# 動く調査対象集団に対する標本調査について–II*

## ── 野性化した家兎に対する統計調査，捕獲–再捕獲法の検討のために ──

統計数理研究所　林　知己夫，石田　正次，飯塚太美雄
林　　文
新潟大学農学部　豊島　重造，高田　和彦，河野憲太郎

(1968年10月　受付)

# Estimation of Size of Mobile Population–II

## ——Statistical Survey of Wild Rabbits in an Islet with a Revision of Capture-Recapture Method——

Chikio Hayashi, Masatugu Isida, Tamio Iizuka, Fumi Hayashi
(The Institute of Statistical Mathematics)
Jyuzo Toyoshima, Kazuhiko Takata, Kentaro Kono
(Faculty of Agriculture, Niigata University)

The authors show that the condition of randomization underlying the theory of capture-recapture method does not hold by the statistical survey of wild rabbits in an islet. The wild rabbits form several territories even in such an small island which covers 1.6 hectares. If the density of rabbits is proportional to that of traps in every territory, the formal estimator by simple capture-recapture method gives a good estimation of the size of rabbits. However, the proportionality is generally unknown before the survey though, fortunately, the analysis tells that proportionality in this case. Thus simple capture-recapture method is not applicable.

In this survey, the following items have been confirmed,

(i) existence of territory

(ii) non-existence of the conditions underlying suple capture-recapture method

(iii) the probability that any individual is captured in a particular sample beeing low

and the followings have been examined.

(iv) the better estimating method of the size of wild rabbits than that by capture-recapture methot

(v) adequacy of the estimation by counting faecal pellets of wild rabbits being dependent on the features of the district.

The data for the test of equal catchability could not be obtained though the test formula was theoretically calculated.

This research was carried out as a part of JIBP project (Contributions from JIBP-PT. No-53)

## §1. は じ め に

前の論文に於て** 野兎の調査法のいくつかを提示し，その実際調査での有効性の検討は爾後の調査にゆだねることを記した．そのうち，足跡法に関する検討は行っている．理論的なことは野兎統報 I, II*** において発表した．また，実際的なことの検討のため，43年1月下旬

* この研究は JIBP の PT 部門研究の一環であることを意識して行なわれたものである． JIBP-PT, No. 53 である．

** 動く調査対象集団に対する標本調査について-I，統数研彙報　第14巻，第2号，1966　p.63-p.86 以下〔動 I〕と略称する．

*** I，野兎足跡調査一予備調査　その 1，1967. 4月； II 野兎足跡，総延長推定に関する一つのモデル，1967，10月，統数研・新潟大農野兎研究グループ．

佐渡西北地区約 5600 ヘクタールの地区で実験調査を行なった．いま，そのデータを分析中で，「動物集団の標本調査 III」に於て発表する予定である．ここで述べようとすることは，捕獲—再捕獲法の検討である．43年5月，瀬戸内海の小島——茂床島（もとこ島），岡山県笠岡市北木島の沖，20万分の1の地図にも載っている——に，兎を放し飼いしてあり，その数は数百羽ということが，樹木被害の写真と共に読売新聞の東京版（5月7日付）にのっていた．その広さは 1.94 ヘクタール（岩礁地をのぞくと 1.60 ヘクタール）と言う．これだけ小さい島で，これだけの兎がいるのは全くよい実験地と考えた．とくに島であるから閉地域で兎の外部との出入はないし，生息密度も高い．ここで，捕獲—再捕獲法がうまく行かない様では，兎の調査に利用できないと考えられた．こういうわけで，6月上旬，豊島，石田，高橋宏一が予備視察に行き，調査実施可能の確証を得た．しかし，兎は野兎 (hare) でなく——情報には野うさぎとあった——家兎であった。野性化した家兎 (wild rabbit) と言うべきであろう．そこで7月9日—14日の間調査実施ときめ，野兎のために用いた罠 30 個を用いて捕獲すると共に，兎狩りを行って総数をあらうため野兎狩りに用いている捕網を用意した．調査としては，このほか，兎穴の調査，糞粒の調査，夜間自動撮影可能性の調査を行い，今後の参考に資することにした．

なおここでは，調査法や統計に関する問題のみを記述するが，調査全体の詳細は‘豊島重造，高田和彦，河野憲太郎，林知己夫，石田正次：野性化した家兎の生息数の推定ならびに生態に関する二三の考察と研究’，新潟大学農学部付属演習林報告第3号，1968（以下〔野家考〕と略称）を参照されたい．

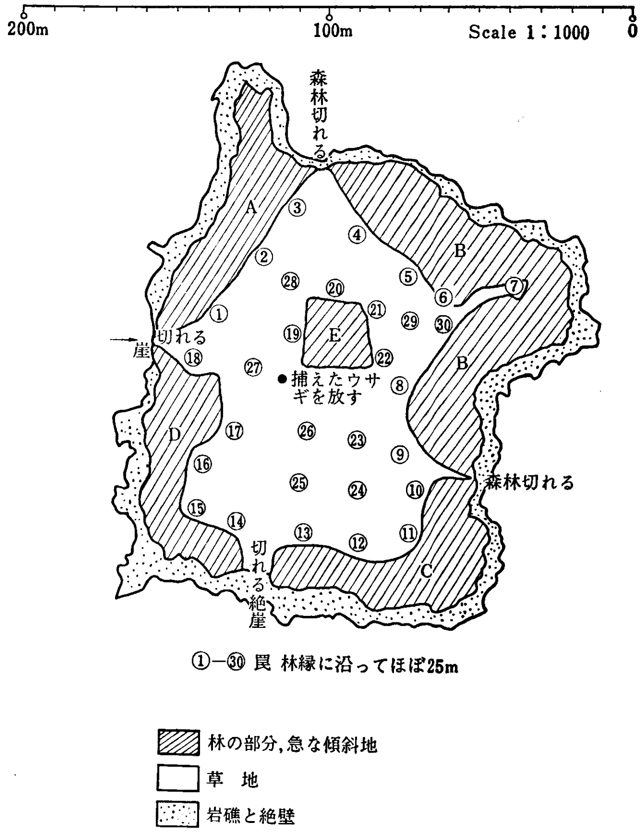
この調査では多くの方々のご援助を受けた．島の持主の河田光義氏には調査の往復の便宜をはじめ多大のお世話をいただいた．また，北木島大浦の野元盛男氏，朝日新聞社東京本社世論調査室の二上信爾氏，岡山支局の浜本幸男氏，笠岡通信局の宮西弘氏，NHK 岡山放送局の松本裕人氏，笠岡市役所の助役天野初志氏，予備視察で情況をみて計画に参加した統数研の高橋宏一氏，その他多くの方々の御援助をうけた．深く感謝の意を表わすものである．

## §2. 捕獲—再捕獲法について

### 1. 調査計画

茂床島の様相の細目は〔野家考〕に譲るが，イメージを固定するため，その概略をのべておく．島の全般的概況は第1図の通りである（これは航空写真より作成）．周囲は絶壁と岩礁である．その上部は急な傾斜地で，トベラなどの林があり，所により笹が密生している．その上部は広濶地でゆるい草原でかなり広い．中央近くに小さな森林区（笹がある）が島の様にある．周囲や中央の森林区に巣があり，中央の草原は，食料地や遊び場の様である．島の最高地点は草原の中央で標高 30m あまりである．なお，家兎は野兎と異り，巣をつくるのである．家兎は習性も体格も野兎と異ったものであるが，ここの家兎は飼い舎で飼っているのではないから，調査結果からみても野性化した（化しつつある）ものと考えられる様である．なおこの島では 41 年春9羽（15羽とも言う）家兎を放したとの事である．

さて，まず捕獲—再捕獲法のやり方から始める．30 個の罠を林縁に沿って約 25m おきに配置し，残りを中央部に配置した．その配置は第1図の通りである．一定時刻に罠を開放し，一定時間を経て罠を閉じる——すでに兎を捕えている罠の扉は閉じている．そして，捕獲された兎を島の中央にもち来り，標識をつけ，計量計測を行い（性別，耳殻長，後足長，体重，胸まわり，毛色）中央ではなす．一定時間間隔をおいて——放したときの影響がなくなる．つまりもとの様に兎がまざりあうため——罠を開く．これを繰返すことにした．中央ではなすものは，条件を同一にし，なわばりの有無を調べたかったからである． 調査は 11 日 1500—14 日 0900 まで行い罠の開閉は 10 回行った．夜間 (1800-0930) は3回，あとは昼間7回2時間の開放を原則とした．再獲後の処置のおくれで少し前後したところもあるが，結果に歪みを与える程のものではない．




第 1 図

## 2. データと形式的な推定

捕獲数を示すと第1表の様になった．罠のうさぎを捕えた数の分布は第2表の通りになる．新しい個体は37，延べ捕獲数は55であり，1回で最高捕獲数は12羽に過ぎなかった．全くかゝらぬ罠は少なかった．罠の捕獲情況は第3表に示す．

第 1 表

| 罠の開放日時 | 回数 | この時までに標識のついた数 | 再捕獲 | 新捕獲 | 全捕獲 |
|---|---|---|---|---|---|
| 11日 1500-1700 | 1 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| 12日<br>1900-0915 | ② | 5 | 1 | 11 | 12 |
| 12日 1100-1300 | 3 | 16 | 0 | 2 | 2 |
| 1330-1500 | 4 | 18 | 1 | 4 | 5 |
| 1600-1800 | 5 | 22 | 2 | 5 | 7 |
| 13日<br>1900-0930 | ⑥ | 27 | 7 | 4 | 11 |
| 13日 1000-1200 | 7 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 1200-1400 | 8 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 1400-1700 | 9 | 31 | 2 | 0 | 2 |
| 14日<br>1800-0900 | ⑩ | 31 | 5 | 6 | 11 |
| | 計 | 37 | 18 | 37 | 55 |

註 ○印は夜間捕獲．3回捕獲されたこの4羽，2回捕獲されたもの10羽である．

第 2 表

| 兎を捕えた回数 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 罠 の 分 布 | 6 | 9 | 6 | 5 | 4 | 0 | 30 |

註 平均 1.73
罠のうち1回に2羽とらえたもの1，3羽とらえたもの1あった．上述の表ではこれらはともに1回と数えた．兎を捕えた回数は上述の通り52回である．このうち2羽，3羽とらえたものが2つあるので羽数に計算すると $52+(2-1)+(3-1)=55$ となる．

第 3 表

| なわばり | 罠番号 | ウサギの捕獲数* | 計 | 一罠あたりの平均捕獲数 | なわばり | 罠番号 | ウサギの捕獲数* | 計 | 一罠あたりの平均捕獲数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 4 | 6 | 6÷3=2 | D | 14 | 2 | 13 | 13÷5=2.6 |
| | 2 | 0 | | | | 15 | 4 | | |
| | 3 | 2 | | | | 16 | 5 | | |
| B | 4 | 0 | 13 | 13÷8=1.6 (13÷7=1.9) | | 17 | 1 | | |
| | 5 | 3 | | | | 18 | 1 | | |
| | 6 | 3 | | | E | 19 | 1 | 9 | 9÷4=2.3 |
| | 29 | 2 | | | | 20 | 1 | | |
| | 30 | 2 | | | | 21 | 3 | | |
| | 7 | 1 | | | | 22 | 4 | | |
| | 8 | 2 | | | 中央部 | 23 | 0 | 3 | 3÷6=0.5 |
| | 9 | 0 | | | | 24 | 0 | | |
| C | 10 | 4 | 11 | 11÷4=2.8 | | 25 | 1 | | |
| | 11 | 4 | | | | 26 | 1 | | |
| | 12 | 2 | | | | 27 | 0 | | |
| | 13 | 1 | | | | 28 | 1 | | |

註 * 捕えた兎の総数，第2表の回数ではない．

同一の個体がどんな罠に捕えられたかをみるために第2図をつくった．

以上が，得られたデータである．このデータを用い全く形式的に捕獲一再捕獲——完全ランダマイゼーションの仮定，つまり各罠に各兎が捕えられる確率が全く同一であるということ——の推定を用いてみよう．

第1表の2回，3回，5回，6回，10回のところで行ってみた．夫々

$$12\times\frac{5}{1}=60,\quad 5\times\frac{18}{1}=90,\quad 7\times\frac{22}{2}=77,$$

$$11\times\frac{27}{7}\fallingdotseq 43,\quad 11\times\frac{31}{5}\fallingdotseq 68$$

となる．この算術平均を出してみると約67，推定の精度つまり $\sigma^2$ の逆数をウェイトとして平均を出してみると61となる．

さて，推定値 $\hat{N}=n\cdot(m/r)$ の分散 $\sigma^2$ を，捕獲確率を独立と見做して近以的に計算してみると

$$\sigma=\frac{N}{\sqrt{n}}\left(\sqrt{\frac{N}{m}-1}\right)$$

但し $N$ は総個体数，$m$ は標識のついている総数，$n$ は捕獲総数，$r$ はそのうち標識のついている数

を得る．最終推定の場合 $\sigma\fallingdotseq 20$ となる．

捕獲数 $n$ が小であるので精度はあまりよくないが，数百羽いるというのはこの段階でも過大評価にすぎる様に思われる．

また，$r$ が $m$ に比して小なときは，次の推定がよく用いられる (N. Bailey)

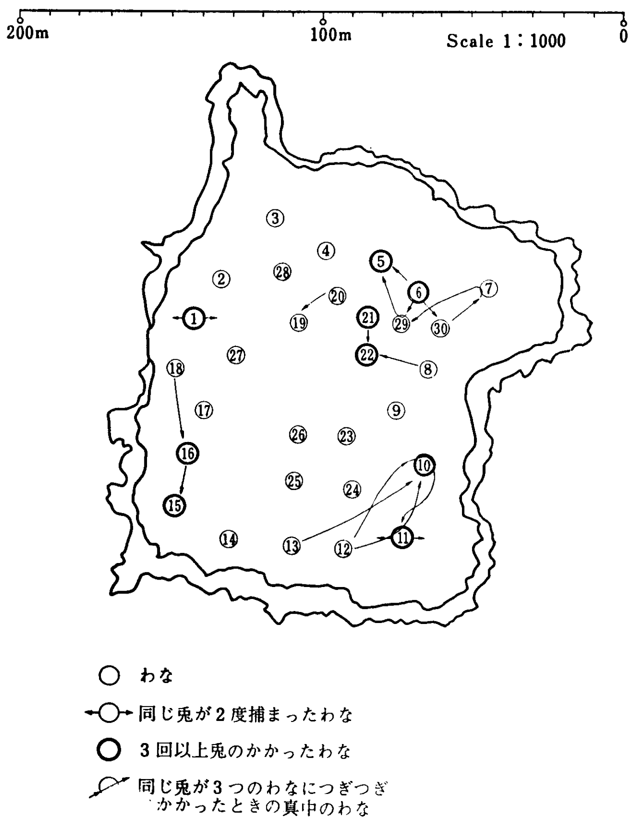
$$\hat{N}=(n+1)\cdot m/(r+1).$$

これによると途中の推定は，38, 54, 59, 41 となり最終推定は 62 となる．

これによっても最終は上述のものとくらべて大差はない．

3. なわばりの存在

第2図でみられる通り，一度捕獲したものを島の中央地区で放しても，一定のなわばりがあるとみてよい．第1図に示す A, B, C, D, E の地区である．しかし，E 地区は様相が異り，データの上では B 地区と交流があり，A とはないのであるが観察によれば A とも交流がある．しかし，巣の状態からみて E を個有のなわばりとしてもつものもある様である．いづれにしても，なわばりがあり，完全ランダマイゼーションが成立していないと思われるのである．したがって，2. で述べた推定には誤りがあると考えられる．この様に狭い地区であり乍ら，なおせまいなわばりが存在するということは，標本調査上注意しなければならない問題である．




第 2 図

4. 兎狩り方式による総数の推定

野兎の兎狩りの網を用い林縁に沿って起点を等間隔（始点ランダム）に選び，なわばり内に5ヶ所のプロットを囲みそこにおいて行った．D(2ヶ所)，B(2ヶ所)，E である．その夫々の地区を網でかこんだ大きさは略 25m×25m のもの D, B, E の夫々で1ヶ所，25m×50m のもの2ヶ所（B, D のうちの夫々1つ）であった．この大きさは地形に左右された．以上の長さは網の長さを示すもので，水平距離は傾斜部では少な目になるし，下部は絶壁のところまで下ったので，正確な面積は次に示す通りになる．したがって総面積で 3450m² 程度となっている．この方式で兎を狩り出したところ——穴に入るので棒でつつき出す（野兎との差，野兎はとび出して逃げる）——，確認できたもの 25羽，捕獲し得て標識の有無を検討できたもの

21羽であった．このうち標識のついたもの11あった．

これを用いて総数の推定を行えば

$$37 \times \frac{21}{11} \fallingdotseq 71.$$

となる．

また，標識の有無を用いず単純に面積比でのばして行くと（林のある斜線部—第1図—の面積0.7962ヘクタールを用いる）

$$25 \times \frac{0.7962}{0.3460} \fallingdotseq 58.$$

となり，かなり近い数値が得られた．

これらの相対精度を示す（推定の変異係数）は夫々 0.16, 0.25 となり，後者の精度はずっと悪い．この方法は，捕獲—再捕獲法の仮定がみたされようが，みたされまいが，妥当するものである．この推定法と形式的に行った方法との数字がよく一致しているのは注目してよい．なわばりがあり，完全ランダマイゼーションが成立していないのにどうして一致するのか．偶然の一致であろうか．ここを少し解析して考える必要がある．

## 5. なわばりを考慮した捕獲—再捕獲法

いま，なわばりが K 個あり，動物はその内部においてしか行動しない．この中で完全ランダマイゼーションが成り立つ（各動物は捕獲確率が同一であり，また捕獲履歴如何に関せず，すべての罠に捕獲される確率が常に同一で独立）*，捕獲はなわばり間で独立とする．さらに簡単のため，なわばり内で捕獲内独立におこるものとする．つまり，なわばり内で捕獲に関し二項分布型の尤度がつくれるものとする．

第 $i$ なわばり内で，ランダムに捕獲された $m_i$ 個のものに標識がつけられたとする．ここでは $N_i$ 動物がいるとする．

---

* この検討の一環に関して，R.M. Cormack, A Test for Equal Catchability, Biometrics 330-342頁 1966, の考え方がある（これは履歴効果はないものとして各動物の捕獲確率が同一か否かをみることを主眼としている）．我々も，同じ仮定の下にこれに関する理論的検討を行った．総数既知として2回捕獲される数を利用して（つまり，全体の総数は解らないので，1回目の捕獲を総数として考えれば3回までの捕獲を用いることになる），捕獲確率の同一性の検討をしようと試みたが捕獲数が少く検討不可能であった．この方法を次に示す．

集団の大きさを $N$ とし既知とする．$x_i$, $i=1,2,\cdots\cdots N$ は $i$ なる個体が捕獲されるされぬをあらわす確率変数とする．勿論 $x_i=1$（捕獲）または 0（捕獲されぬ）で各個体の捕獲確率は異っていてもよい．各個体間の捕獲，同一個体の回数別の捕獲（各個についてみるとき捕獲確率は常に同一，捕獲履歴に無関係に同一としておく）はすべて独立（前後者相互間も独立）とする．回数による捕獲確率の変化はこの場合は問わないことにする．$E(x_i)=P_i$ とする．

$\Sigma x_i / N = p$ とすれば

$$E(p)=\Sigma P_i / N$$

$p$ がデータとして出てくるので2回捕獲される確率として $p^2$ を出してみると，

$$E(p^2)=\Sigma P_i(1-P_i)/N^2-\sigma_p{}^2+\Sigma P_i{}^2/N$$

但し $\sigma_p{}^2=\Sigma P_i{}^2/N-(\Sigma P_i/N)^2$ で捕獲確率の分散をあらわす．$P_i=P$ とすれば

$$E(p^2)=P(1-P)/N+P^2 \fallingdotseq P^2 \qquad (N \text{ が大のとき殆ど } P^2)$$

$$\sigma_{p^2}{}^2=E(p-P)^4+4PE\,(p-P)^3+6P^2E(p-P)^2+P^4-E(p^2)^2$$

となる．$E(p-P)^4$, $E(p-P)^3$ は2項分布より直ちに求められる．

さて一方，2回捕獲されるか（$y_i=1$）否か（$y_i=0$）をあらわす確率変数を $y_i$, $i=1, 2\cdots N$ としよう．

$$\bar{y}=\Sigma y_i / N$$

もし，$E(y_i)=P_i{}^2$ となるから（捕獲が独立と仮定しているからこれが成立している）

$$E(\bar{y})=\Sigma P_i{}^2/N \quad \text{となる．}$$

また $\sigma_{\bar{y}}{}^2=\Sigma P_i{}^2(1-P_i{}^2)/N$ となる．

したがってもし $P_i$ がすべて等しくないとすれば，

$$E(\bar{y})=E(p^2)+\sigma_p{}^2-\Sigma P_i(1-P_i)/N^2$$
$$\fallingdotseq E(p^2)+\sigma_p{}^2 \risingdotseq E(p^2)$$

である．

次に $n_i$ 個の動物が捕獲されたとき，このうち $r_i$ 個のものに標識がついていたとする．$P_i = m_i/N_i$ とし，捕獲の独立性が成立しているとすれば，$(r_1, r_2, \cdots, r_K)$ の標識のついたものが捕獲される確率は

$$\prod_{i=1}^{K} P_i^{r_i} (1-P_i)^{n_i - r_i} \binom{n_i}{r_i}$$

これが尤度 $L$ となる．

$$\log L = \sum_{i=1}^{K} \left\{ \log \binom{n_i}{r_i} + r_i \log P_i + (n_i - r_i) \log (1-P_i) \right\}$$

$P_i = m_i/N_i$ とし

$$\frac{\partial \log L}{\partial N_i} = 0, \quad i = 1, 2, \cdots, K$$

を求めれば $\hat{N}_i = n_i \cdot m_i / r_i$

$$\Sigma \hat{N}_i = \hat{N}$$

で $N$ の推定ということになる．

いま $\quad P_i = m_i/N_i = P \quad i = 1, 2, \cdots K$

としよう．つまり，各なわばりの捕獲確率がすべてのなわばりを通して同一であるとしよう．こうすると

$$P = \sum_{i}^{K} m_i \Big/ \sum_{i}^{K} N_i = m/N,$$

$$m = \sum_{i}^{K} m_i, \qquad N = \sum_{i}^{K} N_i$$

となる．そこで

$$\log L = \sum_{i=1}^{K} \left\{ \log \binom{n_i}{r_i} + r_i \log P + (n_i - r_i) \log (1-P) \right\}$$

において，

$$\frac{\partial \log L}{\partial N} = 0 \quad を求めれば$$

$$\frac{1}{P} \sum_{i}^{K} r_i - \frac{1}{1-\hat{P}} \sum_{i}^{K} (n_i - r_i) = 0$$

---

もし，$P_i$ がすべて同一ならば，

$$E(\bar{y}) = P^2 = E(p^2) - P(1-P)/N \doteqdot E(p^2)$$

となる．

従って $(\bar{y} - p^2) = q$

をつくり，この分散（独立となるので両者の分散の和）を考えて，$P_i$ の同一性を問題にすることが可能である．但し上述のは $P_i$ の同一性の検定に止らず他のすべての条件の検定にもなることは注意すべきである．しかし，どこかでひっかかればランダマイゼーションの条件にみたされなくなるので，この点はよい．

なお，捕獲履歴効果をみるためには（このときはすべての $P_i$ が等しいものと見做しておく） 前述の $p$（及び2回目の捕獲ではじめて捕まったものの割合 $p' = (\Sigma x'_i - \Sigma y_i)/(N - \Sigma x_i)$ をもあわせ用いる．$x_i'$ は2回目の捕獲 (1)，非捕獲 (0) をあらわす確率変数とする．例えば $\mathrm{p}^* = \omega_1 p + w_2 p'$，$w_1 = N/M$，$w_2 = (N - \Sigma x_i)/M$，$M = 2N - \Sigma x_i$，を用いる）と，$r = \Sigma y_i / \Sigma x_i$ とを比較しその差を検討すればよい．$r$ は1回捕獲されたもののうちまた捕獲されるものであるから，もし履歴効果がなければ $E(p) = E(r)$ となる筈である．

なお，この検定を形式に行なったとき，$P_i$ が等しくないということ（履歴効果がなくとも）も含まれるので当然のこと乍ら注意を要する．

$$\frac{r}{\hat{P}}-\frac{n-r}{1-\hat{P}}=0,\quad \sum_{i}^{K} r_i=r,\quad \sum_{i}^{K} n_i=n$$

$$\hat{N}=n\cdot(m/r)$$

となり，なわばりのない場合の推定でよいことになる．分散も全く同様である．

$P_i=P\,(i=1,2,\cdots,K)$ はどういう場合に成立するであろうか．もしも $N_i$ に比例して $m_i$ がとられていれば上のことは成立する．これは，$N_i$ に比例して罠がおかれているならば，起る（平均的に言って）可能性が高いと言うことになろう．つまり，生息数に比例して罠がおかれていればよいということになる．

我々の場合，林縁に沿って略々等間隔に罠を配置したので，各なわばり内の単位面積当り生息密度がほぼ等しく，なわばり内の生息数に比例して罠が配置されたことになっていたのであろう．生息数と罠の数が釣り合っていないならば，上述の $p_i=p$ の仮定が成り立たなくなろう．

なわばりが存在し且つ生息密度が異っている場合 —— しかも事前になわばりの範囲・区別や密度の異る情況を知ることは不可能 —— には，釣り合う様に罠が配置されていない限り妥当な推定は不可能である．もし，なわばりの範囲や区別があらかじめ解っていなくても，各場所で生息密度が同一で——その数はわからぬ，未知常数——同一であると言う様な場合は，なわばり内の生息数がなわばり面積に比例することになるから，罠を面積の意味で等確率で配置し，この試行を多数回繰返すならば，結局のところ適切な推定を行い得ることになる．しかし，多数回しかも等確率におくという所に実施上の問題点が残る．ここで本質的なこと，つまり生息密度が同一であると言う情報は，合理的な根拠から判断しなければならない．これは，実証的には，事前に確かめようもない．この仮定は，試行錯誤の第一歩としての意義をもつべきものであろう．

いづれにせよ，単純な捕獲—再捕獲法の推定がしかるべく出たのは，ここの仮定がほぼ満されていたのであろうとの予想がよさそうに思える．

## 6.　捕獲確率からの推定

5. で各なわばり間で捕獲確率が同一という仮定が一応みとめられたものとしておこう．この考えの下に兎が何回罠にかかったかということから，総数推定を考えてみよう．このため夜間（一応前日の 1500—翌日の 0930）——この間多少の差異がある——においてのみ捕獲は行われたものとして話を進めよう．これは捕獲数の多い夜間の 3 日分のデータを十分活用するための配慮である．こうするとそれ以外のときのみ捕獲されたもの，その間の再捕獲は数えないことになるので，1 回のみの捕獲は 26 羽，2 回の捕獲は 9 羽，3 回の捕獲は 0 となる．一夜に兎が捕獲される確率は上の仮定ですべて同一で $\alpha$ とすれば，0 回，1 回，2 回，3 回捕獲される確率は，

$$(1-\alpha)^3,\quad 3\alpha(1-\alpha)^2,\quad 3\alpha^2(1-\alpha),\quad \alpha^3$$

となる．

$$\frac{3\alpha(1-\alpha)^2}{3\alpha^2(1-\alpha)}=\frac{E\,(1\text{回捕獲される数})}{E\,(2\text{回捕獲される数})}$$

から $\alpha$ の推定を $\hat{\alpha}$ としてデータを用いれば

$$\frac{1-\hat{\alpha}}{\hat{\alpha}}=\frac{26}{9}$$

$$\hat{\alpha}=9/35\fallingdotseq 0.25$$

となる．

これから 0 回の兎の数は 25 羽と推定される．3 回捕獲される兎の数は 1 羽と推定される（実際のデータは 0）．これから総羽数 61 羽と推定されることになる．1 夜の捕獲確率は 0.25 ということになる．勿論この推定には偏りがあるが一応の目安となる．$\hat{\alpha}$ の平均自乗誤差をもと

にした変動係数は 0.28 となる*.

この推定によっても前記の 70 羽と大差はなかった. すべての推定がほぼ 60～70 羽という所にあるのは興味深い.

## §3. 捕獲—再捕獲法の問題点

この調査を通してみたとき, 我々の対象としている兎の調査にはつかえないのではないかと言うことである.

この理由は,

(i) 完全ランダマイゼーション——各動物が各罠にかかる確率が同一で, 動物に関して独立である——は成立していない. なわばりの存在が認められる.

(ii) なわばりの範囲やその内での生息密度の同一性はあらかじめ知り得られない. 生息密度の同一性がわかっていれば罠の配置を地域ランダマイゼーションによって多数回行えば解決の道があるが, これを実際に行うことは現場では不可能である.

(iii) 約 2 ヘクタールに 70 羽, これに 30 もの罠をかけた. これだけの密度は, 動物園か特殊の飼育所の様なところでなければあり得ないし, また, これだけの罠をかけるとすれば莫大な罠が必要となり. この管理（見まわり等を含む）に莫大な労力を必要とする. この調査の程度罠をかけても, 十分に捕獲, 再捕獲, 再々捕獲できなかった. 一夜に最大捕獲 12 羽というところで, 精度が高くならない. 捕獲の履歴を問題にするほど何回も捕獲できていない. これを問題にし得る位ならば, むしろ捕り尽しが可能なのではないかと思われる. 一般の場合, 捕獲確率ましてや再捕獲確率が極めて低い, と考えられるので捕獲—再捕獲法による推定には精度が期待できないと思われる.

以上の様に, 捕獲—再捕獲法に否定的な見解を得た.

なおこの調査では十分捕獲をくりかえせなかったので, 捕獲の履歴が次の捕獲に与える影響捕獲されやすい傾向が動物個体によってあるかどうか, の問題は検討できなかった. このことについては別途研究を進めるつもりでいる——捕獲—再捕獲法の検討以外の立場で。

## §4. おすめすの比

罠方式でとらえた 37 羽中♂は 14, ♀は 22, のべ 55 羽中♂は 19, ♀は 36 で, めすの方がはるかに多かった. 2 回かかったものは, ♂ 1, ♀ 9, 3 回かかったものは♂ 2, ♀ 2 であった. 罠にはめすがかかりやすい傾向にあるのであろうか.

第 4 表

| 罠にかかった回数 | ♂ | ♀ | 計 |
|---|---|---|---|
| 1 回 の み | 11 | 12 | 23 |
| 2 回 の み | 1 | 9 | 10 |
| 3 回 の み | 2 | 2 | 4 |
| 延 計 | 19 | 36 | |

一方, 子供の兎, 1kg 以下の性比をとったところ♂ 4, ♀ 5 であった. また兎狩りで捕獲した標識についているもの

---

* $3\,a(1-a)^2 n = E(u)$, $3\,a^2(1-a)\,n = E(v)$　$u$, $v$ は, 夫々サンプリングで, あらわれる確率変数とする. 但し $n$ はサンプルの大きさ

$$\frac{u}{v} = z$$

$$\frac{\tau_z^2}{E(z)^2} = \frac{\sigma_u^2}{E(u)^2} + \frac{\sigma_v^2}{E(v)^2} + 2\,\frac{E(u)\,E(v)}{n} \cdot \frac{1}{E(u)\,E(v)}$$

$$z = \frac{u}{v} = \frac{1-a}{a}$$ より近似的に

$$\frac{\tau_\alpha^2}{E(a)^2} = \frac{\tau_z^2}{E(1+z)^2} = \frac{\tau_z^2}{E(z)^2} \cdot \frac{E(z)^2}{E(1+z)^2}$$

より求まる.

11 中で♂ 6，♀ 5 あった．第4表とこの性比との有意性をみるために分割表 $\chi_c$ 検定を行ってみたがこの程度では有意ではない．しかし，記述的にみて罠にかかるのはめすがかかりやすいのではないかとの予想を捨てぬことも常識的であり，全体的には性比は同一であっても——これもたしかめねばならぬ．兎狩りでもデータの数不足——罠にかかるのはめすが多いとなれば，(性比が 1/2 として第4表の性比があることは有意か否かを $\chi^2$ 検定してみると個体数では有意でないが，延べ数の性比は水準 5% で有意である）なにかここに生態学的な考察を必要とするであろう．今後の問題としたい*.

なお性比の捕獲確率の異るところから，性別に，捕獲—再捕獲法の単純な推定を最終のものに対して用いてみると 72 羽となった．

## §5. 糞粒の調査

糞粒調査の可能性は，動物集団の標本調査 I にも示しておいた．ニュージーランドの wild rabbit の調査では糞の調査が主体に行われ**，日本でもカモシカの調査に糞の調査が用いられている***．この島で，単位時間内に生産される糞量の調査の可能性を検討してみた．地点は 50 地点を等間隔格子点にとった．その大きさは，35mm のレンズ，ハーフサイズの写真機のうつる範囲——足下がぎりぎりに入る線が下端，同一人が写真撮影した．この大きさは 60cm×44cm——をとった．さい初の地点撮影を 11 日 1500 とし（地点番号 1-27）——地点番号 28-50 は 12 日 1300——第2回目の撮影は，13 日 1500 であった．同一地点2枚のフィルムを検討し，当該期間の糞粒の増加量を測定した．なお地点は中央草原地点のみであったので，島全体の総量の推定にはなっていない．こうした写真判定の可能性を検討するために行ったに過ぎない．島の周囲の急傾斜地ではこの方法は困難ではないかと想像された．板を置く方法も提唱されているが，急傾斜地ではおけないし平にすれば自然の条件と異ってしまうであろう．

## §6. 兎穴の数の推定

林縁内において兎穴がみられるものであるが6ケ所をランダムに抽出し深さ 20cm 以上の穴の数を調査した．これはいま用いられているものとは限らない．現在，存在するものの数で歴史的な兎穴も含んでいる．方法は，起点を林縁上にランダムにとる．これより，海岸線に直角に絶崖までの距離がプロットの中心線となり左右に水平距離夫々 5m（全幅 10m となる）をとったものがプロットとなる．結果は，第5表に示す．

10m² 当り穴の数は，約 0.74 となる．1ヘクタール当り，740 個となる．この島にある（第1図斜線部分にのみ存在する）穴の数は 740×0.7962≒600 と推定される．

この精度は，相対誤差の意味——推定値の標準偏差/推定値——で 0.18 となる．

第5表 20cm 以上の穴の数

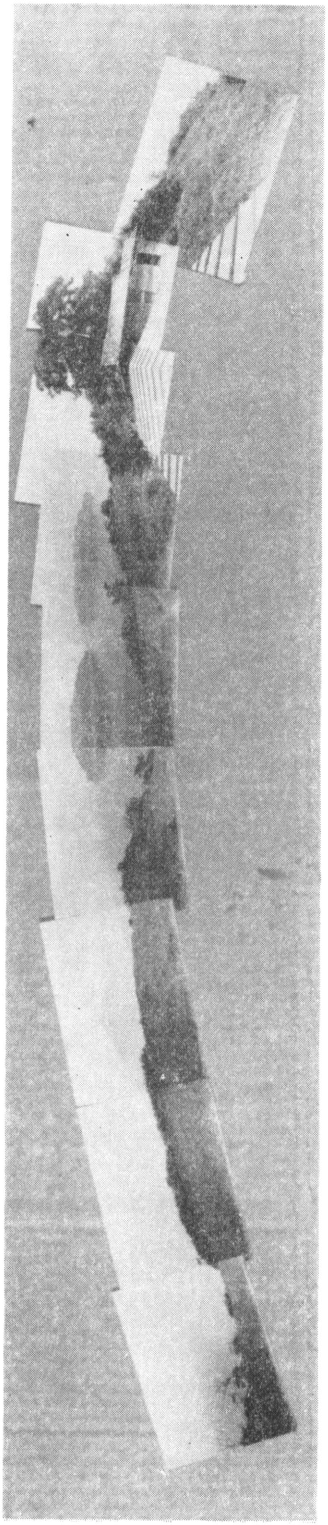
| 地点 | 長さ(水平) m | 穴の数 | 傾斜 |
|---|---|---|---|
| イ | 18 | 15 | 38° |
| ロ | 12.8 | 3 | 6° |
| ハ | 16.1 | 14 | 40° |
| ニ | 8.3 | 3 | 14° |
| ホ | 9 | 9 | 19° |
| ヘ | 4.9 | 7 | 46° |
| 計 | 69.1 | 51 | |

但しプロットは「長さ」と名づけた基線の両翼に夫々水平距離 5m をつけたもの，したがって長さ 1m は 1×10=10m² に相当する．

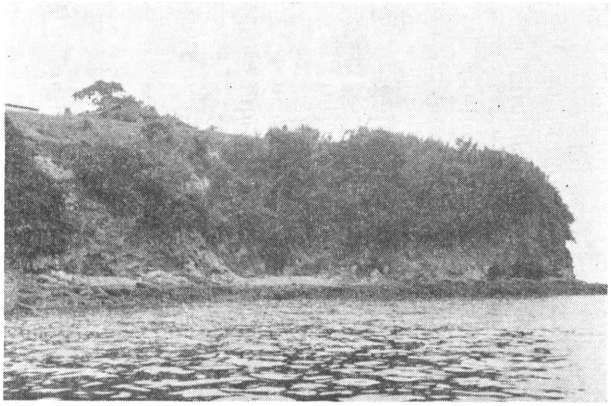
* 野兎の場合，ここで用いた同じ罠を用いて捕獲したものについての性比は，北海道支場（林業試験所）の柴田義春氏のデータではめすが多いと言うことは示されていなかった．

** R.H. Tailor and R.M. Williams, The use of pellet counts for estimating the density of populations of the wild rabbit, Oryctolagus cuniculus (L.), Newzealand Journal of Science and Technology, Nov. 1956,

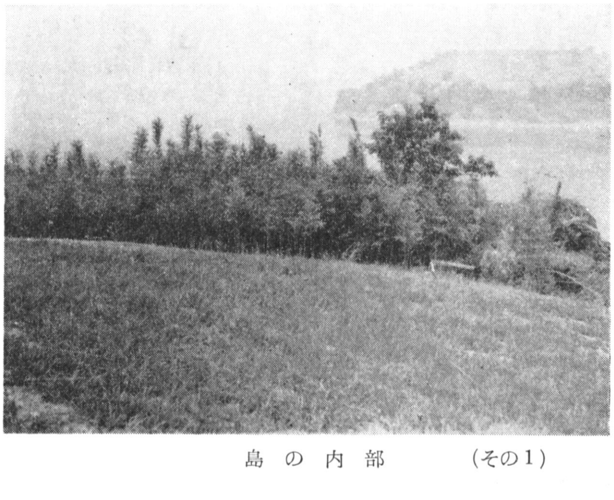
*** 森下正明編，陸上動物の個体数現在量調査法の研究，JIBP-PT-S. 42年度研究報告，1968, 3月.



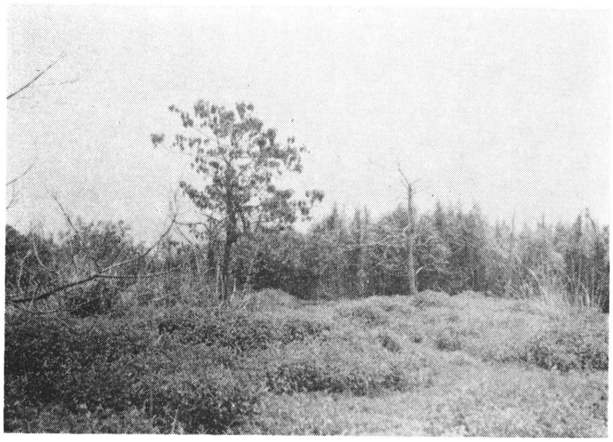
島のパノラマ



島 の 外 観



島 の 内 部　　　(その1)



島 の 内 部　　　(その2)

捕 獲 罠 と 家 兎

草 原 の 家 兎　　　(耳の捕獲番号)