

# 野鳥総数推定のための統計数理的方法 II

統計数理研究所 青 山 博 次 郎  
逆瀬川 浩 孝  
成蹊大学 志 村 利 雄

(1974年10月 受付)

## On Statistical Methods for the Estimation of the Number of Woodland Small Birds II

Hirojiro Aoyama, Hirotaka Sakasegawa  
(Institute of Statistical Mathematics)  
Toshio Shimura (Seikei University)

We treated in our previous article the counting methods of the number of Japanese Great Tits by three different methods: line transect method, random walk method and method of utilizing the birds' cry.

In these cases the variance of the estimator of the number of birds was smaller than the real variance of the distribution of the number of birds caught by a line transect.

In this paper we shall describe some thoughts, e.g. the group behavior model of the birds is realized by the random division of birds to certain groups. Then it is shown the method of counting number of groups reduces to the usual line transect method, and the largest number of birds constructing a group connects tightly with the number of groups.

On the other hand we added some consideration about the cry-recording method.

Finally, using simulation experiments, we investigated the characteristics of records which were observed in the line transect method and the cry-recording method.

われわれは前報告においてシジュウカラ（以下簡単のため鳥と略称する）が単独行動をする場合についての総数推定の方法について考察した。実際においては何羽かづつ群をなして行動する場合がみられるため、測定回数が少いときの random walk 法に基く推定では、平均観測数からの誤差分散が単独行動の場合より大きくなる。これに関して群行動についての推定を考えてみることにした。

また単独行動、群行動において、line transect 法及びマイク利用法の両者につき、各種のパラメータによって計測数がどのように変動するかをシミュレーションによって検討した。

§1~§5 は青山、§6 は志村、逆瀬川による報告であるが、これら一連の調査研究には専修大学 崎野滋樹、山階鳥類研究所 浦本昌紀、文化庁（前任は自然教育園）桜井信夫の諸氏の協力を得、また岡山大学 脇本和昌、統計数理研究所 岡崎卓の両氏にも調査実施に関し御協力を得た。併せて謝意を表するものである。

### §1 群行動のメカニズム

まず line transect 法で観測する場合に、鳥の数を数えるのに、鳥の姿をみて数える場合と、声だけを聞いて数える場合、両者併用の場合の3通りの方法がある。観測数とその観測の内訳を調べると表1のようになっている。

表1 毎回観測数の判別法

観測数	C(声)	V(姿)	計	比率
0			39	.1154
1	50	31	81	.2396
2	51	7	58	.1716
3	54	9	63	.1864
4	21	13	34	.1006
5	3	9	12	.0355
6	1	9	10	.0296
7		5	5	.0148
8		6	6	.0178
9		10	10	.0296
10		1	1	.0030
11		4	4	.0118
12		2	2	.0059
13		3	3	.0089
14		1	1	.0030
15		1	1	.0030
16		2	2	.0059
20		1	1	.0030
21		1	1	.0030
22		1	1	.0030
24		1	1	.0030
30		1	1	.0030
38		1	1	.0030
計			338	1.0000

これによると1羽の時に姿をみた回数が多いようだが、これは特定の観測者によるものが多かったため、総体としては観測数の少い時は主として声によって発見しており、観測数が多い時は姿によって発見していることが分る。そこで前報告で発見率を0.6としたのは平均的なもので、羽数の少い時は発見率は小さく、羽数が多い時は発見率は大となるように修正しなければならない。このことを考慮に入れて、2つのモデルを作ってみよう。

モデル1

表 2

組数	6		4			5				3			
真の数	1		2			3				4			
観測数	0	1	0	1	2	0	1	2	3	1	2	3	4
比率	0.8	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.5	0.3	0.1	0.1	0.4	0.4
$p'$	.2666	.0667	.0667	.0889	.0667	.0278	.0278	.1389	.0833	.0167	.0167	.0667	.0667
$p$	0.3333		0.2222			0.2778				0.1667			

真の数1羽のものが6組、2羽のものが4組、3羽のものが5組、4羽のものが3組、計41羽のものが18組の群をつくって行動しているものとする。1羽のものも観測数は正しく1羽という場合(これが2割)と、0羽となって観測できなかった場合(これが8割)とがある。従って観測数0の比率  $p'$  は0羽が0.2666、1羽が0.0667、計の  $p=0.3333$  (18組中6組)と考える。

その他の場合も同様に考え、18ヶの群は離合集散しないで random walk をすると考えるのである。このとき line transect の1コース中で1回どれかの群に会う確率  $P(1)$  は表3のようになる。恰かも1回くじを引くように考えたのである。

表2のデータを用いると、観測数  $n$  に対応する真の数である換算数及び発見率は表3に示

表 3

n	P(1)	換算数	発見率
0	.3611	1.339	-
1	.2001	1.973	.507
2	.2223	2.775	.721
3	.1500	3.445	.871
4	.0667	4	1

した通りである。

次にコース中2回, 3回, 4回会うときの確率  $P(2)$ ,  $P(3)$ ,  $P(4)$  は

$$P(k) = \frac{k!}{x_0! x_1! x_2! x_3! x_4!} p_0^{x_0} p_1^{x_1} p_2^{x_2} p_3^{x_3} p_4^{x_4}$$

但し,  $x_0, x_1, \dots, x_4$  は見かけ上 0 羽, 1 羽,  $\dots$  4 羽のものと出会う回数で,  $p_0=0.3611$ ,  $p_1=0.2001$ ,  $p_2=0.2223$ ,  $p_3=0.1500$ ,  $p_4=0.0667$  によって求められ, 表 4, 5, 6 のようになる。

表4 2回の場合

n	P(2)	換算数
0	.1304	2.678
1	.1445	3.312
2	.2005	4.080
3	.1973	4.768
4	.1576	5.435
5	.0934	6.150
6	.0522	6.824
7	.0200	7.445
8	.0044	8

平均換算数 4.558  
平均発見率 0.6056

表5 3回の場合

n	P(3)	換算数
0	.0471	4.017
1	.0783	4.651
2	.1304	5.410
3	.1631	6.092
4	.1713	6.781
5	.1488	7.483
6	.1155	8.175
7	.0752	8.852
8	.0417	9.528
9	.0194	10.231
10	.0075	10.840
11	.0020	11.445
12	.0003	12

平均換算数 6.841  
平均発見率 0.5784

表6 4回の場合

n	P(4)	換算数
0	.0170	5.356
1	.0377	5.990
2	.0732	6.720
3	.1095	7.417
4	.1385	8.113
5	.1490	8.814
6	.1428	9.509
7	.1199	10.198
8	.0895	10.941
9	.0594	11.574
10	.0349	12.246
11	.0178	12.921
12	.0078	13.590
13	.0030	14.233
14	.0009	14.778
15	.0002	15.445
16	.0000	16

これらの1コース中出会う回数がどのような配分になっているかを観測数が4羽以下になるデータ全部について分布をしらべてみると, 表7のようになっている。ここでみかけの回数の割合と, 真の回数の割合  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  の関係式として

表 7

コース中出会う みかけの回数 観測数	1	2	3	4	計
1 ~ 4	59	35	15	3	112
0	39				39
%	6.49	23.2	99	2.0	

$$\begin{cases} 0.1375 Q_4 + 0.2972 Q_3 + 0.5919 Q_2 + Q_1 = 0.649 \\ 0.3197 Q_4 + 0.4376 Q_3 + 0.4081 Q_2 = 0.232 \\ 0.3771 Q_4 + 0.2652 Q_3 = 0.099 \\ 0.1657 Q_4 = 0.02 \end{cases}$$

より  $Q_1=0.4199$ ,  $Q_2=0.2577$ ,  $Q_3=0.2017$ ,  $Q_4=0.1207$  が得られる。

ここで例えば係数 0.1375 は真に 4 回出会ってもみかけ上 1 回となる場合 ( $x_0=4$  のとき,  $x_0=3, x_1=1$  のとき,  $x_0=3, x_2=1$  のとき,  $x_0=3, x_3=1$  のとき,  $x_0=3, x_4=1$  のときの確率がそれぞれ 0.0170, 0.0377, 0.0419, 0.0283, 0.0126 となるが, これらの和) の確率である。以下の係数も同様にして求められる。

表 8

1コース中出 会数(真の) n	0.420	0.258	0.202	0.121	計	換算数	発見率	実際の データ
	1	2	3	4				
0	.1517	.0336	.0095	.0021	.1969	1.739	—	.2566
1	.0840	.0373	.0158	.0046	.1417	2.754	.363	.0724
2	.0934	.0516	.0263	.0089	.1802	3.730	.536	.2039
3	.0630	.0509	.0329	.0132	.1600	4.738	.633	.1250
4	.0280	.0407	.0346	.0168	.1201	5.863	.682	.1447
5	—	.0241	.0301	.0180	.0722	7.370	.678	.0658
6	—	.0135	.0233	.0173	.0541	8.264	.726	.0526
7	—	.0052	.0152	.0145	.0349	9.203	.761	.0329
8	—	.0011	.0084	.0108	.0203	10.197	.785	.0329
9	—	—	.0039	.0072	.0111	11.099	.811	.0066
10	—	—	.0015	.0042	.0057	11.877	.842	0
11	—	—	.0004	.0022	.0026	12.692	.867	.0066
12	—	—	.0001	.0009	.0010	13.400	.896	0
13	—	—	—	.0004	.0004	14.233	.913	0
14	—	—	—	.0001	.0001	14.778	.947	0
15	—	—	—	.0000	.0000	15.445	.971	0
16	—	—	—	.0000	.0000	16	1	0

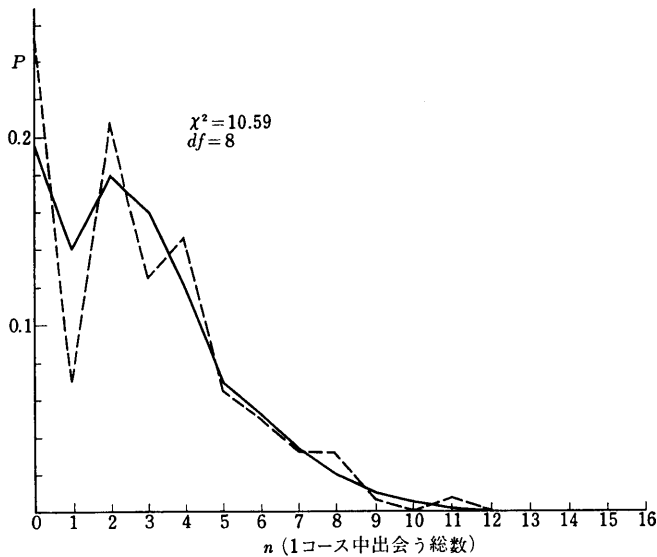


図 1

この結果を用いて表8のようにして1コース中の観測数  $n$  と、それに対応する4回まで会うとしての確率  $P$  の値、換算数、発見率が求められるのである。このとき、みかけの観測数の平均は2.76、換算数の平均は4.62、平均発見率は0.597となり、図1のように1羽のところの割合が凹んだグラフが得られる。実際のデータは点線で示してあるが、カイ自乗検定で有意差はでない。

以上はデータをまとめたので、やゝ実際とはかけ離れているが、昭和47年2月8日のデータ(15回の観測値)について  $Q_1, Q_2, Q_3$  を推定し、上と同様の検定を行ってみた結果は、やはり有意差はなかった。

今度は30羽の群が1組入った表9のような場合を考えてみる。このときコース中1回、2回会う場合の分布表は表10, 11のようになる。

モデル 2

表 9

組数	1		1		1		1		1	
真の数	1		2		3		3		30	
観測数	0	1	0	1	2	0	1	2	3	30
比率	0.8	0.2	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.5	0.3	1
$P'$	.20	.05	.075	.100	.075	.025	.025	.125	.075	.25
$P$	.25		.25		.25		.25		.25	

表 10

n	P(1)	換算数	発見率
0	.300	1.4167	—
1	.175	1.8571	0.5385
2	.200	2.6250	0.7619
3	.075	3	1
30	.250	30	1
	(平均8.300)	9.000	0.8166

表 11

n	P(2)	換算数	発見率
0	.0900	2.8334	—
1	.1050	3.2738	.3055
2	.1506	3.9754	.5031
3	.1150	4.4565	.6732
4	.0663	5.0935	.7853
5	.0300	5.6250	.8889
6	.0056	6	1
30	.1500	31.4167	.9549
31	.0875	31.8571	.9731
32	.1000	32.6250	.9808
33	.0375	33	1
60	.0625	60	1
	(平均16.000)	18.000	0.7649

シミュレーションの結果では30羽の観測数が小さくなっているが、これは領域の周辺効果があつて、コース I, III では平均観測数は小さく、コース II では大きくなり、全体としては1回会うときの理論値9に近い8.64が得られているのである。昭和46年3月のデータはこれに近い現象を示している。

以上のモデルで見たように、鳥がグループ行動をする場合のメカニズムは、観測者の歩行する径路(幅Rの観測半径)に鳥のグループが random にバラまかれるのと同様の現象を呈していることが分る。

## §2. グループ数を利用する推定

前節のように考えると、グループ数を推定し、平均観測数にグループ数を乗じて全域の総数を推定する方法も考えられる。

例えば昭和45年12月12日のデータによると、各コースを歩いていて途中で出会った鳥の

数  $x$  と、その度数  $f$  を 18 回 (3 コース各 6 回) の観測について記してみると、表 12 のようになる。

表 12

$x$	0	1	2	3	4	5	7	8	9	11	計
$f$	2	13	4	8	2	2	1	1	3	1	37

従って平均出会った鳥の数は 3.135 となり、グループ数は、 $R=50$  ( $m$ ) として 100 ( $m$ ) の長方形上の観測域を全体の巾の 450 ( $m$ ) の長方形に引伸して

$$\frac{37}{18} \times \frac{450}{100} = 9.25$$

従って平均発見率を 0.6 として、総数の推定値は

$$\frac{3.135}{0.6} \times 9.25 = 48.3$$

が得られる、

一般に歩行中出会う鳥の数を  $x_i$ 、その度数を  $f_i$ 、平均観測数を  $\bar{x}$ 、観測回数を  $n$  とすると、

$$\bar{x} = \frac{1}{f} \sum_{i=0} f_i x_i, \quad \text{但し } f = \sum_{i=0} f_i \quad (1)$$

グループ数  $g$  の推定値は

$$g = \frac{f}{n} \times \frac{450}{100} \quad (2)$$

従って総数の推定値  $\hat{N}$  は

$$\hat{N} = \frac{\bar{x} \cdot g}{0.6} = 7.5 \frac{f \bar{x}}{n} \quad (3)$$

一方 1 コース当りの平均観測数  $\bar{m}$  は

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_j = \frac{1}{n} \sum_{i=0} f_i x_i = \frac{f \bar{x}}{n}$$

となるので、結局

$$\hat{N} = 7.5 \bar{m} \quad (3)'$$

となる。

ところが line transect 法では

$$\hat{N} = \frac{\bar{m} \times 450 \times 500}{2 R v t \times 0.6} = \frac{\bar{m} \times 450 \times 500}{100 \times 20 \times 25 \times 0.6} = 7.5 \bar{m} \quad (4)$$

となり、結局グループ法と一致する。

因みに random walk 法ではこのとき

$$\hat{N} = 7.043 \bar{m} \quad (5)$$

になっている。

そこで (3)' の分散を求めてみよう。

第  $i$  回目の 3 コースの平均観測数を  $\bar{m}_i$  とおくと、

$$\bar{m} = \frac{1}{n} (\bar{m}_1 + \dots + \bar{m}_n) \tag{6}$$

この分散は近似的に 4.5 単位 (巾 450 m の中に, 巾 100 m のコースが 4, 5 あると考える) の中から 3 単位 (3 コース) をランダムにえらんだと考えて

$$D^2(\bar{m}) \doteq \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n D^2(\bar{m}_i) = \frac{1}{n^2} \frac{4.5-3}{4.5-1} \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \tag{7}$$

とおくことができる. ここで  $\sigma_i^2$  は第  $i$  回目の 3 コースの観測数の間の分散である. 昭和 47 年 2 月 8 日のデータでは次のようになる.

表 13

コース 回数	1	2	3	$\sigma_i^2$
1	0	1	4	2.89
2	(1, 1)	0	(2, 1, 1)	2.67
3	(3, 3)	0	(4, 1)	6.89
4	1	3	(1, 1)	0.67
計				13.12

(x, y) はコース中, x 羽, y 羽の 2 回出会したことを示す. 他も同様.

$$\bar{m} = \frac{1}{12} (1 + 4 + 2 + 4 + 6 + 5 + 1 + 3 + 2) = 2.333$$

$$\hat{N} = 7.5 \times 2.333 \doteq 17.5$$

$$D^2(\hat{N}) = 7.5^2 D^2(\bar{m}) = 56.25 \times \frac{1}{16} \times \frac{15}{35} \times \frac{13.12}{3} = 6.589 = (2.56)^2$$

もしも random walk 法で推定すれば

$$\hat{N} = 7.034 \times 2.333 = 16.4$$

$$D^2(\hat{N}) = \frac{16.4 \times 0.339}{0.661 \times 0.358 \times 4 \times 3} = 1.958 \doteq (1.40)^2$$

従ってグループ活動を考えた方が, random walk 法で考えたときより誤差分散は大きくなることが分る.

昭和 46 年 3 月のデータでは次のようである.

表 14

コース 回数	1	2	3	$\sigma_i^2$
1	0	2	0	0.9
2	0	1	30	193.6
計				194.5

$$\bar{m} = \frac{1}{6} (2 + 1 + 30) = 5.5$$

$$\hat{N} = 7.5 \times 5.5 = 41.3$$

$$D^2(\hat{N}) = 56.25 \times \frac{1}{4} \times \frac{15}{35} \times \frac{194.5}{3} = 390.74 = (19.8)^2$$

random walk 法では

$$\hat{N} = 7.043 \times 5.5 = 38.7$$

$$D^2(\hat{N}) = \frac{38.7 \times 0.339}{0.661 \times 0.358 \times 2 \times 3} = 9.24 = (3.04)^2$$

このように群の大きさが大きいときは誤差分散は非常に大きくなる. しかしこの例でも分る如く, もし観測回数が少いときは, 30 羽という観測数を得る場合が得られないので, 非常に小さ

い推定総数が得られることに注意せねばならない。従って観測回数は3コース各6回、即ち18回分のデータは必要ということになる。

### §3 Random walk 法による群行動の推定

前節では鳥の動きを考えないで群行動のメカニズムを考察した。ここでは random walk 法による群行動を考えてみる。

鳥は群をなして行動する場合の方が移動速度は小さく、単独行動の場合の方が移動速度は大きい。そこで鳥は群の大きさを変えずに1羽のものはいつまでも1羽、5羽の群はいつまでも5羽のまま行動するものとし、移動速度について次表のように仮定する。

表 15

群の大きさ	$v$ (鳥の速度)	$\bar{p}$ (平均遭遇率)	K (面積率)	$\frac{1-\bar{p}}{\bar{p}K}$
30 羽	1.5	0.92	0.24	0.362
2~10羽	7.4	0.661	0.358	1.433
1 羽	14.8	0.421	0.504	2.726

いま  $i$  羽の大きさの群の平均遭遇率を  $\bar{p}_i$ 、発見率を  $\alpha_i$ 、面積率を  $K_i$ 、 $i$  羽の群に遭遇した延べ回数を  $n_i$ 、観測回数を  $n$  とおくと、推定総数  $\hat{N}$  は

$$\hat{N} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{1 \cdot n_1}{\bar{p}_1 \alpha_1 K_1} + \dots + \frac{l n_l}{\bar{p}_l \alpha_l K_l} \right\} \quad (1)$$

となる。ここで  $n \leq \sum_{i=1}^l n_i$

また (1) 式で  $n_i$  が確率変数となるが、各コース毎にこれらの項の中の幾つかのものが集って1コース当りの観測数となるので、期待値は  $N$  になることは当然である。

次にこの分散であるが、各コースの観測数が互いに独立と仮定して大きい目に見積ると

$$D^2(\hat{N}) = \frac{1}{n^2} \left\{ \frac{N_1(1-\bar{p}_1)}{\bar{p}_1 K_1} n_1 + \frac{N_2(1-\bar{p}_2)}{\bar{p}_2 K_2} n_2 + \dots + \frac{N_l(1-\bar{p}_l)}{\bar{p}_l K_l} n_l \right\} \quad (2)$$

となることが分る。ここで  $N_i$  は1コース中  $i$  羽に1回会ったときの推定総数である。

§2の昭和47年2月8日のデータでは

$$\hat{N} = \frac{1}{12} \left\{ \frac{1}{\bar{p}_1 \alpha_1 K_1} \times 9 + \frac{2}{\bar{p}_2 \alpha_2 K_2} \times 1 + \frac{3}{\bar{p}_3 \alpha_3 K_3} \times 3 + \frac{4}{\bar{p}_4 \alpha_4 K_4} \times 2 \right\}$$

$\alpha_i=0.6$ ,  $\bar{p}_1=0.421$ ,  $K_1=0.504$ ,  $\bar{p}_2=\bar{p}_3=\bar{p}_4=0.661$ ,  $K_2=K_3=K_4=0.358$  とおいて

$$\hat{N} = 17.0$$

$$D^2(\hat{N}) = \frac{1}{12^2} \left\{ \frac{7.85(1-\bar{p}_1)n_1}{\bar{p}_1 K_1} + \frac{14.09(1-\bar{p}_2)n_2}{\bar{p}_2 K_2} + \frac{21.13(1-\bar{p}_3)n_3}{\bar{p}_3 K_3} + \frac{28.17(1-\bar{p}_4)n_4}{\bar{p}_4 K_4} \right\} = 2.67 = (1.63)^2$$

同様に昭和46年3月のデータの例では  $\bar{p}_0=0.421$ ,  $K_0=0.504$ ,  $\bar{p}_{30}=0.92$ ,  $K_{30}=0.24$ ,  $\alpha_{30}=1$ , 観測数0の換算数を1.4とおいて

$$\hat{N} = \frac{1}{6} \left\{ \frac{1.4}{\bar{p}_0 K_0} \times 3 + \frac{1}{\bar{p}_1 \alpha_1 K_1} + \frac{2}{\bar{p}_2 \alpha_2 K_2} + \frac{30}{\bar{p}_{30} \alpha_{30} K_{30}} \right\} = 29.6$$



$$D^2(\hat{N}) = \frac{1}{6^2} \left\{ \frac{6.60(1-\bar{p}_0) \times 3}{\bar{p}_0 K_0} + \frac{7.85(1-\bar{p}_1)}{\bar{p}_1 K_1} + \frac{14.09(1-\bar{p}_2)}{\bar{p}_2 K_2} + \frac{135.87(1-\bar{p}_{30})}{\bar{p}_{30} K_{30}} \right\} = 4.02 = (2.01)^2$$

前者では誤差分散は大きくなり、後者では誤差分散が小さくなったが、実際には発見率  $\alpha_i$  や、観測数 0 のときの換算数が不明なのでどちらの方法がよいとは一概にはいえない。またここでは各コースの観測値が at random に得られたという仮定に立っているが、後の場合のように非常に大きい群が出来るときは、3 コースを独立と考えることが無理となる。

昭和 46 年 3 月のデータでは、ある時間における 3 コースの観測値が 0, 1, 30 であった。このとき 30 羽の群は第 III コースのみで他のコースでは見附っていないので、全体へ引伸ばすときは  $\frac{1}{3}(0+0+30)$  と考えるべきであろう。そうすると 30 羽の群れについての全領域での推定値  $\hat{N}_{30}$  は

$$\hat{N}_{30} = \frac{1}{3}(0+0+30) \frac{1}{\bar{p}_{30} \alpha_{30} K_{30}} = 45.29$$

で、この分散は

$$D^2(\hat{N}_{30}) = \frac{\hat{N}_{30}(1-\bar{p}_{30})}{3 \bar{p}_{30} K_{30}} = 16.41$$

1 羽の鳥についての全領域での推定値  $\hat{N}_1$  は

$$\hat{N}_1 = \frac{1}{3}(0+1+0) \frac{1}{\bar{p}_1 \alpha_1 K_1} = 2.62$$

この分散は

$$D^2(\hat{N}_1) = \frac{\hat{N}_1(1-\bar{p}_1)}{3 \bar{p}_1 K_1} = 2.38$$

観測値 0 のものについては

$$\hat{N}_0 = \frac{1}{3}(1.4+0+0) = 0.47$$

$$D^2(\hat{N}_0) = \frac{\hat{N}_0(1-\bar{p}_0)}{3 \bar{p}_0 K_0} = 0.43$$

従って全体の鳥の総数推定値  $\hat{N}$  は

$$\hat{N} = \hat{N}_{30} + \hat{N}_1 + \hat{N}_0 = 48.4$$

分散は

$$D^2(\hat{N}) = D^2(\hat{N}_{30}) + D^2(\hat{N}_1) + D^2(\hat{N}_0) = 19.22 = (4.38)^2$$

となる。

この場合も他の時間における各コースの観測値 0, 0, 2 については鳥の総数の推定値は非常に小さくなる。従って観測数を増加して、毎時間の各コース観測値の平均をとって推定していくかねばならない。われわれの過去の経験からいって、各コースの観測値をそれぞれ 6 回はとる必要があることは前にも述べた通りである。

#### §4 グループ数と最大観測数

第 2 節で群行動の構造が恰も  $N$  羽の鳥を幾組かにランダムに分割し、それを観測したのと

同じ様子であることを見た。

先ず群の組数とコース歩行中の会おう回数との関係を見よう。

われわれの3コース全領域を100m巾に南北に分割した。4.5コースの中の3つをえらんだことに当る。4.5分割では考え難いのでM組の群を5分割して考えてみよう。

例えば5グループを5分割するときは、(5, 0, 0, 0, 0), (4, 1, 0, 0, 0), (3, 2, 0, 0, 0), (3, 1, 1, 0, 0), (2, 2, 1, 0, 0), (2, 1, 1, 1, 0), (1, 1, 1, 1, 1)の7種類の分割法があるが、これらがランダムに実現しているとき、1コース歩行中に会おう回数の分布は表16のようになると考えられよう。

表 16

回 数	0	1	2	3	4	5	計
<i>f</i>	15	12	4	2	1	1	35
%	42.9	34.3	11.4	5.7	2.9	2.9	100.1

表 17

回 数	0, 1	2	計
<i>f</i>	10	2	12
%	83.3	16.7	100

昭和47年12月7日のデータでは推定グループ数は5.25となるが、実際に会った回数は左表のように非常によく似ている。たゞ観測数については発見率が1でないため、回数0の観測回数は3回しかなくて少ないが、これは3コースを同時に歩いていない為に生じた偏りと思われる。

表 18

会おう回数 年月日	0, 1	2	3	4	5	8	計	グループ数	有 意 差
45. 12. 12	7	7	1	2	1		18	9.25	5%有意
46. 1. 9	8	12	1				21	7.5	なし
1. 10	8	5	5				18	8.25	"
* 3. 12	8	2	2				12	6.75	"
* 3. 13	3	2	2				8	11.80	"
12. 7	18	3	2				23	5.87	"
12. 8	4	6	2				12	8.25	"
47. 2. 8	10	4	2				16	6.75	"
47. 2. 9	19	10	1				30	6.30	"
12. 6	7	4	4	3			18	9.75	"
12. 7	10	2					12	5.25	"
* 48. 1. 24	10	1	1				12	5.63	"
* 1. 25	6	2					8	5.62	"
計	118	60	23	5	1	1	208		

(注) \* 印は3コース全部を廻らぬものを含む

表 19

グループ数k 最大数 $n_0$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30	1	3	3	2	1	1						
26	1	5	8	9	7	5	3	2	1	1		
20	1	8	21	34	37	35	28	22	15	11	7	5
10			4	36	108	160	211	223	206	174	150	121

このようにして毎日の観測数について、グループ数の推定と、出会う回数の分割をしらべ、計算値と比べて有意差を検定したのが表 18 である。

次にグループの数と最大観測数との関係を眺めてみよう。

$N$  羽の鳥を丁度  $k$  グループに分ける方法の数を  $f_k(N)$  とおくと、よく知られているように漸化式

$$f_k(N) = f_k(N - k) + f_{k-1}(N - k) + \dots + f_2(N - k) + f_1(N - k)$$

が成立つ。

そこで最大数を  $n_0$  とするときの  $f_k(36)$  の数を求めてみると、表 19 が得られる。

これによって最大観測数からグループの数が幾つ位であるかの見当がつけられる。例えば最大観測数  $n_0=30$  のときは、グループ数は 4 か 3 というの最も確からしいということになる。

表 18 のデータについてこれを調べてみると表 20 のようになる。昭和 47 年 2 月 8, 9 日と、\* 印のものを除くと、表 19 の最確値がグループ数になっていることが分る。

表 20

観測日	45.12.12	1. 9	1.10	* 3.12	* 3.13	12.7	12.8	47.2.8	2. 9	12.6	12.7	* 48.1.24	* 1.25
推定グループ数	9.25	7.5	8.25	6.75	11.8	5.87	8.25	6.75	6.30	9.75	5.25	5.63	5.62
最大観測数	11	16	16	30	24	22	9	9	38	9	7	15	4

\* 印は 3 コース全部を廻らぬものあり

### § 5 鳴声利用の推定法の修正と問題点

前論文では鳴声利用の場合のマイクの可聴半径  $r$  を 30~35 m 位が適当と考えられるものとした。そうすると歩行者の観測半径 50 m とずれが生じるので  $\alpha$  の値の修正を行わねばならない。従って単位時間の修正が必要となってくる。

歩行者の速さは 20 m/分であり、その可視半径を  $R$  とすると、歩行者の可視範囲は図 2 ように  $t$  分歩いたとき

$$2R \times 20t + \pi R^2$$

マイクの可聴範囲は

$$2r \times 20t + \pi r^2$$

従って

$$\alpha = \frac{(40rt + \pi r^2) \text{ 内の鳴声数}}{(40Rt + \pi R^2) \text{ 内の観測数}}$$

となって範囲のずれが生じている。

$r=30, R=50, t=4$  とすると修正係数  $k$  は

$$k = \frac{40 \times 50 \times 4 + \pi \times 50^2}{40 \times 30 \times 4 + \pi \times 30^2} = 2.079$$

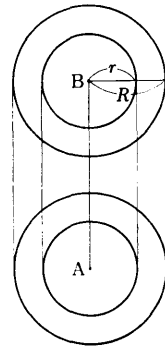


図 2

表 19 (つづき)

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
3	2	1	1										
94	73	54	41	30	22	15	11	7	5	3	2	1	1

従って

$$a' = a k \approx 2 a$$

となってくる。

そうすると前論文で単位時間を2分としたのを4分に改めると、表4の推定鳴声数、実際の鳴声数はすべて2倍されるだけで、表6の計算も  $X'_i, a_i$  が夫々に2倍されるので結果には影響がない。

次に鳥の鳴声の録音について、観測者が歩行中に録音した値  $a$  (1コース歩いた間に録音された鳴声の数と、観測した鳥の数の比で、単位時間当り鳴声数)と、設置されたマイク1個2分間当り鳴声数  $\beta$  の値の記録は図3、4のようになっている。

一般的傾向として、 $a, \beta$  ともにだんだん小さくなっているが、気温 (東那須野の最高、最低気温の平均値) との関係を見ると、観測日の気温はほぼ上昇の傾向を示している。

因みに  $a$  の平均気温  $T$ 、平均湿度  $h$  に対する回帰式は

$$a = 1.217 - 0.01228 T - 0.009867 h$$

で、重相関係数は0.6114、 $a$  と  $T$  の偏相関係数は  $-0.3983$ 、 $a$  と  $h$  との相関係数は  $-0.552$  となっている。

$\beta$  については  $T$  と  $h$  に対する重相関係数は0.500、 $\beta$  と  $T$  の偏相関係数は  $-0.4998$ 、 $\beta$  と  $h$  の偏相関係数は  $-0.0227$  となっている。

これより上述の関係が数量的に示されたことになるが、 $a, \beta$  の減少は気温の上昇や、湿度との変化だけによるものではなく、風や、マイクの性能の低下、録音聴取の巧拙などによるのかも知れないが、鳴声数を利用する際の問題点となるものである。

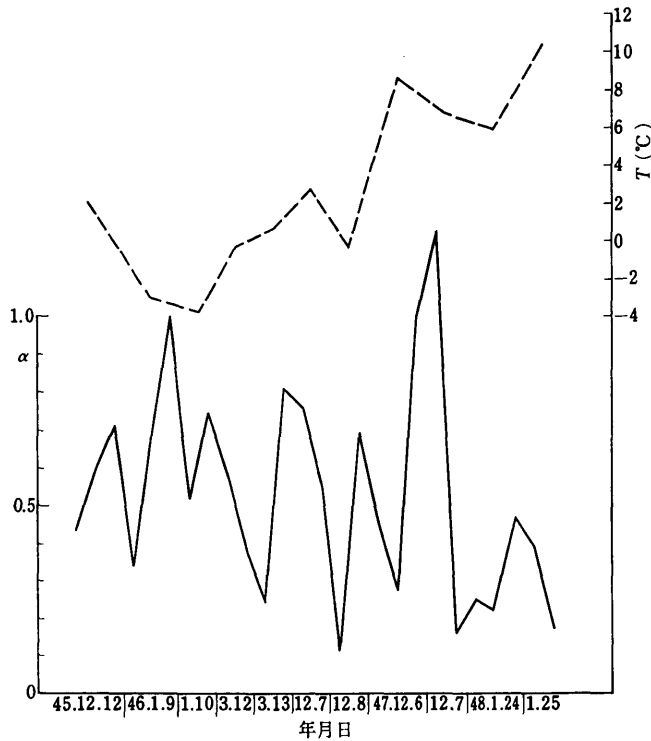


図 3

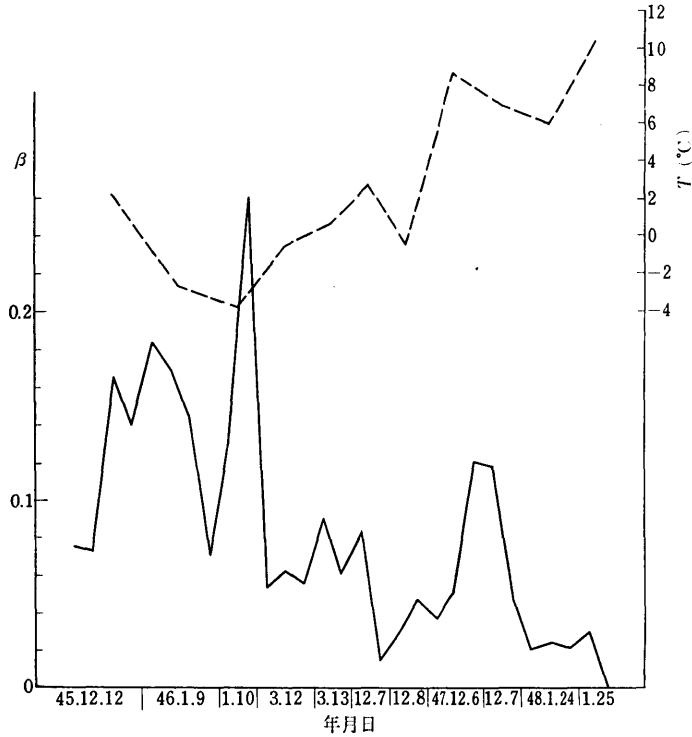


図 4

このため鳥の総数推定には可聴半径の修正も考慮の必要があり、昭和46年12月以降（但し昭和47年12月分を除く）可聴半径を25mとして計算したものが表21である。このような可聴半径の修正では推定数は大して変化しないので、鳴声利用法と他の方法との不一致の原因は他の点にあるものと考えられる。

表 21

年 月 日	line transect法	random walk法	鳴声利用法	測定回数
45. 12. 12	48.3	45.4	35	18
46. 1. 9	51.8	48.6	45	21
1. 10	56.7	53.2	56	18
3. 12	31.3 *	29.4 *	32	12
3. 13	58.1 *	54.6 *	49	8
12. 7	45.0	42.3	16**	23
12. 8	45.6	42.8	22**	12
47. 2. 8	22.1	20.7	-	16
2. 9	42.5	39.9	-	30
12. 6	34.2	32.1	23	12
12. 7	18.2	17.0	30	18
48. 1. 24	47.5 *	44.6 *	18**	12
1. 25	24.4 *	22.9 *	13**	8

\* 印は全コースを廻らず, \*\* は可聴半径 25 m とした。

† 印はマイクに風防スポンジ使用

## §6 シミュレーションによる検証

野鳥総数の推定にあたって行なったシミュレーションについて簡単に報告しておく。

観測地区である西那須野千本松農場内の赤松林に棲息するシジュウカラの総数推定のための補助手段として、2つの観測方法、すなわちライントランセクト法及び、鳴き声利用法についてのシミュレーションを行なったものである。

### §6.1 観測地区

すでに報告 [1] したように、観測地区は長形状をしている。ここでは [1] と多少異なるが桜井信夫氏提供の地図に基いて、2辺がそれぞれ  $a=487.5\text{ m}$ ,  $h=512.5\text{ m}$  の長方形であると仮定した。すなわち  $S = [0, a] \times [0, h]$  の観測地区とする (図5)。地図に示されているよう

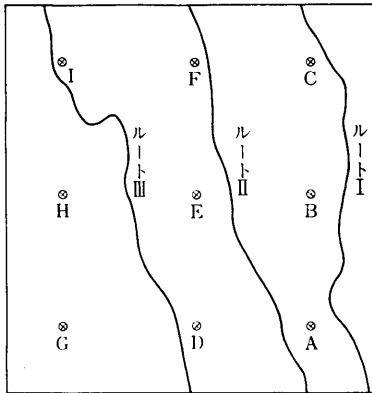


図5 実験林の形状と径路、マイクロフォンの位置

に地区内には、規則正しく赤松が植林され、樹下には雑木が繁茂している。そのため、ライントランセクト法による場合観測者は、地区内を自由に歩くことが出来ないので、地図に示されている小径 I, II, III (これを今後、それぞれルート 1, ルート 2, ルート 3 と呼ぶ) に沿って一定の速さで前進しながら観測を行なっている。シミュレーションでは各ルート上に 20 m ごとの観測地点を設けた。その結果、各ルートの観測地点数は、表 22 のように定めた。

表 22 各ルートごとの観測地点数

ルート	1	2	3
地点数	24	23	27

さらに、各観測地点の座標を地図上から読みとった。そこで、ルート  $i$  の地点数を  $v_i$  とする時、ルート  $i$  の観測点  $P_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, v_i$ ) の座標を  $(a_{ij}, h_{ij})$  ( $i=1, 2, 3; j=1, 2, \dots, v_i$ ) によって表わす。又、観測地区内には、図5に示されるように、九つの地点にマイクロフォンが設けられ、野鳥の鳴き声が記録できるようになっている。これらの地点にAからIまでのアルファベットの9文字を用いて表示しよう。シミュレーションの行われる地区  $S$  におけるこれらの点の座標は次のとおりである。

$$\begin{aligned} A : (400., 87.5) & \quad B : (400., 262.5) & \quad C : (400., 437.5) \\ D : (250., 87.5) & \quad E : (250., 262.5) & \quad F : (250., 437.5) \\ G : (75., 87.5) & \quad H : (75., 262.5) & \quad I : (75., 437.5) \end{aligned}$$

### §6.2 観測の方法及び時刻

ライントランセクト法においては、各ルートに観測者一人を担当させ、観測開始時刻 (これを  $t=0$  とする) に地点  $P_{i1}$  ( $i=1, 2, 3$ ) に配置して観測させる。以後、時間  $\Delta$  を経過するごとに、 $P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{iv_i}$  ( $i=1, 2, 3$ ) に移動して観測させる。観測時間間隔  $\Delta$  を 1 分、 $P_{ij}$  と  $P_{i,j+1}$  の間の距離を 20 m としたので、観測者は、毎分 20 m の速さで移動していることになる。

観測者は、各観測地点  $P_{ij}$  において、点  $P_{ij}$  を中心とし半径  $R$  (m) の円内  $C_R(P_{ij})$  にある鳥  $B_k$  を数えるものとする。ただし、観測開始時刻から終了時刻の間 ( $t=0, \Delta, 2\Delta, \dots, \max(n_1\Delta, n_2\Delta, n_3\Delta)$ ) ( $n_i=v_i-1$ ) で  $B_k \in C_R(P_{ij})$  をみたす鳥は重複して数えることなく、

発見数 1 として数え上げるものとする (各ルートによって観測回数  $\nu_i$  が異なるので、各ルートごとに最終地点  $P_{i\nu_i}$  において観測を終了したときに観測は完了するものと仮定する)。

一方、鳴き声利用法の場合には、 $t=0$  において、九ヶ所同時に鳴き声を記録し始め、時間  $N\Delta$  経過後に観測を終了する。記録された鳴き声は、0 から  $N\Delta$  までを等分に  $N$  ヶの時間区間に分割し、 $[0, \Delta)$ ,  $[\Delta, 2\Delta)$ ,  $\dots$ ,  $[(N-1)\Delta, N\Delta)$  各区分ごとに集計する。 $\Delta$  は前項同様 1 分、 $N$  は実際の実験に合わせて 50 とした。

### § 6.3 野鳥の行動

観測地区内に総数  $N$  羽のシジュウカラ  $B_k$  ( $k=1, 2, \dots, N$ ) が棲息しているものと仮定する。各鳥  $B_k$  は観測開始時に、観測地区内に一様分布しているものと仮定する。観測開始時を起点とする時刻を  $t$  によって表わし、時刻  $t$  における鳥  $B_k$  の座標を  $(x_k(t), y_k(t))$  で表わすことにすれば

$$(6.1) \quad P(x_k(0) \in dx, y_k(0) \in dy) = \frac{1}{ab} dx dy$$

である。

観測時刻  $t$  における鳥  $B_k$  の座標  $(x_k(t), y_k(t))$  によって、 $t+\Delta$  における座標  $(x_k(t+\Delta), y_k(t+\Delta))$  がつぎのようにして与えられるものとする。

$\rho, \theta$  をある確率変数とするとき

$$(6.2) \quad \begin{aligned} x_k' &= x_k(t) + \rho \cos \theta \\ y_k' &= y_k(t) + \rho \sin \theta \end{aligned}$$

によって  $x_k', y_k'$  を定め、座標  $(x_k', y_k')$  が観測地区  $S$  内にあるときには、

$$(6.3) \quad \begin{aligned} x_k(t+\Delta) &= x_k' \\ y_k(t+\Delta) &= y_k' \end{aligned} \quad (k=1, 2, \dots, N)$$

とする。また、境界における野鳥の行動は次のように定める。

**境界条件 B<sub>I</sub>** : 点  $P'_{t+\Delta}(x_k', y_k')$  が観測地区  $S$  外にある時には、点  $P_t(x_k(t), y_k(t))$  と点  $P'_{t+\Delta}$  とを結ぶ線分  $\overline{P_t P'_{t+\Delta}}$  が  $S$  の境界  $\partial S$  と交わる点  $P_{t+\Delta} = \overline{P_t P'_{t+\Delta}} \cap \partial S$  の座標として、 $x_k(t+\Delta), y_k(t+\Delta)$  を定める。

**境界条件 B<sub>II</sub>** :  $B_I$  と同じ状態のもとで、 $P_{t+\Delta}$  は  $\partial S$  上の点で  $P'_{t+\Delta}$  と  $\partial S$  との最短距離を与える点として、座標  $x_k(t+\Delta), y_k(t+\Delta)$  を定める。

したがって、もし、時刻  $t$  において鳥  $B_k$  が境界上にいた場合、時刻  $t+\Delta$  において、点  $(x_k', y_k')$  が  $S$  の内点になければ、そのままの位置に留まるか、あるいは再び境界  $\partial S$  上にいることになる。

確率変数  $\rho, \theta$  に対して、つぎのような 3 通りの場合を仮定した。

**飛び方の規則 F<sub>I</sub>** :  $\rho$  は定数で、 $\theta$  は  $[0, 2\pi)$  上で一様分布している。

**飛び方の規則 F<sub>II</sub>** : 正数  $\sigma$  に対して、 $\rho$  は  $[0, \infty)$  上で確率密度が (6.4) で与えられるような確率変数、

$$(6.4) \quad P(\rho \in d\rho) = \left(\frac{\rho}{\sigma}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{\sigma}\right)^2} \frac{1}{\sigma} d\rho \quad (\rho \geq 0)$$

$\theta$  は  $F_I$  同様  $[0, 2\pi)$  上で一様分布している確率変数である。

**飛びかたの規則 F<sub>III</sub>** :  $\rho$  は  $F_{II}$  同様 (6.4) に従う確率変数、 $\theta$  は現在の方向ベクトルの角度を  $\theta_0$  とした時 ( $\theta_0 = \text{Tan}^{-1}\{y_k(t) - y_k(t-\Delta) / (x_k(t) - x_k(t-\Delta))\}$ ),  $k(\theta - \theta_0)$  の分布関数が  $U_{[-r, r]}(x)^{*k}$  となるような確率変数である。但し、ここで  $U_{[\alpha, \beta]}(x)$  は区間  $[\alpha, \beta)$  での

一様分布函数である。したがって、 $k=1$  ならば  $F_{II}$  と全く同じである。

確率密度 (6.4) は、次のようにして導びかれたものである。

鳥  $B_k$  の時刻  $t$  における座標を  $m_x=x_k(t)$ ,  $m_y=y_k(t)$  とし、時刻  $t+\Delta$  における (6.3) 式によって定義される座標を  $x=x_k'$ ,  $y=y_k'$  とする時  $(x, y)$  は確率密度

$$(6.5) \quad \varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[(x-m_x)^2+(y-m_y)^2]}$$

に従って定まるものとする。このとき、極座標

$$(6.6) \quad \begin{cases} x = m_x + r \cos \theta \\ y = m_y + r \sin \theta \end{cases} \quad (r \geq 0, 0 \leq \theta < 2\pi)$$

に変換することによって、関係式

$$(6.7) \quad \varphi(x, y) dx dy = \frac{d\theta}{2\pi} \cdot \left(\frac{r}{\sigma}\right) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{r}{\sigma}\right)^2} d\left(\frac{r}{\sigma}\right)$$

を得る。したがって、 $[0, 2\pi)$  上で一様分布している  $\theta$  と、 $[0, \infty)$  上で (6.4) に従って分布している  $\rho$  とを用いて、 $(x, y)$  は (6.6) 式によって定まるのである。

方向  $\theta$  が与えられたとき、移動距離  $\rho$  の平均は

$$(6.8) \quad E(\rho) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma \doteq 1.25\sigma$$

である。

境界条件  $B_{II}$  を伴ない、飛び方の規則  $F_{III}$  に従っている時、いろいろな  $k$  の値に対するサンプルパスの例をいくつかグラフにしておく (図6)。

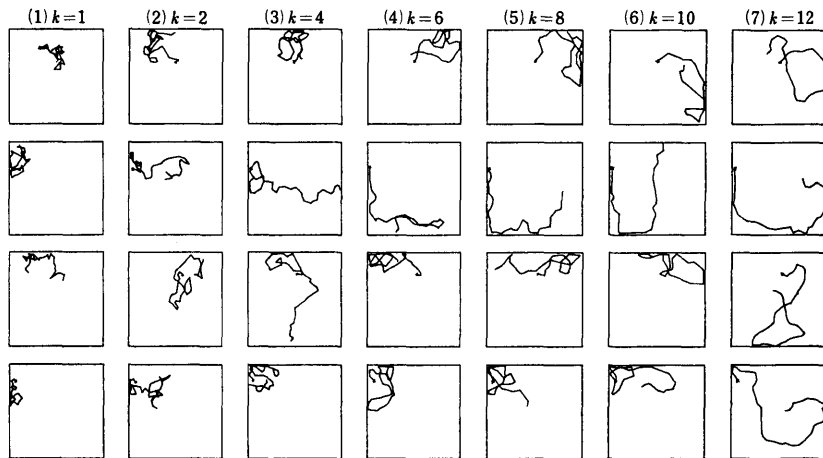


図6 マルコフランダムウォーク (境界条件  $B_{II}$ ;  $\sigma=(一辺の長さ)/25$ )

また、境界条件  $B_I$  を伴ない、飛び方の規則  $F_I$  に従って飛んでいる5羽の野鳥を、ライントラセクト法で観測したシミュレーションの例が図7にある。ここに書いたルートは3で、この場合の発見数は1であった。

#### §6.4 鳥の鳴き方の規則

鳴き声利用法において必要となる野鳥の鳴き方の規則は、いろいろ考えられるが、ここでは、簡単の為に、各野鳥は独立に、平均  $\lambda$  のポアソン分布に従っているものと仮定する。した





図 7

がって、野鳥  $B_k$  が  $[t, t+\Delta)$  の間に発する鳴き声の数を  $M_k(\Delta)$  とすれば、

$$Pr \{M_k(\Delta) = i\} = e^{-(\lambda\Delta)} \frac{(\lambda\Delta)^i}{i!} \quad (i = 0, 1, 2, \dots)$$

で表される。尚、使用した計算機は、統計数理研究所の HITAC 8700 及び HITAC 8500 である。乱数源としては、上記システムに組み込まれた物理乱数発生機によるもの、及び、乗算合同法による擬似乱数である。前者に対する検定は、常時行われており、かなり安定していると思われるので、特に使用した乱数列に対する検定は行わなかった。

### §6.5 結 果

#### I. ライントランセクト法のシミュレーションによる結果

シミュレーションの実施回数  $n$  として、同一設定条件（野鳥の移動距離  $\rho$  に対する条件）に対して 100~500 回とした。そして、ルート  $i$  において発見数が  $j$  羽であるシミュレーション回数を  $\hat{n}_{ij}$ 、相対度数を  $\hat{p}_{ij}$  とすれば、

$$(6.7) \quad \begin{cases} \sum_{j=0}^N \hat{n}_{ij} = n \\ \hat{p}_{ij} = \frac{\hat{n}_{ij}}{n} \quad (i = 1, 2, 3; j = 0, 1, 2, \dots, N) \end{cases}$$

である。 $\hat{p}_{ij}$  は、ルート  $i$  において発見数が  $j$  羽である確率  $r_{ij}$  の推定値で（後述）

$$(6.10) \quad D(\hat{p}_{ij}) = \sqrt{\frac{\hat{p}_{ij}(1 - \hat{p}_{ij})}{n}}$$

である。 $n=500$  の場合、 $D(\hat{p}_{ij}) \leq \frac{\sqrt{5}}{100} \doteq 0.024$  であるから、この種のシミュレーションと

しては、この程度のシミュレーション回数で十分であろう。

ルート  $i$  における野鳥の発見数 (重複して数えないときの発見数, すなわち観測中に同一鳥が 2 回以上視距離内にあらわれたときも, 1 羽として数える) を表わす確率変数を  $X_i$  とすれば,  $i=1, 2, 3$  に対して

$$P(X_i = j) = p_{ij} \quad (j=0, 1, 2, \dots, N)$$

である。したがって, 平均発見数  $m_i$  は

$$(6.11) \quad m_i = E(X_i) = \sum_{j=1}^N j p_{ij} \quad (i=1, 2, 3)$$

である。

第  $l$  回めのシミュレーションにおける野鳥の発見数を  $X_{il}$  ( $i=1, 2, 3, l=1, 2, \dots, n$ ) とすれば  $X_{il}$  ( $l=1, 2, \dots, n$ ) は互いに独立でかつ,  $X_i$  と同一の確率分布をもつから

$$(6.12) \quad \begin{cases} \hat{X}_i = \sum_{l=1}^n X_{il} \\ \bar{X}_i = \frac{1}{n} \hat{X}_i \\ \hat{n}_{ij} = \sum_{l=1}^n x_{(j)}(X_{il}) \end{cases}$$

ただし,  $x_{(j)}(u)$  は  $u=j$  のとき 1,  $u \neq j$  のとき 0 である。したがって

$$E(\bar{X}_i) = m_i \quad (i=1, 2, 3)$$

$$E(\hat{p}_{ji}) = p_{ij} \quad (i=1, 2, 3; j=0, 1, 2, \dots, N)$$

また,

$$\bar{X}_i = \sum_{j=0}^N j \hat{p}_{ij}$$

であることを用いて,

$$\hat{\sigma}_i^2 = \sum_{j=0}^N (j - \bar{X}_i)^2 \hat{p}_{ij}$$

の平均は

$$E(\hat{\sigma}_i^2) = V(X_i) - V(\bar{X}_i)$$

であることがわかる。一方

$$V(\bar{X}_i) = \frac{1}{n} V(X_i)$$

であるから,

$$(6.13) \quad V(X_i) = \frac{n}{n-1} E(\hat{\sigma}_i^2) \quad (i=1, 2, 3)$$

である。

表 23 は, 移動距離  $\rho$  が一定の場合の結果を表にまとめたものである。図 8 は表 23 をグラフにしたものであるが, この図からもわかるように, 発見数の確率分布は, 正規分布から導びかれる離散型分布に近い。ちなみに,  $N=36, \rho=6.4$  の場合は正規分布に対して有意水準 0.05 で有意でないことがわかる。

比較的, ルート 2 の発見数が多いのは境界における野鳥の行動に対する設定条件によるものと思われる。

表 23 飛距離 (移動距離) が一定の場合

(23-1)  $\rho = 6.4$ (i) 視距離  $R = 50.0$ 

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	3	0.0060	0	0.0000	0	0.0000
2	5	0.0100	0	0.0000	1	0.0020
3	17	0.0340	0	0.0000	3	0.0060
4	44	0.0880	3	0.0060	8	0.0160
5	54	0.1080	3	0.0060	11	0.0220
6	11	0.1420	7	0.0140	17	0.0340
7	66	0.1320	8	0.0160	39	0.0780
8	71	0.1420	20	0.0400	42	0.0840
9	59	0.1180	51	0.1020	60	0.1200
10	43	0.0860	51	0.1020	63	0.1260
11	24	0.0480	57	0.1140	64	0.1280
12	25	0.0500	74	0.1480	57	0.1140
13	10	0.0200	65	0.1300	49	0.0980
14	1	0.0020	57	0.1140	41	0.0820
15	2	0.0040	39	0.0780	20	0.0400
16	1	0.0020	29	0.0580	13	0.0260
17	1	0.0020	18	0.0360	5	0.0100
18	1	0.0020	9	0.0180	3	0.0060
19	0	0.0000	7	0.0140	2	0.0040
20	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
21	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	7.27		12.19		10.64	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	7.04		7.69		7.51	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.65		2.77		2.74	

(四) 視距離 R = 45.0 m

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	3	0.0060	0	0.0000	0	0.0000
2	12	0.0240	0	0.0000	1	0.0020
3	31	0.0620	1	0.0020	8	0.0160
4	58	0.1160	4	0.0080	14	0.0280
5	87	0.1740	7	0.0140	18	0.0360
6	79	0.1580	19	0.0380	34	0.0680
7	80	0.1600	24	0.0480	56	0.1120
8	62	0.1240	52	0.1040	56	0.1120
9	40	0.0800	69	0.1380	71	0.1420
10	25	0.0500	72	0.1440	65	0.1300
11	12	0.0240	65	0.1300	56	0.1120
12	4	0.0080	65	0.1300	51	0.1020
13	3	0.0060	49	0.0980	35	0.0700
14	1	0.0020	33	0.0660	17	0.0340
15	0	0.0000	18	0.0360	7	0.0140
16	0	0.0000	4	0.0080	7	0.0140
17	1	0.0020	3	0.0060	2	0.0040
18	0	0.0000	5	0.0100	2	0.0040
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.35		10.84		9.46	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.69		7.27		6.43	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.38		2.70		2.54	

㊦ 視距離 R = 40.0 m

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	3	0.0060	0	0.0000	0	0.0000
1	5	0.0100	1	0.0020	1	0.0020
2	23	0.0460	0	0.0000	3	0.0060
3	43	0.0860	6	0.0120	12	0.0240
4	69	0.1380	4	0.0080	22	0.0440
5	89	0.1780	31	0.0620	37	0.0740
6	95	0.1900	41	0.0820	65	0.1300
7	65	0.1300	50	0.1000	68	0.1360
8	50	0.1000	80	0.1600	68	0.1360
9	31	0.0620	79	0.1580	67	0.1340
10	14	0.0280	64	0.1280	52	0.1040
11	8	0.0160	58	0.1160	47	0.0940
12	2	0.0040	35	0.0700	30	0.0600
13	2	0.0040	29	0.0580	16	0.0320
14	0	0.0000	16	0.0320	7	0.0140
15	0	0.0000	3	0.0060	5	0.0100
16	1	0.0020	1	0.0020	0	0.0000
17	0	0.0000	2	0.0040	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		5.84		9.32		8.22
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		5.21		6.02		6.09
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.28		2.45		2.47

(二) 視距離  $R = 35.0\text{m}$ 

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	6	0.0120	0	0.0000	0	0.0000
1	8	0.0160	2	0.0040	2	0.0040
2	30	0.0600	4	0.0080	8	0.0160
3	69	0.1380	11	0.0220	23	0.0460
4	92	0.1840	25	0.0500	39	0.0780
5	93	0.1860	54	0.1080	60	0.1200
6	70	0.1400	74	0.1480	79	0.1580
7	60	0.1200	76	0.1520	83	0.1660
8	41	0.0820	76	0.1520	56	0.1120
9	17	0.0340	70	0.1400	60	0.1200
10	8	0.0160	46	0.0920	44	0.0880
11	5	0.0100	31	0.0620	23	0.0460
12	1	0.0020	20	0.0400	15	0.0300
13	0	0.0000	9	0.0180	5	0.0100
14	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0060
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
17	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		5.17		7.87		7.08
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		4.40		6.23		5.31
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.10		2.50		2.31

例 視距離  $R = 30.0 \text{ m}$ 

ル ー ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	6	0.0120	0	0.0000	0	0.0000
1	20	0.0400	6	0.0120	8	0.0160
2	49	0.0980	14	0.0280	19	0.0380
3	101	0.2020	47	0.0940	44	0.0880
4	95	0.1900	52	0.1040	75	0.1500
5	90	0.1800	80	0.1600	77	0.1540
6	51	0.1020	83	0.1660	89	0.1780
7	49	0.0980	87	0.1740	72	0.1440
8	21	0.0420	59	0.1180	54	0.1080
9	10	0.0200	35	0.0700	32	0.0640
10	7	0.0140	21	0.0420	17	0.0340
11	1	0.0020	9	0.0180	5	0.0100
12	0	0.0000	5	0.0100	5	0.0100
13	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0040
14	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	4.55		6.38		5.82	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.07		5.24		4.55	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.02		2.29		2.13	

(23-2)  $\rho = 10$ (イ) 視距離  $R = 50.0\text{m}$ 

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
2	5	0.0100	0	0.0000	0	0.0000
3	13	0.0260	0	0.0000	0	0.0000
4	24	0.0480	0	0.0000	8	0.0160
5	65	0.1300	3	0.0060	12	0.0240
6	70	0.1400	1	0.0020	27	0.0540
7	86	0.1720	13	0.0260	37	0.0740
8	58	0.1160	29	0.0580	51	0.1020
9	64	0.1280	46	0.0920	68	0.1360
10	43	0.0860	62	0.1240	58	0.1160
11	27	0.0540	76	0.1520	55	0.1100
12	21	0.0420	52	0.1040	47	0.0940
13	11	0.0220	75	0.1500	49	0.0980
14	3	0.0060	54	0.1080	34	0.0680
15	3	0.0060	28	0.0560	21	0.0420
16	4	0.0080	24	0.0480	15	0.0300
17	0	0.0000	13	0.0260	8	0.0160
18	1	0.0020	11	0.0220	4	0.0080
19	0	0.0000	4	0.0080	4	0.0080
20	0	0.0000	5	0.0100	0	0.0000
21	0	0.0000	3	0.0060	2	0.0040
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	7.22		12.20		10.56	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.23		10.54		10.51	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.29		3.25		3.24	



(甲) 視距離 R = 45.0 m

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	3	0.0060	0	0.0000	0	0.0000
2	7	0.0140	0	0.0000	0	0.0000
3	19	0.0380	0	0.0000	5	0.0100
4	60	0.1200	3	0.0060	16	0.0320
5	70	0.1400	7	0.0140	21	0.0420
6	89	0.1780	8	0.0160	37	0.0740
7	84	0.1680	43	0.0860	60	0.1200
8	58	0.1160	60	0.1200	73	0.1460
9	49	0.0980	71	0.1420	60	0.1200
10	32	0.0640	72	0.1440	54	0.1080
11	17	0.0340	74	0.1480	50	0.1000
12	4	0.0080	57	0.1140	42	0.0840
13	5	0.0100	44	0.0880	32	0.0640
14	2	0.0040	25	0.0500	26	0.0520
15	1	0.0020	12	0.0240	6	0.0120
16	0	0.0000	8	0.0160	10	0.0200
17	0	0.0000	6	0.0120	3	0.0060
18	0	0.0000	5	0.0100	3	0.0060
19	0	0.0000	2	0.0040	2	0.0040
20	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
21	0	0.0000	2	0.0040	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	6.34		10.57		9.49	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	3.46		10.09		9.57	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	1.86		3.18		3.09	

ㄐ) 視距離 R = 40.0 m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	4	0.0080	0	0.0000	0	0.0000
2	4	0.0280	2	0.0040	4	0.0080
3	30	0.0600	1	0.0020	12	0.0240
4	65	0.1300	9	0.0180	27	0.0540
5	94	0.1880	27	0.0540	34	0.0680
6	95	0.1900	43	0.0860	72	0.1440
7	71	0.1420	68	0.1360	66	0.1320
8	48	0.0960	83	0.1660	69	0.1380
9	34	0.0680	74	0.1480	66	0.1320
10	22	0.0440	66	0.1320	44	0.0880
11	12	0.0240	54	0.1080	38	0.0760
12	7	0.0140	30	0.0600	25	0.0500
13	3	0.0060	18	0.0360	23	0.0460
14	0	0.0000	11	0.0220	11	0.0220
15	1	0.0020	7	0.0140	4	0.0080
16	0	0.0000	3	0.0060	4	0.0080
17	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
19	0	0.0000	3	0.0060	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.86		9.24		8.23	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	3.80		9.00		8.54	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	1.95		3.00		2.92	

(二) 視距離 R = 35.0 m

ル ー ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	6	0.0120	0	0.0000	1	0.0020
2	23	0.0460	5	0.0100	8	0.0160
3	53	0.1060	10	0.0200	24	0.0480
4	94	0.1880	33	0.0660	38	0.0760
5	104	0.2080	58	0.1160	81	0.1620
6	75	0.1500	67	0.1340	60	0.1200
7	51	0.1020	92	0.1840	77	0.1540
8	41	0.0820	66	0.1320	81	0.1620
9	26	0.0520	69	0.1380	44	0.0880
10	15	0.0300	45	0.0900	34	0.0680
11	7	0.0140	26	0.0520	21	0.0420
12	2	0.0040	10	0.0200	12	0.0240
13	1	0.0020	6	0.0120	11	0.0220
14	1	0.0020	6	0.0120	6	0.0120
15	0	0.0000	5	0.0100	0	0.0000
16	0	0.0000	2	0.0040	2	0.0040
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.13		7.87		7.10	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	3.43		8.07		7.65	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	1.85		2.84		2.71	

(例) 視距離 R = 30.0 m

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	11	0.0220	4	0.0080	5	0.0100
2	42	0.0840	14	0.0280	16	0.0320
3	96	0.1920	38	0.0760	54	0.1080
4	108	0.2160	73	0.1460	79	0.1580
5	77	0.1540	73	0.1460	76	0.1520
6	77	0.1540	90	0.1800	78	0.1560
7	38	0.0760	76	0.1520	72	0.1440
8	26	0.0520	56	0.1120	42	0.0840
9	13	0.0260	35	0.0700	44	0.0880
10	8	0.0160	21	0.0420	16	0.0320
11	1	0.0020	2	0.0040	15	0.0300
12	0	0.0000	13	0.0260	1	0.0020
13	1	0.0020	3	0.0060	1	0.0020
14	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
15	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	4.41		6.33		5.84	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	3.12		6.88		5.93	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	1.77		2.62		2.44	

(23-3)  $\rho = 15$ (イ) 視距離  $R = 50.0 \text{ m}$ 

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	4	0.0080	0	0.0000	1	0.0020
2	6	0.0120	0	0.0000	0	0.0000
3	19	0.0380	1	0.0020	3	0.0060
4	35	0.0700	3	0.0060	2	0.0040
5	53	0.1060	3	0.0060	10	0.0200
6	72	0.1440	4	0.0080	22	0.0440
7	78	0.1560	16	0.0320	32	0.0640
8	64	0.1280	21	0.0420	48	0.0960
9	49	0.0980	38	0.0760	60	0.1200
10	50	0.1000	59	0.1180	54	0.1080
11	34	0.0680	68	0.1360	71	0.1420
12	12	0.0240	71	0.1420	50	0.1000
13	8	0.0160	58	0.1160	53	0.1060
14	7	0.0140	50	0.1000	38	0.0760
15	5	0.0100	40	0.0800	26	0.0520
16	2	0.0040	33	0.0660	11	0.0220
17	2	0.0040	19	0.0380	5	0.0100
18	0	0.0000	9	0.0180	8	0.0160
19	0	0.0000	5	0.0100	4	0.0080
20	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
21	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	7.14		11.88		10.77	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	9.56		10.31		9.72	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	3.09		3.21		3.12	

(iv) 視距離  $R = 45.0\text{m}$ 

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	5	0.0100	0	0.0000	1	0.0020
2	13	0.0260	0	0.0000	0	0.0000
3	27	0.0540	1	0.0020	6	0.0120
4	56	0.1120	4	0.0080	10	0.0200
5	63	0.1260	8	0.0160	26	0.0520
6	94	0.1880	24	0.0480	33	0.0660
7	75	0.1500	29	0.0580	46	0.0920
8	65	0.1300	47	0.0940	55	0.1100
9	38	0.0760	67	0.1340	73	0.1460
10	27	0.0540	76	0.1520	55	0.1100
11	16	0.0320	75	0.1500	56	0.1120
12	14	0.0280	39	0.0780	61	0.1220
13	2	0.0040	49	0.0980	30	0.0600
14	3	0.0060	35	0.0700	23	0.0460
15	1	0.0020	19	0.0380	10	0.0200
16	0	0.0000	19	0.0380	7	0.0140
17	0	0.0000	6	0.0120	5	0.0100
18	0	0.0000	2	0.0040	3	0.0060
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	6.29		10.55		9.52	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	7.19		9.01		9.75	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.68		3.00		3.12	

㊦ 視距離 R = 40.0 m

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	9	0.0180	1	0.0020	1	0.0020
2	20	0.0400	1	0.0020	0	0.0000
3	34	0.0680	3	0.0060	11	0.0220
4	66	0.1320	9	0.0180	28	0.0560
5	80	0.1600	26	0.0520	38	0.0760
6	97	0.1940	36	0.0720	50	0.1000
7	73	0.1460	60	0.1200	58	0.1160
8	49	0.0980	72	0.1440	75	0.1500
9	32	0.0640	80	0.1600	70	0.1400
10	19	0.0380	65	0.1300	51	0.1020
11	11	0.0220	44	0.0880	50	0.1000
12	5	0.0100	50	0.1000	25	0.0500
13	2	0.0040	26	0.0520	21	0.0420
14	2	0.0040	17	0.0340	14	0.0280
15	0	0.0000	6	0.0120	1	0.0020
16	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
17	0	0.0000	3	0.0060	6	0.0120
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.86		9.23		8.31	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	6.02		7.94		8.39	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.45		2.82		2.90	

(二) 視距離 R = 35.0m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	1	0.0020
1	15	0.0300	3	0.0060	2	0.0040
2	26	0.0520	3	0.0060	4	0.0080
3	55	0.1100	11	0.0220	23	0.0460
4	77	0.1540	23	0.0460	45	0.0900
5	91	0.1820	56	0.1120	68	0.1360
6	83	0.1660	59	0.1180	62	0.1240
7	64	0.1280	87	0.1740	71	0.1420
8	46	0.0920	73	0.1460	63	0.1260
9	20	0.0400	77	0.1540	57	0.1140
10	12	0.0240	44	0.0880	42	0.0840
11	7	0.0140	31	0.0620	32	0.0640
12	3	0.0060	20	0.0400	15	0.0300
13	0	0.0000	9	0.0180	5	0.0100
14	0	0.0000	2	0.0040	4	0.0080
15	0	0.0000	2	0.0040	2	0.0040
16	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0060
17	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.34		7.68		7.13	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.64		6.88		8.15	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.38		2.62		2.86	



例 視距離  $R = 30.0 \text{ m}$

ル ー ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	1	0.0020	2	0.0040
1	26	0.0520	5	0.0100	6	0.0120
2	41	0.0820	17	0.0340	14	0.0280
3	77	0.1540	36	0.0720	40	0.0800
4	93	0.1860	58	0.1160	74	0.1480
5	91	0.1820	85	0.1700	83	0.1660
6	79	0.1580	89	0.1780	74	0.1480
7	42	0.0840	84	0.1680	73	0.1460
8	26	0.0520	50	0.1000	49	0.0980
9	11	0.0220	42	0.0840	45	0.0900
10	8	0.0160	18	0.0360	23	0.0460
11	4	0.0080	10	0.0200	8	0.0160
12	0	0.0000	4	0.0080	2	0.0040
13	0	0.0000	1	0.0020	2	0.0040
14	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0040
15	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0060
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	4.65		6.00		5.98	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.13		5.70		6.40	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.26		2.39		2.53	

(23-4)  $\rho = 20$ (1) 視距離  $R = 50.0\text{m}$ 

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	1	0.0020	0	0.0000	1	0.0020
2	8	0.0160	0	0.0000	0	0.0000
3	7	0.0140	1	0.0020	2	0.0040
4	33	0.0660	1	0.0020	2	0.0040
5	49	0.0980	3	0.0060	11	0.0220
6	67	0.1340	0	0.0000	12	0.0240
7	61	0.1220	12	0.0240	28	0.0560
8	72	0.1440	20	0.0200	46	0.0920
9	63	0.1260	41	0.0820	61	0.1220
10	44	0.0880	54	0.1080	53	0.1060
11	46	0.0920	67	0.1340	52	0.1040
12	20	0.0400	66	0.1320	60	0.1200
13	12	0.0240	59	0.1180	56	0.1120
14	10	0.0200	50	0.1000	43	0.0860
15	5	0.0100	54	0.1080	27	0.0540
16	2	0.0040	37	0.0740	19	0.0380
17	0	0.0000	15	0.0300	11	0.0220
18	0	0.0000	9	0.0180	8	0.0160
19	0	0.0000	4	0.0080	3	0.0060
20	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
21	0	0.0000	4	0.0080	2	0.0040
22	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
23	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	7.82		12.15		11.21	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	7.09		7.31		12.69	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.66		2.70		3.56	

(ロ) 視距離 R = 45.0 m

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	1	0.0020	0	0.0000	1	0.0020
2	8	0.0160	2	0.0040	2	0.0040
3	29	0.0580	1	0.0020	1	0.0020
4	46	0.0920	1	0.0020	7	0.0140
5	69	0.1380	4	0.0080	20	0.0400
6	90	0.1800	15	0.0300	31	0.0620
7	68	0.1360	28	0.0560	51	0.1020
8	73	0.1460	45	0.0900	64	0.1280
9	45	0.0900	51	0.1020	58	0.1160
10	32	0.0640	87	0.1740	59	0.1180
11	23	0.0460	63	0.1260	48	0.0960
12	9	0.0180	71	0.1420	60	0.1200
13	5	0.0100	47	0.0940	38	0.0760
14	1	0.0020	36	0.0720	25	0.0500
15	0	0.0000	28	0.0560	14	0.0280
16	0	0.0000	12	0.0240	12	0.0240
17	0	0.0000	6	0.0120	3	0.0060
18	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0040
19	0	0.0000	2	0.0040	3	0.0060
20	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.63		10.65		9.90	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.29		5.95		11.23	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.30		2.44		3.35	

ト) 視距離 R = 40.0 m

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	3	0.0060	0	0.0000	2	0.0040
2	17	0.0340	2	0.0040	3	0.0060
3	42	0.0840	3	0.0060	8	0.0160
4	51	0.1020	6	0.0120	16	0.0320
5	84	0.1680	18	0.0360	37	0.0740
6	95	0.1900	38	0.0760	48	0.0960
7	65	0.1300	63	0.1260	66	0.1320
8	58	0.1160	71	0.1420	65	0.1300
9	35	0.0700	69	0.1380	66	0.1320
10	27	0.0540	62	0.1240	50	0.1000
11	14	0.0280	56	0.1120	51	0.1020
12	6	0.0120	50	0.1000	39	0.0780
13	2	0.0040	31	0.0620	19	0.0380
14	0	0.0000	18	0.0360	16	0.0320
15	0	0.0000	9	0.0180	4	0.0080
16	0	0.0000	3	0.0060	8	0.0160
17	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
18	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
19	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		5.98		9.24		8.79
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		4.92		5.22		10.21
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.22		2.29		3.19

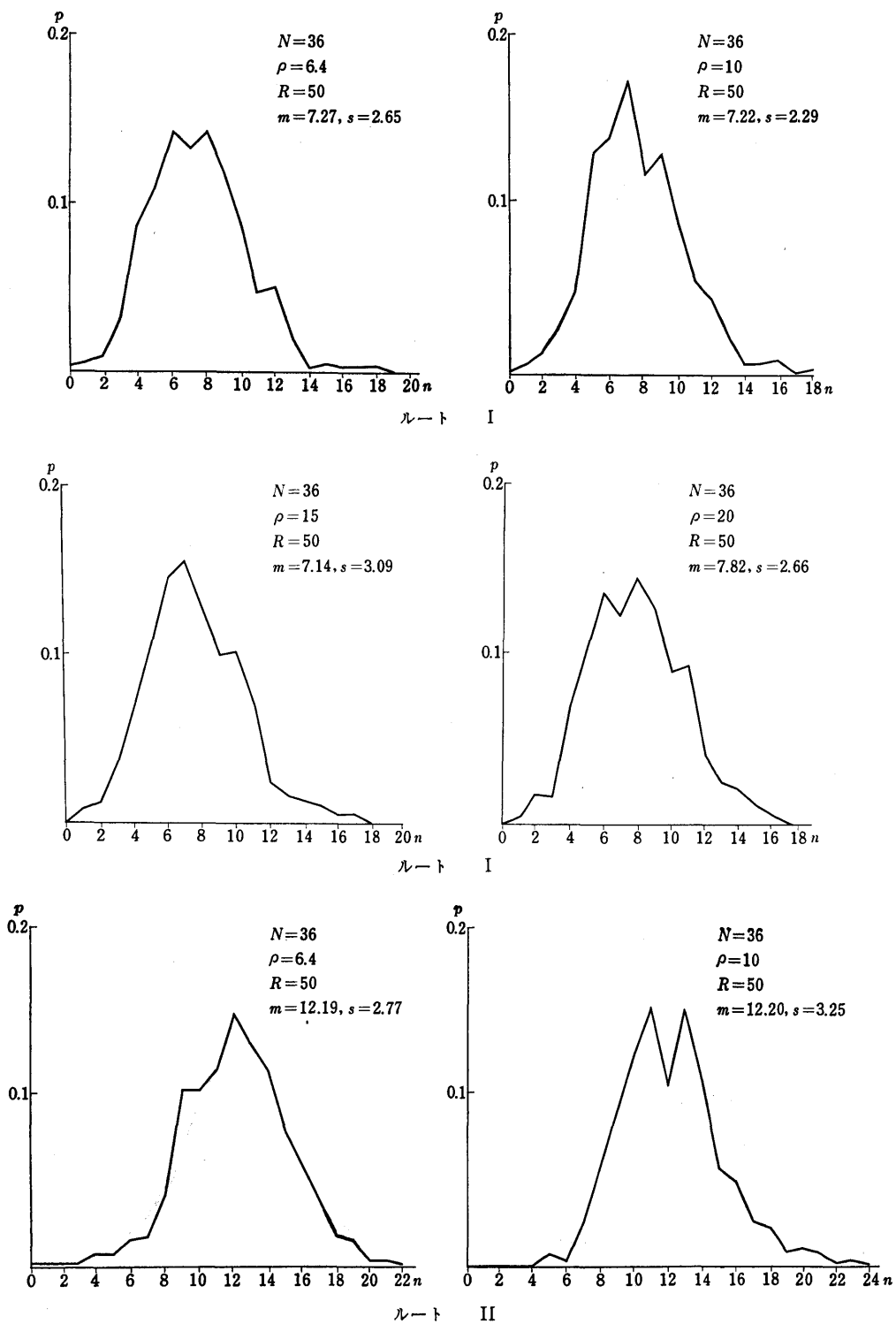
(二) 視距離 R = 35.0 m

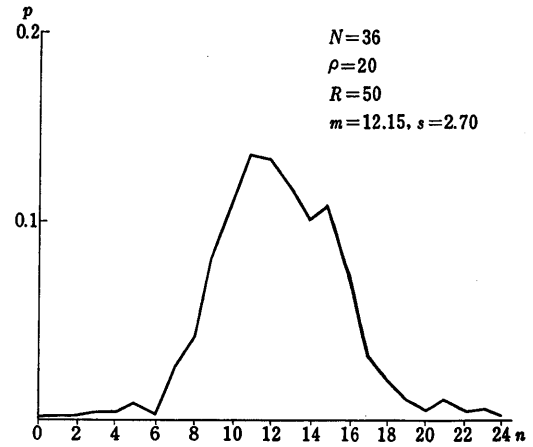
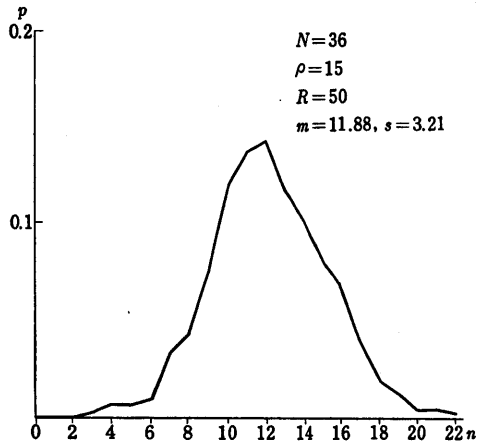
ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	6	0.0120	0	0.0000	2	0.0040
2	28	0.0560	5	0.0100	11	0.0220
3	55	0.1100	8	0.0160	15	0.0300
4	74	0.1480	23	0.0460	46	0.0920
5	87	0.1740	39	0.0780	40	0.0800
6	78	0.1560	82	0.1640	66	0.1320
7	68	0.1360	79	0.1580	80	0.1600
8	42	0.0840	67	0.1340	65	0.1300
9	34	0.0680	66	0.1320	59	0.1180
10	17	0.0340	58	0.1160	43	0.0860
11	6	0.0120	31	0.0620	34	0.0680
12	3	0.0060	28	0.0560	17	0.0340
13	0	0.0000	9	0.0180	11	0.0220
14	0	0.0000	3	0.0060	8	0.0160
15	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
16	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	5.53		7.73		7.68	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.77		4.60		8.66	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.18		2.14		2.94	

(外) 視距離 R = 30.0 m

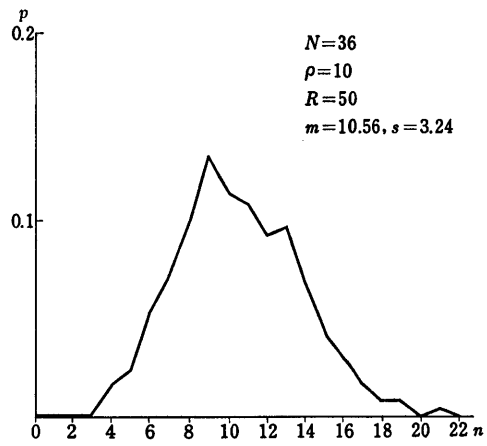
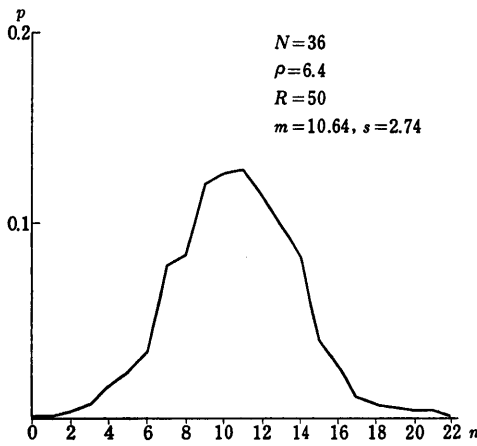
ル - ト	I		II		III	
	発見数	度数 相対度数	度数 相対度数	度数 相対度数	度数 相対度数	
0	2	0.0040	0	0.0000	1	0.0020
1	14	0.0280	3	0.0060	8	0.0160
2	49	0.0980	15	0.0300	22	0.0440
3	79	0.1580	33	0.0660	36	0.0720
4	87	0.1740	46	0.0920	62	0.1240
5	83	0.1660	89	0.1780	62	0.1240
6	76	0.1520	88	0.1760	83	0.1660
7	58	0.1160	85	0.1700	75	0.1500
8	25	0.0500	52	0.1040	62	0.1240
9	17	0.0340	46	0.0920	44	0.0880
10	8	0.0160	26	0.0520	28	0.0560
11	2	0.0040	10	0.0200	8	0.0160
12	0	0.0000	3	0.0060	7	0.0140
13	0	0.0000	1	0.0020	2	0.0040
14	0	0.0000	3	0.0060	0	0.0000
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	4.84		6.12		6.34	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.23		4.13		6.76	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.06		2.03		2.60	

図8  $p_{ij}$  のグラフ ( $\rho = \text{一定}$ )

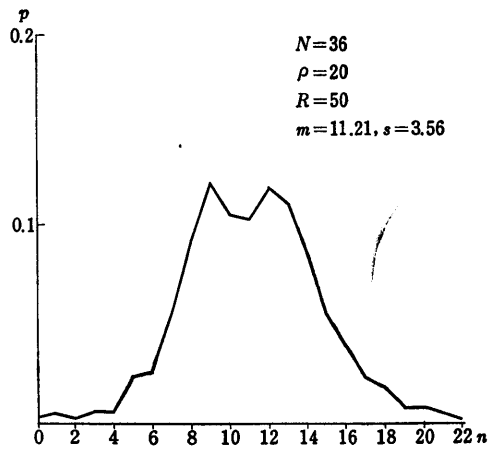
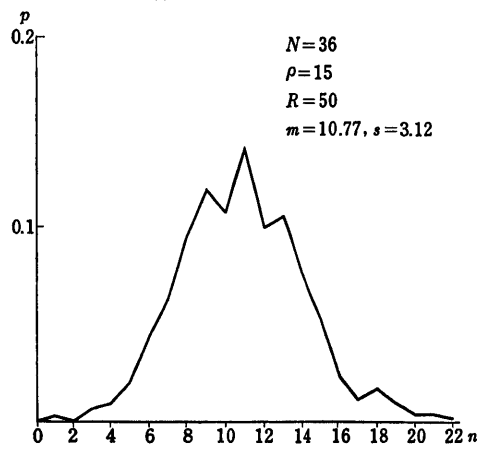




ルート II



ルート III



ルート III



表 24 飛距離 (移動距離) が確率分布 (6.4) に従う場合  
 (24-1)  $\sigma = 5.1$   
 (i) 視距離  $R = 50.0$  m

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	3	0.0060	0	0.0000	0	0.0000
2	5	0.0100	0	0.0000	0	0.0000
3	19	0.0380	0	0.0000	1	0.0020
4	34	0.0680	0	0.0000	7	0.0140
5	45	0.0900	3	0.0060	13	0.0260
6	78	0.1560	8	0.0160	16	0.0320
7	80	0.1600	23	0.0460	38	0.0760
8	71	0.1420	33	0.0660	43	0.0860
9	63	0.1260	42	0.0840	71	0.1420
10	34	0.0680	45	0.0900	62	0.1240
11	27	0.0540	49	0.0980	47	0.0940
12	17	0.0340	73	0.1460	69	0.1380
13	19	0.0380	65	0.1300	43	0.0860
14	3	0.0060	57	0.1140	39	0.0780
15	0	0.0000	46	0.0920	26	0.0520
16	1	0.0020	19	0.0380	9	0.0180
17	1	0.0020	18	0.0360	7	0.0140
18	0	0.0000	10	0.0200	6	0.0120
19	0	0.0000	4	0.0080	2	0.0040
20	0	0.0000	4	0.0080	1	0.0020
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	7.51		12.06		10.66	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	6.93		9.03		9.09	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.63		3.01		3.02	

(四) 視距離  $R = 45.0 \text{ m}$ 

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	4	0.0080	0	0.0000	0	0.0000
2	14	0.0280	0	0.0000	1	0.0020
3	33	0.0660	1	0.0020	2	0.0040
4	38	0.0760	4	0.0080	12	0.0240
5	78	0.1560	11	0.0220	20	0.0400
6	108	0.2160	23	0.0460	41	0.0820
7	73	0.1460	46	0.0920	50	0.1000
8	54	0.1080	43	0.0860	62	0.1240
9	53	0.1060	60	0.1200	68	0.1360
10	29	0.0580	59	0.1180	63	0.1260
11	7	0.0140	88	0.1760	61	0.1220
12	5	0.0100	55	0.1100	45	0.0900
13	3	0.0060	49	0.0980	38	0.0760
14	1	0.0020	24	0.0480	15	0.0300
15	0	0.0000	16	0.0320	8	0.0160
16	0	0.0000	14	0.0280	7	0.0140
17	0	0.0000	4	0.0080	5	0.0100
18	0	0.0000	2	0.0040	2	0.0040
19	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	6.44		10.39		9.52	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.10		7.69		8.09	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.26		2.77		2.84	

b) 視距離 R = 40.0 m

ルート 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	4	0.0080	0	0.0000	0	0.0000
2	21	0.0420	2	0.0040	2	0.0040
3	43	0.0860	7	0.0140	7	0.0140
4	61	0.1220	13	0.0260	24	0.0480
5	90	0.1800	26	0.0520	37	0.0740
6	95	0.1900	49	0.0980	57	0.1140
7	71	0.1420	58	0.1160	74	0.1480
8	49	0.0980	68	0.1360	68	0.1360
9	44	0.0880	71	0.1420	74	0.1480
10	11	0.0220	71	0.1420	57	0.1140
11	6	0.0120	59	0.1180	44	0.0880
12	2	0.0040	27	0.0540	31	0.0620
13	1	0.0020	22	0.0440	6	0.0120
14	1	0.0020	13	0.0260	8	0.0160
15	0	0.0000	8	0.0160	9	0.0180
16	0	0.0000	5	0.0100	2	0.0040
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.90		8.92		8.32	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.72		7.34		6.83	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.17		2.71		2.61	

下) 視距離 R = 35.0 m

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	15	0.0300	4	0.0080	2	0.0040
2	30	0.0600	3	0.0060	4	0.0080
3	53	0.1060	22	0.0440	31	0.0620
4	87	0.1740	32	0.0640	34	0.0680
5	101	0.2020	54	0.1080	62	0.1240
6	78	0.1560	67	0.1340	77	0.1540
7	64	0.1280	79	0.1580	80	0.1600
8	40	0.0800	72	0.1440	62	0.1240
9	19	0.0380	59	0.1180	62	0.1240
10	6	0.0120	47	0.0940	36	0.0720
11	3	0.0060	25	0.0500	34	0.0680
12	0	0.0000	20	0.0400	8	0.0160
13	1	0.0020	11	0.0220	4	0.0080
14	1	0.0020	3	0.0060	3	0.0060
15	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.23		7.47		7.13	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.47		6.67		6.05	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.11		2.58		2.46	

図 視距離  $R = 30.0 \text{ m}$ 

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	6	0.0120	1	0.0020	0	0.0000
1	22	0.0440	8	0.0160	6	0.0120
2	46	0.0920	25	0.0500	23	0.0460
3	82	0.1640	38	0.0760	52	0.1040
4	110	0.2200	63	0.1260	54	0.1080
5	92	0.1840	78	0.1560	90	0.1800
6	62	0.1240	90	0.1800	78	0.1560
7	41	0.0820	71	0.1420	73	0.1460
8	28	0.0560	54	0.1080	62	0.1240
9	5	0.0100	42	0.0840	28	0.0560
10	4	0.0080	14	0.0280	20	0.0400
11	0	0.0000	12	0.0240	8	0.0160
12	0	0.0000	4	0.0080	4	0.0080
13	2	0.0040	0	0.0000	1	0.0020
14	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	4.51		5.96		5.93	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.04		5.28		5.28	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.01		2.30		2.30	

(42-2)  $\sigma = 8.0$ (1) 視距離  $R = 50.0 \text{ m}$ 

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
2	3	0.0060	0	0.0000	1	0.0020
3	13	0.0260	0	0.0000	0	0.0000
4	38	0.0760	1	0.0020	5	0.0100
5	54	0.1080	1	0.0020	13	0.0260
6	64	0.1280	10	0.0200	24	0.0480
7	82	0.1640	15	0.0300	42	0.0840
8	87	0.1740	17	0.0340	62	0.1240
9	61	0.1220	39	0.0780	66	0.1320
10	39	0.0780	62	0.1240	61	0.1220
11	25	0.0500	62	0.1240	56	0.1120
12	19	0.0380	72	0.1440	52	0.1040
13	7	0.0140	61	0.1220	38	0.0760
14	3	0.0060	69	0.1380	31	0.0620
15	4	0.0080	36	0.0720	20	0.0400
16	0	0.0000	22	0.0440	6	0.0120
17	1	0.0020	15	0.0300	9	0.0180
18	0	0.0000	9	0.0180	6	0.0120
19	0	0.0000	6	0.0120	3	0.0060
20	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
21	0	0.0000	1	0.0020	2	0.0040
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		7.55		12.14		10.43
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		6.14		7.97		10.35
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.48		2.82		3.22

ロ) 視距離 R = 45.0 m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
1	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
2	12	0.0240	0	0.0000	2	0.0040
3	21	0.0420	1	0.0020	1	0.0020
4	51	0.1020	3	0.0060	15	0.0300
5	79	0.1580	11	0.0220	22	0.0440
6	93	0.1860	18	0.0360	45	0.0900
7	88	0.1760	35	0.0700	68	0.1360
8	65	0.1300	46	0.0920	64	0.1280
9	46	0.0920	61	0.1220	63	0.1260
10	18	0.0360	84	0.1680	61	0.1220
11	13	0.0260	63	0.1260	55	0.1100
12	8	0.0160	51	0.1020	36	0.0720
13	3	0.0060	57	0.1140	25	0.0500
14	1	0.0020	34	0.0680	18	0.0360
15	0	0.0000	15	0.0300	7	0.0140
16	0	0.0000	7	0.0140	8	0.0160
17	0	0.0000	2	0.0040	4	0.0080
18	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
19	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
20	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
21	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
22	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.54		10.56		9.29	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.89		7.61		9.30	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.21		2.76		3.05	

ℓ) 視距離 R = 40.0 m

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
1	7	0.0140	0	0.0000	0	0.0000
2	14	0.0280	0	0.0000	2	0.0040
3	29	0.0580	7	0.0140	10	0.0200
4	62	0.1240	13	0.0260	24	0.0480
5	106	0.2120	19	0.0380	46	0.0920
6	93	0.1860	34	0.0680	67	0.1340
7	86	0.1720	52	0.1040	80	0.1600
8	50	0.1000	83	0.1660	57	0.1140
9	21	0.0420	68	0.1360	64	0.1280
10	20	0.0400	69	0.1380	47	0.0940
11	7	0.0140	59	0.1180	36	0.0720
12	4	0.0080	46	0.0920	27	0.0540
13	1	0.0020	23	0.0460	15	0.0300
14	0	0.0000	13	0.0260	11	0.0220
15	0	0.0000	9	0.0180	2	0.0040
16	0	0.0000	3	0.0060	5	0.0100
17	0	0.0000	2	0.0040	2	0.0040
18	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0040
19	0	0.0000	0	0.0000	2	0.0040
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		5.97		9.20		8.22
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		4.35		6.94		8.62
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.09		2.63		2.94



(二) 視距離 R = 35.0 m

ルート 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	3	0.0060	0	0.0000	1	0.0020
1	9	0.0180	2	0.0040	1	0.0020
2	25	0.0500	2	0.0040	5	0.0100
3	47	0.0940	17	0.0340	25	0.0500
4	89	0.1780	25	0.0500	45	0.0900
5	122	0.2440	38	0.0760	72	0.1440
6	78	0.1560	61	0.1220	84	0.1680
7	59	0.1180	81	0.1620	70	0.1400
8	41	0.0820	66	0.1320	58	0.1160
9	13	0.0260	80	0.1600	44	0.0880
10	8	0.0160	64	0.1280	43	0.0860
11	4	0.0080	34	0.0680	20	0.0400
12	2	0.0040	16	0.0320	12	0.0240
13	0	0.0000	7	0.0140	11	0.0220
14	0	0.0000	4	0.0080	5	0.0100
15	0	0.0000	3	0.0060	4	0.0080
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.28		7.85		7.09	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.03		6.03		7.04	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.01		2.46		2.65	

(例) 視距離  $R = 30.0\text{m}$ 

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	7	0.0140	0	0.0000	1	0.0020
1	19	0.0380	4	0.0080	7	0.0140
2	31	0.0620	17	0.0340	16	0.0320
3	90	0.1800	29	0.0580	58	0.1160
4	116	0.2320	50	0.1000	64	0.1280
5	103	0.2060	83	0.1660	88	0.1760
6	54	0.1080	87	0.1740	80	0.1600
7	45	0.0900	84	0.1680	57	0.1140
8	22	0.0440	57	0.1140	48	0.0960
9	8	0.0160	49	0.0980	36	0.0720
10	3	0.0060	18	0.0360	24	0.0480
11	1	0.0020	13	0.0260	11	0.0220
12	1	0.0020	8	0.0160	6	0.0120
13	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
14	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	4.54		6.36		5.96	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	3.70		5.11		5.98	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	1.92		2.26		2.45	

(24-3)  $\sigma = 12.0$ (イ) 視距離  $R = 50.0$  m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
1	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
2	7	0.0140	0	0.0000	0	0.0000
3	17	0.0340	0	0.0000	1	0.0020
4	34	0.0680	2	0.0040	6	0.0120
5	44	0.0880	1	0.0020	13	0.0260
6	74	0.1480	8	0.0160	22	0.0440
7	71	0.1420	17	0.0340	25	0.0500
8	70	0.1400	26	0.0520	40	0.0800
9	59	0.1180	43	0.0860	63	0.1260
10	43	0.0860	45	0.0900	73	0.1460
11	33	0.0660	56	0.1120	55	0.1100
12	20	0.0400	76	0.1520	53	0.1060
13	17	0.0340	73	0.1460	41	0.0820
14	6	0.0120	47	0.0940	46	0.0920
15	3	0.0060	41	0.0820	19	0.0380
16	2	0.0040	26	0.0520	17	0.0340
17	0	0.0000	19	0.0380	10	0.0200
18	0	0.0000	12	0.0240	9	0.0180
19	0	0.0000	4	0.0080	2	0.0040
20	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
21	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
22	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$		7.74		12.18		10.85
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		7.43		8.74		10.52
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.73		2.96		3.24

(F) 視距離 R = 45.0 m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相对度数	度数	相对度数	度数	相对度数
0	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
1	1	0.0020	0	0.0000	1	0.0020
2	12	0.0240	0	0.0000	1	0.0020
3	27	0.0540	0	0.0000	2	0.0040
4	58	0.1160	6	0.0120	15	0.0300
5	63	0.1260	8	0.0160	29	0.0580
6	79	0.1580	22	0.0440	29	0.0580
7	88	0.1760	34	0.0680	38	0.0760
8	63	0.1260	50	0.1000	64	0.1280
9	40	0.0800	50	0.1000	62	0.1240
10	36	0.0720	82	0.1640	73	0.1460
11	17	0.0340	69	0.1380	57	0.1140
12	13	0.0260	58	0.1160	44	0.0880
13	3	0.0060	48	0.0960	37	0.0740
14	0	0.0000	34	0.0680	22	0.0440
15	0	0.0000	20	0.0400	12	0.0240
16	0	0.0000	10	0.0200	4	0.0080
17	0	0.0000	5	0.0100	4	0.0080
18	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
19	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
20	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$		6.70		10.56		9.61
分散 $\hat{\sigma}_i^2$		5.65		7.75		9.21
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$		2.38		2.78		3.04

㊦ 視距離  $R = 40.0 \text{ m}$

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
1	5	0.0100	0	0.0000	1	0.0020
2	16	0.0320	0	0.0000	3	0.0060
3	32	0.0640	3	0.0060	8	0.0160
4	74	0.1480	14	0.0280	37	0.0740
5	81	0.1620	31	0.0620	30	0.0600
6	90	0.1800	39	0.0780	54	0.1080
7	78	0.1560	48	0.0960	60	0.1200
8	47	0.0940	58	0.1160	61	0.1220
9	34	0.0680	74	0.1480	82	0.1640
10	22	0.0440	78	0.1560	45	0.0900
11	11	0.0220	72	0.1440	49	0.0980
12	9	0.0180	36	0.0720	27	0.0540
13	1	0.0020	25	0.0500	21	0.0420
14	0	0.0000	12	0.0240	12	0.0240
15	0	0.0000	4	0.0080	2	0.0040
16	0	0.0000	4	0.0080	4	0.0080
17	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
18	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	1	0.0020	1	0.0020
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.13		9.16		8.40	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.22		6.95		8.50	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.28		2.64		2.91	

E) R = 35.0 m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	1	0.0020
1	8	0.0160	0	0.0000	2	0.0040
2	32	0.0640	2	0.0040	13	0.0260
3	53	0.1060	9	0.0180	29	0.0580
4	81	0.1620	44	0.0880	38	0.0760
5	106	0.2120	51	0.1020	55	0.1100
6	78	0.1560	52	0.1040	72	0.1440
7	54	0.1080	70	0.1400	65	0.1300
8	44	0.0880	89	0.1780	79	0.1580
9	21	0.0420	77	0.1540	58	0.1160
10	13	0.0260	54	0.1080	39	0.0780
11	5	0.0100	26	0.0520	24	0.0480
12	4	0.0080	15	0.0300	10	0.0200
13	0	0.0000	7	0.0140	9	0.0180
14	0	0.0000	1	0.0020	3	0.0060
15	0	0.0000	1	0.0020	2	0.0040
16	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	1	0.0020	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.41		7.66		7.13	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.75		5.83		7.06	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.18		2.41		2.66	

例 視距離  $R = 30.0 \text{ m}$ 

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	3	0.0060	1	0.0020	3	0.0060
1	12	0.0240	2	0.0040	6	0.0120
2	41	0.0820	20	0.0400	19	0.0380
3	76	0.1520	29	0.0580	37	0.0740
4	93	0.1860	84	0.1680	64	0.1280
5	92	0.1840	75	0.1500	84	0.1680
6	85	0.1700	93	0.1860	78	0.1560
7	46	0.0920	67	0.1340	78	0.1560
8	30	0.0600	66	0.1320	62	0.1240
9	12	0.0240	33	0.0660	28	0.0560
10	7	0.0140	17	0.0340	22	0.0440
11	3	0.0060	10	0.0200	13	0.0260
12	0	0.0000	3	0.0060	4	0.0080
13	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
14	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
15	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
16	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	4.87		6.02		6.06	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.08		4.67		5.52	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.02		2.16		2.35	

(24-4)  $\sigma = 16.0$ (1) 視距離  $R = 50.0$  m

ル - ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
2	6	0.0120	0	0.0000	0	0.0000
3	11	0.0220	0	0.0000	1	0.0020
4	27	0.0540	2	0.0040	1	0.0020
5	46	0.0920	4	0.0080	12	0.0240
6	54	0.1080	7	0.0140	15	0.0300
7	69	0.1380	7	0.0140	33	0.0660
8	76	0.1520	29	0.0580	33	0.0660
9	59	0.1180	36	0.0720	51	0.1020
10	55	0.1100	60	0.1200	63	0.1260
11	42	0.0840	62	0.1240	71	0.1420
12	21	0.0420	75	0.1500	56	0.1120
13	13	0.0260	67	0.1340	53	0.1060
14	11	0.0220	54	0.1080	35	0.0700
15	6	0.0120	38	0.0760	28	0.0560
16	2	0.0040	27	0.0540	20	0.0400
17	1	0.0020	18	0.0360	11	0.0220
18	0	0.0000	9	0.0180	1	0.0020
19	0	0.0000	2	0.0040	9	0.0180
20	0	0.0000	1	0.0020	5	0.0100
21	0	0.0000	2	0.0040	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	8.11		12.11		11.27	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	7.79		7.98		10.50	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.79		2.82		3.24	



□) 視距離 R = 45.0 m

ル-ト 発見数	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
2	9	0.0180	0	0.0000	2	0.0040
3	24	0.0480	0	0.0000	3	0.0060
4	37	0.0740	3	0.0060	4	0.0080
5	56	0.1120	9	0.0180	24	0.0480
6	93	0.1860	18	0.0360	26	0.0520
7	81	0.1620	31	0.0620	48	0.0960
8	70	0.1400	50	0.1000	52	0.1040
9	53	0.1060	68	0.1360	72	0.1440
10	31	0.0620	64	0.1280	75	0.1500
11	27	0.0540	74	0.1480	49	0.0980
12	11	0.0220	71	0.1420	56	0.1120
13	4	0.0080	47	0.0940	29	0.0580
14	1	0.0020	27	0.0540	25	0.0500
15	0	0.0000	22	0.0440	18	0.0360
16	0	0.0000	10	0.0200	7	0.0140
17	0	0.0000	3	0.0060	3	0.0060
18	0	0.0000	0	0.0000	3	0.0060
19	0	0.0000	3	0.0060	2	0.0040
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.97		10.57		9.93	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.68		7.03		9.20	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.38		2.65		3.03	

↳ 視距離 R = 40.0 m

ル - ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	1	0.0020	0	0.0000	0	0.0000
1	2	0.0040	0	0.0000	1	0.0020
2	16	0.0320	1	0.0020	2	0.0040
3	31	0.0620	1	0.0020	7	0.0140
4	51	0.1020	12	0.0240	12	0.0240
5	73	0.1460	28	0.0560	32	0.0640
6	104	0.2080	37	0.0740	44	0.0880
7	73	0.1460	63	0.1260	73	0.1460
8	64	0.1280	72	0.1440	77	0.1540
9	41	0.0820	72	0.1440	65	0.1300
10	23	0.0460	78	0.1560	69	0.1380
11	13	0.0260	53	0.1060	41	0.0820
12	5	0.0100	38	0.0760	24	0.0480
13	2	0.0040	26	0.0520	28	0.0560
14	1	0.0020	9	0.0180	13	0.0260
15	0	0.0000	7	0.0140	7	0.0140
16	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
17	0	0.0000	1	0.0020	2	0.0040
18	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
19	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{X}_i$	6.37		9.03		8.75	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	5.13		6.35		7.59	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.26		2.52		2.75	

(二) 視距離  $R = 35.0 \text{ m}$ 

ル ー ト	I		II		III	
	発見数	度数 相対度数	度数 相対度数	度数 相対度数	度数 相対度数	
0	2	0.0040	0	0.0000	0	0.0000
1	5	0.0100	1	0.0020	2	0.0040
2	22	0.0440	6	0.0120	7	0.0140
3	50	0.1000	9	0.0180	17	0.0340
4	74	0.1480	35	0.0700	27	0.0540
5	93	0.1860	45	0.0900	54	0.1080
6	89	0.1780	78	0.1560	82	0.1640
7	80	0.1600	79	0.1580	83	0.1660
8	38	0.0760	79	0.1580	72	0.1440
9	22	0.0440	61	0.1220	49	0.0980
10	14	0.0280	42	0.0840	43	0.0860
11	7	0.0140	40	0.0800	28	0.0560
12	4	0.0080	16	0.0320	19	0.0380
13	0	0.0000	7	0.0140	12	0.0240
14	0	0.0000	2	0.0040	3	0.0060
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
17	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	5.64		7.56		7.46	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.59		5.68		6.58	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.14		2.38		2.57	

例) 視距離 R = 30.0 m

ル ー ト	I		II		III	
	度数	相対度数	度数	相対度数	度数	相対度数
0	3	0.0060	1	0.0020	1	0.0020
1	15	0.0300	4	0.0080	12	0.0240
2	48	0.0960	14	0.0280	17	0.0340
3	76	0.1520	32	0.0640	51	0.1020
4	105	0.2100	66	0.1320	62	0.1240
5	93	0.1860	79	0.1580	79	0.1580
6	64	0.1280	96	0.1920	89	0.1780
7	45	0.0900	80	0.1600	67	0.1340
8	30	0.0600	66	0.1320	53	0.1060
9	9	0.0180	27	0.0540	30	0.0600
10	11	0.0220	25	0.0500	23	0.0460
11	1	0.0020	6	0.0120	10	0.0200
12	0	0.0000	2	0.0040	3	0.0060
13	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
14	0	0.0000	2	0.0040	1	0.0020
15	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
16	0	0.0000	0	0.0000	1	0.0020
17	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
18	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
19	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
20	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
21	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
22	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
23	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
24	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
25	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
26	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
27	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
28	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
29	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
30	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
31	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
32	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
33	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
34	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
35	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
36	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000
平均 $\bar{x}_i$	4.73		6.12		5.92	
分散 $\hat{\sigma}_i^2$	4.18		4.64		5.76	
$\sqrt{\hat{\sigma}_i^2}$	2.04		2.15		2.40	

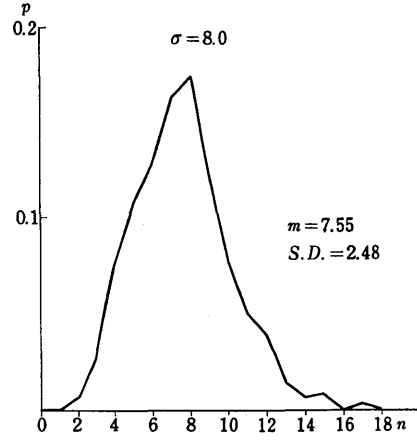
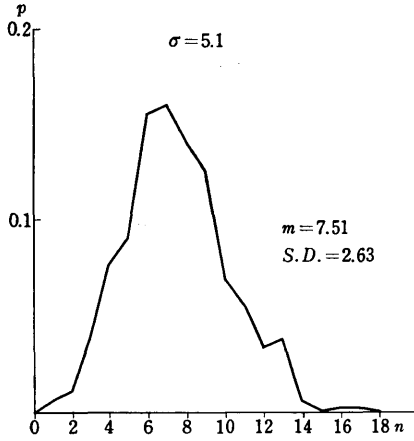
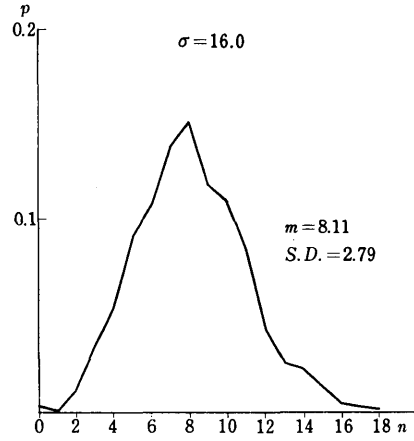
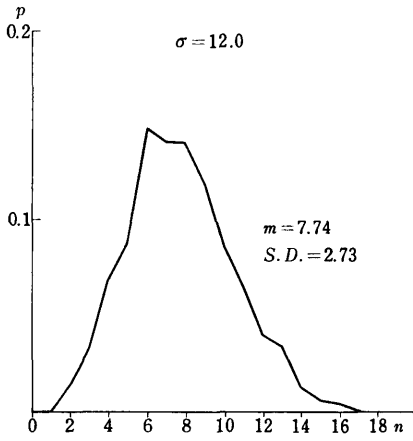
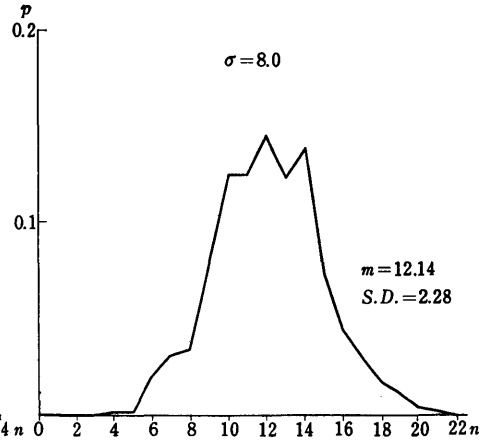
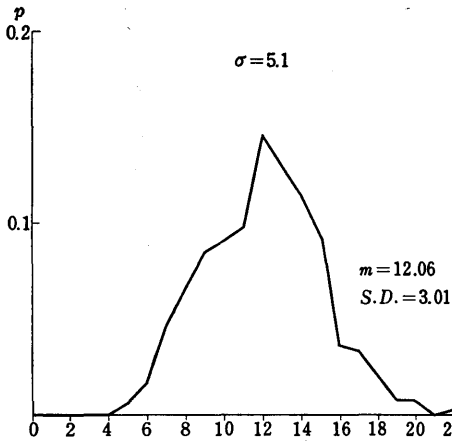


図 9  $p_{ij}$  のグラフ  
ルート I



ルート I



ルート II

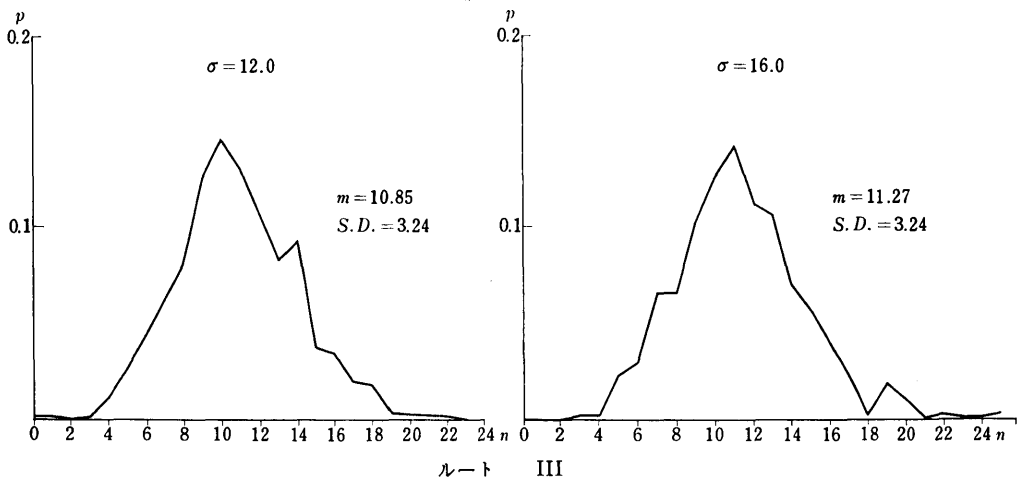
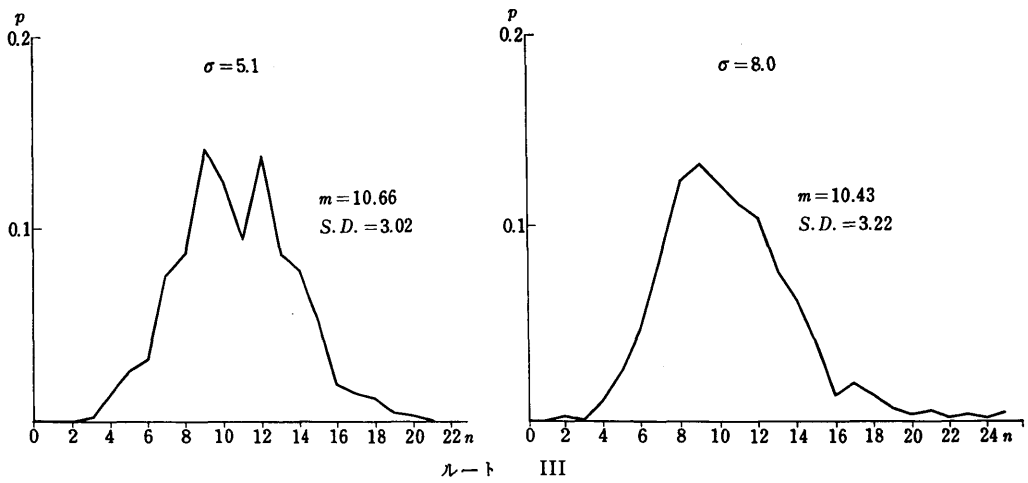
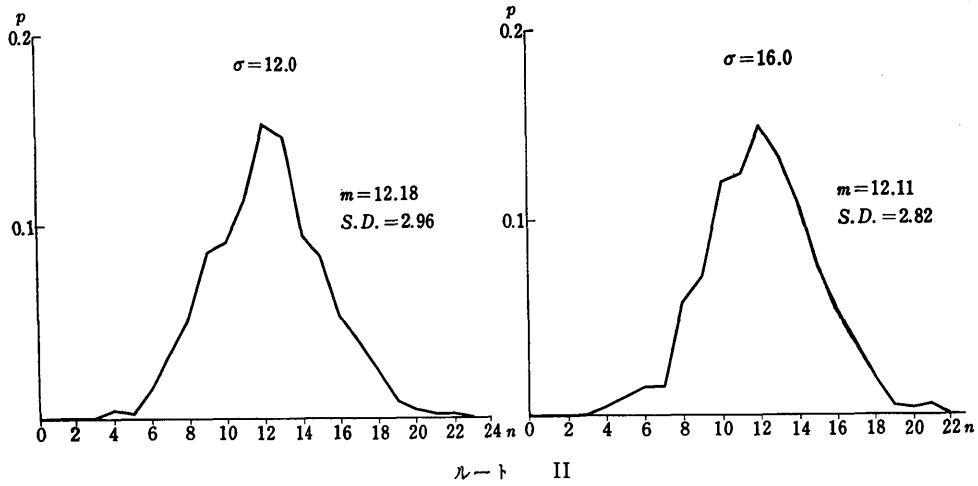


表 25 A) 野鳥の移動距離一定のときの平均発見数  $\bar{x}_i$  と分散  $\hat{\sigma}_i^2$ . (視距離 (発見半径) 50 m)

ルート	移動距離	6.4 (m)	10 (m)	15 (m)	20 (m)
	I	$\bar{X}_1$	7.27	7.22	7.14
$\hat{\sigma}_1^2$		2.65	2.29	3.09	2.66
II	$\bar{X}_2$	12.19	12.20	11.88	12.15
	$\hat{\sigma}_2^2$	2.77	3.25	3.21	2.70
III	$\bar{X}_3$	10.64	10.56	10.77	11.21
	$\hat{\sigma}_3^2$	2.74	3.24	3.12	3.56

B) 野鳥の移動距離が確率分布に従うときの平均発見数  $\bar{x}_i$  と分散  $\hat{\sigma}_i^2$ . (視距離 (発見半径) 50 m)

ルート	$\sigma$	5.7 (m)	8.0 (m)	12.0 (m)	16.0 (m)
	I	$\bar{X}_1$	7.51	7.55	7.74
$\hat{\sigma}_1^2$		2.63	2.48	2.73	2.79
II	$\bar{X}_2$	12.06	12.14	12.18	12.11
	$\hat{\sigma}_2^2$	3.01	2.82	2.96	2.82
III	$\bar{X}_3$	10.66	10.43	10.85	11.27
	$\hat{\sigma}_3^2$	3.02	3.22	3.24	3.24

表 24 は  $\rho$  が確率分布 (6.4) に従う場合で、しかも (6.8) を介して、 $\rho$  が一定値のときの値 (6.4, 10, 15, 20 (m)) に等しい平均値をもつような  $\sigma$  に対してシミュレーションを行なった結果である。図 9 や表 25 をみる限り、一定値の場合と比べ大差のないことがわかる。

以上の他に野鳥の移動距離を変えたり、野鳥が群行動する場合についてシミュレーションを行なったが、結果は省略する。

## II : 鳴き声利用法のシミュレーションによる結果

鳴き声録音の実際の記録を得るために、当該実験林で何回かの実験が行われたことが前掲論文 [1] によって報告されているが、その後も、この実験が継続され、昭和 48 年 1 月迄に、通算 11 日間、延べ 30 回の記録を得た。これらの記録は、[1] と一部重複するところがあるが、表 26.1, 表 26.2 の形でまとめておくことにしよう。これらの録音数は、次のような方法によってカウントされた。まず、記録された録音テープに、最初から 1 分ごとの区切りを入れ、各小区間で鳴き声の数を数えて、それを合計したものが表 26.1 の各数字である。その結果、例えば、明らかに同じ鳥が区切りを越えて鳴き続けても、それらは、各小区間で、別々に 1 と数えられる。次に、各小区間ごとに、鳴き声が録音されていれば 1、さもなければ 0 として、それらを合計したものが表 26.2 である。これらの表から、鳴き声録音数は、年と共に減少傾向にあるように思われる。実際、昭和 46 年 3 月迄の 15 回と、それ以降の記録をいろいろな規準で別々に集計してみると、表 27 のような結果が得られる (48 年 1 月 25 日の記録は、録音時の条件が他と異なるので、集計からは、はずしてある)。このような差異が、サンプリングの誤差によるものでないとするれば、その理由をいろいろと考えることが出来る。例えば、野鳥の数が減少した。各野鳥が余り鳴かなくなった。開墾が進んで、周囲の騒音が増え、可聴範囲が狭くなった等々である。又、気温・天候・録音時間等による影響も見逃すことが出来ない。ここ

表 26 1. 鳴き声録音数 (延べ)

観測年月日 天候	時間 (分)	地点別録音数									計	平均 (回/分・ 1ヶ所)	備考
		A	B	C	D	E	F	G	H	I			
45. 12. 12 (1)	50	15	7	-	3	-	14	1	1	1	42	0.120	
晴 (2)	53	25	0	-	0	10	1	5	0	-	41	0.111	
時々曇 (3)	55	25	-	-	0	3	8	25	22	-	83	0.252	
(4)	50	5	2	-	0	12	10	12	29	0	70	0.175	
46. 1. 9 (1)	56	69	5	0	14	6	18	30	8	12	162	0.321	
(2)	54	16	10	0	0	11	48	15	14	11	125	0.257	
晴 (3)	55	1	37	22	0	-	12	7	0	18	97	0.220	
(4)	50	9	1	11	-	-	2	6	0	2	31	0.089	
46. 1. 10 (1)	55	20	6	2	0	-	28	3	17	-	76	0.197	
晴 (2)	55	36	23	34	0	-	28	15	31	38	205	0.466	
46. 3. 12 (1)	55	12	1	0	0	0	4	3	6	3	29	0.059	
晴 (2)	56	2	1	2	0	-	3	-	3	20	31	0.062	
後曇 (3)	54	0	0	0	0	-	2	0	10	-	12	0.028	
46. 3. 13 (1)	56	21	10	0	0	-	2	16	1	1	53	0.105	
晴後曇 (2)	58	0	25	6	0	-	0	2	5	0	41	0.080	
46. 12. 7 (1)	58	5	11	0	-	0	4	0	-	-	20	0.058	
晴 (2)	59	0	0	3	-	0	0	0	0	-	3	0.007	
(3)	59	0	22	10	0	5	3	0	0	-	40	0.085	
46. 12. 8 (1)	56	0	0	3	0	10	0	4	0	2	19	0.038	
晴 (2)	56	0	7	9	-	6	-	0	0	-	22	0.066	
47. 12. 6 (1)	58	0	0	0	17	-	0	5	0	1	23	0.050	
(2)	61	0	0	0	0	-	7	3	8	18	36	0.074	
(3)	56	0	0	24	2	-	27	13	21	-	87	0.222	
47. 12. 7 (1)	56	4	16	3	0	0	0	29	14	31	97	0.193	
(2)	57	0	0	0	0	-	22	9	0	-	31	0.078	
48. 1. 24 (1)	57	0	4	15	0	0	0	0	0	0	19	0.037	
(2)	56	5	5	2	-	-	0	0	0	0	12	0.031	
(3)	55	0	4	1	-	1	1	2	0	1	10	0.023	
48. 1. 25 (1)	53	-	0	2	-	0	6	1	-	0	9	0.022	風防マスク
(2)	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.	を付ける

では、これらのデータが、同一母集団から得られたものと仮定して、サンプリングによらない誤差を無視する。したがって我々の採用する数値は、表 27 の最右端の列である。すなわち、重複録音率が 1.54, 平均録音数が 0.128, 0.083, 無録音率が 0.38 等である。

シミュレーションでは、各野鳥は §6.3 で述べられたいくつかの飛び方の規則のうちで、 $\rho$  と  $\theta$  については  $F_{III}$ , すなわち、直前の進行方向が関係する、ある種のランダムウォークで、境界条件  $B_{II}$  に従いつつ飛ぶものとする。群をなして行動する場合は、後で述べることにしてここでは、各野鳥は独立に飛んでいるものとする。又、鳴き方についての独立性の仮定(ある野鳥が鳴いたら、それに応じて、別の野鳥が鳴く、といったことがない)は、前に述べた通りである。飛び方を決定するパラメータは、飛距離の標準偏差  $\sigma$  (平均飛距離は大体  $1.25\sigma$ ) と、方向係数  $k$  (加えられる一様乱数の数) の 2つ、鳴き方を決定するのは、ポアソン分布のパラメータ  $\lambda$  である。可聴半径  $r$  は、大体 20~35 m と想像されるが、これも、一つのシステム・パラメータと考える。これら 4つのパラメータのいろいろな値に対して、野鳥の数  $N$  と、表 26.2 の意味での平均録音数(以降、単に平均録音数という)  $a$ , 重複録音率(単に重複率という)  $\mu$ , 無録音率  $p_0$  の 3つの指標との関係を調べる。



表 26 2. 鳴き声録音結果 (記録のある区間数 (1分単位))

観測年月日 及び天候	時間 (分)	地点別録音数									計	平均 (回/分 1ヶ所)	備 考
		A	B	C	D	E	F	G	H	I			
45. 12. 12 (1) 晴 時々曇	27	9	5	-	3	-	7	1	1	1	27	0.077	
	28	14	0	-	0	9	1	4	0	-	28	0.075	
	55	13	-	-	0	3	6	20	13	-	55	0.167	
	56	5	2	-	0	11	9	9	20	0	56	0.140	
46. 1. 9 (1) 晴	92	36	3	0	9	5	10	18	5	6	92	0.183	
	81	9	9	0	0	8	25	10	13	7	81	0.167	
	63	1	23	9	0	-	8	7	0	15	63	0.143	
	24	7	1	7	-	-	2	6	0	1	24	0.069	
46. 1. 10 (1) (2)	50	12	3	1	0	-	19	3	12	-	50	0.130	
	114	19	17	14	0	-	16	11	11	26	114	0.259	
46. 3. 12 (1) 晴 後曇	25	9	1	0	0	0	3	3	6	3	25	0.051	
	25	2	1	2	0	-	3	-	2	15	25	0.064	
	9	0	0	0	0	-	2	0	7	-	9	0.056	
46. 3. 13 (1) 晴後曇	42	15	9	0	0	-	2	13	1	1	42	0.092	
	29	0	18	3	0	-	0	2	4	0	29	0.059	
46. 12. 7 (1) 晴	14	2	8	0	-	0	4	0	-	-	14	0.040	
	3	0	0	3	-	0	0	0	0	-	3	0.007	
	27	0	14	7	0	3	3	0	0	-	27	0.057	
46. 12. 8 (1) 晴	15	0	0	2	0	8	0	3	0	2	15	0.030	
	17	0	5	9	-	3	-	0	0	-	17	0.051	
47. 12. 6 (1) (2) (3)	17	0	0	0	11	-	0	5	0	1	17	0.037	
	24	0	0	0	0	-	4	2	6	12	24	0.049	
	48	0	0	13	1	-	14	9	11	-	48	0.122	
47. 12. 7 (1) (2)	55	3	9	3	0	0	0	16	9	15	55	0.109	
	18	0	0	0	0	-	13	5	0	-	18	0.045	
48. 1. 24 (1) (2) (3)	10	0	3	7	0	0	0	0	0	0	10	0.020	
	9	3	4	2	-	-	0	0	0	0	9	0.023	
	9	0	3	1	-	1	1	2	0	1	9	0.021	
48. 1. 25 (1) (2)	9	-	0	2	-	0	6	1	-	0	9	0.028	風防マスク
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	を付ける

最初に、各パラメータの各指標に対する影響を調べる為、他の条件を一定にして、そのパラメータのいろいろな値に対するシミュレーションを行なった。その際の固定する各パラメータの値としては、前掲論文 [1] 及び、今迄の経験から、 $\lambda=0.39$ ,  $\sigma=5.9$ ,  $r=30$ ,  $N=30$  とした。 $k$  については 1, 2, 4, 12 の 4 通りについて計算した。その結果は、細かい数値は別として、一括して図 10 から図 13 までにまとめられている。 $(k=1, 2, 12)$  については、後述の理由により省略した。これらのうち、方向係数  $k$  に関するシミュレーションは、平均録音数  $a$ 、重複度  $\mu$  に関して、どのようなパラメータに対しても、ランダムウォークしている限りは、殆んど影響を与えていない、という興味深い事実を表わしている。 $k$  が大きくなるということは、それだけ行動半径が拡がるということであるから、ある野鳥の鳴き声が 2ヶ所以上で記録される度合が多くなるため、 $p_0$  は  $k$  の単調減少関数になっているのであるが一方、 $a$ ,  $\mu$  については、どの野鳥がどこで鳴いても同じ一声とみなされるため、 $k$  に殆んど関係しないということで、ランダムウォークの仮定からの自然な結果ではある。したがって、図をわかりやすく

表 27 表 26.1.2 の集計結果

集計項目		年月日	45.12 ~ 46.3	46.12~48.1.24	全 体
実 験 回 数			15	13	28
有効サンプル数		$n$	115	99	214
録音延べ時間 (分)		$m$	6225	5665	11890
録音総数 (表-.1) $a_1$			1098	419	1517
(表-.2) $a_2$			717	266	983
平均録音数		$\frac{a_1}{m}$	0.176	0.074	0.128
(一ヶ所一分間)		$\frac{a_2}{m} = a$	0.115	0.047	0.083
重 複 度		$\frac{a_1}{a_2} = \mu$	1.53	1.58	1.54
無録音サンプル数		$j$	29	53	82
無 録 音 率		$\frac{j}{n} = p$	0.25	0.54	0.38
鳴き声数 (表 26.2)			45.12 ~ 46.3	46.12~48.1.24	全 体
度 数 分 布 表	0		29	53	82
	1		12	6	18
	2		8	6	14
	3		10	10	20
	4		2	3	5
	5		4	3	7
	6		4	1	5
	7		6	2	8
	8		2	2	4
	9		10	4	14
	10		2	0	2
	11~15		14	8	22
	15~20		8	1	9
20~		4	0	4	

するため、図 10 から図 13 迄は  $k=4$  の場合についてのみ、示してある。

次に、いろいろな  $\lambda$ ,  $\sigma$ ,  $k$ ,  $r$  の値に対する  $N$  と 3 指標の関係を調べるわけだが、そのうちのひとつとして、 $\lambda=0.3$ ,  $\sigma=5.9$ ,  $k=4$ ,  $r=30$  としたシミュレーションの結果が図 14 である。この結果は、我々にとって満足のいくものではない。そのうちのひとつ、重複度  $\mu$  をとってみると、全体的にそのレベルが低いことが判る。そこで、この  $\mu$  の変動に最も影響をもつ  $\lambda$  を少し動かしてみよう。しかし、この試みは、更に不満足な結果に終るだろう、ということは図 14 から明らかである。すなわち、 $\mu$  のレベルを上げるために  $\lambda$  を大きくしたとすれば、平

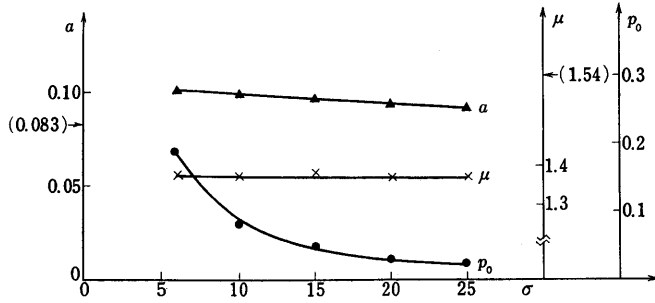


図 10 3つの指標に対する  $\sigma$  の影響

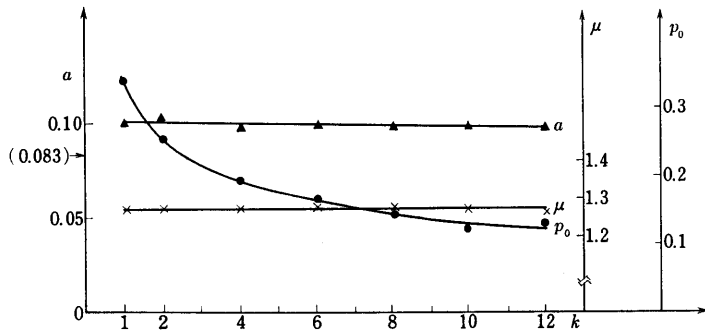


図 11 3つの指標に対する  $k$  の影響

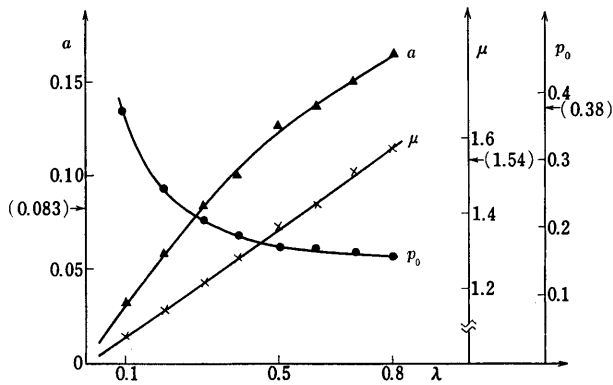


図 12 3つの指標に対する  $\lambda$  の影響

均録音数  $a$  は、図 14 のそれよりも更に大きいものとなり、無録音率  $p_0$  は、図 14 のそれよりも更に小さいものとなる。このようなジレンマは、単独行動の仮定から導びかれたものだけといえよう。

群行動のモデル化の一つとして、ここでは次のような簡単な場合を考えた。すなわち、単独行動の場合は、各野鳥が独立であるとして、野鳥の数に対応するだけの点をランダムウォークさせたが、群行動の場合は、1つの群を構成する野鳥は、平面的には全く重なりあって同一の

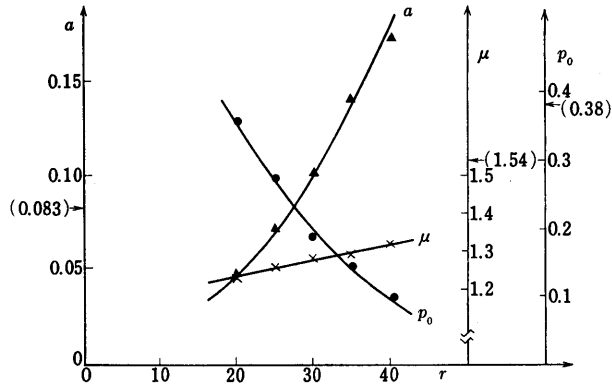


図 13 3つの指標に対する r の影響

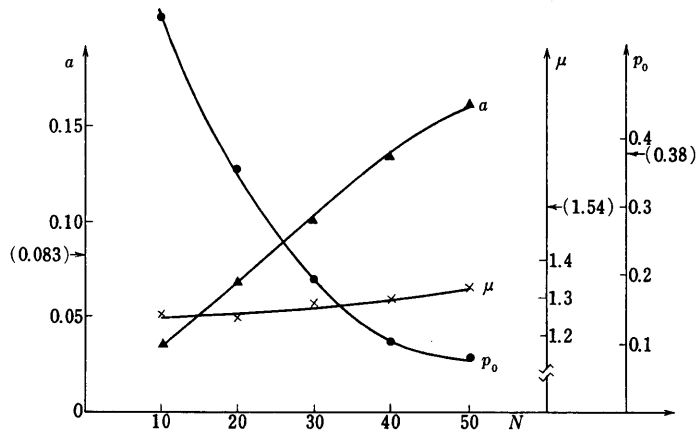


図 14 N と 3つの指標の関係  $\sigma = 5.9, k = 4, \lambda = 39, r = 30$

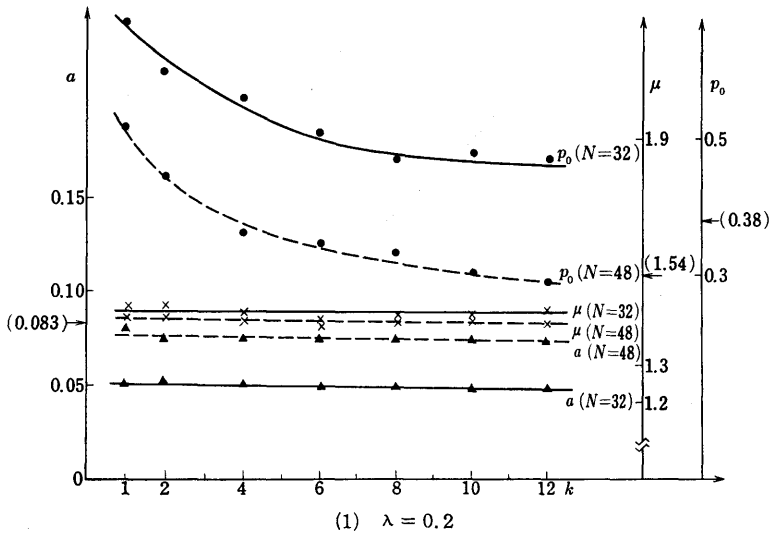
行動をとるものと考え、群の数に対応するだけの点を、飛び方の規則 F<sub>III</sub> に従ってランダムウォークさせた。一方、鳴き方のルールは、単独行動の場合同様、各野鳥とも独立に、同じパラメータを持つポアソン分布に従っていると考えるので、ポアソン分布の性質から、このモデルは、単独行動のモデルで、鳴き方を決定するパラメータ  $\lambda$  を各野鳥により異なる、としたものと同じになる。すなわち、ある群が  $l$  羽からなっているとすれば、このモデルでは、その群は、あたかも一羽の野鳥が、パラメータ  $l \cdot \lambda$  のポアソン分布に従って鳴きながらランダムウォークをしているかのようにふるまうのである。

次に問題になるのは、群の構成の仕方であるが、これについて、我々の手許にあるデータは、表1のようなものである。ここでは、それらを若干修正して、次のような表28によって、

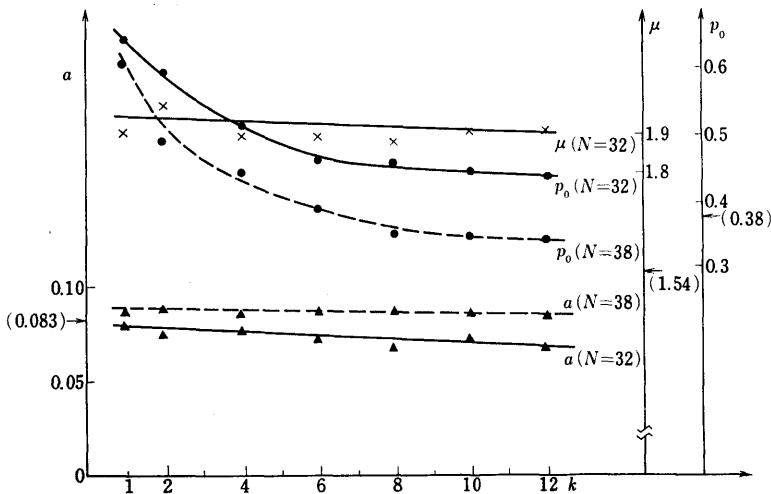
表 28 群の構成比

$l$	1	2	3	4	5	6	7
$p_l$	.3	.2	.2	.15	.08	.05	.02

図 15 3つの指標に対する  $k$  の影響 ( $\sigma = 5.9, r = 30$ )



(1)  $\lambda = 0.2$



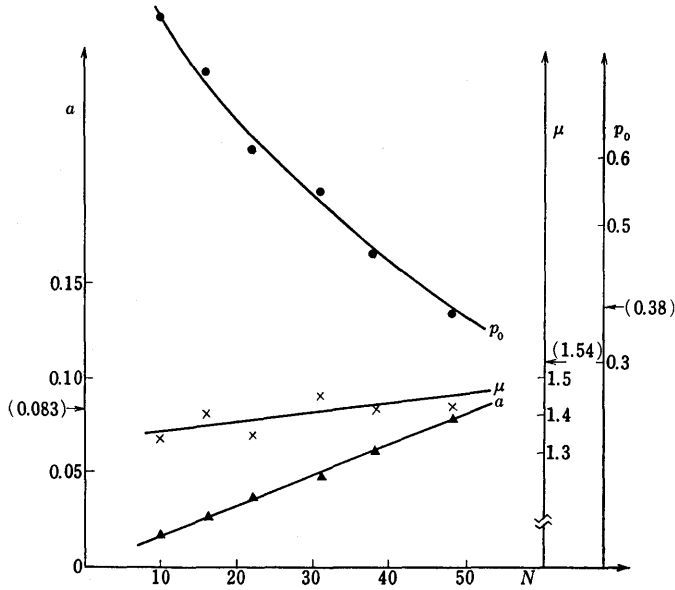
(2)  $\lambda = 0.39$

一群を構成する野鳥の数  $l$  の分布を与えよう。

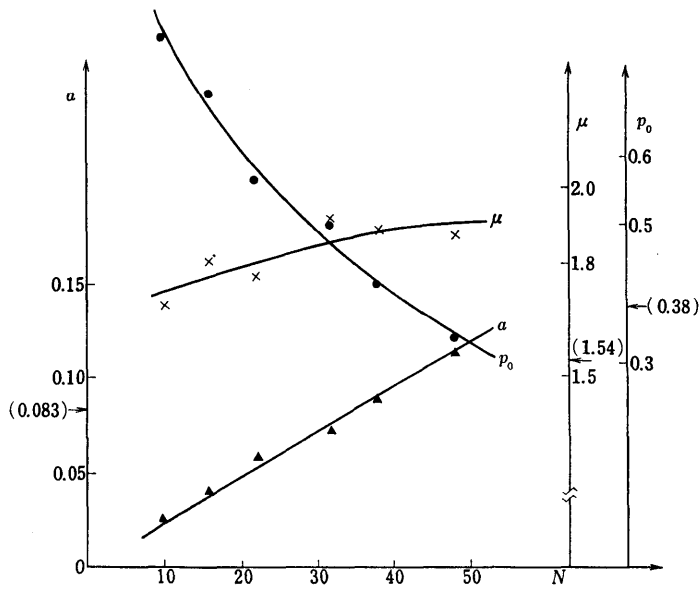
すなわち、ランダムウォークする任意の点が  $l$  羽からなっている確率が  $p_l$  であると仮定するのである。

このような構成比を持ついくつかの群について、3つの指標に関連して調べてみよう。前項で、システムパラメータとして4つの変数を考えたが、ここでは、 $r$  (可聴半径) = 30,  $\sigma$  (飛距離の標準偏差) = 5.9を固定する。単独行動の場合、 $k$  の値は、平均録音数、重複率に殆んど影響を与えなかったが、このことは、群行動のモデルについても同様であることが、図15から知ることができる。これは、 $\lambda=0.2$  と  $\lambda=0.39$  に対して、 $k$  の3つの指標に対する影響を調べたものである。そこで、 $k$  の値として  $k=4$  を固定し、 $\lambda$  のいくつかの値に対する  $N$  と3つの指標との関係をグラフ化して示すと図16のようになる。重複度というものさしからこれらを眺めれば、 $\lambda$  の値としては 0.39 でなく 0.3 位が適当であるように思われるが、これは、

図16  $N$  と3指標の関係



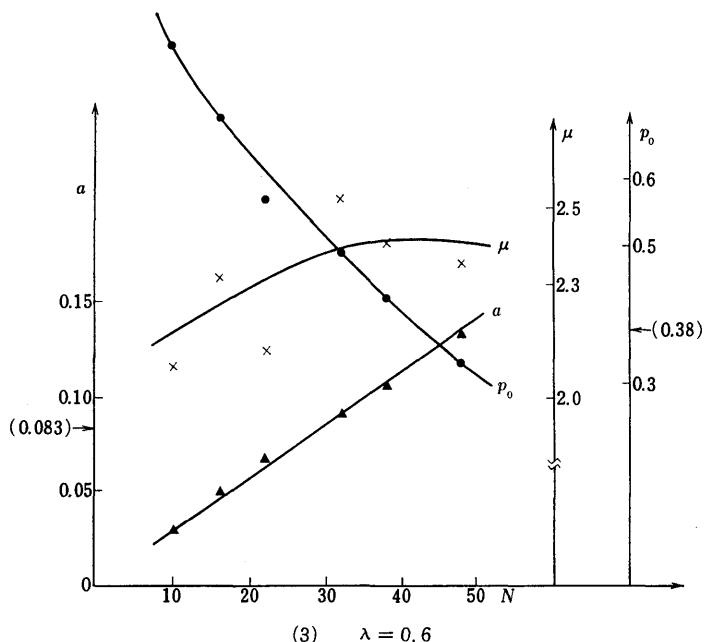
(1)  $\lambda = 0.2$



(2)  $\lambda = 0.4$

鳴き方が各野鳥で独立であるという仮定が影響しているのかもしれない。その他、仮定の設定の仕方によって全く様相が変わってしまう部分が少なくないので、このような仮定の妥当性についての検証が、実際の観測によって、更になされなければならない。

このようなモデル化によって、ライトランセクト法あるいは平均鳴き数と重複度、無録音率とから、野鳥の総数を推定する方法が示されたわけであるが、この方法を裏付けるためには、我々の持っているデータは、余りに不足している、ということを確認しなければならない。



ここで仮定した野鳥の飛び方と鳴き方のルール、あるいは群の構成については、環境の変化（時間、季節、気候、地形等）と共に変わってゆく、ダイナミックな構造を持つものだろうし、ここで考えたような確率模型では記述しきれない部分があると思われるが、モデル化の際、それらを総て考慮に入れたものを構成するのは、データ不足から现阶段では無理があるように思う。データの積み重ねによって、これらの構造が明らかになれば、野鳥総数推定のために、ここで述べられたようなシミュレーション実験が、重要なものになってくるだろう。

統計数理研究所

参 考 論 文

- [1] 青山博次郎他：野鳥総数推定のための統計数理的方法，統計数理研究所集報 第19巻，第2号，1972

前論文[1]の訂正

頁 数	行	誤	正
113	-3	$\sqrt{\frac{N(1-\bar{p})}{\bar{p}t}}$	$\sqrt{\frac{N(1-\bar{p})}{\bar{p}tK}}$
113	-1	2.47	4.13
114	1	"	"
"	表1	$\pm 2.52$	$\pm 4.21$
"	"	$\pm 2.62$	$\pm 4.38$
"	"	$\pm 2.96$	$\pm 4.95$
115	2	分子 $\frac{\theta_0}{\pi} \int_R^{l_0}$	$\int_R^{l_0}$
119	6	$\sqrt{\text{内の分母 } 0.661 \times 3}$	$0.661 \times 3 \times 0.3225$
"	"	2.5	4.4
"	8	$\pm 2.5 \times 2$	$\pm 4.4 \times 2$
109	著者名	桜井一夫	桜井信夫
119	[2]	"	"
109	著者名	Kazuo Sakurai	Nobuo Sakurai