

2797  
1

サケ・マス流網の採集効率の推定

An estimation for sampling efficiencies  
of salmon gillnets.

石 田 行 正

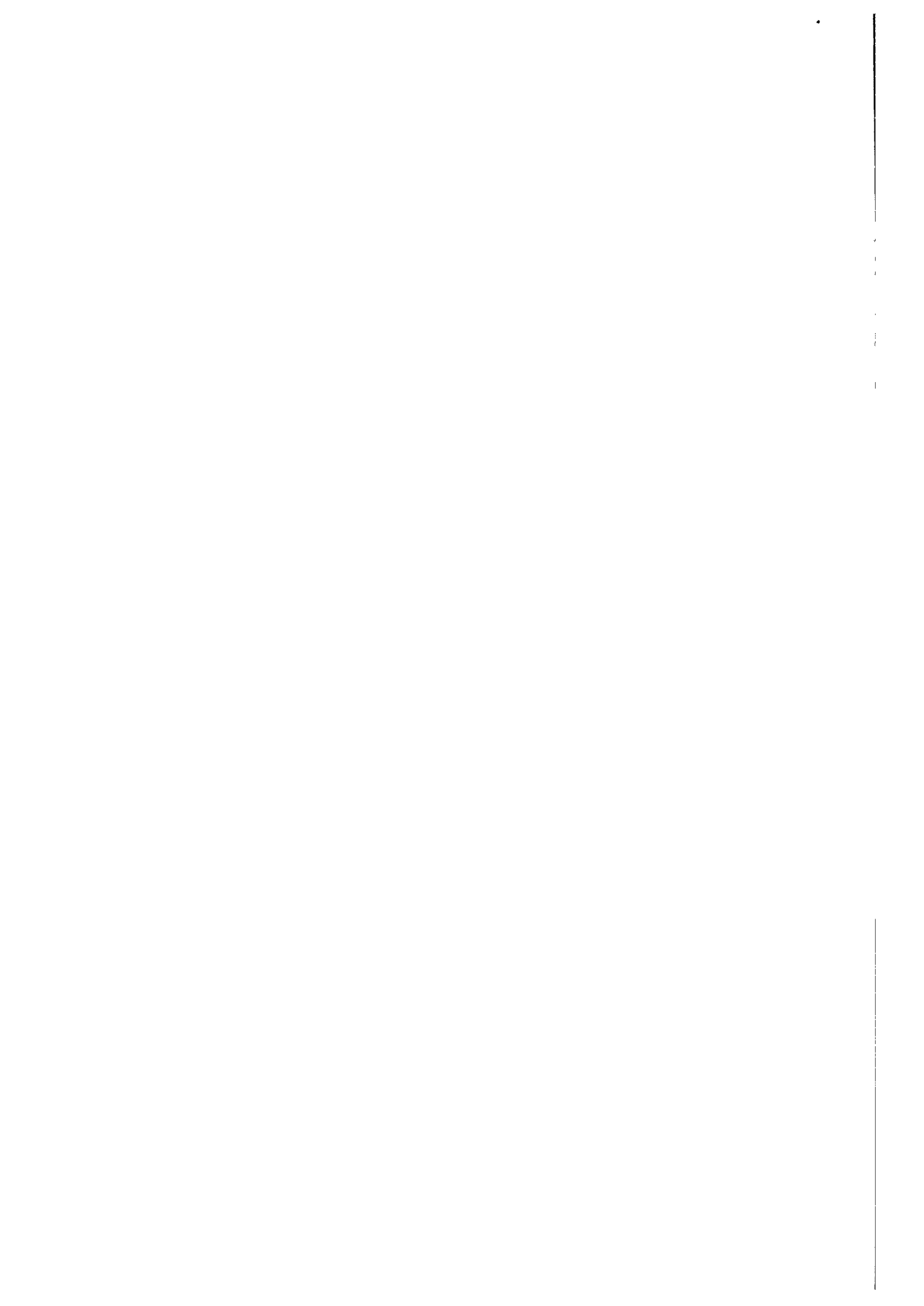
Yukimasa Ishida

1984年 9月

September, 1984

水 産 庁

Fisheries Agency of Japan



# サケ・マス流網の採集効率の推定

## An estimation for sampling efficiencies of salmon gillnets

遠洋水産研究所 石田 行正

### はじめに

サケ・マス調査船によって得られる流網のCPUEから、沖合におけるサケ・マス資源量を推定するためには、流網の採集効率を推定する必要がある。トロール網のような能動的漁具の採集効率は、いくつかの方法により推定されているが、流網のような受動的漁具の採集効率に関する知見は乏しい。

本研究の目的は、平行に投網した2セットの流網間の漁獲の相互作用より、流網の採集効率を推定することである。

### モデル

平行に投網した流網の漁獲モデルをFig.1に示した。移動方向は流網に直交であると仮定されている。流網の漁獲作用が及ぶ範囲は、流網の長さ $L$ とサケ・マスの移動速度 $V$ および操業時間（投網から揚網までの時間） $t$ によって規定される。網別、羅網方向別漁獲尾数は式(1)–(4)で示される。

$$A_1 = L \cdot V_1 \cdot t \cdot D \cdot p \cdot k \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$B_1 = L \cdot d \cdot D \cdot p \cdot k + L \cdot (V_1 \cdot t - d) \cdot D \cdot p \cdot (1 - k) \cdot k \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$B_2 = L \cdot V_2 \cdot t \cdot D \cdot (1 - p) \cdot k \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$A_2 = L \cdot d \cdot D \cdot (1 - p) \cdot k + L \cdot (V_2 \cdot t - d) \cdot D \cdot (1 - p) \cdot (1 - k) \cdot k \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、

$A_1$  : 流網Aの羅網方向1の漁獲尾数

$A_2$  : 流網Aの羅網方向2の漁獲尾数

$B_1$  : 流網Bの羅網方向1の漁獲尾数

$B_2$  : 流網Bの羅網方向2の漁獲尾数

$L$  : 流網の長さ ( $km$ )

$t$  : 操業時間 ( $h$ )

$d$  : A、B流網間の距離 ( $km$ )

$V$  : サケ・マスの移動速度 ( $km/h$ )

---

この文書は無断引用を禁ずる。

$V_0$  : 流網の漂流速度 ( $km/h$ )

$$V1 = V + V_0$$

$$V2 = V - V_0$$

$p$  : 方向1に移動する魚の割合

$1-p$  : 方向2に移動する魚の割合

$D$  : 魚の密度 (尾数/ $km^3$ )

$k$  : 流網の効率

(2)/(1)より

$$k = V1 \cdot t \cdot (1-B1/A1) / (V1 \cdot t - d) \quad \dots\dots\dots(5)$$

(4)/(3)より

$$k = V2 \cdot t \cdot (1-A2/B2) / (V2 \cdot t - d) \quad \dots\dots\dots(6)$$

(3)/(1)より

$$p = A1 \cdot V2 / (B2 \cdot V1 + A1 \cdot V2) \quad \dots\dots\dots(7)$$

(1)より

$$D = A1 / (k \cdot L \cdot V1 \cdot t \cdot p) \quad \dots\dots\dots(8)$$

(3)より

$$D = B2 / (k \cdot L \cdot V2 \cdot t \cdot (1-p)) \quad \dots\dots\dots(9)$$

これより、流網の採集効率 $k$ は、

$$k = (A1+B2) / (D \cdot L \cdot (V1+V2) \cdot t) \quad \dots\dots\dots(10)$$

で推定される。

## 調査方法

1984年7月にベーリング海で若竹丸および北鳳丸により下記の共同調査を実施した。共同調査定点は定点1~14である (Fig. 2)。14点全点で平行投網調査を、また定点10及び13で円形投網調査を実施した。

平行投網調査では、目合124mm網10反、10種目合調査網各3反計30反、121mm網100反、さらに124mm網10反を連結した合計150反 (7.5km)の網、2セットを用いた。投網・揚網は2隻とも同時に開始し、操業時間は日本時で15時から翌日の2~3時までの約12時間とした。投網方向は定点1~9では南北方向、それ以後は円形投網調査で明らかになった主移動方向に直交するように、北東-南西方向に投網した。ただし、定点13では荒天のため北西-南東に投網した。円形投網調査では上記150反の流網2セットを調査網のある側が両端になるように連結し、300反の網を1セットとして用いた。両調査

とも揚網時に前部甲板より 121 mm 網 100 反について羅網状況を観察し、魚種別、羅網方向別尾数を記録した。また、漁獲尾数は 5 反毎に魚種別に記録した。船の航跡より投網時および揚網時の網なりを求め、網の長さ、移動方向および速度を推定した。

式(1)~(4)を解いて  $k$  を求めるためには、移動速度  $V$  を独立に推定する必要がある。そこでサケ・マスの移動速度を放流再捕のデータから求めた。用いた資料は、1956~1982年放流再捕例の中で、7月にベーリング海中央、 $175^{\circ}E$  以東~ $175^{\circ}W$  以西かつ  $54^{\circ}N$  以北~ $60^{\circ}N$  以南の海域で放流され、200日以内に再捕されたシロザケ 52 例である。これらの放流再捕間の直線距離および日数より移動速度を求めた。

なお、以下の平行投網調査結果の分析は漁獲尾数の大半を占めたシロザケについてのみ実施されている。

## 結 果

### 羅網方向別漁獲尾数：

投網方向を考慮すると、定点 1~9 の A1, B1 は西進群、B2, A2 は東進群、定点 10~14 の A1, B1 は北上群、B2, A2 は南下群を示すと考えられる。これらの結果より、ある方向に移動するシロザケは第 1 の網で漁獲された後、再び第 2 の網で漁獲され、その漁獲尾数は減少傾向を示すことが認められた。(Fig. 3)

### 移動速度：

52 例の放流再捕より、7月のベーリング海におけるシロザケの移動速度は最大  $132.1 \text{ Km/day}$ 、最小  $9.8 \text{ Km/day}$ 、平均  $36.6 \text{ Km/day}$  ( $1.53 \text{ Km/h}$ ) であった (Fig. 4)。

### 採集効率 (Table 1, 2)：

採集効率推定に用いたデータを Table 1. に示した。121 mm 流網 100 反は約 5 km に相当するが、網なりにより、その実質長  $L$  は 5 km 以下となっている。流網の漂流速度  $V_0$  は投網方向に直交する成分ベクトルに補正したものである。また、漂流方向により、定点 3, 10, 11, 13 および 14 では  $V1=V-V_0$ 、 $V2=V+V_0$  となっている。なお、定点 3 の資料は主移動方向を 1 として整理されている。

流網の効率  $k$ 、移動方向の割合  $p$ 、魚の密度  $D$ 、反当り尾数 CPUE、採集効率  $K$  の推定値を Table 2. に示した。 $k'$  および  $D'$  は式(6)および(9)で求めた  $k'$ 、 $D$  を示している。 $K'$  は  $D$ 、 $D'$  の平均値を新たな  $D$  として式(10)より求めた。これらの結果より、7月にベーリング海において 121mm 目合の流網に漁獲されるサイズのシロザケで、流網に遭遇する個体の 41.6~45.3% が実際に漁獲されると推定される。また、流網の漁獲作用のおよぶ範囲内に生息する上記サイズのシロザケは、その約 20% が漁獲されていると推定される。

## 考 察

流網の採集効率推定の際に用いたいくつかの仮定について検討する。

#### 移動方向：

流網の投網方向に対してサケマスの移動方向は直交すると仮定した。この仮定が十分に満たされていない場合、第1の網による漁獲の影響を受けていない魚群が第2の網に漁獲されることになり、 $k$ の値が過少評価されると考えられる。南北方向に投網した定点1～9での $k$ の平均値が0.351であるのに対し、移動方向を考慮した定点10, 11, 12および14での平均値が0.618と高いのは、このためであろう。

#### 操業時間：

このモデルでは投網から揚網までの $t$ 時間中、魚はつねに移動し、羅網すると仮定している。しかし流網での漁獲には日周変化のあることが認められている(三島ほか1969)。サケ・マス流網への羅網が $t$ 時間中のある一定時間のみ有効であるとすれば、式(10)より推定される採集効率 $\mu$ は過少推定値となる。

#### 移動速度：

シロザケの移動速度 $V$ を放流再捕データより求めた。実験的に求められたサケ・マス類の遊泳速度は $4BL/S$ (体長50cm台で約7.2Km/h)である(Blaxter, 1969)。野外でバイオテレメトリーで求めたシロザケの遊泳速度は、昼間1.8 FL/S、夜間1.9 FL/S、日没30分後3.5 FL/S、最高速度7.4 FL/Sであった(市原ほか, 1975)。これらは $FL=55cm$ とすると、各々3.6、3.8、6.9および14.7Km/hに相当する。また、定置網近くのシロザケ魚群の移動をスキヤニングソナーにより追跡し、1.8～3.6 Km/hの値が得られている(田原ほか, 1983)。これらの遊泳速度は今回用いた移動速度1.53 Km/hより大きな値を示している。移動速度が過少に推定されている場合、採集効率は過大推定値となる。しかし、シロザケは複雑な軌跡で遊泳しながら、巨視的には一定方向に移動している(市原ほか, 1975)。流網の採集効率を推定する場合、このような巨視的な移動速度を用いることは妥当であると考えられる。この点を検討するためにも、他のパラメタ、例えば $k$ を独立に推定し、 $V$ を未知数として推定することが、今後必要であろう。

#### 謝 辞

本研究を計画するにあたり、有益な助言を与えられた遠洋水産研究所池田郁夫博士、川原重幸氏、嶋津靖彦氏に対し厚く御礼申し上げます。また、ベリング海での調査では若竹丸船長服部保次郎氏、北鳳丸船長畑沢満氏はじめ乗組員の方々に多大な協力をいただいた、厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

Blaxter, J.H.S. (1969). Swimming Speeds of fish. FAO Fish. Rep., (62), 2, : 69 - 100 .

市原忠義・米盛保・浅井久男 (1975) . 南千島, エトロフ島沖合における南下回遊期のシロザケ(アキアジ)の遊泳行動。 遠洋水研報, (13) : 63 - 77.

田原陽三・井上喜洋 (1983) . 定置網と魚群の行動。さかな, No. 31 : 57 - 65.

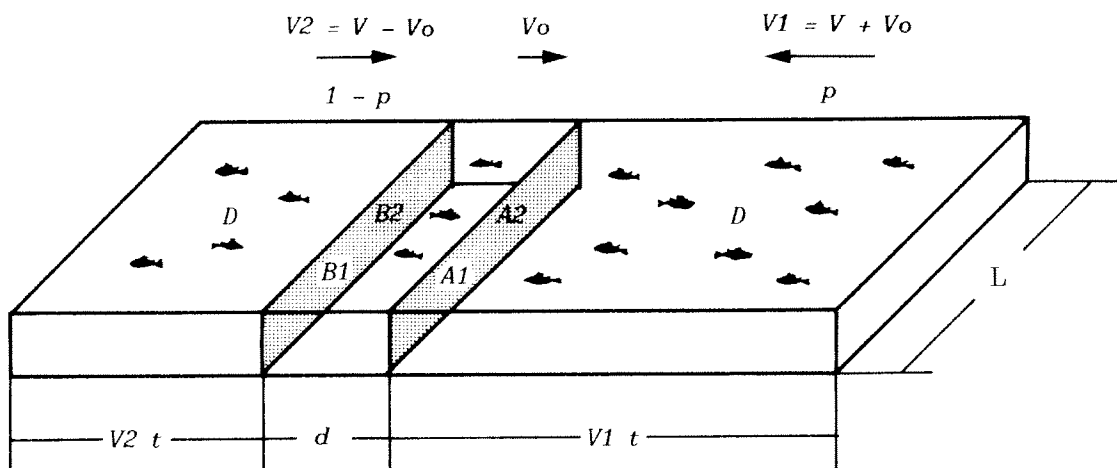


Fig. 1. Schematic presentation of parallel gillnet operation.

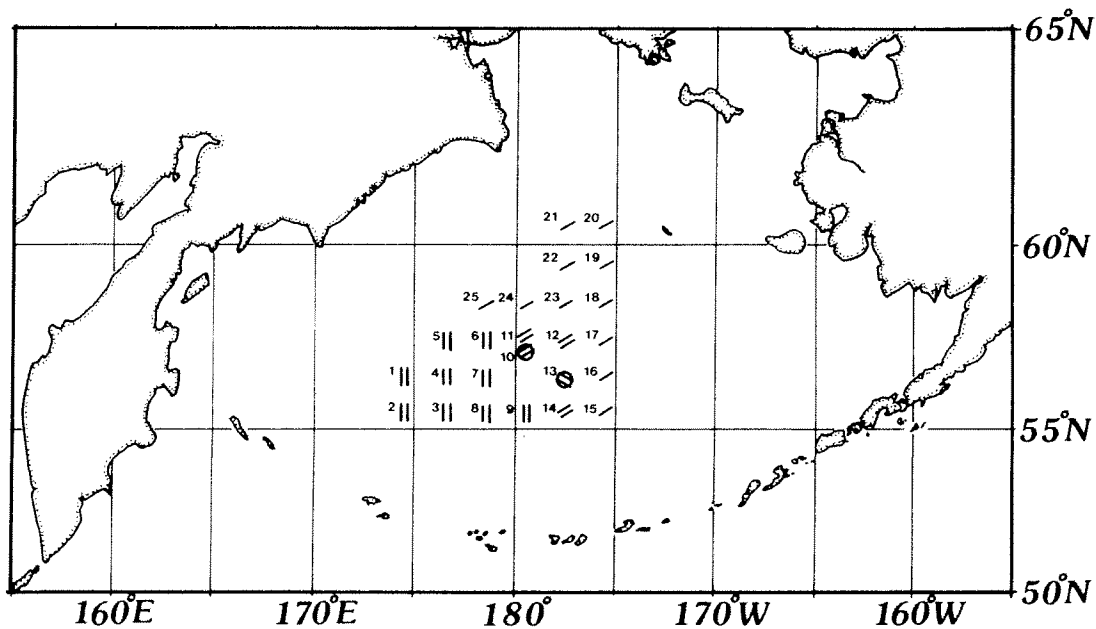


Fig. 2. Operation positions by Wakatake-maru and Hokuho-maru in July, 1984.

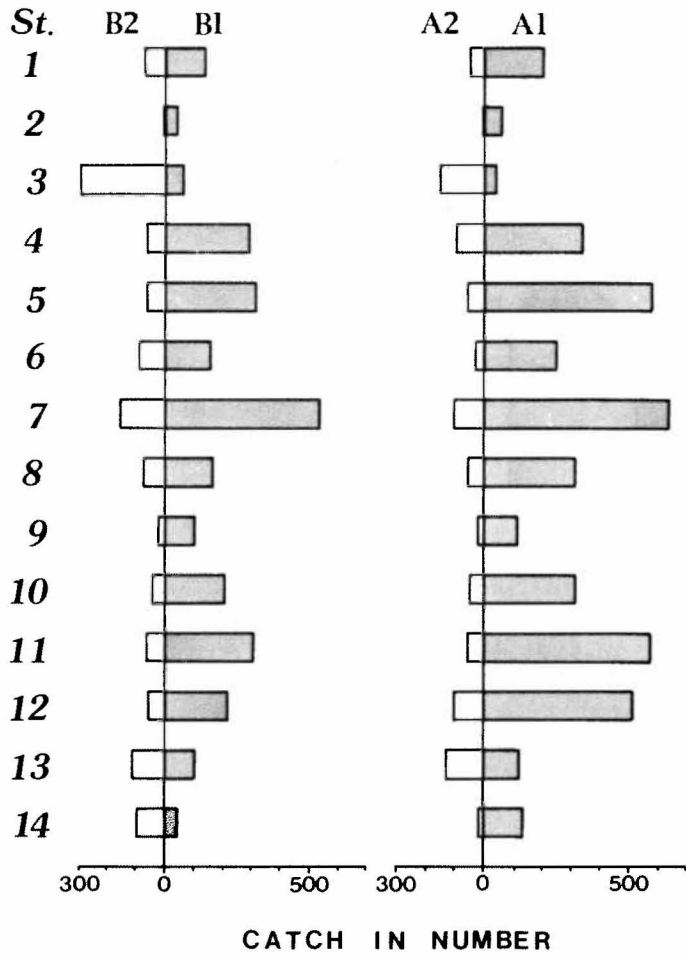


Fig. 3. Catch in number of chum salmon by parallel gillnet operation.

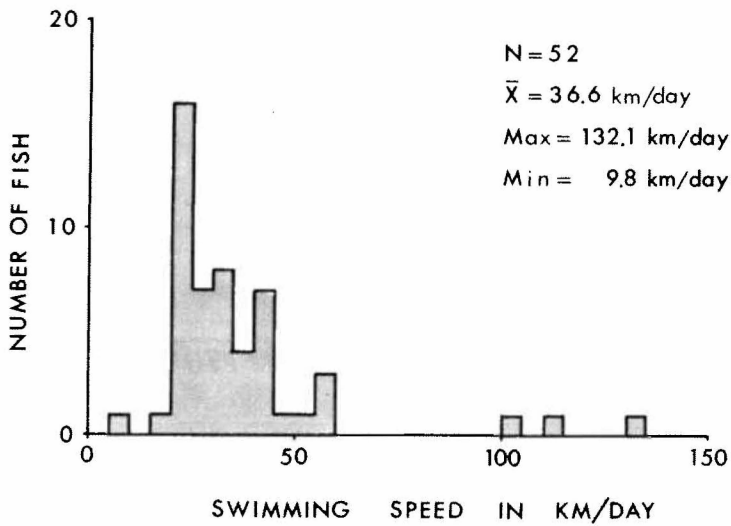


Fig. 4. Swimming speed estimated by tagging experiment in the Bering Sea of July.



Table 1. Input data for calculating sampling efficiency salmon gillnet.

St.	A1	B1	B2	A2	L	d	t	Vo	V1	V2
1	207	140	71	46	3.79	2.11	11.73	0.49	2.02	1.04
2	63	43	8	2	4.82	2.22	12.38	0.33	1.86	1.20
3	<b>293</b>	<b>151</b>	<b>42</b>	<b>65</b>	4.24	2.07	12.22	0.19	1.34	1.72
4	340	291	56	86	4.43	2.48	12.50	0.16	1.69	1.37
5	580	316	66	59	4.48	2.32	12.65	0.16	1.69	1.37
6	250	158	91	30	4.52	2.15	12.32	0.09	1.62	1.44
7	638	536	157	107	4.57	2.09	12.48	0.22	1.75	1.31
8	313	167	75	56	4.95	2.17	12.07	0.36	1.89	1.17
9	117	104	23	20	4.38	2.20	12.88	0.30	1.83	1.23
10	314	207	46	52	4.34	2.30	10.77	0.21	1.32	1.74
11	574	308	67	57	4.90	2.28	11.23	0.61	0.92	2.14
12	511	218	61	105	4.94	2.30	11.55	0.10	1.43	1.63
13	121	103	113	131	5.00	2.15	11.07	0.55	0.98	2.08
14	137	46	98	18	4.87	2.22	11.70	0.43	1.10	1.96

Table 2. Sampling efficiencies of salmon gillnet estimated by parallel operations.

St.	k	k'	p	D	D'	CPUE	$\mathcal{K}$	$\mathcal{K}'$
1	0.355	0.426	0.600	10.8	9.0	2.78	0.189	0.201
2	0.351	0.882	0.836	1.9	0.8	0.71	0.205	0.265
3	0.555	-	0.900	8.4	-	3.35	0.252	-
4	0.163	-	0.807	27.6	-	4.06	0.087	-
5	0.511	0.122	0.877	13.5	56.6	6.46	0.276	0.114
6	0.412	0.763	0.709	9.5	5.1	3.41	0.211	0.269
7	0.177	0.365	0.753	48.0	23.3	7.95	0.095	0.122
8	0.515	0.299	0.721	7.5	12.9	3.88	0.283	0.222
9	0.123	0.151	0.774	11.9	9.7	1.40	0.068	0.074
10	0.407	-	0.900	13.9	-	3.60	0.181	-
11	0.595	0.165	0.952	20.0	71.8	6.41	0.190	0.068
12	0.666	-	0.905	10.4	-	5.72	0.315	-
13	0.186	-	0.694	17.3	-	2.34	0.080	-
14	0.803	0.904	0.714	3.8	3.4	2.35	0.355	0.380
Mean	0.416	0.453	0.796	14.6	21.4	3.89	0.199	0.191



Not to be cited without written  
permission of issuing agency

---

INPFC  
Doc. 2797  
Rev. 1

Not to be cited by INPFC  
Document number

TRANSLATION

AN ESTIMATION OF SAMPLING EFFICIENCIES OF SALMON GILLNETS

Yukimasa Ishida

Fisheries Agency of Japan

1984 September

## Introduction

Estimation of sampling efficiency of gillnets is indispensable in order to estimate stock size of salmon in offshore areas by using CPUE data obtained from operations of the salmon research vessels.

Sampling efficiencies of active fishing gears such as trawl nets have been estimated with some methodology but information on the efficiency of passive gears such as gillnets is poor.

The objective of this research was to estimate the sampling efficiency of the driftnets by setting in parallel two gillnets and examining the interaction of each on catch.

## Model

An illustration of the parallel gillnet operation is shown in Fig. 1. The swimming direction of salmon was assumed to be at right angles to the gillnets. The effectiveness of the gillnet is determined by the length of the gillnets ( $L$ ), swimming speed of salmon ( $V$ ) and soaking time (time between setting and retrieval : $t$ ). The numbers of fish caught by each net and side of entanglement are expressed as follows--

$$A1 = L.V1.t.D.P.k \quad (1)$$

$$B1 = L.d.D.P.k + L(V1.t-d).D.P.(1-k).k \quad (2)$$

$$B2 = L.V2.t.D.(1-P).k \quad (3)$$

$$A2 = L.d.D.(1-P).k + L(V2.t-d).D.(1-P).(1-k).k \quad (4)$$

where

A1: numbers caught on side 1 of gillnet A

A2: numbers caught on side 2 of gillnet A

B1: numbers caught on side 1 of gillnet B

B2: numbers caught on side 2 of gillnet B

L : length of the gillnets (km)

t : soaking time (hours)  
 d : distance between nets A and B (km)  
 V : swimming speed of salmon (km/h)  
 Vo: drifting speed of the gillnets (km/h)  
 V1: V + Vo  
 V2: V - Vo  
 P : Ratio of salmon swimming in direction 1  
 1-P: Ratio of salmon swimming in direction 2  
 D : Density of salmon (number/km<sup>2</sup>)  
 k : Efficiency of the gillnet

By (2)/(1)

$$k = V1.t.(1-B1/A1)/(V1.t-d) \quad (5)$$

By (4)/(3)

$$k = V2.t.(1-A2/B2)/(V2.t-d) \quad (6)$$

By (3)/(1)

$$P = A1.V2/(B2.V1+A1.V2) \quad (7)$$

From (1)

$$D = A1/(k.L.V1.t.P) \quad (8)$$

From (3)

$$D = B2/(k.L.V2.t.(1-P)) \quad (9)$$

From the above, the sampling efficiency of the gillnet "κ" is estimated using the expression

$$\kappa = (A1+B2)/(D.L.(V1+V2).t) \quad (10)$$

### Survey methods

A joint survey by two research vessels Wakatake maru and Hokuho maru was conducted in July 1984. Joint operations were made at 14 stations (Stations 1 to 14 in Fig. 2). Parallel sets of two gillnets were made at all stations and circle sets were made at Stations 10 and 13.

In the parallel operations each net was 150 tans (7.5 km) in length, i.e. 10 tans of 124 mm mesh, 30 tans of research gillnet with 10 different mesh sizes (3 tans for each mesh size), 100 tans of 121 mm mesh net and 10 tans of 124 mm mesh net.

The two research vessels set the nets and retrieved them at the same time. Nets were in operation from 1500 hours to 0200 or 0300 hours, Japan Standard Time, i.e. about 12 hours. Direction of setting was initially north-south from Stations 1 to 9 then changed to northeast-southwest so that the nets were at right angles to the swimming direction of salmon which had been determined by the circle set operations. At Station 13, the nets were set in a northwest-southeast direction because of rough weather.

In the circle setting operations, a set of 300 tans was made by connecting two of the 150 tans gillnets so that parts of the research gillnet (10 different mesh sizes) were at each end.

In both types of operations, the state of entanglement was observed for the 100 tans of 121 mm mesh net from the foredeck of the vessels at time of retrieval and number of fish caught by species and by side of net were recorded. The number of fish caught was also recorded by species for each 5 tans.

The shape of the gillnets at time of setting and retrieval was obtained from the track chart for the vessels and, by using this, length of the gillnets and their moving direction and speed were estimated.

The moving speed of the salmon ( $V$ ) must be estimated independently in order to obtain  $k$  from Expressions (1) to (4). Therefore, the swimming speed was calculated from release-recovery data. Recovery data for 52 chum salmon which were released in July during 1956 to 1982 in the central Bering Sea in areas between  $175^{\circ}\text{E}$  and  $175^{\circ}\text{W}$  and

54°N and 60°N and recovered within 200 days were used. The swimming speed was calculated from linear distance between the points of release and recovery and the days travelled.

We should note here that the following analyses were made only for chums which constituted the greatest portion of the catch.

## Results

### Numbers caught and side of entanglement (Fig. 3)

Taking net setting direction into account, A1 and B1 of Stations 1 to 9 were considered to be chums swimming towards the west and A2 and B2 those swimming eastward. Those taken as A1 and B1 of Stations 10 to 14 were chums moving northward and those taken as A2 and B2 were moving southward. These results suggested that salmon moving in certain directions were caught in the first encountered gillnets and the remainder by the second gillnet and thus the number decreased from the first to the second net.

### Swimming speed (Fig. 4)

The swimming speed of chums in the Bering Sea in July was estimated to be a maximum of 132.1 km/day and a minimum of 9.8 km/day with an average of 36.6 km/day (1.53 km/h) based on recovery data for the 52 fish.

### Sampling efficiency (Tables 1 and 2)

Table 1 shows data used for estimation of the sampling efficiency. Although the total length of 100 tons of 121 mm mesh net is about 5 km, the actual length (L) is less than 5 km because the state of the gillnet reduces the length. The drifting speed of the gillnets ( $V_0$ ) has been corrected to a vector with an element of right angles to the

net setting direction. Further, due to the direction of drift,  $V_1=V-V_0$  and  $V_2=V+V_0$  at Stations 3, 10, 11, 13, and 14. In addition, data at Station 3 was processed with main swimming direction as 1.

Table 2 shows estimated values for  $k$  (efficiency of the gillnet),  $P$  (ratio of swimming direction),  $D$  (density of salmon), CPUE, and  $\kappa$  (sampling efficiency). The  $k'$  and  $D'$  were calculated based on Expressions (6) and (9), respectively. The  $\kappa'$  value was obtained by using mean value of  $D$  and  $D'$  as a new  $D$  value in Expression (10). Based on the above, it is estimated that 41.6% to 45.3% of chum large enough to be caught by 121 mm mesh net, which encounter salmon gillnets in the Bering Sea in July, are actually caught. Also, about 20% of the chums of the same size as above, which are distributed in the effective range of the gillnet, are estimated to be caught.

#### Discussion

Here some assumptions made for the estimation of sampling efficiency will be discussed.

#### Influence of swimming direction

It was assumed that the setting direction for the gillnets and swimming directions crossed at a right angle. If that assumption is not really true, fish schools which do not encounter the first gillnet would be caught by the second gillnet and the value of  $k$  would be underestimated. This is probably the reason for the following, i.e. while average  $k$  value at Stations 1 to 9, where nets were set in a south-north direction, is 0.351, the average  $k$  value is as high as 0.618 at Stations 10, 11, 12, and 14 where swimming direction of chum was taken into account.



### Influence of length of time of operations

It is assumed in this model that fish are always swimming and becoming entangled during the time of operation ( $t$ ). It is recognized, however, that there is a diurnal change in catch by driftnets (Mishima et al. 1969). If salmon become entangled only in a specific period in the hours of operation, the sampling efficiency " $k$ ", which is derived from Expression (10), would be underestimated.

### Influence of swimming speed of salmon

Swimming speed of chums ( $v$ ) was calculated from tag recovery data. The swimming speed for salmonids, obtained in experiments, is  $4 \times$  body length/second (where the body length is 50 cm, swimming speed is about 7.2 km/hour (Blaxter 1969)). Swimming speed of chums measured in field research by using biotelemetry techniques is  $1.8 \times$  fork length/second in daytime,  $1.9 \times$  fork length/second at night time,  $3.5 \times$  fork length/second 30 minutes after sunset, and maximum speed is  $7.4 \times$  fork length/second (Ichihara et al. 1975). Assuming fork length as 55 cm, these values are 3.6, 3.8, 6.9, and 14.7 km/h respectively. Other research which measured movement of chums near a setnet with a scanning sonar showed speed of 1.8 to 3.6 km/h (Tahara and Inoue 1983). All of these figures are greater than the 1.53 km/h used in this analysis and, if swimming speed is underestimated, the sampling efficiency would be overestimated. Chum salmon, however, swimming with a complicated locus, are moving in a certain direction macroscopically (Ichihara et al. 1975). It appears to be reasonable to use such a macroscopic movement in order to estimate the sampling efficiency of the gillnet. To review this point it is necessary to obtain values of other parameters such as  $k$  values independently and to estimate  $V$  as an unknown value.

### Acknowledgement

Grateful acknowledgement is made to Dr. Ikuo Ikeda, Mr. Shigeyuki Kawahara, and Mr. Yasuhiko Shimazu who provided very useful advice. Appreciation is also expressed to Mr. Yasujiro Hattori, the captain of Wakatake maru, Mr. Mitsuru Hatasawa, the captain of Hokuho maru, and crews of both vessels who gave great cooperation during the survey in the Bering Sea.

### References

- Blaxter, J.H.S. 1969. Swimming speeds of fish. FAO Fish. Rep. (62), 2, 69-100.
- Ichihara, T., T. Yonemori, and H. Asai. 1975. Swimming behavior of chum salmon, Oncorhynchus keta, on the southern migration off Etorofu Island, the southern Kuril Islands. Far Seas Fish. Res. Lab. Bull. 13, 63-77.
- Tahara, Yozo, and Y. Inoue. 1983. Behavior of fish schools in response to a setnet. Sakana, No. 31, 57-65.

-----

TABLES 1 AND 2 AND FIGS. 1 TO 4 ARE IN ENGLISH IN THE JAPANESE DOCUMENT