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，捕獲数を減ずる出生数捕獲数法（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

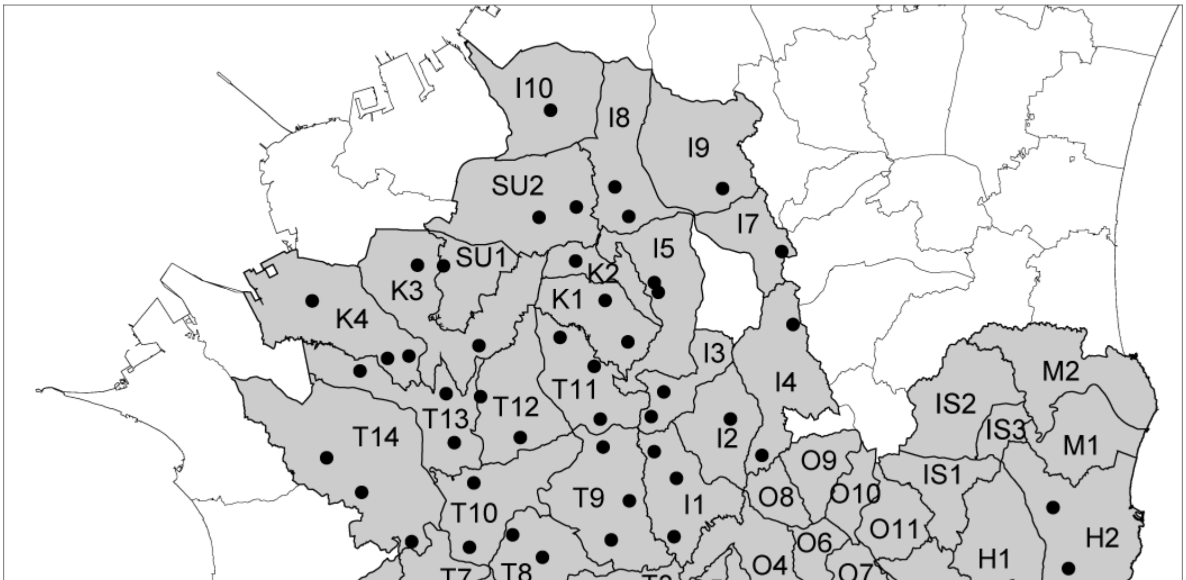

図１　ニホンジカの個体数推定のための糞粒調査ラインとベイズ法推定対象ユニット
図中の●は糞粒法調査ラインの位置を，灰色域はベイズ法推定対象ユニットを，英数字はユニット名を示す．

（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．

```
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．

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．

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($頭km^2$) 平均	95%信頼区間		生息可能面積(km^2)	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．

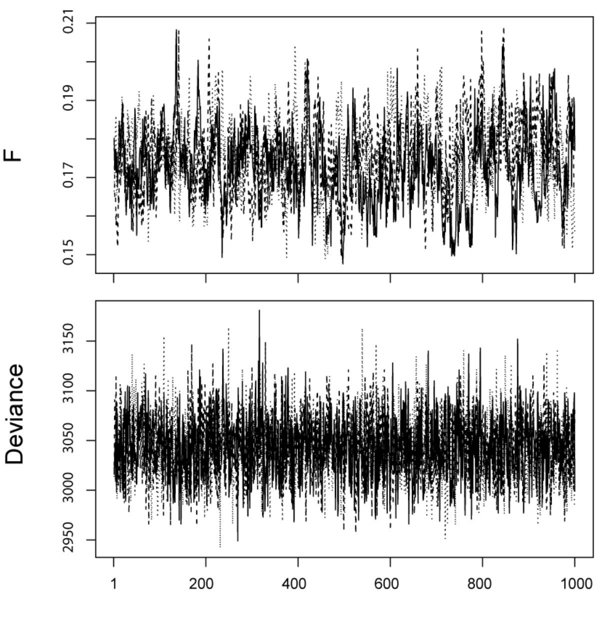

図３　千葉県におけるニホンジカのベイズ法パラメータ推定による事後分布の時系列プロット
モデルAについて計算した3本の連鎖別の糞粒法変換係数（*F*，上図）およびデビアンス（Deviance，下図）の推移を示した．

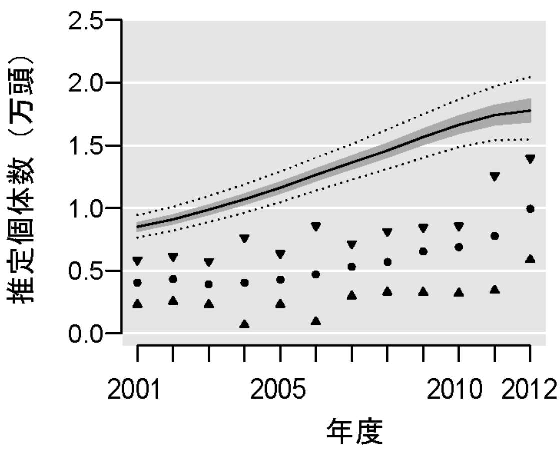

図４　千葉県におけるニホンジカのベイズ法推定による全域個体数の推移
2000～2012年度における階層ベイズ法による推定値（黒実線：中央値，灰色部：50%信用区間，破線：95%信用区間）を示した．あわせて従来の糞粒区画法および出生数捕獲数法（浅田・落合 2007)の組み合わせで行った推定値も示した．推定値と推定幅として，糞粒区画法における糞粒数に対する区画法推定密度の回帰直線の傾きと切片，および出生数捕獲数法における増加率推定のための妊娠率と性齢構成比率の平均値と95%信頼区間を用い，合算値（平均：●，95%信頼区間：▲～▼）を示した．

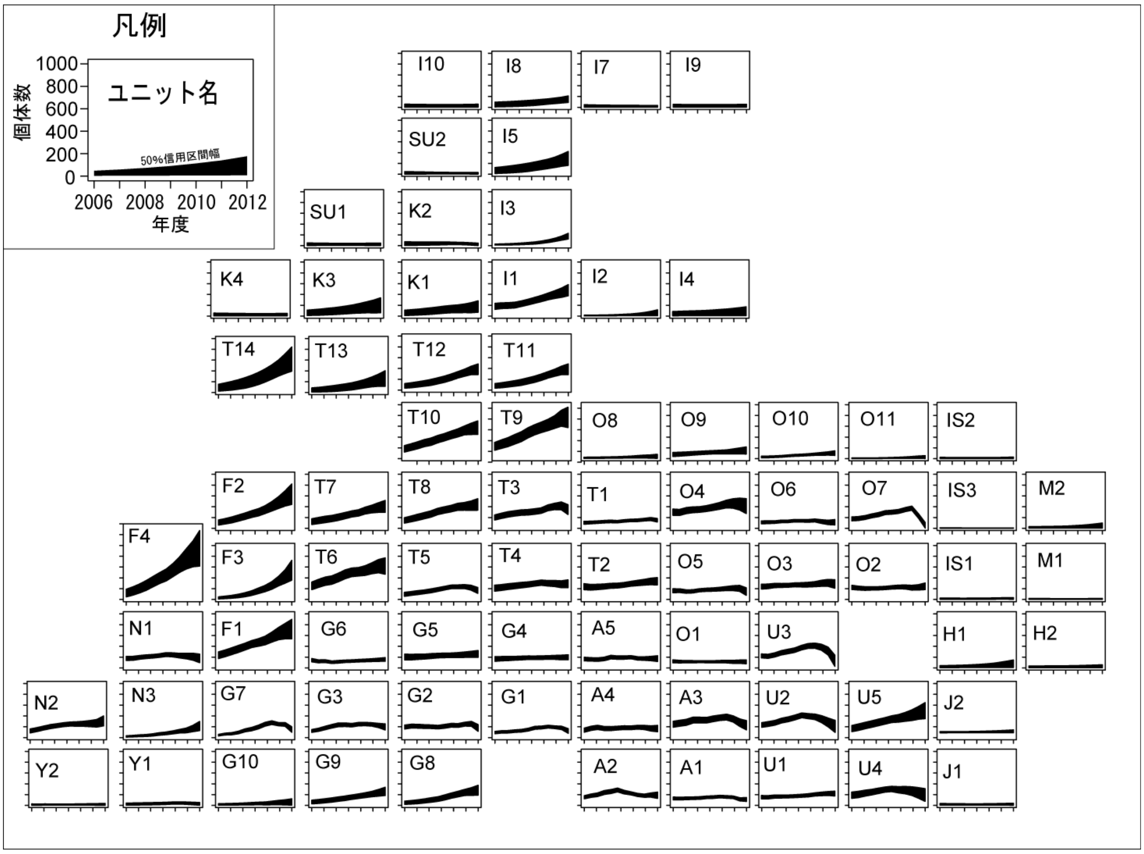

図５　千葉県におけるニホンジカのユニット別個体数推移

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．

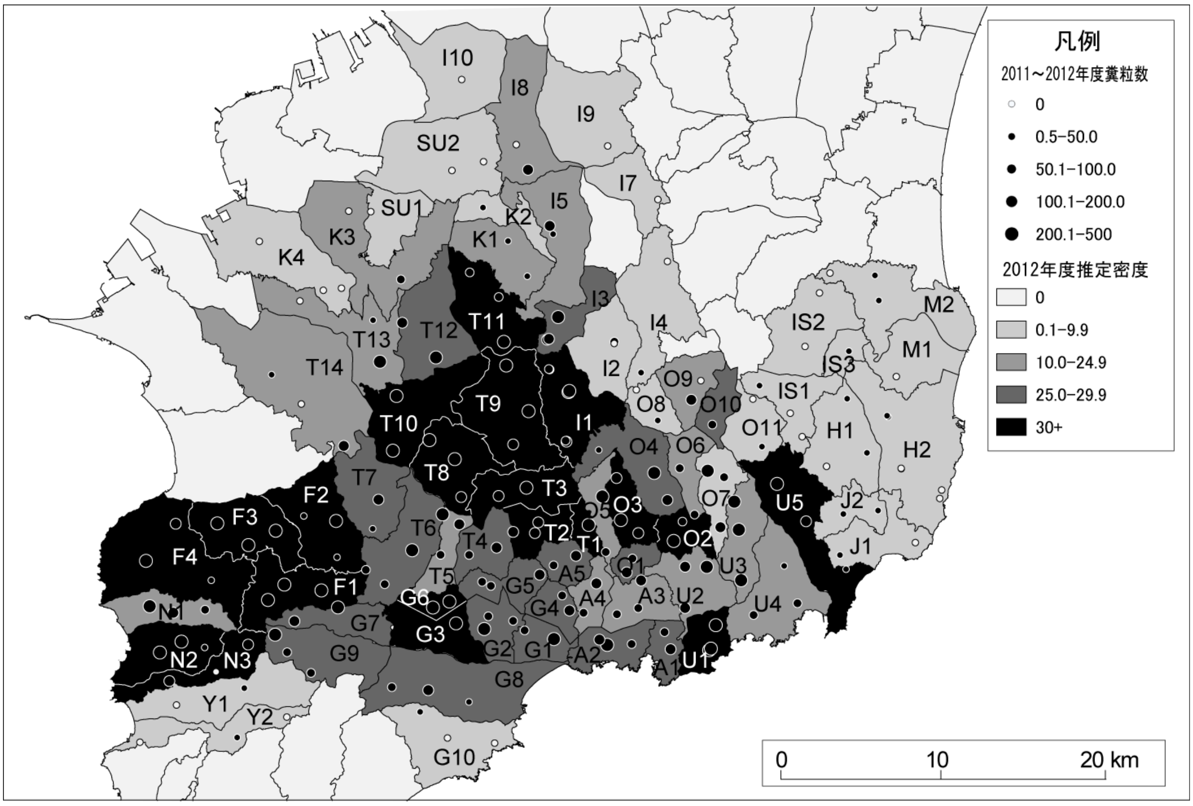

図６　2012年度のニホンジカの糞粒調査結果およびベイズ法推定結果

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）

市町村	ユニット	推定個体数 2.5%	25.0%	50.0%	75.0%	97.5%	面積 (km^2)	推定密度 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 Spiegel-halter, 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