

# 動く調査対象集団に対する標本調査-VII\*

——一羽の野兔の行動距離の調査について——

統計数理研究所	林 知己夫・石田正次・駒澤 勉
	林 文・松井しおり
新潟大学農学部	豊島重造・高田和彦
林業試験場北海道支場	上田明一・柴田義春
科学警察研究所	丹羽口 徹吉
東大農学部	斎藤 昌宏

(1972年7月 受付)

Estimation of the Size of Mobile Population-VII\*

—Field survey of a running distance of a hare in one night—

Institute of Statistical Mathematics

Chikio Hayashi, Masatugu Isida, Tsutomu Komazawa,

Fumi Hayashi, Shiori Matsui

Niigata University, Faculty of Agriculture

Jyuzo Toyoshima, Kazuhiko Takata

Experimental Station of Forestry, Hokkaido Branch

Meiichi Ueda, Yoshiharu Shibata

National Research Institute of Police Science

Tetsukichi Niwaguchi

Tokyo University, Faculty of Agriculture

Masahiro Saito

In the present paper, the survey results obtained by **COC** method (collar of coloring matter method) and **RST** method (Proc. Inst. Statist. Math. Vol. 19, No. 1, 1971 pp. 15-27) are shown with some comments. Also several methods of capture of hares alive are presented. This research was carried out as a part of JIBP Project (Contributions from JIBP PT-No. 162).

The Institute of Statistical Mathematics

前の論文にも述べた様に、野兔の生息密度を知るためには——積雪期に於いて——、一羽の野兔の一夜の行動距離を知ることが鍵である。これを知るためには色素首輪法 (**COC** 法と名づけておく。Collar of Coloring Matter), **RST** 法 (動く調査対象集団に対する標本調査-V, 彙報第 19 巻第 1 号 1971) の二つが考えられる。これらについての方法及び結果を次に示しておく。

## §1 **COC** 法—野兔の生け捕り法について

この **COC** 法によるためには、野兔を生け捕りすることが絶対必要条件にある。飼育場で飼

\* この研究は、IBP の PT 部門の一環たることを意識して行われたものである。JIBP-PT No. 162 である。また、これは昭和 46 年度文部省科学研究費総合 A, 「動く調査対象集団に対する標本調査法」によるもの一部である。

育した野兎を放したところで自然な動きをするものではない。山にいる野兎を捕獲し、ただちにその場で放したものを追跡するのでは意味がない。そこで捕獲法がいろいろ試みられている。

(i) 箱罟——北海道方式

これは上田・柴田によって開発されたもので、第1図に示す様な箱罟であって、箱型の罟に「たるみ」の部分をもたせたものである。これは餌を多く置いたり、「遊び」の部分をいくらかもたせるために付けたものである。現在北海道の林試支場で多く用いられ極めて効果をあげている方法である。餌としてはリンゴ、トウモロコシが用いられている。餌の問題は重要なものである。

佐渡地区においても使用されているが、北海道と同じ餌では捕獲効率が極めて悪い。野兎以外のものが、かゝることが多い位である。餌として、クズ・ダイコンの葉なども用いているが、十分な捕獲は得られていない。



第 1 図

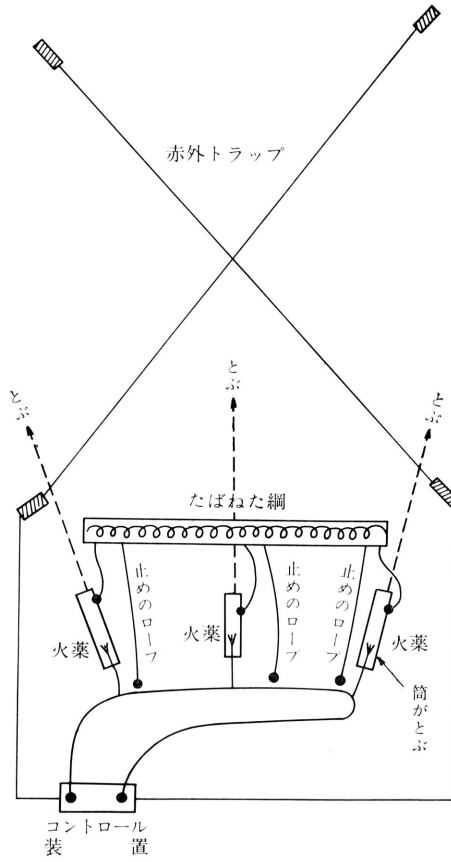
この箱罟には針金網を用いているので錆が出ると食い破られる可能性が多くなるので、十分点検して用いなくてはならない。

(ii) 新括罟——新潟方式

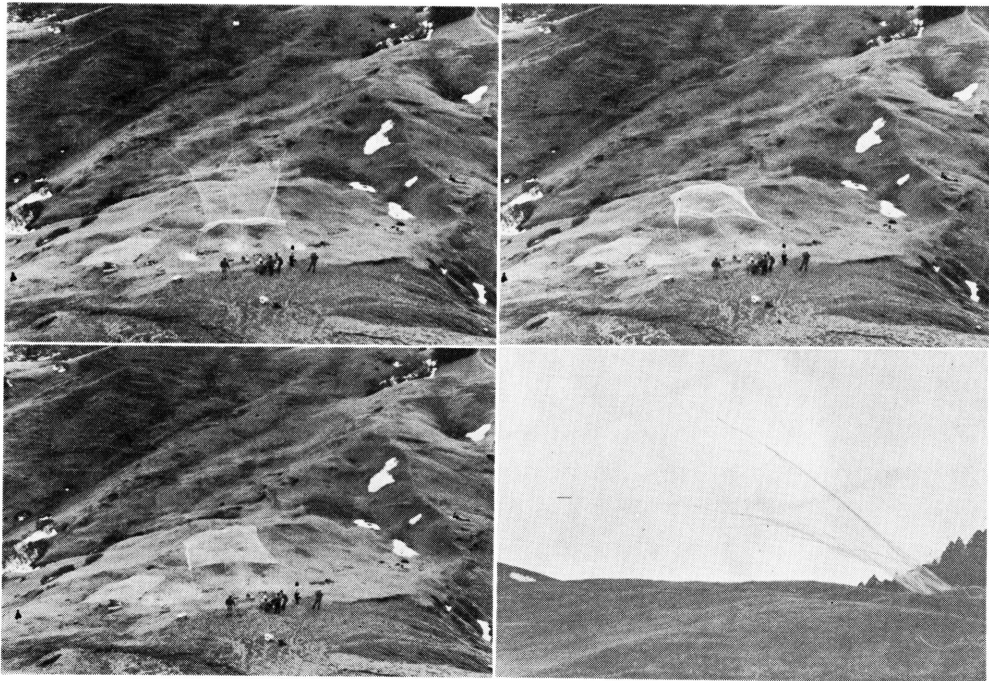
これは、針金一本の括罟に工夫を加えたもので、豊島・新大演習林佐渡事務所によって考案されたものである。通常の括罟であれば、罟がしまり過ぎ、生け捕りすることが困難となる。そこで、ある程度以上にしまらない様に「緊り止め」を付ける、また逆もどりして罟がゆるみ過ぎて生け捕りしたものが逃げてしまわない様に「戻り止め」を付ける。これが、簡単なもので出来る様に工夫してある。例えば「緊り止め」にはハンダの瘤を付ける、「戻り止め」にはピンを付けるなどのことを考えている。また、生け捕っているので動物がはげしく動く可能性があるので針金は堅牢なものにしておかななくてはならない——滑り易く、しなやかであることは当然のことである。こうした手軽なものは、数多く広範囲に仕掛けることが出来、捕獲効果をあげることが出来る。

(iii) キャノン・ネット

詳しくは赤外線装置付ロケット式捕獲網と言うべきもので略号として **CANNETUR** と言うことにする (Cannon Net with Trap of Ultra-Red Apparatus)。これは、林、石田、日本油脂ロケット部 (川越工場) の人々、富士計器の池田氏との共同開発になるものである。方式は、赤外線を張っておき (赤外トラップ)、これを野兎が通過すると——勿論夜間である——ロケットに着火し、ロケットが飛び出し、ロケットの筒が網を引張り野兎に網をかぶせてしまうと言う方式である。この概略図は第2図に示す通りである。この装置は、網の大きさ今我々は  $10\text{m} \times 10\text{m}$  或は  $5\text{m} \times 5\text{m}$  を用いている) と火薬の量の調節、野外で放置するので火薬の湿気ふせぎ、危害予防の点で注意すべき点がある。この発射状況のテストを第3図その1、そ



第 2 図

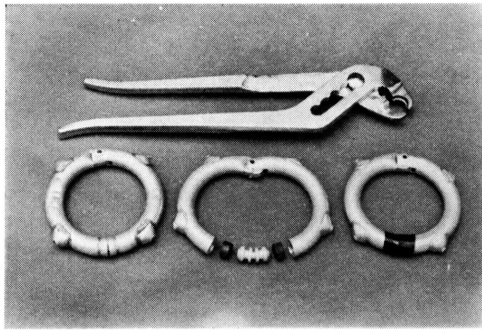


第 3 図 その 1・その 2

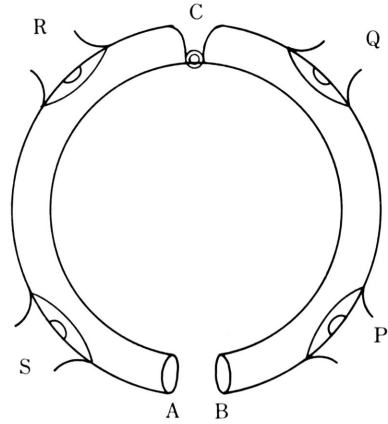
の2に示しておく。なお、着火から、網が完全に平らになるまでは通常  $10\text{m} \times 10\text{m}$  のもので2.5秒（一応覆う迄2秒）と見做される（風の状況、火薬の状況で異なるのが勿論である）。

## §2 COC法——首輪色素について

生け捕りした野兎に首輪をつけ、この首輪に色素をつめ、首輪に設けた穴から色素が積雪上に落ち、足跡追跡を容易にするためのものである。これは、林、豊島、丹羽口、株式会社トヤマの遠藤氏との共同開発になるものである。現在用いているものの外形は第4図に示す様なものである。内径約9.5mmのアルミニウム管（肉厚0.75



第4図



第5図

m) を用いている。円周の内側の長さ  $160\text{mm} \sim 170\text{mm}$  を用いている。野兎の場合これが適切である。第5図を見よう。Cは蝶番である。P, Q, R, Sに直径3mmの穴をあけ、ここに60メッシュのステンレス網を張る。この穴を保護するため——雪がついたり、凍ったりして穴がつかまることを防ぐ——覆いをつけてある。A, Bの口から色素を入れ、A, Bをゴム栓でつめる。野兎の首につけABを閉じ、第4図の金具をつけてからしめることによって装置する。或は、ABをビニールテープでしっかりとめておいても十分に耐える（柴田）。

この首輪の重量は  $22 \sim 22.5\text{gr}$ 、ゴム  $0.5\text{gr}$ 、金具  $2\text{gr}$ 、色素は  $10\text{gr}$ 、計  $35\text{gr}$ （金具を用いなければ  $33\text{gr}$ ）で、野兎の体重の約1%位で殆ど影響ないものと思われる。佐渡での使用結果、放置後5日目においても色素が落ち、一応実用に耐えることがわかり、色素の保ちは2日以上使える可能性があることが判明した。なお、色素としては赤を主体としているが、混乱を避けるためこのほか、青、紫、緑、黄を用意しているが、赤、青、紫が好適である。なお、この色素としては、網のメッシュとの関係が大事で、あまり多く落ちない様に——長もちする様に——、あまり少なすぎない様に——識別に便利な様に——、工夫する必要がある。赤については、色素として Eosin Yellow 70、粉体の流動剤として Silic Acid 30、Calcium Phosphate ( $\text{CO}_3(\text{PO}_4)_2$ ) 2（いずれも重量比）が用いられている。

なお、雪の状況に応じ色素を変える必要もおこる。気温が上り雪がベタついてくると、水溶性の色素ばかりであるとどんどん溶けて雪中へ滲透し、色が見えなくなる可能性が出てくる。こうした状況の時は、水に不溶性の色素を混入する必要もおこってくる。

また、北海道地区では48年から内径  $14\text{mm}$ 、金網50メッシュのものを用いる計画でいる。重量から言って無理ではないと思われる。これにより保ちをよくし、且つ目を粗くして色素がよけいおち判断しやすくするためである。

## §3 COC法——調査結果

### (i) 柴田による野幌におけるデータ

野幌地区における46年のデータの細目は柴田、エゾノウサギの一夜の行動量（さっぽろ林

友, 第 165 号, 1971) に発表されているので参照されたい. ここでは, 走行距離にだけ着目し, データを示しておく. 以下同様であるがすべて水平距離 (m) としておく.

(a) 朝, 昼間見まわり, 捕獲を発見し, これに首輪をつけ直ちに放す. これから第 1 寝場所までの距離を示してみる. 第 1 寝場所は, そこから夜間行動を起す起点と考えることが出来る.

第 1 表 放した位置から第 1 寝場所までの行動量 (m)

46 年	571	47 年	723	47 年	553
	488		380		319
	545		288		421
	451		371		287
	553		823		
	431		494		
平 均			480		
標準偏差			143		
変位係数			0.3		

かなり安定した値が得られていることがわかる. 一気に走行する限界が出ているのではないかと思われる. 北海道では体重がサドノウサギに比し大きい (1 キロ以上大きい) のが目につく.

(b) 1 夜の走行距離

第 1 寝場所から第 2 寝場所までの距離

第 2 表に示す様であるが, バラツキが大きいのが目につく. この要因分析のためには, さらに本数を増加させる必要がある.

(ii) 佐渡におけるデータ

(a) COC 法によらないデータ

COC 法によらないで, 自然の足跡を追跡し得たデータがあるのでまず示しておく (第 3 表).

(b) COC 法によるもの

これは, 昭和 47 年 2 月に得られたものである. この長さは 446 m であった.

なお, 同一のものが 5 日後に出現して追跡したが, 完全には再現できなかったが, かなりよく状況をつかみ得た. このときは, イタチに追われ, 一気に走行したことも判明した.

ここで得られた足跡長のデータをみると, 非常にバラツキが多いことがわかる. これは, 野兎の個体の生態特性要因 (性差, 重量, その他, 体及びパーソナリティの差, 食性の差, 生物学的な身体的・社会的状況の差など) によることは勿論であるが, このほか, 地形, 林相, 餌や餌場の状況, 新雪深, 雪質, 風, 気温などの気象条件, 天敵との関連性等々, といった環境要因によって左右されることが予想されるが, これらについてはデータを多く集め, 諸要因との関係を全体的関連の下に多元的に分析することが必要であると思われる. これについては, 今後検討を重ねる積りである. この関係把握には, 各種条件の下に行う野外足跡調査のほか, 飼育場内の行動も参考になるものと思われる.

(iii) 足跡図

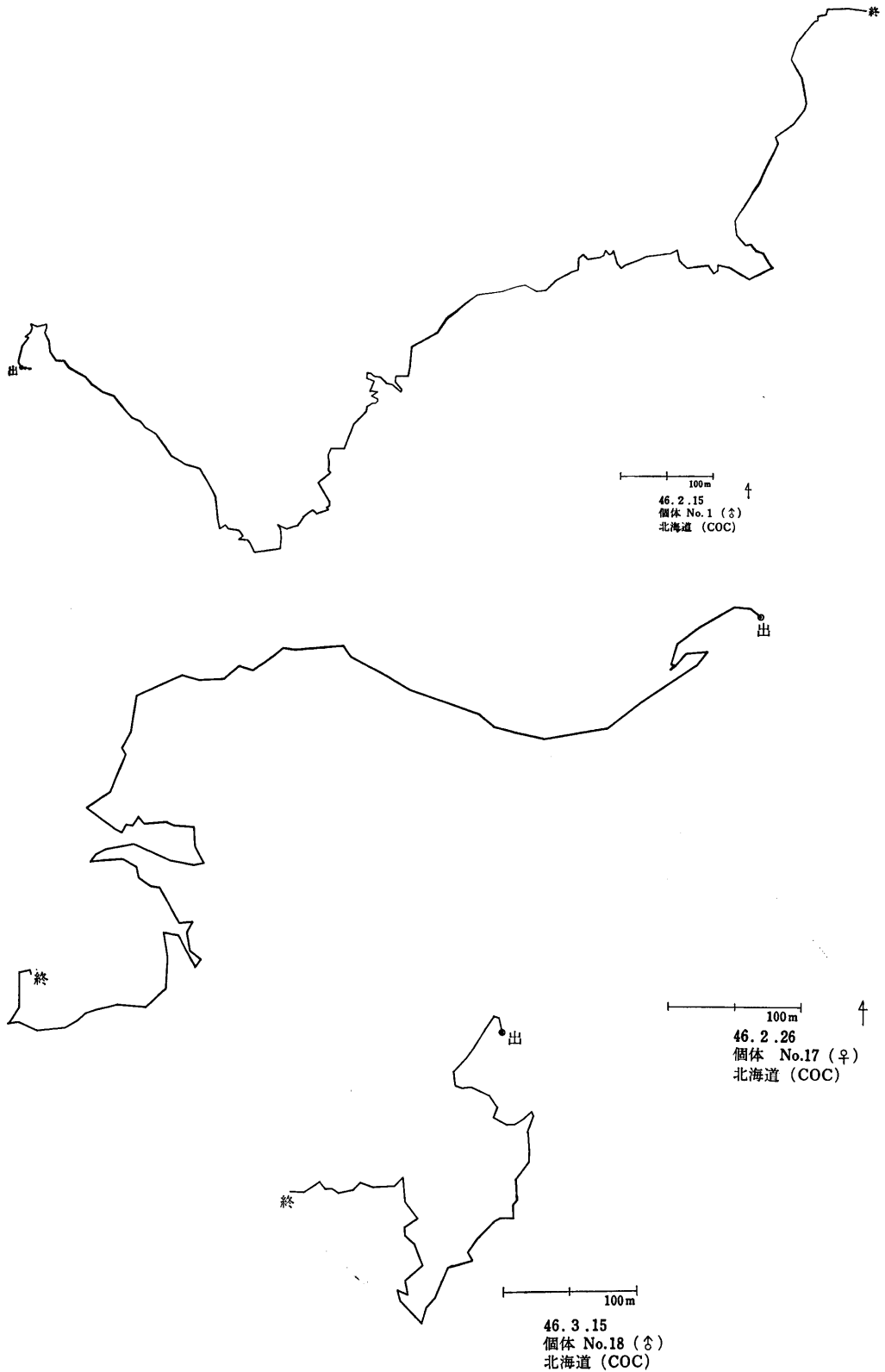
足跡がどのような形をしているか, 勿論地形, 地物, 餌などにより大きく左右されようが, 一応得た結果を第 6 図に示しておく. 第 6 図の 1 は柴田の前記論文の転載である. その 2 は野幌の COC 法によるもの, その 3, その 4 は佐渡のものであり, その 3 は自然の足跡を追跡できたもの, その 4 は COC 法によるものである. その 5 は RST の途次自然のまゝで追跡できた

第 2 表 第 1 寝場所から第 2 寝場所までの距離

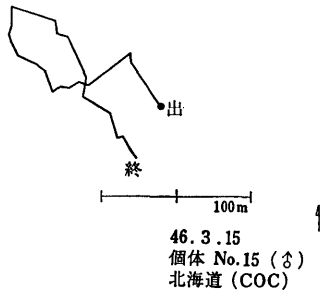
46 年	1	1,813
	2	318
	3	1,341
	4	610
47 年	5	1,805
平 均		1,177
標準偏差		614
変位係数		0.52

第 3 表 第 1 寝場所から第 2 寝場所までの距離

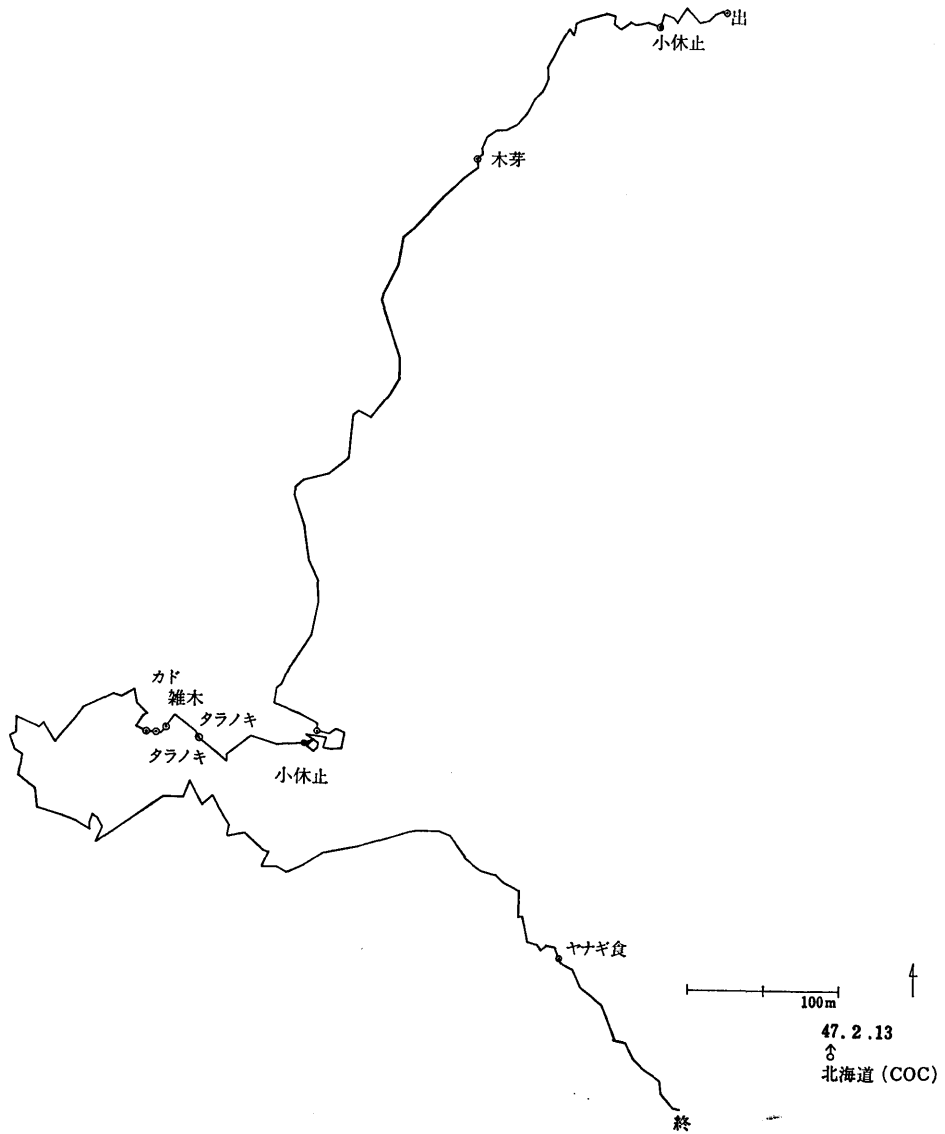
43年 3月		412
R S T 法 の 途 次 得 ら れ た も の (47年 2月)	1	1,573
	2	682
	3	475
	4	1,122
	5	458
平 均		787
標準偏差		426



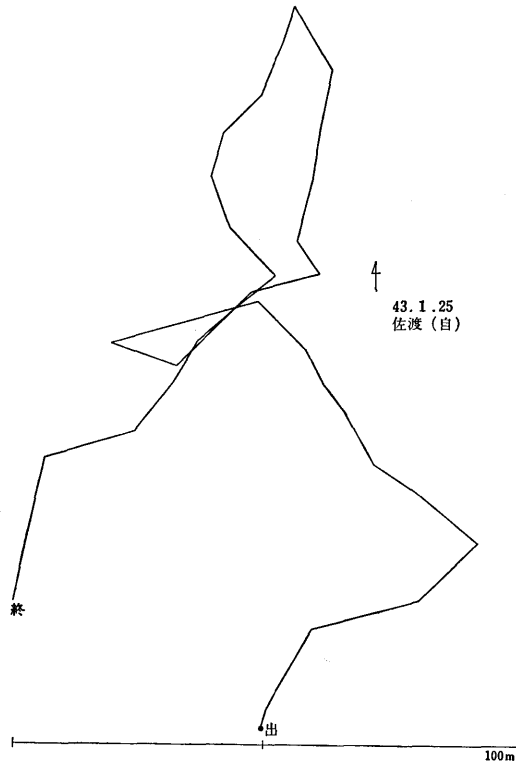
第6図 その1



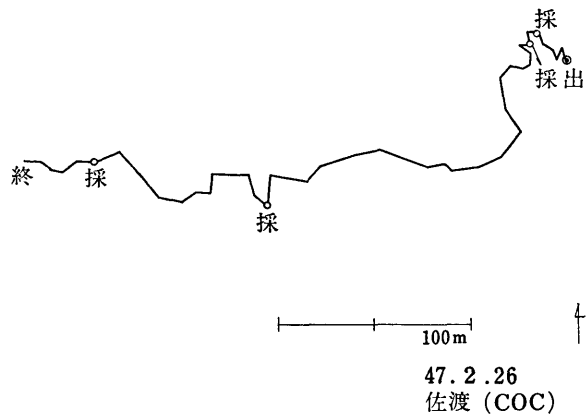
第 6 図 その 1



第 6 図 その 2

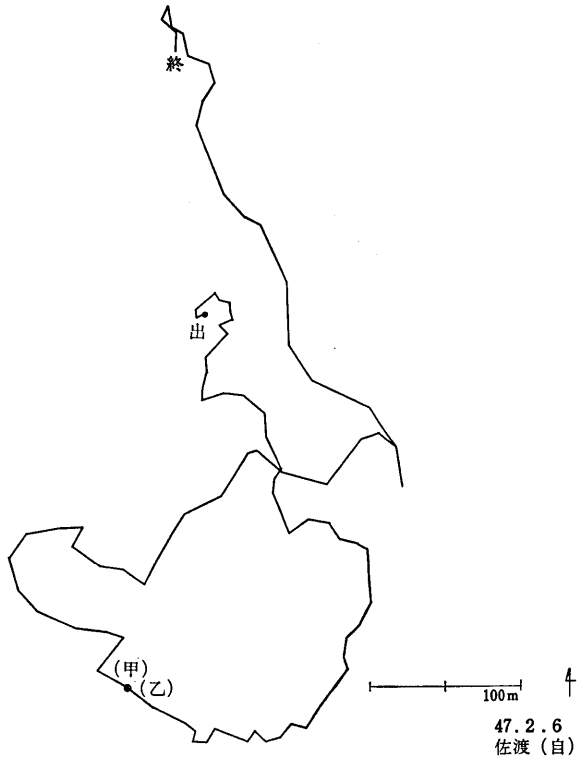


第6図 その3

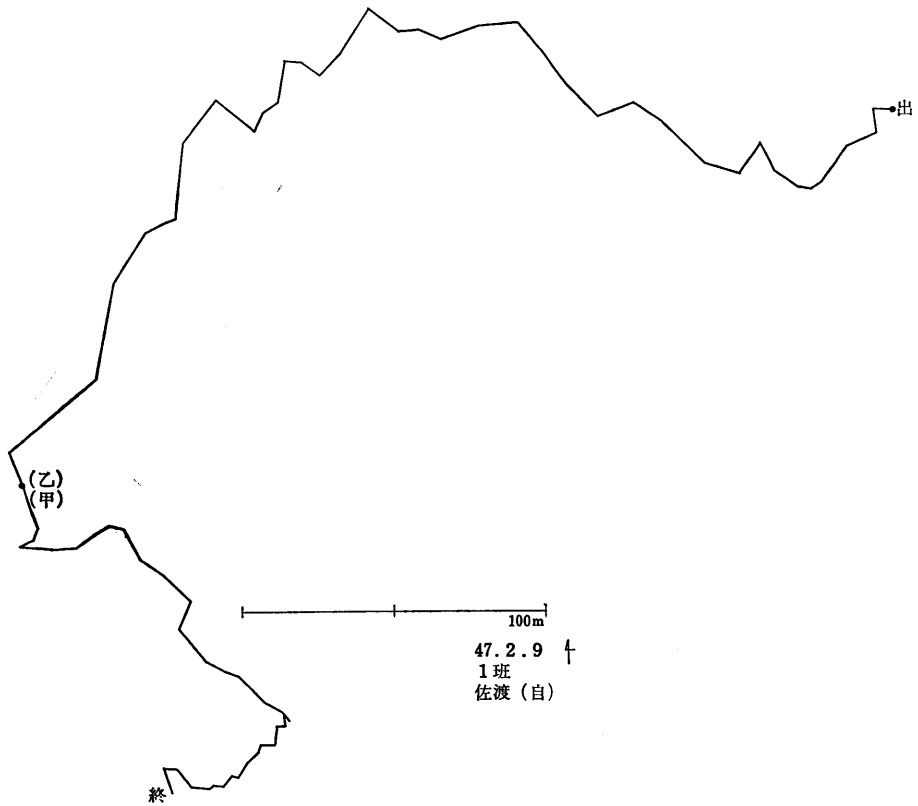


第6図 その4

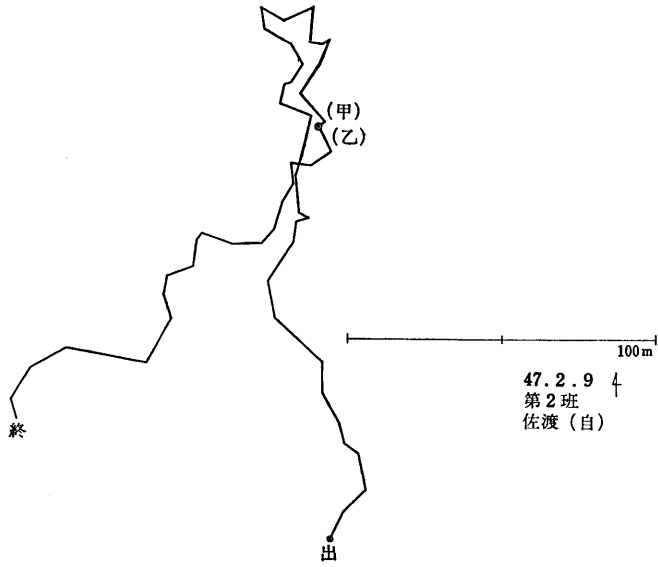




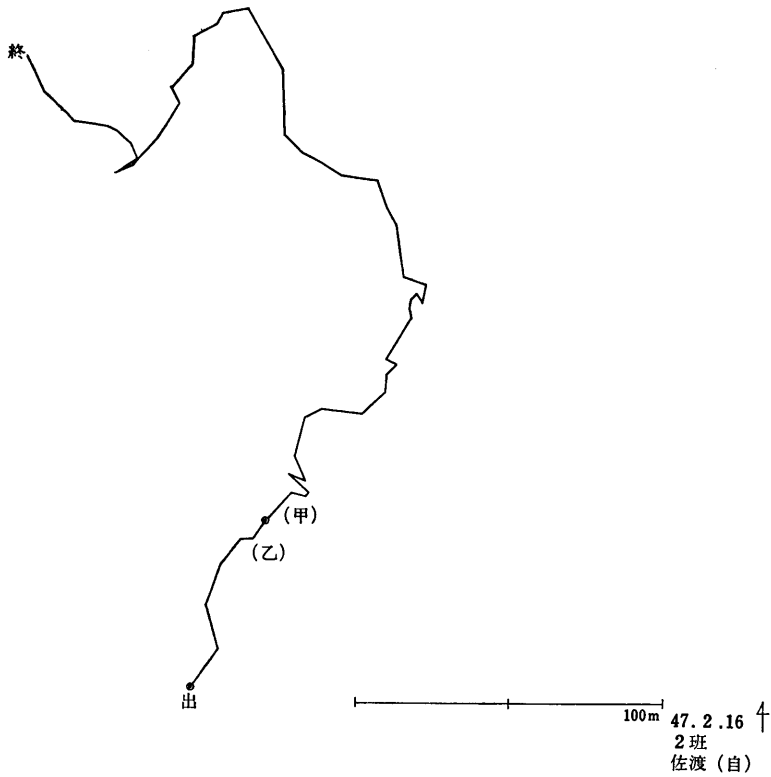
第6図 その5



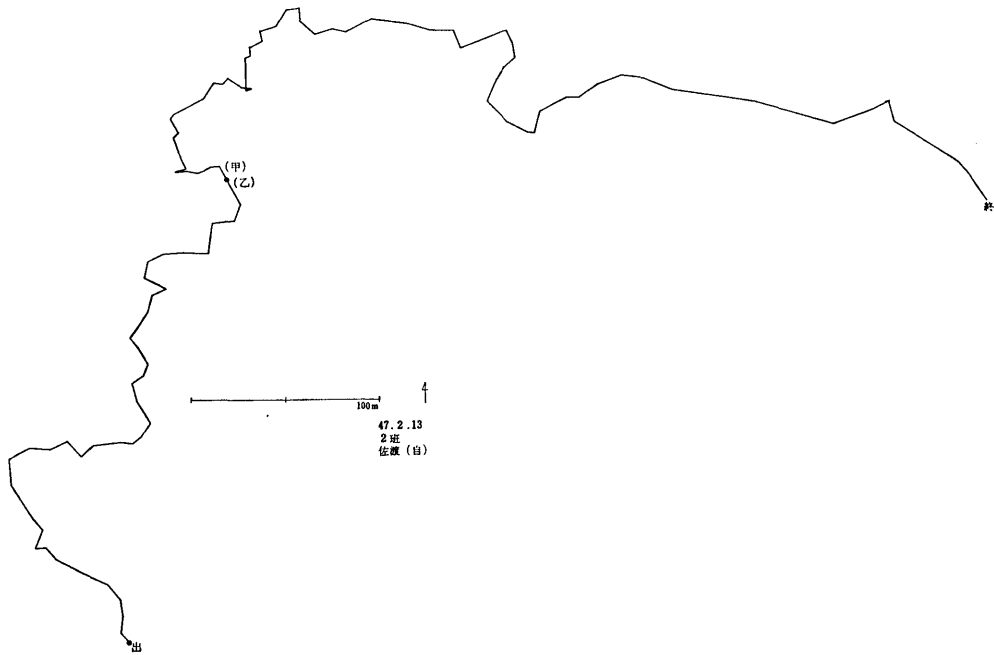
第6図 その5



第6図 その5



第6図 その5



第6図 その5

ものである。いずれも縮尺が異なるので単位距離とくらべて検討されたい。これと、前論文「動く調査対象集団に対する標本調査について-VI—野兎の行動範囲に関する新しいモデルによるコンピュータ・シミュレーション—」(前報第19巻, 第2号 1972) とを比較してみることは興味あるところであろう。つまり、これらの図は細いことは抜きにして、大局的にみて、コンピュータによって足跡の状況をどの様にシュミレートするのが適切であるかを示唆するところがある。前記論文は大局的にみた野兎生息密度推定——一夜の走行距離のみを知って生息密度を適切に推定すること——の手掛りを得るためのものであるが、要は、そこに示された方法によって野兎の足跡らしいものが実現できるかどうかにかかっているの、この検討のためにも足跡図との比較は重要なものである。

§4 RST 法

RST 法による佐渡の47年における結果を示してみると第4表の様になる。最終欄が、推定距離であるが、§3に示したと同様に、バラツキが多いことが解る。この要因分析のためにも、平均値の推定精度を高めるためにも、調査本数を増加しなければならない。

第4表中\*印は一回も交叉していないので§3(ii)の(a)にもあげておいたものである。

佐渡においてCOC法による446m及び自然の足跡追跡による412mを加え平均値を出してみると802mとなることがわかった。このときの標準偏差440mである。

第4表 RST 法による始点と終点との距離

	測定距離	交点数	推定距離
1*	1,573	0	1,573
2	458	2	432
3*	682	0	682
4*	475	0	475
5	1,499	2	1,414
6	540	1	540
7	575	1	575
8*	1,122	0	1,122
9*	458	0	458
10	1,973	7	1,495
平均	—	1.3	877
標準偏差	—		445

なお、こうして佐渡において計算された一羽の野兔の走行距離を用い、地形の似た糸魚川近くの能生、名立地区 252 ヘクタールの閉じた地区における野兔数を推定してみた。大野兔巻狩の前 10 日に足跡を INTGEP 法 (後述 §6(i)) で調査したところ 85630m (1ヘクタール当り 340m) あったので  $(2m \times 10m)$  のスポット 924 個調査)  $85630 \div 802 \approx 107$  羽が生息数の推定となる。この地区の大野兔狩の結果は 96 羽 (捕獲 29, 逃亡確認 67) であった。この日が吹雪の悪条件のため追い出し、確認の困難さのあったことから考えると、非常によい一致であった。あまりにもよい一致であるが、さらに検討を重ねる必要はあろう。

### §5 足跡測量に関する考察

いままで、測量はいちいち克明に行っていた。これに代る簡便法として、「いままでのやり方で測点をえらぶ」積りで測点をきめての数だけ数えて——こうすれば測量の必要がなくなり、唯あるだけで、もし測量するならば測点をとりたいたいと思う所を測点としてこの数だけ数える——行けばよい。勿論、地形の状況やその他の食餌の状況で変化はあろうが、マクロ的にみると——また足跡の測定本数を大きくすれば——大局的な推定が出来るのではないかとすることに気がつく。これに関しては、前の論文にもその一部の検討をあげておいたがここでは、データが増加したのであらためて分析しなおした。データとしては、測点から測点までの水平距離である (スパンまたはステップの長さと言うことにする)。

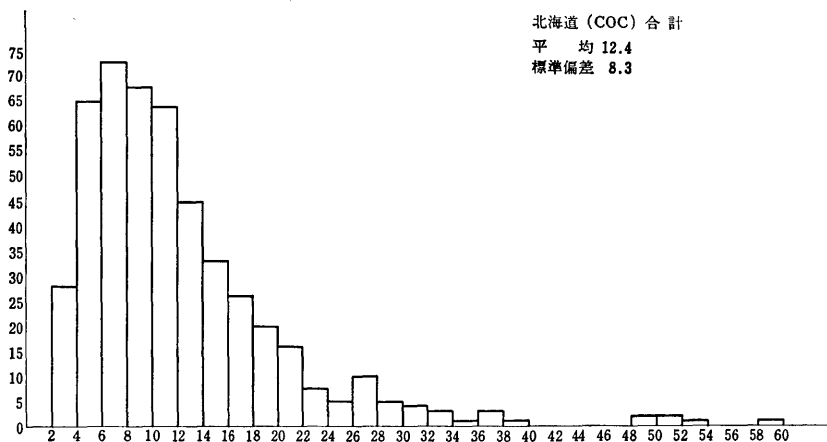
#### (i) 北海道における COC 法のもの

北海道における結果を第 5 表、第 7 図に示す。野兔の個体によりいちじるしい差のないことが認められる。この分布をみても、個体別にいちじるしい差はない。全体を示す第 7 図と同様な形を示している。

野に放した地点から第 1 寝場所までのものを示すと第 6 表の様になり、一見比較的のスパンの

第 5 表 北海道 (COC 法)  
—第 1 寝場所から第 2 寝場所まで—

	平均 (m)	標準偏差 (m)
1	11.6	8.0
2	13.1	9.8
3	17.0	10.8
4	11.8	4.9
5	11.2	6.7
計	12.4	8.3



第 7 図

長さがながい様に思われるが、上記のほか放した地点から第1寝場所までのデータしかないものがあるので、このデータを見ると夫々12.2, 15.2, 11.4, 11.0, 14.0, 11.8, 15.4, 15.0, 11.1 (これらの平均12.5m, 標準偏差8.1)となり、第1—第2寝場所のものと差はみとめられない。

(ii) 佐渡における自然の足跡

これはRST法による調査のとき得られたもので、のりかえなく自然の足跡を追跡し得たものである。第7表, 第8図をみよう。

このときは一つだけ大きいものがあるがあとはかなり安定した数値が得られている。この大きいものは、佐渡ではめずらしく傾斜のそういちじるしくない地区を走行していたものである。この全体の分布は第9図の通りであるが、個々の足跡のものをみてもいちじるしい差を見出すことは出来ない。

COC法によるものは第7表, 第9図に示しておいたが、それほどの差はみとめられない。以上みてくると大局的には、かなりおちついて居り、実際に使える可能性があるものと思われる。この方法を実用化するには、さらに検討すべきものがあるが——もう少し、地形特性などから分析を進める——その可能性は十分あると考えられる。今後、本数を増加して行く必要があろう。

第6表 北海道—放点～第1寝場所—

	平均 (m)	標準偏差 (m)
1	16.2	11.3
2	17.8	9.3
3	15.2	7.5
4	14.4	7.5
5	12.7	7.2
計	14.9	8.8

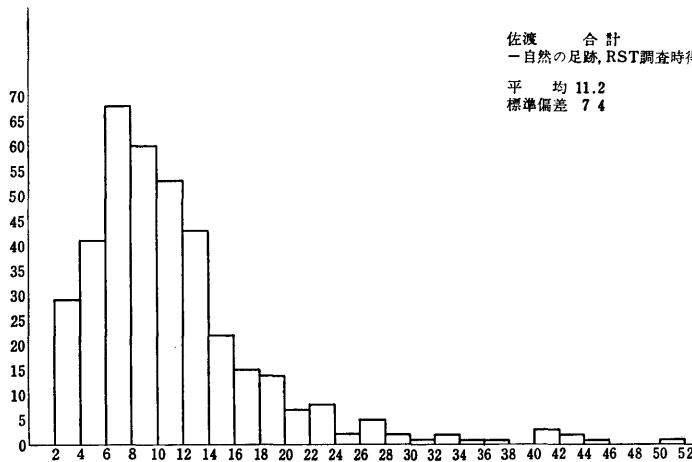
第7表 佐渡

自然の足跡 RST 調査時得られたもの(昭47年), 及びCOC法によるもの(昭47年)

	平均 (m)	標準偏差 (m)
1	16.0	9.2
2	9.4	5.8
3	9.2	4.2
4	8.8	4.8
5	10.6	6.7
計	11.2	7.4

佐渡COC法 —46年—

1	8.4	4.6
---	-----	-----



第8図

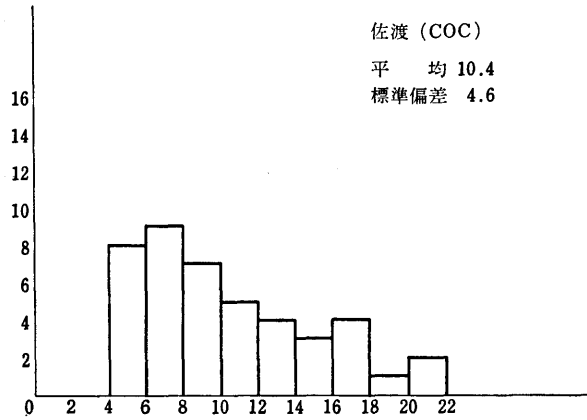
(iii) 佐渡におけるRST法によるもの

これは、他の野兎ののりかえたものである。第8表にこれを示す。

これは、多少の変動があるものと思われるが、さらにデータを増加させる必要があろう。分布は第10図に示す通りである。

§6 検 討

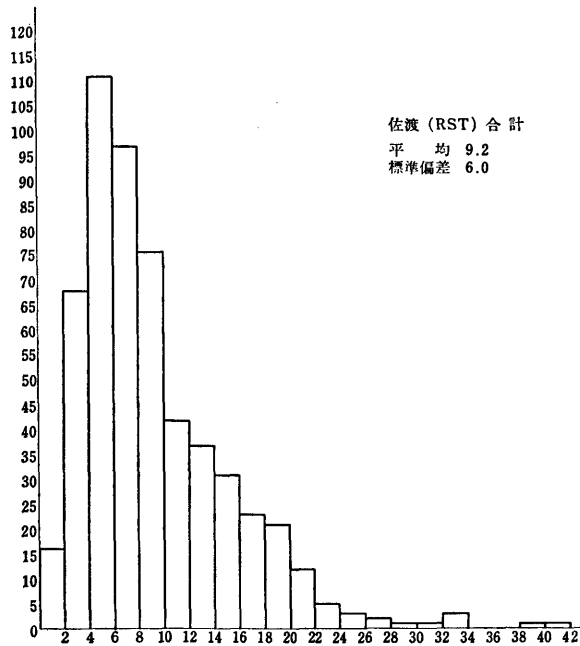
(i) 1羽の野兎の1夜中に走行する距離は、雪の状態、気象条件に左右されることが多いこ



第 9 図

第8表 佐 渡  
—(RST 法) のりかえたもの—

	平 均 (m)	標準偏差 (m)
1	5.2	11.7
2	9.2	6.3
3	7.6	3.5
4	8.6	4.9
5	12.6	6.2
計	9.2	6.0



第 10 図

とは、足跡交点調査法 (INTGEP 法と名づけておく, Intersection Points Counting Method Based on Geometrical Probability, 本論文のシリーズ III, 彙報第17巻 第1号 1969) による同一地区における継続調査を通じて明らかにされている (別に発表予定). とくに雪の条件は深刻なものがあり, 新雪が多いときには動きが全く少なくなるわけである. しかし, 追跡して足跡をみて行くのであるから, 苛烈な気象条件の下にある場合は足跡が残らず調査をしても全く見当らない. 足跡が追跡できる条件下は, そうきびしいものではないが, それでもかなりの変動があるわけで, こうした足跡長の要因分析の細目は今後の研究において明らかにする予定である. また, 野兎の体力によっても左右されようが, これを測定することはなかなか難しい. ここでは, まず, 特に地形 (傾斜) と走行距離との関係に注目してみよう. 走行距離のエネルギー消費をあらわす一つの指標として

$$U_0 = \sum_k^M x_k \cos \theta_k, \quad U_1 = \sum_i^{M_1} a_i x_i, \quad (\theta_i > 0 \text{ のとき}), \quad U_2 = \sum_j^{M_2} a_j x_j, \quad (\theta_j < 0 \text{ のとき})$$

ここに  $x_i$  は斜距離

$$a_i = \frac{\sin \theta_i}{1 - \sin \theta_i}$$

$\theta_i, \theta_j, \theta_k$  は高低角,  $M$  はステップの総数,  $M_1$  は  $\theta_i > 0$  のステップ数,

$M_2$  は  $\theta_i < 0$  のステップ数

としておく.  $U_0$  は水平距離の全延長となる,

をとりあげる. 実際に斜距離を走行するのであるから, これを  $x$  ととり, 角度の影響として一応  $\alpha$  をとった——このとり方は一つの試算であり, さらに検討を要しよう.

これら  $U_0$  を  $U_1, U_2$  と関係付けるのであるが,  $U_0 = AU_1 + BU_2 + C$  として推定してみよう. データとして北海道 (COC 法), 佐渡 (COC 法と RST 法——RST 法で交点のなかったもの, つまり, 完全に無色素で追跡できたもの) の 12 本を用いた.

$$A = -1.06, \quad B = 2.71, \quad C = 843$$

で, 相関係数は 0.38 であり, 高いものではなかったが一つの可能性は示し得るものと考えて, 今後さらに分析を進めるつもりである.

なお  $U_0 = A\sigma_{U_1} \frac{U_1}{\sigma_{U_1}} + B\sigma_{U_2} \frac{U_2}{\sigma_{U_2}} + C$  として  $A\sigma_{U_1}, B\sigma_{U_2}$  を求めると, 上りの大きいとき, 水平距離の短くなることがあらわれている. その係数の様相をみると, -156, 221 となっている.

次にもう一項体重をつけ加えてみた. 佐渡においては自然の足跡追跡のため, 一応佐渡における平均 2300 gr を代用してみた.

$$U_0 = AU_1 + BU_2 + CW + D$$

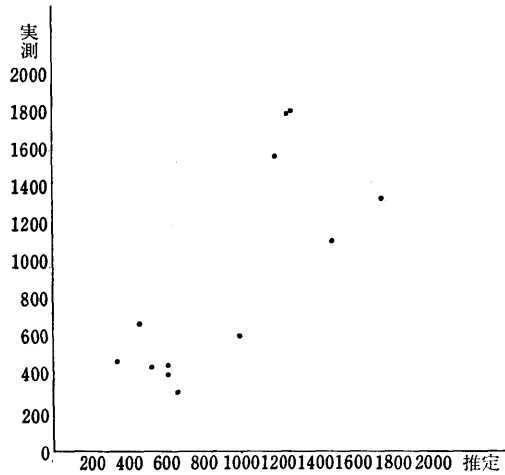
という形の推定である. この結果,

$$A = 0.06, \quad B = 4.38, \quad C = 1.10, \quad D = -2297$$

となる. 規準化した場合のウェイトは夫々 9, 355, 456 となり上りが殆ど利てこなくなる. これは体重との関係の方がより利いていることと考えられ, さらに標本を増加し, 佐渡, 北海道別に分析を進めなければならないと考えられる.

なお, 体重を入れた場合の相関係数は 0.79 と非常に高くなった. 第 11 図にこの模様を示しておこう. こうした分析を通してみると, 少数の例についての分析結果からの予想であるが,  $U_0$  を推定することが, 他のいろいろの条件 (上述した諸条件) をとりこむことによってさらに精度高くなしうる可能性があるものと思われる. 今後データを増加させ検討を重ねるつもりである.

(ii) INTGEP 法と野兎狩りを利用し, いわゆる removal 法の考えから総数推定も可能となる. また, これをもとにして, その地方の一羽の野兎の一夜の平均走行距離の推定ができる. この方法を各地で行って比較してみることも興味あることと思われる,



第 11 図

野兎狩り前(7日~10日位)の足跡の推定総延長を  $x_B$ , 野兎狩り後(7日~10日位)の足跡の推定総延長を  $x_A$  とする. この二時点の気象条件は同一としておく(こうした時期に調査をすることが大事である). これらを一羽の野兎の平均走行距離  $\bar{l}$  で割れば生息数が出るわけである.

$$x_B/\bar{l} = N_B \quad (1)$$

$$x_A/\bar{l} = N_A = N_B - M \quad (2)$$

$M$  は野兎狩りによる捕獲数である. この  $M$  を知ることは容易である.

これから (2)÷(1) により

$$\frac{x_A}{x_B} = \frac{N_B - M}{N_B} = 1 - \frac{M}{N_B}$$

これから

$$N_B = \frac{M}{1 - (x_A/x_B)}$$

として  $x_A/x_B$  (これは総交点数の比になる) から  $N_B$  が推定される. 勿論, この推定値の平均二乗誤差は容易に計算できる. この推論が成立するためには, 走行距離の長いものあるいは短いものが偏って捕獲されないということ(全体の集団と捕獲された集団での平均走行距離が等しいということ)が必要であるが, 一応こう仮定して進んでみることにしよう.  $N_B$  が推定されれば  $\bar{l}$  が (1) より推定できることになる. こうして, 各地の調査から  $\bar{l}$  の比較が可能となる. 野兎狩りの区域をきちんとさだめ, 足跡調査を併用すれば, 大規模な比較が可能となり, 興味ある結果が得られよう. この得られた  $\bar{l}$  と COC 法, RST 法と比較しておくことも行うべきことである.

なお, ここで示した捕獲法, COC 法, RST 法の実際に関しては, 「野うさぎをかぞえる」(企画: 文部省, 指導: 統計数理研究所, 協力: 新潟大学農学部, 林業試験場北海道支場, 林業試験場保護部鳥獣科, 科学警察研究所, 制作: 鹿島映画) —— (昭和 46 年度) 文部省学術映画シリーズ 24 —— に具体的に示されている.

本調査においては, 多くの方々の参加を得ており, 北海道支場の関係の方々, 新潟大学演習林佐渡事務所の方々に深く感謝の意を表すものである.