



Title	魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定について：Ⅰ. ベーリング海アンドレアノフ諸島沖における予備実験
Author(s)	安間, 元; Anma, Gen; 佐野, 典達 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 26(2), 137-153
Issue Date	1975-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23553
Type	departmental bulletin paper
File Information	26(2)_P137-153.pdf



魚探機によるサケ・マス資源現存量の推定について

I. ベーリング海アンドレアノフ諸島沖における予備実験

安間 元*・佐野 典達**

Study for Estimating the Existent Amount of Salmon Resources
by Means of Echo Sounding Techniques

I. On a preparative experiment for the use of the
vertical echo sounder in the Bering Sea

Gen ANMA* and Noritatsu SANO**

Abstract

The method of research of salmon resources has been up to now for statistics. This paper describes a method of estimating the amount of salmon resources by roughly calculating the echo traces on a recording paper.

The echo sounder used was the 50 KHz ultrasound, a transducer having 22 degrees of effective beam angle. It was attached to the bottom of the ship. The recording range of the echo sounder was 100 m, the number of transmissions of ultrasound waves per minute was 450, and the pulse width was 2 miliseconds.

These preparative experiments were undertaken in a gillnet fishing of salmon by the training ship "Oshoro Maru" of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University, in the Bering Sea in June, 1974.

We set salmon gillnets 135 tans and hauled the nets the next morning. The authors compared the echo traces of salmon on echo patterns obtained by vertical echo sounder with the actual catch of salmon.

The results obtained are summarized as follows;

1) In the echo patterns obtained by a vertical echo sounder, the authors tried to discriminate exactly between the echo traces of salmon and those of other fish.

2) Calculating the echo traces of salmon to record the echo patterns, one would be able to estimate the existent amount of salmon resources.

緒 言

近年、日本の水産界をめぐる情勢は、漁業資源の全般的減少と、予想される新海洋法等がからむ国際的情勢から考えると極めてきびしく、困迷を深めている。すなわち、新しい水産業の生きていくべき道が問われているわけであるが、著者等は、これからの漁業は、従来の漁獲高、採算を重視した漁

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

** 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)

獲から資源に見合った漁獲への転換が国内的にも、国際的にも日本の水産業が生きてゆく道であるという観点からサケ・マス資源の問題をとりあげた。この資源を枯渇することなく、最も有効に能率的な漁業生産を發展させるためサケ・マス資源の実態（種の生活、資源現存量の推定）をより一層明らかにする必要がある。

従来の漁業資源論は、過去のデータ、諸情報等から統計的方法によって処理されて論じられてきたが、その中で主な問題点は個々のデータの信頼性が不明確な点である。同時に結果が明らかになった時には、すでに現状は推移しており、とり返しのつかないという状況も起りうる。このように従来の資源論で不備な点を反省して、著者等は、魚探技術を用いて漁場で直接測定によってサケ・マス資源現存量を推定するために予備実験を行なった。

魚探技術によるサケ・マスの探知、識別など技術的諸問題の若干については、本邦では佐野¹⁻³⁾、鈴木⁴⁾等が発表しているが、本実験は垂直方向探知の商用魚探によるサケ・マス魚探記録像 (echo pattern) の取得と、echo pattern に記録された単体反射記録像 (echo trace) の計数、scattering zone や海況の解析、更にサケ・マス漁獲量等の総合判断から、この漁場におけるサケ・マス資源現存量について考察した。この予備実験は、北海道大学練習船おしよろ丸によって、1974年6月13日～6月22日の10日間、ベーリング海域、アンドレアノフ諸島沖で行われた。実験結果を以下に報告する。

魚探記録像 (echo pattern) の解析と資源現存量の推定

垂直方向魚探機を作動し、サケ・マス漁場を走査し、取得した echo pattern からサケ・マスの echo trace を識別しようとするのであるが、その法則性はまだ確立されていない。しかしサケ・マス単体の echo trace を特徴づける echo pattern は、過去に経験的に漁業者によって試みられている。

さらに今回は、echo pattern から得られたサケ・マス単体の echo trace の情報と海況、サケ・マス漁獲量等のデータから、サケ・マス資源現存量の推定を考察してみる。

1) サケ・マス単体の echo trace の計数について

サケ・マス単体の echo trace を特徴づける echo pattern において、探知水深を、主としてサケ・マスが生息する水深を包含する 0～100 m とし、記録機増幅度を調節して SN 比を適当に選択すれば、最小探知感度以上の反射体は echo trace として記録できる。この場合 T.V.G 回路を作動し、発振線附近の noise を除去し echo trace を計数する。この際サケ・マス以外の魚種の echo trace も識別できずに計数することになるが、この識別については後述する。また、echo pattern には大型単体像、表層散乱層、水温躍層、機械的雑音等が含まれているが、できるだけ各種 echo にわけて計数する。

2) Sampling volume⁵⁾ について

魚探機を作動しながら走査している場合、超音波ビームで探知可能な容積は図1に示すように、近似的に指向半減全角 (θ) で音源からの距離 (R) の円錐体の容積 (V) として求められる。

$$V = S \cdot R / 3 = \pi r^2 R / 3 \quad (1)$$

ただし、S: 底面積, r: 底面の半径, R: 音源からの探知距離

この sampling volume 中にある反射体で、魚探機の最小探知感度以上のものは echo pattern に記録され、図に示す斜線の部分 (dead ground) は探知不能な部分となるが、有効指向角 (effective beam angle) が大きく、探知範囲が大きくなれば考慮を要する容積である。

3) Pulse volume⁵⁾ について

送波器から放射される 50 KHz の超音波は、指向半減全角 Ω 、パルス巾 $c\tau$ で送波され、海水中を伝播する。この pulse volume (V_p) は次式で求められる。

$$V_p = R^2 \cdot c\tau / 2 \cdot \Omega \quad (2)$$

ただし、 c : 水中音速、 τ : パルス持続時間

Pulse volume 中に単体反射体が数尾存在しても計数値は常に 1 であり、存在しないときは 0 となる。これは echo trace 計数上誤差の一原因となる。また、図 1 の dead ground も探知距離がきまれば一義的にきまり、反射体が存在しても計数されないから誤差の原因となる。従って、echo pattern に記録された echo trace の計数では、この pulse volume が基礎要因である。

4) Range slice volume⁵⁾ について

Echo pattern に記録された echo trace を計数する場合、送波器から等間隔 (h) で分割した直円錐台の容積を range slice volume (VR) とした。この volume VR は次式で求められる。

$$VR = \pi h / 3 \cdot (r'^2 + r'r'' + r''^2) \quad (3)$$

ただし、 h : 等間隔に分離した距離、 r' , r'' : 直円錐台の半径、range slice volume で送波器に最も近い容積は直円錐とみなす。

Range slice volume は指向角 Ω で放射された超音波パルス波が距離の 2 乗に反比例してエネルギーは拡散、減衰する。従って、音源からの距離が遠くなるほど volume (VR) は増加し、ある漁場に一樣に単体反射体が存在すると仮定すれば、echo trace はこの range slice volume に比例して増加することになるが、pulse volume も拡大するから、 VR 中に最大 $h/c\tau/2$ 個の echo trace が計数できることになる。これは実際の現存量の誤差となって現われるが、echo trace の計数上 range slice volume を基礎とした方が便利である。

5) Scanning volume について

船底装備の魚探機で垂直方向に sampling volume を探知することは 2) で述べたが、図 2-a), b) で示すように、sampling volume 容積 (V) で探知しながら、船速 V で t 時間、魚探機を作動しながら航走した場合、その走査容積 scanning volume (W) は、近似的に次式で求められる。

$$W = Sf/2 \cdot V \cdot t = Sf/2 \cdot D \quad (4)$$

ただし、 Sf : 円錐体側面積、 V : 船速、 t : 航走時間、 D : 航走距離

以上 2)~5) に述べた各種の volume は、サケ・マス漁場で単体反射体を直接計数する場合に、漁場中の立体的な scanning volume で取得した echo を魚探記録紙上に echo pattern として記録し、

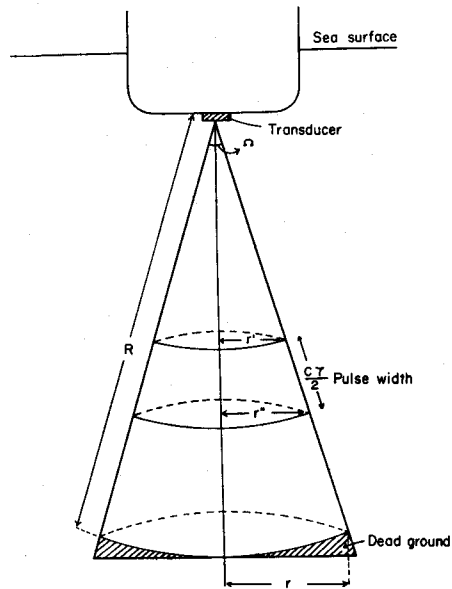


Fig. 1 The ultrasound wave as a sampling volume.

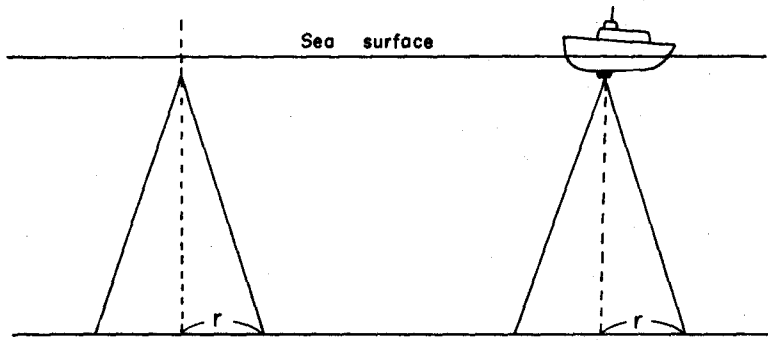


Fig. 2-a

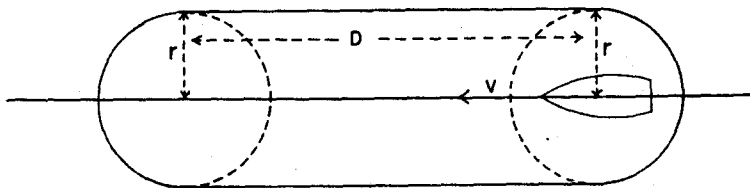


Fig. 2-b

Fig. 2 Diagram showing the scanning of the effective beam angle of transducer used for the salmon resource.

a) Vertical section b) Plan section

その pattern に記録された echo trace を計数するので、当然船速と走査時間が基礎要因となる。

6) サケ・マス資源現存量の推定について

Echo pattern からサケ・マス、それに類似の他の単体反射体の echo trace を識別することは困難であるが、それを一括し echo trace として計数する場合 scanning volume の要因となる船速 V が重要となる。いま、漁場操業中船速は大別して3種とし、また、サケ・マスの遊泳速度を V_f とすれば、流網投網中 $V_n \geq V_f$ 、漁場航走中 $V_s > V_n \geq V_f$ 、漂流中 $V_d \leq V_f$ の3段階にわけて考察する。

6-1) 流網投網中 $V_n \geq V_f$

投網中の船速 V_n は、サケ・マスの遊泳速度 V_f に比較して $V_n \geq V_f$ の関係にあると仮定すれば、魚が2度以上 scanning volume 中を通過する確率は小さい。この場合 echo pattern に記録された echo trace の長さは、 V_n が遅くなるので、航走中に比べて大きくなり、計数上は容易となり誤差も少ない。

6-2) 漁場航走中 $V_s > V_n \geq V_f$

船速に比較して魚の遊泳速度が遅いから、航走中に scanning volume 中をサケ・マスが2度以上通過し echo trace が2個以上と計数される確率は非常に小さいと仮定する。すなわち、ある漁場でサケ・マスが一樣に分布し、random に遊泳し生息しているとすれば、船速 V_s で走査した場合、echo trace は点状に記録される。そのため航走中の echo trace は noise との識別が難しく誤差が多く、資源現存量を過少に評価する傾向をもつ。

6-3) 漂流中 $V_d \leq V_f$

漂流中の船速 V_d は、魚の遊泳速度 V_f と比較すると一般に $V_d \leq V_f$ となる。この場合サケ・マス

の遊泳速度の方が早いから、sampling volume 中に、特に、表層附近ではサケ・マス等が1回以上通過し、重複計数することも考えられ、誤差の原因となる。

いま、水深 0~20 m の range slice volume において T·V·G 回路の使用により、発振 noise は除去されても表層では、range slice volume も小になり、さらに一般に表層には、サケ・マスの他に多種類の反射体が混在するから echo trace として計数困難な場合が多く、特に、この層を scattering zone として経験的に、次の3段階にわけて相対評価した。ただし、この層に含まれる単体の echo trace で計数可能なものは、単体時間(分)当りで計数した。

1. Dense ($\rho_s = 20/\text{min}$, 以上)
2. Medium ($\rho_s = 10/\text{min} \sim 20/\text{min}$)
3. Low ($\rho_s = 10/\text{min}$ 以下)

勿論、この scattering zone 中にはサケ・マスの echo trace が多数含まれているが、他にホッケ、ストウダラ等の単体やプランクトンの塊などもある。サケ・マス資源現存量を正確に推定するには、scattering zone の評価が重要な要因となる。ここでサケ・マスの生理、生態的な特殊性が単位容積当りの平均密度という手法で捨象されることが問題となるが、現時点で量的把握の立場から、このような近似は許容されても、将来、更に精密に解決されなければならない。

以上から A 漁場におけるサケ・マス現存量 M は次式で求められる。

$$M = NT \cdot A / Sf / 2 \cdot V \cdot t + Ns \quad (5)$$

ただし、NT scattering zone 以外の scanning volume 中におけるサケ・マスの echo trace の数

NS: 表層の scattering zone 中のサケ・マスの echo trace の数

A: 漁場範囲

実験方法

本実験が行われた海域と実験水域(サケ・マス流網操業点)を図3に示す。表1は実験当時(投網時)の操業記録および気象、海況である。

流網はテグス網130反、アミラン網5反、計135反を使用した。構成を試験網と商用網とに分け、試験網は各目合、48, 55, 63, 72, 82, 93, 106, 121, 138, 157 mm, 各3反づつ10種類。商用網として、115, 121, 130 mm, の3種類合計100反と端網としてのアミラン5反である。これらの使用した網の長さは1反約50 m, 網丈6 m である。本実験で使用した流網の配列を表2に示す。

本実験で使用したサケ・マス探知のための魚探機は、商用魚探機で、その性能は垂直方向探知、周波数50 KHz, 指向半減全角22°, パルス巾2 msec, 発振繰返数450回/min, 水線下4 m 船底装備である。

Echo pattern は、漁場海域で操業中(投網中、航走中、漂流中)について取得した。全実験点における魚探機使用条件を表3に示す。サケ・マス漁場で取得した echo pattern の解析は、echo trace の時空間的变化を検討するために連続記録を10分毎に区切り、また水深を20 m 毎(0~20 m では発振線は水面下4 m)にA~Eの5層に分類し、その range slice volume 中でサケ・マス単体と他の魚種の単体集合群の echo trace, scattering zone の3種について実験点毎に識別、計数を行った。計数された echo trace は、サケ・マス漁獲尾数および混獲魚種との相関を検討するため、単位容積当りの echo trace の密度を求め、漁場範囲内の概算推定漁業資源量を算出した。またこの推定資源量とサケ・マスの漁獲尾数から漁獲率を求めた。

海況は、海洋観測結果から水温、塩分の水平分布図、鉛直断面図、鉛直分布曲線を描き、漁場の海洋構造を解析し、同時に漁場における echo pattern の特徴を検討した。

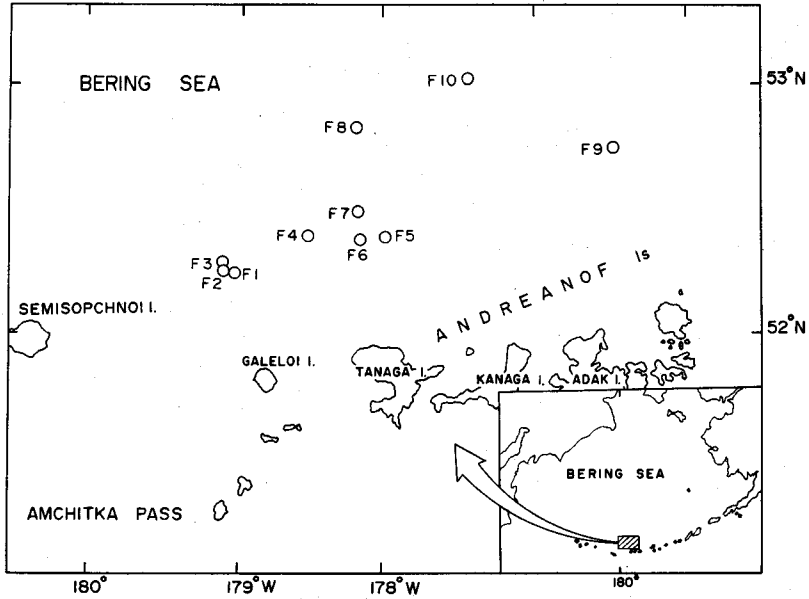


Fig. 3 Locations of experiments by the "Oshoro Maru" in June, 1974.

実験結果

この海域は、アラスカ系ペニザケが西方から、またはアムチトカ水道を抜けて北上後プリストル湾に、一部のシロザケはアジア大陸に向けて反時計廻りに大廻遊する水域である⁶⁾。それは漁獲した大部分のサケ・マスが西側から羅網していたことから立証される。流網は、おおむね、魚道に直角になるよう南北方向に設網した。

すべての操業点においてサケ・マスの他、ホッケ、スケトウダラが漁獲され、従って記録された echo trace の中にサケ・マスの単体の他にホッケ、スケトウダラの単体が当然含まれていると考えら

Table 1. Data of observations of the salmon gillnet operation and hydrographic

No. of fishing	Date and time (Ship's time)				Position of net set	
	Net set		Net haul		Latitude	Longitude
	Date	Time	Date	Time		
1	June 13	1819	June 14	0554	52°-14'N	179°-02'W
2	14	1852	15	0646	52°-15'N	179°-06'W
3	15	1821	16	0635	52°-16'N	179°-06'W
4	16	1838	17	0630	52°-23'N	178°-31'W
5	17	1825	18	0640	52°-25'N	178°-01'W
6	18	1801	19	0755	52°-22'N	178°-14'W
7	19	1758	20	0740	52°-29'N	178°-11'W
8	20	1930	21	0704	52°-49'N	177°-13'W
9	21	1922	22	0615	52°-45'N	176°-30'W
10	22	1800	23	0650	53°-01'N	177°-29'W

o: overcast d; drizzling rain

Table 2. Constructions of the gillnet used on observing.

	C. Net		Test Net										Commercial Net					
Mesh size (mm)	End net	115	48	93	55	138	106	63	121	72	157	82	121	130	121	115	130	End net
Number of gillnet (tan)	2	15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	20	15	15	20	15	3
Material	Amiran		Mono Filament															Amiran

れる。しかし echo pattern からサケ・マスの echo trace を正確に識別することは困難であった。

網目の小さい試験網によりサケ・マス以外の魚種が漁獲され、それ等の単体が echo trace として記録された点で大きな成果を得た。

以下に実験について検討した結果を述べる。

1) Range slice volume, sampling volume 及び scanning volume について

表4に(1),(2),(3)式より計算した range slice volume (VR) と sampling volume (V), および(4)式より投網中 3Kt, 航走中 9Kt, 漂流中 0.9Kt で1時間移動したと仮定したときの scanning volume (W) を示す。

2) 各実験点における echo pattern の結果について

表5は各実験点において投網中に魚探機によって取得された echo pattern を、水深 20 m 毎の range slice volume (A~E) に分類し、その層に含まれる単体の echo trace と shoal の echo trace を計数し、単体の echo trace について単位容積 (1m³) 当りの echo trace の密度 ρ_e を算出したものである。魚探機から放射されるビームの指向性から range slice volume は、水深の増加に比例しているから、各層の echo trace の記録数をそのまま比較することはできないが、単位容積当りの echo trace の密度や他漁場の echo pattern との比較検討は可能である。() 内の値は echo trace の記録数が多く、鮮明な BC 層について echo trace の密度 ρ_e を算出したものである。なお、scanning volume を算出

measurements the "Oshoro Maru" in Bering Sea in June, 1974.

Tan of using	Direction of drift toward	Wind	Sea	Weather	Surface temp. (°C)	Transparency (m)
135	160°	NNW 2	NNW 2	o	5.5	4~11
135	135°	NW 3	NW 3	o	5.8	5
135	130°	West 1	West 1	o	5.7	4.5
135	330°	Calm	Calm	o	6.7	5.6
135	330°	East 2	ENE 1	o	6.3	7.5
135	160°	SW 3	SW 3	o	6.9	5.5
135	150°	SW 3	SW 3	o	6.4	5.5
135	140°	WSW 3	WSW 2	o	6.4	6.5
135	330°	SE 1	SE 1	d	6.9	12
135	330°	Calm	Calm	f	6.1	6

f: fog

Table 3. Data of use of the vertical echo sounder.
Setting net

No. of fishing	Recording Time		Ship speed (Kt)	KHz	Gain	H.L.	T.V.G.
	Com ced	Fin ed					
1	1819	1929	2.5	50	8	L	ON
2	1852	1952	3.2	50	8	L	ON
3	1821	1921	3.2	50	3	H	ON
4	1838	1938	3.2	50	8	L	ON
5	1825	1915	3.2	50	8	L	ON
6	1801	1851	3.2	50	8	L	ON
7	1758	1858	3.2	50	6	H	ON
8	1930	2030	3.2	50	6	H	ON
9	1922	2022	3.3	50	3	H	OFF
10	1800	1900	3.3	50	3	H	OFF
Sailing							
3	2157	2257	9.0	50	8	L	ON
6	0231	0317	9.0	50	8	L	ON
Drifting							
2	2324	2344	0.86	50	8	L	ON
3	2016	2116	0.69	50	8	L	ON
6	2200	2351	0.94	50	5	H	ON
9	2331	0044	0.74	50	3	H	OFF

Table 4. Showing the sampling volume and scanning volume calculated from the echo sounder.

	D (m)	h (m)	r (m)	Range slice volume		Scanning volume (m ³)		
				(m ³)	(%)	Setting net	Sailing	Drifting
A	20	16	3.1	0.161×10 ³	0.5	193.0×10 ⁵	476.5×10 ⁵	47.6×10 ⁵
B	40	36	7.0	1.674×10 ³	4.8			
C	60	56	10.9	5.075×10 ³	14.6			
D	80	76	14.7	10.368×10 ³	29.7			
E	100	96	18.6	17.551×10 ³	50.4			
Sampling volume				34.830×10 ³	100.0			

するにあたり投網速度は網の長さ（1反=50 m, 135反）と投網所要時間から求めた。

表6は投網地点附近における航走中（9Ktは電磁ログによる）に取得した echo pattern から上述同様分類し echo trace の密度を算出したものである。この試みは、航走中に取得した echo pattern からサケ・マス の echo trace が識別できるか否かを検討することにあつた。その結果、echo trace の計数は可能であるが、船速が早くなるほど echo trace の特性が画一的となり識別が難しくなつていた。F3 および F6 の走査方法は、N字型に航走して echo pattern を取得した。

表7は投網地点附近における漂流中の echo trace の計数と密度 ρ_e である。この echo pattern の取得

Table 5. The number and density of echo traces per one setting net while fishing for salmon in June, 1974.

No. of fishing	Number of echo trace in Range slice volume					Total traces in scanning volume	Scanning		Scanning volume (W m ³)	$\rho_e = \frac{\text{Total traces}}{W(m^3)}$
	A	B	C	D	E		time (min.)	speed (m/min.)		
F. 1	91	371 (618)	247	19	9	737	70	90.0	180.1 × 10 ⁵ (56.5 × 10 ⁵)	4.0 × 10 ⁻⁵ (10.0 × 10 ⁻⁵)
F. 2	43	200 (365)	165	43	23	474	60	107.1	183.7 × 10 ⁵ (57.6 × 10 ⁵)	2.5 × 10 ⁻⁵ (6.3 × 10 ⁻⁵)
F. 3	44	208 (485)	277	143	19	691	60	114.4	195.7 × 10 ⁵ (61.6 × 10 ⁵)	3.5 × 10 ⁻⁵ (7.8 × 10 ⁻⁵)
F. 4	66	223 (499)	276	43	15	623	60	100.7	172.7 × 10 ⁵ (54.2 × 10 ⁵)	3.6 × 10 ⁻⁵ (9.2 × 10 ⁻⁵)
F. 5	72	93 (162)	69	33	9	276	50	122.7	175.4 × 10 ⁵ (55.0 × 10 ⁵)	1.5 × 10 ⁻⁵ (3.0 × 10 ⁻⁵)
F. 6	41	105 (165)	60	24	7	237	50	99.3	141.9 × 10 ⁵ (44.5 × 10 ⁵)	1.7 × 10 ⁻⁵ (3.7 × 10 ⁻⁵)
F. 7	115	147 (317)	170	172	63	667	60	108.9	186.8 × 10 ⁵ (58.6 × 10 ⁵)	3.5 × 10 ⁻⁵ (5.4 × 10 ⁻⁵)
F. 8	0	92 (106)	14	10	8	124	60	102.3	175.5 × 10 ⁵ (55.1 × 10 ⁵)	0.7 × 10 ⁻⁵ (1.9 × 10 ⁻⁵)
F. 9	482	275 (415)	140	43	3	943	60	110.7	189.9 × 10 ⁵ (59.6 × 10 ⁵)	4.9 × 10 ⁻⁵ (6.9 × 10 ⁻⁵)
F.10	109	358 (805)	447	115	37	1066	60	107.1	183.7 × 10 ⁵ (57.6 × 10 ⁵)	5.8 × 10 ⁻⁵ (13.9 × 10 ⁻⁵)

(): showing number and density of BC layer.
 Δ : shoal echo traces.

Table 6. The number and density of echo traces per one sailing while fishing for salmon in June, 1974.

	Number of echo trace in Range slice volume					Total traces in scanning volume	Scanning		Scanning volume (W m ³)	$\rho_e = \frac{\text{Total traces}}{W(m^3)}$
	A	B	C	D	E		time (min.)	speed (m/min.)		
F. 3	297	293	203	44	9	846	60	277.8	476.5 × 10 ⁵	1.7 × 10 ⁻⁵
F. 6	3	118	87	18	11	273	40	277.8	317.7 × 10 ⁵	0.8 × 10 ⁻⁵

目的は、航走中、投網中、漂流中の echo pattern を比較検討することにより、echo trace の識別、記録数の計数、その密度からサケ・マスの生理、生態的な生活の場の生息状態と漁業生産の相関性を検討することにある。漂流中の echo pattern から noise と echo trace の識別は可能である。shoal との関係は考察するとどめた。

Table 7. The number and density of echo traces per one drifting while fishing for salmon in June, 1974.

No. of fishing	Number of echo trace in Range slice volume					Total traces in scanning volume	Scanning		Scanning volume (W m ³)	$\rho_e = \frac{\text{Total traces}}{W(m^3)}$
	A	B	C	D	E		time (min.)	speed (m/min.)		
F. 2	5	45	39	7	2	98	20	26.5	15.2×10^5	6.4×10^{-5}
F. 3	403	25	32	14	3	476	50	21.3	30.5×10^5	15.6×10^{-5}
F. 6	10	23	46	33	20	132	60	29.0	49.7×10^5	2.6×10^{-5}
F. 9	762	251	197	85	35	1330	70	22.9	45.8×10^5	29.0×10^{-5}

Table 8. The relationship between catches and echo traces of salmon fishing in the Bering Sea in June, 1974.

No. of fishing	No. of estimated fish amount	No. of actual catches of salmon	Ratio of salmon catch (%)	Number of other catches
F. 1 n	700×10^3	137	0.020	AM 223, 3 m, AP 102, SQ 1
F. 2 n	438×10^3	564	0.129	AM 26, 2 m, AP 31
	1120×10^3		0.050	
F. 3 n	613×10^3	107	0.017	AM 102, 2 m, AP 7, SQ 1
s	298×10^3		0.036	
d	2730×10^3		0.004	
F. 4 n	630×10^3	608	0.097	AM 71, m, AP 24, SQ 2
F. 5 n	263×10^3	457	0.174	AM 514, 3 m, AP 12, SQ 2
F. 6 n	298×10^3	1585	0.532	AM 301, 4 m, AP 17
s	140×10^3		1.132	
d	455×10^3		0.348	
F. 7 n	613×10^3	1161	0.190	AM 165, 3 m, AP 180, SQ 2
F. 8 n	123×10^3	706	0.576	AM 10, AP 19, SQ 13
F. 9 n	858×10^3	47	0.005	AM 118, m, AP 55, SQ 26
d	5075×10^3		0.001	
F.10 n	1015×10^3	284	0.028	AM 57, m, AP 194, SQ 1

n: setting net s: sailing d: drifting
 AM: Atka mackerel AP: Alaska pollack SQ: Squid
 m: so many fish, the number could not count.

3) 各実験点における echo trace と漁獲尾数の相関々係について

表 8 は、表 5, 6, 7 で求めた各実験点における単位容積当りの密度から、一定漁場範囲 A における概算推定漁業資源量を求め、羅網したサケ・マスの漁獲尾数から漁獲率を投網中、航走中、漂流中について試算したものである。表層の scattering zone 内の echo trace の計数値 NS は、識別可能なものは A 層で計数しているので (5) 式は、 $M = NT \cdot A / S_f / 2 \cdot V \cdot t$ として計算した。漁場範囲を、網の長

さ (m), サケ・マスが1時間当たり 1.4 遡⁷⁾ 遊泳すると仮定して揚網まで 10 時間 (m), 水深 100m の長立方体の容積とした。

4) Scattering zone の解析について

表 9 は, scattering zone の数, 水深, および種類を示す。scattering zone の相対評価で Dense は一般に表層近くに多く, 小さい点状の濃密な集合で正確に計数はできない。航走中は航走 noise が加わり SN 比が悪化する。Medium では echo trace は鮮明ではないが計数は可能である。Low ではほとんどが散乱層でその中に鮮明な, 大きな dot 状の echo trace が記録され, 計数可能である。また層状でなく, 塊状のものも記録された。

5) サケ・マスの遊泳水深と echo trace について

サケ・マスは日中, 中層に生息し, 夜間プランクトンと共に表層に浮上し, 索餌しつつ洄遊するといわれている⁸⁾。本実験では, この現象を観察するためと計数上の便宜から 20 m 毎 5 層にわけて echo trace の記録結果から検討を試みたが規則的浮上傾向はみられなかった。しかしこれは, サケ・マスだけでなく記録されたすべての echo trace であるので一概には言及できない。

Echo trace の数は, 一般に B, C, A, D, E 層の順に減少している。B, C 層の echo trace は, 極めて鮮明で数が多く計数は容易である。A 層は吃水 4 m であるので, 一般に投網中, 発振線附近を含めて水深 7 m は, noise に masking され echo trace を識別することは極めて難しい。D, E 層の echo trace は, 鮮明ではないが大きく記録される。

6) 海況について

図 4 に漁場水域における水深 10 m 層の水温および塩分の水平分布図を示す。F5, 6, 7 を中心として, 右旋回の渦流があり漁獲もこの部分が好漁になっている。しかし echo trace 数は漁獲尾数に比較して少ない。これについては後で考察する。図 5 は特に漁獲の多かった水域を東西に切った鉛直断面図で

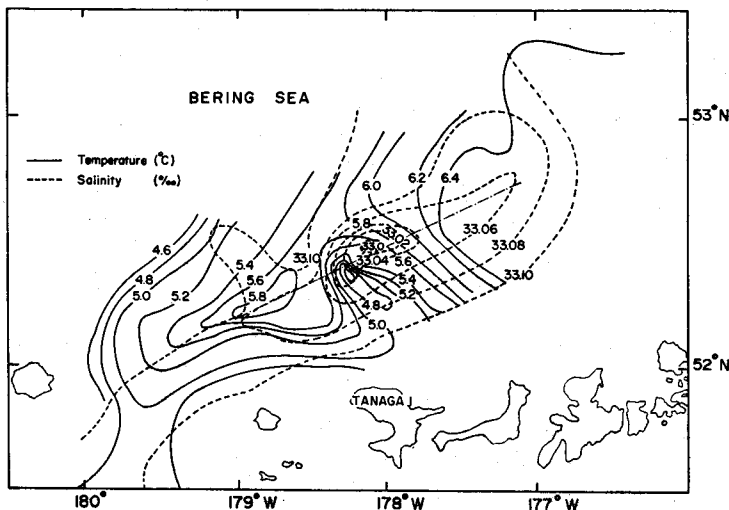


Fig. 4 Distribution of temperature and salinity in a 10-meter layer in the fishing ground of the Bering Sea in June, 1974.

Table 9. *Classified list of scattering*

F. No.	Dense			Medium	
	Number	Depth (m)	Kind	Number	Depth (m)
F. 1					
F. 2	1	8	cloud type		
F. 3	1	13	clear dots including cloud type		
F. 4				1	9
F. 5				1	8
F. 6				1	8
F. 7	1	12	small dots shoal like noise		
F. 8	1	16	dence shoal dots		
	1	15	dots covered with a wide area		
F. 9	1	9	unclear dots		
F.10	1	12	clear dots		

ある (図 4 中破点線部分)。これは海況の変化が顕著であることを示している。図 6 に代表的な 3 点の水温および塩分の鉛直曲線を示す。水温躍層は各点各様であるが、好漁の部分では表層に近いところにある。塩分躍層は顕著でない。一般に、サケ・マスは水温躍層以浅の表層に近い部分に生息するから⁹⁾ 海況についても表層附近を詳細に解明する必要がある。

F1 でみられるように海況が変化していくと echo pattern の様子も変わってゆくことも注目しなければならない。(特に表層の scattering zone 図 7-a)。これは生物が環境の変化に選択性があることを示すものである。

以上述べたように、サケ・マス漁場で資源現存量を推定するにあつて海況条件が重要な要因となる。

考 察

サケ・マス資源現存量を魚探機によって取得した echo pattern から echo trace を計数することによって推定するためには、サケ・マス単体の echo trace 数と漁獲尾数が相関々係を示すことが必要であるが、本実験では、一定漁場範囲内に洄遊、生息すると推定される echo trace の数、すなわち、概算推定漁業資源量と羅網したサケ・マス漁獲尾数の相関について検討した。

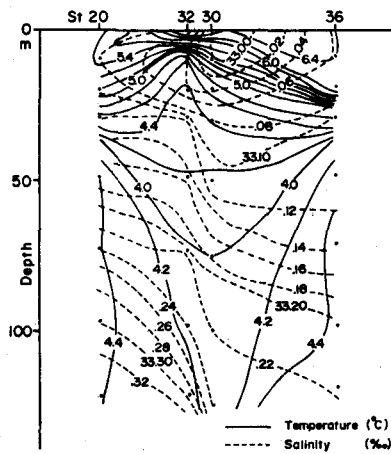


Fig. 5 Vertical section of temperature and salinity at good fishing grounds.

zones during net setting.

Kind	Low			Remarks
	Number	Depth (m)	Kind	
indistinguishable dot from noise dot or cloud type mutually clear dot shoal dots	1	9	indistinguishable dot from noise	Fig. 7-a
	1	12	no dot	Fig. 7-b
	1	22	no dot misty type including traces	
	1	14	dots in zone	
	1	20	dots in zone	Fig. 7-d-1
	1	13	dots in zone	
	1	45	isolated misty type	
	1	9	no dots	Fig. 7-e
	1	18	thin zone	

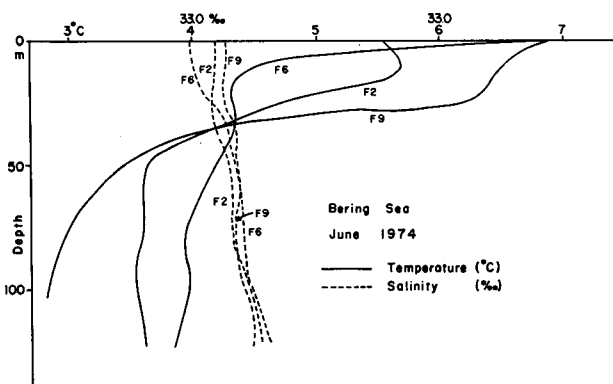
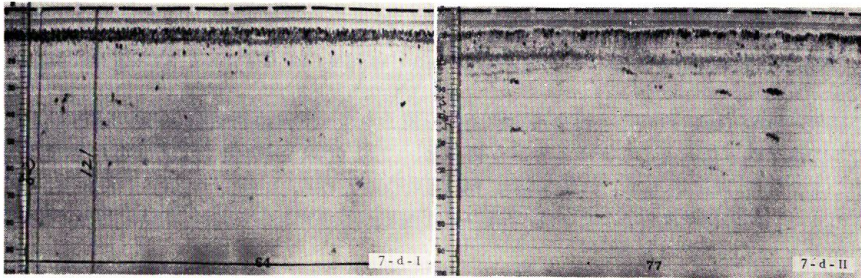
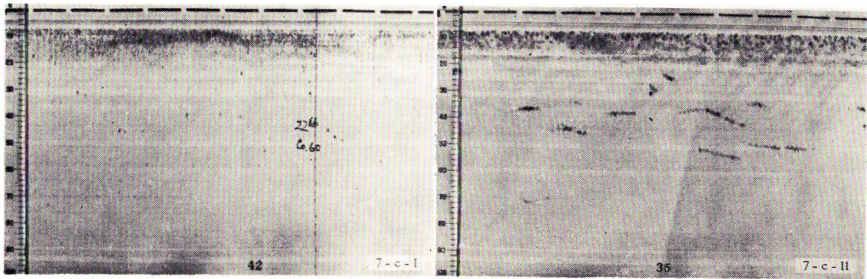
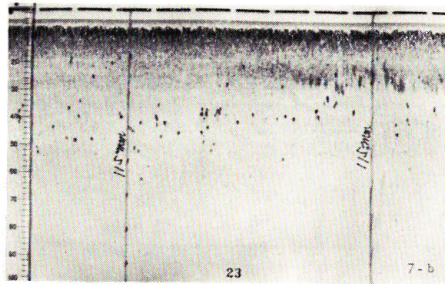
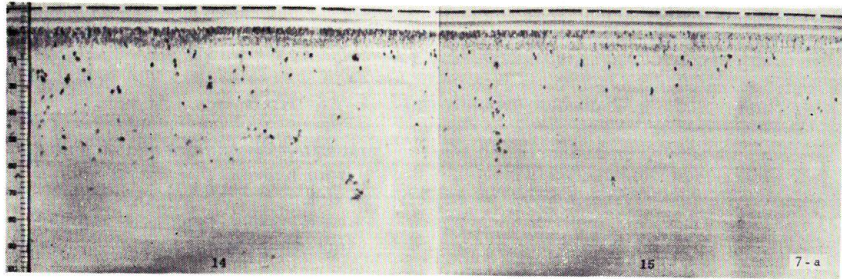


Fig. 6 Vertical curves of temperature and salinity at the main fishing grounds.

その結果、echo trace 数による概算推定漁業資源量とサケ・マス漁獲尾数との間に相関はなく規則正しいものではなかった。そこでサケ・マスが遊泳し、また echo pattern 上でも echo trace が鮮明で、数の上でも全体の 70% をしめ、計数容易な BC 層について echo trace を計数し、密度を算出したのが表 5 の () 内の値であるが、これも両者の間に相関がみられなかった。この原因を考察してみると次のようなことが考えられる。

1. 混獲水域では魚種別 echo trace の識別に困難性がある。
2. 船底装備の魚探機は水面に近い部分が盲目範囲となり、発振 noise と S.L. のため表層の echo trace を鮮明に記録できない。



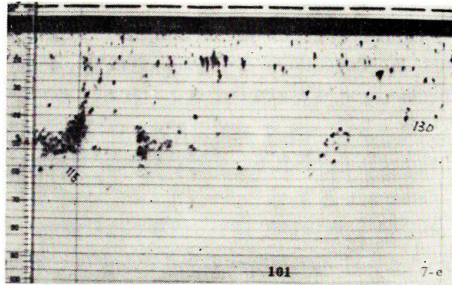


Fig. 7 Photographs of echo pattern on the 50 KHz vertical echo sounder in the Bering Sea.

- a) Photograph showing the echo patterns of change of sea conditions during net setting. Time of observation 18.50-19.10 (F 1)
- b) Photograph of the echo patterns during net setting showing the salmon traces. Time of observation 19.35 (F 2)
- c-I) Photograph of the echo patterns in sailing. Time of observation 22.17 (F 3)
- c-II) Photograph of the echo patterns in drifting. Time of observation 20.46 (F 3)
- d-I) Time of observation 18.22 (F 6, net setting)
- d-II) Time of observation 12.35 (F 6, drifting)
- e) Time of observation 20.05 (F 9, net setting)

3. 時間的経過による魚や網の移動, 海況の変化

4. 網成りの変化, 網の性能他

これらの諸問題を解決するためには, 魚探機の装備や性能の問題を含めて echo pattern の取得方法と漁獲方法をさらに検討し改良を加えなければならない。

垂直魚探機で表層附近の echo trace をできるだけ鮮明に取得し計数できることは, この研究にとっては重要なことである。取得された echo pattern から, 船速は 3~4 節が最も適当と思われる。なぜなら船速が遅くなれば同じ魚が sampling volume 中を 2 度以上通過することが考えられ, 早すぎると航走 noise を増し, echo trace が小さく, 少なくなり識別に困難となるからである。

次に代表的な実験点について総合的に検討してみる。

F2 では echo trace 数 474, 漁獲尾数 564, 漁獲率は投網中, 漂流中それぞれ 0.129, 0.050% である。漂流中の漁獲率が下るのは, 表層附近の echo trace の識別が可能となり, 計数値が多くなったためである。echo trace は鮮明であり, 投網中を通じて均一に記録されている。表層にかなり厚い S.L が記録されているが, これは透明度 5m のことから厚いプランクトンの層があると考えられる。水深 10m までは水温が高く, 水温躍層は水深 15~45m にあるが (図 6) この躍層中に雲状の濃密なプランクトンと思われる echo が存在し, 中に点状の echo trace が記録されている。echo trace 数より漁獲尾数が多いという結果は, 記録された echo trace の魚が漁獲されるということではなく魚群, 網の移動, 海況の変化等を考慮し検討しなければならない。F2 の投網中の echo pattern を図 7-b に示す。

F3 では echo trace 691, 漁獲尾数 107, 漁獲率は投網中, 航走中, 漂流中それぞれ, 0.017, 0.036, 0.004% を示すが, これは船速が早くなれば echo trace の識別数が少なくなり漁獲率が上がっていることを表わしている。投網中の echo pattern の特徴は, 相対的に C 層の echo trace が最も多く, 次

いで B, D 層の順となっている。A 層は濃い noise と S, L により trace の識別はできなかったが、かなりの厚さで S, L が存在している。echo trace が多く記録されている割に漁獲が少ないのは、投網時から揚網時の間に 6.5 湊流されており海況の変化も考えられる。漂流中の echo pattern で表層の輪郭が明確でない多数の斑点状の echo trace は、数えきれないほど獲れたホッケの群と思われる。C, D 層の echo trace はスケトウダラと思われる。表層から水深 30 m に水温躍層がある。図 7-c-I, II は航走中、漂流中の echo pattern である。

F6 では echo trace 237 (50 分間)、漁獲尾数 1585、漁獲率は投網中、航走中、漂流中それぞれ 0.532, 1.132, 0.348% と高い。これは echo trace の記録数が少なく漁獲尾数が多いことによる。この漁場で最も漁獲尾数が多いが投網時の echo trace 数は、それに比例していない。この原因は、投網時の echo trace 数と揚網時の漁獲尾数を比較することに問題があると考えられる。投網時では echo trace 数が B 層で最も多かったが、漂流中では (22.00~23.51) C, D 層が多くなり、A 層に濃密な S, L と群になった点状の echo trace が混在して記録されていることから、時間的経過に関係があると云える。水温は 0~10 m 間に 6.9°C から 4.5°C に急激に低下し (図 6)、水深 10 m の水温水平分布図では低温の中心となっている (図 4)。当漁場ではサケ・マスが表層の 0~10 m 間に濃縮されているため、A 層では水面近くまで計数できなかったと考えられる。漁獲ではサケ・マスの他ホッケが多くとれ、漂流中の表層附近にみられる点状の echo trace はホッケと思われる。このように好漁場となるところは海況と密接な関係があるといえる。図 7-d-I, II は投網中、漂流中の echo pattern である。

F9 では echo trace 943、漁獲尾数 47、漁獲率は投網中、漂流中それぞれ 0.005, 0.001% と極めて低い。魚探機調整の上で従来とは異っていたが、(T, V, G をかけていない) 種々の点でこれまでの echo pattern とは大きな相違が見られた。echo trace の数は A, B, C 層の順で、従来多かった BC 層では投網中 50% 以下となっている。また、明らかに魚群であると識別される単体の shoal が B 層を中心に 27 群記録され、表層 S, L 下部には鮮明な小さな斑点状の echo trace が見られた (図 7-e)。echo trace 数と漁獲尾数の点でも大きな差違を示している。漁獲はスケトウダラ、ホッケの他にイカが 26 尾獲れた。当漁場は、今実験の最も東側で、水温鉛直分布曲線ではこれまでとは異なり、中層の 25~50 m に水温躍層がある (図 6)。

Echo pattern を総合的に見ると、投網中の echo trace の形状は、ホッケが斑点状、スケトウダラはコメット型、サケ・マスもスケトウダラと同型である。

なお、(5) 式の資源現存量 M で漁場範囲の大きさ A については、資源量推定の精度に大きな影響を与えるので今後の実験で再検討し、また、表層の scattering zone のサケ・マス数 NS についても、計数方法を改良したい。

要 約

- 1) サケ・マス資源現存量を推定する一方法として、垂直魚探機を使用し取得した echo pattern から echo trace の記録数を計数し、その数から資源現存量を推定する。この場合、サケ・マスと他の魚種との echo trace の識別の精度が問題となる。今後、サケ・マス魚探技術として、サケ・マス echo trace の識別精度を向上させるよう改善し、発展させれば、サケ・マス資源現存量の推定のために有効な手段、方法となる。
- 2) 水深 0~10 m のごく表層近くを遊泳するサケ・マスを echo pattern 上に echo trace として記録することは、現在装備されている商用垂直魚探機では、非常に困難なので、垂直魚探機を使用するためにはごく表層を遊泳するサケ・マスの資源現存量を推定する方法を研究し、試験を積上げてより推定精度をよくすれば、漁場における資源現存量に近似した量を求めることができる。

- 3) 魚探機によってサケ・マス資源現存量を推定するにあたり、サケ・マスの echo trace 記録数と漁獲尾数との相関が必要となるが、時間的経過による魚や網の移動、網成りの変化、海況の変化等の条件を考慮し、サケ・マス以外の混獲された魚種の尾数も正確に計数することによって精度を高めなければならない。

終りにあたり、本研究の御指導をいただいた本学部石田教授、助言をいただいた藤井教授、増田助教授、本論文作成にあたり労をいただいた小野寺和加子嬢、本実験実施にあたり積極的に御協力をいただいたおしよ丸船長をはじめ乗組員諸氏、学生諸氏に深謝する。

文 献

- 1) 佐野典達 (1968). サケ・マス魚探技術の若干の問題点について-I. 日水誌, **34**, 660-669.
- 2) 佐野典達 (1968). 同 上 -II. 同誌, **34**, 670-680.
- 3) 佐野典達 (1971). サケ・マス魚探技術の若干の問題点について -III. 同誌, **37**, 1-7.
- 4) 鈴木恒由・園田平雄 (1972). サケ・マス用魚探機の試作とその実験結果について. 同誌, **38**, 463-469.
- 5) Forbes, S.T. and Nakken, O. (1972). Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. *F.A.O. manuals in fisheries science*. 1-138.
- 6) 田口喜三郎 (1966). 太平洋産サケ・マス資源とその漁業. 1-390. 恒星社厚生閣. 東京.
- 7) Hartt, A.C. (1962). Movement of salmon in the North Pacific Ocean and Bering Sea as determined by Tagging 1956-1958. *INPFC Bull* **6**, 1-157.
- 8) 田口喜三郎 (1963). サケ・マスの羅網行動に影響する 2,3 の要因について. 日水誌, **29**, 434-440.
- 9) Nikoraeb, A.S. (1968). 太平洋サケ・マスの海洋における分布の研究のための水中音響機器の利用. ソ連北洋漁業関係文献集 **83**, 96-100.