の分断化	α^*	0-100	パッチ面積から推定した分断化の指数
	β^*	0-100	パッチの周囲長から推定した分断化の指数
	ν^*	0-100	パッチ数から推定した分断化の指数
植生の多様度	多様度スコア	0-3	メッシュ内の含まれる森林タイプ（広葉樹林・針葉樹林・針広混交林）の数

*アルゴリズムに関しては、Bogaert *et al.* 2000. を参照

事業者・研究者・調査者を対象に行い、位置情報と確認状況を記録した。聞き取りにより得られた位置情報は、道庁のデータベースとあわせて5kmメッシュに集計した（クマタカの生息情報：N=97）。

3. ランドスケープレベルのハビタットの指数

5つの視点（森林の分断化、資源量、地形、人為改変、植生の多様度）から、クマタカ固有の特性とランドスケープの空間構造の特性を示す14個の指数を作成した（表1）。

4. ハビタットとの関連とハビタット選好性

クマタカの分布とハビタットの関連を評価するために、上記の各指数をカテコライズした後、調査

地全体とクマタカの生息メッシュ間でG-testをおこなった。有意な差が認められた指数では、Bonferroni's confidence interval (Neu *et al.* 1974, Byers *et al.* 1984) を用いて、ハビタット選好性の評価をおこなった。この結果、Prefer（選好）と判断された指数のカテゴリーには3, Avoid（忌避）と判断された指数のカテゴリーには1, それ以外には2というスコアを与えて、各指数に関してスコアを与えた変量に変換した。この変換された変量は、クマタカのハビタットの選好程度を示す値をして用いた。

5. 潜在的な生息地の地図化とその評価

調査対象地からクマタカの生息適地を判別する

表2. ランドスケープレベルのハビタット指数とクマタカの生息分布との関連

	変量	G値	P値	Prefer	Avoid
地形	平均標高	9.3130	<0.05		0—250m
	平均傾斜	20.1886	<0.0001	15—20度	0—5度
	比高	19.9596	<0.001	200—300m	0—100m
	30度以上の傾斜地	27.5307	<0.0001	1.5km ² —	0—0.5km ²
資源量	広葉樹	5.3161	0.2564		
	針葉樹	8.7061	0.0689		
	針広混交林	2.1930	0.7003		
	河川	1.6017	0.6590		
人為改変	人為改変地	19.7110	<0.001	0-5km ²	10km ² —
	植林割合	4.3653	0.4981		
森林の分断化	α^*	8.6767	<0.05		0—20
	β^*	12.7813	<0.05		0—98
	ν^*	13.1447	<0.05		0—99.95
植生の多様度	多様度スコア	10.2078	<0.05		0

ために、マハラノビスの距離を用いて、判別分析をおこなった。独立変量には、上記のようにしてG-test と Bonferroni's confidence interval の結果から作成したクマタカの選好程度を示す変量を用いた。また、判別結果の評価をおこなうために、正答率とオミSSIONを計算した。最後に、マハラノビスの距離により得られたクマタカの生息地に属する確率を用いて、潜在的な生息地をマップ化した。

結果

1. クマタカのハビタット選好性

ランドスケープレベルのハビタットの特性を示す指数とクマタカの生息状況との関連を解析した。G-test と Bonferroni's confidence interval の結果は、表2を示した。14個の変量のうち、9個の変量で調査対象地のメッシュとクマタカが目撃されたメッシュで有意な違いが見られた。地形に関する変量（標高・傾斜など）はすべての変量において有意な差が見られたが、資源量に関する変量（広葉樹面積など）については、すべての変量において有意な差は見られなかった。

2. 北海道全域からのクマタカの潜在的な生息地の抽出

抽出

(1) 判別分析の結果

判別分析でステップワイズの前進法を用いた結果、30度以上の傾斜地・人為改変地・平均傾斜・ α ・植生の多様度が最終的に説明変数として選択された。

(2) クマタカの潜在的な生息地のマップ化

マハラノビスの距離を用いて、クマタカの生息適地に属するP値をメッシュごとに計算した。このP値を用いて、クマタカの潜在的な生息地をマップ化した（図1）。P値が1に近づくほどクマタカの生息適地である確率が高いことを示している。人為改変の大きい地域ではP値は低い値を示していた。

(3) 判別結果の評価

正答率とオミSSIONを算出した。正答率は74.22%，オミSSIONは25.78%であった。今回の解析は、1）調査地全体からクマタカの生息適地を抽出している、2）生物データが全体のメッシュ数に対して少なすぎることから、コミSSION（予測された場所で目撃されなかった割合）は算出しなかった。

図1. クマタカの潜在的な生息地マップ

考察

1. クマタカの生息環境の制限要因

環境選好性の解析から、ランドスケープスケールにおけるクマタカの生息状況には、地形と森林の分断化を含む人為改変の要因が影響していることがわかった。クマタカは山地に生息し、営巣場所として地形の急峻な場所を選択する。このようなことからランドスケープスケールにおいても、クマタカの生息状況の制限要因として、地形に関する要因が影響していると考えられた。一方、資源量に関する要因は、ランドスケープスケールにおいてクマタカの生息状況に影響していないことが示唆された。現状の環境情報データでは、森林資源の量・質を正確に評価できていないという問題はあるが、土地の人為改変やそれに伴う森林の分断化のほうが現在のクマタカの生息状況により強く影響を与えていると考えられた。

2. 空間的に説明されたハビタットモデル

潜在的な生息地を予測するハビタットモデルの作成とその地図化をおこなうために、G-test・Bonferroni's confidence intervalとマハラノビスの距離を用いた判別分析を組み合わせた。G-test・Bonferroni's confidence intervalをおこなうことにより、各ハビタット指数をクマタカの選好程度を示すスコア化された変量に変換するという処理ができる。この処理により、調査対象地全体の各ハビタット指数に対するクマタカの選好程度を評価することができ、ゼロ値が多く正規分布していない変量も扱いやすくなるという利点がある。しかし、この方法は単変量でおこなうために、さまざまな要因が影響していると考えられる生物の分布を評価できない。そこで、有意な差が見られた変量を用いて、マハラノビスの距離を用いた判別分析により多変量での解析をおこなった。マハラノビスの距離による解析は、0-1データを必要としないこと、変量間の相関も考慮に入れていることなどデータセットの問題が少ないため、本研究においては有効であると判断した。

作成されたハビタットモデルは、正答率が約74%と比較的高く、クマタカのランドスケープレベルにおける生息適地を判別できていると考えられた。しかし、ハビタットモデルは実際の生物の有無を直接示したものではないことや今回用いた生物データがN=97と少ないことから、モデルのさらなる正確性の検定には、目撃情報のあるメッシュ

以外での予測されたメッシュにクマタカが生息しているかを調査する必要があるだろう。

また、今回の解析においては、ハビタットは静的なものであるという仮定の基におこなわれている。本来、ハビタットは変化しており、その変化の軌跡や程度も生物の生息状況に影響していると考えられる。つまり、空間的だけではなく、時空間的に解析されるべきである。現状のみではなく、過去の環境情報データも収集・作成・整備する必要があると考えられた。

引用文献

- Bogaert, J., P. V. Hecke, D. S. Eysenrode, and I. Impens. 2000. Landscape fragmentation assessment using a single measure. *Wildlife Society Bulletin* 28: 875-881.
- Boone, R. B. and W. B. Krohn 2000. Predicting broad-scale occurrence of vertebrates in patchy landscapes. *Landscape Ecology* 15: 63-74.
- Byers, C. R., R. K. Steinhorst, and P. R. Krausman. 1984. Clarification of a technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management* 48: 1050-1053.
- Flather, C. H. and J. R. Sauer. 1996. Using landscape ecology to test hypotheses about large-scale abundance patterns in migratory birds. *Ecology* 77: 28-35.
- Howell, C. A., S. C. Latta, T. M. Donovan, P. A. Porneluzi, G. R. Parks and J. Faaborg. 2000. Landscape effects mediate breeding bird abundance in Midwestern forests. *Landscape Ecology* 15: 547-562.
- Livingston, S. A., C. S. Todd, W. B. Krohn and R. B. Owen. 1990. Habitat models for nesting bald eagles in Maine. *Wildlife Management* 54: 644-653.
- Neu, C. W., C. R. Byers, and J. M. Peek. 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management* 38: 541-545.
- Schulz, T. T. and L. A. Joyce. 1992. A spatial application of a marten habitat model. *Wildlife Society Bulletin* 20: 74-83.
- Scott, J. M., Davis, F., Csuti, B., Noss, R., Butterfield, B., Groves, C., Anderson, H., Caicco, F., D'erchia, F., Edwards, T. C. Jr., Ulliman, J. and Wright, R. G. 1993. Gap analysis: a geographic approach to protection of biodiversity. *Wildlife Monograph* 123: 1-41.