

ツキノワグマの個体群動態の推定（兵庫県 2015 年）

要点

- ・ 2005年から2015年までに入手されたデータを用いて、兵庫県のツキノワグマの自然増加率や個体数などについて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、人為的死亡数、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）を用いた。
- ・ 自然増加率の2005年から2014年の幾何平均の中央値は、19.7%と推定された。
- ・ 2015年の個体数は、人為的死亡個体数を引く前の段階で中央値940.0頭（90%信頼限界では691.1~1,212頭）、2015年末の段階で中央値919.0頭（90%信頼限界では670.1~1,191頭）で、2014年から個体数が増加していると推定された。
- ・ 2014年の人為的死亡個体数を引く前の個体数の中央値は813.0頭（90%信頼区間では611.0頭~1,025.0頭）と推定され、昨年（2013年）の推定値（中央値798.2頭、90%信頼区間570.5頭~1,035.0頭）から中央値は1.854%上方修正された。一方、90%信頼区間は89.13%に狭まった。

1. はじめに

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、2015年末までに得られたデータから、最近の自然増加率や個体数などの推定を行った。

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た。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の件数などである。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った。

自然増加率や個体数の推定は、上記の方針に基づいて、収集できた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した。これらの作業の中では、自然増加率、個体数の他に、標識放獣した個体の生存率、標識個体数、個体数と出没件数の関係を規定する係数、捕獲率、標識率、および出没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した。

2. 方法

(1) 対象とする期間と地域

対象期間は最新の11年間とし、2005年から2015年までのデータを用いた。対象地域は兵庫県とする。推定モデルにおける個体数の基準年は2014年、標識付個体数の基準年は2005年とした。他の獣種と合わせるため、分析の際は、年度ではなく1月から12月までの年で区切った。

(2) 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。

出沒情報件数 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沒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集計されている（稲葉 2011）。個体数を反映する指標として用いる。

初捕獲個体数 Cn[i] : i年に確保され放獣の標識の有無を確認できた生体、または死体のうち、標識がないことが確認された個体数。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 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 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 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 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沒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

年 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
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
2013	511	38	9	54	23	16	3	0.591
2014	833	78	33	151	58	33	13	0.592
2015	494	56	13	81	38	21	3	0.986

(3) 推定するパラメータ

以下の考え方に基づいて、lire、irr、psp、psr、pcp、pcr、lnN2014、lnNm2005、svp、sightv、CTvの11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、各推定変数の定義と事前分布設定の際の考え方は以下のとおりである。

1. 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。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。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. 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。psp、psrともに事前の情報は十分でないため、事前分布の分散は大きめに設定した。

3. 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

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

とする。pcp、pcrともに事前の情報は十分でないため、事前分布の分散は大きめに設定した。1～3については、log(Nut[i])は平均0、標準偏差1に標準化した値を用いた。

4. lnN2014 (2014年の個体数の自然対数値)：事前分布は正規分布とし、平均値は、昨年の推定値の事後分布の平均値とした。分散は、事後分布の分散の2倍に設定した。

2005年から2014年のデータは、事前分布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。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。

5. lnNm2005 (2005年の標識個体数の自然対数値)：事前分布は正規分布とし、平均値は、昨年の事後分布の平均値とした。分散は、昨年の事後分布の分散の2倍に設定した。

6. 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（未発表）、豊凶によって変わらないと仮定した。調査結果は変動も小さいため、分散も小さめとした。

7. sightv、CTv(出没件数、捕獲頭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。
8. 各推定変数の初期値は、事前分布の期待値を初期値とした。出没件数、捕獲頭数の誤差分散 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)
lnN2014	1	6.6653	正規分布(6.6653, 0.0340*2)
lnNm2005	1	3.5782	正規分布(3.5782, 0.0220*2)
irr	2	0.0000	正規分布(0, 0.01)
psr	2	0.0000	正規分布(0, 5)
pcr	2	0.0000	正規分布(0, 5)
sightv	3	0.1000	逆ガンマ分布(0.01, 0.01)
CTv	3	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。

(4) 個体群動態の過程モデル

個体群動態の過程モデルは、自然増加後に人為的死亡が起こると仮定し、全個体数は2014年の人為的死亡個体数を引く前の個体数を起点とした。

2014年から現在へは、

$$N[2015] = (N[2014]-Kill[2014]) \times (1+ir[2014])$$

2014年から過去へは、

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

$$i=2014, 2013, \dots, 2006$$

のように変化するものと仮定する。

標識付きの個体数については2005年を起点として

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

$$i=2005, 2006, \dots, 2014$$

のように変化するものと仮定する。

ここで $N[i]$ は i 年の人為的死亡個体数を引く前の個体数、 $Nm[i]$ は i 年の人為的死亡個体数を引く前の生存し捕獲される可能性のある標識個体の個体数の推定値を表す。

2014年の人為的死亡個体数を引く前の全個体数は、

$$N[2014] = \exp(\ln N[2014]) \text{ とし、}$$

2005年の人為的死亡個体数を引く前の標識個体数は

$$Nm[2005] = \exp(\ln Nm[2005]) \text{ とする。}$$

i 年年末の個体数 N_e 、および標識個体の個体数 N_{me} は、

$$N_e[i] = N[i] - Kill[i]$$

$$N_{me}[i] = Nm[i] - Killm[i]$$

$$i=2005, 2006, \dots, 2015$$

とする。

(5) 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

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

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

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

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

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

$e_{\text{sight}}[i]$ 、 $e_{\text{CT}}[i]$ 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 $Ca[i]$ 、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。

(6) マルコフ連鎖モンテカルロ法連鎖

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/STAT9.4のMCMC Procedureを用いた (SAS Institute Inc. 2013)。

(7) サンプルング

推定変数を表2のとおり3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ルングした。サンプルング回数については、最初の50万回はサンプルングせず、次の200万回のうち200回に1回サンプルングし、計1万回のサンプルングを行った。

提案分布は、正規分布とし、実際のサンプルング回数に合わせて5万回のサンプル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。

(8) 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、サンプル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

(1) 収束

いずれの推定変数についてもサンプル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、良好なサンプル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。

(2) 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、中央値の最大は2009年の25.2%、最小は2010年の6.9%、10年間の幾何平均の中央値は19.7%だった(表3-1)。

推定個体数は、2015年の人為的死亡個体数を引く前の段階で中央値940.0頭(90%信頼限界では691.1~1,212頭; 表3-2a、図3a)、2015年末の段階で中央値919.0頭(90%信頼限界では670.1~1,191頭; 表3-2b、図3b)で、2015年の個体数の中央値は2014年の中央値に比べ人為的死亡個体数を引く前で15.6%、年末の時点で17.8%増加した(表3-2a,b、図3a,b)。

目撃係数の中央値は、0.562(2009年)から4.313(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 55.2% (2010 年)、最低 5.4% (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、人為的死亡個体数を引く前の推定値では、中央値ベースで2011年に推定期間中初めて減少したが、2012年以降は再び増加に転じた。年末の推定値では、2005年以降一貫して増加していると推定された。2014年の人為的死亡個体数を引く前の個体数の中央値は813.0頭(90%信頼区間では611.0頭~1,025.0頭)と推定され、昨年の推定値(中央値798.2頭、90%信頼区間570.5頭~1,035.0頭)から中央値は1.854%上方修正された。一方、90%信頼区間は89.13%に狭まった。

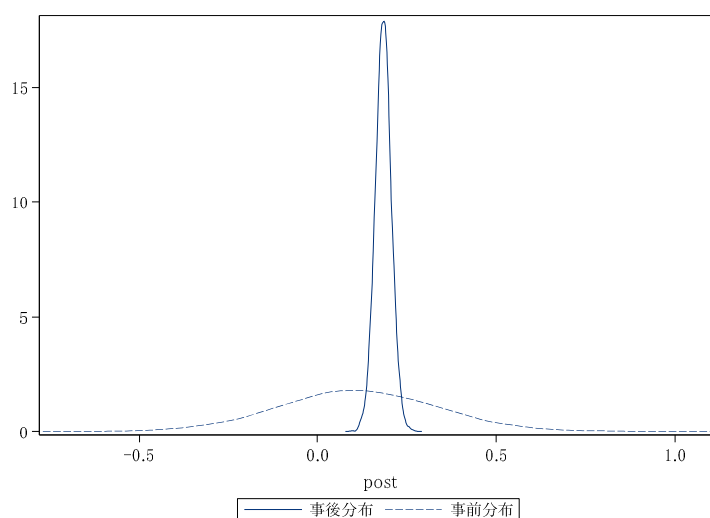


図 1 - 1 自然増加率(log)の事前分布(破線)と事後分布(実線)

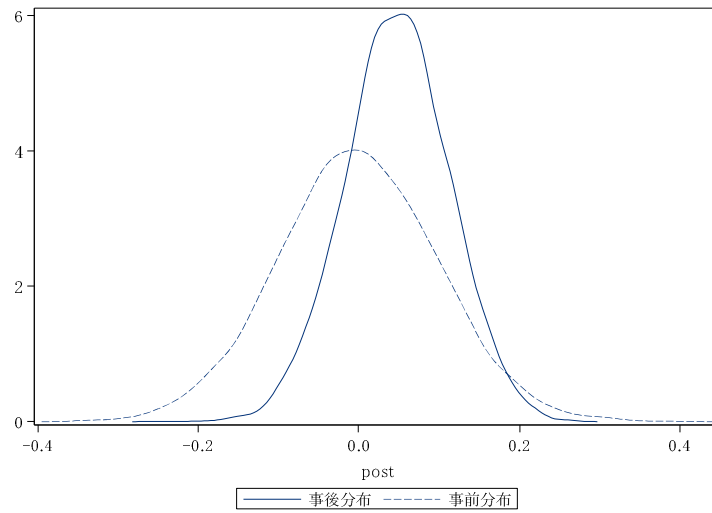


図 1 - 2 自然増加率の豊凶による変動係数の事前分布(破線)と事後分布(実線)

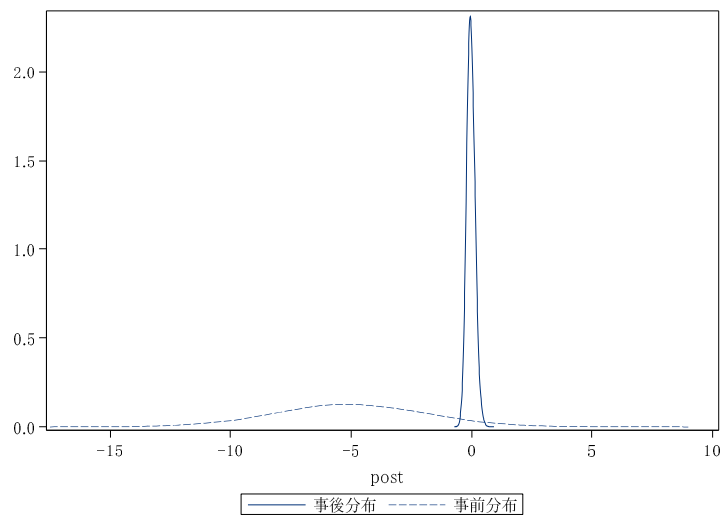


図 1 - 3 目撃係数(log)の事前分布(破線)と事後分布(実線)

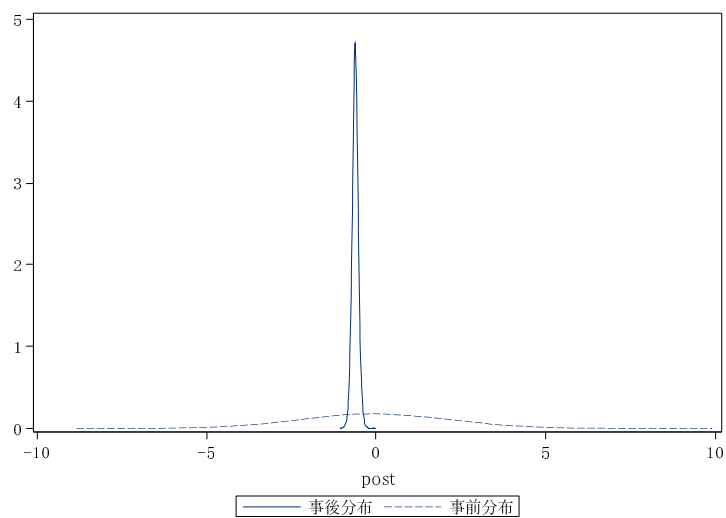


図 1 - 4 目撃係数の豊凶による変動係数の事前分布(破線)と事後分布(実線)

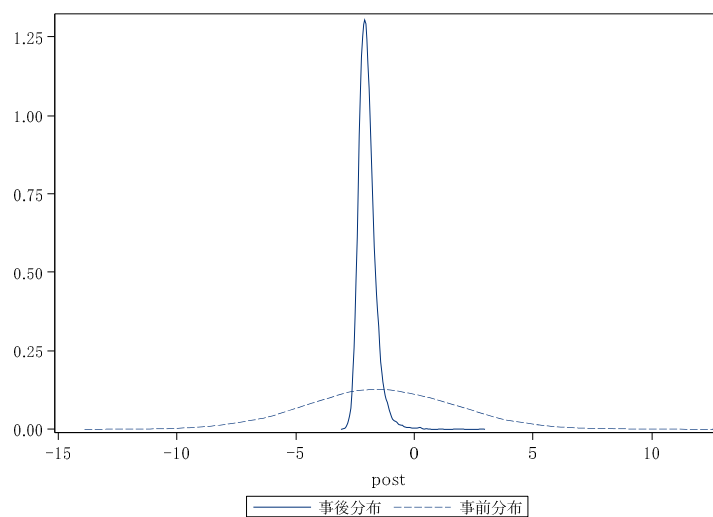


図 1 - 5 捕獲率 (logit) の事前分布(破線)と事後分布(実線)

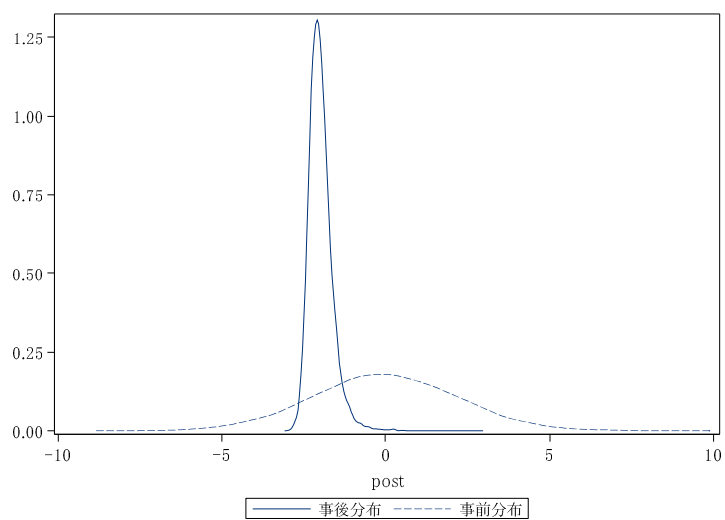


図 1-6 捕獲率の豊凶による変動係数の事前分布(破線)と事後分布(実線)

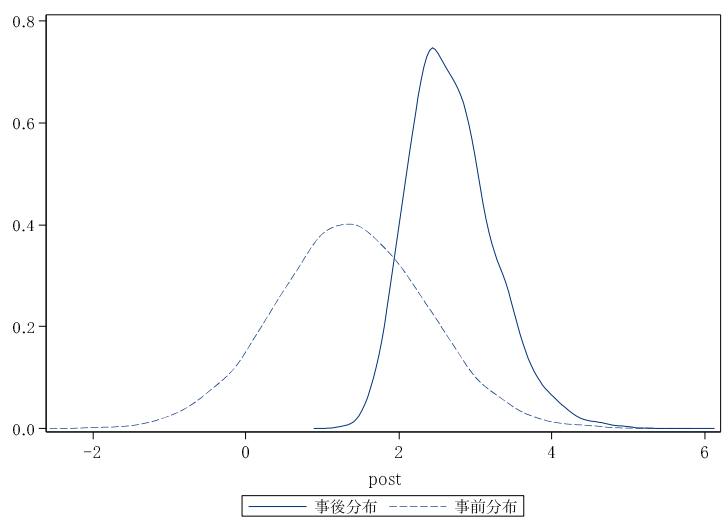


図 1-7 標識個体の生存・関与率 (logit) の事前分布(破線)と事後分布(実線)

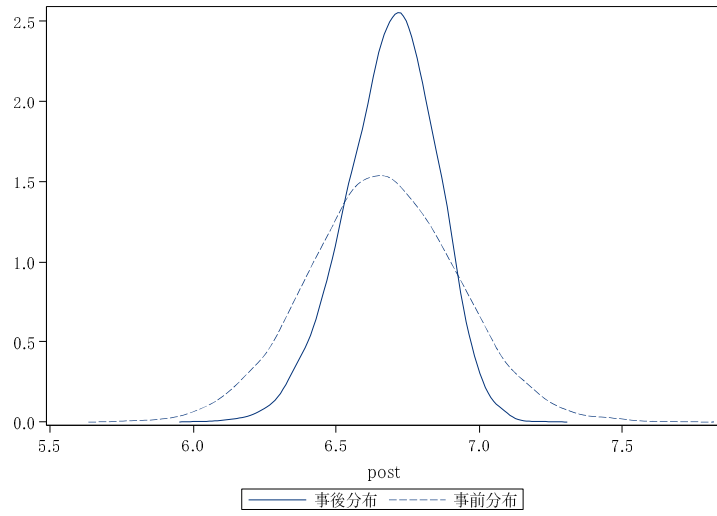


図 1 - 8 2014 年の個体数 (log) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

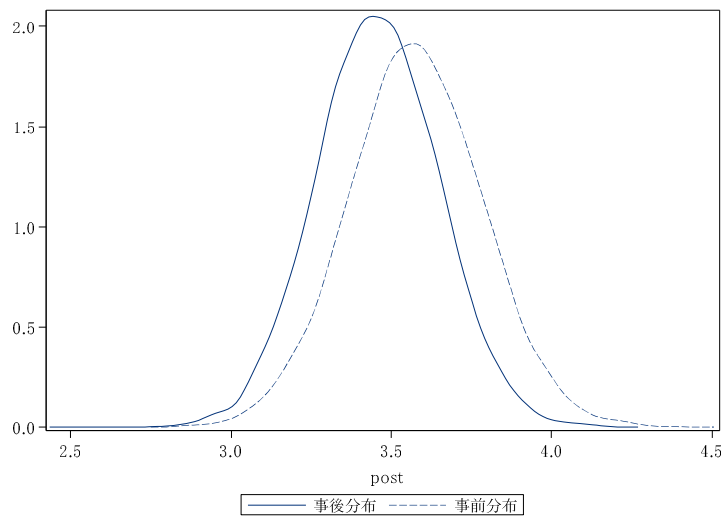


図 1 - 9 2005 年の標識個体数 (log) の事前分布 (破線) と事後分布 (実線)

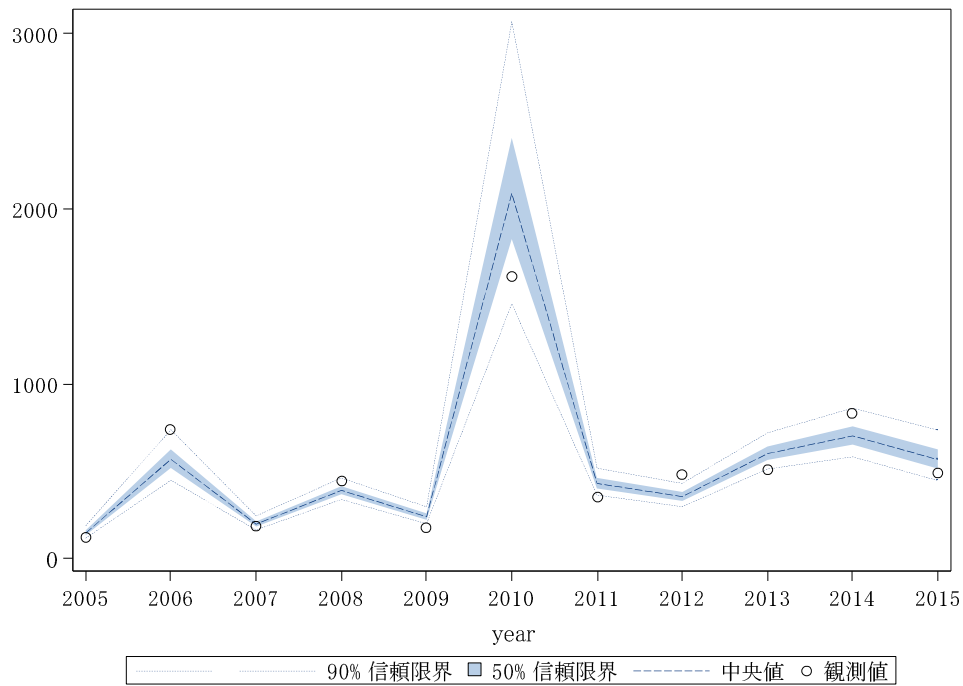


図 2-1 出没情報件数の観測値と期待値の関係
 中央値と50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

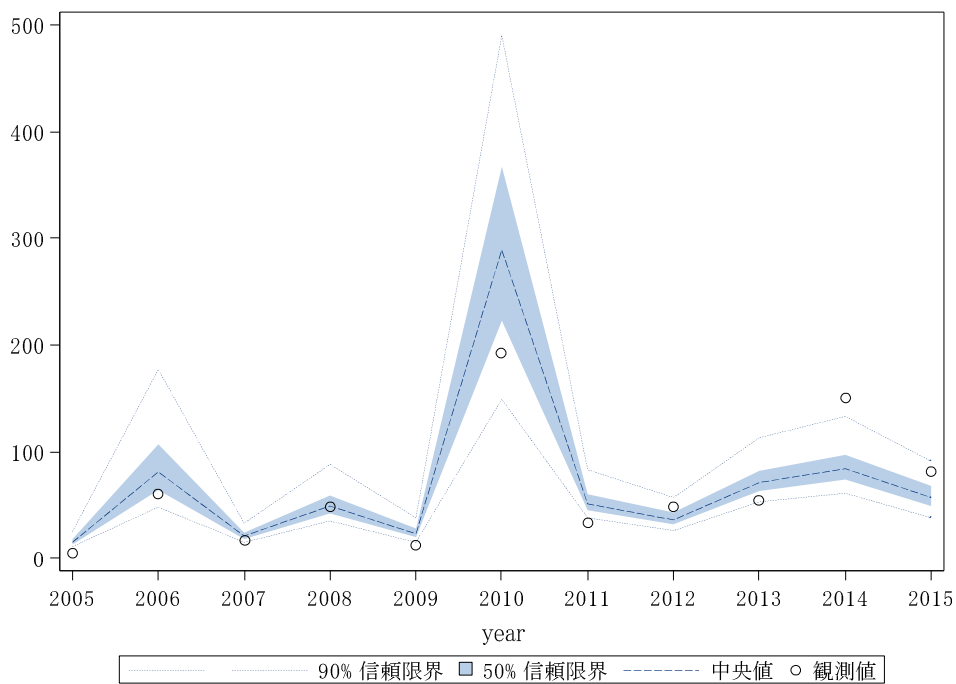


図 2-2 捕獲個体数の観測値と期待値の関係
 中央値と50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

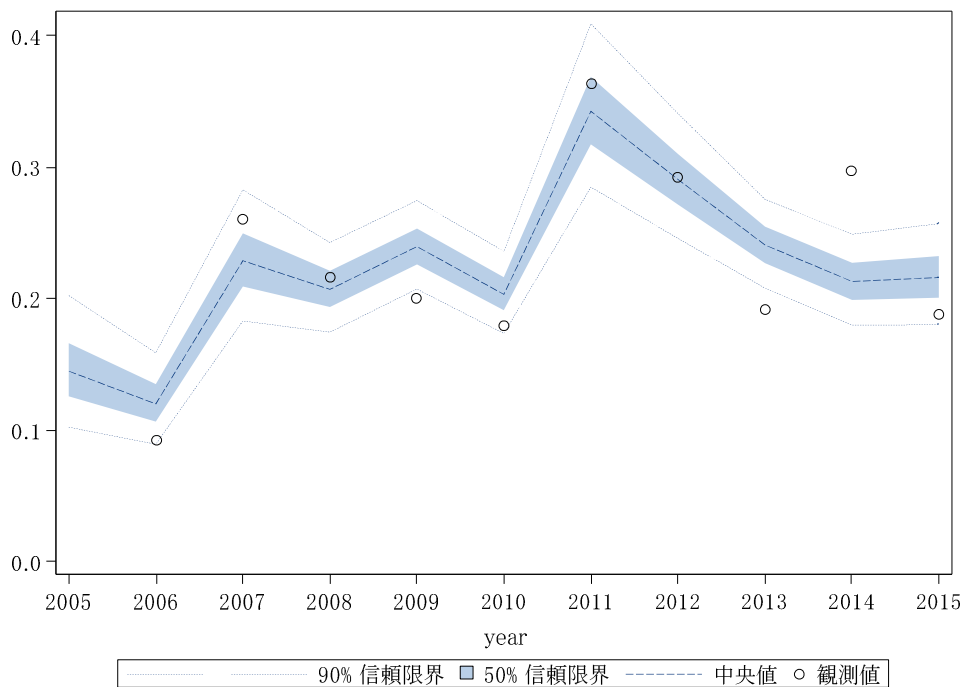


図 2-3 標識率の観測値と期待値の関係

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

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 2005-2014 平均	1.197	0.026	1.155	1.180	1.197	1.213	1.240
自然増加率 2005	1.239	0.065	1.135	1.195	1.238	1.281	1.347
自然増加率 2006	1.134	0.089	0.995	1.073	1.131	1.190	1.286
自然増加率 2007	1.237	0.063	1.136	1.194	1.236	1.279	1.343
自然増加率 2008	1.191	0.026	1.148	1.173	1.190	1.208	1.234
自然増加率 2009	1.254	0.084	1.119	1.197	1.252	1.309	1.395
自然増加率 2010	1.083	0.166	0.835	0.967	1.069	1.183	1.377
自然増加率 2011	1.207	0.031	1.157	1.187	1.206	1.227	1.258
自然増加率 2012	1.243	0.069	1.131	1.196	1.241	1.288	1.359
自然増加率 2013	1.209	0.032	1.156	1.188	1.209	1.230	1.263
自然増加率 2014	1.209	0.032	1.156	1.188	1.209	1.230	1.263
標識個体の生存・関与率	0.929	0.033	0.869	0.909	0.933	0.954	0.976

表3-2a 人為的死亡個体数を引く前の個体数、標識個体数

推定変数	平均	標準偏差	5%点	25%点	中央値	75%点	95%点
個体数 2005	227.5	43.2	163.5	197.3	224.2	254.1	303.4
個体数 2006	278.3	49.5	204.2	243.6	275.0	308.9	365.4
個体数 2007	301.4	51.0	224.0	265.6	298.1	333.2	390.9
個体数 2008	367.7	56.1	281.1	328.2	365.5	403.7	463.6
個体数 2009	428.5	61.1	332.8	385.8	426.5	469.1	532.6
個体数 2010	534.3	80.0	410.2	478.2	530.3	586.6	671.2
個体数 2011	480.9	79.8	356.7	423.8	476.9	532.8	617.1
個体数 2012	574.4	90.4	431.6	510.6	571.1	634.4	727.6
個体数 2013	690.2	103.3	522.6	617.5	688.8	759.5	861.5
個体数 2014	814.9	126.2	611.0	727.0	813.0	899.0	1025.0
個体数 2015	945.9	158.5	691.1	836.0	940.0	1051.0	1212.0
標識個体数 2005	32.8	6.2	24.0	28.0	32.0	37.0	44.0
標識個体数 2006	33.3	6.0	24.5	29.1	32.7	36.9	44.1
標識個体数 2007	68.1	6.7	58.0	63.5	67.7	72.2	79.8
標識個体数 2008	75.5	8.0	62.6	70.1	75.4	80.7	89.0
標識個体数 2009	102.0	10.5	84.4	95.0	102.1	109.1	118.8
標識個体数 2010	108.1	13.1	85.8	99.2	108.5	117.5	128.9
標識個体数 2011	163.1	17.5	133.0	151.1	163.8	175.8	190.4
標識個体数 2012	166.0	21.8	128.8	151.0	166.9	181.9	200.2
標識個体数 2013	166.1	25.8	122.4	148.2	167.0	184.9	206.9
標識個体数 2014	173.7	29.7	123.9	152.9	174.5	195.4	221.3
標識個体数 2015	204.2	34.5	146.7	179.9	204.7	229.2	259.6

表3-2b 年末の個体数、標識個体数

推定変数	平均	標準偏差	5%点	25%点	中央値	75%点	95%点
個体数 2005	225.5	43.2	161.5	195.3	222.2	252.1	301.4
個体数 2006	267.3	49.5	193.2	232.6	264.0	297.9	354.4
個体数 2007	298.4	51.0	221.0	262.6	295.1	330.2	387.9
個体数 2008	360.7	56.1	274.1	321.2	358.5	396.7	456.6
個体数 2009	426.5	61.1	330.8	383.8	424.5	467.1	530.6
個体数 2010	450.3	80.0	326.2	394.2	446.3	502.6	587.2
個体数 2011	476.9	79.8	352.7	419.8	472.9	528.8	613.1
個体数 2012	557.4	90.4	414.6	493.6	554.1	617.4	710.6
個体数 2013	674.2	103.3	506.6	601.5	672.8	743.5	845.5
個体数 2014	781.9	126.2	578.0	694.0	780.0	866.0	992.0
個体数 2015	924.9	158.5	670.1	815.0	919.0	1030.0	1191.0
標識個体数 2005	32.8	6.2	24.0	28.0	32.0	37.0	44.0
標識個体数 2006	30.3	6.0	21.5	26.1	29.7	33.9	41.1
標識個体数 2007	65.1	6.7	55.0	60.5	64.7	69.2	76.8
標識個体数 2008	71.5	8.0	58.6	66.1	71.4	76.7	85.0
標識個体数 2009	102.0	10.5	84.4	95.0	102.1	109.1	118.8
標識個体数 2010	84.1	13.1	61.8	75.2	84.5	93.5	104.9
標識個体数 2011	160.1	17.5	130.0	148.1	160.8	172.8	187.4
標識個体数 2012	161.0	21.8	123.8	146.0	161.9	176.9	195.2
標識個体数 2013	163.1	25.8	119.4	145.2	164.0	181.9	203.9
標識個体数 2014	160.7	29.7	110.9	139.9	161.5	182.4	208.3
標識個体数 2015	201.2	34.5	143.7	176.9	201.7	226.2	256.6

表 3-3 目撃係数と捕獲率

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 2005	0.670	0.126	0.497	0.580	0.652	0.741	0.899
目撃係数 2006	2.168	0.463	1.529	1.845	2.112	2.430	2.995
目撃係数 2007	0.680	0.128	0.504	0.589	0.662	0.752	0.912
目撃係数 2008	1.104	0.197	0.830	0.962	1.079	1.216	1.456
目撃係数 2009	0.578	0.114	0.423	0.497	0.562	0.641	0.783
目撃係数 2010	4.501	1.313	2.770	3.606	4.313	5.177	6.879
目撃係数 2011	0.927	0.165	0.698	0.810	0.905	1.021	1.226
目撃係数 2012	0.646	0.123	0.478	0.559	0.629	0.716	0.870
目撃係数 2013	0.907	0.162	0.682	0.792	0.885	0.999	1.199
目撃係数 2014	0.906	0.161	0.681	0.791	0.884	0.998	1.198
目撃係数 2015	0.628	0.121	0.463	0.542	0.611	0.696	0.845
捕獲率 2005	0.071	0.024	0.044	0.057	0.067	0.081	0.110
捕獲率 2006	0.337	0.156	0.163	0.229	0.297	0.397	0.662
捕獲率 2007	0.073	0.025	0.046	0.058	0.068	0.083	0.112
捕獲率 2008	0.149	0.064	0.089	0.112	0.134	0.166	0.251
捕獲率 2009	0.057	0.022	0.034	0.044	0.054	0.066	0.092
捕獲率 2010	0.570	0.202	0.268	0.413	0.552	0.712	0.932
捕獲率 2011	0.116	0.043	0.073	0.090	0.107	0.129	0.184
捕獲率 2012	0.068	0.023	0.042	0.053	0.063	0.077	0.105
捕獲率 2013	0.112	0.041	0.070	0.088	0.103	0.125	0.177
捕獲率 2014	0.112	0.041	0.070	0.087	0.103	0.125	0.177
捕獲率 2015	0.065	0.023	0.039	0.051	0.061	0.074	0.101

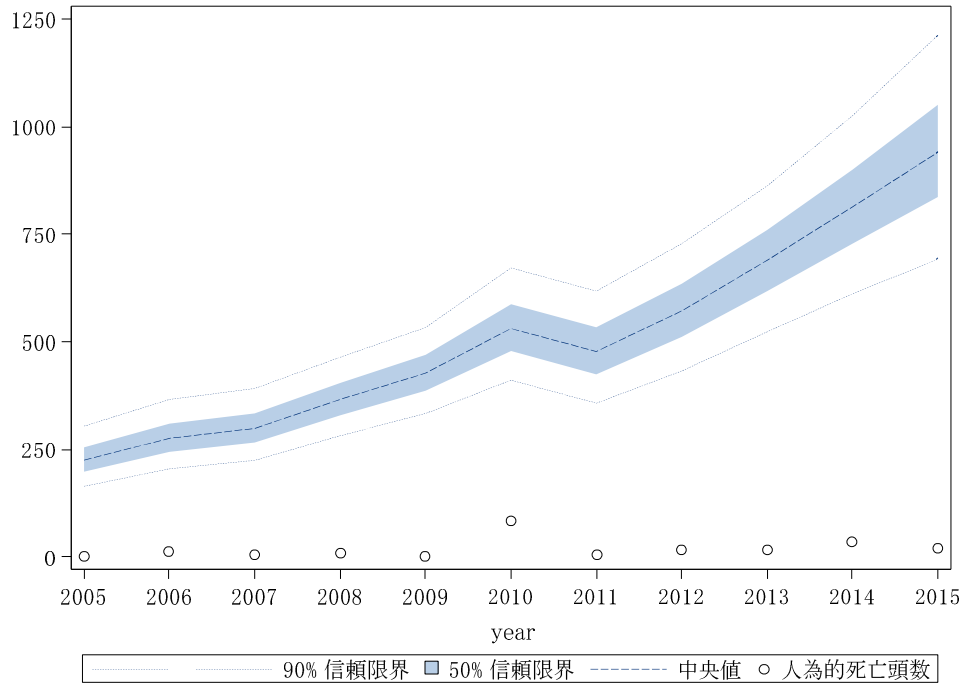


図 3a 兵庫県の子ノワグマの人為的死亡個体数を引く前の推定個体数と人為的死亡数

中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

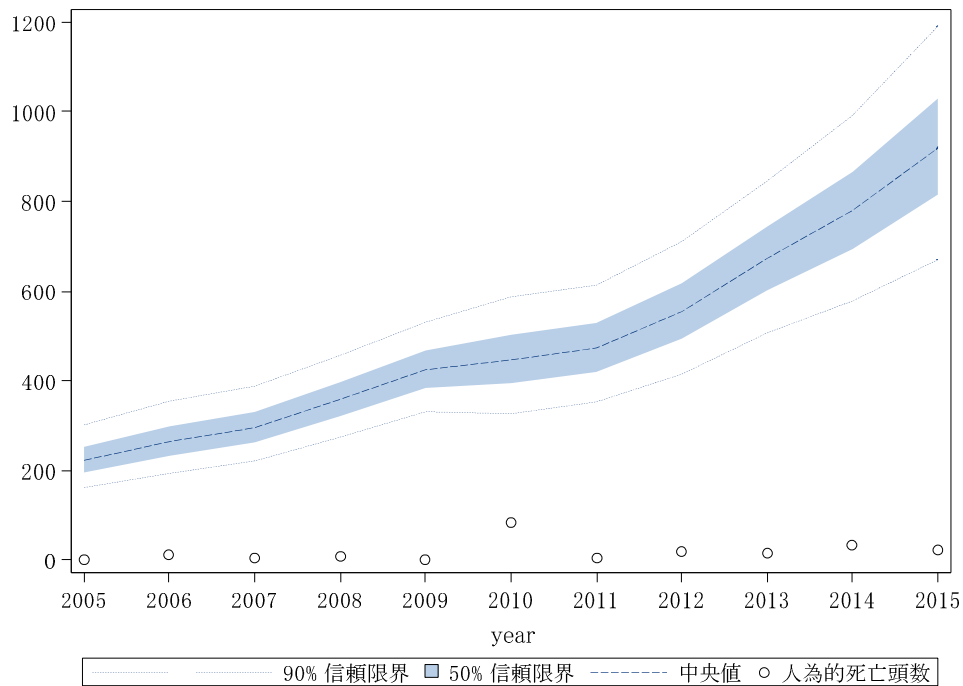


図 3b 兵庫県の子ノワグマの年末の推定個体数と人為的死亡数

中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す。○は観測値を表す

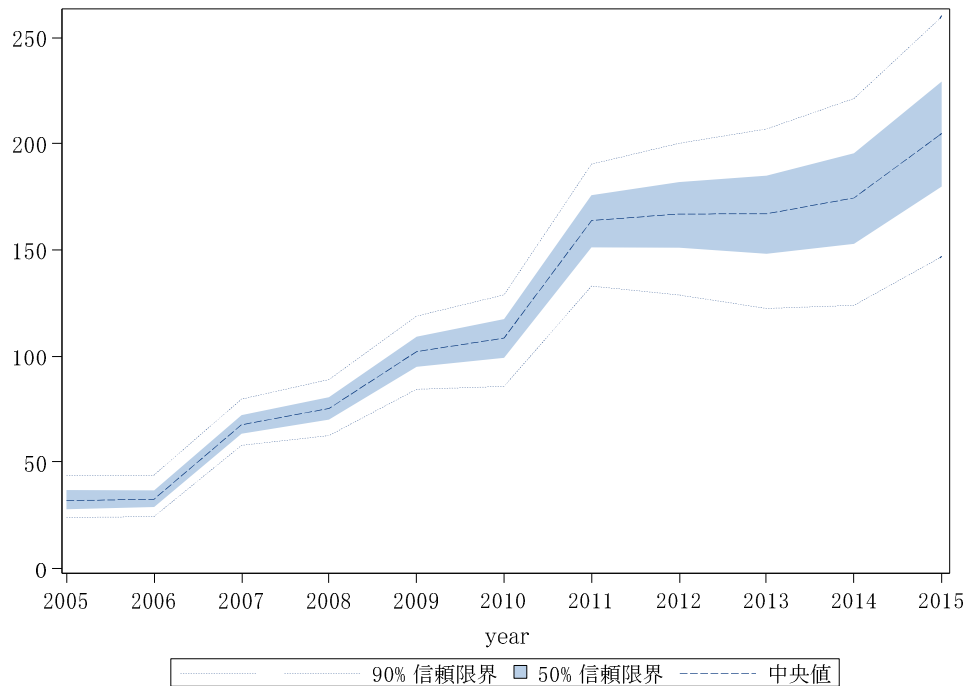


図 4 a 兵庫県の子キノワグマの人為的死亡個体数を引く前の標識個体数
中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す

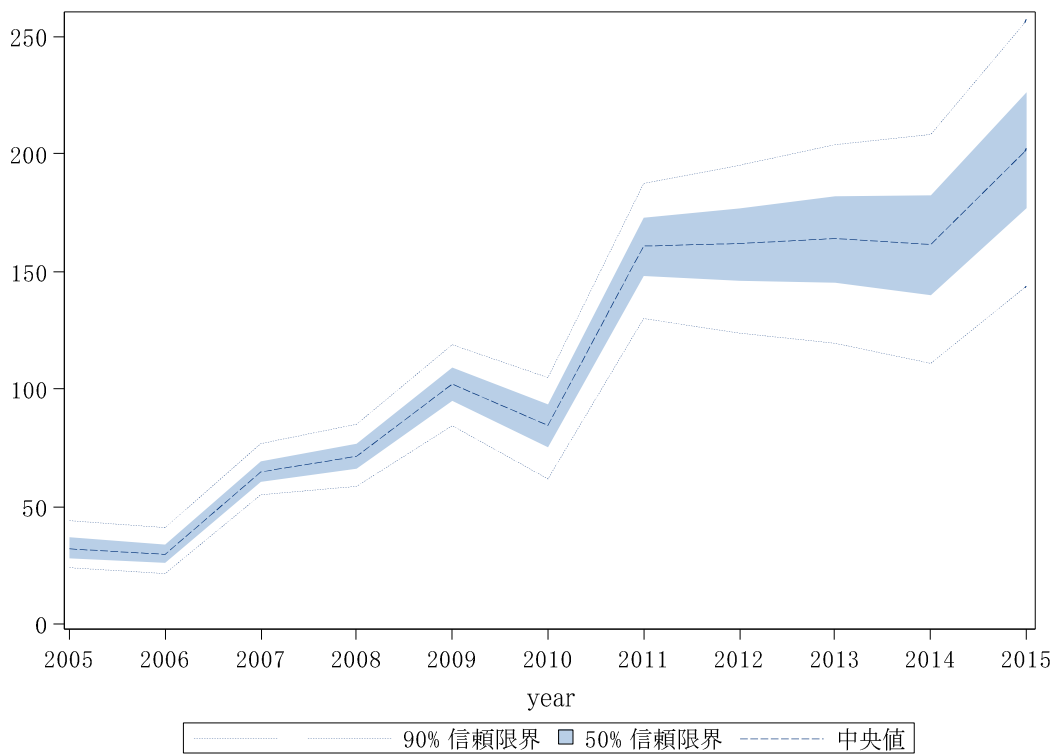


図 4 b 兵庫県の子キノワグマの年末の標識個体数
中央値と 50%信頼区間、90%信頼区間を示す

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.
- 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.
- 斎田栄里奈・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・斎田栄里奈 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. 2013 SAS/STAT® 9.4 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.