動く調査対象集団に対する標本調査について－IV

――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――

林　知己夫・駒沢　勉

(1969 年 11 月受付)

Estimation of Size of Mobile Population-IV ――The Determination of Range of a Hare by Computer Simulation――

Chikio Hayashi and Tsutomu Komazawa

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 be the origin. The paths $A_0 A_1 A_2 A_2 \ldots . A_n$ on level are determined by random walk where A's are turning points on level.
At A_{i-1}, (θ_i, l_i) are selected under the following assumption; θ_i is a random variable the probability element of which is $d\theta_i/2\pi$, i.e. equally distributed between 0 and 2π, and l_i (on level) is a random variable the distribution function of which is $F(l_i)$. Thus A_i is determined. (see Fig. 1)

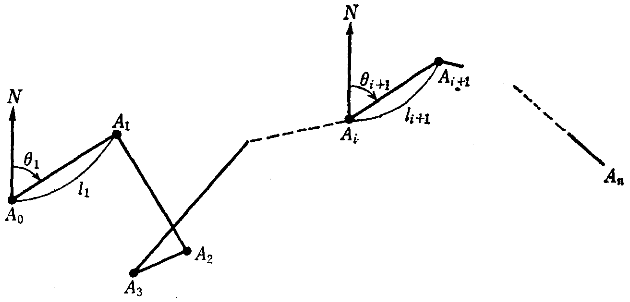


Fig. 1

Also we assume that $\theta_1, \theta_2, \ldots . \theta_n, l_1, l_2, \ldots, l_n$ are mutually independent and l's obey to the same gaussian distribution law, the mean and variance of which are L and σ^2 respectively.
We define the distance on level $r(i)$ as the distance $\overline{A_0 A_i}$ which is of course Euclidean and $R(n)$ which is

$$R(n) = \underset{i=1, \cdots n}{\mathrm{Max}}\, r(i).$$

$R(n)$ is a random variable. We determine the density function by computer simulation. The mean of $R(n)$ is approximated by $k\sqrt{n}$, k being a constant (see Fig. 2). Thus we determine the range of a hare as the circular area of $\pi R(n)^2$. By our data, n, L and σ/L are approximated to be 40, 12 meters, 0.3 and then $\pi R(n)^2 = 2.4$ hectares.
This research was carried out as a part of JIBP Project (contributions from JIBP-PT-No. 74).

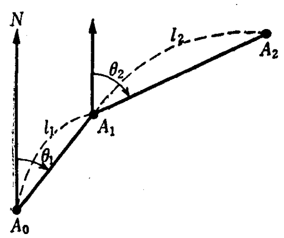
The Institute of Statistical Mathematics

§1. はじめに

野兎の行動範囲と一夜にあるく距離との関係を求めようとするのがこの論述の狙いである．これは，本来は，実証的データから地形の問題を加味して追及すべき問題であるが，データが未だ十分得られていないので，いまのところある統計的仮定の上に立って，大づかみに机上で求めることが望ましいと考え，これを出そうと試みたわけである．こうした仮定の上に立って理論的に計算することは，1次元の場合は別として非常に困難なので，コンピュータ・シミュ

＊ 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. 74 である．

ユーションによって問題を明らかにしようとした．全体の構造は林がたてプログラミング計算計画は駒沢によって行なわれた*．データ整理には林文壤を煩わせた．深く感謝の意を表するものである．



参考図

§2. 仮　定

これからはすべて水平面の上で議論することにする．

野兎は出発点 A_0 から出発する．

方向 θ_1 は $\frac{d\theta_1}{2\pi}$ の等確率で一つの方向を選ぶ（360°のうち等確率で一つの角度――度によって表現される――を選ぶことを意味する）．これで A_0 にいる野兎が次に進む方向がきめられることになる．なお，計算実行に際して XY プロッターの利用を考えたので各度は8方向（東，東南，南，南西，西，西北，北，北東）だけをとりあげこのうち一つを等確率で抽出して方向をさだめた．次にどの位の距離あるくかを確率変数 l_1 によって表現する．角度をあらわす確率変数 θ_1 と l_1 とは独立としておく．これだけの距離あるき A_1 に到達，ここでまた等確率で方向 θ_2 をさだめ，確率変数 l_2 だけの距離あるく．この θ_2 と l_2 とは独立，また θ_2 も l_2 もすべて θ_1, l_1 に対して独立としておく．こうして A_2 に到達する．こうした過程を繰り返すものとする．確率変数であらわされるものは時間の前後を問わずすべて互に独立であるとしておくのである．

参考図をみよう．A_0 で実現値として (θ_1, l_1) がえらばれ，A_1 で――A_1 は A_0 から (θ_1, l_1) 進んだ結果を示すことになる――実現値 (θ_2, l_2) が選ばれ，これだけ進んで A_2 に到達する．ここで確率変数の実現値 (θ_3, l_3) が選ばれ････という形で進むのである．一種のランダム・ウォークである．

n 回動くと A_n の点に到達する．こうして出発点 A_0 と A_i との水平距離 $r(i)$ を考える．これは確率変数 $\{(\theta_k, l_k),\ k=1, \cdots i\}$ による確率変数である．こうして

$$R(n)=\max_{i=1,\cdots n}\{r(i)\}$$

をつくる．これを「行動範囲をあらわす半径」と考えるわけである．これも確率変数である．

$l_i(i=1,2,\cdots,n)$ の分布としてすべて同一でガウス分布をすると考え，平均 L，分散 σ^2 とする．こうすると $R(n)$ は詳しく書くと

$$R(n, L, \sigma^2)$$

と言う形になろう．

ここで述べた仮定は，地形や習性を無視したものであるが，データ情報が少いためこれをもとにしてこまかい仮定をおくことに問題があるので，第一歩としては認められよう．

§3. パラメータの決定

これまでの実際の一羽の野兎の追跡調査データを分析して――これは少数しかない――L, σ^2, n を決めるわけであるが，n は一応うごかすパラメータとしておく．

次に L であるが一応無名数として 10 としておく．σ^2 としては

$$\sigma/L=\alpha$$

によって，つまり $\sigma=L\alpha$ として求める．α は実験のデータから定められる変異係数としておく．

データの分析を次に示そう．

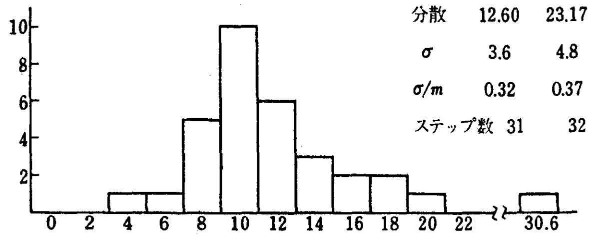
まず第1は完全に追及できたデータである**．これによると分布は第1図の様になる．

---

* TSK III. 石田正次による乱数発生機を使用した．

** 豊島，高田，飯久保，林，石田，飯塚，堀口，伊藤：佐渡における野兎（サドノウサギ）の生息数の推定，新潟大学農学部新潟農林研究，第21号，昭和44年3月

	30.6をぬかして	全体
平均	11.4	12.9
分散	12.60	23.17
σ	3.6	4.8
σ/m	0.32	0.37
ステップ数	31	32



第1図

ステップ数 n は 32 であり，平均は 12.9 m 標準偏差は 4.8 m となっている．変異係数は 0.37 である．この中で 30.6 m のものがありこうしたデータは真直でなく少し湾曲しているので一応ぬかして変異係数をとってみると 0.32 となった．このデータからみる限り変異係数を 0.3 程度とみることはそう無理なことではないと思われる．(長い距離のデータは曲り気味なので，実際直線という形でみると短くみる方がよい——但しステップ数 n は増大する——ので変異係数を 0.3 とみた)．

なお，このほかのデータ* についてみると第1表の様になる．これは，完全に追及できたものは少なく，途中で切れたものをあつめて集計したり「追い出して」追跡したものもあるので，参考程度に止る．変異係数は 0.5 程度となっている．

第1表　平均と変異係数（不完全データ）

	平　均(m)	変 異 係 数	備　　　考
豊　島ほか*	17	0.57	自然の足跡
豊　島ほか*	16	0.48	「追い出し」
伊　　藤**	17	0.54	自然の足跡
伊　　藤**	15	0.51	「追い出し」足跡

注　*　佐渡地区——この論文系列のⅢにある地区
　　**　新潟県村上地区

我々としては，追跡し得たデータをもとにして，変異係数 0.30 として計算を実行した．

§ 4. 計算の実行

n=20, 40, 60, 100, 150, 200, 300 について，7つの n に対して 1000 回の試行をくりかえ

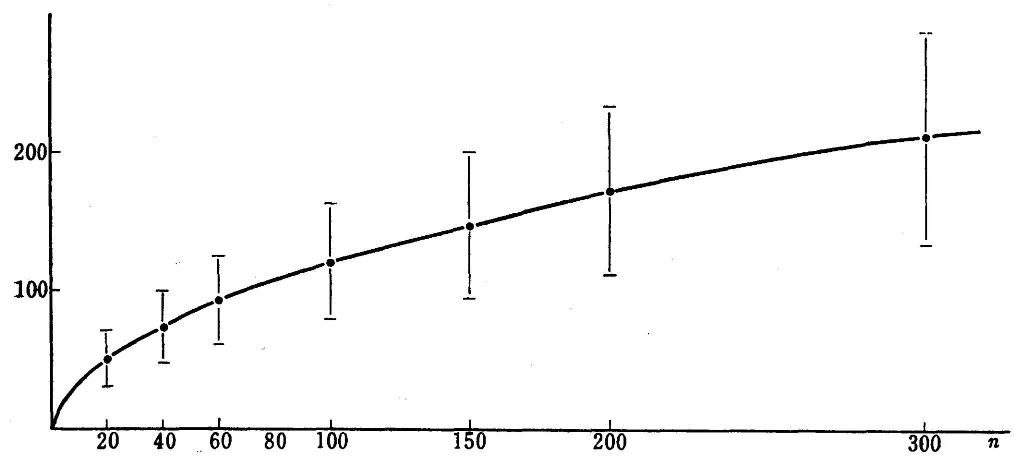
第2表　ステップ数 n と行動半径の平均 $\overline{R(n)}$

ステップ数 n	平　均 $\overline{R(n)}$	標準偏差 $\sigma(n)$	変異係数 $\sigma(n)/\overline{R(n)}$
20	50	20	0.40
40	73	26	0.36
60	92	32	0.35
100	120	42	0.35
150	147	53	0.36
200	172	61	0.35
300	211	75	0.36

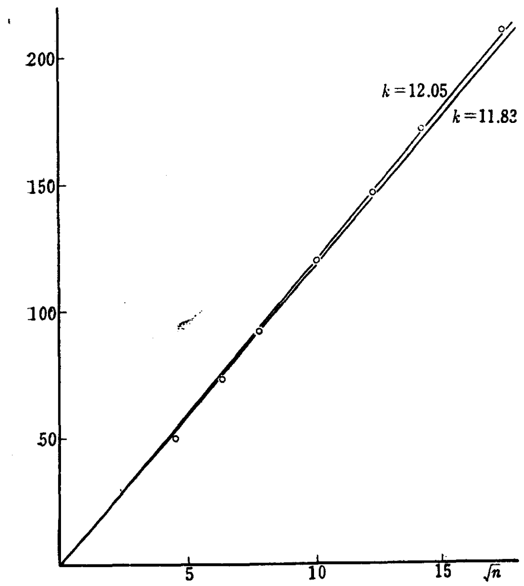
*, **　前掲のもの及び伊東弘康，野兎防除試験調査，昭和 42 年度，新潟県林業試験場：野兎防除試験調査，昭和 43 年度，新潟県林業試験場

し，$R(n)$ の分布，平均，標準偏差を求めた．平均及び標準偏差は第2表の様になる．勿論これは野兎のステップ l としては平均 $L=10$，分散 $\sigma^2=9$ のガウス分布を考えている場合である．なお計算実行に際して0未満，20以上 (20を含まず) が出てきたときは除外した (この生ずる確率はきわめて小さい)．

この $R(n)$ が行動範囲をあらわす半径と考えられるのである．この平均を第2図に示す．この



第2図　(Fig. 2)，$R(n)$ の平均 $\overline{R(n)}$



第3図

結果からみて，$R(n)$ の平均 $\overline{R(n)}$ に対して，最も簡単な形として

$$\overline{R(n)}=k\sqrt{n}$$

のあてはめが妥当と思われる．

いま $\sum(\overline{R(n)}-k\sqrt{n})^2$ 型の最小二乗法，相対誤差を考えての $\left(\dfrac{\overline{R(n)}-k\sqrt{n}}{\overline{R(n)}}\right)^2$ 型の最小二乗法で k を計算してみても大差はなく前者で，12.05 後者で 11.83 となる．このあてはまり具合はきわめてよい (第3図)．この程度の計算であれば $k=12$ としてよい．

$$\overline{R(n)}=12\sqrt{n}$$

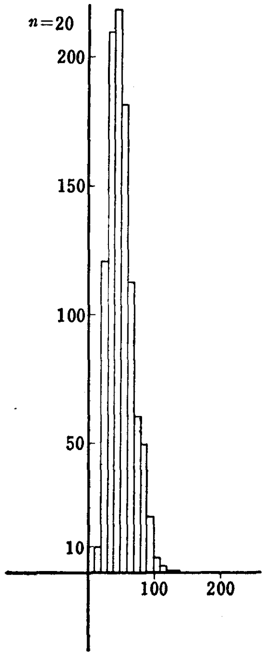
平均を 10 としているので，ステップの平均を L メートルととすれば

$$\overline{R(n)}=\frac{12}{10}L\sqrt{n}=1.2\,L\sqrt{n}\ \text{メートルと}$$

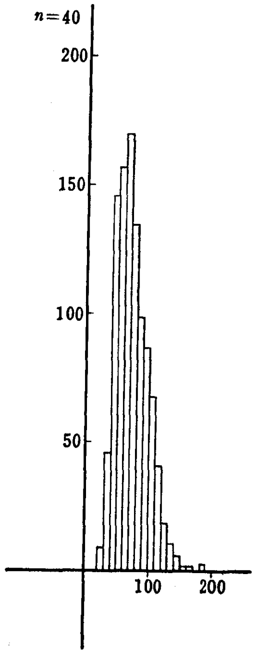
なる．

なお各 n に対する $R(n)$ の分布を示すと第4図の様になる．分布は小さい方へかたよって居り，n が大きくなると次第に対象に近づくが $n=300$ でもまだ歪度がある．縦軸は全体を1000％にした実数であるから％の10倍とみればよい．

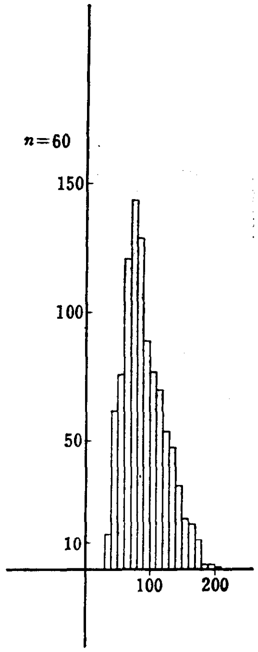
さて，$n=40$ (実測し得たデータに近い)，$L=10$ のランダム・ウォークのいくつかのものを XY プロッターに書かせた．これを第5図に示す．また行動範囲のモデルを示すため中心をいつも同じにし，40本のランダムウォークを書かせてみたのが第6図に示してある (第5図はこのうちの15本である)．第5図の円としてはは190をとってある ($L=10$ に対して)．



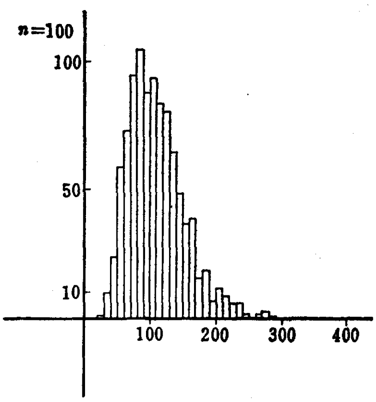
第4図-1



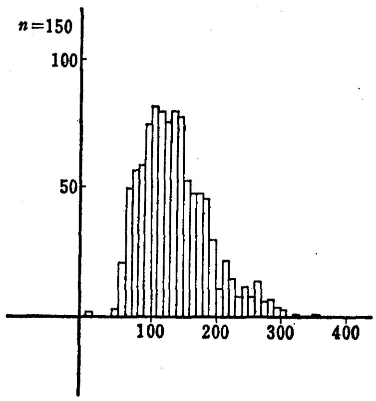
第4図-2



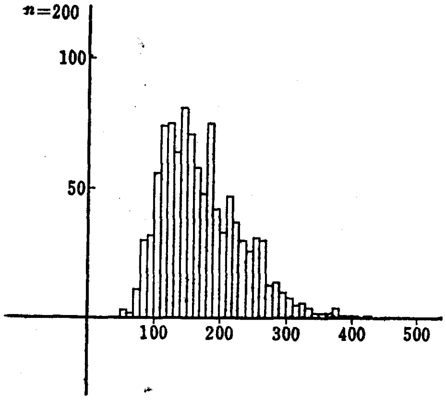
第4図-3



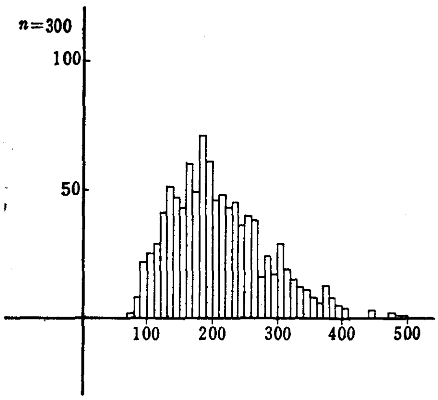
第4図-4



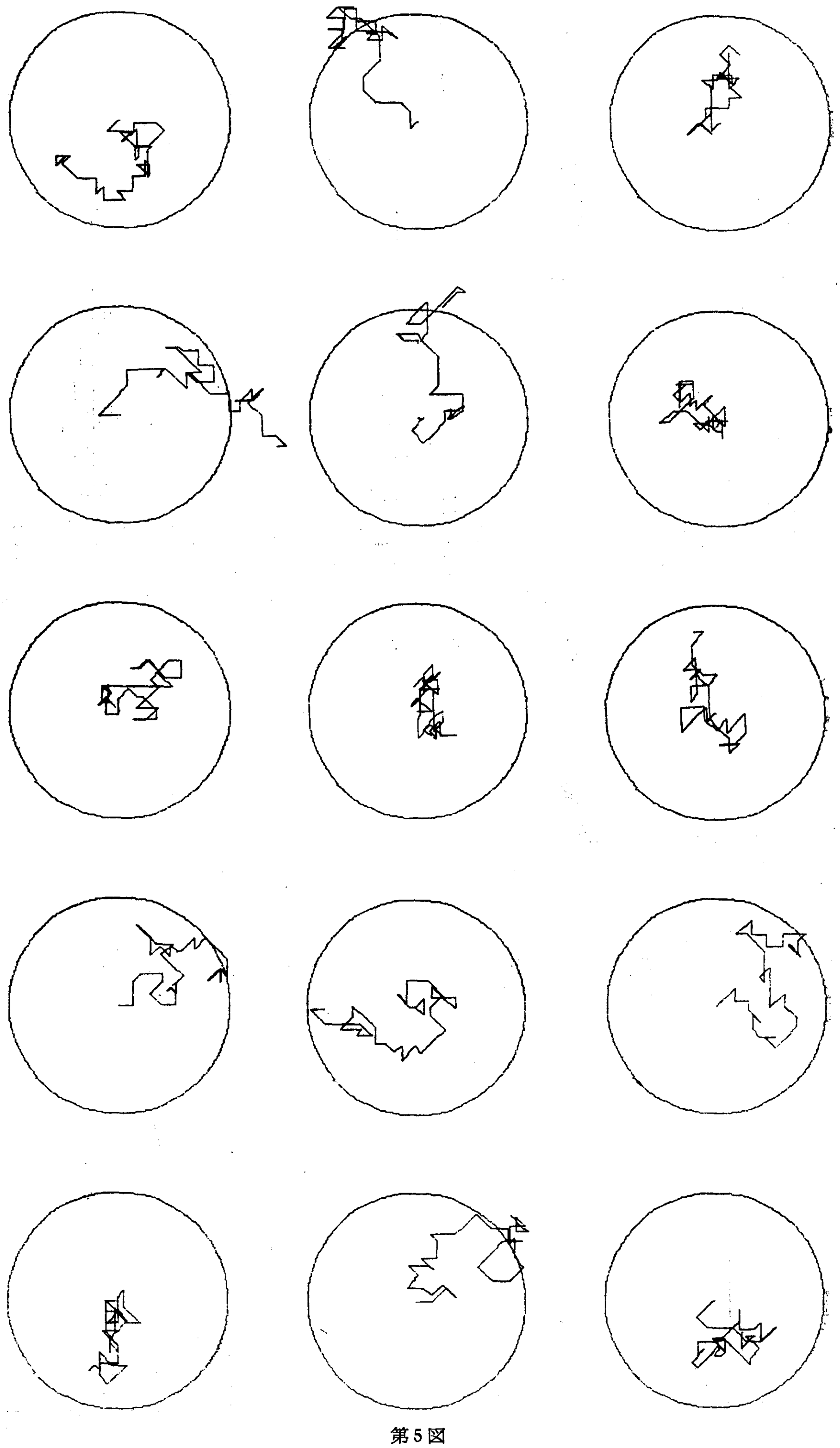
第4図-5



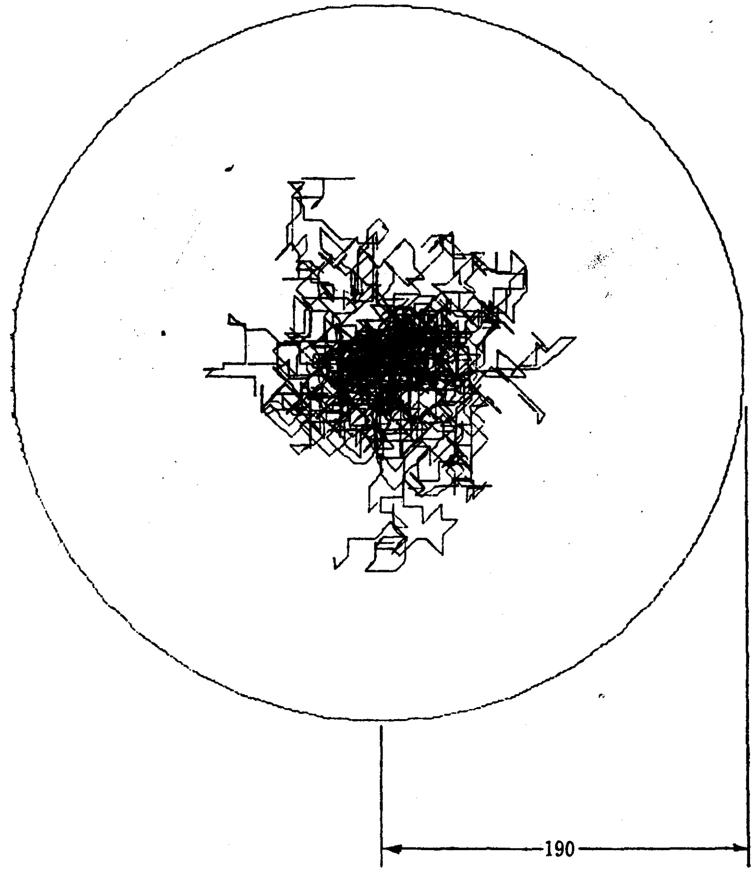
第4図-6



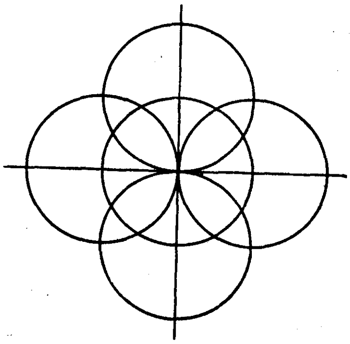
第4図-7



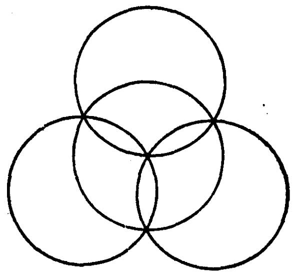
第5図
ランダム・ウォークの実例
円は '平均の73' を半径としたもの



第6図
ランダム・ウォークによる行動範囲



第7図 甲



第7図 乙

§5. 考　　察

実際に追跡し得たデータからみて一応 $n=40$, $L=12$ m と見做せるから §4 の結果の $\overline{R(n)}$ を用いてこの場合の半径を出すと

$$R=\overline{R(n)}\cdot\frac{12}{10}$$

となる。こうして,

$$R=86.4\,\mathrm{m}$$

となる。行動範囲として $\pi R^2=24108\,\mathrm{m}^2$ となる．また，行動距離を少し大きくして $n=60$ (80), $L=16$ m とすれば (nL, すなわち走行距離は約 1000 m～1300 m), $R=149\,(172)$ m, $\pi R^2=6.95\,(9.26)$ ha となる．しかしこれは1羽の範囲であって，この中に他の野兎が入りこまぬと言うつもりはない．

例えば第7図の甲，乙 の様に入り込んでくるとすると πR^2 の中に入る野兎の数は

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

となる。k は甲のとき 4, 乙のとき3となる．重複の面積の少いこと，空きの面積のないことから $k=3$ (乙の場合) が妥当ではないかと思われる．

$k=3$ のときこの値は 2.3, $k=4$ のとき 2.6 となる．これが前述の $\pi R^2=2.4$ ヘクタールの中に存在すると考えられる野兎の数となる．いずれの k をとるも一応1ヘクタールに1羽程度という推定が得られよう．もし，$n=60$, $L=16$ ($nL\fallingdotseq 1000$ m) とすると1ヘクタール当り 0.33 という数字が得られる。

本論文の考察には全く仮定が多いので他のデータによる分析と比較検討してかからねばならないと思われる．なお，前の論文 III** において，もし一羽の一夜中の行動距離がここの仮定の様に $nL\fallingdotseq 500$ m とするならば，1ヘクタール当り 1.6 羽程度の推定となることが示されているので，上に示した推定よりやゝ大となる．しかし，非常に隔った数が出ていないのは参考になろう．

統計数理研究所

* これは半径 R の二つの円が重なる面積 (夫々の中心が他の円の円周上にある) を計算しこれを πR^2 で割れば重なった面積の中に入る野兎の確率が出るものと考える．これが k 個あれば (もとの1羽)＋(重複分の野兎) ということになる．

** 林 他： 動く調査対策集団に対する標本調査について—III, 統数研彙報，第17巻，第1号，1969.