

原著論文

ニホンジカの個体群動態の推定と将来予測 (淡路島 2011 年)

岸本康誉^{1,2}・関香菜子²・坂田宏志^{1,2*}¹兵庫県立大学自然・環境科学研究所・²兵庫県森林動物研究センター

要 点

- ・ 2010 年までに入手されたデータから、兵庫県のニホンジカの自然増加率や個体数の推定を、階層ベイズモデルを構築し、マルコフ連鎖モンテカルロ法によって推定した。
- ・ 推定にあたっては、銃猟時の目撃効率、糞塊密度、狩猟捕獲数、有害捕獲数のデータを基に、それぞれデータの誤差変動を組み込んだモデルを構築した。
- ・ また、前年の推定個体数の事後分布を事前分布として活用することで、過去の推定結果を反映させ、さらに、捕獲率の年次変動を組み込んだモデルを構築した。
- ・ 自然増加率は、17.8%(90%信頼限界で 6.9~34.0%)と推定された。
- ・ 個体数は、単純な増加傾向にあり、2010 年末の段階で、中央値で 5,130.0 頭 (90%信頼限界では 2,544.6~11,486.2 頭程度) と推定された。
- ・ さらに、3 通りの捕獲 (今後、継続的に 800 頭捕獲、1,000 頭捕獲、1,500 頭捕獲) を実施した場合の個体数変動の予測を行った。

key words : 個体数管理 自然増加率 ベイズ推定 マルコフ連鎖モンテカルロ法 個体数推定

1. はじめに

この論文では、兵庫県淡路島におけるニホンジカ *Cervus nippon* (以下、シカ) の保全と管理の意思決定に資するため、自然増加率や生息個体数などの推定を行う。さらに、目標捕獲頭数を設定する際の判断材料を提供するために、複数通りの捕獲数のシナリオを設定し、捕獲計画に基づくシカの将来的な個体数の変動を予測した。

推定には、兵庫県で体系的に収集している 2000 年から 2010 年までのデータを用いる。具体的には、兵庫県森林動物研究センターが行っている、尾根上の 1km 当たりのシカの糞塊数 (糞塊密度) と狩猟登録者の報告に基づく銃猟時の平均目撃数 (目撃効率)、狩猟による捕獲数、有害による捕獲数である。

自然増加率や個体数は、上記のデータとの時系列的な関係を記述する階層ベイズモデルを構築し、マルコフ連鎖モンテカルロ法によって推定する。これらのモデルの中では、自然増

*連絡先 : 〒669-3842 兵庫県丹波市青垣町沢野 940 兵庫県森林動物研究センター

e-mail: sakata@wmi-hyogo.jp

加率や個体数のほか、捕獲率や観測データとの比率を表す係数に加え、捕獲率の年次変動や複数の観測データに含まれる誤差変動を明示的に組み込んだ上で、その誤差の大きさも推定する。基本的には、兵庫県の本州部におけるニホンジカの個体数推定（坂田ほか 2012）と同じ手法を採用し、淡路島に適応した事前分布や将来予測のための捕獲プランを設定した。

2. 方法

対象とする期間と地域

対象期間は 2000 年から 2010 年まで、対象地域は兵庫県の淡路島とする。

用いたデータ

推定には、次にあげるデータを用いた。

有害捕獲数（年度） $i_yugai[i]$: i 年度の有害捕獲許可による捕獲数。銃猟とわな猟の合計値を生息数の動向を反映する指標として用いる。

糞塊密度 $fun_d[i]$: i 年度の 10 月下旬から 11 月上旬に所定のラインセンサスにより確認した 1km あたりの平均糞塊数。生息密度の動向を反映する指標として用いる。

目撃効率 $spue[i]$: i 年度に狩猟登録者から得られた銃猟による狩猟時の目撃効率。生息密度の動向を反映する指標として用いる。

狩猟捕獲数 $r_ca[i]$: i 年度の狩猟による捕獲数。銃猟とわな猟の合計値を生息数の動向を反映する指標として用いる。

有害捕獲数（年） $y_ca[i]$: i 年度の 1 月から次年度の 12 月までの有害捕獲許可による捕獲数。

森林面積 f_area : 兵庫県淡路島の森林面積。生息密度の期待値を計算する際に用いる。

以上の方法で収集したデータを表 1 に示す。

表 1 入力データセット

year	i_yugai	fun_d	$spue$	r_ca	y_ca	f_area
2001	131	70.02	2.40	178	151	342.70
2002	144	52.92	1.69	219	184	342.70
2003	186	48.74	1.74	319	136	342.70
2004	134	47.86	1.70	264	206	342.70
2005	268	62.72	2.30	232	325	342.70
2006	349	65.90	1.40	277	443	342.70
2007	428	37.47	1.16	259	397	342.70
2008	501	35.95	1.55	415	495	342.70
2009	320	60.37	1.14	561	494	342.70
2010	494	58.88	1.85	1496		342.70

推定するパラメータ

以下の考え方に基づいて、 $lire$ 、 pre 、 pry 、 lr_spue 、 lr_fun 、 $\ln Nins$ 、 v_spue 、 v_fun 、 v_ryo 、 v_yugai 、 v_gr 、 v_gy の 12 変数について事前分布を設定して推定し、目的である自然増加率や個体数を推定する。推定変数の初期値と事前分布は表 2 のとおりである。各推定

変数の定義と事前分布を設定する際の考え方は、以下のとおりである。

1. 自然増加率の自然対数値 $\text{lire} : \text{lire}$ については、環境省の特定哺乳類生息動向調査の個体数推定（環境省生物多様性センター 2011）に採用された事前分布を用いる。また、 $\exp(\text{lire})$ を自然増加率 ire とする。
2. 生息密度と目撃効率の比率を示す係数の自然対数値 lr_spue : 事前分布は正規分布を仮定し、事前の情報は十分でないため、その分散は大きめに設定した。また、 $\exp(\text{lr_spue})$ を rs とした。
3. 生息密度と糞塊密度の比率を示す係数の自然対数値 lr_fun : 事前分布は正規分布を仮定し、事前の情報は十分でないため、その分散は大きめに設定した。また、 $\exp(\text{lr_fun})$ を rf とした。
4. 狩猟による捕獲率 $\text{pr}[i] : i$ 年の係数。この係数は、媒介変数 pre と年ごとのランダム効果 ($\text{gamma_r}[i]$) によって、0 から 1 の間で変動すると考え、
$$\text{pr}[i] = (1 / (1 + \exp(-\log(\text{pre} / (1 - \text{pre})) - \text{gamma_r}[i])))$$
 とする。
 pre は事前情報がないため、事前分布は 0 から 1 までの一様分布に設定した。また、 gamma_r は平均 0 で分散 v_gr の正規分布に従う階層的な事前分布を設定した。この分散 v_gr の事前分布は形状母数、尺度母数ともに 0.01 の逆ガンマ分布を用いた。
5. 有害による捕獲率 $\text{py}[i] : i$ 年の係数。この係数は、媒介変数 pry と年ごとのランダム効果 ($\text{gamma_y}[i]$)、狩猟による捕獲率 $\text{pr}[i]$ によって、変動すると考え、
$$\text{py}[i] = (1 - \text{pr}[i]) \times (1 / (1 + \exp(-\log(\text{pry} / (1 - \text{pry})) - \text{gamma_y}[i])))$$
 とする。
この係数は、0 から $1 - \text{pr}[i]$ の間で変動するように設定しているため、狩猟と有害による捕獲率の合計値 $\text{pr}[i] + \text{py}[i]$ が 0 から 1 の間で変動することになる。
 pry は事前情報がないため、事前分布は 0 から 1 までの一様分布に設定した。また、 gamma_y は平均 0 で分散 v_gr の正規分布に従う階層的な事前分布を設定した。この分散 v_gy の事前分布は形状母数、尺度母数ともに 0.01 の逆ガンマ分布を用いた。
6. 1 年前（2009 年）の生息個体数の自然対数値 lnNins : 事前分布は正規分布とし、平均値は、兵庫県が昨年に行った個体数の平均値を用いた。分散は、分布の 95% 信頼限界が、既存の情報から考えられるおおよその限界値になる値を設定した。具体的には、2010 年の狩猟期間に捕獲された個体は 1,496 頭であるので、生息数はこれ以下を下限にすれば十分であると考え、95% 信頼限界の下限が 1,461 頭となる分散 0.5 とした。95% 信頼限界の上限は 23,363 頭となるが、現実的に想定できる値を十分にカバーすると考えられる。
7. 目撃効率、糞塊密度、狩猟捕獲数、有害捕獲数の期待値からの誤差分散 $\text{v_spuev_funv_ryov_yugai}$: それぞれ、観測モデルで示す確率分布の誤差分散として観測データから推定する。これらの誤差分散の事前分布は、それぞれ、形状、尺度ともに 0.01 の逆ガンマ分布を用いた。
8. 各推定変数の初期値は、事前分布の期待値とした。捕獲率のランダム効果と尤度関数の変動部分 v_gr 、 v_gy 、 v_spue 、 v_fun 、 v_ryo 、 v_yugai については、それぞれ初期値を

0.01 とした。

個体群動態の過程モデル

個体群動態の過程モデルは、生息個体数は 2009 年を起点として、翌年の 2010 年までの変化を

$$N[2010] = ire \times N[2009] - caa [2009]$$

2000 年までの変化を

$$N[i] = (N[i+1] + caa[i]) / ire$$

のように変化するものと仮定する

ここで、 $N[i]$ は、 i 年の生息個体数と i 年の捕獲数を示す。また、 $caa[i]$ は、 i 年の捕獲数であり、 i 年の狩猟捕獲数 $r_ca[i]$ と有害捕獲数 $y_ca[i]$ の合計値である。

2009 年の個体数は $N_{2009} = \text{round}(\exp(\ln N_{\text{ins}}))$ とした。なお、生息個体数は、年末時点での個体数を想定している。

表 2 推定した変数とその初期値および事前分布

事前分布の引数は、正規分布は（期待値，分散）、逆ガンマ分布は（形状母数、尺度母数）、ベータ分布は（形状母数 α , 形状母数 β ）を示す。

ブロック	推定変数	初期値	事前分布
1	Lire	0.1789	正規分布($\log(1.2) - 0.5 * 0.006826535, 0.006826535$)
1	Pre	0.5000	ベータ分布(1,1) ^{*1}
1	Pry	0.5000	ベータ分布(1,1) ^{*1}
1	lr_spue	-2.3026	正規分布($\log(0.1), 5$)
1	lr_fun	0	正規分布($\log(1), 5$)
1	lnNins	11.9900	正規分布(8.67360229, 0.5)
2	v_gr	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
3	v_gy	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
4	v_spue	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
4	v_fun	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
4	v_ryo	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
4	v_yugai	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
4	v_gs	0.0100	逆ガンマ分布(0.01, scale=0.01)

観測モデル

推定する個体数と観測されるデータとの関係を示す観測モデルは以下のとおりとする。

1. 目撃効率に関する観測モデル

$$\log(\text{SPUE}[i]) = \log(rs \times N[i] / f_area) - 0.5 \times v_spue + e_spue[i]$$

2. 糞塊密度に関する観測モデル

$$\log(\text{fun}[i]) = \log(rf \times N[i] / f_area) - 0.5 \times v_fun + e_fun[i]$$

3. 狩猟捕獲数に関する観測モデル

$$\log(r_ca [i]) = \log(pr[i] \times N[i]) - 0.5 \times v_ryo + e_ryo[i]$$

4. 有害捕獲数に関する観測モデル

$$\log(i_yugai [i]) = \log(py[i] \times N[i]) - 0.5 \times v_yugai + e_yugai [i]$$

$e_spue[i]$ 、 $e_fun[i]$ 、 $e_ryo[i]$ 、 $e_yugai [i]$ は、誤差変動を示し、それぞれ期待値 0、分散が v_spue 、 v_fun 、 v_ryo 、 v_yugai の正規分布に従うものとする。

マルコフ連鎖モンテカルロ法

これまで述べたデータとモデルおよび事前分布の設定にもとづいて、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (Gilkset *al.*1996) による推定を行った。この推定は SAS/STAT9.3 の MCMC Procedure を用いた (SAS Institute Inc. 2011)。

サンプリング

推定変数を表 2 のとおり 4 つのブロックに分けて、メトロポリス法と conjugate サンプリングを用いた独立サンプラーを用いて事後分布をサンプリングした。サンプリング回数については、最初の 500 万回はサンプリングせず、次の 2000 万回のうち 2,000 回に 1 回サンプリングし、計 1 万回のサンプリングを行った。

提案分布は、正規分布とし、実際のサンプリング回数に合わせて 5 万回のサンプリングによる事後分布にもとづいて、Robertset *al.* (1997) の示した最適な採択率 23.4% を目標に $\pm 7.5\%$ の範囲の採択率になるように、スケールと共分散行列のチューニングを行った。

収束判定

収束判定は、有効サンプルサイズ (Kasset *al.* 1998) と Geweke 検定 (Geweke 1992) の 2 つの基準で確認した。有効サンプルサイズによる判定では、これが 1,000 以上であることを基準とした。Geweke 法では、サンプリングされたデータのうち、最初の 1,000 回と最後の 5,000 回の期待値の差を検定し、棄却水準が 0.05 にならないことを基準とした。

3. 結果

収束

いずれの推定変数についてもサンプリングの際の自己相関はほとんどなく、有効サンプル数は 1,100 を超え、良好なサンプリングができたと判断された。Geweke 検定では、 γ_r_2004 、 γ_r_2009 、 γ_r_2010 、 γ_y_2001 以外の推定変数は、すべて基準を上回り収束していると判断できた。 γ_r_2004 、 γ_r_2009 、 γ_r_2010 、 γ_y_2001 については、それぞれ、 $P=0.0024$ 、 $P=0.0013$ 、 $P=0.0383$ 、 $P=0.0266$ となり、前後のサンプルの間で有意差があった。ただし、その差は小さかったため (それぞれ、推定値で 0.034、0.035、0.052、0.022 有害捕獲率に換算した値では 0.0028、0.0030、0.0053、0.0011)、他のすべての変数で有意差がなかった結果も踏まえて、推定値に大きな影響は無いものと判断した。

推定値

推定した変数の事後分布は表3の通りであった。また、事前分布と事後分布の形状を図1に示した。

表3の結果に基づいて計算した自然増加率(ir)と、目撃効率の係数(rs)、糞塊密度の係数(rf)、各年の狩猟捕獲率(pr[i])、有害捕獲率(py[i])は表4のとおりであった。また、得られたデータの観測値と期待値との関係を図2、図3に示した。

全ての変数で、事後分布の幅は、事前分布の幅より狭まった。しかし、自然増加率と基準年(2009年)の生息個体数の自然対数値は、絞られる幅が他の変数に比べて少なく、事前分布の設定が推定に影響を与えていた。

自然増加率は、17.8%(90%信頼限界で6.9~34.0%)となり、昨年の16.8%(90%信頼限界で10.4%~30.5%)や一昨年の12.8%(95%信頼限界で5.5%~26.4%)より高く推定された。また、狩猟による捕獲率は、大きな年次変動は見られないものの、2010年のみ他の年より高く、前年の2009年の中央値と比べると、3.4%高く推定された。一方、有害による捕獲率は、年次変動が見られ、最も高く推定された2008年の捕獲率は最も低かった2004年に比べると、3.5%高く推定された。

また、これらの結果に基づいて計算した個体数と増加個体数の動向をそれぞれ図4、図5、表5に示す。個体数は、2001年から2009年にかけて、単調に増加し、その後、ほぼ横ばいであると推定された。また、増加個体数についても、個体数の増加に伴い、2008年までは増加し、その後、横ばいであると推定された。

さらに、3通りの捕獲計画(継続的に800頭捕獲、1,000頭捕獲、1,500頭捕獲)に基づく個体数の将来予測を図6に示す。中央値で見ると、いずれの捕獲計画においても、個体数は横ばい、または、減少すると予測された。一方、50%の信頼限界で見ると、1,500頭を捕獲した場合は、減少するものの、800頭、または、1,000頭の場合、増加する可能性もあると予測された。また、不確実性は大きく、90%の信頼限界では、いずれの捕獲計画であっても、増加する可能性があるとして予測された。

表3 事後分布の統計量

変数	平均値	標準偏差	5%	中央値	95%
lire	0.1694	0.0690	0.0669	0.1640	0.2923
pre	0.1132	0.0982	0.0377	0.0921	0.2330
pry	0.0858	0.0705	0.0291	0.0721	0.1702
lr_spue	-2.0137	0.4785	-2.8269	-1.9947	-1.2598
lr_fun	1.4312	0.4647	0.6422	1.4549	2.1685
lnNins	8.5903	0.4226	7.9434	8.5599	9.3332
v_spue	0.1855	0.1492	0.0537	0.1422	0.4632
v_fun	0.1415	0.1053	0.0449	0.1111	0.3310
v_ryo	0.3728	0.4980	0.0248	0.2429	1.1008
v_yugai	0.1549	0.1900	0.0104	0.0939	0.4991
gamma_r_2001	-0.1272	0.3367	-0.7215	-0.0848	0.3489
gamma_r_2002	-0.0848	0.3197	-0.6443	-0.0533	0.3780
gamma_r_2003	0.0163	0.2885	-0.4411	0.0122	0.4715
gamma_r_2004	-0.0489	0.3105	-0.5673	-0.0349	0.4276
gamma_r_2005	-0.1509	0.3156	-0.7175	-0.1055	0.2964
gamma_r_2006	-0.1135	0.2995	-0.6330	-0.0823	0.3247
gamma_r_2007	-0.1612	0.3109	-0.7088	-0.1209	0.2763
gamma_r_2008	-0.0206	0.2915	-0.4919	-0.0156	0.4327
gamma_r_2009	0.1073	0.3073	-0.3293	0.0763	0.6479
gamma_r_2010	0.4271	0.5274	-0.1972	0.2846	1.4721
gamma_y_2001	-0.2379	0.3148	-0.7998	-0.1913	0.1865
gamma_y_2002	-0.2310	0.3057	-0.7790	-0.1877	0.1812
gamma_y_2003	-0.1277	0.2753	-0.5935	-0.1031	0.2629
gamma_y_2004	-0.3345	0.3391	-0.9158	-0.3021	0.1359
gamma_y_2005	-0.0143	0.2520	-0.4173	-0.0072	0.3642
gamma_y_2006	0.0956	0.2582	-0.3022	0.0838	0.5129
gamma_y_2007	0.1859	0.2809	-0.2140	0.1575	0.6600
gamma_y_2008	0.2495	0.3212	-0.1891	0.2177	0.7814
gamma_y_2009	0.0173	0.2692	-0.3818	0.0066	0.4634
gamma_y_2010	0.2833	0.3576	-0.1691	0.2202	0.9187

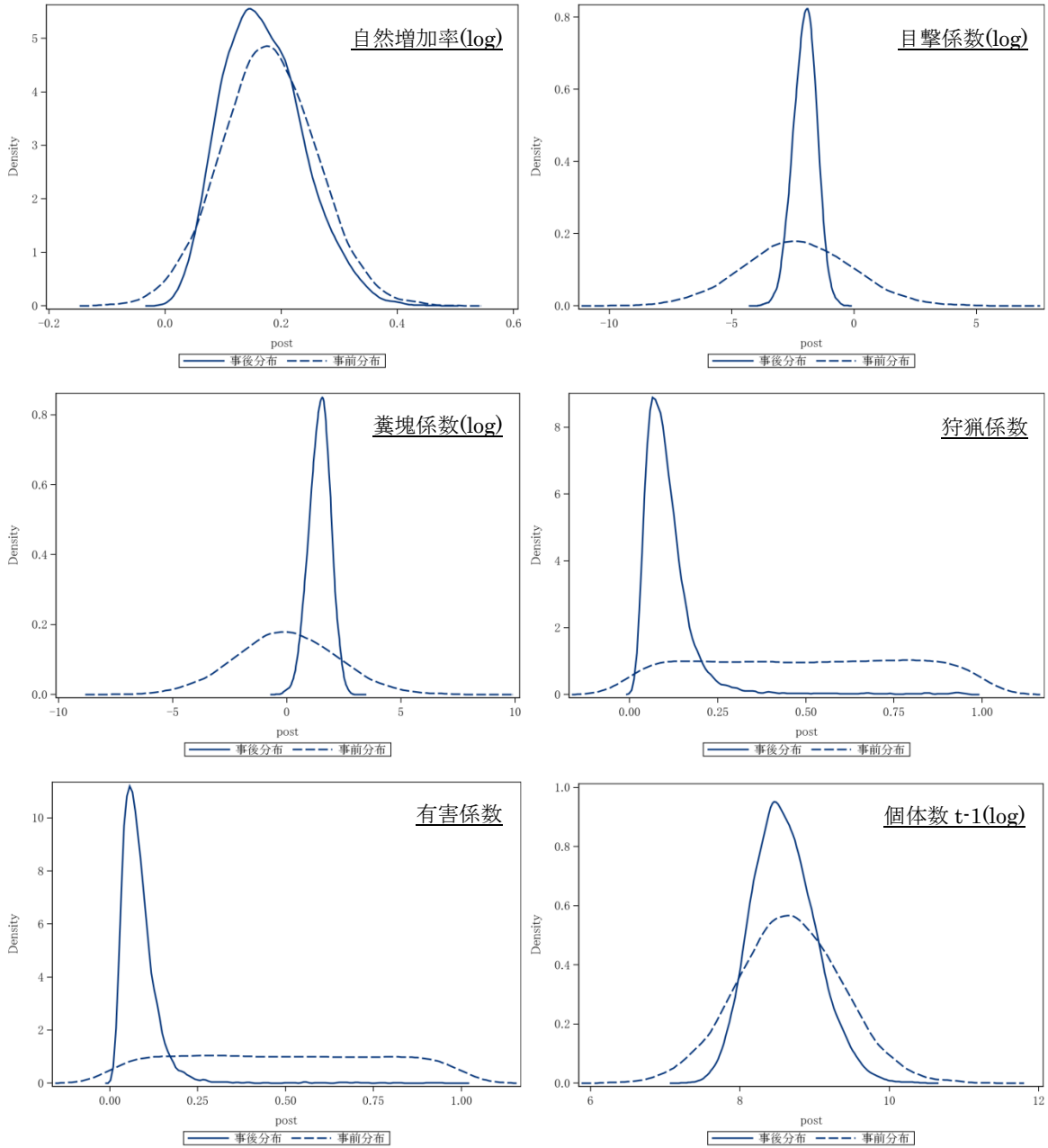


図1 パラメータの事前分布と事後分布との関係

左上図 自然増加率 右上図 生息密度と目撃効率の比率を示す係数の自然対数値
 左中図 生息密度と糞塊密度の比率を示す係数の自然対数値 右中図 狩猟による捕獲率
 左下図 有害による捕獲率 右下図 1年前(2009)年の生息数個体数の自然対数値
 実線は事後分布を破線は事前分布をそれぞれ示す。

表 4 推定された自然増加率 (ir) と、目撃効率の係数 (rs)、糞塊密度の係数 (rf)、
狩猟捕獲率 (pr [i])、有害捕獲率 (py [i])

変数	平均	標準偏差	5%点	中央値	95 %点
ire	1.1874	0.0832	1.0692	1.1782	1.3395
rf	4.6442	2.1596	1.9006	4.2838	8.7452
rs	0.1492	0.0727	0.0592	0.1361	0.2837
pr_2001	0.1073	0.1073	0.0270	0.0826	0.2457
pr_2002	0.1100	0.1069	0.0294	0.0849	0.2486
pr_2003	0.1168	0.1040	0.0357	0.0931	0.2557
pr_2004	0.1131	0.1093	0.0315	0.0870	0.2604
pr_2005	0.1039	0.1021	0.0285	0.0801	0.2364
pr_2006	0.1057	0.0997	0.0309	0.0823	0.2348
pr_2007	0.1019	0.0976	0.0291	0.0787	0.2296
pr_2008	0.1114	0.0956	0.0365	0.0902	0.2336
pr_2009	0.1235	0.1005	0.0417	0.1012	0.2626
pr_2010	0.1602	0.1080	0.0520	0.1356	0.3409
py_2001	0.0591	0.0347	0.0192	0.0518	0.1215
py_2002	0.0590	0.0339	0.0197	0.0521	0.1202
py_2003	0.0635	0.0347	0.0225	0.0569	0.1263
py_2004	0.0538	0.0325	0.0176	0.0465	0.1147
py_2005	0.0708	0.0363	0.0265	0.0639	0.1369
py_2006	0.0778	0.0390	0.0300	0.0707	0.1479
py_2007	0.0848	0.0432	0.0324	0.0769	0.1618
py_2008	0.0888	0.0442	0.0334	0.0813	0.1704
py_2009	0.0708	0.0360	0.0275	0.0644	0.1344
py_2010	0.0867	0.0451	0.0326	0.0781	0.1709

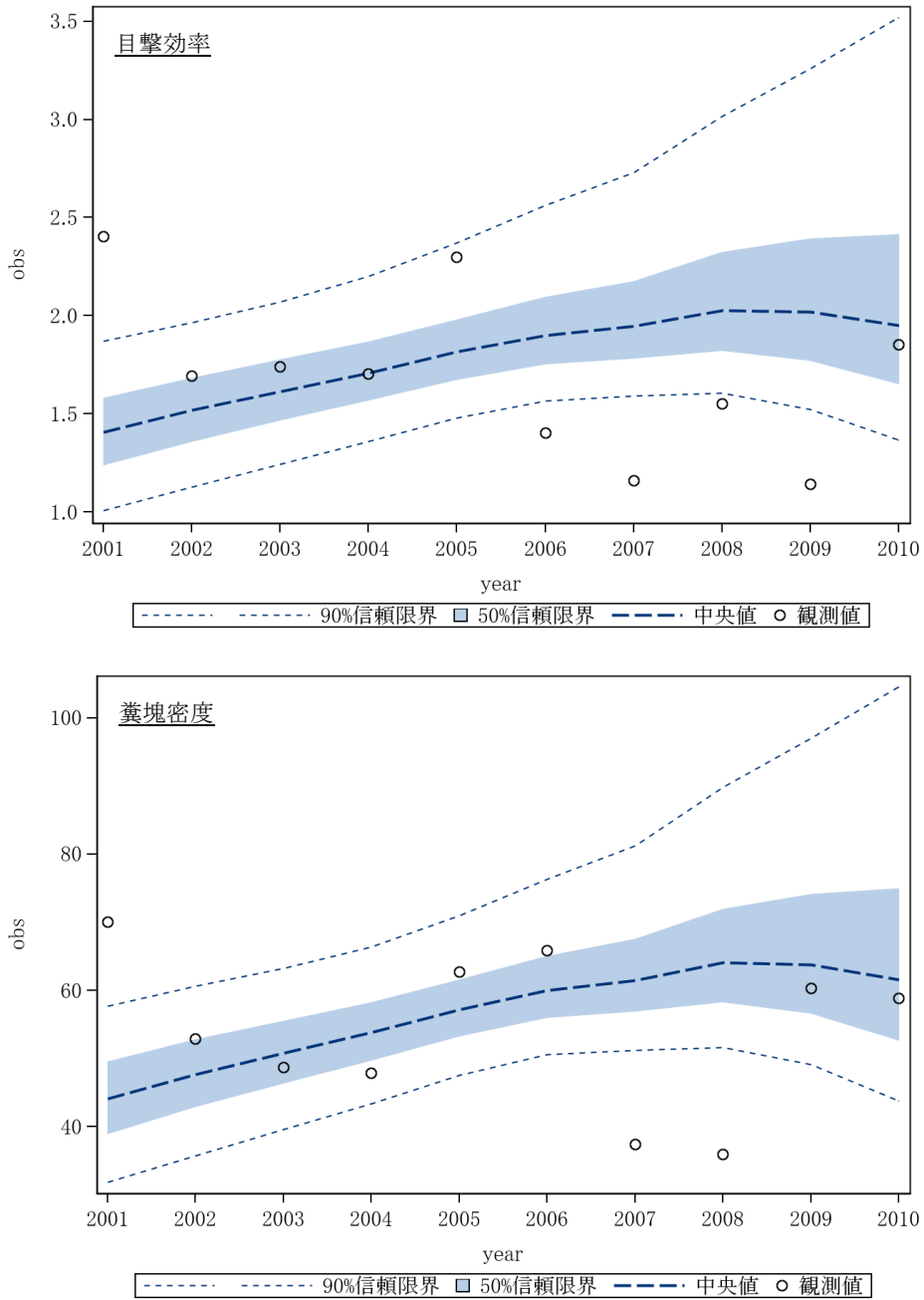


図2 観測値と期待値との関係

上図 目撃効率の観測値と期待値

下図 糞塊密度の観測値と期待値

中央値と 50%信頼限界、90%信頼限界を示す。

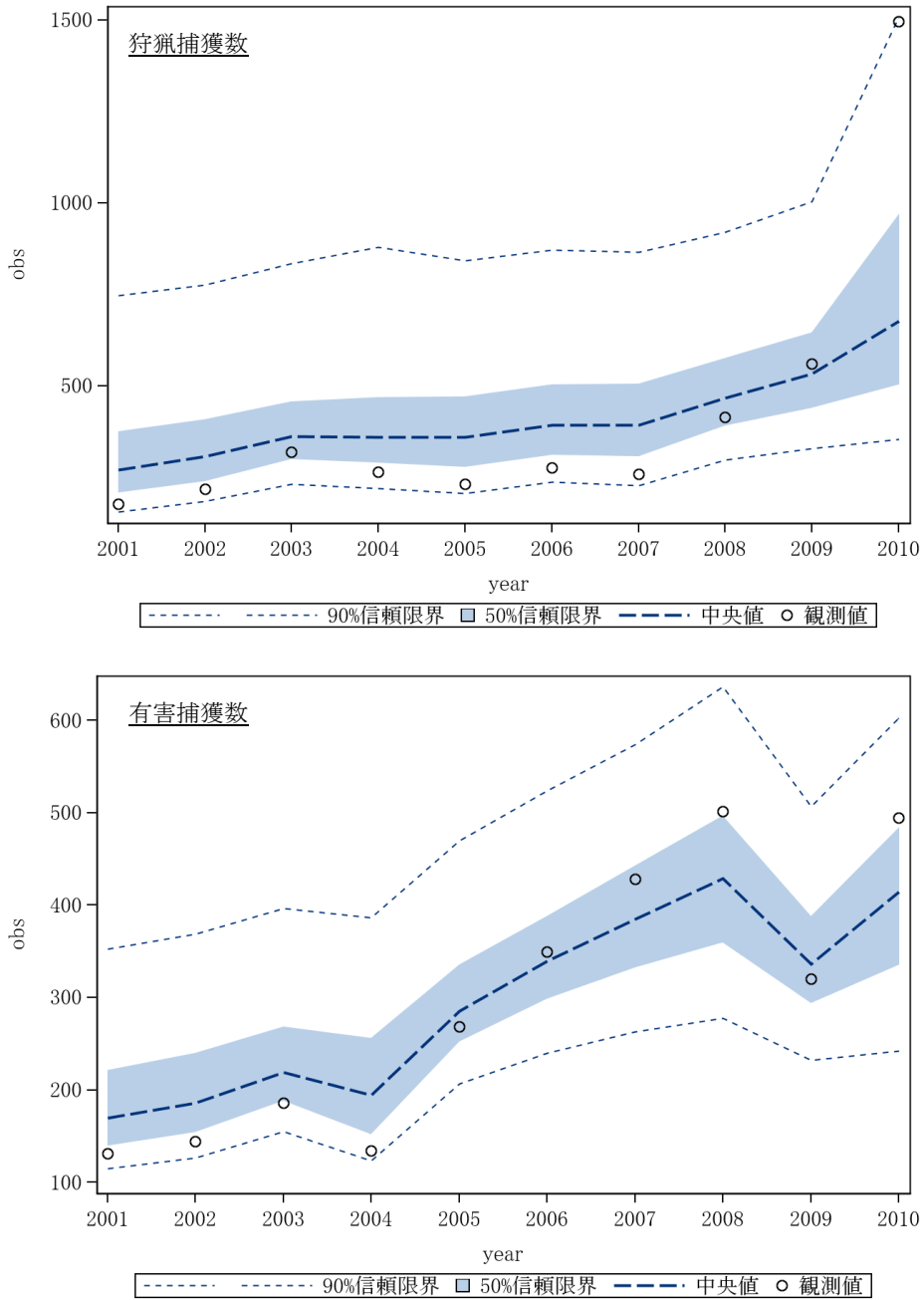


図3 観測値と期待値との関係

上図 狩猟捕獲数の観測値と期待値

下図 有害捕獲数の観測値と期待値

中央値と50%信頼限界、90%信頼限界を示す。

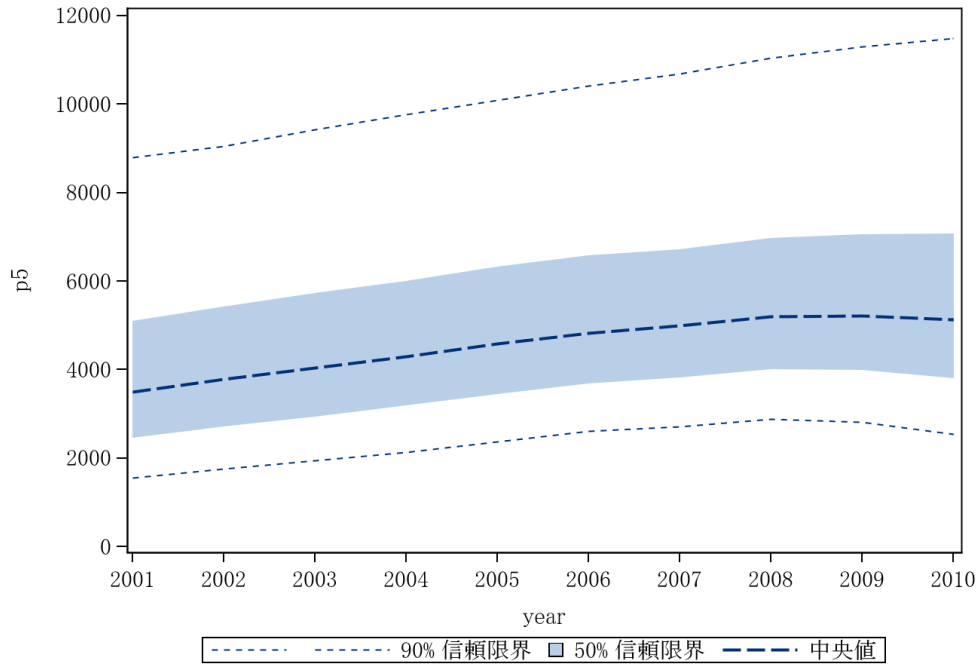


図4 兵庫県淡路島のニホンジカの推定生息個体数の動向
中央値と 50%信頼限界、90%信頼限界を示す。

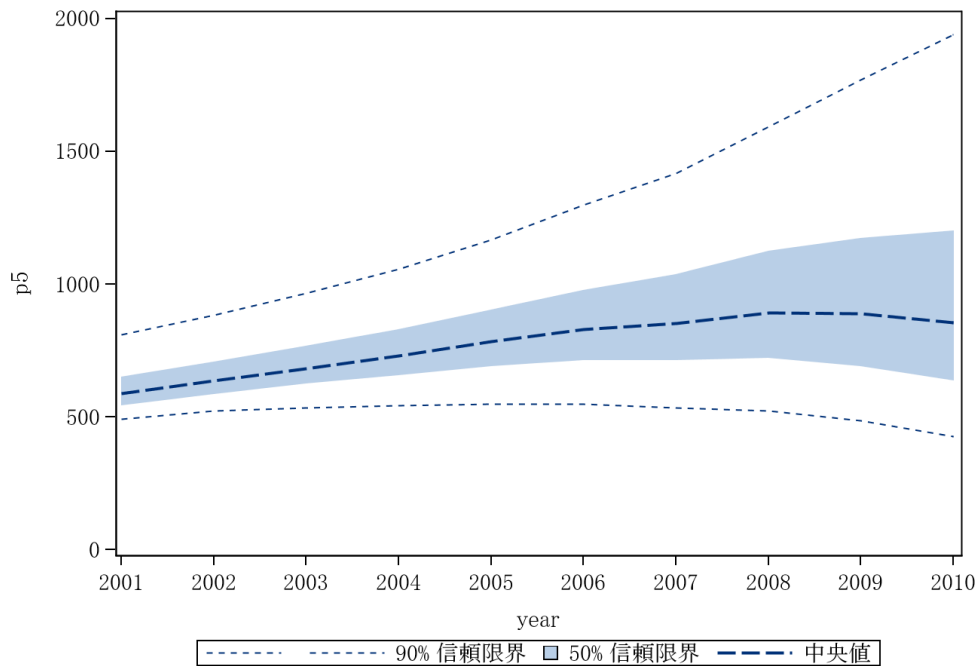


図5 兵庫県淡路島のニホンジカの推定増加個体数の動向
中央値と 50%信頼限界、90%信頼限界を示す。

表5 推定された生息個体数 $N[i]$ および増加個体数 $inc[i]$

変数	平均	標準偏差	5%点	50 %点	95 %点
N2001	4128.4	2442.6	1559.6	3498.6	8789.9
N2002	4409.3	2477.0	1761.6	3783.6	9056.6
N2003	4667.3	2506.9	1946.2	4038.1	9424.5
N2004	4921.4	2535.5	2136.0	4299.9	9768.4
N2005	5209.3	2565.9	2379.3	4579.5	10084.6
N2006	5466.9	2601.2	2603.6	4832.9	10420.9
N2007	5614.8	2650.5	2711.8	4987.3	10683.3
N2008	5861.6	2731.1	2883.5	5198.3	11042.3
N2009	5910.3	2853.8	2817.0	5218.0	11306.5
N2010	5835.9	3047.8	2544.6	5130.0	11486.2
inc2001	609.9	114.4	490.7	587.1	809.1
inc2002	661.0	129.8	521.8	635.7	883.2
inc2003	709.1	150.3	535.7	682.5	964.9
inc2004	757.9	176.3	543.0	729.8	1056.4
inc2005	814.6	209.8	548.8	783.8	1166.8
inc2006	867.8	250.8	548.3	830.9	1297.4
inc2007	902.9	298.2	533.7	852.7	1417.9
inc2008	958.6	360.0	522.9	891.6	1594.6
inc2009	980.6	429.6	485.8	888.0	1769.0
inc2010	982.2	511.9	427.0	856.2	1940.5

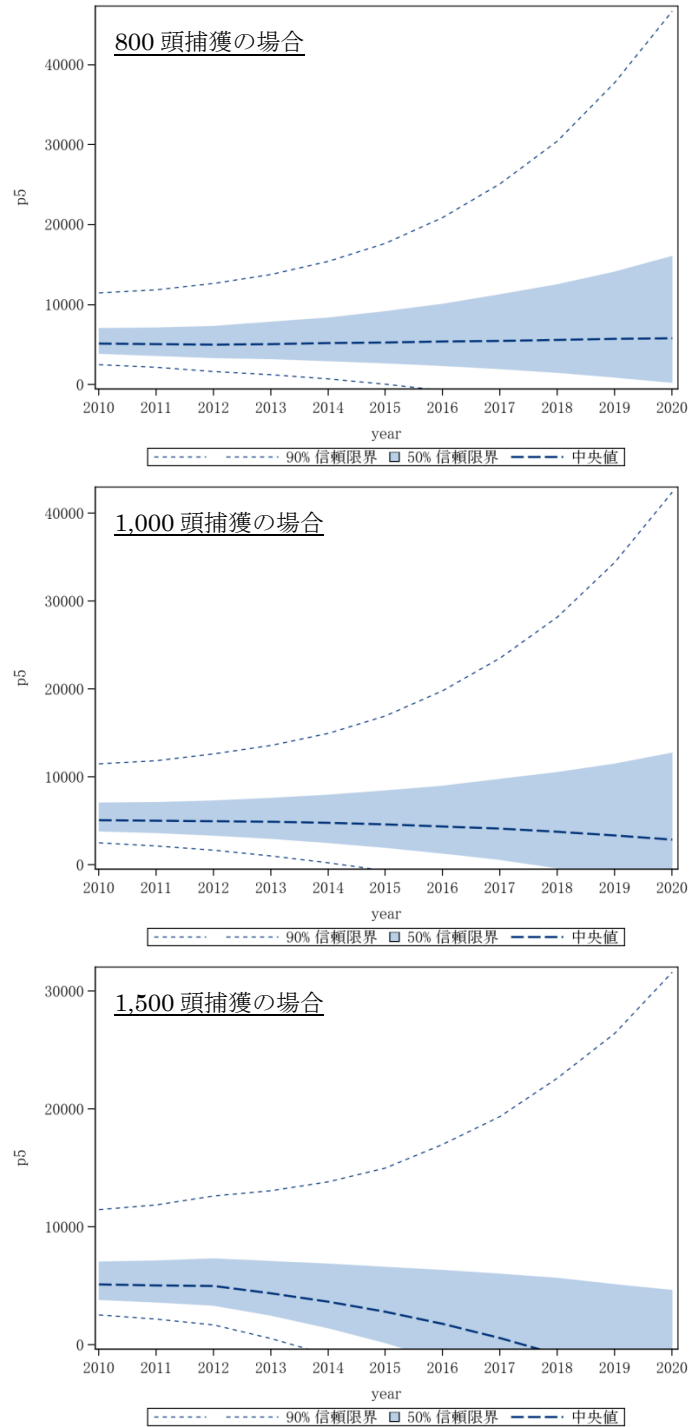


図6 捕獲計画に基づく兵庫県淡路島のニホンジカの個体数の将来予測

上図 800 頭の捕獲を続ける場合 中図 1,000 頭の捕獲を続ける場合 下図 1,500 頭の捕獲を続ける場合
中央値と 50%信頼限界、90%信頼限界を示す。

4. 考察

推定の結果、兵庫県淡路島における 2009 年末時点までのニホンジカの生息個体数は増加傾向にあったが、2010 年末ではその傾向は頭打ちとなっており、捕獲の効果を示唆している。なお、2010 年の捕獲数増加の効果は、2011 年度の猟期期間中の目撃効率と 2011 年の有害捕

獲数のデータを用いて検証しなければならない。

2010年のデータから、兵庫県淡路島のニホンジカの生息個体数の推定値は、2008年の個体数でみると、一昨年の推定結果では4,209頭、今年の推定結果では5,198となり、その違いが23.5%となった。また、過去10年間の平均的な増加率の中央値は、2008年時点での推定値は12.8%であったのに対して、2009年、2010年では、それぞれ16.8%、17.8%となり、上方修正することになった。このため、捕獲計画に基づく個体数の将来予測についても、上方修正することとなった。800頭を捕獲し続けた場合をみると、一昨年の推定では、中央値は減少し、50%以上の確率で横ばいになると予測されたが、今年の計算では、中央値でも減少しない可能性もあると予測された。

これらの結果は、毎年の変動によっても左右されるが、特に、兵庫県本州部に比べ、よりデータ量が少ない淡路島では、その影響を受けやすい可能性がある。また、本州部での推定結果（坂田ほか2012）と同様、今年度の推定においては、捕獲目標の変更や狩猟における捕獲報償金の支給の開始などの大きな社会的条件の変化があったため、今年度の推定値の変化に対する解釈には注意が必要である。

謝辞

本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費（D-1003）により実施された。

引用文献

- 藤木大介 2011 広域スケールでのシカによる森林生態系被害評価手法の確立。「野生鳥獣による森林生態系への被害対策技術開発事業報告書」, pp.39-50. 株式会社野生動物保護管理事務所,
- Geweke J 1992 Evaluating the Accuracy of Sampling-Based Approaches to the Calculation of Posterior Moments. In Bayesian Statistics 4 (Bernardo JM, Berger JO, Dawid AP, Smith AFM, eds), pp.169-193, Oxford Univ Press, Oxford.
- Gilks WR, Richardson S, Spiegelhalter D 1996 Markov Chain Monte Carlo in Practice. Chapman & Hall/CRC, New York, USA, 512pp.
- 環境省自然環境局生物多様性センター 2011 平成22年度自然環境保全基礎調査特定哺乳類生息状況調査及び調査体制構築検討業務報告書. 411pp.
- Kass RE, Carlin BP, Gelman A, Neal R 1998 Markov Chain Monte Carlo in Practice: A Roundtable Discussion. The American Statistician 52:93-100.
- Roberts GO, Gelman A, Gilks WR 1997 Weak convergence and optimal scaling of random walk Metropolis algorithms. Annals of Applied Probability 7:110-120.
- 坂田宏志・岸本康誉・関香菜子. ニホンジカの個体群動態の推定と将来予測（兵庫県本州部2011年）. 兵庫ワイルドライフレポート. pp.1-16. 兵庫県森林動物研究センター.
- SAS Institute Inc. 2011 SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.