

兵庫県におけるニホンジカの個体数管理に向けた 複数のシナリオの検討と将来予測

坂田 宏志^{1)*}・濱崎 伸一郎²⁾・三橋 弘宗¹⁾
横山 真弓¹⁾・三谷 雅純^{1)*}

The Examination of Plural Scenarios for the Management of Sika Deer Population in Hyogo Prefecture

Hiroshi SAKATA^{1)*}, Shin-ichiro HAMASAKI²⁾, Hiromune MITSUHASHI¹⁾,
Mayumi YOKOYAMA¹⁾, and Masazumi MITANI^{1)*}

Abstract

We try to predict the changes of Sika deer density and agricultural damages in Hyogo prefecture in 2001. The following four patterns of hunting plans are assumed: (a) hunting no deer; (b) hunting the same numbers of deer in the same areas as they were hunted in 2000; (c) hunting twice as many deer as were hunted in 2000 with hunted numbers allocated in the proportion to density in 2000, (d) hunting twice as many deer as were hunted in 2000 with hunted numbers allocated in the proportion to increase rate in 2000. The results suggest that, in the case (a), the deer density and agricultural damage would not be reduced. In the case (c), these would be reduced. We examine the reliability by comparing the prediction and actually observed data in 2001, and discuss how to improve the forecasting methods and application of wildlife management in Hyogo.

Key words : wildlife management, population control, agricultural damage, landscape, forestry

はじめに

兵庫県におけるニホンジカは、ほぼ全県に生息域が拡大し、大きな個体群を形成している。2000年には、シカの捕獲数が約1万頭、農林業被害額が約5億5千万円と、いずれも北海道について全国で第2位となった。現在個体数を減らす方針で狩猟規制の緩和や駆除を行う一方で、農林業被害防除のための駆除や防護柵の設置が行われている(兵庫県, 2001)。鳥獣保護法により、都道府県に科学的・計画的な野生鳥獣の保護管理が求められている現在、これらの捕獲数が適切かどうか、また、現在の施策の結果、どのような効果や危険が予測されるかを

明確にして、県民の合意形成や方針の決定をしていく必要がある。

本稿においては、適正なシカに対する捕獲圧を検討するために、(a)シカを一切捕獲しない、(b)1999年から2000年の実績どおり捕獲する、(c)密度の高い地域を中心に捕獲を2倍に増やす、(d)増加率の高い地域を中心に捕獲を2倍に増やす、の4通りのシナリオを設定し(図1)、それぞれの方針を採った場合ごとの予測を、密度の変化率、密度、農業被害額について試みた。

ただし、実際の予測の精度は、入手できるデータの質や量、現時点で得られている兵庫県のシカに関する知見などに大きく依存するため必ずしも正確なものにはなら

¹⁾ 兵庫県立人と自然の博物館 自然・環境マネジメント研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Museum of Nature and Human Activities, Hyogo; Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo, 669-1546 Japan

²⁾ 野生動物保護管理事務所 〒651-1303 兵庫県神戸市北区藤原台南町4-10-2 Wildlife Management Office, Fujiwaradai-minamimachi 4-10-2, Kitaku, Kobe, 651-1303 Japan

*兼任: 姫路工業大学 自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6丁目 Institute of Natural and Environmental Sciences, HIT; Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

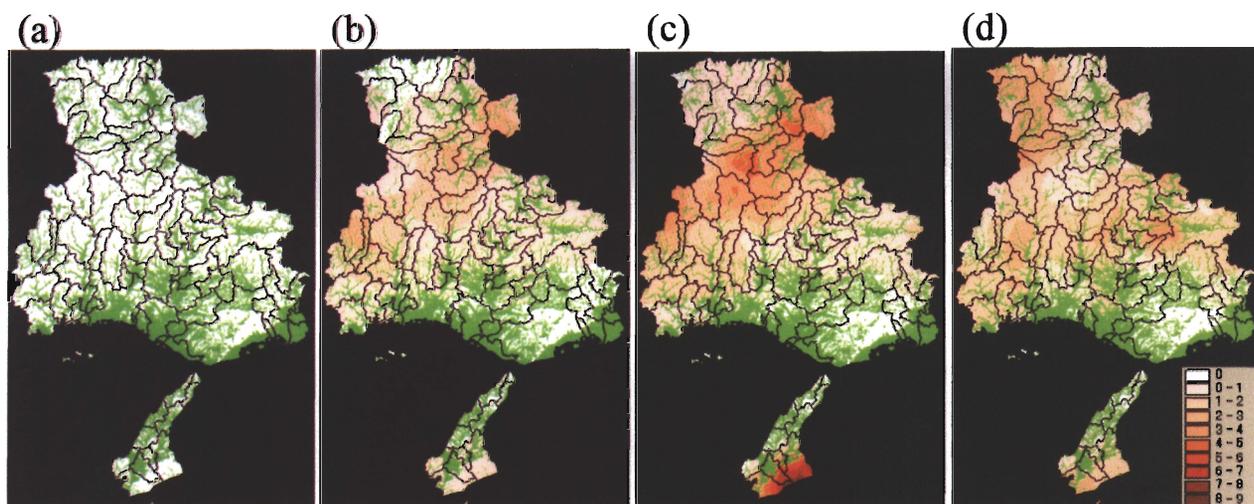


図1 予測のために想定したニホンジカの捕獲圧

(a)捕獲を全くしない場合、左中は、(b)現状の通りの捕獲をした場合、右中は、(c)密度の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合、右は、(d)増加率の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合、の各地点での捕獲圧（森林1km²あたりの年間のメス捕獲頭数）、緑色の部分は、森林以外の農耕地、住宅地などを示す。

ない、特に、生態学的な現象は、未知のものも含め様々な要因が関与するため予測は非常に困難である。このような課題を扱う際には、現時点で最善の努力を尽くして予測した結果を、今後集積されるデータと照らし合わせ、データ収集や予測技術の不備をチェックし改良する必要がある。現在の研究はその途上の段階にあることを十分に認識した上で、結果や手法の活用の可能性を評価しなければならない。今回は、1999年と2000年のデータから予測した2001年の密度指標変化率を実際の値と比較する事により、予測精度を確認し、今後のニホンジカに対するアダプティブ・マネージメントにむけた著者らの試みの可能性と課題を考察する。

方 法

予測式の推定

著者らはこれまで、1999年と2000年のデータを元に、兵庫県におけるニホンジカの分布や生息密度、各地での増減の傾向と、狩猟圧や農業被害との関連を解析し、シカの個体数や農業被害の大きさを左右する要因を検討してきた（坂田ほか、2001）。

これらの結果を基に、ある年のシカの密度や捕獲圧、気候条件、土地利用状況から、密度の変化率と農林業被害額を予測するモデル式をたてた。ここでの予測式決定の手法は坂田ほか(2001)と全く同様で、線形の重回帰モデルにおいて、MallowsのCp値（Mallows, 1973；丹後、2000の解説を参照）による説明変数の選択手法を用いた。これによって生息密度指標の変化率と1haあたりの農業被害額を予測する説明変数を選んだ。ただし、密度指標の変化率の予測式については、温量指数（各月の

平均気温の和）、最大積雪深、土地利用（建築物や道路に覆われた人工地の割合、農地の割合、森林におけるスギ・ヒノキの植林地の割合）を加えて検討した。また、密度指標は、坂田ほか(2001)と同様に、11月に山の尾根筋1kmを踏査したときに発見される糞塊の密度に換算して表現する。検討に加えた要因は表1の通りである。

スケールが異なっても同じ要因についての変数であれば共線性が強い。このような、複数の共線性を持つ変数を含む回帰モデルにおいては推定した係数の推定誤差が大きくなるだけでなく、結果の解釈が困難になる。変数選択においては、同じ要因について異なったスケールの変数が複数選ばれるモデルは除外した。

将来予測とシナリオの比較

(a)シカをいっさい捕獲しない、(b)1999年から2000年の実績どおり捕獲する、(c)密度の高いところを中心に捕獲を2倍に増やす、(d)増加率の高いところを中心に捕獲を2倍に増やす、の4つのシナリオ（図1）に基づいて、そのデータと2000年までに得られたデータを上の手法によって得られた予測式に代入し、2000年から2001年の密度の変化率、2001年のシカの密度、2001年に予測される農業被害額を推定した。

さらに、予測式にもとづいて、捕獲の数は同じでも場所を変えた(c)と(d)の場合の予測結果の差をとって比較した。

また、シカの密度が変わらないと仮定して、スギ・ヒノキの植林地の30%を、他の森林に改変した場合の効果を推定し、現状との差をとって比較した。改変した場合の被害額は、予測式に周辺の森林率を30%減らしたものを代入して求めた。この操作では、スギ・ヒノキ植林地

表1 解析に用いた変数のリスト

変数名	内容
密度指標の変化率〔(2000年の密度指標/1999年の密度指標)の自然対数〕に関する解析	
該当区画の密度指標	およそ5km四方の区画内の森林の尾根上1kmあたりの糞塊数(11月).あるいは努力量あたり目撃数から換算した糞塊密度.
隣接区画の密度指標	該当区画に隣接する8区画の密度指標の平均
隣接区画の個体数指標	該当区画に隣接する8区画の密度指標と森林面積の積分
該当区画の捕獲圧(オス・メス)	該当区画の森林面積(km ²)あたりのオスまたはメスの年間捕獲個体数
広域の捕獲圧(オス・メス)	該当区画を中心にした9区画約15キロ四方の森林面積(km ²)あたりのオスまたはメスの年間捕獲個体数
人工地率(該当区画・広域)	該当区画と該当区画を中心にした9区画約15キロ四方における市街地(建築物や道路などのある部分)の割合(%)
農地率(該当区画・広域)	該当区画と該当区画を中心にした9区画約15キロ四方における農耕地の割合(%)
植林率(該当区画・広域)	該当区画と該当区画を中心にした9区画約15キロ四方における森林のうちスギ・ヒノキの植林地が占める割合
鳥獣保護区の面積(該当区画・広域)	該当区画と該当区画を中心にした9区画約15キロ四方における鳥獣保護区的面積(%)
温量指数	月ごとの平均気温の年間の和
最大積雪深	その年の最大の積雪深(cm)
農業被害(haあたりの被害額)に関する解析	
農耕地の周辺2.5kmまたは5km以内のシカの個体数指標	該当農耕地の周辺2.5kmまたは5kmのバッファー内の密度指標と森林面積の積分
農耕地の周辺2.5kmまたは5km以内の森林の植林地率	該当農耕地の周辺2.5kmまたは5kmのバッファー内にある森林内のスギ・ヒノキ植林地面積の割合(%)
農耕地の周辺2.5kmまたは5km以内の農地率	該当農耕地の周辺2.5kmまたは5kmのバッファー内における農耕地面積の割合(%)
農耕地の周辺2.5kmまたは5km以内の人工地率	該当農耕地の周辺2.5kmまたは5kmのバッファー内における住宅や道路,工場など,農耕地や林地以外の人工的な環境の面積の割合(%)
林縁長	該当農耕地が森林と接する境界線の長さ(km)

をどのような林に転換したかを明確に想定できない。計算の上では、農業被害に対して兵庫県のスギ・ヒノキ植林地以外の森林の平均的な影響を持つような仮想の森林に変換したという条件設定での推定となる。

予測結果の評価

2000年から2001年の密度の変化率に関して、1999年から2000年のデータから得られた回帰式で予測した値と、実際の2001年のデータから得られた値を比較し、予測精度を検討した。

結 果

予測式の推定

密度指標の変化率については1999年と2000年のデータから、

$$\begin{aligned} \log(\text{密度指標の変化率}) = & 0.270 - 0.0155 \times (\text{該当区画の密度指標}) \\ & + 0.00000111 \times (\text{隣接区画の個体数指標}) \\ & - 0.171 \times (\text{広域のメス捕獲指標}) \\ & + 0.745 \times (\text{該当区画の農地率}) \\ & - 3.34 \times (\text{広域の人工地率}) \end{aligned}$$

という予測式が得られた(表2)。

坂田ほか(2001)で得られた要因に加え、5キロ四方の狭い範囲での農耕地の割合が多いところでは増える傾向があり、15キロ四方の広い範囲で見て、住宅地や道路、工場地帯などの人工物で覆われた土地の割合が多いところでは減る傾向にあることがわかった。

1ヘクタールあたりの農業被害額についての予測式は、
 農業被害額(千円/ha) =
 $-1.55 + 0.0000276 \times (\text{周辺}2.5\text{km以内のシカの個体数指標}) + 5.51 \times (\text{周辺}2.5\text{km以森林の植林地率})$
 となった(表3)。

将来予測とシナリオの比較

シカの個体数変化を予測した結果は図2の通りである。捕獲を一切しない場合、密度指標は広い範囲で増加し、現状どおりの捕獲ではやや増加、捕獲数を密度の高いところを中心に2倍に増やすと、全体の個体数が減り始めるという予測となった。一方、増加率の高いところを中心に2倍にした場合は、全体的には捕獲の効果が小さくなるという結果になった。

このように、同じ頭数の捕獲でも捕獲場所によって、シカの密度分布の変化や農業被害の発生に及ぼす効果は異なる。シナリオ(c)と(d)における農業被害推定額の差をとって比較すると、図3のようになった。密度の高いところを中心に捕獲する方が、全体的な個体数の減少や農業被害の現象に与える効果は高いと予測された。

また、シカの密度が変わらないと仮定して、スギ・ヒノキの植林地の30%を他の平均的な効果を持つ森林に改変した場合の効果は図4のようになり、スギ・ヒノキの植林地の多いところで改変の効果が高いと予測された。

予測結果の評価

2000年から2001年のシカの密度指標の変化率について、予測値と観測値の関係を図5に示す。プロットが $x=y$ の斜めの点線上に乗れば正確であるが、ばらつきは大きい。予測値と観測値には有意な相関($t=5.42, n=225, p<0.0001$)があるものの決定係数は0.112と低かった。次に、予測値と観測値の差の分布は図6のようになり、全体の77%の地点で予測誤差は自然対数で ± 0.5 (変化率にして ± 1.64 倍)の範囲内にあり、90%の地点では自然対数で ± 0.834 (変化率にして ± 2.30 倍)の範囲内であった。予測値と観測値の差は、平均で ± 0.337 (変化率にして ± 1.40 倍)であった。誤差は、過大と過小の両方に均等に散らばり、各地点の予測変化率の平均は、1.073倍で、実測値の平均の1.080に非常に近かった。

最後に、定性的な予測としての妥当性を検証した。1.2倍以上の増加を「増加」、1.2分の1以上の減少を「減少」、増減の大きさがそれ以下の場合を「変化なし」としたところ、予測の結果は表4のようになった。予測が当たる確率は全体で52%であった。「増加」と予測したのに「減少」した、あるいは、「減少」と予測したのに「増加」した地点は、225地点中10点にとどまった。

考 察

冒頭でも述べたとおり、ここで示した予測の手法や元にしたデータは、まだ発展途上であり、検証した予測精度や信頼性は十分とは言えない。特に、この予測式では年次変動する環境要因の影響が十分に考慮されていないため、気象条件の変化や大きな環境の変化に対応した予測ができるものではない。そのような変動があれば予測

表2 密度変化の予測に寄与するとされた要因と推定された係数

要因	推定された係数	推定値の標準誤差	t	P
切片	0.269571888	0.09414754	2.86	0.0046
該当区画の密度指標	-0.015476575	0.00339019	-4.57	0.0001
隣接区画の個体数指標	0.000001108	0.00000046	2.42	0.0165
広域の捕獲圧(メス)	-0.170674043	0.06364442	-2.68	0.0078
該当区画の農地率	0.745106076	0.32310708	2.31	0.0220
広域の人工地率	-3.340138311	1.62651066	-2.05	0.0411

表3 農業被害額の予測に寄与するとされた要因と推定された係数

要因	推定された係数	推定値の標準誤差	t	P
切片	-1.550450602	1.22518082	-1.27	0.2076
周辺2.5km以内のシカの個体数指標	0.000027557	0.00000625	4.41	0.0001
周辺2.5km以内の森林の植林地率	5.510880446	1.85359906	2.97	0.0034

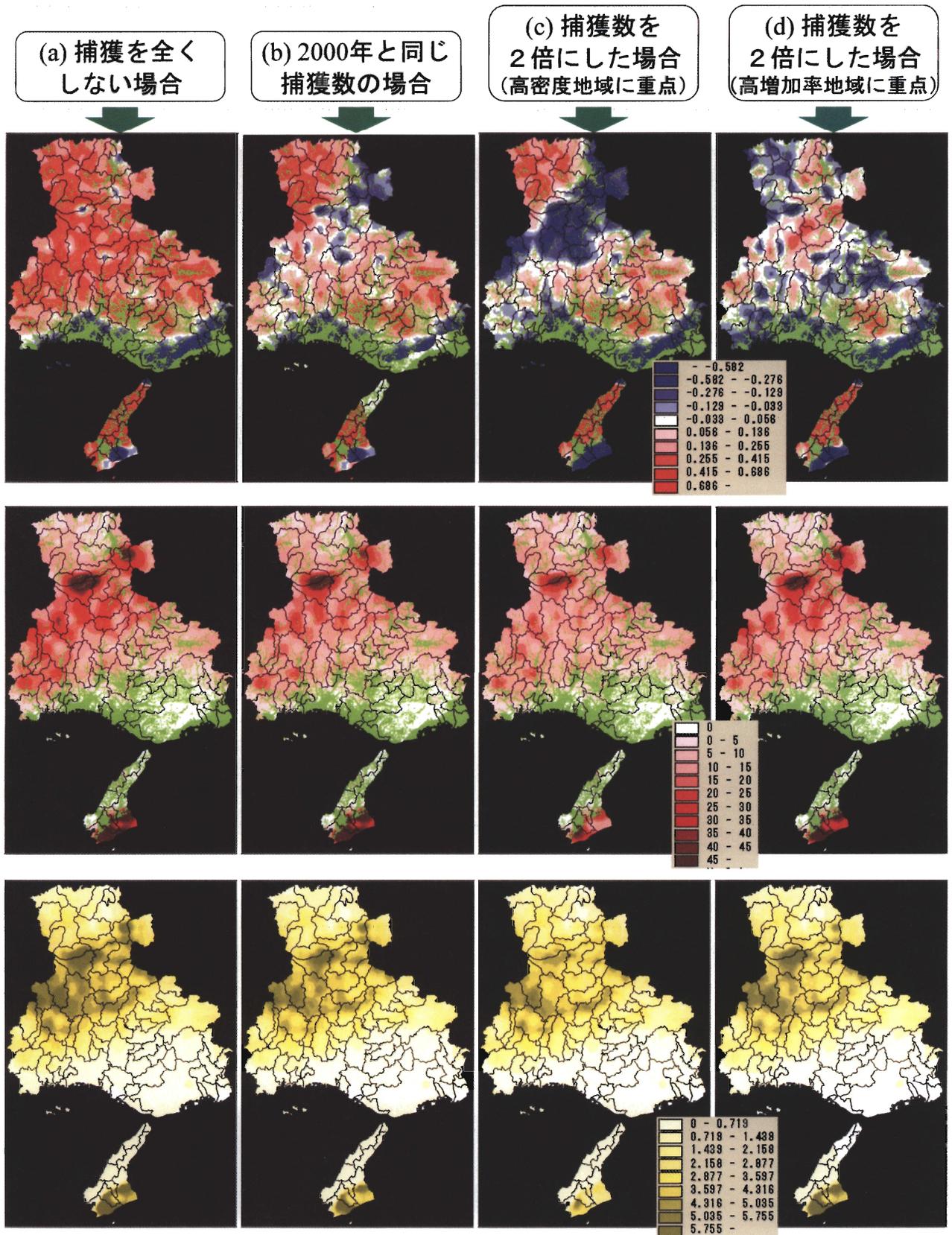


図2 捕獲シナリオごとのニホンジカの密度変化、農業被害の予測

左列は、(a)捕獲を全くしない場合、左中列は、(b)現状の通りの捕獲をした場合、右中列は、(c)密度の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合、右列は、(d)増加率の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合。

上段：予測した変化率（変化率の自然対数、青いところで減り、赤いところで増える）、中段：予測したシカの密度（11月に尾根筋1kmあたりに落ちている糞塊の数で表す）、下段：予測した農業被害（haあたりの被害額（千円））。

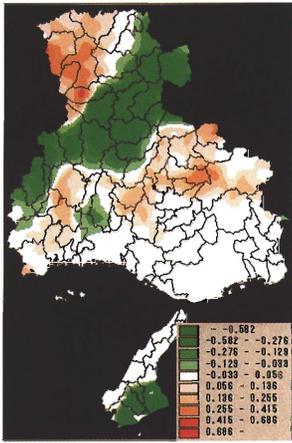


図3 (c)密度の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合と(d)増加率の高い場所を中心に捕獲数を2倍に増やした場合の農業被害の比較
(d)の被害額と(c)の被害額の差を示す。(c)の場合は緑のところ被害がよく減り、(d)の場合は赤いところ被害がよく減る。

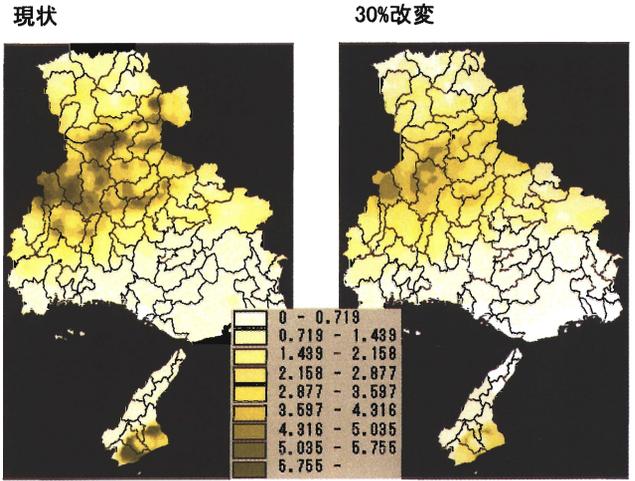


図4 スギ・ヒノキの植林地を改変した場合の効果の推定
現在のスギ・ヒノキの植林地の30%を改変した場合の効果の推定した。シカの密度が変わらないと仮定し、スギ・ヒノキ植林地を兵庫県の他の森林の平均的な効果を持つ森林に改変したもとして被害額を推定している。

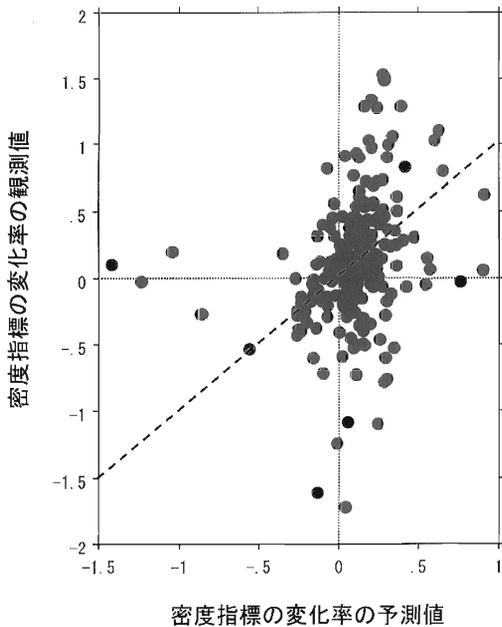


図5 シカの密度変化率の予測値と観測値の関係

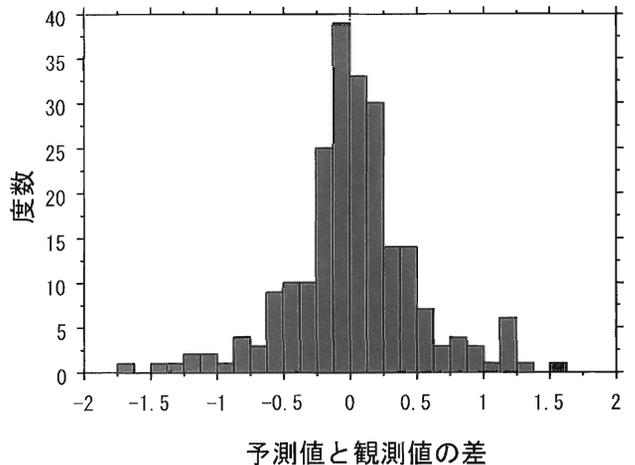


図6 シカの密度変化率の予測値と観測値の差の頻度分布
自然対数での予測値と観測値の差の頻度分布を示す。予測が正確であれば0の頻度が高くなる。

表4 定性的な予測の当否 (数字は予測・検証した地点の数)

		観測			予測確率
		「減少」	「変化なし」	「増加」	
予測	「減少」(1/1.2 未満)	1 1	6	2	5 7%
	「変化なし」(1/1.2 以上 1.2 倍未満)	2 7	6 7	4 1	4 9%
	「増加」(1.2 倍以上)	8	2 3	4 0	5 6%

は大きく狂うであろう。今後とも収集するデータの質と量を向上させると共に、予測手法を改良するために研究の継続が必要である。ただし、完成度は低い時点でも、その時点で最善と思われる解析結果を公開する努力をし、その限界をふまえた上での科学的な議論を行うことが、モニタリングと試行錯誤によって施策を改善していくアダプティブ・マネージメントを実施する上で必要不可欠である。

現在の予測式の精度や活用の可能性を検討すると、変化率については、ほとんどの地点の予測が ± 1.6 倍程度の誤差に収まっていた。各地点の予測にはばらつきがあったものの、全体の平均増加率の予測はある程度精確であった。大まかには予測の効果があるといえる。ただし、生息条件や環境条件（特にモデルに組み込まれていない要因）に大きな変化がある場合は注意が必要である。また、線型モデルを使っていることから、密度や捕獲圧などの変数が大きく変わった場合にも、極端な値を取る場所では予測精度が落ちるであろう。活用の目的にもよるが、このような限界をふまえたうえで活用すれば、このシカの密度変動の予測は、現時点での大まかな施策決定において、十分参考にできると思われる。

適応的な個体数調整に関して

結果をもとに考察すると、現在の兵庫県が策定しているシカの個体数半減、農業被害の軽減という目的の達成を考えるのであれば、2000年の捕獲頭数の2倍程度の捕獲を試みる必要があるのではないと思われる。捕獲頭数の増加には、慎重になるべきであるが、少なくとも1、2年程度の短期的には、徹底したモニタリングを行うという条件で、捕獲頭数を大きく増やす必要があると思われる。その上で、捕獲の効果や密度変化の動向を見極め、その次の施策を考えるのが良策であろう。予測値と観測値の誤差が平均で変化率にして ± 1.40 倍という予測精度を差し引いて考えても、頭数の半減が目的であるならば、1～2年の間、捕獲数を2倍に増やすことは、シカの個体群の保全や狩猟資源の確保という観点からも十分に安全なレベルだと思われる。ただし、狩猟者数の減少や高齢化が進んでいるなか、2倍の捕獲数というのは現時点でも困難な数字で、施策の実施段階での課題も大きい。

地域間の利害の調整

同じ頭数の捕獲を行うとしても、それをどの地域でどれだけ行うかによって、地域ごとにその効果は変わってくる。狩猟者が減少し、限られた捕獲努力や予算の割り当てを検討しなければならない現在、いくつかの選択肢となるシナリオを検討し、その予測結果を基に合意形成をはかっていくことが必要になる。

例えば、今回の予測が正しいとすると、密度の高い場所

と増加率の高い場所を中心にそれぞれ捕獲数を2倍にするという2つの案の比較では、同じ努力でも被害額の減少量や減少する範囲が、前者の方が大きい。また、実際には、密度の低い地域で多くのシカを捕獲することは困難である。これらをふまえると、全体的な意志決定としては前者の方針のほうが合意を得られやすいだろう。そして、その方針によって被害が減らない地域も明確になるため、そのような地域においては、他の防護手法の適用など、その地域に適した施策を検討することもできるであろう。

今回は4つのシナリオを提示したが、そのシナリオ以外にも各地域の事情をもとに捕獲計画が事前にたてられれば、それをもとに密度や被害の変化を予測し検討することができる。また、今後は捕獲頭数だけではなく、防護柵設置の効果や生息地改善の効果等も検討し、総合的なプランとしてのシナリオを選択肢として検証していく必要がある。

特に防護柵については、ある地区に防護柵を設置することによって、近隣の地区にシカが移動し、被害を増やすという事例も見られる。また、自然植生への影響も予想される。これらのデータを集め施策の影響を十分に検討しておくことが必要である。

生息地の管理

生息地の管理は、土地利用の問題でもあるため利害関係の調整が難しく、施策の実施にも膨大な費用がかかる上に、その効果をなかなか明確にできない。野生動物の保護と管理においては、最も重要でありながら、最も困難な課題ともいえる。そのような課題にこそ、適切なアダプティブ・マネージメントが必要である。

生息地である森林を改変することにより農業被害が軽減するという今回の予測結果は、もともとの予測式推定が市町ごとのデータを元にした粗い解析であるため、信頼性は低い。また、森林を改変したことによってシカの密度も変化することが考えられるため、その効果の予測には不確定要素が多い。現時点では、このような手法を活用する方向性を示す段階でしかない。

今後、データの蓄積と解析手法の改善を図ることで、各方面により大きな効用が見込まれる魅力的な生息地管理のシナリオと精度の高い将来予測を選択肢として提示することが可能になると考えられる。それによって、生息地改善の努力を適切な方向に進めるための合意形成を促すことができるであろう。

今後の課題

本稿で示した将来予測の試みのなかで、浮かび上がってきた課題は多い。今回は、2000年のデータをもとに2001年の予測をしたが、現状では2000年度のデータが

集計されるのが、2001年度の6月から7月である。技術的には1999年度のデータから2001年の予測を試みることはできるが、それだけ予測の精度が悪くなる。また、データの正確さや細かさについての課題も大きい。シカの生息密度や捕獲頭数については5km×4kmのメッシュのデータを元にしたが、農業被害については市町ごとという非常に広い範囲でまとめられたデータを扱うことになった。同じ市町でも地区によって、環境条件やシカの生息密度は様々であり、地区ごとのデータを元に解析すべきであることは言うまでもない。また、地区間の調整をはかるためには、よりきめ細かい予測が求められる。

これらの課題は、現在発達しているITの技術とインフラを活用することで解決できるだろう。人と自然の博物館においてはWebGISの技術を用いて、市民参画の形で生物の生息状況のデータを一つに集め情報提供していくシステムを構築し運営を試みている (<http://info.hitohaku.jp/cgi/map/top.html>)。同じような形で、狩猟者や被害を受けている農業者、自然保護団体や地域住民などからの情報提供や地域ごとの捕獲の計画や要望を受け、解析結果や将来予測をダイレクトに還元していくようなシステムの構築も可能である。

野生動物に関しては天気予報のように各地に測候所があるわけではない。また、生息状況や被害の状況は機械で計れるものでもない。専門的なモニタリングの体制を整えると同時に、現場で野生動物に対峙する農林業者、狩猟者、自然観察者などの情報提供と協力が不可欠である。また、保全や被害防止などの野生動物の保護と管理には、適切な知識と十分な情報を持った人の手による現場対応が欠かせない。このような市民参画型の保護管理を推進するためには、社会的な意志決定のための選択肢となる複数のシナリオと将来予測を示し、合意をはかることが必要であろう。地域的な課題と研究成果、そして各方面の人々の努力をつなぐために、地道なモニタリングと

データ解析、それにもとづく情報提供が、今後、ますます重要な役割を果たすことになる。

謝 辞

兵庫県自然環境保全課鳥獣保護係、農産園芸課果樹特産係のみなさまには、兵庫県による調査データを提供していただくと共に、鳥獣保護行政や農業被害防除上の課題や問題点について議論していただきました。兵庫県北部農業技術研究センターの安岡平夫氏、森林林業技術センターの尾崎真也氏にはそれぞれ、農業被害防除、森林管理の立場から兵庫県の実情についてご教示いただきました。また、多くの兵庫県猟友会会員のみなさまに、シカの生息状況や狩猟の現状について教えていただきました。三橋亜紀さんには、GIS上のデータ処理について協力していただきました。これらの方々に心より感謝いたします。最後に、本論文の基幹となったデータは、多くの調査員、狩猟者、行政担当者、その他の協力者の地道な努力のたまものであり、これらの努力に心からの敬意を表します。なお、この研究は日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号13680650 代表者 三谷雅純)の助成を受けて行いました。

文 献

- 兵庫県(2001)第2期シカ保護管理計画 兵庫県,神戸市,23p.
環境庁(1999編)自然環境情報GIS第2版 28兵庫県(CD-ROM).環境庁,東京.
Mallows, C. L. (1973) Some remarks of Cp. *Technometrics*, **15**, 661-675.
坂田宏志・濱崎伸一郎・岸本真弓・三橋弘宗・三橋亜紀・横山真弓・三谷雅純(2001)兵庫県におけるニホンジカの生息密度指標と捕獲圧,農林業被害の関連. *人と自然*, No. 12, 63-72.
丹後俊郎(2000)統計モデル入門. 朝倉書店,東京,246p.

(2002年7月31日受付)

(2002年12月19日受理)