

# 動く調査対象集団に対する標本調査について-VI\*

—野兎の行動範囲に関する新しいモデルによる

コンピュータ・シミュレーション—

林 知己夫・駒 沢 勉

(1972年1月 受付)

## Estimation of Size of Mobile Population-VI —The determination of range of a hare based on a revised model by computer simulation—

Chikio Hayashi and Tsutomu Komazawa

This is a continuation of the previous paper published in the Proc. Inst. Statist. Math., Vol. 17, No. 2, 1969, 91~98. The authors consider the estimation of range of a hare under the information of running distance in one night by computer simulation. Let  $A_0(Q_0)$  be the starting point (see Fig. 1). The paths  $A_0A_1A_2, \dots, A_n$  on level are determined by a restricted random model where  $A$ 's are turning points on level.

At  $A_{i-1}$ ,  $(\theta_i, l_i)$  are selected under the following assumption;  $\theta_i$  is a random variable the probability element of which is  $d\theta_i/\pi$  in the sense that  $\theta$  is equally distributed between 0 and  $\pi$  at  $A_{i-1}$  on the halfplane determined by  $Q_i$  and a straight line  $S_i$  where  $Q_i$  is the  $i$ -th point of  $n$  equidistance points  $Q_0, Q_1, \dots, Q_n$  on a circle which has a radius  $r$  ( $r=Ln/2\pi$ ,  $n$  being the number of span and  $L$  being the mean value of distance  $l_i$  for all  $i$  as mentioned below) and  $S_i$  is perpendicular to the straight line  $A_{i-1}Q_i$ ,  $l_i$  (on level) is a random variable the probability function of which obeys to the same  $N(L, \sigma^2)$  for all  $i$ .

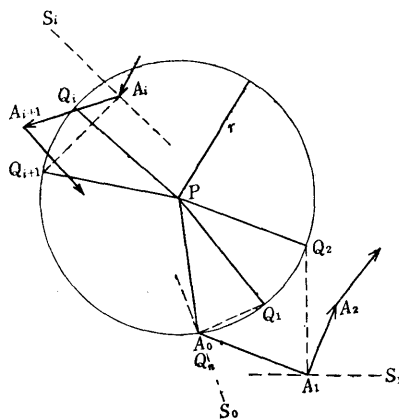


Fig. 1

Also we assume that  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, l_1, l_2, \dots, l_n$  are mutually independent. Thus  $A_i$  is determined (see Fig. 1). We call this model C-model. We define the distance on level  $r(i)$  as the distance  $\overline{A_0A_i}$  which is of course Euclidean and  $R(n)$  which is

$$R(n) = \text{Max}_{i=1,2,\dots,n} \{r(i)\}.$$

$R(n)$  is a random variable. We determine the density function by computer simulation for several  $n$ 's and give the mean and variance of  $R(n)$  in table 1 in the case where  $L=15$  and  $L/\sigma=0.35$ . The mean value  $\overline{R(n)}$  is approximated by  $kn+a$ ,  $k$  and  $a$  being constants (Fig. 2 and Table 1) and  $a$  being disregarded when  $n$  is large. Then we determine the range of a hare as the circular area of  $\pi(\overline{R(n)}/2)^2$ . If we assume that  $n, L$  and  $\sigma/L$  are 60, 15 meters and 0.35,

\* この研究は IBP の PT 部門の一環たることを意識して行われたものである。JIBP-PT, No.141 である。

we have  $\pi(\overline{R(n)}/2)^2=48700$  square meters.

This research was carried out as a part of JIBP Project (contributions from JIBP-PT No.141).  
The Institute of Statistical Mathematics

これは動く調査対象集団に対する標本調査について-IV 一野兎の行動範囲に関するコンピュータ・シミュレーション(統数研彙報, 第17巻, 第2号, 1970, 91頁~98頁)につづくものであって, それと同じ事をモデルを変えて行ってみたものである. 前のモデルは, 実際の足跡のシミュレーションとして不満足と思われるところがあったのでこの点を修正してみたものである. 記号, 説明等は前記論文を参照されたい.

1. 新しいモデル (円形モデル, C-モデルと名付ける)

前の場合, 方向は常に  $360^\circ$  等確率 ( $d\theta/2\pi$ ) でしかも各ステップ(スパン)で独立, 長さ  $l$  は  $N(L, \sigma^2)$  —但し  $L/\sigma=0.30$ —とし, 長さ同志も独立, 角度, 長さも独立としてモデルを作成した.

今度は,  $l$  は  $N(L, \sigma^2)$  —但し  $L/\sigma=0.35$ —とし, 角度のとり方は次の様にした. 第1図を見られたい. 半径  $r$  の円を考える.

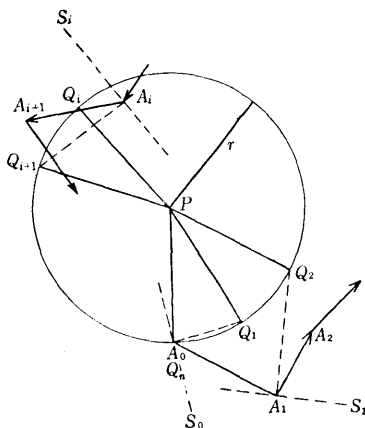
$$2\pi r = Ln$$

として  $r$  をさだめる.  $n$  はステップ(スパン)数である.  $A_0$  から始まり  $A_n$  に終る円周の長さが  $2\pi r$  であるとするわけである. これは,  $n$  ステップ(各スパンの長さは平均  $L$ ) 円周に沿ってまわるとすると,  $n$  ステップ後の走行距離は平均的に  $Ln$  となる筈である. したがって半径  $r$  の円周を想定すれば  $A_0 \rightarrow A_n$  の距離が平均的に  $Ln$  になるわけである. なぜこの様に考えるか. ここを考えることがこの新しいC-モデルの核心となるのである. 野兎の行動は円形を描く——出発点に近いところに戻る——と言われている. 我々の経験でもこの様なことが多いし, 猟師のアンケート調査\* でもこうした意見が多い. そして, このシミュレールでも足跡が大局的にみて(また平均的にみて)円形を描く様に考えることが大切であるとシモンモしてここで述べる様なモデルを考えたいわけである.

第1図の  $A_0$  が出発点である.  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  は円周を  $n$  等分した点をあらわす.  $\widehat{Q_i Q_{i+1}} = 2\pi r/n = L$  である ( $i=0, 1, 2, \dots, n-1$ , 但し  $Q_0=A_0$ ).  $A_0$  から  $360^\circ$  等確率で方向が選ばれるのではなく直接  $A_0 Q_1$  に垂直な直線  $S_0$  を考え, この  $Q_1$  側における  $180^\circ$  等確率 ( $d\theta_1/\pi$ ) によって方向  $\theta_1$  が抽出されるものとする. 次に独立に  $N(L, \sigma^2)$  によって長さ  $l_1$  が選ばれる. こうして  $A_1$  が決定される. 次に  $A_1$  から  $Q_2$  を狙うことにする. 直接  $A_1 Q_2$  に垂直な直線  $S_1$  を考え,  $Q_2$  側に  $180^\circ$  等確率 ( $d\theta_2/\pi$ ) に一つの角度  $\theta_2$  を抽出する. これは前の  $\theta_1, l_1$  に独立とする. つぎに  $\theta_1, l_1, \theta_2$  に独立に  $N(L, \sigma^2)$  にしたがって  $l_2$  を抽出する. こうした過程をつづけ, 最後は  $A_{n-1}$  から  $Q_n$  をねらい, 直線  $A_{n-1} Q_n$  に垂直な直線  $S_n$  を考え,  $Q_n$  側に  $180^\circ$  等確率 ( $d\theta_n/\pi$ ) に一つの角度  $\theta_n$  を抽出する. これは  $\theta_1, l_1, \dots, \theta_{n-1}, l_{n-1}$  に独立とする. 長さ  $l_n$  はこれまでのものにすべてに独立に  $N(L, \sigma^2)$  にしたがって抽出され, こうして  $A_n$  が決定されることになる. なお, ここで右からのまわり方だけを述べたが左側からまわることも当然おこり得るのである.  $1/2$  の確率で右から回る, 左から回るということを選択する様に考えればよい. これがモデルである. 平均的に円形を描く様なモデルとなる.  $A_0$  と  $A_i$  との水平距離  $r(i)$  を考える. これは確率変数  $\{(\theta_k, l_k) k=1, \dots, i\}$  による確率変数である. こうして

$$R(n) = \text{Max}_{r=1, \dots, n} \{r(i)\}$$

\* 豊島直造, 高田和彦, 林知己夫, 石田正次: サドノウサギの生態に関する収集資料の検討, 新大農演習林報告, 第4号, 1970



第 1 図

をつくる。これを「行動範囲をあらわす指標」と考えるわけである。これも確率変数となる。この  $R(n)$  の分布, 平均  $\overline{R(n)}$ , 標準偏差  $\sigma(n)$  を求めることになる。このモデルも, 地形地物などの影響を無視したものであるが, 一つの大把みな推論として参考になると思う。

## 2. 計算の実行

以上の C-モデルをシミュレーションによって行う。  $n=20, 40, 60, 80, 120$  の 7 つの  $n$  に対して 1000 回の試行の繰返しを行ない  $R(n)$  の分布, 平均  $\overline{R(n)}$ , 標準偏差  $\sigma(n)$  を求めた。なお, このとき  $L=15$  (前回は 10 とした),  $\sigma/\pi=0.35$  (前回は 0.30 とした) として計算を行ってみた。  $L$  をデータによくあらわれる 15 米とし,  $\sigma$  をやや大きくした (ガウス分布として  $L$  に負が実際に殆どあらわれないというところまで大きくした)。この  $L$  は本質的なことでなく 10 米なら 1.5 で割ればよいし 20 米なら  $4/3$  倍すればよい。前論文では  $\overline{R(n)}$  と  $n$  との関係は  $\overline{R(n)}=1.2L\sqrt{n}$  となっているので, これをあてはめれば,  $L=15$  として  $\overline{R(n)}=18\sqrt{n}$  となる。これは勿論前のモデルの場合である。今回の計算の結果を示すと第 1 表の通りとなる。

第 1 表 ステップ数  $n$  と行動半径の平均  $\overline{R(n)}$ : C-モデル  
Table 1  $\overline{R(n)}$  and its standard deviation for  $n$  by C-model

ステップ数 $n$	平均 $\overline{R(n)}$	標準偏差 $\sigma(n)$	変異係数 $\sigma(n)/\overline{R(n)}$	$2r$	$18\sqrt{n}$ *
20	88	14	0.17	95	80
40	168	20	0.12	191	114
60	249	24	0.10	286	139
80	331	29	0.09	382	161
100	410	32	0.08	477	180
120	491	36	0.07	573	197

\* 前回のモデルによるもの

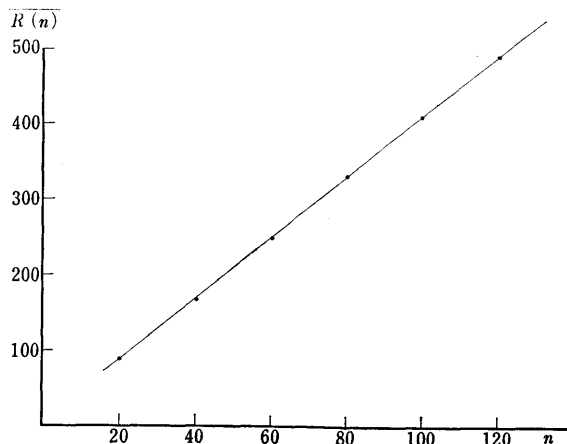
前回のにくらべ増大していることがわかる。この場合  $\overline{R(n)}$  と  $n$  との関係をみると第 2 図の様になり直線となる。ウェイトなしの最小二乗法によると,  $\overline{R(n)}$  は

$$\overline{R(n)} = 4.0306n + 7.25 \approx 4.0306n \quad (n \geq 1)$$

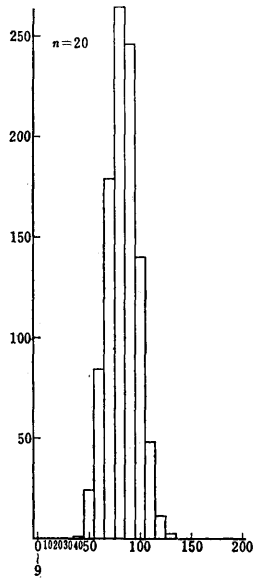
となり現実的には  $n$  がそう小さくないのでほとんど原点を通る直線とみることが出来る。前回との大きい差である。

なおこのときの  $\overline{R(n)}$  の分布を示すと第 3 図の様になる。

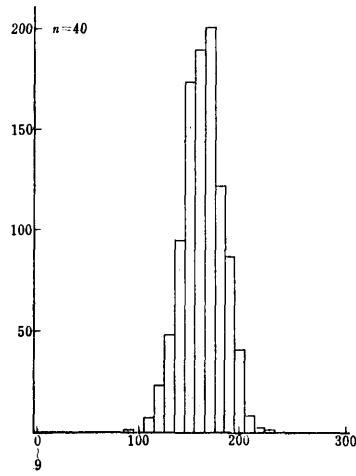
なお, ここで  $L=15$  としたが, これは単なるスケールの問題であって一般の  $L$  ならば  $L/15$



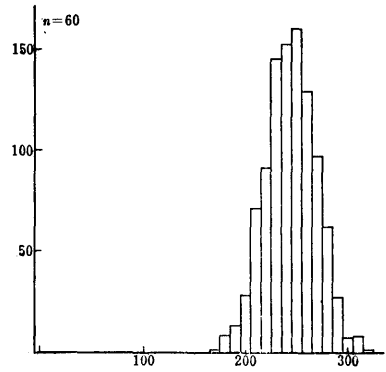
第 2 図  $\overline{R(n)}$  と  $n$  との関係 (新モデル)  
Fig. 2



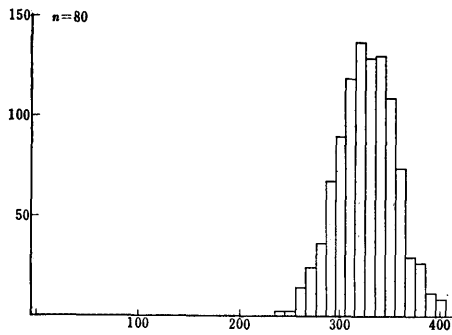
第3図-1



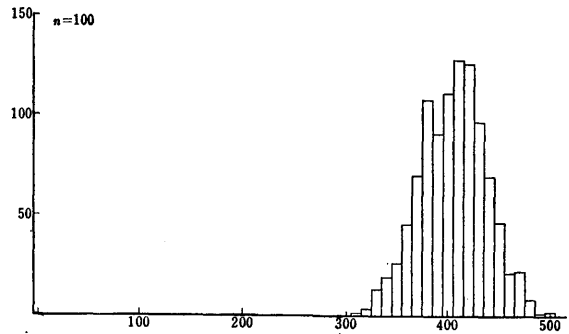
第2図-2



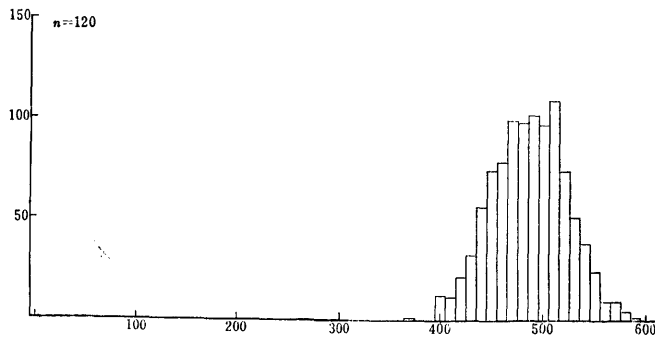
第3図-3



第3図-4

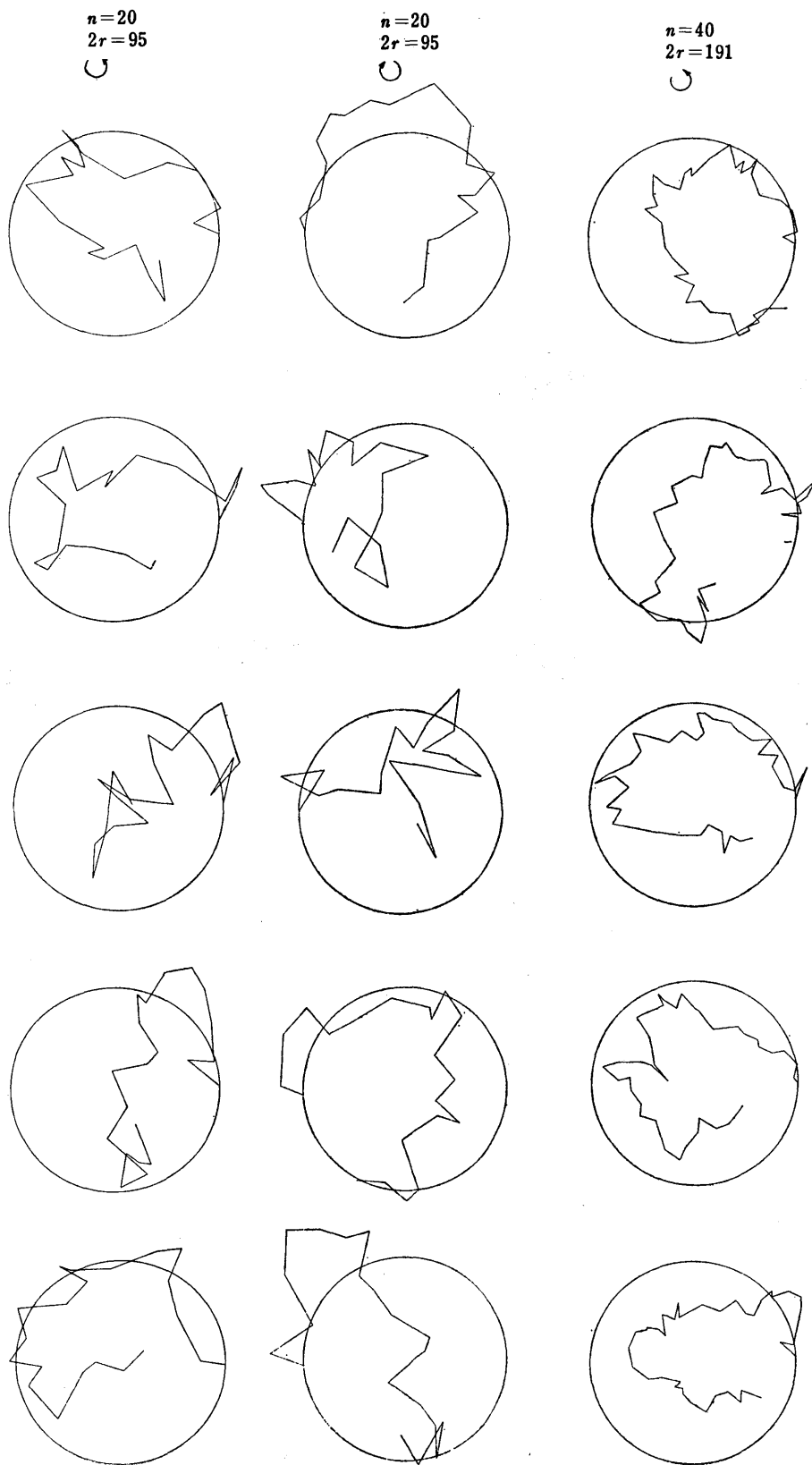


第3図-5

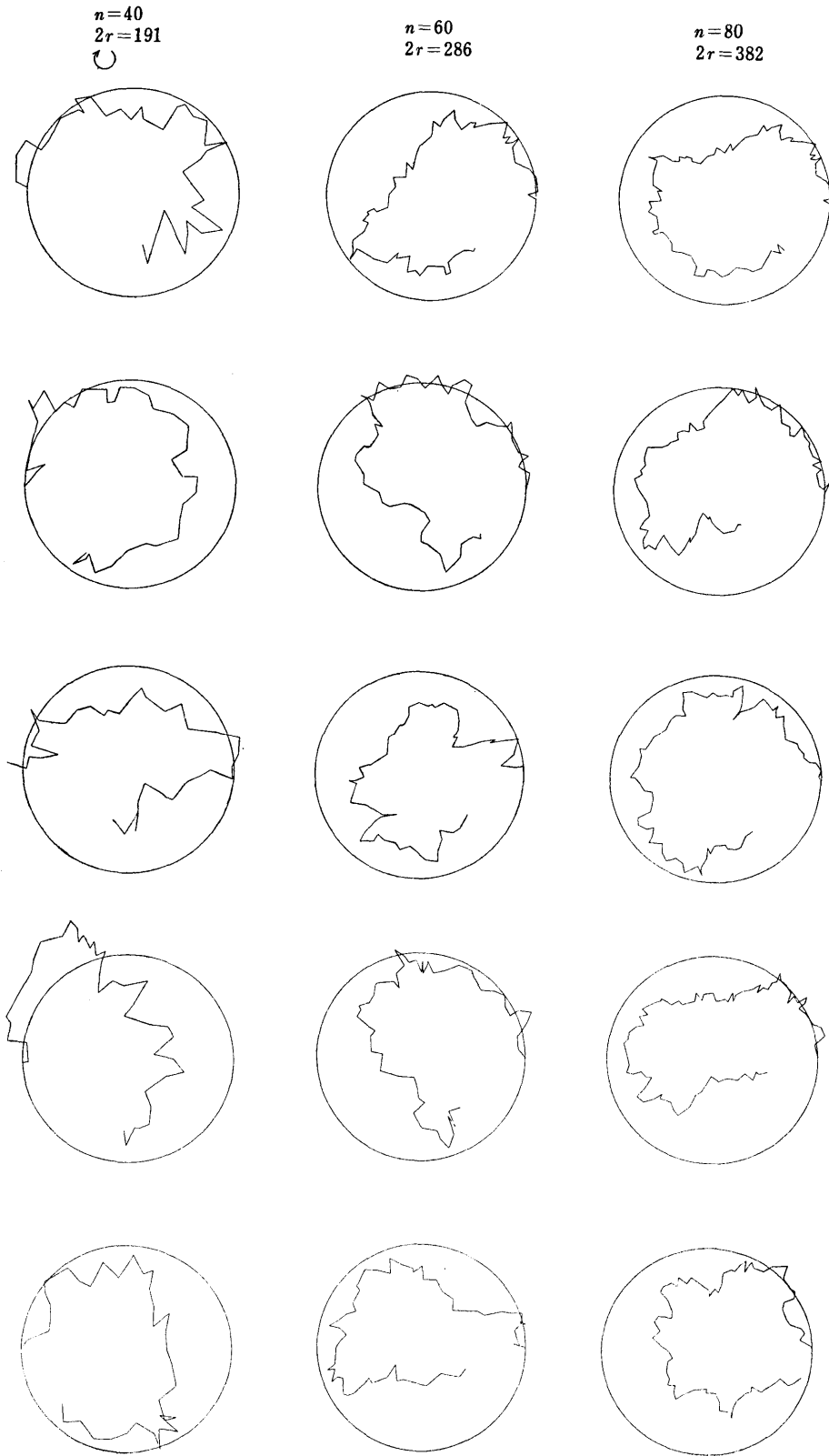


第3図-6

注意： 横軸に記入した数は中央値でなく、それ以上その数プラス9までということを示す。



第 4 図

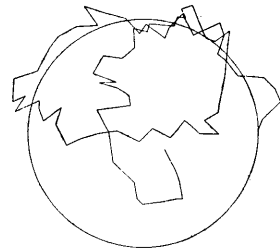
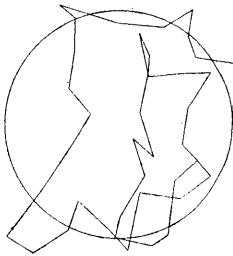
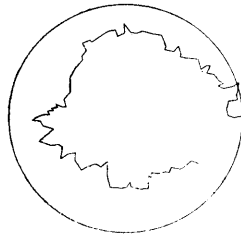
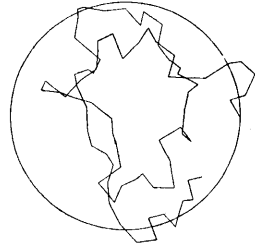
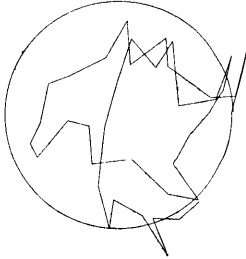
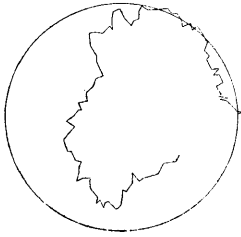
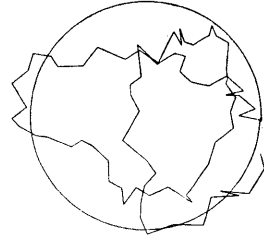
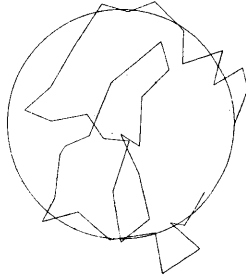
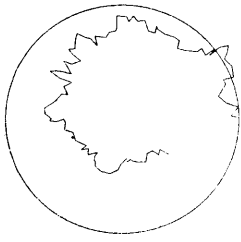


第 4 図

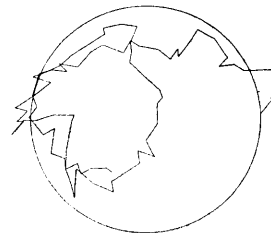
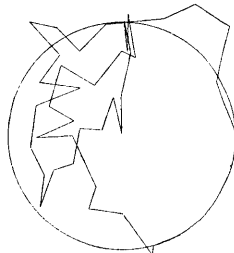
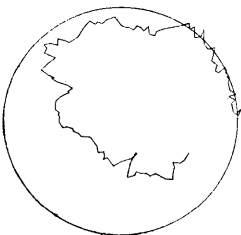
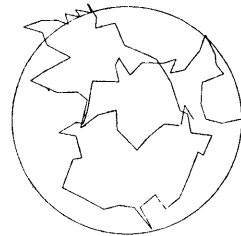
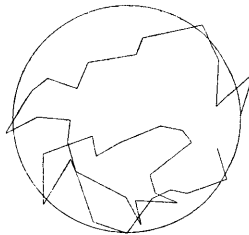
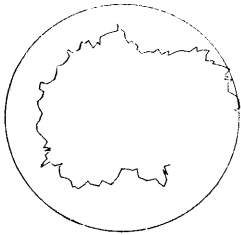
$n=100$   
 $2r=477$

$n=20$   
(実際は40ステップ)

$n=40$   
(実際は80ステップ)



$n=120$   
 $2r=573$



第4図

第5図

として、係数を変更すればよい。これにしかるべき長さに乗ずれば求めるものが得られる。

次に足跡のシミュレーションの結果のいくつかのタイプを第4図に示しておく。  $n=20, 40$  に関しては右回りのもの左回りのものをあわせ示した。あと  $n=60, 80, 100, 120$  のものを示した。

### 3. 連続2回まわり C-モデル (DC-モデルと名付ける)

ここでは、C-モデルをさらに工夫し、次の様なものを考えた。とりあえず  $n=20, 40$  については連続2回——これはまた新しいモデルとなる、2回 C-モデル (DC-モデル) と言うことにする——のいくつかのタイプのもを示しておく。つまりこのモデルでは、 $n$  ステップ終わったところで、ここを始点 ( $A_0'$  とする) として前と同様に  $A_0' A_1' A_2' \dots$  において  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$  を逐次狙いつつ  $Q_n$  狙いまで行動するものとする。したがって  $n=20, 40$  ステップのものは、実際は  $n=40, 80$  に相当する行動延べ距離を示すものとなる。  $L=15$  米とすれば夫々平均走行距離は 600 米、1200 米となるわけである。この DC-モデルの足跡パターンも、実際のものにくらべ妙味のあるところもあろう。これは第5図の様になる。

この DC-モデルについて前と同様に各種の  $n$  に対して  $\overline{R}(n)$  や  $\sigma(n)$  をシミュレーションにより計算してみたところ次の様になった。この計算も 1000 回試行の結果である。

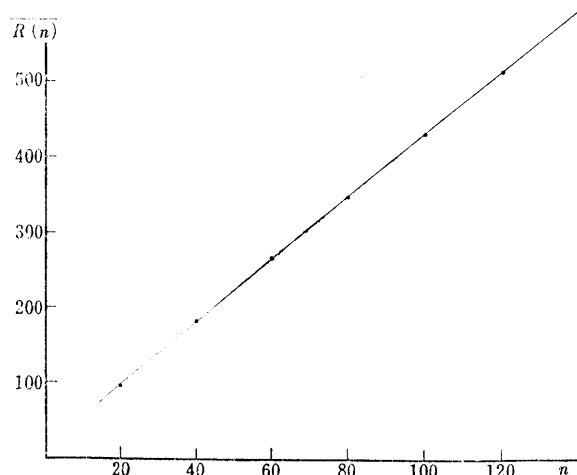
第2表  $\overline{R}(n)$  と  $\sigma(n)$ : DC-モデル

$n$	$\overline{R}(n)$	$\sigma(n)$	$\sigma(n)/R(n)$
20	96	11	0.12
40	182	16	0.09
60	266	22	0.08
80	348	23	0.07
100	431	27	0.06
120	514	30	0.06

同一の  $n$  のとき (走行距離は2倍となる)  $\overline{R}(n)$  はやや増加、 $\sigma(n)$  はやや減少、変位係数は減少と言った傾向が出ている。このとき  $\overline{R}(n)$  と  $n$  との関係は第6図にみる様にやはり直線的となり

$$\overline{R}(n) = 4.1738n + 14.05$$

となり、係数、常数次とも C-モデルにくらべ大きくなっている。原点を外れる度合が増加しているが、大局的に言えば  $n$  が大のとき、原点を通る  $\overline{R}(n) = 4.1738n$  と見做しても大過はない。



第6図  $\overline{R}(n)$  と  $n$  との関係 (DCモデル)



4. 走行距離と個体密度に関する一考察

前記論文の考察においてみた様に総走行距離  $Ln=15n$  と野兎生息密度の関係を考察してみよう。これは、前論文にも示した様に大きな仮定が入るので一応の参考以上にするのは無理である。実際のデータと併せ検討する必要がある。

ここで  $\overline{R(n)}$  を行動範囲の直径と見做すことにしよう。つまり半径  $\overline{R(n)}/2$  の円内が行動範囲と考えよう。次にこれは一羽の野兎が独占するのではなく、前記論文第7図の様な形で範囲が入り混ると考えることにする。そうすると前記論文のごとく  $\pi\{\overline{R(n)}/2\}^2$  の中に入る野兎の数は平均的に

$$1 + k \frac{1}{6} \left( 4 - \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \right)$$

となる。4つ重なる(もとの円のほか3つ)場合が一応妥当と考えられる。つまり  $k=3$  の場合である。こうすると上記の値は 2.3 となる。つまり  $\pi\{\overline{R(n)}/2\}^2$  の中に入る野兎の数は 2.3 羽となるわけである。

第3表にいろいろの  $Ln$  に対する密度を計算した結果を示す。

第3表  $Ln$  と野兎生息密度  $k=3$  の場合

	$n$	$Ln$	$\pi\{\overline{R(n)}/2\}^2$	1ヘクタール当り密度
C   モデル	40	600	22167	1.04
	60	900	48700	0.47
	80	1200	66948	0.34
	100	1500	146188	0.16
D C   モデル	20	600	7238	3.18
	40	1200	26016	0.88

また、Cモデルについて、 $L=10$  とし  $Ln=500, 1000, 1500$  について ( $n=50, 100, 150$ ),  $\pi\{\overline{R(n)}/2\}^2$  を計算し、 $k=3$  として1ヘクタール当りの密度を求めれば、それぞれ、1.32, 0.35, 0.16 となる。

こうして、一夜の走行距離を知ることにより1ヘクタール当りの密度の予想がたてられることになる。これはあくまでもシミュレーションの結果のものに過ぎないのでこれを実際のデータでどの様なモデルが妥当かをたしかめて行くことが必要と思われる。こうしてから、この方法をうまく使えば無雪期の行動形態推定の足掛りがつかめるのではないかと考えられる。

本稿を草するの統計数理研究所の林文嬢に大変に世話になった。厚く感謝の意を表すものである。