

溪流性魚類の個体数推定における
エレクトリック・ショッカーの効用^{1),2),3),4)}

三浦泰蔵 ・ 白石芳一 ・ 石田昭夫
(京都大学理学部・大津臨湖実験所) (淡水区水産研究所日光支所) (北海道さけ・ますふ化場)

Efficiency of an Electro-Fishing Gear for Estimating
the Population Size of a Stream Dwelling Fish

Taizo MIURA, Yoshikazu SHIRAISHI and Teruo ISHIDA
(Otsu Hydrobiol. Station) (Freshwater Fish. Res. Lab.) (Hokkaido Salmon Hatchery)

Synopsis

As part of the Phase I Research Project of IBP-PF (Productivity in a freshwater environment, International Biological Programme), the efficiency of an electro-fishing gear for estimating population size of fish in small mountain brooks was examined. Field experiments were carried out from July 27 to July 30, 1967 in Katsuradani and Kuchitsubodani Brooks, both of which are branches directly connected to the Yoshino River, Nara Prefecture.

Sections between junctions with the main streams and waterfalls (approximately 80 m) were chosen as the experimental areas in both streams. The procedure was to collect as many amago, a landlocked salmon (*Oncorhynchus rhodurus*), as possible using a German 200 volt D.C. electro-fishing gear once a day during four day experimental periods. Captured fish were measured and marked for subsequent identification by clipping a different fin each day.

Population sizes were estimated by the Petersen, Schnabel, Bailey's "Triple-catch trellis" and the Leslie-Davis' "Fishing-success method". Estimates for Kuchitsubodani Brook were markedly variable, because fish were present in several deep pools in which the gear could not be used. In Katsuradani Brook the entire area could be sampled with the gear and estimates were much less variable.

Size selectivity by the electro-fishing gear and variation in probabilities of capture for fish of different recapture history were examined as a possible source of error. Size selectivity seemed to occur but was not statistically significant. However it may introduce a small bias into estimates of total fish stock. No significant difference in probability of capture was observed between previously captured fish and newly caught ones. This suggests that the effects of shocking on previous days not affect the vulnerability of the fish.

The Leslie-Davis' method was also applicable to Katsuradani Brook.

1) Special Project Research supported by the Ministry of Education, Studies on the Dynamic State of Biosphere. This study JPF-No. 119 was carried out as part of JIBP.

2) 京都大学理学部大津臨湖実験所 邦文業績新第40号

3) 淡水区水産研究所 業績 第284号

4) 北海道さけ・ますふ化場研究業績 第228号

ま え が き

IBP-PF (国際生物学事業計画—陸水群集生産)の研究目的は陸水群集の生産過程と生産率を明らかにすることにある。IBP-JPF魚類方法論グループに第一期の事業(1966—1967年)として、魚類について上記の目的を達成するための方法の検討という課題が与えられた。

魚類の生産課程を明らかにするにしても、生産率を測定するにしても基本的に要求されることは、調査対象である特定水域における種別、年令別の個体数資料をいくつかの時点で把握することであろう。このために筆者らは1967年夏期、湖水として湯ノ湖、河川として吉野川を選び、それぞれにおいて個体数調査の方法を具体的に検討した。今回の論文はそのうち7月27日～30日の4日間吉野川の2支流で、エレクトリック・ショッカーを用いて行った結果である。

調査にあたり、御協力下さった魚類方法論グループの皆様、また種々御世話下さった吉野川研究グループの皆様、に厚く御礼申し上げる。

調査場所の概況

調査場所として選定した桂谷及び口壺谷はいずれも吉野川上流区に直接流入する支流である。桂谷は入の波部落のやや上流に位置し、口壺谷は筏場のやや下流にあり、それぞれ吉野川本流と合流している。いずれの谷もいわゆる山間溪流の様相を呈しており、底は岩盤そのものか、比較的大きな石によって被われている。

桂谷は下流の本流との合流点から83m上流では魚影がなく、滝によってアマゴの溯上はさまたげられているものと思われる。そこで試験区間はこの谷の河口部から滝までとした。川巾は3.6mであるが大部分は1.5～2.0m程度である。深さは最上流区にあるもっとも大きい淵で70cmで、その他の淵では50cmを超えるものはない。したがってエレクトリック・ショッカーで全水面を探索することができた。

口壺谷は合流点から88m上流のところに高さ約15mの大滝があり、魚類の溯上を不可能にしている。試験区間は合流点からこの滝までとした。この谷には、かなり大型の淵があり、特に最上流の滝壺と中間部にある淵は深さ2m以上にも達するため、エレクトリック・ショッカーで完全にカバーすることができなかった。また1mを超える深さの淵がいくつかあり、ショッカーで探索することは可能であるが、恐らく魚体の発見率が悪かったと思われる。なお両谷とも水温は17～18℃であった。

調査の方法

今回の調査対象魚としては優占種であるアマゴ (*Oncorhynchus rhodurus*)を選んだ。その他にかなりの数のタカハヤ (*Moroco jouyi*)、合流点付近では少数のカジカ (*Coitus pollux*)、カワヨシノボリ (*Rhinogobius flumineus*)、ウナギ (*Anguilla japonica*)などを混獲したが、対象からはずした。

使用したエレクトリック・ショッカーは西ドイツのF. Plöger Mess- und Regeltechnik製の200ボルトで、調査は1967年7月27日から4日間続けられ、毎日1回ショッカーで採捕を行った。採捕された魚はヒレ切り法で標識したが、切るヒレの位置は毎日かえて、採捕された日が区別できるようにした。はじめて採捕されたものについては魚体測定(体長・体重)を行い、すべて正確に採捕された場所に放流した。

推定方法

4日間連続して採捕を行い、採捕日ごとに異った標識をほどこしたので、得られた資料をもとにしていろいろな推定法を適用することができる。用いた推定法は下記の通りで、それぞれ推定式及び分散式を示した。いずれもRICKER (1958) から引用した。

- (1) PETERSEN法
M：標識放流された個体数
C：採捕された個体数
R：再捕された標識個体数

$V(\hat{N})$: 推定値のもつ分散

$$\hat{N} = MC/R \quad \dots\dots\dots ①$$

$$V(\hat{N}) = M^2 C(C-R)/R^3 \quad \dots\dots\dots ②$$

なお母集団が非常に大きくて、採捕される標本数が10%以下の場合には式①よりもBAILEY-CHAPMANの修正式⁸⁾の方が良い(RICKER1958)。本調査では採捕率が高いので(後述)式①を適用した。

(2) SCHNABEL法

M_i : 第*i*日の始めにおける全標識個体数

M : $\sum M_i$

C_i : 第*i*日に採捕された個体数

R_i : C_i 中の標識個体数

R : $\sum R_i$

\hat{N} : 調査期間中の個体群総数の推定値

$$\hat{N} = \frac{\sum(C_i M_i)}{\sum R_i} \quad \dots\dots\dots ③$$

$$= \frac{\sum(C_i M_i)}{R}$$

$$V(\hat{N}) = (\sum C_i M_i)^2 / R \quad \dots\dots\dots ④$$

(3) BAILEYの3回捕獲法

\hat{N}_i : 第*i*日目における個体群総数の推定値

C_i : 第*i*日目における採捕個体数

$R_{i,j}$: 第*i*日目に標識された第*j*日目に再捕された標識個体数

$s_{i(i+1)}$: 第*i*日目から第(*i*+1)日目までの残存率

$r_{i(i+1)}$: 第*i*日目から第(*i*+1)日目までの移入率

$$\hat{N}_2 = M_2 C_2 R_{13} / R_{12} R_{23} \quad \dots\dots\dots ⑤$$

$$\hat{s}_{12} = M_2 R_{13} / M_1 R_{23} \quad \dots\dots\dots ⑥$$

$$\hat{r}_{23} = R_{12} C_3 / R_{13} C_2 \quad \dots\dots\dots ⑦$$

$$V(\hat{N}_2) = N_2^2 (1/R_{12} + 1/R_{23} + 1/R_{13} - 1/C) \quad \dots\dots\dots ⑧$$

$$V(\hat{s}_{12}) = \hat{s}_{12}^2 (1/R_{23} + 1/R_{13}) \quad \dots\dots\dots ⑨$$

$$V(\hat{r}_{23}) = \hat{r}_{23}^2 (1/R_{12} + 1/R_{13} - 1/C_2 - 1/C_3) \quad \dots\dots\dots ⑩$$

なお母集団に対して標本が小さい場合は修正式⁹⁾の適用が必要となるが、ここでは前述のようにその必要はない。

(4) LEISLIE-DAVISの継続採集法

この方法は一定の採捕努力に対して、採捕率が常に一定である場合に用いられる。

N_0 : 始めの個体群総数

C_i : 第*i*日(または第*i*回目)に採捕された個体数

K_i : 採捕された個体数の第*i*日目に至るまでの累積 $K_i = \sum_{j=0}^i C_j$

c : 1採捕努力当りの採集率

$$8) \hat{N} = M(C+1)/(R+1)$$

$$V(\hat{N}) = M^2(C+1)(C-R)/(R+1)^2(R+2)$$

$$= \hat{N}^2(C-R)/(C+1)(R+2)$$

$$9) \hat{N}_2 = M_2(C_2+1)R_{13}/(R_{12}+1)(R_{23}+1)$$

$$\hat{s}_{12} = M_2 R_{13} / M_1 (R_{23} + 1)$$

$$\hat{r}_{23} = R_{12}(C_3+1)/C_2(R_{13}+1)$$

$$V(\hat{N}_2) = N_2^2 \frac{M_2^2(C_2+1)(C_2+2)R_{13}(R_{13}-1)}{(R_{12}+1)(R_{12}+2)(R_{23}+1)(R_{23}+2)}$$

$$V(\hat{s}_{12}) = \hat{s}_{12}^2 \frac{M_1^2 P_{13}(R_{13}-1)}{M_1^2 (R_{23}+1)(R_{23}+2)}$$

$$V(\hat{r}_{23}) = \hat{r}_{23}^2 \frac{R_{12}(R_{12}-1)C_3(C_3+2)}{C_2(C_2-1)(R_{13}+1)(R_{13}+2)}$$

f_i : 第*i*日おける採捕努力量

$$C_i/f_i = cN_0 - cK_i \dots\dots\dots(11)$$

今回の場合は毎日同じ努力量と見なすことができるから $f_i = 1$ とおくことができる。

$$C_i = cN_0 - cK_i \dots\dots\dots(12)$$

式(12)で C_i と K_i は 1 次関係であるから K_i を X 軸に、 C_i を Y 軸にとると、グラフに直線がかかる。 $C_i = 0$ のとき (X 軸とこの直線との交点) $K_i = N_0$ となり、 N_0 を求めることができる。

$$\text{直線の勾配 } \hat{b} = \Sigma xy / \Sigma x^2 \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{直線の切片 } \hat{a} = (\Sigma Y - \hat{b} \Sigma X) / n \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{分散 } \{S^2_{yx} = \Sigma y^2 - \hat{b} \Sigma (xy)\} / (n-2) \dots\dots\dots(15)$$

推定値の信頼区間は、下記式の 2 つの根が示す。

$$N^2(b^2 - t_p^2 s^2 c_{22}) - 2N(ba - t_p^2 s^2 c_{12}) + (a^2 - t_p^2 s^2 c_{11}) = 0 \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{但し } c_{11} = \Sigma X^2 / n \Sigma x^2$$

$$c_{12} = \Sigma X / n \Sigma x^2$$

$$c_{22} = 1 / \Sigma x^2$$

$$s = S_{yx}, a = \hat{a}, b = \hat{b}$$

t_p : 自由度 $n-2$ 、確率 p (ここでは 95% を採用) における t の値

n : 採集回数

結果と考察

4 つの方法によって推定した値及びそれらの信頼区間を表 1 にまとめた。表から明らかなように口壺谷の推定値はそれぞれの間大きな違いがあり、信頼区間の巾も極端に広く推定値としては満足できない。一方桂谷の方は推定値が 70~76 の範囲内に入っており、それぞれの推定値の信頼区間も口壺谷と比較して狭く、かなりよい値が得られている。口壺谷の推定値の悪いことは明らかに谷の規模の大きさや、ショッカーで探索できない水域がかなり存在することと関係しているように思われる。

RICKER (1958) は標識法について次の条件が満足されなければ、誤差が導入されることを指摘している。

- (A) 標識魚は無標識魚と同じ自然死亡率をもつこと。
 - (B) 標識魚と無標識魚は共に漁獲に対して同じ条件であること。
 - (C) 標識ははずれないこと。
 - (D) 標識魚は無標識魚とランダムにまざっていること。または漁獲努力の空間分布はそれぞれの部分水域にいる魚の数に比例的であること。
 - (E) 標識は確実に報告されること。
 - (F) 調査期間中は加入、移入、移出が無視できる程度であること。
- また継続採集法については次の 3 条件をあげている。
- (a) 調査期間中個体群の被捕獲率は変化しない。
 - (b) 個体群全体が捕獲対象であること。
 - (c) 自然死亡以上に加入がないこと。

これらの条件のうち (b)、(c) は標識法の場合に内在しているので、同時に検討できる。ここでは (a) について検討する必要がある。

桂谷は規模や構造から見ても死亡個体が存在するならば、必ず発見されるはずであるが、調査期間中死亡個体は 1 尾も発見しなかった。4 日間という短い期間内の調査であることと併せ考えると、(A) については満足していると見てもよいであろう。

Method	Stream	
	Kuchitsubodani	Katsuradani
Petersen	$\hat{N}_1 = 48.8 \pm 40.6$	$\hat{N}_1 = 76.0 \pm 27.4$
	$\hat{N}_2 = 132.0 \pm 168.8$	$\hat{N}_2 = 69.8 \pm 12.6$
	$\hat{N}_3 = 71.5 \pm 42.8$	$\hat{N}_3 = 72.0 \pm 8.4$
Schnabel	$\hat{N} = 88.8$	$\hat{N} = 70.8$
	44.3 — ∞	51.4 — 113.8
Bailey	inapplicable	$\hat{N}_2 = 75.1 \pm 39.0$
Leslie-Davis	$\hat{N}_0 = 61.0$	$\hat{N}_0 = 70.1$
	37.5 — 247.2	56.3 — 100.6

Table 1. Estimates of population size of amago (showing the 95% confidence limits) in two brooks.

標識はヒレ切りで行った上、調査員白からの確認であるから、(C)、(E)も満足している。

本調査では時期から見て加入についてはあり得ないが、本流と直結しているために、移出入について検討しなければならない。BAILEYの3回捕獲法が採用できるとして式⑥、⑦を用いて桂谷の場合を推定すると、残存率は 0.988 ± 0.796 つまり推定移出率は 0.012 となり、その分散を考慮すれば移出があったと考えることはできない。同様に移入に関しても 0.922 ± 0.469 となりこれも考慮する根拠はない。したがって、調査期間の短かさや、“なわばり”をもって定住する習性をもつアマゴを対象としていることから、そう大きくとり上げる必要はない。なお壱谷については計算不能のため情報は得られなかった。

採捕した魚は標識後正確にもとの場所に放流した。したがって採捕がランダムに行われたならば、標識魚は無標識魚とランダムにまざっていることになる。本調査の場合は(D)は(B)の中に内在される。

結局誤差をもたらすと考えられる要素の中で検討すべきものは(B)と(a)ということになる。この研究ではエレクトリック・ショッカーを用いたので、その特殊性を併せ考える必要がある。

TAYLOR *et al.* (1957) による電気刺激の強さは魚体の長さに関係しており、体長が大きい程刺激の強さは高まる。またLIBOSVÁRSKÝ (1966) によると刺激を受けた魚の発見率は体長によって異なり、小さい個体は見逃す率が高いことを経験している。イワナやアマゴのような溪流魚種を対象とした場合はその他にも要因がある。これらの魚種はかならずかくれ場所をもっているが、かくれ場所の大きさは魚体の大きさに関係している。大きい魚は大きいかくれ場所をもっており、大きいかくれ場所は採集者に発見され易く、またショッカーの挿入が容易なので、結果として刺激を受ける機会をより多くもつことになる。

LIBOSVÁRSKÝ (1967) は繰返しショッカーが用いられた場合、前の刺激経験が採集率に影響することを見出している。彼の資料によると前経験のある個体は未経験個体よりも採捕率が低くなっている。もっとも彼は同じ日に3回繰返し方法をとっているため、毎日1回行う筆者らの方法とは異なるが、考慮すべきであろう。

これらエレクトリック・ショッカーのもつ特殊性はいずれも条件(B)に関しており、具体的には標識魚と無標識魚が同じ確率で採捕されることをさまたげ、また異なった大きさの魚が同じ確率で採捕されることをさまたげる働きのあることにつながっている。

まず果して各個体が同じ確率で採捕されているかどうかを検討して見る。 i 日目の採捕率を C_i 、調査期間中の総個体数を N とすると $p_i = C_i/N$ となる。したがって4日間連続して採捕される確率は $p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 / N^4$ となる。第 i 日目に採捕されない確率は $(1 - p_i)$ であるから、全く採捕されない確率は $(1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3)(1 - p_4)$ となる。このようにして、4日間の採捕のされ方の組合せは16通りあり、それぞれの確率を計算することができる。 C_i はそれぞれの調査日の採捕数であるから既知であるが、 N は推定値しかない。そこで桂谷の第4日目の資料に基づきPETERSEN法の推定値 \hat{N}_3 を用いて、それぞれの確率を計算すると表2の第3欄ようになる。なお第2欄にはそれぞれの採捕のされ方をした観測数を示した。各組合せの確率 P に \hat{N} を乗算したものは採捕数の理論値にあたる(第4欄)。そこで観測値の理論値からのずれを見るために χ^2 の値を求めると、第5欄の最下段にあるように14.064となりこの値は自由度 $16 - 2 = 14$ で非有意である。つまり観測値は理論値から有意なずれをもっておらず、採捕されるについてそれぞれの個体は異なった確率をもっていたとすることができない。しかしここで注目すべきことは、連日採捕された個体数の理論値からのずれの評価がもっとも大きいことである。

さて、もともと \hat{N} は推定値であり、95%レベルの信頼区間は下限が64、上限が80である。下限に関しては1度以上採捕された個体数は65であるから、これを N_{min} とし、上限は80を N_{max} として \hat{N} と同様に処理した(表2・第6欄以降)。 N_{min} を用いる場合は $\chi^2 = 19.824$ となり、非有意となったが、 N_{max} の場合は $\chi^2 = 23.99$ となり5%点の χ^2 の値23.68より僅かに大きく有意差を認めなければならない。しかし N_{max} という値をとる可能性はもともと大変低いので、このような χ^2 検定の結果は重視する必要がないかもしれない。再びこの場合も連日採捕された個体数は理論数より大きく離れている。

以上の結果を総合すると、全体として評価した場合、推定値は信頼できるものである。つまりRICKERの提唱する条件(B)も満足しているということである。しかし個々に見ると連日採捕される特定個体が存在する可能性のあることも同時に示唆している。

採捕される可能性を検討するには個体識別した資料を必要とするが、本調査では個体識別をしなかったので不可能である。そこで間接的な検討を行って見た。表3に毎日新しく採捕された個体の体長の平均値を示した。分

Table 2. Comparison of observed number of 16 different captured-non-captured categories to theoretical ones. P_1 : probability of capture on the i th day. $(1-P_1)$: probability of escapement on the i th day. P : probability of capture in each category. C : number of captured fish in each category. E : expected number of captured fish in each category.

Category	$\hat{N}=72$				$N_{m,n}=65$				$N_{m,x}=80$			
	C	P	E	$(C-E)^2/E$	C	P	E	$(C-E)^2/E$	C	P	E	$(C-E)^2/E$
$P_1 P_2 P_3 P_4$	8	.0492	3.54	5.619	8	.0741	4.82	2.098	8	.0323	2.59	11.300
$P_1 P_2 P_3 (1-P_4)$	2	.0649	4.67	1.527	2	.0813	5.28	2.038	2	.0510	4.08	1.060
$P_1 P_2 (1-P_3) P_4$	3	.0582	4.19	.338	3	.0718	4.67	.597	3	.0460	3.68	.126
$P_1 (1-P_2) P_3 P_4$	2	.0440	3.17	.432	2	.0526	3.42	.590	2	.0358	2.86	.259
$(1-P_1) P_2 P_3 P_4$	5	.0550	3.96	.273	5	.0676	4.39	.085	5	.0438	3.50	.643
$P_1 P_2 (1-P_3)(1-P_4)$	4	.0769	5.54	.428	4	.0787	5.12	.245	4	.0725	5.80	.559
$P_1 (1-P_2) P_3 (1-P_4)$	4	.0580	4.18	.008	4	.0577	3.75	.017	4	.0564	4.51	.058
$(1-P_1) P_2 P_3 (1-P_4)$	5	.0727	5.23	.010	5	.0741	4.82	.007	5	.0690	5.52	.049
$P_1 (1-P_2)(1-P_3) P_4$	6	.0520	3.74	1.366	6	.0509	3.31	2.186	6	.0508	4.06	.927
$(1-P_1) P_2 (1-P_3) P_4$	3	.0651	4.69	.609	3	.0655	4.26	.373	3	.0622	4.98	.787
$(1-P_1)(1-P_2) P_3 P_4$	1	.0492	3.54	1.822	1	.0480	3.12	1.441	1	.0483	3.86	2.119
$P_1 (1-P_2)(1-P_3)(1-P_4)$	5	.0687	4.95	.001	5	.0558	3.63	.517	5	.0801	6.41	.310
$(1-P_1) P_2 (1-P_3)(1-P_4)$	8	.0860	6.19	.529	8	.0718	4.67	2.374	8	.0981	7.85	.003
$(1-P_1)(1-P_2) P_3 (1-P_4)$	6	.0649	4.67	.379	6	.0526	3.42	1.946	6	.0763	6.10	.002
$(1-P_1)(1-P_2)(1-P_3) P_4$	3	.0582	4.19	.338	3	.0465	3.02	.000	3	.0688	5.50	1.136
$(1-P_1)(1-P_2)(1-P_3)(1-P_4)$	7	.0769	5.54	.385	0	.0509	3.31	3.310	15	.1084	8.67	4.651
Total	72	1.0000	72.00	14.064	65	1.0000	65.00	19.824	80	1.0000	80.00	23.990*

* Significant at the 95% level

Table 3. Mean body length of newly captured fish.

	July 27	July 28	July 29	July 30
Number of fish newly caught	34	19	7	6
Mean body length	10.66 cm	9.93 cm	8.94 cm	7.58 cm
Confidence limit of the mean	6.88 — 14.44	8.39 — 11.47	6.48 — 11.40	4.95 — 10.21
F-test	F _{.10} < F = 2.211 < F _{.05} (d.f. = 3, 63)			

散分析してみると、表に示したように5%レベルと10%レベルの間のF値をとり非有意であるが、明らかに平均体長は次々と小さくなっている。つまり小さい個体程採捕率が低い傾向にあることを物語っている。この結果は言いかえれば大きい個体程採捕され易いという、TAYLOR *et al* (1957) や LIBOSVÁRSKÝ (1966) の結果と一致することになる。恐らく4日間連続して採捕された個体は大型魚が多かったに違いない。

ついで電気刺激経験の採捕率に対する影響を検討してみる。表4に桂谷について調査期間中に1回以上採捕された経験のある個体、採捕の経験のない個体、前日に採捕された個体、前日に採捕されなかった個体のそれぞれの採捕率を示した。採捕率はかなり異なった値をとっているが、採捕され方による区分よりも調査日間の違いの方が明白である。統計処理では有意の差は認められない。表の最下段に示した合計から見ても、採捕の経験は採捕率に影響がないとした方がよい。採捕経験の有無がかならずしも電気刺激経験の有無に直結しないが、今回の調査方法ではLIBOSVÁRSKÝ (1967) の指摘するような誤差の導入はないと判断してもよいであろう。

Table 4. Comparison of rates of capture among fish having experience of capture, having no experience, captured the previous day and estimated escapees of the previous day.

Date	Having experience of capture	No experience	Captured on the previous day	Estimated escapees of the previous day
July 28. Number of fish	34	38	34	38
Captured	17	21	17	21
Rate of capture	.500	.553	.500	.553
July 29. Number of fish	55	17	38	34
Captured	26	7	20	13
Rate of capture	.473	.412	.526	.382
July 30. Number of fish	62	10	33	39
Captured	29	3	14	17
Rate of capture	.468	.300	.424	.436
Total Number of fish	151	65	105	111
Captured	72	31	51	51
Rate of capture	.477	.477	.486	.459

最後に継続採集法における残る問題点(a)についてふれてみよう。推定に際しては毎日の努力量が一定であると仮定して計算したが、桂谷についてPETERSEN法による $\hat{N}=72$ を用いて採捕率を計算してみると、.472、.528、.458、.431と日によって異なっているので、努力量一定という仮定を置くことは無理のようである。採捕数は努力量に1次比例するものとする、努力量 $f_i = \alpha C_i$ となる(但し α は定数)。第1日目の努力量を $f_1 = 1$ とすると、 $\alpha = 1/C_1 = .0294$ 、したがって $f_i = .0294 C_i$ となる。この関係式を用いて4日間の努力量を評価すると、 $f_2 = 1.117$ 、 $f_3 = .970$ 、 $f_4 = .941$ ということになる。これらの f_i 値を用いて式①で計算すると $\hat{N} = 67.6$ となり、その信頼区間は57.3~85.6と狭くなって来る。図1にそのまま式②を用いて計算した回帰直線と、努力量を加えて式③で計算したものを併記した。図から明らかなように回帰直線のもつ分散は後者の方が小さい。しかしその

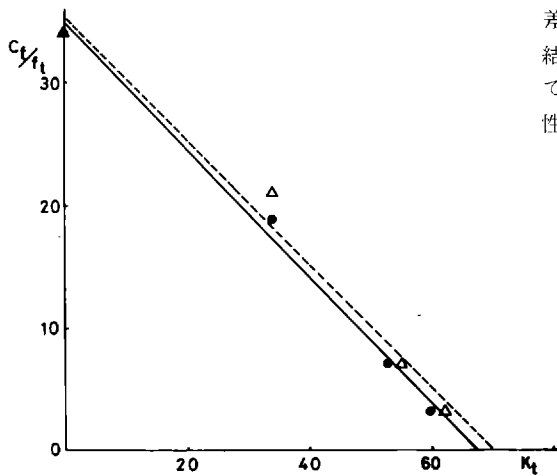


Fig. 1. Leslie graph of salmon catches. The dotted line indicates the original fit (triangles). Whereas the solid line shows the fit after adjustment according to collecting effort (circles).

差は顕著でなく、共分散分析しても有意差はない。この結果は今回の努力量が割合平均化していたことを物語っているが、僅かな不注意から大きな誤差を導入する可能性のあることを忘れてはならない。

ま と め

溪流性魚類の個体数推定にエレクトリック・ショッカーは大変有効である。但しショッカーで探索できる程度が不正確さと関係しており、調査水域全面を探索できることが望ましい。

エレクトリック・ショッカーを用いて標識法で推定する際、導入される誤差について、特に魚体の大きさによる採捕率の違いと電気刺激の経験による採捕率の違いについて検討した。魚体の大きさについては統計学的には非有意であるが、大きい程採捕率が高い傾向のあることを示唆する資料を得た。その理由として、大きい個体程電気刺激をより強く受けること、大きい個体程かくれ場を探索される機会を多くもつこと、電気刺激を受けた個体の発見率がより高いことなどが考えられる。

電気刺激の前経験は特に採捕率に影響を与えなかった。

大きさによる採捕率は多少異なるかもしれないが、全体としては大きな誤差として導入されることはない。継続採集法についても努力量を一定にするよう注意し、全面探索するならば、かなり有効である。

引 用 文 献

- Libosvářský, J., 1966: Successive removals with electrical fishing gear —— a suitable method for making populations estimates in small streams. Verh. Internat. Verein. Limnol. 16, 1212-1216.
- , 1967: The effect of fish irritation by electrofishing on the population estimate. Ekologia Polska Ser. A, 15 (4), 91-105.
- Ricker, W. E., 1958: Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd. Can. No. 119, 300p.
- Taylor, G. N., L. S. Cole, and W. F. Sigler. 1957: Galvanotaxic response of fish to pulsating direct current. J. Wildl. Mgmt., 21 (2), 201-213.