

第2章 イノシシの生息個体数の推定

山形県内のイノシシ生息個体数を把握するため、階層ベイズ法により生息密度指標から生息個体数を推定した。また、推定した値を用いて将来の生息個体数の変動予測を行った。

1. 個体数推定に用いたデータ

2003 年度から 2019 年度の県内全域の総捕獲数、狩猟捕獲数、有害捕獲数、個体数調整捕獲数、森林面積¹、ブナ結実状況²、積雪深³に加え、出猟カレンダーの集計で算出した、くくりわなの捕獲効率、銃猟の捕獲効率、目撃効率の計 10 項目の指標を集計した。

各指標の値の推移やモデルの収束状況などから判断し様々な組み合わせで試行を行い、有害捕獲数が 0 頭の実績がある 2007 年度から 2009 年度までのデータを除いて 2010 年度から 2019 年度の総捕獲数、狩猟捕獲数、有害捕獲数、個体数調整捕獲数、森林面積、ブナ結実状況、積雪深、くくりわなの捕獲効率を推定に用いた。また、狩猟捕獲数と個体数調整捕獲数は実施時期が重なることから合算して狩猟捕獲数として扱った。指標として集計したデータは表 2-1、図 2-1 に示した。

2. 推定方法

本業務では「平成 26 年度東北地方におけるシカ及びイノシシの個体数推定業務報告書」（東北地方環境事務所, 2015）（以下、「環境省個体数推定」という。）で用いられているモデルをもとにハーベストベースドモデルの状態空間モデルを階層ベイズモデルで構築し、マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、「MCMC 法」という。）で事後分布を推定する手法（以下、「ベイズ法」という。）を用いて山形県内の個体数の推移及び自然増加率等の関連するパラメータの推定を行った。

¹ 「土地利用現況把握調査」（平成 25 年 10 月）

² 東北森林管理局 HP (<http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/sidou/buna.html>) から引用した。値は標準化して用いた。

³ 積雪深のデータは過去の気象データ・ダウンロード (<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) からダウンロードした。山形観測所の「最深積雪深が 20cm 以上の日数」を年度ごとに集計し対数に変換し標準化した値を用いた。

表 2-1 収集した密度指標

年度	狩猟捕獲数 (頭)	有害捕獲数 (頭)	個体数調整 (頭)	総捕獲数 (頭)	くくりわな 捕獲効率 (頭/100台日)	銃猟 捕獲効率 (頭/人日)	銃猟 目撃効率 (頭/人日)	ブナ 結実状況	最深積雪深 が20cm以 上の日数	森林面積 (km ²)
2007	7	0		7				1.3	39	
2008	11	5		16				1.5	43	
2009	18	0		18				1.3	6	
2010	31	3		34				0.2	57	
2011	16	1		17				2.0	89	
2012	18	3		21				0.2	57	
2013	70	9		79				2.3	35	6,693
2014	114	38		152				0.2	72	
2015	118	112		230				3.5	23	
2016	457	313		770	0.37	0.64	0.73	0.1	36	
2017	468	420	102	888	0.39	0.46	1.09	0.4	61	
2018	650	925	165	1,575	0.56	0.27	0.63	3.9	21	
2019	565	1,286	151	2,002	0.36	0.39	0.87	0.0	0	

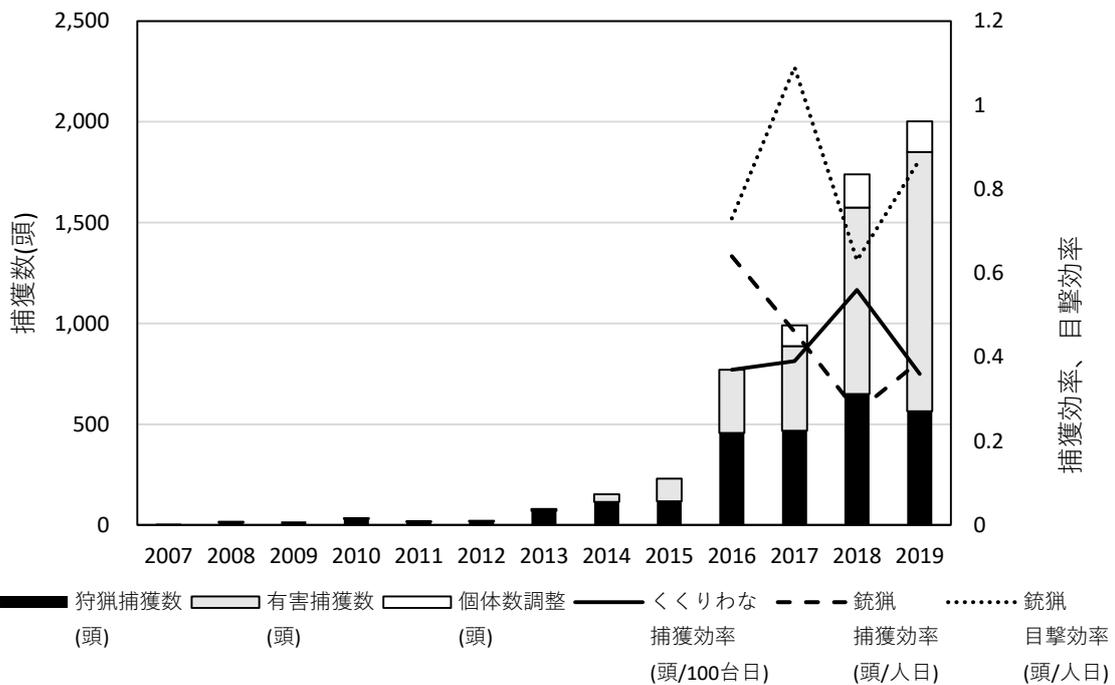


図 2-1 捕獲数の推移

3. モデルの構築

構築する状態空間モデルには二つのプロセスがあり、直接観測できない個体数の増減についての過程モデル（生態学的プロセス）と、その個体数から観測される個体数指標（捕獲効率、目撃効率等）についての観測モデルに分かれる。表 2-1 のデータから与えるデータを選択しモデルを以下の通り構築した。モデルの概要は図 2-2 に示す。

なお、事前分布については、できるだけ広い分布を与え、収束状況や推定結果を確認しな

がら分散を調整した。

令和元年度調査の推定との違いは以下のとおりである。

- ・扱う指標の期間の変更（令和元年度：2007年度～2019年度→本調査：2010年度～2019年度）
- ・初年度個体数の事前分布の変更、指標データとしてくくりわなの捕獲効率を追加
- ・有害捕獲数の観測プロセスの積雪データ、ブナ結実状況による補正項を削除
- ・収束状況改善のために各パラメータの値の切り捨て範囲の調整など微調整

実際のモデルの構築には環境省個体数推定のほかに「千葉県におけるニホンジカのベイズ法による個体数推定」（浅田, 2014）、「状態空間モデルを用いた階層ベイズ推定法によるキョン (*Muntiacus reevesi*) の個体数推定」（浅田, 2014）、「愛知県東部地域におけるニホンジカの個体数指標の推定」（江口ほか, 2015）、「生態学のためのベイズ法」（マッカーシー, 2007）、兵庫ワイルドライフモノグラフ 6号（兵庫県森林動物研究センター, 2014）等を参考にした。

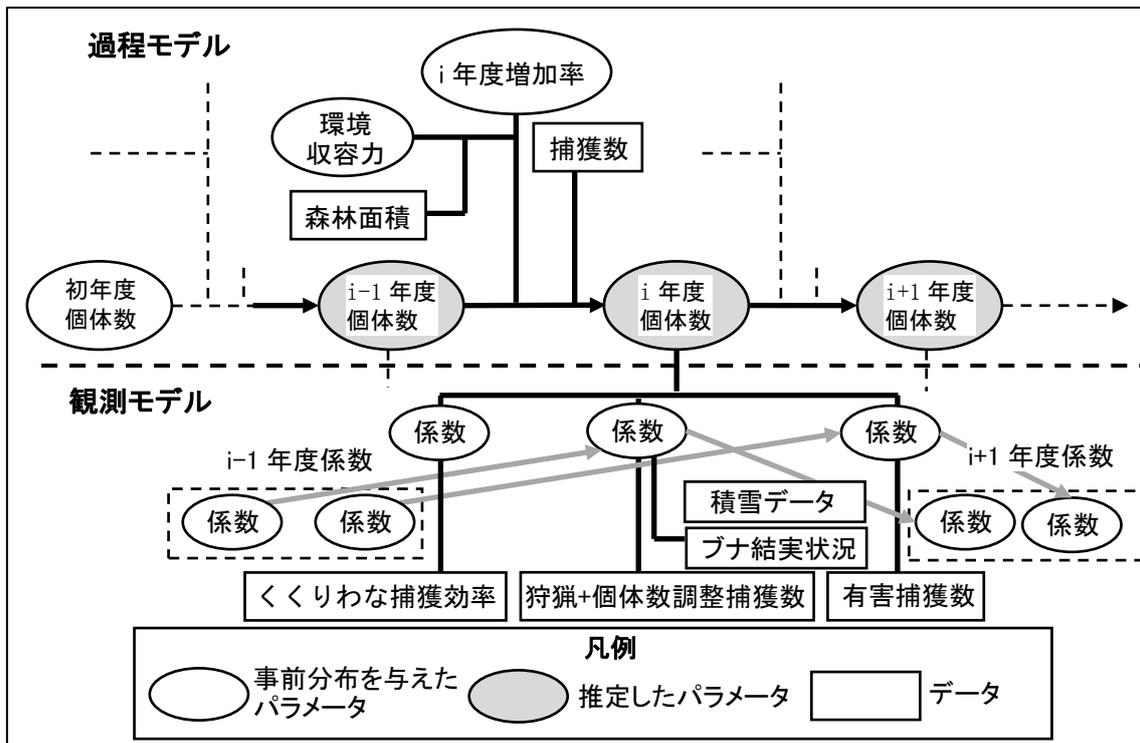


図 2-2 構築したモデルの概要

(1) 過程モデル

過程モデルは i 年度末の個体数 $n[i]$ は前年度末の個体数 $n[i-1]$ から以下の式で導かれる変動をするというモデルを構築した。

$$n[i] = \frac{r \times n[i-1]}{1 + B \times n[i-1]} - \text{capt}[i]$$
$$B = \frac{r-1}{K \times \text{FA}[i]}$$

r : 自然増加率 $\text{capt}[i]$: $[i]$ 年度捕獲数 K : 環境収容力 $\text{FA}[i]$: $[i]$ 年度森林面積

この式は環境省個体数推定で用いられている環境収容力を考慮したモデル (Beverton-Holt モデル) であり、個体数増加とともに増加率が頭打ちになっていく考え方である。この上限を設定しているのが環境収容力である。本業務においては、この環境収容力を考慮した Beverton-Holt モデルで個体数変動を表す式として採用した。また、モデルの収束状況から、自然増加率 r は一定とせず、年度ごとに変化すると仮定した。

$$n[j] = \text{max.n}[j] - \text{CAPT}[j]$$

$[j]$ 年度末個体数= $[j]$ 年度増加後個体数- $[j]$ 年度捕獲数

$$\text{max.n}[j] \sim \text{dpois}(\text{mu.n}[j])$$

$[j]$ 年度増加後個体数は $\text{mu.n}[j]$ を平均とするポアソン分布から抽出した

なお、下限値を $[j]$ 年度捕獲+1 頭に制限した

$$\text{mu.n}[j] = r[j] * n[i-1] / (1 + B * n[i-1])$$

$$B[j] <- (r[j]-1) / (k * \text{FA}[j])$$

$[j]$ 年度増加後個体数平均値を Beverton-Holt モデルに基づき自然増加率と環境収容力、 $i-1$ 年度末個体数から求めた

$$r[j] <- \exp(\log.r[j])$$

$$\log.r[j] \sim \text{dnorm}(0.322, 34.482)$$

$[j]$ 年度の自然増加率の対数値を正規分布とし、対数変換した。

(2) 観測モデル

観測モデルは、過程モデルの生息個体数と密度指標の関係を示すモデルである。本モデルでは過去にさかのぼって収集できる情報として、狩猟捕獲数、有害捕獲数、くくりわなの捕獲効率を採用した。これらの密度指標と生息個体数の関係式を示すモデルを構築した。なお、データとして記録されている指標には必ず誤差が生じているため、誤差を考慮するためのモデルを組み込んだ。また、狩猟捕獲数係数、有害捕獲数の計算に用いる係数はデータの推移状況や収束の状況から、前年度の値に従ってランダムウォークするとした。

1) 狩猟捕獲数モデル

$ryo[j] \sim \text{lognorm}(\text{mean.ryo}[j], \text{tau.ryo})$

[j]年度狩猟捕獲数は $\text{mean.ryo}[j]$ を平均値、精度 tau.ryo とする正規分布から平均値を抽出した。

$\text{mean.ryo}[j] \leftarrow -\log(\text{prp}[j] * n[j]) - 0.5 * \text{var.ryo}$

捕獲数の平均値を [j]年度狩猟捕獲数係数×[j]年度個体数で算出した

$-0.5 * \text{var.ryo}$ は対数変換の補正項である

$\text{prp}[i] \leftarrow 1 / (1 + \exp(-\text{lprp}[i]))$

$\text{lprp}[i] \sim \text{dnorm}(\text{mean.lprp}[i], \text{tau.ran.prp})$

$\text{mean.lprp}[i] = \text{lprp}[i-1] + \text{prn} * \text{nut}[i] + \text{prs} * \text{snow}[i]$

狩猟捕獲数係数は前年度の値に従ってランダムウォークすると仮定して、[j]年度狩猟捕獲数係数を平均値[i-1]年度狩猟捕獲数係数、精度 tau.ran.prp とする正規分布から抽出し、ブナ結実度と最深積雪深が 20cm 以上の日数を与えて補正をした。

1) 有害捕獲数モデル

$kyo[j] \sim \text{lognorm}(\text{mean.kyo}[j], \text{tau.kyo})$

[j]年度有害捕獲数は $\text{mean.kyo}[j]$ を平均値、精度 tau.kyo とする正規分布から平均値を抽出した。

$\text{mean.kyo}[j] \leftarrow -\log(\text{pkp}[j] * n[j]) - 0.5 * \text{var.kyo}$

捕獲数の平均値を [j]年度有害捕獲数係数×[j]年度個体数で算出した

$-0.5 * \text{var.kyo}$ は対数変換の補正項である

$\text{pkp}[i] \leftarrow (1 - \text{prp}[i]) / (1 + \exp(-\text{lprp}[i]))$

$\text{lpkp}[i] \sim \text{dnorm}(\text{mean.lpkp}[i], \text{tau.ran.pkp})$

$\text{mean.lpkp}[i] = \text{lpkp}[i-1]$

有害捕獲係数は前年度の値に従ってランダムウォークすると仮定して、[j]年度有害捕獲数係数を平均値[i-1]年度有害捕獲数係数、精度 tau.ran.pkp とする正規分布から抽出した。また、狩猟捕獲数係数によって補正されるように $(1 - \text{prp}[i])$ を与えた。

1) くくりわな捕獲効率捕獲数モデル

$\text{kcpap}[i] \sim \text{dpois}(\text{mean.kcpap}[i])$

[j]年度くくりわな捕獲数は $\text{mean.kcpap}[j]$ を平均値とするポアソン分布から抽出した。

$\text{mean.kcpap}[i] \leftarrow \text{mu.kcpue}[i] * \text{kukuri}[i]$

くくりわな捕獲数の平均値を $\text{mu.kcpue}[i] \times [j]$ 年度くくりわな設置数で算出した。

$\log(\text{mu.kcpue}[i]) \leftarrow \log.\text{mu.kcpue}[i]$

$\log.\text{mu.kcpue}[i] \sim \text{dnorm}(\text{mean.mu.kcpue}[i], \text{tau.kcpue})$

$\text{mean.mu.kcpue}[i] \leftarrow \text{kcp} + \log(n[i]) - 0.5 * \text{var.kcpue}$

くくりわな捕獲効率係数は年度変化せず固定として、 $\text{mean.mu.kcpue}[i]$ を平均値、精度 tau.kcpue とする正規分布から抽出した。

モデルの各パラメータに対する事前分布は収束の状況を確認しながら事前分布への変更や、他の値への変更を行った。情報が無いパラメータに関しては可能な限り無情報な幅の大きい分布を与えた。実際にこのモデルに与えた事前分布を表 2-2 に示す。

初年度個体数は事前情報が無いため捕獲数を生息数の 5%と仮定し生息数を求め、事前分布の中央値としでできるだけ影響が無いように分散の幅を可能な限り広く与えた。各年度 of 自然増加率は環境省 (2014) の東北地方のイノシシの個体数推定で用いている事前分布を用いた。環境収容力は環境省個体数推定で用いられている値を用いた。各観測モデルの係数は情報が無いため可能な限り無情報な幅の大きな分布を与えた。

表 2-2 事前分布のパラメータ

プロセス	パラメータ	意味	事前分布	初期値
過程モデル	log.n0	初年度個体数密度	正規分布(5.522, 0.5)	5.522
	log.r[i]	i年度自然増加率(対数値)	正規分布(0.322, 34.482)	0.322
	log.k	環境収容力(対数値)	正規分布 (4.605, 1)	4.605
観測モデル	tau.ryo	狩猟捕獲率の観測誤差の精度	ガンマ分布(0.01,0.01)	0.1
	tau.kyo	有害捕獲率の観測誤差の精度	ガンマ分布(0.01,0.01)	0.1
	au.kcpue	くくりわな捕獲効率の観測誤差の精度	ガンマ分布(0.01,0.01)	1
	lprp1	初年度狩猟捕係数 (ロジット値)	正規分布 (0,0.01)	0
	lpkp1	初年度有害捕係数 (ロジット値)	正規分布 (0,0.01)	0
	kcp	くくりわな捕獲効率係数 (対数値)	正規分布 (0,0.01)	0
	prn	狩猟捕獲数係数のプナ結実度補正係数 (対数値)	正規分布 (0,0.01)	1
	prs	狩猟捕獲数係数補正係数の積雪補正係数 (対数値)	正規分布 (0,0.01)	1
	tau.ran.prp	prpのランダムウォークの精度	ガンマ分布(0.01,0.01)	0.1
	tau.ran.pkp	pkpのランダムウォークの精度	ガンマ分布(0.01,0.01)	0.1

4. MCMC 法計算方法

MCMC 法の実際の計算においては上記のモデルに初期値とデータを与え計算をスタートさせ、試行を繰り返しながらデータと当てはまりの良い値を探索的に求めていく。(試行回数を iter とする) そのため試行の初期段階では初期値の影響を受けやすく、初回からある程度の回数までは切り捨てる必要がある。(この切り捨てる回数を burnin とする) また、MCMC 法はアルゴリズムの性格上、連続する試行において互いに相関し合う (自己相関) 問題がある。そのため自己相関がないようにある程度の間隔をあけて値を採用する必要がある。この間隔を thin とする。

今回の計算では試行回数 $iter=10,000,000$ 、初期切り捨て回数 $burnin=5,000,000$ 、値を採用する間隔 $thin=1,000$ とした。また、パラメータの初期値が異なる 3 本の連鎖について計算を行った。つまり、 $10,000,000$ 回の試行から $15,000$ 個の標本を取得した。

実際の MCMC 法の計算にはフリーソフトウェア JAGS ver. 4.3.0 を用いた。また、JAGS へのデータ受け渡しには統計量解析ソフト R のパッケージ `runjags` 及び `rjags` を用いた。

5. 結果

(1) 推定結果

表 2-3、表 2-4 推定結果を以下に示した。

- ・表 2-3 より 2019 年度末の生息個体数は、中央値 8,488 頭(95%信頼区間:2,410~62,226)と推定された。
- ・表 2-3 より 2018 年度までは増加傾向が続き、2019 年度はほぼ横ばいとなった。
- ・表 2-4 より推定された自然増加率は、中央値 1.261~1.538 であり、年度によって大きくバラつきがあった。
- ・表 2-4 より狩猟捕獲数係数は年度によって大きく増減はあるが、2010 年度に 0.025 に対し、2018 年度は 0.093 と約 4 倍以上上昇した。また有害捕獲数係数は 2010 年度に 0.003 に対し 2018 年度は 0.147 と狩猟捕獲数係数より大幅に上昇している。これは生息数に対する捕獲率の上昇を示していると考えられる。

(2) MCMC 法における収束診断

MCMC 法を実施して算出した値の収束状態について Gelman-Rubin 統計量 ($R\text{-hat}$) と Geweke の収束判断で判定した。モデルで扱った $\log. n_0, r, k, \log. k, n, prp, pkp, lprp1, lpkp1, prn, prs, kcpue$ を主要パラメータとして、それらを対象に収束診断を行った。

Gelman-Rubin 統計量による収束判断では連鎖同士の平均値と個々の平均値を比較し収束を判断し、求められた統計量 ($R\text{hat}$) の値が 1.1 以下の場合収束していると判断する。各パラメータの $R\text{hat}$ を表 2-5 に示した。 $R\text{hat}$ は全てのパラメータにおいて収束条件を満たしていることがわかる。

Geweke の収束判断ではサンプリング開始から 10%の値と後半 50%の値を比較し前後の差から収束を判断し、求められた統計量 Z の絶対値が 1.96 以下であれば収束していると判断する。各パラメータの統計量 Z を表 2-5 に示した。一部で基準値を超えていたが、他のパラメータの値は良好なことや $R\text{hat}$ の値がすべてのパラメータにおいて収束条件を満たしていることから、概ね収束していると判断した。

表 2-3 個体数推定値

年度	2.5%点	25%点	50%点	75%点	97.5%点
2010	356	656	960	1,520	4,297
2011	461	823	1,198	1,889	5,467
2012	674	1,159	1,669	2,623	7,649
2013	997	1,686	2,413	3,865	11,248
2014	1,441	2,382	3,410	5,537	15,935
2015	1,969	3,171	4,615	7,647	22,136
2016	2,487	4,075	6,177	10,714	31,995
2017	2,860	4,758	7,370	13,378	40,966
2018	3,107	5,350	8,635	16,323	51,690
2019	2,410	4,721	8,488	18,222	62,226

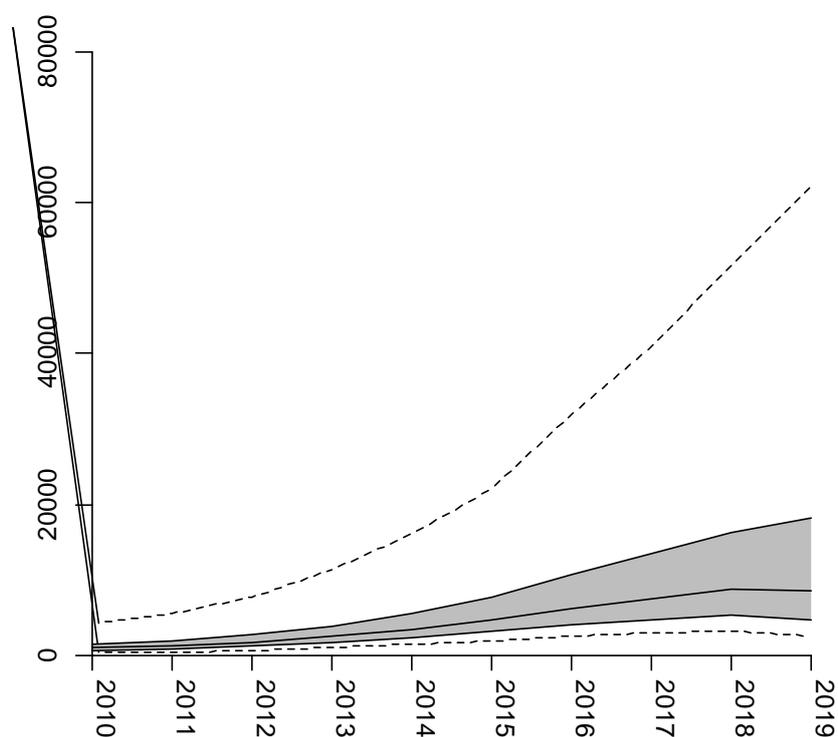


図 2-3 イノシシの推定生息個体数の動向（中央値と 50%信頼区間、95%信頼区間）

表 2-4 推定したパラメータの値

係数		2.5%点	25%点	50%点	75%点	97.5%点
2011年増加率	r[1]	0.924	1.141	1.277	1.430	1.767
2012年増加率	r[2]	1.033	1.274	1.421	1.591	1.953
2013年増加率	r[3]	1.097	1.361	1.520	1.698	2.109
2014年増加率	r[4]	1.071	1.338	1.496	1.673	2.059
2015年増加率	r[5]	1.042	1.294	1.446	1.616	1.994
2016年増加率	r[6]	1.104	1.375	1.538	1.718	2.129
2017年増加率	r[7]	1.026	1.241	1.370	1.516	1.844
2018年増加率	r[8]	1.055	1.287	1.427	1.579	1.915
2018年増加率	r[9]	0.921	1.127	1.261	1.409	1.753
基準年個体数 (対数值)	log.n0	5.876	6.486	6.867	7.327	8.366
環境収容力	k	13.772	50.891	99.897	195.236	722.380
2010年狩猟捕獲数係数	prp[1]	0.005	0.015	0.025	0.041	0.093
2011年狩猟捕獲数係数	prp[2]	0.004	0.011	0.018	0.028	0.066
2012年狩猟捕獲数係数	prp[3]	0.003	0.010	0.016	0.025	0.061
2013年狩猟捕獲数係数	prp[4]	0.006	0.018	0.029	0.044	0.090
2014年狩猟捕獲数係数	prp[5]	0.007	0.020	0.033	0.050	0.103
2015年狩猟捕獲数係数	prp[6]	0.007	0.021	0.037	0.060	0.144
2016年狩猟捕獲数係数	prp[7]	0.012	0.036	0.066	0.103	0.202
2017年狩猟捕獲数係数	prp[8]	0.012	0.040	0.074	0.121	0.259
2018年狩猟捕獲数係数	prp[9]	0.014	0.050	0.098	0.168	0.369
2019年狩猟捕獲数係数	prp[10]	0.011	0.043	0.093	0.174	0.399
2010年許可捕獲数係数	pkp[1]	0.001	0.002	0.003	0.005	0.010
2011年許可捕獲数係数	pkp[2]	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004
2012年許可捕獲数係数	pkp[3]	0.000	0.001	0.002	0.003	0.007
2013年許可捕獲数係数	pkp[4]	0.001	0.002	0.004	0.006	0.013
2014年許可捕獲数係数	pkp[5]	0.002	0.007	0.011	0.017	0.035
2015年許可捕獲数係数	pkp[6]	0.005	0.015	0.025	0.038	0.077
2016年許可捕獲数係数	pkp[7]	0.009	0.027	0.049	0.077	0.155
2017年許可捕獲数係数	pkp[8]	0.008	0.026	0.048	0.078	0.179
2018年許可捕獲数係数	pkp[9]	0.014	0.046	0.091	0.152	0.325
2019年許可捕獲数係数	pkp[10]	0.018	0.068	0.147	0.266	0.539
狩猟捕獲数基準年係数	lprp1	-5.437	-4.225	-3.652	-3.126	-2.195
許可捕獲数基準年係数	lpkp1	-7.420	-6.298	-5.789	-5.332	-4.506
<<りわな捕獲効率係数	kcp	-11.571	-10.365	-9.739	-9.278	-8.646
狩猟捕獲数ブナ結実指数補正係数	prn	-0.895	-0.059	0.283	0.597	1.285
狩猟捕獲数積雪指数補正係数	prs	-0.562	-0.169	0.002	0.168	0.573

表 2-5 Gelman-Rubin の統計量 (左) 及び Geweke の収束診断テストの Z 値 (右)

parameter	psrf.Point.est.	psrf.Upper.C.I.	parameter	chain1	chain2	chain3
r[1]	1.00	1.00	r[1]	0.240	0.735	-0.004
r[2]	1.00	1.00	r[2]	2.380	-0.853	1.114
r[3]	1.00	1.00	r[3]	0.591	-0.395	-0.002
r[4]	1.00	1.00	r[4]	1.404	-0.440	-0.312
r[5]	1.00	1.00	r[5]	0.251	-1.729	-1.404
r[6]	1.00	1.00	r[6]	1.369	-1.512	-0.341
r[7]	1.00	1.00	r[7]	-0.524	-0.890	-0.642
r[8]	1.00	1.00	r[8]	-0.148	0.177	-0.128
r[9]	1.00	1.00	r[9]	1.866	-2.605	-0.311
n[1]	1.01	1.02	n[1]	-1.453	0.156	-1.596
n[2]	1.01	1.02	n[10]	-0.578	-0.279	-1.353
n[3]	1.02	1.02	n[2]	-1.603	0.130	-1.716
n[4]	1.02	1.02	n[3]	-1.486	0.159	-1.535
n[5]	1.02	1.02	n[4]	-1.395	0.169	-1.422
n[6]	1.02	1.02	n[5]	-1.155	0.123	-1.418
n[7]	1.02	1.02	n[6]	-1.039	0.073	-1.350
n[8]	1.02	1.02	n[7]	-0.842	-0.041	-1.364
n[9]	1.02	1.02	n[8]	-0.682	-0.096	-1.275
n[10]	1.02	1.02	n[9]	-0.666	-0.141	-1.295
log.n0	1.00	1.00	log.n0	-1.583	0.290	-1.372
k	1.00	1.00	k	2.484	0.350	-1.203
lprp[1]	1.00	1.00	lprp[1]	1.560	-0.426	1.326
lprp[2]	1.00	1.00	lprp[2]	1.432	-0.307	1.412
lprp[3]	1.00	1.00	lprp[3]	1.293	-0.233	1.130
lprp[4]	1.00	1.00	lprp[4]	1.268	-0.223	1.078
lprp[5]	1.00	1.00	lprp[5]	1.082	-0.271	1.097
lprp[6]	1.00	1.00	lprp[6]	0.957	-0.245	0.811
lprp[7]	1.00	1.00	lprp[7]	0.913	-0.256	1.122
lprp[8]	1.00	1.00	lprp[8]	0.938	-0.265	1.076
lprp[9]	1.00	1.00	lprp[9]	0.765	-0.174	0.978
lprp[10]	1.00	1.00	lprp[10]	0.565	0.005	1.063
lpkp[1]	1.00	1.00	lpkp[1]	1.548	-0.403	1.373
lpkp[2]	1.00	1.00	lpkp[2]	1.491	-0.326	1.383
lpkp[3]	1.00	1.00	lpkp[3]	1.280	-0.252	1.288
lpkp[4]	1.00	1.00	lpkp[4]	1.083	-0.344	1.192
lpkp[5]	1.00	1.00	lpkp[5]	0.867	-0.246	1.019
lpkp[6]	1.00	1.00	lpkp[6]	0.736	-0.123	1.225
lpkp[7]	1.00	1.00	lpkp[7]	0.758	-0.126	1.281
lpkp[8]	1.00	1.00	lpkp[8]	0.691	-0.124	1.154
lpkp[9]	1.00	1.00	lpkp[9]	0.680	-0.113	1.318
lpkp[10]	1.00	1.00	lpkp[10]	0.752	-0.032	0.904
lprp1	1.00	1.00	lprp1	1.524	-0.385	1.374
lpkp1	1.00	1.00	lpkp1	1.548	-0.403	1.373
kcp	1.00	1.00	kcp	0.488	-0.176	0.961
prn	1.00	1.00	prn	0.174	-0.165	0.828
prs	1.00	1.00	prs	-0.502	-0.963	-0.808

6. 考察

推定した生息個体数について、2018 年度から 2019 年度はほぼ横ばいの値となっているが、これは全年度を通しての自然増加率の平均値は約 1.4 であるのに対し、2019 年度は中央値で 1.261 と低く推定されていることが要因である。そのため、次項の生息個体数の将来予測で示すように現状の捕獲率（捕獲努力量）維持では将来的に生息個体数が増え続けると想定される。

また、令和元年度調査の 2018 年度の生息個体数推定値と本調査の 2018 年度の推定値を比較すると、令和元年度調査で 7,850 頭（1,306～55,247 頭）に対し、本調査では 8,635 頭（3,107～51,690 頭）であり、中央値が少し高くなり、値の幅が小さくなっている。中央値が高くなった要因は推定期間が変わったことにより、全体の捕獲数の推移が変化し、それにより全てのパラメータが更新された影響と考えられる。また、値の幅が小さくなったのは令和元年度までの推定では密度指標として捕獲数しか用いておらず、努力量などの生息密度以外の要因を考慮できない問題点があったが、本調査における推定では密度指標にくくりわたりの捕獲効率を加えることでその問題点を改善した結果であると考えられる。それにより本調査の推定は令和元年度と比較してより実際の状況を反映した推定になっている。

現状、捕獲効率のデータは 4 年分しかないため、若干の改善はしたものの推定値への影響は限定的で、捕獲数の推移が大きく推定値に影響している。そのため継続的に捕獲効率などの密度指標データを収集することで推定の精度が改善され分散の幅の小さい推定が可能となるだろう。

7. 将来予測

6で推定した生息個体数や自然増加率、環境収容力などのパラメータをもとに山形県における将来予測を3パターン予測した。将来予測には2019年度の個体数、環境収容力、2010～2019年度の増加率の推定を用い、6で算出した推定値のサンプルから各パラメータに対し10,000個の値を抽出して用いた。関係式は過程モデルで用いた数式と同じものを採用した。推定したシナリオ内容は表2-6のとおりである。

各シナリオの将来予測の結果を表2-7と図2-4に示した。図2-4のグラフは予測値の中央値のみを示している。

シナリオ1の予測では現状の捕獲率を維持すると、個体数は増加し続け、2024年度には中央値で15,693頭となる。また、シナリオ2の予測では現状の捕獲率の1.5倍の捕獲率を維持すると、個体数はほぼ横ばいとなる。シナリオ3は2020年（令和2年）度から毎年捕獲率が現状から0.1倍ずつ上昇する、つまり、1.1倍、1.2倍・・・と上昇すると仮定したシナリオで、その場合、2024年度に個体数は減少することになる。

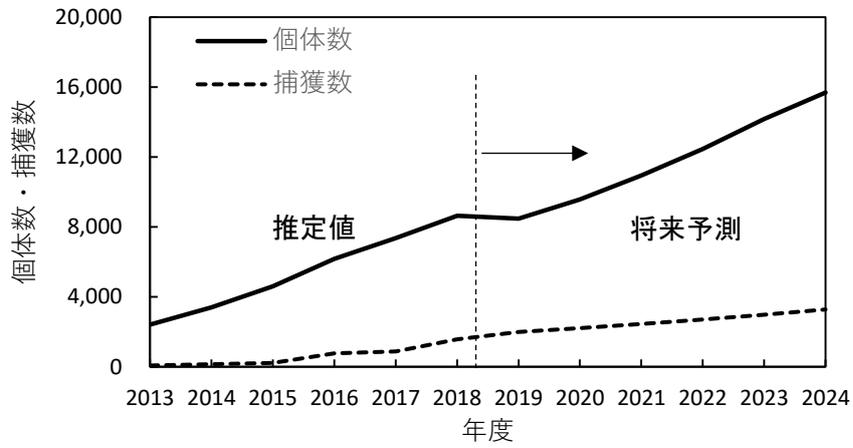
表 2-6 将来予測シナリオの内容

シナリオ番号	内容
シナリオ1	2019年度の捕獲率維持
シナリオ2	2019年度の捕獲率1.5倍を維持
シナリオ3	2020年度から0.1倍ずつ捕獲率が上昇する（2024年度に減少始まる）

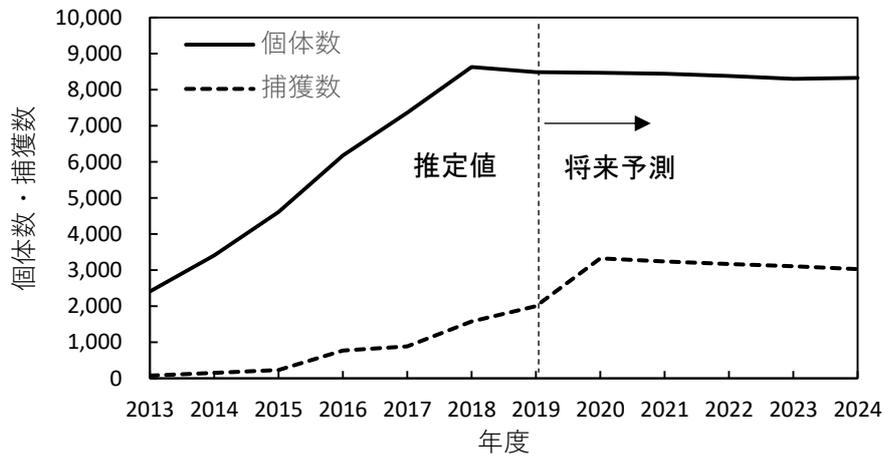
表 2-7 将来予測シナリオ毎の生息個体数、捕獲個体数

シナリオ	年度	生息個体数					捕獲数				
		2.5%点	25%点	50%点	75%点	97.5%点	2.5%点	25%点	50%点	75%点	97.5%点
シナリオ1	2020年	1,769	4,633	9,570	22,870	81,819	1,339	1,883	2,219	2,565	3,276
	2021年	1,237	4,490	10,943	28,648	111,418	896	1,771	2,456	3,266	5,259
	2022年	860	4,393	12,467	35,347	153,877	599	1,668	2,711	4,132	8,232
	2023年	586	4,230	14,174	43,850	213,418	401	1,570	2,985	5,178	12,409
	2024年	397	3,965	15,693	54,082	286,359	268	1,479	3,282	6,412	18,161
シナリオ2	2020年	1,045	3,644	8,471	21,542	80,362	2,009	2,825	3,328	3,848	4,914
	2021年	439	2,777	8,441	25,472	107,212	866	2,141	3,239	4,483	7,546
	2022年	186	2,119	8,387	29,989	144,690	363	1,620	3,172	5,229	11,290
	2023年	79	1,596	8,301	34,471	196,713	153	1,223	3,107	6,077	16,328
	2024年	34	1,219	8,327	40,082	259,099	63	922	3,029	7,017	22,731
シナリオ3	2020年	1,618	4,446	9,358	22,610	81,528	1,473	2,071	2,440	2,822	3,603
	2021年	958	3,924	10,150	27,682	110,170	997	2,045	2,879	3,856	6,232
	2022年	506	3,315	10,618	33,122	150,289	630	1,928	3,280	5,099	10,347
	2023年	240	2,684	10,912	38,944	204,697	358	1,729	3,608	6,537	16,264
	2024年	100	2,039	10,861	44,866	269,351	184	1,475	3,860	8,146	24,555

2019年度の捕獲効率を維持



2019年度の捕獲効率の1.5倍を維持



2020年度から0.1ずつ捕獲率が上昇する（2024年度に減少始まる）

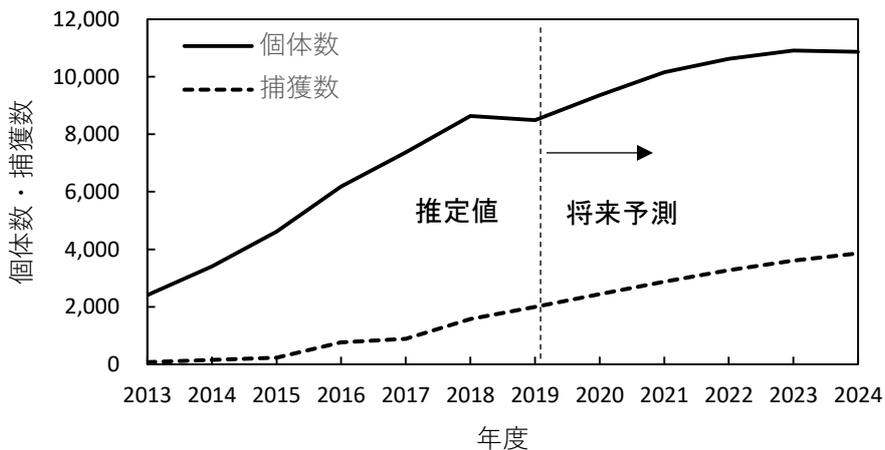


図 2-4 将来予測結果