ISSN　1884－4855

千葉県生物多様性センター研究報告

Report of the Chiba Biodiversity Center

第 8 号

2014 年 3 月

千葉県生物多様性センター

千葉県生物多様性センター研究報告　8: 1–13, 2014

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（2012年度）

浅　田　正　彦

千葉県生物多様性センター

摘　要：千葉県房総半島に生息するニホンジカ（*Cervus nippon*）の個体数について，区画法および糞粒法調査結果に基づき，糞粒区画法, 出生数捕獲数法による推定を行い，状態空間モデルを階層ベイズモデルとして構成したものをマルコフ連鎖モンテカルロ法でパラメータ推定する方法（ベイズ法）により推定した．糞粒区画法による推定の結果，2013年3月末時点の市町村ごとの最小補正値～最大補正値は，鴨川市247頭～2,061頭，君津市933頭～4,949頭，勝浦市（U1のみ）60頭～236頭，市原市165頭～1,384頭，いすみ市（H2のみ）0頭～142頭，木更津市0頭～424頭，袖ケ浦市0頭～78頭であった．出生数捕獲数法による推定によると，2013年3月末全市町村合計の個体数は最小補正値5,883頭，中間補正値9,923頭，最大補正値13,982頭となった．ベイズ法によると，2012年度末（2013年3月末時点）の全ユニット合計個体数は中央値17,773頭（95%信用区間：15,467～20,438頭）となった．

は　じ　め　に

千葉県房総半島には古来よりニホンジカ（*Cervus nippon*）が生息しており，1960年代には分布が縮小していたが，1980年代以降，個体数を増加させており，それに伴い，農作物被害も多く発生している．千葉県では2005年以降，「千葉県特定鳥獣保護管理計画（ニホンジカ）」を策定し，科学的な保護管理を実施している．この計画では，シカ保護管理のために分布調査や個体数，生息密度などの動向を把握するモニタリング調査を行うこととしている．

これまで千葉県におけるニホンジカの個体数推定は，区画法（Maruyama and Furubayashi 1983；仲真ほか 1980）による推定生息密度と，固定ラインとランセクト法による発見糞粒数との関係から全体の密度を推定する糞粒区画法と，前年度末個体数に仮定した増加率を加算し，捕獲数を減する出生数捕獲数法（浅田・落合 2007）を用いてきた（千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 1998，1999，2000；千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2001，2002，2003，2004，2005，2006，2007，2008；浅田 2009，2011，2013）．しかし，従来とられてきたこの方法では，すべての変数に正規性を仮定したり，変数間の回帰分析の際に考慮されるべき推定誤差を無視して，平均値だけを用いて算出するといった現実を正しく反映していない方法であった．このような背景を踏まえ，千葉県房総半島に生息するキョンについて浅田ほか（印刷中）で推定した方法（一部変形）に従い，ニホンジカの個体数について，下記の手順で，区画法および糞粒法調査結果と，捕獲数を用いて，状態空間モデルを階層ベイズモデルとして構成したもの

をマルコフ連鎖モンテカルロ法でパラメータ推定する方法（以下，ベイズ法とする）により推定した．まず，１）一部ユニットにおいて糞粒法調査を実施し，２）従来の糞粒区画法（浅田・落合 2007）による2012年度末個体数の推定を行い，３）2000～2006年度の区画法および糞粒法調査結果とその間の捕獲記録に基づいてベイズ法推定を行い，４）その結果（事後分布）を事前分布に利用して１）の結果も含めて2000～2012年度までのベイズ法推定を行うことで2012年度末個体数を算出した．

方　法

１　糞粒法による糞粒調査

糞粒調査は2012年12月～2013年1月に鴨川市，君津市，勝浦市，市原市，いすみ市，木更津市，袖ケ浦市において調査を行った．調査を行ったユニット数（ライン数）は鴨川市15ユニット（39ライン），君津市14ユニット（38ライン），勝浦市1ユニット（2ライン），市原市9ユニット（17ライン），いすみ市1ユニット（3ライン），木更津市4ユニット（8ライン），袖ケ浦市2ユニット（3ライン）の計46ユニット（110ライン）とした(図1)．千葉県のニホンジカおよびキョンの糞粒調査は，予算上の理由で，分布域のほぼ半数のユニット毎に実施され，2年間で全域のユニットを調査してきたが，2012年度以降は，分布拡大による調査対象ユニット数の増加に伴い，3分割して3年間で全域を調査するように変更された．また，一部のユニット

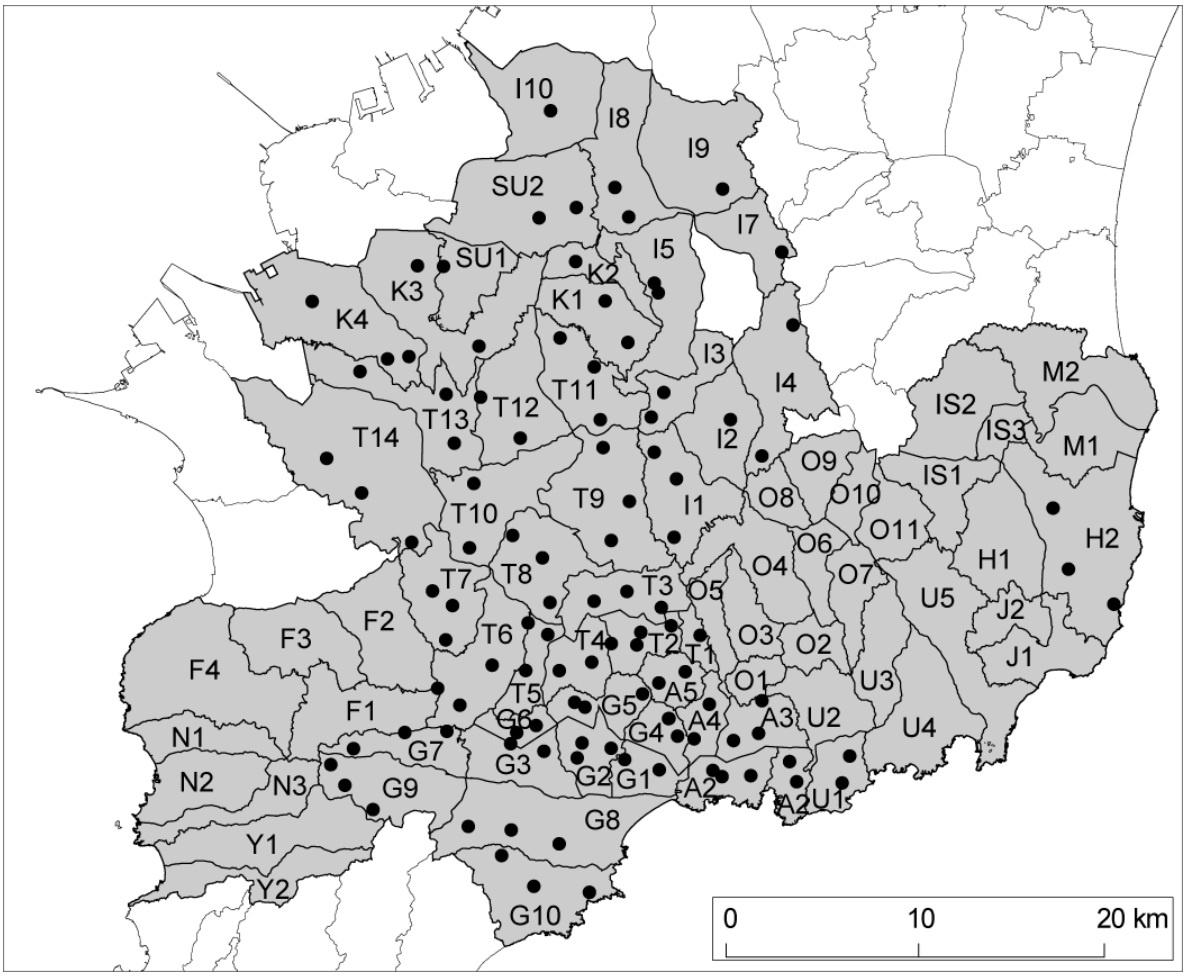

図１　ニホンジカの個体数推定のための糞粒調査ラインとベイズ法推定対象ユニット
図中の●は糞粒法調査ラインの位置を，灰色域はベイズ法推定対象ユニットを，英数字はユニット名を示す．

（G1，U1, H2）については毎年調査することとしている．調査方法は房総半島のニホンジカで行ってきた糞粒区画法（浅田・落合 2007）と同様である．調査対象とするユニット毎にユニット面積に応じた1～3本の調査ライン（以下，ラインとする）を稜線上に設定し，そのライン上に5mおきに設置した1m×1mの調査プロット内の糞粒数を，リター層を排除しながら全て数え上げた．ラインの距離は1.0kmとし，1ラインにつき200プロット設置した．この方法は，１）1日1頭当たりの排糞数は一定で，２）どの地域においても稜線上の糞粒数は地域全体の糞粒数に比例し，３）糞の消失率には地域差がなく，４）糞の発見率は場所や調査員によって左右されないと仮定したときに，稜線上に設置した調査区画内の糞粒数と個体数は比例するという考え方に基づいた調査方法である（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 1998，浅田・落合 2007）．同所的に生息しているニホンジカとキョンの糞の判別については，糞の短径が7mm以下のものをキョンの糞と判定した（千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 2000）．現地調査は，株式会社野生動物保護管理事務所に委託し，実施した．

２　糞粒区画法，出生数捕獲数法による推定

糞粒区画法として，2012年度に糞粒調査を実施した地域について，2008年度に算出した区画法による推定生息密度と糞粒法による出現糞粒数の回帰式（浅田 2009）から生息数を推定した．回帰式は，傾きとy切片の平均値および95%信頼区間値を用いて，下記の3式とした．

平均値： $y = 0.055\,x + 3.946$

95%信頼下限値： $y = 0.032\,x - 1.180$

95%信頼上限値： $y = 0.077\,x + 9.063$

ただし，xは100プロットあたりの発見糞粒数，yは区画法による推定生息密度を示す．さらに，今年度糞粒調査を実施しなかった市町村（鴨川市，君津市）について，2011年度末個体数（浅田 2013）に，これまで仮定されてきた（浅田 2009）増加率の平均値1.342および95%信頼区間1.291～1.393による加算をし，捕獲数を減する出生数捕獲数法（浅田・落合 2007）による個体数推定を実施し，2013年3月末時点での全個体数を推定した．

３　2006年度までのベイズ法パラメータ推定

2000～2006年度には，糞粒法と併行し，一部地域において生息密度を直接観測する区画法（観測誤差を含む）の調査が実施されていたため，この間の66ユニットの結果（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2002，2003，2004，2005，2006，2007，2008； 浅田 2009，2011，2012，2013）と，捕獲数を用いて，浅田ほか（印刷中）の手法に従いベイズ法推定を行った．ただし，区画法の発見率は設定せず，観測誤差のみ考慮したモデルとした（図2，モデルAとする）．マルコフ連鎖モンテカルロ法の計算はソフトウェアR（URL：http://www.r-project.org/；2013年6月2日版）およびWinBUGS（Lunn et al. 2000）を用いた．

状態空間モデルは二つのプロセスがあり，直接測定できない“真の”個体数の増減についてのシステムプロセス（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についての観測プロセスである．システムプロセスは，66ユニットの7年間の個体数変動について，ユニット・年単位で，ある年度末個体数は前年度末個体数に，出生や死亡，移出入のイベントが含まれる増加が起こり，その後に捕獲がなされると仮定した．

状態空間プロセスの二つ目の部分の観測

プロセスでは，糞粒法（100プロット当り糞粒数）および区画法（推定生息密度に林野面積を乗じた推定個体数）を採用し，これらの調査データと真の個体数との関係式を作成した．

糞粒法の糞粒数はカウントデータであり，負になることがなく，ポワソン分布をとると考えられる．そこで，平均糞粒密度と生息密度の関係として，混合ポワソン回帰モデルと同様の式を仮定し，ポワソン分布の過分散として現れる糞粒法観測誤差が生じることを想定し，対数正規分布からの抽出とした．

区画法の観測プロセスは，真の生息頭数に区画法観測誤差を考慮した対数正規分布から抽出した平均密度を平均値とするポワソン抽出とした．

マルコフ連鎖モンテカルロ法による計算は2万回行い，当初の1万回を切捨て，以後の10回ごとに結果を抽出する計算を，初期値の異なる3本の連鎖について行い，事後分布とした（すなわち，事後分布の標本数は3,000）．

収束診断方法は観測プロセス変換係数Fおよびデビアンスについて時系列プロットの目視による判定と，Gelman-Rubin統計量（R-hat）を併用して診断した（計算方法は，マッカーシー（2007），古谷（2010）などを参照）．Gelman-Rubin統計量（R-hat）は1.1未満となっているときに，連鎖が定常状態に収束していると判断した．

```
model{
  for(i in 1:NL){
    for(j in 2:NY){
    # ---Observation process for block count method---
      BN[i,j] ~ dpois(mu.BN[i,j])
      log(mu.BN[i,j]) <- log.mu.BN[i,j]
      log.mu.BN[i,j]  ~ dnorm(mean.log.mu.BN[i,j], tau.precBN)I(-10,18)
      mean.log.mu.BN[i,j] <- log(n[i,j])

    # ---Observation process for fecal-pellet method---
      FN[i,j] ~ dpois(mu.FN[i,j])
      log(mu.FN[i,j]) <- log.mu.FN[i,j]
      log.mu.FN[i,j] ~ dnorm(mean.log.mu.FN[i,j], tau.precFN)I(-10,18)
       mean.log.mu.FN[i,j]<- F * n[i,j] / FA[i]

    # ---System process for each unit and each year---
      n[i,j] <- max.n[i,j] - CAPT[i,j]
      max.n[i,j] ~ dpois(mu.n[i,j])I(min.n[i,j],)
      min.n[i,j] <- 1 + CAPT[i,j]
      mu.n[i,j] <- r[i] * n[i,j-1]
    }

    # ---The first year's abundance for each unit---
    n[i,1] <- trunc(n0[i])
    n0[i] ~ dnorm(0,tau.n0)I(0,)

    # ---Population growth rate (r) for each unit---
    r[i]   <- exp(lr[i])
    lr[i]  ~  dnorm(mu.r, tau.r)
      #  Model B #   lr[i]   ~  dnorm(RM, tau.r)
  }

  # ---Prior---
    mu.r      ~ dnorm(0.0 , 0.01)    # remove in the case of model B
    tau.r<- pow(sigma.tau.r,-2)
    sigma.tau.r~dunif(0,100)
    tau.n0<- pow(sigma.tau.n0,-2)
    sigma.tau.n0~dunif(0,100)
    tau.precBN<-pow(sigma.tau.precBN,-2)
    sigma.tau.precBN~dunif(0,100)
    F         ~ dunif(0,1)
      #  Model B #   F         ~ dnorm(FM , 0.1)
    tau.precFN <-pow(sigma.tau.precFN,-2)
    sigma.tau.precFN~dunif(0,100)
}
```

図２　ニホンジカのベイズ法による推定のためのWinBUGSスクリプト

行頭に“# For Model B#”とした行はモデルBのスクリプトを示し，それ以外はモデルAのものを示した．

４　ベイズ法個体数推定

上記で推定した増加率（増加率対数値lr）と糞粒法変換係数（F）の事後分布の情報を，事前分布に用いて，2000～2012年度の78ユニット（図1）におけるベイズ推定を行った．構成した階層ベイズモデルは前項のモデルAとほぼ同様とし，パラメータ（lr，F）の事前分布は，モデルAの事後分布の中央値を平均にもつ正規分布で近似したものとした（ただし，lrの分布精度は無情報，FはモデルAの事後分布を近似した0.1とした）．マルコフ連鎖モンテカルロ法による計算回数および収束診断基準は前項と同様とした．

この推定結果に基づき，ユニットおよび市町村単位と，千葉県全体の推定個体数の年変化と分布構造について検討した．

結　果

糞粒法調査および糞粒区画法，出生数捕獲数法による推定

糞粒調査の結果を100プロット当たりの出現糞粒数に換算してまとめた（表1）．100プロット当たりの平均出現粒数は最小が0，最大が500.5（G3）であった．

糞粒区画法による推定の結果，2013年3月末時点の市町村ごとの最小補正値～最大補正値は，鴨川市247頭～2,061頭，君津市933頭～4,949頭，勝浦市（U1のみ）60頭～236頭，市原市165頭～1,384頭，いすみ市（H2のみ）0頭～142頭，木更津市0頭～424頭，袖ケ浦市0頭～78頭であった（表2）．

また，糞粒区画法を実施しなかったユニットについて，出生数捕獲数法による推定を行い，全市町村合計の個体数を推定すると，2013年3月末で最小補正値5,883頭，中間補正値9,923頭，最大補正値 13,982頭となった（表3）．

ベイズ法による推定

2006年度までのデータに関して構築したモデルAについて，マルコフ連鎖モンテカルロ法を実施した結果，時系列プロット（図3）は適切に安定しており，Gelman-Rubin 統計量（R-hat）の点推定値は，*F* 1.01，デビアンス 1.00と，いずれも1.1以下であった．

マルコフ連鎖モンテカルロ法によって推定できたユニット別2012年度末個体数の事後分布は表4のようになった．2012年度末（2013年3月末時点）の全ユニット合計個体数は中央値17,773頭（95%信用区間: 15,467 ～ 20,438 頭）となった（表4，図4）．ユニットごとの推定個体数変動について，50%信用区間値で検討すると（図5），君津市および富津市などのユニットで個体数が増加している，一方で，鴨川市，勝浦市，大多喜町の一部のユニットでは最近2～3年間で個体数が減少していることが推定された．

2012年度のユニット別個体数中央値を生息可能面積（林野面積）で除した推定密度の空間構造についてみると，生息密度が30

表１　2012年12月～2013年1月に実施した糞粒法の結果
調査方法などは千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会(1998)参照.

		100プロット当たりの出現糞粒数			
	ユニット	ライン1	ライン2	ライン3	平均
鴨川市	A1	67	118	-	92.5
	A2	94	265	180	179.3
	A3	57	109	60	75.0
	A4	113	73	-	92.8
	A5	152	65	-	108.5
	G1	453	82	-	267.0
	G2	79	305	62	148.3
	G3	656	573	273	500.5
	G4	62	120	-	90.5
	G5	63	77	143	94.0
	G6	231	345	-	287.5
	G7	200	353	502	351.7
	G8	39	105	97	79.8
	G9	62	71	204	112.2
	G10	33	0	0	11.0
君津市	T1	391	-	-	391.0
	T2	146	158	535	279.5
	T3	603	414	194	403.5
	T4	102	78	120	99.5
	T5	125	56	210	130.0
	T6	257	62	76	131.3
	T7	7	119	501	208.7
	T8	144	272	342	252.2
	T9	182	406	342	309.8
	T10	370	249	-	309.3
	T11	77	64	464	201.3
	T12	163	267	-	214.8
	T13	40	226	0	88.5
	T14	137	0	48	61.5
勝浦市	U1	227	527	-	376.5
市原市	I1	92	193	416	233.7
	I2	83	-	-	83.0
	I3	94	117	-	105.5
	I4	10	0	-	5.0
	I5	127	31	-	78.8
	I7	0	-	-	0.0
	I8	0	183	-	91.5
	I9	0	-	-	0.0
	I10	0	-	-	0.0
いすみ市	H2	2	0	0	0.5
木更津市	K1	50	22	-	35.8
	K2	2	-	-	1.5
	K3	0	51	-	25.3
	K4	0	0	0	0.0
袖ケ浦市	SU1	0	-	-	0.0
	SU2	0	0	-	0.0

表２　千葉県のニホンジカにおける糞粒区画法による2012年度個体数推定

糞粒法平均糞粒数を区画法推定密度との回帰式（平均値および95%信頼区間，浅田(2009)）によって生息密度に変換した．また，2012年1月下旬（糞粒法実施）時点から2～3月の捕獲数を引いて2012年3月末時点の推定頭数を示した．推定密度および捕獲後頭数が負になる場合は0頭とした．生息可能面積は森林地域のうち，2012年3月の推定生息分布が含まれる面積を求めた．

市町	ユニット	平均糞粒数	推定密度(頭/km²) 平均	95%信頼区間		生息可能面積(km²)	2012年1月下旬推定頭数 平均	95%信頼区間		2～3月捕獲頭数	2013年3月末推定頭数 平均	95%信頼区間	
鴨川市	A1	92.5	9.0	1.8 ~	16.2	4.6	42	8 ~	74	5	37	3 ~	69
	A2	179.3	13.8	4.6 ~	22.9	7.3	101	33 ~	167	35	66	0 ~	132
	A3	75.0	8.1	1.2 ~	14.8	11.1	90	14 ~	165	7	83	7 ~	158
	A4	92.8	9.0	1.8 ~	16.2	7.5	68	13 ~	122	3	65	10 ~	119
	A5	108.5	9.9	2.3 ~	17.4	6.8	67	16 ~	118	5	62	11 ~	113
	G1	267.0	18.6	7.4 ~	29.6	5.0	93	37 ~	148	12	81	25 ~	136
	G2	148.3	12.1	3.6 ~	20.5	7.7	93	27 ~	158	18	75	9 ~	140
	G3	500.5	31.5	14.8 ~	47.6	6.5	205	96 ~	309	30	175	66 ~	279
	G4	90.5	8.9	1.7 ~	16.0	7.1	63	12 ~	114	0	63	12 ~	114
	G5	94.0	9.1	1.8 ~	16.3	10.1	92	18 ~	165	0	92	18 ~	165
	G6	287.5	19.8	8.0 ~	31.2	4.7	93	38 ~	147	0	93	38 ~	147
	G7	351.7	23.3	10.1 ~	36.1	5.9	137	59 ~	213	44	93	15 ~	169
	G8	79.8	8.3	1.4 ~	15.2	7.9	66	11 ~	120	3	63	8 ~	117
	G9	112.2	10.1	2.4 ~	17.7	10.6	107	26 ~	188	1	106	25 ~	187
	G10	11.0	4.6	0.0 ~	9.9	1.6	7	0 ~	16	0	7	0 ~	16
君津市	T1	391.0	25.5	11.3 ~	39.2	4.2	107	48 ~	165	10	97	38 ~	155
	T2	279.5	19.3	7.8 ~	30.6	9.6	185	75 ~	294	7	178	68 ~	287
	T3	403.5	26.1	11.7 ~	40.1	11.6	303	136 ~	466	36	267	100 ~	430
	T4	99.5	9.4	2.0 ~	16.7	10.8	102	22 ~	181	0	102	22 ~	181
	T5	130.0	11.1	3.0 ~	19.1	7.2	80	21 ~	137	16	64	5 ~	121
	T6	131.3	11.2	3.0 ~	19.2	21.0	235	63 ~	403	13	222	50 ~	390
	T7	208.7	15.4	5.5 ~	25.1	14.5	224	80 ~	364	9	215	71 ~	355
	T8	252.2	17.8	6.9 ~	28.5	14.2	253	98 ~	404	6	247	92 ~	398
	T9	309.8	21.0	8.7 ~	32.9	24.6	516	215 ~	810	37	479	178 ~	773
	T10	309.3	21.0	8.7 ~	32.9	16.7	350	146 ~	549	9	341	137 ~	540
	T11	201.3	15.0	5.3 ~	24.6	13.7	206	72 ~	337	7	199	65 ~	330
	T12	214.8	15.8	5.7 ~	25.6	11.2	176	64 ~	287	1	175	63 ~	286
	T13	88.5	8.8	1.7 ~	15.9	18.2	160	30 ~	289	5	155	25 ~	284
	T14	61.5	7.3	0.8 ~	13.8	30.7	225	24 ~	424	5	220	19 ~	419
勝浦市	U1	376.5	24.7	10.9 ~	38.1	6.5	160	71 ~	247	11	149	60 ~	236
市原市	I1	233.7	16.8	6.3 ~	27.1	16.9	284	106 ~	457	0	284	106 ~	457
	I2	83.0	8.5	1.5 ~	15.5	8.6	73	13 ~	133	0	73	13 ~	133
	I3	105.5	9.7	2.2 ~	17.2	7.5	73	16 ~	129	0	73	16 ~	129
	I4	5.0	4.2	0.0 ~	9.4	15.1	64	0 ~	143	0	64	0 ~	143
	I5	78.8	8.3	1.3 ~	15.1	15.2	126	20 ~	230	0	126	20 ~	230
	I7	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	4.5	18	0 ~	41	0	18	0 ~	41
	I8	91.5	9.0	1.7 ~	16.1	5.8	52	10 ~	93	0	52	10 ~	93
	I9	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	6.6	26	0 ~	60	0	26	0 ~	60
	I10	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	10.8	43	0 ~	98	0	43	0 ~	98
いすみ市	H2	0.5	4.0	0.0 ~	9.1	15.6	62	0 ~	142	0	62	0 ~	142
木更津市	K1	35.8	5.9	0.0 ~	11.8	11.1	66	0 ~	131	0	66	0 ~	131
	K2	1.5	4.0	0.0 ~	9.2	5.2	21	0 ~	48	1	20	0 ~	47
	K3	25.3	5.3	0.0 ~	11.0	15.1	81	0 ~	166	0	81	0 ~	166
	K4	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	8.8	35	0 ~	80	0	35	0 ~	80
袖ケ浦市	SU1	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	3.1	12	0 ~	28	0	12	0 ~	28
	SU2	0.0	3.9	0.0 ~	9.1	5.5	22	0 ~	50	0	22	0 ~	50

表３　千葉県におけるニホンジカの有害獣捕獲および狩猟による捕獲数の年推移

市原市，袖ヶ浦市において2012年度に糞粒法を実施しなかったユニットの生息密度を，糞粒法糞粒数と区画法推定密度の回帰式（浅田 2009)のy切片値から3.9（95%信頼区間：0～9.1）頭/km^{2}と仮定して計算した．糞粒法を実施しなかった市町については，出生数捕獲数法（浅田・落合 2007）により推定した．この際，6月1日に1.342(95%信頼区間：1.291～1.393)の増加が起きたと仮定した．

	糞粒区画法推定								出生数捕獲数法推定						2012年度末推定頭数		
	糞粒法推定頭数			糞粒法未実施ユニット					2011年度末	増加前捕獲	増加率乗算後推定頭数			増加後捕獲			
	平均	95%信頼区間		ユニット名	生息可能面積(km^2)	平均	95%信頼区間				平均	95%信頼区間			平均	推定幅	
鴨川市	1,161	247 ～	2,061	-	-	-	-	-							1,161	247 ～	2,061
君津市	2,961	933 ～	4,949	-	-	-	-	-							2,961	933 ～	4,949
大多喜町	-	-	-	-	-	-	-	-	875	53	1,103	1,061	1,145	452	651	609 ～	693
勝浦市	-	-	-	-	-	-	-	-	1,050	75	1,309	1,259	1,358	445	864	814 ～	913
御宿町	-	-	-	-	-	-	-	-	47	0	63	61	66	0	63	61 ～	66
富津市	-	-	-	-	-	-	-	-	1,457	16	1,934	1,860	2,007	175	1,759	1,685 ～	1,832
市原市	759	165 ～	1,384	I6, I12, I13	7.7	30	0 ～	70		-	-	-	-	-	789	165 ～	1,454
鋸南町	-	-	-	-	-	-	-	-	285	32	340	327	352	96	244	231 ～	256
いすみ市	-	-	-	-	-	-	-	-	255	0	342	329	355	4	338	325 ～	351
南房総市	-	-	-	-	-	-	-	-	320	1	428	412	444	13	415	399 ～	431
木更津市	202	0 ～	424	-	-	-	-	-		-	-	-	-		202	0 ～	424
睦沢町	-	-	-	-	-	-	-	-	50	0	67	65	70	0	67	65 ～	70
袖ヶ浦市	34	0 ～	78	SU3	2.8	11	0 ～	25		-	-	-	-	-	45	0 ～	103
長南町	-	-	-	-	-	-	-	-	119	0	160	154	166	0	160	154 ～	166
一宮町	-	-	-	-	-	-	-	-	18	0	24	23	25	0	24	23 ～	25
館山市	-	-	-	-	-	-	-	-	50	1	66	63	68	1	65	62 ～	67
茂原市	-	-	-	-	-	-	-	-	25	0	34	32	35	0	34	32 ～	35
長柄町	-	-	-	-	-	-	-	-	61	0	82	79	85	0	82	79 ～	85
合計	995	165 ～	1,886			41	0 ～	95							9,923	5,883 ～	13,982

頭/km^{2}以上と比較的高い地域が，富津市，君津市鋸南町などにみられ，そのユニットの隣接するユニットで，25～30頭/km^{2}の地域がみられた（図6）．

考　察

糞粒区画法・出生数捕獲数法とベイズ法の比較

従来行われてきた糞粒区画法と出生数捕獲数法の併用による個体数推定については，段階的に推定を重ねていく計算過程で，推定誤差の取り扱いに問題がみられたが，ベイズ法は推定誤差を考慮した階層ベイズモデルのために，適切に考慮されていると考えられる方法である．全県の個体数推定値において，従来の値は各年の推定値とも過小評価しているものと推定された（図4）．この違いは，分布拡大しているユニットで，近年糞粒調査や捕獲が実施され始めたユニットの存在によって生み出されている（図5）．これらのユニットで調査を行わなかった年では，従来の推定方法では，分布域外でシカが生息していない，すなわち，シカ密度が0として扱われていた．しかし，今回新たに採用したベイズ法では，モデルの構造上，過去もふくめて対象としたユニットの各年とも，その後の調査結果や捕獲頭数から生息頭数が外挿されるために，ユニットによっては過去にある程度個体数が生息すると推定されるようになる．例えば，K4ユニット（木更津市）では，2012年度まで糞粒調査が行われおらず，2012年度の結果は糞粒数0であった．またこれまで捕獲記録もない．このユニットでは従来の推定方法では生息密度0頭/km^{2}となるが，ベイズ法では，2～92頭（95%信用区間値）生息すると推定された．このため，全ユニットの合計頭数を合算すると，ベイズ法は従来法よりも高い値で推定されることになる．

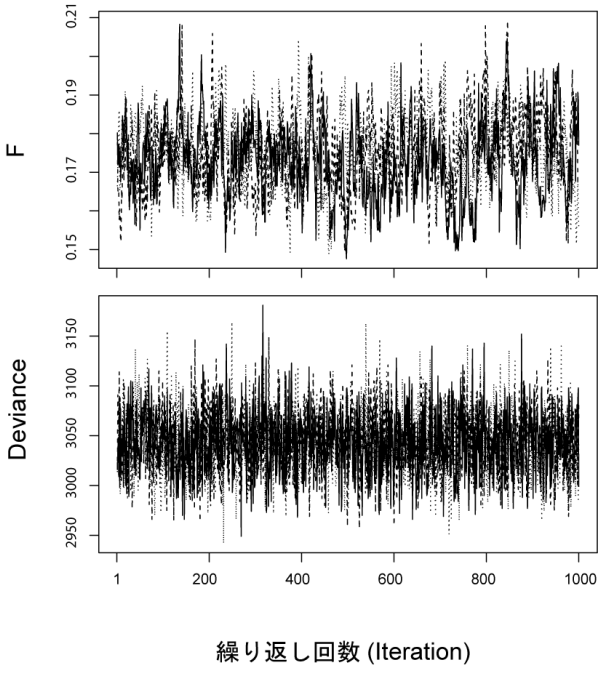

図３　千葉県におけるニホンジカのベイズ法パラメータ推定による事後分布の時系列プロット
モデルAについて計算した3本の連鎖別の糞粒法変換係数（*F*，上図）およびデビアンス（Deviance，下図）の推移を示した．

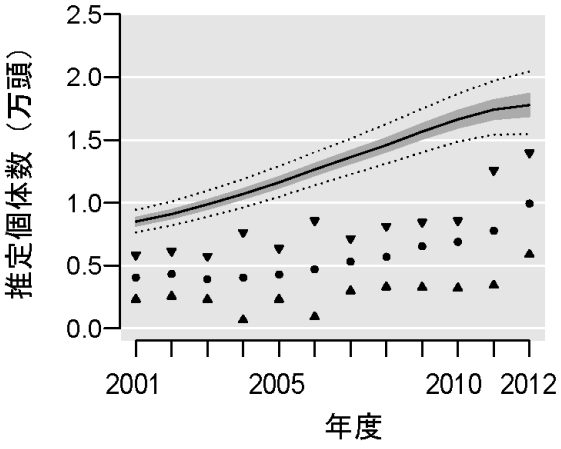

図４　千葉県におけるニホンジカのベイズ法推定による全域個体数の推移
2000～2012年度における階層ベイズ法による推定値（黒実線：中央値，灰色部：50%信用区間，破線：95%信用区間）を示した．あわせて従来の糞粒区画法および出生数捕獲数法（浅田・落合2007)の組み合わせで行った推定値も示した．推定値と推定幅として，糞粒区画法における糞粒数に対する区画法推定密度の回帰直線の傾きと切片，および出生数捕獲数法における増加率推定のための妊娠率と性齢構成比率の平均値と95%信頼区間を用い，合算値（平均：●，95%信頼区間：▲～▼）を示した．

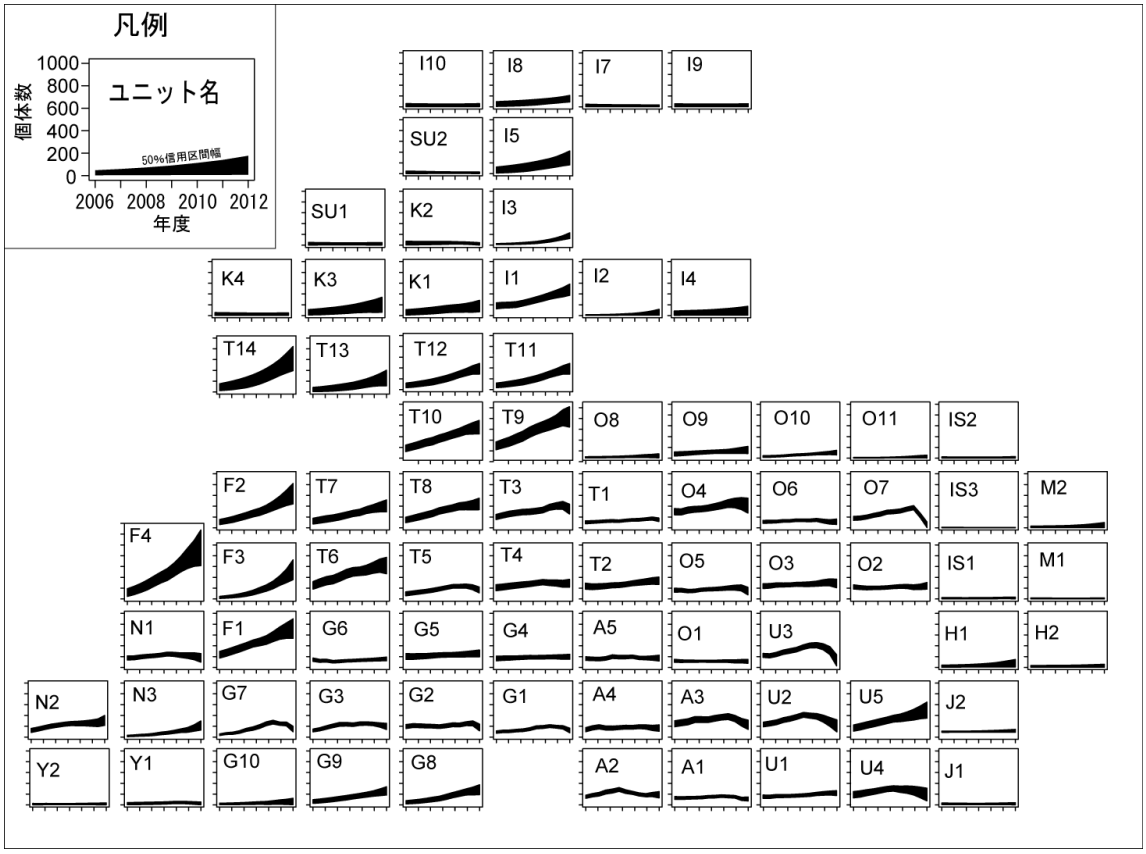

図５　千葉県におけるニホンジカのユニット別個体数推移
図中の黒帯はベイズ法による事後分布の50%信用区間を，英数字はユニット名を示す.

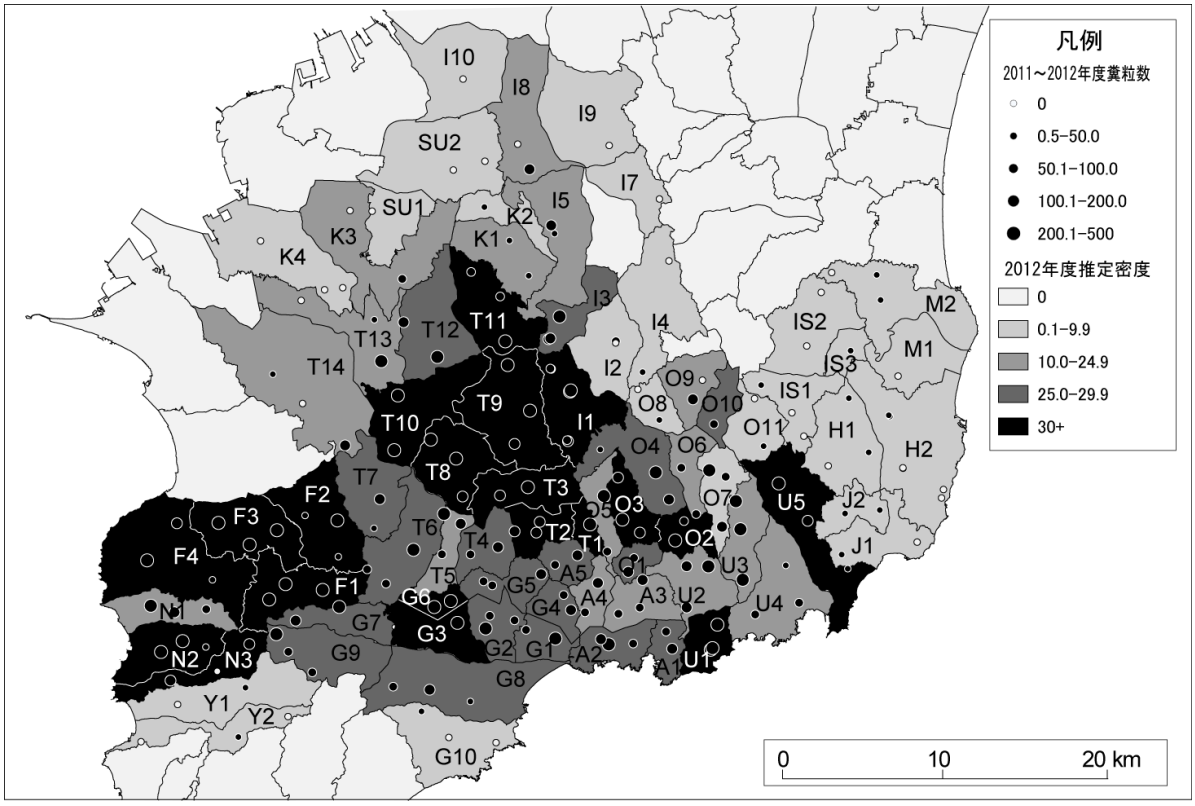

図６　2012年度のニホンジカの糞粒調査結果およびベイズ法推定結果
糞粒調査結果は100プロットあたり糞粒数を調査ラインごとに示した．ベイズ法推定密度は事後分布の中央値をランク別に示した．図中の英数字はユニット名を示した.

表４　千葉県のニホンジカにおけるベイズ法による2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづく）

		推定個体数					面積	推定密度				
市町村	ユニット	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%	(km^2)	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%
勝浦市	U1	157	199	223	244	293	6.5	24.1	30.5	34.0	37.4	44.8
	U2	78	174	231	286	396	10.3	7.6	16.9	22.4	27.8	38.5
	U3	19	96	151	210	324	9.7	2.0	10.0	15.6	21.8	33.6
	U4	58	157	213	278	400	13.7	4.2	11.5	15.5	20.3	29.2
	U5	313	441	521	599	766	17.0	18.5	26.0	30.7	35.3	45.2
	全体	969	1,207	1,345	1,493	1,787	57.1	17.0	21.1	23.5	26.1	31.3
大多喜町	O1	69	100	118	138	180	4.9	14.2	20.6	24.3	28.4	37.1
	O2	166	219	250	283	357	6.8	24.3	32.0	36.6	41.4	52.3
	O3	186	253	292	337	427	9.2	20.2	27.4	31.6	36.5	46.3
	O4	239	353	423	495	650	14.9	16.0	23.7	28.4	33.2	43.6
	O5	66	123	155	192	267	7.5	8.8	16.4	20.7	25.7	35.6
	O6	50	95	121	150	206	5.5	9.1	17.3	22.0	27.1	37.4
	O7	3	25	53	87	166	8.4	0.4	3.0	6.3	10.4	19.8
	O8	4	25	47	74	136	5.5	0.8	4.6	8.5	13.4	24.7
	O9	74	128	160	196	276	7.9	9.4	16.3	20.4	25.0	35.1
	O10	56	91	111	135	187	4.3	12.9	21.1	25.9	31.4	43.4
	O11	2	12	26	51	121	5.9	0.3	2.0	4.4	8.6	20.4
	全体	1,419	1,655	1,793	1,944	2,246	80.8	17.6	20.5	22.2	24.1	27.8
鴨川市	G1	72	112	132	152	193	5.0	14.5	22.6	26.7	30.7	38.9
	G2	103	163	194	224	287	7.7	13.4	21.2	25.3	29.2	37.4
	G3	136	184	211	237	290	6.5	20.9	28.2	32.3	36.4	44.5
	G4	138	177	200	223	276	7.2	19.3	24.8	27.9	31.2	38.6
	G5	174	231	263	296	367	10.1	17.2	22.8	26.0	29.2	36.3
	G6	114	143	161	177	212	4.7	24.1	30.4	34.1	37.6	44.8
	G7	90	139	165	190	242	5.9	15.3	23.7	28.0	32.3	41.1
	G8	169	257	304	349	444	11.9	14.2	21.5	25.4	29.2	37.2
	G9	161	235	273	312	390	10.6	15.2	22.2	25.7	29.4	36.8
	G10	3	28	63	117	240	14.6	0.2	1.9	4.3	8.0	16.4
	A1	67	100	119	137	173	4.6	14.4	21.6	25.7	29.7	37.3
	A2	129	184	215	247	305	7.3	17.6	25.2	29.5	33.8	41.8
	A3	123	200	241	285	367	11.2	11.0	17.9	21.6	25.5	32.9
	A4	96	148	178	207	267	7.5	12.8	19.7	23.8	27.7	35.6
	A5	106	156	184	211	267	6.8	15.6	23.0	27.1	31.0	39.3
	全体	2,465	2,750	2,920	3,087	3,456	121.5	20.3	22.6	24.0	25.4	28.4
鋸南町	N1	84	150	190	231	323	8.5	9.9	17.7	22.4	27.2	38.2
	N2	197	282	325	374	478	9.4	21.0	30.1	34.8	39.9	51.1
	N3	119	192	235	280	376	7.5	15.9	25.7	31.5	37.4	50.2
	全体	542	678	754	838	1,010	25.3	21.4	26.8	29.8	33.1	39.9
君津市	T1	107	135	150	167	202	4.2	25.5	32.2	35.8	39.8	48.3
	T2	247	305	340	376	447	9.6	25.8	31.9	35.5	39.4	46.8
	T3	234	314	360	405	499	11.6	20.1	27.1	31.0	34.9	43.0
	T4	195	259	295	333	416	10.8	18.0	24.0	27.3	30.8	38.5
	T5	99	149	176	203	260	7.2	13.7	20.7	24.4	28.2	36.1
	T6	417	550	625	707	873	21.0	19.9	26.2	29.8	33.7	41.6
	T7	269	365	423	478	593	14.5	18.6	25.3	29.2	33.0	41.0
	T8	309	404	456	510	620	14.2	21.8	28.4	32.1	35.9	43.6
	T9	523	691	780	873	1,059	24.6	21.2	28.1	31.7	35.5	43.0
	T10	404	520	579	639	773	16.7	24.2	31.2	34.7	38.4	46.4
	T11	287	382	435	485	595	13.9	20.6	27.4	31.2	34.8	42.7
	T12	222	297	337	383	473	11.3	19.6	26.3	29.8	33.9	41.9
	T13	115	258	331	404	555	18.2	6.3	14.1	18.2	22.1	30.4
	T14	395	610	721	844	1,078	30.7	12.9	19.8	23.5	27.5	35.1
	全体	5,111	5,679	6,020	6,374	7,035	208.5	24.5	27.2	28.9	30.6	33.7

表４　千葉県のニホンジカにおけるベイズ法による2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづき）

		推定個体数					面積	推定密度				
市町村	ユニット	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%	(km^2)	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%
富津市	F1	492	646	729	821	1011	18.9	26.0	34.1	38.5	43.4	53.4
	F2	387	557	656	759	966	19.4	20.0	28.7	33.8	39.1	49.8
	F3	333	501	591	690	896	15.1	22.0	33.2	39.1	45.7	59.3
	F4	657	966	1,137	1,317	1,706	34.1	19.3	28.4	33.4	38.7	50.1
	全体	2,412	2,866	3,138	3,401	3,957	87.5	27.6	32.8	35.9	38.9	45.2
市原市	I1	376	473	527	584	698	16.9	22.2	27.9	31.2	34.5	41.3
	I2	5	41	79	117	189	8.6	0.6	4.7	9.2	13.6	22.0
	I3	115	165	193	221	279	7.5	15.4	22.1	25.9	29.6	37.4
	I4	7	53	108	172	304	15.1	0.5	3.5	7.2	11.4	20.2
	I5	164	291	357	423	552	15.2	10.8	19.1	23.5	27.8	36.3
	I6						4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	I7	2	9	19	35	78	5.8	0.3	1.6	3.3	6.0	13.4
	I8	90	148	180	211	274	7.2	12.5	20.5	24.9	29.3	38.0
	I9	3	14	30	57	139	11.1	0.2	1.3	2.7	5.1	12.5
	I10	2	14	31	60	138	10.8	0.2	1.3	2.8	5.6	12.8
	全体	1,197	1,434	1,565	1,699	1,976	102.7	11.6	14.0	15.2	16.5	19.2
御宿町	J1	2	10	21	38	91	6.5	0.3	1.5	3.2	5.8	13.9
	J2	3	16	31	52	100	5.1	0.5	3.1	6.1	10.1	19.6
	全体	13	37	58	84	146	11.6	1.1	3.2	5.0	7.2	12.6
いすみ市	H1	4	32	74	138	289	13.8	0.3	2.3	5.4	10.0	20.9
	H2	2	11	24	48	119	17.8	0.1	0.6	1.4	2.7	6.7
	IS1	2	7	16	30	85	8.2	0.2	0.9	1.9	3.7	10.4
	IS2	2	6	13	26	68	8.1	0.2	0.8	1.6	3.2	8.4
	IS3	1	3	5	7	16	1.2	1.0	2.3	3.8	6.3	14.0
	M1	1	5	10	19	52	5.5	0.3	0.9	1.9	3.5	9.4
	M2	4	25	52	92	200	9.1	0.4	2.7	5.7	10.1	21.9
	全体	86	175	238	319	505	63.7	1.3	2.8	3.7	5.0	7.9
南房総市	Y1	2	11	27	53	133	11.9	0.1	0.9	2.3	4.5	11.1
	Y2	2	8	17	33	86	8.9	0.2	0.8	1.9	3.7	9.6
	全体	9	30	53	82	158	20.8	0.4	1.5	2.6	3.9	7.6
木更津市	K1	70	176	230	283	388	12.4	5.6	14.2	18.6	22.9	31.4
	K2	2	14	28	48	92	5.2	0.4	2.7	5.4	9.2	17.7
	K3	60	194	267	339	481	16.1	3.7	12.1	16.6	21.1	29.9
	K4	2	12	27	50	119	9.2	0.2	1.4	2.9	5.4	12.9
	全体	297	468	565	663	840	42.9	6.9	10.9	13.2	15.5	19.6
袖ケ浦市	SU1	2	12	26	50	119	9.2	0.3	1.3	2.9	5.4	12.9
	SU2	2	8	18	33	72	5.5	0.3	1.5	3.2	6.0	13.1
	全体	9	30	51	78	153	14.7	0.6	2.1	3.5	5.3	10.4
千葉県全体		15,467	16,906	17,773	18,659	20,438	837.2	18.5	20.2	21.2	22.3	24.4

各市町村の全体の個体数はユニットの合計とは異なる値となる．

推定個体数の年変化と分布構造

ベイズ法で推定された2012年度のユニット別生息密度の分布構造では，2010年頃まで比較的高密度であった鴨川市（旧鴨川市東部および旧天津小湊町）では，現在24.0頭/km^2（ユニット毎の事後分布中央値の市全体平均）と比較的低くなっており，捕獲による調整効果がみられていると考えられた．一方，富津市および君津市に30頭/km^2以上の高密度ユニットが位置しており，ここ数年の個体数増加が著しいことがわかった（図4）．特に，この地域のうち

君津市のT9～T11ユニットでは，北部に木更津市および市原市の森林が連続しており，早急に個体数を抑制しない場合，さらなる高密度地域の分布拡大と被害拡大が予想される．同様に勝浦市U5および鋸南町N2，N3も隣接市町村へのさらなる侵入源となる可能性が高いため，早急な個体数抑制が必要な地域といえる．

引　用　文　献

浅田正彦 2009．千葉県におけるニホンジカの個体数推定（2008年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 1: 1-8.

浅田正彦 2011．千葉県におけるニホンジカの分布域および個体数推定（2010年）．千葉県生物多様性センター研究報告 3: 16-27.

浅田正彦 2012．千葉県におけるニホンジカの個体数推定（2010年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 5 : 21-29.

浅田正彦 2013．千葉県におけるニホンジカの分布息および個体数推定（2011年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 6: 1-12.

浅田正彦・長田　穣・深澤圭太・落合啓二．　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．哺乳類科学 54（印刷中）.

浅田正彦・落合啓二 2007．千葉県房総半島のニホンジカの個体数推定法と将来予測．哺乳類科学 47: 45-53.

千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 1998．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 6．89 pp.

千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 1999．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 7．71 pp.

千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 2000．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 8．61 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2001．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 9．97 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2002．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 10．84 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2003．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 11．78 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2004．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 12．63 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2005．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 13．44 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2006．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 14．44 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2007．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 15．44 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2008．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 16．42 pp.

古谷知之 2010．ベイズ統計データ分析．朝倉書店，東京，195 pp.

Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N., and Spiegelhalter, D. 2000. WinBUGS - a Bayesian

modelling framework: concepts, structure, and extensibility. Statistics and Computing 10: 325-337.

Maruyama, N. and Furubayashi, K. 1983. Preliminary examination of block count method for estimating numbers of sika deer in Fudakake. Journal of the Mammalogical Society of Japan 9: 274-278.

マッカーシー，M. A. 2007. 生態学のためのベイズ法 （野間口眞太郎，訳）．共立出版，東京，316 pp.

仲真　悟・丸山直樹・花輪伸一・森　治 1980．青森県脇野沢村におけるニホンカモシカの直接観察にもとづく個体数推定．　哺乳動物学雑誌 8: 59-69.

著　者：浅田正彦　〒260-0852　千葉市中央区青葉町955-2 千葉県立中央博物館内　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター　asada@chiba-muse.or.jp

“Bayesian population estimation for sika deer for FY 2012 in Chiba Prefecture, Japan.” Masahiko Asada, Chiba Biodiversity Center, Aoba-cho 955-2 , Chuo-ku, Chiba 260-0852, Japan.
E-mail: asada@chiba-muse.or.jp

千葉県生物多様性センター研究報告　8:15-21, 2014

千葉県におけるニホンジカの捕獲状況および栄養状態モニタリング（2012年度）

浅　田　正　彦

千葉県生物多様性センター

摘　要：房総半島に生息するニホンジカ（*Cervus nippon*）について捕獲状況と食性，体サイズ，繁殖状況をモニタリングした．2012年度の捕獲頭数は3,255頭であった．冬のメス成獣の体重は39.5±6.5kg(56)(平均±標準偏差（試料数），以下同様），幼獣の体重は，20.7±9.6kg(35)であった．繁殖率は60.7%であった．20年以上シカの生息が確認されている地域では，糞中窒素含有率が2.1%以下の低い地域となっていた．

はじめに

千葉県房総半島には古来よりニホンジカ（*Cervus nippon*)が生息しており，1960年代には分布が縮小していたが，1980年代以降，個体数を増加させており，それに伴い，農作物被害も発生した．農作物被害金額は1991～1999年度には3,000~4,000万円程度で推移していたが，2000年度以降減少傾向にあり，2012年度は423万円まで減少してきた（千葉県農林水産部農村環境整備課調べ）．千葉県特定鳥獣保護管理計画（ニホンジカ）では，シカ保護管理のため，「できる限り経年的に行う調査」として，「捕獲実態の把握（ユニット別・雌雄別の捕獲状況」および「捕獲個体の解析（栄養状態・繁殖状態，食性の把握）」が明記されている．そこで，2012年度の捕獲状況についてとりまとめるとともに，捕獲個体の解析を行ったので，報告する．

調査方法

１　捕獲試料の回収方法

2012年度に市町村実施の有害捕獲で捕獲した個体の一部をサンプル回収の協力依頼をすることにより，「ニホンジカ・キョンの生態調査に係る試料回収事業」として試料の回収を行った．これは捕獲従事者が解体し，調査サンプルを採取した後，市原市にある千葉県射撃場へ運搬し，委託業者である株式会社野生動物保護管理事務所が分析を行った．回収されたサンプルは下顎もしくは頭骨，腎臓及び周囲脂肪，そしてメスの場合は子宮（胎児も含めて）であった．

２　捕獲個体の分析方法

シカの栄養状態を把握するために，メス成獣（2歳以上）と幼獣（0才）の体重および脂肪蓄積状態について検討した．メス成獣は定住性が高く，行動圏を季節的に大きく移動させないため（千葉県・房総のシカ調査会 1995），生息地の状態をよく反映

表１　2012年度ニホンジカ市町・ユニット別捕獲数

市町名	ユニット名	市町捕獲	県捕獲	狩猟	2012年度計
鴨川市	A1	30	0	0	30
	A2	135	0	0	135
	A3	97	0	0	97
	A4	41	0	0	41
	A5	55	0	0	55
	G1	143	0	3	146
	G2	168	0	0	168
	G3	137	0	7	144
	G7	247	0	8	255
	G8	27	0	1	28
	G9	8	0	0	8
	G10	4	0	0	4
	不明	0	0	3	3
	計	1,092	0	22	1,114
勝浦市	U1	22	7	0	29
	U2	138	0	4	142
	U3	261	15	0	276
	U4	45	6	14	65
	U5	4	4	0	8
	計	470	32	18	520
大多喜町	O1	0	3	1	4
	O2	10	0	12	22
	O3	31	8	3	42
	O4	87	12	10	109
	O5	62	15	0	77
	O6	8	0	3	11
	O7	223	0	3	226
	O8	2	0	0	2
	O9	0	1	0	1
	O10	0	5	0	5
	O11	4	0	0	4
	不明	0	0	2	2
	計	427	44	34	505
君津市	T1	36	0	0	36
	T2	13	2	0	15
	T3	122	25	21	168
	T4	0	9	0	9
	T5	66	17	0	83
	T6	81	13	0	94
	T7	30	5	0	35
	T8	33	19	0	52
	T9	111	3	12	126
	T10	43	10	0	53
	T11	34	0	4	38
	T12	7	0	0	7
	T13	16	0	0	16
	T14	18	0	0	18
	不明	0	0	5	5
	計	610	103	42	755
市原市	I1	0	0	6	6
	I2	1	0	1	2
	I3	2	0	0	2
	I5	3	0	0	3
	不明	0	0	4	4
	計	6	0	11	17
木更津市	K1	3	0	0	3
	K2	9	0	0	9
	K3	3	0	0	3
	計	15	0	0	15
南房総市	Y1	12	0	0	12
	W	1	0	0	1
	R	1	0	0	1
	計	14	0	0	14
鋸南町	N1	52	0	9	61
	N2	43	0	0	43
	N3	24	0	0	24
	計	119	0	9	128
富津市	F1	27	0	21	48
	F2	19	0	3	22
	F3	9	0	6	15
	F4	61	0	22	83
	F5	22	0	0	22
	不明	0	0	1	1
	計	138	0	53	191
いすみ市	H2	1	0	0	1
	IS1	3	0	0	3
	計	4	0	0	4
袖ケ浦市	SU2	2	0	0	2
	計	2	0	0	2
館山市	L	2	0	0	2
	計	2	0	0	2
不明		0	0	9	9
総計		2,899	179	198	3,276

するものと考えられる．また，幼獣のサイズはその個体が成長過程で採食した食物の栄養価に大きく左右されるために，食物条件をよく反映する．脂肪蓄積状態はライニー式腎脂肪指数（RKFI，Riney 1955）をとった．これは腎臓の両端で周囲の脂肪を切断して，腎臓の湿重量を100としたときの周囲脂肪の重量である．

年齢は下顎骨を用いて査定した．6月1日生まれと仮定して（大泰司 1980），満12カ月齢までを0才，満24カ月齢までを1才，以降満齢で示した．査定方法は2才までを乳歯から永久歯への交換状態で判定して行い（大泰司 1980），0才と1才を若齢，2才以上を成獣として扱った．

繁殖率の指標とするため，捕獲個体の成獣妊娠率を計算した．

３　糞の窒素含有率

各ユニットのシカの食物の栄養状態を把握するため，食物のタンパク質含有率の指標となる糞の粗窒素含有率を測定した（Asada and Ochiai 1999）．2012年12月～2013年2月に実施した糞粒法調査(浅田2014)の際に，各ラインにつき新鮮な10糞塊より1粒ずつ採取した．調査は富津市，市原市，大多喜町，勝浦市，御宿町，いすみ市，鋸南町において実施した．採取した糞は，70℃で48時間乾燥し，ライン毎に10粒あわせて粉砕し，NCアナライザー（住友ケミカル社）により窒素含有率を測定した．調査分析は株式会社野生動物保護管理事務所に委託して行った．

結　果　と　考　察

捕獲の実施状況

今年度の捕獲頭数は，有害捕獲が市町村実施分2,899頭，県実施分179頭，狩猟が198頭，計3.276頭であった（表1, 2）．シカの生息分布域の拡大に伴い農林業被害が広域になっており，今年度に新たに袖ケ浦市や館山市においても有害捕獲による捕獲がされており，捕獲範囲が拡大していた．一方，生息分布域内にあるものの捕獲がほとんど行われていない地域（ユニット）もあり，分布拡大阻止や農林業被害防止のためには早期に捕獲を開始することが必要と思われた．

体重および腎脂肪指数

冬のメス成獣の体重は39.5±6.5kg(56)（平均±標準偏差(試料数)，以下同様），幼獣の体重は，20.7±9.6kg(35)であった．市町村別に冬期の捕獲個体における平均体重の年推移を見ると（図1），幼獣において鴨川市（天津小湊地域）で2010年以降に，大多喜町で2004年以降に増加傾向にあった．また鴨川市（鴨川地域）では，最近2年間は減少したが，2004年前後と比較すると高い傾向がみられた．腎脂肪指数は全域の合計で72.9±37.5(56)と高い値を示した（図2）．

繁殖率

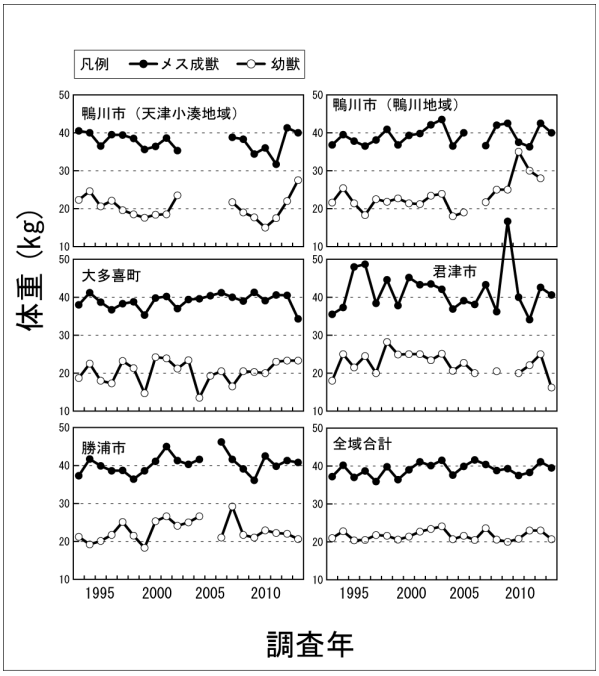

図１　成獣メスおよび幼獣の平均体重の年推移
冬季に捕獲された成獣メス（2才以上，●）および幼獣（0才，○）の平均体重を示した．

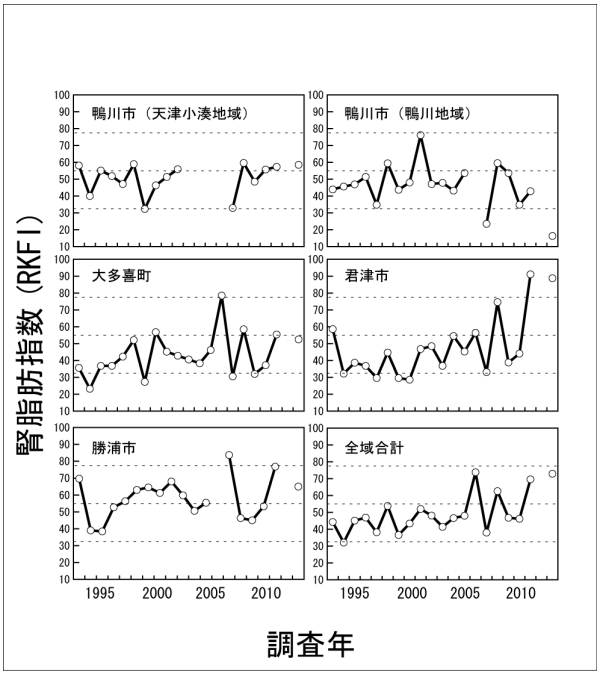

図２　成獣メスの腎脂肪指数(RKFI)の年推移
冬季に捕獲された成獣メス（2才以上）の平均を示した．

表２　千葉県のニホンジカにおける糞粒区画法および出生数捕獲数法による2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづく）

実施時期に示した(調査)は県実施の捕獲を，(狩猟)は狩猟を示す．また，実施季節または(有害)は市町等実施の有害捕獲または個体数調整による捕獲を示す．

実施年度		旧天津小湊町			旧鴨川市			勝浦市			大多喜町			君津市			鋸南町			市原市			富津市			南房総市			木更津市			いすみ市			袖ケ浦市			館山市			合計		
		♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計
1986	秋	9	5	14	-	-	-	2	0	2	6	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	6	23
1987	秋	4	9	13	6	1	7	3	3	6	6	10	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	23	42
1988	春	2	1	3	3	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	8
	秋	6	12	18	14	11	25	7	3	10	9	7	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	33	69
1989	春	3	13	16	2	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	15	20
	秋	16	11	27	28	22	50	15	5	20	16	13	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	51	126
1990	夏	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	1	8
	秋	21	24	45	23	25	48	15	13	28	13	7	20	2	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	69	143
	冬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
1991	秋	32	24	56	24	39	63	22	15	37	19	15	34	13	7	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	100	210
	冬(狩猟)	98	-	98	32	-	32	2	-	2	21	-	21	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	153	-	153
1992	秋	21	23	44	42	48	90	18	22	40	14	18	32	10	9	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	120	225
	冬(調査)	22	40	64*	18	29	47	8	18	26	8	24	32	8	5	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	116	182*
1993	夏	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	4	15
	夏(調査)	5	5	10	4	7	11	2	0	2	0	1	1	0	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	15	26
	秋	26	21	47	36	33	69	20	20	40	16	22	38	10	4	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	100	208
	冬(調査)	22	31	53	14	18	32	10	13	23	6	17	23	8	5	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	84	144
1994	秋	27	33	60	49	31	80	15	19	34	17	23	40	4	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	109	221
	冬(調査)	29	41	70	15	31	46	12	16	28	5	24	29	12	4	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	116	189
1995	春	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	3	10
	秋	18	11	29	43	47	90	18	32	50	25	25	50	9	6	15	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	114	122	236
	冬(調査)	23	57	80	19	41	60	20	20	40	7	17	24	10	9	20*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79	144	224*
1996	(有害)	25	41	66	44	45	89	31	24	55	29	21	50	28	7	35	4	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	161	139	300
	(調査)	31	53	84	31	29	60	15	15	30	27	21	48	9	10	19	6	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119	129	248
1997	(有害)	28	27	55	44	46	90	29	26	55	20	40	60	21	8	29	5	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	147	148	295
	(調査)	37	64	101	41	65	106	11	15	26	6	13	19	17	16	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	173	285
1998	(有害)	15	33	48	48	49	97	29	10	39	33	42	75	13	8	21	5	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143	142	285
	(調査)	38	73	111	59	72	131	16	14	30	19	18	37	31	23	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163	200	363
1999	(有害)	19	32	51	55	76	131	35	20	55	55	45	100	19	10	29	6	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189	184	373
	(調査)	34	70	104	42	69	111	13	12	25	10	17	27	17	21	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116	189	305
2000	(有害)	33	56	89	54	67	121	28	32	60	41	40	81	22	18	40	8	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186	215	401
	(調査)	19	23	42	25	37	62	25	24	49	17	42	59	21	17	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107	143	250

＊ 性，捕獲場所不明個体を含む

表２　千葉県のニホンジカにおける糞粒区画法および出生数捕獲数法による2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづき）

実施時期に示した(調査)は県実施の捕獲を，(狩猟)は狩猟を示す．また，実施季節または(有害)は市町等実施の有害捕獲または個体数調整による捕獲を示す．

実施年度		旧天津小湊町			旧鴨川市			勝浦市			大多喜町			君津市			鋸南町			市原市			富津市			南房総市			木更津市			いすみ市			袖ケ浦市			館山市			合計		
		♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計	♂	♀	計
2001	(有害)	46	89	135	63	72	135	39	19	58	61	54	115	17	16	33	8	5	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	234	255	489
	(調査)	17	32	49	49	65	114	35	34	69	27	32	59	20	13	33	-	-	-	9	3	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	157	179	336
2002	(有害)	79	138	217	54	57	111	42	48	93*	71	51	122	19	28	48*	20	8	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	285	330	619*
	(調査)	-	-	-	35	49	84	36	36	72	24	46	70	17	28	45	-	-	-	8	3	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	162	282
2003	(有害)	96	159	255	88	82	170	50	46	96	65	56	121	26	24	50	8	3	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	333	370	703
	(調査)	-	-	-	17	31	48	4	8	12	7	7	14	22	17	39	-	-	-	15	7	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	70	135
2004	(有害)	52	202	254	102	111	213	51	57	108	37	41	78	55	42	97	15	13	28	-	-	-	6	3	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	318	469	787
	(調査)	-	-	-	14	20	34	-	-	-	20	30	50	28	27	55	-	-	-	9	6	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	83	154
2005	(有害)	106	206	312	103	126	229	74	57	131	63	58	121	56	70	126	26	20	46	-	-	-	10	6	16	1	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	439	543	982
	(狩猟)	-	-	-	0	1	1	1	1	2	-	-	-	2	6	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	11
	(調査)	-	-	-	-	-	-	7	15	22	16	8	24	13	7	20	-	-	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	31	68
2006	(有害)	148	203	351	148	166	314	79	83	162	47	48	95	91	62	153	20	22	42	-	-	-	12	17	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	545	601	1146
	(狩猟)	-	-	-	1	3	4	1	4	5	4	5	9	0	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	16	22
2007	(有害)	163	246	409	151	143	294	78	72	150	61	68	129	110	106	217	19	31	50	2	0	2	38	53	91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	622	719	1342*
	(狩猟)	10	6	16	5	6	23	11	9	20	9	8	19	10	7	17	7	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	39	112*
2008	(有害)	187	192	379	170	145	315	137	156	293	67	63	132	152	121	281*	35	50	85	3	1	4	30	31	61	3	0	3	7	2	9	-	-	-	-	-	-	-	-	791	761	1,560*
	(狩猟)	8	7	15	11	8	26*	7	16	23	17	7	30*	16	22	39*	8	2	11*	2	0	7*	10	3	14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79	65	165*
2009	(有害)	212	185	397	238	209	447	147	153	300	44	56	100	171	117	290	38	51	89	4	0	4	20	12	32	6	2	8	12	6	18	-	-	-	-	-	-	-	-	892	791	1685
	(狩猟)	17	8	25	10	10	20	9	5	22*	11	6	24*	16	12	37	4	7	11	5	2	7	11	2	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85*	54*	175*
2010	(有害)	206	211	417	255	266	521	174	213	387	88	93	181	156	153	309	56	39	95	3	1	4	25	20	45	13	3	0	13	3	16	1	0	2*	-	-	-	-	-	990	1,002	1,993*
	(調査)	-	-	-	14	10	24	0	0	2*	4	4	8	17	19	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	33	70*
	(狩猟)	2	4		4	10		16	9		11	17		14	14	29*	4	3		9	1	11*	7	4	14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	62	142*
2011	(有害)	207	222	429	256	276	532	172	212	384	148	215	363	169	181	350	35	44	79	9	2	11	64	48	112	11	7	18	19	2	21	-	-	-	-	-	-	-	-	1,090	1,209	2,299
	(調査)	-	-	-	14	8	22	27	22	49	19	7	26	52	25	77	-	-	-	-	-	-	6	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	118	64	182
	(狩猟)	4	12	16	10	14	24	13	6	19	12	11	23	19	7	26	3	2	5	6	1	9*	12	14	26	-	-	-	1	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	80	67	152*
2012	(有害)	191	167	358	370	364	734	221	249	470	224	203	427	331	279	610	61	58	119	5	1	6	79	59	138	2	12	14	11	4	15	3	1	4	2	0	2	2	0	2	1,502	1,397	2,899
	(調査)	-	-	-	-	-	-	21	11	32	30	12	44	61	42	103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	65	179*
	(狩猟)	-	-	-	9	10	22	10	8	18	16	16	34	24	13	42	4	5	9	7	0	11	29	21	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	74	198*

＊ 性，捕獲場所不明個体を含む

2013年に捕獲された成獣メスは56個体中，34個体が妊娠しており，妊娠率は60.7%であった．1993年からの成獣妊娠率の年変化をみてみると（図3），2004年までは80%前後で年変動があるもののゆるやかな減少傾向にあったが，2004～2010年には1年おきに増減を繰り返しながらも増加傾向となり，2010年には最高値(95.2%)となった．しかし，その後，妊娠率は低下傾向にあり，2013年は調査を開始した1993年以降もっと低い値となった（図3）．

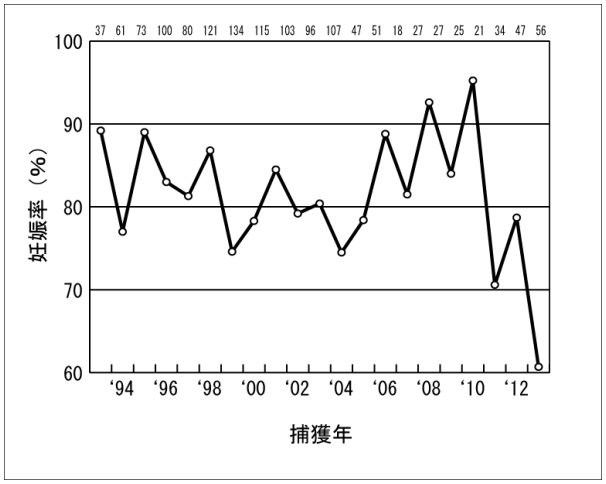

図３　千葉県のニホンジカの成獣妊娠率(%)の年変化
県内全地域の合算を示す．図上の数値は試料数を示す．

糞中窒素含有率

今回調査したライン毎に採集した糞の窒素含有率について，2011度の調査結果（浅田　2013および1993年時点での生息分布域（千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会1993）をあわせてみると（図4），窒素含有率の高いラインはシカの生息分布域の辺縁部であり，1993年以降に生息するようになった市原市や君津市から富津市，鋸南町にかけてと，鴨川市の西部（嶺岡山系），大多喜町の北東部からいすみ市の地

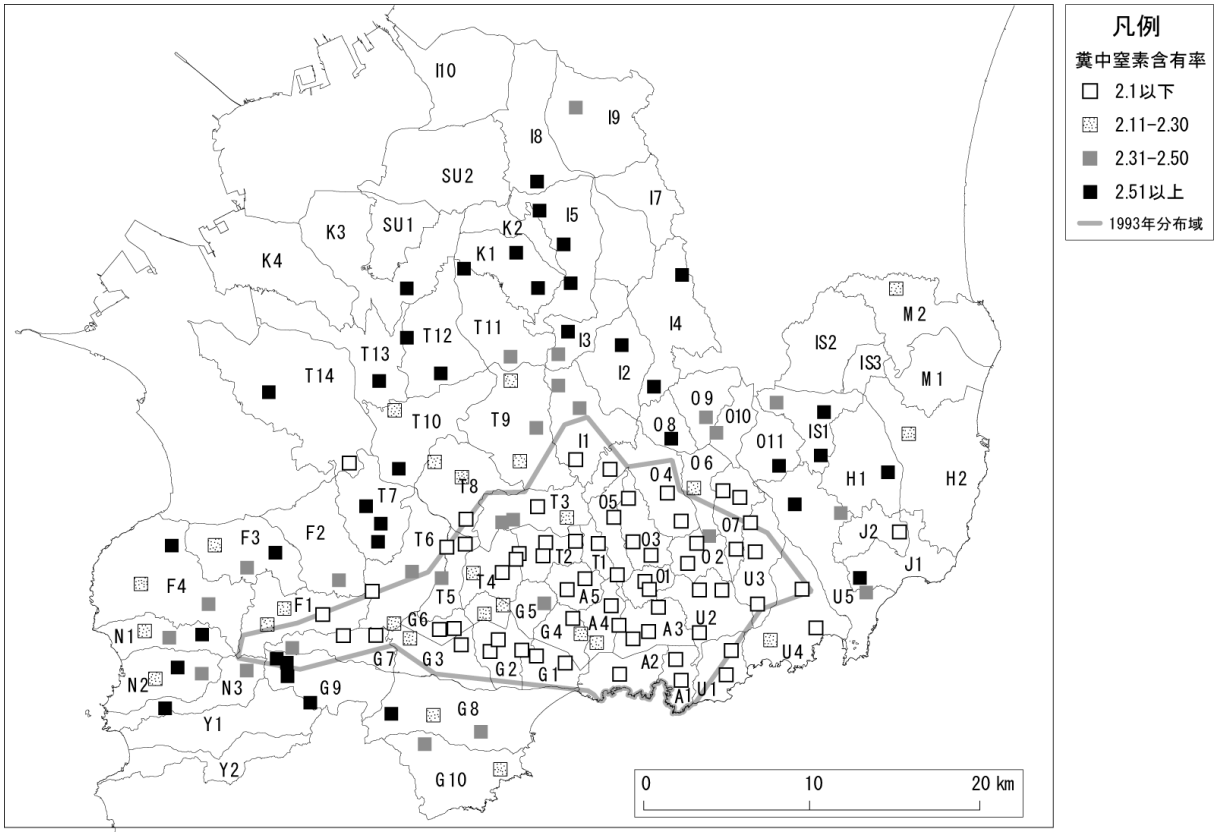

図４　採集した糞の平均窒素含有率（%）
2012年12月～2013年1月に鴨川市と君津市で行った分析結果に，2011年12月～2012年1月に富津市，市原市，大多喜町，勝浦市，御宿町，いすみ市，鋸南町で採集した糞の窒素含有率の分析結果（浅田 2013)，および1993年時点でのニホンジカの生息分布域（千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 1993）を加えて示す．図中の英数字はシカ管理ユニットを示した．

域にみられ，一方，20年以上前からの生息域である旧天津小湊町や旧鴨川市の東部，勝浦市西部，大多喜町南部では2.10%以下の低い値となっていた（図4）．これまでに房総のニホンジカにおいて，糞の窒素含有率が2.0%を下回ると栄養状態が悪化して，妊娠率が下がることがわかっている（Asada and Ochiai 1999），この2.0%を下回る地域は，20年以上シカが生息し，食物である林床植生へインパクトを与え続けることで，窒素含有率の高い植物が除去された結果，食物条件が悪化していくものと考えられた．

引　用　文　献

Asada, M. and K. Ochiai 1999. Nitrogen contents in feces and the diet of sika deer on the Boso Peninsula, central Japan. Ecological Research 14: 249-253.

浅田正彦 2011．千葉県におけるニホンジカの分布域および個体数推定（2010年）．千葉県生物多様性センター研究報告 3: 16-27.

浅田正彦 2012．千葉県におけるイノシシとアライグマによる農作物被害と分布調査（2010年度）－2010年度野生獣の生息状況・農作物被害状況アンケート調査結果－．千葉県生物多様性センター研究報告5: 10-20.

浅田正彦 2013．千葉県におけるニホンジカの分布域および個体数推定（2011度）．千葉県生物多様性センター研究報告6 : 1-12.

浅田正彦 2014．千葉県におけるニホンジカのベイズ法による個体数推定（2012年度）．千葉県生物多様性センター研究報告8: 1-13.

千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 1993．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 1．48pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2005．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書 13．44pp.

大泰司紀之 1980．遺跡出土ニホンジカの下顎骨による性別・年齢・死亡季節査定法．考古学と自然科学 13: 51-74.

Riney, T. 1955. Evaluating condition of free-ranging red deer (*Cervus elaphus*), with special reference to New Zealand. New Zealand Journal of Science and Technology, section B. 36: 429-463.

著　者：浅田正彦　〒260-0852　千葉市中央区青葉町955-2 千葉県立中央博物館内　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター　asada@chiba-muse.or.jp

“Current status of hunting and nutritional conditions for sika deer for FY2012 in Chiba Prefecture, Japan.” Masahiko Asada, Chiba Biodiversity Center, Aoba-cho 955-2 , Chuo-ku, Chiba 260-0852, Japan. E-mail: asada@chiba-muse.or.jp

千葉県生物多様性センター研究報告　8:23-36, 2014

千葉県におけるキョンのベイズ法による個体数推定(2012年度)

浅　田　正　彦

千葉県生物多様性センター

摘　要：2012年度のキョンの市町村別生息個体数について，一部ユニットにおいて糞粒法調査を実施し，従来の糞粒区画法および出生数捕獲数法による推定とともに，ベイズ法による推定を行った．糞粒区画法による推定の結果，市町村ごとの最小補正値～最大補正値は，鴨川市1,826頭～7,053頭，君津市902頭～3,225頭，勝浦市(U1のみ)187頭～749頭，市原市168頭～597頭，いすみ市（H2のみ）1926頭～7,017頭，木更津市87頭～309頭，袖ケ浦市0頭であった．出生数捕獲数法により全市町村合計の個体数を推定すると，2013年3月末で最小補正値8,763頭，中間補正値21,069頭，最大補正値 33,297頭となった．ベイズ法による推定では，2012年度末（2013年3月末時点）の全ユニット合計個体数は中央値26,915頭（95%信用区間：22,573～32,966頭）となった．ベイズ法推定値は従来の手法の中間補正値と最大補正値の間に，95%信用区間値が含まれており，より精度の高い推定方法となっていた．

は　じ　め　に

キョン（*Muntiacus reevesi*）は，日本において千葉県房総半島と東京都伊豆大島で野生化している外来生物で，千葉県内では勝浦市にあった私立観光施設（2001年閉園）が侵入源であり，侵入時期は聞き取り情報から1960年代から1980年代終わりまでの間であると推定されている（浅田ら 2000）．近年，県内において個体数増加と分布拡大に伴う農作物被害が増加しており（浅田ら 2000；浅田 2002），千葉県では外来生物法に基づく「千葉県キョン防除実施計画」による防除を実施している．この防除実施計画の中で，生息状況のモニタリングを実施し，捕獲の効果検証をおこなうとともに，その結果をその後の事業に適切に反映していくこととしている．

これまでキョンの個体数推定は，区画法（Maruyama and Furubayashi 1983；仲真ほか 1980)による推定生息密度と，固定ラントランセクト法による発見糞粒数との関係から全体の密度を推定する糞粒区画法（浅田・落合 2007）を用いてきた（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2001，2002，2007；千葉県環境生活部自然保護課ほか 2008；浅田 2009，2011）．しかし，従来とられてきたこの方法では，すべての変数に正規性を仮定したり，変数間の回帰分析の際に考慮されるべき推定誤差を無視して，平均値だけを用いて算出するといった現実を正しく反映していない方法であった．このような背景を踏まえ，浅田ほか（印刷中）は，区画法および糞粒法調査結果と，捕獲数を用いて，状態空間モデルを階層ベイズモデルとして構成したものをマルコフ連鎖モンテカルロ法でパラメータ推定する個体数推定法（以下，ベイズ法

とする）により，2006～2011年度の個体数を推定した．そこで，2012年度のキョンの市町村別生息個体数について，一部ユニットにおいて糞粒法調査を実施し，従来の糞粒区画法および出生数捕獲数法（浅田・落合 2007）による推定とともに，ベイズ法（浅田ほか 印刷中）による推定を行った．

方　法

1　糞粒法による糞粒調査

糞粒調査は2012年12月～2013年1月に鴨川市，君津市，勝浦市，市原市，いすみ市，木更津市，袖ケ浦市において調査を行った．調査を行ったユニット数（ライン数）は鴨川市15ユニット（39ライン），君津市14ユニット（38ライン），勝浦市1ユニット（2ライン），市原市9ユニット（17ライン），いすみ市1ユニット（3ライン），木更津市4ユニット（8ライン），袖ケ浦市2ユニット（3ライン）の計46ユニット（110ライン）とした(図1)．千葉県のニホンジカおよびキョンの糞粒調査は，予算上の理由で，分布域のほぼ半数のユニット毎に実施され，2年間で全域のユニットを調査さえてきたが，2012年度以降は，3分割して3年間で全域を調査するように変更された．また，一部のユニット（G1，U1，H2）については毎年調査することとしている．調査方法は房総半島のニホンジカで行ってきた糞粒区画法（浅田・落合 2007）と同様である．調査対象とするユニット毎にユニット面積に応じた1～3本の

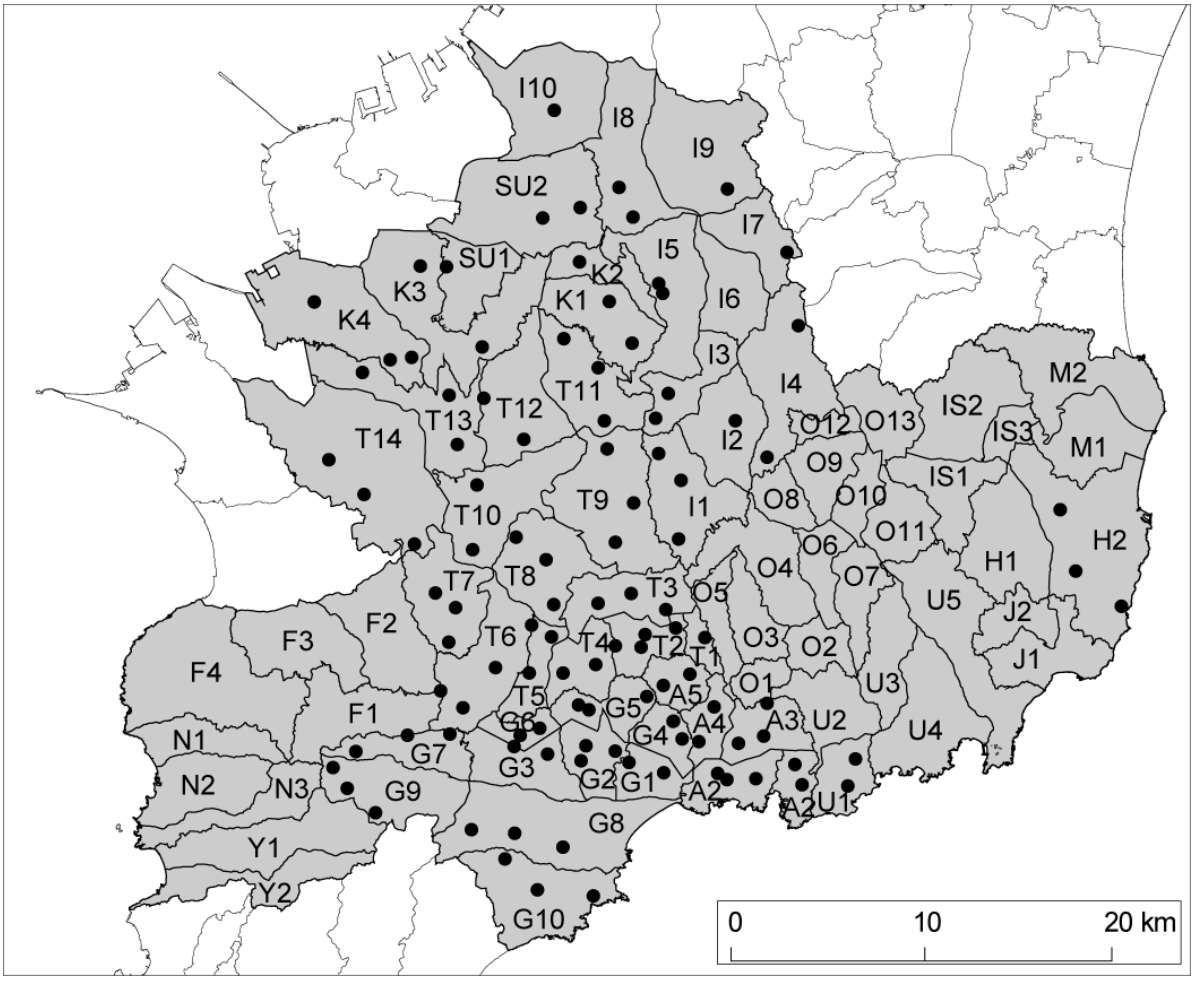

図１　キョンの個体数推定のための糞粒調査ラインとベイズ法推定対象ユニット
図中の●は糞粒法調査ラインの位置を，灰色域はベイズ法推定対象ユニットを，英数字はユニット名を示す．

調査ライン（以下，ラインとする）を稜線上に設定し，そのライン上に5mおきに設置した1m×1mの調査プロット内の糞粒数を，リター層を排除しながら全て数え上げた．ラインの距離は1.0kmとし，1ラインにつき200プロット設置した．この方法は，１）1日1頭当たりの排糞数は一定で，２）どの地域においても稜線上の糞粒数は地域全体の糞粒数に比例し，３）糞の消失率には地域差がなく，４）糞の発見率は場所や調査員によって左右されないと仮定したときに，稜線上に設置した調査区画内の糞粒数と個体数は比例するという考え方に基づいた調査方法である（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 1998，浅田・落合 2007）．同所的に生息しているニホンジカとキョンの糞の判別については，糞の短径が7mm以下のものをキョンの糞と判定した（千葉県環境部自然保護課・房総のシカ調査会 2000）．現地調査は，株式会社野生動物保護管理事務所に委託し，実施した．

２　糞粒区画法，出生数捕獲数法による推定

糞粒区画法として，2012年度に糞粒調査を実施した地域について，区画法（見落とし率を考慮した密度補正後）と糞粒法による糞粒数による回帰式（千葉県・房総のシカ調査会 2007）に基づき，ユニット単位の生息密度を推定した．回帰式は次のとおりである．

1）最小補正値（1.1）を用いた場合

$y = 0.151x - 0.464$ ・・・・・(1)

($R^2 = 0.876$, $n = 37$, $P < 0.001$)

2）中間補正値（2.5）を用いた場合

$y = 0.344x - 1.041$ ・・・・・(2)

($R^2 = 0.876$, $n = 37$, $P < 0.001$)

3）最大補正値（3.9）を用いた場合

$y = 0.536x - 1.634$ ・・・・・(3)

($R^2 = 0.876$, $n = 37$, $P < 0.001$)

ただし，yは推定密度（頭/km^2）を，xは糞粒調査における100プロット当たりの出現糞粒数を示す．なお，上記の3式においては，糞粒数がごく少ない場合，生息密度がマイナス値として表されるが，この場合は便宜的に生息密度を0.0頭/km^2として生息頭数を求めた．さらに，2011年度調査を実施した他の市町について，出生数捕獲数法（浅田・落合 2007）による推定を行った．すなわち，2012 年3月末時点での推定個体数（浅田 2012）と，年増加率（λ=1.356，千葉県ほか(2008)より），2012年度の市町別の年間捕獲数から2013年3月末時点での個体数を推定し，市町毎および全県のキョン個体数を推定した．

３　ベイズ法による個体数推定

この2012年度の糞粒法調査結果および2006～2011年度の結果（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2007；千葉県環境生活部自然保護課ほか 2008；浅田 2009，2011，2012，2013b），2006～2008年度に実施された区画法調査結果（千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2007；千葉県環境生活部自然保護課ほか 2008）と，捕獲数を用いて2012年度末個体数をベイズ法により推定した．対象としてユニットはこれまでに糞粒調査と捕獲を実施したことがある81ユニットとした（図1）．構成した階層ベイズモデルやその推定方法については浅田ほか（印刷中）の手法に従い，浅田ほか（印刷中）の推定結果のうち，2005年度個体数と糞粒法変換係数の事後分布を，今回の計算の事前分布として用いた．マルコフ連鎖モンテカルロ法の計算はソフトウェアR（URL: http://www.r-project.org/; 2013年6月2日版）およびWinBUGS（Lunn et al. 2000）を用いた．

状態空間モデルは二つのプロセスがあり，直接測定できない個体数の増減についてのシステムプロセス（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についての観測プロセスである．今回，千葉県のキョン個体群の個体数推定において用いたWinBUGSの状態空間モデルのスクリプトを図2に示した．

状態空間モデルのシステムプロセスは，直接測定できない個体数の真の時間的変化に関する部分で，81ユニットの8年間の個体数変動を対象とし，ユニット・年単位で，ある年度末個体数は，前年度末個体数に，出生や死亡，移出入のイベントが含まれる増加が起こり，その後に捕獲がなされると仮定して，システムプロセスを構築した．2005年度末の初期個体数は，浅田ほか（印刷中）による2005年度のユニット別推定個体数の50%信用区間値を上下限にもつ一様分布からの抽出とし，最終的な個体数推定値の検討から2005年度を除外した．

```
model{
   for(i in 1:NL){
      for(j in 2:NY){
      # ---Observation process for block count method---
         BN[i,j] ~ dpois(mu.BN[i,j])
         log(mu.BN[i,j]) <- log.mu.BN[i,j]
         log.mu.BN[i,j]  ~ dnorm(mean.log.mu.BN[i,j], tau.precBN)I(-5,8)
         mean.log.mu.BN[i,j] <- log(B * n[i,j])

      # ---Observation process for fecal-pellet method---
         FN[i,j] ~ dpois(mu.FN[i,j])
         log(mu.FN[i,j]) <- log.mu.FN[i,j]
         log.mu.FN[i,j] ~ dnorm(mean.log.mu.FN[i,j], tau.precFN)I(-5,8)
         mean.log.mu.FN[i,j]<- F * n[i,j] / FA[i]

      # ---System process for each unit and each year---
         n[i,j] <- max.n[i,j] - CAPT[i,j]
         max.n[i,j] ~ dpois(mu.n[i,j])I(min.n[i,j],)
         min.n[i,j] <- 1 + CAPT[i,j]
         mu.n[i,j] <- r[i] * n[i,j-1]
      }

      # ---The first year's abundance for each unit---
      n[i,1] <- trunc(n0[i])
      n0[i]  ~ dunif(Nlower[i], Nupper[i])

      # ---Population growth rate (r) for each unit---
      r[i]   <- exp(lr[i])
      lr[i]  ~  dnorm(mu.r, tau.r)
   }

   # ---Prior---
   mu.r      ~ dnorm(0.0 , 0.01)
   tau.r<- pow(sigma.tau.r,-2)
   sigma.tau.r~dunif(0,100)
   B         ~ dnorm(0.0, 0.01)I(0,)
   tau.precBN<-pow(sigma.tau.precBN,-2)
   sigma.tau.precBN~dunif(0,100)
   F         ~ dnorm(Fmu,Ftau)
   tau.precFN <-pow(sigma.tau.precFN,-2)
   sigma.tau.precFN~dunif(0,100)
}
```

図２　キョンのベイズ法による推定のためのWinBUGSスクリプト

状態空間プロセスの二つ目の部分は，システムプロセスの“真の”個体数と関係がある密度指標を測定（観測）している観測プロセスである．本論のモデルでは，糞粒法（100プロット当り糞粒数）および区画法（推定生息密度に林野面積乗じた推定個体数）を採用し，これらの調査データと真の個体数との関係式を作成した．

糞粒法の糞粒数はカウントデータであり，負になることがなく，ポワソン分布をとると考えられる．そこで，100プロット当たり糞粒数と生息密度の関係として，混合ポワソン回帰モデルと同様の式を仮定し，ポワソン分布の過分散として現れる糞粒法観測誤差が生じることを想定し，対数正規分布からの抽出とした．生息密度と糞粒数との変換係数は，2005～2011年度までの推定値（浅田ほか 印刷中）から計算した平均 0.0928，標準偏差0.0132の正規分布を事前分布とした．また，計算過程できわめて巨大（もしくは微小）な値が抽出される場合，エラーとなり計算が継続されなくなる現象が発生するため，エラー回避のために抽出される値の範囲に制限を設けた．これは後述する区画法観測プロセスにおいても同様とした．

区画法の観測プロセスは，真の生息頭数に，区画法調査時の見落とし率である区画法変換係数Bを乗じて，区画法観測誤差を考慮した対数正規分布から抽出した平均密度を平均値とするポワソン抽出とした．

マルコフ連鎖モンテカルロ法による計算は2万回行い，当初の1万回を切捨て，以後の10回ごとに結果を抽出する計算を，初期値の異なる3本の連鎖について行い，事後分布とした（すなわち，事後分布の標本数は3,000）．

収束診断方法は観測プロセス変換係数の*B*および*F*，デビアンスについて時系列プロットの目視による判定と，Gelman-Rubin統計量（R-hat）を併用して診断した（計算方法は，マッカーシー（2007），古谷（2010）などを参照）．Gelman-Rubin統計量（R-hat）は1.1未満となっているときに，連鎖が定常状態に収束していると判断した．

この推定結果に基づき，ユニットおよび市町村単位と，千葉県全体の推定個体数の年変化と分布構造について検討した．

結　果

糞粒法調査および糞粒区画法，出生数捕獲数法による推定

糞粒調査の結果を100プロット当たりの出現糞粒数に換算してまとめた（表1）．100プロット当たりの平均出現粒数は最小が0，最大が961.2（H2）であった．

糞粒区画法による推定の結果，市町村ごとの最小補正値～最大補正値は，鴨川市1,826頭～7,053頭，君津市902頭～3,225頭，勝浦市（U1のみ）187頭～749頭，市原市168頭～597頭，いすみ市（H2のみ）1,926頭～7,017頭，木更津市87頭～309頭，袖ケ浦市0頭であった（表2）．

また，糞粒区画法を実施しなかったユニットについて，出生数捕獲数法による推定を行い，全市町村合計の個体数を推定すると，2013年3月末で最小補正値8,763頭，中間補正値21,069頭，最大補正値 33,297頭となった（表3）．

ベイズ法による推定

構築した階層ベイズモデルについて，マルコフ連鎖モンテカルロ法を実施した結果，時系列プロット（図3）は適切に安定しており，Gelman-Rubin統計量（R-hat）の点推定値は，*B* 1.01，*F* 1.05，デビアンス 1.00と，いずれも1.1以下であった．

表１　2012年12月～2013年1月に実施した糞粒法の結果

		100プロット当たりの出現糞粒数			
市町村	ユニット	ライン1	ライン2	ライン3	平均
鴨川市	A1	255.5	93.0	-	174.3
	A2	30.5	155.0	5.5	63.7
	A3	57.0	97.5	126.0	93.5
	A4	23.0	99.0	-	61.0
	A5	59.5	17.5	-	38.5
	G1	78.5	234.5	-	156.5
	G2	135.0	566.0	166.0	289.0
	G3	107.5	156.5	207.0	157.0
	G4	111.0	134.0	-	122.5
	G5	177.0	125.5	2.0	101.5
	G6	58.5	241.0	-	149.8
	G7	17.5	17.0	115.0	49.8
	G8	343.0	31.0	117.5	163.8
	G9	0.0	57.0	12.5	23.2
	G10	29.0	60.0	282.5	123.8
君津市	T1	26.5	-	-	26.5
	T2	75.5	12.5	51.5	46.5
	T3	215.0	44.0	147.0	135.3
	T4	84.0	62.0	13.5	53.2
	T5	66.0	0.0	67.5	44.5
	T6	4.0	0.0	10.0	4.7
	T7	0.0	1.0	0.0	0.3
	T8	290.0	21.5	94.5	135.3
	T9	48.0	42.0	16.5	35.5
	T10	30.5	0.0	-	15.3
	T11	0.0	0.0	18.0	6.0
	T12	0.0	0.0	-	0.0
	T13	6.0	0.0	0.0	2.0
	T14	27.5	0.0	0.0	9.2
勝浦市	U1	344.0	111.0	-	227.5
市原市	I1	10.5	2.5	0.0	4.3
	I2	12.0	-	-	12.0
	I3	0.0	10.5	-	5.3
	I4	0.0	0.0	0.0	0.0
	I5	2.0	4.0	200.0	68.7
	I7	0.0	-	-	0.0
	I8	0.0	0.0	-	0.0
	I9	-	0.0	-	0.0
	I10	-	0.0	-	0.0
いすみ市	H2	907.0	1,230.5	746.0	961.2
木更津市	K1	0.0	0.0	-	0.0
	K2	114.0	-	-	114.0
	K3	0.0	0.0	-	0.0
	K4	0.0	0.0	0.0	0.0
袖ケ浦市	SU1	0.0	-	-	0.0
	SU2	0.0	0.0	-	0.0

マルコフ連鎖モンテカルロ法によって推定できたユニット別2012年度末個体数の事後分布は表4のようになった．2012年度末（2013年3月末時点）の全ユニット合計個

表２　糞粒数–生息密度の回帰式に基づくユニット別の生息頭数推定
2013年1月の糞粒法調査結果から回帰式による密度換算を行い，生息頭数を推定した．推定方法は本文参照．

市町	ユニット	平均糞粒数	推定密度(頭/km^2)			生息可能面積(km^2)	2013年1月推定頭数			2～3月捕獲数	2013年3月末推定頭数		
			最小	中間	最大		最小	中間	最大		最小	中間	最大
鴨川市	A1	174.3	25.8	58.9	91.8	4.6	119	271	422	54	65	217	368
	A2	63.7	9.1	20.9	32.5	7.3	67	152	237	22	45	130	215
	A3	93.5	13.7	31.1	48.5	11.1	152	345	538	22	130	323	516
	A4	61.0	8.7	19.9	31.1	7.5	66	150	233	0	66	150	233
	A5	38.5	5.3	12.2	19.0	6.8	36	83	129	4	32	79	125
	G1	156.5	23.2	52.8	82.3	5.0	116	264	411	43	73	221	368
	G2	289.0	43.2	98.4	153.3	7.7	332	757	1,180	33	299	724	1,147
	G3	157.0	23.2	53.0	82.5	6.5	151	344	536	22	129	322	514
	G4	122.5	18.0	41.1	64.0	7.1	128	292	455	0	128	292	455
	G5	101.5	14.9	33.9	52.8	10.1	150	342	533	0	150	342	533
	G6	149.8	22.1	50.5	78.6	4.7	104	237	370	0	104	237	370
	G7	49.8	7.1	16.1	25.1	5.9	42	95	148	1	41	94	147
	G8	163.8	24.3	55.3	86.2	11.9	289	658	1,026	16	273	642	1,010
	G9	23.2	3.0	6.9	10.8	10.6	32	73	114	0	32	73	114
	G10	123.8	18.2	41.6	64.7	14.6	266	607	945	7	259	600	938
君津市	T1	26.5	3.5	8.1	12.6	4.2	15	34	53	2	13	32	51
	T2	46.5	6.6	15.0	23.3	9.6	63	144	224	2	61	142	222
	T3	135.3	20.0	45.5	70.9	11.6	232	528	822	3	229	525	819
	T4	53.2	7.6	17.2	26.9	10.8	82	186	290	0	82	186	290
	T5	44.5	6.3	14.3	22.2	7.2	45	103	160	1	44	102	159
	T6	4.7	0.2	0.6	0.9	21.0	5	12	18	0	5	12	18
	T7	0.3	0.0	0.0	0.0	14.5	0	0	0	1	0	0	0
	T8	135.3	20.0	45.5	70.9	14.2	284	646	1,007	0	284	646	1,007
	T9	35.5	4.9	11.2	17.4	24.6	120	275	428	0	120	275	428
	T10	15.3	1.8	4.2	6.5	16.7	31	70	109	1	30	69	108
	T11	6.0	0.4	1.0	1.6	13.9	6	14	22	0	6	14	22
	T12	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0	0	0	0	0	0	0
	T13	2.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0	0	0	0	0	0	0
	T14	9.2	0.9	2.1	3.3	30.7	28	65	101	0	28	65	101
勝浦市	U1	227.5	33.9	77.2	120.3	6.5	220	502	782	33	187	469	749
市原市	I1	4.3	0.2	0.4	0.7	16.9	3	8	12	0	3	8	12
	I2	12.0	1.3	3.1	4.8	8.6	12	27	41	0	12	27	41
	I3	5.3	0.3	0.8	1.2	7.5	2	6	9	0	2	6	9
	I4	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	0	0	0	0	0	0	0
	I5	68.7	9.9	22.6	35.2	15.2	151	343	535	0	151	343	535
	I7	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0	0	0	0	0	0	0
	I8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0	0	0	0	0	0	0
	I9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0	0	0	0	0	0	0
	I10	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0	0	0	0	0	0	0
いすみ市	H2	961.2	144.7	329.6	513.6	13.8	1,996	4,548	7,087	70	1,926	4,478	7,017
木更津市	K1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0	0	0	1	0	0	0
	K2	114.0	16.8	38.2	59.5	5.2	87	199	309	0	87	199	309
	K3	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	0	0	0	0	0	0	0
	K4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0	0	0	0	0	0	0
袖ケ浦市	SU1	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	0	0	0	0	0	0	0
	SU2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0	0	0	0	0	0	0

表３　千葉県のキョンの個体数推定(2013年3月末時点)

	2012年3月末時点*			2012年出生による増加**			年間捕獲	2013年3月末時点		
	最小値	中間値	最大値	最小値	中間値	最大値	頭数	最小値	中間値	最大値
鴨川市	-	-	-	-	-	-	-	1,826	4,446	7,053
君津市	-	-	-	-	-	-	-	902	2,068	3,225
大多喜町	497	1,141	1,780	674	1,547	2,414	51	623	1,496	2,363
勝浦市	1,735	4,036	6,322	2,353	5,473	8,573	185	2,168	5,288	8,388
御宿町	965	2,201	3,430	1,309	2,985	4,651	8	1,301	2,977	4,643
富津市	43	97	152	58	132	206	0	58	132	206
市原市	-	-	-	-	-	-	-	168	384	597
鋸南町	8	21	33	11	28	45	5	6	23	40
いすみ市	1,338	3,131	4,914	1,814	4,246	6,663	190	1,624	4,056	6,473
木更津市	-	-	-	-	-	-	-	87	199	309
袖ケ浦市	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
南房総市	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
計	-	-	-	-	-	-	-	8,763	21,069	33,297

*2012年3月末時点推定値は浅田(2013)より.
**出生は年1回(λ=1.356)で, 全ての捕獲は出生後に行われたと仮定している.

体数は中央値26,915頭（95%信用区間: 22,573～32,966頭）となった（図4）．ユニットごとの推定個体数変動について，50%信用区間値で検討すると（図5），ほとんどのユニットで個体数が増加していることがわかったが，その一方で，A1およびG1ユニットでは2～3年間で個体数が減少していることが推定された.

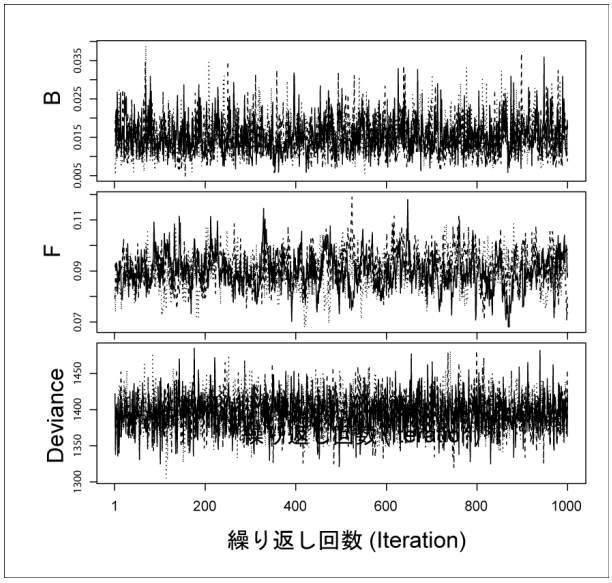

図３　ベイズ法による事後分布の時系列プロット
3本の連鎖別の区画法観測プロセス変換係数（B，上図），糞粒法変換係数（F，中図）およびデビアンス（Deviance，下図）の推移を示した.

2012年度のユニット別個体数中央値を生息可能面積（林野面積）で除した推定密度の空間構造についてみると，生息密度が70頭/km^{2}以上と比較的高い地域が，勝浦市南部（U1・U4）と，御宿町（J1，J2）か

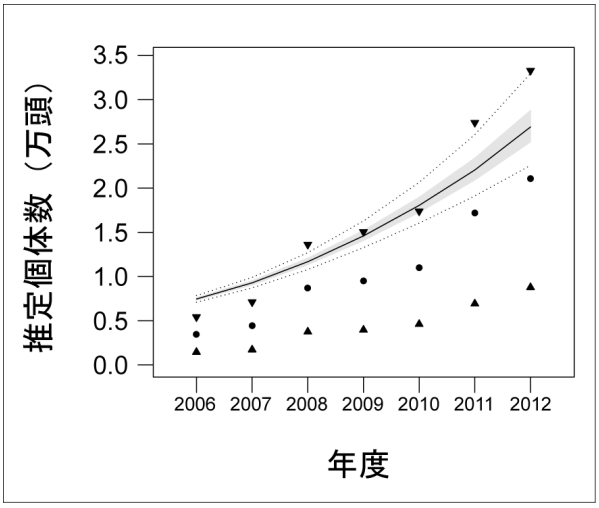

図４　キョンのベイズ法推定による全域個体数の推移
2006～2012年度における階層ベイズ法による推定値（黒実線：中央値，灰色部：50%信用区間，破線：95%信用区間）を示した．あわせて従来の糞粒区画法および出生数捕獲数法（本調査結果および浅田・落合 2007)の組み合わせで行った推定値も示した．推定値と推定幅として，糞粒区画法における糞粒数に対する区画法推定密度の回帰直線の傾きと切片，および出生数捕獲数法における増加率推定のための妊娠率と性齢構成比率の平均値と95%信頼区間（浅田 2009）を用い，合算値（平均：●，95%信頼区間：▲～▼）を示した.

表４　千葉県のキョンにおける2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづく）

		推定個体数					面積	推定密度				
市町村	ユニット	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%	(km^2)	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%
勝浦市	U1	292	410	472	538	680	6.5	44.6	62.7	72.2	82.3	104.0
	U2	318	503	622	741	1,000	10.3	30.9	48.8	60.4	71.9	97.1
	U3	335	507	608	719	969	9.7	34.7	52.5	63.0	74.5	100.4
	U4	571	832	967	1,130	1,451	13.7	41.7	60.7	70.6	82.5	105.9
	U5	471	789	958	1,123	1,481	17.0	27.8	46.5	56.5	66.3	87.4
	全体	2,697	3,351	3,672	3,981	4,704	57.1	47.2	58.6	64.3	69.7	82.3
大多喜町	O1	105	187	235	287	390	4.9	21.6	38.6	48.5	59.2	80.4
	O2	230	349	417	495	646	6.8	33.7	51.1	61.1	72.5	94.6
	O3	327	497	588	685	879	9.2	35.4	53.8	63.6	74.1	95.1
	O4	334	539	678	824	1,133	14.9	22.4	36.2	45.5	55.3	76.0
	O5	49	120	171	238	399	7.5	6.5	16.0	22.8	31.8	53.3
	O6	39	100	138	181	284	5.5	7.1	18.1	25.0	32.8	51.5
	O7	160	284	369	463	647	8.4	19.1	33.9	44.1	55.3	77.3
	O8	11	41	68	100	177	5.5	2.0	7.5	12.4	18.2	32.2
	O9	212	349	438	532	708	7.9	27.0	44.5	55.8	67.8	90.2
	O10	10	32	52	75	139	4.3	2.3	7.4	12.1	17.4	32.3
	O11	87	169	221	278	393	5.9	14.7	28.5	37.3	47.0	66.4
	O12	10	51	93	153	257	3.5	2.9	14.6	26.6	43.7	73.4
	O13	7	49	98	171	301	4.6	1.5	10.6	21.3	37.1	65.3
	全体	2,782	3,351	3,656	3,999	4,734	88.9	31.3	37.7	41.1	45.0	53.3
鴨川市	G1	109	207	261	311	426	5.0	22.0	41.7	52.6	62.7	85.9
	G2	195	348	432	517	691	7.7	25.4	45.4	56.3	67.4	90.1
	G3	177	294	359	427	585	6.5	27.1	45.1	55.1	65.5	89.7
	G4	294	414	485	560	709	7.2	41.1	57.9	67.8	78.3	99.2
	G5	283	436	526	616	794	10.1	28.0	43.1	52.0	60.9	78.5
	G6	183	258	302	351	453	4.7	38.8	54.7	64.0	74.4	96.0
	G7	158	245	302	360	470	5.9	26.9	41.7	51.4	61.2	79.9
	G8	433	632	747	866	1,119	11.9	36.3	52.9	62.6	72.5	93.7
	G9	52	200	308	409	594	10.6	4.9	18.9	29.0	38.5	56.0
	G10	365	567	701	859	1,159	14.6	25.0	38.8	48.0	58.8	79.3
	A1	10	67	117	168	279	4.6	2.2	14.5	25.3	36.3	60.3
	A2	80	201	276	354	513	7.3	11.0	27.5	37.8	48.5	70.3
	A3	130	331	445	569	788	11.2	11.7	29.7	39.9	51.0	70.7
	A4	208	323	391	464	628	7.5	27.8	43.1	52.2	61.9	83.8
	A5	180	291	356	426	568	6.8	26.5	42.8	52.4	62.6	83.5
	全体	4,801	5,569	6,042	6,557	7,586	121.5	39.5	45.8	49.7	53.9	62.4
鋸南町	N1	123	228	300	381	540	8.5	14.5	26.9	35.4	45.0	63.8
	N2	5	19	32	52	103	9.4	0.5	2.0	3.4	5.6	11.0
	N3	111	205	269	342	497	7.5	14.8	27.4	36.0	45.7	66.4
	全体	338	508	621	733	954	25.3	13.3	20.1	24.5	29.0	37.7
君津市	T1	2	15	32	63	138	4.2	0.5	3.6	7.6	15.0	32.9
	T2	359	510	593	685	855	9.6	37.6	53.3	62.0	71.7	89.4
	T3	456	627	737	846	1,091	11.6	39.3	54.1	63.5	72.9	94.1
	T4	256	422	527	630	846	10.8	23.7	39.1	48.8	58.3	78.3
	T5	177	281	343	410	565	7.2	24.5	39.0	47.6	56.9	78.4
	T6	218	395	510	640	1,018	21.0	10.4	18.8	24.3	30.5	48.5
	T7	2	8	18	38	106	14.5	0.1	0.6	1.2	2.6	7.3
	T8	346	562	686	824	1,096	14.2	24.3	39.5	48.2	57.9	77.1
	T9	375	668	844	1,054	1,459	24.6	15.2	27.1	34.3	42.8	59.3
	T10	97	206	294	385	688	16.7	5.8	12.4	17.6	23.1	41.3
	T11	2	10	20	38	121	13.9	0.1	0.7	1.4	2.7	8.7
	T12	2	9	19	36	106	11.3	0.2	0.8	1.7	3.2	9.4
	T13	2	10	20	36	101	18.2	0.1	0.5	1.1	2.0	5.5
	T14	2	11	23	46	160	30.7	0.1	0.4	0.7	1.5	5.2
	全体	3,668	4,405	4,772	5,231	6,154	208.5	17.6	21.1	22.9	25.1	29.5

表４　千葉県のキョンにおける2012年度個体数推定値（2013年3月末）（つづき）

		推定個体数					面積	推定密度				
市町村	ユニット	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%	(km^2)	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%
富津市	F1	25	75	122	177	311	18.9	1.3	4.0	6.4	9.4	16.4
	F2	48	114	176	253	490	19.4	2.5	5.9	9.1	13.0	25.3
	F3	190	358	466	578	930	15.1	12.6	23.7	30.8	38.2	61.5
	F4	84	198	292	406	667	34.1	2.5	5.8	8.6	11.9	19.6
	全体	593	922	1,100	1,296	1,846	87.5	6.8	10.5	12.6	14.8	21.1
市原市	I1	53	126	184	252	411	16.9	3.1	7.5	10.9	14.9	24.3
	I2	16	48	77	112	196	8.6	1.9	5.6	9.0	13.1	22.8
	I3	12	40	64	93	169	7.5	1.6	5.4	8.6	12.5	22.7
	I4	14	101	188	281	495	15.1	0.9	6.7	12.5	18.6	32.8
	I5	179	413	557	731	1,071	15.2	11.8	27.1	36.6	48.0	70.3
	I6	11	76	131	192	342	4.5	2.4	16.8	29.0	42.5	75.7
	I7	6	28	53	90	192	5.8	1.0	4.8	9.1	15.4	32.9
	I8	8	41	75	125	249	7.2	1.1	5.7	10.4	17.3	34.5
	I9	11	68	136	224	443	11.1	1.0	6.1	12.2	20.1	39.8
	I10	10	55	110	201	447	10.8	0.9	5.1	10.2	18.6	41.5
	全体	1,113	1,459	1,692	1,970	2,511	102.7	10.8	14.2	16.5	19.2	24.4
御宿町	J1	314	444	512	581	722	6.5	48.2	68.1	78.5	89.1	110.7
	J2	232	334	386	442	559	5.1	45.5	65.5	75.7	86.7	109.6
	全体	651	805	898	992	1,201	11.6	56.0	69.3	77.3	85.4	103.4
いすみ市	H1	496	788	934	1,083	1,397	13.8	35.9	57.1	67.7	78.5	101.2
	H2	864	1,195	1,350	1,503	1,906	17.8	48.5	67.0	75.7	84.3	106.9
	IS1	166	296	376	459	665	8.2	20.4	36.3	46.1	56.3	81.6
	IS2	12	41	66	102	194	8.1	1.5	5.1	8.2	12.6	24.0
	IS3	33	59	74	89	119	1.2	28.0	50.0	62.7	75.4	100.8
	M1	178	276	333	400	528	5.5	32.3	50.1	60.4	72.6	95.8
	M2	68	151	212	288	498	9.1	7.4	16.5	23.2	31.5	54.5
	全体	2,547	3,089	3,365	3,656	4,487	63.7	40.0	48.5	52.8	57.4	70.5
南房総市	Y1	18	53	83	124	221	11.9	1.5	4.4	7.0	10.4	18.5
	Y2	18	58	91	131	246	8.9	2.0	6.5	10.2	14.7	27.6
	全体	72	139	183	240	379	20.8	3.4	6.7	8.8	11.5	18.2
木更津市	K1	10	63	123	229	455	12.4	0.8	5.1	10.0	18.5	36.8
	K2	47	156	215	270	375	5.2	9.0	29.8	41.1	51.6	71.7
	K3	9	74	162	304	626	16.1	0.6	4.6	10.1	18.9	38.9
	K4	9	55	107	177	349	9.2	1.0	6.0	11.6	19.2	37.9
	全体	316	508	662	875	1,265	42.9	7.4	11.8	15.4	20.4	29.5
袖ケ浦市	SU1	10	47	94	154	322	9.2	1.1	5.1	10.2	16.7	35.0
	SU2	6	29	57	98	195	5.5	1.1	5.3	10.4	17.9	35.6
	全体	42	107	163	238	414	14.7	2.8	7.3	11.1	16.2	28.2
千葉県全体		22,573	25,246	26,915	28,784	32,966	845	26.7	29.9	31.8	34.1	39.0

各市町村の全体の個体数はユニットの合計とは異なる値となる.

らいすみ市南部（旧大原町H2）にみられ，そのユニットの隣接するユニットで，50～70頭/km^2の地域がみられた（図6）．

考　察

糞粒区画法・出生数捕獲数法とベイズ法の比較

MCMC法により抽出された事後分布の3本の連鎖は，時系列プロットの形状や

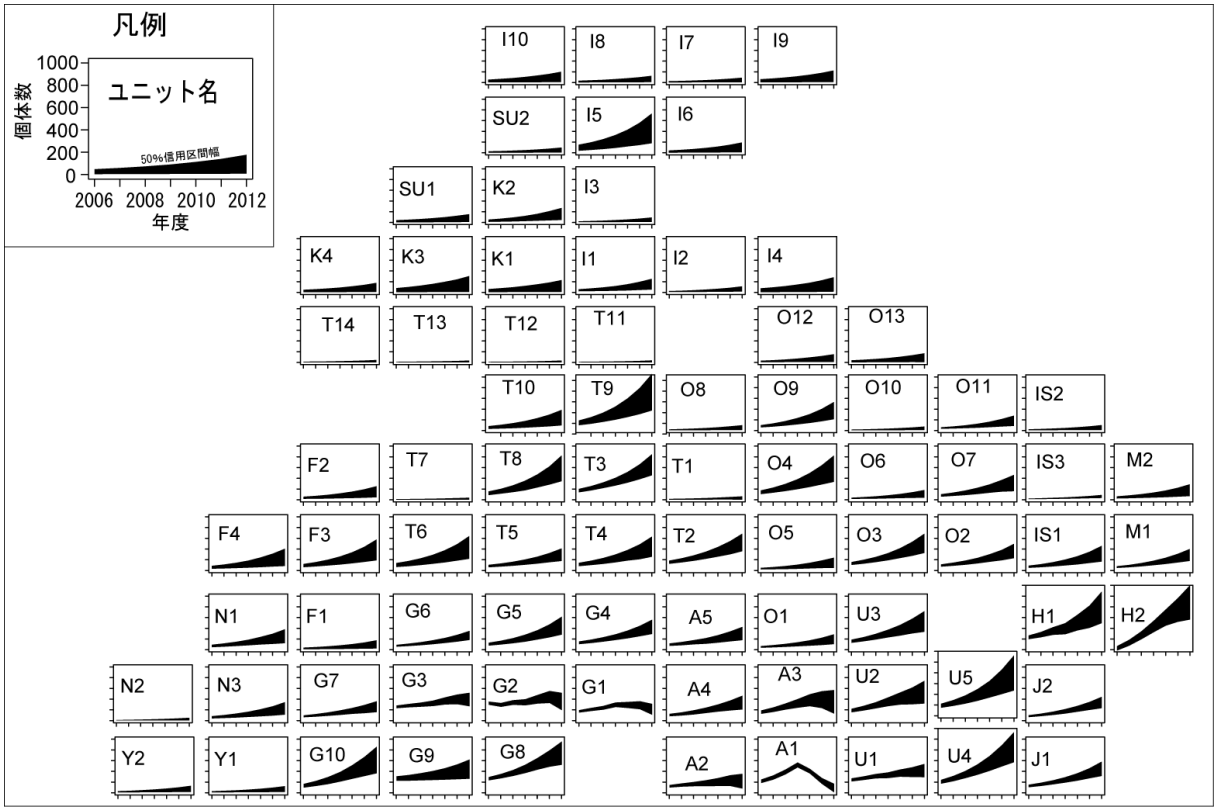

図５　千葉県におけるキョンのユニット別個体数推移
図中の黒帯はベイズ法による事後分布の50%信用区間を，英数字はユニット名を示す.

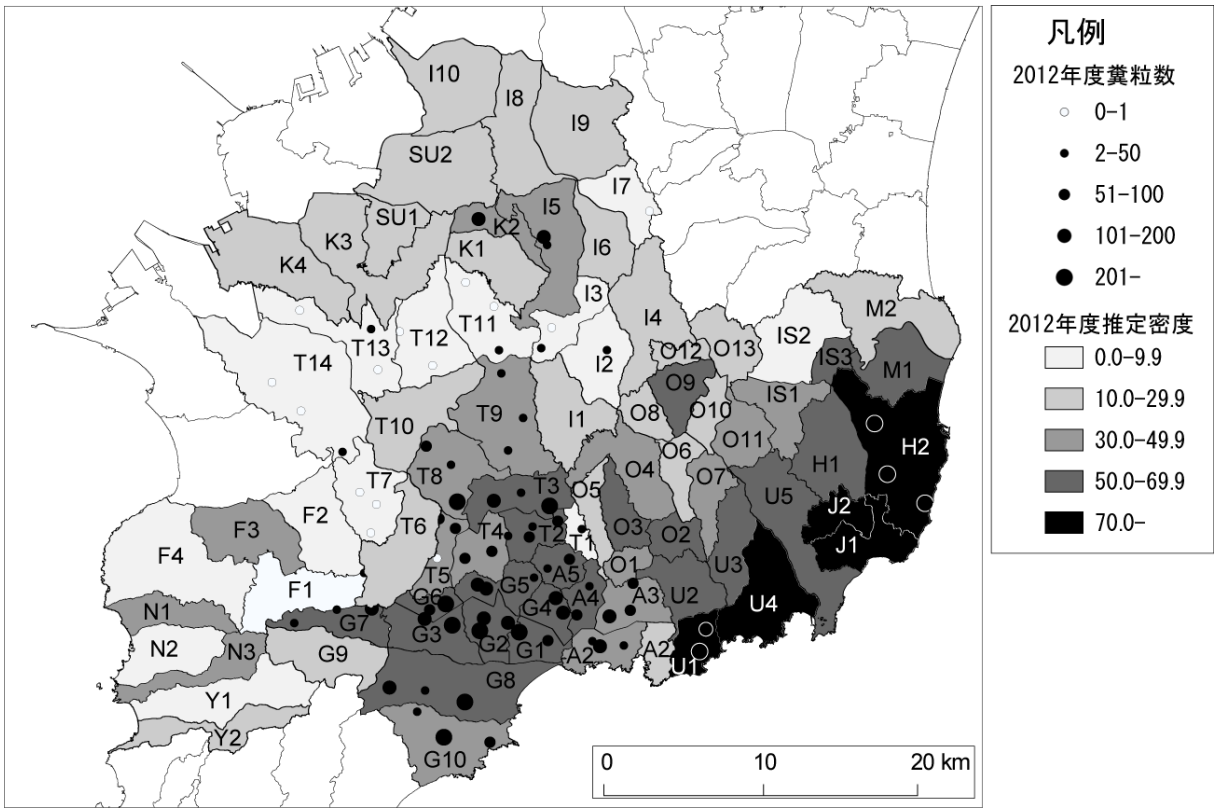

図６　2012年度のキョンの糞粒調査結果およびベイズ法推定結果
糞粒調査結果は100プロットあたり糞粒数を調査ラインごとに示した．ベイズ法推定密度は事後分布の中央値をランク別に示した．図中の英数字はユニット名を示した.

Gelman-Rubin統計量（R-hat）から，各連鎖は定常状態に収束していると判断された．

従来行われてきた糞粒区画法と出生数捕獲数法の併用による個体数推定については，段階的に推定を重ねていく計算過程で，推定誤差の取り扱いに問題，ベイズ法は推定誤差を考慮した階層ベイズモデルのために，適切に考慮されていると考えられる方法である．全県の個体数推定値において，ベイズ法推定値は従来の手法の中間補正値と最大補正値の間に，95%信用区間値が含まれており，より精度の高い推定方法となっていた．この関係は2011年度までの推定結果（浅田ほか 印刷中）と同様であった．

推定個体数の年変化と分布構造

ベイズ法で推定された2012年度のユニット別生息密度の分布構造では，事後分布中央値が70頭/km^{2}以上の高密度ユニットは，勝浦市南部と，御宿町からいすみ市南部に位置していた．千葉県のキョン個体群は，勝浦市西部（U1）にかつて営業していた民間観光施設から逸出した個体が起源であり（浅田ほか 2000），勝浦市では，創始個体の侵入地点を中心に周辺に密度の高い地域があり，分布拡大の周縁に行くにしたがって低密度となっていた．一方，御宿町からいすみ市南部の地域では，2006年以降にキョンの定着が確認されており（浅田 2013b），餌植物の競合種であるニホンジカの生息がほとんどないことから，食物資源が豊富で，個体の栄養状態がよいことが推測され，高密度で生息していた要因と考えられる．

引 用 文 献

Asada, M. and Ochiai, K. 2009. Sika deer in an evergreen broad-leaved forest zone on the Boso Peninsula, Japan. *In*: (D. R. McCullough, S. Takatsuki and K. Kaji, eds.) Sika Deer, pp. 385-404. Springer, Tokyo.

浅田正彦 2002．キョン．*In*:（日本生態学会 編）外来種ハンドブック，p. 79. 地人書館，東京．

浅田正彦 2009．千葉県におけるキョンの分布状況と個体数推定（2008年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 1: 21-26.

浅田正彦 2011．2009年度「野生獣の生息状況・農作物被害状況アンケート調査」結果．千葉県生物多様性センター研究報告 3: 1-15.

浅田正彦 2012．千葉県におけるキョンの個体数推定および栄養状態モニタリング（2010年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 5: 37-44.

浅田正彦 2013a．千葉県におけるニホンジカの分布息および個体数推定（2011年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 6: 1-12.

浅田正彦 2013b．千葉県におけるキョンの個体数推定および栄養状態モニタリング（2011年度）．千葉県生物多様性センター研究報告 6: 20-28.

浅田正彦・長田 穣・深澤圭太・落合啓二． 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．哺乳類科学 54（印刷中）．

浅田正彦・落合啓二・長谷川雅美 2000．房総半島及び伊豆大島におけるキョンの帰化・定着状況．千葉中央博自然誌研究報告 6: 87-94.

浅田正彦・落合啓二 2007．千葉県房総半島のニホンジカの個体数推定法と将来予測．哺乳類科学．47: 45-53.

浅利裕伸・佐伯真美 2006．伊豆大島における外来種キョン *Muntiacus reevesi* の分布状況． ANIMATE (6): 33-35.

Buckland, S. T., Newman, K. B., Thomas, L. and Koesters, N. B. 2004. State-space models for the dynmaics of wild animal populations. Ecological Modelling 171: 157-175.

Brooks, S. P., King, R. and Morgan, J. T. 2004. A bayesian approach to combining animal abundance and demographic data. Animal Biodiversity and Conservation 27: 515-529.

Chaplin, R. E. and Dangerfield, G. 1973. Breeding records of Muntjac deer (*Muntiacus reevesi*) in captivity. Journal of Zoology 170: 150-151.

Chapman, N. G. 1993. Reproductive performance of captive Reeves' muntjac. *In*: (N. Ohtaishi and H. -I. Sheng, eds.) Deer of China, pp. 199-203. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.

Chapman, N. G., Furlong, M., & Harris, S. 1997. Reproductive strategies and the influence of date of birth on growth and sexual development of an aseasonally‐breeding ungulate: Reeves' muntjac (*Muntiacus reevesi*). Journal of Zoology 241: 551-570.

Chapman, N. and Harris, S. 1996. Muntjac. Mammal Society and the British Deer Society, London, 28 pp.

Chaloupka, M. and Balazs, G. 2007. Using baysian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock. Ecological Modelling 205: 93-109.

千葉県 2004．千葉県房総半島におけるニホンジカの保護管理に関する調査報告書（総合版：1992～2003年度）．134 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2001．千葉県イノシシ・キョン管理対策調査報告書 1．95 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2002．千葉県イノシシ・キョン管理対策調査報告書 2．97 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2007．平成18年度外来種緊急特別対策事業（キョンの生息状況等調査）報告書．88 pp.

千葉県環境生活部自然保護課・千葉県立中央博物館・房総のシカ調査会 2008．平成19年度外来種緊急特別対策事業（キョンの生息状況等調査）報告書．73 pp.

Choquenot, D., Lukins, B. and Curran, G. 1997. Lamb predation by feral pigs in Australia's semi-arid rangelands. Journal of Applied Ecology 34: 1445-1454.

Cooke, A. S. 1997. Effects of grazing by muntjac (*Muntiacus reevesi*) on bluebells (*Hyacinthoides non-scripta*) and a field technique for assessing feeding activity. Journal of Zoology, London 242: 365-410.

Cooke, A. S., Green, P. and Chapman, B. G. 1996. Mortality in feral population of muntjac *Muntiacus reevesi* in England. Acta Theriologica 41: 277-286.

Cooke, A. S. and Lakhani, K. H. 1996. Damage to coppice regrowth by muntjac deer *Muntiacus reevesi* and production with electric fencing. Biological Conservation 75: 231-238.

Dorazio, R. M. and Johnson, F. A. 2003. Bayesian inference and decision theory – A framework for decision making in natural resource management. Ecological Applications 13: 556-563.

古谷知之 2010．ベイズ統計データ分析．朝倉書店，東京，195 pp.

Fukasawa, K., Hashimoto, T., Tatara, M. and Abe, S. 2013. Reconstruction and prediction of invasive mongoose population dynamics from history of introduction and management: a Bayesian state-space modelling approach. Journal of Applied Ecology 50: 469–478.

深澤圭太・角谷拓 2009．始めよう！ベイズ推定によるデータ解析．日本生態学会誌 59: 167-170.

Gimenez, O., Bonner, S., King, R., Parker, R. A., Brooks, S. P., Jamieson, L. E., Grosbois, V. Morgan, B. J. T. and Thomas, L. 2009. WinBUGS for population ecologists: Bayesian modelling using Markov chain Monte Carlo methods. Environmental and Ecological Statistics 3 (Section X): 883-915.

Harris, S., Morris, P., Wray, S. and Yalden, D. 1995. A review of British mammals: population estimates and conservation status of British mammals other than cetaceans. JNCC, Peterborough, 168 pp.

Hemami, M., Watkinson, A. R and Dolman, P. M. 2005. Population densities and habitat associations of introduced muntjac *Muntiacus reevesi* and native roe deer *Capreolus capreolus* in a lowland pine forest. Forest Ecology and Management 215: 224 -238.

Iijima, H., Nagaike, T. and Honda, T. 2013. Estimation of deer population dynamics using a Bayesian state-space model with multiple abundance indices. Journal of Wildlife Management 77: 1038 - 1047.

Kaji, K., Okada, H., Yamanaka, M., Matsuda, H. and Yabe, T. 2004. Irruption of a colonizing sika deer population. Journal of Wildlife Management 68: 889-899.

Kery, M. and Schub, M. 2011. Bayesian population analysis using WinBUGS. Elsevier, Waltham, 535 pp.

King, R., Morgan, B. J. T., Gimenez, O. and Brooks, S. P. Bayesian Analysis for Population Ecology. CRC press, Florida, 442 pp.

久保拓弥 2013．データ解析のための統計モデリング入門　一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC．岩波書店，東京，267pp.

Link, W.A., Cam, E., Nichols, J.D. and Cooch, E.G. 2002. Of BUGS and birds: Markov Chain Monte Carlo for hierarchical modeling in wildlife research. Journal of Wildlife Management 66: 277-291.

Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N., and Spiegelhalter, D. 2000. WinBUGS - a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. Statistics and Computing 10: 325-337.

Maruyama, N. and Furubayashi, K. 1983. Preliminary examination of block count method for estimating numbers of sika deer in Fudakake. Journal of the Mammalogical Society of Japan 9: 274-278.

マッカーシー，M. A. 2007．生態学のためのベイズ法（野間口眞太郎，訳）．共立出版，東京，316 pp.

McCullough, D. R., Kurtis, C. J. and Pei, Y. W. 2000. Home Range, Activity Patterns, and Habitat Relations of Reeves' Muntjacs in Taiwan. Journal of Wildlife Management 64: 430-441.

Millar, R. B. and Meyer, R. 2000a. Bayesian state-space modeling of age -structured data: fitting a model in just the beginning. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 43-50.

Millar, R. B. and Meyer, R. 2000b. Non-linear state space modeling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis-Hastings within-Gibbs sampling. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics) 49: 327-342.

仲真　悟・丸山直樹・花輪伸一・森　治 1980．青森県脇野沢村におけるニホンカモシカの直接観察にもとづく個体数推定．哺乳動物学雑誌 8: 59-69.

Ntzoufras, Ioannis. 2009. Bayesian Modeling Using WinBUGS. John Wiley and Sons, New Jersey, 492pp.

Pavlov, P. M. and Hone, J. 1982. The behaviour of feral pigs, *Sus scrofa*, in flocks of lambing ewes. Australian Wildlife Research 9: 101-109.

Pei, K., Taber, R. D., O'Gara, B. W. and Wang, Y. 1995. Breeding cycle of the Formosan Reeves' muntjac (*Muntiacus reevesi micrurus*) in northern Taiwan, Republic of China. Mammalia 59: 223-228.

Pollard, E. and Cooke, A. S. 1994. Impact of muntjac deer *Muntiacus reevesi* on egglaying sites of the white admiral butterfly *Ladoga camilla* in a Cambridgeshire wood. Biological Conservation 70: 189-191.

坂田宏志・岸本康誉・関香奈子 2011．ツキノワグマの生息動向と個体数の推定．兵庫県におけるツキノワグマの保護管理の現状と課題（兵庫県森林動物研究センター研究部，編），pp. 26-38．兵庫県森林動物研究センター，兵庫.

Sheng, H. 1992. Reeves' muntjac *Muntiacus reevesi In*: (H. I. Sheng et al., eds.) Deer in China, pp.126-148. East China Normal University Press, Shanghai (in Chinese with English summary).

Suzuki, M., Miyashita, T., Kabaya, H., Ochiai, K., Asada, M. and Tange, T. 2008. Deer density affects ground-layer vegetation differently in conifer plantations and hardwood forests on the Boso Peninsula, Japan. Ecological Research 23: 151-158.

丹後俊郎・タエコ ベック 2011．ベイジアン統計解析の実際 -WinBUGSを利用して-．朝倉書店，東京，262pp.

de Valpine, P. and Hastings, A. 2002. Fitting population models incorporating process noise and obsevation error. Ecological Monographs 72: 57-76.

Yamamura, K., Matsuda, H., Yokomizo, H., Kaji, K., Uno, H., Tamada, K. and Hirakawa, H. 2008. Harvest-based Bayesian estimation of sika deer populations using state-space models. Population Ecology 50: 131-144.

山道真人・角谷拓 2009．マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法を用いたシミュレーションモデルのパラメータ推定：ベイジアンキャリブレーション入門．日本生態学会誌 59: 207-216.

著　者：浅田正彦　〒260-0852　千葉市中央区青葉町955-2 千葉県立中央博物館内　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター　asada@chiba-muse.or.jp

“Population estimation for Reeves’s muntjac for FY 2012 in Chiba Prefecture, Japan.” Masahiko Asada, Chiba Biodiversity Center, Aoba-cho 955-2 , Chuo-ku, Chiba 260-0852, Japan.
E-mail: asada@chiba-muse.or.jp

千葉県生物多様性センター研究報告　8:37-40, 2014

千葉県におけるキョンの体重と繁殖状況
－2008～2012年度　県試料回収事業のまとめ－

浅　田　正　彦

千葉県生物多様性センター

は　じ　め　に

キョン（*Muntiacus reevesi*）は，中国南東部および台湾の熱帯～亜熱帯の森林に生息するシカ科の小型の草食獣である(Sheng et al. 1992)．日本において，キョンは千葉県房総半島と東京都伊豆大島で野生化している外来生物で，千葉県内では勝浦市にあった私立観光施設（2001年閉園）が侵入源であり，侵入時期は聞き取り情報から1960年代から1980年代終わりまでの間であると推定されている（浅田ら 2000）．近年，県内において個体数増加と分布拡大に伴う農作物被害が増加している（浅田ら 2000, 浅田 2011a; 2011b）．また，自然生態系へも影響(Pollard and Cook 1994; Cooke and Lakhani 1996; Cooke 1997)を及ぼすことから，キョンは外来生物法により，特定外来生物に指定されており，千葉県では2008（平成20）年に千葉県キョン防除実施計画を策定し，防除を実施している．この防除実施計画の中で，生息状況のモニタリングを実施し，その結果をその後の事業に適切に反映していくこととしている．そこで，2008～2012年度に千葉県が実施した「ニホンジカ・キョンの生態調査に係る試料回収事業」における回収個体の分析を集計した．

調　査　方　法

１　捕獲試料の回収方法

2008～2011年1～3月に千葉県により実施された「ニホンジカ・キョンの生態調査に係る試料回収事業」として，「外来種緊急特別対策事業（キョン）」ならびに同時期に市町村が実施している有害獣捕獲事業での捕獲個体について試料の回収を行った．捕獲従事者が捕獲後，市原市にある千葉県射撃場へ運搬し，委託業者である株式会社野生動物保護管理事務所が解剖，分析を行った．

２　捕獲個体の分析方法

回収した個体は週齢・年齢について，Chapman et al.(1985)，Sheng(1992)に従い，歯の萌出・磨耗状態で判定し，以下のように，栄養状態の指標となる体重，脂肪蓄積量について計測・分析を行った．

体重は100 g 単位のバネばかりで計測した．推定した週齢と体重から，性別に成長曲線の推定を行った．推定は，次のvon Bertalanffy式を用いて，ベイズ推定法によりパラメータ推定を行った：

$$y = A\left\{1-\frac{1}{3}e^{-K(x-I)}\right\}^3$$

ただし，xは週齢を，yは体重を，Aは漸近体重（成獣体重として扱う）を，Kは週当たり成長率係数を，Iは変曲点の週齢を示

す． 3本の連鎖についてマルコフ連鎖モンテカルロ法計算を100万回行い，前半50万回を切り捨て，残りについて500個ごとに１つ抽出し，計3000の事後分布を得た．事後分布の中央値，50%および95%信用区間値を推定結果とした．計算はR（URL：http://www.r-project.org/; 2013年6月2日版）およびWinBUGS (Lunn et al. 2000)を用いて行った．事後分布の収束状況は事後分布の時系列プロットの目視による判定と，Gelman-Rubin統計量(R-hat)を併用して診断した（計算方法は，マッカーシー(2007)，古谷（2010）などを参照）．Gelman-Rubin統計量(R-hat)は1.1未満となっているときに，連鎖が定常状態に収束していると判断した．

各地域の繁殖率の指標とするため，捕獲個体の胎児の有無に基づき，妊娠率を計算した．また，回収個体の推定週齢と捕獲日から，出生日を推定した．また，捕獲個体の性年齢構成比と齢別妊娠率から千葉県環境生活部自然保護課ほか（2008）の手法に従い，個体群増加率の推定を行った．

結　果　と　考　察

2008～2012年度までに回収分析を行った個体はオス499頭，メス366頭の合計865頭であった．

体重

性別にvon Bertalanffy式のパラメータについて推定した結果，時系列プロットの目視により収束が確認でき，R-hatはすべての係数で1.1未満となっており，事後分布は適切に抽出されていたと判断された．

成獣体重は事後分布中央値でオス9.6kg, メス8.9kgとなり, オスのほうが1.08倍大きかった（表1，図1）．成長曲線の変曲点(I)の週齢はオスでは3.8週だったが，メスはほぼ出生時にあることがわかった．また，成長率(K)には大きな性差は見られなかった．

表１　千葉県のキョンの体重の成長曲線式の係数の推定値

成長曲線式は次のvon Bertalanffy式を用いた．

$$y = A\left\{1-\frac{1}{3}e^{-K(x-I)}\right\}^3$$

ただし，xは週齢を，yは体重(kg)を示す．

		事後分布の分位点				
	係数	2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%
オス	A	9.34	9.54	9.64	9.73	9.96
	I	1.61	3.05	3.84	5.23	6.86
	K	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07
メス	A	8.63	8.82	8.92	9.03	9.30
	I	-8.14	-3.66	-1.75	0.01	2.95
	K	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05

メスの繁殖開始齢などの初期成長について検討するため，100週齢までの個体について，妊娠の有無別に図示した（図2）．これによると，15.5週齢で体重が10.1kgの個体をはずれ値として扱うと，25.5週齢以上で，かつ体重が6kg以上のメスが妊娠できることがわかった．

妊娠率

捕獲されたメスについて，齢階級別に妊娠率を集計すると，0.5才までが8.1%，0.5才～1才が37.8%，1才が70.9%，2才が

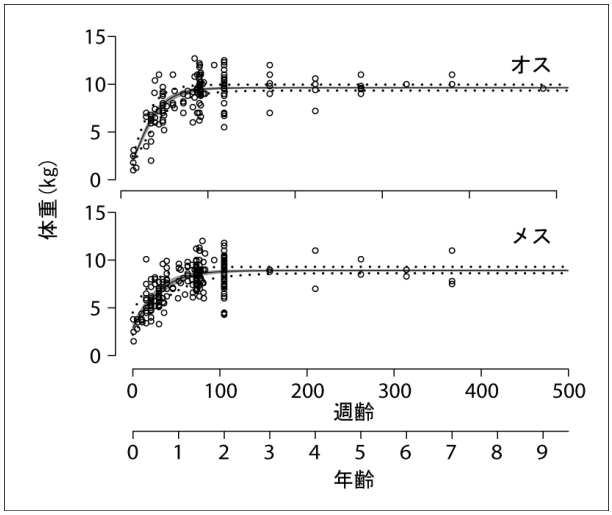

図１　千葉県におけるキョンの成長曲線

2008～2012年度に実施されたキョンの試料回収事業における捕獲個体について示した．図中の曲線はベイズ法により推定したvon Bertalanffy式をしめす（実線: 中央値，灰色域: 50%信用区間値，点線: 95%信用区間値）．

68.5%であった．0.5才までの妊娠個体は上述したように体重から考えると，年齢査定の誤判定によるはずれ値である可能性がある．

出生期間

捕獲個体の推定週齢から出生期間を逆算すると，図3のようになり，年間を通じて出生する個体があるものの，5月～10月に出生ピークがあることがわかった．これまで千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会（2007）は1992～2006年度のデータに基づき，今回と同様の推定方法で出生期間を推定しており，ほとんど同じ状況であったことがわかっている．

個体群増加率

千葉県におけるキョンの個体群増加率について，これまで千葉県環境生活部自然保護課ほか（2008）は捕獲個体の構成比率と妊娠率に基づく推定を行っており，2～3月の妊娠率に基づく増加率を29.0%としている．さらに，2～3月の調査では検出できない時期の出生も考慮すると，年間で35.6%となる．この手法を用い，2008～2012年度の捕獲個体について推定すると（表2），2～3月の妊娠率ベースでは29.5%，年間では34.0%と推定され，ほぼ同様の値となった．

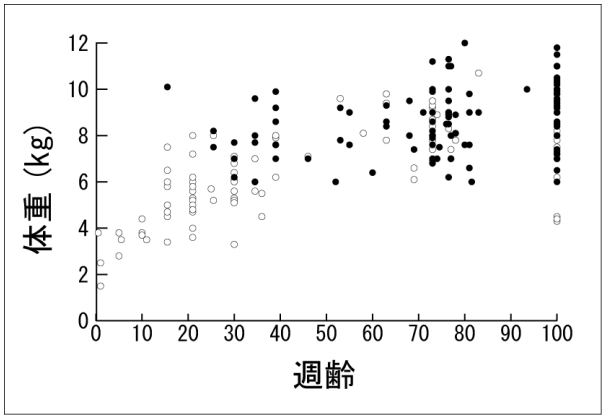

図２　千葉県のキョンのメスの週齢と体重の関係
2008～2012年度の1～3月に捕獲された個体について示した．図中の○は非妊娠個体を，●は妊娠個体を示す．

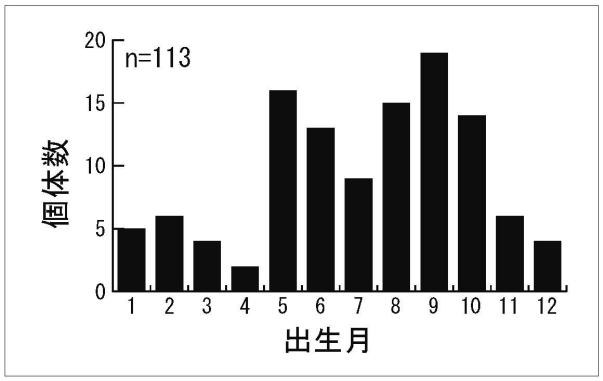

図３　千葉県のキョンにおける推定出生月．
推定は，2008～2012年度の捕獲個体の推定週齢と捕獲日から行った．

表２　千葉県のキョンにおけるメスの構成比率と齢階別妊娠率に基づく個体数増加率推定

	～2007年度推定値*	2008～2012年度
0才（0.5才以上）メスの構成比率(%) (a)	7.5	8.2
0才（0.5才以上）メスの妊娠率(%) (b)	25.0	37.8
a×b/100	1.9	3.1
1才メスの構成比率(%) (c)	7.9	16.7
1才メスの妊娠率(%) (d)	59.1	70.9
c×d/100	4.7	11.8
2才以上のメスの構成比率(%) (e)	29.0	21.2
2才以上のメスの妊娠率(%) (f)	77.6	68.5
e×f/100	22.5	14.5
個体数増加率(%) (ab+cd+ef)/100	29.0	29.5

＊ 千葉県ほか（2008）より

一方，浅田ほか（印刷中）は，2006～2011年度の糞粒調査結果や捕獲数に基づき，階層ベイズ法を用いてユニット別の生息密度と個体群増加率を推定している．これによると，ユニット別個体群増加率（事後分布の中央値）を市町村ごとの平均値に集計すると，勝浦市29.7%，鴨川市30.9%，いすみ市30.2%，大多喜町28.8%であった．この値はほぼ2～3月妊娠率ベースでの計算結果と一致しており，2～3月以外の妊娠を考慮すると，過大評価となる．

千葉県環境生活部自然保護課ほか（2008）は個体群増加率の計算の際，自然死亡については考慮していない．しかし，イギリスに導入されたキョンではこれまで，出生前後の高い死亡率が知られており，周産期死亡率は19%（Chapman

1993），生後2ヶ月齢までの死亡率が47%（Harris et al. 1995）と無視できない位大きい．このことと，ベイズ法推定増加率と妊娠率ベースの推定増加率の差を考えると，千葉県内のキョン個体群においても，出生前後の周産期死亡がある程度大きい可能性が指摘できる．

引用文献

浅田正彦・長田　穣・深澤圭太・落合啓二．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．哺乳類科学 54（印刷中）．

浅田正彦・落合啓二・長谷川雅美 2000．房総半島及び伊豆大島におけるキョンの帰化・定着状況．千葉中央博自然誌研究報告 6: 87-94.

浅田正彦 2011a．2009年度「野生獣の生息状況・農作物被害状況アンケート調査」結果．千葉県生物多様性センター研究報告 3: 1-15.

Chapman, N. G. 1993. Reproductive performance of captive Reeves' muntjac. *In*: (N. Ohtaishi and H. -I. Sheng, eds.) Deer of China, pp. 199-203. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.

Chapman, D. I., N. G. Chapman and C. M. Colles. 1985. Tooth eruption in Reeves' muntjac (*Muntiacus reevesi*) and its use as a method of age estimation (Mammalia: Cervidae) . Journal of Zoology, London (A) 205: 205-221.

千葉県環境生活部自然保護課・房総のシカ調査会 2007．平成18年度外来種緊急特別対策事業（キョンの生息状況等調査）報告書．88pp.

千葉県環境生活部自然保護課・千葉県立中央博物館・房総のシカ調査会 2008．平成19年度外来種緊急特別対策事業（キョンの生息状況等調査）報告書．73pp.

Cooke, A. S. 1997. Effects of grazing by muntjac (*Muntiacus reevesi*) on bluebells (*Hyacinthoides non-scripta*) and a field technique for assessing feeding activity. Journal of Zoology, London 242: 365-410.

Cooke, A. S. and Lakhani, K. H. 1996. Damage to coppice regrowth by muntjac deer *Muntiacus reevesi* and production with electric fencing. Biological Conservation 75: 231-238.

古谷知之 2010．ベイズ統計データ分析．朝倉書店，東京，195 pp.

Harris, S., Morris, P., Wray, S. and Yalden, D. 1995. A review of British mammals: population estimates and conservation status of British mammals other than cetaceans. JNCC, Peterborough, 168 pp.

Pollard, E. and Cooke, A. S. 1994. Impact of muntjac deer *Muntiacus reevesi* on egglaying sites of the white admiral butterfly Ladoga camilla in a Cambridgeshire wood. Biological Conservation 70: 189-191.

Sheng, H. 1992. Reeves' muntjac *Muntiacus reevesi* In (H. I. Sheng et al., eds.) Deer in China, pp.126-148. East China Normal University Press, Shanghai (in Chinese with English summary).

Lunn, D.J., Thomas, A., Best, N., and Spiegelhalter, D. 2000. WinBUGS - a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. Statistics and Computing 10: 325-337.

著　者：浅田正彦　〒260-0852　千葉市中央区青葉町955-2 千葉県立中央博物館内　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター　asada@chiba-muse.or.jp

“Body weight and reproductive status in Reeves’s muntjac for FY 2008 to 2012 in Chiba Prefecture, Japan.” Masahiko Asada, Chiba Biodiversity Center, Aoba-cho 955-2 , Chuo-ku, Chiba 260-0852, Japan. E-mail: asada@chiba-muse.or.jp

千葉県生物多様性センター研究報告　8:41-46, 2014

千葉県における捕獲従事者数の将来予測
－2012年度狩猟登録者の分析－

浅　田　正　彦

千葉県生物多様性センター

摘　要：千葉県環境生活部自然保護課所管の2012（平成24）年度狩猟登録データベースにおける狩猟登録者情報について分析を行い，狩猟者の県内分布と将来の減少割合を仮定した将来予測を行った．狩猟登録者数は3,922名で，ほとんどが男性（全体の98.6%）で，第1種（銃猟）の男性の登録者が2,849名いた．男性の登録者の平均年齢は64.1才であった．夷隅地域や君津市，館山市南部～南房総市南部，神崎町，成田市，富里市などに登録者数が比較的少ない地域があることがわかった．1集落あたりの登録者数は全県平均で0.76人であった．全登録種別込みの変動予測をおこなった結果，3年後には3,883人，5年後には3,438人，7年後には1,868人，10年後には1,340人になった．2017～2019年度に急激に登録者数が減少すると推定できた．

は　じ　め　に

全国的にイノシシやニホンジカなどの野生動物による農作物被害や生態系への影響が近年増大しており，これらの個体数管理は緊急の課題となっている．このため，2012年度には既存事業に加え，農林水産省の鳥獣被害防止緊急捕獲等対策事業が全国で約129億円の予算措置により開始された，その一方で，現場での捕獲作業を担っている狩猟免許保持者においては，1970年代以降，全国的に減少の一途をたどっている（伊吾田 2013）．

千葉県では，1980年代中頃に人為的に導入されたイノシシ（浅田ほか 2001）による農作物被害が年々増加し，2012年度には約2億円に達した．このような状況を踏まえ，緊急に地域ごとの早期対策を行うため，任意計画である千葉県イノシシ対策計画を策定した．この計画において，個体数管理のための捕獲の担い手確保は重点事項となっている（千葉県野生鳥獣対策本部 2013）．また，地域ごとのきめ細かい対策を行うためには，市町村や集落単位での将来にわたる捕獲従事者の安定的配置が欠かせない．そこで，県内の2012年度狩猟登録者の分析を行い，狩猟者の県内分布と将来の減少割合を仮定した将来予測を行った．

調　査　方　法

千葉県環境生活部自然保護課所管の2012（平成24）年度狩猟登録データベースにおける狩猟登録者の登録種別（第1種銃猟（散弾銃），第2種銃猟（空気銃），ワナ猟，網猟）の年齢，性別，住所地（小字まで）の情報について分析した．さらに，性年齢別ヒストグラムを作成し，男性登録者

表１　千葉県における2012年度の狩猟登録者数

	第1種	第2種	ワナ	網	計*
男性	2,849	56	1,476	651	3,866
女性	26	1	34	9	56
計	2,875	57	1,510	660	3,922

＊ 複数種別に登録している場合があるため，種別の数の合計とは異なる．

（すべての登録種別を含む）について，最頻値の年齢を起点とする齢別登録者数の減少割合を対数関数(自然対数)により平滑化し，その曲線の齢別減少割合に従って，男女ともに将来登録を停止すると仮定し，2022年度までの登録者数変動を予測した．この際，新規加入はないものとして，減少率には登録種別や地域（市町村および集落）による違いはないものとした．

結　果　と　考　察

１　2012年度の狩猟登録者数

千葉県における2012（平成24）年度狩猟登録者数は3,922名で，ほとんどが男性（全体の98.6%）で，第1種（銃猟）の男性の登録者が2,849名いた（表1）．男性の登録者の平均年齢は64.1才であった（図1）．ワナでの登録者1,510名のうち，第1種との重複登録者は556名で，残る954名（ワナ登録者の63.2%）は第１種登録をしていなかった．

集落ごとに登録者数の分布を占めすと（図2左），夷隅地域（いすみ市，御宿町，勝浦市，大多喜町）や君津市，館山市南部～南房総市南部，神崎町，成田市，富

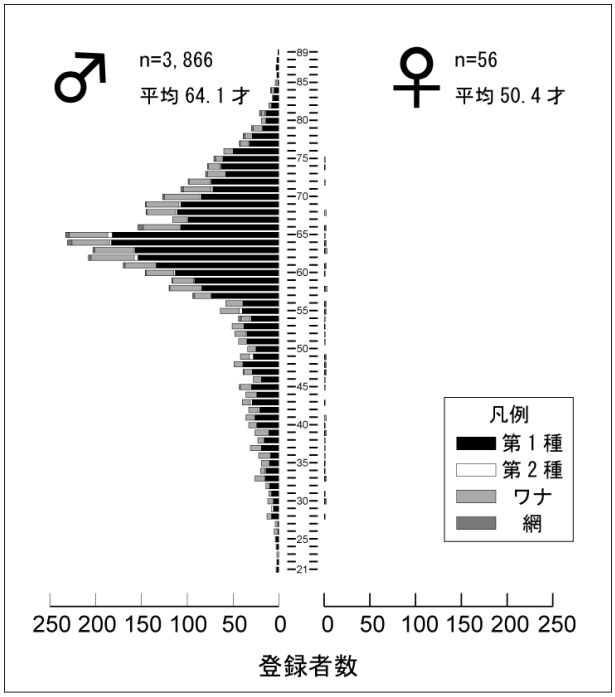

図１　千葉県における2012年度の狩猟登録者数
男性（左），女性（右）別に年齢別頻度分布を登録種別に示した．ただし，第1種は他の重複登録を含む．第2種はわな又は網の重複登録を含み，第1種との重複登録を除く．ワナは網との重複登録を含み，第1種・第2種との重複を除く．網は網のみの登録数を示す．図中に性別平均年齢と合計登録者数を示す．

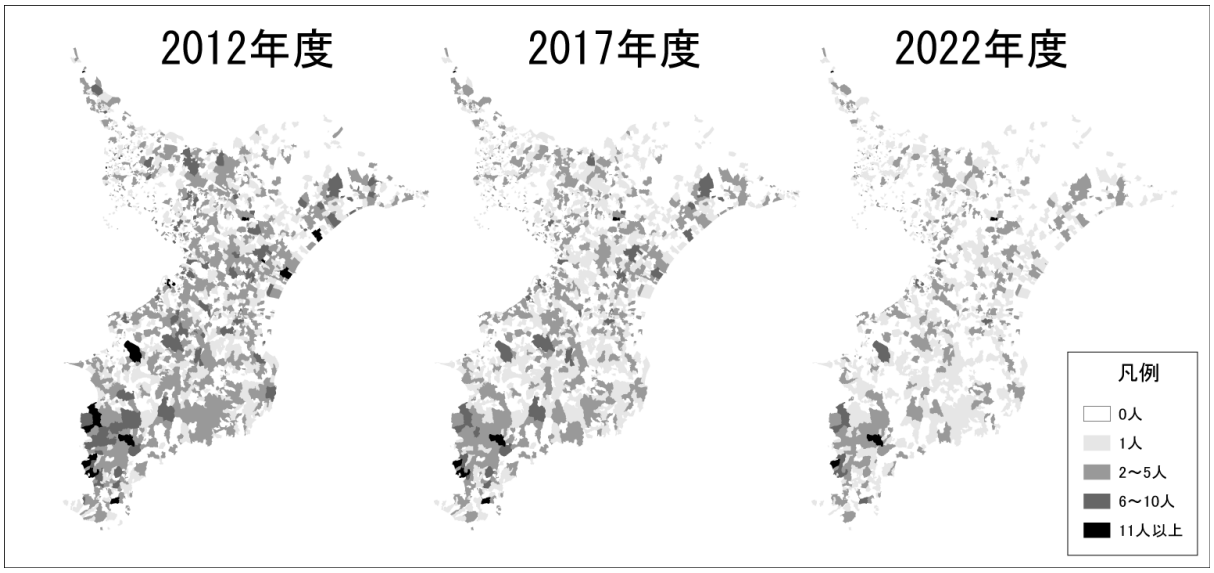

図２　千葉県における2012年度集落別狩猟登録者数分布(左)および2017年度(中)，2022年度(右)の予測．

表２　市町村別農業集落あたりの第1種狩猟登録者数の将来予測

			農業集落あたりの第1種登録者数		
	市町村	農業集落数	2012年度	5年後予測	10年後予測
1	千葉市	165	1.74	1.50	0.65
2	習志野市	9	0.89	0.89	0.78
3	八千代市	42	0.36	0.29	0.24
4	市原市	229	0.97	0.86	0.33
5	市川市	61	0.54	0.48	0.28
6	船橋市	71	0.56	0.52	0.44
7	松戸市	60	1.87	1.60	0.60
8	野田市	123	0.84	0.72	0.24
9	柏市	63	1.44	1.30	0.51
10	流山市	37	1.16	0.97	0.27
11	我孫子市	30	0.97	0.83	0.33
12	鎌ケ谷市	10	2.90	2.70	1.00
13	浦安市	1	7.00	7.00	5.00
14	成田市	139	0.86	0.76	0.27
15	佐倉市	67	1.64	1.46	0.49
16	四街道市	25	1.64	1.44	0.52
17	八街市	30	2.50	2.17	0.50
18	印西市	58	1.02	0.91	0.33
19	白井市	22	1.09	0.91	0.27
20	富里市	33	1.45	1.36	0.39
21	酒々井町	16	1.44	1.06	0.19
22	栄町	24	0.63	0.54	0.13
23	香取市	197	0.03	0.02	0.02
24	神崎町	16	0.06	0.06	0.00
25	多古町	77	0.01	0.01	0.00
26	東庄町	37	0.03	0.03	0.03
27	銚子市	65	0.88	0.75	0.11
28	旭市	135	0.98	0.90	0.30
29	匝瑳市	162	0.48	0.40	0.14
30	東金市	66	1.59	1.32	0.50
31	大網白里町	59	0.95	0.85	0.22
32	九十九里町	33	0.88	0.79	0.12
33	山武市	162	0.44	0.36	0.11
34	横芝光町	76	0.79	0.67	0.21
35	芝山町	46	0.22	0.22	0.13
36	茂原市	81	1.17	1.02	0.42
37	一宮町	23	0.52	0.39	0.04
38	睦沢町	16	0.94	0.81	0.13
39	長生村	35	0.60	0.54	0.23
40	白子町	31	0.65	0.55	0.16
41	長柄町	41	0.34	0.27	0.17
42	長南町	62	0.24	0.21	0.05
43	勝浦市	52	0.48	0.40	0.12
44	大多喜町	59	0.61	0.46	0.17
45	いすみ市	113	0.45	0.35	0.08
46	御宿町	15	0.27	0.27	0.07
47	館山市	79	0.80	0.71	0.28
48	鴨川市	164	0.13	0.13	0.08
49	南房総市	126	0.49	0.40	0.21
50	鋸南町	21	1.62	1.33	0.48
51	木更津市	106	0.68	0.59	0.20
52	君津市	139	0.53	0.49	0.19
53	富津市	98	0.65	0.59	0.22
54	袖ケ浦市	62	0.63	0.58	0.18
	合計	3,769	0.76	0.66	0.24

里市などに登録者数が比較的少ない地域があることがわかった．一方，富津市から南房総市北西部の東京湾に隣接する地域では比較的多く登録者がいた．1集落あたりの登録者数（表2）は全県平均で0.76人であったが，都市部の市町村で多く，農村部の市町村で少ない傾向があった．とくに香取地域の市町村（表2のNo.23～26）で極めて少なく，集落あたり0.01～0.06人しか銃による登録者がいなかった．また，現在イノシシ被害が拡大している長柄町，長南町，勝浦市，いすみ市，御宿町，鴨川市，南房総市で，0.5を下回っており，銃による捕獲従事者が集落数の半数以下しかいない状況にある．集落内の登録人数別の割合では，全県ではほぼ3/4の集落で第一種狩猟登録者がいないことがわかった（図3）．イノシシの生息している集落について検討するため，全種の登録数を県イノシシ対策計画（千葉県野生鳥獣対策本部 2013）の地域区分で集計すると，被害対策地域が564名，拡大防止地域が484名，前線地域が411名，その他が未生息地域と計画外市町であった．被害対策地域，拡大防止

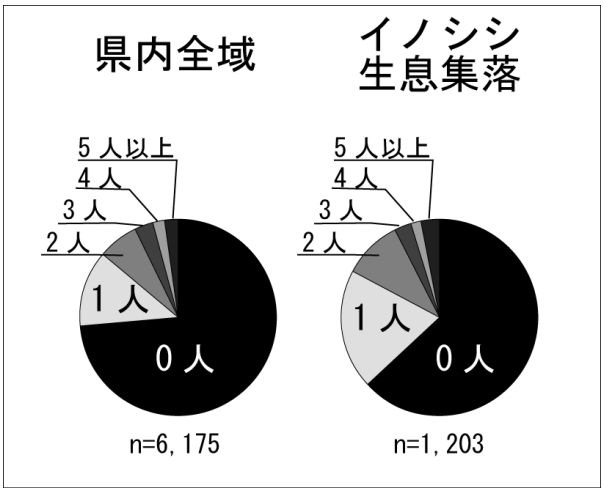

図３　千葉県における県内全域（左）およびイノシシ生息集落（右）の集落内第１種狩猟登録者数の割合

第1種狩猟登録は2012年度狩猟登録データベースに基づく．イノシシ生息集落は，千葉県イノシシ対策計画（千葉県野生鳥獣対策本部 2013）における前線地域，拡大防止地域，被害対策地域を示す．

表３　市町村別第1種狩猟登録者数と将来予測結果

		2012年度	将来予測される登録者数									
	市町村名	登録者数	1年後	2年後	3年後	4年後	5年後	6年後	7年後	8年後	9年後	10年後
1	千葉市	287	287	286	286	263	247	191	141	130	119	107
2	習志野市	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7
3	八千代市	15	15	15	15	12	12	11	10	10	10	10
4	市原市	221	221	221	221	205	197	156	111	96	87	75
5	市川市	33	33	33	33	30	29	26	19	19	17	17
6	船橋市	40	40	40	40	39	37	36	34	32	31	31
7	松戸市	112	112	112	112	100	96	73	53	51	41	36
8	野田市	103	103	103	102	93	89	68	49	40	37	30
9	柏市	91	91	91	89	84	82	65	42	38	35	32
10	流山市	43	43	43	43	38	36	23	19	16	13	10
11	我孫子市	29	29	29	28	27	25	19	13	11	11	10
12	鎌ケ谷市	29	29	29	29	27	27	23	15	14	12	10
13	浦安市	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5
14	成田市	119	119	119	119	107	105	70	49	43	40	37
15	佐倉市	110	109	109	109	102	98	70	47	40	36	33
16	四街道市	41	40	40	40	36	36	27	18	17	14	13
17	八街市	75	75	75	75	68	65	51	32	25	20	15
18	印西市	59	59	59	59	56	53	41	31	29	20	19
19	白井市	24	24	24	24	21	20	13	8	8	7	6
20	富里市	48	47	47	46	46	45	34	23	18	14	13
21	酒々井町	23	23	23	23	19	17	9	6	4	4	3
22	栄町	15	15	14	14	14	13	10	5	3	3	3
23	香取市	6	6	6	6	5	4	4	4	4	4	3
24	神崎町	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
25	多古町	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
26	東庄町	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	銚子市	57	57	57	57	50	49	35	17	13	10	7
28	旭市	132	132	132	132	122	121	78	55	46	44	40
29	匝瑳市	77	77	77	76	67	64	47	39	33	28	23
30	東金市	105	103	103	101	94	87	59	42	37	35	33
31	大網白里町	56	56	56	55	50	50	36	32	24	18	13
32	九十九里町	29	28	28	28	27	26	17	8	7	5	4
33	山武市	71	71	70	69	64	59	39	26	23	22	18
34	横芝光町	60	60	60	60	54	51	40	27	24	19	16
35	芝山町	10	10	10	10	10	10	8	7	6	6	6
36	茂原市	95	94	94	94	87	83	66	45	39	36	34
37	一宮町	12	12	12	12	9	9	6	2	1	1	1
38	睦沢町	15	15	15	15	13	13	10	5	4	3	2
39	長生村	21	21	21	21	19	19	15	13	12	11	8
40	白子町	20	20	20	20	17	17	14	9	9	5	5
41	長柄町	14	14	14	14	13	11	8	8	8	8	7
42	長南町	15	15	15	15	15	13	8	6	6	4	3
43	勝浦市	25	25	24	24	21	21	18	13	11	8	6
44	大多喜町	36	36	36	36	28	27	18	12	10	10	10
45	いすみ市	51	51	51	50	44	40	24	20	16	12	9
46	御宿町	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1
47	館山市	63	63	63	61	59	56	37	25	25	23	22
48	鴨川市	21	21	21	21	21	21	19	15	14	13	13
49	南房総市	62	62	62	62	54	51	42	33	30	27	26
50	鋸南町	34	33	32	32	29	28	20	12	10	10	10
51	木更津市	72	72	72	71	67	63	43	29	26	24	21
52	君津市	74	74	74	74	70	68	46	35	33	30	26
53	富津市	64	64	63	63	60	58	45	31	28	24	22
54	袖ケ浦市	39	39	39	39	39	36	22	16	14	12	11
	合計	2,875	2,867	2,861	2,847	2,617	2,506	1,860	1,327	1,173	1,038	923

地域および前線地域を合わせた1,203集落について合計すると，63.5%で第一種狩猟登録者がおらず，残る集落の半数では1名のみとなっていた．

２　捕獲従事者の将来予測

男性登録者の最頻値は65歳であったので，それ以降の齢別登録者数を対数曲線で平滑化した結果，次式で近似できた：

$$y=-62.4*Ln(x)+200.5$$

ただし，xは年齢から65を減した数を，yは登録数を示す(R^2=0.954, n=26)．

この近似線に従って齢別登録数が減少すると仮定して全登録種別込みの変動予測をおこなった結果，3年後には3,883人，5年後には3,438人，7年後には1,868人，10年後には1,340人になった．散弾銃によるイノシシの捕獲が可能な第1種登録者（男女込）で集計すると，2012年度に2,875人であったものが，5年後には2,506人，10年後には923人となり，2017～2019年度に急激に登録者数が減少すると推定できた（表3，図4）．

５年後および10年後の推定結果を登録者数の在住集落の分布でみると（図1中，右），一部，南房総市を除く全県範囲で，10年後には1人もしくは0人の集落が多くを占めるようになることがわかった．特に夷隅，長生，香取，海匝地域で地元在住の狩猟者不足は深刻な状況を呈すると予想できた．

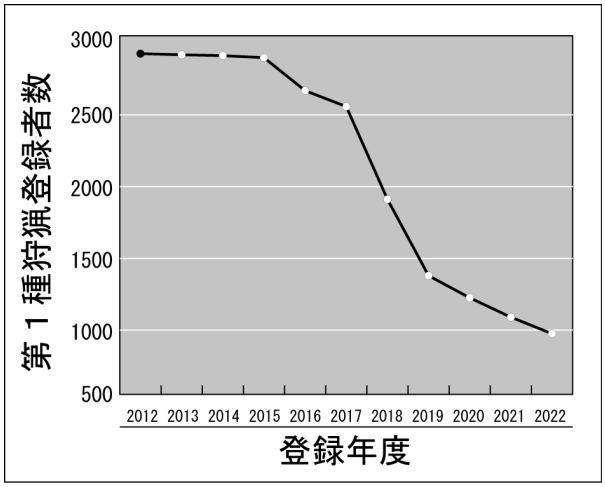

図４　千葉県における第１種狩猟登録者数の推移予測
2012年度は実測値を，2013年度以降は予測値を示した．予測方法は本文参照．

千葉県内のイノシシの捕獲頭数の多くはワナによる捕獲である（2011年度イノシシ管理事業による捕獲割合：箱わな74%，くくりわな20%，銃器6%，千葉県野生鳥獣対策本部 2013）．イノシシなどの農作物の害獣の捕獲について，本論で述べたような銃所持者数の減少が背景となって，農家によるワナを使った自衛的捕獲が進んでいる状況である．一方で，低密度地域や被害が少ない地域では，ワナによる捕獲は低効率であり，銃による捕獲が必要とされている．また，ワナ捕獲においても，ワナにかかった個体の止めさしについては，銃器の使用が必要であることを考えると，各地域に一定数の銃による捕獲従事者を確保する必要があり，今回の分析から，2～3年の間に十分な数の新規従事者を配置することが急務といえる．

引　用　文　献

浅田正彦・直井洋司・阿部晴恵・韮沢雄希 2001．房総半島におけるイノシシ（*Sus scrofa* Linnaeus, 1758）の生息状況．千葉中央博自然誌研究報告 6 (2): 201-207.

千葉県野生鳥獣対策本部 2013．千葉県イノシシ対策計画（平成25年1月22日付け文書），http://www.pref.chiba.lg.jp/noushin/choujuu/yuugai/documents/inosisikeikaku.pdf（2013年11月6日確認）．

伊吾田宏正 2013．現代日本の狩猟と野生動物管理．*In*: 野生動物管理のための狩猟学（梶光一・伊吾田宏正・鈴木正嗣編），pp. 20-24．朝倉書店，東京．

著　者：浅田正彦　〒260-0852　千葉市中央区青葉町955-2 千葉県立中央博物館内　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター　asada@chiba-muse.or.jp
“Future prediction of hunting population in Chiba Prefecture, Japan.” Masahiko Asada, Chiba Biodiversity Center, Aoba-cho 955-2 , Chuo-ku, Chiba 260-0852, Japan. E-mail: asada@chiba-muse.or.jp

千葉県生物多様性センター研究報告投稿規定

１．　「千葉県生物多様性センター研究報告」は，千葉県および関連した地域の生物多様性に関連する分野の原著論文，総説，調査報告，研究ノート，資料紹介，書評，資料目録などを掲載する．

２．　投稿者は千葉県生物多様性センターの職員や連携する研究者などの関係者とする．ただし，それ以外の者でも千葉県環境生活部自然保護課が適当と認めた者は，投稿者となることができる．

３．　原稿の採否は千葉県環境生活部自然保護課が決定する．審査に当たっては，千葉県生物多様性センターが当該分野の研究者に査読を依頼する．論文の内容および体裁に問題があると判断された場合，投稿者に修正または再考を求める場合がある．

４．　上記以外の事柄については千葉県生物多様性センターが決定する．

千葉県生物多様性センター研究報告　第8号

発行日　　2014年3月31日
発行者　　千葉県環境生活部自然保護課
編集者　　千葉県環境生活部自然保護課自然環境企画室生物多様性センター
〒260-8682　千葉市中央区青葉町955-2　千葉県立中央博物館内
電話043-265-3601 / ファックス043-265-3615
URL　http://www.bdcchiba.jp/
本誌掲載内容の無断転載は固くお断りします．

千葉県生物多様性センター研究報告　　第８号　2014 年３月

目　次

調 査 報 告

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（2012 年度）・・・・・浅田正彦　1

千葉県におけるニホンジカの捕獲状況および栄養状態モニタリング（2012 年度）
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・浅田正彦　15

千葉県におけるキョンのベイズ法による個体数推定（2012 年度）・・・・・・浅田正彦　23

千葉県におけるキョンの体重と繁殖状況－2008～2012 年度　県試料回収事業のまとめ－
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・浅田正彦　37

千葉県における捕獲従事者数の将来予測　－2012 年度狩猟登録者の分析－
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・浅田正彦　41