
 原著論文

ツキノワグマの個体群動態の推定 (兵庫県 2012 年)

坂田宏志^{1,2*}・岸本康誉^{1,2,#}・太田海香³・松本崇^{1,2##}¹兵庫県森林動物研究センター・²兵庫県立大学自然・環境科学研究所・³横浜国立大学

要 点

- ・2003年から2012年までに入手されたデータから、兵庫県のツキノワグマの自然増加率や個体数を、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。
- ・推定は、出没情報件数、捕獲数、捕殺数、標識放獣数、および再捕獲数のデータをもとにブナ科堅果類の豊凶により推定変数の値を補正する手法（坂田ほか 2012）を改良して用いた。
- ・改良点は、1) 基準年の個体数(生息、標識)の事前分布の分散を坂田ほか(2012)で推定した事後分布の分散と同一(標識個体数)、あるいは10倍(生息個体数)に設定した、2) 出没情報件数、および捕獲頭数に関する観測モデルにおいて、対数変換の過程で生じる期待値のずれを調整するために $-0.5 \cdot \text{sightv}$ 、および $-0.5 \cdot \text{CTv}$ を加えた、の2点である。
- ・自然増加率は、2003年から2012年の中央値の平均で16.3%と推定された
- ・個体数は、2012年当初の段階で、中央値590.5頭(90%信頼限界では346.7~854.2頭)で、2011年当初と比べて個体数が増加していると推定された。

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、兵庫県におけるツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の保全と管理の意思決定に資するため、2003年から2012年末までに得られたデータに基づいて、最近の自然増加率や生息個体数などの推定を行う。

推定には、兵庫県が実際の管理事業の中で体系的に収集しているデータを用いる。具体的には、兵庫県森林動物研究センターが行っている錯誤捕獲個体の放獣と有害捕獲個体の学習放獣の記録、殺処分や事故死などの人為的な死亡個体の記録、市町で記録している出没情報件数などである。出没件数や捕獲数は、ブナ科堅果類の豊凶に大きく左右されることが明らかになっているため、藤木ほか(2011)の手法による豊凶調査データを用いて、その影響を考慮した推定を行う。

* 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

#現所属: (株)野生動物保護管理事務所, ##現所属: (株)野生鳥獣対策連携センター

自然増加率や個体数の推定は、上記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。これらの作業の中では、自然増加率、生息個体数の他に、標識放獣した個体の生存率、標識個体数、個体数と出没情報件数の関係を規定する係数(目撃係数)、捕獲率、および出没情報件数や捕獲数を左右する誤差変動の大きさなどを構築したモデルの中で推定する。これらの手法は、坂田ほか(2012)の手法を若干改良して用いた。

改良点は以下の2点である。

- 1) 基準年(2011年)の個体数(生息個体数、標識個体数)の事前分布の平均は、坂田ほか(2012)と同様、前年行った個体数推定結果の事後分布の平均とした。しかし、事前分布の分散に関しては、事後分布の分散を10倍(生息個体数)、あるいは1倍(標識個体数)したものを用いた。
- 2) 出没情報件数、および捕獲頭数に関する観測モデルにおいて、対数変換の過程で生じる期待値のずれを調整するために $-0.5 \times \text{sight}_t$ 、および $-0.5 \times \text{CT}_t$ を加えた。

2. 方法

対象とする期間と地域

対象期間は2003年から2012年まで、対象地域は兵庫県とする。他の獣種と合わせるため、推定の際は、年度ではなく1月から12月までの年で区切る。

用いたデータ

推定にあたっては、次にあげるデータを用いた。

出没情報件数 $\text{Sight}[i]$: i 年に行政機関に寄せられたツキノワグマの目撃や痕跡等の情報を集計し、年ごとの合計件数を出没情報件数として扱う。兵庫県では県内の市町に寄せられた情報が所定のフォーマットで記録され、県の農林事務所を通じて森林動物研究センターで全県の情報が蓄積されている(稲葉 2011)。本推定では個体数を反映する指標として用いる。

初捕獲個体数 $\text{Cn}[i]$: i 年に確保された生体、または死体のうち、過去に放獣されたことを示す標識の装着が確認されなかった個体数。標識にはマイクロチップ、イヤタグ、テレメトリー発信機つきの首輪などがある。兵庫県では、ツキノワグマを放獣する際に原則としてすべての個体にマイクロチップを装着している(坂田ほか 2011)。

再捕獲個体数 $\text{Cm}[i]$: i 年に確保された生体、または死体のうち、放獣の標識を装着していることが確認できた個体数。

捕獲個体数 $\text{CT}[i]$: 生体・死体を問わず、 i 年に捕獲や交通事故等の人為的な行為によって確保された全個体数。個体数の動向を反映する指標として扱う。ただし、独立した調査計画に基づいて実施される学術捕獲による捕獲数は、個体数動向の指標としてはふさわしくない。そのため学術捕獲の捕獲数はこの変数には含めない。

新規標識放獣個体数 $\text{Rm}[i]$: i 年に新たに標識をして放獣した個体数。

人為的死亡個体数 $\text{Kill}[i]$: i 年に人為的に死亡した個体数(交通事故等による死亡も含む)。

人為的死亡（標識あり）個体数Killm[i] : i年に人為的に死亡した個体のうち、前年度までの放獣の標識が付いていた個体数（Kill[i]の内数）。

ブナ科堅果類の豊凶指数Nut[i] : i年のブナ科堅果類の豊凶指数。人と自然の博物館、および森林動物研究センターの調査結果から集計した豊凶指数（藤木ほか 2011）を過去5年間のツキノワグマの出没頻度で重みづけをした平均値を用いる。実際の推定には、自然対数を取り平均0、分散1に標準化して用いる。

なお、捕獲のカウントについては、同一年内に同一個体が再捕獲や再放獣された場合は繰り返しカウントしない。以上の方法で集計されたデータは表1のとおりである。

表 1 入力データセット

year	出没情報 件数 Sight	初捕獲数 Cn	再捕獲数 Cm	捕獲数 CT	新規標識 放獣数 Rm	人為的 死亡数 Kill	人為的 死亡数 (標識個体) Killm	豊凶指数 Nut
2003	96	6	0	7	4	3	0	.
2004	985	47	1	51	35	9	3	.
2005	125	5	0	5	3	2	0	0.901
2006	743	49	5	61	43	11	3	0.179
2007	190	17	6	17	16	3	3	0.882
2008	448	40	11	49	38	7	4	0.450
2009	181	16	4	13	14	2	0	1.107
2010	1617	160	35	193	91	84	24	0.067
2011	355	21	12	34	18	4	3	0.573
2012	484	29	12	48	17	17	5	0.947

推定する係数、および変数

以下の考え方に基づいて、lire、irr、psp、psr、pcp、pcr、lnN2011、lnNm2003、svp、nutx2003、2004、sightv、CTvの13の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、各推定変数をもとに計算される係数の定義と推定変数の事前分布設定の際の考え方は以下のとおりである。

1. nutx2003, 2004（調査の行われていない年のブナ科堅果類の豊凶指数）：平均 0、分散 1 に標準化された指数とし、事前分布も期待値 0、分散 1 の正規分布とした。
2. ir[i](i年の自然増減率)：出生と自然死亡の結果としての雌雄合わせた全個体数に対する増減の比率とする。自然増減率は豊凶によって変動すると考え

$$1+ir[i]=\exp(\text{lire})\times\exp(\text{irr}\times\log(\text{Nut}[i]))$$

とする。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た。豊凶による自然増減率の変動を表

す変数 irr については、年齢構成（斎田ほか 2011）、妊娠率（中村ほか 2011）、およびテレメトリー調査で確認した生存率（未発表：平均で 79%以上と推定され、豊凶による変動は小さかった）の調査結果を考え合わせると、豊凶による変動は小さいと考えられることから、事前分布は分散を狭めた正規分布とした。2. $ir[i]$ (i 年の自然増加率) : 出生と自然死亡の結果としての雌雄合わせた全個体数に対する増減の比率とする。自然増加率は豊凶によって変動すると考え

$$1+ir[i]= \exp(lire) \times \exp(irr \times \log(Nut[i]))$$

とする。豊凶による自然増減率の変動を表す変数 irr については、年齢構成（斎田ほか 2011）、妊娠率（中村ほか 2011）、およびテレメトリー調査で確認した生存率（未発表：平均で 79%以上と推定され、豊凶による変動は小さかった）の調査結果を考え合わせると、豊凶による自然増減率の変動は小さいと考えられることから、事前分布は分散を狭めた正規分布とした。 $\log(Nut[i])$ は平均 0、分散 1 に標準化した値を用いた。調査を行っていない年の豊凶指数の自然対数值 $\log(Nut[i])$ については、推定値である $nutx[i]$ を代入した。

3. $ps[i]$ (i 年の個体数と出没情報件数の比率を示す係数：目撃係数) : この係数は豊凶によって変動すると考え

$$ps[i]= \exp(psp) \times \exp(psr \times \log(Nut[i]))$$

とする。目撃係数を計算するための媒介変数 psp 、 psr は、ともに事前の情報には十分でないため、事前分布の分散は大きめに設定した。 $\log(Nut[i])$ については、2と同様である。

4. $pc[i]$ (i 年の捕獲率) : 捕獲率は豊凶によって変動すると考え

$$pc[i]=1/(1+\exp(- (pcp+pcr \times \log(Nut[i])))$$

とする。年ごとの捕獲率を計算するための媒介変数 pcp 、 pcr は、ともに事前の情報には十分でないため、事前分布の分散は大きめに設定した。 $\log(Nut[i])$ については、2と同様である。

5. $\ln N_{2011}$ (2011年の生息個体数の自然対数值) : 事前分布は正規分布とし、平均値は、坂田ほか(2012)による推定結果の平均値とした。分散は、推定結果の分散の 10 倍に設定した。2002年から2011年のデータは、坂田ほか(2012)に基づいた事前分布の平均値の設定と今回の推定とで 2 回用いることになってしまう。しかし、前回(坂田ほか 2012)の推定値と著しく異なる値を公表することは関係者間での合意形成に著しく妨げとなる。したがって、行政機関が公表する個体数推定値としては推定値が前回と著しくずれないようにする方法として、前回の推定値の平均を事前分布の平均として用いた。なお、この際、事前分布の分散は十分に広げ、データが完全に二度使いにならないようにした。

6. $\ln N_{m2003}$ (2003年の標識個体数の自然対数值) : 事前分布は正規分布とし、平均値は、坂田ほか(2012)による推定結果の平均値とした。分散は、標識を付けた個体数はわかっており、そこから死亡・標識の脱落分が減っているだけなので坂田ほか(2012)による推定結果の分散をそのまま用いた。上記の $\ln N_{2011}$ と同様データの2度使いとなってしまうが、前回の推定値との齟齬を少なくするために事前分布の平均として前回(坂田ほか 2012)の推定値の平均を用いた。

7. sv (標識個体の生存・関与率) : 標識放獣された個体が、次の捕獲の対象となる割合を表す係数で、

$$sv=1/(1+\exp(-svp))$$

とする。具体的には、生存率に加えて、捕獲によって2回目以降の捕獲確率が変化する影響などを反映させることを想定している。テレメトリー調査による生存率に関する調査では明確な年次変動がないため（横山ほか 未発表）、標識個体の生存・関与率は、豊凶によって変わらないと仮定した。また、テレメトリーによる生存率の調査結果によると年次変動も小さいため、分散も小さめとした。

8. sightv、CTv(出没情報件数、捕獲個体個体数の期待値からの誤差分散)：それぞれ、観測モデルで示す確率分布の期待値からの誤差分散として推定する。事前分布は、どちらも形状母数、尺度母数ともに 0.01 の逆ガンマ分布を用いた。

9 変 9. 各推定数の初期値は、事前分布の期待値を初期値とした。出没情報件数、捕獲個体個体数の誤差分散 sightv、CTv については、それぞれ初期値を 0.1 とした。

表2 推定した変数とその初期値および事前分布

推定変数	ブロック	初期値	事前分布
lire	1	0.1148	正規分布($\ln(1.15)-0.5*0.05$, 0.05)
psp	1	-5.0000	正規分布($\ln(1.00)-0.5*10$, 10)
pcp	1	-1.3863	正規分布 ($\ln(0.2/(1-0.2))$, 10)
svp	1	1.3863	正規分布 ($\ln(0.8/(1-0.8))$, 10)
lnN2012	1	6.2736	正規分布($6.3495-0.0759, 0.0759*10$)
irr	1	0.0000	正規分布 (0, 0.01)
psr	1	0.0000	正規分布(0, 5)
pcr	1	0.0000	正規分布(0, 5)
lnNm2004	1	2.6190	正規分布($2.6788-0.0598$, 0.0598)
nutx	1	0.0000	正規分布(0, 1)
sightv	2	0.1000	逆ガンマ分布 (0.01, 0.01)
CTv	2	0.1000	逆ガンマ分布 (0.01, 0.01)

事前分布の引数は、正規分布（期待値、分散）、逆ガンマ分布（形状母数、尺度母数）を示す。

個体群動態の過程モデル

個体群動態の過程モデルは、全生息個体数は2011年を起点とし、2011年から2012年へは、

$$N[2012] = (N[2011]-Kill[2011]) \times (1+ir[2011])$$

2011年から20032003年までへは、

$$N[i-1] = N[i] / (1+ir[i-1]) + Kill[i-1]$$

$$i=2011, 2010, \dots, 2004$$

のように変化するものと仮定する。

標識付きの生息個体数については2003年を起点として

$$Nm[i+1] = (Nm[i]+ Rm[i]- Killm[i]) \times sv$$

$i=2003, 2004, \dots, 2011$

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、 $Nm[i]$ は i 年に生存し捕獲される可能性のある標識個体の生息個体数の推定値を表す。

2011年の全生息個体は、
 $N[2011]=\exp(\ln N[2011])$ とし、

2003年の標識個体数は
 $Nm[2003]=\exp(\ln Nm[2003])$ とする。

生息個体数、および標識個体の個体数は、いずれも冬眠あけの時点での個体数を想定している。

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. 出没情報件数に関する観測モデル

$$\log(\text{Sight}[i]) = \log(\text{ps}[i] \times N[i]) - 0.5 \times \text{sightv} + e_{\text{sight}[i]}$$

対数変換の過程で生じる期待値のずれを調整するために $-0.5 \times \text{sightv}$ を加えた。

2. 捕獲頭数に関する観測モデル

$$\log(\text{CT}[i]) = \log(\text{cpc}[i] \times N[i]) - 0.5 \times \text{CTv} + e_{\text{CT}[i]}$$

対数変換の過程で生じる期待値のずれを調整するために $-0.5 \times \text{CTv}$ を加えた。

3. 再捕獲個体数に関する観測モデル

$$Cm[i] \sim \text{Bin}(\text{CT}[i], Nm[i]/N[i])$$

$e_{\text{sight}[i]}$ 、 $e_{\text{CT}[i]}$ は、誤差変動を示し、それぞれ期待値0、分散が sightv 、 CTv の正規分布に従うものとする。また、再捕獲個体数 $Cm[i]$ は、捕獲個体数 $\text{CT}[i]$ 、標識個体率 $Nm[i]/N[i]$ の二項分布に従うものとする。なお、記号 $\sim \text{Bin}(n, p)$ は、二項分布に従うことを示している。

マルコフ連鎖モンテカルロ法

これまで述べたデータと過程・観測モデル、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 (Gilks et 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

変推定数を表2のとおり2つのブロックに分けて、独立サンプラーを用いたメトロポリス法によっ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100万回はサンプリングせず、次の1000万回のうち1,000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、Roberts et 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、SCALE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 (Kass et 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

いずれの変推定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9,000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、すべての推定変数において基準を上回り収束していると判断された。

推定値

事前分布と事後分布の形状を図1に、得られたデータの観測値と期待値との関係を図2に示した。推定値の要約は表3の通りであった。個体数の年次変動パターンを図3に、標識個体数の年次変動パターンを図4に示した。

自然増加率は堅果類の豊凶により変動し、中央値で見ると最大は2003年の20.3%、最小は2010年の8.1%、中央値の10年間の平均は16.3%だった(表3-1)。

2012年冬眠明けの個体数の中央値は590.5頭(90%信頼区間:346.7頭~854.2頭)で、2011年の中央値に比べおよそ16.5%増加した(表3-2、図3)。

目撃係数の中央値は、0.5203(2003年)から4.2761(2010年)まで豊凶により大きく変動した(表3-3)。捕獲率の中央値も年により大きく異なり、最高41.6%(2010年)、最低4%(2009年)だった(表3-3)。

4. 考察

兵庫県のツキノワグマの個体数は、2011年に推定期間中初めて減少したが、2012年は再び増加し2010年の推定個体数を上回った。2012年の人為的死亡個体数は17頭(兵庫県 2013)であり、自然増加率の中央値は19.5%なので2013年もさらに増加傾向が続くことが予想される。

2011年の個体数の中央値は507.0頭(90%信頼区間では302.8頭~728.2頭)と前回(坂田ほか 2012)の推定値(中央値506.4頭、90%信頼区間300.1頭~750.7頭)と90%信頼上限が3%下方修正された以外はほとんど変わらなかった。

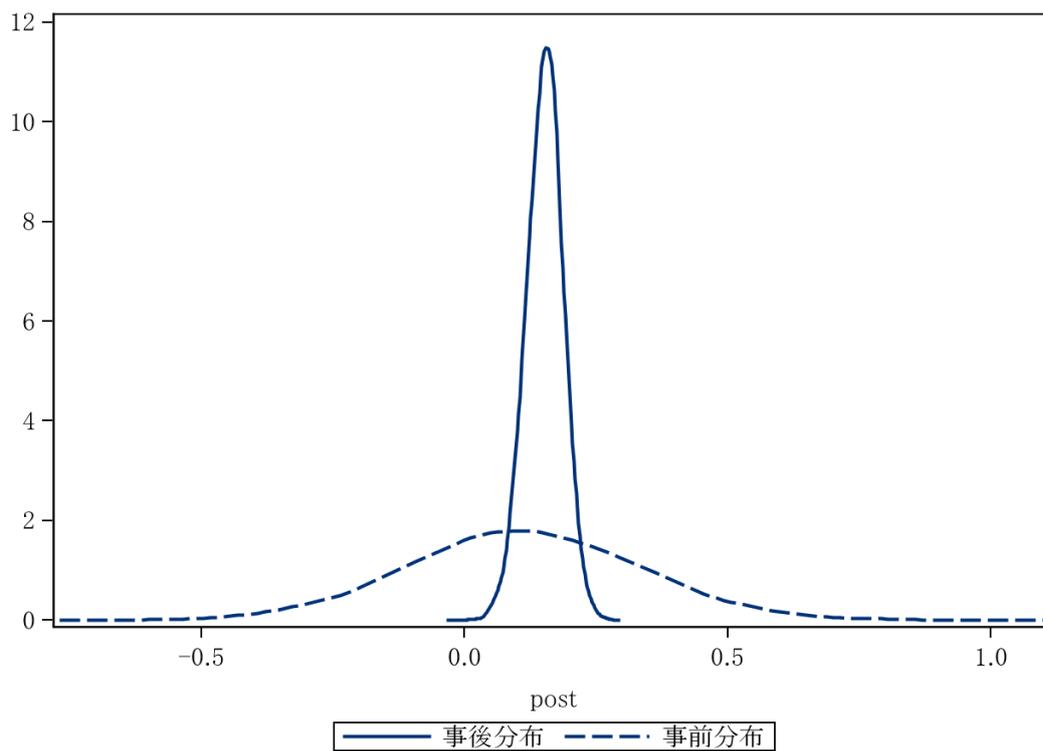


図 1 - 1 自然増加率 (log) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

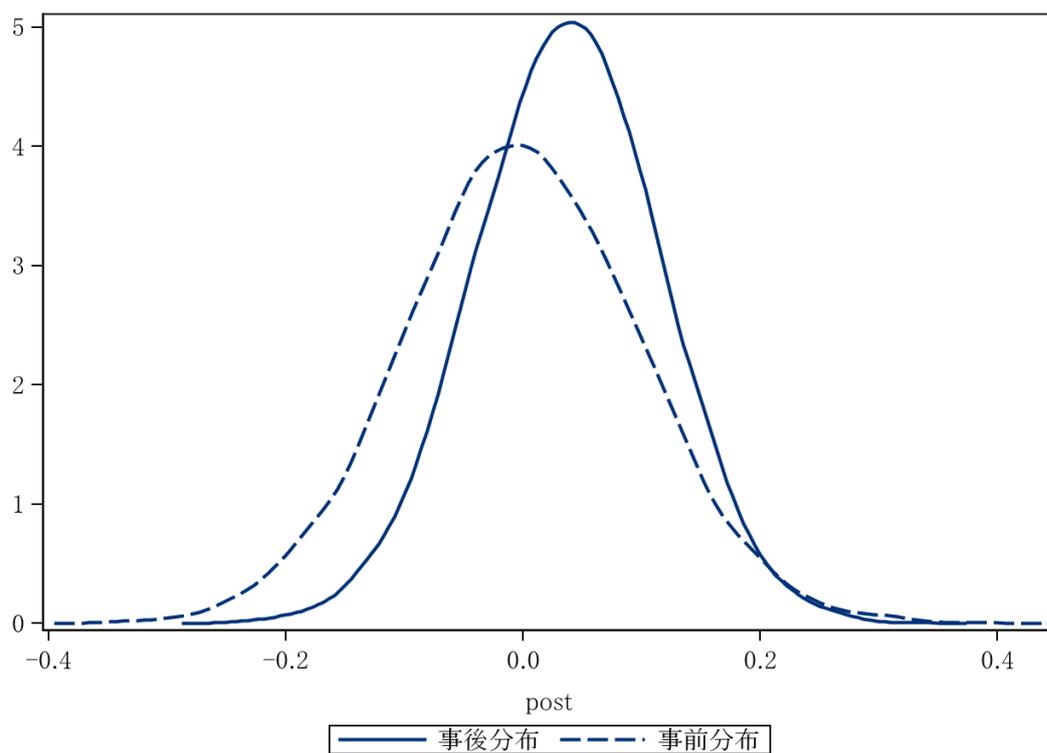


図 1 - 2 自然増加率の豊凶による変動係数の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

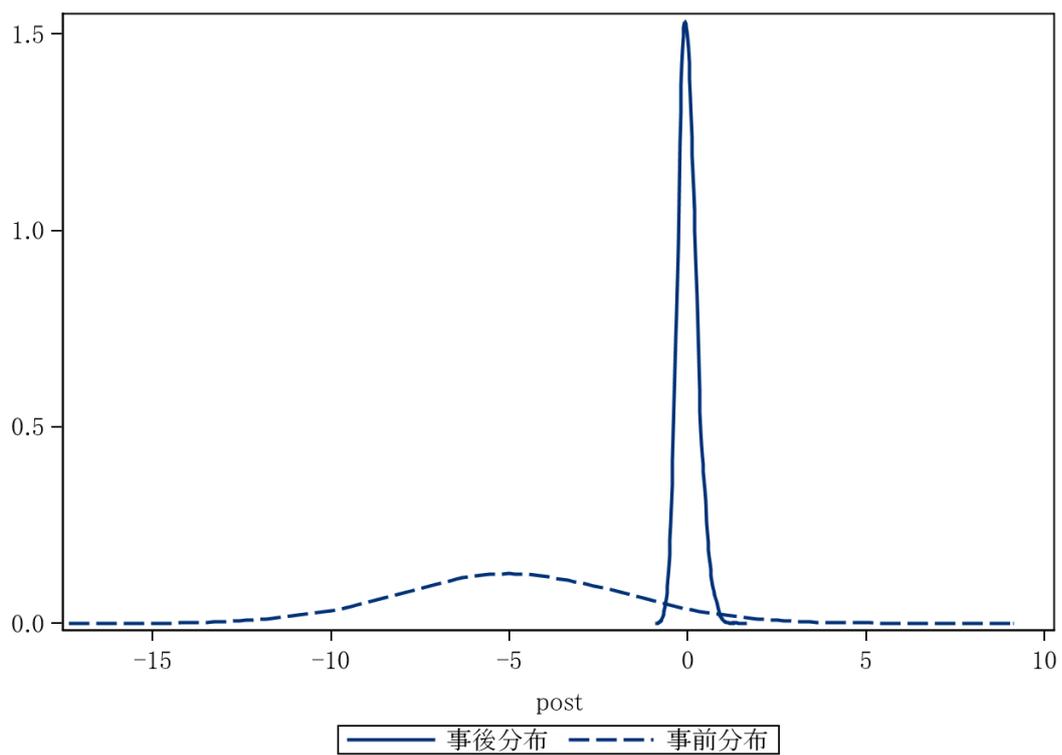


図 1 - 3 目撃係数 (log) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

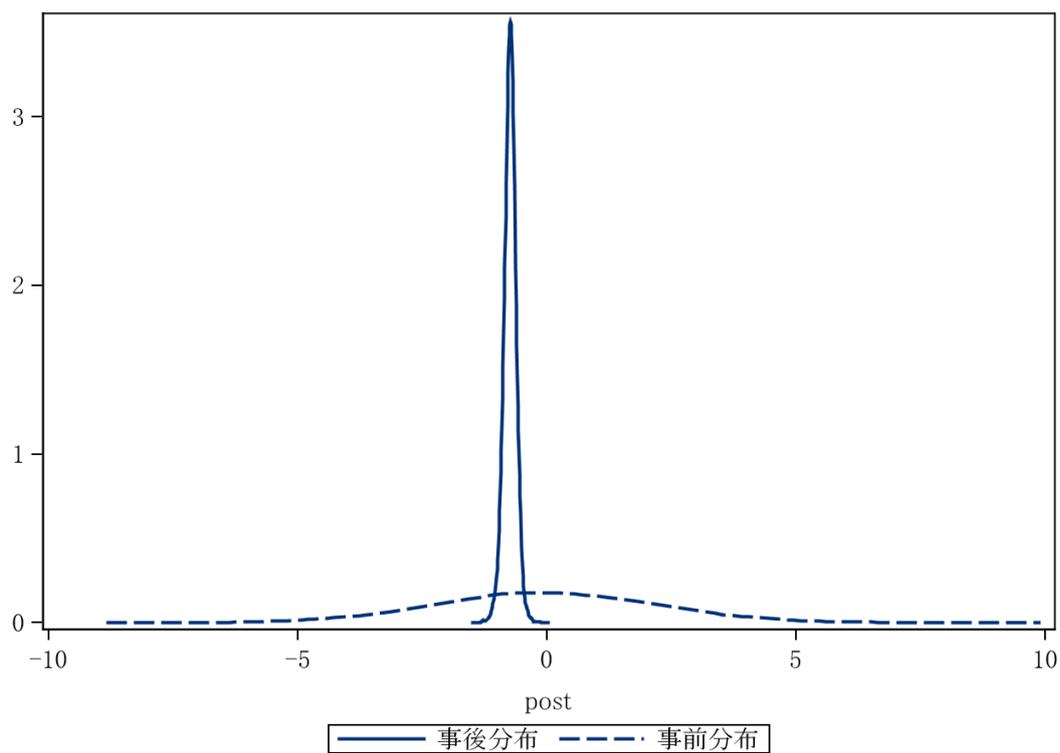


図 1 - 4 目撃係数の豊凶による変動係数の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

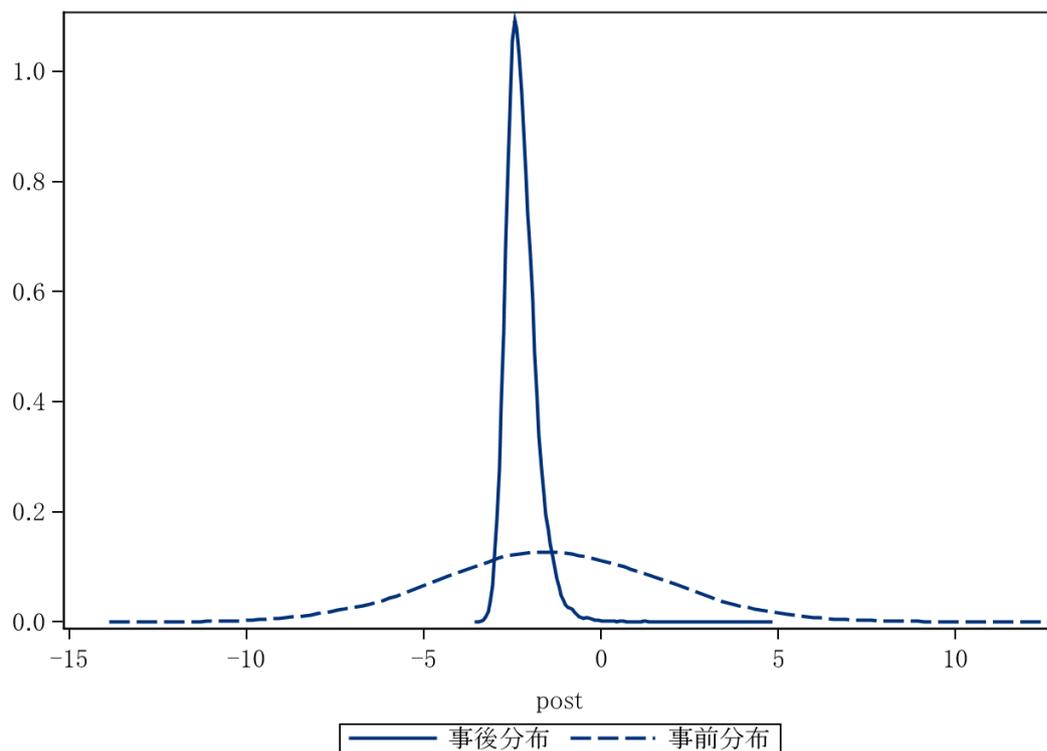


図 1-5 捕獲率 (logit) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

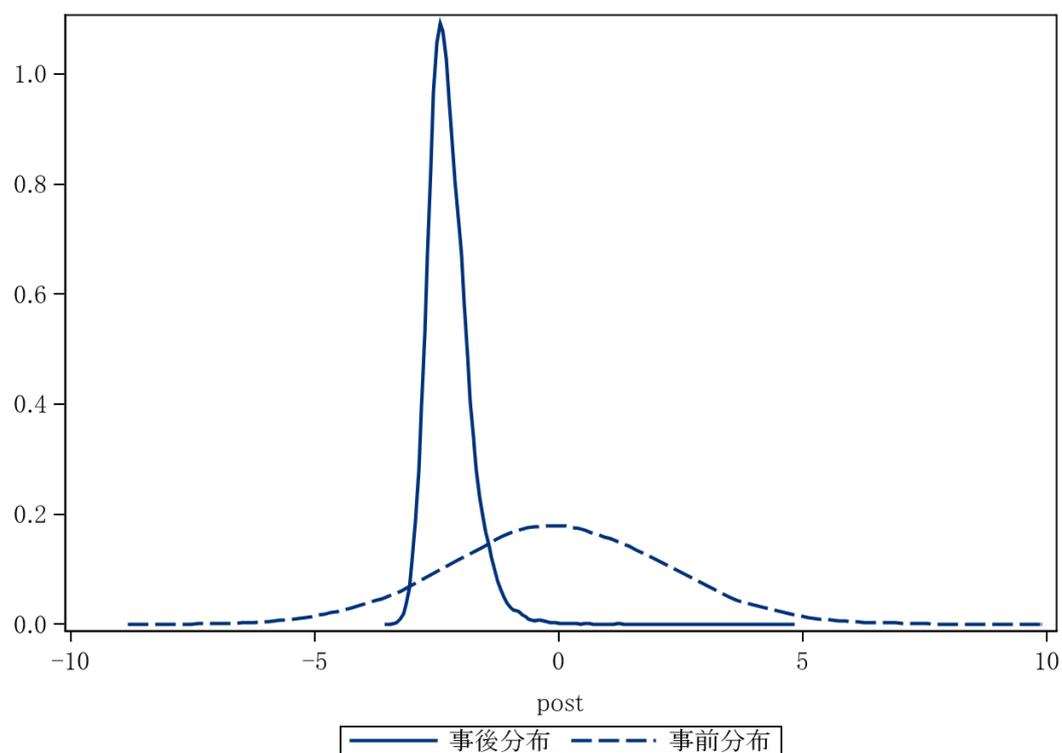


図 1-6 捕獲率の豊凶による変動係数の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

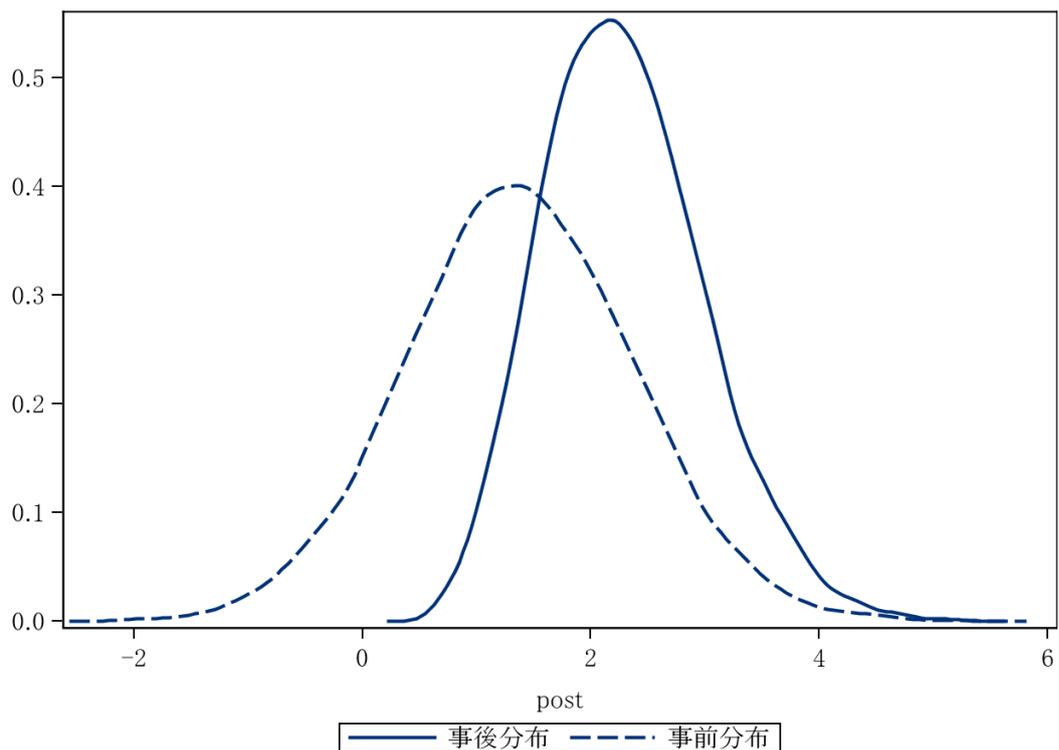


図 1-7 標識個体の生存・関与率 (logit) の事前分布(破線) と事後分布 (実線)

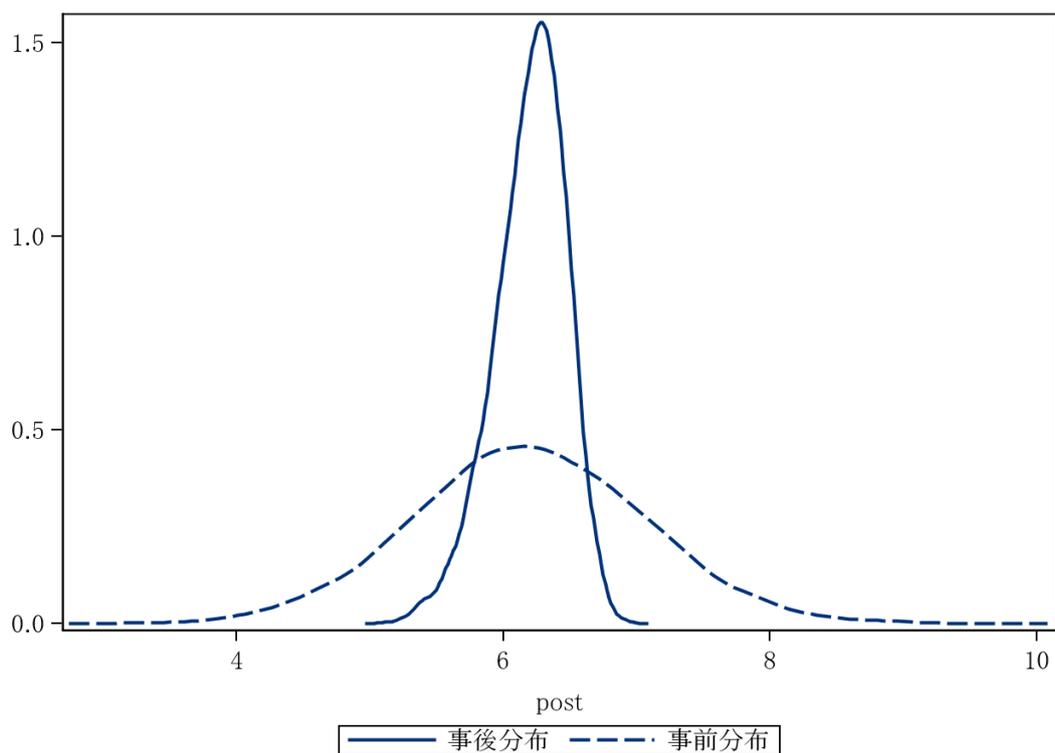


図 1-8 2011年の個体数 (log) の事前分布(破線) と事後分布 (実線)

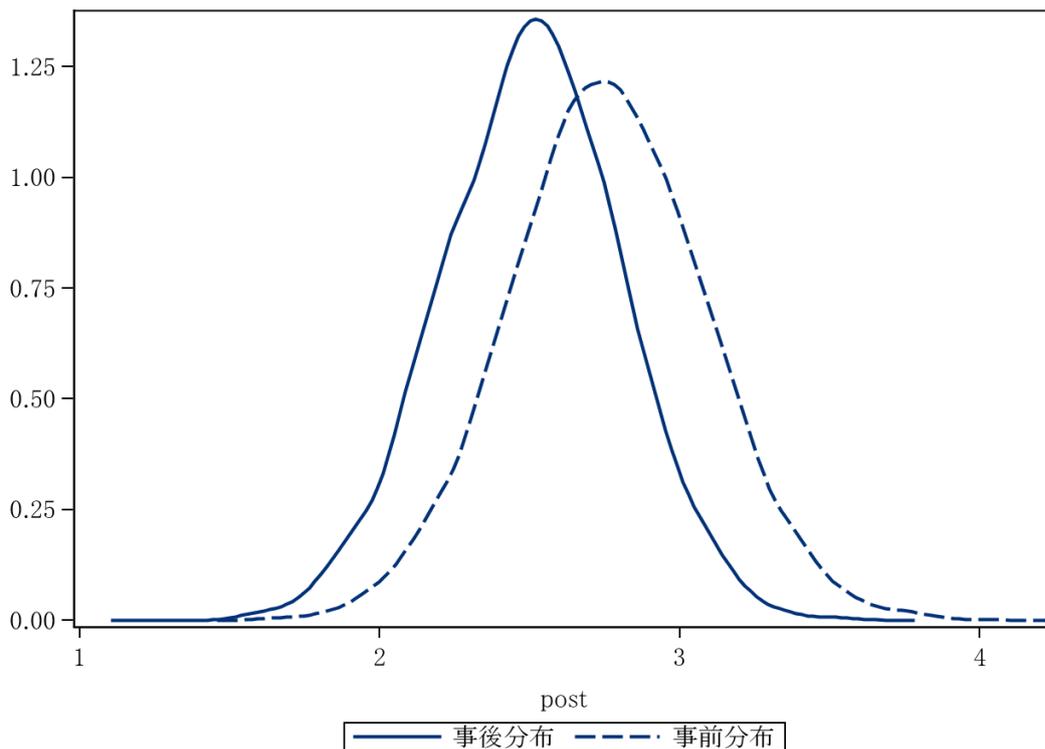


図 1-9 2003年の標識個体数 (log) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

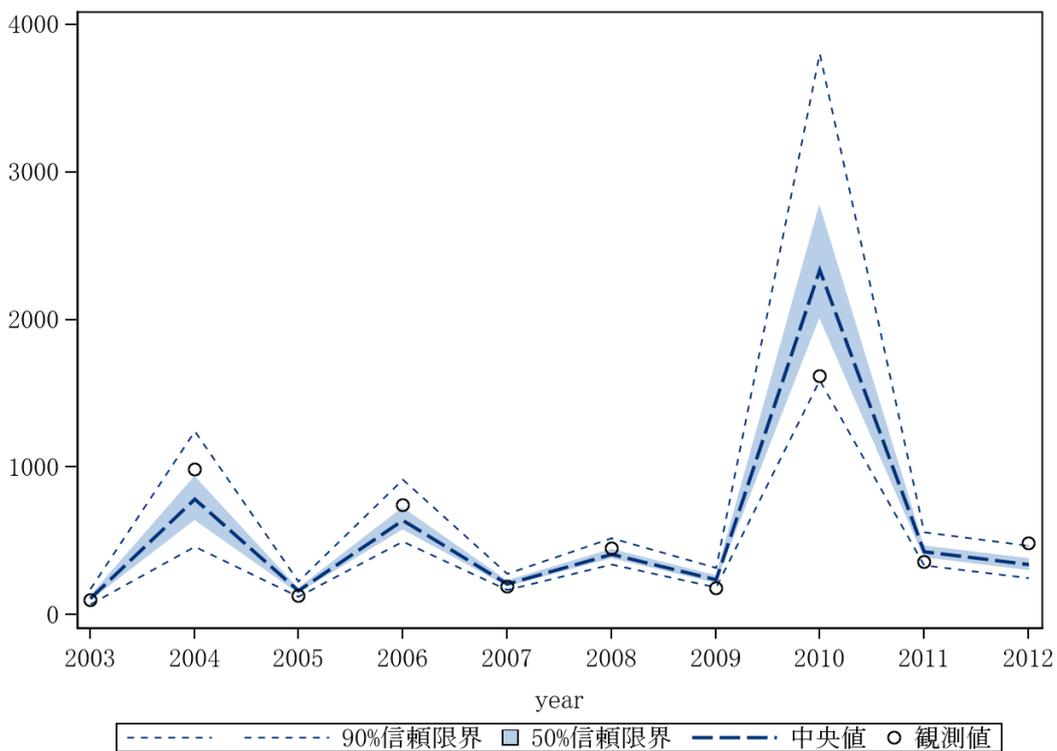


図 2-1 出没情報件数の観測値と期待値の関係

中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

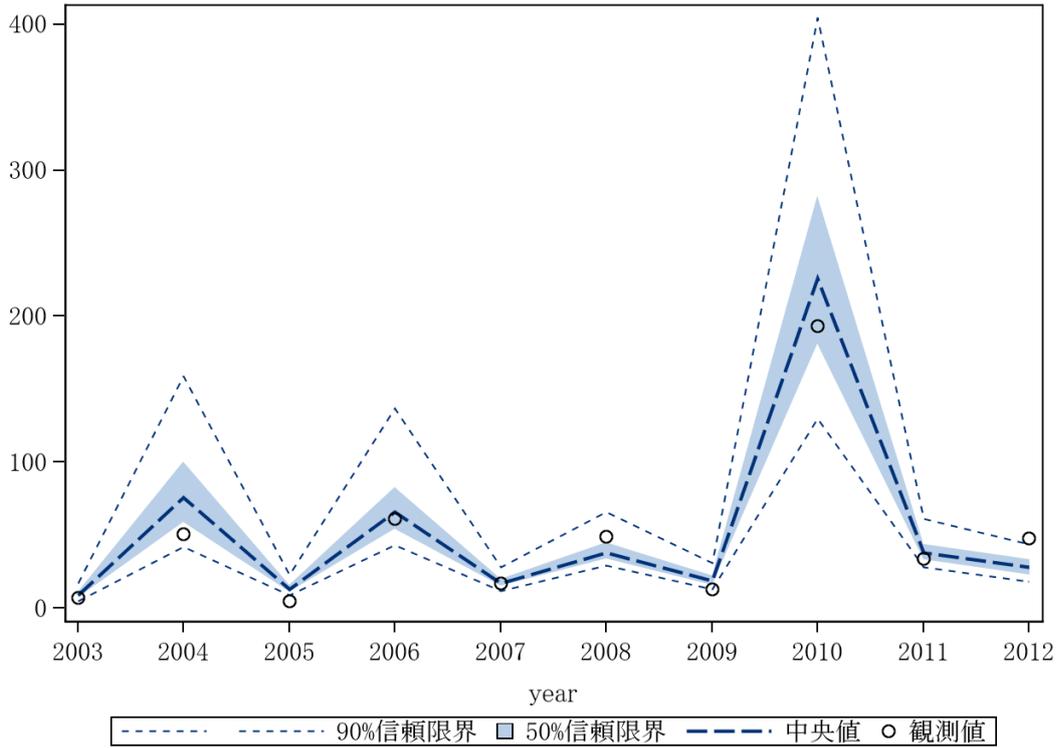


図 2-2 捕獲個体数の観測値と期待値の関係

中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

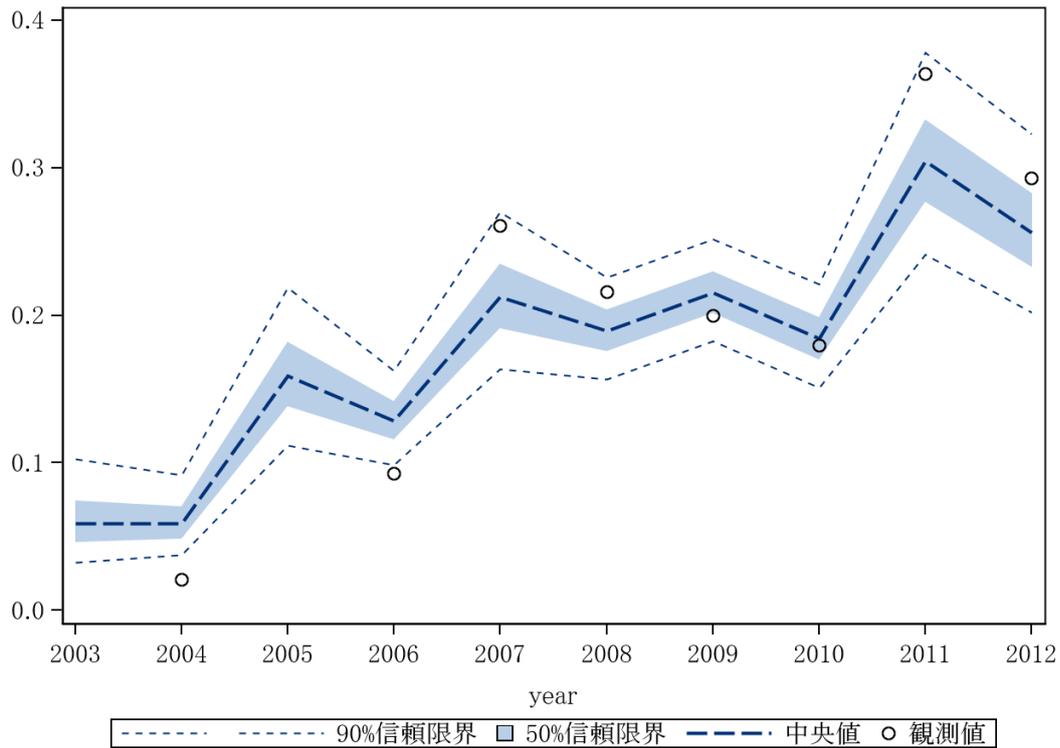


図 2-3 標識率の観測値と期待値の関係

中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

推定値の要約

表 3 - 1 自然増加率と標識個体の生存・関与率の推定値

推定変数	平均	標準偏差	5%点	25%点	中央値	75%点	95%点
自然増加率 2003	1.2100	0.1085	1.0433	1.1427	1.2034	1.2705	1.3957
自然増加率 2004	1.1075	0.1364	0.9038	1.0210	1.0987	1.1817	1.3395
自然増加率 2005	1.1952	0.0820	1.0639	1.1395	1.1924	1.2488	1.3322
自然増加率 2006	1.1249	0.0866	0.9879	1.0651	1.1217	1.1800	1.2732
自然増加率 2007	1.1941	0.0802	1.0657	1.1394	1.1914	1.2466	1.3279
自然増加率 2008	1.1622	0.0397	1.0962	1.1360	1.1630	1.1888	1.2272
自然増加率 2009	1.2059	0.1004	1.0467	1.1370	1.2016	1.2713	1.3739
自然増加率 2010	1.0930	0.1663	0.8463	0.9752	1.0813	1.1953	1.3855
自然増加率 2011	1.1732	0.0485	1.0931	1.1408	1.1733	1.2053	1.2534
自然増加率 2012	1.1977	0.0862	1.0600	1.1388	1.1945	1.2543	1.3418
標識個体の生存・関与率	0.8921	0.0618	0.7716	0.8558	0.9038	0.9391	0.9719

表 3 - 2 個体数、標識個体数の推定値

推定変数	平均	標準偏差	5%点	25%点	中央値	75%点	95%点
個体数 2003	219.5	66.3	126.6	172.7	211.0	256.7	338.9
個体数 2004	259.8	74.6	150.2	207.0	253.4	304.5	394.8
個体数 2005	273.4	73.6	165.3	221.3	266.0	317.0	407.2
個体数 2006	321.8	79.4	199.5	266.7	317.0	371.8	460.2
個体数 2007	347.1	83.3	217.8	288.7	341.5	400.1	493.3
個体数 2008	408.5	91.1	261.7	345.2	407.5	469.2	560.8
個体数 2009	465.4	101.2	299.6	394.4	465.8	533.8	633.3
個体数 2010	559.0	130.8	345.6	467.5	558.9	646.7	774.2
個体数 2011	509.7	130.2	302.8	416.8	507.0	596.4	728.2
個体数 2012	593.3	154.4	346.7	484.3	590.5	694.4	854.2
標識個体数 2003	12.8	3.9	7.4	10.0	12.3	15.0	20.0
標識個体数 2004	15.0	3.8	9.8	12.3	14.6	17.2	21.9
標識個体数 2005	42.0	5.2	33.4	38.6	42.1	45.4	50.5
標識個体数 2006	40.4	6.9	28.3	35.9	40.8	45.3	50.9
標識個体数 2007	72.1	10.6	52.9	65.2	73.2	80.1	87.5
標識個体数 2008	76.6	14.2	51.0	67.0	78.0	87.5	97.2
標識個体数 2009	99.5	18.9	65.4	86.5	101.3	114.1	127.2
標識個体数 2010	102.4	23.2	61.4	86.0	104.2	120.3	137.2
標識個体数 2011	152.6	30.3	99.1	130.9	154.8	176.0	198.4
標識個体数 2012	151.3	36.4	88.1	125.0	153.6	179.5	207.4

表 3-3 目撃係数と捕獲率の推定値

推定変数	平均	標準偏差	5%点	25%点	中央値	75%点	95%点
目撃係数 2003	0.5643	0.2316	0.2804	0.4087	0.5203	0.6700	0.9955
目撃係数 2004	3.3739	1.4953	1.5924	2.3679	3.0696	4.0432	6.1406
目撃係数 2005	0.6429	0.2021	0.4014	0.5073	0.6025	0.7336	1.0186
目撃係数 2006	2.1851	0.7127	1.3564	1.7031	2.0359	2.4916	3.5247
目撃係数 2007	0.6530	0.2046	0.4081	0.5156	0.6118	0.7447	1.0327
目撃係数 2008	1.0801	0.3204	0.6950	0.8603	1.0160	1.2246	1.6884
目撃係数 2009	0.5518	0.1800	0.3388	0.4317	0.5163	0.6318	0.8824
目撃係数 2010	4.7022	1.9539	2.5626	3.4328	4.2761	5.4316	8.2131
目撃係数 2011	0.9013	0.2694	0.5782	0.7182	0.8473	1.0238	1.4132
目撃係数 2012	0.6198	0.1964	0.3854	0.4881	0.5807	0.7079	0.9823
捕獲率 2003	0.0460	0.0304	0.0184	0.0296	0.0403	0.0548	0.0902
捕獲率 2004	0.3500	0.1805	0.1449	0.2217	0.3037	0.4297	0.7377
捕獲率 2005	0.0542	0.0293	0.0297	0.0395	0.0490	0.0623	0.0919
捕獲率 2006	0.2442	0.1286	0.1173	0.1622	0.2085	0.2838	0.5068
捕獲率 2007	0.0553	0.0297	0.0304	0.0404	0.0500	0.0635	0.0941
捕獲率 2008	0.1078	0.0562	0.0585	0.0763	0.0942	0.1227	0.1979
捕獲率 2009	0.0442	0.0260	0.0235	0.0320	0.0400	0.0507	0.0763
捕獲率 2010	0.4527	0.1850	0.2133	0.3149	0.4163	0.5547	0.8352
捕獲率 2011	0.0850	0.0429	0.0471	0.0613	0.0757	0.0968	0.1518
捕獲率 2012	0.0516	0.0284	0.0281	0.0376	0.0467	0.0593	0.0875

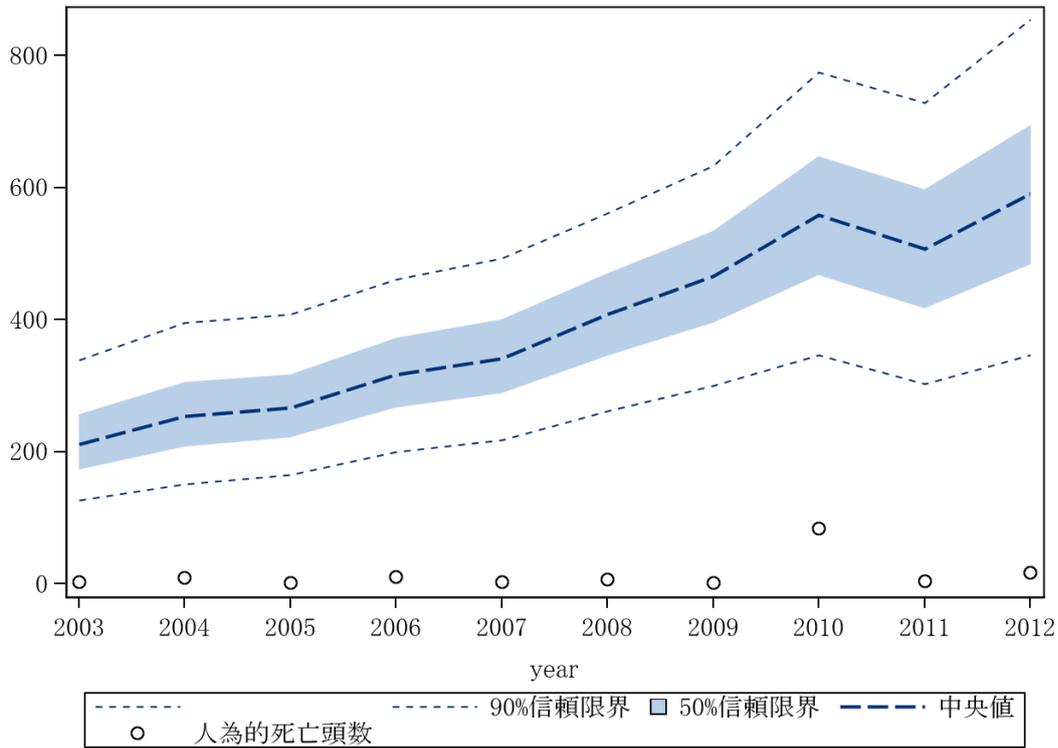


図3 兵庫県のツキノワグマの推定個体数と人為的死亡数
中央値と50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す。

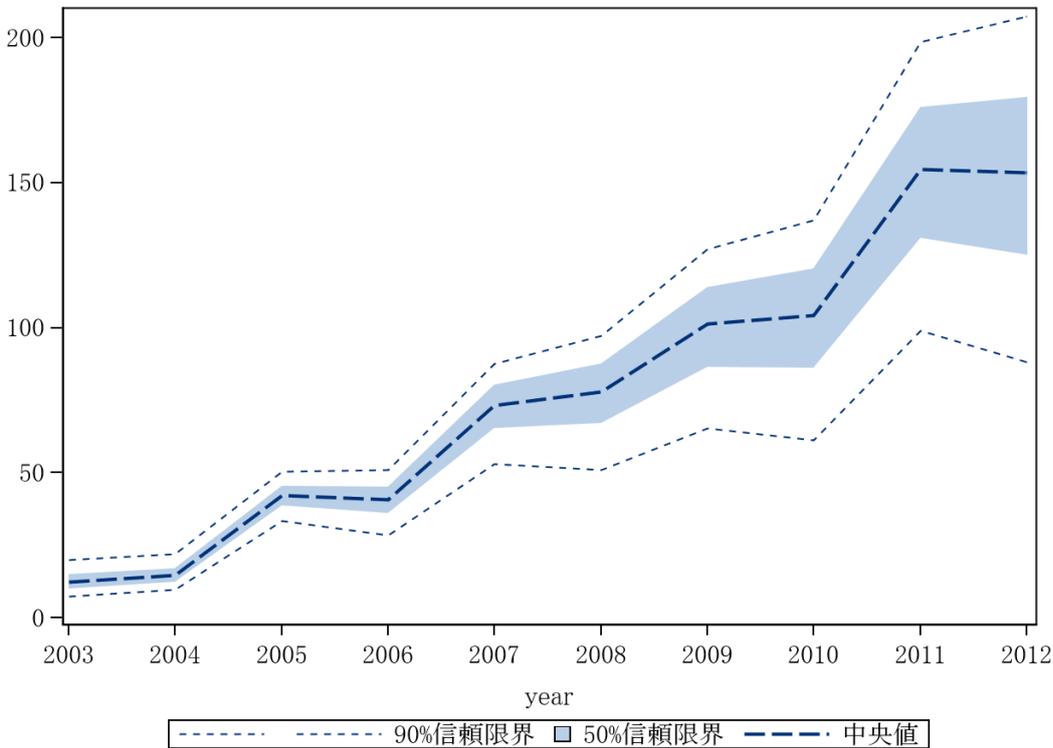


図4 兵庫県のツキノワグマの標識個体数
中央値と50%信頼区間、90%信頼区間を示す。

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・横山真弓・坂田宏志 2011 兵庫県内におけるブナ科樹木3種の堅果の豊凶とツキノワグマの餌資源としての評価。「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ3号, pp.39-49. 兵庫県森林動物研究センター.
- 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.
- 兵庫県 2013 第3期ツキノワグマ保護管理計画 平成25年度事業実施計画. 25pp.
- 稲葉一明 2011 兵庫県のツキノワグマの出没状況と対策。「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ3号, pp.1-17. 兵庫県森林動物研究センター.
- 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 RM 1998 Markov Chain Monte Carlo in Practice: A Roundtable Discussion. The American Statistician 52:93-100.
- 中村幸子・横山真弓・森光由樹 2011 兵庫県におけるツキノワグマの繁殖状況。「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ3号, pp.102-106. 兵庫県森林動物研究センター.
- Roberts GO, Gelman A, Gilks WR 1997 Weak convergence and optimal scaling of random walk Metropolis algorithms. Annals of Applied Probability 7:110-120.
- 齋田栄里奈・横山真弓・中村幸子・森光由樹 2011 兵庫県において捕獲されたツキノワグマの性・年齢構成の特徴。「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ3号, pp.94-101. 兵庫県森林動物研究センター.
- 坂田宏志・横山真弓・森光由樹・中村幸子・齋田栄里奈 2011 兵庫県におけるツキノワグマの管理のためのデータ収集。「兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題」, 兵庫ワイルドライフモノグラフ3号, pp.18-25. 兵庫県森林動物研究センター.
- 坂田宏志・岸本康誉・関香菜子 2012 ツキノワグマの個体群動態の推定（兵庫県2011年）, 兵庫ワイルドライフレポート1号, pp.32-43. 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.