

森下ほかの式は、同一地点を適当な間隔をおいて2回以上調査することを前提に導かれたものである。カモシカの密度に対して必ずしも定常状態を要求していない。しかし、実際には定常状態を仮定した下述の(1)式が一般的に使用されている。

シカの糞は糞塊としてあまり明確でない場合が多いので、シカの密度推定にはカモシカの糞粒法を流用するのが良いと思われる。ただ、定常状態を仮定した式はその通り使えるが、一般式(森下・村上・小野, 1979; (32)式)では糞塊内の糞粒という概念を用いているから、そのまま使えない。カモシカの糞粒消失率と個体密度の両方について、定常状態を仮定した場合の密度推定式(森下・村上・小野, 1979; (33)式)は以下の通りである

$$N = \frac{f'c}{h\beta} \quad (1)$$

ここで、 N がカモシカの密度、 f' は調査で見いだされた糞粒数、 β は糞粒発見率、 c は単位時間当たりの糞粒の連続消失率、 h はカモシカ1頭当たり単位時間当たりの排泄糞粒数である。小野ほか(1983)は、この式の β に1、 c に0.0418、 h に30300(高槻ほか, 1981)という数値を当て、ツシマジカの個体数推定を行った。その後、糞粒法に基づく調査ではこれらの数値が採用されてきた(自然環境研究センター, 1998)。

ところが、坂田・中園・歌岡(未発表)と池田(未発表)は、熊本県白髪岳と福岡県犬ヶ岳でそれぞれ独立にシカの糞粒の消失率調査を行い、(1)式がそのままでは使えないという可能性を示唆するデータを得た。すなわち、糞粒の連続消失率が季節(月)によって大きく異なるため、年中同じ定数を使うことができないのである。これは(1)式の条件に抵触する。また、最近においては、シカ個体群のモニタリングを継続的に行う管理事業が全国各地で行われるようになってきている。この場合、調査回数は1地点1回限りで調査時期は異なる月に渡るのが一般的であり、当然年1回程度の調査を仮定した森下らの(1)式は使えない。ここに、各調査時以前に落とされたすべての糞粒の付加及び消失履歴を考慮した、シカ密度推定方式が必要になる。

本研究は、白髪岳と犬ヶ岳の消失率の調査資料に基づき、1)各月の糞粒連続消失率を求める推定式を得ること、2)月ごとに異なるその糞粒消失率を使ってどの月で調査をしても対応できるシカの密度推定プログラムを作成すること、の二つの目的の下に行われた。

計算の手順

1. 計算条件

まず、シカの個体群密度は定常状態であった、すなわち密度は長期に渡って変化しなかったと仮定する。繁殖活動による季節的な新生個体の加入、休猟区の設定変更、季節的な垂直移動あるいは植生の変化による移動などを考慮に入れると、この仮定は現実には満足されない。しかし、調査を行う上で、過去のシカ密度変化については、ほとんどの場合ブラックボックスであることが多い。この条件を外すと本方式の適用範囲が限定されてしまうので、この仮定は置かざるを得ない。

糞粒の消失率は月ごとに変化すると考える。また、月の最初にすべての糞が環境に付加され、月の最後に月特有の消失率で一度に消失すると仮定する。すべての計算は月を単位に行われる。

2. 計算に使用する数値

まず、糞粒発見率 β であるが、最近の調査では1m四方の枠内に発見されるすべての糞粒をカ

ウントする方法が採られている（自然環境研究センター，1998）．そのため，見落とし率は全く0ではないにしても，非常に小さいと考えられる．それ故，発見率 β を1と仮定する．

高槻ほか（1981）は，季節毎に異なった排糞数を報告している．排糞数を常に一定とした方が計算式は簡単になるが，より現実にあった推定を行うため，本研究では季節的に異なった値を使用した．ただ，以下の計算手順の説明では，排糞数を季節的に一定とした場合と，変化するとした場合の両方を示す．

糞分解率実験において，残存している糞粒の毎月カウントから消失率は月毎に計算できる．本研究ではこれを単純消失率と呼ぶ．しかし，計算では消失過程を連続量として扱う方が便利なので，白髪岳と犬ヶ岳のデータを用いて以下の式により糞粒連続消失率 c を計算した．

$$c = -\ln\left(\frac{F_{i+1}}{F_i}\right) \quad (2)$$

ここで，残存率 F_{i+1}/F_i は， i 月に存在していた糞粒数で，次の $i+1$ 月まで残っていた糞粒数を割ったものである．坂田・中園・歌岡は，熊本県白髪岳（標高 1100 m）で，3つのコホート（1995年5月，1995年12月，1996年8月に各50粒をセット）のそれぞれについて，およそ10ヶ月に渡った消失過程を調べた．池田は福岡県犬ヶ岳（標高 500–600 m）において，1996年3月から1997年7月まで毎月450粒のコホート（50粒3セットを3カ所）を置くことにより，その消失過程を月ごとに調べた．当然，糞をおいた場所にはマークがしてあり，見落とし率は0と考えられる．本研究では両消失率調査で得られたすべての月別消失率の数値を使うこととするが，白髪岳のデータ数が27，犬ヶ岳のデータ数が116と，後者に偏っている．表1に両地域で各月に得られた単純消失率 $\left(1 - \frac{F_{i+1}}{F_i}\right)$ の平均値を示す．

後述するように，本研究では計算方式にできるだけ一般性をもたせるため，まず各土地や季節の気候により消失率を推定する回帰式あるいは分数式を得るという手順を取った．その際使用した気温，降水量の資料はそれぞれ，阿蘇山アメダス（白髪岳実験地とほぼ同じ標高），行橋観測所の気象データである．ただし，犬ヶ岳の気温については，実験地の標高が 500–600 m なので，行橋観

表1. 白髪岳と犬ヶ岳における月別消失率（%）とデータ数.

月	白 髪 岳		犬 ヶ 岳	
	n	平均 (%)	n	平均 (%)
1	2	5.66	1	2.40
2	1	4.44	10	7.59
3	2	10.48	12	23.23
4	3	14.07	14	29.65
5	3	40.72	16	38.34
6	3	43.85	18	39.81
7	1	32.53	20	34.16
8	4	39.21	5	41.45
9	1	14.71	6	11.73
10	2	3.37	7	25.36
11	1	10.71	7	17.41
12	4	2.07		
平均		18.48		24.65

犬ヶ岳については12月分の測定資料はない．

測所からの標高差を 500 m と考え、標高 100 m につき 0.6°C の補正を行った値を使用した。

3. シカ密度推定のための糞粒法

ある調査時点に存在する糞粒数は、それ以前の各時点で落とされた様々な糞が、各季節特有の消失率に出会った後残ってきたものの総和である。森下法では連続消失率 c が一定と考えるので、以下のように記述できる。

$$\begin{aligned} \frac{f'}{\beta} &= Nh(e^{-c} + e^{-2c} + e^{-3c} + \dots) \\ &= Nh \sum_{t=1}^T e^{-ct} \end{aligned} \quad (3)$$

無限に長い時間を考えると $\sum e^{-ct}$ は $1/c$ となり、(3) 式は (1) 式と同じになる。

毎月毎に連続消失率 c が異なる場合には、(3) 式は次のように書き換えられる。T を遡る期間とすると、

$$= Nh \left(\sum_{t=1}^T e^{-\sum_{i=1}^t c_i} \right) \quad (4)$$

$$N = \frac{f'}{\beta h \left(\sum_{t=1}^T e^{-\sum_{i=1}^t c_i} \right)} \quad (5)$$

ここで c_i は、調査月の i ケ月前の連続消失率を示す。要は、これらの連続消失率を得ることができればよい。その消失率を使い、適当な期間分コンピューターで繰り返し計算をすると、 $\sum e^{-\sum c_i}$ が得られ、(5) 式によりシカの密度 N を推定できる。また、上記 (4) 式について N と h をより一般的な関数にして、表現したものが Taylor & Williams (1956) の (2) 式である。ただし、彼等の式は 2 回調査を前提としている。

本研究においても、高槻ほか (1981) の季節による 1 個体当たり 1 ケ月当たりの糞粒数の違いと、結果の部分で述べるような気温及び糞の月齢による消失率の違いを考慮して、次のように (4) 式を発展させた。

$$= N \sum_{t=1}^T h_t e^{-\sum_{i=1}^t c_{it}} \quad (6)$$

ここで、 h_t は調査日から t ケ月前の月において付加されたと仮定される 1 個体当たりの排糞粒数、 c_{it} は調査日の t ケ月前に付加された糞が i ケ月前の月に経験した消失率をそれぞれ示す。この式を (5) のように変形して N 、すなわち推定シカ密度を求めることとした。

結 果

1. 消失率の回帰式による推定

連続消失率は (2) 式で計算できるが、 F_{i+1}/F_i が 0 となる場合がある。このような場合 $\ln(F_{i+1}/F_i)$ は計算不能なので、回帰式で連続消失率 c を推定するのは不適當である。そこで、まず単純消失率 $(1 - (F_{i+1}/F_i))$ ；以下単に消失率という) を回帰式で推定した後、(2) 式で連続消失

率に変換し、その結果を(6)式に代入することにした。回帰式の従属変数は、調査のため設定した各コホートの、月毎に計算されたすべての消失率である。説明変数として、それらに対応する各月の平均気温、降水量、糞の月齢を採用した。それらの変数を選んだ理由は以下の通りである。いずれの変数とも調査各地で容易に手に入る資料であること。気温が高いと昆虫などの活動が活発になるため、分解がはやくなるだろうと予想されること。降水量による湿りは分解者としての菌類など繁殖を容易にするだろうし、また雨滴が物理的な破壊を起こす可能性があると考えられること。糞の月齢については、糞が排泄されてすぐは柔らかいしまた栄養豊富なので分解が速いと思われるが、古くなると堅くなったり昆虫にとって魅力的ではなくなるので分解されにくくなるのではないかと予想されたこと、等である。

まず、消失率を重回帰式で推定することを試みる前に、白髪岳、犬ヶ岳両調査地のデータの同一性を検討した。消失率を気温、降水量、糞の月齢など、それぞれの単変数で説明する回帰式を求め、回帰係数が両地域の間で統計的に有意なレベルで異なるかどうか調べた。その結果、3つの説明変数による回帰係数のどれも地域間で有意な差を持たないことが明らかになった(t-検定, $p > 0.05$)。それ故、両地域のデータを込みにして扱っても差し支えないことになる。図1に、気温、降水量、糞の月齢と消失率との間の相関関係を示している。また、表2に消失率と各変数との間の相関係数を、調査地別と、両調査地のデータを組みにした場合とに分けて、それぞれ示している。

同じく表2には、重回帰分析の結果も示している。ただし、この場合、糞の月齢については直線回帰によるマイナスの消失率を回避するという現実的な理由から、 e^{-A} (Aは月齢)という変数に変換して重回帰を計算した。白髪岳のデータだけを使った場合の方が、犬ヶ岳だけの場合よりも高い重相関係数を示している。両地域を組みにした場合、気温、降水量、糞の月齢(e^{-A})の3変数による重相関係数は0.609 ($df_1=3, df_2=138, F=27.13, p < 0.0001$)であり、気温、糞の月齢(e^{-A})の2変数による重相関係数は0.607 ($df_1=2, df_2=139, F=40.47, p < 0.0001$)であった。3変数、2変数による消失率D(%)を推定する重回帰式は以下のようになる。

$$D = 1.245T + 0.012R + 41.034e^{-A} - 0.373 \quad (7)$$

$$D = 1.388T + 40.731e^{-A} - 0.106 \quad (8)$$

ここで、Tは気温(°C)、Rは月別降水量(mm)、Aは糞の月齢をそれぞれ示す。

ただ、重回帰分析による各回帰係数の有意性を検討したところ、降水量についての回帰係数は、両地域のデータとも、また込みのデータでも、統計的に意味のない数値であることが分かった(表

表2. シカ糞粒の消失率に対する各変数の相関関係。

変数	白髪岳	犬ヶ岳	両地域
	単相関関係		
気温	0.646**	0.265*	0.351***
降水量	0.453*	0.162	0.216**
糞の月令	-0.222	-0.415***	-0.374***
	重相関関係		
気温・降水量・exp(糞の月令)	0.733**	0.591***	0.609***
気温・exp(糞の月令)	0.723**	0.589***	0.607***

F-検定: * $0.01 \leq p < 0.05$, ** $0.001 \leq p < 0.01$, *** $p < 0.0001$

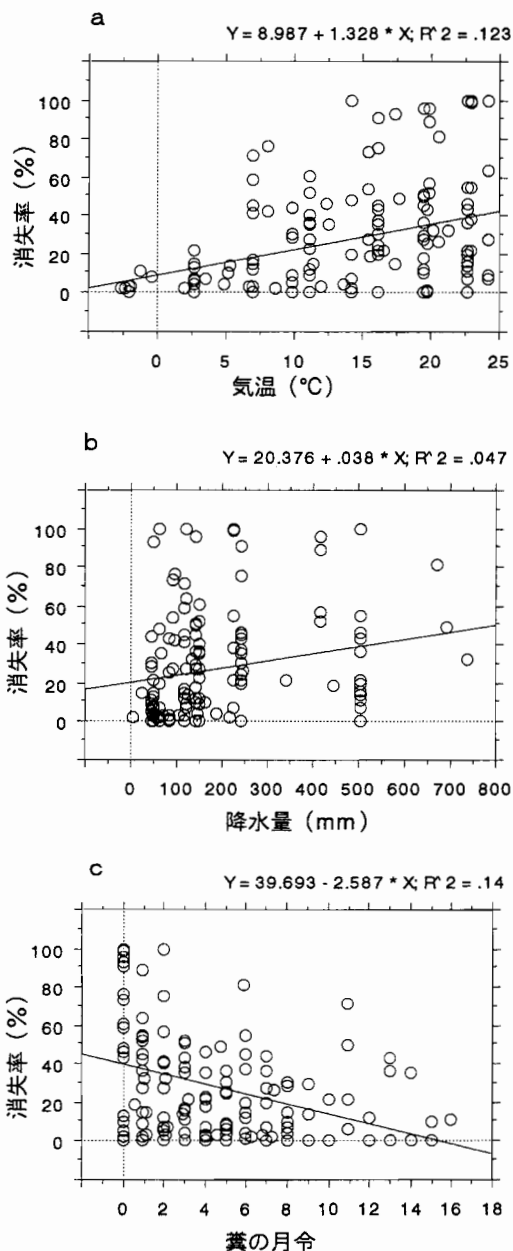


図1. 気温、降水量、糞の月齢と、糞粒の月当たり消失率との相関関係、及び単回帰直線。白髪岳と犬ヶ岳のデータをすべて込みにして使用。

3). 従って、理論的には降水量の変数は除いた残りの2変数のみで分解率を推定すべきであると判断される。

2. 分数式による消失率の推定

前節(8)式は、ほとんど分解のない冬季でも、新糞なら40.6%という高い推定消失率を与えて

表3. 糞粒の瞬間消失率を気温, 降水量, \exp (糞の月令)で説明するための重回帰式における各回帰係数の統計的有意性 (t 検定 P 値)

変数	白髪岳	犬ヶ岳	両地域
気温	0.0062	0.0069	0.0002
降水量	0.4070	0.5975	0.3155
\exp (糞の月令)	0.0332	0.0001	0.0001

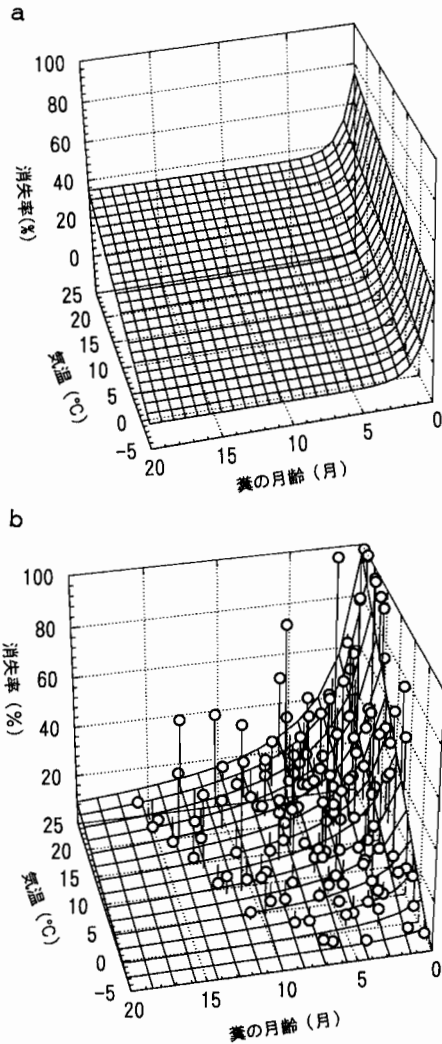


図2. 糞粒の消失率を説明するために得た (8) 式による3次元曲面 (a) と, 同じく (9) 式による曲面 (b). bには実際の実験によって得られたデータも示されている.

しまう ($A=0, T=0$ の場合; 図 2 a). これは, 本研究で得られた結果 (表 1) と合わない. 実際, 表 1, 図 1 で分かるように新糞でも, 気温が低い月には, ほとんどゼロに近い消失率を示している. そこで, 図 2 b に示した気温と月齢に対する消失率の関係から, 糞の月齢に対しては分数式で消失率を推定してみることにした. 統計パッケージ (Systat V.5.2) のクワジニュートン法による係数近似機能により, 以下の推定式を得た.

$$D = \frac{0.188T + 0.778}{0.027A + 0.057} \quad (9)$$

D は消失率 (%), T は気温 ($^{\circ}\text{C}$), A は糞の月齢である. 相関係数は 0.658 ($df_1=4, df_2=138, F=86.74, p<0.0001$) と, (8) 式より高い値を得た. また図 2 b において, (9) 式で表される曲面は, 消失率に対する気温, 月齢などの関係をうまく説明している.

以上により, 実用時における計算の簡便さ (変数は少ない方がよい), 推定式の説明力の高さなどを考慮すると, (9) 式を利用するのが適当であると判断される. (9) 式を使用し, その結果得られた各月毎の消失率 (D) から (2) 式によって連続消失率 (c_{it}) をもとめ, 最後に変形した (6) 式によってシカ密度を推定するプログラム, FUNRYU を作成した (付録). これは, Microsoft[®] Excel 97 の Visual Basic で書かれている. 必要なデータはエクセルのシート中に記入するようになっている.

3. 定常状態を仮定する期間

FUNRYU プログラムでは, シカの密度が長期に渡って一定であること, すなわち密度の定常状態を仮定してシカ密度を推定している. この定常状態をどの程度の期間仮定すればよいのであろうか. 言い換えれば, FUNRYU において, 糞の消失状況をみるために過去にどのくらいの期間遡ればよいのであろうか. 図 3 に式 (3) の計算法を使い, 遡る月の数をいろいろ変えてシカ密度 (N) を推定した結果を示している. これは (1) 式に小野ほか (1983) の推定値を代入して求めると 3 頭のシカ密度を与えることになる, 糞粒密度 2.17 粒/ m^2 を使って計算したものである. およそ 100 ケ月も遡れば 3 頭に対して 3.3% 増程度には近づくことになる. もちろん長い期間に渡って計算さ

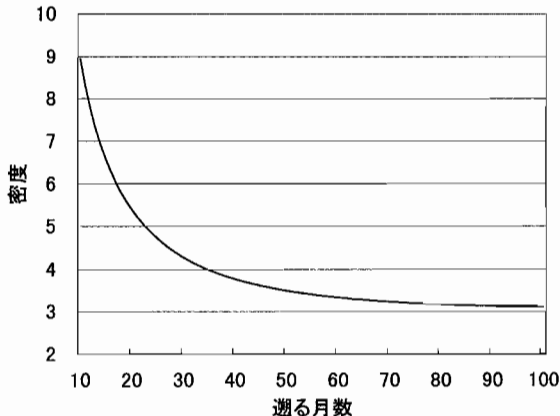


図 3. (3) 式の計算において, 定常状態を想定する月数 (計算の上で遡る月数) を変えた場合のシカ推定密度計算結果. 森下ほか (1979) の糞粒法で平方キロメートル当たり 3 頭のシカの密度を与える糞粒密度 2.17 粒/ m^2 を与えて計算.

せれば精度は上がるが、計算に時間がかかるし、それほど長い期間定常状態を仮定すること自体現実的な意味はない。従って、プログラムでは100ヶ月の遡りとした。

なお、遡り期間の設定は、2回に渡って固定方形区で調査を行う場合にも有効である。すなわち、1回目の調査で糞をすべて方形区から除去し、第2回目の調査において付け加わった糞をカウントするという調査ルーチンをもつ場合には、この遡り期間を2回の調査間の月差とすればよい。計算において、1回目調査以前の古い糞は考慮に入れず、その後に落とされた新しい糞だけの消失過程が考慮されることになる。もちろん、この計算方法は年中どの時期に第1回目、2回目の調査を行っても、対応できるものである。

4. 従来の計算法による推定値との違い

小野ほか(1983)によって対馬で得られたシカ糞の連続消失率 c は 0.0418 であった。この数値は、表1による両調査地のデータから計算された単純平均消失率 0.1848 (白髪岳)、0.2465 (犬ヶ岳) に比べるとかなり小さい。連続消失率に直すとそれぞれ 0.2043, 0.2830 となるが、0.0418 に対して4.9倍及び6.8倍もの数値である。表1を見て分かるように、白髪岳と犬ヶ岳における単純消失率は、夏季(5月から9月)にはほぼ同じ数値を示している。

各月の糞消失率が異なるので、どの月に調査をしたかによって、同じ糞粒密度でもシカの推定密度が異なる数値になるはずである。糞粒密度 2.17 粒/ m^2 (上述) が犬ヶ岳で各月に発見された場合の、FUNRYU プログラムによるシカ密度推定値を図4に示す。各月の調査時に同じ糞粒が発見されても、5月にシカの密度は最も低く推定され、10月に最も高く推定されることが分かった。これは、冬季は糞が分解されにくいので翌春に多くの糞がたまる状態になっているが、夏季の厳しい消失率を経験した秋の調査時には糞が非常に少なくなっているという理由から生じる結果である。犬ヶ岳において5月に糞調査をしたと仮定した場合には 9.6、白髪岳の場合には 6.7頭/ km^2 となり、(1)式により得られる 3頭/ km^2 のそれぞれ3.2倍、2.2倍と高く推定される。図4から分かるように10月には犬ヶ岳でほぼ5.1倍と推定される。

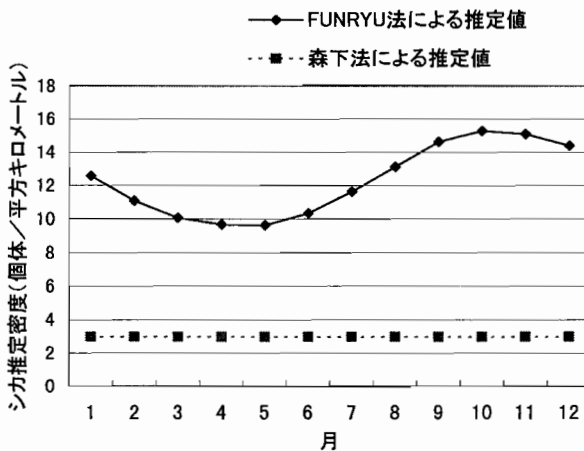


図4. FUNRYU プログラムに糞粒密度 2.17 粒/ m^2 (本文参照) を与えた場合の、シカの推定密度の月変化。4月に最も低く、10月に最も高く推定される。犬ヶ岳の気温を元に計算した。点線は森下ほか(1979)の糞粒法に糞粒密度 2.17 粒/ m^2 を代入して得られるシカの推定密度 (3頭/ km^2)。

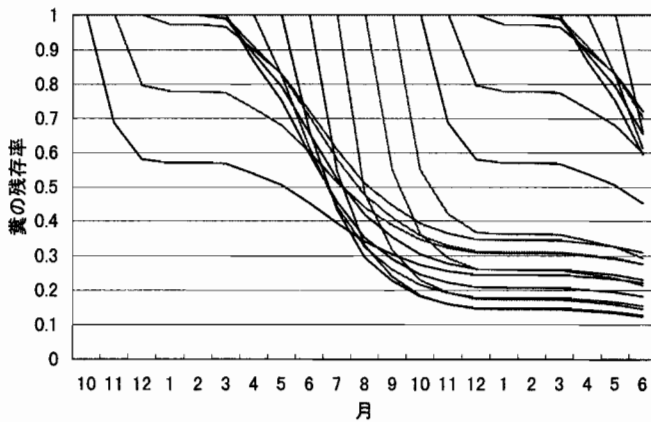


図5. (9)式で得られた連続消失率を使って、各月に落とされる糞粒がどのように残存していくかをシミュレーションした結果。

考 察

1. 分解率の正規性の問題

本来比率変数に対しては、回帰式のような正規性を仮定した分析は使えない。消失率は明らかに比率変数である。そこで、本研究で使った消失率の頻度分布を調べてみた。それによると、0が全データの16%、分解率0.5以下の頻度が81%を占め、全体としてL字型の分布をしている。そのため、アークサイン変換等をしてほどこ分布形式の改善は望めない。従って、今回はむしろ月別気温の資料だけで消失率を計算できるという実用性を取り、統計的な厳密性は問わないこととした。今後、適当な変換に基づいた計算法の改良が望まれる。

2. 推定誤差の評価

本研究では、単に一つの消失率の値を基にシカ密度を推定するわけではないので、シカの推定密度に対する区間推定を行うのは難しい。ただ、誤差を生じる要素は主に2つある。一つは消失率の実験誤差、もう一つは推定消失率を得る際の誤差である。後者については、糞の月齢と月の平均気温を使い分数式を当てはめて推定しているのだから、これを一義的に計算することは出来ない。しかし、前者に関しては、次のような計算を行うことが出来る。1コホートとして9糞塊を設定した犬ヶ岳におけるコホート内、コホート間の消失率の変動を見てみる。消失過程を連続と見なした場合、ある月に設置した糞 F_0 の t 月後の糞数は $F = F_0 e^{-ct}$ で表される。1996年3月から1997年3月までの各コホートの消失過程からこの c を求めて比較した。コホート内の変動は、95%信頼限界にして平均値の14% (1996年10月) から105% (1996年6月) の間であった。この変動幅のメディアンは53%であった。この変動幅について季節による一定の傾向は認められなかった。すなわち、変動の大きさは季節に関わらず、かなり機会的に決まっているといえる。消失率の糞塊間の差は、糞塊が置かれた微環境に影響されるのかもしれない。

また、コホート間 (月間) の c には有意な差が認められた ($df_1=8$, $df_2=104$, $F=5.55$, $P<0.001$)。すなわち、各月に落とされた糞がその後一定の速度で消失すると仮定したとしても、その消失率には有意差が存在する。

以上より、消失率の実験だけでも、平均値の区間推定幅として50%前後は見込んでいなければならないことが分かる。この幅は野外実験としては許容できる範囲であるが、さらに分数式による消失率の推定過程を考慮すれば、変動幅はもっと大きくなるものと思われる。

3. 糞消失率の高さについて

これまでいくつかのカモシカ糞調査及びシカ糞調査において、糞法による密度推定結果と区画法による密度推定結果がよく合致しているという報告がなされてきた（高槻，1991）。今回使用した2調査地の消失率の高さは、これまで使用されてきた消失率に比べかなり高い数値である。

この差を生んだ原因の一つは、小野ほか（1983）の消失率実験が1月に開始されたことにあると思われる。すでに述べたように、1月から2月にかけては白髪岳、犬ヶ岳とも5%前後（表1）の消失率を示している。これは上記研究結果の連続消失率 0.0418 から計算される単純消失率4.1%に近い値である。ただ、白髪岳で12月にセットされた糞の、9月までの平均月当たり消失率は13.4%であり、犬ヶ岳において1月にセットされた糞の8月までの値は15.3%で、2月にセットされた糞の7月までの値は15.7%であった。小野ほか（1983）の結果では、1月から12月の間でわずか3.3%であった。調査期間が両研究で完全に対応しているわけではないが、調査時期を考慮したとしても本研究で得られた値はまだかなり高めである。さらに、これらの消失率を使用して計算したシカの密度は、犬ヶ岳について計算した図4によると3.2倍から5.1倍（調査月により倍数は異なる）もの高い推定値を与えることになる。白髪岳、犬ヶ岳の両研究結果を受け入れるならば、従来の森下らの式によったとしても、数倍高い密度が推定されることは覚悟されなければならない。

ここにおいて、今後これらの違いを生じさせた理由を解明する作業が必要となるが、以下の方向があるだろう。第1に、さらに様々な土地で消失率調査を少なくとも2年間以上に渡って継続的にを行い、真の消失率に近い値を求めること。第2に実際にシカの密度が分かっている土地で、シカの個体数と糞粒発見数との間の関係をみること。第3に、(1)式へ連続消失率 0.0418 という数値を代入して得てきたこれまでの報告書中のシカ密度が、その土地で報告されている狩猟統計によるシカの捕獲数の年次変動を、実際に説明できるかどうか調べることである。すなわち、旧来の方法で求めたシカの密度では、最近各地で報告されている膨大な毎年の捕獲数を説明できない可能性がある。この問題については現在検討中である。

4. FUNRYU 計算法の限界

図2bから分かるように、気温と糞の月齢では説明しえないデータも多い。それ故、調査時期の問題だけでなく、土地による差（例えば糞虫の種類組成・密度・活動状態、糞粒の固まり具合、糞粒の置かれた植生・微地形環境など）が糞の消失速度に関与している可能性がある。本研究はこれらによる差をモデルで説明できるまでには至っていない。従って、この論文で提唱した計算法は、当面、九州本土の森林内でのシカ密度推定に限って使用することに留めておくのがよいと思われる。ただ全国各地で特有の消失率が得られれば、本研究の計算法は有効である。

これまで、糞の分解率は気象条件の中でも降水量や湿度と強く相関していることが報告されてきた（Wallmo *et al.*, 1962; Wigley & Johnson, 1981; Harestad & Bunnell, 1987; Messei *et al.*, 1998）。糞虫の活動性や流出の可能性が、降雨によって高まるためと考えられている。また、気温に係わる変数が分解率をうまく説明するという報告例は多くない（Messei *et al.*, 1998）。しかし、本研究はこれらとは異なる結果を得た。すなわち、分解率は降水量とは無相関で、気温と有意な相関関係をもっていた。この違いを生じさせた理由には以下の2点が考えられる。1) 多くの研究で

は、その相関分析に新糞の短期間（1～2ヶ月）内の消失率を使っているが、本研究では古い糞の消失率も含めて分析に使っている。その点、他の研究の分解率では、降雨により活発に活動するという糞虫の影響が過大評価されている可能性がある。2) 九州の山地は基本的に多雨で、特に夏季多雨型の地域であるため、基本的に小雨あるいは冬季多雨型の外国の結果とは異なると思われる。例えば冬雨地域では糞虫の活動が、乾燥した夏季よりは雨の多い雨季に活発になる（Wigley & Johnson, 1981; Massei *et al.*, 1998）。それに対し、日本では主要な糞虫類の活動は夏季に活発になる（曾根, 1977; 園部, 1973）。

今後さらに、日本において、分解率の違いを気象条件及び糞虫の活動状況で多面的に説明する試みが必要である。

謝 辞

本研究を進める上で、以下の方々のご助力を頂きました。記して厚くお礼申し上げます。

まず、小野勇一九州大学名誉教授に、研究を進める上で終始変わらぬご助言と激励をいただきました。戸田光彦氏（自然環境研究センター）には、五島のシカ糞粒調査および区画法調査結果の資料を提供いただき、また豊前市森林組合には犬ヶ岳の糞粒調査地の設定に便宜を図っていただきました。さらに、宮崎大学教育学部ガイ・バターワース氏にはアブストラクトの英文を見ていただきました。

引用文献

- Harestad, A. S. and F. L. Bunnell. 1987. Persistence of black-tailed deer fecal pellets in coastal habitats. *J. Wildl. Manag.*, 51: 33-37.
- 伊藤健雄・高槻成紀. 1987. 五葉山地域におけるニホンジカの分布域と季節移動. 山形大学紀要（自然科学）, 11: 77-79.
- 丸山直樹・福島成樹・羽澄ゆり子・羽澄俊裕. 1985. ニホンジカ個体数調査への区画法の適用.（環境庁, 編: 森林の変化と大型野生動物の生息動態に関する基礎的研究）pp. 254-256, 東京.
- Massei, G., P. Bacon and P. V. Genov. 1998. Fallow deer and wild boar pellet group disappearance in a Mediterranean area. *J. Wildl. Manag.*, 62: 1086-1094.
- 森下正明・村上興正・小野勇一. 1979. 糞調査によるニホンカモシカの密度推定. 森下正明生態学論集 第二巻, pp. 273-299, 思索社, 東京.
- 沖縄県教育委員会（池原貞雄・伊澤雅子・土肥昭夫他編）. 1996. ケラマシカ保護対策緊急実態調査報告書. pp. 1-201, 沖縄県.
- 小野勇一・徳永章二・土肥昭夫. 1983. 糞粒法によるツシマジカの個体数調査. 長崎県教育委員会・対馬町村会, pp. 1-13.
- 曾根晃一. 1977. 奈良公園におけるシカの糞の分解・消失に及ぼす糞虫の影響. 昭和51年度春日大社境内原生林調査報告, 81-90.
- 園部力雄. 1973. 宮城県金華山島におけるシカの糞の消失に及ぼす糞虫の影響. JIBP-CTS 昭和47年度研究報告, 184-196.
- 自然環境研究センター. 1998. ツシマジカ生息状況調査報告書, 1-82.
- 高槻成紀. 1991. シカ密度既知の場所における糞粒法の適用例 — ハビタット利用推定法の可能性 —. 哺乳類科学, 30: 191-195.
- 高槻成紀・鹿股幸喜・鈴木和男. 1981. ニホンジカとニホンカモシカの排糞量・回数. 日本生態学会会誌, 31: 435-440.

- Taylor, R. H. and R. M. Williams. 1956. The use of pellet counts for estimating the density of populations of the wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.). *New Zealand J. Sci. & Technol. Sec. B*, 38: 236-256.
- Wallmo, O. C., A. W. Jackson, T. L. Hailey and R. L. Carlisle. 1962. Influence of rain on the count of deer pellet groups. *J. Wildl. Manage.*, 26: 50-55.
- Wigley, T. and M. K. Johnson. 1981. Disappearance rates for deer pellets in the southeast. *J. Wildl. Manage.*, 45: 251-253.

付録 1

FUNRYU プログラム (付録 2) に、必要なデータをセットし、計算結果を書き込むためのエクセルシート (マイクロソフト社製) . 付録 2 のプログラムをそのまま走らせるためには、このシート名は「シカ糞計算」であること。まず、B 列の所定の場所に月平均気温を入力する。次に、セル F8 の数値によって計算する事例数を与える。すなわち、この付録では 12 カ所 (A-L) について調査を行い、それぞれの調査月を 1~12 月としているが、この場所名、調査月は自分で任意に指定できる。その際、H 列にそれぞれの調査で得られた糞粒密度を入れる。前の調査時に糞除去が行われていない方形区での調査では、「消失過程計算月数」を 100 のままにする。前回の調査で糞除去が行われた場合には、除去後今回調査時までの経過月数を入力する。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	月別糞分解率(気温と糞の令の推定式により計算)を使用した場合のシカ糞粒法による密度計算										
2	プログラム名: FUNRYU										
3											
4											
5	糞発見率 (0-1.0)=		1								
6											
7											
8					計算事例数=	12					
9				場所	調査月 (1-12)	消失過程 計算月数	調査地糞密度 (糞粒数/ m ²)	蓄積糞粒数 (100ヶ月理 論値)	シカ密度 (頭/km ²)		
10	犬ヶ岳	気温	排糞数 /月								
11	1月	1.90	36129	A	1	100	2.17	172610	12.5717		
12	2月	2.70	36129	B	2	100	2.17	196032	11.0696		
13	3月	5.10	31524	C	3	100	2.17	215810	10.0551		
14	4月	8.00	31524	D	4	100	2.17	224488	9.6664		
15	5月	15.40	31524	E	5	100	2.17	225699	9.6146		
16	6月	19.80	26325	F	6	100	2.17	209971	10.3348		
17	7月	22.90	26325	G	7	100	2.17	186939	11.6080		
18	8月	24.10	26325	H	8	100	2.17	165459	13.1150		
19	9月	19.70	27168	I	9	100	2.17	148297	14.6328		
20	10月	14.20	27168	J	10	100	2.17	142004	15.2812		
21	11月	9.80	27168	K	11	100	2.17	143790	15.0915		
22	12月	3.90	36129	L	12	100	2.17	150728	14.3968		
23									12.2865		
24	※糞粒数2.17は小野ら(1979)の方法で3頭/km ² を与える密度										

付録 2

FUNRYU プログラム。エクセルの Visual Basic で書かれている。分数式については、今後消失率の実験結果がさらに加われば、おおいい変更の可能性がある。多少、プログラムを変更すれば、分数式を使わずにその土地特有の消失率を直接使って、計算が可能である。月の中で調査が下旬に行われる場合は SurveyTim=0 とする。

```

Sub fun2()
' Ver 1.2
' 月ごとに消失率が異なる場合のシカの糞粒法による個体群密度推定法
' 分数式に気温、糞の年齢を入れて消失率を推定するバージョン 990603

Dim PelletNo(1000), Temp(20), NoDeer, FunDens, HaifunMont(12)
Dim SurveyMont, SurveyTim, MontY, Mont, Repeat, Keisan As Integer
Dim i, j, k As Integer

Sheets("シカ糞計算").Activate
Keisan = Cells(8, 6).Value
For i = 1 To 12
    HaifunMont(i) = Cells(10 + i, 3).Value ' 季節毎の排糞粒数を読みとる
Next i
beta = Cells(5, 3).Value ' 発見率 (シカの調査では方形区が小さいので見落としがない)
For i = 1 To 12 ' 気温の読み込み
    Temp(i) = Cells(10 + i, 2).Value
Next i

For k = 1 To Keisan
    Repeat = Cells(10 + k, 7).Value ' 何ヶ月間計算を繰り返すか
    SurveyMont = Cells(10 + k, 6).Value ' 調査月をここに入れる。
    FunDens = Cells(10 + k, 8).Value ' 発見糞粒密度
    PelletNo(0) = HaifunMont(SurveyMont) ' 調査月の排糞粒数

    For i = 0 To Repeat
        MontY = Int(i / 12) ' iヶ月前の月を調べる
        Mont = SurveyMont - (i - 12 * MontY)
        If Mont <= 0 Then Mont = 12 + Mont
        If i > 0 Then
            PelletNo(i) = HaifunMont(Mont)
            For j = i To 1 Step -1 ' iヶ月前から SurveyMont-1 月まで戻ってくる

                MontY = Int(j / 12) ' jヶ月前の月を調べる
                Mont = SurveyMont - (j - 12 * MontY)
                If Mont <= 0 Then Mont = 12 + Mont

                ' 消失率を推定式によって計算する
                Disappear = (0.188 * Temp(Mont) + 0.778) * (1 / (0.027 * (i - j + 1) + 0.057))
                If Disappear < 0 Then
                    Disappear = 0
                Else
                    DisappearC = -Log((100 - Disappear) / 100) ' 連続消失率に直す
                End If

                PelletNo(i) = PelletNo(i) * Exp(-DisappearC)
            ' PelletNo (i)は i 月に 1 個体によって落とされる糞粒数 haifunMont(Mont)が
            ' SurveyMont までにどれくらいに減ったかを示す。
        End For
    Next i
Next k

```

```
        Next j
    End If

Next i

PEL = 0
SurveyTim = 1 ' SurveyMont 月の初め調査で 1, 終わり調査で 0 をとる
For i = SurveyTim To Repeat
    PEL = PEL + PelletNo(i) ' Repeat ケ月間でいくつ糞粒が溜まったか
Next i

NoDeer = FunDens / (beta * PEL) * 1000000
Cells(10 + k, 9).Value = PEL
Cells(10 + k, 10).Value = NoDeer

Next k

End Sub
```


ABSTRACT

Improvement of the Pellet Count Method for the Estimation of Sika Deer Density

Toshitaka Iwamoto¹, Takuji Sakata², Toshiyuki Nakazono³, Hironobu Kaoka³
Kouichi Ikeda⁴, Yuki Nishishita¹, Kunihiro Tokida⁵ and Teruo Doi⁶

¹Faculty of Education and Culture, Miyazaki University

²Kumamoto Municipal Commercial High School

³Institute for Natural Environment of Kyushu

⁴Forestry Technology Center of Fukuoka Prefecture

⁵Japan Wildlife Research Center

⁶Faculty of Science, Kyushu University

The pellet count method proposed by Morishita *et al.* (1979) has been widely used in Japan to estimate sika deer population density. However, it is limited in that its usage is only for year-based regular pellet samplings. It cannot be used for irregular sampling periods. This study reveals this limitation through experimental findings that pellets do not decay at a constant rate throughout a year. This study also proposes a modified method applicable to any seasonal/regional sampling by taking into consideration seasonally variable decay rates of pellets. In order to estimate month-specific decay rates of pellets from meteorological data, linear regression and fractional equations were established. Then, employing one of the equations, a computer program was written to estimate sika deer density. This modified method is useful for periodic sampling in which pellets are regularly removed after counting, as well as for one-time sampling made in any region and any month. Discrepancies between the results of density estimations from this modified method and those from the conventional one are also discussed.

Key words: Sika deer, density estimation, methodology, pellet count, computer program

受理日：1999年11月26日。

著者：岩本俊孝・西下勇樹，〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1 宮崎大学教育文化学部生物学教室
坂田拓司，〒860-0073 熊本市島崎2-37-1 熊本市立商業高等学校
中園敏之・歌岡宏信，〒869-1102 熊本県菊池郡菊陽町原水1272-5 九州自然環境研究所
池田浩一，〒839-0827 福岡県久留米市山本町豊田1438-2 福岡県森林林業技術センター
常田邦彦，〒113-0034 東京都文京区湯島2-29-3 財団法人自然環境研究センター
土肥昭夫，〒812-0053 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学理学部生物学教室