

# 運動性の大きな動物の密度調査に対する 框法の適用 (I)\*

## I. 緒 言

地表または地表に近い空中の動物密度調査に従来用いられてきた方法は、これを2つに大別することができる。1つは動物の運動性を大して顧慮せず固着生活をするものと同様に扱う方法で、Cruising, Sweep-net method, あるいは Quadrat method などがこれに属する。他は動物の運動そのものを利用する方法でこれには Trapping, Marking あるいは Watching などを挙げることができる。Cylinder method や Time unit collecting (Zeitfänge) はむしろ前者に近いものといえよう。もちろん第1の方法として運動性の大きい動物に適用できないとは限らず、反対に第2の方法でも運動する動物の密度調査法としてそのままでは必ずしも満足すべきものとはいえない。しかし何れの方法を用いるにしても、運動性の大きい動物の密度調査の場合には、運動によって起こされる諸種の関係をまず明らかにすることが、調査結果の精確さを期する上から見て必要であろう。本篇では框法 (Quadrat method) を用いる際の框内個体数、框への侵入数、運動速度などの相互関係についての考察と、それに関係したいくらかの観察とを述べてみたいと思うが、これらが上記の意味でいささかでも役立ち得るならば幸である。もとより私の考察や観察は未だ1つの試みの域を脱せず、これを一般に应用するためにはなお種々の問題について考慮吟味を行なう必要があると思われるが、ひとまずここに発表して大方の御批判御叱正を乞いたいと考える。

## II. 框への侵入数、滞在時間と框内個体数との関係

自然状態での動物の運動は、動物の種類によりまた時と場所により必ずしも

一定してはいないであろうけれども、一般的に見てある定まった時と場所での1種類に属する多数の個体の運動は、環境条件が変化しない限りある時間の間は平均してほぼ同様な運動状態を継続するものと思われる。

この場合、この場所の一部に動物の運動を妨げない状態に框を設置するものとする。そうすれば、この框内に見出される動物の平均数( $d$ をもってあらわす)は、運動個体数ならびに運動状態に変化がない限りは一定数を持続するものと考えてよい。同様に単位時間内に外から框内に侵入してくる平均個体数( $s$ をもってあらわす)も上記の変化がない限り一定の値を示すであろう。

框内に侵入した各個体が框を通過して外に出るまでに要する時間の平均を  $t$  とすれば、框内には平均して  $t$  時間の間侵入数に等しい動物個体数が見られるはずである。すなわち

$$d = st. \quad (1)$$

したがって、もしも  $s$  および  $t$  を知り得たならば  $d$  は容易に算出することができる。

多くの個体が框に侵入してより外に出るまでに通過する距離の平均を  $l$ 、動物の平均運動速度を  $v$  とすれば

$$t = \frac{l}{v}. \quad (2)$$

動物の進路がもしも直線的でかつその方向が機会的 (at random) であるならば、多数の個体によって得られる  $l$  は、あらゆる方向に向う直線が框の二辺によって切られる部分の長さの平均値にほぼ等しい。このような線分の平均値は一辺の長さ  $a$  なる正方形においてはほぼ  $0.785a$  となる (註1参照)。すなわち

$$l = 0.785 a.$$

したがって多くの動物個体についてみれば

$$t = \frac{0.785 a}{v}, \quad (3)$$

または

$$v = \frac{0.785 a}{t}. \quad (4)$$

すなわちこの場合には  $v$  および  $s$  を知れば  $d$  を求めることができ、あるいは逆に  $d$ ,  $s$  を知るによって平均運動速度  $v$  を求めることができる。

自然状態での動物の運動径路は多くの場合多少とも曲線をえがくであろうから、 $t$  は実測による以外には、上記のように簡単に計算することはできないであろう。しかし框内外の動物の分布状態および運動状態が同一であれば、框を小にすればするほどこれを通過する動物の径路は直線に近いものとして考えることができ、近似的に  $l=0.785a$  を採用し得るものと思われる。ただしその進行方向が機会的でなく一定しておれば、その方向における框内線分の平均値を採用すべきことはもちろんである。この場合には、その平均値は

$$\frac{a}{\sin\theta + \cos\theta} \quad (\theta \text{ は框の一辺と動物の進行方向とのなす角}).$$

をもって与えられる (註1参照)。

### III. 理論式の適用

前記の諸式が実際の動物の運動に対して適用し得るか否かを見るために、私は1936年京都帝大付属植物園の径上において歩行するクロヤマアリ (*Formica fusca japonica* MOTSCULSKY) を材料として数回の観察を行なった。材料としての蟻は、地表を歩行するために観察が容易であること、その歩行速度や体の大きさの関係から小さな框を使用することができ、容易に観察を行ない得ること等の点で適当であった。なかんずくクロヤマアリは蟻の中でも体が比較的大きいため観察しやすく、また歩行状態やその速度が各個体を通じて割合に均一に近い点で上記の観察にははなはだ好都合な材料と思われた。框は風糸を使用し、一辺の50cm正方形1個の場合ならびに一辺50cmおよび25cmの2個の正方形を併用する場合について行なった。2個を併用する際は、50cm框の中央に25cm框を張り、後者の各辺が前者の各辺と平行するようにした。框の縁を作る糸は蟻の歩行に対して障害にならないように、地表より約1cm上方に張った。框を使用した径は、幅1.8mで地表には土、砂および少数の礫がかなり一様に分布しており、草も生えていなかったため、框内外の条件は同一であると見ることができた。

調査は平均密度 ( $d$ )、平均框内滞在時間 ( $t$ )、単位時間の平均侵入数 ( $s$ ) のそれぞれについて行なった。平均密度の調査は框内にある瞬間存在する蟻の数を数え、これを10秒ないし30秒間隔で数十回くりかえし、その平均値をもって実測平均密度とした。観測の時間的間隔の相違 (10秒~30秒) によって密度の

観測値に相違が生ずるか否かを検するために、5月16日17時、15秒間隔で行なった観測値の平均と、同じ観測値の中30秒間隔のもののみをとり出して平均した値とを比較するに、15秒間隔の場合には(30回観測)  $d \pm m^{1)} = 0.84 \pm 0.14$ , 30秒間隔の場合は  $d \pm m = 0.81 \pm 0.16$  および  $d \pm m = 0.88 \pm 0.20$  となり相違は見られなかった。さらに同様に、5月25日17時頃に行なった10秒間隔の観測値を最初の1回より順次、10秒、20秒、30秒間隔のものに分つて比較するに

10秒間隔(観測回数44回)  $d \pm m = 1.09 \pm 0.14$

20秒間隔(観測回数22回)  $d \pm m = 1.09 \pm 0.17$

30秒間隔(観測回数15回)  $d \pm m = 1.13 \pm 0.21$

となり、やはり3者の間に相違は見られない。同様な比較を他の数回の観察について行なったが結果はすべて同様で、10秒ないし30秒の間隔の範囲内に関する限り、観測の時間的間隔の多少による平均密度観測値の相違はないものと考えることができた。

平均滞在時間は蟻が框内に侵入した時より外に出るまでの時間をストップ・ウォッチをもって測定し、数十頭についての平均値をもってあらわすこととした。ただし滞在時間は既に述べたように動物が框の任意の部分を通るに要する時間であって、その部分の長さは0より $\sqrt{2}a$ までのあらゆる長さを(運動が直線的でない場合はそれ以上の長さをも)含むものであるから、各個体の滞在時間には著しい長短があるのは当然である。したがって、その平均値の算出にははなはだ多数の観測が望ましいが、実際にこれを行なうためには非常に長時間を要し、野外においてはその間を通じて気象状態その他の条件が同一であることは到底望むべくもないので、40ないし50回の観測をもって満足しなければならなかった。しかし、この程度でも生ずべき誤差はあまり著しくはないことと思われる。

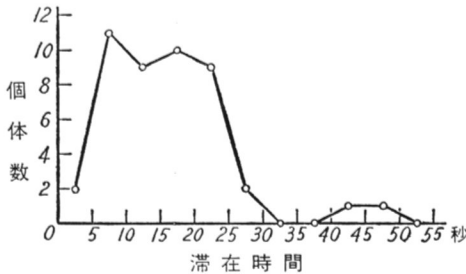
平均侵入数としては、1分間を単位として框に新たに入ってくる蟻の個体数を数え、数少ないし数十分の平均値によってあらわすこととした。

### 1. 平均密度( $d$ )の実測値と計算値との比較

1936年5月21日14時30分より16時30分までの間(この間の気温は24~26°C, 地表温度は25~31°C)に、50cm 框を使用して行なった調査結果は第1表のとおりとなった。

第1表

平均滞在時間 ( $t$ )		平均侵入数 ( $s$ )		平均密度 ( $d$ )		
観測回数	平均滞在時間 (分)	観測回数	一分平均侵入数	実測密度		計算密度
				観測回数	平均密度	
45	0.2483	33	6.00±0.57	52	1.52±0.14	1.49



第1図

第2表<sup>3)</sup>

框内個体数	実測頻度	計算頻度
0	6	11.2
1	24	17.0
2	14	13.0
3	6	6.6
4	1	2.5
5以上	1	1.7

第3表

毎分侵入数	実測頻度	計算頻度
0~2	4	2.0
3~5	13	12.4
6~8	10	13.2
9~11	3	4.4
12以上	3	1.0

第1表に示すように、平均滞在時間および1分平均侵入数の実測値はそれぞれ0.2483分および6.00なる値を示し、これを(1)式に代入して得た $d$ の計算値1.49は実測密度1.52±0.14にはほぼ一致している。滞在時間の頻度は第1図に示すとおりである。

なお、框内個体数の時間的変動状態が機会的であるかどうかを検するために、框内個体数が0, 1, 2……の場合の頻度と、平均密度1.52からPOISSONの公式にしたがって計算した計算頻度<sup>2)</sup>とを比較するに、第2表のごとくになった。

第2表の計算値と実測値の一致の程度を  $\chi^2$  試験によって検するに、 $P=0.2 \sim 0.3$  となる。すなわち 框内個体数の時間的変動は機会的であるといつて差支えない。同様に毎分框内侵入数の実測値および計算値は第3表のごとくなり、両者についての  $\chi^2$  試験の  $P$  の値は  $0.1 \sim 0.2$  となる。すなわち、侵入もほぼ機会的に行なわれていることとなる。

## 2. 框の大小による比較

框内外の動物の分布状態、運動状態が同一であれば、 $d=st$  なる関係は框の面積の大小にかかわらず成立するはずである。いま一辺の長さ  $a$  なる框の内部に、これと各辺を平行させて一辺  $b$  ( $a > b$ ) なる小框を設置して使用するものとし、この時の両框内の動物平均滞在時間をそれぞれ  $t_a$  および  $t_b$ 、平均侵入数をそれぞれ  $s_a$  および  $s_b$ 、平均密度を  $d_a$  および  $d_b$  とする。大框を横ぎる動物の運動が直線的であれば

$$\frac{d_a}{d_b} = \frac{a^2}{b^2} \quad \frac{t_a}{t_b} = \frac{a}{b} \quad \text{となるはずであり、}$$

また 
$$\frac{d_a}{d_b} = \frac{s_a t_a}{s_b t_b} \quad \text{であるから} \quad \frac{s_a}{s_b} = \frac{a}{b}$$

となるはずであるが、運動が曲線をえがく場合には、框を小にすればするほど、運動径路の框を通過する部分はいより直線的に考えられるから

$$\frac{d_a}{d_b} = \frac{a^2}{b^2} \quad \frac{t_a}{t_b} > \frac{a}{b} \quad \frac{s_a}{s_b} < \frac{a}{b}$$

となるであろう。

1936年5月25日14時頃より15時頃にわたり、一辺50cm および25cm の両框

第4表

框 の 種 類	平均滞在時間 ( $t$ )		平均侵入数 ( $s$ )		平均密度 ( $d$ )		
	観測回数	平均滞在時間 (分)	観測回数	一分平均侵入数	観測回数	実測平均密度	計算密度
50cm 框	55	0.2067	16	7.08±0.66	78	1.35±0.11	1.46
25cm 框	34	0.0833	16	4.26±0.54	78	0.40±0.07	0.36

を使用して得た結果は第4表のとおりになった。

第4表によれば、まず大小両框の何れにおいても、実測密度と計算密度は第1表の場合と同様大体近い値となっている。次に大小両框の  $d$ ,  $s$ ,  $t$  を比較するに、この場合の  $\frac{a^2}{b^2} = 4 \frac{a}{b} = 2$  に対して、実測値では

$$\frac{d_a}{d_b} = 3.4 \quad \frac{t_a}{t_b} = 2.5 \quad \frac{s_a}{s_b} = 1.6$$

となり、それぞれの理論比との間に何れも多少の差異があるが、その差異は誤差範囲内にあるものとみてよいと思われる。なお実測  $s_a$ ,  $s_b$ ,  $t_a$ ,  $t_b$  から  $d_a = s_a t_a$   $d_b = s_b t_b$  の両式によって計算した  $\frac{d_a}{d_b}$  の値および実測  $d_a$ ,  $d_b$ ,  $s_a$ ,  $s_b$  から同じく計算した  $\frac{t_a}{t_b}$  の値は、それぞれ 4.1 および 1.9 となりかなりよく理論比と一致している。

すなわち(1)式に対して、この場合のこの2つの框の大きさの相違は無関係であると見なすことができ、それと共に 50cm 框を通過する際の蟻の運動はごく大体の所では直線に近いものと考えることができる。

### 3. 平均滞在時間一定の場合の平均密度と平均侵入数との関係

(1)式において、 $t$  がもしも一定であれば、

$$d = ks \quad (k \text{ は恒数})$$

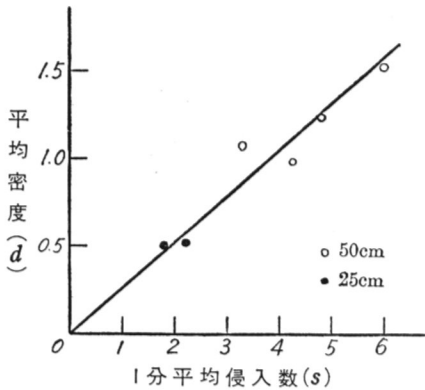
となり、 $d$  と  $s$  との関係は直線をもってあらわし得ることになる。しかし1種の動物についての  $t$  の値は、同一場所で同一環境条件下においては(特に動物が直線的な運動をする場合には)ほぼ等しい値を示すであろうと考えられるから、このような条件下での  $d$  と  $s$  との関係が事実直線関係をなすかどうかを調べることも、(1)式が実際に適合するかどうかを検する一手段となるであろう。

私の行なった観察の中、気温平均  $25^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ 、地表温度平均  $28.5^{\circ}\text{C} \sim 31.5^{\circ}\text{C}$  の範囲のものを選んで比較した結果は第5表および第2図に示すように  $d$ ,  $s$  は実際においても直線関係をなしている。ただし第2図には 25cm 框によって得た結果も共に載せたが、その値は 50cm 框の値と直接対比さすため、 $d$  の値を2倍して図示してある<sup>4)</sup>。

第2図によって明らかなように 25cm 框の  $2d$  の値が 50cm 框の  $d$  と同一直線上にあることは一面において(1)式がこの2つの框の大小を問わず適用可能であることを示すと共に、他面 50cm 框を通過する蟻の運動径路が直線に近

第5表

框の種類	観測日時		平均侵入数 (s)		平均密度 (d)	
			観測回数	一分平均侵入数	観測回数	実測平均密度
50cm 框	月日	時分 時分				
	5.21	14.30~16.30	33	6.00	52	1.52
	5.29	14.00~14.30	10	4.80	57	1.23
	6.11	9.50~10.20	7	3.30	56	1.07
	6.11	11.40~12.10	13	4.26	57	0.98
25cm 框	5.29	14.00~14.30	10	2.22	57	0.26
	6.11	9.50~10.20	7	1.74	56	0.25
	6.11	11.40~12.10	13	1.74	57	0.25



第2図

かったことをも示しているものといえよう。同じことは第5表中の25cm框による $d$ ,  $s$ の実測値が50cm框による $d$ ,  $s$ の実測値の $\frac{1}{4}$ および $\frac{1}{2}$ にそれぞれ近似していることから知る事ができる。

#### 4. 運動速度

$d$  および  $s$  を知れば (1) 式およびそれより導き出された諸式により動物の運動速度を簡単

に求めることも場合によっては可能であることは既に述べたが、これによって計算した速度を実測速度と比較することもこれらの式が実際に適用できるかどうかを検する一手段となるであろう。

(1), (2) 式より動物の平均運動速度  $v$  は

$$v = \frac{ls}{d}. \quad (5)$$

動物の框内を通過する経路が直線的でありかつその方向が機会的である場合には



第6表<sup>7)</sup>

観 察 日 時	平均 気温 (°C)	平均地表 温度(°C)	平均密度 (d)		平均侵入数(s)		歩 行 速 度 計 算 値 (cm/sec)	
			観 測 回 数	実 測 平 均 密 度	観 測 回 数	一 秒 平 均 侵 入 数		
5.21	14.30~16.30	24.9	28.5	52	1.52	33	0.100	2.6
5.25	13.50~15.10	24.6	36.5	78	1.35	16	0.118	3.4
"	16.50~17.40	20.4	24.3	44	1.09	22	0.020	0.7
5.29	14.00~14.30	25.3	31.4	57	1.23	10	0.080	2.5
"	16.10~16.30	24.5	25.4	64	0.70	8	0.039	2.2
"	17.30~17.50	22.5	22.6	69	0.46	6	0.025	2.1
6.11	9.00~9.20	22.1	18.7	53	0.87	7	0.043	1.9
"	9.50~10.20	24.9	29.9	56	1.07	7	0.055	2.0
"	11.40~12.10	25.2	29.4	57	0.98	13	0.071	2.8

$$v = \frac{0.785as}{d} \quad (6)$$

一辺 50cm の框では

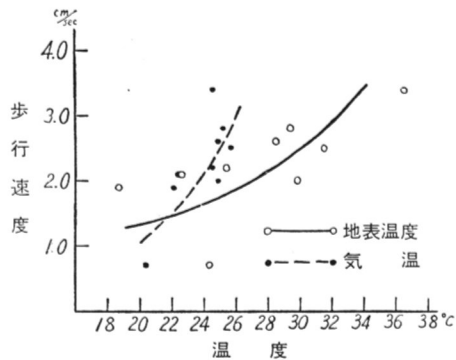
$$0.785a = 39.25 \text{ cm.}$$

既に述べたように、私の数回の観察の範囲では 50cm 框を通過する蟻の運動径路はほぼ直線的であると認められるから、その進行方向が機会的であると仮定すれば<sup>5)</sup> (5) 式によって運動速度の近似値を求めることができる。

その結果は第6表のごと

くになった。すなわち、気温 20~25°C、地表温度 18~36°C の範囲内でのこの場所のクロヤマアリ歩行速度の計算値は大体において 2~3.5cm/sec である。ただし、若干の人々<sup>6)</sup> によって既に報告されているように、温度の高まるにつれて蟻の歩行速度も大となる傾向は第3図(第6表の材料による)を見てもうかがうことができる。

今、上記歩行速度の計算値と前年(1935年)秋同じ場所で少数の個体について実測した値(第7表)とを比較するに、計算による大体の値 2~3.5cm/sec



第3図

気温および地表温度のそれぞれに対する  
2本の曲線は同一材料による。

第7表

観 察 日 時		気 温 (°C)	計測歩行距離 (cm)	所 要 時 間 (秒)	歩 行 速 度 (cm/sec)
月 日	時 分				
10.28	14.30	20.5	85	25	3.4
10.23	15.00	17.5	76	30	2.5
"	"	"	72	21	3.4
10.22			190	90	2.1
"	14.30	20.5	170	41	4.1
"	14.50	19.5	110	27	4.1
"			60	29	2.1

に対し、実測値は大体 2 ~ 4 cm/sec ではほぼ一致している。ただし気温の差異を考慮に入れると実測値は計算値に比べて少しは大きいように考えられるが、これは実測個体数の僅少なことおよび框内の歩行経路が大体には直線的であるといえても、厳密に言えばなお多少の屈曲をなしていることに基づくものと思われる。

運動速度の計算は框内個体数観測値のみからでも行なうことができる。これは観測の時間的間隔を小さくすることによって生ずる前の観測値と後の観測値との間の履歴効果 (Wahrscheinlichkeitsnachwirkung) を利用する方法である。この方法によって得られた計算値を (5) 式からの計算値と比較することも、いままで述べた諸式に対する吟味の一手段となるであろう。

今、一回の観測とそのすぐ次の観測とにおける框内個体数の差を  $d$  とする。もしも框内個体数の各観測値の頻度が Poisson の分布をなす場合に相続く 2 つの観測値の間に履歴効果があれば

$$d^2 = 2dP_a. \quad (7)^8)$$

(ただし  $P_a$  は履歴効果の確率)<sup>9)</sup>

次に観測の時間的間隔を  $\tau$  とすれば

$$P_a = \frac{v\tau}{l}, \quad (8)^{10)}$$

または

$$P_a = \frac{\tau}{t}. \quad (9)$$

すなわち  $l$  および (7) 式によって  $P_a$  を知れば  $v$  を算出することができるし、 $l$  がもしも不明の場合でも  $t$  は知ることができる。

私の観察の中、各観測の時間的間隔の最も小さいのは 5 月 25 日 17 時頃に行なった 10 秒間隔の観測であるが、この時の  $d=1.09$  から Poisson の公式による

第8表

框内個体数	実測頻度	計算頻度
0	12	14.8
1	20	16.0
2	8	8.8
3以上	4	4.4

第9表

		$n_1$				
		0	1	2	3	4
$n_2$						
0		8	4	0	0	0
1		4	12	3	0	0
2		0	3	3	2	0
3		0	0	2	2	0
4		0	0	0	0	0

框内個体数の出現頻度の計算値を求め、実測頻度と比較すれば第8表のごとくになる。両者についての  $\chi^2$  試験の  $P$  の値は 0.5~0.7 でかなりよく一致している。すなわち、この場合には (7) 式によって  $P_d$  を求めることが可能である。

さて、ある観測の際の框内個体数を  $n_1$ 、そのすぐ後の観測の際の個体数を  $n_2$  とし  $n_1$  の次に  $n_2$  の出た頻度の実測値を表にすれば第9表のようになった。第9表より  $J^2$  を計算すれば

$$J^2 = 0.4186,$$

したがって

$$P_d = 0.192.$$

この場合は蟻の運動はほぼ直線的であり、かつその方向は機会的であると認めて差支えないと思われるから

$$l = 39.25 \text{ cm.}$$

また  $\tau = 10$  秒であるから (8) 式によって

$$v = 0.75 \text{ cm/sec.}$$

この値は (5) 式より計算した  $v = 0.72 \text{ cm/sec}$  とほとんど一致している。

なおついでながら、上記履歴効果を利用して平均侵入数を計算すれば次のようになる。

いま  $\tau$  時間の間に框から外に出る動物の平均数を  $c$  とすれば

$$P_d = \frac{c}{d}. \quad (10)^{11)}$$

単位時間に框より外に出る動物の平均数は平均侵入数に等しいから

$$c = \tau s$$

したがって

$$P_d = \frac{\tau s}{d}. \quad (11)^{12)}$$

上記5月25日17時観測値から(11)式にしたがって求めた $s$ の1秒当りの値は

$$s = 0.021$$

$s$ の実測値は毎秒0.020であるから両者はよく一致している。

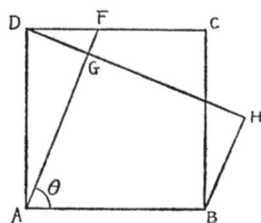
#### IV. 結 語

以上のごとく、種々な方法で検した諸結果によって明らかなように $d=st$ なる関係は、少なくとも本篇で述べた観察の範囲内では実際にも大体当てはまる。したがってこの方法をもって一地域の密度調査に役立てることもある場合には可能であろう。例えば、少なくとも短い距離の間直線に近い運動を行なう動物の場合に、もしもその運動速度があらかじめ知られているものとすれば、単に一定時間に框内に侵入する個体数を数えることによって、単位面積当りの棲息密度を計算することもできるわけである。もっともこのような際には框を設置する場所が、調査の対象とする地域全体を代表し得る状態にあることを必要とするのはいうまでもない。なお框の大きさ、観察時間の長さ、あるいは観測回数などは、それぞれの動物種類の運動状態、運動速度その他の状況により適当に決定し、もって観測に便ならしめると共に、生ずべき誤差を能う限り小ならしめることが必要であろう。そのためにもこの種の方法に対するなお一層の吟味が望ましい。

本篇では採集を行わず単に観察のみによって棲息密度を知る場合について述べたが、框内の採集を行なうときには、さらに他の考察を加えねばならない。しかし一般に密度調査法の理想としてはおそらく採集を行なうことなく調査を遂行する点にあるであろうと考える。これは野村氏<sup>13)</sup>の指摘されたように、採集に基づく密度の変化を防ぐ意味からいってもそうであるし、あるいは本篇で取り扱ったような特に運動性が問題となる動物の場合には、ある場所への侵入数と採集能力との関係いかんによってはなはだしく誤った結果を生ずるおそれがあるからである。ただし実際に当っては採集による以外には調査が困難な場合が多いであろうから、採集を行なう際のこれらの諸関係を明らかにすることもまた意義少なしとはしないであろう。この点についての考察結果は次の機会において述べてみたいと思う。

終りに臨み、本稿御校閲の労をとられかつ種々御教示を頂くことができた春

川教授, ならびに本篇について色々と検討され有益なる御注意を与えられた内田俊郎氏および補註の計算を快くお引き受け下さった谷岡源二郎氏の御厚意に対して厚く御礼を申上げる。



第4図

補註 (谷岡理学士の計算による)

一辺の長さ  $a$  なる正方形  $ABCD$  において  $A$  を過ぎ  $AB$  と  $\theta$  なる角をなす直線が  $DC$  と交わる点を  $F$  とすれば,  $DF$  を  $2n$  等分した時の一区間の長さは  $\frac{a \cot \theta}{2n}$ ,

$FC$  を  $\frac{a \cot \theta}{2n}$  の長さによって等分する数は  $\frac{a(1 - \cot \theta)}{\frac{a \cot \theta}{2n}}$

したがって,  $AF$  に平行なる方向において, 正方形によって切られる線分の長さの平均値  $l_\theta$  は

$$l_\theta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2(2n-1) \frac{AF}{2} + \left[ \left( \frac{1 - \cot \theta}{\cot \theta} \right) 2n + 1 \right] AF}{2(2n-1) + \left( \frac{1 - \cot \theta}{\cot \theta} \right) 2n + 1}$$

$$= \frac{a}{\cos \theta + \sin \theta}$$

また,  $D$  より  $AF$  に直角に引きたる直線が  $AF$  と交わる点を  $G$ ,  $B$  を過ぎる  $AF$  の平行線と交わる点を  $H$  とすれば

$$DH = DG + GH = a(\cos \theta + \sin \theta)$$

$DH = W_\theta$  とすれば

$$l_\theta W_\theta = a^2$$

今  $\theta$  の値を  $0 < \theta \leq \frac{\pi}{4}$  の範囲内にて変化せしむるとき

$$\sin \alpha + \sin 2\alpha + \sin 3\alpha + \dots + \sin n\alpha = \frac{\sin \frac{n+1}{2} \alpha \sin \frac{n}{2} \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} \left( \sin \frac{\alpha}{2} \neq 0 \right)$$

$$\cos \alpha + \cos 2\alpha + \cos 3\alpha + \dots + \cos n\alpha = \frac{\cos \frac{n+1}{2} \alpha \sin \frac{n}{2} \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

なるゆえ

$$W \frac{\pi}{4n} + W \frac{2\pi}{4n} + W \frac{3\pi}{4n} + \dots + W \frac{n\pi}{4n}$$

$$= \frac{\sin \left( \frac{n+1}{2} \right) \frac{\pi}{4n} \sin \left( \frac{n}{2} \right) \frac{\pi}{4n} + \cos \left( \frac{n+1}{2} \right) \frac{\pi}{4n} \sin \left( \frac{n}{2} \right) \frac{\pi}{4n}}{\sin \frac{\pi}{8n}}$$

ゆえに、求むる平均値  $l$  は

$$l = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n W \frac{i\pi}{4n} l \frac{i\pi}{4n}}{\sum_{i=1}^n W \frac{i\pi}{4n}}$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a^2 n}{a \sin \frac{\pi}{8} \left[ \sin \frac{\pi}{8} \left( \frac{n+1}{n} \right) + \cos \frac{\pi}{8} \left( \frac{n+1}{n} \right) \right]}{\sin \frac{\pi}{8n}} = 0.785 a$$

### 註

- 1) [84頁]  $m$  = 標準誤差
- 2) [85頁] 計算頻度 =  $NW(n)$     ただし  $N$  = 観測回数  
 $n$  = 框内個体数  

$$W(n) = \frac{e^{-d} d^n}{n!}$$
- 3) [85頁] いうまでもなく、框内個体数にこのような機会的な時間的変動のあることは、一般に1回の採集によって動物密度を知ろうとする場合に注意を要する事柄であろう。
- 4) [87頁]  $da = ksa$ ,  $da = 4db$ ,  $sa = 2sb$  であるから  
 $4db = 2ksb$  すなわち  $2db = ksb$
- 5) [89頁] 進行方向の頻度については数量的観測を行なわなかったから明らかでないが、この場所での観察では框を特定の方向に特に多くの個体が横ぎるようには認められなかった。
- 6) [89頁] 例えば, SHAPLEY, H. (*Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.*, 6: 204, 1920), STUMPER, R. (*Biol. Zentralbl.*, 42: 435, 1922), BODENHEIMER, F. S. & H. Z. KLEIN (*Zeitschr. f. vergl. Physiol.*, 2: 345, 1930) など。  
 なお未発表ではあるが、室内で温度を変化させそれに伴うクロヤマアリの歩行速度を測定した私の実験結果からも、大体同じ傾向を認めることができた。
- 7) [89頁] 5月25日, 29日, 6月11日の時刻の経過に伴う実測平均密度の変化の状態は巢口や樹上で観察した活動数の変化(森下, 生態学研究, 第5巻 111頁, 昭和14年 [本論集第一巻 47頁]. 同上, 第5巻 181頁, 昭和14年 [本論集第一巻 55頁])と大体同じ傾向を示している。
- 8) [90頁] 福島浩. 統計的現象. 科学文献抄15, 昭和12年. 岩波書店, 38頁参照。
- 9) [90頁]  $Pa$  はある観測の際動物が框内にあり, 次の観測の際, そこにいない確率であるから, もし履歴効果がなければ  $Pa=1$  である。
- 10) [90頁] 福島浩. 前掲44頁参照。
- 11) [91頁] 福島浩. 前掲50頁参照。
- 12) [91頁] この式と(9)式とから  $\frac{\tau s}{d} = \frac{\tau}{t}$  すなわち  $d = st$ 。
- 13) [92頁] 応用動物学雑誌, 第12巻 111頁, 昭和15年。

\* 生態学研究, 7: 63—73 (1941) 掲載。