

広域スケールでのオオタカの生息適地予測の有効性と空間的汎用性・地域性の課題

Potential and problems of evaluating Goshawk's habitat suitability using species distribution modeling on macro scale

上野 裕介* 栗原 正夫*

Yusuke UENO Masao KURIHARA

Abstract: New technology which enables the evaluation of habitat quality in macro scale using the information of species distributions and environmental factors is developing rapidly. Raptors' habitat requirement and ecological characteristics remain to be clarified because they have wide home range and are often low density. Especially, most species of raptors are rare and umbrella species in Japan, whereas there is little information of the habitat quality on a regional/national scale. Thus, it is important that not individual but also habitat of raptors are protected and conserved appropriately through the evaluation of habitat quality. In this study, we estimated Goshawk's habitat suitability for nesting site using species distribution modeling based on geolocation data of nest across the country and GIS data (e.g., vegetation, land use). In the result, we showed the important environment factors varied in spatial scale (i.e., national/regional scales) and among regions (i.e., Kanto/Tohoku regions). In conclusion, we discussed the potential and problems of habitat evaluation for raptors using species distribution modeling.

Keywords: species distribution model, Goshawk, GIS, habitat evaluation, decision-making, environmental impact assessment

キーワード: 生息適地モデル, オオタカ, GIS, 生息環境評価, 意思決定, 環境アセスメント

1. はじめに

猛禽類の多くは、生態系の最上位種かつ希少種であり、しばしば地域環境の好適性を表す“象徴種”として位置づけられる。中でも、里山景観や都市近郊林などの身近な環境に生息するオオタカ *Accipiter gentilis* に対する人々の注目は高く、その想いも様々であることは、ランドスケープ研究 77 巻4号の特集記事「オオタカをめぐる多様なかわり^{1), 2), 3), 4)ほか}」からも明らかである。本特集記事は、オオタカの種の保存法からの指定解除の動き²⁾にあわせて企画されたものであるが、指定解除の如何にかかわらず、オオタカの生態や生息環境について研究を続け、種や地域の自然環境の保全に繋がる知見を深めておくことは重要である。幸いなことに、オオタカに関する既往研究は多く、国内外の広範な知見を取りまとめた書籍も出版されている⁵⁾。一方で、日本全国の生息状況については、環境省等によるアンケート調査が行われているのみであり³⁾、国内のどこにどの程度重要な生息環境が残されているのかは、不明のままである。

限られた生息情報を基に、地域全体の生息環境を評価する手法に、生息適地モデルがある。生息適地モデルは、ハビタットモデル、種の分布モデル、Species distribution model, Ecological niche model 等とも呼ばれ、動植物種の分布情報と環境要因の関係を統計学的手法を用いて予測する。このため、事前に分布情報が得られない場所(分布情報の空白地)についても、種の生息可能性(ポテンシャル)を定量的に予測することができる⁶⁾。また生息適地モデルによる予測結果を地理情報システム(GIS)に統合することで、希少種などの保全上重要な地域を地図上に示すことができ、都市計画や保護区の設定、環境アセスメントなどにおいて、正確な判断や意思決定を支援する強力なツールとなる⁷⁾。

オオタカについても、種の生態的特性に詳しい専門家が作成した生息環境の評価指標(HSIモデル⁸⁾)や、関東及び山梨県、静岡県、長野県の範囲を対象に、サンプリング調査による実際の種

の分布情報を基に予測モデルを使った営巣密度の推定が行われている⁹⁾が、より広域を対象とした予測はない。一方、これらの予測技術は発展途上であり、学術面ならびに実用面からの研究と検証が不可欠である。特に、オオタカのような希少種では、広域での分布位置情報を得にくく、かつ全域での調査も困難な状況にある中で、限られた情報を基に意思決定を行う必要が生じた場合に、生息適地モデルはどこまで活用できるのか?どのような点に注意が必要なのかを明らかにすることは、非常に重要である。

そこで本研究では、生息適地モデルによる広域スケール(全国、地方スケール)でのオオタカの営巣適地の分布状況の予測とモデル活用上の課題(空間的汎用性と地域性)について明らかにすることを目的とする。具体的には、以下(1)オオタカの営巣地の分布は、どのような環境要因によって説明されるのか?それは、予測対象の空間スケールや地域によって異なるのか?(2)予測モデルによって推定された国内のオオタカ営巣適地は、どこに分布しているのか?(3)ある地域での予測モデルを他地域にあてはめるとどうなるのか?つまり、予測に空間的汎用性はあるのか?の問いに答え、最後に生息適地モデルを使った予測をオオタカの保護・保全に活用する上での可能性と課題について議論する。

2. 材料と方法

(1) 対象種

オオタカは、カラスほどの大きさのタカ類で、北半球の広範囲(およそ北緯70度から24度付近)に分布する⁵⁾。平地から丘陵地を主な生息場とし、農耕地や河原等の開けた環境や、森林、集落がモザイク状に存在する環境を好む⁵⁾。主に鳥類や哺乳類を餌とし、森林と開放地の境界部分を餌動物の捕獲場所として選択的に利用する⁵⁾。また樹上に営巣し、営巣木のサイズは数haの孤立林から大面積林まで様々である⁵⁾。

(2) データ収集

*国土交通省国土技術政策総合研究所

生息適地モデルの構築には、生物の分布情報（オオタカの営巣位置情報）に加え、予測対象範囲の環境要素（植生、地形等）の情報が必要となる。そこで、オオタカの営巣位置情報については、環境省による自然環境保全基礎調査（第6回鳥類繁殖分布調査、平成12～16年度：20×20kmメッシュごとの確認情報¹⁰）を用いた。あわせて、全国の直轄道路事業において猛禽類調査を実施した環境調査の結果（平成21～24年度の計465事例：北海道21、東北132、関東88、北陸34、中部59、近畿51、中国33、四国16、九州30、沖縄1）を収集し、オオタカの営巣位置情報562か所（過去に営巣が確認された巣、造巣したものの抱卵まで至らなかった巣も含む）を抽出した。この環境調査は、道路の計画あるいは施工段階で実施されたものであり、計画ルート両側の約2km幅にわたって面的に猛禽類の分布や営巣状況を調査したものであるため、記録されている在情報の精度は高い。環境情報は、インターネット上で公開されている基盤地図（国土地理院）及び植生図（第2～5回植生調査、昭和54年開始～平成10年更新分：環境省生物多様性センター）を活用した。なお、上述のように地域によっては営巣情報と環境情報の収集年代が大きく異なっている。これらをGIS上で統合し、全国規模のデータセットを作成した。ただし、北海道地方及び沖縄を含む島嶼部についてはオオタカの営巣情報がほとんど得られなかったため、解析対象範囲から除外した。また地方別では、関東と東北において多くの営巣位置情報が得られたため、両地域についてより詳細な解析を行うこととした。なお作業には、Arc GIS 10.1を用いた。

(3) データ解析

以下、全国及び関東・東北スケールでオオタカの営巣適地を予測し、1) 空間スケール・地域による重要な環境要因の推定、2) 営巣適地の地図化、3) 予測の空間的汎用性の検証、を行うために、確認位置情報（在情報）のみで比較的頑健な予測が可能な機械学習の一種（最大エントロピー法^{11,12}）を用い、解析用のフリーソフト“MaxEnt¹¹ ver. 3.3.3k”を使用した。

予測に用いたメッシュサイズは、全国（北海道を除く）は20×20km、関東・東北地方は1×1kmとした。それぞれの解析スケールごとのメッシュ数及びオオタカの営巣情報があるメッシュ数と割合は、順に全国（956メッシュ、171在メッシュ、17.89%）、関東地方（32138、166、0.52%）、東北地方（95168、82、0.086%）であった。解析に使用した環境要因には樹林、水田、畑地、草地、市街地の各面積割合と、樹林と開放地（水田、畑地、草地）との境界長（林縁長）を用い、全国では20×20kmメッシュ、関東・東北地方では、隣接メッシュを含めた3×3kmメッシュの合計値とした。これら環境要因は、既往研究^{5), 8), 13)}において明らかにされているオオタカの生態的特性及び行動圏を参照し、選定した。また植生図情報については、全国スケールでの分布推定を行う際の集約法について検討した既往研究¹⁴⁾を基に大きな分類に集約した。例えば、水田や畑地には放棄田や休耕地を、草地には自然草地、二次草地、人工草地を含んでいる。解析に用いる際には、これらの変数間に多重共線性がないことを確認した。オオタカの営巣情報は、上記のメッシュ単位（20×20km、1×1km）での

表-1 各説明変数の応答変数に対する寄与率

説明変数	全国	関東	東北
樹林と開放地の境界長	28.8	24.0	6.7
市街地面積	33.6	1.9	10.5
樹林面積	7.2	29.7	2.9
水田面積	5.5	24.3	45.4
畑地面積	17.9	15.1	16.1
草地面積	7.0	5.1	18.3

在情報あり・なしに変換した。なお、生物多様性保全基礎調査¹⁰の結果については、オオタカが希少種であることから、20×20kmメッシュごとに集約した上での限定公開であり、全国単位での解析にのみ使用した。

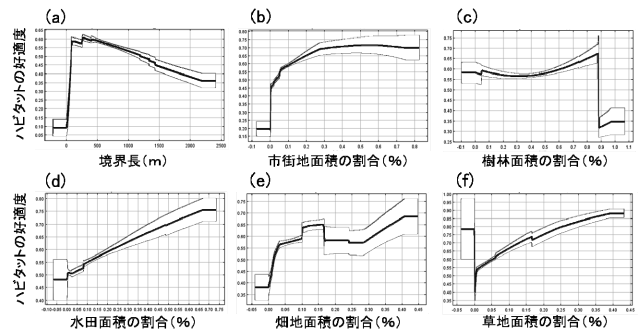
次に、全国、関東、東北のスケールごとに、ジャックナイフ法を用いて予測の適合性と各環境変数の寄与率を推定し、応答曲線を描画した。この際、得られた予測モデルの精度について、ROC (receiver operating characteristics) 曲線から求めた AUC (area under the curve) の値を用いた。なお、AUC の値が 0.75 以上であれば、推定された生息ポテンシャルの値は有効であると言われている¹⁵⁾。このようにして得られた予測モデルを用い、営巣適地を地図化した。最後に、予測の空間的汎用性を検証するために、上記で作成した関東での営巣適地を予測するモデルを東北の環境条件にあてはめ、同様に予測された営巣適地を地図化した。

3. 結果と考察

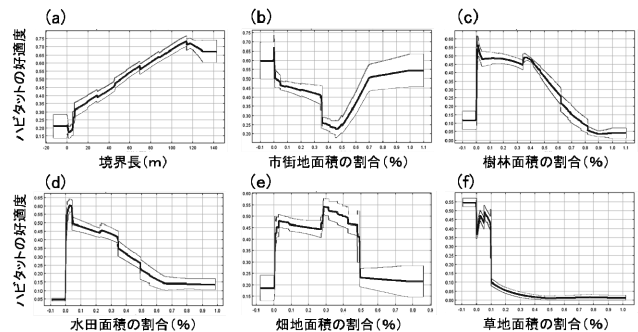
(1) 空間スケール・地域による重要な環境要因の変異

予測モデルの AUC の値は、全国（東北以南）スケールと地方スケール（関東、東北）でそれぞれ 0.78 ± 0.05 (S.D.)、 $0.89 \pm$

全国スケール



関東スケール



東北スケール

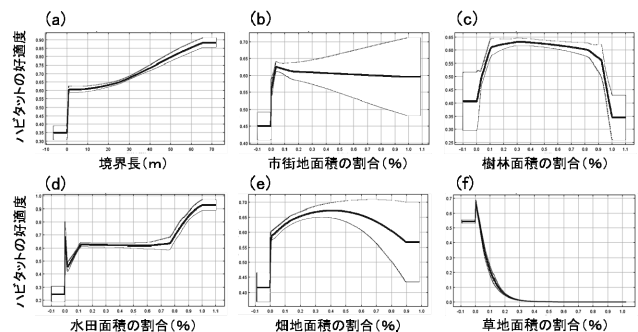


図-1 全国及び関東・東北スケールでのハビタットの好適度と環境変数の関係：(a) 樹林と開放地の境界長、(b) 市街地の面積、(c) 樹林面積、(d) 水田面積、(e) 畑地面積、(f) 草地面積。中央の太線は平均値を、上下の帯は95%誤差範囲を示す。

0.04, 0.84 ± 0.06 であり、あてはまりの良いモデルが得られた。

全国スケールと地方スケール（関東、東北）では、オオタカの営巣適地を推定する上での重要な環境要因が異なっていた（表-1）。全国では、 $20 \times 20\text{km}$ メッシュ内の市街地面積の寄与率が最も高く、次いで樹林と開放地の境界長、畑地、樹林、草地、水田の各面積の順に寄与率が高かった。一方、関東と東北の予測モデルでは、市街地面積の寄与率は高くなかった。関東では、 $3 \times 3\text{km}$ 内の樹林面積の寄与率が最も高く、次いで水田面積と樹林と開放地の境界長であった。これに対し東北では、 $3 \times 3\text{km}$ 内の樹林面積の寄与率は低く、代わって水田面積の寄与率が最も高く、次いで草地、畑地の面積であった（表-1）。

ハビタットの好適性と各環境要因との関係を見ると、全国スケールでは $20 \times 20\text{km}$ メッシュ内の市街地や畑地の面積が多いほどオオタカの営巣ポテンシャルが上昇する傾向が見られた（図-1）。これは、オオタカが営巣場所として市街地を好むというよりも、 $20 \times 20\text{km}$ メッシュという広い範囲で土地利用を把握した場合には、平野部の代表的景観である市街地や畑地面積で代替されていると考えるほうが素直だろう。つまり、山地の森林地帯よりも、山裾の丘陵地帯や平野との境界域、樹林と耕作地が混在する里山景観などにオオタカが多く生息するため³⁾と考えられる。これを支持するように、 $3 \times 3\text{km}$ メッシュで解析を行った関東と東北では、市街地面積の重要性は示されていない（表-1）。

関東では、 $3 \times 3\text{km}$ メッシュ内の樹林面積と水田面積が少ないほどオオタカの営巣ポテンシャルが上昇する傾向が見られたのに対し、東北では、 $3 \times 3\text{km}$ メッシュ内の樹林面積の寄与率は低く（表-1）、水田面積は多いほど、営巣ポテンシャルは上昇していた（図-1）。このように地域によって重要な環境要因とその影響の仕方が大きく異なっていたことから、少なくとも2つの仮説が考えられる。第1に、地域差が生じた理由として、オオタカの生態的特性（環境の選好性）が地域によって異なる可能性がある。これについては、複数地域で、定量的かつ詳細な生態調査（例えば、電波発信機などの行動追跡装置を用いた細かな環境利用の把握）を行い、地域性の有無を明らかにする必要があるだろう。一方で、第2の仮説も考えられる。本研究の結果、樹林と開放地の境界長と草地の面積の効果については、関東と東北でともに同じ反応を示していたことから（図-1）、生態的特性の違いではなく、関東と東北で地形や植生が異なっていたことが原因とも考えられる。関東には日本最大の関東平野があり、オオタカの営巣地は平野内に残された樹林にある。一方で東北には、奥羽山脈をはじめ、多くの山地や高地があり、平野部は山あいの盆地や海岸部の小規模平野に限られる。このような違いが営巣適地を予測する上での環境要因の寄与率の違いとなって現れたのかもしれない。

（2）オオタカはどのような場所に多いのか？：全国スケールと地域スケールでの予測結果と課題

全国的（東北以南）には、オオタカの営巣適地は、関東で特に多く、東海から北陸、東北にかけての東日本に多いことが予測された（図-2）。この結果は、既存のアンケート等を基にした繁殖分布状況調査の結果³⁾とおおむね一致している。一方で今回の予測では、既存の結果³⁾とは異なり、九州の阿蘇地域や中国山地、北東北などでも営巣適地が推定されたことから、これらの地域に未知の営巣適地がある可能性が示唆された。

次に、地方別の予測結果及び土地利用図を示す（図-3）。関東の営巣適地は、特に茨城及び千葉県の一部、つまり水田と畑地、森林が混在する里山的景観を有した場所に集中していた。東北では、仙台平野から福島・郡山盆地にかけての地域や青森県の三本木原台地、秋田平野、山形盆地など、山地や高地と平野部との境界に営巣適地が集中している傾向が認められた。

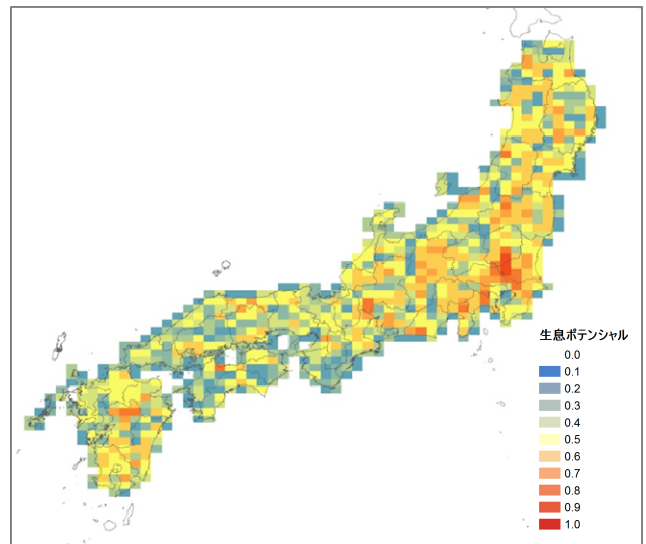


図-2 全国スケール（東北以南）でのオオタカの営巣適地の予測結果：赤色の場所ほど、営巣の可能性（ポテンシャル）が高く、青色に近づくほど低いことを示す。

※予測結果は、現時点で入手可能なデータに基づくものであり、今後、データが追加されることでより正確な予測に近づくと思われる。

一方で、本研究で予測に用いたデータは、現時点で入手可能なデータに限定されており、頑健な予測を行うためには十分な数とは言えない。特に、在データのみしか得られていない本研究の場合、調査努力量の地域的な偏りの影響が、在・不在データの両方を扱うことができる場合よりも大きくなりやすいという課題がある¹⁶⁾。これを解決するためには、全国均一に十分な数の調査ブロックを設け、営巣の有無を確認することが理想的である。しかしながら全国スケールでの調査は、時間的・費用的・人的に容易ではない。このため、オオタカの保護や保全に関わる人々でデータを集約し（もちろん詳細な営巣位置情報が特定できないよう加工が必要だろうが）、予測に活用する等の取組みが重要になるだろう。このように本研究に示した予測結果は、あくまで現在のデータに基づく予測であり、利用においては注意が必要である。

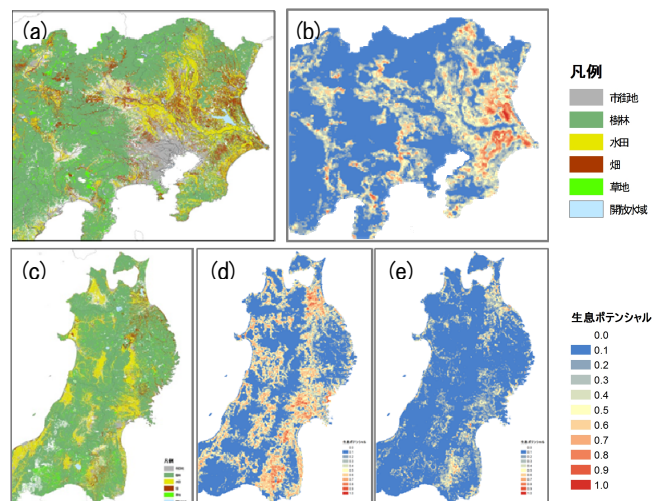


図-3 営巣適地の予測結果

(a) 関東地方の土地利用図、(b) 予測された関東スケールでのオオタカの営巣適地図、(c) 東北地方の土地利用図、(d) 予測された東北スケールでの営巣適地図、(e) 関東スケールでの予測モデルを東北地方の土地利用条件に当てはめて予測した結果。

※予測結果は、現時点で入手可能なデータに基づくものであり、今後、データが追加されることでより正確な予測に近づくと思われる。

(3) 予測の空間的汎用性の検証と課題

関東のオオタカの営巣適地を予測するモデルを用いて、東北の環境条件で予測し直した結果、東北全域で営巣適地（ポテンシャルが高い場所）がほとんど存在しない（図-3(e)）、つまり関東モデルは本来の東北モデル（図-3(d)）に比べて、明らかに東北地方のポテンシャルを過少評価していることがわかった。これらのことは、単純に予測モデルの範囲外への適用（外挿）が危険なことを示すだけではなく、少なくとも3つの生態学上及び応用上の課題を提起している。

第1に、オオタカという同じ種であるにも関わらず、地域が異なることで、なぜ予測の汎用性が失われるのか？これについては、前述（1）での考察とも重複するが、種の生態的特性の違いに起因するものか、地形条件などの環境の違いに起因するものなのかを明らかにする必要がある。

第2に、どのような条件下（統計モデル、種の生態的特性、環境の異質性、予測の空間範囲、データ数等）であれば、空間的汎用性を担保した頑健な予測が可能となるのか？これについては、予測精度や予測の汎用性がどのような要因で変化するかを、数学的・生態学的見地から検証することが必要と考えられる。例えば、予測条件を変えたモデルを複数作成し、モデル間比較を行うことで、解析を行う最適な空間スケールやメッシュサイズ、環境変数に関する一般則を得ることができるかもしれない。

第3に、広域での分布位置情報が得にくく、全域での調査も困難なオオタカのような希少種について、限られた情報の中で意思決定を行う必要が生じた場合に、モデルはどこまで活用できるのか？これについては、予測モデルの改良とモデルの時間的・空間的な適用範囲について、予測の限界を調べるのが不可欠である。

4. 結論

本研究では、生息適地モデルによる広域スケール（全国、地方スケール）でのオオタカの営巣適地予測の有効性と活用上の課題（空間的汎用性と地域性）について示した。その結果、既存情報が少ない場所についても情報を補完し、かつ定量的に営巣可能性（ポテンシャル）を評価することができた一方で、同じ種であっても予測の空間スケールや対象地域によって異なった傾向を示すことも明らかとなった。その上で、本研究には残された課題がある。まず、本研究の結果はあくまで予測であるので、実用に耐えうるかどうかの検証が不可欠である。そのためには、予測モデルの構築に利用した以外のデータを用いて予測の当てはまりを調べたり、実地での検証を行ったりする必要がある。また新たにデータを追加し、常に予測を更新していくことが重要である。あわせて、その他の予測精度を左右する要因、例えば、オオタカの営巣にとって重要な環境要素であるものの GIS データが整備されていない環境要素（林内の樹種、林齢、中・低木層の有無、立木密度など）が予測精度に及ぼす影響の相対的重要性の評価などにも取り組み、予測に潜む誤差を測定する必要があるだろう。次に、本研究では行政区界（関東、東北）によって予測範囲を設定したが、そこに生物学的意味はない。予測精度を向上させるためにも、適切な予測範囲の設定方法を明らかにする必要がある。例えば、環境条件が大きく異なる山地部と平野部のオオタカを分けて解析する、クラスター分析や半別分析などの統計的手法を用いて土地利用が似た地域（農耕地域、市街化地域など）をグループ化し、それぞれの地域について解析するなどの工夫が必要かもしれない。最後に、生息適地モデルは現在とりうる選択肢の中で非常に有効な意思決定ツールの1つであると考えられるが、予測には必ず不確実性が伴うことも事実である。そのためオオタカに限らず、全国の生物情報を集約し、環境保全や事業等に活用できる仕組みを構築することが急務と考える。なぜなら全国の生物情報を集約す

ることで、モデルの予測精度向上が望めるとともに、将来的には実データに基づいた客観的かつ堅実な意思決定へと道を開くからである。

謝辞：資料の収集にご協力頂いた国土交通省の各地方整備局及び国土技術政策総合研究所の皆様、解析手法についてご助言頂いた（独）農業環境技術研究所の大澤剛士博士に御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 倉本宣 (2014) : オオタカを取り巻く社会の構図—特集にあたって : ランドスケープ研究 77 (4), 285-287
- 2) 中島慶二 (2014) : 検討中のオオタカ国内希少野生動物種指定解除について : ランドスケープ研究 77 (4), 288-290
- 3) 金井裕 (2014) : オオタカ *Accipiter gentilis fuyiyamae* の生態と生息状況 : ランドスケープ研究 77 (4), 291-293
- 4) 亀山章 (2014) : オオタカ保護問題と動物観 : ランドスケープ研究 77 (4), 294-297
- 5) 尾崎研一・遠藤孝一 (編著) (2008) : オオタカの生態と保全—その個体群保全に向けて— : 社団法人日本森林技術協会, 148pp
- 6) Franklin, J. (2010): Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction, Cambridge University Press, 320pp
- 7) Guisan, A., Tingley, R., Baumgartner, J.B., Naujokaitis-Lewis, L., Sutcliffe, P.R., Tulloch, A.I.T., Regan, T.J., Brotons, L., McDonald-Madden, E., Mantyka-Pringle, C., Martin, T.G., Rhodes, J.R., Maggini, R., Setterfield, S.A., Elith, J., Schwartz, M.W., Wintle, B.A., Broennimann, O., Austin, M., Ferrier, S., Kearney, M.R., Possingham, H.P. and Buckley, Y.M. (2013): Predicting species distribution for conservation decisions: Ecology Letters 16(12), 1424-1435
- 8) 田中章・樋口正秀・廣野優子 (2009) : HSI モデル オオタカ *Accipiter gentilis*, 14pp, 環境アセスメント学会生態系研究部会 HSI モデル公開ホームページ (<http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi/HSIHP/index.html>), 更新日不明, 2014.12.11 参照
- 9) 尾崎研一・堀江玲子・山浦悠一・遠藤孝一・野中純・中嶋友彦 (2008) : 生息環境モデルによるオオタカの営巣数の広域的予測 : 関東地方とその周辺 : 保全生態学研究 13 (1), 37-45
- 10) 環境省 : 生物多様性情報システム : (<http://www.biodic.go.jp/J-IBIS.html>), 更新日不明, 2014.9.18 参照
- 11) Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Schapire, R.E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190(3-4), 231-259
- 12) 岩崎貴也・坂口翔太・横山良太・高見泰興・大澤剛士・池田純士・陶山佳久 (2014) : 生物地理学とその関連分野における地理情報システム技術の基礎と応用 : 日本生態学会誌 64 (3), 183-199
- 13) 松江正彦・百瀬浩・植田睦之・藤原宣夫 (2006) : オオタカ (*Accipiter gentilis*) の営巣密度に影響する環境要因 : ランドスケープ研究 69 (5), 513-518
- 14) 小川みふゆ・竹中明夫・角谷拓・石濱史子・山野博哉・赤坂宗光 (2013) : 植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図の作成—生物の分布推定を行うユーザーのために— : 保全生態学研究 18 (1), 69-76
- 15) Elith, J. (2002): Quantitative methods for modeling species habitat: Comparative performance and an application to Australian plants. In: Ferson, S. and Burgman, M. (eds) Quantitative methods for conservation biology, Springer, New York, 39-58
- 16) Phillips, S.J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J. and Ferrier, S. (2009): Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. Ecological Applications 19(1), 181-197