

糞調査によるニホンカモシカの密度推定*

1. ま え が き

ニホンカモシカ (*Capricornis crispus* TEMMINCK) は日本特産の有蹄類であって、本州・四国・九州の山地帯および亜高山帯に分布する。野外で見つかるのは単独個体が多いけれども、時として2~3個体(メスと仔またはメスオスと仔)の群れが見られることもある。

本種の主な生息場所は森林であって、その下生えの種々の草本や灌木を食物としている。岩壁の上にも現われることがしばしばあるが、このような場所は多分避難所または休み場所として利用されているものであろう。

ニホンカモシカは法律によって保護されているから、狩猟資料によって密度推定を行なうことは不可能である。また本種は捕獲したりあるいは接近することさえ容易ではないから密度推定のために記号放逐法を適用することも困難である。直接観察によって個体数を数えることは、冬や早春なら場所によっては可能であるが、他の季節には本種個体は森林のしげみにかくされているため実施困難である。現在のところ密度推定法として有効なのは糞塊調査資料を利用する方法であって、これは最初に森下・小野(未発表)によって1962年から1964年にかけての九州祖母山のカモシカ調査に用いられ、その後森下・村上(1971)によって本州白山のカモシカ調査に利用された方法である。この方法は独自の立場から開発されたものではあるが、結果的には TAYLOR & WILLIAMS (1956) がウサギの密度推定に用いた方法と似たものになっている。ただしカモシカに用いた方法には、TAYLOR & WILLIAMS の方法にくらべていくつかの新しい工夫が加えられている。特に調査時における糞塊発見率の問題や、糞塊や糞粒の消失率に関する取り扱いなどがそうである。本報文では、ニホンカモシカの密度推定のためこれまでに行なわれてきた理論的研究の主な結果と、これにもとづいての白山における野外調査の一部についてのべることにする。これらの

内容はある程度まで JIBP 業績として森下・村上 (1971) によって邦文で報告されているが、本報文にはその後の新しい考察や資料処理に関する改良などをも加えてのべることにする。

2. ニホンカモシカの糞

ニホンカモシカの糞粒は脱糞の際、糞塊としてまとめられた状態で地上に堆積される。一般に一つの糞粒は長径約14.5mm、短径約8.5mmの隋円体状である。新しい糞塊の色は光沢のある黒褐色であるが、時が経つとともに光沢を失い色も汚褐色あるいは黄褐色に変わる。1糞塊当りの糞粒数の頻度分布は、白山での60の新糞で調べたところによれば、図1に示すようにほとんど対数正規型である。この資料での1糞塊当り平均糞粒数は338となったが、この値は千葉(羽田ほか, 1965)が大町動物園で7日間継続して調べた糞塊の平均糞粒数(309.4)とほとんど一致する。

1日当り何個の糞塊を排泄するかという点については千葉の資料では約3個となっている。また河端(未発表)は京都動物園の4個体について3日間調べた結果、やはり1日当り3個という値を得ている。したがってこれから計算すると、1頭のカモシカの1日当りの排泄糞粒数は約1,000となる。カモシカの自然の生息場所において排泄されそのまま放置された糞塊のうち、あるものは3年以上も存続するが、大部分のものは1~2年のうちに消失する。このような糞塊消失の原因としては、豪雨や雪崩、あるいは落葉による陰蔽などが考えられるとともに、また糞塊内の糞粒数の減少の結果としての消失も挙げられよう。後者の原因としては糞粒の腐朽による崩壊や水による漸次的な流失、あるいは昆虫による食害などが考えられる。前者の原因による消失は、一般に糞塊

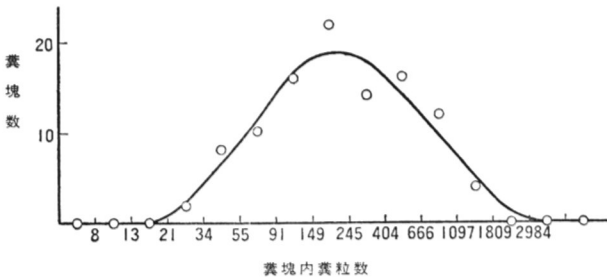


図1 新しい糞塊内の糞粒数分布

の大小にかかわらず一つの糞塊全体が突然消失するという形式をとるのに対して、後者の原因による消失は糞塊の大きさが次第に減少し、遂には糞塊としてもはや認められないほど小さくなってしまふといった形式の消失である。前者の消失は糞塊の「大きさに独立の消失（独立消失）」と呼び、後者の消失は「大きさに従属した消失（従属消失）」と呼ぶことにする。ただし厳密に言えば、独立消失を引き起こすような環境条件の下でも、大糞塊の方が小糞塊よりも残存する確率が大きいという可能性はないとはいえない。

3. 糞塊法および糞粒法の理論的基礎

3.1 糞塊法

(i) 糞塊消失が連続的に起こる場合

一定の地域内で糞塊探索を $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$ の各時点でくり返し行なうとする。 t_i 時点においてその地域内に残存する糞塊数を F_i とし、 F_i のうち t_{i+1} 時点まで残存する糞塊数を $F_{i \sim i+1}$ 、 t_i から t_{i+1} までの間に新しくこの地域につけ加わった糞塊中 t_{i+1} まで残存するものの数を $G_{i \sim i+1}$ とすれば

$$F_{i+1} = F_{i \sim i+1} + G_{i \sim i+1} \quad (1)$$

の関係が成立することは明らかである。

ここでもし糞塊の消失率、単位時間当り脱糞回数およびその地域内のカモシカ頭数が、 t_i から t_{i+1} までの間に変化しなければ

$$F_{i \sim i+1} = F_i e^{-b_i \tau_i} \quad (2)$$

および

$$\begin{aligned} G_{i \sim i+1} &= A_i \int_0^{\tau_i} e^{-b_i t} dt \\ &= \frac{A_i}{b_i} (1 - e^{-b_i \tau_i}) \end{aligned} \quad (3)$$

となるであろう。ただし b_i は t_i から t_{i+1} までの間の糞塊瞬間消失率、 A_i はその間の単位時間当り排泄糞塊数であり、また

$$\tau_i = t_{i+1} - t_i$$

である。

したがって

$$e^{-b_i \tau_i} = K_i$$

とおけば

$$F_{i+1} = F_i K_i + \frac{A_i}{b_i} (1 - K_i). \quad (4)$$

さて、 t_i から t_{i+1} までの間にこの地域内に滞在していたカモシカ頭数を N_i とし、1頭のカモシカが単位時間当り排泄する糞塊数を H とおけば

$$A_i = N_i H \quad (5)$$

であるから、(4) および (5) より

$$N_i = \frac{1}{H} \frac{F_{i+1} - F_i K_i}{1 - K_i} b_i \quad (6)$$

が得られる。この式は TAYLOR & WILLIAMS (1956) がウサギの個体数推定に用いたものと同じである。

TAYLOR & WILLIAMS の方法では、調査地域内にウサギの入れないような囲いを t_i 時点で設置し、その時点で囲いの中に存在していた糞数 (k_i) と、同じ囲いの中に t_{i+1} 時点で存在していた糞数 (k_{i+1}) との比、 k_{i+1}/k_i 、によって K_i を推定している。しかしニホンカモシカの糞塊調査では、発見された糞塊にその場で標識をつけることは容易なので、もし t_i 時点で存在する糞塊の全部に標識をつけたとすれば、 $F_{i \sim i+1}$ の値は標識糞塊のうち t_{i+1} 時点まで残存したものの数によって直接知ることができ、また $G_{i \sim i+1}$ の値も t_{i+1} 時点で存在する無標識糞塊数によって知ることができる。

したがって K_i および b_i はそれぞれ

$$K_i = \frac{F_{i \sim i+1}}{F_i}$$

および

$$b_i = \frac{-1}{t_{i+1} - t_i} \ln \frac{F_{i \sim i+1}}{F_i}$$

によって推定され、これから N_i も

$$N_i = \frac{F_i}{H} \cdot \frac{F_{i+1} - F_{i \sim i+1}}{F_i - F_{i \sim i+1}} \cdot \frac{-1}{\tau_i} \ln \frac{F_{i \sim i+1}}{F_i}$$

によって推定することができる。なお

$$F_{i+1} - F_{i \sim i+1} = G_{i \sim i+1}$$

であるから、

$$N_i = \frac{F_i}{H} \cdot \frac{G_{i \sim i+1}}{F_i - F_{i \sim i+1}} \cdot \frac{-1}{\tau_i} \ln \frac{F_{i \sim i+1}}{F_i} \quad (7)$$

と書くことができる。

しかし、カモシカの糞塊調査では調査地域内の糞塊全部を見つけることは一般に極めて困難である。糞塊発見率は植生の型や探索努力のいかんによって異なるであろうし、その上糞塊の大きさすなわち糞塊を形づくる糞粒の数によっても影響される可能性がある。後者の場合、糞塊の平均発見率 (α) は次式によって示すことができるであろう。

$$\alpha = \frac{\sum_j H_j \alpha_{0j}}{\sum_j H_j}, \quad (8)$$

ただし H_j は糞塊をその大きさによってクラス分けした場合の j クラスに属する糞塊数、 α_{0j} は j クラスの糞塊発見率である。

調査地域内で t_i 時に存在する糞塊数 F_i のうち t_i 時の調査で発見された糞塊数を F_i' とし、その時の糞塊発見率を α_i とすれば、 t_i 時の調査で見落した糞塊数 F_{mi} は

$$\begin{aligned} F_{mi} &= (1 - \alpha_i) F_i \\ &= \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} F_i'. \end{aligned} \quad (9)$$

上記 F_{mi} のうち一部は次の調査時点 t_{i+1} までに消失するであろうから、 F_{mi} 中の t_{i+1} まで残存する糞塊数を $F_{mi \sim i+1}$ とすれば

$$F_{mi \sim i+1} = F_{mi} K_i, \quad (10)$$

ただし K_i は前に記したように t_i から t_{i+1} までの糞塊残存率である。

t_{i+1} 時点での $F_{mi \sim i+1}$ の発見率を α'_{i+1} とし、 $F_{mi \sim i+1}$ のうちの発見された数を $F''_{i \sim i+1}$ とすれば

$$F''_{i \sim i+1} = \alpha'_{i+1} F_{mi \sim i+1}. \quad (11)$$

(9), (10), (11) から

$$F''_{i \sim i+1} = \alpha'_{i+1} \frac{1 - \alpha_i}{\alpha_i} F_i' K_i. \quad (12)$$

一方、 $G_{i \sim i+1}$ ($t_i \sim t_{i+1}$ 間に脱糞され t_{i+1} まで残存した糞塊数) の t_{i+1} における発見率を α''_{i+1} とし、この時見出された無標識糞塊数を F''_{i+1} とすれば

$$F''_{i+1} = F''_{i \sim i+1} + \alpha''_{i+1} G_{i \sim i+1}. \quad (13)$$

(12), (3) および (13) から

$$F''_{i+1} = (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_i + \alpha''_{i+1} \frac{A_i}{b_i} (1-K_i). \quad (14)$$

この式と (5) とから

$$N_i = \frac{1}{H} \cdot \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_i}{\alpha''_{i+1} (1-K_i)} \cdot b_i \quad (15)$$

が得られる。

もし $\alpha'_{i+1} = \alpha''_{i+1}$ を仮定できるなら

$$N_i = \frac{1}{H} \cdot \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_i}{\alpha'_{i+1} (1-K_i)} \cdot b_i. \quad (16)$$

これは森下・村上 (1971) によって与えられた式である。

今, F'_i (t_i 時点で発見された糞塊数) の中, t_{i+1} 時点まで残存したものの数を F'_{i-i+1} とおけば, K_i および b_i はそれぞれ

$$\hat{K}_i = \frac{F'_{i-i+1}}{F'_i} \quad (17)$$

および

$$\hat{b}_i = \frac{-1}{\tau_i} \ln \frac{F'_{i-i+1}}{F'_i} \quad (18)$$

によって推定されるから, α_i , α'_{i+1} , α''_{i+1} が既知ならば N_i ($t_i \sim t_{i+1}$ の期間中の調査地域内カモンカ個体数) は

$$N_i = \frac{1}{H} \cdot \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) (\alpha'_{i+1}/\alpha_i) F'_{i-i+1}}{\{1 - (F'_{i-i+1}/F'_i)\} \alpha''_{i+1}} \cdot \frac{1}{\tau_i} \ln \frac{F'_i}{F'_{i-i+1}} \quad (19)$$

によって推定することができる。もし F''_{i-i+1} が F''_{i+1} にくらべて非常に小さければ, (19) 式は次式のように簡単化できる。

$$N_i = \frac{1}{H} \cdot \frac{F'_i F''_{i+1}}{(F'_i - F'_{i-i+1}) \alpha''_{i+1}} \cdot \frac{1}{\tau_i} \ln \frac{F'_i}{F'_{i-i+1}}. \quad (20)$$

もし b (糞塊の瞬間消失率) および N が, $t_i \sim t_{i+1}$ の期間のみならず, t_i 以前においても長期間一定のまま持続されている場合は, 少なくとも近似的に次の関係が成立する。

$$F_i = \frac{N_i H}{b_i} \tag{21}$$

これより

$$\begin{aligned} N_i &= \frac{1}{H} \cdot \frac{F_i'}{\alpha_i} b_i \\ &= \frac{1}{H} \cdot \frac{F_i'}{\alpha_i} \frac{1}{\tau_i} \ln \frac{F_i'}{F'_{i-i+1}} \end{aligned} \tag{22}$$

が得られる。

厳密に言えば (19) 式は正確とはいえない。なぜなら糞塊瞬間消失率 b_i が $t_i \sim t_{i+1}$ の期間中一定のまま持続されるという仮定は一般には満足されないであろうからである。すなわち、かりに糞塊の「独立消失率」が一定のままであっても、 t_i 以後付加された糞塊群の大きさの分布は時間経過とともに変化しつづけ、 $\tau_i (=t_{i+1}-t_i)$ が充分に大きくなってはじめて定常状態になるはずであって、この分布の仕方の変化に応じて「従属消失率」もまた変化するものと考えられるからである。

今、 t_i 時点で見落した糞塊の $t_i \sim t_{i+1}$ における従属瞬間消失率を b''_{mi} とおき、また同じ期間に付加された糞塊についての従属瞬間消失率を b''_{gi} とおけば、この期間についての糞塊平均全消失率として次の二つが得られる。

t_i 時点調査で見落した糞塊については

$$b_{mi} = b'_i + b''_{mi}$$

$t_i \sim t_{i+1}$ の時間に付加された糞塊については

$$b_{gi} = b'_i + b''_{gi}.$$

そこで

$$\tau_i = t_{i+1} - t_i$$

として

$$K_{mi} = e^{-b_{mi}\tau_i}, \quad K_{gi} = e^{-b_{gi}\tau_i}$$

とおけば、次の二つの関係が成立する。

$$F'_{i-i+1} \doteq \alpha'_{i+1} \frac{1-\alpha_i}{\alpha_i} F'_i K_{mi}, \tag{23}$$

$$G_{i-i+1} \doteq \frac{A_i}{b_{gi}} (1 - K_{gi}). \tag{24}$$

これより (15) 式を次のように修正できる。

$$N_i = \frac{1}{H} \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_{mi}}{\alpha''_{i+1} (1-K_{gi})} b_{gi}. \quad (25)$$

ここでもし τ_i が小さければ、この期間に付加された糞塊総数に対するこの中の従属消失による消失糞塊数の割合は小さいであろうから、 b''_{gi} は無視しても差支えないと思われる。本研究の資料（後述）では、 $\tau_i < 4.5$ 月の場合は b''_{gi} はほとんど 0 となり、また $\tau_i = 9$ 月の場合でも b''_{gi} は極めて小さく、これを 0 として計算しても結果にはほとんど影響がない。このような場合には

$$N_i = \frac{1}{H} \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_{mi}}{\alpha''_{i+1} (1-K'_i)} b'_i \quad (26)$$

(ただし $K'_i = e^{-b'_i \tau_i}$)

によって N_i を推定できる。

(25), (26) 式中の K_{mi} , b_{gi} は、図 2 に示した現存糞塊についての大きさ（糞粒数）の理論分布とそれぞれの糞粒数クラスの糞塊発見率を利用して推定することが理論的に可能であるが、この計算がやや面倒なのがこれらの式の欠点である。そこで (26) 式中の K_{mi} の代わりに K_i を用いることにすれば、近似的な方法ではあるが N_i の推定を簡便に行ない得る。すなわち

$$N_i = \frac{1}{H} \frac{F''_{i+1} - (1-\alpha_i) \frac{\alpha'_{i+1}}{\alpha_i} F'_i K_i}{\alpha''_{i+1} (1-K'_i)} b'_i. \quad (27)$$

特に $\tau_i b'_i$ が大きい場合は、 $(1-\alpha_i) \alpha'_{i+1} F'_i K_{mi} / \alpha_i$ および $(1-\alpha_i) \alpha'_{i+1} F'_i \times K_i / \alpha_i$ の両者とも F''_{i+1} にくらべて非常に小さくなるので、(26), (27) 両式による計算値の差はわずかである。

ii) 糞塊消失が不連続に起こる場合

糞塊消失を引き起こす敵しい環境の作用が、引き続き 2 回の調査には含まれた期間の中のごく短時間にだけ働く場合は、(19) 式を適用することができないからこれに代わる新しい式が必要である。

今、糞塊消失が t_1 および t_2 の間のある時点 t_c にだけ起こるものとし

$$t_c - t_1 = \tau_A$$

$$t_2 - t_c = \tau_B$$

とおく。この場合糞塊付加率 A が $t_1 \sim t_2$ の期間を通じて一定ならば次の関係

が成立する。

$$\begin{aligned}
 F_2'' &= \alpha_2'(1-\alpha_1)F_1K + \alpha_2''A\tau_AK + \alpha_2'''A\tau_B \\
 &= (1-\alpha_1)\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}F_1'K + \alpha_2''A\tau_AK + \alpha_2'''A\tau_B.
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

ここに α_1 および α_2' はそれぞれ (19) 式の α_i および α'_{i+1} に当り、 α_2'' および α_2''' はそれぞれ τ_A および τ_B の期間に付加され t_2 まで残存した糞塊の発見率である。また K は糞塊消失期前の糞塊数に対する消失期後の残存糞塊数の比率 (残存率)、 F_2'' は t_2 に発見された無標識糞塊数である。

(28) 式から

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{F_2'' - (1-\alpha_1)\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}F_1'K}{\alpha_2''\tau_AK + \alpha_2''' \tau_B} \\
 &= \frac{F_2'' - (1-\alpha_1)\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}F'_{1-2}}{\alpha_2''\tau_A\frac{F'_{1-2}}{F_1'} + \alpha_2''' \tau_B}
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

が得られるから、カモシカ頭数は

$$N = \frac{1}{H} \cdot \frac{F_2'' - (1-\alpha_1)\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}F'_{1-2}}{\alpha_2''\tau_A\frac{F'_{1-2}}{F_1'} + \alpha_2''' \tau_B}
 \tag{30}$$

によって求められる。ただし F'_{1-2} は t_1 時に標識された糞塊中 t_2 まで残存したものの数である。

もし $\alpha_2''' \doteq \alpha_2''$ なら

$$N = \frac{1}{H} \frac{F_2'' - (1-\alpha_1)\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}F'_{1-2}}{\alpha_2''\left(\tau_A\frac{F'_{1-2}}{F_1'} + \tau_B\right)}.
 \tag{31}$$

$K > 0.5$, $\tau_A = \tau_B$ の場合は (31) 式と (19) 式とではほとんど同じ N の計算値が得られる。

後にのべるように白山の調査資料では、春～秋、秋～翌春の二つの期間のそれぞれについての糞塊消失率の間にあまり差がない所からみると、たとえ時として多くの糞塊が同時消失する可能性があるのは否定できないにせよ、糞塊消失はどちらかといえばほぼ連続的に起こっていたものと考えられる。

3.2 糞 粒 法

(i) 一 般 式

もし各糞塊内の糞粒数がすべて直接の勘定もしくは推定によって知られるなら、この値を糞塊数の代わりに用いてカモシカの密度推定を行なうことができる。糞粒数を用いる場合の基礎理論は、これまでの各章で記述した糞塊法の理論とほとんど同じである。すなわち、 $t_i \sim t_{i+1}$ の期間における調査地域内のカモシカの平均個体数は

$$N_i = \frac{1}{h} \frac{f''_{i+1} - (1 - \beta_i) \frac{\beta'_{i+1}}{\beta_i} f'_i L_i}{(1 - L_i) \beta'_{i+1}} c_i \quad (32)$$

によって推定される。ただし

$f'_i = t_i$ 時点で発見された糞塊内の糞粒数

$f''_{i+1} = t_{i+1}$ 時点で発見された無標識糞塊（新発見糞塊）内の糞粒数

$f_{m_{i-i+1}} = t_i$ で見落され t_{i+1} まで残存した糞塊内の糞粒数

$\beta_i = t_i$ での糞粒発見率

$\beta'_{i+1} = t_{i+1}$ での $f_{m_{i-i+1}}$ の発見率

$\beta''_{i+1} = t_i \sim t_{i+1}$ の間に付加され t_{i+1} まで残存した糞粒の t_{i+1} での発見率

$c_i = t_i \sim t_{i+1}$ の間における糞粒の瞬間消失率。 $\frac{1}{\tau_i} \ln \frac{f'_i}{f'_{i-i+1}}$ によって推定される

$L_i = e^{-c_i(t_{i+1} - t_i)}$

$h =$ カモシカ 1 頭の単位時間当りの排泄糞粒数

一般に従属消失によって失われる小糞塊に含まれている糞粒数は全糞塊から失われる糞粒数全体にくらべると非常に小さいと考えられるから、時間経過にともなう糞塊の大きさの分布型の変化が糞粒消失率に与える影響はほとんどないとみることができる。したがって糞塊法の場合に (15) 式の修正式として (25), (26), (27) 式などを考えたのに対して、糞粒法では同様の形式の修正を施す必要はなく (32) 式のままで密度推定を行なうことができる。

もしカモシカ密度が長期間にわたって安定していると仮定できるなら、 N は

$$N = \frac{1}{h} \frac{f'_1}{\beta_1} c \quad (33)$$

によって推定できる。ただし f'_1 は第 1 回調査で見出された糞粒数である。

(ii) 糞粒消失率

自然状態での糞粒の消失の仕方には次の二つがある。1) 各糞塊の中での徐々の消失。2) 糞塊の独立消失にともなう消失。前者は各糞塊内の糞粒数の減少として示され、後者は1つの糞塊を形づくる全糞粒の同時的消失によって示される。本報では前者を「糞塊内の消失」、後者を「糞塊単位の消失」とよぶことにする。

さて、糞塊内瞬間消失率を c' とすれば、全瞬間消失率 (c) は

$$c = b' + c'$$

となる。ここに b' は糞塊の独立瞬間消失率である。

b' および c' が長期にわたって一定であると仮定し、調査地域内の現存糞塊内の全糞粒数および脱糞直後の1糞塊当り平均糞粒数をそれぞれ f および \bar{r}_0 とすれば、

$$\begin{aligned} f &= \int_0^{\theta} A\bar{r}_0 e^{-(b'+c')t} dt \\ &= \frac{A\bar{r}_0}{b'+c'} (1 - e^{-(b'+c')\theta}). \end{aligned} \quad (34)$$

上式中の θ は独立消失が起こらない場合の糞塊平均「寿命」であって

$$\theta = \frac{1}{c'} E \left\{ \ln \frac{r_0}{v} \right\} \quad (35)$$

によって与えられる。ただし r_0 は脱糞直後の個々の糞塊中の糞粒数、 v は最小糞塊（それより少ない糞粒数の糞塊は糞塊として取り扱わない）のもつ糞粒数である。

ここで

$$R = E \left\{ \ln \frac{r_0}{v} \right\}$$

とおけば

$$\theta = \frac{R}{c'} \quad (36)$$

となる。

図1に示した新らしい糞塊から求めた $\ln r_0$ の平均値は 5.378 となるから、

この値を $E(\ln r_0)$ の代わりに用い、また前記した糞塊の定義に基づいて $v=11$ とすれば

$$R=2.98$$

および

$$\theta = \frac{2.98}{c'}$$

が得られる。これより

$$f = \frac{A\bar{r}_0}{b'+c'}(1-e^{-2.98(b'/c'+1)}). \quad (37)$$

$A\bar{r}_0/(b'+c')$ から計算される総糞粒数 ($v < 11$ の「糞塊として認められない糞粒の集合体」中の糞粒も含む) に対する $v \geq 11$ の糞塊中の糞粒数の割合は $b'=0$ の時約 0.95 となり、 $b' > 0$ の時は b' の値の増大とともに 1 に近づく。

前述のように定常状態では現存糞塊数は

$$\begin{aligned} F &= \frac{A}{b'}(1-e^{-b'\theta}) \\ &= \frac{A}{b'}(1-e^{-2.98b'/c'}) \end{aligned} \quad (38)$$

となるから、その中の 1 糞塊当りの平均糞粒数は

$$\begin{aligned} \bar{r} &= \frac{f}{F} \\ &= \frac{\bar{r}_0 b' (1-e^{-(b'+c')\theta})}{(b'+c')(1-e^{-b'\theta})} \\ &= \frac{\bar{r}_0 b' (1-e^{-2.98(b'/c'+1)})}{(b'+c')(1-e^{-2.98b'/c'})}. \end{aligned} \quad (39)$$

定常状態での単位時間当り消失糞塊数 (U) は

$$\begin{aligned} U &= A \\ &= \frac{b'F}{1-e^{-b'\theta}} \\ &= \frac{b'F}{1-e^{-2.98b'/c'}}. \end{aligned} \quad (40)$$

定常状態での独立消失、従属消失の両者を合わせた糞塊瞬間消失率を b とすれば、 A は

$$A=bF \quad (41)$$

となるから、 b' 、 c' および b の間の関係は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} b &= \frac{b'}{1-e^{-b'\theta}} \\ &= \frac{b'}{1-e^{-2.98b'/c'}} \end{aligned} \quad (42)$$

定常状態での糞塊従属瞬間消失率を b'' とおけば

$$b=b'+b'' \quad (43)$$

であるから、 b'' は

$$\begin{aligned} b'' &= b' \frac{e^{-b'\theta}}{1-e^{-b'\theta}} \\ &= b' \frac{e^{-2.98b'/c'}}{1-e^{-2.98b'/c'}} \end{aligned} \quad (44)$$

によって与えられる。

3.3 糞塊および糞粒の発見率

(19)、(27) または (32) 式によってカモシカの密度推定を行なうためには、糞塊の発見率 α_i 、 α'_{i+1} 、 α''_{i+1} または糞粒発見率 β_i 、 β'_{i+1} 、 β''_{i+1} が判らなければならない。これら発見率を推定するのに以下にのべる諸法が役立つであろう。

(i) くり返し探索法

一定の地域内で1日以内に n 回の糞探索をくり返すものとし、 k 回目の探索で新しく発見された j クラスの大きさの糞塊数を M''_{jk} とすれば、

$$M''_{jk} = (M_j - S_{jk-1})\alpha_{0j} \quad (45)$$

の関係が期待される。ただし M_j は j クラスの糞塊の現存数、 α_{0j} は j クラス糞塊の発見率であり、また

$$S_{jk-1} = M''_{j1} + M''_{j2} + \cdots + M''_{jk-1} \quad (46)$$

である。 $k=1, 2, \dots, n$ の場合の M''_{jk} の値を S_{jk-1} に対してプロットすれば、この回帰直線の傾きによって α_{0j} は推定できる。

もし $n=2$ (連続2回探索法) なら

$$M''_{j2} = M_j\alpha_{0j} - M''_{j1}\alpha_{0j}$$

$$= M''_{j1}(1-\alpha_{01}) \quad (47)$$

となるから

$$\alpha_{0j} = 1 - \frac{M''_{j2}}{M''_{j1}} \quad (48)$$

が得られる。

j クラスの糞塊現存数 M_j は

$$M_j = \frac{M''_{j1}}{\alpha_{0j}} \quad (49)$$

であるから、糞塊全部についての平均発見率は

$$\alpha = \frac{\sum_j M''_{j1}}{\sum_j M''_{j1}/\alpha_{0j}} \quad (50)$$

となる。

j クラスの糞塊中の最大および最小のものに含まれる糞粒数をそれぞれ $r_{j\max}$ および $r_{j\min}$ とすれば、 j クラスの現存糞塊全部に含まれている糞粒数 (m_j) および j クラスの糞塊中発見された糞塊中に含まれている糞粒数 (m''_j) は

$$m_j = \frac{1}{2}(r_{j\max} + r_{j\min})M_j$$

$$m''_j = \frac{1}{2}(r_{j\max} + r_{j\min})M''_{j1}$$

によって近似的に推定される。なお上式中の M_j は (49) によって推定できる。

したがって糞粒全体としての平均発見率 β は

$$\beta = \frac{\sum_j m''_j}{\sum_j m_j} \quad (51)$$

によって推定できることになる。

(ii) 糞塊当りの糞粒数分布を利用する方法

この方法はまず新糞の糞粒数分布と糞塊の独立消失率 (b') をもとにして現存する糞塊の糞粒数分布を推定し、次にこの糞粒数分布と実際に発見された糞

塊の糞粒数分布を比較することによって発見率を推定しようとするものである。その手順は次のとおりである。

(a) 定常個体群の場合

糞塊当り糞粒数の対数値を一定の数値間隔で区分することによって糞塊の大きさのクラス分けした場合、 j クラスの糞塊が「糞粒の糞塊内消失」によって $j-1$ クラスに移るに要する時間を ρ とする。もし単位時間当り一定数の新しい糞塊が継続的に付加されるとするならば、 $\tau(=n\rho)$ 時間が経過した後の各クラスに属する糞塊数の相対値 (Z_j) ($j=1, 2, 3, \dots$) は近似的に

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{1}{2}z_1 + z_2e^{-b'\rho} + z_3e^{-2b'\rho} + \dots + \frac{1}{2}z_{n+1}e^{-n\rho} \\ Z_2 &= \frac{1}{2}z_2 + z_3e^{-b'\rho} + z_4e^{-2b'\rho} + \dots + \frac{1}{2}z_{n+2}e^{-n\rho} \\ &\vdots \\ Z_j &= \frac{1}{2}z_j + z_{j+1}e^{-b'\rho} + z_{j+2}e^{-2b'\rho} + \dots + \frac{1}{2}z_{j+n}e^{-n\rho} \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

によって与えられる。ただし z_j は新糞塊のうちの j クラスに属する糞塊数の相対値である。ここで 244 粒以上の糞粒をもつ糞塊の発見率を 0.9 (表 2 参照) と仮定すると、定常状態での j クラスの現存糞塊数は

$$M_j = \frac{H_x}{Z_x} Z_j \times \frac{1}{0.9} \quad (53)$$

によって推定できる。ただし H_x は 244 粒以上の各クラスに属する発見糞塊数の合計値、 Z_x は (52) 式の Z_j ($n \rightarrow \infty$) のうち 244 粒以上の各クラスの値の合計である。上記の M_j と、第 1 回調査での j クラスの発見糞塊数 M_j' とから

$$\alpha_{0j} = \frac{M_j'}{M_j} \quad (54)$$

として j クラス糞塊の発見率が推定される。第 1 回調査における糞塊全体についての平均発見率 α_1 は

$$\alpha_1 = \frac{\sum_j M_j'}{\sum_j M_j} \quad (55)$$

として求めることができる。

上述のように「糞塊個体群」が定常状態であると仮定できるなら F (現存総

糞塊数)は $\sum M_j$ によって直ちに推定できるから、密度推定のためにわざわざ発見率の推定を行なう必要はないことになる。しかしながら、発見率を「糞塊大個体群」について予め推定しておけば、環境条件や調査法が同じならその発見率を糞塊当り糞粒分布を正確に求めることが困難な「糞塊小個体群」にも適用することができるであろう。

さて、 j クラス糞塊のうち第1回調査で見落したものの数は

$$M_{mj} = M_j - M_j' \quad (56)$$

として推定されるが、第1回調査から $n\rho$ 時間後に第2回調査を行なうとすれば、第1回に見落した j クラス糞塊は第2回調査の際は糞粒数減少によって $j - n$ クラスに所属変えになっているはずである。それと同時にそれら糞塊の数も M_{mj} 個より $M_{mj}e^{-n\rho b'}$ へと減少しているはずである。ただし b' は前にも記したように糞塊の独立瞬間消失率である。そうすると第1回調査で見落した糞塊のうち、第2回の際 j クラスの大きさで見出される糞塊数 (M'_{mj}) は

$$M'_{mj} = \alpha_{0j} M_{mj+n} e^{-n\rho b'} \quad (57)$$

となり、また第1回調査で見落した糞塊に対する第2回調査時の平均発見率 (α_2') は

$$\alpha_2' = \frac{\sum_j M'_{mj}}{\sum_j M_{mj+n} e^{-n\rho b'}} \quad (58)$$

となるであろう。

なお第1回調査時以後に付加された糞塊に対する第2回調査時の平均発見率 (α_2'') は

$$\alpha_2'' = \frac{\sum_j M_{\tau j}''}{\sum_j M_{\tau j}} \quad (59)$$

となる。ただし $M_{\tau j}'' = \alpha_{0j} M_{\tau j}$ であり、また $M_{\tau j}$ は $\tau (= n\rho)$ の値に應ずる M_j の値である。

上述の計算の際には、11粒より少ない糞粒数の糞塊は除外しなければならない。なお糞粒の発見率は前述の現存糞塊の理論糞粒数分布、各クラスごとの糞塊発見率 (α_{0j}) および糞塊当り平均糞粒数 (r_{0j}) を用いて求めることができる。

(b) 非定常個体群

もし一定地域内でのカモシカ密度が年ごとに変わるとすれば、 A 一定という仮定は成立しないから

$$F_1' = \alpha \frac{A}{b}$$

という式を用いることができない。

しかしもしひき続く2回の調査の時間間隔が大きければ、(13)式すなわち

$$F''_{i+1} = F''_{i-i+1} + \alpha''_{i+1} G_{i-i+1}$$

における F''_{i-i+1} の値は $\alpha''_{i+1} G_{i-i+1}$ にくらべて非常に小さいであろうと考えられる。なぜなら第 i 回の調査で見落される糞塊の大部分は小糞塊であり、その大きさや数は時間経過とともに益々小さくなるのが予想されるからである。

もし F''_{i-i+1} が無視できるほど小さければ

$$F''_{i+1} \doteq \alpha''_{i+1} G_{i-i+1}$$

となるから、 F''_{i+1} と G_{i-i+1} の両者の糞塊当り糞粒数の分布状態を前章に述べた手順に従って比較することにより α''_{i+1} を推定できる。この場合、 N_i の推定値は (20) 式から求めることができる。

以上の考察は糞粒法の場合にも適用できる。この場合は f''_{i-i+1} すなわち第 i 回調査で見落とし第 $i+1$ 回調査で見出された糞粒数に対する $\beta''_{i+1} g_{i-i+1}$ すなわち $t_i \sim t_{i+1}$ の間に付加され t_{i+1} で見出された糞粒数の比は、調査の時間間隔 τ_i が短くなければ F''_{i-i+1} に対する $\alpha''_{i+1} G_{i-i+1}$ の比よりも小さいはずだからである。したがって β''_{i+1} は α_{0j} , r_{0j} の値および t_{i+1} 時点で現存する糞塊についての理論糞粒数分布を利用して前述の手順で推定することができる。

4. 白山のニホンカモシカ個体群への適用

4.1 調査法

本報で用いる資料は、白山北部の蛇谷の海拔700~1,200mのブナ林に蔽われた山腹斜面や尾根の調査で得たものである。調査地域の面積は約 30km² であるが、これを4亜区に分け各亜区内に数個所の調査地点を設けた。各調査地点

では4～6名の調査員が5～10mの間隔で横にならび、出発点から50～100mの距離を同じ方向に歩きながら糞塊の探索を行なった。調査員相互の間隔は、糞塊見落しを最小限にしながらしかもなるだけ広い面積を全体としてカバーできるように、植生や地形に応じて定めた。糞塊を発見すると、そのすぐ横の小枝などに糞塊番号を記入した赤布を結びつけて目印しにするとともに、糞塊の形やその他の特徴を記録した。そしてこれらの作業が終った後にそこから $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{4}$ に当る糞粒を採集し、残りは次回以後の再検査（数地点では4～13ヶ月間隔で調査をくり返した）にそなえてそのまま放置した。採集した糞粒は持ち帰って室内で粒数、重量、含水量、粒内に侵入している小動物などを調べた。なお各糞塊中の糞粒数は採集したサンプルの粒数から採集割合に応じて推定することにした。

4.2 消失率の推定

秋～翌初夏、初夏～秋のそれぞれの期間内の標識糞塊の消失数から計算した糞塊の全瞬間消失率（ b ）および糞塊内糞粒瞬間消失率（ c' ）を表1に載せてある。 b および c' のどちらについても、上記二つの期間の間に著しい差は認められないから、糞塊や糞粒の消失は年間を通じてかなり連続的に行なわれているものとみることができると推定される。糞塊の独立瞬間消失率（ b' ）および従属瞬間消失率平均値（ b'' ）はそれぞれ

$$b' = c - c'$$

および

$$b'' = b - b'$$

として推定される。調査地域のカモシカ密度が定常状態にあると仮定すれば、表1の $c=0.1296$ 、 $c'=0.1113$ および $b=0.0412$ から $b'=0.0183$ および $b''=0.0230$ が得られる。

b'' を推定するには、上記のように b の推定値を用いる方法のほか、(44)式から直接推定する方法もある。(44)式から計算される b'' の値は0.0289となるが、これは上記0.0230にかなり近い値である。もし $b''=0.0289$ が正しいければ b は $0.0183+0.0289=0.0472$ となる。これは実際の糞塊調査から得た0.0413より幾分高い値であるが、 b の標本分散を考えると両者の差は有意とはいえないであろう。 $b=0.0413$ および $c=0.1296$ から計算すると1年当りの糞塊および糞粒の全消失率はそれぞれ39%および79%となる。また独立消失

表1 白山のカモシカ調査による母数推定値

| 期 間 | 糞 塊 | | | 糞 粒 | | | 糞 塊 独立瞬間 消 失 率 (<i>b'</i>) | |
|------------------|-------------------|--------------------|---|--------------------------------|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| | 期 間 の 長 さ 月 | 資 料 と し た 糞 塊 数 | 第1回より 第2回調査 までの残存 率 (<i>K</i>) | 全 瞬 間 消 失 率 (<i>b</i>) | 資 料 と し た 糞 粒 数 | 第1回より 第2回調査 までの残存 率 (<i>L</i>) | | 全 瞬 間 消 失 率 (<i>c</i>) |
| 1966年10月～1967年5月 | 7.3 | 58 | 0.8104 | 0.0287 | 13,174 | 0.3860 | 0.1304 | 0.1220 |
| 1967年10月～1968年6月 | 7.0 | 85 | 0.7107 | 0.0488 | 5,476 | 0.3789 | 0.1386 | 0.1140 |
| 平 均 | 7.2 | 143 | | 0.0403 | 18,650 | | 0.1328 | 0.1199 |
| 1967年5月～1967年10月 | 5.3 | 81 | 0.7777 | 0.0474 | 8,952 | 0.4185 | 0.1644 | 0.1330 |
| 1968年6月～1968年9月 | 4.0 | 45 | 0.8666 | 0.0358 | 4,207 | 0.6886 | 0.0933 | 0.0887 |
| 平 均 | 4.8 | 126 | | 0.0440 | 13,159 | | 0.1417 | 0.1186 |
| 1967年5月～1968年6月 | 12.3 | 40 | 0.6250 | 0.0382 | 11,710 | 0.2454 | 0.1142 | 0.0959 |
| 1968年9月～1969年10月 | 12.7 | 16 | 0.6250 | 0.0370 | 1,513 | 0.3067 | 0.0931 | 0.0802 |
| 平 均 | 12.4 | 56 | | 0.0379 | 13,223 | | 0.1118 | 0.0940 |
| 全 平 均 | | 325 | | 0.0413 | 45,032 | | 0.1296 | 0.1113 |

が起こらない場合の糞塊の平均「寿命」は、 $R=2.98$ を用いて(35)式から計算すると

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{2.98}{0.1113} = 26.77 \text{月} \\ &= 2.2 \text{年}\end{aligned}$$

となる。

4・3 発見率の推定

(i) 連続2回探索法

調査地点の一つ(トゥクズレ谷下部)で行なった連続2回探索法の結果を表2に示す。この表を見れば、発見率は糞塊の大きさによって異なることが明らかである。もし糞塊の大きさの影響を顧慮せず、単純に

$$\alpha = 1 - \frac{F_{II}''}{F_I'}$$

として発見率を推定すればその値は0.75となる。表2には糞塊をその大きさによって3クラスに分け(50)式によって計算した平均発見率を挙げてあるが、このクラス分けは正確な発見率推定には荒すぎるとはいえ、それでもこの方法による平均発見率0.549は上記0.75よりはるかに小さい。しかし糞粒発見率の方は、単純に

表2 連続2回探索法による発見率推定結果

| 糞塊当り糞粒数 | 90以下 | 91~244 | 245以上 | 計 | 記号 | |
|-----------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|------------|
| 発見糞塊数 | 探索I | 5 | 13 | 10 | 28 | F_I'' |
| | 探索II | 4 | 2 | 1 | 7 | F_{II}'' |
| 各クラス糞塊の発見率 (α_j) | 0.200 | 0.846 | 0.900 | | | |
| 現存糞塊数推定値 | 25 | 15 | 11 | 51 | F | |
| 発見糞粒数 | 探索I | 253 | 2,255 | 5,374 | 7,882 | f_I'' |
| | 探索II | 168 | 392 | 309 | 869 | f_{II}'' |
| 各クラス糞塊別の糞粒発見率 (β_j) | 0.336 | 0.826 | 0.942 | | | |
| 現存糞粒数推定値 | 753 | 2,730 | 5,705 | 9,188 | f | |

$$\alpha = F_I''/F = 0.549, \quad \beta = f_I''/f = 0.858.$$

$$\beta = 1 - \frac{f_{11}''}{f_1'}$$

$$= 0.890$$

としての計算値(0.890)は(51)式による計算値0.858とあまりちがわない。すなわち糞塊の大きさの発見率推定値に及ぼす影響は、糞粒法では非常に小さいといえる。

(ii) 糞塊当りの糞粒数分布を利用する方法

図1の糞粒数分布をもった新糞塊群が継続して一定地域内に付加されると仮定し、また b' および c' の値としてそれぞれ 0.0183 および 0.1113 を用いて、時間経過にともなう糞粒数分布の変化を(52)式から数値計算によって求めたものが図2である。この図を見れば、第1回の調査以前の3年以上の期間にわたって一定地域内のカモシカ密度が変化しなければ、糞塊(11糞粒以上)当りの糞粒数分布は定常状態になることがわかる。このような定常状態を仮定すれば、この理論的糞粒数分布と第1回調査時に実際に発見された糞塊についての糞粒数分布とから、(53)、(55)、(58)、(59)式などによって発見率を推定することができる。糞粒数分布の理論値と実測値との比較は図3に示すとおりであって、これから各糞粒数クラスごとの発見率を求めた結果は図4に示さ

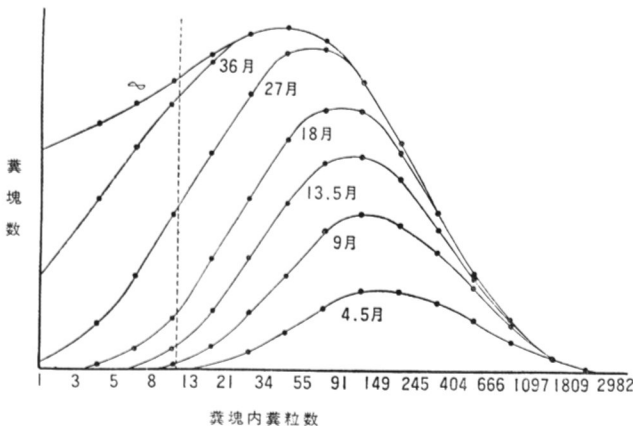


図2 新糞塊が継続付加される場合一定期間に蓄積される糞塊についての理論的糞粒数分布(瞬間消失率 $c'=0.1113$, $b'=0.0183$ による計算). 糞粒数11未満の糞塊(図の垂直破線より左側の部分)は「糞塊」として取り扱わない。

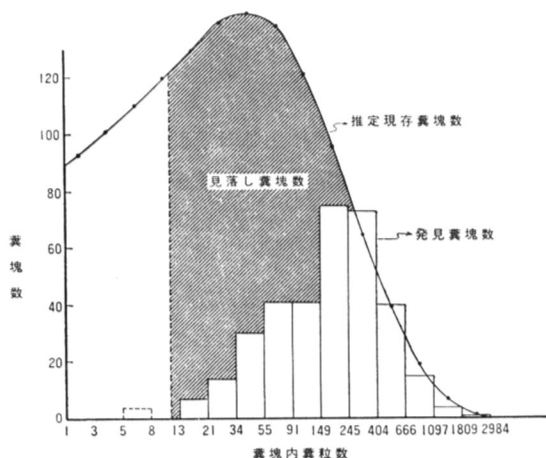


図3 第1回調査時の見落し糞塊数の推定

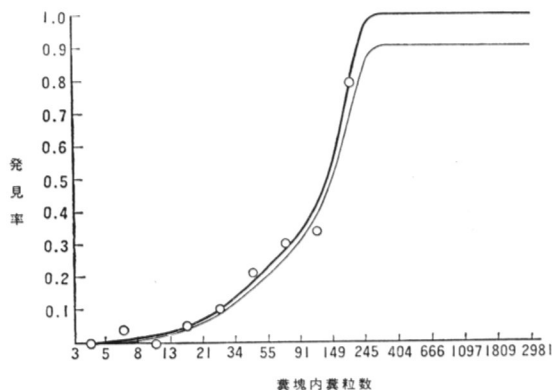
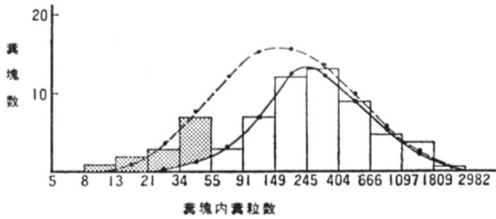


図4 糞塊の大きさと発見率との関係

- 糞粒数 244 以上をもつ糞塊の発見率は 1 と仮定。
 — 糞粒数 244 以上をもつ糞塊の発見率は 0.9 と仮定。

れている。なお図3では244粒以上の糞粒をもつ糞塊発見率を1.0と仮定してあるが、このような大きい糞塊でも時として見落されることは表2の結果にもあらわれている。したがってこの表の数値を用い、244粒以上の糞塊の発見率を0.9と仮定し、他のクラスの発見率についてもそれぞれの値に0.9を乗じて補正した結果を図4に併せえがいてある。このような補正值を用いると、定常状態の糞塊平均発見率は0.324と計算される。



…… 第1回調査と第2回調査の間に付加された糞塊の現存数推定値。
 ——— 第1回調査と第2回調査の間に付加され第2回調査時に発見されるであろう糞塊数予測値。
 第1回調査時に見落とし第2回調査時に発見された糞塊数推定値。
図5 白山トウクズレ谷の調査地点において、第1回調査と第2回調査との間に付加され、第2回調査時に発見された糞塊数についての予測値と実測値との比較。

トウクズレ谷下部の調査地点における第1回調査以後第2回調査までの間に付加された糞塊現存数の理論値と、第2回調査時に新たに発見された糞塊数との比較を行なったのが図5である。この図には上記現存数理論値と図4の発見率 α_{0j} とから計算される第2回調査時の発見糞塊数の予測値も併せえがいてある。これを見ると実際に発見された糞塊数は、ごく小型のものを除いて予測糞塊数とよく合致している。小型の糞塊についてはその数は予測値より大きくなっているが、この中には第1回調査時に見落され第2回調査時まで残留した糞塊が含まれているものと考えられる。

糞塊の各クラスの大きさのものの発見率 (α_{0j}) および図2に示されている各クラスの理論頻度分布とから、糞粒についての第1回調査時の平均発見率 (β_1)、第1回調査時以後の付加糞粒についての第2回調査時の平均発見率 (β_2'') および第1回調査時に見落され第2回調査時に発見された糞粒の平均発見率 (β_2') は、少なくとも近似的には次のように容易に計算される。

$$\beta_1 = \frac{\sum_j m_j''}{\sum_j m_j} = \frac{\sum_j \alpha_{0j} r_{0j} M_j}{\sum_j r_{0j} M_j}$$

$$\beta_2' = \frac{\sum_j r_{0j} M'_{m_j}}{\sum_j r_{0j} M_{m_j+n} e^{-n\rho}}$$

および

$$\beta_2'' = \frac{\sum_j r_{0j} M_{\tau j}''}{\sum_j r_{0j} M_{\tau j}}$$

ただし上式中の r_{0j} は j クラスの糞塊中の平均糞粒数であって、近似的に $(r_{j\max} + r_{j\min})/2$ として計算される。なお他の記号については前に記したとおりである ((51), (53), (54), (58), (59) 式参照)。

このようにして推定された糞粒の各発見率は、これに対応する塊糞の各発見率よりは非常に大きい(表3)。その上、発見率の推定精度も糞粒法の方が糞塊法より高いと考えられる。なぜなら、糞塊発見率の標本値は環境条件や探索努力量のちょっとした変化に影響される所の小型糞塊の発見率によって大きく左右されるのに対して、これら小型糞塊の発見率の変化は糞粒法における実際の平均発見率に対してほとんど影響しないからである。したがってカモシカの密度推定のためには糞粒法の方が糞塊法よりも信頼度が高いといえる。

4.4 カモシカ密度の推定

本報で取り扱ったいくつかの方法について上述の各節で求めた各母数の値を用いて、今回の調査地域内のニホンカモシカ密度を推定した結果は表3にまとめてある。これによると糞粒法による推定密度は秋～翌初夏の季節については糞塊法よりやや高くなっているが、(27)式による推定値は(22)式によるものにくらべて大差はなく、カモシカ密度はこの調査地域ではかなり安定していたことがわかる。このように安定した個体群の場合なら、標本さえ十分に大きければ(22)式または(33)式のような簡単な推定式を用いるだけで、充分信頼するに足る推定値が得られることになるであろう。

5. 考 察

糞塊法にせよあるいは糞粒法にせよ、糞塊や糞粒の消失率や発見率の推定は、理論的にも実際的にも最も重要な問題の一つである。この報文で取り扱ったように糞塊や糞粒の消失率をその構成要素に分析し、それぞれの要素が全消失率の中でどれだけの役割を果たしているかを明らかにすることは、正確な消失率の推定に役立つものとする。今回の調査結果では、糞粒においては全瞬間消失率(c)および糞塊内瞬間消失率(c')の値としてそれぞれ 0.1296 お

表3 糞塊法および糞粒法による白山のニホンカモシカ密度推定結果

| 調査地点 | | トウクズレ上部 (Q_1, Q_2, Q_3) カマソコA, B | トウクズレ下部 (A, B) カモウリA 猿ヶ浄土A, B | 他の20地点 | |
|---------|------------------------------|--|--|--------|--------|
| 面積 (ha) | | 1.4 | 1.46 | 5.98 | |
| 調査 | 第1回 | 初夏 | 秋 | 初夏または秋 | |
| | 第2回 | 秋 | 初夏 | | |
| | 時間間隔 (月) | 4.6 | 7.2 | | |
| 糞塊法 | 発見糞塊数 | F_1' (第1回調査) | 75 | 100 | 230 |
| | | F_2'' (第2回調査) | 49 | 65 | — |
| | 消失率 | b (全消失) | 0.0413 | 0.0413 | 0.0413 |
| | | b' (独立消失) | 0.0183 | 0.0183 | — |
| | 発見率 | α_1' (第1回調査) | 0.324 | 0.324 | 0.324 |
| | | α_2' (第2回調査) | 0.139 | 0.116 | — |
| | | α_2'' (第2回調査) | 0.580 | 0.574 | — |
| | 第1回~第2回調査間の付加糞塊推定数 | G_{1-2} (発見数) | 31 | 47 | — |
| | | G_{1-2} (現存数) | 53 | 82 | — |
| | カモシカ推定密度 (km^2 当り) | (27)式による | 8.8 | 9.3 | — |
| | (22)式による | 7.6 | 9.7 | 5.4 | |
| 糞粒法 | 発見糞粒数 | f_1' (第1回調査) | 15,738 | 27,853 | 57,657 |
| | | f_2'' (第2回調査) | 11,723 | 23,769 | — |
| | 消失率 | c (全消失) | 0.1296 | 0.1296 | 0.1296 |
| | | c' (糞塊内消失) | 0.1113 | 0.1113 | — |
| | 発見率 | β_1 (第1回調査) | 0.708 | 0.708 | 0.708 |
| | | β_2' (第2回調査) | 0.323 | 0.275 | — |
| | | β_2'' (第2回調査) | 0.823 | 0.790 | — |
| | 第1回~第2回調査間の付加糞粒推定数 | (発見数) | 10,460 | 22,363 | — |
| | | (現存数) | 12,710 | 28,308 | — |
| | カモシカ推定密度 (km^2 当り) | (32)式による | 8.9 | 13.8 | — |
| | (33)式による | 7.1 | 12.1 | 6.1 | |

よび 0.1113 を得たが、これから $b' = c - c'$ として計算される糞塊の独立瞬間消失率 (b') は 0.0183 となる。一方、小野その他 (1976) は、本調査地より約 1,000 km 南西のニホンカモシカ分布南限に当る九州祖母山の調査を森下・村上 (1970) の方法 (本報文で取り扱った母数推定法の基礎になっているもの) を用いて行なったが、その結果、 c 、 c' および b' としてそれぞれ 0.1043、0.0895 および 0.0148 を得ている。これらの値は本報における上述の値にくらべるとやや低いけれども、全体的にかなりよく近似しているといえる。

本報でのべた糞塊の発見率を、連続くり返し探索法を行わずに推定する方法は、調査を 1 回しか行わずしかも発見率推定のための特別の試みを行なわなかった場合の難点に対して一つの解決法を与えることになるであろう。糞塊当り糞粒数分布が定常状態にあると仮定した場合、上記の方法による本調査での平均発見率は糞塊については 0.32、糞粒については 0.71 となったが、小野その他による祖母山での調査ではそれぞれ 0.43 および 0.84 となっており上記白山の値よりやや高い。祖母山の発見率が高かったのは、おそらく森林内下生えが白山にくらべて少ないことによるものであろう。

理論的考察や実際の資料からみて、糞塊法よりも糞粒法の方が密度推定の精度の点ですぐれていると思われる。もっとも後者の方法を用いるためには前者についての資料を必要とし、また前者より多くの労力を必要とすることは免れ得ない。

カモシカ密度を正確に推定するためには、未解決の問題がまだ数多く残されている。その一つはカモシカのすみ場所選択の問題であって、これは全調査地域内の糞塊の空間分布に反映されているであろう。もし調査地域が非常に大きければ、全地域にわたっての糞塊調査には多大の労力を必要とするから、この場合調査地域を適当に層別けすることが労力節減のためには必須となろう。

種々異なった条件下での糞塊や糞粒の 1 日当りの排泄数の正確な測定も残された問題の一つである。その数は食物の量および質や、カモシカの年齢によって異なるであろうと思われる。なお糞粒の大きさは、少なくともある程度まではカモシカ個体の大きさを反映しているものと考えられるから、糞粒の大きさの分類は逆にカモシカ個体群の年齢組成を推定するのに役立つ可能性もある。本研究ではこの問題についての資料もある程度まで得ているけれども、これについては他の機会に報告することにする。

文 献

- 羽田健三ほか, 1965. カモシカの生活史の研究. I. 1965年度の志賀山における糞の分布解析について. 志賀高原生物研究所研究業績, 4: 1-18.
- 森下正明・村上興正, 1970. ニホンカモシカの生態学的研究. 日本自然保護協会中部支部白山学術調査団編「白山の自然」: 276-321.
- NEFF, DON, J., 1968 The pellet-group count technique for big game trend, census, and distribution: A Review. *J. Wildl. Mgmt.*, 32(3), 597-614.
- 小野勇一・東和敬・土肥昭夫・山口迪, 1976. 祖母山系(障子岩, 大障子岳一帯)のニホンカモシカの生息状況に関する調査. 大分県文化財調査報告第36輯: 1-12.
- TAYLOR, R.H. & WILLIAMS, R.M., 1956. The use of pellet counts for estimating the density of populations of the wild rabbit (*Oryctolagus curriculus* L.). *New Zealand J. Sci. & Technol. Sec. B*, 38(3), 236-256.
- VAN ETTEN, R.C. & BENNETT, C.L.JR., 1965 Some sources of error in using pellet-group counts for censusing deer. *J. Wildl. Mgmt.*, 29(4), 723-729.
- * 原論文, MORISITA, M., MURAKAMI, O. & ONO, Y. (森下正明・村上興正・小野勇一): Estimation of population density of the Japanese serow, *Capricornis crispus* TEMMINCK, by the pellet and pellet-group count methods. *Studies on methods of estimating population density, biomass and productivity in terrestrial animals.* (ed. M. MORISITA). *JIBP Synthesis* 17: 138-160 (1977).
原論文中の誤植, 誤記, 脱落文献は本訳文では訂正補記した。

