HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	茂辺地川に溯上するサケの計数装置の試作・試用に関する研究
Author(s)	佐野, 典達; 見上, 隆克; 秋葉, 芳雄; 安間, 元
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 32(4), 388-399
Issue Date	1981-11
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23775
Type	bulletin (article)
File Information	32(4)_P388-399.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
32(4). 388–399. 1981.

茂辺地川に溯上するサケの計数装置の試作・試用に関する研究

佐野　典達*・見上　隆克**・秋葉　芳雄***
安間　元****

On the Trial Production and Use of Fish Counting System of Salmon Entering the Moheji River

Noritatsu SANO, Takayoshi MIKAMI, Yoshio AKIBA
and Gen ANMA

Abstract

The method for the estimation of standing crop, working in combination with means of fish counting echo sounder techniques, measures the traces of the salmon echoes received from a given depth interval and sums up these traces over time.

The number of salmon which enter the Moheji river to spawn usually varies widely from year to year. This variability in number of returning salmon is due first to natural mortality ratios in fresh water and in the ocean and second to fishing which reduces the stocks.

We tried to use a fish counting echo sounder that can take echo patterns near the surface (4 m). The echo sounders salmon counting was the 200 KHz ultrasound, the transducers having 4 and 13 degrees of effective beam angle. The recording range of the echo sounder set was 50 m from the projector, the number of transmissions of ultrasound waves per minute was 216 (can be changed), and the forward of recording paper per minute was 30 millimeters or over.

We wish to report on the trial device which after various tests have been found to furnish almost satisfactory results concering its simplicity of operation and accuracy. Also, we provide an interesting conclusion reached by comparing experiments regarding the catches of salmon with the results of echo counting of salmon traces. The coefficient of correlation is 0.78.

* 北海道大学水産学部漁業測器学講座
(*Laboratory of Instrument Engineering for Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

** 北海道大学水産学部漁業機械学講座
(*Laboratory of Mechanical Engineering for Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido Univercity*)

*** 北海道大学水産学部海洋学気象学講座
(*Laboratory of Oceanography and Meteorology, Faculty of Fisheries, Hokkaido Univercity*)

**** 北海道大学水産学部練習船おしょろ丸
(*Training Ship "Oshoro Maru", Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

緒　　言

沿岸海域におけるサケ・マス漁獲量は，永年にわたる人工ふ化事業の結果，年々増加して来ている。しかし，ふ化放流されたサケ・マスが，数年後に，どのような経路を回遊し，放流された河川を探しあてて，その河川に遡上するかについての調査研究が多数行われているとはいえ[1),2)]，その主要因はいまだ明らかになっていない。また，サケ・マスの回帰量や遡上量を科学的に予測する手段・方法についてもいまだに確立されておらず，このため，サケ・マス漁業の科学的管理もできない状態にある。

そこで，著者らは河川に遡上するサケ・マスの親魚数を高精度で把握するために，計数装置を試作し，屋内基礎実験および野外実験によって，試用に供し得るか確めることにした。また，北海道上磯郡茂辺地川をモデルとして選び，その河口近くに試作装置を設置して，サケ通過量の計数と，茂辺地川河口附近での漁獲数とを比較検討し，あわせて，海洋観測による海況の解析を行った結果，若干の知見を得たので報告する。

本研究を進めるにあたって，現場の調査や実験に際し，茂辺地漁業協同組合参事竹内信一氏外職員各位，第3太洋丸船主森岩太郎氏の絶大な協力を頂いた。また，計数装置の試作には，日本無線株式会社超音波部および同社函館駐在所の各位に多大な協力を得た。試作装置のテストでは，北海道大学水産学部附属臼尻実験所の各位，海洋観測では，同学部研究調査船うしお丸乗組員諸氏の協力を仰ぎ，また，終始実験には同学部研究生，山下成治，工藤博之両君の協力を得た。上記の方々に深甚なる謝意を表する次第である。なお本研究の一部は，文部省科学研究費補助金によった。

計数装置について

試作した計数装置は図1に示すように，特殊水中音響機器と送受波用センサーおよび記録装置からなっている。

特殊水中音響機器は発振周波数 200 KHz，出力 100 W，パルス幅 0.1 から 0.8 msec の範囲で5段切替えの装置を2台用い，一方は発振回数および受信回数が最高 216 回/分，最低4回/分の範囲で可変できる装置（550-RX）で，他方は発振回数のみ可変できる装置（550-TX）とした。発振および受信回数を可変にしたのは，標的が連続的に多数指向角中を通過する場合，標的の分離と計数を容易にすることと，記録紙上での計数を容易にするためである。

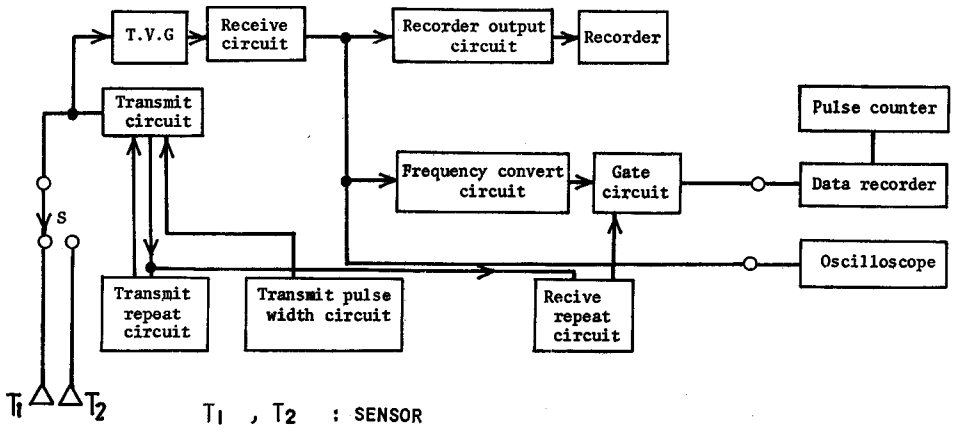

Fig. 1. Electronic block diagram of the trial equipment.

送受波用センサーは指向半減全角 4° の狭角のもの2個および 13° の広角のもの2個の計4個を用い，特殊音響機器には切替装置によって，狭角，広角センサーを任意に選択できるように接続した。また，センサーの指向方向は自由に変えられるように設計した。

記録は，乾式記録紙（記録紙送り速度 20 mm/分から最大 33 mm/分まで連続可変）に行うほかにデータレコーダにとり出し，また，波形観測用および同期信号用端子によって，直接波形を観測できるようにした。特殊水中音響機器等の主要性能を表1に，その概観を図2に示した。

Table 1. *Specifications of the trial device (NJA–550 TX, NJA–550 RX).*

Type	NJA-550 TX, NJA-550 RX
Oscillation Frequency (KHz)	200
Recording Range (m)	0–50
Recording Paper	Dry type recording paper (150 mm × 10 m)
Paper Feeding Speed (mm per minute)	20–33 (can be changed)
Number of Sound Pulse Projection (per minute) TX	216 N/2 N/4 N/8
RX	216 N/2 N/4 N/5 N/8 N/10 N/16 N/20 N/32 N/40 N/54 N=216 /min
Pulse Width (m sec)	0.1 0.2 0.3 0.6 0.8
Half Beamwidth (–6 dB down point)	Sharp 4° Broad 13°
Sensor Size (dia, cm)	Circular type 7 (Broad)
Power Source (voltage) (Wattage)	D.C 24 V 100 W

Fig. 2. The appearance of the trial measuring apparatuses.

方法および結果

魚の量を計数装置で計測する場合，計数地点の魚の量がある程度既知であることが，計数装置の評価に必要なことである。このため，実験点の選択は重要である。

茂辺地川は隣接河川と距離的に離れており，東側の戸切地川の河口からは約 7 km，西側の当別川河口からは約 4 km 離れている。しかも，茂辺地川は他の川がサケ・マスが遡上するのに対し，サケのみが遡上する河川である。

茂辺地川では，河口より約 500 m 上流の地点に，トラップを設け，遡上したサケを全数捕獲しており，また，茂辺地川を中心に沿岸に沿って 4 km，沖合約 2.5 km の漁業海区に，茂辺地漁業協同組合のサケ定置網 6 ケ統が敷設されている。したがって，茂辺地川の利用は回帰率および遡上率の推定に際して精度の高い裏付け資料が得られる利点を有している。

試作した計数装置を茂辺地川河口に設置し，サケの計数を行ったが，これに先立って，円型水槽による装置の標的分離，識別および実験点付近における標的サケの識別計数，海洋観測を試みた。

円型水槽による標的分離，識別実験

試作した装置の最適作動条件を選定するために，屋内で基礎実験を行った。直径 4 m，高さ 3 m のコンクリート製円型水槽の中心から距離 1.5 m，深さ 1.5 m のところに，真横方向に超音波を放射するように，指向半減全角 4° および 13° のセンサーを設置し，センサーの表面から 1.5 m 離れたところを直径 37.5 mm の人工標的を通過させた。サケの遊泳速度は 0.3 m/s から 1.5 m/s とみなされているので，本実験では人工標的を水槽の大きさの制約から，0.4 m/s の等速度で鉛直方向に移動させた。その標的移動は等速度直線運動になるように，サイリスタ制御の定速度モータによって行った。人工標的は特殊水中音響機器の分解能を測定するため，鉄球 2 個または 3 個を 50 cm および 25 cm 間隔で，センサーの指向方向にならべてとりつけた。特殊水中音響機器の発振回数，受信回数を種々変え，人工標的を水槽の上面から底まで連続的に等速上下運動させて，記録紙上に移動中の標的記録をとり，同時に，オッシロスコープ上の波形を写真撮影した。

図 3 は鉄球 2 個を 25 cm 間隔にし，発振回数 216 回/分，パルス幅 0.2 msec で記録紙上に描かせたものであり，図 4 はオッシロスコープ上の記録である。また，図 5 は発振回数を 1/2 ずつ減らした場合の記録である。発振回数 216回/分の記録は図 3 で見られるように，2 個の鉄球の分離が困難である。このことは図 4 のオッシロスコープの記録から見て，前方の鉄球のエコーが終らないうちに，次の鉄球のエコーが有り，2 つのエコーが一部重複し，エコーの識別が困難になり，標的 2 個を 1 個とミスカウントすることを示している。しかし，発振回数を減らすと図 5 のように，標的分離が可能になっ

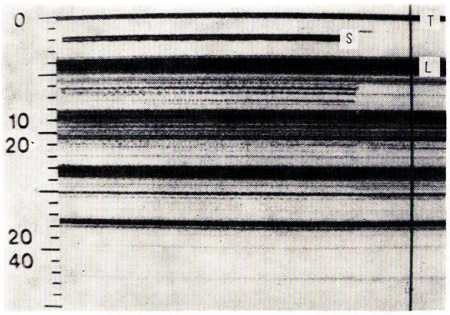

Fig. 3. Photograph of the echo pattern taken on 2 steel balls at intervals of 25 cm.
T: Transmission mark, L: Tank wall, S: Steel ball

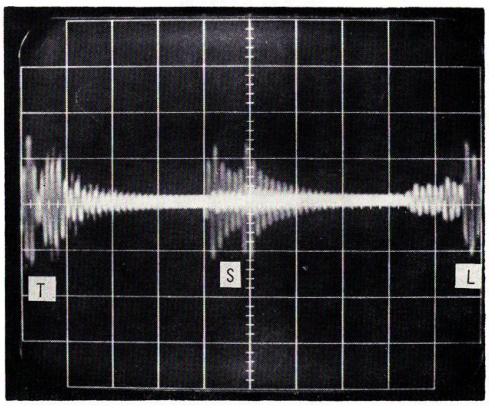

Fig. 4. Photograph taken on oscilloscope showing the echo waves from 2 steel balls at intervals of 25 cm.
T: Transmission mark, L: Tank wall, S: Steel ball

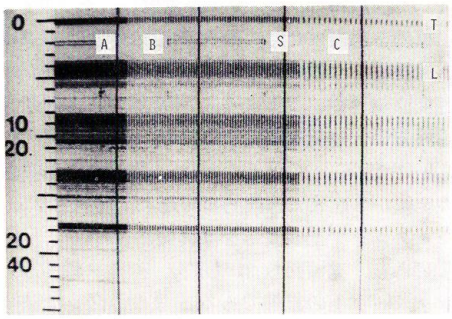

Fig. 5. Photograph of the echo pattern taken on 2 steel balls at intervals of 25 cm, number of sound pulse projection A: 108/min, B: 54/min, C: 27/min.
T: Transmission mark, L: Tank wall, S: Steel ball

た。この原因は発振回数が多い場合は，乾式記録紙ににじみが出るが，発振回数を減らすとそれが少なくなることによるものと思われる。この現象は感度調節によるか，紙送り速度を早めることによっても解決できるが，フィールドでの入射波の強さが一定しない条件下で感度を常に変化させることは好ましくなく，また，紙送り速度を早めることは，記録紙の交換回数が増えて繁雑になる。

水槽実験では標的の環境条件が非常に良好であり，また，標的からの反射波も一定で，至近距離にある標的の分離，識別が可能であった。しかし，多数の標的の反射波が重なり，かつ，これにノイズが重畳するような最悪条件下での分離，識別は一層困難となり，また，パルスカウンターでの計数においても，エコーのスレッショルド・レベル，カウンターのトリガレベルおよびゲート時間などの設定もむずかしく，標的の運動特性を加味した検討がさらに必要である。

標的サケの識別，計数実験

水槽実験の結果をもとに，野外実験を実施し，標的サケの分離，識別について検討を加えた。標的に用いたサケは前年に溯上した体長 72 cm，体重 3.5 kg の解凍したもので，直径 24 cm の浮子から

深さ 3 m のところに細い綿糸で吊下げ，その下約 7 m のところに錘をつけて海底に固定した。実験場所は遡上期のサケの計測に予定された茂辺地川河口沖で，実施期間はサケの来遊しない 6 月および 9 月であった。

試作した 2 台の装置は観測船第 3 太洋丸（2.5 t，20 IP）にとり付け，センサーは指向角 4° および 13° のもの各 1 個を左舷側に深さ 50 cm，俯角 20° として装備し，横方向を走査した。標的としたサケは固定したので，観測船を 0.5 m/s の速度で航走させ，標的からの距離と指向角および発振回数を種々変化させながら，サケのモデル用エコーパターンとして記録紙上に記録した。その 1 例を図 6 に示す。野外実験を行った日は，波浪があり観測船は小型のため動揺が激しく，記録には表層近くに，波浪や表層ノイズが濃く記録されているが，標的としたサケのエコーは表層ノイズから分離した距離のところに，識別できるエコーとして記録された。

この実験結果から，記録紙に現われたサケの単体エコーパターンのモデルが把握でき，また，計数装置の最適設定条件が決定できた。

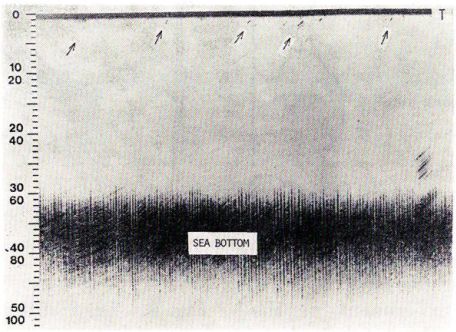

Fig. 6. Photograph of the echo pattern taken on the fundamental experiment of the field.
T: Transmission mark, ←: Traces of salmon

海洋条件からみたサケの遡泳経路とエコー

サケの遡上期に，その計数を行う際，どの場所で観測を行うかを決定することはむずかしい点である。河口をはさんで沿岸と平行に多数の計数装置を設置し，かつ同時観測方式を採用することによって，精確な遡上量は求められるであろうが，数多くの計数装置を設置することは現実的に困難なことである。したがって，サケの遡泳経路がある程度把握される必要があり，計数装置の設置場所をサケの遡泳経路に限定することができる。そこで，サケの遡泳経路を調べるため，海洋観測およびサケ遡上期の探知観測を試みた。

Powers, E. B. と Clark, R. T.[3] は 1943 年サケの回帰性について“サケが産卵にもどるときの行動は，その魚が幼稚魚期過したところの環境条件に大部分規制され，また，サケの回帰に関与する要因は水の物理・化学的特性であって，サケはそれに感じて反応しそれによって母川に達する”と述べているが，サケがどのような経路を通って，どのような条件下で遡上を開始するか明確な解答はいまだ得られていない。

しかしサケが母川を見つけるまで，また見つけた後，かなりの時間沿岸または河口付近で遊泳していると思われる。というのは成熟の度合，塩水から淡水に入るための魚体の生理的準備や遡上するための環境条件の充足等の期間が必要と考えられるからである。したがって遡泳経路は，サケのもつ生理的要素と海洋環境条件等の要因の中で一定の巾の遡泳帯をもっていると推察される。

これらのことから河口付近の海洋構造を分析し，河川水が海に流入する際にどのような機構で海水

にとりこまれていくかを知ることは，サケがどのような経路を通って，どのような条件下で溯上を開始するかを解くカギになると考えられる。

図7は1980年10月29日茂辺地川河口付近で実施したサーミスタ温度計 S-T 計による海洋観測点と，それ以降に行われた魚探試用実験点 (F) である。今回の試用実験点は，茂辺地川河口より北東約3 km の地点で，河口流出軸周辺の海洋構造とサケのエコーとの直接の関連を見ることはできないが，実験点付近はこの時期にサケの入網が最も多い場所にあたり，この沿岸水型の海洋構造を解析することにより遊泳経路について検討を加えてみる。

図8は河口付近の表面水温と塩分の水平分布図であるが，河口流出軸周辺は水温も塩分も河口に向って凸状をしており津軽暖流の影響を強く受けている。また試用実験点周辺は，等温線，等塩線も密

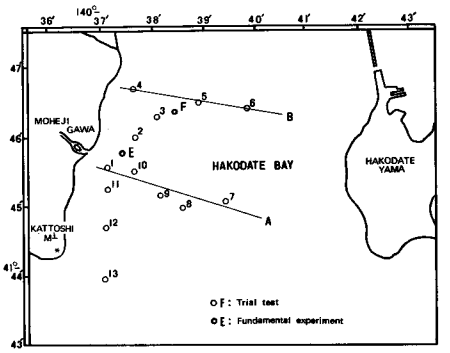

Fig. 7. Locations of experiment in the vicinity of the mouth of Moheji river.

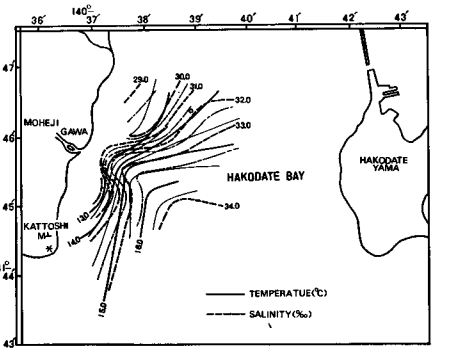

Fig. 8. Distribution of temperature and salinity at the surface in the vicinity of the mouth of Moheji river on October 29, 1980.

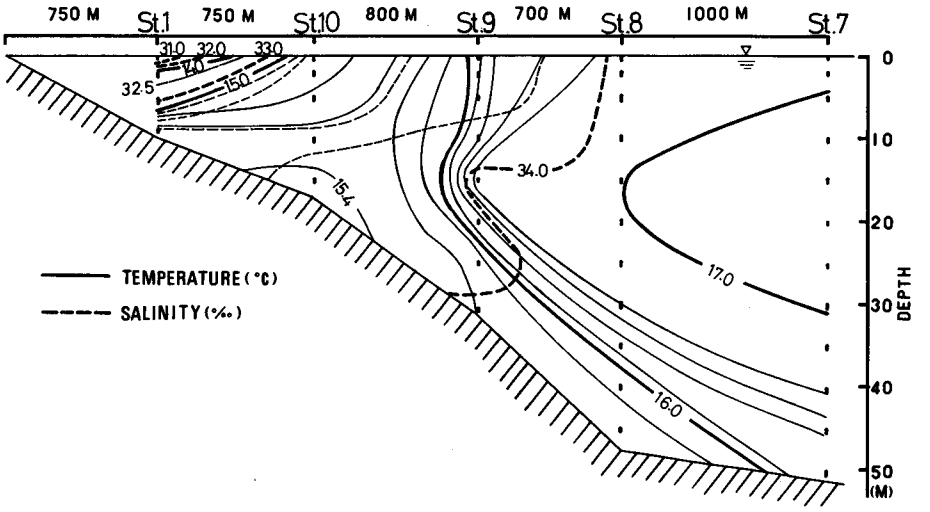

Fig. 9. Vertical section (A) of temperature and salinity in the vicinity of the mouth of Moheji river on October 29, 1980.

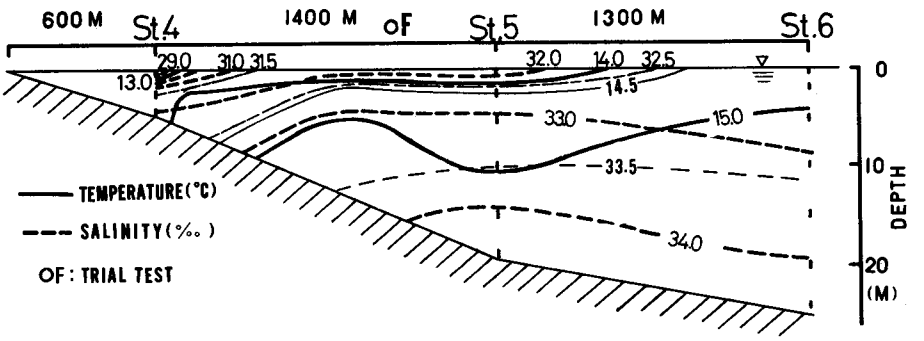

Fig. 10. Vertical section (B) of temperature and salinity in the vicinity of the trial test on October 29, 1980.

になっており沿岸水と津軽暖流水との間に収れん部を形成している。St. 4 の表面水温 12.1°C が示すようにこの時期になると沿岸水は，湾中央部の水よりも低温となっているが，これは陸上の高所における降雪による河川水の低温化によるものと思われる。

図9は河口流出軸周辺の水温・塩分の鉛直断面図である（図7のA線）。津軽暖流の影響を強く受けているので等温線・等塩分線の密なところで，河川水に影響される水域，混合された沿岸水そして津軽暖流の区分ができる。図10は試用実験点を含んだ陸岸から湾中央部への鉛直断面図（図7のB線）であり，A線より水深も浅くなっており暖流水が強くおよんでいない沿岸水と考えられる水域である。水温も塩分も陸岸近くに低く湾中央部に高い。また湾内は水深を増すごとに水温も塩分も高くなっている。特に 32‰ の等塩分線は表層にうすく湾中央に向って 2.2 km 付近までおよんでいるが，これは函館湾に流入する河川水は，平時では表層を覆うようにして海水にとりこまれていくことを示唆している。

試用実験点は，St. 4 と St. 5 の間にあり表面水温は 13.5°C，塩分は 31.8‰ 水深は 14 m である。数日にわたり魚探試用により取得したエコーは過日のエコーパターンのモデルや遡上量との正相関，入網魚種等の結果からサケとみなすことができる。エコーが多く見られたのは水深 4 m 以浅であったが，この層付近では水温・塩分躍層を形成しており以深はサケの生活条件に障壁となっていたと考えられる。また水深 4 m 付近の水温は 14.8°C でありサケの生息水温の上限に近い。

以上のことから茂辺地川にサケが遡上する場合，10 月下旬陸上の高地に降雪があり，沿岸水の表面水温が下降しはじめる 10 月下旬に津軽暖流の主流をさけて沿岸沿いに回遊してくると思われる。生理的順応はこの間になされるかもしれない。

遊泳経路と遡上条件等の研究は，時空間的にサケの生理的要因と物理的化学的要因の関係を系統的に調査する必要があり今後の課題である。

サケの計数とその解析

1980 年 10 月 1 日から 12 月 31 日まで，茂辺地川においてトラップを敷設し，サケの捕獲が行われるので，この期間中，海の静穏な日を選び，サケの計数観測を 6 日間実施した。

計数装置，センサーは先の標的サケ分離，識別実験とほぼ同様の条件下で実施した。センサーは左右両舷に狭角，広角 1 組設置したが，この年はサケの遡上量が例年にくらべ少なく，単体エコーの記録数が少なかったので，主に広角のセンサーによって記録紙上およびデータレコーダに記録した。観測地点は図 11 に示すように，サケ定置網の身網部から約 100 m の F 点に投錨し，可及的長時間連続してエコーを記録した。この F 点は，サケ探知実験で最も良好な遊泳経路と判定した地点である。図

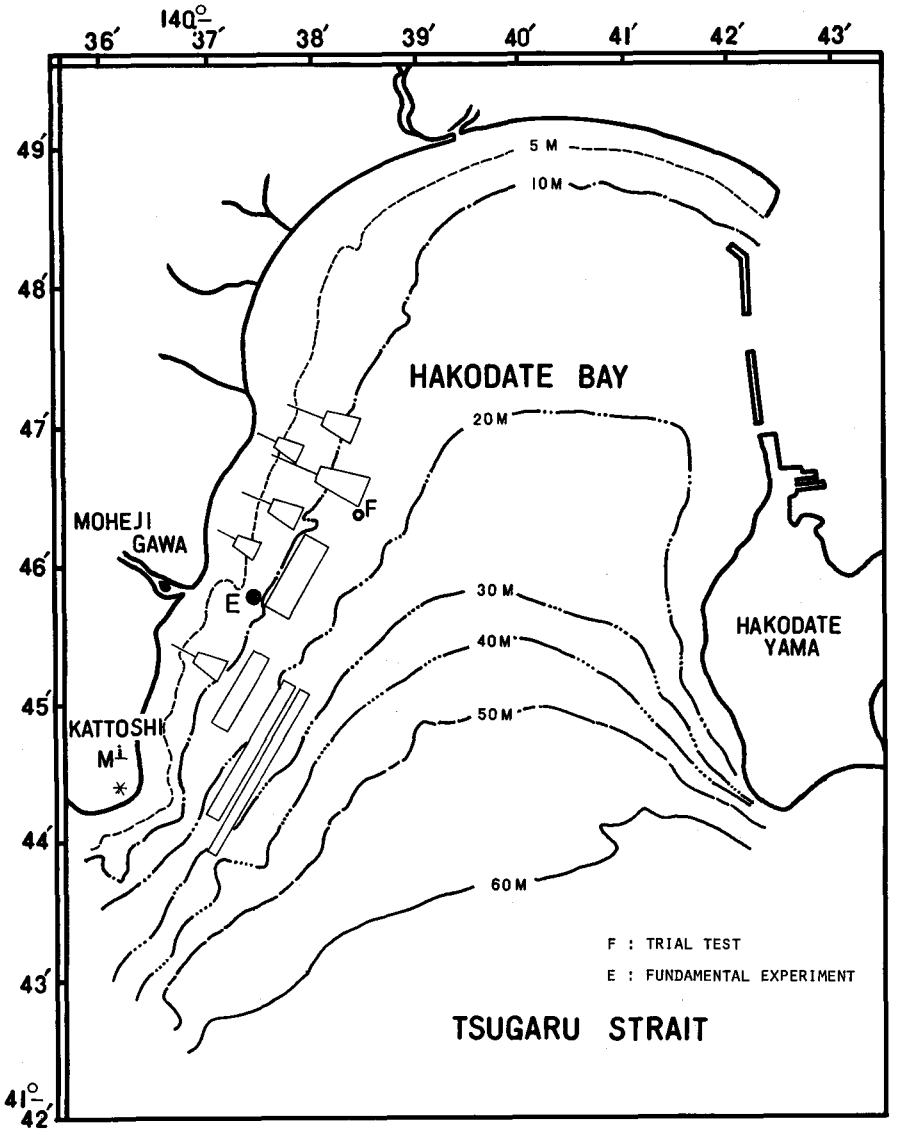

Fig. 11. Positions of trial test (F) and fishing ground of salmon fixed nets.

12は計数実験の模式図である。また，図13はサケの単体エコーの1例であり，この場合は比較的良好なエコーパターンであるが，魚群や潮境などのエコーが混在している場合も多々あった。このため，取得した記録は，実験室に持ち帰り，サケの記録を先に行ったサケの分離，識別実験の単体エコーモデルを参照し，4つのランクに分類した。

Aは確実にサケと識別可能な単体エコー，Bはサケと紛らわしき単体エコー，Cは明らかに単体以外のエコー，Dは魚群のエコーパターンとした。記録紙上のエコーは15分間隔で，A, B, C, Dのラ

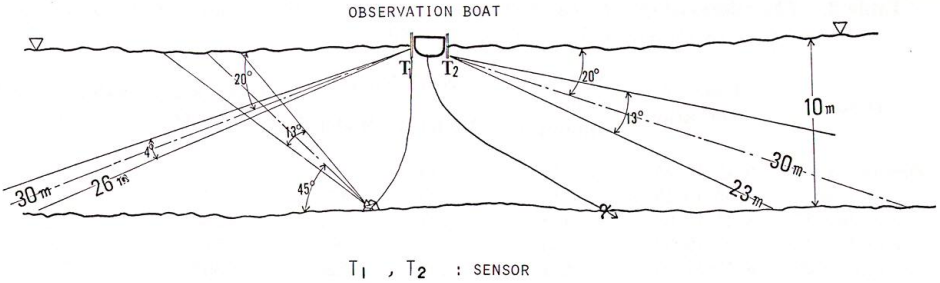

Fig. 12. Systematic diagram showing the trial test.

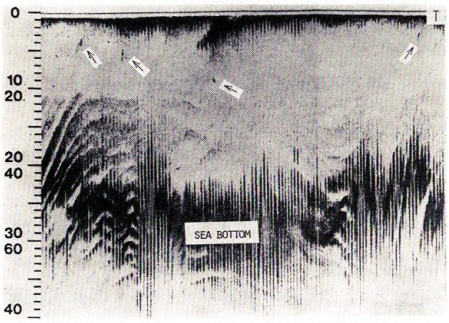

Fig. 13. Photograph taken of trial device showing the salmon echoes. Time of observation 9:00 on November 19, 1980.
←: Traces of salmon

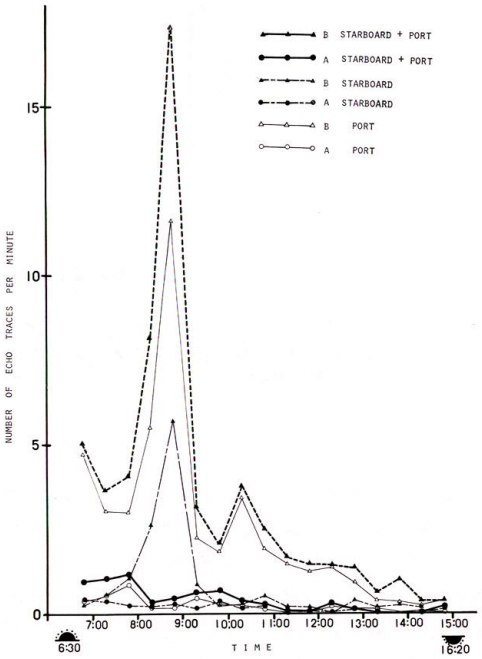

Fig. 14. Changes with time of the number of echo traces on November 12, 1980.

ンクに分類し，その総数を求め，さらに，潮境などは注をつけて区別し，1尾のサケを重複して計数しないと仮定した。パターンAおよびBについては日出を始点として30分間隔で積算し，これをもとに1分間当りの記録数の変化を表わした1例が図14である。パターンBはパターンAより相当多く計数されている。表2は5日間の観測した計測数を用い，単位時間当りの記録数と茂辺地漁業協同組合のサケ定置6ケ統の漁獲量との相関係数を求めたものである。サケの単体エコー記録数の多い日は定置網による漁獲量も多いという正の相関（相関係数0.78）が見られた。

図15はA，B両パターンについて，音源からの距離10m毎の水深別に1分当りの記録数を求めたものである。センサーの俯角と考えあわせると，ほぼ水深4m以浅にサケが遊泳しているものと思われる。

Table 2. *The relationship between catch and echo traces in the vicinity of the mouth of Moheji river in October and November in 1980.*

Date	Time of Observation	Measured Time (minute)	Echo Number		Total Echo Number	Salmon Catch Number
			Model A	Model B		
October 29	9:45-12:45	145	73	27	100	990
October 30	9:50-15:15	310	93	672	765	802
November 12	6:27-15:00	468	221	1767	1988	3202
November 19	7:00-12:00	285	793	1978	2771	4376
November 28	6:45-11:45	294	283	1220	1502	775

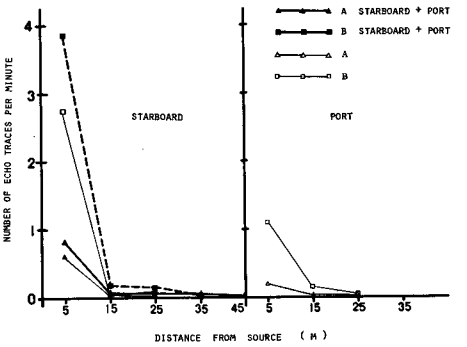

Fig. 15. Change with distance of the number of echo traces on November, 12, 1980.

考　　察

サケは河川溯上期に極く表層を，しかも海洋回遊中に比べ高い密度で遊泳するだろうという推定から，高精度に計数可能な装置を試作した。すなわち，図12のように，センサーの指向角を 4° と 13° としてビーム幅を鋭くし，俯角 20° に設定して斜下方向走査として浅海の表層を，しかも探知可能範囲を広くなるよう設計した。また，サケの遊泳状況により重複計数をさけるため，走査方向並びに発振・受信回数を数段階に切替え可能とし，パルス幅を極く短かく 0.1 msec まで変化できるようにして方位および距離分解能を向上させた。したがって，これらの目的を満たす試作装置の使用周波数は 200 KHz とし，携帯可能とするため軽量化に努めた。また，計数装置を自動化する第一段階として，出力データをデータレコーダに記録し，これを再生してパルスカウンターで計数可能とし，かつ乾式記録紙に記録する方式を併用した。しかし自動計数までは諸条件の制約があり，今回の実験では完成できなかったが，可能性の見通しが得られた。

屋内基礎実験時には，オッシロスコープを使用し，標的を分離・識別・計数可能な条件としてスレッショルド・レベル，ノイズレベル，標的強度などを測定し基礎実験データを取得した。

野外基礎実験結果から，標的の分離・識別・計数のための計数装置の最適作動条件（俯角の決定，指向角の選定，2装置の干渉除去など）が得られ，この条件下で2組の試作装置を作動すれば，標的の計数ができる見通しが得られた。また，サケの単体エコーとそれ以外のノイズ的エコーとの分離・識別も可能となった。すなわち，ここで取得したサケの単体エコー記録像をモデルとして，これと類似の形状，大きさ，濃さなどをもつ記録像をサケのエコーと認定して，他のエコーやノイズと識別した。

試用実験では，計数結果を早急に得る必要性から，観測者3名で15分間隔で計数を行い，その平均値を用いた。また今回の実験点は，サケの遊泳経路中で，生息水温の限界の 15°C 以下の地点であり，鉛直的には 4 m 以浅にサケのエコーが多く記録され，それ以深は水温が高くサケの障壁となっているという海況解析結果を考慮し，妥当な地点と考えられる。

試用実験結果の検証として，茂辺地漁業協同組合の管轄下にあるサケ定置網6ケ統の漁獲量と，サケの単体エコー記録数間の相関を求めると，相関係数0.78が得られた。これは計数されたサケが比較的短時間に入網するのではないかと推定されるが，この点の解明には，漁期中の観測日と観測地点を増やし，かつ昼夜にわたる連続長時間記録を取得し，この結果を解析することによって明らかにできると考える。また，55年度はサケの定置網漁獲量は例年の2～3割減であったので，サケの単体エコー記録像の計数は容易であった。サケの遊泳行動の観察には，サケにピンガーを付けて追跡するトラッキング法を用い，サケの入網や遡上行動の解明も今後考えねばならない。

サケの回帰量の予測には，毎年の漁獲量や遡上量などの資料を蓄積し，これを参考にして観測時点までの計数装置で計数した結果を用いれば，当年度の予測が可能となろう。

今後，コンピュータを用い，パターン認識技法を用いた自動計数装置の完成と この装置による連続長時間の記録取得，さらにその遠隔測定化の研究を進める。サケ・マス資源の科学的有効利用のため，人工ふ化放流尾数，河口沖合漁獲尾数，河川遡上尾数の精確な把握とその年令組成などの情報を得ることによって，一層成果があがると考え，この研究を継続して行く予定である。

要　　約

上述の結果を要約すると次の通りである。

(1) 試作した2組の特殊水中音響機器（NJA-550TX, RX）を用いて取得したサケの単体エコー記録を，観測者が分離・識別し，これを計数してサケの個体数を求めることができ，実用化の目途ができた。

(2) 茂辺地川河口沖では，水深 4 m 以浅を遊泳するサケが 90% 以上であるという知見が得られた。

(3) 河口沖付近で漁獲された漁獲量とサケの単体エコー数との間に相関係数0.78が得られた。これは，観測日数5日間と比較的少ないが高い相関が認められた。

文　　献

1) Robert, R.P. (1962). Estimations of ocean mortality rates for pacific salmon (Oncorhynchus). *J. FISH. RES. BD. CANADA*. **19**(4), 561–589.

2) Larkin. P.A. and Hourston. A.S. (1964). A model for simulation of the population biology of pacific salmon. Ibid. **21**(5), 1245–1265.

3) Powers. E.B. and Clark. R.T. (1943). Further evidence on chemical factors affecting the migratory movements of fishes, especially the salmon. *Ecology, Brooklym*, **24**, 109–113.