

一般論文

ニホンジカ (*Cervus nippon*) の
分布拡大に影響を与える要因

奥村 忠誠*・清水 庸*・大政 謙次*

摘 要

近年、全国でニホンジカの分布拡大が確認され、それに伴い農林業被害地域も拡大し、大きな社会問題となっている。本研究では、分布拡大に影響する要因を把握することで、被害拡大防止の一助になると考えた。さらに、分布拡大の要因が個体群を安定的に維持できる生息地からの距離に影響されることを仮定し、異なる解析対象範囲を用いて解析することで分布拡大の要因把握を試みた。

分布データは環境省の自然環境保全基礎調査の第2回(1978年)と第6回(2003年)を用い、両時期に分布していたメッシュを安定メッシュ、第6回のみ分布していたメッシュを拡大メッシュと定義し、解析は拡大メッシュを対象に行った。説明変数には、標高、積雪、植生、土地利用、人口、道路に関する変数を用いた。解析では誤差分布を二項分布、リンク関数をロジットとした一般化線形モデルを用いた。解析対象範囲は本州、四国、九州とし、全域を対象にした解析では安定メッシュからの距離を説明変数に含むモデルと含まないモデルの二つのモデルを作成した。また、分布拡大距離の統計量をもとに60km、20km、10kmに解析対象範囲を絞ったモデルを作成した。

その結果、全域モデルで説明変数に距離を含まないモデルでは、積雪や人口などの広域で変動する要因の影響が考えられ、既存の研究では指摘されてこなかった人為的要因の影響が示唆された。また、説明変数に距離を含むモデルの結果では、安定メッシュからの距離の影響が強いことがわかった。解析対象範囲を絞ったモデルでは、耕作放棄地、針葉樹林、道路などの比較的小スケールで変化する要因が影響を及ぼしていることがわかった。しかし、範囲を絞ったモデルの精度はあまり高くなく、その原因としてニホンジカの密度などの内部要因の影響が考えられた。

キーワード：ニホンジカ、分布拡大距離、一般化線形モデル、人為的要因、耕作放棄地

1 はじめに

環境省の第6回自然環境保全基礎調査(2003年実施)¹⁾によると、ニホンジカ(*Cervus nippon*、以下、シカ)の分布域は前回調査の1978年からの25年間で1.7倍に増加していることが確認されている。そして、その分布拡大に伴い、農林業の被害地域も拡大し、平成19年度の全国の被害額は46億円となり、大きな社会問題となっている。分布拡大の要因としては狩猟者の減少、シカの生息数の増加、中山間地域における過疎化や高齢化、地球温暖化による個体数の増加などの要因が指摘されている²⁾。一方

で、江戸時代頃は平野部にも広く分布していたことがわかっており³⁻⁵⁾、現在の分布拡大はかつての生息地に分布が回復しているとも考えられるが⁵⁾、近年は高標高域への分布拡大も見られている⁶⁾。これらのことから、この分布拡大は複合的な要因により起こっているものであると考えられるが²⁾、データを用いて定量的に解析した事例は少ない。

一方、被害地域では特定鳥獣保護管理計画による個体数調整、電気柵やネットを使った被害防除などが行われているが、今後はこれらのハード面としての地域的な対策を実施すると同時に、広域を対象に長期的視点にたった土地利用や国土計画などの

2008年12月26日受付、2009年8月6日受理

*東京大学大学院 農学生命科学研究科、〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

ソフト面からの総合的な管理手法が求められる^{3,7,8}。長期的・広域的な計画を策定するためには、現在の分布拡大に関係する要因を把握し、その要因への対策を行うことで被害拡大のリスクを減らすことが可能になると思われる。

シカの生息適地推定に関する研究はこれまでにいくつか行われている（例えば、Kaji *et al.*⁵や永田⁹）。これらの研究は、標高・積雪・植生などの自然要因に着目して行われ、積雪と標高やササが制限要因であることを指摘している。また、現在の分布拡大の要因として人為的な影響を考慮する必要性が指摘されている^{2,9}が、試みられた研究は見あたらない。

そこで本研究では人為的要因も含めてシカの分布拡大の要因を把握することを目的とした。また、分布拡大は個体群の存続を可能にする安定した生息地からの分散により起こっていることから、1978年と2003年の2時期に生息が確認されたメッシュ（以下、安定メッシュ）からの距離により、分布の要因が異なることを仮定した。その上で、安定メッシュからの距離をもとにした異なる解析対象範囲を設定することで、分布拡大に影響を与える要因を把握することを試みた。

2 方 法

解析対象範囲はニホンジカの亜種であるホンシュウジカの生息地である本州、四国、九州の全域（約283,610km²）とした¹⁰。島嶼地域は範囲が狭いことと生息地としての連続性が低いため、分布拡大要因を把握するには適していない。これらのことから、今回の解析対象範囲からは除外した。

シカの分布データは、環境省の自然環境保全基礎調査の第2回（1978年）と第6回（2003年）を用いた。この分布データは標準地域メッシュ、2次メッシュの2分の1メッシュ（約5km × 5km）で作成されている。解析では、1978年と2003年の両時期にシカの分布が確認されたメッシュを安定メッシュ、2003年のみに分布が確認されたメッシュを拡大メッシュとして扱った。解析対象範囲全域のメッシュ数は9747メッシュ、その内、安定メッシュ数は1961メッシュ、拡大メッシュ数は1818メッシュであった。本研究ではこの拡大メッシュがどのような環境であるかを一般化線形モデル（Generalized Linear Model, 以下、GLM）を用いて解析することで、分布拡大要因の把握を試みた。GLMでは、誤差分布を二項分布、リンク関数をロジットとしたモデルを用いた。

分布予測や生息適地推定に使われる統計手法に関する総説や事例研究はこれまでも多数報告さ

れており（例えば、Guisan *et al.*¹¹やElith *et al.*¹²）、GLMもその一つである。この手法は生息と非生息に関する2値のデータを必要としている。一方、生息に関するデータのみから分布を予測する手法としては、ENFA（Ecological Niche Factor Analysis）¹³やBIOCLIM¹⁴などがあり、希少種のため分布データが集まりにくい場合や、博物館やボランティアなどにより「いる」地点のみが記録されたデータを用いる場合に使われることが多い¹⁵。本研究で用いたシカの分布データは対象種に詳しい方へアンケートと聞き取りを行い、目撃地点を集計して作成されている。そのため、分布データとしては生息を確認した地点のみのデータであるが、聞き取り調査は原則として1メッシュあたり2名以上に行っていることから、分布を確認していないメッシュを非生息メッシュとして利用することに大きな問題はないと考えた。また、いくつかの研究ではENFAなどのいるデータのみで解析するよりも、GLMなどの2値を用いた解析の方が精度が高いことが確認されている^{16,17}。

説明変数は現在のシカの分布に影響を与えていると思われる、標高、最深積雪深、植生、土地利用、人口、耕作放棄地、道路に関する12変数を用いた（表1）。これらの変数を用いた理由は以下による。シカは季節移動をする個体がいることが知られており¹⁸、近年では南アルプスの高山帯にも進出していることが確認されている⁶。そのことから、標高とシカの分布には何らかの関係があるものと考えた。積雪はシカの歩行や餌の獲得に大きな影響を与えること¹⁸⁻²¹から、変数として使用した。植生には針葉樹林、広葉樹林、竹林、草地が含まれており、針葉樹林は採食や積雪からの回避の場となるため²²⁻²⁸、広葉樹林は林床にシカの主要な餌であるササ類^{23,29}が生育していることがあるため、竹林や草地もササや草本性の餌の採食場所となりえるために使用した。土地利用では近年の田畑への被害が増加していることや地域スケールで耕作放棄地の増加に伴うシカの被害増加がいわれていること^{2,30}から使用した。道路や人口は生息に適していないもしくは生息地を分断する要素となると予想されたことから変数として使用した。

これらのデータは地理情報システム（Geographic Information System, 以下、GIS）を用いて以下の方法により5kmメッシュでの値に換算された。標高は数値地図250mメッシュを用いて5kmメッシュ内に含まれる平均標高を算出した。積雪はメッシュ気候値2000（1971-2000年の30年間の観測値について平均した平年値を3次メッシュで推定し

表 1 解析に使用した説明変数

| 変数名 | 説明 | データベース |
|-------|---------|------------------------------|
| 標高 | 平均標高 | 数値地図 250m メッシュ |
| 積雪 | 平均最深積雪深 | メッシュ気候値 2000 |
| 広葉樹林 | 面積 | 自然環境保全基礎調査 (第 2-5 回調査) |
| 針葉樹林 | 面積 | 自然環境保全基礎調査 (第 2-5 回調査) |
| 竹林 | 面積 | 自然環境保全基礎調査 (第 2-5 回調査) |
| 草原 | 面積 | 自然環境保全基礎調査 (第 2-5 回調査) |
| 田 | 面積 | 国土数値情報 (H9 年度土地利用) |
| 他の農用地 | 面積 | 国土数値情報 (H9 年度土地利用) |
| 荒地 | 面積 | 国土数値情報 (H9 年度土地利用) |
| 耕作放棄地 | 面積割合 | 2000 年農業集落カード、農業集落地図データ |
| 人口 | 人数 | 平成 12 年国勢調査 |
| 道路 | 延長距離 | 国土数値情報 (H14 年度道路密度・道路延長メッシュ) |

た値)の最大積雪深をもとに、5km メッシュで平均した。植生は自然環境保全基礎調査の第 2 回をもとに改変部分を含めた第 2 - 5 回 (1998 年) を用いて、4 つの変数 (広葉樹林、針葉樹林、竹林、草原) の面積を算出した。土地利用は 1998 年の国土数値情報を用いて 3 つの変数 (田、その他の農用地、荒地) の面積を算出した。人口は平成 12 年国勢調査から、5km メッシュに含まれる人口を求めた。耕作放棄地は「2000 年農業集落カード」と「2000 年農業集落地図データ」をもとに作成した。前者は農林水産省が実施した 2000 年世界農林業センサス農家調査および農業集落調査の成果を集落単位で集計したものであり、後者は集落界のポリゴンデータである。このデータは集落単位で作成されているため、5km メッシュに再集計する必要がある。そこで、集落が 5km メッシュに含まれる面積割合を求め、その面積割合を乗じた全耕作地面積と耕作放棄地面積を求めた。その値から耕作放棄地率 (耕作放棄地面積 / 全耕作地面積) を算出した。

これらの説明変数は単位が異なるため、説明変数間で得られたパラメータの値を単純に比較することができない。そこで、比較を可能にするために、データの標準化 (Z) を行った。

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

ここで μ はデータの平均値、 σ はデータの標準偏差、 x は各データである。

分布拡大の要因は安定した生息地 (安定メッシュ) からの距離に影響を受けることが予想される

ため、解析対象範囲が全域のモデルにおいて説明変数に距離を含むモデルと含まないモデルの二つのモデルを GLM で解析して距離の影響を調べた。さらに、分布拡大距離をもとに以下の手順で異なる解析対象範囲を決定した。まず、GIS を用いて安定メッシュに隣接する全ての拡大メッシュを選択した。この時点で安定メッシュに隣接していない拡大メッシュは解析対象メッシュからはずれ、アンケート調査の不確実性がある程度排除されるものと予想される。次に、選択された拡大メッシュに隣接している拡大メッシュを選択した。この選択を隣接する拡大メッシュがなくなるまで行った。解析対象範囲は、選択された全てのメッシュの安定メッシュからの距離の統計量をもとに決定した。

これらの解析を行って得られたすべてのモデルを用いて赤池の情報量規準 (Akaike Information Criterion, 以下、AIC) によるモデル選択を行った。また、モデルの精度を検証するために全データの内の 70% をトレーニングデータ、残りの 30% をテストデータとして解析を行った。得られたモデルは AUC (Area Under the Curve) による精度検証を行った。

AUC とは、ROC (Receiver Operating Characteristic) 解析によって得られる指標である^{31, 32)}。近年の分布予測に関する研究では使用頻度も高く (例えば、Thuiller *et al.*³³⁾ や Elith *et al.*¹²⁾ など)、これまでによく使われていた Kappa と比較しても信頼性が優れている^{31 - 36)}。AUC の値は、0.5 以上 1 以下の値をとり、1 に近いほどモデルの当てはまりが良いことを示している³¹⁾。

3 結 果

3.1 分布拡大距離

分布拡大距離をもとにした解析対象範囲を決めるために、安定メッシュに連続している拡大メッシュを GIS により抽出した。その結果、分布拡大距離の中央値は 5.8km、平均値は 8.9km であった (図 1)。箱ひげ図の箱の上側 (上側四分位) は 75% 点を示しており、その値は 10.9km であったことから、全ての拡大メッシュの約 75% が安定メッシュから近隣の 2 メッシュ以内に含まれていたことになる。また、箱ひげ図のひげの上側 (上側四分位数から四分位範囲の 1.5 倍以内にあるデータのうちの最大値を示す) は極値を示しており、その値は 19.8km となっていた。さらに、安定メッシュに連続したメッシュで最も遠くまで拡大したメッシュは新潟県と福島県の県境付近にあり、最近接の安定メッシュのある栃木県までの距離は 56.6km であった。以上のことから、約 75% のメッシュが含まれる 10km 範囲 (120,734km²)、はずれ値を除いたほとんどのメッシュが含まれる 20km 範囲 (153,400km²)、最大拡大距離である 60km 範囲 (186,934km²) の 3 つ解析対象範囲を設定した (図 2)。これ以降の解析では、これら 3 つの範囲によるモデルに加え、解析対象範囲に制限を用いない全域を対象としたモデルの説明変数に距離を含むモデルと含まないモデルの計 5 つのモデルを使用した。それぞれの解析対象

範囲に含まれる拡大メッシュと非生息メッシュの数は 10km 範囲ではそれぞれ 1147 メッシュ、628 メッシュ、20km 範囲では 1534 メッシュ、1654 メッシュ、60km 範囲では 1643 メッシュ、3730 メッシュ、全域では 1818 メッシュ、5788 メッシュであり、これらのメッシュを解析に用いた。

3.2 分布要因

解析対象範囲が全域で説明変数に距離を含まないモデルでは、最良モデルの AIC からの差を表す Δ AIC が 2 までの範囲に 4 つのモデル式が含まれていた (表 2)。これらのモデル式に共通して標高、竹林、針葉樹林、田、他の農用地、耕作放棄地、人口、道路、積雪の 8 つ説明変数が含まれていたが、最良モデルではこれらの変数に加え、荒地が含まれていた。最良モデルにおいて、最も影響を与えていた変数は積雪であり、積雪が多いほどシカの分布確率が下がる傾向が読み取れた (表 5)。次いで人口が負の影響を与えていた。

次に、解析対象範囲が全域で説明変数に距離を含むモデルでは、 Δ AIC が 2 までの間に 7 つのモデル式が含まれていた。説明変数のうち、標高、広葉樹林、草地、田、荒地、耕作放棄地、人口、道路、距離の変数は全てのモデル式に共通して選ばれていた。最良モデルではこれらの変数に加え積雪も説明変数として選ばれていた。最良モデルにおいて、最も影響を与えていた変数は距離であり、安定メッシュから距離が離れる程シカの分布確率が低くなることを

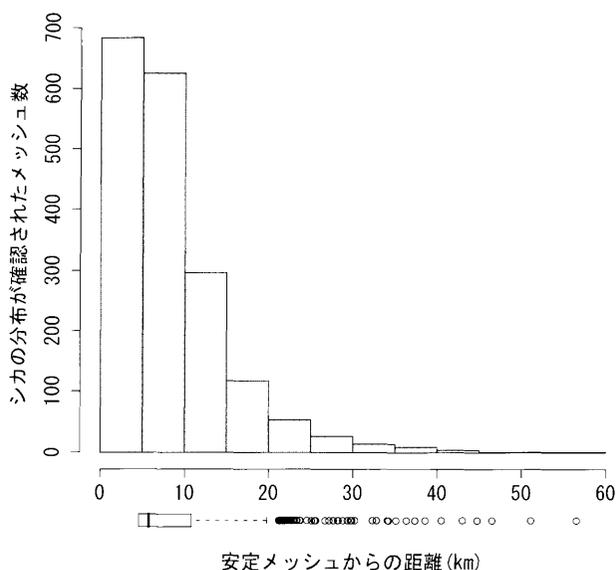


図 1 安定メッシュからの分布拡大距離。箱ひげ図の太線は中央値、箱の左右端はそれぞれ下側四分位、上側四分位を示す。ひげは四分位 \times 1.5 の値、 \circ ははずれ値を示す。

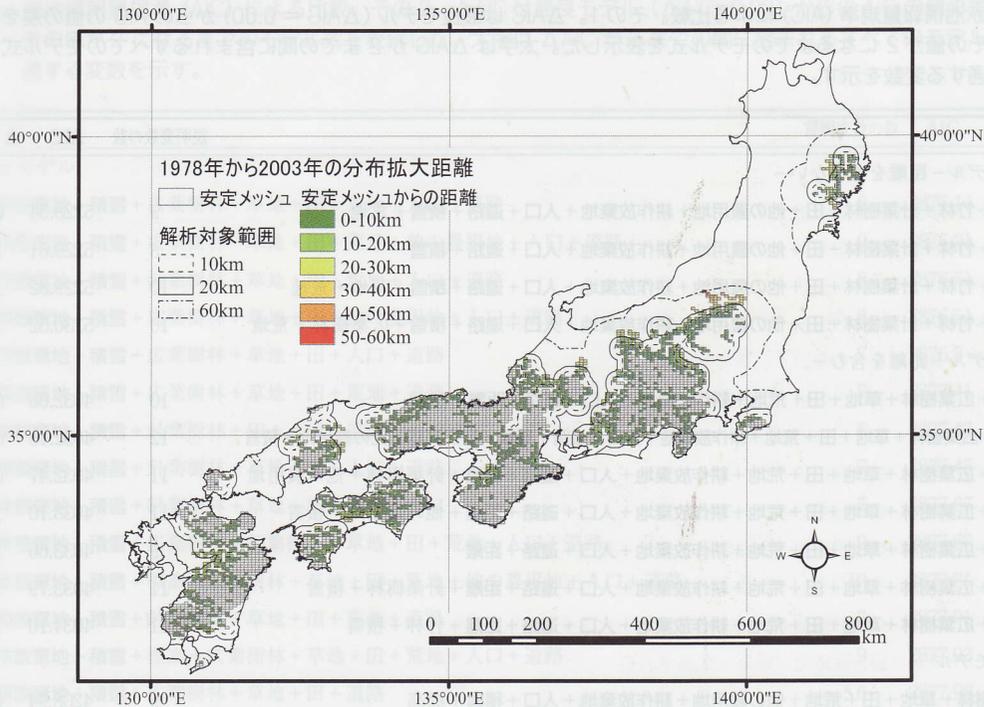


図2 安定メッシュからの距離と解析対象範囲。解析対象範囲は内側から10km, 20km, 60kmを示す。

示していた。次に影響が大きかったのは人口であった。しかし、距離の係数の値が -3.25 と、他の係数と比べて格段に大きくなっていることから距離によりほとんど説明がつくモデルとなっていた。また、説明変数に距離を含まないモデルと距離を含むモデルの最良モデルのAICはそれぞれ5228.54と4032.06となっており、距離を含むモデルのAICが小さくなっていた。

60kmモデルでは、 ΔAIC が2までの間に5つのモデル式が含まれていた。全てのモデル式に共通して含まれていた変数は広葉樹林、草地、田、荒地、他の農用地、耕作放棄地、人口、積雪であり、最良モデルではこれらに加えて標高が含まれていた。これらの変数の中で人口が負の要素として大きな影響を与えており、次いで積雪や田も負の要素としての影響が大きかった。20kmモデルでは、19のモデル式が ΔAIC が2までの間に含まれており、19のモデル式に共通して耕作放棄地と積雪の説明変数が選ばれていた。最良モデルではこれらの変数に加えて広葉樹林、草地、田、荒地、人口、道路の6つの変数も含まれていた(表3)。これらの変数の中で道路が最も大きな負の影響を与えており、次いで人口も負の影響を与えていた。10kmモデルでは、

ΔAIC が2までの間に20のモデル式が含まれていた(表4)。その中で共通した変数は針葉樹林、草地、耕作放棄地の3変数であり、最良モデルでは荒地、人口が加わり、5変数のモデル式となっていた。これらの変数の中で影響が大きかったのは針葉樹林であり、次いで耕作放棄地の影響が大きくなっていた。

また、荒地、耕作放棄地、人口の3変数は全ての範囲の最良モデルで選ばれており、荒地と耕作放棄地は解析対象範囲が狭いほどその影響が大きく、反対に人口は解析対象範囲が広いほど影響が大きくなる傾向が見られた。

3.3 モデルの検証と予測

推定されたパラメータをもとにしてトレーニングデータでの適合度を検証した結果、全域モデルの説明変数に距離を含むモデルが0.88と最も高い値を示し、次いで距離を含まないモデルが0.74となっていた。距離を絞ったモデルでは解析対象範囲が狭いほどAUCの値も低くなっていた(表6)。テストデータに当てはめた予測においても同様の傾向が示されており、AUCの値は検証の時よりも若干下がっていたがほぼ同程度を示していた。

表 2 赤池情報量規準 (AIC) による比較。その 1。 ΔAIC は最良モデル ($\Delta AIC = 0.00$) からの AIC の値の差を示し、その値が 2 になるまでのモデル式を表示した。太字は ΔAIC が 2 までの間に含まれるすべてのモデル式で共通する変数を示す。

| モデル | 説明変数の数 | AIC | ΔAIC |
|--|--------|---------|--------------|
| 全域モデル-距離を含まない- | | | |
| 標高+竹林+針葉樹林+田+他の農用地+耕作放棄地+人口+道路+積雪+荒地 | 9 | 5228.54 | 0.00 |
| 標高+竹林+針葉樹林+田+他の農用地+耕作放棄地+人口+道路+積雪 | 8 | 5229.61 | 1.07 |
| 標高+竹林+針葉樹林+田+他の農用地+耕作放棄地+人口+道路+積雪+草地+荒地 | 10 | 5229.82 | 1.28 |
| 標高+竹林+針葉樹林+田+他の農用地+耕作放棄地+人口+道路+積雪+広葉樹林+荒地 | 10 | 5230.52 | 1.99 |
| 全域モデル-距離を含む- | | | |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+積雪 | 10 | 4032.06 | 0.00 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+針葉樹林+他の農用地+積雪 | 12 | 4032.18 | 0.12 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+針葉樹林+他の農用地 | 11 | 4032.47 | 0.41 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+他の農用地+積雪 | 11 | 4033.10 | 1.03 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離 | 9 | 4033.60 | 1.54 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+針葉樹林+積雪 | 11 | 4033.79 | 1.73 |
| 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+耕作放棄地+人口+道路+距離+竹林+積雪 | 11 | 4034.10 | 1.99 |
| 60km モデル | | | |
| 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+耕作放棄地+人口+積雪+標高 | 9 | 4208.94 | 0.00 |
| 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+耕作放棄地+人口+積雪 | 8 | 4209.64 | 0.70 |
| 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+耕作放棄地+人口+積雪+標高+竹林 | 10 | 4210.37 | 1.44 |
| 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+耕作放棄地+人口+積雪+標高+道路 | 10 | 4210.71 | 1.78 |
| 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+耕作放棄地+人口+積雪+標高+針葉樹林 | 10 | 4210.93 | 1.99 |

4 考 察

4.1 分布拡大距離

1978 年から 2003 年までの 25 年間に安定メッシュから最大 56km 離れたメッシュまでシカの分布が拡大していることがわかった。その地域は尾瀬周辺であり、尾瀬地域では 1980 年代から 90 年代にかけてシカの分布が確認され^{37, 38}、尾瀬の湿原ではシカが好む高茎草本やミズバショウへの踏圧や採食、湿原自体を掘り返す被害が確認されている³⁹。冬季の尾瀬は積雪が多いためシカは夏季のみを利用し、越冬地は別にあると考えられており、小金澤・福井⁴⁰は、遺伝分析からその個体群の越冬地が栃木県日光市と栗山村、群馬県片品村にあることを確認した。越冬地の一つである日光地域では、近年の積雪の減少により 1980 年代から分布拡大が確認されており、これまでよりも高標高でシカが越冬するようになり、密度の増加もみられている^{21, 41}。また、丸山¹⁸は気候の好転期には、季節的移動個体はかつての越冬地に帰還する必要はなく、そのま

ま夏の生息地に滞在して定住生活を営むことになり、こうして新たな個体群を産出するとともに分布拡大の礎となる役割を担っていることを指摘している。これらのことから日光で季節移動を行う個体が、積雪が減少したことで、より尾瀬に近い地域で越冬可能となり、その越冬地からの季節移動により距離の離れた尾瀬への進出を可能にしたことが推測される。

4.2 モデルの解釈

全域モデルでは積雪や人口など広域で変動する要因が強い影響を与えていた。永田⁹はシカの生息適地の把握を目的に東北地方で解析を行った結果、標高、積雪、植生の指標（二次林、植林、二次草原）の順で影響を与えていたことを示した。結論で東北地方の人為的影響の強さにも言及しているが、それに関するデータは用いておらず、影響は不明であった。今回の全域を対象にした解析では、人口の影響が積雪に次いで大きくなっていることがわかった。また、全ての範囲の最良モデルで選ばれていることから、人為的要素はシカの分布を決定

表 3 赤池情報量規準 (AIC) による比較。その 2。 Δ AIC は最良モデル (Δ AIC=0.00) からの AIC の値の差を示し、その値が 2 になるまでのモデル式を表示した。太字は Δ AIC が 2 までの間に含まれるすべてのモデル式で共通する変数を示す。

| モデル | 説明変数の数 | AIC | Δ AIC |
|--|--------|---------|--------------|
| 20km モデル | | | |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+荒地+人口+道路 | 8 | 2876.14 | 0.00 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+人口+道路 | 9 | 2876.21 | 0.08 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+草地+田+荒地+人口+道路 | 8 | 2876.51 | 0.37 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+他の農用地+人口+道路 | 8 | 2876.51 | 0.38 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+人口+道路 | 7 | 2876.5 | 0.40 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+荒地+道路 | 7 | 2877.41 | 1.27 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+田+人口+道路 | 6 | 2877.43 | 1.29 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+草地+田+人口+道路 | 7 | 2877.45 | 1.31 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+草地+田+荒地+人口 | 7 | 2877.67 | 1.53 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+針葉樹林+草地+田+荒地+人口+道路 | 9 | 2877.67 | 1.54 |
| 耕作放棄地+積雪+ 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+人口+道路 | 10 | 2877.81 | 1.68 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+草地+田+荒地+道路 | 7 | 2877.91 | 1.77 |
| 耕作放棄地+積雪+ 標高+広葉樹林+草地+田+荒地+人口+道路 | 9 | 2877.93 | 1.79 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+草地+田+道路 | 6 | 2877.98 | 1.85 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+針葉樹林+草地+田+荒地+他の農用地+人口+道路 | 10 | 2878.01 | 1.87 |
| 耕作放棄地+積雪+ 竹林+広葉樹林+草地+田+荒地+人口+道路 | 9 | 2878.08 | 1.94 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+草地+荒地+道路 | 6 | 2878.08 | 1.95 |
| 耕作放棄地+積雪+ 針葉樹林+田+人口 | 5 | 2878.09 | 1.96 |
| 耕作放棄地+積雪+ 広葉樹林+針葉樹林+草地+田+他の農用地+人口+道 | 9 | 2878.10 | 1.97 |

する重要な要因であり、人為的要素も含めて解析を行うことで現在のシカの分布を説明することが可能になると思われる。最も影響を与えていた積雪に関しては、シカの歩行や採食に強い影響を与え^{18, 21)}、その結果、分布にも影響を与えていることが知られている^{3, 4)}。特に、形態学的に歩行可能な積雪深は 50cm と考えられている^{10, 30)}。このことから、従来の全域を対象にした解析は生息適地の把握には適しているが、本来生息不可能な積雪の多い地域を含めて分布要因を推測しており、分布拡大の要因を正確に把握することはできないと考えられる。また、全域モデルの説明変数に距離を含むモデルでは、安定メッシュからの距離が最も重要な要因となっていた。この変数は永田⁹⁾の研究ではシカの個体数や密度などの個体群圧を示す内部要因の指標とされ、その影響の大きさを指摘している。本研究でもその影響は大きいことが明らかとなり、シカの内部要因が近年の分布を説明する上で重要な要因となっていることが分かった。しかし、前述の通

り、全域を対象にしたモデルは本来生息不可能な地域が含まれていることに変わりはなく、分布拡大の要因を知る上では不十分である。そこで、調査期間の 25 年間に分布拡大した距離をもとに対象範囲を絞って解析を行った。その結果、積雪や標高などの広域に影響を与える要因から耕作放棄地、植生、道路などの小スケールで影響を与える要因へと分布を規定する要因が変化していることが確認できた。

これまで、耕作放棄地の増加がイノシシやシカによる獣害の増加をもたらすことが指摘されてきたが^{43, 45)}、今回の結果から生息域の拡大との関係が明らかになった。これは、耕作放棄地がシカの隠れ場になりやすいということ⁴⁶⁾と同時に、中山間における人間活動の衰退⁴⁷⁾が分布拡大を助長する要因となっていると考えられる。

20km モデルでは、道路の影響が最も強くなっていた。道路や鉄道などの交通網は分布を遮断する要因として考えられており、モンゴルガゼルでは鉄道沿いの柵により分布が制限されていることが確認

表 4 赤池情報量規準 (AIC) による比較。その 3。 ΔAIC は最良モデル ($\Delta AIC = 0.00$) からの AIC の値の差を示し、その値が 2 になるまでのモデル式を表示した。太字は ΔAIC が 2 までの間に含まれるすべてのモデル式で共通する変数を示す。

| モデル | 説明変数の数 | AIC | ΔAIC |
|--|--------|---------|--------------|
| 10km モデル | | | |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 人口 | 5 | 1538.27 | 0.00 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 | 6 | 1538.68 | 0.41 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 広葉樹林 + 荒地 + 人口 | 6 | 1539.12 | 0.85 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 + 積雪 | 7 | 1539.15 | 0.89 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 広葉樹林 + 荒地 | 5 | 1539.32 | 1.06 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 広葉樹林 + 荒地 + 人口 + 積雪 | 7 | 1539.41 | 1.14 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 人口 + 積雪 | 6 | 1539.42 | 1.15 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 田 + 荒地 + 人口 | 6 | 1539.68 | 1.42 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 広葉樹林 + 荒地 + 人口 + 道路 | 7 | 1539.70 | 1.43 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 広葉樹林 + 荒地 + 積雪 | 6 | 1539.71 | 1.45 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 竹林 + 荒地 + 人口 | 6 | 1539.90 | 1.63 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 道路 | 5 | 1539.93 | 1.67 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 標高 + 荒地 + 人口 | 6 | 1539.94 | 1.67 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 田 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 + 積雪 | 8 | 1540.16 | 1.90 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 標高 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 | 7 | 1540.17 | 1.91 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 人口 | 4 | 1540.20 | 1.93 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 竹林 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 | 7 | 1540.23 | 1.97 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 荒地 + 他の農用地 + 人口 + 道路 | 7 | 1540.24 | 1.97 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 標高 + 広葉樹林 + 荒地 + 人口 | 7 | 1540.24 | 1.98 |
| 針葉樹林 + 草地 + 耕作放棄地 + 田 + 荒地 + 人口 + 積雪 | 7 | 1540.26 | 1.99 |

されている²⁶⁾。そのことから、今回の結果においても、道路が分布拡大の制限要因となっている可能性が示唆された。

それ以外にも、10km モデルでは針葉樹林の面積が広いメッシュに分布が拡大していることが分かった。針葉樹林がシカの選好する環境として選ばれていたことは、常緑の針葉樹林は冬季でも樹冠が覆われているため、積雪を避けることができ^{27, 28)}、餌としてもヒノキ、トウヒ、ウラジロモミの樹皮などが利用されている^{23 ~ 26)}ことに起因した結果であると考えられる。樹皮の剥皮は冬季の餌の少ないときだけでなく、地域によっては餌の豊富な夏季にも見られるため^{22, 21)}、シカによる周年利用も考えられる。また、冬季の重要な餌であるササ^{23, 29)}は広葉樹林の林床に多いため、冬季は積雪により採食ができなくなることも多い。これらのことから、針葉樹林は分布拡大に影響を与える重要な要因であると思われる。また、説明変数に距離を含ま

ないモデルで標高と積雪が他のモデルと符号が逆転する現象がみられた。これは距離の影響が他の変数に比べて格段に大きいことから、GLM の結果として他の変数との調整により得られた値であると思われる。

4.3 モデルの検証

それぞれのモデルの検証と予測の間ではほとんど違いがないため、モデルとしての精度は一定水準にあると思われる。しかし、それぞれのモデルで AUC の値にばらつきがみられた。特に、距離が狭まるほど精度も悪くなり、今回準備した変数だけでは説明できない要因や地域性の問題があるものと思われる。

今回のモデルの中で最も AUC が高かったのが全域モデルで距離を説明変数に含むモデルであった。前述の通り、この距離の変数は内部要因の指標とされていることから⁹⁾、距離を絞ったモデルにおいて解析対象範囲が狭いほど AUC の値が低くなるのは、

表 5 最良モデルにおける標準化されたパラメータ推定値 (β) とその標準誤差 (SE)。全域モデル距離あり以外は距離の変数は用いていない。太字は Δ AIC が 2 までの間に含まれるすべてのモデル式で選ばれた変数を示す。

| | 全域モデル | | | | 60km モデル | | 20km モデル | | 10km モデル | |
|-------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| | 距離を含まない | | 距離を含む | | β | SE | β | SE | β | SE |
| | β | SE | β | SE | | | | | | |
| 標高 | 0.33 | 0.05 | -0.16 | 0.05 | 0.09 | 0.05 | - | - | - | - |
| 竹林 | 0.10 | 0.03 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 広葉樹林 | - | - | -0.20 | 0.05 | -0.31 | 0.05 | -0.16 | 0.05 | - | - |
| 針葉樹林 | 0.20 | 0.04 | - | - | - | - | - | - | 0.37 | 0.07 |
| 草地 | - | - | -0.09 | 0.04 | -0.09 | 0.04 | -0.15 | 0.05 | -0.15 | 0.07 |
| 田 | -0.23 | 0.06 | -0.31 | 0.07 | -0.45 | 0.06 | -0.24 | 0.07 | - | - |
| 荒地 | 0.06 | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.10 | 0.04 | 0.08 | 0.05 | 0.14 | 0.07 |
| 他の農用地 | -0.20 | 0.04 | - | - | -0.20 | 0.05 | - | - | - | - |
| 耕作放棄地 | 0.15 | 0.03 | 0.19 | 0.04 | 0.15 | 0.04 | 0.20 | 0.05 | 0.22 | 0.07 |
| 人口 | -0.64 | 0.15 | -0.36 | 0.15 | -0.70 | 0.09 | -0.25 | 0.14 | -0.15 | 0.07 |
| 道路 | 0.28 | 0.12 | -0.29 | 0.12 | - | - | -0.38 | 0.13 | - | - |
| 積雪 | -0.83 | 0.06 | 0.12 | 0.07 | -0.48 | 0.06 | -0.19 | 0.05 | - | - |
| 距離 | | | -3.25 | 0.14 | | | | | | |

表 6 AUC によるモデルの評価。検証はモデル結果をトレーニングデータに、予測はテストデータに当てはめた場合を示す。

| | 全域モデル | | 60km モデル | 20km モデル | 10km モデル |
|----|---------|-------|----------|----------|----------|
| | 距離を含まない | 距離を含む | | | |
| 検証 | 0.74 | 0.88 | 0.70 | 0.68 | 0.66 |
| 予測 | 0.75 | 0.89 | 0.71 | 0.64 | 0.63 |

安定した生息地に近いことで内部要因つまり密度の影響が強まるためと考えられ、密度を考慮したモデルを作成することでモデルの改善が図れると思われる。シカの密度指標には区画法や糞塊密度や目撃効率などが使われている⁴⁹。これらの方法のうち、区画法と糞塊密度は精度は高いが広域で調査を行うことは労力的にも経済的にも難しい。目撃効率は狩猟者へ調査票（狩猟カレンダー）を配布し、集計したものから作成されていることから⁴⁹、広域での情報収集に適した方法である。精度としても糞塊密度と正の相関が見られており⁴⁹、シカの分布拡大を予測する上で重要な変数となり得る。これらのデータを全国的に整備することができれば、今回のモデルを用いてシカの分布拡大を精度よく予測することが可能になると思われる。

5 おわりに

本研究では、シカの分布拡大に影響を与える要因を把握するために、異なる解析対象範囲を設定し、GLM を用いて複数のモデルを作成した。その結果、全域モデルで説明変数に距離を含まないモデルでは、積雪や人口などの広域で変動する要因が影響を及ぼしていることがわかった。これは既存の研究では指摘されてこなかった人為的要因がシカの分布に強く影響していることを示唆している。また、説明変数に距離を含むモデルの結果から、個体群が継続的に生息可能な安定的な生息地からの距離の影響が強いことがわかった。そこで、25 年間に分布拡大した距離を求めた結果、最大で 56km の分布拡大が確認され、箱ひげ図のはずれ値を除いたほとん

どのメッシュが20km範囲に含まれ、約75%のメッシュが10km範囲に含まれていた。これらの結果をもとに、解析対象範囲を絞って同様の解析を行った結果、人間活動を避けながら耕作放棄地や針葉樹林などの比較的小スケールで変化する要因が影響を及ぼしていることがわかった。また、範囲を絞ったモデルの精度が悪くなっていたことの原因として、シカの密度や個体数などの内部要因が影響していることが示唆された。今後さらに精度を高めるためにはシカの内部要因に関連した要因をモデルに組み込むことと、より地域性を考慮した統計手法や環境要因の検討が必要であると思われる。

謝 辞

中央農業総合研究センターの井上君夫博士には本研究で使用したデータの一部を提供して頂いた。近畿中国四国農業研究センターの上田弘則博士には論文を紹介して頂いた。また、匿名の2名の査読者には原稿に対して有益なコメントを賜った。この場を借りて厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部は、東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴う共同研究(研究番号179)による成果であり、以下のデータを利用した。国土地理院提供: 数値地図250mメッシュ標高データセット、シンフォニカ提供: 昭和50年国勢調査メッシュ1次メッシュ単位データセット、平成12年国勢調査地域メッシュ統計その1(CSV形式)データセット。

文 献

- 1) 環境省自然環境局生物多様性センター(2004)第6回自然環境保全基礎調査種の多様性調査哺乳類分布調査報告書。財団法人自然環境研究センター、213pp.
- 2) 三浦慎悟(2007)シカ保護管理計画制度の評価によせて。哺乳類科学, **47**(1), 81-83.
- 3) 古林賢恒・篠田寧子(2001)江戸近郊におけるニホンジカ(*Cervus nippon*)の生息状況。野生生物保護: *Wildlife conservation Japan*, **7**(1), 1-24.
- 4) 小金沢正昭(1989)「鉄砲文書」に見る江戸時代のシカ・イノシシの分布について(予報)。栃木県立博物館研究紀要, **6**, 65-80.
- 5) Kaji, K., M. Miyaki, T. Saitoh, S. Ono, and M. Kaneko(2000) Spatial distribution of an expanding sika deer population on Hokkaido Island, Japan. *Wildlife Society Bulletin*, **28**(3), 699-707.
- 6) 泉山茂之・望月敬史(2008)南アルプス北部の亜高山帯に生息するニホンジカ(*Cervus nippon*)の季節的環境利用。信州大学農学部AFC報告, **6**, 25-32.
- 7) 宇野裕之・横山真弓・坂田宏志(2007)ニホンジカ個体群の保全管理の現状と課題。哺乳類科学, **47**(1), 25-38.
- 8) 環境省(2007)第三次生物多様性国家戦略。環境省, 277pp.
- 9) 永田尚志(2006)野生生物種の生息適地関数の開発に関する研究。F-1野生生物の生息適地から見た生物多様性の評価手法に関する研究。環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書, 9-50.
- 10) 高槻成紀(2006)シカの生態誌。東京大学出版会, 480pp.
- 11) Guisan, A. and N. Zimmermann(2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, **135**, 147-186.
- 12) Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann et al.(2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**(2), 129-151.
- 13) Hirzel, A., J. Hausser, D. Chessel, and N. Perrin(2002) Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology*, **83**(7), 2027-2036.
- 14) Beaumont, L., L. Hughes, and M. Poulsen(2005) Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling*, **186**(2), 251-270.
- 15) 三橋弘宗(2007)生物多様性情報を活用した野生生物の分布情報。生物の科学-遺伝, **61**(4), 30-35.
- 16) Brotons, L., W. Thuiller, M. Araújo, and A. Hirzel(2004) Presence absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, **27**(4), 437-448.
- 17) Zaniwski, A., A. Lehmann, and J. Overton(2002) Predicting species spatial distributions using presence-only data: a case study of native New Zealand ferns. *Ecological Modelling*, **157**, 261-280.
- 18) 丸山直樹(1981)ニホンジカ *Cervus nippon* TEMMINCKの季節的移動と集合様式に関する研究。東京農工大学農学部学術報告, **23**, 1-85.
- 19) 三浦慎悟(1974)丹沢山塊檜洞丸におけるシカ個体群の生息域の季節変化。哺乳動物雑誌, **6**, 51-66.
- 20) Takatsuki, S.(1992) Foot morphology and distribution of Sika deer in relation to snow depth in Japan. *Ecological Research*, **7**(1), 19-23.
- 21) Li, Y., N. Maruyama, and M. Koganezawa(2001) Factors explaining the extension of the sika deer's

- range in Nikko, Japan. Biosphere conservation: for nature, wildlife, and humans, **3**(2), 55-69.
- 22) Ando, M., H. Omi Yokota, and E. Shibata (2004) Why do sika deer, *Cervus nippon*, debark trees in summer on Mt. Ohdaigahara, central Japan?. *Mammal Study*, **29**(1), 73-83.
- 23) Ueda, H., S. Takatsuki, and Y. Takahashi (2002) Bark stripping of hinoki cypress by sika deer in relation to snow cover and food availability on Mt Takahara, central Japan. *Ecological Research*, **17** (5), 545-551.
- 24) 安藤正規・柴田毅式 (2006) なぜシカは樹皮を剥皮するのか?. *日本森林学会誌*, **88** (2), 131-136.
- 25) 釜田淳志・安藤正規・柴田毅式 (2008) 樹種選択性、選好性樹木の分布および土地利用頻度からみた大台ヶ原におけるニホンジカによる樹木剥皮の発生. *日本森林学会誌*, **90** (3), 174-181.
- 26) Honda, T., H. Ueda, and K. Takiguchi (2008) Risk factors affecting the probability of damage by sika deer in plantation forests in Yamanashi Prefecture, Japan. *Landscape and Ecological Engineering*, **4**(2), 97-102.
- 27) 金子正美・梶 光一・小野 理 (1998) 第41回シンポジウム「20世紀・野生哺乳類からの検証環境インパクトを考える」. エゾシカのハビタット改変に伴う分布変化の解析. *哺乳類科学*, **38** (1), 49-59.
- 28) 梶 光一・宮木雅美・宇野裕之 (2006) エゾシカの保全と管理. 北海道大学出版会, 247pp.
- 29) Yokoyama, M., K. Kaji, and M. Suzuki (2000) Food habits of sika deer and nutritional value of sika deer diets in eastern Hokkaido, Japan. *Ecological Research*, **15**(3), 345-355.
- 30) 横山真弓・坂田宏志 (2007) 兵庫県におけるシカ保護管理計画の現状と今後の展望. *哺乳類科学*, **47** (1), 73-79.
- 31) Metz, C.E. (1978) Basic principles of ROC Analysis. *Seminars in Nuclear Medicine*, **8**, 283-298.
- 32) Hanley, J. A. and B. McNeil (1982) The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, **143**, 29-36.
- 33) Thuiller, W., M. Araujo, and S. Lavorel (2003) Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, **14**, 699-680.
- 34) Zweig, M.H. and G. Campbell (1993) Receiver-operating characteristic (ROC) plots: A fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*, **39**, 561-577.
- 35) McPherson, J. M., W. Jetz, and D.J. Rogers (2004) The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: Ecological phenomenon or statistical artefact?. *Journal of Applied Ecology*, **41**, 811-823.
- 36) 津山幾太郎・松井哲哉・小川みふゆ・小南裕志・田中信行 (2008) 本州東部におけるチシマザサの潜在分布域の予測と気候変化の影響評価. *GIS-理論と応用*, **16** (1), 11-25.
- 37) 内藤俊彦・木村吉幸 (1998) 尾瀬のニホンジカ. 尾瀬の総合研究. 尾瀬学術調査団, 725-739.
- 38) 丸山直樹 (2000) 尾瀬のシカ問題に関する提案: シカの個体群管理から自然生態系保護へ. *ワイルドライフ・フォーラム*, **5** (3), 73-84.
- 39) Igarashi, T. and S. Takatsuki (2008) Effects of defoliation and digging caused by sika deer on the Oze mires of central Japan. *Biosphere Conservation: for nature, wildlife, and humans*, **9** (1), 9-16.
- 40) 小金澤正昭・福井えみ子 (2003) 日光・利根シカ地域個体群の遺伝学的内部構造-尾瀬のシカはどこから来たか?. *ワイルドライフ・フォーラム*, **8** (3), 75-76.
- 41) 李 玉春・丸山直樹・小金澤正昭・神崎伸夫 (1996) 日光におけるニホンジカの越冬地拡大. 個体群成長と地球温暖化との関係. *野生生物保護: Wildlife conservation Japan*, **2** (1), 23-35.
- 42) 常田邦彦・丸山直樹・伊藤健雄・古林賢恒・阿部永 (1980) ニホンジカの地理的分布とその要因. 動物分布調査報告書【哺乳類】(昭和56年/全国版その2).
- 43) 小笠原輝・本郷哲朗 (2002) 地方都市近郊集落における土地利用の変遷と野生のサル. *イノシシとの接触*. *民族衛生*, **68**, 36-42.
- 44) 上田弘則・姜 兆文 (2004) 山梨県におけるイノシシの果樹園・放棄果樹園の利用. *哺乳類科学*, **44** (1), 25-33.
- 45) 本田 剛 (2007) イノシシ被害の発生に影響を与える要因: 農林業センサスを利用した解析. *日本森林学会誌*, **89** (4), 249-252.
- 46) 野生動物保護管理事務所 (2006) ニホンジカの農林業被害対策基礎調査報告書. 野生動物保護管理事務所, 170pp.
- 47) 岩崎亘典・栗田英治・嶺田拓也 (2008) 農村と都市・山地との境界領域で生じる軋轢と自然再生. *農村計画学会誌*, **27** (1), 32-37.
- 48) Ito, T., N. Miura, B. Lhagvasuren, D. Enkhbileg, S. Takatsuki, A. Tsunekawa, and Z. Jiang (2005) Preliminary Evidence of a Barrier Effect of a Railroad on the Migration of Mongolian Gazelles. *Conservation Biology*, **19**(3), 945-948.
- 49) 濱崎伸一郎・岸本真弓・坂田宏志 (2007) ニホンジカの個体数管理にむけた密度指標 (区画法, 糞塊密度および日撃効率) の評価. *哺乳類科学*, **47** (1), 65-71.

Factors influencing expansion of distribution on sika deer (*Cervus nippon*)

Tadanobu OKUMURA *, Yo SHIMIZU * and Kenji OMASA *
(* Graduate school of Agricultural and Life Science,
University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan)

Abstract

Recently, the distribution of sika deer (*Cervus nippon*) has been expanding, and the consequent damages to crops and forests are increasing. Clarification of factors influencing this expansion might help in controlling an expansion of damaged areas. In this analysis, we hypothesized that the variables of expanding distribution vary according to the distance from source habitats. Therefore, we attempted to reveal the factors of expanding distribution by using several analysis ranges.

A generalized linear model (GLM) was used to derive predictive habitat distribution models from vegetational, topographical, and social predictors in a geographic information system (GIS), using the sika deer data in Honshu, Shikoku, and Kyushu, Japan, collected in the national survey on natural environment in 1978 and 2003.

The results showed that snow depth and population were important variables in the whole area model without distance from source habitats. On the other hand, distance was strongly associated with the distribution in the whole area model with distance. Furthermore, results from models employing smaller analysis ranges revealed that the sika deer distribution is influenced by cultivation abandonment, conifer and roads. This result implies that to prevent an expansion of damaged areas, cultivation abandonment and conifer should be managed.

Key Words: sika deer, distance of expanding distribution, Generalized linear model, human dimension, cultivation abandonment